Læremateriell for maritime fagskoler

MARKOM FS
UTVIKLER MARITIM KOMPETANSE MOT 2020
MARITIM FAGSKOLE SEKTOR

Skipselektro
for maskinoffiserer

K59



Forfatter: Lars Sigurd Berle

Rev: 1, 2025

Innledning

Har søkt om å få bruke stoff og bilder fra forskjellige produsenter.

Elektromotorer:

Fra RUBIX har vi fått tillatelse å bruke bilder og tekst fra LØNNE motor.
https://rubix.com/

Generatorer:



Fra Generator Solutions har vi fått tillatelse å bruke bilder og tekst fra Stamford.
https://www.generatorsolutions.no/en/

Sikringer, brytere, kontaktorer osv

Fra Schneider Electric og ABB har vi fått tillatelse å bruke bilder og tekst.
https://www.se.com/no/no/ https://new.abb.com/no

Transformatorer

Fra Noratel har vi fått tillatelse å bruke bilder og tekst.
https://www.noratel.com/home/

Tavle instrumenter

Fra DEIF har vi fått tillatelse å bruke bilder og tekst.
https://www.deif.com/

Ovner (motstander):

Fra Telco har vi fått tillatelse til å bruke bilder.
https://telco.no/kontakt/

Kabel

https://helmacab.com

Forord

I en tid der maritime operasjoner blir stadig mer teknologisk avanserte og miljøkravene stadig strengere, spiller elektriske anlegg en avgjørende rolle i både driftssikkerhet, energieffektivitet og sikkerhet om bord på skip. Denne boken er skrevet for å gi en grundig, praktisk og forståelig innføring i moderne skipselektriske anlegg – fra grunnleggende teori til bruk i dagens skipsteknologi.

Formålet med boken er å bygge bro mellom teori og praksis. Den er ment som et verktøy for studenter, maskinkadetter, maskinoffiserer og andre som arbeider med, eller har interesse for, elektriske systemer til sjøs. Innholdet dekker alt fra kraftproduksjon og distribusjon til styresystemer, vern, automasjon og feilsøking. Det legges særlig vekt på løsninger og utstyr som er relevante i moderne fartøy, og det gis eksempler og forklaringer basert på utstyr fra ledende produsenter.

Ved flere anledninger i boken refereres det til standarder som regulerer elektriske installasjoner i skip. Den viktigste av disse er **NEK 410A** og **410B,** som er Norsk Elektroteknisk Komités (NEK) standard for maritime elektriske anlegg. Dette er en sentral referanse for prosjektering, installasjon og vedlikehold av elektriske systemer til sjøs. Norsk Elektroteknisk Komite (NEK) har opphavsretten til denne publikasjonen.

Jeg håper boken kan bidra til økt forståelse og interesse for fagområdet, og samtidig være til hjelp i utdanning og yrkespraksis. Takk til alle som har inspirert og støttet arbeidet underveis – ikke minst de som til daglig holder skipene våre trygge og i drift gjennom solid elektrofaglig kompetanse.

God lesing!
Lars Sigurd Berle
Måløy 02.07.2025

Kap 1: Grunnleggende elektroteknikk, likestrøm

Grunnleggende elektroteknikk, likestrøm

LIKESTRØM (DC – *DIRECT CURRENT*)

Likestrøm (DC – *direct current*) er en elektrisk strøm der elektriske ladningsbærere, vanligvis elektroner, beveger seg i én konstant retning gjennom en leder. Dette står i kontrast til vekselstrøm (AC), hvor strømretningen skifter periodisk.

Egenskaper ved likestrøm

- Retningsbestemt strøm: Strømmen flyter kontinuerlig i én retning, noe som gir en konstant polaritet.
- Spenningsprofil: Spenningsnivået i et likestrøms system er konstant over tid, med mindre det påvirkes av ytre faktorer.
- Strømstyrke: Strømstyrken forblir stabil så lenge belastningen og spenningskilden er uendret.

Historisk bakgrunn

På slutten av 1800-tallet utviklet Thomas Edison et distribusjonssystem basert på likestrøm (DC) for elektrisk belysning. Dette systemet hadde imidlertid begrensninger, spesielt når det gjaldt effektiv overføring over lange avstander. Likestrøm kunne ikke lett transformeres til høyere spenninger, noe som førte til betydelige energitap over avstand. Som et resultat måtte kraftstasjoner plasseres nær forbrukerne, vanligvis innen en radius på omtrent 1,5 kilometer, for å opprettholde tilstrekkelig spenning og redusere tap.

Kilder og anvendelser

- Kilder: Vanlige kilder til likestrøm inkluderer batterier, solcellepaneler og DC-generatorer.
- Elektronikk: De fleste elektroniske enheter, som datamaskiner og mobiltelefoner, opererer internt med likestrøm.
- Industrielle applikasjoner: Likestrøm brukes i elektrolyseprosesser, likestrøms motorer.



Solcelle panel

Grunnleggende elektroteknikk, Ohms lov

Georg Ohm var en tysk fysiker som finn, ved forsøk, frem til sammenhengen mellom spenning (U), strømmen (I) og motstanden (R).

Denne forbindelsen mellom strøm, spenning og resistans i en strømkrets har derfor fått navnet **Ohms lov**.

f(x)

OHMS LOV

$$\mathbf{U = I * R}$$

Ohm finn ut at når ei spenning (U) virker i en strømkrets, oppstår det en strøm (I) som var direkte proporsjonal med spenningen og omvendt proporsjonal med resistansen (R) i strømkretsen.

!

OHMS LOV KAN UTTRYKKAS SLIK:

Det trengs en spenning på 1 volt (V) til å drive en strøm på 1 ampere (A) gjennom en motstand på 1 ohm (Ω).

Omgrep	Formeltegn	Nevning	Navn	Rolle i kretsen
Spenning	U	V	volt	Trykk som utløyser elektronstrøm
Strøm	I	A	ampere	Elektronstrøm - hastighet
Resistans (motstand)	R	Ω	ohm	Elektrisk motstand

Dersom to av verdiene er kjent, kan vi snu Ohms lov for å beregne den tredje verdien.

Ohms lov slik den er oppstilt her gjelder likestrøm.

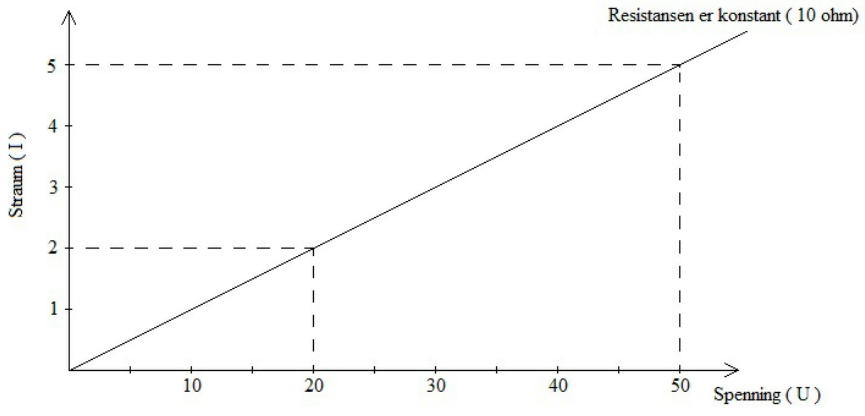
> $$U = I * R$$
> $$I = \frac{U}{R}$$
> $$R = \frac{U}{I}$$

Når frie elektron beveger seg i same retning i en leder, får vi en elektrisk strøm.

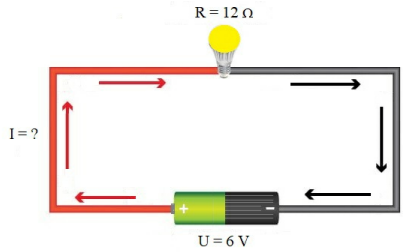
For å få frie elektron til å bevege seg i same retning, må vi koble lederen til en spenningskilde, for eksempel et batteri.

Elektrona beveger seg fra minuspolen til plusspolen. Men ***strømretningen*** er definert den motsette veien: fra pluss til minus.

Et batteri har en positiv pol (+) og en negativ pol (–). Den negative polen har overskudd på elektron og den positive polen har et underskudd på elektron. Denne forskjellen kaller vi elektrisk spenning. Strøm retninga i en elektrisk krets er fra pluss (+) til minus (-).
I en elektrisk leder vil de frie elektronene støtte på hindringer slik som ion, nøytrale atomar og dei andre elektrona. Disse hindringene kaller vi lederens resistans (som tyder motstand på gresk). Resistansen er avhengig av flere faktorer, som for eksempel leder materiale, lederen sitt areal og lederen sin temperatur. Diagrammet under viser hvordan strømmen endrer seg når vi har en konstant resistans og endrer på spenninga.



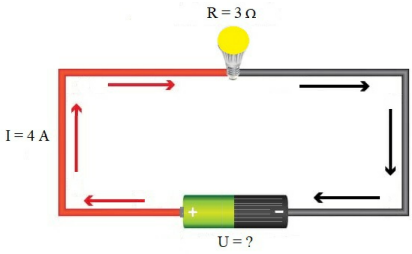
Her er tre enkle eksempel på hvordan vi bruker Ohms lov når to verdier er kjent.



EKSEMPEL 1:

Spenninga U og resistansen R er kjent.
Hva for strømstyrke er det i kretsen?

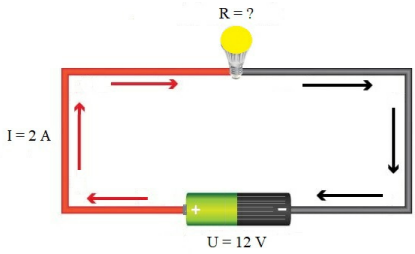
$$I = \frac{U}{R} = \frac{6}{12} = \underline{\underline{0,5\ A}}$$



EKSEMPEL 2:

Strømmen I og resistansen R er kjent.
Hva er spenningen i kretsen?

$$U = I * R = 4 * 3 = \underline{\underline{12\ V}}$$



EKSEMPEL 3:

Spenningen (U) og strømmen (I) er kjent.

Hvor stor resistans er det i lampen?

$$R = \frac{U}{I} = \frac{12}{2} = \underline{\underline{6\ \Omega}}$$

Elektrisk leder

En elektrisk leder er et materiale som lar elektrisk strøm passere gjennom seg med minimal motstand. De er viktige i alle elektriske og elektroniske kretser fordi de gir en bane for elektroner å bevege seg.

Her er noen viktige punkter om elektriske ledere:

- **Materiale**: Gode elektriske ledere er vanligvis laget av metaller som kobber, aluminium, sølv og gull. Disse materialene har mange frie elektroner som kan bevege seg fritt gjennom materialet. Om bord i skip bruker vi kopper ledere.
- **Bruk**: Elektriske ledere brukes i alt fra elektriske kabler og ledninger til kretskort og elektrisk utstyr.
- **Egenskaper**: De har lav resistans (motstand) som tillater elektrisk strøm å passere gjennom dem effektivt. Dette reduserer energitap og varmeutvikling.
- **Isolasjon**: For sikkerhets skyld er ledere ofte dekket med et isolerende materiale som plast eller gummi for å forhindre uønskede strømlekkasjer og kortslutninger.

Vi har tre typer ledere: entrådet, flertrådet og mangetrådet. En leder består av én eller flere kordeler, som er hver enkelt "tråd" av kobber. En mangetrådet ledning er veldig fleksibel og tåler rystelser og vibrasjoner bedre enn entrådet og flertrådet, og derfor brukes den om bord i skip. Det er viktig å nite endekoblingene til mangetrådet leder for å sikre god kontakt.



Fra venstre, 1: Entrådet. 2: Flertrådet (7 kordeler). 3: Mangetrådet (13 eller flere kordeler)

Resistans i en leder

Resistansen i ledninger avhenger av:

1. Lengden
2. Tverrsnittet
3. Materialet
   - Resistansen øker med lengden og minker med tverrsnittet. En ledning på 10 m har dobbelt så stor resistans som en ledning på 5 m med samme tverrsnitt og materiale.
   - Resistans måles med et ohmmeter og beregnes ut fra ledningens resistivitet (ρ) eller konduktivitet (γ).
   - Resistivitet (ρ) måles i Ωmm²/m (ohm kvadratmillimeter per meter).
   - Konduktivitet (γ) måles i S/m (Siemens meter per kvadratmillimeter).

Nøkkelpunkt:

- Jo lengre og tynnere tråden er, desto høyere motstand, fordi elektronene må bevege seg gjennom mer materiale. En tykkere eller kortere tråd har lavere motstand.

Beregningseksempel:

- For en kobbertråd som er 1 meter lang og har et tverrsnitt på 1 mm² ved 20 °C, er den spesifikke motstanden 0,0175 ohm.

f(x)

FORMLER:

$$R = \frac{l * \varrho}{A}$$

$$R = \frac{l}{\gamma * A}$$

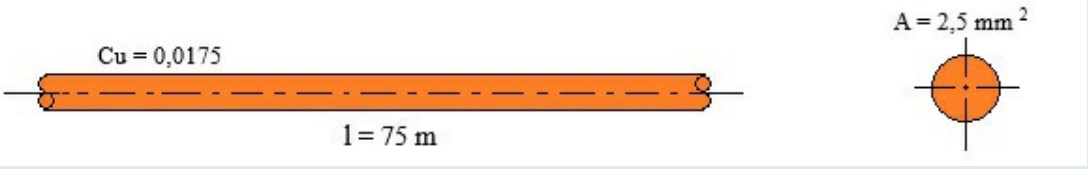
$$\gamma = \frac{1}{\varrho}$$

- l = lengde i meter
- A = tverrsnitt i mm²

Tabeller:

- Ledere er oppgitt i faste tverrsnitt, som kalles normaltversnitt. NEK 410B: 2021 har tabeller som viser disse.

EKSEMPEL:



$$R = \frac{l*\varrho}{A} = \frac{75*0{,}0175}{2{,}5} = 0{,}525\ \Omega$$

Spenningsfall i en leder

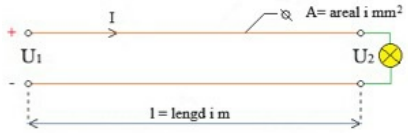
For å drive strømmen gjennom en motstand trengs det en spenning. Dette gjelder også for å drive strøm gjennom ledningene mellom strømkilden og forbrukeren (lasten). Spenningen som kreves for å overvinne ledningsresistansen kalles spenningsfall eller spenningstap, og den symboliseres med ΔU (delta U). Denne spenningen gagner ikke strømforbrukeren.

*For en toleder kabel må vi alltid regne med 2 * lengda på kabelen, fordi strømmen går fra + til – gjennom hele kabelens lengde.*

Spenningsfallet i en toleder kabel kan vi regne ut på disse måtene:

$$\Delta U = R_{\text{kabel}} * I \qquad \text{eller} \qquad \Delta U = \frac{(\varrho*2*l)*I}{A}$$

ΔU = spenningsfallet i V (volt)
ϱ = resistiviteten i $\Omega * \text{mm}^2/m$
l = lengda på kabelen i m (meter)
I = strømmen i A (ampere)
A = tverrsnittet i mm^2



Figuren over viser en toleder kabel fra en spenningskilde til en forbruker.

Når vi kjenner tilførselsspenninga og spenningsfallet, kan vi finne forbrukarspenninga:

f(x)

FORBRUKARSPENNINGA

$U_2 = U_1 - \Delta U$

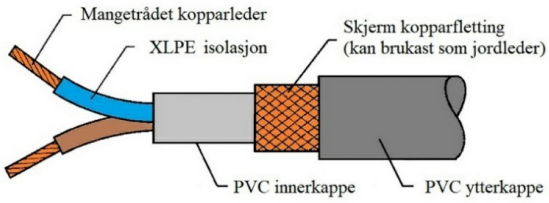
Når vi skal beregne tverrsnittet på en kabel tar vi utgangspunkt i normal tverrsnittet.

Vi snur formelen for spenningsfall for å regne ut tverrsnittet:

f(x)

TVERRSNITTET

$$A = \frac{(\varrho * 2 * l) * I}{\Delta U}$$



Figuren viser en typisk toleder skipskabel.

Resistans ved temperatur endring

Resistansen i et materiale avhenger både av resistiviteten (spesifikke motstand) og temperaturen. Materialer kan ha enten positiv temperaturkoeffisient (PTC-motstand) eller negativ temperaturkoeffisient (NTC-motstand). I elektroteknikk er det vanlig å bruke positiv temperaturkoeffisient, hvor resistansen øker med temperaturen. I elektronikk brukes begge typer.

- **Positiv temperaturkoeffisient (PTC):** Resistansen øker med temperaturen.
- **Negativ temperaturkoeffisient (NTC):** Resistansen minker med temperaturen.

Temperaturkoeffisientene, som måles med α (alfa), for ulike metaller finnes i formelsamlinger.

R_0 = resistans ved 20 °C
R_2 = resistans etter temperaturforandring
α = temperaturkoeffisient (kobber = 0,0039)
t_2 = slutt temperatur i °C
t_1 = start temperatur i °C
Δt = temperaturdifferansen

Resistansen R_0 er vanligvis oppgitt for 20 °C. Dersom temperaturen stiger, må vi difor først finne temperaturdifferansen (Δt) etter dette uttrykket:

> $\Delta t = t_2 - t_1$

Når vi har beregna temperaturdifferansen, kan vi finne den nye resistansen R_2:

> $$R_2 = R_0 \, (1 + \alpha * \Delta t)$$

EKSEMPEL A

a) Beregn resistansen til en toleder-kabel med lengde 80 m, tverrsnitt på 2,5 mm^2 og ϱ = 0,0175.

$$R_0 = \frac{2*l*\varrho}{A} = \frac{2*80*0{,}0175}{2{,}5} = \underline{\underline{1,12\ \Omega}}$$

Kabelen belastes slik at lederne får en temperaturøkning fra 20 °C til 50 °C. Hva blir resistansen i kabelen nå? For kobber er temperaturkoeffisient α = 0,0039

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 50 - 20 = \underline{30^\circ C}$$

$$R_2 = R_0\,(1 + \alpha * \Delta t) = R_0 + R_0 * \alpha * \Delta t$$

$$R_2 = 1,12\,(1 + 0,0039 * 30) = 1,12 + 1,12 * 0,0039 * 30 = 1,12 + 0,13$$

$$R_2 = \underline{\underline{1,25\Omega}}$$

EKSEMPEL B

b) Dersom motstanden i kabelen øker til 1,3 Ω, Hvor stor er temperaturøkningen da?

$$R_2 = R_0\,(1 + \alpha * \Delta t) = R_0 + R_0 * \alpha * \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{R_2 - R_0}{R_0 * \alpha} = \frac{1{,}3 - 1{,}12}{1{,}12 * 0{,}0039} = \underline{\underline{41,21^\circ C}}$$

Temperaturen i kabelen vil da være $t_2 = t_1 + \Delta t = 20 + 41,21 = \underline{\underline{61,21^\circ C}}$

Isolatorer

Isolatorer er stoff som ikke kan leie elektrisk strøm eller som gjær det i svært liten grad. Disse kan vi ikke unnvære i elektroteknikken, for dei hinder spenningsførende deler i å komme i kontakt med hverandre og med omgivelsene. Uten isolatorer hadde vi ikke fått noe praktisk nytte av elektrisiteten. Isolasjonsstoffa er like viktige som leder materialet.

Det er bare ikke-metalliske stoff som isolerer elektrisk. Isolasjonsstoffa blir gjerne inndelt i to hovedgrupper: uorganiske og organiske isolasjonsstoff. De uorganiske isolasjonsstoffa består av forskjellige mineralske stoff og metall oksider. De tåler svært høye temperaturer, de trekker nesten ikke til seg vann, og de tåler store mekaniske påkjenninger.

De organiske isolasjonsstoffa er enten rene naturprodukt eller hel- eller halvsyntetiske stoff som inneholde karbon i en eller anna forbindelse, for eksempel bomull, silke, halvsyntetiske stoff på cellulosebasis og helsyntetiske plaststoff. De fleste isolasjonsstoffa er organiske.

Forutan faste isolasjonsstoff har vi også flytende og gassformige isolasjonsstoff. Isolasjonsolje blir mest laga av jordolje og brukas blant anna i store transformatorer, effektbrytere, kabler og kondensatorer. Gassformige isolasjonsstoff er først og fremst luft og rene gasser.

Effekt (energi)

Effekt er en fysisk størrelse som beskriver energioverføring per tidsenhet og betegnes også som yting. Den måles i watt (W).

I fysikken defineres energi som evnen til å utføre arbeid, og effekt uttrykker dermed hastigheten på energioverføringen. For eksempel vil energiforbruket være det samme når en last heises én meter opp, uavhengig av tidsbruken. Dersom løftet skjer raskere, kreves imidlertid høyere effekt.

Begrepene energi og effekt anvendes også i forbindelse med avledede energiformer som varmeenergi og elektrisk energi, men måleenheten forblir den samme. I det internasjonale SI-systemet måles effekt i watt (W), en enhet oppkalt etter James Watt. En watt tilsvarer én joule (J) per sekund (s):

> **1 W = 1 J/s**

Effektloven

Når man regner på effekt i elektriske system, bruker man følgende formel for effekt:

> $$\mathbf{P = U * I}$$

- P er effekten i watt (W).
- U er spenningen i volt (V)
- I er strømmen i ampere (A)

Effekt er altså lik spenning gange med strøm.

Ofte vil man bruke effektloven samen med Ohms lov, fordi det er de samme egenskapene som beregnes. Når man ser på de fire egenskapene til et elektrisk system: strøm, spenning, motstand og effekt, behøver man bare kjenne to av dei for å kunne regne ut de andre. Man kan altså, dersom man kombinerer effektloven og Ohms lov, få fire formler for dei fire egenskapene.

Derfor finnes det også to andre måter å regne ut effekt i et elektrisk system.

Vi skal sjå litt på det:

f(x)

EFFEKTFORMELEN

Effektformelen: P = U * I

f(x)

OHMS LOV

Ohms lov: U = I * R

Dersom vi bytter ut U med I * R, så får vi formelen P = (I * R) * I = I^2 * R

Dersom vi bytter ut I med $\frac{U}{R}$, så får vi formelen P = U * $\left(\frac{U}{R}\right)$ = $\frac{U^2}{R}$

$$P = U * I = \frac{U^2}{R} = R * I^2$$

EKSEMPEL:

En varmeovn er påstempla med ei spenning på 230 V og en strøm på 4,348 A.

Hvor mange watt forbruker den?

$$P = U * I = 230 * 4,348 = \underline{\underline{1000W}}$$

Hvor stor resistans har varmetrådene i varmeovnen?

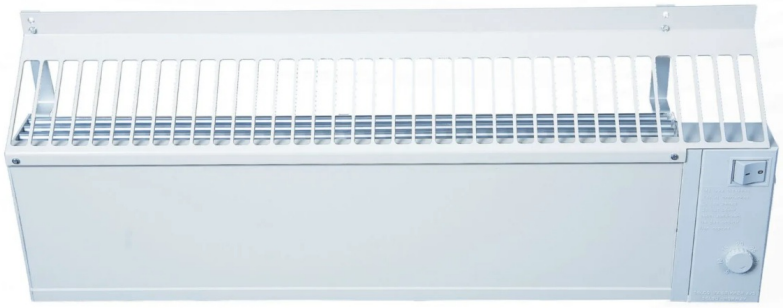
$$P = \frac{U^2}{R}$$

Snu formelen

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{230^2}{1000} = \frac{52900}{1000} = \underline{\underline{52,9\ \Omega}}$$

For å sjekke dette kan vi bruke formelen:

$$P = I^2 * R = 4,348^2 * 52,9 = 18,9 * 52,9 = \underline{\underline{1000W}}$$



Skipsovn IP 44 1000 W Telco T2RIB 10

Effekt forbruk

Innenfor produksjon av elektrisk energi https://snl.no/elektrisk_energi
kan en også støtte på uttrykket kWh https://snl.no/kWh

En kilowattime (kWh) kan forklares som den energien som en effekt på 1 kW utvikler i løpet av en time. Eller sagt på en annen måte, om du skrur på et apparat som bruker 1000 W strøm og lar det stå på i en time, har du brukt 1 kWh.

Hvor lang tid tar det å bruke en kilowattime?

En kilowattime er ikke det same som en klokketime. Hvor lang tid du bruker på å forbruke en 1 kWh kommer an på hvor mye strøm du bruker.
Dei ulike elektriske apparata har ulikt strømforbruk https://www.fjordkraft.no/strom/stromforbruk/

Så ei lyspære som trekker 50 watt vil bruke 20 timer på å forbruke 1 kWh ($\frac{1\ kWh}{0{,}05\ kW} = 20\ t$), mens en komfyr som trekker 2000 watt vil bruke en halvtime på å bruke 1kWh ($\frac{1\ kWh}{2\ kW} = 0,5\ t$).

Motstandskoblinger

Parallellkopling

Parallellkobling betyr at komponentene er koblet side om side, slik at de har samme spenning over seg, men strømmen fordeles mellom dem.

Egenskaper ved parallellkobling:

1. Samme spenning (U) – Spenningen over hver komponent er lik.
2. Strømmen fordeles (I) – Den totale strømmen deles mellom komponentene.
3. Total motstand (R) – Beregnes med formelen:

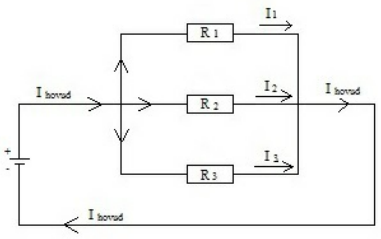
> $$\frac{1}{\mathrm{Rt}} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3}$$

4. Dersom én komponent svikter – De andre fungerer fortsatt (som i husets elektriske system).

Kirchoffs 1. lov

I et forgreningspunkt i en elektrisk krets er summen av strømmene inn mot punktet lik summen av strømmene ut fra punktet.

Sagt på en anna måte:
Når en leder deler seg i to eller flere grener, er hovedstrømmen lik summen av grenstrømmene.
Hovedstrømmen (I) deler seg i knutepunkt til dei ulike motstandene, men i det andre knutepunktet vil strømmen samle seg igjen, med samme styrke.



$$I_h = I_1 + I_2 + I_3$$

I ei parallellkopling av flere motstander er spenninga over alle motstandene den samme.

En kan sjå at alle motstandene grener seg ut fra et og samme punkt som er felles for alle motstandene.

Totalmotstanden (R_t) i ei parallellkopling er:

$$\frac{1}{\mathrm{Rt}} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3}$$

EKSEMPEL:

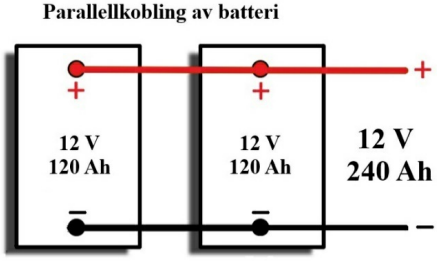
R_1 = 10 Ω, R_2 = 12 Ω, R_3 = 15 Ω

$$\frac{1}{\mathrm{Rt}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{12} + \frac{1}{15} = 0,1 + 0,083333 + 0,066666 = 0,25$$

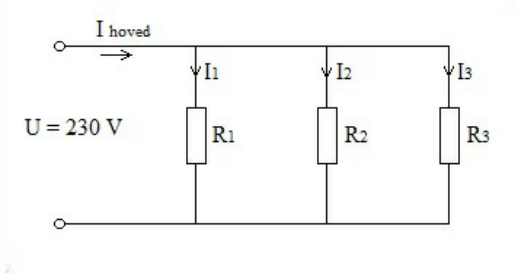
$$\frac{1}{\mathrm{Rt}} = 0,2499$$

$$Rt = \frac{1}{0,2499} = \underline{\underline{4,00\ \Omega}}$$

Blir det brudd i en motstand (f.eks. R_3) vil Rt bli: $\frac{1}{\mathrm{Rt}} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}$
Blir det kortslutning i en motstand vil all strøm gå gjennom denne.



Eksempel parallellkobling:



Tre parallellkopla motstander (resistanser).

Figuren over viser tre parallellkopla motstander (resistanser).

R_1 = 5 Ω, R_2 = 15 Ω og R_3 = 20 Ω, disse er tilkopla ei spenning på 230 V.

a) Beregn total resistansen i kretsen.
b) Beregn hovedstrømmen.
c) Beregn grenstrømmene.

a)

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{5} + \frac{1}{15} + \frac{1}{20} = 0,2 + 0,06667 + 0,05 = \ 0,31667$$

$$\frac{1}{R_t} = \ 0,31667 \ \rightarrow \ R_t = \frac{1}{0,31667} = \underline{\underline{3,158\ \Omega}}$$

b)

$$U = \ I_h \ * \ R_t$$

$$I_h = \frac{U}{R_t} = \frac{230}{3,158} = \underline{\underline{72,83A}}$$

c)

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{230}{5} = \underline{\underline{46A}}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{230}{15} = \underline{\underline{15,33A}}$$

$$I_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{230}{20} = \underline{\underline{11,5A}}$$

Kontroll

Summen av grenstrømmene er lik hovedstrømmen (Kirchoffs 1. lov)

$$I_h = I_1 + I_2 + I_3 = 46 + 15,33 + 11,5 = \underline{72,83A}$$

Seriekobling

Seriekobling betyr at komponentene i en elektrisk krets er koblet etter hverandre, slik at samme strøm går gjennom alle komponentene.

Egenskaper ved seriekobling

1. Samme strøm (I) – Strømmen er lik i hele kretsen.
2. Spenning fordeles (U) – Den totale spenningen fordeles mellom komponentene.
3. Total motstand (R) – Summen av alle motstandene i rekken:

> R_{total} = R1 + R2 + R3 + ... R

4. Dersom én komponent svikter – Hele kretsen brytes (som en juletrelysrekke der ett ødelagt lys slukker alle).

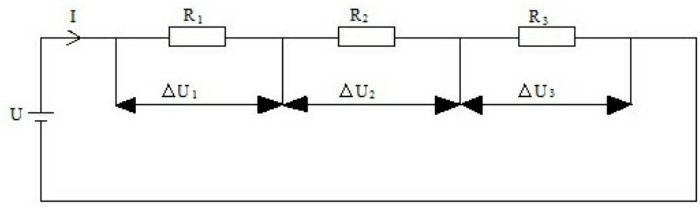
Kirchoffs 2. lov

Summen av alle elektromotoriske* spenninger rundt en lukka strømkrets, er lik summen av alle spenningsfalla rundt kretsen.

Sagt på en anna måte:

> Summen av delspenningene er lik hovedspenningen. U = $\Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3$

I ei seriekopling vil alle motstandene ligge etter hverandre. Figuren under viser tre motstander koblet i serie.



I en slik strømkrets er strømstyrken (I eller I_h) den same gjennom alle motstandene, fordi det ellers måtte hope seg opp ladning en stad i kretsen.

Den samla motstanden R_t (resultantresistansen) er lik summen av dei enkelte motstandene:

> $$R_t = R_1 + R_2 + R_3$$

Den totale spenninga (U eller U_h) i kretsen er lik summen av delspenningene (ΔU) over hver resistans (Kirchoffs 2. lov):

$$U_h = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3$$

$U = I * R_t$
$\Delta U_1 = I * R_1$
$\Delta U_2 = I * R_2$
$\Delta U_3 = I * R_3$

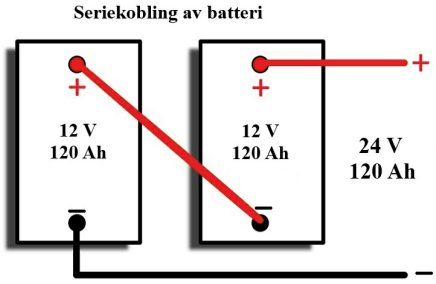
Blir det kortslutning i en motstand (f.eks. R_3) så vil R total bli: $R_t = R_1 + R_2$

Blir det brudd i en motstand vil det ikke gå strøm i kretsen. Måler vi med et voltmeter over bruddet vil vi måle hovedspenningen (U_h). Når det ikke går strøm i kretsen vil vi ikke få spenningsfall over motstandene, derfor måler vi full spenning med voltmeteret.

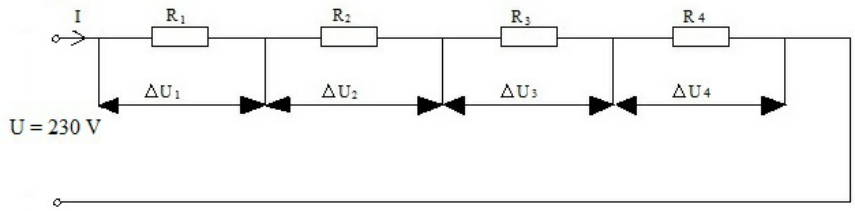
Seriekopling av forbruks motstander har den ulempen at ved brudd, et eller annet sted i kretsen, blir hele koplingen «død» (f.eks. juletrelys).

Elektromotorisk spenning:

Elektromotorisk spenning er innen elektrisitetslære spenningen http://snl.no/elektrisk_spenning
elektrisk https://snl.no/elektrisitet
Elektromotorisk spenning forkortes ofte med *ems (E)*.



Eksempel seriekopling



En likestrøms kobling inneholder fire motstander i serie.

$R_1 = 4\ \Omega$, $R_2 = 6\ \Omega$, $R_3 = 10\ \Omega$ og $R_4 = 5\ \Omega$

Det er tilført ei spenning på 230 V.

a) Hva er total resistansen?

b) Hvor stor strøm går det i kretsen.

c) Regn ut alle delspenningene.

a)

> $$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 4 + 6 + 10 + 8 = \underline{\underline{25\ \Omega}}$$

b)

> $$I = \frac{U}{R_t} = \frac{230}{28} = \underline{\underline{9,2\ A}}$$

c)

> $$\Delta U_1 = I * R_1 = 9,2 * 4 = \underline{\underline{36,8\ V}}$$
> $$\Delta U_2 = I * R_2 = 9,2 * 6 = \underline{\underline{55,2\ V}}$$
> $$\Delta U_3 = I * R_3 = 9,2 * 10 = \underline{\underline{92,0\ V}}$$
> $$\Delta U_4 = I * R_4 = 9,2 * 5 = \underline{\underline{46,0\ V}}$$

Kontroll

Summen av delspenningene er lik hovedspenningen (Kirchoffs 2. lov)

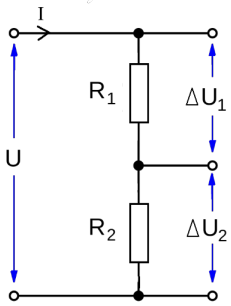
> U = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 = 36,8 + 55,2 + 92,0 + 46,0 = 230,0 V

Spenningsdeler

Spenningsdeler er en passiv elektrisk krets som inngår i en større krets. Den deler en påført spenning opp i flere små spenninger.

Dersom vi har en motstand som er merka med ei spennings som er lavere enn den som er disponibel, kan vi t.d. få korrekt driftstilhøve dersom vi seriekopla denne motstanden til en annen motstand som er dimensjonert for å ta opp den «overflødige» spenninga. Den innkopla motstanden blir her spenningsdeler.

Denne type kopling blir ofte brukt på 12 V instrument i 24 V og 48 V anlegg.



Figuren viser et eksempel på en spenningsdeler med to motstander i serie.

Når vi kobler til en spenning U, vil det gå en strøm gjennom kretsen. Da vil vi få et spenningsfall over hver av motstandene, ΔU_1 $og \Delta U_2$.

Når motstandene har konstante verdier, vil utgangsspenningen over de to motstandene alltid være en konstant brøkdel av inngangsspenningen (U). Hvis kretsen er designet slik at forholdet mellom R_1 og R_2 kan varieres, får vi en variabel spenningsdeler, kjent som et potensiometer.

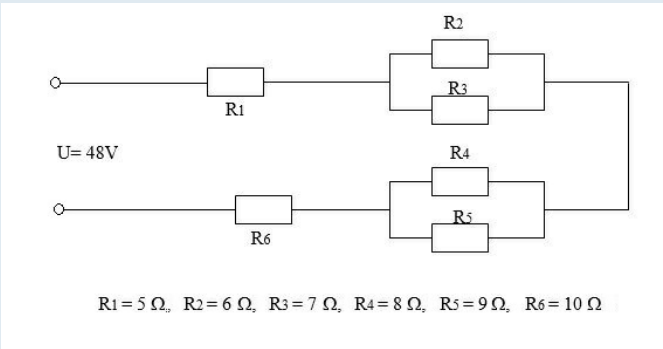
Spenningsdelere brukes blant annet for å etablere referansespenninger og redusere størrelsen på en spenning slik at den lettere kan måles. Hvis utgangsspenningen utsettes for en last, vil det oppstå en utgangsstrøm, og utgangsspenningen vil ikke lenger være stabil. For at den skal være så stabil som mulig, må utgangsstrømmen være en liten brøkdel av inngangsstrømmen.

Ulempen med dette oppsettet er at hoveddelen av den inngående strømmen går tapt som varme i motstandene.

Serieparallellkopling

Dette er en kombinasjon av seriekoblede og parallellkoblede motstander. For å finne resultantresistansen for koblingen, må vi omforme kretsen til en ren serie- eller parallellkobling og bruke de vanlige reglene.

EKSEMPEL



a) Beregn R total i kretsen.
b) Hva blir Ih?
c) Beregn dei fire spenningsfalla.
d) Beregn alle grenstrømmene.

Løysingsforslag:

a)

> Rt = R_1 + $Rp_{2/3}$ + $Rp_{4//5}$ + R_6

Vi må regne ut parallellkoplingene først. $Rp_{2//3}$ og $Rp_{4//5}$. (Rp = resistansen i parallellkopling, for eksempel resistans R_2 i parallell med R_3).

> $$\frac{1}{R_{p\,2/3}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{6} + \frac{1}{7} = 0.167 + 0.143 = \underline{0.31}$$
>
> $Rp_{2/3}$ = $\frac{1}{0{,}31} = \underline{3,23\ \Omega}$
>
> $$\frac{1}{R_{p\,4/5}} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{8} + \frac{1}{9} = 0.125 + 0.111 = \underline{0.236}$$
>
> $Rp_{4/5}$ = $\frac{1}{0{,}236} = \underline{4,24\ \Omega}$
>
> Rt = R_1 + $Rp_{2//3}$ + $Rp_{4//5}$ + R_6 = 5 + 3,23 + 4,24 + 10 = $\underline{\underline{22,47\ \Omega}}$

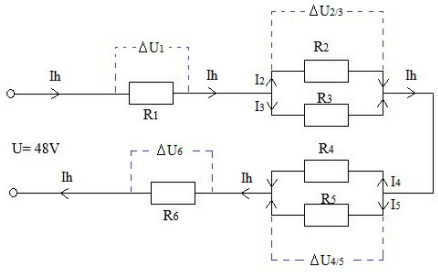
b)

> $$Ih = \frac{U}{\mathrm{Rt}} = \frac{48}{22{,}47} = \underline{\underline{2,14\ A}}$$

Vi får fire spenningsfall, et over R_1, et over $Rp_{2//3}$, et over $Rp_{4//5}$ og et over R_6

c)

> $$\Delta U_1 = I_h \cdot R_1 = 2.14 \cdot 5 = \underline{\underline{10.7\,\mathrm{V}}}$$
> $$\Delta U_{p\,2/3} = I_h \cdot R_{p\,2/3} = 2.14 \cdot 3.23 = \underline{\underline{6.91\,\mathrm{V}}}$$
> $$\Delta U_{p\,4/5} = I_h \cdot R_{p\,4/5} = 2.14 \cdot 4.24 = \underline{\underline{9.07\,\mathrm{V}}}$$
> $$\Delta U_6 = I_h \cdot R_6 = 2.14 \cdot 10 = \underline{\underline{21.4\,\mathrm{V}}}$$



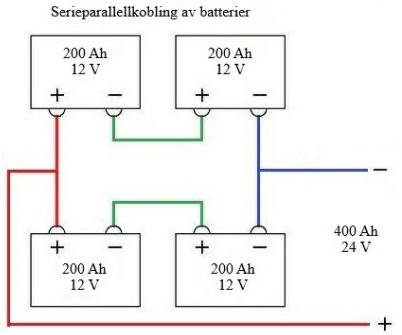
d) Grenstrømmene er der hovedstrømmen deler seg. I dette tilfelle er det I_2, I_3, I_4, I_5.
Vi nummerer strømmene etter nummer på resistansen.

$$I_2 = \frac{\Delta U_{2/3}}{R_2} = \frac{6.91}{6} = \underline{\underline{1.15\,\text{A}}}$$

$$I_3 = I_h - I_2 = 2.14 - 1.15 = \underline{\underline{0.99\,\text{A}}}$$

$$I_4 = \frac{\Delta U_{4/5}}{R_4} = \frac{9.07}{8} = \underline{\underline{1.13\,\text{A}}}$$

$$I_5 = I_h - I_4 = 2.14 - 1.13 = \underline{\underline{1.01\,\text{A}}}$$



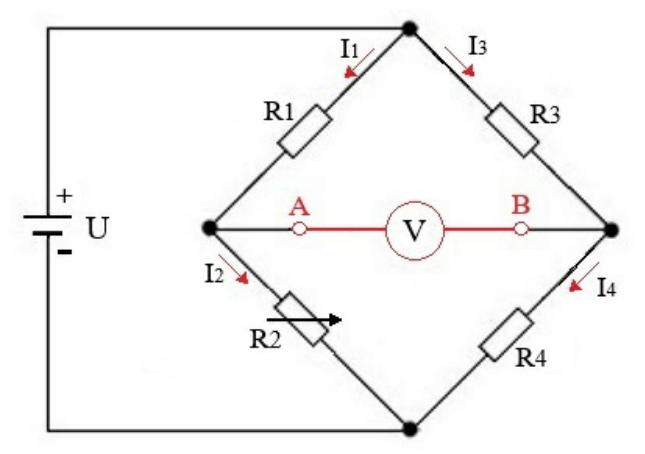
Målebro

En målebro er et verktøy som brukes til å måle elektriske komponenters egenskaper, som motstand, induktans og kapasitans. Ved å sammenligne ukjente verdier mot kjente referanser, kan du få veldig nøyaktige målinger. En av de mest kjente typene er Wheatstone-broen, som er spesielt nyttig for å måle motstand.

En målebro fungerer ved å sammenligne en ukjent elektrisk verdi med kjente verdier i en balansert krets. La oss ta Wheatstone-broen som eksempel. Den bruker fire motstander arrangert i en diamantformet krets (to spenningsdelere). To av motstandene er kjente verdier, en er justerbar (kalibrert motstand), og den fjerde er den ukjente motstanden du vil måle.

En strømkilde er koblet til kretsen og en spenningsmåler plasseres mellom de to "diagonale" punktene. Når den justerbare motstanden er finjustert slik at spenningsmåleren viser null, er kretsen balansert. Da kan den ukjente motstanden beregnes ved hjelp av de kjente verdiene og forholdet mellom dem. Det er en elegant måte å oppnå nøyaktige målinger på uten avansert utstyr.

EKSEMPEL PÅ HVORDAN EN BALANSERER EN BRO:



Når vi skal stille inn en bro, må vi sørge for at spenningen mellom A og B er null. Vi sier da at broen er i balanse. For å registrere at broen er i balanse, kobler vi et voltmeter mellom A og B. Når spenningen mellom A og B er lik null, går det ikke strøm gjennom instrumentet. Begge spenningsdelerne er da ubelastet, og $I_1 = I_2$ og $I_3 = I_4$

Spenningen over R_2 (venstre spenningsdeler):

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1+R_2} * U$$

og over R_4 (høyre spenningsdeler)

$$U_4 = \frac{R_3}{R_3+R_4} * U$$

Når U2 = U4 er spenningen mellom A og B lik null fordi spenningen har samme potensiale.

Vi kan da sette opp en matematisk utledning for å finne det innbyrdes forholdet mellom komponentene i broen:

$$U_2 = U_4$$
$$I_2 * R_2 = I_4 * R_4$$
$$\frac{U}{R_1+R_2} * R_2 = \frac{U}{R_3+R_4} * R_4$$

Vi forkorter med U og kryss multipliserer med (R1+R2) og (R3+R4) da får vi:

$$R_2\,(R_3 + R_4) = R_4(R_1 + R_2)$$
$$R_2 * R_3 + R_2 * R_4 = R_4 * R_1 + R_4 * R_2$$

Vi kan fjerne $R_2 * R_4$ på her side av likhetstegnet og får:

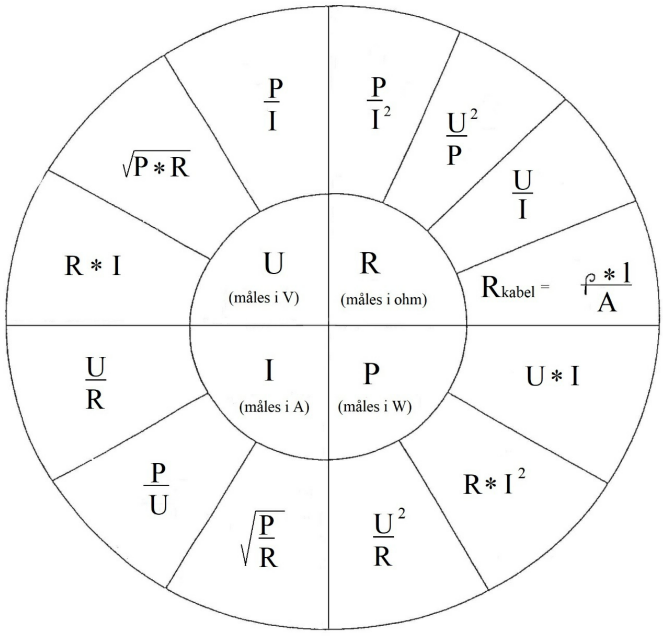
$$R_2 * R_3 = R_4 * R_1$$

som gir oss:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3} \quad \text{eller} \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$



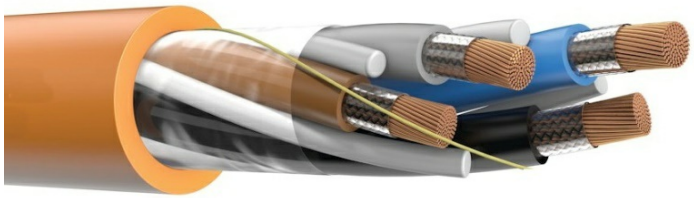
Formeldiagram for likestrøm



U = spenning - måles i volt (V)
I = strøm - måles i ampere (A)
R = resistans - måles i ohm (Ω)
P = effekt - måles i watt (W)
l = lengde - måles i meter (m)
ϱ = spesifikk ledningsevne - måles i Ω * mm^2/m

Tabeller:

Tabell med resistivitet, konduktivitet og temperaturkoeffisient:



Materiale	Resistivitet (20 °C)	Konduktivitet (20 °C)	Temperaturkoeffisient
	$\varrho = (\Omega * \mathbf{mm^2/m})$	$\gamma = (S * \mathbf{m/mm^2})$	$\alpha = (K^{-1})$
Aluminium	0,0265	37,74	0,0046
Bly	0,208	4,81	0,0037
Gull	0,0221	45,25	0,0039
Karbon	100	0,01	0,0005
Konstantan (Cu+Ni)	0,49	2,04	0,00002
Kopper	0,0175	57,14	0,0038
Nikkel	0,693	1,44	0,00024
Nikrom (Ni+Krom)	1,11	0,90	0,0005
Manganin	0,43	2,33	0,00002
Platina	0,105	9,52	0,0039
Sølv	0,0159	62,89	0,0037
Tinn	0,11	9,09	0,0045
Wolfram	0,0528	18,94	0,0048

Kabel:

I NEK 410B Annex B finn vi tabellene som omhandler kabelstørrelser og hva dei tåler i ampere. Under finn de en tabell hentet derfra. Normerte kabeltversnitt for kopper (Cu) i mm^2.

Tabell B.1 – Strømføringsevne ved kontinuerlig drift ved maksimal nominell leder temperatur på 60° C.

Normaltversnitt **mm^2**	**Strømføringsevne i ampere (A)**					
	Enleder **A**		**Toleder** **A**		**Tre- og fire-leder** **A**	
1,5	10		9		7	
2,5	17		14		12	
4	23		20		16	
6	29		25		20	
10	40		34		28	
16	54		46		38	
25	71		60		50	
35	88		75		62	
50	110		94		77	
70	135		115		95	
95	164		139		115	
120	189		161		132	
150	218		185		153	
185	248		211		174	
240	292		248		204	
300	336		286		235	
	DC	**AC**	**DC**	**AC**	**DC**	**AC**
400	390	380	332	323	273	266
500	450	430	383	366	315	301
630	520	470	442	400	364	329
Omgivelsestemperatur (luft) 45 °C						

Sammendrag av grunnleggende elektroteknikk, likestrøm

SAMMENDRAG

Dette sammendraget gir en grunnleggende oversikt over sentrale prinsipper innen likestrøms elektroteknikk.

1. Ohms lov:

Ohms lov beskriver sammenhengen mellom spenning (U), strøm (I) og motstand (R) i en elektrisk krets:

hvor:

- U er spenningen i volt (V),
- I er strømmen i ampere (A),
- R er motstanden i ohm (Ω).

2. Kirchoffs lover:

Kirchoffs lover brukes til å analyse elektriske kretser:

- Kirchoffs første lov: Summen av strømmene inn i et knutepunkt er lik summen av strømmene ut av knutepunktet (parallellkobling).
- Kirchoffs andre lov: Summen av alle spenningene rundt en lukket krets er null. Summen av alle delspenninger er lik hovedspenningen (seriekobling).

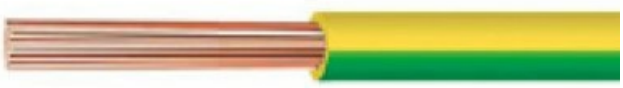
3. Resistans og temperatur:

Motstanden i en leder endrer seg med temperatur. For metaller øker motstanden når temperaturen stiger. Dette kan uttrykkes ved:

$$R_2 = R_0 \left(1 + \alpha * \Delta t\right)$$

hvor:

- R_2 er motstanden etter temperaturforandring.
- R_0 er motstanden ved referansetemperatur (ofte 20°C),
- A (alpha) er temperaturkoeffisienten,
- Δt er temperaturendringen i grader Celsius.



4. Elektrisk effekt:

Effekten (P) som forbrukes i en krets kan beregnes med:

$$P = U * I$$

eller ved å kombinere med Ohms lov:

$$P = I^2 * R \quad P = \frac{U^2}{R}$$

hvor:
P er effekten i watt (W).

5. Parallellkobling og seriekobling:

- Parallellkobling:
  Den totale motstanden er gitt ved:

$$\frac{1}{\mathrm{Rt}} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} \ldots\ldots + \frac{1}{R_n}$$

Spenningen er lik over alle komponentene.

Summen av alle grenstrømmene er lik hovedstrømmen

- Seriekobling:
  Den totale motstanden er summen av enkeltmotstandene:

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 \ldots\ldots + R_n$$

Strømmen er lik gjennom alle komponentene.

Summen av delspenningene er lik hovedspenningen.

6. Likestrøm:

- Likestrøm (DC): Strømmen beveger seg i én retning.

Dette sammendraget gir en grunnleggende oversikt over sentrale prinsipper innen likestrøms elektroteknikk.

Kap 2 Batterier

Batteri (akkumulator)

I dette kapittelet tar vi for oss dei mest vanlige batteria (akkumulatorer) som blir brukt om bord i skip.

BATTERI

Et batteri er en enhet som lagrer og leverer elektrisk energi ved hjelp av kjemiske reaksjoner. Det består av én eller flere celler, der hver celle har en positiv (+) og en negativ (-) pol. Når du kobler batteriet til en krets, flyter elektroner fra den negative til den positive polen og gir strøm til enheten.

Kort sagt: Et batteri omdanner kjemisk energi til elektrisk energi for å drive elektroniske enheter!

Blybatteri (blyakkumulator)

BLYBATTERI (BLYAKKUMULATOR)

En blyakkumulator (blybatteri) er en type oppladbart batteri som ofte brukes i biler, nødstrømsforsyninger, start av hjelpemotorer, radiobatteri og andre applikasjoner som krever høy strømkapasitet.

Oppbygning

En blyakkumulator består av flere celler, der hver celle har:

1. Positive elektroder (anode): Laget av blydioksid (PbO_2). Etter ladding får den en mørkebrun farge.
2. Negative elektroder (katode): Laget av rent bly (Pb). Den har fargen grå.
3. Elektrolytt: Ca. 36 % svovelsyre (H_2SO_4), resten er destillert eller avionisert vann.
   Gel- og AGM-batterier ca. 28-35 % svovelsyre (H_2SO_4), (bundet – ikke flytende).
4. Separatorer: Materialer som hindrer kortslutning mellom elektrodene.
5. Blyplater: Arrangert i et rutenett for å gi god elektrisk kontakt.

Hver celle gir en spenning (EMS) på ca. 2,10 V. Et vanlig blybatteri har seks celler som er koblet i serie, som totalt produserer ca. 12,6 V.

f(x)

EMS (ELEKTROMOTORISK SPENNING)

EMS = den ideelle spenningen mellom elektrodene i en elektrokjemisk celle når det ikke går strøm (ingen belastning). Den tilsvarer hvilespenningen.

Utladning (bruk av batteriet)

Når batteriet leverer strøm, skjer følgende reaksjoner:

+ Ved den positive elektroden (PbO_2 - Blydioksid, katode)
- Blydioksid (PbO_2) reagerer med svovelsyre (H_2SO_4) og danner bly (II) sulfat ($PbSO_4$) og vann (H_2O).

- Ved den negative elektroden (Pb – bly, anode)
- Rent bly (Pb) reagerer med sulfat-ioner (SO_4^{2-}) fra svovelsyren og danner også bly (II) sulfat ($PbSO_4$).**

Resultatet:

- Begge elektrodene blir dekket med bly (II) sulfat ($PbSO_4$), og elektrolytten mister svovelsyre, noe som senker batteriets kapasitet.
- Spenningen faller etter hvert, og batteriet må lades opp igjen.

Ladding (gjenopprette kapasitet)

Når batteriet lades opp igjen, reverseres reaksjonene:

- Bly (II) sulfatet på begge elektrodene omdannes tilbake til bly og blydioksid.
- Svovelsyre dannes igjen i elektrolytten.

Reaksjonen er reversibel, noe som gjør blyakkumulatoren oppladbar.

Ladetilstand med syremåler (hydrometer)

Ved utladning binder svovelsyra i elektrolytten seg med platene, og den spesifikke vekten går ned. Den spesifikke vekten er altså et mål på ladetilstanden til batteriet.

Den spesifikke vekten eller densiteten måler vi med en syremåler (hydrometer). Tabellen under viser hvordan vi kan måle ladetilstanden med et hydrometer og densiteter ved forskjellige grader av batteriets ladetilstand.

Spesifikk vekt og ladesituasjon ved 25 °C.



En fulladet cella har vanligvis SG mellom **1,255–1,275**, mens en utladet celle ligger rundt **1,110–1,130**

Ladetilstand	SG (25 °C)
100 %	1,255–1,275
75 %	1,215–1,235
50 %	1,180–1,200
25 %	1,155–1,165
0 %	1,110–1,130

Temperaturkorrigering for hydrometeravlesing

Syremålerens flottørskala er normalt basert på en syretemperatur på + 25 °C.

Ved vesentlig høyere eller lavere temperaturer må avlesningsresultatet korrigeres fordi syrevekten varierer med temperaturen. Det er særlig viktig å være oppmerksom på dette om vinteren. For hver 10 °C under + 25 °C legges 0,007 til på skalaen, og for hver 10 °C over + 25 °C, trekkes 0,007 fra. Nedenstående skala viser:

Temperatur vs. Spesifikk vekt (SG) – blybatteri

Temperatur (°C)	100 % (Fulladet	75 %	50 %	25 %	0 % (Utladet)
-20 °C	1,308	1,268	1,233	1,198	1,153
-10 °C	1,301	1,261	1,226	1,191	1,146
0 °C	1,294	1,254	1,219	1,184	1,139
5 °C	1,287	1,247	1,212	1,177	1,132
10 °C	1,280	1,240	1,205	1,170	1,125
15 °C	1,273	1,233	1,198	1,163	1,118
20 °C	1,266	1,226	1,191	1,156	1,111
25 °C *(ref)*	1,260	1,220	1,185	1,150	1,105
30 °C	1,253	1,213	1,178	1,143	1,098
35 °C	1,246	1,206	1,171	1,136	1,091
40 °C	1,239	1,199	1,164	1,129	1,084
45 °C	1,232	1,192	1,157	1,122	1,077
50 °C	1,225	1,185	1,150	1,115	1,070

Ladetilstand Gel-batterier

GEL-BATTERIER

Gel-batterier (en type VRLA – *Valve Regulated Lead Acid*), skiller seg fra åpne blybatterier ved at elektrolytten er immobilisert som en gel, noe som gjør måling av ladetilstanden litt mer utfordrende.

Hvordan måle ladetilstanden til et gel-batteri

Fordi elektrolytten er bundet i gel, kan du ikke bruke hydrometer (måling av spesifikk vekt) slik du kan med våtcellebatterier.
I stedet brukes to hoved metoder:

Hvilespenning (åpen krets-spenning)

Mål batterispenningen etter at det har hvilt i minst 4–12 timer uten lading eller belastning.

Hvilespenning	Ladetilstand	Merknad
12,85–12,95 V	100 %	Fulladet
12,65 V	75 %	God stand
12,35 V	50 %	Halvladet
12,10 V	25 %	Bør lades
<12,00 V	0–10 %	Kritisk lavt

For 6 V eller 24 V batterier, skaler spenningene proporsjonalt (f.eks. 2,1 V per celle ved 100 %).

Spenningsmåling under belastning (last test)

- Gir et raskere bilde hvis du ikke har tid til å vente på hvilespenning.
- Koble til en kjent belastning (f.eks. en pære eller en batteritester) og se hvor lavt spenningen faller.
- Et godt gel batteri vil ikke falle mye under 12,0 V ved moderat belastning.

!

IKKE BRUK HYDROMETER

Gel batterier er lukket og trykkregulert, så åpning eller tapping er både:

- farlig (kan ødelegge ventilen),
- og ubrukelig (fordi syren ikke er flytende).

ANBEFALING

Bruk ladekontrollere eller batterimonitorer.

For systemer som benytter gel batterier (solcelleanlegg, nødstrøm osv.) anbefales en batterimonitor med shunt, som måler:

- strøm inn/ut (Ah)
- nøyaktig SOC (State of Charge)
- spenning og historikk

Vedlikehold av blybatterier (f.eks. startbatterier, UPS, fritidsbatterier)

Ladestrategi:

- Hold batteriet ladet for å unngå sulfatering (krystallisering av blyplater som reduserer kapasiteten).
- Unngå dyp utlading (under 50 % kapasitet, helst ikke under 20 %).
- Bruk en smart lader som regulerer ladestrøm og spenning.

Vannivå (for våte blybatterier):

- Etterfyll med destillert vann om nødvendig, men ikke overfyll.
- Sjekk vannstanden regelmessig (spesielt i varme omgivelser).

Poler og kabler:

- Rengjør polene og påfør fett for å forhindre korrosjon.
- Sjekk at tilkoblingene er stramme.

Temperaturkontroll:

- Unngå ekstreme temperaturer, da kulde reduserer kapasiteten og varme forkorter levetiden.

Fordeler:

- Billig å produsere.
- Kan levere høy strøm.
- Relativt robust.

Ulemper:

- Tungt (på grunn av bly).
- Begrenset levetid (pga. sulfatering).
- Inneholder miljøskadelige stoffer (bly og syre).



Litium-ion-batteri

LITIUM-ION-BATTERI

Et litium-ion-batteri (Li-ion-batteri) består av flere celler som lagrer og leverer energi ved hjelp av litiumioner som beveger seg mellom elektrodene.

Hovedkomponenter i en Li-ion-celle

Hver battericelle inneholder fire hoveddeler:

1. Katode (positiv elektrode). **+**
   - Laget av materialer som Litium-Nikkel-Mangan-Kobolt-oksid (NMC), Litiumjernfosfat (LFP), eller Litium-Nikkel-Kobolt-Aluminium-oksid (NCA).
   - Bestemmer batteriets kapasitet og spenning.
2. Anode (negativ elektrode). **−**
   - Laget av grafitt eller silisium-grafittblandinger.
   - Lagrer og frigjør litiumioner under ladding og utlading.
3. Elektrolytt.
   - En flytende, geléaktig eller fast substans som inneholder litiumsalter (f.eks. $LiPF_6$ i organisk løsemiddel).

- Lar litiumioner bevege seg mellom katoden og anoden.

4. Separator.
   - En tynn polymerfilm (plastmateriale) som hindrer kortslutning, men lar ioner passere.

Virkemåten til et Li-ion-batteri?

Når batteriet lades:

- Ekstern strøm fra en lader får litiumioner (Li^+) til å bevege seg fra katoden til anoden gjennom elektrolytten.
- Elektroner flytter seg samtidig via en ytre krets og lagres i anoden.

Når batteriet leverer strøm:

- Litiumionene (Li^+) beveger seg fra anoden til katoden, og elektroner flyter gjennom en ytre krets og driver en enhet (f.eks. en elbilmotor).

Vedlikehold av litium-ion-batterier (f.eks. mobiltelefoner, elbiler, Laptop batterier)

Ladestrategi:

- Ideell ladestatus er mellom 20–80 % for lengre levetid.
- Unngå full utladning (0 %) og konstant 100 % opplading, spesielt ved høye temperaturer.
- Bruk riktig lader med korrekt spenning og strømstyrke.

Temperaturkontroll:

- Hold batteriet unna høye temperaturer (> 40 °C) for å unngå forringelse.
- Unngå å lade i svært kalde omgivelser (< 0 °C), da det kan skade batteriet.

Lagring:

- Hvis batteriet ikke skal brukes på lenge, lagre det på 40–60 % ladning og i kjølige omgivelser.
- Ikke la batteriet stå tilkoblet laderen over lang tid.

Bruksbegrensninger:

- Unngå hurtiglading for ofte, da det kan føre til varmeutvikling og svekket kapasitet over tid.
- Unngå fysiske skader (punktering kan føre til brann).

Fordeler med Li-ion-batterier

- Høy energitetthet (gir lang rekkevidde i elbiler).
- Lav vekt sammenlignet med blybatterier.
- Lang levetid med mange ladesykluser.
- Lav selvutlading (beholder strøm lenge).

Ulemper med Li-ion-batterier

- Dyrt å produsere.
- Kan overopphetes og krever god temperaturkontroll.
- Litium og kobolt er ressurskrevende å utvinne.

Σ

KONKLUSJON

Litium-ion-batterier fungerer ved å flytte litiumioner mellom en katode og en anode via en elektrolytt, og de brukes i alt fra mobiltelefoner til elbiler og skip.

Batterier for fremdrift av skip må ha høy energikapasitet, lang levetid og tåle tøffe maritime forhold. De vanligste batteritypene for skip inkluderer:

Hvordan slukke brann i litium - ion – batteri?

Sukkemiddelet AVD har vist seg å være det mest effektive middelet for å slukke branner i litium-ion-batterier, langt mer effektivt enn konvensjonelle slukkemidler som ikke har noen eller svært lav effekt på slike branner.

!

IKKE SPYL LITIUM-ION BATTERIER

Spyle med vann må en ikke gjøre, da kan det eskalere kraftig. Dette fordi litium-ion batteribrannene lager oksygen selv.

Det brannvesenet ofte gjør, er å senke batteriet i vannbad, for eksempel i en bøtte.

Dei påpeker at du først må forsøke å få batteriet ut av huset, gjerne med et brannteppe. Deretter bør du legge det i et vannbad.

Men vær forsiktig. Batteriet kan bli 6–700 grader varmt, og brannen kan fort utvikle seg.

Σ

OPPSUMMERING:

- Blybatterier krever mer vedlikehold (vannfylling, rengjøring, sulfatering og ladesykluser).
- Litium-ion-batterier krever mindre vedlikehold, men bør lades riktig og unngå ekstreme temperaturer.
- Blybatterier tåler dyp utladning dårlig, mens litium-ion-batterier bør holdes mellom 20–80 % for optimal levetid.



Alkaliske batterier

Oppbygging av et alkalisk batteri

ALKALISK BATTERIER

Alkaliske batterier er en type primærbatterier (engangsbatterier) som bruker en alkalisk elektrolytt, vanligvis kaliumhydroksid (KOH), i stedet for den sure elektrolytten som finnes i sink-karbonbatterier.

Et standard alkalisk batteri består av følgende hovedkomponenter:

1. Anode (Negativ elektrode): Sink (Zn) i pulverform, som gir en stor overflate for reaksjonen.
2. Katode (Positiv elektrode): Manganoksid (MnO_2), som fungerer som oksidasjonsmiddel.
3. Elektrolytt: En alkalisk løsning, typisk kaliumhydroksid (KOH), som leder ionene mellom elektrodene.
4. Separator: En porøs membran som skiller anoden og katoden for å forhindre kortslutning.
5. Kapsling: En metallhylse som beskytter og holder batteriet sammen.

Virkemåte – Elektrokjemiske reaksjoner

Batteriet genererer elektrisk energi gjennom redoksreaksjoner (reduksjon og oksidasjon).

1. Ved anoden (oksidasjon):
   - Sink reagerer med hydroksidioner fra elektrolytten og danner sinkoksid (ZnO) samt frigjør elektroner:
2. Ved katoden (reduksjon):
   - Manganoksid reduseres ved å ta opp elektronene som har beveget seg gjennom den eksterne kretsen:
3. Totalreaksjonen:
   - Sammen danner disse reaksjonene en lukket krets hvor kjemisk energi omdannes til elektrisk energi.

Fordeler med alkaliske batterier

- Høyere energitetthet enn sink-karbonbatterier.
- Lengre levetid og bedre ytelse ved lav belastning.
- Lav selvutlading, noe som gjør dem egnet for langtidslagring.
- Tåler lave temperaturer bedre enn enkelte andre batterityper.
- Alkaliske batterier brukes ofte i fjernkontroller, lommelykter og klokker.

Batterier om bord i skip

1. Litium-ion-batterier (Li-ion)

Den mest brukte batteritypen i moderne elektriske og hybridskip.

Fordeler:

- Høy energitetthet (gir lang rekkevidde), mer kraft i mindre volum og vekt.
- Lav vekt i forhold til kapasitet.
- Lang levetid (tåler mange ladesykluser), opptil 10 – 15 år ved riktig bruk.
- Høy effektivitet (lite energitap). Lav selvutlading – holder lading over tid.
- Hurtiglading mulig.
- Vedlikeholdsfritt.

Ulemper:

- Kan være brannfarlige hvis de punkteres eller overopphetes.
- Vanskelig å slokke dersom det tar fyr.
- Krever avansert kjølesystem for å unngå overoppheting.
- Høy kostnad sammenlignet med blybatterier.
- Bruk av sjeldne materialer som litium, nikkel og kobolt.

Varianter av Li-ion-batterier for skip:

- Litiumjernfosfat (LFP) – billigere, tryggere og mer stabilt.
- Nikkel-mangan-kobolt (NMC) – høyere energitetthet, men dyrere.

EKSEMPLER PÅ BRUK:

- Ferger (f.eks. MS Ampere, verdens første helelektriske ferge).
- Hybridfraktskip (f.eks. Yara Birkeland, et autonomt containerskip).

2. Bly-syre-batterier (AMG/Gel)

Tradisjonell teknologi brukt i noen eldre hybridsystemer og som backup-strøm.

Fordeler:

- Billig og lett tilgjengelig.
- Robust og pålitelig.
- Godt egnet for kortere energilagring (backup og støtte).
- Enkel resirkulering.

Ulemper:

- Lav energitetthet (tungt og stort for skip).
- Kortere levetid sammenlignet med Li-ion (3 – 5 år)
- Langsom lading.
- Krever vedlikehold (spesielt våte blybatteri)

Bruksområder:

- Radiobatteri.
- Nødstrømsystemer.
- Startbatterier.

3. Natrium-ion-batterier (Na-ion)

NATRIUM-ION-BATTERIER (NA-ION)

Ny og lovende teknologi for maritime applikasjoner.

Fordeler:

- Billigere enn Li-ion (bruker natrium i stedet for litium).
- Mer miljøvennlig (mindre avhengig av sjeldne metaller).
- God sikkerhet (mindre brannfare enn Li-ion).
- Tåler kulde bedre.

Ulemper:

- Lavere energitetthet enn Li-ion (krever større plass).
- Teknologien er fortsatt under utvikling (ikke like utbredt ennå).

Bruksområder:

- Kan bli en fremtidig erstatning for Li-ion i elektriske skip.

4. Solid-state-batterier (faststoff)

SOLID-STATE-BATTERIER (FASTSTOFF)

Neste generasjons batteriteknologi for skip, men fortsatt under utvikling.

Fordeler:

- Høyere energitetthet enn Li-ion (lengre rekkevidde).
- Bedre sikkerhet (ingen brennbar elektrolytt).
- Lengre levetid.
- Den flytende elektrolytten er byttet ut med et fast stoff som utfører den samme oppgaven. Det faste stoffet er ikke brennbart på samme måte, og det produserer ikke så mye varme.

Ulemper:

- Dyrt og ikke kommersielt tilgjengelig ennå.

Fremtidig bruk:

- Potensiell game-changer for helelektriske skip.

5. Semi-solid state-batteri

Hvordan fungerer et semi-solid state-batteri?

SEMI-SOLID STATE-BATTERI

Et semi-solid state-batteri er en batteriteknologi som kombinerer elementer fra både tradisjonelle væskebaserte litium-ion-batterier og faststoffbatterier. Det bruker en halvfast elektrolytt i stedet for en helt flytende eller helt fast elektrolytt. Denne løsningen gir forbedret sikkerhet, høyere energitetthet og lavere produksjonskostnader enn konvensjonelle batterier.

Oppbygging av et semi-solid state-batteri:

Et semi-solid state-batteri består av følgende hovedkomponenter:

- Anode (negativ elektrode).
  - Kan være laget av grafitt, silisium, eller til og med litium-metall for høyere energitetthet.
  - I noen design kan det brukes litiumholdige forbindelser for bedre ytelse.
- Katode (positiv elektrode).
  - Består av litiumovergangsmetalloksider, som f.eks. NMC (litium-nikkel-mangan-kobolt-oksid) eller LFP (litium-jern-fosfat).
  - Bruk av høyenergikatoder muliggjør større lagringskapasitet.
- Semi-solid elektrolytt.
  - En gel-lignende eller tyktflytende elektrolytt, ofte basert på polymerere, ioniske væsker eller nanomaterialer.
  - Tillater ionetransport, men reduserer risikoen for lekkasje og brann sammenlignet med flytende elektrolytter.
- Separator.
  - Tynn membran som hindrer kortslutning mellom anode og katode, men tillater ioner å bevege seg gjennom elektrolytten.
  - I semi-solid state-batterier kan separatoren være en polymermembran med innebygd elektrolytt.

Fordeler med semi-solid state-batterier

- Økt sikkerhet – Mindre brann- og eksplosjonsfare sammenlignet med vanlige litium-ion-batterier.
- Høyere energitetthet – Kan lagre mer energi per volum enn tradisjonelle batterier.
- Lavere kostnader – Bruker færre sjeldne materialer og kan være enklere å produsere enn fullstendige faststoffbatterier.
- Lengre levetid – Mindre degradering over tid på grunn av redusert dannelse av dendritter.

Ulemper og utfordringer

- Ikke helt fast – Ikke like stabile som fullverdige faststoffbatterier.
- Utvikling pågår – Teknologien er fortsatt under utvikling og må skaleres opp for kommersiell bruk.
- Produksjonsutfordringer – Krever spesialiserte produksjonsmetoder for optimal ytelse.

Bruksområder:

- Elektriske kjøretøy (EVs) – Tesla, BMW og andre selskaper forsker på denne teknologien for å forbedre rekkevidde og sikkerhet.
- Forbrukerelektronikk – Mulig framtidig bruk i mobiltelefoner og bærbare datamaskiner.
- Skip, romfart og forsvar – Potensial for batterier med høy energitetthet og robusthet.

Σ

KONKLUSJON

Semi-solid state-batterier er et lovende skritt mellom dagens litium-ion-batterier og fullverdige faststoffbatterier. De kombinerer bedre sikkerhet, høyere energitetthet og lavere kostnader, men krever fortsatt teknologiske gjennombrudd før de blir standard i for eksempel elbiler.

Trender og fremtidens batteriteknologi for skip

- Solid-state batterier – sikrere og med høyere kapasitet, men fortsatt under utvikling.
- Semi-solid state-batterier - bedre sikkerhet, høyere energitetthet og lavere kostnader
- Brenselceller (hydrogen + batterier) – kan bli en viktig løsning for nullutslippsskip.
- Hybridløsninger (batteri + diesel eller LNG) – optimal balanse mellom rekkevidde og miljøkrav.

Oppsummering: Hvilket batteri passer best?

Batteritype	Energitetthet ⚡	Levetid	Kostnad	Sikkerhet	Bruksområde
Litium-ion (Li-ion)	Høy	Lang	Dyrt	Krever kjøling	Ferger, containerskip, hybridfartøy
Bly-syre	Lav	Kort	Billig	Trygt	Backup-strøm, eldre hybridsystemer
Natrium-ion (Na-ion)	Middels	Middels	Billig	Trygt	Potensiell fremtidig bruk
Solid-state	Svært høy	Svært lang	Svært dyrt	Svært trygt	Fremtidens batteriteknologi

Σ

KONKLUSJON

Litium-ion-batterier dominerer i dag, men natrium-ion og solid-state kan bli fremtidens løsninger for skipsfart!



M/S «Skulebas»

Radiobatterier

!

RADIOBATTERIER

Ombord på skip er det avgjørende at radiosendere og annet GMDSS-utstyr (Global Maritime Distress and Safety System) har en pålitelig strømforsyning, spesielt i nødsituasjoner. Dette oppnås gjennom dedikerte batterisystemer som må oppfylle strenge tekniske og regulatoriske krav i henhold til SOLAS kapittel IV og relevante IMO-resolusjoner.

I tillegg har vi en forskrift om radiokommunikasjonsutstyr for norske skip og flyttbare innretninger.

Batterityper og tekniske spesifikasjoner

1. Bly-syre-batterier (VRLA/SLA)

- Vanligst brukt i GMDSS-installasjoner.
- Forseglede varianter (VRLA) krever minimalt vedlikehold og tåler installasjon i ulike posisjoner.
- Typisk kapasitet: 200 Ah ved 24 V.

2. Litiumbatterier

- Brukes i nødutstyr som EPIRB og SART.
- Høy energitetthet og lang levetid.
- Må byttes ut før utløpsdatoen for å sikre pålitelighet.

3. Nikkel-kadmium (NiCd) og nikkel-metallhydrid (NiMH)

- Brukes i håndholdte VHF-radioer.
- NiCd er robuste og tåler dyp utladning, men har "minneeffekt".
- NiMH tilbyr høyere kapasitet og er mer miljøvennlige.

Krav til batterikapasitet og ytelse

I henhold til SOLAS kapittel IV, regel 13, skal reservekilden til GMDSS-utstyr kunne:

- Operere GMDSS-utstyr i minst **1 time** dersom skipet har en nødgenerator.
- Operere GMDSS-utstyr i minst **6 timer** dersom skipet ikke har en nødgenerator.

Batteriene må kunne lades opp til minimumskapasitet innen **10 timer**.

Ved dimensjonering av batterikapasitet bør det tas hensyn til:

- Samlet strømforbruk fra alt tilkoblet radioutstyr.
- Reduksjon i kapasitet over tid og ved ekstreme temperaturer.
- Anbefalt tillegg på **40 %** til beregnet minimumskapasitet for å kompensere for aldring og andre faktorer.

Vedlikehold og testing

Daglig test

- Utfør "on-load/off-load"-test for å sikre at batteriene leverer korrekt spenning under belastning.
- Spenningen bør ikke falle mer enn 1,5 V under belastning

Årlig kapasitetskontroll

- Batterienes kapasitet må testes minst én gang i året når skipet ikke er til sjøs.
- Batterier med kapasitet under 80 % av nominell verdi bør byttes ut.

Generelt vedlikehold

- For bly-syre-batterier: Kontroller elektrolyttnivå og spesifikk vekt daglig.
- Spesifikk vekt på 1,265 indikerer fulladet batteri; 1,225 tilsvarer omtrent 75 % ladning.

Installasjon og sikkerhet

- Batteriene skal være tydelig merket med type, kapasitet og installasjonsdato.
- En advarsel om eksplosjonsfare skal være synlig i nærheten av batteriene.
- Batteriene må være sikkert festet og kunne fungere ved krengning opptil 22,5°.
- Plasser batteriene i et ventilert område med stabil temperatur, helst nær radioutstyret.

For å sikre samsvar med regelverket og optimal drift, er det viktig å følge produsentens anbefalinger og internasjonale standarder for vedlikehold og inspeksjon av batterier ombord.

Godkjente radiobatteri

!

RESERVEKRAFTKILDE

Vanlige startbatterier er ikke egnet som reservekraftkilde for radiokommunikasjonsutstyr om bord på skip, selv om de er bly-syre-batterier. Det skyldes flere viktige tekniske og sikkerhetsmessige krav.

Dyp-syklus batterier

En må bruke dypsyklus-blybatterier (deep-cycle batteries), som er konstruert for jevn, langsom utladning og opplading.

EKSEMPLER:

- VRLA (Valve-Regulated Lead-Acid): F.eks. AGM- eller Gel-batterier.
- Marine deep-cycle batterier med godkjenning for nødstrømformål.

En dyp-syklusbatteri er en type oppladbart batteri som er spesielt designet for å levere jevn strøm over lengre tid og tåle gjentatte, dype utladninger uten å ta skade. Dette står i kontrast til vanlige starterbatterier, som er laget for å gi korte, kraftige strømstøt for å starte motorer.

Hva kjennetegner et dyp-syklusbatteri?

- Dyp utladning (Depth of Discharge, DoD): Dyp-syklusbatterier kan trygt utlade opptil 80–100 % av kapasiteten uten å bli skadet. For å forlenge levetiden anbefales det imidlertid å ikke utlade mer enn 50 % regelmessig.
- Lang levetid: Avhengig av teknologi kan disse batteriene vare fra 500 til over 5 000 lade- og utladningssykluser. Lithiumjernfosfatbatterier ($LiFePO_4$) er kjent for å ha en særlig lang levetid, ofte over 3 000 sykluser.
- Konstruksjon: De har tykkere plater og mer tett aktivt materiale enn vanlige batterier, noe som gjør dem mer motstandsdyktige mot korrosjon og slitasje ved hyppige utladninger.

Vanlige bruksområder:

Dyp-syklusbatterier brukes i situasjoner hvor pålitelig, langvarig strøm er nødvendig:

- Solenergisystemer: Lagrer overskuddsenergi fra solcellepaneler for bruk når solen ikke skinner.
- Rekreasjonskjøretøy (RV): Strømforsyning til lys, kjøleskap og annet utstyr under camping uten tilgang til strømnett.
- Marine applikasjoner: Driver elektronikk, lys og trollingmotorer på båter.
- Off-grid bosteder: Gir strøm til hytter eller boliger uten tilgang til strømnett.
- Backup-strøm: Brukes i UPS-systemer for å sikre strøm ved strømbrudd.

Typer dyp-syklusbatterier:

- Blysyre: Tradisjonelle batterier som er rimelige, men krever vedlikehold og har kortere levetid.
- AGM (Absorbent Glass Mat): Tørre, vedlikeholdsfrie og mer motstandsdyktige mot vibrasjoner.

- Gel: Bruker en gelert elektrolytt, egnet for ekstreme temperaturer og dype utladninger.
- $LiFePO_4$ (Lithiumjernfosfat): Moderne, lettvektige batterier med lang levetid og høy sikkerhet, men høyere pris.

Vedlikehold og levetid:

For å maksimere levetiden til et dyp-syklusbatteri, er det viktig å:

- Unngå over- eller under-lading.
- Holde batteriet rent og sjekke elektrolyttnivået (for bly-syre-batterier).
- Lade batteriet regelmessig, selv om det ikke er i bruk.
- Unngå dype utladninger med mindre det er nødvendig.

!

LITIUM BATTERIER

Litium batterier krever mindre vedlikehold og er mer robuste enn bly- syre- batterier.

Oppsummering

Σ

OPPSUMMERING

Dyp-syklusbatterier er ideelle for applikasjoner som krever pålitelig og langvarig strømforsyning. De skiller seg fra vanlige starterbatterier ved å kunne tåle hyppige og dype utladninger uten å ta skade, og de finnes i ulike teknologier som passer til forskjellige behov og budsjett.

Batteritype	Kan brukes til radioutstyr?	Kommentar
Startbatteri	✖ Nei	Ikke laget for lang driftstid
Deep-cycle blybatteri	✔ Ja	Egnet og ofte brukt
AGM/Gel (VRLA)	✔ Ja	Vedlikeholdsfrie og godkjente
Litium-ion (godkjent)	✔ Ja	Krever ekstra sikkerhetstiltak

Konkrete eksempel på SOLAS-godkjent radiobatteri som oppfyller kravene til nødstrømsforsyning for radiokommunikasjonsutstyr om bord på skip

Viktig merking:

Batteriet skal være tydelig merket med følgende informasjon:

- **Type:** [AGM bly-syre].
- **Nominell kapasitet:** [100Ah].
- **Installert dato:** [Dato for installasjon].
- **Advarsel:** [Eksplosjonsfare – håndteres med forsiktighet].

!

VIKTIG MERKING

Denne merkingen skal være synlig under installasjon og gjennom batteriets levetid.

Håndtering av brann i litium-ion batteri på et skip

Krav til opplæring

Den 26.01.2022 publiserte Sjøfartsdirektoratet (SDIR) et rundskriv om "Veiledning til krav til opplæring om kjemiske lager for energi (maritime batterisystemer) om bord i norske skip" (RSV 4 - 2022). ASH-forskriften § 2-6 krever at den som har sitt arbeid om bord skal få nødvendig opplæring blant annet for å kunne utføre sitt arbeid på en sikkerhetsmessig forsvarlig måte.

Batterisikkerhet til sjøs

Batterisikkerhet til sjøs for litium-ion - Norsk Elektroteknisk Komite (NEK) https://www.nek.no/2020/09/09/batterisikkerhet-til-sjos/

Under er det et utdrag av artikkelen

Batteriteknologi stevner fremover og internasjonal standardisering henger etter, men NEK har tatt grep. NEK 411 er en helt ny Norsk Spesifikasjon som gir brukerne anledning til å dokumentere sikkerhet for batterisystemer med hensyn til maritime forhold.

Batterier om bord i skip blir stadig mer aktuelt for drift av utstyr og maskiner. Nye batterier av typen Litium-Ion gir en høyere energitetthet og flere funksjoner om bord kan opereres uavhengig av dieselgeneratorer.

De nye batteriene har gitt flere muligheter til å bruke elektrisitet om bord. Der man tidligere kun var avhengig av dieslegeneratorer kan man nå bruke batteriene sammen med dieselgeneratorene, og i noen tilfeller, kun batterier. Batteriene lades i land og dermed kan utslippene fra skipet reduseres. Imidlertid innebærer litium-ion andre sikkerhetsbetraktninger.

NEKs nye spesifikasjon, NEK NSPEK 411, bygger på IECs http://iec.ch/

Kravene er forsøkt tilpasset klasseselskapenes kravspesifikasjoner, uten å være strengere enn disse. Samtidig er det tatt hensyn til internasjonale krav fra IMO, samt de signaler som norske myndigheter har gitt om Litium ion batterer de siste årene.

Med NEK NSPEK 411 https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=nspek%20411

HMS ved arbeid med batteri

Arbeid med bly-syre-batterier om bord på skip krever strenge HMS-tiltak for å beskytte både personell og utstyr. Her er de viktigste HMS-tiltakene:

1. Personlig verneutstyr (PPE).
   - Vernebriller eller ansiktsskjerm for å beskytte mot syresprut.
   - Syrefaste hansker for å unngå kontakt med batterisyre.
   - Verneklær eller syrefast forkle for beskyttelse mot søl.
   - God ventilasjon eller åndedrettsvern ved arbeid i trange rom med fare for hydrogengass.

1. Ventilasjon og eksplosjonsfare.
   - Blybatterier avgir hydrogengass ved lading, som er svært brannfarlig.
   - Sørg for god ventilasjon i batterirommet for å unngå opphopning av gass.
   - Unngå gnister og åpen ild i nærheten av batteriene (ingen røyking eller bruk av gnistdannende verktøy).

2. Håndtering av batterisyre.
   - Unngå søl – bruk egnet utstyr ved etterfylling av batterivæske.
   - Skyll umiddelbart med rikelig vann ved kontakt med hud eller øyne.
   - Nøytraliser søl med natron (bikarbonat) eller kalk.

3. Løfting og transport.
   - Blybatterier er tunge – bruk egnet løfteutstyr for å unngå skader.
   - Sørg for at batteriene står stødig og er godt festet under transport.

4. Vedlikehold og inspeksjon.
   - Sjekk jevnlig etter korrosjon, lekkasjer eller skader på batteriene.
   - Sjekk syrenivået.
   - Rengjør koblinger og poler for å forhindre dårlig kontakt og gnister.
   - Følg produsentens anbefalinger for laddingsrutiner.

5. Nød prosedyrer.
   - Ha øyedusj og nødskyllestasjon lett tilgjengelig.
   - Kjenn til prosedyrer ved syre søl og batteribrann.
   - Brannslukkingsutstyr: Bruk CO_2, pulver eller skum – ikke vann, da det kan reagere med batterisyren.

Miljøfarer med batterier

a) Kjemikalier og tungmetaller: Mange batterier inneholder farlige kjemikalier og tungmetaller som bly, kvikksølv, kadmium, litium og nikkel. Disse stoffene kan forurense jord og vann hvis batteriene ikke håndteres riktig ved avfallshåndtering.

b) Batteriavfall: Hvis batteriene blir håndtert eller destruert feil, kan disse stoffene også lekke ut og forårsake forurensning og helseproblemer.

c) Deponering av farlig avfall: Blybatterier som ikke samles inn og behandles på riktig måte, kan ende opp på deponier, hvor de kan forurense miljøet i mange år. Det er spesielt problematisk fordi bly er svært langsomt å brytes ned, og kan forbli farlig i lang tid.

Regelverk om håndtering og resirkulering av batterier

a) ***Avfallsforskriften:*** *I Norge reguleres håndtering og innsamling av batterier gjennom Avfallsforskriften, som implementerer EU-direktivene om batterier og akkumulatorer. Dette direktivet pålegger produsenter av batterier å sørge for at batteriene deres samles inn, resirkuleres og behandles på en miljøvennlig måte.*

b) ***Batteridirektiv (EU):*** *EU har vedtatt direktiver som regulerer håndtering og resirkulering av batterier, inkludert bly-syre-batterier. Direktivet krever at alle batterier, inkludert blybatterier, samles inn og resirkuleres på en miljøvennlig måte. Det stilles strenge krav til produsenter om at de skal sørge for at batterier som har nådd livets sluttfase, samles inn, behandles og resirkuleres på en ansvarlig måte.*

c) ***Produsentansvar:*** *Blybatteriprodusenter har ansvar for å sikre at deres batterier kan samles inn og resirkuleres på slutten av livssyklusen. Dette kan omfatte etablering av retursystemer og samarbeid med resirkuleringsselskaper for å håndtere batteriene korrekt.*

d) ***Resirkulering av blybatterier:*** *Bly-syre-batterier er faktisk blant de mest resirkulerte batteritypene i verden. Blyet i batteriene kan gjenvinnes og brukes til nye batterier, og svovelsyren kan behandles og nøytraliseres. Ifølge EU-direktivene må minst 65 % av vekten av et bly-syre-batteri resirkuleres. Gjenvinning av bly er også økonomisk attraktivt, da det kan reduseres fra eksisterende batterier i stedet for å utvinne nytt bly fra gruver.*

e) ***Returordninger og innsamling:*** *I Norge og EU er det etablert systemer for innsamling av blybatterier. Du finner spesifikke innsamlingspunkter i butikker, gjenvinningsstasjoner og spesialiserte returordninger. Hvis et blybatteri kastes i vanlig søppel, kan det føre til forurensning og bryte regelverket.*

f) ***Skilt og merking:*** *Blybatterier er merket med spesifikke symboler som advarer om at de ikke skal kastes i vanlig avfall. De er ofte merket med et symbol for bly og en spesifikk kode som indikerer at de inneholder skadelige materialer.*



Batteri kasse, nødgenerator.



To batterier i serie 2 x 12 V = 24 V

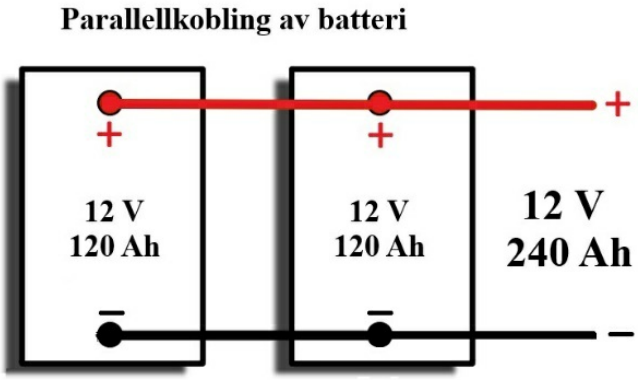


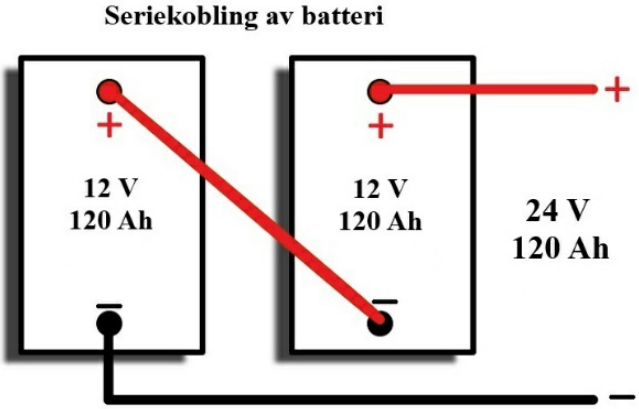
Batteri tester



Batteri bryter

Koblinger av batteri (akkumulatorceller)





AKKUMULATORBATTERI

Et akkumulatorbatteri er en sammenkopling av akkumulatorceller. For å oppnå en høyere spenning seriekobler vi cellene, og for å oppnå en høyere strøm parallellkopler vi cellene. Med serieparallellkopling av celler oppnår vi både høyere spenning og strøm.

Kapasiteten til et batteri i Ah (ampere-timer) er en måte å uttrykke hvor mye elektrisk ladning batteriet kan levere over tid.

> «100 Ah (C20).

Batteriet kan levere 100 Ah, målt over 20 timer (5 A i 20 timer).

Elektromotorisk spenning (EMS)

ELEKTROMOTORISK SPENNING (EMS)

EMS er den elektriske spenningen som en strømkilde (f.eks. et batteri) genererer når ingen strøm går gjennom kretsen. Det er altså den maksimale spenningen en kilde kan gi før det oppstår spenningsfall på grunn av indre motstand.

For et batteri gjelder:

> EMS (E) = Terminalspenning + (Indre motstand * Strøm)
>
> $$E = U + (R_i * I) = U + \ \Delta U$$

Når batteriet er åpent (ingen belastning): Terminalspenningen ≈ EMS.

- Når batteriet er belastet (strøm trekkes): Terminalspenningen er lavere enn EMS på grunn av spenningsfall over batteriets indre motstand.
- Indre motstand (Ri) i et 12 V blybatteri ligger på ca. 2 – 6 mΩ.

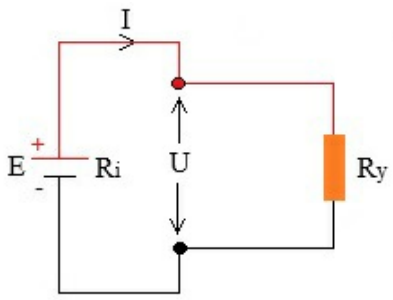
EKSEMPEL PÅ EMS I BATTERIER

- Blybatteri (12 V): EMS kan være 12,6–13 V når fulladet, men terminalspenningen synker under belastning.
- Litium-ion-batteri (3,7 V per celle): EMS kan være 4,2 V per celle når fulladet, men synker ved bruk.

Strømkrets med en celle

Dersom en celle med elektromotorisk spenning (ems) E og indre motstand Ri er koplet til en ytre motstand Ry, som figuren under viser, får vi ifølge Kirchoffs 2. lov:

> $$E = I * R_i + I * R_y = I(R_i + R_y)$$



Over cellens indre motstand får vi et spenningsfall:

$$\Delta U = I * R_i$$

Dermed kan spenningen over den ytre resistansen finnes:

$$U = E - \Delta U$$

Det er bare klemmespenningen som kommer til nytte i den ytre strømkretsen. Er klemmespenningen kjent, kan vi finne strømmen ved å bruke Ohms lov på den ytre kretsen:

$$I = \frac{U}{Ry} \qquad \rightarrow \qquad U = I * R_y$$

EKSEMPEL

Fra en celle med indre motstand (R_i) 0,1 Ω går det en strøm (I) på 1,4 A til en ytre motstand (Ry) på 1,4 Ω som figuren over viser. Beregn cellens ems (E) og klemmespenningen (U) over den ytre motstanden.

$$E = I * (R_i + R_y) = 1,4 * (0,1 + 1,4) = \underline{\underline{2,1\ V}}$$

$$U = I * R_y = 1,4 * 1,4 = \underline{\underline{1,96\ V}}$$

Seriekobling av celler

SERIEKOBLING AV CELLER

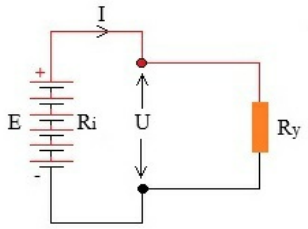
Ved seriekobling kobler du cellene ende mot ende – altså, den positive polen på én celle kobles til den negative polen på den neste.

Egenskaper ved seriekobling:

- Spenningen (V) øker, men kapasiteten (Ah) forblir den samme.
- Totalt spenning = summen av celle-spenningene.
  - F.eks. tre 1,5 V celler i serie gir totalt 4,5 V.
- Kapasiteten (Ah) er lik kapasiteten til én enkelt celle.

Brukes når man trenger høyere spenning.

Kopler vi celler i serie med spenningen i samme retning, får vi etter Kirchoffs 2. lov en høyere spenning. Koplingen er vist på figuren under.



$$E = n * e$$
$$R_i = n * r_i$$

n = antall celler i serie,
e = elektromotorisk spenning per celle i V,
r_i = indre motstand per celle i Ω.

EKSEMPEL:

Figuren på forrige over viser seks celler koblet i serie. Hver celle har indre motstand (r_i) 0,1 Ω. Cellene er tilkoplet en krets med ytre motstand (R_y) 3,4 Ω, og strømmen gjennom den er 3 A. Beregn kretsens ems og spenningen over den ytre motstanden.

$$R_i = n * r_i = 6 * 0,1 = \underline{0,6\ \Omega}$$

$$E = I * (R_i + R_y) = 3 * (0,6 + 3,4) = \underline{\underline{12\ V}}$$

$$U = I * R_y = 3 * 3,4 = \underline{\underline{10,20\ V}}$$

Parallellkobling av celler

PARALLELLKOBLING AV CELLER

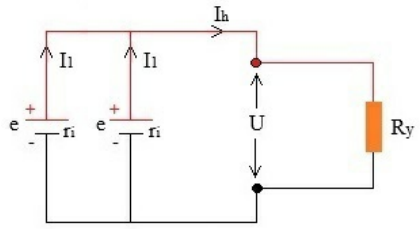
Ved parallellkobling kobler du alle de positive polene sammen og alle de negative polene sammen.

Egenskaper ved parallellkobling:

- Spenningen (V) forblir den samme som én enkelt celle. (E = e)
- Kapasiteten (Ah) øker – summen av kapasitetene til alle cellene.
  - F.eks. to 1,5 V celler med 2 Ah hver vil fortsatt gi 1,5 V, men med en total kapasitet på 4 Ah.

Brukes når man trenger lengre driftstid (større kapasitet).

For å skille om antallet celler er i serie eller parallell, så bruker vi bokstaven n i serie og bokstaven m i parallell.



Kopler vi m celler i parallell blir samlet ems uforandret, men resulterende indre motstand blir bare r_i / m, fordi strømmen får n veier å gå som figuren under viser. Den totale strømmen i kretsen er da gitt av Kirchoffs 1. lov:

$$I_h = I_1 * m$$

E = e

$R_i = r_i / m$

For parallellkobling av m celler har vi:

$$R_i = \frac{r_i}{m}$$
$$E = e = I * (R_i + R_y)$$

eller

$$E = e = I * \left(\frac{r_i}{m} + R_y\right)$$

EKSEMPEL

To celler som figuren over viser, koples i parallell og tilkoples en ytre motstand på 1,5 Ω. Hver celle har indre motstand 0,3 Ω, og strømmen gjennom hver celle er 1 A. Beregn batteriets ems og spenningen over den ytre motstanden.

$$I = I_1 * m = 1A * 2 = \underline{2\ A}$$

$$R_i = \frac{r_i}{2} = \frac{0{,}3}{2} = \underline{0,15\ \Omega}$$

$$E = e = I * (R_i + R_y) = 2 * (0,15 + 1,5) = 2 * 1,65 = \underline{\underline{3,3\ V}}$$

$$U = I * R_y = 2 * 1,5 = \underline{\underline{3\ V}}$$

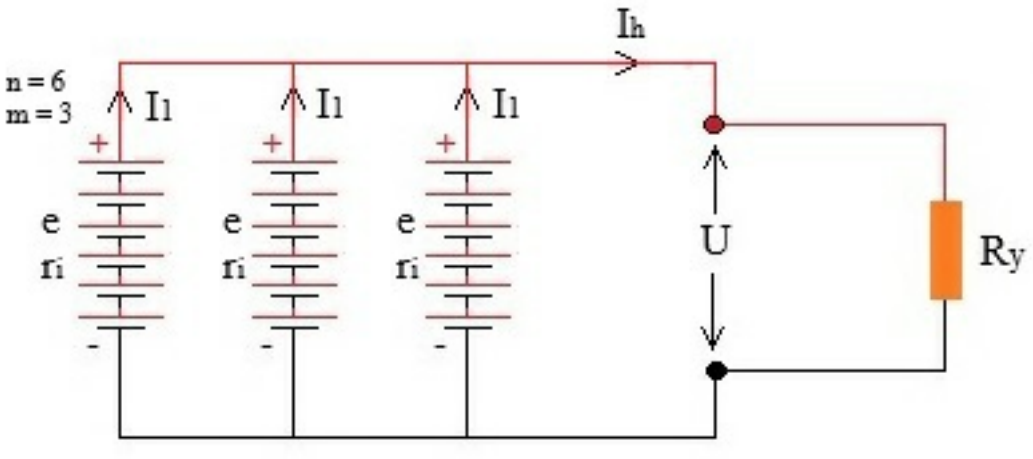
Kombinasjon av serie og parallell (serieparallellkobling)

For å både øke spenning og kapasitet, kan man kombinere seriekobling og parallellkobling. Dette brukes ofte i batteripakker som til elektriske ferger, radiobatteri, elbiler og bærbare PC-er.

Serieparallellkopling av celler

SERIEPARALLELLKOPLING AV CELLER

Ofte bruker vi en blanding av serie- og parallellkopling som vi kaller serieparallellkopling. Da koples n celler i serie og m celler i parallell. Seriekoplingen skaffer høy nok ems, og parallellkoplingen reduserer den indre motstanden slik at strømmen øker. Figuren under viser serieparallellkopling av celler.



Samlet indre motstand i serieparallellkopling:

$$R_i = \frac{r_i * n}{m}$$

Total ems (E) i serieparallellkopling av celler har vi:

$$E = n * e \quad \text{eller} \quad E = I * (R_i + R_y) \quad \text{eller} \quad E = I * (\frac{n * r_i}{m} + R_y)$$

EKSEMPEL

En serieparallellkopling av atten celler som figuren på forrige side viser, skal levere 6 A til en ytre motstand på 4 Ω. Hver celle har en indre motstand på 0,02 Ω. Beregn batteriets ems og spenningen over den ytre motstanden.

$$R_i = \frac{r_i * n}{m} = \frac{0{,}02 * 6}{3} = \underline{0{,}04\ \Omega}$$

$$E = I * (R_i + R_y) = 6 * (0{,}04 + 4) = \underline{\underline{24{,}24\ V}}$$

$$U = I * \ R_y = 6 * 4 = \underline{\underline{24\ V}}$$

Kortslutning av batteri

Kortslutning av akkumulatorceller har vi når den ytre motstanden Ry = 0 Ω.

Kortslutningsstrøm benevnes som I_k.

Ved kortslutning er strømmen bare avhengig av den indre motstanden:

$$I_k = \frac{E}{R_i}$$

I de fleste akkumulatorer er den indre motstanden svært lav, dette kan medføre at ved kortslutning blir strømmen så høy at både kabler og akkumulator skades.

Vi bruker serieparallell koblinga som eksempel:

$$I_k = \frac{E}{R_i} = \frac{24{,}24}{0{,}04} = \underline{\underline{606\ A}}$$

Eksempel oppgave

Fire batteripakker, hver på 60 Ah. Hver batteripakke består av seks celler á 2,0 Volt. Hver celle har en ri = 0,02 Ω.

a) Batteriene seriekobles.

> Hva blir totalspenningen, og hvor stor blir kapasiteten i Ah?
>
> Hva blir Ri og hvor stor blir kortslutningsstrømmen (Ik)?

b) Batteriene blir parallellkoblet.

> Hva blir totalspenningen, og hvor stor blir kapasiteten i Ah?
>
> Hva blir Ri hvor stor blir kortslutningsstrømmen (Ik)?

Løsning:

a) Seriekobling:

> E = 4 x 12 V = $\underline{\underline{48}}$ V og Kapasiteten = $\underline{\underline{75\ Ah}}$

Ved seriekobling oker spenningen, men kapasiteten blir den samme.

$$R_i = r_i * n = 0,02 * 4 * 6 = \underline{\underline{0,48\ \Omega}}$$

$$I_k = \frac{E}{R_i} = \frac{48}{0{,}48} = \underline{\underline{100\ A}}$$

b) Parallellkobling: E = $\underline{\underline{12\ V}}$ og Kapasiteten = 4 x 60 Ah = $\underline{\underline{240\ Ah}}$

Ved parallellkobling blir spenningen den samme, men kapasiteten øker.

$$R_i = \frac{r_i * n}{m} = \frac{0{,}02 * 6}{4} = \underline{\underline{0,03\ \Omega}}$$

$$I_k = \frac{E}{R_i} = \frac{12}{0{,}03} = \underline{\underline{400\ A}}$$

I oppgave b) kobler vi til en toleder kabel som er 25 m lang og har et tverrsnitt på 1,5 mm^2.

I enden av kabelen kobler vi til en pære på som er stemplet med 15 W/12 V.

a) Hvor stor er Ry (kabel og pære)?

b) Hvor stor er U?

Løsning:

$$R_{\text{kabel}} = \frac{l * \varrho}{A} = \frac{2 * 25 * 0{,}0175}{1{,}5} = \frac{0{,}875}{1{,}5} = 0,583\ \Omega$$

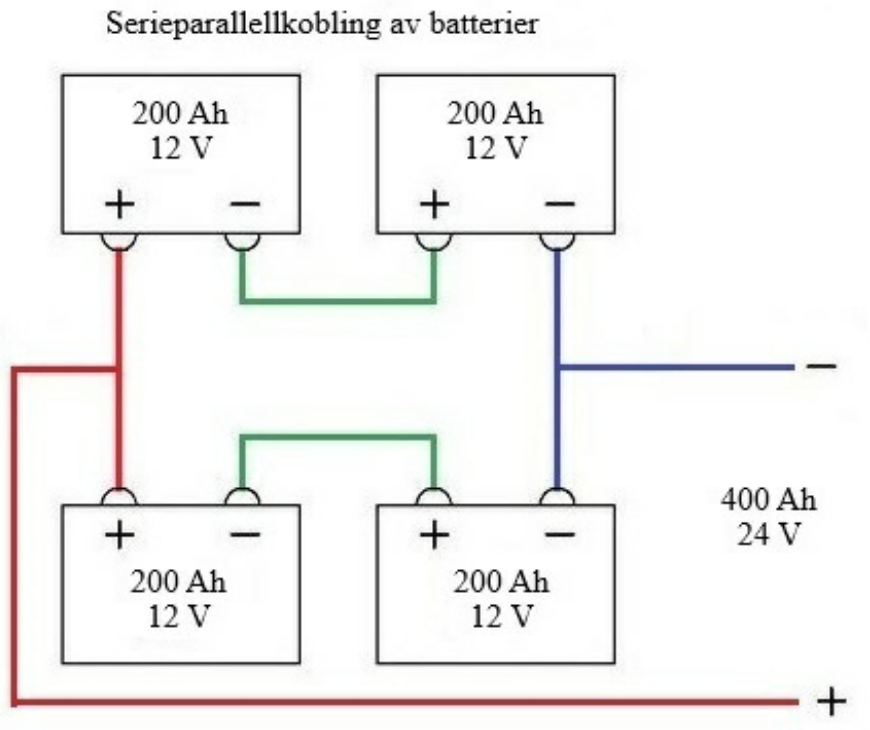
$$R_{paere} = \frac{U^2}{P} = \frac{12^2}{15} = 9,6\ \Omega$$

$$R_y = R_k + R_p = 9,6 + 0,583 = \underline{\underline{10,183\ \Omega}}$$

$$E = I * (R_i + R_y) \quad \rightarrow \text{snu formel}$$

$$I = \frac{E}{R_i + R_y} = \frac{12}{0{,}03 + 10{,}183} = 1,175\ A$$

$$U = I * R_y = 1,175 * 10,183 = \underline{\underline{11,96\ V}}$$

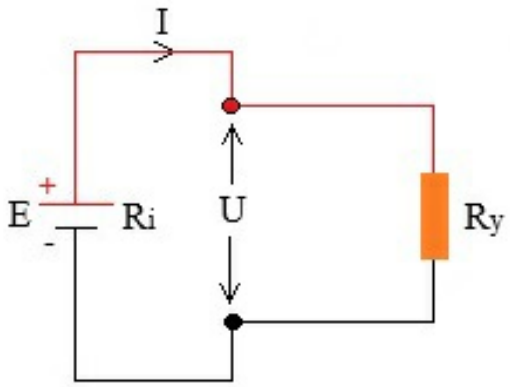


Formelark for batterier

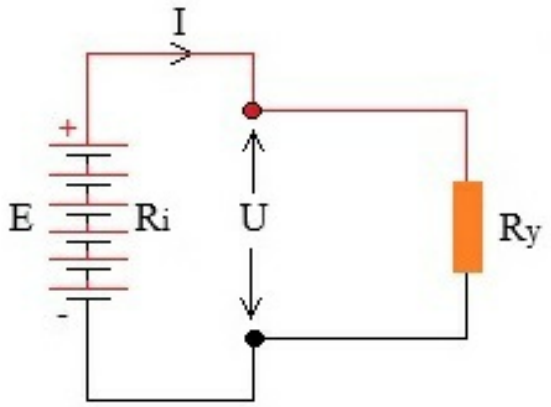
Kapasiteten til et batteri

Emne	Formel	Merknad	Enhet
Kapasiteten til et batteri	$Q_2 = I_2 \cdot t_2$	Q_2 = kapasitet I_2 = utladestrøm t_2 = utladetid	As A sek.
Strømvirkningsgrad	$\mu_s = \frac{I_2 \cdot t_2}{I_1 \cdot t_1}$	μ_s = strømvirkningsgrad I_1 = tilført strøm t_1 = oppladningstid	$0 < \mu < 1$ A sek.
Energivirkningsgrad	$\mu_e = \frac{I_2 \cdot t_2 \cdot U_{2m}}{I_1 \cdot t_1 \cdot U_{1m}}$	μ_e = energivirkningsgrad U_{2m} = midlere utladespenning U_{1m} = midlere ladespenning	$0 < \mu < 1$ V V

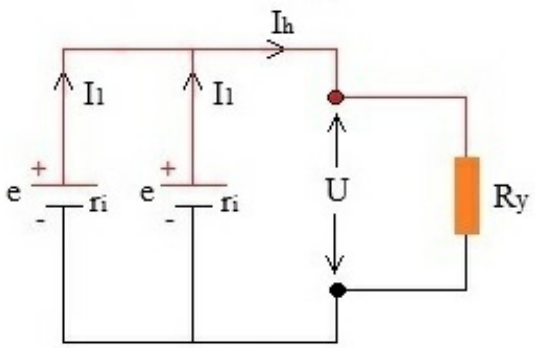
Strømkrets med en celle

Emne	Formel	Merknad	Enhet
	$E = I_h \cdot R_i + I_h \cdot R_y$	E = elektromotorisk spenning	V
	$E = I_h \cdot (R_i + R_y)$	I_h = hovedstrøm	A
		R_i = cellens indre motstand	Ω
	$\Delta U = I_h \cdot R_y$	R_y = ytre motstand	Ω
	$U = E - \Delta U$	ΔU = indre spenningsfall	V
	$U = I_h \cdot R_y$	U = klemmespenning	V

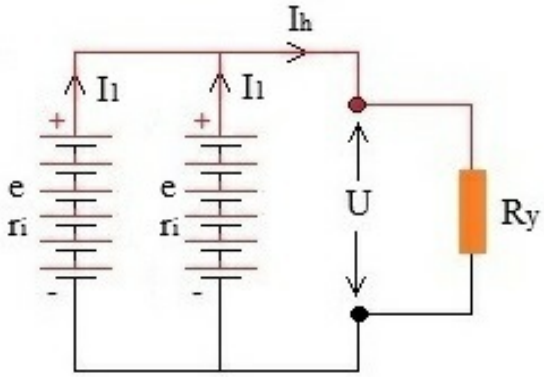
Seriekobling av celler

Emne	Formel	Merknad	Enhet
	$E = n \cdot e$	E = elektromotorisk spenning	V
		e = ems per celle	V
	$R_i = n \cdot r_i$	n = antall celler i serie	
	$r_i = \frac{R_i}{n}$	R_i = total indre resistans	Ω
	$I_h = \frac{n \cdot e}{n \cdot r_i + R_y}$	r_i = indre resistans per celle	Ω
	$I_h = \frac{E}{R_i + R_y}$	I_h = hovedstrøm	A
	$R_y = \frac{E}{I_h} - R_i$	R_y = ytre motstand	Ω

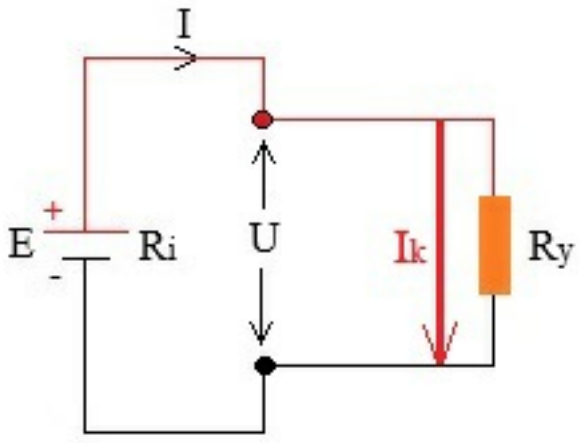
Parallellkobling av celler

Emne	Formel	Merknad	Enhet
	$E = e$	E = total ems	V
	$R_i = \frac{r_i}{m}$	e = ems per celle	V
	$E = I_h \cdot R_i + I_h \cdot R_y$	R_i = total indre motstand	Ω
	$E = I_h \cdot (R_i + R_y)$	r_i = indre resistans per celle	Ω
	$I_h = \frac{E}{R_i + R_y}$	m = antall parallell grener (grupper)	
	$I_h = \frac{e}{\frac{r_i}{m} + R_y}$	I_h = hovedstrøm	A
	$I_1 = \frac{I_h}{m}$	I_1 = strøm per gren (gruppe)	A

Serieparallellkobling av celler

Emne	Formel	Merknad	Enhet
	$E = n \cdot e$	E = total ems	V
	$R_i = \frac{r_i \cdot n}{m}$	R_i = total indre resistans	Ω
	$R_y = \frac{U}{I_h}$	r_i = indre resistans per celle	Ω
	$R_y = \frac{E}{I_h} - R_i$	R_y = ytre resistans (motstand)	Ω
	$I_h = \frac{E}{R_i + R_y}$	n = antall celler i serie	
	$I_h = \frac{n \cdot e}{\frac{n \cdot r}{m} + R_y}$	m = antall parallelle grener (grupper)	
		e = ems i hver celle	V
		U = klemmespenning	V

Kortslutning over batteripolene

Emne	Formel	Merknad	Enhet
	$R_y = 0$	$R_y = 0\,\Omega$ (kortsluttet)	Ω
	$I_k = \frac{E}{R_i}$	I_k = kortslutningsstrøm	A

Kapasitet til batteri i Ah.

Batteri i serie: Spenningen øker, men kapasiteten er den samme.

Batteri i parallell: Spenningen er den samme, men kapasiteten øker.

Kap 3 Vekselstrøm

Vekselstrøm (AC – Alternating Current)

Historie

NIKOLA TESLA OG GEORGE WESTINGHOUSE

Nikola Tesla og George Westinghouse introduserte vekselstrøm systemer (AC), som viste seg å være mer effektive for langdistanseoverføring av elektrisitet. Vekselstrøm kunne enkelt transformeres til høyere spenninger ved hjelp av transformatorer, noe som reduserte strømstyrken og dermed energitapet under overføring. Dette gjorde det mulig å overføre elektrisitet over mye lengre avstander, og kraftstasjoner kunne plasseres langt fra forbrukerne.

En betydelig demonstrasjon av vekselstrømsystemets overlegenhet fant sted under Verdensutstillingen i Chicago i 1893, hvor Westinghouse, ved hjelp av Teslas teknologi, lyktes i å forsyne utstillingen med elektrisitet. Denne suksessen bidro til bred aksept av vekselstrøm for elektrisk distribusjon.

Til tross for Edisons innsats for å diskreditere vekselstrøm, inkludert en kampanje som fremhevet potensielle farer ved høyspenning, ble vekselstrøm til slutt standarden for elektrisk overføring og distribusjon. Dette skyldtes dens tekniske fordeler og evne til å møte behovene til et voksende elektrisk nettverk.

Vekselstrøm

VEKSELSTRØM (AC)

Vekselstrøm (AC) er en strømtype hvor elektrisk ladning skifter retning periodisk. Dette skiller seg fra likestrøm (DC), hvor strømmen alltid går i én retning.

1. Kjennetegn ved vekselstrøm

- Retningen på strømmen bytter – Skifter frem og tilbake med en bestemt frekvens.
- Brukes i strømnettet – All vanlig husholdningsstrøm og industriell kraftoverføring bruker AC.
- Kan transformeres – Spenningen kan enkelt økes eller senkes ved hjelp av transformatorer.

2. Viktige begreper

f(x)

FREKVENS

Frekvens (f) – Antall ganger strømmen skifter retning per sekund, målt i hertz (Hz).
- I Europa og Norge: 50 Hz (strømmen bytter retning 50 ganger per sekund).
- På skip og i USA: 60 Hz.

f(x)

SPENNINGSNIVÅER

- 230V – Vanlig i norske stikkontakter (fase til nøytral).
- 400V – Vanlig trefasespenning i industri og store bygg.
- 11kV, 22kV, 132kV osv. – Høye spenninger for langdistansetransport av elektrisk energi.

f(x)

TREFASESYSTEM

- De fleste kraftnett bruker trefase vekselstrøm, hvor tre spenninger er faseforskjøvet med 120°. (Kapittel 4).
- Trefase brukes til motorer, skipsgeneratorer og industri.

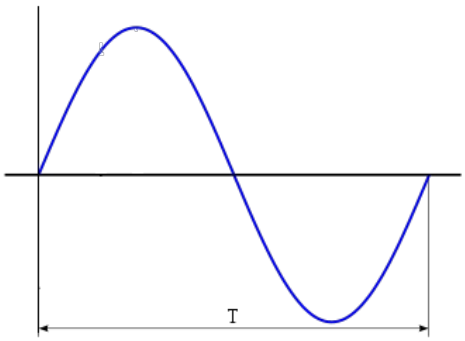
3. Hvorfor bruker vi vekselstrøm?

- Kan transporteres over lange avstander – Høyspent AC kan overføres effektivt over store avstander med mindre tap enn DC.
- Enklere transformasjon av spenning – Transformatorer fungerer bare med AC, noe som gjør det enkelt å justere spenningsnivåer.
- Tryggere for bruk i husholdninger – DC med høy spenning er farligere fordi det gir kontinuerlig strømflyt, mens AC reduserer risikoen for alvorlige skader.

4. Sinusbølge – Hvordan ser AC ut?

Vekselstrøm vises ofte som en sinusbølge:

- Positiv halvperiode: Strømmen går én vei.
- Negativ halvperiode: Strømmen går motsatt vei.
- Dette gjentar seg med en frekvens på 50 Hz i Norge.



5. Vekselstrøm i skipsinstallasjoner

Skip bruker ofte trefase vekselstrøm 400 V, 50 Hz eller 440V, 60 Hz til motorer, generatorer og elektriske systemer. Noen skip bruker også 450V eller 690V, avhengig av behov.

Oppsummering:

Σ

OPPSUMMERING

- Vekselstrøm skifter retning periodisk og brukes i strømnett og skipsinstallasjoner.
- Frekvensen bestemmer hvor ofte den skifter retning (50 Hz i Norge, 60 Hz på skip og i USA).
- Trefase vekselstrøm brukes i industri og skipsmotorer for høy effektivitet.

Trefase Vekselstrøm (3-fase AC)

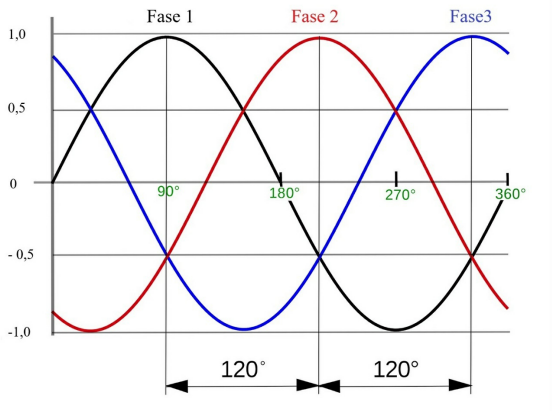
TREFASE VEKSELSTRØM

Trefase vekselstrøm er en strømforsyningsmetode hvor tre separate strømførende ledere fører vekselstrøm med en faseforskjell på 120° mellom hver fase. Dette brukes hovedsakelig i kraftproduksjon, industri og skipsinstallasjoner, fordi det gir en mer effektiv og balansert energioverføring enn enfase vekselstrøm.

!

TREFASE VEKSELSTRØM

Kapittel 4 tar for seg trefase vekselstrøm.



Resistive, induktive og kapasitive motstander

Resistans i vekselstrøm

RESISTANS I VEKSELSTRØM

I likestrøms teorien lærte vi at det kun finnes én type motstand, og den er ohmsk. I en likestrøms krets med ren ohmsk motstand er spenning og strøm i fase, altså strømmer og spenning kommer samtidig. I en vekselstrøms krets med kun ohmsk belastning vil strøm og spenning også være i fase, akkurat som i en likestrøms krets.

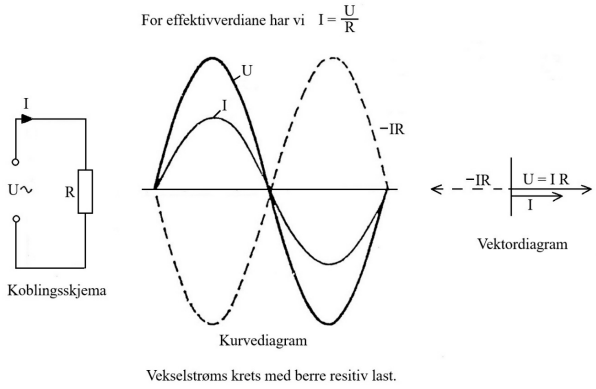
Forskjellen er at formen på strøm og spenning i en vekselstrøms krets er sinusformet, mens i en likestrøms krets er de konstant.

Frekvens (f), også kalt periodetallet, er et mål på hvor mange ganger en hendelse gjentar seg i løpet av en bestemt tid. For å beregne frekvens, setter man et fast tidsintervall, teller antall ganger en hendelse inntreffer, og deler på tidsintervallets lengde.

f(x)

FREKVENS

Frekvens måles i Hertz (Hz). 1 Hz betyr at en hendelse gjentar seg én gang per sekund.



Kurve- og vektorframstilling av nettspenninga, motspenning og strømmen.

I vekselstrøm krets har vi to typer motstander i tillegg til resistansen og det er induktiv reaktans (induktiv motstand) og kapasitiv reaktans (kapasitiv motstand).

Induktiv reaktans (X_L) heng sammen med spoler og spole funksjoner slik som for eksempel motorer.

En spole er en passiv, topolet elektrisk komponent som brukes i elektriske kretser for å oppvise induktans eller skape et magnetfelt. Når en strøm går gjennom spolen, bygger den opp et magnetisk felt, som igjen lagrer energi. Dette gjør spoler nyttige i mange ulike elektroniske og elektriske applikasjoner.

Induktans (selvinduktans) (L): Spolens evne til å lagre energi i det magnetiske feltet kalles induktans (selvinduktans), målt i henry (H).

Oppbygging: En spole består ofte av en leder (som regel kobbertråd) viklet opp uten at viklingene berører hverandre. Dette øker induktiviteten.

Bruksområder: Brukt i alt fra transformatorer og motorer til frekvensfiltre.

Reaktans: I vekselstrøms kretser motvirker induktans endringer i strøm, noe som skaper reaktans. Reaktansen øker med frekvensen til vekselstrømmen.

Induktansen avhenger av antall viklinger, spolens lengde, og materialet mellom viklingene (kalt kjernen). Symbolet for en spole i kretsskjemaer er L, antakeligvis til ære for fysikeren Emil Lenz.

Kapasitiv reaktans (X_C) heng sammen med kretser hvor vi har kondensatorer.

En kondensator er en elektronisk komponent som lagrer elektrisk energi i et elektrisk felt. Den består vanligvis av to ledende plater separert av et isolerende materiale, kalt dielektrikum. Når en spenning påføres over platene, akkumuleres det en elektrisk ladning på dem, og kondensatoren lagrer energi.

Hovedfunksjoner og bruksområder:

- Lagring av elektrisk energi: Brukes til å lagre energi for senere bruk.
- Filtrering: Fjerner uønskede frekvenskomponenter i elektroniske signaler.
- Fasekompensering: Justerer fasen i vekselstrøms kretser.
- Kobling og avkobling: Gir midlertidige forbindelser i kretser.

Kondensatorens kapasitans (C), målt i farad (F), avgjør hvor mye elektrisk energi den kan lagre.

Impedans (Z): Totalmotstanden i en vekselstrøms krets (Ω).

Induktiv reaktans (motstand)

INDUKTIV REAKTANS (MOTSTAND)

En induktiv motstand (X_L) vil som regel bestå av en spole under dette kapitel. Spolen er bygd opp av en kobbertråd med kjerne. Denne kobbertråden inneholder ohmsk motstand (R) dvs. at en spole har to forskjellige motstander i seg, en ohmsk og en induktiv. Det er bare i teorien at vi snakker om spoler som er 100 % induktive. I beregningsoppgaver blir det ofte bruker slike spoler.

Ohmsk motstand er knyttet til lengden og tverrsnittet av spoletråden.

f(x)

OHMSK MOTSTAND

FORMEL: $R = \frac{l * \varrho}{A}$

Den induktive motstand er bestemt av spolens fysiske egenskaper og frekvensen på nettet

f(x)

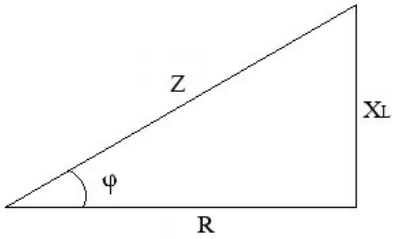
DEN INDUKTIVE MOTSTAND

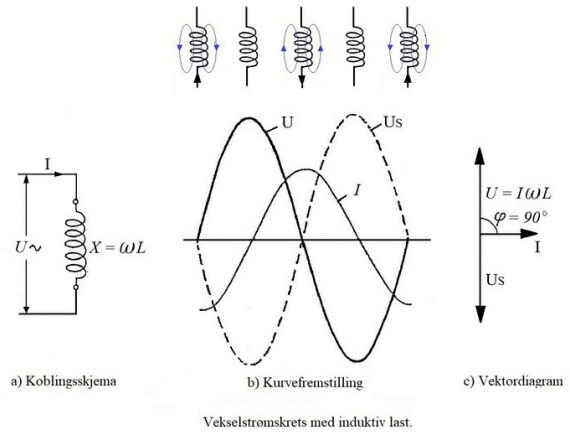
$$X_L = 2 * \pi * f * L$$
$$\omega = 2 * \pi * f$$

Vi kan derfor si at $2 * \pi * L$ er konstanter som ikke kan forandre på spolens induktive motstand. Det er bare frekvensen som kan forandre seg og då ser vi at X_L øker når frekvensen øker.

X_L = Induktiv reaktans (Ohm)
X = Reaktans (felles eininga for induktiv og kapasitiv reaktans) (Ohm)
L = Selvinduktans (Henry)
f = frekvens (Hertz)

Nettspenningen som driver spolen, fører til at det oppstår en selvinduksjonsspenning i spolen. Denne selvinduksjonsspenningen er faseforskjøvet med 180 elektriske grader i forhold til nettspenningen. Selvinduksjonsspenningen Us vil ha sin amplitude (toppverdi) når strømmen er null, og sin nullverdi når strømmen har sin toppverdi.
I følge Lenz lov vil den induserte spenningen (selvinduksjonsspenningen) ha en slik retning at den motvirker endringen i strømmen. Selvinduksjonsspenningen vil derfor ha samme retning som strømmen når den minker, og motsatt retning av strømmen når den øker.





Kurve- og vektorfremstillingen av nettspenningen, mot spenningen og strømmen.

Figuren viser et vektordiagram av:

U = nettspenningen $U = I * X_L = I * 2 * \pi * f * L$
U_S = selvinduksjonsspenningen
I = strømmen

Strømmen ligger 90 elektriske grader etter nettspenningen i fase.

Kapasitiv reaktans (motstand)

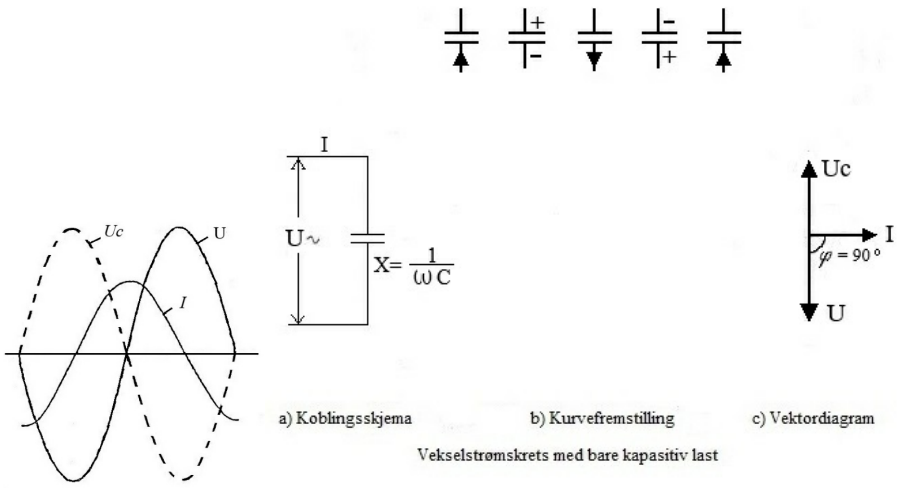
KAPASITIV REAKTANS (MOTSTAND)

Når en kondensator kobles til en likestrøms krets, fungerer den som en sperre for strømmen. Under oppladningen av kondensatoren strømmer det en oppladningsstrøm i kretsen. Når kondensatoren er fullt oppladet, stopper strømmen. Ved utladning vil strømmen strømme motsatt vei.

I en vekselstrøms krets veksler kondensatoren mellom en positiv og en negativ maksverdi, og lades opp og utlades i en sinuskurve. Kondensatorspenningen er alltid like stor som nettspenningen, bortsett fra når resistansen i kretsen tas med i beregningen.

Når både kondensatorspenningen og den drivende spenningen har sine toppverdier, er strømmen null. Strømmen har samme retning som kondensatorspenningen når den har sin toppverdi og begynner å avta under utladningen. Under oppladningen har strømmen motsatt retning av kondensatorspenningen.

Figuren under viser kurve- og vektorfremstillingen av nett spenningen, kondensatorspenningen og strømmen.

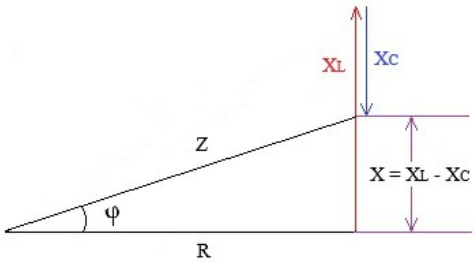


Vekselstrømskrets med bare kapasitiv last

Strømmen ligger i dette tilfelle 90 elektriske grader foran nettspenningen i fase.

$$Xc = \frac{1}{\omega * c} = \frac{1}{2 * \pi * f * C}$$

X_C = Kapasitiv reaktans (Ω)
X = Reaktans (felles eininga for induktiv og kapasitiv reaktans) (Ω)
C = Kapasitans F (Farad)
f = frekvens Hz (Hertz)



Impedans:

IMPEDANS

Impedans (Z) er den totale motstanden et elektrisk kretselement gir mot vekselstrøm, og omfatter både reell motstand (resistans) og imaginær motstand (reaktans).

$$Z^2 = R^2 + X^2$$

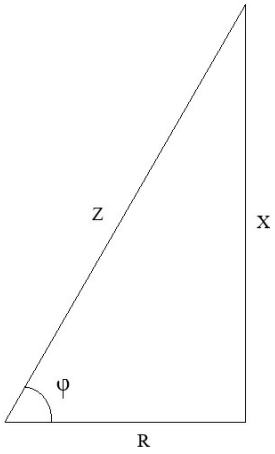
Kvadratet av hypotenusen (Z) er lik kvadratet av hosliggende katet (R) pluss kvadratet av motstående katet (X).

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

= X_L - X_C

Dersom vi ikke har Xc

så blir X = X_L



Motstandstrekanten

Vinkelen mellom R og Z kaller vi faseforskyvnings vinkelen (φ).

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z}$$

Cosinus til vinkelen φ er størrelse forholdet mellom resistansen og impedansen.

Dersom $\cos\varphi = 0,5$ så er Z dobbelt så stor som R og vinkelen φ er 60^0.

Når vi vet at vinkelen er 60^0 så kan vi også finne ut hvor stor X er ved å bruke sinus.

Sinus til en vinkel er forholdet mellom motstående katet (X_L) og hypotenusen (Z).

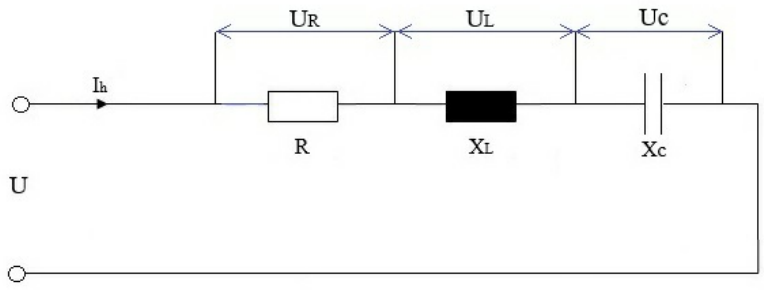
$$\sin\varphi = \frac{X_L}{Z}$$

Sinus til vinkelen 60° er 0,866...

Dersom vi skal regne ut spenning eller strøm så må vi bruke Z som total motstand.

$$U = I * Z$$

Kretser med resistans, spole og kondensator i serie

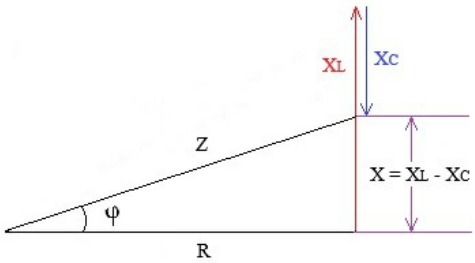


Impedanstrekanten

f(x)

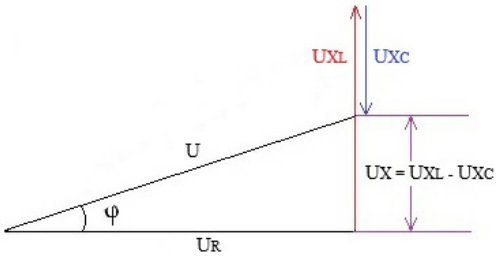
HOVEDFORMEL

$$\mathbf{U = I * Z}$$



Z er impedansen i kretsen, det vil si den totale vekselstrøms motstanden.

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$



Spenningstrekanten:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_{\mathrm{XL}} - U_{\mathrm{XC}})^2}$$

$$U_R = I * R$$

$$U_{\mathrm{XL}} = I * X_L$$

$$U_{\mathrm{XC}} = I * X_C$$

U = Hovedspenning

U_R = Resistiv spenningsfall i kretsen

U_{XL} = Induktivt spenningsfall i kretsen

U_{XC} = Kapasitivt spenningsfall. i kretsen

I_h = Strømmen i kretsen

X_L = Induktiv reaktans

X_C = Kapasitiv reaktans

Effekt i vekselstrømkretser

Når vi har en rein ohmsk belastning så vil all effekt bli på forbruker stede.

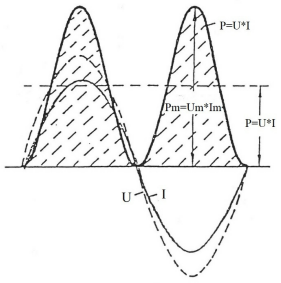
Det vil si at kretsen trekker en aktiv effekt fra kilden, og som regel er kilden en generator. Drivmaskinen til generator føler den aktive effekten.

f(x)

AKTIV EFFEKT

AKTIV EFFEKT: P = U · I

Produktet av strøm og spenning vil alltid være positivt ved rein ohmsk belastning, altså effekten er positiv. Det kan vi sjå av figuren under. Vi kan nå si at dei effektkurver som er over null linja er effekt som blir på forbruker stede.



Spenning, strøm, effekt og arbeid ved «ren» resistiv last.

Det elektriske arbeidet som blir utført er følgende:

> W = elektrisk arbeid
>
> t = tiden
>
> $$\mathbf{W = P * t = U * I * t}$$

Den egentlige formel som blir brukt i vekselstrøm er:

f(x)

DEN EGENTLIGE FORMEL, VEKSELSTRØM

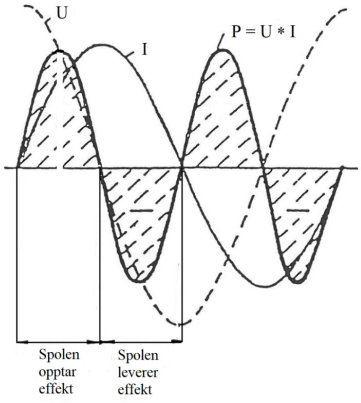
$$P = U * I * \cos\varphi \quad \rightarrow \quad hvor \cos\varphi = 1$$

Reaktiv effekt i vekselstrøms kretser

REAKTIV EFFEKT I VEKSELSTRØMS KRETSER

Hvis vi har en ren spole som last, altså en ren induktiv last, og ser bort fra resistansen i kretsen, vil den bare trekke en reaktiv effekt. Denne reaktive effekten brukes til å bygge opp det magnetiske feltet i spolen i første kvartperiode, og i neste kvartperiode vil spolen levere effekten tilbake til kilden. Dette skjer to ganger i løpet av en periode, og vi får en pendling av reaktiv effekt mellom forbruker og kilde.

Figuren under viser hvordan kurvene for strøm, spenning og effekt er satt sammen med omsyn til faseforskyvningen.



Spenning, strøm og effekt ved "rein" induktiv last

Den reaktive effekten er ofte kalla blind effekt.

f(x)

FORMEL FOR REAKTIV EFFEKT

$$Q = U * I * \sin \varphi$$

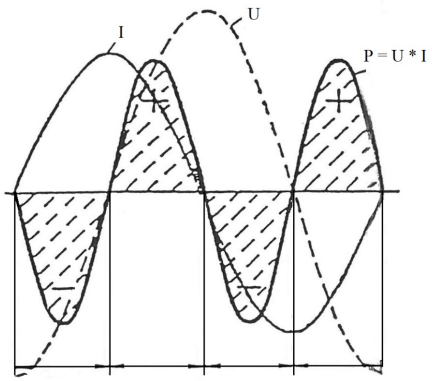
Når vi har ren induktiv last så er $\sin \varphi = 1$

Eininga til reaktiv effekt er VAr (Volt Ampere reaktiv).

Ren reaktiv effekt er bare teori. For å få reaktiv effekt må vi ha en spole, en spole består av en tråd av metall, den har en resistans.

Når vi har en ren kapasitiv last, altså en kondensator, og ser bort fra resistansen i kretsen, får vi en ren kapasitiv reaktiv effekt. Denne effekten pendler mellom kilden og kondensatoren. I en kvartperiode leverer spenningskilden energi til kondensatoren, og i neste kvartperiode leverer kondensatoren energi tilbake til spenningskilden.

Figuren viser hvordan kurvene for strøm, spenning og effekt er satt sammen med hensyn til faseforskyvningen.



Spenning, strøm og effekt ved "rein" kapasitiv last.

Kapasitiv effekt brukes vanligvis ikke direkte i sterkstrøms kretser, men den er nyttig for fasekompensering. Husk at kapasitiv effekt er motsatt av induktiv effekt. På et skip vil den induktive effekten alltid være større enn den kapasitive effekten. Kapasitiv strøm ligger 90 grader foran nettspenningen.

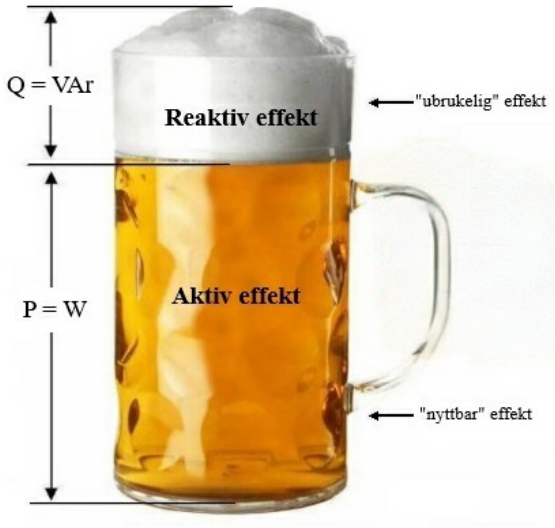
Skipets belastning består naturlig nok av både ohmsk og induktiv belastning.

Sammenligning av aktiv effekt og reaktiv effekt

Vi kan tenke oss at fasekompensering reduserer mengden skum i ølglasset, men at mengden øl er den samme.

Mengden øl tilsvarer i denne sammenligningen den aktive effekten P og skummet tilsvarer den reaktive effekten Q.

Vi ser for oss at skummet ikke kan nyttes til noe.



Effekt diagram (trekant)

Ved blanda belastninger hvor vi har resistans og reaktans så får vi faseforskyvning mellom strøm og spenning. Vi vil da ha tre effektformler som er gjeldende:

f(x)

TILSYNELATENDE EFFEKT

$$S = U * I$$

f(x)

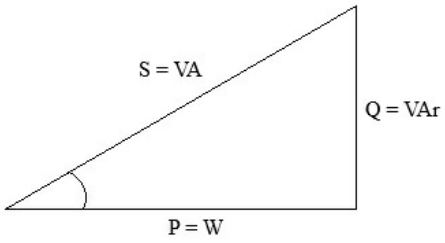
AKTIV EFFEKT

$$P = U * I * \cos\varphi$$

f(x)

REAKTIV EFFEKT

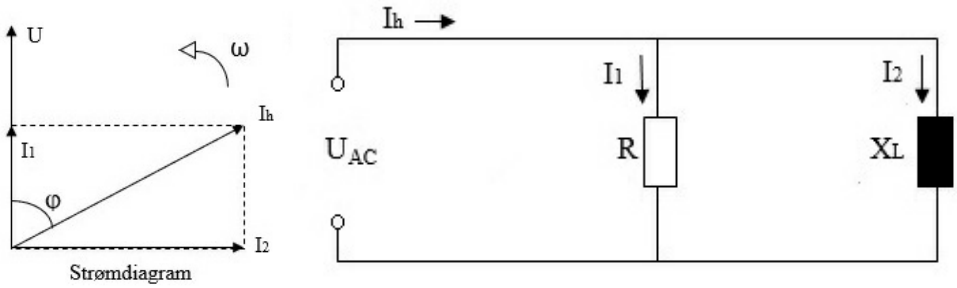
$$Q = U * I * \sin\varphi$$



Resistans og induktiv reaktans i parallell

Når vi har ulike motstander i parallell i en strømkrets, går vi ut fra at spenningen er den samme for alle greinene. Ved å bruke spenningen, resistansene og reaktansene, finner vi først hvor stor strømmen er og hvilken retning den har i hver enkelt grein.

Disse grenstrømmene legger vi så sammen geometrisk for å få hovedstrømmen.



Resistans og induktiv reaktans i parallell.

Strømmen I_1 gjennom resistansen R: $\rightarrow I_1 = \frac{U}{R}$

I strømdiagrammet ser vi at I_1 er i fase med spenningen U.

Strømmen I_2 gjennom reaktansen X_L: $\rightarrow I_2 = \frac{U}{X_L}$

I strømdiagrammet ser vi at I_2 ligger 90 ^{o} etter spenninga U.

Hovedstrømmen

$$I_h = \sqrt{I_R^2 + I_{X_L}^2}$$

eller

$$I_h = \sqrt{I_1^2 + I_2^2}$$



f(x)

FORMEL:

$$U_h = I_h * Z_t$$

f(x)

MOTSTANDSFORMELEN

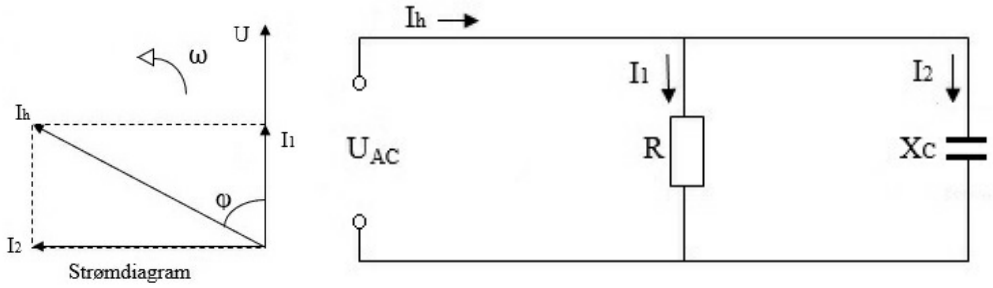
$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L}\right)^2}$$

eller

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L}\right)^2}}$$

Resistans og kapasitiv reaktans i parallell

Grenstrømmene setter vi sammen geometrisk og vi får da hovedstrømmen.



Strømmen I_1 gjennom resistansen R: $I_1 = \frac{U}{R}$

I strømdiagrammet ser vi at I_1 er i fase med spenningen U.

Strømmen I_2 gjennom reaktansen X_C er $\rightarrow I_2 = \frac{U}{X_C}$

I strømdiagrammet ser vi at I_2 ligger 90 ^{o} fram før spenninga U.



f(x)

HOVEDSTRØMMEN

$$I_h = \sqrt{I_R^2 + I_{X_C}^2}$$

eller

$$I_h = \sqrt{I_1^2 + I_2^2}$$

f(x)

FORMEL

$$U_h = I_h * Z_t$$

f(x)

MOTSTANDSFORMELEN

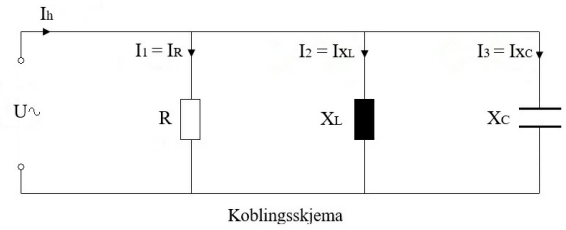
$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C}\right)^2}$$

eller

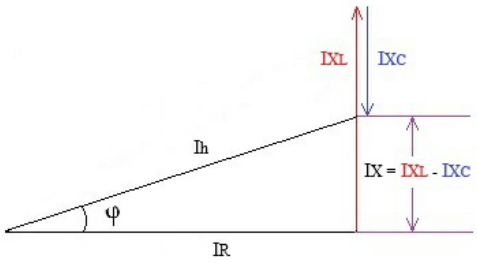
$$Z = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C}\right)^2}}$$

Resistans, induktiv reaktans og kapasitiv reaktans i parallell

For å finne impedansen Z direkte forutsettes det at vi har med rene reaktanser i hver grein.



Koblingsskjema



$$I_1 = \frac{U}{R} \quad I_2 = \frac{U}{X_L} \quad I_3 = \frac{U}{X_c}$$

Strømmen I_1 gjennom resistansen R er lik $\rightarrow \mathbf{I_1} = \frac{\mathbf{U}}{\mathbf{R}}$

Strømmen I_2 gjennom den induktive reaktansen X_L er lik $\rightarrow I_2 = \frac{\mathbf{U}}{\mathbf{X_L}}$

Strømmen I_3 gjennom den kapasitive reaktansen X_c er lik $\rightarrow \mathbf{I_3} = \frac{\mathbf{U}}{\mathbf{X_C}}$

Hovedstrømmen:

$$I_h = \sqrt{{I_1}^2 + (I_2 - I_3)^2}$$

f(x)

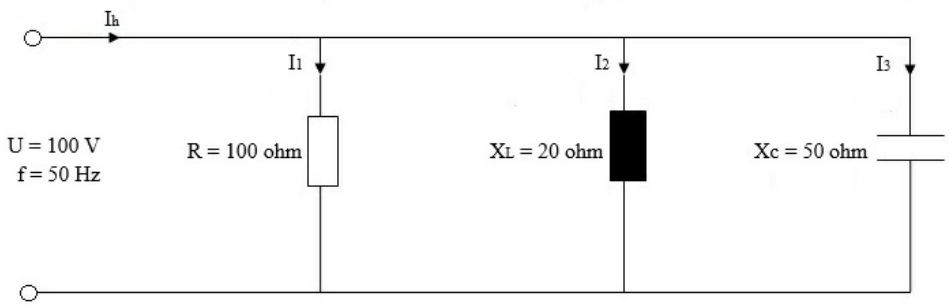
HOVEDFORMEL

$$U = I_h * Z$$

$$Z = \frac{U}{I_h}$$

$$Z = \frac{1}{(\frac{1}{R})^2 + (\frac{1}{\mathrm{XL}} - \frac{1}{\mathrm{Xc}})^2}$$

Eksempel med parallellkobling av rene reaktanser i hver grein



a) Finn grenstrømmene.

$$I_1 = \frac{U}{R} = \frac{100\,V}{100\,\Omega} = \underline{\underline{1\,A}}$$

$$I_2 = \frac{U}{\mathrm{XL}} = \frac{100}{20} = \underline{\underline{5A}}$$

$$I_3 = \frac{U}{\mathrm{Xc}} = \frac{100}{50} = \underline{\underline{2A}}$$

b) Finn hovedstrømmen.

$$I_h = \sqrt{{I_1}^2 + (I_2 - I_3)^2} = \sqrt{{1_1}^2 + (5 - 2)^2} = \underline{\underline{3,16A}}$$

c) Beregn impedansen i kretsen.

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{(\frac{1}{R})^2 + (\frac{1}{\mathrm{XL}} - \frac{1}{\mathrm{Xc}})^2} = \sqrt{(\frac{1}{100})^2 + (\frac{1}{50} - \frac{1}{20})^2} = \underline{\underline{31,6\,\Omega}}$$

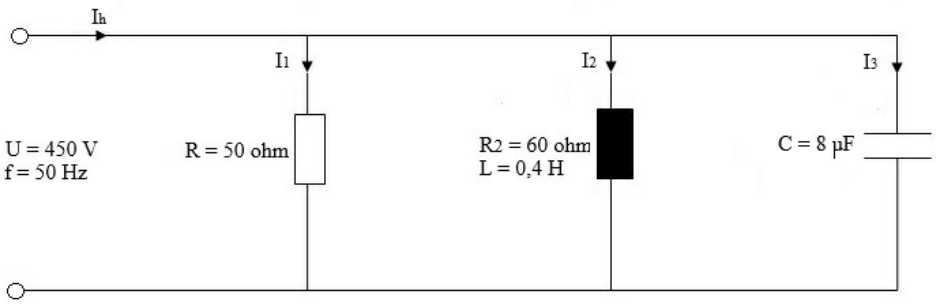
En enklere måte å egne det ut er:

$$Z = \frac{U}{I_h} = \frac{100}{3{,}16} = \underline{\underline{31,6\ \Omega}}$$

d) Beregn effektfaktoren for hele kretsen.

$$\cos\varphi = \frac{I_1}{I_h} = \frac{1}{3{,}16} = \underline{\underline{0,316}}$$

Eksempel med parallellkobling av urene reaktanser i greinene



Grein 1:

$$I_1 = I_{a1} = \frac{U}{R} = \frac{450}{50} = \underline{\underline{9\ A}}$$

Grein 2:

$$X_L = 2 * \pi * f * L = 2 * \pi * 50 * 0,4 = \underline{\underline{125,6\ \Omega}}$$

$$Z_2 = \sqrt{{R_2}^2 + {X_L}^2} = \sqrt{60^2 + 125,6^2} = \underline{\underline{139,2\ \Omega}}$$

$$I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{450}{139{,}2} = \underline{\underline{3,23\ A}}$$

$$\cos\varphi_2 = \frac{R_2}{Z_2} = \frac{60}{139.2} = \underline{0.431}$$

$$\sin\varphi_2 = \underline{0.902}$$

$$I_{a2} = I_h * \cos\varphi_2 = 3,23 * 0,431 = \underline{1,39A}$$

$$I_{r2} = I_h * \sin\varphi_2 = 3,23 * 0,902 = \underline{2,91A}$$

Grein 3:

$$X_C = \frac{1}{2*\pi*f*C} = \frac{1}{2*\pi*50*8*10^{-6}} = \underline{398\ \Omega}$$

$$I_{r3} = \frac{U}{X_C} = \frac{450}{398} = \underline{\underline{1,13\ A}}$$

Hovedstrømmen:

$$I_{\text{at}} = I_{a1} + I_{a2} = 9 + 1,39 = \underline{10,39\ A}$$

$$I_{\text{rt}} = I_{r2} + I_{r3} = 2,91 - 1,13 = \underline{1,78\ A}$$

$$I_h = \sqrt{{I_{\text{at}}}^2 + {I_{\text{rt}}}^2} = \sqrt{10,39^2 + 1,78^2} = \underline{\underline{10,5\ A}}$$

$$\cos\varphi_t = \frac{I_{\text{at}}}{I_h} = \frac{10,39}{10,5} = \underline{\underline{0,9856}}$$

$$Z_t = \frac{U}{I_h} = \frac{450}{10,5} = \underline{\underline{43\ \Omega}}$$

Fasekompensering i en vekselstrømkrets

FASEKOMPENSERING I EN VEKSELSTRØMKRETS

I en likestrøms krets med en spole eller ohmsk belastning, vil strøm og spenning alltid være i fase. Men hvis vi plasserer en spole i en vekselstrøms krets, vil det oppstå en faseforskyvning mellom strøm og spenning. Dette betyr at strømmen vil ligge etter spenningen i fase på grunn av resistansen og det magnetiske feltet som skifter retning. Vi finner slike strømkretser i kontaktorspoler, relespoler og drosselspoler, som i lysrørarmaturer.

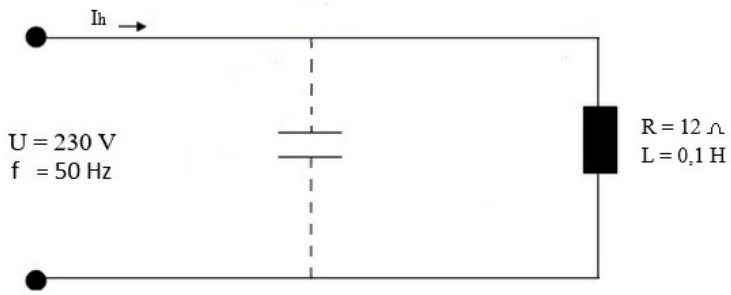
Hovedstrømmen i en krets med resistans og selvinduktans består av to komponenter: en aktiv strøm som dekker aktiv effekt, og en reaktiv strøm som dekker den reaktive effekten som trengs for å bygge opp det magnetiske feltet i spolen.

Den reaktive energien leveres av strømkilden når magnetfeltet bygges opp og returneres når magnetfeltet avtar, og pendler mellom strømkilde og ytre strømkrets. Den induktive reaktive strømmen kalles magnetiseringsstrøm og belaster strømkilder, overføringslinjer og transformatorer, forårsaker effekttap og spenningstap.

Den aktive komponenten bestemmer apparatets omsetning av aktiv energi, som ikke returneres til strømkilden. Den reaktive komponenten er nødvendig for apparatets virkemåte og forlater ikke det elektriske systemet, men pendler mellom strømkilde og apparat. Den reaktive energien kan lagres i nærheten av apparatet ved hjelp av kondensatorer.

Et eksempel på fasekompensering

Vi har en spole som har en resistans på 12 Ω og en induktans på 0,1 H. Vi skal først beregne strømmen som blir levert fra nettet og effektfaktoren.



$$X_L = 2 * \pi * f * L = 2 * \pi * 50 * 0,1 = \underline{31,42\ \Omega}$$

$$Z_t = \sqrt{R^2 + {X_L}^2} = \sqrt{12^2 + 31,42^2} = \underline{33,63\ \Omega}$$

$$I_h = \frac{U}{Z} = \frac{230}{33,63} = \underline{\underline{6,84\ A}}$$

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{12}{33,63} = \underline{0,3568} \quad \sin\varphi = \underline{0,9342}$$

Nå skal vi fase kompensere, da kobler vi en kondensator i parallell med spolen.

Den aktive strømmen blir ikke forandret.

$$I_a = I_h * \cos\varphi = 6,84 * 0,3568 = \underline{2,44\ A}$$

Det vi ønsker er å redusere den reaktive strømmen.

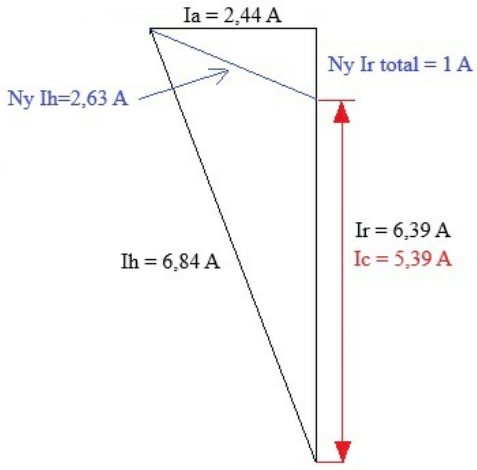
$$I_r = I_h * \sin\varphi = 6,84 * 0,9342 = \underline{6,39\ A}$$

Vi kan si at vi ikke vil ha større reaktiv strøm enn 1 A

Vi ser at den reaktive strømmen er mye større enn den aktive strømmen og dette medfører at vi har en dårlig effektfaktor. Og i dette tilfelle er den cos φ = 0,3568. Vi ønsker at den reaktive strømmen fra nettet skal være I A, og da må kondensatoren ta opp en reaktiv strøm som er lik:

$$I_C = I_r - I_{r\,ny} = 6,39 - 1 = \underline{5,39A}$$

Se strømdiagrammene under.



Før kompensering har vi følgende strømmer:

$$I_{\mathrm{a}} = 2,44\ A \qquad I_h = 6,84\ A \qquad I_r = 6,39\ A$$

Etter kompensering har vi følgende strømmer:

Ia vil ikke forandre seg, så den er fortsatt 2,44 A.

Vi sette ny $Ir = \underline{1A}$

$$\text{Ny } I_h = \sqrt{{I_a}^2 + {I_r}^2} = \sqrt{2,44^2 + 1^2} = \underline{\underline{2,63\ A}}$$

Vi skal nå beregne størrelsen i µF som kondensatoren må ha for å trekke en induktiv strøm som er lik differansen mellom reaktiv strøm før og etter fasekompensering.

$$I_C = I_r - ny\ I_r = 6,39 - 1 = \underline{5,39\ A}$$

$$U = I_C * X_C = I_C * \frac{1}{2*\pi*f*C} = \frac{I_C}{2*\pi*f*C} \quad \rightarrow$$

$$C = \frac{I_C}{U*2*\pi*f} = \frac{5,39}{230*2*\pi*50} = 74,6 * 10^{-6} = \underline{\underline{74,6\ \mu F}}$$

Sammendrag fasekompensering

Σ

SAMMENDRAG FASEKOMPENSERING

Fasekompensering er en teknikk som brukes for å forbedre effektiviteten i elektriske systemer, spesielt i vekselstrøms kretser. Hovedmålet med fasekompensering er å redusere reaktiv effekt og forbedre strømkvaliteten. Her er noen spesifikke bruksområder:

1. **Reduksjon av reaktiv effekt**: Ved å bruke kondensatorer eller andre komponenter for å kompensere for induktive laster, kan vi redusere mengden reaktiv effekt som pendler mellom strømkilden og lasten. Dette forbedrer systemets effektivitet.

2. **Økning av effektfaktoren**: Fasekompensering øker effektfaktoren (forholdet mellom aktiv effekt og tilsynelatende effekt), noe som betyr at mer av den tilførte energien brukes effektivt. Dette kan redusere energikostnadene og forbedre systemytelsen.

3. **Reduksjon av tap i overføringslinjer**: Ved å kompensere for faseforskyvning, reduserer vi energitapene i overføringslinjer og transformatorer, noe som fører til mindre varmeutvikling og høyere effektivitet.

4. **Stabilisering av spenningsnivåer**: Fasekompensering kan bidra til å stabilisere spenningsnivåene i elektriske systemer, noe som er viktig for å opprettholde stabil drift av elektrisk utstyr og maskineri.

5. **Forbedring av strømforsyningskvalitet**: Med fasekompensering kan vi redusere harmoniske forvrengninger og forbedre den generelle kvaliteten på strømforsyningen.
   I praksis brukes fasekompensering ofte i industrien, spesielt der store motorer og transformatorer er involvert, for å sikre at elektriske systemer opererer med optimal effektivitet og pålitelighet.

Kap 4 Trefasesystemet

Trefase vekselstrøm (3-fase AC)

TREFASE VEKSELSTRØM (3-FASE AC)

Trefase vekselstrøm er en strømforsyningsmetode hvor tre separate strømførende ledere fører vekselstrøm med en faseforskjell på 120° mellom hver fase. Dette brukes hovedsakelig i kraftproduksjon, industri og skipsinstallasjoner, fordi det gir en mer effektiv og balansert energioverføring enn enfase vekselstrøm.

Innledning trefase vekselstrøm

- Tre spenninger i stedet for én.
- I et trefasesystem har vi tre strømførende ledere (L1, L2, L3), hvor spenningen mellom dem varierer sinusformet, men forskjøvet med 120°.
- Jevnere kraftoverføring.
-
  - Fordi hver fase når sin maksimale spenning til forskjellig tid, blir kraftoverføringen kontinuerlig og balansert – i motsetning til enfase, som har "pauser" i effektleveransen.
- Trefase generatorer og motorer.
- Generatorer på skip produserer trefase vekselstrøm.
- Elektriske motorer i skipsfremdrift drives med trefase, fordi det gir høyere ytelse og mindre vibrasjoner enn enfase.

Spenningsforhold i et trefasesystem

I et trefasesystem har vi to viktige spenningsbegreper:

- Fasespenning (U_f) – Spenningen mellom en faseleder og nøytral.
- Hovedspenning (U_h) – Spenningen mellom to faseledere.

Fordeler med trefase vekselstrøm

- Mindre tap i kraftoverføring – Krever tynnere kabler enn enfase for samme effekt.
- Effektiv drift av motorer – Trefasemotorer er mer effektive enn enfasemotorer.
- Jevnere effektuttak – Kraften leveres mer stabilt enn i enfase.
- Lavere strømforbruk per leder – Strømmen fordeles jevnt mellom tre faser.

Koblingsmetoder for trefase

Det finnes to hovedmåter å koble et trefasesystem på:

Stjernekobling (Y-kobling)

- Hver fase er koblet til en felles nøytralpunkt.
- Brukes ofte i fordelingsnett.
- Gir to tilgjengelige spenninger (fase--nøytral og fase--fase).
- Eksempel: 230V fasespenning → 400V hovedspenning.

Trekantkobling (Δ-kobling)

- Ingen nøytral, fasene er koblet i en trekant.
- Brukes ofte i elektriske motorer og industrielle systemer.
- Gir bare én tilgjengelig spenning (hovedspenning).

Bruk av trefase i skipsinstallasjoner

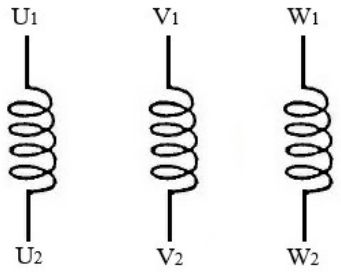
På skip brukes trefase vekselstrøm til

- Hovedtavle og fordelingstavler – Distribuerer strøm til ulike systemer.
- Skipsgeneratorer – Produserer trefase strøm (ofte 400V eller 690V, 50 Hz).
- Elektriske fremdriftsmotorer – Store skip bruker elektriske motorer drevet av trefase vekselstrøm.
- Pumper, vinsjer og annet maskineri – Trefasemotorer driver viktig utstyr.

Hvordan fungerer tre-fase vekselstrøm

Til nå har vi bare sett på enfaset vekselspenning og vekselstrøm (en-fase systemet). Vi skal nå se på hvordan tre-fase systemet virker. Let vi flere uavhengige viklinger rotere i et magnetisk felt (polene frembringer feltet) eller feltet rotere forbi flere uavhengige viklinger, kommer det fram et flerfasesystem som er et trefasesystem. De ulike viklingene kalles faseviklinger. Hver fasevikling vil indusere en fasestrøm og en fasespenning. Trefasesystemet har tre uavhengige viklinger og vi tenker oss at dem er utlagt hver for seg slik som figuren under viser.

Inngangssiden er merket med indeks 1.

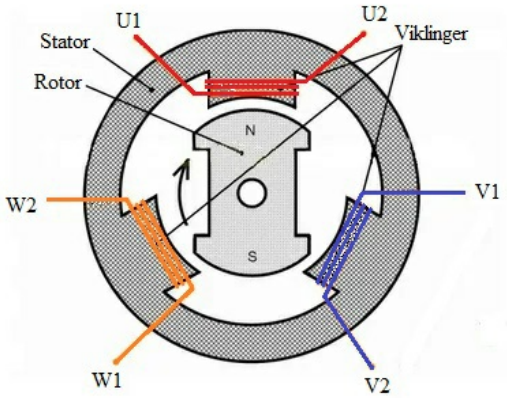


Utgangssiden er merket med indeks 2.

Trefase generator

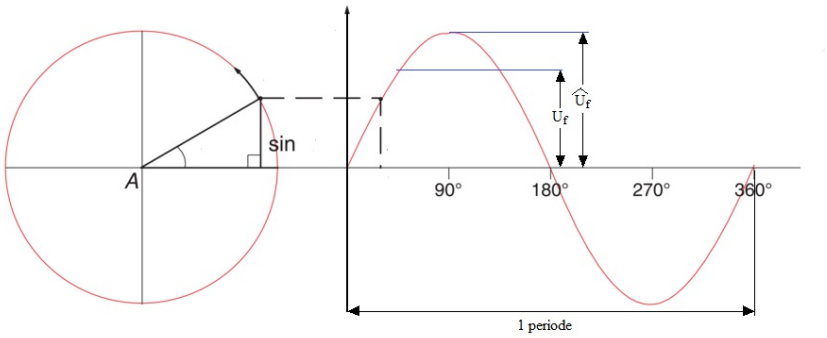
TREFASE GENERATOR

Når strømkilden er en trefaset synkrongenerator som vi har ombord i skip, så kan vi prinsipielt tenke oss viklingene lagt i generator slik som figuren under viser.



Rotoren som består av en nordpol og sydpol vil frembringe et stående magnetfelt som igjen er bestemt av magnetiseringsstrømmen som er en likestrøm tilført polhjulet. Viklingssettene blir normalt lagt i spor i stator, som er den stillestående delen av generatoren.

Figuren under viser en spenningskurve fra en fasevikling. Vi skal nå ta for oss spenningens toppverdi (amplitudeverdi) og spenningens effektivverdi. Utgangspunktet er at trefasespenningen har en effektivverdi på 440 volt.



Spenningskurve fra en fasevikling

Spenningens toppverdi og effektivverdi

SPENNINGENS TOPPVERDI OG EFFEKTIVVERDI

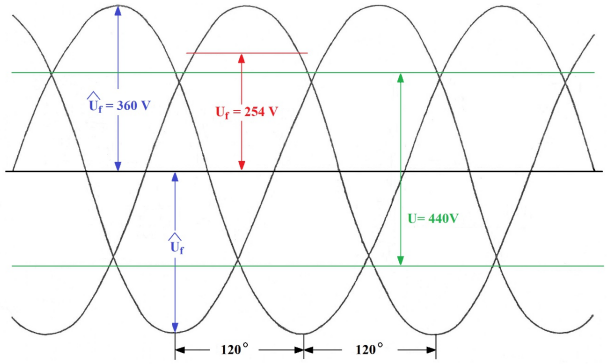
Spenningens toppverdi per fasevikling er 360 volt, og denne spenningen kan vi kun måle med et oscilloskop. Spenningen som lar seg måle med et voltmeter kaller vi for effektivverdien av spenningen. Denne spenningen lar seg beregne når man kjenner spenningens toppverdi.

> Fasespenningens effektivverdi: $U_f = 360 * 0,707 = \underline{254V}$

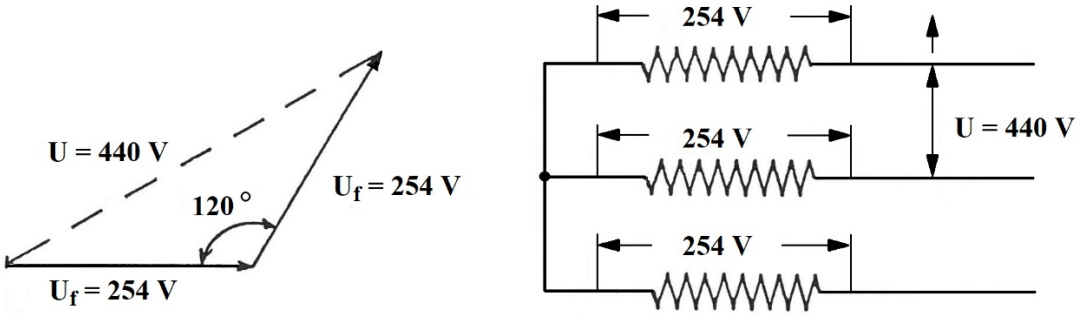
Ser vi på figuren rent matematisk så kan vi sette høyden på kurven lik 1, da blir høyden på effektivverdien lik 0,707.

Tallet 0,707 er den inverse verdien av $\sqrt{2}$.

Vi skal nå se på alle tre spenningskurvene satt sammen, med 120 elektriske grader forsinkelse mellom hver spenningskurve. Det grønne feltet på figuren under skal illustrere spenningen på 440 volt som vi kan måle med et voltmeter.



Når vi skal måle spenningens hoved verdi som er lik 440 V, så måler vi mellom to av fasene. Vi vet at fasene er forskjøvet seg imellom med 120 elektriske grader. Vi tegner opp to vektorer med 120° vridning i forhold til hverandre, og lar vektorens lengde representere fasespenningen på 254 V.



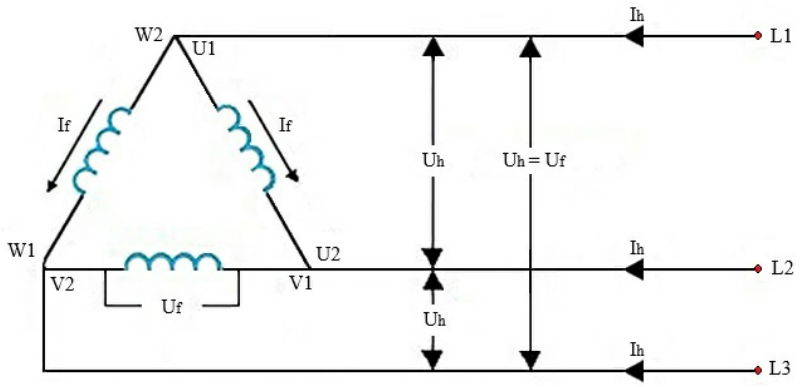
Det jeg nå har gjort er å ha løst denne målingen grafisk, ved å måle mellom to av fasene.

Koblingstyper

Trekantkobling

Det er to måter å kople viklingssettene sammen på, og det er enten i trekantkopling eller i stjernekopling. Figuren under viser en trekant kobling. Symbolet for trekantkobling er Δ eller bokstaven D (delta). Trekantkobling er en kobling av de tre faseviklingene i en motor, trafo eller andre trefase apparater, slik at viklingene danner en lukket trekant med en elektrisk fasevinkel på 120° mellom dem.

> $U_h = U_{hoved}$ $U_f = U_{fase}$ $I_h = I_{hoved}$ $I_f = I_{fase}$

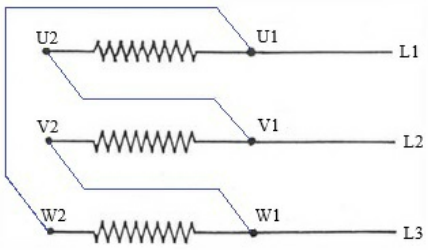


Figuren under viser en annen måten å tegne trekanten på, begge er like riktig å bruke.

f(x)

FORMLER FOR TREKANT KOBLING:

$U_f = U_h$ $I_f = \frac{I_h}{\sqrt{3}}$ $I_h = I_f * \sqrt{3}$



I en trekantkoping er hovedspenningen lik fasespenningen og hovedstrømmen er lik $\sqrt{3}$ ganger fasestrømmen.

Stjernekobling

STJERNEKOBLING

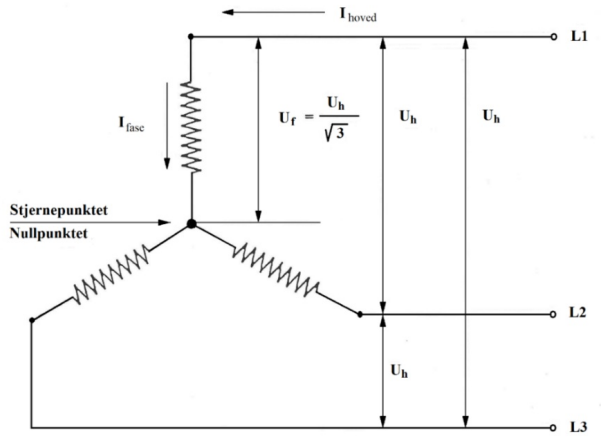
Stjernekobling, kobling av de tre faseviklinger i en motor, trafo eller andre vekselstrøms apparater, slik at viklingene danner en stjerne med en elektrisk fasevinkel på 120° mellom fasene.

Figuren under viser hvordan stjernekoplingen utføres med sine faseverdier og hoved verdier.

$$I_{\text{fase}} = I_{\text{hoved}}$$

$$U_{\text{fase}} = \frac{U_{\text{hoved}}}{\sqrt{3}}$$

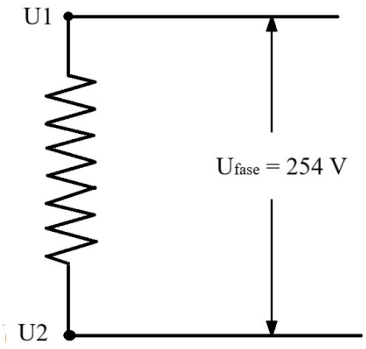
$$U_{\text{hoved}} = U_{\text{fase}} * \sqrt{3}$$



I en stjernekopling er hovedspenningen lik $\sqrt{3}$ ganger fasespenningen, og hovedstrømmen er lik fasestrømmen.

Fasespenning og fasestrøm

Spenningen og strømmen som blir fremstilt i en fasevikling blir på fagspråket kalt for fasespenning og fasestrøm. Vi skal nå ta for oss et viklingssett og se på hvilken spenning dette tåler.



Viklingssettet skal for eksempel produsere eller mota en spenning på 254 V. Denne spenningen kalles da for fasespenningen, og den kan da ikke belastes med høyere volt verdi enn 254 V. Belastes viklingen likevel med en høyere spenningsverdi som ligger utenfor 10 % toleransen så vil viklingen ta skade av dette.
Ved at vi kan kople alle tre viklingssettene sammen til enten en trekantkopling eller en stjernekopling gjør at vi kan bruke disse to koplingsmetodene på to forskjellige spenninger.

Ser vi først på trekantkoblingen så vil vi se at hver fase vil få hovedspenningen direkte. Dette vil igjen si at hovedspenningen ikke må overskride fasespenningens verdi. Altså i dette tilfelle tåler trekantkoblingen en hovedspenning på 254 V.

Fordi at **fasespenningen = hovedspenningen** (linjespenningen).

Ved å koble viklingssettene i stjernekobling så kan vi øke linjespenningen, som er lik fasespenningen ganger $\sqrt{3}$.

Dette medfører at vi kan tilkoble stjernekoblingen en spenningsverdi på 440 V.

Fordi:

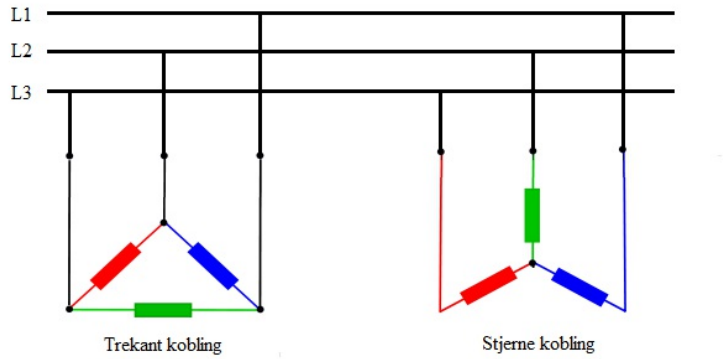
$$U_h = U_f * \sqrt{3} = 254 * \sqrt{3} = 440 \text{ V}$$

Dette medfører at hvis man har to spenningsnivåer som tilhører samme fasesystem så skal den laveste spenningen tilkoples i trekantkopling, og den høyeste spenningen tilkoples i stjernekobling.

På side 5 kan vi av figuren som viser en stjernekopling se at linjespenningen fordeler seg over to av fasene. Dette medfører at faseviklingen får den spenningen som den er beregnet for.

Bruker man samme spenningen dvs. 254 V både til trekantkopling og stjernekopling så vil faseviklingen i trekantkoplingen fortsatt få full linjespenning dvs. 254 V, men faseviklingen i stjernekoblingen nå vil få en mindre spenning som er lik 254 V dividert på $\sqrt{3}$ dette fordi hovedspenningen delvis blir fordelt over to av faseviklingene. Altså vi har en linjespenning på 254 V, da vil stjernekoplingen gi en spenning over hver fase som er lik:

$$U_f = \frac{U_h}{\sqrt{3}} = \frac{254}{\sqrt{3}} = 146,6\ V$$



Tar vi for oss de to figurene ovenfor hvor vi har en stjerne koplet last og en trekant koplet last med den samme resistansen og begge er tilkoplet den samme spenningen så vil fasestrømmen i stjernekoplingen bli lik fasestrømmen i trekant dividert på $\sqrt{3}$.

$$I_{Y_{\text{fase}}} = \frac{I_{\Delta_{\text{fase}}}}{\sqrt{3}}$$

Tommelfingerregelen for dette blir at når vi kobler om fra trekantkopling til stjernekopling med den samme spenningen så synker strømmen i stjernekoplingen med 2/3.

Det samme kan vi si skjer med den aktive effekten den synker også med 2/3 fra trekantkopling til stjernekopling ved samme spenningen.

$$P_\Delta = 3 * P_Y$$

Reaktiv belastning

REAKTIV BELASTNING

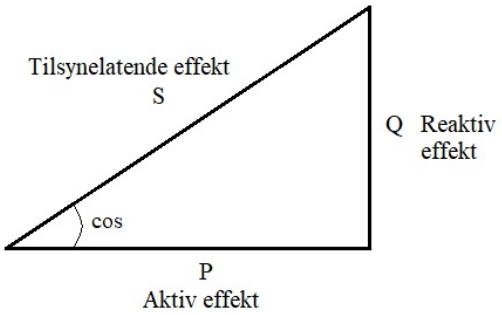
Ved blandet belastning hvor vi har resistans og reaktans så får vi faseforskyvning mellom strøm og spenning. Vi vil nå ha tre effektformler som er gjeldene. Vi har en effektformel som vi kaller den tilsynelatende effekt og denne er bestemt av hovedstrømmen i kretsen. Så har vi en effekt formel som vi kaller aktiv effekt som er bestemt av den aktive strømkomponenten.

Den siste effektformelen kaller vi den reaktive effekt og den er bestemt av den reaktive strømkomponenten.

Tilsynelatende effekt: $S = \sqrt{3} * U * I$
Aktiv effekt: $P = \sqrt{3} * U * I * \cos\varphi$
Reaktiv effekt: $Q = \sqrt{3} * U * I$ * $\sin\varphi$

Vi kan nå sette sammen alle tre effektene geometrisk til en effekttrekant med spenningen som referanse.

Effekttrekant eller effektdiagram



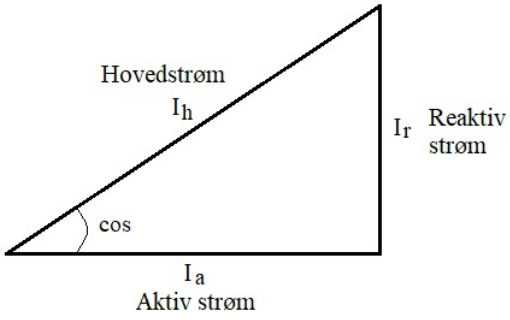
Strømtrekant eller strømdiagram

STRØMTREKANT ELLER STRØMDIAGRAM

Strømkomponentene kan vi også sette sammen geometrisk til en strømtrekant. Og denne strømtrekanten er likedannet med effekttrekanten. Dette vil igjen si at trekantene har like vinkler, og dette medfører at effektfaktoren er lik.

$I_h = \frac{S}{\sqrt{3} * U}$ eller den formelen som er mest brukt $I_h = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos\varphi}$

$\cos\varphi = \frac{Ia}{Ir}$


Hovedstrøm
I_h
I_r Reaktiv strøm
cos
I_a
Aktiv strøm

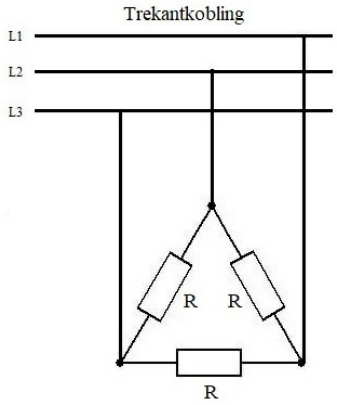
Eksempel beregningsoppgaver:

Eksempeloppgave 1

EKSEMPELOPPGAVE 1

Tre like motstander koples i trekant, og spenningen er hentet fra et trefasenett på 400 V. I prinsippet er dette en komfyr som benyttes f.eks. om bord i skip, og hvor vi har tatt for oss en plate. Platen trekker 2700 W i trekant ved 400 V.

a) Beregn strømmen gjennom hver motstand i trekantkoplingen.
b) Beregn resistansen i en motstand.
c) Beregn strømmen gjennom hver motstand i stjernekopling.
d) Beregn den aktive effekten for platen i stjernekopling.



a)

$$P_{t\,(total)} = \sqrt{3} * \ U_h * \ I_h \ * \cos\varphi$$

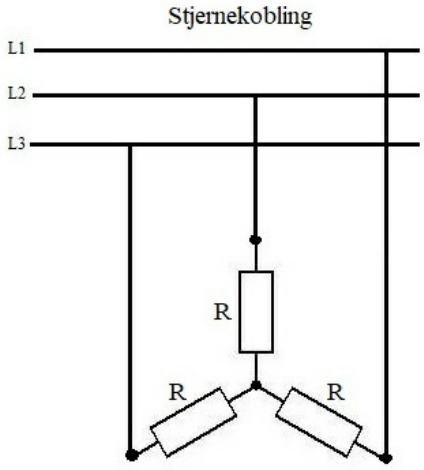
I dette tilfelle (resistiv last) er cos ϕ = 1

$$I_h = \frac{P_t}{\sqrt{3} * U} = \frac{2700}{\sqrt{3} * 400} = \underline{\underline{3,9\ A}}$$

$$I_f = \frac{I_h}{\sqrt{3}} = \frac{3,9}{\sqrt{3}} = \underline{\underline{2,25\ A}}$$

b)

$$U_f = I_f * R_f \quad R_f = \frac{U_f}{I_f} = \frac{400}{2{,}25} = \underline{\underline{177,78\ \Omega}}$$



c)

$$U_f = \frac{U_h}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = \text{ 230,9 V}$$

$$U_f = I_f * R_f I_f = I_h = \frac{U_f}{R_f} = \frac{230{,}9}{177{,}78} = \underline{\underline{1,3A}}$$

(Kontroll: 1,3 A * 3 = 3,9 A)

d)

$$P_Y = \sqrt{3} * U * I * \cos\varphi = \sqrt{3} * 400 * 1,3 * 1 = \underline{\underline{900,67W}}$$

(Kontroll: 900 * 3 = 2700 W)

Eksempeloppgave 2

EKSEMPELOPPGAVE 2

Tre like spoler er satt sammen til en stjernekopling og tilkoblet en trefasespenning på 440 V - 60 Hz. Hver spole er i utgangspunktet laget for å tåle en spenning på 440 V.

En spole har følgende verdier: R = 12 ohm, XL = 8 ohm.

a) Beregn selvinduktansen L for hver spole.
b) Beregn impedansen Z for hver spole.
c) Beregn fasespenningen (U_f) for hver spole.
d) Beregn tilført strøm til stjernekoplingen.
e) Beregn stjernekoplingens effektfaktor.
f) Beregn den tilsynelatende effekt, den aktive effekt og den reaktive effekt for stjernekoplingen.

Så kopler vi om fra stjernekopling til trekantkopling med den samme spenningen.

g) Hva blir nå hovedstrømmen og den totale aktive effekt for trekantkoplingen?

Løsningsforslag

a)

$$X_L = 2 * \pi * f * L \qquad L = \frac{X_L}{2 * \pi * f} = \frac{8}{2 * \pi * 60} = \underline{\underline{0,021 \text{ H per spole}}}$$

b)

$$Z = \sqrt{R^2 + {X_L}^2} = \sqrt{12^2 + 8^2} = \underline{\underline{14,42 \ \Omega \text{ per fase}}}$$

c)

$$U_f = \frac{U_h}{\sqrt{3}} = \frac{440}{\sqrt{3}} = \underline{\underline{254V \text{ per fase}}}$$

d) Ved stjernekobling er

$$I_{\text{fase}} = I_{\text{hoved}}$$

Vi må ta utgangspunkt i faseverdiene

$$I_f = \frac{U_f}{Z_f} = \frac{254}{14,42} = \underline{\underline{17,61A}}$$

e)

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{12}{14{,}42} = \underline{\underline{0,832}} \qquad \sin\varphi = \underline{0,5545}$$

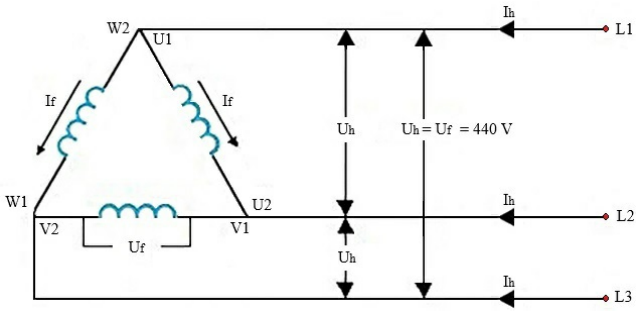
f)

$$S = \sqrt{3} * U * I = \sqrt{3} * 440 * 17,61 = \underline{\underline{13423,48\ \text{VA}}}$$

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos\varphi = \sqrt{3} * 440 * 17,61 * 0,832 = \underline{\underline{11.168{,}34\ \text{W}}}$$

$$Q = \sqrt{3} * U * I * \sin\varphi = \sqrt{3} * 440 * 17,61 * 0,5545 = \underline{\underline{7.441,86}}$$

g)



Ved trekantkobling er $U_{fase} = U_{hoved}$

Vi forholder oss til faseverdiene.

$$U_f = I_f * Z_f$$

$$I_f = \frac{U_f}{Z_f} = \frac{440}{14{,}42} = \underline{\underline{30,51A}}$$

$$I_h = I_f * \sqrt{3} = 30,51 * \sqrt{3} = \underline{\underline{52,85A}}$$

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos\varphi = \sqrt{3} * 440 * 52,85 * 0,832 = \underline{\underline{33510W}}$$

Vi kan kontrollere om dette er rett:

$$I_{h\Delta} = I_{\text{hY}} * 3 = 17,61 * 3 = \underline{\underline{52,83A}}$$

$$P_\Delta = P_Y * 3 = 11168,34 * 3 = \underline{\underline{33505W}}$$

Kap 5 Elektronikk

Diode

DIODE

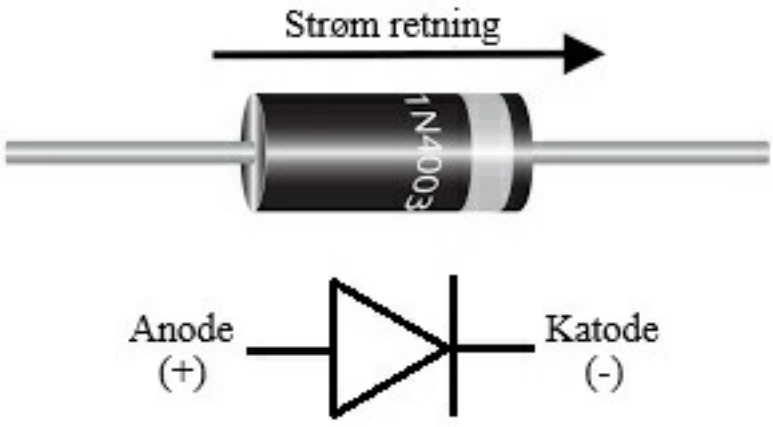
En diode er en elektronisk komponent som lar strøm gå én vei, men blokkerer den andre veien. Den fungerer som en elektrisk enveiskjøring.

Oppbygning av en diode

En standard diode består av et PN-overgang laget av halvledermaterialer, ofte silisium (Si). Den har to terminaler:

1. **Anode (+)** – Den positive siden.
2. **Katode (-)** – Den negative siden.

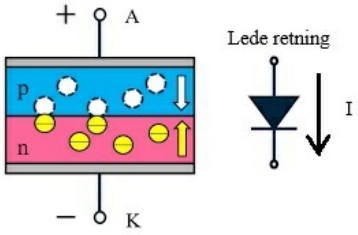
På dioder er katoden ofte merket med en strek.



Hvordan fungerer en diode?

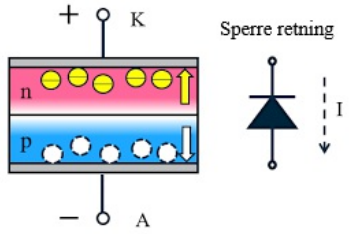
1. Framover polarisering (leder strøm)

- Når anoden er positiv i forhold til katoden, åpner dioden og lar strøm passere.
- Spenningen over dioden må være høyere enn terskelspenningen (~0,7V for silisiumdioder, ~0,3V for germaniumdioder).
- Elektroner beveger seg fra katoden til anoden, mens hull beveger seg motsatt.



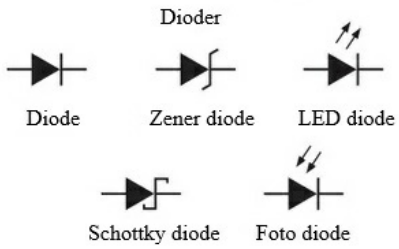
2. Sperrepolarisering (blokkerer strøm)

- Når katoden er mer positiv enn anoden, blokkerer dioden strømmen.
- PN-overgangen utvides, og ingen ladningsbærere kan krysse.



Typer dioder og bruksområder

- Standarddiode – Vanlig retningsstyrt strømflyt (ensrettere).
- Zenerdiode – Leder baklengs ved en spesifikk spenning (spenningsregulering).
- LED (Light Emitting Diode) – Sender ut lys når strøm går gjennom.
- Schottky-diode – Rask og lav spenning, brukt i høyfrekvente kretser.
- Fotodiode – Reagerer på lys og brukes i sensorer.



Konklusjon

Σ

KONKLUSJON

Dioder brukes overalt i elektronikk – fra mobilladere til LED-lys og solceller!

Transistor

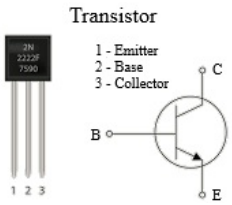
TRANSISTOR

En transistor er en halvlederkomponent som fungerer som en elektronisk bryter eller forsterker. Den er en av de viktigste komponentene i moderne elektronikk.

Oppbygning av en transistor.

Transistorer er laget av halvledermateriale (vanligvis silisium). De har tre terminaler:

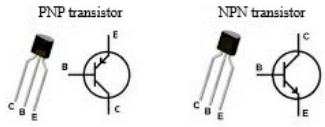
1. Base (B) – Styrer strømflyten.
2. Kollektor (C) – Tar imot hovedstrømmen.
3. Emitter (E) – Sender ut strøm.



To hovedtyper av transistorer:

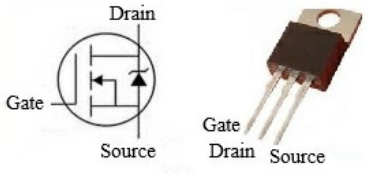
Bipolar junction transistor (BJT) – Bruker både elektroner og hull for å lede strøm.

- NPN-transistor (vanligst)
- PNP-transistor



Field-effect transistor (FET) – Styres av et elektrisk felt.

- MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor FET) (mest brukt i digitale kretser)



Hvordan fungerer en transistor?

A) Bipolar junction transistor (BJT)

1. NPN-transistor (mest vanlig).
- Liten strøm inn i basen → Stor strøm fra kollektor til emitter.
- Krever en positiv spenning mellom base og emitter (~0,7V for silisium).
- Oppfører seg som en forsterker eller bryter.

Bryterfunksjon

- Når basen får en liten strøm, slår transistoren på, og strøm flyter fra kollektor til emitter.
- Når basestrømmen fjernes, slår transistoren av, og strøm stopper.

Forsterkerfunksjon

- En liten strøm inn på basen kan styre en mye større strøm mellom kollektor og emitter.

2. PNP-transistor

- Fungerer motsatt av en NPN.
- Strøm flyter fra emitter til kollektor når basen er mer negativ enn emitter.

B) MOSFET (Field-Effect Transistor)

- Styres av en spenning, ikke en strøm.
- Har tre terminaler: Gate (G), Drain (D), Source (S).
- Når en spenning legges på gaten, åpnes en kanal mellom drain og source, slik at strøm kan flyte.

- MOSFET-er er svært raske og brukes i digitale kretser og datamaskiner.

Bruksområder for transistorer

- Forsterkere – Øker signalstyrken i høyttalere, radioer og mikrofoner.
- Brytere – Brukes i databrikker, logiske kretser og elektroniske enheter.
- Effektkontroll – Styrer motorer, LED-lys og strømforsyninger.

Σ

KONKLUSJON

Transistorer er hjertet i moderne elektronikk. De fungerer enten som brytere eller forsterkere og finnes i alt fra datamaskiner til mobiltelefoner!

TRIAC

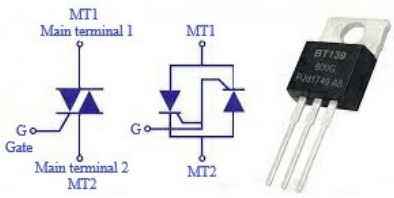
TRIAC

En TRIAC (Triode for Alternating Current) er en halvlederbryter som brukes til å styre vekselstrøm (AC). Den fungerer som en dobbel tyristor, slik at den kan lede strøm i begge retninger. Dette gjør den nyttig i dimmere, motorstyring og effektregulering.

Oppbygning av en TRIAC

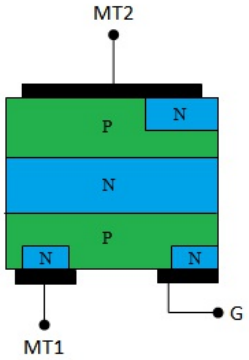
En TRIAC har tre terminaler:

1. Anode 1 (A1) / Main Terminal 1 (MT1)
2. Anode 2 (A2) / Main Terminal 2 (MT2)
3. Gate (G) – Styringsinngang som trigger TRIAC-en.



Struktur

- Består av fem halvlederlag (PNPNP).
- Symmetrisk ledning – strøm kan gå begge veier når den er aktivert.



Hvordan virker en TRIAC?

En TRIAC fungerer som en bryter for vekselstrøm, men kan lede strøm i begge retninger når den trigges.

A) Når TRIAC-en er AV (blokkerer strøm)

- Ingen spenning på Gate, så leder ikke TRIAC-en.

B) Når TRIAC-en er PÅ (leder strøm)

- En liten strøm på Gate (enten positiv eller negativ) aktiverer TRIAC-en.
- Når den er aktivert, forblir den på til strømmen faller til null (i vekselstrøm skjer dette automatisk hver halvsyklus).

Hvordan styres en TRIAC?

- Trigger med positiv eller negativ gate-puls (kan aktiveres i begge polariteter).
- Slår seg av automatisk når strømmen gjennom den går til null.
- Kan kontrolleres med f.eks. en mikroprosessor eller optokobler.

Bruksområder for en TRIAC

- Lys dimmere – Regulerer lysstyrken i lamper.
- Fartskontroll for motorer – Brukes i boremaskiner, vifter osv.
- Varmeregulering – Styring av elektriske varmeovner.
- Effektregulering i induksjonsovner og transformatorer.

Σ

KONKLUSJON

En TRIAC er en halvlederbryter for vekselstrøm som kan lede strøm begge veier når den aktiveres. Den brukes i dimmere, motorstyring og effektregulering for å kontrollere strømflyt effektivt.

Tyristor

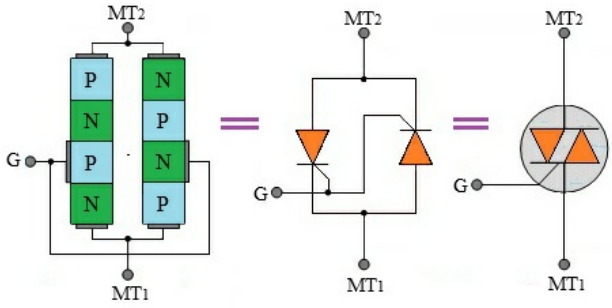
TYRISTOR

En tyristor (også kalt SCR – Silicon Controlled Rectifier) er en halvlederbryter som leder strøm i kun én retning og brukes ofte i høyspennings- og høyeffektsystemer. Den fungerer som en kontrollerbar diode, der en liten styrestrøm kan slå den på, men den slår seg bare av når strømmen faller til null.

Oppbygning av en Tyristor

En tyristor har fire halvlederlag (PNPN) og tre terminaler:

1. Anode (A) **+** – Hovedinngangen for strøm.
2. Katode (K) **−** – Utgangen for strøm.
3. Gate (G) – Styreelektroden som aktiverer tyristoren.



Struktur

- Består av en PNPN-struktur, som kan sees som to transistorer koblet sammen (en PNP og en NPN).
- Når den aktiveres, forblir den på til strømmen brytes.

Hvordan virker en Tyristor?

En tyristor har to tilstander:

A) Når Tyristoren er AV (blokkerer strøm)

- Ingen spenning på Gate, så strøm kan ikke flyte fra Anode til Katode.
- PNPN-strukturen fungerer som en sperring.

B) Når Tyristoren er PÅ (leder strøm)

- En kort puls på Gate gjør at tyristoren slår seg på og begynner å lede strøm.
- Den forblir på selv om Gate-signal fjernes (latching-effekt).
- Tyristoren slår seg bare av når strømmen faller til null (som i vekselstrøm) eller når strømmen avbrytes eksternt.

Bruksområder for Tyristorer

- Likestrøms- og vekselstrøms styring – Brukes i motorstyring og strømforsyninger.
- Sveiseapparater – Styrer høy strøm i industriell sveising.
- Justerbare strømforsyninger – Brukes i ladere og spenningsregulatorer.
- Motorstartere – For store motorer i fabrikker og skip.
- HVDC (High Voltage DC Transmission) – Brukes i kraftnett for å styre likestrøm.

Tyristor som styrbar enpulskobling:

- En tyristor erstatter dioden og fungerer som en styrbar likeretter.
- Tyristoren slipper gjennom strøm kun når den får en styrepuls på gate-terminalen.
- Dette gjør det mulig å styre når i AC-syklusen strømmen begynner å flyte, noe som gir mulighet for effektregulering.

Tyristor vs. TRIAC

Egenskap	Tyristor (SCR)	TRIAC
Leder strøm i	**Kun én retning**	**Begge retninger**
Typisk bruk	Likestrøm (DC) og AC-brytere	AC-dimmere, motorstyring
Slår seg av når	Strømmen går til null eller brytes eksternt	Strømmen går til null i vekselstrøm

Σ

KONKLUSJON

En tyristor er en kraftig halvlederbryter som kan styre store strømmer, men leder strøm i kun én retning. Den brukes i motorstyring, strømforsyninger og kraftnett, og er en av de viktigste komponentene innenfor effektelektronikk!

Likeretting med dioder

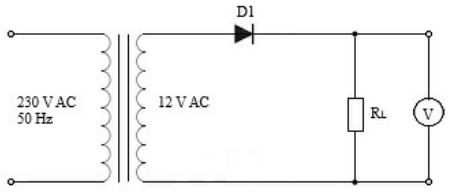
Enveis likeretting (enpulskobling)

ENVEIS LIKERETTER

En enveis likeretter eller enpulskobling er en metode for å likerette vekselspenning (AC) ved hjelp av én enkelt styrekomponent, som en diode. Dette er en enkel form for halvbølgelikeretting, der kun én av halvperiodene til AC-spenningen brukes.

Hvordan fungerer enpulskoblingen med diode?

- En diode plasseres i serie med lasten og AC-kilden.
- Dioden leder bare når AC-spenningen er positiv, og blokkerer når den er negativ.
- Resultatet er en pulserende likestrøm med en stor rippel.



Fordeler og ulemper med enpulskobling

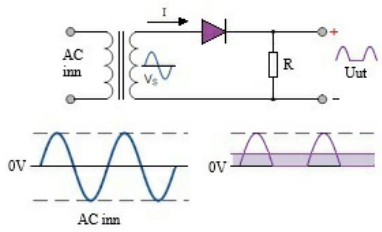
Fordeler:

- Enkel og billig krets
- Kan brukes for grunnleggende AC-DC-konvertering

Ulemper:

- Utnytter bare halvparten av AC-syklusen, noe som gir lav effektivitet
- Gir høy rippel i DC-spenningen (krever filtrering for jevnere spenning)
- Med tyristor: Kun mulig å styre spenningen i én retning

Enpulskobling brukes ofte i enkle strømforsyninger, batteriladere og enkelte typer motorstyring hvor presis spenningskontroll ikke er nødvendig.



Forhold mellom AC og DC ved en pulskobling:

Parameter	Forklaring
U_{eff} (AC)	Effektivverdien av AC-inngangsspenningen
U_{peak} (AC)	Amplitudeverdien på AC-inngangen: $\sqrt{2} \times U_{eff}$
U_d (DC) (utgang)	Gjennomsnittsverdien av den likerettede spenningen

Forhold mellom AC og DC i enveis likeretting:

1. Gjennomsnittlig (DC) spenning etter likeretting (uten filter):

$$U_d = \frac{U_{\text{peak}}}{\pi}$$

Vi kan og bruke en konstant ved utregninger av likespenningen:

$$U_d = 0,32 * U_{\text{peak}}$$

1. Effektivverdien av utgangsspenning etter enveis likeretting:

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{peak}}}{\sqrt{2}}$$

Når vi har effektivverdien, kan vi og regne ut spenningen over dioden med en konstant:

$$U_d = 0,45 * U_{\text{eff}}$$

1. Spenningsfall over dioden:
   - For silisiumdioder mister du ca. **0,7 V**.
   - Så den reelle DC-utgangen blir:

$$U_d = \frac{U_{\text{peak}} - 0,7}{\pi}$$

EKSEMPEL:

Si at du har $230\ V_{\text{eff}}$ AC inn:

$$U_{\text{peak}} = \sqrt{2} * U_{\text{eff}} = \sqrt{2} * 230 \approx 325\ V$$
$$U_d \approx \frac{U_{\text{peak}}}{\pi} = \frac{325}{\pi} = 103,5\ V$$

Vi tar utregningen med konstanter:

$$U_d = 0,32 * U_{\text{peak}} = 0,32 * 325 \approx 103,5\ V$$
$$U_d = 0,45 * U_{\text{eff}} = 0,45 * 230 \approx 103,5\ V$$

Sperrespenning

Sperrespenning (også kalt reverse voltage eller peak inverse voltage – PIV) er den maksimale spenningen som dioden må tåle i sperreretning uten å bli ødelagt.

I enveis likeretting:

Når AC-signalet er i den negative halvbølgen, leder ikke dioden. I denne perioden er dioden i sperreretning, og spenningen over den kan bli ganske høy.

Formelen:

> $$U_{\text{sperre}} = U_{\text{peak}}$$

Altså:

Sperrespenningen = toppverdien av AC-inngangen.

Eksempel:

- Har du U_{eff} = 230 V inn:

> $$U_{\text{peak}} = \sqrt{2} * 230 = 325\ V$$
>
> Da må dioden tåle minst 325 V i sperreretning.

Vi kan også si at

> $$U_{\text{sperre}} = \pi * U_d = \pi * 103,5 \approx 325\ V$$

PRAKTISK TIPS

Du bør velge en diode med PIV-rating (f.eks. VRRM) som er minst 20 – 30 % høyere enn forventet sperrespenning, for sikkerhetsmargin.

F.eks.:
- Hvis sperrespenningen er 325 V → velg diode med minst 400 V PIV.

Helbølgelikeretting

HELBØLGELIKERETTING

Helbølgelikeretting lar oss likerette begge halvbølgene av AC-signalet, i stedet for å kaste bort den ene som i enveis likeretting.

Det finnes to vanlige metoder:

Midtpunkttransformator med to dioder (Toveis likeretter)

- Krever en transformator med midtuttak.
- To dioder brukes, én for hver halvbølge.

Brokobling (Graetz-bro) med fire dioder

- Vanligst og krever ikke midtuttak.
- Fire dioder jobber sammen slik at lasten alltid får spenning i samme retning.

Midtpunktkobling eller toveis likeretter

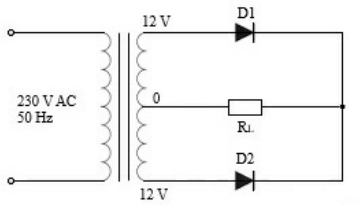
En toveis likeretter er en ensretter kobling som brukes til å omforme vekselstrøm (AC) til likestrøm (DC). Den er en grunnleggende likeretter i kraftsystemer og brukes ofte i ensrettere for trefase- og enfaseanlegg.

Oppbygning av en toveis likeretter

- To dioder (for enfase) eller to tyristorer (for styrt likeretter)
- En transformator (valgfritt, men ofte brukt)
- En last (f.eks. en motor, batteri eller elektroniske kretser)

Det finnes to hovedtyper:

- Topuls brokobling (fullbølge likeretter) – To dioder i en enfasebro.
- Topuls midtpunktkobling – Bruker en transformator med midtuttak og to dioder.



Hvordan fungerer en topulskobling?

a) Topuls midtpunktkobling (med transformator)

1) Transformatoren har en midtuttak som gir to vekselspenninger i motfase.

2) To dioder (D1 og D2) leder vekselvis, avhengig av polariteten til inngangsspenningen.

3) Når den ene halvbølgen er positiv, leder D1, mens D2 er sperret.

4) Når den neste halvbølgen er negativ, leder D2, mens D1 sperrer.

5) Dette gir to pulser per periode, og derfor kalles den topuls.

Resultat: Utgangsspenningen er pulsformet likestrøm (DC), som kan jevnes ut med en kondensator.

b) Topuls brokobling (uten transformator)

1. Bruker to dioder i en brokobling direkte på vekselspenningen.
2. Fungerer på samme måte som midtpunktkoblingen, men uten transformator.
3. Gir samme to pulser per periode i utgangsspenningen.

Fordeler og Ulemper

Fordeler:

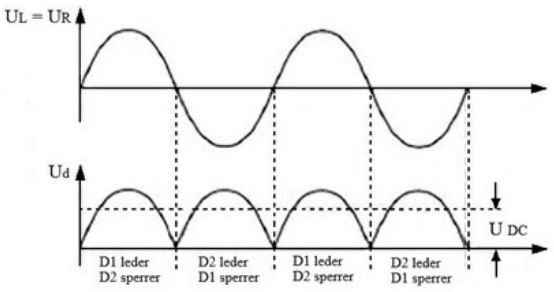
- Enkelt design og billig.
- Krever kun to dioder, færre komponenter enn sekspuls likeretter.
- Gir dobbel puls per periode sammenlignet med en enpuls likeretter.

Ulemper:

- Pulsformet DC gir behov for filterkondensatorer for jevn spenning.
- Ikke like effektiv som sekspuls- eller tolvpuls likeretter for trefasesystemer.

Bruksområder for en topulskobling

- Likerettere i strømforsyninger – Konverterer AC til DC i små elektroniske enheter.
- Lading av batterier – Brukes i enkle batteriladere.
- Enkle motorstyringer – Kontrollerer DC-motorer.
- Sveiseapparater – Brukes i kraftige strømforsyninger.



Helbølgelikeretting med midtpunkt

f(x)

FORMLER:

- Inngangsspenning (effektivverdien): U_{eff}
- Amplitudeverdi: $U_{peak} = \sqrt{2} * U_{eff}$
- Utgangs-DC (uten filter): U_d

$$U_d = \frac{2*U_{peak}}{\pi}$$

Berre en diode leder av gangen:

$$U_d \approx \frac{U_{peak}}{\pi} + \frac{U_{peak}}{\pi} = \frac{2*U_{peak}}{\pi}$$

$$U_d = \frac{2*\sqrt{2}*U_{eff}}{\pi}$$

Kan også bruke en konstant:

$$U_d = 0,9 * U_{eff}$$

EKSEMPEL:

U_{eff} = 230 V

$$U_{peak} = \sqrt{2} * U_{eff} = \sqrt{2} * 230 \approx 325\ V$$

$$U_d = \frac{2*U_{peak}}{\pi} = \frac{2*325}{\pi} \approx 207\ V\ DC$$

Eller:

$$U_d = 0,9 * U_{eff} = 0,9 * 230 \approx 207\ V$$

Sperrespenninga per diode:

$$U_{sperre} = 2 * U_{peak} = 2 * 325 \approx 650\ V$$

Eller:

> $U_{\text{sperre}} = \pi * U_d = \pi * 207 \approx 650\ V$

Enfasa brokobling (Enfaset bro-likeretter)

ENFASA BROKOBLING (ENFASET BRO-LIKERETTER)

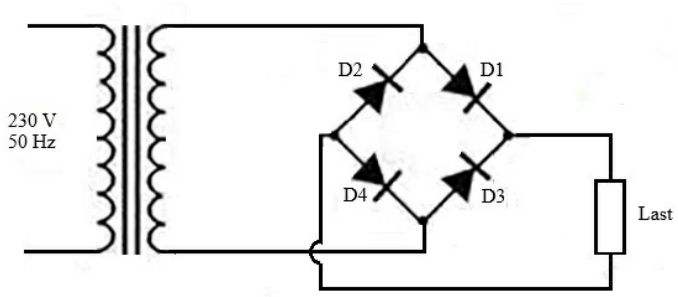
En enfaset brokobling, også kjent som en bro-likeretter, er en krets som omdanner vekselstrøm (AC) til likestrøm (DC) ved hjelp av fire dioder. Dette er en helbølgelikeretter, noe som betyr at den utnytter begge halvperiodene av AC-spenningen, i motsetning til halvbølgelikeretting som kun bruker én halvperiode.

Oppbygging av en enfaset brokobling

En enfaset bro-likeretter består av:

1. Fire dioder koblet i bro-konfigurasjon
2. AC-inngang (tilførselsspenning)
3. DC-utgang (til lasten)
4. Eventuelt en kondensator for glatting av spenningen

Diodene er plassert i en firkantkonfigurasjon, slik at to dioder leder under positiv halvperiode og to dioder leder under negativ halvperiode, men strømmen gjennom lasten vil alltid gå i samme retning.



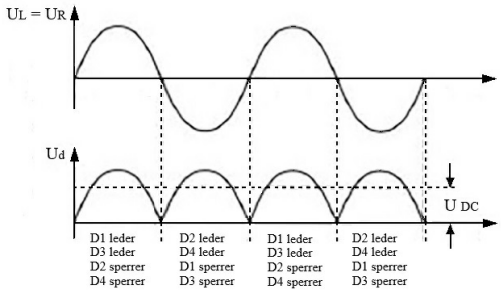
Virkemåte til enfaset brokobling

1. Når AC-spenningen er positiv (første halvperiode)
   - Øvre terminal av AC-inngangen er positiv, og nedre terminal er negativ.
   - Diodene D1 og D3 leder strøm, mens D2 og D4 er sperret.
   - Strømmen flyter fra AC-inngangen, gjennom D1, gjennom lasten, og tilbake via D3.
2. Når AC-spenningen er negativ (andre halvperiode)
   - Øvre terminal av AC-inngangen blir negativ, og nedre terminal blir positiv.
   - Diodene D2 og D4 leder, mens D1 og D3 sperrer.
   - Strømmen flyter fra AC-inngangen, gjennom D2, gjennom lasten, og tilbake via D4.

!

VIKTIG

Selv om AC-inngangen skifter polaritet, vil strømmen gjennom lasten alltid ha samme retning, noe som resulterer i en pulserende DC spenning.



Fordeler og ulemper med en enfaset brokobling

Fordeler:

- Utnytter hele AC-syklusen, noe som gir bedre effektivitet enn halvbølgelikeretting
- Gir høyere gjennomsnittlig DC-spenning.
- Krever ikke en senter-tappet transformator (i motsetning til andre helbølgelikeretter-koblinger).

Ulemper:

- Utgangsspenningen har fortsatt en rippel (kan jevnes ut med en kondensator)
- Spenningsfallet over diodene reduserer utgangsspenningen (ca. 1,4V for silisiumdioder).

Praktisk bruk av enfaset brokobling

- Brukes i strømforsyninger for å omdanne AC til DC.
- Anvendes i batteriladere.
- Brukes i motorstyring og industrielle likeretterkretser.

Sekspulskobling

SEKSPULSKOBLING

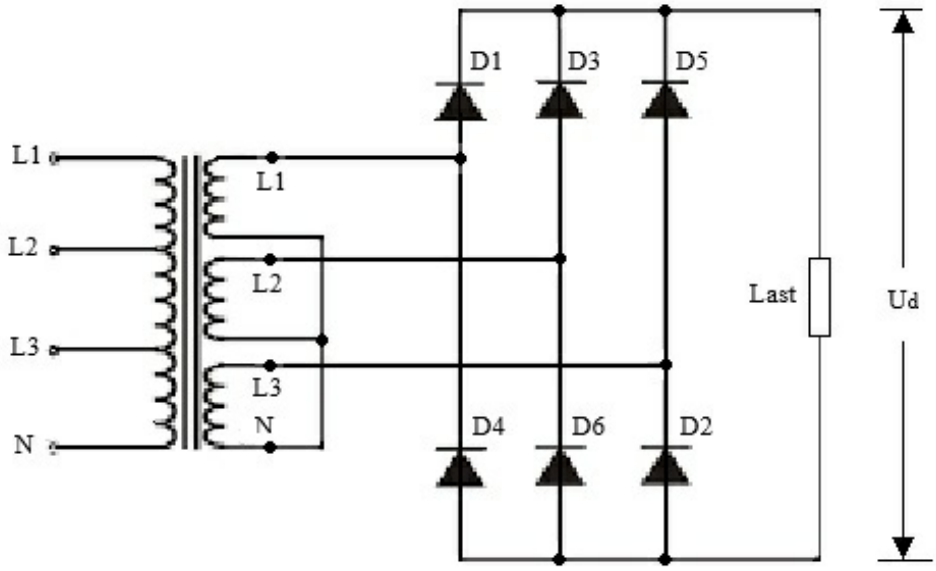
En sekspulskobling (også kalt sekspuls likeretter) er en metode for å omforme trefase vekselstrøm (AC) til likestrøm (DC). Den brukes i kraftige strømforsyninger, motorstyringer og industrielle likeretteranlegg fordi den gir jevnere DC-spenning med mindre rippel sammenlignet med topulskoblingen.

Oppbygning av en sekspulskobling

En sekspulskobling består av:

- Seks dioder (i en uregulert likeretter) eller seks tyristorer (for regulerbar spenning).
- Trefaset vekselspenningskilde (transformator eller generator).
- Last (f.eks. en motor, batteri eller industrielle systemer).

Den vanligste konfigurasjonen er en brokobling (Graetz-bro) med seks dioder, ofte kalt en sekspuls brokobling.



Hvordan fungerer en sekspulskobling?

- Hver halvperiode av hver av de tre fasene bidrar til å lede strøm, slik at seks pulser per periode oppstår i DC-utgangen.
- To av de seks diodene leder om gangen:
  - Én diode leder fra en positiv fase.
  - Én diode leder til en negativ fase.
- Dette skaper en jevnere DC-spenning enn en topuls likeretter, fordi rippelen har en høyere frekvens (6× nettfrekvensen, f.eks. 300 Hz ved 50 Hz nettspenning).

Fordeler og Ulemper

Fordeler:

- Mindre rippel enn topulskobling → Bedre DC-spenning.
- Krever mindre filtrering enn en topulskobling.
- Høyere effektivitet i kraftsystemer og motorstyringer.

Ulemper:

- Krever trefase vekselspenning, ikke egnet for enfase-systemer.
- Større og mer komplekst oppsett enn topuls likeretter.

Bruksområder for en sekspulskobling

- Likeretting i generatorer.
- Likeretting i frekvensomformere.
- Elektriske motorer i industri – Gir jevn likestrøm til store motorer.
- Tog og trikkesystemer – Brukes i kraftige likerettere.
- HVDC-anlegg (High Voltage DC Transmission) – Kraftnett med høy likestrøm.

Sekspulskobling vs. Topulskobling

Egenskap	Topulskobling	Sekspulskobling
Antall dioder	2	6
Inngang	**1-fase AC**	**3-fase AC**
Pulser per periode	2	6
Rippel (støy)	Høy	Lavere
Bruksområde	Enkle strømforsyninger	Industri og kraftsystemer

Σ

KONKLUSJON

En sekspulskobling er en mer effektiv og jevnere likeretter enn en topulskobling, siden den bruker trefase vekselstrøm og gir seks DC-pulser per periode. Den brukes i motorstyringer, industrianlegg og kraftnett hvor stabil likestrøm er avgjørende.Nederst i skjemaet

Hvordan en kondensator glatter ut spenningen:

Når vi likeretter en vekselspenning (AC) får vi en pulserende likespenning (DC), og en kondensator brukes ofte for å glatte ut disse spenningsvariasjonene. Her er en enkel forklaring på hvordan det fungerer:

Likerettingen skjer først

En likeretter (f.eks. en brokobling med dioder) gjør om vekselspenningen til en pulserende likespenning. Dette betyr at spenningen fortsatt varierer – den går ikke under null, men den har fortsatt bølger eller "rippel".

Kondensatoren kobles inn

En kondensator kobles typisk parallelt med utgangen etter likeretteren.

Når spenningen stiger (toppen av pulsen), lades kondensatoren opp.

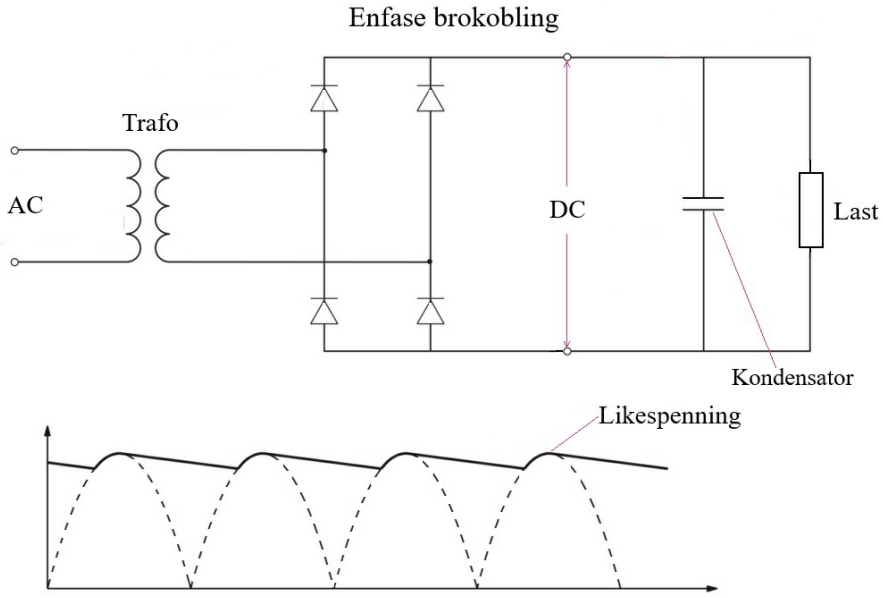
Når spenningen begynner å falle (ned mot bunnen av pulsen), begynner kondensatoren å tømme seg (ladde ut), og gir dermed fra seg energi til kretsen.

På den måten holder den spenningen oppe mellom pulsene.

Resultatet

Uten kondensator får du en "bølgete" DC med dype daler.
Med kondensator glattes spenningen ut – dalene blir fylt inn, og du får en mer stabil likespenning.

Hvor godt den glatter, avhenger av kondensatorens størrelse (kapasitans) og belastningen i kretsen.



Kap 6 Måleinstrumenter

Håndholdte måleinstrumenter

Multimeter

MULTIMETER

Et multimeter er et måleinstrument som brukes til å måle elektriske verdier som spenning (volt), strøm (ampere) og motstand (ohm). Det finnes både analoge og digitale multimetre, men de digitale er mest vanlige i dag. En får multimeter i alle prisklasser. På skolen har vi mange billige multimeter som vi bruker til opplæring, disse er svært unøyaktige i sine målinger. Vi har også noen svært nøyaktige Fluke multimeter som vi bruker til å demonstrere forskjellen på enkelt målinger.

Fluke er en av de mest anerkjente produsentene av multimetre, kjent for høy kvalitet, presisjon og robusthet. Fluke tilbyr flere typer multimeter og andre instrumenter.

Bruksområder for et multimeter:

- Måle spenning – både likestrøm (DC) og vekselstrøm (AC).
- Måle strøm – hvor mye strøm som går gjennom en krets.
- Måle motstand – for å sjekke om en komponent eller krets har riktig motstand.
- Teste diode – for å sjekke om en diode er i orden.

Hvordan bruke et multimeter?

1. Velg målemodus (volt, ampere eller ohm) på bryteren.
2. Sett inn måleprober – svart i "COM" og rød i riktig inngang (avhengig av målingen).
3. Plasser prober på komponenten/kretsen og les av verdien på skjermen.

!

UUNNVÆRLIGE VERKTØY

Multimetre er uunnværlige verktøy for elektrikere, teknikere og maskinister som jobber med elektrisitet.

Personlig har jeg brukt Fluke multimeter i 30 år på grunn av deres **nøyaktighet, holdbarhet og sikkerhet.** Om bord i skip er en ofte avhengig av nøyaktige målinger, da må en ha instrument som en kan stole på.

Voltmeter

VOLTMETER

Et voltmeter er et måleinstrument som brukes til å måle den elektriske spenningen (volt) mellom to punkter i en krets. Det finnes forskjellige typer voltmeter, men de vanligste er analogt voltmeter og digitalt voltmeter.

Oppbygging av et voltmeter

A) Analogt voltmeter (spoleinstrument).
Dette voltmeteret bruker et bevegelig spolesystem, ofte kalt et D'Arsonval-mikroamperemeter. Det består av:

- Bevegelig spole – Plassert mellom polene til en fast magnet.
- Permanent magnet – Skaper et magnetfelt som påvirker spolen.
- Viser og skala – Viser måleresultatet på en analog skala.
- Serie-motstand – Brukes for å begrense strømmen gjennom spolen.

Når en spenning påtrykkes, vil en strøm gå gjennom spolen, som skaper et magnetisk felt. Dette feltet reagerer med den permanente magneten, og spolen begynner å rotere. Denne rotasjonen beveger viseren over en skala som viser spenningsverdien.

B) Digitalt voltmeter.
Et digitalt voltmeter bruker elektroniske komponenter for å måle spenningen og vise den numerisk. Det består av:

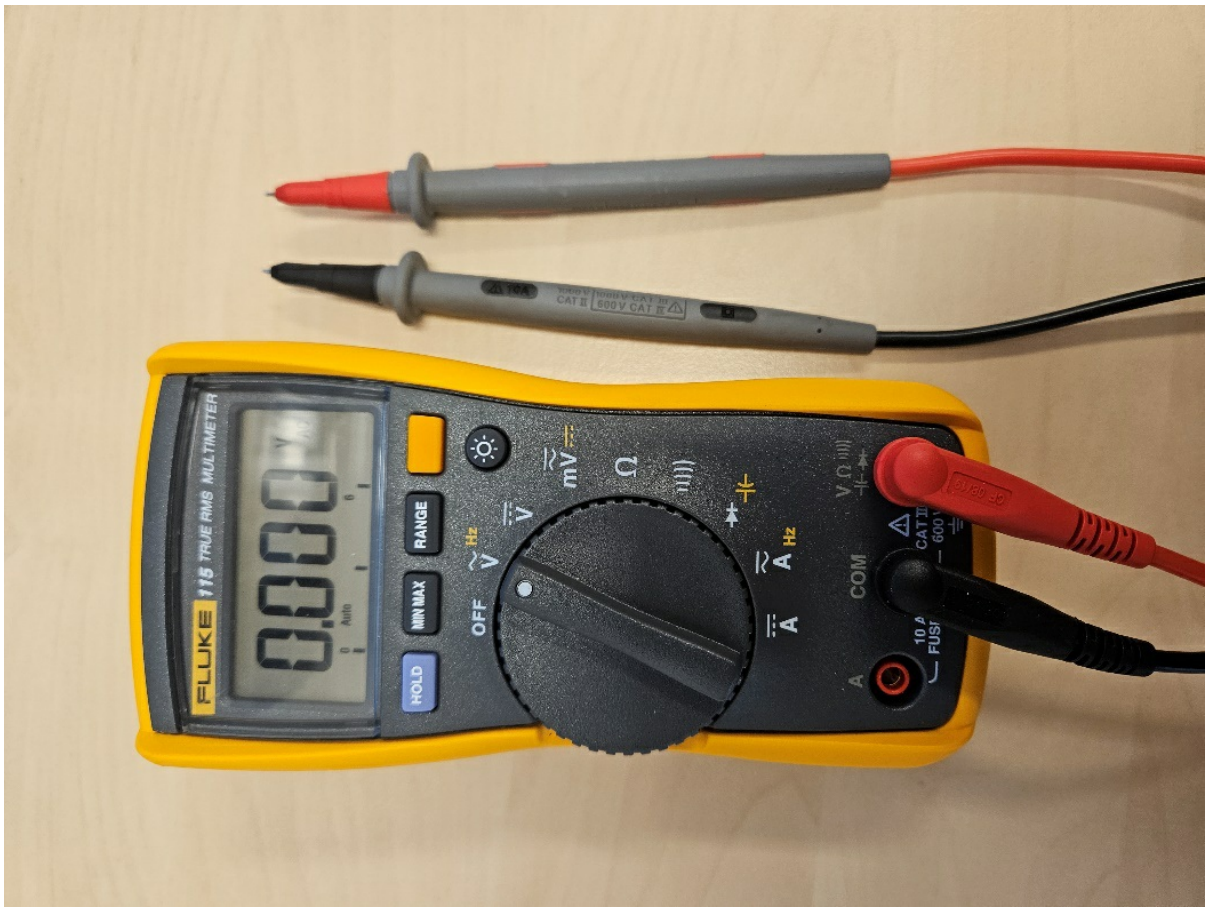
- Spenningstilpassingskrets – Beskytter instrumentet mot for høy spenning.
- Analog-til-digital omformer (ADC) – Konverterer den analoge spenningen til et digitalt signal.
- Mikrokontroller eller prosessor – Behandler signalet og beregner spenningen.
- Display (LCD/LED) – Viser den målte spenningen i tallform.

Digitalt voltmeter er mer nøyaktig og gir raskere avlesning enn analoge voltmeter.

Virkemåte til et voltmeter:

- Parallellkobling: Et voltmeter kobles alltid parallelt med komponenten eller kretsen der spenningen skal måles. Dette sikrer at målingen skjer uten å forstyrre kretsens strøm.
- Høy indre motstand: Voltmeteret har en høy indre motstand for å minimere strømforbruket og unngå feilmålinger.
- Analogt voltmeter: Strøm gjennom spolen skaper et magnetisk moment som beveger viseren.
- Digitalt voltmeter: Måler spenning via en elektronisk krets og konverterer den til et digitalt tall på displayet.

Voltmeter er essensielt i elektriske systemer for feilsøking, testing og overvåking av spenning i både lavspennings- og høyspenningsapplikasjoner.



Fluke115 multimeter som er innstilt på å måle vekselspenning

Amperemeter (tangamperemeter)

AMPEREMETER (TANGAMPEREMETER)

Et tangamperemeter (også kalt "strømtang" eller "klemmemeter") er et instrument som brukes til å måle vekselstrøm (AC) og noen ganger likestrøm (DC) uten å koble seg direkte inn i kretsen. Dette gjøres ved å klemme instrumentet rundt en leder, hvor det registrerer magnetfeltet rundt strømførende ledere og omdanner dette til en strømmåling.

Oppbygging av et tangamperemeter

Et typisk tangamperemeter består av følgende hovedkomponenter:

**A) Magnetisk kjerne (tang/klemmemekanisme)

- En ferromagnetisk kjerne som kan åpnes og lukkes rundt en leder.
- Lederens magnetfelt induserer en strøm i kjernen, som kan måles.

**B) Strømtransformator (for AC-måling)

- Brukes for å konvertere den induserte strømmen til et proporsjonalt signal.
- AC-tangamperemeter bruker prinsippet om elektromagnetisk induksjon.

C) Hall-effektsensor (for DC-måling)

- Brukes i digitale tangamperemetere for å måle likestrøm (DC).
- Måler magnetfeltstyrken direkte ved hjelp av Hall-effekten.

D) Elektronisk krets og display

- Forsterker og signalbehandling: Øker signalstyrken for nøyaktig måling.
- Analog-til-digital omformer (ADC): Konverterer signalet til digitale verdier.
- LCD/LED-display: Viser den målte strømmen i ampere (A).

Virkemåte til et tangamperemeter

A) Måling av vekselstrøm (AC)

- Når en leder føres gjennom tangamperemeteret, skapes et varierende magnetfelt rundt den.
- Magnetfeltet induserer en strøm i strømtransformatoren inne i måleren.
- Denne induserte strømmen er proporsjonal med strømmen i lederen.
- Tangamperemeteret konverterer denne strømmen til en avlesbar verdi på displayet.

B) Måling av likestrøm (DC) (kun for Hall-effektbaserte målere)

- En Hall-effektsensor registrerer det **statiske magnetfeltet** som dannes av DC-strømmen.
- Sensoren genererer en spenning proporsjonal med magnetfeltstyrken.
- En elektronisk krets konverterer denne spenningen til en strømverdi som vises på displayet.

Fordeler med tangamperemeter

- Berøringsfri måling – Ingen behov for å bryte kretsen.
- Sikkerhet – Kan brukes på høye spenninger uten direkte kontakt.
- Rask og enkel bruk – Klem tangen rundt lederen og få umiddelbar avlesning.
- Allsidighet – Kan ofte måle både AC og DC strøm, samt spenning og motstand i kombinerte måleinstrumenter.

Tangamperemetere brukes ofte i industri, elektriske installasjoner og feilsøking av elektriske systemer.



Fluke tangmultimeter 374 FC.

Ohm meter

OHM METER

Et ohmmeter er et instrument som brukes til å måle elektrisk motstand (Ω, ohm) i en krets eller komponent. Det finnes både analoge og digitale versjoner, og ohmmeter er ofte en del av multimetere.

Oppbygging av et ohmmeter

Hovedkomponenter

1. Strømkilde – Vanligvis et internt batteri som genererer en konstant spenning.
2. Motstandskrets – En fast intern motstand brukes til å regulere strømmen gjennom målekretsen.
3. Måleinstrument (galvanometer eller digitalt display) – Viser motstandsverdien.
4. Testledninger (prober) – Kobles til komponenten som skal måles.
5. Nulljustering (kun på analoge ohmmeter) – For kalibrering av måleinstrumentet.

Virkemåte til et ohmmeter

A) Måling av motstand

- Når prober kobles til en komponent, sender ohm-meteret en liten strøm gjennom den.
- Basert på Ohms lov (R = U/I), beregnes motstanden ved å måle spenningsfallet og strømmen.
- Verdien vises enten på en analog skala (med en viser) eller digitalt (LCD/LED).

B) Typer ohmmeter:

1. Serie-ohmmeter (for høye motstander):
   - Batteriet, den interne motstanden og testobjektet er koblet i serie.
   - Høyere motstand gir lavere strøm og lavere utslag på måleren.
2. Parallell-ohmmeter (for lave motstander):
   - Testobjektet kobles parallelt med den interne motstanden.
   - Brukes ofte til måling av små motstander.
3. Digitalt ohmmeter:
   - Bruker en mikrokontroller og A/D-omformer for å måle og vise motstandsverdien nøyaktig.

!

VIKTIGE HENSYN VED BRUK

- Mål aldri motstand i en aktiv krets – Kretsen må være strømløs for å unngå feil måling.
- Nulljustering av analoge målere – Sørg for at ohmmeteret er riktig kalibrert.
- Sjekk batteriet – Lav batterispenning kan gi feil måling.

Ohmmeter brukes i feilsøking av elektriske komponenter, testing av kabler, og verifisering av elektriske forbindelser.



Diode tester

Mange multimeter har en diodetester funksjon.

Diodetest-funksjonen

Når du setter multimeteret i diodetestmodus (vanligvis symbolisert med en liten pil som peker mot en strek, som en diodesymbol), sender multimeteret ut en liten spenning (typisk rundt 2–3 volt) gjennom komponenten du tester, samtidig som det måler hvor mye spenning som "slipper gjennom".

Dette fungerer fordi en diode:

- Leder strøm én vei (fremover), og
- Blokkerer strøm den andre veien (bakover).

Hva viser displayet?

- Fremover polaritet (rød probe på anoden, svart på katoden):
  - Multimeteret viser en frem spenningsverdi – for en silisiumdiode er dette typisk rundt 0,6–0,7 volt.
  - For en Schottky-diode kan det være lavere, f.eks. 0,2–0,4 V.
- Bakover polaritet (prober snudd):
  - Displayet viser vanligvis "OL" (overload), som betyr at dioden ikke leder – akkurat som forventet.

Hvordan bruker du det?

1. Drei bryteren til diodetestmodus (se etter diodesymbolet).
2. Koble den røde proben til anoden og den svarte til katoden.
3. Les av verdien.
4. Snu prober og les igjen.

Tolking av resultatene

Tilkobling	Forventet verdi	Hva det betyr
Rød → Anode, Svart → Katode	0,6–0,7 V (for Si-diode)	Dioden leder fremover
Svart → Anode, Rød → Katode	OL eller veldig høy verdi	Dioden blokkerer bakover
Samme verdi begge veier / 0 V	Kortslutning	Dioden er ødelagt
OL begge veier	Åpen krets (defekt diode)	Dioden er ødelagt

Isolasjonstester (Megger)

MEGGER

Vi kaller ofte en isolasjonstester for en «Megger» selv om Megger er et eget merke.

En Megger, eller isolasjonstester, er et spesialisert måleinstrument som brukes til å teste isolasjonsmotstanden i elektriske kabler, motorviklinger, transformatorer og annet elektrisk utstyr. Den fungerer ved å påføre en høy likespenning (vanligvis 250V–5000V) og måle den resulterende strømmen for å beregne motstanden i ohm (MΩ eller GΩ).

Oppbygging av en Megger

Hovedkomponenter

1. Høyspenningsgenerator – Kan være en håndsveiv, batteri eller elektronisk krets som genererer høy DC-spenning.
2. Målekrets – Består av en intern motstand og en sensor for å måle lekkasjestrømmen.
3. Viserinstrument eller digitalt display – Viser isolasjonsmotstanden i megaohm (MΩ) eller gigaohm (GΩ).
4. Testledninger (prober) – Brukes til å koble Meggeren til testobjektet.
5. Valgbryter for testspenning – Lar brukeren velge passende testspenning (f.eks. 250 V, 500 V eller 1000 V).

Virkemåte til en Megger

1. Påføring av høy spenning:
   - Meggeren genererer en høy DC-spenning (f.eks. 500 V).
   - Denne spenningen sendes gjennom testobjektet.

2. Måling av lekkasjestrøm:
   - Hvis isolasjonen er god, vil svært lite strøm lekke gjennom materialet.
   - Hvis isolasjonen er dårlig eller skadet, vil mer strøm lekke, noe som gir lavere motstandsverdi.

3. Beregning av isolasjonsmotstand:
   - Ohms lov (R=V/IR = V/IR=V/I) brukes til å beregne motstanden, som vises på instrumentet.
   - En høy verdi (f.eks. flere MΩ eller GΩ) betyr god isolasjon, mens en lav verdi tyder på en isolasjonssvikt.

Bruksområder for en Megger

- Testing av kabler og ledninger – Sikrer at isolasjonen er intakt.
- Inspeksjon av elektriske motorer og transformatorer – For å unngå kortslutning og lekkasjestrømmer.
- Periodisk vedlikehold i industri og skip – Brukes for å forhindre elektriske feil.
- Feilsøking i elektriske systemer – Identifiserer skadede kabler eller fuktighet i isolasjonen.

!

VIKTIGE HENSYN VED BRUK AV MEGGER

- Test aldri en aktiv krets – Kretsen må være frakoblet og spenningsfri.
- Bruk riktig testspenning – For høy spenning kan skade isolasjonen.
- Unngå testing på elektroniske komponenter – Høyspenningen kan ødelegge følsom elektronikk.

Megger er et essensielt verktøy om bord i et skip for å sikre sikker og pålitelig drift av elektriske installasjoner.



Fluke 1507 isolasjonstester og en MEGGER MIT400/2

Kalibrator

KALIBRATOR

En Fluke 715 Volt/mA kalibrator er et testinstrument designet til å simulere og måle DC-spenning (V) og strøm (mA), primært brukt til at kalibrere og teste prosessinstrumentering som transmittere, PLS'er og I/P-konvertere.

Funksjoner og anvendelse:

1. Måling (Measure Mode):
   - Måler DC-spenning opp til 30V
   - Måler DC-strøm opp til 24 mA (med en nøyaktighet på 0,015%)
   - Kan brukes til å avlese signaler fra en transmitter eller andre instrumenter

2. Generering (Source Mode):
   - Kan generere 0-24 mA for at simulere en transmitter
   - Kan generere DC-spenning opp til 20V for å teste instrumenter, som krever spenning.

3. Loop-power funktion (24V loop supply):
   - Kan forsyne en 4-20 mA transmitter og samtidig måle strømmen
   - Praktisk, da det fjerner behovet for en ekstern strømforsyning

4. Trinn- og rampemodus:
    - Gjør det mulig å justere signalet i små trinn eller kjøre en kontinuerlig rampe for å teste instrumentets respons

Hvordan brukes den?

- Til test av en transmitter:
    1. Tilslutt kalibratoren i serie med transmitteren i mA-målefunksjonen
    2. Juster output på transmitteren og sammenlign avlesningen på Fluke 715 for å vurdere presisjonen.

- Til simulering av et 4-20 mA signal:
    1. Velg mA source mode
    2. Innstill den ønskede strøm (f.eks. 12 mA for midtpunktet)
    3. Forbind til input på en PLS, I/P-konverter eller andet utstyr, som krever et 4-20 mA signal

- Til kontroll av spenningsinput:
    1. Velg V-source mode
    2. Innstill den ønska spenning
    3. Forbind til enheter som krever kalibrering av spenningsinput

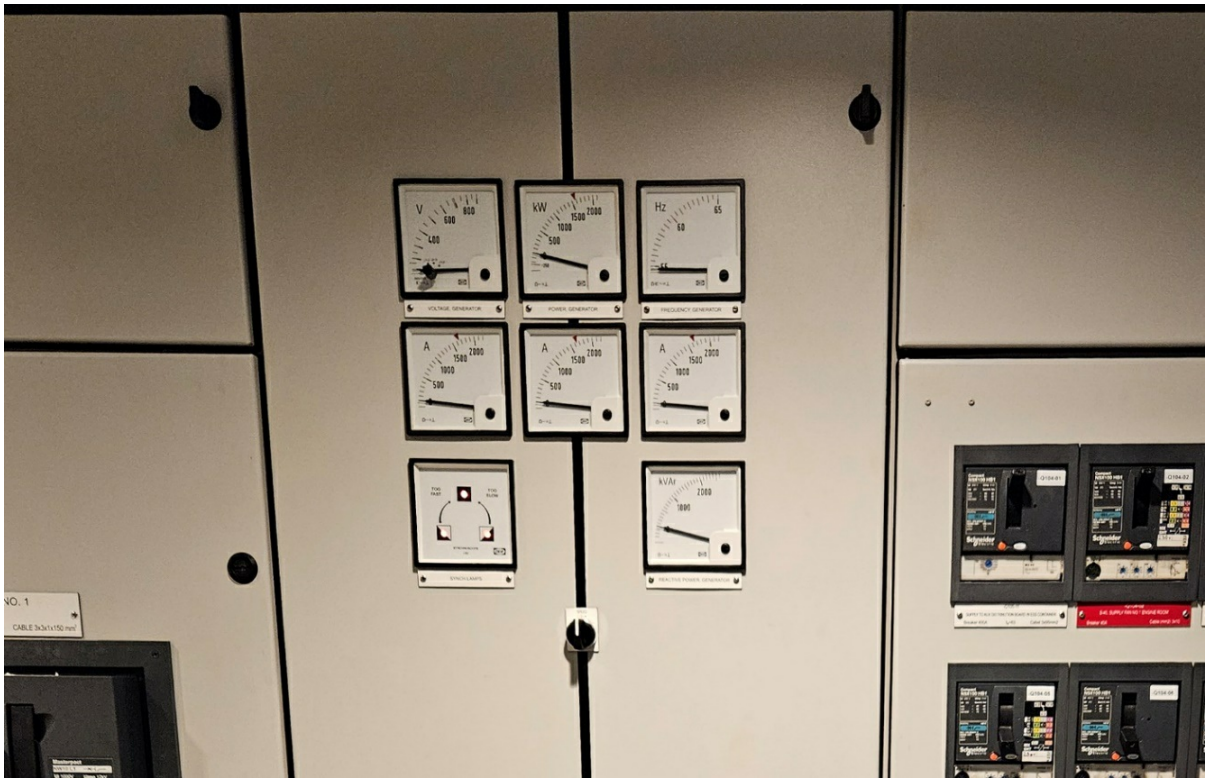
Fordeler ved Fluke 715

- Høy nøyaktighet og stabilitet
- Brukervennlig med simpel interface
- Kompakt og robust design til feltbruk.
- Loop-power funksjon fjerner behovet for en ekstern forsyning

Den er nyttig for teknikere innenfor prosesskontroll, automasjon og instrumentering, da den muliggjør hurtig feilfinning og presis kalibrering av utstyr.



Tavleinstrumenter



Den elektriske hovedtavlen om bord i et skip er hjertet i skipets elektriske distribusjonssystem og inneholder flere måleinstrumenter som overvåker og sikrer riktig drift av skipets elektriske anlegg. Her er noen av de viktigste måleinstrumentene og hvordan de fungerer:

Voltmeter

VOLTMETER

- **Funksjon:** Måler spenningen i forskjellige deler av det elektriske systemet.
- **Virkemåte:** Tilkobling til hovedtavlens forskjellige spenningskretser, ofte via en spenningsvelger for å måle mellom ulike faser eller mellom fase og nøytral.



DEIF EQ (V) voltmete

DEIF EQ (V) – analogt voltmeter

EQ (V)

EQ (V) er en type analog voltmeter fra DEIF, beregnet for panelmontasje i elektriske anlegg – typisk i skipsinstallasjoner, generatoranlegg og tavler.

Virkemåte for DEIF EQ(V):

1. Direkte tilkobling:
   - EQ (V) kobles direkte mellom to punkter i et elektrisk system:
   - Fase–fase (L1–L2, L2–L3, L3–L1)
   - eller fase–nøytral (L1–N, L2–N, L3–N)
   - Den måler da den potensielle forskjellen (spenningen) mellom disse to punktene.
2. Innebygd spole og bevegelig viser:
   - Inni EQ (V) sitter en spenningsfølsom elektromagnetisk spole.
   - Når spenning påføres, oppstår et magnetfelt som får viseren til å bevege seg.
   - Utslaget er proporsjonalt med spenningen.
3. Analog skala:
   - Skalaen er merket f.eks. 0–500 V (avhengig av modell).
   - Viseren peker nøyaktig på aktuell spenning – gir direkte og rask avlesning.
   - Nøyaktighet vanligvis klasse 1,5.

!

VIKTIG INFORMASJON

- EQ (V) er vanligvis beregnet for AC-spenning, men kan også fås for DC.
- Den krever ingen ekstern strømforsyning – drives kun av målespenningen.
- Må beskyttes med små sikringer i spenningskretsen (for sikkerhet og vedlikehold).

Bruksområder:

- Hovedtavler
- Generatorpaneler
- Landstrømtilkobling
- Maritim spenningsovervåking

Amperemetre

AMPEREMETRE

- **Funksjon:** Måler strømmen (A) som går gjennom en krets. I et generatorfelt i hovedtavler treng vi tre amperemeter, et per fase.
- **Virker ved:** Tilkobling via strømtransformatorer (CT - Current Transformer) som måler strømmen uten direkte fysisk tilkobling til hovedstrømførende ledninger.



Et DEIF EQ (A) amperemeter.

DEIF EQ(A) amperemeter

DEIF EQ(A)

DEIF EQ(A) er et analogt amperemeter som brukes til å måle strømmen i én leder i et elektrisk anlegg – vanligvis i AC-anlegg, og ofte via strømtransformator (CT).

Virkemåte for DEIF EQ(A):

1. Strømtransformator (CT):
   - Strømmen som går i en hovedleder (f.eks. 400 A, 1000 A osv.) ledes gjennom en strømtransformator (typisk 400/5 A eller 1000/5 A).
   - CT-en reduserer den høye strømmen til en standard målestrøm, f.eks. **0–5 A**.
2. Målestrøm inn på EQ(A):
   - EQ(A) er tilkoblet sekundærsiden av CT-en (5 A-siden).
   - Denne strømmen går gjennom et elektromagnetisk måleverk inne i instrumentet.
3. Elektromekanisk bevegelse:
   - Inne i EQ(A) sitter en bevegelig spole og fjær.
   - Når strøm går gjennom spolen, dannes et magnetfelt som vrir viseren proporsjonalt med strømstyrken.
   - Fjæren gir motstand slik at viseren peker nøyaktig på rett verdi.
4. Analog visning:
   - Skalaen er kalibrert etter CT-forholdet.

EKSEMPEL

Ved bruk av en 1000/5 A CT, kan EQ(A) være merket 0–1000 A selv om den fysisk måler 0–5 A.

!

VIKTIG Å HUSKE:

- EQ(A) må aldri kobles direkte til hovedstrømmen – kun til sekundærsiden av CT.
- CT-ens sekundærkretser må alltid være lukket. Hvis de ikke er tilkoblet et instrument, må de kortsluttes.
- Typisk nøyaktighet er klasse 1,5.

Bruksområder:

- Generatorpaneler
- Hovedtavler
- Lastovervåking på skip og i industri
- Manuell strømavlesning

Frekvensmeter

FREKVENSMETER

- **Funksjon:** Viser frekvensen (Hz) til skipsnettets vekselstrøm, som vanligvis skal være 50 Hz eller 60 Hz avhengig av skipets system.
- **Virkeremåte:** Måling av tidsintervallet mellom sinuskurvens topper i spenningen.



DEIF FQ frekvensmeter

FQ FRA DEIF

FQ fra DEIF er et analogt frekvensmeter som brukes til å måle frekvensen på vekselspenningen (AC) i et elektrisk anlegg – vanligvis i området 45–65 Hz for standard nett.

Virkemåte til DEIF FQ frekvensmeter:

1. Tilkobling til nettet:
   - Instrumentet kobles til fase og nøytral (eller to faser) i nettet, og måler spenningen over disse.
2. Elektronisk konvertering:
   - Frekvensmeteret har en intern krets som teller antall perioder (svingninger) per sekund av den tilkoblede spenningen.
   - Dette skjer ofte ved hjelp av en tidsbase og en pulsteller (digital logikk).
3. Visning:
   - Resultatet vises direkte på den analoge skalaen i Hz (f.eks. 50 Hz), typisk med en peker på en urskive.
   - Målingen er kontinuerlig, slik at endringer i frekvens oppdages med én gang.
4. Strømforbruk og belastning:
   - Instrumentet trekker svært lite strøm og påvirker ikke det elektriske systemet det er koblet til.

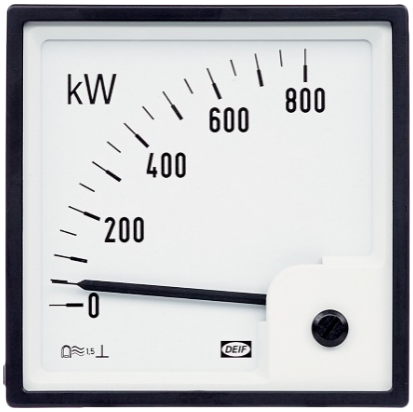
Typiske bruksområder:

- Tavlemontert i generatoranlegg, strømforsyninger og landstrømsanlegg.
- Overvåkning av frekvensen for å sikre stabil drift og synkronisering (særlig viktig ved parallell drift av generatorer).

Effektmeter (Wattmeter)

EFFEKTMETER (WATTMETER)

- **Funksjon:** Viser hvor mye elektrisk effekt (W) som forbrukes eller produseres.
- **Virkeemåte:** Multiplisering av spenning og strøm med fasevinkelkompensasjon.



Bildet viser et DEIF WQ{.pdf-300}

DEIF WQ wattmeter

WQ – DEIF WATTMETER

WQ er et DEIF wattmeter, et måleinstrument som viser aktiv effekt (watt) i et vekselstrøms anlegg. Det gir en analog visning av hvor mye aktiv elektrisk kraft som forbrukes eller produseres i sanntid.

Virkemåte til DEIF WQ wattmeter:

1. Tilkobling:
   - Instrumentet kobles både til spenning og strøm:
     - Spenning hentes fra fase til nøytral (eller mellom to faser).
     - Strøm kobles via en strømtransformator (CT) dersom strømmen er høy.

2. Måleprinsipp – elektromagnetisk moment:
   - WQ har en bevegelig spole og en fast spole:
     - Fast spole leder strømmen som skal måles (laststrømmen).
     - Bevegelig spole påvirkes av spenningen.
   - Samspillet mellom disse skaper et dreiemoment som er proporsjonalt med:

> $$P = U \cdot I \cdot cos\varphi$$

3. Skala og visning:
   - Instrumentet har en analog viser som beveger seg over en kalibrert skala i W, kW eller MW, avhengig av bruksområdet.
   - Det viser øyeblikkelig effektforbruk, ikke energiforbruk over tid (det gjør et energimeter, f.eks. kWh-meter).

4. Fasespenning og fasevinkel:
   - Wattmeteret tar hensyn til faseforskyvning mellom strøm og spenning (cos φ), og viser kun den reelle effekten – ikke reaktiv eller tilsynelatende effekt.

Bruksområder:

- Effektmåling i tavler og generatoranlegg.
- Overvåkning av last i el-forsyningssystemer.
- Kontroll med aktiv kraft i fordeling og produksjon.

Effektfaktormeter (Cos φ-meter)

EFFEKTFAKTORMETER (COS Φ-METER)

- **Funksjon:** Viser faseforskyvningen mellom strøm og spenning, som er viktig for energieffektivitet.
- **Virker ved:** Måling av vinkelen mellom strøm- og spenningens sinuskurver.



DEIF PFQ effektfaktormeter

DEIF PFQ EFFEKTFAKTORMETER

PFQ er et DEIF effektfaktormeter (Power Factor Meter). Det viser forholdet mellom aktiv effekt og tilsynelatende effekt – altså hvor effektivt den elektriske energien utnyttes.

Virkemåte til DEIF PFQ effektfaktormeter:

1. Tilkobling:
   - PFQ kobles til både:
   - Spenning (fra fase til nøytral eller mellom to faser).
   - Strøm (via strømtransformator).
   - Det måler både strøm og spenning samtidig, og registrerer fasevinkelen mellom dem.

2. Måleprinsipp – fasevinkelmåling:
   - Effektfaktoren er:

> $$\cos\varphi = \frac{aktiv\ effekt\ (W)}{tilsynelatende\ effekt\ (VA)} = \frac{P}{S}$$
> - PFQ måler faseforskyvningen (φ) mellom strøm og spenning.
> - En intern mekanisme (med spoler og momentbalanse) tolker denne vinkelen og viser verdien som cos φ.

3. Skala og visning:
   - Skalaen går fra 0,5 induktiv (LAG) til 1 (perfekt) til 0,5 kapasitiv (LEAD).
   - Et symmetrisk analogt instrument:

- Midtpunktet er cos φ = 1
- Viser til venstre: induktiv last (typisk motorer).
- Viser til høyre: kapasitiv last (f.eks. kondensatorbanker).

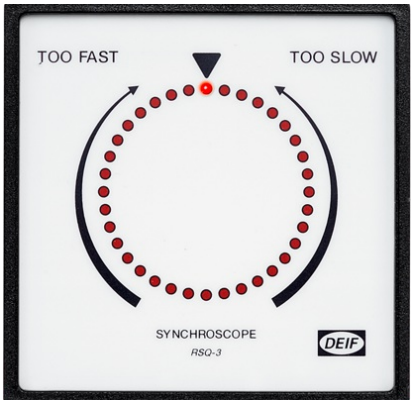
Typisk bruk:

- Overvåking av lastens effektfaktor i tavler og kraftsystemer.
- Brukes til å holde oversikt over energikvalitet.
- Viktig for dimensjonering av kompensasjonssystemer (som kondensatorbatterier).

Synkroskop

SYNKROSKOP

- **Funksjon:** Brukes når generatorer kobles sammen (synkronisering). Viser faseforskjell og frekvensforskjell mellom to spenningskilder.
- **Virker ved:** Sammenligning av frekvens og fase på to spenninger ved hjelp av en roterende indikator eller lysdioder.



Bilde viser et DEIF RSQ-3.

DEIF RSQ-3 synkronoskop

DEIF RSQ-3 SYNKRONOSKOP

DEIF RSQ-3 synkronoskop er et digitalt instrument med et LED-display, ikke et analogt instrument.

RSQ-3 Synkronoskop – Virkemåte med LED-display:

DEIF RSQ-3 er et mikroprosessorbasert synkronoskop som bruker 36 røde LED-lamper for å vise synkroniseringsstatus mellom en generator og busbar (eller en annen generator). Dette gir en presis og lettlest indikasjon på faseforskjell og frekvensforskjell.

Hovedfunksjoner:

- 36 røde LED-lamper danner en sirkel og simulerer en analog visers bevegelse.
- Hver LED representerer en faseforskjell på 10 grader, og den tente LED-en viser den aktuelle faseforskjellen.

- Den tente LED-en beveger seg også for å indikere frekvensforskjellen (i Hz) mellom generatoren og nettet.
- Mikroprosessoren beregner faseforskjellen og viser den på LED-sirkelen.
- Høy immunitet mot harmonisk forvrengning sikrer nøyaktige målinger selv i forurensede elektriske miljøer.

directindustry.com+1deif.com+1 https://www.directindustry.com/prod/deif/product-20890-2679659.html

Dette designet gir en klar og presis visning av synkroniseringsstatusen, noe som er avgjørende for å unngå skade på utstyr og sikre en trygg tilkobling av generatoren til nettet.

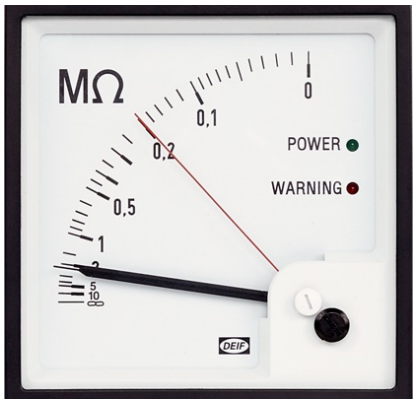
Bruksområder:

- Manuell synkronisering av generatorer til nettet.
- Overvåking av fase- og frekvensforskjeller i sanntid.
- Sikker tilkobling av generatorer til nettet uten fare for skade.

Jordfeilindikator

JORDFEILINDIKATOR

- **Funksjon:** Oppdager lekkasjestrøm til jord, som kan indikere en isolasjonsfeil.
- **Virker ved:** Måling av ubalanse mellom fase- og nøytralstrømmer eller isolasjonsmotstand.



Et DEIF AAL-2

DEIF AAL-2 Jordfeilindikator

DEIF AAL-2 JORDFEILINDIKATOR

DEIF AAL-2 er en jordfeilindikator som overvåker isolasjonsmotstanden mellom et ikke-jordet (IT) nett og jord. Den brukes ofte i maritime installasjoner, kraftanlegg og andre systemer der kontinuerlig drift er viktig, og hvor strømforsyningen ikke umiddelbart skal kobles ut ved jordfeil.

Virkemåte:

1. Måleprinsipp:
   AAL-2 bruker en innebygd spenningsgenerator som legger en lavfrekvent målespenning (vanligvis < 50 V AC) mellom systemets spenningsførende ledere og jord. Den måler deretter lekkasjestrømmen som går via jord.

2. Isolasjonsmotstand:
   Hvis den målte isolasjonsmotstanden synker under en forhåndsinnstilt terskel (f.eks. 20 kΩ), vil AAL-2 gi alarm. Det betyr at det er en jordfeil eller begynnende isolasjonssvikt et sted i anlegget.

3. Alarmutgang:
   Når jordfeilen oppdages, aktiveres alarm reléet. Dette kan kobles til visuelle/akustiske alarmer eller til styresystemer (f.eks. PLS, tavlealarmer eller alarmsentral).

4. Test- og reset funksjon:
   AAL-2 har normalt funksjoner for manuell test og reset, slik at man kan kontrollere at systemet fungerer og kvittere en alarm.

5. Forsyning og tilkobling:
   Enheten kobles til en ekstern strømkilde (vanligvis 24 V DC) og til anleggets faseledere samt jord. Den overvåker typisk hele systemet fra ett punkt, og må installeres ifølge produsentens anbefalinger for nøyaktig og sikker drift.

Reaktiv effektmeter (VAr-meter)

REAKTIV EFFEKTMETER (VAR-METER)

- **Funksjon:** Måler reaktiv effekt (VAr – Volt-Ampere reaktiv), som er den delen av effekten som ikke bidrar til faktisk nyttelast, men som er nødvendig for å opprettholde magnetiske felt i motorer, transformatorer og annet utstyr.
- **Virkemåte:** Måling av den delkomponenten av effekten som er ute av fase med spenningen (90° faseforskyvning). Dette gjøres ofte ved hjelp av spesielle wattmeter som skiller mellom aktiv og reaktiv effekt.

Reaktiv effekt er viktig å overvåke fordi for mye reaktiv effekt kan føre til dårlig effektfaktor (lav Cos φ), noe som igjen kan belaste generatorene unødvendig og redusere systemets effektivitet.



DEIF Dq96

DEIF VArQ reaktiv effekt meter

DEIF VARQ REAKTIV EFFEKT METER

(Reaktiv effektmåler – analog, kvadrantbasert)

Kort beskrivelse

- VArQ er et analogt måleinstrument som måler reaktiv effekt i et vekselstrøms anlegg.
- Måleenheten er VAr, vanligvis vist i kVAr.
- Reaktiv effekt oppstår ved faseforskyvning mellom strøm og spenning, f.eks. ved bruk av induktive eller kapasitive laster.

Virkemåte:

- Samme prinsipp som et wattmeter (WQ), men elektronisk tilpasset for å måle:

$$Q = U * I * \sin \varphi$$

– Altså reaktiv effekt, som er komponenten av strømmen som ikke utfører arbeid, men som belaster nettet.
- Målingen skjer ved hjelp av spoler og magnetfelt, med en viser som beveger seg proporsjonalt med den målte reaktive effekten.

Faseretningsmeter

FASERETNINGSMETER

En faseretningsmåler brukes til å fastslå rekkefølgen på fasene (L1, L2, L3) i et trefasesystem. Dette er viktig for at motorer, generatorer og annet trefaseutstyr skal fungere riktig.

Funksjon: Hva gjør en faseretningsmåler?

- Bestemmer fasefølgen (rekkefølgen på de tre fasene)
- Viser om fasefølgen er:
  - Med urs (riktig) – ofte merket R eller CW (clockwise)
  - Mot urs (feil) – ofte merket L eller CCW (counter-clockwise)
- Brukes typisk ved installasjon og kontroll av trefaseanlegg.

Hvordan fungerer den teknisk?

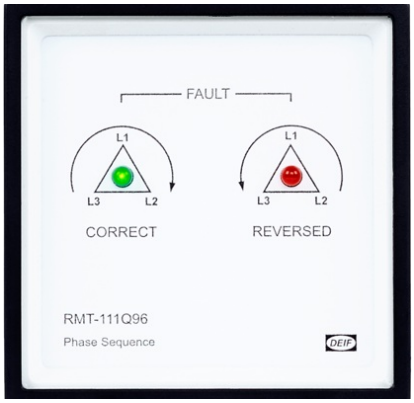
1. Tilkopling: Måleren kobles til L1, L2 og L3.
2. Måling: Den måler spenningene og tidsforskyvningen mellom fasene.
3. Intern krets: Bruker faseforskjellen til å avgjøre rekkefølgen.
4. Visning: Resultatet vises analogt eller med lamper/pil som viser rotasjonsretning.

PRAKTISK EKSEMPEL:

Kobler du til en elektrisk motor og faseføLgen er feil, vil motoren gå baklengs. Faseretningsmåleren gir deg et klart svar før du kobler til lasten.

Viktig i disse tilfellene:

- Før idriftsetting av motorer
- Kontroll av strømforsyning til pumper, heiser eller generatorer
- Feilsøking i tavler og fordelingsnett



DEIF RMT-111Q96

Digitalt multiinstrument

DIGITALT MULTIINSTRUMENT

DEIF MIC-2 MKII er et digitalt multiinstrument som brukes til måling og overvåking av elektriske parametere i lav- og mellomspenningsanlegg, både for marine og industrielle installasjoner. Det er spesielt utbredt i hovedtavler og kontrollsystemer, som for eksempel i generator- og kraftdistribusjonssystemer.



Foto: DEIF

Hvordan DEIF MIC-2 MKII virker

MIC-2 MKII måler elektriske verdier kontinuerlig i et trefase-system og gir disse verdiene i sanntid på et digitalt display. Instrumentet bruker strømtransformatorer (CT) og spenningstransformatorer (VT) til å hente inn måleverdier fra systemet det er koblet til.

MIC-2 MKII kan måle

- Spenning (V) – fase til fase og fase til jord
- Strøm (A) – per fase og nøytral
- Effekt:
  - Aktiv effekt (kW)
  - Reaktiv effekt (kvar)
  - Tilsynelatende effekt (kVA)
- Frekvens (Hz)
- Effekt faktor (cos φ)
- Energi:
  - Akkumulert energi (kWh, kVArh, kVAh)
- Harmoniske – opptil 15. harmoniske (valgfritt)

Funksjoner og virkemåte

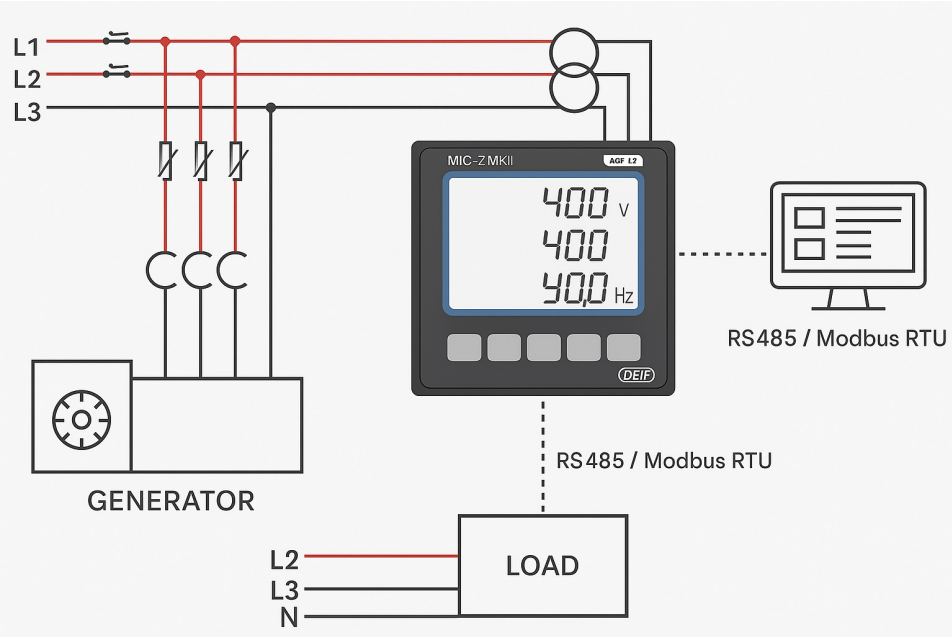
1. Digital prosessering: Målesignalene konverteres til digitale verdier med høy nøyaktighet ved hjelp av en ADC (analog-til-digital-omformer).
2. Intern mikroprosessor: Behandler målingene og beregner alle nødvendige elektriske parametere.
3. Visning og varsling:
   - Grafisk display viser data i tall og grafikk
   - Alarmgrenser kan settes for spenning, strøm, frekvens osv.
   - Alarmreléutganger for signalering
4. Kommunikasjon:
   - Støtter Modbus RTU (RS485) for tilkobling til overvåkingssystemer eller SCADA
   - Noen modeller har også Ethernet (Modbus TCP)

Typiske bruksområder

- Generatoranlegg
- Hovedtavler på skip
- Kraftfordeling i industri
- Strømovervåking og energimåling

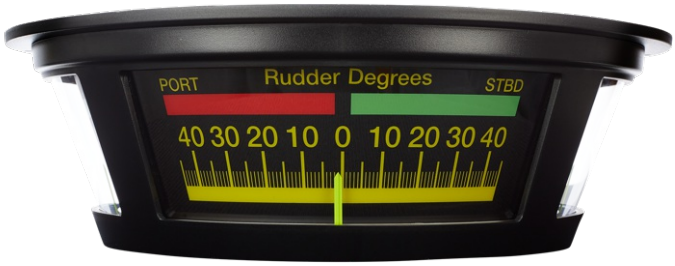
Fordeler:

- Kompakt og robust design
- Nøyaktig måling
- Kan erstatte mange analoge måleinstrumenter
- Egnet for marine miljøer (DNV-typegodkjent)



Skissa over er laga av KI.

Broinstrumenter



Bildet er en DEIF TRI-2 rorindikator.

Denne rorindikatoren har DEIF 70 % markedsandel worldwide.

Et skip har en rekke instrumenter på broen som hjelper navigatører og mannskapet med sikker styring, navigasjon og drift.

I dette kapittelet går vi ikke inn på disse instrumenta.

Her er noen av de mest vanlige instrumentene på broen:

Navigasjonsinstrumenter:

- Rorindikator – Viser rorvinkelen for å bekrefte rorets posisjon.
- Radar – Viser omgivelsene og andre fartøy, viktig for kollisjonssikring.
- ECDIS (Electronic Chart Display and Information System) – Elektroniske sjøkart for navigasjon.
- GPS (Global Positioning System) – Gir skipets eksakte posisjon.
- Gyrokompass – Viser kursen uavhengig av magnetfelt.
- Magnetkompass – Backup til gyrokompasset, viser magnetisk nord.
- Autopilot – Holder kursen automatisk.

Kommunikasjonsutstyr:

- VHF-radio – For kortdistansekommunikasjon med andre fartøy og havner.
- MF/HF-radio – Langdistansekommunikasjon.
- AIS (Automatic Identification System) – Viser informasjon om andre fartøy i nærheten.
- Intercom-system – Internkommunikasjon om bord.
- Satellittkommunikasjon (Inmarsat/VSAT) – For global kommunikasjon og internettilgang.

Maskin- og driftskontroll:

- Fartsmåler (logg) – Måler skipets fart gjennom vannet.
- Ekkolodd – Måler dybden under skipet for å unngå grunnstøting.
- Vindmåler – Viser vindretning og -styrke.
- Maskinromsovervåking – Skjermer som viser status på motorer, generatorer og systemer.
- Ballast- og lastkontrollsystem – Viser nivåer i tanker for stabilitet.

Alarmer og sikkerhetssystemer:

- Brannalarm og røykdetektorer – Varsler om brann om bord.
- GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System) – Nødradiosystem for global sikkerhet.
- Navigasjonslys- og signalpanel – Overvåker lanterner og signaler.

Disse systemene gir brobesetningen full kontroll over skipets navigasjon, sikkerhet og drift, og er avgjørende for trygg seilas!



Skipsbroa på M/S «Skulebas» ved Fagskulen Vestland, studiestad Måløy

Systematisk feilsøking av jordfeil i hovedtavlen på et skip

!

JORDFEIL PÅ JORDFEILMETERET

Hvis du leser en jordfeil på jordfeilmeteret i hovedtavlen på et skip, er det viktig å finne og isolere feilen raskt for å unngå potensielle farer som strømlekkasjer, tap av isolasjon og brannfare. Her er en systematisk fremgangsmåte for feilsøking:

Bekreft jordfeilen

- Noter verdien på jordfeilmeteret og sjekk om feilen er permanent eller intermitterende.
- Hvis feilen er intermitterende (varierende verdi), kan den skyldes fukt, bevegelige kabler eller midlertidige laster.
- Hvis feilen er permanent, fortsett til neste trinn.

Identifiser berørt system

- Hvis skipet har IT-nett (isolert nullpunkt), vil en jordfeil ikke nødvendigvis føre til umiddelbar utkobling, men feilen bør uansett finnes og utbedres.
- Hvis det er TN- eller TT-nett, kan jordfeilen føre til sikringsutløsning eller feil i strømforsyningen.

Del opp anlegget i seksjoner

- Slå av og koble fra hovedkurser én etter én mens du overvåker jordfeilmeteret.
- Når jordfeilen forsvinner, vet du hvilken kurs som har problemet.

Finn den spesifikke forbrukeren

- Inne på den feile kursen, koble ut og slå av utstyr én etter én mens du observerer jordfeilmeteret.
- Når feilen forsvinner, har du funnet den skyldige komponenten (motor, varmeelement, lysarmatur, omformer, etc.).

Isolasjonsmåling av den mistenkte komponenten

- Bruk en megger (isolasjonsmåler) for å sjekke isolasjonsmotstanden mellom fasene og jord.
- Normal verdi er over 2 MΩ, men ofte betydelig høyere.
- Hvis verdien er lav (< 2 MΩ), er det en isolasjonsfeil som må utbedres.

Utbedre feilen

- Hvis jordfeilen skyldes fuktighet, kan du prøve å tørke utstyret.
- Hvis den skyldes ødelagt isolasjon, må du reparere eller bytte ut kabler/utstyr.
- Hvis det er en permanent feil i et apparat, bør det erstattes.

Siste kontroll

- Når feilen er rettet, slå på anlegget igjen og overvåk jordfeilmeteret for å sikre at feilen er borte.
- Dersom det fortsatt er en jordfeil, gjenta prosedyren for å finne eventuelle sekundære feil.

TIPS:

- Hvis skipet har et isolasjonsvakt-system, kan det gi en indikasjon på hvilken fase som har feil.
- Hold en logg over jordfeil og utførte målinger for enklere feilsøking i fremtiden.
- Hvis feilen oppstår etter uvær eller sjøsprut, kan det være fukt i kabler eller utstyr.

Fremgangsmåte for isolasjonsmåling av en asynkronmotor:

Isolasjonsmåling er en viktig test for å vurdere tilstanden til motorens viklinger og isolasjonssystem. Dette hjelper med å identifisere eventuelle feil som kan føre til kortslutning, jordfeil eller andre elektriske problemer.

Forberedelser:

- Slå av og frakoble motoren fra strømforsyningen.
- Sørg for at motoren er fri for eventuell restspenning.
- Koble fra eventuelle eksterne komponenter som frekvensomformere eller motorvern.
- Rengjør motoren hvis den er skitten eller fuktig, da dette kan påvirke målingen.

Instrument og testspenning:

- Bruk et megger (isolasjonsmotstandsmåler) med riktig testspenning:
  - Motorer opp til 500V → 500V testspenning
  - Motorer over 500V → 1000V testspenning
- Måling utføres mellom viklingene og jord (chassis) samt mellom viklingene.

Måling mellom viklinger og jord:

- Koble én testledning fra meggeren til motorhuset (jord).
- Koble den andre testledningen til hver av motorens viklingsterminaler (U, V, W) én etter én.
- Noter måleresultatet.

Måling mellom viklinger:

- Mål isolasjonsmotstanden mellom:
  - U og V
  - V og W
  - W og U
- Noter måleresultatene.

Vurdering av resultater:

- En god isolasjonsmotstand bør være minst 2 MΩ per kV driftsspenning (men ofte mye høyere).
- En lav isolasjonsmotstand (<2 MΩ) kan indikere fuktighet, forurensning eller isolasjonsskader.
- Hvis verdien er svært lav (<0,1 MΩ), bør motoren ikke tas i bruk før årsaken er funnet og utbedret.

Tiltak ved dårlig isolasjonsmåling:

- Tørk motoren ved hjelp av varme (f.eks. varmluft eller ovn).
- Rengjør viklingene for støv, olje eller fukt.
- Hvis problemet vedvarer, vurder å renovere eller erstatte motoren.

Kap 7 Sikringer og effektbrytere

Sikringer om bord i skip

Sikringer på skip beskytter elektriske systemer mot kortslutning og overbelastning. De finnes i mange ulike typer som f.eks. automatsikringer. Alle sikringer må være maritimt godkjente og følge internasjonale standarder for sikker drift.

1. Typer sikringer på skip

Høyeffekt- og høyspentsikringer

- Brukes i hovedtavler og generatorer for å beskytte høyspenningskabler (1 kV).
- Kan være hurtigutløsende (for sensitive systemer) eller treg (for å tåle startstrømmer).
- Vanlige typer:
  - HV HRC-sikringer (High Rupturing Capacity) – (>1 kV).
  - Sikringer for transformatorer – beskytter mot kortslutninger og overstrømmer.

Lavspentsikringer (LV-fuses, under 1 kV)

- Brukes i fordelingstavler, kontrollskap, maskiner og belysning.
- Vanlige typer:
  - Automatsikringer (MCB – Miniature Circuit Breakers) – beskytter lys og små maskiner.
  - Sikringseffektbryter (MCCB) – brukes til motorer, varmeelementer og større laster.
  - D-sikringer (Diazed) og Neozed – lite brukt i dag.

Motorvernsikringer

- Spesialdesignet for å beskytte elektriske motorer mot overbelastning og kortslutning.
- Kan være thermomagnetiske (kombinasjon av tid- og strømstyrt vern).

Gjenopprettbare sikringer

- Automatsikringer (MCB, MCCB, ACB) – brukes i stedet for smeltesikringer. Kan tilbakestilles etter en utkobling.
- Elektroniske vern – brukes i moderne skip for nøyaktig overvåkning og beskyttelse.

2 Krav til sikringer på skip

Sikringene må være:

- Godkjent for maritime miljøer (må tåle fuktighet, vibrasjoner og temperaturendringer).
- Dimensjonert riktig etter belastning og kabelkapasitet.
- Plassert lett tilgjengelig for vedlikehold og utskifting.
- Tilpasset vern krav fra DNV, IEC 60092, SOLAS og klasseselskaper.

3 Hvor brukes sikringer om bord?

- Hovedtavlen – Beskytter generatorer og hoved kabler.
- Fordelingstavler – Beskytter lavspentkretser og maskiner.
- Motorstartere – Beskytter pumper, ventilasjonsvifter og Thrustere.
- Navigasjonsutstyr – Hindrer feil i radar, radio og kontrollsystemer.
- Nødstrøms systemer – Sikrer strøm til nødlys og alarmer.

Glassrørsikring

GLASSRØRSIKRING

En glassikring (også kalt glassrørsikring) er en type elektrisk sikring som brukes for å beskytte elektriske kretser mot overstrøm. Den består av en liten glassylinder med en tynn metalltråd inni. Når strømmen overstiger en viss grense, smelter tråden og bryter kretsen, slik at komponenter og ledninger ikke skades.

Typer glassikringer

1. Hurtigsikringer (Fast-acting, F-type) – Bryter kretsen raskt ved overbelastning.
2. Treg sikringer (Slow-blow, T-type) – Tåler kortvarige strømstøt før de løser ut, nyttig i motorer og transformatorer.

Glassrørsikringen på bilde under har et fysisk mål på 5 * 20 mm



Bruksområder

- Elektroniske apparater (radioer, TV-er, forsterkere).
- Strømforsyninger.
- Elektronikk.

Sikringspatron (skrusikringer)

SIKRINGSPATRON (SKRUSIKRINGER)

Den gamle typen sikringspatron er en smeltesikringer med skrusokkel (også kalt Diazed-sikringer, eller "gammeldagse" skrusikringer). Disse ble mye brukt i eldre sikringsskap før automatsikringer ble standard.

Kjennetegn ved gamle sikringspatroner

- Skrusikringer (Diazed/D-sikringer) – Monteres i porselenssikringsholdere med en skrusokkel.
- Keramisk hylse – Gir høy varmebestandighet og sikker isolasjon.
- Fargekode – Indikerer sikringens strømstyrke.
- Smeltetråd inni – Brenner av ved overbelastning, og sikringen må byttes ut.
- Bunnskrue i sokkelen – Hindrer at feil sikringsstørrelse settes inn.

Vanlige størrelser og fargekoder

Her er den riktige fargekoden for Diazed (D) skrusikringer:

Farge	Ampere (A)	Bruksområde
Grønn	6A	Styrestrøm, lys og små apparater
Rød	10A	Mindre kurser (stikkontakter, lys)
Grå	16A	Vanlige stikkontakter
Blå	20A	Større apparater
Gul	25A	Varmtvannsberedere, komfyrer
Svart	35A	Industri, større laster
Hvit	50A	Høy belastning (industri)
Orange	63 A	Høy belastning (Mye brukt som inntak i hus)

Disse fargekodene gjelder standard Diazed-sikringer (DII-serien). For større sikringer (DIII, DIV) kan fargene variere litt.



Utskifting og modernisering

Hvis en fortsatt har gamle skrusikringer, kan det være lurt å oppgradere til automatsikringer (jordfeilautomater). Disse er tryggere, lettere å bruke og trenger ikke byttes ut ved utløsning.

Automatsikringer

En automatsikring (MCB – Miniature Circuit Breaker) fungerer som en automatisk strømbryter som beskytter elektriske kretser mot overbelastning og kortslutning. Når den løser ut, kan den enkelt resettes uten å måtte bytte noen deler, i motsetning til en smeltesikring.

1. Hovedfunksjoner

En automatsikring beskytter mot:

- Overbelastning – Hvis strømmen er for høy over tid.
- Kortslutning – Hvis en plutselig stor strømstrøm oppstår.

2. Oppbygging og virkemåte

En automatsikring består av to hovedutløsningsmekanismer:

2.1 Termisk vern (beskytter mot overbelastning).

- Inni bryteren er det en bimetall-strimmel (to metalltyper med ulik utvidelsesgrad).
- Når strømmen overstiger nominell verdi over tid, blir strimmelen varm og bøyer seg.
- Når den bøyer seg nok, utløses bryteren og kutter strømmen.
- Dette skjer gradvis, slik at små, kortvarige overbelastninger ikke løser ut bryteren unødvendig.

Eksempel: Hvis du kobler for mange apparater til en kurs (f.eks. varmeovner på en 16A-kurs), vil automatsikringen løse ut etter en stund.

2.2 Magnetisk vern (beskytter mot kortslutning).

- Ved kortslutning øker strømmen ekstremt raskt (flere hundre ganger nominell strøm).
- En elektromagnetisk spole inni bryteren reagerer umiddelbart på den høye strømmen og trekker til seg en utløsermekanisme.
- Dette fører til en øyeblikkelig utkobling (innen millisekunder), slik at kabler og utstyr ikke blir skadet.

EKSEMPEL

Hvis en skrutrekker faller mellom fase og nøytral i en stikkontakt, vil en stor kortslutningsstrøm oppstå, og automatsikringen slår seg av umiddelbart.

3. Tilbakestilling

Når automatsikringen har løst ut:

1. Finn og rett opp feilen (f.eks. frakoble overbelastning eller kortslutning).
2. Sett bryteren tilbake i "på"-posisjon.

4. Vanlige typer automatsikringer

- B-karakteristikk – Løser ut raskt ved 3-5 ganger nominell strøm (brukes i bolig).
- C-karakteristikk – Løser ut ved 5-10 ganger nominell strøm (brukes til motorer og lysanlegg).
- D-karakteristikk – Løser ut ved 10-20 ganger nominell strøm (brukes for tunge laster som transformatorer).

5. Typer automatsikringer

- Standard automatsikringer (MCB) – Beskytter mot overbelastning og kortslutning.
- Jordfeilautomater (RCBO) – Kombinerer automatsikring og jordfeilbryter.
- Jordfeilbryter (RCD) – Oppdager lekkasjestrøm og beskytter mot elektrisk støt.

Σ

OPPSUMMERING:

- En bimetall-strimmel kutter strømmen ved overbelastning (treg utkobling).
- En elektromagnetisk spole kutter strømmen ved kortslutning (rask utkobling).
- Kan enkelt resettes etter utløsning.

Denne teknologien gjør automatsikringer sikre, enkle og effektive i både hjem og industri!

Karakteristikker på automatsikringer

Automatsikringer kommer i forskjellige "utløsningskarakteristikker", avhengig av hvor følsomme de skal være for strømstøt:

Type	Bruksområde	Beskrivelse
B-karakteristikk	Innredning på skip Boliger	Slår ut ved 3-5 ganger nominell strøm (følsom for små overbelastninger)
C-karakteristikk	Motorer og store laster	Slår ut ved 5-10 ganger nominell strøm (tåler kortvarige strømstøt)
D-karakteristikk	Spesielle industrier	Slår ut ved 10-20 ganger nominell strøm (brukes i motorer og transformatorer)

Vanlige ampereverdier automatsikringer

Ampere (A)	Bruksområde
10 A og 13 A	> Lyskurser
15 A og 16 A	> Stikkontakter
20 A	> Store apparater
25 A	> Komfyrer, varmtvannsberedere
32 A	> Industri, skip og elbilladere
40 A	> Industri, skip
50 A	> Industri, skip
63 A	> Industri, skip
80 A	> Industri, skip
100 A	> Industri, skip
125 A	> Industri, skip



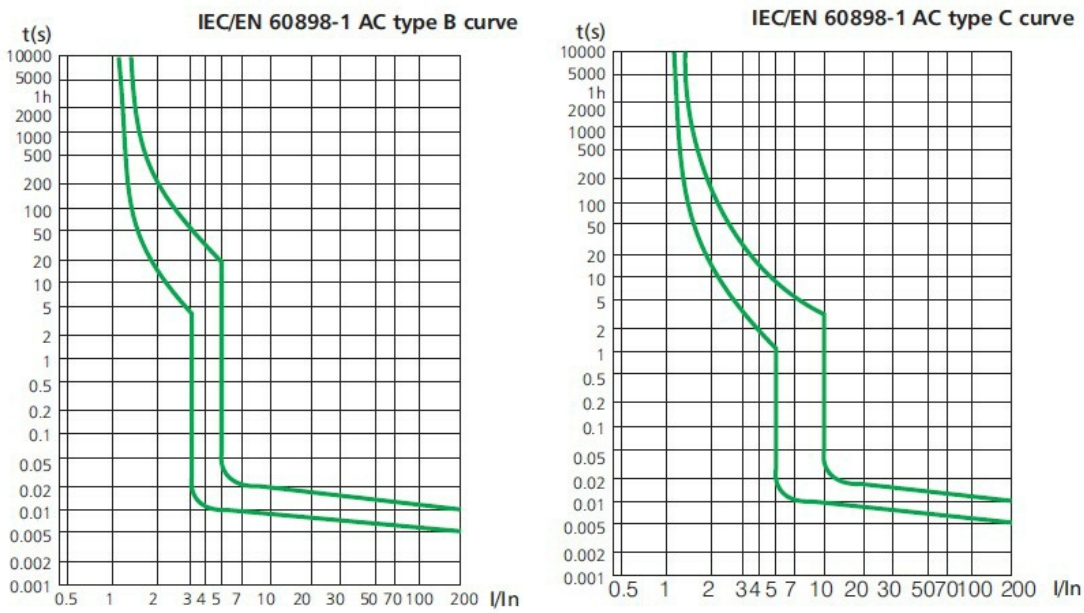
iC60H - Automatsikring 2P - 16A - B-kurve - I2=1,45



iC60H - Automatsikring 3P - 16A - C-kurve - I2=1,45

Foto Schneider Electric

Utløsningskurve for automatsikring



Sikringseffektbryter (automatsikring)

SIKRINGSEFFEKTBRYTER (AUTOMATSIKRING)

En sikringseffektbryter, også kjent som automatsikring eller kombinert effektbryter med sikringsfunksjon. Benevnelsen blir gjerne brukt på automatsikringer som er store, f.eks. på størrelser over 100 A.

En sikringseffektbryter fungerer på samme måte som en vanlig effektbryter, men med automatiske reset-muligheter, slik at den kan kobles inn igjen etter at feilen er rettet. Den kombinerer to vern:

1. Termisk vern (overbelastningsbeskyttelse)
   - Bruker et bimetallelement som bøyer seg ved langvarig høy strøm og utløser bryteren.
   - Gir en forsinket utkobling for å skille mellom normal strøm økning og farlig overbelastning.
2. Magnetisk vern (kortslutningsbeskyttelse)
   - En elektromagnetisk spole aktiverer en mekanisme som øyeblikkelig kobler ut bryteren ved kortslutning.

Den brukes ofte i fordelingstavler på skip, industri og bygninger hvor rask reaktivering er viktig.

En sikringseffektbryter er i praksis en automatsikring, men ofte med høyere kapasitet og flere avanserte vern enn vanlige husholdningsautomatsikringer.

Forskjellen ligger i bruksområde og kapasitet:

- En automatsikring brukes typisk i innredning og mindre fordelingsanlegg (for eksempel 10 A eller 16 A i sikringsskapet i innredning).
- En sikringseffektbryter brukes i industrien, skip og større elektriske systemer med høyere strømstyrker (for eksempel 100 A, 400 A eller mer).

Men prinsippet er det samme: Den kobler ut strømmen ved feil og kan resettes uten at noen deler må byttes.

Sikringseffektbryter kan ha flere benevnelser, avhengig av type og bruksområde.

MCCB – Molded Case Circuit Breaker (støpt kapslet effektbryter)

- En robust effektbryter med termisk og magnetisk vern.
- Kan brukes i lavspenningssystemer (opptil 1000 V).
- Vanlig i skip, industri og større fordelingsanlegg.

Så hvis en snakker om en sikringseffektbryter, vil MCCB være den mest relevante betegnelsen i industri og skipsanlegg.

Effektbryter Schneider Electric

ComPacT NSX med termomagnetisk vern NSX100N-TM100D 3P3T 100A 90kA/230VAC - 50kA/415VAC.



Foto Schneider Electric

Jordfeilbryter RCCB

JORDFEILBRYTER RCCB

RCB / RCCB – Residual Current Circuit Breaker (jordfeilbryter)

- Kjent som jordfeilautomat når den er kombinert med overstrømsvern.
- Brukes for personbeskyttelse og utløser ved jordfeilstrøm (f.eks. 30 mA eller 300 mA).

En jordfeilbryter eller feilstrømbryter, er en viktig sikkerhetskomponent i elektriske anlegg. Den beskytter personer mot elektrisk støt og forhindrer branner forårsaket av jordfeil.

Hvordan virker en jordfeilbryter?

En jordfeilbryter overvåker strømmen som går ut og inn av en elektrisk krets (gjennom fase og nøytralleder). Under normale forhold er strømmen inn og ut lik. Hvis noe av strømmen tar en «feil vei» – for eksempel gjennom en person til jord – vil det bli en ubalanse. Jordfeilbryteren registrerer denne ubalansen og kobler ut strømmen umiddelbart (typisk innen 30 millisekunder).

Jordfeilbryter i IT-anlegg

I IT-anlegg (isolert eller impedansejordet system), finnes det ingen direkte jordet nøytralleder, og det kan gjøre det litt mer komplisert å forstå hvordan en jordfeilbryter fungerer – men prinsippet er fortsatt det samme: den måler strømforskjell.

Selv om det ikke er en nøytralleder i systemet, vil det likevel alltid være strømflyt i lederne til og fra lasten. Jordfeilbryteren i et IT-anlegg overvåker summen av strømmen i alle strømførende ledere (alle faser).

Prinsipp

Summen av strømmen i alle ledere (faser) skal være lik null. Hvis noe av strømmen lekker til jord (jordfeil), blir summen ≠ 0, og bryteren kobler ut.

Differensialstrøm i IT-anlegg

- I et trefase IT-anlegg (f.eks. L1, L2, L3):
- Jordfeilbryteren overvåker L1 + L2 + L3.
- Under normale forhold er summen av strømmen i disse tre ledere = 0 (vekselvis balansert).
- Ved jordfeil (for eksempel i L1), vil en del strøm «forsvinne» til jord, og summen blir ≠ 0. (≠ betyr «ikke lik»)
- Jordfeilbryteren detekterer dette og kobler ut.

Du kan tenke på det som at jordfeilbryteren ser etter «manglende strøm» i de strømførende lederne – uansett om det er en nøytral til stede eller ikke.

EKSEMPEL

Anta et IT-anlegg med 3 faser, ingen nøytral:

Leder	Strøm inn	Strøm ut
L1	10 A	10 A
L2	10 A	10 A
L3	10 A	10 A
Sum	**0 A**	**0 A**

Alt er OK.

Men hvis en jordfeil oppstår i L1 og 30 mA lekker til jord:

Leder	Strøm inn	Strøm ut
L1	10 A	9.97 A
L2	10 A	10 A
L3	10 A	10 A
Sum	**≠ 0 A**	Feil registrert

Jordfeilbryteren kobler ut.

Jordfeilautomat RCBO

JORDFEILAUTOMAT RCBO (RESIDUAL CURRENT BREAKER WITH OVERCURRENT PROTECTION)

En jordfeilautomat er en kombinasjon av:

- Automatsikring (beskytter mot kortslutning og overbelastning)
- Jordfeilbryter (beskytter mot jordfeil og støt)

Den slår av strømmen hvis:

1. Du bruker for mye strøm (overbelastning)
2. Det skjer en kortslutning
3. Det lekker strøm til jord (f.eks. gjennom kroppen din eller en ødelagt ledning)

Fordeler

- Tar mindre plass i sikringsskapet (2-i-1)
- Gir bedre sikkerhet
- Enkel feilsøking (viser *hvor* feilen er)



Jordfeilautomat RCBO og Jordfeilbryter RCCB.
Foto: Schneider Electric

Effektbryter

EFFEKTBRYTER

En effektbryter er en elektrisk bryter som kan koble inn og ut elektriske kretser under både normale driftsforhold og feiltilstander. Den beskytter anlegget mot overstrømmer, kortslutninger og andre feil ved å bryte strømmen på en kontrollert måte.

1. Oppbygging av en effektbryter

Effektbrytere finnes i forskjellige typer og størrelser, men de har som regel følgende hovedkomponenter:

1.1 Hoveddeler

- Hovedkontakter
- Leder strømmen når bryteren er innkoblet.
- Må være dimensjonert for høy spenning og strøm.
- Bueløsningskammer (Arc Chute)
- Når bryteren åpnes under belastning, oppstår en lysbue.
- Bueløsningskammeret deler opp og slukker lysbuen raskt for å unngå skade.
- Drivmekanisme
- Beveger hovedkontaktene ved å åpne eller lukke bryteren.
- Kan være fjærmekanisk, elektromagnetisk eller pneumatisk.
- Vern- og styringsenhet
- Inneholder overstrømsvern, kortslutningsvern, jordfeilvern osv.
- Moderne effektbrytere har ofte elektroniske reléer som kan programmeres.
- Hus/Kapsling
- Beskytter de interne delene mot støv, fuktighet og mekanisk skade.

2. Virkemåte

2.1 Normal Drift

- Når bryteren er lukket, leder hovedkontaktene strømmen uten avbrudd.
- En innebygd elektronisk eller termisk overvåkning sørger for at strømmen holder seg innenfor normale grenser.

2.2 Feiltilstander og utløsing

Når en feil oppstår (f.eks. overbelastning, kortslutning eller jordfeil), vil bryteren koble ut kretsen automatisk for å beskytte systemet.

- Overstrømsvern (Termisk eller Elektronisk vern)
- Ved overbelastning øker strømmen, og et termisk element (bimetall) eller et elektronisk målesystem vil registrere dette og utløse bryteren etter en tidsforsinkelse.
- Kortslutningsvern (Magnetisk vern)
- En kortslutning fører til en kraftig strøm økning. En elektromagnetisk utløser aktiveres momentant og bryteren åpnes umiddelbart.
- Jordfeilvern
- Oppdager lekkasjestrøm til jord og kobler ut ved en forhåndsinnstilt grense.
- Retureffektvern (Reverse Power Protection, 32G)
- Brukes spesielt i generatorbrytere for å forhindre at en generator trekker effekt i stedet for å levere.

3. Typer effektbrytere

Effektbrytere kan klassifiseres etter hvor de brukes og hvordan de fungerer:

- Luftbryter (ACB – Air Circuit Breaker).
- Bruker luft som isolasjonsmedium.
- Vanlig i lavspenningsanlegg (opp til 1000V).
- Vakuumbryter (VCB – Vacuum Circuit Breaker).
- Bruker vakuum for å slukke lysbuen.
- Brukes ofte i mellomspenningsanlegg (1 kV – 36 kV).
- SF_6-bryter (SF_6 Circuit Breaker).
- Bruker svovelheksafluorid (SF_6) gass for å slukke lysbuen.
- Vanlig i høyspenningsanlegg (>36 kV).
- SM AirSeT – SF_6-fritt modulæranlegg opp til 24 kV.
- AirSeT er et SF_6-fritt, modulært luftisolert koblingsanlegg for sekundære distribusjonsnett.
- Anlegget bruker ren luft og vakumteknologi for å erstatte SF_6 og andre klimagasser.
- Olje- eller gassisolert bryter.
- Brukes sjelden i dag, men finnes i eldre installasjoner.

4 Plassering og bruk i skip

- Effektbrytere brukes i hovedtavler, fordelingstavler, og generatorbrytere på skip.
- I generatoranlegg har de ekstra beskyttelsesfunksjoner som under-/overfrekvensvern (81U/81O) og retureffektvern (32G).

Alle bryterne under er fra Schneider Electric.

Denne SM AirSeT bryteren bygger på ny teknologi som erstatning for SF6 bryterene.

1 Grønt skifte

2 CompoDrive-koblingsmekanisme

3 Vi tilbyr

4 Overvåking av effektbryter

5 Termisk overvåking



Miljøovervåkning 6

QR-kode 7

Lysbueregistrering 8

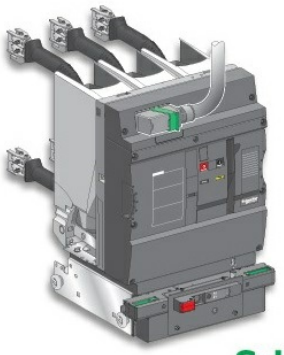
Nearby-kontroll 9

Denne SM AirSeT bryteren bygger på ny teknologi som erstatning for SF6 bryterene.

SM AirSeT



VCB bryter



Schneider Electric

ACB bryter



Effektbryter



Schneider SM AirSeT bryter

Schneider SM AirSeT – en ny, SF_6-fri mellomspennings-effektbryter:

Hva er SM AirSeT?

- En modulær, SF_6-fri mellomspenningsbryter (opptil 24 kV) – bruker ren luft som isolasjon i stedet for det sterke drivhusgassen SF_6.
- Kombinerer ren luftisolasjon med vakuum-interruptorer (SVI -- Shunt Vacuum Interruption) for å bryte strømmen trygt

Oppbygning

1. Luft som isolasjonsmedium.
   - Trykkluft med GWP = 0 – miljøvennlig løsning.
2. Shunt Vacuum Interruption (SVI).
   - Strømmen shuntes via en vakuumbryter når sveiseplatene skilles, noe som gir sikker avbrytelse uten SF_6.
3. EvoPacT vakuumbryter.
   - Høy ytelse og robust utførelse, designet for ≥ 10 000 operasjoner og mekanisk støtmotstand.
   - CompoDrive-mekanisme i kompositttmateriale gir lang levetid (~40 år) og høy driftssikkerhet.
4. Tre-posisjons bryter.
   - Lukket, åpen/frakoblet og jordnet – lik tradisjonellt SF_6-switchgear, for å gjøre overgangen enkel.
5. Digital tilkobling og sensorer.
   - IoT-satser: innebygde trådløse sensorer, sanntidsovervåking via EcoStruxure-plattform

Virkemåte

- Ved normal drift: luftisolasjon opprettholder spenning, ingen bryterhandling.
- Ved åpningskommando: strøm ledes parallelt gjennom vakuum-interruptor → åpning → bryter strømmen trygt uten lys buer i luft.
- Strømslutt før luft gap – sikrere mot lysbuer

Fordeler

Fordel	Beskrivelse
Miljø	Ingen SF_6 → lav miljøpåvirkning, unngår gassreguleringer
Driftssikkerhet	Robust i 40+ år, 10 000 operasjoner, CompoDrive gir støtmotstand
Digital overvåking	Sanntidsdata for helsetilstand, reduserer uplanlagt drift
Kompakt	Samme footprint som tradisjonelle SM6-paneler
Enkel oppgradering	Kan erstatte eksisterende paneler uten ombygging

Anerkjennelser & brukstilfeller

- Vunnet *Frost & Sullivan* "Product Leadership Award LATAM 2022" for pålitelighet og lav miljøpåvirkning
- Installert i prosjekter som Milanos e-bus-infrastruktur; reduserte SF_6-utslipp med ca. 560 t CO_2-ekvivalenter.
- Tildelt "Energy Efficient Solution of the Year" i Hellas for sin bærekraftige teknologi

Σ

OPPSUMMERING:

SM AirSeT leverer en fremtidsrettet løsning for mellomspenningsdistribusjon som:

- Er SF_6-fri med GWP = 0
- Kombinerer luftisolasjon + vakuumbryter.
- Har digital overvåking og lang levetid.
- Er en dropp-in-erstatning for eksisterende SM6-installeringer.



Foto: Schneider Electric

Selektivitet

SELEKTIVITET

Selektivitet mellom sikringer og brytere handler om å sikre at kun den sikringen eller bryteren nærmest feilen løser ut, mens resten av anlegget forblir i drift. Dette forbedrer driftssikkerheten og reduserer unødvendige strømbrudd.

Typer av selektivitet

1. Strømselektivitet (Overstrøms selektivitet).
   - Den minste sikringen eller bryteren (nærmest lasten) løser ut først fordi den har en lavere strømgrense enn hovedbryteren.
   - Eksempel: En 16A sikring foran en 100A hovedbryter – ved feil på en last koblet til 16A sikringen, løser bare denne ut.
2. Tidsselektivitet (Tidsforsinket selektivitet).
   - Hovedbryteren har en tidsforsinkelse slik at underordnede sikringer eller brytere får tid til å løse ut først.
   - Eksempel: En underbryter (f.eks. 100A) har en raskere respons enn en overordnet bryter (f.eks. 400A) som er forsinket.
3. Energi- eller I^2t-selektivitet.
   - Basert på lysbuens energi (I^2t-verdi) – den bryteren som slipper gjennom minst energi, løser ut først.
   - Brukes ofte i effektbrytere med elektroniske utløserenheter.
4. Soneselektivitet (Kommunikativ selektivitet).
   - Elektroniske vern kommuniserer med hverandre og sikrer at bare den nødvendige bryteren løser ut.
   - Brukes i store anlegg med digitale beskyttelses reléer.

Hvorfor er selektivitet viktig?

- Sikringen nærmest feil stedet løser ut først.
- Økt driftssikkerhet – kun feilområdet kobles ut, resten av systemet forblir aktivt.
- Redusert nedetid – færre unødvendige strømbrudd.
- Bedre beskyttelse av utstyr og systemer.
- Økonomiske fordeler – færre driftsavbrudd betyr lavere tap.

Kap 8 Skipskabel

SKIPSKABEL

Kabler på skip må oppfylle strenge krav for å sikre sikkerhet, pålitelighet og motstandsdyktighet mot tøffe maritime forhold. Kravene fastsettes av internasjonale regelverk og klasseselskaper som DNV (Det Norske Veritas), ABS, Lloyd's Register og IEC (International Electrotechnical Commission).

Generelle krav til skipskabler

- Brannmotstand
- Kabler må være flammehemmende og selvslukkende for å redusere risikoen for brann.
- Noen kabler må være brannresistente (tåle brann i en viss tid og fortsatt fungere).
- Lave røyk- og giftutslipp (LSZH – Low Smoke Zero Halogen)
- Kabler må ikke avgi giftige gasser ved brann (ingen halogener som klor eller fluor).
- Viktig for å beskytte mannskapet i tilfelle brann.
- Motstandsdyktighet mot sjøvann, fukt og olje- Skipskabler må tåle saltvann, olje, drivstoff og kjemikalier uten å miste isolasjonsevne.
- Isolasjonsmaterialer som EPR (ethylene propylene rubber) og XLPE (cross-linked polyethylene) brukes ofte.
- Fleksibilitet og vibrasjonsmotstand
- Kabler må tåle vibrasjoner og bevegelser fra motorer, maskiner og bølger.
- Bruk av flertrådede ledere gir bedre fleksibilitet.
- EMC-beskyttelse (elektromagnetisk kompatibilitet)
- Kabler til kommunikasjon og kontrollsystemer må ha skjerming for å unngå elektrisk støy.
- Temperaturbestandighet
- Kabler må tåle store temperatursvingninger, fra maskinrom (høy varme) til dekk og utendørs områder (kulde).

Spesifikke krav til ulike kabeltyper

- Strømkabler (LV og HV)
- Lavspent (<1 kV) og høyspent (>1 kV) kabler må være dimensjonert for last og spenningsfall.
- Kortslutningssikring kreves for lange kabler.
- Signal- og styrekabler
- Må være skjermet for å unngå forstyrrelser fra andre elektriske systemer.
- Nødkabler
- Skal være brannsikre og fungere under brann i minst 90 minutter.
- Viktig for nødlys, alarmer, kommunikasjon og brannpumper.
- Jording og beskyttelse
- Alle kabler må ha riktig jordingssystem for å unngå elektriske feil og farlige spenningsforskjeller.

Montering og installasjon

- Kortest mulig kabelstrekk for å minimere spenningsfall.
- Beskyttelse mot mekanisk skade (bruk av rør, kabelgater eller pansrede kabler i utsatte områder).
- Korrekt festing og avstand mellom kabler for å unngå varmeutvikling.
- Separasjon av strømkabler og signal-/kommunikasjonskabler for å unngå forstyrrelser.
- Vanntette gjennomføringer der kabler går mellom skott og dekk.

Regelverk og standarder

Internasjonale krav:

- IEC 60092-serien (standard for elektriske installasjoner på skip).
- SOLAS (Safety of Life at Sea) – Krav til brannsikre kabler.
- DNV, ABS, Lloyd's Register – Klassifiseringsregler for skipselektriske systemer.

Oppsummering:

Σ

OPPSUMMERING:

Skipskabler må være flammehemmende, korrosjonsbestandige, fleksible og skjermede der nødvendig. De må monteres sikkert, beskyttes mot skader og følge internasjonale standarder.

NEK 410B-2021 har fem tabeller som tar for seg det en kabel kan belastes med.

Tabell B.1 – Strømføringsevne ved kontinuerlig drift ved maksimal nominell leder temperatur på 60 °C.

Normaltversnitt mm²	Strømføringsevne i ampere (A)					
	Enleder A		Toleder A		Tre- og fire-leder A	
1,5	10		9		7	
2,5	17		14		12	
4	23		20		16	
6	29		25		20	
10	40		34		28	
16	54		46		38	
25	71		60		50	
35	88		75		62	
50	110		94		77	
70	135		115		95	
95	164		139		115	
120	189		161		132	
150	218		185		153	
185	248		211		174	
240	292		248		204	
300	336		286		235	
	DC	AC	DC	AC	DC	AC
400	390	380	332	323	273	266
500	450	430	383	366	315	301
630	520	470	442	400	364	329
Omgivelsestemperatur (luft) 45 °C						

Tabell B.2 – Strømføringsevne ved kontinuerlig drift ved maksimal nominell leder temperatur på 70 °C.

Normaltversnitt mm^2	Strømføringsevne i ampere (A)					
	Enleder A		Toleder A		Tre- og fire-leder A	
1,5	15		13		11	
2,5	21		18		15	
4	29		25		20	
6	37		31		26	
10	51		43		36	
16	68		58		48	
25	90		77		63	
35	111		94		78	
50	138		117		97	
70	171		145		120	
95	207		176		145	
120	239		203		167	
150	275		234		193	
185	313		266		219	
240	369		314		258	
300	424		360		297	
	DC	AC	DC	AC	DC	AC
400	500	490	425	417	350	343
500	580	550	493	468	406	385
630	670	610	519	519	469	427
Omgivelsestemperatur (luft) 45 °C						

Tabell B.3 – Strømføringsevne ved kontinuerlig drift ved maksimal nominell leder temperatur på 85 °C.

Normaltversnitt mm^2	Strømføringsevne i ampere (A)					
	Enleder A		Toleder A		Tre- og fire-leder A	
1,5	21		18		15	
2,5	28		24		20	
4	38		32		27	
6	49		42		34	
10	67		57		47	
16	91		77		64	
25	120		102		84	
35	148		126		104	
50	184		156		129	
70	228		194		160	
95	276		235		193	
120	319		271		223	
150	367		312		257	
185	418		355		293	
240	492		418		344	
300	565		480		396	
	DC	AC	DC	AC	DC	AC
400	650	630	553	536	455	441
500	740	680	629	578	518	476
630	840	740	714	629	588	518
Omgivelsestemperatur (luft) 45 °C						

Tabell B.4 – Strømføringsevne ved kontinuerlig drift ved maksimal nominell leder temperatur på 90 °C.

Normaltversnitt mm^2	Strømføringsevne i ampere (A)					
	Enleder A		Toleder A		Tre- og fire-leder A	
1,5	23		20		16	
2,5	40		26		21	
4	51		34		28	
6	55		44		36	
10	72		61		50	
16	96		82		67	
25	127		108		89	
35	157		133		110	
50	196		167		137	
70	242		206		169	
95	293		249		205	
120	339		288		237	
150	389		331		272	
185	444		377		311	
240	522		444		365	
300	601		511		421	
	DC	AC	DC	AC	DC	AC
400	690	670	587	570	483	469
500	780	720	663	612	546	504
630	890	780	757	663	623	546
Omgivelsestemperatur (luft) 45 °C						

Tabell B.5 – Strømføringsevne ved kontinuerlig drift ved maksimal nominell leder temperatur på 95 °C.

Normaltversnitt mm^2	Strømføringsevne i ampere (A)					
	Enleder A		Toleder A		Tre- og fire-leder A	
1,5	26		22		18	
2,5	32		27		22	
4	43		37		30	
6	55		47		39	
10	76		65		53	
16	102		87		71	
25	135		115		95	
35	166		141		116	
50	208		177		146	
70	256		218		179	
95	310		264		217	
120	359		305		251	
150	412		350		288	
185	470		400		329	
240	553		470		387	
300	636		541		445	
	DC	AC	DC	AC	DC	AC
400	760	725	646	616	532	508
500	875	810	744	689	612	567
630	1010	900	859	765	707	630
Omgivelsestemperatur (luft) 45 °C						

Forskrift for maritime elektriske anlegg (Lovdata)

I forskrifta finn vi en del informasjon om f.eks. kabler.

I vedlegg II – 9. Pkt.10. Kabler – festing

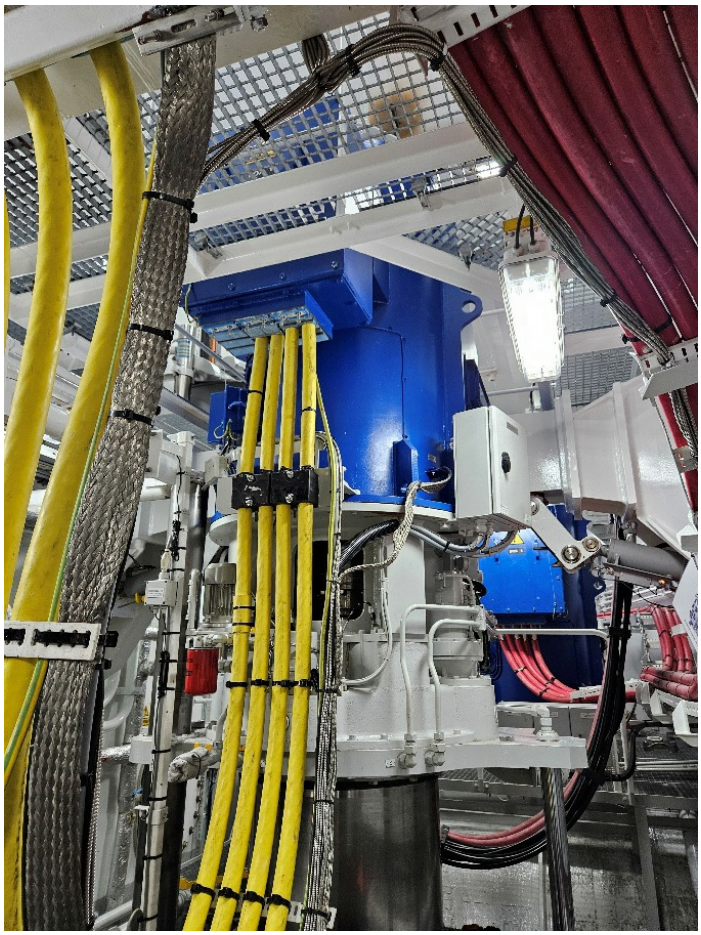
Kravet om betryggende festing vil vanligvis være oppfylt når kabelen er klamret som følger:

- For kabler ved innføringen i kapslinger og rør når nærmeste klammer er plassert i avstand ikke større enn 10 x vedkommende kabels diameter.
- For kabler for øvrig når avstanden mellom klammerne ikke er større enn det som går frem av nedenstående tabell:

Forskrifta henviser også til (NEK-410/IEC-60092.401.38)

Ytre diameter av kabel, m.m.		***Maks. avstand mellom festepunkter***		
over	***opp til***	***Kabler uten metallomfletting eller armering (også kabler som bare har blykappe)***	***Kabler med kopper-, bronse- eller ståltrådomfletting el. Armering***	***Mineralisolerte kabler med kappe av kopper eller rustfritt stål***
	8	200	250	300
8	13	250	300	370
13	20	300	350	450
20	30	350	400	450
30		400	450	450

Isolasjonstype	**Drift / Maks temp (°C)**	**Kortslutnings temperatur (°C)**	**K-verdi (Cu) (A·√s/mm²)**
PVC	70	160	143
Halogenfri (EPR / 85)	85	200	176
XLPE / EPR (90)	90	250	226



NEK 410A-401 Kapittel 9 – Kabler

- 31 - Kabelgater – Generelt
- 32 – Kabelgater for viktig drift og nøddrift.
- 33 – Installasjon av kabler i forhold til elektromagnetiske forstyrrelser.
- 34 – Kabler for fast installerte lensepumper nedsenket i vann.
- 35 – Mekanisk beskyttelse.
- 36 – Jording av ledende kabelskjermer o.l. og mekanisk beskyttelse av kabler.
- 37 – Bøyeradius for kabler.
- 38 – Festing av kabler.
- 39 - Kabelgjennomføring i skott og dekk.
- 40 – Kabler i rør eller kanaler av metall.
- 41 – Kabler i rør, kanaler eller kapslinger og sjakter som ikke er av metall.
- 42 – Kabler i lagerrom.
- 43 – Kabler i kjølerom.
- 44 – Strekkpåkjenninger.
- 45 – Spesielle forholdsregler ved enlederkabler.
- 46 – Kabelavslutninger.
- 47 – Koblinger og avgreininger (grenkurser).
- 48 – Koblingsbokser.

Forskrift om maritime elektriske anlegg sier også:

§ 28. Merking av kabler, vern og anna materiell

Det skal i tillegg til merking fra fabrikant, i nødvendig grad foretas entydig merking slik at kabler, utstyr, vern og annet materiell kan identifiseres. Merking skal også foretas i den utstrekning det er nødvendig for å unngå fare.

Merking om bord i skip og sjøredskaper i innenriks fart skal være med norsk tekst, mens merking om bord i skip og sjøredskaper i utenriks fart skal være med engelsk tekst.

§ 33 Tilkobling med bevegelige ledninger

Bevegelig ledning med jordleder skal ha jordingsplugg. Bevegelig ledning uten jordleder skal ha plugg uten jordingskontakt.

Bevegelig ledning for utstyr klasse II (dobbeltisolert utstyr) skal ikke ha jordleder, men kan ha jordingsplugg.

Bevegelig ledning skal være tilkoblet i det rom hvor tilhørende utstyr benyttes. Dette gjelder ikke utstyr beregnet for å flyttes under bruk eller kortvarig bruk.

§ 38 Kabler

Bortsett fra spesielle tilfeller der tilsynsmyndigheten kan gi dispensasjon, skal all metallkledning og armering av kabler være elektrisk sammenhengende og jordet.

Alle elektriske kabler skal minst være av brannhemmende type og skal være slik installert at deres opprinnelige brannhemmende egenskaper ikke forringes. Tilsynsmyndigheten kan tillate bruk av spesielle kabeltyper når dette er nødvendig til spesielle formål, blant annet radiofrekvenskabler, som ikke oppfyller ovennevnte krav.

Kabler og ledningsnett som benyttes til hoved- eller nødkraft, belysning, intern kommunikasjon eller signaler, skal så langt det er praktisk mulig legges utenom bysse, maskinrom av kategori A og andre områder med høy brannrisiko, vaskerom, rom for håndtering og foredling av fisk, samt andre rom med høyt innhold av fuktighet. Kabler som forbinder brannpumper til nødtavlen skal være av en type som er motstandsdyktig mot brann dersom de er lagt gjennom områder med høy brannrisiko. Så langt det lar seg gjøre, bør alle slike kabler legges slik at de ikke settes ut av funksjon av varme i skott forårsaket av brann i tilstøtende rom.

Når kabler trekkes gjennom rom der det foreligger risiko for brann eller eksplosjon i tilfelle elektrisk feil, skal det tas særskilte forholdsregler mot slik risiko til tilsynsmyndighetens tilfredshet.

Kabler og ledninger skal være festet slik at gnissing og annen skade unngås.

Avslutninger og koplinger skal være slik at kabelens opprinnelige elektriske, mekaniske og brannhemmende egenskaper beholdes, om nødvendig også kabelens motstandsdyktighet mot brann.

Kabler installert i kjøle- og fryserom skal være egnet for lave temperaturer og høy fuktighet.

§ 45. Sikkerhetstiltak mot støt, brann og andre farer som skyldes elektrisitet (R 45)

Nye skip i klasse B, C og D:

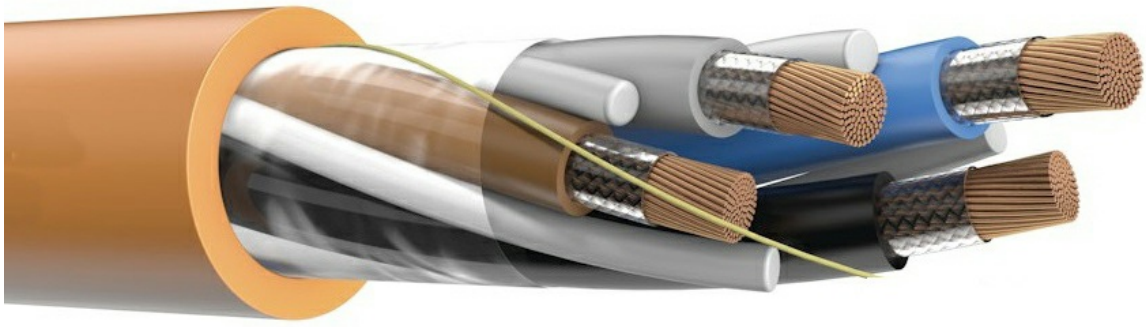
.5.3 Kabler og ledninger for kraft, belysning og intern kommunikasjon og signaler som er av vesentlig betydning eller som er nødvendig i en nødsituasjon, skal så langt mulig legges utenom bysser, vaskerom, maskinrom i kategori A og deres kapper og andre områder med høy brannrisiko. På nye og eksisterende roro-passasjerskip skal kabler til nødalarm og høyttalersystemer installert på eller etter den dato (1. juli 1998) som er nevnt i artikkel 14 nr. 1 i direktiv 98/18/EF, godkjennes av flaggstatens administrasjon, under hensyn til rekommandasjoner utarbeidet av IMO. Kabler som forbinder brannpumper med nødtavler, skal være av en type som er motstandsdyktig mot brann der de er ført gjennom områder med høy brannrisiko. Der det er praktisk mulig skal alle slike kabler legges på en måte som utelukker at de gjøres ubrukbare som følge av oppvarming av skottene på grunn av brann i tilstøtende rom.

.6 Kabler og ledninger skal være installert og festet slik at skamfiling og annen skade unngås. Avslutninger og ledd i alle ledere skal være laget slik at kabelens opprinnelige elektriske, mekaniske, flammehemmende og, om nødvendig, flammebestandige egenskaper bevares.

Bilde under viser en skipskabel fra HELKAMA.

> LKM-FRHF 4 x 2,5 mm^2

Brannbestandig, halogenfri, flammehemmende, kraft- og kontrollkabel for faste installasjoner i marine, offshore og industrielle formål. IEC 60228 klasse 2.



Skipskabel fra HELKAMA.

Spenningsfall i kabel

Generelt i NEK 410A finnes det prinsipper som sier at spenningsfallet ikke skal være så stort at det påvirker ytelsen til det elektriske utstyret, spesielt for sikkerhetskritiske systemer. Dette kan innebære at spenningsfallet må beregnes og kontrolleres basert på flere faktorer som kabellengde, kabeltype, og systemkrav.

Hva kan gjelde for spenningsfall:

1. For forbrukerutstyr:
   NEK 410A refererer ofte til internasjonale standarder som IEC 60092-101 og IEC 60364-serien, som kan angi et maksimalt spenningsfall på 4 % for mindre forbrukerutstyr (generelle laster).
2. For kritisk utstyr:
   For sikkerhetskritisk utstyr som navigasjonsutstyr og nødsystemer kan strengere krav til spenningsfall kreves. I slike tilfeller kan spenningsfallet være satt til maksimalt 2 %, som nevnt i andre maritime standarder og forskrifter.

Hvordan tolkes dette?

Selv om NEK 410A kanskje ikke sier eksakt hva som er tillatt spenningsfall i prosent, gir den klare retningslinjer for at du må sørge for at spenningsfallet er **tilstrekkelig lavt** for å sikre at utstyret fungerer på en pålitelig måte. For det meste vil det innebære at spenningsfallet ikke skal overstige 4 % i de fleste tilfeller for generelle lastsystemer, og det bør være lavere for kritiske systemer.

Anbefaling:

For å få en mer nøyaktig og spesifikk tolkning, kan det være lurt å sjekke IEC 60092-101 og IEC 60364 som er de spesifikke internasjonale standardene som NEK 410A bygger på.

For mer spesifikke krav, kan det være nyttig å sjekke:

- NEK 410A, kapittel om kabeldimensjonering (ofte knyttet til termiske begrensninger og spenningsfall).
- NEK 410B, seksjoner om spesifikke installasjoner.
- IEC 60092-101 og 60092-201, som kan ha mer detaljerte anbefalinger.

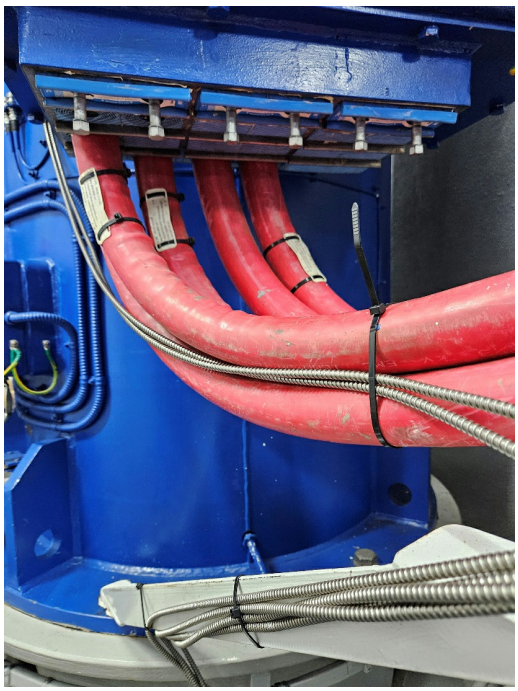
Tillatt spenningstap i en skipskabel avhenger av type anlegg og spenning. Generelt følger skipsinstallasjoner retningslinjer fra Forskrift om maritime elektriske anlegg (FME) samt standarder som IEC 60092-201 (elektriske installasjoner på skip).

Vanlige retningslinjer for maksimalt tillatt spenningstap, dette er ikke eksakt:

- Hovedkraftkabler (mellom generator og hovedtavle): ≤ 1%
- Hovedfordeling (fra hovedtavle til underfordelinger): ≤ 2%
- Drivmotorer, pumper, vifter osv.: ≤ 6%
- Belysning og styrestrøm (fra tavle til forbruker): ≤ 10%

Dersom kabelstrekkene er lange, kan det være nødvendig å velge større kabeltverrsnitt for å holde spenningstapet innenfor disse grensene. For nøyaktige verdier må man også ta hensyn til klasseselskapenes krav (DNV, ABS, Lloyd's osv.).

I den gamle standarden var det maks 6 % spenningsfall som var tillatt.



Kabelberegning

Når man skal beregne størrelsen på en skipskabel, må man ta hensyn til flere tekniske og miljømessige faktorer for å sikre sikkerhet, ytelse og samsvar med maritime standarder. Her er de viktigste punktene:

1. Strømstyrke (Ampere)

- Beregn **maksimal strøm** som kabelen skal føre under normal drift.
- Dette bestemmer i stor grad tverrsnittet på lederen.

2. Omgivelsestemperatur

- Temperatur ombord i skip varierer (maskinrom, dekk og boligseksjon).
- Kabelens strømføringsevne må **reduseres** hvis temperaturen er høyere enn standard referansetemperatur.

3. Kabellengde og spenningsfall

- Ved lange kabelstrekk (f.eks. fra generator til tavle), må du beregne tillatt spenningsfall.
- Typisk tillatt spenningsfall: 3–5 % av nominell spenning.

4. Spenningstype

- AC eller DC påvirker spenningsfall og kabelvalg.
- Ved AC må man også ta hensyn til **reaktans** (induktiv motstand).

5. Kortslutningsytelse

- Kabelen må tåle en eventuell kortslutning (termisk og mekanisk) til vernet kobler ut.
- Beregn:

> $$I_k^2 * t \ < K^2 * A^2$$

Hvor I_k = kortslutningsstrøm,
t = frakoblingstid,
K = materialkonstant (Cu/Al),
A = tverrsnitt i mm²

6. Installer type og kjøling

- Luft, trange rør, buntede kabler osv. påvirker strømføringsevnen.
- F.eks. kabler i rør eller kanal har **lavere kjøling** og må oppdimensjoneres.

7. Standarder og regelverk

- Følg relevante krav fra:
  - DNV og Lloyds Register.
  - IEC 60092-serien (spesielt IEC 60092-352 og -350 for kabelvalg)

- NMA (Sjøfartsdirektoratet) krav ombord i norske skip

8. Mekanisk og kjemisk beskyttelse

- Kabelen må tåle:
  - Vibrasjon
  - Fuktighet / vanninntrenging
  - Brann (halogenfri, brannbestandig)
  - Olje, diesel og saltvann

9. Antall ledere og skjerming

- Enleder vs flerleder
- Skjermet kabel for signal eller VFD (frekvensomformer)-applikasjoner

Eksempel på beregningsprosedyre:

EKSEMPEL PÅ BEREGNINGSPROSEDYRE

1. Beregn strøm ut fra last. $P = \sqrt{3} * U * I * \cos\varphi$.
2. Velg tillatt spenningsfall.
3. Finn minste tverrsnitt som dekker både strøm og spenningsfall.
4. Kontroller kortslutningsytelse.
5. Juster for installasjonstype og temperatur.
6. Kontroller mot klasseselskapets krav.

Regneeksempel

REGNEEKSEMPEL

Her er et praktisk regneeksempel på hvordan man dimensjonerer en skipskabel.

Forutsetninger:

- Last: 15 kW trefase motor. (Stempla på motorskiltet).
- Spenning: 400 V AC, 50 Hz
- Virkningsgrad: η = 0,9
- Effektfaktor: $\cos\varphi = 0,87$
- Kabellengde (én vei): 40 meter
- Tillatt spenningsfall: 2 %
- Kabelmateriale: Kobber, $\rho = 0,0175\ \Omega * \mathrm{mm}^2\ /m$
- Omgivelsestemperatur: 45 °C.
- Installasjonstype: På kabelstige, kabel aleine.

Beregn strømforbruk (I).

$$P_t = \frac{P_a}{\eta} = \frac{15000}{0{,}9} = 16667W = 16{,}667kW$$

$$I = \frac{P_t}{\sqrt{3}U \cdot \cos\varphi} = \frac{16667}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.87} = \underline{27{,}65}$$

Finn minste tverrsnitt etter strømføringsevne.

Fra NEK 400B-2021/IEC 60092 tabeller for Cu-kabler:

- Treleder på stige, 85 °C:
  En 6 mm² Cu tåler 34 A, etter tabell B.3.
  Men det er lite margin, så vi går videre og sjekker spenningsfall også.

Sjekk spenningsfall:

f(x)

FORMEL FOR SPENNINGSFALL I TREFASE:

$$\Delta U_{\text{max, 2\%}} = \frac{400\ \text{V} \cdot 2\%}{100\%} = 8\ \text{V}$$

$$\Delta U_{\text{kabel}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 27.65 \cdot 40 \cdot 0.0175 \cdot 0.87}{6} = 4.86\ \text{V}$$

$$\Delta U\ (\%) = \frac{100\% \cdot 4.86\ \text{V}}{400\ \text{V}} = 1.215\%$$

Vi skulle ha max 2 % så denne er godkjent.

Kortslutningskontroll (grovt).

For 6 mm² Cu:
K-verdi for 1-sekunds varighet: K ≈ 176
Anta kortslutningsstrøm I_k = 1000 A og frakoblingstid 0,5 s:

$$I_k^2 * t = 1000^2 * 0{,}5 = 500.000$$

$K^2 * A^2 = 176^2 * 6^2 = 30976 * 36 = 1.115.136$

Godkjent – kabel tåler kortslutning.

Σ

KONKLUSJON:

En bør bruke en 3 x 6 mm² + j kobberkabel, for denne installasjonen.

K-verdi avhenger av:

f(x)

FORMELEN:

$$K = \sqrt{\frac{Q}{\varrho}}$$ (hvor Q = spesifikk varmeenergi som kabelen tåler)

Men i praksis bruker vi standardtabeller fra IEC og NEK.

Typiske K-verdier for kobber ved ulike temperaturgrenser:

Isolasjonstype	Drift / Maks temp (°C)	Kortslutnings temperatur (°C)	K-verdi (Cu) (A·√s/mm²)
PVC	70	160	143
Halogenfri (EPR / 85)	85	200	176
XLPE / EPR (90)	90	250	226

Så for kobber med 85 °C isolasjon, typisk halogenfri marinekabel, brukes:

> $K = 176\ A \cdot \sqrt{s}/mm^2$

Kap 9 Asynkrone kortslutningsmotorer

Trefase asynkrone kortslutningsmotorer

TREFASE ASYNKRONE KORTSLUTNINGSMOTORER

- Dominerer markedet fullstendig.
- Stort utvalg i standard motorer.
- Meget robust.
- Billig i anskaffelse.
- Trenger lite ettersyn.
- Rikt og lett tilgjengelig på reservedeler.
- Demontering og montering når det er snakk om overhalling er meget enkelt.

For å gjøre et riktig valg av motor til en passende last må det tas hensyn til følgende:

- arbeidsbelastning (ytelse} - driftstype
- koblingssyklus - start/bremse- og omkoblingsforløp.
- tilleggstreghetsmoment - momentforløpet til arbeidsmaskinen –
- turtallsstyring – nettforhold.

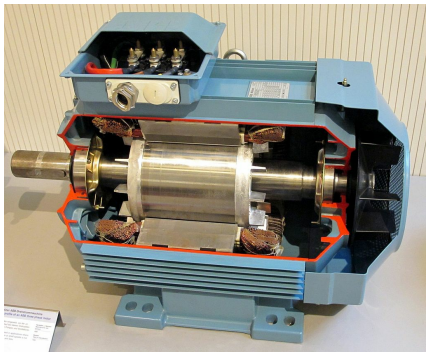


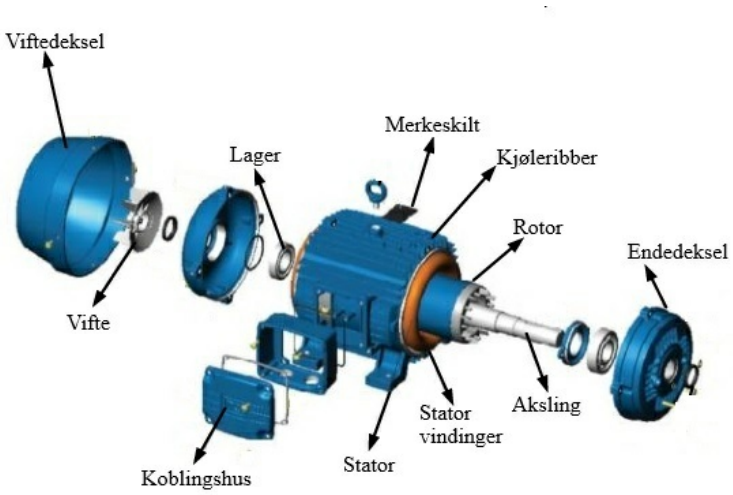
Bildet er hentet fra LØNNE motorkatalog.

Vekselstrømsmotorer deles inn i tre hovedgrupper:

1. ASYNKRONMOTORER
   - kortslutningsmotorer
   - sleperingsmotorer
2. SYNKRONMOTORER
3. KOMMUTATORMOTORER

Kortslutningsmotorens oppbygging og virkemåte. Kortslutningsmotoren har en primær og en sekundær del. Primær delen kalles stator og er den stillestående delen. Sekundær delen kalles rotor og er den roterende delen.

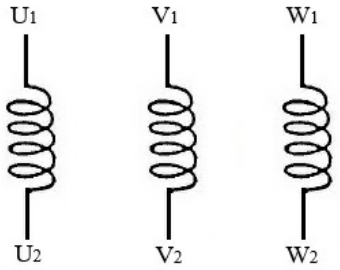




Stator

Statoren består av tynne jernblikkplater som er stanset ut med spor til viklingene. Jernblikkplatene er isolasjonslakkerte og presset sammen slik at de danner statorkransen. De tre statorviklingene er plassert i statorsporene. De seks viklingsendene er ført frem til klemmebrettet til motoren, hvor koblingen utføres enten i stjerne eller i trekant avhengig av nettspenningen.

> Vikling nr.1 er merket med U1 og U2
>
> Vikling nr.2 er merket med V1 og V2
>
> Vikling nr.3 er merket med W1 og W2

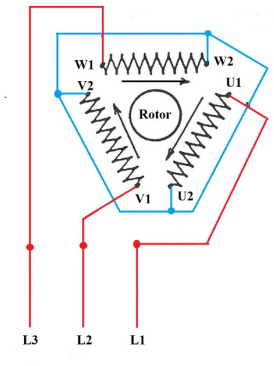


Dette vil igjen si at hver vikling har en begynnelse og en endelse, og hvor den bokstaven med den laveste indeksen (1) er begynnelses enden.

Skal f.eks. motoren kobles i stjerne så skal U1-V1-W1 tilkobles nettet mens de andre endene skal sammenkobles til et stjernepunkt.

Til sjøs er det ofte slik at motorer må sendes på land for omvikling, når de kommer tilbake så er alle seks viklingsendene løse. Elektrikeren må da måle ut hver vikling og merke disse, men han vet da ikke hva som er begynnelsen på viklingen og slutten på viklingen. Skal man være så uheldig å få snudd den ene viklingen i forhold til de to andre så vil den som er snudd jobbe mot de to andre. Motoren vil da ha et lavere turtall og den vil gi fra seg en brummende lyd som er lett å høre. Fremgangsmåten for å løse problemet er at man må bytte om viklingsenden for en og en vikling til man har oppnådd korrekt turtall i tomgang.

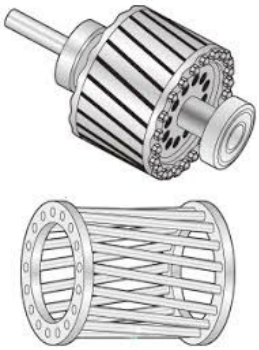
Ombyttingen av viklingsendene gjøres da på klemmebrettet til motoren. For å snu dreieretningen til en kortslutningsmotor så bytter to av tilledningene plass, og det er likegyldig hvem av de tre som bytter. Tilledningene er merket Ll-L2-L3 og det vil si at spenningen i L1 kommer først inn til motoren, 120 elektriske grader etterpå kommer spenningen i L2, og så 120 elektriske grader etter L2 kommer spenningen i L3.



Stjernepunktet binder sammen U2-V2-W2

Av figuren ser vi at det er nødvendig og ha tre viklinger for å få til et roterende dreiefelt. Ved brudd i en av tilførselsledningene så vil motoren oppføre seg som om den var tilkoblet enfasa anlegg. Motoren vil nå ikke få noe dreiefelt og den kommer ikke i gang av seg selv. Ved å dytte den i gang vil den gå i den retningen den blir tvunget til å gå i. Før den får det lille puffet så står rotoren og vibrerer, den får ikke bestemt seg hvilken vei den skal gå.

Kortslutningsrotoren



Rotoren i en kortslutningsmotor består hovedsakelig av tre deler:

- rotorakslingen
- lamellert blikk med spor
- rotorlederene

Rotorlederene som består av kobber eller aluminium blir lagt i

sporene uten isolasjon, og de er kortsluttet i begge ender,

derav navnet kortslutningsrotor. Tar man og setter sammen

rotorstaver og kortslutningsringene så ser dette ut som bur derav

navnet burvikling.

Virkemåte

VIRKEMÅTE

Statorviklingene får tilført en trefaset vekselstrøm og dette vil medføre at hver av de tre faseviklingene frembringer et magnetisk vekselfelt. Disse tre feltene setter seg sammen til et resulterende statorfelt dvs. et dreiefelt som noterer synkront med en hastighet som er bestemt av nettfrekvensen og antall polpar.

> FORMEL: ns = $\frac{f * 60}{p}$ (o/min)

ns = synkrone turtall
f = nettfrekvensen
p = antall polpar

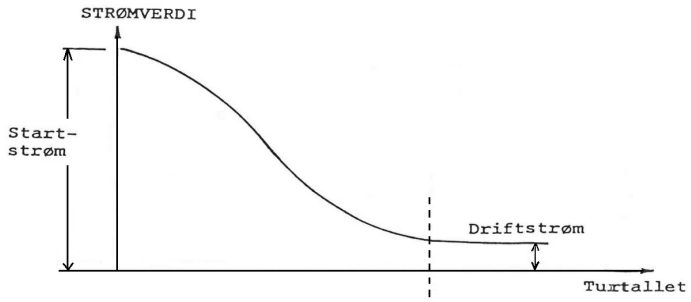
Det roterende magnetfeltet vil spre seg inn i rotor, og det vil bli indusert en strøm og spenning i rotor med en bestemt rotorfrekvens.

Når rotoren står stille som den gjør i startøyeblikket vil den relative hastigheten mellom statorfelt og rotor være størst.

Det blir indusert en strøm og spenning i rotoren som er forårsaket av magnetfeltet fra stator og disse vil veksle med en frekvens som vi kaller rotorfrekvensen

$f_r = f_{nett} * s$ s = sakking

I startøyeblikket er rotorfrekvensen lik nettfrekvensen, og vi har da de største feltlinjeoverskjæringene på rotoren, og dette medfører at motor trekker den største strømmen i start øyeblikket. Etter hvert som turtallet til rotoren øke så vil strømmen synke. Se fig. nedenfor



Av figurenover ser vi at strømmen synker til driftstrømsverdien, når turtallet har stabilisert seg. Ved økende hastighet på rotor så vil altså strøm, spenning og frekvens i rotor avta til små verdier. Rotorfrekvensen er ved motorens merke effekt meget lav ca. 0,05 Hz. Hadde rotorhastigheten og det synkrone dreiefeltet fra stator vert lik hverandre så ville vi ikke fått noen kraft linjeoverskjæringer på rotorstavene, og dermed ingen strøm i rotor. Dette ville medføre til at det ikke blir indusert noe magnetfelt fra rotor som kan henge seg på statordreiefeltet. Dermed mister motoren sitt moment. Derfor må statordreiefeltet ha en større hastighet enn rotorturtallet.

Det at rotor har et lavere turtall enn dreiefeltet gjør at rotoren går asynkront i forhold til dreiefeltet, derav navnet asynkronmotor.

Sakking

Ved tomgang er forskjellen mellom rotor hastighet og stator dreiefeltet meget liten, mens den ved merkelast er større.

Forskjellen mellom disse to hastighetene kalles for sakking eller slipp, og den oppgis som regel i prosent.

> $S = \frac{ns-n}{ns}$ n = ns • (1 -\ s)

ns = det synkrone turtall til statordreiefeltet
n = det asynkrone turtallet til rotoren
s = sakking eller slipp (brukes som en faktor mindre enn 1 i ligningene)

Skal sakkingen oppgis i prosent så skal faktoren multipliseres med 100.

Små motorer har en sakking ved full belastning på ca. 5 - 8 %.

Større motorer har en sakking ved full belastning på ca. 3 %.

> Sakking i prosent: $s = \frac{ns-n}{ns}$ • 100 %

Oppsummering om hovedprinsippene bak en asynkron kortslutningsmotor

OPPSUMMERING OM HOVEDPRINSIPPENE BAK EN ASYNKRON KORTSLUTNINGSMOTOR

En asynkron kortslutningsmotor, også kjent som en asynkronmotor med kortsluttet rotor eller induksjonsmotor, fungerer ved å omdanne elektrisk energi til mekanisk energi ved hjelp av elektromagnetisk induksjon.

Statorens magnetfelt.

- Motoren drives av vekselstrøm (AC) som føres inn i statorviklingene.
- Statoren har flere viklinger plassert i et bestemt mønster, som skaper et roterende magnetfelt når strømmen går gjennom.
- Magnetfeltet roterer med en hastighet kalt synkron hastighet (n_s), bestemt av strømfrekvensen og antall poler i motoren:

$$n_s = \frac{f*60}{p}$$

hvor *f* er frekvensen (Hz) og *p* er antall polpar.

Induksjon av strøm i rotoren.

- Rotoren består av et kortsluttet bur laget av kobber eller aluminium.
- Når statorens magnetfelt roterer, vil det indusere en strøm i rotorens ledere gjennom elektromagnetisk induksjon (Faradays lov).
- Ifølge Lenz' lov vil den induserte strømmen i rotoren forsøke å motvirke årsaken til seg selv – altså forskjellen i hastighet mellom statorfeltet og rotoren.

Rotorens bevegelse (asynkron drift).

- For at det skal induseres strøm i rotoren, må det være en hastighetsforskjell mellom statorfeltet og rotoren – dette kalles **slip** (*s*).
- Slip defineres som:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} * 100\ \%$$

hvor *n* er rotorens hastighet.

- Hvis rotoren roterte med nøyaktig samme hastighet som magnetfeltet (n_s), ville det ikke vært noen relativ bevegelse, og dermed ingen indusert strøm.
- Derfor roterer rotoren alltid litt saktere enn det synkrone feltet (derav navnet asynkron motor).

Moment og effekt.

- Den induserte strømmen i rotoren skaper sitt eget magnetfelt, som igjen samvirker med statorfeltet og danner et dreiemoment.

- Jo høyere belastning motoren har, desto større slip er nødvendig for å indusere mer strøm og skape høyere dreiemoment.

Fordeler med en asynkron kortslutningsmotor

FORDELER MED EN ASYNKRON KORTSLUTNINGSMOTOR

- Enkel og robust konstruksjon (ingen børster eller sliperinger).
- Lite vedlikehold (sammenlignet med f.eks. en likestrøms motor).
- Høy virkningsgrad og pålitelighet.
- God regulering og enkel start med direkte påkobling til nettspenning eller med mykstarter.

Asynkron kortslutningsmotorer brukes mye på skip, pumper, vifter, transportbånd og mange andre bruksområder på grunn av deres pålitelighet og enkle design.

Vedlikehold av en asynkron kortslutningsmotor

VEDLIKEHOLD AV EN ASYNKRON KORTSLUTNINGSMOTOR

Vedlikehold av en asynkron kortslutningsmotor er relativt enkelt sammenlignet med andre typer motorer, spesielt siden den har få bevegelige deler og ingen børster eller sliperinger. Likevel krever den regelmessig tilsyn for å sikre pålitelig drift og lang levetid.

1. Rutinemessig inspeksjon (forebyggende vedlikehold).
   - Visuell sjekk: Se etter tegn på overoppheting, misfarging, oljelekkasjer eller mekaniske skader.
   - Lytt etter ulyder: Unormale lyder kan indikere lagerslitasje eller ubalanse.
   - Vibrasjonskontroll: Overdreven vibrasjon kan være et tegn på ubalanse, feil justering eller løse bolter.

2. Smøring av lagre
   - Kontroller lagrene jevnlig for slitasje og overoppheting.
   - Smør lagrene i henhold til produsentens anbefalinger, vanligvis med et egnet fett.
   - Unngå over- eller undersmøring, da for mye fett kan føre til overoppheting, mens for lite kan gi økt friksjon og slitasje.

3. Rengjøring.
   - Fjern støv og skitt fra motorens kjøleribber og ventilasjonsåpninger for å sikre god varmeavledning.
   - Sjekk kjøleviften for skader eller blokkeringer.
   - Rengjør stator og rotor med trykkluft (hvis tillatt) for å fjerne oppsamlet støv.

4. Elektriske tester.
   - Mål isolasjonsmotstanden med en megger for å sjekke viklingenes tilstand. Lav isolasjonsmotstand kan indikere fuktighet eller nedbrutt isolasjon.

- Kontroller viklingsmotstanden for å oppdage eventuelle kortslutninger eller brudd i viklingene.
- Sjekk strømforbruk og spenning for å sikre at motoren opererer innenfor spesifikasjonene.

5. Mekanisk vedlikehold.
   - Sjekk koblinger og fundamentbolter for å sikre at motoren er riktig montert og ikke løsner under drift.
   - Kontroller aksel og kobling for slitasje eller feiljustering.

6. Overvåking av driftstemperatur.
   - Kontroller at motoren ikke blir for varm. Overoppheting kan skyldes overbelastning, dårlig ventilasjon eller elektriske feil.
   - Bruk temperaturfølere hvis motoren har slike innebygd for å varsle ved for høy temperatur.

Når bør motoren overhales eller skiftes ut?

Hvis du oppdager følgende problemer, kan det være nødvendig med en grundigere inspeksjon eller overhaling:

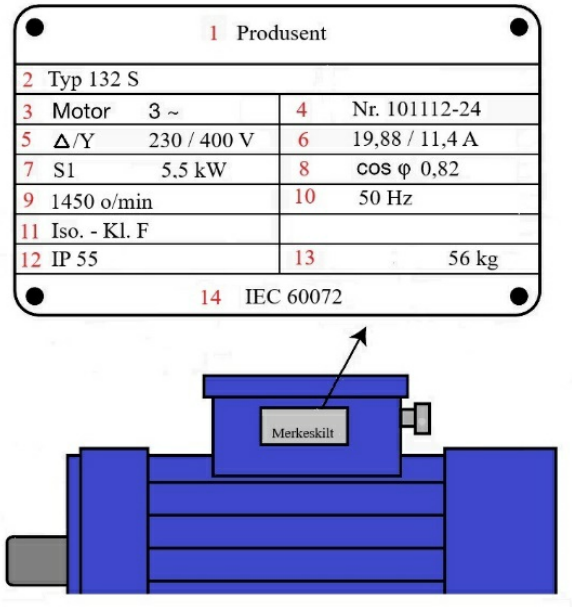
- Gjentatte overopphetingsproblemer.
- Vedvarende høy vibrasjon eller ulyder.
- Dårlig isolasjonsmotstand på viklingene.
- Stadig behov for smøring eller lagerbytte.

Regelmessig vedlikehold forhindrer driftsstans, forlenger levetiden og sikrer optimal ytelse for motoren.

Merking av motorer

MERKING AV MOTORER

Alle motorer har et merkeskilt som forteller det meste om motoren.



1. Produsent, fabrikk.
2. Type motor. 132 S står for byggemål.
3. 3 fase motor.
4. Fabrikk nummer.
5. Kobling. Trekant med 230 V og stjerne med 400 V.
6. Strømtrekk 19,88 A med en spenning på 230 V og strømtrekk på 11,4 A ved 400 V.
7. S1 motor (kontinuerlig drift). Effekt på akslingen er 5,5 kW.
8. Effektfaktor (faseforskyvnings vinkel).
9. Motoren går med 1450 omdreininger i minuttet. Dette er en 4 polet (2 polpar).
10. Motoren går på 50 Hz.
11. Isolasjonsklasse F. Sjå NEK 410. Tabellen finn de også senere i kapittelet.
12. Tetthetsgrad IP 55. Se neste side.
13. Vekt av motoren.
14. Standard for utførelse.

IP-klassifisering

IP-KLASSIFISERING

Kapslingsklassifisering (IEC 60529) er en standard for vurdering av beskyttelsesnivåer for elektroteknisk utstyr mot inntrenging av vann, støv og utilsiktet berøring.
Klassifiseringen anvender prefikset "IP" (International Protection eller Ingress Protection) etterfulgt av to sifre og, i noen tilfeller, en bokstav. Det første sifferet indikerer nivået av beskyttelse mot faste objekter, inkludert støv og utilsiktet kontakt. Det andre sifferet angir beskyttelsen mot inntrenging av vann. Høyere sifre tilsvarer høyere beskyttelsesnivåer. Eventuelle tilleggsbokstaver beskriver den spesifikke beskyttelsen mot kontakt.

Hvis et produkt mangler en av de beskyttelsene som beskrives av én eller flere av disse klassene, erstattes det aktuelle sifferet av bokstaven "X".

Første siffer

Beskyttelse mot berøring og inntrengende gjenstander

IP0X Ubeskyttet
IP1X Minst 50 mm i diameter
IP2X Minst 12,5 mm i diameter
IP3X Minst 2,5 mm i diameter
IP4X Minst 1 mm i diameter
IP5X Støv beskyttet
IP6X Støvtett

Andre siffer

Beskyttelse mot inntrengende vann. Ikke noe vann får trenge inn i en slik mengde eller på ett slikt sett att tilfredsstillende drift påvirkers eller sikkerheten er truet.

IPX0 Ubeskyttet
IPX1 Beskyttet mot fall (bare vertikale fall)
IPX2 Beskyttet mot fall ved maks 15° vinkel
IPX3 Sprutsikker
IPX4 Sprut tett
IPX5 Spylesikker
IPX6 Spyletett
IPX7 Vanntett (nedsenket i vann)
IPX8 Trykkvanntett (nedsenket i vann)

Tilleggsbokstaver

Personbeskyttelse mot berøring av spenningsførende deler. Dette brukes når den faktiske berøringsbeskyttelsen av spenningsførende deler er bedre enn hva som angis med første siffer.

IPXXA Baksiden av hånden (Ø 50 mm)
IPXXB Finger (Ø 12 mm, lengde 80 mm)
IPXXC Objekter (Ø 2,5 mm, lengde 100 mm)
IPXXD Ledning (Ø 1 mm, lengde 100 mm)

Øvrige standarder.

Utover de tidligere nevnte standardene, så forekommer også den nye normen IP69K, ifølge DIN 40050. Denne kapslingsklassen er først rettet mot laboratoriemiljø, prosess- og næringsmidler. Komponenter som oppfyller IP69K, tåler å skylles med varmt vann under høyt trykk og skal motstå sterke rengjøringsmidler og kjemikalier uten å gi fra seg noen spor.



Moment- og omdreiningstalls forhold

MOMENT- OG OMDREININGSTALLS FORHOLD

Det er meget viktig å kjenne til dreiemomentforholdene til en kortslutningsmotor.
Det dreiemomentet som en trefase asynkron kortslutningsmotor utvikler på sin aksel er meget forskjellig i sin størrelse i turtallsområdet fra n = 0 til n = ns

La oss ta det steg for steg og prøve å forklare på en enkel og forståelig måte hvordan moment og omdreiningstall (turtall) henger sammen i en trefase asynkron kortslutningsmotor.

Startmoment

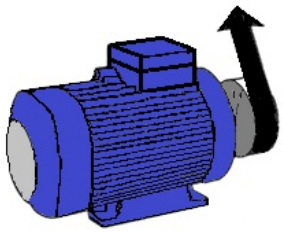
1. Hva er dreiemoment?

Dreiemoment (eller moment) er et mål på rotasjonskraft.
Tenk deg at du bruker en fastnøkkel på en bolt – jo lenger armen på nøkkelen er, eller jo hardere du drar, desto større moment.

Formel

> M = T = torsjonsmoment (dreiemoment) $M = T = \frac{Pa}{\omega} \frac{Pa}{2* \pi * n}$

Vinkelhastigheten er gitt av: $\omega = 2 * \ \pi * n$
Pa = avgitt effekt på akslingen.
n = turtall per sekund.



2. Sammenhengen mellom moment og turtall.

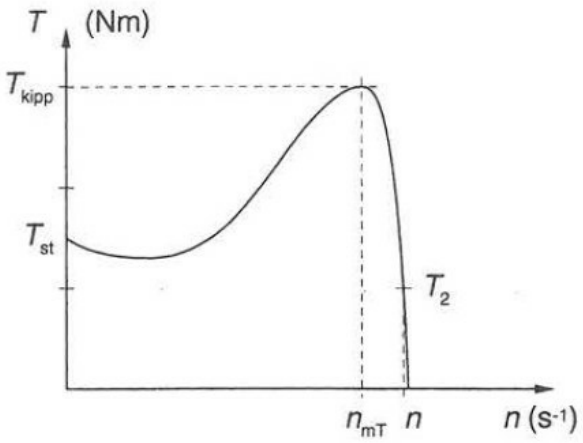
En kortslutningsmotor (asynkronmotor) har et karakteristisk forhold mellom moment og turtall (n). Dette forholdet er ikke lineært.

- Ved n = 0 (motoren står stille):
  Dette kalles startmoment. Motoren trekker da stor strøm, og momentet kan være 1,5–3 ganger merkedreiemomentet.
- Når turtallet øker, øker også den mekaniske effekten, men samtidig reduseres forskjellen mellom synkronturtall og rotorturtall (slip).
- Motoren utvikler maksimalt moment (ofte kalt kippmoment, maksmoment eller pull-out moment) ved en viss belastning før den "glipper".
- Ved n = ns (synkronturtall):
  Momentet = 0. Det er fordi slip = 0, og da overføres ingen effekt til rotoren.

3. Moment-turtall-kurve.

Hvis vi tegner en kurve for moment vs. turtall, får vi typisk:

- En bratt økning i moment fra null turtall.
- En topp (kippmoment, maksmoment).
- En gradvis nedgang mot null når turtallet nærmer seg synkronturtall.



4. Hvor kommer momentet fra?

Effekten som utvikles i rotoren, kommer fra indusert strøm som skyldes differansen mellom det roterende magnetfeltet (fra statoren) og rotorens bevegelse.

Denne induserte strømmen i rotoren skaper et eget magnetfelt → som igjen danner en kraft mellom rotor og stator → som gir dreiemoment.

Oppsummert

Σ

OPPSUMMERT

- En kortslutningsmotor utvikler ulikt moment avhengig av turtallet.
- Startmomentet er stort, og momentet er på topp ved en viss slip.
- Ved synkronturtall er slip = 0 → ingen rotorstrøm → null moment.
- Moment = tilført effekt / vinkelhastighet.

Kippmoment

Kippmoment (også kalt maksmoment eller pull-out torque på engelsk) er det største dreiemomentet en asynkronmotor kan utvikle før den mister evnen til å holde turtallet oppe under belastning.

Enkelt forklart:

Tenk deg at motoren driver en last, og du gradvis øker belastningen. Momentet som motoren må levere øker. Når du når kippmomentet, er motoren på sitt maksimale – den klarer ikke å levere mer dreiemoment.

Hvis belastningen øker videre, vil motoren begynne å bremse ned og til slutt stoppe.

I moment–turtall-kurven:

- Kippmomentet ligger på toppen av kurven.
- Etter dette punktet faller momentet raskt dersom turtallet synker ytterligere.

!

VIKTIG I PRAKSIS:

- Dimensjonering: Motoren må velges slik at belastningen aldri overstiger kippmomentet, ellers stopper den.
- Sikkerhetsmargin: Kippmomentet er vanligvis 2,0–3,5 ganger merkemomentet.

Eksempel

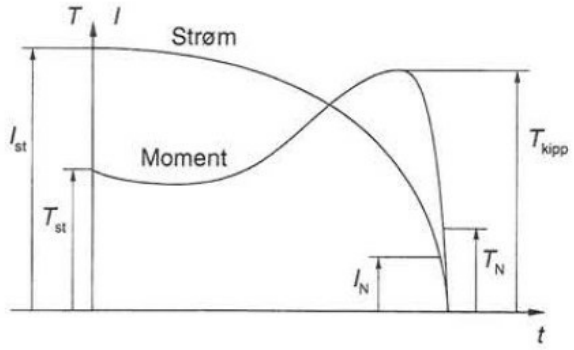
EKSEMPEL

En motor har:

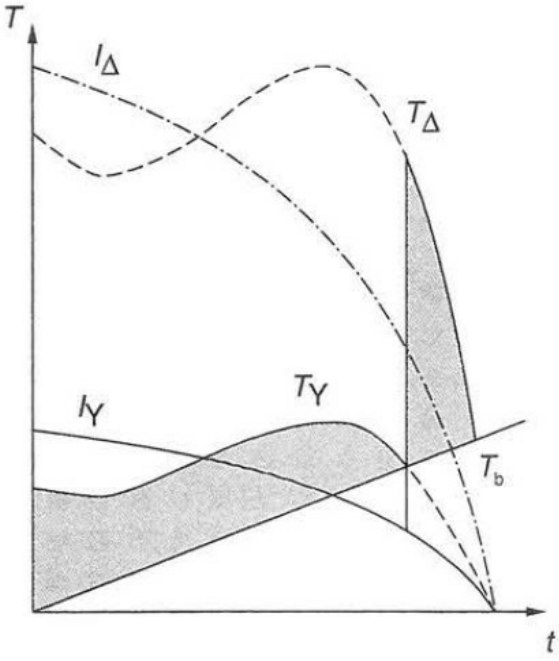
- Merkemoment = 25 Nm
- Kippmoment = 75 Nm

Den kan da håndtere en kortvarig belastning opp til 75 Nm. Går belastningen over det, stopper motoren.

Moment- og startstrømkurver for direkte start.



Direkte start og stjerne - trekant start



Figur: Strøm og moment ved stjerne/trekant-start av en kortslutningsmotor med belastningsmomentet Tb.

I_Δ – Strøm ved trekantkoplet vikling

I_Y – Strøm ved stjernekoplet vikling

T_Δ – Moment ved trekantkoplet vikling

T_Y – Moment ved stjernekoplet vikling

T_b – Typisk belastningsmoment

Effekt strøm- og spenningsforhold

EFFEKT STRØM- OG SPENNINGSFORHOLD

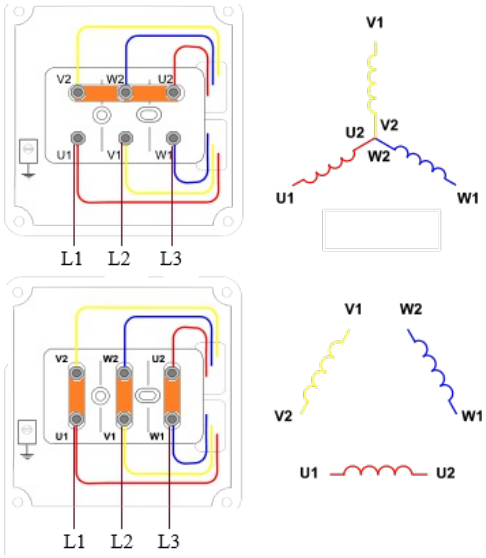
Et trefase lavspenningsnett består av de tre lederne L1, L2, L3 og kan være utført med eller uten 0-leder (N). Se NEK 410. Denne er tilkoblet generatorens eller transformatorens null punkt på lavspenningssiden.

Driftsspenningen

Spenningen mellom to av lederne (L1, L2, L3) er hovedspenningen (nettspenningen) og spenningen mellom en leder og 0-lederen er fasespenningen.

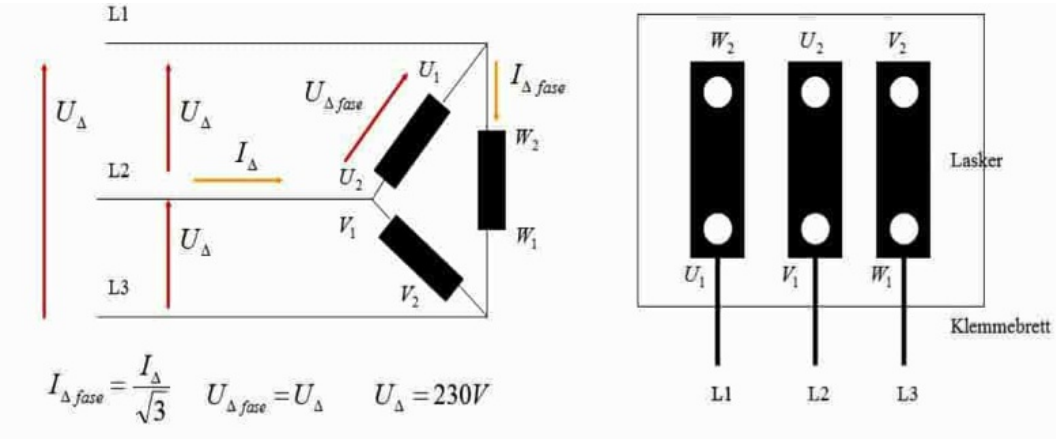
> Frekvens/spenning: f = 60 Hz U = 240 V/ 440 V
>
> Frekvens/spenning: f = 50 Hz U = 230 V/400 V

Tilkobling av trefasemotor

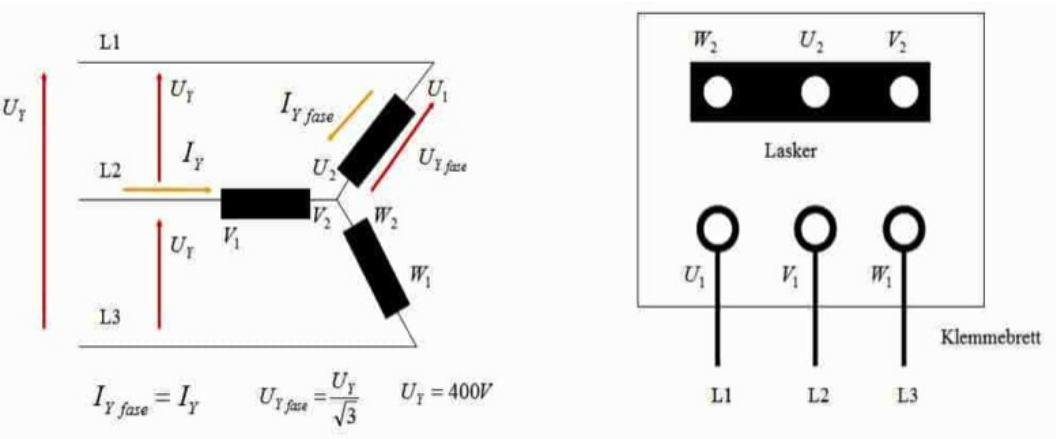


Motoren kobles til de tre lederne L1, L2 og L3. Motorens merkespenning i driftskobling må stemme overens med nettspenningen.
Ved direkte innkobling av kortslutningsmotorer og sleperingsmotorer, kan motorene ha enten stjernevikling eller trekantvikling.
Hvis en kortslutningsmotor skal startes med stjerne- trekantvender, må motorviklingen være utlagt for driftsspenningen i trekantkobling.

Motorer med viklingsutførelse 230V/400V kan ved direkte innkobling benyttes på nett med 230V når motor er koblet i trekant eller 400V når motor er koblet i stjerne. Koblingene utføres på klemmebrettet.



Strøm- og spenningsforhold i trekantkobling:



Strøm- og spenningsforhold i stjernekobling:

Eks. på utregning av strømmen i stjernekopling.

Trekantkobling: U = 400 V, In = 16 A I_f = 16 $\sqrt{3}$ = 9,24 A

Stjernekobling: U = 400 V, U_f = 400 * $\sqrt{3}$ = 230 V I_f = In = ?

Vi tar utgangspunkt i faseverdiene når vi skal finne fasestrøm i stjernekoplingen.

$$\frac{(\Delta U)_f}{(\Delta I)_f} = \frac{(YU)_f}{(YI)_f}$$

$$(YI)_f = \frac{(\Delta I)_f \cdot (YU)_f}{(\Delta U)_f} = \frac{9.24 \cdot 230}{400} = \underline{\underline{5.31\ \text{A}}}$$

Vi ser at fasestrømmen i stjerne på 5,31 A ligger godt under fasestrømmen i trekant, ergo så beskytter vi motoren både i stjernekopling og trekantkopling.

Tommelfinger regel: startstrøm - drift strøm – moment - effekt synker ned til en tredjedel ved stjernekopling.

$$P_Y = \frac{P_\Delta}{3}$$

PTC-termistor som motorvern eller alarm

PTC-TERMISTOR SOM MOTORVERN ELLER ALARM

En PTC-termistor (Positive Temperature Coefficient-termistor) kan overvåke en elektromotor ved å utnytte sin temperaturavhengige motstandsegenskap. Her er en enkel forklaring på hvordan dette fungerer:

Hvordan en PTC-termistor fungerer:

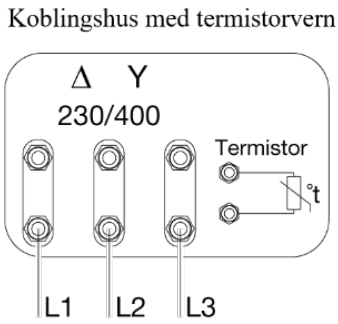
- En PTC-termistor øker motstanden sin kraftig når temperaturen overstiger en viss terskelverdi.
- Ved lav temperatur er motstanden lav og relativt konstant.
- Når temperaturen når et kritisk punkt (f.eks. ved overoppheting i motoren), stiger motstanden brått.

Bruk i elektromotor-overvåking:

- Plassering i motoren:
  - PTC-termistorene støpes eller monteres direkte i motorviklingene, nær de områdene som blir varmest under drift.
- Overvåking:
  - En overvåkingsenhet (som et motorvernrelé) kobles til PTC-termistorene.
  - Denne enheten måler spenningen eller strømmen over termistorene.
- Respons ved temperaturøkning:
  - Når temperaturen stiger til et farlig nivå, øker motstanden til PTC-termistoren.
  - Overvåkingsenheten registrerer denne endringen og utløser et signal.
- Tiltak:
  - Systemet kan varsle om overtemperatur via en alarm.
  - Alternativt kan det automatisk koble ut motoren for å hindre skade.

Fordeler med PTC-termistor i motorovervåking:

- Pålitelig: Ingen bevegelige deler, lite vedlikehold.
- Rask reaksjonstid: Reagerer raskt på temperaturendringer.
- Kompakt: Kan integreres direkte i viklingene.
- Sikkerhet**:** Forhindrer varmegang og skader på motoren.

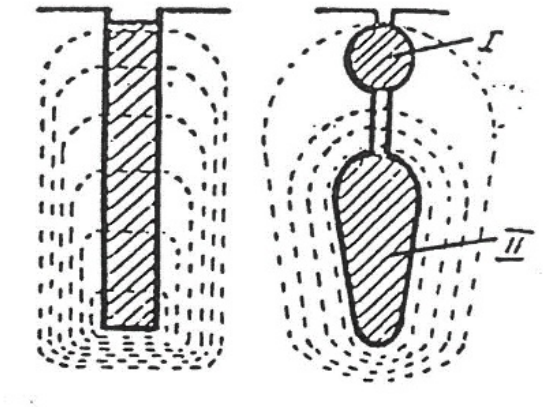


Trefasemotorer for spesiell bruk

Strømfortrengningsmotorer

Kortslutningsmotorer utstyrt med spesielle rotorviklinger bygges for større ytelser og disse motorer kalles for strømfortrengningsmotorer, årsaken til dette er at rotorstavene legges enten i dype spor eller såkalte dobbeltspor.

Fortrengningsmotorens prinsipp bygger på rotorstrømmens frekvens (fr) under igangsetningen er betydelig større enn under normal drift. I det øyeblikk motoren får spenning står rotoren stille og da er slippen eller sakkingen lik 1 d.v.s. at fr= f. De dype spor i rotoren forårsaker at spredningsreaktansen i de enkelte deler av rotorstaven blir større jo nærmere de kommer bunnen av sporet.



Da rotorfrekvensen under starten er høy, blir reaktansen meget høy i bunnen av sporet, dette vil igjen medføre at strømmen blir forskjøvet oppover i sporet. Ser vi nå på dobbeltsporet på fig. så er virkemåten bygget på samme prinsipp som beskrevet over.

I det øyeblikk motoren settes i gang, blir rotorstrømmen i vikling II, av samme grunner som ovenfor presset opp i vikling I som har stor ohmsk motstand, men liten induktiv motstand. Dette medfører at igangsettingsmomentet blir stort og startstrømmen liten. Når turtallet øker så vil rotorfrekvensen (fr) avta og dette medfører at også den induktive motstand (XL) i vikling II avtar. Når rotasjonsfrekvensen har nådd nominelt turtall så ha rotor strømmen fordelt seg likt i forhold til rotorviklingenes tverrsnitt. Dobbeltspormotorer

bygges i alle størrelser fra 20 kW og oppover til et par tusen kW. De større motorer er beregnet for direkte innkopling på høyspentnett.

Tannhjulsmotorer

For direkte drift av langsomt gående maskineri er det ofte at kortslutningsmotoren kommer til kort pga. turtallet, fordi den er bundet til bestemte turtall. Tannhjulsveksler blir i denne sammenheng ofte brukt, og man anvender da normale hurtigløpende motorer direkte tilkoplet gearhuset slik at den leveres som en kompakt enhet. Den kompakte enheten kalles da tannhjulsmotor.

Bruksområde for tannhjulsmotoren er heiser, anleggsmaskiner, landbruket og i industrianlegg. Bruken av denne type motor forekommer også på maritime anlegg, men i begrenset utstrekning.

Bremsemotoren

En bremsemotor er en elektrisk motor som er utstyrt med en brems. Dette gjør at motoren kan stoppe raskt og sikkert når det er nødvendig. Motoren brukes ofte i applikasjoner hvor presis kontroll over bevegelse er viktig, som for eksempel i løfteutstyr, kraner og maskiner.

Bremsemotorer kan komme i forskjellige typer og konfigurasjoner, inkludert 3-fase-motorer med både vekselstrømbremser (AC) og likestrømbremser (DC). Når strømmen til motoren brytes, aktiveres bremsen automatisk for å stoppe motorens rotasjon.

Trefasemotor med fjærtrykkbremse.

Trefasemotorer med fjærtrykkbremse er en type elektrisk motor som kombinerer kraften til trefasemotorer med presis bremsekontroll ved hjelp av en fjærtrykkbremse. Dette gjør dem spesielt egnet for applikasjoner hvor det er viktig å kunne stoppe rotasjonen raskt og nøyaktig, som i heiser, transportbånd og industrielt maskineri.

Hovedfunksjonene til slike motorer inkluderer:

1. **Trefasemotor**: Utnytter trefaset elektrisk strøm for effektiv og kraftig drift, noe som gir høy ytelse og energieffektivitet.
2. **Fjærtrykkbremse**: Aktiveres automatisk når strømmen brytes, og gir dermed umiddelbar stopp av motoren. Bremsen holdes normalt i frigjort posisjon ved hjelp av en elektromagnet, og når strømmen til elektromagneten brytes, vil fjærene trekke bremsen inn og stoppe motoren.
3. **Presis Kontroll**: Fjærtrykkbremsen gir mulighet for nøyaktig og sikker stopp av motoren, noe som er essensielt i mange industrielle bruksområder.



Bilde hentet fra LØNNE motorkatalog.

Disse motorene brukes ofte i applikasjoner som krever stor pålitelighet og sikkerhet, som løfteutstyr, kraner, transportbånd og ulike typer maskineri.

SFB Elektromagnetisk bremse.

Momentmotorer

En momentmotor, ofte kalt dreimomentmotor eller torque motor på engelsk, er en type elektrisk motor spesielt utviklet for å levere høyt dreiemoment ved lav rotasjonshastighet eller stasjonær posisjon. Momentmotorer brukes i ulike industrisektorer hvor presis og kraftig rotasjonskontroll er nødvendig.

Hovedegenskaper ved momentmotorer inkluderer:

1. Høyt dreiemoment: De kan levere høye mengder dreiemoment selv ved lavere hastigheter, noe som er ideelt for applikasjoner som krever stor kraft, men minimal rotasjon.
2. Direktedrift: De er ofte designet for å bli koblet direkte til lastene, uten behov for girsystem eller andre mellomledd. Dette reduserer slitasje og mekaniske tap.
3. Presis kontroll**:** De gir svært nøyaktig posisjons- og hastighetskontroll, noe som er kritisk i maskiner med presisjonskrav som CNC-maskiner, roboter og verktøymaskiner.
4. Lite vedlikehold**:** Færre bevegelige deler sammenlignet med tradisjonelle motorer og girsystemer, gir momentmotorer en høy driftssikkerhet og lavt vedlikeholdsbehov.
   Momentmotorer finnes i forskjellige typer, inkludert synkrone og asynkrone varianter, og kan bruke forskjellige teknologier som permanentmagnet eller elektromagnetiske felt.

Intermitterende drift

Intermitterende drift refererer til en driftsmetode hvor motoren eller maskinen opererer i korte perioder, fulgt av pauser eller hvileperioder før neste driftssyklus starter. Denne syklusen med på- og av-perioder fortsetter så lenge systemet er i bruk. Intermitterende drift er vanlig innen mange applikasjoner og bransjer, som emballasjeproduksjon, materialhåndtering og automatiserte prosesser.

Hovedtrekkene ved intermitterende drift er:

1. Syklisk drift: Ved jevne mellomrom startes og stoppes motoren, noe som reduserer motorkomponenters slitasje og forlenger levetiden til systemet.
2. Energibesparing: Motoren forbruker energi bare under de periodene hvor den er aktiv, noe som kan gi betydelige energieffektiviseringsgevinster.
3. Varmehåndtering: Hvilene mellom perioder med drift hjelper på å redusere motorens temperaturøkning, og sikrer dermed pålitelighet over tid.
   Intermitterende drift er også kjent som periodisk drift eller syklisk drift, og kan konfigureres for å møte spesifikke applikasjonsbehov.

Utførelse A for S1-drift.

Denne momentmotoren kan når den er koblet i stjerne ligge tilkoblet nominell spenning, og i stillstand utvikle sitt nominelle dreiemoment. Det kan korttidig tilkobles nettet i trekant og utvikler da ca. 3 ganger nominellmomentet og kan brukes til å løsrive fastkjørte maskinerier. Man må da imidlertid påse at motoren kobles fra nettet før skadelig oppvarming opptrer. På slike innretninger er det vanlig å bruke termistorbeskyttelse.

Utførelse B for S2-drift 25% ED.

Denne motoren egner seg spesielt for intermitterende drift 25% ED. Stadig stillstand med nominell spenning tilkoblet er ikke mulig. I motsetning til A-utførelsen er en belastning på 3–4 - ganger nominellmomentet mulig.

Hensyn å ta på grunn av temperaturen

HENSYN Å TA PÅ GRUNN AV TEMPERATUREN

Momentmotorer benyttes som oftest som koblingselement og ligger også i stillstand kontinuerlig koblet til nettet.

Hvis momentmotoren bygges inn i en verktøymaskin eller lignende må det sørges for best mulig varmeavledning. Hvis den blir montert frittstående bør den forsynes med berøringsbeskyttelse.

Med hensyn til den høye temperaturen anbefales det også å benytte varmebestandig kabel ved tilkoblingen. Fra motorens klemmebrett kan det f.eks. legges opp en SINOTHERM-ledning til en koblingsboks og videre derfra med vanlig ledning.

For å få en bedre utnyttelse av motoren leveres de ofte med en isolasjonsklasse F.

Isolasjonsmaterialer for viklinger

Vi kan dele opp isolasjonsmaterialene i 5 isolasjonsklasser i henhold til nedenstående tabell.

Se også i NEK 410A

Isolasjonsklasse	**A**	**E**	**B**	**F**	**H**
Omgivelsestemperatur (°C)	40	40	40	40	40
Tillatt temperaturstigning (°C)	60	75	80	105	125
Temperaturreserve (°C)	5	5	10	10	15
Maks temperatur (°C)	105	120	130	155	180

Temperaturklasser i eksplosjonsfarlige områder

Temperaturer for elektrisk utstyr: IEC 60079–0 og NEK 410

Her er en tabell som viser temperaturklassene T1 til T6 for elektrisk utstyr. Disse klassene angir maksimal overflatetemperatur som utstyret kan nå i eksplosjonsfarlige områder (ATEX-klassifisering), slik at det ikke antenner en gass- eller dampatmosfære.

Temperaturklasse	**Maks. overflatetemperatur**	**Typiske gasser/damper**
T1	450 °C	Karbonmonoksid, metan
T2	300 °C	Etylen
T3	200 °C	Bensin, aceton
T4	135 °C	Eter, metanol
T5	100 °C	Etyl-nitrat
T6	85 °C	Karbondisulfid (CS_2)

!

VIKTIG Å VITE:

- Valg av temperaturklasse avhenger av tenn temperaturen til de eksplosive gassene eller dampene i området.
- Utstyr må ha en lavere maksimal overflatetemperatur enn den laveste tenn temperaturen i området der det brukes.

Motordriftstyper

MOTORDRIFTSTYPER

Motordriftstypen er angitt med en av betegnelsene S1 - S9. S1 er den normale operasjonen hvoretter motorens nominelle effekt er indikert. I visse operasjoner kan imidlertid motorens nominelle effekt økes. Avhengig av hvordan belastningen og dermed motorens utgangseffekt varierer med tiden, er forskjellige driftstyper gitt nedenfor. Den nominelle effekten for hver type drift bestemmes av en last test, som motoren må passere uten å overskride temperaturgrensene som er satt i IEC 60034–1: 2017.

For drift type S2 må betegnelsen følges av lengden på lastperioden. I driftsmodusene S3 og S6 må betegnelsen følges av en periodisk faktor. Eksempel: S2 60 minutter, S3 25%, S6 40%. Ved plikter S4, S5, S7, S8, S9, må betegnelser følges av treghetsmomentet etc.

S1 - Kontinuerlig drift
Motoren kjører med konstant belastning i tilstrekkelig tid til å nå temperaturbalansen.

S2 - Kortsiktig drift
Motoren fungerer med konstant belastning, men ikke lenge nok til å nå temperaturbalansen. Hvileperiodene er lange nok til at motoren når omgivelsestemperatur.

S3 - Periodisk drift
Sekvensielle, identiske kjøre- og hvilesykluser med konstant belastning. Temperaturbalansen oppnås aldri. Startstrøm har liten innvirkning på temperaturøkningen.

S4 - Periodisk drift med start
Sekvensiell, identisk start-, løpe- og hvilesyklus med konstant belastning. Temperaturbalansen oppnås ikke, men startstrømmen påvirker temperaturøkningen. (Ligner på S3, men det er en betydelig starttid innen den periodiske operasjonen.)

S5 - Periodisk drift med elektrisk bremsing
Sekvens av identiske driftssykluser - start, drift, bremsing og hvile. Igjen oppnås ikke termisk likevekt.

S6 - Periodisk drift med kontinuerlig drift
Sekvensielle, identiske driftssykluser med en periode ved last etterfulgt av en periode uten belastning. Forskjellen mellom S1 er at motoren går uten belastning, uten å stoppe.

S7 - Periodisk drift med kontinuerlig drift med elektrisk bremsing
Sekvensielle identiske sykluser med start, kjøring med konstant belastning og elektrisk bremsing. Ingen hvileperioder.
Pr S6, men med betydelige start- og elektriske bruddperioder. Igjen kjører motoren uten belastning i periode i stedet for å stoppe.

S8 - Periodisk drift med kontinuerlig drift med tilhørende endringer i belastning/hastighet
Sekvensielle, identiske driftssykluser kjører med konstant belastning og gitt hastighet, og kjører deretter med andre konstante belastninger og hastigheter. Ingen hvileperioder og termisk likevekt er ikke nådd.

S9 - Drift med ikke-periodiske belastnings- og hastighetsvariasjoner (frekvensomformer drift)
Last og hastighet varierer med jevne mellomrom i det tillatte driftsområdet. Hyppig overbelastning kan forekomme.

Motorer i eksplosjonsfarlige områder

MOTORER I EKSPLOSJONSFARLIGE OMRÅDER

Eksplosjonsfarlige områder er områder som er avgrenset med henblikk på at det er eksplosjonsfarlig atmosfære i område.

Områdene kan inndeles i soner, og definisjonen av den enkelte sone er beskrevet i NEK 410.

I Europa er det ATEX-direktivet som beskriver hvordan Ex-utstyr skal merkes.

I tillegg kan følgende relaterte standarder være relevante, avhengig av type beskyttelse:

Standard	Innhold
IEC 60079–1	Flammeproof enclosure "d" (trykkfast kapsling)
IEC 60079–2	Pressurization "p"
IEC 60079–7	Increased safety "e"
IEC 60079–11	Intrinsically safe "i"
IEC 60079–18	Encapsulation "m"

Områdene ombord skal med hensyn på eksplosjonsfaren, være klassifisert i to hovedområder:

- farlig område
- sikkert område

Farlig område skal være klassifisert i tre soner:

- SONE 0
- SONE 1
- SONE 2

Vi skal nå se på bruk av motorer i de enkelte soner, og hvilke krav som stilles til den enkelte motor i hver sone. Det er soneinndelingen som bestemmer valg av motortype.

SONE 0:

Områder hvor det uavbrutt eller i lange perioder forekommer en eksplosiv blanding av brennbar gass, damp eller svevende væskedråper og luft.

DET KAN **IKKE** BENYTTES MOTORER I SONE 0

SONE 1:

Områder hvor det leilighetsvis må regnes med at det under normale driftsforhold forekommer en eksplosiv blanding av brennbar gass, damp, eller svevende væskedråper eller lt1ft.

I SONE 1 KAN DET BENYTTES MOTORER

Motorer som skal benyttes i sone 1 skal være spesielt konstruert for eksplosjonsfarlige områder, og hvor det skal medfølge et spesielt godkjent sertifikat fra godkjent prøveinstans.

SONE 2:

Områder hvor det kan regnes med at det bare unntaksvis og kortvarig forekommer en eksplosiv blanding av brennbar gass damp eller svevende væskedråper og luft.

I SONE 2 KAN DET BENYTTES MOTORER

Motorer som skal benyttes i sone 2 kan være normale kortslutningsmotorer, men den innvendige overflate temperaturen på statorvikling og rotorvikling må ikke under drift overskride den aktuelle temperaturklasse til motoren. Dette vil igjen si at overflate temperaturen ikke må overskride 80 °C, hvis dette kan hende den enkelte motor så skal produsent angi dette i sine motorkataloger.

Motorenes kapslingsgrad er bestemt ut ifra tabeller som finnes i NEK 410. Dette gjelder for vanlige standard motorer.

Når det gjelder motorer for bruk i eksplosjonsfarlige områder så er det motorens utførelse som bestemmer hvilken beskyttelsesklasse den skal tilhøre. Denne motor vil også ha en IP-grad.

Beskyttelsesklasser:

- motorer i beskyttelsesklasse "e" tennsikker utførelse (Ex e)
- motorer med beskyttelsesklasse "d" eksplosjonssikker utførelse (Ex d)
- motorer i beskyttelsesklasse "p" overtrykkskapsling (Ex p)

Motorer i beskyttelsesklasse "Ex e" (tennsikker utførelse).

Disse motorene er videreutviklet fra vanlige, luftkjølte, trefase kortslutningsmotorer (beskyttelsesgrad IP55 i henhold til IEC 60034–5). De har i hovedsak samme mekaniske konstruksjon og fysiske dimensjoner som standardmotorer, men deres ytelse og driftsegenskaper er tilpasset kravene til eksplosjonsbeskyttelse.

Typiske egenskaper for motorer i beskyttelsesklasse "Ex e":

Motorer med tennsikker utførelse skal oppfylle kravene i EN 60079–7 (tidligere DIN EN 50019), som regulerer «forbedret sikkerhet» for elektriske apparater i eksplosjonsfarlige områder. Følgende punkter er særlig viktige:

- Motortype: Kun kortslutningsmotorer (squirrel-cage) er tillatt.
- Kapslingsgrad: Minimum IP20 for motoren og IP54 for tilkoblingsboksen (klemkassen). Det anbefales å bruke overflatekjølte motorer med kapslingsgrad IP44 eller høyere.
- Beskyttelsesgitter: Luftinntak kan ha en maskevidde større enn 12 mm, så lenge krav til mekanisk beskyttelse og sikkerhet opprettholdes.
- Elektriske tilkoblinger: Skal være utstyrt med overfalsklemmer. Alle skruer og bolter må sikres mot å løsne (f.eks. med låsemidler).
- Koblings hus: Skal være godkjent iht. eksplosjonsbeskyttelseskrav og kan omfatte et sertifisert klemmebrett eller spesialdesignet koblingsboks.
- Jording: Jordingsskrue skal finnes både inne i koblingshuset og på motorens ytre kapsling.
- Viklingsimpregnering: Må være godkjent av et akkreditert testorgan (f.eks. PTB eller tilsvarende).
- Merking: Beskyttelsesklasse, temperaturklasse og sertifikatnummer skal være tydelig angitt på motorens typeskilt eller på et separat merkeskilt.

De fleste Ex e-motorer har spesialtilpasset vikling for å redusere effekttap og varmeutvikling sammenlignet med standardmotorer.

Merknader

- DIN EN 50019 er nå erstattet av EN 60079–7 / IEC 60079–7, som er den gjeldende standarden for tennsikker ("e") utførelse.
- PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) er fortsatt en anerkjent instans, men det er vanlig nå å referere til "sertifisert tredjepart" eller "notified body" i henhold til ATEX (ATmospheres EXplosibles).
- ATEX er navnet på to EU-direktiver som regulerer utstyr og arbeidsmiljø i eksplosjonsfarlige områder – områder hvor det finnes brennbare gasser, damp, tåke eller støv.

Opprettholdelse av eksplosjonsbeskyttelsen under drift.

For å sikre at eksplosjonsbeskyttelsen opprettholdes under drift, må hver motor være utstyrt med en motorvernbryter innstilt på motorens merkestrøm.

Ved valg av motorvernbryter må man påse at den – i henhold til sin utløse karakteristikk i kald tilstand (20 °C) – kobler ut innenfor den tE-tiden som er angitt på motorens typeskilt og i tilhørende sertifikat, i tilfelle rotoren skulle blokkere (f.eks. ved fastbremsing).

Når det benyttes en standard motorvernbryter, må motoren ikke utsettes for hyppige starter over kort tid. Antall startforsøk må begrenses til normal starthyppighet, for å unngå overbelastning og varmeoppbygging.

For polomkoblbare motorer (motorer med flere turtall) i Ex e-utførelse**,** må det benyttes en egen motorvernbryter for hvert turtall. Disse motorvernbryterne må være mekanisk og elektrisk forriglet**,** slik at det ikke er mulig å koble direkte fra ett turtall til et annet mens motoren er i drift.

Temperatur og eksplosjonsbeskyttelse.

I eksplosjonsfarlige områder kan brennbare gasser trenge inn i alle deler av motoren. Derfor er det varmeste punktet i motoren avgjørende for sikkerheten.

For å sikre tilstrekkelig eksplosjonsbeskyttelse må det mest kritiske driftstilfellet vurderes. For en kortslutningsmotor er dette når rotoren er fastlåst (stillestående), mens statoren fortsatt er tilkoblet nominell spenning og frekvens.

I henhold til IEC 60079–0, er det fastsatt maksimum tillatt temperatur for både stator- og rotorviklinger under slike ekstreme forhold. Dersom disse temperaturgrensene nås – enten i stator eller rotor – må motoren kobles ut umiddelbart ved hjelp av en bryter med termisk overstrømsvern.

Grensetemperaturen er avgjørende for motorens belastningsevne og utnyttelse. I denne sammenheng skiller man mellom:

- Stator-kritiske motorer – der temperaturen i stator er begrensende.
- Rotor-kritiske motorer – der temperaturen i rotor er begrensende.

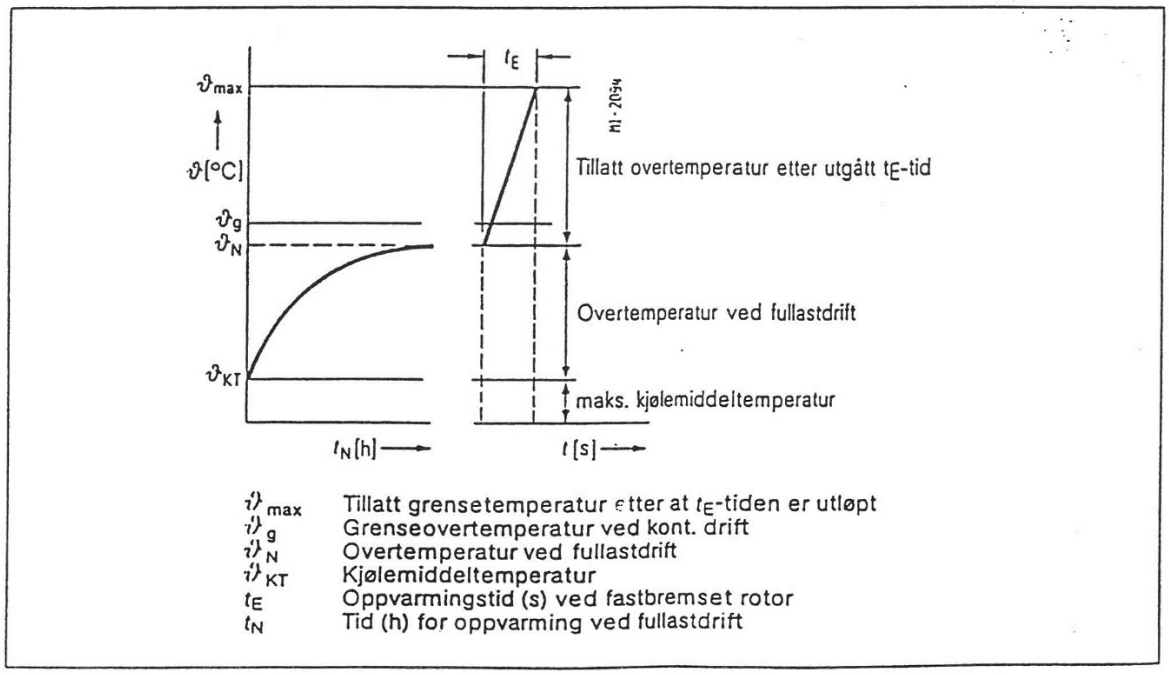
Dette har betydning for tE-tiden, som er den maksimale tiden motoren kan være tilkoblet under blokkert rotor før temperaturen når en kritisk grense.

Den maksimalt tillatte omgivelsestemperaturen er som standard satt til + 40 °C, med mindre annet er spesifisert.
Statorens tillatte viklingstemperatur beregnes som summen av omgivelsestemperaturen og motorens interne temperaturgrense iht. klassifisert temperaturklasse.

Begrepet tE - tid

Motoren må senest kobles ut når enten rotor- eller statorviklingen har nådd temperaturen ϑ maks. Når motoren belastes med startstrømmen, stiger temperaturen meget hurtig og temperaturen ϑ oppnås på meget kort tid.

Den tid som gå med til temperaturen ϑ maks, nåes med utgang fra temperaturen ved fullast drift og fast bremset rotor kalles t_E-tid dvs. oppvarmingstiden. For at motoren skal kunne starte opp uten utilsiktet utkobling fra bimetallreleene, er det foreskrevet en minimums t_E-tid, avhengig av startstrømforholdet IA/IN.



Med referanse i fastlagte prøvebestemmelser for oppvanningstiden t_E må startforholdet når det gjelder motorer i beskyttelsesklasse Ex e undersøkes spesielt.

Motorer med beskyttelsesklasse Ex e bør normalt ha en starttid som er:

$$t_A \leq 1,7 * t_E$$

Hvis starttiden t_A er noenlunde den samme som t_E-tiden, kan det bli vanskeligheter med å beskytte en strømovervåket motor, da man f.eks. ved gjentatte starter får en falsk utkobling eller at utkobling uteblir selv om maksimal temperatur oppnås på stator eller rotor fordi motorvernet har lavere termisk tidskonstant enn motor og vil derved avkjøles raskere.

Motorer som skal benyttes til andre driftsarter enn S1 må ha beskyttelsesklasse Ex d.

Motorer med beskyttelsesklasse Ex d (eksplosjonssikker kapsling).

De fleste motortyper kan leveres i beskyttelsesklasse Ex d**.**

Mens beskyttelsesklasse Ex e (forbedret sikkerhet) bygger på en standardmotor med nødvendige tilpasninger, er en Ex d-motor konstruert etter helt andre prinsipper. Her er kapslingen utformet for å:

- tåle en intern eksplosjon uten strukturell skade, og
- hindre at flammer eller varme gasser slipper ut og antenner den omgivende atmosfæren.

Målet med Ex d-beskyttelse er altså å inneholde og kontrollere en eventuell eksplosjon innvendig i motoren, og sikre at trykkbølger og flammer ikke forårsaker fare utenfor kapslingen.

Motorer i beskyttelsesklasse Ex d leveres i følgende utførelse: Ex d - IP 55.

Eksplosjonssikre motorer (Ex d) kan som hovedregel belastes med full nominell effekt opp til og med temperaturklasse T4 (maks. overflatetemperatur 135 °C).

Ved krav om høyere sikkerhet – som ved temperaturklasse T6 (maks. overflatetemperatur 85 °C) – kan det være nødvendig å redusere motorens effekt for å holde overflatetemperaturen innenfor de definerte grensene. Dette gjelder imidlertid bare enkelte motortyper.

Motorer i beskyttelsesklasse Ex p (overtrykkapsling).

Beskyttelsesklasse Ex p benyttes i situasjoner der motorer med forbedret sikkerhet (Ex e**)** ikke er tilstrekkelige, eller der eksplosjonssikre motorer (Ex d) blir for kostbare eller uhensiktsmessige.

Overtrykkapsling (pressurization) er en metode som brukes særlig for større motorer, som:

- kortslutningsmotorer,
- sleperingsmotorer,
- trefase kommutatormotorer,
- likestrøms motorer.

Beskyttelsen oppnås ved at motorens kapsling holdes under et konstant overtrykk av ren luft eller en inertgass (f.eks. nitrogen), slik at eksplosiv atmosfære ikke kan trenge inn i kapslingen.

Driftsbetingelser

For at Ex p-beskyttelsen skal være effektiv, gjelder følgende krav:

- Startforrigling: Motoren kan først startes etter at kapslingen er gjennomspylt med luft eller inertgass tilsvarende minst 5 ganger volumet av kapslingen.
- Overvåking: Dersom forsyningen av spyle- eller overtrykkmedium stanser (f.eks. ved feil på fremmedventilatoren), må motoren automatisk kobles ut for å unngå risiko for antennelse.

Merknad

Ex p-beskyttelse deles videre inn i underkategoriene px, py og pz, avhengig av bruksområde og sikkerhetsnivå, i henhold til IEC 60079–2.

Merking:

Alt godkjent Ex-utstyr som skal tas med inn i et eksplosjonsfarlig område skal merkes. I Europa er det ATEX-direktivet som beskriver hvordan Ex-utstyr skal merkes. De samme retningslinjene er innført i Norge, i [Forskrift om utstyr og sikkerhetssystem til bruk i eksplosjonsfarlig område]
{.underline} https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-11-29-1849?q=forskrift%20om%20utstyr%20og%20sikkerhetssystem

Av merkingen skal du blant annet kunne lese hvilke soner og gasser eller typer støv utstyret er laget for, hvilke ytre påkjenninger utstyr tåler og hva slags beskyttelsestype det har.

- Ex d = Flameproof (IEC 60079–1)
- Ex e = Increased safety (IEC 60079–7)
- Ex p = Pressurization (IEC 60079–2)
- Alle beskyttelsesmetoder må brukes sammen med korrekt merking, godkjenning og installasjon iht. IEC 60079–14.

Krav om opplæring.

Det er viktig at du som jobber i eksplosjonsfarlige områder kjenner til denne merkingen, slik at du ikke setter deg selv eller andre i fare. Faktisk stiller myndighetene krav om at du som skal jobbe i eksplosjonsfarlige områder, har gjennomgått og kan dokumentere opplæring, for eksempel gjennom e-læringskurs som [Sikker adferd i eksplosjonsfarlige områder]{.underline} https://www.trainor.no/cms/Kurs/E-laering/Sikker-adferd-i-eksplosjonsfarlige-omraader

Sammenligning: Ex d, Ex e og Ex p

Beskyttelses-klasse	Betegnelse	Prinsipp	Bruksområde	Fordeler	Ulemper
Ex d	Eksplosjons-sikker kapsling	Tåler og inneholder intern eksplosjon – hindrer flammeutslipp	Vanlig i grove industrier (prosess, olje/gass)	Robust, krever ingen ekstra utstyr	Tung, dyr, vanskelig å vedlikeholde
Ex e	Forbedret sikkerhet	Forhindrer gnister, overflatetemp. og dårlig tilkobling	Standardvalg for mindre og middels motorer	Rimeligere, enklere	Lavere beskyttelses-nivå, må kombineres med annen beskyttelse
Ex p	Overtrykks kapsling	Hindrer eksplosiv atmosfære i å komme inn via overtrykk	Store motorer, kommutatormotorer, DC-motorer	Egnet for store og spesial-motorer	Krever luft/inertgass, overvåkning og forrigling

Ny og gammel standard:

Betegnelse	Status	Kommentar
EEx e **EEx d** **EEx p**	Utdatert	Brukt i eldre europeiske standarder (før ATEX og IEC-harmonisering)
Ex e **Ex d** **Ex p**	✅ Gyldig	Brukes i dagens IEC 60079-serie og ATEX-direktiv

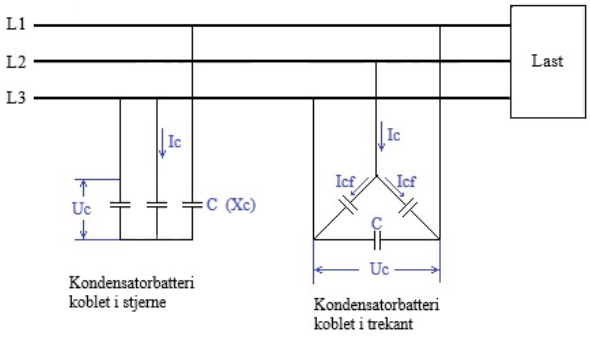
Fasekompensering

FASEKOMPENSERING

Fasekompensering er lite brukt ombord i skip, men skal man ut nytte energien bedre så vil det også bli aktuelt med fasekompensering ombord i dagens skip. Tidligere har vi lært at induktiv energi pendler mellom forbruker og kilde. Se avsnittet for fase kompensering av

1-fase kretser. Det er kun den aktive energien som blir omgjort til arbeid på forbrukerstedet. Motoren er en induktiv forbruker som trekker induktiv effekt, og det er i slike tilfeller man ønsker å fase kompensere. Det som kan motvirke den induktive effekten i å pendle tilbake til kilden er kondensatorer som er koplet i parallell med motoren så nær motoren som mulig.

Ved trefasenett kan kondensatorene enten koples i trekant eller i stjerne, og det kalles da for et kondensatorbatteri.



f(x)

DE GRUNNLEGGENDE FORMLENE

$$Xc = \frac{1}{2*\pi*f*c}$$

$$Uc = Ic * Xc$$

Disse formlene er de grunnleggende formlene, men ved trefase beregninger så skal vi ta

hensyn til den reaktive effekten (Qc) som kondensatorbatteriet trenger for å gjennomføre fasekompenseringen. Vi kan også ta hen syn til den reaktive strømkomponenten som kondensatorbatteriet trenger (Ie). Jeg skal vise begge eksemplene.

Hvordan bør kondensatorene koples.

Kapasitansen C hos den enkelte kondensator ved trekantkopling er bare en tredjedel av kondensatorkapasitansen ved stjerne kopling ved samme reaktive effekt.

Kondensatorens klemmespenning er imidlertid ved trekantkopling tre ganger større enn ved stjernekopling. Da omkostningene for en kondensator vesentlig avhenger av kapasitansen, brukes vanligvis trekantkopling ved lavspentanlegg hvor isolasjonen ikke er noe problem. Ved høyere spenninger over 3 kV brukes gjerne stjernekopling, men da får vi bare fasespenningen over kondensatoren.

Fordelen ved innkopling av kondensatorer.

Dårlige belastede asynkronmotorer arbeider som nevnt med en lavere effektfaktor enn ved full last, da motorens magnetiseringsstrøm øker lite fra tomgang til full belastning.

En industribedrift som arbeider med dårlige belastede motorer, vil ha et anlegg med lav effektfaktor. Dvs. at motorene er for store i forhold til den lasten de skal drive.

De fleste EL-verk krever en ekstra strømavgift for anlegg som arbeider med en lav effektfaktor.

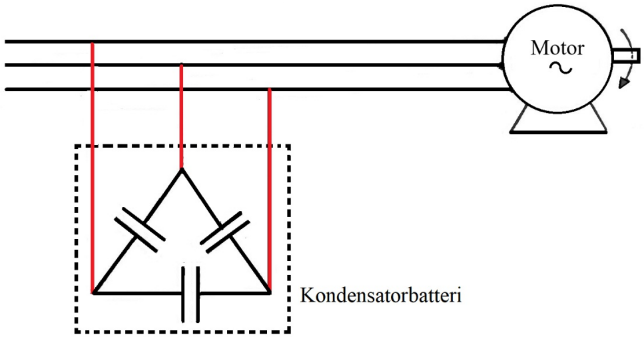
Man må derfor sørge for at motorer ikke velges unødige store i forhold til lasten. Dette medfører en forholdsvis stor reaktiv strømkomponent i forhold til den aktive strømkomponent.

Bedring av faseforskyvning kan foretas på to måter:

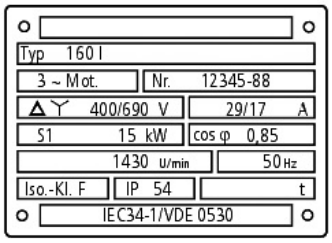
1) Synkronmotorer som over magnetiseres, vil gi en reaktiv strøm som er kapasitiv og ligger 180 grader foran den induktive strømmen som magnetfeltene krever til sin oppbygning.

2) Statiske kondensatorer.

> Ved å forbedre effektfaktoren ved et anlegg som er toppbelastet, og som arbeider med en lav effektfaktor, kan ytterligere effekt overføres.



Eksempel motoroppgave:



Vi ønsker å forberede effektfaktoren (cos φ) til 0,95.

Spenning, strøm og cos φ står på merkeskiltet til motoren.

> Cos φ = 0,85 da blir sin φ = 0,5268 og tan φ = 0,6197

Først må vi nå finne den tilførte aktive effekten (P_t) og den reaktive effekten (Q).

> $$P_t = U * I * cos\varphi * \sqrt{3}\, P_t = 400 * 29 * 0,85 * \sqrt{3} = 17078\ W$$
> $$Q = \sqrt{3} * U * I * \sin\varphi\, Q = \sqrt{3} * 400 * 29 * 0,5268 = 10584\ VAr$$

Motoren trekker en aktiv strømkomponent som går med til lasta og friksjon.

> $$I_a = I_h * cos\varphi = 29 * 0,85 = \underline{24.65A}$$

Motoren trekker også en reaktiv strømkomponent som går med til å dekke magnetiseringsbehovet til motoren.

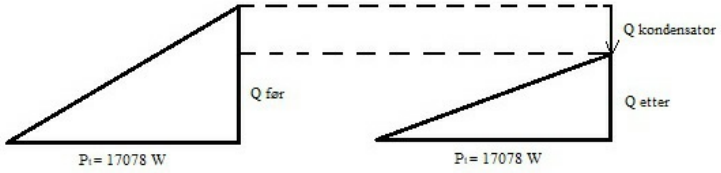
> $$I_r = I_h * \sin\varphi = 29 * 0,5268 = 15,28\ A$$

a) Vi skal nå beregne kondensatorens reaktive effekt.

> Ny cos φ = 0,95 da blir sin φ = 0,3122 og tan φ = 0,3287

Nå må vi først finne den reaktive effekten etter fase kompensering. Den reaktive effekten pendler mellom generator og motor. Vi må passe på å bruke tan ϕ da den aktive effekten Pt ikke blir forandret, det er kun Q som skal justeres. $Tan\ \varphi = \frac{P}{Q}$

> Ny Q = $P_t * \tan\varphi = \quad 17078 * 0,3287 = 5614\ VAr$



Q_c = $Q_{før}$ – Q_{etter} = 10584 VAr – 5614 VAr = 4970 VAr

Ved hjelp av trekantene er det vist hvordan vi kommer frem til kondensator effekten som er nødvendig for å bedre effektfaktoren til 0,95.

Men ved beregninger heretter så bruker vi formelen og setter direkte inn i den.

f(x)

FORMEL

$$Q_c = P_t \cdot \left(\tan\varphi_{\text{før}} - \tan\varphi_{\text{etter}}\right)$$

$$Qc = 17078\ * (0,6197 - 0,3287)\ = 17078\ *\ 0,291\ =\ 4970\ VAr$$

!

SJEKK LINJENE OVER

xxxxxx

Før fasekompensering så pendlet det en reaktiv effekt på 10584 VAr mellom generator og motor. Etter fasekompenseringen så ble denne reaktive effekten redusert betraktelig fra nettet.

Vi har nå fjernet differansen mellom reaktiv effekt før og etter fasekompensering. Nå pendler det 5614 VAr mellom generator og motor. Differansen på 4970 VAr pendler nå mellom kondensatorbatteriet og motor.

Det samme vil skje med de tilsvarende verdier for strømmene.

b) Nå skal vi beregn kapasitansen C pr. fase for de enkelte kondensatorer i kondensatorbatteriet.

> $\omega = 2 *\ \pi * f$ (f = frekvens i Hertz)
>
> $X_C = \frac{1}{\omega * C} = \frac{1}{2 * \pi * f * C}$ (C = kapasitans i Farad)

Ohms lov: $U\ =\ I\ *\ Z$

> $Uc\ =\ Ic\ *\ Xc\ U_C = \ I_C * \frac{1}{\omega * C}\ U_C = \frac{\mathrm{Ic}}{\omega * C}$

Kapasitansen blir:

$$C_{\text{fase}} = \frac{I_{c,f}}{U_{c,f} \cdot \omega}$$

!

SJEKK LINJENE OVER

xxxxx

1-fase: $I_C = U_C * \omega * C$ 3-fase: $I_{\text{Cf}} = U_{\text{Cf}} * \omega * C$

Strømmen til kondensatorbatteriet er en ren reaktiv strømkomponent det vil si:

$$Ic = I * sin\,\varphi \ \ (sin\,\varphi = 1)$$

Kondensatorbatteriets reaktive effekt:

$Qc = Uc_f^2 * \omega * C * 3$

Uc_f er fasespenningen og dermed brukes formelen både i stjerne og trekantkobling av kondensatorbatteriet.

Trekantkobling (Δ):

$$C_\Delta = \frac{\text{Qc}}{\text{Uc}_f^2 * \omega * 3} = \frac{4970}{400^2 * 2 * \pi * 50 * 3} = 3,296 * 10^{-5} = 32,96 * 10^{-6}\ F = 32,96\ \mu F$$

Stjernekobling (Y):

$$C_Y = \frac{\text{Qc}}{\text{Uc}_f^2 * \omega * 3} = \frac{4970}{231^2 * 2 * \pi * 50 * 3} = 9,882 * 10^{-5} = 98,82 * 10^{-6}\ F = 98,82\ \mu F$$

c) Beregn kondensatorbatteriets hovedstrøm og fasestrøm i trekant kobling.

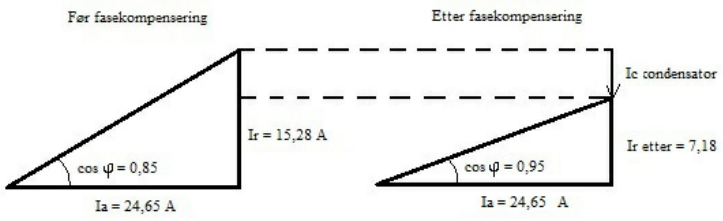
$$I_h = \frac{P}{\sqrt{3} * U * cos\varphi} = \frac{17078}{\sqrt{3} * 400 * 0,85} = \underline{\underline{29A}}$$

I vårt tilfelle er hovedstrømmen (I_h) også oppgitt på motorskilt.

$$I_{r,\text{etter}} = I_a \cdot \tan\varphi = 24.65 \cdot 0.3287 = \underline{8.1\ \text{A}}$$

Kondensatorbatteriets hovedstrøm:

> Ic = $Ir_{før}$ - Ir_{etter} = 15,28 - 8,1 = 7,18 A
>
> $$Ic = \frac{\mathrm{Ic}_h}{\sqrt{3}} = \frac{7{,}18}{\sqrt{3}} = 4,15$$



Ved fasekompensering ungår man følgende:

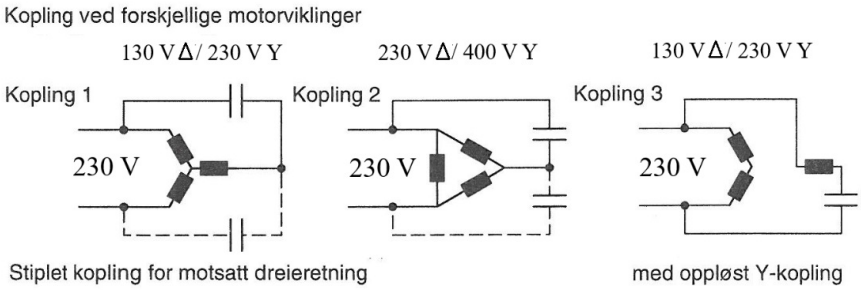
1. Tap i generatorer, transformatorer og ledninger.
2. Galt forhold mellom drivmaskin (diesel) og generator.
   Da vil ikke drivmaskin merker noe til reaktiv effekt.
3. Galt forhold mellom drivmaskinens regulator og generators spenningsregulator.
4. Øket magnetiseringsytelse

Bruk av trefasemotorer som enfasemotorer

BRUK AV TREFASEMOTORER SOM ENFASEMOTORER

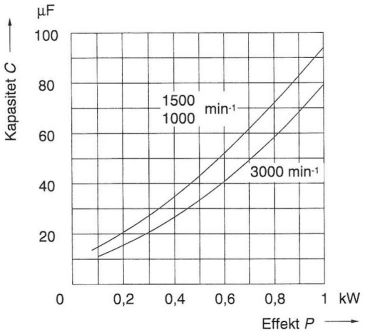
I spesielle tilfeller kan normale trefasede motorer brukes som enfasemotorer.

Figuren under viser noen eksempler på hvordan en trefaset motor kan brukes som enfasemotorer med kondensator.



Noen eksempler på hvordan en trefaset motor kan brukes som enfasemotorer med kondensator.

Den nødvendige kondensatorstørrelsen kan tas ut fra diagrammet på figur under. Motorytelsen er ca. 70–80 % av den trefasede ytelsen, og startmomentet er bare 25–35 % av det nominelle momentet ved enfaset drift.



Avgitt effekt P ved enfasedrift = 70 - 80 % av effekten ved trefasedrift

Kondensatorkapasiteten gjelder for koblingene 1 og 2 på figur over ved 230 V. Her må kondensatoren legges ut for 1,15 x nettspenningen, i 230 V nett for minst 265 V.

Ved kopling 3 på figur over er den nødvendige kondensatorstørrelsen bare halvparten så stor som ved koplingene 1 og 2 ved samme motormerkeeffekt og samme nettspenning. Kondensatoren må utføres for en kontinuerlig driftsspenning på 1,35 x nettspenningen, i

230 V nett altså for 310 V.

Det er økonomisk forsvarlig å bruke trefasemotorer med kondensator for kontinuerlig drift til enfaset drift bare inntil enfase effekter opp til ca. 2 kW på grunn av kondensator- omkostningene.

For andre nettspenninger forandrer kondensatorstørrelsen seg i omvendt forhold til kvadratet av nettspenningene.

På grunn av det lave startmomentet og de dårlige egenskapene under startperioden er disse motorene bare egnet for drift av vifter og maskiner med avlastet start.

Trefase motor med kondensatorer slik at den blir enfase.



Resten av kapittelet er hentet fra LØNNE motor katalog, med tillatelse fra RUBIX

Trykk her for PDF av resten av kapittelet, PDF fra Lønne motorkatalot http://www.marfag.no/k59/kap9_lonne.pdf

Motor Series 1TZ9 IE1
2-pole: 3000 rpm at 50 Hz

Type	Output		RPM	T rated	η rated 50Hz			Cos ϕ	I rated	I Start / I rated	T Start / T rated	T B.Down / T rated	Sound pressure	Weight	Inertia
	kW	kW	400V	Nm	100	75	50	50Hz	400V				db(A)	A/C IM B3	J
	50Hz	60Hz	50Hz	50Hz	%	%	%		50Hz	Ist/In	Mst/Mn	Mk/Mn	50Hz	Kg	kgm2
1TZ9 A 63M	0,18	0,21	2805	0,6	52,8	50,1	44,2	0,79	0,62	3,4	1,7	2,2	64	4	0,00018
1TZ9 A 63M	0,25	0,28	2835	0,8	58,2	55,5	48,6	0,75	0,83	3,6	1,9	2,6	64	4	0,00022
1TZ9 A 63L*	0,37	0,43	2795	1,3	63,9	60,3	51,9	0,71	1,18	3,5	2,4	2,6	64	5	0,00022
1TZ9 A 71M	0,37	0,43	2755	1,3	63,9	64,5	61,1	0,79	1,06	3,4	2,2	2,2	56	5	0,00022
1TZ9 A 71M	0,55	0,63	2750	1,9	69	69,9	66,5	0,79	1,46	3,7	2,2	2,2	62	6	0,00029
1TZ9 A 71L*	0,75	0,86	2780	2,6	72,1	72,5	70,2	0,83	1,81	4,5	2,2	2,2	62	6	0,00051
1TZ9 A 80M	0,75	0,86	2835	2,5	72,1	72,6	69,9	0,86	1,75	5,2	2,1	2,3	62	9	0,00169
1TZ9 A 80M	1,1	1,27	2840	3,7	75	75,7	73,4	0,86	2,45	5,7	2,5	2,5	58	12	0,00223
1TZ9 A 90S	1,5	1,75	2835	5,1	77,2	78,2	76,8	0,85	3,3	5,5	2,6	2,9	62	13	0,00364
1TZ9 A 90L	2,2	2,54	2855	7,4	79,7	80,9	81,3	0,85	4,7	6,5	2,8	3,2	64	14	0,00461
1TZ9 A/C 100L	3	3,45	2835	10	81,5	83,2	82,7	0,87	6,1	6,4	3,2	3,5	67	20/31	0,0034
1TZ9 A/C 100L*	4	4,55	2850	13	83,1	83,9	83	0,85	8,2	7	4,5	4,1	67	25/33	0,0044
1TZ9 A/C 112M	4	4,55	2935	13	83,1	82,9	80,5	0,85	8,2	8,3	3,3	4,2	69	25/36	0,0067
1TZ9 A/C 112M*	5,5	6,3	2935	18	84,7	84,7	82,7	0,86	10,9	7,5	2,9	3,8	69	31/40	0,0085
1TZ9 A/C 132S	5,5	6,3	2910	18	84,7	85,8	85,3	0,88	10,7	5,7	1,8	2,6	68	35/53	0,013
1TZ9 A/C 132S	7,5	8,6	2925	24	86	86,6	86,1	0,88	14,3	6,8	2,2	3,1	68	40/58	0,016
1TZ9 A/C 132M*	11	12,6	2920	36	87,6	88,3	87,8	0,9	20	7,5	2,8	3,7	68	53/76	0,022
1TZ9 A/C 160M	11	12,6	2925	36	87,6	88,2	87	0,86	21	5,7	2	2,7	70	60/87	0,03
1TZ9 A/C 160M	15	17,3	2935	49	88,7	88,9	87,2	0,85	28,5	6,8	2,4	3,2	70	68/95	0,036
1TZ9 A/C 160L	18,5	21,3	2935	60	89,3	89,7	88,5	0,87	34,5	7,6	2,7	3,4	70	78/105	0,044
1TZ9 A/C 160L*	22	25,3	2935	72	89,9	90,2	89,5	0,9	39	7,5	2,6	3,4	70	85/125	0,049
1TZ9 C 180M	22	24,5	2945	71	89,9	90,6	90,4	0,87	40,5	7,7	2,5	3,5	72	150	0,069
1TZ9 C 180L*	30	33,5	2940	97	90,7	91,5	91,5	0,89	54	8,1	2,4	3,5	72	180	0,094
1TZ9 C 200L	30	33,5	2960	97	90,7	90,9	90,2	0,79	60	7,3	2,5	3,6	72	195	0,124
1TZ9 C 200L	37	41,5	2955	120	91,2	91,6	91,2	0,88	67	8,2	2,7	3,5	72	230	0,15
1TZ9 C 200L*	45	51	2955	145	91,7	92,3	92,4	0,85	83	8,1	2,5	3,6	71	245	0,176
1TZ9 C 225M	45	51	2960	145	91,7	92	91,6	0,88	80	6,7	2,3	3	73	280	0,22
1TZ9 C 225M*	55	62	2960	177	92,1	92,4	92	0,88	98	7,3	2,5	3,2	76	330	0,27
1TZ9 C 250M	55	62	2970	177	92,1	92,3	91,4	0,88	98	6,7	2	2,9	76	360	0,4
1TZ9 C 250M*	75	84	2970	241	92,7	92,8	92,1	0,87	134	7,3	2,4	3,1	76	420	0,48
1TZ9 C 280S	75	84	2975	241	92,7	92,5	91,3	0,86	136	6,8	2,2	3	72	470	0,72
1TZ9 C 280M	90	101	2975	289	93	93,1	92,4	0,88	159	7,1	2,5	3,1	76	530	0,83
1TZ9 C 280M*	110	123	2975	353	93,3	93,5	93,1	0,9	189	7,3	2,4	3,1	77	620	1
1TZ9 C 315S	110	123	2982	352	93,3	92,9	91,5	0,86	198	7,5	2,3	3,3	80	680	1,2
1TZ9 C 315M	132	148	2982	423	93,5	93,2	92,5	0,89	230	7,6	2,3	3	80	740	1,4
1TZ9 C 315L	160	180	2982	512	93,8	93,6	93,1	0,91	270	7,4	2,3	2,9	80	880	1,6
1TZ9 C 315L	200	224	2982	640	94	93,9	93,5	0,92	335	7,1	2,2	2,8	80	1000	2,1

* Increased output

Cooling: self-ventilated (IC 411)Insulation: Thermal class 155 (temperature class F), IP55 degree of protection, utilization in accordance with thermal class 130 (ClassB) For higher output motors, please contact Rubix.

Formula for current with new voltage: I'n (new) = In (with 400V) • (400 / U (new voltage))

Motor Series 1TZ9 IE1
4-pole: 1500 rpm at 50 Hz

Type	Output		RPM	T rated	η rated 50Hz			Cos ϕ	I rated	I Start / I rated	T Start / T rated	T B.Down / T rated	Sound pressure	Weight	Inertia
	kW	kW	400V	Nm	100	75	50	50Hz	400V				db(A)	A/C IM B3	J
	50Hz	60Hz	50Hz	50Hz	%	%	%		50Hz	Ist/In	Mst/Mn	Mk/Mn	50Hz	Kg	kgm2
1TZ9 A 63M	0,12	0,14	1360	0,8	50	47,3	39,1	0,71	0,49	2,5	1,6	1,8	59	4	0,00029
1TZ9 A 63M	0,18	0,21	1360	1,3	57	55,1	47,8	0,71	0,64	2,8	1,9	2,1	59	4	0,00037
1TZ9 A 63L*	0,25	0,28	1365	1,7	61,5	59,6	53,5	0,68	0,86	2,9	2,3	2,3	59	5	0,00045
1TZ9 A 71M	0,25	0,28	1365	1,7	61,5	61,4	56,1	0,73	0,8	3	1,8	2	49	5	0,00052
1TZ9 A 71M	0,37	0,43	1350	2,6	66	67,7	65	0,75	1,08	3,2	2	2	54	6	0,00077
1TZ9 A 71L*	0,55	0,63	1365	3,8	70	70,5	67,4	7	1,62	3,6	2,5	2,5	54	7	0,00095
1TZ9 A 80M	0,55	0,63	1385	3,8	70	70,7	67,7	0,79	1,44	3,7	2,1	2,2	53	9	0,00284
1TZ9 A 80M	0,75	0,86	1385	5,2	72,1	72	67	0,76	1,85	3,6	2,1	2,3	53	11	0,00377
1TZ9 A 90S	1,1	1,27	1405	7,5	75	75,9	73,6	0,81	2,5	4,5	2,1	2,3	56	12	0,005
1TZ9 A 90L	1,5	1,75	1410	10	77,2	77,8	75,1	0,8	3,35	4,7	2,4	2,6	58	15	0,00596
1TZ9 A/C 100L	2,2	2,54	1425	15	79,7	80,3	78,1	0,81	4,9	5,1	2,3	2,7	60	18/29	0,0059
1TZ9 A/C 100L	3	3,45	1425	20	81,5	82,6	81,5	0,85	6,3	5,4	2,4	2,6	60	22/33	0,0078
1TZ9 A/C 100L*	4	4,55	1435	27	83,1	83,8	82,3	0,81	8,6	5,8	2,9	3,1	60	27/36	0,01
1TZ9 A/C 112M	4	4,55	1435	27	83,1	84,3	84	0,83	8,4	6,1	2,5	2,9	58	27/38	0,01
1TZ9 A/C 112M*	5,5	6,3	1420	37	84,7	85,9	85,3	0,81	11,6	5,8	3	3,1	58	33/43	0,012
1TZ9 A/C 132S	5,5	6,3	1450	36	84,7	85,3	84,2	0,82	11,4	5,7	2,3	2,7	64	38/56	0,019
1TZ9 A/C 132M	7,5	8,6	1450	49	86	86,5	85,4	0,82	15,4	6,6	2,6	3,1	64	44/59	0,024
1TZ9 A/C 132M*	11	12,6	1450	72	87,6	88,2	87,6	0,84	21,5	7,2	2,5	3	64	58/76	0,033
1TZ9 A/C 160M	11	12,6	1460	72	87,6	87,9	86,7	0,81	22,5	6,9	2,7	3,3	65	62/89	0,044
1TZ9 A/C 160L	15	17,3	1460	98	88,7	89	87,8	0,82	30	7,5	3	3,6	65	73/105	0,056
1TZ9 A/C 160L*	18,5	21,3	1460	121	89,3	89,8	89,2	0,85	35	7,2	2,7	3,2	65	85/125	0,068
1TZ9 C 180M	18,5	21,3	1468	120	89,3	90,2	90,2	0,85	35	7,3	2,2	3,1	63	170	0,13
1TZ9 C 180L	22	25,3	1465	143	89,9	90,8	90,7	0,83	42,5	8	2,7	3,6	63	170	0,13
1TZ9 C 180L*	30	34,5	1465	196	90,7	91,7	91,9	0,79	60	7,2	2,6	3,4	64	185	0,159
1TZ9 C 200L	30	34,5	1472	195	90,7	91,5	91,4	0,83	58	6,9	2,3	3,1	64	220	0,2
1TZ9 C 200L	37	42,5	1470	240	91,2	92	92,1	0,82	71	6,8	2,4	2,9	64	240	0,246
1TZ9 C 225S	37	42,5	1475	240	91,2	91,6	91,1	0,85	69	7	2,3	3,2	68	260	0,37
1TZ9 C 225M	45	52	1475	291	91,7	92,1	91,7	0,86	82	7,2	2,6	3,2	71	290	0,45
1TZ9 C 225M*	55	63	1475	356	92,1	92,8	92,6	0,86	100	6,7	2,5	2,6	70	320	0,49
1TZ9 C 250M	55	63	1475	356	92,1	92,5	92,1	0,85	101	6,1	2,4	2,6	70	360	0,69
1TZ9 C 250M*	75	86	1482	483	92,7	93,1	92,6	0,84	139	7,4	2,5	3	73	440	0,86
1TZ9 C 280S	75	86	1485	482	92,7	92,9	92,2	0,85	137	7	2,3	2,8	72	540	1,2
1TZ9 C 280M	90	104	1482	580	93	93,4	93,1	0,87	161	6,5	2,2	2,8	72	560	1,4
1TZ9 C 280M*	110	127	1486	707	93,3	93,5	93	0,85	200	8	2,6	3,3	73	680	1,7
1TZ9 C 280M*	132	152	1482	850	94,7	95,2	95,2	0,88	230	7,1	2,5	2,8	74	750	1,8
1TZ9 C 315S	110	127	1488	706	93,3	93,4	92,8	0,84	205	6,5	2,3	2,7	75	730	1,9
1TZ9 C 315M	132	152	1488	847	93,5	93,7	93,3	0,85	240	6,8	2,5	2,7	76	760	2,2
1TZ9 C 315L	160	184	1486	1028	93,8	93,9	93,5	0,86	285	7,2	2,7	2,7	76	940	2,9
1TZ9 C 315L	200	230	1486		94	94,2	94	0,87	355	6,9	2,5	2,7	76	1140	3,5

* Increased output

Cooling: self-ventilated (IC 411)Insulation: Thermal class 155 (temperature class F), IP55 degree of protection, utilization in accordance with thermal class 130 (ClassB) For higher output motors, please contact Rubix.

Formula for current with new voltage: I'n (new) = In (with 400V) • (400 / U (new voltage))

Motor Series 1TZ9 IE1
6-pole: 1000 rpm at 50 Hz

Type	Output		RPM	T rated	η rated 50Hz			Cos ϕ	I rated	I Start / I rated	T Start / T rated	T B.Down / T rated	Sound pressure	Weight	Inertia
	kW	kW	400V	Nm	100	75	50	50Hz	400V				db(A)	A/C IM B3	J
	50Hz	60Hz	50Hz	50Hz	%	%	%		50Hz	Ist/In	Mst/Mn	Mk/Mn	50Hz	Kg	kgm2
1TZ9 A 63M	0,09	0,11	895	1	42,7	38,5	30,4	0,63	0,48	2	1,8	1,9	56	4	0,00037
1TZ9 A 71M	0,18	0,21	800	2,1	45,5	44,4	38,3	0,67	0,84	2	1,9	2	47	5	0,00055
1TZ9 A 71M	0,25	0,28	860	2,8	52,1	52,8	48,4	0,71	0,98	2,2	2	2	51	6	0,0008
1TZ9 A 80M	0,37	0,43	915	3,9	59,7	58,6	52,7	0,7	1,23	2,7	1,6	1,8	54	9	0,00198
1TZ9 A 80M	0,55	0,63	900	5,8	65,8	66,6	62,6	0,72	1,68	2,7	1,7	1,9	54	12	0,00238
1TZ9 A 90S	0,75	0,86	940	7,6	70	70	66	0,67	2,3	3,8	2	2,2	59	13	0,00333
1TZ9 A 90L	1,1	1,27	925	11	72,9	73,8	71,2	0,69	3,15	3,8	2,2	2,4	58	15	0,00402
1TZ9 A/C 100L	1,5	1,75	940	15	75,2	75,6	72,3	0,74	3,9	4	2	2,2	59	19/30	0,0065
1TZ9 A/C 100L*	2,2	2,54	930	23	77,7	79,5	78,1	0,78	5,2	4	2	2,2	59	24/35	0,0084
1TZ9 A/C 112M	2,2	2,54	940	22	77,7	78,4	76,6	0,72	5,7	4,6	2,6	2,7	57	25/37	0,0092
1TZ9 A/C 112M*	3	3,45	945	30	79,7	79,5	76,3	0,72	7,5	4,6	2,9	3	57	32/45	0,013
1TZ9 A/C 132S	3	3,45	955	30	79,7	79,9	77,1	0,74	7,3	4,6	2	2,6	63	34/52	0,017
1TZ9 A/C 132M	4	4,55	955	40	81,4	82,5	81,9	0,76	9,3	5,2	2,3	2,6	63	39/57	0,021
1TZ9 A/C 132M	5,5	6,3	955	55	83,1	84	82,8	0,75	12,7	5,7	2,7	3	63	48/66	0,027
1TZ9 A/C 132M*	7,5	8,6	950	75	84,7	85,3	84,1	0,74	17,3	5,3	2,4	3	63	54/78	0,032
1TZ9 A/C 160M	7,5	8,6	970	74	84,7	84,8	83,2	0,73	17,5	5,5	2,1	2,9	67	72/100	0,056
1TZ9 A/C 160L	11	12,6	965	109	86,4	86,8	85,9	0,77	24	5,9	1,9	2,7	67	92/120	0,078
1TZ9 A/C 160L*	15	17,3	965	148	87,7	87,9	86,5	0,75	33	6	2,9	3,4	67	109/140	0,094
1TZ9 C 180L	15	18	975	147	87,7	88,5	87,9	0,77	32	6,1	2,3	3	56	155	0,17
1TZ9 C 180L*	18,5	22	970	182	88,6	89,4	89,1	0,77	39	5,9	2,2	2,9	56	165	0,206
1TZ9 C 200L	18,5	22	978	181	88,6	89,8	89,8	0,79	38	6,3	2,5	2,6	59	200	0,25
1TZ9 C 200L	22	26,5	980	214	89,2	90	89,6	0,79	45	6,8	2,8	2,9	59	220	0,3
1TZ9 C 200L	30	34,5	975	294	90,2	91,4	91,7	0,78	62	6	2,6	2,7	61	245	0,381
1TZ9 C 225M	30	36	978	293	90,2	91	90,7	0,82	59	6	2,7	2,5	60	270	0,49
1TZ9 C 225M*	37	44,5	978	361	90,8	91,5	91,5	0,82	72	6,1	2,5	2,8	76	310	0,62
1TZ9 C 250M	37	44,5	980	361	90,8	91,5	91,3	0,82	72	6	2,7	2,4	63	330	0,76
1TZ9 C 250M*	45	54	982	438	91,4	92,2	92,1	0,83	86	6,6	2,7	2,3	76	390	0,93
1TZ9 C 280S	45	54	986	436	91,4	92	91,6	0,84	85	7	2,6	2,6	63	440	1,1
1TZ9 C 280M	55	66	986	533	91,9	92,5	92,6	0,85	102	6,7	2,6	2,6	63	500	1,3
1TZ9 C 280M*	75	90	985	727	92,6	93,3	93,2	0,84	139	7	2,9	2,7	61	560	1,7
1TZ9 C 315S	75	90	988	725	92,6	92,8	92,1	0,83	141	7,1	2,5	2,7	62	660	2,1
1TZ9 C 315M	90	108	988	870	92,9	93,2	92,8	0,83	168	7,3	2,6	2,6	61	740	2,5
1TZ9 C 315L	110	132	988	1063	93,3	93,6	93,4	0,86	198	6,8	2,6	2,8	61	880	3,2
1TZ9 C 315L	132	158	988	1276	93,5	93,7	93,4	0,86	235	7,5	3	2,9	61	1030	4
1TZ9 C 315L	160	192	988	1546	93,8	93,9	93,6	0,86	285	7,7	3,1	3	64	1160	4,7

*Increased output

Cooling: self-ventilated (IC 411)Insulation: Thermal class 155 (temperature class F), IP55 degree of protection, utilization in accordance with thermal class 130 (ClassB) For higher output motors, please contact Rubix.

Formula for current with new voltage: I'n (new) = In (with 400V) • (400 / U (new voltage))

Motor Series 1TZ9 IE1
8-pole: 750 rpm at 50 Hz

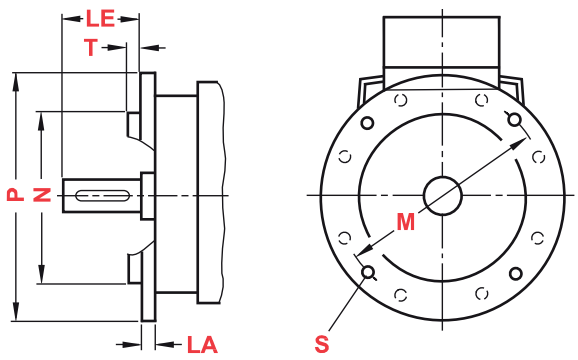
Type	Output		RPM	T rated	η rated 50Hz			Cos ϕ	I rated	I Start / I rated	T Start / T rated	T B.Down / T rated	Sound pressure	Weight	Inertia
	kW	kW	400V	Nm	100	75	50	50Hz	400V				db(A)	A/C IM B3	J
	50Hz	60Hz	50Hz	50Hz	%	%	%		50Hz	Ist/In	Mst/Mn	Mk/Mn	50Hz	Kg	kgm2
1TZ9 A/C 100L	0,75	0,86	705	10	61,2	58,1	50,5	0,62	2,85	3	1,9	2,2	60	17/28	0,006
1TZ9 A/C 100L	1,1	1,27	690	15	66,5	65,9	61,5	0,61	3,9	3,2	2	2,3	60	22/33	0,008
1TZ9 A/C 112M	1,5	1,75	700	20	70,2	71,2	69,4	0,66	4,65	3,5	1,9	2,1	63	29/42	0,009
1TZ9 A/C 132S	2,2	2,54	715	29	74,2	74,1	71,4	0,66	6,5	3,9	1,7	2,4	63	37/60	0,019
1TZ9 A/C 132M	3	3,45	715	40	77	77,4	75,2	0,68	8,3	3,9	1,8	2,2	63	44/60	0,024
1TZ9 A/C 160M	4	4,55	720	53	79,2	79,2	76,3	0,67	10,9	4,1	1,6	2,3	63	60/89	0,044
1TZ9 A/C 160L	5,5	6,3	720	73	81,4	81,9	80,3	0,68	14,3	4	1,6	2,2	63	72/96	0,056
1TZ9 A/C 160L	7,5	8,6	715	100	83,1	83,7	82,4	0,69	18,9	3,8	1,7	2,2	63	91/120	0,077
1TZ9 C 180L	11	13,2	720	146	85	86,2	86	0,7	26,5	5	1,9	2,5	65	160	0,2
1TZ9 C 200L	15	18	718	199	86,2	87,9	88,4	0,75	33,5	5,5	2,5	2,9	55	220	0,3
1TZ9 C 200L*	18,5	22	720	245	86,9	88,2	88,4	0,76	40	6,1	2,7	3,2	59	250	0,416
1TZ9 C 225S	18,5	22	730	242	86,9	87,8	87,4	0,78	39,5	5,5	2,2	2,7	59	250	0,43
1TZ9 C 225M	22	26,5	730	288	87,4	88,3	88,1	0,79	46	5,5	2,3	2,7	58	270	0,5
1TZ9 C 225M*	30	36	730	392	88,3	89,1	89,1	0,79	62	5,6	2,6	2,8	57	320	0,73
1TZ9 C 250M	30	36	732	391	88,3	89,2	89,2	0,81	61	5,5	2,3	2,6	54	370	0,84
1TZ9 C 250M*	37	44,5	730	484	88,8	89,8	89,9	0,83	72	5,7	2,3	2,6	63	405	1
1TZ9 C 280S	37	44,5	735	481	88,8	89,7	89,7	0,81	74	5	2,1	2,1	54	460	1,22
1TZ9 C 280M	45	54	735	585	89,2	90,3	90,4	0,81	90	5,3	2,1	2,1	58	500	1,42
1TZ9 C 280M*	55	66	736	714	89,7	90,4	90,5	0,8	111	5,7	2,5	2,5	70	550	1,6
1TZ9 C 315S	55	66	740	710	89,7	90,1	89,7	0,8	111	5,7	2,1	2,6	69	640	2
1TZ9 C 315M	75	90	738	970	90,3	90,7	90,5	0,81	148	5,9	2,3	2,7	69	720	2,5
1TZ9 C 315L	90	108	738	1165	90,7	91,2	91,2	0,84	171	5,9	2,2	2,6	68	840	3,1
1TZ9 C 315L	110	132	740	1419	91,1	91,6	91,5	0,82	215	6,7	2,7	2,9	73	1000	3,9
1TZ9 C 315L	132	158	740	1703	91,5	91,9	91,6	0,81	255	7,2	2,9	3,3	75	1080	4,5

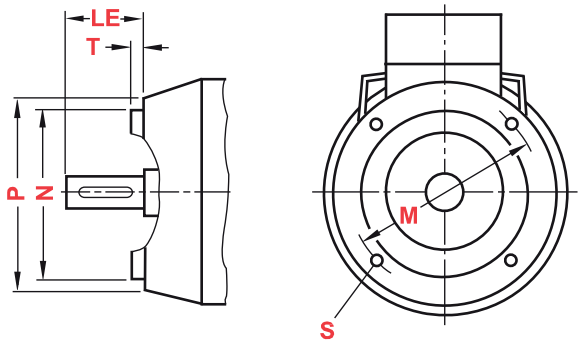
*Increased output
Cooling: self-ventilated (IC 411)Insulation: Thermal class 155 (temperature class F), IP55 degree of protection, utilization in accordance with thermal class 130 (ClassB) For higher output motors, please contact Rubix.

Formula for current with new voltage: I'n (new) = In (with 400V) • (400 / U (new voltage))

Flange Dimensions

Motor Series 1TZ9, 1TZ5



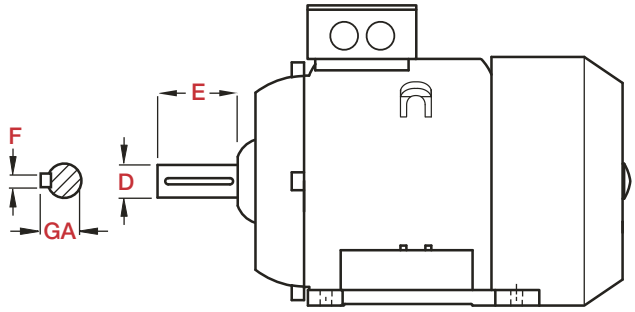


IEC	Type	B5 Flange					
		M	N	P	LA	S	T
63	M	115	95	140	5	4xØ10	3
71	M	130	110	160	5	4xØ10	3,5
80	M	165	130	200	10	4xØ12	3,5
90	S/L	165	130	200	10	4xØ12	3,5
100	L	215	180	250	11	4xØ14,5	4
112	M	215	180	250	11	4xØ14,5	4
132	S/M	265	230	300	12	4xØ14,5	4
160	M/L	300	250	350	13	4xØ18,5	5
180	M/L	300	250	350	13	4xØ18,5	5
200	L	350	300	400	15	4xØ18,5	5
225	S/M	400	350	450	16	8xØ18,5	5
250	M	500	450	550	18	8xØ18,5	5
280	S/M	500	450	550	18	8xØ22	5
315	S/M/L	600	550	660	22	8xØ22	6
315	L for 1TZ5	740	680	800	25	8xØ24	6
355	M/L for 1TZ5	840	780	900	25	8xØ24	6

IEC	Type	B14A Flange				
		M	N	P	S	T
63	M	75	60	90	M6	2,5
71	M	85	70	105	M6	2,5
80	M	100	80	120	M6	3
90	S/L	115	95	140	M8	3
100	L	130	110	160	M8	3,5
112	M	130	110	160	M8	3,5
132	S/M	165	130	200	M10	3,5
160	M/L	215	180	250	M12	4
B14B Flange						
63	M	100	80	120	M6	3
71	M	115	95	140	M8	3
80	M	130	110	160	M8	3,5
90	S/L	130	110	160	M8	3,5
100	L	165	130	200	M10	3,5
112	M	165	130	200	M10	3,5

Shaft Dimensions

Motor Series 1TZ9, 1TZ5

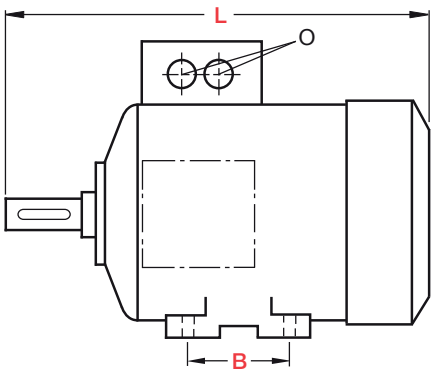


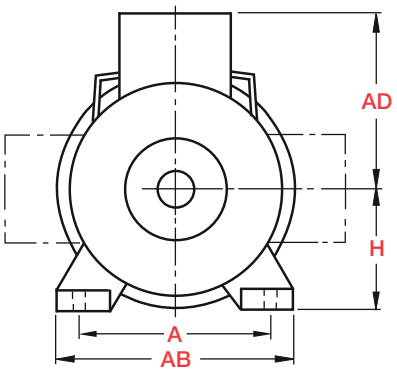
Note: Complete Drawings on request

IEC	Type	Shaft			
	1TZ9 & 1TZ5 (IEC 355)	D	E	F	GA
63	ALL	11	23	4	12,5
71	ALL	14	30	5	16
80	ALL	19	40	6	21,5
90	ALL	24	50	8	27
100	ALL	28	60	8	31
112	ALL	28	60	8	31
132	ALL	38	80	10	41
160	ALL	42	110	12	45
180	ALL	48	110	14	52
200	ALL	55	110	16	59
225	225M-2, 225S-4, 225S-8, 225M-4, 225M-6, , 225M-8,	55 60	110 140	16 18	59 64
250	250M-2, 250S-4, 250M-4, 250M-6, 250M-4, 250M-8,	60 65	140 140	18 18	64 69
280	280S-2, 280M-2 280S-4, 280S-6, 280M-4, 280M-6,	65 75	140 140	18 20	69 79,5
315	315S-2, 315M-2, 315L-2, 315S-4, 315S-6, 315S-8, 315M-4, 315M-6, 315M-8, 315L-4, 315L-6, 315L-8,	65 80	140 170	18 22	69 85
355	355M-2, 355L-2, 355M-4, 355M-6, 355M-8, 355L-4, 355L-6, 355L-8,	75 95	140 170	20 25	79,5 100

Motor Dimensions

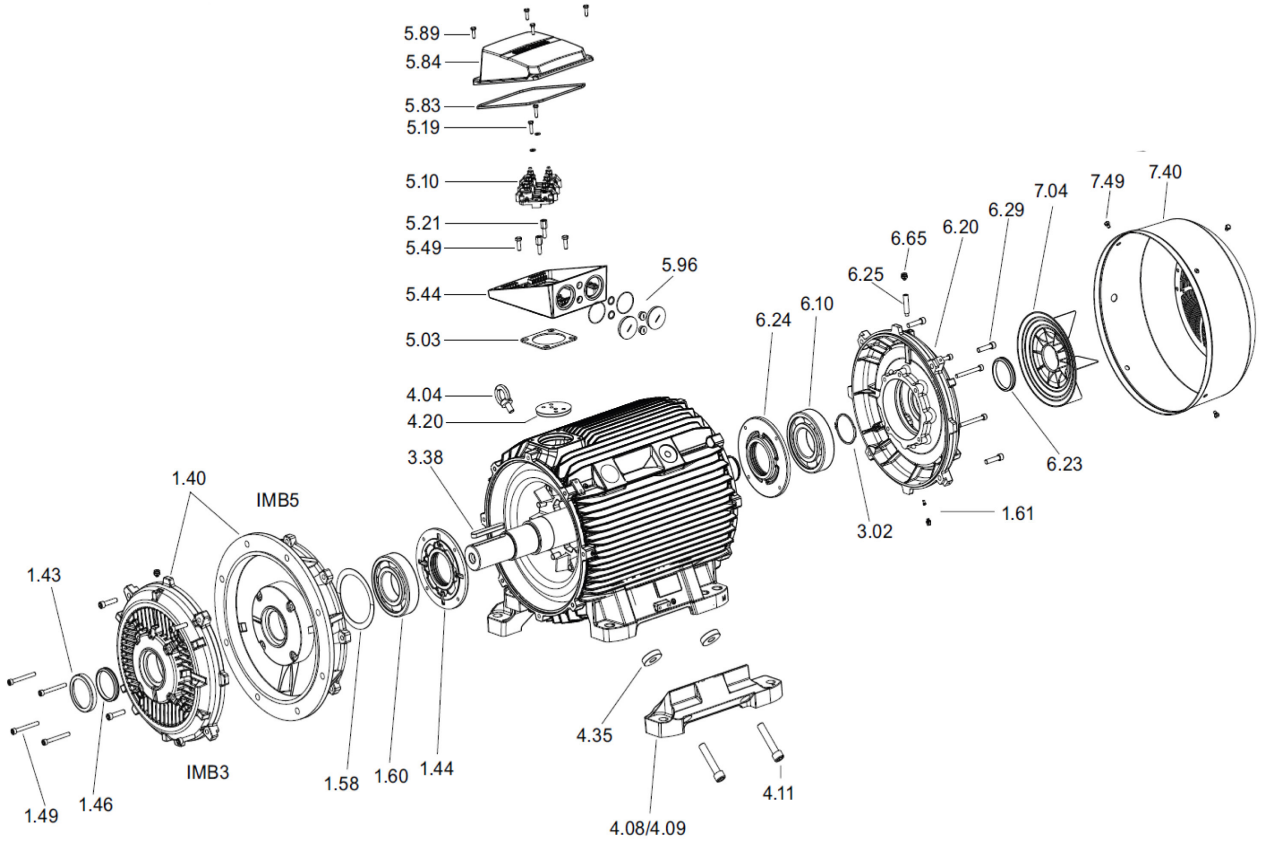
Motor Series 1TZ9 IE1, IE2





IEC	Type							
		L	AD	H	AB	B	A	O
63M	Aluminium	202,5, 228,5*	101	63	120	80	100	1xM25x1,5
71M	Aluminium	240	111	71	132	90	112	1xM25x1,5
71M	Cast Iron	240	149	71	132	90	112	1xM25x1,5
80M	Aluminium	292	121,5	80	150	100	125	1xM25x1,5
80M Inc output	Aluminium	327	121,5	80	150	100	125	1xM25x1,5
80M	Cast Iron	292	159	80	150	100	125	1xM25x1,5
90S / 90L	Aluminium	347	126	90	165	100	140	1xM25x1,5
90L Inc output	Aluminium	387	126	90	165	125	140	1xM25x1,5
90S	Cast Iron	347	164	90	165	100	140	1xM25x1,5
90L	Cast Iron	347	164	90	165	125	140	1xM25x1,5
100L	Aluminium	395,5	166	100	196	140	160	2xM32x1,5
100L Inc output	Aluminium	430,5	166	100	196	140	160	2xM32x1,5
100L	Cast Iron	397,5	193	100	196	140	160	2xM32x1,5
112M	Aluminium	389, 414*	177	112	226	140	190	2xM32x1,5
112M Inc output	Aluminium	414	177	112	226	140	190	2xM32x1,5
112M-2, 112M-4, 112M-6	Cast Iron	390,5	195	112	226	140	190	2xM32x1,5
112M-8	Cast Iron	415,5	195	112	226	140	190	2xM32x1,5
132S	Aluminium	465	202	132	256	140	216	2xM32x1,5
132S	Cast Iron	466,5	214,5	132	256	140	216	2xM32x1,5
132M	Aluminium	465	202	132	256	178	216	2xM32x1,5
132M Inc output	Aluminium	515	202	132	256	178	216	2xM32x1,5
132M	Cast Iron	466,5	214,5	132	256	178	216	2xM32x1,5
160M	Aluminium	604	236,5	160	300	210	254	2xM40x1,5
160M	Cast Iron	606	265	160	300	210	254	2xM40x1,5
160L	Aluminium	604	236,5	160	300	254	254	2xM40x1,5
160L	Cast Iron	606	265	160	300	254	254	2xM40x1,5
160L Inc output	Cast Iron	664	236,5	160	300	254	254	2xM40x1,5
180M	Aluminium	698	259	180	339	241	279	2xM40x1,5
180M-2, 180M-4	Cast Iron	668	286	180	339	241	279	2xM40x1,5
180L	Aluminium	698	259	180	339	279	279	2xM40x1,5
180L Inc output	Aluminium	698	259	180	339	279	279	2xM40x1,5
180L-4	Cast Iron	698	286	180	339	279	279	2xM40x1,5
180L-6	Cast Iron	668	286	180	339	241	279	2xM40x1,5
180L Inc output	Cast Iron	698	286	180	339	279	279	2xM40x1,5
200L	Aluminium	746	296	200	378	305	318	2xM50x1,5
200L Inc output	Aluminium	746	296	200	378	305	318	2xM50x1,5
200L	Cast Iron	721	315	200	378	305	318	2xM50x1,5

Spare part illustration



Spare part list			
1,40	Bearing Shield B3 / B5/B14A/B14B	5,19	Screws /Bolts
1,43	Shaft Sealing Ring DE (Drive End)	5,21	Screws /Bolts
1,44	Inner Bearing Cap DE (Drive End)	5,44	Terminal Box Housing
1,46	Sealing Ring	5,49	Screws /Bolts
1,49	Screws /Bolts	5,83	Gasket for Terminal Box Cover
1,58	Preloading Ring	5,84	Terminal Box Cover
1,60	Bearing DE (Drive End)	5,89	Terminal Box Cover Screw
1,61	Drain Nipple	5,96	Sealing Plug
3,02	Circlip	6,10	Bearing NDE (Non Drive End)
3,38	Shaft Key	6,20	Bearing Shield NDE (Non Drive End)
4,04	Lifting Lug	6,23	Shaft Sealing Ring NDE (Non Drive End)
4,08	Motor Feet	6,24	Inner Bearing Cap NDE (Non Drive End)
4,09	Motor Feet	6,25	Regreasing Parts
4,11	Screws /Bolts	6,29	Screws /Bolts
4,20	Bushing	6,65	Greas nipple
4,35	distance disk	7,04	Cooling Fan
5,03	Gasket for Terminal Box Housing	7,40	Fan Cover
5,10	Terminal Board With Connection Parts	7,49	Screws /Bolts

Kap 10 Transformator

Grunnprinsippa og oppbygging for en transformator

GRUNNPRINSIPPA OG OPPBYGGING FOR EN TRANSFORMATOR

En transformator, eller trafo, er et apparat uten bevegelige deler, den arbeider etter induksjonsprinsippet, og kan bare tilkobles vekselstrøm. Hovedoppgaven til en trafo er å overføre elektrisk vekselstrøms energi, ofte fra et spenningsnivå til et annet spenningsnivå.

På et skip vil vi finne mange transformatorer. Er hovedspenningen om bord f.eks. høgspent eller 690 V eller 400 V så treng vi trafoer til å få spenninga ned til 230 V, som vi f.eks. bruker i innredning til lys og stikkontakter. Andre ting vi bruker trafoer til er styrestrøm til motorer.

I prinsippet består 1-fase transformatoren av en sluttet laminert jernkjerne med to hoveddeler, åk og ben. Rundt hvert ben er en eller flere elektriske ledere av isolert kobber eller aluminium viklet N antall ganger.

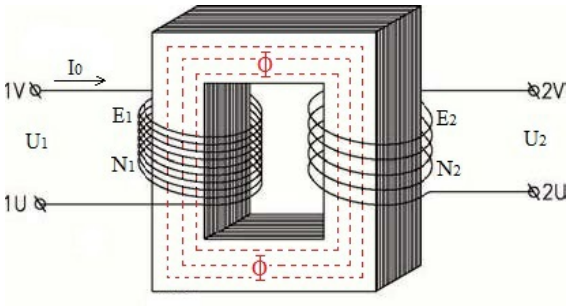
På en av viklingene tilføres det energi (primærsiden), mens det på den andre viklingen kan tappes ut energi (sekundærsiden). Primærviklingens vindingstall, eller antall ganger lederen er ført rundt benet, betegnes **N1** og sekundærviklingens vindingstall **N2**.

Setter vi spenning på primærsiden $\mathbf{U_1}$ så vil det flyte et magnetisk vekselfelt (fluks) i jernkjernen, som vil indusere en motspenning i primærviklingen. Magnetfeltet passerer også sekundærviklingen hvor det oppstår en indusert sekundærspenning, og en klemmespenning $\mathbf{U_2}$ tatt ut av sekundærviklingen.

Forholdet mellom spenningene er ved tomgang lik forholdet mellom antall vindinger på spolene.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

- U_1 = klemmespenningen på primærsiden
- E_1 = den induserte spenning i primærviklingen
- U_2 = klemmespenningen på sekundærsiden
- E_2 = den induserte spenning i sekundærviklingen
- N_1 = antall vindinger i primærviklingen
- N_2 = antall vindinger i sekundærviklingen
- Φ = hovedfeltet som er bestemt av $I_0 * N_1$
- I_0 = transformatorstrømmen i tomgang
- n = vindingsforhold/vindingsforhold



Tomgangsbilde av transformator.

Vindingsforhold og omsetningsforhold i enfase trafo

Figuren ovenfor viser et tomgangsbilde av transformatoren. Det vil alltid bli indusert den samme spenning pr. vinding både på primærsiden og sekundærsiden.

Ved en spole så er navnet på primær spenningen det man kaller selvinduksjonsspenningen, men i transformatorer så kalles den egentlig for motelektromotorisk kraft.

Forholdet mellom den primært og sekundært induserte spenning ved ubelastet transformator kalles transformatorens omsetningsforhold, og er lik forholdet mellom primære og sekundære vindingstall. Forholdet mellom antall primærvindinger og antall sekundærvindinger kaller vi vindingsforholdet (n). I en 1-fase-transformator er omsetninsforholdet lik vindingsforholdet.

Når transformatoren ikke er belastet så kan vi sette at $U_1 = E_1$ og $U_2 = E_2$

I en 1-fase-transformator er omsetningsforholdet / vindingsforholdet: $n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$

I en 3-fase-transformator er omsetningsforholdet / vindingsforholdet: $n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{1fase}}{U_{2\text{fase}}} = \frac{I_2}{I_1}$

Spenningen E_1 er motsatt rettet nettspenningen og oppfattes som en motspenning. Når transformatoren kjøres i tomgang og vi ser bort i fra tomgangstapene så kan vi sette

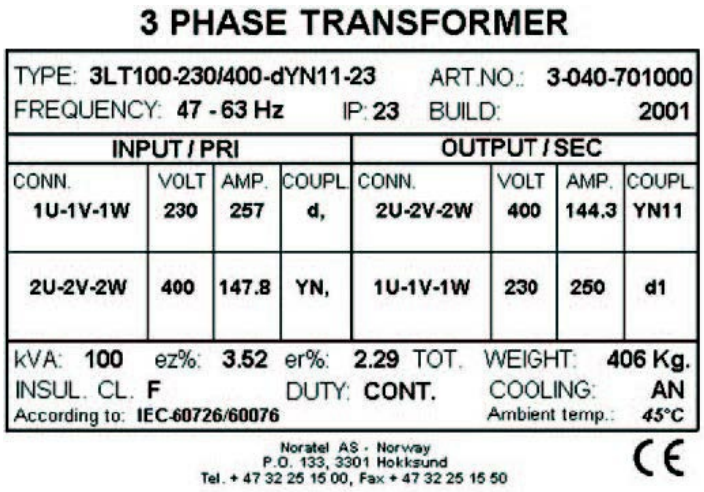
$U_1 = E_1$. Den lille forskjellen mellom U_1 og E_1 går med til å frembringe en primærstrøm stor nok til å bygge opp magnetfeltet i jernkjernen.

Primærstrømmen i tomgang kalles for transformatorens tomgangsstrøm, og dette er nesten en ren magnetiseringsstrøm som ligger 90° faseforskjøvet i forhold til nettspenningen.

Ved tomgang går det ingen strøm i sekundærviklingen og $E_2 = U_2$.

Transformatorens effektfaktor er ved tomgang alltid lav og den effekt transformatoren opptar er da meget liten.

De spenninger som angis på transformatorens dataskilt, gjelder alltid for ubelastet transformator. Dette gjelder både for 1-fasetrafoer og 3-fasetrafoer.



3 PHASE TRANSFORMER

TYPE: 3LT100-230/400-dYN11-23 ART.NO.: 3-040-701000
FREQUENCY: 47 - 63 Hz IP: 23 BUILD: 2001

INPUT / PRI				OUTPUT / SEC			
CONN.	VOLT	AMP.	COUPL.	CONN.	VOLT	AMP.	COUPL.
1U-1V-1W	230	257	d,	2U-2V-2W	400	144.3	YN11
2U-2V-2W	400	147.8	YN,	1U-1V-1W	230	250	d1

kVA: 100 ez%: 3.52 er%: 2.29 TOT. WEIGHT: 406 Kg.
INSUL. CL. F DUTY: CONT. COOLING: AN
According to: IEC-60726/60076 Ambient temp.: 45°C

Noratel AS - Norway
P.O. 133, 3301 Hokksund
Tel. + 47 32 25 15 00, Fax + 47 32 25 15 50

CE

!

HUSK:

Hvis transformatoren blir koplet til en høyere spenning enn den er beregnet for, får vi metning i jernkjernen, og induktansen avtar sterkt. Det vil da oppstå en økning imagnetiseringsstrømmen, som kan forårsake at viklingen brenner opp.

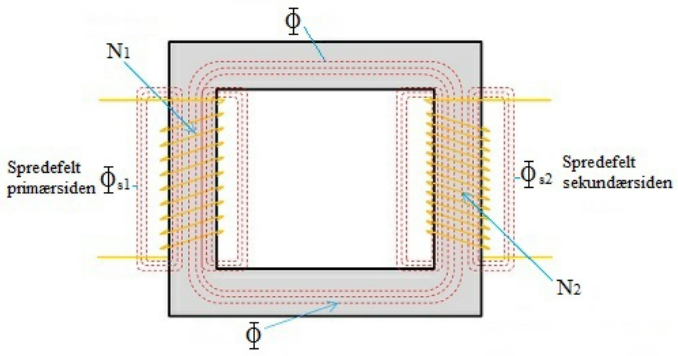
Nå vil nok de fleste transformatorer ha en toleranse på ca. 10 prosent innenfor spenningsområde.

Belastning av transformatorer

BELASTNING AV TRANSFORMATORER

1-fase transformatorer og 3-fase transformatorer oppfører seg noenlunde likt pr. kjerne. Men vi vil fortsatt holde oss til enfase transformatoren. Når vi belaster en transformator så vil det gå en sekundærstrøm i sekundærviklingen, og tapene vil nå begynne å gjøre seg gjeldene.

Først skal vi se på spenningene. Vi vet at det blir indusert den samme spenningen pr. vinding både på primærsiden og sekundærsiden. Klemmespenningen på primærsiden vil alltid være større enn den induserte spenningen i primærviklingen, altså $U_1 > E_1$. Klemmespenningen på sekundærsiden vil alltid være mindre enn den induserte spenningen i sekundærviklingen, altså $E_2 > U_2$. Transformatorens spenningsfall er ikke stort, men utgjør omtrent for begge viklinger ca. 3 til 10 %, avhengig av transformatorens størrelse og belastnings art.



En belastet transformator, og hvor viklingene er fysisk adskilt fra hverandre, dette kaller vi for galvanisk skille.

Figuren ovenfor viser en belastet transformator, og hvor viklingene er fysisk adskilt fra hverandre, dette kaller vi for galvanisk skille.

Vi skal nå se på transformatoren når den blir belastet, og hva som skjer med spenning, strøm og fluks. Det vil nå flyte en strøm (I_2) i sekundærviklingen, og denne strømmen vil lage et magnetfelt som prøver å svekke hovedfeltet dvs. rettet motsatt av hovedfeltet (Φ). På utsiden av primærviklingen og sekundærviklingen vil det nå oppstå såkalte sprede felt eller strøfelt.

Hovedfeltet vil nå bli svekket av feltet som er forårsaket av strømmen på sekundærsiden (I_2). Vi vet at det er hovedfeltet som skaper E_1 og E_2, og når hovedfeltet svekkes så vil de induserte spenninger på primær- og sekundærsiden også svekkes. Dette medfører at E_1 blir mindre i forhold til U_1 slik at U_1 får et større overskudd (eller potensial forskjell) til å drive primærstrømmen I_1 gjennom primærviklingen, som igjen er nok til å opprettholde hoved fluksen (Φ). I tomgang så er det tomgangsstrømmen (I_0) som driver hovedfeltet. For å skape det nødvendige hovedfeltet så er dette bestemt av $I_0 * N_1$ d.v.s. amperevindingstallet i tomgang. Vi kan si at amperevindingstallet driver feltet som en spenning driver en strøm.

Ved belastning har vi derfor fått $I_2 * N_2$ som søker å skape et felt motsatt rettet hovedfeltet.

Ved belastning vil strømmene I_1 og I_2 forårsake at vi får spenningsfall i transformatoren. Det er to typer spenningsfall og det er ohmske spenningsfall og induktive spenningsfall. Det ohmske spenningsfallet er forårsaket av resistansen i viklingene. Når det gjelder det induktive spenningsfallet så er dette hovedsakelig frembrakt på grunn av sprede feltene, som igjen er forårsaket av primære og sekundære amperevindinger. Da sprede feltene er vekselfelter induserer de selvinduktansspenninger som er proporsjonale med strømmen i viklingene. Disse selvinduktansspenningene blir induktive spenningsfall som legges sammen geometrisk med det ohmske spenningsfallet til et samlet spenningsfall for transformatoren.

Når man skal beregne på transformatorer er det ofte man tar utgangspunktet i den ideelle transformator hvor virkningsgraden er lik 1. Dette vil igjen medføre at vi ser bort i fra spenningsfall og tap i transformatoren. Transformatorens ytelse er alltid oppgitt i voltampere (VA).

1-fase trafo

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

$$Omsetningsforhold = \; n = \frac{N_1}{N_2} \qquad n = \frac{U_1}{U_2} \qquad n = \frac{I_2}{I_1}$$

$$S = U * I \qquad P = U * I * \cos\varphi$$

Dersom virkningsgraden er 1:

> Tilsynelatende effekt primært (S_1) = tilsynelatende effekt sekundært (S_2)
>
> Aktiv effekt primært (P_1) = aktiv effekt sekundært (P_2)

Dersom en må ta hensyn til virkningsgrad:

> $$S_1 = \frac{S_2}{\eta}$$

3-fase trafo

En 3-fase-trafo må vi koble i trekant eller stjerne, derfor må vi bruke fase spenningene når vi beregner.

> $$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{1fase}}{U_{2fase}}$$
>
> $$Omsetningsforhold = \ n = \frac{N_1}{N_2} \quad n = \frac{U_{1fase}}{U_{2fase}}$$
>
> $$S = U * I * \sqrt{3}\, P = U * I * \cos\varphi * \sqrt{3}$$
>
> $$S_1 = \frac{S_2}{\eta}$$

Spenningsfall i trafo

SPENNINGSFALL I TRAFO

En transformator i tomgang (uten last) har normalt så liten primærstrøm at vi kan se bort fra spenningsfall. Men på mindre transformatorer, hvor tomgangsstrømmen blir en betydelig komponent, vil faktisk den sekundære spenningen falle noe fra teoretisk omsetning grunnet komponenten IR^2. Her forårsaker tomgangsstrømmen et kobber tap som igjen reduserer den induserte spenningen. Ved belastning blir transformatorens primær- og sekundærstrøm betydelig og vi må ta hensyn til spenningsfall. Spenningsfallet i transformatoren varierer også med type belastning. Kortslutnings-resistansen og -reaktansen vil påvirke spenningsfallet individuelt. Dvs. en induktiv belastning vil ha et annerledes spenningsfall enn en ren resistiv belastning. Både det primære og sekundære spenningsfallet er tilnærmet proporsjonalt med strømmen.

Spenningsfallene angis over henholdsvis kortslutningsresistans (e_r), kortslutningsreaktans (e_x), og kortslutningsimpedans (e_z) ved merkestrøm som relative eller prosentuelle verdier referert til merkespenningen. Små transformatorer har større spenningsfall enn store transformatorer.

Tap i transformatorer

TAP I TRANSFORMATORER

Alle transformatorer, uansett type og fabrikat, har tap når de er satt i drift. De mest effektive store transformatorene har en virkningsgrad på ca. 99–99,5%. Det er hovedsakelig to typer tap som det tas hensyn til: tomgangstap og belastningstap. Tomgangstap, også kalt magnetiseringstap, oppstår fordi jernet i den magnetiske kretsen utsettes for et vekslende magnetfelt noe som medfører forbruk av reaktiv effekt.

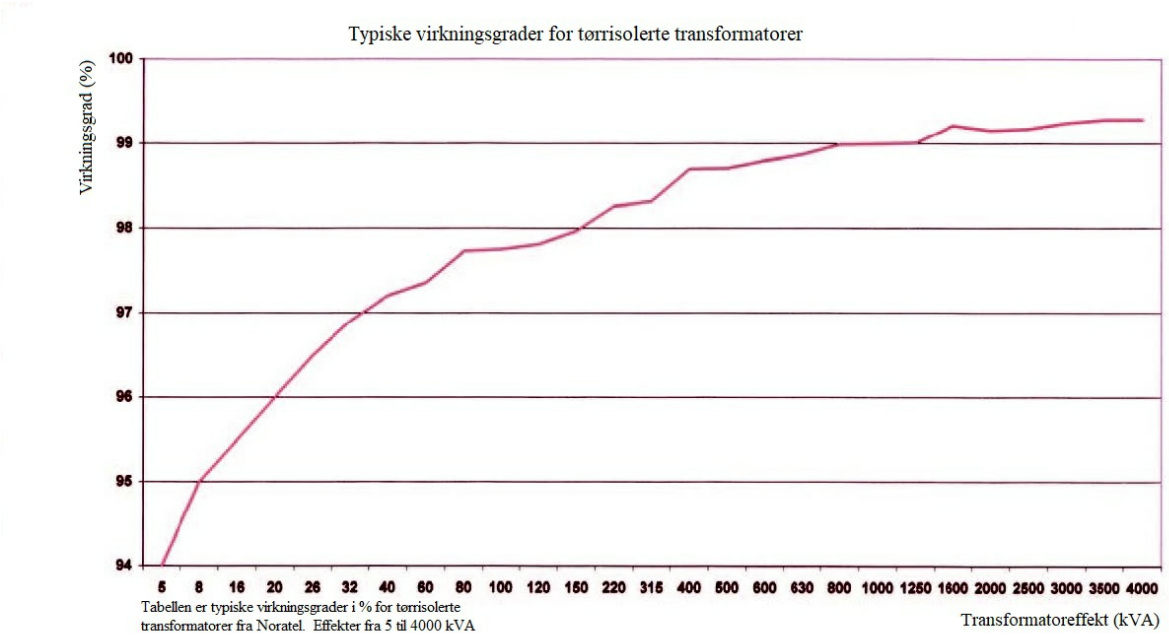
Dette tapet kan beregnes som konstant dersom det er koblet spenning til transformatoren. Tomgangstapet måles ved full spenning uten belastning ved merkefrekvens. Belastningstap består av strømvarmetap fordi strømmen må flyte gjennom en resistans i viklingene, samt såkalte tilleggstap som blant annet skyldes lekkfelt rundt viklingene. Tapet som utvikles ved belastning forandrer seg i sum proporsjonalt med belastningen i 2. potens.

Koppertapet skyldes resistansen i viklingene, og øker kvadratisk med belastningsstrømmen

$$\Delta P_{\text{cu}} = I^2 * R$$

Jerntap skyldes virvelstrømstap, hysteresetap og tap i spredefelt.

$$\Delta P = \Delta P_{\text{jern}} + \Delta P_{\text{cu}}$$



Tabellen er typiske virkningsgrader i % for tørrisolerte transformatorer fra Noratel. Effekter fra 5 til 4000 kVA

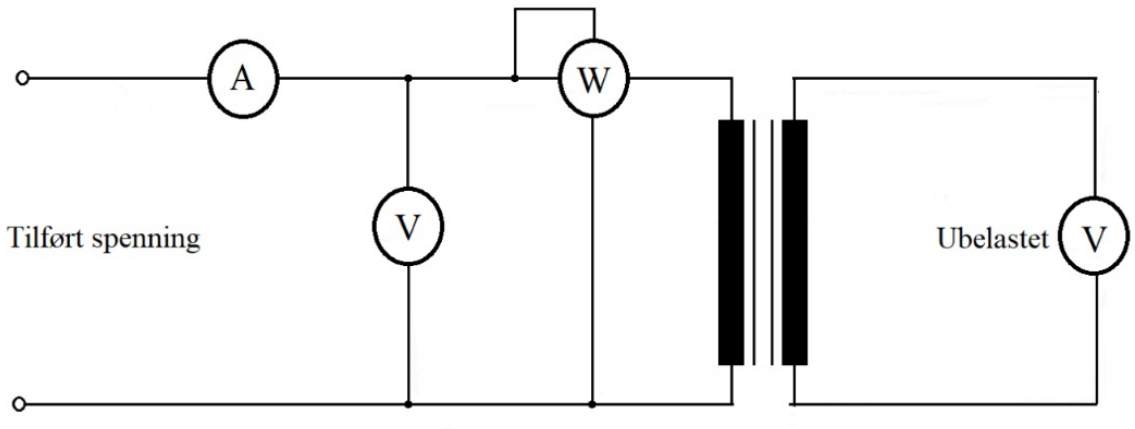
Tapene i en transformator kan bestemmes indirekte ved å utføre to prøver før man setter transformatoren i drift:

- tomgangsprøve, bestemmer jerntapene
- kortslutningsprøve, bestemmer koppertapene

Tomgangsprøve

TOMGANGSPRØVE

Tomgangsprøven utføres for å bestemme jerntapene i transformatoren. Under tomgang måler vi tomgangsstrømmen (I_0) og jerntapene som er satt sammen av hysteresetap og virvelstrømstap. Figuren under viser oppstillingen ved tomgangsmålingen.



Strømmen tilføres transformatoren fra en variac (auto trafo) hvor man får den ønskede spenning tilpasset transformatoren. Vanligvis ved denne prøven så tilfører man spenningen på lavspenningssiden hvis det er slik at den høyeste spenningen er over 230 V.

Amperemeteret vil nå måle tomgangsstrømmen (I_0), mens wattmeteret vil måle tomgangstapet ΔP_0 . Den tilførte effekt som vi kan lese av på wattmeteret er da lik jerntap og viklingstap, og disse to tapene er forårsaket av tomgangsstrømmen. Viklingstap er koppertap

i den vikling som får tilført strømmen I_0, men denne er meget liten og derfor kan vi se bort i fra koppertap. Altså den effekten vi leser av i wattmeteret er effekten som tilsvarer transformatorens jerntap i watt, dette vil igjen si at transformatoren blir varm.

Tomgangsstrømmen (I_0) kan vi sette sammen av to strømkomponenter bestående av en aktiv strømkomponent og en reaktiv strømkomponent. Den aktive strømkomponenten (Ia) er meget liten og skyldes tap i trafojernet og i kopperviklingen. Den reaktive strømkomponenten (Iq) skaper feltet eller fluksen (φ), som igjen vil skape den induserte spenningen i viklingene (E1) og (E2).

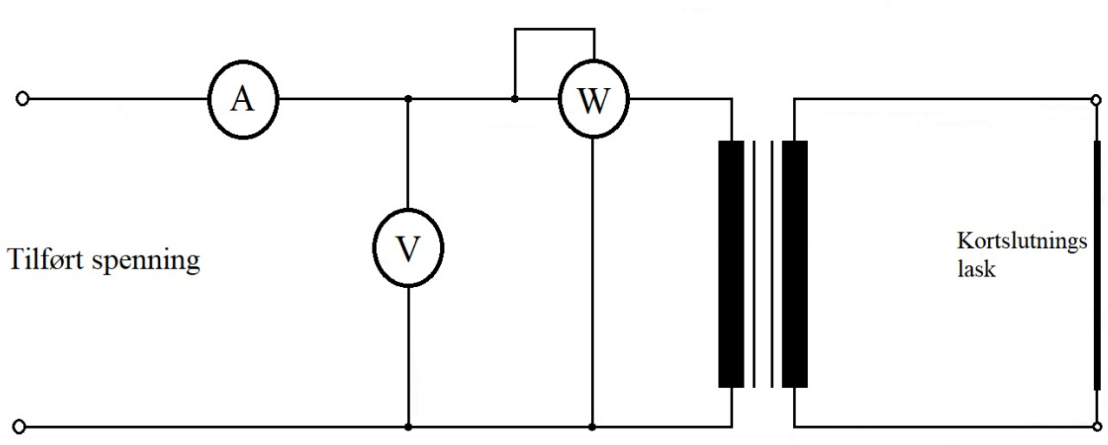
Vi kan også bestemme tapene direkte ved å måle tilført effekt og avgitt effekt og så ta differansen.

Kortslutningsprøve

KORTSLUTNINGSPRØVE

Kortslutningsprøven utføres for å bestemme koppertapene og kortslutningsspenningen til transformatoren.

Ved kortslutningsprøven så tilkobles primærsiden en variac hvor vi kan regulere spenningen inn på transformatoren. Sekundærsiden blir kortsluttet ved hjelp av lasker eller ledninger. Oppkoblingen av kortslutningsprøven er vist i figuren under.



Normalt så legges kortslutningen på lavspentsiden, og spenningen og strømmen tilføres høyspenningssiden. Transformatoren skal nå tilføres en redusert spenning, for å oppnå en strøm i amperemeteret som skal tilsvare transformatorens merkestrøm ved full last. Merkestrømmen er den samme som nominell strømverdi.

Den tilførte effekten som nå kan leses av i wattmeteret kalles for kortslutningstapet eller viklingstapet. Dette tapet utgjør koppertapet i transformatoren når den går fullastet.

Den spenningen som skal til for å opprettholde den nominelle strømmen til transformatoren under denne prøven kalles for kortslutningsspenningen og kan avleses på voltmeteret. Hele denne spenningen går med til å dekke spenningsfallene i transformatoren.

> $U_k = kortslutningsspenningen$

Kortslutningsspenningen blir som regel oppgitt i prosent og den er bare noen få prosent av den nominelle primærspenningen. Når den blir oppgitt i prosent så kalles den for «den prosentuelle kortslutningsspenningen».

Den prosentuelle kortslutningsspenningen: $\in \ = \frac{U_k}{U_{1N}} * 100\%$

Kjøling og kjølesystemer

KJØLING OG KJØLESYSTEMER

For å oppnå effektiv varmeavgivelse og redusere tap, utformes transformatorkapsling og kjølesystem med den hensikt å lede mest mulig varme bort fra transformatoren. Dette kan oppnås ved å gjøre den varmeavgivende flaten tilstrekkelig stor, eller på annen måte å sørge for effektiv varmeavgivelsen. Transformatorkapslingen og kjølesystemets utforming avhenger også av effekten på transformatoren.

Belastning / omgivelsestemperatur

BELASTNING / OMGIVELSESTEMPERATUR

Det er temperaturen i viklingene på transformatoren som avgjør hvor mye den kan belastes.

Transformatorens merkeeffekt er referert til en maksimal omgivelsestemperatur (t_a maks), ofte 40°C eller 45°C. Dette er den maksimale temperaturen hvor transformatoren har de oppgitte egenskaper og kan levere sin oppgitte effekt. Ved høyere omgivelsestemperatur må belastningen reduseres. Motsatt vil en kunne belaste transformatoren litt mer ved lavere temperatur en t_a maks. Det er derfor viktig å ta hensyn til om transformatoren skal monteres i for eksempel et tett skap sammen med andre varmeavgivende apparater eller om den skal plasseres med mulighet for ventilasjon.

Nedenstående kurve viser transformatoreffekt/-merkeeffekt som funksjon av omgivelsestemperatur for de to vanligste isolasjonsklassene, klasse B (130°C) og klasse F (155°C).

Eksempler ut ifra kurven:

EKSEMPEL 1:

Hvor mye kan enn belaste en klasse B, 250 VA

(*ta* = 40°C) transformator ved en omgivelsestemperatur på 70°C?

Ut fra tabellen kan vi lese at effekten reduseres til 84 % av merkeeffekt ved *ta* = 70°C.

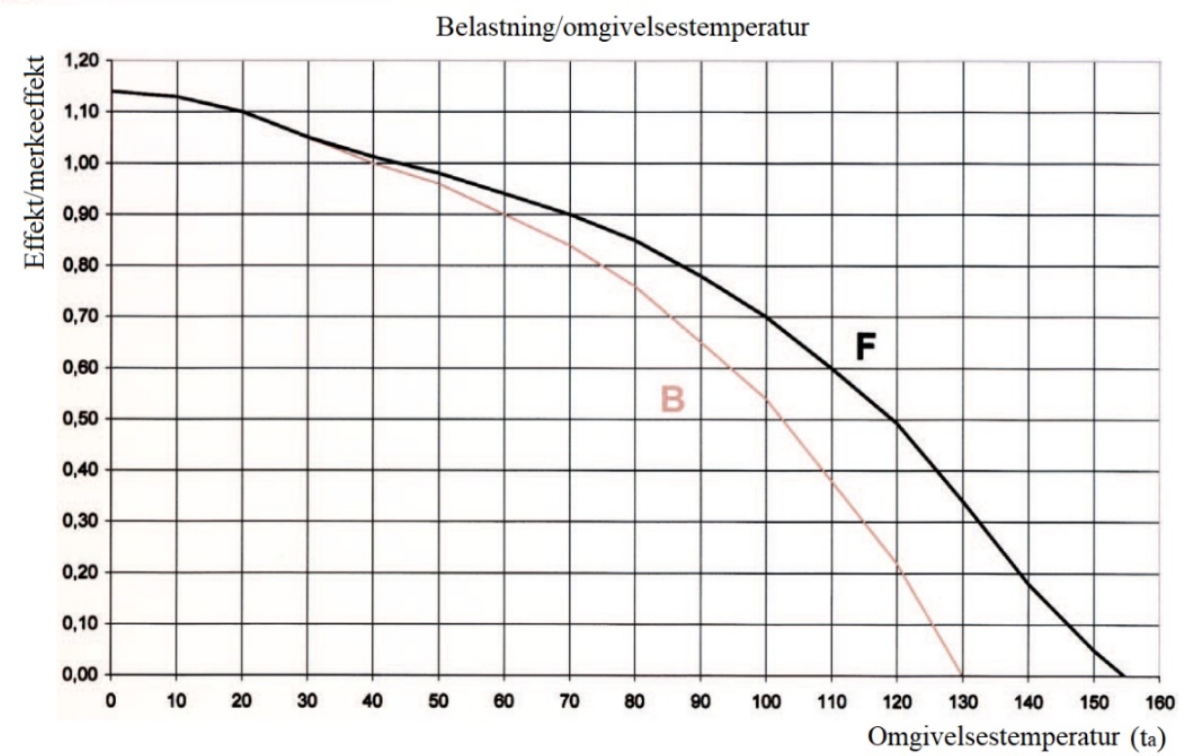
Dette gir: P = 250 x 0,84 = 210 VA

EKSEMPEL 2:

Nødvendig transformatoreffekt: 180 VA, Omgivelsestemperatur: 70°C

Hvor stor må transformatoren være? (Klasse B transformator, *ta* = 40°C)

Dette gir: P = 180 / 0,84 = 214 VA



Kurven viser transformatoreffekt/-merkeeffekt som funksjon av omgivelsestemperatur for de to vanligste isolasjonsklassene, klasse B (130°C) og klasse F (155°C).

Oppbygging / Valg av materiale

OPPBYGGING / VALG AV MATERIALE

Hoveddelene i en tørrisolert transformator er kjernemateriale, stål, kobber/aluminium og isolasjonsstoffer. Kvaliteten og stabiliteten til disse materialene er avgjørende for tap, evne til å tåle overbelastning, og transformatorens driftstemperatur og levetid.

Transformatorkjernen er ofte bygd opp av jern eller ferritt. På større transformatorer består jernkjernen av meget tynne (0,3mm) kaldvalsede laminerte blikkplater, isolert fra hverandre med et isolerende stoff som tåler temperaturer over 800ºC. I mindre transformatorer benyttes også båndkjerner, pulverkjerner eller ferrittkjerner. Det finnes mange typer blikkvaliteter med forskjellige parametere. Blikk med høyere kvalitet er dyrere, derfor bør blikkvaliteten vurderes nøye ut ifra frekvens, jerntap, bygge størrelse mm.

På større transformatorkjerner skråklippes vanligvis hjørnene i 45º vinkel for å redusere tapene og tomgangsstrømmen. I tillegg blir kjernetverrsnittet laget tilnærmet en sirkel. For å holde sammen platene kan en bruke isolasjonsbånd, bolter i åket eller lim, alt etter transformatorens størrelse. Kjernen og stålkonstruksjonen har ved aktuelt temperaturområde nærmest ubegrenset levetid. Viklingene består som regel av spoler av isolerte kobber eller aluminiums ledere som plasseres med forskjellige metoder på transformatorers ben.

Valg av kobber eller aluminiums ledere skjer under konstruksjonsprosessen. Dette velges avhengig av bruksområde, tekniske krav og størrelse på transformatoren. Aluminium er mest vanlig ved store effekter dersom det skal benyttes folievikling. Aluminium krever større tverrsnitt enn kobber, noe som vil øke størrelsen på transformatorkjernen med 5–8%.

Den delen av transformatoren som er mest sårbar er isolasjonsmaterialene. Dette er materialer som plasseres mellom viklingene, og mellom viklingene og transformatorkjernen. Isolasjonsmaterialene består av organiske stoffer som papir, bomull, presspan, plast etc. og er stoffer som med tiden blir sprø og får redusert mekanisk holdfasthet. Presspan er en spesiell papp, sammenpresset av spesialbehandlet cellulose, til enkelte behov også iblandet bomullsfibere. Denne mekaniske nedbrytingen av isolasjonen kan til slutt ødelegge transformatoren. Disse nedbrytende prosessene påvirkes av spenning, temperatur, fuktighet og øvrige driftsforhold.

For å gi transformatorer et akseptabelt støynivå, samt øke isolasjonsevnen (og dermed levetiden), kan hele transformatoren impregneres i en lakk. Dette skjer enten ved dypp- impregnering eller vakuum- impregnering, luft eller varmeherdende. En annen mulighet er å støpe transformatoren inn i en plastmasse, f.eks. polyuretan.



Noratel FR- isolertransformator.

NORATEL FR- ISOLERTRANSFORMATOR.

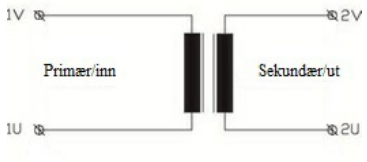
Transformatoren er innstøpt i selvslukkende polyurethan i en plastlignende kapsling som og er selvslukkende.

Skilletransformator:

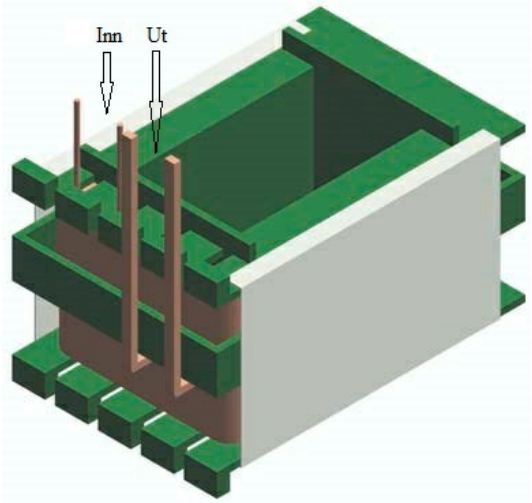
SKILLETRANSFORMATOR:

En skilletransformator eller isolertransformator er en transformator hvor primær og sekundær viklingene er galvanisk/elektrisk adskilt med grunnleggende isolasjon.

Felles for slike transformatorer er at de frembringer "et nytt nett" der alle eventuelle jordfeil på forsyningssiden er eliminert på sekundærsiden.



Koblingsskjema 1-fase transformator. Primær og sekundær viklingene er galvanisk adskilt.

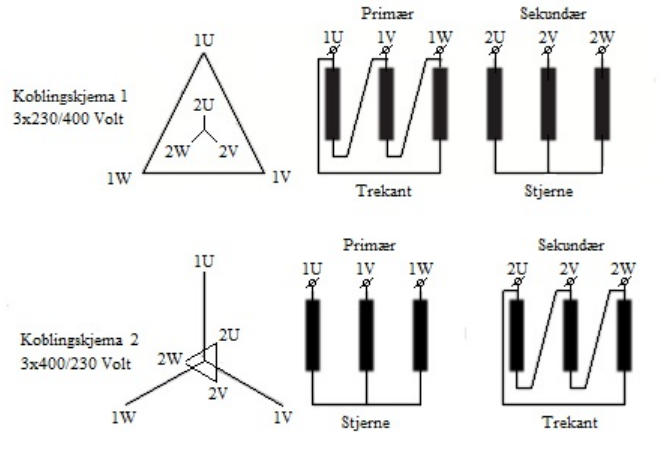


Noratel transformator med 2-kammer spoleform.

Tegningen viser en Noratel transformator med 2-kammer spoleform. Her ser vi tydelig at det er to adskilte viklinger (skille-/isolertransformator). I tillegg er det isolasjon utenpå de deler av viklingen som jernkjernen omslutter. Dette benyttes ofte på klasse II ransformatorer som forsterket isolasjon.

Koblingsskjema 3-fase transformator. Primær og sekundær viklingene er galvanisk adskilt.

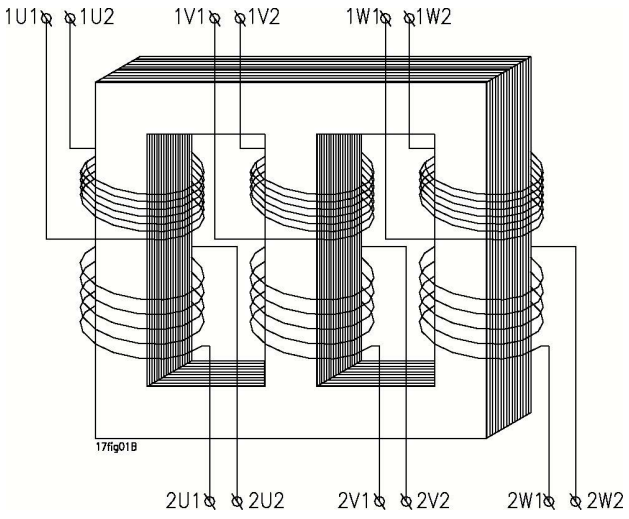
Disse må kobles i stjerne eller trekant.



Isolertransformator:

ISOLERTRANSFORMATOR:

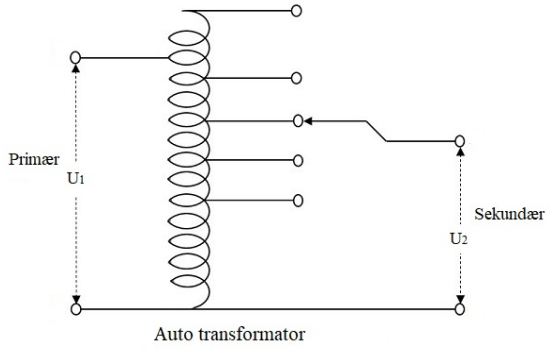
En isolertransformator er en skilletransformator med beskyttende skille mellom primær og sekundær viklingene.



Autotransformator:

AUTOTRANSFORMATOR:

En autotransformator er en transformator med felles vikling, dvs. primær og sekundær ikke er galvanisk/elektrisk adskilt. Ofte kalt sparetransformator.



I Norge har vi 3-fase 230 Volt distribusjonsnett, et såkalt IT-nett. I praksis betyr det et nett der alle faser er isolert fra jord. Det er bare Norge og Albania som har slike distribusjonsnett.

Resten av Europa benytter et såkalt TN-nett - et 3-fase-nett der N-leder (stjernepunktet) er kortsluttet mot jord. Alle 1-fase-kurser (230 Volt) blir tatt ut mellom N-leder og en av fasene. Dermed er altså en av fasene kortsluttet til jord.

Å legge en fase til jord vil bety katastrofe i forhold til jordfeilproblemer på et norsk nett.

Hvis vi tenker autotransformator 3 x 230 / 3 x 400 Volt får vi følgende situasjon:
En autotransformator består av kun en vikling pr. fase, - det betyr at det er full "gjennomgang" på alle faser fra 230 - 400 Volt.
Ved "korrekt installasjon" av TN-S-nett skal N-leder jordes, noe som betyr at alle faser inn/ut av auto-transformatoren får direkte kobling mot jord.

I Norge vil dermed E-verket registrere jordfeil på alle 1-fase-nett koblet mot autotransformatoren.
Det finnes bare en mulig løsning for å unngå slike problemer - Isolertransformator.

Skilletransformator (Isolertransformator)

SKILLETRANSFORMATOR (ISOLERTRANSFORMATOR)

En isolertransformator (skilletransformator) har adskilte 230/400 Volt viklinger. Det betyr at jording av N-leder på 400 Volt utgangen ikke medfører jordfeilproblematikk for E-verket. Utgangen på denne isolertransformatoren er nå et TN-S-nett, og dette nettet har ingen elektrisk kobling mot E-verkets 230 Volt IT-nett.

En autotransformator kan ikke benyttes dersom det er aktuelt å endre fra IT- til TN-nett / eller omvendt.

Teoretisk kan en tenke at en elektrisk motor kun har behov for 3-faser 400 Volt. I så fall ingen styring/overvåkning basert på 230 Volt 1-fase strømtilførsel, for eksempel ingen kontaktor for start.

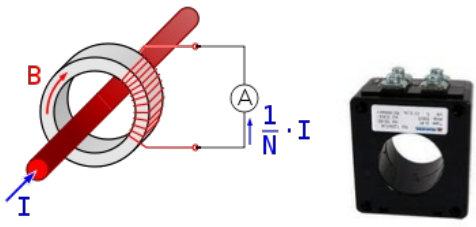
I Europa benyttes det ofte autotransformatorer - fordi alle installasjoner er basert på TN-S nett.
Dette medfører at mange maskiner/utstyr for 400 Volt blir levert fra Europa til Norge sammen med en autotransformator for å tilpasse 3x230 Volt.
Vår erfaring er at ingen ute i Europa har kunnskaper om 3x230 Volt IT-nett, og dermed kan det ofte oppstå farlige situasjoner.

Norske nett opplever store og kostbare problemer med jordfeil, og E-verkene ser store fordeler i å installere isolertransformatorer der det er fornuftig.
Målet er på denne måten å forsøke å redusere antall jordfeil, og på den måten unngå ulykker som brann og elektriske støt som kan få dramatiske følger.

Strømtransformator:

STRØMTRANSFORMATOR:

En strømtransformator er en transformator for omgjør en strømmverdi til en annen strømverdi (f.eks. 1000 A til 5 A).



Forskjellen mellom strøm- og spenningstransformator

I motsetningen til en spenningstransformator, hvor man opererer med konstant spenning, har man ved strømtransformatorer en konstant strøm. Det betyr at strømmen vil være (tilnærmet) konstant selv om man varierer belastningen, i motsetningen til en spenningstransformator, der utgangsstrømmen øker når belastningen øker.

Faktum er at man kan kortslutte utgangen på en strømtransformator uten at det har noen konsekvenser. Strømmen er uansett konstant. Faktisk er strømtransformatoren i en tomgangssituasjon når den har kortsluttet utgang. Dette er det stikk motsatte av en spenningstransformator, som er i en tomgangssituasjon når sekundærklemmene er åpne (ingen tilkopling). De fleste som har litt kjennskap til strøm, er sikkert klar hva som vil skje om man kortslutte utgangen på en spenningstransformator. Ettersom spenningstransformatoren prøver å opprettholde sin konstante spenning ut, vil strømmen øke voldsomt, og dersom det ikke er en sikring som løser ut, vil spenningstransformatoren raskt gå varm og «brenne opp». Her ligger den største praktiske forskjellen mellom de to transformatortypene.

Byrde og overstrømsiffer

Strømtransformatoren er altså i tomgang når vi kortslutter utgangen. For å belaste den må vi erstatte kortslutningen med en belastning i form av en motstand. I terminologien for strømtransformatorer kalles belastningen for en «byrde». (Man tilkobler en byrde og ikke en belastning.) Byrden oppgis i VA. Ettersom strømmen er konstant, vil byrden øke med økende motstand.

LA OSS SE PÅ ET EKSEMPEL:

Vi har en strømtransformator med primær strøm 1000 A og sekundær strøm 5 A (Skrives: 1000/5A). Hvis man kopler en motstand på 1,0 ohm over sekundærklemmene vil man nominelt få en spenning på 5 A x 1,0 ohm = 5V over denne motstanden.

Byrden blir da 5 V x 5 A = 25V A. Hvis man øker motstanden i byrden til 2,0 ohm, øker spenningen over byrden til 10 V og byrden blir da 10 V x 5 A = 50 VA.

Fortsetter man å øke motstanden i byrden, vil spenningen over byrden øke i takt og strømtransformatoren vil etter hvert gå i metning. (Spenningen på sekundærsiden, over byrden, avspeiler også spenningsforholdet på primærsiden og strømtransformatoren vil gå i metning på samme måte som en spenningstransformator når primærspenningen blir for høy.)

!

VIKTIG

Dersom man fjerner byrden og lar sekundæren være uten tilkobling har man i prinsippet en uendelig byrde.

Det som da skjer, er at transformatoren kjøres inn og ut av dyp metning for hver periode av strømmen og det induseres meget høye spenningspulser over sekundærklemmene. I tillegg til å kunne ødelegge isolasjonen i transformatoren vil disse høye spenningstransientene også kunne være livsfarlige for personer som måtte komme i kontakt med terminalene.

Derfor er regelen:

En strømtransformator som ikke har sin nominelle byrde tilkoplet skal ha sekundærklemmene kortsluttet.

Normalt skal ikke en strømtransformator gå i metning ved nominell strøm og nominell byrde og det er derfor av betydning at man tar hensyn til metningspunktet når man konstruerer denne type transformatorer. Det som skjer når en strømtransformator går i metning er at en økning i primærstrømmen ikke korrekt transformeres over til sekundærsiden. (Det oppstår en øket transformeringsfeil.) Dette er en situasjon som oppstår gradvis ettersom man beveger seg inn i metningsområdet og det er et definisjonsspørsmål når man anser at transformatoren har gått i metning. Ofte definerer man metningspunktet der hvor transformeringsfeilen har økt til 10%.

Hvis vi ser grovt på det, har vi to typer strømtransformatorer: Måletransformatorer og relétransformatorer. Disse konstrueres forskjellig når det gjelder metningspunktet. En måletransformator er normalt tilkoblet måleinstrumenter av et eller annet slag for å registrere og måle strømverdiene innen transformatorens arbeidsområde, som normalt er innenfor 5%-120% av nominelt angitt strøm. Hvis det skulle skje en feil slik at strømmen på primærsiden øker ut over den nominelle verdien, vil denne strøm økningen også bli transformert til sekundærsiden der måleinstrumentene er tilkoblet. Blir strøm økningen for stor vil den kunne ødelegge instrumentene. Ved å lage strømtransformatoren slik at den går i metning før sekundærstrømmen blir ødeleggende, kan man beskytte instrumentene.

La oss anta at strømtrafoen på 1000/5A, nevnt ovenfor, er klasse 1,0 og har en nominell byrde på 25 VA og at det er ønskelig at trafoen skal gå i metning før strømmen har øket 5 ganger (en maksimumsverdi), altså før sekundærstrømmen har øket til 5 A x 5 = 25 A. Da må transformatoren konstrueres slik at den går i metning før spenningen over byrden blir 25 V. (25 A x 1,0 ohm = 25V) Dette angis på følgende måte i spesifikasjonen: 1000/5A 25 VA kl.1,0 **Fs5**

I motsetningen til en måletransformator, blir en **relétransformator** normalt koblet til en utrustning med et beskyttelsesrelé som skal tre i funksjon dersom det skjer en feil/kortslutning i strømnettet. En slik feil kan være opphav til meget store strømmer og det er viktig at transformatoren ikke går i metning før den har utløst beskyttelses reléet. Av den grunn angir man for relétransformatorer hvor mange ganger nominell strøm de skal tåle før de går i metning (en minimumsverdi). La oss anta at vår trafo på 1000/5 A 25 VA hadde vært en relétransformator som vi ønsket først skulle gå i metning ved mer enn 20 ganger nominell strøm (5 A x 20 = 100 A). Da ville spesifikasjonen kunne se ut som følger: 1000/5A 25VA kl.5P**20**

I dette tilfellet må transformatoren konstrueres slik at den først går i metning ved en spenning over byrden på mer enn 100V (100A x 1,0 ohm = 100V)

De angitte grenseverdiene for forholdet mellom nominell strøm og metningsstrøm kalles generelt for «overstrømsiffer». På engelsk brukes uttrykket ALF (Accuracy Limiting Factor).

For relétransformatorer skal det alltid oppgis overstrømsiffer i spesifikasjonen.

Skal du bestille en strømtrafo må leverandøren vite:

- Ønsket omsetningsforhold – primærstrøm og sekundærstrøm (f.eks. 500 A / 5 A).
- Senterhull i transformatoren / dimensjon på primærlederen – skal det brukes skinne eller kabel? (Eksempel: skinne 10×50 mm eller innvendig diameter > 50 mm).
- Ønsket belastning (effekt) (VA) og nøyaktighetsklasse.
  (Eksempel: 20 VA, klasse 0.5 – se IEC 60044–1).
- Overstrøms faktor må oppgis for reletrafoer og kan oppgis for måletrafoer.
- Avstand mellom primærledere i et 3-fase system
- Dersom spesielle festeløsninger ønskes (f.eks. festeskruer, DIN-skinnefester osv.)
- Spesifiser om det er en måletransformator eller en reletransformator (dette fremgår ofte av den oppgitte klasseangivelsen)

Minimum spesifikasjon av strømtrafoer:

En minimumsspesifikasjon for en **reletransformator** med omsetningsforhold 1000 A til 5 A, belastning 30 VA, nøyaktighetsklasse 5 %, overstrømsfaktor 20 (20 ganger merkestrøm) og senterhull med min. 50 mm diameter, kan formuleres slik:

> 1000/5A 30VA kl.5 P20 ID>50mm

En tilsvarende spesifikasjon for en **måletransformator** i en vindustransformator-applikasjon, med forhold 400 A til 5 A, belastning 10 VA, nøyaktighetsklasse 0,5 %, overstrømsfaktor 5 (5 ganger merkestrøm) og senterhull med min. diameter 30 mm, kan se slik

> 400/5A 10VA kl.0,5 Fs5 ID>30mm

Nøyaktighetsklasser

I tillegg til byrde i VA og eventuelt angivelse av overstrømsiffer skal spesifikasjonen for en strømtransformator alltid inneholde angivelse av nøyaktighetsklassen. Definisjonen av de forskjellige nøyaktighetsklassene er angitt i IEC 60044–1.

For relétransformatorer finnes det to nøyaktighetsklasser: Klasse 5P og klasse 10P. Disse angis foran overstrøm-sifferet. For eksempel slik: 1000/5A 30VA kl.5P20.

Vernetransformator:

VERNETRANSFORMATOR:

En vernetransformator er en skilletransformator som er beregnet til å forsyne en SELV eller PELV strømkrets.

SELV:

SELV beskriver en spenning som ikke overstiger 50 VAC eller 120 VDC (rippelfri) mellom ledere, eller mellom enhver leder og jord i en strømkrets som er isolert fra nettspenningen med en vernetransformator. Med "rippelfri" menes normalt en RMS rippel spenning med ikke mer enn 10% av DC komponenten.

SELV-strømkrets:

Beskriver en ekstra-lavspenningskrets med beskyttende skille fra andre kretser, og som ikke har eller krever noen form for jordingstilkobling.

PELV-strømkrets:

Beskriver en ekstra-lavspenningskrets med beskyttende skille fra andre kretster, og som på grunn av funksjonelle årsaker skal ha jordingstilkobling.

FELV-strømkrets:

En ekstra-lavspenningskrets som av funksjonelle årsaker ikke oppfyller kravene for SELV eller PELV.

Sikkerhetsklasser for transformatorer

SIKKERHETSKLASSER FOR TRANSFORMATORER

Disse klassene angir hvordan beskyttelse mot elektrisk støt er oppnådd, og de gjelder for alt elektrisk utstyr – ikke bare transformatorer – og beskriver hvordan brukeren er beskyttet ved en isolasjonssvikt.

Dette er en beskrivelse av sikkerhetsklasser (beskyttelsesklasser) for elektrisk utstyr, og i dette tilfellet transformatorer, definert i henhold til IEC 61140 (og beslektede standarder som EN 61558 for transformatorer).

Disse klassene angir hvordan beskyttelse mot elektrisk støt er oppnådd, og de gjelder for alt elektrisk utstyr – ikke bare transformatorer – og beskriver hvordan brukeren er beskyttet ved en isolasjonssvikt.

Sikkerhetsklasser for beskyttelse mot elektrisk støt:

Klasse	Beskrivelse
Klasse I	Beskyttelse basert på grunnisolasjon og en beskyttelsesjording. Hvis isolasjonen svikter, skal en jordet kapsling lede strømmen bort via jordleder.
Klasse II	Beskyttelse ved dobbel eller forsterket isolasjon. Ingen jordforbindelse er nødvendig eller tillatt. En slik transformator har et dobbelt lag med isolasjon mellom strømførende deler og berør bare deler.
Klasse III	Beskyttelse basert på at utgangen er en SELV-krets (Safety Extra Low Voltage), maks 50 VAC eller 120 VDC. Ingen jordforbindelse er nødvendig. Hele systemet holdes på et trygt spenningsnivå.

Disse klassene har ikke direkte med isolasjon mellom primær og sekundær vikling å gjøre, men heller hvordan hele konstruksjonen beskytter mennesker mot elektrisk støt.

Relevante standarder:

- IEC 61140 – Beskyttelse mot elektrisk støt
- EN/IEC 61558 – Sikkerhet for transformatorer, kraftforsyninger m.m.
- IEC 60364 – Lavspenningsinstallasjoner, for klassifisering av forsyningssystemer og jordingsmåter.

Transformatorens merkeverdier

TRANSFORMATORENS MERKEVERDIER

På alle transformatorer skal det finnes et skilt med transformatorens merkeverdier, dataskiltet. Merkeverdiene angir hvilke ytelser transformatoren er konstruert for. Dette er også referanseverdier for produsentens garantier. Grunnprinsippet er at transformatoren skal merkes som om den er ideell. Det tas normalt ikke hensyn til tomgangsstrøm og spenningsfall i transformatoren, bortsett fra på mindre effekter.



Rating plate on an 100 kVA 230/400 V enclosed Noratel transformer.

Merkeskilt på en 100 kVA, 230/400 V eller 400/230 V kapslet transformator fra Noratel.

Kjølemiddel:	*Bokstav*
Luft	A
Gass	G
Sirkulasjonsmetode:	*Bokstav*
Naturlig	N
Vifte eller pumpe	F

Isolasjonsklasse (°C) (IEC60085)	*Max tillatt temperaturøkning i viklingene (K) (IEC60726)*	*(EN61558)*
105 (A)	60	60
120 (E)	75	75
130 (B)	80	80
155 (F)	100	100
180 (H)	125	125
220	150	-



Tabellene og bilder er hentet fra Noratel.

IP beskyttelsesgrader

IP BESKYTTELSESGRADER

IP-graden (International Protection, IEC60529) er en kode som angir hvilke ytre påvirkninger utstyret er beregnet for. Beskyttelsesgraden er gitt av to tall og kan inneholde en tilleggsbokstav når den faktiske personbeskyttelsen mot direkte kontakt med strømførende deler er bedre enn det som er angitt av det første tallet. Tabellene under er hentet fra Noratel.

2.Tall:
Det andre tallet i IP-koden angir utstyrets beskyttelse mot gjennomtrengning av vann med skade som følge.

IP	Forklaring
0	Ubeskyttet
1	Beskyttet mot vertikalt dryppvann, (kondens).
2	Beskyttet mot dryppvann med en vinkel på opp til 15°.
3	Beskyttet mot regn med en vinkel på opp til 60°.
4	Beskyttet mot sprutende vann fra alle retninger.
5	Beskyttet mot vann-stråler i alle retninger.
6	Beskyttet mot kraftige vannstråler og bølger.
7	Beskyttet mot skader ved midlertidig neddypping i vann.
8	Beskyttet mot skader ved langvarig neddypping i vann under bestemte forhold.

1.Tall:
Første tallet i IP-koden angir utstyrets beskyttelse mot gjennomtrengning av faste gjenstander og beskyttelse av personell mot direkte kontakt med strømførende deler.

IP	Forklaring
0	Ubeskyttet
1	Beskyttet mot gjennomtrengning av faste gjenstander med diameter på 50mm eller mer. Beskyttet mot direkte kontakt med håndens bakside (ufrivillig kontakt).
2	Beskyttet mot gjennomtrengning av faste gjenstander med diameter på 12,5mm eller mer. Beskyttet mot direkte kontakt med fingrene.
3	Beskyttet mot gjennomtrengning av faste gjenstander med diameter på 2,5mm eller mer. Beskyttet mot direkte kontakt med et Ø 2,5mm redskap.
4	Beskyttet mot gjennomtrengning av faste gjenstander med diameter på mer enn 1mm eller mer. Beskyttet mot direkte kontakt med et Ø 1mm ledning.
5	Støvbeskyttet (ingen skadelige gjenstander). Beskyttet mot direkte kontakt med et Ø 1mm ledning.
6	Støvtett. Beskyttet mot direkte kontakt med et Ø 1mm ledning.

Tilleggsbokstav

En eventuell tilleggsbokstav angir beskyttelse av personell mot direkte kontakt med strømførende deler.

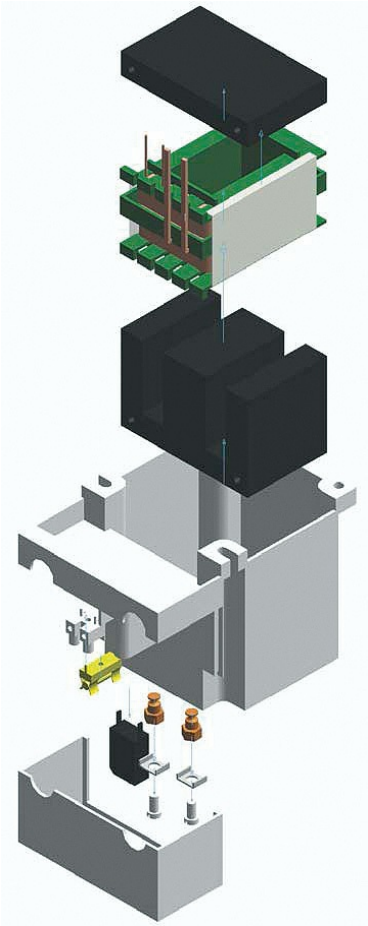
(Når den faktiske personbeskyttelsen mot direkte kontakt med strømførende deler er bedre enn det som angis av det første tallet).

A - Med håndens bakside (Ø 50mm).

B - Med fingeren (Ø 12mm, L=80mm).

C - Med et Ø 2,5mm, L=100mm redskap.

D - Med en Ø 1mm, L=100mm ledning.



Definisjoner

Transformator

TRANSFORMATOR

En transformator er et apparat med to eller flere viklinger som ved hjelp av elektromagnetisk induksjon transformerer vekselspenning og strøm til en annen vekselspenning og strøm med samme frekvens. Hensikten er å overføre elektrisk energi.

Autotransformator

AUTOTRANSFORMATOR

En autotransformator er en transformator med felles vikling, dvs. primær og sekundær ikke er galvanisk/elektrisk adskilt. Ofte kalt sparetransformator.

Skilletransformator

KILLETRANSFORMATOR

En skilletransformator er en transformator hvor primær og sekundær viklingene er galvanisk/elektrisk adskilt med grunnleggende isolasjon.

Isolertransformator:

!!!turkisbox "
En isolertransformator er en skilletransformator med beskyttende skille mellom primær og sekundær viklingene.

Vernetransformator

VERNETRANSFORMATOR

En vernetransformator er en skilletransformator som er beregnet til å forsyne en SELV eller PELV strømkrets.

Måletransformator

MÅLETRANSFORMATOR

En måletransformator er en transformator for omvandling av høye strømmer og spenninger til standardverdier tilpasset måleutrustning, reléer etc.

SELV

SELV

SELV beskriver en spenning som ikke overstiger 50 VAC eller 120 VDC (rippelfri) mellom ledere, eller mellom enhver leder og jord i en strømkrets som er isolert fra nettspenningen med en vernetransformator.

Transformator sikkerhetsklasser

TRANSFORMATOR SIKKERHETSKLASSER

Beskriver en transformator som beskytter mot elektriske støt. Der er tre klasser I, II og III.

TRANSFORMATORENS MERKEVERDIER

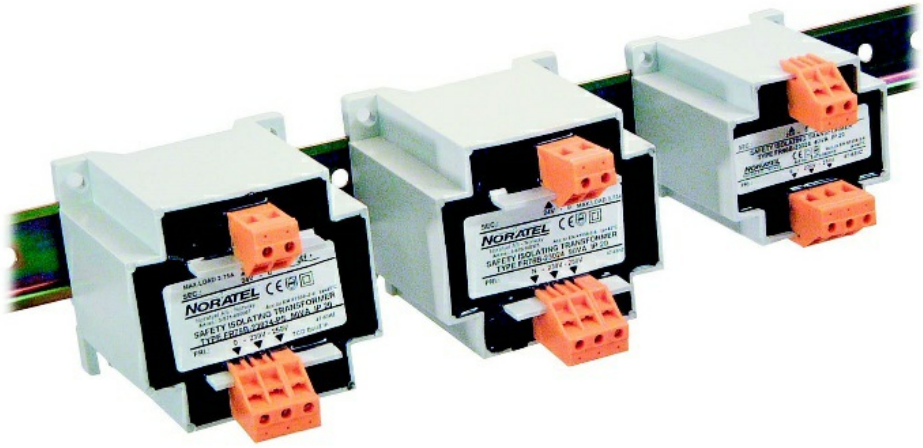
På alle transformatorer skal det finnes et skilt med transformatorens merkeverdier, - dataskiltet.

Eksempel på beregning av enfase trafo:

EKSEMPEL PÅ BEREGNING AV ENFASE TRAFO:

En enfase styrestrømtrafo er påstempla 90 VA, 400/230V, η = 0,95.
Primærsiden har 600 vindinger.
Trafoen blir belastet med 60 VA med en $\cos \varphi$ = 0,91.

a) Hvor mange vindinger har sekundærsiden (N_2)?
b) Hva er den aktive- og reaktive effekten på sekundærsiden (P_2 og Q_2)?
c) Hva er den tilsynelatende-, aktive- og reaktive effekten på primærsiden (S_1, P_1, Q_1)?
d) Hva blir I_{h1} på primærsiden og hva blir I_{h2} på sekundærsiden.



Løsningsforslag

a)

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{400}{230} = 1,74$$

$$n = \frac{N_1}{N_2} \quad \rightarrow \quad N_2 = \frac{N_1}{n} = \frac{600}{1,74} = \underline{\underline{345\ vindinger}}$$

b)

$$P_2 = S_2 * \cos\varphi = 60 * 0,91 = \underline{\underline{54,6W}} \quad \cos\varphi = 0,91 \rightarrow \sin\varphi = 0,415$$
$$Q_2 = S_2 * \sin\varphi = 60 * 0,415 = \underline{\underline{24,9\ VAr}}$$

c)

$$S_1 = \frac{S_2}{\eta} = \frac{60}{0,95} = \underline{\underline{63,16\ VA}}$$
$$P_1 = S_1 * \cos\varphi = 63,16 * 0,91 = \underline{\underline{57,48\ W}}$$
$$Q_1 = S_1 * \sin\varphi = 63,16 * 0,415 = \underline{\underline{26,21\ VAr}}$$

d)

$$I_{h1} = \frac{S_1}{U_1} = \frac{63,16}{400} = \underline{\underline{0,16\ A}}$$
$$I_{h2} = \frac{S_2}{U_2} = \frac{60}{230} = \underline{\underline{0,26\ A}}$$

Noratel – FR trafo.

Innkapslet enfaset skilletransformator, konstruert og testet i henhold til EN61558–2-4.
FR-transformatorene har separate isolerte viklinger, er støpt i selvslukkende polyuretan og innkapslet i plast. For fast installasjon, enkel og rask montering i skap eller tavler. Produsert i henhold til krav fra DNV, Lloyd's Register of Shipping og Bureau Veritas, som inkluderer omgivelsestemperatur på 45 °C. Konstruksjonsklasse II. Modellene FR60B, FR78B og FR84B leveres med integrert, valgfritt DIN-skinnefeste. Beskyttet mot utilsiktet berøring, konstruert for montering i skap eller tavler.
Industriell skilletransformator beregnet for installasjon i prosessindustri, skipsbygging og tavler. Egnet for installasjoner som krever beskyttende skille mellom inn- og utgang.

Eksempel på beregning av trefase trafo:

EKSEMPEL PÅ BEREGNING AV TREFASE TRAFO:

En trefase trafo har følgende data:

Primær: $\Delta - koblet,\ U_{1h} = 3300\ V - I_{1h} = 10\ A.$
Sekundær: $Y - koblet,\ U_{2h} = 400\ V,\ \eta = 0,95$

Transformatoren leverer til et nett med en $\cos\varphi = 0,91$.

a) Hvor stor er den avgitte effekten i kVA og kW?
b) Hvor stor er den primære fasestrømmen og fasespenningen?
c) Hvor stor er den sekundære hovedstrømmen og fasespenningen?
d) Hvor stort er fase omsetningsforholdet?

Løsningsforslag

a)

$$S_1 = \sqrt{3} * U_1 * I_1 = \sqrt{3} * 3300 * 10 = \underline{57158\ VA}$$
$$S_2 = S_1 * \eta = 57158 * 0,95 = \underline{54300VA} = \underline{\underline{54,300\ kVA}}$$
$$P_2 = \sqrt{3} * U * I * \cos\varphi = S_2 * \cos\varphi = 54,300 * 0,91 = \underline{\underline{49,413\ kW}}$$

b)

$$Y - I_{1fase} = \frac{I_{h1}}{\sqrt{3}} = \frac{10}{\sqrt{3}} = \underline{\underline{5,77\ A}}$$
$$Y - U_{1\ fase} = U_{1\ h} = \underline{\underline{3300\ V}}$$

c)

$$\Delta - I_{2h} = \frac{P_2}{\sqrt{3} * U_2 * \cos\varphi} = \frac{49413}{\sqrt{3} * 400 * 0,91} = \underline{\underline{78,36\ A}}$$
$$\Delta - U_{2\ fase} = \frac{U_{2h}}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = \underline{\underline{230,94\ V}}$$

d)

$$n = \frac{U_{1\ fase}}{U_{2\ fase}} = \frac{3300}{230,94} = \underline{\underline{14,29 \approx 14}}$$



Noratel type 3LT-AFWF.

Noratel introduserer en helt ny serie transformatorer med vannkjølte kapslingsløsninger for distribusjons- og omform-transformatorer, både lav- og mellomspenning.
AFWF-designet bygger på velprøvd teknologi, med Noratels vekt på høy grad av tilpasning for fleksible mekaniske løsninger og enkel installasjon på stedet.

AFWF-designet transporterer varmetap effektivt bort fra transformatoren og omgivelsene, slik at en stabil omgivelsestemperatur opprettholdes uavhengig av plassering eller årstid.
Designet reduserer også behovet for kjøleeffekt fra omgivelsene.

Bruksområder

Typiske bruksområder er skipsbygging, offshore og prosessindustri, der det stilles krav til lav varmeutvikling fra omgivelsene.

Tekniske detaljer:

- Konstruert i henhold til IEC60726 og IEC60076-standarder – CE-merket
- Isolasjonsklasse F/H
- Lavt støynivå
- Standard effekter fra 400 kVA til 5000 kVA, andre størrelser på forespørsel
- Spenningsområde opp til 12 kV
- AFWF-design
- Ferskvannskjøler (maks 38 °C på tilført vann)
- Lekkasjesikring, vannmåler og PT100-sensorer i både transformator og kapslet luftrom
- Kabelinnføring fra bunnen eller tilpasses etter ønske
- Effektiv viftebasert radiator-kjøling – opptil 30 % økt ytelse
- Radiatorkjølere med enkelt- eller dobbeltkjølerør
- Driftsspenning til internbruk tas fra hoved transformator eller integrert styrestrømtransformator
- Design basert på 5 standard kapslingsstørrelser

Kap 11 Start og stopp for asynkrone motorer og skjemateknikk

Skjemateknikk

Skjemateknikk handler om å lage, tolke og forstå elektriske koblingsskjemaer for elektriske og automatiserte systemer. Det brukes innen elektro, automasjon og industri for å designe, feilsøke og bygge elektriske anlegg.

Skjemateknikk omfatter flere typer skjemaer, avhengig av hva man skal dokumentere:

Hovedstrømskjema

- Viser hovedstrøms kretsen til et elektrisk system.
- Inkluderer motorer, sikringer, kontaktorer og koblinger for strømforsyning.
- Eksempel: Hvordan en motor tilkobles et 3-fase-nett.

Styrestrømskjema

- Viser hvordan en elektrisk krets styres via brytere, releer og kontaktorer.
- Inneholder knapper, sensorer, hjelpkontakter osv.
- Eksempel: Start-stopp-krets for en motor.

PLS-skjema (Programmerbar Logisk Styring).

- Viser signaler til og fra en PLS (Programmable Logic Controller).
- Viser digitale og analoge innganger/utganger, samt kommunikasjon med andre enheter.
- Eksempel: Styring av et transportbånd med PLS.

Enlinjeskjema

- Forenklet skjema som viser hovedkomponentene i et elektrisk anlegg med én linje per fase.
- Brukes ofte i høyspentanlegg.

Koblingsskjema/prinsippskjema.

- Viser hvordan ledninger fysisk skal kobles mellom komponenter.
- Brukes ved installasjon og feilsøking.

Viktige elementer i skjemateknikk.

For å forstå skjemateknikk, må man kjenne til:

- Symboler: Standardiserte symboler for komponenter som brytere, releer, motorer, sikringer osv. (IEC 60617 brukes ofte i Europa).
- Nummerering: Hver ledning, komponent og tilkobling har unike nummer for enkel identifisering.
- Sperrekretser: Sørger for sikkerhet ved å hindre uønsket aktivering av komponenter.
- Jording og vern: Beskytter utstyr og mennesker mot elektriske feil.

Hvorfor er skjemateknikk viktig?

> Feilsøking: Elektrikere og maskinoffiserer bruker skjemaer til å finne feil i elektriske systemer.
> Installasjon: Sikrer at elektriske anlegg bygges riktig.
> Dokumentasjon: Viktig for vedlikehold og oppdateringer i et anlegg.
> Sikkerhet: Forhindrer farlige situasjoner ved å vise riktige koblinger og vernetiltak.

De obligatoriske hovedstrømskjema og styrestrømskjemaene for start- og stoppfunksjoner til en asynkronmotor vil også bli gjennomgått.

- Direkte start.
- Dreieretnings vender.
- Direkte start med to hastigheter (to viklingssett).
- Dahlanderkopling.
- Start/stopp av luftkompressor med avlastingsventil.
- Stjerne/trekant start.
- Start/stopp med mykstarter.
- Start/stopp med frekvensomformer.

Vi skal først sjå på symboler som blir brukt når vi tegner. Det fins ingen fast standard for symboler som blir brukt i Norge. Det fins en håndbok med symboler som heter NEK 144.

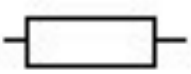
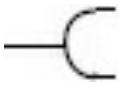
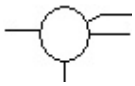
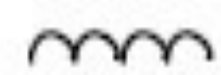
NEK 144 inneholder et utdrag av symboler fra IEC 60617. Den er ansett å ha størst utbredelse og bruk innen elektroteknisk dokumentasjon i Norge. Den definerer et internasjonalt sett symboler for bruk i elektroteknisk dokumentasjon.

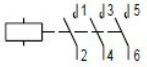
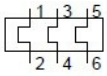
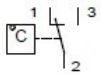
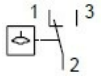


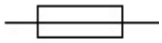
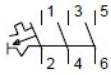
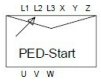
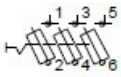
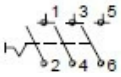
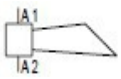
bilde K59

Symboler

Her er et lite utvalg av symboler som vi bruker i tegninger.

Symbol	Navn	Kode	Symbol	Navn	Kode
	Motstand (resistans), Ohmsk last	R		Lampe	-H
	Rekkeklemme. Koblingspunkt.	X		Signallampe	-H
	Jord. (Hoved symbol)			Batteri	-G
	En-polet bryter			Battericelle (den lange streken er +)	-G
	To-polet bryter			Hjelpekontakt Betegnes med **NO** (Normally open){.h-50 loading="lazy"}	
	Kronevender eller vender 5			Hjelpekontakt Betegnes med **NC** (Normally closed){.h-50 loading="lazy"}	
	Stikkontakt			Veksel bryter Veksel kontakt	
	Stikkontakt med jord			Kontakt NO, tidsforsinket inn	
	Koblingsboks			Kontakt NC, tidsforsinket inn	
	Spole	L		Kontakt NO, tidsforsiket ut	
	Spole	L		Kontakt NC, tidsforsiket ut	
	Kondensator	C		Vekselkontakt Tidsforsinket inn	

Symbol	Navn	Kode	Symbol	Navn	Kode
	Kontaktor- eller rele-spole	-K, -C eller -D, -R		Trykknapp med fjærretur. NO	-S
	Hovedkontakter for kontaktor.	-K, -C eller -D, -R		Trykknapp med fjærretur. NC	-S
	Termisk føler. Bimetallføler	-F		Trykknapp med sperre. Blir stående i stilling.	-S
	Termoelektrisk rele 3 fase. Motorvern.	-F		Vribryter. NO.	-S
	Bryter styrt av et termisk vern. NC.	-F		Vribryter. NO.	-S
	Bryter styrt av et termisk vern. NO.	-F		Nødstoppbryter	-S
	Spole til tidsrele, forsinka inn	-K -D		Termostat	-Y
	Spole til tidsrele, forsinka ut	-K -D		Fotocelle	-Y
	Magnetventil	-Y		Væskenivå	-Y
	Transformator	-T		Gjennomstrømming	-Y
	Transformator	-T		Grensebryter. NC. Posisjonsbryter.	-S
	Strømtrafo			Grensebryter. NO. Posisjonsbryter.	-S
	Generator, vekselstrøm, 3 fase	-G		Motor, vekselstrøm 3 fase	-M

Symbol	Navn	Kode	Symbol	Navn	Kode
	Sikring (smelte sikring).	-F		Likeretter	
	Automatsikring Ikke IEC normert	-F		Vekselretter	
	Automatsikring 3P	-F		Frekvensomformer	
	Automatsikring. 1P. Overlast og kortslutning	-F		Mykstarter	
	Automatsikring. 2P. Overlast og kortslutning	-F			
	Automatsikring. 3P. Overlast og kortslutning	-F		Brannmelder hovedsymbol	
	Lastsikrings-skillebryter 3-polt	-Q		Manuell brannmelder	
	Effektbryter/ motorvernbryter 3-polt	-Q		Varmedetektor	
	Lastskillebryter	-Q		Røykdetektor	
	Voltmeter			Flammedetektor	
	Frekvensmeter			Ringeklokke, brannklokker	
	Synkronoskop			Horn	

Kontakter

Hjelpekontaktene har alltid to siffer:

Lukka kontakter (NC) slutter alltid på siffer 1 og 2. F.eks. 11 og 12 eller 21 og 22 osv.

Åpne kontakter (NO) slutter alltid på siffer 3 og 4. F.eks. 13 og 14 eller 23 og 24 osv.

Bryter har bare et siffer:

Lukka brytere (NC) har siffer 1 og 2.

Åpne brytere (NO) har siffer 3 og 4.

Hjelpekontaktene til tidsrele har to siffer:

Lukka kontakter slutter alltid på siffer 5 og 6. F.eks. 15 og 16 eller 55 og 56.

Åpne kontakter slutter alltid på siffer 7 og 8. F.eks. 17 og 18 eller 57 og 58.

Motorvern som vi kobler til kontaktorer, har to hjelpekontakter:

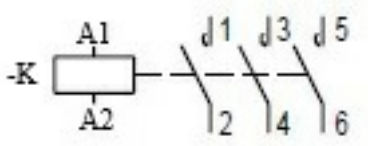
En lukket kontakt som er merket med 95 og 96.

En åpen kontakt som er merket med 97 og 98.

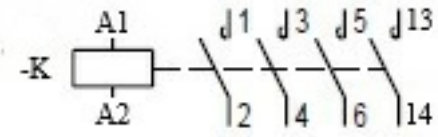
Tre fase kontaktor:

Kontaktoren har tre hovedkontakter som har siffer 1, 3 og 5 på inngang og siffer 2, 4 og 6 ut.

Spolen til kontaktorer er merket med A1 og A2.



Kontaktoren kan også ha hjelpekontakter:



Her er hjelpekontakt 13 og 14 komt med, denne bruker vi ofte som holdekontakt.

Kontaktor

KONTAKTOR

En elektrisk kontaktor er bygd opp av flere viktige deler som sammen gjør at den kan kontrollere strømmen i en elektrisk krets.

Her er de viktigste komponentene i en kontaktor:

1. Spole (elektromagnet):
   - Dette er en av de viktigste delene. Når spolen får elektrisk strøm, blir den magnetisk og trekker på de bevegelige delene i kontaktoren for å åpne eller lukke kretsene.

2. Bevegelig kontakt (armatur):
   - Dette er en metalldel som beveger seg når spolen blir magnetisk. Den sørger for at de elektriske kontaktene (hovedkontaktene) enten lukkes.

3. Hovedkontakter (NO):
   - Normalt åpne (NO): Når kontaktoren er avslått, er disse kontaktene åpne (strømmen kan ikke gå gjennom). Når kontaktoren er slått på, lukkes de, og strømmen kan gå gjennom.

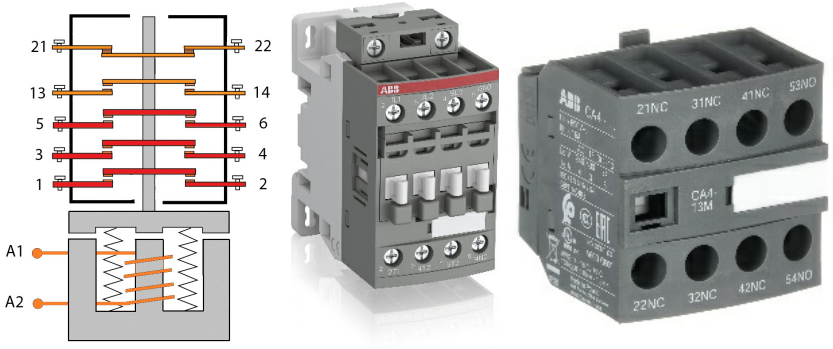
4. Fjærer:
   - Fjærene gjør at de bevegelige delene (som armaturen) går tilbake til sin opprinnelige posisjon når strømmen til spolen blir slått av. Dette gjør at kontaktene åpnes igjen.

5. Hus (ytre kabinett):
   - Alle de elektriske komponentene er beskyttet i et robust plast hus. Dette beskytter mot støv, fuktighet og skader.

6. Hjelpekontakter (valgfritt):
   - Noen kontaktorer har ekstra små kontakter (hjelpekontakter) som brukes til å gi signaler til andre deler av systemet.

KORT FORTALT

Kort fortalt er kontaktoren bygd opp av en spole (som blir magnetisk når strøm går gjennom), bevegelige kontakter (som åpner eller lukker strømkretsen), fjærer som trekker de bevegelige delene tilbake, og et hus som beskytter alle delene.



Motorvernrelé

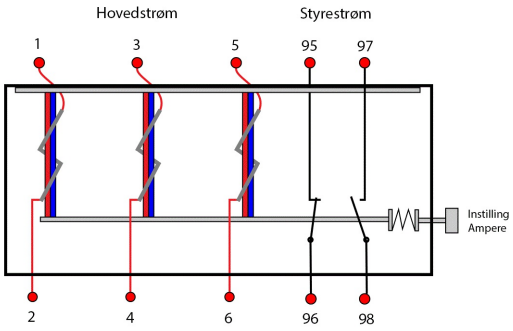
MOTORVERNRELÉ

Et motorvernrelé er en beskyttelseskomponent som brukes til å forhindre at en elektrisk motor blir overbelastet eller skadet på grunn av for høy strøm, fasesvikt eller temperaturøkning.

Under ser de en skisse og et bilde av et termisk motorvern.



Termisk motorvern



Skisse av termisk motorvern.

Hvordan fungerer et motorvernrelé?

1. Overvåker strømforbruket til motoren
   - Hvis motoren trekker mer strøm enn innstilt grense (for eksempel på grunn av overbelastning), vil reléet utløse og kutte strømmen.

2. Beskytter mot fasesvikt
   - Hvis én av de tre fasene forsvinner, kan det føre til at motoren blir overopphetet. Motorvernreléet vil da koble ut motoren.

3. Kan være termisk eller elektronisk
   - Termisk motorvernrelé: Bruker en bimetallstrimmel som bøyes ved høy strøm og bryter kretsen.
   - Elektronisk motorvernrelé: Bruker sensorer og elektroniske kretser for nøyaktig overvåking av strømforbruk.

Et termisk motorvernet består av sju koblingspunkt; 95 og 96 som er en NC-kontakt, 97 og 98 som er en NO-kontakt. 2T1, 4T2 og 6T3 er koblinger som hovedstrømmen går gjennom. Hvis motorvernet bryter ved for høy strømgjennomgang vil kontakten 95/96 åpne seg og 97/98 lukke seg. Punktene 2 (T1), 4 (T2) og 6 (T3) vil ikke bryte og kutte strømgjennomgang til motoren den er koblet til. Kontakten 95/96 vil være i serie med stoppbryteren i styrestrømmen, den vil stoppe motoren ved for høy strømgjennomgang.

Hvor mye strøm som passerer gjennom bestemmes av en innstillings skrue som sitter på fremsiden av motorvernet. Den stilles på In verdien som er bestemt av hva motoren tåler (som normalt står på merkeskiltet på motoren). Er innstillingsskruen satt i feil verdi og det forekommer for høy strømgjennomgang vil ikke motorvernet bryte ved motorvernets maks I_n verdi og statorviklingene https://no.wikipedia.org/wiki/Stator

På fremsiden er det også en reset knapp som vil resette motorvernet når det har slått ut.

Her er et motorvern reléet koblet til kontaktoren.



Motorvern reléet koblet til kontaktoren.

Relé

RELÉ

Et relé er en elektrisk bryter som styres av en elektrisk strøm. Det brukes til å slå på eller av høyere spenninger og strømmer ved hjelp av en mindre styringsstrøm.

Hoveddeler i et relé:

1. Spole (elektromagnet) – Når strøm går gjennom denne, skapes et magnetfelt.
2. Armatur (bevegelig kontakt) – En metallarm som trekkes mot magneten når reléet aktiveres.
3. Faste kontakter – Består av normalt åpen (NO) og normalt lukket (NC) kontakt.
4. Fjær – Holder armaturen i sin opprinnelige posisjon når spolen ikke er aktivert.

Funksjonen av et relé.

1. Når en styringsstrøm sendes til reléets spole, skapes et magnetfelt.
2. Dette magnetfeltet trekker armaturen til seg, og endrer kontaktens tilstand:
   - Normalt åpen (NO) kontakt lukker og lar strøm passere.
   - Normalt lukket (NC) kontakt åpner og bryter strømmen.
3. Når styringsstrømmen fjernes, forsvinner magnetfeltet, og en fjær fører armaturen tilbake til sin opprinnelige posisjon.

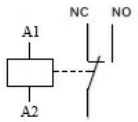
Typer reléer:

- Mekaniske reléer – Bruker fysiske kontakter som kobler til og fra.
- Impulsrelé – Endrer tilstand hver gang det mottar en impuls.
- Tidsforsinket relé – Aktiveres eller deaktiveres etter en tidsforsinkelse.
- Solid State Relé (SSR) – Bruker elektroniske komponenter, ingen bevegelige deler.

EKSEMPEL PÅ BRUK

- Start av motorer – Et lite signal fra en knapp styrer en stor last.
- Automatisk belysning – Brukes i smarthus og trappebelysning.
- Sikkerhetskretser – I maskiner som nødstoppsystemer.

Symbol for et enkelt relé med vekselkontakt (figur under):



Symbol for et enkelt relé med vekselkontakt

Mange reléer han egen pluggsokkel. Her er et ABB pin rele med sokkel.



ABB pin rele med sokkel.



Andre mekaniske ABB relé.

Tidsrelé.

Et tidsrelé er et relé som aktiveres eller deaktiveres etter en forhåndsinnstilt tidsforsinkelse. Det brukes ofte i automasjon, belysningsstyring, motorstartere og sikkerhetssystemer.

Hvordan virker et tidsforsinket relé?

Tidsforsinkede reléer fungerer som vanlige reléer, men har en innebygd tidskrets som styrer når reléet slår seg PÅ eller AV.

Typer tidsforsinkede reléer:

1. Innkoblingsforsinket (On-delay)
   - Når strøm påføres, starter en timer.
   - Etter den forhåndsinnstilte tiden slår reléet seg PÅ.
   - Brukes f.eks. for myk oppstart av motorer.

2. Ut-koblingsforsinket (Off-delay)
   - Reléet aktiveres umiddelbart når strøm påføres.
   - Når strømmen brytes, fortsetter reléet å være aktivt i en bestemt tid før det slår seg AV.
   - Brukes ofte til vifter som skal gå litt etter at en bryter er slått av.

3. Pulstidsrelé (One-shot)
   - Gir en kort puls uansett hvor lenge inngangssignalet varer.
   - Brukes for f.eks. døråpnere eller alarmfunksjoner.



Frittstående tidsrelé ABB.



Tidsblokk som vi setter på toppen av ABB kontaktorer.

Impulsrelerelé



Et impulsrelé (også kalt et trapperele eller bistabilt relé) er en elektrisk komponent som brukes til å styre en krets ved hjelp av korte elektriske impulser. Det fungerer annerledes enn et vanlig relé ved at det skifter tilstand hver gang det mottar en puls, i stedet for å forbli aktivert så lenge spenning påføres.

1. Impuls aktiverer reléet.
   - Når det mottar en kort strømimpuls fra en bryter (for eksempel en trykknapp), skifter det til motsatt tilstand.
   - Hvis det var avslått, slås det på. Hvis det var på, slås det av.

2. Beholder tilstanden uten kontinuerlig strøm
   - I motsetning til vanlige reléer, som trenger konstant spenning for å holde seg aktivert, beholder impulsreléet sin tilstand til neste impuls kommer.

3. Neste impuls skifter tilstanden igjen.
   - Hver gang det får en ny impuls, bytter det mellom på og av.

Hvor brukes impulsreléer?

- Trappebelysning: Brukes ofte i trapperom hvor flere brytere (trykknapper) kan styre samme lampe.
- Automatisering: I industrielle styringer og hjemme styringssystemer.
- Energisparing: Fordi det ikke krever strøm for å holde seg i en tilstand, er det mer energieffektivt enn vanlige reléer.

Fordeler med impulsrelé.

> Kan styres fra flere steder uten behov for komplekse koblinger.
> Energibesparende fordi det ikke trekker strøm kontinuerlig.
> Forenkler kablingen sammenlignet med tradisjonelle vekslinger mellom brytere.

Solid State Relé (SSR)

Et Solid State Relé (SSR) er en elektronisk bryter som fungerer som et tradisjonelt mekanisk relé, men uten bevegelige deler. I stedet for elektromekaniske kontakter bruker det halvlederkomponenter som tyristore, triacs eller transistorer for å koble til og fra en elektrisk krets.

Hvordan fungerer et Solid State Relé?

Et SSR består av tre hoveddeler:

1. Inngangskrets (styringssignal)
   - Mottar et lavspenningssignal (f.eks. 3–32V DC eller 24–230V AC) fra en PLS, mikroprosessor eller en manuell bryter.
   - Kan være optokoblet for isolasjon.

2. Styrekrets (halvlederbryter)
   - Består av en transistor, tyristor eller triac, som fungerer som hovedbryteren.
   - Når inngangssignalet aktiveres, leder halvlederkomponenten strømmen gjennom reléet.

3. Utgangskrets (lastside)
   - Kobler eller bryter strømmen til lasten (motor, varmeelement, lampe osv.).
   - Fungerer for både AC- og DC-belastninger, avhengig av type SSR.

Fordeler med Solid State Relé sammenlignet med mekaniske reléer.

Egenskap	SSR (Solid State Relé)	Mekanisk relé
Bevegelige deler	Nei	Ja
Slitasje	Ingen (halvledere)	Ja (mekaniske kontakter)
Levetid	Svært lang	Begrenset
Bryterhastighet	Rask (millisekunder)	Langsom (relativt)
Støy	Ingen	Kan klikke
Isolasjon	Ja (optokobling)	Ja (mekanisk isolasjon)
Effekttap	Litt varmeutvikling	Minimal (når lukket)

Typer av Solid State Reléer:

- AC-SSR: Brukes for vekselstrøm (AC), ofte til lys, varmeelementer og motorer.
- DC-SSR: Brukes for likestrøm (DC), ofte til solcellesystemer og batteridrevne kretser.
- Zero-crossing SSR: Kobler inn lasten når vekselstrømskurven passerer nullpunktet,reduserer elektrisk støy.
- Random-turn-on SSR: Kobler inn lasten umiddelbart, brukes i dimmere og hurtigkobling

Bruksområder for Solid State Reléer.

- Industriell automasjon – PLS-er styrer motorer, pumper og transportbånd.
- Varme- og ventilasjonssystemer – Styring av varmeelementer uten mekanisk slitasje.
- Lyskontroll og dimmere – SSR gir jevn regulering uten flimring.
- Medisinsk utstyr – Brukes i sensitive systemer der mekaniske reléer kan lage forstyrrelser

Under ser vi to eksemplarer for Solid State Relé.



Eksemplarer for Solid State Relé.

Mykstarter (Softstarter).

En mykstarter brukes for å begrense startstrømmen og redusere mekaniske påkjenninger ved oppstart av en asynkronmotor. Mykstarteren gir en gradvis økning i spenning til motoren, slik at den starter jevnt uten rykk.

En softstarter er en elektronisk enhet som brukes til å starte en elektrisk motor på en kontrollert måte, ved å gradvis øke spenningen og dermed redusere startstrømmen og mekaniske belastninger.

Oppbygning av en softstarter:

En typisk softstarter består av følgende hovedkomponenter:

1. Tyristorer (SCR – Silicon Controlled Rectifiers):
   - Disse halvlederkomponentene styrer spenningen som sendes til motoren.
   - Plassert i en trefasekobling (to tyristorer per fase i antiparallell for vekselstrøm).

2. Styringsenhet (Mikroprosessor eller kontroller):
   - Overvåker og styrer tenningen av tyristorene.
   - Kan inneholde forskjellige kontrollalgoritmer for optimal motorstart.

3. Beskyttelseskretser:
   - Termisk beskyttelse for å unngå overoppheting.
   - Spennings- og strømovervåkning for å beskytte motoren mot feiltilstander.

4. Bypass-kontaktor (valgfritt, men ofte inkludert):
   - Når motoren har nådd full driftsspenning, kobler en mekanisk kontaktor inn for å minimere effekttap i tyristorene.

Virkningsmåte

Softstarteren fungerer ved å gradvis øke spenningen til motoren under oppstart. Dette skjer i flere trinn:

1. Startfase:
   - Softstarteren aktiverer tyristorene med en lav startspenning.
   - Dette begrenser startstrømmen og reduserer mekaniske påkjenninger på motor og drivverk.

2. Spenningstrinn (Ramp-up):
   - Spenningen økes gradvis i en forhåndsdefinert kurve.
   - Dette gir en mykere akselerasjon og reduserer risikoen for spenningsfall i nettet.

3. Full drift:
   - Når motoren når sin nominelle hastighet, kobler ofte en bypass-kontaktor inn for å redusere effekttapene i tyristorene.

4. Stoppfase (Soft Stop, hvis aktuelt):
   - Noen softstartere har også en funksjon for å redusere spenningen gradvis ved stopp.
   - Dette er spesielt nyttig for pumper og transportbånd for å unngå vannslag og brå stopp.

Fordeler med softstarter:

- Reduserer startstrøm, noe som beskytter strømnettet og reduserer spenningsfall.
- Minimerer mekaniske påkjenninger på motor og koblinger.
- Forlenger levetiden til motoren og tilknyttede komponenter.
- Kan gi mulighet for kontrollert stopp, avhengig av funksjonaliteten.

Softstartere brukes ofte i applikasjoner som pumper, vifter, kompressorer og transportbånd der en myk oppstart er nødvendig for å beskytte utstyr og forbedre driftssikkerheten.



ABB softstarter serie PSE

ABB PSE Softstarter – Virkemåte og Funksjoner

ABB PSE-serien er en kompakt og avansert softstarter designet for mellomstore motorapplikasjoner. Den kombinerer tyristorbasert spenningskontroll med integrert motorbeskyttelse og bypass-relé, noe som gir en energieffektiv og pålitelig oppstarts løsning.

Oppbygning av ABB PSE-serien.

Softstarteren består av følgende hovedkomponenter:

Tyristorer (SCR – Silicon Controlled Rectifiers)

- Styrer spenningspådraget til motoren ved hjelp av fasekontroll.
- Plassert i hver fase (to per fase for å håndtere vekselstrøm).

Integrert Bypass-kontaktor.

- Når motoren når full driftsspenning, aktiveres bypass-kontaktoren.
- Reduserer effekttap i tyristorene og forbedrer energieffektiviteten.

Innebygd motorvern.

- Overvåker strøm og spenningsubalanse for å beskytte motoren.
- Termisk modell av motoren beregnes kontinuerlig for å forhindre overbelastning.

LCD-display og kontrollenhet

- Brukervennlig grensesnitt med innstillinger for start- og stoppramper, med mer.
- Kommunikasjonsmuligheter (Modbus RTU, m.fl.) for integrasjon i styringssystemer.

Hvordan fungerer PSE-serien?

Oppstart (Soft Start)

- Softstarteren starter motoren ved å gradvis øke spenningen.
- Dette reduserer startstrømmen, normalt 3–4 ganger nominell strøm i stedet for 6–10 (IE3 og IE4).
- Gir en jevn akselerasjon som beskytter mekaniske komponenter.

Drift (Full hastighet med bypass)

- Når motoren når nominell hastighet, aktiveres bypass-kontaktoren.
- Tyristorene kobles ut for å redusere effekttap.
- Motoren går nå som om den var koblet direkte til nettet.

Stopp (Soft Stop – valgfritt)

- Hvis aktivert, reduserer softstarteren spenningen gradvis ved stopp.
- Dette er spesielt nyttig for pumper, da det forhindrer vannslag og rørskader.

Ekstra funksjoner i PSE-serien:

- Justerbar start- og stopprampe – Gir fleksibilitet til ulike motorlaster.
- Strømbegrensning – Hindrer at motoren trekker for høy strøm under start.
- Integrert motorvern – Overstrømsbeskyttelse, fasefeil-deteksjon og termisk vern.
- Understrøm/tørrkjøringsbeskyttelse, låst-rotor-overvåking under drift.
- Justerbar trippklasse 10–20–30.
- Kickstart for løsriving (f.eks. tilstoppet pumpe).
- Analog utgang (4 – 20 mA for strømtrekk).
- Innebygd Modbus RTU.
- Momentkontroll for «soft filling» av rør.
- Kontrollert stopp av pumper for å unngå trykkstøt.
- Kompatibel med PLS – Støtte for Modbus RTU for integrering i industrielle systemer.

Typiske bruksområder for ABB PSE-softstartere:

- Pumper (hindrer trykkstøt og vannslag)
- Vifter og kompressorer
- Transportbånd (forhindrer brå bevegelser og slitasje)
- HVAC-systemer

Hva er HVAC-systemer?

HVAC står for Heating, Ventilation, and Air Conditioning – på norsk oppvarming, ventilasjon og klimaanlegg. Dette er systemer som brukes for å regulere temperatur, luftfuktighet og luftkvalitet i innredninger.

Σ

OPPSUMMERT

ABB PSE-serien gir en pålitelig og energieffektiv måte å starte motorer på, samtidig som den beskytter både motoren og det elektriske systemet. Med integrert motorvern, bypass-kontaktor og kommunikasjon er den en kostnadseffektiv løsning for mange industrielle applikasjoner.

PSE har tyristorer i 2 faser - den tredje fasen er direktekoblet. Dette gir en kompakt og effektiv mykstarter. Den har avansert algoritme som sørger for problemløs start og stopp av alle slags applikasjoner.

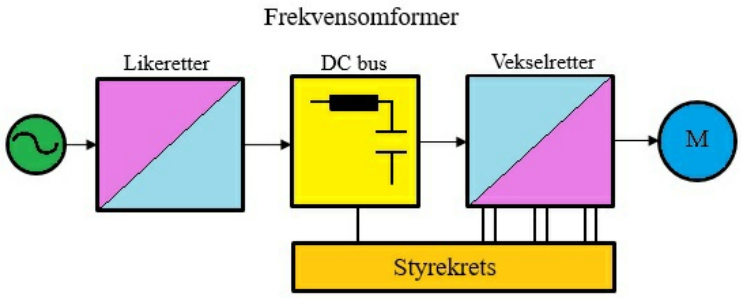
Frekvensomformer

FREKVENSOMFORMER

En frekvensomformer (også kalt VFD – Variable Frequency Drive) er en elektronisk enhet som styrer hastigheten på en elektrisk motor ved å regulere frekvensen og spenningen til motoren. Dette gjør det mulig å justere turtallet trinnløst, noe som gir energibesparelser, myk oppstart og bedre kontroll over motoren.

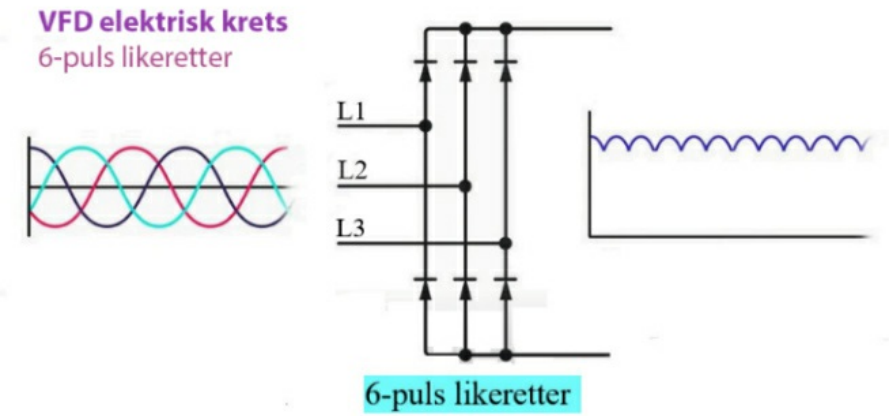
Oppbygning av en frekvensomformer

En frekvensomformer består av tre hoveddeler:



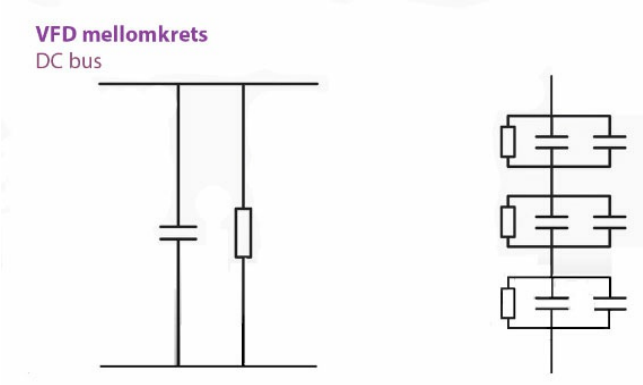
Likeretting (AC → DC).

- Nett tilkoblet vekselstrøm (AC 50/60 Hz) blir først likeretting til likespenning (DC) ved hjelp av en diodebro eller tyristorer.
- En kondensatorbank glatter ut spenningen for å gi en stabil DC-buss.



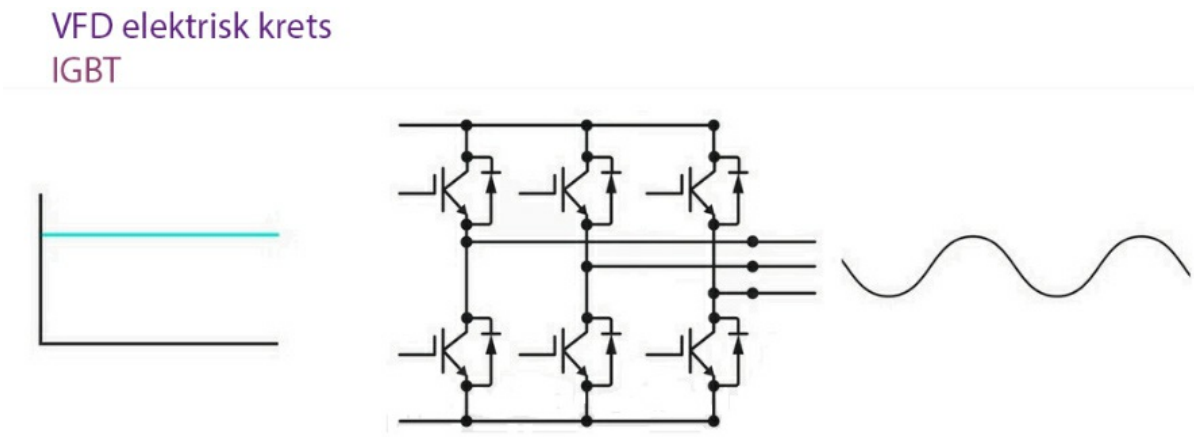
Mellomkrets (DC-buss)

- DC-bussen fungerer som et energilager.
- Store kondensatorer sørger for at spenningen er stabil og filtrerer ut uønskede variasjoner.



Inverter (DC → AC med variabel frekvens).

- IGBT-transistorer (Insulated Gate Bipolar Transistors) omdanner DC tilbake til AC med justerbar frekvens og spenning.
- Dette skjer gjennom en teknikk kalt PWM (Pulsbredde-modulasjon), som skaper en tilnærmet sinusformet utgangsspenning.



Hvordan fungerer en frekvensomformer?

Justering av frekvens og spenning.

- Motorens hastighet er proporsjonal med frekvensen:

> $n = \frac{f*60}{p}$
> hvor **n** = hastighet (RPM), **f** = frekvens (Hz) og **p** = antall polpar i motoren.

- Ved å redusere frekvensen, reduseres motorhastigheten.

Myk start og stopp.

- I stedet for en brå start med høy startstrøm, øker frekvensomformeren gradvis spenning og frekvens (ramp-up).

- Ved stopp kan hastigheten reduseres gradvis (ramp-down), noe som forhindrer mekanisk slitasje.

Moment- og effektstyring.

- Mange frekvensomformere har funksjoner for å justere moment basert på lastens behov.
- Ved lav belastning kan frekvensomformeren senke effekten for å spare energi.

Regenerativ drift (Valgfritt).

- Noen avanserte frekvensomformere kan tilbakeføre energi til strømnettet, noe som er nyttig i f.eks. heiser eller kraner.

Fordeler med frekvensomformer.

- Energibesparelse – Reduserer strømforbruk ved å tilpasse motorhastigheten.
- Myk start/stopp – Forhindrer høye startstrømmer og mekanisk slitasje.
- Presis hastighetskontroll – Viktig for prosesser som krever variabel motorhastighet.
- Redusert mekanisk slitasje – Gir jevnere drift og lengre levetid på motor og girsystem.
- Mulighet for fjernstyring – Kan integreres i industrielle styringssystemer via PLC, Modbus, Profibus etc.

Typiske bruksområder for frekvensomformere.

- Pumper (regulering av vanntrykk, energisparing).
- Vifter (behovsstyrt luftstrøm i ventilasjonssystemer).
- Transportbånd (justerbar hastighet for produksjonslinjer).
- Heiser og kraner (nøyaktig hastighetskontroll og regenerativ bremsing).
- Kompressorer (tilpasset drift for å spare energi).
- Thrustere om bord i skip.

Σ

OPPSUMMERT

En frekvensomformer styrer en motors hastighet ved å variere frekvensen og spenningen som tilføres motoren. Dette gir bedre kontroll, lavere energiforbruk og lengre levetid på utstyret.



bilde K59

Et utvalg av frekvensomformere fra ABB.

Autotransformator

AUTOTRANSFORMATOR

En autotransformator som motorstarter brukes for å redusere startstrømmen til en asynkronmotor (vanligvis en trefasemotor). Dette gjøres ved å starte motoren med en lavere spenning, noe som reduserer startstrømmen og mekaniske belastninger på systemet.

Autotransformator som motorstarter

Når en asynkronmotor startes direkte fra nettet (direkte start), kan startstrømmen være 4–7 ganger høyere enn merkestrømmen. Dette kan føre til spenningsfall i nettet og mekaniske påkjenninger på motoren og koblingene.

Autotransformatorstart reduserer startstrømmen ved å tilføre motoren en redusert spenning i startfasen. Dette skjer i tre trinn:

1. Startfase (lavere spenning via autotransformator).
   - Motoren tilkobles en lavere spenning (f.eks. 50%, 65% eller 80% av nettspenningen).
   - Redusert spenning gir lavere startstrøm og lavere startmoment.
   - Strømmen tilføres via autotransformatorens tappepunkter.

2. Overgangsfase (kobling til full spenning).
   - Etter en kort tidsperiode (f.eks. noen sekunder) kobles motoren gradvis over til full nettspenning.
   - Autotransformatoren frakobles fra kretsen.

3. Driftsfase (full spenning direkte fra nettet).
   - Motoren går nå på full spenning, og autotransformatoren er helt ute av kretsen.

Fordeler med autotransformatorstart:

- Lavere startstrøm → Beskytter strømnettet mot spenningsfall.
- Høyere startmoment enn Y/D-start (stjerne-delta start) → Viktig for tunge laster.
- Kan tilpasses forskjellige startspenningsnivåer (50%, 65%, 80% av nettspenning).

Ulemper

- Mer komplisert og dyrere enn direkte start og Y/D-start.
- Tar mer plass enn elektroniske startere som frekvensomformere.

Hvor brukes autotransformatorstart?

- Store trefasemotorer med høy startstrøm (f.eks. > 10 kW).
- Kompressorer, pumper, vifter og andre tunge maskiner
- I industrianlegg der nettspenningen må stabiliseres under oppstart.

Autotransformatorstarteren er en mellomløsning mellom enkel Y/D-start og mer avanserte frekvensomformere og brukes ofte når høyere startmoment er nødvendig.



PLS (Programmerbar Logisk Styring)

PLS (PROGRAMMERBAR LOGISK STYRING)

En PLS (Programmerbar Logisk Styring, eller PLC – Programmable Logic Controller) er en industriell datamaskin som brukes til å automatisere maskiner og prosesser i industri, skipsfart, energianlegg og andre automatiseringssystemer.

1. Oppbygging av en PLS.

En PLS består av flere hovedkomponenter:

- CPU (Prosessorenhet) – Hjernene i systemet, som behandler logikk og kjører programmet.
- Inngangsmoduler – Tar imot signaler fra sensorer, brytere og andre enheter.
- Utgangsmoduler – Styrer motorer, ventiler, releer og andre aktuatorer.
- Strømforsyning – Gir stabil strøm til PLS-en, ofte 24V DC eller 230V AC.
- Kommunikasjonsporter – Brukes til å koble til HMI (operatørpaneler), SCADA-systemer eller andre PLS-er via nettverk (f.eks. Ethernet, Modbus, Profibus).
- Minne (RAM/ROM/EEPROM) – Lagrer programmet og prosessdata.

2. Virkemåte til en PLS.

PLS-en følger en syklisk prosess kalt scan cycle, som gjentar seg kontinuerlig:

A) Innhenting av inngangssignaler.

- PLS'en leser signaler fra sensorer, brytere, temperaturmålere, fotoceller osv.
- Inngangene kan være digitale (av/på, 0/1) eller analoge, (varierende verdier, f.eks. 4 - 20 mA eller 0 - 10 V).

B) Behandling i CPU (programutførelse).

- CPU'en tolker inngangssignalene og kjører det programmerte logiske styringssystemet.
- Programmering gjøres i Ladder Logic (LD), Structured Text (ST), Funksjonsblokker (FBD) eller Sekvensiell Funksjonsgraf (SFC).
- Programmet styrer hvordan utgangene skal reagere basert på inngangene.

C) Oppdatering av utgangssignaler.

- Etter at CPU'en har kjørt programmet, aktiverer eller deaktiverer den utgangene.
- Dette kan f.eks. starte en motor, åpne en ventil eller slå på et varsellys.

D) Kommunikasjon og overvåking.

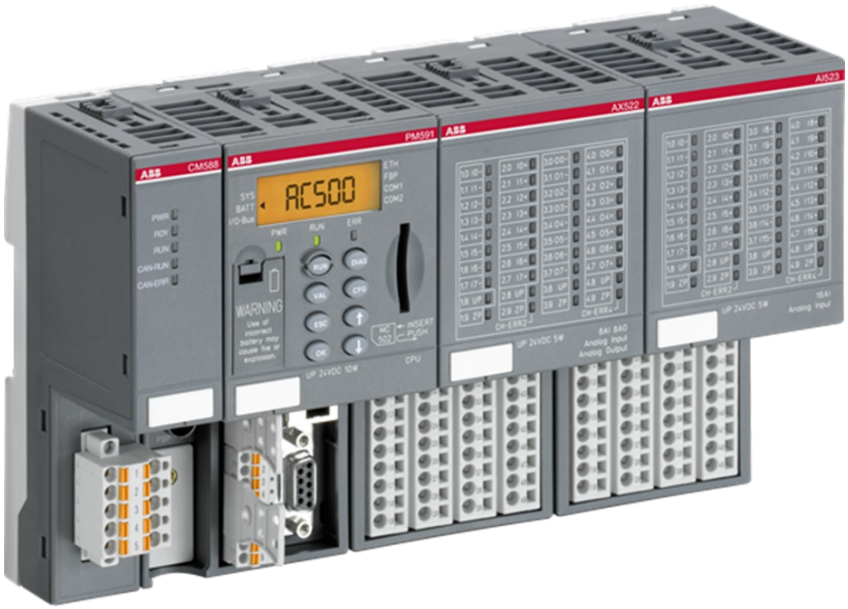
- PLS-en sender data til operatørpaneler (HMI) eller SCADA-systemer for overvåking og kontroll.
- Den kan også utveksle data med andre PLS-er i et nettverk.

3. Eksempel på bruk av en PLS i et system.

- Skip: Ballastsystem – PLS-en overvåker tanknivåer og styrer pumper for å balansere skipet.
- Industri: Produksjonslinje – PLS styrer transportbånd, roboter og sensorer for å optimalisere produksjonen.
- Energianlegg: Generatorstyring – PLS regulerer spenning, frekvens og belastning på generatorer.

PLS-er er robuste, pålitelige og designet for å fungere i krevende miljøer med høy driftssikkerhet.

Bildet under viser en PLS AC 500 fra ABB.



PLS AC 500 fra ABB.

Hovedstrømskjema til en direktestartet motor

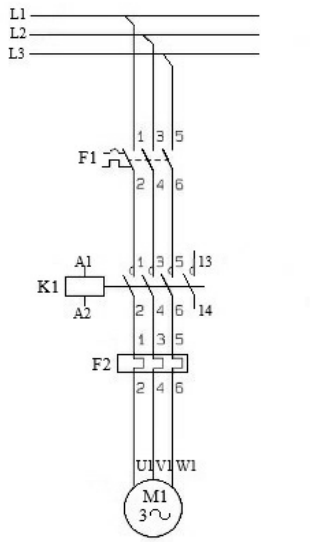
HOVEDSTRØMSKJEMA TIL EN DIREKTESTARTET MOTOR

Et hovedstrømskjema er en elektrisk tegning som viser hvordan strømforsyningen og hovedstrømmen flyter gjennom et elektrisk anlegg. Det brukes primært i installasjoner som motorstyring, tavler, og kraftdistribusjon.

Hovedstrømskjema skal inneholde:

- Strømforsyning – Hvor strømmen kommer fra (f.eks. 230V eller 400V).
- Sikringsvern – Beskyttelse av komponenter mot overbelastning (sikringer, effektbrytere).
- Hovedkontaktorer og reléer – Brytere som styrer store laster.
- Motorer eller andre belastninger – Sluttbrukerenhetene som drives av strømmen.
- Jording og sikkerhet – Hvordan systemet er koblet for sikker drift.

Her er et enkelt hovedstrømskjema for en motorstyring med en 3-faset motor, sikringer og kontaktor.



Enkelt hovedstrømskjema for en motorstyring med en 3-faset motor, sikringer og kontaktor

Komponenter

- 3-faset strømforsyning (L1, L2, L3).
- Sikringsvern (F1) – Beskytter mot kortslutning.
- Kontaktor (K1) – Styrer motoren via et styresignal.
- Termisk vern (F2 / motorvernrelé) – Beskytter motoren mot overbelastning.
- 3-faset motor (M1).

Styrestrømskjema til en direktestartet motor.

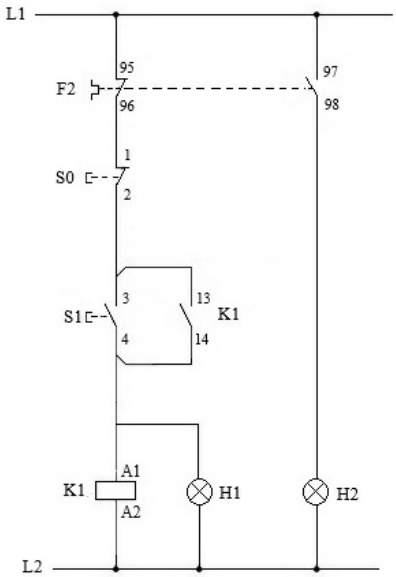
Et styrestrømskjema viser hvordan en elektrisk krets kontrollerer en større last, som en motor eller en lampe, ved hjelp av brytere, reléer og kontaktorer. Det bruker lavere strøm og spenning enn hovedstrøms kretsen for å sikre trygg styring og automasjon.

Styrestrømskjema for motorstyring med start/stopp-knapper.

Komponenter

- F2 = Termisk motorvernrelé (95–96 og 97–98).
- S0 = Stopp-knapp (NC = normalt lukket).
- S1 = Start-knapp (NO = normalt åpen).
- K1 = Kontaktor (styrer hovedstrøms kretsen).
- K1 NO = Holdekontakt (selvhold).
- H1 = Driftslys.
- H2 = Feil lys.

Under er et enkelt styrestrømskjema til direktestart av en motor.



Hvordan fungerer dette?

1. Trykk på Start-knappen (S1):
   - Strøm går til kontaktoren (K1), som aktiveres og kobler motoren til hovedstrømmen.
   - Holdekontakten (K1 NO) lukker, slik at K1 forblir aktiv selv etter at S2 slippes.

2. Motoren er nå på.
   - Den vil forbli på til en annen kommando gis.

3. Trykk på Stopp-knappen (S0):
   - Kretsen til K1 brytes, og kontaktoren slipper.
   - Motoren stopper fordi hovedstrøms kretsen åpnes.

Vil vi ha et driftslys (H1) kan vi parallellkoble det over spolen på kontaktoren (A1-A2).

Fra L1 kan vi og gå til 97–98 på motorvernet og videre til ei lampe (H2) og videre til L2.

Da får vi et lys som viser at motorvernet har koblet ut.

Hvorfor brukes styrestrømskjemaer?

Sikkerhet – Lavspenningskontroll forhindrer farlige situasjoner.
Automatisering – Brukes i skip, industri, maskiner og smarthus.
Enkel feilsøking – Logisk oppsett gjør det lett å forstå feil i kretsen.

Forskjellen mellom hovedstrømskjema og styrestrømskjema.

Hovedstrømskjema	Styrestrømskjema
Viser hvordan kraftstrømmen flyter	Viser hvordan kretsen styres
Inneholder sikringer, kontaktorer og last (motor, lys)	Inneholder trykknapper, reléer og kontrollutstyr
Bruker høyere spenning (230V/400V)	Bruker ofte lavere spenning (24V/230V)
Viktig for energifordeling	Viktig for automasjon og styring

Dreieretningsvender

DREIERETNINGSVENDER

En dreieretningsvender brukes til å bytte mellom to faser, noe som endrer rotasjonsretningen til motoren. Dette gjelder for vekselstrømsmotorer (AC) og likestrøms motorer (DC).

For en 3-fase-vekselstrømsmotor (AC-motor)

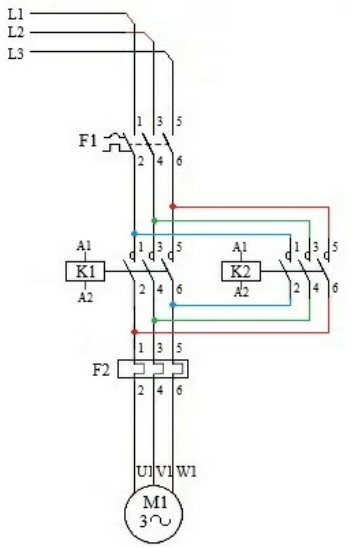
En trefasemotor endrer retning når to av fasene bytter plass. En dreieretningsvender kobler om slik at:

- I én posisjon går fasene inn normalt (L1, L2, L3 → U, V, W).
- I den andre posisjonen byttes to faser (L3, L2, L1 → U, V, W), noe som får motoren til å rotere motsatt vei.

Sikkerhet

For å unngå kortslutning må bryteren være utformet slik at den ikke kobler sammen fasene under omkobling. Vi legger inn forriglinger i styrestrømmen.

Hovedstrømskjema dreieretningsvender.



Styrestrøm dreieretningsvender

1. Komponenter i styrestrømkretsen.

- Styrestrømsikring (for å slå av/på systemet).
- To kontaktorer (K1 og K2) (en for forover, en for revers).
- Termisk motorvern (beskytter mot overbelastning).
- Trykknapper (to for start og en for stopp av motor).
- Mekanisk sperre mellom kontaktorene (hindrer at begge aktiveres samtidig).

2. Prinsippskjema for styrestrømkretsen.

- Foroverdrift: Når du trykker på forover-knappen (S1), aktiveres K1, som kobler motoren til normal fase.
- Bakover drift: Når du trykker på revers-knappen (S2), aktiveres K2, som bytter to av fasene og reverserer motoren.
- Stoppknapp (S0) bryter styrestrømmen og stopper motoren.
- En elektrisk sperre sørger for at K1 og K2 ikke aktiveres samtidig, for å unngå kortslutning.

3. Funksjon i praksis.

1. Forover:
   - S1 (forover-knapp) trykkes → K1 aktiveres → Motoren går forover.

2. Bakover:
   - S2 (revers-knapp) trykkes → K2 aktiveres → Motoren roterer motsatt vei.

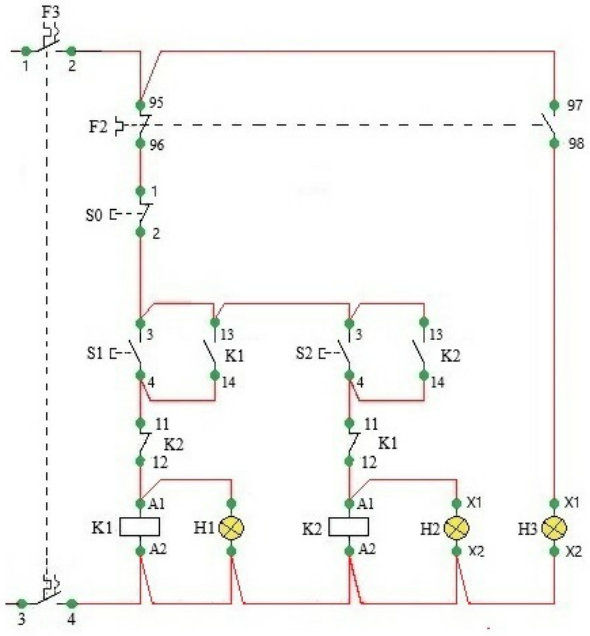
3. Stopp:
   - S0 (stopp-knapp) bryter kretsen → Motoren stopper.

4. Sikkerhetstiltak.
   - Termisk motorvern: Beskytter motoren mot overbelastning.
   - Mekanisk sperre: Hindrer at begge kontaktorene trekker inn samtidig.

HER HAR JEG VALGT Å TEGNE INN LITT MER ENN NORMALT.

- Alle styrestrøms ledningene har jeg tegna røde.
- Alle tilkoblings skruene har jeg merket med grønt.
- Komponentene er svarte (brytere, kontaktorer og kontakter)

Jeg gjorde dette fordi noen studenter hadde problemer med å skille mellom komponenter og ledninger under praktisk kobling.



Direkte start med to hastigheter, to forskjellige viklinger

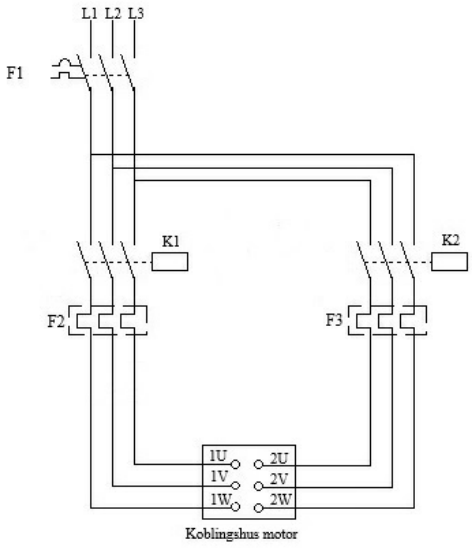
Når en motor har to separate viklingssett, betyr det at den kan ha to uavhengige hastigheter. Dette skiller seg fra en Dahlander-kobling, fordi hvert viklingssett har et fast poltall, og man velger hvilket sett som skal være aktivt. Her er en forklaring på hvordan start-stopp-systemet fungerer i en slik motor.

Prinsippet bak to viklingssett.

En motor med to viklingssett har:

- To separate statorviklinger – én for lav hastighet og én for høy hastighet.
- To sett med hovedkontaktorer – én for hver vikling.
- To motorvern.
- Et styrestrømsystem som sikrer at bare én vikling kan være aktiv om gangen.

Hovedstrøm:

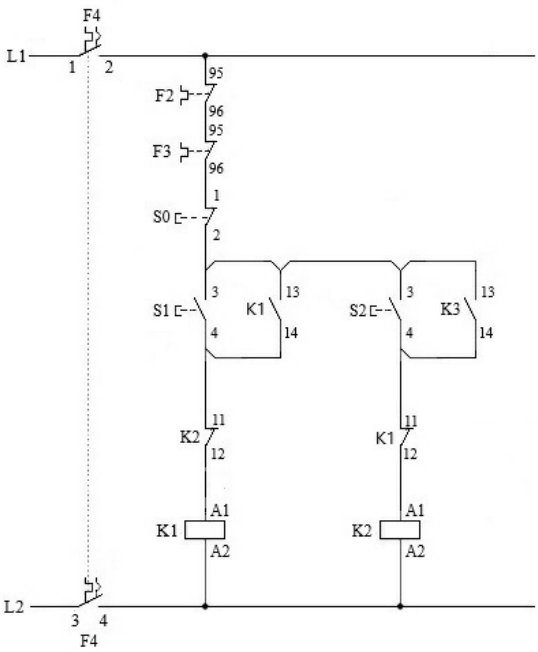


Styrestrøm:

Start-stopp-systemet.

Styrestrømmen brukes til å kontrollere hvilken vikling som aktiveres. Dette gjøres ved hjelp av:

- To startknapper (én for lav hastighet, én for høy hastighet)
- Én felles stoppknapp
- To hovedkontaktorer (K1 og K2) som kobler inn hver sin vikling
- Elektriske sperrekontakter som hindrer at begge viklingene er på samtidig
- To motorvern



Koblingslogikk

Start lav hastighet:

- Når knappen for lav hastighet trykkes, aktiveres K1.
- K1 kobler inn lavhastighetsviklingen.
- En hjelpkontakt på K1 sperrer for at K2 kan aktiveres samtidig.

Start høy hastighet:

- Når knappen for høy hastighet trykkes, aktiveres K2.
- K2 kobler inn høyhastighetsviklingen.
- En hjelpkontakt på K2 sperrer for at K1 kan aktiveres samtidig.

Stoppe motoren:

- Når stoppknappen trykkes, faller begge kontaktorer ut, og motoren stopper helt.

Sikkerhet og sperrefunksjoner.

For å hindre at begge viklinger er aktive samtidig (noe som kan føre til kortslutning eller skade), brukes:

- Elektriske sperrekontakter (hjelpkontakter på K1 og K2) som fysisk hindrer samtidig aktivering.
- Termisk vern (overbelastningsvern) som beskytter motoren mot overbelastning.

Σ

OPPSUMMERING

- En motor med to viklingssett har separate viklinger for lav og høy hastighet.
- To kontaktorer (K1 og K2) styrer hver sin vikling.
- Elektriske sperrer sikrer at bare én vikling er aktiv om gangen.
- Felles stoppknapp bryter hele systemet.

Motor med Dahlander viklinger

MOTOR MED DAHLANDER VIKLINGER

En Dahlander-motor er en asynkron 3-faset vekselstrømsmotor med en spesiell viklingskonfigurasjon som gjør det mulig å endre hastigheten ved å koble om statorviklingene. Denne typen motor brukes ofte når det er behov for to forskjellige hastigheter uten bruk av en frekvensomformer.

Den er oppkalt etter den svenske ingeniøren Robert Dahlander, som utviklet prinsippet.

En Dahlander-motor har én statorvikling, men den kan kobles om på forskjellige måter for å endre antall polpar, og dermed hastigheten. Dette skjer ved hjelp av en polomkoblingsmetode, som gir følgende effekter:

Seriekobling (Dobbelt antall poler, lav hastighet)

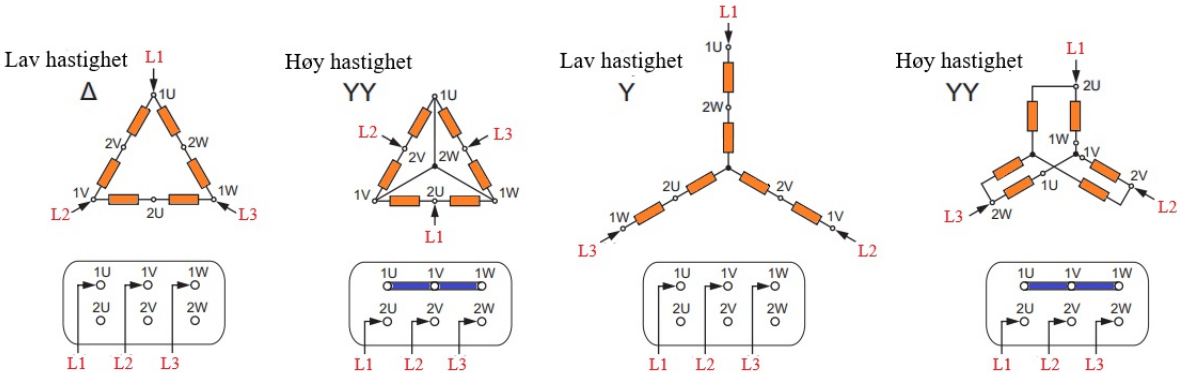
- Strømmen går gjennom hele viklingen.
- Gir lavere turtall (nominelt f.eks. 750 RPM).

Parallellkobling (Halvert antall poler, høy hastighet)

- Viklingene kobles om for å gi færre polpar.
- Gir høyere turtall (f.eks. 1500 RPM).

To forskjellige måter å koble på:

> Δ/YY eller Y/YY



Eksempel på polforhold:

- 2/4 poler → 3000/1500 RPM (50 Hz)
- 4/8 poler → 1500/750 RPM (50 Hz)
- 6/12 poler → 1000/500 RPM (50 Hz)

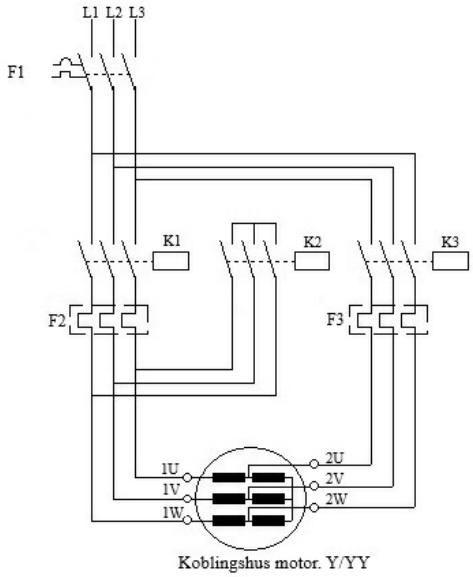
Fordeler med Dahlander-motorer:

> Enkel hastighetsregulering – Ingen frekvensomformer nødvendig.
> Høy effektivitet – Lite effekttap i viklingene.
> Enkelt elektrisk oppsett – Bruker et kontaktorsystem for omkobling.
> Brukes i skip, industri og HVAC – Vanlig i vifter, pumper og dreiebenker.

Typiske bruksområder:

> Vifter og pumper – Justerer luftstrøm eller væskestrøm uten frekvensomformer.
> Maskinverktøy – For hastighetskontroll i motorer som driver båndsager og dreiebenker.
> Heiser og kraner – Der to-trinns hastighet er nødvendig.
> Sceneteknikk – Brukes i teater og konsertutstyr for kontrollert bevegelse.

Hovedstrøm Dahlander kobling Y/YY.



Koblingshus motor. Y/YY

Styrestrøm Dahlander kobling.

Dahlander-koblingen fungerer ved å endre hvordan statorviklingene er koblet, noe som påvirker motorens poltall. Typisk gjelder:

- Lav hastighet (Δ-kobling, f.eks. 1400 o/min): Motorviklingene kobles i serie, noe som gir dobbelt så mange poler og dermed lavere hastighet.
- Høy hastighet (YY-kobling, f.eks. 2800 o/min): Motorviklingene kobles i parallell, noe som gir færre poler og dermed høyere hastighet.

Dette kan gjøres ved hjelp av tre kontaktorer, der én gir lav hastighet, og dei to andre gir høy hastighet.

Styrestrømmen brukes til å kontrollere kontaktorene som styrer hovedstrømmen. En typisk styrestrømkrets består av:

- Startknapp (lav hastighet)
- Startknapp (høy hastighet)
- Stoppknapp
- Tre kontaktorer (K1 for lav hastighet, K2 og K3 for høy hastighet)
- Mekaniske og elektriske sperrer (slik at begge hastigheter ikke kan være aktive samtidig)

Koblingslogikk

Lav hastighet aktiveres:

- Når lavhastighetsknappen trykkes, aktiveres kontaktor K1.
- K1 kobler motoren i Δ-konfigurasjon (serie), noe som gir lav hastighet.
- En hjelpkontakt på K1 sperrer for aktivering av høy hastighet samtidig.

Høy hastighet aktiveres:

- Når høyhastighetsknappen trykkes, deaktiveres K1. K2 og K3 aktiveres.
- K2 og K3 kobler motoren i YY-konfigurasjon (parallell), noe som gir høyere hastighet.
- En hjelpkontakt på K2 og en på K3 sperrer for aktivering av lav hastighet samtidig.

Stoppe motoren:

- Når stoppsignalet gis, slippes begge kontaktorer, og motoren stopper.

Sikkerhet og sperrefunksjoner.

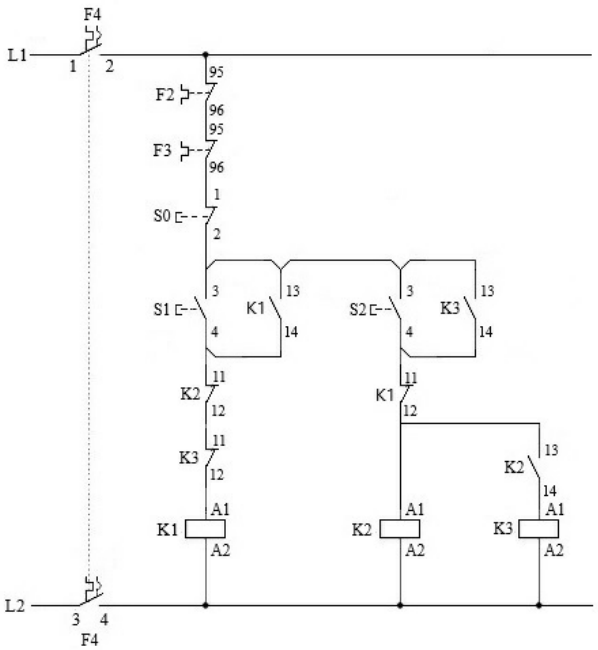
For å sikre at motoren ikke får begge koblinger samtidig (som kan føre til kortslutning eller skade), brukes:

- Elektriske sperrekontakter (hjelpkontakter på K1, K2 og K3) som forhindrer at begge hastighetene kan være aktive samtidig.
- Termisk vern (overbelastningsvern) for å beskytte motoren mot overbelastning.

Σ

OPPSUMMERING

Styrestrømmen i en Dahlander-koblet motor brukes til å aktivere tre forskjellige kontaktorer, som enten kobler motorviklingene i serie (Y) (lav hastighet) eller parallell (YY) (høy hastighet). Elektriske og mekaniske sperrer sørger for sikker drift og hindrer feilaktig samtidig aktivering.



Luft kompressor

Dette er et enkelt koblingsskjema for en luftkompressor, der vi har en avlastningsventil som er åpen noen sekunder under start.

En avlastningsventil (også kalt utløsningsventil eller trykkavlastningsventil) på en luftkompressor har flere viktige funksjoner, primært for å beskytte systemet og sikre effektiv drift.

Hovedfunksjoner til avlastningsventilen

Redusere startmotstand (for en stempelkompressor)

- Når en kompressor stopper, kan det fortsatt være trykk i sylinderen og rørledningene.
- Hvis motoren forsøker å starte mot dette trykket, krever det mye strøm og kan føre til overbelastning eller oppstarts vansker.
- Avlastningsventilen slipper ut trykket fra sylinderen, slik at motoren kan starte uten motstand.

Beskytte systemet mot overtrykk

- Dersom trykkbryteren eller andre sikkerhetsmekanismer svikter, kan trykket bli for høyt.
- Avlastningsventilen vil da slippe ut luft for å hindre skade på kompressoren eller luftsystemet.

Forlenge levetiden til kompressoren

- Ved å redusere belastningen på motoren under oppstart, unngår man unødig slitasje.
- Dette bidrar til lengre levetid for både motor og kompressor.

Hvordan fungerer avlastningsventilen?

- Når kompressoren stopper, åpner en elektrisk eller mekanisk ventil som slipper ut trykket fra sylinderen.
- Når kompressoren starter igjen, lukkes ventilen automatisk for å bygge opp trykk.
- På enkelte modeller er avlastningsventilen integrert i trykkbryteren.

Hvor finner du avlastningsventilen?

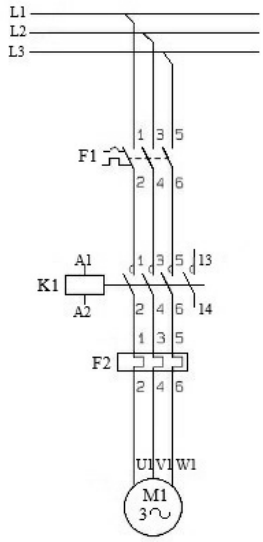
- Vanligvis montert på trykkbryteren eller i nærheten av kompressorens sylindertopp.
- På større kompressorer kan den være koblet til et elektromagnetisk system.

Σ

OPPSUMMERING

- Lettere oppstart – Fjerner trykk fra sylinderen, slik at motoren starter uten unødvendig belastning.
- Beskytter mot overtrykk – Hindrer skader på kompressor og rørnett.
- Øker levetiden – Mindre belastning på motor og komponenter.

Hovedstrømskjema luftkompressor:



Styrestrømskjema luftkompressor.

En luftkompressor trenger et styresystem for å:

- Starte og stoppe motoren automatisk basert på trykk.
- Avlaste trykket fra sylinderen ved stopp for enkel oppstart.
- Beskytte motoren mot overbelastning.

Hovedkomponenter i styrestrøms kretsen:

- Trykkbryter (P) – Starter og stopper kompressoren avhengig av trykknivå.
- Start- og stoppknapper (S0, S1) – For manuell betjening.
- Hovedkontaktor (K1) – Kobler inn motoren.
- Tidsrele (D2) – forsinka ut, holder strøm på magnetventilen ved manuell stopp.
- Termisk vern (F2) – Beskytter motoren mot overbelastning.
- Avlastningsventil (Y1) – Slipper ut trykk fra sylinderen ved stopp.

Forklaring av kretsen.

1. Start prosess:
   - Når S1 (startknappen) trykkes, aktiveres D1 (hjelperelé) og holder seg inne via sin egen hjelpkontakt 13–14. Hjelpekontakten 23–24 på D1 vil legge inn K1. D2 vil få strøm og vil aktivere kontakta si (17–18).
   - Motoren starter, og kompressoren begynner å bygge trykk.

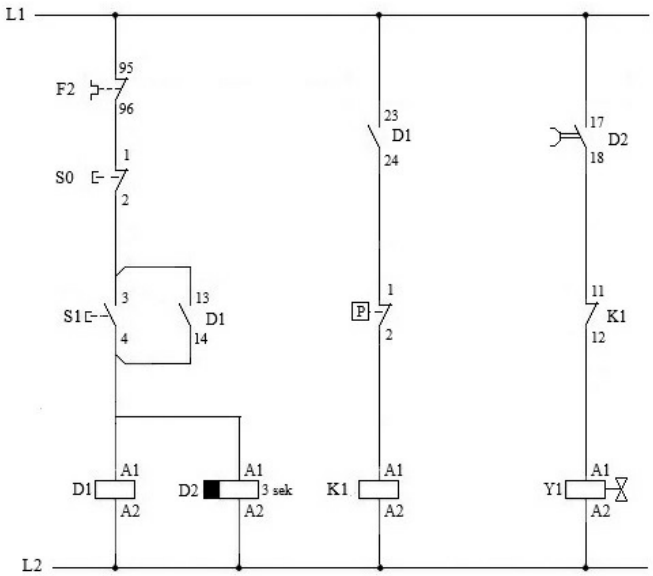
2. Trykkbryterkontroll:
   - Når systemet når øvre trykkgrense, åpner P (trykkbryteren) og kutter strømmen til K1.
   - Dette stopper motoren og aktiverer hjelpekontakten 11–12 på K1 som aktiverer Y1 (avlastningsventilen) og slipper ut resttrykket i sylinderen.

3. Automatisk restart:
   - Når trykket synker under nedre trykkgrense, lukker P, og kompressoren starter automatisk igjen.
   - Y1 stenges, slik at systemet kan bygge opp trykk på nytt.

4. Manuell stopp:
   - Trykkes S2 (stoppknappen), kuttes strømmen til D1, K1 og D2, motoren stopper. D2 vil holde kontakten sin lukket til innstilt tid (3 sek), da vil den åpne.
   - Avlastningsventilen Y1 vil da ha 3 sek på å slippe ut trykk for å lette neste oppstart.

Sikkerhetstiltak

- Termisk vern (F1) – Hindrer overbelastning.
- Trykkbryter (P1) – Stopper motoren ved for høyt trykk.
- Avlastningsventil (Y1) – Hindrer hard oppstart.
- Selvhold i D1 – Sørger for kontinuerlig drift til stopp er nødvendig.



Stjerne trekant start

En kortslutningsmotor tar ca. 5–7 ganger merkestrømmen i startøyeblikket ved direkte start. Den høye startstrømmen kan forårsake sterke strømstøt i svake anlegg eller nett, dermed følgende sterke spenningsfall. Ombord i skip har vi svake nett, og derfor er det viktig å unngå spenningsfall på nettet. Motorer som er større enn ca. 3 kW bør derfor ha en anordning som begrenser strømmen i startøyeblikket. Den enkleste måten er å bruke stjerne/trekantstart.

Vanligvis så føres alle seks endene til motorviklingen frem til klemmebrettet. Når dette gjøres så er det lett og kople om fra stjerne til trekant.
Ved igangsetning blir statorviklingen koplet i stjerne, hvilket har samme virkning som om motoren påtrykkes ca. 58 % av den normale nettspenningen. Ved stjernekopling får nemlig hver fase $1/\sqrt{3}$ av nettspenningen.

Startstrømmen synker nå til en tredjedel av hva den ville være ved trekantkopling med samme nettspenning. Det samme kan vi si om momentet det vil også synke til en tredjedel i stjerne. Omkoplingen fra stjerne til trekant bør ikke skje før turtallet har kommet opp i over 80 prosent av nominelt turtall. Dersom omkoplingen skjer for tidlig får vi et høyt strømstøt som kan være uheldig for svake nett.

Stjerne/trekantstart brukes kun der hvor man har lettstartede motorer dvs. at lastmomentet ikke må overskride motorens moment i stjernekopling.

Hvordan plassere overstrømsvernet.

Ved stjerne/trekantstart er det viktig at overstrømsvernet beskytter motoren både i stjernekjøring og trekantkjøring, og da skal det termiske vernet plasseres i fasetilledningene. Ved denne plasseringen så får motoren beskyttelse både ved stjernekobling og trekantkobling.

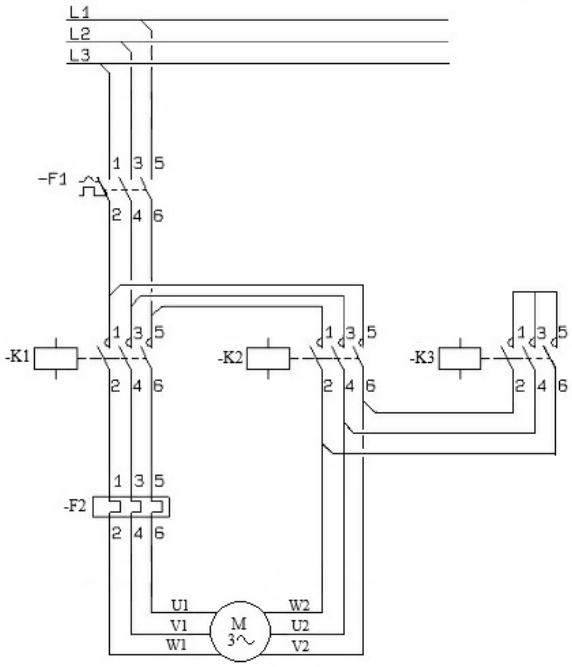
- OVERSTRØMSVERN generelt se NEK 410 A-202 (2021)
- VERN FOR MOTORER NEK 410A
- VERN FOR STYREMASKINMOTORER NEK 410A

En stjerne-trekant starter brukes for å redusere startstrømmen i en asynkronmotor**.** Motoren starter i stjernekobling for lavere startstrøm og skifter til trekantkobling når den når nominell hastighet.

Hovedstrøms krets (håndterer kraften til motoren).

- 3-fase tilførsel (L1, L2, L3)
- Sikringsvern (F1) – Beskytter mot kortslutning
- Hovedkontaktorer:
  - K1 (Hovedkontakt) – Kobler inn motoren
  - K2 (Trekantkontakt) – Kobler motoren om til trekant
  - K3 (Stjernekontaktor) – Starter motoren i stjerne
- Termisk vern (F2) – Beskytter mot overbelastning
- Motor (M1)

Hovedstrøms tegning for stjerne – trekant starter:



Styrestrøm stjerne – trekant vender:

Komponenter

- S1 – Startknapp (N.O. – Normally Open)
- S2 – Stoppknapp (N.C. – Normally Closed)
- K1 – Hovedkontaktoren
- K2 – Trekantkontakt
- K3 – Stjernekontaktor
- D1 – Tidsrelé (styrer overgangen fra stjerne til trekant)

Startprosessen
S1 (Startknappen) trykkes, og K1 (Hovedkontaktoren) aktiveres.
K1 kobler inn K3 (Stjernekontaktoren), motoren starter i stjernekobling.
D1 (Tidsrelé) teller ned (forhåndsinnstilt tid, f.eks. 5 sekunder).
Når D1 utløses, kobles K3 ut, og K2 (Trekantkontaktoren) aktiveres.
Motoren går nå i trekantkobling til den stoppes.

Stoppe motoren:

Når S2 (Stoppknappen) trykkes, faller K1, K2 og K3 ut, og motoren stopper.

Sperre- og sikkerhetsfunksjoner.

Elektrisk sperre mellom K2 og K3:

- K2 kan ikke aktiveres før K3 er utkoblet.
- Dette sikrer at motoren ikke går i feilkobling (både stjerne og trekant samtidig).

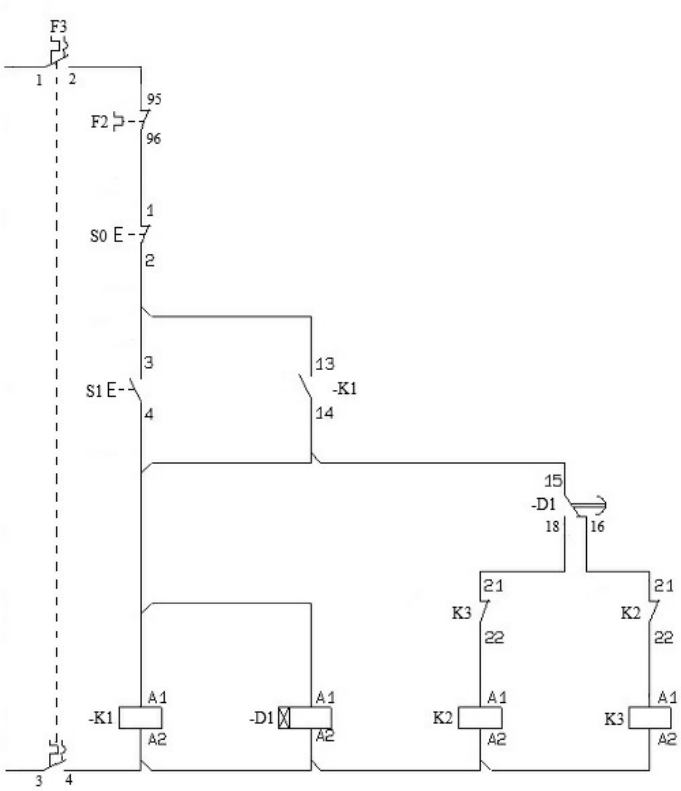
Termisk vern (F2):

- Bryter kretsen dersom motoren trekker for mye strøm.

Tidsforsinkelse (D1):

- Sørger for at motoren ikke kobles om til trekant for tidlig.

Styrestrøms tegning for stjerne – trekant vender:



Start-stopp-krets for motor med mykstarter (softstarter)

Koblingsmetoder for mykstartere.

Det finnes tre hovedmåter å koble en mykstarter til en motor: Inline-kobling, bypass-kontaktor og inside-the-delta-kobling. Hver metode har sine fordeler og ulemper, avhengig av motorens behov og oppsettet ditt. Å velge riktig metode er viktig for en stabil og effektiv drift.

Vanlige koblingsmetoder.

Metode 1: Inline-kobling

- Mykstarteren kobles direkte i serie med motoren, slik at all strømmen går gjennom den. Dette gir en jevn oppstart og reduserer slitasje på motoren.
- Passer godt for mindre motorer der enkel installasjon er viktig.
- Enkel å sette opp, men kan være mindre egnet for store motorer, da de krever mer strøm enn mykstarteren kan håndtere.

Metode 2: Bypass-kontaktor

- En bypass-kontaktor kobles inn i kretsen. Mykstarteren styrer oppstarten, men når motoren når full hastighet, tar kontaktoren over og kobler ut mykstarteren.
- Ideell for større motorer eller der energieffektivitet er viktig, siden mykstarteren ikke trenger å være aktiv hele tiden.
- Krever ekstra komponenter og er mer kompleks å installere, men kan redusere driftskostnader over tid.

Metode 3: Inside-the-Delta-kobling

- Mykstarteren kobles internt i motorens deltakobling (trekantkobling), slik at den håndterer en del av strømmen i stedet for hele belastningen. Dette gjør det mulig å bruke en mindre og rimeligere mykstarter.
- Passer godt for store motorer som krever mye kraft, men der kostnadsbesparelser er viktig.
- Den mest teknisk avanserte metoden. Krever god forståelse av trefasemotorer og kan være utfordrende for nybegynnere.

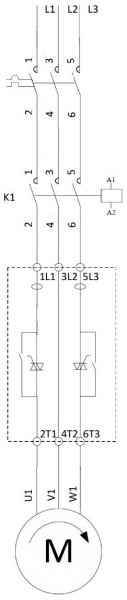
Hovedstrøms krets:

- L1, L2, L3 – 3-faset tilførsel.
- F1 – Sikringsvern (kortslutningsbeskyttelse).
- K1 – Hovedkontaktoren (kobler inn mykstarteren).
- MS1 – Mykstarter (Fabrikat ABB serie PSE).
- M1 – 3-fase asynkronmotor.

Hovedstrømskjema ABB Soft Starter PSE18.

- Når K1 aktiveres, får MS1 (mykstarteren) strøm.
- MS1 øker gradvis spenningen til motoren.
- Når motoren har full hastighet, aktiveres en intern bypass-kontaktor. Dette reduserer strømforbruket fordi mykstarteren ikke trenger å håndtere strømmen kontinuerlig.
- Ved stopp reduserer MS1 spenningen gradvis til motoren stopper.

Hovedstrømskjema ABB Soft Starter PSE18



Styrestrøms krets:

Styrespenning (Control Supply Voltage)

- PSE18 krever en ekstern styrespenning for å fungere (100 – 250 V).
- Typiske spenninger: 100–250V AC eller 24V AC/DC, avhengig av modell.
- Styrespenningen må være tilkoblet for at mykstarteren skal være aktiv.

Start- og stoppsignal

- Mykstarteren har inn- og utganger for styring:
  - Startsignal (DI1 – Digital Input 1) → Når et eksternt startrelé eller en bryter aktiverer dette inngangssignalet, begynner motoren å starte med en programmerbar startprofil.
- Stoppsignal (DI2 – Digital Input 2) → Stoppsignalet må være HØYT for at motoren skal gå, Når stoppsignalet brytes oppfatter mykstarteren det som en stopp-kommando. (ABB PSE og PSTX)
- Styresignaler kan komme fra en PLC, bryter eller annet styringssystem.

Integrert bypass-kontaktor

- Når motoren når full hastighet, aktiveres en intern bypass-kontaktor.
- Dette reduserer strømforbruket fordi mykstarteren ikke trenger å håndtere strømmen kontinuerlig.

Tilbakemelding og beskyttelse

- Statusutganger (DO – Digital Output):
  - Gir signal om drift, feil eller alarm til et eksternt system (f.eks. en PLS eller indikatorlampe).

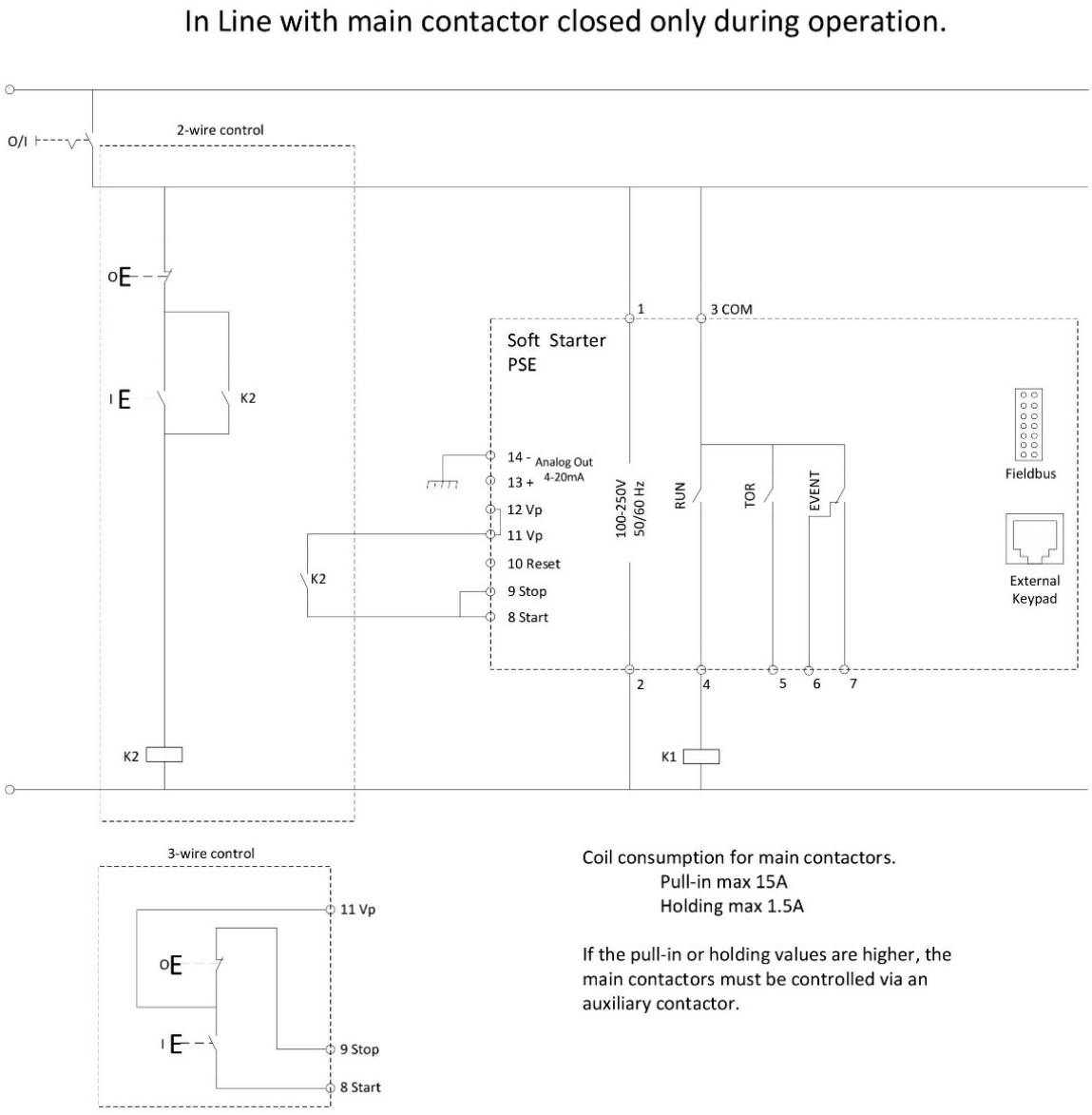
- Feilbeskyttelse:
  - Overstrøm, ubalanse, høy temperatur osv.
  - Mykstarteren kan stoppe motoren hvis en feil oppdages.

Forenklet koblingsoppsett:

Tilkoble styrespenning (100–250V AC eller 24V AC/DC).
Tilkoble start- og stoppsignal fra en PLS, bryter eller relé.
Koble mykstarterens utganger til motoren.
Programmere parametere (starttid, stopptid, strømbegrensning osv.).
Test systemet og overvåk driftstilstanden via statusutganger.

ABB Softstarter PSE18

Her ser en at en kan ha to måter å koble start-stopp.



Coil consumption for main contactors.
Pull-in max 15A
Holding max 1.5A

If the pull-in or holding values are higher, the main contactors must be controlled via an auxiliary contactor.

Start - stopp med frekvensomformer

Her er en oversikt over hoved- og styrestrømskjema for en frekvensomformer (VFD – Variable Frequency Drive), inkludert riktige forbindelser og komponenter.

Hovedstrømskjema

Komponentforklaring

- L1, L2, L3 – 3-faset tilførsel
- F1 – Sikringer (kortslutningsvern)
- K1 – Hovedkontaktoren (kobler inn frekvensomformeren)
- VFD – Frekvensomformer (regulerer frekvens og spenning)
- M1 – 3-fase asynkronmotor
- F2 – Termisk vern (overbelastningsbeskyttelse)

Hovedstrømmen går via frekvensomformeren (VFD), som styrer motorens hastighet ved å variere frekvens og spenning.

Styrestrømskjema

Styrestrøms kretsen styrer start, stopp og hastighet via VFD-innganger.

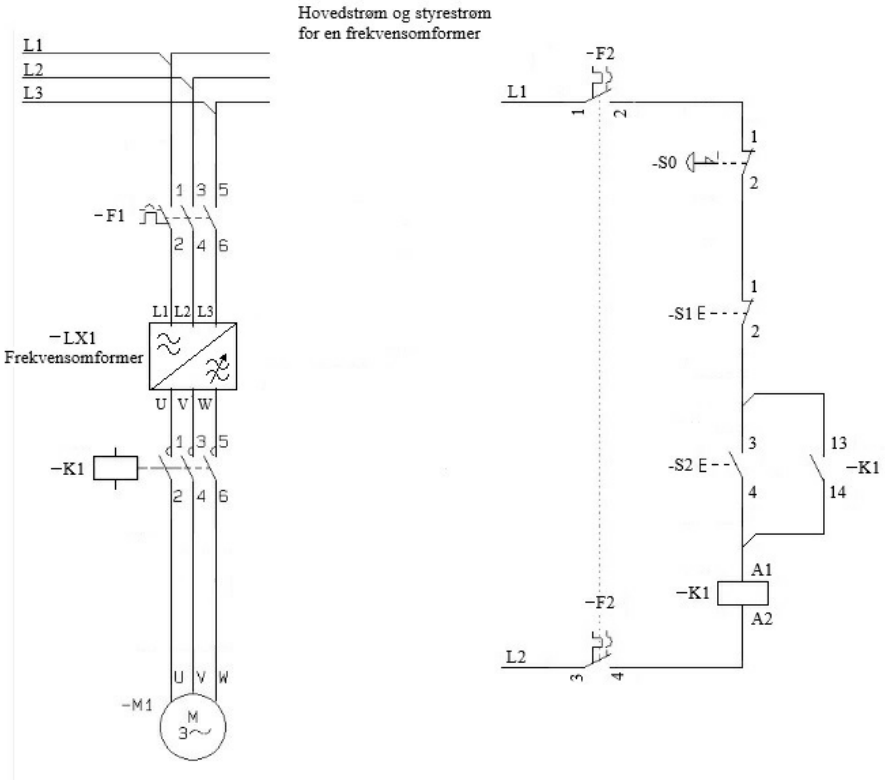
Komponentforklaring

- S1 – Startknapp (N.O. – Normally Open)
- S2 – Stoppknapp (N.C. – Normally Closed)
- VFD RUN – Digital inngang på VFD for start
- VFD STOP – Digital inngang på VFD for stopp
- K1 – Hovedkontaktoren (aktiverer VFD)
- Potensiometer (valgfritt) – Justerer frekvens (hastighet)

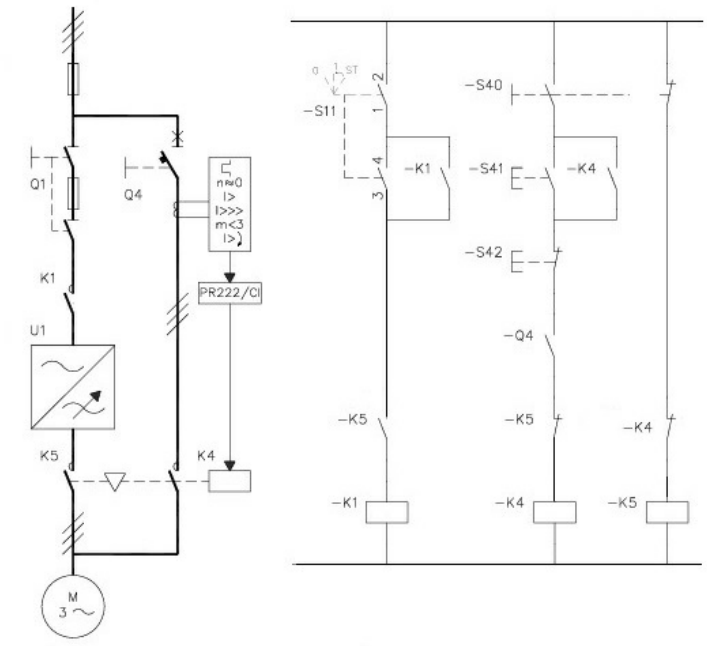
Startknappen sender signal til VFD, som starter motoren. Stoppknappen stopper den. Potensiometer eller eksternt signal kan justere hastigheten.

Sikkerhet og sperrer.

Nødstoppsignal til VFD for sikker utkobling.
Overstrømsbeskyttelse via F2.
Elektrisk sperre mellom K1 og VFD for å unngå feilaktig innkobling.



Et eksempel på bypasskobling er vist nedenfor.



Q1	Hovedlastbryter	S11	Inn-/utkobling av frekvensomformerens hovedkontaktor
Q4	Bypassmaksimalafbryder	S40	Valg af strømforsyning til motor (frekvensomformer eller direkte til nettet)
K1	Hovedkontaktor	S41	Start, når motoren er sluttet direkte til nettet
K4	Bypasskontaktor	S42	Stop, når motoren er sluttet direkte til nettet
K5	Udgangskontaktor		

Oppbygging og virkemåte til ABB ACS150 frekvensomformer

OPPBYGGING OG VIRKEMÅTE TIL ABB ACS150 FREKVENSOMFORMER

ABB ACS150 er en kompakt og brukervennlig frekvensomformer utviklet for styring av små og mellomstore elektromotorer i effektområdet 0,37 kW til 4 kW. Den regulerer motorhastigheten ved å justere frekvensen og spenningen til motoren, noe som gir energieffektiv drift og presis kontroll. Frekvensomformeren er mye brukt i applikasjoner som vifter, pumper, transportbånd og annen lett industri.

1. Oppbygging av ABB ACS150.

ACS150 består av følgende hoveddeler:

- Likeretter (Rectifier): Konverterer innkommende vekselstrøm (AC) fra strømnettet til likestrøm (DC).
- DC-buss (mellomkrets): Inneholder kondensatorer som glatter ut og stabiliserer likestrømmen fra likeretteren.
- Inverter (IGBT-transistorer): Konverterer den stabile DC-spenningen tilbake til AC med variabel frekvens og spenning ved hjelp av pulsbreddemodulasjon (PWM).
- Styrekort (Control Unit): Inneholder programvare og reguleringsalgoritmer som styrer hastigheten og beskyttelsesfunksjonene.
- Kjølesystem: Vifter og kjøleprofiler som sørger for varmeavledning og sikker drift under belastning.
- Inngangs- og utgangsterminaler: Tilkoblinger for strømforsyning, motor og eventuelle styresignaler (digitale og analoge).

2. Virkemåte til ABB ACS150

a) AC til DC-konvertering:
- Frekvensomformeren mottar 1-faset eller 3-faset AC fra strømnettet.
- Likeretteren omdanner denne til likestrøm (DC), som overføres til DC-bussen.

b) Effektregulering i DC-bussen:
- Kondensatorene i DC-bussen jevner ut spenningen og filtrerer bort elektriske støy og spenningssvingninger.

c) DC til AC-konvertering (Inverter):
- Inverteren bruker IGBT-transistorer til å bytte DC-spenningen av og på i høy hastighet.
- Ved hjelp av pulsbreddemodulasjon (PWM) genereres en sinuslignende vekselspenning med justerbar frekvens og spenning.

d) Styring av motor:
- Ved å justere frekvensen styres motorens hastighet – lavere frekvens gir lavere turtall, og høyere frekvens gir høyere turtall.
- Samtidig justeres spenningen for å opprettholde et stabilt dreiemoment og effektiv drift.

3. Viktige funksjoner i ABB ACS150.

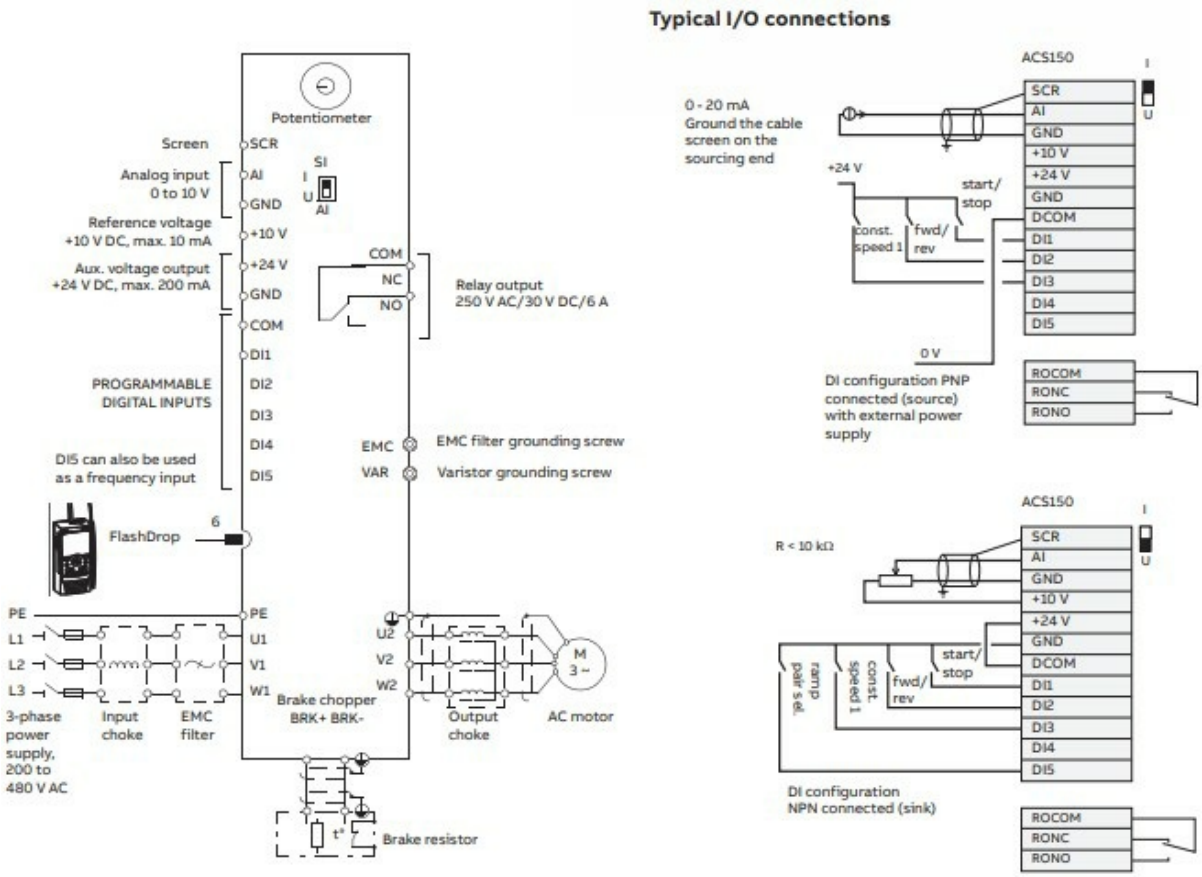
- Enkel installasjon: Leveres ofte forhåndsinnstilt og krever lite oppsett ("plug-and-play").
- Nøyaktig hastighetskontroll: Perfekt for bruk i små og mellomstore applikasjoner som vifter, pumper og transportutstyr.
- Innebygd motorbeskyttelse: Overvåker forhold som overbelastning, overtemperatur, jordfeil og spenningsvariasjoner.
- Energisparing**:** Reduserer strømforbruk ved å tilpasse effekten etter last og behov.

OPPSUMMERING



ABB ACS150 er en kompakt og effektiv frekvensomformer som kombinerer enkel betjening med avansert teknologi. Den gir stabil og energieffektiv drift for en rekke motorapplikasjoner, og er et godt valg for brukere som trenger pålitelig og nøyaktig hastighetskontroll i et kompakt format.

Koblinger til en ABB ACS150





Kap 12 Hovedtavle

Hovedtavlen (Main Switchboard)

Nek 410A-401 kapittel 3 beskriv reglene for en tavle.

- Pkt. 10 – Isolerende matter.
- Pkt. 11 – Ganger foran tavler.
- Pkt. 12 – Plass bak tavler og ganger.
- Pkt. 13 – Plassering i forhold til rør og tanker.
- Pkt. 14 – Plassering av fordelingstavler.

Fysisk oppbygging av en hovedtavle

En hovedtavle er vanligvis en modulær, metallkapslet konstruksjon, ofte bygget i stål eller aluminium, som beskytter det elektriske utstyret mot fuktighet, vibrasjoner og mekaniske skader. Tavlen er delt inn i flere seksjoner (felter), som hver har spesifikke funksjoner.

Generell oppbygging av hovedtavlen.

Hovedtavlen består typisk av følgende elementer:

- Innkommende seksjon (Generatorfelt).
- Fordelingsseksjoner (hoved- og underfordeling).
- Motorstarterseksjon.
- Måle- og kontrollseksjon.

Hver seksjon har frontmonterte dører for tilgang til utstyret og er ofte utstyrt med ventilasjon og kabelføringsrom på baksiden eller under.

Hovedkomponenter i hovedtavlen.

- Generatorfelt (Inntaksfelt).
- Plassering: Vanligvis på én side av tavlen, nær innkommende kabler fra generatorene.
- Hovedfordelingsseksjon.
- Plassering: Sentral i tavlen, da den distribuerer kraft videre til resten av systemet.
- Motorstarterseksjon (MCC – Motor Control Center).
- Plassering: Ofte i egne moduler innenfor hovedtavlen eller i et separat MCC-tavlerom.
- Måle- og kontrollseksjon.
- Plassering: Typisk i øvre del av tavlen for lett tilgang og synlighet.

Mekanisk og elektrisk inndeling.

- **Mekanisk:**
  - Tavlen bygges i modulære stålskap, ofte med IP54/IP65-beskyttelse.
  - Dørene er låste og hengslede, med separate rom for høy- og lavspenningskomponenter.

- **Elektrisk:**
  - Hovedsamleskinner (busbars) fører strøm gjennom tavlen (vanligvis kobber).
  - Kontrollkabler trekkes gjennom kabelkanaler.
  - Luftsirkulasjon via ventilasjonsspalter eller vifter for kjøling.

Vedlikehold og sikkerhet:

- Låsbare dører hindrer uautorisert tilgang.
- Adskilte rom for høyspenning, lavspenning og kontrollutstyr.
- Isolerte samleskinner for å unngå kortslutning.
- Vedlikeholds plater som kan tas av uten å eksponere strømførende deler.

Hovedinndeling av sikrings- / bryterfelt i hovedtavlen

Feltene i hovedtavlen som inneholder sikringer og effektbrytere er kritiske for strømfordeling og beskyttelse av skipets elektriske systemer. Disse feltene er delt inn etter funksjon og hva de beskytter.

1. **Generatorfelt.**
   - Inneholder generatorbryteren (ACB/VCB) som kobler generatoren til hovedtavlen.
   - Har beskyttelse som overstrøms relé, differensialbeskyttelse og spenningsvern.

2. **Hovedfordelingsfelt.**
   - Distribuerer kraft fra generatorene til de store forbrukerne.
   - Består ofte av effektbrytere (ACB/VCB/MCCB) som kan bryte store kortslutningsstrømmer.
   - Hver utgående kurs er utstyrt med vern for overbelastning og kortslutning.

3. **Motorfelt (MCC - Motor Control Center).**
   - Inneholder motorstartere, sikringer og effektbrytere for de store elektriske motorene.
   - Kan ha direkte start, stjerne/trekant-kobling eller frekvensomformere for mykstart og hastighetsregulering.

4. **Belysnings- og småforbruksfelt.**
   - Består av mindre automatsikringer (MCB) for å beskytte lys, kontakter og mindre elektriske apparater.

Typer vern og brytere i hovedtavlen

1. **Luftbrytere (ACB - Air Circuit Breaker).**
   - Brukes i generator- og hovedfordelingsfeltet for store strømmer (fra 630A til flere tusen ampere).
   - Har innebygde vern for kortslutning, overbelastning og spenningsfeil.

2. **Vakuumbrytere (VCB - Vacuum Circuit Breaker).**
   - Brukes ofte i høyspentanlegg på skip.
   - Har høy bryteevne og krever lite vedlikehold.

3. **Mellomstore effektbrytere (MCCB - Molded Case Circuit Breaker).**
   - Brukes for motorer, varmeovner og mellomstore forbrukere.
   - Har termisk og magnetisk vern for overbelastning og kortslutning.

4. **Automatsikringer (MCB - Miniature Circuit Breaker).**
   - Brukes til lys, stikkontakter og mindre elektriske laster.
   - Slår ut ved overbelastning eller kortslutning.

5. **Smeltesikringer.**
   - Brukes ofte i spesifikke systemer som transformatorbeskyttelse.
   - Må byttes ut etter utløsning.

Oppsummering

Σ

OPPSUMMERING

Hovedtavlen om bord i et skip er delt inn i flere felt med forskjellige sikringer og effektbrytere. De beskytter generatorer, motorer, belysning og nødkraftsystemer mot feil og overbelastning. Hver type bryter eller sikring er valgt basert på den spesifikke belastningen og sikkerhetskravene.

Overvåking, kontroll og beskyttelse i hovedtavlen

I hovedtavlen om bord i et skip trengs ulike instrumenter for overvåking, kontroll og beskyttelse av skipets elektriske kraftsystem. Her er de viktigste instrumentene og utstyret som vanligvis finnes:

Måleinstrumenter

Disse brukes til å overvåke elektriske verdier i kraftsystemet:

- Voltmeter – Måler spenning i systemet (for hver fase).
- Amperemeter – Måler strømforbruk i ulike kurser.
- Frekvensmeter – Viser systemets frekvens (vanligvis 50 Hz eller 60 Hz).
- Effektmeter (Wattmeter) – Viser aktiv effekt (kW).
- Reaktiv effektmeter (VAr-meter) – Viser reaktiv effekt for å overvåke faseforskyvning.
- Effektfaktormåler (cos φ-meter) – Viser effektfaktoren for å optimalisere strømforbruket.
- Synkroskop – Brukes ved synkronisering av generatorer før parallellkobling.

Beskyttelsesutstyr

For å hindre skade på utstyr og systemet:

- Overstrømsvern – Bryter strømmen ved for høy belastning.
- Jordfeilvern – Oppdager lekkasjestrøm og kutter strømmen ved jordfeil.
- Differensialvern – Beskytter generatorer og transformatorer mot feilstrøm.
- Overspenningsvern – Beskytter mot plutselige spennings økninger.
- Underfrekvensvern – Utkobling ved for lav frekvens.
- Generatorbeskyttelse – Overvåker spenning, strøm, frekvens og temperatur på generatorene.

Kontroll- og styringsutstyr

- Generatorbrytere – Hovedbrytere for generatorene.
- Automatisk spenningsregulator (AVR) – Justerer generatorens spenning.
- Lastfordelingssystem (Load Sharing System) – Sørger for jevn fordeling av last mellom generatorene.
- Alarm- og overvåkingspanel – Viser feilmeldinger og alarmer for elektriske feil.
- Manuelle og automatiske start/stopp-kontroller – Brukes for å starte og stoppe generatorer og andre systemer.

Generatorfelt-seksjonen i hovedtavlen

GENERATORFELT-SEKSJONEN I HOVEDTAVLEN

I hovedtavlen om bord på skip er generatorfelt-seksjonen der generatorens bryter, spenningsregulering, beskyttelsessystemer og synkroniseringsutstyr er installert. Dette er en kritisk del av skipets kraftdistribusjonssystem, og den sikrer at generatoren fungerer stabilt og trygt.

Hovedkomponenter i generatorfelt-seksjonen:

1. **Generatorbryter (ACB/VCB).**
   - Hovedbryteren som kobler generatoren til hovedtavlen.
   - Kan være en luftbryter (ACB - Air Circuit Breaker) eller en vakuumbryter (VCB - Vacuum Circuit Breaker).
   - Har kortslutnings- og overstrømsbeskyttelse for å beskytte generatoren.

2. **Automatisk spenningsregulator (AVR).**
   - Holder utgangsspenningen stabil under varierende belastning.
   - Justerer eksitasjonsstrømmen til generatorens feltvikling.

3. **Synkroniseringsutstyr.**
   - Synkronoskop og kontroll lys: Viser faseforskjell, frekvens og spenning mellom generator og hovedtavle før innkobling.
   - Automatisk synkroniseringsenhet: Justerer spennings- og frekvensforskjeller for trygg parallellkobling av generatorer.

4. **Beskyttelses reléer.**
   - Differensialrelé: Beskytter mot interne feil i generatoren.
   - Over-/underspenningsrelé: Hindrer for høye eller lave spenningsnivåer.
   - Overstrøms- og kortslutningsvern: Løser ut generatorbryteren ved feil.

1. **Måleinstrumenter.**
   - Volt- og amperemeter: Viser spenning og strøm fra generatoren.
   - Frekvensmåler: Overvåker generatorens frekvens.
   - Effektmåler (kW og kVAr): Viser aktiv og reaktiv effekt.

2. **Manuell og automatisk styring.**
   - Manuell kontrollpanel: Lar operatøren starte, stoppe og justere generatoren.
   - Automatiske systemer (PMS): Brukes for å starte/stopp generatorer ved behov.

PMS/GCS

På et skip styres generatorene automatisk av et kontroll- og overvåkingssystem som sørger for at strømforsyningen er pålitelig, balansert og sikker til enhver tid. Dette systemet kalles gjerne for Generator Kontrollsystem (GCS) eller Power Management System (PMS).

Hovedfunksjonene til et PMS/GCS om bord:

1. Automatisk start og stopp av generatorer
   – Basert på lastbehov, starter og stopper PMS generatorer automatisk for å sikre optimal drift og drivstofforbruk.

2. Synkronisering
   – Når en ny generator kobles inn parallelt, sørger systemet for automatisk spenningsmatching, frekvensmatching og fasesammenfall.

3. Lastfordeling/Load sharing.
   – Systemet fordeler lasten jevnt mellom generatorene, enten via:
   - Droop-kontroll (åpen lastdeling)
   - Isochronous parallell drift (lukket lastdeling)

4. Spennings- og frekvensregulering.
   – Systemet regulerer excitasjon og motorturtall via AVR og regulator (Governor), for å holde spenning og frekvens stabil.

5. Beskyttelse og alarmer.
   – Overvåker parametere og utløser alarm eller frakobling ved:
   - Overbelastning
   - Jordfeil
   - Over-/underspenning
   - Over-/underfrekvens
   - Tap av synkronisering

6. Nød bryter og Blackout recovery.
   – Automatisk gjenoppretting etter strømbrudd: systemet starter nødgeneratoren og gjenoppretter strøm.

Systemet styrer disse komponentene:

Komponent	Funksjon
Dieselmotorens governor	Regulerer turtallet → styrer frekvens
AVR (Automatic Voltage Regulator)	Regulerer spenning via feltstrøm
Synkroniseringsmodul	Kobler generatorer parallelt
Breaker control	Styrer inn- og utkobling av generatorer
Strømtransformatorer (CT) og spenningstransformatorer (VT)	Måler verdier til bruk i styring og vern

Drift av generatorfelt-seksjonen

- Før en generator kobles til hovedtavlen, må spenning, frekvens og fasevinkel justeres.
- Når verdiene er synkronisert, lukkes generatorbryteren enten manuelt eller automatisk.
- Under drift overvåkes systemet for å sikre stabil spenning og belastningsdeling mellom generatorene.
- Hvis det oppstår feil (f.eks. overbelastning eller kortslutning), vil beskyttelses reléene trippe generatorbryteren for å forhindre skade.

Vedlikehold

- Regelmessig testing av generatorbryter og beskyttelses reléer.
- Synkroniseringstester for å sikre riktig parallellkobling av generatorer.
- Holde feltet rent.

Generatorfelt-seksjonen er altså selve "hjertet" i skipets elektriske kraftdistribusjon og sikrer at generatorene fungerer trygt og effektivt!

Busbar og busbarbryter i en hovedtavle

Busbar

En busbar (samleskinne) er en elektrisk leder laget av kobber som fungerer som en hoved forbindelse mellom forskjellige komponenter i en tavle. Busbarer brukes for å distribuere strøm fra generatorene til ulike belastninger på en effektiv og sikker måte.

- Funksjonene til en busbar:
- Strømfordeling: Overfører elektrisk kraft mellom generatorer, forbrukere og undersentraler.
- Reduserer kabling: Eliminerer behovet for flere ledninger, noe som gjør installasjonen mer ryddig.
- Øker effektiviteten: Gir lav motstand og minimal spenningsfall.
- Modulær oppbygning: Lar flere brytere og enheter kobles til samme strømkilde.
- Plassering av busbarer i en tavle:
- Monteres inne i hovedtavlen bak vernede seksjoner.
- Kan være enkle eller doble busbarsystemer, avhengig av skipets kraftbehov og redundanskrav.
- Typisk vertikalt eller horisontalt plassert for enkel tilkobling av brytere og kabler.

Busbarbryter

En busbarbryter er en bryter som brukes for å koble eller frakoble ulike busbarer i en hovedtavle. Den brukes ofte i doble busbarsystemer hvor flere strømkilder eller belastninger kan kobles om ved behov.

- Funksjoner til en busbarbryter:
  - Gir fleksibilitet i strømfordeling: Lar operatøren skifte mellom busbarer for vedlikehold eller feilhåndtering.
  - Øker systemets pålitelighet: Hvis én busbar har en feil, kan lasten flyttes til en annen.
  - Brukes i parallellkobling av generatorer: Sørger for riktig fordeling av last mellom generatorene.

- Typer busbarbrytere:
  - Manuell busbarbryter – Operatøren kobler om fysisk via en bryter.
  - Automatisk busbarbryter – Kan koble om automatisk ved feil eller lastendringer.
  - Isolasjonsbryter (bus tie breaker – BTB) – Brukes for å separere eller koble sammen busbarer i ulike seksjoner.

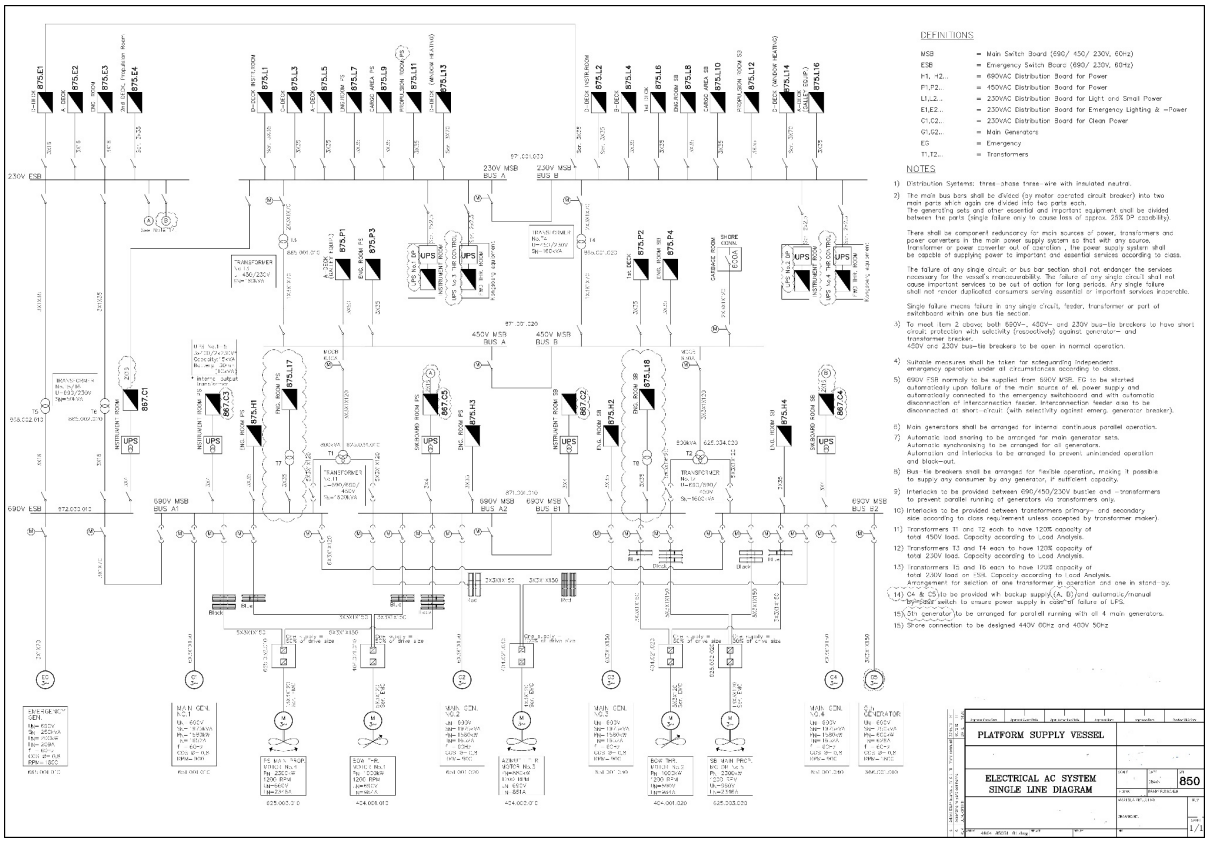
Eksempel på bruk av busbar og busbarbryter på skip:

- Skip med to hoved generatorer og to busbarer:
  - Generator 1 leverer strøm til busbar A.
  - Generator 2 leverer strøm til busbar B.
  - Busbarbryteren (BTB) er normalt åpen for å holde systemene adskilt.
  - Hvis én generator svikter, kan BTB lukkes for å koble begge systemene sammen.

- Skip med nødtavle:
  - Nødgenerator er tilkoblet en separat busbar.
  - Ved hovedstrømsvikt kobler en automatisk busbarbryter om til nødbusbaren.



Nedenfor er det en tegning over kraft distribusjonen på et offshore fartøy.



Kraft distribusjonen på et offshore fartøy

Fordelingssystemer for AC

!

STRENGE REGLER

Ikke alle nett typer er lovlige om bord på skip. Det er strenge regler for elektriske installasjoner på skip, som reguleres av Internasjonale konvensjoner (f.eks. SOLAS), klasseselskaper (DNV, ABS, etc.), nasjonale maritime myndigheter og NEK 410A-201.

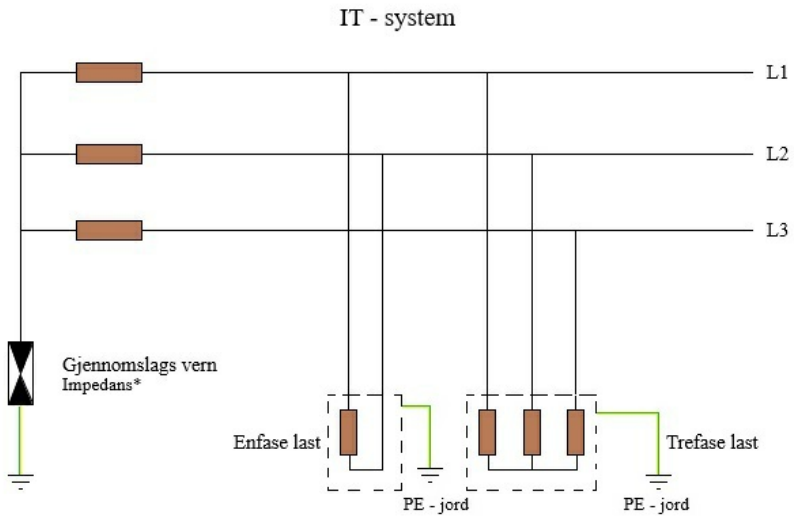
- TT-nett er ikke lovlig om bord på skip.

Nett typer om bord på skip:

IT-nett (mest vanlig brukt på skip).

- I IT-systemer, som er mest vanlig om bord i skip, er nøytralpunktet isolert fra jord, eller jordet gjennom høy impedans. Dette gir høy driftssikkerhet ved første jordfeil, som er svært viktig på skip.
- Sikkerhet og kontinuitet i drift: Ved én jordfeil fortsetter systemet å fungere uten avbrudd, noe som er avgjørende til sjøs.
- Redusert risiko for elektriske støt og brann: IT-systemer begrenser jordstrømmer.

- Krav fra klasseselskaper og regelverk: F.eks. DNV, ABS, og IEC 60092-serien anbefaler eller krever IT-systemer i mange sammenhenger om bord.



TN-S-nett (ikke vanlig på skip, men kan forekomme lokalt).

Det er mulig å benytte TN-S-system om bord i skip, men det er ikke vanlig praksis. Det må vurderes nøye i forhold til gjeldende regelverk og spesifikasjonene for det aktuelle skipet og systemet.

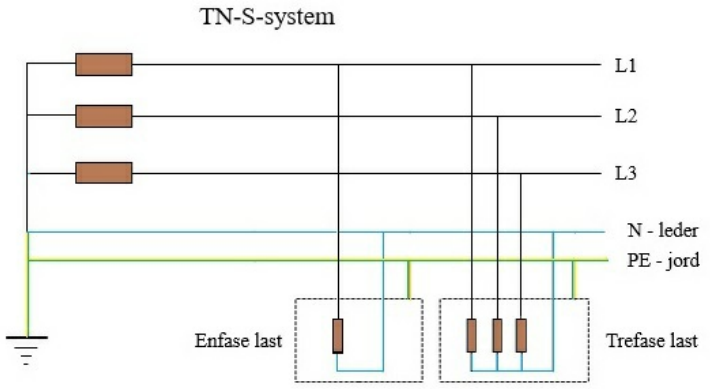
- TN-S-system betyr at nøytralpunktet (N) er jordet, og at beskyttelseslederen (PE) og nøytrallederen (N) er adskilte ledere gjennom hele installasjonen.

Når kan TN-S være aktuelt?

1. IT-systemet mater underfordelinger som er TN-S internt: Dette er vanlig i f.eks. datasystemer og enkelte sensitive elektronikkmiljøer.
2. Spesifikke, isolerte IT/kommunikasjonssystemer: I noen tilfeller kan utstyr som er levert med TN-S-intern standard tilkobles via transformatorer.
3. Havneanlegg eller fastlandstilkobling (shore power): TN-S er vanlig i landbaserte strømnett, og ved landstrømtilkobling kan det være nødvendig med TN-S-løsninger med galvanisk isolasjon.

Viktige hensyn:

- TN-S krever tydelig skille mellom N og PE. Må opprettholdes over hele anlegget.
- Må vurderes opp mot isolasjonsovervåkning, jordfeilbeskyttelse og klassekrav.
- Det kan være inkompatibelt med deler av skipets øvrige elektriske system.
- Jording om bord må utføres i henhold til maritime normer, som kan være svært ulike fra landbasert praksis.



Σ

KONKLUSJON

Det kan benyttes TN-S-systemer om bord i skip, men IT-systemer er hovedregelen for kraftdistribusjon, spesielt for hoved- og nødkraftsystemer. TN-S kan vurderes i spesielle applikasjoner, typisk for IT/data/kommunikasjon eller i interne fordelinger, men må prosjekteres nøye i henhold til relevante standarder og krav.

Fordelingssystemer for DC

NEK 410A-201 tar for seg dei nett systema en kan bruke om bord i skip.

DC-nett (likestrøms nett) blir stadig mer aktuelt om bord i skip, spesielt i moderne og energieffektive fartøy som bruker batterier, hybride løsninger eller integrerte kraftsystemer (IPS). Når det gjelder jordingssystemer i DC-nett om bord, gjelder mange av de samme prinsippene som for AC-nett, men med noen viktige forskjeller.

1. IT-system (isolert nøytral) – mest vanlig

- Vanligst i DC-anlegg på skip, akkurat som i AC-nett.
- Ingen leder er direkte jordet; man kan jordforbinde midtpunktet mellom to seriekoblede batteribanker via høy impedans (valgfritt).
- Fordeler:
  - Høy driftssikkerhet (fortsatt drift ved én jordfeil).
  - Lav risiko for galvanisk korrosjon.
  - Viktig for batterisystemer og sensitive kraftelektronikk.

2. TN-S-system i DC (sjeldent)

- En polaritet (f.eks. minus) er direkte jordet, og PE er adskilt fra den andre lederen (typisk +).
- Dette systemet kan teknisk brukes, men det er lite brukt på skip, fordi:
  - Det gir umiddelbar utkobling ved jordfeil (mindre driftssikkerhet).
  - Øker risikoen for galvanisk korrosjon i metallkonstruksjoner.
  - Krav til god jordingskontroll, som er krevende til sjøs.

3. IT-system med overvåkning og jordingsmotstand

- En kombinasjon som gir isolert DC-nett, men med aktiv jordfeilovervåkning (via isolasjonsovervåkningsenhet – IMD).
- Mest anbefalt løsning for DC-distribusjon med høy tilgjengelighet (f.eks. batterisystemer, hybrid fremdrift og DC-ringnett).

Maritime standarder og regelverk.

Standarder som regulerer valg av jordingssystem i DC-nett:

- IEC 60092–101 / 302 / 401 / 502 (elektriske installasjoner i skip).
- DNV, ABS, LR har egne krav for likestrøms installasjoner.
- IEC 61800–5-1, IEC 62109–1 og UL 1741 gjelder for kraftelektronikk og invertere.
- DC-systemer >120 V krever ekstra tiltak for sikkerhet og brannfarekontroll.

Konklusjon

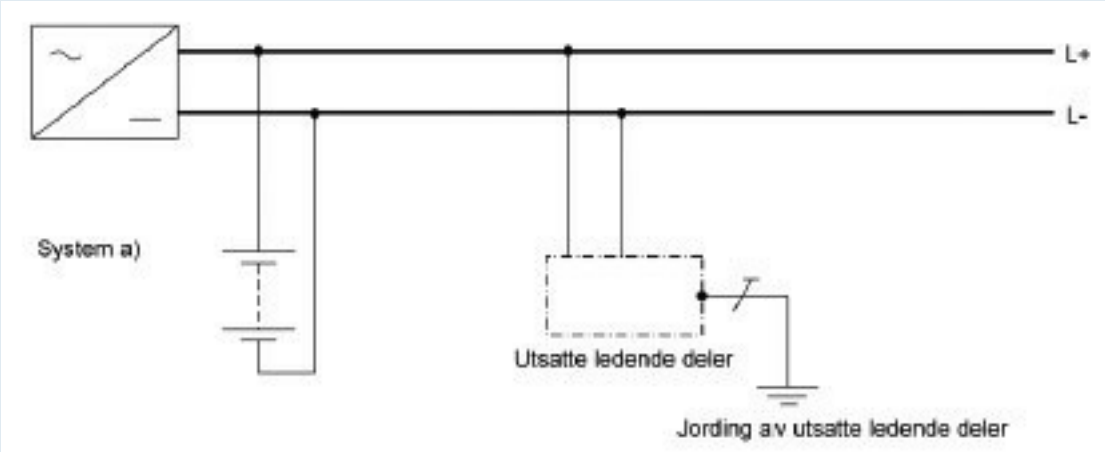
Σ

KONKLUSJON

- IT-system er også standardvalg for DC-nett om bord, både for driftssikkerhet og sikkerhet.
- TN-S-system kan benyttes, men det er uvanlig og lite anbefalt, med mindre det er for spesifikke undersystemer og man har god grunn (f.eks. tilkobling til landbasert DC-system).
- All prosjektering bør følge klassereglene og IEC 60092-serien, og det må gjennomføres grundig risikovurdering og selektivitet for jordfeil.

I NEK 410A – 201, 2021 finn de tegninger over systema en kan bruke.

EKSEMPEL FRA NEK410A:



Kap 13 Nødtavle og nødgenerator

Nødtavler og nødgeneratorer på skip

NØDTAVLER OG NØDGENERATORER PÅ SKIP

Nødtavler og nødgeneratorer er kritiske systemer om bord på skip som sørger for strømforsyning til viktige systemer i tilfelle hovedkraftsystemet svikter.

Nødgenerator – Skipets reservesystem

NØDGENERATOR – SKIPETS RESERVESYSTEM

En nødgenerator er en uavhengig strømkilde som automatisk starter opp og forsyner essensielle systemer når hovedkraftforsyningen faller ut.

- **Plassering:**
  - Må være separert fra hovedtavlen for å unngå at en enkelt feil ødelegger begge systemene.
  - Vanligvis installert i et eget rom (nødgenerator rom) over vannlinjen, ofte i nærheten av bro eller akterdekk.
- **Drift og funksjon:**
  - Når hovedkraftsystemet svikter, starter nødgeneratoren automatisk innen 45 sekunder (ihht. SOLAS-regler).
  - Har sin egen drivstofftank, ofte nok for 18+ timers drift.
  - Koblet til nødtavlen via en automatisk overføringsbryter (ATS – Automatic Transfer Switch).
- **Energikilder:**
  - Dieselgenerator (mest vanlig).
  - Batteribank (brukes ofte for kortvarig forsyning til nødtavlen).
  - UPS (Uavbrutt kraftforsyning) for kritiske systemer som navigasjon og kommunikasjon.

Nødtavle – Fordeler nødkraft til essensielle systemer

NØDTAVLE

Nødtavlen er en egen elektrisk tavle som mottar strøm fra nødgeneratoren og fordeler den til viktige systemer på skipet.

- **Plassering:**
  - Må være adskilt fra hovedtavlen for å sikre drift under nødsituasjoner.
  - Ofte nær nødgeneratoren, men også lett tilgjengelig fra bro og kontrollrom.
- **Systemer koblet til nødtavlen:**
  - Navigasjonsutstyr: Radar, GPS, ekkolodd, kommunikasjonsradioer.
  - Nødlys: Bro, maskinrom, rømningsveier og livbåtstasjoner.
  - Brannslukningssystemer: Brannpumper og nødalarmer.
  - Lensepumper: For å hindre oversvømmelse.
  - Livbåt-davit-systemer: For å kunne sjøsette livbåter.
  - Alarm- og overvåkingssystemer: Broalarmer og maskinovervåking.
  - Nødstart for hovedmotorer (på noen skip).

Overføringssystem (ATS – Automatic Transfer Switch).

OVERFØRINGSSYSTEM (ATS – AUTOMATIC TRANSFER SWITCH).

ATS-enheten bytter automatisk strømforsyning fra hovedtavlen til nødtavlen når hovedsystemet svikter.

- Driftsrekkefølge:
  1. Hovedkraftforsyning faller ut.
  2. ATS kobler fra hovedtavlen og starter nødgeneratoren.
  3. Når nødgeneratoren når riktig spenning og frekvens, kobles den til nødtavlen.
  4. Når hovedkraften er tilbake, kobler ATS-en tilbake til hovedtavlen og stopper nødgeneratoren

Regelverk og krav

Nødstrømsystemer er regulert av:

- IMO SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea).
- Forskrift om maritime elektriske anlegg (FOR-2023–12–18–2278)
- Forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg (FSE)
- Klasseselskaper som DNV, ABS eller Lloyds Register.

Krav til nødstrømsforsyning – hovedpunkter:

Nødstrøms kilder:

- Det skal finnes en uavhengig nødstrøms kilde, atskilt fra hovedkraftsystemet.
- Nødstrøms kilden kan være batterier, UPS eller en nødgenerator, eller alle.
- Den skal kunne tre i funksjon automatisk og umiddelbart ved svikt i hovedstrømkilden.

Varighet

- For passasjerskip: nødstrøm skal kunne opprettholdes i minst 36 timer.
- For lasteskip: nødstrøm skal kunne opprettholdes i minst 3 timer, eller 18 timer for visse typer fartøy (avhengig av tonnasje og type).

Plassering

- Nødgenerator og tilhørende utstyr skal være plassert slik at det ikke påvirkes av brann eller vanninntrenging i hovedmaskinrom.
- Ofte plassert i et separat "nødgeneratorrom".

Automatisk igangsetting:

- Ved bortfall av hovedstrøm, skal nødgenerator automatisk starte og overta lastene innen 45 sekunder.

Kritiske funksjoner som skal støttes av nødstrøm:

- Nødlys i alle rømningsveier, bro, maskinrom, etc.
- Navigasjonsutstyr og kommunikasjonsutstyr (VHF, radar, AIS).
- Brannpumper, alarmsystemer og visse ventilasjonsvifter.
- Elektrisk utstyr knyttet til sikkerhet og nød manøvrering.

Testing og vedlikehold:

- Nødstrømanlegg skal testes jevnlig og være i operativ stand til enhver tid.
- Rutiner for testing og vedlikehold skal dokumenteres.

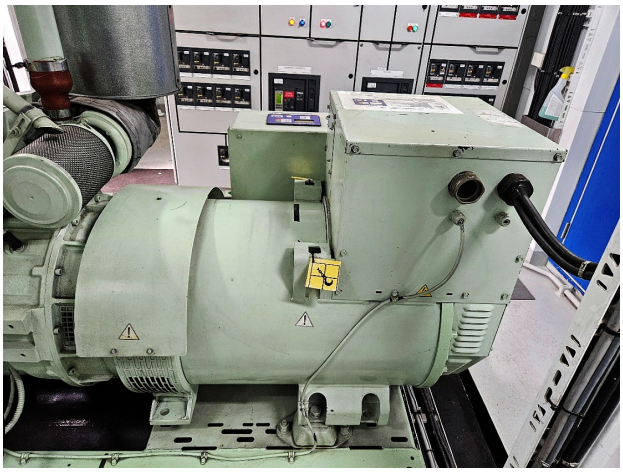
Komponent	Funksjon
Nødgenerator	Reservekraftkilde som starter automatisk ved hovedkraftsvikt.
Nødtavle	Fordeler strøm til kritiske systemer som navigasjon, lys og alarmer.
ATS (Automatic Transfer Switch)	Overfører kraft automatisk mellom hovedtavle og nødtavle.

Disse systemene er essensielle for sikkerheten på skip, og deres pålitelighet er avgjørende i nødsituasjoner.



Nødtavle om bord i et supply-skip.

Nødgenerator



SOLAS krav

SOLAS KRAV

Her er en oversikt over typiske systemer som skal være tilkoblet nødtavler i henhold til **SOLAS**-krav (International Convention for the Safety of Life at Sea):

1. Navigasjons- og manøvreringsutstyr

- Navigasjonslys.
- Styremaskin (minst én motor eller kontrollkrets).
- Hoved kompassets belysning.
- Radarsystem (minst én).
- ECDIS og navigasjonssystemer.
- GMDSS-utstyr (kommunikasjon).

2. Brann- og nødutstyr

- Nødbrannpumper.
- Nødlys i alle rømningsveier, trappetårn og redningsstasjoner.
- Brannalarmsystem.
- Gassdeteksjonssystemer (der det er aktuelt).

3. Redningsutstyr

- Lanterner på livbåter og redningsflåter.
- Daviter og utsettingsmekanismer (dersom elektrisk drevet).
- Nødstrøm til MOB-båt systemer.

4. Overvåking og kontroll

- Alarm- og overvåkingssystemer for maskinrom (UMS-funksjon).
- Automatiske nød avstengingssystemer (f.eks. for ventilasjon).
- Kontrollsystem for nød kraftverk (nødaggregat).

5. Kommunikasjon og intern varsling

- Intern kommunikasjon (f.eks. PA-system).
- Intern nødalarm.
- Nødtelefoner og radiosamband.

6. Lys og belysning

- Nødlys i maskinrom, bro, kontrollrom, rømningsveier og på dekk.
- Lys i nødtavler og nødaggregatrom.

7. Andre systemer (avhengig av fartøytype)

- Ballastsystemer ved fare for slagside.
- Lensepumper eller lensevannsystem (dersom ikke manuelle).
- Eventuelle systemer som kreves for sikker drift i spesialfartøy (som passasjerskip, tankskip og offshorefartøy).

Krav til strømforsyning fra nødtavle:

- Automatisk overføring fra hovedtavle ved spenningsbortfall.
- Forsyning fra nødgenerator (eller batterier og UPS for kortvarige forbrukere).
- Skal virke en viss tid (avhengig av skipstype – typisk 18–36 timer for nødgenerator og 30 minutter for batteridrevet nødlys).



Bilde av utgående kurser i nødtavlen.

Kap 14 Vekselstrømsgeneratorer

Skipsgeneratorer

SKIPSGENERATORER

Skipsgeneratorer brukes til å produsere elektrisk kraft for drift av skipets systemer, inkludert fremdrift, navigasjon, belysning og annet elektrisk utstyr. Det finnes flere typer skipsgeneratorer, og de fungerer på litt forskjellige måter avhengig av skipets behov og design.

Hovedtyper av skipsgeneratorer:

Dieselgeneratorer (DG).

- Den vanligste typen generator på skip.
- Består av en dieselmotor som driver en synkron generator.
- Motoren forbrenner diesel for å rotere generatorens rotor, som skaper et magnetfelt og induserer elektrisk spenning i statorviklingene.
- Brukes både som hovedkraftkilde og nødstrøms kilde.
- Fordeler:
  - Driftssikker og lett å starte.
  - Krever lite vedlikehold sammenlignet med dampturbingeneratorer.

Turbingeneratorer (damp- eller gassturbingeneratorer)

- Dampdrevne generatorer
  - Finnes ofte på store skip som har kjeler som produserer damp.
  - Dampen driver en dampturbin, som roterer generatorens rotor.
  - Brukes typisk på store tankskip, LNG-skip og hangarskip.

- Gassturbingeneratorer
  - Fungerer på samme prinsipp, men bruker en gassturbin drevet av flytende drivstoff eller naturgass.
  - Fordeler:
    - Effektiv for skip som krever høy kraftutnyttelse.
    - Kan være lettere enn dieselmotorer.

Elektriske fremdriftsgeneratorer

- I moderne dieselelektriske og hybride skip, brukes generatorer til å produsere elektrisk kraft for elektriske motorer som driver propellene.
- Fordel:
  - Fleksibel kraftfordeling.
  - Reduserer drivstofforbruket ved lav belastning.

Nødgeneratorer

- En separat generator som sikrer strøm til viktige systemer under strømbrudd.
- Ofte en dieseldrevet generator, plassert utenfor hovedmaskinrommet.
- Startes automatisk hvis hoved generatorene svikter.

Permanentmagnet-generatorer (PMG).

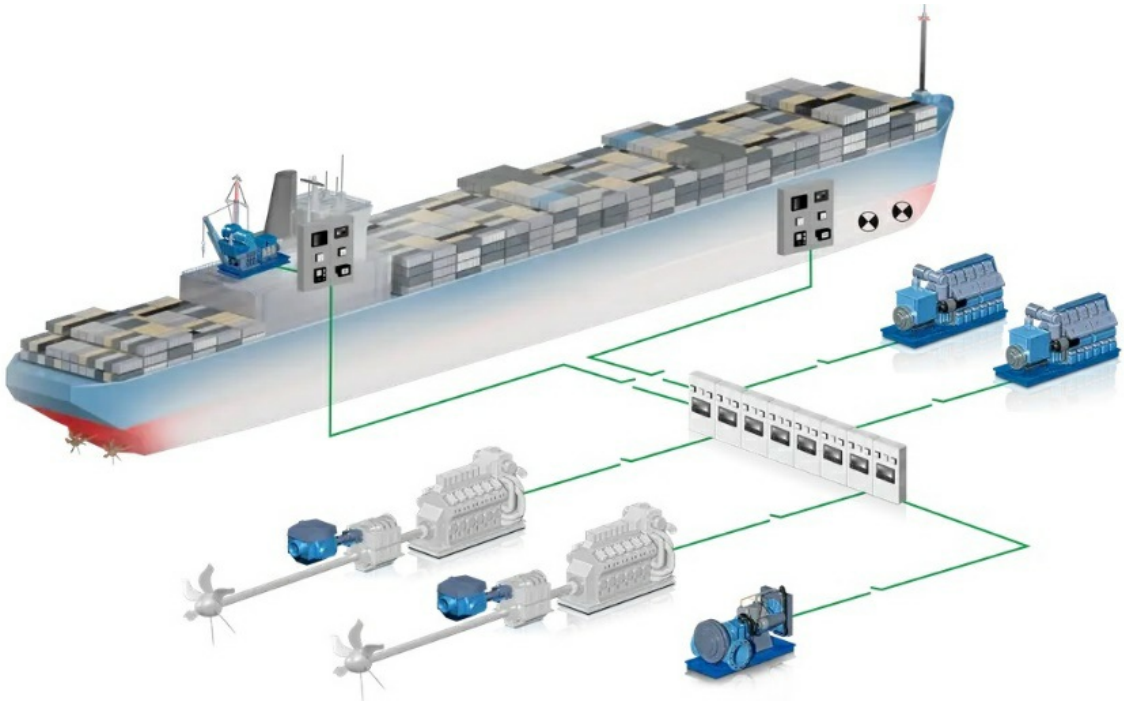
- Brukes i mindre systemer og som en del av hybride systemer.
- Har permanente magneter i rotoren som skaper det nødvendige magnetfeltet.
- Fordel:
  - Høy effektivitet og pålitelighet.
  - Krever lite vedlikehold.

Hvordan fungerer en typisk skipsgenerator?

1. Motor eller turbin driver generatorens rotor.
2. Rotasjonen skaper et magnetfelt som induserer en vekselstrøm (AC) i statorviklingene.
3. Spenning reguleres av en spenningsregulator for å holde konstant utgangsspenning.
4. Strømmen fordeles via hovedtavlen (Main Switchboard) til ulike systemer.
5. Synkronisering skjer hvis flere generatorer må kobles sammen i parallell drift.
   Det er først og fremst lavspent synkrongenerator som er hoved stoffet i dette kapitlet, og det vil si en spenning på 440 V. Stort sett så har de fleste båter i dag et anlegg som er på 440 volt og 60 Hz. Men mange har også 400 volts anlegg med en frekvens på 50 Hz.

Vekselstrøms generator kan vi igjen dele inn i to grupper, hvor den ene er mest aktuell til skipsgeneratorer.

- Asynkrongenerator
- Synkrongenerator



Tegningen er hentet fra DEIF.

Synkrongeneratorer om bord på skip

SYNKRONGENERATORER OM BORD PÅ SKIP

I moderne skip er det i hovedsak synkrongeneratorer som benyttes for strømproduksjon. Asynkrongeneratorer har tradisjonelt ikke vært brukt som hoved generatorer om bord, men har fått en viss anvendelse i nyere tid, særlig i forbindelse med akselgeneratorer.

Generatorene som benyttes om bord skal være konstruert i henhold til anerkjente internasjonale standarder, som f.eks. IEC-normer, eller tilsvarende nasjonale normer som er tilpasset maritimt bruk. Synkrongeneratorer om bord må være egenmagnetiserte, det vil si at de henter magnetiseringsenergien fra egen drift via et magnetiseringssystem (f.eks. børsteløs exciter eller PMG).

Som hovedregel monteres skipsgeneratorer med akselen orientert i skipets lengderetning. Dreieretningen skal være med urviseren (med klokken) sett fra generatorens akselutgang mot drivmaskinen.

Generatorene skal plasseres i godt ventilerte rom uten risiko for forekomst av brennbare eller eksplosive gasser. Normalt plasseres generatorene åpent i maskinrommet sammen med øvrig maskineri. På større fartøy, som cruiseskip og offshorefartøy, kan det være egne rom dedikert til generatorene – såkalte generatorrom – som en del av maskininstallasjonen.

For lavspente generatorer (under 1 kV) bør plasseringen være så nær hovedtavlen som mulig, for å minimere kabellengden. Dette er viktig fordi det i utgangspunktet ikke kreves overstrømsvern mellom generatoren og hovedtavlen. Kablene i denne strekningen må derfor være mekanisk beskyttet mot skade, og installeres i henhold til gjeldende regelverk.

Dersom det oppstår kortslutning i statorviklingene eller tilhørende generatorkabel, kan dette føre til totalt havari av både generator og kabelanlegg. For generatorer som er installert utenfor maskinrom eller hjelpemaskinrom – for eksempel i akselgeneratorinstallasjoner – skal det alltid installeres kortslutningsvern for tilhørende kabler, jf. kravene i NEK 410A og relevante klasseselskapsregler.



Bildet over viser en lavspentgenerator fra Stamford.

Høyspenningsgeneratorer om bord

HØYSPENNINGSGENERATORER OM BORD

Høyspenningsgeneratorer om bord i skip er vanligvis plassert i egne generatorrom adskilt fra annet maskineri. Når slike generatorer er installert utenfor rom for kvalifisert personell, skal de ha en kapslingsgrad på minimum IP 43. Dersom generatorene er plassert i rom som kun er tilgjengelig for kvalifisert personell (f.eks. maskinister eller elektropersonell), kan kapslingsgrad IP 23 aksepteres i henhold til gjeldende normer og klasseregler.

Høyspenningsgeneratorer benytter normalt indirekte vannkjøling via vann-luft-varmevekslere. Disse varmevekslerne skal være utstyrt med doble rør for å sikre driftssikkerhet. Ved eventuell lekkasje fra det indre røret (som fører kjølevann) til det ytre røret, skal det automatisk utløses lekkasjealarm, i henhold til krav om lekkasjeovervåkning. Dette er et viktig sikkerhetstiltak for å forhindre vanninntrengning i elektriske komponenter.

I tillegg til standard vern brukt på lavspente generatorer (som overspenningsvern og spenningsregulering), skal høyspenningsgeneratorer være utstyrt med vern som beskytter mot kortslutning og jordfeil i statorviklingene og i tilknyttede kabelforbindelser mellom generator og hovedtavle. Dette er særlig viktig på grunn av det høyere spenningsnivået og den potensielle skadeenergien ved feil.

Vannkjølte generatorer har som regel lengre vedlikeholds intervaller enn luftavkjølte generatorer. Dette betyr at det kan oppnås lengre sammenhengende driftstider før det er behov for inspeksjon, rengjøring eller annen planlagt service. Dette gir økt tilgjengelighet og lavere vedlikeholdskostnader over tid.

For ytterligere krav og spesifikasjoner vises det til NEK 410A, samt relevante klasseregler (f.eks. fra DNV, ABS eller Lloyd's Register).

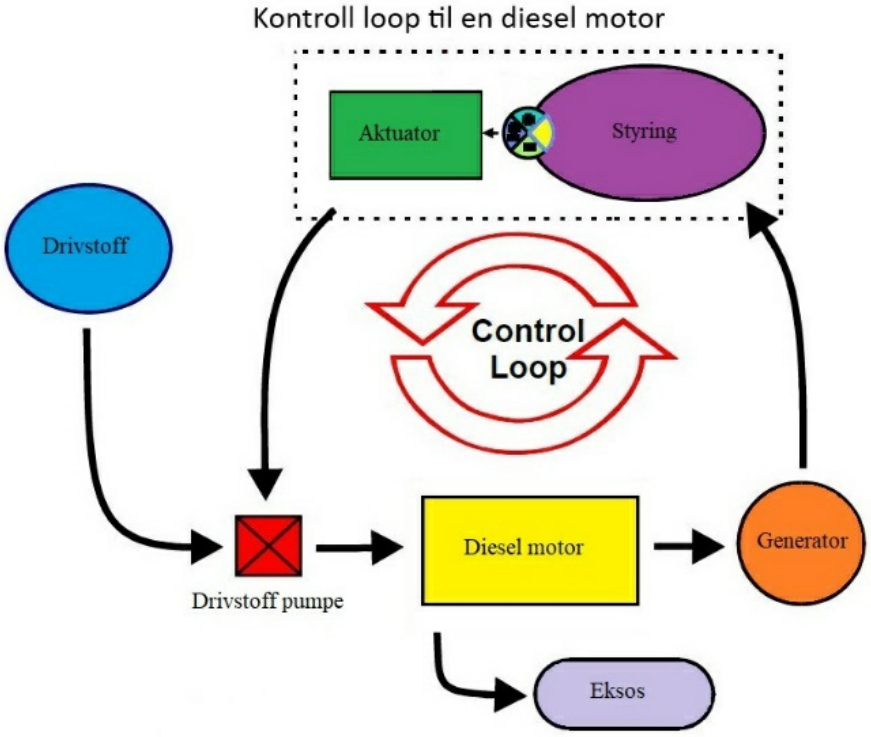
Vekselstrøms maskiner og skipsgeneratorer

VEKSELSTRØMS MASKINER OG SKIPSGENERATORER

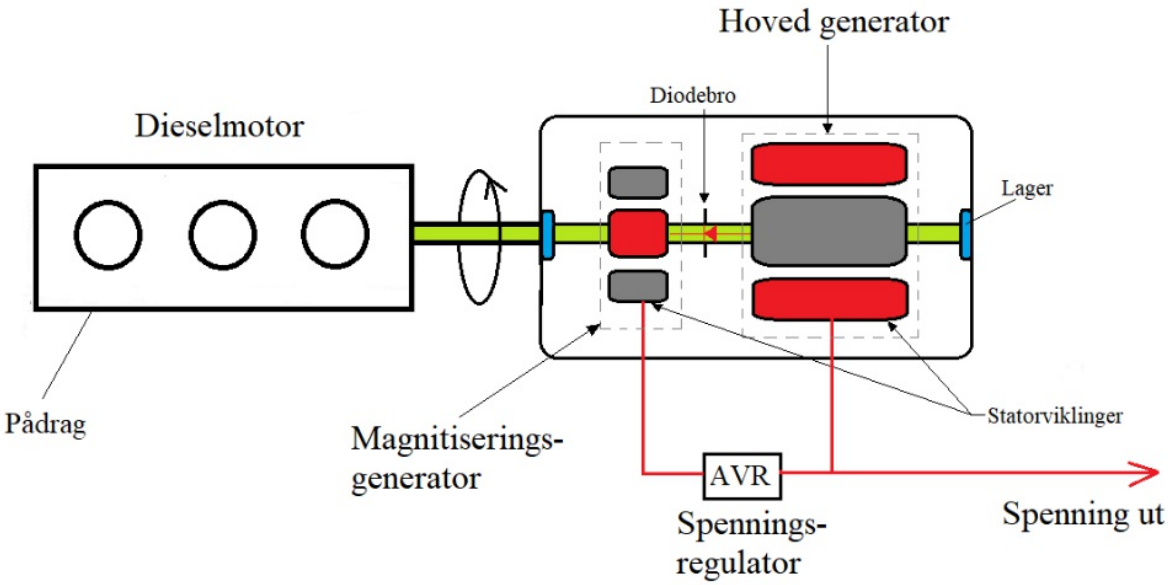
En vekselstrøms maskin er en elektrisk maskin som kan operere både som motor og som generator, avhengig av driftsforhold og tilkobling. Skipsgeneratorer er en type vekselstrøms maskin som benyttes til å omforme mekanisk energi til elektrisk energi, og brukes primært til kraftforsyning om bord.

Den mekaniske energien som driver generatoren, overføres som rotasjonsenergi fra en drivmaskin. I maritime installasjoner er dette vanligvis en dieselmotor eller dampturbin, mens man i offshoreinstallasjoner ofte benytter gassturbiner – spesielt der det er behov for høy effekt.

For synkrongeneratorer er utgangsfrekvensen direkte avhengig av rotasjonshastigheten (turtallet). Typiske turtallsområder for slike generatorer ligger mellom 300 og 3600 omdreininger per minutt (o/min), avhengig av antall polpar og ønsket frekvens. I et 50 Hz-system vil en 4-polet generator eksempelvis ha et nominelt turtall på 1500 o/min.



Ved lastendringer er det viktig at både frekvens og spenning i nettet holdes stabile. Frekvensen bestemmes av generatorens turtall, som i sin tur styres av drivmaskinens effektpådrag. Pådraget reguleres automatisk av dieselmotorens turtallsregulator (governor), som tilpasser drivkraften til det elektriske forbruket.



Figuren over viser en prinsippskisse over en generator.

Tilsvarende gjelder for generatorens utgangsspenning, som varierer ved endringer i belastning. Det er spenningsregulatorens (AVR – Automatic Voltage Regulator) oppgave å automatisk justere magnetiseringsstrømmen slik at spenningen holdes stabil på et forhåndsdefinert nivå, uavhengig av lastvariasjoner.

Magnetiseringsstrømmen er en likestrøm som er likerettet over en diodebro, og ført direkte frem til rotorviklingene i hoved generatoren.

Vekselstrøms generatorer – Oppbygning og hovedkomponenter

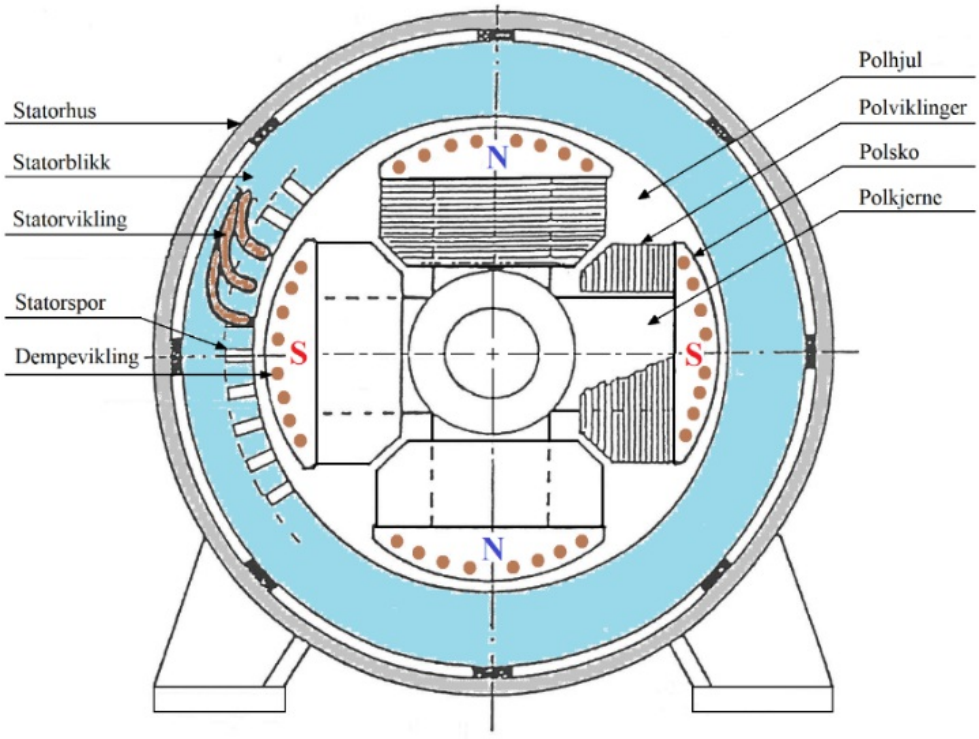
En vekselstrøms generator består i hovedsak av to hoveddeler: stator og rotor.

Statoren er den faste delen av generatoren, og det er her den elektriske energien induseres og ledes ut til forbrukerne. Den stasjonære plasseringen av statoren gjør det enkelt å koble til eksterne kretser via faste tilkoblingspunkter i koblingsboksen, noe som gir høy driftssikkerhet og enkel tilgang for tilkobling og vedlikehold.

Statorhuset er vanligvis produsert i støpejern eller valset stål, noe som gir høy mekanisk styrke og god motstand mot vibrasjoner og ytre påkjenninger. Inni statorhuset er det plassert en magnetisk kjerne bestående av såkalte statorblikk – tynne, elektrisk isolerte stålplater som er stablet og presset sammen for å minimere virvelstrømstap og forbedre den magnetiske effektiviteten.

I disse blikkene er det utstanset spor hvor statorviklingene legges. Disse sporene lages med høy presisjon ved hjelp av automatiserte stansemaskiner, noe som sikrer god ensartethet og optimal plassering av viklingene.

Den faste plasseringen av statoren muliggjør effektiv og stabil overføring av elektrisk energi til forbrukere uten behov for roterende kontakter eller børster.



4-polet generator.

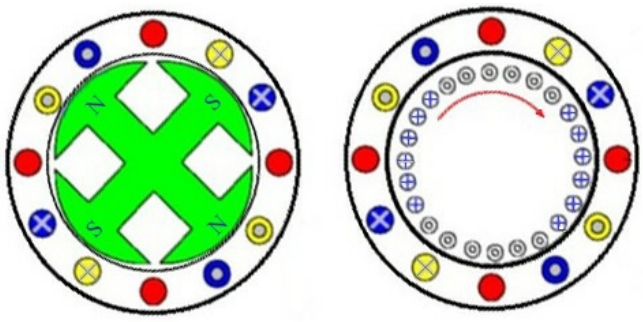
At statoren i en vekselstrøms generator er stillestående, har flere fordeler – spesielt når det gjelder isolasjon. Ved høyspente generatorer (opptil ca. 15 000 V) gjør det stillestående statoroppsettet det enklere å utføre solid og varig isolasjon av viklingene, noe som er avgjørende for driftssikkerheten.

Statoren er utstyrt med spor der viklingene legges. Vanligvis finnes det tre viklingssett, ett for hver fase i et trefasesystem. Hvert viklingssett består av flere spoler, og hver spole har to hoveddeler:

- Spolesider – den delen av spolen som ligger inne i statorsporene.
- Spolehoder – den delen av spolen som buer utenfor sporene og kobler spolesidene sammen.

Ved høye strømmer utsettes spolehodene for sterke elektromagnetiske krefter. For å tåle disse påkjenningene må de mekanisk forsterkes, ofte ved bruk av glassfiberstaver eller andre forsterkningselementer som kobler spolehodene sammen og gir ekstra stivhet.

Avstanden mellom to spolesider i én og samme spole tilsvarer én poldeling – det vil si senteravstanden mellom to nærliggende polsko på rotoren. Dette er viktig for at spolene skal ligge riktig i forhold til det magnetfeltet som rotorens poler skaper under rotasjon.



En illustrasjon av en 1-faset, 4-polet generator med markert strømretning og poldeling.

O = retningen på spenningen er ut av papirplanet.
X = retningen på spenningen er inn i papirplanet.

Viklingstilkobling og magnetisering i en synkrongenerator

I en trefasegenerator kobles flere spoler sammen til tre separate viklingssett – ett for hver fase. Spolene i hver fase kobles slik at den totale induserte spenningen i fasen blir summen av spenningene som induseres i hver enkelt spole. De tre viklingssettene er elektrisk uavhengige av hverandre og kan kobles enten i stjerne **(Y)** eller trekant **(Δ)**, avhengig av ønsket spenning og tilkoblingsmåte.

Spenningsregulering og magnetfelt

Størrelsen på den induserte spenningen bestemmes av styrken på hoved magnetfeltet, som skapes av polene på rotoren (polhjulet). Dette magnetfeltet reguleres av magnetiseringsstrømmen som tilføres rotoren.

- På moderne generatorer skjer dette som regel via en egen magnetiseringsgenerator (exciter), som kan være enten børsteløs eller styres via et automatisk reguleringssystem (AVR).

Magnetiseringsstrømmen er relativt liten sammenlignet med hovedstrømmen, så energitapene ved overføring til rotoren er minimale.

Hovedfeltets retning og luft gap

Magnetfeltet fra rotoren går fra nordpolen over luftgapet og inn i statorkjernen, der det deler seg og søker mot de to nærmeste sydpolene. Dette feltet må passere gjennom luftgapet – en kritisk del av generatorens konstruksjon.

- For hurtiggående generatorer kan luftgapet være relativt stort, typisk 20–30 mm, for å ta hensyn til mekaniske forhold som rotorens kritiske turtall og kast (vibrasjoner).

Rotorutforminger i synkrongeneratorer.

Rotoren (eller polhjulet) i en synkrongenerator kan deles inn i to hovedtyper:

Rotor med utpregede (synlige) poler

- Også kalt salient pole rotor.
- Har tydelig adskilte polsko (nord- og sydpoler) som er boltet fast på en sylinderformet rotorkropp.
- Typisk brukt i lavturtallsgeneratorer, vanligvis opptil ca. 1500 o/min (50 Hz), og særlig ved vannkraftverk og dieselaggregater.
- Egnet for store poltall (lav synkronturtall) og høy pol flate.

Turbo-rotor med skjulte poler

- Også kalt *cylindrical rotor* eller *non-salient pole rotor.*
- Har en glatt sylinderform uten synlige polsko, med viklinger lagt i spor i rotorens overflate.
- Brukes ved høyt turtall, ofte mellom 1500 og 3000 o/min (50 Hz), typisk i dampturbin- eller gassturbin-generatorer.
- Har vanligvis bare 2 eller 4 poler, da høyt turtall krever lavt poltall.

Ved 50 Hz.

- Rotor med utpregede poler: 100–1500 o/min.
- Turbo-rotor (skjulte poler): 1500–3000 o/min.
- 1500 o/min = 4-polt synkronturtall.
- 3000 o/min = 2-polt synkronturtall.

Ved 60 Hz:

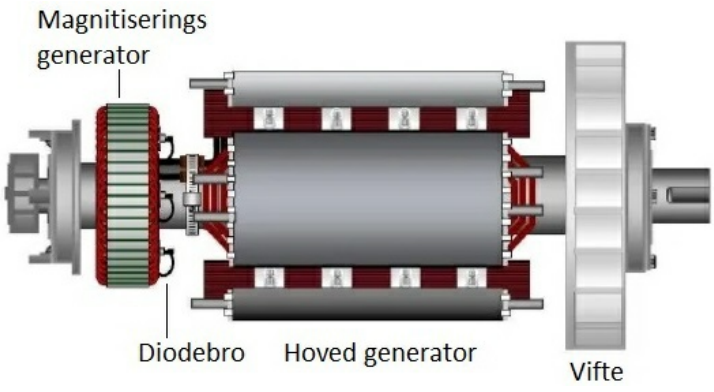
- Rotor med utpregede poler: 100–1800 o/min.
- Turbo-rotor (skjulte poler): 1800–3600 o/min.
- 1800 o/min = 4-polt synkronturtall.
- 3600 o/min = 2-polt synkronturtall.

Tabell nedenfor som angir det synkrone turtallet både for 50 Hz og 60 Hz.

> Poltall	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**	**12**	**14**	**16**	**18**	**20**
> 50 **Hz**	3000	1500	1000	750	600	500	429	375	333	300
> 60 Hz	3600	1800	1200	900	720	600	514	450	400	360

Det synkrone turtallet (n_s) er bestemt av følgende formel:

> $$n_s = \frac{f}{p} * 60 \text{ (o/min.)}$$



Elektriske grader og faseuttak

ELEKTRISKE GRADER OG FASEUTTAK

Begrepet elektriske grader har med antall poler å gjøre. En topolet generator må nemlig gjøre en omdreining for å lage en sinuskurve. Ved 50 Hz så må generatoren lage 50 sinuskurver i løpet av et sekund dette medfører at generatoren må gjøre 50 omdreininger pr. sekund.

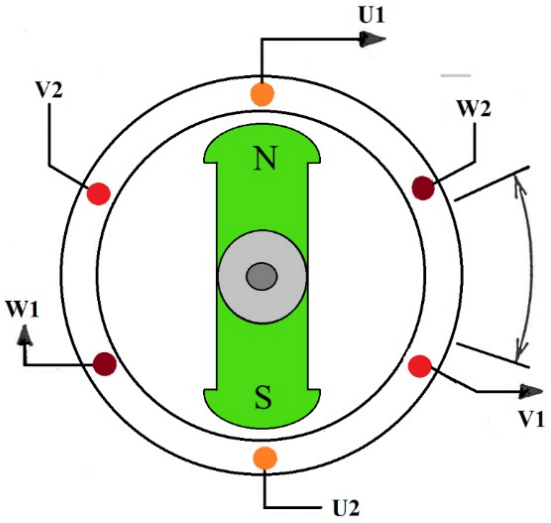
Ser vi på de mekaniske gradene som fysisk er knyttet sammen med rotorbevegelse og statorviklingen så er en fysisk omdreining for rotor 360 mekaniske grader.

Topolet synkrongenerator

TOPOLET SYNKRONGENERATOR

Har vi en topolet generator som skal ha en frekvens på 50 Hz så må denne generatoren gjøre 50 omdreininger pr. sekund.

Omdreininger pr. min: $50\ o/sek.\ *\ 60\ sek.\ =\ 3000\ o/min.$



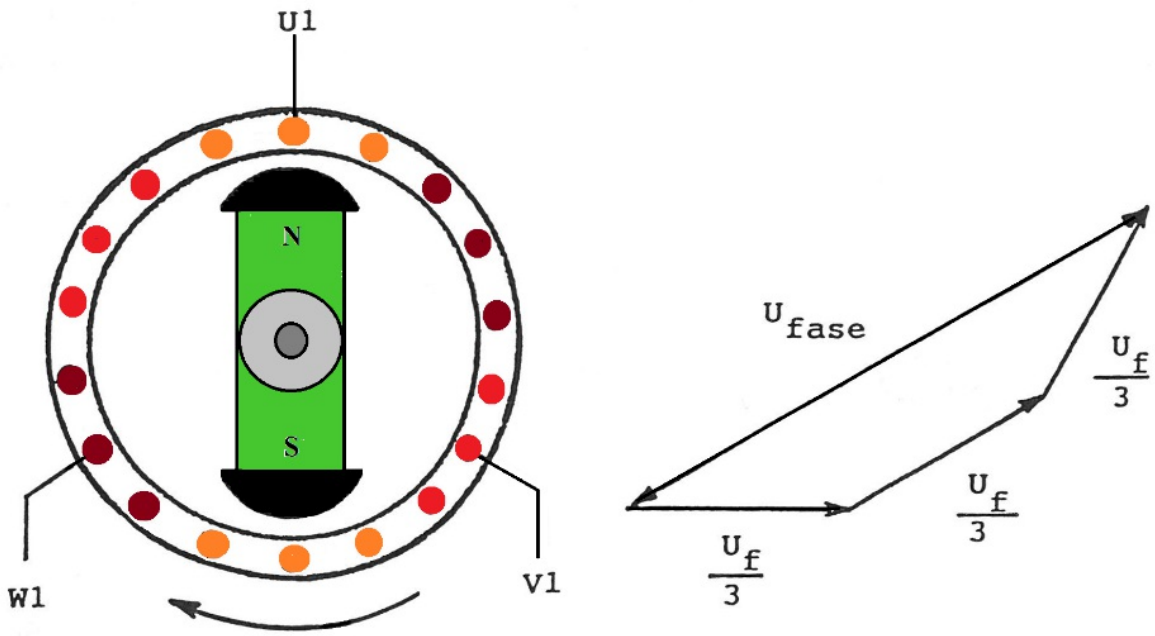
Dødsoner og spole plassering i statoren

I en generator kan det oppstå såkalte "dødsoner" – områder i statoren der det ikke induseres spenning, fordi magnetfeltet er minimalt eller i nullpunkt. Dersom spolesidene plasseres slik at de faller inn i disse sonene, vil resultatet bli ujevne og forvrengte sinuskurver, noe som er uønsket i kraftproduksjon.

For å utnytte disse dødsonene og oppnå en jevnere og mer sinusformet spenning, plasseres flere spolesider fra samme fase forskjøvet ved siden av hverandre. Dette kalles ofte for *fordelt vikling* (eller *distributed winding*), og det bidrar til å jevne ut spenningskurven ved å summere flere mindre delspenninger med ulik fasevinkel.

Figuren på forrige side viser en topolet generator, der det er én spoleside i hvert statorspor og én vikling per fase. I dette tilfellet gjelder følgende:

- 360 elektriske grader tilsvarer 360 mekaniske grader, siden det kun er to poler (én nord og én sør).
- Faseuttakene kalles **U1, V1 og W1**, og er plassert med 120 elektriske graders forskyvning i forhold til hverandre.
- Dette betyr at de tre sinusformede fasespenningene (U, V og W) kommer forskjøvet i tid – med en tredjedel av en periode mellom hver – noe som er typisk for symmetrisk trefasespenning.



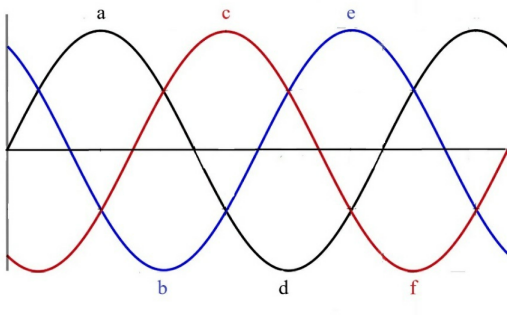
Figuren viser nå hvordan vi har utnyttet plassen i stator, ved å legge samme fase ved siden av hverandre i tre forskjellige spor. Man får nå den geometriske summen av de tre spenningene, og dette blir nå fasespenningen.

Vi skal nå se på hvordan spenningskurvene kommer på bakgrunn av rotorbevegelsen i stator.

Nordpolen frembringer den positive spenningskurve som ligger over null linjen, mens sydpolen frembringer den negative spenningskurve som ligger under null linjen.

Vi må hele tiden ta utgangspunkt i uttakene U1 – V1 – W1.

Figuren under viser oss alle de tre spenningskurvene med 120 gr. elektrisk avstand.



Alle de tre spenningskurvene med 120 gr. elektrisk avstand.

Jeg har strukturert teksten som en sekvens i tid, koblet til spenningskurvene (a–e) og rotoren sin posisjon.

Rotorens dreieretning: Med urviseren (klokkeretning).
Poler: Rotoren har én nordpol (N) og én sørpol (S).
Statorviklinger: Tre faser med uttak U1, V1 og W1, plassert 120 elektriske grader fra hverandre.

Spenningskurve og pol posisjon – ett rotasjonsforløp.

Punkt	Rotorposisjon	Spenningskurve	Forklaring
a	N-polen rett under **U1**	Start av kurve **a** – positiv topp	Maks positiv spenning induseres i U1. Samtidig nærmer S-polen seg W1.
b	S-polen rett under **W1**	Kurve **b** – topp negativ	Maks negativ spenning i W1. Samtidig nærmer N-polen seg V1.
c	N-polen rett under **V1**	Kurve **c** – positiv topp	Maks positiv spenning i V1. Samtidig går S-polen bort fra W1 (spenningen i W1 synker).
d	S-polen rett under **U1**	Kurve **d** – topp negativ	Maks negativ spenning i U1. Samtidig nærmer N-polen seg W1.
e	N-polen rett under **W1**	Kurve **e** – positiv topp	Maks positiv spenning i W1. Samtidig nærmer S-polen seg V1.
Slutt → ny runde	S-polen passerer **V1**, N-polen nærmer seg **U1**	Start på ny periode	Rotoren har gjort én hel omdreining = 360 mekaniske grader = 360 elektriske grader (topolet maskin)

Oppsummering

Σ

OPPSUMMERING

- Hver gang N-polen passerer en vikling, får vi positiv topp i den viklingen sin spenningskurve.
- Hver gang S-polen passerer en vikling, får vi negativ topp.
- Spenningen varierer sinusformet fordi feltstyrken i luftgapet varierer harmonisk mens rotoren roterer.
- Faseforskyvningen mellom U1, V1 og W1 gjør at spenningskurvene forskyves 120 elektriske grader.

Firepolet synkrongenerator – elektrisk og mekanisk vinkel

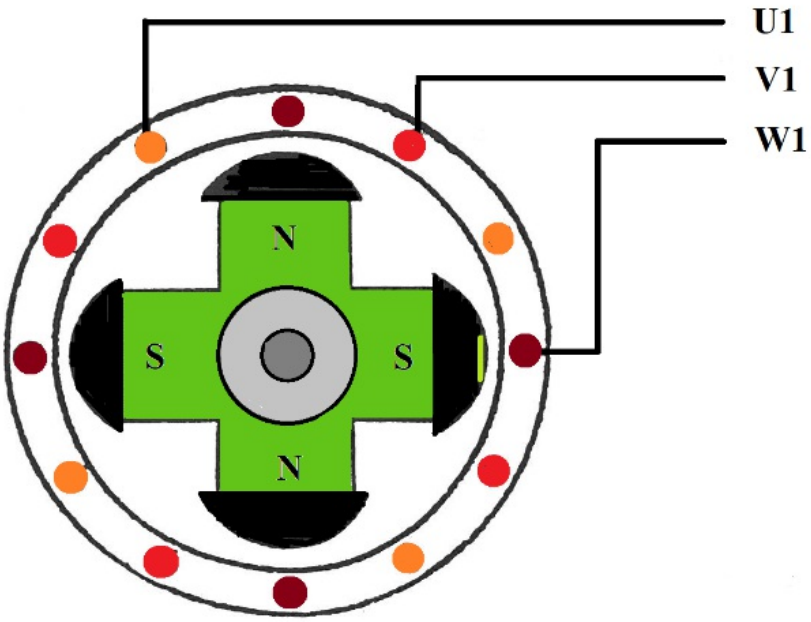
FIREPOLET SYNKRONGENERATOR – ELEKTRISK OG MEKANISK VINKEL

Vi ser nå på en 4-polet generator der statorens omkrets er 360 mekaniske grader. På grunn av de fire polene (to nordpoler og to sørpoler) vil generatoren produsere to komplette sinuskurver per fase for hver rotasjon. Dette er nødvendig for å opprettholde en frekvens på 50 Hz, siden generatorens turtall er halvert sammenlignet med en topolet maskin.

Dette gir følgende sammenheng:

> 360 mekaniske grader=720 elektriske grader

Med andre ord: for en 4-polet maskin vil hver mekanisk grad tilsvare to elektriske grader.



Sporfordeling i statoren.

Vi antar at hvert statorspor inneholder én spoleside (konsentrert vikling). Da kan vi beregne totalt antall spor slik:

- 4 poler × 3 faser = 12 spoler / spor
- Dermed deles statoromkretsen (360 mekaniske grader) i 12 like deler

$$\frac{360 \text{ mekaniske grader}}{12 \text{ spor}} = 30 \text{ mekaniske grader mellom~hvert spor}$$

Konklusjon

Σ

KONKLUSJON

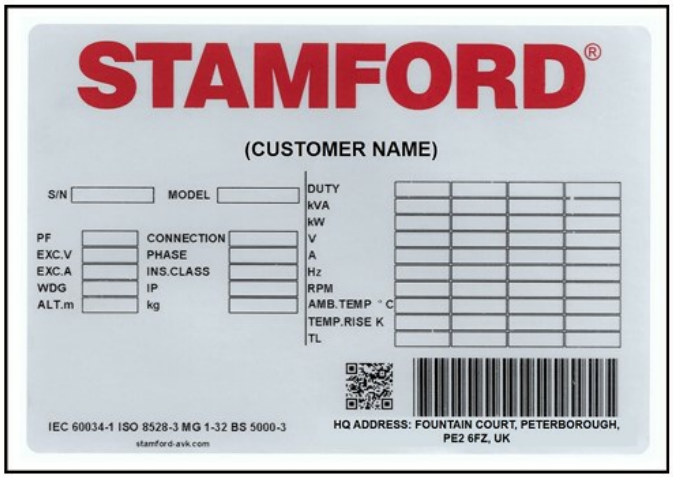
- Generatoren vil ha 12 spor.
- Hver spoleside forskyves 30 mekaniske grader.
- Dette tilsvarer 60 elektriske grader (siden 1 mekanisk grad = 2 elektriske grader i en 4-polt maskin).
- Det trengs 2 spoler forskjøvet med 60 elektriske grader (30 mekaniske) for å oppnå 120 elektriske graders faseforskyvning.

Merking av generatorer

MERKING AV GENERATORER

Alle generatorer skal ha et merkeskilt som forteller det meste om generatoren.

Under ser vi et standard merkeskilt fra Stamford.



Synkrongeneratorens driftsegenskaper

SYNKRONGENERATORENS DRIFTSEGENSKAPER

Ombord i skip har vi to hovedtyper driftsforhold for en generator:

- **Generator alene på nettet.**
- **Generator i parallell med andre generatorer** (også kalt parallellkjøring eller drift på svakt nett).

For å sikre et stabilt og pålitelig strømnett – hvor både spenning og frekvens holder seg innenfor fastsatte grenser – er to faktorer spesielt viktige:
Spenningsregulator og pådragsregulator.

Disse må kunne reagere raskt og samarbeide godt med andre regulatorer i systemet.

SPENNINGSREGULATOR

Spenningsregulatoren styrer magnetiseringsstrømmen til hovedpolene i generatoren, som igjen bestemmer spenningen. Denne reguleringen kan gjøres manuelt ved hjelp av et potensiometer (potmeter) plassert enten i generatorseksjonen i hovedtavlen eller direkte på spenningsregulatoren.

→ Generatoren "føler" spenningen.

Spenningsregulator.

SPENNINGSREGULATOR

Pådragsregulatoren kontrollerer tilførselen av drivstoff til motoren som driver generatoren. Dette påvirker motorens turtall, og dermed frekvensen i nettet. Reguleringen skjer manuelt via en bryter, ofte plassert i samme tavleseksjon. Bryteren styrer en liten motor som justerer brennstoffmengden.

→ Drivmaskinen "føler" turtallet – som styrer frekvensen.

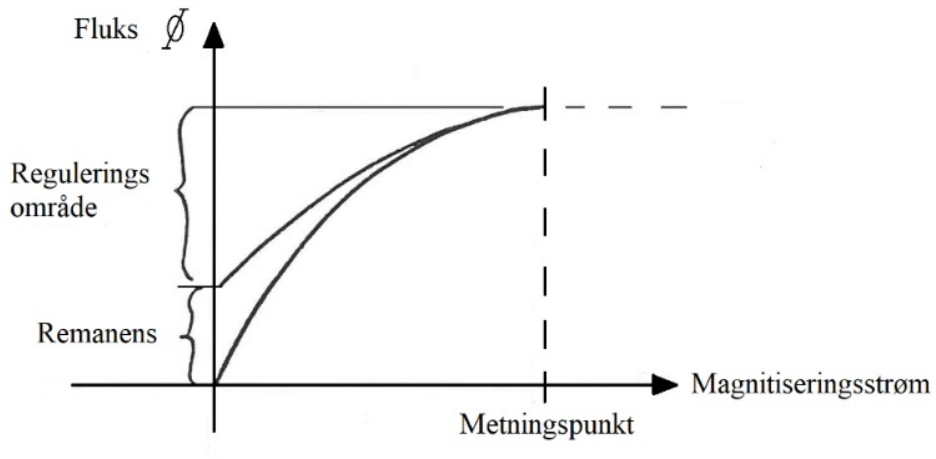
Videre i teksten omtaler vi disse regulatorene kort som magnetisering (spenning) og pådrag (frekvens).

Generatorstart etter strømbrudd – "Blackout".

Generatorer om bord må kunne starte opp fra et dødt nett, altså etter et totalt strømbrudd ("blackout"). Derfor stilles det spesielle krav både til generatoren og hele det elektriske anlegget.

Skipsgeneratorer er såkalte egenmagnetiserte. Det betyr at de ikke trenger ekstern spenning for å starte opp. For at dette skal fungere, må det være litt gjenværende magnetisme i polskoene på hovedpolene – dette kalles remanens.

→ Remanens = gjenværende magnetisme som gjør oppstart mulig.



Magnetiseringskurven til et stykke bløtjern som utsettes for et økende magnetfelt.

Magnetisering og lastforhold i skipsgeneratorer

Figuren på forrige side viser magnetiseringskurven til et stykke bløtjern som utsettes for et økende magnetfelt. Etter hvert når jernet sitt metningspunkt, det vil si at det ikke kan magnetiseres mer, uansett hvor mye strøm vi tilfører.

Ved å bruke bløtjern i polskoene i generatoren får vi et stort og effektivt reguleringsområde for magnetiseringsfeltet. Hadde vi derimot brukt stål, kunne polskoene nærmest blitt permanente magneter, og vi ville hatt et mye smalere reguleringsområde – noe som ikke er ønskelig i en generator.

Remanens – grunnlaget for oppstart.

Når generatoren står stille, vil det fortsatt være litt gjenværende magnetisme i polskoene. Dette kalles remanens. Ved oppstart – når polhjulet har nådd fullt turtall – vil denne remanensen være nok til å indusere en spenning på cirka 10 volt. Dette er tilstrekkelig som hjelpespenning for at spenningsregulatoren skal kunne begynne å jobbe og bygge opp spenningen videre til nominell verdi.

Lasttyper i elektriske anlegg.

I en elektrisk krets opererer vi med tre hovedtyper last:

- **Ohmsk last** – som varmeelementer og glødelamper.
- **Induktiv last** – som motorer og transformatorer.
- **Kapasitiv last** – som kondensatorbatterier og enkelte elektroniske enheter.

Ombord i skip er lasten normalt en blanding av ohmsk og induktiv last, men det er vanlig å si at lasten er induktiv, hovedsakelig på grunn av alle elektriske motorer i drift om bord.

Effektbegreper:

> $$P = \sqrt{3} * U * I * \cos\varphi \backslash n$$
> $$Q = \sqrt{3} * U * I * \sin\varphi \backslash n$$
> $$S = \sqrt{3} * U * I \backslash n$$

Stabil drift – frekvens og spenning

Når lasten øker, må pådragsregulatoren (governor) automatisk justere drivstofftilførselen til motoren. Dette for å holde turtallet konstant – og dermed også frekvensen. Hvis dette ikke skjer, vil frekvensen synke når belastningen øker.

På samme måte må spenningsregulatoren (eget kapittel med spenningsregulator, AVR) sørge for at spenningen holdes stabil, selv når lasten varierer. Samspillet mellom disse to regulatorene er avgjørende for å få et stabilt og driftssikkert skipselektrisk anlegg.

Spenning og belastning i en generator

Det finnes i prinsippet to måter å øke spenningen i en elektrisk krets på. Tenk deg en kobberstav tilkoblet et voltmeter, som beveger seg i et magnetfelt. Spenningen kan da økes ved å:

1. **Øke hastigheten** til kobberstaven på tvers av magnetfeltet.
2. **Øke styrken** på magnetfeltet, mens hastigheten holdes konstant.

Når vi regulerer spenningen i en generator, benytter vi oss av **metode 2**: Vi øker eller senker magnetfeltets styrke (magnetiseringsstrømmen) – mens rotasjonshastigheten (turtallet) holdes konstant.

Reaktiv last og spenningsregulering

!!!!turkisbox "Reaktiv last og spenningsregulering"
Reaktiv last er en type energi som pendler frem og tilbake mellom generatoren og forbrukeren – for eksempel i motorer og transformatorer. Det er generatoren som må håndtere denne belastningen.
Når flere generatorer kjøres i parallell, er det spenningsregulatoren som må kompensere for endringer i reaktiv last, slik at spenningen på nettet holdes stabil.*

Tilsynelatende, aktiv og reaktiv effekt

TILSYNELATENDE, AKTIV OG REAKTIV EFFEKT

Den tilsynelatende effekten (S) er summen av aktiv effekt (P) og reaktiv effekt (Q), og angis vanligvis i kVA. Den representerer den totale belastningen som generatoren må levere – både den nyttige og den sirkulerende delen.

På dataskiltet til en generator vil du alltid finne oppgitt:

- Tilsynelatende effekt (S, i kVA).
- Effektfaktor (cos φ).

$$P = S * \cos\varphi$$

Denne verdien viser hvor mye aktiv effekt drivmaskinen må levere – og dermed hvor mye pådrag som trengs.

Strøm og varme i viklingene.

For selve generatoren er det den nominelle strømmen (hovedstrømmens verdi) som er avgjørende. Det er denne verdien som bestemmer hvor mye strøm man trygt kan ta ut uten å overstige grensen for strømtetthet i viklingene.

Hvis generatoren overbelastes og strømmen overstiger den nominelle verdien over lengre tid, vil det føre til:

- Økt varmeutvikling i viklingene.
- Risiko for isolasjonsskader.

- Mulig kortslutning og feil i generatoren.

Derfor er det viktig å overvåke strøm og temperatur, og ikke overskride spesifikasjonene som står på dataskiltet.

Isolasjon og temperatur i elektriske maskiner.

Dersom nominell strøm overskrides over lengre tid, vil det føre til økt varmeutvikling i viklingene. Dette kan svekke isolasjonen og til slutt føre til feil eller havari på generatoren. Å holde temperaturen innenfor tillatte grenser er derfor helt avgjørende for levetiden til en elektrisk maskin.

Isolasjonsklasser

Elektriske maskiner – som generatorer og motorer – leveres i ulike isolasjonsklasser, som angir hvor høy temperatur isolasjonsmaterialene tåler under kontinuerlig drift.

De vanligste klassene er:

A, B, E, F og H.

Sjå NEK410A - 2021

Isolasjonsklasse	Tillatt overtemperatur (°C)	Maks driftstemperatur (°C) *
A	60	105
B	80	125
E	75	120
F	110	155
H	125	180

* Maksimal driftstemperatur = tillatt overtemperatur + standard omgivelsestemperatur (vanligvis 45 °C).

Isolasjonsklasse F – standard i moderne generatorer.

De fleste synkrongeneratorer i dag leveres med isolasjon i klasse F. Det betyr at viklingene tåler en overtemperatur på opptil 110 °C, i tillegg til omgivelsestemperaturen. Dette gir en maksimal driftstemperatur på 155 °C.

Grunnen til at klasse F er vanlig, er at den gir god utnyttelse av både plass, vekt og ledemateriale, samtidig som den gir høy driftssikkerhet og lang levetid.

Ankerreaksjon i synkrongeneratorer

Spenningsnivået i en synkrongenerator bestemmes hovedsakelig av hovedfeltet, som dannes av polhjulet (rotoren). Dette feltet oppstår når det tilføres en likestrøm via magnetiseringssystemet, og det er dette som skaper indusert spenning i statorviklingene (ankeret).

Spenningsnivå ved tomgang (ingen last):

Når generatoren går i tomgang (ingen last tilkoblet), trengs det kun en svak magnetiseringsstrøm for å opprettholde nominell spenning, for eksempel 440 V.
Under testing settes spenningen ofte litt høyere (f.eks. 450 V) for å kompensere for fremtidige spenningsfall, og dette er gjerne spenningen som oppgis på dataskiltet.

Hva skjer når generatoren belastes?

Når vi kobler til en last, begynner det å gå strøm gjennom statorviklingene – dette kalles ankerstrøm. Denne strømmen er en vekselstrøm, og den setter opp sitt eget magnetfelt (kalt ankerfelt), som veksler i takt med strømmen.

Dette ankerfeltet opptrer i samme magnetiske krets som hovedfeltet og påvirker det på ulike måter. Dette fenomenet kalles ankerreaksjon.

Effekten av ankerreaksjonen:

Ved induktiv belastning (vanlig på skip, f.eks. motorer og transformatorer) vil ankerfeltet:

- Motarbeide hovedfeltet, og dermed svekke den totale magnetiske fluksen.
- Dette fører til at den induserte spenningen synker.

For å motvirke dette, vil spenningsregulatoren (AVR) registrere spenningsfallet og automatisk:

- Øke magnetiseringsstrømmen til polhjulet.
- Dette styrker hovedfeltet igjen, slik at spenningen stabiliseres til riktig verdi i forhold til lasten.

Strømmens komponenter:

Ankerstrømmen kan deles i to komponenter:

1. Aktiv strømkomponent (I_a) – i fase med spenningen:
   - Skaper et magnetfelt som virker tverrmagnetiserende på hovedfeltet (det forskyver feltet sideveis, uten nødvendigvis å svekke det direkte).

2. Reaktiv strømkomponent (I_r) – ligger 90° i faseforskyvning:
   - Ved induktiv last virker denne mot magnetiserende – den svekker hovedfeltet.
   - Ved kapasitiv last virker den med magnetiserende – den forsterker hovedfeltet.

Oppsummert

Σ

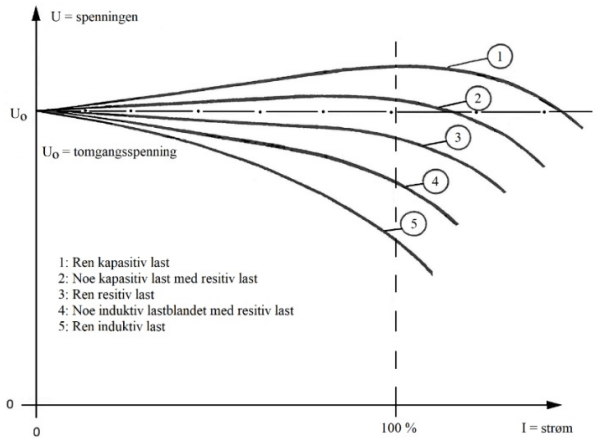
OPPSUMMERT

- Ankerreaksjon er den påvirkningen ankerstrømmen har på hovedfeltet i en synkrongenerator.
- Den fører ofte til spenningsfall ved induktiv last, noe som kompenseres med økt magnetisering.
- Hvor kraftig denne reaksjonen er, avhenger både av lastens karakter (induktiv/kapasitiv) og hvor stor strømmen er.

Ankerreaksjon.

For å kunne forstå synkrongeneratorens driftsegenskaper så skal vi i figuren nedenfor se på belastningskarakteristikkene for generatoren, som er forårsaket av ankerreaksjonen.

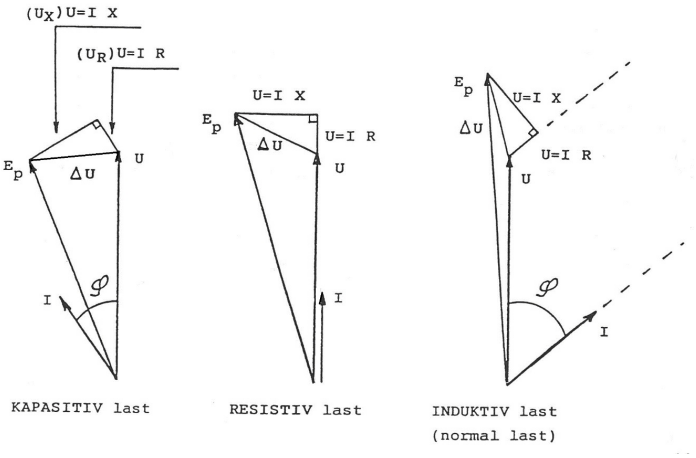
Spenningen blir innregulert når generator går i tomgang. Spenningen blir her en funksjon av belastningsstrømmen.
Effektfaktor og magnetiseringsstrømmen holdes konstant.



Synkrongenerator alene

Generatoren arbeider alene mot en belastning, dvs. ikke sammen med andre generatorer.

Vi skal nå se litt på generatorens spenningsverdier, spenningsfalltrekanten, reaktans og motstand i viklingene, pådrag og magnetisering, ut ifra de forskjellige belastninger.



R = den ohmske motstand i generators viklinger.
X = den induktive reaktans i generators viklinger.
U_R = det ohmske spenningsfallet UX = det induktive spenningsfallet.
Ep = polhjul spenningen (indusert spenning).
U = klemmespenningen.
I = hovedstrømmen.

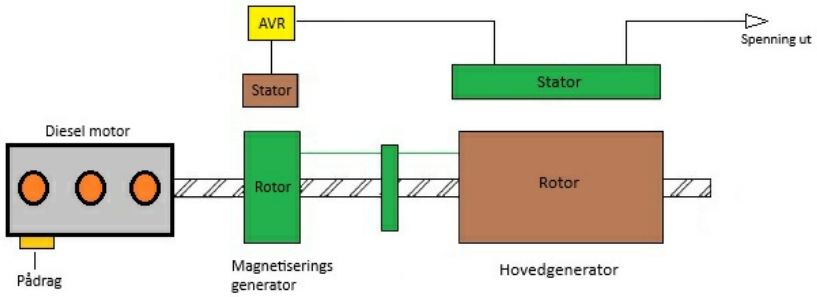
Spenningsfalltrekanten er også kalt den KAPPSKE trekant.

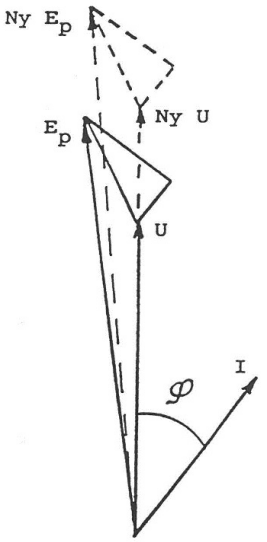
!

HUSK:

Hovedstrømmen er parallell med UR-siden.

Det er to måter å øke spenningen på i en generator som ligger alene inne på nettet, og det er ved å øke pådraget eller å øke magnetiseringen.





Den heltrukne spenningsfalltrekanten er ved normal spenning.

Vi øker magnetiseringen:

- Fluksen i hovedfeltet øker
- Polhjulsspenningen øker

**Klemmespenningen (U) vil øke.

Vi øker pådraget:

- Turtallet vil øke
- Frekvensen øker
- Polhjulsspenningen øker

Klemmespenningen (U) vil øke.

Både økt magnetisering (eksitasjon) og økt pådrag fører til at spenningen endrer seg, noe som kan illustreres med en stiplet effekttrekant. Dette viser at effekttrekanten har "forskjøvet seg" i det komplekse planet, men selve størrelsen på trekanten har ikke endret seg, siden lasten fortsatt er den samme. Det betyr at verken aktiv eller reaktiv effekt er endret. En ulempe med å øke pådraget er at det også fører til økt frekvens. Retningen på trekanten – altså effektfaktoren – er også uendret fordi belastningen ikke er endret. Hvis lasten derimot øker, vil strømmen øke, og da vokser også effekttrekanten, siden lengden på sidene i trekanten er proporsjonal med strømmen.

Asynkrongenerator – virkemåte og bruk

ASYNKRONGENERATOR – VIRKEMÅTE OG BRUK

En asynkronmaskin kan fungere som generator dersom den blir drevet med et turtall som er høyere enn det synkrone. I denne tilstanden blir slippen negativ, og strømretningen snur – maskinen begynner å levere aktiv effekt tilbake til nettet via statorviklingene.

Selv om maskinen nå arbeider som en generator, har den fortsatt ikke egen magnetisering, og den nødvendige reaktive strømmen for å opprettholde magnetfeltet må tilføres utenfra – akkurat som i motordrift.

To driftsformer for asynkrongenerator:

1. Parallell drift med synkrongeneratorer eller et eksisterende nett:
   - Generatoren kobles til et nett som allerede har spenning og frekvens.
   - Den nødvendige reaktive effekten for magnetisering trekkes direkte fra nettet.
   - Effektfaktoren (cos φ) bestemmes av maskinens indre karakteristikk og lasten – den kan ikke justeres direkte.

2. Selvstendig drift med kondensatorbatteri (kondensatormagnetisert):
   - Generatoren opererer uavhengig av nett, f.eks. i øy drift eller isolerte systemer.
   - Et kondensatorbatteri kobles til statorens terminaler og sørger for å levere nødvendig reaktiv effekt.
   - Egnet for enkle anlegg hvor man ikke har tilgang på et større nett.

Fordeler ved asynkrongenerator på frekvensstabilt nett:

- Ingen behov for likestrøms magnetisering (eksitasjon) som i synkrongeneratorer.
- Ingen spenningsregulator eller kompleks kontrollenhet er nødvendig.
- Automatisk synkronisering: generatoren kobles til nettet når den er oppdrevet til rett turtall.
- Enkel konstruksjon og lite vedlikehold.

Bruk ombord på skip:

Asynkrongeneratorer har begrenset bruk som hoved generatorer, da de ikke kan styre spenning og reaktiv effekt selvstendig. Derimot er de meget godt egnet som akselgeneratorer (shaft generators), hvor de drives av fremdriftsmotoren og leverer kraft til skipets elektriske system når fartøyet er i bevegelse.

Med dagens teknologi, inkludert frekvensomformere og kraftelektronikk, er asynkrongeneratorer et aktuelt og effektivt alternativ for elektrisk kraftproduksjon ombord, særlig i hybrid- og dieselelektriske systemer.

Akselgeneratorer – prinsipp og systemtyper

Et alternativ til separat drevne hjelpegeneratorer (hjelpeaggregat) er å benytte generatorer som er mekanisk tilkoplet fremdriftsmotoren, enten direkte eller via gir. Disse kalles akselgeneratorer (*shaft generators*), siden de tar ut mekanisk energi fra propellakselen eller motorens utgående aksel.

To hovedtyper akselgeneratorsystemer:

1. Fremdriftsmaskin med vribar propell (constant speed system):
   - Turtallet på hovedmotoren holdes tilnærmet konstant uavhengig av propellast.
   - Dette muliggjør bruk av en synkrongenerator direkte koblet til akselen (eventuelt via gir).
   - Siden turtallet er stabilt, kan generatoren produsere strøm med konstant frekvens – egnet for direkte parallellkobling til skipets hovedtavle.

- Det er vanlig å bruke en utkoblingsmekanisme (clutch) slik at generatoren kan kobles fra ved behov (f.eks. under manøvrering eller ved lav last).

2. Fremdriftsmaskin med fast propell (variable speed system):
   - Turtallet varierer med skipets fart og belastning, noe som gjør direkte bruk av synkrongenerator upraktisk.
   - I slike tilfeller benyttes ofte asynkrongenerator eller synkrongenerator med frekvensomformer (converter), som kan håndtere varierende turtall og omforme spenning og frekvens til det skipet trenger.
   - Dette kalles gjerne VSG (Variable Speed Generator) eller PTO (Power Take-Off) system med mellomliggende kraftelektronikk.

Fordeler med akselgeneratorer:

- Redusert drivstofforbruk – spesielt ved økonomifart – siden hovedmotorens overskuddseffekt benyttes til strømproduksjon.
- Mindre behov for drift av hjelpeaggregater under seilas.
- Lavere vedlikeholdskostnader.
- Bedre total virkningsgrad for fremdrift og energiproduksjon.

Synkrongenerator med PMG og magnetiseringsgenerator

En moderne synkrongenerator har et selvforsynt og automatisk spenningsreguleringssystem. Dette systemet inkluderer:

1. PMG – Permanent Magnet Generator.
   - En liten generator med permanente magneter montert på samme aksel som hoved generatoren.
   - Lager vekselspenning når akselen roterer.
   - Forsyner AVR (Automatic Voltage Regulator) med strøm, uavhengig av last og spenning på hoved generatoren.
   - Fordel: Sikrer stabil magnetisering og spenningsregulering selv ved raske lastendringer eller kortslutninger.

2. AVR – Automatic Voltage Regulator.
   - Elektronisk regulator som styrer hvor mye magnetiseringsstrøm rotoren trenger.
   - Mottar strøm fra PMG, måler utgangsspenningen fra hoved generatoren og sammenligner den med ønsket verdi.
   - Justerer deretter spenningen som går videre til neste steg: magnetiseringsgeneratoren.

3. Magnetiseringsgenerator (Exciter).
   - En vekselstrøms generator, ofte plassert internt, og også montert på samme aksel som hoved generatoren.
   - Rotoren til exciteren får spenning fra AVR, og i statoren på exciteren dannes det vekselstrøm.
   - Denne vekselstrømmen går videre til roterende likerettere.

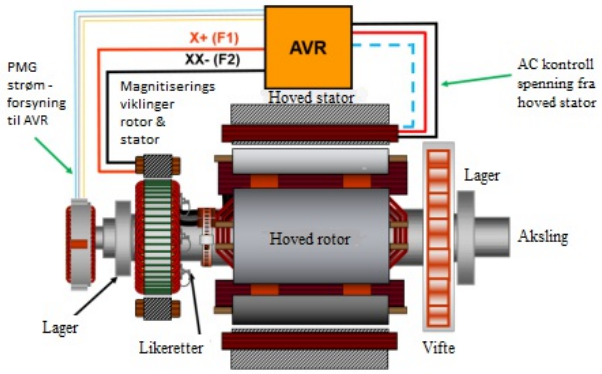
4. Roterende likerettere (dioder).
   - Montert på rotoren.
   - Likeretter vekselstrømmen fra exciteren og gjør den om til likestrøm, som går rett inn i hovedrotorens feltviklinger.
   - Slik etableres hoved magnetfeltet som trengs for å generere spenning i statoren.

5. Hoved generator.
   - Rotoren med magnetfelt dreier og induserer vekselspenning i statorviklingene.
   - Dette er den strømmen som går til skipets elektriske nett eller tavle.

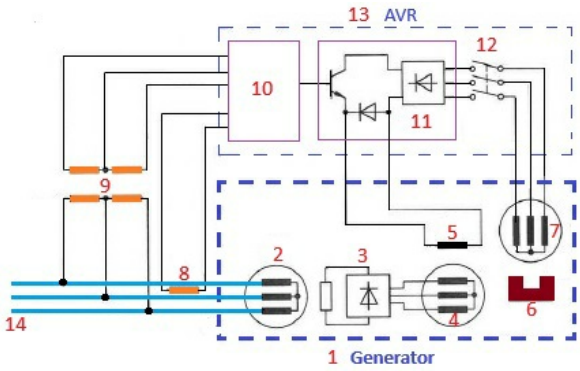
Fordel med dette systemet:

- Helt selvforsynt – trenger ikke ekstern spenning for å starte.

- Robust under kortslutning og høy last, fordi PMG og exciter opprettholder magnetisering uavhengig av statorspenningen.
- Presis og rask spenningsregulering med AVR.
- Ingen børster/sleperinger, fordi magnetiseringskretsen er hel-roterende.



Generator med PMG.



Synkrongenerator uten PMG

SYNKRONGENERATOR UTEN PMG

En synkrongenerator som ikke har PMG (Permanent Magnet Generator) bruker i stedet spenningen fra hoved generatorens stator for å lage magnetiseringsstrøm. Dette skjer gjennom følgende trinn:

1. Hoved generator – Stator og Rotor.
   - Rotoren (polhjulet) dreies av en mekanisk kraftkilde, f.eks. dieselmotor.
   - Rotoren har et magnetfelt, som induserer vekselspenning i statorviklingene når den roterer.
   - Ved oppstart er det ofte en restmagnetisme i rotoren som gir nok spenning til å starte prosessen.
2. AVR – Automatic Voltage Regulator (ha eget kapittel).
   - AVR er en elektronisk enhet som tar strøm direkte fra hoved generatorens stator.
   - Den overvåker spenningen på generatorens utganger, og regulerer hvor mye spenning som skal gå videre til magnetiseringsgeneratoren (exciter).
   - AVR reagerer raskt på spenningsfall og justerer feltstyrken tilsvarende.

3. Magnetiseringsgenerator (Exciter)
   - En mindre generator (AC-type), fastmontert på samme aksel som hoved generatoren.
   - Statoren i exciteren får strøm fra AVR.
   - Når exciteren går rundt, vil den produsere vekselspenning i sin rotor.
   - Denne vekselstrømmen føres videre til et roterende likerettertrinn (dioder).

4. Roterende likerettere (dioder).
   - Montert på rotoren.
   - Gjør vekselstrømmen fra exciteren om til likestrøm.
   - Denne likestrømmen mates rett inn i hovedrotorens feltviklinger, og lager magnetfeltet som trengs for å generere hovedspenningen.

Spenningskontroll

- Hvis belastningen øker og spenningen synker, vil AVR registrere dette og øke strømmen til exciteren.
- Resultatet blir sterkere magnetfelt → høyere indusert spenning i statoren → spenningen stabiliseres.

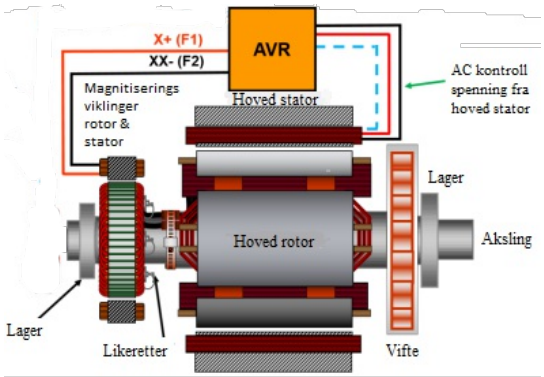
Fordeler og ulemper uten PMG.

Fordeler

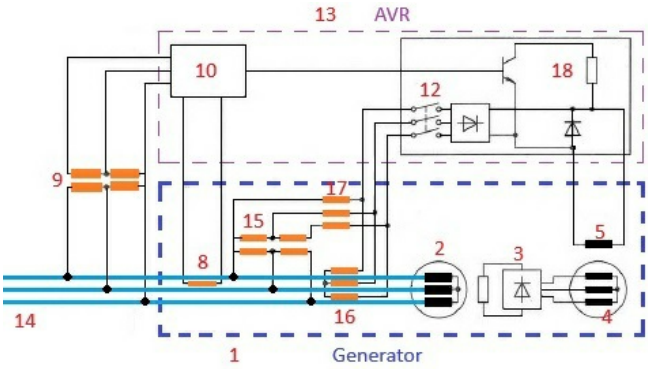
- Enklere konstruksjon (færre komponenter).
- Billigere å produsere.

Ulemper

- Fordi magnetiseringssystemet henter strøm fra hoved generatorens stator, kan det bli ustabilt ved kortslutninger eller store spenningsfall.
- Trenger restmagnetisme i rotoren for å starte opp uten ekstern hjelp.



Generator uten PMG.



Prosedyre: Oppstart av generator fra dødt skip

Forutsetninger:

- Skipet er helt strømløst (ingen hjelpestrøm, ingen kontrollspenning).
- Hoved generatorer har manuell startmulighet (mekanisk eller via nødbatteri).
- Nødtavle og nødgenerator er ikke tilgjengelige eller operative.
- Sikkerhetsprosedyrer og SJA (Sikker Jobb Analyse) er gjennomført.

1. Forberedelser.

1. Informer bro og maskinrom (hvis mulig).
2. Bekreft at det faktisk er dødt skip (ingen spenning på hovedtavle og nødtavle).
3. Lokaliser hvilken generator som skal startes først – primær oppstartsenhet.
4. Kontroller at:
   - Drivstoff er tilgjengelig.
   - Smøreolje- og kjølevæskestander er innenfor normalområde.
   - Ingen alarmer eller manuelle stengninger er aktivert.
   - Alle nødstopp er tilbakestilt.
   - Tavle- og generatorbrytere er åpne (OFF/utkoblet).
   - Eventuell luftstart er klar (trykk og ventiler).

2. Manuell klargjøring.

1. Koble inn eventuelt nødbatteri eller manuell strømforsyning til kontrollsystemet, hvis det er nødvendig for start.
2. Dersom start skjer via luftstartsystem:
   - Verifiser lufttrykk.
   - Åpne hovedluftventil til motor.

3. Oppstart av dieselmotor.

1. Start generatorens dieselmotor manuelt:
   - Trykk på manuell startknapp, eller utfør luftstart.

2. Overvåk oljetrykk og kjølevannstemperatur.
   - Bekreft at oljetrykket stiger innen 5–10 sekunder.
   - Dersom ikke, stans motor og feilsøk.

4. Klargjøring for innkobling.

1. Når motoren er i gang og stabil:
   - Kontroller frekvens og spenning på generatoren.
   - Juster turtall ved behov for å få frekvens innenfor akseptabelt område (f.eks. 50 Hz ± 1 Hz).
   - Bekreft riktig fasefølge.
   - Bekreft at generatoren er klar til å kobles til tavle.

5. Innkobling av generator til tavle.

1. Sørg for at ingen større forbrukere er på (unngå stor startstrøm).
2. Koble hovedbryter inn (generator → hovedtavle).
3. Bekreft at tavlen er spenningssatt.
4. Sjekk tavlespenning, frekvens og tilkoblet last.

6. Gjenopprett systemer.

1. Aktiver hjelpesystemer:
   - Kjølevannspumper
   - Smøreoljepumper
   - Kontrollsystemer
   - Lading av tavle- og nødstrøms batterier

2. Start eventuelle støttesystemer etter prioritet.
3. Start flere generatorer etter behov, og synkroniser hvis det er aktuelt.

7. Etterkontroll og rapportering.

1. Før inn hendelsen i maskindagbok.
2. Undersøk og dokumenter årsak til dødt skip.
3. Utfør full systemsjekk før normal drift gjenopptas.

!

VIKTIG SIKKERHETSINFORMASJON

- Aldri forsøk å koble inn en generator før spenningsnivå og fase er kontrollert.
- Ved feil under oppstart: stans, feilsøk og ikke forsøk gjentatte start uten korrigering.
- Følg alltid produsentens og rederiets prosedyrer og klasseselskapets krav.

Eksempel beregningsoppgave:

EKSEMPEL BEREGNINGSOPPGAVE:

Nr. 1
En trefase generator skal gi 200 A ved 250 V hovedspenning. Generatorens virkningsgrad er 90 %. Frekvensen er 50 Hz. Generatoren har 6 polpar.

Effektfaktoren ved full last er 0,8.

a) Beregn generators kVA og tilført effekt på akselen.
b) Beregn generatorens turtall.

Løsnings forslag nr.1

a) Tilsynelatende effekt: $S = \sqrt{3} * U * I = \sqrt{3} * 250 * 200 = \underline{\underline{86,602 kVA}}$

Virkningsgraden: $\eta = \frac{P_{av}}{P_{til}} \rightarrow P_{til} = \frac{P_{av}}{n}$

$P_{til} = \frac{\sqrt{3} * U * I * \cos\varphi}{\eta} = \frac{\sqrt{3} * 250 * 200 * 0,8}{0,9} = \underline{\underline{76980\ W = 76,98\ kW}}$

b) Generatorens turtall: $n = \frac{f}{p} = \frac{50}{6} = 8,33\ s^{-1}\ (per\ sekund)$

Omdreiningstallet per minutt: $\underline{\underline{8,33 * 60 = 500^{o}\ min.}}$

EKSEMPEL BEREGNINGSOPPGAVE:

Nr. 2

En trefase 440 volts synkrongenerator ligger alene inne på hovedtavlen og forsyner følgende forbrukere:

Symmetrisk varmeanlegg som trekker 59 A.
En trefasemotor med påstemplede verdier:

P = 40 kW, U = 440 V, cos φ = 0,9, η = 0,92

Diverse småmotorer 3-fase, som til sammen trekker 52,5 A ved en opptatt effekt P = 25 kW.

a) Beregn generatorens aktive, reaktive og tilsynelatende effekt.
b) Beregn generatorens effektfaktor når alle tre nevnte belastninger er innkoplet.
c) Tegn effektdiagram i målestokk og kontroller beregningene i de to foregående spørsmål.

Løsningsforslag

a) Regner først ut belastningsverdiene.

Varmeanlegg trekker ingen reaktiv strøm komponent ergo så er cos φ = 1.

$$P_1 = \sqrt{3} * U * I * \cos\varphi = \sqrt{3} * 440 * 59 * 1 = \underline{\underline{44,964\ kW}}$$

$$I_h = I_a = \underline{59\ A}$$

Motorer trekker aktive og reaktive komponenter. Motorens oppgitte effekt er alltid den avgitte effekten.

$$P_2 = \frac{P_{\text{avgitt}}}{\eta} = \frac{40000}{0{,}92} = \underline{\underline{43480\ W = 43,48\ kW}}$$

$$S = \frac{P_a}{\cos\varphi} = \frac{43480}{0{,}92} = \underline{\underline{48311\ VA = 48,311\ kVA}}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{48311^2 - 43480^2} = \underline{\underline{21058\ VAr = 21,058\ kVAr}}$$

$$\cos\varphi = 0,9 \quad \rightarrow \quad \sin\varphi = 4539$$

$S = \sqrt{3} * U * I$ $\rightarrow$ snu formel

$$I_h = \frac{S}{\sqrt{3} * U} = \frac{48311}{\sqrt{3} * 440} = \underline{63,39A}$$

$$I_a = I_h * \cos\varphi = 63,39 * 0,9 = \underline{57,05A}$$

$$I_r = I_h * \sin\varphi = 63,39 * 0,4539 = \underline{27,63A}$$

a)

$I_h = 52,5\ A \qquad P = 25\ kW \qquad U = 440\ V$

$P_3 = \sqrt{3} * U * I_h * \cos\varphi \quad \rightarrow$

$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{3}*U*I} = \frac{25000}{\sqrt{3}*440*52,5} = \underline{0,6248} \rightarrow \quad \sin\varphi = 0,7808$

$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{40000^2 - 25000^2} = \underline{31225W = 31,225kW}$

$I_a = I_h * \cos\varphi = 52,5 * 0,6248$

$I_r = I_h * \sin\varphi = 52,5 * 0,7808$

a)

$P_t = P_1 + P_2 + P_3 = 44964 + 48311 + 25 = \underline{\underline{118275W = 118,275\ kW}}$

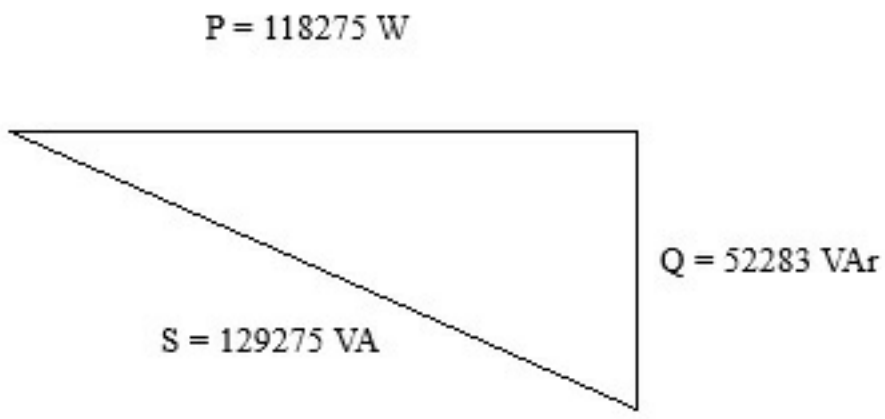
$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0 + 21058 + 31225 = \underline{\underline{52283VAr = 52,283\ kVAr}}$

$S_t = \sqrt{{P_t}^2 + {Q_t}^2} = \sqrt{118275^2 + 52283^2} = \underline{\underline{129315VA = 129,315\ kVA}}$

b)

$\cos\varphi = \frac{P_t}{S_t} = \frac{118275}{129315} = \underline{\underline{0,9146}}$

c)



Kap 15 Parallellkøyring av generatorer

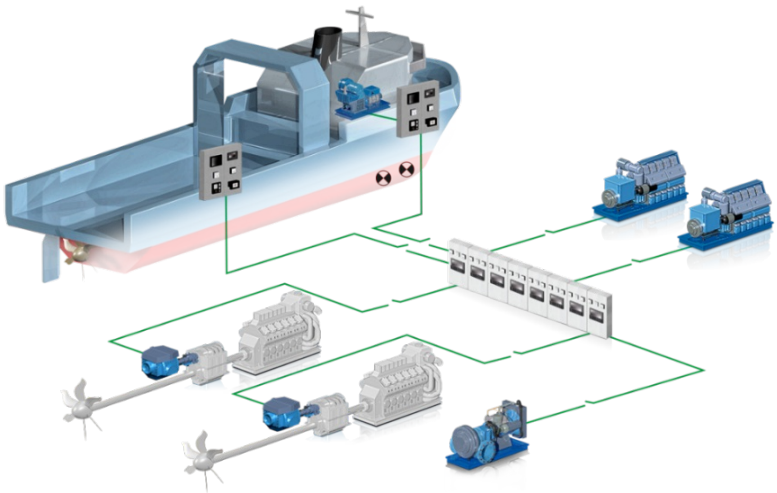
Parallelldrift av generatorer

PARALLELLDRIFT AV GENERATORER

Parallelldrift betyr at to eller flere generatorer er koblet til samme elektriske nett og leverer kraft samtidig. Dette er den vanligste driftsformen på moderne skip.

Når generatorene går parallelt, vil de som regel oppføre seg omtrent som om de er koblet til et sterkt nett. Likevel vil ikke spenning (U), frekvens (f) og turtall (n) være helt stabile – de kan variere litt, avhengig av belastningen og reguleringen.

- **Reaktiv effekt (kVAr)** styres av **magnetiseringen** (feltstrømmen).
- **Aktiv effekt (kW)** styres av **pådraget** (drivstofftilførselen til motoren).



Tegning: DEIF

I tegninga over tar vi utgangspunkt i at både magnetisering og pådrag justeres manuelt, men i praksis skjer dette automatisk via skipets kraftstyringssystem (PMS – Power Management System).

Krav til god parallellkobling

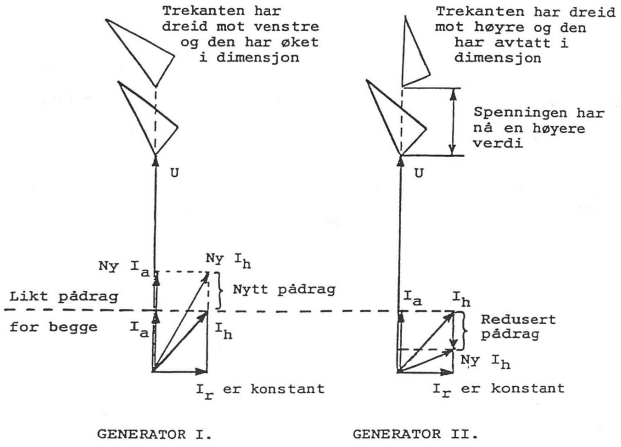
Når generatorer skal parallellkobles, må de rotere helt synkront. For å få en stabil og jevn lastfordeling mellom to generatorer, må:

- Drivmaskinene ha samme turtallsstatikk (respons på endret belastning).
- Generatorene ha samme spenningsstatikk (hvordan spenningen endres ved belastning).

Disse forholdene er viktige for at lastfordelingen skal fungere riktig – mer om dette i delen om parallellkjøring.

Vi skal nå se på hva som skjer når vi forandrer på pådrag og magnetisering på et svakt nett.

Vi tar utgangspunkt i at begge generatorene har lik lastfordeling. Dette vil igjen si at de leverer like stor aktiv og reaktiv effekt til lasten. Strømdiagrammet er da lik for begge generatorene. Se for øvrig i figuren under.



Vektordiagrammene ovenfor illustrerer hvordan strøm og spenning påvirkes når vi øker pådraget på dieselmotor I.

Hva skjer når vi justerer pådrag og magnetisering i et svakt nett?

La oss si at vi har to generatorer som i utgangspunktet deler lasten likt – altså leverer like mye aktiv og reaktiv effekt. Strømforløpet er identisk for begge, og vektordiagrammene viser strøm og spenning.

Øker vi pådraget på dieselmotor I:

- Generator I forsøker å levere mer aktiv effekt.
- Men fordi generatorene er koblet til samme nett, kan den ikke øke frekvensen eller spenningen alene.
- I stedet øker den aktive strømkomponenten ut fra generator I, og den reduseres tilsvarende fra generator II.
- Resultat: Generator I overtar mer av den aktive lasten.

Selv om totalbelastningen i systemet er den samme, endres fordelingen:

- Diesel I får høyere last enn pådrag, og
- Diesel II får høyere pådrag enn last.

Dette gjør at begge dieselmotorene øker turtallet noe – siden de fortsatt er koblet til hver sin generator i samme nett.

Dette medfører:

- Større spenningsfall i begge generatorer, og endringer i strømretningen.
- Når turtallet og polhjulshastigheten øker, stiger også den induserte spenningen.
- Det fører til at klemmespenningen **(**U**)** stiger noe for begge generatorer.

Oppsummert når vi øker pådraget:

- Turtall (n) øker likt for begge.
- Frekvens (f) øker likt.
- Spenning (U) øker likt.

Tilsvarende vil en reduksjon i pådrag føre til redusert turtall, frekvens og spenning. Samtidig vil den aktive effekten flytte seg mellom generatorene.

Hva skjer når vi justerer magnetiseringen?

Øker vi magnetiseringen på generator I, mens lastfordelingen ellers er nøytral:

- Generator I vil levere mer reaktiv effekt (kVAr) til nettet.
- Generator II leverer da mindre reaktiv effekt.
- Generatorene får da ulik effektfaktor (cos φ).

Det betyr at:

- Vi har nå overkompensert reaktivt – altså for høy magnetisering i forhold til den reaktive lasten.
- Dette fører til at klemmespenningen stiger noe for begge generatorene.

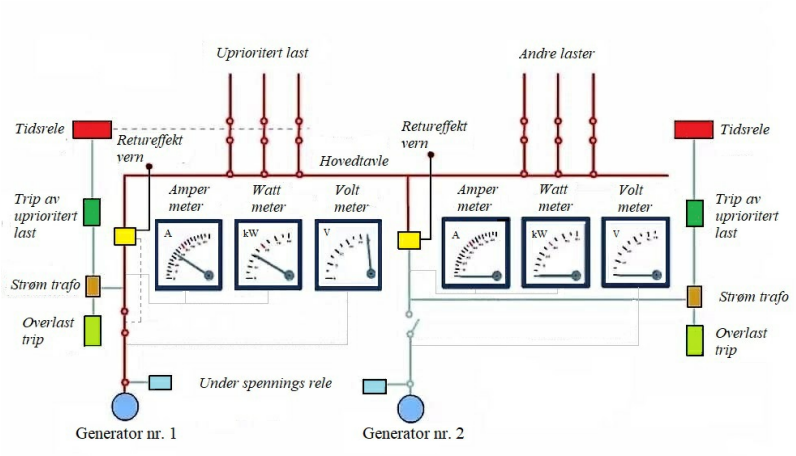
Hva er et "svakt nett"?

Et svakt nett er et elektrisk system med:

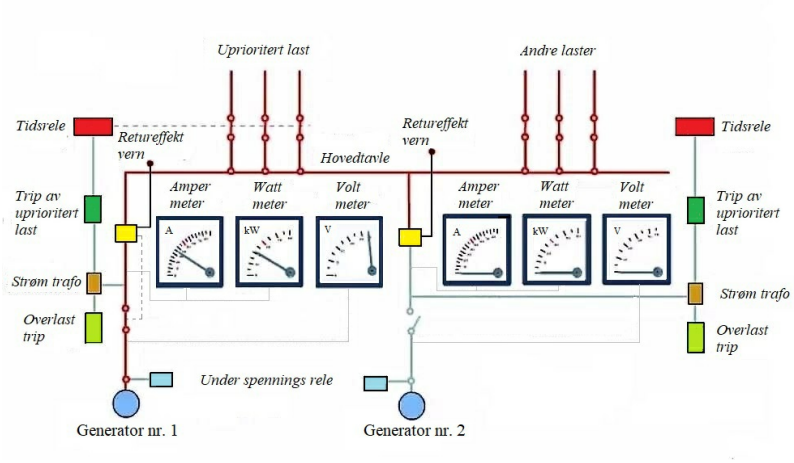
- Høy impedans (f.eks. lang kabel, liten kortslutningsytelse).
- Lav evne til å holde spenning og frekvens stabile når belastning eller produksjon endres.

Typisk ser man dette i:

- Isolerte systemer med få eller små generatorer (som på et skip).



Parallellkjøring og synkronisering av generatorer



Parallellkjøring og synkronisering av generatorer"

Før en generator kan kobles parallelt med en eller flere andre generatorer via hovedtavlen, må den synkroniseres korrekt. Dette er avgjørende for å sikre stabil drift, jevn lastfordeling og for å unngå skadelige strømstøt eller mekaniske påkjenninger.

Krav til parallellkjøring.

For at synkronisering og påfølgende parallellkjøring skal kunne gjennomføres på en sikker og effektiv måte, må følgende elektriske og mekaniske betingelser være tilnærmet oppfylt:

1. **Tilnærmet spenningslikhet**
2. **Tilnærmet frekvenslikhet**
3. **Tilnærmet faselikhet (fasevinkel)**

1. Spenningslikhet

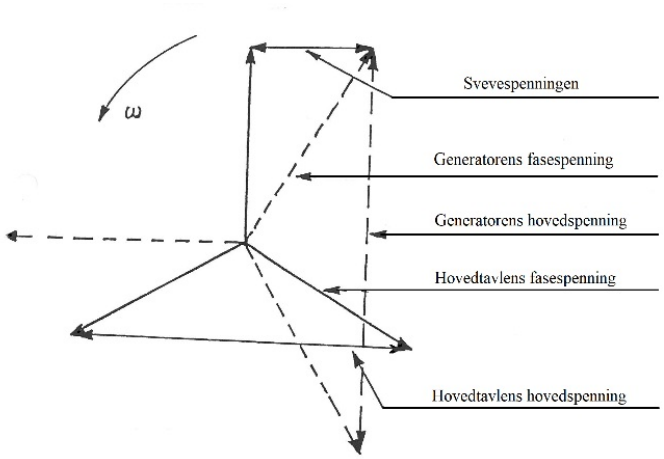
Spenningslikhet betyr at generatorens og hovedtavlens fasespenninger har samme amplitude og svinger i takt. Det normale er at spenningene er like, men en liten forskjell aksepteres. I dette tilfellet har generatoren litt høyere fasespenning enn hovedtavlen, noe som er tillatt så lenge det er innenfor grenseverdier.

Svevespenning

Begrepet *svevespenning* beskriver den midlertidige spenningsforskjellen mellom hovedtavlens og generatorens spenninger som følge av faseforskjellen like før synkronisering. Målet er å koble inn generatoren når svevespenningen er nær null – vanligvis når synkroskopets viser peker rett opp (kl. 12) og roterer med klokken.

Eksempel

I et 440 V-anlegg vil svevespenningen kunne nå 508 V i faseopposisjon.



Spenningslikhet innebærer også at spenningene når nullpunkt og toppverdier samtidig – altså at bølgeformene er i fase.

2. Frekvenslikhet

Frekvenslikhet betyr at generatorens frekvens er lik frekvensen i hovedtavlen (for eksempel 50 Hz). Men i praksis justeres generatorens turtall litt **over** nettets for å oppnå rotasjon i synkroskopet. En forskjell på ca. 0,5 Hz gir passende synkronoskoprotasjon og gjør at generatoren leverer aktiv effekt rett etter innfasing.

Går generatoren med lavere turtall enn nettet, vil den trekke retureffekt etter innkobling. Dette er uønsket, og vern (effektbryter) vil i så fall kunne koble ut generatoren.

3. Faselikhet

Faselikhet innebærer at generatorens og nettets spenningsvektorer peker i samme retning – altså at de er i samme fasevinkel. Dette sikrer korrekt og støt-fri innkobling.

- Dersom generatoren går for sakte, vil fasen henge etter, og generatoren vil ikke kunne kobles inn korrekt.
- Går generatoren for fort, vil fasen ligge foran. Riktig rotasjonshastighet gir en langsom, medurs bevegelse på synkroskopet.

For mer detaljerte tekniske krav og anbefalinger vises det til NEK 410A.

Instrumenter for synkronisering

a) Synkroskop

Et synkroskop brukes til å vise faseforskjellen og rotasjonshastigheten mellom generator og tavle.

- Medurs rotasjon → Generatoren går for fort
- Moturs rotasjon → Generatoren går for sakte
  Riktig innkobling skjer når viseren står rett opp (kl. 12) og går med klokken.

b) Tre faselamper

Et alternativ til synkroskop er bruk av tre faselamper koblet mellom tilsvarende faser. Disse kan kobles:

Mørk innfasing

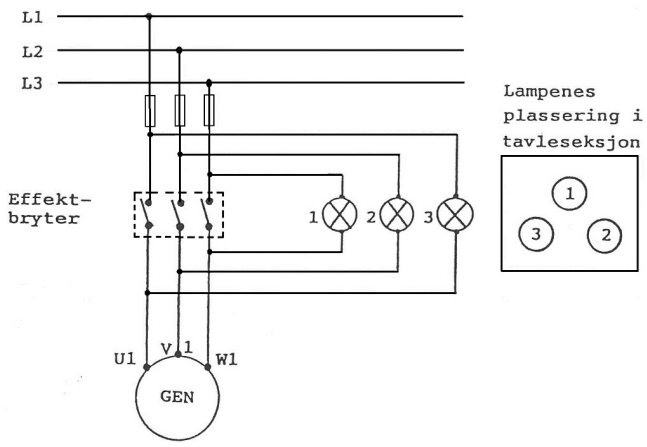
1. Rett over fase mot fase (L1-L1, L2-L2, L3-L3)
   → Alle lamper mørke samtidig = fase likhet.

Lys innfasing

1. Krysskoblet (L1-L2, L2-L3, L3-L1)
   → Alle lamper lyser eller slukker samtidig = riktig fase og rekkefølge.

Mørk innfasing

Mørk innfasing, figur under.



Mørk innfasing

Hver lampe er koblet over sine respektive faser, og når alle tre lampene er helt mørke så er generator i fase med de andre generatorene. Like faser skal ha null spenningen mellom seg når effektbryter lukker, og kortslutter mellom de respektive like fasene. Spenning mellom fasene vil forårsake kortslutningsstrømmer avhengig av U_f.

Lys innfasing (metode 1).

Krysskobling (fase mot forskjøvet fase)

Dette er den metoden du refererer til.

- L1 (generator) → L2 (tavle)
- L2 (generator) → L3 (tavle)
- L3 (generator) → L1 (tavle)

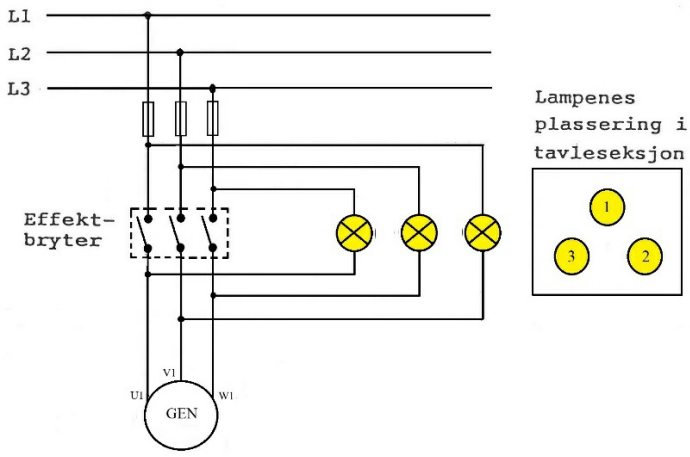
Hva skjer her?

- Når to lamper lyser og én er mørk, betyr det at det er et lite faseavvik mellom generator og tavle.
- Den lampen som er mørk, viser at spenningen mellom de to krysskoblede fasene er tilnærmet null → disse to fasene er i fase.
- Når lampene roterer i et bestemt mønster, indikerer det om generatoren går for fort eller for sakte, og om faseføLgen er korrekt.

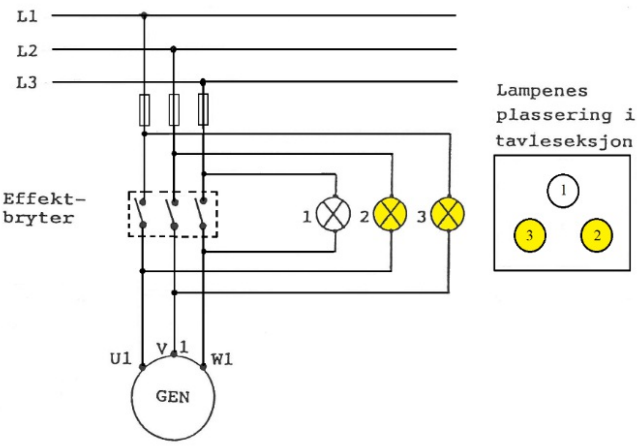
Innfasing skjer når den mørke lampen "roterer med klokken", og du kobler inn når den er i posisjon 12 (øverst).

Slik tolker du mønsteret:

Lysmønster	Betydning
2 lamper lyser, 1 mørk	Faseavvik nær null mellom én fasepar
Mørk lampe roterer med klokken	Generator har litt høyere frekvens → klar til innfasing
Mørk lampe roterer mot klokken	Generator går for sakte
3 lamper blinker jevnt og samtidig	Enten i fase (alle mørke) eller i faseopposisjon (alle lyse)
Ujevn blink eller tilfeldig mønster	Feil faseføLge eller for stor frekvensforskjell



Lys innfasing (metode 2)



Lysinnfasing med kobling:

- L1 (generator) → L2 (tavle)
- L2 (generator) → L1 (tavle)
- L3 (generator) → L3 (tavle)

Analyse av koblingen.

Fasepar som kobles:

- Lampe 1 (L1–L2): mellom to forskjellige faser → vil vise svingende lys (avhengig av fasevinkel og frekvensforskjell)
- Lampe 2 (L2–L1): også mellom to forskjellige faser → samme forhold, men speilvendt
- Lampe 3 (L3–L3): mellom samme fase → vil være mørk når fasene er i fase, og lyse når de er i opposisjon

?

HVA KAN DU LESE?

Hva kan du lese ut av denne koblingen?

Lampe 3 (L3–L3):

- Dette er direktekobling, og gir tydelig indikasjon på faselikhet for L3:
  - Mørk lampe → L3 (generator og tavle) er i fase → godt tidspunkt for innfasing
  - Lys lampe → L3 i faseopposisjon → ikke koble inn

Lampe 1 og 2 (L1–L2 og L2–L1):

- Disse er krysskoblet mellom ulike faser, og vil lyse periodisk, avhengig av:
  - Faseforskjell
  - Frekvensforskjell
- Du vil ofte se en roterende effekt mellom disse to lampene (enten med eller mot urviseren), akkurat som ved vanlig 3-fase krysskobling.

Praktisk bruk.

Denne koblingen kan:

- Gi dobbel informasjon:
  - Lampe 3 gir deg klar beskjed om faselikhet i én fase (L3)
  - Lamper 1 og 2 gir deg rotasjonsretning og fasefølge
- Være nyttig om du ønsker en kombinasjon av direkte faseindikasjon og rotasjonssjekk uten synkroskop

!

MERK

- Det krever god tolkningsevne og erfaring å bruke denne varianten, da lysmønsteret ikke er like intuitivt som ved tradisjonell 3-lampe krysskobling.
- For enklest og tryggest innfasing, anbefales normalt:
  - Enten ren krysskobling (L1–L2, L2–L3, L3–L1)
  - Eller direktekobling (L1–L1, L2–L2, L3–L3)

DEIF LSQ (Lamp Synchronising Device) er et lampebasert synkronoskop som brukes for å manuelt synkronisere en generator med en eksisterende strømforsyning (f.eks. hovedtavle eller landstrøm), ved hjelp av faselamper**.** Dette er en robust og enkel metode for å vurdere faseforhold uten bruk av analog viserinstrument eller digital synkroskop.

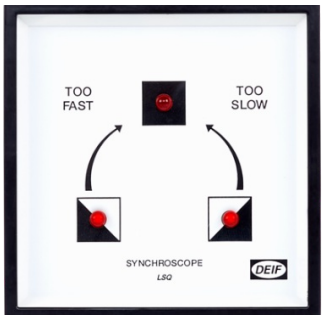


Foto: DEIF

LSQ fra DEIF bruker **tre lamper**, koblet mellom generatorens og tavlens respektive faser. Dette gir en visuell indikasjon på:

- Faseforskjell
- Frekvensforskjell
- Fasefølge

Koblingsprinsipp

Vanligvis kobles LSQ-lampene i krysskobling:

- L1 (GEN) – L2 (BUS)
- L2 (GEN) – L3 (BUS)
- L3 (GEN) – L1 (BUS)

Dette gir en roterende lyssekvens dersom faseføLgen er riktig og frekvensen på generatoren er høyere enn nettet.

Hva lampene viser:

Roterende lys mønster

- Når generatorens frekvens er litt **h**øyere enn tavlens, vil lysene rotere med urviseren.
- Dette betyr at generatoren "jager" fasene i nettet → riktig for innfasing.

Mørkt punkt

- Når alle tre lamper er mørke samtidig, er fasene i fase (0°) → riktig øyeblikk for innkobling.
- Dersom alle lamper er lyse → faseopposisjon → ikke koble inn.

Rotasjonsretning

- Med urviseren: riktig faseføLge, og generatoren går litt for fort → OK for innfasing
- Mot urviseren: feil faseføLge eller generator går for sakte → må justeres

Fordeler med LSQ

- Enkel og robust teknologi.
- Krever ikke strømforsyning – kun tilkobling til spenningskilder.
- Tåler røffe maritime miljøer (brukes mye i skip og offshore).
- Meget nyttig som backup eller primært synkroniseringsverktøy på små og mellomstore tavler.

Praktisk bruk.

1. Start generator, juster turtall for å få langsom rotasjon på lampene.
2. Observer lysrotasjonen.
   - Riktig rotasjon → klar for innfasing
   - Feil rotasjon → endre faserekkefølge eller juster hastighet
3. Vent til alle lamper er mørke samtidig.
4. Koble inn generatoren manuelt med effektbryter i det øyeblikket.

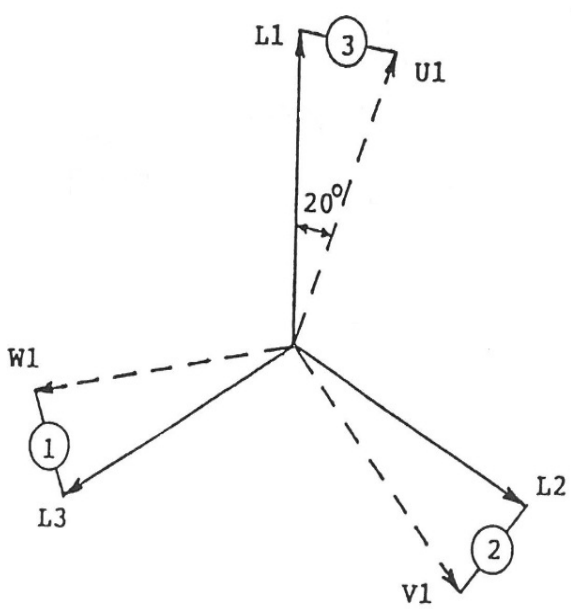
Beregning av svevespenningen

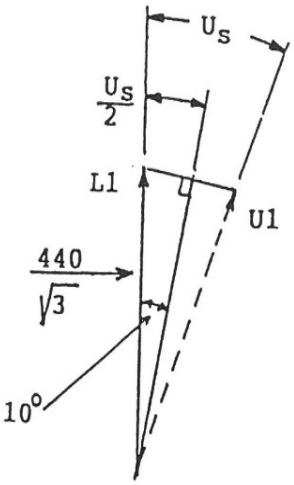
Når vi skal beregne svevespenningen så kan vi bruke den trigonometriske funksjon av sinus eller cosinussetningen.

EKSEMPEL NR. 1

Vi tar utgangspunkt i at generatorens spenning er lik tavlespenningen 440 volt, og at det er en faseforskjell på 20 grader. Beregn svevespenningen når lampene er koplet for mørk innfasing. Her bruker vi den trigonometriske funksjon av sinus.

Vi tar utgangspunkt i fig.1 på foregående side.





$$\text{Sin } 10^\circ = \frac{\frac{U_S}{2}}{\frac{440}{\sqrt{3}}} \quad \Big| \cdot\ 2 \cdot \sqrt{3}$$

$$\text{Sin } 10^\circ = \frac{U_S \cdot \sqrt{3}}{440 * 2} \quad \Big| \cdot\ 440 * 2$$

$$\text{Sin } 10^\circ * 440 * 2 = U_S \cdot \sqrt{3} \quad \Big| : \sqrt{3}$$

$$U_S = \frac{2}{\sqrt{3}} * 440 * \sin 10^\circ$$

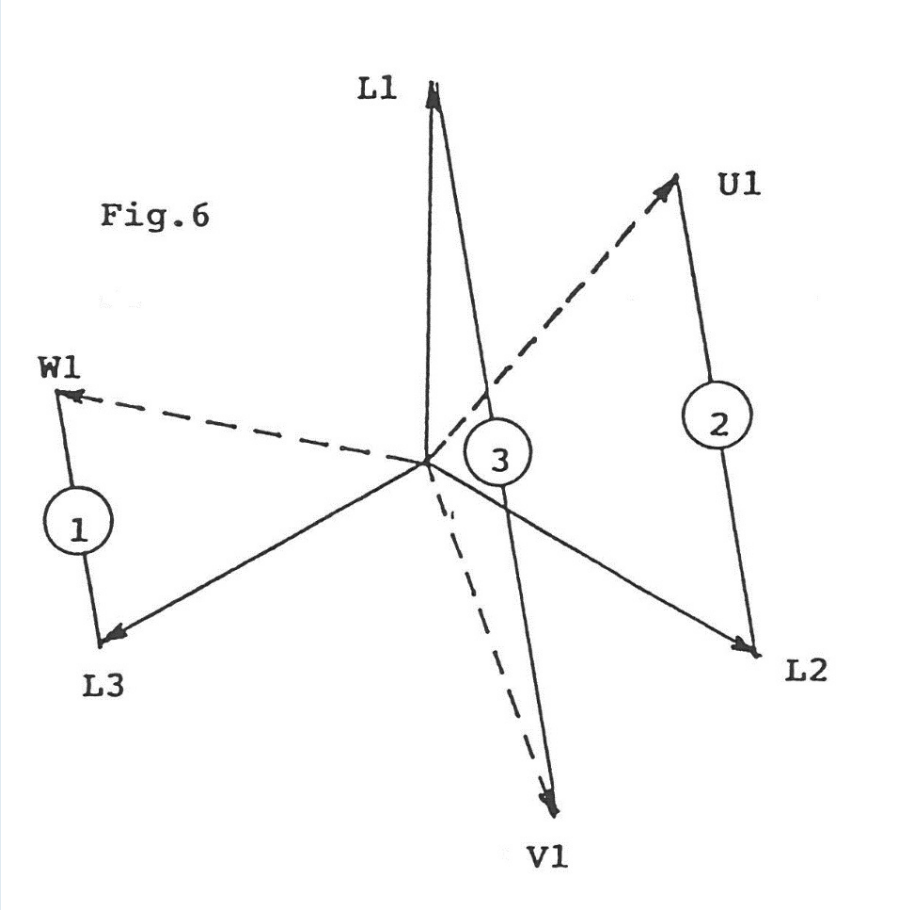
$$U_S = \underline{\underline{88{,}2 \text{ volt}}}$$

Ved mørk innfasing så vil alle tre lampene få like stor spenning til enhver tid, så derfor beregner vi spenningen bare for en av lampene.

EKSEMPEL NR. 2

Beregn svevespenningen som ligger over kvar lampe ved lys inn fasing når faseforskjellen er 40 grader.

Tavlespenningen og generatorspenningen er begge på 440 volt.



Ved lys innfasing alle tre lampene ha ulike svevespenninger til enhver tid.

Unntak er når generator og tavle har faselikhet.

Lampe 1.

Vinkelen mellom vektorene til lampe 1 er lik 40^0.

$$U_{s1} = \frac{2}{\sqrt{3}} * 440 * \sin 20deg = 173,5\ V$$

Lampe 2.

Vinkelen mellom vektorene til lampe 2 er lik 80^0.

$$U_{s1} = \frac{2}{\sqrt{3}} * 440 * \sin 40deg = 326,54\ V$$

Lampe 3.

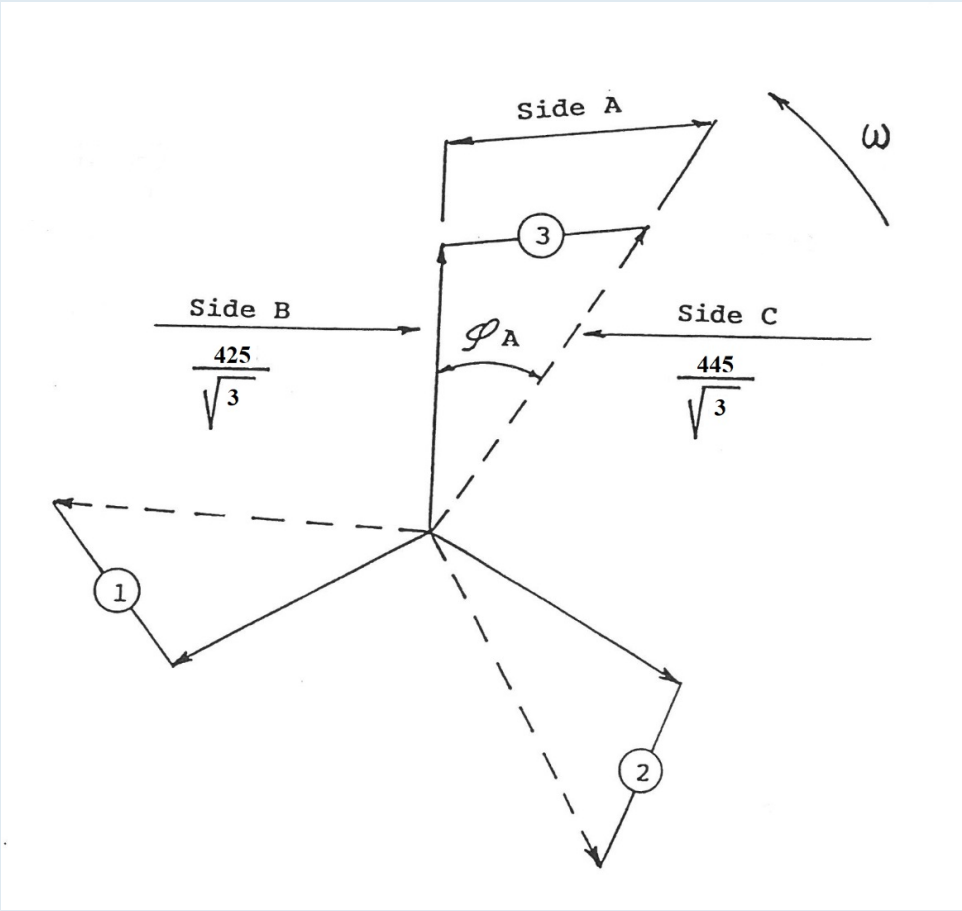
Vinkelen mellom vektorene til lampe 3 er lik 80^0.

$$U_{s1} = \frac{2}{\sqrt{3}} * 440 * \sin 80deg = 500,28\ V$$

EKSEMPEL NR.3

Beregn svevespenningen som ligger over kvar lampe ved mørk innfasing når faseforskjellen er 32 grader.

Tavlespenningen er på 425 V, og generatorspenningen er på 445 V. Her må vi bruke cosinussetningen for å finne svevespenningen.



f(x)

OSINUSSETNINGEN

$$A^2 = B^2 + C^2 - 2BC * \cos A$$

$$A = \sqrt{B^2 * C^2 - 2BC * \cos A}$$

$$A = \left(\frac{425}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{445}{\sqrt{3}}\right)^2 - 2 * \frac{425}{\sqrt{3}} * \frac{445}{\sqrt{3}} * \cos 32deg = 139\ V$$

Synkronisering

SYNKRONISERING

Å synkronisere to generatorer betyr å koble dem sammen på samme elektriske nett uten å forårsake støtstrømmer eller ustabil drift. Dette er en kritisk prosess i parallellkobling og må gjøres riktig.

Hva betyr synkronisering av generatorer?

Synkronisering er prosessen med å matche elektriske og mekaniske størrelser for to generatorer slik at de kan kobles sammen trygt:

De fire hovedkravene:

1. **Spenning (U)** – må være lik i begge generatorer (± 5 %)
2. **Frekvens (f)** – må være lik (± 0,1 Hz)
3. **Fasevinkel** – spenningskurvene må være i fase
4. **Rotasjonsretning / faseføLgen** – må være den samme (L1–L2–L3)

Hvordan gjøres synkronisering i praksis?

1. Måle og justere før innkobling:
   - En synkronoskop eller synkroniseringsinstrument (f.eks. DEIF RSQ-3) viser faseforskjellen og frekvensforskjellen.
   - Lysmetoden (3 lamper) kan også brukes:
     - Alle lamper mørke = perfekt fase
     - Alle lyser samtidig = feil fase
     - Roterende lys mønster = forskjellig frekvens

2. Juster generatoren som skal kobles inn:
   - Bruk turtall (pådrag) for å matche frekvensen.
   - Bruk magnetisering (feltstrøm**)** for å matche spenningen.

3. Innkobling:
   - Når alle forhold er oppfylt, kobles generatoren inn manuelt (eller automatisk via PMS/AVR).
   - Koble inn «5 på 12».
   - Ved perfekt synkronisering skjer det ingen støtstrømmer eller spenningssprang.

Innkobling ved «5 på 12» metoden.

Når du kobler inn **"5 på 12"** på synkronoscopet (dvs. litt før 12), gjør du det på et punkt hvor:

- Fasevinkelen mellom generator 2 og nett er nesten lik (nær null).
- Frekvensen til generator 2 er litt høyere enn nettets.
- Pilens bevegelse går med klokka, altså positiv frekvensforskjell – som betyr at generator 2 vil "ta igjen" nettet og synkronisere naturlig.

Hvorfor er dette riktig?

- Når pil går med klokka, betyr det at frekvensen til generator 2 er litt **høyere** enn nettet. Det er det du vil ha for en myk innkobling – fordi etter innkobling vil den synkroniserte generatoren bremse litt ned og "falle på plass".
- Ved å koble inn **"5 på 12"**, gir du litt rom for denne justeringen. Hvis du venter helt til klokka 12:00 (perfekt fase), kan du treffe akkurat for sent, og fasefeilen blir for stor – det kan gi en liten spenningsstøt.
- Dersom pilen går mot klokka (frekvensen er for lav), kan du få en brå innkobling som gir mekaniske rykk og strømstøt.

TIPS

- Du bør **aldri** koble inn hvis synkronoskopet står stille og ikke er i riktig posisjon, eller hvis det går mot klokka.
- Mange automatiske synkroniseringssystemer kobler også inn "5 på 12", nettopp av denne grunnen.

Σ

KORT OPPSUMMERT

Koble inn generator 2 når synkronoskopet går **med klokka** og står på **"5 på 12"** er korrekt praksis.
Det gir en myk og trygg innkobling med minimal fase- og spenningsforskjell.

Hva skjer ved feil synkronisering?

Hvis generatoren kobles inn med feil fase, frekvens eller spenning:

- Kraftige støtstrømmer kan oppstå.
- Mekanisk påkjenning på aksling og motor.
- Skade på generatorviklinger.
- Ustabil drift eller automatisk utkobling.

Automatisk synkronisering (PMS/AVR).

Moderne systemer om bord bruker automatiserte synkroniseringsfunksjoner:

- Kontrollsystemet justerer turtall og spenning automatisk
- Kobler inn generatoren nøyaktig på riktig tidspunkt
- Reduserer risiko og gir raskere innkobling

Etter innkobling, sjekk at:

- Lasten fordeles jevnt.
- Spenningen holder seg stabil.
- Ingen varsler eller alarmer utløses.

Enkle og praktiske "Do's (Do this) and Don'ts" (Do not do this) -skjema for manuell synkronisering**:**

Do's – Dette bør du gjøre:

Sjekkpunkt	**Forklaring**
Spenning lik	Juster magnetisering slik at spenningen til generator 2 ≈ nettspenning
Frekvens litt høyere	Øk turtallet slik at generator 2 har litt høyere frekvens enn nettet
Riktig fasefølge	Bekreft at L1-L2-L3 stemmer med nett (kan sjekkes med fasefølgeinstrument)
Synkronoskop går med klokka	Indikerer at frekvensen til generator 2 er litt høyere enn nettet
Koble inn "5 på 12"	Litt før perfekt fase = myk innkobling
Overvåk strøm og spenning etter innkobling	Sikrer at lasten fordeles riktig og ingen ubalanse oppstår

!

DON'TS

Don'ts – Dette må du unngå:

Feil	Hvorfor det er farlig
Pilen går mot klokka.	Frekvensen er for lav → gir støtstrøm og mekanisk belastning.
Koble inn ved feil spenning.	For høy/lav spenning → spenningssprang i tavla.
Feil faseføIge.	Feil rotasjonsretning og risiko for kortslutning.
Koble inn ved "kl. 6" eller "kl. 3".	Stor fasevinkel → kraftige støtstrømmer og spenningssprang.
For rask pil (stor frekvensforskjell).	Umulig å treffe riktig fase → farlig innkobling
Innkobling uten overvåkning.	Risiko for ubalanse eller overlast umiddelbart etter tilkobling.

Retureffekt

RETUREFFEKT

Retureffekt (også kalt **"reverse power"**) oppstår når en generator som kjører parallelt med andre slutter å levere effekt til nettet og i stedet begynner å trekke effekt fra det. Dette betyr at generatoren fungerer som en motor i stedet for en kraftkilde.

Hvordan oppstår retureffekt?

Retureffekt skjer når drivmaskinen (dieselmotor eller turbin) mister pådraget sitt og ikke lenger kan opprettholde momentet som trengs for å generere strøm. Dette kan skyldes:

- Drivstoffmangel eller svikt i drivsystemet – f.eks. hvis dieseltilførselen stopper eller turbinen får redusert damp- eller trykklufttilførsel.
- Feil på regulatoren – en dårlig justert regulator kan føre til at dieselmotoren ikke reagerer raskt nok på lastendringer.
- Plutselig lastreduksjon – hvis den totale belastningen på systemet synker brått, kan enkelte generatorer miste så mye effekt at de begynner å trekke strøm i stedet for å levere.
- Feil ved synkronisering – hvis en generator kobles feil inn i parallell, kan den umiddelbart begynne å trekke effekt.

Hva skjer når retureffekt oppstår?

Når en generator trekker effekt fra nettet, kan det føre til alvorlige problemer:

1. Belastning på de andre generatorene
   - De andre generatorene må kompensere for den tapte effekten, noe som kan føre til overbelastning og ustabilitet i systemet.
2. Mekanisk skade på drivmaskinen
   - Hvis en dieselmotor fortsetter å rotere uten å få drivstoff, kan den oppleve mekanisk ubalanse og skade på veivakselen eller turboladeren.

    - For en dampturbin kan dette føre til termiske spenninger og skade på lagrene.
3. Elektriske skader på generatoren
    - Generatoren er ikke designet for å fungere som en motor over lengre tid. Dette kan føre til overoppheting, viklingsskader og kortslutning.
4. Fare for blackout
    - Hvis flere generatorer mister effekt samtidig, kan hele systemet kollapse og føre til total strømstans (blackout) på skipet eller anlegget.

Hvordan beskytte seg mot retureffekt?

For å unngå skader og driftsstans må systemet ha beskyttelse mot retureffekt. Dette gjøres ved å bruke et retureffektvern som:

- Overvåker strømretningen i generatoren.
- Sammenligner aktiv effekt som generatoren leverer med en forhåndsinnstilt terskel (vanligvis 5–10 % av nominell effekt).
- Løser ut og kobler fra generatoren automatisk hvis retureffekt oppstår i mer enn noen sekunder.

I tillegg bør man:

- Regelmessig teste og justere regulatorene på dieselmotorene for å sikre at de reagerer riktig på belastningsendringer.
- Sørge for korrekt synkronisering ved parallellkobling av generatorer.
- Ha overvåking av drivstoffsystemet for å unngå uventede stopp i drivmaskinen.

Oppsummering

- Retureffekt oppstår når en generator begynner å trekke effekt fra nettet i stedet for å levere.
- Dette kan skje på grunn av drivstoffmangel, feil på regulatoren, lastendringer eller feil synkronisering.
- Konsekvensene kan være overbelastning av andre generatorer, mekaniske skader, elektriske feil og blackout.
- Retureffektvern beskytter systemet ved å koble ut generatoren automatisk hvis den trekker effekt for lenge.
- Forebygging: Jevnlig testing av regulatorer, riktig synkronisering og overvåking av drivstofftilførsel.

Betingelser for parallellkjøring av synkrongeneratorer

BETINGELSER FOR PARALLELLKJØRING AV SYNKRONGENERATORER

For å kunne koble sammen og drifte synkrongeneratorer i parallell over tid, må en rekke tekniske krav være oppfylt. Betingelsene for innkobling er allerede gjennomgått – her skal vi se nærmere på kravene som gjelder under selve parallellkjøringen.

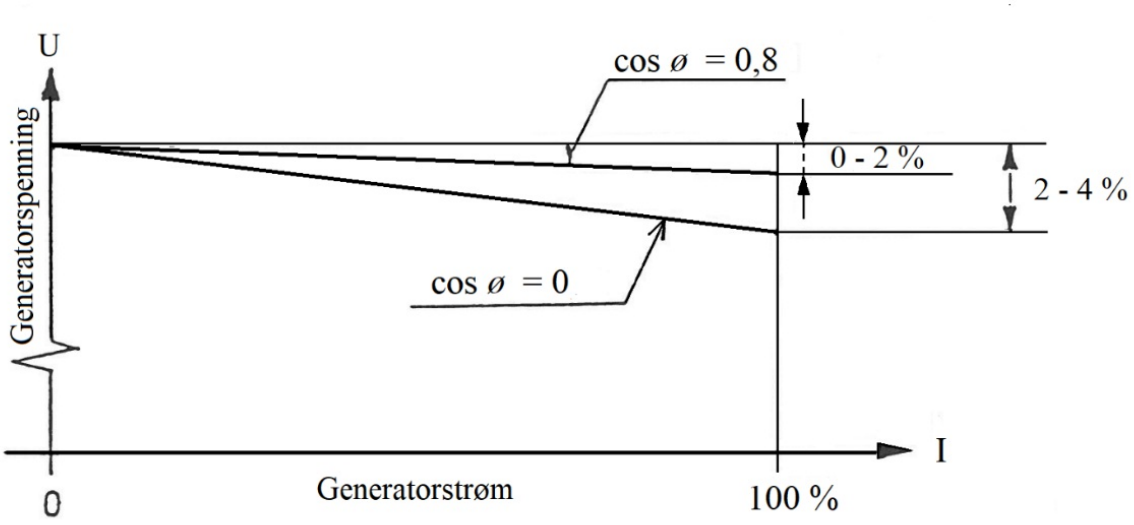
Det er en fordel at generatorene som skal kjøres parallelt er tilnærmet like i størrelse og ytelse, men dette er ikke et absolutt krav for å oppnå stabil drift.

Målet med parallellkjøring er at generatorene fordeler både aktiv og reaktiv effekt jevnt mellom seg. Dersom generatorene er like store, bør lasten fordeles likt. Har de ulik størrelse, bør fordelingen skje proporsjonalt etter kapasitet (i prosent av merkeverdi).

Reaktiv effekt og spenningsregulering
Vi begynner med den reaktive strømmen, som er grunnlaget for den reaktive effekten. For å oppnå jevn fordeling av reaktiv last mellom generatorene, må spenningsregulatorene være innstilt slik at spenningen synker når den reaktive belastningen øker (se illustrasjon nedenfor).

På skip er synkrongeneratorer ofte utstyrt med dempeviklinger i rotoren. Disse bidrar til å redusere effektpendlinger mellom generatorene under drift, noe som øker stabiliteten i systemet (jf. NEK 410A-2021).

Krav til spenningsregulering og effektfordeling
Ved parallell drift må spenningsregulatorene være innstilt slik at både aktiv og reaktiv effekt fordeles stabilt under alle belastningsforhold. Mindre pendlinger i effekt er tillatt – det aksepteres opptil 20 % variasjon i både aktiv og reaktiv effekt, målt i forhold til hver generators merkedata.



SPENNINGENS LASTKARAKTERISTIKK.

Figuren viser generatorens fallende spenning ved økende reaktiv belastning.

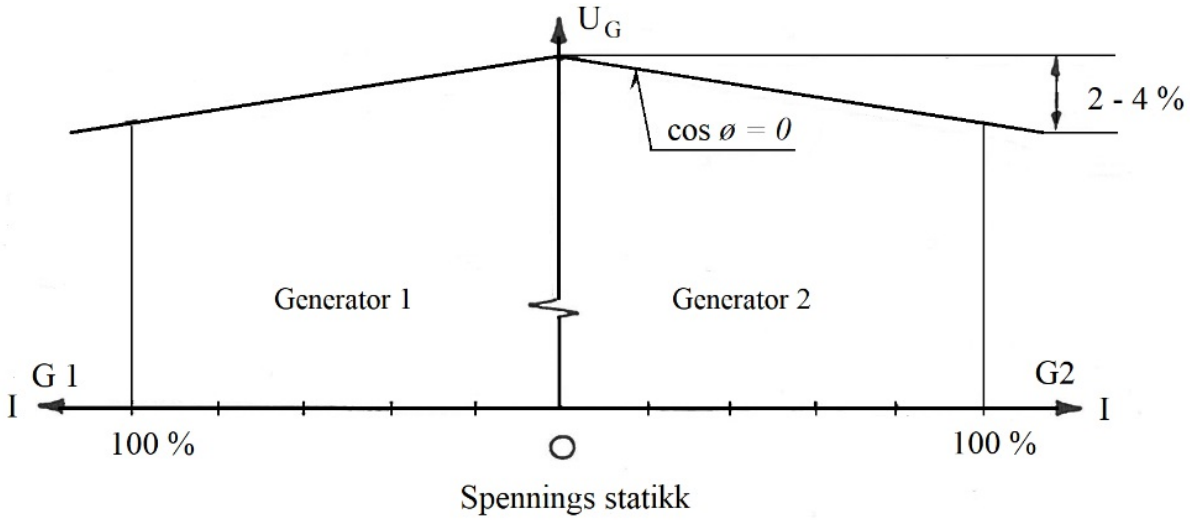
Statikk og stabilitet ved parallell drift

STATIKK OG STABILITET VED PARALLELL DRIFT

Mens dieselmotorens statikk primært bestemmes av motorens turtallsregulator, styres generatorens statikk av spenningsregulatoren (AVR).

Dersom spenningsstatikken settes for lav, kan det føre til ustabil regulering. Resultatet kan bli pendlinger i nettspenningen, og i verste fall kan systemet bli ustabilt og føre til full strømstans – såkalt *blackout*.

For å sikre stabil drift er det vanlig å sette spenningsstatikken til mellom 2–4 %. Dette anbefales også i **NEK 410A:2021**.



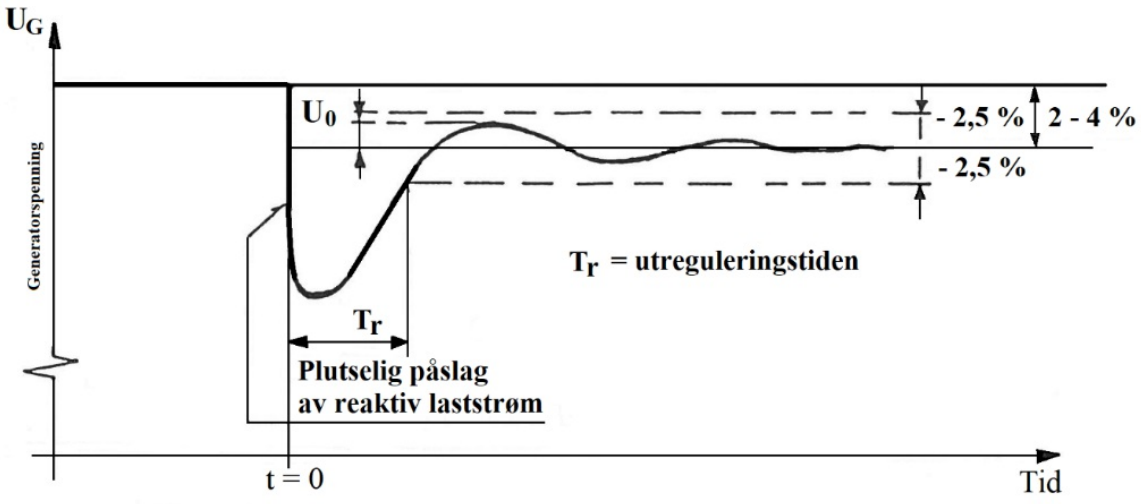
Krav til spenningsregulering i henhold til NEK 410A.

NEK 410A stiller klare krav til spenningsreguleringen for vekselstrøms generatorer om bord i skip. Generatorene skal være utstyrt med automatiske spenningsregulatorer (AVR) som sikrer at spenningen holdes innenfor ± 2,5 % av merkespenningen under alle stasjonære belastningsforhold**.**

Ved plutselige lastendringer gjelder følgende krav til momentan spenningsvariasjon**:**

- Når generatoren går i tomgang og det tilkobles en fullast eller maksimal normal last plutselig, skal det momentane spenningsfallet ikke overstige 15 % av merkespenningen.
- Når en slik belastning plutselig kobles ut, skal momentan spennings økning ikke overstige 20 % av merkespenningen.

Disse kravene skal sikre god spenningskvalitet, stabil parallell drift og redusere risikoen for skade på utstyr og automatiske systemer ved raske lastendringer.



Figuren viser T_r målt fra t = 0 og til generatorspenningen igjen er kommet innenfor ± 2,5 % av stasjonær verdi ved momentant påslag av reaktiv strøm ved cos φ = 0 - 0, 4.

Drivmaskinen til generator – regulering av aktiv effekt

DRIVMASKINEN TIL GENERATOR – REGULERING AV AKTIV EFFEKT

I maritime anlegg er det vanlig at synkrongeneratorer drives av enten dieselmotorer eller turbiner. Det er drivmaskinen – og spesielt dens regulator – som bestemmer hvor mye aktiv effekt (kW) generatoren leverer til systemet. Ved parallellkjøring stilles det derfor spesifikke krav til både drivmaskinen og regulatoren, jf. **NEK 410A**.

Regulering av aktiv effekt og frekvens.

Dieselmotorens regulator, ofte omtalt som pådragsregulator eller governor, styrer motorens drivmoment. Denne reguleringen bestemmer hvor mye aktiv effekt generatoren produserer, og påvirker også systemets frekvens.

Når et aggregat (generator + dieselmotor) er koblet inn på samleskinnene, er det elektrisk låst til de andre generatorene. Det innebærer at alle aggregater på nettet har samme turtall, frekvens og spenning. Dette er en grunnleggende forutsetning for stabil parallell drift.

Effektfordeling mellom aggregater.

Etter synkronisering:

- En økning i pådraget til én dieselmotor vil ikke føre til høyere turtall for den aktuelle generatoren.
- I stedet vil det føre til at denne generatoren overtar en større andel av den totale aktive effekten i anlegget.
- Dette kan medføre en liten økning i frekvensen på samleskinnene, men siden alle aggregater er elektrisk koblet sammen, vil frekvensen justeres felles.

Etter at generatorene er parallellkoblet, fordeles belastningen manuelt eller automatisk ved hjelp av pådragsvendere på hovedtavlefeltet til hvert aggregat.

Automatisk lastfordeling.

Etter at aktiv effekt er jevnt fordelt mellom aggregatene, skal eventuelle endringer i last (økning eller reduksjon) automatisk fordeles proporsjonalt mellom aggregatene, forutsatt at dieselregulatorene er riktig justert og kalibrert. Dette er avgjørende for å unngå ubalansert belastning og ustabil drift.

Lastkurve for dieselmotor – yteevne og knekkpunkt

Figuren under viser en typisk lastkurve for en dieselmotor med regulator. Kurven illustrerer sammenhengen mellom motorens aktive effekt (P) og regulatorens pådrag.

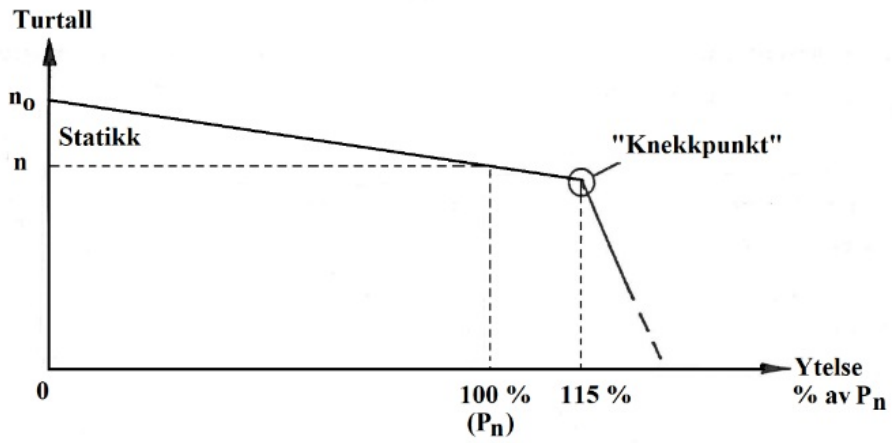
Ved testing av dieselmotorens yteevne skal hver motor prøves individuelt**,** uten at andre aggregater er i parallell. Under testen økes generatorens aktive belastning gradvis – gjerne i trinn – for å kartlegge motorens evne til å levere effekt.

Etter hvert som belastningen øker, vil også motorens effektproduksjon øke, frem til et punkt hvor pådragsregulatoren gir fullt pådrag**,** men effekten ikke øker vesentlig videre. Dette punktet betegnes som knekkpunktet, og markerer grensen for hva motoren er i stand til å levere under stabile forhold.

Knekkpunktet er viktig å kjenne til:

- Det gir et mål på motorens maksimale kontinuerlige yteevne**.**
- Det danner grunnlag for riktig innstilling av lastfordeling ved parallell drift.
- Det brukes som referanse ved feilsøking, ytelsesanalyse og i forebyggende vedlikehold.

I figuren under er det vist en typisk lastkurve for en dieselmotor.



Typisk lastkurve for en dieselmotor.

Speed droop og statikk for dieselmotorer

SPEED DROOP OG STATIKK FOR DIESELMOTORER

Speed droop betegner forskjellen i dieselmotorens turtall mellom tomgang og full belastning, og utgjør det vi kaller statikken. Dette er en avgjørende parameter for stabil lastfordeling og drift ved parallellkjøring av generatorer.

Innstillingsområde ved testing.

Ved individuell testing av hver dieselmotor skal det kontrolleres at motorens regulator (governor) kan justeres innenfor et tilstrekkelig frekvensområde:

- For anlegg med merkefrekvens 60 Hz: Turtallet i tomgang bør kunne stilles mellom 57–64 Hz.
- For anlegg med merkefrekvens 50 Hz: Turtallet bør kunne justeres mellom 47–54 Hz.

Dersom dette området ikke kan oppnås, kan det tyde på at regulatoren ikke vil fungere tilfredsstillende i parallell drift.

Krav til statikk i henhold til NEK 410A

NEK 410A stiller krav om at varig endring i dieselmotorens turtall fra tomgang til full aktiv belastning (og motsatt) ikke skal overstige 5 % av motorens nominelle turtall.

Anbefalt innstilling:

For å sikre stabil og balansert effektfordeling ved parallellkjøring, bør statikken justeres til mellom 4–5 %. Alle dieselmotorer i et anlegg bør ha så lik statikk som mulig for å unngå ubalanse i aktiv effekt.



Bilde av et generatorfelt

Dieselmotorer i parallell drift

DIESELMOTORER I PARALLELL DRIFT

Ved parallellkjøring av generatoraggregater er det viktig å forstå samspillet mellom generatorens spenningsregulator og dieselmotorens pådragsregulator.

- Generatorens statikk bestemmes av spenningsregulatoren (AVR) og påvirker fordelingen av reaktiv effekt (kVAr).
- Dieselmotorens statikk bestemmes av motorens regulator (governor) og styrer fordelingen av aktiv effekt (kW).

Automatisk lastfordeling og turtallsynking.

For at automatisk lastfordeling skal fungere riktig ved parallell drift, må dieselmotorenes regulatorer være korrekt justert.

- Statikken for hver motor må være tilnærmet lik, slik at alle motorene får samme turtallsynking (speed droop) fra tomgang til full belastning.
- Anbefalt turtallsynking er minimum 4 %, noe som gir tilstrekkelig følsomhet og stabilitet i lastfordelingen.

Dersom alle dieselmotorene har lik statikk, vil de:

- Fordele aktiv effekt jevnt mellom seg under drift
- Opprettholde stabil systemfrekvens
- Svare riktig og koordinert ved lastendringer

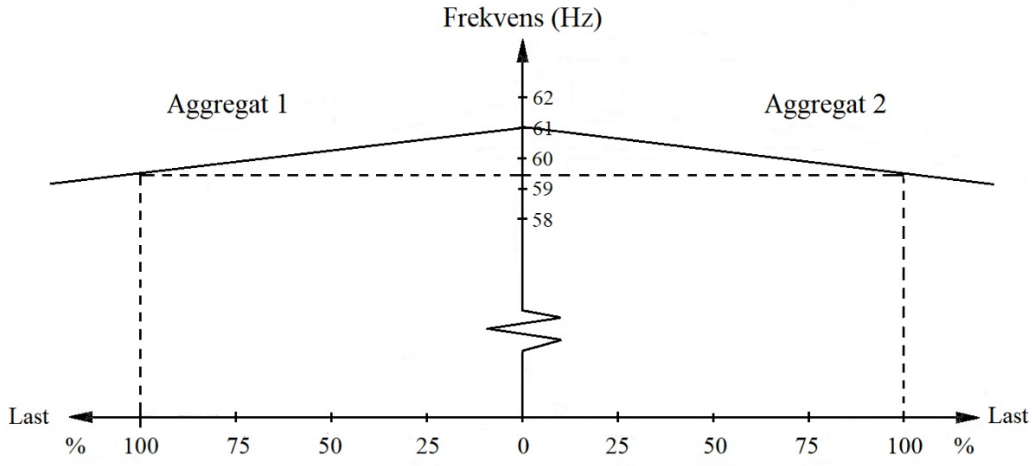
Ulik statikk gir skjev lastfordeling.

Hvis statikken avviker mellom motorene, vil det føre til:

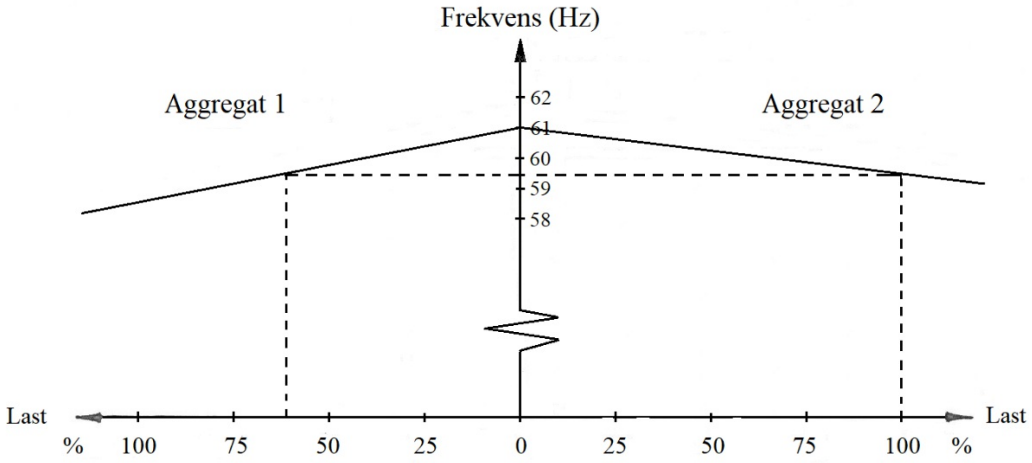
- Skjev fordeling av aktiv last
- Risiko for overbelastning av enkelte aggregater
- Ustabil eller ineffektiv parallell drift

Illustrasjon (se figurer).

- **Figur A: Øverst** Viser korrekt lastfordeling når statikken er lik for alle dieselmotorene
- **Figur B: Nederst** Viser skjev lastfordeling når statikken er ulik



Dieselmotorene har lik statikk



Dieselmotorene har ulik statikk

Sammendrag av statikken og «Speed Droop» i skipsdieselmotorer

Σ

SAMMENDRAG AV STATIKKEN OG «SPEED DROOP» I SKIPSDIESELMOTORER

I skipsdieselgeneratorer refererer statikken til forskjellen i turtall mellom tomgang (eller ubelastet tilstand) og når generatoren har full belastning. Dette kalles også «Speed Droop», og det er en viktig egenskap i reguleringssystemet for dieselmotorer.

Hva er «Speed Droop»?

«Speed Droop» uttrykkes ofte i prosent og viser hvor mye turtallet synker når lasten øker fra null til full belastning.

I en standard dieselgenerator ligger denne verdien typisk mellom 2–5 %.

Hvorfor er «Speed Droop» viktig?

- Parallell drift av generatorer: På skip der flere dieselgeneratorer arbeider sammen, må de ha en viss droop for å kunne dele lasten stabilt.
- Stabil drift: Hvis regulatoren var 100 % statisk (ingen droop), ville den forsøke å opprettholde et konstant turtall uansett belastning. Dette kunne føre til ustabil drift, særlig når flere generatorer er koblet sammen.
- Unngår overstyring: En viss reduksjon i turtall med økende belastning gir en naturlig stabilisering og hindrer at regulatoren overkorrigerer.

Hvordan beregnes «Speed Droop»?

$$Speed\ Droop\ (\%) = \frac{[n\ (\text{ubelastet}) - n\ (\text{full-belastning})] * 100\ \%}{n(ubelastet)}$$

- n (ubelastet) = nominelt turtall uten last
- n (full belastning) = turtall ved full last

For eksempel, hvis en dieselgenerator har et turtall på 1500 RPM uten last og 1470 RPM ved full last, blir Speed Droop:

$$Speed\ Droop\ (\%) = \frac{(1500 - 1470) * 100\ \%}{1500} = 2\ \%$$

Praktisk betydning i skipsdrift.

- I parallell drift må generatorene ha lik eller justerbar «Speed Droop» for jevn lastdeling.
- For propulsjonsmotorer kan justering av «Speed Droop» påvirke responsen på lastendringer.
- Moderne generatorstyringer kan bruke elektroniske regulatorer for mer presis kontroll av droop.

«Speed Droop» i generatorer – frekvensendring (Hz).

I skipsdieselgeneratorer påvirker Speed Droop ikke bare turtallet til motoren, men også frekvensen (Hz) i det elektriske systemet. Fordi generatorens utgangsfrekvens er direkte knyttet til motorens turtall, vil en endring i belastning føre til en liten reduksjon i frekvens.

Sammenhengen mellom turtall og frekvens.

Frekvensen (f) i en generator er gitt av formelen:

$$f = \frac{p * n}{60} = \frac{\text{polpar} * \text{turtall i minutter}}{\text{sekund}} = \text{polpar * turtall i sekunder}$$

Der:
- **f** = frekvens (Hz)
- **p** = antall polpar i generatoren
- **n** = turtall på dieselmotoren (RPM)

For en standard 4-polet generator:

- Ved 1500 RPM gir den 50 Hz (brukes i Europa og de fleste skip med 50 Hz-system).
- Ved 1800 RPM gir den 60 Hz (brukes i USA og enkelte skip).

Hvordan påvirker «Speed Droop» frekvensen?

Speed Droop fører til at turtallet synker ved økende belastning, noe som direkte reduserer frekvensen. Hvis en dieselmotor har en «Speed Droop» på 3 %, betyr det at frekvensen synker med 3 % av nominell frekvens når belastningen går fra null til full last.

EKSEMPEL

Eksempel for en 50 Hz generator med 3 % «Speed Droop»:

- Ubelastet: 50.0 Hz
- Full belastning: 50 - (50 × 0.03) = 48.5 Hz

Eksempel for en 60 Hz generator med 3 % «Speed Droop»:

- Ubelastet: 60.0 Hz
- Full belastning: 60 - (60 × 0.03) = 58.2 Hz.

Betydning for driften.

1. Parallell drift: Generatorene må ha lik «Speed Droop» for å fordele lasten jevnt.
2. Kritiske systemer: Visse systemer om bord krever stabil frekvens, så «droopen» må justeres for å unngå store svingninger.
3. Elektroniske regulatorer Moderne generatorstyringer kan redusere «Speed Droop»-effekten for å holde frekvensen mer stabil.

Hvordan justere eller kompensere for «Speed Droop» i skipsgeneratorer

For å sikre stabil drift og jevn lastfordeling mellom generatorene om bord, kan «Speed Droop» justeres eller kompenseres på flere måter:

1. Justering av «Speed Droop» på regulatoren.

Speed Droop styres av dieselmotorens regulator (guvernører), som regulerer drivstofftilførselen for å opprettholde turtallet.

Manuell justering på mekaniske regulator.

- Mange eldre motorer har mekaniske regulatorer med en justerings skrue for Speed Droop.

- Ved å redusere «droopen» (f.eks. fra 4 % til 2 %), blir motoren mer stabil og reagerer raskere på lastendringer.
- Ulempe: For lav droop kan gjøre parallell drift vanskelig fordi generatorene kan begynne å «slåss» om lasten.

Elektroniske regulator.

- Moderne generatorer har elektroniske regulatorer (guvernører) (f.eks. Woodward eller DEGO-systemer).
- Disse kan programmeres til å automatisk justere «droopen» basert på lastkrav og parallell drift.
- Noen systemer har isochronous control, som betyr at frekvensen holdes nesten konstant (0 % droop), men dette krever aktiv lastdeling via et styringssystem.

2. Bruk av Load Sharing-moduler.

For generatorer i parallell drift brukes ofte en load sharing-modul, som justerer droop dynamisk for å sikre jevn lastfordeling.

- Eksempel: Woodward EGCP-3 eller DEIF AGC-systemer.
- Disse enhetene kommuniserer med guvernørene og sørger for at generatorene deler lasten proporsjonalt.
- Dersom én generator har for høy droop, vil den ta for lite last, mens en generator med for lav droop kan ta for mye last og overbelastes.

3. Kompensasjon via frekvensregulatorer.

Hvis frekvenssvingninger blir et problem, kan et automatisk frekvensreguleringssystem installeres:

- Disse systemene overvåker frekvensen i kraftnettet og justerer motorens drivstofftilførsel.
- Typisk brukes AVR (Automatic Voltage Regulator) sammen med regulatoren for å holde spenning og frekvens stabil.

4. Bruk av Isochronous Load Sharing (ILS) i moderne systemer.

- I moderne skip er det vanlig med isochronous load sharing, hvor frekvensen holdes 100 % konstant (ingen droop).
- Dette krever at alle generatorene er koblet sammen via et load-sharing-nettverk, slik at systemet justerer drivstofftilførselen basert på samlet last.

Fordeler med ILS:

- Bedre frekvensstabilitet (f.eks. 50 Hz ± 0,1 Hz)
- Raskere respons på lastendringer
- Mindre manuell justering nødvendig

Ulemper

- Krever avansert styringssystem
- Hvis én generator mister kommunikasjon med systemet, kan det føre til ustabil drift

Oppsummering

- Manuell justering av mekanisk regulator kan brukes, men krever erfaring.
- Elektroniske regulator gir mer presis kontroll og automatisk justering.
- Load-sharing-moduler sikrer jevn lastfordeling i parallell drift.
- Frekvensregulatorer og AVR kan kompensere for droop og stabilisere systemet.
- Isochronous load sharing (ILS) gir best stabilitet, men krever et avansert system.

Isochronous load sharing

ISOCHRONOUS LOAD SHARING

Isochronous load sharing (på norsk: *isokron lastdeling*) er en metode for å dele aktiv last (kW) jevnt mellom to eller flere generatorer uten at frekvensen endres, altså med konstant frekvens – selv når lasten varierer.

Hva betyr "Isochronous"?

"Isochronous" betyr konstant turtall (og dermed konstant frekvens), uavhengig av last.
En isokron regulator justerer pådraget umiddelbart slik at frekvensen holdes helt stabil – selv om lasten endrer seg.

Isochronous Load Sharing i praksis:

Når to eller flere generatorer skal jobbe parallelt og begge kjører i isokron modus, må de ha:

- Et kommunikasjonssystem mellom regulatorene (f.eks. droop-korreksjon eller lastdelingsmodul).
- Et kontrollsystem (typisk en del av PMS) som styrer aktiv lastfordeling automatisk.

Dette systemet sørger for at:

- Begge generatorene holder samme frekvens.
- Begge generatorene deler lasten jevnt (50/50) eller etter innstilt prosent.
- Det unngås ustabilitet, som ellers kan oppstå når to isokrone regulatorer "slåss" om å kontrollere frekvensen.

Fordeler med isokron lastdeling:

- Stabil frekvens – viktig for sensitive forbrukere.
- Jevn lastfordeling – reduserer slitasje.
- Høy nøyaktighet – bedre kontroll enn ved droop-drift alene.

Forskjell fra droop-drift:

Funksjon	Isochronous	Droop
Frekvenskontroll	Holder frekvensen helt konstant.	Lar frekvensen falle litt med økt last
Lastfordeling	Krever aktiv delingslogikk.	Deler automatisk pga. turtallsfall
Bruk	For nøyaktig kontroll (PMS).	Brukes ofte på større, uavhengige nett
Stabilitet	Kan bli ustabil uten kommunikasjon	Naturlig stabil

Typisk bruk på skip:

På moderne skip:

- Hoved generatorene går ofte i droop-modus når de er parallellkoblet, fordi det gir innebygd lastdeling uten kommunikasjon.

- Isochronous load sharing brukes ofte der:
  - Bare én generator er i drift (da er isokron best).
  - Flere generatorer kjøres sammen med et lastdelingssystem (PMS).
  - Det er behov for høy frekvensnøyaktighet (f.eks. spesialutstyr, landstrøm).

Σ

KORT OPPSUMMERT:

Isochronous load sharing betyr at flere generatorer deler aktiv last jevnt, samtidig som frekvensen holdes konstant. Det krever kommunikasjon mellom regulatorene for å unngå at begge prøver å kontrollere frekvensen alene.

DEIF – Isochronous Load Sharing

DEIF – ISOCHRONOUS LOAD SHARING

DEIF har klare løsninger for isokron drift og lastdeling:

Produkter som støtter dette:

- DEIF PPM-3 / PPM-300 (Power Management Controller).
- DEIF AGC-4 / AGC-150 (Automatic Genset Controller).

Funksjoner

- Full støtte for Isochronous load sharing.
- Kommunikasjon mellom generatorstyringer via CAN, Modbus eller Ethernet.
- Automatisk lastdeling med høy nøyaktighet.
- Kan kjøre både droop, Isochronous, og kombi-modus.

DEIF brukes ofte i marine applikasjoner og er kjent for sin pålitelige last- og synkroniseringslogikk. PPM-3 er spesielt godt egnet for fartøy med krav om fleksibel og presis kraftstyring.



Foto: DEIF

Prosedyre for manuell innfasing av generator 2 til hovedtavlen

PROSEDYRE FOR MANUELL INNFASING AV GENERATOR 2 TIL HOVEDTAVLEN

Krav for parallellkobling.

For at to generatorer skal kunne kjøre parallelt, må de ha:

- **Samme spenning** – Begge må ha samme utgangsspenning.
- **Samme frekvens** – Frekvensene må være like før tilkobling.
- **Samme fasevinkel** – Spenningenes fasevinkel må være synkronisert.
- **Samme faserekkefølge** – Rekkefølgen på faseforbindelsene må være den samme.

Forutsetninger:

- Generator 1 (G1) er inne og forsyner hovedtavlen.
- Generator 2 G2) er klar til innfasing (oppvarmet, olje- og kjølevæske er innenfor driftsparametere).
- Relevant verneutstyr er benyttet.
- Ingen pågående alarmer eller feilindikasjoner på generatorene eller hovedtavlen.

Trinnvis prosedyre for manuell innfasing:

1. Forberedelser:

a) Kontroller generatorparametere:

- Spenning (V), frekvens (Hz), og fase på G2 skal være justerbare.
- Sikre at spenningsregulator og turtall/kraftregulator fungerer.

b) Start G2 i henhold til normal oppstarts prosedyre.

c) La generatoren stabilisere seg før videre justering (oljetrykk, temperaturer, og kjølevann skal være innenfor akseptable verdier).

2. Synkronisering av G2 mot G1 (hovedtavle).

a) Aktiver synkroniseringsutstyret:

- Bruk et synkronoskop eller synkroniseringslamper for å overvåke faseforskjell og frekvens.

b) Juster spenningen på G2:

- Juster spenningsregulatoren slik at G2 har samme spenning som hovedtavlen (innenfor ± 2 % av hovedtavlens spenning).

c) Juster frekvensen:

- Øk eller senk turtallet på G2 for å matche frekvensen til G1 (50 Hz eller 60 Hz, avhengig av system).

d) Overvåk synkronoskopet eller synkroniseringslampene:

- Dersom synkronoskop brukes, vent til diodelyset eller nålen beveger seg sakte mot klokken 12-posisjon.
- Dersom synkroniseringslamper brukes, skal de blinke saktere etter hvert som faseforskjellen minker.
- Målet er at synkronoskopets diodelys eller nål er så nær 12 som mulig, eller at lampene lyser samtidig med jevn styrke.

e) Utfør innfasing:

- Når nålen nærmer seg kl. 12 (eller lampene lyser jevnt), legg inn G2 bryteren på riktig øyeblikk (vanligvis rett før kl. 12-posisjon).

3. Lastfordeling etter innfasing:

a) Kontroller at G2 er stabilt tilkoblet hovedtavlen.

b) Juster lastdelingen mellom generatorene ved å:

- Øke pådraget (drivstofftilførselen) på G2 for at den skal begynne å ta på seg last. Dersom G2 ikke begynner å ta på seg last med en gang kan vi risikere at den går i returlast (også kalt «motorgang» eller «negativ kW».
- Sikre at begge generatorene deler lasten proporsjonalt og innenfor deres kapasitet (prosentvis fordeling etter størrelse).

c) Overvåk systemparametere nøye:

- Spenning, frekvens, kW, kVAr, og strømfordeling mellom generatorene.

4. Fordeling av reaktiv last (kVAr) etter innfasing:

Etter at G2 er faset inn og aktiv last (kW) er jevnt fordelt, må vi balansere den reaktive lasten (kVAr). Dette gjøres ved å justere spenningsregulatorene (AVR - Automatic Voltage Regulator) på hver generator.

Trinnvis prosedyre for reaktiv lastfordeling:

a) Overvåk effektfaktor (cos φ) og kVAr på hver generator:

- Bruk hovedtavlens effektmåler for å sjekke hvordan den reaktive lasten er fordelt.
- Hvis én generator tar for mye eller for lite reaktiv last, må justering gjøres.

b) Juster spenningsregulatoren (AVR) på G2:

- Øker du spenningen på en generator → den tar mer reaktiv last (kVAr).
- Senker du spenningen → den gir fra seg reaktiv last til den andre generatoren.
- Målet er at begge generatorene deler den reaktive lasten jevnt, og at effektfaktoren er nær 1 (optimalt rundt 0,8–0,95 avhengig av systemet).

c) Sikre stabilitet etter justering:

- Kontroller at reaktiv effekt er jevnt fordelt, og at det ikke oppstår spenningsubalanser.
- For høy reaktiv last på én generator kan føre til overbelastning eller spenningsvariasjoner.

d) Overvåk systemet videre:

- Spenning, frekvens og lastfordeling må overvåkes kontinuerlig for å sikre stabil drift.

Hvorfor er dette viktig?

Forhindrer ubalanse i kraftsystemet (som kan føre til spenningsvariasjoner).
Sikrer at begge generatorene jobber effektivt og ikke overbelastes.
Forbedrer kraftfaktor, noe som reduserer energitap i systemet.

!

HUSK

Reaktiv last (kVAr) justeres via spenningsregulering, mens aktiv last (kW) justeres via drivstofftilførsel/turtall.

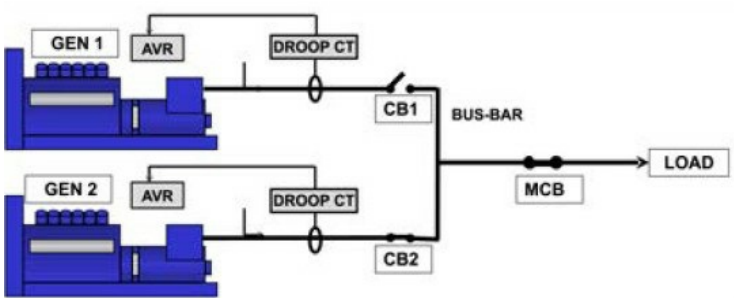
Optimal effektfaktor og jevn lastfordeling gir tryggere og mer effektiv drift av generatorsystemet om bord.

5. Avslutning og overvåking

a) Sikre at generatorene forblir stabile i samkjøring.

b) Overvåk kontinuerlig for unormale tilstander som ubalanse, overbelastning eller spenningsvariasjoner.

c) Loggfør operasjonen i skipets maskinjournal.



Tegningen er hentet fra Stamford

Eksempel på beregningsoppgave

EKSEMPEL 1

To generatorer, GEN 1 på 1000 kVA ved cos φ = 0,8 og GEN 2 på 750 kVA ved $\cos\varphi = 0,8,$ kjøres parallelt.

Begge generatorer har et turtall som faller 4 % fra tomgang til full last.

I tomgang har begge generatorene en frekvens på 62,5 Hz.

a) Tegn generatorenes statikker.

b) Den totale belastninga er 875 kW.

Korleis vil denne lasten fordele s g prosentvis på kvar generator og kor stor er tavle frekvensen ved denne lasten?

Løysingsforslag eksempel 1:

a)

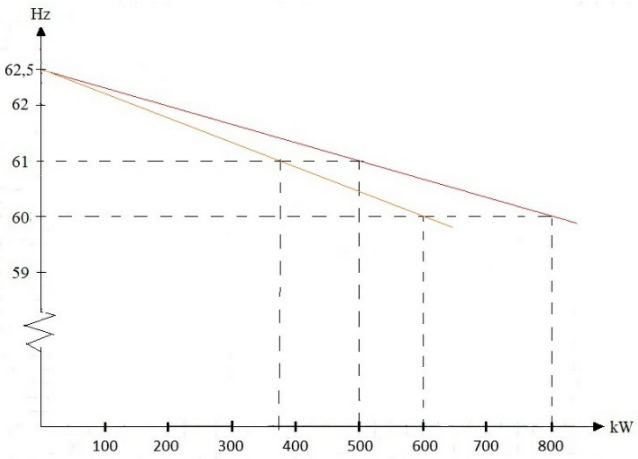
$$P_1 = S_1 * \cos\varphi = 1000 * 0,8 = 800\ kW$$

$$P_2 = S_2 * \cos\varphi = 750 * 0,8 = 600\ kW$$

Maks total aktiv last $1400\ kW$

4% fall i turtallet gir et fall i frekvensen på: 62,5 * 0,04 = $\underline{2,5\ Hz}$

Frekvensen ved full last blir: 62,5 - 2,5 = $\underline{60\ Hz}$



b) Ved en belastning på 875 kW vil belastninga fordele seg prosentvis på følgende måte.

$$P_1 = 875 * \frac{800}{1400} = 500\ Kw \qquad P_2 = 875 * \frac{600}{1400} = 375$$

Ved å gå inn i diagrammet kan vi lese av frekvensen grafisk.

Frekvensen ved beregning:

$$62,5 - 62,5 * \frac{4}{100} * \frac{500}{800} = 60,9375\ Hz \approx 61\ Hz$$

EKSEMPEL 2

To trefasa stjernekopla synkrongeneratorer som skal arbeide i parallell, har disse merkedata:

S = 1000 kVA, U = 440 V, f = 60 Hz og $\cos\varphi = 0,8$

I et belastningstilfelle yter generatorene A og B den same aktive effekten $P_A = P_B = 300$ kW. Frekvensen er da 60 Hz.

Generatorene lastes slik at generator A yter 600 kW og generator B yter 700 kW. Frekvensen har da gått ned til 59 Hz.

a) Tegn statistikkdiagram for generatorene A og B i same koordinatsystem, og beregn generatorenes «speed droop» i prosent.

b) Beregn hvor mye generatorene til sammen kan lastes med, ved automatisk lastfordeling.

Løsningsforslag eksempel 2

a)

$$P = S * \cos\varphi = 1000 * 0,8 = 800\ \text{kW}$$

«Speed droop» generator A:

Frekvensen fell 1 Hz på 300 kW

$$\text{Frekvensen fell } \frac{1\ Hz}{300000\ W} = 0,00000333\ Hz/W$$

Ved 0 kW vil frekvensen være:

$$60\ Hz\ +\ (300000\ W * 0,00000333) = 60Hz + 1\ Hz = 61\ Hz$$

Ved 800 kW vil frekvensen være:

$$59\ Hz - (200000\ W * 0,000003333) = 59\ Hz - 0,667\ Hz = 58,33\ Hz$$

Total fall i frekvens generator A = 61 Hz – 58,33 Hz = $\underline{2,67Hz}$

$$\text{«Speed droop» i \%} = \frac{100\ \% * (61 - 58,33)\text{Hz}}{61\ Hz} = \underline{\underline{4,37}}$$

«Speed droop» generator B:

Frekvensen fell 1 Hz på 400 kW

$$\text{Frekvensen fell } \frac{1\ Hz}{400000\ W} = 0,0000025\ Hz/W$$

Ved 0 kW vil frekvensen være:

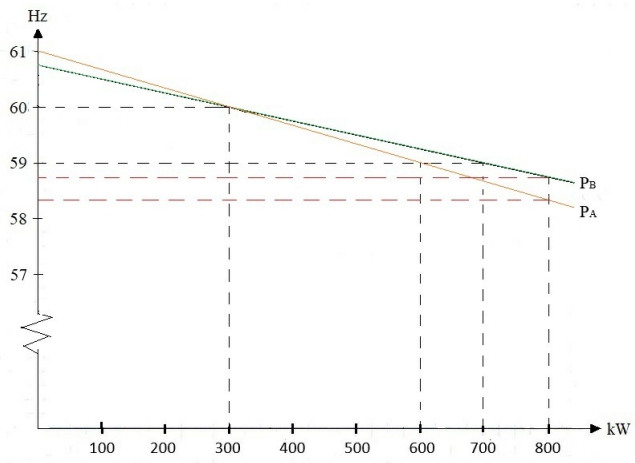
$$60\ Hz\ +\ (300000\ W * 0,0000025) = 60Hz + 0,75\ Hz = 60,75\ Hz$$

Ved 800 kW vil frekvensen være:

$$59\ Hz - (100000\ W * 0,0000025) = 59\ Hz - 0,25\ Hz = 58,75\ Hz$$

Total fall i frekvens generator B = 60,75 Hz – 58,75 Hz = $\underline{2Hz}$

$$\text{«Speed droop» i \%} = \frac{100\ \% * (60,75 - 58,75)\text{Hz}}{60,75\ Hz} = \underline{\underline{3,29}}$$



Statikkdiagram over generator A og B.

b) Fra statistikk diagrammet i a kan vi som tilleggsopplysning få fram kor mye generatorene totalt kan lasts med.

Maksimal last for generatorene A og B ved automatisk lastfordeling:

Ved 58,75 Hz er generator B ved full last 800 kW.

Ved 58,75 Hz har generator A et fall i frekvens på 61 Hz – 58,75 Hz = 2,25 Hz

> $Generator\ A\ har\ ei\ belastning\ pa \frac{2{,}25\ Hz}{0{,}00000333\ Hz/W} = 675000\ W = 675\ kW$
>
> P =P_A+ P_B = 675 k W + 800 kW = $\underline{\underline{1475\ kW}}$

På grunn av ulik «Speed droop» får vi ikke lastet generator A fult ut (800 kW).

Kap 16 Spenningsregulator

Spenningsregulator

SPENNINGSREGULATOR.

En spenningsregulator er en enhet som automatisk justerer og opprettholder en stabil utgangsspenning i et elektrisk system, uansett endringer i belastning eller inngangsspenning.

I generatorer, spesielt i maritime anlegg, brukes en spenningsregulator for å sikre at generatorens utgangsspenning forblir stabil, selv om lasten eller turtallet på drivmaskinen endres.

AVR (Automatic Voltage Regulator)

AVR (AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR)

En AVR er en elektronisk enhet som automatisk regulerer utgangsspenningen fra en generator. Den sørger for at spenningen forblir stabil, uavhengig av belastningsendringer, temperaturvariasjoner eller svingninger i turtallet på drivmaskinen (dieselmotor/turbin).

Hvordan fungerer en AVR?

AVR-en jobber kontinuerlig for å holde spenningen innenfor ønsket nivå ved å kontrollere magnetfeltet i generatoren. Dette skjer i følgende trinn:

Måling av utgangsspenning.

- AVR-en overvåker generatorens utgangsspenning og sammenligner den med en forhåndsinnstilt referanseverdi.

Sammenligning og feildeteksjon.

- Hvis spenningen er for lav, øker AVR-en strømmen til feltviklingen i generatoren, noe som forsterker magnetfeltet og øker spenningen.
- Hvis spenningen er for høy, reduseres feltstrømmen, slik at magnetfeltet svekkes og spenningen senkes.

Regulering og stabilisering.

- AVR-en justerer kontinuerlig feltstrømmen for å holde generatorens spenning stabil, selv når belastningen på systemet endrer seg.

Fordeler med AVR i generatorer:

- Stabil spenning – Hindrer svingninger som kan skade elektrisk utstyr.
- Automatisk tilpasning – Regulerer spenningen uten behov for manuelle justeringer.
- Forbedret spenningskvalitet – Reduserer overspenning, underspenning og spenningsforstyrrelser
- Optimal reaktiv effektkontroll – Viktig ved parallellkobling av generatorer.

AVR i parallellkobling av generatorer

Når flere generatorer kjører parallelt, må AVR-ene:

- Sikre lik spenning på alle generatorene for å unngå ubalanser.
- Fordele reaktiv effekt mellom generatorene, slik at én generator ikke overbelastes mens en annen jobber for lite.

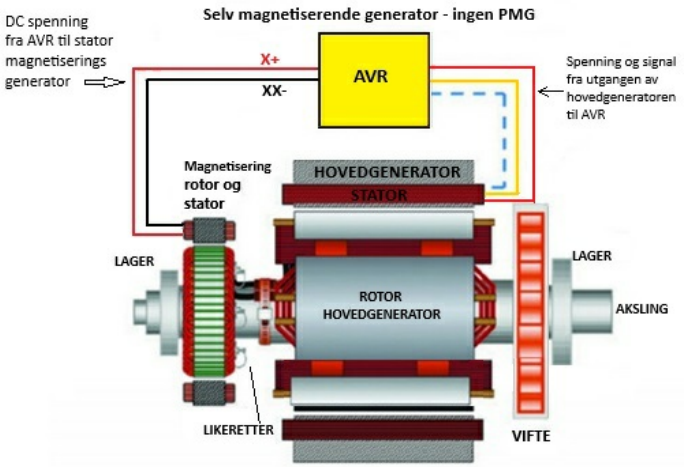
Vanlige typer AVR-er

1. Analog AVR – Enkle regulatorer som bruker elektriske kretser til å justere spenningen.
2. Digital AVR – Mer presise og programmerbare enheter som gir bedre regulering og kan fjernstyres.
3. Hybrid AVR – Kombinerer analoge og digitale komponenter for økt stabilitet og fleksibilitet.

Σ

OPPSUMMERING

- AVR regulerer automatisk generatorens spenning ved å kontrollere magnetfeltet i rotorviklingen.
- Den tilpasser seg endringer i belastning for å holde en jevn spenning.
- Viktig i parallellkobling for å sikre jevn fordeling av reaktiv effekt.
- Finnes i analoge, digitale og hybride versjoner, avhengig av behov.



Vanlige innstillinger på en AVR

1. Output Voltage (Spenningsnivå)

- Hva det gjør: Bestemmer generatorens nominelle utgangsspenning (f.eks. 400 V).
- Justeres for: Å kalibrere eller korrigere utgangsspenningen til ønsket verdi.

2. Stability / Gain.

- Hva det gjør: Regulerer hvor raskt og kraftig AVR-en reagerer på spenningsendringer.
- Justeres for:
  - For lav verdi → treg regulering
  - For høy verdi → risiko for oscillasjoner eller ustabilitet

3. Droop / Parallel Operation.

- Hva det gjør: Aktiverer og justerer spenningens "droop"-funksjon ved belastning, viktig ved parallellkjøring av generatorer.
- Justeres for: Å sørge for riktig reaktiv lastdeling mellom generatorer i parallell.

4. Underfrequency Compensation (U/F eller U/F foldback).

- Hva det gjør: Reduserer spenningen automatisk ved lav frekvens for å beskytte generator og tilkoblede enheter.
- Justeres for: Å stille inn startpunkt (f.eks. 47 Hz) og følsomhet på senking av spenning ved frekvensfall.

5. Voltage Trim / Remote Voltage Adjustment.

- Hva det gjør: Tillater ekstern finjustering av spenningen via PLS, potmeter eller kontrollsystem (ofte 0–5 V eller 4–20 mA signal).
- Justeres for: Fjernstyring av spenningsnivå under drift.

6. Overexcitation / Overvoltage Protection.

- Hva det gjør: Beskytter generatoren ved for høy magnetisering eller utgangsspenning.
- Justeres for: Å sette terskelverdi der beskyttelsen skal aktiveres (dersom det er justerbart på aktuell AVR-type).

7. Sensing Configuration (3-fase / 1-fase sensing).

- Hva det gjør: Velger om AVR skal lese alle tre faser eller bare én.
- Justeres for**:** Riktig deteksjon av nettforhold, avhengig av tavlekonfigurasjon og belastningstype.

På mer avanserte AVR-er (digital/regulerbare typer, som DEIF, Stamford mfl.):

- Parametere stilles inn via:
  - Display og knapper.
  - PC-programvare (via USB/RS485).
  - DIP-switcher.

- En kan også ofte stille:
  - Reaktiv effektregulering (VAr sharing).
  - Spenningsramper ved innfasing (soft voltage ramp-up).
  - PID-verdier.
  - Beskyttelsesgrenser for UV, OV og OC.

f(x)

UV = UNDER VOLTAGE

→ Beskyttelse mot for lav spenning**.** AVR-en kan koble ut eller redusere eksitasjon dersom spenningen faller under en forhåndsdefinert grense.

f(x)

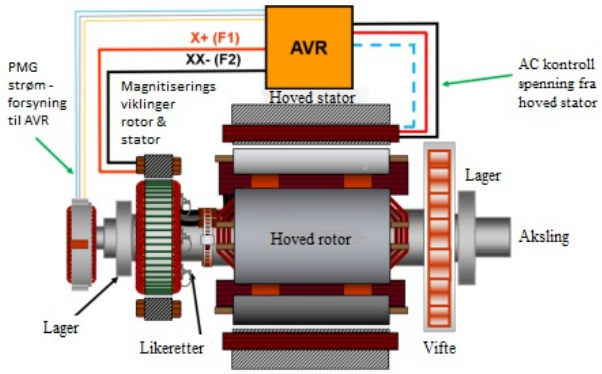
OV = OVER VOLTAGE

→ Beskyttelse mot for høy spenning**.** Hvis generatorens spenning overstiger en sikker verdi, vil AVR-en redusere eksitasjon eller i noen tilfeller koble ut.

f(x)

OC = OVER CURRENT

→ Beskyttelse mot overstrøm. Dette kan for eksempel beskytte eksitasjonssystemet eller viklinger mot skade ved for høy belastning eller kortslutning.



Generator med PMG
Tegning: Stamford

Stamford AVR MX341 – Automatic Voltage Regulator

STAMFORD AVR MX341 – AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR

Stamford AVR MX341 er en analog, 2-fase kontrollert Automatic Voltage Regulator beregnet for børsteløs generatorer, drevet av en permanentmagnetgenerator (PMG**)** eller shunt system (vanlig magnetisering via stator). Den gir isolasjon mot ikke-lineære belastninger og lav elektromagnetisk støy.



Standard på Stamford P6, P7 og S7 alternativ

Tekniske spesifikasjoner for Stamford AVR MX341

- Sensing Input: 190 – 264 VAC, 1-fase, 50 – 60 Hz
- PMG Inngang: 140 – 220 VAC, 3-fase, 3 A/fase, 100 – 120 Hz
- Utgang: inntil 120 VDC, kontinuerlig 2.7 A, kortvarig 6 A (10 s), minimum 15 Ω
- Regulering: ± 1 % RMS nøyaktighet
- Termisk drift: ca. 0.03 % per °C
- Responsvurdering:
  - AVR respons ca. 10 ms,
  - Feltstrøm når 90 % på 80 ms,
  - Generatorvolum når 97 % på 300 ms
- Under-frekvens beskyttelse: trer inn ved ~95 % av nominell frekvens, reduserer generatorens spenning 170 % ned til 30 Hz.
- Ekstern volt justering: ± 10 % ved 1 kΩ, 1 W potmeter.
- Overeksitasjon: utløser ved 75 V DC etter 10 sek.
- Quadrature droop input (Inngang for regulering av spenningsfall [droop] basert på reaktiv effekt): for parallell drift, følsomhet 0.07 A gir 5 % droop

Kontrollpanel og justering.

MX341 kommer med flere potensiometre og brytere:

- VOLTS: justerer generatorens nominelle spenning.
- STAB: dempeinstilling for å hindre "voltage hunting".
- UFRO: setter knekkpunkt og nivå for under-frequency roll-off.

- DIP: justerer hvor kraftig spenningsfallet er ved frekvensfall (f.eks. turbo-laster).
- DROOP: innstilling for reaktiv delingskarakteristikk ved parallell drift.
- TRIM: justering av ekstern analog signalinnvirkning (±5 V DC).
- EXC: overeksitasjonsvern med fabrikkinnstilling og sikring

Beskyttelses- og driftsfunksjoner.

- Soft-start: gir kontrollert oppstart av generatorspenning
- Under-frequency Protection (UFRO): reduserer spenningen under lav frekvens for å beskytte motoren.
- Over-excitation Protection: inhiberer spenning ved for høy eksitasjon, skal tilbakestilles ved stopp.
- PMG-basert system: oppnår høy kortslutningsytelse og lav RF-støy.
- Droop-støtte: muliggjør synkronisering og belastningsdeling ved parallell drift.

Tilbehør og tilkoblinger.

- Ekstern trimmer for fjernjustering.
- CT-kobling for parallell drift via droop.
- Analog inngang (f.eks. fra PFC3) for styring av spenning eller effektfaktor.
- Ekstra moduler som APM, DFD og ELM kan legges til for bredere beskyttelse

Σ

KONKLUSJON

Stamford MX341 er en solid og funksjonsrik analog spenningsregulator med:

- Nøyaktig spenningsregulering (±1 %),
- Rask respons og soft-start,
- Beskyttelse mot under- og overeksitasjon,
- Parallelldriftsstøtte med droop,
- Fjernjusteringsmuligheter.

Spesielt egnet for Stamford generatorer (P6, P7, S7) hvor PMG-basert AVR og parallell drift kreves.

Hovedprinsipp – hvordan MX341 virker.

1. **Strømkilde (PMG):**
   AVR-en forsynes av en permanentmagnetgenerator (PMG). Dette gir stabil og isolert strømforsyning, uavhengig av hoved generatorens last og spenning.

2. **Spenningsovervåking:**
   MX341 måler kontinuerlig generatorens utgangsspenning via måleledninger (typisk 190–264 VAC, 1-fase).

3. **Sammenligning med referanse:**
   Den sammenligner den målte spenningen med en innstilt referanseverdi (justerbar med potensiometeret "VOLT").

4. **Regulering av eksitasjon:**
   Hvis utgangsspenningen er lavere enn ønsket, øker MX341 strømmen til feltviklingen. Økt magnetfelt gir høyere spenning. Hvis spenningen er for høy, reduserer den strømmen.

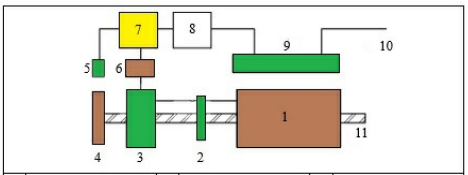
5. **Soft-start:**
   Ved oppstart reguleres spenningen gradvis opp (typisk på 3 sekunder), for å beskytte utstyr og redusere påkjenninger.

6. **Under-frekvensbeskyttelse (UFRO):**
   Hvis frekvensen synker (motoren jobber for tungt eller går for sakte), reduserer AVR spenningen i takt – for å beskytte generatoren og unngå overbelastning.

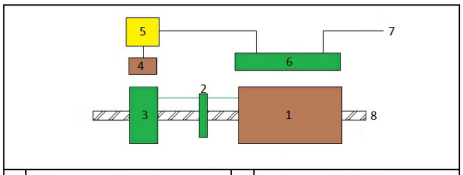
7. **Droop-funksjon (parallell drift):**
   Hvis flere generatorer går parallelt, bruker MX341 en CT-basert droop-inngang for å sørge for at reaktiv effekt (kVAr) deles riktig. Økt reaktiv belastning gir kontrollert spenningsfall.

8. **Overeksitasjonsbeskyttelse:**
   Hvis eksitasjonsstrømmen blir for høy for lenge (f.eks. over 75 VDC i mer enn 10 sek), kobles eksitasjonen ut for å beskytte systemet.

TABLE 2. PMG EXCITED AVR



No.	Description	No.	Description	No.	Description
1	Main field (rotor)	5	PMG armature (stator)	9	Main armature (stator)
2	Rotating diodes	6	Exciter field (stator)	10	Output
3	Exciter armature (rotor)	7	AVR	11	Rotor shaft
4	PMG field (rotor)	8	Isolating transformer (if fitted)		

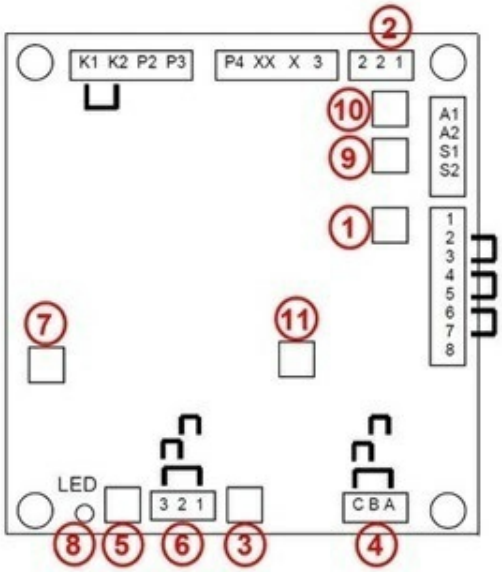


Nr.	Navn	Nr.	Navn
1	Hoved generator (rotor)	5	AVR
2	Roterende dioder	6	Hoved generator (stator)
3	Magnetiserings generator (rotor)	7	Spenning ut
4	Magnetiserings generator (stator)	8	Aksling

Generator uten permanent generator (uten PMG)

Tegning over AVR MX341

MX341 AVR CONTROLS



Ref.	Control	Function	Turn potentiometer CLOCKWISE to
1	AVR [VOLTS]	Adjust alternator output voltage	increase voltage
2	**Link : Hand trimmer** 1-2 : Not fitted None : Fitted	Adjust alternator output voltage	increase voltage
3	AVR [STAB]	Adjust stability to prevent voltage hunting	increase damping effect
4	**Link : Power** A-B : > 550 kW B-C : 90-550 kW A-C : < 90 kW	Select stability response for alternator size	N/A
5	AVR [UFRO]	Adjust the under-frequency roll-off knee point	reduce UFRO frequency
6	**Link : Frequency** None : 6 pole 50 Hz 1-2 : 6 pole 60 Hz 2-3 : 4 pole 50 Hz 1-3 : 4 pole 60 Hz	Select alternator frequency for UFRO	N/A
7	AVR [DIP]	Adjust under-frequency voltage dip rate	increase rate
8	Light Emitting Diode	LED lights in UFRO or EXC condition	N/A
9	AVR [DROOP]	Adjust alternator droop to 5% at zero Power factor	increase droop
10	AVR [TRIM]	Adjust analog input sensitivity	increase sensitivity
11	AVR [EXC]	Adjust over-excitation protection	increase trip excitation voltage

Tilkoplingar til Stamford MX341 AVR

MX341 har fleire inngangar og utgangar som er nødvendige for at den skal fungere korrekt:

1. Spenningstilføring.
   - Terminalar: 3 & 4.
   - Tilkopling: Frå hjelpevikling eller PMG (ved bruk).
   - Type: 170--220 VAC, 50/60 Hz (vanlegvis 2-fase, ofte frå ei separat vikling i statoren).
   - Funksjon: Gjev straum til AVR slik at den kan regulere feltet.

2. Spenningsovervåking (Sensing).
   - Terminalar 1 & 2.
   - Tilkopling: Generatoren sin 3-fase utgang (to fasar).
   - Type: 0--300 VAC, 50/60 Hz.
   - Funksjon: AVR overvåkar utgangsspenninga frå generatoren og justerer magnetisering etter ønska verdi.

3. Feltutgang (DC-feltspenning).
   - Terminalar: F1 & F2.
   - Tilkopling: Til statorviklinga til exciteren.
   - Type: DC, opptil ca. 90 VDC / 4 A.
   - Funksjon: AVR leverer straumen som magnetiserer generatoren sin rotor via exciter.

4. Straumtransformator for kompensasjon.
   - Terminalar: 6 & 7.
   - Tilkopling: Sekundærsida av ein straumtransformator (CT), gjerne på ein fase.
   - Type: 1 A eller 5 A CT sekundær.
   - Funksjon: Nyttast for load compensation (kompoundering). Aukar feltstraumen ved høg last.

5. Parallell drift / Droop signal.
   - Terminalar: 6 & 7 også nytta for droop CT.
   - Når to generatorar går parallelt, kan MX341 nytte droop CT-signalet til å redusere feltet litt ved auka last → gjev lastdeling.

6. Ekstern spenningsjustering (VOLT).
   - Terminalar: P2 & P3.
   - Tilkopling: Ekstern potensiometer (1 kΩ, 1 W tilrådd).
   - Funksjon: Manuell justering av utgangsspenning (±10--15 % typisk).
   - Dersom ikkje nytta: Terminalar P2 og P3 koplast saman med jumper.

7. Droop justering (ekstern).
   - Terminalar: P5 & P6.
   - Tilkopling: Ekstern pot for droop-justering (om ønskjeleg).
   - Dersom ikkje nytta: Terminalane kan stå åpne.

Oppsummeringstabell

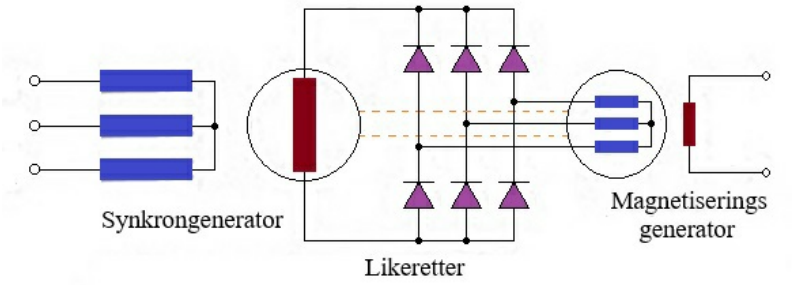
Terminalar	Funksjon	Tilkoplast
1 & 2	Spenningssensing	Generatoren sin utgangsspenning
3 & 4	Forsyning til AVR	Hjelpevikling eller PMG
F1 & F2	DC utgang til exciter	Exciter stator (felt)
6 & 7	CT-inngang for kompensasjon / droop	Straumtrafo
P2 & P3	Ekstern spenningsjustering	Potensiometer (valgfritt)
P5 & P6	Ekstern droopjustering	Potensiometer (valgfritt)

Spesialtips:

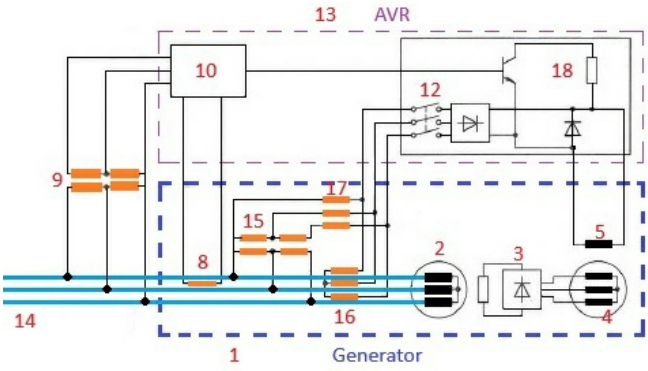
SPESIALTIPS

- Utan PMG**:** MX341 kan framleis nyttast. Då må den få forsyning frå hjelpevikling i statoren.
- Med PMG: Då koplast PMG direkte til 3 & 4 -- gir betre yting ved kortslutning.
- Droop**:** Viktig ved parallell drift. Bruk riktig innstilling for lastdeling.

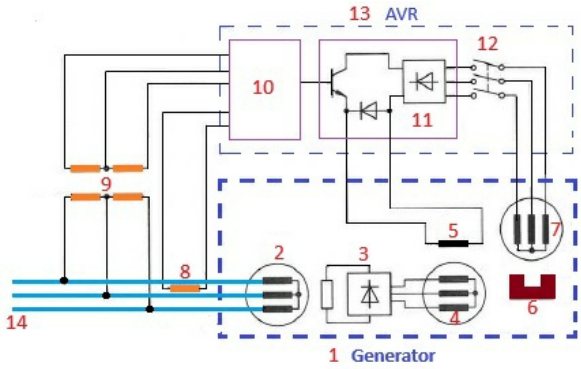
Hovedprinsipp for børsteløs magnetisering



Generator uten PMG

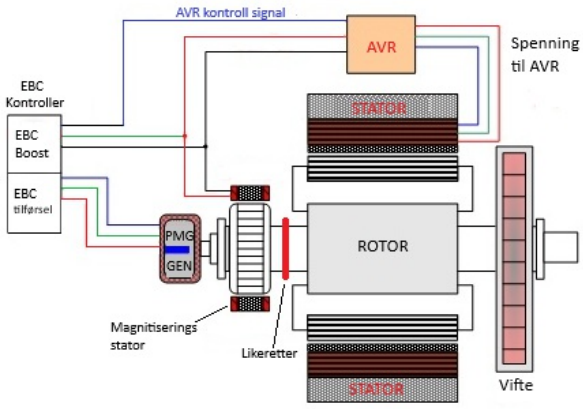


Generator med PMG (Permanent magnet generator)



Hovedkomponentene er nummerert (forrige side):

1. Stator hoved generator.
2. Rotor hoved generator.
3. Likerettingsdel på aksling mellom hoved gen. og magnetiserings gen.
4. Rotor til magnetiserings generator.
5. Stator til magnetiserings generator.
6. Permanent magnet (rotor), roterer med aksling.
7. Stator til PMG (Permanent magnet generator).
8. Strømtransformator (CT) for parallelldrift
9. Spenningsmåling (måletrafo).
10. Kontrollenhet.
11. Kontrollenhet (EBC kontroller).
12. Kretsbryter
13. AVR (Automatic Voltage Regulator).
14. Kabler til generatorbryter (hovedtavlen).
15. CT for spenning/lastkompensasjon.
16. Kompounderende strømtransformatorer.
17. Strømtransformator for beskyttelse etter måling.
18. Effektenhet.
19. Generator.



Kap 17 Generatorbrytere og vern

Bryter og vern til generatorer

!

BRYTER OG VERN TIL GENERATORER

Generatorer skal være beskyttet mot kortslutninger og overstrøm av flerpolte effektbrytere. (NEK410A-2021)

Generelt kan man si at generatorer skal ha:

- Overstrømsvern
- Kortslutningsvern

Dersom der er flere generatorer og en kan parallell kjøre disse skal det være flere vern:

- Overstrømsvern.
- Kortslutningsvern.
- Retureffektvern.
- Underspenningsvern.
- Overspenningsbeskyttelse
- Vern mot under- og overfrekvens

NEK 410 A 202 pkt.10.2 omhandler generatorvern.

Generatorer skal være beskyttet mot kortslutninger og overstrøm av flerpolte effektbrytere.

Generatorbryter

GENERATORBRYTER

En generatorbryter er en høy ytelses effektbryter som brukes til å koble en generator til eller fra skipets elektriske hovedtavle. Den beskytter både generatoren og kraftsystemet ved å bryte strømmen ved overbelastning, feil eller når generatoren skal tas ut av drift.

Oppbygging av en generatorbryter

Generatorbrytere er bygget for å håndtere store strømmer og høye spenninger uten å ta skade. De består av følgende hoveddeler:

1. Kontakter – Leder strømmen og åpnes/lukkes for å koble til eller fra generatoren.
2. Lukkemekanisme – En fjærbelastet eller elektromagnetisk enhet som sørger for rask inn- og utkobling.
3. Bueslokkingskammeret – Hindrer lysbue (elektrisk gnist) ved åpning av bryteren, ofte fylt med luft, olje, vakuum eller SF6-gass.
4. Beskyttelses- og styringssystem – Elektroniske sensorer og reléer overvåker strøm, spenning og feil for å beskytte generatoren.
5. Hus og isolasjon – Bryteren er ofte montert i et metallskap for sikkerhet og beskyttelse mot ytre påvirkninger.

Virkemåte til en generatorbryter

1. Normal drift:

- Når generatoren er klar til å levere strøm, lukkes bryteren for å koble den til hovedtavlen.
- Bryteren leder strømmen uten problemer under normal belastning.

2. Ved feil (f.eks. kortslutning, overbelastning og spenningsfall):

- Vernsystemet oppdager feilen og sender et signal til bryteren om å åpne.
- Bryteren åpner raskt, og bueslokkingskammeret hindrer lysbuer som kan skade bryteren.
- Generatoren kobles fra hovedtavlen for å forhindre skade på systemet.

3. Ved synkronisering:

- Når en ny generator skal kobles inn, må spenning, frekvens og fase være synkronisert.
- Når forholdene er riktige, lukkes bryteren, og generatoren kobles til nettet.

Typer generatorbrytere

- Luftisolerte (ACB – Air Circuit Breaker) – Bruker luft til å slukke lysbuer.
- Vakuumbrytere (VCB – Vacuum Circuit Breaker) – Bruker vakuum for lysbue slokking, ofte brukt i lav- og mellomspenningssystemer.
- SF6-brytere (GCB – Gas Circuit Breaker) – Bruker SF6-gass for effektiv lysbuestyring, vanlig i høyspenningssystemer. Pga. miljøgiftig gass er den på vei ut.
- Schneider SM AirSeT - Erstatter GCB brytere som SF_6-brytere.

SF_6-fritt modulæranlegg opp til 24 kV. Er ikke godkjent for skip.

- Oljebrytere – Tidligere brukt, men mindre vanlig i dag.

Hvor er generatorbryteren plassert?

- I hovedtavlen – Kobler generatoren til skipets kraftsystem.
- I generatorens kontrollskap – På noen skip er generatorbryteren en del av generatorens beskyttelsesenhet.

Hvorfor er generatorbryteren viktig?

- Beskytter generatoren mot skader fra feil eller kortslutninger.
- Forhindrer store strømstøt når generatorer kobles inn.
- Sikrer stabil drift av skipets elektriske system.
- Gir trygg manuell eller automatisk utkobling ved vedlikehold eller nødstilfeller.

Vern i en generatorbryter

Generatorbryteren har vanligvis innebygd kortslutningsvern og overstrømsvern, mens mer avanserte vern må håndteres av eksterne beskyttelsesrele (eks: Schneider Sepam eller DEIF rele). Noen generatorbryterne kan og ha avanserte innebygde vern.

Her er en oversikt over verna som er mest vanlige:

1. Kortslutningsvern (Short-Circuit Protection, 50G).

- Beskytter generatoren og anlegget mot alvorlige feilstrømmer forårsaket av kortslutning (fase – fase, fase – jord, etc.).
- Virker ved svært høy strøm, ofte mange ganger generatorens merkestrøm.
- Uten eller med svært kort tidsforsinkelse for å koble ut feilen raskt og redusere risiko for varige skade og varmeutvikling.

2. Overstrømsvern (Overcurrent Protection, 51G).

- Hindrer at generatoren skades av for høy strøm.
- Kobler ut bryteren hvis strømmen overstiger en fastsatt grense.
- Vanligvis tidsforsinket for å skille mellom kortvarige og farlige overstrømmer.

3. Differensialvern (Differential Protection, 87G).

- Sammenligner strømmen inn og ut av generatoren.
- Hvis det oppstår en intern feil (for eksempel viklingsfeil), kobles bryteren ut umiddelbart.
- Veldig viktig for å beskytte generatoren mot alvorlige skader.

4. Retureffektvern (Reverse Power Protection, 32G).

- Hindrer at generatoren begynner å trekke strøm i stedet for å levere.
- Hvis en synkrongenerator mister eksitasjon eller last, kan den begynne å oppføre seg som en motor.
- Vernet kobler ut generatoren for å unngå unødvendig drivstofforbruk og skade.

5. Underspenningsvern (Undervoltage Protection, 27G).

- Overvåker spenningen på generatoren.
- Hvis spenningen faller under en kritisk verdi, kobles bryteren ut for å beskytte utstyr.

6. Overspenningsvern (Overvoltage Protection, 59G).

- Hindrer at for høy spenning skader elektriske systemer og forbrukere ombord.
- Hvis spenningen overstiger en sikker grense, kobles generatoren ut.

7. Frekvensvern (Over/Under Frequency Protection, 81O/U).

- Overvåker generatorens frekvens (normalt 50 eller 60 Hz).
- Kobler ut bryteren hvis frekvensen blir for høy eller lav, noe som kan skade maskineri.

8. Jordfeilvern (Earth Fault Protection, 50N/51N).

- Oppdager isolasjonsfeil eller lekkasjestrøm til jord.
- Kan enten gi alarm eller koble ut generatoren for å forhindre brann eller skade.

Forklaring på talla og bokstavene som står i parentes:

F.eks. tallet 32G refererer til en spesifikk funksjonskode i henhold til IEEE-standard (ANSI-standard) for beskyttelses reléer**.**

- **32** er funksjonskoden for retureffektvern (Reverse Power Protection)**.** Dette vernet beskytter generatoren mot å begynne å trekke effekt i stedet for å levere den, noe som kan skje hvis drivmaskinen (dieselmotor, turbin) svikter eller mister kraft.
- **G** står for Generator**,** og indikerer at dette spesifikke vernet er anvendt på en generator. G kan og stå for ground.

Σ

OPPSUMMERING

Generatorbryteren er en effektbryter med avanserte beskyttelsesvern som sikrer trygg drift av generatoren. De viktigste vernetypene inkluderer:

- Overstrømsvern – Beskytter mot for høy strøm.
- Differensialvern – Oppdager interne feil i generatoren.
- Retureffektvern – Hindrer at generatoren trekker strøm.
- Under-/overspenningsvern – Sikrer stabil spenning.
- Frekvensvern – Hindrer feil ved for høy eller lav frekvens.
- Jordfeilvern – Oppdager lekkasjestrømmer for å forhindre skade.



ABB sin Vmax-sec vakumbryter.

Overstrømsvern. NEK 410A-202 pkt.10.2.1

Spesielt skal overstrømsbeskyttelsen være tilpasset generatorens termiske kapasitet og innenfor følgende krav:

a) *For overstrømmer mindre enn 10 % bør det vurderes å inkludere et hørbart alarmsignal som styres av et tidsforsinket rele innstilt på 1,1 ganger generatorens merkestrøm og med en tidsforsinkelse på 15 min eller mindre. En tidsforsinkelse på over 15 min. kan benyttes dersom dette er nødvendig på grunn av driftsforholdene og generatorens konstruksjon tillater det.*
b) *For overstrømmer mellom 10 % og 50 % skal effektbryteren løse ut med en tidsforsinkelse på maksimalt 30 s ved ikke mer enn 1,5 ganger generatorens merkestrøm. Likevel kan verdien på 50 % og tidsforsinkelsen på 30 s overskrides dersom dette er nødvendig på grunn av driftsforholdene og generatorens konstruksjon tillater det.*
c) *For overstrømmer over 50 % skal momentanutløsing koordineres med selektivitetsbeskyttelse av systemet. Korte tidsforsinkelser kan benyttes når det gjelder selektivitets krav ved «momentan» utløsningsvern som er konstruert for kortslutningsbeskyttelse. For store generatorer og for alle høyspenningsgeneratorer bør det anordnes beskyttelse mot feil på generatorsiden av effektbryteren.*
d) *Nødgeneratorer skal være beskyttet mot kortslutning. Overstrømmer skal ikke koble ut generatoren, men kun gi alarm.*

Det bør vurderes om beskyttelsesarrangementer for generatorer opprettholdes effektivt selv ved betydelig reduksjon av hastigheten.

Det bør vurderes å velge vern for overstrømsbeskyttelse av generatorer som tillater at effekten gjenopprettes øyeblikkelig etter at overstrømsbeskyttelsen har virket.
Innstilling og justering av automatiske spenningsregulatorer (AVR) skal ikke påvirke eller erstatte generatorvernet.

Kortslutningsvern. NEK 410A-202 pkt.10.2.2

Hvor det er forutsatt at generatorene skal drives i parallell, er det nødvendig å ta hensyn til feilstrømmene som oppstår ved en kortslutning mellom generatoren og generatorens effektbryter.

For generatorer på 1500 kVA eller mer skal det være anordnet passende vern eller system, som vil avmagnetisere generatoren og åpne effektbryteren i tilfelle kortslutning i generatoren eller i tilførselskabelen mellom generatoren og generatorens effektbryter. Dette gjelder ikke for nødgeneratorer.

Spesielle omstendigheter kan kreve lignende beskyttelse for generatorer med lavere ytelse, for eksempel for beskyttelse av personell og meget lange tilførselskabler.

En effektbryter er en beskyttelsesenhet som brukes i elektriske kretser for å beskytte mot overstrøm, kortslutninger og feilstrømmer. Den fungerer som en automatisk bryter som kobler ut strømmen når den oppdager unormale forhold i kretsen. Effektbrytere er viktige for å beskytte utstyr og mennesker mot potensielle farer som kan oppstå ved strømfeil. Her er noen hovedpunkter om effektbrytere:

- Beskyttelse mot overstrøm: Effektbryteren kobler ut strømmen når den overstiger en forhåndsdefinert verdi, for å forhindre overoppheting og skader på utstyr.
- Kortslutningsbeskyttelse: Den reagerer raskt på kortslutninger, og bryter strømmen for å forhindre alvorlige skader og farer.
- Automatisk drift: Effektbrytere er designet for automatisk å koble ut strømmen ved feil, og kan ofte tilbakestilles manuelt etter at feilen er rettet.
- Variert kapasitet: De finnes i ulike størrelser og kapasitet for å beskytte små kretsløp i hjemmet eller store industrielle anlegg.
- Typer: Det finnes ulike typer effektbrytere, inkludert termiske, magnetiske og elektroniske effektbrytere, hver med sine spesifikke egenskaper og bruksområder.

Retureffektvern. NEK 410A-202-pkt 11

Retureffekt og tilbakestrømsvern for AC-generatorer

AC-generatorer for parallelldrift skal ha tidsforsinket vern mot aktiv retureffekt.

Det anbefales å innstille vernet i området 2 % til 6 % av merkeeffekten til turbiner og området 8 % til 15 % av merkeeffekten til dieselmotorer.

Et fall i spenning på 50 % skal ikke medføre at retureffektvernet svikter, selv om spenningsreduksjonen kan forandre den mengde retureffekt som er nødvendig for å åpne bryteren.

Retureffektvernet er vanligvis en del av skipets hovedtavle (Main Switchboard), der alle generatorene er koblet til.

Fysisk plassering:

- Inne i hovedtavlen: Vernet er ofte innebygd i generatorbryteren som er montert i hovedtavlen. Det overvåker strøm og spenning til/fra generatoren.
- I generatorens kontrollpanel: På noen skip er vernet plassert i et separat kontrollskap nær generatoren, spesielt hvis det er en eldre eller spesialbygget installasjon.
- I et elektronisk vernsystem: På moderne skip kan retureffektvernet være en del av et digitalt generatorstyringssystem, som overvåker og styrer flere beskyttelsesfunksjoner samtidig.

Vernet fungerer automatisk og vil utløse en bryter for å koble ut generatoren hvis den begynner å trekke effekt.

Et retureffektvern er en beskyttelsesmekanisme for generatorer som forhindrer at de begynner å fungere som motorer.

Hvorfor trenger vi retureffektvern?

Generatorer på skip er designet for å produsere elektrisk energi, men hvis noe går galt – for eksempel et spenningsfall eller feil synkronisering – kan generatoren begynne å ta opp strøm i stedet for å levere den. Da fungerer den som en motor og trekker effekt fra nettet, noe som kan føre til:

- Unødvendig belastning på drivmaskinen (f.eks. dieselmotor eller turbin).
- Overoppheting og mulig skade på generatoren.
- Driftsforstyrrelser i kraftsystemet ombord.

Hvordan fungerer retureffektvernet?

- Måler retning og størrelse på effekten (kW) til generatoren.
- Hvis effekten blir negativ (dvs. strøm går tilbake til generatoren i stedet for ut), kobler vernet ut generatoren.
- Dette skjer vanligvis automatisk og raskt for å unngå skade.

Retureffektvern er altså viktig for å sikre stabil drift og beskytte både generatoren og resten av skipets kraftsystem

Underspenningsvern. NEK 410A-202- pkt. 12.1.

AC og DC -generatorer

*For generatorer som arrangeres i parallelldrift med hverandre eller med effekttilførsel fra land, skal det tas forholdsregler for å hindre at generatorbryteren lukker hvis generatoren ikke leverer strøm, og for å hindre at generatoren forblir tilkoplet samleskinnene hvis spenningen bryter sammen. *

*Hvis det er installert underspenningsutkopling for dette formål, skal denne være momentan når det skal forhindres at bryteren lukkes, men være forsinket av selektivitetshensyn tilsvarende tiden kortslutningsvernet trenger for å klarere feilen (reservevernet**).***

Underspenningsvern er en beskyttelsesmekanisme som overvåker spenningen i et elektrisk system og kobler ut en generator eller forbrukere hvis spenningen blir for lav. Dette forhindrer skader på utstyr og sikrer stabil drift av skipets elektriske system.

Hvorfor trenger vi underspenningsvern?

- Beskytter generatoren – Forhindrer drift med for lav spenning, noe som kan skade elektriske komponenter.
- Forhindrer ustabil drift – Lav spenning kan føre til overoppheting av motorer og annet elektrisk utstyr.
- Hindrer spenningskollaps – Hvis en generator mister eksitasjon eller lastfordelingen ikke fungerer riktig, kan systemet miste spenning og føre til fullstendig strømbrudd.

Hvor er underspenningsvernet plassert?

- I hovedtavlen – Innebygd i vernreléer som overvåker spenningen fra generatorene.
- I generatorens kontrollpanel – På noen skip er det en del av generatorens egen beskyttelsesenhet.
- I automatiserte energistyringssystemer – På moderne skip håndteres dette ofte digitalt i et avansert kontrollsystem.

Hvordan fungerer det?

1. Måler spenningen kontinuerlig.
2. Hvis spenningen faller under en forhåndsinnstilt grense (for eksempel 85–90 % av nominell spenning), aktiveres vernet.
3. Vernet kan enten:
   - Gi en alarm, slik at mannskapet kan reagere.
   - Automatisk koble ut belastninger for å beskytte systemet.
   - Stoppe generatoren hvis lav spenning skyldes en feil.

Overspenningsbeskyttelse. NEK 410A-202- pkt. 13.1.

Generelt

Kretser fra utstyr som generatorer og eksterne strømkilder skal utstyres med overspenningsbeskyttelse for å unngå skade på tilkoplet utstyr.

Overspenningsvern

En skipsgenerator må ha beskyttelse mot overspenning, for å sikre trygg og stabil drift av det elektriske systemet om bord.

- Virkemåte:
  - Overspenningsvern beskytter generatoren og det elektriske systemet mot skadelige spenningstopper (transienter) som kan oppstå ved lynnedslag, bryteroperasjoner eller feil i systemet.
  - Det fungerer ved å avlede overspenning til jord eller ved å aktivere en bryter for å koble ut belastningen.
  - Kan også involvere spenningsregulatoren (AVR – Automatic Voltage Regulator), som justerer generatorens feltstrøm for å holde spenningen innenfor tillatte grenser.

- Plassering:
  - Overspenningsvern er ofte installert i generatorens kontrolltavle eller hovedtavle.
  - Kan også være plassert ved kritiske lastpunkter, som i fordelingstavler eller på spesifikke elektriske komponenter som må beskyttes.

Vern mot under- og overfrekvens. NEK 410A-202- pkt. 14

Enhver generator skal være beskyttet mot over- og underfrekvens. Innstillinger av vern mot over- og underfrekvens skal koordineres med systemutførelsen (f.eks. strømstyringssystem (PMS) og/eller nettverkskonfigurasjon)

Vern mot underfrekvens.

- Virkemåte:

- Underfrekvens kan oppstå hvis lasten er for høy i forhold til generatorens kapasitet, eller hvis det er problemer med drivmotoren.
- Vernet overvåker frekvensen og kan enten gi alarm eller automatisk koble ut generatoren for å unngå skade.
- I noen tilfeller vil lastavkobling (load shedding) aktiveres for å redusere belastningen og stabilisere systemet.

- Plassering:
  - Underfrekvensvern er typisk integrert i generatorens beskyttelsesrelé i hovedtavlen eller i generatorens styringssystem.

Vern mot overfrekvens.

- Virkemåte:
  - Overfrekvens oppstår vanligvis hvis drivmaskinen (dieselmotoren eller turbinen) går for fort, for eksempel på grunn av feil i drivstoffreguleringen.
  - Vernet overvåker frekvensen og kan enten gi alarm, redusere drivstofftilførselen, eller koble ut generatoren for å beskytte systemet.

- Plassering:
  - Overfrekvensvern er også plassert i hovedtavlen eller i generatorens kontrollsystem.
  - I tilfelle en dieseldrevet generator, kan det også være koblet til motorens regulator (governor) for å justere turtallet.

Σ

OPPSUMMERING

Disse vernene er avgjørende for sikker drift av en skipsgenerator. De er vanligvis plassert i hovedtavlen og generatorens kontrollsystem, der de kontinuerlig overvåker og beskytter systemet mot farlige forhold.



En Schneider MasterPact ACB bryter.

Schneider MasterPact MTZ, ACB (Air Circuit Breaker)

Det er mulig å bruke en Schneider ACB (Air Circuit Breaker) som en del av et generatorvern på et skip, men med noen viktige forutsetninger og begrensninger.

Schneider ACB kan nyttes som generatorbryter, men ikke som *det eneste* vern. Den må inngå som en del av et helhetlig vern- og kontrollsystem. Den er best egnet til:

- Overstrømsbeskyttelse
- Kortslutningsbeskyttelse

- Mekanisk frakobling (selektiv utkobling)
- Kommunikasjon med vernerele eller kontrollsystem (f.eks. generatorstyringssystem)

Hvordan fungerer en Schneider ACB som generatorbryter?

En ACB er i prinsippet en høyytelse effektbryter som beskytter strømførende systemer. Den er gjerne plassert mellom generatorens utgang og fordelingstavlen (MSB). Den fungerer slik:

1. Beskyttelse:

Den innebygde elektronikken (f.eks. Micrologic enhet) overvåker strømmen:

- Langtidsvern (overlast)
- Korttidsvern (termisk eller termisk-magnetisk)
- Momentanvern (kortslutning)
- Jordfeilvern (valgfritt)

2. Selektiv utkobling:

Ved feil i systemet (overlast, kortslutning osv.), kobler ACB ut bare den berørte kretsen uten å slå ut hele anlegget. Det gir bedre selektivitet, som er viktig på skip.

3. Kommunikasjon og integrasjon:

Moderne Schneider ACB-er som MasterPact MTZ eller MasterPact NW har kommunikasjonsmoduler (Modbus, Ethernet) som kan kobles til et generatorsystem.

En ACB gir ikke komplett generatorvern alene. Generatorer trenger flere spesialiserte vernefunksjoner:

- Over-/underspenning.
- Over-/underfrekvens.
- Ubalanse.
- Retureffekt.
- Differensialvern (ved parallell drift).
- Overspenning ved lastbortfall.

Disse funksjonene må håndteres av et generatorvern relé, f.eks. Schneider MiCOM P3G, Woodward, DEIF, eller ComAp.

På et skip er det ofte aktuelt med:

1. MasterPact NW-serien

- Robust
- Pålitelig
- Kompatibel med maritime sertifikater (DNV, ABS etc.)

2. MasterPact MTZ-serien

- Ny generasjon med digitale vern, kommunikasjon, og måling
- Kan integreres med EcoStruxure eller annet energistyringssystem

Oppsummering

Spørsmål	Svar
Kan ACB brukes som generatorvern på skip?	Ja, som del av vern- og brytersystem
Type ACB som kan brukes?	MasterPact NW eller MTZ med maritim godkjenning
Gir ACB komplett generatorbeskyttelse?	Nei, den må suppleres med et generatorvern relé.
Hvordan virker den?	Detekterer overstrøm/kortslutning og kobler ut, kommuniserer med overordnet system

ABB Vakuum Circuit Breaker VD4-MG

ABB VAKUUM CIRCUIT BREAKER VD4-MG

ABB VD4 er en av verdens mest brukte og anerkjente mellomspennings vakumbrytere, og den finnes i mange varianter for industri, energi og marineinstallasjoner. Den er spesielt godt egnet til krevende miljøer der pålitelighet og sikkerhet er avgjørende – som på skip og offshore.

Hovedegenskaper for VD4.

Egenskap	Detaljer
Type	Innendørs mellomspennings vakuumbryter (VCB)
Spenning	7,2 – 12 – 17,5 – 24 – 36 kV (opp til 46 kV for spesialmodeller)
Merkestrøm	630 A – 4000 A (med kjøling)
Kortslutningsytelse	Opptil 50 kA bryteevne
Driftstype	Elektrisk, manuell eller fjernstyrt
Montering	Fast eller uttrekkbar, i skap eller tavle (AIS)
Levetid	30 000 mekaniske operasjoner (IEC-standard), >10 000 elektriske
Beskyttelsesgrad	IP4X typisk i skap, selve bryteren har lavere IP
Miljø	Designet for krevende drift – inkl. marine og offshore

Marine og offshore-applikasjoner.

VD4 er tilgjengelig i varianter og pakker som er DNV- og ABS-godkjente for bruk på:

- Skip.
- Offshore plattformer.
- Marine tavleanlegg (både hoved- og nødtavler).
- Høyspent tilkobling av generatorer eller landstrøm.

ABB tilbyr marinegodkjent switchgear, som f.eks. UniGear ZS1, der VD4 er standard vakumbryter.

Fordeler

- Vakumteknologi: Ingen gass (f.eks. SF_6), miljøvennlig og minimalt vedlikehold
- Lang levetid: Høy mekanisk og elektrisk sykluskapasitet
- Modulær: Enkel integrasjon i eksisterende tavler og AIS
- Elektroniske beskyttelsesreleer (f.eks. med Ekip eller REF542plus)
- Digitalisering: Kan leveres med sensorikk, kommunikasjon og tilstandsovervåking (IEC 61850, Modbus etc.)

Typiske bruksområder.

- Høyspent generatorvern.
- Tilkobling til landstrøm på skip.
- Nettkobling på offshore-installasjoner.
- Industrinett med høye krav til selektivitet og bryteevne.
- Nødtavler i marineanlegg (når mellomspenning kreves).

ABB vakuum generatorbryter VD4.



Foto: ABB

ABB generatorbryter HD4 (med SF6 gass)

ABB GENERATORBRYTER HD4 (MED SF6 GASS)

ABB HD4 er en innendørs effektbryter for mellomspenning (opptil 36 kV), som bruker SF_6-gass (svovelheksafluorid) som isolasjons- og lysbueslukningsmedium. Den kan leveres som fastmontert eller uttrekkbar enhet, og installeres ofte i kapslede bryteranlegg.

HD4 består hovedsakelig av følgende deler:

Komponent	Beskrivelse
1. Bryterpoler	Tre separate poler (én per fase), fylt med SF_6-gass.
2. Lysbueslukningskammer	Inne i hver pol, der lysbuen dannes og slukkes ved åpning av kontaktene.
3. Hovedkontakter	Sølvbelagte kobberkontakter for strømføring.
4. Bevegelsesmekanisme	Mekanisk fjærutløser som åpner/lukker bryteren. Kan være manuell eller motorisert.
5. Betjeningsmekanisme	Inkluderer åpnings- og lukkefjær, motor for opplading, åpningsspole og lukkespole.
6. Mekaniske indikatorer	Viser bryterstilling: PÅ, AV, UTKOBLET.
7. Tilkoblingspunkter	For høyspenningstilkobling og styresignal.
8. Gasskammer og trykkmåler	Viser SF_6-trykk og gasslekkasjetilstand.

Virkemåte:

Lukking av bryteren.

1. Lukkefjæren lades (manuelt eller elektrisk).
2. Når en lukkeimpuls gis, utløses fjæren og lukker hovedkontaktene.
3. Strømmen ledes gjennom de lukkede kontaktene i de tre SF_6-fylte polene.

Åpning av bryteren (feil eller kontrollert utkobling).

1. En åpningsimpuls (fra vern eller kontrollsystem) utløser åpningsfjæren.
2. Kontaktene åpnes raskt, og lysbue dannes mellom dem.
3. SF_6-gass slukker lysbuen:
   - Når kontaktene separeres, utvider lysbuen seg i gasskammeret.
   - SF_6-ionene absorberer energien og kjøler lysbuen ned raskt.
   - Lysbuen slukkes før neste strømnull (i løpet av noen millisekunder).
4. Bryteren står nå i åpen posisjon.

Egenskaper og fordeler:

Egenskap	Forklaring
Isolasjon og slukking	SF_6 har høy dielektrisk styrke og utmerket lysbueslukkingsevne.
Lang levetid	Typisk over 10 000 mekaniske operasjoner, høy elektrisk levetid.
Lav vedlikeholds frekvens	Takket være lukket SF_6-system og robust mekanikk.
Høy ytelse	Kortslutningsbryteeevne opp til 31,5 kA eller mer.
Modulær design	Kan integreres i mange tavletyper og koblingsanlegg.

Ulemper og hensyn:

- **Miljøskadelig SF_6-gass** – Krever lekkasjekontroll og spesialhåndtering ved vedlikehold.
- Ikke egnet for alle installasjoner pga. fremtidige reguleringer mot SF_6.
- Ikke like vedlikeholdsfri som moderne vakuumbrytere (som VD4).

SF_6-brytere (begrenset bruk)

Brukes **kun unntaksvis** i marine anlegg i dag på grunn av:

- Høyt globalt oppvarmingspotensial (GWP).
- Strengere miljøreguleringer (EU forbyr SF_6 i mange sammenhenger fremover).
- Krever lekkasjedeteksjon og gjenfyllingssystem.



ABB generatorbryter HD4

Generatorvern Schneider Sepam 80 serie

GENERATORVERN SCHNEIDER SEPAM 80 SERIE

Schneider Sepam 80 er en serie av digitale vern- og kontroll reléer som brukes for beskyttelse, måling og styring av elektriske lav- og mellomspenningssystemer.

Sepam står for:

"Système Électronique de Protection et d'Automatisme Modulaire"

Det er Schneider Electrics modulære, mikroprosessorbaserte vernsystem, utviklet for å beskytte og overvåke:

- Krafttransformatorer
- Motorer
- Generatorer
- Kabler og linjer
- Fordelingstavler (ACB/MCCB)
- Synkronisering og lastdeling (i noen versjoner)

Typiske funksjoner i Sepam-relé:

Funksjon	Forklaring
Overstrømsvern (50/51)	Beskytter ved høy strøm og kortslutning
Jordfeilvern (51N/67N)	Beskytter mot jordfeil
Motorspesifikk beskyttelse (M-serie)	For termisk og mekanisk beskyttelse av motorer
Transformatorbeskyttelse (T-serie)	Inkluderer overbelastning, differensialvern osv.
Generatorvern (G-serie)	F.eks. spenning, frekvens, effektretning, synkronisering
Måling og logging	Viser strøm, spenning, effekt, frekvens osv.
Alarm og hendelseslogg	Tidsstemplede hendelser, inkludert forutgående måleverdier
Kommunikasjon	Støtte for Modbus, Ethernet, IEC 61850 (avhengig av modell)

Sepam G87, spesielt som **generatorvern.**

EKSEMPEL PÅ BRUK

I et høyspenningsanlegg om bord på skip kan Sepam brukes sammen med effektbrytere for å:

- Detektere overstrøm og jordfeil.
- Automatisk koble ut ved feil.
- Gi informasjon til operatør via skjerm eller SCADA.
- Logge forløp og verdier ved feil.
- Beskytte motorer (kjøling, thrustere, ballastpumper).

Fordeler med Sepam:

- Pålitelig og robust.
- Enkel betjening via frontpanel eller PC (SFT2841-programvare).

- Utvidet kommunikasjon med automasjonssystemer.
- Stor fleksibilitet – én modell kan brukes til mange formål.
- Maritime godkjenninger tilgjengelig (DNV, ABS, BV m.fl.).

Her er et eksempel på en typisk konfigurasjon av Schneider Sepam G87 som generatorvern i et mellomspenningsanlegg på et skip:

Sepam G87 – Generatorvern konfigurasjon:

Systemoversikt

- Generator: 6,6 kV, 1500 kVA.
- Tilkoblet til tavle via effektbryter.
- Sepam G87 installert som vern og måling.
- Strøm- og spenningstransformatorer tilkoblet Sepam.

Beskyttelsesfunksjoner (ANSI-koder):

Funksjon	ANSI-kode	Beskrivelse
Overstrøm	50/51	Beskytter mot fasefeil og kortslutning
Jordfeil	50N/51N	Detekterer jordfeilstrøm
Overspenning / underspenning	59 / 27	Beskytter mot spenningsavvik
Overfrekvens / underfrekvens	81O / 81U	Beskytter mot frekvensavvik i nettet
Retureffektvern	32R	Hindrer at generator begynner å ta inn kraft
Overspenning mellom fase og jord (59N)	59N	Isolasjonsovervåking mot jord
Spenningsdifferanse før innkobling	25	Synkroniseringskontroll før parallellkobling
Differensialvern *(hvis støttet)*	87G	Beskytter mot indre feil i generatoren
Overtemperatur / statusinnganger	49	Termisk beskyttelse via PT100 (ekstern inngang)

Tilkoblinger:

Signaltype	Tilkoblet til Sepam
CT-er (strømtransformatorer)	Fase A, B, C (sekundærstrøm 1 A eller 5 A)
VT-er (spenningstransformatorer)	Fase A-B-C og eventuelt N
Digital inngang	For status fra bryter, nødstopper, temperaturføler
Utganger (relé)	Kobler ut bryteren ved feil, sender alarm
Kommunikasjon	Modbus, Ethernet eller IEC 61850 (hvis konfigurert)

Programvarekonfigurasjon (SFT2841):

Når du konfigurerer Sepam via PC og programmet SFT2841, gjør du typisk:

1. Velg applikasjonstype: Generatorvern (Sepam G87 har forhåndsvalgt applikasjon)
2. Konfigurer innganger og utganger
3. Sett terskelverdier og tid for hvert vern
   - F.eks.:
     - 51 (Overstrøm): 120% In, T = 0,5 s
     - 32R (Retureffekt): -5% Sn, T = 2 s
4. Velg logikk for releutganger (f.eks. koble ut ved 51 eller 32R)
5. Test konfigurasjonen og last opp til Sepam via USB eller RS485

Display og overvåking.

Sepam-panelet viser:

- Sanntidsstrøm og spenning (A, V)
- Aktiv og reaktiv effekt (kW/kVAR)
- Frekvens (Hz)
- Varsler og alarmer
- Hendelseslogg og feilkoder

Ekstra funksjoner som kan aktiveres:

- Automatisk tilbakekobling (auto-reclosing)
- Synkroniseringsmodul (med ekstern enhet, f.eks. Sepam T25)
- Lastdeling (ved kommunikasjon med DEIF, Woodward eller parallellregulator)

Σ

OPPSUMMERT

Sepam G87 er svært godt egnet som generatorvern i mellomspenningssystemer, med et bredt spekter av funksjoner og fleksibel konfigurering. Den kobles til effektbryter, strøm-/spenningstransformatorer og gir både vern og overvåking i én enhet.



DEIF MVR-G215 generatorvern-relé

DEIF MVR-G215 GENERATORVERN-RELÉ

DEIF MVR-G215 generatorvern-relé, spesielt egnet for små til mellomstore generatorer, med fokus på funksjoner, tilkoblinger, godkjenninger og bruksområder:

Nøkkelfunksjoner

- 5 strøminnganger (0,2–10 A), 4 spennings innganger (1–480 V RMS)
- 3 digitale innganger + 5 reléutganger (4 NO, 1 CO) + 1 IRF utgang
- Kommunikasjon: Ethernet & RS-485, protokoller som Modbus TCP/RTU, IEC 61850 v1, IEC 60870-5⁄104/103/101, DNP3, SPA
- Event- og feillogg: 15 000 hendelser, 100 forstyrrelsesopptak
- 3 utvidelsesspor for ekstra I/O, kommunikasjons kort, RTD-temperatur, lysbuevern m.m.
- Raske responstider – typisk utkobling under 50 ms – ideelt for generatorbeskyttelse

Beskyttelsesfunksjoner (ANSI/IEC).

Fra produktarket og data ark:

- Strømvern: 50/51 (fase), 50N/51N (jord)
- Spenningsvern: 27, 59, 59N
- Frekvensvern: 81U/O
- Generator-spesifikt: retureffekt 32, strømubalanse 46, over/underspenning, overeksitasjon 24, differensialvern 87G, temperatur 49M etc.

Tilkoblingsmuligheter.

Installasjonsinstruksjoner viser typisk oppsett:

- 3 eller 4 VT'er (fase–nøytral + nullsekvens)
- 3 fasestrøms-CT-er + residual CT
- Digital inngang: bryterposisjon eller tripp-kommando
- Reléutganger: tripping kommandoer til bryter
- Utvidelser for RTD-temp eller strøm-utganger

Marin nødvendigheter.

- Klasset godkjenning fra DNV, GL, LR, ABS, CCS, RINA, UKCA med flere
- Designet for drift i marine og offshore miljø, høy driftssikkerhet og toleranse for vibrasjoner, temperatur og fuktighet

Sammenfatning.

DEIF MVR-G215 er et fleksibelt og kraftig generatorrelé som kombinerer:

- Omfattende beskyttelsesfunksjoner.
- Rask responstid.
- Modulær utbygging (I/O, RTD, lysbueslukking, redundant kommunikasjon).
- Marinegodkjenninger.
- Rikelige kommunikasjonsmuligheter (IEC 61850, Modbus, DNP, etc.).

Passer meget godt i tavlesekundære systemer til generatorer i skip.

Beskrivelse av viktige tilkoblinger:

1. Spenningstransformatorer (VT)
   - L1–L3 eller L–N for hver fase til spennings inngang V1–V3 på reléet.
   - Null-sekvens VT (valgfritt) til V0, for jordfeilovervåking

2. Strømtransformatorer (CT)
   - Fase-CT-er kobles til I1–I3 for faseoverstrøm og ubalanse.
   - Residual CT (4. CT) til I0 for jordfeil- og differensialberegninger.

3. Digitale innganger (DI)
   - For eksempel status fra effektbryter (lukket/åpen). Kan også kobles til alarm eller modustaster.

4. Reléutganger (DO)
   - 4× NO (normalt åpne) og 1× CO (vekselkontakt) kan programmeres til å sende trippsignal til bryter, eller til å gi alarm, synkronisert signal og mer.

5. Kommunikasjon
   - RS-485 (Modbus RTU), Ethernet (Modbus TCP, IEC-61850), eller andre protokoller med tilleggskort

6. Strømforsyning og jord
   - Reléet kan drives med DC 24-48 V eller DC 100-125 V, og jordingspunkt for skjerm/vugge.


DEIF
Q0
Q1
Q9
OK

Kap 18 PMS (Power Management System)

PMS-styring (Power Management System)

PMS-STYRING (POWER MANAGEMENT SYSTEM)

PMS (Power Management System) er et automatisk kontrollsystem som brukes på skip for å overvåke og styre strømproduksjon og fordeling. Systemet sikrer at:

- Generatorene fordeler lasten jevnt.
- Riktig antall generatorer er i drift basert på strømbehovet.
- Effektfaktoren (cos φ) holdes innenfor optimale verdier.
- Spenningen og frekvensen forblir stabil.
- Generatorer startes og stoppes automatisk for å optimalisere drivstofforbruk.

PMS hjelper altså med effektiv drift og energisparing om bord.

Hvordan virker PMS?

PMS fungerer ved å overvåke og styre følgende parametere på hovedtavlen:

1. Strømforbruk og lastfordeling (kW).
   - PMS fordeler lasten likt mellom generatorene for å unngå overbelastning av én enkelt generator.

2. Reaktiv effekt (VAr) og effektfaktor (cos φ).
   - PMS overvåker reaktiv effekt og justerer eksitasjonen (magnetiseringen) på hver generator for å holde effektfaktoren innenfor 0,8 – 0,95.
   - Hvis én generator produserer for mye eller for lite reaktiv effekt, vil PMS automatisk justere eksitasjonen for å balansere systemet.

3. Automatisk inn- og utkobling av generatorer.
   - Hvis lasten øker over en viss grense (f.eks. 80 % av kapasiteten på en generator), starter PMS automatisk en ekstra generator.
   - Hvis lasten synker (f.eks. under 30 % kapasitet), vil PMS stoppe én generator for å spare drivstoff.

4. Overvåking av spenning og frekvens.
   - PMS regulerer spenningen (f.eks. 440V eller 690V) og frekvensen (50Hz eller 60Hz) ved å kontrollere AVR (Automatic Voltage Regulator) og motorhastigheten.

Hvordan bruker en PMS i praksis?

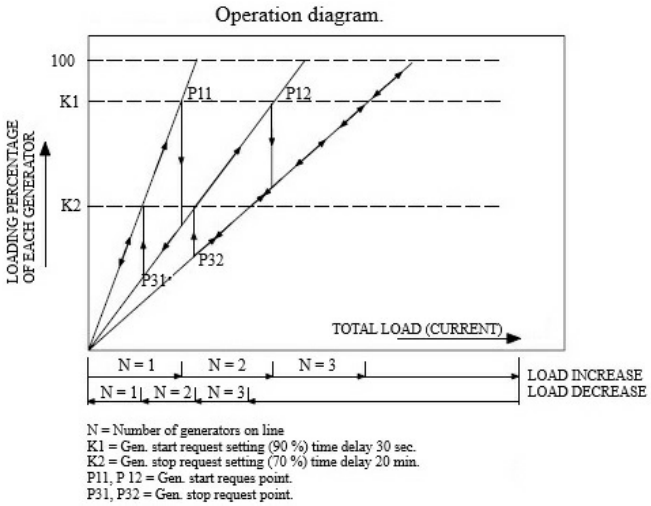
Scenario 1: Økt strømforbruk → PMS starter ny generator

- Skipet bruker én generator, men lasten øker fra 60 % til 85 %.
- PMS registrerer økningen og starter automatisk en ekstra generator for å fordele lasten.
- Begge generatorene vil nå kjøre på rundt 42–45 % belastning, noe som er mer effektivt.

Scenario 2: Lav last → PMS stopper en generator

- To generatorer er i drift, men lasten synker til 20 % per generator.
- PMS registrerer dette og stanser én generator for å spare drivstoff.

Her er et eksempel med tre generatorer, dette er hentet fra ressursheftet «Sidus».



Scenario 3: Reaktiv effekt ubalanse → PMS justerer eksitasjon.

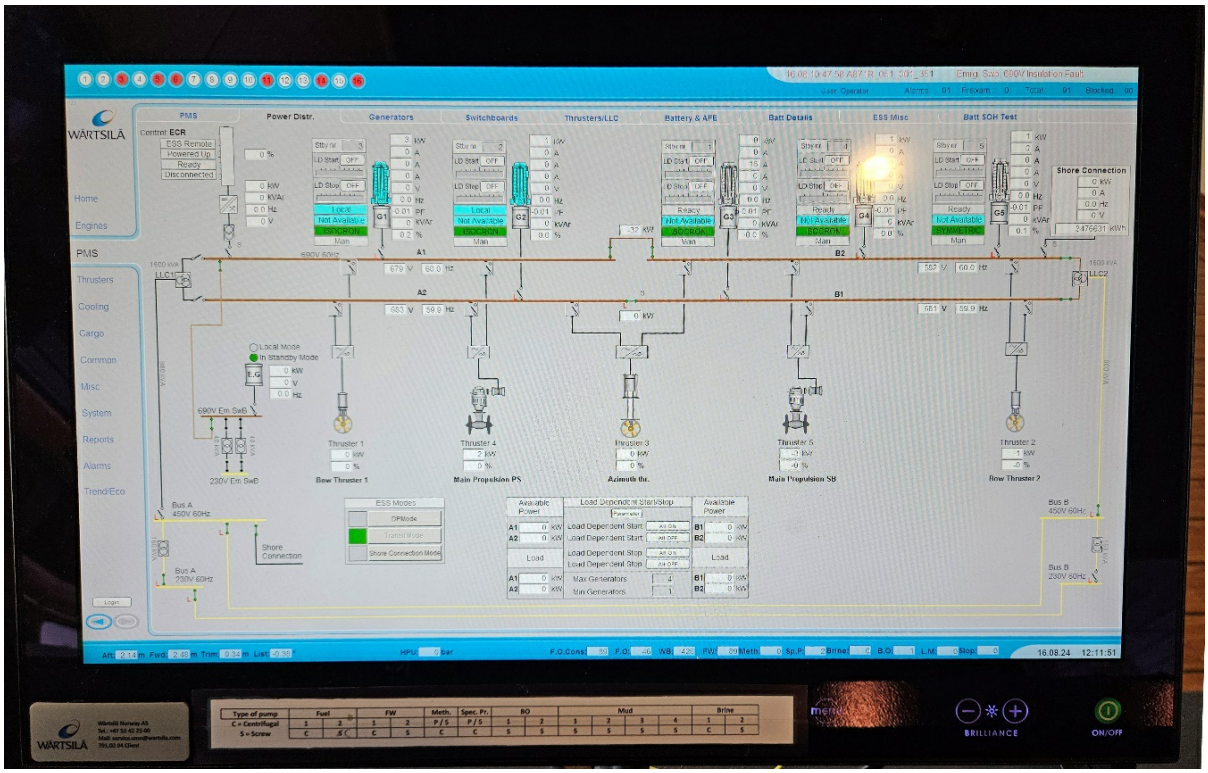
- Generator 1 produserer for mye reaktiv effekt (VAr-meteret er høyt).
- Generator 2 trekker reaktiv effekt fra nettet (VAr-meteret er negativt).
- PMS oppdager ubalansen og justerer eksitasjonsstrømmen slik at begge generatorene produserer lik reaktiv effekt.

Fordeler med PMS-styring.

- Balansert lastfordeling → Forhindrer overbelastning av én generator.
- Lavere drivstofforbruk → Stenger ned unødvendige generatorer.
- Optimal effektfaktor → Justerer reaktiv effekt automatisk.
- Stabil spenning og frekvens → Unngår spenningsfall og frekvensvariasjoner.
- Redusert slitasje → Generatorene slites jevnere fordi PMS fordeler driften over tid.

Konklusjon

- PMS er et automatisk system som styrer generatorene for å oppnå en effektiv og stabil kraftforsyning.
- Det håndterer lastfordeling, eksitasjonsjustering, spenningskontroll og automatisk generatorstyring.
- PMS reduserer drivstofforbruk, generatorbelastning og risiko for feil i det elektriske systemet.



Generell beskrivelse:

Vi går litt dypere i stoffet og prøver å forklare det mer.

Power Management System (PMS) overvåker elektriske måleverdier, status på effektbrytere og dieselmotorer for å muliggjøre sikker og effektiv drift av kraftanlegget.

Systemet har funksjon for lastavhengig start/stopp, som automatisk regulerer antall dieselgeneratorer (DG) i drift basert på aktivt effektuttak.

For å unngå overbelastning ved oppstart av store laster, benyttes funksjon for tunglastkontroll. Dersom tilgjengelig effekt er utilstrekkelig, blokkeres oppstart av tunge forbrukere. Ved forespørsel om oppstart uten tilstrekkelig tilgjengelig effekt, vil PMS initiere standby-start av neste tilgjengelige DG.

Laststyring anvendes på hoved forbrukere for å beskytte mot overbelastning ved raske lastendringer eller bortfall av generator.

DG-lastfordeling (load sharing) styrer last og frekvens iht. valgt driftsmodus (f.eks. droop eller isokron modus).

Ved total eller delvis blackout vil PMS automatisk starte og tilkoble dieselgeneratorer, samt gjeninnkoble effektbrytere med underspenningsutløsning. Automatisk gjenoppretting (blackout recovery) av elektriske motorer aktiveres i denne prosessen.

Utvalgte bryterlåsinger (interlocks) kan være implementert i ICMS (Integrated Control and Monitoring System) for å forhindre uautoriserte koblinger mellom hovedtavler.

PMS støtter alle varianter av bus-tie-konfigurasjoner. Ved åpne bus-ties opererer systemet som to uavhengige PMS-enheter. Ved sammenkoblede tavler fungerer PMS som ett samlet system.

Kraftstyringsfilosofi

En pålitelig kraftforsyning er avgjørende under kritiske operasjoner om bord. Hovedfunksjonen til Power Management System (PMS) er å styre kraftproduksjonssystemene på en sikker, pålitelig og kostnadseffektiv måte, tilpasset ulike fartøystyper. Systemet benytter seg av feilsikre kraftstyringsstrategier som sikrer høy tilgjengelighet av elektrisk kraft under alle driftsforhold.

PMS utfører følgende funksjoner:

1. Overvåking og betjening av dieselmotorer/generatorsett:
   PMS overvåker kontinuerlig tilstanden til hver enkelt dieselmotor og generatorsett, og starter eller stopper enhetene basert på alarmtilstander og målte systemparametere.
2. Lastfordeling:
   PMS styrer lastfordeling mellom generatorsettene i henhold til valgt lastdelingsmodus (f.eks. droop, isokron).
3. Automatisk start/stopp basert på belastning:
   Systemet overvåker belastningen på nettet og starter eller stopper generatorer etter behov for å opprettholde tilstrekkelig tilgjengelig effekt. Dette gjøres samtidig som unødig høy tilkoblet kapasitet unngås.
4. Sikring av kraft til tunge forbrukere:
   PMS sørger for at det til enhver tid er tilstrekkelig kraft tilgjengelig for drift av tunge forbrukere (heavy consumers).
5. Rask lastreduksjon (Load shedding):
   Ved overbelastning av generatorer aktiverer PMS rask reduksjon av last, spesielt på boretransformatorer og andre store forbrukere.

En av kjernefunksjonene til PMS er å forhindre strømbrudd ved å unngå overbelastning av det elektriske kraftsystemet. Systemet er også i stand til å reagere raskt på plutselige overlastsituasjoner som følge av uventet bortfall eller stopp av generatorer.

Driftsmoduser:

Følgende driftsmoduser er tilgjengelige:

- Fjernstyrt, automatisk:
  Basert på automatiske signaler uten manuell inngripen.
  - Dieselgeneratorstyring i STANDBY
  - Tunge forbrukere (heavy consumers) kontroll: PÅ
  - Lastavhengig start: PÅ
  - Lastavhengig stopp: PÅ

- Fjernstyrt, manuelt initiert:
  - Dieselgeneratorstyring i STANDBY eller IKKE STANDBY
  - Tunge forbrukere kontroll: PÅ eller AV
  - Lastavhengig start: PÅ eller AV
  - Lastavhengig stopp: PÅ eller AV.

- Lokal kontroll:
  Manuell betjening lokalt på generatorpanel eller styresystem.

!

MERK

«Fjernstyrt, automatisk» er definert som normal driftsmodus.

Dieselmotor – styring og overvåking:

Hovedfunksjoner for kontroll og overvåking av dieselmotor:

- Fjernstart og -stopp.
- Beregning av driftstimer.
- Standby/primærvalg.
- Lastavhengig start og stopp basert på effekt (kW) og/eller strøm.
- Start ved blackout.
- Standby-start ved alarm på aktiv generator.
- Kontroll av hjelpesystemer (diesel auxiliary control).
- Alarmsperre (alarm suppression).
- Avvik i eksosgass (exhaust gas deviation).
- Motorsikkerhetsvern.
- Alarmhåndtering og motorovervåking.

Tavlekontroll:

Hovedfunksjoner for tavlestyring:

- Effektbryterstyring
- Lastavhengig start/stopp
- Forebygging av blackout
- Gjenoppretting etter blackout
- Lastfordeling
- Signalvalidering og feilhåndtering
- Alarm og overvåking av tavleanlegg

Lastfordeling (Load-sharing):

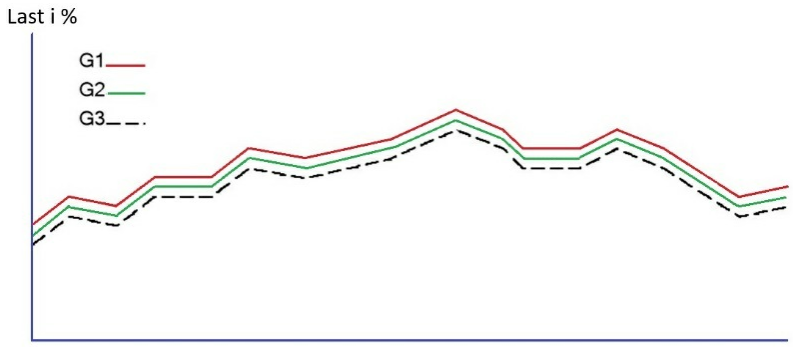
Dieselgeneratorenes hastighetsregulatorer støtter to lastfordelingsmetoder:

- Isokron lastfordeling:
  Frekvensen holdes konstant ved hjelp av generatorens innebygde hastighetsregulator.
  Systemet opererer i symmetrisk lastfordelingsmodus, der last fordeles jevnt mellom aktive generatorer.

- Kompensert droop-lastfordeling:
  Frekvens og last (kW) styres av PMS via signaler til hver enkelt hastighetsregulator.
  I droop-modus kan operatør velge mellom følgende fire driftsmoduser:
  1. Symmetrisk modus – jevn lastfordeling
  2. Asymmetrisk modus – ulik last etter prioritet
  3. Fast modus – fordeling etter forhåndsdefinert lasteprofil
  4. Manuell modus – operatørstyrt fordeling

Symmetrisk lastfordeling:

Ved parallell drift fordeles lasten likt mellom aktive generatorer.
En liten dødsone (dead band) på ca. 2 % av nominell effekt er implementert for å hindre kontinuerlig regulering og ustabilitet.



Symmetrisk last deling

Asymmetrisk lastfordeling:

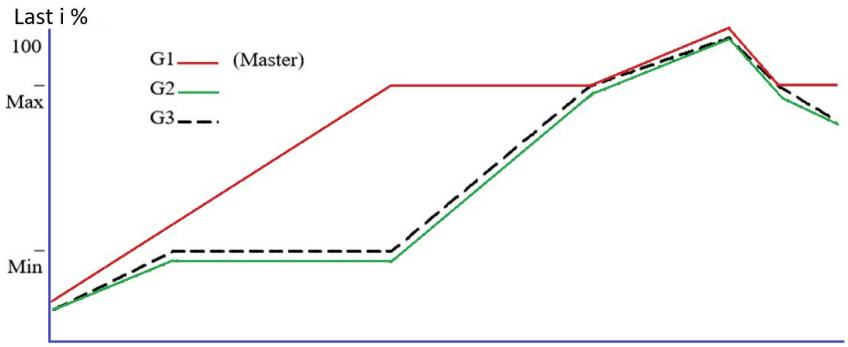
Hensikten med funksjonen for asymmetrisk lastfordeling er å forbrenne opp karbonavleiringer som oppstår ved drift med lav belastning på dieselmotorene.

I asymmetrisk modus vil én generator (master) belastes i henhold til verdien angitt i innstillingen "*Asymmetric main load*", mens de øvrige generatorene (slaver) deler den resterende lasten seg imellom.

Generatorene roteres som master etter et forhåndsdefinert tidsintervall, slik at hver generator periodisk blir hoved generator med høyere belastning.

Dersom lasten på en slavegenerator faller under minimumsverdien definert i "*Asymmetric top-up minimum*" (denne verdien kan justeres av autoriserte brukere), vil lasten på mastergeneratoren reduseres.

Hvis total last på slavegeneratorene overstiger verdien angitt i "*Asymmetric main load*", vil systemet automatisk gå over til symmetrisk lastfordeling mellom alle generatorer.



Asymmetrisk last fordeling:

Fast last (Fixed Load):

Vedlikeholds krav kan gjøre det nødvendig å kjøre en generator med jevn og konstant belastning. Dette oppnås ved å sette generatoren i fast lastfordelingsmodus (Fixed Load).

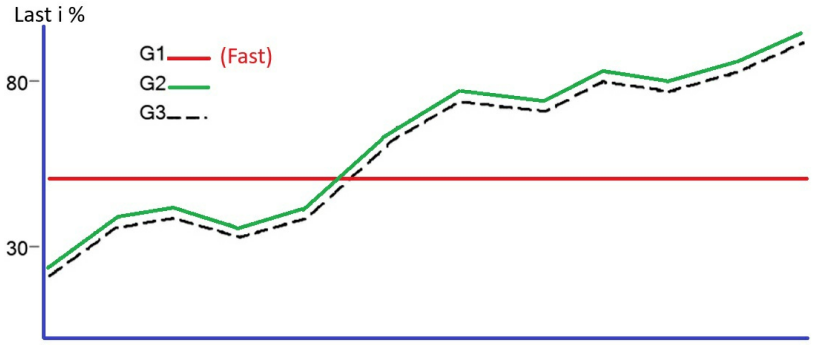
I denne modusen settes ønsket lastverdi manuelt av operatøren, og PMS opprettholder denne verdien kontinuerlig.

!

MERK

Fast lastmodus kan ikke aktiveres dersom den totale anleggslasten er lavere enn den definerte minimumsverdien for oppstart av ny generator. (Top-up minimum).*

Ved valg av fast lastmodus vil en generator som er i standby automatisk skifte status til ikke standby (Not Standby) og aktiveres i henhold til valgt fast lastverdi.



Fast last deling

Hva betyr "Top-up minimum"?

Den minimale mengden ekstra kraft (last eller generatorkapasitet) som må være tilgjengelig for å opprettholde stabil drift når en økning i forbruk skjer.

Forklart enkelt:

Tenk deg at systemet kjører på 70 % av kapasiteten. Hvis en ny last (f.eks. en kran, thrustere eller baugpropell) skal kobles inn, må PMS sørge for at det er nok "headroom" eller margin til å håndtere dette uten at generatorene blir overbelastet.

- Top-up minimum er da terskelen for hvor mye kapasitet som må ligge i reserve (eller tilgjengelig backup) før nye belastninger kan tillates.
- Hvis kapasiteten ikke er over Top-up minimum, kan PMS nekte å koble til mer last eller automatisk starte opp en ekstra generator.

EKSEMPEL

- Skipet opererer med én generator.
- Fast last = 500 kW.
- Top-up minimum = 100 kW.
- Hvis ny last på 150 kW skal kobles til, må det være minst 100 kW ledig.
- Hvis tilgjengelig kapasitet er lavere, vil PMS kanskje starte en ekstra generator **før** ny last tillates.

Manuell lastfordeling (Manual Load-Sharing):

Når manuell lastfordeling er aktivert for en dieselgenerator, kan operatøren gi direkte kommandoer for økning eller reduksjon av hastighet (speed up/down) til generatorens hastighetsregulator (governor) via operatørstasjonen.

I denne modusen utfører ikke PMS noen aktiv lastfordeling for den aktuelle generatoren.

!

MERK

Ved valg av manuell lastfordeling endres generatorens status automatisk fra standby til ikke standby.

Reaktiv lastfordeling (Reactive Load-Sharing):

For både dieselelektriske og konvensjonelle fartøyer kjøres automatisk spenningsregulator (AVR) normalt i droop-modus, noe som gir stabil og balansert deling av reaktiv effekt mellom sammenkoblede generatorer.

PMS overvåker både spenning og reaktiv lastfordeling som utføres av AVR, og vil varsle operatøren ved feil, avvik eller funksjonssvikt i systemet.

Lastavhengig start/stopp, inkludert standbyprioritet:

PMS styrer antall dieselgeneratorer tilkoblet hovedtavlen. Målet er å sikre at faktisk belastning dekkes av et hensiktsmessig antall generatorer. Dette for å:

- opprettholde en sikker margin av tilgjengelig effekt ved rask last økning eller bortfall av én generator,
- samt oppnå optimal energiutnyttelse og drivstofføkonomi.

For å aktivere funksjonen for lastavhengig start/stopp, må funksjonene aktiveres i prosessbildet for kraftstyring, og ønsket antall dieselgeneratorer må settes i standby-modus. Enkelte parameterverdier kan være låst for brukere uten autorisasjon.

Styringen baserer seg på belastningsprosent (kW) på hovedtavlen. Det er definert to sett med terskelverdier for start, hver med ulik tidsforsinkelse (delay).

Lastavhengig start kan også utløses hvis strømforbruket overstiger en forhåndsdefinert grense i en gitt tidsperiode – dette gjelder individuelt per dieselgenerator.

Lastavhengig stopp initieres dersom forventet last (kW) på gjenværende aktive generatorer etter stopp, er lavere enn terskelverdien for stopp (stop limit).

Ved drift med separert hovedsamleskinne (split bus-bar) vil lastavhengig start/stopp-funksjonen operere uavhengig for hver seksjon, og styre antall generatorer separat per buss.

Effektbegrensning / Lastreduksjon:

Funksjonen for effektbegrensning og lastreduksjon er implementert for å forhindre overbelastning og utkobling (trip) av generatorer. PMS beregner en maksimal tillatt last for ulike forbrukere basert på tilgjengelig kapasitet.

Følgende del-funksjoner er inkludert:

- Begrensning av last økning hos forbrukere, basert på tilgjengelig kapasitet på samleskinne (bus).
- Lastreduksjon basert på gjennomsnittlig belastning på samleskinnen.
- Lastreduksjon basert på individuell generatorbelastning (kW).
- Lastreduksjon basert på individuell generatorstrøm (A).
- Lastreduksjon ved lav frekvens på samleskinnen.
- Lastreduksjon ved utkobling (trip) av generatorbrytere eller samleskinnebrytere (bus tie breaker).

Effektbegrensning og lastreduksjon realiseres ved at PMS sender signaler med maks tillatt effekt (kW) til de relevante forbrukerne.

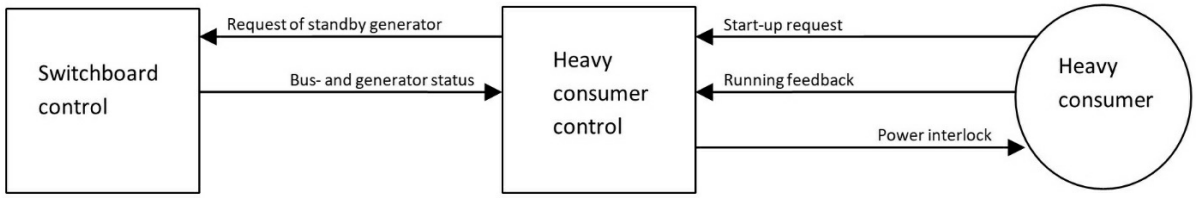
Forbrukerkontroll:

Startblokkeringsfunksjon for tunge forbrukere.

Funksjonen for tunge forbrukere (Heavy Consumers) håndterer sikker og effektiv tilkobling av forbrukere med høy effektlast, og utfører følgende operasjoner:

- Overvåker status for samleskinne (bus) og tilkoblede generatorer.
- Overvåker parametere som definerer oppstarts begrensninger for hver enkelt tung forbruker.
- Sender forespørsel om oppstart av standby-generatorer ved behov, basert på belastningsforhold.
- Styrer tilstandslogikk (interlock status) for å forhindre tilkobling av tunge forbrukere dersom tilgjengelig effekt er utilstrekkelig.

Styring av tunge forbrukere håndteres internt i PMS.



Funksjonen for startblokkering av tunge forbrukere kan slås av og på. Dersom den er "av", vil de tunge forbrukerne ikke ha noen oppstarts restriksjoner.
Hver definerte tunge forbruker vil ha egne parameterinnstillinger som angir hvilke oppstarts begrensninger som gjelder.

Disse begrensningene er basert på:

- ledig kapasitet på bus baren (spare capacity), og/eller
- antall generatorer som er koblet til bus baren.

Tunge forbrukere er normalt i en strømlåst tilstand (power interlocked), styrt fra PMS.
I tillegg må nett-frekvensen være over en forhåndsdefinert verdi (f.eks. 58 Hz) før en tung forbruker tillates startet.

Denne funksjonen er avgjørende for å hindre overbelastning av kraftsystemet ved plutselig påslag av store laster, og er tett integrert med PMS' lastfordelings- og blackout-forebyggingsfunksjoner.

"Heavy consumers" refererer typisk til store elektriske belastninger om bord, som:

- Thruster-systemer
- Kraner
- Ballastpumper
- Baugpropeller

Disse må ofte styres nøye for å unngå overbelastning – og det er altså PMS som sørger for å koordinere dem.

Blackout-gjenoppretting (Blackout recovery):

Blackout registreres normalt ved hjelp av et digitalt signal kombinert med spenningsmåling fra hovedtavlen (switchboard). En blackout bekreftes i PMS når begge indikasjoner viser at bus-baren er spenningsløs – det vil si at det digitale signalet er aktivt og spenningen er under en forhåndsdefinert grenseverdi.

Gjenoppretting av hovedtavle (Main switchboard recovery):

Dersom blackout oppdages på hovedtavlene, vil PMS umiddelbart sette alle tilgjengelige dieselgeneratorer i standby-modus (DG1 blir standby 1), og starte dem sekvensielt i henhold til standby-prioritet, med en forhåndsdefinert forsinkelse (f.eks. 5 sekunder). Den første generatorens bryter vil kobles direkte til den spenningsløse bus-baren.

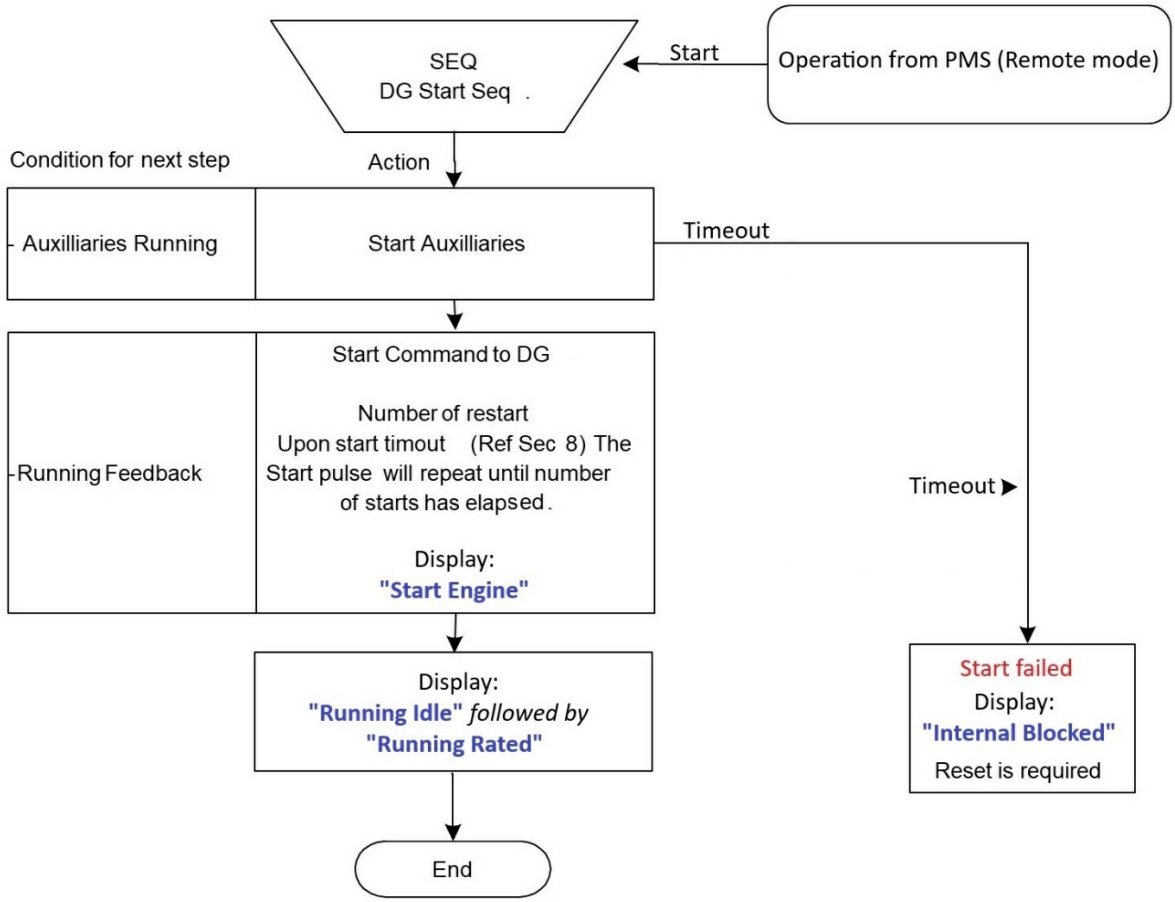
PMS-sekvensdiagram

Sekvensdiagrammet nedenfor viser hvordan kontrollsystemet styrer oppstarts sekvensen for en dieselmotor. Prosessen involverer flere komponenter som samhandler i en bestemt rekkefølge for å sikre trygg og korrekt oppstart.

Manuell start forespørsel

Start forespørsel fra operatør stasjon.

Manuell start, sekvens diagram:



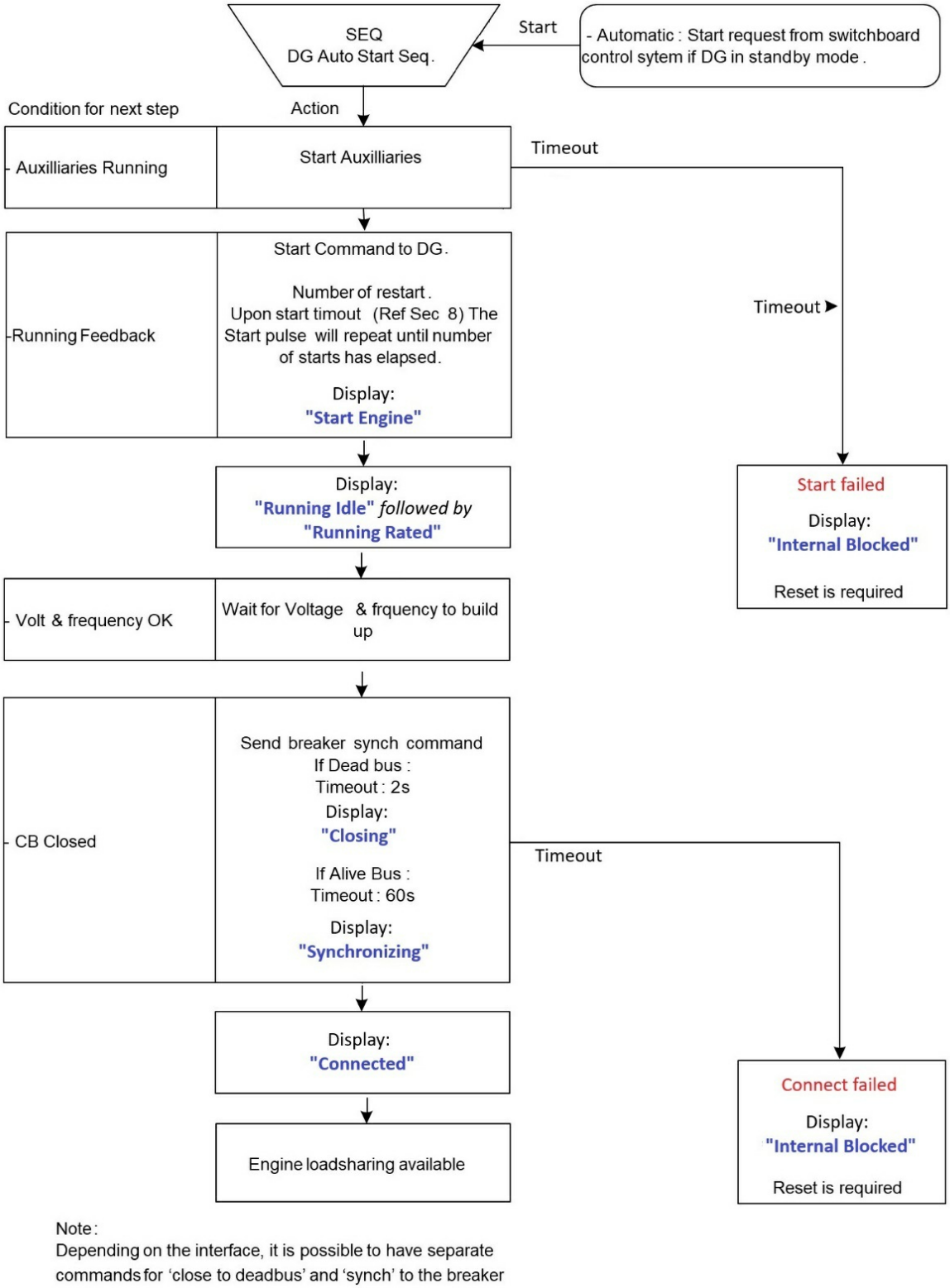
NOTE

- Start sequence can be activated when engine is stopped & remote.
- Start sequence can in addition be activated during stop sequence and return to running state.
- Start sequence can not be activated in case of "start inhibit".

Automatisk start forespørsel

Ved automatisk startforespørsel fra PMS-sentralbordstyringen vil dieselgeneratoren med lavest standbynummer startes. Standby-start startes på følgende hendelser:

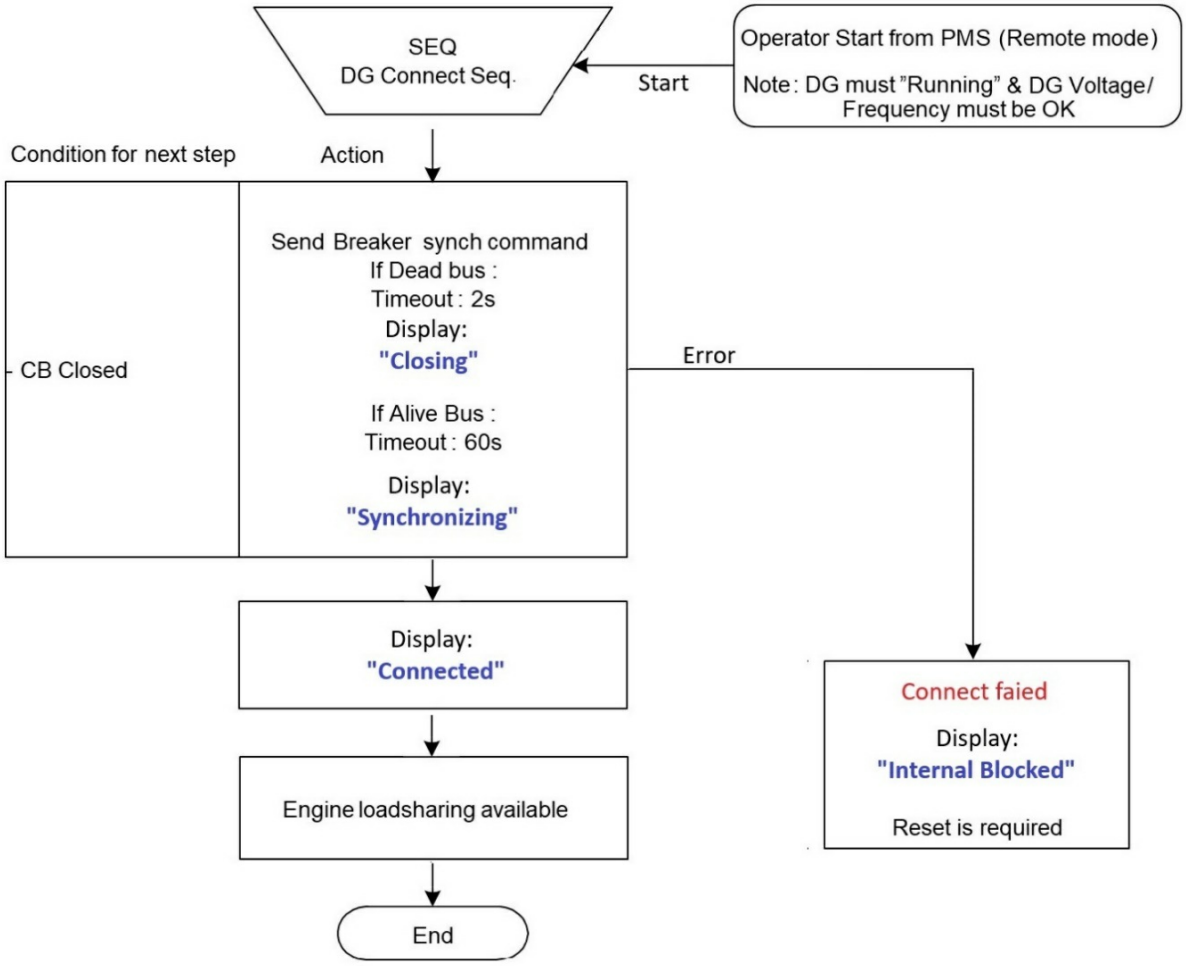
- Samleskinne blackout.
- Belastningsavhengig start.
- Start forespørsel fra storforbrukere
- Forespørsel om alarmstart



Automatisk start forespørsel, sekvens diagram

Automatisk innkobling av generator bryter:

Hvis DG er i standby-modus og startes automatisk som beskrevet i avsnittet for motorstart, lukkes generatorbryteren automatisk.



Generatorbryter innkobling, sekvens diagram

Koble fra generatorbryteren.

Dieselgeneratoren kan kobles fra ved følgende hendelser:

Manuell generatorbryter frakobling:

- Koble fra etter forespørsel fra operatørstasjon.

Automatisk bryter frakobling:

- Lastavhengig stopp.
- Sikkerhetsstopp.

Feilsøking av PMS (Power Management System) om bord

Når PMS ikke fungerer som det skal, kan det føre til strømbrudd, ubalansert last, høy drivstoffbruk eller generatorfeil. Her er en steg-for-steg-guide for feilsøking av de vanligste problemene.

1. Problem: PMS starter ikke en ekstra generator ved høy belastning

Symptomer

- Bare én generator kjører, men lasten er over 80 %.
- PMS reagerer ikke og starter ikke en ny generator.

Mulige årsaker & løsninger:

- Feil i lastgrenseinnstillinger:
  - Sjekk at PMS er konfigurert til å starte en ny generator ved riktig lastnivå (f.eks. 80 %).
  - Juster innstillingene i PMS-panelet eller skipsdatamaskinen.

- Kommunikasjonsfeil mellom PMS og generatorer:
  - Sjekk at PMS har kontakt med alle generatorene (kan sjekkes på skjermen til PMS eller PLS-systemet).
  - Se etter feilmeldinger på displayet.

- Defekt startkommando:
  - Forsøk å starte generatoren manuelt fra hovedtavlen.
  - Hvis den starter manuelt, er det sannsynligvis en PMS-feil.

- Lav drivstofftilførsel eller motorfeil:
  - Sjekk at generatoren har drivstoff, og at ingen alarmer er aktive på motoren.

2. Problem: PMS stopper ikke en generator ved lav belastning

Symptomer

- To generatorer kjører selv om lasten er under 30 %.
- PMS skal stoppe én generator, men gjør det ikke.

Mulige årsaker og løsninger:

- Lastgrensen for generatorstopp er satt for lavt:
  - Sjekk at systemet er konfigurert til å stoppe en generator når lasten er under f.eks. 30 %.

- En generator er låst i "Manuell" modus:
  - PMS kan ikke stoppe en generator som er satt til Manuell drift.
  - Endre innstillingen til Automatisk (Auto) i PMS.

- Kommunikasjonsfeil mellom PMS og generatorstyringen:
  - Sjekk om generatoren mottar kommandoer fra PMS.
  - Prøv en manuell stopp for å se om generatoren reagerer.

3. Problem: Ubalansert last mellom generatorene.

Symptomer

- Én generator har 70 % last, mens den andre bare har 30 %.
- PMS skal fordele lasten jevnt, men gjør det ikke.

Mulige årsaker & løsninger:

- Load sharing (lastdeling) er ikke aktivert:
  - Sjekk innstillingene i PMS for å sikre at lastdelingen er aktivert.

- Feil i lastdelingskabel (droop CT-signal):
  - På eldre systemer brukes en load-sharing kabel for å balansere generatorene.
  - Sjekk at denne kabelen ikke er løs eller skadet.

- En generator har feil justert droop-regulering:
  - Generatorer skal ha lik "droop" (frekvensrespons på lastendringer).
  - Juster droop-innstillingene for å matche de andre generatorene.

4. Problem: PMS justerer ikke eksitasjonen riktig (reaktiv effekt ubalanse).

Symptomer

- Én generator produserer for mye reaktiv effekt (VAr), mens en annen trekker reaktiv effekt.
- Effektfaktoren (cos φ) er lav eller ustabil.

Mulige årsaker & løsninger:

- AVR (Automatic Voltage Regulator) er ikke synkronisert mellom generatorene:
  - Sjekk at begge generatorene har samme spenningsreferanse (f.eks. 400V).
- Feil innstillinger for reaktiv lastdeling:
  - På PMS, kontroller at reactive power sharing er aktivert.
- Defekt eksitasjonsregulator på én generator:
  - Prøv å justere eksitasjonen manuelt.
  - Hvis én generator ikke reagerer, kan eksitasjonssystemet være defekt.

5. Problem: PMS viser feilmelding eller ingen respons.

Symptomer

- PMS-skjermen er svart eller viser en feilmelding.
- Ingen kommandoer går gjennom til generatorene.

Mulige årsaker & løsninger:

- Feil i strømforsyning til PMS:
  - Sjekk at PMS har strøm (24V DC eller 230V AC, avhengig av systemet).
- Kommunikasjonsfeil i systemet (PLS-feil):
  - Prøv å resette PMS-enheten eller sjekke om det er feilmeldinger på PLS (Programmerbar Logisk Styring).
- Software-krasj:
  - Noen systemer kan trenge en omstart.
  - Hvis PMS er en del av skipsdatamaskinen, prøv å restart systemet.

Sjekkliste for feilsøking av PMS:

- Er lastgrenseinnstillingene riktige? (F.eks. starter PMS ny generator ved 80 %?).
- Er PMS i "Auto"-modus? (Hvis den står i "Manuell", vil den ikke justere noe automatisk.)
- Mottar generatorene kommandoer fra PMS? (Hvis ikke, sjekk kommunikasjonskabler.)
- Er eksitasjonsinnstillingene riktig justert? (Kan forklare reaktiv effektubalanse.)
- Er det strøm til PMS? (Hvis PMS er svart eller ikke reagerer, sjekk sikringer og strømtilførsel.)

Σ

KONKLUSJON

- PMS er et avansert system som styrer generatorer, lastfordeling og eksitasjon.
- Når PMS ikke fungerer riktig, kan det føre til ustabil spenning, ubalansert last og høyere drivstofforbruk.
- De vanligste problemene skyldes feil innstillinger, kommunikasjonsfeil eller defekte sensorer.
- Grundig feilsøking er viktig for å sikre stabil strømforsyning om bord.

DEIF PPU 300

DEIF PPU 300

DEIF PPU 300 er en Paralleling and Protection Unit – altså en parallell- og vern-enhet – utviklet for bruk i marine og offshore-installasjoner.

[deif.com+13deif.com+13deif.com+13] https://www.deif.com/marine-offshore/multi-line-300/ppu-300/?utm_source=chatgpt.com

Her er hovedegenskapene:

Hva PPU 300 gjør:

- Kobler sammen og beskytter generatorsystemer: kan synkronisere og dele last mellom flere strømkilder som dieselgeneratorer, aksel-generatorer, invertere (batteri), landstrømtilkobling og bus-brytere.
- Modulær og tilpass bar: består av et basiskontrollersett som kan bygges ut med 4 eller 7 I/O-moduler og opptil 9 ekstra rack med moduler (totalt opptil 59 moduler).
- Beskyttelsesfunksjoner: tilbyr omfattende generatorbeskyttelse (bl.a. ANSI 87G differensialvern med ACM-moduler), inngår i lastenhetsregulering, spenning/frekvensstyring og sikker seksjonskontroll.
- Styring og brukergrensesnitt: har en 5″ farge-LCD med push-knapper, tydelige menyer og statusvarsel; kan konfigureres med DEIFs PICUS-programvare; kommuniserer via Modbus eller nettverk; eller kan kjøres med innebygget CODESYS PLC.
- Skalering og nettverk: opptil 32 enheter kan knyttes i nettverk, og opptil 12–32 kontroller kan dele belastning og styre ulike busseksjoner.

Hovedfordeler

Funksjon	Beskrivelse
Lastdeling & synkronisering	Effektiv styring av flere generatorer/batterier eller landstrøm, optimal stabilitet og drivstofføkonomi.
Sikkerhetsvern	Innebygde vern mot overstrøm, under volt, fasesvikt, jordfeil og differensialvern
Fleksibel tilpasning	Modulær I/O-arkitektur, flerspråklig display og tilgangskontroll
Integrasjon	Brukes sammen med PICUS, Modbus, CODESYS eller ekstern PLC

Typiske brukere er:
Skip og offshore–anlegg med krav til pålitelig generatorstyring
Fabrikker og maritime installasjoner med behov for fleksibel strømstyring og vern

Σ

KORT OPPSUMMERT

PPU 300 er en avansert kontroll- og vern-enhet som muliggjør synkronisering, lastdeling og sikker beskyttelse av generator- og strømforsyningssystemer på skip og offshore-installasjoner.

Offisiell teknisk dokumentasjon

DEIF har samlet alt av datablader, manualer og sertifikater for PPU 300 på sin supportsider.

Herfra kan du laste ned:

- Data Sheet (utskrift med tekniske spesifikasjoner)
- Operator's Manual (130 sider; driftsinstruksjoner, display, I/O etc.)
- Commissioning Manual (75 sider; igangkjøring, test og vern-parameter)
- I tillegg finnes applikasjonsanvisninger, koblingsskjemaer, godkjenninger m.m.

Gå inn på "Documentation for PPU 300" på DEIFs side for å laste ned ønsket dokument.

Innhold og nytte i de viktigste dokumentene:

1. Data Sheet.

Gir tekniske hoved spesifikasjoner:

- Antall I/O-moduler støttet, kommunikasjon (Modbus, Ethernet, CODESYS)
- Temperatur- og miljøkrav, fysisk dimensjon og sertifiseringer
- Beskyttelsesfunksjoner: synkronisering, lastdeling, differensialvern, frekvens/spenningsregulering

2. Operator's Manual

Detaljer rundt:

- Brukergrensesnitt (DU 300 display), navigasjon, alarmer og logging.
- Driftshandlinger: starte/stoppe, åpne/lukke brytere, endre parameter.
- Feilsøke og I/O-konfigurasjon (analog, digital, kurver etc.)

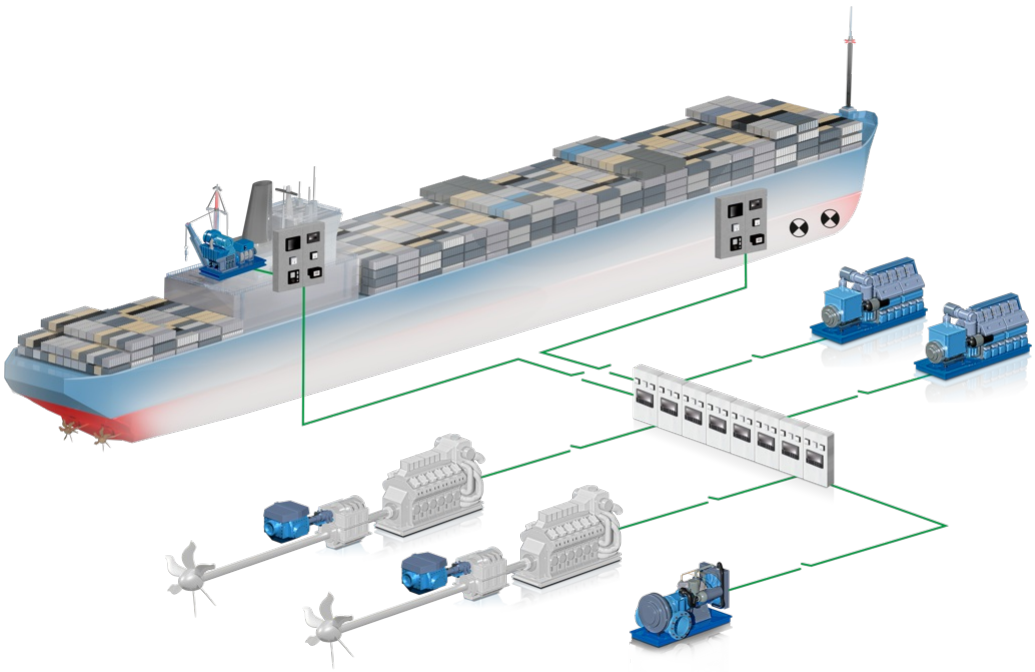
3. Commissioning Manual

Skritt-for-skritt-guide for oppstart og testing:

- Sjekkpunkter før oppstart og under igangkjøring
- Verifisering av vern, AVR, governor, synkronisering, lastdeling
- Inkluderer detaljerte tester som "Checking de-loading", fasedreining, målinger.

Hvordan bruke dokumentene.

Fase	Dokument	Hva du finner
Innkjøp / prosjektering	Data Sheet	Passer det i miljøet ditt? I/O, kommunikasjonskrav
Drift	Operator's Manual	Steg-for-steg operasjoner, I/O-oppsett, alarmhåndtering
Installasjon / oppstart	Commissioning Manual	Detaljert testprotokoll, funksjonssjekk, parametrisering



Skissen er hentet fra DEIF

Kap 19 Landstrøm

Landstrøm

LANDSTRØM

Landstrøm på et skip er organisert for å levere elektrisk kraft fra landbaserte anlegg til skipet når det ligger til kai. Dette reduserer behovet for å bruke skipets egne generatorer, noe som senker drivstofforbruket og reduserer utslipp av CO_2, NO_x og støy.

1. Tilkoblingspunkt.

- Skipet har et dedikert landstrømstilkoblingspunkt, ofte på dekk eller i nærheten av maskinrommet.
- Kabeltilkoblingen kan være manuell eller automatisert via et kabelhåndteringssystem.

2. Strømkabinetter og transformatorer.

- Strøm fra land går gjennom et strømkabinett hvor spenning og frekvens tilpasses skipets system.
- Landstrøm er ofte 50 Hz i Europa og 60 Hz i USA, mens skip kan operere på en annen spenning og frekvens, f.eks. 440V/60Hz. En transformator omformer spenningen om nødvendig.

3. Synkronisering og sikkerhet.

- Før skipet kobles til landstrøm, må det synkroniseres med skipets elektriske system for å unngå spenningsforskjeller og feil.
- Et kontrollpanel ombord overvåker og styrer overgangen fra skipskraft til landstrøm.

4. Automatisk eller manuell overføring.

- Overgangen kan være automatisk eller manuell, avhengig av skipets systemer.
- Når landstrøm er aktiv, kan skipets egne generatorer stenges ned.

5. Tilbakekobling til skipets system

- Når skipet skal forlate kaien, kobles landstrømmen fra, og skipets egne generatorer startes opp igjen.

Internasjonale standarder

- Landstrøm følger ofte ISO/IEC/IEEE 80005–1-standarden for "Cold Ironing" (bruk av landstrøm).
- Havner med landstrømanlegg tilbyr ofte 6,6 kV eller 11 kV høyspenningsforbindelser.

Fordeler med Landstrøm

- Reduserer drivstofforbruk og utslipp
- Senker støy- og vibrasjonsnivå i havner
- Gir økonomiske fordeler ved lavere drivstoffkostnader

Kabeltyper til landstrøm

KABELTYPER TIL LANDSTRØM

Den typen kabel som oftest brukes til landstrøm på skip avhenger av spenning og strømstyrke, men de vanligste typene er høyspenningskabler (HV) og lavspenningskabler (LV).

Vanlige kabler for landstrøm

1. Høyspenningskabler (HV – High Voltage)

- Brukes til store skip som cruiseskip, containerskip og tankskip.
- Typisk 6,6 kV eller 11 kV, som følger ISO/IEC/IEEE 80005–1-standarden.
- Kabeltyper:
  - EPR (Ethylene Propylene Rubber) isolerte kabler – Fleksible og motstandsdyktige mot saltvann.
  - Silikonisolerte kabler – Brukes noen ganger for høy varmebestandighet.

2. Lavspenningskabler (LV – Low Voltage)

- Brukes på mindre fartøy som ferger, supplyskip og fiskebåter.
- Typisk 400V – 690V, ofte i henhold til ISO/IEC/IEEE 80005–3-standarden.
- Kabeltyper:
  - H07RN-F – En vanlig fleksibel gummikabel for maritim bruk.
  - NEK 606-godkjente kabler – Spesielt utviklet for norske maritime forhold.

Andre viktige faktorer

- Kabeldiameter: Avhenger av strømstyrken (f.eks. 150 mm² eller større for høyspenning).
- Skjerming: Mange kabler er skjermet for å redusere elektromagnetisk interferens (EMI).
- Tilkoblingssystemer: Plugger og kontakter er ofte i henhold til IEC 60309 (for lavspenning) eller spesifikke landstrømspesifikasjoner for høyspenning.

Kontrollpanel for landstrøm

KONTROLLPANEL FOR LANDSTRØM.

Kontrollpanel for landstrøm om bord i skip – brukt til å trygt koble skipet til landstrømforsyning**,** enten det er 400 V, 690 V eller høyspenning (f.eks. 11 kV). Panelet håndterer kobling, overvåkning, sikring og synkronisering (ved behov)**.**

Eksempel: Landstrøm Kontrollpanel (400/690 V) – lavspenning.

Typisk oppbygging:

Komponent	Beskrivelse
Inntakskontakt eller koblingspunkt	IEC 80005-plugg (landstrømstandard) eller terminalskap
Effektbryter (ACB)	F.eks. Schneider Masterpact MTZ – med jordfeilvern og fjernstyring
Kontaktor eller mellomrele	For kontrollert innkobling av landstrøm etter sikker sjekk
Måleinstrumenter	Spenning, strøm, frekvens, effekt – ofte DEIF, Schneider PM-serie eller C-Tek
Synkroniseringsmodul (valgfritt)	Hvis parallell drift med generator – f.eks. DEIF RSQ-3 eller PPU 300
Bryterlås/systeminterlock	Hindrer parallellkobling mellom landstrøm og generator (mekanisk/elektrisk)
Varslingslys og HMI	Indikasjon for strøm inn, jordfeil, fasefeil, osv.
Vern og overvåkning	Jordfeilbryter (RCCB), overspenningsvern, evt. fasedetektor
PLS/reléstyring	Automatiserer sekvens: sjekk, kobling, avbrudd

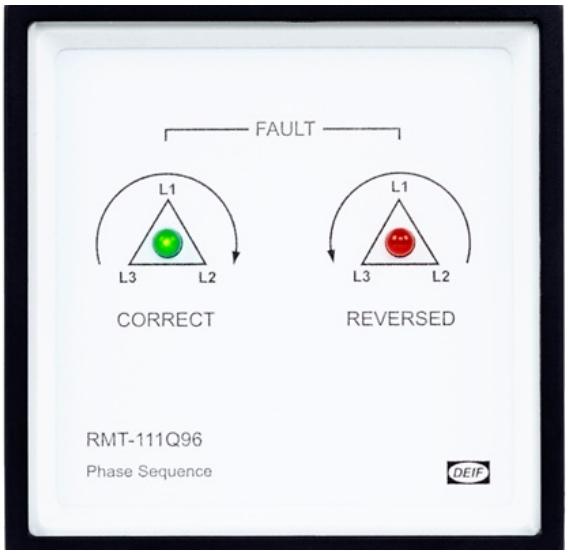
Ved høyspenning (f.eks. 11 kV) kreves spesialisert transformator, SF_6 eller vakuumbryter, isolasjonsovervåkning, og jordingskontroll iht. IEC 80005–2.

Kontrollsekvens ved tilkobling (automatisk eller manuell):

1. Landstrøm kobles fysisk til skipet.
2. Kontrollpanel sjekker:
   - Riktig spenning, faserekkefølge og frekvens.
   - Ingen jordfeil.
   - Ingen parallell drift aktiv.
3. Automatisk eller manuell godkjenning.
4. Effektbryter lukkes.
5. Overvåking aktivert: alarmer, måling og logger.

Eksempler på leverandører av komplette panel:

Leverandør	Merknad
Schneider Electric	Paneler med MasterPact, PM-serien, kommunikasjonsmoduler.
DEIF Marine	PPU 300 og kontrollsystemer for landstrøm m/synk.
Glamox / Tranberg	Tavler og kontrollpaneler til offshore og ferger.
PSW Power & Automation	Norsk leverandør med skreddersydde løsninger.
Kongsberg Maritime	Integrert i automasjonssystemer (K-Chief).



Når spenning og frekvens ikke stemmer overens

Å koble 400 V / 50 Hz landstrøm til et skip som er bygget for 440 V / 60 Hz vil ha alvorlige konsekvenser dersom det gjøres **uten** frekvensomforming.

Konsekvenser av feil tilkobling (400 V / 50 Hz land til 440 V / 60 Hz skip):

Område	Konsekvens	Forklaring
Spenning	Redusert spenning (400 V vs. 440 V)	Utstyr får 9–10 % lavere spenning – mange laster vil fungere dårlig eller ikke
Frekvens	Alvorlig feil (50 Hz vs. 60 Hz)	Motorer, UPS-er, og kontrollsystemer er laget for 60 Hz – kan bli overbelastet, varme opp, feile
Asynkrone motorer	Langsommere hastighet og høyt strømforbruk	Hastigheten faller med ~17 % og moment reduseres – øker risiko for overbelastning og varme
Elektronikk og UPS	Mulig skade eller feil	Frekvensavvik gir ustabil drift eller ødelegger komponenter laget for 60 Hz
Tidtakere og synkrone klokker	Feil visning av tid	De bruker nettets frekvens for timing – går tregt på 50 Hz
Overoppheting	Fare for brann eller havari	Særlig i motorer og transformatorer, som ikke er dimensjonert for 50 Hz
Lys og vifter	Flakker, støy og feil hastighet	Lysstoffrør og vifter laget for 60 Hz oppfører seg annerledes eller uønsket

Σ

OPPSUMMERING

Det må ikke kobles direkte 400 V / 50 Hz til et skip som er laget for 440 V / 60 Hz uten tilpasning.

Hvordan kan man løse problemet?

Alternativ 1: Frekvensomformer (Shore Power Converter)

- Konverterer 400 V 50 Hz → 440 V 60 Hz
- Krever transformator og omformer
- Finnes som:
  - Containerbasert enhet på kai.
  - Fast installert på skipet.

Alternativ 2: Landstrøm fra 60 Hz kilde

- I spesialhavner i USA, Japan eller offshore installasjoner.
- Unngår konvertering, men er sjeldent i Europa.

Konsekvenser av motsatte scenariet (440 V / 60 Hz land til 400 V / 50 Hz skip):

Hva skjer hvis man kobler 440 V / 60 Hz landstrøm til et skip som er bygget for 400 V / 50 Hz?

Dette skjer typisk hvis et europeisk skip (designet for 400 V / 50 Hz) går til havn i f.eks. USA eller Asia, og tilbys 440 V / 60 Hz landstrøm.

Konsekvenser og vurdering:

Område	Konsekvens	Forklaring
Spenning	Økt spenning (+10%)	440 V i stedet for 400 V – mange enheter tåler det, men det kan redusere levetid
Frekvens	Kritisk endring (+20%)	60 Hz gir høyere motorhastighet og for rask drift av frekvensavhengige systemer
Asynkrone motorer	Kjører raskere og kan overbelastes	Hastighet øker med 20 %, momentet kan bli for lavt – fare for varmgang og havari
Transformatorer	Kan støye og bli varme	Lavere magnetisering enn ved 50 Hz, men spenning kan overstige nominelt nivå
Tidtakere og kontrollsystemer	Feil tid og sykluser	F.eks. vaskemaskiner, ovner og PLC-er kan bruke frekvensen til tidtaking
Lys, vifter, pumper	Endret hastighet eller støy	Vifter går raskere og kan støye mer eller feile tidligere

Oppsummering

Faktor	Risiko
Spenning (440 V i 400 V system)	Moderat (kan føre til overlast, men mange enheter tåler ±10%)
Frekvens (60 Hz i 50 Hz system)	Kritisk – fører til motorproblemer, overhastighet og feil i elektronikk
Ikke anbefalt uten transformasjon og frekvensjustering.	

Korrekt løsning kan være:

Løsning	Beskrivelse
Frekvensomformer	Konverterer 60 Hz → 50 Hz
Spenningstransformator	Reduserer 440 V → 400 V (eller kombineres med frekvensomformer)
Avansert kraftomformer (Shore Converter)	Mange produsenter tilbyr én enhet som gjør begge deler (spenning + frekvens) automatisk

EKSEMPEL: SHORE POWER CONVERTER (FOR EUROPEISK SKIP I USA)

- Inngang: 480 V / 60 Hz fra kaianlegg.
- Utgang: 400 V / 50 Hz til skipets tavle.
- Leverandører: ABB, Cavotec, Danfoss, Wärtsilä.

Konklusjon

Spørsmål	Svar
Kan man koble 440 V / 60 Hz landstrøm til et 400 V / 50 Hz skip direkte?	Nei, det kan føre til skade
Hovedproblemet?	Frekvens (60 Hz) – gir overhastighet i motorer og feil i utstyr
Løsning?	Frekvensomformer og spenningstilpasning

Kap 20 UPS

UPS (Uninterruptible Power Supply)

Oppbygging og virkemåte til en UPS

En UPS (avbruddsfri strømforsyning) brukes for å sikre at elektriske systemer får kontinuerlig strøm selv ved strømbrudd. Den beskytter også mot spenningssvingninger og andre elektriske forstyrrelser.

1. Oppbygging av en UPS.

En UPS består av flere hovedkomponenter:

- Lader/likeretter (Rectifier/Charger) – Konverterer vekselstrøm (AC) fra strømnettet til likestrøm (DC) for å lade batteriene.
- Batteripakke – Gir strøm under strømbrudd. Vanligvis blybatterier eller litium-ion.
- Inverter – Konverterer DC fra batteriene tilbake til AC for å forsyne lasten.
- Bypass-bryter – Omkobler direkte til nettstrøm ved UPS-feil eller overbelastning.
- Styringsenhet (kontroller) – Overvåker UPS-en og administrerer vekslingen mellom driftstilstander.

2. Virkemåte til en UPS.

UPS-en kan operere i forskjellige moduser avhengig av strømtilførselen og behovet:

a) Normal drift (Strømnettet er aktivt).

- Strøm fra nettet går til lasten (PC-er, servere, maskiner osv.).
- Laderen/likeretteren konverterer AC til DC for å holde batteriene oppladet.
- Bypass er inaktiv, og systemet fungerer med normal nettstrøm.

b) Strømbrudd (Nettstrømmen forsvinner).

- UPS-en detekterer strømbruddet umiddelbart.
- Batteriene forsyner inverteren med DC-strøm.
- Inverteren konverterer DC til AC og opprettholder strømforsyningen til lasten.
- Bypass forblir inaktiv, og lasten drives av batteriene.

c) Gjenoppretting (Nettstrømmen kommer tilbake).

- UPS-en kobler tilbake til nettstrøm når den er stabil.
- Laderen begynner å lade batteriene igjen.
- Bypass kan aktiveres ved feil i UPS-en.

3. Typer UPS-systemer

- Offline / Standby UPS – Kobler inn batteridrift kun ved strømbrudd (rimeligere, egnet for PC-er).
- Line-interactive UPS – Justerer spenningen ved svingninger, bytter til batteri ved behov (brukes ofte i serverrom).
- Online / Dobbelkonvertering UPS – Konverterer alltid strømmen gjennom likeretter og inverter (gir best beskyttelse, brukt i kritiske systemer).

UPS-er er viktige for å beskytte elektronisk utstyr mot strømbrudd og spenningsvariasjoner i IT, industri, helsevesen og skipsfart!

Bilde viser UPS'er på en supply båt.



UPS'er på en supply båt.

OFF-Line UPS

OFF-LINE UPS

En OFF-Line UPS (også kalt standby-UPS) er en type avbruddsfri strømforsyning (UPS) som gir strømreserveløsning i tilfelle strømbrudd. Den fungerer ved å holde batteriet inaktivt i normal drift og kobler seg til batteriet først når det oppdager et strømbrudd eller spenningsfall.

Hvordan fungerer en OFF-Line UPS?

1. Normal drift (strømtilførsel fra nettet)
   - Strømmen går direkte fra strømnettet til utstyret uten å gå gjennom UPS-en.
   - UPS-en overvåker strømmen og lader batteriet mens det er nødvendig.

2. Strømbrudd eller spenningsfall
   - UPS-en oppdager avvik (som strømbrudd eller spenningsvariasjoner).
   - Den kobler om til batteridrift via en inverter som omformer likestrøm (DC) fra batteriet til vekselstrøm (AC).
   - Denne koblingen tar vanligvis 2–10 millisekunder, som kan være merkbart for sensitivt utstyr.

3. Batteridrift
   - Enhetene får strøm fra batteriet via inverteren.
   - Driftstiden avhenger av batterikapasiteten og belastningen.

4. Tilbake til normal drift
   - Når strømmen kommer tilbake, kobler UPS-en tilbake til nettstrøm.
   - Batteriet lades opp igjen for fremtidige strømbrudd.

Fordeler og ulemper med OFF-Line UPS

Fordeler

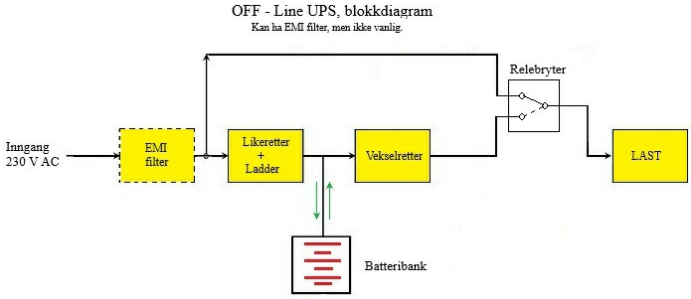
- Rimeligere enn andre UPS-typer.
- Lavere strømforbruk i normal drift.
- Enkel og pålitelig for grunnleggende beskyttelse.

Ulemper

- Kort forsinkelse ved strømbrudd kan påvirke følsomt utstyr.
- Gir ikke beskyttelse mot små strømforstyrrelser som overspenning eller elektrisk støy.
- Batteridriftstiden er ofte begrenset.

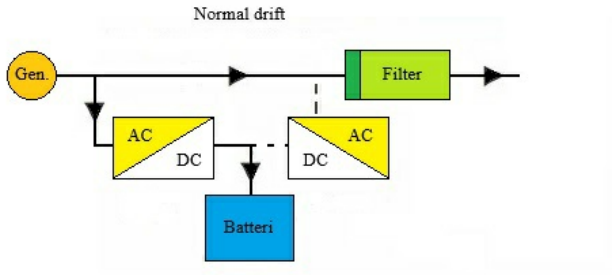
Passer best for:

- PC-er, kontorutstyr og hjemmebrukere med lavt strømbehov.
- Ikke-kritiske systemer der en kort forsinkelse ikke er et problem.



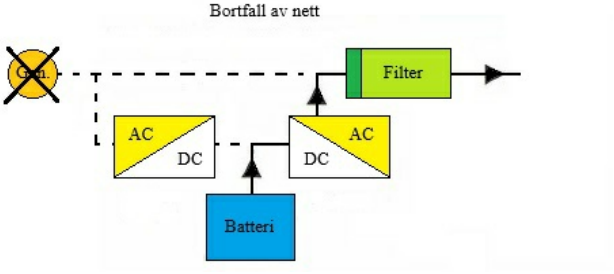
Eksempel 1 (OFF-Line UPS):





Eksempel 2 (OFF-Line UPS):





Line-interactive UPS

LINE-INTERACTIVE UPS

En Line-Interactive UPS er en mellomting mellom en enkel OFF-Line UPS og en avansert Online (Double-Conversion) UPS. Den gir bedre beskyttelse enn OFF-Line ved å regulere spenningen aktivt uten å måtte gå til batteridrift hver gang strømmen svinger.

Hvordan virker en Line-Interactive UPS?

1. Normal drift – nettstrøm med spenningsregulering

- Strømmen går fra nettet til lasten (utstyret) gjennom en automatisk spenningsregulator (AVR – Automatic Voltage Regulator).
- Hvis nettspenningen svinger for høyt eller lavt, justerer AVR-en spenningen opp eller ned (via transformator med tapninger) uten å bruke batteriet.

2. Strømbrudd eller alvorlige spenningsavvik

- Hvis strømmen faller utenfor justeringsområdet, kobler UPS-en raskt om til batteridrift via en inverter.
- Inverteren konverterer likestrøm (DC) fra batteriet til vekselstrøm (AC) for å holde utstyret i gang.

3. Tilbake til nettstrøm

- Når strømmen stabiliserer seg, bytter UPS-en tilbake til nettstrøm og lader opp batteriet igjen.

Nøkkelkomponenter i en Line-Interactive UPS

- Batteri
- Inverter
- Byttebryter / relé
- AVR (spenningsregulator), (booster og fader)
- Ladeelektronikk

Fordeler

- Bedre beskyttelse enn OFF-Line UPS – tåler spenningssvingninger uten å tømme batteriet.
- Lengre batterilevetid – fordi den bare går over på batteri når det virkelig trengs.
- Mer stabil strøm – AVR gir jevnere spenning til utstyret.
- Rimeligere enn Online UPS – god balanse mellom pris og ytelse.

Ulemper

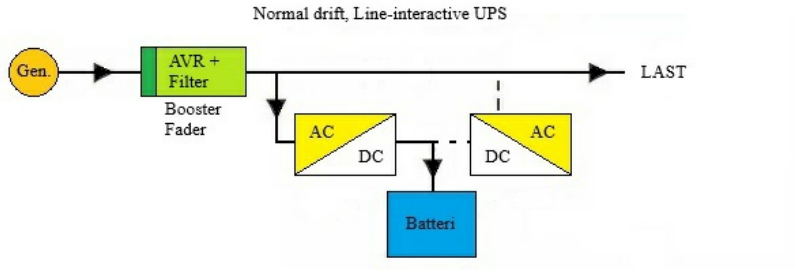
- Liten omkoblingstid ved strømbrudd (typisk 2–5 ms), som kan være kritisk for svært følsomt utstyr.
- Ikke full isolasjon fra strømnettet – den "renser" ikke strømmen like godt som en Online UPS.

Passer best for:

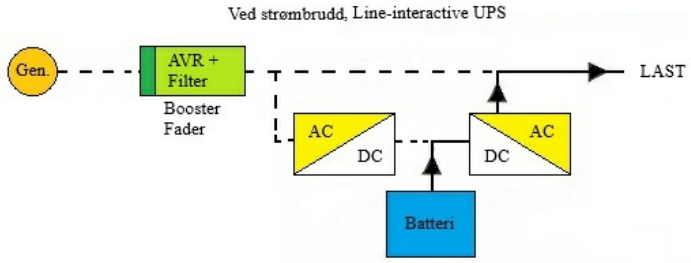
- Servere og nettverksutstyr i små og mellomstore bedrifter.
- Avanserte arbeidsstasjoner, NAS, PC-er og hjemmekontor.
- Miljøer med mye spenningssvingninger, men sjeldne totale strømbrudd.

Hvis du vil ha noe som beskytter mer enn en enkel UPS uten å gå helt "all-in", så er Line-Interactive et veldig solid valg.

Eksempel 1, normal drift:



Eksempel 2, ved strømbrudd:



Booster og Fader

I en line-interactive UPS (Uninterruptible Power Supply) refererer begrepene "booster" og "fader" (eller ofte kalt "buck") til funksjoner i den innebygde automatisk spenningsreguleringskretsen (AVR – Automatic Voltage Regulation). Disse brukes for å håndtere mindre svingninger i nettspenningen uten å bytte til batteridrift.

Booster (Boost Mode):

- Når inngangsspenningen er for lav, øker UPS-en spenningen til et normalt nivå.
- Dette skjer ved at UPS-en aktiverer en transformatorvikling som "booster" spenningen opp.
- Fordel: Du slipper å bruke batteri ved små spenningsfall (f.eks. ved *«brownout» eller lav nettkvalitet).

Fader / Buck (Buck Mode)

- Når inngangsspenningen er for høy, senker UPS-en spenningen til et tryggere nivå.
- Dette beskytter utstyret mot overspenning.
- UPS-en gjør dette ved å "fade" spenningen ned ved hjelp av en annen transformatorvikling.

Hvorfor er dette nyttig?

I stedet for å stadig bruke batteriene ved små variasjoner i strømnettet, bruker en line-interactive UPS booster og fader-funksjonene til å håndtere de fleste normale svingninger. Dette:

- forlenger batteriets levetid,
- reduserer slitasje,
- og gir mer stabil drift.

*Brun-ut (eller "brownout" på engelsk) betyr:

En midlertidig reduksjon i nettspenningen – altså at strømmen fortsatt er der, men spenningen er lavere enn normalt.

- *Nettspenningen faller under det normale nivået (f.eks. ned til 180V i stedet for 230V).*
- *Lyset i rommet kan dimmes (derav navnet "brownout" – lyset blir «brunt» i stedet for klart).*
- *Elektronikk kan oppføre seg rart, fryse, krasje eller bli skadet over tid.*
- *Oppstår ofte under høy belastning på strømnettet – for eksempel på varme sommerdager når mange bruker air condition samtidig.*

ON - Line UPS

ON - LINE UPS

En Online UPS (også kalt Double-Conversion UPS) er den mest avanserte og pålitelige typen UPS – designet for å levere kontinuerlig, ren og stabil strøm til kritisk utstyr, helt uavhengig av hva som skjer på strømnettet.

Hvordan virker en Online UPS (Double-Conversion)?

1. Konstant dobbel konvertering.

- Strømmen fra nettet går først gjennom en likeretter som konverterer vekselstrøm (AC) → likestrøm (DC).
- Deretter går den gjennom en inverter som omformer DC tilbake til AC.
- Med andre ord: Utstyret får aldri strøm direkte fra nettet – kun fra inverteren.

Dette gir null omkoblingstid, fordi strømmen *alltid* leveres via inverteren.

2. Batteridrift ved strømbrudd

- Når strømnettet faller ut, fortsetter batteriet å levere DC til inverteren uten avbrudd.
- Utstyret merker ingen overgang – alt går sømløst videre.

3. Tilbake til normal drift

- Når strømmen kommer tilbake, starter likeretteren igjen og lader batteriet, samtidig som den fortsetter å forsyne inverteren.

Fordeler med Online UPS

- Null omkoblingstid – passer for ekstremt følsomt utstyr (sykehus, datasentre, etc.)
- Perfekt spenningskvalitet – fjerner overspenning, underspenning, støy, frekvensavvik og transienter
- Full isolasjon fra strømnettet
- Ideell i miljøer med dårlig strømkvalitet eller hyppige forstyrrelser

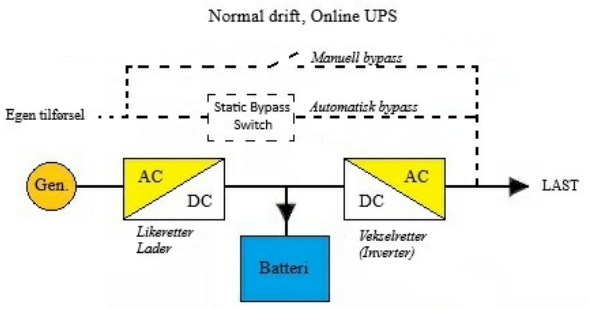
Ulemper

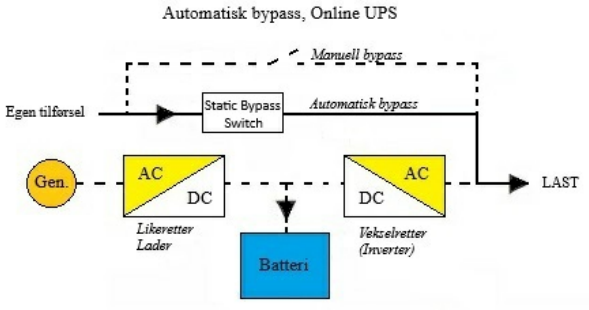
- Kostbar – dyrere enn Line-Interactive og Off-Line UPS
- Varmer mer opp og bruker mer strøm (pga. konstant konvertering)
- Mer kompleks – krever bedre vedlikehold

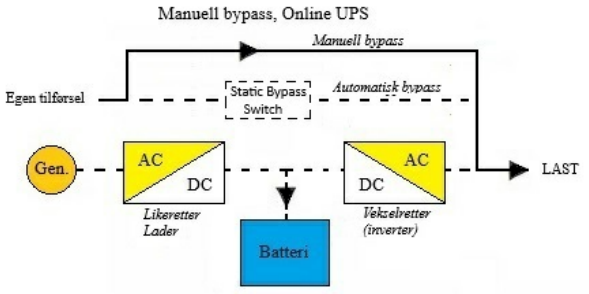
Typiske bruksområder

- Datasentre og serverrom
- Sykehusutstyr (f.eks. livsopprettholdende systemer)
- Industriell automatisering
- Kritisk kommunikasjon og finansielle systemer

En Online UPS er med andre ord "Rolls-Royce'n" av strømforsyninger – du betaler mer, men du får full beskyttelse og null nedetid.







En Online UPS (Double-Conversion UPS) er teknisk mer kompleks enn andre UPS-typer, og den har flere viktige komponenter som sammen sørger for konstant, ren og avbruddsfri strømforsyning.

Nøkkelkomponenter i en Online UPS:

1. Likeretter (Rectifier)

- Konverterer AC (vekselstrøm) fra strømnettet til DC (likestrøm).
- Brukes til å:
  - Lade batteriet.
  - Gi strøm til inverteren.
- Ofte utstyrt med PFC (Power Factor Correction) for å forbedre effektiviteten.

2. Batteribank

- Lagrer energi i form av likestrøm (DC).
- Aktiveres umiddelbart hvis nettstrømmen forsvinner.

- Gir DC til inverteren uten omkobling ved strømbrudd.

3. Inverter

- Gjør om DC fra likeretter/batteri tilbake til ren AC-spenning som leveres til lasten.
- Kilden til strømmen er *alltid* inverteren – enten den får DC fra strømnettet (via likeretter) eller batteri.

4. Bypass-krets (Static Bypass Switch)

- En hurtigbryter (ofte en static switch) som omgår inverteren og kobler lasten direkte til strømnettet dersom:
  - Inverteren feiler.
  - Overbelastning oppstår.
  - Ved vedlikehold (manuell bypass).
- Sørger for at lasten fortsatt får strøm, selv om UPS-en har en intern feil.

5. Ladeelektronikk (Charger/Controller)

- Kontrollerer lading og overvåking av batteriene.
- Sørger for optimal levetid og ytelse ved å overvåke temperatur, spenning og strøm.

6. Kjøling (vifter eller kjøleprofiler)

- Pga. den kontinuerlige konverteringen genereres varme, så kjøling er viktig for stabil drift og levetid.

7. Kontrollenhet / Mikroprosessor

- Hjerne i UPS-en.
- Overvåker og styrer hele systemet: strømkilder, batteristatus, temperatur, overganger osv.
- Ofte med LCD-panel eller webgrensesnitt for status og konfigurering.

8. Inngangs- og utgangsfiltre (inkl. EMI/RFI-filter)

- Filtrerer bort elektrisk støy og overspenninger.
- Sikrer at utstyret får ren og stabil strøm.

Ekstrautstyr (valgfritt i mange systemer)

- SNMP/nettverkskort – for overvåking og varsling.
- Batteriekspansjonsmoduler – for lengre backup-tid.
- Manuell vedlikeholds bypass – for trygg service.

EMI - filter

Et EMI-filter (Electromagnetic Interference filter) er en elektronisk krets som reduserer eller fjerner elektromagnetisk støy (EMI) fra strømnettet før den når UPS-en eller tilkoblet utstyr.

EMI-filter er ikke alltid standard i en OFF-Line UPS, men noen modeller har det, spesielt hvis de er designet for mer følsomt utstyr.

Hvorfor brukes EMI-filter i en UPS?

Strømnettet kan inneholde forstyrrelser som kan skade eller påvirke følsomt elektronisk utstyr. EMI-filteret beskytter mot:

- Radiofrekvent interferens (RFI) – Høyfrekvente signaler fra radiosendere, trådløse enheter osv.
- Linjestøy fra strømnettet – Støy fra elektriske motorer, lysrør, kraftnett osv.
- Høyfrekvente transienter – Plutselige spenningsspiker fra lynnedslag eller industrielle maskiner.

Hvordan fungerer et EMI-filter?

Et EMI-filter består vanligvis av:

- Induktanser (spoler) – Stopper høyfrekvent støy ved å motstå raske endringer i strøm.
- Kondensatorer – Leder høyfrekvent støy bort fra strømforsyningen.
- Motstander (valgfritt) – For å dempe resterende forstyrrelser.

Filteret plasseres på inngangen til UPS-en for å sikre at kun ren strøm går videre til elektronikken.

Fordeler med EMI-filter i en UPS:

- Forbedret strømforsyning – Fjerner forstyrrelser og beskytter utstyr.
- Lengre levetid på elektronikk – Reduserer slitasje fra elektrisk støy.
- Bedre ytelse på følsomt utstyr – Viktig for datasentre, sykehus og laboratorieutstyr.

Når er EMI-filter viktig?

- I miljøer med mye elektrisk støy (industri, sykehus, kontorer med mye elektronikk).
- For sensitive systemer som krever stabil strømforsyning (servere, medisinsk utstyr).
- Når UPS-en er koblet til et strømnett med kjent høy interferens.

Kort sagt, EMI-filteret sikrer at UPS-en leverer ren og stabil strøm til utstyret ditt.

Hvorfor er EMI-filter mindre vanlig i OFF-Line UPS?

- En OFF-Line UPS kobler lasten direkte til strømnettet under normal drift. Hvis det er EMI-støy i strømnettet, vil den gå rett til utstyret, med mindre UPS-en har et innebygd EMI-filter.
- Mange rimelige OFF-Line UPS-er har ikke EMI-filter fordi de primært er designet for enkel strømbackup, ikke for strømrensing.
- EMI-filtrering er mer vanlig i Line-Interactive og Online UPS, fordi disse systemene kontinuerlig behandler strømmen før den når lasten.

Det finnes noen høyere kvalitets OFF-Line UPS-er kan ha et grunnleggende EMI-filter for å dempe elektromagnetisk støy. Dette er spesielt nyttig i områder med mye elektrisk interferens.

Hvis en OFF-Line UPS ikke har EMI-filter, hva kan du gjøre?

- Bruke et eksternt EMI-filter eller en overspenningsbeskytter med EMI-filtrering mellom strømuttaket og UPS-en.
- Oppgradere til en Line-Interactive UPS, som ofte inkluderer både EMI-filtrering og spenningsregulering.

Static Switch

En static switch i en UPS er en elektronisk bryter basert på tyristorer (SCRs) eller andre halvlederkomponenter som gjør det mulig å raskt bytte mellom forskjellige strømkilder uten mekaniske bevegelige deler.

Den brukes i Online UPS og Line-Interactive UPS for å sikre en rask og sømløs overgang mellom:

1. UPS-inverteren (når den leverer strøm til lasten).
2. Bypass-linjen (direkte nettstrøm eller en alternativ kraftkilde).
   Hvordan fungerer en static switch?

- Under normal drift lar static switchen lasten få strøm fra UPS-inverteren.
- Hvis det oppstår en feil i UPS-en (f.eks. overbelastning eller inverterfeil), vil static switchen umiddelbart koble lasten over til bypass-linjen.
- Når feilen er løst, kobles lasten tilbake til UPS-inverteren uten merkbar avbrudd.
- Dette skjer ekstremt raskt, ofte på mikrosekundnivå, noe som sikrer at utstyr ikke blir påvirket.

Fordeler med en static switch i UPS

- Rask overgangstid – Sikrer uavbrutt strømforsyning.
- Ingen mekaniske deler – Øker påliteligheten og levetiden.
- Sømløs beskyttelse – Brukes i Online UPS for å garantere kontinuerlig strømforsyning.

Hvor brukes static switcher?

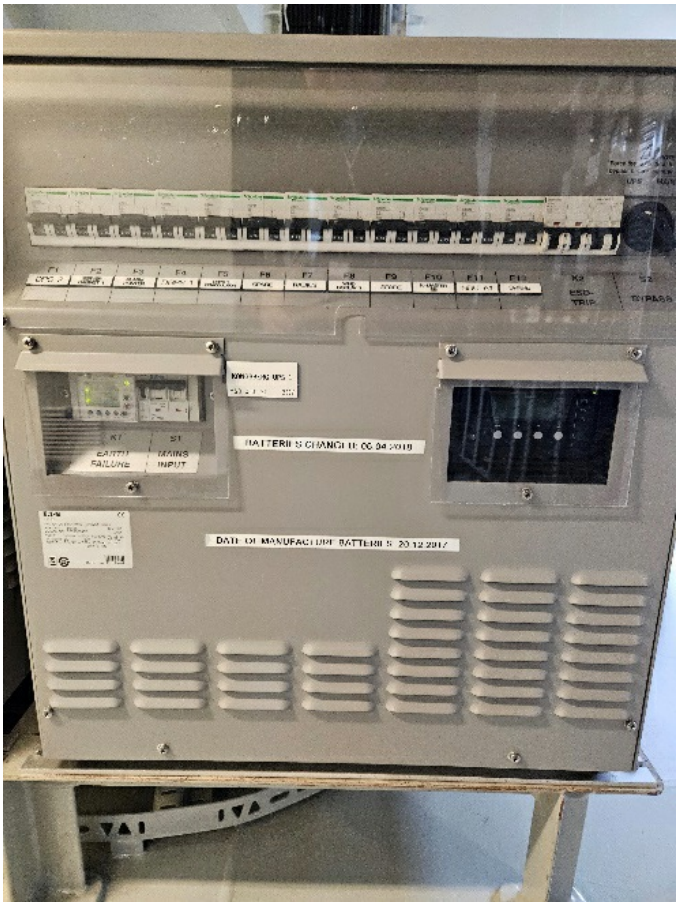
- Online (Double-Conversion) UPS – For å bytte til bypass-strøm hvis inverteren feiler.
- Redundante UPS-systemer – For å koble om mellom to UPS-enheter eller mellom UPS og nettstrøm.
- Kritiske systemer – Serverrom, datasentre, sykehus og industri der null nedetid er avgjørende.

En static switch er altså en sentral komponent i avanserte UPS-systemer, som sikrer at strømforsyningen forblir stabil selv ved feil eller høy belastning.

Schneider Electric

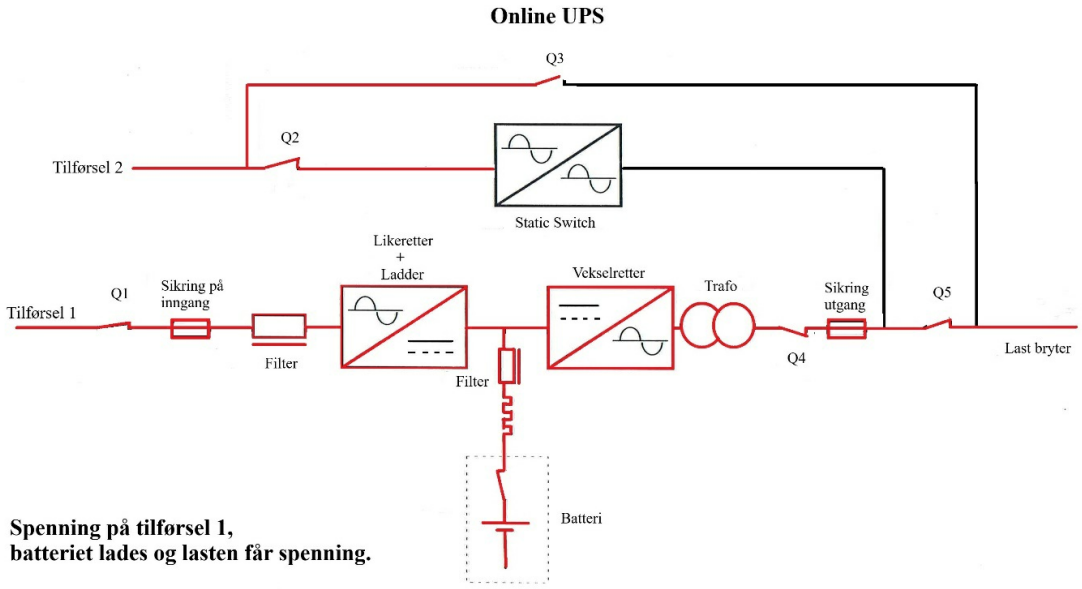
Galaxy-serien (Galaxy VS, VM), APC-serien.

Enkelte modeller med DNV – sertifisering benyttes i automasjon og kritiske systemer.

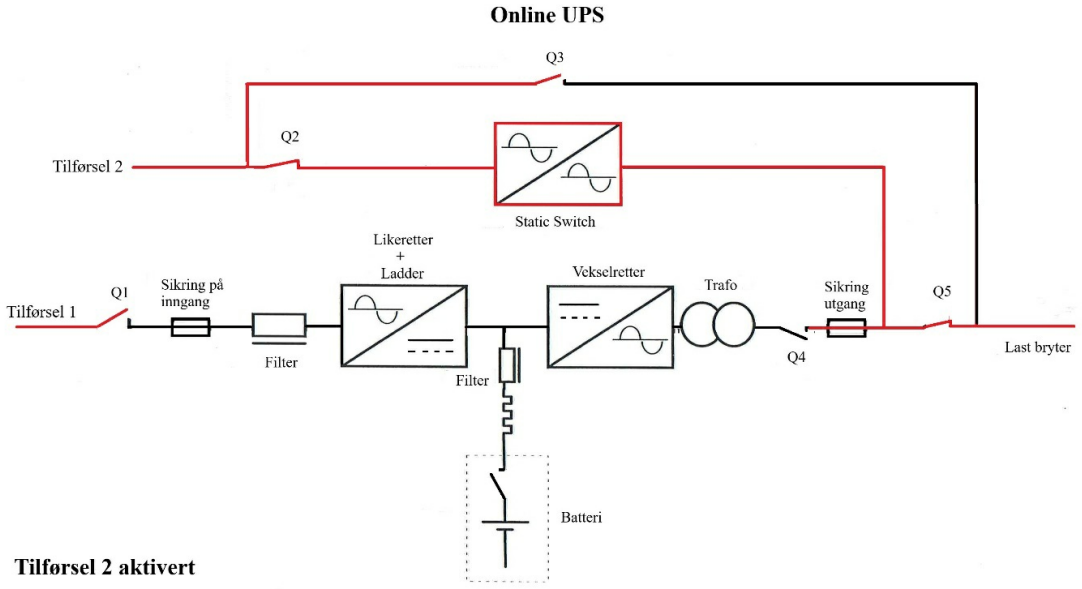


Forskjellige driftstilstander (flower) på en Online UPS

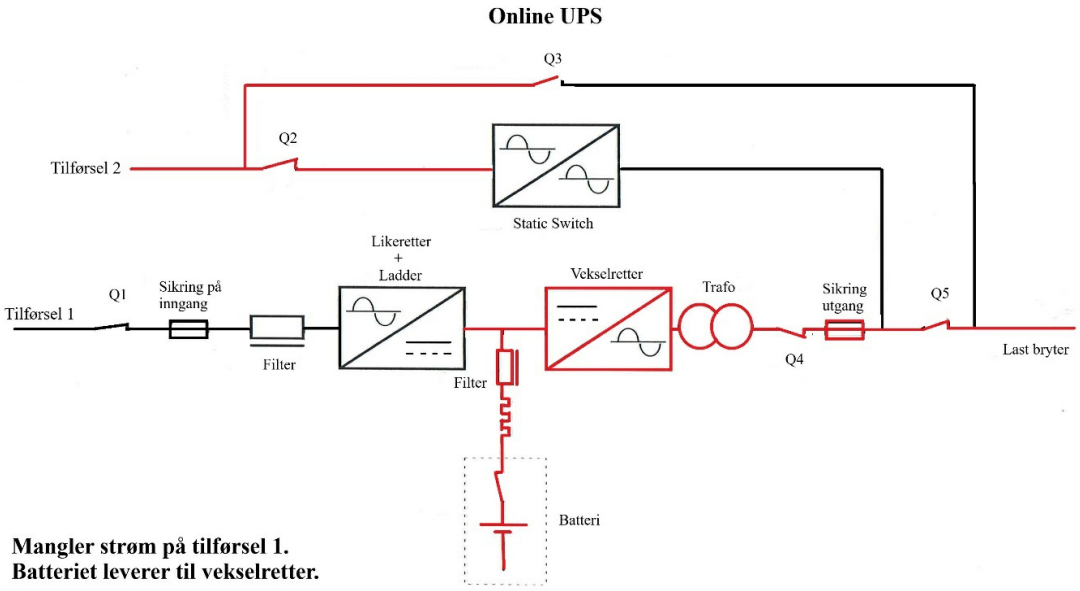
Eksempel 1, normal drift.



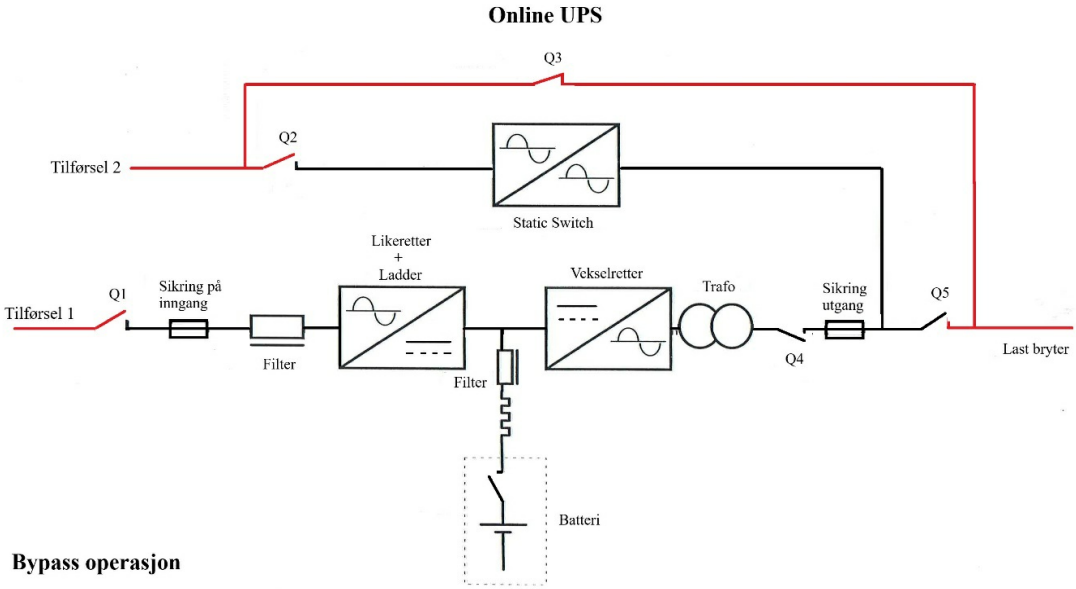
Eksempel 2, automatisk bypass, ved feil i UPS'en.



Eksempel 3, hoved tilførsel ute, batteri leverer strøm.



Eksempel 4, manuell bypass.



Kap 21 PLS

PLS (programmerbar logisk styring)

PLS (PROGRAMMERBAR LOGISK STYRING)

PLS står for «programmerbar logisk styring» og er navnet på en type enhet man kan styre elektriske og automatiske systemer med. Denne enheten kan brukes i stedet for reléstyringer og har flere avanserte muligheter når det gjelder styring og overvåking.

Hoveddeler PLS

En PLS består typisk av disse hoveddelene:

1. Strømforsyning
   - Gir strøm til systemet. Vanligvis 24V DC eller 230V AC.
2. CPU (Central Processing Unit)
   - "Hjernen" i PLS-en. Kjører programmet og styrer resten av enheten. Lesing av innganger, kjøring av logikk og styring av utganger.
3. Inngangsmoduler (Inputs)
   - Mottar signaler fra sensorer, brytere, trykknapper osv.
   - Kan være digitale (av/på) eller analoge (varierende verdier som temperatur, trykk osv.).
4. Utgangsmoduler (Outputs)
   - Sender signaler til aktuatorer som motorer, ventiler, lamper, releer osv.
   - Også disse kan være digitale eller analoge.
5. Kommunikasjonsporter / Nettverk
   - For å kommunisere med andre PLS-er, datamaskiner, HMI (skjerm) eller SCADA-systemer.
6. Minne (RAM/ROM/Flash)
   - Programmet lagres her, samt midlertidige data under kjøring.





Virkemåten til en PLS, enkelt forklart

PLS-en følger en syklus som gjentas kontinuerlig, ofte flere ganger per sekund:

1. Leser innganger – Leser status på alle innganger (brytere, sensorer).
2. Kjører programmet – Kjører logikken (programmet du har skrevet i ladder diagram, funksjonsblokker, osv.).
3. Oppdaterer utganger – Skrur på/av utganger basert på programmet.
4. Intern sjekk/diagnose – Sjekker systemhelse og eventuelle feilmeldinger.

Denne prosessen går så raskt at alt virker "live", selv om det skjer i sykluser.

PLS

> **PLS**
>
> En **programmerbar logisk styring** (**PLS**) (på engelsk https://no.wikipedia.org/wiki/Engelsk *programmable logic controller*, **PLC**) er en datamaskin https://no.wikipedia.org/wiki/Datamaskin

som brukes for å automatisere https://no.wikipedia.org/wiki/Automatikk oppgaver som produksjon og kontroll https://no.wikipedia.org/wiki/Kontroll av for eksempel nivåer. PLS'en har tatt over oppgavene som hundrevis av releer https://no.wikipedia.org/wiki/Rele gjorde før og kan programmeres til å gjøre det samme. Det finnes i dag et stort utvalg av PLS'er, fra de små enkle med integrerte innganger, utganger og med innebygd relé https://no.wikipedia.org/wiki/Rel%C3%A9 til kraftige modulbaserte modeller. De benyttes i alt fra enkel lys og varmestyring i hus og hytte, til store avanserte automasjons- og prosessanlegg, oljeinstallasjoner og på skip.

Hovedforskjellen fra andre datamaskiner er inn- og utgangene til PLS'en. Disse blir koblet til pådragsorganer https://no.wikipedia.org/wiki/P%C3%A5dragsorgan og sensorer https://no.wikipedia.org/wiki/Sensor_(instrument)
Inngangen til PLS'en er enten digital https://no.wikipedia.org/wiki/Digital eller analog https://no.wikipedia.org/wiki/Analog_informasjon
De digitale inngangene kan lese to tilstander, 0 og 1 (av, på) og blir eksempelvis koblet sammen med strømbrytere https://no.wikipedia.org/wiki/Str%C3%B8mbryter

CPU – Hjernen i PLS-en

CPU-en (Central Processing Unit) er den viktigste komponenten i en PLS. Den styrer heile systemet, tolker programmet og styrer kva som skal skje basert på innganger og utganger.

Hva gjør CPU-en konkret?

CPU-en utfører disse hovedoppgavene – i en kontinuerlig syklus:

1. Les inngangsdata
   - CPU-en henter inn status fra alle inngangs moduler (t.d. om en bryter er trykt inn, eller kva temperatur en sensor måler).
   - Disse data vert lagra i et intern minneområde kalla inngangsimage (input image table).
2. Kjør programmet
   - Programmet du har laga (typisk i ladder-logikk, strukturert tekst eller funksjonsblokker) vert nå kjørt steg for steg.
   - Programmet bruker verdiene fra inngangsbildet og regner ut kva utganger som skal være på/av.

3. Oppdater utganger
   - CPU-en sender signal til utgangsmodulene for å aktivere eller deaktivere t.d. motorer, lamper eller ventiler.
   - Verdiene vert lagra i et utgangsbilde (output image table) som så overføres til dei fysiske utgangene.

4. Utfør internkontroll og kommunikasjon
   - CPU-en kan sjekke etter feil, overvake tilstander og snakke med andre system (t.d. SCADA eller andre PLS-ar).

Innhold i CPU-en.

- Prosessor (mikroprosessor):
  Utfører sjølve rekningene og logikken.

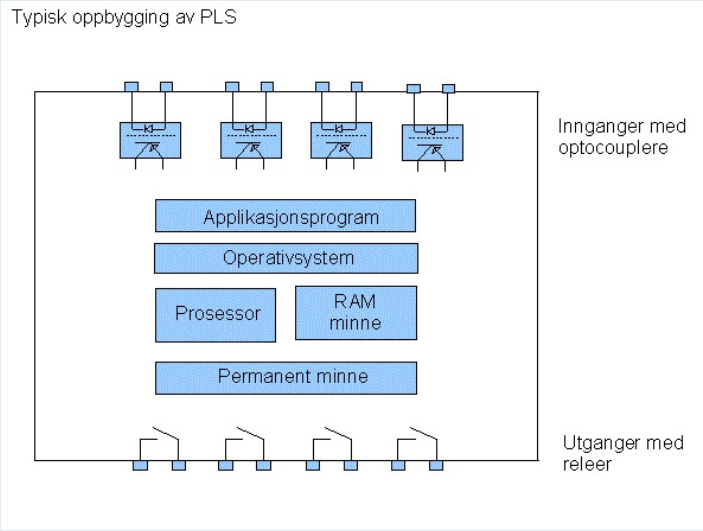
- Minne:
  - RAM: Brukast til midlertidig lagring under drift.
  - ROM/Flash: Her ligg programmet du har lasta opp.
  - EEPROM/Backup: For varig lagring av data (t.d. telleverdier, konfigurasjoner).

- Kommunikasjonsporter: Tilkoblinger for nett (Ethernet, Profibus, Modbus, CAN .fl.)
- Sanntidsklokke (RTC): Brukast for tidsstyrte operasjoner (t.d. start maskin kl. 07:00 kvar dag).

EKSEMPEL: CPU I PRAKSIS

Tenk deg at du har et program som skal starte en motor når en knapp vert trykt inn, og stoppe han når en sensor sier at ei luke er åpen:

1. CPU-en les: "Knapp = trykt inn, luke = att".
2. Programmet tolker: "OK, det er trygt å starte motoren."
3. CPU-en sender signal til utgangen som starter motoren.
4. Motoren starter.



Logiske funksjoner

LOGISKE FUNKSJONER

En PLS kan programmeres til å utføre de instruksjonene vi gir den. Grunnlaget for programmeringen er logiske funksjoner som «OG» og «ELLER». Styringen blir utført i tråd med programmeringen.

I dagliglivet er vi vant med å trekke logiske slutninger og gjøre valg ut fra forutsetninger, informasjon og impulser. Samme tankegang ligger egentlig til grunn for den logiske digitale teknologien. Vi kan ta for oss et eksempel:

Kari og Ola har planlagt en fisketur, men dersom fisketuren skal bli realisert, må følgende to forutsetninger være til stede: Det må være bra vær, og båten må være i orden. Dersom begge disse betingelsene er oppfylt, blir det fisketur. Hvis vi nå kaller bra vær for A, ok båt for B og fisketur F, kan vi uttrykke dette som

> F = A og B

Vi har uttrykt en logisk funksjon, i dette tilfellet en OG-funksjon. På samme måte uttrykkes logiske funksjoner digital teknisk, men i stedet for å skrive *og,* bruker vi en prikk og uttrykker dette som

> F = A · B eller bare F = A B

Selvsagt kunne vi lagt inn flere betingelser, som for eksempel at fiskeutstyret må være i orden, og kalt denne for C.

Da vil vi få

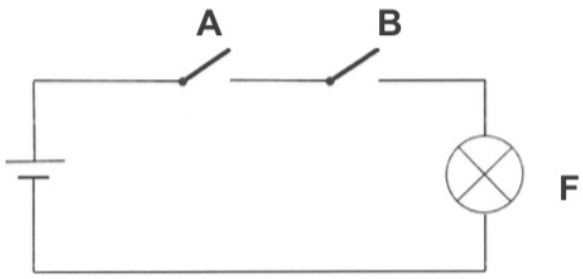
> F = ABC

OG-funksjon.

Lukkekontakter i serie danner en OG-funksjon.

> F = A og B F = A·B

Dersom både kontakt A og kontakt B lukkes, vil lampa F lyse, altså en OG-funksjon.

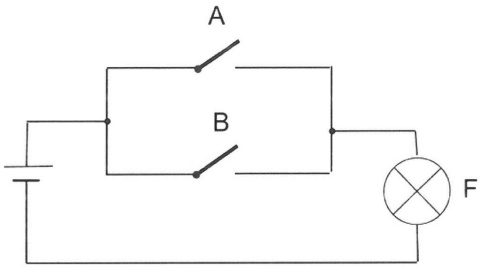


Eller-funksjon.

Lukkekontakter i parallell danner en ELLER-funksjon.

> F = A + B
>
> F = A eller B

Dersom kontakt A eller kontakt B lukkes, vil lampa F lyse, altså en ELLER-funksjon. Symbolet + brukes for å utrykke en ELLER-funksjon.



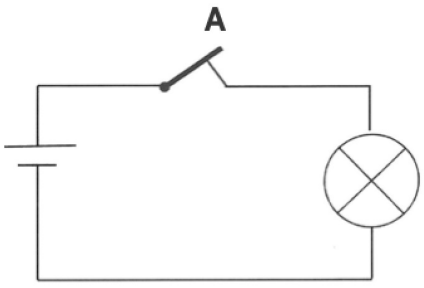
Ikke-funksjon.

En brytekontakt utgjør en IKKE-funksjon.

> F er lik A invertert.

Dette uttrykkes som:

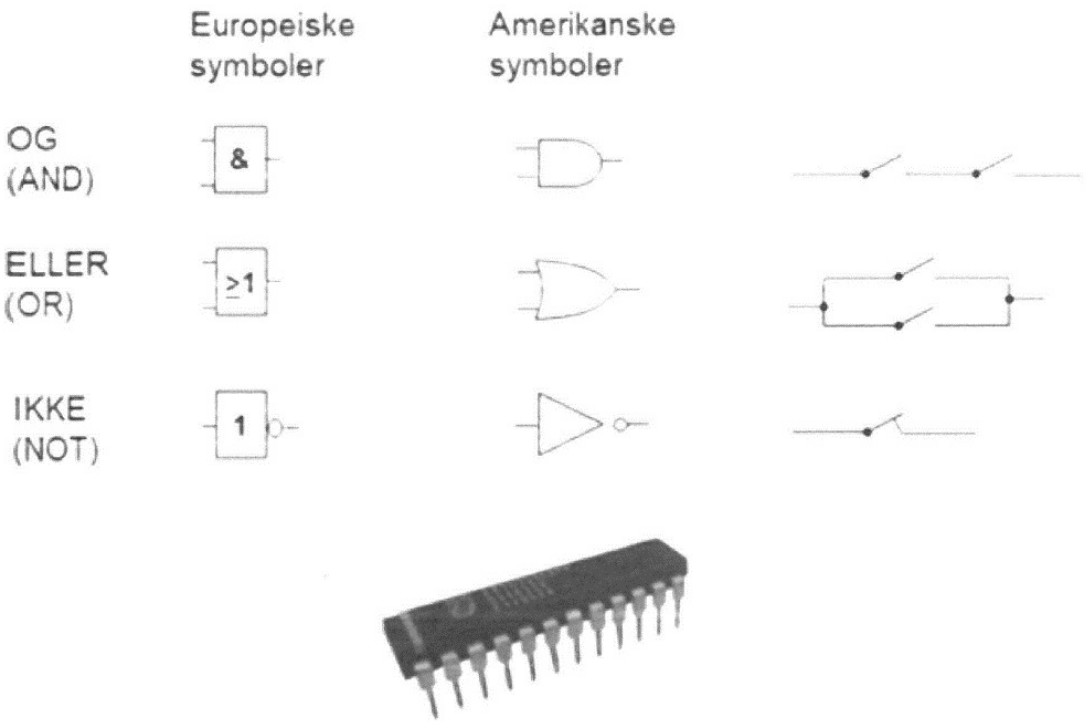
> F = A (med strek over)



Logiske porter.

Logiske porter kan betraktes som byggeklosser i all digital elektronikk, fra enklere digitale styrekretser til mikroprosessorer og datamaskiner, og kalles derfor **logiske grunnelementer.**

De tre grunnelementene tegnet som logiske elementer (europeiske og amerikanske tegningssymboler) og lukke og brytekontakter samt engelske symbolnavn som vi vanligvis finner i datablad:



Europeiske og amerikanske symboler for logiske porter

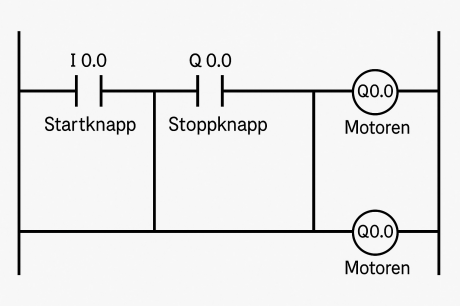
Ladder diagram

LADDER DIAGRAM

Ladder logikk (også kalt kontaktplan) er en form for programmering av PLS (Programmerbar Logisk Styring) som etterligner gammeldags reléteknikk. Det består av "rungene" (trinn), som går fra venstre "strømførende skinne" til høyre "nøytral".

Eksempel på ladder-diagram.

La oss si du vil lage et enkelt PLS-program hvor en motor skal starte når en start-knapp trykkes inn, og stoppe når en stopp-knapp trykkes (KI animert).



Eksempel: Start/stopp av motor med minne (selvlås/holdekontakt).

Funksjon

- I0.0 = Startknapp (normalt åpen)
- I0.1 = Stoppknapp (normalt lukket)
- Q0.0 = Motor (utgang)
- Motoren skal starte når du trykker "Start", og stoppe når du trykker "Stopp"

Forklaring

Symbol	Betydning	Kommentar
I0.0	Startknapp (NO)	Brukeren trykker denne for å starte
Q0.0	Selvlåsing (NO)	Holder motoren i gang etter at du slipper startknappen
/I0.1	Stoppknapp (NC)	Normalt lukket – åpner ved trykk og bryter kretsen
Q0.0 (til høyre)	Utgang – motoren	Denne aktiveres når logikken til venstre er sann

Hvordan det fungerer:

1. Ved start:
   - Du trykker I0.0 (Start).
   - Stoppknappen I0.1 er lukket (fordi den er normalt lukket, /I0.1 = 1).
   - Motoren (Q0.0) får signal og går.

2. Selvlåsing:
   - Selv om du slipper startknappen, vil Q0.0 holde seg aktiv via sin egen kontakt i rungen.

3. Ved stopp:
   - Du trykker I0.1 (Stopp), som bryter strømmen til rungen (fordi /I0.1 blir 0).
   - Motoren (Q0.0) slår seg av.

Bruksområder

- Startere for motorer (f.eks. vifter, pumper).
- Lysstyring (lys på til man trykker stopp).
- Ventilstyring i maskiner.

Motoren er ikke egentlig koblet to ganger – det bare ser slik ut på tegningen. Her er hvorfor det vises slik:

Selvlåsing (self-hold / latch)

I ladder diagrammet er utgangen Q0.0 (motoren) tegnet både som en kontakt og som en coil:

Første gang (til venstre, midten):
Q0.0 som kontakt

- Dette er en virtuell kontakt som representerer at motoren er aktiv.
- Den brukes til å lage en "tilbake mating" (self-hold), slik at motoren holder seg på etter at du slipper startknappen.

Andre gang (til høyre):
Q0.0 som coil (utgang).

- Dette er det faktiske signalet til motoren, altså "aktiver utgang Q0.0".

Hvordan det fungerer sammen:

1. Du trykker startknappen (I0.0) ⇒ strøm går til coil Q0.0.
2. Når Q0.0 er aktivert, blir den virtuelle Q0.0-kontakten "lukket".
3. Selv om du slipper startknappen, holder Q0.0 seg aktiv fordi kontakten Q0.0 fortsatt gir strøm til coilen. Dette er det som kalles "selvlås" eller "latching".

Kort sagt:

- Venstre Q0.0 = kontakt (brukes i logikken, viser om utgangen er aktiv).
- Høyre Q0.0 = coil (aktiverer selve utgangen/motoren).
- Dette er helt normalt i PLS-programmering, selv om det kan se ut som du bruker utgangen to ganger.

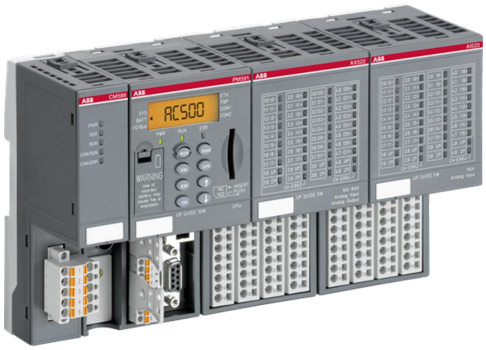


Foto: ABB

PLS feilsøkingsmetoder

Feilsøking på PLS (Programmerbar Logisk Styring) kan utføres på flere ulike måter. Her ser vi på fem forskjellige metoder.

Det er lurt å ha et lager med reservedeler. Dette reduserer nedetid ved komponentfeil. I en feilsituasjon kan tilgjengeligheten av riktige reservedeler bety forskjellen mellom noen minutters nedetid og flere timer eller dager.

Som en tommelfingerregel bør mengden reservedeler som lagerføres være ca. 10 % av det som er i bruk. Dersom en komponent brukes sjeldent, kan det være tilstrekkelig å ha færre enn 10 % på lager.

Hovedkomponenter bør ha én reservedel hver, uavhengig av hvor mange CPU-er som benyttes. Hver strømforsyning bør også være tilgjengelig som reservedel. Enkelte systemer kan til og med kreve at man har et komplett CPU-rack som backup.

Når et system er nede og må tas i bruk umiddelbart, er det ofte ikke tid til å identifisere nøyaktig hvilken CPU-modul som har feilet.

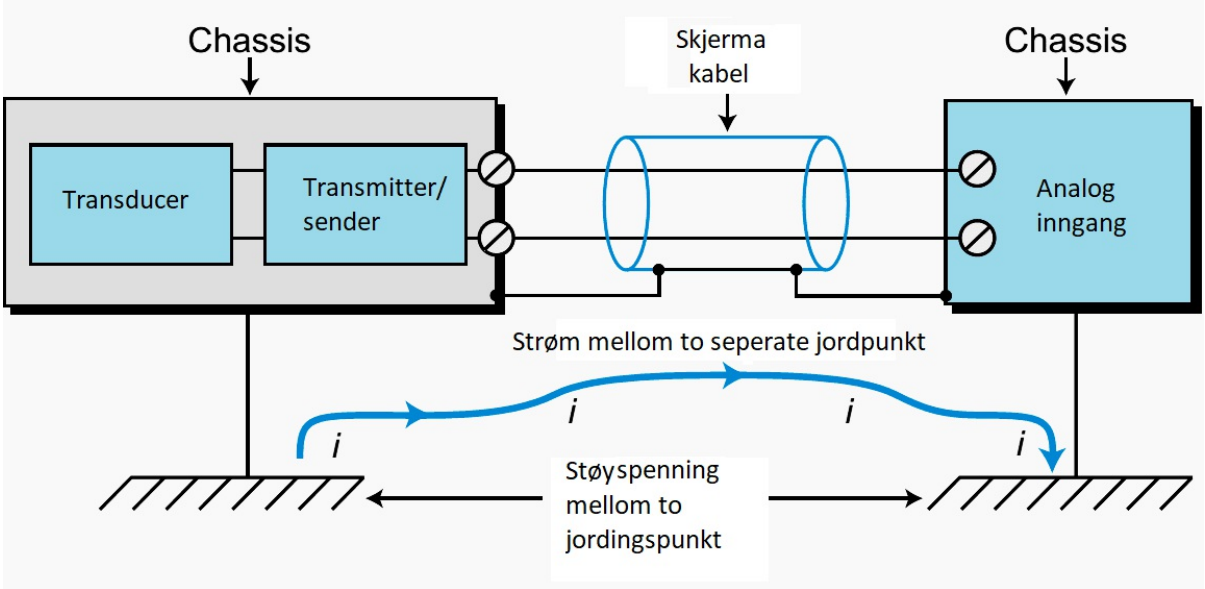
Hvis en modul må byttes ut, må man forsikre seg om at erstatningsmodulen er av riktig type. Noen I/O-systemer tillater moduler å byttes mens strømmen er på, mens andre krever at strømmen slås av. Dersom man bytter en modul og problemet ser ut til å være løst, men feilen gjentar seg etter kort tid, bør man undersøke de induktive belastningene i systemet.

Induktive belastninger kan generere spennings- og strømtopper. I slike tilfeller kan ekstern frakobling være nødvendig. Hvis modulens sikring går igjen etter utskifting, kan årsaken være at utgangsstrømmen overstiger modulens grense, eller at det er en kortslutning i utgangskretsen.



Foto: Schneider Electric.

Feilsøking på jordfeil- jordsløyfer ved skjermet kabel



Figur 1.

En jordsløyfe kan oppstå når man bruker skjermede kabler som er jordet i begge ender. Dette skaper en uønsket kretsvei gjennom jordingssystemet.

Som nevnt tidligere, oppstår en jordsløyfe når to eller flere jordingspunkter har forskjellig elektrisk potensial, og en strøm kan flyte mellom dem.

EKSEMPEL – FIGUR 1

Transdusere og signalgivere er koblet til jord via chassiset (enhetens kapsling), og til et analogt inngangskort via en skjermet kabel. Dersom skjermen er koblet til jord i begge ender, dannes det en ledende vei mellom de to chassisene.
Fordi jordpotensialene mellom de to punktene kan være ulike, vil det oppstå en strøm gjennom kabelskjermen. Denne strømmen kan være betydelig – opptil flere ampere – og skape magnetiske felt som forstyrrer signaloverføringen. Dette kan føre til feilmålinger eller ustabilitet i analoge signaler.

Løsning: For å unngå jordsløyfer bør skjermen kun kobles til jord i én ende, helst på PLS-siden (eller ved det analoge inngangskortet).

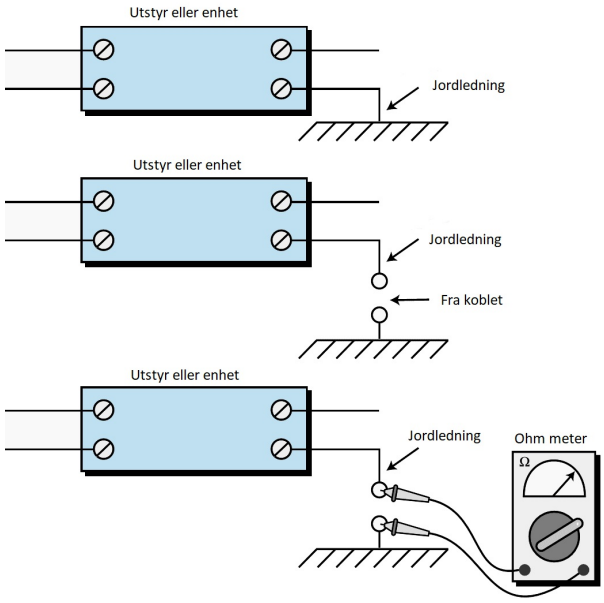
Måling og feilsøking av jordsløyfe.

For å kontrollere om en jordsløyfe finnes:

1. Koble fra jordledningen (f.eks. skjermen).
2. Mål motstanden mellom den frakoblede ledningen og jordpunktet den normalt er koblet til (se Figur 2).
3. Instrumentet skal vise høy motstand (ideelt sett åpen krets).
4. Dersom du måler lav motstand, indikerer dette kontinuitet, og dermed at det finnes en jordsløyfe i systemet.

Oppsummert:

Feil	Årsak	Løsning
Forstyrret analog signaloverføring	Strøm gjennom kabelskjerm grunnet jordsløyfe	Jord skjerm kun i én ende (helst PLS-siden)
Lav motstand mellom jordpunkter	Uønsket kretsvei eksisterer	Identifiser og fjern doble jordinger



Figur 2: Fremgangsmåte for å identifisere jordsløyfer.

Diagnostiske PLS-indikatorer

PLS-moduler har ofte LED-statusindikatorer som gir viktig informasjon om tilstanden til feltenheter, ledninger og I/O-moduler. De fleste inngangs- og utgangsmoduler har minst én indikator.

- Inngangsmoduler har vanligvis en strømindikator, som viser at det er spenning til stede på inngangen.
- Utgangsmoduler har ofte en logisk indikator, som viser at PLS-en har sendt et signal for å aktivere utgangen.

Inngangsmoduler.

En tent strøm-LED på en inngangsmodul betyr at det tilføres spenning fra feltenheten, og at inngangssignalet fysisk er til stede på modulen.

Mange produsenter inkluderer også en logisk LED, som indikerer at signalet er korrekt behandlet av logikkdelen av modulen og registrert av PLS-prosessoren.

Hvis strømindikatoren er på, men logikkindikatoren er av (eller omvendt), kan det tyde på en feil i inngangskretsen eller i modulen.

Utgangsmoduler.

En logisk indikator på en utgangsmodul viser at PLS-prosessoren har sendt en kommando om å aktivere utgangen.

I tillegg kan utgangsmoduler ha:

- En sikringsindikator, som viser statusen til beskyttelsessikringen i utgangskretsen.
- En strømindikator, som bekrefter at spenning faktisk når belastningen (lasten).

Hvis logikk-LED-en lyser, men strømindikatoren ikke gjør det, kan sikringen være gått eller det kan være en feil i selve utgangen eller lasten.

Oppsummering:

Indikator	Modultype	Betydning
Strøm-LED	Inngang	Signal til stede fra feltenhet
Logikk-LED	Inngang	Signal registrert av PLS-prosessor
Logikk-LED	Utgang	PLS har sendt aktiveringssignal
Strøm-LED	Utgang	Lasten mottar strøm
Sikringsindikator	Utgang	Viser om utgangssikringen er gått

Diagnostisk verdi

LED-indikatorer er et nyttig verktøy i feilsøkingsprosessen. De gir rask visuell tilbakemelding og hjelper med å isolere feil på moduler eller tilkoblinger.

Men

LED-indikatorer kan ikke identifisere alle feil, og bør derfor ses på som første steg i en systematisk feilsøking, ikke som en fullverdig diagnose.

Feilsøking av PLS-innganger – Full prosedyre

Trinn 1: Sett PLS i testmodus (om mulig).

Formål: Sørg for at det er trygt å feilsøke uten at PLS påvirker prosessen eller utstyret.

- Sett PLS i test- eller overvåkingsmodus (hvis systemet støtter det).
- I denne modusen:
  - Innganger blir lest.
  - Programmet kjøres.
  - Utganger blir ikke aktivert – gir trygg feilsøking.
- Alternativ: Koble fra utgangsmodulene fysisk eller deaktivér dem midlertidig i programmet.

Trinn 2: Aktiver feltenheten manuelt og se etter LED på inngangsmodulen.

Formål: Sjekk at signalet fysisk når frem til PLS-modulen.

- Trykk på knapp, aktiver bryter eller simuler signal fra sensor.
- Se på status-LED på inngangsmodulen:
  - LED lyser: Signal når frem.
  - LED er mørk: Signal kommer ikke frem. Gå videre til neste trinn.

Trinn 3: Sjekk PLCs lesing av inngang.

I testmodus vil PLS:

- Lese inngangene.
- Utføre programmet.
- Ikke aktivere utganger.

Bruk PLC-programmeringsverktøyet for å:

- Observere at kontaktens instruksjon blir aktiv (uthevet) i programmet, eller
- At en verdi på 1 vises på den aktuelle inngangen i input-tabellen

Hvis PLS registrerer signalet riktig: Modulen fungerer som den skal.
Hvis ikke: Feilen kan ligge i inngangsmodulen (logisk krets, optokobler eller defekt kanal).

Trinn 4: Mål spenning på inngangen.

Hvis modulen ikke registrerer signalet:

1. Aktiver feltenheten manuelt.
2. Mål spenningen mellom signalledning og jord (eller referanse) ved inngangsmodulen.
   - For eksempel: 120 V AC eller 24 V DC, avhengig av systemet.

Måling	Tolkning
Riktig spenning	Modulen er trolig defekt
10–15 % under riktig nivå	Problemer med spenningskilde
Ingen spenning	Sannsynlig feil i ledning eller feltenhet

Test feltenhet og kabel.

Hvis det ikke er riktig spenning på inngangen:

- Sjekk at feltenheten faktisk gir ut spenning ved aktivering

- Mål spenning på tvers av feltenheten.
  - Ingen spenning ut: Feltenheten er defekt.
  - Spenning ut, men ikke inn på modul: Feil i kabel eller kobling.

Kontroller at kabelen er riktig tilkoblet, og at det er god kontakt i klemmen. Bytt kabel om nødvendig.

Oppsummert – Feilsøkingsflyt:

Trinn	Handling	Hva det viser
1	Sett PLC i testmodus	Trygg feilsøking
2	Aktiver feltenhet og sjekk LED	Signal frem til modul
3	Les signal i PLS-program	Logisk funksjon verifisert
4	Mål spenning til modul	Sjekker signalnivå
5	Sjekk feltenhet og ledning	Lokalisér fysisk feil

Feilsøking av PLS-utganger

Trinn 1: Identifiser problemet:

Start med å isolere feilen til én av følgende:

- Utgangsmodulen.
- Feltenheten (for eksempel motor, magnetventil og lampe).
- Ledningsnettet (inkludert sikringer og klemmer).

Trinn 2: Sjekk utgangsmodulens statusindikator:

- De fleste PLS-utgangsmoduler har status-LED for hver kanal.
  - Lyser: PLS har sendt signal om å aktivere utgangen.
  - Lyser ikke: Enten ingen kommando fra PLS, eller modulen virker ikke.

VIKTIG! Kontroller spenningsnivå.

!

KONTROLLER SPENNINGSNIVÅ.

- I et 120 V AC-system bør spenningen ligge mellom 108 og 132 V AC.
- For 24 V DC-systemer, bør spenningen være minst 21,6 V (10 % toleranse).
- Kontroller også sikringer på modulen – en sprengt sikring kan gjøre én eller flere utganger ubrukelige.

Trinn 3: Sjekk om modulen mottar kommando:

- Hvis PLS-programmet viser at utgangen bør være aktiv, men status-LED ikke lyser:
  - Feil i utgangsmodulens logikk eller krets. Bytt modul.
- Hvis LED lyser, men feltenheten ikke reagerer:
  - Feilen er enten i modulen sin utgangskrets, kabling eller feltenhet.

Trinn 4: Mål spenning på utgangsterminalen:
Mens utgangen er aktivert:

- Mål mellom utgangsterminal og returlinje (jord eller N)

Måling	Tolkning
Ingen spenning	Feil i utgangsmodulen – bytt modul
Riktig spenning	Feilen er i ledning eller feltenhet

Trinn 5: Sjekk feltenheten:

- Mål spenning på feltenheten, mens utgangen er på.
- Sørg for at returforbindelsen (nøytral, jord eller returledning) er tilkoblet.
- Hvis det er spenning og enheten ikke reagerer → Feltenheten er defekt.

Trinn 6: Omgå modulen – test feltenhet direkte:

- Koble fra utgangsledningene.
- Koble feltenheten direkte til en kjent, korrekt strømkilde.
  - Hvis den fungerer: Feilen er i ledning eller PLS-modul.
  - Hvis den ikke fungerer: Feltenheten er defekt.

Trinn 7: Sjekk kabler og tilkoblinger:

- Sjekk for:
  - Løse eller dårlige koblinger i klemmer.
  - Knekte eller avbrutte ledere langs kabelbaner.
  - Korrosjon eller løse kontakter.

Oppsummert – Feilsøkingsflyt for utganger:

Trinn	Handling	Hva det viser
1	Sjekk LED/statusindikator på utgang	PLS forsøker å aktivere
2	Sjekk riktig spenning til modulen	Bekreft forsyning og sikring
3	Bekreft kommando fra PLS	Verifiser signal fra CPU
4	Mål spenning på utgangsterminal	Modulens funksjon
5	Mål spenning på feltenhet	Signal frem til last
6	Test feltenhet direkte	Lastens funksjon
7	Sjekk ledninger	Fysisk integritet

Feilsøking av PLS-CPU – Trinnvis prosedyre

Trinn 1: Sjekk strømforsyningen:

- Kontroller at CPU og PLS generelt får riktig forsyningsspenning.
  - Eksempel: 24 V DC (vanlig), 120 V AC eller 230 V AC – avhengig av modell.
  - Bruk multimeter for å måle spenning inn på CPU-ens strømtilførsel.
- Kontroller også:
  - Sikringer (interne og eksterne)
  - Strøm til eventuelle utvidelsesmoduler

Måling	Tolkning
Riktig spenning	Fortsett feilsøking
Lav eller ingen spenning	Feil i strømforsyning eller sikring

Trinn 2: Observer CPU-statusindikatorer (LED):

De fleste CPU-er har lysdioder som viser:

- RUN – systemet kjører normalt
- ERR – feil (minne, program og hardware)
- PWR OK – strømtilstand
- COMM – kommunikasjons status med I/O eller HMI

Hva indikatorene viser:

LED-status	Tolkning
RUN lyser grønt	CPU kjører normalt
ERR lyser rødt	Feil i CPU, minne eller kommunikasjon
PWR OK er av	Ingen eller lav spenning
COMM blinker raskt	Aktiv kommunikasjon
COMM av	Ingen nettverkstilkobling eller feil på buss

Trinn 3: Sjekk systemdiagnose via programmeringsverktøy.

- Koble til med PLS-programmet (eks. ABB AC500, Rockwell RSLogix, Schneider EcoStruxure, osv.)
- Hent ut systemmeldinger, som ofte gir mer spesifikk feilinfo:
- Minnefeil.
- Fastvare-korrupsjon.
- Feilmodul.
- I/O-feil (tap av kommunikasjon til moduler).
- Noen systemer gir feilkoder – bruk produsentens manual for tolkning.

Trinn 4: Hvis CPU fortsatt ikke starter.

- Last opp backup-program om det er tilgjengelig.
- Restart CPU etter å ha koblet fra eventuelle feilmoduler.
- Prøv resett-knapp (dersom det finnes).
- Hvis CPU fortsatt ikke responderer:
  - Prøv fastvareoppdatering eller
  - Bytt CPU-enhet.

Vanlige årsaker til CPU-feil.

Feiltype	Forklaring
Overspenning	Strømforstyrrelser eller feil jordingssystem
Minnefeil	Korrupt program eller maskinvarefeil
Tap av kommunikasjon	Dårlig nettverkskabel eller defekt IO-modul
Varmeproblemer	Dårlig ventilasjon, høy temperatur i skapet

Oppsummert – Feilsøkingsflyt for CPU.

Trinn	Handling	Hva det viser
1	Sjekk strømforsyning og sikringer	Sikrer driftsspenning
2	Se på LED-indikatorer	Rask statusvisning
3	Bruk programmeringsverktøy	Feilkoder og systemdiagnose
4	Prøv omstart, last program eller bytt CPU	Gjenopprett funksjon eller lokaliser permanent feil

Oppsummering av PLC feilsøkingsmetoder

Bruk diagnoseverktøy i PLS-programvaren.

1. Dei fleste PLS-system (som ABB AC500, Schneider EcoStruxure, Allen-Bradley RSLogix osv.) har innebygde verktøy for å sjå:

- Status på innganger og utganger (live).
- Programflyt i ladder / blokker.
- Feilkoder eller alarmlogger.
- Kommunikasjons status (nettverk, moduler, etc.)

Dette er ofte det mest effektive verktøyet!

2. Sjekk innganger og sensorer fysisk og i programmet.

- Trykk på knapper og sjå om inngangen endrer status i programmet.
- Sjekk kabler, tilkoplinger og sensorer for skade, feil polaritet, brudd osv.
- Bruk multimeter om nødvendig.

3. Sjekk utganger og aktuatorer

- Er releet aktivt? Går motoren faktisk rundt?
- Sjekk Q-utgangen i programmet. Er den aktiv?
- Om PLS sier utgangen er på, men motoren ikke går → sjekk sikringer, kontaktorer og overlastvern.

4. Bruk LED-indikatorer på PLS-modulene

- Mange moduler har lysdioder som viser status:
  - Grønt → OK.
  - Blinkende → signal endrer seg.
  - Rødt → feil.
- Dette gir rask info uten PC-tilkopling.

5. Følg signalvegen logisk.

Start fra der feilen synest – og følg signalgangen både i program og fysisk:

EKSEMPEL

- Motor går ikke → Er Q-utgangen aktiv? → Er startbetingelse oppfylt i programmet? → Kommer signal fra startknapp? → Er sensorer i riktig posisjon?

6. Bruk alarm lister og logging.

- PLS-anlegg har ofte alarmfunksjoner og historikk.
- Sjå på tidsstempel og kva som skjedde like før feilen.
- Dette hjelper spesielt ved intermitterende feil (feil som kjem og går).

7. Tvungen styring / manuell test.

- Mange PLS-program tillater "force" eller tvungen aktivering av signal for test.
- OBS! Dette må gjæras forsiktig, og helst i vedlikeholds modus / med alt sikra.

8. Ha dokumentasjon lett tilgjengelig.

- Elektriske skjema.
- I/O-liste (oversikt over hva som er kopla til hvor).
- PLS-program med forklaringer.
- Feilkodeliste fra produsent.

Dokumentasjon sparer deg for mye tid!

TIPS TIL GOD FEILSØKING.

- Start med det enkle først (sikringer, kabler og strøm).
- Vær systematisk – ikke gjett.
- Ta notat underveis (feil kan komme tilbake).
- Ikke vær redd for å stoppe anlegget trygt om nødvendig.

PLS fra Schneider

Eksempel på en PLS (Programmerbar Logisk Styring) fra Schneider Electric som brukes både på land og om bord i skip (i maritime tavler og automasjonssystemer):

Eksempel: Schneider Modicon M580 Safety (PAC).

Parameter	Detaljer
Modell	Modicon M580 Safety (referanse: BMXSPUxxx)
Type	ePAC (Ethernet Programmable Automation Controller)
Bruksområde	Marine automasjon, kraftstyring, generatorstyring, ballast, HVAC
Kommunikasjon	Innebygd Ethernet, Modbus TCP/IP, IEC 61850, CANopen, Profibus
Sertifisering	IEC 61131–3, tilgjengelig med DNV/GL og Bureau Veritas typegodkjenning (avhenger av modul)
Sikkerhet	Tilgjengelig i SIL 2/3-versjon for sikkerhetskritiske systemer
I/O-moduler	Digital / Analog / HART / Pulse / RTD osv. – fleksibelt oppsett
Programmering	EcoStruxure Control Expert (tidligere Unity Pro)

Bruksområder om bord i skip:

System	Funksjon
Kraft og energistyring	Laststyring, lastavhengig generatorstart, bus-tie kontroll
Motor- og generatorstyring	Sekvenskontroll, synkronisering, nødstart
HVAC og kjøling	Automatisert styring av vifter, kompressorer, klimaanlegg
Ballast og pumpekontroll	Tankovervåking og ventilstyring
Alarm- og overvåkingssystem	IAS / AMS-systemer med tilknyttet HMI eller SCADA
Fjernovervåking	Via Ethernet og integrasjon mot skipsnettverk

Andre PLS-modeller fra Schneider:

Modell	Beskrivelse
Modicon M340	Kompakt PLS, godt egnet for mindre marine installasjoner
Modicon M241 / M251	Maskinkontroll og små systemer – ikke alltid marinegodkjent
Modicon X80 I/O	Modulære I/O-er kompatible med M580 og M340
Modicon Momentum / Premium	Eldre serier, brukt i mange skipskontrollsystemer tidligere



Foto: Schneider Electric

Kap 22 Definisjon av høyspenning

HØYSPENNING

I maritime og industrielle sammenhenger defineres høyspenning (HV – High Voltage) som elektriske systemer med en spenning over 1000 V AC (vekselstrøm) eller 1500 V DC (likestrøm). Spenninger fra 1000 V og opp til 22000 V blir også ofte kalt mellomspenning på landbaserte anlegg. Om bord i skip bruker vi kun benevnelsen høyspenning eller HV. Grunnen til det er at regelverk (f.eks. Solas) bruker kun LV (Low Voltage) og HV.

I skipsfart brukes ofte spenninger som 3,3 kV, 6,6 kV eller 11 kV for kraftdistribusjon.

Hvorfor brukes høyspenning på skip?

Skip med stort kraftbehov (f.eks. cruiseskip, LNG-tankere og offshorefartøy) benytter høyspenning av flere grunner:

1. Lavere strøm for samme effekt.
   - Effekten P i et elektrisk system er gitt av:

     $$P = U * \mathrm{I}$$

   - Hvis vi øker spenningen (U), kan vi redusere strømmen (I) for samme effekt.
2. Mindre tap i kabler.
   - Strøm gir varmetap i kabler:

     $$P_{\text{tap}} = R \cdot \ I^2 \ \rightarrow \Delta P = \ I^2 * R$$

   - Lavere strøm gir mindre tap og mer effektiv kraftoverføring.
3. Tynnere og lettere kabler.
   - Lavere strøm betyr at kablene kan ha mindre tverrsnitt, noe som reduserer vekt og kostnader.
   - Viktig på store skip der lange kabler går mellom generatorer og motorer.
4. Muliggjør elektrisk fremdrift.
   - Moderne skip bruker ofte diesel-elektrisk eller hybrid fremdrift, der høyspenning driver store elektriske motorer.
5. Bedre lastfordeling.
   - På store skip med flere generatorer er høyspenning viktig for effektiv lastfordeling.

Ulemper med høyspenning:

- Krever spesialutstyr og isolasjon for sikker drift.
- Strenge sikkerhetskrav (spesialopplæring kreves for å arbeide med HV-systemer).
- Økt risiko for lysbuedannelser (Arc flash), som kan være farlig for mannskapet.

- Høyspenning medfører høy kortslutningseffekt og stor lysbueenergi, selv ved moderate kortslutningsstrømmer

> $$S_k = \sqrt{3} * U * I_k$$

- Øker risiko for mekaniske og termiske skader.
- Gjør vern og selektivitet krevende.
- Krever tyngre, dyrere og mer plasskrevende utstyr.
- Øker faren for blackout og personskade.

!

Derfor brukes ofte reaktorer (induktiv spole), seksjonering og avanserte vern i skipsanlegg for å begrense og kontrollere kortslutningsnivået.

Sikkerhetstiltak for høyspenning på skip:

!

RISIKO

Høyspenning innebærer risiko for alvorlige skader og brann, så spesifikke sikkerhetstiltak er på plass for å beskytte både personell og systemer.

1. Opplæring og autorisasjon.

- Kun godkjent og sertifisert personell får arbeide med høyspenning.
- STCW-konvensjonen (Standards of Training, Certification, and Watchkeeping) krever spesialopplæring for maritime høyspenningssystemer.

2. Personlig verneutstyr (PPE – Personal Protective Equipment).

- Isolerende hansker og sko med høy spenningstoleranse.
- Flammehemmende klær for å beskytte mot lysbueeksplosjoner.
- Ansiktsvern og vernebriller for å beskytte mot gnister og lysbuer.

3. Lås-og-merkesystem (LOTO – Lock Out Tag Out).

- Før arbeid på HV-systemer må strømforsyningen frakobles, og brytere låses for å hindre utilsiktet aktivering.
- En synlig merking (tag) indikerer at systemet er ute av drift.

4. Isolasjons- og jordingsprosedyrer.

- Før vedlikehold må høyspenningsutstyr isoleres og jordes for å unngå restspenning.
- Spesielle avledningsstenger (earthing rods) brukes for å sikre at ingen farlig spenning er til stede.

5. Lysbuebeskyttelse (Arc Flash Protection).

- Lysbuer (Arc Flash) kan oppstå ved feil eller kortslutning og kan nå temperaturer på flere tusen grader.
- Tiltak for å redusere risikoen:
  - Bruk av «Arc Flash» reléer som kutter strømmen raskt.
  - Segregering av høyspenningskomponenter i lukkede rom.
  - Bruk av fjernstyrt operasjon for brytere i stedet for manuell betjening.

6. Nød prosedyrer.

- Skip har spesifikke nød prosedyrer for høyspenningsulykker, inkludert førstehjelp ved elektrisk støt og prosedyrer for rask nedkobling av systemet.
- Mannskap trener på HV-ulykkes scenarioer under sikkerhetsøvelser.

Høyspenningsgeneratorer på skip (HV-generatorer)

HV-GENERATORER

Høyspenningsgeneratorer brukes på store skip for å levere kraft til fremdriftssystemer, thrustere, pumper og annet elektrisk utstyr. De opererer vanligvis ved 3,3 kV, 6,6 kV eller 11 kV, avhengig av skipets størrelse og kraftbehov.

Hvordan fungerer en HV-generator på skip?

1. Dieselmotor eller gassturbin som primærkraft:
   - En stor dieselmotor eller en gassturbin driver generatoren mekanisk.
   - Noen skip, spesielt LNG-tankere, bruker også dual-fuel motorer som kan gå på både gass og diesel.

2. Synkrongenerator produserer høyspenning:
   - Generatoren er vanligvis en trefaset synkrongenerator som omdanner mekanisk energi til elektrisk energi.
   - Den genererer spenning typisk på 3,3 kV, 6,6 kV eller 11 kV, 50 eller 60 Hz, avhengig av skipets system.

3. Exciter-system for magnetfelt:
   - En exciter (eksitasjons generator) gir strøm til generatorens feltviklinger for å opprettholde magnetfeltet.
   - Dette sikrer stabil spenning under varierende last.

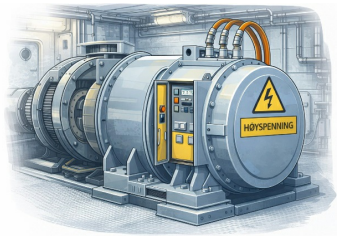
4. Transformering og distribusjon:
   - Noen skip bruker step-up transformatorer for å øke spenningen hvis de har en 11 kV kraftdistribusjon.
   - Strømmen distribueres gjennom høyspenningstavler til thrustere, fremdriftsmotorer og annet kritisk utstyr.

Fordeler med høyspenningsgeneratorer på skip:

- Høyere effektivitet – Reduserer strømstyrken for samme effekt, noe som gir lavere kabeltap.
- Lavere vekt og plassbehov – Mindre kabler og tavler sammenlignet med lavspenningssystemer.
- Bedre lastfordeling – Effektiv kraftdistribusjon på store skip med høyt energibehov.

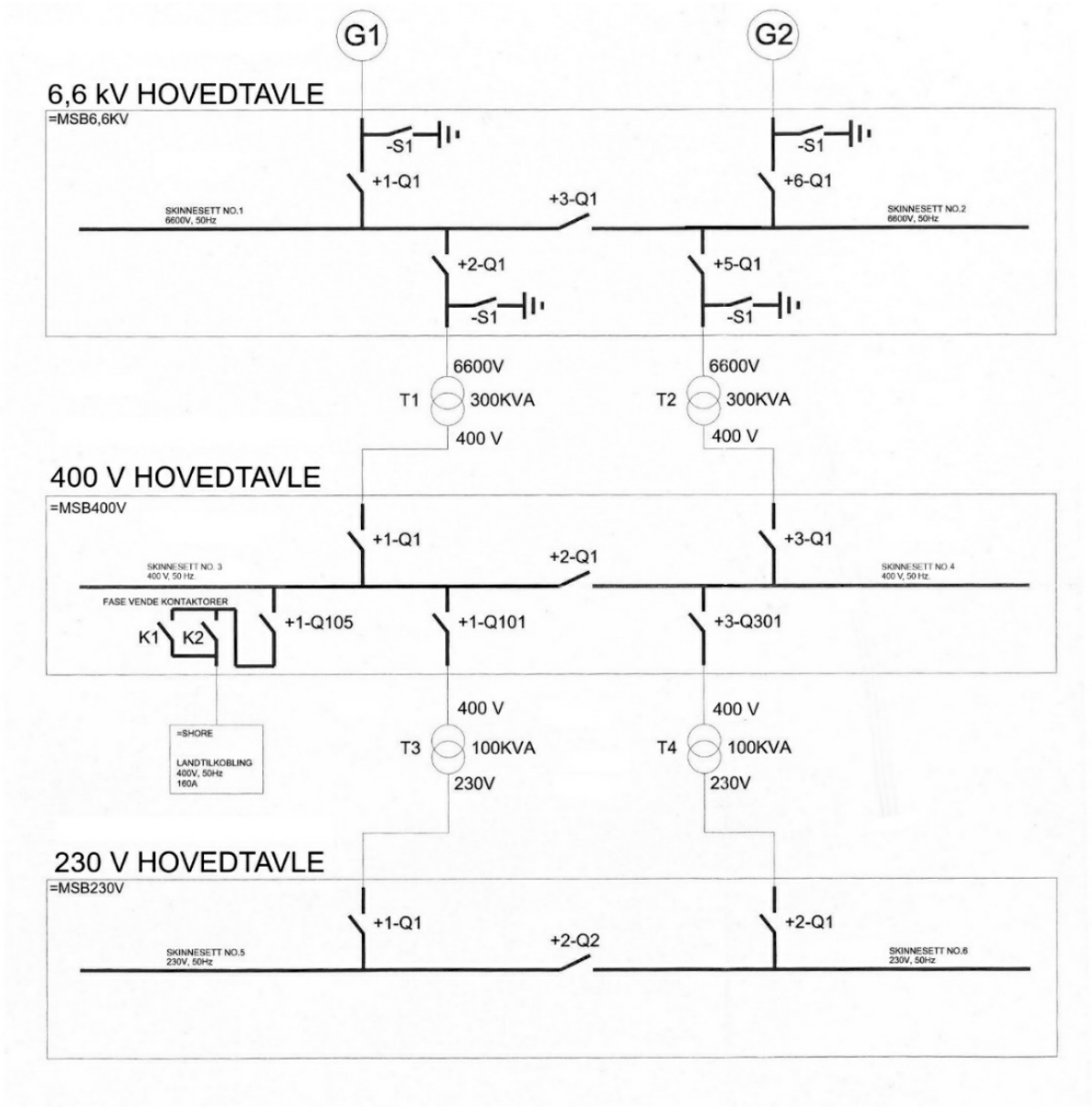
Utfordringer med høyspenningsgeneratorer:

- Krever spesialisert vedlikehold – Høyspenningsutstyr er mer komplekst og krever kvalifisert personell.
- Isolasjonskrav – Høyere spenning betyr at bedre isolasjon og sikring er nødvendig.
- Fare for lysbuer – Høyspenningssystemer har høyere risiko for lysbuedannelser som kan skade utstyr og personell.
- Store kortslutningsstrømmer.



Her er en skisse av et høyspenningsgeneratoranlegg på et skip.
Denne illustrerer hvordan kraft genereres og distribueres til ulike systemer:

- HV-generatorer (3,3 kV, 6,6 kV eller 11 kV) drevet av dieselmotorer eller gassturbiner.
- Hovedtavler (HV Switchboard) som fordeler kraften til fremdriftsmotorer, thrustere og annet utstyr.
- Transformatorer som senker spenningen fra høyspent til lavspent (6,6 kV/400V).
- Transformatorer som senker spenningen for lavspent forbrukere (400V/230V).
- Landstrømtilkobling for alternativ kraftforsyning i havn.



Oppbygging av høyspent tavler om bord i skip

HV-TAVLE

En HV-tavle om bord i skip er et lukket, seksjonert anlegg for sikker fordeling, vern og kontroll av høyspenning (> 1 kV)**.** Tavlen er konstruert for høy driftssikkerhet, personsikkerhet og selektiv utkobling ved feil.

1. Kapsling og seksjonering.

HV-tavler er normalt:

- Metallkapslet,
- delt inn i separate rom/soner for å begrense konsekvenser av feil.

Vanlig inndeling:

- samleskinneseksjon,
- bryterrom,
- kabelrom,
- kontroll- og vernerom.

Formål:
Hindre feilspredning og redusere risiko ved lysbue eller kortslutning.

2. Samleskinner (busbars).

- Leder strømmen mellom generatorfelt, seksjonsfelt og utgående kurser.
- Ofte isolerte eller kapslet.
- Dimensjonert for:
  - Merkestrøm,
  - Kortslutningsstrøm,
  - termiske og mekaniske påkjenninger.

Samleskinnene er normalt ikke tilgjengelige under drift.

3. Bryterfelt.

Hvert felt inneholder normalt:

- høyspenningsbryter (ofte vakuumbryter),
- mekaniske og elektriske sperrer,
- posisjonsindikering (INN / UT / JORDET).

Bryteren brukes til:

- inn- og utkobling ved normal drift,
- automatisk utkobling ved feil.

Uttrekkbare brytere er vanlig om bord, fordi de:

- gir tydelig frakoblet tilstand,
- forbedrer personsikkerhet,
- forenkler vedlikehold.

4. Vern og kontroll.

Hver kurs er utstyrt med:

- verne releer (overstrøm, jordfeil, differensial osv.),
- måleutstyr (spenning, strøm og effekt),
- lokal og fjernbetjening.

Vernene sørger for:

- rask og selektiv utkobling,
- begrensning av skadeomfang.

5. Kabelrom.

- Tilkobling av høyspenningskabler.
- Kabelavslutninger og eventuelle rette skjøter.
- Tilrettelegging for arbeidsjording og endepunktsjording.

Kabelrommet er ofte:

- adskilt fra bryterrom,
- tilrettelagt for sikkert vedlikehold.

6. Jording.

HV-tavlen har:

- permanent driftsjording av kapsling og stativ
- tilkoblingspunkt for **arbeidsjording**
- løsninger for endepunktsjording ved arbeid på kabler eller felt

Jording er en integrert del av personsikkerheten i HV-tavlen.

7. Sikkerhetsfunksjoner.

Typiske sikkerhetstiltak:

- mekaniske sperrer (kan ikke åpne feil rom i feil tilstand),
- nøkkelsystemer,
- tydelig merking og stillingsindikering,
- tilgangsstyring.

Disse skal hindre:

- feilbetjening,
- utilsiktet spenningssetting,
- adgang til spenningsførende deler.

Høyspent-tavler vs. lavspent-tavler om bord i skip

OVERORDNET FORSKJELL

LV-tavler er bygget for tilgjengelighet og daglig drift – HV-tavler er bygget for kontroll, avgrensning og personsikkerhet.

Sammenligning i tabellform.

Tema	LV-tavle	HV-tavle
Spenningsnivå.	≤ 1 000 V AC.	> 1 000 V AC (3,3 / 6,6 / 11 kV)
Bruksområde.	Generell fordeling, forbrukere.	Hoveddistribusjon, generatorer, trafoer og store motorer.
Tilgjengelighet.	Ofte betjent av driftspersonell.	Kun autorisert HV-personell.
Kapsling.	Tavlefelt, ofte åpne rom.	Metallkapslet, seksjonert.
Seksjonering.	Begrenset.	Streng romdeling (samleskinner, bryterrom og kabelrom).
Brytere.	Automatsikringer, effektbrytere.	Vakuumbrytere / lastskillebrytere.
Uttrekkbare enheter.	Vanlig.	Nærmest standard.
Kortslutningsnivå.	Svært høy strøm (kA).	Lavere strøm, men høy energi.
Vern.	Overstrøm, kortslutning, jordfeil.	Avanserte vern (selektivitet, differensial, jordfeil).
Jording.	Driftsjording.	Driftsjording + arbeidsjording.
Arbeidsprosedyrer	Enkle LOTO-rutiner.	Formell HV-arbeidsflyt (LFS/LFK).
Risiko ved feil.	Høy strøm → varme og brann.	Høy energi → lysbue og livsfare.

Arbeid og vedlikehold – grunnleggende forskjell.

LV-tavle:

- Spenningsløst arbeid kan ofte utføres lokalt.
- Mindre formalisert arbeidsflyt.
- Lavere terskel for tilgang.

HV-tavle:

- All aktivitet krever:
  - Planlegging,
  - klar rollefordeling,
  - dokumentert arbeidsflyt.
- Arbeidsjording er obligatorisk.
- Tilgang er strengt kontrollert.

Generatorbryter i høyspente systemer?

For generatorer med spenning >1 kV (typisk 3.3 kV, 6.6 kV, 11 kV), brukes:

Spesialdesignede høyspenningsbryter med GCB-funksjon, (Generator Circuit Breaker) f.eks.:

Produsent	Produkt	Merknad
ABB	VD4-G	Vakuumbryter for generatorvern
Schneider	EvoPacT HVX (med GCB-konfig.)	Må spesifiseres riktig og vurderes for marine bruk
Eaton	VCP-WG	Marine og offshore-sertifisert GCB

Disse er konstruert for:

- Høy kortslutningseffekt.
- Hurtig bryting for lav frekvens (30--50 Hz).
- Stabilitet ved synkrongeneratorforhold.
- Maritim godkjenning ved behov.

Schneider brytere i høyspenningsanlegg om bord i skip.

SCHNEIDER BRYTERE

For høyspente generatorer (> 1 kV, f.eks. 3,3 kV, 6,6 kV, 11 kV), brukes spesialiserte høyspennings brytere med GCB-funksjonalitet, og Master Pact er ikke egnet. Men Schneider har relevante alternativer:

1. Evolis17 (vakuumteknologi).

- Marin-godkjent for spenninger opptil 17,5 kV.
- Sertifisering fra DNV-GL, Lloyds Register, Bureau Veritas.
- Spesialutviklet for maritim generatorbruk.
- Tilgjengelig i forskjellige strømstyrkealternativer.

2. LF (SF_6) og Rollarc (SF_6-kontaktor).

- Også godkjent for skip opptil 17,5 kV.
- Kan brukes for kontakter eller enkel bryting i offshore-/marine installasjoner.

3. CVX / CBX kontaktorer (vakuumteknologi).

- Egnet for bryter-kontaktor kombinasjoner om bord.

4. EvoPacT HVX

- Moderne digital vakuumbryter for 12--24 kV fra Schneider.
- IKKE maritimt sertifisert som generatorbryter i skip uten spesialgodkjenning.
- Kun distribuert på landbaserte applikasjoner.

OPPSUMMERING OG ANBEFALING:

Scenario Høyspenningsgenerator om bord	Anbefalt produkt	Kommentar
Vakumbryter	Evolis17	Maritimt sertifisert vakuumbryter (≤ 17,5 kV).
SF_6 alternativ	LF, Rollarc	Brytere/kontaktorer med maritim godkjenning.
Kontaktor-bryter kombinasjon	CVX/CBX	Vakumteknologi, marin godkjent.

SF6 brytere.

SF_6-gass (svovelheksafluorid) brukes tradisjonelt i høyspenningsanlegg som generatorbrytere og GIS-anlegg (gassisolerte koblingsanlegg) på grunn av dens svært gode isolasjons- og slukkeegenskaper. Men bruken av SF_6 er på vei ut av flere grunner – først og fremst miljøhensyn:

1. Ekstremt høy drivhusgass-effekt:
   - SF_6 er en kraftig klimagass med et globalt oppvarmingspotensial (GWP) ca. 23 500 ganger større enn CO_2 over 100 år.
   - Den har også en levetid i atmosfæren på over 3 000 år.
   - Selv små lekkasjer har en betydelig miljøpåvirkning.

2. Strengere regelverk og utfasing:
   - EU og Norge har satt i gang regelverk og tiltak for å redusere utslipp av SF_6.
   - EU-forordningen om fluorholdige klimagasser (F-gasser) er blitt revidert, og målsetningen er å fase ut SF_6 i nyinstallasjoner innen de neste tiårene.
   - Fra 2026 og fremover trappes kravene betydelig opp.

3. Tilgjengelige miljøvennlige alternativer:
   - Teknologien har utviklet seg, og det finnes nå SF_6-frie alternativer som bruker luft, vakuum eller nye, mindre skadelige gasser (som g^3 eller dry air).
   - Flere produsenter (f.eks. ABB, Schneider, Siemens, GE) tilbyr nå SF_6-frie brytere og koblingsanlegg.

4. Kostnader og ansvar:
   - Håndtering av SF_6 er kostbart og krever spesialkompetanse.
   - Lekkasjer må rapporteres og kan medføre bøter eller sanksjoner.
   - Redusert bruk av SF_6 reduserer langsiktige driftskostnader og miljøansvar.



Schneider sin SF_6 bryter

To av Schneider sine høyspentbrytere



EvoPacT HVX



Evolis17

ABB høyspent bryter, type VD4.



Vakuum høyspentbryter fra ABB, type VD4

ABB VD4 er en høyspennings vakuumbryter som brukes i høyspenningsanlegg om bord i skip for sikker inn- og utkobling samt beskyttelse av elektriske kurser.

Funksjon om bord.

VD4-bryteren brukes typisk i:

- hoved- og seksjonstavler for høyspenning,
- generator- og transformatorfelt,
- motor- og fordelingskurser.

Bryteren er konstruert for å:

- bryte laststrøm ved normal drift,
- koble ut ved feil, som kortslutning eller overstrøm,
- muliggjøre sikker frakobling ved vedlikehold.

Teknologi – vakuumbryter.

VD4 benytter vakuum som brytemedium. Når bryteren åpner:

- slukkes lysbuen inne i et lukket vakuumkammer,
- kontakt- og isolasjonsdeler utsettes for minimal slitasje,
- bryteren får lang levetid og høye bryteytelser.

Dette gjør vakuumbrytere spesielt godt egnet i maritime miljøer, der:

- plass er begrenset,
- pålitelighet er kritisk,
- vedlikehold bør være minimalt.

Typiske spenninger om bord.

I maritim sammenheng brukes VD4 hovedsakelig som høyspenningsbryter (> 1 kV), typisk:

- 3,3 kV.
- 6,6 kV.
- 11 kV**.**

Bryteren leveres i varianter tilpasset:

- ulike merkestrømmer,
- kortslutningsnivåer,
- faste eller uttrekkbare løsninger i høyspenningstavler.

Konstruksjon og drift.

- Tre separate vakuumpoler (én per fase).
- Fjærmekanisme med lagret energi for sikker inn- og utkobling.
- Kan leveres som uttrekkbar bryter, noe som:
  - forbedrer personsikkerhet,
  - forenkler vedlikehold,
  - gir tydelig skille mellom drift og frakoblet tilstand.

Σ

OPPSUMMERING:

ABB VD4 er en høyspennings vakuumbryter brukt i maritime høyspenningsanlegg for sikker kobling, beskyttelse og frakobling av elektriske kurser ved 3,3 kV, 6,6 kV og 11 kV.

Høyspent kabler om bord i skip

HELMACAB

Helmacab er ei finsk kabelprodusent som designer og lager spesialkabler for ulike industrielle applikasjoner, med hovedfokus på:
- Marine og offshore-kabler (skip, offshore-installasjoner).
- Industrielle kabler.
- Telekom- og data/kommunikasjonskabler.
- Hybrid- og instrumenteringskabler.

Helmacab tilbyr kabler for høyspenning om bord i skip, inkludert kabeltyper laga for 3,6/6 kV og 6/10 kV, og til og med høgre nivå (som 8,7/15 kV og 12/20 kV) for tyngre distribusjon og elektriske system, tilpassa marine og offshore-bruk.

Helmacab sine høyspenningskabler:

Helmacab har en egen serie med «high voltage marine power cables» (LKMSM-MV) som er spesial-designa for krevende maritime og offshore-miljø:

Typiske spenninger i serien.

- 3.6/6 kV – tilsvarer ca. 6 kV driftsspenningsnivå.
- 6/10 kV – dekker 6,6 kV / 10 kV-bruk.
- 8.7/15 kV, 12/20 kV, og oppover – for enda høgre spenningsnivå der det er behov.
  Serien går altså fra 3,6/6 kV og oppover --- som passer godt for 6,6 kV og liknende marine høyspenningsnett.

Hvordan disse kablene er oppbygde:
Høyspennings-kablene fra Helmacab (LKMSM-MV) har typisk følgende hovedlag og egenskaper:

Oppbygging (framleis for marine høyspenning).

1. Leder – flertrådet kopper av høy kvalitet (IEC 60228-standard).
2. Isolasjon – XLPE (kryssbundet polyetylen) isolasjon som tåler høyspenning og høy temperatur.
3. Skjerm (elektrisk skjerming) – ofte koppeteip eller sjikt som gir jevn felt fordeling og reduserer elektrisk interferens.
4. Fyllmateriale – ekstrudert fyll for å gjære kabelen rund og stabil.
5. Armering – koppertrådbinding/armering gir mekanisk styrke i røffe marine miljø.
6. Ytre kappe – halogenfri, flamme- og røykbegrensa marin kappe (SHF1) for trygg installasjon på skip.
   - Denne strukturen er konstruert for mekanisk robusthet, elektromagnetisk skjerming og god isolasjon under drift i skipsinstallasjoner.

Godkjennings- og marine-egenskaper.

Helmacab sine marine høyspenningskabler er:

- Halogen-frie og lav-røyk ved brann.
- Flamme-retarderte i henhold til IEC-standarder.

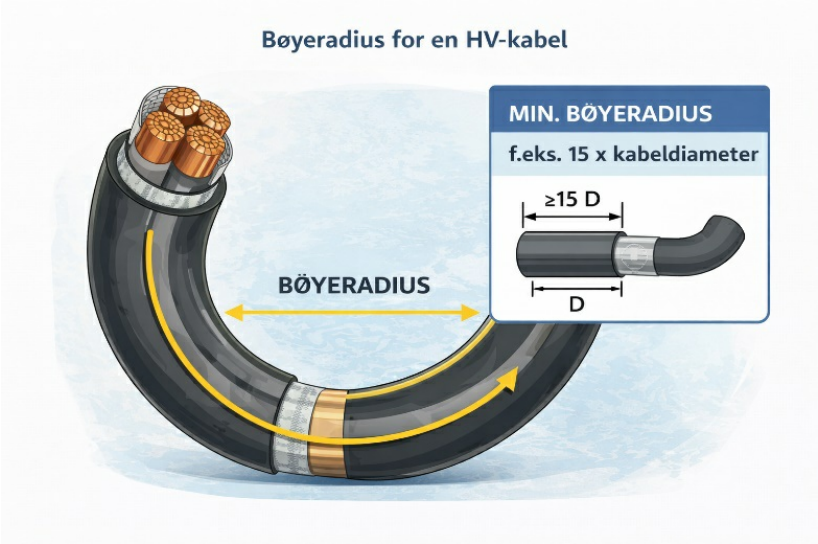


Godkjent av marine klasseselskap som DNV, ABS, LR m.fl. og tåler salt, fukt, vibrasjon og temperaturområde som er vanlig på skip og offshore-installasjoner.

Bøyeradius på HV kabler

BØYERADIUS

Bøyeradiusen er et svært viktig tema for høyspenningskabler, spesielt på skip. Grunnen er at feil bøying kan gi skjult skade som først viser seg lenge etterpå.



Illustrasjon: AI-generert prinsippskisse (ChatGPT).

Hva er bøyeradius?

Bøyeradius er den minste tillatte radiusen en kabel kan bøyas med uten å bli skadd.

I praksis:
Kor «slak» svingen må være når kabelen blir bøyd.

Den blir alltid oppgitt som:

> $\text{Min. boyeradius} = k \times D$ der:

- D = ytre diameter på kabelen.
- k = faktor (ofte 6--20, avhengig av kabeltype og situasjon).

Hvorfor er bøyeradius ekstra kritisk for høyspent skipskabler?

1. Tjukk og stiv isolasjon.

Høyspenningskabler har:

- Tjukk XLPE-isolasjon.
- Semikonduktive lag.
- Skjerm og ofte armering.

Dette gjær kabelen stiv, og isolasjonen toler dårlig strekk.

2. Bøying gir strekk og trykk.

Når kabelen blir bøyd:

- Yttersida av bøyen blir strekt.
- Innsida blir pressa sammen.

Om bøyen er for skarp:

- Mikroskopiske sprekker kan oppstå i isolasjonen.
- Skjermlag kan løsne fra isolasjonen.
- Elektrisk felt blir ujamnt.

Dette øker risikoen for delutladninger (PD).

(PD: Dersom feltstyrken blir for høy i en liten del av isolasjonen).

3. Skade er ofte usynlig.

Dette er ekstra farlig fordi:

- Kabelen kan sjå heilt fin ut.
- Skaden ligg inne i isolasjonen.
- Feil kan komme etter:
  - måneder.
  - år.
  - første høy belastning.

Spesielt på skip.

I skipsinstallasjoner:

- Trange kabelveier.
- Mange 90°-bøyer.
- Vibrasjon og rørsle.
- Temperaturendringer.

En kabel som er bøyd for hardt:

- Aldres raskere.
- Kan feile plutselig.
- Er vanskelig å reparere.

Typiske verdier.

For høyspennings skipskabler (1–11 kV):

Situasjon	Min. bøyeradius
> Under installasjon	> **≥ 15 × D**
> Permanent lagt	> **≥ 12 × D**
> Med armering	> **≥ 18--20 × D**

Minimum bøyeradius fastsettes av produsent.

Produsentens datablad har alltid siste ord.

Når er risikoen størst?

- Under trekking i kabelstige/rør.
- Ved endeterminasjoner og skjøter.
- I trange bend rundt skott og dekk.
- Når kabelen er kald (mindre fleksibel).

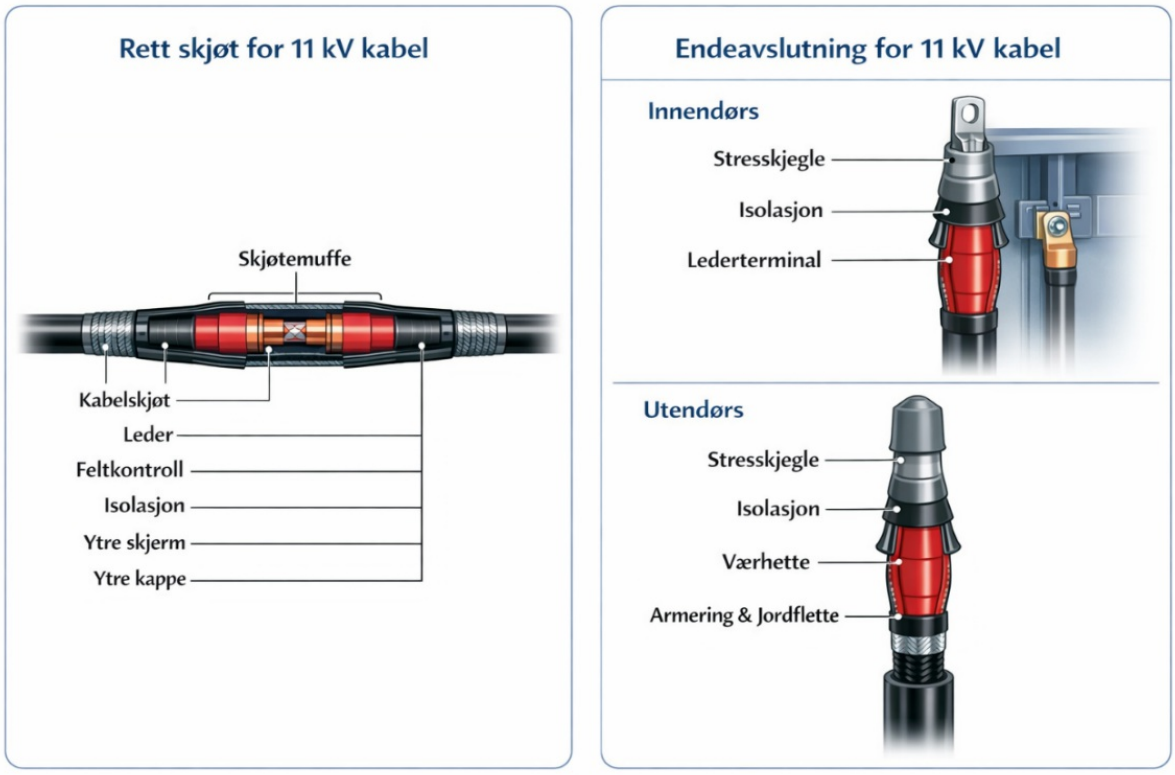
Σ

KORT OPPSUMMERT

For liten bøyeradius kan:
- Skade isolasjonen.
- Skape ujamnt elektrisk felt.
- Gi delutladninger.
- Forkorte levetida dramatisk.

- **En kabel toler strøm – men ikke brutale bøyer.**

Skjøter og endeterminering



Figur 1 & Figur 2

Figur 1 – Rett skjøt for 11 kV høyspenningskabel:

Rett skjøt for høyspenningskabel. Skjøten sikrer elektrisk, mekanisk og termisk kontinuitet mellom to kabelender. Riktig feltkontroll er avgjørende for å hindre delutladninger og isolasjonssvikt.

Forklaring – lag for lag:

1. Leder.

Lederne forbindes med press- eller skrukobling som gir lav overgangsmotstand og god strømføringsevne.

2. Skjøtemuffe / lederkobling.

Mekanisk og elektrisk forbindelse mellom lederne. Må være korrekt dimensjonert for kortslutningsstrøm og termisk belastning.

3. Feltkontroll (stresskontroll).

Utjevner det elektriske feltet i overgangen mellom kabelisolasjon og lederkobling. Dette forhindrer lokale feltforsterkninger og delutladninger.

4. Isolasjon.

Gjenoppretter kabelens opprinnelige isolasjonsnivå (typisk XLPE eller EPR) og skal tåle nominell spenning og overspenninger.

5. Ytre skjerm.

Elektrisk kontinuitet i skjermen sikres for korrekt jording og returvei for feilstrømmer.

6. Ytre kappe.

Gir mekanisk beskyttelse og beskyttelse mot fukt, kjemikalier og ytre påvirkninger.

Figur 2 – Endeavslutning for høyspennings kabel (innendørs og utendørs).

Endeavslutning for høyspennings kabel, vist for innendørs og utendørs montasje. Endeavslutningen kontrollerer det elektriske feltet der kabelen avsluttes mot luft eller koblingsutstyr.

Innendørs endeavslutning:

1. Stresskjegle.
   Reduserer og kontrollerer det elektriske feltet der kabelskjermen avsluttes.
2. Isolasjon.
   Sikrer nødvendig isolasjonsavstand mot jord og andre faser.
3. Lederterminal.
   Mekanisk og elektrisk forbindelse til samleskinne, bryter eller transformator.

Utendørs endeavslutning:

1. Stresskjegle.
   Samme funksjon som innendørs, men ofte mer robust utførelse.
2. Isolasjon.
   Utformet med større krypestrømavstand for å tåle forurensning, fukt og vær.
3. Værhette.
   Beskytter mot regn, UV-stråling og forurensning.
4. Armering og jordflette.
   > Sørger for sikker jording og mekanisk avlastning.

!

KRITISKE PUNKT

Endeterminasjoner og skjøter er dei mest kritiske punkta i et høyspenningsanlegg fordi dei bryt den perfekte, fabrikk-kontrollerte kabeloppbygginga. Her er forklaringa, steg for steg.

1. Kabelen er «perfekt» – heilt til han blir brutt.

En høyspenningskabel fra fabrikk har:

- Konsentrisk geometri.
- Jamn isolasjon.
- Kontrollerte semikonduktive lag.

Elektrisk felt er jamt fordelt.

Når du lager:

- en endeterminasjon (overgang kabel → luft/utstyr),
- en skjøt (kabel → kabel),
  ... må du skjære bort og bygge opp igjen denne strukturen manuelt.

Då øker risikoen dramatisk.

2. Elektrisk felt blir konsentrert i overganger.

Hvorfor?

- Skjerm og semikonduktive lag slutter brått.
- Isolasjonen møter:
  - Luft.
  - Anna isolasjon.
  - Metall med anna geometri.

Dette gir:

- Sterk feltkonsentrasjon.
- Lokalt mye høyere felt enn kabelen er dimensjonert for.

3. Stresskontroll – stresskjeglen sin rolle.

For å hindre feltkollaps brukar en stresskontroll, ofte kalla:

Stresskjegle / stress cone.

Den:

- «drar ut» feltlinjene,
- øker avstanden feltet virker over,
- gjær overgangen gradvis i staden for brå.

Uten god stresskontroll:

- Delutladninger starter raskt.
- Isolasjonen brytes ned.

4. Delutladninger oppstår lett i skjøter.

Skjøter er ekstra sårbare fordi:

- Dei blir montert ute i felt.
- Små feil er vanskelige å unngå:
  - luftlommer,
  - ureinheter,
  - feil pressing,
  - feil temperatur under montering.

Resultat:

- Delutladninger (PD).
- Gradvis nedbryting.
- Plutselig havari – ofte uten forvarsel.

5. Termisk og mekanisk belastning.

I tillegg til elektrisk stress:

Varme.

- Skjøten har ofte:
  - litt høyere overgangsmotstand.
- Gir lokal temperaturauke.
- Akselererer aldring av isolasjon.

Mekanikk.

- vibrasjon, rørsle,
- termisk utviding / samantrekking,
- kan skape mikroskopiske sprekker over tid.

Derfor blir dei testa ekstra nøye.

I høyspenningsanlegg:

- Dei fleste feil skjer i skjøter og endeterminasjoner.
- Derfor:
  - PD-måling,
  - høgspenningstest (AC/VLF),
  - visuell og termisk kontroll.

!

!

En kabel kan være feilfri i 40 år, men en dårlig skjøt kan feile etter uker eller måneder.

Σ

KORT OPPSUMMERT.

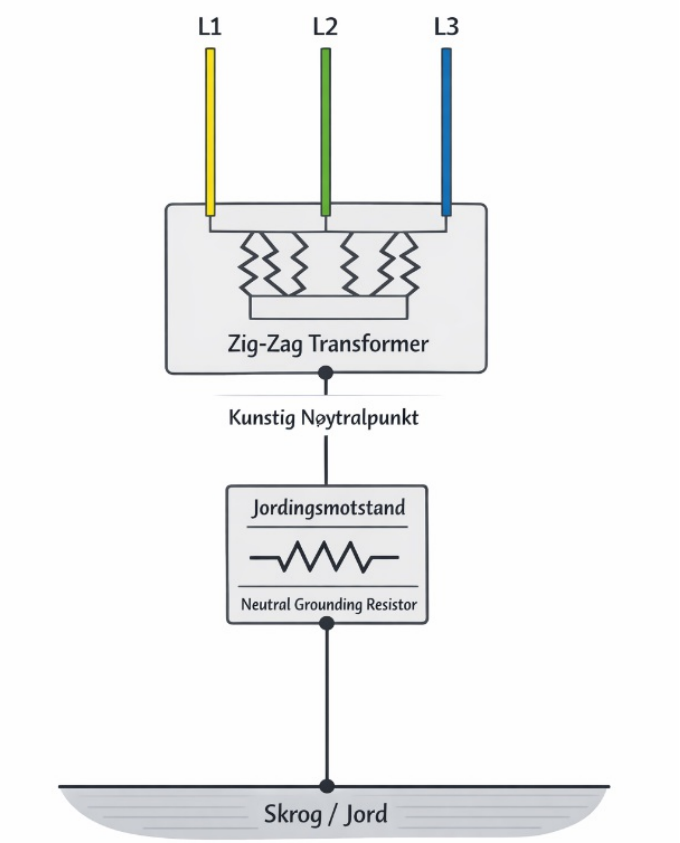
Endeterminasjoner og skjøter er kritiske fordi:
- Dei bryt kabelens symmetri.
- Elektrisk felt blir konsentrert.
- Små monteringsfeil får store konsekvenser.
- Dei er mer utsette for varme og mekanisk stress.

- **Kabelen er sterkest i midten – svakest i endene.**

Jording i maritime anlegg – jordingstrafo og jordingsmotstand

I mange maritime høgspenningsanlegg (t.d. 3,3 kV, 6,6 kV og 11 kV) er nøytralpunktet ikke direkte jordet. I staden bruker en:

- Jordingstrafo,
- jordingsmotstand (resistor).



Dette gir kontrollert jording av systemet.

1. Hvorfor treng vi kontrollert jording om bord?

Skip har:

- avgrensa jordingssystem,
- metallisk skrog,
- korte kabelstrekk,
- høg driftstryggleik som krav.

Direkte jordet system ville gitt:

- svært høy jordfeilstrøm,
- store skader,
- risiko for blackout.

Derfor vel en resistivt jordet system.

2. Jordingstrafo – kva er det?

En jordingstrafo er en transformator som:

- skaper et kunstig nøytralpunkt,
- i et system som ellers ikke har tilgjengelig nøytral (t.d. Δ-kopla generatorer)

Vanlige typer.

- Zig-zag-trafo (mest brukt).
- Y/Δ-trafo (sjeldnere).

Hvordan virker jordingstrafoen?

- Under normal drift:
  - ingen strøm i jordingstrafoen.
- Ved jordfeil (en fase mot skrog/jord):
  - strøm går:
    - fra feila fase,
    - via jord,
    - gjennom jordingstrafoen,
    - tilbake til systemet.

Jordingstrafoen gir en returvei for jordfeilstrøm.

3. Jordingsmotstand (resistor) – funksjon.

Jordingsmotstanden blir koblet:

- mellom jordingstrafoens nøytralpunkt, og skipets jord (skrog).

Hovedoppgaver.

- avgrense jordfeilstrømmen,
- dempe overspenninger,
- redusere termiske og mekaniske påkjenninger.

Hvorfor ikke direkte jord?

Uten motstand:

- jordfeilstrøm ≈ kortslutningsstrøm,
- kraftig lysboge,
- stor skade,
- rask utkobling → blackout.

Med motstand:

- jordfeilstrøm blir:
  - lav,
  - kontrollert,
  - ikke ødeleggende.

4. Høyohmig vs. lavohmig jording.

Høyohmig jordet system (vanlig på skip).

- Jordfeilstrøm:
  - typisk 5--10 A (noen ganger opp til 25 A)
- Første jordfeil:
  - gir alarm,
  - ikke utkobling.
- Skipet kan holde fram i drift.

Dette er standard i maritime anlegg.

Lavohmig jordet system.

- Høyere jordfeilstrøm.
- Jordfeil gir:
  - rask utkobling.
- Mindre brukt på skip.

5. Kva skjer ved jordfeil?

Normal drift.

- Systemet er symmetrisk.
- Ingen strøm i jordingstrafo / resistor.

Første jordfeil (fase--skrog).

- Strømm går via:
  - fase → skrog → jordingsmotstand → jordingstrafo.
- Spenningene forskyv seg:
  - frisk fase får høyere jordspenning.
- Jordfeilovervaking gir alarm.

Drift kan holde fram.

Andre jordfeil (annen fase).

- Blir i praksis:
  - fase--fase-kortslutning.
- Vern løyser ut.
- Utkobling nødvendig.

6. Samspill med jordfeilovervaking.

Jordingstrafo + motstand gjær det mulig å:

- måle jordfeilstrøm,
- måle forskyving av nøytralpunkt,
- gi alarm ved første feil,

Dette er heilt avgjærende for:
- trygg drift,
- planlagt vedlikehold.

7. Hvorfor er dette ideelt for skip?

Fordeler:

- Drift held fram ved første jordfeil.
- Liten skadeenergi.
- Redusert brannfare.
- Mindre mekanisk stress på utstyr.

Ulemper:

- Krev overvåking.
- Krev disiplin i vedlikehold.
- Andre jordfeil er kritisk.

I maritime anlegg blir nøytralpunktet jordet via jordingstrafo og jordingsmotstand for å avgrense jordfeilstrømmen, slik at første jordfeil bare gir alarm og ikke utkobling.

Arbeidsjording

ARBEIDSJORDING

Arbeidsjording, også kjent som midlertidig jording, er et viktig sikkerhetstiltak ved arbeid på høyspentanlegg, og det er en metode for å beskytte personer som arbeider med elektriske anlegg mot elektrisk støt. Når du arbeider på høyspentanlegg, er det nødvendig å sikre at det elektriske systemet er trygt for de som jobber på det.

Arbeidsjording innebærer å koble den elektriske anleggets leder (som potensielt kan være under spenningspåvirkning) til jord ved hjelp av et jordingstiltak som utføres midlertidig før arbeidet starter. Dette sørger for at anlegget ikke kan bli farlig for de som jobber på det, selv om det skulle oppstå en feil som fører til at anlegget får spenningsførende deler.

Formål med arbeidsjording:

1. Beskytte arbeidstakere: Når arbeid utføres på høyspentanlegg, kan det oppstå feil, som kortslutning eller feil på isolasjon, som kan føre til at deler av anlegget får spenningsførende deler. Ved å jord forbinde anlegget, sikres det at en eventuell feilspenning blir sendt direkte til skroget og ikke videre til arbeidstakeren.
2. Hindre fare for elektrisk støt: Arbeidsjording gjør det vanskelig for elektrisk strøm å strømme gjennom personer som er i nærheten av anlegget, da anlegget er jordet, og strømmen dermed ledes bort til skroget.
3. Forebygge induksjon: Når det er høyspenning i nærliggende kabler eller anlegg, kan det oppstå induksjon som kan gi farlige spenninger. Arbeidsjording sikrer at slike induksjonsspenningsforhold blir eliminert.

Hvordan arbeidsjording utføres:

1. Før arbeidet begynner: Før noen begynner å arbeide på høyspentanlegget, skal det kobles til et jordingstiltak for å sikre at anlegget er jordet. Dette gjøres ved å bruke et arbeidsjordingssett, som inkluderer jordingskabler og jordingsklemmer.
2. Tilkobling av arbeidsjording: Det er viktig å koble jordingen til riktig punkt på anlegget. Jordingen bør kobles til jordpunkter som er lett tilgjengelige, og der det er mulig å føre strømmen trygt bort til jord.
3. Kontroller og merk arbeidsjordingen: Arbeidsjordingen må alltid kontrolleres før arbeidet begynner, for å forsikre seg om at forbindelsen er stabil og sikker. Jordingsutstyret skal være godt merket slik at det er lett å identifisere og sjekke.
4. Fjern jording etter arbeid: Når arbeidet er fullført, og anlegget er sikkert for tilkobling til strømforsyningen igjen, skal arbeidsjordingen fjernes før strømtilførselen gjenopprettes. Dette er for å unngå at jordingen forstyrrer driften av anlegget.

Arbeidsjordingens betydning i forhold til sikkerhetsforskrifter:

- NEK 440:2022 stiller krav til sikkerhet ved arbeid på høyspentanlegg i Norge. En av de viktigste sikkerhetstiltakene er arbeidsjording, som alltid skal være etablert før arbeid på anlegget starter.
- Sikkerhet for arbeidere: I henhold til arbeidsmiljøloven og forskrifter om elektrisk sikkerhet, er det et krav at arbeidstakere skal beskyttes mot elektriske farer, og arbeidsjording er et viktig tiltak for å oppfylle disse kravene.

Andre relaterte sikkerhetstiltak:

- Av- og påkobling: Sørg for at spenning er frakoblet før arbeidet starter, og at nødvendige sikkerhetstiltak er på plass for å sikre at det ikke kan kobles til strøm uforvarende.
- Bruk av verneutstyr: Arbeidere må bruke egnet personlig verneutstyr (PPE), som isolerte hansker og vernesko, for ytterligere beskyttelse mot elektrisk støt.
- Signalisering og låsing: Sørg for at alle brytere og kontrollpunkter er merket, låst eller sperret for å hindre utilsiktet påkobling av strøm mens arbeidet pågår.

Σ

KONKLUSJON:

Arbeidsjording er et essensielt sikkerhetstiltak ved arbeid på høyspentanlegg, og det beskytter arbeidstakere mot elektrisk støt og fare ved potensielle feil i anlegget. Det er et krav at arbeidsjording er korrekt utført og kontrollert før arbeid begynner, og at det fjernes etter endt arbeid.

Endepunkts jording

ENDEPUNKTS JORDING

Endepunkts jording er en type jording som midlertidig brukes i elektriske anlegg for å beskytte personer og utstyr mot farlige spenninger ved å koble anleggets endepunkter til jord. Det betyr at de elektriske systemene eller komponentene på endepunktene (f.eks. i strømforsyningens eller transformatorens utgangspunkter) kobles direkte til jord for å sikre at eventuelle elektriske feilstrømmer ledes trygt til bakken.

Hensikten med endepunkts jording:
Formålet med endepunkts jording er å hindre at elektriske systemer, spesielt i høyspentanlegg, utgjør en fare for personell eller annet utstyr dersom det oppstår en feil eller overspenning. Ved å koble systemets endepunkter til jord, kan man trygt håndtere potensielt farlige spenninger og hindre at folk utsettes for elektrisk støt.

Bruksområder:

1. Transformatorer og elektriske anlegg: Endepunkts jording kan benyttes i transformatorer, hvor jordforbindelsen på utgangen eller på koblingspunktene bidrar til å sikre at overspenninger ikke når farlige nivåer for mennesker som arbeider med eller rundt anlegget.
2. Kabelforbindelser: Når elektriske kabler kobles til et anlegg, kan endepunkts jording sørge for at hele det elektriske systemet får en pålitelig jordforbindelse ved endene av kablene, som kan beskytte mot elektriske farer.
3. Feilstrøms håndtering: Dersom det skulle oppstå en feil som medfører en spennings økning på systemet, vil endepunkts jordingen sørge for at strømmen blir ledet bort til jord, og dermed hindre at spenningsoverskridelsen kan skade mennesker eller utstyr.

Hvordan fungerer endepunkts jording?
Endepunkts jording innebærer at de elektriske systemene eller komponentene som befinner seg på anleggets endepunkter, enten det er en transformator, kabel, bryter eller annet elektrisk utstyr, blir koblet til et jordingssystem. Dette kan gjøres gjennom spesifikke jordingskabler eller -klemmer som leder strømmen til jord, og dette systemet skal være utformet for å håndtere eventuelle feilstrømmer og for å beskytte mot elektrisk sjokk.

Hvorfor er endepunkts jording viktig?
Endepunkts jording er en viktig del av den overordnede sikkerheten i elektriske anlegg, spesielt i høyspentanlegg. Uten korrekt jordingssystem kan elektrisk utstyr bli en elektrisk farlig kilde dersom en feil oppstår, for eksempel en kortslutning eller overspenning. Endepunkts jording sikrer at alle farlige spenninger blir trygt ledet bort til jord, og dermed beskytter både ansatte og utstyr fra skader.

Endepunktsjording i hovedtavler

JORDINGSKNIV

Høyspenttavler om bord har ofte faste jordingsbrytere (jordingsbryter blir ofte kalla jordingskniv. Ordet jordingskniv blir ikke brukt i NEK 440 kun jordingsbryter).

Men selve endepunktjordingen er fortsatt ikke permanent.

Det er bryteren som er fast installert – jordingen er operativ/midlertidig.

Hva er det egentlig disse faste bryterne gjør?

I mange HV-tavler finnes det en jordingsbryter (earthing switch) som:

- er fast montert i tavlen
- kan koble direkte til jord:
  - samleskinne,
  - kabelutgang
  - felt
- betjenes:
  - mekanisk,
  - motorisert,
  - med nøkkel-/interlock-system.
- Når denne bryteren lukkes: etableres endepunktsjording i tavlen.

Hvorfor brukes faste jordingsbrytere i skip?

Flere grunner – spesielt maritimt:

- Begrenset plass.
- Høy personsikkerhet.
- Repeterende arbeidsoperasjoner.
- Redusert behov for løse jordingsapparat.
- Lavere risiko for feilmontering.

Dette er helt i tråd med:

- Klassekrav.
- SOLAS-filosofi.
- Maritim beste praksis.

Viktig skille.

Fast installert:

- Jordingsbryter.
- Jordingsskinne.
- Mekanisk kobling.

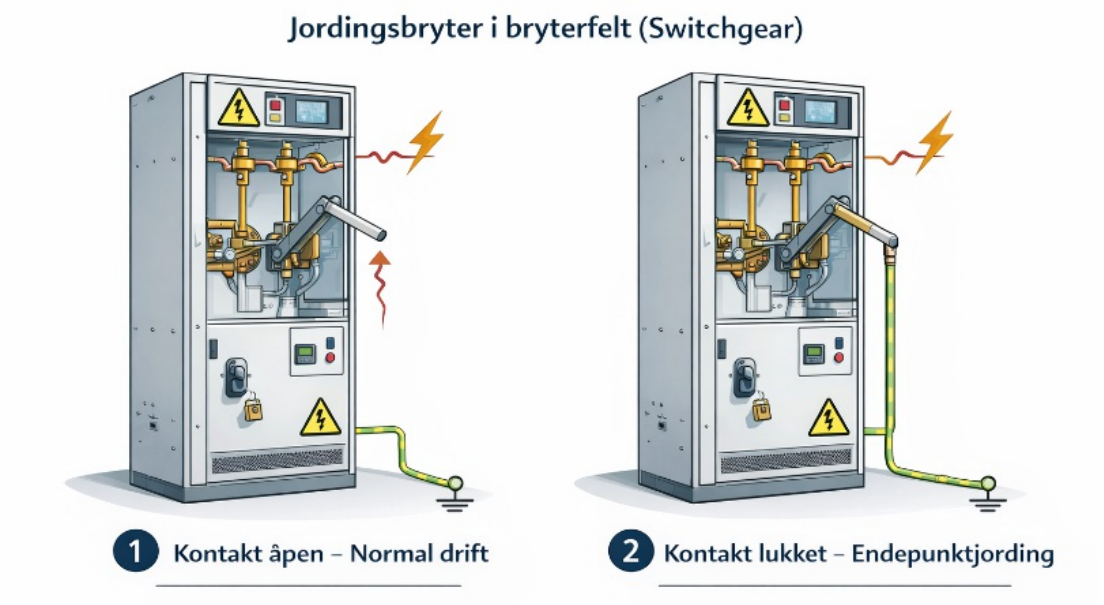
Ikke permanent i funksjon:

- Bryteren står normalt åpen.
- Den lukkes kun ved arbeid.
- Den åpnes igjen før normal drift.

Utstyret er permanent – jordingen er operativ/midlertidig.

Typisk arbeidsflyt i HV-tavle:

- Felt frakobles.
- Sikres mot innkobling (interlock / LOTO).
- Spenningsløs tilstand bekreftes.
- Jordingsbryter lukkes.
- Endepunktsjording etablert.
- Arbeidsjording etableres videre ute i anlegget.
- Arbeid kan starte.



Betjeningsstang/isolerstang



Hva brukes en isolerstang / betjeningsstang til?

"ISOLERSTANG

En isolerstang er et sikkerhetsverktøy som gjør at man kan arbeide på avstand fra spenningssatte eller tidligere spenningssatte deler i høyspenningsanlegg.

Typiske bruksområder:

1. Betjening av høyspenningsutstyr.

- Åpne og lukke:
  - Skillebrytere.
  - Lastskillebrytere.
  - Jordingsbrytere.
- Brukes der direkte håndbetjening ikke er tillatt.

2. Etablering og fjerning av arbeidsjording.

- Montere jordingsklemmer på:
  - Leder.
  - Samleskinne.
- Fjerne arbeidsjording etter endt arbeid.

Dette er en av de vanligste bruksområdene.

3. Håndtering av komponenter på avstand.

- Flytte eller posisjonere:
  - kabler
  - kapslinger
  - løse deler.
- Reduserer risiko for berøring.

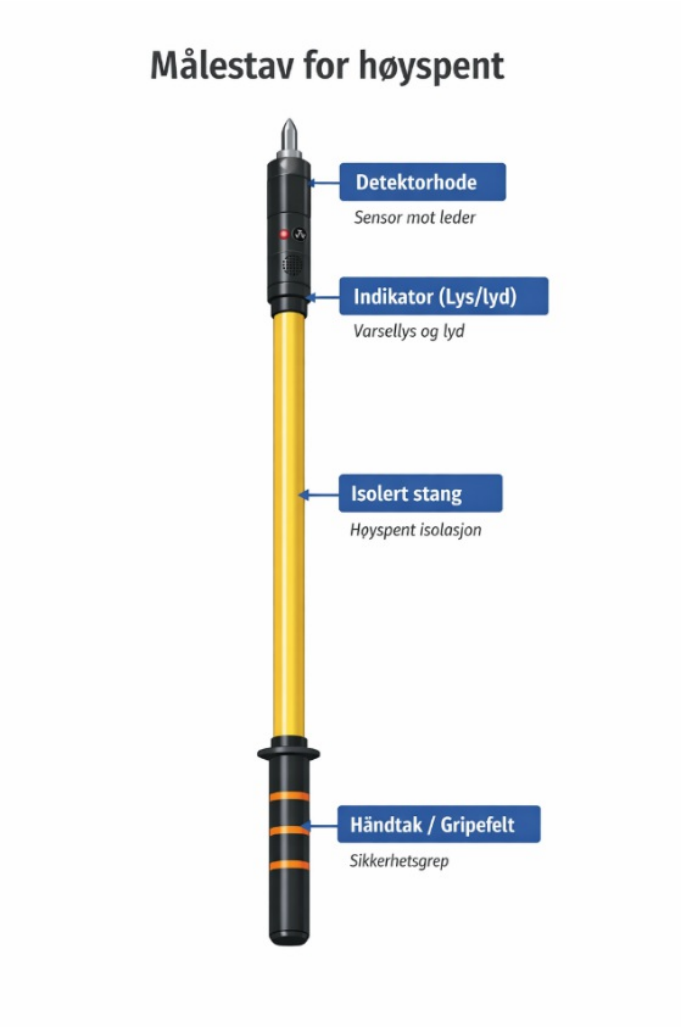
4. Opprettholde sikker avstand.

- Sørger for korrekt:
  - Luftavstand.
  - Krypeavstand.
- Beskytter mot:
  - Lysbue.
  - Berøringsspenning.



Målestav/spenningsdetektor

En målestav for høyspent (ofte kalt spenningsdetektor på isolerstang) består typisk av:



Isolert stang.

- Laget av glassfiber eller kompositt.
- Dimensjonert for aktuelt spenningsnivå (f.eks. 11 kV).
- Detektorhode.
  - Berøres eller føres nær spenningssatt leder.
  - Registrerer elektrisk felt eller spenning.
- Indikator.
  - Lys (LED).
  - Lyd (pip).
  - Eller begge deler.
- Håndtak / gripefelt.
  - Markert sikker gripeavstand.

Hvordan virker en høyspent målestav?

1. Påvising av spenning:

Når målestaven føres mot en leder, registrerer den det elektriske feltet rundt lederen.

- De fleste moderne målestaver er kapasitive.
- De trenger ikke direkte kontakt (eller kun lett berøring).

2. Indikasjon:

Hvis spenning er til stede:

- Lys blinker.
- Lydsignal aktiveres.

3. Ingen måleverdi – kun tilstedeværelse:

Viktig å huske:

- Målestaven viser ikke spenningens størrelse.
- Den viser kun:
  - Spenning til stede / ikke til stede

Når brukes målestav?

Målestav brukes alltid som del av sikker arbeidsprosedyre:

1. Koble ut anlegget.
2. Sikre mot innkobling.
3. Kontroller spenningsløshet med målestav.
4. Etabler arbeidsjording.
5. Start arbeid.

Punkt 3 er helt avgjørende.

Viktige sikkerhetsregler.

- Målestaven skal:
- Være godkjent for riktig spenningsnivå.
- Funksjonstestes før og etter bruk.
- Bruk alltid:
- Hansker.
- Visir.
- Godkjent verneutstyr.
- Stol aldri på bare bryterstilling eller indikasjon i tavle.

Jordingsapparat

JORDINGSAPPARAT

Et jordingsapparat er et verktøy eller en enhet som brukes til å koble elektrisk utstyr eller systemer til jord, for å sikre at det ikke er farlig spenning på systemet ved arbeid. Jordingsapparatet er en essensiell del av sikkerhetssystemet når man arbeider med høyspentutstyr eller andre elektriske anlegg, og det sørger for at personer som arbeider på utstyret, er beskyttet mot elektriske støt.

Et jordingsapparat skal være fulldimensjonert, det betyr at jordingsutstyret (jordingsbryter / jordingsapparat) er elektrisk og mekanisk dimensjonert for å tåle samme påkjenninger som anlegget kan utsette det for ved feil – særlig i MV-anlegg om bord i skip.

Hva innebærer fulldimensjonert i praksis?

1. Tåler full kortslutningsstrøm.

Jordingsapparatet skal kunne føre:

- Maksimal prospektiv kortslutningsstrøm i den tiden vernet bruker på å koble ut

Dette gjelder både:

- termisk belastning (I^2t).
- dynamiske krefter (støtstrøm).

2. Tåler innkobling på spenningssatt anlegg.

Et fulldimensjonert jordingsapparat skal:

- kunne kobles inn ved en feil (for eksempel hvis anlegget likevel er spenningssatt).
- tåle kortslutningsinnkobling uten skade.

3. Mekanisk robusthet.

Jordingsapparatet må tåle:

- Elektromagnetiske krefter ved feil.
- Vibrasjoner og sjokk (marint miljø).
- Gjentatt bruk uten svekkelse.

4. Samme spenningsnivå og isolasjonsklasse.

- Dimensjonert for samme nominelle spenning som tavlen.
- Riktig isolasjonsnivå mot jord og fase.

!

FEIL

Disse kan smelte eller eksplodere ved feil.

Hovedfunksjoner til jordingsapparat:

1. Jordingskobling

Jordingsapparatet kobler elektriske systemer eller komponenter til et jordingssystem, som er tilkoblet jord. Dette gjør at farlige elektriske strømmer eller overspenninger kan ledes bort til jord.

2. Sikkerhet ved vedlikehold

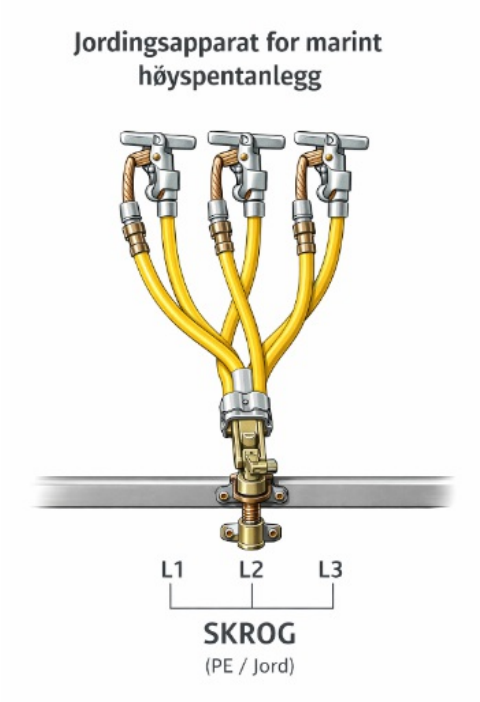
Når utstyr eller anlegg blir koblet til jord ved hjelp av jordingsapparat, reduseres risikoen for elektrisk støt ved at eventuelle feilstrømmer får en trygg vei til jord i stedet for å skade mennesker eller utstyr.

Typer jordingsapparater:

- Jordingsklemmer og -kabler: Disse er kanskje de vanligste jordingsapparatene. Klemmer brukes til å feste jordingskabler til elektriske komponenter, og kablene leder strømmen til jord. Kablene kan være av forskjellige tykkelser og materialer, avhengig av strømstyrken som skal håndteres.
- Jordingsapparater for høyspentutstyr: Spesielle jordingsapparater er designet for å koble høyspentutstyr til jord for å beskytte arbeiderne mot potensielle farer når de utfører vedlikehold på elektriske anlegg.

Betydningen av jordingsapparat i høyspentanlegg:

I høyspentanlegg er det spesielt viktig å bruke et korrekt jordingsapparat, da feil i jordingssystemet kan føre til alvorlige farer, som elektrisk støt eller til og med dødsfall. Et jordingsapparat er derfor et kritisk verktøy for å beskytte personell som arbeider med høyspenning, og det hjelper til med å sikre at anleggene er trygge å vedlikeholde.



Sammenfattende kan man si at et jordingsapparat er en enhet som muliggjør trygg og effektiv jordforbindelse av elektriske systemer, og det er en viktig del av arbeidet med høyspenning for å hindre elektrisk fare.



Roller og ansvar i høyspenningsanlegg

Driftsleder

DRIFTSLEDER

Maskinsjefen er oftest driftsleder. Driftsleder skal være formelt utpekt av rederiet.

Driftsleder har det overordnede ansvaret for sikker drift av det elektriske anlegget.

Dette innebærer også å:

- organisere arbeidet,
- fordele roller,
- sikre at riktig kompetanse brukes.

Derfor er det driftsleder som utpeker:

- LFS – Leder for sikkerhet.
- LFK – Leder for kobling.

Utpekingen skal være:

- Tydelig.
- Forhåndsavklart.
- Dokumentert i prosedyrer, arbeidstillatelse eller SJA.

Viktige presiseringer om bord i skip.

- Driftsleder kan selv være LFS og/eller LFK hvis kompetansen er til stede.
- På HV-anlegg er det vanlig (og anbefalt) å skille rollene.
- Roller og ansvar skal være kjent for hele arbeidslaget.
- Ingen arbeid skal starte før:
  - LFK har frigitt anlegget.
  - LFS har overtatt ansvaret for sikkerheten.

Σ

KORT OPPSUMMERT

✔ Driftsleder skal utpeke LFS og LFK.
✔ Dette er en del av driftsleders sikkerhetsansvar.
✔ Utpeking skal være tydelig og dokumentert.
✔ Kritisk viktig i MV-anlegg om bord i skip.

Leder for kobling (LFK)

LFK

Leder for kobling i en organisatorisk sammenheng, altså en person som er ansvarlig for koblingen av jordingssystemer og arbeid med høyspentutstyr!

I denne konteksten refererer *leder for kobling* til den personen som har ansvaret for å koordinere og sikre korrekt utførelse av arbeidsjording, kobling av jordingssystemer og klargjøring av høyspentutstyr for vedlikehold eller reparasjon. Denne personen har en viktig rolle i å sørge for at alle nødvendige sikkerhetstiltak er på plass før vedlikeholds personell kan utføre arbeid på høyspentinstallasjoner.

Ansvarsområder for leder for kobling kan inkludere:

1. Sikkerhet: Sørge for at alle jordingsforbindelser er riktig etablert og at arbeidet utføres under trygge forhold.
2. Planlegging og koordinering: Koordinere de nødvendige koblingene av jordingssystemer før arbeidet påbegynnes, samt sørge for at arbeidsjordingen er korrekt utført i samsvar med standarder og prosedyrer.
3. Sertifisering og dokumentasjon: Sørge for at alt arbeid er dokumentert og i henhold til elektriske forskrifter, samt godkjenne og kontrollere at alle nødvendige sikkerhetstiltak er oppfylt.
4. Opplæring og veiledning: Gi opplæring og veiledning til andre som arbeider på anlegget, slik at de er klar over viktige sikkerhetstiltak når de arbeider med høyspenning.
5. Tilsyn med arbeidsprosessen: Overvåke og sjekke at koblingene skjer på riktig måte, og at alt utstyr er trygt å arbeide på.

I større høyspentnettverk og elektriske anlegg er det viktig at ledelsen for kobling har grundig kunnskap om både elektriske systemer og sikkerhetsprosedyrer, ettersom feil i jordings- eller koblingsprosessen kan føre til farlige situasjoner for personell og utstyr.

Leder for sikkerhet (LFS)

LFS

Leder for sikkerhet i et høyspent- eller elektrisk anlegg er en person med det overordnede ansvaret for å sikre at alle sikkerhetsprosedyrer følges, og at arbeid på anlegget skjer på en trygg måte. Dette inkluderer både fysisk sikkerhet for de som jobber på anlegget, samt at alle elektriske og tekniske systemer er i samsvar med gjeldende forskrifter og standarder for sikkerhet.

Ansvarsområder for leder for sikkerhet:

1. Sikkerhetsprosedyrer og retningslinjer:

- Utvikle, implementere og overvåke sikkerhetsprosedyrer for høyspentarbeid.
- Sørge for at alle ansatte er kjent med og følger disse prosedyrene, for eksempel arbeid med arbeidsjording, kobling av jordingssystemer, og håndtering av elektrisk utstyr under vedlikehold eller reparasjon.

2. Risikovurdering:

- Gjennomføre risikovurderinger for alle arbeidsoperasjoner på anlegget for å identifisere farer, inkludert elektrisk støt, brannfare og andre potensielle farer ved arbeid med høyspenning.
- Ta nødvendige forholdsregler for å minimere eller eliminere risikoene før arbeidet starter.

3. Opplæring og sertifisering:

- Ansvarlig for å sørge for at alt personell får riktig opplæring og er sertifisert for å utføre arbeidsoperasjoner på høyspentutstyr, som innebærer at de forstår risikoene og sikkerhetstiltakene.
- Sørge for at sikkerhetskurs og resertifiseringer blir gjennomført regelmessig.

4. Overvåking og inspeksjon:

- Utføre regelmessige sikkerhetsinspeksjoner på arbeidsplassen for å sikre at sikkerhetstiltakene følges og at eventuelle farer blir identifisert og håndtert.
- Tilsikre at alt sikkerhetsutstyr, som verneutstyr og advarsels- eller sperresystemer, er i god stand og tilgjengelig.

5. Kriseforberedelse og beredskap:

- Utarbeide og vedlikeholde beredskapsplaner for nødsituasjoner, som elektriske ulykker, brann eller andre hendelser.
- Koordinere førstehjelp og evakueringstiltak, og være klar til å håndtere en krise om det skulle oppstå.

6. Kontroll og rapportering:

- Sørge for at alle sikkerhetshendelser og nesten-ulykker blir rapportert, undersøkt og håndtert på en passende måte.
- Analyserer årsakene til ulykker eller farlige situasjoner for å forhindre at de skjer på nytt.

7. Kommunikasjon:

- Holde kontinuerlig kommunikasjon med ledelse, arbeidere og sikkerhetsansvarlige for å sikre at alle er oppdaterte om sikkerhetsrutiner og potensielle farer.

!

LEDEREN FOR SIKKERHET

Lederen for sikkerhet har en avgjørende rolle i å minimere risikoen for ulykker og skader på arbeidsplassen, spesielt når det gjelder høyspentarbeid der farene kan være store. Det kreves både teknisk kunnskap om elektriske systemer og omfattende forståelse av sikkerhetsstandarder for å være effektiv i denne rollen.

Forskjellen mellom LFS og LFK:

Rolle	Hovedfokus	Ansvar	Eksempel på oppgave
Leder for sikkerhet (LFS)	Menneskelig sikkerhet	Sikrer at arbeidsområdet er trygt	Kontrollere at arbeidsjord er på plass før arbeid starter
Leder for kobling (LFK)	Teknisk kobling og drift	Utfører og dokumenterer koblinger	Frakoble en høyspenningsgenerator for vedlikehold

Sikkerhetskort

Hva er et sikkerhetskort (HV-sikkerhetskort)?

HV-SIKKERHETSKOR

Et sikkerhetskort er en personlig autorisasjon som dokumenterer at innehaveren:

- Har formell opplæring i høyspenning.
- Har kjennskap til skipets spesifikke HV-anlegg.
- Forstår prosedyrer, farer og nødtiltak.
- Har fått rederiets/skipets tillit til å utføre definerte oppgaver.

Typisk innhold i sikkerhetskortet:

- Navn og stilling..
- Kompetansenivå (f.eks. A, B, C).
- Hvilke typer arbeid personen kan utføre.
- Gyldighetsperiode.
- Referanse til opplæring/sertifikat.

!

VIKTIG

Et sikkerhetskort er ikke bare et kursbevis, men en operativ tillatelse.

Tilgangsstyring

Tilgangsstyring – hvem får gjøre hva?

Tilgangsstyring betyr at ikke alle har lik rett til å:

- Gå inn i HV-rom.
- Betjene HV-utstyr.
- Utføre arbeid på eller nær spenningssatt anlegg.

Dette deles ofte i roller/nivåer.

Eksempel på nivåinndeling:

Nivå	Rolle	Tillatt aktivitet
Nivå 0	Øvrig mannskap	Ingen adgang
Nivå 1	Driftspersonell	Visuell inspeksjon
Nivå 2	HV-kyndig	Kobling etter prosedyre
Nivå 3	HV-ansvarlig	Planlegging, LOTO, jordingsarbeid

Arbeidstillatelse.

Arbeidstillatelse (Permit to Work – PTW).
Sikkerhetskort og tilgangsstyring alene er ikke nok.

Arbeidstillatelsen skal dokumentere:

- Hvilket anlegg det arbeides på.
- Hvem som arbeider.
- Hvem som er ansvarlig.
- Hvilke sikkerhetstiltak som er utført:
  - Frakobling.
  - Spenningskontroll.
  - Jording.
  - Avsperring.

Arbeidsflyt ved HV-arbeid om bord

1. Frakobling.
2. Sikring mot innkobling.
3. Kontroll av spenningsløs tilstand.
4. Arbeidsjording.
5. Arbeid.
6. Fjerning av jording.
7. Kontrollert spenningssetting / testing.
8. Tilbakeføring til normal drift.

1. Frakobling.

- Anlegget kobles fra spenningskilde (generator, trafo og landstrøm).
- Utføres av autorisert person.
- Riktig bryter og riktig felt verifiseres før utkobling.

Formål: Fjerne energitilførsel til arbeidsstedet.

2. Sikring mot innkobling.

- Mekanisk og/eller elektrisk sperring av brytere.
- Lås, hengelås eller nøkkelstyring benyttes.
- Tydelig merking: *«Arbeid pågår – innkobling forbudt»*.

Formål: Hindre utilsiktet eller uautorisert innkobling.

3. Kontroll av spenningsløs tilstand.

- Spenning kontrolleres med godkjent spenningsindikator.
- Kontroll utføres på alle faser.
- Instrumentet funksjonstestes før og etter måling.

Formål: Bekrefte at anlegget faktisk er spenningsløst.

4. Arbeidsjording.

- Jordingsapparat monteres:
  - først til jord
  - deretter til alle faser
- Jordingsutstyr skal være dimensjonert for kortslutningsstrømmen.

Formål: Beskytte personell mot restspenning, induksjon og utilsiktet spenningssetting.

5. Arbeid.

- Vedlikehold eller inspeksjon utføres.
- Kun autorisert personell har adgang.
- Tilgangsstyring og arbeidsområde opprettholdes.

Formål: Utføre arbeid under kontrollerte og sikre forhold.

6. Fjerning av arbeidsjording.

- Verktøy, materiell og personell trekkes ut.
- Jordingsapparat fjernes:
  - først fra fasene
  - deretter fra jord
- Utføres etter klarering fra ansvarlig.

Formål: Klargjøre anlegget for testing eller spenningssetting.

7. Kontrollert testing / spenningssetting.

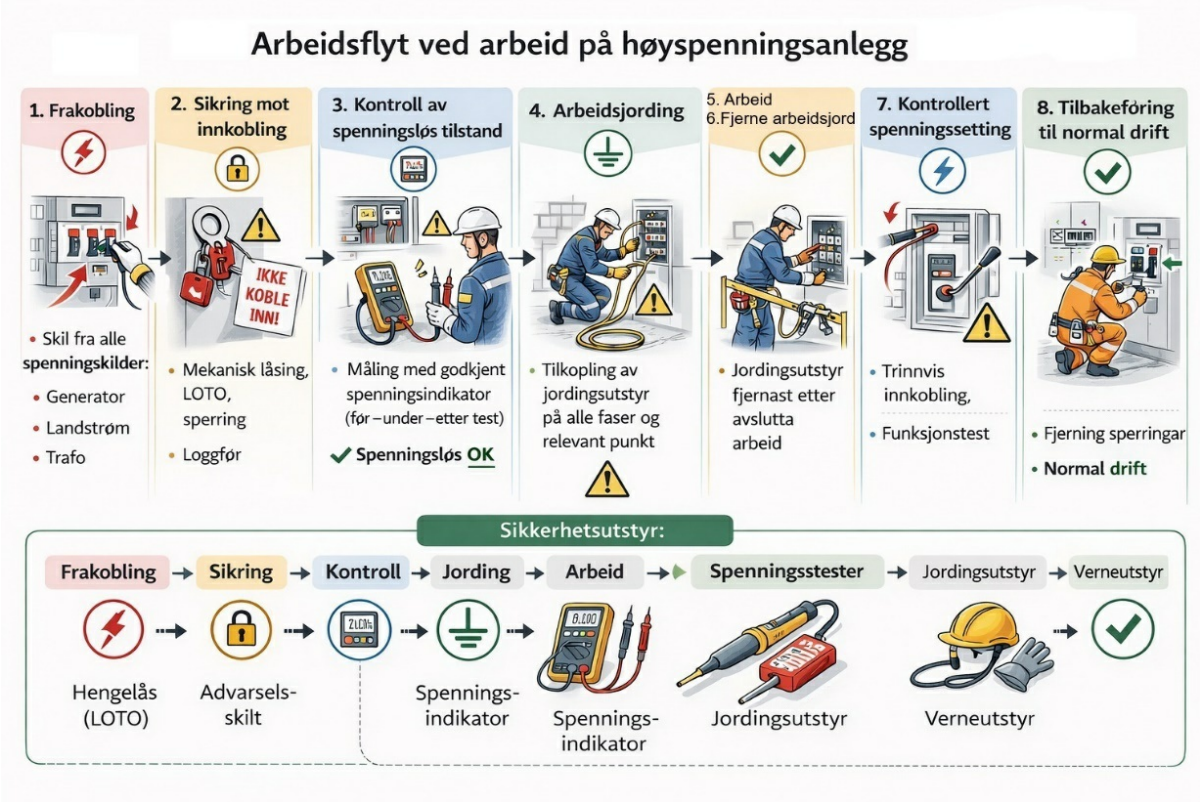
- Testing utføres etter godkjenning fra ansvarlig LFS/driftsleder.
- Kun nødvendig personell til stede.
- Avvik eller unormale forhold overvåkes nøye.

Formål: Verifisere korrekt funksjon før normal drift.

8. Tilbakeføring til normal drift.

- Sperringer fjernes.
- Merking tas bort.
- Anlegget settes i ordinær drift.
- Arbeidet avsluttes og dokumenteres.

Formål: Sikre trygg overgang fra arbeid til normal drift med sporbarhet.



Figuren over er AI-generert (ChatGPT).

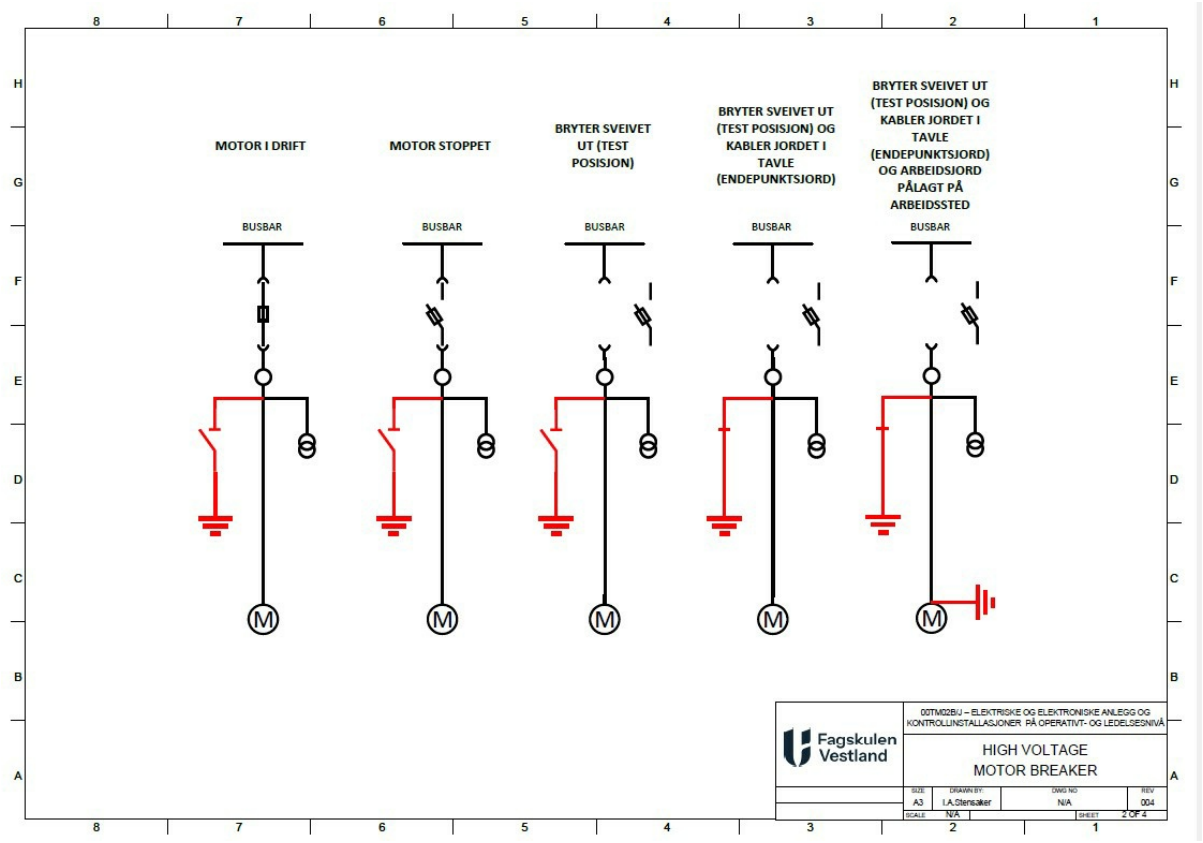
Σ

KORT OPPSUMMERING:

Arbeidsflyten ved HV-arbeid om bord består av frakobling, sikring, verifikasjon, jording, arbeid, av jording, kontrollert testing og tilbakeføring til normal drift.

Forklaring – stegvis jording av motor og generator

Skissen viser kontrollert og sikker jording av en motor, der man bygger opp jordforbindelsen trinn for trinn før anlegget kan betraktes som trygt å arbeide på.



1. Motor i drift.

Motoren er tilkopla høgspenningsbussen og i normal drift. Bryter er innkobla, og det er ingen jording aktiv i kursen.

2. Motor stoppet.

Motoren stoppes kontrollert, men anlegget er fremdeles spenningssatt. Bryter står fremdeles inn, og kursen skal behandlas som spenningsførende.

3. Bryter sveivet ut – testposisjon.

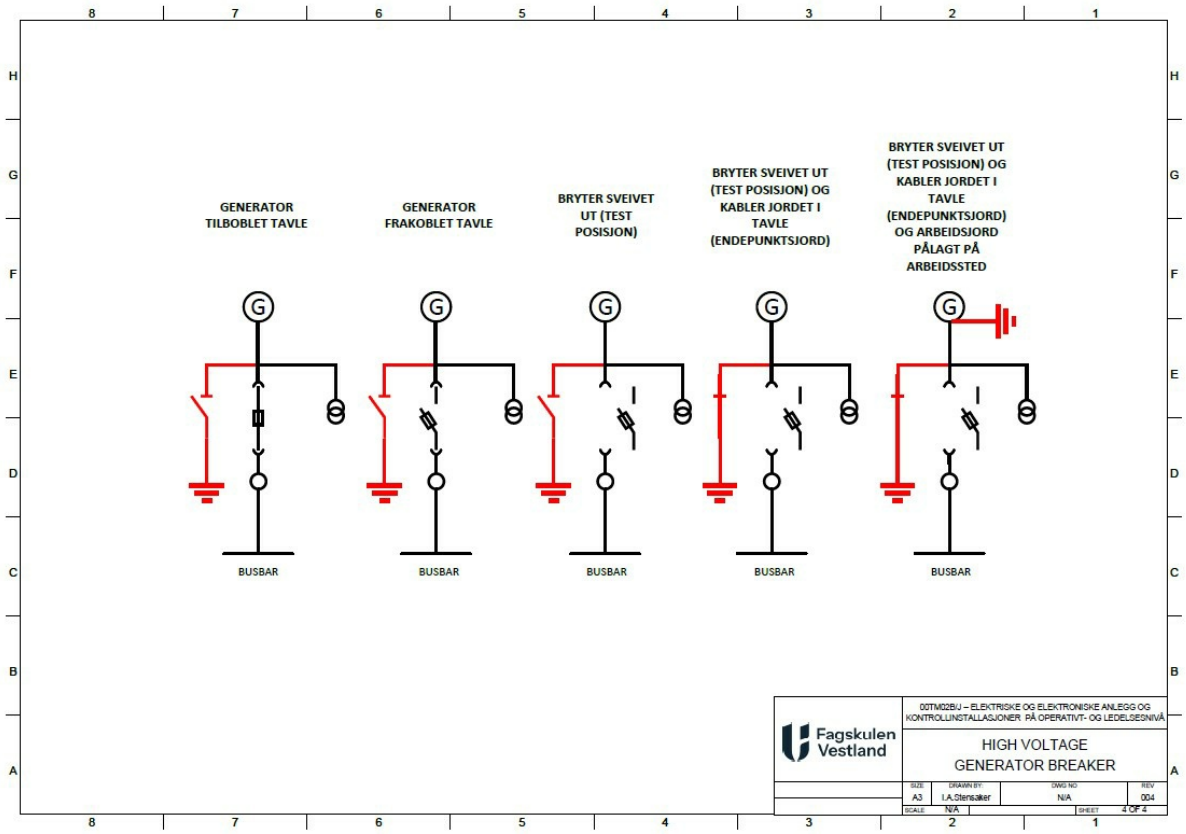
Motorbryteren sveivas ut til test-/frakopla posisjon. Dette gir mekanisk og elektrisk frakobling fra busbar, men uten jording. Spenningsprøving kan utføras.

4. Endepunktsjording i tavle pålagt.

Endepunktsjording i høgspenningstavla koplas inn. Dette jorder kabelen fra tavle fram til motor, og sikrer mot innmating, induksjon og restspenning fra nettet.

5. Arbeidsjording ved motor.

Lokal arbeidsjording pålegges ved motoren. Motor og kabel er nå jordet i begge ender, og anlegget kan regnas som trygt for arbeid.



Skissen viser jording av generator.

1. Generator tilkoblet tavle.

Generatoren er innkobla mot høgspenningsbussen og leverer spenning. Bryter er innkobla, og ingen jording er aktiv.

2. Generator frakoblet tavle.

Generatorbryteren koblas ut slik at generatoren ikke lenger er tilkopla busbar. Generatoren kan fremdeles inneholde restspenning og skal behandlas som spenningsførende.

3. Bryter sveivet ut – testposisjon.

Generatorbryteren sveivas ut til test-/frakopla posisjon. Dette gir sikker mekanisk og elektrisk separasjon fra busbar og muliggjære spenningskontroll.

4. Endepunktsjording i tavle pålagt.

Endepunktsjording i høgspenningstavla koplas inn. Generatorutgangen og tilhørende kabler blir då jordet i tavle, som verner mot innmating, induksjon og restspenning.

5. Arbeidsjording ved generator.

Lokal arbeidsjording pålegges ved generatoren. Generator og kabel er nå jordet i begge ender, og anlegget kan regnas som trygt for arbeid.

Vedlikehold av høyspenningsanlegg om bord

1. Hovedmålet med HV-vedlikehold.

I høyspenningsanlegg er målet med vedlikehold å:

- forebygge elektrisk gjennomslag,
- hindre lysbuelykker,
- sikre at beskyttelsessystemer virker,
- opprettholde tilgangsstyring og sikker arbeidsflyt.

Det er altså sikkerhet først, drift deretter.

2. Grunnprinsipper for HV-vedlikehold om bord.

a) Alt vedlikehold er planlagt arbeid.

- HV-vedlikehold skal **aldri** være "kjapt og uformelt".
- Følger samme struktur som annet HV-arbeid:
  - DA → LFK → LFS.
  - PTW.
  - Tilgangsstyring.
  - Etterarbeid.

b) Tilstandsbasert > kalenderbasert.

I skip er dette ekstra viktig pga:

- Vibrasjon.
- Fukt.
- Salt.
- Temperaturvariasjoner.

Man kombinerer:

- faste intervaller,
- inspeksjoner,
- målinger,
- erfaring fra drift.

3. Typiske vedlikeholds aktiviteter.

3.1 Visuell inspeksjon (hyppigst).

Utføres ofte uten inngrep i spenningssatt utstyr.

Se etter:

- spor av varmgang,
- misfarging i isolasjon,
- støv, fukt og saltbelegg,
- løse forbindelser (visuelt),
- oljelekkasje (der relevant),

Mange alvorlige feil varsles lenge før de skjer – hvis noen ser etter.

3.2 Mekanisk vedlikehold.

Særlig viktig i maritime miljø.

- Kontroll av:
  - Brytermekanismer.
  - Fjærer.
  - Låser og interlocks.
- Smøring der produsent tillater
- Funksjonstest av:
  - Jordingsbrytere.
  - Mekaniske sperrer.

!

VIKTIG

Feil her kan føre til feil koblingssekvens, som er en klassisk ulykkesårsak.

3.3 Elektrisk vedlikehold og målinger.

Utføres av kvalifisert HV-personell.

Typisk:

- Isolasjonsmåling (megger).
- Kontinuitetsmåling jord.
- Kontroll av kabeltermineringer.
- Funksjonstest av vern og releer.
- Sekundærinjeksjon (ved behov).

Måleresultater er **trenddata***, ikke bare "OK / ikke OK".

(*Måleverdier som samles over tid, slik at du kan se utvikling – ikke bare øyeblikksbildet).*

3.4 Vedlikehold av kabler og avsluttinger.

Kabler feiler oftest i:

- Endeavslutninger.
- Skjøter.

Tiltak:

- inspeksjon av stresskontroll,
- kontroll av skjermjord,
- sjekk for sprekker, krypstrøm og fukt,
- korrekt bøyeradius og festing.

4. Vedlikehold og tilgangsstyring – tett koblet.

Vedlikehold er den vanligste årsaken til at folk må inn i HV-områder.

Derfor:

- bare personell med gyldig sikkerhetskort,
- LFS er nødvendig,
- midlertidig adgang → trekkes tilbake etterpå,
- nøkkelstyring er kritisk.

Tilstrekkelig tilgangsstyring er en forutsetning for sikkert vedlikehold. Mangler her har vært medvirkende årsak i flere alvorlige hendelser.

5. Etterarbeid og dokumentasjon.

Godt vedlikehold slutter ikke når skruene er strammet.

Etterarbeid skal sikre:

- at anlegget er trygt å sette i drift,
- at ingen midlertidige tiltak er glemt,
- at erfaring blir bevart.

Typisk dokumentasjon:

- loggført arbeid,
- måleresultater,
- avvik / observasjoner,
- anbefalte tiltak.

Dette kan brukes i:

- revisjoner,
- feilsøking senere,
- klassing og audit.

6. Vanlige feil i HV-vedlikehold.

Dette går igjen i hendelser og avvik:

- "Bare en rask sjekk".
- Manglende etterarbeid.
- Dårlig dokumentert målehistorikk.
- For mange roller på én person.
- Vedlikehold utsatt "fordi det går jo bra".

!

VIKTIG

HV-anlegg gir sjelden en ny sjanse.

7. Kort oppsummering.

Godt vedlikehold av HV-anlegg om bord betyr:

- strukturert arbeidsflyt,
- riktig kompetanse,
- konsekvent tilgangsstyring,
- fokus på detaljer,
- grundig etterarbeid.

Personlig verneutstyr

Her er en klar og praksis nær oversikt over personlig verneutstyr (PVU / PPE) ved arbeid på HV-tavler (typisk 3,3 / 6,6 / 11 kV) om bord i skip.

GRUNNREGLER:

Alt arbeid på eller nær HV-tavler skal vurderes som lysbue- og støtfare, selv når anlegget er spenningsløst (pga. restspenning, feil og menneskelig svikt).

Arc Flash PPE (Personal Protective Equipment) er spesialtilpasset, flammehemmende verneutstyr designet for å beskytte mot alvorlige brannskader, lysbueeksplosjoner og varme (opptil 20,000°C) ved arbeid på strømførende anlegg. Utstyret er klassifisert etter lysbuerangering ($cal/cm2$) og inkluderer hjelm med ansiktsskjerm, flammehemmende kjeledress/jakke, hansker og vernesko.



Minimum personlig verneutstyr (skal alltid brukes):

1. Lysbuebeskyttende bekledning (Arc Flash PPE).

- Flammehemmende (FR) klær.
- Lysbueklassifisert (Arc rating / ATPV).
- Langermet overdel + bukse eller heldekkende drakt.

Beskytter mot:

- ekstrem varme,
- flammer,
- trykkbølge fra lysbue.

2. Hjelm med lysbuevisir.

- Hjelm godkjent for elektro.
- Visir:
  - Lysbueklassifisert.
  - Dekker hele ansiktet.
- Ofte kombinert med balaklava, flame resistent (FR).

Beskytter hode, ansikt og øyne mot:

- Varme.
- Smeltet metall.
- Trykk.



Isolerende hansker.

3. Isolerende hansker.

- Gummihansker godkjent for aktuell spenning
  - ofte klasse 2 eller 3 for HV-arbeid.
- Brukes sammen med:
  - lærhansker (mekanisk beskyttelse),
- være trykktestet,
- inspiseres før bruk,

4. Vernesko / støvler.

- Elektrisk isolerende såle.
- Antistatisk.
- Sklihemmende.

Viktig ved jordfeil og berøringsspenning.

Tilleggsutstyr (ofte nødvendig).

5. Balaklava / halsbeskyttelse (FR).

- Beskytter hals og nakke.
- Brukes under hjelm/visir.

6. Lysbuejakke / overtrekks drakt.

- Ved:
  - Kobling.
  - Testing.
  - Åpne tavler.
- Gir høyere ATPV-verdi.

7. Hørselsvern.

- Lysbue kan gi ekstrem impulsstøy.
- Bruk øreproppper eller klokker ved arbeid i tavlerom.

Viktige presiseringer:

- PPE erstatter ikke sikker arbeidsmetode.
- Brukes alltid sammen med:
  - Utkobling.
  - Jording.
  - LOTO.
- PPE skal:
  - være kontrollert,
  - være tilpasset bruker,
  - oppbevares riktig i HV-rommet.

Typisk kombinasjon ved arbeid i HV-tavle.

✔ FR-bekledning (minimum klasse).
✔ Hjelm + lysbuevisir.
✔ Isolerende hansker + lærhansker.
✔ Vernesko.
✔ Balaklava.
✔ Hørselsvern.

Σ

KORT OPPSUMMERT:

Personlig verneutstyr ved HV-arbeid:
- Beskytter mot lysbuelys, varme, trykk og støt.
- Er obligatorisk, ikke valgfritt.
- Skal alltid være tilpasset risikonivået.

Minimumsutstyr i et HV - tavlerom

1. Sikkert koblings- og jordingsutstyr.

Skal muliggjøre trygg frakobling, sikring og jording før arbeid.

Minimum:

- Isolerte koblingsstenger / betjeningsstenger (riktig spenningsklasse).
- Jordingsapparat, fulldimensjonert for anlegget.
- Synlig og pålitelig jordingspunkt.
- Mekanisk eller elektrisk låsing av brytere.
- Skilting: *«Ikke koble – arbeid pågår».*

Formål:
Sikre spenningsløst og jordet anlegg før arbeid (FSE-prinsipp).

2. Riktig verneutstyr (PPE).

Tilpasset høyspenningsarbeid, ikke generelt arbeid.

Minimum:

- Isolerende hansker (riktig klasse) + innerhansker
- Lysbuegodkjent:
  - visir / hjelm,
  - flammehemmende bekledning.
- Vernesko med isolerende såle.
- Hørselsvern (der relevant).
- Isolerende matte foran tavle.

Formål:
Beskytte personell mot elektrisk sjokk og lysbue.

3. Brann- og nødutstyr.

Utstyr for rask respons ved feil, brann eller personskade.

Minimum:

- Brannslukker egnet for elektriske anlegg (CO_2 / tilsvarende).
- Nødstopp (der aktuelt).
- Førstehjelpsutstyr.
- Øyeskylle (der kjemikalier/batterier finnes).
- Nødlys og tydelig rømningsmerking.

Formål:
Begrense skade og sikre evakuering ved hendelser.

4. Tydelig dokumentasjon

Dokumentasjon skal være lett tilgjengelig i tavlerommet.

Minimum:

- Enlinjeskjema (oppdatert).
- Koblings- og jordingsprosedyrer.

- Merking av:
  - Spenningsnivå.
  - Felt / brytere.
  - Jordingspunkter.
- Instruks for arbeid på HV.
- Kontaktinformasjon (driftsleder / ansvarlig).

Formål:
Sikre korrekt handling og redusere risiko for feil.

5. Kontrollert tilgang.

Kun autoriserte og instruerte personer skal ha adgang.

Minimum:

- Låst dør til tavlerom.
- Adgangskontroll (nøkkel, kort, kode).
- Varselskilt:
  - *«Høyspenning».*
  - *«Kun autorisert personell».*
- Logg eller rutine for adgang (der relevant).

Formål:
Hindre utilsiktet eller uautorisert tilgang.

Σ

KORT OPPSUMMERING

Et HV-tavlerom skal minimum være utstyrt med sikkert koblings- og jordingsutstyr, egnet verneutstyr, brann- og nødutstyr, tydelig dokumentasjon og kontrollert tilgang.



Risikoavstander

Hvordan fastsettes faktiske avstander?

FSE sier tydelig at sikkerheten skal ivaretas gjennom:

- Risikovurdering.
- Valg av arbeidsmetode.
- Barrierer / avskjerming.
- Verktøy og verneutstyr.
- Kompetanse og rolleavklaring (LFS).

Konkrete avstander fastsettes lokalt, ofte basert på:

- Normer (NEK / IEC).
- Produsentdata.
- Interne instrukser.

Viktig poeng.
FSE er bevisst ikke tallfestet, fordi:
- samme avstand er trygg i ett anlegg, men livsfarlig i et annet

Derfor:
FSE regulerer ansvar og metode, ikke centimeter.

!

FSE

FSE angir krav til sikkerhet ved arbeid i og nær høyspenningsanlegg ved bruk av fare- og nærføringsområder. Forskriften fastsetter normalt ikke faste sikkerhetsavstander i meter. Faktiske avstander fastsettes gjennom risikovurdering, valg av arbeidsmetode og lokale prosedyrer.



Utdrag fra Lovdata

Forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg (FSE):

I forskriftene for elektriske anlegg finner vi en del definisjoner.

§ 5.Definisjoner:

Arbeidsjording.
Fullt dimensjonert jording og kortslutning av anleggsdeler på det stedet hvor arbeid pågår.

Avskjerming.
Del som gir beskyttelse mot direkte berøring fra enhver vanlig adkomstretning.

Avsperring.
Markering som angir sikkerhetsavstanden eller andre grenser som ikke skal overskrides.

Endepunktsjording.
Fullt dimensjonert jording og kortslutning ved alle frakoblingssteder hvorfra anlegg kan settes under spenning.

Frakobling.
En sikkerhetsfunksjon som innebærer å bryte tilførselen til alle eller enkelte deler av anlegget ved at disse delene atskilles fra strømkilden(e).

Høyspenning.
Spenning som normalt overstiger 1000 V a.c. eller 1500 V d.c.

Lavspenning.
Spenning som normalt ikke overstiger 1000 V a.c. eller 1500 V d.c.

Leder for kobling.
Utpekt person som har fått ansvar for at nødvendige koblinger i høyspenningsanlegg blir utført på en sikkerhetsmessig forsvarlig måte.

Leder for sikkerhet (høyspenning)/ansvarlig for arbeidet (lavspenning).
Utpekt person som har fått ansvar for sikkerheten på arbeidsstedet.

Markeringsjording.
Ikke fullt ut dimensjonert jording og kortslutning av anleggsdeler på eller i umiddelbar nærhet av det stedet hvor arbeid pågår.

Risikoavstand.
Minste avstand fra anleggsdeler og omgivelser som befinner seg på et annet spenningsnivå enn personellet, samt andre faser på samme spenningsnivå ved arbeid på én fase. Risikoavstanden er fastsatt for å gi forsvarlig sikkerhet ved arbeid på eller nær ved elektriske anlegg. Angir ytre grense for risikoområdet.

Sikkerhetsavstand:
Avstand som angir personellets nærmeste tillatte arbeidsposisjon fra anleggsdeler og omgivelser som befinner seg på et annet spenningsnivå enn personellet, samt andre faser på samme spenningsnivå ved arbeid på én fase. Angir ytre grense for sikkerhetsområdet.

!

SIKKERHETSAVSTAND

Sikkerhetsavstand skal fastsettes for hvert enkelt arbeid og markeres.

Kapittel II – Generelle bestemmelser.

§ 6.Organisering

For ethvert anlegg skal det være utpekt en driftsleder (høyspenningsanlegg) eller driftsansvarlig (lavspenningsanlegg), som er ansvarlig for drift og vedlikehold av anlegget. Det skal treffes administrative tiltak som sikrer at ansvarsforholdene er entydige ved arbeid i og drift av elektriske anlegg.

For ethvert arbeid i anleggene skal det utpekes en leder for sikkerhet (høyspenningsanlegg) eller ansvarlig for arbeidet (lavspenningsanlegg). I høyspenningsanlegg skal det dessuten utpekes en leder for kobling når det skal foretas koblinger i anleggene.

§ 14.Arbeid på frakoblet anlegg – etablering av sikkerhetstiltak

Ved arbeid på frakoblet anlegg skal følgende sikkerhetstiltak gjennomføres:

a. frakobling,

b. sikring mot innkobling,

c. kontroll av at anlegget er spenningsløst,

d. *på bakgrunn av en risikovurdering vurdere behov for og eventuelt etablere nødvendig jord- og kortslutning, og

e. eventuelt beskyttelse mot andre spenningssatte deler nær ved arbeidsstedet
(jf. § 17 *https://lovdata.no/forskrift/2006-04-28-458/%C2%A717*

!

ABSOLUTT KRAV

Jord- og kortslutning av anlegget er et absolutt krav i høyspenningsanlegg.
Jordingen skal utføres som arbeidsjording eller en kombinasjon av markeringsjording og endepunktsjording.
Arbeidsjording eller markeringsjording skal være synlig fra arbeidsstedet eller være slik plassert at det på bakgrunn av en risikovurdering kan sannsynliggjøres at samme sikkerhet oppnås.

§ 15.Arbeid på frakoblet anlegg – avvikling av sikkerhetstiltak

Før etablerte sikkerhetstiltak fjernes skal alle som har vært involvert i arbeidet og andre som kan bli berørt, gis underretning om at sikkerhetstiltakene vil opphøre og at anlegget er å betrakte som spenningssatt.

Før anlegget meldes klart for innkobling skal alle etablerte sikkerhetstiltak avvikles og alle som har vært involvert i arbeidet, skal ha fjernet seg fra anlegget slik at innkobling kan skje uten fare.

Ansvar og rammer for høyspentopplæring av maskinoffiserer

Innholdet i høyspentopplæringen for maskinoffiserer er fastsatt av Sjøfartsdirektoratet gjennom forskrift og godkjente emneplaner i henhold til STCW-konvensjonen. Norske maritime fagskoler gjennomfører opplæringen i samsvar med disse kravene og dokumenterer oppnådd kompetanse som grunnlag for utstedelse av sertifikat.

FORKORTINGER

HV - (High Voltage) Høyspenning.
LV - ((Low Voltage) Lavspenning.
PPE - (Personal Protective Equipment) PVU - Personlig verneutstyr.
LOTO - (Lock Out Tag Out) Låse- og merkesystem.
GCB - (Generator Circuit Breaker) Generatorbryter.
LFS - Leder for sikkerhet.
LFK - Leder for kobling.
DA – Driftsansvarlig.
PTW - (Permit to Work) Arbeidstillatelse.
FR - (Flame resistent) Flammehemmende.