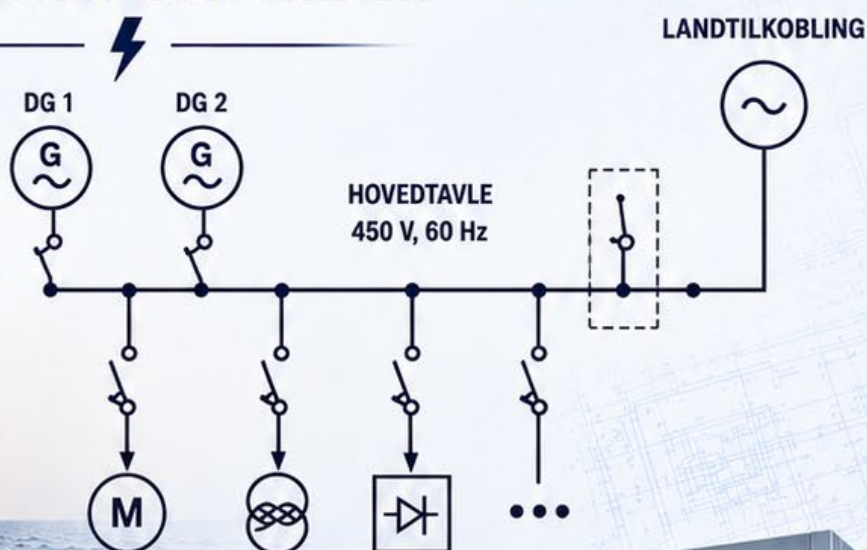


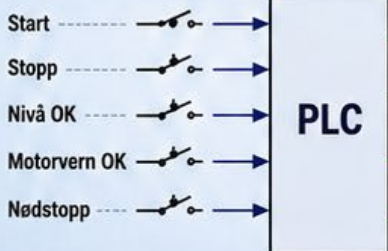


LØSNINGSFORSLAG TIL OPPGAVER I ELEKTROTEKNIKK

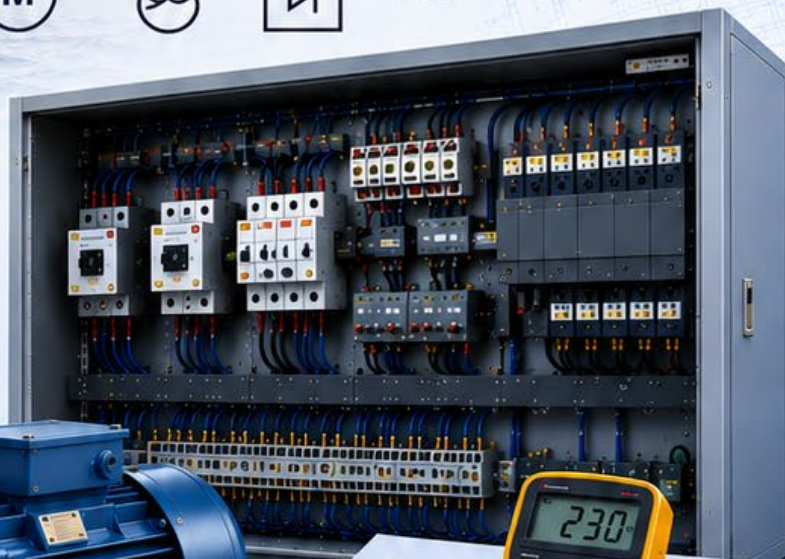
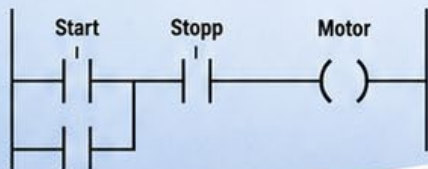
FOR MASKINOFFISERER



DIGITALE INNGANGER



DIGITALE UTGANGER



KRAFTFORSYNING



MOTORSTYRING



AUTOMASJON



BESKYTTELSE



MÅLING



FORFATTER: Lars Sigurd Berle

DATO: 05.06.2026

Innhold

Kapittel 1. Grunnleggende elektro likestrøm:	2
1.1. Ohms lov:	2
Kapittel 2. Batteri.	18
Kapittel 3. Vekselstrøm.	21
Seriekobling av vekselstrøms kretser.	21
Parallellkobling av vekselstrøms kretser.	27
Fasekompensering.	33
Kapittel 4. Trefase vekselstrøm.	36
Motstander koblet i stjerne eller trekant.	36
Spoler koblet i stjerne eller trekant.	38
Kapittel 5. Elektronikk	43
Kapittel 6. Måleinstrument.	46
Håndholdte instrument.	46
Tavle instrumenter.	47
Kapittel 7. Sikringer og effektbrytere.	51
Kapittel 8. Skipskabler.	56
Kapittel 9. Asynkrone kortslutningsmotorer.	60
Kapittel 10. Transformatorer.	76
Kapittel 11. Start og stopp for elektromotorer.	82
Kapittel 12. Hovedfordeling og underfordelinger.	86
Kapittel 13. Nødtavler og nødgeneratorer.	89
Kapittel 14. Vekselstrøm synkrongeneratorer.	99
Kapittel 15. Parallellkøying av generatorer.	108
Kapittel 16. Spenningsregulator.	141
Kapittel 17. Generatorbrytere og vern.	143
Kapittel 18. PMS.	148
Kapittel 19. Landstrøm.	153
Kapittel 20. UPS.	158
Kapittel 21. PLS.	162
Kapittel 22. Høyspent.	167

Kapittel 1. Grunnleggende elektro likestrøm:

1.1. Ohms lov:

$$U = I * R$$

1.1.1

$$I = \frac{U}{R} = \frac{230 \text{ V}}{40,35 \Omega} = \underline{\underline{5,7 \text{ A}}}$$

1.1.2

$$I = \frac{U}{R} = \frac{230 \text{ V}}{575 \Omega} = \underline{\underline{0,4 \text{ A}}}$$

1.1.3

$$U = I * R = 0,2 \text{ A} * 2500 \Omega = \underline{\underline{500 \text{ V}}}$$

1.1.4

$$\text{a) } I = \frac{U}{R} = \frac{230 \text{ V}}{46 \Omega} = \underline{\underline{5 \text{ A}}}$$

$$\text{b) } I = \frac{U}{R} = \frac{253 \text{ V}}{46 \Omega} = \underline{\underline{5,5 \text{ A}}}$$

1.1.5

$$U = I * R = 0,00132 \text{ A} * 4700 \Omega = \underline{\underline{6,20 \text{ V}}}$$

1.1.6

$$R = \frac{U}{I} = \frac{230 \text{ V}}{0,46 \text{ A}} = \underline{\underline{500 \Omega}}$$

1.1.7

$$R = \frac{U}{I} = \frac{12 \text{ V}}{0,6 \text{ A}} = \underline{\underline{20 \Omega}}$$

1.1.8

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3,6 \text{ V}}{12 \text{ A}} = \underline{\underline{0,3 \Omega}}$$

1.1.9

Vi skal ha tak i den spesifikke resistansen ρ , da må vi snu formelen.

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

$$R = \frac{l * \rho}{A} \quad / * A \quad \text{Vi ganger med A på begge sider av } = \text{ for å få vekk brøkstreken.}$$

$$R * A = \frac{l * \rho * A}{A} \quad \text{Da korter vi}$$

$$R * A = \frac{l * \rho * \cancel{A}}{\cancel{A}} \quad \text{Da blir det}$$

$$R * A = l * \rho \quad \text{Sidan vi skal ha tak i } \rho \text{ må vi få vekk lengda}$$

$$R * A = l * \rho \quad /l \quad \text{Da deler vi med l på begge sider}$$

$$\frac{R * A}{\cancel{l}} = \frac{l * \rho}{\cancel{l}} \quad \text{Så korter vi}$$

$$\frac{R * A}{\cancel{l}} = \frac{\cancel{l} * \rho}{\cancel{l}} \quad \text{Da står vi igjen med:}$$

$$\frac{R * A}{l} = \rho \quad \text{Da flytter vi om på formelen}$$

$$\rho = \frac{R * A}{l} = \frac{4,27 \, \Omega * 0,4 \, mm^2}{3,5 \, m} = \underline{0,488 \, \Omega * mm^2 / m}$$

1.1.10

Vi tar utgangspunkt i formelen vi snudde i forrige oppgave, vi begynner der vi hadde fått vekk brøkstreken.

$$R * A = l * \rho / \rho \quad \text{Vi deler på } \rho \text{ på begge sider av = da står l aleine på høyre side.}$$

$$\frac{R * A}{\rho} = \frac{l * \cancel{\rho}}{\cancel{\rho}}$$

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

$$l = \frac{R * A}{\rho} = \frac{0,85 * 4}{0,028} = \underline{121,43 \, m}$$

1.1.11

Her kan vi bruke formelen som vi snudde i forrige oppgave.

$$l = \frac{R * A}{\rho} = \frac{5,0166 * 1,5}{0,0175} = \underline{430 \, m}$$

1.1.12

Her må vi først regne ut arealet til lederen.

Formelen til areal er: $A = \pi * r^2$ (r er radius).

Diameteren er 0,5 mm da må radiusen være 0,25 mm.

$$A = \pi * r^2 = \pi * 0,25^2 = \underline{0,196 \, mm^2}$$

Så må vi regne ut R.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{0,1}{0,2} = \underline{0,5 \, \Omega}$$

Vi bruker formelen som vi snudde i oppgave 1.9.

$$\rho = \frac{R \cdot A}{l} = \frac{0,5 \, \Omega \cdot 0,196 \, \text{mm}^2}{5,6 \, \text{m}} = \underline{0,0175 \, \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}}$$

1.1.13

Arealet til motstandstråden er:

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 0,6^2 = \underline{1,13 \, \text{mm}^2}$$

$$\rho = \frac{R \cdot A}{l} = \frac{2,23 \, \Omega \cdot 1,13 \, \text{mm}^2}{1,8 \, \text{m}} = \underline{1,3999 \, \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}}$$

1.1.14

$$\text{a) } R = \frac{l \cdot \rho}{A} = \frac{280 \, \text{m} \cdot 0,0175 \, \Omega \text{mm}^2/\text{m}}{90 \, \text{mm}^2} = \underline{0,0544 \, \Omega}$$

$$\text{b) } A = \frac{l \cdot \rho}{R} = \frac{280 \, \text{m} \cdot 0,028 \, \Omega \text{mm}^2/\text{m}}{0,0544 \, \Omega} = \underline{144 \, \text{mm}^2}$$

Resistans i motstander og ledninger ved temperatur endring.

1.1.15

$$\text{a) } R = \frac{l \cdot \rho}{A} = \frac{250 \cdot 0,0175}{2,5} = \underline{1,75 \, \Omega}$$

$$\text{b) } \Delta t = t_2 - t_1 = 70 - 20 = \underline{50 \, ^\circ\text{C}}$$

$$R_2 = R_0 (1 + \alpha \cdot \Delta t) = 1,75 + (1,75 \cdot 0,0039 \cdot 50) = 1,75 + 0,34 = \underline{2,09 \, \Omega}$$

1.1.16

a) Resistansen ved 20 °C:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{48}{24} = \underline{2 \, \Omega}$$

b) Resistansen ved 100 °C:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 100 - 20 = \underline{80 \, ^\circ\text{C}}$$

$$R_2 = R_0 (1 + \alpha \cdot \Delta t) = 2 + 2 \cdot 0,0039 \cdot 80 = 2 + 0,624 = \underline{2,624 \, \Omega}$$

c) Temperaturen i kopper lederen ved resistans 2,4 Ω:

Vi må få t_2 alene på den ene side av likhetstegnet.

$$R_2 = R_0 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad | : R_0$$

Begynner med å flytte R_0 til andre side av $=$. Så deler vi med R_0 på begge sider av $=$

R_0 blir forkorta vekk på høyre side av likhetstegnet.

$$\frac{R_2}{R_0} = 1 + \alpha(t_2 - t_1)$$

Flytter så 1 over på venstre side, da skifter 1 fortegn.

$$\frac{R_2}{R_0} - 1 = \alpha (t_2 - t_1) \quad | : \alpha$$

så deler vi med α på begge sider av = slik at α blir flyttet over på venstre side.

$$\frac{\frac{R_2}{R_0} - 1}{\alpha} = t_2 - t_1$$

Flytter t_1 over på venstre side og t_1 skifter fortegn

$$\frac{\frac{R_2}{R_0} - 1}{\alpha} + t_1 = t_2$$

Speilvender formelen slik at den ukjente verdi t_2 kommer på venstre side.

$$t_2 = \frac{\frac{R_2}{R_0} - 1}{\alpha} + t_1 = \frac{\frac{2,4}{2} - 1}{0,0039} + 20 = \underline{\underline{71,28^\circ\text{C}}}$$

1.1.17

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 80 - 20 = \underline{60^\circ\text{C}}$$

$$R_2 = R_0 (1 + \alpha * \Delta t) = 90 + 90 * 0,004 * 60 = 90 + 21,6 = \underline{\underline{111,6\ \Omega}}$$

1.1.18

$$R_2 = \frac{U}{I} = \frac{230}{2} = \underline{115\ \Omega}$$

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

$$R_0 = \frac{R_2}{1 + \alpha * \Delta t} = \frac{115}{1 + 0,0009 * 90} = \underline{\underline{106,383\ \Omega}}$$

1.1.19

Henta snudd formel fra oppgave 1.1.16 c)

$$t_2 = \frac{\frac{R_2}{R_0} - 1}{\alpha} + t_1 = \frac{\frac{140}{110} - 1}{0,0046} + 75 = \underline{\underline{134,28^\circ\text{C}}}$$

1.2. Parallellkopling av motstander.

1.2.1

$$\text{a) } I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{230}{400} = \underline{\underline{0,575\ \text{A} = 575\ \text{mA}}}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{230}{650} = \underline{\underline{0,354\ \text{A} = 354\ \text{mA}}}$$

$$\text{b) } I_h = I_1 + I_2 = 0,575 + 0,354 = \underline{\underline{0,929\ \text{A} = 929\ \text{mA}}}$$

$$\text{c) } \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{400} + \frac{1}{650} = 0,0025 + 0,00154 = 0,004038$$

$$R_t = \frac{1}{0,004038} = \underline{\underline{247,65 \Omega}}$$

1.2.2

$$a) \quad I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{12}{4} = \underline{\underline{3 \text{ A}}}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{12}{6} = \underline{\underline{2 \text{ A}}}$$

$$I_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{12}{8} = \underline{\underline{1,5 \text{ A}}}$$

$$b) \quad I_h = I_1 + I_2 + I_3 = 3 + 2 + 1,5 = \underline{\underline{6,5 \text{ A}}}$$

$$c) \quad \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{1}{8} = 0,25 + 0,1667 + 0,125 = 0,5417$$

$$R_t = \frac{1}{0,5417} = \underline{\underline{1,85 \Omega}}$$

1.2.3

Når en parallellkobler to like motstander så blir total motstanden halvparten av den ene motstanden. Parallellkobler en fire like motstander så blir totalmotstanden en fjerde del.

Hver motstand blir: $R_t * \text{tal motstandar} = 30 * 4 = \underline{\underline{120 \Omega}}$

1.2.4

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_t} - \frac{1}{R_1} = \frac{1}{40} - \frac{1}{60} = 0,025 - 0,01667 = 0,00833$$

$$R_2 = \frac{1}{0,00833} = \underline{\underline{120,05 \Omega}}$$

1.2.5

$$R_t = \frac{l \cdot \rho}{A} = \frac{80 \cdot 0,0175}{0,58 \cdot 135} = \underline{\underline{0,179 \Omega}} = \underline{\underline{17,9 \text{ m}\Omega}}$$

1.2.6

$$a) \quad \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{106} + \frac{1}{52,9} = 0,009434 + 0,0189 = 0,02834$$

$$R_t = \frac{1}{0,02834} = \underline{\underline{35,29 \Omega}}$$

$$b) \quad I_h = \frac{U}{R_t} = \frac{230}{35,29} = \underline{\underline{6,52 \text{ A}}}$$

$$c) \quad I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{230}{106} = \underline{\underline{2,17 \text{ A}}}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{230}{52,9} = \underline{\underline{4,35 \text{ A}}}$$

d) $I_h = I_2 = \underline{4,35 \text{ A}}$

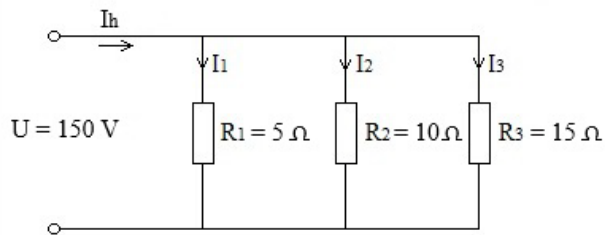
1.2.7

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_t} - \frac{1}{R_2} = \frac{1}{19,2} - \frac{1}{46,2} = 0,052 - 0,0216 = 0,0736$$

$$R_1 = \frac{1}{0,0736} = 13,58 \text{ k}\Omega$$

$$U_h = U_1 = I_1 * R_1 = 3,1 \text{ mA} * 13,58 \text{ k}\Omega = \underline{42,09 \text{ V}}$$

1.2.8



$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{5} + \frac{1}{10} + \frac{1}{15} = 0,2 + 0,1 + 0,0667 = 0,3667$$

$$R_t = \frac{1}{0,3667} = \underline{2,73 \Omega}$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{150}{5} = \underline{30 \text{ A}}$$

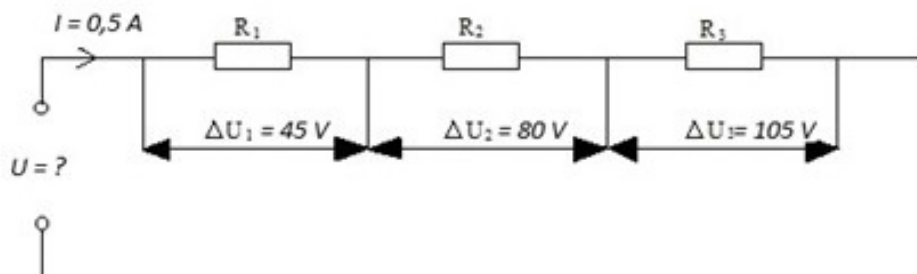
$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{150}{10} = \underline{15 \text{ A}}$$

$$I_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{150}{15} = \underline{10 \text{ A}}$$

$$I_h = I_1 + I_2 + I_3 = 30 + 15 + 10 = \underline{55 \text{ A}}$$

1.3. Seriekobling.

1.3.1



a) Tegning over.

b) $U_h = U_{R1} + U_{R2} + U_{R3} = 45 \text{ V} + 80 \text{ V} + 105 \text{ V} = \underline{230 \text{ V}}$

c) $R_1 = \frac{U_{R1}}{I} = \frac{45}{0,5} = \underline{90 \Omega}$

$$R_2 = \frac{U_{R2}}{I} = \frac{80}{0,5} = \underline{\underline{160 \, \Omega}}$$

$$R_3 = \frac{U_{R3}}{I} = \frac{105}{0,5} = \underline{\underline{210 \, \Omega}}$$

$$d) \quad R = \frac{U}{I} = \frac{230}{0,5} = \underline{\underline{460 \, \Omega}} \quad \text{eller}$$

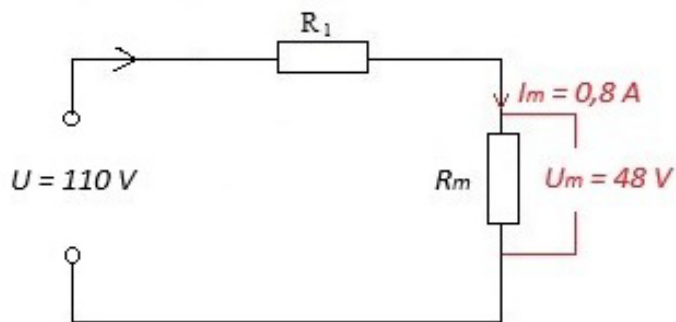
$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 90 + 160 + 210 = \underline{\underline{460 \, \Omega}}$$

1.3.2

$$R_2 + R_3 = R_t - R_1 = 1200 - 450 = 750 \, \Omega$$

$$R_2 = R_3 = \frac{750}{2} = \underline{\underline{375 \, \Omega}}$$

1.3.3



Når strømmen gjennom spolen er 0,8 A så blir strømmen gjennom R_1 også 0,8 A.

$$\text{Spenningsfallet over } R_1 \text{ blir: } \Delta U_{R1} = U - U_m = 110 - 48 = \underline{\underline{62 \, V}}$$

$$R_1 = \frac{\Delta U_{R1}}{I} = \frac{62}{0,8} = \underline{\underline{77,5 \, \Omega}}$$

1.3.4

$$I_{lampe} = \frac{U_{lampe}}{R_{lampe}} = \frac{12}{3} = 4 \, \text{A}$$

$$\Delta U_{kabel} = \frac{l \cdot I \cdot \rho}{A} = \frac{2 \cdot 12 \cdot 4 \cdot 0,0175}{1,5} = 1,12 \, \text{V}$$

$$U = U_{lampe} + \Delta U_{kabel} = 12 \, \text{V} + 1,12 \, \text{V} = \underline{\underline{13,12 \, \text{V}}}$$

1.3.5

Først må vi regne ut spenningsfallet i instrumentet.

$$\Delta U_i = R_i \cdot I = 2 \cdot 0,1 = \underline{\underline{0,2 \, \text{V}}}$$

Spenningsfallet over formotstanden vil da bli:

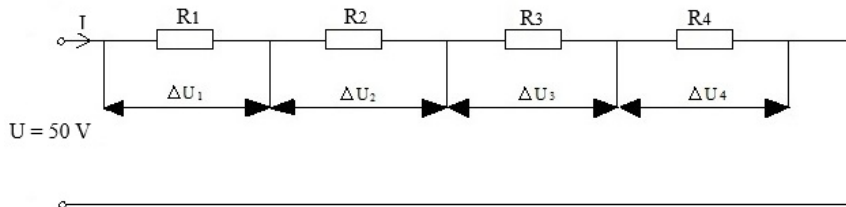
$$\Delta U_f = U - \Delta U_i = 110 - 0,2 = \underline{\underline{109,8 \, \text{V}}}$$

Resistansen i formotstanden vil da bli:

$$R_f = \frac{\Delta U_f}{I} = \frac{109,8}{0,1} = \underline{\underline{1098 \Omega}}$$

1.3.6

a)



b) Først må vi regne ut totalmotstanden.

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 10 \text{ k}\Omega + 12 \text{ k}\Omega + 25 \text{ k}\Omega + 19 \text{ k}\Omega = 66 \text{ k}\Omega$$

$$I = \frac{U}{R_t} = \frac{50}{66000} = 0,000757 \text{ A} = \underline{\underline{0,757 \text{ mA}}}$$

$$\text{c) } \Delta U_1 = I * R_1 = 0,000757 * 10000 = \underline{\underline{7,57 \text{ V}}}$$

$$\Delta U_2 = I * R_2 = 0,000757 * 12000 = \underline{\underline{9,08 \text{ V}}}$$

$$\Delta U_3 = I * R_3 = 0,000757 * 25000 = \underline{\underline{18,93 \text{ V}}}$$

$$\Delta U_4 = I * R_4 = 0,000757 * 19000 = \underline{\underline{14,38 \text{ V}}}$$

$$\text{Kontroll: } U = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 + \Delta U_4 = 7,57 + 9,08 + 18,93 + 14,38 \approx 50 \text{ V}$$

d) Ved kortslutning i R_3 vil strømmen gå gjennom R_1 , R_2 og R_4

$$\text{Då får vi en ny: } R_t = R_1 + R_2 + R_4 = 10 \text{ k}\Omega + 12 \text{ k}\Omega + 19 \text{ k}\Omega = \underline{\underline{41 \text{ k}\Omega}}$$

$$\text{Vi får og en ny } I = \frac{U}{R_t} = \frac{50}{41 \text{ k}} = 0,00122 \text{ A} = \underline{\underline{1,22 \text{ mA}}}$$

$$\Delta U_1 = I * R_1 = 0,00122 * 10000 = \underline{\underline{12,2 \text{ V}}}$$

$$\Delta U_2 = I * R_2 = 0,00122 * 12000 = \underline{\underline{14,64 \text{ V}}}$$

$$\Delta U_4 = I * R_4 = 0,00122 * 19000 = \underline{\underline{23,18 \text{ V}}}$$

$$\text{Kontroll: } U = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_4 = 12,2 + 14,64 + 23,18 = 50,02 \approx 50 \text{ V}$$

1.3.7

Eininga for konduktans er siemens (S).

Konduktans er et mål for kor lett strømmen kan gå gjennom en komponent eller en leder.

Det er altså det motsette av resistans (motstand).

Sammenhengen mellom resistans og konduktans er:

$$G = \frac{1}{R}$$

Vi kan kalle leder 1 for R_1 og leder 2 for R_2 .

$$R_1 = \frac{1}{G_1} = \frac{1}{0,0002} = 5000 \, \Omega = \underline{5 \, \text{k}\Omega}$$

$$R_2 = \frac{1}{G_2} = \frac{1}{0,0008} = 1250 \, \Omega = \underline{1,25 \, \text{k}\Omega}$$

$$R_t = R_1 + R_2 = 5000 + 1250 = 6250 \, \Omega = \underline{6,25 \, \text{k}\Omega}$$

$$I = \frac{12}{6250} = \underline{1,92 \, \text{mA}}$$

$$G = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{6250} = \underline{0,16 \, \text{mS}}$$

1.3.8

$$\text{a) } U_{\text{lampe}} = \frac{U}{n} = \frac{230}{7} = \underline{32,86 \, \text{V}}$$

$$\text{b) } I = \frac{U_L}{R_L} = \frac{32,86}{400} = \underline{0,082 \, \text{A} = 82 \, \text{mA}}$$

$$\text{c) } R_t = R_L * n = 400 * 7 = \underline{2800 \, \Omega}$$

1.4. Spenningsdeler.

1.4.1

$$\text{a) } U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * U = \frac{4 \, \text{k}}{12 \, \text{k} + 4 \, \text{k}} * 48 = \underline{12 \, \text{V}}$$

Vi kan rekne det ut på en annan måte også.

$$R_t = R_1 + R_2 = 12000 + 4000 = 16000 \, \Omega$$

$$I_h = \frac{U_h}{R_t} = \frac{48}{16000} = 0,003 \, \text{A}$$

$$U_2 = I_h * R_2 = 0,003 * 4000 = \underline{12 \, \text{V}}$$

$$\text{b) } \frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_L} = \frac{1}{4 \, \text{k}} + \frac{1}{20 \, \text{k}} = 0,00025 + 0,00005 = 0,0003$$

$$R_p = \frac{1}{0,0003} = \underline{3333 \, \Omega}$$

$$R_t = R_1 + R_p = 12000 + 3333 = \underline{15333 \, \Omega}$$

$$I = \frac{U}{R_t} = \frac{48}{15333} = 0,00313 \, \text{A} = \underline{3,13 \, \text{mA}}$$

$$U_{A-B} = I * R_p = 0,00313 * 3333 = \underline{10,43 \, \text{V}}$$

$$\text{c) } P = U_{A-B} * I = U_{A-B} * \left(\frac{U_{A-B}}{R_L} \right) = \frac{U_{A-B}^2}{R_L} = \frac{6,8^2}{20 \, \text{k}} = 0,0023 \, \text{W} = \underline{2,3 \, \text{mW}}$$

- d) Den målte spenningen blir lavere enn den beregnede. Dette skyldes at voltmeteret har en svært stor indre resistans og derfor trekker en liten strøm. Når det kobles inn mellom A og B, vil det ligge parallelt med motstanden(e) og redusere den totale

resistansen. Dette påvirker spenningsdelingen slik at spenningen mellom A og B blir lavere enn i den ideelle beregningen.

1.4.2

$$a) \quad U_{A-B} = \frac{R_2+R_3}{R_1+R_2+R_3} * U = \frac{2 \text{ k}+3 \text{ k}}{1 \text{ k}+2 \text{ k}+3 \text{ k}} * 30 = \underline{25 \text{ V}}$$

$$b) \quad U_{A-B} = 20 \text{ V} \rightarrow U_{R1} = U - U_{A-B} = 30 - 20 = 10 \text{ V}$$

$$I = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{10}{1000} = 0,01 \text{ A} = 10 \text{ mA}$$

$$\text{Strømmen gjennom } R_2 \text{ og } R_3 \text{ vil bli: } I_{R2-3} = \frac{U_{A-B}}{R_2+R_3} = \frac{20}{2 \text{ k}+3 \text{ k}} = \frac{20}{5000} = 0,004 \text{ A}$$

$$\text{Strømmen gjennom } R_L: \quad I_{RL} = I - I_{R2-3} = 0,01 - 0,004 = 0,006 \text{ A}$$

$$R_L = \frac{U_{A-B}}{I_{RL}} = \frac{20}{0,006} = 3333 \Omega = \underline{3,33 \text{ k}\Omega}$$

$$P = U_{A-B} * I_{RL} = 20 * 0,006 = \underline{0,12 \text{ W}}$$

1.5. Serieparallellkobling av resistanser.

1.5.1

Bryteren åpen:

Først kobles R1 og R2 i serie. Deretter kobles R3 og R4 i serie. Til slutt kobles de to seriekoblingene parallelt med hverandre $R_{1-2} = R_1 + R_2 = 200 + 140 = 340 \Omega$

$$R_{3-4} = R_3 + R_4 = 140 + 320 = 460 \Omega$$

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_{1-2}} + \frac{1}{R_{3-4}} = \frac{1}{340} + \frac{1}{460} = 0,00294 + 0,00217 = 0,00511$$

$$R_t = \frac{1}{0,00511} = 195,7 \Omega$$

Bryteren lukket:

Først er R1 og R3 koblet parallelt. Deretter er denne koblingen koblet i serie med en parallellkobling av R2 og R4.

$$\frac{1}{R_{p1}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{200} + \frac{1}{140} = 0,005 + 0,00714 = 0,01214$$

$$R_{p1} = \frac{1}{0,01214} = \underline{82,37 \Omega}$$

$$\frac{1}{R_{p2}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{140} + \frac{1}{320} = 0,00714 + 0,00313 = 0,01027$$

$$R_t = \frac{1}{0,01027} = \underline{97,37 \Omega}$$

$$R_t = R_{p1} + R_{p2} = 82,37 + 97,37 = \underline{179,74 \Omega}$$

1.5.2

- a) Her har vi tre spenningsfall $U_{ab} + U_{bc} + U_{cd}$.

U_{ab} er oppgitt til 60 V.

$$R_t = R_1 + R_p + R_5 = 1,5 + 1,5 + 0,5 = \underline{3,5 \Omega}$$

$$I = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{60}{1,5} = \underline{40 A}$$

$$U_p = I * R_p = 40 * 1,5 = \underline{60 V}$$

$$U_5 = I * R_5 = 40 * 0,5 = \underline{20 V}$$

$$U_{ad} = U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} = 60 + 60 + 20 = \underline{140 V}$$

b) $I_2 = \frac{U_{bc}}{R_2} = \frac{60}{2,5} = \underline{24 A}$

$$I_3 = \frac{P_3}{U_{bc}} = \frac{240}{60} = \underline{4 A}$$

$$I_4 = I - I_2 - I_3 = 40 - 24 - 4 = 12 A$$

$$R_4 = \frac{U_{bc}}{I_4} = \frac{60}{12} = \underline{5 \Omega}$$

1.5.3

- a) *Gren 1 (R_1):*

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{110}{20} = \underline{5,5 A}$$

Gren 2 (R_2 , R_3 og R_4):

Først parallell:

$$\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{400} + \frac{1}{100} = 0,0025 + 0,01 = 0,0125$$

$$R_{23} = \frac{1}{0,0125} = 80 \Omega$$

R_{23} i serie med R_4 :

$$R_{gren2} = R_4 + R_{23} = 120 + 80 = 200 \Omega$$

Grenstrøm 2:

$$I_{gren2} = \frac{U_h}{R_{234}} = \frac{110}{200} = 0,55 A$$

Denne går gjennom R_4 .

$$I_{R4} = \underline{0,55 A}$$

Spennings over parallellen:

$$U_{23} = I_{gren2} * R_{23} = 0,55 * 80 = 44 V$$

Strømmer i gren 2:

$$I_{R2} = \frac{U_{23}}{R_2} = \frac{44}{400} = \underline{\underline{0,11 \text{ A}}}$$

$$I_{R3} = \frac{U_{23}}{R_3} = \frac{44}{100} = \underline{\underline{0,44 \text{ A}}}$$

Gren 3 (R₅ og R₆):

$$R_{gren3} = R_5 + R_6 = 1 + 9 = 10 \Omega$$

$$I_{gren3} = I_5 = I_6 = \frac{U}{R_{5-6}} = \frac{110}{10} = \underline{\underline{11 \text{ A}}}$$

$$b) \quad I_h = I_{G1} + I_{G2} + I_{G3} = 5,5 + 0,55 + 11 = \underline{\underline{17,05 \text{ A}}}$$

$$R_t = \frac{U_h}{I_h} = \frac{110}{17,05} = \underline{\underline{6,45 \Omega}}$$

1.5.4

Parallell koblinga:

$$a) \quad U_{R1} = U_{R2} = 70 \text{ V}$$

$$R_2 = \frac{U}{I} = \frac{70}{0,6} = \underline{\underline{116,7 \Omega}}$$

$$b) \quad \text{Finn } U_{R3}.$$

Først finne strøm gjennom R₁:

$$I_{R1} = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{70}{60} = 1,17 \text{ A}$$

Hovedstrøm:

$$I_h = I_{R1} + I_{R2} = 1,17 + 0,6 = 1,77 \text{ A}$$

Spennning over R₃:

$$U_{R3} = I_h \cdot R_3 = 1,77 \cdot 50 = \underline{\underline{88,5 \text{ V}}}$$

$$c) \quad \text{Hovedspenningen.}$$

$$U = U_{R12} + U_{R3} = 70 + 88,5 = \underline{\underline{158,5 \text{ V}}}$$

$$d) \quad P_{R2} = U_{R2} \cdot I_{R2} = 70 \cdot 0,6 = \underline{\underline{42 \text{ W}}}$$

1.5.5

$$a) \quad \text{Først må vi finne motstanden i parallellkoblingen.}$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{15} + \frac{1}{30} = 0,0667 + 0,0333 = 0,1$$

$$R_p = \frac{1}{0,1} = \underline{\underline{10 \Omega}}$$

$$R_t = R_1 + R_p = 10 + 10 = \underline{\underline{20 \Omega}}$$

$$b) \quad I_h = \frac{U_h}{R_t} = \frac{50}{20} = \underline{\underline{2,5 \text{ A}}}$$

- c) *Spenningen over parallellen:*

$$U_p = I_h * R_p = \underline{25 \text{ V}}$$

d) $I_2 = \frac{U_{23}}{R_2} = \frac{25}{15} = \underline{1,67 \text{ A}}$

$$I_3 = \frac{U_{23}}{R_3} = \frac{25}{30} = \underline{0,83 \text{ A}}$$

e) $P_{R3} = U_{Rp} * I_{R3} = 25 * 0,83 = \underline{20,8 \text{ W}}$

1.5.6

- a) Seriekobling:

Motstander er koblet etter hverandre slik at samme strøm går gjennom alle.

Parallellkobling:

Motstander er koblet mellom de samme to punktene og har dermed samme spenning over seg.

- b) R2 og R3 er koblet i serie.

- c) Først serie:

$$R_{23} = R_2 + R_3 = 20 + 40 = 60 \Omega$$

Så parallell med R1

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{80} + \frac{1}{60} = 0,0125 + 0,0167 = 0,0292$$

$$R_t = \frac{1}{0,0292} = \underline{34,3 \Omega}$$

- d) Spenning over seriekoblingen = spenningen over parallellkoblingen:

$$U = U_1 = U_{23} = I_{R3} * R_{23} = 0,6 * 60 = \underline{36 \text{ V}}$$

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{36}{80} = \underline{0,45 \text{ A}}$$

- e) $P_{R2} = I_{R3}^2 * R_2 = 0,6^2 * 20 = \underline{7,2 \text{ W}}$

- f) *Brudd i R3:* Ingen strøm i R2 og R3. Men øvre og nedre punkt er koblet til spenningskilden. Dermed måler du hele spenningen over R3. $\underline{U_{R3} = 36 \text{ V}}$

1.5.7

- a) Total resistans:

1. Start innerst: $R5 \parallel R6$.

$$\frac{1}{R_{56}} = \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} = \frac{1}{4} + \frac{1}{6} = 0,25 + 0,167 = 0,417$$

$$R_{56} = \frac{1}{0,417} = 2,4 \Omega$$

2. Serie med R4.

$$R_{4+56} = R_4 + R_{56} = 5,6 + 2,4 = 8,0 \, \Omega$$

3. Parallell med R3.

$$\frac{1}{R_{3,4,5,6}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{456}} = \frac{1}{12} + \frac{1}{8} = 0,0833 + 0,125 = 0,2083$$

$$R_{3456} = \frac{1}{0,2083} = 4,8 \, \Omega$$

4. Serie med R2.

$$R_{23456} = R_2 + R_{3456} = 5,2 + 4,8 = 10 \, \Omega$$

5. Parallell med R1.

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{23456}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = 0,1 + 0,1 = 0,2$$

$$R_{tot} = \frac{1}{0,2} = \underline{\underline{5 \, \Omega}}$$

b) $I_h = \frac{U_h}{R_t} = \frac{120}{5} = \underline{\underline{24 \, A}}$

c) To like grener (10 Ω og 10 Ω).

$$I_{R1} = \frac{I_h}{2} = \frac{24}{2} = \underline{\underline{12 \, A}}$$

$$I_{R2} = \frac{I_h}{2} = \frac{24}{2} = \underline{\underline{12 \, A}}$$

Spenningsfall etter R_2 : $\rightarrow U_{3456} = I_{R2} * R_{3456} = 12 * 4,8 = 57,6 \, V$

$$I_{R3} = \frac{U_{3456}}{R_3} = \frac{57,6}{12} = \underline{\underline{4,8 \, A}}$$

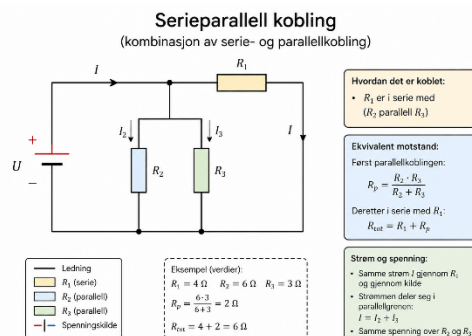
$$I_{R4} = \frac{U_{3456}}{R_{456}} = \frac{57,6}{8} = \underline{\underline{7,2 \, A}}$$

$$U_{R56} = I_{R4} * R_{56} = 7,2 * 2,4 = \underline{\underline{17,28 \, V}}$$

$$I_{R5} = \frac{U_{56}}{R_5} = \frac{17,28}{4} = \underline{\underline{4,32 \, A}}$$

$$I_{R6} = \frac{U_{56}}{R_6} = \frac{17,28}{6} = \underline{\underline{2,88 \, A}}$$

d) $P_{R6} = U_{R56} * I_{R6} = 17,28 * 2,88 = \underline{\underline{49,8 \, W}}$



1.6. Målebruer.

1.6.1

$$\begin{aligned} \text{a)} \quad U_{R2} &= \frac{U \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{30 \cdot 3300}{2700 + 3300} = \underline{18 \text{ V}} \\ \text{b)} \quad U_{R4} &= \frac{U \cdot R_4}{R_3 + R_4} = \frac{30 \cdot 3300}{2700 + 3300} = \underline{16,5 \text{ V}} \\ \text{c)} \quad U_{A-B} &= U_{R2} + U_{R4} = 18 - 16,5 = \underline{1,5 \text{ V}} \end{aligned}$$

Her er klemme A positiv i forhold til klemme B.

$$\begin{aligned} \text{d)} \quad U_{R4} &= U_{R2} = \frac{U \cdot R_4}{R_3 + R_4} \quad \text{snu formelen} \\ R_4 &= \frac{U_{R2} \cdot R_3}{U - U_{R2}} = \frac{18 \cdot 2700}{30 - 18} = \frac{48600}{12} = \underline{4050 \Omega} \end{aligned}$$

1.6.2

a) Målebrua er i balanse når spenninga over måleinstrumentet er 0 V. Då er motstandsforholda i dei to greinene like.

b) Ved balanse gjeld:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x} \quad \text{Set inn verdier:}$$

$$\frac{100}{200} = \frac{150}{R_x}$$

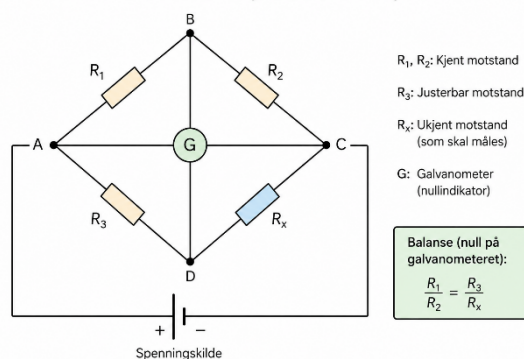
$$0,5 = \frac{150}{R_x}$$

$$R_x = \frac{150}{0,5} = 300 \Omega$$

c)

- Svært nøyaktig måling av små motstandsendringer.
- Lite påvirket av spenningsvariasjoner i 24 V-anlegg.
- Vanlig brukt i trykk-, nivå- og strekkmåling.
- Stabil og driftssikker – viktig i maskinrom og UMS-drift.

Elektrisk målebro (Wheatstone-bro)



1.7. Elektrisk effekt.

1.7.1

a) $P = U \cdot I = 230 \cdot 8,7 = \underline{\underline{2001 \text{ W}}}$

1.7.2

a) $P = U \cdot I = 12 \cdot 2 = \underline{\underline{24 \text{ W}}}$

1.7.3

a) $P = I^2 \cdot R = 3^2 \cdot 10 = 9 \cdot 10 = \underline{\underline{90 \text{ W}}}$

1.7.4

a) $P = \frac{U^2}{R} = \frac{40^2}{20} = \frac{1600}{20} = \underline{\underline{80 \text{ W}}}$

1.7.5

a) $P = \frac{U^2}{R} = \frac{25^2}{50} = \frac{625}{50} = 12,5 \text{ W}$

b) Nei – motstanden må tåle minst 12,5 W

→ Praktisk val: 20 W-motstand

1.7.6

a) $U = R \cdot I = 8 \cdot 5 = 40 \text{ V}$

b) $P = U \cdot I = 40 \cdot 5 = \underline{\underline{200 \text{ W}}}$

1.7.7

a) $P = U \cdot I = 24 \cdot 1,5 = \underline{\underline{36 \text{ W}}}$

1.7.8

a) $I = \frac{U}{R} = \frac{24}{12} = 2 \text{ A}$

b) $P = U \cdot I = 24 \cdot 2 = \underline{\underline{48 \text{ W}}}$

Kapittel 2. Batteri.

2.1. Straumkrets med en celle.

2.1.1

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

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

2.2. Seriekobling av celler.

2.2.1

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

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

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

2.2.2

$$a) E_{\text{batteripakke}} = e * n_b = 2 * 6 = 12 \text{ V}$$

$$E_t = E_b * n = 12 * 4 = \underline{48 \text{ V}}$$

Ved seriekobling øker vi ikke kapasiteten. Så kapasiteten er fortsatt 75 Ah.

2.3. Parallellkobling av celler.

2.3.1

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

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

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

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

2.3.2

$$a) \text{ Totalkapasiteten } \rightarrow Q_t = Q * m = 75 * 4 = \underline{300 \text{ Ah}}$$

Spenningen vil ikke øke uansett hvor mange batteri vi kobler i parallell. $\underline{U = 12 \text{ V}}$

2.4. Serieparallellkobling av celler.

2.4.1

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

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

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

2.4.2

- a) Fire parallell koblinger der hver kobling har seks i serie.

Seriekoblinga $E = n * e = 6 * 2,12 = 12,72 \text{ V}$.

$$R_i = \frac{r_i * n}{m} = \frac{0,015 * 6}{4} = \underline{0,0225 \Omega}$$

R_1 er i serie med parallellkoblingen $R_2 // R_3$.

$$\frac{1}{R_{2/3}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{10} + \frac{1}{15} = 0,1 + 0,067 = 0,167$$

$$R_{2/3} = \frac{1}{0,167} = \underline{6 \Omega}$$

$$R_y = R_1 + R_{2/3} = 15 + 6 = \underline{21 \Omega}$$

b) $I_h = \frac{E}{R_i + R_y} = \frac{12,72}{0,0225 + 21} = \frac{12,72}{21,0225} = \underline{0,61 \text{ A}}$

c) $U_{R3} = I_h * \frac{R_2}{3} = 0,61 * 6 = \underline{3,66 \text{ V}}$

d) $I_k = \frac{E}{R_i} = \frac{12,72}{0,0225} = \underline{565,33 \text{ A}}$

Kortslutningsstrømmen blir bestemt av R_i .

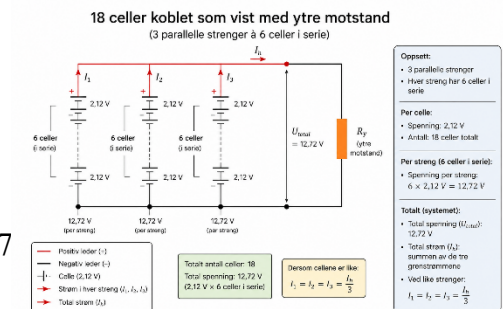
- e) Farer og tiltak:

Farer:

- Knallgass → eksplosjon
- Høg kortslutningsstrøm → brann
- Syre → etseskade

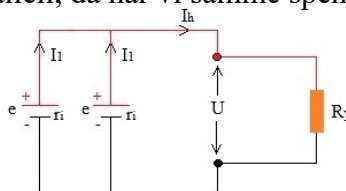
Tiltak:

- Ventilasjon
- Sikringer
- Isolerte pol
- Verneutstyr
- Vedlikehold



2.4.3

- a) Kobler batteriene i parallell, da har vi samme spenning, men øker kapasiteten.



b) $R_i = \frac{r_i}{m} = \frac{0,2}{2} = 0,1 \Omega$

$$\Delta U = I_h * R_i = 6 * 0,1 = 0,6 \text{ V}$$

$$U = E - \Delta U = 24 - 0,6 = \underline{23,4 \text{ V}}$$

$$c) \quad R_l = \frac{\rho * l}{A} = \frac{0,0175 * 2 * 50}{2,5} = \underline{0,7 \, \Omega}$$

$$\Delta U_k = I_h * R_k = 6 * 0,7 = \underline{4,2 \, V}$$

2.4.4

- a) Vi lager tre parallellkoblinger der hver kobling har fire battericeller i serie.

$$E = e * n = 6 * 4 = \underline{24 \, V}$$

$$b) \quad R_i = \frac{r_i * n}{m} = \frac{0,3 * 4}{3} = \underline{0,4 \, \Omega}$$

$$I_{lampe} = I_h = \frac{P}{U} = \frac{55}{24} = \underline{2,29 \, A}$$

$$R_k = \frac{\rho * l}{A} = \frac{0,0175 * 2 * 30}{2,5} = \underline{0,42 \, \Omega}$$

$$R_t = R_i + R_k = 0,4 + 0,42 = \underline{0,82 \, \Omega}$$

$$\Delta U = I_h * R_t = 2,29 * 0,82 = 1,88 \, V$$

$$U_{lampe} = E - \Delta U = 24 - 1,88 = \underline{22,12 \, V}$$

$$c) \quad \Delta U_k = I_h * R_k = 2,29 * 0,42 = 0,96 \, V$$

$$\text{Prosent spenningsfall i kabel} = \frac{100 \% * 0,96}{24} = \underline{4 \%}$$

Typisk grense for lys er 3-5 %. Siden man er på grensa så kan vi øke tverrsnittet.

$$d) \quad P_l = U_l * I_h = 22,12 * 2,29 = \underline{50,65 \, W}$$

$$e) \quad I_k = \frac{E}{R_i} = \frac{24}{0,4} = \underline{60 \, A}$$

- f) HMS ved batteri:

Farer:

- Knallgass → eksplosjon.
- Kortslutning → høy strøm / brann.
- Syre → etsning.

Tiltak:

- Ventilasjon.
- Sikring.
- Verneutstyr.
- Isolerte verktøy.
- Kontroll og vedlikehold.

2.5. Kortslutning i batteri.

2.5.1 Kortslutningsstrøm i oppgave 2.4.1

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

Kapittel 3. Vekselstrøm.

Seriekobling av vekselstrøms kretser.

3.1

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

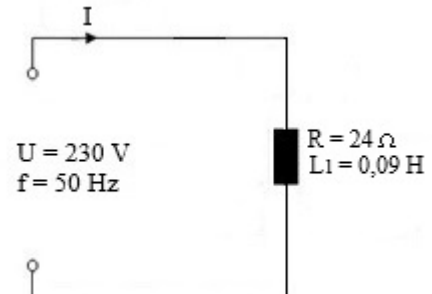
Vi mangler Z for å finne I.

For å finne Z må vi regne ut X_L .

$$X_L = 2 * \pi * f * L = 2 * \pi * 50 * 0,09 = \underline{28,27 \Omega}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{20^2 + 28,27^2} = \underline{34,62 \Omega}$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{230}{34,62} = \underline{6,64 A}$$

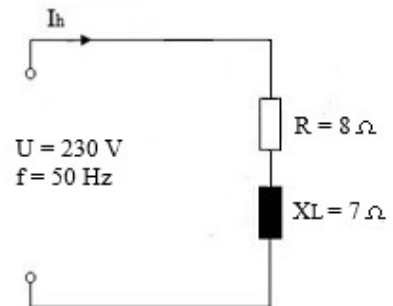


3.2

$$a) \quad Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{8^2 + 7^2} = \underline{10,63 \Omega}$$

$$b) \quad I = \frac{U}{Z} = \frac{230}{10,63} = \underline{21,64 A}$$

$$c) \quad \cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{8}{10,63} = \underline{0,7526}$$



3.3

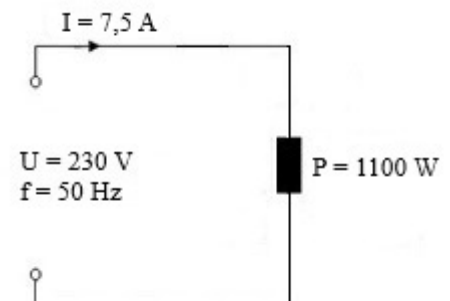
$$a) \quad P = U * I * \cos \varphi \rightarrow$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{U * I} = \frac{1100}{230 * 7,5} = \underline{0,6377}$$

$$b) \quad Z = \frac{U}{I} = \frac{230}{7,5} = \underline{30,67 \Omega}$$

$$c) \quad R = Z * \cos \varphi = 30,67 * 0,6377 = \underline{19,56}$$

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{30,67^2 - 19,56^2} = \underline{23,62 \Omega}$$



3.4

$$a) \quad Z = \frac{U}{I} = \frac{230}{6,20} = \underline{37,10 \Omega}$$

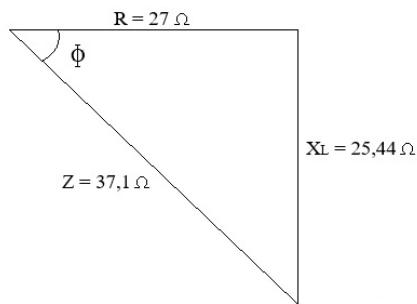
$$b) \quad \cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{27}{37,1} = \underline{0,7278}$$

$$c) \quad X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{37,10^2 - 27^2} = \underline{25,44 \Omega}$$

$$d) \quad X_L = 2 * \pi * f * L \rightarrow$$

$$L = \frac{X_L}{2 * \pi * f} = \frac{25,44}{2 * \pi * 50} = \underline{0,08 H}$$

e)



3.5

a) $\cos \varphi = \frac{R_t}{Z}$

$$R_{bruksapparat} = \frac{U_{Rb}}{I} = \frac{30}{10} = \underline{3 \Omega}$$

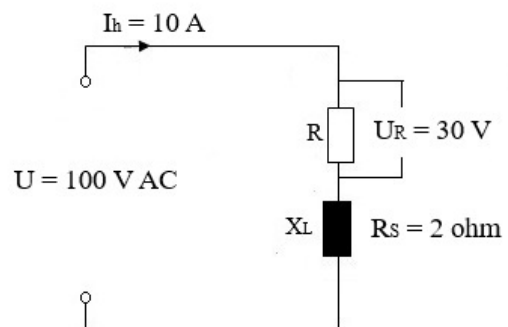
$$R_t = R_b + R_s = 3 + 2 = \underline{5 \Omega}$$

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{100}{10} = \underline{10 \Omega}$$

$$\cos \varphi = \frac{R_t}{Z} = \frac{5}{10} = \underline{0,5}$$

b) $P = U * I * \cos \varphi = 100 * 10 * 0,5 = \underline{500 \text{ W}}$

c) $P = U * I = 100 * 10 = \underline{1000 \text{ W}}$



3.6

a) $\cos \varphi = \frac{R_t}{Z}$

$$R = \frac{U_R}{I} = \frac{75}{7,5} = \underline{10 \Omega}$$

$$R_t = R + R_s = 10 + 5 = \underline{15 \Omega}$$

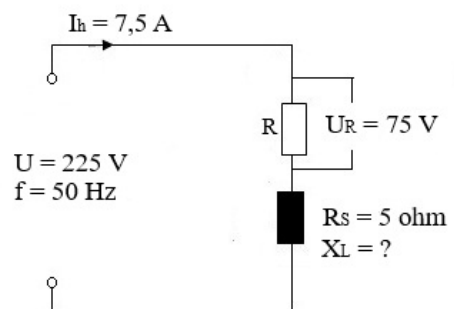
$$Z = \frac{U}{I} = \frac{225}{7,5} = \underline{30 \Omega}$$

$$\cos \varphi = \frac{R_t}{Z} = \frac{15}{30} = \underline{0,5}$$

b) $P = U * I * \cos \varphi = 225 * 7,5 * 0,5 = \underline{843,75 \text{ W}}$

c) $X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{30^2 - 15^2} = \underline{25,98 \Omega}$

$$X_L = 2 * \pi * f * L \rightarrow L = \frac{X_L}{2 * \pi * f} = \frac{25,98}{2 * \pi * 50} = \underline{0,08 \text{ H}}$$



3.7

a) $R = \frac{U}{I} = \frac{1,5}{0,06} = \underline{25 \Omega}$ Finner spolens resistans med likestrøm.

b) $Z = \frac{U}{I} = \frac{230}{5,5} = \underline{41,82 \Omega}$

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{41,82^2 - 25^2} = \underline{33,52 \Omega}$$

c) $L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{33,52}{2\pi \cdot 50} = \underline{0,11 H}$

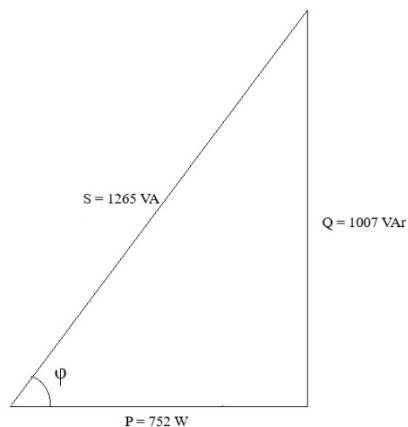
d) $\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{25}{41,82} = \underline{0,5978} \rightarrow \sin \varphi = \underline{0,8016}$

e) $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 230 \cdot 5,5 \cdot 0,5978 = \underline{752,22 W}$

$$S = U \cdot I = 230 \cdot 5,5 = \underline{1265 VA}$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi = 230 \cdot 5,5 \cdot 0,8016 = \underline{1006,81 Var}$$

f) Effekttrekanten.



3.8

a) $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,02 = \underline{6,28 \Omega}$

b) $R_t = R_1 + R_2 = 3 + 4 = \underline{7 \Omega}$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{7^2 + 6,28^2} = \underline{9,40 \Omega}$$

c) $I = \frac{U}{Z} = \frac{250}{9,40} = \underline{26,60 A}$

d) $\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{7}{9,4} = \underline{0,7447}$

e) $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 250 \cdot 26,6 \cdot 0,7447 = \underline{4952,26 W}$

3.9

$$a) \quad R = \frac{U}{I} = \frac{12}{2} = \underline{6 \, \Omega} \text{—likestrøm}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{6^2 + 4,2^2} = \underline{7,32 \, \Omega}$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{6}{7,32} = \underline{0,8197}$$

$$b) \quad I = \frac{U}{Z} = \frac{110}{7,32} = \underline{15,03 \, A}$$

$$P = U * I * \cos \varphi = 110 * 15,03 * 0,8197 = \underline{1355,21 \, W}$$

$$c) \quad L = \frac{X_L}{2 * \pi * f} = \frac{4,2}{2 * \pi * 50} = \underline{0,013 \, H}$$

3.10

$$a) \quad S = U * I = 230 * 2 = \underline{460 \, VA}$$

$$b) \quad \cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{300}{460} = \underline{0,6522}$$

$$c) \quad Z = \frac{U}{I} = \frac{230}{2} = \underline{115 \, \Omega}$$

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

$$R = Z * \cos \varphi = 115 * 0,6522 = \underline{75 \, \Omega}$$

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{115^2 - 75^2} = \underline{87,18 \, \Omega}$$

$$d) \quad Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{460^2 - 300^2} = \underline{348,71 \, Var}$$

3.11

$$a) \quad Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{15^2 + 12^2} = \underline{19,21 \, \Omega}$$

$$b) \quad I = \frac{U}{Z} = \frac{400}{19,21} = \underline{20,82 \, A}$$

$$c) \quad L = \frac{X_L}{2 * \pi * f} = \frac{12}{2 * \pi * 50} = \underline{0,038 \, H}$$

$$d) \quad \cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{15}{19,21} = \underline{0,7808}$$

3.12

$$a) \quad R = 9 \, \Omega$$

$$X_L = 2 * \pi * f * L = 2 * \pi * 50 * 0,05 = \underline{15,71 \, \Omega}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 300 \cdot 10^{-6}} = \underline{10,61 \Omega}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{9^2 + (15,71 - 10,61)^2} = \underline{10,34 \Omega}$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{230}{10,34} = \underline{22,24 A}$$

$$b) \cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{9}{10,34} = \underline{0,8704} \quad \underline{\text{Vinkelen blir } 29,49^\circ}$$

$$c) P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 230 \cdot 22,24 \cdot 0,8704 = \underline{4452,27 W}$$

$$d) U_R = I \cdot R = 22,24 \cdot 9 = \underline{200,16 V}$$

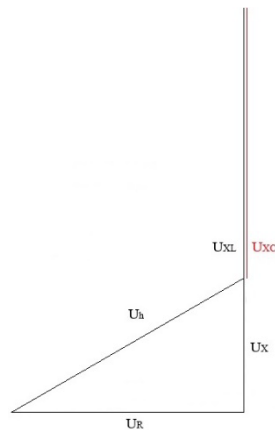
$$U_{XL} = I \cdot X_L = 22,24 \cdot 15,71 = \underline{349,39 V}$$

$$U_{XC} = I \cdot X_C = 22,24 \cdot 10,61 = \underline{235,97 V}$$

Vi kan sette en prøve på svarene om de er rette:

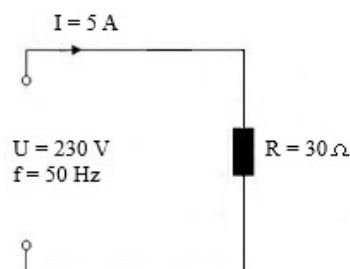
$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_{XL} - U_{XC})^2} = \sqrt{200,16^2 + (349,39 - 235,97)^2} = \underline{230,06 V}$$

e)



3.13

a)



$$b) Z = \frac{U}{I} = \frac{230}{5} = \underline{46 \Omega}$$

$$c) \cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{30}{46} = \underline{0,6522}$$

$$d) P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 230 \cdot 5 \cdot 0,6522 = \underline{750,03 W}$$

$$e) X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{46^2 - 30^2} = \underline{34,87 \Omega}$$

$$f) \quad L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{34,87}{2\pi \cdot 50} = \underline{0,11 \text{ H}}$$

$$g) \quad S = U \cdot I = 230 \cdot 5 = \underline{1150 \text{ VA}}$$

3.14

$$a) \quad Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{6^2 + 5^2} = 7,81 \, \Omega$$

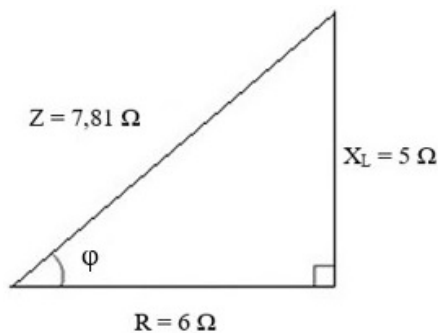
$$I = \frac{U}{Z} = \frac{48}{7,81} = \underline{6,15 \text{ A}}$$

$$b) \quad U_R = I \cdot R = 6,15 \cdot 6 = \underline{36,90 \text{ V}}$$

$$U_{XL} = I \cdot X_L = 6,15 \cdot 5 = \underline{30,75 \text{ V}}$$

$$c) \quad \cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{6}{7,81} = \underline{0,7687}$$

d)



3.15

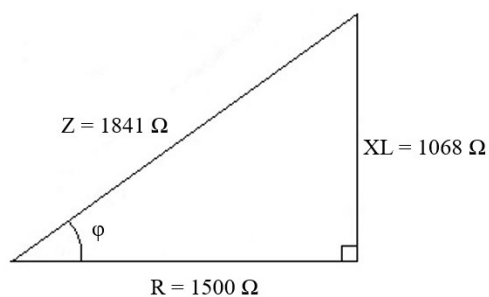
$$a) \quad X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 3,4 = \underline{1068,14 \, \Omega}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{1500^2 + 106,14^2} = \underline{1841,45 \, \Omega}$$

$$b) \quad \cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{1500}{1841,45} = \underline{0,8146}$$

Motstandstrekanter: R = 7,5 cm (1500 Ω), XL = 5,34 cm (1068 Ω), Z = 9,2 cm (1841 Ω)

c)



$$d) \quad I = \frac{U}{Z} = \frac{230}{1841,45} = \underline{0,125 \text{ A}}$$

$$S = U * I = 230 * 0,125 = \underline{28,75 \text{ VA}}$$

$$P = U * I * \cos \varphi = 230 * 0,125 * 0,8146 = \underline{23,42 \text{ W}}$$

e) $\cos$ til $10^\circ = \underline{0,9848}$

Da må vi først regne ut ny Z og X .

$$Z = \frac{R}{\cos \varphi} = \frac{1500}{0,9848} = \underline{1523,15 \Omega}$$

$$X = (X_L - X_C)$$

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{1523,15^2 - 1500^2} = \underline{264,55 \Omega}$$

$$X_C = X_L - X = 1068,14 - 264,55 = \underline{803,59 \Omega}$$

$$X_C = \frac{1}{2 * \pi * f * C}$$

$$C = \frac{1}{2 * \pi * f * X_C} = \frac{1}{2 * \pi * 50 * 803,59} = 3,96 * 10^{-6} = \underline{3,96 \mu\text{F}}$$

3.16

a) $X_C = \frac{1}{2 * \pi * f * C} = \frac{1}{2 * \pi * 50 * 100 * 10^{-6}} = \underline{31,83 \Omega}$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{40^2 + 31,83^2} = \underline{51,12 \Omega}$$

b) $\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{40}{51,12} = \underline{0,7825}$

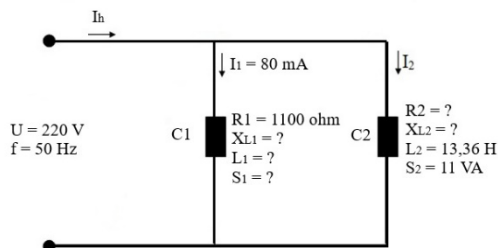
c) $I = \frac{U}{Z} = \frac{100}{51,12} = \underline{1,96 \text{ A}}$

d) $U_R = I * R = 1,96 * 40 = \underline{78,40 \text{ V}}$

$$U_{XC} = I * X_C = 1,96 * 31,83 = \underline{62,39 \text{ V}}$$

Parallellkobling av vekselstrøms kretser.

3.17



a) $U = I_1 * Z_1 \rightarrow Z_1 = \frac{U}{I_1} = \frac{230}{0,08} = \underline{2875 \Omega}$

$$\cos \varphi_1 = \frac{R_1}{Z_1} = \frac{1100}{2875} = \underline{0,383} \quad \sin \varphi_1 = \underline{0,924}$$

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_{L1}^2} \rightarrow \text{Snu formelen}$$

$$X_{L1} = \sqrt{Z_1^2 - R_1^2} = \sqrt{2875^2 - 1100^2} = \underline{2656,24 \Omega}$$

$$X_{L1} = 2 * \pi * f * L_1 \rightarrow \text{Snu formelen}$$

$$L_1 = \frac{X_{L1}}{2 * \pi * f} = \frac{2656,24}{2 * \pi * 50} = \underline{8,455 \text{ H}}$$

b) $X_{L2} = 2 * \pi * f * L_2 = 2 * \pi * 50 * 13,36 = \underline{4195 \Omega}$

$$S_2 = U * I_2 \rightarrow \text{Snu formelen}$$

$$I_2 = \frac{S_2}{U} = \frac{11}{230} = \underline{0,048 \text{ A}}$$

$$U = I_2 * Z_2 \rightarrow \text{Snu formelen}$$

$$Z_2 = \frac{U}{I_2} = \frac{230}{0,048} = \underline{4791,67 \Omega}$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_{L2}^2} \rightarrow$$

$$R_2 = \sqrt{Z_2^2 - X_{L2}^2} = \sqrt{4791,67^2 - 4195^2} = \underline{2315,62 \Omega}$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{R_2}{Z_2} = \frac{2315,62}{4791,67} = \underline{0,483} \quad \sin \varphi_1 = \underline{0,875}$$

c) Vi må finne aktive og reaktive strømkomponenter.

$$I_{a1} = I_1 * \cos \varphi_1 = 0,08 * 0,383 = \underline{0,031 \text{ A}}$$

$$I_{r1} = I_1 * \sin \varphi_1 = 0,08 * 0,924 = \underline{0,074 \text{ A}}$$

$$I_{a2} = I_2 * \cos \varphi_2 = 0,048 * 0,483 = \underline{0,023 \text{ A}}$$

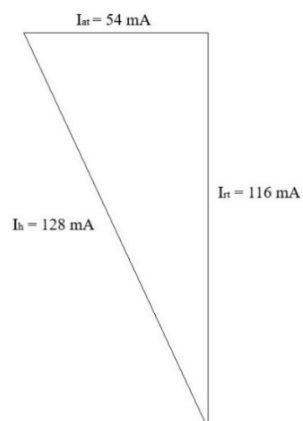
$$I_{r2} = I_2 * \sin \varphi_2 = 0,048 * 0,875 = \underline{0,042 \text{ A}}$$

Da finner vi den totale aktive strømmen og totale reaktive strømmen.

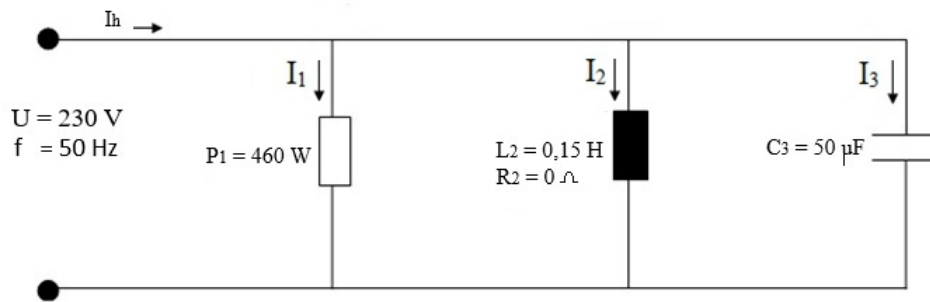
$$I_{at} = I_{a1} + I_{a2} = 0,031 + 0,023 = \underline{0,054 \text{ A}}$$

$$I_{rt} = I_{r1} + I_{r2} = 0,074 + 0,042 = \underline{0,116 \text{ A}}$$

$$I_h = \sqrt{I_{at}^2 + I_{rt}^2} = \sqrt{0,054^2 + 0,116^2} = \underline{0,128 \text{ A}}$$



3.18



a) *Grein 1.*

$$P_1 = U * I_1 \rightarrow \text{snu formel}$$

$$I_1 = \frac{P_1}{U} = \frac{460}{230} = \underline{\underline{2 \text{ A}}}$$

Grein 2.

Etter som det ikke er resistans i spolen, men bare reaktans så blir Z lik X_L .

$$Z_2 = X_{L2} = 2 * \pi * f * L_2 = 2 * \pi * 50 * 0,15 = \underline{\underline{47,1 \Omega}}$$

$$U = I_2 * Z_2 \rightarrow \text{Snu formelen}$$

$$I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{230}{47,1} = \underline{\underline{4,88 \text{ A}}}$$

Grein 3.

$$X_{C3} = \frac{1}{2 * \pi * f * C_3} = \frac{1}{2 * \pi * 50 * 50 * 10^{-6}} = \underline{\underline{63,69 \Omega}}$$

$$U = I_3 * Z_3 \rightarrow \text{Snu formelen}$$

$$I_3 = \frac{U}{Z_3} = \frac{230}{63,69} = \underline{\underline{3,61 \text{ A}}}$$

b) Først må vi finne aktiv og reaktiv strøm.

$$I_{a1} = I_1 = \underline{\underline{2 \text{ A}}}$$

$$I_{rt} = I_2 - I_3 = 4,88 - 3,61 = \underline{\underline{1,27 \text{ A}}}$$

$$I_h = \sqrt{I_{at}^2 + I_{rt}^2} = \sqrt{2^2 + 1,27^2} = \underline{\underline{2,37 \text{ A}}}$$

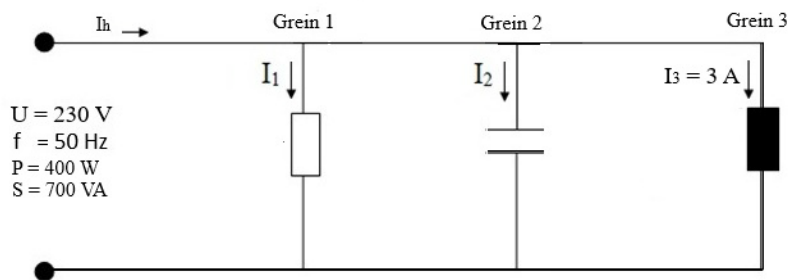
$$\text{c) } \cos \varphi_t = \frac{I_{at}}{I_h} = \frac{2}{2,37} = \underline{\underline{0,844}}$$

$$\text{d) } P = \underline{\underline{400 \text{ W}}}$$

$$S = U * I_h = 230 * 2,37 = \underline{\underline{545,1 \text{ VA}}}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{545,1^2 + 460^2} = \underline{\underline{292,46 \text{ Var}}}$$

3.19



- a) $P = U * I_1 \rightarrow$ Snu formelen

$$I_1 = \frac{P_1}{U} = \frac{400}{230} = \underline{1,74 \text{ A}}$$

- $U = I_1 * R_1 \rightarrow$ Snu formelen

$$R_1 = \frac{U}{I_1} = \frac{230}{1,74} = \underline{132,25 \Omega}$$

- b) Først må vi finne noen hoved verdier for kretsen totalt.

- $S_t = U * I_t \rightarrow$ Snu formelen

$$I_t = \frac{S_t}{U} = \frac{700}{230} = \underline{3,043 \text{ A}}$$

- $U = I_t * Z_t \rightarrow$ Snu formelen

$$Z_t = \frac{U}{I_t} = \frac{230}{3,043} = \underline{75,57 \Omega}$$

Grein 2

- $I_t^2 = I_R^2 + (I_{XL} - I_{XC})^2 \rightarrow$ Snu formelen

- $I_{XL} - I_{XC} = \sqrt{I_t^2 - I_R^2} \rightarrow$ Snu formelen

$$I_{XC} = I_{XL} - \sqrt{I_t^2 - I_R^2} = 3 - \sqrt{3,043^2 - 1,74^2} = \underline{0,504 \text{ A}}$$

- $U = I_{XC} * X_C = I_{XC} * \frac{1}{2 * \pi * f * C} \rightarrow$ Snu formelen

- $U * 2 * \pi * f * C = I_{XC} \rightarrow$ Snu formelen

$$C = \frac{I_{XC}}{U * 2 * \pi * f} = \frac{0,504}{230 * 2 * \pi * 50} = 6,975 * 10^{-6} = \underline{6,96 \mu F}$$

- c) *Grein 3*

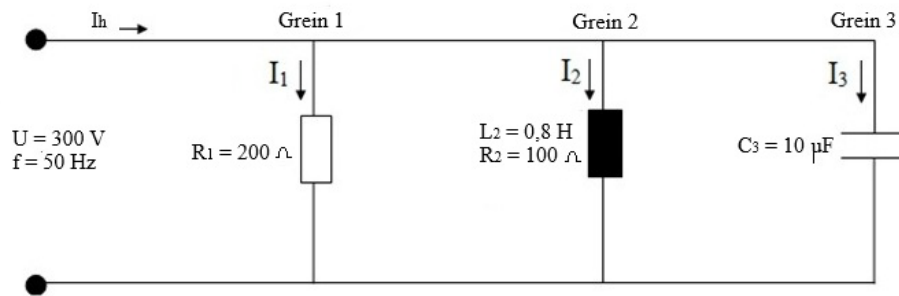
- $U = I_3 * X_L$

$$X_L = \frac{U}{I_{XL}} = \frac{230}{3} = \underline{76,67 \Omega}$$

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

$$L = \frac{X_L}{2 * \pi * f} = \frac{76,67}{2 * \pi * 50} = \underline{0,244 \text{ H}}$$

3.20



a) Grein 1

$$Z_1 = R_1$$

$$U = I_1 * Z_1$$

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{300}{200} = \underline{1,5 \text{ A}}$$

Grein 2

$$X_L = 2 * \pi * f * L = 2 * \pi * 50 * 0,8 = \underline{251,33 \Omega}$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_L^2} = \sqrt{100^2 + 251,33^2} = \underline{270,5 \Omega}$$

$$\cos \varphi = \frac{R_2}{Z_2} = \frac{100}{270,5} = \underline{0,36967} \quad \sin \varphi = \underline{0,92915}$$

$$U = I_2 * Z_2$$

$$I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{300}{270,5} = \underline{1,109 \text{ A}}$$

$$I_{a2} = I_2 * \cos \varphi = 1,11 * 0,36967 = \underline{0,41 \text{ A}}$$

$$I_{r2} = I_2 * \sin \varphi = 1,11 * 0,92915 = \underline{1,03 \text{ A}} \quad (\text{induktiv strøm})$$

Grein 3

$$Z_3 = X_C = \frac{1}{2 * \pi * f * C} = \frac{1}{2 * \pi * 50 * 10 * 10^{-6}} = \underline{318 \Omega}$$

$$U = I_3 * Z_3$$

$$I_3 = \frac{U}{Z_3} = \frac{300}{318} = \underline{0,943 \text{ A}} \quad (\text{kapasitiv strøm})$$

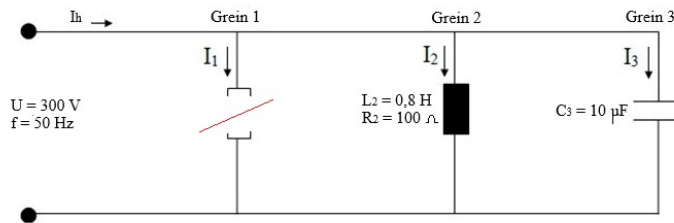
Hovedstrømmen:

$$I_{at} = I_1 + I_{a2} = 1,5 + 0,41 = \underline{1,91 \text{ A}}$$

$$I_{rt} = I_{r2} - I_3 = 1,03 - 0,943 = \underline{0,087 \text{ A}}$$

$$I_h = \sqrt{I_{at}^2 + I_{rt}^2} = \sqrt{1,91^2 + 0,087^2} = \underline{1,912 \text{ A}}$$

b)

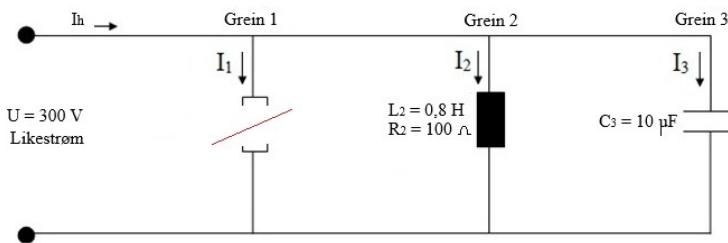


Brudd i R_1 . Vi henter resten av opplysninger fra svare i a).

$$I_h = \sqrt{I_{a2}^2 + (I_{r2} - I_3)^2} = \sqrt{0,41^2 + (1,03 - 0,943)^2} = \underline{\underline{0,42 \text{ A}}}$$

$$\cos \varphi = \frac{I_{a2}}{I_h} = \frac{0,41}{0,42} = \underline{\underline{0,976}}$$

c)



Grein 2 (spolen).

$$X_L = 2 * \pi * f * L = 2 * \pi * 0 * 0,8 = \underline{\underline{0 \Omega}}.$$

Vi har bare resistansen $R_2 = 100 \Omega$ igjen.

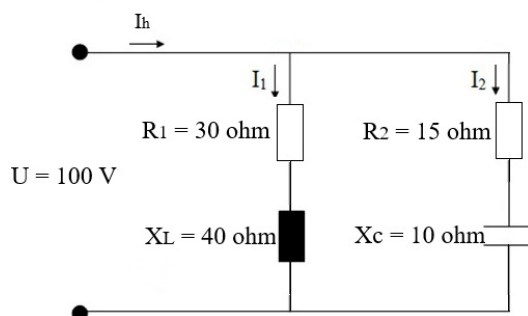
$$I_h = I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{300}{100} = \underline{\underline{3 \text{ A}}}$$

Grein 3 (kondensatoren). Her vil det ikke gå noe strøm.

$$X_{C3} = \frac{1}{2 * \pi * f * C_3} = \frac{1}{2 * \pi * 0 * 50 * 10^{-6}} = \underline{\underline{0 \Omega}}$$

$$I_3 = \frac{U}{X_c} = \frac{300}{0} = \underline{\underline{0 \text{ A}}}$$

3.21



$$a) \quad Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_L^2} = \sqrt{30^2 + 40^2} = \underline{50 \, \Omega}$$

$$U = I_1 * Z_1$$

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{100}{50} = \underline{2 \, A}$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_c^2} = \sqrt{15^2 + 10^2} = \underline{18 \, \Omega}$$

$$U = I_2 * Z_2$$

$$I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{100}{18} = \underline{5,55 \, A}$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{R_1}{Z_1} = \frac{30}{50} = \underline{0,6} \quad \rightarrow \quad \sin \varphi_1 = \underline{0,8}$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{R_2}{Z_2} = \frac{15}{18} = \underline{0,833} \quad \rightarrow \quad \sin \varphi_2 = \underline{0,5527}$$

$$Ia_1 = I_1 * \cos \varphi = 2 * 0,6 = \underline{1,2 \, A}$$

$$Ir_1 = I_1 * \sin \varphi = 2 * 0,8 = \underline{1,6 \, A}$$

$$Ia_2 = I_2 * \cos \varphi = 5,55 * 0,833 = \underline{4,62 \, A}$$

$$Ir_2 = I_2 * \sin \varphi = 5,55 * 0,5527 = \underline{3,07 \, A}$$

$$Ia_t = Ia_1 + Ia_2 = 1,2 + 4,62 = \underline{5,82 \, A}$$

$$Ir_t = Ir_1 + Ir_2 = 1,6 + 3,07 = \underline{4,67 \, A}$$

$$I_h = \sqrt{I_{at}^2 + I_{rt}^2} = \sqrt{5,82^2 + 4,67^2} = \underline{6 \, A}$$

$$\cos \varphi_h = \frac{Ia_t}{I_h} = \frac{5,82}{6} = \underline{0,97}$$

$$b) \quad Z_t = \frac{U_h}{I_h} = \frac{100}{6} = \underline{16,67 \, \Omega}$$

$$R_t = Z_t * \cos \varphi_t = 16,67 * 0,97 = \underline{16,17 \, \Omega}$$

$$X_{Lt} = \sqrt{Z_t^2 - R_t^2} = \sqrt{16,67^2 - 16,17^2} = \underline{4,06 \, \Omega}$$

Fasekompensering.

3.22

$$a) \quad R_t = R_1 + R_2 = 52 + 8 = \underline{60 \, \Omega}$$

$$X_L = 2 * \pi * f * L = 2 * \pi * 60 * 0,06 = \underline{22,62 \, \Omega}$$

$$Z = \sqrt{R_t^2 + X_L^2} = \sqrt{60^2 + 22,62^2} = \underline{64,12 \, \Omega}$$

$$I_h = \frac{U_h}{Z} = \frac{230}{64,12} = \underline{3,59 \, A}$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{60}{64,12} = \underline{0,936} \quad \rightarrow \quad \sin \varphi = 0,353$$

$$b) I_a = I_h * \cos \varphi = 3,59 * 0,936 = \underline{3,36 \text{ A}}$$

$$I_r = I_h * \sin \varphi = 3,59 * 0,353 = \underline{1,27 \text{ A}}$$

c) Dersom effektfaktoren skal bli 1 så må X_C være lik X_L .

$$C = \frac{1}{2 * \pi * f * X_C} = \frac{1}{2 * \pi * 60 * 22,62} = 0,000117 \text{ F} = \underline{117 \mu\text{F}}$$

3.23

a) *Spole 1 ved 50 Hz.*

$$X_{L1} = 2 * \pi * f * L = 2 * \pi * 50 * 0,04 = \underline{12,57 \Omega}$$

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_{L1}^2} = \sqrt{8^2 + 12,57^2} = 14,9 \Omega$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{R_1}{Z_1} = \frac{8}{14,9} = \underline{0,537} \quad \rightarrow \quad \sin \varphi_1 = 0,844$$

$$I_1 = \frac{U_h}{Z_1} = \frac{230}{14,9} = \underline{15,4 \text{ A}}$$

$$I_{a1} = I_1 * \cos \varphi = 15,4 * 0,537 = \underline{8,27 \text{ A}}$$

$$I_{r1} = I_1 * \sin \varphi = 15,4 * 0,844 = \underline{13 \text{ A}}$$

Spole 2 ved 50 Hz.

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_{L2}^2} = \sqrt{4^2 + 5^2} = 6,4 \Omega$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{R_2}{Z_2} = \frac{4}{6,4} = \underline{0,625} \quad \rightarrow \quad \sin \varphi_1 = 0,781$$

$$I_2 = \frac{U_h}{Z_2} = \frac{230}{6,4} = \underline{35,94 \text{ A}}$$

$$I_{a2} = I_2 * \cos \varphi = 35,94 * 0,625 = \underline{22,46 \text{ A}}$$

$$I_{r2} = I_2 * \sin \varphi = 35,94 * 0,781 = \underline{28,07 \text{ A}}$$

Felles ved 50 Hz.

$$I_{at} = I_{a1} + I_{a2} = 8,27 + 22,46 = 30,73 \text{ A}$$

$$I_{rt} = I_{r1} + I_{r2} = 13 + 28,07 = 41,07 \text{ A}$$

$$I_h = \sqrt{I_{at}^2 + I_{rt}^2} = \sqrt{30,73^2 + 41,07^2} = \underline{51,29 \text{ A}}$$

$$\cos \varphi = \frac{I_{at}}{I_h} = \frac{30,73}{51,29} = \underline{0,599}$$

$$P = U * I * \cos \varphi = 230 * 51,29 * 0,599 = \underline{7066 \text{ W}}$$

b) *Spole 1 ved 60 Hz.*

$$X_{L1} = 2 * \pi * f * L = 2 * \pi * 60 * 0,04 = \underline{15,1 \Omega}$$

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_{L1}^2} = \sqrt{8^2 + 15,1^2} = 17,1 \Omega$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{R_1}{Z_1} = \frac{8}{17,1} = \underline{0,468} \quad \rightarrow \quad \sin \varphi_1 = 0,884$$

$$I_1 = \frac{U_h}{Z_1} = \frac{230}{17,1} = \underline{13,45 \text{ A}}$$

$$I_{a1} = I_1 * \cos \varphi = 13,45 * 0,468 = 6,3 \text{ A}$$

$$I_{r1} = I_1 * \sin \varphi = 13,45 * 0,884 = 11,9 \text{ A}$$

Spole 2 ved 60 Hz.

$$L_2 = \frac{X_{L2}}{2 * \pi * f} = \frac{5}{2 * \pi * 50} = \underline{0,016 \text{ H}}$$

$$X_{L2} = 2 * \pi * f * L = 2 * \pi * 60 * 0,016 = \underline{6,03 \Omega}$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_{L2}^2} = \sqrt{4^2 + 6,03^2} = 7,24 \Omega$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{R_2}{Z_2} = \frac{4}{7,24} = \underline{0,552} \quad \rightarrow \quad \sin \varphi_1 = 0,834$$

$$I_2 = \frac{U_h}{Z_2} = \frac{230}{7,24} = \underline{31,9 \text{ A}}$$

$$I_{a2} = I_2 * \cos \varphi = 31,9 * 0,625 = 17,8 \text{ A}$$

$$I_{r2} = I_2 * \sin \varphi = 31,9 * 0,781 = 26,5 \text{ A}$$

Felles ved 60 Hz.

$$I_{at} = I_{a1} + I_{a2} = 6,3 + 17,8 = 24,1 \text{ A}$$

$$I_{rt} = I_{r1} + I_{r2} = 11,9 + 26,5 = 38,4 \text{ A}$$

$$I_h = \sqrt{I_{at}^2 + I_{rt}^2} = \sqrt{24,1^2 + 38,4^2} = \underline{45,3 \text{ A}}$$

$$\cos \varphi = \frac{I_{at}}{I_h} = \frac{24,1}{45,3} = \underline{0,532}$$

$$P = U * I * \cos \varphi = 230 * 45,3 * 0,532 = \underline{5520 \text{ W}}$$

c) $Q_t = U_h * I_{rt} = 230 * 38,4 = \underline{8830 \text{ VAr}}$

$$\tan \varphi = 0,9 \quad \rightarrow \quad \tan \varphi = 0,484$$

$$Q_t = P * \tan \varphi = 5520 * 0,484 = \underline{2670 \text{ VAr}}$$

Kondensatoren må levere:

$$Q_C = Q - Q_{nt} = 8830 - 2670 = \underline{6160 \text{ VAr}}$$

$$X_C = \frac{U^2}{Q_C} = \frac{230^2}{6160} = \underline{8,59 \Omega}$$

$$C = \frac{1}{2 * \pi * f * X_C} = \frac{1}{2 * \pi * 60 * 8,59} = 0,000309 \text{ F} = \underline{309 \mu\text{F}}$$

Kapittel 4. Trefase vekselstrøm.

Motstander koblet i stjerne eller trekant.

4.1

- a) Trekantkobling.
- b) I trekantkobling er $U_f = U_h = \underline{230\text{ V}}$
- c) $I_f = \frac{U_f}{R} = \frac{230}{25} = \underline{9,20\text{ A}}$
- d) $I_h = I_f * \sqrt{3} = \underline{15,94\text{ A}}$

4.2

- a) $P = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi$
- $$I = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi} = \frac{4000}{\sqrt{3} * 230 * 1} = \underline{10,04\text{ A}}$$
- b) Først må vi regne ut I_f og U_f .
- $$I_f = \frac{I_h}{\sqrt{3}} = \frac{10,04}{\sqrt{3}} = \underline{5,8\text{ A}} \quad U_f = U_h = \underline{230\text{ V}}$$

$$R = \frac{U_f}{I_f} = \frac{230}{5,8} = \underline{39,66\ \Omega}$$

- c) Her kan vi regne på flere måter, jeg velger å gå ut i fra R og U_f . R kan ikke bli forandret fordi det er en fysisk motstand. U_h er hovedspenningen og den er ikke forandret.

$$\text{I stjerne blir } U_f = \frac{U_h}{\sqrt{3}} = \frac{230}{\sqrt{3}} = 132,8\text{ V}$$

$$I_f = I_h = \frac{U_f}{R} = \frac{132,8}{39,66} = 3,35\text{ A}$$

$$P_Y = \sqrt{3} * U_h * I_h = \sqrt{3} * 230 * 3,35 = \underline{1334\text{ W}}$$

Vi kan og regne det slik:

$$P_Y = \frac{P_{\Delta}}{3} = \frac{4000}{3} = \underline{1333,33\text{ W}}$$

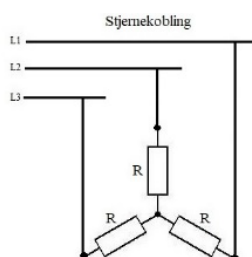
4.3

- a) Først må vi regne ut fase strømmen og fase spenningen i trekantkoblinga:

$$I_f = \frac{I_h}{\sqrt{3}} = \frac{4}{\sqrt{3}} = \underline{2,31\text{ A}} \quad U_f = U_h = \underline{400\text{ V}}$$

$$R_f = \frac{U_f}{I_f} = \frac{400}{2,31} = \underline{173,16\ \Omega}$$

b)



c) $U_{fY} = \frac{U_h}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = \underline{230 \text{ V}}$ Det vil være 230 V over hver motstand.

4.4

a) $I_f = \frac{U_f}{R_f} = \frac{230}{24,42} = \underline{9,42 \text{ A}}$

b) $I_h = I_f * \sqrt{3} = 9,42 * \sqrt{3} = \underline{16,315 \text{ A}}$

c) $P_\Delta = \sqrt{3} * U * I = \sqrt{3} * 230 * 16,315 = \underline{6500 \text{ W}}$

Kobler om til stjerne der $U_h = 400 \text{ V}$:

d) $U_f = \frac{U_h}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = \underline{230 \text{ V}}$

e) $I_f = \frac{U_f}{R_f} = \frac{230}{24,42} = \underline{9,42 \text{ A}}$

f) $I_h = I_f = \underline{9,42 \text{ A}}$

$P_Y = \sqrt{3} * U * I = \sqrt{3} * 400 * 9,42 = \underline{6500 \text{ W}}$

g) $P_Y = \frac{P_\Delta}{3} = \frac{6500}{3} = \underline{2167 \text{ W}}$

Vi kan også regne det slik:

I stjerne blir $U_f = \frac{U_h}{\sqrt{3}} = \frac{230}{\sqrt{3}} = 132,8 \text{ V}$

$I_f = I_h = \frac{U_f}{R} = \frac{132,8}{24,42} = 5,44 \text{ A}$

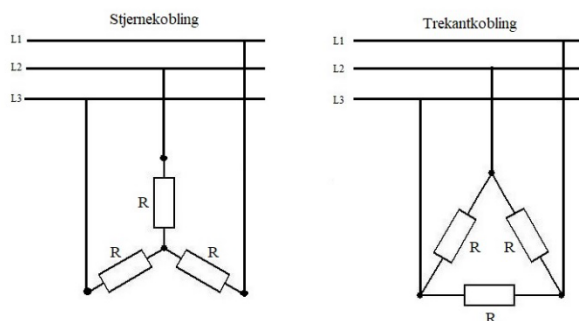
$P_Y = \sqrt{3} * U_h * I_h = \sqrt{3} * 230 * 5,44 = \underline{2167 \text{ W}}$

h) Da må vi koble alle motstandene i parallell.

$I_h = \frac{P}{U} = \frac{6500}{230} = \underline{28,26 \text{ A}}$

4.5

a) Stjerne og trekant kobling:



b) Stjerne kobling:

$U_f = \frac{U_h}{\sqrt{3}} = \frac{230}{\sqrt{3}} = 132,8 \text{ V}$

$I_f = I_h = \frac{U_f}{R_f} = \frac{132,8}{12} = \underline{11,07 \text{ A}}$

c) Trekant kobling:

$$U_f = U_h = 230 \text{ V}$$

$$I_f = \frac{U_f}{R_f} = \frac{230}{12} = 19,17 \text{ A}$$

$$I_h = I_f * \sqrt{3} = 19,17 * \sqrt{3} = 33,20 \text{ A}$$

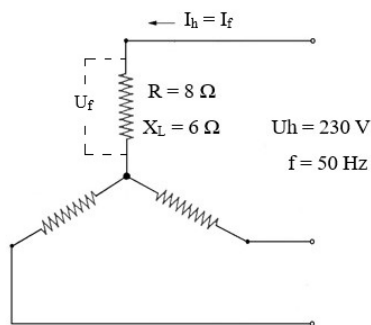
d) $P_Y = \sqrt{3} * U_{hY} * I_{hY} = \sqrt{3} * 230 * 11,07 = \underline{4410 \text{ W}}$

$$P_\Delta = \sqrt{3} * U_{h\Delta} * I_{h\Delta} = \sqrt{3} * 230 * 33,20 = \underline{13226 \text{ W}}$$

Spoler koblet i stjerne eller trekant.

4.6

a)



b) $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{8^2 + 6^2} = \underline{10 \Omega}$

$$U_f = \frac{U_h}{\sqrt{3}} = \frac{230}{\sqrt{3}} = \underline{132,8 \text{ V}}$$

$$I_h = I_f = \frac{U_f}{Z} = \frac{132,8}{10} = \underline{13,28 \text{ A}}$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{8}{10} = \underline{0,8} \quad \rightarrow \quad \sin \varphi = 0,6$$

c) $L = \frac{X_L}{2 * \pi * f} = \frac{6}{2 * \pi * 60} = \underline{0,0159 \text{ H}}$

d) $P = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi = \sqrt{3} * 230 * 13,28 * 0,8 = \underline{4232 \text{ W}}$

$$Q = \sqrt{3} * U * I * \sin \varphi = \sqrt{3} * 230 * 13,28 * 0,6 = \underline{3174 \text{ VAR}}$$

$$S = \sqrt{3} * U * I = \sqrt{3} * 230 * 13,28 = \underline{5290 \text{ VA}}$$

e) Da får vi to spoler i serie.

$$R_t = 2 * R = 2 * 8 = 16 \Omega$$

$$X_{Lt} = 2 * X_L = 2 * 6 = 12 \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{16^2 + 12^2} = \underline{20 \Omega}$$

$$N\gamma \cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{16}{20} = \underline{0,8} \quad \text{Like spoler, så ny cos er lik den gamle cos.}$$

$$I_h = \frac{U_h}{Z} = \frac{230}{20} = \underline{11,5 \text{ A}}$$

$$P = U * I * \cos \varphi = 230 * 11,5 * 0,8 = \underline{2116 \text{ W}}$$

4.7

$$a) \quad X_L = 2 * \pi * f * L = 2 * \pi * 50 * 0,11 = \underline{34,6 \, \Omega}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{5^2 + 34,6^2} = \underline{35 \, \Omega}$$

$$U_f = \frac{U_h}{\sqrt{3}} = \frac{210}{\sqrt{3}} = \underline{121 \, V}$$

$$I_f = I_h = \frac{U_f}{Z} = \frac{121}{35} = \underline{3,46 \, A}$$

$$b) \quad \cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{5}{35} = \underline{0,143}$$

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi = \sqrt{3} * 210 * 3,46 * 0,143 = \underline{180 \, W}$$

c) Koble om til trekant med samme hovedspenning.

$$U_h = U_f = 210 \, V$$

$$I_f = \frac{U_f}{Z} = \frac{210}{35} = 6,0 \, A$$

$$I_h = I_f * \sqrt{3} = 6 * \sqrt{3} = 10,4 \, A$$

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi = \sqrt{3} * 210 * 10,4 * 0,143 = \underline{540 \, W}$$

$$\text{Eller vi kan si det slik:} \quad P_\Delta = P_Y * 3 = 180 * 3 = 540 \, W$$

4.8

$$a) \quad U_f = \frac{U_h}{\sqrt{3}} = \frac{230}{\sqrt{3}} = \underline{133 \, V}$$

$$b) \quad \cos \varphi = \underline{0,92} \quad \rightarrow \quad \sin \varphi = 0,392$$

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi = \sqrt{3} * 230 * 11 * 0,92 = \underline{4032 \, W}$$

$$Q = \sqrt{3} * U * I * \sin \varphi = \sqrt{3} * 230 * 11 * 0,392 = \underline{1718 \, VAr}$$

$$S = \sqrt{3} * U * I = \sqrt{3} * 230 * 11 = \underline{4382 \, VA}$$

c) Før vi går over i trekant så må vi regne ut Z. $I_f = I_h = 11 \, A$

$$Z = \frac{U_f}{I_f} = \frac{230}{11} = 12,1 \, \Omega$$

$$I_{f\Delta} = \frac{U_f}{Z} = \frac{230}{12,1} = \underline{19 \, A}$$

$$d) \quad I_h = I_f * \sqrt{3} = 19 * \sqrt{3} = 32,9 \, A$$

$$S = \sqrt{3} * U * I = \sqrt{3} * 230 * 32,9 = \underline{13106 \, VA}$$

$$P = S * \cos \varphi = 13106 * 0,92 = \underline{12057 \, W}$$

$$Q = S * \sin \varphi = 13106 * 0,392 = \underline{5137 \, VAr}$$

4.9

$$a) \quad U_{fY} = \frac{U_h}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = \underline{231 \text{ V}}$$

$$b) \quad \cos \varphi = 0,86 \rightarrow \sin \varphi = 0,51$$

$$S = \sqrt{3} * U * I = \sqrt{3} * 400 * 7 = \underline{4850 \text{ VA}}$$

$$P = S * \cos \varphi = 4850 * 0,86 = \underline{4171 \text{ W}}$$

$$Q = S * \sin \varphi = 4850 * 0,51 = \underline{2474 \text{ VAr}}$$

$$c) \quad \text{Før vi går over i trekant så må vi regne ut } Z. I_f = I_h = 7 \text{ A}$$

$$Z = \frac{U_f}{I_f} = \frac{231}{7} = 33 \Omega$$

$$I_{f\Delta} = \frac{U_f}{Z} = \frac{400}{33} = \underline{12,1 \text{ A}}$$

$$d) \quad I_h = I_f * \sqrt{3} = 12,1 * \sqrt{3} = 21 \text{ A}$$

$$S = \sqrt{3} * U * I = \sqrt{3} * 400 * 21 = \underline{14549 \text{ VA}}$$

$$P = S * \cos \varphi = 14549 * 0,86 = \underline{12512 \text{ W}}$$

$$Q = S * \sin \varphi = 14549 * 0,51 = \underline{7420 \text{ VAr}}$$

$$e) \quad \text{Forholdet mellom } \frac{P_{\Delta}}{P_Y} \approx 3$$

$$\text{Forholdet mellom } \frac{Q_{\Delta}}{Q_Y} \approx 3$$

$$\text{Forholdet mellom } \frac{S_{\Delta}}{S_Y} \approx 3$$

Effekten i trekant er tre ganger større enn i stjerne ved samme hovedspenning.

4.10

$$a) \quad \cos \varphi = 0,93 \rightarrow \sin \varphi = 0,368$$

$$S = \sqrt{3} * U * I = \sqrt{3} * 440 * 14 = \underline{10669 \text{ VA}}$$

$$P = S * \cos \varphi = 10669 * 0,93 = \underline{9923 \text{ W}}$$

$$Q = S * \sin \varphi = 10669 * 0,368 = \underline{3926 \text{ VAr}}$$

$$b) \quad \text{Kretsen blir enfaset med to spoler i serie. } I_h = I_f = 14 \text{ A}$$

$$U_{fY} = \frac{U_h}{\sqrt{3}} = \frac{440}{\sqrt{3}} = \underline{254 \text{ V}}$$

$$Z = \frac{U_f}{I_f} = \frac{254}{14} = 18,15 \Omega \quad \text{Med to like spole så kan jeg legge i hop } Z.$$

$$Z_t = 2 * Z = 2 * 18,15 = 36,3 \Omega$$

$$I = \frac{U_h}{Z_t} = \frac{440}{36,3} = 12,12 \text{ A}$$

$$S = U * I = 440 * 12,12 = \underline{5333 \text{ VA}}$$

$$P = S * \cos \varphi = 5333 * 0,93 = \underline{4950 \text{ W}}$$

$$Q = S * \sin \varphi = 5333 * 0,368 = \underline{1963 \text{ VAr}}$$

- c) Husk effektene blir 3 ganger større i trekant enn i stjerne.

$$S_{\Delta} = S_Y * 3 = 10669 * 3 = \underline{32007 \text{ VA}}$$

$$P_{\Delta} = P_Y * 3 = 9923 * 3 = \underline{29769 \text{ W}}$$

$$Q_{\Delta} = Q_Y * 3 = 3926 * 3 = \underline{11778 \text{ VAr}}$$

- d) Når en fase fell ut i en trekantkopla trefasekrets, står vi igjen med to faser som er 120° forskjøvet. Siden strøm og effekt må summerast som vektorer, gir dette en reduksjon bestemt av fasegeometrien. Resultatet er at effektene blir redusert til $\frac{1}{\sqrt{3}}$ av normal verdi.

Effekt når vi misser en fase i trekantkobling.

$$S = \frac{S_{\Delta}}{\sqrt{3}} = \frac{32007}{\sqrt{3}} = \underline{18479 \text{ VA}}$$

$$P = \frac{P_{\Delta}}{\sqrt{3}} = \frac{29769}{\sqrt{3}} = \underline{17187 \text{ W}}$$

$$Q = \frac{Q_{\Delta}}{\sqrt{3}} = \frac{11778}{\sqrt{3}} = \underline{6800 \text{ VAr}}$$

4.11

$$\text{a) } U_{fY} = \frac{U_h}{\sqrt{3}} = \frac{110}{\sqrt{3}} = \underline{63,5 \text{ V}}$$

$$Z = \frac{U_f}{I_f} = \frac{63,5}{10} = \underline{6,35 \Omega}$$

$$\text{b) } \cos \varphi = 0,87 \rightarrow \sin \varphi = 0,493$$

$$S = \sqrt{3} * U * I = \sqrt{3} * 110 * 10 = \underline{1905 \text{ VA}}$$

$$P = S * \cos \varphi = 1905 * 0,87 = \underline{1658 \text{ W}}$$

$$Q = S * \sin \varphi = 1905 * 0,493 = \underline{939 \text{ VAr}}$$

$$\text{c) } \text{Trekant } U_f = U_h = 110 \text{ V}$$

$$I_f = \frac{U_f}{Z} = \frac{110}{6,35} = \underline{17,32 \text{ A}}$$

$$I_h = I_f * \sqrt{3} = 17,32 * \sqrt{3} = \underline{30 \text{ A}}$$

$$\text{d) } S = \sqrt{3} * U * I = \sqrt{3} * 110 * 30 = \underline{5716 \text{ VA}}$$

$$P = S * \cos \varphi = 5716 * 0,87 = \underline{4973 \text{ W}}$$

$$Q = S * \sin \varphi = 5716 * 0,493 = \underline{2818 \text{ VAr}}$$

4.12

$$a) U_{fY} = \frac{U_h}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = \underline{\underline{230 \text{ V}}}$$

$$b) S = \sqrt{3} * U * I = \sqrt{3} * 400 * 500 = \underline{\underline{346410 \text{ VA} = 346,41 \text{ kVA}}}$$

$$c) \cos \varphi = 0,85 \rightarrow \sin \varphi = 0,527$$

$$P = S * \cos \varphi = 346,41 \text{ k} * 0,85 = \underline{\underline{294,45 \text{ kW}}}$$

$$Q = S * \sin \varphi = 346,41 \text{ k} * 0,527 = \underline{\underline{182,56 \text{ kVAr}}}$$

4.13

$$a) \cos \varphi = 0,89 \rightarrow \sin \varphi = 0,456$$

$$S = \sqrt{3} * U * I = \sqrt{3} * 762 * 21 = \underline{\underline{27716 \text{ VA}}}$$

$$P = S * \cos \varphi = 27716 * 0,89 = \underline{\underline{24667 \text{ W}}}$$

$$Q = S * \sin \varphi = 27716 * 0,456 = \underline{\underline{12639 \text{ VAr}}}$$

$$b) I_f = I_h = 21 \text{ A}$$

$$U_{fY} = \frac{U_h}{\sqrt{3}} = \frac{760}{\sqrt{3}} \approx \underline{\underline{440 \text{ V}}}$$

$$Z = \frac{U_f}{I_f} = \frac{440}{21} \approx \underline{\underline{21 \Omega}}$$

$$R = Z * \cos \varphi = 21 * 0,89 = \underline{\underline{18,69 \Omega}}$$

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{21^2 - 18,69^2} = \underline{\underline{9,58 \Omega}}$$

$$c) I_f = \frac{U_f}{Z} = \frac{440}{21} \approx \underline{\underline{21 \text{ A}}}$$

$$I_h = I_f * \sqrt{3} = 21 * \sqrt{3} = \underline{\underline{36,37 \text{ A}}}$$

$$S = \sqrt{3} * U * I = \sqrt{3} * 440 * 36,37 = \underline{\underline{27718 \text{ VA}}}$$

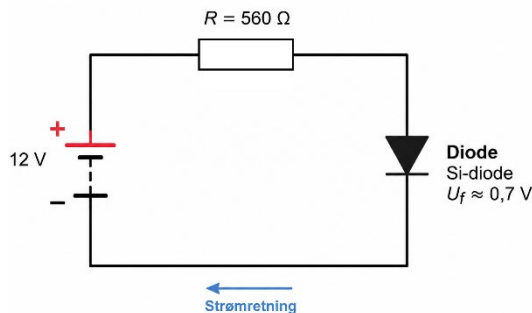
$$P = S * \cos \varphi = 27718 * 0,89 = \underline{\underline{24669 \text{ W}}}$$

$$Q = S * \sin \varphi = 27718 * 0,456 = \underline{\underline{12639 \text{ VAr}}}$$

Kapittel 5. Elektronikk

5.1

- a) Når dioden leder vil den ha et spenningsfall på 0,7 V



b) $U_R = U - U_D = 12 - 0,7 = 11,3 \text{ V}$

c) $I = \frac{U_R}{R} = \frac{11,3}{560} = 0,0202 \text{ A} = 20 \text{ mA}$

5.2

a) $U_R = U - U_D = 9 - 2,1 = 6,9 \text{ V}$

$$R = \frac{U_R}{I} = \frac{6,9}{0,015} = \underline{460 \Omega}$$

b) $P = U_R * I = 6,9 * 0,015 = \underline{0,1035 \text{ W}}$

Her kan vi velge en motstand som tåler 0,25 W

- c) LED kan bli overbelastet.

LED kan bli veldig varm.

Led kan bli øydelagt.

5.3

a) $U_{topp} = U_{RMS} * \sqrt{2} = 12 * \sqrt{2} = 17 \text{ V}$

b) $U_{ut} = U_{topp} - U_D = 17 - 0,7 = 16,3 \text{ V}$

- c) En halvbølgelikeretter slepp bare gjennom den positive halvbølgen.

Dermed får vi:

- pulserende likespenning,
- spenninga fell til 0 V mellom toppene.

For å få jevnere spenning bruker en ofte en glattekondensator.

5.4

a) $U_R = U - U_Z = 12 - 5,1 = 6,9 \text{ V}$

$$I = \frac{U_R}{R} = \frac{6,9}{330} = 0,0209 \text{ A} = \underline{21 \text{ mA}}$$

b) $P = U_R * I = 6,9 * 0,0209 = \underline{0,144 \text{ W}}$

- c) Zenerdioden fungerer som en spenningsregulator.

Den sørger for at $U_{ut} \approx 5,1 \text{ V}$ selv om inngangsspenningen varierer.

5.5

- a) Transistoren fungerer som en elektrisk bryter.

En liten basestrøm styrer en større kollektorstrøm.

- b) Kollektorstrømmen er lik lampestrømmen:

- c) $I_C = 100 \text{ mA}$

For en transistor gjeld:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

Omskrive:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{100 \text{ mA}}{50} = \underline{2 \text{ mA}}$$

5.6

- a) Tyristoren blir slått på ved å sende en kort strømpuls til gate-terminalen.

- b) Når tyristoren først har tent, held han frem med å lede selv om gatesignalet blir fjerna.

- c) En tyristor i en likestraumskrets kan ikke slås av ved å fjerne signalet til gate. For å slå av tyristoren må strømmen gjennom han brytes eller reduseres til null. I en likestrøms krets skjer dette ved å:

En tyristor oppfører seg litt som en låsbar bryter:

1. En puls på gate $\rightarrow$ tyristoren slår inn.
2. Tyristoren begynner å lede strøm.
3. Tyristoren held fram med å leie selv om gatesignalet blir borte.
4. Han slår seg ikke av før strømmen gjennom han blir svært liten eller null.

5.7

- a) En tyristor leder bare en retning.

En triac kan lede i begge retninger.

Dermed kan triacen styre begge halvperiodene av vekselspenningen.

- b) Effekten vert:

$$P = U \cdot I = 230 \text{ V} \cdot 8 \text{ A} = 1840 \text{ W} = \underline{1,84 \text{ kW}}$$

- c) Triacen kan slås på i både positiv og negativ halvperiode.

Han egner seg derfor godt til lys dimmere, varmeanlegg og motorstyringer, på vekselspenning.

5.8

- a) Strøm gjennom kontaktorspolen.

Brukar Ohms lov:

$$I_C = \frac{U}{R} = \frac{24}{120} = \underline{0,2 \text{ A}}$$

- b) Nødvendig basestrøm.

For transistoren gjeld:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

$$\text{Omskrive: } I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{0,20}{80} = 0,0025 \text{ A} = \underline{2,5 \text{ mA}}$$

- c) Basemotstand.

Spenningen over motstanden blir:

$$U_R = 5V - 0,7V = 4,3 \text{ V}$$

$$\text{Brukar Ohms lov: } R_B = \frac{U_R}{I_B} = \frac{4,3}{0,0025} = \underline{1720 \Omega}$$

Nærmeste standardverdi: $1,8 \text{ k}\Omega$

- d) Kontaktorspolen er ei induktiv last.

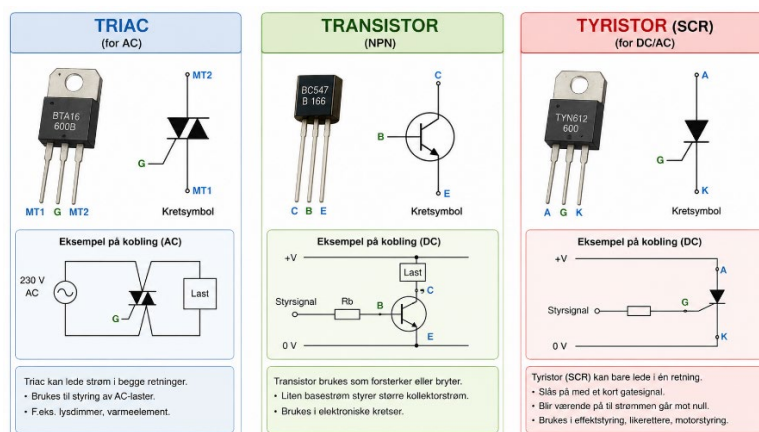
Når transistoren slår av, kollapser magnetfeltet og det blir indusert en høy motspenning. Dioden leder denne strømmen bort og verner transistoren.

- e) Hva skjer dersom dioden mangler?

Den induserte spenninga kan bli flere hundre volt.

Dette kan føre til:

- gjennomslag i transistoren
- feilfunksjon i styrekretsen
- skade på elektronikken



Kapittel 6. Måleinstrument.

Håndholdte instrument.

6.1 – Voltmeter

- a) Et voltmeter skal kobles parallelt med komponenten eller delen av kretsen der spenninga skal måles. Dette er fordi voltmeteret skal måle spenningsfallet mellom to punkt i kretsen.
- b) Et voltmeter må ha svært høy indre motstand.
Grunnen er at instrumentet då trekker svært liten strøm fra kretsen og dermed ikke påvirker målinga.
Dersom motstanden var lav, ville voltmeteret påvirke strømmen i kretsen og gi feil måleresultat.
- c) Dersom et voltmeter vert kopla feil til dømes i serie kan det føre til:
 - kretsen vert nesten åpen,
 - svært liten strøm i kretsen,
 - feil måleresultat.

I enkelte tilfelle kan komponenter slutte å fungere fordi kretsen vert bråten.

6.2 – Amperemeter.

- a) Et amperemeter skal kobles i serie med lasten i kretsen.
Dette er fordi all strømmen som går gjennom lasten må passere gjennom amperemeteret.
- b) Et amperemeter må ha svært lav indre motstand.
Dersom motstanden var høy, ville instrumentet føre til et stort spenningsfall og påvirke strømmen i kretsen.
- c) Dersom et amperemeter vert kopla direkte over ei spenningskilde (parallelt) vil det oppstå:
 - svært stor strøm
 - kortslutning

Dette kan føre til:

- skade på instrumentet
- utløysing av vern
- i verste fall brann eller skade på utstyr.

6.3 – Ohmmeter.

- a) Når en måler motstand, må komponenten være uten spenning og frakopla kretsen. Dette er fordi ohmmeteret sender en liten teststrøm fra et internt batteri gjennom komponenten for å måle motstanden.
- b) Dersom det fremdeles er spenning i kretsen, kan dette føre til:
- feil måleresultat,
 - skade på måleinstrumentet.

Ekstern spenning vil påvirke målinga og kan i verste fall øydelegge instrumentet.

- c) Døme på bruk av ohmmeter i feilsøking:
- måle om en sikring er heil,
 - kontrollere viklingsmotstand i en motor,
 - kontrollere om en kabel har brudd.



Tavle instrumenter.

6.4 – Frekvensmeter.

Et frekvensmeter er et instrument som måler frekvensen til vekselspanninga i et elektrisk kraftsystem. Frekvensen fortell kor mange perioder spenninga har per sekund.

- a) Frekvens vert målt i hertz (Hz). $1 \text{ Hz} = 1 \text{ periode per sekund}$.
- b) Vanlig frekvens i skips kraftsystem er:
- 60 Hz. Dette er standard på dei fleste skip. (Noen skip har 50 Hz).
- c) Frekvensen er direkte knytt til turtallet på generatoren.
- Dersom frekvensen endrer seg, kan det føre til:
- feil drift av elektrisk utstyr
 - ustabil drift i kraftsystemet
 - problem ved parallell drift av generatorer

Derfor er frekvensmeter et viktig instrument på hovedtavle.

6.5 – Synkronoskop.

- a) Et synkronoskop med dioder viser forholdet mellom:

- Frekvensen til generatoren.
- Frekvensen til samleskinna.
- Faseforholdet mellom dei.

Dette vert vist ved at lysdioder tennes i rekkefølge rundt en sirkel på instrumentet.

Mønsteret av lys viser om generatoren går for fort, for sakte eller er i synk.

- b) Lysdiodene beveger seg med klokka.

Dette betyr at generatorfrekvensen er høyere enn frekvensen på samleskinna.

Generatoren går altså litt for fort.

Lysdiodene beveger seg mot klokka.

Dette betyr at generatorfrekvensen er lavere enn frekvensen på samleskinna.

Generatoren går altså for sakte.

- c) Når ei diode lyser i topposisjonen (klokka 12) betyr det at:

- frekvensen er lik,
- fasevinkelen er lik.

Dette er riktig tidspunkt for å lukke generatorbryteren og kople generatoren til samleskinna.

6.6 – Generator før innkopling.

- a) Generatoren vert kjørt med litt høyere frekvens enn samleskinna for å sikre at generatoren leverer effekt til nettet etter innkopling.

Når generatoren går litt raskere vil fasevinkelen passere synkroniseringspunktet fra riktig side. Etter at bryteren vert lukka vil generatoren då automatisk ta last.

- b) Dersom generatoren går for sakte vil frekvensen være lavere enn nettets frekvens.

Når bryteren vert lukka kan generatoren då:

- ta effekt fra nettet
- oppføre seg som en motor

Dette kan føre til uønskt belastning på drivmaskina og ustabil drift.

6.7 – Synkronoskop med dioder

- a) Et synkronoskop viser forholdet mellom generatorens spenning og spenninga på samleskinna.

Instrumentet viser:

- Frekvensforskjell,
- Faseforskjell.

Dette vert vist ved at lysdioder lyser i rekkefølge rundt instrumentet.

b) Dersom lysdiodene går med klokka betyr det at:

- generatoren har høyere frekvens enn samleskinna.

Generatoren går altså litt for fort.

c) Når synkroniseringspunktet kjem fra høgre side betyr det at generatoren går litt raskere enn nettet.

Dette er ønskelig fordi generatoren då vil:

- gå stabilt inn i parallell drift,
- levere effekt til samleskinna etter innkopling.

6.8 – Fasefølgje.

a) Dersom synkronoskopet roterer svært raskt og det er vanskelig å finne et stabilt synkroniseringspunkt kan årsaka være feil fasefølgje mellom generator og samleskinne.

b) Fasefølgja kan kontrollerast ved hjelp av:

- fasefølgjemåler,
- kontroll av rotasjonsretning på synkronoskop,
- kontroll av lampemetode ved synkronisering.

c) Dersom fasefølgja er feil må en bytte om to faser på generatoren slik at fasefølgja vert lik samleskinna.

6.9 – Synkronisering i praksis.

Framgangsmåte ved synkronisering:

1. Justere spenning.

Generatorens spenning vert justert slik at ho er lik spenninga på samleskinna.

Dette vert gjort ved hjelp av AVR (Automatic Voltage Regulator).

2. Justere frekvens.

Generatorens frekvens vert justert slik at ho er nær frekvensen på samleskinna.

Dette vert gjort ved å regulere turtallet på drivmaskina.

3. Kontroll med synkronoskop.

Synkronoskopet viser forskjellen i frekvens og fase.

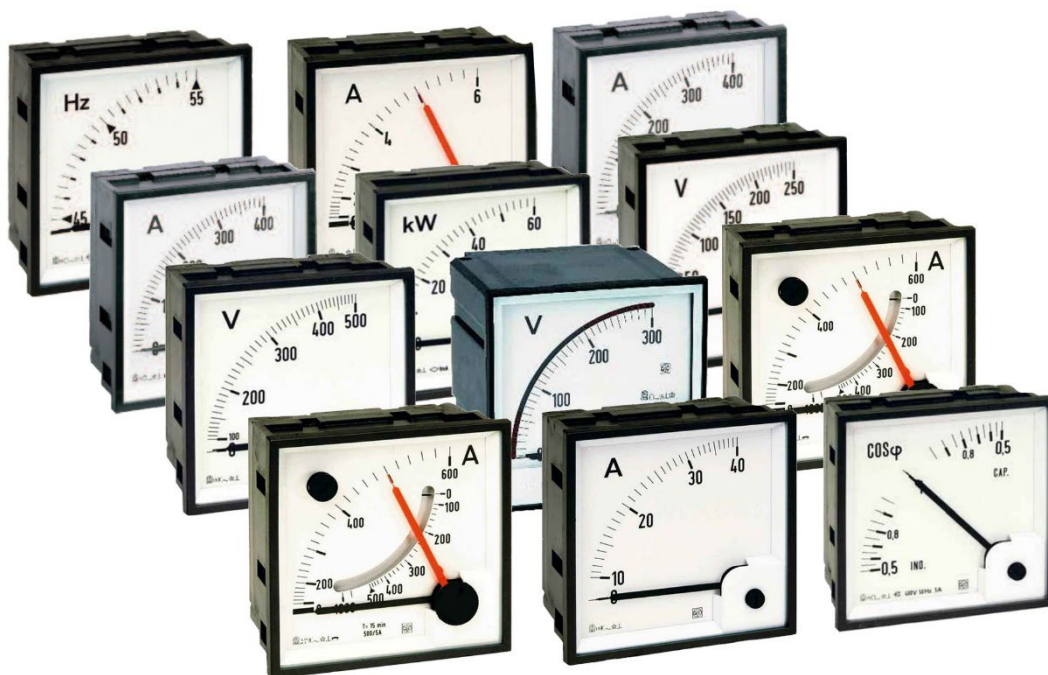
Når lysdiodene roterer sakte rundt instrumentet vert turtallet finjustert.
Når synkroniseringspunktet passerer klokka 12-posisjon vert generatorbryteren lukka.

6.10 – Konsekvenser av feil synkronisering.

Dersom en generator vert kopla inn uten korrekt synkronisering kan det oppstå:

- store utjamningsstrømmer,
- kraftige mekaniske støyter i generator og aksling,
- skade på viklinger,
- utløysing av vern,
- skade på generator eller fordelingsanlegg.

Feil synkronisering kan derfor føre til alvorlige skader på kraftsystemet om bord.



Kapittel 7. Sikringer og effektbrytere.

7.1 – Selektivitet.

a) Full og delvis selektivitet:

Selektivitet betyr at bare det vernet som ligg nærmest feilen skal koble ut.

- Full selektivitet: Kun nærmeste vern kobler ut, uansett feilstrøm
- Delvis selektivitet: Selektivitet opp til en viss kortslutningsstrøm, deretter kan flere vern løse ut

b) Hvorfor viktig på skip:

- Hindrer total utkopling av hovedtavle
- Sikrer kontinuerlig drift av kritiske system (navigasjon, maskineri)
- Reduserer risiko for blackout

c) Korleis oppnå selektivitet

- Tidsforsinking (effektbrytere med ulik utløysingstid)
- Strømselektivitet (forskjellig innstilling av vern)
- Kombinasjon sikring + effektbryter (sikring tek høg kortslutning raskt)

d) Konsekvenser ved manglende selektivitet

- Store deler av anlegget kobles ut.
- Risiko for blackout.
- Driftsforstyringer og sikkerhetsrisiko.

7.2 – Automatsikring/effektbryter.

a) Virkemåte:

- Mekanisk bryter med vern.
- Termisk vern: Et bimetall varmes opp ved overbelastning og gir tidsforsinket utløsning.
- Magnetisk vern: En elektromagnet gir momentan utløsning ved kortslutning.
- Lysbue slukkes i et lysbuekammer når kontaktene åpner.
- Kan resettes etter utløsning.

b) Bruksområde om bord

- Automatsikring: Mindre kurser, instrumentering.
- Effektbrytere: Hovedtavle, generatorfelt, store motorer.

7.3 – Kortslutningsvern.

a) Kortslutning i IT-system:

- Første jordfeil gir liten strøm.
- Ved to jordfeil → kortslutning.
- Trefase kortslutning gir svært høy strøm.

b) Effektbryter sin rolle:

- Registrerer høy kortslutningsstrøm
- Kobler ut på millisekund
- Hindrer skade på utstyr

c) Bryteevne.

Bryteevne = maksimal kortslutningsstrøm bryteren kan bryte sikkert.

d) For låg bryteevne

- Bryteren klarer ikke bryte lysbogen
- Kan eksplodere eller bli øydelagt
- Stor fare for brann og totalskade

7.4 – Termisk og magnetisk utløsning

a) Forskjell.

- Termisk vern: Bimetall, reagerer på varme (tid)
- Magnetisk vern: Elektromagnet, reagerer momentant

b) Hva dei verner mot.

- Termisk → overbelastning
- Magnetisk → kortslutning

c) Påverknad av temperatur og last.

- Høg omgivelsestemperatur → raskere utløsning
- Langvarig høg last → utløsning

d) Viktig med korrekt innstilling.

- For låg → unødvendige utkoblinger
- For høg → manglende vern
- Kritisk for personsikkerhet og utstyr

7.5 – Drift og vedlikehold.

- a) Kontroll av effektbrytere:
- Funksjonstest (utløsning)
 - Kontroll av innstillinger
 - Mekanisk inspeksjon
 - Termografering
- b) Kontroll av sikringer:
- Visuell kontroll
 - Sjekk for varmgang
 - Riktig dimensjon
- c) Tegn på svekka vern
- Misfarging
 - Lukt av svidd isolasjon
 - Ustabil drift
 - Hyppige utkoblinger
- d) Risiko ved feil sikring
- For stor → manglende vern → brannfare
 - For liten → unødvendige stopp
 - Feil type → feil karakteristikk

7.6 – Valg av kabel og sikring til motor.

- a) Beregn motorens merkestrøm
- $$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{22000}{1,732 \cdot 440 \cdot 0,90 \cdot 0,85} = \underline{37,7 \text{ A}}$$
- b) Vurder om kabelens strømføringssevne er tilstrekkelig

$$I_b < I_z = 38 \text{ A} < 64 \text{ A}$$

Kabelen tåler belastningsstrømmen og er tilstrekkelig dimensjonert med hensyn til motorbelastning.

Så må vi sjekke spenningsfallet det må ikke overstige 1 %. $440 \text{ V} \cdot 0,01 = 4,4 \text{ V}$.

Kabelen er en 16 mm^2 , da må vi regne ut spenningsfallet i kabelen som er 40 m.

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{A} = \frac{\sqrt{3} \cdot 37,7 \cdot 40 \cdot 0,0175 \cdot 0,85}{16} = \underline{2,43 \text{ V}}$$

Vi er godt under et spenningsfall på 1 %, så dette går greit.

- c) For at kabelen skal være beskyttet mot overstrøm må følgende betingelse være oppfylt: $I_b \leq I_n \leq I_z$
 der:
 Vi får: $38A \leq 50A \leq 64A$
 Kravet er oppfylt. Sikringen gir derfor tilfredsstillende beskyttelse av kabelen.
- d) Ved direkte start trekker en asynkronmotor normalt 5–8 ganger merkestrømmen.
 For denne motoren blir startstrømmen omtrent:

$$I_{start} = 6 \cdot 38 = 228A$$
 (6 er en typisk verdi)
 Hvis sikringen velges for nær motorens merkestrøm, kan den løse ut hver gang motoren startes.
 Sikringen velges derfor noe større enn merkestrømmen, mens motorvernet stilles inn til motorens merkestrøm og sørger for beskyttelse mot overbelastning.
- e) Følgende forhold bør også vurderes:
- Spenningsfall i kabelen.
 - Kortslutningsstrøm ved motoren.
 - Utkoblingstid ved kortslutning.
 - Selektivitet mot vern høyere opp i anlegget.
 - Installasjonsmetode og omgivelsestemperatur.
 - Motorens startforhold og startstrøm.

7.7

- a) Ved trefaset kortslutning brukes:
- $$I_{k3} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{440}{1,732 \cdot 0,009} = 28230A = \underline{\underline{28,2 \text{ kA}}}$$
- b) Bryterens bryteevne: 35 kA
 Beregnet kortslutningsstrøm: $28,2 \text{ kA}$
 Siden: $35 \text{ kA} > 28,2 \text{ kA}$
 er bryteren tilstrekkelig dimensjonert.
- c) Dersom kortslutningsstrømmen overstiger bryteevnen.
 Bryteren kan:
- få kontaktene sveiset sammen
 - ikke klare å slukke lysbuen
 - bli mekanisk ødelagt

- forårsake brann eller eksplosjon i tavlen
- d) Et skip har begrenset reservekapasitet og er avhengig av sin egen kraftproduksjon. En feil på hovedtavlen kan føre til blackout, tap av framdrift og tap av viktige sikkerhetssystemer. Derfor må brytere alltid dimensjoneres for den største mulige kortslutningsstrømmen.

7.8

- a) Strømmen er: $5000A > 4500A$
Momentanvernet vil løse ut umiddelbart.
- b) De ulike vern funksjonene beskytter mot forskjellige feil:
- Langtidsvern beskytter mot overbelastning.
 - Korttidsvern beskytter mot moderate feilstrømmer.
 - Momentanvern beskytter mot alvorlige kortslutninger.

Dette gir rask og selektiv utkobling.

- c) En strøm på 5000 A er typisk en kortslutning eller en alvorlig jordfeil nær generatoren eller hovedtavlen.



Kapittel 8. Skipskabler.

8.1

Kabeltype og oppbygging.

a) En skipskabel er konstruert for:

- Mekanisk belastning (vibrasjoner, slag)
- Fukt, olje og kjemikalier
- Brannkrav (lav røyk, halogenfri)
- Ofte fleksibel oppbygging (mange kordeler)

I motsetning til installasjonskabel på land er den mer robust og sikkerhetsorientert.

b) Funksjon til lagene:

- Leder: Leder strøm (kobber/aluminium).
- Isolasjon: Hindrer strømlekkasje og kortslutning.
- Skjerm: Beskytter mot elektromagnetisk støy (EMC).
- Armering: Mekanisk beskyttelse (slag, trykk).
- Ytterkappe: Beskytter mot miljø (fukt, olje, UV).

c) Halogenfrie kabler.

Brukes fordi de:

- Avgir lite røyk
- Avgir ikke giftige gasser (f.eks. klor)
- Gir bedre sikt og mindre skade ved brann

Kritisk for evakuering og sikkerhet.

8.2

$$a) P_t = \frac{P_a}{\eta} = \frac{15000}{0,9} = 16666,67 \text{ W}$$

$$I = \frac{P_t}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{16666,67}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,85} = \underline{\underline{28,30 \text{ A}}}$$

b) Faktorer som påvirker strømføringsevnen:

- Omgivelsestemperatur
- Installasjonsmåte (luft/kabelbro)
- Samling av kabler (forlegning)
- Isolasjonsmateriale
- Kjøling

8.3

- a) $\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{A} = \frac{\sqrt{3} \cdot 40 \cdot 60 \cdot 0,0175 \cdot 0,9}{10} = \underline{6,55 \text{ V}}$
- b) $\Delta U \text{ i } \% = \frac{100 \% \cdot \Delta U}{U} = \frac{100 \% \cdot 6,55}{400} = \underline{1,64 \%}$
- c) *Vurdering* $1,64 \% < 5 \%$ så dette er godkjent.

8.4

a) $A = \frac{I \cdot \sqrt{t}}{k} = \frac{6000 \cdot \sqrt{0,4}}{135} = \underline{28,1 \text{ mm}^2}$

Vi bruker nærmeste normaltversnitt som er 35 mm^2

- b) Hvorfor viktig:
- Hindrer overoppheting
 - Forhindrer brann.
 - Sikrer at kabelen tåler feilstrømmen til vernet kobler ut.

8.5

- a) Kabeltype

Bør være:

- Halogenfri (LSZH).
- Oljebestandig.
- Temperaturbestandig.
- Fleksibel.
- Armert.

- b) Armering:

- Beskytter mot mekanisk skade.
- Viktig ved vibrasjoner og slag.

- c) Feil kabel.

Kan føre til:

- Isolasjonsskade.
- Kortslutning.
- Brann.
- Driftsstans.

8.6

Jordfeil.

- a) Definisjon:
Strøm går fra leder til jord (uønsket vei).
- b) Feilsøking:
 - 1. Slå ut sikringer til kursen.
 - 2. Del opp kursen.
 - 3. Mål isolasjon stegvis.
 - 4. Lokaliser seksjon med feil.
- c) Utstyr:
 - Megger (isolasjonstester)

8.7

Parallellkobling av kabel.

- a) Krav:
 - Samme lengde.
 - Samme tverrsnitt.
 - Samme type kabel.
- b) Ulik kabel:
 - Ujevn strømfordeling → overbelastning.
- c) Viktig på skip:
 - Høy belastning.
 - Begrenset plass.
 - Kritiske systemer.

8.8

- a) EMC - Evne til å fungere uten å forstyrre/forstyrres.
- b) Skjerming hindrer støy. Viktig for instrumenter og signaler.
- c) Feil terminering:
 - Støy
 - Feilmålinger
 - Ustabile systemer

8.9

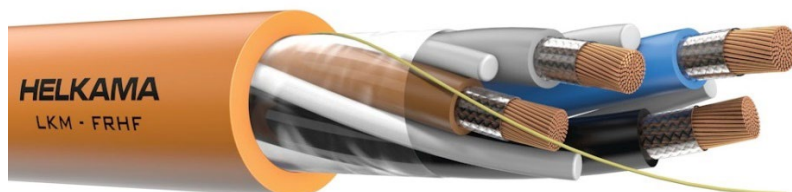
Brann og sikkerhet.

- a) Forskjell:
 - Flammeheemmende: hindrer spredning
 - Brannbestandig: fungerer under brann
- b) Kritisk fordi:
 - Evakuering
 - Livssikkerhet
 - Nødutstyr må virke
- c) Eksempel:
 - Nød belysning
 - Brannpumper
 - Alarmsystem

8.10

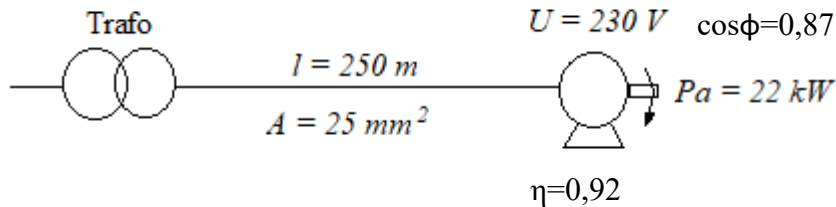
Praktisk installasjon.

- a) Bøyeradius
 - Hindrer skade på leder og isolasjon
- b) Dårlig klamring
 - Slitasje
 - Vibrasjonsskader
 - Brudd
- c) Mekanisk beskyttelse
 - Hindrer skade fra utstyr/personell



Kapittel 9. Asynkrone kortslutningsmotorer.

9.1



a) $P_t = \frac{P_a}{\eta} = \frac{22000}{0,92} = 23913 \text{ W} = 23,91 \text{ kW}$

$$I = \frac{P_t}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{23913}{\sqrt{3} \cdot 230 \cdot 0,87} = \underline{\underline{69 \text{ A}}}$$

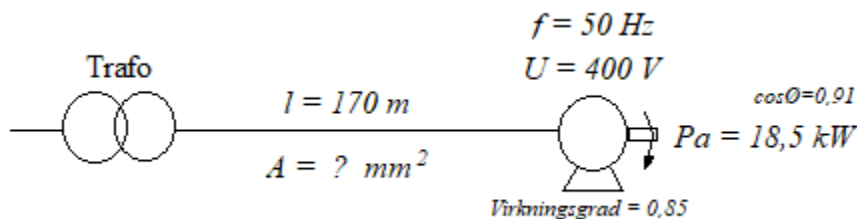
b) Effekttap i kabelen:

$$\Delta P = \frac{3 \cdot l \cdot I^2 \cdot \rho}{A} = \frac{3 \cdot 250 \cdot 69^2 \cdot 0,0168}{25} = \underline{\underline{2500 \text{ W}}}$$

c) Effekt som trafo må levere:

$$P_{\text{fordeling}} = P_{\text{motor}} + P_{\text{ledning}} = 23913 + 2500 = \underline{\underline{26413 \text{ W}}}$$

9.2



Spenningsfallet i kabelen:

$$\Delta U = 4,5 \% \quad \Delta U = \frac{400 \cdot 4,5}{100} = 18 \text{ V}$$

a) $P_t = \frac{P_a}{\eta} = \frac{18500}{0,85} = 21764,7 \text{ W}$

b) $P_t = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \rightarrow I = \frac{P_t}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{21764,7}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,91} = 34,52 \text{ A}$

c) $A = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{\Delta U} = \frac{\sqrt{3} \cdot 34,52 \cdot 170 \cdot 0,0168 \cdot 0,91}{18} = \underline{\underline{8,63 \text{ mm}^2}}$

d) Nærmeste normaltversnitt er: 10 mm², se NEK 410B 2021, Annex 2.

En treleder 10 mm², EPR 85° kabel tåler = 47 A

9.3

$$a) \quad P_t = \frac{P_a}{\eta} = \frac{7,5}{0,88} = 8,523 \text{ kW}$$

Omdreiningstallet:

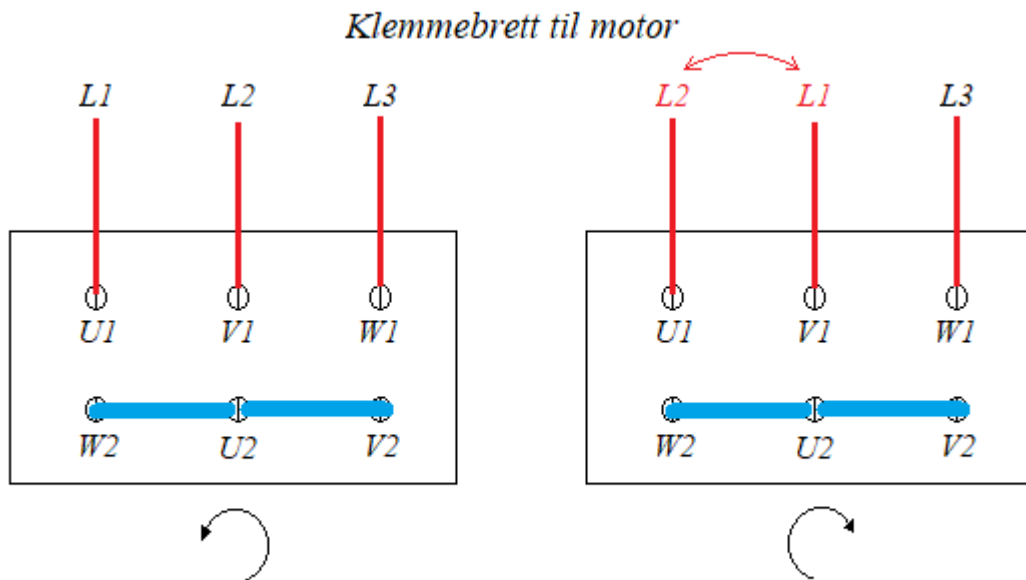
$$n_s = \frac{f * 60}{p} = \frac{50 * 60}{3} = 1000 \text{ o/min}$$

$$s = 3 \% (\text{slipp}) \rightarrow s = \frac{1000 * 3}{100} = 30 \text{ o/min}$$

$$n = n_s - s = 1000 - 30 = 970 \text{ o/min}$$

$$I_h = I_f = \frac{P_t}{\sqrt{3} * U * \cos\varphi} = \frac{8523}{\sqrt{3} * 230 * 0,87} = 24,59 \text{ A}$$

b)



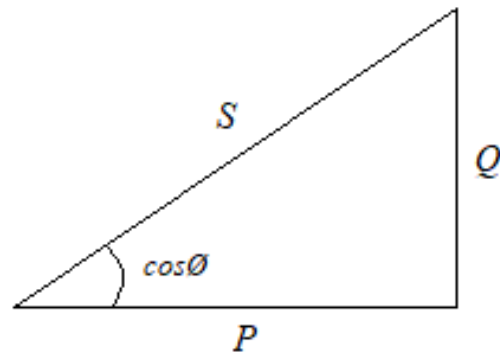
Ved å bytte om på to av tilledningene, forandrer vi dreieretningen på motoren.

c) Fordel med trefase motor kontra enfase motor:

- ✓ Enkel konstruksjon, billigere å produsere
- ✓ Lite vedlikehold
- ✓ Bedre utnyttelse av motoren
- ✓ Starter direkte, enkel å snu dreieretningen
- ✓ Mindre tverrsnitt på kabel i forhold til avgitt effekt.

9.4

Effektdiagram

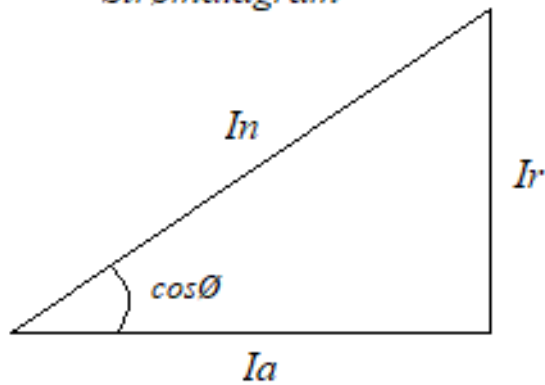


a) $P = \sqrt{3} * U * I_n * \cos\varphi = \sqrt{3} * 440 * 15 * 0,83 = 9488 \text{ W}$

$Q = \sqrt{3} * U * I_n * \sin\varphi = \sqrt{3} * 440 * 15 * 0,557 = 6377 \text{ VAr}$

$S = \sqrt{3} * U * I_n = \sqrt{3} * 440 * 15 = 11432 \text{ VA}$ (ikke spørsmål om i oppgaven)

Strømdiagram



b) $I_a = I_n * \cos\varphi = 15 * 0,83 = \underline{12,45 \text{ A}}$

$I_r = I_n * \sin\varphi = 15 * 0,557 = \underline{8,35 \text{ A}}$

c) $p = \frac{f}{n_s} = \frac{60}{57} = 1,05 \rightarrow \text{det vil si 1 polpar}$

d) $s = \frac{100 \% * (n_s - n)}{n_s} = \frac{100 * (3600 - 3420)}{3600} = \underline{5 \%}$

9.5

$$a) P_t = \frac{P_a}{\eta} = \frac{7360}{0,85} = 8658,8 \text{ W}$$

$$I_h = \frac{P_t}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi} = \frac{8658,8}{\sqrt{3} * 230 * 0,91} = \underline{23,89 \text{ A}}$$

b) I trekantkobling er hovedspenningen lik fasespenningen:

$$U_h = U_f = \underline{230 \text{ V}}$$

c) To av tilledningene bytter plass.

Se oppgave 9.3 b)

$$d) P = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi = \sqrt{3} * 230 * 23,89 * 0,91 = 8659 \text{ W}$$

$$Q = \sqrt{3} * U * I * \sin \varphi = \sqrt{3} * 230 * 23,89 * 0,4146 = 3945,9 \text{ Var}$$

$$S = \sqrt{3} * U * I = \sqrt{3} * 230 * 23,89 = 9517 \text{ VA}$$

e) Omdreiningstallet:

$$n_s = \frac{f * 60}{p} = \frac{50 * 60}{2} = 1500 \text{ o/min}$$

$$s = 4 \% (\text{slipp}) \rightarrow s = \frac{1500 * 4}{100} = 60 \text{ o/min}$$

$$n = n_s - s = 1500 - 60 = 1440 \text{ o/min}$$

f) Vi vet at effekten synker ned til 1/3 ved omkobling fra trekant til stjerne ved samme spenning. Vi må ta utgangspunkt i faseverdiene ved begge koblingene.

$$I_{f\Delta} = \frac{I_{h\Delta}}{\sqrt{3}} = \frac{23,89}{\sqrt{3}} = 13,79$$

$$\frac{U_{f\Delta}}{I_{f\Delta}} = \frac{U_{fY}}{I_{fY}} \rightarrow I_{fY} = \frac{I_{f\Delta} * U_{fY}}{U_{f\Delta}} = \frac{13,79 * \frac{230}{\sqrt{3}}}{230} = 7,96 \text{ A}$$

Strømmen motoren trekker i stjerne er $I_f = I_h = 7,96 \text{ A}$ ved 230 V

$$P_Y = U_Y * I_Y * \sqrt{3} * \cos \varphi = 230 * 7,96 * \sqrt{3} * 0,91 = 2885,6 \text{ W}$$

$$P_a = P_t * \eta = 2885,6 * 0,85 = 2452,8 \text{ W}$$

Kan også regnes ut slik:

$$P_{tY} = \frac{P_{t\Delta}}{3} = \frac{8659}{3} = 2886 \text{ W} \rightarrow P_{aY} = P_{tY} * \eta = 2886 * 0,85 = \underline{2453 \text{ W}}$$

9.6

$$a) P_t = \frac{P_a}{\eta} = \frac{5500}{0,88} = 6250 \text{ W}$$

$$I_h = \frac{P_t}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi} = \frac{6250}{\sqrt{3} * 230 * 0,88} = 17,83 \text{ A}$$

$$I_f = \frac{I_h}{\sqrt{3}} = \frac{17,82}{\sqrt{3}} = 10,29 \text{ A}$$

$$b) U_{f\Delta} = U_{h\Delta} = 230 \text{ V}$$

$$c) n_s = \frac{f*60}{p} = \frac{50*60}{3} = 1000 \text{ o/min}$$

Dei fleste motorer har en slipp mellom 3 og 5 %.

Omdreiningstallet vil ligge en plass mellom 950 – 970 o/min.

- d) Hver vikling tåler 230 V som vi har i trekant. Kobler vi den om til stjerne ved 400 V så vil den fortsatt ha 230 V over hver vikling. Effekten vil ikke forandre seg fordi vi får samme spenning over vikingene. Strømmen i stjerne er lik $I_h = I_f$

$$e) U_{fY} = \frac{U_{hY}}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 230 \text{ V}$$

Det som vil bli forandret er strømmen.

$$I_{hY} = \frac{P_t}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi} = \frac{6250}{\sqrt{3} * 400 * 0,88} = 10,25 \text{ A}$$

9.7

$$a) T = \frac{P}{2*\pi*n} \text{ Snu formelen} \rightarrow$$

$$P_a = T * 2 * \pi * n = 196 * 2 * \pi * \frac{1720}{60} = \underline{35303 \text{ W} = 35,3 \text{ kW}}$$

$$b) P_t = \frac{P_a}{\eta} = \frac{35303}{0,8} = 44128,9 \text{ W} = 44,129 \text{ kW}$$

$$P_t = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi \text{ Snu formelen} \rightarrow$$

$$I_h = \frac{P_t}{\sqrt{3}*U*\cos \varphi} = \frac{44128,9}{\sqrt{3}*440*0,87} = \underline{66,56 \text{ A}}$$

- c) n er rotasjonsfrekvensen i sekund, vi har den i minutter.

$$n = \frac{1720}{60} = 28,6666 \text{ °/sek}$$

$$p = \frac{f}{n} = \frac{60}{28,6666} = 2,09 \text{ polpar} \approx \underline{2 \text{ polpar}} = 4 \text{ poler}$$

$$n_s = \frac{f*60}{p} = \frac{60*60}{2} = \underline{1800 \text{ °/min}}$$

$$s (i \%) = \frac{100 \%*(n_s*n)}{n_s} = \frac{100*(1800-1720)}{1800} = \underline{4,44 \%}$$

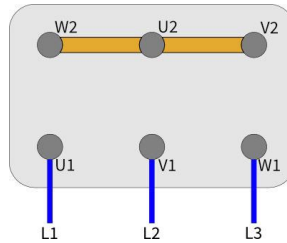
$$d) \quad s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1800 - 1720}{1800} = 0,0444$$

$$s = 1800 - 1720 = 80 \text{ o/min} = \frac{80}{60} = 1,33 \text{ o/sek}$$

$$f_r = s * f = 0,0444 * 60 = \underline{2,67 \text{ Hz}}$$

9.8

a)



$$b) \quad n_s = \frac{f * 60 \text{ (sek.)}}{p} = \frac{50 * 60}{4} = 750 \text{ rpm} = 750 \text{ }^\circ/\text{min.}$$

$$n = n_s * (1 - s) = 750 * (1 - 0,04) = 750 * 0,96 = \underline{720 \text{ rpm}}$$

$$c) \quad T = \frac{P_a}{2\pi n} \rightarrow \quad n = \text{rpm i sekunder}$$

$$P_a = T * 2 * \pi * n = 360 * 2 * \pi * \frac{720}{60} = 27143 \text{ W}$$

$$P_t = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi = \sqrt{3} * 400 * 51 * 0,85 = \underline{30000 \text{ W}}$$

$$\eta = \frac{P_a}{P_t} = \frac{27143}{30000} = \underline{0,905}$$

9.9

$$a) \quad P_t = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi = \sqrt{3} * 400 * 10 * 0,89 = \underline{6160 \text{ W}}$$

$$b) \quad p = \frac{f * 60 \text{ (sek.)}}{n} = \frac{50 * 60}{1440} = 2,08 \approx \underline{2 \text{ polpar}} \quad n_s = \frac{f}{p} = \frac{50 * 60}{2} = \underline{1500 \text{ rpm}}$$

$$c) \quad s = \frac{100 \% * (n_s - n)}{n_s} = \frac{100 * (1500 - 1440)}{1500} = \underline{4 \%}$$

$$d) \quad \eta = \frac{P_a}{P_t} = \frac{5500}{6160} = \underline{0,893}$$

$$e) \quad T = \frac{P_a}{2\pi n} = \frac{5500}{2 * \pi * \frac{1440}{60}} = \underline{36,5 \text{ Nm}}$$

9.10

$$a) \quad P_a = T * 2 * \pi * n = 39 * 2 * \pi * 24 = \underline{5880 \text{ W}}$$

$$b) \quad P_t = \frac{P_a}{\eta} = \frac{5880}{0,89} = \underline{6610 \text{ W}}$$

$$I_h = \frac{P_t}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi} = \frac{6610}{\sqrt{3} * 400 * 0,91} = \underline{10,5 \text{ A}}$$

c) Vi prøver:

$$1 \text{ polpar} = 3000 \text{ rpm}$$

$$2 \text{ polpar} = 1500 \text{ rpm} = 25 \text{ s}^{-1}$$

$$s = \frac{100 \% (n_s - n)}{n_s} = \frac{100 \% (25 - 24)}{25} = \underline{4 \%}$$

$$d) f_r = \frac{s}{100} * f = 0,04 * 50 = 2 \text{ Hz}$$

$$e) \Delta U = \frac{U * 2 \%}{100 \%} = \frac{400 * 2}{100} = \underline{8 \text{ V}}$$

$$\text{Min areal pga } \Delta U \rightarrow A = \frac{\sqrt{3} * I * l * \rho * \cos \varphi}{\Delta U} = \frac{\sqrt{3} * 10,5 * 67 * 0,0175 * 0,91}{8} = \underline{2,43 \text{ mm}^2}$$

Motoren trekker 10,5 A. I henhold til NEK 410 kunne jeg ha brukt en 1,5 mm²

kabel som tåler 15 A. Pga. spenningsfallet må jeg bruke en 2,5 mm² kabel, den kan sikrest med 20 A.

9.11

a) Ved 60 Hz:

- $n = 29 \text{ s}^{-1} = 29 * 60 = 1740 \text{ rpm}$
- $1 \text{ polpar} = 2 \text{ polar} = \frac{f * 60}{p} = \frac{60 * 60}{1} = 3600 \text{ rpm}$
- $2 \text{ polpar} = 4 \text{ poler} = \frac{f * 60}{p} = \frac{60 * 60}{2} = 1800 \text{ rpm}$
- $3 \text{ polpar} = 6 \text{ poler} = \frac{f * 60}{p} = \frac{60 * 60}{3} = 1200 \text{ rpm}$

Turtallet er mellom 4 poler og 6 poler, derfor må det være en 4 polet motor.

$$b) P_t = \frac{P_a}{\eta} = \frac{25000}{0,88} = \underline{28410 \text{ W}}$$

$$I_h = I_f = \frac{P_t}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi} = \frac{28410}{\sqrt{3} * 400 * 0,91} = \underline{43,4 \text{ A}}$$

$$c) s = \frac{100 \% (n_s - n)}{n_s} = \frac{100 \% (1800 - 1740)}{1800} = \underline{3,33 \%}$$

$$d) \cos \varphi = 0,86 \rightarrow \text{vi bruker kalkulator} \rightarrow \sin \varphi = 0,51$$

$$I_a = I_h * \cos \varphi = 43,4 * 0,86 = \underline{37,3 \text{ A}}$$

$$I_r = I_h * \sin \varphi = 43,4 * 0,51 = \underline{22,1 \text{ A}}$$

Reaktiv strøm er størst ved start (både ved tomgang og belastning).

- Motoren oppfører seg som en transformator ved start.
- Stor magnetiseringsstrøm $\rightarrow$ høy reaktiv komponent.
- Lav $\cos \varphi$ ved start $\rightarrow$ mye reaktiv effekt.

Aktiv strøm øker først når motoren begynner å levere mekanisk effekt.

e) Tre vanlige metoder for å redusere startstrømmen:

1. Stjerne–trekant-start (Y/Δ)

- Reduserer startstrøm til ca. 1/3

2. Autotransformatorstart

- Reduserer spenning → lavere startstrøm

3. Frekvensomformer (VFD)

- Myk start, full kontroll

(Alternativt: softstarter)

9.12

a) $P_t = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi = \sqrt{3} * 440 * 16 * 0,86 = \underline{10486 \text{ W}}$

$$P_a = P_t * \eta = 10486 * 0,9 = \underline{9438 \text{ W}}$$

b) $n_s = \frac{f * 60 \text{ (sek.)}}{p} = \frac{50 * 60}{8} = 450 \text{ rpm} = 750 \text{ }^\circ/\text{min.}$

$$n = n_s * (1 - s) = 750 * (1 - 0,042) = 750 * 0,958 = \underline{431 \text{ rpm}}$$

c) $f_r = s * f = 0,042 * 60 = \underline{2,52 \text{ Hz}}$

d) $T = \frac{P_a}{2\pi n} = \frac{9438}{2 * \pi * \frac{431}{60}} = \underline{209 \text{ Nm}}$

e) $\cos \varphi = 0,86 \rightarrow \text{vi bruker kalkulator} \rightarrow \sin \varphi = 0,51$

$$I_a = I_h * \cos \varphi = 16 * 0,86 = \underline{13,8 \text{ A}}$$

$$I_r = I_h * \sin \varphi = 16 * 0,51 = \underline{8,2 \text{ A}}$$

f) $P_t = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi = \sqrt{3} * 440 * 14,2 * 0,82 = \underline{8874 \text{ W}}$

$$P_a = P_t * \eta = 8874 * 0,9 = \underline{7987 \text{ W}}$$

$$n = n_s * (1 - s) = 450 * (1 - 0,049) = 750 * 0,951 = \underline{413 \text{ rpm} = 6,88 \text{ s}^{-1}}$$

$$T = \frac{P_a}{2\pi n} = \frac{7987}{2 * \pi * \frac{413}{60}} = \underline{185 \text{ Nm}}$$

g) Ny $f_r = s * f = 0,049 * 60 = \underline{2,94 \text{ Hz}}$

h) Motorvernet skal stilles på merkestrøm 16 A, ikke på 14,2 A.

- Motorvern skal beskytte motoren mot overbelastning, ikke følge driftspunkt.
- 14,2 A er bare et midlertidig driftspunkt.
- Ved høyere belastning må motoren tåle opp til merkestrøm.

NEK 410A sier at motorvernet skal stilles til 100 % - 120 % av merkestrøm.

9.13

$$a) P_t = \frac{P_a}{\eta} = \frac{15000}{0,85} = \underline{17650 \text{ W}}$$

$$I_h = \frac{P_t}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{17650}{\sqrt{3} \cdot 440 \cdot 0,91} = \underline{25,5 \text{ A}}$$

$$b) n = 14 \text{ s}^{-1} \cdot 60 = \underline{840 \text{ rpm}}$$

$$n_s = \frac{f \cdot 60 \text{ (sek.)}}{p} = \frac{60 \cdot 60}{4} = \underline{900 \text{ rpm}}$$

$$s = \frac{100 \% \cdot (n_s - n)}{n_s} = \frac{100 \cdot (900 - 840)}{900} = \underline{6,7 \%}$$

$$c) T = \frac{P_a}{2\pi n} = \frac{15000}{2 \cdot \pi \cdot 14} = \underline{170,6 \text{ Nm}}$$

$$d) \cos \varphi = 0,91 \rightarrow \text{vi bruker kalkulator} \rightarrow \sin \varphi = 0,415$$

$$I_a = I_h \cdot \cos \varphi = 25,5 \cdot 0,91 = \underline{23,2 \text{ A}}$$

$$I_r = I_h \cdot \sin \varphi = 25,5 \cdot 0,415 = \underline{10,5 \text{ A}}$$

$$e) \Delta U = \frac{U \cdot 2 \%}{100 \%} = \frac{440 \cdot 2}{100} = \underline{8,8 \text{ V}}$$

$$\text{Min areal pga } \Delta U \rightarrow A = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{\Delta U} = \frac{\sqrt{3} \cdot 25,5 \cdot 115 \cdot 0,0175 \cdot 0,91}{8,8} = \underline{9,19 \text{ mm}^2}$$

Motoren trekker 25,5 A. I henhold til NEK 410 kunne jeg ha brukt en 4 mm² kabel som tåler 27 A. Pga. spenningsfallet må jeg bruke en 10 mm² kabel, den kan sikrest opptil 47 A. I dette tilfelle ville jeg ha brukt en 32 A automatsikring.

9.14

$$a) P_t = \frac{3,6 \text{ kWh}}{0,25 \text{ time}} = 14,4 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_a}{P_t} = \frac{14,4}{11,7} = \underline{0,813}$$

$$b) n = 29^{-1} \cdot 60 = 1740 \text{ rpm, dette er en 1800 rpm motor.}$$

$$s = \frac{100 \% \cdot (n_s - n)}{n_s} = \frac{100 \cdot (1800 - 1740)}{1800} = \underline{3,33 \%}$$

$$c) \cos \varphi = \frac{P_t}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I} = \frac{14400}{\sqrt{3} \cdot 440 \cdot 24} = \underline{0,79}$$

$$d) T = \frac{P_a}{2\pi n} = \frac{11700}{2 \cdot \pi \cdot 29} = \underline{64,2 \text{ Nm}}$$

$$e) \cos \varphi = 0,79 \rightarrow \text{vi bruker kalkulator} \rightarrow \sin \varphi = 0,61$$

$$I_a = I_h \cdot \cos \varphi = 24 \cdot 0,79 = \underline{19 \text{ A}}$$

$$I_r = I_h \cdot \sin \varphi = 24 \cdot 0,61 = \underline{14,6 \text{ A}}$$

a) Årsaker til lagerhavari (drøfting).

Typiske hovedårsaker kan deles i mekaniske, elektriske og driftsmessige forhold:

1. Smøring (svært vanlig).

- For lite smøremiddel → metallkontakt → slitasje.
- For mye fett → varmeutvikling.
- Feil type fett → dårlig smøreevne.

Den vanligste enkeltårsaken.

2. Feil montasje / mekanisk belastning.

- Skjev oppretting (misalignment).
- Feil inn pressing av lager.
- Vibrasjoner fra maskin eller fundament.

Gir unormale krefter og redusert levetid.

3. Elektriske årsaker.

- Lagerstrømmer (ofte fra frekvensomformer).
- Akslingsspenninger → gnister i lageret.

Kan gi pitting og rask ødeleggelse. (Pitting er en type skade i metalloverflater).

4. Forurensning.

- Støv, salt, fukt, olje.
- Særlig kritisk i maritimt miljø.

Bryter ned smørefilm.

5. Temperatur.

- Overoppheting fra motor eller omgivelser.
- Nedbryting av fett.

6. Feil dimensjonering / levetid.

- Lager ikke tilpasset belastning.
- Normal slitasje over tid.

Lagerhavari skyldes ofte en kombinasjon av smøring, mekanikk og elektriske påvirkninger.

b) Fullvern = komplett motorbeskyttelse som overvåker flere forhold samtidig:

Typiske funksjoner:

- Overbelastning.
- Kortslutning.

- Fasebrudd.
- Feil fasefølge.
- Over-/underspenning.
- Temperatur (PTC/termistor i viklinger).

Hvordan det fungerer:

- Sensorer (ofte PTC i viklinger) måler temperatur.
- Elektronisk vern overvåker strøm og spenning.
- Ved avvik → kobler ut motoren automatisk.

Reagerer både på elektriske og termiske feil.

c) Fordeler med fullvern.

Sammenlignet med termiske releer:

Fordeler:

- Mer nøyaktig beskyttelse.
- Reagerer raskere.
- Beskytter mot flere feiltyper.
- Tar hensyn til virkelig temperatur (ikke bare strøm).
- Bedre for moderne drift (frekvensomformer).

Fullvern gir høyere driftssikkerhet og bedre levetid.

d) Hvorfor ikke alltid fullvern?

Ulemper:

- Dyrere.
- Mer komplekst.
- Krever sensorer i motor.
- Ikke alltid nødvendig for små/enkle motorer.

Praktisk vurdering:

- Små motorer → ofte bare termisk vern.
- Kritiske motorer (skip, industri) → fullvern.

Valg styres av kostnad vs. kritikalitet.

e) Krav i NEK 410 til utgående hovedstrøms kurser.

Viktige krav:

1. Overstrømsvern.
 - Beskyttelse mot kortslutning og overbelastning.
2. Selektivitet.
 - Feil skal kobles ut nærmest feil sted.

3. Frakoblings mulighet.
 - Kurs skal kunne kobles fra sikkert.
4. Dimensjonering.
 - Kabel og vern skal tåle belastning og kortslutning.
5. Beskyttelse av motor.
 - Motor skal ha eget overlastvern.
6. Spenningsfall.
 - Skal holdes innenfor krav.

For motoravganger spesielt:

- Eget motorvern (termisk eller fullvern).
- Startstrøm må tas hensyn til.
- Vern må ikke løse ut ved normal start.

Oppsummert:

NEK 410 krever sikker, selektiv og korrekt dimensjonert beskyttelse av alle kurser.

9.16

- a) $n_s = \frac{f}{p} = \frac{60}{2} = 30 \text{ s}^{-1} = 30 * 60 = \underline{1800 \text{ rpm}}$
- $$s = \frac{n_s - n}{n} = \frac{30 - 29}{30} = 0,0333 = \underline{3,33 \%}$$
- b) $P_t = \frac{P_a}{\eta} = \frac{25000}{0,88} = \underline{28409 \text{ W}}$
- $$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{28409}{0,86} = \underline{33034 \text{ VA}}$$
- $$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{33034^2 - 28409^2} = \underline{16858 \text{ VAR}}$$
- c) $I_h = \frac{S}{\sqrt{3} * U} = \frac{33034}{\sqrt{3} * 440} = \underline{43,34 \text{ A}}$
- $$I_f = \frac{I_h}{\sqrt{3}} = \frac{43,34}{\sqrt{3}} = \underline{25,02 \text{ A}}$$
- d) $\cos \varphi = 0,86 \rightarrow \text{vi bruker kalkulator} \rightarrow \sin \varphi = 0,51$
- $$I_a = I_h * \cos \varphi = 43,34 * 0,86 = \underline{37,27 \text{ A}}$$
- $$I_r = I_h * \sin \varphi = 43,34 * 0,51 = \underline{22,10 \text{ A}}$$

Ved start:

Reaktiv strøm er størst.

- Motoren oppfører seg nesten som en transformator med kortsluttet sekundærside.
- Det går svært mye magnetiseringsstrøm.

- Effektfaktoren er veldig lav ved start.

Ved tomgang:

Den reaktive strømmen er størst.

- Motoren trenger lite aktiv effekt uten last.
- Det meste av strømmen går til magnetisering.

Ved full belastning:

- Motoren leverer stor mekanisk effekt.
- Effektfaktoren blir høyere.
- Aktiv effekt øker kraftig.

e) Stjerne – trekant start.

- Reduserer startstrømmen til ca. 1/3.

Softstarter.

- Elektronisk spenningsregulering ved start.

Frekvensomformer.

- Starter motoren med lav frekvens og spenning.
- Gir svært lav startstrøm.

$$f) \Delta U_{max} = \frac{440 \text{ V} * 1,5\%}{100 \%} = \underline{6,6 \text{ V}}$$

$$A_{min} = \frac{\sqrt{3} * I * l * \rho * \cos \varphi}{\Delta U} = \frac{\sqrt{3} * 43,34 * 75 * 0,0175 * 0,86}{6,6} = 12,84 \text{ mm}^2$$

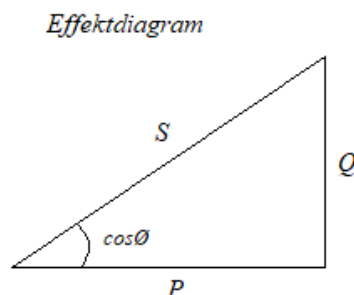
Det nærmeste normale kabeltversnitt over 12,84 mm² er 16 mm².

Kabel EPR 85 °C tåler etter NEK 410B 64 A. Ville sikra med 63 A da motoren trekker 43,34 A. Vi ganger ofte med 1,25 når vi velger sikring til motoren, fordi motoren trekker høyere strøm enn merkestrøm i korte perioder.

43,34 A * 1,25 = 54,18 A. En kabel på 3x16 mm² sikret med 63 A går fint.

g) Motorvernet stiller vi på 100 % av merkestrøm 43,34 A.

h)



9.17

- a) I stjerne gjelder $U_f = \frac{U_h}{\sqrt{3}} = \frac{440}{\sqrt{3}} = 254 \text{ V}$ dette tåler viklingene så vi kobler i stjerne.

$$\underline{I_f = I_h = 38 \text{ A}}$$

- b) $P_t = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi = \sqrt{3} * 440 * 38 * 0,86 = 24905 \text{ W}$

$$P_a = P_t * \eta = 24905 * 0,93 = \underline{23162 \text{ W}}$$

- c) $\cos \varphi = 0,86 \rightarrow \text{vi bruker kalkulator} \rightarrow \sin \varphi = 0,51$

$$I_a = I_h * \cos \varphi = 38 * 0,86 = \underline{32,7 \text{ A}}$$

$$I_r = I_h * \sin \varphi = 38 * 0,51 = \underline{19,4 \text{ A}}$$

- d) $n_s = \frac{f}{p} = \frac{60}{2} = 30 \text{ s}^{-1} = 30 * 60 = \underline{1800 \text{ rpm}}$

$$s = \frac{n_s - n}{n} = \frac{30 - 28}{30} = 0,0667 = \underline{6,67 \%}$$

- e) $s = \frac{n_s - n}{n} = \frac{30 - 29,55}{30} = 0,0015$

$$\text{Rotorfrekvens ved tomgang } f_r = s * f = 0,0015 * 60 = \underline{0,9 \text{ Hz}}$$

9.18

Henter data om motorene:

M1: $P = 18,5 \text{ kW}$, $\eta = 89,3$, $\cos \varphi = 0,85$, $I = 35 \text{ A}$.

M2: $P = 37 \text{ kW}$, $\eta = 91,2$, $\cos \varphi = 0,85$, $I = 69 \text{ A}$.

- a) $M1 \rightarrow P_1 = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi = \sqrt{3} * 400 * 35 * 0,85 = \underline{22967 \text{ W}}$

$$M1 \rightarrow Q_1 = \sqrt{3} * U * I * \sin \varphi = \sqrt{3} * 400 * 35 * 0,527 = \underline{12779 \text{ VAr}}$$

$$M2 \rightarrow P_2 = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi = \sqrt{3} * 400 * 69 * 0,85 = \underline{40634 \text{ W}}$$

$$M2 \rightarrow Q_2 = \sqrt{3} * U * I * \sin \varphi = \sqrt{3} * 400 * 69 * 0,527 = \underline{25193 \text{ VAr}}$$

- b) Motorvern M1: 35 A

Motorvern M2: 69 A

- c) $P_t = P_1 + P_2 + P_3 = 22967 + 40634 + 15000 = \underline{78601 \text{ W}}$

$$Q_t = Q_1 + Q_2 = 12779 + 25193 = \underline{37972 \text{ VAr}}$$

$$S = \sqrt{P_t^2 + Q_t^2} = \sqrt{78601^2 + 37972^2} = \underline{87293 \text{ VA}}$$

- d) $\cos \varphi = \frac{P_t}{S_t} = \frac{78601}{87293} = \underline{0,9}$

- e) $\Delta U_{\max} = \frac{400 \text{ V} * 2 \%}{100 \%} = \underline{8 \text{ V}}$

$$I_{\text{avriming}} = \frac{P_{\text{avriming}}}{\sqrt{3} * U} = \frac{15000}{\sqrt{3} * 400} = \underline{21,65 \text{ A}}$$

$$A_{M1 \text{ min.}} = \frac{\sqrt{3} * I * l * \rho * \cos \varphi}{\Delta U} = \frac{\sqrt{3} * 35 * 65 * 0,0175 * 0,85}{8} = \underline{7,33 \text{ mm}^2}$$

$$A_{M2 \min.} = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{\Delta U} = \frac{\sqrt{3} \cdot 69 \cdot 65 \cdot 0,0175 \cdot 0,85}{8} = \underline{14,44 \text{ mm}^2}$$

$$A_{avrim. \min.} = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{\Delta U} = \frac{\sqrt{3} \cdot 21,65 \cdot 65 \cdot 0,0175 \cdot 0,85}{8} = \underline{4,53 \text{ mm}^2}$$

Kabel til M1: Motoren trekker 35 A. Kabel 3 x 10 mm² tåler 47 A

Kabel til M2: Motoren trekker 69 A. Kabel 3 x 25 mm² tåler 84 A

Kabel til avriming: Avriming trekker 21,65 A. Kabel 3 x 4 mm² tåler 27 A. Vi kan ikke bruke 3 x 4 mm² fordi spenningsfallet blir for stort. Vi bruker 3 x 6 mm² – 34 A.

f) Sikring til M1 – 47 A

Sikring til M2 – 84 A

Sikring til avriming – 34 A

g) $\Delta U = 2 \% \text{ av } U_h = \frac{400 \cdot 2}{100} = \underline{8 \text{ V}}$

$$I_h = \frac{S_t}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{87293}{\sqrt{3} \cdot 400} = \underline{126 \text{ A}}$$

Minimum areal pga spenningsfall:

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{\Delta U} = \frac{\sqrt{3} \cdot 126 \cdot 80 \cdot 0,0175 \cdot 0,9}{8} = \underline{34,4 \text{ mm}^2}$$

Da kan vi bruke en 50 mm² som tåler 129 A (NEK 410 B tabell B.3.).

Med så liten margin så ville jeg ha valgt en 70 mm² kabel som tåler 160 A.

9.19

a) Hva må vi ta hensyn til ved et slikt motorskifte?

Når en motor skal skiftes fra 15 kW til 18,5 kW i et 400 V anlegg, må vi kontrollere at hele installasjonen tåler den nye belastningen.

Det viktigste er:

1. Kabelens strømføringsevne.

Den eksisterende kabelen må tåle den nye merkestrømmen til motoren.

Vi må ta hensyn til:

- kabelverrsnitt
- kabeltype
- omgivelsestemperatur
- forlegningsmåte
- buntingsfaktor (kabelen ligger buntet med andre kabler)

Når kabler bntes sammen, blir kjølingen dårligere, og strømføringsevnen reduseres.

2. Spenningsfall:

Motoren står 70 m fra tavla. Lang kabel gir spenningsfall.

For stort spenningsfall kan gi:

- dårlig startmoment
- høyere strøm
- varmgang
- redusert levetid

3. Startstrøm.

En større motor gir større startstrøm.

Vi må kontrollere at:

- vern tåler startstrømmen
- kontaktor er stor nok
- nettet tåler belastningen
- spenningsfallet ved start ikke blir for stort

4. Vern.

Overlastvern og kortslutningsvern må tilpasses den nye motorens merkestrøm.

5. Mekanisk tilpassing.

Vi må kontrollere:

- akseldiameter
- fundament
- kjøling
- rotasjonsretning
- eventuell kobling mot kompressor

e) Ny motor:

$$P_t = \frac{P_a}{\eta} = \frac{18500}{0,893} = 20717 \text{ W}$$

$$I = \frac{P_t}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{20717}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,85} = 35,2 \text{ A}$$

f) En 3 x 6 mm² tåler 34 A (NEK 410B), dermed må vi opp i en 10 mm² kabel som tåler 47 A.

Kapittel 10. Transformatorer.

10.1

$$n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{400}{230} = 1,74$$

$$N_2 = \frac{N_1}{n} = \frac{200}{1,74} = \underline{\underline{115 \text{ vindinger}}} \quad \text{En annen måte å regne det ut på er:}$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} \quad \text{så kryss multipliserer vi,}$$

$$N_2 * U_1 = N_1 * U_2$$

$$N_2 = \frac{N_1 * U_2}{U_1} = \frac{200 * 230}{400} = \underline{\underline{115 \text{ vindinger.}}}$$

$$\text{Spenning per vinding} = \frac{U_2}{N_2} = \frac{230}{115} = \underline{\underline{2 \text{ V/vinding}}}$$

10.2

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} \quad \text{så kryss multipliserer vi,}$$

$$N_2 * U_1 = N_1 * U_2$$

$$N_1 = \frac{N_2 * U_1}{U_2} = \frac{400 * 690}{230} = \underline{\underline{1200 \text{ vindinger.}}}$$

10.3

$$P_2 = P_1 = U_2 * I_2 = 690 * 80 = 55200 \text{ W} = \underline{\underline{55,2 \text{ kW}}}$$

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} = \frac{55200}{10000} = \underline{\underline{5,52 \text{ A}}}$$

10.4

$$\text{a) } n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{3000}{138} = \underline{\underline{21,74}}$$

$$U_2 = \frac{U_1}{n} = \frac{5000}{21,74} = \underline{\underline{230 \text{ V}}}$$

$$\text{b) } N_1 = N_1 - \frac{N_1 * 5 \%}{100 \%} = 3000 - \frac{3000 * 5}{100} = 3000 - 150 = \underline{\underline{2850 \text{ vindinger}}}$$

10.5

$$\text{a) } n = \frac{U_1}{U} = \frac{230}{24} = \underline{\underline{9,58}}$$

$$U_2 = \frac{U_1}{n} = \frac{250}{9,58} = \underline{\underline{26,10 \text{ V}}}$$

$$b) \quad U_2 = \frac{U_1}{n} = \frac{200}{9,58} = \underline{20,88 \text{ V}}$$

$$c) \quad U_2 = \frac{U_1}{n} = \frac{48}{9,58} = \underline{5,01 \text{ V}}$$

10.6

$$a) \quad n = \frac{U_1}{U} = \frac{400}{230} = \underline{1,74}$$

$$N_2 = \frac{N_1}{n} = \frac{600}{1,74} = \underline{345 \text{ vindinger}}$$

$$b) \quad I_{h2} = \frac{S_2}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{90}{\sqrt{3} \cdot 230} = \underline{0,226 \text{ A}}$$

$$P_2 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 230 \cdot 0,226 \cdot 0,91 = \underline{81,9 \text{ W}}$$

Eller vi kan bruke tilsynelatende effekt direkte i formelen uten I_h .

$$P_2 = S_2 \cdot \cos \varphi = 90 \cdot 0,91 = \underline{81,9 \text{ W}}$$

$$\sin \varphi \rightarrow \cos \varphi^{-1} = 24,49^\circ \rightarrow \sin \text{ til } 24,49^\circ = 0,415$$

$$Q_2 = S_2 \cdot \sin \varphi = 90 \cdot 0,415 = \underline{37,35 \text{ VAR}}$$

$$c) \quad S_1 = \frac{S_2}{\eta} = \frac{90}{0,95} = 94,74 \text{ VA}$$

$$P_2 = S_2 \cdot \cos \varphi = 94,74 \cdot 0,91 = \underline{86,21 \text{ W}}$$

$$Q_2 = S_2 \cdot \sin \varphi = 94,74 \cdot 0,415 = \underline{39,32 \text{ VAR}}$$

$$d) \quad I_{h2} = \frac{S_2}{\sqrt{3} \cdot U_2} = \frac{90}{\sqrt{3} \cdot 230} = \underline{0,226 \text{ A}}$$

$$I_{h1} = \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{94,74}{\sqrt{3} \cdot 400} = \underline{0,127 \text{ A}}$$

10.7

$$a) \quad n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{f1}}{U_{f2}} \rightarrow \text{Når vi regner med } 3\sim \text{ er omsetningsforholdet på fasespenningen.}$$

$$\Delta \rightarrow U_{h1} = U_{f1} = 6000 \text{ V}$$

$$Y \rightarrow U_{f2} = \frac{U_{h2}}{\sqrt{3}} = \frac{230}{\sqrt{3}} = 131 \text{ V}$$

$$n_f = \frac{U_{f1}}{U_{f2}} = \frac{6000}{131} = \underline{45,8}$$

$$b) \quad I_{h2} = \frac{S_2}{\sqrt{3} \cdot U_2} = \frac{50000}{\sqrt{3} \cdot 230} = \underline{125,5 \text{ A}}$$

$$c) \quad S_1 = \frac{S_2}{\eta} = \frac{50000}{0,95} = 52632 \text{ VA}$$

$$I_{h1} = \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{52632}{\sqrt{3} \cdot 6000} = \underline{5,06 \text{ A}}$$

$$d) \quad I_{f2} = I_{h2} = \underline{125,5 \text{ A}}$$

$$U_{f2} = \frac{U_{h2}}{\sqrt{3}} = \frac{230}{\sqrt{3}} = \underline{131 \text{ V}}$$

$$\text{e) } I_{f1} = \frac{I_{h1}}{\sqrt{3}} = \frac{5,06}{\sqrt{3}} = \underline{2,92 \text{ A}}$$

$$U_{f1} = U_{f1} = \underline{6000 \text{ V}}$$

10.8

$$\text{a) } P_2 = S_2 * \cos \varphi = 100000 * 0,85 = \underline{85000 \text{ W} = 85 \text{ kW}}$$

$$\text{b) } S_1 = S_2 = 100000 \text{ VA} = \underline{100 \text{ kVA}}$$

$$I_{h1} = \frac{S_1}{\sqrt{3} * U_1} = \frac{100000}{\sqrt{3} * 11000} = \underline{5,25 \text{ A}}$$

$$I_{f1} = I_{h1} = \underline{5,25 \text{ A}}$$

$$\text{c) } I_{h2} = \frac{S_2}{\sqrt{3} * U_2} = \frac{100000}{\sqrt{3} * 230} = \underline{251 \text{ A}}$$

$$I_{f2} = \frac{I_{h2}}{\sqrt{3}} = \frac{251}{\sqrt{3}} = \underline{145 \text{ A}}$$

10.9

$$\text{a) } S_1 = \sqrt{3} * U * I = \sqrt{3} * 6600 * 10 = \underline{66000 \text{ VA} = 66 \text{ kVA}}$$

$$P_1 = S_1 * \cos \varphi = 66000 * 0,8 = \underline{52000 \text{ W} = 52 \text{ kW}}$$

$$\text{b) } S_2 = \frac{S_1}{\eta} = \frac{66000}{0,85} = \underline{77647 \text{ VA} = 77,647 \text{ kVA}}$$

$$P_2 = S_2 * \cos \varphi = 77647 * 0,8 = \underline{62118 \text{ W} = 62,118 \text{ kW}}$$

$$\text{c) } I_{f1} = \frac{I_{h1}}{\sqrt{3}} = \frac{10}{\sqrt{3}} = \underline{5,77 \text{ A}}$$

$$\text{d) } U_{f2} = \frac{U_{h2}}{\sqrt{3}} = \frac{230}{\sqrt{3}} = \underline{131 \text{ V}}$$

$$\text{e) } I_{h2} = \frac{S_2}{\sqrt{3} * U_2} = \frac{77647}{\sqrt{3} * 230} = \underline{195 \text{ A}}$$

10.10

$$\text{a) } n_f = \frac{U_{f1}}{U_{f2}} = \frac{20000}{230} = \underline{86,96}$$

$$U_{f1} = \frac{U_{h1}}{\sqrt{3}} = \frac{20000}{\sqrt{3}} = \underline{11547 \text{ V}}$$

$$U_{f2} = U_{h2} = \frac{U_{f1}}{n_f} = \frac{11547}{86,96} = \underline{132,8 \text{ V}}$$

$$\text{b) } U_{h1} = U_{f1} = 11400 \text{ V}$$

$$U_{f2} = \frac{U_{f1}}{n_f} = \frac{11400}{86,96} = \underline{131 \text{ V}}$$

$$U_{h2} = U_{f2} * \sqrt{3} = 131 * \sqrt{3} = \underline{230 \text{ V}}$$

10.11

$$\begin{aligned}
 \text{a) } U_{f1} &= U_{h1} = \underline{6000 \text{ V}} \\
 U_{f2} &= \frac{U_{f2}}{\sqrt{3}} = \frac{230}{\sqrt{3}} = \underline{131 \text{ V}} \\
 n_f &= \frac{U_{f1}}{U_{f2}} = \frac{6000}{131} = \underline{45,8} \\
 U_{h2} &= U_{f2} = \underline{131 \text{ V}} \\
 \text{b) } U_{f1} &= \frac{U_{h1}}{\sqrt{3}} = \frac{6000}{\sqrt{3}} = \underline{3464,1 \text{ V}} \\
 U_{f2} &= \frac{U_{f1}}{n_f} = \frac{3464,1}{45,8} = \underline{75,64 \text{ V}} \\
 U_{h2} &= U_{f2} * \sqrt{3} = 75,64 * \sqrt{3} = \underline{131 \text{ V}}
 \end{aligned}$$

10.12

$$\begin{aligned}
 \text{a) } U_{f1} &= \frac{U_{h1}}{\sqrt{3}} = \frac{16000}{\sqrt{3}} = \underline{9237,6 \text{ V}} \\
 U_{f2} &= \frac{U_{f2}}{\sqrt{3}} = \frac{230}{\sqrt{3}} = \underline{131 \text{ V}} \\
 n_f &= \frac{U_{f1}}{U_{f2}} = \frac{9237,6}{131} = \underline{70,52} \\
 U_{h1} &= U_{f1} = U_{f2} * n_f = 131 * 70,52 = 9237,6 \text{ V}
 \end{aligned}$$

10.13

$$\begin{aligned}
 \text{a) } I_{h2} &= I_{f2} = \frac{S_2}{\sqrt{3} * U_2} = \frac{80000}{\sqrt{3} * 400} = \underline{115,5 \text{ A}} \\
 \text{b) } U_{f2} &= \frac{U_{f2}}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 230 \text{ V} \quad U_{f1} = U_{h1} = 3300 \text{ V} \\
 n_f &= \frac{U_{f1}}{U_{f2}} = \frac{3300}{230} = \underline{14,35} \\
 \text{c) } \Delta U_{kabel} &= \frac{\sqrt{3} * I * l * \rho * \cos \varphi}{A} = \frac{\sqrt{3} * 115,5 * 100 * 0,0175 * 0,89}{70} = \underline{4,45 \text{ V}} \\
 U_{belastning} &= U_{h2} - \Delta U_k = 400 \text{ V} - 4,45 \text{ V} = \underline{395,55 \text{ V}}
 \end{aligned}$$

10.14

$$\begin{aligned}
 \text{a) } S_2 &= S_1 = 50 \text{ kVA} \\
 I_{h1} &= \frac{S_1}{\sqrt{3} * U_{h1}} = \frac{50000}{\sqrt{3} * 400} = \underline{72,17 \text{ A}} \\
 I_{h2} &= \frac{S_2}{\sqrt{3} * U_{h2}} = \frac{50000}{\sqrt{3} * 230} = \underline{125,5 \text{ A}} \\
 \text{b) } U_{f1} &= \frac{U_{f1}}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 230 \text{ V} \quad U_{f2} = U_{h2} = 230 \text{ V}
 \end{aligned}$$

$$n_f = \frac{U_{f1}}{U_{f2}} = \frac{230}{230} = 1$$

$$N_2 = \frac{N_1}{n_f} = \frac{200}{1} = \underline{200 \text{ vindinger per fase}}$$

- c) D/d Primærsiden må kobles om fra stjerne til trekant.
d) Selv om spenningen er den samme inn og ut, har transformatoren fortsatt viktige fordeler.

Galvanisk skille. Skipets anlegg blir elektrisk isolert fra landnettet.

- Dette øker personsikkerheten og
- reduserer fare for jordfeilstømmer.
- Hindrer galvanisk korrosjon mellom skip og kai

Man unngår uønskede sirkulerende strømmer mellom land og skip.

Skipet kan beholde sitt eget jordingssystem.

- e) Nei det er ikke likegyldig.

Faserekkefølgen må være riktig.

Hvis to faser byttes om, blir fasesekvensen feil:

- Motorer vil rotere feil vei
- Pumper og vifter kan gå baklengs
- Utstyr kan bli skadet

På skipsanlegg er korrekt fasesekvens svært viktig.

10.15

- a) M1:

$$P_{1t} = \frac{P_{a1}}{\eta} = \frac{5500}{0,95} = \underline{5790 \text{ W}}$$

$$\tan \varphi \rightarrow \cos \varphi^{-1} = 31,79^\circ \rightarrow \text{tangens til } 31,79^\circ = 0,62$$

$$Q_1 = P_{1t} * \tan \varphi = 5790 * 0,62 = \underline{3590 \text{ VAR}}$$

M2:

$$P_{2t} = \frac{P_{a2}}{\eta} = \frac{20000}{0,95} = \underline{21053 \text{ W}}$$

$$\tan \varphi \rightarrow \cos \varphi^{-1} = 24,49^\circ \rightarrow \text{tangens til } 24,49^\circ = 0,456$$

$$Q_1 = P_{1t} * \tan \varphi = 21053 * 0,456 = \underline{9592 \text{ VAR}}$$

Varmekolbe:

$$P = \underline{15 \text{ kW}}$$

$$P_t = P_{1t} + P_{2t} + P_{varme} = 5790 + 21053 + 15000 = \underline{41843 \text{ W}}$$

$$Q_t = Q_{1t} + Q_{2t} = 3590 + 9592 = \underline{13182 \text{ VAR}}$$

$$S_t = \sqrt{P_t^2 + Q_t^2} = \sqrt{41843^2 + 13182^2} = \underline{43870 \text{ VA}}$$

$$I_{h2} = \frac{S_t}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{43870}{\sqrt{3} \cdot 690} = \underline{36,7 \text{ A}}$$

$$\cos \varphi = \frac{P_t}{S_t} = \frac{41843}{43870} = \underline{0,95}$$

- b) Ville bestemt kabelen etter trafostørrelsen.

$$I_{2max} = \frac{S_{trafo}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{120000}{\sqrt{3} \cdot 690} = \underline{100,41 \text{ A}}$$

Ville ha valgt en EPR 85 °C kabel på 35 mm² som tåler 104 A (NEK 410B, 2021. Tabell B.3).

$$\Delta U_{kabel} = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{35} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100,41 \cdot 60 \cdot 0,0175 \cdot 0,95}{35} = 4,96 \text{ V}$$

$$\Delta U \text{ i } \% = \frac{100 \% \cdot 4,96 \text{ V}}{690 \text{ V}} = 0,72 \% \text{ så dette er godt nok.}$$

c) $P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{41853}{0,96} = \underline{43597 \text{ W}}$

$$I_{h1} = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{43597}{\sqrt{3} \cdot 3300 \cdot 0,95} = \underline{38,4 \text{ A}}$$

d) $U_{h1} = U_{f1} = \underline{3300 \text{ V}}$

$$U_{f2} = \frac{U_{f2}}{\sqrt{3}} = \frac{690}{\sqrt{3}} = \underline{400 \text{ V}}$$

$$n_f = \frac{U_{f1}}{U_{f2}} = \frac{3300}{400} = \underline{8,25}$$

$$N_1 = N_2 \cdot n_f = 250 \cdot 8,25 = \underline{2063 \text{ vindinger}}$$



Kapittel 11. Start og stopp for elektromotorer.

11.1

a) Kontaktor:

En kontaktor er en elektromagnetisk bryter som brukes til å koble inn og ut elektriske laster, for eksempel motorer.

b) Motorvernrelé:

Motorvernrelé beskytter motoren mot overbelastning og fasebrudd.

c) NO-kontakt:

NO betyr *Normally Open*. Kontakten er åpen når den er strømløs og lukker når den aktiveres.

d) NC-kontakt:

NC betyr *Normally Closed*. Kontakten er lukket når den er strømløs og åpner når den aktiveres.

e) Tidsrelé:

Et tidsrelé brukes når en funksjon skal kobles inn eller ut etter en bestemt tidsforsinkelse.

f) Frekvensomformer:

En frekvensomformer regulerer hastigheten til en asynkronmotor ved å variere frekvens og spenning.

11.2

a) Holdekontakt gjør at kontaktoren holder seg innkoblet etter at startknappen slippes.

b) En NO-hjelpekontakt fra kontaktoren brukes vanligvis som holdekontakt.

c) Motoren stopper straks startknappen slippes.

11.3

a) Sikringer:

Beskytter anlegget mot kortslutning.

b) Kontaktor:

Kobler motoren inn og ut.

c) Motorvern:

Beskytter motoren mot overbelastning.

d) Motor:

Omformer elektrisk energi til mekanisk energi.

11.4

Når startknappen S1 trykkes inn, går strømmen gjennom stoppknappen S0 og videre til kontaktorspolen K1. Kontaktoren trekker inn og lukker hovedkontaktene slik at motoren får spenning.

Samtidig lukker hjelpekontakten K1 (selvhold), slik at kontaktorspolen fortsatt får strøm etter at startknappen slippes.

Når stoppknappen trykkes inn, brytes strømmen til K1-spolen, kontaktoren slipper og motoren stopper.

11.5

Motorvernrele.

- a) Motorvernet beskytter mot overbelastning og fasebrudd.
- b) Kortslutningsvern utføres normalt av sikringer eller effektbryter. Motorvern reagerer tregere.
- c) Det er strømmen motorvernet skal løse ut ved over tid. Den stilles normalt inn til motorens merkestrøm.

11.6

- a) Tidsreléet kobler motoren automatisk fra stjerne til trekant etter en bestemt tid.
- b) Motoren rekker ikke å komme opp i hastighet og startstrømmen kan bli høy.
- c) Motoren kan få for lavt moment i oppstarten og bruke unødvendig lang tid på å akselerere.

11.7

Dreieretningsvender

- a) Ved å bytte om to av fasene til motoren.
- b) Hvis begge kontaktorene kobles inn samtidig oppstår kortslutning mellom fasene.

11.8

Softstarter.

- a) Softstarter reduserer startstrøm og gir mykere oppstart.
- b)
 - Lavere startstrøm.
 - Mindre mekanisk belastning.
- c) Normalt nei. Softstarter brukes hovedsakelig under oppstart og stopp.

11.9

Frekvensomformer.

- a) Ved å endre frekvensen til spenningen som tilføres motoren.
- b)
 - Trinnløs hastighetsregulering
 - Energibesparelse
 - Myk start og stopp
- c) For å opprettholde riktig magnetisering og moment i motoren.

11.10

- a) Trekantkobling.
- b) Stjernekobling.
- c) Hver vikling får lavere spenning:

$$U_f = \frac{U_h}{\sqrt{3}}$$

Dermed blir strømmen lavere.

- d) $I_Y = \frac{I_\Delta}{3} = \frac{255}{3} = \underline{\underline{85 \text{ A}}}$
- e) Når motoren starter i stjernekobling, kan den tilsynelatende starte normalt og begynne å rotere.

Men når overgangen til trekantkobling skjer, vil koblingen bli feil fordi faseforholdet mellom viklingene ikke stemmer lenger.

Dette kan føre til:

- kortslutning mellom fasene
- svært høy strøm
- utkobling av sikringer eller motorvern
- skade på kontaktorer
- mulig skade på motorviklingene

Feilen oppstår fordi man bare har byttet om to ledere på én side av motorens koblingspunkt. I en stjerne–trekantstarter må fasebyttet utføres riktig i hele koblingen slik at både stjerne- og trekantkoblingen får korrekt fasefølge.

11.11

- a) Motoren har spesielle viklinger som kan kobles om for forskjellige poltall.
- b) Ved omkobling av viklingene.
- c) Vanligvis 1:2.

Eksempel: 750 o/min. og 1500 o/min.

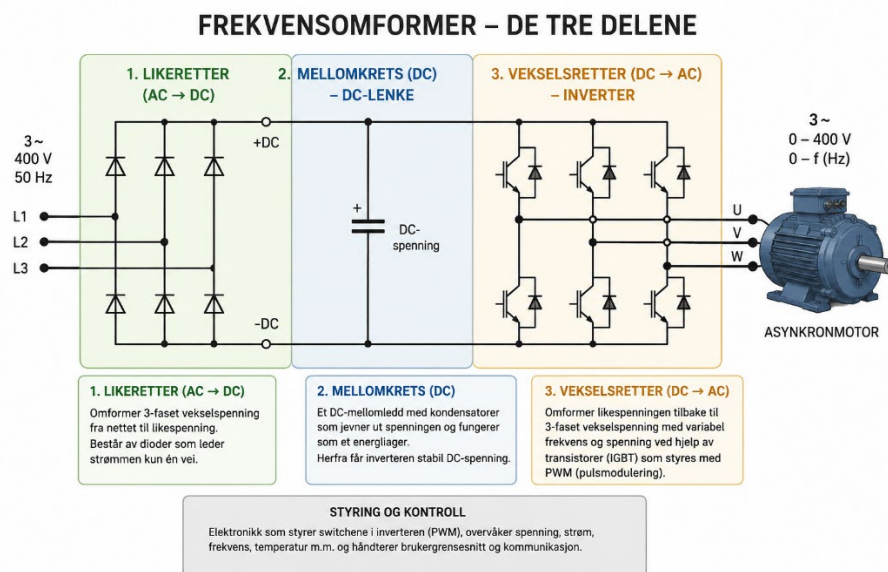
11.12

Mest sannsynlig feil er:

- Defekt holdekontakt.
- Manglende holdekontakt.
- Brudd i hjelpekontakten til kontaktoeren.

11.13

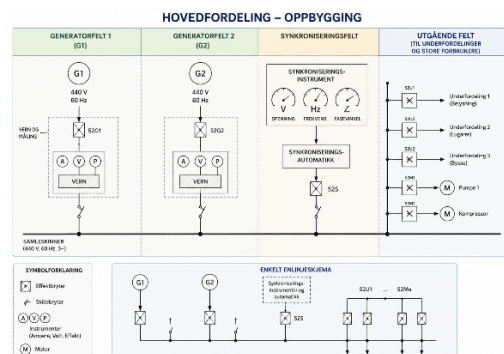
- a) Usant
- b) Sant
- c) Sant
- d) Usant
- e) Usant
- f) Sant
- g) Usant
- h) Sant



Kapittel 12. Hovedfordeling og underfordelinger.

12.1

- a) Generatorfeltet inneholder vern, måleinstrumenter og effektbryter for hver generator. Feltet brukes til å koble generatoren inn og ut av hovedtavlen. Samleskinnene fordeler elektrisk energi videre til skipets ulike forbrukere og underfordelinger.
- Synkroniseringsfeltet brukes ved parallellkobling av generatorer. Her overvåkes og sammenlignes spenning, frekvens og fase før innkobling.
- b) Parallellkobling brukes for:
- større tilgjengelig effekt
 - bedre lastfordeling
 - reservekapasitet
 - bedre driftssikkerhet
 - mer økonomisk drift
- c) Følgende må stemme før innkobling:
- spenning
 - frekvens
 - fasefølge
 - fasevinkel
- d) Feil synkronisering kan føre til:
- kraftige strømstøt
 - mekaniske belastninger på generatoren
 - skade på generator og effektbryter
 - utkobling av vern
- e) Generatoren produserer elektrisk energi som går gjennom generatorfeltet og videre til samleskinnene i hovedfordelingen. Derfra fordeles energien gjennom utgående kurser til underfordelinger, motorer og annet elektrisk utstyr om bord.



12.2

- a) En underfordeling er en tavle som får strøm fra hovedfordelingen og fordeler strøm videre til mindre kurser og forbrukere.
- b) Underfordelinger brukes for:
 - enklere kabelføring
 - bedre oversikt
 - enklere feilsøking
 - lokal beskyttelse av kurser
- c) Eksempler:
 - lugarområde
 - maskinrom
 - ventilasjonsanlegg

12.3

- a) Vanlige vern i en hovedfordeling om bord i skip er:
 - Kortslutningsvern.
 - Overstrømsvern.
 - Overbelastningsvern.
 - Underspenningsvern.
 - Overspenningsvern.
 - Revers-effektvern (reverse power).
 - Jordfeilvern / isolasjonsovervåkning.
 - Frekvensvern (over- og underfrekvens).
 - Differensialvern.
 - Selektive vern for generator og samleskinner.

Disse vernene beskytter generatorer, samleskinner, kabler og forbrukere mot feil og unormale driftstilstander.

- b) Overbelastning:

Strømmen er for høy over tid.

Kortslutning:

Svært høy feilstrøm oppstår ved direkte forbindelse mellom faser eller fase og jord.

- c) Selektivitet gjør at bare vernet nærmest feilen kobler ut, slik at resten av anlegget fortsatt har strøm.

12.4

- a) IT-nett brukes ofte om bord fordi det gir høy driftssikkerhet.

I et IT-nett er ingen av faselederne direkte jordet. Systemet er derfor isolert fra jord eller jordet gjennom høy impedans.

Fordelen er at anlegget normalt kan fortsette å være i drift selv om det oppstår én jordfeil. Dette er svært viktig på skip fordi:

- viktige systemer må holdes i drift,
- blackout kan være farlig,
- framdrift, navigasjon og sikkerhetsutstyr må fungere kontinuerlig.

- b) Isolasjonsovervåkingen måler isolasjonsmotstanden mellom spenningsførende ledere og jord/skrog. Hensikten er å:

- oppdage jordfeil tidlig,
- varsle mannskapet før feilen utvikler seg,
- redusere risiko for kortslutning og brann,
- opprettholde driftssikkerheten.

Når isolasjonsmotstanden blir for lav:

- gis alarm i kontrollrom eller på tavle,
- feilen må lokaliseres og repareres.

Vanligvis brukes:

- isolasjonsovervåkingsrelé,
- jordfeillampe,
- jordfeilmåler.

- c) Ved første jordfeil oppstår det normalt bare en liten feilstrøm fordi nettet ikke har direkte jordforbindelse.

- anlegget fortsetter vanligvis å fungere,
- vern kobler normalt ikke ut,
- alarm gis til mannskapet.

Dette gjør at man kan fortsette driften mens feilen lokaliseres.

Hvorfor er første jordfeil farlig dersom den ikke repareres?

Hvis en ny jordfeil oppstår på en annen fase før første feil er reparert, kan det bli:

- kortslutning mellom to faser via skroget, lysbue, brannfare,
- svært høy feilstrøm, utkobling av viktige systemer.

Derfor er rask feilsøking viktig selv om første jordfeil ikke stopper anlegget.

Kapittel 13. Nødtavler og nødgeneratorer.

13.1.

Regelverk og plassering.

- a) Nødtavlen skal sikre strømforsyning til viktige sikkerhetsfunksjoner dersom hovedkraftsystemet faller ut. Den skal opprettholde:

- Nødlys.
- Navigasjonsutstyr.
- Kommunikasjon.
- Alarmer.
- Styremaskin.
- Brann- og sikkerhetssystemer.

slik at skipet fortsatt kan opereres sikkert under nød forhold.

- b) Plassering av nødtavlen.

Nødtavlen skal normalt være plassert:

- over øverste kontinuerlige dekk,
- utenfor maskinrommet,
- slik at brann eller havari i hovedmaskinrommet ikke setter nødtavlen ut av drift.

- c) Dersom hovedtavle og nødtavle står i samme område, kan:

- Brann.
- Eksplosjon.
- Vanninntrenging.
- Røykutvikling.

slå ut begge systemene samtidig.

Fysisk separasjon gir redundans og øker driftssikkerheten.

- d) Krav til nødgeneratoren sin plassering.

Nødgeneratoren skal normalt:

- være adskilt fra hovedgeneratorene
- være plassert utenfor hovedmaskinrommet
- ha egen ventilasjon
- ha egen drivstofftilførsel
- kunne starte automatisk ved blackout

e) Viktige nød forbrukere.

Eksempler:

- nødllys
- navigasjonslys
- radio/kommunikasjon
- GMDSS
- brannalarm
- generalalarm
- styremaskin
- sprinkler-/brannpumpe
- kontroll- og alarmsystemer
- nødlensepumper

13.2.

Automatisk innkobling av nødgenerator.

a) Hendelsesforløp ved blackout.

1. Hovedgeneratorene faller ut.
2. Spenningen på hovedtavlen forsvinner.
3. Underspenningsvern registrerer spenningsbortfall.
4. Automatisk startsignal sendes til nødgenerator.
5. Startmotor drives av batteri.
6. Nødgenerator starter og bygger opp:
 - Spenning,
 - Frekvens,
7. Vern kontrollerer at verdiene er riktige.
8. Generatorbryteren kobler inn.
9. Nødtavlen spenningssettes.

b) Signal og vern

Vanlige funksjoner:

- underspenningsvern
- frekvensvern
- overstrømsvern
- smøreoljetrykkvakt

- høy kjølevannstemperatur
- overspeedvern
- startfeilalarm

c) Hvorfor automatisk start er viktig

Ved blackout kan:

- skipet miste styring
- lys forsvinne
- navigasjon stoppe

Automatisk start reduserer risiko for:

- kollisjon
- grunnstøting
- personskade

g) Mulige årsaker til startfeil.

- flatt batteri
- defekt startmotor
- mangel på drivstoff
- luft i drivstoffsysteem
- defekte releer
- nødstoppsignal aktivert
- feil i automatikken

h) Batterikapasitet.

Regelverket krever normalt kapasitet til minst:

- 3 startforsøk for automatisk system
- ofte flere forsøk i praksis

Batteriet må kunne starte generatoren uten ekstern hjelp.

13.3.

Lastberegning

a) Aktiv effekt:

$$P_t = P_{n\emptyset} + P_{na} + P_{br} + P_{st} + P_{ko} + P_{al} = 12 + 8 + 45 + 30 + 5 + 4 = \underline{\underline{104 \text{ kW}}}$$

b) Tilsynelatende effekt:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{104 \text{ k}}{0,8} = 130 \text{ kVA}$$

- c) Generator med 20 % reserve:

$$S_{dim} = 130 \cdot 1,2 = 156 \text{ kVA}$$

Man vil derfor normalt velge: 160 kVA eller 180 kVA generator.

- d) Reserve trengs for:

- startstrømmer,
- framtidige utvidelser,
- spenningsfall,
- plutselige lastendringer,
- å unngå overbelastning.

13.4.

Kortslutning og selektivitet.

- a) Selektivitet betyr at:

Nærmeste vern til feilen skal løse ut først, slik at resten av anlegget fortsatt har strøm.

- b) Hvorfor ekstra viktig på nødtavler.

Nød forbrukere er kritiske for sikkerheten. Man ønsker derfor at:

- kun feil kurs kobles ut,
- resten av nød systemene fortsetter å fungere.

- c) Kortslutning på nødllyskurs.

Da skal:

1. Kursvernet løse ut.
2. Bare nødllyskursen kobles fra.
3. Resten av nødtavlen fortsetter normal drift.

- d) Dersom hovedvernet løser ut først.

Da mister hele nødtavlen spenning:

- nødlly forsvinner
- navigasjonssystem kan stoppe
- kommunikasjon kan falle ut

Dette er svært alvorlig.

- e) Vern på nødgenerator.

Vanlige vern:

- overstrømsvern

- kortslutningsvern
- underspenningsvern
- overspenningsvern
- frekvensvern
- revers effektvern
- overspeedvern
- jordfeilvern

13.5.

Synkronisering.

- a) Hvorfor normalt ikke parallell kjøres.

Nødgeneratoren skal være uavhengig reserve.

Parallellkjøring kan:

- redusere sikkerheten,
- gjøre nød systemet mer sårbart,
- føre til feilutkoblinger.

- b) Når parallellkjøring kan tillates.

Eksempel:

- havnedrift,
- testing,
- enkelte spesielle skipssystem,

dersom klassereglene tillater det.

- c) Krav før synkronisering

Generatorene må ha:

- lik spenning
- lik frekvens
- riktig fasefølge
- liten fasevinkel

- d) Forklaringer.

Spenningslikhet:

Generatorene må ha omtrent samme spenning.

Frekvenslikhet:

Generatorene må ha nesten lik Hz-verdi.

Fasefølge:

Fasene må komme i riktig rekkefølge, L1 - L2 - L3.

Fasevinkel:

Spenningsene må være mest mulig i takt.

- e) Innkobling ute av synkronisme.

Kan føre til:

- store mekaniske krefter
- skade på generator
- akselskader
- kraftige strømstøt
- blackout

13.6.

Batterisystem.

- a) Forskjeller.

Nødstrøms batteri:

Forsyner kritiske nød forbrukere.

Startbatteri:

Brukes til start av nødgenerator.

UPS:

Gir avbruddsfri strøm uten spenningsbortfall.

- b) Systemer på UPS/batteri.

- navigasjon
- radio
- kontrollsistem
- alarmer
- datamaskiner
- nødlis.

- c) Hvorfor 24 V DC brukes.

- sikker spenning
- god tilgjengelighet
- robust system
- lav risiko for elektrisk støt

- d) Float- og boost-lading.

Float-lading:

Vedlikeholdslading med lav strøm.

Boost-lading:

Hurtiglading etter utlading.

e) Vedlikehold.

- kontroll av elektrolytt
- spenningsmåling
- belastningstest
- rengjøring av poler
- kontroll av temperatur
- kontroll av lader

13.7.

Feilsøking.

a) Mulige årsaker

- spenningsfeil
- frekvensfeil
- vern aktivert
- defekt bryter
- feil i styrestrøm
- mekanisk sperre

b) Systematisk feilsøking

1. Kontrollere alarmer.
2. Måle generatorspenning.
3. Kontrollere frekvens.
4. Kontrollere hjelpespenning.
5. Kontrollere vernstatus.
6. Kontrollere innkoblingssignal.

c) Målinger

- spenning
- frekvens
- isolasjon
- styrespenning

- batterispenning
- d) Sikkerhetstiltak
 - lockout/tagout
 - spenningskontroll
 - bruke PPE
 - isolere anlegg
 - varsle personell
- e) Tilbakekobling mot hovedtavlen

Kan føre til:

- livsfare for personell
- skade på generator
- kortslutning
- usynkron innkobling

13.8.

Blackout.

- a) System som fortsatt virker:
 - nødlys
 - styremaskin
 - radio
 - navigasjon
 - alarmer
- b) Utfordringer:
 - mørklagt maskinrom
 - tap av framdrift
 - høyt stressnivå
 - begrenset overvåkning
- c) Oppbygging etter blackout.
 1. Starte hovedgenerator.
 2. Kontrollere spenning/frekvens.
 3. Koble inn hovedtavle.
 4. Koble inn last trinnvis.
 5. Stoppe nødgenerator dersom normal drift er tilbake.

d) Hvorfor trinnvis lastinnkobling.

For å:

- redusere startstrømmer
- unngå nytt blackout
- stabilisere frekvens og spenning

e) Dead ship condition.

Tilstand der skipet har totalt bortfall av:

- framdrift
- elektrisk kraft
- hjelpesystemer

13.9.

Generatorstrøm.

a) Merkestrøm: $I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{150000}{\sqrt{3} \cdot 440} = \underline{197 \text{ A}}$

b) Aktiv effekt: $P = S \cdot \cos \varphi = 150 \text{ k} \cdot 0,8 = \underline{120 \text{ kW}}$

c) Effektbegrep.

Aktiv effekt: Nyttig effekt i kW.

Reaktiv effekt: Magnetiseringsenergi i kVAr.

Tilsynelatende effekt: Total belastning i kVA.

d) Overbelastning kan føre til:

- overoppheting
- isolasjonsskader
- spenningsfall
- frekvensfall
- havari.

13.10.

Drøfting.

Nødgeneratoren er avgjørende for sikkerheten om bord. Ved blackout sørger den for:

- nødlys
- navigasjon
- kommunikasjon
- styremaskin

- brannberedskap

Uten nødkraft kan skipet:

- drive ukontrollert
- miste navigasjon
- få alvorlige sikkerhetsproblemer

Derfor stiller klaseselskap og SOLAS strenge krav til:

- plassering
- redundans
- automatisk start
- testing
- vedlikehold

Regelmessig testing er svært viktig fordi nødgeneratoren ofte står ubrukt lenge, men må fungere umiddelbart ved nød.

Kapittel 14. Vekselstrøm synkrongeneratorer.

14.1

- a) Frekvensen blir bestemt av turtallet på dieselmotoren og tallet på polpar i generatoren, etter sammenhengen:

$$f = \frac{n \cdot p}{60}$$

Der n er turtall (rpm) og p er tallet på polpar.

På skip er det dieselmotoren sitt turtall som i praksis styrer frekvensen.

- b) Frekvensen vil falle, fordi belastninga øker momentkravet på motoren raskere enn regulatoren klarer å øke brennstofftilførselen.

Frekvensen følger turtallet direkte.

- c) Spenningen blir regulert av:
- AVR (Automatic Voltage Regulator)
 - Regulerer eksitasjonsstrømmen i generatoren.
 - Held spenninga konstant ved varierende last.

Frekvens blir regulert av:

- Turtalsregulator (governor) på dieselmotoren. Regulerer tilført drivstoff. Held turtallet (og dermed frekvensen) stabil.
- Aktiv effekt (kW) påvirker primært frekvens
- Reaktiv effekt (kVAr) påvirker primært spenning
- Ved lastauke:

Governor øker drivstoff → frekvens tilbake

AVR øker eksitasjon → spenning tilbake

14.2 Last økning og droop.

- a) Effekt av last innkopling:
- Turtall: fell kortvarig
 - Frekvens: fell
 - Spenning: fell, særlig ved induktiv last
- b) Droop gjær at flere generatorer kan dele aktiv last stabilt uten å kjempe mot hverandre. Små frekvens endringer styrer lastfordelinga.
- c) Problem ved feil droop:
- Ujamn lastdeling

- Overbelastning av en generator
- Ustabil parallell drift

14.3 Effekt og strøm.

a) Tilsynelatende effekt:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{500^2 + 300^2} = \underline{\underline{583 \text{ kVA}}}$$

b) Linjestrøm:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{583\,000}{\sqrt{3} \cdot 440} \approx 765 \text{ A}$$

c) Hvorfor uønskt høg reaktiv effekt?

- Øke strøm uten nyttig arbeid.
- Gir større tap og oppvarming.
- Reduserer generator- og kabelkapasitet.

14.4 Spenningsregulering.

- a) AVR regulerer magnetiseringsstrømmen for å holde konstant spenning uavhengig av last.
- b) Mulige årsaker til spenningsfall:
- Feil i AVR.
 - Dårlig magnetiseringskrets.
 - Overvekt av induktiv last.
 - For låg generatorreserve.
- c) Induktive laster trekker reaktiv effekt, som øker spenningsfallet i generator og kabler.

14.5 Vern og alarmer.

- a) Hvorfor viktige vern:
- Overstrøm: hindrer termisk skade.
 - Underspenning: verner utstyr.
 - Frekvensvern: verner motor og forbruker.
 - Jordfeil: brann- og personvern.
- b) Konsekvens av utkopla vern:
- Alvorlig skade på generator

- Fare for blackout
 - Risiko for brann og personskade
- c) Alarmer før utkopling
- Overlastalarm
 - Spenningsavvik
 - Frekvensavvik
 - Temperaturalarm

14.6 Blackout.

- a) Mulige årsaker:
- Overbelastning
 - Drivstoffproblem
 - Feil i regulator eller vern
- b) PMS overvaker last og kobler ut ikke-kritiske forbruker før generatoren stopper.
- c) For å hindre turtalsfall, motorstopp og total spenningssvikt.

14.7 Ujamn lastdeling.

- a) Årsak:
- Ulik droop-innstilling.
 - Ulik AVR-innstilling.
- b) Justering:
- Justere regulator (governor) for kW.
 - Justere AVR for kVAr.
- c) Hvorfor uønskt:
- Overbelastning.
 - Ujamn slitasje.
 - Redusert driftstryggleik.

14.8 Effektfaktor.

- a) Problem med låg $\cos \varphi$:
- Høg strøm.
 - Tap og varme.
 - Dårlig utnytting av generator.

b) Forbedring:

- Kondensatorbank.
- Synkronkompensator.
- Last styring via PMS.

c) Avgrensa generator- og kabelkapasitet, ingen ekstern netthjelp.

14.9 Drift og ansvar.

a) Parameter å overvake:

- Spenning.
- Frekvens.
- Last (kW / kVAr).
- Temperatur.
- Oljetrykk.

b) Tiltak ved ustabil frekvens:

- Redusere last.
- Starte ekstra generator.
- Kontrollere regulator (governor).

c) Straumforsyning er kritisk for:

- Framdrift.
- Navigasjon.
- Sikkerhet.
- Brann- og nødsystemer.

14.10. Beregning av generator i drift.

a) Tilsynelatende effekt S :

Samanheng mellom aktiv og tilsynelatende effekt:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{720}{0,8} = \underline{900 \text{ kVA}}$$

Reaktiv effekt Q :

b) $Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{900^2 - 720^2} = \underline{540 \text{ kVAr}}$

c) Linjestrøm I_n :

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_h} = \frac{900000}{\sqrt{3} \cdot 440} = 1181 \text{ A}$$

- d) Mekanisk effekt fra dieselmotor.

Virkningsgrad:

$$\eta = \frac{P_{el}}{P_{mek}}$$

Omskrive:

$$P_{mek} = \frac{P_{el}}{\eta}$$

$$P_{mek} = \frac{720}{0,95} = \underline{\underline{758 \text{ kW}}}$$

- e) Nominelt turtall.

Formel for synkron turtall:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$

$$n = \frac{60 \cdot 60}{6} = \underline{\underline{600 \text{ rpm}}} \text{ (omdreiiinger i minuttet).}$$

- f) Vurdering av generator på 900 kVA

- Utrekna behov: 900 kVA
- Generatorstorleik: 900 kVA

Generatoren vil gå på 100 % last ved denne belastninga.

Vurdering:

- Teknisk mulig
- Ikke anbefalt for kontinuerlig drift
- Lite last reserve
- Øka slitasje og dårlig responstid ved lastendringar

Konklusjon:

En større generator (t.d. 1000–1100 kVA) eller parallell drift bør vurderes.

- g) Tiltak for å redusere belastning

Forbedre effektfaktoren (kondensatorbank / last styring).

Kople ut ikke-kritiske forbruker.

Starte ekstra generator og kjøre parallell drift.

a) Innstilling av overstrømsvern (Over-current 110 %)

Generatorens merkestrøm:

$$I_N = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{500\,000}{\sqrt{3} \cdot 450} = 641,5 \text{ A}$$

Vernet skal løse ut ved 110 % av merkestrøm:

$$I_{OC} = 1,10 \cdot 641,5 = 705,7 \text{ A}$$

Strømtrafoene er 800/5: Det vil si at en strøm på 800 A vil gi 5 A ut.

$$I_s = 705,7 \cdot \frac{5}{800} = 4,41 \text{ A}$$

På T2500 stilles «Over-current»-pickup i prosent av 5 A sekundærstrøm:

$$\text{Strøm i \%} = \frac{I_s \cdot 100 \%}{I_{ut}} = \frac{4,41 \cdot 100 \%}{5} = 88,2\%$$

Innstillinger på vernet går fra 0,5 til 1,4 det vil si at 0,5 er 50 % og 1,4 er 140 %.

Over-current-vernet stilles til 0,88 (nærmeste tilgjengelige innstilling på vernet).

Overstrømsvernet skal beskytte generatoren mot moderat overlast og samtidig gi selektivitet mot kurser ute i anlegget.

Vanlig praksis på skip er:

- 110 % last skal kunne forekomme i korte perioder uten utkobling.
- Vern på utgående kurser skal løse ut før generatorvernet.

Typiske innstillinger:

Funksjon	Strøm	Tid
Over-current	110 %	5–10 s

Jeg ville valgt: $t_{oc} = 5$ sek, som et fornuftig utgangspunkt.

b) Innstilling av kortslutningsvernet (Short-circuit 300 %).

Triplevel er oppgitt til 300 % av generatorens merkestrøm:

$$I_{SC} = 3,0 \cdot 641,5 = 1924,5 \text{ A}$$

Omregnet til strømtrafoens sekundærside:

$$I_s = 1924,5 \cdot \frac{5}{800} = 12,03 \text{ A}$$

Kortslutningsvernet på T2500 angis som multipler av I_N sekundær (5 A):

$$\text{Innstilling 1 er 100 \% det vil si 5 A, da blir innstillingen } \frac{12,03}{5} = 2,41$$

Short-circuit-vernet stilles til **2,4 × I_N** .

På T2500 velges nærmeste innstilling, normalt **2,5 × I_N** .

Kortslutningsvernet skal reagere raskt, men ikke så raskt at det mister selektivitet mot kurser og motorvern.

Typiske verdier:

Funksjon	Strøm	Tid
Short-circuit	250–400 %	0,1–0,3 s

For denne generatoren ville jeg valgt: 0,2 sek.

- c) Retureffektvern iht. NEK 410 del 1.

Retureffektvernet skal beskytte drivmaskinen mot motordrift.

Vanlige anbefalte verdier:

Drivmaskin	Retureffekt
Dieselmotor	8–15 %
Dampturbin/Gassturbin	2–6 %

I undervisning og eksamensoppgaver brukes ofte:

- Dieselgenerator: 10 %.
- Turbingenerator: 5 %.

Generatorens aktive merkeeffekt:

$$P_N = S \cdot \cos \varphi = 500 \cdot 0,88 = 440 \text{ kW}$$

Dieselgenerator:

$$P_{RP} = 0,10 \cdot 440 = 44 \text{ kW}$$

Turbiningenerator:

$$P_{RP} = 0,05 \cdot 440 = 22 \text{ kW}$$

- Dieselgenerator: 10 % retureffekt = 44 kW
- Turbingenerator: 5 % retureffekt = 22 kW

På Selco T2000 er skalaen 2–20 % revers effekt, altså prosent av generatorens aktive merkeeffekt (kW).

Generatoren har: $S_N = 500 \text{ kVA}$, $\cos \varphi = 0,88$

Aktiv merkeeffekt: $P_N = 500 \cdot 0,88 = 440 \text{ kW}$

Dieselgenerator:

NEK 410 anbefaler typisk 10 % retureffekt for dieselmotorer.

$$P_{RP} = 0,10 \cdot 440 = 44 \text{ kW}$$

På T2000 stilles derfor skalaen til: **10**

som tilsvarer 44 kW retureffekt.

Turbingenerator

For turbindrift brukes vanligvis **5 %**.

$$P_{RP} = 0,05 \cdot 440 = 22 \text{ kW}$$

På T2000 stilles derfor skalaen til: **5**

Hva betyr skalaen i kW for denne generatoren?

Siden merkeeffekten er 440 kW: 1% = 4,4 kW

Da får vi:

Innstilling	Retureffekt
2 %	8,8 kW
5 %	22 kW
10 %	44 kW
15 %	66 kW
20 %	88 kW

Tids innstilling

T2000 har tidsområde 2–20 sekunder.

Retureffektvernet skal ikke løse ut på korte svingninger ved:

- lastdeling
- synkronisering
- raske lastendringer
- regulatorjusteringer

Derfor legges det inn en viss forsinkelse.

Typiske verdier om bord:

Drivmaskin	Retureffekt	Tid
Dieselmotor	8–10 %	5–10 s
Dampturbin	2–6 %	2–5 s
Gassturbin	2–6 %	2–5 s

For denne oppgaven ville jeg anbefalt:

Dieselgenerator

- Pick-up: **10 %**
- Tid: **5 s**

Turbingenerator

- Pick-up: **5 %**
- Tid: **3 s**

Retureffektvernet skal beskytte drivmaskinen mot motordrift dersom tilført mekanisk effekt faller bort. For dieselmotorer benyttes normalt 8–10 % retureffekt med en tidsforsinkelse på omkring 5 sekunder for å unngå utilsiktede utkoblinger ved lastvariasjoner. Turbiner tåler mindre motordrift og vernet stilles derfor normalt til ca. 5 % med kortere tidsforsinkelse.

d) Hva må gjøres dersom strømtrafoen byttes fra 800/5 til 700/5?

Generatorens fysiske belastning og merkestrøm endrer seg ikke. Det som endrer seg, er strømmen som vernet mottar fra strømtrafoene.

Ved merkestrøm

$$\text{Gamle strømtrafoer: } 641,5 \cdot \frac{5}{800} = 4,01 \text{ A}$$

$$\text{Nye strømtrafoer: } 641,5 \cdot \frac{5}{700} = 4,58 \text{ A}$$

Vernet vil altså få høyere sekundærstrøm for samme generatorlast.

Dersom innstillingene ikke endres, vil:

- Overstrømsvernet løse ut tidligere enn planlagt.
- Kortslutningsvernet løse ut ved lavere primærstrøm enn beregnet.
- Retureffektvernet kan få feil målegrunnlag dersom strømtrafoforholdet ikke korrigeres.

Nye innstillinger.

Over-current 110 %:

$$705,7 \cdot \frac{5}{700} = 5,04 \text{ A}$$

$$\frac{5,04}{5} \cdot 100 = 100,8\%$$

Ny innstilling $\approx$ 101 %.

Short-circuit 300 %:

$$1924,5 \cdot \frac{5}{700} = 13,75 \text{ A}$$

$$\frac{13,75}{5} = 2,75$$

Ny innstilling $\approx$ 2,75 $\times$ In.

Kapittel 15. Parallellkøyring av generatorer.

15.1

- a) Tilsynelatende effekt og $\cos \varphi$ for generator A.

$$S_A = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{820^2 + 615^2} = \underline{1025 \text{ kVA}}$$

$$\cos \varphi_A = \frac{P}{S} = \frac{820}{1025} = \underline{0,8}$$

- b) Effektfaktor og hovedstrøm for generator B.

$$S_B = \sqrt{735^2 + 980^2} = \sqrt{540225 + 960400} = \underline{1225 \text{ kVA}}$$

$$\cos \varphi_B = \frac{P_B}{S_B} = \frac{735}{1225} = \underline{0,6}$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{1225000}{\sqrt{3} \cdot 440} = \underline{1607 \text{ A}}$$

- c) Aktiv og reaktiv strømkomponent for generator C.

$$I_{a-c} = \frac{P_C}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{900000}{\sqrt{3} \cdot 440} = \underline{1181 \text{ A}}$$

$$I_{r-c} = \frac{Q_C}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{436000}{\sqrt{3} \cdot 440} = \underline{572 \text{ A}}$$

- d) Antall polpar.

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$

$$p = \frac{60 \cdot f}{n_s} = \frac{60 \cdot 60}{600} = \underline{6}$$

- e) Total avgitt aktiv effekt:

$$P_{tot} = P_A + P_B + P_C = 820 + 735 + 900 = 2455 \text{ kW}$$

Tilført mekanisk effekt:

$$\eta = \frac{P_{avgitt}}{P_{tilført}}$$

$$P_{tilført} = \frac{P_a}{\eta} = \frac{2455}{0,93} = \underline{2640 \text{ kW}}$$

- f) Total hovedstrøm og effektfaktor til lasten.

$$P_{tot} = 2455 \text{ kW}$$

$$Q_{tot} = Q_A + Q_B + Q_C = 615 + 980 + 436 = 2031 \text{ kVAr}$$

Total tilsynelatende effekt:

$$S_{tot} = \sqrt{P_t^2 + Q_t^2} = \sqrt{2455^2 + 2031^2} = 3186 \text{ kVA}$$

Total hovedstrøm:

$$I_{tot} = \frac{S_t}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{3186000}{\sqrt{3} \cdot 440} = \underline{4182 \text{ A}}$$

Total effektfaktor:

$$\cos \varphi_{tot} = \frac{P_t}{S_t} = \frac{2455}{3186} = 0,77$$

g) Effektdiagram.

Hver generator tegnes som en rettvinklet trekant:

- horisontal akse = aktiv effekt P
- vertikal akse = reaktiv effekt Q
- hypotenus = tilsynelatende effekt S

Generator A

- $P = 820 \text{ kW} \rightarrow 41,0 \text{ mm}$
- $Q = 615 \text{ kVAr} \rightarrow 30,8 \text{ mm}$

Generator B

- $P = 735 \text{ kW} \rightarrow 36,8 \text{ mm}$
- $Q = 980 \text{ kVAr} \rightarrow 49,0 \text{ mm}$

Generator C

- $P = 900 \text{ kW} \rightarrow 45,0 \text{ mm}$
- $Q = 436 \text{ kVAr} \rightarrow 21,8 \text{ mm}$

Lastdiagram

- $P_{tot} = 2455 \text{ kW} \rightarrow 122,75 \text{ mm}$
- $Q_{tot} = 2031 \text{ kVAr} \rightarrow 101,55 \text{ mm}$

h) Lastfordeling med pådrag og magnetisering

Den viste belastningen er skeiv fordi generatorene leverer ulik:

- aktiv effekt,
- reaktiv effekt.

Aktiv lastfordeling – pådrag.

Aktiv effekt styres av:

- dieselmotorens pådrag/governor.

Dersom en generator leverer for lite kW:

- økes pådraget,
- generatoren tar mer aktiv last.

Dersom den leverer for mye:

- pådraget reduseres.

Målet er lik kW-belastning på alle generatorene.

Reaktiv lastfordeling – magnetisering.

Reaktiv effekt styres av:

- eksitasjon/magnetisering

Økt magnetisering:

- gir høyere generatorspenning
- generatoren leverer mer kVAr

Redusert magnetisering:

- generatoren leverer mindre kVAr

Målet er jevn deling av reaktiv last.

Hvorfor dette er viktig.

Lik lastfordeling gir:

- bedre virkningsgrad,
- mindre oppvarming,
- mindre fare for overbelastning,
- stabil drift,
- mindre slitasje på maskineri.

15.2

a) Last overføring fra G3 → G1 og G2.

Vi starter med å finne tilsynelatende effekt S:

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = \sqrt{3} \cdot 430 \cdot 1130 \approx 842 \text{ kVA}$$

Effektfaktor:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{673}{842} \approx 0,80$$

Reaktiv effekt Q:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{842^2 - 673^2} \approx 505 \text{ kVAr}$$

Total last som skal fordelast:

$$P = 673 \text{ kW}, \quad Q = 505 \text{ kVAr}, \quad S \approx 842 \text{ kVA}$$

Fordeling mellom G1 og G2

Generatorene skal dele last proporsjonalt med merkekapasitet (kVA):

- G1 = 600 kVA
- G2 = 1000 kVA

- Totalt = 1600 kVA

Lastfordelingsfaktor:

- G1: $\frac{600}{1600} = 0,375$
- G2: $\frac{1000}{1600} = 0,625$

G1:

$$P_1 = 0,375 \cdot 673 \approx 252 \text{ kW}$$

$$Q_1 = 0,375 \cdot 505 \approx 189 \text{ kVAr}$$

$$S_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2} = \sqrt{252^2 + 189^2} \approx 315 \text{ kVA}$$

$$I_1 = \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{315000}{\sqrt{3} \cdot 430} \approx 423 \text{ A}$$

G2:

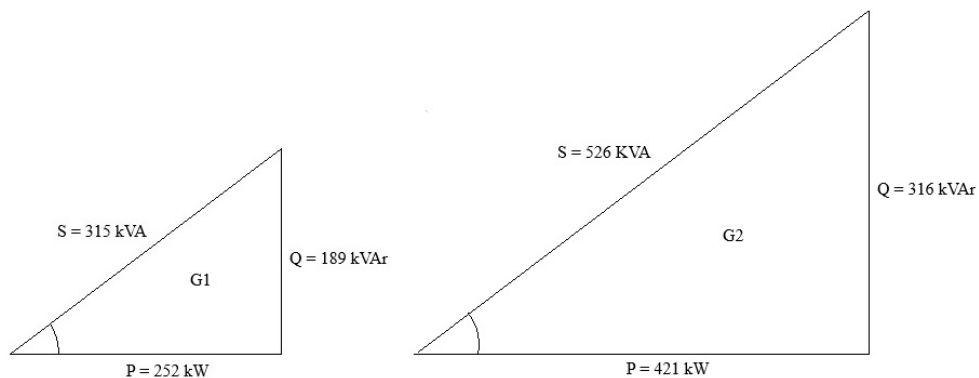
$$P_2 = 0,625 \cdot 673 \approx 421 \text{ kW}$$

$$Q_2 = 0,625 \cdot 505 \approx 316 \text{ kVAr}$$

$$S_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} = \sqrt{421^2 + 316^2} \approx 526 \text{ kVA}$$

$$I_2 \approx \frac{S_2}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{526000}{\sqrt{3} \cdot 430} \approx 707 \text{ A}$$

b) Effektdiagram (G1 og G2).



c) Hvorfor unngår vi samkøyring med akselgenerator?

1. Avhengig av hovedmotor.

- Frekvens styres av propell/last.
- Mindre stabil enn dieselgenerator.

2. Lastfordelingsproblem.

- Vanskelig å dele last korrekt.
- Kan føre til overlast.
- «Jaging» mellom maskiner.

3. Risiko for effektpendling.

- Særlig ved sjøgang/manøvrering.
- Kan gi ustabil drift.

4. Mekanisk belastning.

- Hovedmotor får elektrisk påverknad.
- Uønskt under manøvrering.

Derfor kjører en ofte:

- enten akselgenerator aleine.
- eller dieselgeneratorer aleine.

d) Vurdering av lastfordeling.

Fordeling av lasten etter størrelsen på generatorene:

$$G1: \frac{600}{1600} = 0,375 = \underline{37,5 \% \text{ av lasten}}$$

$$G2: \frac{1000}{1600} = 0,625 = \underline{62,5 \% \text{ av lasten}}$$

$$P_t = P_1 + P_2 = 450 + 570 = \underline{1020 \text{ kW}}$$

$$Q_t = Q_1 + Q_2 = 302 + 425 = \underline{727 \text{ kVAr}}$$

$$P_{1i} \% = \frac{100 \% * 450}{1020} = \underline{44,12 \%}$$

$$P_{2i} \% = \frac{100 \% * 570}{1020} = \underline{55,88 \%}$$

$$Q_{1i} \% = \frac{100 \% * 302}{727} = \underline{41,54 \%}$$

$$Q_{2i} \% = \frac{100 \% * 425}{727} = \underline{58,46 \%}$$

G1 tar for mye aktiv last.

Konklusjon:

Ikke optimal lastfordeling.

Juster turtalsregulator (governor).

- Senk last på G1.
- Øk last på G2.

Reaktiv effekt (kVAr)

Juster eksitasjon (AVR).

- G2 leverer mer Q enn G1.
- Juster slik at Q foreddas proporsjonalt.

15.3

a) Generator A:

$$S_A = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = \sqrt{3} \cdot 6600 \cdot 140 = \underline{1,60 \text{ MVA}}$$

$$Q_A = \sqrt{S_A^2 - P_A^2} = \sqrt{1,60^2 - 1,38^2} = \underline{0,81 \text{ MVAr}}$$

Generator B:

$$S_B = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = \sqrt{3} \cdot 6600 \cdot 210 = \underline{2,40 \text{ MVA}}$$

$$Q_B = \sqrt{S_B^2 - P_B^2} = \sqrt{2,40^2 - 2,13^2} = \underline{1,11 \text{ MVAr}}$$

$$\text{b) } \cos \varphi_A = \frac{P}{S} = \frac{1,38}{1,60} = \underline{0,86}$$

$$\cos \varphi_B = \frac{P}{S} = \frac{2,13}{2,40} = \underline{0,89}$$

$$\text{c) } P_t = P_A + P_B = 1,38 + 2,13 = 3,51 \text{ MW}$$

$$Q_t = Q_1 + Q_2 = 0,81 + 1,11 = \underline{1,92 \text{ kVAr}}$$

$$S_{tot} = \sqrt{P_t^2 + Q_t^2} = \sqrt{3,51^2 + 1,92^2} = 4,00 \text{ MVA}$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{4,00 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 6600} = \underline{350 \text{ A}}$$

d) Generator A:

$$P_{inn,A} = \frac{P_{ut,A}}{\eta} = \frac{1,38}{0,92} = \underline{1,50 \text{ MW}}$$

Generator B:

$$P_{inn,B} = \frac{P_{ut,B}}{\eta} = \frac{2,13}{0,92} = \underline{2,32 \text{ MW}}$$

$$\text{e) } p = \frac{\text{Hz} \cdot \text{sek.}}{\text{rpm}} = \frac{60 \cdot 60}{1800} = \underline{2 \text{ polpar}}$$

f) Generator A:

- $P_A = 1,38 \text{ MW} \Rightarrow 69 \text{ mm}$
- $Q_A = 0,81 \text{ MVAr} \Rightarrow 40,5 \text{ mm}$

- $S_A = 1,60 \text{ MVA} \Rightarrow 80 \text{ mm}$

Generator B:

- $P_B = 2,13 \text{ MW} \Rightarrow 106,5 \text{ mm}$
- $Q_B = 1,11 \text{ MVar} \Rightarrow 55,5 \text{ mm}$
- $S_B = 2,40 \text{ MVA} \Rightarrow 120 \text{ mm}$

Total last:

- $P = 3,51 \text{ MW} \Rightarrow 175,5 \text{ mm}$
- $Q = 1,92 \text{ MVar} \Rightarrow 96 \text{ mm}$
- $S = 4,00 \text{ MVA} \Rightarrow 200 \text{ mm}$

Effekttrekantene tegnes med:

- aktiv effekt vannrett
- reaktiv effekt loddrett
- tilsynelatende effekt som hypotenus

g) Generator A har lavere $\cos \phi$ enn generator B.

Det betyr:

- A leverer relativt mer reaktiv effekt
- B leverer relativt mer aktiv effekt

For å få lik effektfaktor må belastningen deles mer likt.

Pådrag generator A: Må økes.

Da øker aktiv effekt fra A.

Pådrag generator B: Må minkes.

Magnetisering generator A: Må minkes.

Da leverer A mindre reaktiv effekt.

Magnetisering generator B: Må økes.

Da overtar B mer reaktiv effekt.

h) Fordeler og ulemper med høgspenningsgeneratorer.

Fordeler:

- Lavere strøm ved samme effekt
- Mindre spenningsfall
- Mindre kabelverrsnitt
- Lavere tap: $P_{tap} = I^2 R$
- Mulig å overføre store effekter over lange avstander
- Mindre og lettere kabler

Ulemper:

- Dyrere anlegg
- Større krav til isolasjon
- Mer komplisert vern
- Farligere ved arbeid
- Krever spesialutstyr og spesialkompetanse
- Vanskeligere vedlikehold

i) Hvor stor aktiv effekt må legges ut?

Generator A alene skal overta lasten.

$$P_{maks} = S_t \cdot \cos \varphi = 3,2 \cdot 0,88 = 2,82 \text{ MW}$$

Total last opprinnelig:

$$P_{tot} = 3,51 \text{ MW}$$

Effekt som må kobles ut:

$$P_{ut} = P_t - P_{maks} = 3,51 - 2,82 = 0,69 \text{ MW}$$

j) Ved vannkjølte høgspenninggeneratorer krever NEK 410 blant annet:

- overvåking av lekkasje
- alarm ved vanninntrenging
- isolasjonsovervåking
- sikker adskillelse mellom vann og spenningsførende deler
- automatisk alarm og eventuelt utkobling ved kjølefeil
- overvåking av temperatur og vannstrøm

k) Baugpropell kobles inn.

$$P_{ny} = P_t + P_{bau} = 3,51 + 1,215 = 4,725 \text{ MW}$$

Alle tre generatorene deler lasten likt:

$$P_{pr.gen} = \frac{4,725}{3} = 1,575 \text{ MW}$$

$$\cos \varphi = 0,88$$

$$I_{h pr.gen} = \frac{P_{pr.gen}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{1575000}{\sqrt{3} \cdot 6600 \cdot 0,88} = \underline{\underline{156,6 \text{ A}}}$$

15.4

a) Frekvensfallet generator A er:

$$\Delta f = 61 - 60 = 1 \text{ Hz (ved 600 kW)}$$

$$\Delta f_{pr.kW} = \frac{1 \text{ Hz}}{600 \text{ kW}} = 1,6666 \cdot 10^{-3} \text{ Hz/kW}$$

$$\Delta f_{ved full last} = \text{Hz/kW} \cdot 1000 \text{ kW} = 1,6666 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 = 1,67 \text{ Hz}$$

$$f_{full\ last} = f_{tomgang} - \Delta f_{ved\ 100\ kW} = 61 - 1,67 = 59,33\ \text{Hz}$$

$$\text{Droop}_A = \frac{(f_0 - f_{FL}) \cdot 100\ \%}{f_0} = \frac{(61 - 59,33) \cdot 100}{61} = \underline{2,74\ \%}$$

Frekvensfallet generator B er:

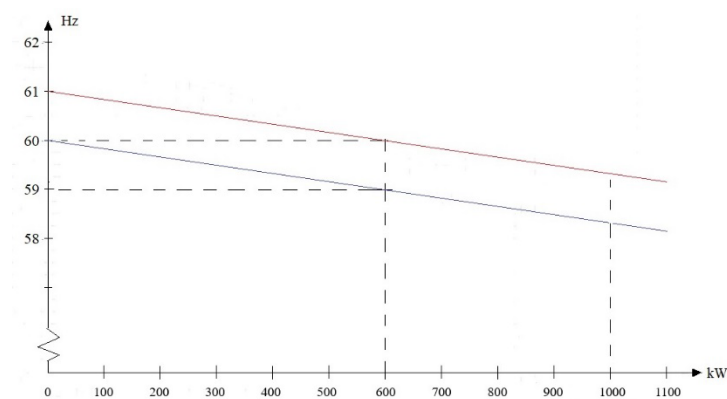
$$\Delta f = 60 - 59 = 1\ \text{Hz (ved 600 kW)}$$

$$\Delta f_{pr.kW} = \frac{1\ \text{Hz}}{600\ \text{kW}} = 1,6666 \cdot 10^{-3}\ \text{Hz/kW}$$

$$\Delta f_{ved\ full\ last} = \text{Hz/kW} \cdot 1000\ \text{kW} = 1,6666 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 = 1,67\ \text{Hz}$$

$$f_{full\ last} = f_{tomgang} - \Delta f_{ved\ 100\ kW} = 60 - 1,67 = 58,33\ \text{Hz}$$

$$\text{Droop}_B = \frac{(f_0 - f_{FL}) \cdot 100\ \%}{f_0} = \frac{(60 - 58,33) \cdot 100}{60} = \underline{2,78\ \%}$$



b) Maksimal samlet belastning.

Når generator A er fullt belastet med 1000 kW så er frekvensen 59,33 Hz. Vi må se på hva generator B er lastet med ved den frekvensen (59,33 Hz). Fallet i frekvens til generator B: $\Delta f = 60\ \text{Hz} - 59,33 = \underline{0,67\ \text{Hz}}$

$$P_B\ \text{ved}\ 59,33\ \text{Hz} = \frac{\Delta f}{\text{Hz/kW}} = \frac{0,67}{0,001666} = \underline{402\ \text{kW}}$$

$$P_t = P_A + P_B = 1000 + 402 = \underline{14102\ \text{kW}}$$

c) Generatorene har samme droop, men forskjellig tomgangsfrekvens.

Generator A er justert til høyere frekvens og vil derfor:

- ta større del av lasten,
- bli overbelastet først.

Generator B blir dårlig utnyttet.

For god lastdeling må:

- generatorene ha lik droop,
- og omtrent samme tomgangsfrekvens.

Ellers får vi skjev aktiv lastfordeling mellom generatorene.

15.5

$$a) S_t = \sqrt{P_t^2 + Q_t^2} = \sqrt{1000^2 + 750^2} = 1250 \text{ kVA}$$

$$I_h = \frac{S_t}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{1250 \text{ k}}{\sqrt{3} \cdot 440} = \underline{1340 \text{ A}}$$

$$\cos \varphi = \frac{P_t}{S_t} = \frac{1000}{1250} = \underline{0,8}$$

$$b) \text{ Total generatorstørrelse: } S_t = S_{G1} + S_{G2} = 750 \text{ kVA} + 1000 \text{ kVA} = \underline{1750 \text{ kVA}}$$

Prosentvis fordeling av lasta:

$$G1_{\%} = \frac{100 \% \cdot S_{G1}}{S_t} = \frac{100 \cdot 750}{1750} = 48,86 \%$$

$$G2_{\%} = \frac{100 \% \cdot S_{G2}}{S_t} = \frac{100 \cdot 1000}{1750} = 57,14 \%$$

$$P_1 = \frac{P_t \cdot G1_{\%}}{100 \%} = \frac{1000 \cdot 48,86}{100} = \underline{429 \text{ kW}}$$

$$Q_1 = \frac{Q_t \cdot G1_{\%}}{100 \%} = \frac{750 \cdot 48,86}{100} = \underline{321 \text{ kVAr}}$$

$$P_2 = \frac{P_t \cdot G2_{\%}}{100 \%} = \frac{1000 \cdot 57,14}{100} = \underline{571 \text{ kW}}$$

$$Q_2 = \frac{Q_t \cdot G2_{\%}}{100 \%} = \frac{750 \cdot 57,14}{100} = \underline{429 \text{ kVAr}}$$

$$c) S_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2} = \sqrt{429^2 + 321^2} = \underline{536 \text{ kVA}}$$

$$I_1 = \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{536 \text{ k}}{\sqrt{3} \cdot 440} = \underline{703 \text{ A}}$$

d) Frekvensfallet G1 er:

$$P_{1 \text{ full last}} = S_1 \cdot \cos \varphi = 750 \cdot 0,8 = 600 \text{ kW}$$

$$\Delta f = f_0 - f_{\text{last}} = 62,5 - 61 = 1,5 \text{ Hz (ved 500 kW)}$$

$$\Delta f_{\text{pr.kW}} = \frac{1,5 \text{ Hz}}{500 \text{ kW}} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ Hz/kW}$$

$$\Delta f_{\text{ved full last}} = \text{Hz/kW} \cdot P_1 = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 600 = 1,8 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{full last}} = f_{\text{tomgang}} - \Delta f_{\text{ved 100 kW}} = 62,5 - 1,8 = 60,7 \text{ Hz}$$

$$\text{Droop}_{G1} = \frac{(f_0 - f_{FL}) \cdot 100 \%}{f_0} = \frac{(62,5 - 60,7) \cdot 100}{62,5} = \underline{2,88 \%}$$

Frekvensfallet generator B er:

$$P_{2 \text{ full last}} = S_2 \cdot \cos \varphi = 1000 \cdot 0,8 = 800 \text{ kW}$$

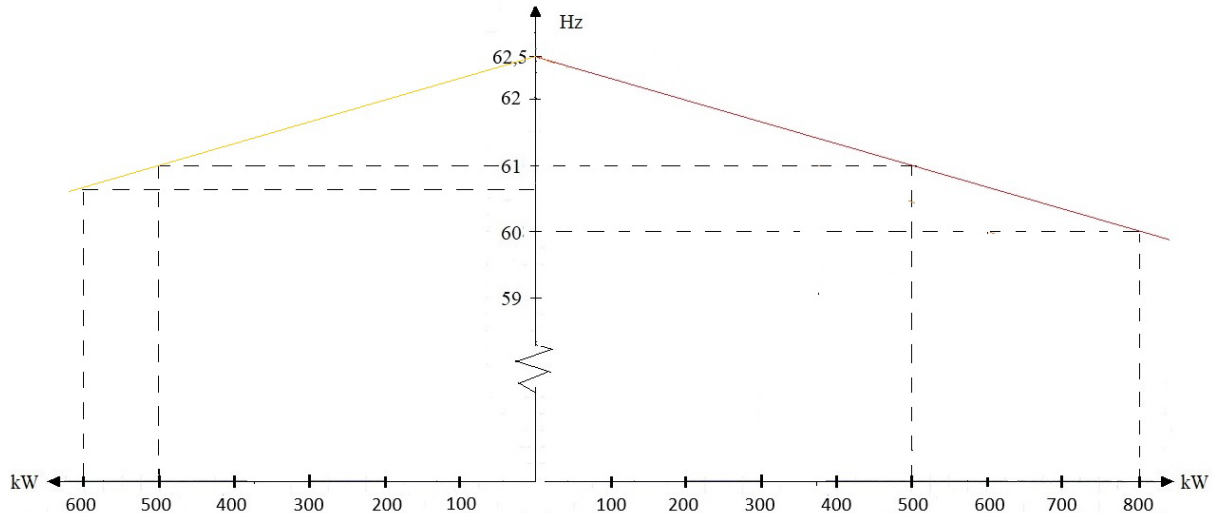
$$\Delta f = f_0 - f_{\text{last}} = 62,5 - 61 = 1,5 \text{ Hz (ved 500 kW)}$$

$$\Delta f_{\text{pr.kW}} = \frac{1 \text{ Hz}}{500 \text{ kW}} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ Hz/kW}$$

$$\Delta f_{ved full last} = \text{Hz/kW} * P_2 = 3 * 10^{-3} * 800 = 2,4 \text{ Hz}$$

$$f_{full last} = f_{tomgang} - \Delta f_{ved 100 kW} = 62,5 - 2,4 = 60,1 \text{ Hz}$$

$$\text{Droop}_B = \frac{(f_0 - f_{FL}) * 100 \%}{f_0} = \frac{(62,5 - 60,1) * 100}{62,5} = \underline{\underline{3,84 \%}}$$



e) Da ville generatorene hatt ingen droop.

Det betyr isokron regulering.

Konsekvenser ved parallell drift.

Små forskjeller i regulatorene ville gitt:

- store svingninger i lastdeling,
- ustabil drift,
- generatorene kunne «sloss» om lasten,
- fare for overbelastning,
- fare for pendlinger i effekt og frekvens.

Derfor brukes droop.

Droop gjør at:

- generatorene deler aktiv effekt stabilt,
- lastfordelingen blir automatisk,
- parallell drift blir stabil og sikker.

15.6

a) Generator A (GA):

$$P_{A full last} = S_A * \cos \varphi = 750 * 0,8 = 600 \text{ kW}$$

Tomgang: $n_0 = 600 \text{ rpm}$.

Ved 470 kW: $n = 582 \text{ rpm}$.

Turtallsfall: $\Delta n = n_0 - n = 600 - 582 = 18 \text{ rpm}$.

$$\text{rpm}/\text{kW} = \frac{\Delta \text{rpm}}{P_{GA}} = \frac{18}{470} = 0,0383 \text{ rpm/kW}$$

Full last = FL

$$\Delta n_{AFL} = \text{rpm}/\text{kW} * P_{AFL} = 0,0383 * 600 = 23 \text{ rpm}$$

Fullast turtall: $n_{FL} = n_0 - \Delta n_{FL} = 600 - 23 = 577 \text{ rpm}$

$$\text{Droop GA: } \frac{(n_0 - n_{FL}) * 100 \%}{n_0} = \frac{(600 - 577) * 100}{600} = 3,8 \%$$

Generator B (GB):

$$P_{BFL} = S_B * \cos \varphi = 750 * 0,8 = 600 \text{ kW}$$

Tomgang: $n_0 = 600 \text{ rpm}$.

Ved 470 kW: $n = 575 \text{ rpm}$.

Turtallsfall: $\Delta n = n_0 - n = 600 - 575 = 25 \text{ rpm}$.

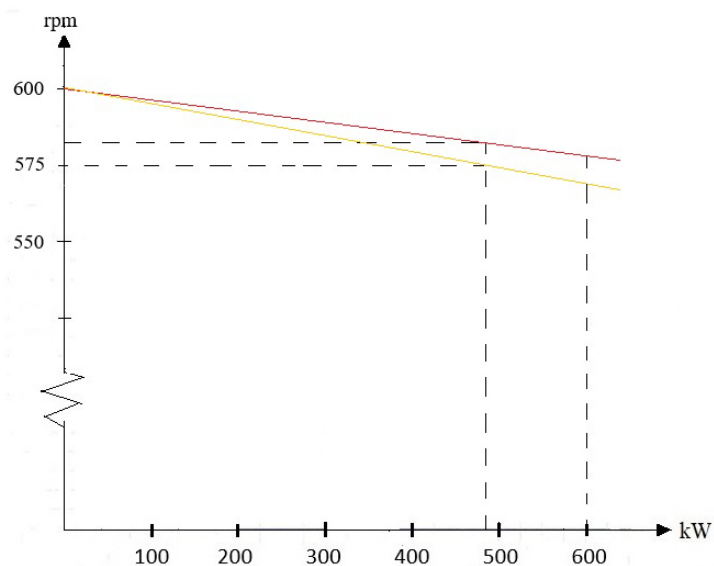
$$\text{rpm}/\text{kW} = \frac{\Delta \text{rpm}}{P_{GB}} = \frac{25}{470} = 0,0532 \text{ rpm/kW}$$

Full last = FL

$$\Delta n_{AFL} = \text{rpm}/\text{kW} * P_{AFL} = 0,0532 * 600 = 32 \text{ rpm}$$

Fullast turtall: $n_{FL} = n_0 - \Delta n_{FL} = 600 - 32 = 568 \text{ rpm}$

$$\text{Droop GB: } \frac{(n_0 - n_{FL}) * 100 \%}{n_0} = \frac{(600 - 568) * 100}{600} = 5,3 \%$$



b) Vi utfører prøven slik:

1. Synkroniser generatorene mot tavla.
2. Legg generatorene parallelt inn på hovedtavlen.
3. Fordel lasten mellom generatorene.
4. Koble ut den ene generatoren slik at den andre alene tar belastningen.

5. Les av turtall eller frekvens ved aktuell belastning.
6. Flytt lasten over til den andre generatoren.
7. Les av nytt turtall/frekvens.
8. Sammenlikn regulatorennes statikk.

c) Generatorene har ulik speed droop.

Generator A: 3,8 %

Generator B: 5,3 %

Dette er en betydelig forskjell.

Konsekvenser.

Ved parallell drift vil:

- Generator A ta større del av lasten.
- Lastfordelingen bli skjev.
- Generator A kan bli overbelastet.
- Frekvensreguleringen bli dårligere.

Forslag til forbedringer:

- Justere regulatorenne slik at droop blir lik.
- Kontrollere governor og reguleringslinker.
- Kalibrere turtallsregulatorenne.
- Kontrollere drivstoffregulering og servosystem.

Vanlig ønsket droop er omtrent: 3 – 5%,
og helst lik for begge aggregatene.

d) Vedlikeholdsrutiner.

Visuell kontroll:

- Kontrollere misfarging og varmgang.
- Kontrollere lysbuer og sot.
- Kontrollere kapsling og mekaniske skader.

Kontroll av koblinger:

- Ettetrekke kabeltilkoblinger.
- Kontrollere samleskinner.
- Kontrollere jordforbindelser.

Vern og brytere:

- Teste vern funksjoner.

- Kontrollere innstillinger.
- Funksjonsteste effektbrytere.

Rengjøring:

- Fjerne støv og smuss.
- Kontrollere ventilasjon og kjøling.

Målinger:

- Isolasjonsmåling.
- Termografering.
- Måling av overgangsmotstand.

Instrumenter og alarmer:

- Kontrollere måleinstrumenter
- Kontrollere indikatorlamper og alarmer
- Teste nødstoppsystemer

Dokumentasjon:

- Registrere vedlikehold.
- Oppdatere tavletegninger.
- Loggføre feil og utbedringer.

15.7

- a) Betingelser for god parallell drift av trefasa synkrongeneratorer.

For å kunne koble synkrongeneratorer parallelt må generatorene oppfylle flere krav både ved innkobling og under drift.

1. Samme spenning:

Generatorspenningen må være lik tavlespenningen.

Dersom spenningen er forskjellig vil det oppstå store utjevningsstrømmer mellom generatorene når effektbryteren kobles inn.

2. Samme frekvens:

Generatorfrekvensen må være lik nettet sin frekvens.

Ved ulik frekvens vil generatorene komme ut av fase og det oppstår store momentstøt og effektpendlinger.

3. Samme fasefølge:

Fasefølgen må være identisk. L1 – L2 – L3.

Feil fasefølge gir direkte kortslutningsforhold mellom fasene ved innkobling.

4. Fasespenningene må være i fase:

Spenningsene må ha samme fasevinkel i innkoblingsøyeblikket.

Dette kontrolleres med:

- synkronoskop
- synkroniseringslamper

Bryteren kobles inn når fasevinkelen er nær null.

5. Lik og stabil regulatorinnstilling.

Generatorene må ha korrekt:

- turtallsregulering (governor)
- spenningsregulering (AVR)

for å få stabil lastfordeling.

6. Riktig statikk (droop).

Turtallsregulatorene må ha tilnærmet lik statikk slik at generatorene deler aktiv last riktig.

AVR-regulatorene må også være riktig justert for korrekt fordeling av reaktiv effekt.

7. Tilstrekkelig reserveeffekt.

Generatorene må ikke kjøres kontinuerlig nær maksimal belastning.

Det må finnes reservekapasitet ved:

- last økninger
- startstrømmer
- bortfall av en generator

b) Hva mener vi med statikk?

Statikk (speed droop) beskriver hvor mye:

- Turtallet eller frekvensen,

synker fra tomgang til full belastning.

Statikken angis vanligvis i prosent.

Formål med statikk.

Statikk brukes for å:

- stabilisere parallell drift,
- sikre automatisk lastdeling mellom generatorer.

Formelen for statikk:

$$\text{Droop} = \frac{n_0 - n_{FL}}{n_0} \cdot 100\%$$

eller tilsvarende med frekvens.

c) Utstyr for å kontrollere faselikhets.

Vi kan bruke:

1. Synkronoskop.

Et synkronoskop viser:

- om generatoren går for fort eller for sakte,
- når generatoren er i fase med nettet.

Når viseren står nær kl. 12 kan generatoren kobles inn.

2. Synkroniseringslamper.

Tre lamper kobles mellom generator og samleskinne.

Lampene viser:

- fasefølge,
- faseforskjell,
- om innkoblingstidspunktet er riktig.

3. Automatisk synkronisering.

Moderne anlegg bruker:

- auto synkronisering,
- kontrollsystemer,
- PMS (Power Management System).

d) Hva er svevespenning?

Svevespenning er spenningsforskjellen mellom:

- generatoren som skal kobles inn,
- og
- samleskinna,

rett før innkobling.

Konsekvenser av høy svevespenning.

For stor svevespenning kan gi:

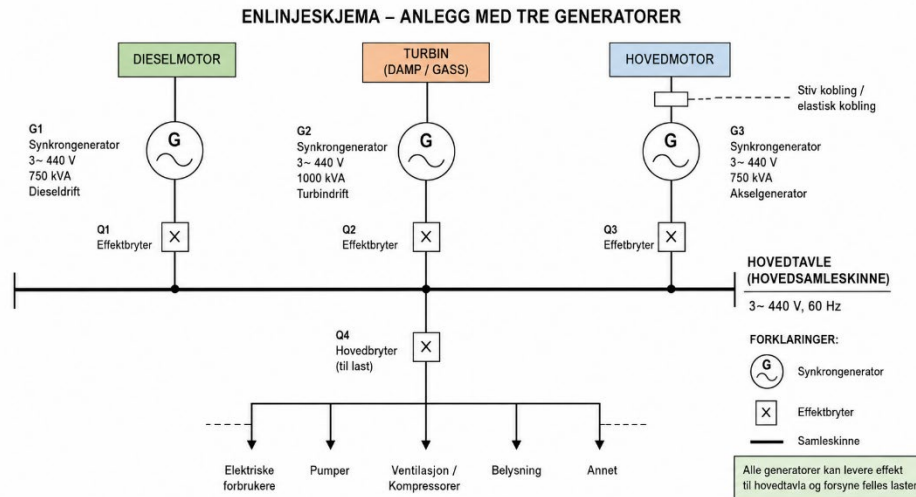
- store innkoblingsstrømmer,
- kraftige momentstøt,
- skade på generator og bryter,
- spenningsforstyrrelser.

Hvor stor kan den bli i et 440 V anlegg?

I praksis forsøker vi å holde svevespenningen svært lav.

Vanlig akseptabel verdi: 5 – 10 V, maksimalt omtrent: 10 – 15 V,
ved manuell synkronisering.

e) Enlinjeskjema med tre generatorer.



f) Fordeler og ulemper med akselgenerator.

Akselgenerator er en generator som drives direkte fra hovedmotorens aksling.

Fordeler:

1. Redusert drivstofforbruk.

Hovedmotoren har ofte bedre virkningsgrad enn hjelpemotorene.

2. Mindre vedlikehold.

Mindre driftstid på dieselgeneratorene gir:

- mindre slitasje,
- lavere vedlikeholdskostnader.

3. Lavere utslipp.

Bedre totaløkonomi gir:

- redusert CO₂,
- redusert NO_x,
- mindre miljøbelastning.

4. Høy virkningsgrad.

Mekanisk kraft tas direkte fra framdriftsanlegget.

5. Mindre støy.

Færre hjelpemotorer i drift gir lavere støynivå.

Ulemper:

1. Avhengig av hovedmotorens turtall

Ved variabel fart vil:

- frekvensen variere
- spenningen variere

Dette krever ofte:

- frekvensomformer
- konstantfrekvensanlegg

2. Ingen produksjon ved stopp i hovedmotor.

Ved havnemanøvrering eller stillstand må andre generatorer overta.

3. Mer komplisert anlegg.

Akselgeneratoranlegg krever:

- Koblinger.
- Regulering.
- Avansert vern.
- Effektstyring.

4. Fare for torsjonssvingninger

Mekaniske vibrasjoner i akselsystemet kan bli et problem.

5. Feil på hovedmotor påvirker kraftforsyningen.

Feil i framdriftsanlegget kan redusere tilgjengelig elektrisk effekt.

15.8

- a) Max effekt $P = S * \cos \varphi = 500 \text{ kVA} * 0,88 = 440 \text{ kW}$

Frekvens ved fullast $f_{\max}$.

G1

Frekvensen faller fra 62 Hz til 60,5 Hz (1,5 Hz) med en last på 350 kW.

Frekvensen faller med $\frac{1,5 \text{ Hz}}{350 \text{ kW}} = 0,00429 \text{ Hz/kW}$

Fall i frekvens fra 0 kW til 440 kW = $0,00429 \text{ Hz/kW} * 440 \text{ kW} = 1,89 \text{ Hz}$

Frekvens ved full last er 62 Hz – 1,89 Hz = 60,11 Hz.

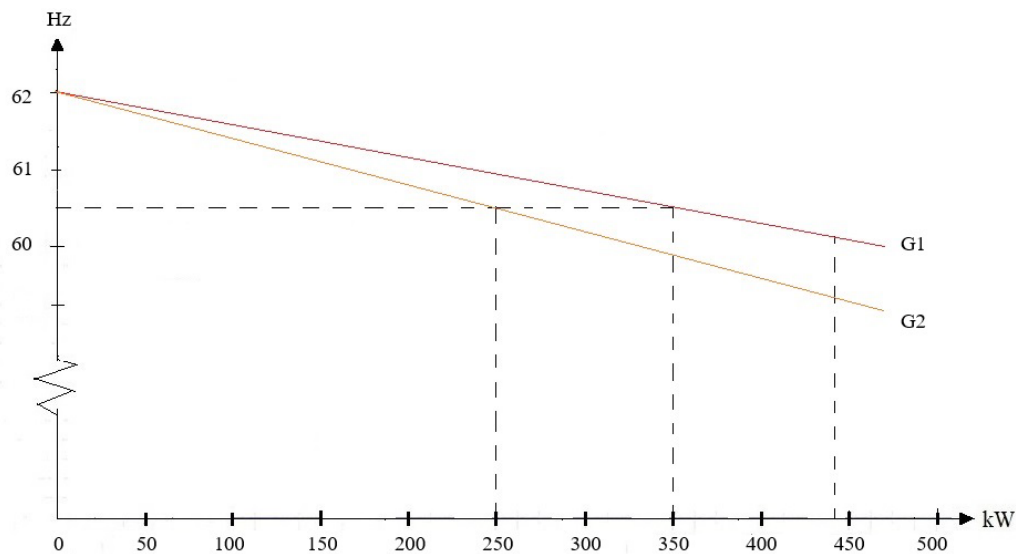
G2

Frekvensen faller fra 62 Hz til 60,5 Hz (1,5 Hz) med en last på 350 kW.

Frekvensen faller med $\frac{1,5 \text{ Hz}}{250 \text{ kW}} = 0,006 \text{ Hz/kW}$

Fall i frekvens fra 0 kW til 440 kW = $0,006 \frac{\text{Hz}}{\text{kW}} * 440 \text{ kW} = 2,64 \text{ Hz}$

Frekvens ved full last er $62 \text{ Hz} - 2,64 \text{ Hz} = 59,46 \text{ Hz}$.



Feil speed droop kurve

$$b) \quad G_1 = \frac{100 \% (f_0 - f_{max})}{f_0} = \frac{100 \% (62 - 60,11)}{62} = 3,05 \%$$

$$G_2 = \frac{100 \% (f_0 - f_{max})}{f_0} = \frac{100 \% (62 - 59,46)}{62} = 4,25 \%$$

I henhold til NEK410A, 2021 så er vi innenfor forskriftene.

- c) Ville regulert opp på regulatoren på G2 slik at begge generatorene ville få samme statikk. Det vil føre til at vi får samme aktive lastfordelingen over G1 og G2.
- d) Forskriftenes krav til fordeling av aktiv effekt på generator.

For vekselstrøms generatorer i paralleldrift skal drivmaskinens regulatorkarakteristikk være innenfor 20 % til 100 % av total last, forutsatt at ikke lasten på noen av generatoranleggene normalt avviker fra den forholdsmessige del av den totale last mere enn 15 % av merkeverdien for den avgitte effekten til den største maskinen, eller 25 % av merkeverdien for den avgitte effekten til den enkelte maskinen.

Ved like maskiner som dette, må $\Delta P < 440 \times 0,15 = 66 \text{ kW}$.

Her er ΔP 100 kW altså er ikke dieselregulatorene gode nok.

Forskriftenes krav til fordeling av reaktiv effekt på generator.

NEK 410-1:2008 side 157.6.1.

Når vekselstrøms generatorer opererer i parallell, skal de reaktive lastene til de enkelte generatoranleggene ikke avvike fra deres forholdsvis del av den totale reaktive lasten med mer enn 10 % av merkeverdien av den avgitte reaktive effekten til den største maskinen, eller 25 % av den minste hvor denne verdien er mindre enn den førstnevnte.

Ved like maskiner som dette, må $\Delta Q < 237 \times 0,10 = 23 \text{ kVAr}$.

Her er $\Delta Q = 154 \text{ kVAr}$ altså er ikke reguleringen av reaktiv effekt god nok.

$$\begin{aligned} \text{e) } S_1 &= \sqrt{3} * U * I_1 = \sqrt{3} * 440 * 613 = \underline{467,2 \text{ kVA}} \\ S_2 &= \sqrt{3} * U * I_2 = \sqrt{3} * 440 * 386 = \underline{294,2 \text{ kVA}} \\ \text{f) } Q_1 &= \sqrt{S_1^2 - P_1^2} = \sqrt{467,2^2 - 350^2} = \underline{309,5 \text{ kVAr}} \\ Q_2 &= \sqrt{S_2^2 - P_2^2} = \sqrt{294,2^2 - 250^2} = \underline{154,1 \text{ kVAr}} \\ \text{g) } \cos \varphi &= \frac{P_1}{S_1} = \frac{350}{467,2} = 0,749 \\ \cos \varphi &= \frac{P_2}{S_2} = \frac{250}{294,2} = 0,85 \\ S_t &= \sqrt{P_t^2 + Q_t^2} = \sqrt{600^2 - 463,6^2} = 758,24 \text{ kVA} \\ \cos \varphi &= \frac{P_t}{S_t} = \frac{600}{758,24} = 0,79 \end{aligned}$$

15.9

- a) Hvorfor er det viktig at parallellkoblede generatorer går med lik $\cos \varphi$?

Når generatorer går i parallell, må de dele både: aktiv effekt P og reaktiv effekt Q , på en riktig måte.

Effektfaktoren $\cos \varphi$ viser forholdet mellom aktiv og tilsynelatende effekt.

Dersom generatorene har ulik $\cos \varphi$, vil generatorene levere ulik mengde reaktiv effekt. Det kan føre til:

- skjev lastfordeling,
- overbelastning av én generator,
- høy generatorstrøm uten tilsvarende aktiv effekt,
- varmgang i viklinger,
- dårlig spenningsregulering,
- ustabil parallell drift.

Eksempel:

To generatorer kan levere like mye aktiv effekt, men dersom den ene er overmagnetisert vil den levere mer reaktiv effekt og få høyere strøm.

Generatoren kan da bli overbelastet selv om kW-belastningen virker normal.

Derfor er $\cos \varphi$ viktig.

Lik $\cos \varphi$ gir:

- riktig reaktiv lastdeling,
- stabil drift,
- lavere strømmer,
- mindre oppvarming,
- bedre virkningsgrad,
- bedre spenningsstabilitet.

b) Feilsynkronisering betyr at generatoren ble koblet inn med:

- feil fasevinkel,
- feil frekvens,
- feil spenning,
- eller feil fasefølge.

Dette kan gi svært store mekaniske og elektriske påkjenninger.

Mulige skader:

1. Skader på generatorviklinger.

Store strømstøt kan gi:

- varmgang,
- isolasjonsskader,
- kortslutning mellom viklinger.

2. Skader på AVR/magnetiseringssystem.

Feilsynkronisering kan skade:

- AVR,
- likeretterbroer,
- eksitasjonssystem,
- dioder ved børsteløs generator.

Dersom generatoren mister spenningen, er dette et svært aktuelt feilsted.

3. Demagnetisering av restmagnetisme.

Kraftige strømstøt kan redusere restmagnetismen slik at generatoren ikke bygger opp spenning.

4. Mekaniske skader.

Store momentstøt kan skade:

- koblinger,
- aksling,
- lager,
- fundament,
- gir.

5. Vern utløsning.

Mulige vern som kan ha løst ut:

- overstrømsvern,
- revers effektvern,
- differensialvern,
- underspenningsvern.

c) Dette tyder ofte på feil i magnetiseringssystemet eller spenningsreguleringen.

Feil jeg ville undersøkt.

1. AVR (Automatic Voltage Regulator). Mest sannsynlige feil.

Mulige årsaker:

- regulatorfeil,
- dårlig regulering,
- defekt elektronikk,
- feil referansesignal.

Generatoren klarer først lasten, men får ikke nok magnetisering ved høyere belastning.

2. Eksitasjonssystemet.

Kontrollere:

- eksitasjonsgenerator,
- roterende dioder,
- børster/sleperinger,
- feltvikling.

Feil her kan begrense feltstrømmen.

3. Defekte roterende dioder.

Vanlig feil på børsteløse generatorer.

Defekte dioder gir:

- redusert feltstrøm,
- dårlig spenningsoppbygging,

- spenningsfall ved høy last.
4. Dårlige forbindelser

Kontrollere:

- Feltkabler.
 - Koblinger.
 - Terminaler.
 - Overgangsmotstand.
5. Feil i strømtransformator eller spenningsmåling.
- AVR kan få feil målesignal og dermed regulere feil.
6. Overoppheting.

Høy temperatur kan føre til:

- økt viklingsmotstand,
- redusert magnetisering,
- redusert generatorytelse.

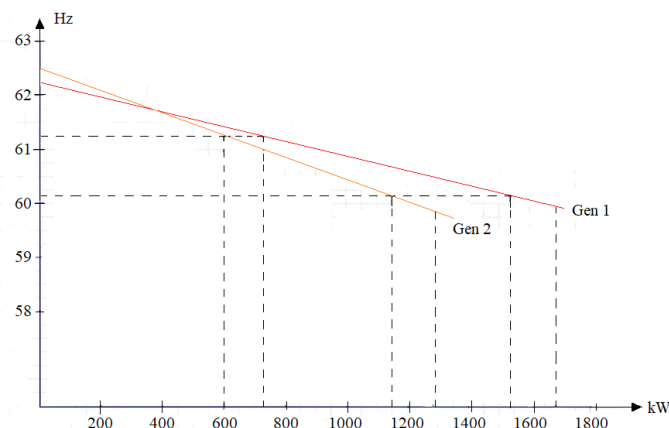
Typisk konklusjon

Når spenningen holder seg stabil fram til omtrent 60–70 % last og deretter faller kraftig, peker det ofte mot:

For svak magnetisering eller feil i AVR/eksitasjonssystem.

15.10

a) Speed droop kurve:



b) Frekvensfallet til G1:

$$P_{1-FL} = \frac{S_1}{\cos \varphi} = \frac{2100}{0,8} = 1680 \text{ kW}$$

$$P_1 \text{ last mellom avlesing 1 og 2} = P_{a2} - P_{a1} = 1540 - 730 = 810 \text{ kW}$$

$$\Delta f = f_{last\ 1} - f_{last\ 2} = 61,25 - 60,15 = 1,1 \text{ Hz (mellom avlesing 1 og 2)}$$

$$\Delta f_{pr.kW} = \frac{1,1 \text{ Hz}}{810 \text{ kW}} = 1,358 \cdot 10^{-3} \text{ Hz/kW}$$

$$\Delta f_{0-FL} = \text{Hz/kW} \cdot P_{1FL} = 1,358 \cdot 10^{-3} \cdot 1680 = 2,28 \text{ Hz}$$

$$\Delta f_{0-730} = \text{Hz/kW} \cdot P_{730} = 1,358 \cdot 10^{-3} \cdot 730 = 0,99 \text{ Hz}$$

$$f_0 = f_{730} + f_{0-730} = 61,25 + 0,99 = 62,24 \text{ Hz}$$

$$f_{FL} = f_0 - \Delta f_{0-FL} = 62,24 - 2,28 = 59,96 \text{ Hz}$$

$$\text{Droop}_{G1} = \frac{(f_0 - f_{FL}) \cdot 100 \%}{f_0} = \frac{(62,24 - 59,96) \cdot 100}{62,24} = \underline{\underline{3,66 \%}}$$

Frekvensfallet til G2:

$$P_{2-FL} = \frac{S_2}{\cos \varphi} = \frac{1600}{0,8} = 1280 \text{ kW}$$

$$P_2 \text{ last mellom avlesing 1 og 2} = P_{a2} - P_{a1} = 1150 - 600 = 550 \text{ kW}$$

$$\Delta f = f_{last\ 1} - f_{last\ 2} = 61,25 - 60,15 = 1,1 \text{ Hz (mellom avlesing 1 og 2)}$$

$$\Delta f_{pr.kW} = \frac{1,1 \text{ Hz}}{550 \text{ kW}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Hz/kW}$$

$$\Delta f_{0-FL} = \text{Hz/kW} \cdot P_{1FL} = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 1280 = 2,56 \text{ Hz}$$

$$\Delta f_{0-600} = \text{Hz/kW} \cdot P_{600} = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 600 = 1,2 \text{ Hz}$$

$$f_0 = f_{730} + f_{0-600} = 61,25 + 1,2 = 62,45 \text{ Hz}$$

$$f_{FL} = f_0 - \Delta f_{0-FL} = 62,45 - 2,56 = 59,89 \text{ Hz}$$

$$\text{Droop}_{G2} = \frac{(f_0 - f_{FL}) \cdot 100 \%}{f_0} = \frac{(62,45 - 59,89) \cdot 100}{62,45} = \underline{\underline{4,1 \%}}$$

c) Dersom generatorene har ulik droop vil aktiv last ikke deles riktig.

Typiske problemer:

1. Skjev lastfordeling.

Generatoren med minst droop vil ta størst del av lasten.

2. Fare for overbelastning.

Én generator kan bli overbelastet mens andre går lett belastet.

3. Ustabil frekvensregulering.

Store lastendringer kan gi:

- Pendlinger.
- Frekvensvariasjoner.
- Dårlig regulering.

4. Dårlig reservekapasitet.

Feil lastdeling kan redusere tilgjengelig reserveeffekt.

5. Økt mekanisk belastning.

Ujevn last kan gi:

- Vibrasjoner.
- Slitasje.
- Termiske påkjenninger.

d) Prosentvis fordeling mellom G1 og G2. Vi kan bruke S_t siden $\cos \varphi$ er lik.

$$S_t = S_1 + S_2 = 2100 + 1600 = \underline{3700 \text{ kVA}}$$

$$G1\% = \frac{100\% \cdot S_1}{S_t} = \frac{100 \cdot 2100}{3700} = 56,76\% \text{ av lasten bør G1 ha.}$$

$$G2\% = \frac{100\% \cdot S_2}{S_t} = \frac{100 \cdot 1600}{3700} = 43,24\% \text{ av lasten bør G2 ha.}$$

Reaktiv last ved avlesing 2: $\cos \varphi = 0,8, \quad \sin \varphi = 0,6 \quad \tan \varphi = 0,75$

$$Q_1 = P_1 * \tan \varphi = 1540 * 0,75 = 1155 \text{ kVAr}$$

$$Q_2 = P_2 * \tan \varphi = 1150 * 0,75 = 862,5 \text{ kVAr}$$

$$Q_t = Q_1 + Q_2 = 1155 + 862,5 = 2017,5 \text{ kVAr}$$

$$Q_1 \text{ burde vert } 2017,5 \text{ kVAr} * 0,5676 = 1145,1 \text{ kVAr}$$

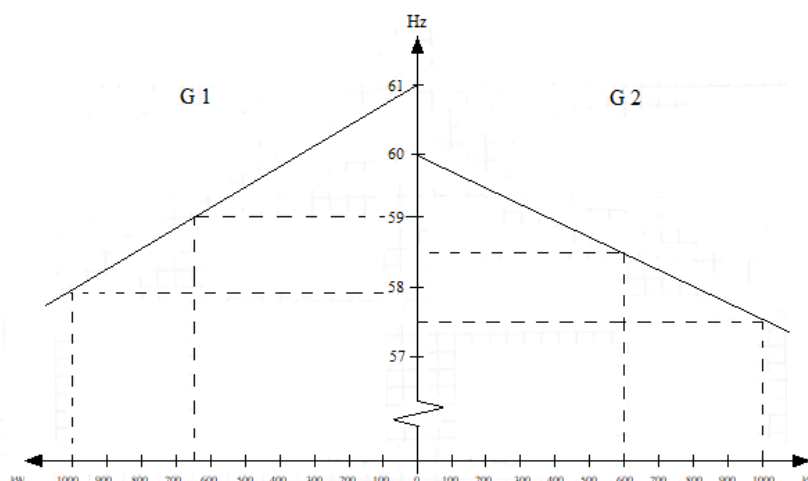
$$Q_2 \text{ burde vert } 2017,5 \text{ kVAr} * 0,4324 = 872,4 \text{ kVAr}$$

Vi kunne ha justert litt opp på G1 eller ned på G2.

Reaktiv effekt reguleres med generatorenes magnetisering (AVR).

15.11

a)



$$\text{Statikk G1: } \frac{(61-57,625) \times 100}{61} = 5,53\%$$

$$\text{Statikk G2: } \frac{(60-57,625) \times 100}{60} = 3,96\%$$

Hver generator yter 1000 kW (1250 kVA x 0,8)

- b) Fordeling av reaktiv effekt mellom generatorer i parallell blir bestemt av eksitasjonen (magnetiseringen). Generatoren med størst eksitasjon (magnetisering) vil levere mest reaktiv effekt.

15.12

- a) Tegn speed droop kurve for disse to dieselgeneratorene i samme diagram.

$$G_{2-Hz\ 0\ \% \ last} = \left(\frac{f_{(sit.1)} - f_{(sit.2)}}{P_{(sit.2)} - P_{(sit.1)}} * P_{(sit.1)} \right) + f_{(sit.1)} =$$

$$\left(\frac{61,7\ Hz - 60,2\ Hz}{2700\ kW - 870\ kW} * 870\ kW \right) + 61,7\ Hz = \underline{62,41\ Hz}$$

$$G_{3-Hz\ 0\ \% \ last} = \left(\frac{f_{(sit.1)} - f_{(sit.2)}}{P_{(sit.2)} - P_{(sit.1)}} * P_{(sit.1)} \right) + f_{(sit.1)} =$$

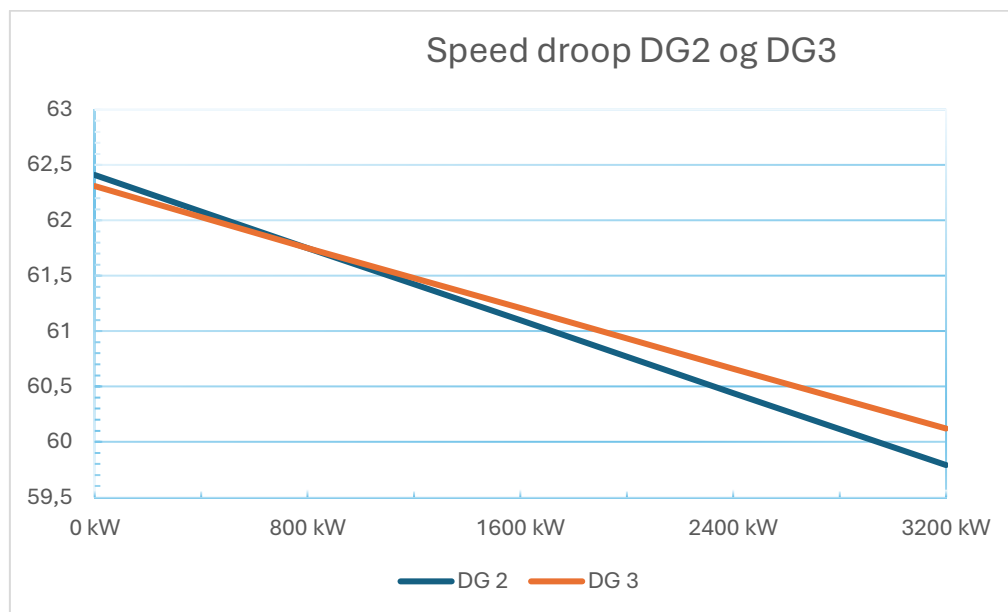
$$\left(\frac{61,7\ Hz - 60,2\ Hz}{3100\ kW - 900\ kW} * 900\ kW \right) + 61,7\ Hz = \underline{62,31\ Hz}$$

$$G_{2-100\ \% \ last} = G_{2-Hz\ 0\ \% \ last} \left(\frac{f_{(sit.1)} - f_{(sit.2)}}{P_{(sit.2)} - P_{(sit.1)}} * P_{(max)} \right) =$$

$$62,41 - \left(\frac{61,7\ Hz - 60,2\ Hz}{2700\ kW - 870\ kW} * 3200\ kW \right) = \underline{59,78\ Hz}$$

$$G_{3-100\ \% \ last} = G_{3-Hz\ 0\ \% \ last} \left(\frac{f_{(sit.1)} - f_{(sit.2)}}{P_{(sit.2)} - P_{(sit.1)}} * P_{(max)} \right) =$$

$$62,31 - \left(\frac{61,7\ Hz - 60,2\ Hz}{3100\ kW - 900\ kW} * 3200\ kW \right) = \underline{60,13\ Hz}$$



$$G_{2-droop\ \%} = \frac{(f_0 - f_{FL}) * 100\ \%}{f_0} = \frac{(62,41 - 59,78) * 100}{62,41} = \underline{4,2\ \%}$$

$$G_{3-droop\ \%} = \frac{(f_0 - f_{FL}) * 100\ \%}{f_0} = \frac{(62,31 - 60,13) * 100}{62,31} = \underline{3,5\ \%}$$

NEK-410-1 avgrenser speed droop til maksimalt 5 %.

Begge generatorene har en speed-droop innenfor kravet, men de har ulik droop og vil fordele aktiv belastning ujevnt mellom seg i manuell modus.

15.13

Prosedyre for elektrisk isolasjon av dieselgenerator ved vedlikehold.

Denne prosedyren skal sikre at arbeid på generator kan utføres uten fare for:

- elektrisk støt
- lysbue
- utilsiktet innkobling
- tilbakekobling av spenning
- mekanisk start av dieselmotor

Prosedyren bygger på krav i:

- FSE — Forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg.
- Internkontrollforskriften.
- Skipets sikkerhetsstyringssystem (SMS).
- God maritim praksis.

1. Planlegging av arbeidet.

Før arbeidet starter skal det:

- vurderes risiko,
- gjennomføres SJA (Sikker Jobb Analyse) ved behov,
- innhentes arbeidstillatelse.
- avklares hvem som er:
 - ansvarlig for kobling,
 - leder for sikkerhet,
 - leder for kobling,
 - utførende personell,

Kontroll av dokumentasjon.

- enlinjeskjema,
- koblingsskjema,
- verneplan,
- generatorens tilkoblinger,
- eventuell nød- eller reserveforsyning,

2. Informasjon og varsling.

- Informer maskinrom og bro.
 - Informer annet relevant personell.
 - Avklar konsekvenser for kraftforsyning og reservekapasitet.
 - Kontroller at gjenværende generator(er) tåler lasten.
3. Lastavlasting og utkobling.
- a) Overfør last.
- Generatorens last overføres til øvrige generatorer.
- Kontroller:
- stabil frekvens,
 - stabil spenning,
 - korrekt lastdeling.
- b) Koble generator ut av parallell drift.
- Åpne generatorbryter.
- Kontroller:
- generatorstrøm = 0 A
 - effekt = 0 kW / 0 kVAr
- c) Stopp dieselmotor.
- Stopp prime mover etter normale prosedyrer.
 - Kontroller at generatoren står stille.
4. Elektrisk isolasjon.
- a) Åpne alle energikilder.
- Generatoren skal isoleres fra alle spenningskilder.
- Dette kan omfatte:
- Hovedbryter,
 - feltbryter / eksitasjon,
 - styrespenning,
 - batteriforsyning,
 - forvarming,
 - automatisk startkrets,
 - PMS/autostart,
 - landstrøm eller annen tilbakekobling.
- b) Sikre mot innkobling.
- Utfør Lock Out / Tag Out (LOTO):

- hengelås på brytere,
- merkeskilt:
 - «Må ikke kobles inn»
 - «Arbeid pågår»

Kun ansvarlig person skal ha nøkkel.

5. Kontroll av spenningsløs tilstand.

Før arbeid starter skal det:

- måles at anlegget er spenningsløst,
- benyttes godkjent spenningsprøver,
- kontrolleres mellom:
 - fase–fase,
 - fase–jord.

Prøv spenningsprøver:

- før måling,
- etter måling.

6. Jording og kortslutning.

På høyeffektanlegg eller der det er fare for tilbakekobling skal generatoren:

- jordes,
- kortsluttes.

etter gjeldende prosedyrer.

Dette beskytter mot:

- induksjonsspenning,
- feilinnkobling,
- restspenning.

7. Mekanisk sikring.

Dieselmotoren må sikres mot utilsiktet start.

Tiltak kan være:

- stenge startluft,
- isolere startsystem,
- stenge drivstoff,
- deaktivere automatisk start,
- sperre fjernstart fra PMS.

8. Utførelse av arbeid.

Arbeidet utføres i henhold til:

- Arbeidsordre,
- FSE,
- produsentens instruksjer,
- interne prosedyrer.

Det skal brukes:

- riktig verneutstyr,
- isolert verktøy ved behov,
- godkjent måleutstyr.

9. Tilbakekobling etter arbeid.

a) Kontroll før innkobling.

Kontroller:

- at arbeid er avsluttet,
- at verktøy er fjernet,
- at deksler er montert,
- at alle personer er ute av faresonen,
- at jording er fjernet.

b) Fjern LOTO.

Kun ansvarlig person fjerner:

- låser,
- sperringer,
- merkeskilt.

c) Klargjør generator.

- reetabler styrespenning,
- reetabler eksitasjon,
- åpne drivstoff/startsystem,
- klargjør for oppstart.

d) Funksjonstest.

Start generator og kontroller:

- korrekt spenning,
- korrekt frekvens,
- alarmstatus,
- isolasjonsnivå,

- stabil drift,
- e) Synkronisering.

Generatoren synkroniseres mot tavla etter normal prosedyre.

10. Dokumentasjon.

Etter arbeidet skal følgende dokumenteres:

- utført arbeid,
- isolasjonspunkter,
- målinger,
- eventuelle avvik,
- testresultater,
- signaturer.

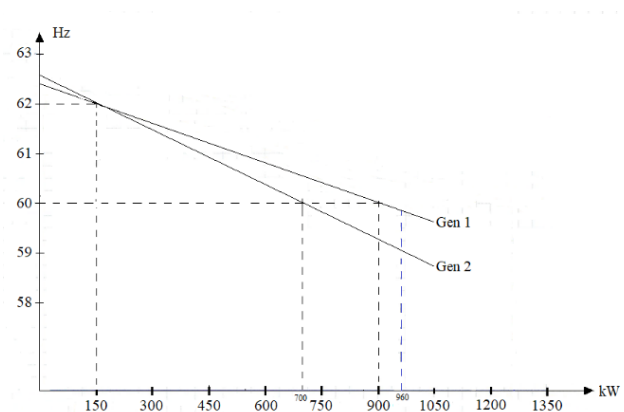
FSE bygger på fem sikkerhetsregler:

- 1) Frakoble.
- 2) Sikre mot innkobling.
- 3) Kontrollere spenningsløs tilstand.
- 4) Jorde og kortslutte ved behov.
- 5) Beskytte mot nærliggende spenningssatte deler.

Disse prinsippene skal være grunnlaget for hele prosedyren.

15.14

a) Statikkdiagram



b) Speed droop i prosent.

Frekvensfallet til G1:

$$P_{1-FL} = \frac{S_1}{\cos \varphi} = \frac{1200}{0,8} = 960 \text{ kW}$$

$$P_{1 \text{ last mellom avlesing 1 og 2}} = P_{a2} - P_{a1} = 900 - 150 = 750 \text{ kW}$$

$$\Delta f = f_{last\ 1} - f_{last\ 2} = 62 - 60 = 2\text{ Hz (mellom avlesing 1 og 2)}$$

$$\Delta f_{pr.kW} = \frac{2\text{ Hz}}{750\text{ kW}} = 2,667 * 10^{-3}\text{ Hz/kW}$$

$$\Delta f_{0-FL} = \text{Hz/kW} * P_{1\ FL} = 2,667 * 10^{-3} * 960 = 2,56\text{ Hz}$$

$$\Delta f_{0-150} = \text{Hz/kW} * P_{730} = 2,667 * 10^{-3} * 150 = 0,4\text{ Hz}$$

$$f_0 = f_{730} + f_{0-730} = 62 + 0,4 = 62,4\text{ Hz}$$

$$f_{FL} = f_0 - \Delta f_{0-FL} = 62,4 - 2,56 = 59,84\text{ Hz}$$

$$\text{Droop}_{G1} = \frac{(f_0 - f_{FL}) * 100\ \%}{f_0} = \frac{(62,4 - 59,84) * 100}{62,4} = \underline{4,1\ \%}$$

Frekvensfallet til G2:

$$P_{2-FL} = \frac{S_2}{\cos \varphi} = \frac{1200}{0,8} = 960\text{ kW}$$

$$P_{2\text{ last mellom avlesing 1 og 2}} = P_{a2} - P_{a1} = 700 - 150 = 550\text{ kW}$$

$$\Delta f = f_{last\ 1} - f_{last\ 2} = 62 - 60 = 2\text{ Hz (mellom avlesing 1 og 2)}$$

$$\Delta f_{pr.kW} = \frac{2\text{ Hz}}{550\text{ kW}} = 3,64 * 10^{-3}\text{ Hz/kW}$$

$$\Delta f_{0-FL} = \text{Hz/kW} * P_{1\ FL} = 3,64 * 10^{-3} * 960 = 3,49\text{ Hz}$$

$$\Delta f_{0-150} = \text{Hz/kW} * P_{150} = 3,64 * 10^{-3} * 150 = 0,55\text{ Hz}$$

$$f_0 = f_{730} + f_{0-600} = 62 + 0,55 = 62,55\text{ Hz}$$

$$f_{FL} = f_0 - \Delta f_{0-FL} = 62,55 - 3,49 = 59,06\text{ Hz}$$

$$\text{Droop}_{G2} = \frac{(f_0 - f_{FL}) * 100\ \%}{f_0} = \frac{(62,55 - 59,06) * 100}{62,55} = \underline{5,58\ \%}$$

Vurdering opp mot NEK 410.

Vanlig statikk for marine generatorer er: 3- 5 %

G1: 4,1 %, det er normalt og tilfredsstillende.

G2: 5,58 %, dette er høyt og utenfor vanlig anbefalte område.

c) Årsaker til ulik speed droop.

1) Feil regulatorinnstilling.

Vanligste årsak.

Governorene kan være forskjellig justert.

2) Mekanisk slitasje

Slark eller treghet i:

- regulatorlinker
- servomotorer
- drivstoffsystem

kan påvirke reguleringen.

3) Feil kalibrering

Turtallsregulatorene kan være feil kalibrert.

4) Problemer i drivstoffsystem

- ulik respons i innsprøyting
- treg regulator
- dårlig drivstofftilførsel

5) Elektroniske regulatorfeil

Ved elektroniske governor-systemer kan feil i:

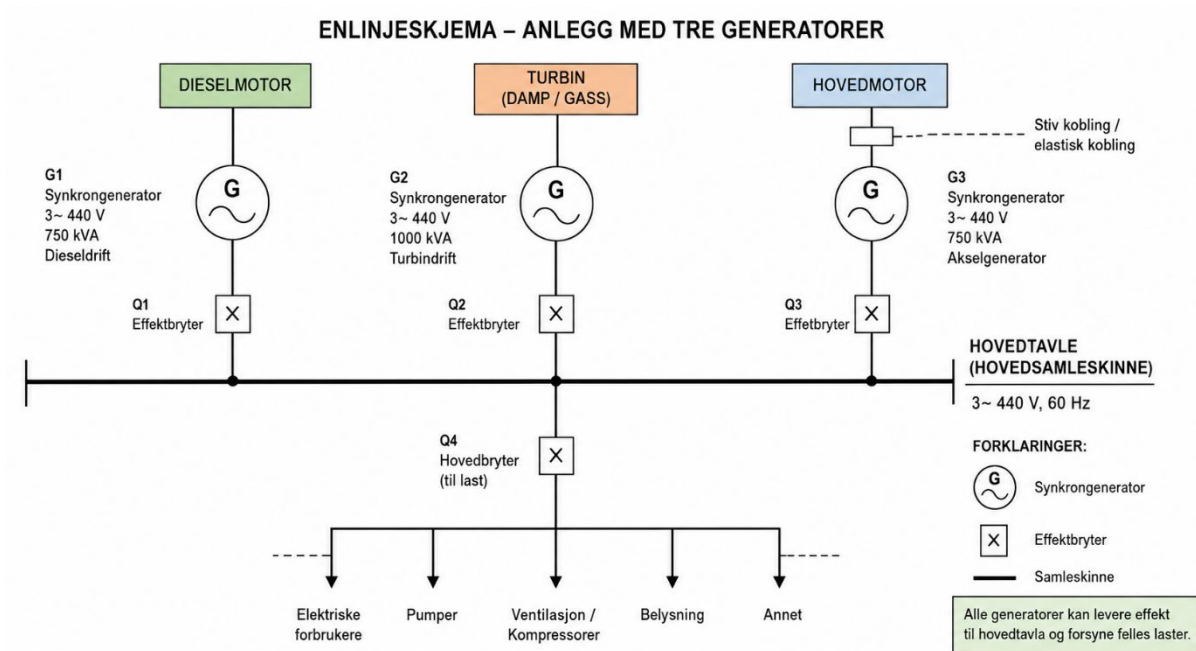
- sensorer
- aktuatorer
- signalbehandling
- gi feil droop.

6) Feil ved måling

Feil på:

- frekvensmåling
- effektmåling
- instrumentering

kan gi feil vurdering av statikken.



Kapittel 16. Spenningsregulator.

16.1

- a) Hovedoppgaven til en AVR er å holde generatorspenningen konstant selv om lasten varierer.
- b) Når lasten øker:
 - Generatoren må levere større strøm.
 - Spenningsfallet i generatorviklingene øker.
 - Terminalspenningen synker.
- c) AVR-en registrerer spenningsfallet og øker magnetiseringsstrømmen til rotorviklingen.

Dette gir:

- sterkere magnetfelt,
 - høyere induisert spenning,
 - terminalspenningen stiger tilbake mot 440 V.
- d) Dersom AVR-en svikter kan man få:
 - for høy spenning,
 - for lav spenning,
 - ustabil drift,
 - skade på elektrisk utstyr,
 - problemer ved parallellkjøring.

16.2

- a) $\text{Spenningsregulering} = \frac{U_0 - U_F}{U_F} \cdot 100\% = \frac{450 - 430}{430} \cdot 100\% = \underline{4,65\%}$
- b) Dette er en ganske god spenningsregulering for en skipsgenerator.
- c) Lav spenningsregulering er ønskelig fordi:
 - elektrisk utstyr får stabil spenning,
 - motorer går mer stabilt,
 - mindre fare for feil og overoppheting,
 - bedre kvalitet på strømforsyningen.

16.3

- a) Reaktiv effekt er effekt som brukes til å bygge opp magnetfelt i induktive laster som motorer og transformatorer.

Den måles i kVAr.

- b) Man kan se det ved:
- høyere feltstrøm på generator A,
 - høyere $\cos \varphi$ -belastning,
 - større kvar-visning på instrumentene.
- c) Ved å redusere spenningsreferansen på generator A eller øke den på generator B vil reaktiv effekt fordeles jevnere.
- Økt magnetisering gir økt levering av reaktiv effekt.
- d) Ved svært skjev lastfordeling kan man få:
- overoppheting,
 - overbelastning av én generator,
 - ustabil parallellkjøring,
 - utkobling ved vern.

16.4

- a) Mulige årsaker:
- feil i AVR,
 - dårlig kontakt i følerkrets,
 - ustabil magnetisering,
 - defekt diode eller likeretter,
 - dårlig regulatorinnstilling.
- b) Feil i AVR kan føre til:
- svingende spenning,
 - for høy feltstrøm,
 - ustabil parallellkjøring,
 - skade på utstyr.
- c) Hunting betyr at regulatoren stadig overkorrigerer slik at spenningen oscillerer rundt setpunktet.
- d) Tiltak:
- kontroller regulatorinnstillinger,
 - kontroller spenningsfølere,
 - kontroller børster, sleperinger og kontaktflater for slitasje og dårlig kontakt.
 - kontroller likeretter og eksitasjonssystem,
 - justere regulatorens forsterkning og stabilitet.

Kapittel 17. Generatorbrytere og vern.

17.1

- a) Generatorbryteren skal koble generatoren inn og ut fra hovedtavlen på en sikker måte.
- b) Den er normalt plassert mellom generatoren og samleskinnene i hovedtavlen.
- c) Generatorbryteren beskytter:
 - generatoren,
 - kabler,
 - samleskinner,
 - annet elektrisk utstyr.

Den skal raskt koble ut ved feil.

- d) Ved kortslutning vil vernene registrere svært høy strøm, og generatorbryteren løser ut automatisk.

17.2

- a) Generator 2 vil begynne å arbeide som motor og trekke effekt fra tavla.
- b) Retureffekt betyr at effekt går inn i generatoren i stedet for ut fra generatoren.
- c) Retureffektvernet (32G) skal koble ut generatorbryteren.
- d) Dette kan føre til:
 - skade på dieselmotor,
 - overoppheting,
 - mekaniske skader,
 - brannfare.

17.3

- a) Det sammenligner strømmen inn og ut av generatoren.
- b) Dersom strømmen inn og ut ikke er lik, tyder dette på feil inne i generatoren, og vernet løser ut.
- c) Det er svært raskt fordi interne feil i generatoren kan utvikle seg raskt og gi store skader.
- d) Det beskytter hovedsakelig mot:
 - viklingsfeil,
 - fasefeil,
 - interne kortslutninger,
 - jordfeil inne i generatoren.

17.4

- a) Merkestrøm trefase:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{800000}{\sqrt{3} \cdot 440} = 1049 \text{ A}$$

- b) Overstrømsvern beskytter generatoren mot for høy strøm som kan gi:

- overoppheting,
- isolasjonsskader,
- brann,
- mekaniske skader.

- c)

Overlast	Kortslutning
Moderat overstrøm	Svært høy strøm
Utvikler seg over tid	Oppstår momentant
Gir varmeutvikling	Gir store elektromagnetiske krefter

17.5

- a) Underspenningsvernet kobler ut generatoren dersom spenningen blir for lav.

- b) Mulige årsaker:

- stor belastning,
- feil i AVR,
- redusert turtall,
- kortslutning.

- c) Overspenning kan skade:

- elektronikk,
- motorisolasjon,
- transformatorer,
- kabler.

17.6

- a) Frekvensen bestemmes av:

- generatorens turtall,
- antall poler.

- b) Frekvensen synker.

- c) Lav frekvens kan føre til:

- varmgang,
- redusert motorytelse,
- ustabil drift,
- skade på elektrisk utstyr.

d) Underfrekvensvern (81U).

17.7

a) Generatorene må ha:

- lik spenning,
- lik frekvens,
- riktig fasesekvens,
- riktig fasevinkel.

b) Usynkron innkobling kan føre til:

- store strømstøt,
- mekaniske skader,
- momentstøt,
- utkobling av vern.

c) Synkroskop eller synkroniseringslamper.

17.8

a) En jordfeil er en elektrisk forbindelse mellom en spenningsførende leder og jord/skrog.

b) Jordfeil kan føre til:

- brann,
- elektrisk støt,
- skade på utstyr,
- dobbel jordfeil og kortslutning.

c) Jordfeilvern 50N/51N.

d)

50N	51N
Momentant vern	Tidsforsinket vern
Kobler raskt ut	Tillater kortvarige strømmer

17.9

a) Hva kan årsaka til disse alarmene.

Når både frekvens og spenning stig samtidig, tyder dette ofte på at generatoren har fått et plutselig lastbortfall.

Dersom en stor last fell ut menns dieselmotoren framleis tilfører same effekt:

- generatoren blir for lite belasta,
- dieselmotoren akselererer,
- turtallet stig,
- frekvensen stig,
- AVR-en kan samtidig gi for høy magnetisering slik at spenninga stig.

Mulige årsaker:

Feil i turtalsregulator (governor).

Governoren klarer ikke redusere drivstofftilførselen raskt nok når lasten fell bort.

Motoren får då overspeed.

Lastbortfall.

Til dømes:

- store motorer stopper,
- samleskinnebryter åpner,
- blackout på deler av anlegget,
- stor forbruker kobler ut.

Generatoren blir då plutselig overmotorisert i forhold til lasten.

Feil i AVR.

AVR-en kan:

- gi for høy eksitasjonsstrøm,
- regulere ustabilt,
- få feil fra spenningsmåling,
- ha defekte komponenter.

Dette kan gi overspenning selv ved normal frekvens.

Kombinasjonsfeil.

I praksis kjem ofte overfrekvens og overspenning samtidig ved:

- plutselig lastreduksjon,
- feil ved parallellkøyring,
- feil synkronisering,
- governorfeil kombinert med treg AVR-regulering.

- b) Frekvensen blir regulert av dieselmotoren sin turtalsregulator (governor).

Sammenhengen er:

$$f = \frac{n \cdot p}{120}$$

der:

- f = frekvens
- n = turtal
- p = poltal

Når turtallet øker, øker frekvensen.

Governoren regulerer drivstoff mengden til motoren for å holde stabilt turtall ved varierende last.

- c) Spenninga blir regulert av AVR-en (Automatic Voltage Regulator).

AVR-en overvaker generatorspenninga kontinuerlig og regulerer eksitasjonsstrømmen til rotorviklinga.

Dersom spenninga blir for låg: AVR-en øker magnetiseringa.

Dersom spenninga blir for høg: AVR-en reduserer magnetiseringa.

Dette held generatorspenninga stabil selv ved lastendringar.

- d) Rask utkopling er avgjørende for å beskytte:

- generatoren,
- dieselmotoren,
- hovedtavle,
- kabler,
- tilkopla forbrukere.

Ved overfrekvens kan en få:

- mekanisk overbelastning,
- skade på lager,
- vibrasjoner,
- overspeed på dieselmotoren.

Store overspeeder kan i verste fall gi alvorlige motorskader.

Ved overspenning kan en få:

- isolasjonsskader,
- varmgang,
- gjennomslag i viklinger,
- havari i motorer og transformatorer.

Kapittel 18. PMS.

18.1

- a) Ved 2100 kW fordeles lasten likt:

$$\frac{2100}{2} = 1050 \text{ kW}$$

Prosent last:

$$\frac{1050}{1800} \times 100 \approx 58,3\%$$

Ved 3150 kW:

$$\frac{3150}{2} = 1575 \text{ kW}$$

$$\frac{1575}{1800} \times 100 \approx 87,5\%$$

Dette overstiger startgrensen på 80 %, og PMS vil derfor starte standby-generatoren.

- b) PMS starter ny generator for å:

- opprettholde reservekapasitet,
- redusere risiko for blackout,
- unngå overbelastning,
- sikre stabil frekvens og spenningsregulering,
- håndtere eventuelle laststøt.

På DP-fartøy er dette spesielt viktig fordi krafttap kan føre til tap av posisjon.

- c) «Top-up minimum» betyr at en generator som allerede er startet og synkronisert ikke kobles ut igjen før lasten har falt under et bestemt nivå over en viss tid.

Dette hindrer:

- hyppig start/stopp,
- unødvendig slitasje,
- ustabil drift,
- dårlig drivstofføkonomi.

- d) For sen innkobling kan føre til:

- frekvensfall,
- spenningsfall,
- overlast på eksisterende generatorer,
- ut koblende vern,
- blackout,
- dårlig lastdeling,

- ustabil forbrenning i dieselmotorene.
- e) PMS kontrollerer:
- spenningsnivå,
 - frekvens,
 - fasevinkel,
 - fasefølge.

Når verdiene er innenfor tillatte grenser, sender PMS lukkeordre til generatorbryteren.

Synkroniseringen kan utføres:

- automatisk av PMS/synkroniseringsenhet
- manuelt av maskinist

18.2

- a) «Fixed Load» betyr at generatoren holdes på en fast aktiv effekt uavhengig av total lastendring.

PMS regulerer de andre generatorene for å ta lastvariasjonene.

- b) DG1 holdes på 2500 kW.

Total last:

$$3200 - 2500 = 700 \text{ kW}$$

DG2 leverer derfor: 700 kW

- c) Asymmetrisk lastdeling brukes for:

- optimal drivstofføkonomi
- å holde enkelte motorer nær optimalt belastningsområde
- redusere soting ved lavlast
- prioritere nyere eller mer effektive generatorer

- d) Eksempler:

- DP-operasjon
- havneopphold
- hybride kraftsystemer
- drift med shaft generator
- drift der én generator har begrensninger

- e) Mulige ulemper:

- ulik slitasje
- høyere termisk belastning
- større risiko ved bortfall av hovedgenerator

- komplisert regulering
- dårlig reservekapasitet

18.3

a) Typisk sekvens:

1. Blackout registreres
2. Generatorbrytere åpnes
3. Nødgenerator starter
4. Viktige nødsystem får strøm
5. PMS starter hovedgenerator(er)
6. Generator synkroniseres
7. Hovedtavle spenningssettes
8. Forbrukere kobles inn sekvensielt

b) Vanligvis:

- smøreoljepumper
- kjølevannspumper
- kontrollsistem
- styremaskin
- navigasjonsutstyr
- brann- og alarmanlegg

c) Lastsekvensering hindrer:

- stort startstrømsjokk
- frekvenskollaps
- spenningsfall
- ny blackout

d) Mulige konsekvenser:

- overlast
- generatorvern løser ut
- spenningskollaps
- dieselmotor stopper
- ny blackout

e) Blackout recovery:

- gjenoppbygging etter totalt spenningsbortfall.

Main switchboard recovery:

- gjenoppbygging av hovedtavle etter tavlefeil eller spenningsfall, uten nødvendigvis full blackout.

18.4

a) Mulige årsaker:

- feil fasefølge,
- frekvens utenfor toleranse,
- spenningsavvik,
- defekt synkroniseringsrelé,
- feil på spenningsmåletransformator,
- kommunikasjonsfeil,
- sperresignal aktivt,
- generatorvern aktivert.

b) PMS må normalt motta:

- korrekt spenning,
- korrekt frekvens,
- korrekt fasevinkel,
- klar-signal fra vern,
- breaker ready-signal,
- motor ready-signal.

c) Feil spenningsmåling kan føre til:

- feil synkronisering,
- for stor innkoblingsstrøm,
- momentstøt,
- vern utfall,
- skade på generator og bryter.

d) Systematisk feilsøking:

1. Kontrollere alarmer.
2. Kontrollere generatorparametere.
3. Kontrollere synkroskop/synkroniseringssystem.
4. Kontrollere hjelpespenninger.
5. Kontrollere breaker feedback-signaler.
6. Kontrollere PMS I/O-signaler.
7. Kontrollere vernstatus.

8. Teste manuell synkronisering.

- e) Viktige sikkerhetsrutiner:
- LOTO-prosedyrer,
 - isolering av spenningsførende deler,
 - bruk av PPE,
 - følge tavleinstruks,
 - kommunikasjon med bro og maskinkontrollrom,
 - unngå arbeid alene på høyspenningsutstyr.

18.5

- a) Ja. Aktiv effekt er likt fordelt:
1200 kW på alle generatorene.
- b) Reaktiv lastdeling er svært ubalansert.
G1 leverer betydelig mer reaktiv effekt enn de andre.
- c) Reaktiv lastdeling reguleres hovedsakelig av:
- AVR (Automatic Voltage Regulator),
 - Eksitasjonssystemet,
 - spenningsreferanse,
 - droop-innstillinger.
- d) Mulige problemer:
- overoppheting,
 - ustabil spenning,
 - sirkulerende strømmer,
 - utfall av vern,
 - redusert generatorlevetid.
- e) Normalt justeres:
- spenningsdroop,
 - cross-current compensation,
 - AVR-parametere,
 - Eksitasjonsreferanse.

PMS overvåker og balanserer generatorenes reaktive effektfordeling.

Kapittel 19. Landstrøm.

19.1

- a) Typisk sekvens:
1. Kabel kobles fysisk til skipet.
 2. Jordingskontroll utføres.
 3. Spenningsverifiseres.
 4. Frekvens kontrolleres.
 5. Fasefølge kontrolleres.
 6. Synkronisering utføres.
 7. Landstrømbryter lukkes.
 8. Last overføres gradvis.
 9. Generatorer kobles ut.
- b) Følgende må være innenfor tillatte grenser:
- spenning,
 - frekvens,
 - fasevinkel,
 - fasefølge.
- c) Feil fasefølge kan føre til:
- feil rotasjonsretning på motorer,
 - skade på pumper og kompressorer,
 - høye mekaniske belastninger,
 - utfall av vern.
- d) Jordingskontroll skal:
- avdekke jordfeil,
 - sikre personbeskyttelse,
 - redusere risiko for lysbue og brann,
 - forhindre potensialforskjeller mellom land og skip.
- e) Automatisk overføring:
- styres av PMS eller automasjonssystem,
 - synkronisering og lastoverføring skjer automatisk.
- Manuell overføring:
- utføres av maskinist,
 - krever manuell kontroll av synkronisering og brytere.

19.2

- a) Synkront turtall er proporsjonalt med frekvensen:

$$\frac{50}{60} = 0,833$$

Motorhastigheten reduseres derfor til omtrent:

83,3%

Det tilsvarer en reduksjon på ca. 16,7 %.

- b) Lavere frekvens gir:

- høyere magnetiseringsstrøm,
- økt kjernetap,
- fare for metning i transformatorer,
- høyere strøm i motorer.

Dette kan føre til overoppheting.

- c) Mulige konsekvenser:

- redusert pumpekapasitet,
- dårlig kjøling,
- redusert ventilasjon,
- ustabile prosess systemer,
- fare for overoppheting av maskineri.

- d) Elektronisk utstyr kan:

- stoppe,
- få feil i strømforsyninger,
- få ustabil drift,
- gi frekvensalarmer.

Noe moderne utstyr tåler begge frekvenser, men ikke alt.

- e) PMS og vern skal normalt blokkere innkobling dersom:

- frekvens ikke stemmer,
- spenning er utenfor toleranse,
- fasefølge er feil,
- synkronisering mislykkes.

Dette beskytter skipets elektriske anlegg.

19.3

a) Aktiv effekt:

$$P = \sqrt{3}UI \cos \varphi = \sqrt{3} \times 11000 \times 3200 \times 0,92 = \underline{56 \text{ MW}}$$

b) Tilsynelatende effekt:

$$S = \sqrt{3}UI = \sqrt{3} \times 11000 \times 3200 = \underline{61 \text{ MVA}}$$

c) Høyspenning brukes fordi:

- strømmen blir lavere,
- mindre kabeltap,
- mindre kabelverrsnitt,
- bedre virkningsgrad,
- mulig å overføre store effekter.

d) Fordeler:

- redusert utslipp,
- mindre støy,
- redusert drivstofforbruk,
- mindre vedlikehold,
- bedre arbeidsmiljø i havn.

e) Utfordringer:

- komplisert sikkerhetssystem,
- krav til synkronisering,
- høye installasjonskostnader,
- krav til standardisering,
- fare ved høyspenningsarbeid.

19.4

a) Typisk prosedyre:

1. Start generator.
2. Stabiliser spenning og frekvens.
3. Synkroniser mot landstrøm.
4. Lukk generatorbryter.
5. Overfør last gradvis.
6. Åpne landstrømbryter.
7. Koble fra kabel.

- b) Synkronisering hindrer:
- store innkoblingsstrømmer,
 - momentstøt,
 - spenningsforstyrrelser,
 - utfall av vern,
 - skade på generator og bryter.
- c) Mulige konsekvenser:
- blackout,
 - frekvensfall,
 - spenningskollaps,
 - utfall av vern,
 - skade på utstyr.
- d) PMS regulerer:
- governor,
 - AVR,
 - lastdeling.

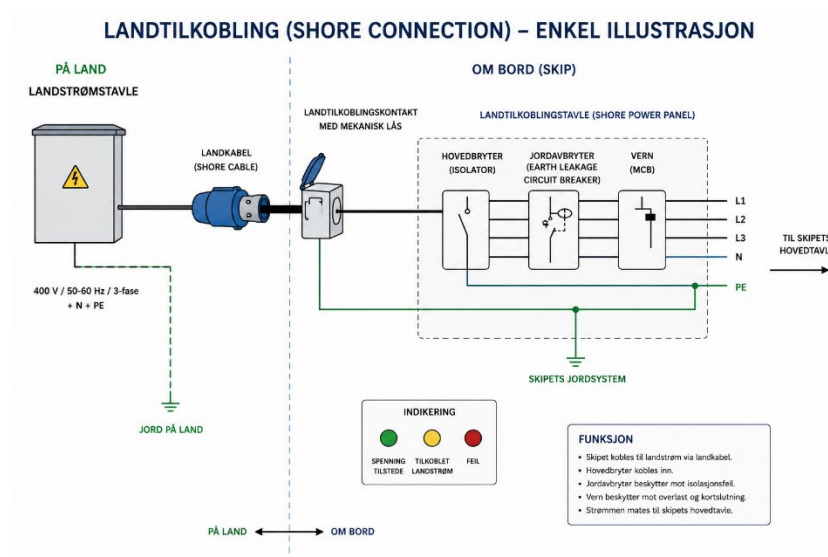
Lasten overføres gradvis fra land til generator uten avbrudd i forsyningen.

- e) Viktige vern:
- overstrømsvern,
 - revers effektvern,
 - underfrekvensvern,
 - underspenningsvern,
 - synkroniseringsvern,
 - jordfeilvern.

19.5

- a) Alarmen betyr at fasevinkelen mellom skipets nett og landstrøm er utenfor tillatt område for innkobling.
- b) Mulige årsaker:
- feil fasefølge,
 - ustabil frekvens,
 - feil på synkroniseringsrelé,
 - defekte spenningsmålinger,
 - treg governor regulering,

- kommunikasjonsfeil i PMS.
- c) Feil fasefølge kan oppdages med:
- fasefølgetester,
 - synkroskop,
 - faseindikator,
 - måleinstrument i tavle.
- d) Vanlige instrumenter:
- synkroskop,
 - spenningsmåler,
 - frekvensmåler,
 - faseindikator,
 - synkroniseringsrelé.
- e) Systematisk feilsøking:
1. Kontrollere spenning.
 2. Kontrollere frekvens.
 3. Kontrollere fasefølge.
 4. Kontrollere måletransformatorer.
 5. Kontrollere synkroniseringsrelé.
 6. Kontrollere PMS-signaler.
 7. Kontrollere vern og sperresignaler.
 8. Utføre manuell synkroniseringstest.



Kapittel 20. UPS.

20.1

- a) Hovedoppgaven til en UPS er å:
 - kritisk sikre avbruddsfri strømforsyning.
 - stabilisere spenning og frekvens.
 - beskytte utstyr mot strømforstyrrelser.
- b) Ved normal drift:
 - 1. AC-spenning går inn i likeretter.
 - 2. Likeretter lager DC-spenning.
 - 3. Batteriet holdes ladet.
 - 4. Inverter lager ny stabil AC-spenning.
 - 5. Lasten forsynes kontinuerlig fra inverteren.
- c) Ved bortfall av hoved forsyning:
 - batteriet overtar DC-forsyningen momentant,
 - inverteren fortsetter å levere AC-spenning,
 - lasten merker normalt ingen avbrudd.
- d) Static switch:
 - kobler lasten automatisk til bypass,
 - brukes ved overlast eller UPS-feil,
 - har svært kort omkoblingstid.
- e) Online UPS brukes fordi:
 - lasten alltid forsynes via inverter,
 - gir svært stabil spenning og frekvens,
 - ingen overgangstid ved strømbrudd,
 - god filtrering av støy og harmoniske.

20.2

- a) Ved normal drift:
 - lasten forsynes direkte fra nettet,
 - batteriet holdes ladet,
 - inverter står normalt i standby.
- b) Ved strømbrudd:
 - omkoblingsreleet aktiveres,
 - inverter starter,

- batteriet leverer energi til lasten.
- c) Typisk omkoblingstid:
 - 2–10 ms.
- d) Begrensninger:
 - liten spenningsregulering,
 - kort avbrudd ved omkobling,
 - dårlig filtrering av støy,
 - mindre egnet for følsomt utstyr.
- e) Kritiske marine systemer tåler ofte ikke:
 - spenningsdip,
 - kort avbrudd,
 - frekvensforstyrrelser.

Derfor brukes normalt Online UPS.

20.3

- a) Nødvendig DC-effekt:

$$P_{DC} = \frac{P_{AC}}{\eta} = \frac{8000}{0,92} = \underline{\underline{8696 \text{ W}}}$$

- b) Batteristrøm:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{8696}{240} = \underline{\underline{36,2 \text{ A}}}$$

- c) 45 minutter: 0,75 time

Batterikapasitet:

$$Q = I \cdot t = 36,2 \times 0,75 = \underline{\underline{27,2 \text{ Ah}}}$$

I praksis velges større kapasitet, eksempelvis 40–50 Ah.

- d) Sikkerhetsmargin brukes fordi:
- batterier eldes,
 - kapasiteten synker ved temperaturendringer,
 - høy belastning reduserer tilgjengelig kapasitet,
 - nød reserve kreves.
- e) Følgende påvirker kapasiteten:
- temperatur,
 - alder,
 - antall utladinger,
 - ladespenning,
 - vedlikehold,

- sulfatering.

20.4

- Booster:
 - øker lav nettspenning til normalt nivå.
- Fader:
 - reduserer for høy nettspenning.
- Line-interactive UPS:
 - lasten forsynes normalt direkte fra nettet,
 - spenningsregulering skjer via booster/fader.

Online UPS:

- lasten forsynes alltid via inverter.
- Batteriet kobles normalt inn ved:
 - totalt strømbrytning,
 - svært store spenningsavvik,
 - ustabil nettspenning.
 - Fordeler:
 - bedre spenningsregulering,
 - mindre belastning på batteri,
 - bedre beskyttelse mot spenningsvariasjoner,
 - høyere effektivitet.

20.5

- Ved automatisk bypass:
 - static switch kobler lasten direkte til nett/bypass,
 - omkoblingen skjer svært raskt,
 - lasten holdes i drift.
- Static bypass:
 - automatisk,
 - elektronisk styrt,
 - svært rask.

Manuell bypass:

- mekanisk bryter,
- brukes ved vedlikehold,
- krever operatørhandling.

c) Manglende synkronisering kan gi:

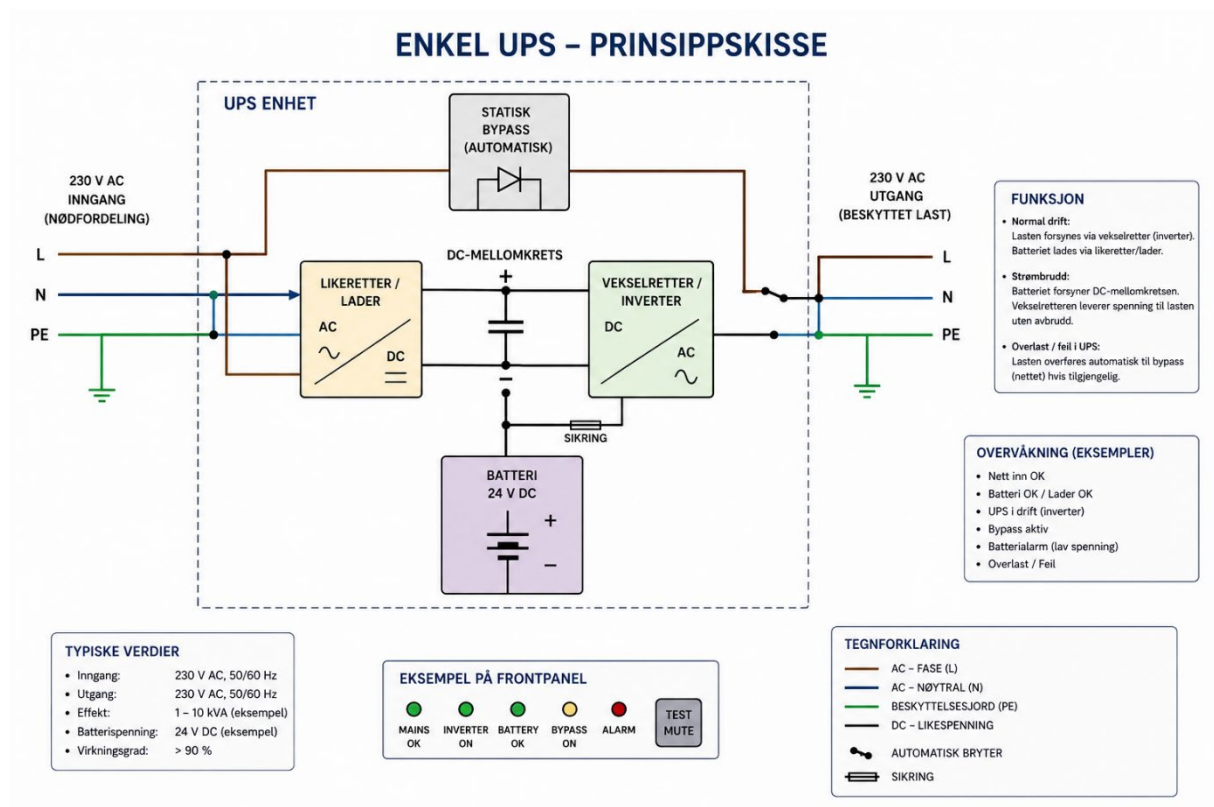
- store strømstøt,
- spenningssprang,
- skade på utstyr,
- utkobling av vern.

d) Mulige farer:

- feilmanøvrering,
- kortslutning,
- lysbue,
- blackout,
- personskade.

e) Bypass er viktig for:

- vedlikehold uten strømbrudd,
- reserveforsyning ved UPS-feil,
- høy driftssikkerhet,
- kontinuerlig drift av kritiske systemer.



Kapittel 21. PLS.

21.1

a) En PLS brukes til:

- automatisk styring,
- overvåking,
- logiske operasjoner,
- sekvensstyring av prosesser og maskineri.

b) CPU-en:

- leser inngangssignaler,
- utfører programmet,
- behandler logiske funksjoner,
- oppdaterer utgangene,
- overvåker feil og kommunikasjon.

c) Digitale innganger:

- mottar signaler til PLS,
- eksempel: brytere, nivåvakter og sensorer.

Digitale utganger:

- sender signaler fra PLS.
- eksempel: kontaktorer, ventiler og alarmer.

d) Typisk scan cycle:

1. Leser innganger.
2. Utfører programlogikk.
3. Oppdaterer utganger.
4. Utfører intern diagnostikk.
5. Starter ny syklus.

Dette skjer kontinuerlig.

e) PLS brukes mye fordi:

- høy driftssikkerhet,
- fleksibel programmering,
- enkel feilsøking,
- enkel integrasjon mot automasjonssystem,
- tåler industrielle miljø.

21.2

- a) Det brukes en OG-funksjon (AND).

Pumpen starter bare dersom begge signalene er aktive samtidig.

- b)

LS1	TS1	Utgang
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

- c) IKKE-funksjon brukes slik at:

- normalt lukket stoppsignal gir drift,
- aktiv stoppknapp bryter logikken.

- d) Pumpen starter ikke.

Begge vilkår må være oppfylt samtidig.

Logiske porter brukes for:

- beslutningslogikk,
- sikkerhetsfunksjoner,
- sekvensstyring,
- automatisering av prosesser.

21.3

- a) Selvlåsing betyr at:

- utgangen holder seg aktiv etter startsignal,
- systemet «husker» startkommandoen,

- b) I ladder:

- startkontakt aktiverer K1,
- hjelpekontakt fra K1 legges parallelt med startknappen,
- stoppknapp ligger i serie.

- c) Ved spenningsbortfall:

- kontaktoeren slipper,
- pumpen stopper,
- ny startkommando må gis.

- d) Selvlåsing brukes fordi:

- operatøren slipper å holde inne startknappen,
 - gir stabil drift,
 - brukes i motorstartere og prosessanlegg,
- e) Ved feil i logikken kan utstyr:
- starte uventet,
 - fortsette å gå ved feil.

Derfor brukes sikkerhetsvern og nødstopper.

21.4

- a) Mulige årsaker:
- defekt sensor,
 - kabelbrudd,
 - jordfeil,
 - løs tilkobling,
 - defekt inngangskort,
 - manglende 24 V DC.
- b) Signalspenning kontrolleres med:
- voltmeter,
 - måling mellom signal og referanse/jord.
- c) For lav spenning kan føre til:
- at inngangen ikke registreres,
 - ustabil drift,
 - feiltolkning i CPU.
- d) LED-indikatorer kan vise:
- aktiv inngang,
 - kommunikasjonsfeil,
 - CPU-feil,
 - Spenningsfeil.
- e) Systematisk prosedyre:
1. Kontrollere sensor.
 2. Kontrollere 24 V DC.
 3. Kontrollere kabel.
 4. Kontrollere terminaler.
 5. Kontrollere LED-indikator.

6. Måle inngangssignal.
7. Kontrollere programstatus.
8. Teste med reservesignal.

21.5

- a) Aktiv utgang betyr at:
 - CPU-en sender styresignal til utgangskortet.
- b) Mulige feil:
 - defekt kontaktor,
 - kabelbrudd,
 - manglende styrespenning,
 - løse terminaler,
 - defekt sikring,
 - mekanisk blokkering.
- c) Kontroll:
 - måle spenning på utgangsterminal,
 - kontrollere LED-indikator,
 - teste med prøvelampe eller multimeter.
- d) Feil spenningsnivå kan føre til:
 - manglende aktivering,
 - skade på utgangskort,
 - ustabil drift,
 - varmgang.
- e) Trinnvis feilsøking:
 1. Kontrollere programstatus.
 2. Kontrollere LED-indikator.
 3. Måle utgangsspenning.
 4. Kontrollere sikringer.
 5. Kontrollere kontaktor.
 6. Kontrollere kabling.
 7. Teste manuell aktivering.
 8. Kontrollere CPU-feil og alarmer.

21.6

- a) En jordsløyfe oppstår når:
 - flere jordpunkter gir sirkulerende strøm i skjerm eller jordleder.

b) Jordsløyfer kan føre til:

- støy,
- målefeil,
- ustabile signaler,
- feilalarmer.

c) Skjermen jordes normalt:

- i én ende,
- ofte i tavlesiden.

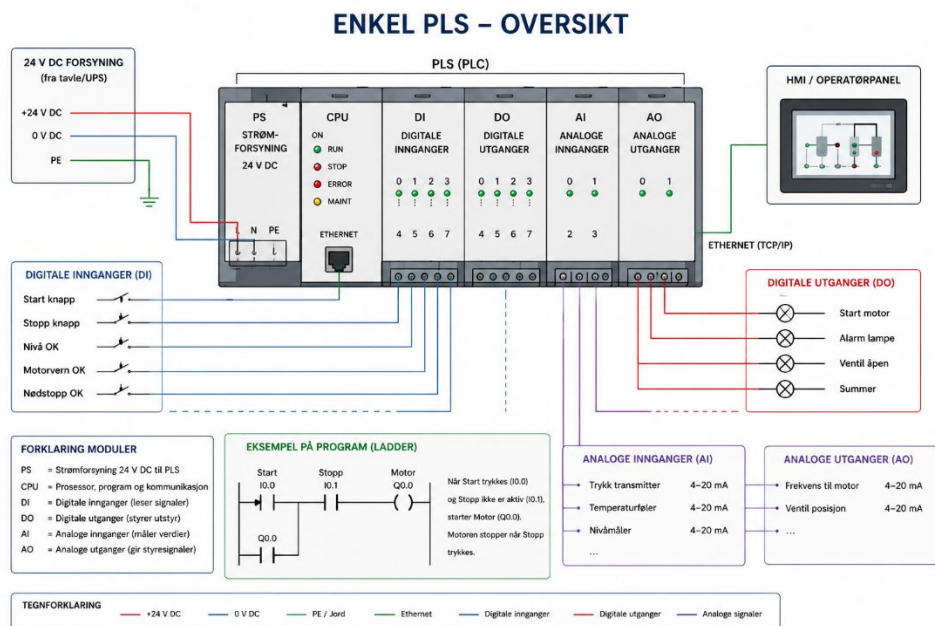
Dette reduserer sirkulerende strømmer.

d) Mulige symptomer:

- hoppende måleverdier,
- feilalarmer,
- ustabil regulering,
- kommunikasjonsfeil.

e) Tiltak:

- korrekt skjermjording,
- fysisk separasjon fra kraftkabler,
- EMI-filter,
- ferrittkjerner,
- bedre jordingssystem,
- bruk av galvanisk isolasjon.



Kapittel 22. Høyspent.

22.1

- a) I maritime anlegg regnes normalt:
 - spenning over 1000 V AC som høyspenning.
- b) Høyspenning brukes fordi store skip har:
 - svært høyt effektbehov,
 - lange kabelstrek,
 - store elektriske motorer.
- c) Fordeler:
 - lavere strøm,
 - mindre kabelverrsnitt,
 - mindre effekttap,
 - bedre virkningsgrad,
 - enklere kraftoverføring over lange avstander.
- d) Ekstra farer:
 - lysbue,
 - dødelig strømgjennomgang,
 - store kortslutningsenergier,
 - eksplosjonsfare,
 - vanskeligere slukking av feil.
- e) Vanlige høyspentforbrukere:
 - thrustere,
 - fremdriftsmotorer,
 - store kompressorer,
 - store pumper,
 - høyspenttransformatorer.

22.2

- a) Driftsleder har overordnet ansvar for:
 - sikker drift av høyspenningsanlegget,
 - prosedyrer,
 - kompetanse,
 - godkjenning av arbeid.

- b) LFK:
 - utfører koblinger,
 - spennings setter eller frakobler anlegg,
 - sikrer korrekt koblingsrekkefølge,
 - dokumenterer koblinger.
- c) LFS:
 - leder det praktiske sikkerhetsarbeidet,
 - kontrollerer at anlegget er sikkert,
 - sørger for arbeidsjording,
 - informerer arbeidslaget.
- d) Rollefordeling:
 - hindrer misforståelser,
 - reduserer risiko,
 - sikrer klare ansvarsforhold,
 - øker personsikkerheten.
- e) Sikkerhetskort brukes til:
 - å dokumentere at anlegget er sikret,
 - vise hvem som arbeider på anlegget,
 - hindre utilsiktet innkobling.

22.3

- a) Arbeidsjording beskytter mot:
 - induksjonsspenning,
 - feilinnkobling,
 - restspenning,
 - kapasitiv opplading.
- b) Korrekt rekkefølge:
 1. Frakoble anlegg.
 2. Sikre mot innkobling.
 3. Kontrollere spenningsløs tilstand.
 4. Koble jordingsapparat til jord.
 5. Koble til faselederne.
 6. Kontrollere at jording sitter korrekt.
- c) Spenningsdetektor brukes for å:

- kontrollere at anlegget faktisk er spenningsløst,
 - unngå livsfarlig feiljording på spenningssatt anlegg.
- d) Jord kobles først for:
- å sikre operatøren,
 - hindre at jordingsutstyr blir spenningssatt.
- e) Feil arbeidsjording kan føre til:
- dødelig elektrisk støt,
 - lysbue,
 - eksplosjon,
 - alvorlig personskade,
 - skade på utstyr.

22.4

- a) For liten bøyeradius kan:
- skade isolasjonen,
 - deformere lederen,
 - redusere levetid.
- b) Mulige konsekvenser:
- delutladninger,
 - isolasjonssvikt,
 - kortslutning,
 - varmgang.
- c) Endeterminering:
- avslutning av kabel,
 - elektrisk og mekanisk tilkobling,
 - kontroll av elektrisk feltfordeling.
- d) Korrekt skjermjording:
- leder bort feilstrømmer,
 - reduserer elektromagnetisk støy,
 - forbedrer personsikkerhet.
- e) Dårlig terminering kan føre til:
- lysbue,
 - varmgang,
 - delutladninger,

- jordfeil,
- havari.

22.5

- a) Viktig PPE:
 - lysbuebekledning,
 - isolerende hansker,
 - visir,
 - hjelm,
 - vernesko,
 - hørselsvern.
- b) Lysbuebekledning:
 - beskytter mot varme,
 - reduserer brannskader,
 - beskytter mot trykkbølge og smeltet metall.
- c) Isolerstang brukes for:
 - sikker betjening på avstand,
 - redusere risiko for strømgjennomgang.
- d) Risikoavstand:
 - minste sikre avstand til spenningssatt anlegg.

Innenfor denne avstanden kreves spesielle tiltak.
- e) Tilgangsstyring:
 - hindrer uvedkommende adgang,
 - reduserer ulykkesrisiko,
 - sikrer at kun kvalifisert personell arbeider i anlegget.

22.6

- a) Dette kan tyde på:
 - lysbuefeil,
 - kortslutning,
 - isolasjonshavari,
 - bryterfeil.
- b) Umiddelbare tiltak:
 1. Sikre personell.
 2. Varsle bro/maskinkontrollrom.

3. Koble ut anlegget dersom mulig.
 4. Evakuere området.
 5. Følge nødprosedyrer.
- c) Lysbue kan gi:
- ekstrem varme,
 - trykkbølge,
 - smeltet metall,
 - alvorlige brannskader,
 - eksplosjon.
- d) Ventilasjon er viktig fordi:
- giftige gasser kan dannes,
 - røyk reduserer sikt,
 - varme må fjernes.
- e) Før spenningssetting:
- visuell inspeksjon,
 - isolasjonsmåling,
 - kontroll av vern,
 - kontroll av jordingssystem,
 - kontroll av brytere,
 - eventuell termografering,
 - årsaksanalyse av feilen.

22.7

- a) Forberedelser før arbeid.

Før arbeidet starter må følgende utføres:

- risikovurdering/SJA,
- arbeidstillatelse utstedes,
- driftsleder godkjenner arbeidet,
- arbeidsområde sperres av,
- nødvendig verneutstyr klargjøres,
- koblingsskjema og prosedyrer gjennomgås,
- reservedeler og løfteutstyr kontrolleres,
- arbeidslag informeres om risiko og roller.

b) Rollefordeling.

Driftsleder.

Har overordnet ansvar for:

- sikker drift av HV-anlegget,
- godkjenning av arbeid,
- prosedyrer og kompetanse.

LFK (leder for kobling).

Ansvarlig for:

- koblingsoperasjoner,
- frakobling og spenningssetting,
- kontroll av koblingsrekkefølge,
- dokumentasjon av koblinger.

LFS (leder for sikkerhet).

Ansvarlig for:

- sikker gjennomføring av arbeidet,
- arbeidsjording,
- kontroll av spenningsløs tilstand,
- sikkerheten til arbeidslaget.

c) Frakobling og sikring.

Typisk prosedyre:

1. Stoppe motor normalt,
2. Åpne generator-/motorbryter,
3. Trekke ut bryter dersom mulig,
4. Låse bryter i åpen stilling,
5. Henge opp sikkerhetskort,
6. Isolere eventuelle hjelpesystem,
7. Kontrollere at korrekt motor er frakoblet,
8. Sperre mot fjerninnkobling.

d) Spenningskontroll og arbeidsjording.

Spenningskontroll.

Først kontrolleres spenningsdetektoren på kjent spenningsatt punkt.

Deretter:

- måles alle faser,
- kontroll mellom fase–fase,

- kontroll mellom fase-jord.

Til slutt funksjonstestes spenningsdetektoren på nytt.

Arbeidsjording.

Korrekt rekkefølge:

1. Koble jordingsapparat til jord først.
2. Koble deretter til faselederne.
3. Kontrollere at jordingsutstyr sitter korrekt.
4. Montere synlig arbeidsjording nær arbeidsstedet.

e) Personlig verneutstyr.

Nødvendig PPE:

- lysbueklassifisert bekledning,
- isolerende hansker,
- hjelm med visir,
- vernesko,
- hørselsvern,
- isolerende matte ved behov,

f) Farer etter frakobling.

Selv etter frakobling kan følgende farer eksistere:

- restspenning,
- kapasitiv opplading,
- induksjonsspenning,
- feilinnkobling,
- jordfeil fra andre systemer.

Derfor er spenningskontroll og arbeidsjording kritisk.

g) Kontrollpunkter ved montering.

Viktige kontrollpunkter:

- korrekt motorretning,
- riktig spenningsnivå,
- korrekt kabelterminering,
- korrekt fasekobling,
- kontroll av bøyeradius på HV-kabler,
- korrekt skjermjording,
- kontroll av fundament og oppretting,
- tiltrekking med korrekt moment,

- kontroll av kjølesystem og smøring.
- h) Tester før spenningssetting.
- Følgende tester bør utføres:
- isolasjonsmåling (megger),
 - kontinuitetsmåling,
 - fasekontroll,
 - jordingskontroll,
 - kontroll av vern,
 - kontroll av temperaturfølere,
 - kontroll av rotasjonsretning,
 - eventuell høyspentprøving etter prosedyre.

- i) Sikker spenningssetting og prøvestart.

Typisk prosedyre:

1. Fjerne verktøy og midlertidig utstyr.
2. Kontrollere at personell er ute av fareområdet.
3. Fjerne arbeidsjording.
4. Fjerne sikkerhetskort etter godkjenning.
5. LFK spennings setter anlegget.
6. Kontrollere unormale lyder/lukt.
7. Utføre kort prøvestart.
8. Kontrollere strøm, vibrasjon og temperatur.
9. Kontrollere rotasjonsretning.
10. Utføre belastningstest.

- j) Dokumentasjon etter arbeid.

Følgende dokumenteres:

- utført arbeid,
- måleresultater,
- isolasjonsverdier,
- innstillinger av vern,
- eventuelle avvik,
- hvem som utførte arbeidet,
- tidspunkt for spenningssetting,
- oppdatering av vedlikeholdssystem,
- signering av arbeidstillatelse og sikkerhetskort.