2016-05-23

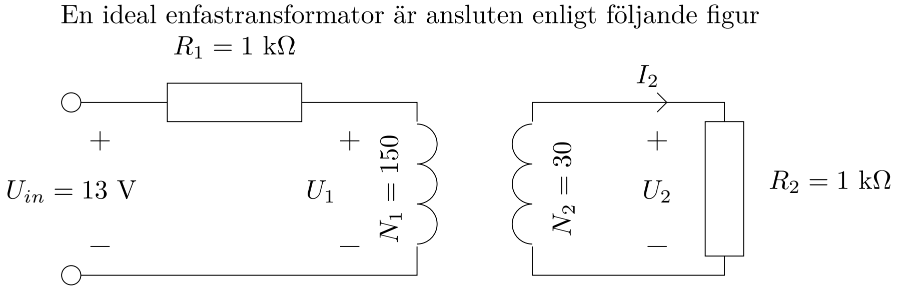
ISY/Fordonssystem

TSFS11 - Energitekniska system Kompletterande lektionsuppgifter

Lektion 2

Uppgift K2.1

En ideal enfastransformator är ansluten enligt följande figur



Bestäm spänningen U_2 och strömmen I_2. För transformatorn gäller att primärsidans lindning har 150 varv medans sekundärlindningen har 30.

Uppgift K2.2

En 5 kVA, 200/400 V enfastransformator för 50 Hz gav följande värden vid ett korslutningsprov respektive tomgångsprov:

$U_{2K} = 17,5$ V, $I_K = 12,5$ A, $P_{FKM} = 75$ W, $U_0 = 200$ V, $I_0 = 0.7$ A, $P_{F0} = 60$ W. Transformatorn märkbelastas då den är ansluten till ett 200V nät.

a) Beräkna sekundär spänning och verkningsgrad, om lastens effektfaktor är 0,8 ind.

b) Beräkna total ström på primärsidan (tomgångsström + belastningsström)i uppg a).

Uppgift K2.3

En enfastransformator har märkvärdena $S = 2$ kVA, 230/115 V och 50 Hz. Man har vid tomgångsprov och kortslutningsprov fått följande resultat:

$P_{F0} = 5$ W $\qquad$ $P_{FKM} = 18$ W $\qquad$ $U_{1K} = 8$ V

a) Rita ett ekvivalent schema för transformatorn. Sätt ut spänningar, strömmar och lastelement.

b) Transformatorn kopplas in till märkspänning och belastas med 90% av märkströmmen (dvs x=0.9). Hur stor blir den sekundära spänningen U_2 om lasten är induktiv med effektfaktorn $\cos\varphi_2 = 0.8$.

c) Ett kondensatorbatteri som perfekt faskompenserar lasten kopplas in (dvs så att $\cos\varphi_2 = 1$). Hur stor blir de nya U_2 respektive I_2

Lektion 3

Uppgift K3.1

På en trefastransformator med data: 100 kVA, 3800/230 V, har tomgångs- och kortslutningsprov gjorts på vanligt sätt, varvid erhölls: $P_{F0} = 965$ W, $U_{1K} = 116$ V, $P_{FKM} = 1120$ W. Transformatorn märkbelastades med med $\cos\varphi = 0,8$ ind. Beräkna sekundärspänningen U_2, från nätet upptagen effekt samt verkningsgrad.

Uppgift K3.2

En 120 kVA, 20/3,2 kV trefastransformator har $u_z = 5,0\%$ och $P_{FKM} = 3,0$ kW. Beräkna sekundärspänningen U_2 då transformatorn ansluts till 20 kV och belastas med 50 kW (uteffekt) med effektfaktorn $\cos\varphi = 0,8$.

Uppgift K3.3

En 40 km lång trefas luftlednig av koppar har arean 120 mm^2 och reaktansen 0,4 Ω/km och fas. I ena ändpunkten tar man ut en symmetrisk trefasbelastning på 12 MW vid $\cos\varphi = 0,8$ ind. Beräkna spänningen i ledningens inmatningsände om spänningen i belastningsänden skall vara 54 kV.

Uppgift K3.4

Från en trefas 50 kV luftledning med resistansen 5 Ω/fas och induktiva reaktansen 10 Ω/fas är effektuttaget 10 MW vid effektfaktorn 0,7 ind. Spänningen i mottagaränden är då 50 kV. Spänningen i inmatningsänden är oberoende av den inmatade effekten i ledningen.

a) Beräkna spänningen i mottagaränden om effektuttaget ökar 50% vid oförändrad effektfaktor.

b) Beräkna spänningen i mottagaränden när ledningen belastas med 50% mer effekt enligt ovan när förlusterna är minsta möjliga.

Uppgift K3.5

En 400 kV ledning har en seriereaktans på 0.5 H per fas och serieresistansen kan försummas. Ledningen sitter i det svenska transmissionsnätet. Spänningen på båda sidor om ledningen är 400 kV och strömmen på ledningen är 600A.

a) Hur stor aktiv effekt överförs på ledningen.

b) Hur stor reaktiv effekt förbrukar ledningen i detta fall och hur mycket matas in från respektive sida.

c) Rita ett visardiagram. Välj en av spänningarna som referens. Vad blir överföringsvinkeln för detta fall?

Lektion 5

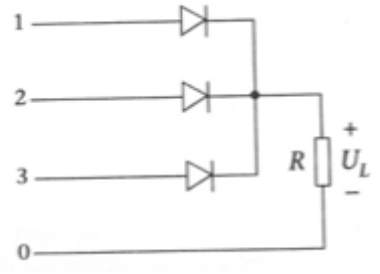
Uppgift K5.1

Till en hissmotor användes en trefas asynkronmotor. Den är märkt 11 kW, 960 rpm, $m_{ST} = 1.7$, och ett tröghetsmoment $J_M = 0.14\text{kgm}^2$. Beräkna starttiden vid direktstart.

Lektion 8

Uppgift K8.1

En trepuls likriktare med dioder matar en resistiv belastning enligt figuren nedan. $U_H = 400$V, 50 Hz.



a) Skissa den likriktade spänningens momentanvärde i ett diagram. Gradera axlarna.

b) Beräkna likriktade medelvärdet U_L.

Uppgift K8.2

En tvåpuls likriktare med tyristorer matar en rent resistiv last. Nätspänningen är 220 V, 50 Hz.

a) Inom vilket område kan spänningen ställas in?

b) Beräkna spänningsnivån för tändvinkel $\alpha = 60°$.

Uppgift K8.3

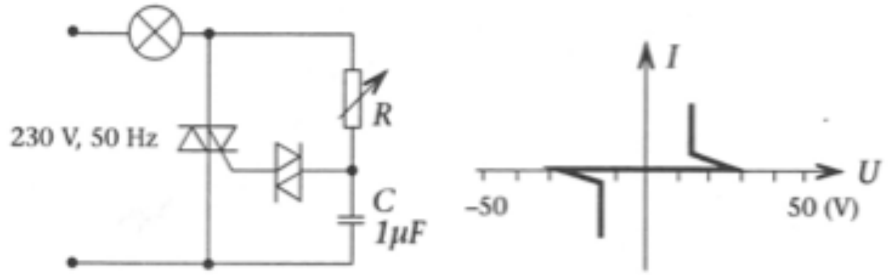
En trepuls likriktare med tyristorer är ansluten till 400 V, 50 Hz och matar en resistiv last.

a) Rita kopplingsscheman och ett tidsdiagram med graderade axlar som visar hur den likriktade spänningen ser ut för tändvinkeln 60°. Beräkna likspänningens medelvärde.

b) Inom vilka gränser kan likspänningens gränser varieras?

Uppgift K8.4

I kretsen nedan är lampan släckt när R har ett högt värde.



Om man minskar R når man till slut ett värde då lampan tänds.

a) Beräkna detta värde på R om DIACen har den karakteristika som vissas ovan.

b) Skissa utseendet på spänningen över lampan vid tändvinkeln 90° och beräkna dess effektivvärde.

c) Vilken effektutveckling erhålles i lampan vid tändvinkels 90° om resistansen i lampan är 600 Ω.

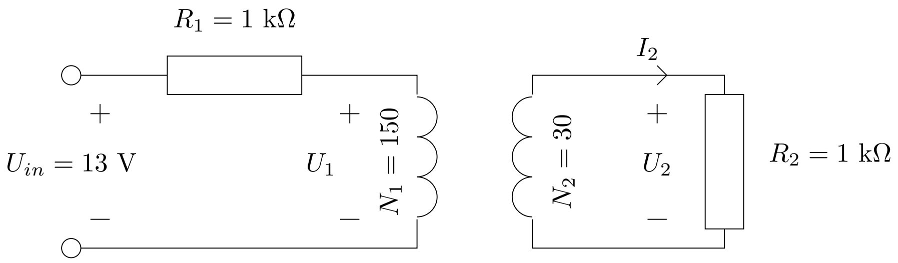
Lösningsförslag

Lektion 2

Lösning K2.1

Uppgiften behandlar överreducering av en last till primärsidan och använding av spänningslagen.

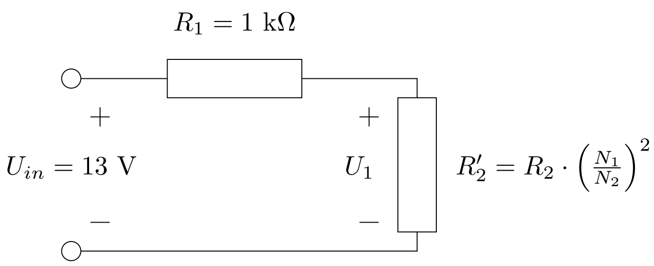
Givet:



Sökt:

- U_2
- I_2

Lösning:
För att slippa ställa upp ett ekvationssystem för spänningar och strömmar i kretsen kan sambandet för överreducering av en last till primärsidan användas. Det ekvivalenta kretsschemat blir då



Nu kan U_1 räknas ut, antingen med spänningsdelningslagen eller genom att räkna ut strömmen I_1 och multiplicera med R_2'

$$R_2' = 10^3 \cdot \left(\frac{150}{30}\right)^2 = 25 \text{ k}\Omega$$

$$I_1 = \frac{U_{in}}{R_1 + R_2'} \Rightarrow U_1 = U_{in}\frac{R_2'}{R_1 + R_2'} = 12.5 \text{ V}$$

Spänningslagen $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$ tillsammans med ohms lag $U = RI$ ger oss

$$U_2 = U_1\frac{N_2}{N_1} = 12.5 \cdot \frac{30}{150} = 2.5 \text{ V}$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{2.5}{1000} = 2.5 \text{ mA}$$

Lösning K2.2

Uppgiften behandlar spänningsfallsformeln, kortslutnings resp tomgångsprov samt effektivitetsberäkningar för en enfastransformator. Notera att det är en **enfas**transformator.

Givet:

- $S_M = 5$ kVA, $U_{1M} = 200$ V, $U_{2M} = 400$ V, f = 50 Hz, Notera att det är fasspänningar (enfastransformator)
- $U_{2K} = 17.5$ V, $I_K = 12.5$ A, $P_{FKM} = 75$ W, $U_0 = 200$ V, $I_0 = 0.7A$, $P_{F0} = 60$ W
- Transformatorn arbetar under märkbelastning och är ansluten till ett 200 V nät

Sökt:

a) U_2 och η vid $\cos\phi_2 = 0.8$ ind.

b) I_{Tot} dvs tomgångs och belastningsström i uppg. a)

Lösning:

a) För att räkna ut spänningen på sekundärsidan, U_2 kan vi använda spänningsfallsformeln

$$U_{20} \approx U_2 + I_2(R_{2K}\cos(\phi_2) + X_{2K}\sin(\phi_2)) \tag{1}$$

Här är allt utom U_2 storheter som enkelt kan räknas ut.

I_2: Transformatorn märkbelastas så $I_2 = I_{2M}$. Dessutom är $S_M = U_M \cdot I_M$ vilket ger att $I_{2M} = \frac{S_M}{U_{2M}} = \frac{5000}{400} = 12.5$ A.

U_{20}: Enligt uppgiften är $U_1 = 200$, $U_{1M} = 200$, $U_{2M} = 400$. Spänningslagen ger då

$$U_{20} = U_1\frac{N_2}{N_1} = U_1 \cdot \frac{U_{2M}}{U_{1M}} = 400 \text{ V}$$

R_{2K}: Kortslutningsförlusten vid märkström P_{FKM} är mätt vid märkström så $I_K = I_{2M} = 12.5$ A. Resistansen blir därmed

$$P_{FKM} = R_{2K}I_{2K}^2 \Rightarrow$$
$$R_{2K} = \frac{P_{FKM}}{I_K^2} = 0.48\ \Omega$$

X_{2K}: Ohms lag, $U = Z \cdot I$, samt sambandet mellan $\mathbf{Z}$, X och R ger

$$Z_{2K} = \sqrt{R_{2K}^2 + X_{2K}^2} \Rightarrow X_{2K} = \sqrt{Z_{2K}^2 - R_{2K}^2}$$
$$Z_{2K} = \frac{U_{2K}}{I_{2K}} = \frac{17.5}{12.5} = 1.40\ \Omega \Rightarrow$$
$$X_{2K} = \sqrt{Z_{2K}^2 - R_{2K}^2} = \sqrt{1.40^2 - 0.48^2} = 1.32\ \Omega$$

Spänningsfallsformeln (1) ger nu

$$U_2 \approx 400 - 0.48 \cdot 12.5 \cdot 0.8 - 1.32 \cdot 12.5 \cdot 0.6 = 385.3 \text{ V}$$

där $\cos(\phi) = 0.8 \Rightarrow \sin(\phi) = 0.6$ har använts.

Effektiviteten beskriver förhållandet mellan uttagen effekt och instoppad effekt och skrivs

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{x \cdot P_{2M}}{x \cdot P_{2M} + P_{F0} + x^2 \cdot P_{FKM}}$$

där

$$x = \frac{I_2}{I_{2M}} = 1 \text{ (belastningsgraden, dvs strömmen i förhållande till märkströmmen)}$$
$$P_{2M} = U_2 \cdot I_{2M} \cos(\phi) = 385.3 \cdot 12.5 \cdot 0.8 = 3853 \text{ W (avgiven effekt vid märkdrift)}$$

vilket alltså ger att

$$\eta = \frac{P_{2M}}{P_{2M} + P_{F0} + P_{FKM}} = \frac{3853}{3853 + 60 + 75} = 0.966 = 96.6\ \%$$

b) Målet är att räkna ut $\mathbf{I}_{Tot} = \mathbf{I}_0 + \mathbf{I}_1$.

$\mathbf{I}_0$: Vinkeln för $\mathbf{I}_0$ fås från tomgångsförlusterna och storleken är given i uppgiften

$$P_{F0} = U_{10} \cdot I_{10} \cdot \cos(\phi_0) \Rightarrow \cos(\phi_0) = \frac{P_{F0}}{U_{10} \cdot I_{10}} = \frac{60}{200 \cdot 0.7} = 0.43 \Rightarrow \phi = -64.6^\circ \Rightarrow$$
$$\mathbf{I}_{10} = 0.7 \cdot e^{-j64.6^\circ} \quad \text{med } U_{10} \text{ som vinkelreferens (} \phi < 0 \text{ ty kretsen är induktiv)}$$

$\mathbf{I}_1$: Vinkeln för I_1 och I_2, dvs ϕ_1 och ϕ_2 är i princip lika eftersom I_0 är mycket mindre än I_1. Strömlagen ger att

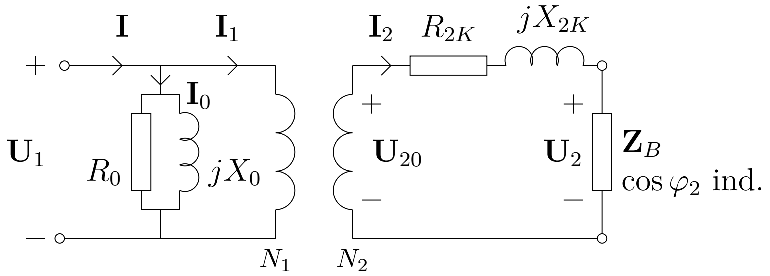
$$I_1 = I_2 \left(\frac{N_2}{N_1}\right) = I_2 \left(\frac{U_{2M}}{U_{1M}}\right) = 12.5 \cdot \frac{400}{200} = 25 \text{ A} \Rightarrow \Big/ \phi_1 \approx \phi_2 = \arccos(0.8) = 36.9^\circ \Big/ \Rightarrow$$
$$\mathbf{I}_1 = 25 \cdot e^{-j36.9^\circ}$$

$$\begin{aligned}
\mathbf{I}_{Tot} &= \mathbf{I}_{10} + \mathbf{I}_1 = 0.7 \cdot e^{-j64.6^\circ} + 25 \cdot e^{-j36.9^\circ} = \\
&0.7 \cdot (\cos(-64.6^\circ) + j\sin(-64.6^\circ) + 25 \cdot (\cos(-36.9^\circ) + j\sin(-36.9^\circ)) = \\
&= 0.7 \cdot (0.43 - j \cdot 0.9) + 25 \cdot (0.8 - j \cdot 0.6) = \\
&= 20.3 - j \cdot 15.632 = \sqrt{(}20.3^2 + 15.63^2) \cdot e^{j \arctan(\frac{-15.63}{20.3})} = \\
&= 25.6e^{-j37.6}
\end{aligned}$$

Vissa miniräknare klarar av att summera de komplexa talen direkt, på andra måste man själv växla mellan rektangulär och polär form. Uträkningen ovan fungerar dock alltid.

Lösning K2.3

a)



b) Använd spänningsfallsformeln $U_{20} \approx U_2 + I_2 \cdot (R_{2K} \cdot \cos(\varphi) + X_{2K} \cdot \sin(\varphi))$. Börja med att räkna ut märkströmmen

$$I_{2M} = \frac{S_M}{U_{2M}} = 17.4 \text{ A}$$

Vi kan nu räkna ut kortslutningsströmmar, okända kortslutningseffekter, och slutligen X_{2K} samt R_{2K} enligt

$$I_{2K} = I_{2M} = 17.4 \text{ A} \qquad U_{2K} = \frac{U_{2M}}{U_{1M}} \cdot U_{1K} = \frac{115}{230} \cdot 8 = 4 \text{ V}$$

$$S_{FKM} = U_{2K} \cdot I_{2K} = 69.6 \text{ VA} \qquad Q_{FKM} = \sqrt{S_{FKM}^2 - P_{FKM}^2} = 67.2 \text{ VAr}$$

$$R_{2K} = \frac{P_{FKM}}{I_{2K}^2} = 0.0595\,\Omega \qquad X_{2K} = \frac{Q_{FKM}}{I_{2K}^2} = 0.222\,\Omega$$

För det aktuella belastningsfallet gäller att $\cos\varphi = 0.8$, $I_2 = x \cdot I_{2M} = 0.9 \cdot I_{2M} = 15.7$ A och $U_1 = U_{1M} \Rightarrow U_{20} = U_{2M}$. Vi får då

$$
\begin{aligned}
U_2 &\approx U_{20} - I_2 \cdot (R_{2K} \cdot \cos(\varphi) + X_{2K} \cdot \sin(\varphi)) = \\
&= 115 - 15.7 \cdot (0.595 \cdot 0.8 + 0.2222 \cdot 0.6) = 112.2 \text{ V}
\end{aligned}
$$

c) Antag t.ex. att lasten består av en parallellkopplad resistans/induktans. Vi får då att

$$
\begin{aligned}
P_{\text{Load}} &= U_2 \cdot I_2 \cdot \cos(\varphi_2) = 1404 \text{ W} \\
R_{\text{Load}} &= \frac{U_2^2}{P_{\text{Load}}} = 8.96\,\Omega
\end{aligned}
$$

Efter faskompenseringen så tar induktanser och kapacitanser hos lasten ut varandra så endast R_{Load} blir kvar. Den totala lasten på sekundärsidan (inkl R_{2K} och X_{2K}) blir $\bar{Z}_{Tot} = R_{\text{Load}} + R_{2K} + j \cdot X_{2K} = 9.02 + j \cdot 0.222$. Vi får därmed

$$
\begin{aligned}
I_{2,\text{ny}} &= \frac{U_{20}}{Z_{Tot}} = \frac{115}{\sqrt{9.02^2 + 0.222^2}} = 12.75 \text{ A} \\
U_{2,\text{ny}} &= I_{2,\text{ny}} \cdot R_{\text{Load}} = 114.2 \text{ V}
\end{aligned}
$$

Alternativ: En alternativ, mindre exakt, lösning hade varit att försumma det faktum att U_2 och därmed P_{Load} förändras när I_2 ändras p.g.a den nya fasvinkeln. Vi hade då med spänningsfallsformeln fått

$$
\begin{aligned}
I_{2,\text{ny}} &= \frac{P_{\text{Load}}}{U_2} = 12.5 \text{ A}, \text{ (dvs strömmen minskade precis en faktor } \cos\varphi_2 = 0.8) \\
U_{2,\text{ny}} &\approx U_{20} - I_{2,\text{ny}} \cdot R_{2K} = 115 - 12.5 \cdot 0.0595 = 114.2 \text{ V}
\end{aligned}
$$

För att använda denna lösning så är det dock viktigt att man talar om vad det är man har försummat.

Lektion 3

Lösning K3.1

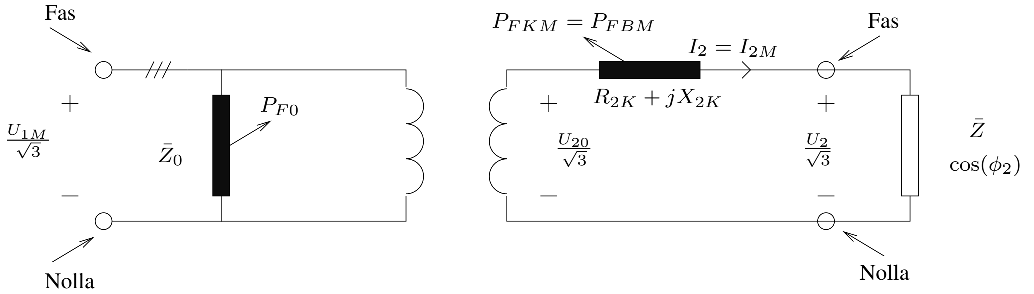
Uppgiften behandlar spänningsfallsformeln, kortslutnings resp tomgångsprov samt effektivitetsberäkningar för en trefastransformator. Notera att det är en **trefas**transformator.

Givet:

- $S_M = 100$ kVA, $U_{1M} = 3800$ V, $U_{2M} = 230$ V, Notera att det är huvudspänningar (trefastransformator)
- $P_{F0} = 965$ W, $U_{1K} = 116$ V, $P_{FKM} = 1120$ W
- Transformatorn arbetar under märkbelastning med $\cos(\phi) = 0.8$ ind.

Sökt:
Sekundärspänningen U_2, från nätet upptagen effekt P_{1M}, verkningsgraden η

Lösning:
Studera en av de tre faserna



Spänningsfallsformeln för en av faserna kan skrivas

$$\frac{U_{20}}{\sqrt{3}} \approx \frac{U_2}{\sqrt{3}} + I_2\big(R_{2K} \cdot \underbrace{\cos(\phi_2)}_{0.8} + X_{2K}\underbrace{\sin(\phi_2)}_{0.6}\big) \tag{2}$$

och vi söker alltså U_2. De ingående storheter som behövs beräknas enligt

R_{2K}: Kortslutningseffekten är effekten som avges från R_{2K} vid märkström I_{2M} som kan räknas ut med hjälp av märkvärdena. Därefter kan i sin tur förlustresistansen R_{2K} räknas ut. Se t.ex. skissen ovan för att förstå var kortslutningseffekten avges

$$S_M = \sqrt{3} \cdot U_{2M} \cdot I_{2M} \Rightarrow I_{2M} = \frac{\overbrace{100 \cdot 10^3}^{S_M}}{\sqrt{3} \cdot \underbrace{230}_{U_{2M}}} = 251 \text{ A}$$

$$P_{FKM} = 3R_{2K} \cdot I_{2M}^2 \Rightarrow R_{2K} = \frac{P_{FKM}}{3 \cdot I_{2M}^2} = \frac{1120}{3 \cdot 251^2} = 5.9 \text{ m}\Omega,$$

X_{2K}: Kortslutningsströmmen U_{1K} spänningstransformeras till sekundärsidan enligt spänningsformeln. Tillsammans med ohms lag för den ekvivalenta faskretsen får vi

$$\left.\begin{array}{l} \frac{U_{2K}}{\sqrt{3}} = Z_{2K} \cdot I_{2M} \\ \frac{U_{1K}}{U_{2K}} = \frac{U_{1M}}{U_{2M}} \Rightarrow U_{2K} = 7 \text{ V} \end{array}\right\} \Rightarrow Z_{2K} = 16 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{2K} = \sqrt{R_{2K}^2 + X_{2K}^2} \Rightarrow X_{2K} = 14.8 \text{ m}\Omega$$

Spänningsfallsformeln (2) ger nu

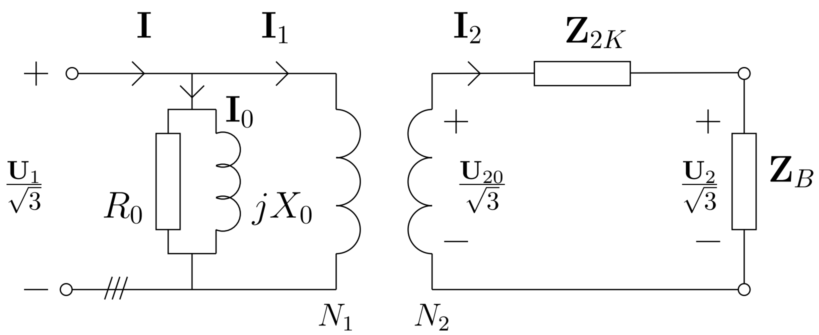
$$\frac{230}{\sqrt{3}} \approx \frac{U_2}{\sqrt{3}} + 251\big(6 \cdot 10^{-3} \cdot 0.8 + 14.8 \cdot 10^{-3} \cdot 0.6\big) \Rightarrow U_2 = 224 \text{ V}$$

För att räkna ut effektivitet η och effekt som tas från nätet P_1 så används att

$$\begin{aligned}
P_1 &= P_{2M} + P_{F0} + P_{FBM} \quad (\text{dvs } P_1 = \text{avgiven effekt} + \text{förluster})\\
P_{2M} &= \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_{2M} \cdot \cos(\phi_2) = \sqrt{3} \cdot 224 \cdot 251 \cdot 0.8 = 78 \cdot 10^3 \text{ W} \Rightarrow\\
P_1 &= 78 \cdot 10^3 + 1120 + 965 \approx 80 \cdot 10^3 \text{ W}\\
\eta &= \frac{\text{avgiven effekt}}{\text{instoppad effekt}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_{2M}}{P_1} = \frac{78}{80} = 0.974 = 97.4\ \%
\end{aligned}$$

Lösning K3.2

Kopplingen för transformatorn blir enligt figur nedan



För att använda spänningsfallsformeln behövs X_{2K} och R_{2K} samt I_2. I denna uppgift är I_2 okänd och istället har en lasteffekt givits. Eftersom effekten beror av både ström och spänning så måste en andragradsekvation lösas för att räkna ut I_2 och därmed U_2.

$$\begin{aligned}
I_{2M} &= \frac{S_M}{\sqrt{3}U_{2M}} = 21.7 \text{ A} \Longrightarrow\\
R_{2K} &= \frac{P_{FKM}}{3 \cdot I_{2M}^2} = 2.13\ \Omega\\
Z_{2K} &= \frac{u_z}{100}\frac{U_{2M}^2}{S_M} = 4.3\ \Omega\\
X_{2K} &= \sqrt{Z_{2K}^2 - R_{2K}^2} = 3.7\ \Omega\\
P_2 &= 50 \text{ kW} = \sqrt{(3)} \cdot U_2 \cdot I_2 \cos\varphi_2
\end{aligned}$$

Med P_2 från ovan instoppat i spänningsfallsformeln får vi

$$\begin{aligned}
&\frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot I_2 \cos\varphi_2} = U_{20} - \sqrt{3} \cdot I_2 \left(R_2 \cdot \cos\varphi_2 + X_{2K} \cdot \sin\varphi_2\right) \Longrightarrow\\
&\Longrightarrow \frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot \cos\varphi_2} = I_2 \cdot U_{20} - \sqrt{3} \cdot I_2^2 \left(R_2 \cdot \cos\varphi_2 + X_{2K} \cdot \sin\varphi_2\right) \Longrightarrow\\
&\Longrightarrow I_2^2 - I_2 \frac{U_{20}}{\sqrt{3} \cdot (R_2 \cdot \cos\varphi_2 + X_{2K} \cdot \sin\varphi_2)} + \frac{P_2}{3 \cdot \cos\varphi_2 \left(R_2 \cdot \cos\varphi_2 + X_{2K} \cdot \sin\varphi_2\right)} = 0 \Longrightarrow\\
&\Longrightarrow I_2 = 11.6 \text{ A} \quad (\text{Två rötter varav en orimligt stor})
\end{aligned}$$

Vi får därför

$$U_2 = U_{20} - \sqrt{3} \cdot I_2 \left(R_2 \cdot \cos\varphi_2 + X_{2K} \cdot \sin\varphi_2\right) = 3121 \text{ V}$$

Lösning K3.3

$$R_L = \rho_{cu}\frac{l}{A} \text{ med}$$
$$\rho_{cu} = 1,7 \cdot 10^{-2}\ \Omega\ \text{mm}^2/\text{m}$$
$$l = 40 \cdot 10^3\ \text{m}$$
$$A = 120\text{mm}^2 \Longrightarrow$$
$$\Longrightarrow R_L = 5,7\ \Omega$$
$$X_L = 0,4 \cdot 40 = 16\ \Omega$$
$$Q_2 = P_2 \cdot \tan\varphi = 12 \cdot 0,75 = 9\ \text{MVAr}$$

Spänningsfallsformeln uttryckt i effekt ger nu

$$U_1 = 54000\sqrt{\left(1 + \frac{5,7 \cdot 12 \cdot 10^6 + 16 \cdot 9,0 \cdot 10^6}{54000^2}\right)^2 + \left(\frac{16 \cdot 12 \cdot 10^6 - 5,7 \cdot 9,0 \cdot 10^6}{54000^2}\right)^2} = 58\ \text{kV}$$

Lösning K3.4

a) $U_1 \approx 53$ kV, $U_{2,II} \approx 48,3$ kV.

b) "*Förlusterna är minsta möjliga*" betyder att $Q_2 = 0$. Detta ger $U_{2,III} = 51,5$ kV.

Lösning K3.5

a) Ställ upp två spänningsvektorer $\bar{U}_{f,1}$ och $\bar{U}_{f,2}$ där $\bar{U}_{f,1} = \frac{400}{\sqrt{3}} \cdot e^{j0}$ kV och $\bar{U}_{f,2} = \frac{400}{\sqrt{3}} \cdot e^{j\cdot\varphi}$ kV. Med hjälp av deras längder får vi då att

$$\left|\bar{U}_{f,1} - \bar{U}_{f,2}\right| = X_L \cdot I \Longrightarrow \left|1 - e^{j\cdot\varphi}\right| = \frac{X_L \cdot I}{U_1}$$
$$(1 - \cos\varphi)^2 + \sin^2\varphi = \left(\frac{X_L \cdot I}{U_1}\right)^2 \Longrightarrow$$
$$\sin(\varphi/2) = \pm\frac{X_L \cdot I}{2 \cdot U_{f,1}} \Longrightarrow$$
$$\varphi = \pm 23,58^\circ$$

Antag att spänningen $U_{f,2}$ ligger efter $U_{f,1}$ (godtyckligt). Ställ därefter upp sambandet mellan spänningar och strömmar för att räkna ut strömmen $\bar{I}$ enligt

$$\bar{U}_{f,1} - \bar{U}_{f,2} = j \cdot X_L \cdot \bar{I} \Longrightarrow$$
$$\bar{I} = \frac{\bar{U}_{f,1} - \bar{U}_{f,2}}{j \cdot X_L} = 600 \cdot e^{-\varphi/2} = 600 \cdot e^{-11,8^\circ}$$

Vi ser alltså att spänningarna måste ligga symmetriskt runt strömmen. Slutligen får vi nu att

$$P_1 = \sqrt{(3)} \cdot U_H \cdot I \cdot \cos\varphi/2 = 407\ \text{MW}$$

b) Vi har att $X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 157,1$ vilket ger att

$$Q_L = 3 \cdot X_L \cdot I_L^2 = 170\ \text{MVAr}$$

dvs ledningen förbrukar 170 MVAr reaktiv effekt. Låt oss jämföra detta med den reaktiva effektinmatningen i första änden. Vi har att

$$Q_1 = \sqrt{(3)} \cdot U_H \cdot I \cdot \sin\varphi/2 = 85\ \text{MVAr}$$

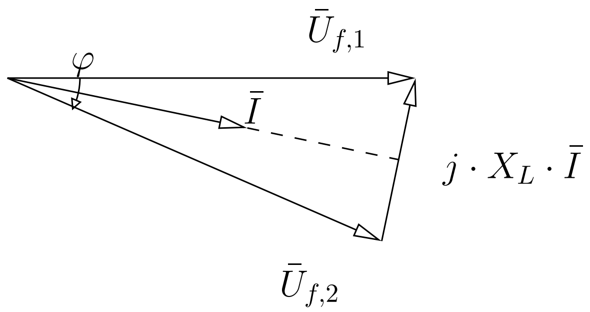
vilket alltså betyder att halva den reaktiva effekten matas in från ena änden och därmed andra halvan från den andra. Med tanke på symmetrin mellan spänningarna och strömmen är detta knappast överraskande. Låt oss dock kontrollera att detta stämmer med formeln för spänningsfall uttryckt i effekt genom att sätta in $U_1 = U_2$ samt $R_L = 0$

$$\left(1 + \frac{Q_2 \cdot X_L}{U_2^2}\right)^2 + \left(\frac{P_2 \cdot X_L}{U_2^2}\right)^2 = 1$$

Samtidigt har vi att $S = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_L = 415$ MW och $S^2 = P^2 + Q^2$ vilket då ger

$$\begin{aligned}
&\left(1 + \frac{\sqrt{S_2^2 - P_2^2} \cdot X_L}{U_2^2}\right)^2 + \left(\frac{P_2 \cdot X_L}{U_2^2}\right)^2 = 1 \iff \\
&\left(\frac{\sqrt{S_2^2 - P_2^2} \cdot X_L}{U_2^2}\right)^2 + 2 \cdot \frac{\sqrt{S_2^2 - P_2^2} \cdot X_L}{U_2^2} + \left(\frac{P_2 \cdot X_L}{U_2^2}\right)^2 = 0 \iff \\
&\left(\frac{S_2 \cdot X_L}{U_2^2}\right)^2 + 2 \cdot \frac{\sqrt{S_2^2 - P_2^2} \cdot X_L}{U_2^2} = 0 \iff \\
&\left(\frac{S_2 \cdot X_L}{U_2}\right)^2 + 2\sqrt{S_2^2 - P_2^2} \cdot X_L = 0 \iff \\
&P_2^2 = S_2^2 - \frac{X_L^2}{4}\left(\frac{S_2}{U_2}\right)^4 \implies Q_2 = \frac{X_L}{2}\left(\frac{S_2}{U_2}\right)^2 = 84.8 \text{ MVAr} = \frac{Q_L}{2}
\end{aligned}$$

c) Visardiagrammet blir enligt nedan och överföringsvinkeln är $\varphi = 23,55°$



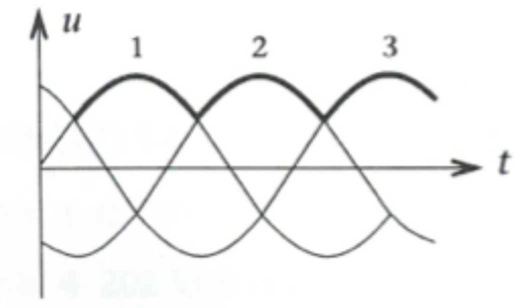
Lösning K5.1

$$t_{ST} = \frac{J\omega_2}{M_{ST} - M_L} = \frac{J\omega_2}{m_{ST}\frac{P_{2M}}{\omega_2} - \frac{P_L}{\omega_2}} = \frac{0.14 \cdot \frac{960 \cdot 2\pi}{60}}{1.7\frac{11000 \cdot 60}{2\pi \cdot 960} - \frac{0 \cdot 60}{2\pi \cdot 960}} = 0.075 \text{ sekunder}$$

Lektion 8

Lösning K8.1

a) $\hat{u}_F = \frac{400}{\sqrt{3}}\sqrt{2}$



b)

$$U_L = \frac{1}{T}\int_0^T |u(t)|\,dt = \frac{1}{T}\cdot 3\int_{\frac{1}{12}T}^{\frac{5}{12}T} |u(t)|\,dt = /T = \frac{2\pi}{\omega}/ = \frac{347\sqrt{2}}{\pi}\left[-\cos\frac{5\pi}{6} + \cos\frac{\pi}{6}\right] = 270V$$

Lösning K8.2

a) 0-198 V

b) 150 V

Lösning K8.3

a)

$$U_L = \frac{1}{T}\int_0^T |u(t)|dt = \frac{3}{T}\int_{\frac{T}{4}}^{\frac{T}{2}} |u(t)|dt = \frac{345\sqrt{2}}{\pi}\left[-\cos\pi + \cos\frac{\pi}{2}\right] = 156V$$

b) 0-270V

Lösning K8.4

DIACen tänder när $\hat{U}_c = 30V$ enligt karakteristikan.

a)

$$\bar{u}_c = \bar{u}\frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \bar{u}\frac{1}{j\omega CR + 1}$$

$$\hat{u}_c = \hat{u}\frac{1}{\sqrt{(\omega CR)^2 + 1^2}}$$

$$(\omega CR)^2 = \left(\frac{\hat{u}}{\hat{u}_c}\right)^2 - 1$$

$$R = \frac{\sqrt{\left(\frac{230\sqrt{2}}{30}\right)^2 - 1}}{2\pi 50\cdot 1\cdot 10^{-6}} = 34.4k\Omega$$

b)

$$U = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T u(t)^2dt} = \sqrt{\frac{2}{T}\int_{\frac{T}{4}}^{\frac{T}{2}} u(t)^2dt} = \frac{230\sqrt{2}}{2} = 163V$$

c)

$$P = \frac{U^2}{R} = 44W$$