

Tentamen i ELTEKNIK för E3, EEK 141

Datum:	onsdag, den 7 april 2020
Tid/Plats	Distans
Lösningar:	Anslås på hemsidan 8 april
Betygsgränser:	≥ 25 ger godkänt
Resultat:	Anslås senast 1 Maj 2020
Granskning:	Se resultatlista
Hjälpmedel:	Typgodkänd räknare, räknetabeller (Standard Mathematical Tables, Tefyma, Elfyma, Beta) samt Physics Handbook.
Lärare:	Thomas Hammarström, tel. 772 16 49

OBS! För att få full poäng på uppgifterna krävs att använda storheter definieras. Storheter i visardiagram måste definieras i motsvarande kretsschema med utsatta referensriktningar. Beräkningar skall motiveras så att beräkningsgången framgår. Fråga under tentan om något är oklart!

1. Du har fått i uppdrag att ta i drift och därmed spänningssätta en gammal industri som lagts i malpåse. Efter en initial inspektion inser du att det finns tre laster som kommer att dominera dess effektförbrukning. Två ugnar och en stor låda vars innehåll är okänt. Alla apparaterna är trefasiga, Y-kopplade och gjorda för 400 V, 50 Hz.

Apparaterna är gamla och delar av deras märkskyltar har skavts bort med åren, men från dem lyckas du ändå utröna följande:

Ugn #1 förbrukar 81 kVA vid $\cos \varphi = \frac{\sqrt{3}}{2}$

Ugn #2 förbrukar 74,5 kW vid $\cos \varphi = \frac{\sqrt{2}}{2}$

Den okända lådan förbrukar -115 kVAr vid $\varphi = -90^\circ$

Närmaste transformatorstation ligger 500 meter bort och från den dras en trefasig 400 V ledning. Resistansen i ledningen per fas är $0,043 \Omega / \text{km}$ och reaktansen per fas är $0,091 \Omega / \text{km}$.

a) bestäm den komplexa strömmen i matarledningen och den komplexa skenbara effekt som tas från transformatorstationen (3p)

c) bestäm den skenbara spänningen i anläggningen (3p)

d) Ugn #2 kopplas bort. **Uppskatta** reaktansen hos den faskompensering som är nödvändig för att inget reaktivt effektutbyte skall ske gentemot nätet. Rita upp en ekvivalent y-fas och rita in var du placerar faskompenseringen och indikera vilken karaktär den har.

(3p)

2. En trefastransformator ansluten till 400 V, 50 Hz och avsedd för galvanisk isolation har följande märkskylt

$$400/400 \text{ V}, 50 \text{ Hz}, z_k = 5 \%, r_k = 3 \%, x_m = 149 \%, r_{fe} = 143 \%, S_n = 2000 \text{ VA}$$

a) rita upp det lämpliga ekvivalenta schemat och bestäm transformatorns klämspänning på sekundärsidan då den är **olastad**. Någoting har uppenbarligen blivit fel med antingen märkskylten eller under tillverkningen, beskriv vad som är orimligt med märkparametrarna. (3p)

b) Du skickar tillbaka transformatorn till tillverkaren och får tillbaka en ny, den här gången med rimliga märkdata. Bestäm ny klämspänning och verkningsgrad när transformatorn lastas induktivt med 95 % av märkström med $\varphi = 45^\circ$. (3p)

3. En trefas asynkronmaskin används för att driva en ventilationsfläkt. Asynkronmaskinen matas med 400 V, 50 Hz och vid märkdrift har den en verkningsgrad på 88 % och roterar med 975 rpm. Följande parametrar har angivits för maskinen:

$$R_s = 0,4 \Omega/\text{fas}; R'_r = 0,5 \Omega/\text{fas}; X_s = X'_r = 0,9 \Omega/\text{fas}; X_m = 12 \Omega/\text{fas}, R_{Fe} = 1100 \Omega/\text{fas}$$

Motivera ev. antaganden och approximationer.

Rita upp maskinens ekvivalenta Y-fasschema. (2p)

Bestäm den komplexa fasström som maskinen belastar nätet med vid märkdrift. Bestäm även vilken aktiv och reaktiv effekt maskinen upptar. (3p)

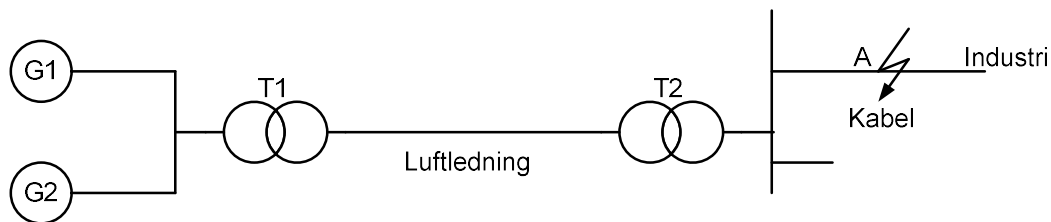
Luftspjället till ventilationsfläkten varieras och det visar sig att vridmomentet som driver fläkten minskas med 10 Nm. Vilken effekt avges nu till fläkten och vilket blir maskinens varvtal nu? (3p)

4. En LS-omriktare används för att skapa en stabil likspänning på 18 V för provning av apparater som drar $I = 4 \text{ A}$. Omriktaren matas från en 72 V likspänningskälla. Switchfrekvensen i omriktaren är 20 kHz.

- Beräkna pulskvoten. Förklara utförligt omriktarens funktion, rita vilka halvledare strömmen flyter genom under olika delar av modulationsperioden. (4p)
- Varför kallas den LS-omriktare? (1p)
- Vad blir strömmen genom transistorn och strömmen ifrån likspänningskällan? Rita in dem i ett diagram med graderade axlar. (3p)

5. En separatmagnetiserad likströmsmaskin drivs som generator (som under lab2). Belastningen utgörs av en fast resistans R_{yttrre} . Storleken på likströmsmaskinens vridmoment varierar med hjälp av fältströmmen I_f och varvtalet ω . Härled sambandet för vridmomentet T som funktion av I_f och ω . Rita det ekvivalenta schemat för en seriemagnetiserad likströmsmaskin. Jämför momentkaraktären på serie- samt separatmagnetiserad likströmsmaskin (4p)
6. Linje En kraftstation bestående av två generatorer matar över en transformator (T_1) en 40 km lång 130 kV luftledning. I andra ändan av ledningen transformeras spänningen ner till 20 kV (T_2) och bland annat matas en industri via 2 km lång kabel.

Det inträffar en trefasig kortslutning i mitten av kabeln. Beräkna kortslutningsströmmen i denna punkt A med hjälp av impedanssummeringsmetoden. (6p)



Följande data gäller för generatorerna, transformatorerna, luftledningen och kabeln:

Generator G1		25 MVA, 10 kV	$x_d = 20 \%$	
Generator G2		25 MVA, 10 kV	$x_d = 20 \%$	
Transformator T1	d/YN	50 MVA, 10/130 kV	$z_k = 12 \%$	$r_k = 2 \%$
Transformator T2	YN/d	50 MVA, 130/20 kV	$z_k = 10 \%$	$r_k = 1 \%$
Luftledning		$x = 0,4 \Omega/\text{fas},\text{km}$	$r = 0,15 \Omega/\text{fas},\text{km}$	
Kabel	FXKJ 500 mm ²	$x = 0,1 \Omega/\text{fas},\text{km}$	$r = 0,05 \Omega/\text{fas},\text{km}$	

7. Beskriv hur amplituden hos en asynkronmaskins ström ser ut när den startas direkt från nätet. Utveckla skillnaden mellan när maskinen startas olastad kontra när den startas med last. Resonera utifrån asynkronmaskinens ekvivalenta schema. (3p)
8. Vad menas med påståendet: transformatorns olika sidor(primär/sekundär) är galvaniskt skilda? Vad kallas den typen av transformator där sidorna är: "icke galvaniskt skilda?" (3p)

10. Hur ansluts wattmetrarna i ett trefassystem vid effektmätning enligt tvåwattmetermetoden (rita kopplingsschema)? Beskriv med schema hur man mäter effekt med wattmeter utan att det finns en neutralledare att ansluta till? (3p)

Kort Formelblad i Elkraftteknik

Trefassystem :

$$U = \sqrt{3}U_f$$

$$Z_Y = \frac{Z_\Delta}{3} \qquad I = \sqrt{3}I_\Delta$$

$$P = \sqrt{3}UI \cos \phi = 3U_f I \cos \phi$$

Spänningsfall :

$$U_{\text{längsf}} = a = R_l I \cos \varphi_2 + X_l I \sin \varphi_2$$

$$U_{\text{tvärf}} = b = X_l I \cos \varphi_2 - R_l I \sin \varphi_2$$

Uppgift 1

Uppg #1.

$$\cos \varphi = \frac{13}{2} \Rightarrow \varphi = 30^\circ, S = 81 \text{ kVA}$$

$$P = S \cdot \cos(30) = 81 \cdot \cos(30) = 70,15 \text{ kW}$$

$$Q = S \cdot \sin(30) = 81 \cdot \sin(30) = 40,5 \text{ kVAR}$$

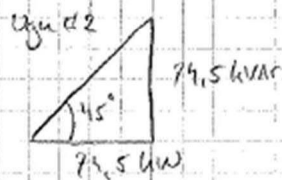
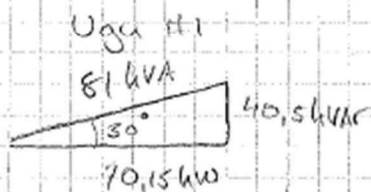
Uppg #2

$$\cos \varphi = \frac{12}{2} \Rightarrow \varphi = 45^\circ, P = 74,5 \text{ kW}$$

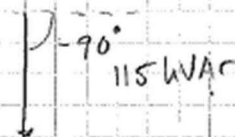
$$Q = P \cdot \tan \varphi = 74,5 \cdot \tan(45) = 74,5 \text{ kVAR}$$

"Laddan" - 115 kVAR $\varphi = -90$

Alltså kondensator



Kondensator



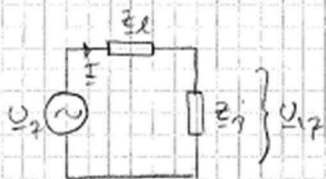
$$\sum P = 70,15 + 74,5 = 144,65 \text{ kW}$$

$$\sum Q = 40,5 + 74,5 - 115 = 0 \text{ kVAR}$$

Lasterna tar ansedda γ 400V, vi karakteriserar deras gemensamma impedans.

$$Z_T = \frac{(400)^2}{\frac{(144,65 \cdot 10^3)}{3}} = 1,1061 \Omega$$

Ledningens impedans är $Z_L = 0,5 \cdot 0,043 + 0,5 \cdot 0,043$
 $= 0,0215 + j0,043$



Strömmen i meterledningen

$$a) \underline{I} = \frac{\frac{400}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ}{Z_L + Z_f} = 203,64 + j36,22 \text{ A} = 203,8 \angle -2,31^\circ$$

Spänningen i utgången

$$U_{1f} = Z_f \cdot \underline{I} = 1,1061 \cdot 203,8 \angle -2,31^\circ = 225,48 \angle -2,31^\circ$$

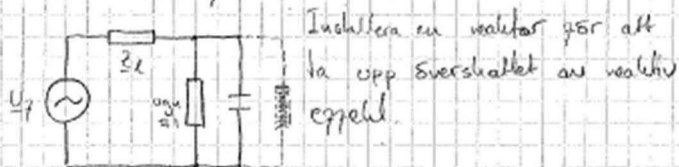
$$b) U_1 = 390,46 \text{ V}$$

$$a) \underline{S} = 3 U_{1f} \underline{I}^* = 3 \cdot \frac{400}{\sqrt{3}} \cdot 203,8 \angle 2,31^\circ = 141,08 \text{ kW} + 5,69 \text{ kVAR}$$

c) Försumma ledningen

$$\sum Q = 40,5 - 115 = -74,5 \text{ kVAR}$$

$$X_L = \frac{\left(\frac{400}{\sqrt{3}}\right)^2}{74500/3} = 2,19 \Omega$$



$$(I_{\text{im}}(z) = 0 \text{ ger } X_L = 2,19 \Omega)$$

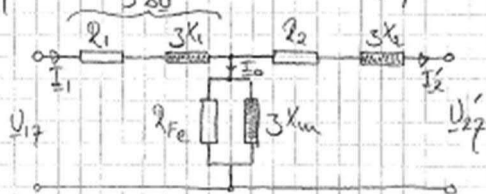
Uppgift 2

Tregostiansformator

$$400/100 \text{ V}, z_k = 5\%, r_k = 3\%, x_{m1} = 149\%, r_{Fe} = 145\%$$

$$S_{un} = 2 \text{ kVA}$$

gültigstelektische äquivalente schemat, param. hätt 0pp. sp. side



Vid lösg: $I_2' = 0 \Leftrightarrow I_1 = I_0$

$$U_{27}' = U_{17}' - \Delta U, \Delta U = I_1 (R_1 + jK_1)$$

$$I_1 = \frac{U_{17}'}{Z_{in}}$$

$$Z_{bas} = \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{400^2}{2000} = 80 \Omega$$

$$R_k = r_k \cdot Z_{bas} = 0,03 \cdot 80 = 2,4 \Omega$$

$$X_k = x_k \cdot Z_{bas} = 0,05 \cdot 80 = 4 \Omega$$

$$Z_u = Z_1 + Z_2'; \text{ Auslöschung: } 1 \Rightarrow Z_1 = Z_2'$$

$$R_1 = \frac{R_k}{2} = 1,2 \Omega$$

$$Z_1 = \frac{Z_k}{2} = 2 \Omega$$

$$X_1 = \sqrt{Z_1^2 - R_1^2} = \sqrt{2^2 - 1,2^2} = 1,6 \Omega$$

$$R_{Fe} = r_{Fe} \cdot Z_{bas} = 1,45 \cdot 80 = 113,6 \Omega$$

$$X_m = x_m \cdot Z_{bas} = 1,49 \cdot 80 = 119,2 \Omega$$

$$\underline{I}_1 = \frac{\frac{400}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ}{2 + j1,6 + \frac{j113,6 \cdot 119,2}{119,2 + j113,6}} = 1,98 - j1,903 \text{ A}$$

$$\Delta U = (1,98 - j1,903)(1,2 + j31,6) = 5,41 + j0,883 \text{ V}$$

$$\underline{U}'_{27} = \frac{400}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ - (5,41 + j0,883) = 225,58 - j0,883 \text{ V} = 225,55 \angle -0,22^\circ$$

$$\text{Omsättning} = 1 \Rightarrow \underline{U}'_{27} = \underline{U}_{27}$$

$$U_2 = \sqrt{3} \cdot 225,53 = \underline{390,63 \text{ V}}$$

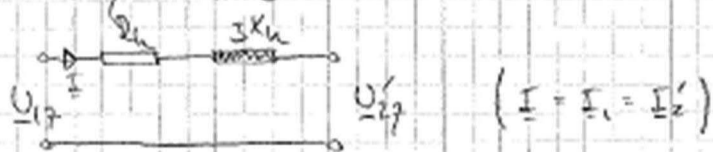
$$\left(\text{Alt. } \underline{U}_{27} = \underline{I}_1 \cdot \frac{jX_m || R_{Fe}}{jX_m || R_{Fe}} \right)$$

Något är definitivt fel med magnetiseringsimpedanserna
 då de är påstått för låga.

$$S_{\text{fång}} = 3 \cdot \frac{400}{\sqrt{3}} \cdot (1,98 + j1,903) = 1364,7 + j1311,03 \approx 1900 \angle 43,84^\circ$$

Transformatorn förbrukar nästan varken energi i form!

b) R_{in} och R_{Te} nu så pass stora att de kan göras ommas



$$I_{in} = \frac{2000/3}{\frac{400}{\sqrt{3}}} = 2,89 \text{ A}$$

$$\underline{I} = 2,89 \cdot 0,95 \angle -45^\circ = 2,74 \angle -45^\circ \text{ A}$$

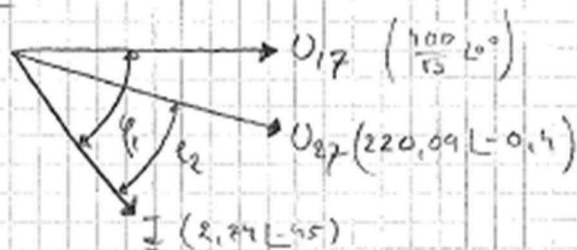
$$\begin{aligned} U_{27}' &= U_{17}' - \underline{I} (R_L + 3k_\Omega) = \frac{400}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ - 2,74 \angle -45^\circ (2,4 + 3j) \\ &= 220,1 - 1,55j \text{ V} \\ &= 220,09 \angle -0,4^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

$$U_2 = 381,21 \text{ V}$$

$$P_{ut} = 3U_{27}' I \cos \varphi_2 = 3 \cdot 220,09 \cdot 2,74 \cdot \cos(44,6^\circ) = 1289,3 \text{ W}$$

$$P_{in} = 3U_{17}' I \cos \varphi_1 = 3 \cdot \frac{400}{\sqrt{3}} \cdot 2,74 \cdot \cos(45^\circ) = 1343,5 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{ut}}{P_{in}} = 0,96$$



All

$$P_{in} = P_{ut} + P_{\text{serd}}$$

$$P_{\text{serd}} = 3R_L I^2$$

$$\varphi_1 = 0 - (-45) = 45^\circ$$

$$\varphi_2 = -0,4 - (-45) = 44,6^\circ$$

3) 3-fas AM : motordrift

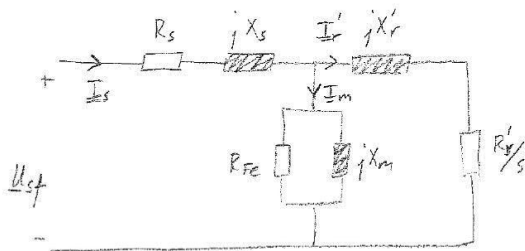
$U_s = 400 \text{ V}$

vid märkdraft : $\eta = 88\%$
 $n_n = 975 \text{ rpm}$

$R_s = 0,4 \text{ } \Omega/\text{fas}$ $R'_r = 0,5 \text{ } \Omega/\text{fas}$ $X_s = X'_r = 0,9 \text{ } \Omega/\text{fas}$

$X_m = 12 \text{ } \Omega/\text{fas}$ $R_{Fe} = 100 \text{ } \Omega/\text{fas}$

a) Ekvivalent Y-fas :



b) Bestäm I_s , P_s och Q_s , vid märkdraft.

$$I_s = \frac{U_{st}}{Z_{tot}} \quad (*)$$

Först behöver eftersläpningen, s , bestämmas.

$$s = \frac{n_s - n_n}{n_s} \quad n_s = \frac{f}{P} \cdot 60 \begin{cases} f = 50 \text{ Hz} \ \& \ P = 3 \Rightarrow n_s = 1000 \text{ rpm} \\ f = 60 \text{ Hz} \ \& \ P = 3 \Rightarrow n_s = 1200 \text{ rpm} \end{cases}$$

$n_s = 1000 \text{ rpm} \Rightarrow s = \frac{1000 - 975}{1000} = 0,025, 2,5\%$ ↑ för högt i förhållande till varvtalet vid märkdraft.

$R_{Fe} \gg X_m$, försumma R_{Fe}

$$Z_1 = (R'_s + jX'_r) // jX_m = \frac{(2,0 + j0,9)j12}{2,0 + j0,9 + j12} = 5,0847 + j2,7204 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{\text{tot}} &= R_s + jX_s + \underline{Z}_1 = 0,4 + j0,9 + 5,0847 + j0,7204 = 5,4847 + j0,6204 = \\ &= 11,074 \angle 60,31^\circ \quad \Omega / \text{fas}\end{aligned}$$

sätt in i (*) \Rightarrow

$$\underline{I}_s = \frac{U_{sf}}{\underline{Z}_{\text{tot}}} = \left\{ U_s \text{ sätts som riktfas} \right\} = \frac{400/\sqrt{3} \angle 0^\circ}{11,074 \angle 60,31^\circ} =$$

$$= \underline{20,854 \angle -60,31^\circ} \text{ A}$$

$$\begin{aligned}\underline{S}_s &= P_s + jQ_s = 3U_{sf} \cdot \underline{I}_s^* = 3 \cdot \frac{400}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ \cdot 20,854 \angle 60,31^\circ = \\ &= 14448 \angle 60,31^\circ = \underline{7,156 + j12,551} \text{ kVA}\end{aligned}$$

Svar: Asynkronmaskinen belastar nätet med en fasström på $20,85 \angle -60^\circ$ A och upptar 7,16 kW aktiv och 12,55 kVAr reaktiv effekt vid märkläuft.

c) Lasten varierar $T_2 = T_1 - 10 \text{ Nm}$

Bestäm P_{m2} (effekt övergiven till fläkten) och η_2 (varvtalet vid denna last).

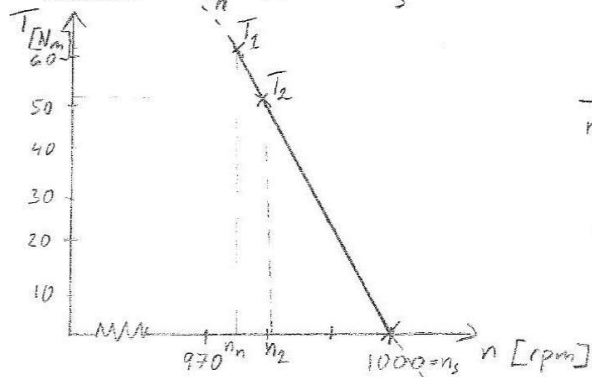
Först behöver T_1 bestämmas.

$$P_{m2} = \eta \cdot P_s = 0,88 \cdot 7,156 = 6,297 \text{ kW} \quad (\text{maskinens märkeffekt})$$

$$T_1 = \frac{P_{m,1}}{\omega_n} = \frac{6,297 \cdot 10^3}{\frac{2\pi}{60} \cdot 975} = 61,67 \text{ Nm}$$

$$T_2 = T_1 - 10 \text{ Nm} = 51,67 \text{ Nm}$$

Maskinens momentkurva antas följa en rät linje mellan n_n och n_s (i normaldriftsområdet)



$$\frac{T_1}{n_s - n_n} = \frac{T_2}{n_s - n_2} \Rightarrow$$

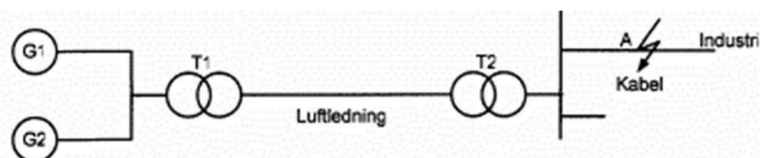
$$n_s - n_2 = \frac{T_2}{T_1} (n_s - n_n)$$

$$\Rightarrow n_2 = n_s - \frac{T_2}{T_1} (n_s - n_n)$$

$$n_2 = 1000 - \frac{51,67}{61,67} (1000 - 975) = \underline{\underline{979 \text{ rpm}}}$$

$$P_{m,2} = T_2 \cdot \omega_2 = 51,67 \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot 979 = \underline{\underline{5,30 \text{ kW}}}$$

Svar: Vid denna last roterar maskinen med 979 rpm och avger 5,30 kW till fläkten.



a) Imp. sum. metoden: $U_e = 20 \text{ kV}$

$$\text{Gen 1 och Gen 2} \Rightarrow X_d = x_d \frac{U_c^2}{S_n} = 0,2 \frac{20^2}{25} = 3,2 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$\Rightarrow X_G = \frac{X_d}{2} = 1,6 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$\text{Trafo T1: } R_{T1} = r_k \frac{U_e^2}{S_n} = 0,02 \frac{20^2}{50} = 0,16 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$Z_{T1} = z_v \frac{U_c^2}{S_n} = 0,12 \frac{20^2}{50} = 0,96 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$X_{T1} = \sqrt{Z_{T1}^2 - R_{T1}^2} = 0,947 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$\text{Trafo T2: } R_{T2} = 0,01 \frac{20^2}{50} = 0,08 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$Z_{T2} = 0,1 \frac{20^2}{50} = 0,8 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$X_{T2} = 0,796 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$\text{Luftledning: } 40 \text{ km } R_L = 0,15 \cdot 40 \left(\frac{20}{130}\right)^2 = 0,142 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$X_L = 0,4 \cdot 40 \left(\frac{20}{130}\right)^2 = 0,379 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$\text{Kabel: } 1 \text{ km } R_k = 0,05 \text{ } \Omega/\text{fas}; X_k = 0,1 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$\Sigma R = 0,16 + 0,08 + 0,142 + 0,05 = 0,432 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$\Sigma X = 1,6 + 0,947 + 0,796 + 0,379 + 0,1 = 3,82 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = 3,846 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$\underline{\underline{I_k = \frac{U_f}{Z} = \frac{20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 3,846} = 3002 \text{ A}}}$$

LS-omriktare ; $U_2 = 18V$; $I_2 = 4A$; $U_1 = 72V$; $f = 20kHz$

a) $t_p = ?$ $T = \frac{1}{f} = 50\mu s$; $t_p = T \frac{U_2}{U_1} = 12,5\mu s$

Förklaring till omriktarens funktion se fig. 5.21 s. 155
(Kompendium)

b) Nedspänningsomriktare

c) $i_x(t) = ?$; $I_1 = ?$

$$I_1 U_1 = I_2 U_2 \Rightarrow I_1 = 1A$$

