

## Tentamen i ELTEKNIK för E3, EEK 140/141

Datum:	måndag, den 24 augusti 2021
Tid/Plats	em / "zoom"-salar
Lösningar:	Anslås på hemsidan 26 augusti
Betygsgränser:	$\geq 25$ ger godkänt
Resultat:	Anslås senast 10 september 2021
Granskning:	Se resultatlista
Hjälpmedel:	Typgodkänd räknare, räknetabeller (Standard Mathematical Tables, Tefyma, Elfyma, Beta) samt Physics Handbook etc.
Lärare:	Thomas Hammarström, tel. 772 16 49 alt via zoom

---

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. Till ett symmetriskt trefasnät med spänning 230 V, 50 Hz, är följande tre symmetriska belastningar inkopplade:

En belastning bestående av tre lika impedanser  $Z = 10 + j10 \Omega$ , Y - kopplade

En belastning bestående av tre lika impedanser  $Z = 8 - j15 \Omega$ ,  $\Delta$  - kopplade

En glödlampsats (3-fas) som förbrukar 8,0 kW vid  $\cos\phi = 1$

- Med hur stor ström belastas nätet av respektive belastning samt hur stor blir den totala strömmen som tas ifrån nätet? Alla strömmar skall anges i komplex form. (3p)
- Rita ett visardiagram över alla strömmar beräknade med nätets fasspänning som referens. (2p).
- Bestäm den från nätet totalt avgivna skenbara effekten (ange den i komplex form). (2p)
- Bestäm den effektfaktor med vilken nätet arbetar. Har nätets totala belastning induktiv eller kapacitiv karaktär (2p)

2. Hos en separatmagnetiserad likströmsmotor är ankarkretsens resistans  $0,5 \Omega$ . Vid ett tillfälle körs motorn med spänningen 440 V ( $U_a = 440$  V). Ankarströmmen är 40 A och varvtalet 1500 rpm. Du vill sänka varvtalet till 500 rpm genom att använda ett motstånd med resistansen R. Skissa hur detta kan kopplas in mha av DC maskinens ekvivalenta schema och vilket resistansvärde behövs då på R? Belastningsmomentet förändras inte och inte heller magnetiseringsströmmen. Ange en alternativ metod att göra samma sak. (4p)

**3.** En trefastransformator är märkt 690/400V, 2400VA. På transformatorn görs ett kortslutningsprov och ett tomgångsprov. Vid kortslutningsprovet matas uppspänningssidan med 45V. Transformatorn drar då 20W i aktiv effekt. Vid tomgångsprovet drar transformatorn en aktiv effekt på 90W.

a) Beräkna  $X_k$  och  $R_k$  i det förenklade schemat, hänfödda till nedspänningssidan (3p)

Transformatorn ansluts till 690V och belastas med en ren resistans på  $75\Omega$ .

b) Rita ett ekvivalent schema för att kunna beräkna klämspänningen och ström på nedspänningssidan. Rita motsvarande visardiagram över spänningsfallet och lastströmmen, med den aktuella lasten. (3p)

c) Beräkna klämspänningen på nedspänningssidan och strömmen till lasten. (2p)

d) Vad är verkningsgraden för transformatorn med denna last? (2p)

**4.** En trefas fyrpolig 50 Hz kortsluten 400 V asynkronmotor har följande värden på parametrarna i det ekvivalenta schemat hänfört till statorsidan:

$$R_s = 0,35 \Omega/\text{fas} \quad X_{s\sigma} = 1 \Omega/\text{fas} \quad R_r = 0,35 \Omega/\text{fas}$$

$$X_{r\sigma} = 1 \Omega/\text{fas} \quad R_{Fe} = 1000 \Omega/\text{fas} \quad X_m = 25 \Omega/\text{fas}$$

Maskinens varvtal vid fullast är 1450 rpm och maskinens verkningsgrad är 85 %.

a) Beräkna fasströmmen vid fullast. (2p)

b) Med hur stor aktiv effekt belastar motorn nätet? (2p)

c) Hur stor mekaniskt moment skapar maskinen i det driftsfallet? (2p)

d) Om en frekvensomriktare med frekvens 25 Hz används, vilken spänningsnivå matas motorn lämpligen då med och beräkna tomgångsströmmen. (2p)

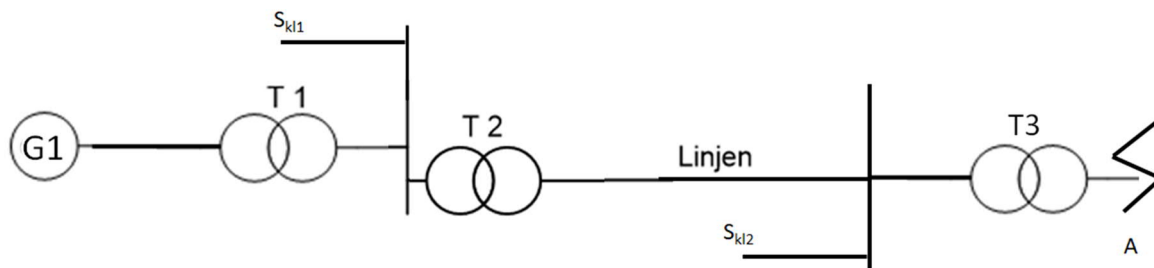
Gör lämpliga approximationer.

5. En LS-omriktare är ansluten till en trefasig diodlikriktare matad från 400 V trefasnät. LS-omriktaren skall ge en stabil likspänning till provning av 700 V apparater som drar  $I = 10$  A. Switchfrekvensen i omriktaren är 40 kHz.

- a) Rita upp kopplingen och de komponenter som behövs. (2p)
- b) Hur lång tid under varje modulationsperiod leder transistorn? Rita upp hur spänningen över dioden (i LS-omriktaren) ser ut under två modulationsperioder. Gradera axlarna i diagrammet. (2p)
- c) Hur ser spänningen över induktansen i LS-omriktaren ut under två modulationsperioder? Vad blir strömmen genom transistorn och strömmen ifrån likriktaren? Rita in dem i ett diagram med graderade axlar. (2p)

6. En kraftstation bestående av en generator G1 som tillsammans med två anslutande ledningar (Sk11 och Sk12) samt tre transformatorer (T1, T2 och T3) förser bland annat en stor industri med energi. I elkraftsystemet finns dessutom en 40 km lång 400 kV luftledning (här benämnd: "linjen"). På transformator T3's nedspänningssidan är en kabel ansluten som förser industrin med energi. 1 km efter transformator T3 (i kabeln) så sker en trefasig kortslutning i punkten: 'A'.

Beräkna kortslutningsströmmen i denna punkt A med hjälp av kortslutningseffektmetoden.



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

Generator G1 40 MVA, 10 kV  $x_d = 20\%$

Transformator T1 d/YN 40 MVA, 10/130 kV  $z_k = 12\%$   $r_k = 2\%$

Transformator T2 YN/d 200 MVA, 130/400 kV  $z_k = 5\%$   $r_k = 1\%$

Transformator T3 YN/d 200 MVA, 400/130 kV  $z_k = 10\%$   $r_k = 1\%$

Luftledning  $x(\text{linjen}) = 0,4 \Omega/\text{fas}, \text{km}$   $r = 0,15 \Omega/\text{fas}, \text{km}$

+Kabel FXKJ 500 mm<sup>2</sup>  $x = 0,1 \Omega/\text{fas}, \text{km}$   $r = 0,05 \Omega/\text{fas}, \text{km}$

Kortslutningsaffekt från anslutande ledningar:

$S_{k11} = 100 \text{ MVA}$ ,  $S_{k12} = 200 \text{ MVA}$

(6p)

7. Varför är det problem att starta en synkronmaskin och ge exempel på hur man kan lösa detta. (3p)

8. Förklara hur en sparkopplad vridtransformator kan ge

ofarlig respektive livsfarlig spänning till jord. Utgå från det ekvivalenta schemat (2p)

9. Om frekvensen i elnätet faller, vad är den lämpligaste åtgärden för att öka denna i systemet? (2p)

### Kort Formelblad i Elkraftteknik

**Trefassystem :**

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

$$\underline{Z}_Y = \frac{Z_\Delta}{3} \qquad I = \sqrt{3}I_\Delta$$

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

**Spänningsfall :**

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

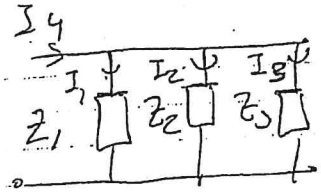
$$U_{\text{tvärf}} = b = X_l I \cos \varphi_2 - R_l I \sin \varphi_2$$



Uppgift 1

$$Z_Y = 10 + j \cdot 10$$

$$Z_\Delta = 8 - j15$$



$$U = 230V$$

$$I_4 = \frac{230}{\sqrt{3}(10+j \cdot 10)} = 6,64 - j \cdot 6,64 \text{ A}$$

$$= 9,39 \angle -45^\circ \text{ A} \Rightarrow I_1 = 9,39 \angle -45^\circ \text{ A}$$

$I_2$  : omvända :

$$Z_2 = \frac{Z_\Delta}{3} = \frac{8 - j15}{3}$$

$$I_2 = \frac{230 \cdot 3}{\sqrt{3}(8 - j \cdot 15)} = (11,02 + j \cdot 20,68)$$

$$= 23,43 \angle 61,93^\circ$$

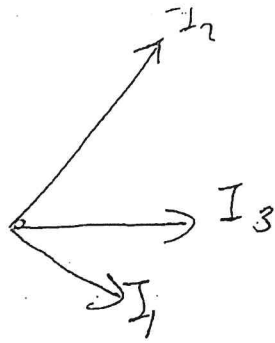
$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_3 \cos \rho$$

$$I_3 : \Rightarrow I_3 = \frac{P}{\sqrt{3} U} = \frac{8 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 230} = 20,08 \angle 0^\circ$$

$$I_4 = I_1 + I_2 + I_3 = (37,749 + j \cdot 14,04) \text{ A}$$

$$= 40,3 \angle 20,4^\circ \text{ A} \quad (\text{kapacitiv storm})$$

b/



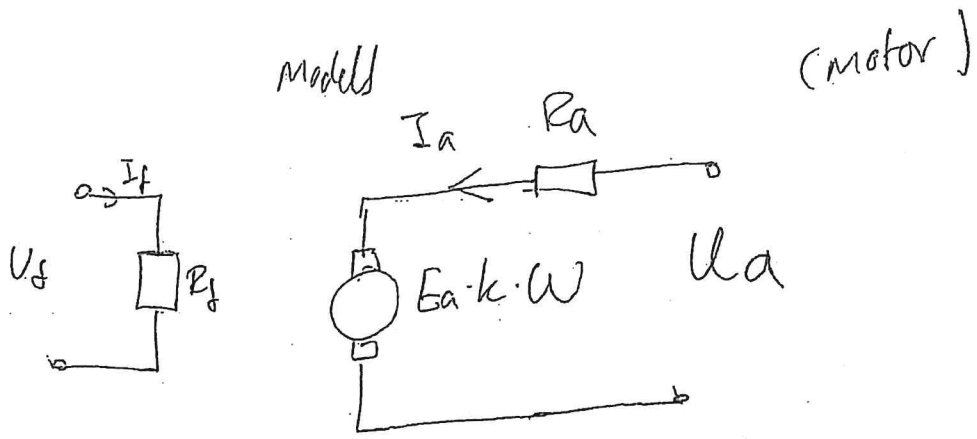
c/

$$\underline{S} = \cancel{3} \cdot U_F \cdot I_4^* = 3 \cdot \frac{230}{\sqrt{3}} \cdot 40,3 \angle -20,4$$
$$= 15 \text{ kW} - j \cdot 5,6 \text{ kVAR}$$

d/ kapacitiv hll sin uahur by  $\varphi < 0$



3)



$R_a = 0,5 \Omega$        $I_a = 40 \text{ A}$   
 $U_a = 440 \text{ V}$        $n_1 = 1500 \text{ rpm}$

Anv punkt 1  
för att best  
 $k \cdot I_f$

$$U_a - R_a \cdot I_a = k \cdot I_f \cdot \omega$$

$$440 - 0,5 \cdot 40 = 420 = k \cdot I_f \cdot \frac{2\pi n_1}{60}$$

$$k \cdot I_f = \frac{420 \cdot 60}{2\pi \cdot 1500} = \frac{42}{\pi \cdot 5}$$

sänk varvtal till 500 rpm —  $n_2$   
 1 sätt: öka  $R_a$ ,  $T_1 = T_2 = k \cdot I_f \cdot I_a$

vi kan då skriva:

$$U_a - (R_a + R_x) \cdot I_a = k \cdot I_f \cdot \frac{2\pi \cdot n_2}{60}$$

lös ut  $R_x$ :

$$440 - \frac{42 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 500}{\pi \cdot 5 \cdot 60} - 0,5 = 7$$

$$40$$

$$R_x = 7 \Omega$$

sätts i serie m  $R_a$   
 Allt: sänk  $U_a$

3)

$$690/400 \text{ V} \quad S_n = 2400 \text{ VA}$$

$$\text{kortslutningsprov: } U_k = 45 \text{ V (uppsp)}$$

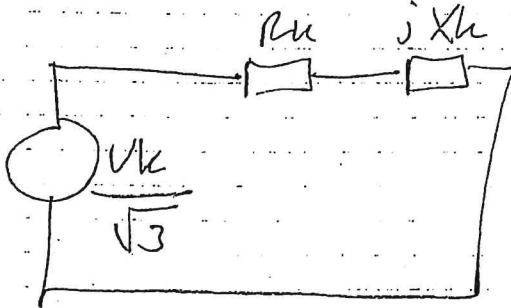
$$P_k = 20 \text{ W}$$

$$\text{Tomgång: } P_0 = 90 \text{ W}$$

a)

$$X_k, R_k \text{ (på nedsp-sidan)}$$

modell (uppsp-sida)



Men vi ställer in  
driftströmen:

$$S_n = \sqrt{3} U_n \cdot I_n$$

$$\frac{S_n}{\sqrt{3} U_n} = \frac{2400}{\sqrt{3} \cdot 690} = 2 \text{ A} = I_n$$

$$\text{så: } P_k = 3 \cdot R_k \cdot I_n^2$$

$$\frac{P_k}{3 \cdot I_n^2} = R_k = \frac{20}{3 \cdot 2^2} = 1,67 \Omega$$

$$\text{på nedsp-sidan: } R_k' = \frac{R_k \cdot U_2^2}{U_1^2} = \frac{R_k \cdot 400^2}{690^2}$$

$$= \underline{\underline{0,56 \Omega}}$$

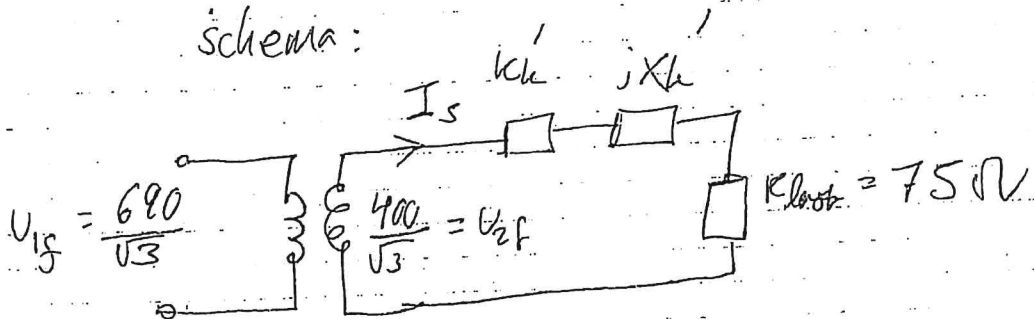
$$Z_k = \frac{U_k}{\sqrt{3} \cdot I_n} = \frac{45}{2\sqrt{3}} \approx 13 \Omega$$

$$\Rightarrow X_k = \sqrt{13^2 - 1,67^2} = 12,9 \Omega$$

$$X_k' = X_k \cdot \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 = 12,9 \cdot \left(\frac{400}{690}\right)^2 = 4,39 \Omega$$

b)

schema:



$$I_s = \frac{U_{2f}}{(R_k' + R_{last}) + jX_k'} = \frac{400}{\sqrt{3} (75,56 + j4,34)}$$

$$= 3,05 - 0,175 \cdot j = 3 \angle -3,3^\circ \text{ A}$$

klämspänningen:  $U_{last} = \sqrt{3} \cdot R_{last} \cdot I_s \angle^{\alpha+30}$

$$= \sqrt{3} \cdot 75 \cdot 3 \angle -3,3^\circ + 30^\circ = 396 \angle -3,3^\circ + 30^\circ$$

klämspänning 396 V

Diagram - se luv boken

d) verbyggen:

$$P_o = 90 \text{ W}$$

$$P_k = 3 R_k I_s^2 = 3 \cdot 0,56 \cdot 3^2 = 15,5 \text{ W}$$

$$P_{ct} = \sqrt{3} \cdot 396,2 \cdot 3 \cdot \cos(\phi) = 2093 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{2093 - 90 - 15,5}{2093} = 0,95 \Rightarrow 95\%$$

4

4 poler  $U_n = 400V$

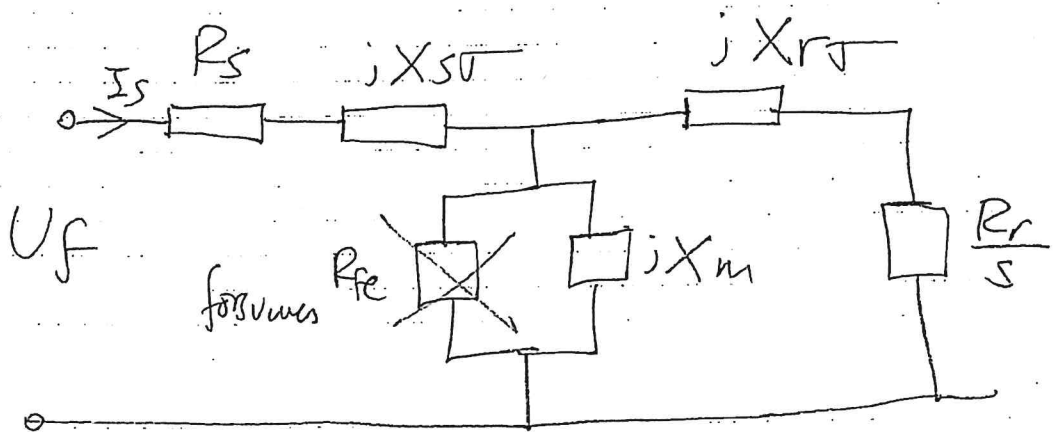
$$R_s = 0,35\Omega \quad R_r = 0,35\Omega / f_{\text{as}}$$

$$X_{rT} = 1\Omega / f_{\text{as}}, \quad R_{fe} = 1000\Omega / f_{\text{as}}$$

$$X_m = 25\Omega / f_{\text{as}} \quad n_n = 1450 \text{ rpm}$$

$$\eta = 85\% \quad X_{ST} = 1\Omega / f_{\text{as}}$$

a)



$$s = \frac{1500 - 1450}{1500} = 0,033$$

$$\frac{R_r}{s} = \frac{0,35}{0,0033} = 10,6\Omega / f_{\text{as}}$$

$$I_s = \frac{U_n}{\sqrt{3} \left( R_s + jX_{ST} + \frac{jX_m(jX_{rT} + \frac{R_r}{s})}{(jX_m + jX_{rT} + \frac{R_r}{s})} \right)}$$

$$= \frac{400}{\sqrt{3} \cdot (0,35 + j \cdot 1 + \frac{j \cdot 25(j \cdot 1 + 10,6)}{(j \cdot 25 + j \cdot 1 + 10,6)})} =$$

$$= 22,5 \angle -31,6 \text{ [A]}$$

b) effekt från nätet:

$$\underline{S} = 3 \cdot U_S \cdot I_S^* = \frac{3 \cdot 400 \cdot 0.22,5}{\sqrt{3}} \angle -31,6$$

$$= 13,4 \times 10^3 + j \cdot 8,2 \times 10^3 \quad (=)$$

$$\begin{cases} P_S = 13,4 \text{ kW} \\ \varphi_S = 8,2 \text{ kVAr (ind)} \end{cases}$$

Motorn belastar nätet med 13,4 kW ( $= P_S$ )

c)  $\eta \cdot P_S = P_m$

$$P_m = T_m \cdot \omega = \frac{T_m \cdot 2\pi n}{60}$$

$$\eta = 0,85$$

så:  $T_m = \frac{P_S \cdot \eta \cdot 60}{2\pi n} = \frac{13,4 \cdot 0,85 \cdot 60}{2\pi \cdot 1450}$

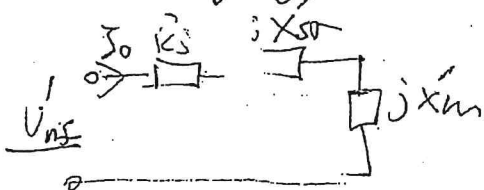
$$= 105 \text{ Nm}$$

d)

$$25 \text{ Hz} \Rightarrow U_n' = 200 \text{ V}$$

( $\frac{U}{f} = \text{konstant}$ )

Tunging  $\Rightarrow$



$$\Rightarrow I_0 = \frac{U_n'}{\sqrt{3}(R_s + j(X_{sr} + jX_{rs} + jX_{m'}))}$$

$$X_{sr}' = 0,5 \Omega / \text{fs}$$

$$X_{rs}' = 0,5 \Omega / \text{fs}$$

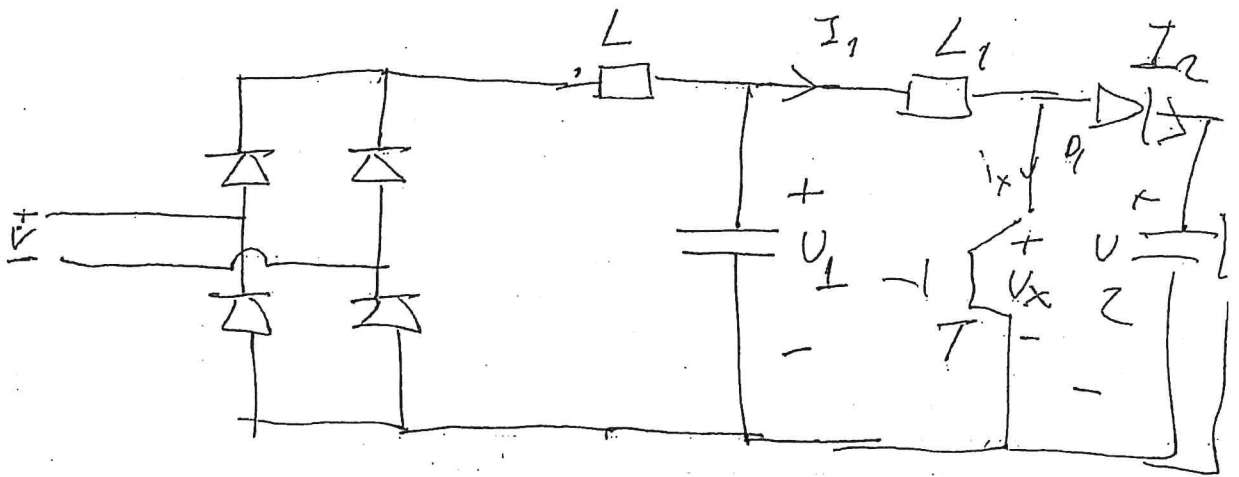
$$d) \quad I_0 = 0,24 - j \cdot 8,9 \quad A$$

$$I_0 = 8,9 \angle -88,4^\circ \quad A$$

---

g)

kretsen:



$$0 \leq t \leq t_p : D_1 \text{ leder}$$

$$t_p < t \leq T \quad T \text{-leder}$$

$$U_d \approx 1,35 \cdot 400 \approx 540 \text{ V} = U_1$$

$$U_2 = 700 \text{ V}$$

$$I_2 = 10 \text{ A}$$

$$U_1 = \frac{t_p}{T} \cdot U_2 \Rightarrow t_p = \frac{U_1 \cdot T}{U_2}$$

$$= \frac{540 \cdot T}{700} \approx \underline{\underline{0,77 \cdot T}} \quad T = \frac{1}{f} = \frac{1}{40400} = \underline{\underline{25 \mu\text{s}}}$$

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$$

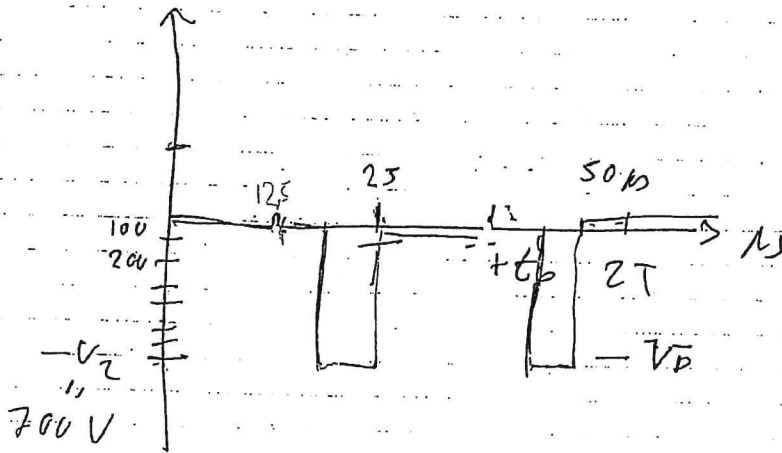
$$I_1 = \frac{700 \times 10}{540} \approx \underline{\underline{13 \text{ A}}}$$

5)

Spänning över Dioden:

b)

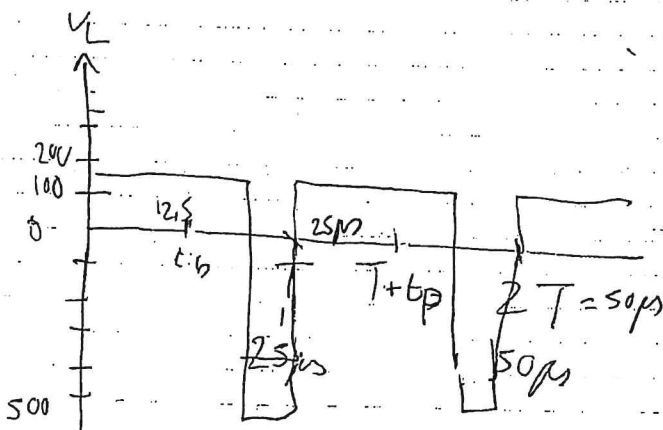
$$\begin{cases} 0 & 0 < t \leq t_p \text{ (Di leder)} \\ -V_2 & t_p < t \leq t_f \end{cases}$$



c)

Spänning över induktin

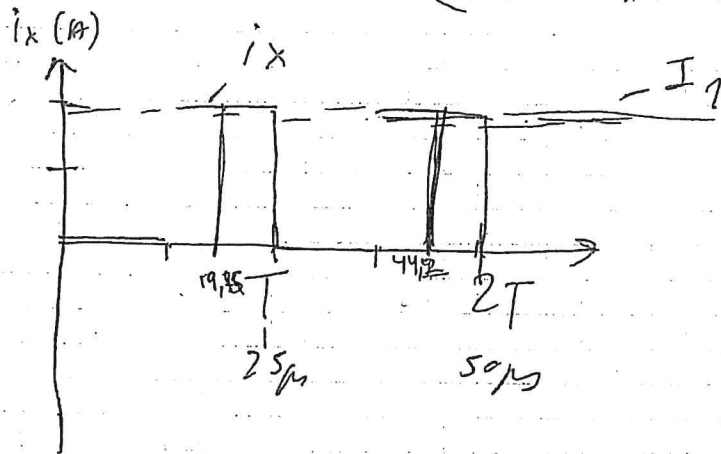
$$\begin{cases} V_2 - V_1 & 0 < t \leq t_p : 160 \\ -V_1 & t_p < t \leq t_f : -540 \end{cases}$$

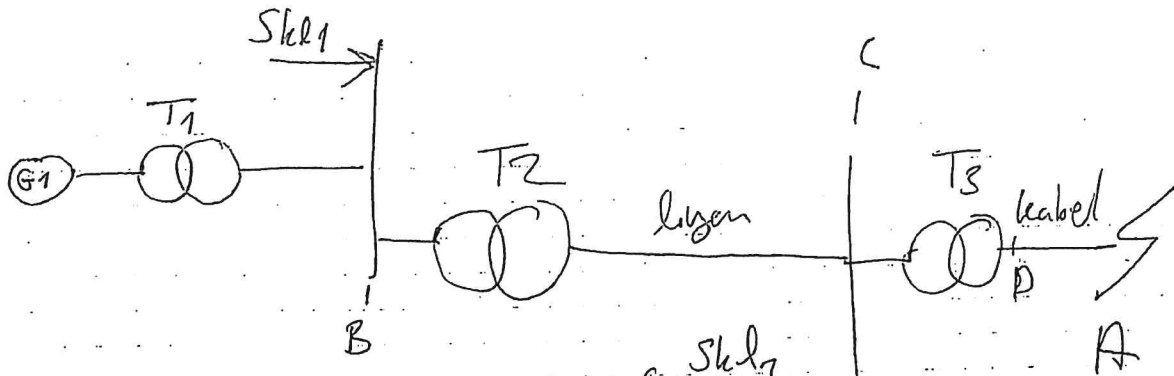




d)

$$i_x = \begin{cases} 0 & 0 \leq t < t_p \\ I_1 & t_p \leq t \leq T \end{cases}$$





$$S_{kG1} = \frac{S_{nG1}}{x_d} = \frac{40 \times 10^6}{0,2} = 200 \text{ MVA}$$

$$S_{nT1} = \frac{S_{nT1}}{Z_k} = \frac{40 \times 10^6}{0,12} = 333,3 \text{ MVA}$$

$$S_{kT2} = \frac{S_{nT2}}{Z_k} = \frac{200 \times 10^6}{0,05} = 4000 \text{ MVA}$$

$$S_{kT3} = \frac{S_{nT3}}{Z_k} = \frac{200 \times 10^6}{0,1} = 2000 \text{ MVA}$$

$$S_{kl1} = 100 \text{ MVA} \quad ; \quad S_{kl2} = 200 \text{ MVA}$$

redmiej:  $l = 40 \text{ km}$ ,  $Z_{km} = \sqrt{0,4^2 + 0,15^2} = 0,427 \Omega/\text{km}$

$$Z_{k\text{tot}} = Z_{km} \cdot 40 = 17,1 \Omega$$

$$S_{k\text{cabe}} = \frac{U_n^2}{Z_{k\text{tot}}} = \frac{(400 \times 10^3)^2}{17,1} = 9357 \text{ MVA}$$

$$Z_{\text{kabel}} = \sqrt{0,1^2 + 0,05^2} = 0,1118 \Omega/\text{km}$$

$$Z_{\text{kabe}} = 0,1118 \cdot 1 = 0,1118 \Omega$$

$$S_{\text{kabel}} = \frac{(130 \times 10^3)^2}{0,1118} = 151,16 \text{ GVA}$$

6

$$S_{kB} = \left( S_{kL1} + \frac{S_{kG1} \cdot S_{kT1}}{S_{kG1} + S_{kT1}} \right) = 225 \text{ MVA}$$

$$S_{kC} = \left( S_{kL2} + \frac{\left( \frac{S_{kB} \cdot S_{kT2}}{S_{kB} + S_{kT2}} \right) \cdot S_{kLuge}}{\frac{S_{kB} \cdot S_{kT2}}{S_{kB} + S_{kT2}} + S_{kLuge}} \right) \approx 408,3 \text{ MVA}$$

$$S_{kD} = \frac{S_{kC} \cdot S_{kT3}}{S_{kC} + S_{kT3}} = 339 \text{ MVA}$$

$$S_{kA} = \frac{S_{kD} \cdot S_{kKabel}}{S_{kD} + S_{kKabel}} \approx 338 \text{ MVA}$$

$$I_k = \frac{\sqrt{3} S_{kA}}{\sqrt{3} U} = 1,5 \text{ kA}$$

