

## Tentamen i ELTEKNIK för E3, EEK 141

Datum:	onsdag, den 13 januari 2021
Tid/Plats	em / "zoom"-salar
Lösningar:	Anslås på hemsidan 14 januari
Betygsgränser:	$\geq 25$ ger godkänt
Resultat:	Anslås senast 29 januari 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 samt närvaro 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. En belastning bestående av tre lika impedanser  $\underline{Z} = (15 + j9) \Omega$  kopplade i  $\Delta$  är ansluten till ett 690 V symmetriskt trefasnät.

a) Bestäm fasström som nätet belastas med, av lasten upptagen skenbareffekt uttryckt i komplexform samt lastens effektfaktor. Hur stor ström flyter genom respektive impedans  $\underline{Z}$  ?  
(3p)

b) Anta att säkringen i en fas löser ut (går sönder). Hur stor ström flyter då i de andra faserna? Med hur stor aktiv och reaktiv effekt belastas nätet då?  
(3p)

c) Parallellt med lasten enligt a) ansluts nu ett kondensatorbatteri bestående av tre kondensatorer med reaktansen  $X_c = 20 \Omega$ . Kondensatorerna är Y - kopplade. Bestäm den fasström som nätet belastas med, av lasten upptagen skenbareffekt uttryckt i komplexform samt lastens effektfaktor efter inkopplingen av kondensatorerna.  
(3p)

d) Rita visardiagram över alla strömmar förekommande i systemet, enligt c), utgående ifrån en ekvivalent Y-fas krets.  
(1p)

2. En trefasledning har en seriereaktans på  $15 \Omega/\text{fas}$  och såväl försumbar serieresistans som shuntkapacitans. Denna är ansluten till en last som upptar en aktiv effekt på 250 kW och en reaktiv effekt på 75 kVAr. Spänningen håller man konstant i sändar- och mottagarändan, (den hålls på 20 kV). Beräkna storleken på överföringsvinkeln samt storleken på kondensatorbatteriet vilket behövs kopplas vid lasten. Ange dess kapacitans när denna  $\Delta$  - kopplas.  
(4p)

3. Tomgångs- och kortslutningsprov har utförts på en trefastransformator märkt:  
40 kVA; 1,5/0,23 kV; D/yn

Proven utförda på transformatorn gav följande resultat:

Tomgångsprov med märkspänning:  $P_0 = 384 \text{ W}$ ,  $I_0 = 10 \text{ A}$

Kortslutningsprov med märkström:  $U_k = 125 \text{ V}$ ,  $P_k = 550 \text{ W}$

Transformatorn ansluts till märkspänning 1,5 kV samt belastas sekundärt med 100 A vid en induktiv effektfaktor  $\cos \varphi = 0,8$ .

- Räkna fram den relativa kortslutningsimpedansen  $z_k$  samt relativa kortslutningsresistansen  $r_k$ . (2p)
- Bestäm parametrarna i det ekvivalenta schemat som fås med hjälp av tomgångsprovet. (2p)
- Bestäm den sekundära klämspänningen på transformatorn. (2p)
- Bestäm belastningsförlusterna i transformatorn. (2p)

4. En trefas, kortsluten asynkronmotor (AM) är märkt:  
690 V;  $P_n = 500 \text{ kW}$ ;  $n_n = 1480 \text{ rpm}$ ;  $f = 50 \text{ Hz}$ ;  $\cos \varphi = 0,92$ ;  $\eta = 0,95$ . Dess parametrar är:  $R_s = 0,004 \text{ } \Omega/\text{fas}$ ;  $L_{\sigma s} = 382 \text{ } \mu\text{H}/\text{fas}$ ;  $L_m = 8 \text{ mH}/\text{fas}$ ;  $X'_{\sigma r} = 0,08 \text{ } \Omega/\text{fas}$ ;  $R'_r = 0,022 \text{ } \Omega/\text{fas}$

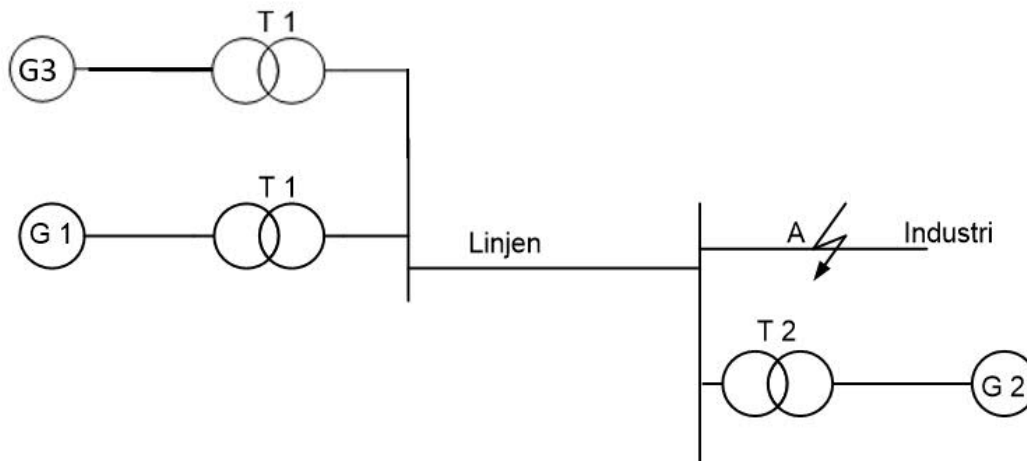
- Rita det ekvivalenta schemat för AM som gäller vid tomgång. (1p)
- Bestäm strömmen som AM belastar nätet med vid tomgång. Hur stor är effektfaktor vid tomgång? (2p)
- Med hur stor aktiv och reaktiv effekt belastar AM nätet med vid tomgång och vid märkdrift? (2p)
- Hur stor, Y – kopplad, kondensatorbatteri är det lämpligt att ansluta parallellt med AM? Ange  $Q_c$  samt  $X_c$ . (2p)

5. En LS-omriktare är ansluten till en enfas helvågslikriktare matad från ett 230 V enfasnät.

Likriktaren har stor glättningsinduktans. LS-omriktaren skall ge en stabil likspänning till provning av 120 V apparater som drar  $I = 5 \text{ A}$ . Switchfrekvensen i omriktaren är 100 kHz.

- Rita kopplingen. (2p)
- Hur lång tid under varje modulationsperiod leder transistorn? Rita upp hur spänningen över dioden  $u(t)$  ser ut under två modulationsperioder. Gradera axlarna på diagrammet. (2p)
- Vad blir strömmen  $i(t)$  genom transistorn och strömmen ifrån likriktaren? Rita in dem i ett diagram med graderade axlar. (2p)

6. Beräkna kortslutningseffekt och kortslutningsström vid trefasig kortslutning i punkt A i figuren nedan. Använd metoden med delkortslutningseffekter.



Följande data gäller för generatorerna, transformatorerna och linjen:

Generator G1		60 MVA, 10 kV	$x_d = 12 \%$
Generator G2		50 MVA, 20 kV	$x_d = 20 \%$
Transformatorer T1	d/YN	48 MVA, 10/130 kV	$z_k = 8 \%$
Generator G3		40 MVA, 10 kV	$x_d = 10 \%$
Transformator T2	d/YN	50 MVA, 20/130 kV	$z_k = 10 \%$
Linjen (luftledning)	40 km	$x = 0,4 \Omega/\text{fas},\text{km}$	$r = 0,15 \Omega/\text{fas},\text{km}$

(6p)

7. Beskriv tre olika metoder som används för att begränsa startströmmen för asynkronmotorer. Ange princip samt fördelar och nackdelar med respektive metod. (3p)
8. Vad är det som avgör hur allvarliga personskadorna blir vid elolyckor? Hur kan man skydda mot personskador? Beskriv ett 4-ledar- resp. ett 5-ledarsystem för anslutning av en elektrisk installation. Vilket är bäst ur säkerhetssynpunkt? (2p)

9. En synkrogenerator alstrar konstant aktiv effekt vid konstant spänning. Förklara med hjälp av ett visardiagram hur styr man generatoren för att den skall avge eller uppta reaktiv effekt. Ange tydligt respektive fall samt utgå från modellen. (2p)

10. I hushållen installeras, nuförtiden obligatoriskt, en jordfelsbrytare. Varför gör man det? Beskriv hur fungerar en enfas jordfelsbrytare fungerar. Varför bör man konditionera en jordfelsbrytare minst en gång varje år?

(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 :**

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

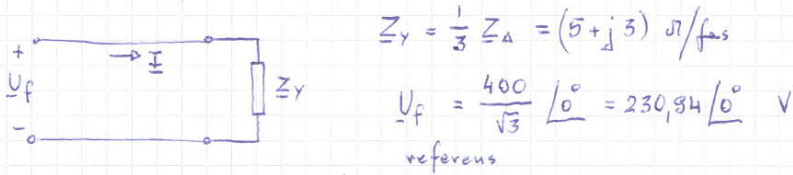
$$U_{\text{värf}} = b = X_l I \cos \varphi_2 - R_l I \sin \varphi_2$$



Lösning tentamen EEK 141 13-1-20

1/1  $Z_{\Delta} = (15 + j9) \Omega$  ;  $U = 400 \text{ V}$

a) Ekv. Y-fas krets:



$Z_Y = 5 + j3 = 5,83 \angle 31^\circ \Omega / \text{fas} \Rightarrow \underline{\cos \varphi = 0,857}$

$I = \frac{U_f}{Z_Y} = \frac{230,94 \angle 0^\circ}{5,83 \angle 31^\circ} = \underline{\underline{39,6 \angle -31^\circ \text{ A}}}$

$I_{\Delta} = \frac{I}{\sqrt{3}} = \underline{\underline{22,87 \text{ A}}}$

$S = 3 U_f I^* = 3 \cdot 230,94 \angle 0^\circ \cdot 39,6 \angle 31^\circ =$   
 $= 27,44 \cdot 10^3 \angle 31^\circ = \underline{\underline{(23,52 \cdot 10^3 + j 14,13 \cdot 10^3) \text{ VA}}}$

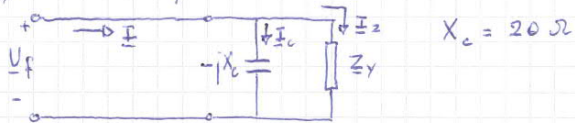
$P = 23,52 \text{ kW} ; Q = 14,13 \text{ kVAR}$

$$\underline{S} = 3 U_f \underline{I}^* = 3 \cdot 230,94 \angle 0^\circ \cdot 39,6 \angle 31^\circ =$$

$$= 27,44 \cdot 10^3 \angle 31^\circ = (23,52 \cdot 10^3 + j 14,13 \cdot 10^3) \text{ VA}$$

$$P = 23,52 \text{ kW}; Q = 14,13 \text{ kVAr}$$

c) Ekv. Y-fas krets:



$$\underline{I}_z = 39,6 \angle -31^\circ = (33,94 - j 20,4) \text{ A} \quad \text{enl. a)}$$

$$\underline{I}_c = \frac{U_f}{-jX_c} = j \frac{230,94 \angle 0^\circ}{20} = j 11,55 \text{ A}$$

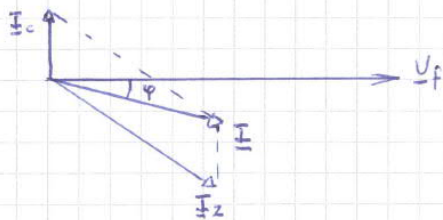
$$\underline{I} = \underline{I}_c + \underline{I}_z = 33,94 - j 20,4 + j 11,55 = 33,94 - j 8,85 =$$

$$= 35,1 \angle -14,61^\circ \text{ A} \quad \Rightarrow \quad \cos \varphi = 0,968$$

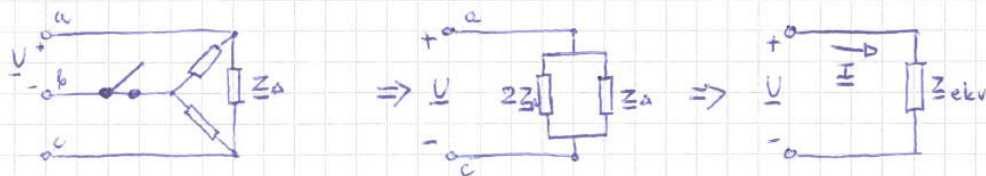
$$\underline{S} = 3 U_f \underline{I}^* = 24,32 \cdot 10^3 \angle 14,61^\circ = (23,52 \cdot 10^3 + j 6,13 \cdot 10^3) \text{ VA}$$

$$P = 23,52 \text{ kW}; Q = 6,13 \text{ kVAr}$$

d) Visardigram:



b) Anta att säkringar i fas b löser ut:



$$\underline{Z}_{ekv} = 2 \underline{Z}_A // \underline{Z}_A = \frac{2}{3} \underline{Z}_A = 11,66 \angle 31^\circ \Omega$$

$$\underline{I} = \frac{U}{\underline{Z}_{ekv}} = \frac{400 \angle 30^\circ}{11,66 \angle 31^\circ} = 34,3 \angle -1^\circ \text{ A}$$

$$\underline{S} = \underline{U} \underline{I}^* = 400 \angle 30^\circ \cdot 34,3 \angle 1^\circ = 13,72 \cdot 10^3 \angle 31^\circ =$$

$$= (11,76 \cdot 10^3 + j 7,07 \cdot 10^3) \text{ VA}$$

↓  
P

↓  
Q

2.

$$X_L = 15 \Omega/\text{faz}; P_2 = 250 \text{ kW}; Q_2 = 75 \text{ kVAR}$$

$$U_1 = U_2 = 20 \text{ kV}$$

$$\Psi = ?; Q_c = ?; C_A = ?$$

$$P = \frac{U_1 \cdot U_2}{X_L} \sin \Psi \Rightarrow \sin \Psi = \frac{250 \cdot 10^3 \cdot 15}{(20 \cdot 10^3)^2} = 0,0094$$

$$\Psi = 0,537^\circ$$

$$I = \frac{P_2}{\sqrt{3} U_2 \cos \varphi_2} = \frac{250 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cos \frac{0,537}{2}} = 7,22 \text{ A}$$

$$\varphi_2 = \frac{\Psi}{2}$$

$$I = \frac{P_2}{\sqrt{3} U_2 \cos \varphi_2} = \frac{250 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cos \frac{0,537}{2}} = 7,22 \text{ A}$$

$$\varphi_2 = \frac{\Psi}{2}$$

$$Q_L = 3 X_L I^2 = 3 \cdot 15 \cdot 7,22^2 = 2346 \text{ VAR}$$

$$Q_c = Q_2 + \frac{Q_L}{2} = 75 + 1,173 = 76,17 \text{ kVAR}$$

$$Q_c = 3 U_c I_c = 3 \omega C U_c^2 \quad U_c = 20 \text{ kV}$$

$$C_A = \frac{76,17 \cdot 10^3}{3 \cdot 100\pi \cdot (20 \cdot 10^3)^2} = 202 \text{ nF} \quad \text{i varje gren}$$



3-fas trafo:  $S_n = 40 \text{ kVA}$ ;  $4,5/0,23 \text{ kV}$ ;  $D/y_n$

(5)

a)  $z_k = ?$ ;  $r_k = ?$

$$U_k = 125 \text{ V}; P_k = 550 \text{ W}; I_k = I_{1n}$$

$$I_k = I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} U_{1n}} = \frac{40 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 4,5 \cdot 10^3} = 15,4 \text{ A}$$

$$R_k = \frac{P_k}{3 I_k^2} = \frac{550}{3 \cdot 15,4^2} = 0,77 \text{ } \Omega/\text{fas} \quad (R'_k = 0,018 \text{ } \Omega/\text{fas})$$

$$Z_k = \frac{U_{kf}}{I_k} = \frac{125}{\sqrt{3} \cdot 15,4} = 4,68 \text{ } \Omega/\text{fas} \Rightarrow X_k = 4,62 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$Z_{\text{bas}} = \frac{U_{1n}^2}{S_n} = \frac{(4,5 \cdot 10^3)^2}{40 \cdot 10^3} = 56,25 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$z_k = \frac{4,68}{56,25} = 0,0832; r_k = \frac{0,77}{56,25} = 0,0137$$

$$\underline{z_k = 8,32\%}; \underline{r_k = 1,37\%}$$

b)  $R_{Fe} = ?$ ;  $X_m = ?$

$$P_o = 384 \text{ W}; I_o = 10 \text{ A}; U_o = U_{2n} = 230 \text{ V}$$

$$P_{of} = \frac{384}{3} = 128 \text{ W}; R_{Fe} = \frac{U_{of}^2}{P_{of}} = \frac{\left(\frac{230}{\sqrt{3}}\right)^2}{128} = 137,8 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$Q_{of} = \sqrt{S_{of}^2 - P_{of}^2} = \sqrt{\left(\frac{230}{\sqrt{3}} \cdot 10\right)^2 - 128^2} = 1321,7 \text{ VAR}$$

$$X_m = \frac{U_{of}^2}{Q_{of}} = \frac{\left(\frac{230}{\sqrt{3}}\right)^2}{1321,7} = 13,34 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$R_{Fe} = 137,8 \text{ } \Omega/\text{fas}; X_m = 13,34 \text{ } \Omega/\text{fas} \quad \text{hänfört till nedsp. sidan}$$

c)  $U_2 = ?$ ;  $I_2 = 100 \text{ A}$ ;  $\cos \varphi_2 = 0,8$

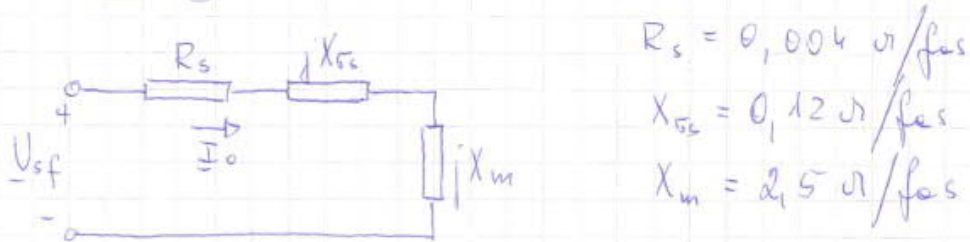
$$\Delta U = \sqrt{3} I_2 (R'_k \cos \varphi_2 + X'_k \sin \varphi_2) = \sqrt{3} \cdot 100 (0,018 \cdot 0,8 + 0,11 \cdot 0,6) = 13,93 \text{ V}$$

$$\underline{U_2 = 230 - 13,93 = 216,07 \text{ V}}$$

$$\underline{\underline{P_{cu} = 3 R'_k I_2^2 = 3 \cdot 0,018 \cdot 100^2 = 540 \text{ W}}}$$

AM;  $U_n = 690\text{V}$ ;  $P_n = 500\text{ kW}$ ;  $\cos\varphi = 0,92$ ;  $\eta = 0,95$

a) Tomgång:  $s \approx 0 \Rightarrow$



$$R_s = 0,004 \Omega/\text{fas}$$

$$X_{cs} = 0,12 \Omega/\text{fas}$$

$$X_m = 2,5 \Omega/\text{fas}$$

$$b) \underline{I}_0 = \frac{U_{sf}}{R_s + j(X_{cs} + X_m)} = \frac{\frac{690}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ}{0,004 + j2,62} = 152,05 \angle -89,91^\circ \text{ (A)}$$

$$\cos(-89,91^\circ) = 0,0016 = \cos\varphi_0$$

$$c) P_0 = 3 U_{sf} I_0 \cos\varphi_0 = 285,44 \text{ W}$$

$$Q_0 = 3 U_{sf} I_0 \sin\varphi_0 = 181,72 \text{ kVAR}$$

$$P_s = \frac{P_n}{\eta} = \frac{500}{0,95} = 526,32 \text{ kW}$$

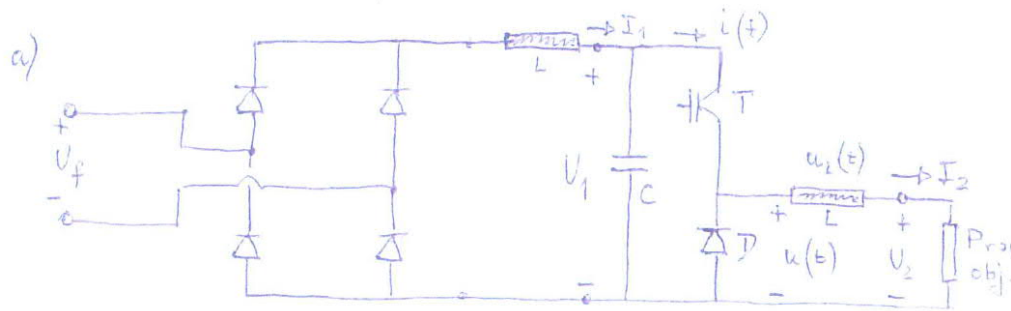
$$\cos\varphi = 0,92 \Rightarrow Q_s = 224,21 \text{ kVAR}$$

d)  $Q_c = Q_0$  (för att undvika överkompensering)

$$X_c = \frac{3U_c^2}{Q_c} \quad \text{om Y-kopplad} \quad U_c = U_{sf}$$

$$X_c = 2,62 \Omega/\text{fas}$$

En enfasisig halvögsdiadliktare ; en en-kvadrant LS-omriktare



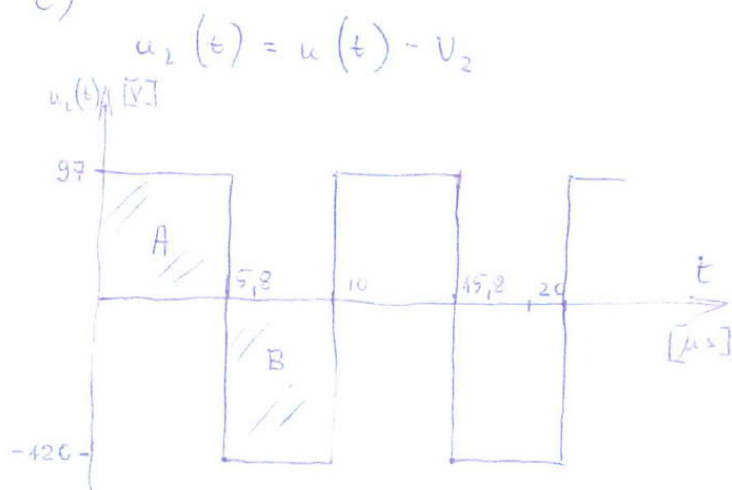
$$U_f = 230 \text{ V}; U_2 = 120 \text{ V}; I_2 = 6 \text{ A}; f_{sw} = 100 \text{ kHz}$$

b)  $t_p = ?$

$$U_1 = \frac{1}{\pi} \int \sqrt{2} U_f \sin \omega t d(\omega t) \approx 0,9 U_f = 207 \text{ V}$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{t_p}{T}; T = \frac{1}{f_{sw}} = 10 \mu\text{s}; t_p = 5,8 \mu\text{s}$$

c)

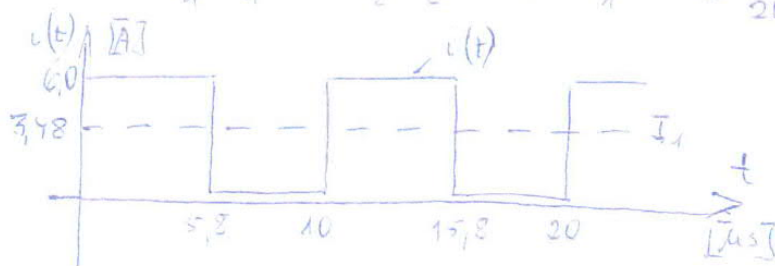


$$u_2(t) = \begin{cases} 87 \text{ V} & 0 < t < t_p \\ -120 \text{ V} & t_p < t < T \end{cases}$$

Medelvärde av  $u_2$  skall vara noll  $\Rightarrow A = B$

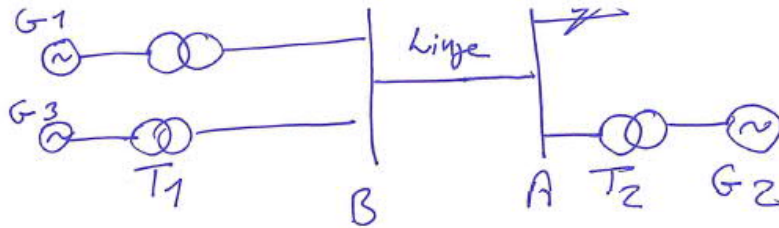
d)  $i(t) = ?; I_1 = ?$

$$I_1 U_1 = I_2 U_2 \Rightarrow I_1 = 6 \frac{120}{207} = 3,48 \text{ A}$$



$$i(t) = \begin{cases} 6 \text{ A} & 0 < t < t_p \\ 0 \text{ A} & t_p < t < T \end{cases}$$

g)



$$G_1: S_{KG1} = \frac{S_n}{X_d} = \frac{48}{0,12} = 400 \text{ MVA}$$

$$G_2: S_{KG2} = \frac{S_n}{X_d} = \frac{50}{0,12} = 250 \text{ MVA}$$

$$G_3: S_{KG3} = \frac{S_n}{X_d} = \frac{40}{0,11} = 400 \text{ MVA}$$

$$T_1: S_{KT1} = \frac{S_n}{Z_k} = \frac{48}{0,08} = 600 \text{ MVA}$$

$$T_2: S_{KT2} = \frac{S_n}{Z_k} = \frac{50}{0,11} = 500 \text{ MVA}$$

$$\text{Linjen: } R = 4 \times 0,15 = 6 \Omega / \text{fas}$$

$$X = 40 \times 0,4 = 16 \Omega / \text{fas}$$

$$Z_k = \sqrt{R^2 + X^2} = 17,09 \Omega / \text{fas}$$

$$S_{k\text{linje}} = \frac{U^2}{Z_k} = 989 \text{ MVA} \quad [U = 130 \times 10^3 \text{ V}]$$

$$\text{Från vänster: Gen}_1 + \text{tr}_1: \frac{1}{S_{K1}} = \frac{1}{S_{KG1}} + \frac{1}{S_{KT1}} \Rightarrow S_{K1} = 240 \text{ MVA}$$

$$\text{Gen}_3 + \text{tr}_1: \frac{1}{S_{K2}} = \frac{1}{S_{KG3}} + \frac{1}{S_{KT1}} = \frac{1}{400} + \frac{1}{600} \Rightarrow S_{K2} = 240 \text{ MVA}$$

$$S_{KB} = S_{K1} + S_{K2} = 480 \text{ MVA}$$

$$S_{KA\text{vänster}}: \frac{1}{S_{KA\text{vänster}}} = \frac{1}{S_{KB}} + \frac{1}{S_{k\text{linje}}} \Rightarrow S_{KA\text{vänster}} = 323,2 \text{ MVA}$$

$$\frac{1}{S_{KA\text{höger}}} = \frac{1}{S_{KG2}} + \frac{1}{S_{KT2}} \Rightarrow S_{KA\text{höger}} = 166,67 \text{ MVA}$$

$$S_{KA} = S_{KA \text{ v\u00e4nster}} + S_{KA \text{ H\u00f6ger}} = 490 \text{ MVA}$$

$$I_k = \frac{S_{KA}}{\sqrt{3}U} = \frac{490 \times 10^6}{\sqrt{3} \cdot 130 \times 10^6} = \underline{\underline{2.17 \text{ kA}}}$$