

Tentamen i ELTEKNIK för E3, EEK 141

Datum:	onsdag, den 12 januari 2022
Tid/Plats	em /
Lösningar:	Anslås på hemsidan 13 januari
Betygsgränser:	≥ 25 ger godkänt, 4:a ≥ 36 p och 5:a ≥ 43 p
Resultat:	Anslås senast 25 januari 2022
Granskning:	Se resultatlista
Hjälpmedel:	Typgodkänd räknare, räknetabeller (Standard Mathematical Tables, Tefyma, Elfyma, Beta) samt Physics Handbook etc.
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. Till ett 400 V, 50 Hz symmetriskt trefasnät är följande symmetriska trefasiga belastningar anslutna:

- I. En Y-kopplad elmotor som förbrukar 5 kW vid $\cos\varphi = 0,707$
- II. Tre Δ -kopplade impedanser vardera på $(3 - j12) \Omega$
- III. Glödlampssatser som förbrukar 3,0 kW vid $\cos\varphi = 1$

a) Beräkna den första lastens impedans per fas uttryckt i komplex form. (1p)

b) Bestäm fasströmmarna som respektive last belastar nätet med samt den totala strömmen som tas ifrån nätet. Alla strömmar skall anges i komplex form. Rita ett visardiagram över alla strömmar beräknade med nätets fasspänning som referens. (3p)

c) Bestäm den från nätet totalt avgivna skenbara, aktiva och reaktiva effekten samt den effektfaktor med vilken nätet arbetar. Har nätets totala belastning induktiv eller kapacitiv karaktär?

(2p)

2. En bensinstation är ansluten till ett elnät via en 25 km lång 12 kV kabel med impedansen $Z_L = (0 + j1) \Omega/\text{fas}/\text{km}$. Lasten för bensinstationen kan representeras av impedansen $Z_b = (300 + j100) \Omega/\text{fas}$.

a) Beräkna spänningen samt överföringsvinkeln vid bensinstationen i dagsläget.

Antag att spänningen i matande ände är 10.5 kV. (3p)

Bensinstation planerar att införskaffa sig snabbladningsstationer för elbilar. Effekten från en laddstation antas vid 10.5 kV vara 100 kW vid effektfaktorn $\cos \phi = 0.95$, induktiv.

b) Går det att installera och använda fyra laddstationer samtidigt vid bensinstationen

utan att spänningen faller under 10 kV? Vad blir spänningen vid bensinstationen i

det här fallet? Hur stor aktiv och reaktiv effekt dras från elnätet i detta fall. Antag

att spänningen i matande ände är 10.5 kV. (3p)

c) Hur kan man minimera strömmen i den matande kabeln och vad blir den minsta

strömmen som dras från elnätet i detta fall (utgå från den totala lasten i uppgift b

samt att spänningen i matande ände är 10.5 kV)? (3p)

3. En trefastransformator är märkt 690/400V, 3000VA samt D/d. På transformatorn görs ett kortslutningsprov och ett tomgångsprov. Vid kortslutningsprovet matas uppspänningssidan med 45V. Transformatorn drar då 30W i aktiv effekt. Vid tomgångsprovet drar transformatorn en aktiv effekt på 140W och fasströmmen är 0.5 A.

a) Beräkna X_k , R_k , R_{fe} och X_m i det förenklade schemat, alla hänfödda till nedspänningssidan. (2p)

b) Bestäm strömstorleken igenom transformatorns respektive lindningar vid märklast. (Vad är strömmen i primär/sekundärlindningen). (2p)

c) Transformatorn har 138 varv per fas på primärsidan, uppskatta antalet varv per fas på sekundärsidan. (1p)

4. För en 20 kW asynkronmaskin är följande värden på parametrarna i det ekvivalenta Y-fas-schemat uppmärkta på en skylt. Varvtalet vid fullast är markerat 970 rpm.

$$R_s = 0,25 \Omega/\text{fas} \quad L_{\sigma s} = 2,5 \text{ mH}/\text{fas} \quad R'_r = 0,19 \Omega/\text{fas}$$

$$L'_{\sigma r} = 2,1 \text{ mH}/\text{fas}, \quad R_{Fe} = \text{försummas}, \quad L_m = 42,7 \text{ mH}/\text{fas}$$

- a) Beräkna fasströmmen vid fullast när maskinen är kopplad till ett 400 V nät med 50 Hz. (3)
- b) Hur stor reaktiv effekt drar motorn vid märklast? (1p)
- c) Hur stor reaktiv effekt drar motorn vid tomgång? (3p)

Motorn används för att driva en last vars vridmoment är 15 Nm vid 0 rpm och sedan ökar proportionellt med varvtalet för att bli 60 Nm vid 1000 rpm.

- d) Beräkna vid vilket varvtal och vridmoment last/motor kombinationen kommer att arbeta. (3p)
- e) Ange polpartalet för motorn. (1p)

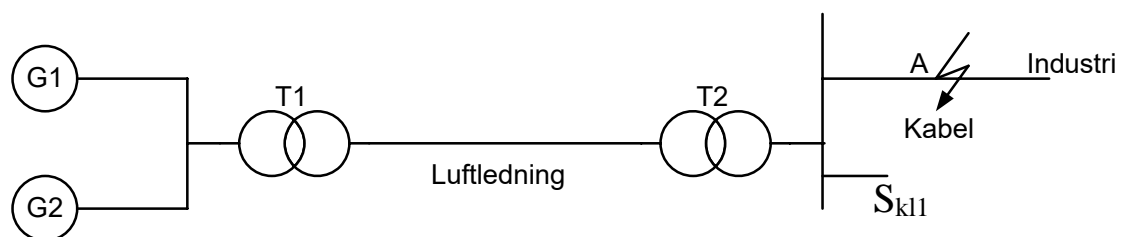
Gör lämpliga approximationer.

5. En LS-omriktare används för att skapa en stabil likspänning för provning av apparater. Omriktaren är ansluten till en enfasig diodlikriktare matad från en av faserna på ett 400 V trefasnät. Switchfrekvensen i omriktaren är 20 kHz. Apparaterna på omriktarens utgång kan beskrivas som en ekvivalent resistans på 10 Ohm och omriktaren drar en effekt på 414 W. Förluster i omriktaren kan försummas.

- a) Rita upp kretsen, förklara dess funktion och inkludera de komponenter som behövs. Beräkna pulskvoten. (2p)
- b) Rita strömmen $i_c(t)$ och spänningen $u_L(t)$ under två perioder av modulationen. Gradera axlarna på diagrammet. På vilket sätt kan man kontrollera att diagrammet är ritat på rätt sätt? (2p)
- c) Vad blir strömmen genom transistoren och strömmen ifrån likspänningskällan? Rita in dessa i ett diagram med graderade axlar. (2p)

6. En kraftstation bestående av två generatorer matar över en transformator (T1) en 60 km lång 130 kV luftledning. I andra ändan av ledningen transformeras spänningen ner till 20 kV (T2) och bland annat matas en industri via en 4 km lång kabel. Det inträffar en trefasig kortslutning i mitten av kabeln. Beräkna kortslutningsströmmen i denna punkt A med hjälp av kortslutningseffekter!.

(5p)



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	$x = 0,1 \Omega/\text{fas},\text{km}$	$r = 0,05 \Omega/\text{fas},\text{km}$	

Kortslutningsaffekt från anslutande ledning:

$$S_{kl1} = 200 \text{ MVA}$$

7. Vad krävs för att starta en enfas asynkronmotor. Beskriv ett sätt att göra det. (3p)

8. Rita $T = f(n)$ för en separatmagnetiserad likströmsmaskin samt för en seriemagnetiserad likströmsmaskin. Varför kan det vara skadligt att starta och arbeta obelastad för en serie motor? (3p)

9. Varför skyddar inte säkringar människor som rent fysiskt kommer i kontakt med en spänningsförande ledning?? Föreslå och beskriv i detalj en lösning samt under vilka förutsättningar denna ändå inte fungerar. (2p)

Formelblad i Elteknik

Trefassystem:

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

$$\underline{Z}_Y = \frac{\underline{Z}_\Delta}{3} \quad I = \sqrt{3}I_\Delta$$

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

$$Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi = 3U_f I \sin \varphi$$

$$S = \sqrt{3}UI = 3U_f I \quad \underline{S} = 3\underline{U}_f \underline{I}^* = P + jQ$$

Spänningsfall:

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

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

Transformatorn:

$$E = 4,44 fNAB\hat{B}$$

$$\frac{U_1}{U_2} \cong \frac{N_1}{N_2} \cong \frac{I_2}{I_1} \quad Z'_2 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z_2$$

$$\Delta U = \sqrt{3}I(R_k \cos \varphi + X_k \sin \varphi)$$

Formelblad i Elteknik

Synkronmaskin:

$$P = 3 \frac{E_f U_f}{X_d} \sin \delta$$

Likströmsmaskin:

$$U_a = E_a \pm R_a I_a$$

$$T = k \cdot I_f \cdot I_a$$

Kraftelektronik:

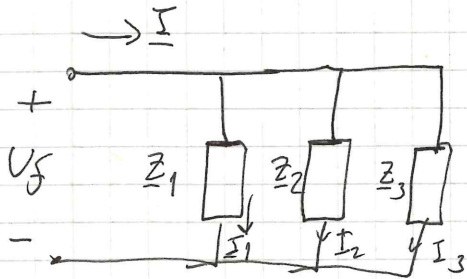
Likriktare:

$$U_d = \frac{1}{T} \int_0^T u_{ab}(\omega t) d(\omega t)$$

1

$$U = 400 \text{ V} \quad f = 50 \text{ Hz} \quad \text{trefoles}$$

ELW γ -fas hcs



Last I: El motor, $P = 5 \text{ kW}$, $\cos \varphi = 0,707$

Last II: $Z_2 = (3 - j12) \Omega$

Last III: $P = 3 \text{ kW}$ $\cos \varphi = 1, 0$

$$a) b) \quad \text{Last I}_1 = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \varphi} = \frac{5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,707} = 10,21 \text{ A}$$

$$\underline{I}_1 = 10,21 \angle -45^\circ = (7,22 - j7,22) \text{ A}$$

$$\underline{Z}_1 = \frac{U_f}{\underline{I}_1} = \frac{\frac{400}{\sqrt{3}} \angle 0}{10,21 \angle -45} = 22,62 \angle 45 = (16 + j16) \Omega / \text{fas}$$

$$\text{Last II} \quad Z_2 = 3 - j12 \Rightarrow \underline{Z}_2 = 1 - j4 = 4,12 \angle -75,96^\circ \Omega / \text{fas}$$

$$\text{Last III:} \quad \underline{I}_2 = \frac{U_f}{\underline{Z}_2} = \frac{\frac{400}{\sqrt{3}} \angle 0}{4,12 \angle -75,96} = (15,6 + j54,38) \text{ A}$$

$$\underline{I}_3 = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \varphi} = \frac{3 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 4,33 \text{ A}$$

$$\underline{I}_3 = 4,33 \angle 0^\circ \text{ A}$$

$$\underline{I}_{\text{tot}} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = 25,15 + j46,8 = 53,2 \angle 61,7^\circ$$

$$c) \quad \underline{S} = 3 \cdot U_f \cdot \underline{I}^* = \frac{3 \cdot 400 \angle 0}{\sqrt{3}} \cdot 53,2 \angle -61,7^\circ = 36858 \angle -61,7^\circ$$

$$= (17,47 - j32,45) \times 10^3 \text{ VA} \quad P = 17,47 \text{ kW}$$

kapacitiv korrektor

$$\varphi = -32,45 \text{ kVAR}$$

2

Elnät - kabel - bensustation $l = 25 \text{ km}$

$$U_1 = 10,5 \text{ kV} ; Z_L = j1 \text{ } \Omega/\text{fas}/\text{km} ; Z_b = (300 + j100) \text{ } \Omega/\text{fas}$$

a)

$$U_2 = ? ; \psi = ?$$

$$Z_L = j25 \text{ } \Omega/\text{fas} ; Z_b = 300 + j100 = 316,23 / 18,43^\circ \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$Z_{\text{tot}} = 300 + j125 = 325 / 22,62^\circ \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$\underline{I} = \frac{\frac{10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ}{325 / 22,62^\circ} = 18,65 / -22,62^\circ \text{ A}$$

$$U_{2f} = Z_b \cdot \underline{I} = 5897,7 / -4,19^\circ \text{ V} \Rightarrow \underline{U}_2 = 10,215 \text{ kV}$$

$$\underline{\psi} = 4,19^\circ$$

b) 4 st laddstationer ; $P_{\text{lad}} = 100 \text{ kW} ; \cos \psi = 0,95$

$$U_2 = ? ; P = ? ; Q = ?$$

$$P_{\text{lad}} = 400 \text{ kW} \Rightarrow Q_{\text{lad}} = P \tan \psi = 131,47 \text{ kVAr}$$

$$\underline{S}_{\text{lad}} = (400 + j131,47) 10^3 = 421,05 / 18,19^\circ \text{ kVA}$$

$$\underline{Z}_{\text{lad}} = \left(\frac{3 (U_2)^2}{S} \right)^* = 261,85 / 18,19^\circ \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$\underline{Z}'_b = \underline{Z}_b // \underline{Z}_{\text{lad}} = 143,24 / 18,3^\circ \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$\underline{Z}'_{\text{tot}} = 152,95 / 27,23^\circ \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$\underline{I}' = \frac{\frac{10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ}{152,95 / 27,23^\circ} = 39,64 / -27,23^\circ \text{ A} = (35,24 - j12,14) \text{ A}$$

$$U'_{2f} = \underline{Z}'_b \cdot \underline{I}' = 5677,3 / -8,93^\circ \text{ V} \Rightarrow \underline{U}'_2 = 9,83 \text{ kV}$$

$$\underline{U}'_2 < 10,0 \text{ kV}$$

$$\underline{S} = 3 U'_{2f} (\underline{I}')^* = 675,06 / 18,3^\circ \text{ kVA} = \begin{matrix} (640,92 + j211,90) \text{ kVA} \\ \downarrow \quad \downarrow \\ P \quad Q \end{matrix}$$

2

c) Faskompensering $\Rightarrow \underline{I}'' < \underline{I}'$

$$\Rightarrow \underline{S} = \underline{P} = 640,92 \text{ kW (enl b)} ; \underline{I} = 35,24 \text{ A (enl b)}$$

$$U_{2f} = \frac{640,92 \cdot 10^3}{3 \cdot 35,24} = 6062,4 \text{ V} \Rightarrow U_2 = 10,5 \text{ kV} = U_1$$

$$\sin \psi = \frac{\underline{P} \cdot X_L}{U^2} = \frac{640,92 \cdot 10^3 \cdot 25}{(10,5 \cdot 10^3)^2} = 0,145$$

$$\psi = 8,36^\circ$$

$$I = \frac{\underline{P}}{3 \cdot U_{2f} \cdot \cos \frac{\psi}{2}} = \frac{640,92 \cdot 10^3}{3 \cdot \frac{10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \cdot \cos 4,18^\circ} = 35,33 \text{ A}$$

3

Trefas transformator 690/400V
 $S_n = 3 \text{ kVA}$, p/d

Kortslutningsprov: $U_{1k} = 45 \text{ V}$
 $P_k = 30 \text{ W}$ - uppsp-sidan

Öppenladdningsprov: $P_o = 140 \text{ W}$ - nedsp-sidan
 $I_o = 0,5 \text{ A}$

a)

Kortslutningsprov: Användar märkström

$$S_n = \sqrt{3} U_{1n} \cdot I_{1n}$$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} U_{1n}} = \frac{3 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 690} = \underline{\underline{2,51 \text{ A}}} = I_k$$

$$P_k = 3 \times R_k \cdot I_k^2$$

$$R_k = \frac{P_k}{3 \cdot I_k^2} = 1,59 \Omega / \text{fas}$$

$$Z_k = \frac{45}{\sqrt{3} \cdot 2,51} = \frac{U_{1kF}}{\sqrt{3} \cdot I_k} = 10,3 \Omega / \text{fas}$$

$$X_k = \sqrt{10,3^2 - 1,59^2} = 10,22 \Omega / \text{fas}$$

på nedsp sida $R_k' = R_k \left(\frac{400}{690}\right)^2 = 0,534 \Omega / \text{fas}$

$$X_k' = X_k \cdot \left(\frac{400}{690}\right)^2 = 3,44 \Omega / \text{fas}$$

$$P_0 = \frac{3 \cdot U_{2f}^2}{R_{fe}} \Rightarrow R_{fe} = \frac{3 \cdot U_{2f}^2}{P_0} = \frac{3 \cdot (230^2)}{140} = 1,13 \text{ k}\Omega$$

$$S_0 = 3 \cdot U_{2f} \cdot I_0 = 3 \cdot 230 \cdot 0,5 = 345 \text{ VA}$$

$$Q_0 = \sqrt{S_0^2 - P_0^2} = \sqrt{345^2 - 140^2} = 315 \text{ VA}$$

$$Q_0 = \frac{3 \cdot U_{2f}^2}{X_m} \Rightarrow X_m = \frac{3 \cdot U_{2f}^2}{Q_0} = 0,5 \text{ }\Omega$$

a) på nedsp-sidan: $X_m = \frac{0,5 \text{ }\Omega}{\frac{1}{3}}$, $R_{fe} = 1,13 \text{ k}\Omega$, $R_k' = 0,53 \text{ }\Omega/\text{fs}$

b) ström genom lindningarna vid märklast: $X_k' = 3,44 \text{ }\Omega/\text{fs}$

$$\text{primär: } I_{A1} = \frac{I_n}{\sqrt{3}} = 1,45 \text{ A}$$

$$I_{A2} = \frac{S_n}{\sqrt{3} U_{2n} \sqrt{3}} = \frac{3000}{3 \cdot 400} = 2,5 \text{ A}$$

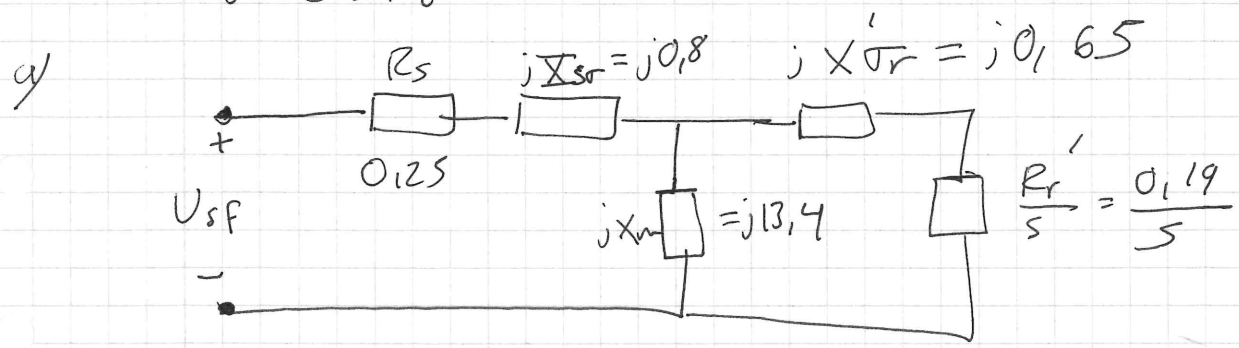
c) 138 varv på upp-sp-sidan (primär)

$$\frac{D}{d} = \frac{\Delta}{\delta} \Rightarrow \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} \Rightarrow N_2 = \frac{N_1 \cdot U_2}{U_1} = \frac{138 \cdot 400}{690} = 80 \text{ varv!}$$

4.

$P_n = 20 \text{ kW}$ $R_s = 0,25 \Omega / \text{fs}$
 $n_n = 970 \text{ rpm}$ $R_r' = 0,19 \Omega / \text{fs}$
 $R_{fc} - \text{for losses}$

$U_n = 400 \text{ V}$
 $f = 50 \text{ Hz}$



$$s = \frac{n_s - n_n}{n_n} = \frac{1000 - 970}{1000} = 0,03$$

$$\Rightarrow \frac{R_r'}{s} = 6,33 \Omega / \text{fs}$$

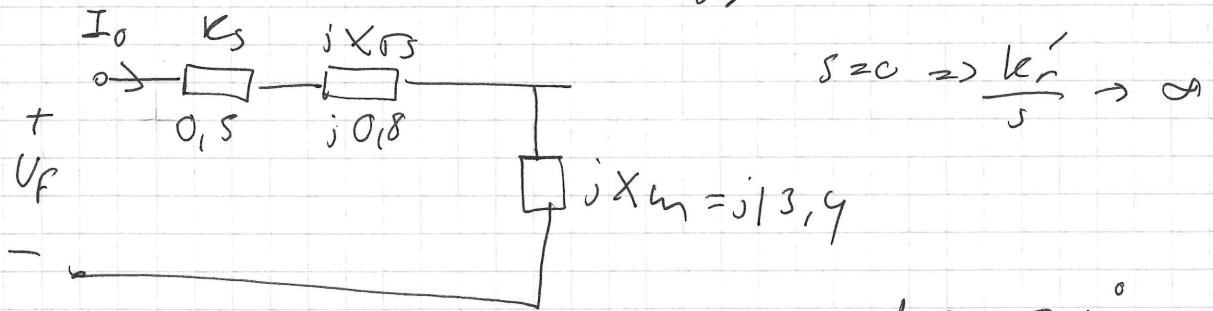
$$\begin{aligned}
 Z &= (R_s + jX_{sr}) + \frac{jX_m \left(\frac{R_r'}{s} + jX_{tr} \right)}{\frac{R_r'}{s} + j(X_m + X_{tr})} \\
 &= (0,25 + j \cdot 0,8) + \frac{j \cdot 13,4 (6,33 + j \cdot 0,65)}{6,33 + j (13,4 + 0,65)} \\
 &= 5,03 + j \cdot 3,57 = 6,17 \angle 35,36^\circ \Omega / \text{fs}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \underline{I}_1 &= \frac{U_{SF}}{Z} = \frac{400 \angle 0^\circ}{6,17 \angle 35,36^\circ} = 37,43 \angle -35,36^\circ \text{ A} \\
 \cos \varphi &= 0,815
 \end{aligned}$$

$$S = \frac{3 \cdot 400 \text{ V} \cdot 37,43 \text{ A} \angle 35,36^\circ}{\sqrt{3}} = 25,93 \cdot 10^3 \angle 35,36^\circ \text{ VA}$$

$Q = 15 \text{ kVAR}$

Reaktiv effekt vid tungny



$$Z_{in} = (0,5 + j \cdot 14,2) = 14,2 \angle 87,98^\circ \Omega / \phi$$

$$I_0 = \frac{U_F}{Z_{in}} = \frac{400 \angle 0}{\sqrt{3} \cdot 14,2 \angle 87,98} = 16,26 \angle -87,98^\circ \text{ A}$$

$$Q_0 = \frac{3 \cdot 400 \cdot 16,26 \cdot \sin(87,98)}{\sqrt{3}} \approx 11,2 \text{ kVAR}$$

Reaktiv effekt vid tungny = 11,2 kVAR

4 forts

Motorn driver en last

som lever $T_0 = 15 \text{ Nm}$ och 0 rpm

$T_L = 60 \text{ Nm}$ och 1000 rpm

Vi tar fram karakteristiska moment elv:

$$k_L = \frac{T_L - T_0}{n_L - n_0} = \frac{60 - 15}{1000 - 0} = \frac{45}{1000}$$

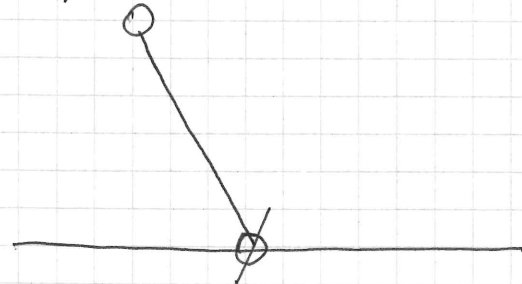
välj T_0, n_0 som hjälp

$$T - 15 = \left(\frac{T_L - T_0}{n_L - n_0} \right) (n - 0)$$

$$T = \frac{45}{1000} \cdot n + 15 \quad \text{— lastens moment elv}$$

Tag fram arbetslyers elv för AM-motorn

T_N, n_N



$n_s, 0$

$$T_n = \frac{P_N}{\omega_N} = \frac{20 \times 10^3 \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot 970} = 197$$

$n_N = 970 \text{ rpm}$

$$k_{AM} = \left(\frac{0 - T_n}{n_s - n_N} \right) = \frac{T_n}{n_N - n_s}$$

välj T_n, n_N :

$$(T - T_n) = \frac{T_n}{(n_N - n_s)} \cdot (n - n_N) = -6,57 (n - 970)$$

$$T = 6,57 (970 - n) + 197 = 6566,67 - 6,57n$$

moment balans ger =

$$6566,67 - 6,57 \cdot n = \frac{45 \cdot n}{1000} + 15$$

$$\frac{6566,67 - 15}{\left(\frac{45}{1000} + 6,57\right)} = n = \underline{\underline{991 \text{ rpm}}}$$

d) svar: jämnhetsvariabelt blir 991 rpm

e) motorn har 3 polpar.

5/

Först bestämt om det är en upp/nedsp omriktare

DC-spänningen för ifrån glättad 1-fas sp

så: $V_b = 0,9 \cdot V_f = 207V$

$P_{in} = P_{ut}$ t.g. ej förluster i omriktaren (anför)

$P_{in} = 207 \cdot I_1$
 $I_1 = \frac{414}{207} = 2A$

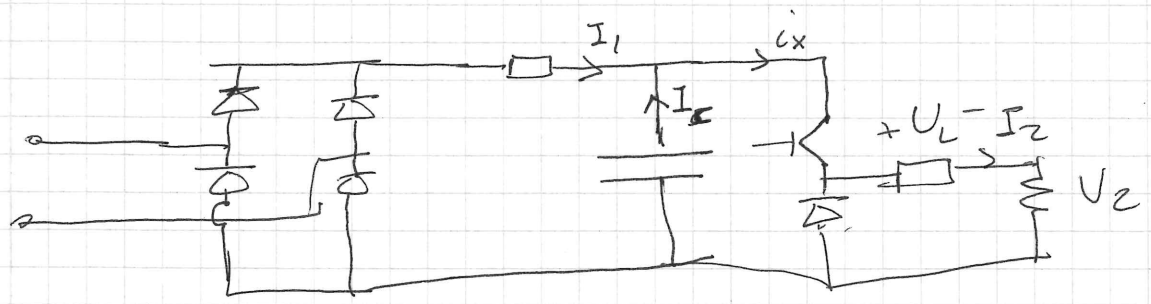
$P_{ut} = 414W$
 $R_{last} = 10\Omega$

$P_{ut} = R_{last} I_2^2$
 $P_{ut} = \frac{U_2^2}{R_{last}}$

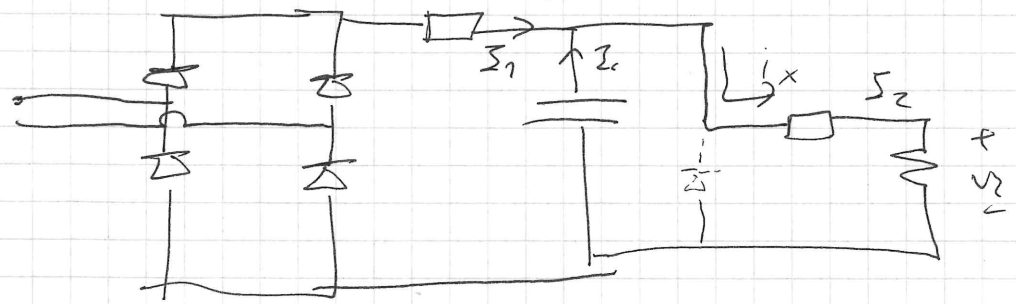
$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} I_2 = 6,43A \\ U_2 = 64,3V \end{array} \right. \Rightarrow$ nedsp omriktare används!

pulsbredd: $\frac{U_2}{U_1} = \frac{t_p}{T} = \frac{64,3}{207} = 0,311$

$T = \frac{1}{20 \times 10^3} = 50\mu s \Rightarrow t_p = 15,6\mu s$

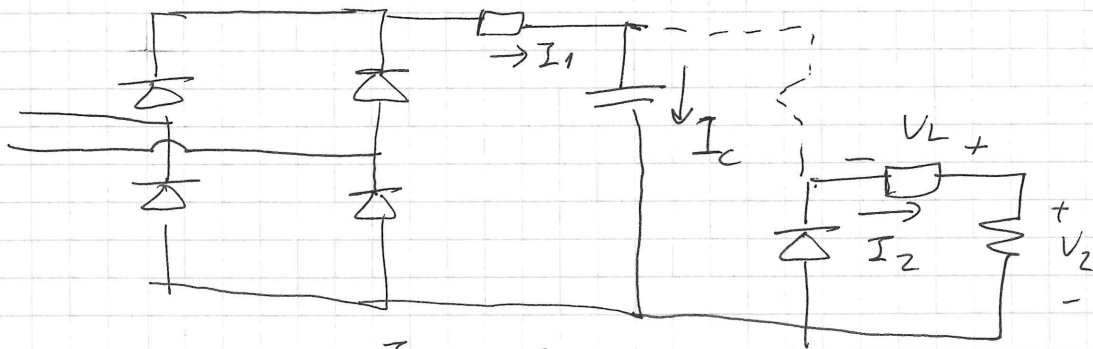


$0 < t < t_p$:



$I_1 + I_C = i_x = I_2$

$$t_p \leq t \leq T$$



$$I_1 = I_c$$

$$i_x = 0$$

b/

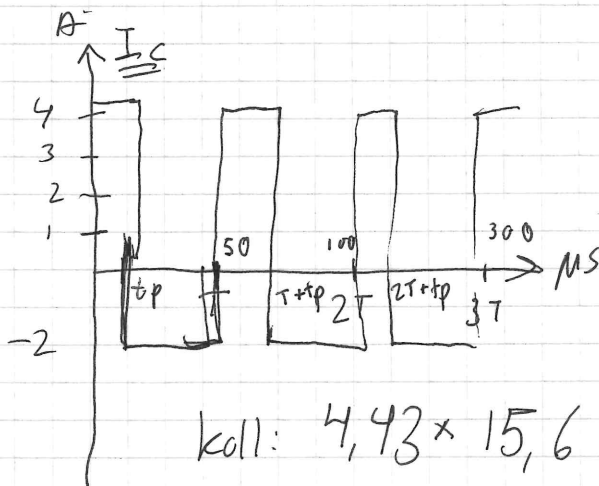
$$I_1 + I_c = I_2 \Rightarrow I_c = 6,43 - 2 = \underline{\underline{4,43\text{A}}} \quad 0 < t \leq t_p$$

$$I_1 = -I_c \Rightarrow I_c = \underline{\underline{-2\text{A}}} \quad t_p < t < T$$

$$U_1 - U_L = U_2 \Rightarrow U_L = U_1 - U_2 = 207 - 64,3 = 14 \quad 0 < t \leq t_p$$

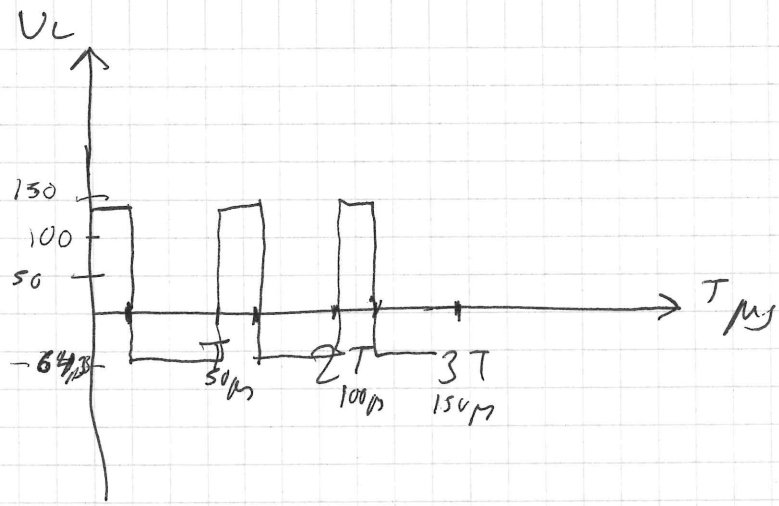
$$U_L - U_2 = 0 \quad t_p < t < T$$

$$U_L = -U_2 = -64,3\text{V}$$



$$\text{koll: } 4,43 \times 15,6 = 2 \cdot (50 - 15,6)$$

~ ok

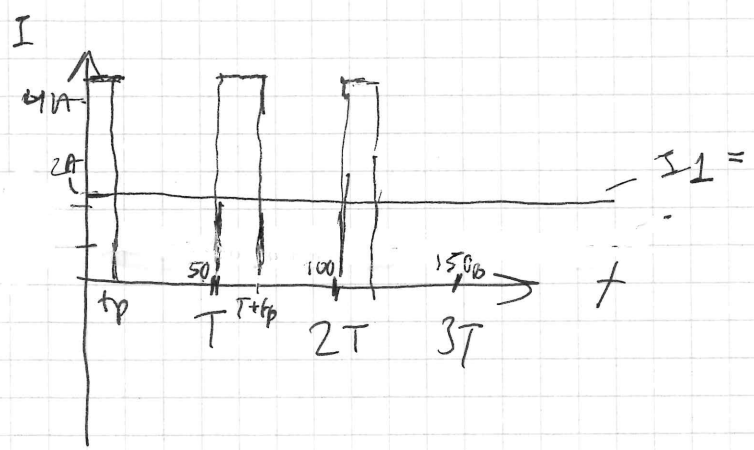


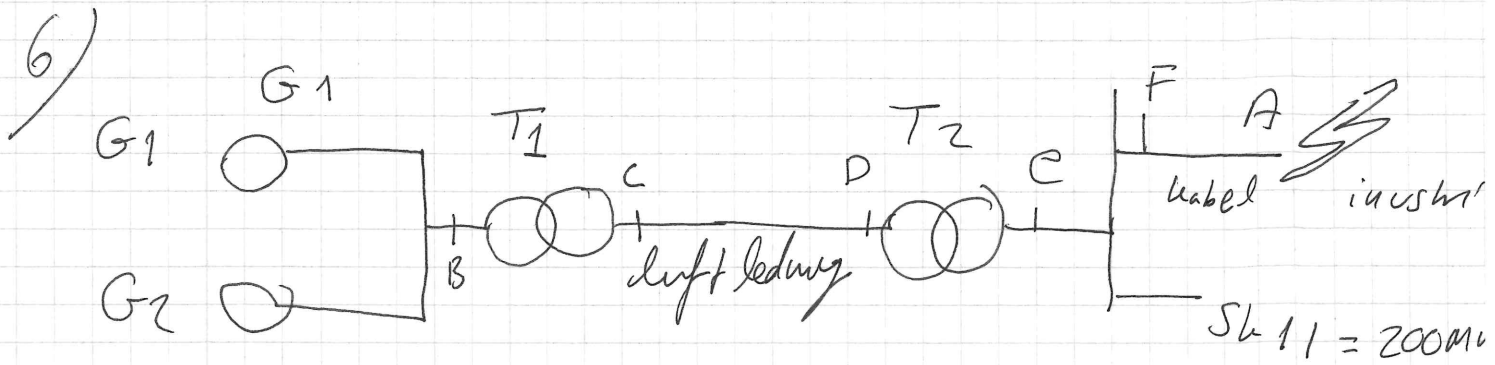
c/

$$i_x = I_2 \quad 0 \leq t \leq t_p$$

$$i_x = 0 \quad t_p < t < T$$

$$I_2 = \dots \quad \text{- kontinuierlich}$$





$$S_{kG_1} = \frac{S_n}{x_d} = \frac{25}{0,2} = 125 \text{ MVA}$$

$$S_{kG_2} = \frac{S_n}{x_d} = \frac{25}{0,2} = 125 \text{ MVA}$$

$$S_{kB} = S_{kG_1} + S_{kG_2} = 250 \text{ MVA}$$

$$S_{kT_1} = \frac{S_n}{Z_k} = \frac{50 \times 10^6}{0,112} = 416,7 \text{ MVA}$$

$$S_{kOH} = \frac{U_n^2}{Z_{OH}} = \frac{(130 \times 10^6)^2}{\sqrt{x^2 + r^2} \cdot l} = \frac{(130 \times 10^6)^2}{\sqrt{0,4^2 + 0,15^2} \cdot 60} = 659,3$$

$$S_{kT_2} = \frac{S_n}{Z_k} = \frac{50}{0,1} = 500 \text{ MVA}$$

$$S_{kC} = \frac{S_{kB} \cdot S_{kT_1}}{S_{kB} + S_{kT_1}} = \frac{250 \cdot 416,7}{250 + 416,7} = 156,25 \text{ MVA}$$

$$S_{kD} = \frac{S_{kC} \cdot S_{kOH}}{S_{kC} + S_{kOH}} = \frac{156,25 \cdot 659,3}{156,25 + 659,3} = 126,3 \text{ MVA}$$

$$S_{kE} = \frac{S_{kD} \cdot S_{kT_2}}{S_{kD} + S_{kT_2}} = 100 \text{ MVA}$$

$$S_{kF} = S_{kE} + S_{kF} = 100 \text{ MVA} + 200 \text{ MVA} = \underline{\underline{300 \text{ MVA}}}$$

$$S_{k\text{kabel}} = \frac{U^2}{\sqrt{x^2 + r^2} \cdot l_{\text{kabel}}} = \frac{(20 \times 10^3)^2}{\sqrt{0,1^2 + 0,05^2} \cdot 2} = \underline{1,79 \text{ GVA}}$$

$$S_{kA} = \frac{S_{kF} \cdot S_{k\text{kabel}}}{S_{kF} + S_{k\text{kabel}}} = \frac{300 \times 10^6 \cdot 1,79 \times 10^9}{300 \times 10^6 + 1,79 \times 10^9} = \underline{257 \text{ MVA}}$$

$$S_k = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$$

$$\frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{257 \times 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20 \times 10^3} = \underline{\underline{7,42 \text{ kA}}} = I$$