

Tentamen i ELTEKNIK för E3, EEK 140

Datum: torsdag, den 25 april 2019
Tid/Plats: em / "M-huset"-salar
Lösningar: Anslås på hemsidan 26 april
Betygsgränser: ≥ 25 ger godkänt
Resultat: Anslås senast 13 maj 2019
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. Till ett trefasnät med symmetrisk spänning på 690 V inkopplas, via en ledning med impedansen $\underline{Z}_L = 2,6 \angle 70^\circ \Omega/\text{fas}$, en symmetrisk Δ – kopplad belastning. Varje gren av Δ - kopplingen består av en resistans på 150 Ω parallellkopplad med en ideal kondensator med kapacitansen 40 μF .
 - a) Bestäm fasströmmen som nätet belastas med (anges i komplex form).
(3p)
 - b) Bestäm strömmen genom, samt spänningen över, varje gren i belastningen (anges i komplex form).
(3p)
 - c) Rita ett visardiagram över fas och gren strömmar med nätets fasspänning som referens. (1p)
 - d) Bestäm den från nätet totalt avgivna skenbara effekten (anges i komplex form)
(1p)
2. En trefastransformator har följande märkdata:
79 MVA, YN/yn; $z_k = 10\%$ och $r_k = 3\%$
Utöver det känner man till: $R_{Fe} = 150 \Omega/\text{fas}$ och $X_m = 30 \Omega/\text{fas}$ samt tidigare uppmätta basimpedanser på 266.14 Ω/fas samt 1.82 Ω/fas .
 - a) Vilka är transformatorns märkspänningar? Beskriv på vilket sätt man (vanligtvis!) utför prov för att få fram parametrarna z_k och r_k . Hur stor var spänningen vid provet på ovan nämnd transformator? Hur stor aktiv och reaktiv effekt förbrukade transformatorn vid provet och hur stor ström matades transformatorn med då?
(3p)

b) Beskriv på vilket sätt man utför prov för att få fram R_{Fe} och X_m . Hur stor var spänningen vid provet på ovan nämnd transformator? Hur stor aktiv och reaktiv effekt förbrukade transformatorn vid provet och hur stor ström matades transformatorn med då?

(2p)

3. En trefas asynkronmaskin (AM) är märkt: $U_n = 400$ V, $P_n = 5$ kW, $n_n = 960$ rpm

a) Hur många poler och vilket märkmoment har asynkronmaskinen? (1p)

Vid tomgång drar motorn en tomgångsström på $7.75 \angle -88.90^\circ$ A, och vid start blir startströmmen $64.8 \angle -61.6^\circ$ A. I båda fallen är fasspänningen använd som referens.

b) Rita det ekvivalenta schemat för AM som gäller vid tomgång och det ekvivalenta schemat som gäller vid start. (2p)

c) Bestäm parametervärdena i det ekvivalenta schemat för resistanserna [Ω /fas] och induktanserna [H/fas]. I schemat är magnetiseringsinduktansen 20 gånger större än statorns läckinduktans. Vidare kan R_{Fe} försummas. Andra förenklande antaganden kan göras om det behövs, men det krävs att detta då motiveras i beräkningarna.

(3p)

d) Startströmmen som beräknas med hjälp av det ekvivalenta schemat är lägre än startströmmen som blir vid direktinkoppling mot nätet, vad beror denna skillnad på?

(2p)

Asynkronmaskinen kopplas nu till en last vars moment varierar med kvadraten på varvtalet. Vid 1000 rpm behöver lasten ett moment på 42 Nm.

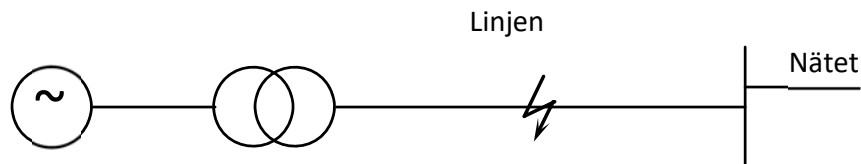
e) Vad blir eftersläpningen med denna last? (3p)

4. En nedspännings LS-omriktare är ansluten till en enfas helvågslikriktare matad från 230 V enfasnät. Likriktaren har en stor glättningsinduktans. LS-omriktaren skall ge en stabil likspänning för test av DC apparater vilka konsumerar likspänningen $I = 5$ A under dessa test. Switchfrekvensen i omriktaren är 100 kHz. Transistorn som används leder 47 % av modulationsperioden.

a) Rita kopplingen. (2p)

- b) Vilken spänning testas apparaterna vid? Rita upp hur spänningen över dioden $u(t)$ ser ut under två modulationsperioder. Gradera axlarna på diagrammet så att alla värden framgår. (2p)
- c) Vad blir strömmen $i(t)$ genom transistorn och strömmen ifrån likriktaren? Rita in dem i ett diagram med graderade axlar. (2p)

5. En generator matar över en transformator en 200 km lång 220 kV-linje, markerad som: "linjen" nedan. Andra ändpunkten på 220 kV - linjen är ansluten till ett nät via en fördelningsstation enligt figuren nedan:



Följande data gäller för generatorn, transformatorn, linjen och nätet (resistansen försummas):

Generator		20 MVA,	10 kV	$x_d = 22 \%$
Transformator	dYN,	25 MVA,	10/220 kV	$x_k = 10\%$
Linjen		$x_l = 0,4 \Omega/\text{fas, km}$		
Nätet:		$S_k = 2000 \text{ MVA}$	vid 220 kV	

Beräkna kortslutningsströmmen vid trefasig kortslutning mitt på linjen. Hur stor blir stötströmmen? Varför är det viktigt att känna till storleken på kortslutningsströmmen och stötströmmen? (6p)

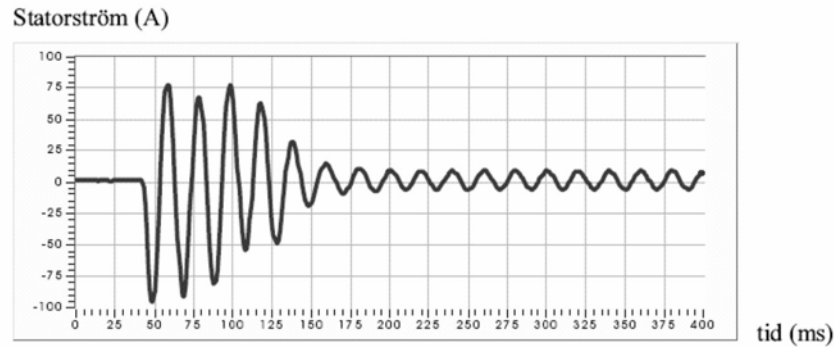
Teoriuppgifter

För att erhålla full poäng på en uppgift erfordras ett utförligt svar.

6. Härled sambandet mellan huvudspänning \underline{U}_{ab} och fasspänning \underline{U}_{fa} . \underline{U}_{fa} skall tas som referens.

(1p)

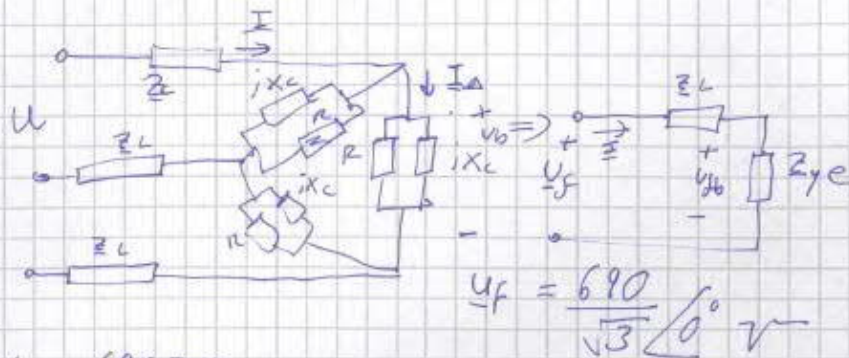
7. Figuren nedan visar startströmmen för en nätansluten asynkronmaskin utan last. Förklara varför strömmen har detta utseende under startförloppet. Hur skulle startförloppet se ut om det fanns en stor last på motorns axel? (3p)



8. Rita $u_{ab}(t)$ – spänningen på likriktarens klämmor (ingen last är ansluten till likriktaren) - för enfasig och trefasig diodlikriktare. Förklara skillnader. (3p)
9. Vad är det som avgör hur allvarliga personskadorna blir vid elolyckor? Vad använder man för att skydda mot personskador? Beskriv hur ett sådant skydd fungerar. Skissa hur det kopplas in i elsystemet hemma. (4p)
10. Beskriv och rita på vilket sätt ett tidsvariabelt magnetiska flöde i en elektrisk maskin? (3p)

Lycka till!

1)



$U = 690 \text{ V}$

$Z_L = 26 \angle 70^\circ \text{ } \Omega / \text{phase}; \quad R = 150 \text{ } \Omega$

$X_C = -79.6 \text{ } \Omega$

$Z_A = \frac{R \cdot jX_C}{R + jX_C} = 70.3 \angle -62.1^\circ \text{ } \Omega / \text{phase}$

$\Rightarrow Z_{Ye} = \frac{Z_A}{3} = 23.4 \angle -62.1^\circ \text{ } \Omega / \text{phase}$

a) $I = ? \quad Z = Z_L + Z_{Ye} = 21.77 \angle -57^\circ \text{ } \Omega / \text{phase}$

$I = \frac{U_f}{Z} = \frac{\frac{690}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ}{21.77 \angle -57^\circ} = 18.3 \angle 57^\circ \text{ A}$

b) $U_{fb} = \frac{U_f \cdot Z_{Ye}}{Z_L + Z_{Ye}} = \frac{690 \angle 0^\circ \cdot 23.4 \angle -62.1^\circ}{\sqrt{3} \cdot 21.77 \angle -57^\circ}$
 $= 431.9 \angle -5.1^\circ \text{ V}; \quad U_b = 748 \angle 24.9^\circ$

$I_A = \frac{U_b}{Z_A} = \frac{748 \angle 24.9^\circ}{70.3 \angle -62.1^\circ} = 10.64 \angle 87^\circ$

$(I_b \approx \frac{U_b}{R})$



$$\begin{aligned} 1/ \quad \underline{S} &= 3 \cdot \underline{U}_R \cdot \underline{I}^* = \frac{3 \cdot 690 \angle 0^\circ \cdot 18,5 \angle -57^\circ}{\sqrt{3}} \\ &= 21821 \angle -57^\circ = \underbrace{(11,911 \text{ kW})}_P - \underbrace{18,34 \text{ kVAr}}_\varphi \end{aligned}$$

2)

En trefas kraft, YN/yn,

$$\begin{cases} Z_k = 10\% & R_{fe} = 150 \Omega / \text{fas} \\ R_k = 3\% & X_m = 30 \Omega / \text{fas} \end{cases}$$

$$Z_{bas1} = 266,14 \Omega / \text{fas} \quad S_n = 79 \text{ MVA}$$

$$Z_{bas2} = 1,82 \Omega / \text{fas}$$

a) Märksp ifrån basimpedanserna

$$Z_{bas1} = \frac{U_n^2}{S_n} \Rightarrow U_n = \sqrt{Z_{bas1} \cdot S_n} = \begin{cases} 145 \text{ kV} \\ 11,99 \text{ kV} \\ \sim 12 \text{ kV} \end{cases}$$

Kortslutprov utförs från uppsp-sidan

$$I_k = I_n$$

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{79 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 145 \cdot 10^3} = 314,6 \text{ A}$$

$$- U_k = ? \quad P_k = ? \quad Q_k = ?$$

$$Z_k = z_k \cdot Z_{bas} = \frac{0,10 \cdot 145^2}{79} = 26,6 \Omega / \text{fas}$$

$$R_k = \frac{0,03 \cdot 145^2}{79} = 7,98 \Omega / \text{fas}$$

$$\rightarrow X_k = 25,4 \Omega / \text{fas}$$

$$U_{k3} = Z_k \cdot I_n = 26,6 \cdot 314,6 = 8368 \text{ V}$$

$$\Rightarrow U_k = 14,49 \text{ kV}$$

$$P_k = 3 \cdot R_k \cdot I_n^2 = 2,37 \text{ MW}$$

$$Q_k = 3 \cdot X_k \cdot I_n^2 = 7,54 \text{ MVA}_r$$

b)

Tomgångspröv utförs från nedsp-sidan:

$$U_0 = U_n = 12 \text{ kV}, \quad I_0 = ?, \quad P_0 = ?$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_0 = \frac{3 \cdot U_f^2}{R_{fe}} = 960 \text{ kW} \\ \Phi_0 = ? \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi_0 = \frac{3 \cdot U_f^2}{X_m} = 4,8 \text{ MW} \end{array} \right.$$

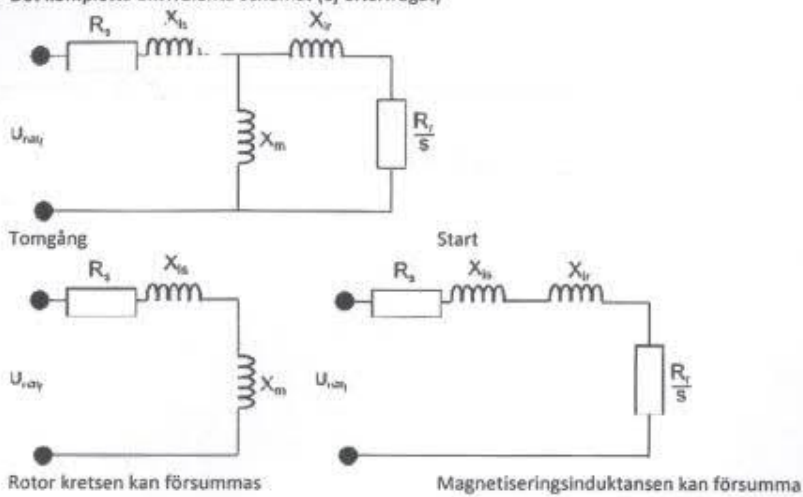
$$S_0 = 4,895 \text{ MVVA}$$

$$I_0 = \frac{S_0}{\sqrt{3} \cdot U_0} = 235,5 \text{ A}$$

Fråga 3

a) 6 poler alt. 3 polpar,
 $T_N = \frac{P_N}{\omega_N} = \frac{49,7 \text{ Nm}}{3000} = 16,57 \text{ Nm}$

b) Det kompletta ekvivalenta schemat (ej efterfrågat)



c) Vid tomgång beräknas strömmen enligt

$$I_0 = \frac{U_{nätf}}{Z_0} = \frac{U_{nätf}}{R_s + jX_{ls} + jX_m} \rightarrow R_s + jX_{ls} + jX_m = \frac{U_{nätf}}{I_0} = \frac{400}{7,75 \angle -88,9^\circ}$$

$$R_s + jX_{ls} + jX_m = 9,57 + j29,8 \Omega \Rightarrow R_s = 0,57$$

Givet i uppgiften är att $X_m = 20 \cdot X_{ls}$ vilket betyder att: $21 \cdot X_{ls} = 29,8 \rightarrow X_{ls} = 1,42$, $X_m = 20 \cdot X_{ls} = 28,4 \Omega$

$$L_{ls} = \frac{X_{ls}}{\omega} = 4,52 \text{ mH} \rightarrow L_m = 90,3 \text{ mH}$$

Med hjälp av startströmmen som går i det ekvivalenta schemat kan rotor parametrarna bestämmas enligt

$$Z_{start} = R_s + R_r + jX_{ls} + jX_{lr} = \frac{U_{nätf}}{I_{start}} = \frac{400}{64,8 \angle -61,6^\circ} = 1,69 + j3,13 \Omega$$

$$R_s + R_r = 1,69 \rightarrow R_r = 1,12 \Omega$$

$$X_{ls} + X_{lr} = 3,13 \rightarrow X_{lr} = 1,71 \Omega \rightarrow L_{lr} = 5,46 \text{ mH}$$

d) Induktanserna lättas och kan motsvaras i det ekvivalenta schemat genom att de får mindre impedans, samtidigt som strömförträngning i rotorn gör att rotorresistansen ökar vilket också ger en ökad effekt luftgapseffekt vilket i sin tur leder till ett ökat moment.

e) $T_{last} = k \cdot n^2, T_{last}(1000) = 42 \text{ Nm} \rightarrow k = \frac{42}{1000^2}$

$$T_{am} = T_N \frac{n_s - n}{n_s - n_N} = \frac{49.7}{70} (1000 - n)$$

i driftpunkten är

$$T_{am} = T_{lost}, \text{ dvs}$$

$$k \cdot n^2 = T_N \frac{n_s - n}{n_s - n_N}$$

med lite algebra fås

$$n = -\frac{T_N}{2k \cdot (n_s - n_N)} + \sqrt{\left(\frac{T_N}{2k \cdot (n_s - n_N)}\right)^2 + \frac{T_N \cdot n_s}{k \cdot (n_s - n_N)}} \text{ vilket ger att } n = 968.63 \text{ rpm}$$

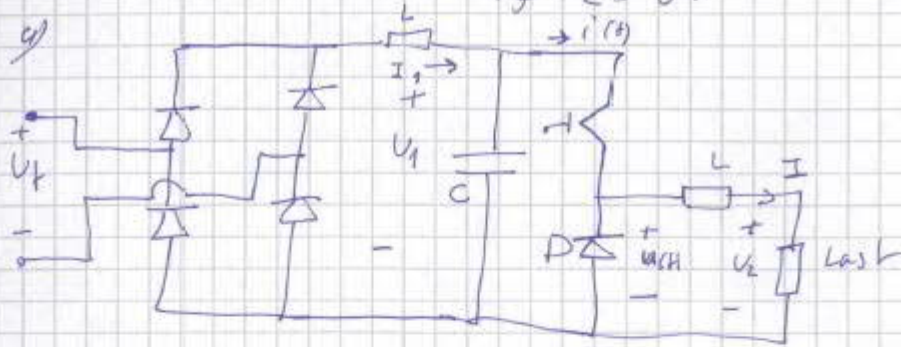
Ur detta kan nu eftersläpningen beräknas enligt

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1000 - 968.6}{1000} = 3.17\%$$

4)

1-fasige Gleichrichter + LS-Omnivorte

$$U_g = 230 \text{ V}$$



b) $f = 100 \text{ kHz}$ $I = 5 \text{ A}$

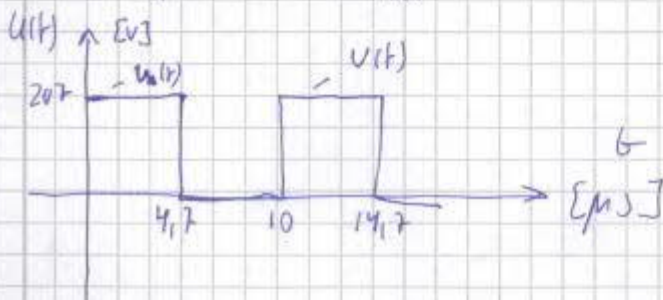
$$t_p = \frac{1 \cdot 47\%}{f} = 4,7 \mu\text{s}$$

$$T = \frac{1}{f} = 10 \mu\text{s}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{T}{t_p}, \quad U_1 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} \cdot U_g \cdot \sin(\omega t) d(\omega t)$$

$$\approx 0,9 \cdot U_g = 207 \text{ V}$$

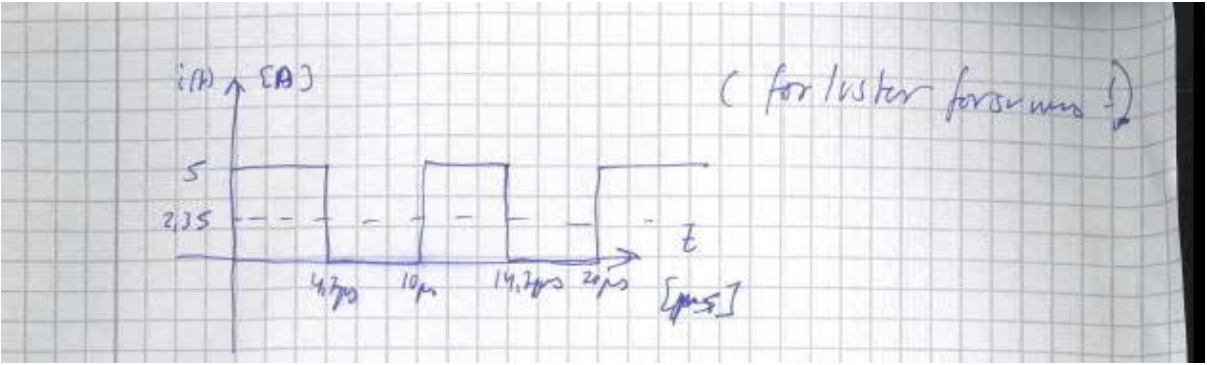
$$\Rightarrow U_i = \frac{U_1 \cdot t_p}{T} = \frac{207 \cdot 4,7}{10} = 97,3 \text{ V}$$



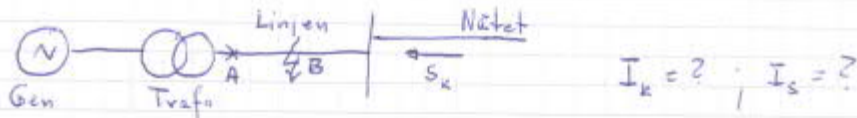
c) $I_1 = ?$ $i(t) = ?$

$$I_1 U_1 = U_2 \cdot I \Rightarrow \frac{I_1 \cdot U_1}{I} = U_2 \Rightarrow$$

$$I_1 = \frac{U_2 \cdot I}{U_1} = \frac{5 \cdot 97,3}{207} = 2,35 \text{ A}$$



5



Beräkning enl metoden med delkortslutningseffekter:

Generator:

$$S_n = 20 \text{ MVA} ; U_n = 10 \text{ kV} ; x_d = 22\%$$

$$S_k = \frac{S_n}{x_d} = \frac{20}{0,22} = 90,9 \text{ MVA}$$

Trafo: $S_n = 25 \text{ MVA} ; 10/220 \text{ kV} ; x_k = 10\%$

$$S_k = \frac{S_n}{x_k} = \frac{25}{0,10} = 250 \text{ MVA}$$

Linjen: $200 \text{ km} ; x_L = 0,4 \Omega/\text{fas}, \text{ km} ; U_n = 220 \text{ kV}$

för $100 \text{ km} \quad x_L = 100 \cdot 0,4 = 40 \Omega/\text{fas}$

$$S_k = \frac{U^2}{x_L} = \frac{(220 \cdot 10^3)^2}{40} = 1210 \text{ MVA}$$

Nätet: $S_k = 2000 \text{ MVA}$

$$S_{kA} = \frac{90,9 \cdot 250}{90,9 + 250} = 66,66 \text{ MVA}$$

$$S_{kB} \text{ från vänstra sidan: } S_{kBv} = \frac{66,66 \cdot 1210}{66,66 + 1210} = 63,2 \text{ MVA}$$

$$S_{kB} \text{ från högra sidan: } S_{kBh} = \frac{2000 \cdot 1210}{2000 + 1210} = 753,9 \text{ MVA}$$

$$S_k = S_{kBv} + S_{kBh} = 817,1 \text{ MVA}$$

$$\underline{I_k} = \frac{S_k}{\sqrt{3} U_k} = \frac{817,1}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 10^3} = \underline{2144 \text{ A}} ; \underline{I_s} = 2,55 \cdot I_k = \underline{5,47 \text{ kA}}$$

Beräkning med impedanssummeringsmetoden ger motsvarande resultat