

## Tentamen i ELTEKNIK för E3, EEK 140

Datum:	tisdag, den 27 augusti 2019
Tid/Plats	em / "maskin"-salar
Lösningar:	Anslås på hemsidan 27 augusti
Betygsgränser:	$\geq 25$ ger godkänt
Resultat:	Anslås senast 14 September 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. En symmetrisk  $\Delta$  – kopplad belastning är ansluten till ett trefasnät med symmetrisk spänning 690 V via en ledning med impedansen  $Z_L = 3,6 \angle 70^\circ \Omega/\text{fas}$ . Varje gren av  $\Delta$  - kopplingen består av en resistans på 120  $\Omega$  parallellkopplad med en ideal induktor med reaktansen 90  $\Omega$ .
- 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) och den effektfaktor med vilken nätet arbetar. Ange lastens karaktär. (3p)

2. Från databladet för en trefastransformator kan man finna följande data:

Effekt : 3150 kVA; Spänning: 12/0,4 kV Koppling: Dyn11 Omkoppling:  $\pm 2 \times 2,5 \%$ ;  
Tomgångsförluster ( $P_0$ ): 3000 W Belastningsförluster ( $P_{Cu}$ ): 33 kW;  $z_k$ : 6 %

- a) Förklara vad menas med respektive data. Räkna fram storleken på:  $R_k$ ,  $X_k$  och  $R_{Fe}$  hänfödda till uppspänningssidan. (5p)
- b) Beräkna transformatorns klämspänning om man belastar den med 80 % av märkströmmen vid effektfaktor  $\cos \phi = 0,85$ . Transformatorn kommer att anslutas till 12 kV. (4p)

3. Effekten från ett kraftverk matas ut på transmissionsnätet via en 400 kV luftledning med en serie induktans 0,25 H/fas (resistansen försummas). Spänningen i båda ändarna av ledningen hålls konstanta på 405 kV och 750 MVA skenbar effekt matas in på ledningen från kraftverksidan.
- Rita ett visardiagram, för en ekvivalent Y-fas, över spänningarna i båda ändarna, strömmen på ledningen och spänningsfallen på ledningen. (2p)
  - Beräkna strömmen i ledningen. Hur stor är överföringsvinkeln? (2p)
  - Hur skapas den reaktiva effekten som luftledningen konsumerar? Hur stor är den? Med hur stor aktiv effekt belastas ledningen? (3p)

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

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

$$X'_r = 1 \Omega \text{ /fas} \quad R_{Fe} = 1000 \Omega \text{ /fas} \quad X_m = 25 \Omega \text{ /fas}$$

Maskinens varvtal vid fullast är 1450 rpm.

- Bestäm maskinens startmoment. Gör lämpliga approximationer. (3p)
- Beräkna fasströmmen vid fullast. Gör lämpliga approximationer. (4p)

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 220 V apparater som belastar då omriktaren med  $I = 12 \text{ A}$ . Switchfrekvensen i omriktaren är 40 kHz.
- Rita kopplingen. (2p)
  - Hur lång tid under varje modulationsperiod leder transistoren? Rita upp hur spänningen över dioden (i LS-omriktaren) ser ut under två modulationsperioder. Gradera axlarna i diagrammet. (2p)
  - Vad blir strömmen genom transistoren och strömmen ifrån likriktaren? Rita in dem i ett diagram med graderade axlar. (2p)

6. Varje luftledning och varje kabelledning kännetecknas av en viss resistans, induktans och kapacitans. Motivera vem av dem som har en dominerande kapacitiv respektive induktiv karaktär. Rita ett ekvivalent schema för en ledning. Rita ett visardiagram för en ledning som överför både aktiv och reaktiv effekt (reaktiv effekt av induktiv karaktär). Förklara vad menas med längs- och tvärsänkningsfall. (3p)

7. Vad är det som avgör hur allvarliga personskadorna blir vid elolyckor? Hur kan man skydda mot personskador? Vad är ett 4-ledar- resp. ett 5-ledarsystem för anslutning av en elektrisk installation och vilket är bäst ur säkerhetssynpunkt? (3p)

**8.** Beskriv funktionssätt för en frekvensomriktare med pulsbreddsmodulering (PWM).

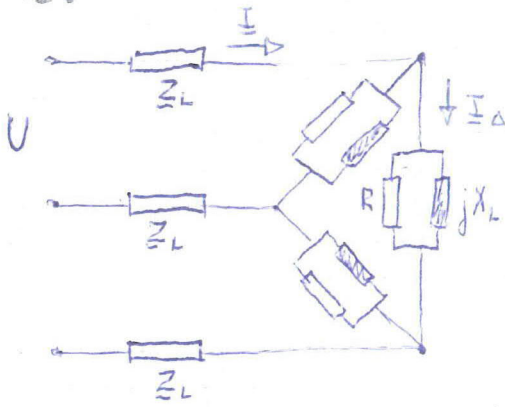
(3p)

**9.** Skissa en asynkronmaskinens moment som funktion av varvtal och markera med kryss i diagrammet ungefär var på kurvan man har tomgång-, fullast-, kipp- och startmoment. Skriv ut vilket kryss motsvarar vilken driftpunkt.

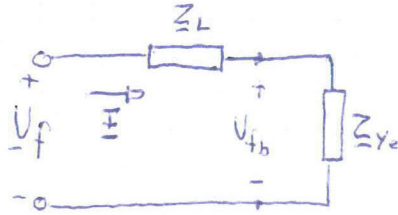
(3p)



1.



Ekv. y-fas:



$$U_f = \frac{690}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$U = 690 \text{ V}; \quad Z_L = 3,6 \angle 70^\circ \text{ } \Omega/\text{fas}; \quad R = 120 \text{ } \Omega; \quad X_L = 90 \text{ } \Omega$$

$$Z_{\Delta} = \frac{R \cdot jX_L}{R + jX_L} = 72 \angle 53,13^\circ \text{ } \Omega/\text{qruu} \Rightarrow Z_{Ye} = \frac{Z_{\Delta}}{3} = 24 \angle 53,13^\circ \text{ } \Omega/\text{fas}$$

a)  $\underline{I} = ?$

$$\underline{Z} = Z_L + Z_{Ye} = 15,63 + j22,58 = 27,46 \angle 55,31^\circ \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$\underline{I} = \frac{U_f}{\underline{Z}} = \frac{\frac{690}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ}{27,46 \angle 55,31^\circ} = \underline{14,51 \angle -55,31^\circ \text{ A}}$$

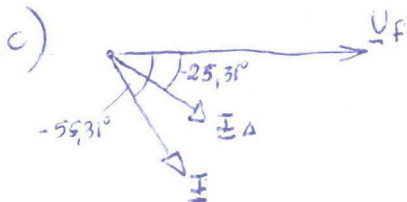
b)

$$\underline{U}_{fb} = U_f \frac{Z_{Ye}}{Z_L + Z_{Ye}} = \frac{690}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ \frac{24 \angle 53,13^\circ}{27,46 \angle 55,31^\circ} = 348,18 \angle -2,18^\circ \text{ V}$$

$$\underline{U}_b = 603,07 \angle 27,82^\circ \text{ V}$$

$$\underline{I}_{\Delta} = \frac{\underline{U}_b}{Z_{\Delta}} = \frac{603,07 \angle 27,82^\circ}{72 \angle 53,13^\circ} = \underline{8,38 \angle -25,31^\circ \text{ A}}$$

$$\left( I_{\Delta} = \frac{I}{\sqrt{3}} \right)$$



$$d) \underline{S} = 3 \underline{U}_f \underline{I}^* = 3 \cdot \frac{690}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ \cdot 14,51 \angle +55,31^\circ =$$

$$= 17341 \angle 55,31^\circ = (9869,4 + j14258,5) \text{ VA}$$

$\downarrow$   
 $P$

$\downarrow$   
 $Q$

2

2

Trefasträffa:

$$3150 \text{ kVA}; 12/0,4 \text{ kV}; \sigma_k = 0,6\%; P_{cu} = 33 \text{ kW}; P_o = 3 \text{ kW}$$

a)  $R_k = ?; X_k = ?; R_{Fe} = ?$  hänfönda till 12 kV-sida:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} U_n} = \frac{3150 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 12 \cdot 10^3} = 151,55 \text{ A}$$

$$P_{cu} = 3 R_k I_n^2 \Rightarrow R_k = \frac{33 \cdot 10^3}{3 \cdot 151,55^2} = \underline{\underline{0,48 \Omega/\text{fas}}}$$

$$Z_k = \sigma_k \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{(12 \cdot 10^3)^2}{3150 \cdot 10^3} \cdot 0,06 = 2,74 \Omega/\text{fas}$$

$$\underline{\underline{X_k}} = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \underline{\underline{2,70 \Omega/\text{fas}}}$$

$$P_o = 3 U_f I_{0f} = 3 \frac{U_f^2}{R_{Fe}} = \frac{U^2}{R_{Fe}} \Rightarrow \underline{\underline{R_{Fe}}} = \frac{(12 \cdot 10^3)^2}{3000} = \underline{\underline{48 \text{ k}\Omega/\text{fas}}}$$

b)  $I_2 = 0,8 I_n; \cos \varphi_2 = 0,85; U_1 = 12 \text{ kV}; U_2 = ?$ 

$$I_2' = 0,8 \cdot 151,55 = 121,24 \text{ A}$$

$$\Delta U = \sqrt{3} I_2' (R_k \cos \varphi_2 + X_k \sin \varphi_2) = \sqrt{3} \cdot 121,24 (0,48 \cdot 0,85 + 2,7 \cdot 0,527) = 384,48 \text{ V}$$

$$U_2' = 12000 - 384,48 = 11615,5 \text{ V}$$

$$\underline{\underline{U_2}} = U_2' \cdot \frac{400}{12000} = \underline{\underline{387,2 \text{ V}}}$$

③

$$U_1 = U_2 = 405 \text{ kV} ; S_1 = 750 \text{ MVA}$$

$$L = 0,25 \text{ H/fas} ; R - \text{försommars}$$

$$X_L = \omega L = 2\pi f L = 100\pi \cdot 0,25 = 78,54 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

③



a) Visurdiagram:

b)  $I = ? ; \psi = ?$ 

$$I = \frac{S_1}{\sqrt{3} U_1} = \frac{750 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 405 \cdot 10^3} = \underline{\underline{1069 \text{ A}}}$$

$$\sin \frac{\psi}{2} = \frac{\frac{X_L I}{2}}{U_f} = 0,1795$$

$$\frac{\psi}{2} = 10,34^\circ \quad \underline{\underline{\psi = 20,68^\circ}}$$

c)  $Q_L = ?$  huv skapas den?  $P = ?$ 

$$\underline{\underline{Q_L = 3X_L I^2 = 269,26 \text{ MVar}}}$$

$\frac{Q_L}{2}$  skapas av generatorn och  $\frac{Q_L}{2}$  av kondensatorbatteri i mottagaränden.

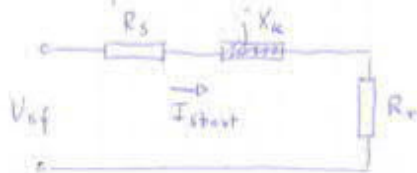
$$\underline{\underline{P_1 = P_2 = \frac{U_1 \cdot U_2}{X_L} \sin \psi = \frac{405^2}{78,54} \cdot \sin 20,68 = 737,52 \text{ MW}}}$$

4. 3-fas AM;  $f = 50\text{ Hz}$ ; 4 poler;  $U_s = 400\text{ V}$ ;  $n = 1450\text{ rpm}$

a)  $T_{\text{start}} = ?$

Vid start  $s = 1$ ;  $R_{fe}$  och  $X_m$  kan försummas  
då  $Z_m \gg Z_r$

Det förenklade ekv. schema:

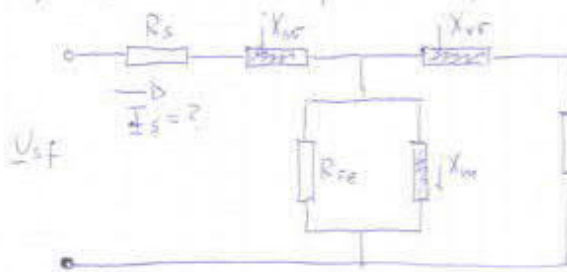


$$X_k = X_{kr} + X_{rr} = 2\pi / f \cdot s$$

$$|I_{\text{start}}| = \frac{U_{sf}}{\sqrt{(R_s + R_r)^2 + X_k^2}} = \frac{400/\sqrt{3}}{\sqrt{0,7^2 + 2^2}} = 109\text{ A}$$

$$\begin{aligned} T_{\text{start}} &= \frac{1}{\omega_s} P_{\text{start}} = \frac{1}{\omega_s} \frac{P_{\text{avr}}}{s} = \frac{1}{\omega_s} P_{\text{avr}} = \frac{1}{\omega_s} 3 R_r I_{\text{start}}^2 = \\ &= \frac{3 \cdot 0,35 \cdot 109^2}{2\pi \cdot 1500 / 60} = 79,4\text{ Nm} \end{aligned}$$

b)  $I_s = ?$  vid fullast  $\Rightarrow n = 1450\text{ rpm} \Rightarrow s = \frac{1500 - 1450}{1500} = 0,333$



$$\frac{R_r}{s} = \frac{0,35}{0,333} = 10,6\ \Omega / f \cdot s$$

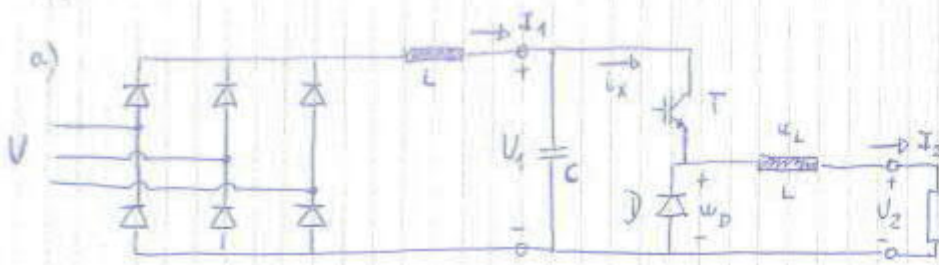
försumma  $R_{fe}$

$$\begin{aligned} \underline{Z} &= R_s + jX_{sr} + \frac{jX_m \left( \frac{R_r}{s} + jX_{rr} \right)}{jX_m + \frac{R_r}{s} + jX_{rr}} = 0,35 + j1 + \frac{j25(10,6 + j1)}{10,6 + j26} = \\ &= 0,35 + j1 + \frac{26 \angle 90^\circ \cdot 10,65 \angle 5,31^\circ}{22,1 \angle 67,81^\circ} = 0,35 + j1 + 9,48 \angle 27,58^\circ = 8,75 + j5,39 = \\ &= 10,28 \angle 31,63^\circ \left[ \Omega / f \cdot s \right] \Rightarrow \underline{I}_s = \frac{U_{sf}}{\underline{Z}} = \frac{400/\sqrt{3} \angle 0^\circ}{10,28 \angle 31,63^\circ} = 22,46 \angle -31,63^\circ \text{ [A]} \end{aligned}$$



5.

5.

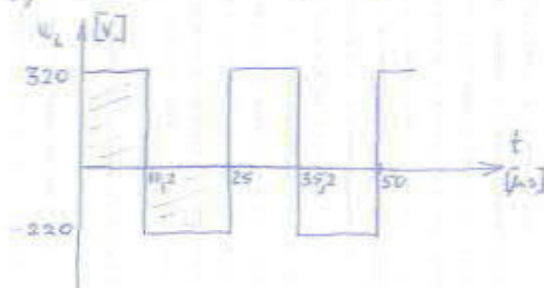
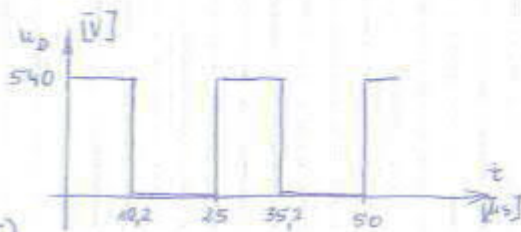


Trefasig diodlikviktare med LC-omriktaren

b)  $U = 400 \text{ V}$ ;  $U_1 = 1,35 U = 1,35 \cdot 400 = 540 \text{ V}$ ;  $U_2 = 220 \text{ V}$   
 $I_2 = 12 \text{ A}$

$$f = 40 \text{ kHz} \Rightarrow T = \frac{1}{f} = 25 \mu\text{s}$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{t_p}{T} \Rightarrow \underline{t_p} = T \frac{U_2}{U_1} = 25 \cdot \frac{220}{540} = \underline{10,2 \mu\text{s}}$$



$$u_L = u_D - U_2$$