

Tentamen i ELTEKNIK för E3, EEK 140/141

Datum:	onsdag, den 25 augusti 2020
Tid/Plats	Distans
Lösningar:	Anslås på hemsidan 25 augusti
Betygsgränser:	≥ 25 ger godkänt
Resultat:	Anslås senast 10 september 2020
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 belastning bestående av tre lika impedanser $Z_1 = (15 + j9) \Omega$ kopplade i Y ansluts till en trefasgenerator (Y-kopplad) som i tomgång lämnar en spänning 400 V. Generatorns inre impedans är: $Z_i = (0,5 + j3) \Omega/\text{fas}$. Parallellt med belastningen ansluts nu ett kondensatorbatteri bestående av tre lika kondensatorer vardera med reaktansen $X_c = 100 \Omega$. Kondensatorerna kopplas i Δ .
 - a) Bestäm fasström och generatorns klämspänning innan kondensatorbatteriet kopplas in. (4p)
 - b) Bestäm fasström och generatorns klämspänning efter inkopplingen av kondensatorbatteriet. Med hur stor skenbar effekt (uttryckt i komplex form) belastas generatormed? (3p)
 - c) Jämför och kommentera resultat i a) och b) (2p)
 - d) Hur stor ström går igenom respektive kondensator? (2p)

2. En trefas transformator har följande märkdata:

63 MVA, YN/yn, 145/11,5 kV; $z_k = 12\%$ och $r_k = 2\%$

Vid tomgångsprovet uppmättes bland annat $P_0 = 2,5$ kW

Man tänker belasta transformatorn med maximalt 80 % av märkströmmen vid effektfaktor $\cos\phi = 0,8$. Transformatorn kommer att anslutas till 145 kV nät.

a) Beräkna transformatorns klämspänning samt av lasten uttagen aktiv och reaktiv effekt. (4p)

b) Bestäm transformatorns belastningsförluster samt verkningsgrad. (2p)

3. En separatmagnetiserad likströmsmotor har en ankarresistans på $0,5\ \Omega$. I tomgång och med full magnetisering har maskinen varvtalet 1000 rpm. Maskinen är ansluten till 200 V. Fältlindningen matas ifrån konstant spänningskälla.

a) Bestäm maskinens ankarström och varvtal om den skall avge ett moment på 100 Nm. (3p)

b) Man önskar nu att sänka varvtalet med 100 rpm vid samma moment som i a) och kopplar därför in ett motstånd R i serie med ankaret. Bestäm värdet på R. (3p)

4. En asynkronmotor (AM) driver en last som behöver ett vridmoment som är 145 Nm vid ett axelvarvtal på 1250 rpm och 70 Nm vid 750 rpm. Anta att lastens momentkaraktäristik kan approximeras med en rät linje.

Asynkronmotorn har följande märkdata:

15 kW 400 V 50 Hz 32 A 970 rpm $\cos\phi = 0,81$

- a) Vilket varvtal kommer motorn att rotera med när den driver sin last? (3p)
- b) Vilket vridmoment producerar motorn då? (1p)
- c) Anta att AM drivs av en frekvensomriktare. Vid ett tillfälle, lasten (samma last) skall rotera med 800 rpm. Med vilken frekvens och vilken spänning skall AM matas med då? (AMs luftgapsflöde skall hållas konstant). (3p)
- d) Vilket vridmoment producerar motorn då? (1p)
- e) Hur stor är rotorströmmarnas frekvens då? (2p)

5. En likspänningsomriktare (LS-omriktare) skall användas för att skapa en stabil likspänning 45 V över en last som kan modelleras med en resistans på 15 Ω . LS-omriktaren matas med ett 15 V-s batteri. Modulationsfrekvensen är 10 kHz.

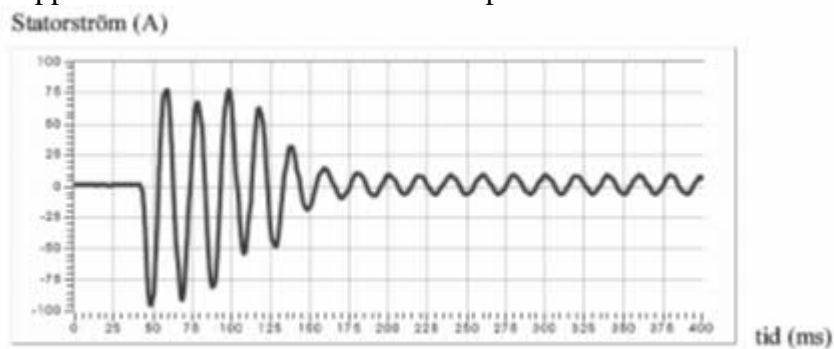
a) Rita upp en-kvadrant LS-omriktare för denna uppgift. Omriktaren skall ha glättning på både batterisidan och lastsidan, för att strömmarna och spänningarna in och ut kan vara likströmmar och likspänningar. (2p)

b) Hur lång tid under varje modulationsperiod leder transistorn? (1p)

c) Hur ser spänningen över induktansen i LS-omriktaren ut under två modulationsperioder (u_L)? Gradera axlarna på diagrammet. På vilket sätt kan det kontrolleras att man har ritat rätt $u_L(t)$? Motivera. (2p)

d) Hur ser strömmen genom dioden ut under två modulationsperioder och med hur hög ström belastas batteriet? (2p)

6. 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)

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? Hur fungerar en enfas jordfelsbrytare jämfört med en trefas dito? (3p)

8. Vilka två beräkningsmetoder används typiskt för att beräkna strömmen vid trefasig kortslutning? Förklara båda metoderna (med egna ord och formel uttryck) med hjälp av följande exempel: En trefasig kortslutning inträffar i ändan av en luftledning matad från en generator via en transformator. (4p)

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 :

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

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

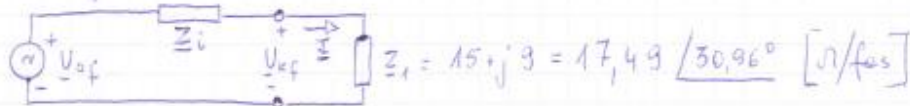
cc

① Trefasgenerator: $U_o = 400\text{ V}$; $Z_i = (0,5 + j3)\ \Omega/\text{fas}$; Y-kopplad

Belastning: $Z_1 = (15 + j9)\ \Omega/\text{fas}$; Y-kopplad

a) Klämspänning $U_k = ?$; $\underline{I} = ?$

Ekv. Y-fas:



$$\text{referens } \underline{U}_{0f} = \frac{400}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ = 230,94 \angle 0^\circ \text{ [V]}$$

$$\rightarrow \underline{I} = \frac{\underline{U}_{0f}}{Z_i + Z_1} = \frac{230,94 \angle 0^\circ}{19,6 \angle 37,75^\circ} = 11,78 \angle -37,75^\circ \text{ [A]}$$

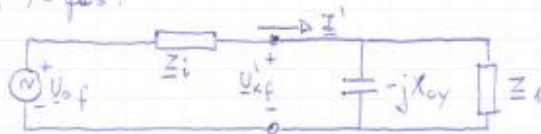
$$\underline{U}_{kf} = Z_1 \underline{I}_1 = 17,49 \angle 30,96^\circ \cdot 11,78 \angle -37,75^\circ = 206,03 \angle -6,79^\circ \text{ [V]}$$

$$\rightarrow \underline{U}_k = \sqrt{3} \cdot 206,03 = 356,85 \text{ V}$$

b) Kond. bat. parallellt med Z_1 ; $X_c = 100\ \Omega$ - Δ -kopplade

$$X_{cy} = \frac{100}{3} = 33,3 \text{ [}\Omega/\text{fas]}; \underline{I}' = ?; \underline{U}'_k = ?; \underline{S} = ?$$

Ekv. Y-fas:



$$\underline{Z}' = -jX_{cy} \parallel Z_1 \Rightarrow \underline{Z}' = 20,4 \angle -0,75^\circ = (20,4 - j0,26) \text{ [}\Omega/\text{fas]}$$

$$\rightarrow \underline{I}' = \frac{\underline{U}_{0f}}{Z_i + \underline{Z}'} = \frac{230,94 \angle 0^\circ}{21,08 \angle 7,47^\circ} = 10,96 \angle -7,47^\circ \text{ [A]}$$

$$\underline{U}'_{kf} = \underline{Z}' \cdot \underline{I}' = 223,58 \angle -8,2^\circ \text{ [V]} \Rightarrow \underline{U}'_k = \sqrt{3} \underline{U}'_{kf} = 387,26 \text{ [V]}$$

$$\underline{S} = 3 \cdot \underline{U}'_{kf} \cdot (\underline{I}')^* = 7351,31 \angle -0,73^\circ = (7350,71 - j93,66) \text{ [VA]}$$

\downarrow \downarrow
 P $-jQ$

c) Vi gör en reaktiv effektkomp, mindre strömförbrukning, spänning över lasten ökar

d) Ström genom kondensatorbatteriet (fas-fas spänning/deltacap): $U_k'/1/\omega c = 387,6/100 = 3,88 \text{ A}$

3-fas trafo $S_n = 63 \text{ MVA}$; $145/11,5 \text{ kV}$; YN/yn ③

$z_k = 12\%$; $r_k = 2\%$; $P_0 = 2,5 \text{ kW}$

$V_1 = 145 \text{ kV}$; belastning: 80% av I_{n2} vid $\cos \varphi_2 = 0,8$

a) $V_2 = ?$; $P_2 = ?$; $Q_2 = ?$

beräkning av på $11,5 \text{ kV}$ -sidan;

$$Z_k = z_k \cdot Z_{\text{bas}} = 0,12 \frac{11,5^2}{63} = 0,252 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$R_k = r_k \cdot Z_{\text{bas}} = 0,042 \text{ } \Omega/\text{fas} \Rightarrow X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = 0,249 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$I_2 = 0,8 I_{n2} = 0,8 \cdot \frac{63 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 11,5 \cdot 10^3} = 2530,3 \text{ A}$$

$$\Delta U = \sqrt{3} I_2 (R_k \cos \varphi_2 + X_k \sin \varphi_2) = \sqrt{3} \cdot 2530,3 (0,042 \cdot 0,8 + 0,249 \cdot 0,6) = 786,24 \text{ V}$$

$$\underline{V_2 = 10713,8 \text{ V}}$$

$$\underline{P_2 = \sqrt{3} V_2 I_2 \cos \varphi_2 = 37,563 \text{ MW}}$$

$$\underline{Q_2 = \sqrt{3} V_2 I_2 \sin \varphi_2 = 28,172 \text{ MVar}}$$

b) $P_{\text{cu}} = ?$; $\eta = ?$

$$\underline{P_{\text{cu}} = 3 R_k I_2^2 = 806,7 \text{ kW}}$$

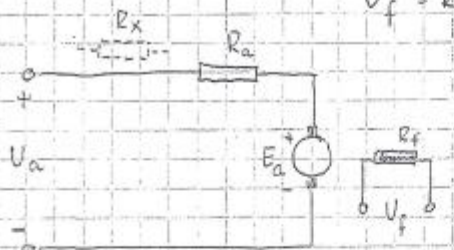
$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_0 + P_{\text{cu}}} = \frac{37563}{37563 + 2,500 + 806,7} \approx 0,98$$

$$\underline{\underline{\eta = 98\%}}$$

2.

LM-separatmagn. $U_a = 200\text{ V}$; $R_a = 0,5\ \Omega$

2.

 $U_f = \text{konst.} \Rightarrow I_f = \text{konst}$ 

Vid tomgång:

 $U_a = E_{a0} = 200\text{ V}$; $n_0 = 1000\text{ rpm}$

$$E_{a0} = k I_f \omega_0 \Rightarrow k I_f = \frac{E_{a0}}{\frac{2\pi n_0}{60}} = \frac{200 \cdot 30}{\pi \cdot 1000} = 1,91$$

a) $T = 100\text{ Nm}$; $I_a = ?$; $n = ?$

$$I_a = \frac{T}{k I_f} = \frac{100}{1,91} = \underline{\underline{52,36\text{ A}}}$$

$$E_a = U_a - R_a I_a = 200 - 0,5 \cdot 52,36 = 173,8\text{ V}$$

$$n = \frac{E_a}{\frac{2\pi}{60} \cdot k I_f} = \frac{173,8 \cdot 30}{\pi \cdot 1,91} = \underline{\underline{869\text{ rpm}}}$$

b) $R_x = ?$ då $n' = 869 - 100 = 769\text{ rpm}$

$$\text{om } T = \text{konst} \Rightarrow k I_f I_a = \text{konst} \Rightarrow I_a = \text{konst} \Rightarrow I_a = 52,36\text{ A}$$

$$E_a' = k I_f \omega' = 1,91 \frac{\pi \cdot 769}{30} = 153,8\text{ V}$$

$$E_a' = U_a - (R_a + R_x) I_a$$

$$R_a + R_x = \frac{U_a - E_a'}{I_a} = \frac{200 - 153,8}{52,36} = 0,88\ \Omega$$

$$\underline{\underline{R_x = 0,88 - 0,5 = 0,38\ \Omega}}$$

4/1

AM : $P_n = 15 \text{ kW}$; $V_n = 400 \text{ V}$; $f = 50 \text{ Hz}$
 $I_n = 32 \text{ A}$; $n_n = 970 \text{ rpm}$; $\cos \varphi = 0,81$

Lasten : 70 Nm vid 750 rpm
 145 Nm vid 1250 rpm

a) $n = ?$
 Lastens momentkaraktäristik kan approximeras med en rät linje

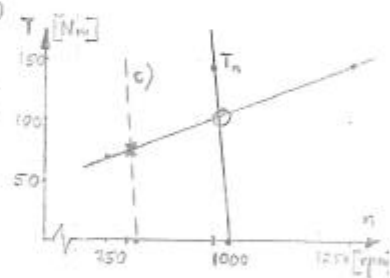
även AM:s momentkaraktäristik mellan tomgång och märkdrift kan approximeras med en rät linje

AM $T_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{15 \cdot 10^3}{\frac{2\pi \cdot 970}{60}} = 147,7 \text{ Nm}$

vid $n_s = 1000 \text{ rpm}$ är $T = 0$

$$T_{AM} - 0 = \frac{147,7 - 0}{970 - 1000} (n - 1000)$$

$$T_{AM} = 4920 - 4,92n$$



Lasten

$$T_L - 70 = \frac{145 - 70}{1250 - 750} (n - 750)$$

$$T_L = -42,5 + 0,15n$$

Vid drift gäller : $T_{AM} = T_L$

$$4920 - 4,92n = -42,5 + 0,15n$$

$$\underline{n = 978,8 \text{ rpm}}$$

b) $T = ?$ $\underline{T = 4920 - 4,92 \cdot 978,8 = 104,3 \text{ Nm}}$

4/2

c) d)

Lutningen på AM-s momentkurva i båda driftsfall skall vara lika

AM skall skapa vridmoment:

$$\text{ex. a)}: T_z = -42,5 + 0,15n = -42,5 + 0,15 \cdot 800 = \underline{\underline{77,5 \text{ Nm}}}$$

$$\frac{T_b}{n_a - n_{sc}} = \frac{T_d}{n_c - n_{sc}} \Rightarrow \frac{104,3}{978,8 - 1000} = \frac{77,5}{800 - n_{sc}}$$

$$n_{sc} = 815,75 \text{ rpm}$$

$$p = 3$$

$$n_{sc} = 60 \cdot \frac{f_c}{p} \Rightarrow \underline{\underline{f_c}} = \frac{p \cdot n_{sc}}{60} = \frac{3 \cdot 815,75}{60} = \underline{\underline{40,79 \text{ Hz}}}$$

För att AM-s luftgapsflöde skall hållas konstant:

$$\Rightarrow \frac{v}{f} = \text{konst} \quad \frac{400}{50} = 8 \Rightarrow v_c = 40,79 \cdot 8 = \underline{\underline{326,3 \text{ V}}}$$

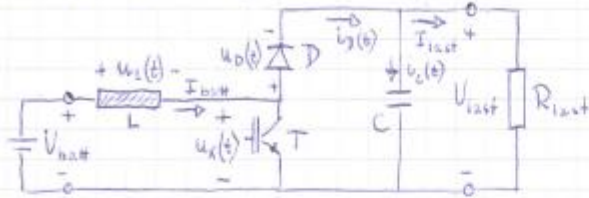
e) $f_r = ?$

$$f_r = s_c \cdot f_c = \frac{815,75 - 800}{815,75} \cdot 40,79 = \underline{\underline{0,79 \text{ Hz}}}$$

En-kvadrant LS omriktare

$$U_{last} = 45 \text{ V}; R_{last} = 15 \Omega; U_{batt} = 15 \text{ V}; f = 10 \text{ kHz}$$

a) Uppspänningsomriktare:



$$b) \quad u_x(t) = \begin{cases} 0 & \text{under } t_p \text{ (till)} \\ U_{last} & \text{under } T - t_p \text{ (från)} \end{cases}$$

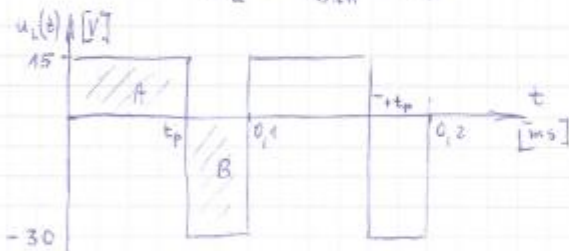
$$T = \frac{1}{f} = 0,1 \text{ ms}$$

$$\bar{u}_x = \frac{0 \cdot t_p + U_{last} (T - t_p)}{T} \Rightarrow t_p = T \frac{U_{last} - \bar{u}_x}{U_{last}} = 0,1 \frac{45 - 15}{45} = 0,067 \text{ ms}$$

c) $u_L(t)$?

$$u_L = U_{batt} - u_x$$

$$\bar{u}_L = 0 \Rightarrow A = B$$



$$d) \quad U_{batt} \cdot I_{batt} = U_{last} \cdot I_{last} \Rightarrow \underline{\underline{I_{batt} = \frac{45 \cdot 3}{15} = 9 \text{ A}}}$$

$$I_{last} = \frac{U_{last}}{R_{last}} = 3 \text{ A}$$

$i_D(t)$?

