

Tentamen i ELTEKNIK för E3, EEK 141

Datum:	onsdag, den 11 januari 2023
Tid	14.00 – 18.00
Lösningar:	På hemsidan den 12 januari
Betygsgränser:	≥ 25 ger godkänt, 4:a ≥ 36 p och 5:a ≥ 43 p
Resultat:	Anslås senast 25 januari 2023
Granskning:	Se resultatlista
Hjälpmedel:	Typgodkänd räknare, räknatabeller (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. Effektuttaget för en planerad ny stadsdel i Göteborg beräknas till 30 MW. Stadsdelen kommer att matas med en transformator 130/10 kV. En storindustri, som kommer att finnas där, beräknas att belasta nätet med 10 MW vid $\cos\phi = 0,75$. Göteborg Energi kräver att $\cos\phi$ inte skall vara mindre än 0,98 om inte extra debitering för reaktivt effektuttag skall ske.

Beräkna den nödvändiga kondensatoreffekten för införd faskompensering, så att industrin uppfyller kravet. Vilket värde har dessa kondensatorer om de skall vara Y – kopplade?

Resten av stadsdelen (bostäder, kontor, sjukhus mm) kommer att förbruka 20 MW vid $\cos\phi = 0,92$. Hur stort kondensatorbatteri värde skall Göteborg Energi koppla in i ställverket för att uppfylla dessa krav? Ange batteriets effekt och kondensatorernas kapacitans om dessa Δ – kopplas.

(4p)

2. Tre stycken symmetriska trefasbelastningar enligt nedan är anslutna till ett symmetriskt trefasnät med nominell spänning 690 V, 50 Hz:

I. Belastning bestående av tre lika impedanser $Z = (22,5 - j27) \Omega$, Δ - kopplade

II. Belastning bestående av tre lika impedanser $Z = (4 + j2) \Omega$, Y - kopplade

III. En resistiv belastning med märkeffekt $S_n = 15 \text{ kVA}$

a) Bestäm fasström som nätet belastas med av respektive belastning. (3p)

b) Bestäm den resulterande fasströmmen som nätet belastas med. (3p)

3. 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? (AM-s luftgapsflöde skall hållas konstant). (6p)

4. En likströms shuntmotor (samma spänningsmatning till ankare som för stator) är ansluten till en konstant spänning på 240 V.

Ankarresistansen är $0,42 \Omega$. Maskinen belastas så att ankarströmmen blir 35 A och varvtalet 1475 rpm.

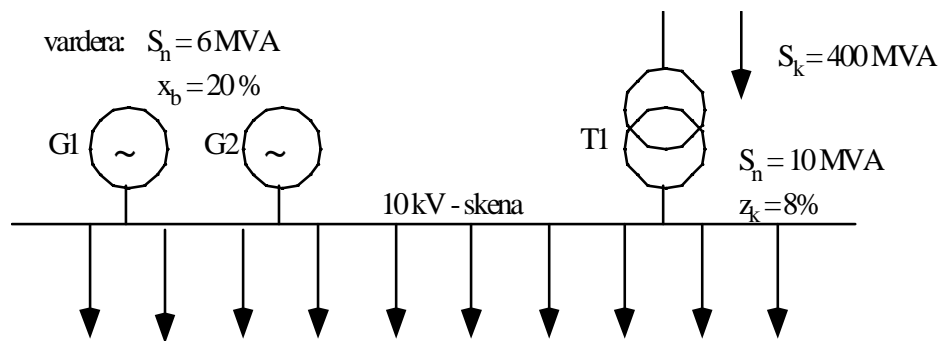
a) Bestäm maskinens tomgångsvarvtal. Tomgångsförlusterna kan försummas. (3p)

b) Om man från det ursprungliga belastningsfallet för maskinen minskar momentet till hälften, vad blir då varvtalet? Vad är sambandet mellan moment och varvtal. (3p).

5. Figuren visar en 10 kV skena i en industri, som matas direkt dels från två egna generatorer (G1 och G2), dels från en kraftleverantör via transformator T1.

Beräkna kortslutningseffekt samt kortslutningsström på skenan.

Föreslå hur kortslutningsströmmens storlek kan ändras(reduceras!) genom lämplig modifiering av skensystemet, gärna med illustration.



(6p)

6. En nedspänningstrefastransformator är märkt:

24 MVA; YN/ Δ ; $z_k = 12 \%$; $r_k = 1,5 \%$. Den har 1350 primärvarv och 133 sekundärvarv.

a) För hur stor ström är lindningarna i transformatorns sekundärlindning dimensionerade vid märkdrift när primären ansluts till 135 kV och hur stor blir sekundärspänningen då? (4p)

b) För att få fram z_k och r_k utförde man ett kortslutningsprov. På vilket sätt utför man kortslutningsprovet? Hur hög spänning krävdes för att utföra provet och hur vilken mängd aktiv effekt förbrukade transformatorn då? (4p)

7. Teoriuppgifter

- a) Vad menas med strömstyv respektive spänningsstyv komponent? Vilka komponenter inom kraftelektroniken uppvisar sådana egenskaper? (2p)
- b) Beskriv hur en uppspänningsomriktare fungerar. (2p)
- c) Diskutera svårigheterna och möjligheterna med att få en asynkronmaskin att fungera med enfasmatning. (2p)
- d) Hur påverkas det reaktiva effektbehovet i en asynkronmaskin då lasten ökar (2p)
- e) Beskriv mycket förenklat elsystemet i ett typiskt svenskt hem från 3- till enfas. Hur utformas personskyddet och vilka risker kvarstår trots detta? (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:

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

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

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

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

1

Transformator: 130/10kV

Industri: $P_1 = 10 \text{ MW}$

$$\cos \varphi = 0,75$$

etter reaktiv effektkomp: $\cos \varphi_2 = 0,98$

φ_{fore} : laster induktiv $\varphi = 41,4 \Rightarrow \varphi_{\text{fore}} = P_1 \cdot \tan \varphi = 8,82 \text{ MVAR}$

U' komp p: 10kV sidan:

$\varphi_{\text{etter}} = \varphi_2 = 11,5^\circ \Rightarrow \varphi_{\text{effr}} = P_1 \cdot \tan \varphi_2 = 2 \text{ MVAR}$
 $\varphi_{\text{comp}} = 6,8 \text{ MVAR}$

Y-koppling: $Q_c = 3WC U_c^2$ $U_c = \frac{10}{\sqrt{3}} \text{ kV}$

$\varphi_{\text{etter}} = \varphi_2 = 11,5^\circ \Rightarrow \varphi_{\text{effr}} = P_1 \cdot \tan \varphi_2 = 2 \text{ MVAR}$
 $\varphi_{\text{comp}} = 6,8 \text{ MVAR}$

Y-koppling: $Q_c = 3WC U_c^2$ $U_c = \frac{10}{\sqrt{3}} \text{ kV}$

a) $\frac{P_{\text{effr}}}{3 \cdot 2\pi \cdot 50 \left(\frac{10 \times 10^3}{\sqrt{3}}\right)^2} = 216 \text{ pF / fas}$

$P_2 = 20 \times 10^6 \text{ W}$
 $\cos \varphi = 0,92 \Rightarrow \varphi_2 = 8,52 \text{ MVAR}$

$\varphi_{\text{etter}}: \cos \varphi_2 = 0,98 \Rightarrow \varphi_{\text{effr}} = 4,06 \text{ MVAR}$

Δ -koppling: $Q_c = 3 \cdot W \cdot C_d \cdot U_n^2$
 $C_d = \frac{Q_c}{3 \cdot W \cdot U_n^2} = \frac{4,46 \times 10^6}{3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot (10 \times 10^3)^2} = 47 \text{ pF / fas}$

U1/2

$$U_n = 690 \text{ V}$$

3 lasten:

$$\text{I : } Z_{\Delta} = 22,5 - j \cdot 27 \text{ } \Omega / \text{A}$$

$$\Rightarrow Z_Y = \frac{Z_{\Delta}}{3} = 7,5 - j \cdot 9 \text{ } \Omega / \text{A}$$

$$I_{K1} = \frac{U_n \angle 0}{Z_Y} = \frac{690 \angle 0}{\sqrt{3} \cdot 11,7 \angle -50,2} = 34,5 \angle 5$$
$$= 21,8 + j26 \text{ A}$$

$$\text{II } Z_Y = 4 + j \cdot 2$$

$$I_{K2} = \frac{U_n \angle 0}{Z_Y} = \frac{690 \angle 0}{\sqrt{3} \cdot 4,47 \angle 26,6} = 89,1$$

$$= 79,7 - 40j$$
$$\text{III } S_n = P = 15 \text{ kW}$$

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

$$I_{K3} = \frac{15 \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 690} = \underline{\underline{12,55 \text{ A } \angle 0}}$$

$$\text{b) } I_{\text{rlt}} = I_{K1} + I_{K2} + I_{K3} = 114 - j \cdot 13,2$$

A

7A

$$AM : P_n = 15 \text{ kW}; V_n = 400 \text{ V}; f = 50 \text{ Hz}$$

$$I_n = 32 \text{ A}; n_n = 970 \text{ rpm}; \cos \varphi = 0,81$$

Lasten:

$$70 \text{ Nm vid } 750 \text{ rpm}$$

$$145 \text{ Nm vid } 1250 \text{ rpm}$$

a) $n = ?$

Lastens momentkaraktäristik kan approximeras med en rät linje

även AM-s momentkaraktäristik mellan dömgång och märkdrift kan approximeras med en rät linje

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

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

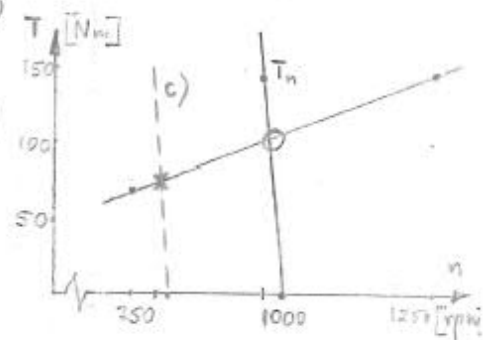
$$T_L - 70 = \frac{145 - 70}{1250 - 750} (n - 750)$$

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

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:

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

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

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

$$p = 3$$

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

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) $f_r = ?$

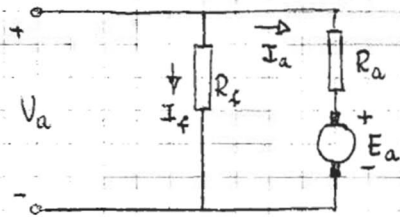
$$f_r = s_c \cdot f_c = \frac{815,75 - 800}{815,75} \cdot 40,79 = \underline{\underline{0,79 \text{ Hz}}}$$

4 LM-shuntmagu.

$$U_a = 240 \text{ V} - \text{konst.}; R_a = 0,42 \Omega$$

Belastning: $I_a = 35 \text{ A}; n = 1475 \text{ rpm}$

a) $n_0 = ?$ ($P_0 = \text{försurnmas}$)



$$U_a = \text{konst} \rightarrow I_f = \text{konst}$$

$$E_a = k \omega$$

$$E_a = U_a - R_a I_a = 240 - 0,42 \cdot 35 = 225,3 \text{ V}$$

$$225,3 = k I_f \omega \Rightarrow k I_f = \frac{225,3 \cdot 60}{2\pi \cdot 1475} = 1,46$$

Vid tomgång gäller att $E_0 = U_0 = 240 \text{ V} \Rightarrow$

$$\underline{n_0} = \frac{60 \cdot E_0}{2\pi \cdot I_f} = \underline{1574 \text{ rpm}}$$

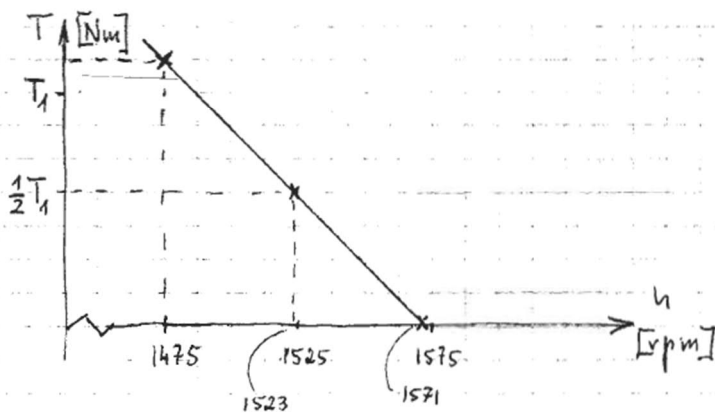
$$b) \quad u_2 = ? \quad \text{da} \quad T_2 = \frac{1}{2} T_1 \quad ; \quad T = k I_f I_a$$

$$T_1 = k I_f I_{a1} = k I_f \cdot 35$$

$$T_2 = \frac{1}{2} T_1 = k I_f I_{a2} \quad \Rightarrow \quad I_{a2} = 17,5 \text{ A}$$

$$E_{a2} = 240 - 0,42 \cdot 17,5 = 232,65 \text{ V}$$

$$\left. \begin{array}{l} E_{a2} = k I_f \omega_2 \\ E_{a1} = k I_f \omega_1 \end{array} \right\} \quad \omega_2 = \frac{E_{a2}}{E_{a1}} \omega_1 \quad \Rightarrow \quad \underline{\underline{n_2 = \frac{232,65}{225,3} \cdot 1475 = 1523 \text{ rpm}}}$$



Har ledning moment / varmløst-sambandet?

$$U_a = E_a + R_a \cdot I_a$$

$$U_a = k \cdot I_f \cdot \omega + R_a \cdot I_a$$

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

$$U_a = k \cdot I_f \cdot \omega + \frac{R_a \cdot T}{k \cdot I_f}$$

$$T = \frac{U_a \cdot k \cdot I_f}{R_a} - \frac{(k \cdot I_f)^2 \cdot \omega}{R_a}$$

uppgift 5

För G_1 & G_2 :

$$S_k = \frac{S_n}{z_k} = \frac{6 \times 10^6}{0,20} = 30 \text{ MVA}$$

För Transformator:

$$S_{ktr} = \frac{10}{0,08} = 125 \text{ MVA}$$

$$\frac{1}{S_{kbt}} = \frac{1}{S_k} + \frac{1}{S_{ktr}}$$

$$S_{kbt} = \frac{S_k \cdot S_{ktr}}{S_k + S_{ktr}} = \frac{400 \times 125}{400 + 125} = 95,2 \text{ MVA}$$

$$S_{kbt} = 2 \times 30 + 95,2 = \underline{\underline{155 \text{ MVA}}}$$

$$S_k = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_k \quad U = 10 \text{ kV}$$

$$\frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot U_n} = I_k = \frac{155 \times 10^6}{\sqrt{3} \cdot 10 \times 10^3} \approx 8,96 \text{ kA}$$

$$\text{störström: } I_s = 3 \times I_k = \underline{\underline{26,9 \text{ kA}}}$$

stör systemet kan se hörens (läm pölgm)



6)

Transformator:

$$S_n = 24 \text{ MVA}, \quad YN, \Delta$$

$$z_k = 12\% \quad N_1 = 1350 \text{ varv}$$

$$r_k = 1,5\% \quad N_2 = 133 \text{ varv}$$

$$U_{n1} = 135 \text{ kV}$$

$$U_{n2} = \frac{U_{n1} \cdot N_2}{N_1 \cdot \sqrt{3}} = \frac{135 \cdot 10^3 \cdot 133}{1350 \cdot \sqrt{3}} = 7,7 \text{ kV}$$

$$\text{Linieström: } S_{n2} = \sqrt{3} \cdot U_{n2} \cdot I_{2n}$$

(best fastkom först)

$$\frac{S_{n2}}{\sqrt{3} \cdot U_{n2}} = \frac{24 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 7,7 \cdot 10^3} = 1804 \text{ A}$$

$$I \text{ linier (delta kopplad)}: I_{\Delta} = \frac{I_{2n}}{\sqrt{3}} \approx \underline{\underline{1,04 \text{ k}}}$$

a) Svar: 7,7 kV selspänning & ledningarna för
1,04 kA

b) kortslutningsprovet utförs på uppsp-sidan.
Vi behöver märkström på uppsp-sidan
+ Z_k för att bestämma U_k

$$I_{n1} = \frac{S_{n1}}{\sqrt{3}U_{n1}} = \frac{24 \times 10^6}{\sqrt{3} \cdot 135 \times 10^3} = \underline{\underline{102,6 \text{ A}}}$$

Basimpedans:

$$Z_{bas} = \frac{U_{n1}^2}{S_n} = \frac{(135 \times 10^3)^2}{24 \times 10^6} = 759 \Omega$$

$$Z_k = Z_k \cdot Z_{bas} = 0,12 \times 759 = \underline{\underline{91,1 \Omega}}$$

$$U_{k1} = Z_k \cdot I_{n1} = 9,35 \text{ kV}$$

$$U_k = 16,2 \text{ kV}$$

$$P_k = 3 \cdot R_k \cdot I_k^2 = 3 \cdot 0,015 \cdot 759 \cdot 102,6^2 = 360 \text{ kW}$$