

Tentamen i ELTEKNIK för E3, EEK 141

Datum:	onsdag, den 15 januari 2020
Tid/Plats	em / "maskin"-salar
Lösningar:	Anslås på hemsidan 16 januari
Betygsgränser:	≥ 25 ger godkänt
Resultat:	Anslås senast 31 januari 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. Ett nytt företag kommer att utrustas med asynkronmotorer vilka har ett totalt effektbehov på 100 kW, $\cos \varphi = 0,75$. Det uppskattas att effektförbrukningen vid tomgångsdrift blir 8,75 kW, $\cos \varphi_0 = 0,105$. Utöver motorer planerar man att ansluta en resistiv last vilken förbrukar 60 kW. Det finns en möjlighet att ansluta ett kondensatorbatteri med effekten 110 kVAr. Företaget kommer att anslutas till en trefastransformator som avger 690 V vid 50 Hz frekvens.
- a) Med hur stor ström och skenbar effekt (uttryckt i komplex form) kommer företaget att belasta transformatorn om man inte ansluter kondensatorbatteriet? (3p)
- b) Med hur stor ström och skenbar effekt (uttryckt i komplex form) kommer företaget att belasta transformatorn om man ansluter kondensatorbatteriet? Har företagets totala last en induktiv eller kapacitiv karaktär då? (3p)
- c) Är det lämpligt att ansluta det befintliga kondensatorbatteriet? Förklara din bedömning. (3p)

2. En trefastransformator har följande märkdata:

1250 kVA; 10500/400 V; Δ/yn ; 50 Hz;

$Z_k = 5,12 \Omega$ och $R_k = 1,06 \Omega$ (hänfödda till uppspänningssidan)

a) Beskriv på vilket sätt man utfört provet för att få fram parametrarna Z_k och R_k . Hur stor var spänningen vid provet på ovan nämnda transformator? Hur stor aktiv effekt förbrukade transformatorn vid provet och hur stor ström matades transformatorn med? Beräkna basimpedanserna på upp och nedspänningssidan. Hur stor är transformatorns z_k ? (4p)

b) Transformatorn, på lågspänningssidan, belastas med 900 A vid effektfaktor $\cos \phi = 0,75$. Transformatorns högspänningssida anslutes till ett 10,5 kV - nät. Bestäm den sekundära klämspänningen samt av lasten uttagen aktiv och reaktiv effekt. Bestäm strömmen i transformatorns primärlindning. Rita visardiagram över spänningarna och spänningsfallet i transformatorn. (4p)

c) Bestäm transformatorns belastningsförluster vid detta driftsfall. (2p)

3. En trefas 50 Hz asynkronmotor har följande data på märkplåten:

150 kW; 3,3 kV; 36 A; $\cos \phi = 0,8$; 965 rpm.

Vid direktstart är maskinens startström 200 A och tillförd effekt 345 kW. Statorns resistans är $1,5 \Omega/\text{fas}$. Bestäm (Gör lämpliga approximationer vid beräkningarna, Ledtråd: "minns uttrycken från effektpilen"):

a) Startmoment (3p)

b) Förhållandet mellan startmoment och märkmoment. (1p)

c) Förhållandet mellan kopparförlusterna i statorn vid start och märkdrift. (2p)

d) Rita asynkronmaskinens ekvivalenta scheman vid start och tomgång. (1p)

4. En likspänningsomriktare matas av ett batteri med 96 V spänning. På uppspänningssidan lastas den med en likström $I=10$ A vid en likspänning $U=300$ V. Styrningen av omriktaren har en periodtid på 0.1 ms och induktansen samt kapacitansen får anses mycket stora.

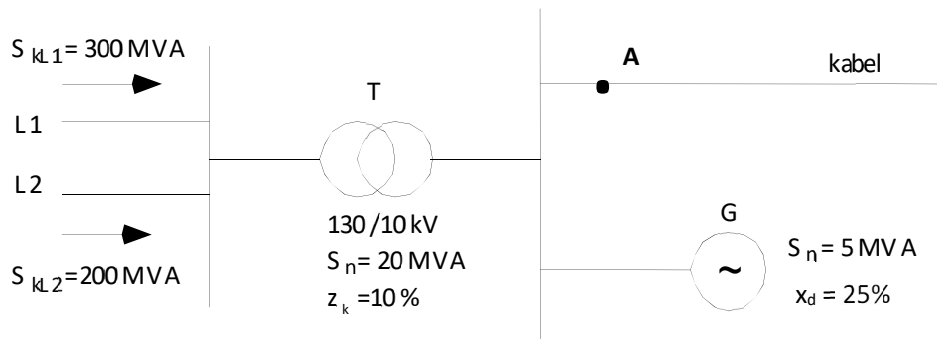
a) Rita upp kretsen, beräkna pulskvoten och ange vilka halvledare strömmen går genom under olika delar av modulationsperioden. (2p)

b) Rita grafer på strömmen genom kondensatorn ($i_C(t)$) och spänningen över induktansen ($u_L(t)$) under två perioder av modulationen. (3p)

5. En separatmagnetiserad likströmsmotor är märkt: $P_n = 4,5 \text{ kW}$ $n_n = 1445 \text{ rpm}$ $U_{an} = 260 \text{ V}$ $I_{an} = 23,4 \text{ A}$, $I_{fm} = 1,9 \text{ A}$ $R_a = 2,9 \Omega$
 Motorn driver en last som behöver ett vridmoment som varierar linjärt med varvtalet och är 25 Nm vid 2000 rpm och 5 Nm vid 0 rpm . Motorn matas med en fältström på $1,9 \text{ A}$.
 Vilken ankarspänning skall motorn matas med för att varvtalet skall bli 1300 rpm ? (3p)

6. Linje L1 levererar kortslutningseffekten S_{kl1} vid kortslutning på 130 kV - skenan nedan.
 Linje L2 lämnar S_{kl2} . Alla resistanser försummas! Beräkna:
 Kortslutningseffekten S_{kA} , kortslutningsström och stötström vid trefasig kortslutning i punkt A enligt metoden med delkortslutningseffekter.

(4p)



7. Beskriv tre olika metoder som används för att begränsa startströmmen för asynkronmotorer. Ange fördelar och nackdelar vid respektive metod. (3p)
8. Vad är det som avgör hur allvarliga personskadorna blir vid elolyckor? Hur kan man skydda mot personskador? Beskriv ett 4-ledar- resp. ett 5-ledarsystem för anslutning av en elektrisk installation. Vilket är bäst ur säkerhetssynpunkt? (3p)
9. En synkrogenerator alstrar konstant aktiv effekt vid konstant spänning. Förklara med hjälp av ett visardiagram hur styr man generatoren för att den skall avge eller uppta reaktiv effekt. (3p)
10. I hushållen installeras, nuförtiden obligatoriskt, en jordfelsbrytare. Varför gör man det? Beskriv hur fungerar en jordfelsbrytare fungerar. När träder en jordfelsbrytare i funktion och när gör den inte det (fast man hade önskat det..)? (3p)

Kort Formelblad i Elkraftteknik

Trefasssystem :

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

$$Z_Y = \frac{Z_\Delta}{3} \qquad I = \sqrt{3}I_\Delta$$

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

Spänningsfall :

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

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

1.

a)

$$P_{AM} = 100 \text{ kW}; \cos \varphi = 0,75$$
$$Q_{AM} = P_{AM} \tan \varphi = 100 \tan 41,41^\circ = 88,2 \text{ kVAr}$$
$$P = P_{AM} + P_R = 100 + 60 = 160 \text{ kW}$$
$$\underline{S} = (160 + j88,2) \text{ kVA} = 182,7 \angle 28,87^\circ \text{ kVA}$$
$$\underline{I}^* = \frac{\underline{S}}{3\underline{U}_l} = \frac{182700 \angle 28,87^\circ}{3 \frac{690}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ} = 152,9 \angle 28,87^\circ \text{ A}$$
$$\underline{I} = 152,9 \angle -28,87^\circ \text{ A}$$

b)

$$P = 160 \text{ kW}; Q = Q_{AM} - Q_C = 88,2 - 110 = -21,8 \text{ kVAr}$$
$$\underline{S} = (160 - j21,8) \text{ kVA} = 161,48 \angle -7,76^\circ \text{ kVA}$$
$$\underline{I} = \frac{\underline{S}}{3\underline{U}_l} = \frac{161480 \angle 7,76^\circ}{3 \frac{690}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ} = 135,1 \angle 7,76^\circ \text{ A}$$

c) Vid tomgångsdrift av AM gäller:

$$P_0 = 8,75 \text{ kW} \text{ och } \cos \varphi_0 = 0,105 \Rightarrow Q_0 = 82,9 \text{ kVAr}$$

$Q_C > Q_{AM}$ vid drift och $Q_C > Q_{AM}$ vid tomgångsdrift \Rightarrow överkompensering. Välj kondensatorbatteri med Q_C högst 83 kVAr. Om man tar hänsyn till kabeln som matar företagets last får man $U > 690 \text{ V}$! (Om $Q_C = 110 \text{ kVAr}$)

3-fastransformator: $S_n = 1250 \text{ kVA}$; $10500/400 \text{ V}$; Δ/yn ; 50 Hz

$$Z_k = 5,12 \text{ } \Omega/\text{fas};$$

$$R_k = 1,06 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

a)

Kortslutningsprovet utförs från uppspänningssidan. Lågspänningssidan skall vara kortsluten.

$$U_k = ?;$$

$$I_k = ?;$$

$$P_k = ?$$

$$I_k = I_{n1} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{n1}} = \frac{1250 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 10^3} = 68,73 \text{ A}$$

$$P_k = 3 \cdot R_k I_k^2 = 3 \cdot 1,06 \cdot 68,73^2 = 15,02 \text{ kW}$$

$$U_k = \sqrt{3}U_{sf} = \sqrt{3}Z_k I_k = \sqrt{3} \cdot 5,12 \cdot 68,73 = 609,5 \text{ V}$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = 5,0 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$z_k = ? \quad z_k = \frac{Z_k}{Z_{bas}} = \frac{Z_k \cdot S_n}{U_n^2} = \frac{5,12 \cdot 1,25}{10,5^2} = 0,058 \Rightarrow z_k = 5,8 \%$$

b)

$$I_2 = 900 \text{ A}; \quad \cos \varphi_2 = 0,75$$

Beräkning på $10,5 \text{ kV}$ – sidan:

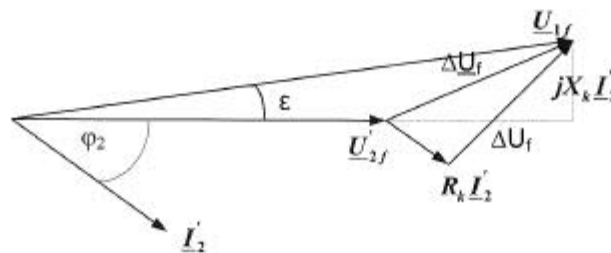
$$I_2' = \frac{U_{n2}}{U_{n1}} I_2 = \frac{400}{10500} \cdot 900 = 34,29 \text{ A}$$

$$\Delta U = \sqrt{3} I_2' (R_k \cos \varphi_2 + X_k \sin \varphi_2) = \sqrt{3} \cdot 34,29 \cdot (1,06 \cdot 0,75 + 5,0 \cdot 0,66) = 243,2 \text{ V}$$

$$U_2' = 10500 - 243,2 = 10256,8 \text{ V} \Rightarrow U_2 = 10256,8 \cdot \frac{400}{10500} = 390,74 \text{ V}$$

$$P_2 = \sqrt{3} U_2 I_2 \cos \varphi_2 = \sqrt{3} \cdot 390,74 \cdot 900 \cdot 0,75 = 456,83 \text{ kW}$$

$$Q_2 = \sqrt{3} U_2 I_2 \sin \varphi_2 = \sqrt{3} \cdot 390,74 \cdot 900 \cdot 0,66 = 402,0 \text{ kVAr}$$



3

3-fas AM: 150 kW; 3,3 kV; 36 A; $\cos\phi = 0,8$; 965 rpm; 50 Hz; $R_s = 1,5 \Omega/\text{fas}$

$P_{\text{start}} = 345 \text{ kW}$; $I_{\text{start}} = 200 \text{ A}$

a) $T_{\text{start}} = ?$ $n_s = 1000 \text{ rpm}$

Vid start gäller att $s = 1$

P_u och P_{fe} kan försummas $\rightarrow P_m = P = 0 \Rightarrow P_s = P_f + P_{Cu}$

$P_{Cu} = 3 R_s I_{\text{start}}^2 = 3 \cdot 1,5 \cdot 200^2 = 180 \text{ kW}$

$P_f = P_{\text{start}} - P_{Cu} = 345 - 180 = 165 \text{ kW}$

$$T_{\text{start}} = \frac{P_f}{\omega_s} = \frac{165 \cdot 10^3}{\frac{2\pi \cdot 1000}{60}} = 1575,6 \text{ Nm}$$

b) $T_{\text{max}} / T_s = ?$

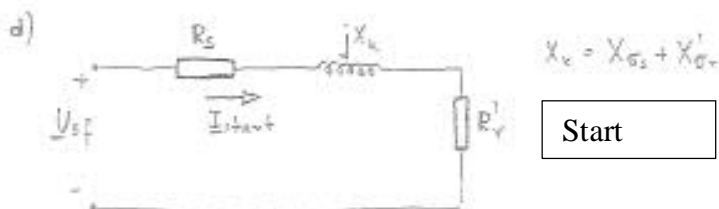
$$T_s = \frac{P_s}{\omega_s} = \frac{150 \cdot 10^3}{\frac{2\pi \cdot 965}{60}} = 1484,3 \text{ Nm}$$

$$\frac{T_{\text{max}}}{T_s} = \frac{1575,6}{1484,3} = 1,06$$

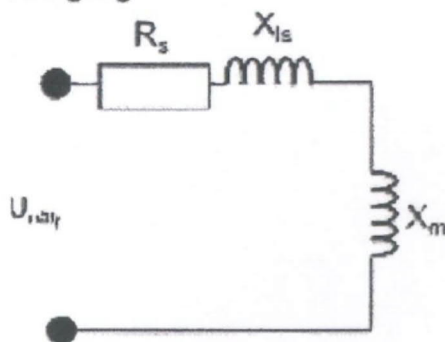
c) Kopparförluster vid märkdrift: $P_{Cu} = 3 \cdot 1,5 \cdot 36^2 = 5832 \text{ W}$

Kopparförluster vid start: $P_{Cu} = 180 \text{ kW}$

$$\frac{P_{\text{start}}}{P_{Cu}} = \frac{180000}{5832} = 30,86$$

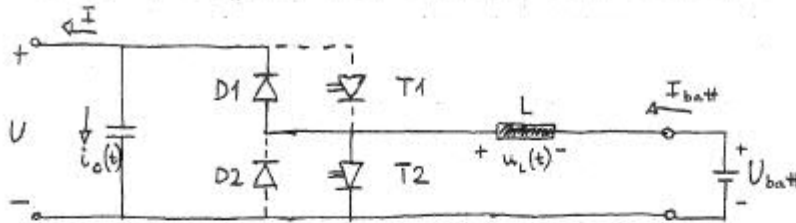


Tomgång



Rotor kretsen kan försummas

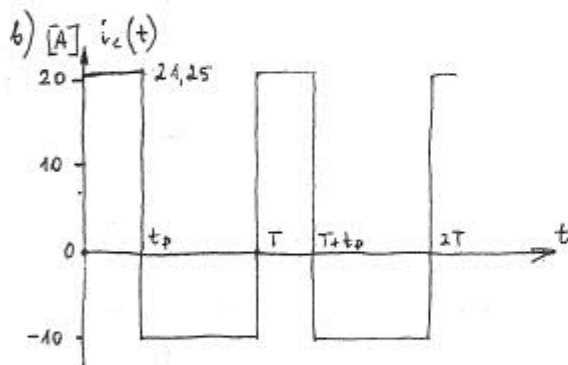
$U_{\text{batt}} = 96 \text{ V}; I = 10 \text{ A}; U = 300 \text{ V}; T = 0,1 \text{ ms}$
 L och C mycket stora



a) $\frac{t_p}{T} = ?$

$0 \leq t < t_p$ D1
 $t_p < t < T$ T2

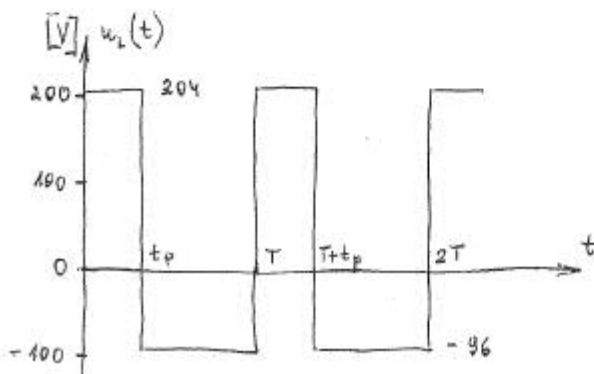
$U_{\text{batt}} = \frac{t_p}{T} U$ $\frac{t_p}{T} = \frac{96}{300} = 0,32$ $t_p = 0,32 \cdot 0,1 = 0,032 \text{ ms}$



$$U_{\text{batt}} \cdot I_{\text{batt}} = UI$$

$$I_{\text{batt}} = \frac{300}{96} \cdot 10 = 31,25 \text{ A}$$

$$i_c(t) = 31,25 - 10 = 21,25 \text{ A}$$



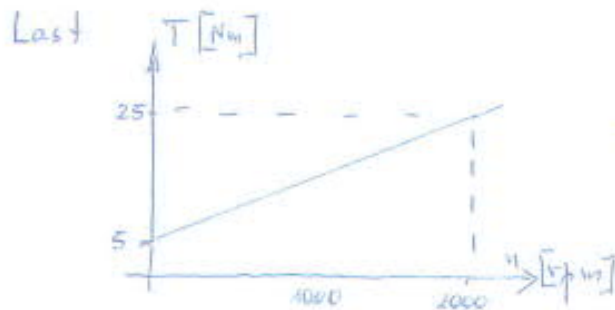
$$u_L = U - U_{\text{batt}} =$$

$$= 300 - 96 = 204 \text{ V} \rightarrow (t_p)$$

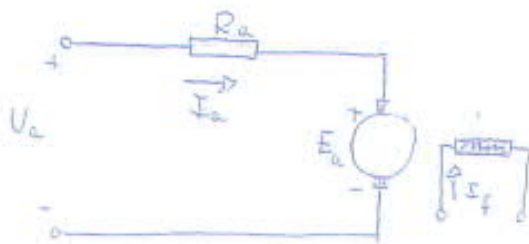
$$u_L = -96 \text{ V} \rightarrow (T - t_p)$$

LM-separatmagu

$$T_n = 4,5 \text{ kNm}; \quad n_n = 1445 \text{ rpm}; \quad U_{an} = 260 \text{ V}; \quad I_{an} = 23,4 \text{ A}; \quad I_{fn} = 1,89 \text{ A}$$



$$T = 5 + \frac{20}{2000} n = 5 + 0,01 \cdot n$$



a) $U_a = ?$ vid $n = 1300 \text{ rpm}$

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

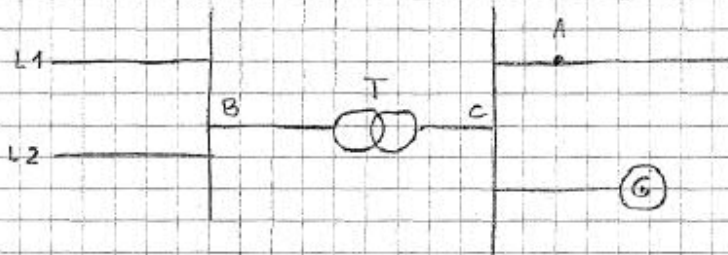
k kan vännas fram med hjälp av villkor vid märkladdning

$$E_{an} = U_{an} - R_a I_{an} = 260 - 2,89 \cdot 23,4 = 192,37 \text{ V}$$

$$k = \frac{E_{an}}{I_{fn} \omega_n} = \frac{192,37}{1,89 \frac{2\pi}{60} \cdot 1445} = 0,673$$

$$T = 5 + 0,01 \cdot 1300 = 18 \text{ Nm}$$

$$\underline{U_a} = 0,673 \cdot 1,89 \frac{2\pi}{60} \cdot 1300 + 2,39 \frac{18}{0,673 \cdot 1,89} = \underline{\underline{214,06 \text{ V}}}$$



$$a) S_{KL1} = 300 \text{ MVA}$$

$$S_{KL2} = 200 \text{ MVA}$$

$$S_{KT} = \frac{S_N}{z_k} = \frac{20}{0,1} = 200 \text{ MVA}$$

$$S_{KG} = \frac{S_N}{x_d} = \frac{5}{0,25} = 20 \text{ MVA}$$

$$S_{KB} = S_{KL1} + S_{KL2} = 500 \text{ MVA}$$

$$S_{KC} = \frac{S_{KB} \cdot S_{KT}}{S_{KB} + S_{KT}} = \frac{500 \cdot 200}{700} = 142,86 \text{ MVA}$$

$$\underline{\underline{S_{KA} = S_{KC} + S_{KG} = 142,86 + 20 = 162,86 \text{ MVA}}}$$

$$b) \underline{\underline{I_{KA} = \frac{S_{KA}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{162,86}{\sqrt{3} \cdot 10} = 9,4 \text{ kA}}}$$

$$\underline{\underline{I_s = 2,5 \cdot I_{KA} = 23,5 \text{ kA}}}$$