

Tentamen i ELTEKNIK för E3, EEK 140

Datum:	tisdag, den 16 januari 2019
Tid/Plats	em / "maskin"-salar
Lösningar:	Anslås på hemsidan 17 Januari
Betygsgränser:	≥ 25 ger godkänt
Resultat:	Anslås senast 4 Februari 2019
Granskning:	Se resultatlista
Hjälpmedel:	Typpgodkänd 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 starkt eldistributionsnät skall elförsörja ett stadsområde med en industri samt två andra laster. Detta skall ske via en nätstation, där transformeras spänningen från 10 kV till 400 V. Följande belastningar kommer att anslutas till områdets nätstation:

1. En industri som representeras med en impedans $\underline{Z} = 10 \angle 30^\circ \Omega$ /fas.
2. En idrottsanläggning med effektbehovet max 25 kVA vid $\cos \varphi = 0,95$. *S + cos, $\Rightarrow P \neq Q$*
3. En symmetrisk trefas, Δ – kopplad belastning, $\underline{Z} = (18 - j6) \Omega$ i varje gren

a) Bestäm fasströmmarna som respektive last (1, 2, 3) belastar nätstationen med samt den totala strömmen som tas ifrån den. Alla strömmar skall anges i komplex form (både i polär- och rektangulärform). Rita ett visardiagram över alla strömmar, beräknade med nätets fasspänning (fas a) som referens. Ange den ekvivalenta impedansen som representerar den totala belastningen. (5p)

b) Bestäm den från nätet totalt avgivna skenbara effekten (ange den i komplex form). Med hur stor aktiv och reaktiv effekt belastas nätstationen av alla laster? Har nätets totala belastning induktiv eller kapacitiv karaktär då? Bestäm den resulterande effektfaktorn. (3p)

2. En trefastransformator har följande märkdata:

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

Utöver det känner man till: $R_{Fe} = 175 \Omega/\text{fas}$ och $X_m = 35 \Omega/\text{fas}$

a) Beskriv på vilket sätt man 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?

(4p)

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?

(4p)

3. En trefasledning med en seriereaktans på $15 \Omega/\text{fas}$ och försumbar serieresistans och shuntkapacitans, är ansluten till en last som upptar en aktiv effekt på 250 kW och en reaktiv effekt på 75 kVAr. Spänningen håller man konstant i sändar- och mottagarändan, till 20 kV. Beräkna storleken på överföringsvinkeln samt storleken på det kondensatorbatteri vilket kopplas vid lasten för att detta driftsfall skall uppnås. Ange batteriets kapacitans om den Δ – kopplas. (4p)

(3p)

4. En trefas, kortsluten asynkronmotor (AM) är märkt:

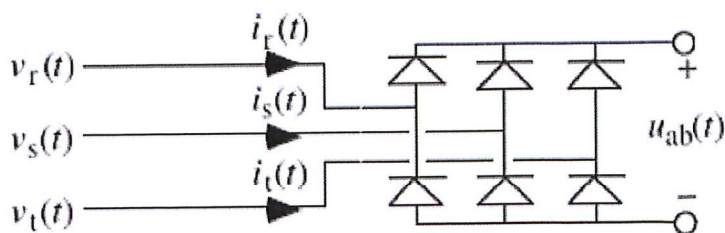
$U_n = 690 \text{ V}$; $P_n = 500 \text{ kW}$; $n_n = 1480 \text{ rpm}$; $f = 50 \text{ Hz}$; $\cos \varphi = 0,92$; $\eta = 0,95$

Och dess parametrar är:

$R_s = 0,004 \Omega/\text{fas}$; $X_{\sigma} = 0,12 \Omega/\text{fas}$; $X_m = 2,5 \Omega/\text{fas}$; $X'_{\sigma} = 0,08 \Omega/\text{fas}$; $R'_r = 0,022 \Omega/\text{fas}$

- a) Rita det ekvivalenta schemat för AM som gäller vid tomgång. (1p)
- b) Bestäm strömmen som AM belastar nätet med vid tomgång. Hur stor är effektfaktorn vid tomgång? (2p)
- c) Med hur stor aktiv och reaktiv effekt belastar AM nätet med vid tomgång och vid märkdrift? (2p)
- d) Hur stort, Y – kopplad, kondensatorbatteri är det lämpligt att ansluta parallellt med AM (motivera)? Ange Q_c samt X_c . (2p)

5. En trefas diodlikriktare matas med 400 V, 50 Hz.



- a) Rita spänningen $u_{ab}(t)$ under två perioder. Ange toppvärdet på spänningen. (1p)
- b) Spänningen $u_{ab}(t)$ är inte en ren likspänning. Föreslå och motivera hur utspänningen från likriktaren kan förbättras. (2p)
- c) En separatmagnetiserad likströmsmaskin, med konstant fältström och en ankarresistans på 1Ω , går med ett tomgångsvarvtal på 2000 rpm då den matas med 440 V. Likströmsmaskinen kopplas nu till trefaslikriktaren i uppgift b) där utspänningen kan antas vara konstant. Vilket tomgångsvarvtal kommer motorn att gå vid i detta fall? (2p)
- d) Likströmsmaskinen kopplas nu tillbaka till spänningen 440 V och kopplas till en last som sänker varvtalet till 1900 rpm, (fältströmmen är fortfarande konstant enligt uppgift c)). Beräkna vridmomentet och uteffekten från maskinen i detta driftfall. (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 tvärsänningsfall. (4p)
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)

1. Följande belastningar kommer att anslutas till områdets nätstation:

1. En industri som representeras med en impedans $\underline{Z} = 10 \angle 30^\circ \Omega/\text{fas}$.
2. En idrottsanläggning med effekt behovet max 25 kVA vid $\cos \varphi = 0,95$.
3. En symmetrisk trefas, Δ – kopplad belastning, $\underline{Z} = (6 - j1,5) \Omega$ i varje gren.

a) $\underline{I}_1 = ?$; $\underline{I}_2 = ?$; $\underline{I}_3 = ?$; $\underline{I}_{1+3} = ?$; $\underline{Z}_{ekv} = ?$; visardiagram

$$U = 400 \text{ V} \longrightarrow \underline{U}_{fa} = 230,94 \angle 0^\circ - \text{referens}$$

1. Industri: $\underline{Z} = 10 \angle 30^\circ = (8,66 + j5,00) \Omega/\text{fas}$

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_f}{\underline{Z}} = 23,19 \angle -30^\circ = (20,09 - j11,6) \text{ A}$$

2. En idrottsanläggning: $S = 25 \text{ kVA}$; $\cos \varphi = 0,95 \Rightarrow \varphi = 18,19^\circ$

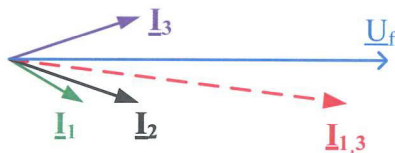
$$\underline{I}_2 = 36,08 \angle -18,19^\circ = (34,28 - j11,26) \text{ A}$$

3. En belastning: $\underline{Z}_\Delta = 18 - j6 \Omega \Rightarrow \underline{Z}_y = 6 - j2 = 6,32 \angle -18,43^\circ \Omega/\text{fas}$

$$\underline{I}_3 = 36,67 \angle 18,43^\circ = (34,79 + j11,59) \text{ A}$$

$$\underline{I}_{1+3} = 89,87 \angle -7,20^\circ = (89,16 - j11,27) \text{ A}$$

$$\underline{Z}_{ekv} = \frac{\underline{U}_f}{\underline{I}} = 2,58 \angle 7,20^\circ = (2,56 + j0,33) \Omega/\text{fas}$$



b) $\underline{S} = ?$; $P = ?$; $Q = ?$; $\cos \varphi = ?$; lastens karaktär ?

$$\underline{S} = 3 \cdot \underline{U}_f \underline{I}^* = 1795,8 \angle 7,20^\circ = (1781,7 + j225,0) \text{ VA}$$

$$P = 1,78 \text{ kW}$$

$$Q = 225,0 \text{ VAR} \quad \text{ind.} \quad \cos \varphi = 0,992$$

En trefas trafo: 63 MVA; 145/11,5 kV

$$z_k = 12\% ; r_k = 2\%$$

$$R_{Fe} = 175 \Omega/\text{fas} ; X_m = 35 \Omega/\text{fas}$$

a) Kortslutningsprov utförs från uppspänningssidan med

$$I_k = I_{1n}$$

$$I_k = I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{1n}} = \frac{63 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 145 \cdot 10^3} = 250,85 \text{ A}$$

$$U_k = ? ; P_k = ? ; Q_k = ?$$

$$Z_k = z_k \cdot Z_{bas} = 0,12 \cdot \frac{145^2}{63} = 40,05 \Omega/\text{fas}$$

$$R_k = r_k \cdot Z_{bas} = 0,02 \cdot \frac{145^2}{63} = 6,67 \Omega/\text{fas}$$

$$X_k = 39,5 \Omega/\text{fas}$$

$$U_{kf} = Z_k I_k = 10,047 \text{ kV} \Rightarrow U_k = 17,40 \text{ kV}$$

$$P_k = 3 R_k I_k^2 = 1,26 \text{ MW}$$

$$Q_k = 3 X_k I_k^2 = 7,46 \text{ MVA}_r$$

b) Tomgångspröv utförs från nedspänningssidan med

$$U_o = U_{2n} = 11,5 \text{ kV} \quad I_o = ? ; P_o = ? ; Q_o = ?$$

$$P_o = 3 \frac{U_f^2}{R_{Fe}} = 755,7 \text{ kW}$$

$$Q_o = 3 \frac{U_f^2}{X_m} = 3,78 \text{ MVA}_r$$

$$S_o = 3,85 \text{ MVA}$$

$$I_o = \frac{S_o}{\sqrt{3} \cdot U_o} = 193,46 \text{ A}$$

3.

$$X_L = 15 \Omega / \text{faz}; \quad P_2 = 250 \text{ kW}; \quad Q_2 = 75 \text{ kVAR}$$

$$U_1 = U_2 = 20 \text{ kV}$$

$$\Psi = ?; \quad Q_c = ?; \quad C_A = ?$$

$$P = \frac{U_1 \cdot U_2}{X_L} \sin \Psi \Rightarrow \sin \Psi = \frac{250 \cdot 10^3 \cdot 15}{(20 \cdot 10^3)^2} = 0,0094$$

$$\Psi = 0,537^\circ$$

$$I = \frac{P_2}{\sqrt{3} U_2 \cos \varphi_2} = \frac{250 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cos \frac{0,537}{2}} = 7,22 \text{ A}$$

$$\varphi_2 = \frac{\Psi}{2}$$

$$Q_L = 3 X_L I^2 = 3 \cdot 15 \cdot 7,22^2 = 2346 \text{ VAR}$$

$$Q_c = Q_2 + \frac{Q_L}{2} = 75 + 1,173 = 76,17 \text{ kVAR}$$

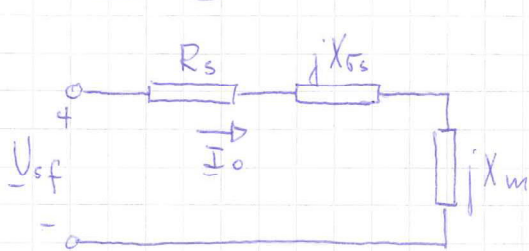
$$Q_c = 3 U_c I_c = 3 \omega C U_c^2 \quad U_c = 20 \text{ kV}$$

$$C_A = \frac{76,17 \cdot 10^3}{3 \cdot 100\pi \cdot (20 \cdot 10^3)^2} = 202 \text{ nF} \quad \text{i varje gren}$$

4.

AM; $U_n = 690V$; $P_n = 500kW$; $\cos\varphi = 0,92$; $\eta = 0,95$

a) Tomgång: $s \approx 0 \Rightarrow$



$$R_s = 0,004 \Omega/\text{fas}$$

$$X_{rs} = 0,12 \Omega/\text{fas}$$

$$X_m = 2,5 \Omega/\text{fas}$$

b)

$$\underline{I}_0 = \frac{U_{sf}}{R_s + j(X_{rs} + X_m)} = \frac{\frac{690}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ}{0,004 + j2,62} = 152,05 \angle -89,91^\circ \text{ (A)}$$

$$\cos(-89,91^\circ) = 0,0015 = \cos\varphi_0$$

c)

$$P_0 = 3 U_{sf} I_0 \cos\varphi_0 = 285,44 \text{ W}$$

$$Q_0 = 3 U_{sf} I_0 \sin\varphi_0 = 181,72 \text{ kVAr}$$

$$P_s = \frac{P_n}{\eta} = \frac{500}{0,95} = 526,32 \text{ kW}$$

$$\cos\varphi = 0,92 \Rightarrow Q_s = 224,21 \text{ kVAr}$$

d)

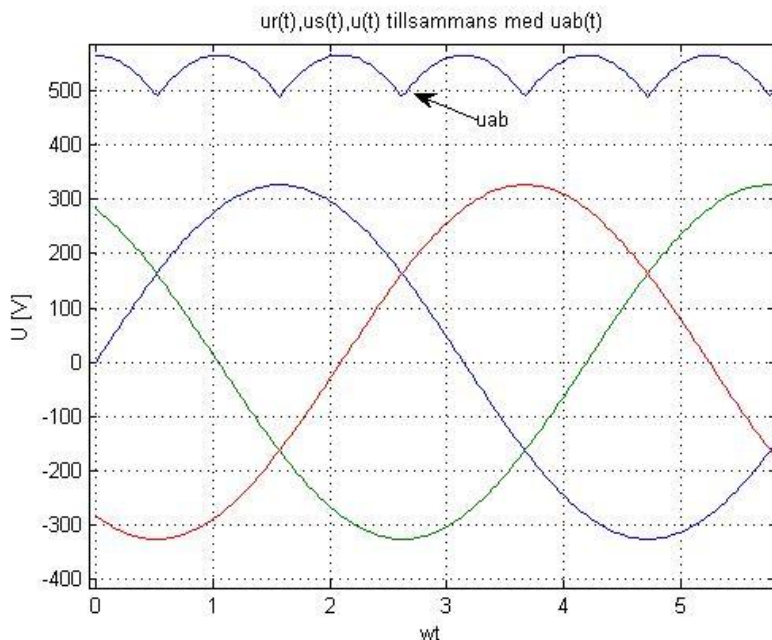
$$Q_c = Q_0 \text{ (för att undvika överkompensering)}$$

$$X_c = \frac{3U_c^2}{Q_c} \text{ om } Y\text{-kopplad } U_c = U_{sf}$$

$$X_c = 2,62 \Omega/\text{fas}$$

Uppgift 4

Spänningen u_{ab} följer potentialen av den högsta huvudspänningen på nätet. Eftersom det finns sex huvudspänningar så kommer u_{ab} vara lika med dessa under en sjättedels period $2\pi/6 = \pi/3$. u_{ab} kan nu ritas och kan ses i figuren nedan



b) Spänningen kan göras bättre genom att seriekoppla en glättningsinduktans på utgången (eller pararellkoppla en kondensator). Eftersom en spole är strömtrög kommer denna minska variationerna hos strömmen och på så sätt minska spänningsripplet.

c) Då motorn går i tomgång kan ankarströmmen antas vara 0A och därmed är den inducerade emk:n, E_a , och ankarspänningen, U_a , lika. E_a kan skrivas som:

$$E_a = I_f k \omega \Rightarrow I_f k = \frac{E_a}{\omega}$$

Från uppgiften var det givet att fältströmmen hölls konstant. Vidare gick motorn på 2000rpm vid en ankarspänning på 440V. konstanten $I_f k$ kan således beräknas

$$I_f k = \frac{440}{(2000/60)2\pi} = 2.1$$

Då LM kopplas till likriktaren kommer matningsspänningen att ändras. Spänningen ut ifrån en trefas diodlikriktare kan beräknas som:

$$U_d = \frac{3}{\pi} \int_{-\pi/6}^{\pi/6} \sqrt{2}U \cos(\omega t) d(\omega t) = 1.35U$$

Alltså medelvärdet på spänningen utifrån en diodlikriktare är 1.35ggr effektivvärdet av nätets huvudspänning. Spänningen kan antas vara konstant enligt uppgiften och kan beräknas som:

$$U_d = 1.35 \cdot 400 = 540V$$

Åter till Likströmsmaskinen som nu matas med en spänning på 540V. $I_f k$ antas hålla samma värde och varvtalet kan således beräknas som

$$\omega = \frac{E_a}{I_f k} = 257.14 \text{ rad/s} \Rightarrow n = 2455.5 \text{ rpm}$$

Svar: n=2455.5 rpm

d) LM kopplas till 440V och har ett varvtal på 1900 rpm. Strömmen I_a kan nu beräknas på följande sätt:

$$U_a - I_a R_a - E_a = 0$$

$$E_a = I_f k \omega$$

\Rightarrow

$$I_a = \frac{U_a - I_f k \omega}{R_a} = \frac{440 - 2.1 \cdot (1900 / 60) 2\pi}{1} = 22.2A$$

Axel momentet kan beräknas som:

$$T = I_f k I_a = 46.55 \text{ Nm}$$

Slutligen kan uteffekten beräknas som

$$P = T \omega = 46.55 \cdot 2\pi 1900 / 60 = 9.2 \text{ kW}$$

Svar: T=46.55Nm och P=9.2kW