

Tentamen (TEN1)

TSFS11 Energitekniska system

Tid: 2015-05-30, klockan 14-18

Lokal: G35

Examinator: Sivert Lundgren telefon 073-3460319

Hjälpmedel: TeFyMa, Beta Mathematics Handbook, Physics Handbook formelblad (bifogat i tentamen), miniräknare, gradskiva/linjal samt lexikon.

Tentamen består av 6 stycken uppgifter à 10 poäng. För full poäng krävs fullständiga och välmotiverade lösningar.

Betygsgränser: För betyg 3 krävs minst 27 poäng
För betyg 4 krävs minst 39 poäng
För betyg 5 krävs minst 49 poäng

Lösningförslag anslås på kurshemsidan efter avslutad tentamen. Visning sker vid ISY:s studerandeexpedition senast 10 arbetsdagar efter tentamensdagen där också eventuella klagomål framförs skriftligt. Vid klagomål måste tentamen lämnas kvar där.

1. Elnätet är hårt belastat och mer kraft måste tillföras genom att koppla in ytterligare en synkrongenerator.
 - a) Vilka fyra infasningsvillkor måste vara uppfyllda för att inkopplingen skall lyckas? (2 p)
 - b) När synkrongeneratoren är inkopplad, hur får man den att leverera aktiv respektive reaktiv effekt till nätet? (2 p)
 - c) En trefasmotor är ansluten till nätet där huvudspänningen är 400 V, 50 Hz. Tillförd effekt mäts med tvåwattmetermetoden. Wattmetrarnas utslag är $P_I = 567 \text{ W}$ och $P_{II} = 1433 \text{ W}$. Beräkna linjeströmmarna och rita ett visardiagram där det framgår vilka fasvinklar strömmarna har. (3 p)
 - d) För att minska storleken på linjeströmmarna till motorn skall den faskompenseras med ett D-kopplat kondensatorbatteri. Beräkna värdet på kondensatorerna så att faskompenseringen blir fullständig. (3 p)

2. På en trefastransformator med märkdata 1,0 MVA, 10000/400 V, 50 Hz har tomgångsprov och kortslutningsprov gjorts med följande resultat:

$$P_{FO} = 1200 \text{ W} \quad P_{FKM} = 8250 \text{ W} \quad u_z = 5,0 \%$$

Vid ett tillfälle ansluts transformatorn till märkspänning och belastas med 90 % av märkström på sekundärsidan. Den aktuella lasten är induktiv med effektfaktorn $\cos\varphi_2 = 0,80$.

- a) Hur stor blir sekundära spänningen U_2 över lasten? (5 p)
- b) Hur stor blir verkningsgraden η ? (3 p)
- c) Vid vilken belastningsgrad x blir verkningsgraden maximal? (2 p)

3. En shuntmagnetiserad likströmsmotor är ansluten till en konstant spänning 198 V. När motorn körs i tomgång drar den 5,0 A från nätet och varvtalet blir då 985 rpm. Resistansen i rotorkretsen är $0,20 \Omega$ och i magnetiseringskretsen 198Ω . När motorn belastas med ett visst moment drar den 50 A från nätet. Man kan räkna med att flödet på grund av ankarreaktionen minskar med 3,0 % vid denna ström. Beräkna för detta fall varvtalet, verkningsgraden och belastningsmomentet. (10 p)

4. En släpningad asynkronmotor med rotorresistansen $R_2 = 0,20 \Omega$ är försedd med ett yttre rotorpådrag R_y . Motorn driver en hiss via en växel. Belastningsmomentet i det här fallet kan anses vara konstant oavsett motorns varvtal. Motorn är kopplad till ett trefasnät med spänningen 400 V och frekvensen 50 Hz. När R_y är noll går den med varvtalet 1350 rpm. Till vilket värde skall R_y ändras om vi önskar köra hissen med halv fart? (10 p)
5. En trepulvs tyristorlikriktare är ansluten till huvudspänningen 400 V, 50 Hz och belastas resistivt. Vid ett tillfälle är tändvinklarna till tyristorerna 60° . Tyristorn i fas 2 går sönder och ersätts med en diod.
- a) Rita kopplingsschema och ett tidsdiagram för den likriktade spänningen under dessa omständigheter samt beräkna dess likriktade medelvärde U_L . (8 p)
- b) Hur skulle spänningen se ut om lasten vore starkt induktiv? (2 p)
6. Nedanstående frågor handlar om batterier. Svara kortfattat med några få rader.
- a) Förklara skillnaden mellan primär- och sekundärceller. (2 p)
- b) Vad gör elektrolyten i ett batteri? (2 p)
- c) Vad är skillnaden mellan batterier optimerade för hög effekttäthet respektive hög energitäthet? (2 p)
- d) Rangordna följande 4 batterityper efter energiinnehåll per kilogram batteri: Lead-Acid (bly-syra), Ni-Cd, Ni-MH, Li-Ion. Börja med det energitätaste. (2 p)
- e) Varför är det viktigt att balansera seriekopplade Li-jon battericeller men mindre viktigt att göra detsamma med cellerna i bly-syra batterier? (2 p)

Formelblad för TSFS11 Energitekniska system

Växelspänning - $j\omega$ metoden

$$u = \hat{u} \cdot \sin(\omega t - \varphi) \qquad U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}} \qquad \bar{U} = U \cdot e^{-j\varphi}$$
$$\bar{U} = \bar{Z} \cdot \bar{I} = (R + j \cdot X) \cdot \bar{I} \qquad \bar{Z} = R + j \cdot X$$

Resistans: $\bar{Z} = R$ (Dvs: $R = R, X = 0$)

Kapacitans: $\bar{Z} = \frac{1}{j\omega C} = \frac{-j}{\omega C}$ (Dvs: $R = 0, X = \frac{-j}{\omega C}$)

Induktans: $\bar{Z} = j\omega L$ (Dvs: $R = 0, X = j\omega L$)

Effekt

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \qquad Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \qquad S = U \cdot I$$
$$P = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R} \qquad Q = X \cdot I^2 = \frac{U^2}{X} \qquad S = |\bar{Z}| \cdot I^2 = Z \cdot I^2 = \frac{U^2}{Z}$$
$$P_{3fas} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_L \cdot \cos \varphi \qquad Q_{3fas} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_L \cdot \sin \varphi \qquad S_{3fas} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_L$$
$$P_{3fas} = 3 \cdot R \cdot I^2 \qquad Q_{3fas} = 3 \cdot X \cdot I^2 \qquad S_{3fas} = 3 \cdot |\bar{Z}| \cdot I^2 = 3 \cdot Z \cdot I^2$$

Trefasssystemet

$$U_H = \sqrt{3} \cdot U_F$$
$$\mathbf{U}_1 = U_F \cdot e^{j \cdot 0^\circ} \qquad \mathbf{U}_2 = U_F \cdot e^{-j \cdot 120^\circ} \qquad \mathbf{U}_3 = U_F \cdot e^{-j \cdot 240^\circ}$$
$$\mathbf{U}_{12} = U_H \cdot e^{j \cdot 30^\circ} \qquad \mathbf{U}_{23} = U_H \cdot e^{-j \cdot 90^\circ} \qquad \mathbf{U}_{31} = U_H \cdot e^{-j \cdot 210^\circ}$$

Tvåwattmetermetoden - Symmetrisk last

$$P = P_I + P_{II} \qquad P_I = U_H \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ + \varphi) \text{ [W]} \qquad P_{II} = U_H \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ - \varphi) \text{ [W]}$$
$$Q = \sqrt{3} \cdot (P_{II} - P_I)$$

Transformatorn

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

$$\eta = \frac{x \cdot P_{2M}}{x \cdot P_{2M} + P_{F0} + x^2 \cdot P_{FKM}} \quad Z_K = \frac{u_z \cdot U_M^2}{100 S_M} [\Omega], \text{ d\u00e4r } u_z \text{ anges i \%}$$

Trefas (sp\u00e4nningar \u00e4r huvudsp\u00e4nningar)

Enfas (sp\u00e4nningar \u00e4r fassp\u00e4nningar)

$$P_{F0} = \frac{U_0^2}{R_0} \quad P_{F0} = \frac{U_0^2}{R_0}$$

$$P_{FKM} = 3 \cdot R_{1K} \cdot I_{1M}^2 = 3 \cdot R_{2K} \cdot I_{2M}^2 \quad P_{FKM} = R_{1K} \cdot I_{1M}^2 = R_{2K} \cdot I_{2M}^2$$

$$\frac{U_{20}}{\sqrt{3}} \approx \frac{U_2}{\sqrt{3}} + I_2 \cdot (R_{2K} \cdot \cos(\varphi) + X_{2K} \cdot \sin(\varphi)) \quad U_{20} \approx U_2 + I_2 \cdot (R_{2K} \cdot \cos(\varphi) + X_{2K} \cdot \sin(\varphi))$$

Likstr\u00f6msmaskinen

$$E_a = k_1 \cdot \Phi \cdot n = k_2 \cdot \Phi \cdot \omega \quad M = k_2 \cdot \Phi \cdot I_a \quad k_1 = k_2 \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60}$$

$$\Phi = k \cdot I_m \text{ f\u00f6r linj\u00e4r motor} \quad P_{avg} = E_a \cdot I_a - P_{F0} \quad P_{F0} = \text{tomg\u00e5ngsf\u00f6rluster}$$

Motordrift

Generatordrift

$$U = E_a + \sum R_a \cdot I_a \quad n = \frac{U - \sum R_a \cdot I_a}{k_1 \cdot \Phi} \quad U = E_a - \sum R_a \cdot I_a \quad n = \frac{U + \sum R_a \cdot I_a}{k_1 \cdot \Phi}$$

Trefas asynkronmaskinen

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad \omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad M = k_1 \cdot U^2 \cdot \frac{s}{R_2} \quad M = k_1 \cdot U^2 \cdot s \cdot \frac{R_2}{R_2^2 + (s \cdot X_2)^2}$$

$$P_2 = \omega_2 \cdot M \quad P_{12} = P_1 - P_{Fe1} - P_{Cu1} = \omega_1 \cdot M \quad P_2 = P_{12} - P_{Cu2} = (1 - s) \cdot P_{12}$$

$$P_{F2} = P_{Cu2} = s \cdot P_{12} = s \cdot \frac{P_2}{1 - s} \quad P_{2a} = P_2 - P_{FR} \quad t_{ST} = \frac{0.11 \cdot J}{m_{ST} \cdot P_{2M} - P_L} \cdot \left(\frac{n_2}{100} \right)^2$$

Sp\u00e4nningsfall i trefasledningar

$$U_1 = U_2 \sqrt{\left(1 + \frac{P_2 \cdot R_L + Q_2 \cdot X_L}{U_2^2} \right)^2 + \left(\frac{P_2 \cdot X_L - Q_2 \cdot R_L}{U_2^2} \right)^2}$$

$$U_1 \approx U_2 \left(1 + \frac{P_2 \cdot R_L + Q_2 \cdot X_L}{U_2^2} \right) \quad P_F = R_L \cdot \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} \quad Q_F = X_L \cdot \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2}$$

$$R_{LCu} = \frac{17,2}{a} \Omega/\text{km och fas (a = tv\u00e4rsnittsarea i mm}^2)$$

Synkronmaskinen

(OBS: X_d och X_s \u00e4r samma sak, E och E_r \u00e4r samma sak)

$$E_r = R_a \cdot I_a + j \cdot X_d \cdot I_a + U_F \text{ (generatordrift)} \quad f = \frac{p}{2} n$$

$$P = \frac{3E_r U_f}{X_d} \sin \Theta \quad Q = \frac{3U_f^2}{X_d} - \frac{3E_r U_f \cos \Theta}{X_d}$$

Reaktiv effekt i en kondensator

$$Q = -U^2 \cdot \omega \cdot C \text{ [VAR]}$$

Likriktat medelv\u00e4rde

$$U_L = \frac{1}{T} \int_0^T |\hat{u} \cdot \sin(\omega t)| dt$$