

## Tentamen i EJ1200 Eleffektsystem, 6 hp

Den 17 december 2010, 14.00-19.00

Räknedosa och matematisk handbok (Beta) får användas.

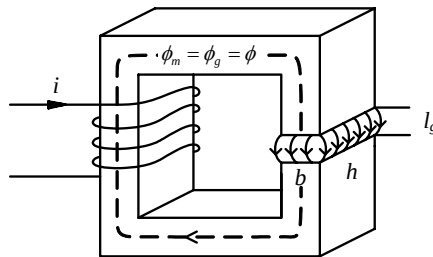
Tentamen kan ge maximalt 30 poäng. Problem 1-5 kan ge maximalt 3 poäng. Tal 6-8 kan ge maximalt 5 poäng vardera. För godkänt krävs 15 poäng.

---

1. Vilken medeleffekt utvecklas i en resistans på  $100\ \Omega$  som matas med en 50 Hz *triangelformad* växelspänning som har toppvärdet 200 V.  
**Räkna ej om G På KS1**

2. Till en spole med luftgap enligt figuren nedan ansluts en sinusspänning med effektivvärdet 100 V och frekvensen 1 kHz. Kärnan med längden  $l_{Fe}$  har ett luftgap med längden  $l_g = 1\text{ mm}$ . Antalet varv är  $N = 300$ . Luftgapets och kärnans area betecknas  $A$  och är båda lika med  $10\text{ cm}^2$ .  
**Räkna ej om G På KS2**

Bestäm spolens magnetiseringsström om järnets reluktans försummas.



3. En trefasig synkrongenerator som är infasad mot ett starkt trefasnät med huvudspänningen 400 V och frekvensen 50 Hz. Generatoren levererar märkeffekten 50 kW vid  $\cos\varphi=0.8$  induktivt.  
**Räkna ej om G På KS3**
- Hur många procent skall fältströmmen minskas för att generatoren enbart skall leverera aktiv effekt till nätet? Synkronmaskinen kan representeras av ett ekvivalent schema med en synkron reaktans  $X_s = 2.0\ \Omega$  i serie med en inducerad spänning  $E$ .

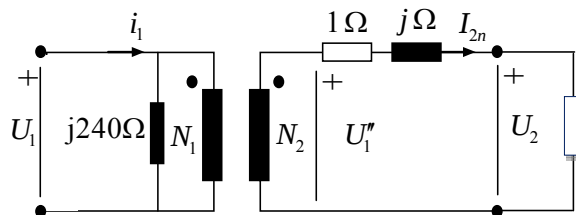
4. En roterande frekvensomformare är uppbyggd av två axelkopplade (gemensam axel) synkronmaskiner. Den ena maskinen arbetar som motor och den andra som generator. Motorn har polpartalet  $p = 3$  och generatoren polpartalet 7.

Bestäm generatorns frekvensområde om motorns spänning har frekvensen 0 till 60 Hz?

5. En bryggkopplad likspänningsomvandlare matas från en slät 540 V likspänning. Omvandlaren matar en last som kan antas vara helt induktiv. Switchfrekvensen är 10 kHz.

- a) Vad blir omvandlarens utspänning? Motivera svaret. (1p)  
b) Beräkna lastens induktans om strömmens toppvärde är 15 A (2p)

6. En enfas 50 Hz transformator med omsättningen 1000:250 har en sekundär kortslutningsimpedans  $Z_{k2} = (1 + j)\Omega$  och en magnetiseringsreaktans på  $X_m = 240 \Omega$ . Transformatorns märkeffekt är 8 kVA.



Transformatorns belastning drar märkström vid  $\cos \varphi = 1.0$ . Spänningen över lasten är  $U_2 = 230 \text{ V}$ .

Vilken  $\cos \varphi$  utgör transformatorn och belastningen sett från den primära spänningen  $U_1$ .

7. En sinus-PWM styrd trefas växelriktare matas från ett batteri som har en konstant spänning lika med 320 V. Växelriktarens matar en permanentmagnetiserad synkronmotor. Synkronmotorn kan modelleras av en statorresistans  $R_s = 0.4 \Omega$  och den synkrona reaktansen  $X_s = 2 \Omega$  i serie med en emk  $E$ . I tomgång mäts spänningen mellan två faser på motorn till 150 V.

Växelriktarens spänning justeras därefter så att den endast lämnar aktiv effekt till motorn varvid förlusterna statorresistanserna uppmäts till totalt 270 W.

Beräkna växelriktarens utspänning (hsp) samt strömmen från batteriet för detta fall.

8. Från en nätstation där huvudspänningen är 10 kV går en 5 km trefasledning ( $Z_1 = j0.4 \Omega / \text{fas, km}$ ) till en mindre industri. Industrins elförbrukning kan beskrivas med en impedans  $\underline{Z}_2$  per fas. Effektfaktorn är 0.8.

Industrins reaktiva effektförbrukning är 0,6 MVar och strömmen in till industrin är 58,453 A/fas.

- a) Beräkna energiutmatningen från nätstationen per timme. (1p)
- b) Beräkna impedansen  $\underline{Z}_2$  i  $\Omega/\text{fas}$ . (2p)
- c) Beräkna huvudspänningens effektivvärde vid industrin. (2p)

# Lösningsförslag till tentamen i EJ1200 Eleffektsystem den 17:a december 2010

1. Den utvecklade effekten i resistorn beräknas som tidsmedelvärdet över en period. Räkna på en fjärdedelsperiod och multiplicera med 4.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T R \cdot i^2(t) dt = \frac{1}{T/4} \int_0^{T/4} R \frac{u^2(t)}{R^2} dt = \frac{4}{RT} \int_0^{T/4} \left( \frac{200t}{T/4} \right)^2 dt =$$

$$= \frac{4^3}{RT^3} 200^2 \left[ \frac{t^3}{3} \right]_0^{T/4} = \frac{200^2}{3R} = 133 \text{ W}$$

2.

$$u = N \frac{d\phi}{dt} \text{ ger } 2\hat{\phi} = \int_0^T \hat{u} dt = \frac{2\hat{u}}{\omega} \text{ och } \hat{\phi} = \frac{\hat{u}}{N\omega}$$

Flödestäthetens toppvärde blir då  $\hat{B} = \frac{\hat{u}}{\omega NA}$ .

Magnetiska fältet blir om järnets reluktans försumma lika med  $\hat{H} = \frac{\hat{u}}{\mu_0 \omega NA}$

Magnetiseringsströmmen fås ur Amperes lag som

$$I = \frac{U}{\mu_0 \omega N^2 A} l_g = \frac{100}{4\pi 10^{-7} 2\pi 1000 \cdot 300^2 \cdot 10 \cdot 10^{-4}} \cdot 0.001 = 0.14 \text{ A}$$

3. Fältströmmen (rotorströmmen) är proportionell mot den inducerade spänningen  $E$ , Ur visardiagrammet för märkdrift, figur a), fås den inducerade spänningen  $E$  för märkdrift som

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \phi} = \frac{50000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.8} = 90.2 \text{ A}$$

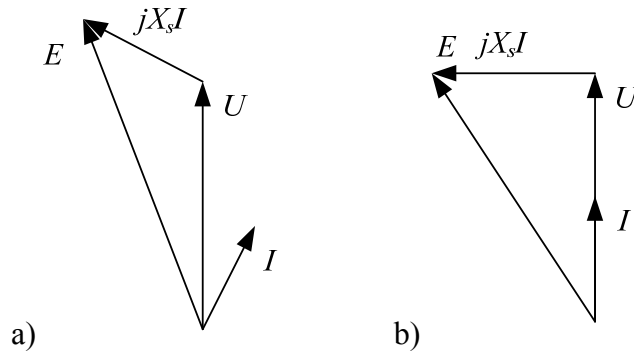
$$E = \sqrt{(U \sin \phi + X_s I)^2 + (U \cos \phi)^2} = \sqrt{\left( \frac{400}{\sqrt{3}} 0.6 + 2 \cdot 90.2 \right)^2 + \left( \frac{400}{\sqrt{3}} 0.8 \right)^2} =$$

$$= 368.6 \text{ V}$$

Generatoren som är infasad mot nätet lämnar samma effekt (bestäms av turbinen). Det ger strömmen

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U} = \frac{50000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 72.2 \text{ A}$$

Visardiagrammet för  $\cos \phi = 1$  blir då enligt figur b nedan.



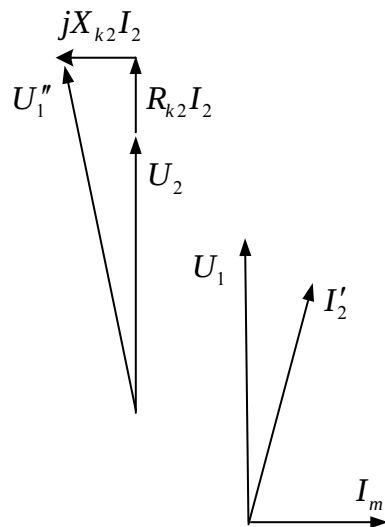
vilket ger  $E = \sqrt{(X_s I)^2 + U^2} = \sqrt{(2 \cdot 72.2)^2 + \left(\frac{400}{\sqrt{3}}\right)^2} = 272.34 \text{ V}$ ,  
dvs  $E$  skall minskas med 26%

4. Axelns varvtal blir  $n = \frac{f_1}{p} = \frac{0-60}{3} = 0-20 \text{ r/s}$ . Generatorns utfrekvens blir därefter  $f_2 = p(0-20) = 7(0-20) = 0-140 \text{ Hz}$ .

5. a) Medelspänningen över en induktans måste stationärt vara 0. Då lasten utgörs av en ren induktans måste utspänningen därmed vara 0.

b)  $u = L \frac{di}{dt}$  vilket ger  $L = \frac{U \Delta t}{\Delta I} = \frac{U \cdot 1/2 f_{sw}}{2\hat{i}} = \frac{540 \cdot 0.00005}{30} = 0.9 \text{ mH}$

6.



Visardiagram a) ger

$$(U_2 + R_{k2} I_{2n})^2 + (X_{k2} I_{2n})^2 = (U_1'')^2$$

$$\text{där } I_{2n} = \frac{S_n}{U_{2n}} = \frac{8000}{250} = 32 \text{ A}$$

$$\text{vilket ger } U_1'' = 263.95 \text{ V och } U_1 = 1055.8 \text{ V}$$

Vi får primärt en spänningskälla med en parallell kopplad belastning och visardiagram b). Summaströmmen blir  $I_1 = I_2' + I_m$  där

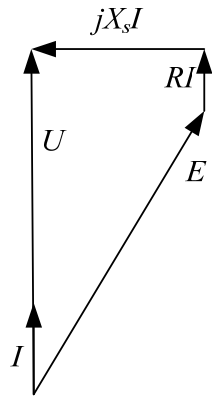
$$I_2' = \frac{32}{4} = 8 \text{ A och } I_m = \frac{1055.8}{240} = 4.4 \text{ A} \rightarrow$$

$$\phi = \arctan\left(\frac{I_m + I_2' \sin \gamma}{I_2' \cos \gamma}\right) \text{ där}$$

$$\gamma = \arctan \frac{32}{263.95 + 32} = 6.17^\circ \rightarrow \phi = 33.48^\circ \text{ och}$$

$$\text{slutligen } \cos \phi = 0.83$$

7. Visardiagram för det aktuella driftsfallet ger  $E^2 = (U - RI)^2 + (X_s I)^2$ .



Från tomgångsfallet erhålls  $E = \frac{150}{\sqrt{3}}$

Det totala förlusterna ger strömmen

$$I = \sqrt{\frac{P}{3R}} = \sqrt{\frac{270}{3 \cdot 0.4}} = 15 \text{ A}$$

Sätt in värdena i andragsuttrycket och lös ut spänningen.

$$\text{Den positiva roten blir } U = \sqrt{3} \cdot 87.3 = 151 \text{ V}$$

Då växelriktaren är "förlustfri" gäller att

$$U_{\text{batteri}} I_{\text{batteri}} = 3UI \rightarrow I_{\text{batteri}} = \frac{3UI}{U_{\text{batteri}}} = \frac{3 \cdot 87.3 \cdot 15}{320} = 12.3 \text{ A}$$

8. a) Industrins aktiva förbrukning

$$P = S \cos \phi = \frac{Q}{\sin \phi} \cos \phi = \frac{0.6}{0.6} 0.8 = 0.8 \text{ MW}.$$

Det finns inga nätförluster då  $R = 0 \rightarrow$  utmatningen = konsumtionen = 0.8 MW  $\rightarrow$  0,8 MWh/h

$$\text{b) } \underline{Z}_2 = \frac{P + j \cdot Q}{3 \cdot I_{\text{fas}}^2} = \frac{(0.8 + j \cdot 0.6) \cdot 10^6}{3 \cdot 58.453^2} = 78,047 + j \cdot 58,535 \Omega/\text{fas}$$

$$\text{c) } U_2 = U_1 \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = 10 \cdot \frac{78,047 + j \cdot 58,535}{5 \cdot j \cdot 0.4 + 78,047 + j \cdot 58,535} = 9,876 + j \cdot 0,160$$

$$|U_2| = 9.877 \text{ kV}$$