

## Tentamen i ELTEKNIK för E3, EEK 141

Datum:	fredag, den 22 Augusti 2023
Tid/Plats	em / "SBmultisal"-salar
Lösningar:	Anslås på hemsidan 23 Augusti
Betygsgränser:	$\geq 25$ ger godkänt
Resultat:	Anslås senast 6 September 2023
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. Tre stycken symmetriska trefasbelastningar enligt nedan är anslutna till ett symmetriskt trefasnät med en nominell fasspänning på 230 V, 50 Hz. Belastningarna är:
- I. Kondensatorbatteri märkt 15,0 kVAr
  - II. Belysning som konsumerar totalt 5,0 kVA och  $\cos \varphi = 1,0$
  - III. En asynkronmotor som från nätet upptar 12 kW med en en uppmätt effektfaktor på 0,8

Bestäm fasströmmarna som respektive last belastar nätet med samt den totala strömmen som tas ifrån nätet. Alla strömmar skall anges i komplex form. (4p)

Rita ett visardiagram över alla de fyra strömmarna med nätets fasspänning som referens. (3p)

Bestäm den från nätet totalt avgivna skenbara effekten (ange den i komplex form).

(2p)

Bestäm den effektfaktor med vilken nätet arbetar. Har nätets totala belastning induktiv eller kapacitiv karaktär? (2p)

2. En trefastransformator är märkt:

24 MVA;                    135/23 kV;    YN/ $\Delta$ ;                     $z_k = 12 \%$ ;     $r_k = 1,5 \%$

- a) För hur stor ström är lindningarna i transformatorns sekundärlindning dimensionerade vid märkdrift? (2p)
- 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 stor aktiv effekt förbrukade transformatorn då? (3p)

3. Vilka beräkningsmetoder används för att få fram strömmen vid trefasig kortslutning (alltså hur går det till att räkna ut den)? Förklara med hjälp av följande exempel: En trefasig kortslutning inträffar i ändan av en luftledning matad från en generator via en transformator. (4p)

4. En trefas fyrpolig 50 Hz kortsluten 400 V asynkronmotor har följande värden på parametrarna i det ekvivalenta schemat hänfört till statorsidan:

$$\begin{aligned} R_s &= 0,35 \Omega/\text{fas} & X_{s\sigma} &= 1 \Omega/\text{fas} & R_r &= 0,35 \Omega/\text{fas} \\ X_{r\sigma} &= 1 \Omega/\text{fas} & R_{Fe} &= 1000 \Omega/\text{fas} & X_m &= 25 \Omega/\text{fas} \end{aligned}$$

Maskinens varvtal vid fullast är 1450 rpm och maskinens verkningsgrad är 85 %.

- a) Beräkna fasströmmen vid fullast. (5)
- b) Med hur stor aktiv effekt belastar motorn nätet? (2p)
- c) Hur stor mekaniskt moment skapar maskinen i det driftsfallet? (3p)

Gör lämpliga approximationer.

5. En belysningsanläggning (lysrör) med effekten 3 kW,  $\cos\phi = 0,6$  inkopplas till 220 V (enfas). Näsäkringens är märkt 20 A. Det visar sig att säkringen löser ut tämligen snabbt (strömmen är tydligen för hög). För att minska strömmen från nätet, så att säkringen håller, beslutar man att inkoppla en kondensator parallellt över belysningsanläggningens nätanslutning. Beskriv varför detta kan hjälpa? Hur stor kondensator skall inkopplas för att nätströmmen skall begränsas till 16 A? (4p)

6. Förklara en jordfelsbrytares funktion med ett kretsschema. Vad skiljer dess uppgift från den vanliga propp- eller automatsäkringens? Vilka konsekvenser för en människa orsakar motsvarande ström om den passerar genom kroppen? (5p)

7. Rita ekvivalenta schemat för en seriemagnetiserad likströmsmaskin. Vilka drifts egenskaper har den (hur ser momentkurvan ut och varför)? (3p)
8. Förklara (helst med hjälp av en ritning) hur en sparkopplad vridtransformator kan ge ofarlig respektive livsfarlig spänning till jord. (3p)
9. Vad menas med överkompensering i ett elkraftsnät? Beskriv vad kan leda till (varför vill man undvika det)? (2p)
10. Rita fasströmmen (för en av faserna) som en trefasig diodlikriktare med en stor glättningsinduktans belastar elnätet med. Rita även motsvarande ström för en enfas diodlikriktare med en stor glättningsinduktans. Förklara skillnader. Varför vill man helst använda en trefasig diodlikriktare. (3p)

## Formelblad i Elteknik

Trefasssystem:

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

$$\underline{Z}_Y = \frac{Z_\Delta}{3} \qquad I = \sqrt{3}I_\Delta$$

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

$$Q = \sqrt{3}UI \sin \phi = 3U_f I \sin \phi$$

Spänningsfall:

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

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

Transformatorn:

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

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

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:

$$U_d = \frac{1}{T} \int_0^T u_{ab}(\omega t) d(\omega t)$$

1.

$$U = 400 \text{ V}$$

 $U_f$  - referans

1.

Belastingarna:

$$U_f = \frac{400}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ = 230,9 \angle 0^\circ \text{ [V]}$$

	P [kW]	cos $\varphi$	Q [kVar]
1.	0	0	-15
2.	5	1,0	0
3.	12	0,8	9
	$\Sigma P = 17$		$\Sigma Q = -6$

$$S = (17 - j6) \cdot 10^3 = 18,03 \angle -19,44^\circ \text{ [kVA]}$$

$$S = 3 U_f I^* \Rightarrow I^* = \frac{18030 \angle -19,44^\circ}{3 \cdot 230,9 \angle 0^\circ} = 26,02 \angle -19,44^\circ \text{ [A]}$$

$$\underline{I} = 26,02 \angle 19,44^\circ \text{ [A]}$$

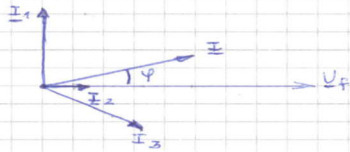
$$\cos \varphi = \cos 19,44^\circ = 0,943 \text{ kapacitiv karaktär}$$

$$I_1 = \frac{Q}{\sqrt{3} U \sin \varphi} = \frac{15 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 1} = 21,65 \Rightarrow \underline{I}_1 = 21,65 \angle 90^\circ \text{ [A]}$$

$$I_2 = \frac{S}{\sqrt{3} U} = \frac{5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 7,22 \Rightarrow \underline{I}_2 = 7,22 \text{ [A]}$$

$$I_3 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cos \varphi} = \frac{12 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8} = 21,65 \Rightarrow \underline{I}_3 = 21,65 \angle -36,87^\circ \text{ [A]}$$

$$\underline{I} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = 26,02 \angle 19,44^\circ \text{ [A]}$$



2.

3-fastransformator:  $S_n = 24 \text{ MVA}$ ;  $135/23 \text{ kV}$ ;  $YN/\Delta$ ;  $50 \text{ Hz}$   
 $z_k = 12,0 \%$ ;  $r_k = 1,5 \%$

a) 
$$I_{n2} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{n2}} = \frac{24 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 23 \cdot 10^3} = 602,45 \text{ A}$$

Sekundärlindning är  $\Delta$  – kopplad:

$$\underline{\underline{I_{\Delta} = \frac{I_{n2}}{\sqrt{3}} = \frac{602,45}{\sqrt{3}} = 347,83 \text{ A}}}$$

b) Kortslutningsprovet utförs från uppspänningssidan (135 kV). Lågspänningssidan skall vara kortsluten.

$$I_k = I_{n1} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{n1}} = \frac{24 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 135 \cdot 10^3} = 102,64 \text{ A}$$

$$Z_k = z_k \cdot Z_{bas}; \quad Z_{bas} = \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{(135 \cdot 10^3)^2}{24 \cdot 10^6} = 759,375 \Omega/\text{fas}$$

$$Z_k = 0,12 \cdot 759,375 = 91,125 \Omega/\text{fas}; \quad U_{k1f} = Z_k \cdot I_k = 91,125 \cdot 102,64 = 9,35 \text{ kV}$$

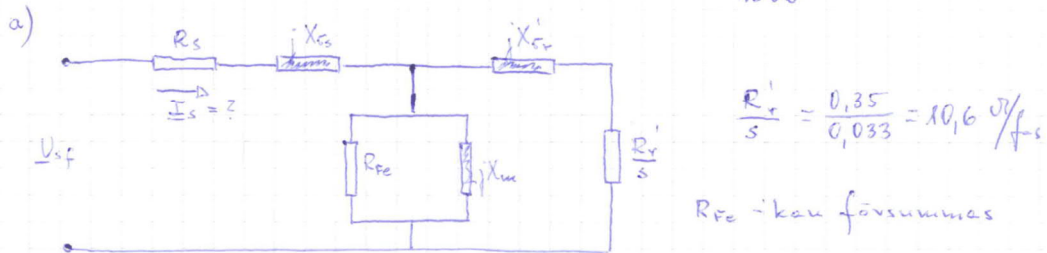
$$\underline{\underline{U_k = \sqrt{3} \cdot U_{k1f} = 16,19 \text{ kV}}}$$

$$\cos \varphi_k = \frac{r_k}{z_k} = \frac{0,015}{0,12} = 0,125$$

$$\underline{\underline{P_k = \sqrt{3}U_{k1}I_k \cos \varphi_k = \sqrt{3} \cdot 16,19 \cdot 10^3 \cdot 102,64 \cdot 0,125 = 359,78 \text{ kW}}}$$

4. 3-fas AM;  $f = 50 \text{ Hz}$ ; 4 poler;  $U_s = 400 \text{ V}$ ;  $n = 1450 \text{ rpm}$  <sup>4.</sup>

$$I_s = ? \text{ vid } n = 1450 \text{ rpm} \Rightarrow s = \frac{1500 - 1450}{1500} = 0,033$$



$$\begin{aligned} \underline{Z} &= R_s + jX_{cs} + \frac{jX_m \left( \frac{R_r'}{s} + jX_{cr}' \right)}{jX_m + \frac{R_r'}{s} + jX_{cr}'} = 0,35 + j1 + \frac{j25(10,6 + j1)}{10,6 + j26} \\ &= 0,35 + j1 + \frac{25 \angle 90^\circ \cdot 10,65 \angle 5,39^\circ}{28,1 \angle 67,81^\circ} = 0,35 + j1 + 9,48 \angle 27,58^\circ = \\ &= 8,75 + j5,39 = 10,28 \angle 31,63^\circ \text{ } \Omega / f_s \end{aligned}$$

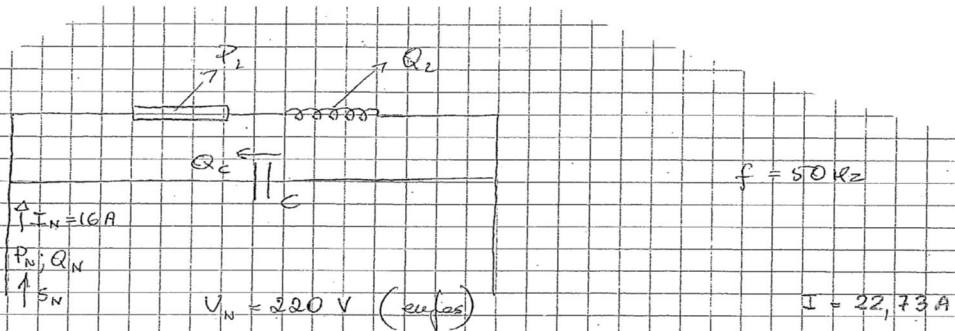
$$\underline{I_s} = \frac{U_s}{\underline{Z}} = \frac{\frac{400}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ}{10,28 \angle 31,63^\circ} = \underline{22,46 \angle -31,63^\circ \text{ A}}$$

b)  $\underline{P_s} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 22,46 \cdot \cos 31,63 = \underline{13,25 \text{ kW}}$

c)  $P_m = 0,85 \cdot P_s = 11,26 \text{ kW} \quad \eta = 85\%$

$$\underline{T_m} = \frac{P_m}{\omega_n} = \frac{11260}{\frac{2\pi \cdot 1450}{60}} = \underline{74,16 \text{ Nm}}$$





1. Lasteröven:  $P_L = 3 \text{ kW}$ ;  $\cos \varphi_L = 0,6 \Rightarrow Q_L = 4 \text{ kVAR}$

$\Rightarrow$  Behov:  $P_L = 3 \text{ kW}$ ;  $Q_L = 4 \text{ kVAR}$

2. Nätet:

$$S_N = U_N I_N = 220 \cdot 16 = 3,52 \text{ kVA}$$

$$P_N = P_L = 3 \text{ kW}$$

$$Q_N = \sqrt{S_N^2 - P_N^2} = \sqrt{3,52^2 - 3^2} = 1,84 \text{ kVAR}$$

Från nätet:  $\begin{cases} P_N = 3 \text{ kW} \\ Q_N = 1,84 \text{ kVAR} \end{cases}$

$$Q_N + Q_C = Q_L \Rightarrow Q_C = Q_L - Q_N = 4 - 1,84 = 2,16 \text{ kVAR}$$

$$Q_C = \omega C U_C^2 \quad \text{där } U_C = 220 \text{ V}$$

$$C = \frac{2160}{100 \pi \cdot 220^2} \approx 142 \mu\text{F}$$