

## Tentamen i ELTEKNIK för E3, EEK 141

Datum:	tisdag, den 23 augusti 2022
Tid	14.00 – 18.00
Lösningar:	På hemsidan den 24 augusti
Betygsgränser:	$\geq 25$ ger godkänt, 4:a $\geq 36$ p och 5:a $\geq 43$ p
Resultat:	Anslås senast 7 september 2022
Granskning:	Se resultatlista
Hjälpmedel:	Typgodkänd räknare, räknatabeller (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. En symmetrisk trefasig, Y-kopplad belastning består av tre stycken lika impedanser. Varje impedans består av ett motstånd på  $20 \Omega$  seriekopplat med en kondensator på  $1\text{mF}$  och över den seriekopplingen är en spole på  $100\text{mH}$  parallellkopplad. Belastningen ansluts till en trefasspänning  $400\text{V}$ ,  $50\text{Hz}$  via en trefasledning som har en serieresistans på  $0,5 \Omega$  per fas. Ledningens induktans och kapacitans kan försummas då ledningen kan anses kort.
  - a. Beräkna spänningen över belastningen. (4p)
  - b. Beräkna strömmarna ( i komplex form) genom varje gren i belastningen. (2p)
  - c. Rita upp ett visardiagram över fasspänningarna före och efter ledningen, strömmen i ledningen samt spänningsfallet. (2p)
  - d. Bestäm den totala aktiva, reaktiva och skenbara effekten som tas ifrån nätet. (2p)
  - e. Bestäm belastningens effektfaktor. Har belastningen kapacitiv eller induktiv karaktär? (1p)

2. På märkskylten av en trefastransformator står bland annat:

1250 kVA; 10500/400 V;  $\Delta/yn$ ; 50 Hz;  $z_k = 5,8 \%$ ;  $r_k = 1,2 \%$

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 nämnda transformator? Hur stor aktiv effekt förbrukade transformatorn vid provet och hur stor ström/spänning som transformatorn matades med? (4p)

3. En trefas asynkronmaskin används för att driva en ventilationsfläkt.

Asynkronmaskinen matas med 400 V och vid märkdrift har den en verkningsgrad på 88 % och roterar med 975 rpm. Följande parametrar har angivits för maskinen:

$R_s = 0,4 \Omega/\text{fas}$ ;  $R_r = 0,5 \Omega/\text{fas}$ ;  $X_s = X_r = 0,9 \Omega/\text{fas}$ ;  $X_m = 12 \Omega/\text{fas}$ ,  $R_{Fe} = 1100 \Omega/\text{fas}$

Motivera ev. antaganden och approximationer.

a) Rita upp maskinens ekvivalenta Y-fas schema. (2p)

b) Bestäm vilken fasström maskinen belastar nätet med vid märkdrift. Bestäm även vilken aktiv och reaktiv effekt maskinen då upptar. (5p)

c) Luftspjället till ventilationsfläkten varieras och det visar sig att vridmomentet som driver fläkten minskas med 10 Nm. Vilken effekt avges nu till fläkten och vilket blir maskinens varvtal nu? (3p)

4. Beskriv hur en LS-omriktare fungerar som nedspänningsomriktare. Rita schema och beskriv hur strömmarna i nedspänningsomriktare flyter under en modulationsperiod (T).

(3p)

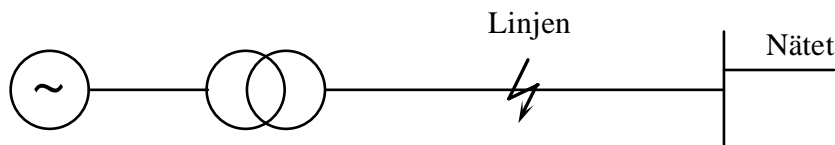
5. Rita vridmomentet som funktion av varvtalet för en seriemagnetiserad och en separatmagnetiserad likströmsmotor. Förklara skillnader och ange fördelar och nackdelar.

(3p)

6. En belysningsanläggning (lysrör) med effekten 3 kW,  $\cos\phi = 0,6$  inkopplas till 220 V (enfas). Nät säkringen 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. Hur stor kondensator skall inkopplas för att nätströmmen skall begränsas till 16 A? (5p)

- 7.) Vad menas med överkompensering i ett elkraftsnät? Beskriv vad detta leder till (ledtråd vad hände i lab 1)? (2p)
- 8.) Till vilka konsekvenser leder överkompensering av den reaktiva effekten som en induktiv last förbrukar? Förklara det kortfattat. (2p)
- 9.) Nämn två metoder att minska startströmmen som en asynkronmaskin med kortsluten rotor drar från nätet. Beskriv hur högt startmoment är, för de två metoderna, relativt momentet vid direktstart. (2p)
- 10.) I hushållen installeras det, nuförtiden obligatoriskt, en jordfelsbrytare. Varför gör man det? Hur fungerar en jordfelsbrytare hemma? När träder jordfelsbrytare i funktion och i vilka fall gör den inte det? Skissa en enkel elcentral med jordfelskopplare inkopplad. (3p)

11.) En generator matar över en transformator en 200 km lång 220 kV-linje. Andra ändpunkten på 220 kV - linjen är ansluten till ett nät via en fördelningsstation enligt figuren nedan :



Följande data gäller för generator, transformator, linjen och nätet :

Generator 20 MVA, 10 kV  $x_d = 22\%$

Transformator dYN, 25 MVA, 10/220 kV  $x_k = 10\%$

Linjen :  $x_l = 0,4 \Omega/\text{fas, km}$

Nätet :  $S_k = 2000 \text{ MVA vid } 220 \text{ kV}$

Beräkna kortslutningsströmmen vid trefasig kortslutning mitt på linjen. Hur stor blir stötströmmen? Varför är det viktigt att känna till storleken på kortslutningsströmmen och stötströmmen? (5p)

## Formelblad i Elteknik

### Trefasssystem:

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

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

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

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

$$S = \sqrt{3}UI = 3U_f I \qquad \underline{S} = 3\underline{U}_f \underline{I}^* = P + jQ$$

### 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:

$$E = 4,44 f N A \hat{B}$$

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

$$\Delta U = \sqrt{3}I(R_k \cos \varphi + X_k \sin \varphi)$$

## Formelblad i Elteknik

### 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:

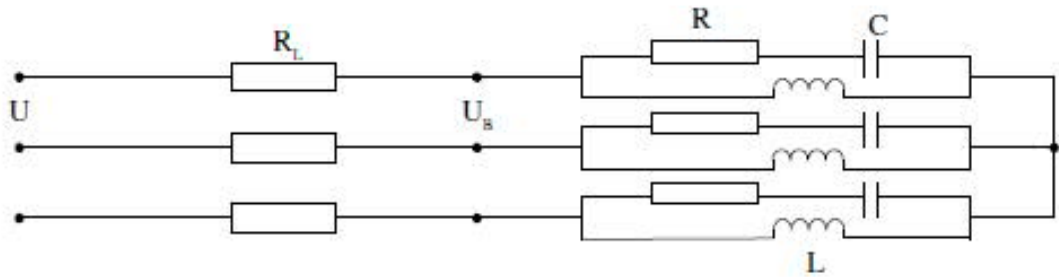
Likriktare: 
$$U_d = \frac{1}{T} \int u_{ab}(\omega t) d(\omega t)$$

1.

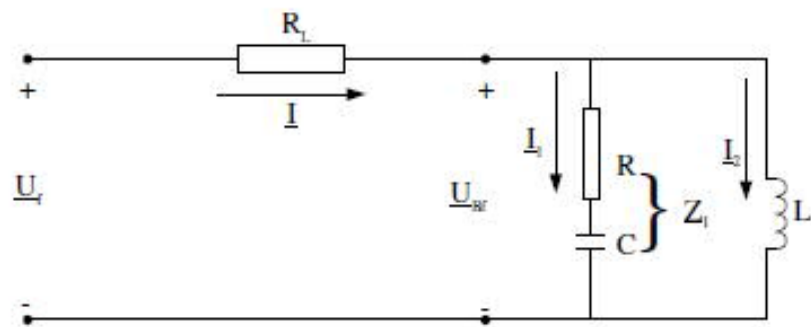
Y-kopplad belastning;  $U = 400\text{ V}$ ;  $f = 50\text{ Hz}$ ;  $R_1 = 0,5\ \Omega/\text{fas}$

$R = 20\ \Omega$ ;  $C = 1000\ \mu\text{F}$ ;  $L = 100\ \text{mH}$

a)  $U_B = ?$



Ekvivalent Y-fas-krets :



$$U_f \text{ - riktfas} \quad U_f = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 230,9\text{ V}$$

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 1000 \cdot 10^{-6}} = 3,18\ \Omega/\text{fas}$$

$$Z_1 = 20 - j3,18 = 20,25 \angle -9,03^\circ\ \Omega/\text{fas}$$

$$Z_2 = j\omega L = j2\pi \cdot 50 \cdot 100 \cdot 10^{-3} = j31,42 = 31,42 \angle 90^\circ\ \Omega/\text{fas}$$

$$Z_B = Z_1 \parallel Z_2 = \frac{20,25 \angle -9,03^\circ \cdot 31,42 \angle 90^\circ}{20 - j3,18 + j31,42} = 18,39 \angle 26,28^\circ\ \Omega/\text{fas}$$

$$Z_{tot} = 0,5 + 16,49 + j8,14 = 18,84 \angle 25,6^\circ\ \Omega/\text{fas}$$

$$I = \frac{U_f}{Z_{tot}} = \frac{230,9 \angle 0^\circ}{18,84 \angle 25,6^\circ} = 12,26 \angle -25,6^\circ\ \text{A}$$

$$U_{Bf} = Z_B I = 225,46 \angle 0,68^\circ\ \text{V}$$

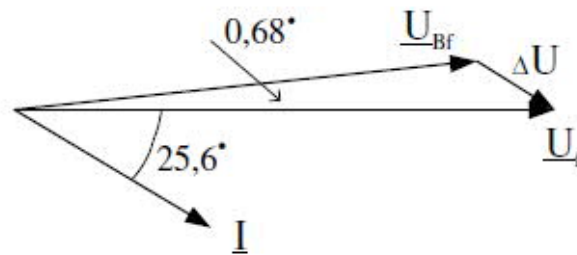
$$U_B = \sqrt{3} U_{Bf} = 390,5\ \text{V}$$

b)  $\underline{I}_1 = ? \quad \underline{I}_2 = ?$

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_{Bf}}{\underline{Z}_1} = \frac{225,46 \angle 0,68^\circ}{20,25 \angle -9,03^\circ} = 11,13 \angle 9,71^\circ \text{ A}$$

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_{Bf}}{\underline{Z}_2} = \frac{225,46 \angle 0,68^\circ}{31,42 \angle 90^\circ} = 7,18 \angle -89,32^\circ \text{ A}$$

c)



d)  $S = ? \quad P = ? \quad Q = ?$

$$\underline{S} = 3 \underline{U}_f \underline{I}^* = 3 \cdot 230,9 \angle 0^\circ \cdot 12,26 \angle 25,6^\circ = 8,49 \cdot 10^3 (0,902 + j0,432) = 7,66 \cdot 10^3 + j3,67 \cdot 10^3$$

$$S = 8490 \text{ VA}$$

$$P = 7660 \text{ W}$$

$$Q = 3670 \text{ VAr}$$

e)  $\cos \varphi_B = ?$

$$\cos \varphi_B = \cos 26,28^\circ = 0,897 \quad \text{- induktiv karaktär}$$

2. Vid kortslutningsprovet kortsluter man transformatorns  
 nedspänningssidan medan uppspänningssidan mätas  
 med märkström. Spänningen, som regleras, är  
 mycket lägre än märkspänningen. Med hjälp av  
 uppmätta  $U_k$ ,  $I_k$  och  $P_k$  räknar man fram trefas  
 $Z_k$ ;  $R_k$  och  $X_k$  ( $R_{Fe}$  och  $X_m$  - försummas vid kst.-prov).

$$S_n = 1250 \text{ kVA} \quad 10500/400 \text{ V} \quad x_k = 5,8\% \quad r_k = 1,2\%$$

$$Z_{bas} = \frac{U^2}{S_n} = \frac{10500^2}{1250 \cdot 10^3} = 88,2 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$Z_k = 0,058 \cdot 88,2 = 5,12 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

$$R_k = 0,012 \cdot 88,2 = 1,06 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

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

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

$$U_{fk} = Z_k I_k = 351,91 \text{ V} \Rightarrow \underline{U_k = 609,5 \text{ V}}$$

$$\cos \varphi_k = \frac{R_k}{Z_k} = 0,207$$

$$\underline{P_k} = 3 \cdot U_{fk} \cdot I_k \cdot \cos \varphi_k = \underline{15,02 \text{ kW}}$$



3) 3-fas AM : motordrift

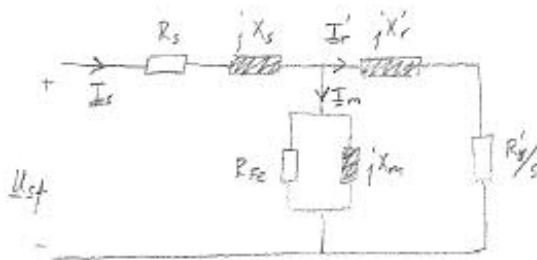
$$U_s = 400 \text{ V}$$

vid märkdraft:  $\eta = 88\%$   
 $n_n = 975 \text{ rpm}$

$$R_s = 0,4 \ \Omega/\text{fas} \quad R'_r = 0,5 \ \Omega/\text{fas} \quad X_s = X'_r = 0,9 \ \Omega/\text{fas}$$

$$X_m = 12 \ \Omega/\text{fas} \quad R_{Fe} = 1100 \ \Omega/\text{fas}$$

a) Ekivalent Y-fas:



b) Bestäm  $I_s$ ,  $P_s$  och  $Q_s$ , vid märkdraft.

$$I_s = \frac{U_s}{Z_{tot}} \quad (*)$$

Först behöver eftersläpningen,  $s$ , bestämmas.

$$s = \frac{n_s - n_n}{n_s} \quad n_s = \frac{f}{P} \cdot 60 \begin{cases} f = 50 \text{ Hz} \ \& \ p = 3 \Rightarrow n_s = 1000 \text{ rpm} \\ f = 60 \text{ Hz} \ \& \ p = 3 \Rightarrow n_s = 1200 \text{ rpm} \end{cases}$$

$$n_s = 1000 \text{ rpm} \Rightarrow s = \frac{1000 - 975}{1000} = 0,025, \ 2,5\% \quad \leftarrow \text{för högt i förhållande till varstaket vid märkdraft.}$$

$R_{Fe} \gg X_m$ , försumma  $R_{Fe}$

$$Z_i = (R'_s/s + jX'_r) // jX_m = \frac{(20 + j0,9)j12}{20 + j0,9 + j12} = 5,0847 + j8,7204 \ \Omega/\text{fas}$$

$$Z_{tot} = R_s + jX_s + Z_i = 0,4 + j0,9 + 5,0847 + j8,7204 = 5,4847 + j9,6204 = 11,074 \angle 60,31^\circ \ \Omega/\text{fas}$$

sätt in i (\*)  $\Rightarrow$

$$\underline{I_s} = \frac{U_{sf}}{\underline{Z}_{tot}} = \left\{ U_s \text{ sätts som riktfas} \right\} = \frac{400/\sqrt{3} \angle 0^\circ}{11,074 \angle 60,31^\circ} =$$

$$= \underline{20,854 \angle -60,31^\circ} \text{ A}$$

$$\underline{S_s} = P_s + jQ_s = 3U_{sf} \cdot \underline{I_s}^* = 3 \cdot \frac{400}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ \cdot 20,854 \angle 60,31^\circ =$$

$$= 14448 \angle 60,31^\circ = \underline{7,156 + j12,551} \text{ kVA}$$

svar: Asynkronmaskinen belastar nätet med en fasström på  $20,85 \angle -60^\circ$  A och upptar 7,16 kW aktiv och 12,55 kVAr reaktiv effekt vid märkdrift.

c) Lasten varierar  $T_2 = T_1 - 10 \text{ Nm}$

Bestäm  $P_{m2}$  (effekt argiven till flökten) och  $n_2$  (varvtalet vid denna last).

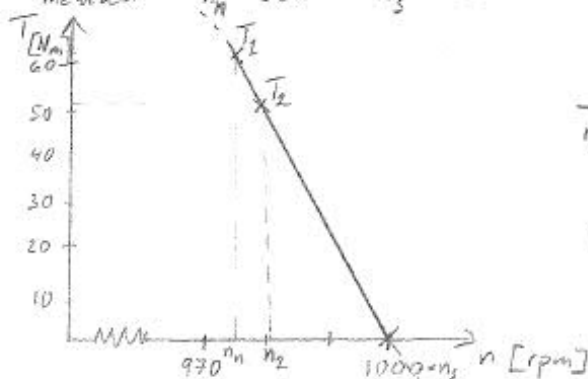
Först behöver  $T_1$  bestämmas.

$$P_{m1} = \eta \cdot P_s = 0,88 \cdot 7,156 = 6,297 \text{ kW (maskinens märkeffekt)}$$

$$T_1 = \frac{P_{m1}}{\omega_n} = \frac{6,297 \cdot 10^3}{\frac{2\pi}{60} \cdot 975} = 61,67 \text{ Nm}$$

$$T_2 = T_1 - 10 \text{ Nm} = 51,67 \text{ Nm}$$

Maskinens momentkurva antas följa en rät linje mellan  $n_n$  och  $n_s$  (i normaldriftsområdet)



$$\frac{T_1}{n_s - n_n} = \frac{T_2}{n_s - n_2} \Rightarrow$$

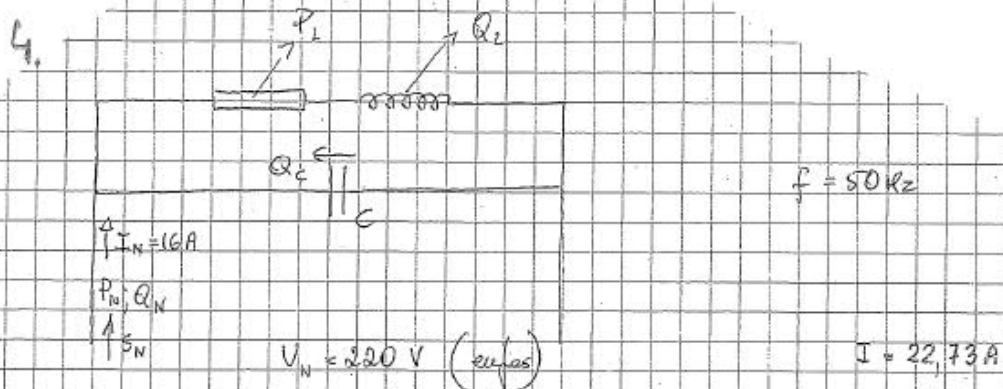
$$n_s - n_2 = \frac{T_2}{T_1} (n_s - n_n)$$

$$\Rightarrow n_2 = n_s - \frac{T_2}{T_1} (n_s - n_n)$$

$$n_2 = 1000 - \frac{51,67}{61,67} (1000 - 975) = \underline{\underline{979 \text{ rpm}}}$$

$$P_{m,2} = T_2 \cdot \omega_2 = 51,67 \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot 979 = \underline{\underline{5,30 \text{ kW}}}$$

Svar: Vid denna last roterar maskinen med 979 rpm och avger 5,30 kW till fläkten.



1. Lyckoröven:  $P_L = 3 \text{ kW}$ ;  $\cos \varphi_2 = 0,6 \Rightarrow Q_L = 4 \text{ kVar}$

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

2. Nätet:

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

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

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

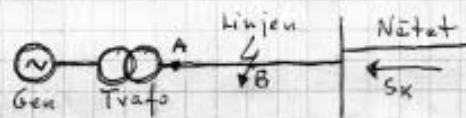
Från nätet:  $\begin{cases} P_N = 3 \text{ kW} \\ Q_N = 1,84 \text{ kVar} \end{cases}$

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

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

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

8.



$$I_k = ? ; I_s = ?$$

Beräkning enl. metoden med delkortslutningseffekter

Generator:

$$S_n = 20 \text{ MVA} ; U_n = 10 \text{ kV} ; x_d = 22\%$$

$$S_k = \frac{S_n}{x_d} = \frac{20}{0,22} = 90,9 \text{ MVA}$$

Trafo:  $S_n = 25 \text{ MVA} ; 10/220 \text{ kV} ; x_k = 10\%$

$$S_k = \frac{S_n}{x_k} = \frac{25}{0,10} = 250 \text{ MVA}$$

Linjen:  $200 \text{ km} ; x_l = 0,4 \Omega/\text{fas, km} ; U_n = 220 \text{ kV}$

$$\text{för } 100 \text{ km } X_L = 100 \cdot 0,4 = 40 \Omega/\text{fas}$$

$$S_k = \frac{U^2}{X_L} = \frac{(220 \cdot 10^3)^2}{40} = 1210 \text{ MVA}$$

Nätet:  $S_k = 2000 \text{ MVA}$

$$S_{kA} = \frac{90,9 \cdot 250}{90,9 + 250} = 66,66 \text{ MVA}$$

$$S_{kB} \text{ från vänstra sidan } S_{kBv} = \frac{66,66 \cdot 1210}{66,66 + 1210} = 63,2 \text{ MVA}$$

$$S_{kB} \text{ från höger sidan } S_{kBh} = \frac{2000 \cdot 1210}{2000 + 1210} = 753,9 \text{ MVA}$$

$$S_k = S_{kBv} + S_{kBh} = 63,2 + 753,9 = 817,1 \text{ MVA}$$

$$\underline{\underline{I_k}} = \frac{S_k}{\sqrt{3} U_k} = \frac{817,1 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 10^3} = \underline{\underline{2144 \text{ A}}}$$

$$\underline{\underline{I_s}} = 2,5 \cdot I_k = \underline{\underline{5,36 \text{ kA}}}$$