

Lösung zur Klausur „Elektrische Energiesysteme“ vom 2.08.2013

Aufgabe 1

a)

$$U_{NY} = \frac{U_N}{\sqrt{3}} = \frac{110 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 63,5 \text{ kV}$$

$$I_K = \frac{S_K}{\sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{60 \text{ GVA}}{\sqrt{3} \cdot 110 \text{ kV}} = 315 \text{ kA}$$

$$\underline{Z}_{NY} = j \cdot \frac{U_{NY}}{I_K} = \frac{63,5 \text{ kV}}{315 \text{ kA}} = j0,202 \Omega$$

b)

$$\underline{I}_{\text{Netz}} = \left(\frac{\underline{S}_N}{\sqrt{3} \cdot \underline{U}_N} \right)^* = \left(\frac{60 \text{ MVA} \cdot e^{j0^\circ}}{\sqrt{3} \cdot 110 \text{ kV} \cdot e^{j0^\circ}} \right)^* = 315 \text{ A} \cdot e^{j0^\circ}$$

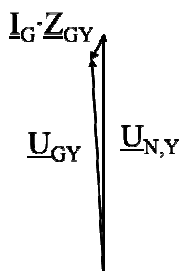
$$\underline{Z}_{KY} = -j \cdot \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{-j}{2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 10 \mu\text{F}} = -j318,3 \Omega$$

$$\underline{I}_G = \underline{I}_{\text{Netz}} + \underline{I}_C = \underline{I}_{\text{Netz}} + \frac{U_{\text{Netz}}}{\sqrt{3} \cdot \underline{Z}_{KY}} = 315 \text{ A} \cdot e^{j0^\circ} + \frac{110 \text{ kV} \cdot e^{j0^\circ}}{\sqrt{3} \cdot (-j318,3 \Omega)} = 315 \text{ A} + j200 \text{ A} = 373 \text{ A} \cdot e^{j32,4^\circ}$$

c)

$$\underline{Z}_{GY} \cdot \underline{I}_G = (1 + j20) \Omega \cdot (315 + j200) \text{ A} = (-3,685 + j6,615) \text{ kV}$$

$$\underline{U}_{GY} = U_{\text{Netz},Y} + \underline{Z}_{GY} \cdot \underline{I}_G = \frac{110 \text{ kV}}{\sqrt{3}} + (1 + j20) \Omega \cdot (315 + j200) \text{ A} = (59,8 + j6,6) \text{ kV} = 60,2 \text{ kV} \cdot e^{j6,3^\circ}$$



d)

$$U_{LN} = \frac{U_N}{\sqrt{3}} = \frac{690 \text{ V}}{\sqrt{3}} = 399 \text{ V} \approx 400 \text{ V}$$

Zusatzschutz (Fehlerstrom-Schutzschalter)

IT-Netz

Aufgabe 2

a)

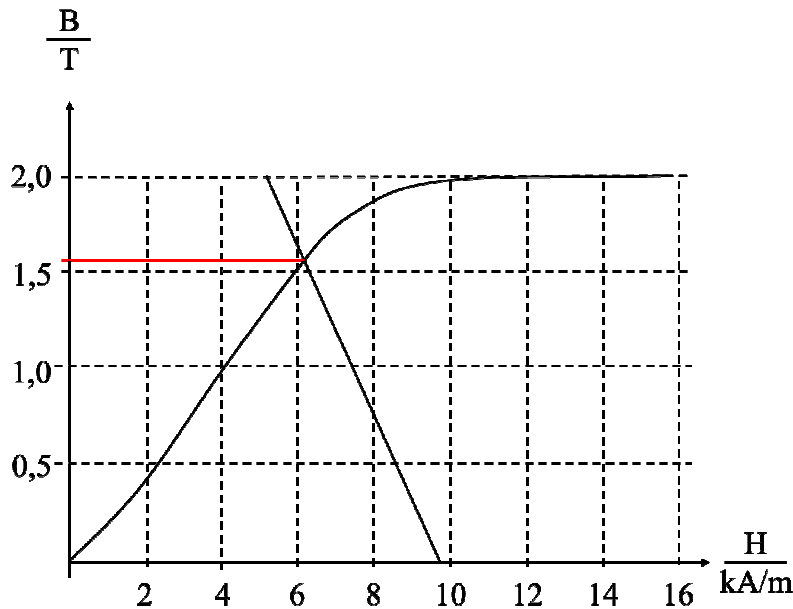
$w \cdot I = H_j \cdot l_j + H_a \cdot l_a + 2 \cdot H_\delta \cdot \delta$ mit $H_a = H_j$ wg. gleichen Querschnitts

$$H_j = H_a = \frac{w \cdot I - 2 \cdot H_\delta \cdot \delta}{l_j + l_a} = \frac{w \cdot I - 2 \cdot \frac{B_\delta}{\mu_0} \cdot \delta}{l_j + l_a}$$

$$= \frac{100 \cdot 15,5 \text{ A} - B_\delta \cdot \frac{2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}}{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs A}^{-1} \text{ m}^{-1}}}{0,11 \text{ m} + 0,05 \text{ m}}$$

$$= 9688 \frac{\text{A}}{\text{m}} - 2487 \frac{\text{A}}{\text{m}} \cdot \frac{B}{\text{T}}$$

z. B. Punkte bei $H(0 \text{ T}) = 9688 \text{ A/m}$, $H(2 \text{ T}) = 4714 \text{ A/m}$ einzeichnen u. Schnittpunkt mit Sättigungskennlinie bilden: $B \approx 1,6 \text{ T}$



b)

Für die gesamte Teilaufgabe b) kann $\mu_{\text{Fe}} \rightarrow \infty$ angenommen werden.

$$w_{\text{mag}} = \frac{1}{2} \cdot B_\delta \cdot H_\delta = \frac{1}{2} \cdot \frac{B_\delta^2}{\mu_0} = \frac{1 \text{ T}^2}{2 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs A}^{-1} \text{ m}^{-1}} = 398 \frac{\text{mJ}}{\text{m}^3}$$

$$W_{\text{mag}} = w_{\text{mag}} \cdot V_\delta = 398 \frac{\text{mJ}}{\text{m}^3} \cdot 5 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3 = 1,99 \text{ mJ}$$

Änderung des Stroms, so dass $B_\delta = 1 \text{ T}$. Für $\mu_{\text{Fe}} \rightarrow \infty$ folgt

$$B_\delta = \frac{\mu_0 \cdot w \cdot I}{2 \cdot \delta} \Rightarrow w \cdot I = \frac{2 \cdot \delta \cdot B_\delta}{\mu_0} = 398 \text{ A}$$

$$W_{\text{mag}} = w_{\text{mag}} \cdot V_{\delta} = \frac{1}{2} \cdot \frac{B_{\delta}^2}{\mu_0} \cdot A_{\delta} \cdot \delta = \frac{1}{2} \cdot \frac{\left(\frac{w \cdot I}{2 \cdot \delta} \cdot \mu_0\right)^2}{\mu_0} \cdot A_{\delta} \cdot \delta = \frac{(w \cdot I)^2}{8 \cdot \delta} \cdot \mu_0 \cdot A_{\delta}$$

$$F_{\text{mag}} = \frac{\partial W_{\text{mag}}}{\partial \delta} = \frac{\partial \left(\frac{(w \cdot I)^2}{8 \cdot \delta} \cdot \mu_0 \cdot A_{\delta}\right)}{\partial \delta} \\ = -\frac{(w \cdot I)^2 \cdot \mu_0 \cdot A_{\delta}}{8 \cdot \delta^2} = -7,95 \text{ N}$$

Alternativ lt. Skript (für einen Luftspalt):

$$F_{\text{mag}} = -\frac{B_{\delta}^2 \cdot A_{\delta}}{2 \cdot \mu_0} = -7,95 \text{ N}$$

c)

Dy5: Oberspannung Dreieckschaltung, Unterspannung Sternschaltung, $5 \cdot 30 = 150^\circ$
Phasenverschiebung

Nein

Wegen der Wirbelstromverluste

d)

$$n = f/p = 50/60 \text{ s}^{-1} = 50 \text{ U/min}$$

$$U_P = U_N / \cos \vartheta = 797 \text{ V (hier: Leiterspannung)}$$

mögliche Antworten: Brushless DC, Schrittmotor, permanenterregter Synchronmotor

Aufgabe 3:

a)

$$p \approx \frac{f}{n_N} = \frac{50 \text{ Hz}}{1480 \text{ min}^{-1}} = 2,027 \Rightarrow p = 2$$

$$I_{WN} = \Re\{I_{N, \text{Strang}}\} = 43,3 \text{ A}$$

$$I_{WN} = I_{WN} \cdot \frac{M_{Kipp}}{M_N} = 77,9 \text{ A}$$

b)

Kreisdurchmesser 78 A, d. h. 10 A/cm ergibt 15,6 cm Durchmesser: passt

I_N : 5 cm, j_N : 30°

Radius I_{WKipp} : 7,79 cm

s. nächste Seite

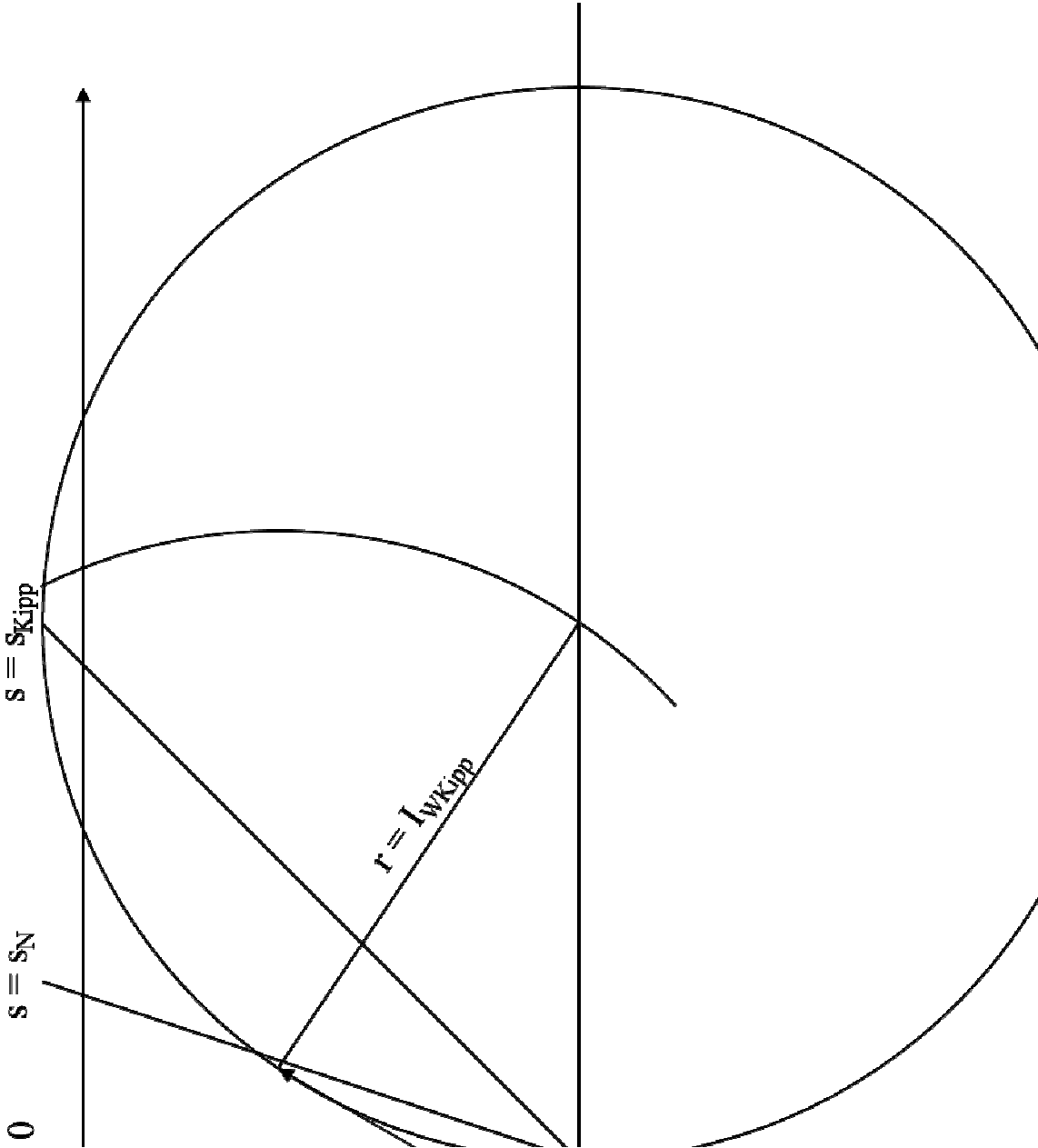
c)

$$n_0 = f_N/p = 1500 \text{ min}^{-1}$$

$$s_N = 1 - \frac{n_N}{n_0} = 1,33 \%$$

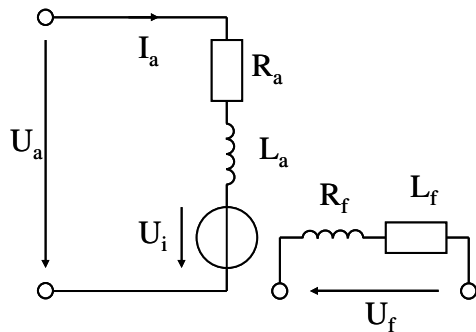
$$s_{Kipp} = \frac{7,2 \text{ cm}}{2,4 \text{ cm}} \cdot s_N = 4 \%$$

$$n_{Kipp} = (1 - s_{Kipp}) \cdot n_0 = 1440 \text{ min}^{-1}$$



Aufgabe 4:

a)



$$M_N = \frac{P_N}{2\pi n_N} = 229,2 \text{ Nm}$$

$$k\Phi = 2\pi \cdot \frac{M_N}{I_{aN}} = 10,91 \text{ Vs}$$

b)

$$P_{\text{VaN}} = U_{\text{aN}} \cdot I_{\text{aN}} - P = 4,8 \text{ kW}$$

$$R_a = \frac{P_{\text{VaN}}}{I_{\text{aN}}^2} = 275,5 \text{ m}\Omega$$

$$\eta_N = \frac{P}{P + P_{\text{VaN}} + U_{\text{fN}} \cdot I_{\text{fN}}} = 90,1 \%$$

c)

$$I_{\text{ac}} = \frac{P_c}{U_{\text{ic}}} = 85,71 \text{ A}$$

$$k\Phi_{\text{fc}} = \frac{U_{\text{ic}}}{n_c} = 7,5 \text{ Vs}$$

$$I_{\text{fc}} = I_{\text{fN}} \cdot \frac{k\Phi_c}{k\Phi_N} = 1,38 \text{ A}$$

$$U_{\text{ac}} = U_{\text{ic}} + (R_a + R_v) \cdot I_{\text{ac}} = 380 \text{ V} < U_{\text{aN}}$$

d)

L, N und PE (L1, L2 und L3 anstelle von L ebenfalls richtig)

Schutzklasse II (Schutzisolation)

Erwärmung (Richtwert für Stromdichte 10 A mm^{-2}) und Spannungsabfall ($< 10 \% U_N$ bei max. Strom)