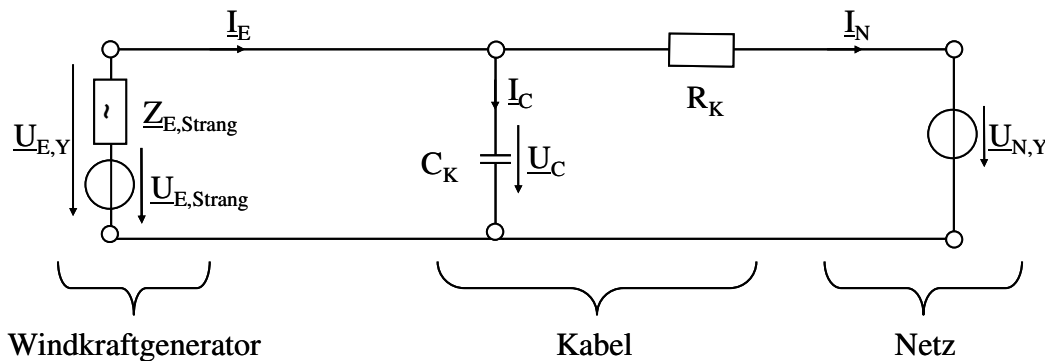


## Lösung zur Klausur „Elektrische Energiesysteme“ vom 13.10.2010

## Aufgabe 1

a)



$$U_{N,Y} = \frac{U_N}{\sqrt{3}} = \frac{690 \text{ V}}{\sqrt{3}} = 398,4 \text{ V}$$

$$Z_{CK} = \frac{1}{j\omega C_K} = \frac{1}{j100 \pi \text{ s}^{-1} \cdot 30 \mu\text{F}} = -j106 \Omega$$

b)

$$\underline{I}_N = \frac{P_N}{3 \cdot U_{N,Y}} \cdot \left( 1 + j \frac{\sin \varphi_N}{\cos \varphi_N} \right) = \frac{3 \text{ MW}}{3 \cdot 398,4 \text{ V}} \cdot \left( 1 + j \frac{-\sqrt{1-0,8^2}}{0,8} \right) = (2510 - j1883) \text{ A} = 3138 \text{ A} \cdot e^{-j36,87^\circ}$$

$$\underline{U}_{E,Y} = \underline{U}_{N,Y} + \underline{I}_N \cdot R_{K,Strang} = 398,4 \text{ V} + (2510 - j1883) \text{ A} \cdot 20 \text{ m}\Omega = (448,6 - j37,7) \text{ V} = 450 \text{ V} \cdot e^{-j4,80^\circ}$$

c)

$$\underline{I}_C = \frac{\underline{U}_{E,Y}}{Z_{CK}} = \frac{450 \text{ V} \cdot e^{-j4,80^\circ}}{-j106 \Omega} = 4,25 \text{ A} \cdot e^{j85,20^\circ} = (0,355 + j4,232) \text{ A}$$

$$\underline{I}_E = \underline{I}_N + \underline{I}_C = (2510 - j1883) \text{ A} + (0,36 + j4,24) \text{ A} = (2510,36 - j1879,77) \text{ A}$$

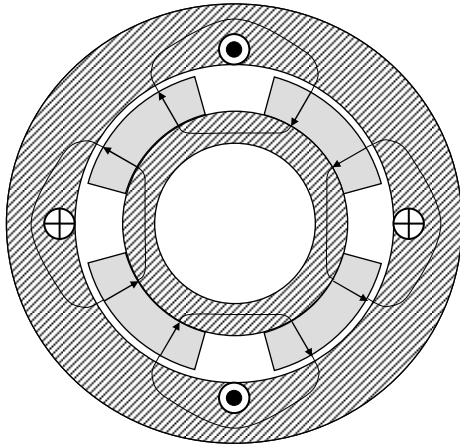
$$\begin{aligned} \underline{U}_{E,Strang} &= \underline{U}_{E,Y} + Z_{E,Strang} \cdot \underline{I}_E = (448,6 - j37,7) \text{ V} + j0,2 \Omega \cdot (2510,36 - j1879,77) \text{ A} \\ &= (824,6 + j464,4) \text{ V} = 946,3 \text{ V} \cdot e^{j29,39^\circ} \end{aligned}$$

d)

- Durch Variation des Erregerstroms  $I_f$
- $5 \cdot 30^\circ = 150^\circ$
- Bei gegebener Leistung verursachen aufgrund der hohen Spannung die entsprechend geringeren Ströme auch geringere Stromwärmeverluste.

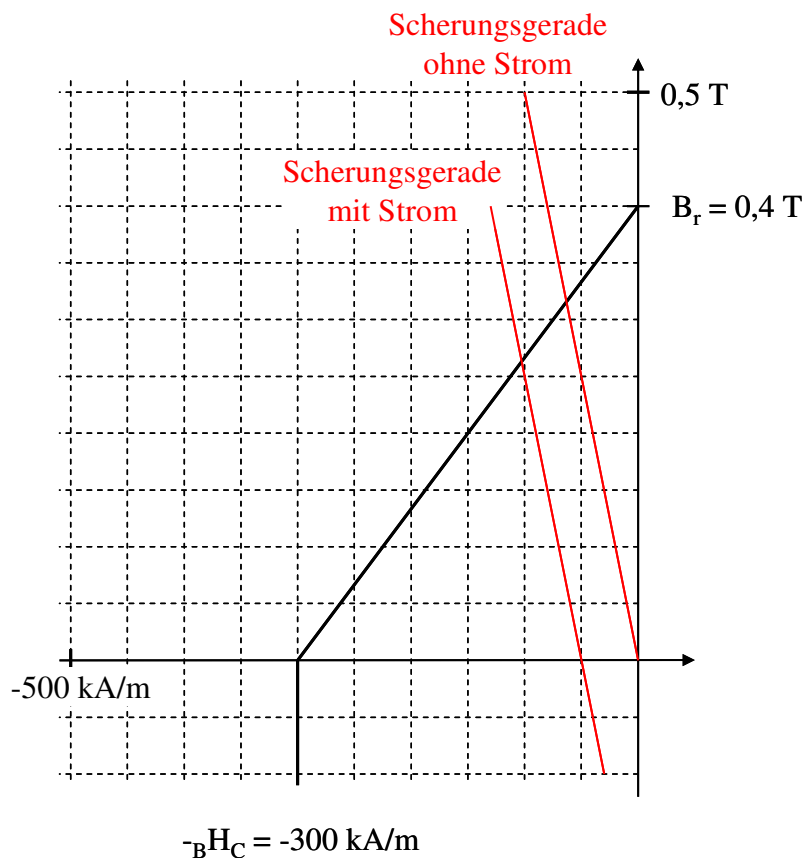
Aufgabe 2

a)



2p = 4

b)



$$2 \cdot H_{\delta} \cdot l_{\delta} + 2 \cdot H_m \cdot l_m = 0$$

$$H_{\delta} = \frac{B_{\delta}}{\mu_0} = \frac{B_m}{\mu_0} \Rightarrow \frac{B_m}{\mu_0} \cdot 2 \cdot l_{\delta} + H_m \cdot 2 \cdot l_m = 0$$

$$\Rightarrow B_m = -\mu_0 \cdot \frac{H_m \cdot l_m}{l_{\delta}} = -1,256 \cdot 10^{-6} \frac{Vs}{Am} \cdot \frac{H_m \cdot 4 \text{ mm}}{1 \text{ mm}} = -5,0 \cdot 10^{-6} \frac{Vs}{Am} \cdot H_m$$

$$\Rightarrow 0,5 \text{ T} \Leftrightarrow -100 \frac{\text{kA}}{\text{m}}$$

c)

$$H_{\delta} = \frac{B_{\delta}}{\mu_0} = \frac{B_m}{\mu_0} \Rightarrow \frac{B_m}{\mu_0} \cdot 2 \cdot l_{\delta} + H_m \cdot 2 \cdot l_m = w \cdot I$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow B_m &= \mu_0 \cdot \frac{2 \cdot H_m \cdot l_m - w \cdot I}{2 \cdot l_{\delta}} = 1,256 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot \left( \frac{H_m \cdot 4 \text{ mm}}{1 \text{ mm}} - \frac{400 \text{ A}}{2 \cdot 1 \text{ mm}} \right) \\ &= -5,00 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot H_m - 0,25 \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow H_m \Big|_{B_m=0} = -50 \frac{\text{kA}}{\text{m}}$$

Skizze s. o.

Es besteht keine Entmagnetisierungsgefahr, da sich der Betriebspunkt rechts des Knicks der Kennlinie befindet.

d)

Neodymium-Eisen-Bor (NdFeB)

Ferrit

schmale Hysteresekurve mit wenig Fläche

## Aufgabe 3:

a)

$$\eta_N = \frac{P_N}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_N \cdot \cos \varphi_N} = \frac{150 \text{ kW}}{\sqrt{3} \cdot 690 \text{ V} \cdot 155 \text{ A} \cdot 0,85} = 0,953$$

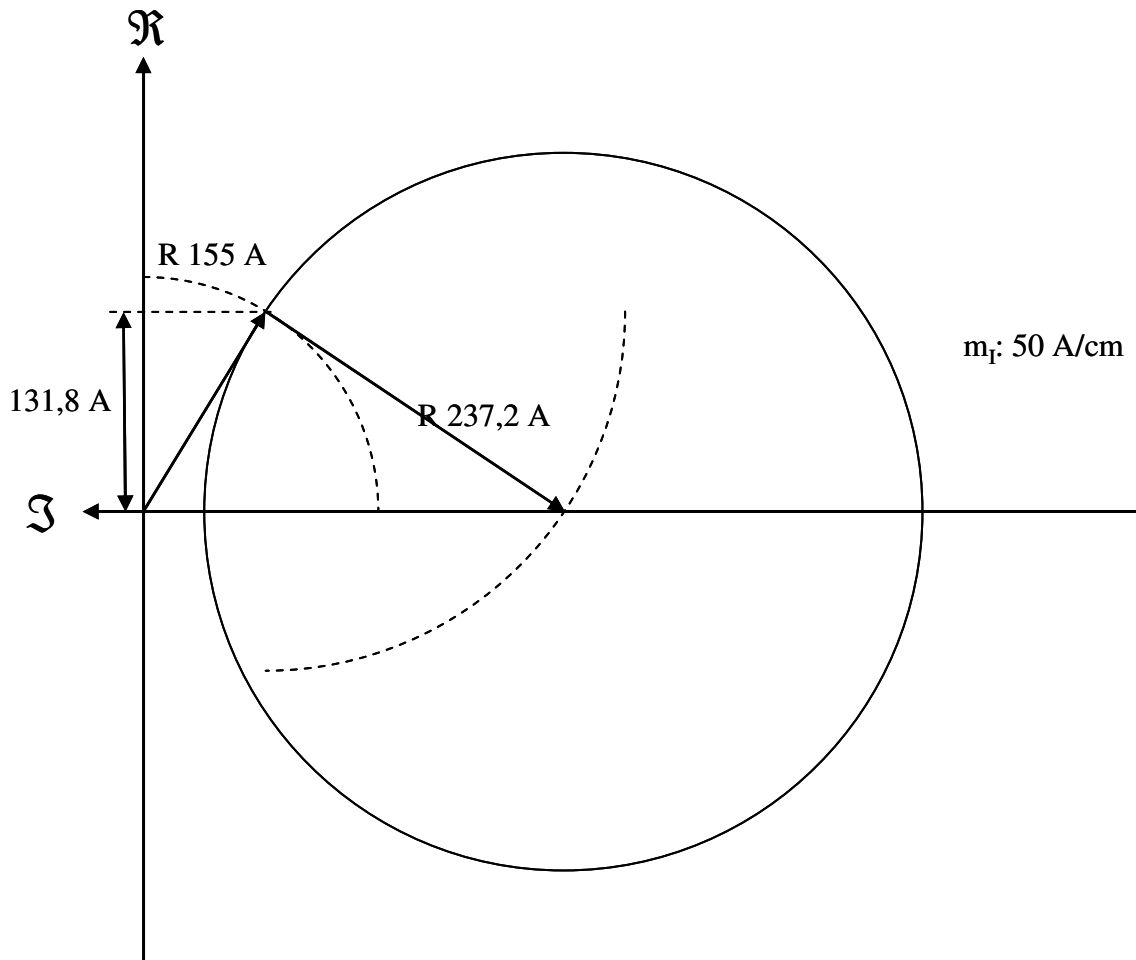
Mit der Bedingung  $n_N \approx n_0$  folgt  $p = 3$

b)

$$I_{WN} = I_N \cdot \cos \varphi_N = 155 \text{ A} \cdot 0,85 = 131,8 \text{ A}$$

$$I_{WKipp} = I_{WN} \cdot \frac{M_{Kipp}}{M_N} = 237,2 \text{ A}$$

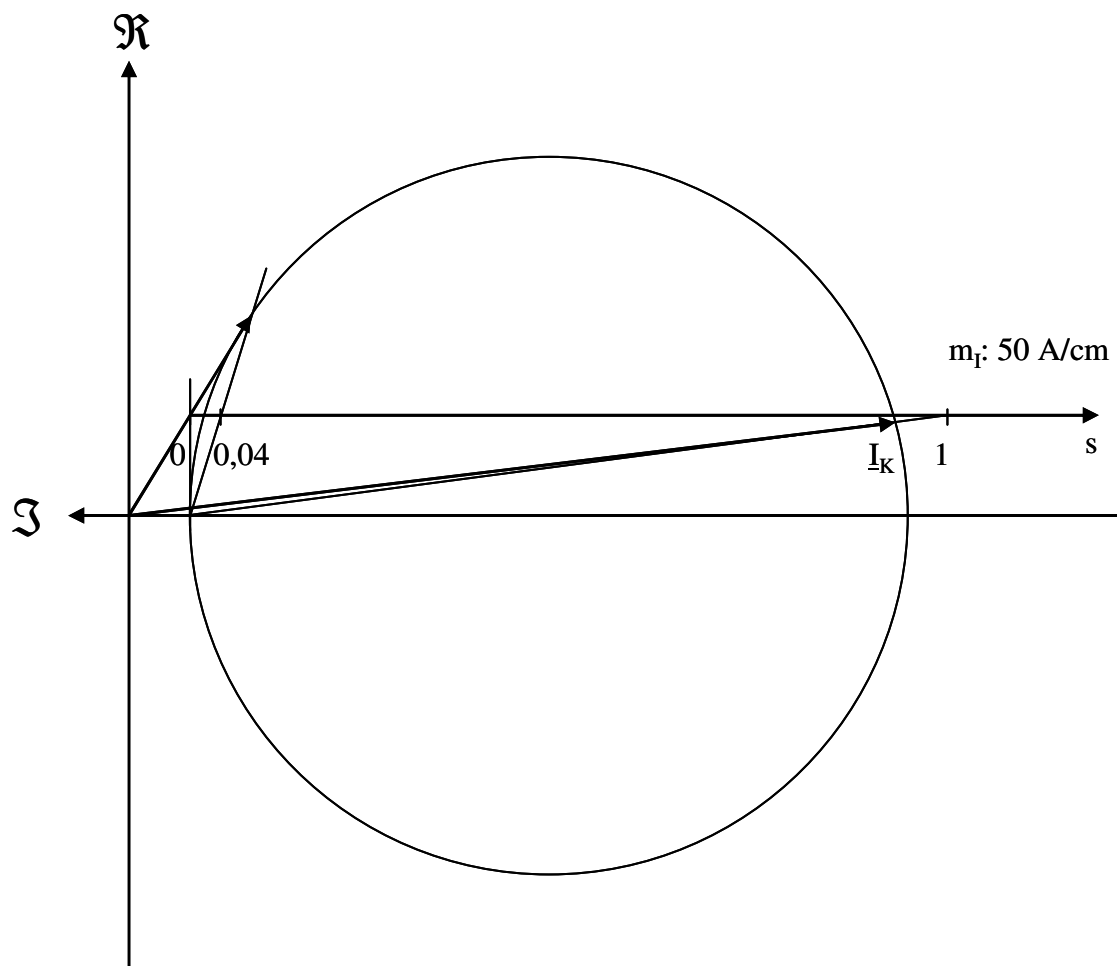
Konstruktion Ortskurve: Einzeichnen  $\underline{I}_N$ , Kreis um Endpunkt des  $\underline{I}_N$ -Zeigers mit Radius  $I_{WKipp}$ , Schnittpunkt des Kreises mit neg. imag. Achse ergibt Kreismittelpunkt; damit kann der Kreis gezeichnet werden.



c)

$s_N = 1 - \frac{p \cdot n_N}{f_N}$  liefert für  $p = 3$ :  $s_N = 0,04$

f)



d)

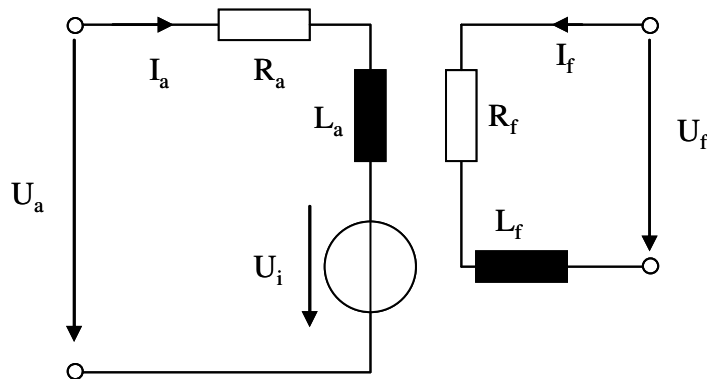
mit  $p = 1$  gilt  $n < 3000 \text{ min}^{-1}$  im motorischen Betrieb $M_K/M_{\text{Kipp}} = 1$ , falls der Vorwiderstand so eingestellt wird, dass  $s_{\text{Kipp}} = 1$  bzw.

$$(R_V' + R_2') \cdot (1 + \sigma_1)^2 = L_1 \cdot \sigma / (1 - \sigma)$$

$$\frac{M}{M_{\text{Kipp}}} = \frac{2}{\frac{s_{\text{Kipp}}}{s} + \frac{s}{s_{\text{Kipp}}}}$$

## Aufgabe 4:

a)



$$P_N = 2\pi \cdot n_N \cdot M_N = 2\pi \cdot \frac{4000 \text{ min}^{-1}}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} \cdot 44 \text{ Nm} = 18,43 \text{ kW}$$

b)

$$P_{VfN} = I_{fN} \cdot U_{fN} = 200 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} = 0,2 \text{ kW}$$

$$P_{VaN} = U_a \cdot I_a - P_N = 400 \text{ V} \cdot 49 \text{ A} - 18,43 \text{ kW} = 1,17 \text{ kW}$$

$$R_a = \frac{P_{VaN}}{I_{aN}^2} = \frac{1170 \text{ W}}{(49 \text{ A})^2} = 487 \text{ m}\Omega$$

c)

$$U_{ic} = U_{ac} - I_{ac} \cdot R_a = 200 \text{ V} - 40 \text{ A} \cdot 0,487 \Omega = 180,5 \text{ V}$$

$$P_c = U_{ic} \cdot I_{ac} = 180,5 \text{ V} \cdot 40 \text{ A} = 7,22 \text{ kW}$$

$$k\Phi = 2\pi \cdot \frac{M_N}{I_{aN}} = 2\pi \cdot \frac{44 \text{ Nm}}{49 \text{ A}} = 5,642 \text{ Vs}$$

$$n_c = \frac{U_{ic}}{k\Phi} = \frac{180,5 \text{ V}}{5,642 \text{ Vs}} = 32 \text{ s}^{-1} = 1920 \text{ min}^{-1}$$

d)

Reihenschlussmaschine

die  $1/\sqrt{2}$ -fache bzw. 0,707-fache Leistung

Der Erregerstrom bzw. die Erregerspannung muss reduziert werden.