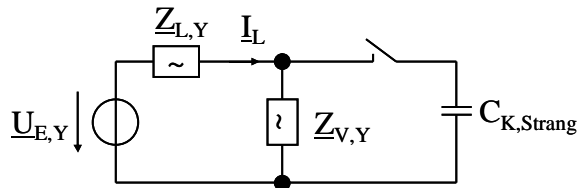


## Lösung zur Klausur „Elektrische Energiesysteme“ vom 13.10.2010

## Aufgabe 1

a)



$$\underline{Z}_{L,Y} = \frac{\underline{Z}_{L,\text{strang}}}{3} = \frac{(0,35 + j0,18) \Omega}{3} = (0,117 + j0,06) \Omega$$

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

b)

$$\underline{I}_L = \frac{U_{LN}}{\underline{Z}_{L,Y} + \underline{Z}_{V,Y}} = \frac{398,4 \text{ V}}{(0,117 + j0,06 + 6 + j3) \Omega} = 58,2 \text{ A} \cdot e^{-j26,58^\circ}$$

$$I_{E,\text{Strang}} = I_L / \sqrt{3} = 33,6 \text{ A}$$

c)

$$I_{Lb} = \Im\{\underline{I}_L\} = \Im\left\{\frac{U_{E,\text{strang}}}{\underline{Z}_{V,Y}}\right\} = \Im\left\{\frac{398,4 \text{ V}}{(6 + j3) \Omega}\right\} = -26,56 \text{ A}$$

$$U_C = U_{E,Y} = 398,4 \text{ V}$$

$$C = \frac{I_C}{\omega \cdot U_C} = \frac{|I_{Lb}|}{\omega \cdot U_C} = \frac{26,56 \text{ A}}{100\pi \text{ s}^{-1} \cdot 398,4 \text{ V}} = 212 \mu\text{F}$$

d)

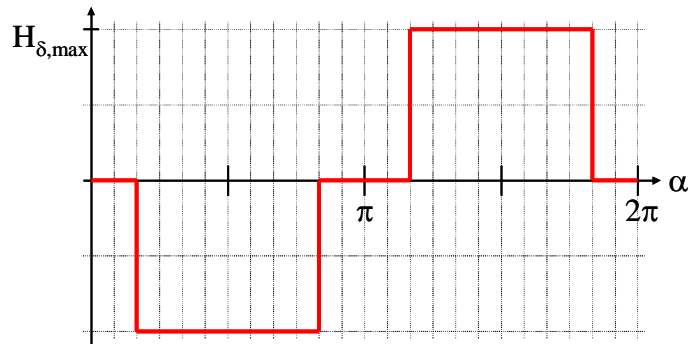
$$I_2' = \frac{1}{\ddot{u}} \cdot I_2 = \frac{w_2}{w_1} \cdot I_2$$

$$L_{12}' = \ddot{u} \cdot L_{12} = \frac{w_1}{w_2} \cdot L_{12}$$

$$I_{K3} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot I_{K2}$$

## Aufgabe 2

a)



b)

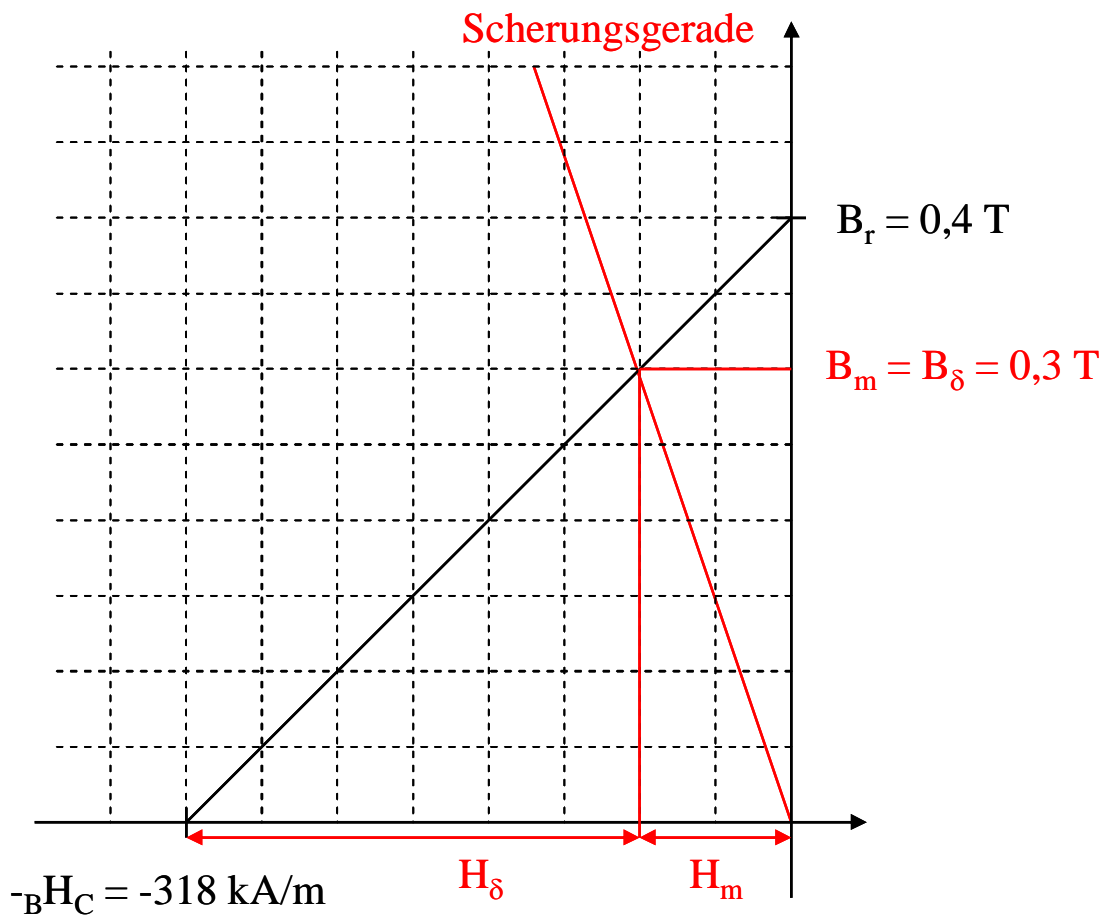


Diagramm mit optionaler graphischer Ermittlung

$$B_{\delta} = B_m = \frac{\mu_m \cdot \delta}{h_m} \cdot B_r = 0,3 \text{ T}$$

$$H_{\delta} = \frac{B_{\delta}}{\mu_0} = \frac{0,3 \text{ T} \cdot \text{Am}}{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs}} = 239 \frac{\text{kA}}{\text{m}}$$

13.10.2010

c)

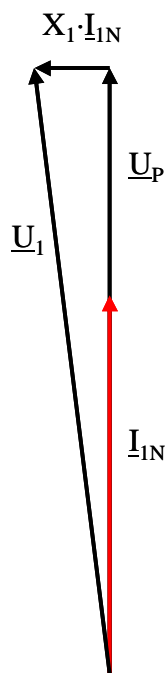
$$P_N = 3 \cdot U_{PN} \cdot I_{1N} = 3 \cdot 200 \text{ V} \cdot 25 \text{ A} = 15 \text{ kW}$$

$$M_N = \frac{P_N}{2\pi \cdot n_N} = \frac{15.000 \text{ W}}{2\pi \cdot 1000 \text{ min}^{-1} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}} = 143 \text{ Nm}$$

$$M(n) = \frac{P(n)}{2\pi \cdot n} = \frac{3 \cdot U_P(n) \cdot I_{1N}}{2\pi \cdot n} = \frac{3 \cdot 2\pi \cdot f \cdot L_{1f} \cdot I_f \cdot I_{1N}}{2\pi \cdot f/p} = 3 \cdot p \cdot L_{1f} \cdot I_f \cdot I_{1N} = \text{const.}$$

$M(n)$  ändert sich nicht!

d)



$$U_1 = \sqrt{U_P^2 + (X_1 \cdot I_{1N})^2} = \sqrt{(200 \text{ V})^2 + (2 \Omega \cdot 25 \text{ A})^2} = 206 \text{ V}$$

$I_1$  eilt der Spannung  $U_1$  nach: Aufnahme induktiver Blindleistung

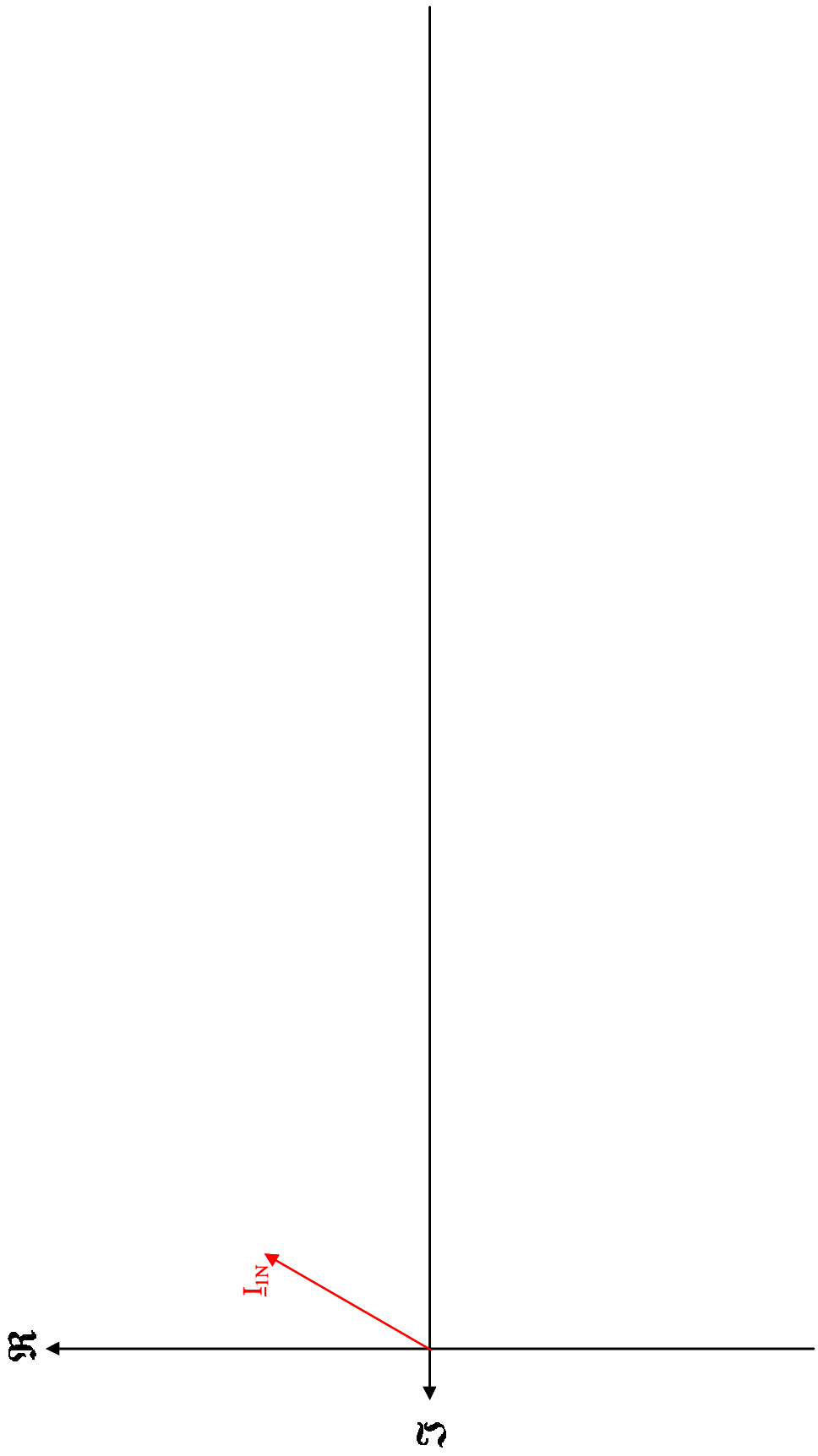
13.10.2010

## Aufgabe 3:

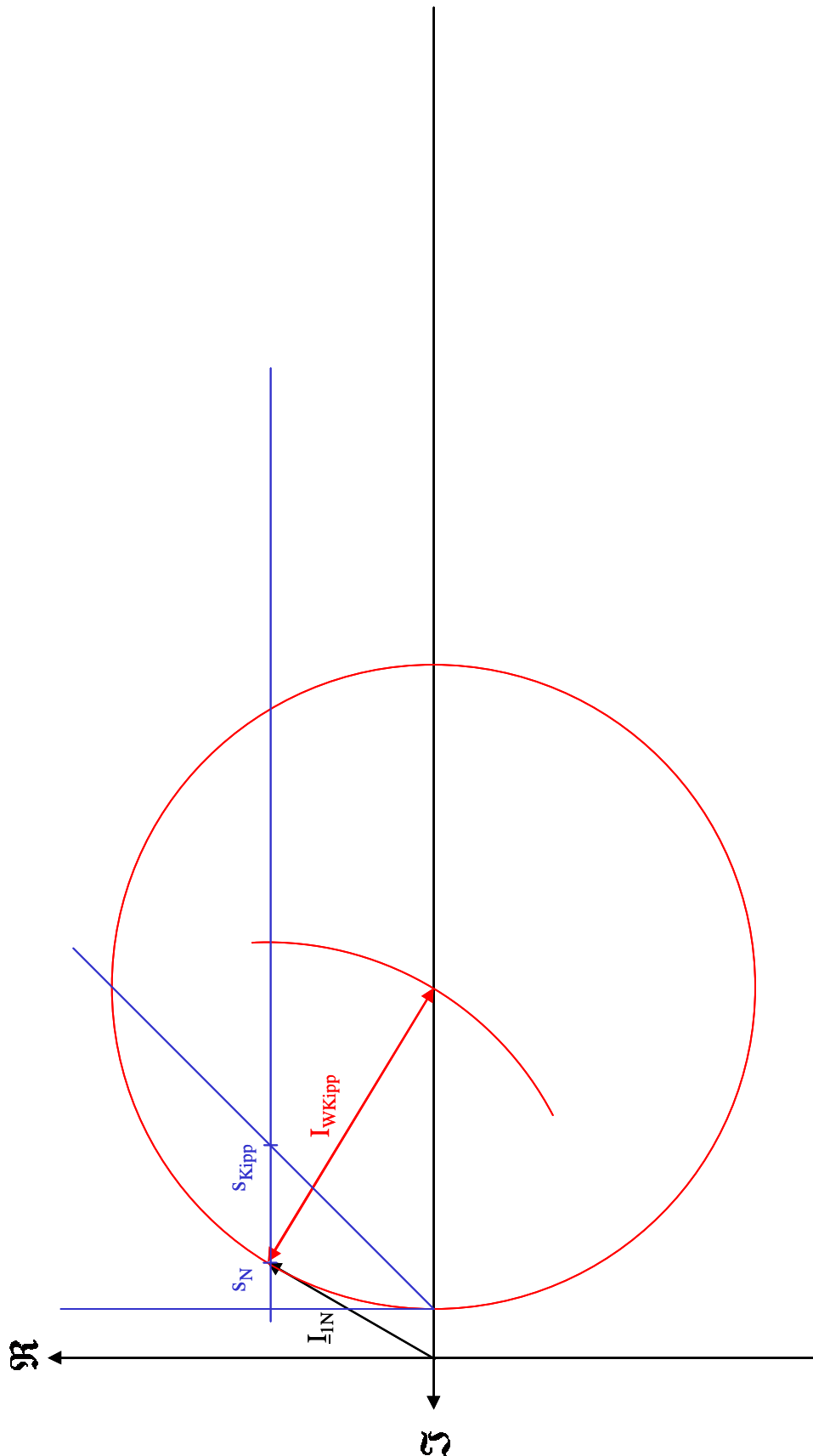
a)

$$\begin{aligned}n_0 &= \frac{f_N}{p} \\ &= \frac{50 \text{ Hz}}{2} \\ &= 25 \text{ Hz} \\ &= 1500 \text{ min}^{-1}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I_{\text{WKipp}} &= \frac{P_{\text{el.Kipp}}}{3 \cdot U_{\text{Strang}}} \\ &= \frac{2\pi \cdot n_0 \cdot M_{\text{Kipp}}}{3 \cdot U_{\text{Strang}}} \\ &= \frac{2\pi \cdot 25 \text{ Hz} \cdot 220 \text{ Nm}}{3 \cdot 230 \text{ V}} \\ &= 50 \text{ A}\end{aligned}$$



b)



Konstruktion:

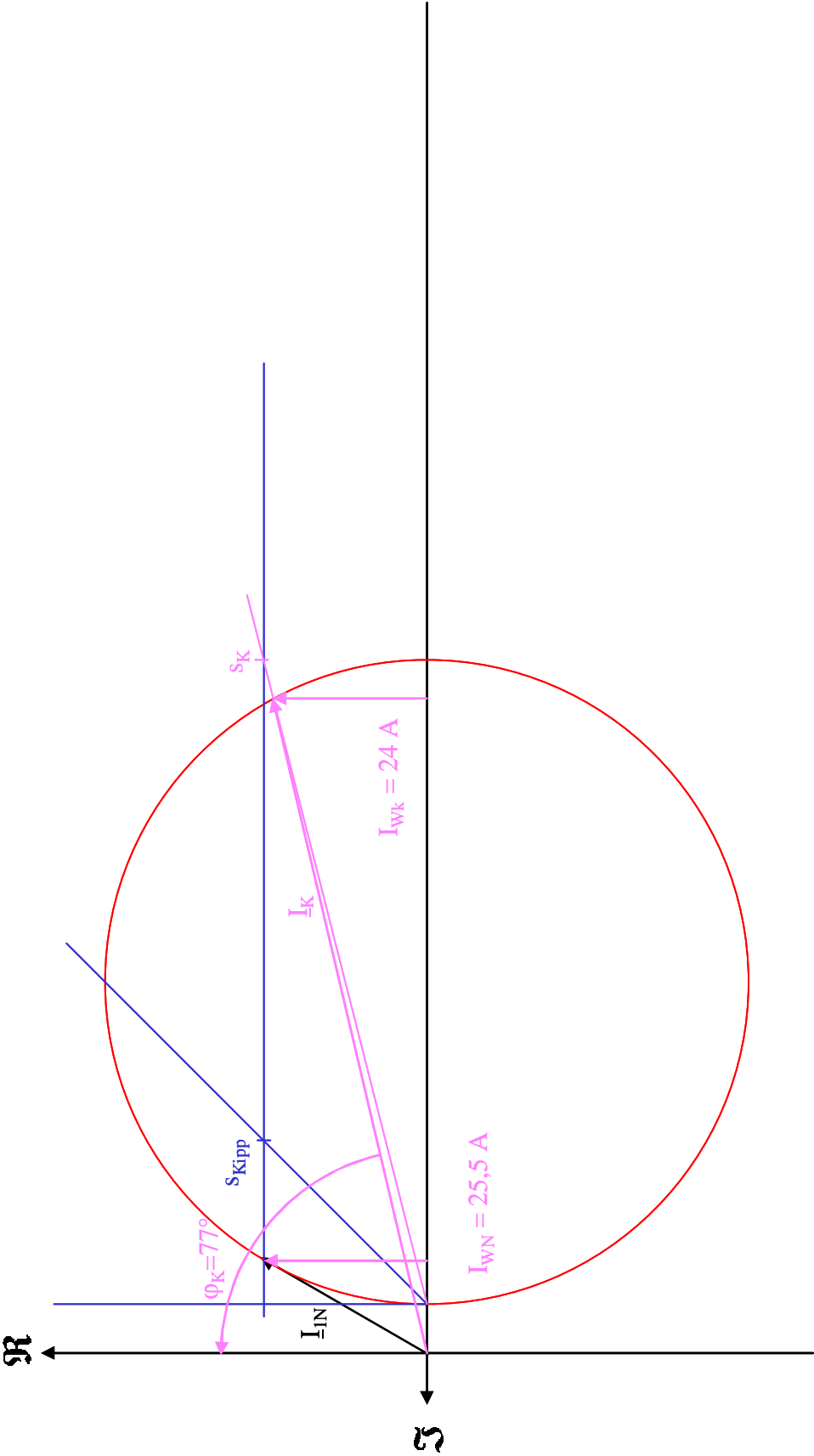
Kreis mit  $I_{WKipp}$   
um Endpunkt  
 $\underline{I}_{N,Strang}$   
Schnittpunkt mit  
Imag. Achse  
ergibt  
Mittelpunkt

Schlupfgerade  
hier so  
gezeichnet, dass  
 $s_{Kipp}$  gerade  
2,5 cm ergibt.

$s_N = 0,067$   
(abgelesen)

$n_N = (1-s_N) \cdot n_0$   
 $= 1400 \text{ min}^{-1}$

c), d)



$s_K$  entspricht 10 cm

$$\frac{M_K}{M_N} = \frac{I_{WK}}{I_{WN}} = \frac{24 \text{ A}}{25,5 \text{ A}} = 94 \%$$

$$\cos 77^\circ = 0,23$$

d)

Kurzschluss- oder Käfigläufer

mit  $2p = 6$  ergibt sich der geringste positive Schlupf im Bemessungspunkt (0,025)

$$\text{Kloss'sche Formel } \frac{M}{M_{\text{Kipp}}} = \frac{2}{\frac{s_{\text{Kipp}}}{s} + \frac{s}{s_{\text{Kipp}}}}$$

Alternative b)

$$\frac{I_{\text{WN}}}{I_{\text{WKipp}}} = \frac{M_{\text{N}}}{M_{\text{Kipp}}} = \frac{2}{\frac{s_{\text{Kipp}}}{s_{\text{N}}} + \frac{s_{\text{N}}}{s_{\text{Kipp}}}} \Rightarrow$$

$$s_{\text{N}}^2 - \frac{2I_{\text{WKipp}}}{I_{\text{WN}}} \cdot s_{\text{N}} \cdot s_{\text{Kipp}} + s_{\text{Kipp}}^2 = 0 \Rightarrow$$

$$s_{\text{N}} = s_{\text{Kipp}} \cdot \left( \frac{I_{\text{WKipp}}}{I_{\text{WN}}} - \sqrt{\left( \frac{I_{\text{WKipp}}}{I_{\text{WN}}} \right)^2 - 1} \right)$$

$$= 0,25 \cdot \left( \frac{50 \text{ A}}{30 \text{ A} \cdot \cos 30^\circ} - \sqrt{\left( \frac{50 \text{ A}}{30 \text{ A} \cdot \cos 30^\circ} \right)^2 - 1} \right)$$

$$= 0,070 \Rightarrow$$

$$n_{\text{N}} = (1 - s_{\text{N}}) \cdot n_0 = (1 - 0,070) \cdot 1500 \text{ min}^{-1} = 1395 \text{ min}^{-1}$$

Alternative c)

$$M_{\text{K}} = \frac{2}{\frac{s_{\text{Kipp}}}{s_{\text{K}}} + \frac{s_{\text{K}}}{s_{\text{Kipp}}}} \cdot M_{\text{Kipp}} = \frac{2}{0,25 + \frac{1}{0,25}} \cdot 220 \text{ Nm} = 104 \text{ Nm}$$

$$M_{\text{N}} = M_{\text{Kipp}} \cdot \frac{I_{\text{N}} \cdot \cos \varphi_{\text{N}}}{I_{\text{WKipp}}} = 220 \text{ Nm} \cdot \frac{30 \text{ A} \cdot \cos 30^\circ}{50 \text{ A}} = 114 \text{ A}$$

$$\frac{M_{\text{K}}}{M_{\text{N}}} = 0,91$$

$$\text{Kreismittelpunkt: } \underline{I}_{\text{M}} = -j(I_{\text{N}} \cdot \sin \varphi_{\text{N}} + I_{\text{WKipp}} \cdot \cos \varphi_{\text{N}}) \\ = -j(30 \text{ A} \cdot \sin 30^\circ + 50 \text{ A} \cdot \sin 30^\circ) = -j58,3 \text{ A}$$

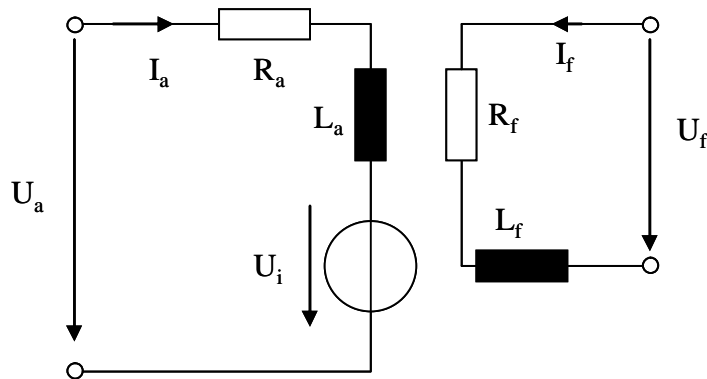
$$\text{Kurzschlussstrom: } \underline{I}_{\text{K}} = \underline{I}_{\text{M}} - jI_{\text{WKipp}} \cdot e^{-2j \cdot \arctan \frac{s_{\text{K}}}{s_{\text{Kipp}}}} = (78 - j305) \text{ A}$$

$$\text{Leistungsfaktor: } \cos \varphi_{\text{K}} = 0,25$$

13.10.2010

## Aufgabe 4:

a)



$$M_N = \frac{P_N}{2\pi \cdot n_N} = \frac{73 \text{ kW}}{2\pi \cdot 2000 \text{ min}^{-1} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}} = 349 \text{ Nm}$$

b)

$$P_{\text{Va,N}} = P_{\text{aN}} - P_{\text{mechN}} = U_{\text{aN}} \cdot I_{\text{aN}} - P_N = 400 \text{ V} \cdot 195 \text{ A} - 73 \text{ kW} = 5 \text{ kW}$$

$$R_a = \frac{P_{\text{Va,N}}}{I_{\text{aN}}^2} = \frac{5 \text{ kW}}{(195 \text{ A})^2} = 131 \text{ m}\Omega$$

$$\eta_N = \frac{P_N}{P_{\text{aN}} + P_{\text{fN}}} = \frac{P_N}{U_{\text{aN}} \cdot I_{\text{aN}} + U_{\text{fN}} \cdot I_{\text{fN}}} = \frac{73 \text{ kW}}{400 \text{ V} \cdot 195 \text{ A} + 200 \text{ V} \cdot 5 \text{ A}} = 92,4 \%$$

c)

$$U_{\text{ic}} = U_{\text{ac}} - I_{\text{ac}} \cdot R_a = 400 \text{ V} - 100 \text{ A} \cdot 0,131 \Omega = 386,9 \text{ V}$$

$$P_c = U_{\text{ic}} \cdot I_{\text{ac}} = 386,9 \text{ V} \cdot 100 \text{ A} = 38,69 \text{ kW}$$

$$U_i \sim I_f \cdot n$$

$$I_{\text{fc}} = \frac{n_c}{n_N} \cdot \frac{U_{\text{iN}}}{U_{\text{ic}}} \cdot I_{\text{fN}} = \frac{n_c}{n_N} \cdot \frac{U_{\text{aN}} - I_{\text{aN}} \cdot R_a}{U_{\text{ic}}} \cdot I_{\text{fN}} = \frac{2000 \text{ min}^{-1}}{2800 \text{ min}^{-1}} \cdot \frac{400 \text{ V} - 195 \text{ A} \cdot 0,131 \Omega}{386,9 \text{ V}} \cdot 5 \text{ A} = 3,46 \text{ A}$$

d)

nein, da die Phasenverschiebung zwischen Anker- und Erregerstrom bei Parallelschaltung von der induzierten Spannung abhängt.

mit doppelter Speisefrequenz

Ferrit, Ba<sub>2</sub>O, Sr<sub>2</sub>O, Neodym-Eisen-Bor, Samarium-Kobalt