

Aufgabe 1

a)

Umformung des Verbrauchers in Stern-ESB:

$$\underline{Z}_{V,Y} = \frac{50}{3} \Omega \cdot e^{i35^\circ} = (13,65 + j9,56) \Omega$$

$$\underline{Z}_{N,Y} = 1 \Omega \cdot e^{i25^\circ} = (0,91 + j0,42) \Omega$$

$$I_{L1} = \left| \frac{\underline{U}_{N,U}}{\underline{Z}_{V,Y} + \underline{Z}_{N,Y}} \right| = \left| 22,66 \text{ A} \cdot e^{-j34,4^\circ} \right| = 22,66 \text{ A}$$

$$I_{V,Str} = I_{L1} / \sqrt{3} = 13,08 \text{ A}$$

$$U_{L,Str} = I_{V,Str} \cdot Z_{V,Str} = 654,1 \text{ V}$$

b)

$$\underline{Y}_{V,Y} = \frac{1}{\underline{Z}_{V,Y}} = (49,1 - j34,4) \text{ mS}$$

$$\underline{Y}_{M,Y} = \frac{1}{\underline{Z}_{M,Y}} = (34,2 - j94,0) \text{ mS}$$

$$\underline{Z}_{ges,Y} = \frac{1}{\underline{Y}_{M,Y} + \underline{Y}_{V,Y}} = 6,53 \Omega \cdot e^{j57,0^\circ} = (3,56 + j5,48) \Omega$$

$$I_{L1} = \frac{\underline{U}_{N,U}}{\underline{Z}_{V,Y} + \underline{Z}_{N,Y}} = 54,04 \text{ A} \cdot e^{-j52,9^\circ}$$

$$\underline{U}_{V,Y} = \underline{U}_{N,U} - I_{L1} \cdot \underline{Z}_{N,Y} = (352,2 + j25,3) \text{ V} = 353,1 \text{ V} \cdot e^{j4,1^\circ}$$

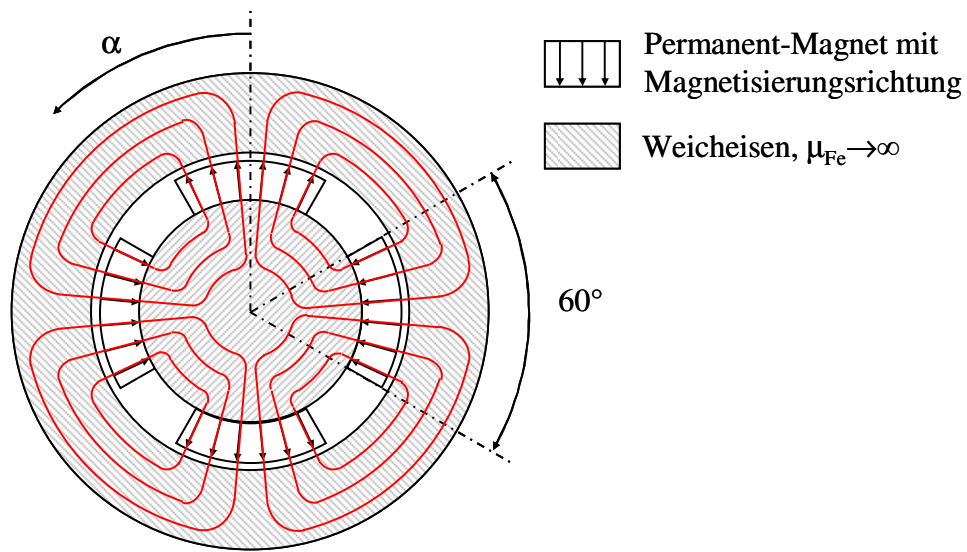
$$U_{min} = 400 \text{ V} \cdot (1 - 10\%) = 360 \text{ V} > U_{V,Y}$$

c)

$$\text{zweipoliger Kurzschluss: } I_{K2} = \frac{U_{\Delta}}{2 \cdot Z_{N,Y}} = \frac{U_Y \cdot \sqrt{3}}{2 \cdot Z_{N,Y}} = 346 \text{ A}$$

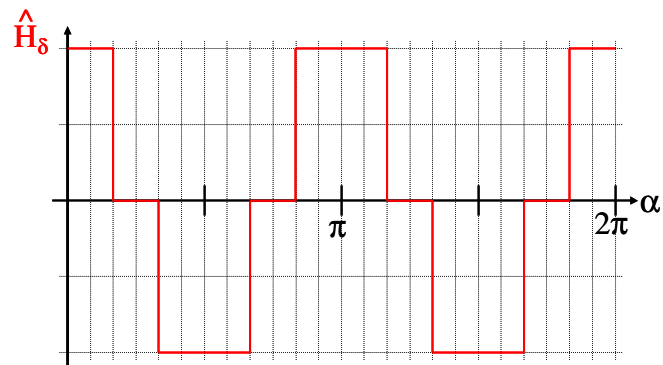
Aufgabe 2:

a)

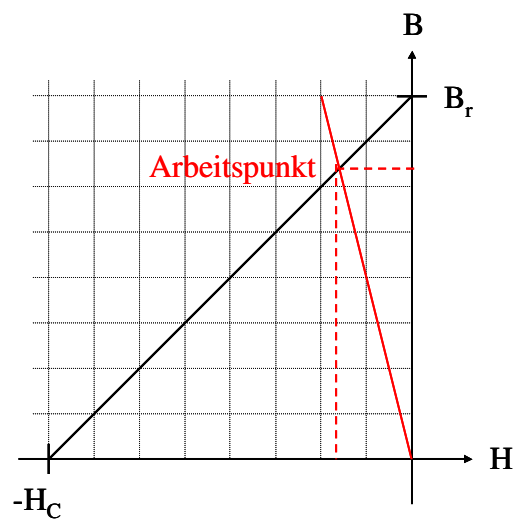


vierpolig

b)



c)



Aufgabe 3:

a)

$$\underline{Z}_{V,Y} = \frac{U_N^2}{S_N} \cdot e^{j\varphi} = 1,33 \, \Omega \cdot e^{j36,7^\circ} = (1,067 + j0,8) \, \Omega$$

b)

$$\ddot{u} = \frac{10 \, \text{kV}}{410 \, \text{V}} = 24,4$$

$$\underline{Z}_{V,Y} \cdot \ddot{u}^2 = 791,2 \, \Omega \, e^{j36,7^\circ} = (633,0 + j474,7) \, \Omega$$

$$\frac{I_{V,Y}}{\ddot{u}} = \frac{10 \, \text{kV} / \sqrt{3}}{\left| \underline{Z}_{V,Y} \cdot \ddot{u}^2 + \underline{Z}_K \right|} = \frac{410 \text{V} / \sqrt{3}}{\left| \underline{Z}_{V,Y} + \underline{Z}_K \cdot \ddot{u}^2 \right|} = 7,293 \, \text{A}$$

$$I_{V,Y} = 177,9 \, \text{A}$$

$$U_V = I_{V,Y} \cdot Z_V \cdot \sqrt{3} = 409,8 \, \text{V}$$

c)

Schaltgruppe: Phasenverschiebung identisch zum 1. Transformator, also Dy5 oder Zy5; Yd5 und Yz5 sind weniger sinnvoll, da kein N-Leiter auf Niederspannungsseite.

Leerlaufspannung: $U = 410 \, \text{V}$ (identisch zum 1. Transformator)

Der Spannungsabfall an der Längs-Induktivität $U_X = I_I \cdot Z_{KI} = I_{II} \cdot Z_{KII}$ muss bei beiden Transformatoren gleich sein:

$$\frac{I_I}{I_{II}} = \frac{S_I}{S_{II}} = \frac{Z_{II}}{Z_I} \Rightarrow Z_{II} = Z_I \cdot \frac{S_I}{S_{II}} = j \, 1 \, \Omega$$

Aufgabe 4:

a)

Dreieckschaltung

b)

$$\underline{I}_{1N} = 22 \text{ A} \cdot \left(0,85 - j\sqrt{1-0,85^2}\right) = (18,7 - j11,6) \text{ A}$$

$$\underline{I}_{1K} = I_K \cdot (\cos \varphi_K - j \sin \varphi_K) = 127,0 \text{ A} \cdot \left(0,15 - j\sqrt{1-0,15^2}\right) = (19,1 - j125,6) \text{ A}$$

Zeichnerische Lösung: Einzeichnen \underline{I}_{1N} und \underline{I}_{1K} , Schnittpunkt der Mittelsenkrechten mit -Im-Achse liefert Mittelpunkt des Kreises s. Blatt;

Rechnerische Lösung:

Kreismittelpunkt \underline{I}_M : Schnittpunkt der Mittelsenkrechten aus \underline{I}_{1N} und \underline{I}_{1K} mit -Im-Achse:

$$\Re\left\{\frac{\underline{I}_{1N} + \underline{I}_{1K}}{2} + \alpha \cdot (\underline{I}_{1K} - \underline{I}_{1N}) \cdot e^{j90^\circ}\right\} = 0 \Rightarrow \alpha = -\frac{\Re\{\underline{I}_{1N} + \underline{I}_{1K}\}}{2 \cdot \Im\{\underline{I}_{1K} - \underline{I}_{1N}\}} = 0,0828 \Rightarrow$$

$$\underline{I}_M = j \cdot \Im\left\{\frac{\underline{I}_{1N} + \underline{I}_{1K}}{2} + \alpha \cdot (\underline{I}_{1K} - \underline{I}_{1N}) \cdot e^{j90^\circ}\right\} = -j68,6 \text{ A}$$

$$I_{WKipp} = |\underline{I}_{1N} - \underline{I}_M| = 60 \text{ A}$$

c)

$$s_N = \frac{1500 - 1460}{1500} = 2,67 \% ; M_N = \frac{P_N}{2\pi \cdot n_N} = 72 \text{ Nm}$$

Zeichnerische Lösung:

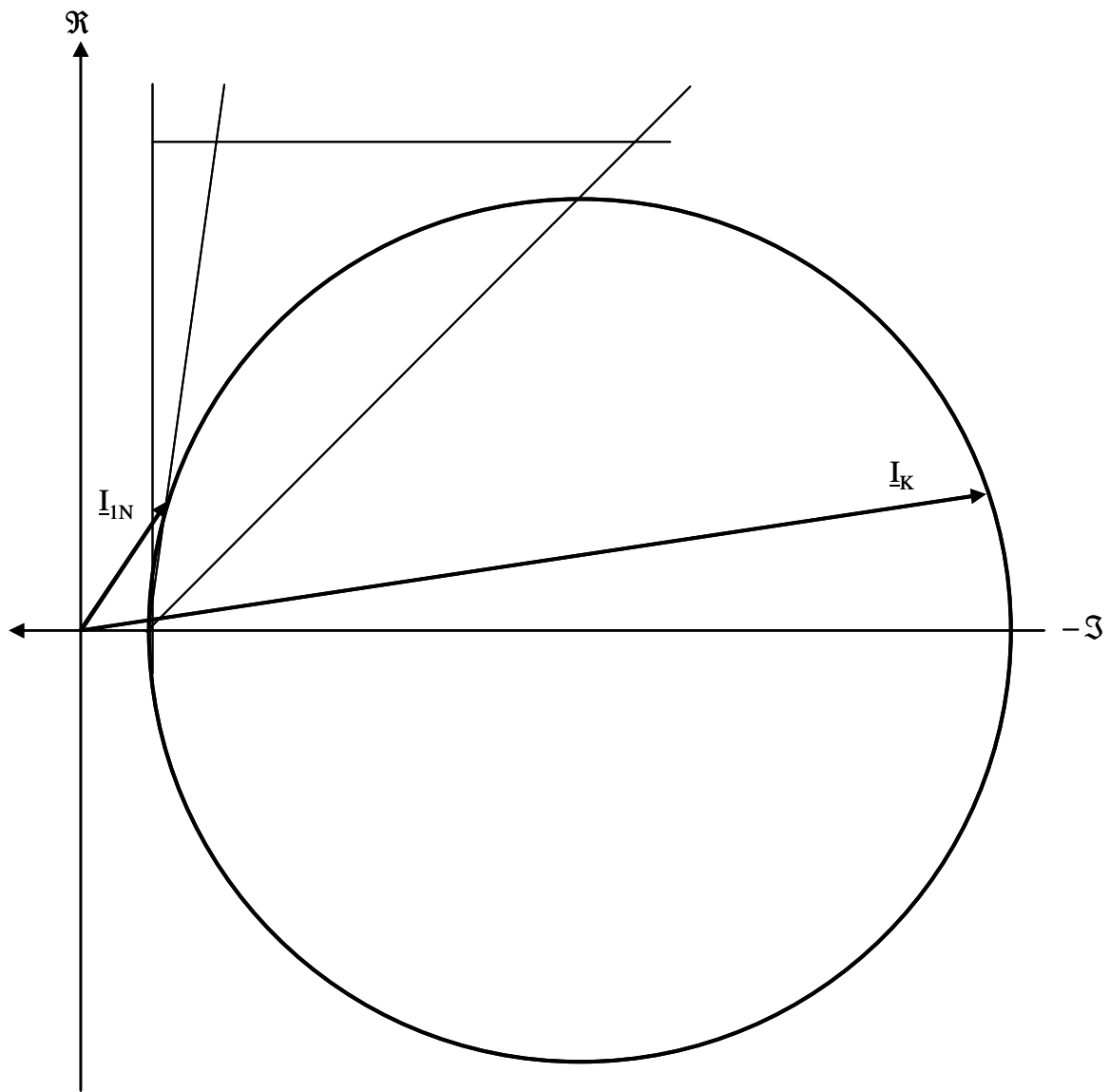
$$I_{WKipp} = 64 \text{ A abgelesen} \Rightarrow M_{Kipp} = \frac{I_{WKipp}}{I_{WN}} \cdot M_N = 243 \text{ Nm}$$

$$s_{Kipp} = s_N \cdot \frac{6,7\text{cm}}{0,9\text{cm}} = 19,9 \%$$

rechnerische Lösung:

$$M_{Kipp} = \frac{I_{WKipp}}{I_{WN}} \cdot M_N = 231 \text{ Nm}$$

$$s_{Kipp} = s_N \cdot \left(\frac{M_{Kipp}}{M_N} + \sqrt{\left(\frac{M_{Kipp}}{M_N}\right)^2 - 1}\right) = 16,7 \%$$



Aufgabe 5:

a)

$$p = f_N/n_N = 3$$

$$U_{NY} = \frac{U_N}{\sqrt{3}} = 5,8 \text{ kV}$$

$$I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{150 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 10 \text{ kV}} = 8660 \text{ A}$$

$$X_1 = \frac{U_N/\sqrt{3}}{K_C \cdot I_N} = 1,33 \text{ } \Omega$$

$$I_N \cdot X_1 = 11,5 \text{ kV}$$

$$\varphi_N = \arccos(0,9) = 25,8^\circ$$

$$U_{PN} = \sqrt{(U_{NY} + I_N \cdot X_1 \cdot \sin \varphi_N)^2 + (I_N \cdot X_1 \cdot \cos \varphi_N)^2} = 15 \text{ kV}$$

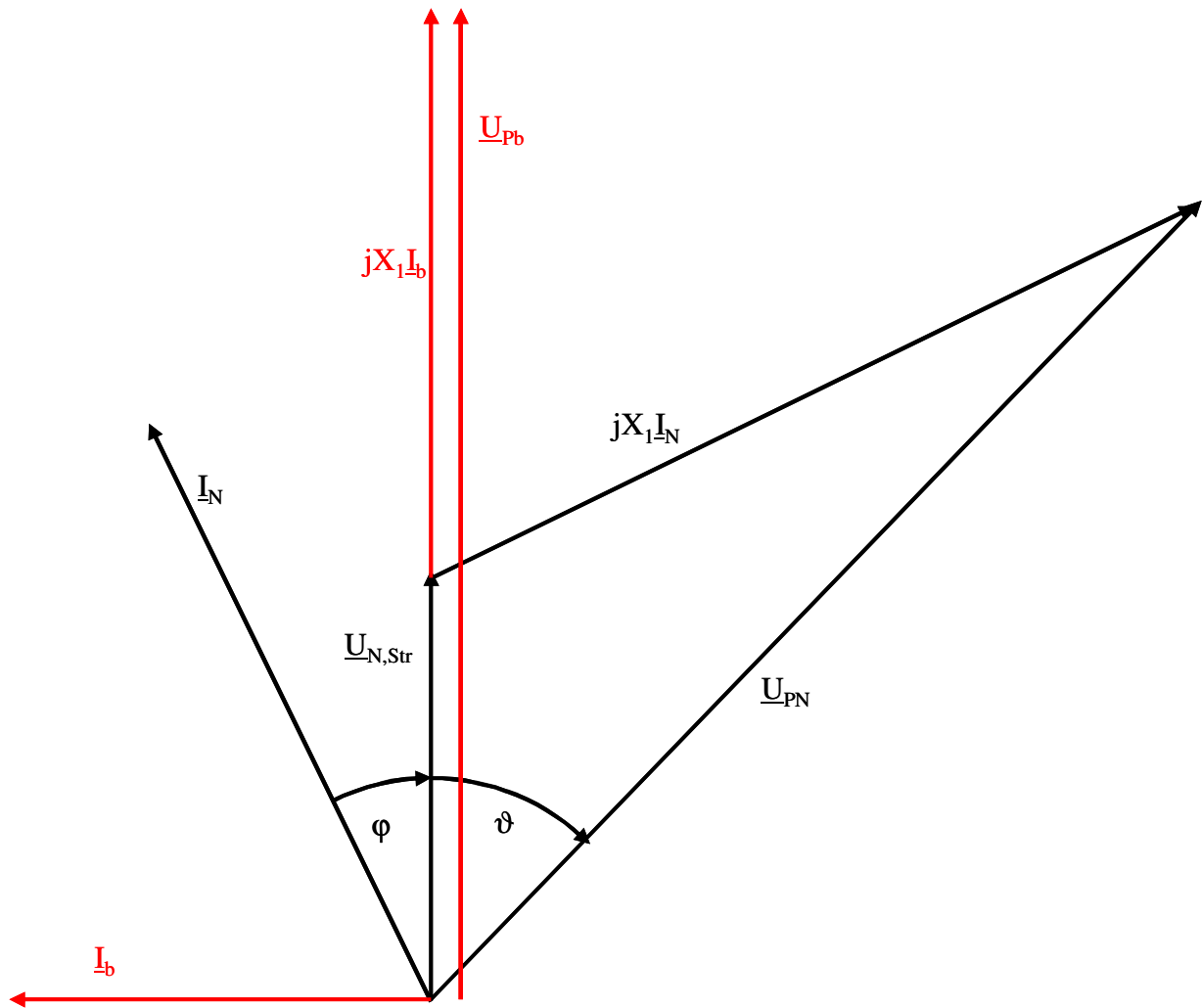
b)

$$I_b = \frac{Q_b}{\sqrt{3} \cdot U_N} = j5774 \text{ A}$$

$$I_b \cdot X_1 = 7,679 \text{ kV}$$

$$U_{Pb} = \sqrt{(U_{NY} + \Im\{I_b\} \cdot X_1)^2} = 13,5 \text{ kV}$$

$$I_{fb} = \frac{U_{Pb}}{U_{PN}} = 179,4 \text{ A}$$



c)

Leistung der Turbine erhöhen.

mögliche Leistungserhöhung in 10 s: $\Delta P = 10 \text{ s} \cdot 0,005 \cdot 150 \cdot 0,9 \text{ MVA/s} = 6,75 \text{ MVA}$ ist ausreichend

Aufgabe 6:

a)

$$P_{N,el} = \frac{P_{N,mechanisch}}{\eta_N} = 714 \text{ W}$$

$$I_{aN} = \frac{P_{N,el}}{U_N} = 59,5 \text{ A}$$

$$R_a = (1 - \eta_N) \cdot \frac{U_N}{I_{aN}} = 60,5 \text{ m}\Omega$$

$$k\Phi = \eta_N \cdot \frac{U_N}{n_N} = 0,168 \text{ Vs}$$

b)

$$n = \frac{U_N - R_a \cdot I_a}{k\Phi} = \frac{U_N - R_a \cdot M \cdot \frac{2\pi}{k\Phi}}{k\Phi} = \left(4286 - 808 \cdot \frac{M}{\text{Nm}} \right) 1/\text{min} = 3074 1/\text{min}$$

$$I_a = \frac{2\pi}{k\Phi} \cdot M = 56,1 \text{ A}$$

c)

$$\text{Anlaufdrehmoment: } M_K = \frac{U_N}{R_a} \cdot \frac{k\Phi}{2\pi} = 5,3 \text{ Nm ist ausreichend}$$