



DHBW-Mosb GET2 Klausur 2020/07 R.Bayer LÖSUNG

r1.2.0

Klausur 2020/07 r120

DHBW Mosbach · MT19B

Grundlagen Elektrotechnik 2 (GET2) · Klausur 2020/07 · Bayer

Matrikel-Nr.:

Blatt 1 / 7

Aufgabenblätter
inkl. Deckblatt

7

Anzahl
Lösungsbogen

DHBW Mosbach

Grundlagen Elektrotechnik 2 (GET2), MT19B, Bayer

Rev. 1.2.0

Klausur 2020/07

Dozent Dipl.-Ing. FH Rainer Bayer Datum 01.07.2020

Matrikelnummer auf jedem Blatt/Bogen (Aufgaben und Lösungen) in der Kopfzeile eintragen

Studienjahrgang MT19B, 2. Sem. Zeit 60 min

Hilfsmittel Taschenrechner; Formelsammlung 6 Seiten DIN A4

Bewertung Punktzahl 100% Punkte

Datum, Signum Ergebnis

Rechnen Sie auf 4 signifikante Stellen genau!

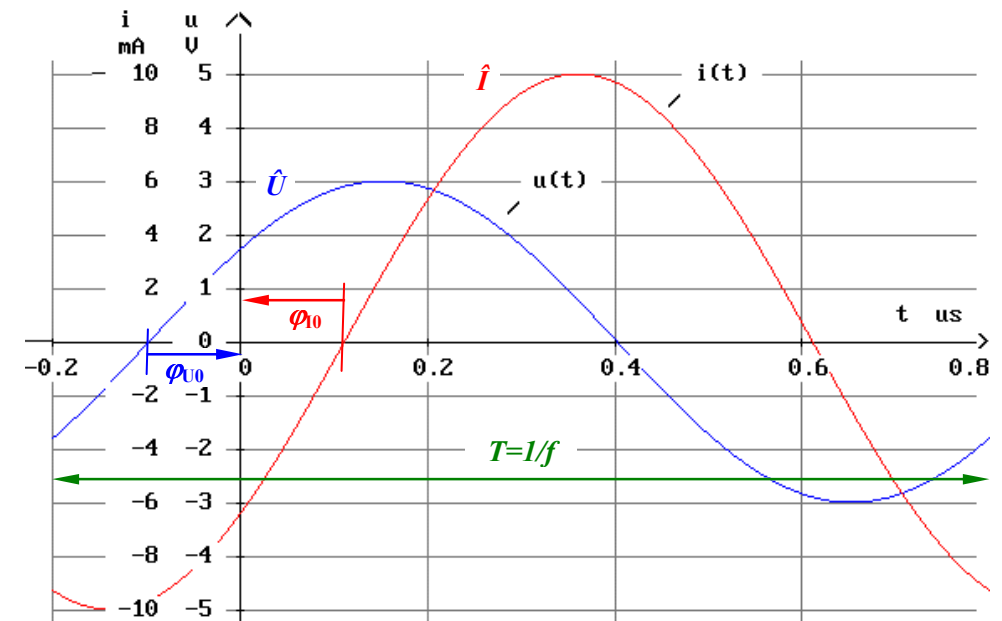
Aufg.	Thema	Blatt	a)	b)	c)	d)	e)	f)	Σ
1	Periodische Signale	2 – 3	7	2	5	3	5	3	25
2	Netzwerke bei veränderlicher Frequenz	4	6	2	4	2	3	8	25
3	BODE-Diagramm	5 – 6	1	5	7	3	5	4	25
4	Drehstrommotor	7	3	7	6	3	3	3	25
Bemerkungen									100

DHBW-Mosb GET2 Bayer

1 Periodische Signal

25

I Verbraucherzweipol (VZP)



Lsg-Abb. 1.1: Liniendiagramm

- a) – $u(t) = \hat{U} \cdot (\sin 2\pi \cdot f \cdot t + \hat{\varphi}_{U0}) + U_{DC}$ 7
 $i(t) = \hat{I} \cdot (\sin 2\pi \cdot f \cdot t + \hat{\varphi}_{I0}) + I_{DC}$
– $U_{DC} = 0$; $\hat{U} = 3 \text{ V}$; $\varphi_{U0} = +35^\circ \leftrightarrow \hat{\varphi}_{U0} = +0,6109 \text{ rad}$
 $I_{DC} = 0$; $\hat{I} = 10 \text{ mA}$; $\varphi_{I0} = -40^\circ \leftrightarrow \hat{\varphi}_{I0} = -0,6981 \text{ rad}$
 $T = 1 \mu\text{s}$; $f = 1 / T = 1 \text{ MHz}$
- b) $\varphi_{U,I} = \varphi_{U0} - \varphi_{I0} = +75^\circ \leftrightarrow \hat{\varphi}_{U,I} = 1,309 \text{ rad}$ 2
- c) $\varphi_{U,I} = \varphi_Z > 0 \rightarrow \text{VZP ist ohmsch-induktiv: } \underline{Z} = R + j\omega L$ 5

Lsg-Abb. 1.2:
Ersatz-Reihenschaltung VZP

– weiter auf dem nächsten Blatt –

1 Periodische Signal (fortgesetzt)

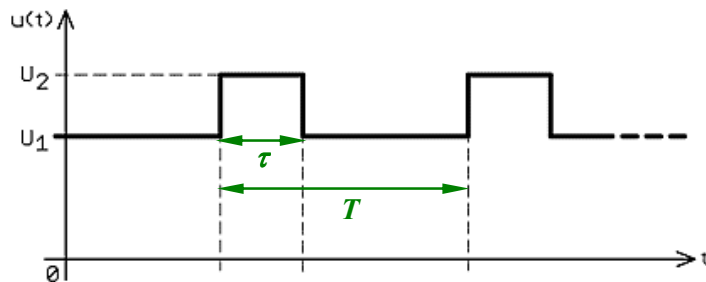
$$\underline{Z} = Z \cdot \exp\{j\varphi_Z\} = \frac{\hat{U}}{\hat{I}} \cdot \exp\{+j80^\circ\} = \frac{2 \text{ V}}{7 \text{ mA}} \exp\{+j80^\circ\}$$

$$\underline{Z} = 285,7 \Omega \cdot \exp\{+j80^\circ\} = \underbrace{49,61 \Omega}_R + \underbrace{j281,4 \Omega}_{+j\omega L = +jX_L}$$

$$\underline{R} = 49,61 \Omega; \underline{L} = \frac{X_L}{\omega} = \frac{281,4 \Omega}{2\pi \cdot 160 \cdot 10^3} \text{ H} = 279,9 \mu\text{H}$$

$$\text{d) } \underline{P} = U \cdot I \cdot \cos\varphi_Z = \frac{\hat{U} \cdot \hat{I}}{2} \cdot \cos\varphi_Z = \frac{2 \text{ V} \cdot 7 \text{ mA}}{2} \cdot \cos(+80^\circ) = \underline{\underline{1,216 \text{ mW}}} \quad 3$$

II Rechteckschwingung



Lsg-Abb. 1.3

$$\text{e) } - \underline{V_T} = \tau / T \quad (\text{allg.}) \quad 5$$

$$- U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t^*}^{t^*+T} u^2(t) dt} \quad (\text{allg.})$$

$$U^2 \cdot T = U_2^2 \cdot \tau + U_1^2 \cdot (T - \tau) = U^2 \cdot T \quad | : T; \sqrt{\quad}$$

$$\underline{U} = \sqrt{(U_2^2 - U_1^2) \cdot V_T + U_1^2}$$

$$\text{f) } - \underline{V_T} = 1/3; \underline{U} = \sqrt{(4^2 - 3^2) \cdot 1/3 + 3^2} \text{ V} = \underline{\underline{3,367 \text{ V}}} \quad 3$$

$$- \underline{P} = \frac{U^2}{R} = \frac{3,367^2}{50} \text{ W} = \underline{\underline{226,7 \text{ mW}}}$$

2 Netzwerke bei veränderlicher Frequenz

25

I Übertragungsfunktion

$$\text{a) } \underline{U}_2; \underline{U}_1 \text{ in Phase} \rightarrow \text{„Nullsetzen des Imaginärteils“} \quad 6$$

Gilt für $\underline{F}_u(j\omega) = 1 / \underline{D}_u(j\omega)$; man verwendet deshalb zur Verringerung des mathematischen Aufwands hier die Dämpfungsfunktion:

$$\text{Im} \left\{ 1 + \frac{R1}{R2} + \frac{C2}{C1} + j \left(\omega_1 \cdot R1 \cdot C2 - \frac{1}{\omega_1 \cdot R2 \cdot C1} \right) \right\} = 0$$

$$\omega_1 \cdot R1 \cdot C2 - \frac{1}{\omega_1 \cdot R2 \cdot C1} = 0$$

$$\underline{\underline{\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{R1 \cdot C2 \cdot R2 \cdot C1}}}}}$$

$$\text{b) } \underline{\underline{\omega_2 = \frac{1}{R \cdot C}}} \quad 2$$

$$\text{c) } \text{Im} = 0 \rightarrow |\underline{F}_u(j\omega)| = \text{Re}; \text{ hier ist } \text{Re} \neq f(\omega): \quad 4$$

$$|\underline{F}_u(j\omega_1)| = \frac{1}{1 + \frac{R1}{R2} + \frac{C2}{C1}}; \quad |\underline{F}_u(j\omega_2)| = \frac{1}{1 + \frac{R}{R} + \frac{C}{C}} = \frac{1}{3}$$

$$\underline{\underline{|\underline{F}_u(j\omega_2)| \text{ (dB)} = 20 \cdot \lg \frac{1}{3} \text{ dB} = -9,542 \text{ dB}}}$$

II Reihenschwingkreis (RSK) als Zweipol

$$\text{d) } \underline{\underline{\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{\sqrt{100 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^{-6}}} \text{ s}^{-1} = 3,162 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}}} \quad 2$$

$$\text{e) } \text{RSK wirkt bei } \omega_0 \text{ rein ohmsch (Resonanz; } Z = R): \quad 3$$

$$\underline{\underline{U_C}} = I \cdot |X_C| = \frac{U}{R} \cdot \frac{1}{\omega_0 \cdot C} = \frac{10}{15} \cdot \frac{1}{3,162 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} \text{ V} = \underline{\underline{210,8 \text{ V}}}$$

$U_C(\omega_0) \gg U$: Resonanzüberhöhung der Spannungen

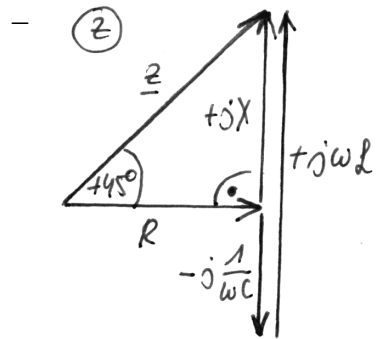
2 Netzwerke bei veränderlicher Frequenz (fortgesetzt)

f) – ω^* mit $P^* = P_{\max} / 2 \rightarrow$ Grenz-Kreisfrequenz; hier: 8

$\omega_{gu} < \omega_0 < \omega_{go} \rightarrow \omega^*$ ist obere Grenz - Kreisfrequenz ω_{go}

$$(+j\omega_{go}L) > \left| -j\frac{1}{\omega_{go}C} \right| ; \varphi_Z(\omega_{go}) = +45^\circ$$

RSK wirkt bei ω_{go} ohmsch-induktiv



Lsg-Abb. 2.1:
Zeigerdiagramm
für ω_{go} ; $\varphi_Z = +45^\circ$
(ohmsch-induktiv)

– $R = X \rightarrow R = \omega_{go}L - \frac{1}{\omega_{go}C}$ (Beträge)

$$\begin{aligned} \omega_{go}^2 \cdot L - \omega_{go} \cdot R - \frac{1}{C} &= 0 \\ \omega_{go}^2 - \omega_{go} \cdot \frac{R}{L} - \frac{1}{L \cdot C} &= 0 \end{aligned} \quad (\text{mit } \omega_{go} > 0)$$

3 BODE-Diagramm

25

a) 1. Ordnung, da 1 Energiespeicher (L). 1

b) Hochpass-Eigenschaft: $\omega \uparrow \rightarrow \omega L \uparrow \rightarrow U_2 \uparrow$ ($U_1 = \text{konst.}$) 5

$\omega = 0$ L wirkt als Kurzschluss, VP unbelastet: $U_2 = U_1$

$$|\underline{F}_u(0)| = \frac{R_2}{R_1 + R_2} < 1; |\underline{F}_u(0)| \text{ (dB)} < 0 \text{ dB}; \varphi(0) = 0$$

$\omega \rightarrow \infty$ L wirkt als Unterbrechung:

$$|\underline{F}_u(\infty)| = 1; |\underline{F}_u(\infty)| \text{ (dB)} = 0 \text{ dB}; \varphi(\infty) = 0$$

c) Siehe Lsg-Abb. 3 auf dem nächsten Blatt rechts 7

Nicht verlangt: Überlegungen mit den Ergebnissen aus b)

I. Zum Amplitudengang:

– System 1. Ordnung: Flankensteilheit $|20 \text{ dB/Dek.}|$, hier $+20 \text{ dB/Dek.}$ mit zunehmendem ω (HP).

– $|\underline{F}_u(0)| \text{ (dB)} < 0 \text{ dB}$, endlich: flach (Sperrbereich bis 1. Eckfrequenz ω_N), dann $+20 \text{ dB/Dek.}$ (HP).

– $|\underline{F}_u(\infty)| = 0 \text{ dB}$; es existiert eine 2. Eckfrequenz ($\omega_P > \omega_N$), die die Flankensteilheit wieder auf 0 reduziert (flach im Durchlassbereich oberhalb ω_P).

– $\omega_P / \omega_N = 10^3 \rightarrow 3 \text{ Dekaden}$, d.h. $|\Delta \underline{F}_u| \text{ (dB)} = 60 \text{ dB} \rightarrow |\underline{F}_u(0)| = -60 \text{ dB}$ (Übergangsbereich Sperr- / Durchlassbereich).

– Näherungsfunktion Amplitudengang: „Knick“ bei den Eckfrequenzen.

II. Zum Phasengang:

– System 1. Ordnung: $\Delta \varphi_{\max} = \pm 90^\circ$.

– $\varphi(0) = 0$: beginnt „flach“ (Sperrbereich); tendiert zu $+90^\circ$ (HP).

– $\varphi(\infty) = 0$: bei hohen Frequenzen wieder flach.

– Näherungsfunktion Phasengang: $\varphi = \pm 45^\circ$ bei den Eckfrequenzen, hier $+45^\circ$ wegen $+20 \text{ dB/Dek.}$ (HP); „Knick“ 1 Dek. davor und danach.

– **Hinweis:** das „+“ resultiert aus der HP-Eigenschaft, *nicht* aus L !

– weiter auf dem nächsten Blatt –

3 BODE-Diagramm (fortgesetzt 1)

$$d) \quad \underline{F}_u(j\omega) = \frac{R2 + j\omega L}{(R1 + R2) + j\omega L} \quad 3$$

$$e) \quad \text{Allg.:} \quad |\underline{F}_u(j\omega)| = \sqrt{\frac{A^2 + B^2}{C^2 + D^2}} \quad 5$$

$$\omega = 0: \quad |\underline{F}_u(0)| = \frac{R2}{R1 + R2} < 1; \quad |\underline{F}_u(0)| \text{ (dB)} < 0 \text{ dB}; \quad \varphi(0) = 0$$

$$\omega \rightarrow \infty: \quad |\underline{F}_u(\infty)| = \sqrt{\frac{R2^2 + \omega^2 L^2}{(R1 + R2)^2 + \omega^2 L^2}} \cdot \frac{\omega^2}{\omega^2}$$

$$|\underline{F}_u(\infty)| = \sqrt{\frac{\frac{R2^2}{\omega^2} + L^2}{\frac{(R1 + R2)^2}{\omega^2} + L^2}} = \sqrt{\frac{0 + L^2}{0 + L^2}}$$

$$|\underline{F}_u(\infty)| = 1; \quad |\underline{F}_u(\infty)| \text{ (dB)} = 0 \text{ dB}; \quad \varphi(\infty) = 0$$

$$f) \quad \text{Aus Diagramm:} \quad \omega_P / \omega_N = 1\,000; \quad \omega_N = 1 \text{ s}^{-1}; \quad 4$$

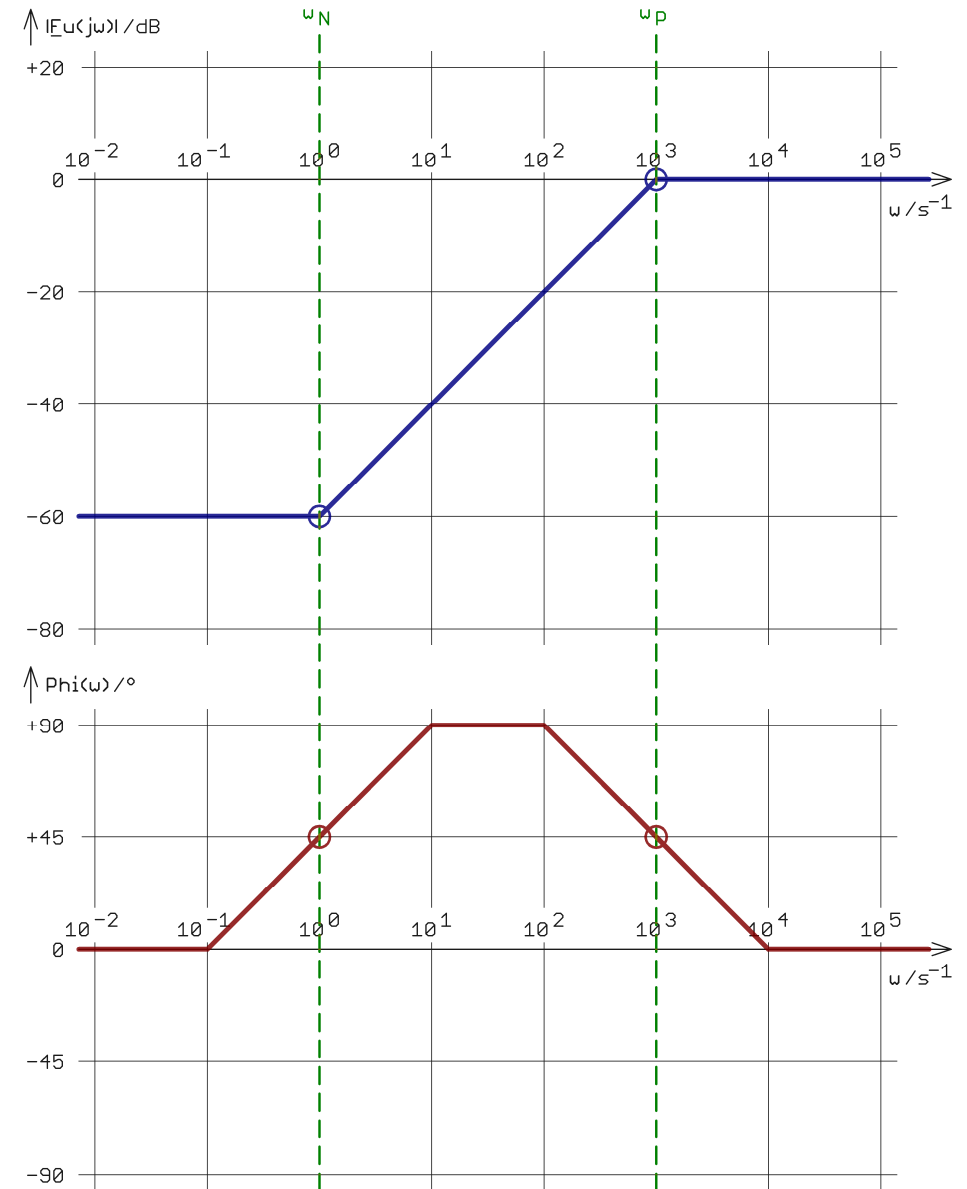
$$\text{aus c):} \quad |\underline{F}_u(\infty)| \text{ (dB)} - |\underline{F}_u(0)| \text{ (dB)} = +60 \text{ dB} \hat{=} 1\,000$$

$$\frac{|\underline{F}_u(\infty)|}{|\underline{F}_u(0)|} = \frac{1}{\frac{R2}{R1 + R2}} = \frac{R1 + R2}{R2} = 1\,000$$

$$\underline{R1} = 999 \cdot \underline{R2} = \underline{99,9 \, \Omega}$$

$$\underline{\omega_N} = \frac{R2}{L} \rightarrow \underline{L} = \frac{R2}{\omega_N} = \frac{0,1}{1} \text{ H} = \underline{100 \text{ mH}}$$

3 BODE-Diagramm (fortgesetzt 2)



Lsg-Abb. 3: BODE-Diagramm – Näherungsfunktionen

4 Drehstrommotor**25**

Betrieb an 230/400 V; 50 Hz

- a) In Δ; $I_L = 8,5 \text{ A}$ („Kleine Spannung, großer Strom“). 3

(In Y: Strang wird zwar nicht überlastet, aber es fließt als Strangstrom statt des Bemessungsstroms von 4,9 A nur $4,9 \text{ A} / \sqrt{3} = 2,83 \text{ A}$, sodass die Bemessungsleistung nicht erbracht wird.)

- b)  *Lsg-Abb. 4: Ersatzschaltung Strang* 7

$$\underline{Z} = \frac{U_{\text{Str}}}{I_{\text{Str}}} = \frac{U_{\Delta}}{I_L / \sqrt{3}} = \frac{400 \text{ V}}{8,5 \text{ A} / \sqrt{3}} = \frac{400 \text{ V}}{4,9 \text{ A}} = \underline{81,63 \Omega}$$

$$\cos \varphi = 0,82 \rightarrow \varphi = \varphi_Z = +34,92^\circ \quad (,+\text{“: ohmsch-induktiv})$$

$$\underline{Z} = 81,63 \Omega \cdot e^{+j34,92^\circ} = 66,94 \Omega + j46,72 \Omega$$

$$\underline{R_{Cu}} = \text{Re}\{\underline{Z}\} = 66,94 \Omega$$

$$+jX_L = +j\text{Im}\{Z\}; \quad X_L = 46,72 \Omega$$

$$\underline{L} = \frac{X_L}{2\pi \cdot f} = \frac{46,72}{2\pi \cdot 50} \text{ H} = \underline{148,7 \text{ mH}}$$

- c) $P_{\text{ges}} = \sqrt{3} \cdot U_{\Delta} \cdot I_L \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 8,5 \cdot 0,82 \text{ VA} = \underline{4,829 \text{ kW}}$ 6

$$\varphi = \arccos(0,82) = 34,92^\circ; \quad \varphi^* = \arccos(0,95) = 18,19^\circ \quad (\varphi^* < \varphi \checkmark)$$

$$|Q_{C_{\text{ges}}}| = P_{\text{ges}} \cdot (\tan \varphi - \tan \varphi^*)$$

$$|Q_{C_{\text{ges}}}| = 4,829 \cdot \underbrace{(\tan 34,92^\circ - \tan 18,19^\circ)}_{0,3695} \text{ kvar}$$

$$\underline{|Q_{C_{\text{ges}}}| = 1,785 \text{ kvar}}$$

$$\underline{|Q_C|} = \frac{|Q_{C_{\text{ges}}}|}{3} = \underline{594,8 \text{ var}}$$

4 Drehstrommotor (fortgesetzt)

$$C = \frac{|Q_C|}{2\pi \cdot f \cdot U_C^2}; \quad \underline{C_{\Delta}} = \frac{|Q_C|}{2\pi \cdot f \cdot U_{\Delta}^2} = \frac{594,8}{2\pi \cdot 50 \cdot 400^2} \text{ F} = \underline{11,83 \mu\text{F}}$$

$$\underline{C_Y} = \frac{|Q_C|}{2\pi \cdot f \cdot U_Y^2} = \frac{594,8}{2\pi \cdot 50 \cdot 230^2} \text{ F} = \underline{35,79 \mu\text{F}}$$

$$\text{Probe: } C_{\Delta} / C_Y = 1/3 \checkmark$$

- d) $S^*_{\text{ges}} = \sqrt{3} \cdot U_{\Delta} \cdot I^*_L; \quad \cos \varphi^* = \frac{P_{\text{ges}}}{S^*_{\text{ges}}}$ 3

$$\underline{I^*_L} = \frac{S^*_{\text{ges}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\Delta}} = \frac{P_{\text{ges}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\Delta} \cdot \cos \varphi^*} = \frac{4,829 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,95} \text{ A} = \underline{7,337 \text{ A}}$$

$$(I^*_L < I_L \checkmark)$$

- e) Wirkleistung und damit auch Wirkungsgrad bleibt gleich: 3

$$\underline{\eta} = \frac{P_{\text{ab}}}{P_{\text{zu}}} = \frac{P_{\text{ab, mech}}}{P_{\text{zu, el}}} = \frac{4 \text{ kW}}{4,829 \text{ kW}} = \underline{0,8283 \hat{=} 82,83\%}$$

- f) Zugeschnittene Größengleichung: 3

$$\{M\}_{\text{Nm}} \cong 9\,550 \cdot \frac{\{P_{\text{ab, mech}}\} \text{ kW}}{\{n\}_{\text{min}}^{-1}}$$

$$\underline{\{M\}_{\text{Nm}}} \cong 9\,550 \cdot \frac{4,0}{1\,410} \text{ Nm} = \underline{27,1 \text{ Nm}}$$