

Aufgabe 1

1.

Aufgenommene elektrische Leistung im Nennbetrieb

Ankerkreis:

$$P_{A,N} = U_{A,N} \cdot I_{A,N} = 220 \text{ V} \cdot 21 \text{ A} = 4620 \text{ W}$$

Erregerkreis:

$$P_{E,N} = U_{E,N} \cdot I_{E,N} = 220 \text{ V} \cdot 1,14 \text{ A} = 250,8 \text{ W}$$

Gesamte Leistung:

$$P_i = P_{A,N} + P_{E,N} = 4620 \text{ W} + 250,8 \text{ W} = 4870,8 \text{ W}$$

Verluste im Nennbetrieb:

$$P_{V,N} = P_i - P_N = 4870,8 \text{ W} - 4000 \text{ W} = 870,8 \text{ W}$$

Wirkungsgrad im Nennbetrieb:

$$\eta_N = \frac{P_N}{P_i} \cdot 100\% = \frac{4000 \text{ W}}{4870,8 \text{ W}} \cdot 100\% \approx 82\%$$

2.

Ankerwiderstand über die Ankerverluste

$$P_{VA,N} = P_{A,N} - P_N = 4620 \text{ W} - 4000 \text{ W} = 620 \text{ W}$$

$$R_A = \frac{P_{VA,N}}{I_{A,N}^2} = \frac{620 \text{ W}}{(21 \text{ A})^2} = 1,41 \Omega$$

Induzierte Spannung im Nennbetrieb

$$U_{i,N} = U_{A,N} - R_A \cdot I_{A,N} = 220 \text{ V} - 1,41 \Omega \cdot 21 \text{ A} = 190,4 \text{ V}$$

oder:

$$U_{i,N} = \frac{P_{\text{mech},N}}{I_{A,N}} = \frac{P_N}{I_{A,N}} = \frac{4000 \text{ W}}{21 \text{ A}} = 190,5 \text{ V}$$

3.

Ideale Leerlaufdrehzahl: $U_{i,N} = C \cdot \Phi \cdot \Omega_N$ und $U_{i,0} = U_{A,N} = C \cdot \Phi \cdot \Omega_0$

$$\text{Somit} \quad \frac{\Omega_0}{\Omega_N} = \frac{U_{i,0}}{U_{i,N}} \quad \text{bzw.} \quad \frac{n_0}{n_N} = \frac{U_{i,0}}{U_{i,N}}$$

$$n_0 = n_N \cdot \frac{U_{i,0}}{U_{i,N}} = 1500 \text{ min}^{-1} \cdot \frac{220 \text{ V}}{190,5 \text{ V}} = 1732 \text{ min}^{-1}$$

Nenn Drehmoment:

$$M_N = \frac{P_N}{\Omega_N} = \frac{4000 \text{ W} \cdot 60 \text{ s min}^{-1}}{2 \cdot \pi \cdot 1500 \text{ min}^{-1}} = 25,5 \text{ Nm}$$

Mit Ersatzwerten $R_A = 1,6 \Omega$ und $U_N = 186,4 \text{ V}$

$$\text{ergibt sich} \quad n_0 = n_N \cdot \frac{U_{A,N}}{U_{i,N}} = 1500 \text{ min}^{-1} \cdot \frac{220 \text{ V}}{186,4 \text{ V}} = 1770 \text{ min}^{-1}$$

4. Anlauf der Gleichstrommaschine

Stillstand

$$R_i = R_A + R_{v1} + R_{v2} + R_{v3}$$

$$U_{A,N} = R_i \cdot I_{\text{max}} + C \cdot \Phi \cdot \Omega_{\text{Stillstand}} \quad \text{mit} \quad \Omega_{\text{Stillstand}} = 0 \quad \text{folgt} \quad U_{A,N} = R_i \cdot I_{\text{max}}$$

$$R_i = \frac{U_{A,N}}{I_{\text{max}}} = \frac{220 \text{ V}}{2 \cdot 21 \text{ A}} = 5,24 \Omega$$

Umschaltunkt bei Ω_2 :

$$U_{A,N} = R_i \cdot I_{\text{min}} + C \cdot \Phi \cdot \Omega_2$$

$$U_{A,N} = R_2 \cdot I_{\text{max}} + C \cdot \Phi \cdot \Omega_2$$

$$R_2 = R_A + R_{v1} + R_{v2}$$

$$\text{Somit ergibt sich} \quad \frac{R_2}{R_i} = \frac{I_{\text{min}}}{I_{\text{max}}} \quad R_2 = R_i \cdot \frac{I_{\text{min}}}{I_{\text{max}}} = 5,24 \Omega \cdot \frac{1,29 \cdot I_N}{2 \cdot I_N} = 3,38 \Omega$$

Umschaltunkt bei Ω_2 :

$$U_{A,N} = R_2 \cdot I_{\text{min}} + C \cdot \Phi \cdot \Omega_2$$

$$U_{A,N} = R_3 \cdot I_{\text{max}} + C \cdot \Phi \cdot \Omega_2$$

$$R_3 = R_A + R_{v1}$$

$$\text{Somit ergibt sich} \quad \frac{R_3}{R_2} = \frac{I_{\text{min}}}{I_{\text{max}}} \quad R_3 = R_2 \cdot \frac{I_{\text{min}}}{I_{\text{max}}} = 3,38 \Omega \cdot \frac{1,29 \cdot I_N}{2 \cdot I_N} = 2,18 \Omega$$

Umschaltunkt bei Ω_1 (zur Kontrolle):

$$\text{Es soll geprüft werden, ob} \quad \frac{R_A}{R_3} = \frac{I_{\text{min}}}{I_{\text{max}}} \quad R_A = R_3 \cdot \frac{I_{\text{min}}}{I_{\text{max}}} = 2,18 \Omega \cdot \frac{1,29 \cdot I_N}{2 \cdot I_N} = 1,41 \Omega$$

Die Vorwiderstände ergeben sich somit zu:

$$R_{v1} = R_3 - R_A = 2,18 \Omega - 1,41 \Omega = 0,77 \Omega$$

$$R_{v2} = R_2 - R_A - R_{v1} = R_2 - R_3 = 3,38 \Omega - 2,18 \Omega = 1,20 \Omega$$

$$R_{V3} = R_3 - R_A - R_{V1} - R_{V2} = R_1 - R_2 = 5,24\Omega - 3,38\Omega = 1,86\Omega$$

Mit Ersatzwerten $R_A = 1,6\Omega$; $I_{\min} = 1,35 \cdot I_N$; $I_{\max} = 2 \cdot I_N$ ergeben sich

$$R_1 = 5,24\Omega; R_2 = 3,53\Omega; R_3 = 2,38\Omega;$$

$$R_{V1} = 0,78\Omega; R_{V2} = 1,15\Omega; R_{V3} = 1,71\Omega.$$

5. Stufendrehzahlen

Allgemein gilt: $U_{A,N} = R \cdot I + C \cdot \Phi \cdot \Omega$

mit $C \cdot \Phi = \frac{U_{I,N}}{\Omega_N} = \frac{190,5 \text{ V} \cdot 60 \text{ s min}^{-1}}{2 \cdot \pi \cdot 1500 \text{ min}^{-1}} = 1,21 \text{ Vs}$

oder

$$C \cdot \Phi = \frac{M_N}{I_{A,N}} = \frac{25,5 \text{ Nm}}{21 \text{ A}} = 1,21 \text{ Vs}$$

Bei Ω_3 gilt: $U_{A,N} = R_1 \cdot I_{\min} + C \cdot \Phi \cdot \Omega_3$

und $\Omega_3 = \frac{U_{A,N} - R_1 \cdot I_{\min}}{C \cdot \Phi} = \frac{220 \text{ V} - 5,24\Omega \cdot 1,29 \cdot 21 \text{ A}}{1,21 \text{ Vs}} = 64,5 \text{ s}^{-1}$

Drehzahl n_3 : $n_3 = \frac{\Omega_3}{2 \cdot \pi} = \frac{39,4 \text{ s}^{-1}}{2 \cdot \pi} \cdot 60 \text{ s min}^{-1} = 616 \text{ min}^{-1}$

Bei Ω_2 gilt: $U_{A,N} = R_2 \cdot I_{\min} + C \cdot \Phi \cdot \Omega_2$

$$\Omega_2 = \frac{U_{A,N} - R_2 \cdot I_{\min}}{C \cdot \Phi} = \frac{220 \text{ V} - 3,38\Omega \cdot 1,29 \cdot 21 \text{ A}}{1,21 \text{ Vs}} = 106 \text{ s}^{-1}$$

Drehzahl n_2 : $n_2 = \frac{\Omega_2}{2 \cdot \pi} = \frac{106 \text{ s}^{-1}}{2 \cdot \pi} \cdot 60 \text{ s min}^{-1} = 1012 \text{ min}^{-1}$

Bei Ω_1 gilt: $U_{A,N} = R_3 \cdot I_{\min} + C \cdot \Phi \cdot \Omega_1$

$$\Omega_1 = \frac{U_{A,N} - R_3 \cdot I_{\min}}{C \cdot \Phi} = \frac{220 \text{ V} - 2,18\Omega \cdot 1,29 \cdot 21 \text{ A}}{1,21 \text{ Vs}} = 133 \text{ s}^{-1}$$

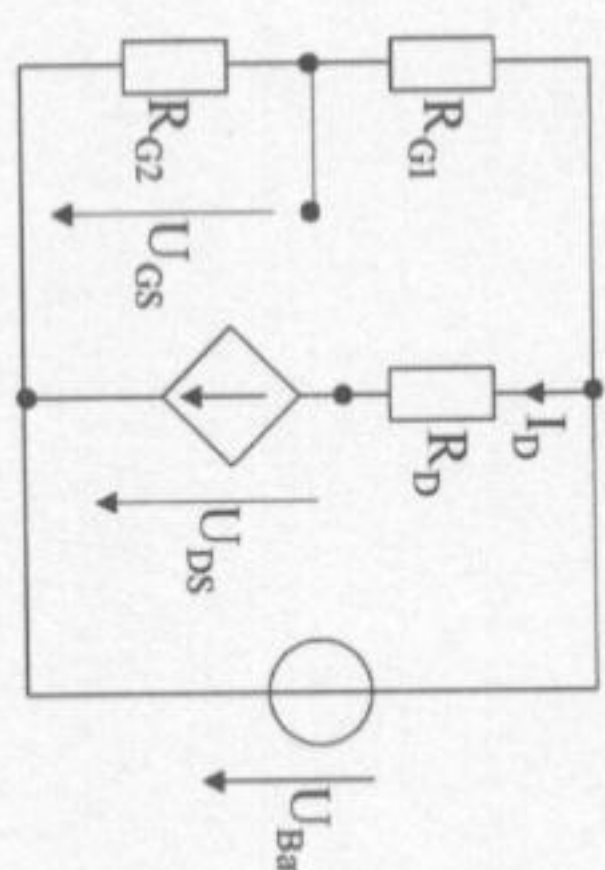
Drehzahl n_1 : $n_1 = \frac{\Omega_1}{2 \cdot \pi} = \frac{133 \text{ s}^{-1}}{2 \cdot \pi} \cdot 60 \text{ s min}^{-1} = 1267 \text{ min}^{-1}$

Mit Ersatzwerten $R_A = 1,6\Omega$; $I_{\min} = 1,35 \cdot I_N$; $I_{\max} = 2 \cdot I_N$ ergeben sich:

1. Widerstände	2. Drehzahlen
$R_1 = 5,24\Omega$; $R_2 = 3,53\Omega$; $R_3 = 2,38\Omega$; $R_{V1} = 0,78\Omega$; $R_{V2} = 1,15\Omega$; $R_{V3} = 1,71\Omega$.	$\Omega_3 = 60,2 \text{ s}^{-1}$; $n_3 = 575 \text{ min}^{-1}$; $\Omega_2 = 101 \text{ s}^{-1}$; $n_2 = 965 \text{ min}^{-1}$; $\Omega_1 = 128,5 \text{ s}^{-1}$; $n_1 = 1227 \text{ min}^{-1}$.

Aufgabe 2

1. Gleichstrom- Ersatzschaltbild



$$R_D = \frac{U_{\text{Bat}} - U_{DS}}{I_D} = \frac{24 \text{ V} - 12 \text{ V}}{10 \text{ mA}} = \frac{12 \text{ V}}{10 \text{ mA}} = 1200\Omega$$

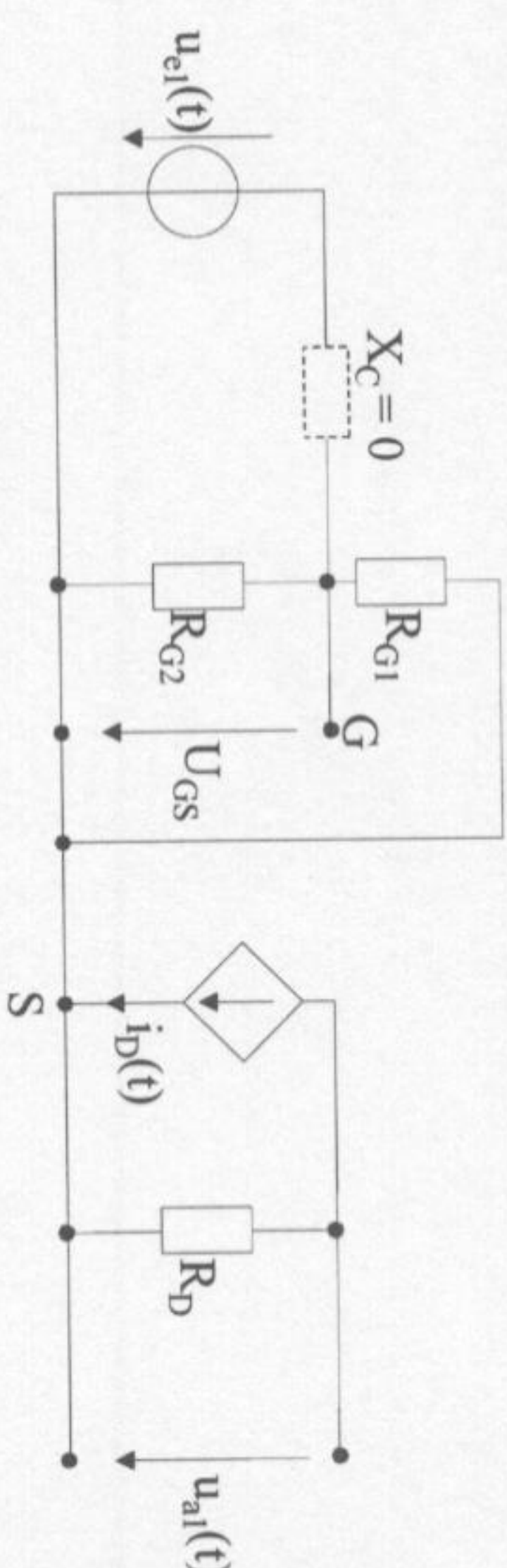
MOSFET als Verstärker $\Rightarrow$ Betrieb im Abschnürbereich!

Es gilt: $I_D = \frac{S}{2} \cdot (U_{GS} - U_{th})$

$$U_{GS} = \sqrt{\frac{2 \cdot I_D}{S}} + U_{th} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10 \text{ mA}}{30 \text{ mA/V}^2}} + 1,6 \text{ V} = 2,42 \text{ V}$$

2. Wechselstrom - Ersatzschaltbild

Mit $C_c \rightarrow \infty$ folgt $X_C = 0$



Eingangswiderstand

$$R_{ei} = \frac{R_{G1} \cdot R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} = 300 \text{ k}\Omega$$

$$\frac{U_{GS}}{U_{\text{Bat}}} = \frac{R_{G2}}{R_{G2} + R_{G1}} = \frac{2,42 \text{ V}}{24 \text{ V}} \approx 0,1$$

$$R_{ei} = R_{G1} \cdot 0,1 = 300 \text{ k}\Omega$$

$$\frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} = 0,1 \Leftrightarrow R_{G2} = 0,1 \cdot R_{G1} + 0,1 \cdot R_{G2}$$

$$R_{G1} = \frac{300 \text{ k}\Omega}{0,1} = 3 \text{ M}\Omega$$

$$R_{G2} = \frac{0,1}{0,9} \cdot R_{G1} = \frac{0,1}{0,9} \cdot 3 \text{ M}\Omega = 0,333 \text{ M}\Omega$$

Steilheit: $G = S \cdot |U_{GS} - U_{th}| = 30 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2} \cdot |2,42 \text{ V} - 1,6 \text{ V}| = 24,6 \text{ mS}$

Mit Ersatzwerten: selbe Ergebnisse wie oben!

3. Spannungsverstärkung: $V_{u1} = \frac{\hat{u}_{a1}}{\hat{u}_{e1}}$

Ausgangsspannung: $u_{a1}(t) = -R_D \cdot i_D(t)$ bzw.: $\hat{u}_{a1} = -R_D \cdot \hat{i}_D$

Transistorgleichung: $i_D(t) = G \cdot u_{GS}(t) = G \cdot u_{e1}(t)$ bzw.: $\hat{i}_D = G \cdot \hat{u}_{e1}$

Spannungsverstärkung: $V_{u1} = \frac{-R_D \cdot G \cdot \hat{u}_{e1}}{\hat{u}_{e1}} = -R_D \cdot G = -1200 \Omega \cdot 24,6 \text{ mS} = -29,5$

Ausgangswiderstand: direkt aus dem ESB:

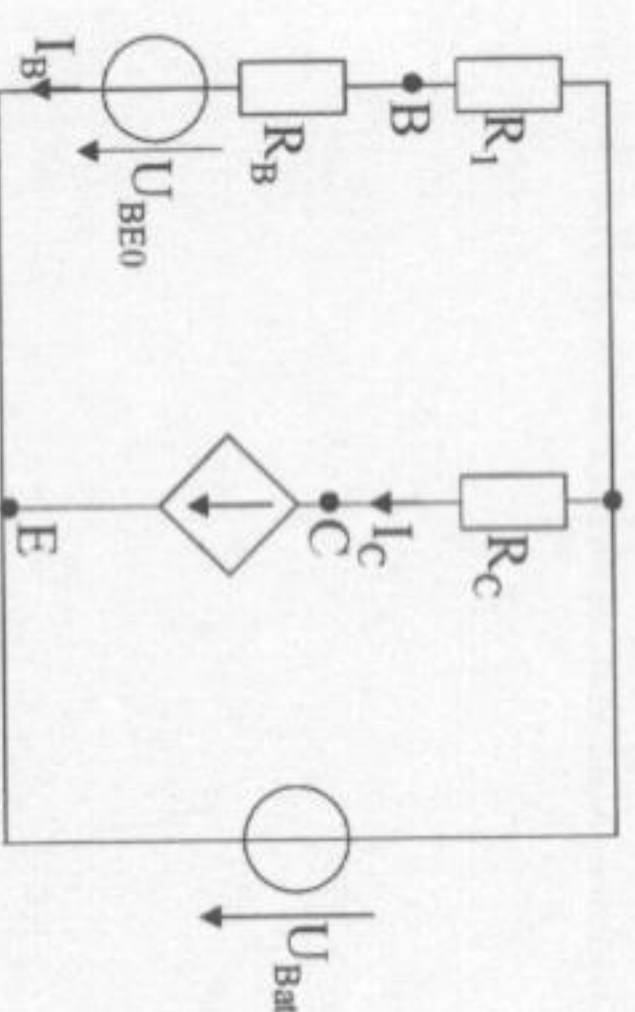
$$R_{a1} = R_D = 1200 \Omega$$

Anmerkung: Der Eingangswiderstand der zweiten Stufe wird nicht betrachtet!

Mit Ersatzwerten: $V_{u1} = -R_D \cdot G = -1,25 \text{ k}\Omega \cdot 25 \text{ mS} = -31,25$

$$R_{a1} = R_D = 1,25 \text{ k}\Omega$$

4. Gleichstrom - ESB der Bipolartransistor-Verstärkerstufe



$$R_C = \frac{U_{Bat} - U_{CE}}{I_C} = \frac{24 \text{ V} - 12 \text{ V}}{240 \text{ mA}} = \frac{12 \text{ V}}{240 \text{ mA}} = 50 \Omega$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{240 \text{ mA}}{160} = 1,5 \text{ mA}$$

$$R_1 \cdot I_B + R_B \cdot I_B + U_{BE0} = U_{Bat}$$

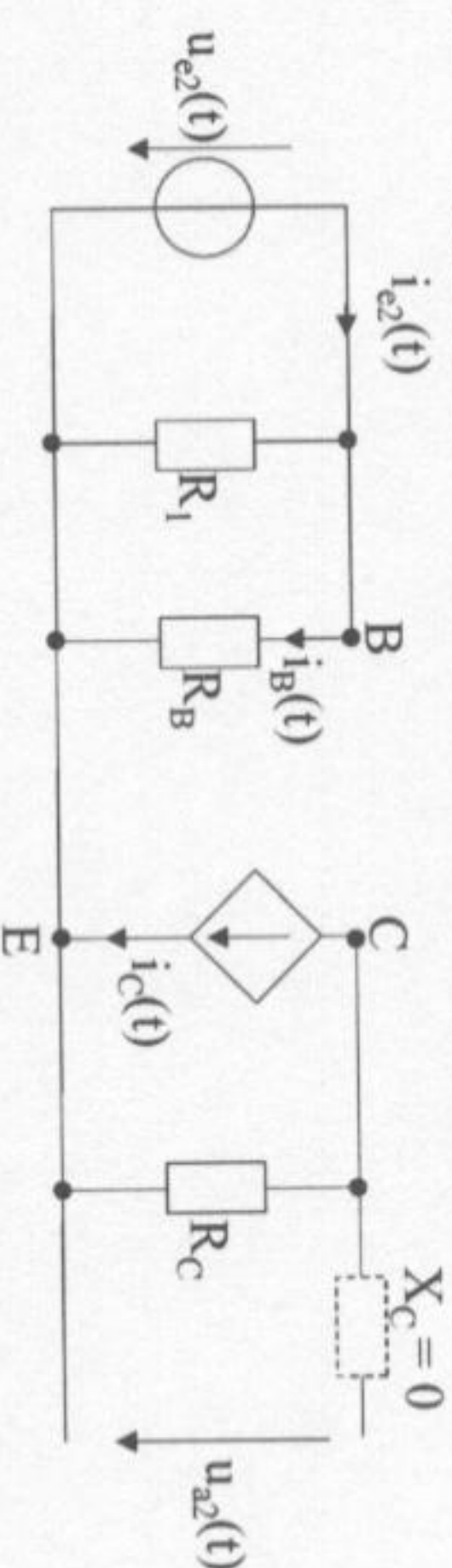
$$R_1 = \frac{U_{Bat} - U_{BE0} - R_B \cdot I_B}{I_B} = \frac{24 \text{ V} - 0,56 \text{ V}}{1,5 \text{ mA}} - 200 \Omega = 15,43 \text{ k}\Omega$$

Zwei Punkte für die Arbeitsgerade:

1. $U_{CE} = 0$ $I_C = \frac{U_{Bat}}{R_C} = \frac{24 \text{ V}}{50 \Omega} = 480 \text{ mA}$

2. $U_{CE} = U_{Bat}$ $I_C = 0$

5. Wechselstrom - ESB der zweiten Verstärkerstufe



Eingangswiderstand: $R_{e2} = \frac{R_1 \cdot R_B}{R_1 + R_B} = \frac{15430 \Omega \cdot 200 \Omega}{15430 \Omega + 200 \Omega} = 197 \Omega$

Stromverstärkung: $V_{i2} = \frac{\hat{i}_C}{\hat{i}_B} \approx \frac{\hat{i}_C}{\hat{i}_B} = \beta = B = 160$ ($R_1 \gg R_B$)

Spannungsverstärkung: $V_{u2} = \frac{\hat{u}_2}{\hat{u}_{e2}}$

Ausgangsspannung: $u_{a2}(t) = -R_C \cdot i_C(t)$ bzw.: $\hat{u}_{a2} = -R_C \cdot \hat{i}_C$

Es ist: $\hat{i}_C = \beta \cdot \hat{i}_B$ mit $\hat{i}_B = \frac{\hat{u}_{e2}}{R_B}$

Somit ist: $V_{u2} = \frac{-R_C \cdot \beta \cdot \hat{u}_{e2}}{R_B \cdot \hat{u}_{e2}} = \frac{-R_C \cdot \beta}{R_B} = \frac{-50 \Omega}{200 \Omega} \cdot 160 = -40$

Leistungsverstärkung: $V_{P2} = |V_{u2} \cdot V_{i2}| = |-40 \cdot 160| = 6400$

Mit Ersatzwerten: $R_{e2} = 197,5 \Omega$

$$V_{u2} = -36$$

$$V_{P2} = 36 \cdot 160 = 5760$$

Aufgabe 3

3.1. b	3.11. c
3.2. b	3.12. b
3.3. c	3.13. a
3.4. a	3.14. b
3.5. c	3.15. c
3.6. c	3.16. c
3.7. b	3.17. c
3.8. c	3.18. b
3.9. b	3.19. b
3.10. a	3.20. c