

Musterlösung zur Klausur

Technische Informatik II

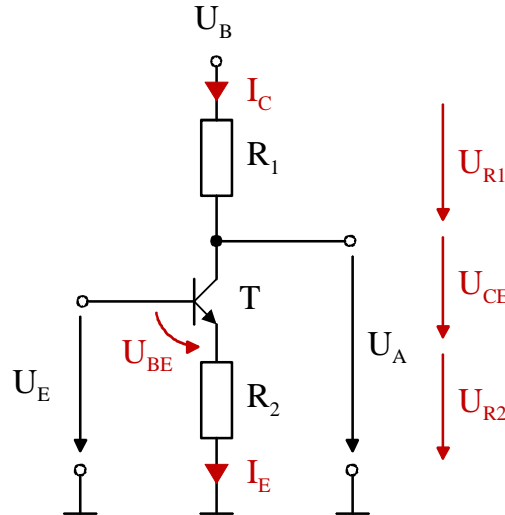
vom 6. 3. 2002

IDA
6. 3. 2002

II-1 TRANSISTORSCHALTUNG

- a) Bei einer Eingangsspannung von $U_E = 6\text{ V}$ soll ein Kollektorstrom $I_C = 3\text{ mA}$ fließen. Dimensionieren Sie R_2 und bestimmen Sie den Wert der Ausgangsspannung U_A .

2



Der Spannungsumlauf am Eingangskreis liefert:

$$U_E = U_{BE} + U_{R_2} = U_{BE} + I_E \cdot R_2$$

Nach R_2 aufgelöst ergibt sich:

$$R_2 = \frac{U_E - U_{BE}}{I_E} = \frac{U_E - U_{BE}}{I_C} = \frac{6\text{V} - 0,7\text{V}}{3\text{mA}} \approx 1,8\text{k}\Omega \quad | \text{ mit } I_C = I_E \text{ (} \alpha \approx 1 \text{)}$$

Für den Ausgangskreis gilt:

$$U_A = U_B - U_{R_1} = U_B - I_C \cdot R_1 = 20\text{V} - 3\text{mA} \cdot 3\text{k}\Omega = 11\text{V}$$

- b) Mit welchem Wert der Eingangsspannung U_E wird der Transistor in die Sättigung gebracht ($U_{CE,SAT} = 0,1\text{ V}$)?

4

Der Spannungsumlauf im Ausgangskreis ergibt:

$$U_B = U_{R_1} + U_{CE} + U_{R_2} = I_C \cdot R_1 + U_{CE} + I_E \cdot R_2 \quad (1)$$

Mit $I_C = I_E$ läßt sich der Ausdruck wie folgt umsetzen:

$$U_B = U_{CE} + I_E \cdot (R_1 + R_2) \quad \text{oder} \quad I_E = \frac{U_B - U_{CE}}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

Als Spannungsumlauf im Eingangskreis gilt:

$$U_E = I_E \cdot R_2 + U_{BE} \quad (3)$$

(2) in (3) eingesetzt liefert eine Beziehung für U_E :

$$U_E = \frac{U_B - U_{CE}}{\frac{R_1}{R_2} + 1} + U_{BE} \quad (4)$$

Für $U_{E,SAT}$ gilt entsprechend:

$$U_{E,SAT} = \frac{U_B - U_{CE,SAT}}{\frac{R_1}{R_2} + 1} + U_{BE} = \frac{20V - 0,1V}{\frac{3k\Omega}{1,8k\Omega} + 1} + 0,7V \approx 8,2V \quad (5)$$

- c) Berechnen Sie den Eingangswiderstand der Schaltung für das Großsignal. Dazu soll die Stromverstärkung mit $B = 100$ und die Eingangsspannung mit $U_E = 6\text{ V}$ angenommen werden. 2

Mit $I_E = I_B \cdot B$ folgt:

$$R_{EIN} = \frac{U_E}{I_B} = \frac{U_E}{I_E} \cdot B$$

Für $U_E = 6\text{ V}$ gilt $I_E = I_C = 3\text{ mA}$ (Aufgabenteil a)):

$$R_{EIN} = \frac{U_E}{I_E} \cdot B = \frac{6V}{3mA} \cdot 100 = 200k\Omega$$

- d) Bestimmen Sie den Wert der Kleinsignalverstärkung $A = \frac{u_a}{u_e}$ für $I_C = 3\text{ mA}$ und $U_T = 30\text{ mV}$. Gilt hier die Annahme, daß $R_2 \gg \frac{1}{S}$ ist? 3

Nach der aus der Vorlesung bekannten Formel für die Verstärkung der stromgegekoppelten Emitterschaltung gilt:

$$A = \frac{u_A}{u_E} = -\frac{R_1}{R_2 + \frac{U_T}{I_C}} = -\frac{3k\Omega}{1,8k\Omega + \frac{30mV}{3mA}} = -\frac{3k\Omega}{1,8k\Omega + 10\Omega} \approx -1,7$$

$\frac{U_T}{I_C}$ entspricht $\frac{1}{S}$. Mit $\frac{1}{S} = 10\Omega$ und $R_2 = 1,8k\Omega$ gilt $R_2 \gg \frac{1}{S}$:

$$A = -\frac{R_1}{R_2} = -\frac{3k\Omega}{1,8k\Omega} \approx -1,7$$

- e) Zeichnen Sie die Übertragungsfunktion $U_A = f(U_E)$. Benutzen Sie dabei tabellarisch folgende Eingangsspannungen: 4

$U_E = 0\text{ V}, 0,7\text{ V}, 2\text{ V}, 4\text{ V}, 6\text{ V}, 8\text{ V}$ und 10 V

Zwischen gesperrtem (für $U_E \leq 0,7\text{ V}$, siehe Eingangskennlinie) und gesättigtem Zustand (für $U_E \geq 8,2\text{ V}$, siehe Aufgabenteil b)) muß die Übertragungsfunktion gebildet werden.

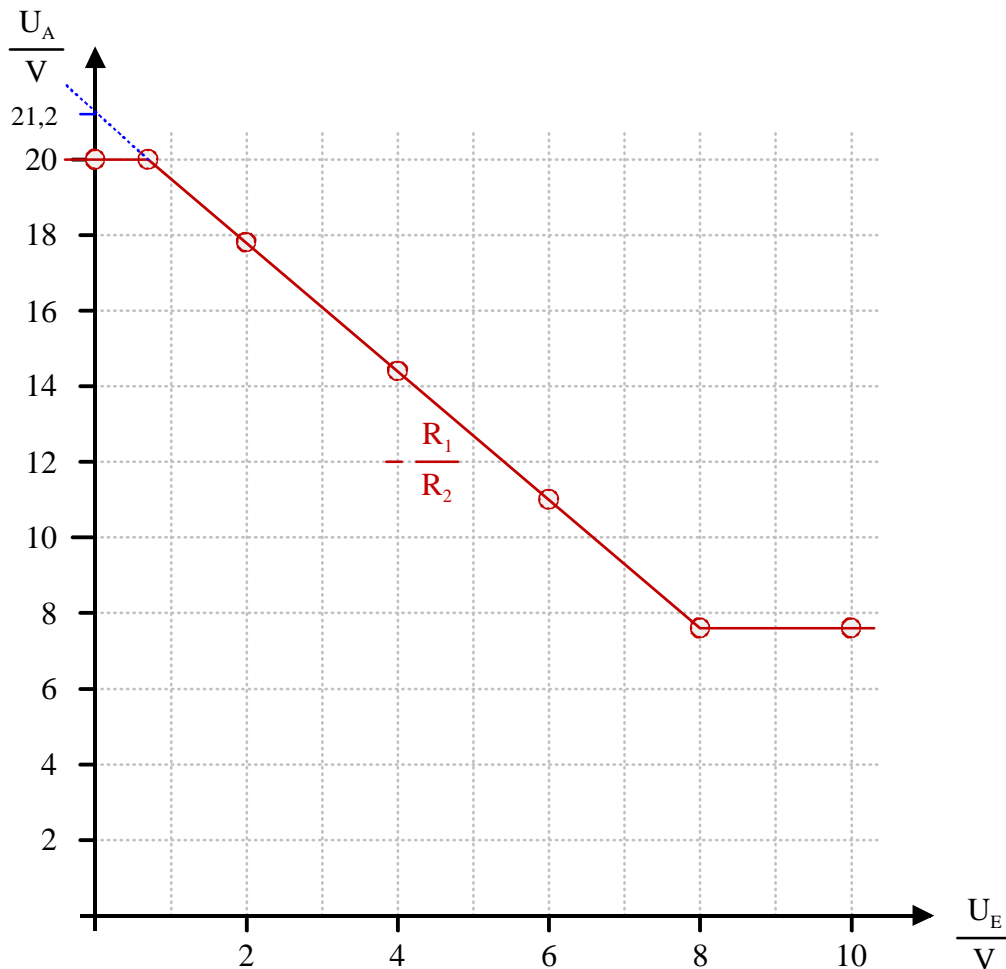
$$U_E = U_{BE} + I_E \cdot R_2$$

$$U_A = U_B - I_C \cdot R_1$$

Mit $I_C = I_E$ läßt sich nach U_A auflösen:

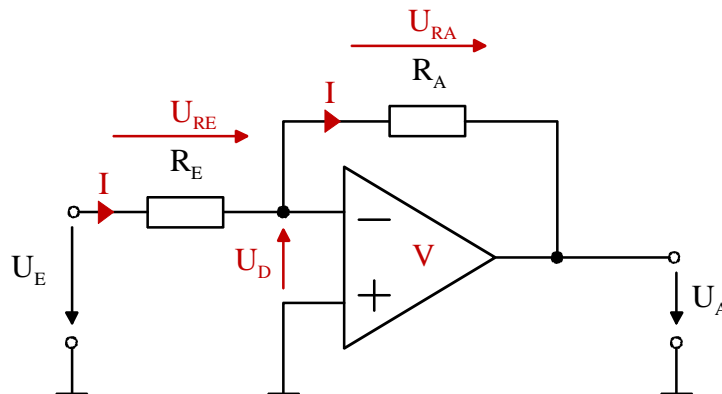
$$U_A = U_B + (U_E - U_{BE}) \cdot -\frac{R_1}{R_2} = 20V + (U_E - 0,7V) \cdot -\frac{3k\Omega}{1,8k\Omega} \approx 21,2V - 1,7 \cdot U_E$$

$\frac{U_E}{V}$	$\frac{U_A}{V}$	Bemerkung
0,0	20,0	Transistor im gesperrten Zustand
0,7	20,0	Transistor im gesperrten Zustand
2,0	17,8	
4,0	14,4	
6,0	11,0	Aufgabenteil a)
8,0	7,6	
10,0	7,6	Transistor gesättigt ($U_{CE,SAT} = 0,1 V$)



II-2 OPERATIONSVERSTÄRKER

a) Leiten Sie die Übertragungsfunktion $U_A = f(U_E)$ allgemein her ($V_{OP} \neq \infty$). 2



Herleitung siehe Übungsaufgabe 8:

$$\frac{U_A}{U_E} = - \frac{R_A}{R_E + \frac{R_E + R_A}{V_{OP}}}$$

b) Wie vereinfachte sich die Übertragungsfunktion, wenn der Operationsverstärker ideale Eigenschaften besäße ($V_{OP} = \infty$)? 1

$$\frac{U_A}{U_E} = - \frac{R_A}{R_E + \frac{R_E + R_A}{\infty}} = - \frac{R_A}{R_E}$$

c) Wie groß sind die Ein- und Ausgangswiderstände der Schaltung allgemein ($V_{OP} \neq \infty$)? 4

$$R_{AUS} = 0$$

$$R_{EIN} = \frac{U_E}{I} = R_E \cdot \frac{U_E}{U_{RE}} = R_E \cdot \frac{U_E}{U_E + U_D} = \frac{R_E}{1 + \frac{U_D}{U_E}} \quad (1)$$

$\frac{U_D}{U_E}$ kann z. B. durch $\frac{U_A}{U_E}$ aus Aufgabenteil a) und mit $U_D = \frac{U_A}{V_{OP}}$ berechnet werden:

$$\frac{U_D}{U_E} = \frac{1}{V_{OP}} \cdot \frac{U_A}{U_E} = \frac{1}{V_{OP}} \cdot \left(- \frac{R_A}{R_E + \frac{R_E + R_A}{V_{OP}}} \right) = - \frac{1}{\frac{R_E}{R_A} \cdot (1 + V_{OP}) + 1} \quad (2)$$

(2) in (1) eingesetzt liefert:

$$R_{EIN} = \frac{R_E}{1 - \frac{1}{\frac{R_E}{R_A} \cdot (1 + V_{OP}) + 1}} = R_E + \frac{R_A}{1 + V_{OP}} \quad (3)$$

Plausibilitätsprüfung für folgende zwei Annahmen:

- a) Für den idealen OP ($V_{OP} = \infty$) wäre

$$R_{EIN} = R_E \quad \checkmark$$

- b) $V_{OP} = 0$ (fiktive Annahme) bedeutete, daß $U_A = 0$ und U_D beliebig wären. Der Eingang sähe dann eine Serienschaltung von R_E und R_A :

$$R_{EIN} = R_E + R_A \quad \checkmark$$

- d) Es gelte: $R_A = 10 \text{ kW}$, $V_{OP} = 10^4$.

4

Wie groß müßte jeweils R_E gewählt werden, um betragsmäßige Schaltungsverstärkungen von 10 , 10^3 und 10^5 zu erhalten? Wie groß wäre die maximal erzielbare Verstärkung, wenn beide Widerstände frei gewählt werden könnten?

$$|V_{SCH}| = \left| \frac{U_A}{U_E} \right| = \frac{R_A}{R_E + \frac{R_E + R_A}{V_{OP}}} = \frac{V_{OP}}{\frac{R_E}{R_A} \cdot (V_{OP} + 1) + 1} \quad (1)$$

Nach R_E aufgelöst ergibt (ohne Zwischenrechnungen):

$$R_E = R_A \cdot \frac{\frac{V_{OP}}{|V_{SCH}|} - 1}{V_{OP} + 1} \quad (2)$$

$ V_{SCH} $	R_E	Bemerkung
10	$10\text{k}\Omega \cdot \frac{10^4 - 1}{10^4 + 1} \approx 1\text{k}\Omega$	$V_{OP} \gg V_{SCH}$
10^3	$10\text{k}\Omega \cdot \frac{10^4 - 1}{10^4 + 1} \approx 9\Omega$	
10^5	$10\text{k}\Omega \cdot \frac{10^4 - 1}{10^4 + 1} \approx -0,9\Omega$	Nicht möglich, da $V_{OP} < V_{SCH}$!

Nach (1) ergäbe sich die maximale Schaltungsverstärkung, wenn $\frac{R_E}{R_A}$ minimal würde:

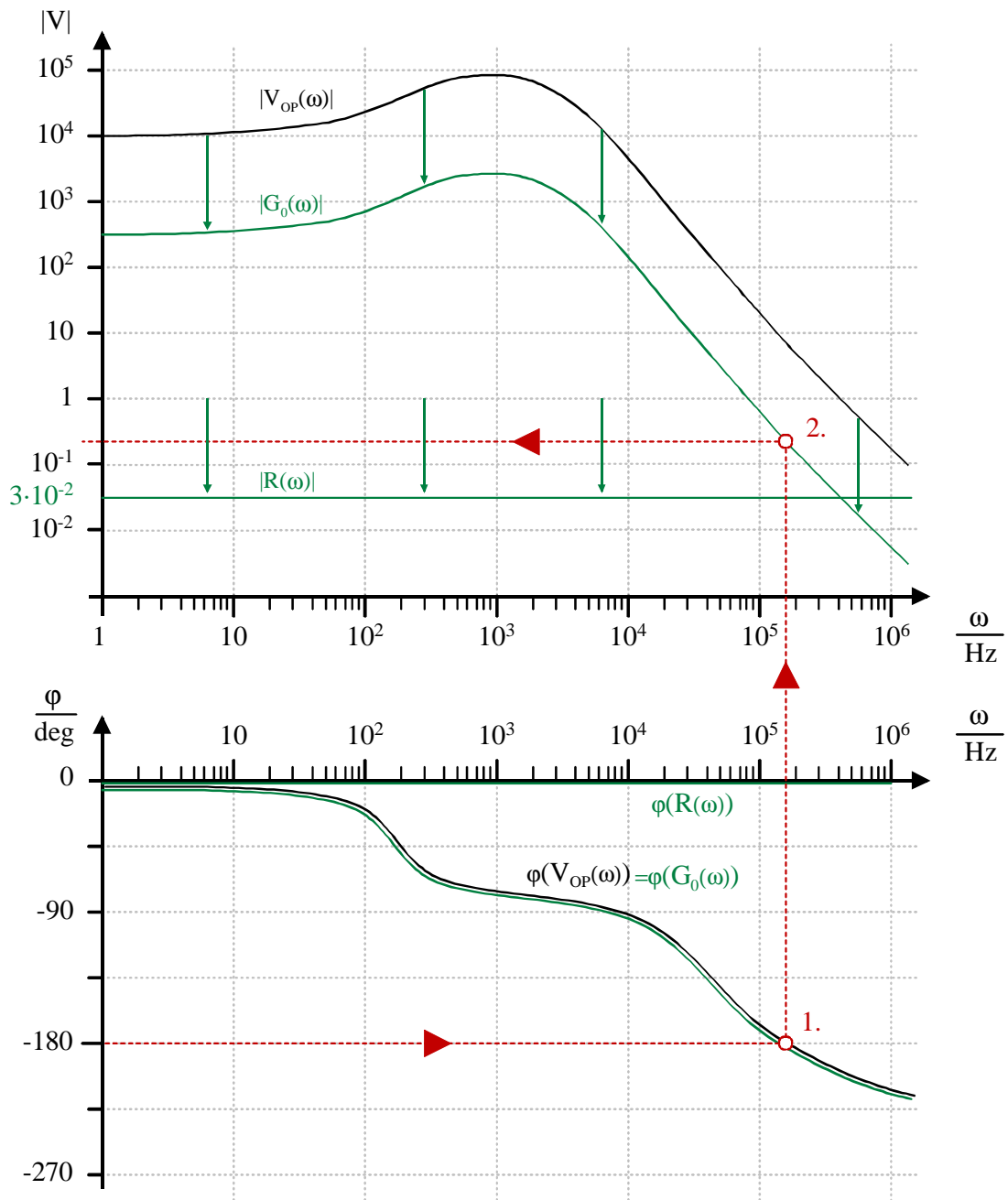
$$|V_{SCH}| = \frac{V_{OP}}{0 \cdot (V_{OP} + 1) + 1} = V_{OP}$$

e) Es gelte: $R_E = 10 \text{ k}\Omega$, $R_A = 300 \text{ k}\Omega$. Verstärkung und Phasenlage des Operationsverstärkers seien jetzt dem Bode-Diagramm in Bild 2-2 zu entnehmen. Das Eingangssignal U_E entstamme einer idealen Spannungsquelle.

Ermitteln und erklären Sie, ob die Schaltung stabil oder nicht stabil arbeitet. Tragen Sie dazu alle notwendigen Funktionen und Angaben in das Bode-Diagramm ein.

Das Rückkopplungsnetzwerk besteht aus dem Spannungsteiler mit R_E und R_A :

$$R(?) = \frac{R_E}{R_E + R_A} = \frac{10 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega + 300 \text{ k}\Omega} \approx 0,03 = 3 \cdot 10^{-2}$$



Der Verstärker arbeitet stabil, da die Schleifenverstärkung bei Phasenumkehr kleiner 1 ist!