

DHBW-MaEp ELMI Klausur 2018/12 R.Bayer MUSTERLÖSUNG r1.2.0

Klausur 2018/12 r120

TMT17SI1 Bayer

DHBW-MaEP ELMI

DHBW Mannheim-Eppelheim · TMT17SI1 Matrikel-Nr.: _____
 Elektronik und Mikrocontrollertechnik (ELMI) · Klausur 2018/12 · Bayer Blatt 1 / 11

Aufgabenblätter inkl. Deckblatt **11** **Anzahl Lösungsbogen** _____



DHBW Mannheim-Eppelheim
 Elektronik und Mikrocontrollertechnik (ELMI)
 TMT17SI1 Rev. 1.2.0 **Klausur 2018/12**

Dozent Dipl.-Ing. FH Rainer Bayer **Datum** 05.12.2018

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

Studienjahrgang TMT17SI1

Hilfsmittel Taschenrechner, Formelsammlung 1 Blatt **Zeit** 120 min

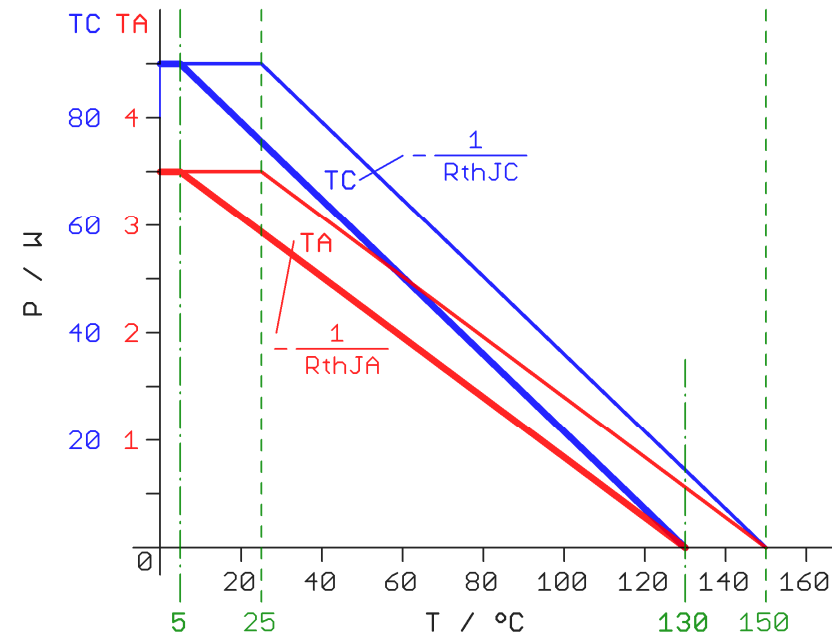
Bewertung Punktzahl 100% _____ Erreichte Punktzahl _____

Datum, Signum _____ Ergebnis _____

Aufg.	Thema	Blatt	a)	b)	c)	d)	e)	f)	Σ	
1	Leistung: Derating, Kühlung	2-3	4	2	2	4	4	6	22	
2	Z-Diode	4-5	2	6	4	10			22	
3	BJT als Schalter	6-7	2	12	2	6	2		24	
4	BJT als Kleinsignalverstärker	8-9	8	8	6	2	6		30	
5	OP-Schaltung	10	2	8	5	5			20	
	Anhang	11	E-Reihen IEC 60063							

Anmerkungen 118

1 Leistung: Derating, Kühlung



Lsg-Abb. 1.1

a) aus Afg-Abb. 1.1:

$\vartheta_{jmax} = 150^\circ\text{C} (P = 0)$

$R_{thJA} = \frac{\vartheta_{jmax} - \vartheta_{Knick}}{P_{max}} = \frac{(150 - 25)^\circ\text{C}}{3,5 \text{ W}} = 35,7 \text{ K/W}$

$R_{thJC} = \frac{\vartheta_{jmax} - \vartheta_{Knick}}{P_{max}} = \frac{(150 - 25)^\circ\text{C}}{90 \text{ W}} = 1,39 \text{ K/W}$

- b) – ϑ_{Knick} sinkt ebenfalls um 20 K (auf 5°C; die Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta$ bleibt jedoch konstant 125 K; dies entspricht einer Parallelverschiebung des Geradenabschnitts, der das Derating darstellt und durch das Intervall $[\vartheta_{Knick}; \vartheta_{jmax}$ bzw. $\vartheta_{Jzul}]$ definiert ist) 2
 – Die Wärmewiderstände ändern sich *nicht*

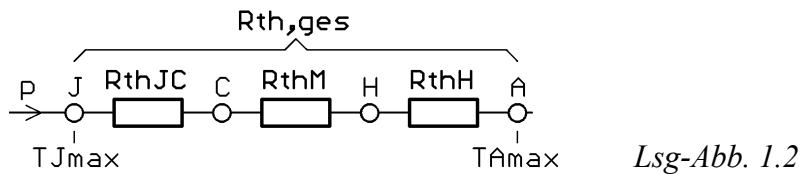
– weiter auf dem nächsten Blatt –

1 Leistungs-Derating, Kühlung (fortgesetzt)

c) vorgeg.: $R_{thJA} = 35 \text{ K/W}$; $\vartheta_{Jzul} = 130^\circ\text{C}$ geg: $\vartheta_{Amax} = 60^\circ\text{C}$ 2

$$P_{zul} = \frac{\vartheta_{Jzul} - \vartheta_{Amax}}{R_{thJA}} = \frac{(130 - 60)\text{K}}{35 \text{ K/W}} = \underline{2 \text{ W}}$$

d) 4



e) vorgeg.: $R_{thJC} = 1,4 \text{ K/W}$; $\vartheta_{Jzul} = 130^\circ\text{C}$ geg: $\vartheta_{Amax} = 60^\circ\text{C}$ 4

$$R_{th,ges} = \frac{\vartheta_{Jzul} - \vartheta_{Amax}}{P_{zul}} = \frac{(130 - 60)\text{K}}{25 \text{ W}} = \underline{2,8 \text{ K/W}}$$

$$R_{th,ges} = R_{thJC} + R_{thM} + R_{thH}$$

$$R_{thH} = R_{th,ges} - R_{thJC} - R_{thM}$$

$$R_{thH} = (2,8 - 1,4 - 0,2) \text{ K/W} = \underline{1,2 \text{ K/W}}$$

abgelesen aus Afg-Abb. 1.1: $l_1 = \underline{100 \text{ mm}}$

f) abgelesen aus Afg-Abb. 1.3: $a = \underline{0,4}$

vorgeg.: $R_{thH}(0) = 1,3 \text{ K/W}$

$$a = \frac{R_{thH}(v)}{R_{thH}(0)} \rightarrow$$

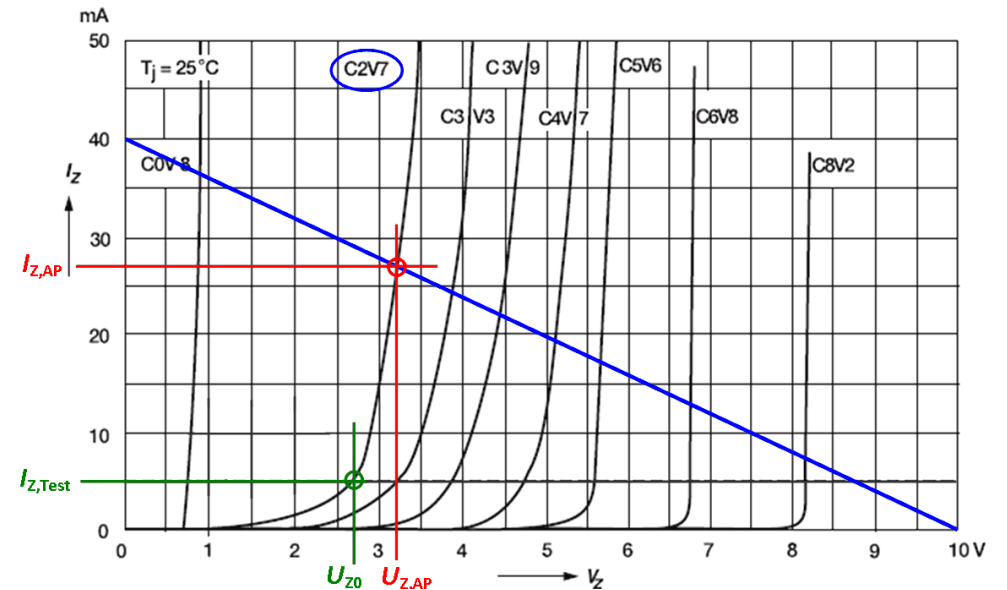
$$R_{thH}(v) = a \cdot R_{thH}(0) = 0,4 \cdot 1,3 \text{ K/W} = \underline{0,52 \text{ K/W}}$$

$$R_{th,ges} = R_{thJC} + R_{thM} + R_{thH}(v) = (1,4 + 0,2 + 0,52) \text{ K/W}$$

$$R_{th,ges} = \underline{2,12 \text{ K/W}}$$

$$P_{zul} = \frac{\vartheta_{Jzul} - \vartheta_{Amax}}{R_{th,ges}} = \frac{(130 - 60)\text{K}}{2,12 \text{ K/W}} = \underline{33 \text{ W}}$$

2 Z-Diode

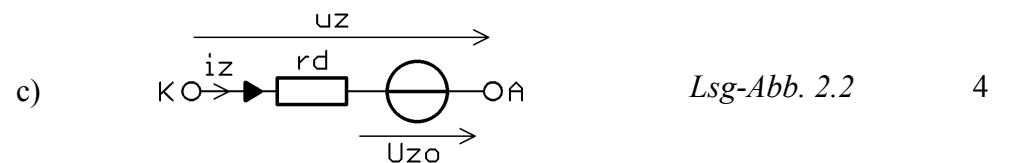


Lsg-Abb. 2.1

a) aus Afg-Abb. 2.1: $I_{Z,Test} = 5 \text{ mA}$ ($U_Z = U_{Z0} = 2,7 \text{ V}$) 2

b) $U_{Z|IZ=0} = U_0 = 10 \text{ V}$; $I_{Z|UZ=0} = \frac{U_0}{R_V} = \frac{10 \text{ V}}{250 \Omega} = \underline{40 \text{ mA}}$ 6

s. Lsg-Abb. 3.1: $AP = (3,2 \text{ V} | 27 \text{ mA})$



2 Z-Diode (fortgesetzt)

$$d) \quad R_D = \frac{U_{Z,AP}}{I_{Z,AP}} = \frac{5,25 \text{ V}}{35 \text{ mA}} = \underline{150,0 \Omega} \quad 10$$

$$r_d = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z} = \frac{U_{Z,AP} - U_{Z,Nenn}}{I_{Z,AP} - 0} = \frac{(5,25 - 4,7) \text{ V}}{35 \text{ mA}} = \underline{15,71 \Omega}$$

$$P_{ZD} = I_{Z,AP}^2 \cdot R_D + \frac{\hat{I}^2}{2} \cdot r_d$$

$$P_{ZD} = (35 \text{ mA})^2 \cdot 150,0 \Omega + \frac{(10 \text{ mA})^2}{2} \cdot 15,71 \Omega$$

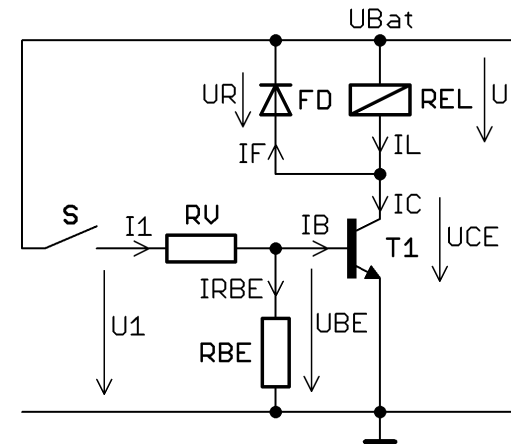
$$\underline{P_{ZD}} = \underbrace{183,8 \text{ mW}}_{\text{AP}} + \underbrace{0,7855 \text{ mW}}_{\text{Aussteuerung}} = \underline{184,5 \text{ mW}}$$

$$P_{RV} = \left[I_{Z,AP}^2 + \frac{\hat{I}^2}{2} \right] \cdot R_V = \left[(35 \text{ mA})^2 + \frac{(10 \text{ mA})^2}{2} \right] \cdot 680 \Omega$$

$$\underline{P_{RV}} = \underbrace{833,0 \text{ mW}}_{\text{AP}} + \underbrace{34,00 \text{ mW}}_{\text{Aussteuerung}} = \underline{867,0 \text{ mW}}$$

3 BJT als Schalter

24



Lsg-Abb. 3

a) Basis-Emitter-Ableitwiderstand RBE, s. Lsg-Abb. 4. 2

b) U_{CEsat} vernachlässigt $\rightarrow U_{CEsat} = 0$ 12

– Last (T1 leitet)

Relais REL: 12 V / 3,3 W \rightarrow

$$I_L = I_C = P_{REL} / U_{REL} = 3,3 \text{ W} / 12 \text{ V} = \underline{275 \text{ mA}}$$

aus Afg-Tab. 3 mit T1 = ...-25 (Current Group) u. dem nächstgelegenen Wert für $I_C = 300 \text{ mA}$: $B_{min} = 100$

– RBE (T1 sperrt; $I_1 = 0$; $I_{CB0} = I_{RBE}$ in Lsg-Abb. 3)

I_{CB0} : maßgebend ist $\mathcal{G}_{a,max}$; aus Afg-Abb. 3.2 liest man ab (Kurve „Maximum“): $I_{CB0,max} = 500 \text{ nA}$

$$\text{Si-Transistor: } \underline{RBE_{max}} = \frac{0,2 \text{ V}}{I_{CB0,max}} = \frac{0,2 \text{ V}}{500 \text{ nA}} = \underline{400 \text{ k}\Omega}$$

$$\underline{RBE_{E24}} = 360 \text{ k}\Omega ;$$

$$\text{Probe obere Toleranzgrenze: } 1,05 \cdot 360 \text{ k}\Omega = 387 \text{ k}\Omega < 400 \text{ k}\Omega$$

– weiter auf dem nächsten Blatt –

3 BJT als Schalter (fortgesetzt)

– RV (T1 leitet)

$$I_B^* = \frac{I_C}{B_{\min}} = \frac{275 \text{ mA}}{100} = \underline{2,75 \text{ mA}};$$

$$I_B = m \cdot I_B^* = 2,5 \cdot 2,75 \text{ mA} = \underline{6,88 \text{ mA}}$$

$$I_{RBE} = \frac{U_{BEon}}{R_{BE_{E24}}} = \frac{1 \text{ V}}{360 \text{ k}\Omega} = \underline{2,78 \mu\text{A}} \ll I_B \rightarrow I_1 \cong I_B$$

$$RV = \frac{U_{Bat} - U_{BEon}}{I_1} = \frac{(12 - 1)\text{V}}{6,88 \text{ mA}} = \underline{1,60 \text{ k}\Omega} \quad (\text{mit } U_{Bat} = U_1)$$

$$RV_{E24} = \underline{1,60 \text{ k}\Omega}$$

c) REL: ohmsch-induktive Last \rightarrow
beim Ausschalten (Gegeninduktionsspannung)

d) – s. Lsg-Abb. 3

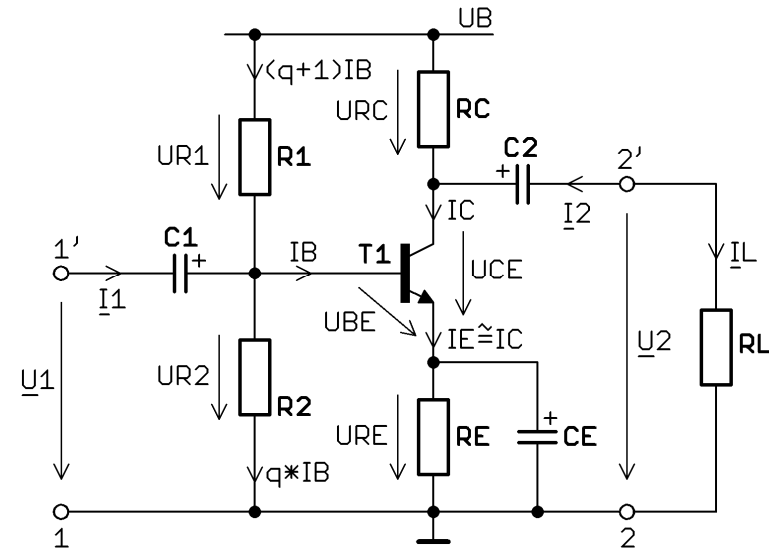
$$I_{FM} = I_L = I_C = \underline{275 \text{ mA}}; \quad U_{RM} = U_{Bat} = \underline{12 \text{ V}}$$

(in der Praxis Sicherheitszuschläge)

$$u_{CEmax} = u_{CE(0+)} \cong U_{Bat} + u_F(0+) = (12 + 2,5)\text{V} = \underline{14,5 \text{ V}}$$

e) Wesentliche Verlängerung der Abfallzeit von REL

4 BJT als Kleinsignal-Verstärker



Lsg-Abb. 4.1

a) – AP und AGS s. Lsg-Abb. 4.2.

Hilfspunkt P1 zum Einzeichnen auf der I_C -Achse z.B. aus:

$$m_{AGS} = - \left| \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{CE}} \right| = - \frac{I_{C,AP} - 0}{U_B - U_{CE,AP}} = - \frac{50 \text{ mA}}{(18 - 8)\text{V}} = \underline{-5 \text{ mS}}$$

$$I_C = m_{AGS} \cdot U_{CE} + I_C(0) \rightarrow$$

$$I_{Cmax} = I_C(0) = 0 - m_{AGS} \cdot U_B = -(-5 \text{ mS}) \cdot 18 \text{ V} = \underline{90 \text{ mA}}$$

$$P1 = (0 | 90 \text{ mA})$$

– Kollektorwiderstand (Arbeitswiderstand) RC

$$U_{RC,AP} = U_{CE,AP} = \underline{8 \text{ V}} \quad (\text{aus geg. AP})$$

$$RC = \frac{U_{RC,AP}}{I_{C,AP}} = \frac{8 \text{ V}}{50 \text{ mA}} = \underline{160 \Omega}$$

– weiter auf dem nächsten Blatt –

4 BJT als Kleinsignal-Verstärker (fortgesetzt 1)

oder mit RCE (statischer Ausgangswid. Transistor):

$$R_{CE} = \frac{U_{RC,AP}}{I_{C,AP}} = \frac{8 \text{ V}}{50 \text{ mA}} = 160 \Omega$$

wg. $U_{RC,AP} = U_{CE,AP}$ ist $\underline{RC} = R_{CE} = 160 \Omega$

– Emitterwiderstand RE

$$(I_C \cong I_E)$$

$$R_E = \frac{U_{RE,AP}}{I_{C,AP}} = \frac{U_B - U_{RC,AP} - U_{CE,AP}}{I_{C,AP}}$$

$$\underline{RE} = \frac{(18 - 8 - 8) \text{ V}}{50 \text{ mA}} = \frac{2 \text{ V}}{50 \text{ mA}} = 40 \Omega$$

Probe:

$$R_G = -1 / m_{AGS} = -1 / 5 \text{ mS} = 200 \Omega$$

$$R_G = RC + RE = (160 + 40) \Omega = 200 \Omega$$

b) – AGD s. Lsg-Abb. 4.1

$$R_D = RC \parallel RL = 160 \Omega \parallel 470 \Omega = 120 \Omega$$

$$m_{AGD} = -1 / R_D = -1 / 120 \Omega = -8,33 \text{ mS}$$

AGD geht durch AP mit m_{AGD} , ist also eindeutig bestimmt.

Hilfspunkt P2 zum Einz. auf der U_{CE} -Achse z.B. analog zu P1:

$$U_{CE|IC=0} = -\frac{I_{C,AP}}{m_{AGD}} + U_{CE,AP}$$

$$U_{CE|IC=0} = \frac{-50 \text{ mA}}{-8,33 \text{ mS}} + 8 \text{ V} = (6 + 8) \text{ V} = 14 \text{ V}$$

$$P2 = (14 \text{ V} | 0) \quad [I_{Cmax} = I_C(0) \cong 117 \text{ mA}]$$

8

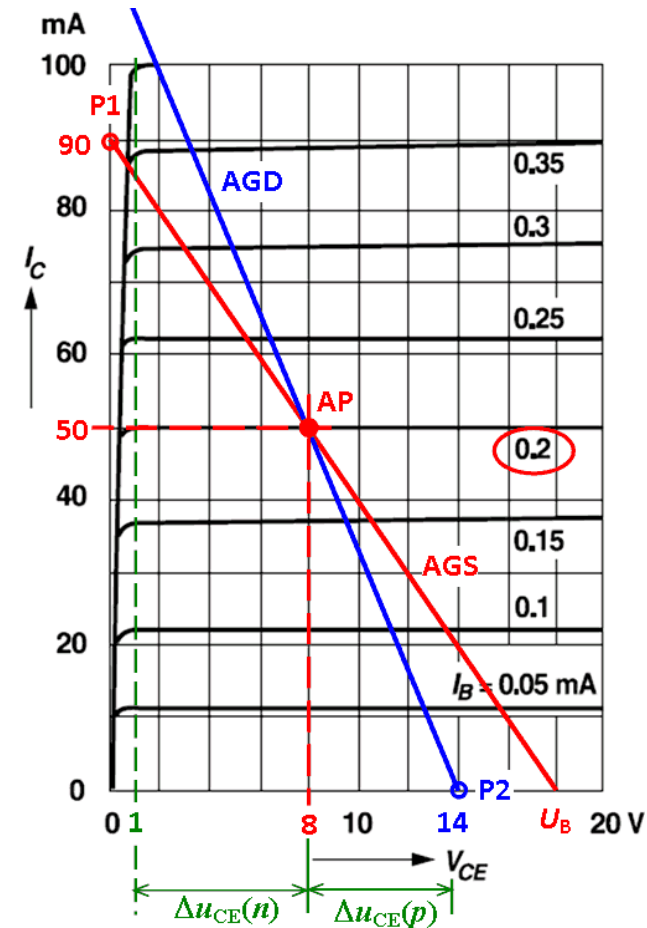
4 BJT als Kleinsignal-Verstärker (fortgesetzt 2)

– Aussteuerbereich $U_{2eff,max}$

abgelesen aus Lsg-Abb. 4.2 mit $U_{CEsat} \cong 1 \text{ V}$:

$$\underline{\Delta u_{CE}(n)} = 7 \text{ V}; \quad \underline{\Delta u_{CE}(p)} = 6 \text{ V}$$

maßgeblich i.d. kleinere Wert: $\underline{\hat{U}_2} = 6 \text{ V}; \quad \underline{U_{2eff,max}} = 4,24 \text{ V}$



Lsg-Abb. 4.2

– weiter auf dem nächsten Blatt –

4 BJT als Kleinsignal-Verstärker (fortgesetzt 3)

c) – $I_{B,AP} = 0,2 \text{ mA}$ s, Lsg-Abb. 4.2 6– R_2 [$U_{RE,AP}$ s. Berechnung R_E unter a)]

$$\underline{R_2} = \frac{U_{R2}}{I_{R2}} = \frac{U_{BE,AP} + U_{RE,AP}}{q \cdot I_B} = \frac{(0,7 + 2) \text{ V}}{5 \cdot 0,2 \text{ mA}} = \frac{2,7 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = \underline{2,7 \text{ k}\Omega}$$

– R_1

$$\underline{R_1} = \frac{U_{R1}}{I_{R1}} = \frac{U_B - U_{R2}}{(q+1) \cdot I_B} = \frac{(18 - 2,7) \text{ V}}{6 \cdot 0,2 \text{ mA}} = \frac{15,3 \text{ V}}{1,2 \text{ mA}} = \underline{12,8 \text{ k}\Omega}$$

d) Polung Kondensatoren s. Lsg-Abb. 4.1 2

e) $r_{CE} \rightarrow \infty$: r_{CE} entfällt 6– $\varphi(\omega) = -\pi \hat{=} -180^\circ$

$$- r_{BE} \cong \frac{U_T}{I_{B,AP}} = \frac{26 \text{ mV}}{200 \mu\text{A}} = \underline{130 \Omega}$$

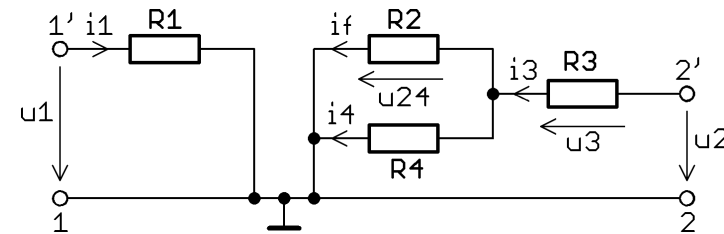
$$v_u = |F(j\omega)| = \beta \cdot \frac{RC \parallel RL}{r_{BE}}$$

$$\underline{v_u} = 200 \cdot \frac{220 \Omega \parallel 1 \text{ k}\Omega}{130 \Omega} = 200 \cdot 1,39 = \underline{277}$$

$$\underline{v_u \text{ (dB)}} = 20 \cdot \lg(v_u) \text{ dB} = 20 \cdot \lg(277) \text{ dB} = \underline{48,8 \text{ dB}}$$

5 OP-Schaltung

20

Lsg-Abb.
5.1a) Invertierender u/u -Verstärker 2b) Lsg-Abb. 5.1: umgezeichnet mit $u_d = 0$; OP entfernt 8

$$\underline{i_f} = -i_1 = -\frac{u_1}{R_1} = -\frac{1 \text{ V}}{10 \text{ k}\Omega} = \underline{-0,1 \text{ mA}} \quad (1)$$

$$\underline{u_{24}} = i_f \cdot R_2 = -0,1 \text{ mA} \cdot 20 \text{ k}\Omega = \underline{-2 \text{ V}} \quad (2)$$

$$\underline{i_4} = -\frac{u_{24}}{R_4} = -\frac{-2 \text{ V}}{40 \text{ k}\Omega} = \underline{-0,05 \text{ mA}} \quad (3)$$

$$\text{Knoten: } -i_f - i_4 + i_3 = 0 \rightarrow$$

$$\underline{i_3} = i_f + i_4 = [(-0,1) + (-0,05)] \text{ mA} = \underline{-0,15 \text{ mA}} \quad (4)$$

$$\underline{u_3} = i_3 \cdot R_3 = -0,15 \text{ mA} \cdot 30 \text{ k}\Omega = \underline{-4,5 \text{ V}} \quad (5)$$

$$\text{Masche: } -u_{24} - u_3 + u_2 = 0 \rightarrow$$

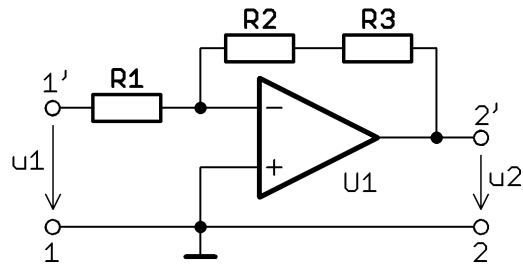
$$\underline{u_2} = u_{24} + u_3 = (-2 \text{ V}) + (-4,5 \text{ V}) = \underline{-6,5 \text{ V}} \quad (6)$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{Die analytische Lsg. lautet:} \\ \underline{v_u} = \frac{u_2}{u_1} = -\frac{R_2 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_4 + R_3 \cdot R_4}{R_1 \cdot R_4} \end{array} \right] \quad (7)$$

– weiter auf dem nächsten Blatt –

5 OP-Schaltung (fortgesetzt)

c)



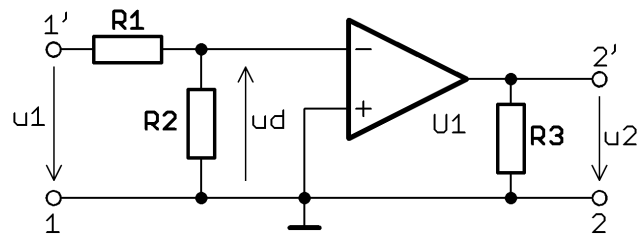
5

Lsg-Abb.
5.2Invertierender u/u -Verstärker mit $R_f = R_2 + R_3$

$$\underline{v_u} = \frac{u_2}{u_1} = -\frac{R_f}{R_1} = -\frac{R_2 + R_3}{R_1} = \frac{(20 + 30)\text{k}\Omega}{10\text{k}\Omega} = \underline{\underline{-5}}$$

$$\underline{u_2} = \underline{v_u} \cdot u_1 = -5 \cdot (+1\text{V}) = \underline{\underline{-5\text{V}}}$$

d)



5

Lsg-Abb.
5.3Keine Rückkopplung; der OP arbeitet mit der offenen Schleifenverstärkung $u_2 = u_a = v_{d0} \cdot u_d$

$$u_d = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot u_1$$

$$u_1 > 0 \rightarrow u_d < 0 \rightarrow \underline{u_2} = U_{\text{amax-}} = \underline{\underline{-12\text{V}}}$$

– diese Seite ist absichtlich leer –