

Deckblatt

Aufgabenblätter inkl. Deckblatt	<b>6</b>	Anzahl Lösungsbogen
---------------------------------	----------	---------------------



DHBW Mannheim Außenstelle Eppelheim  
 Mechatronik MA-TMT13AM1  
 Klausur Angewandte Elektronik 1, 2014-12  
 Diode, Bipolartransistor **05.12.2014**

Dozent Rainer Bayer, Dipl.-Ing. FH Elektronik

Name, Vorname \_\_\_\_\_ Matrikel-Nummer \_\_\_\_\_ auf jedem Blatt oben eintragen

Studienjahrgang MA-TMT13AM Gruppe 1 Semester 3

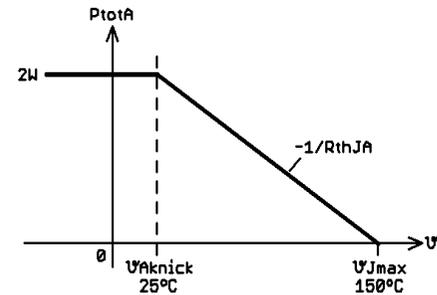
Hilfsmittel Selbstverf. Formelsammlung, Taschenrechner Zeit 60 min

Bewertung Maximale Punktzahl \_\_\_\_\_ Erreichte Punktzahl \_\_\_\_\_  
 Datum / Signum \_\_\_\_\_ Ergebnis \_\_\_\_\_

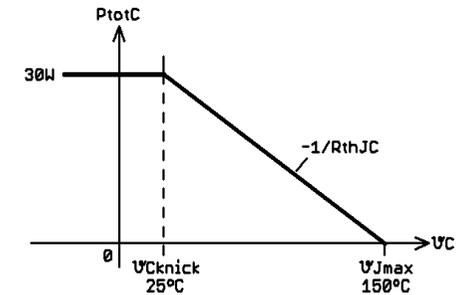
Anmerkungen \_\_\_\_\_

Aufg.	Thema	Blatt	Punkte Teilaufgaben				Punkte Aufg.	Bemerkungen
			.1	.2	.3	.4		
1	Verlustleistung, Derating, Kühlkörper	2	05	13	<del>05</del>	<del>05</del>	/ 18	
2	Bipolartransistor als Schaltverstärker	3-4	10	07	05	<del>05</del>	/ 22	
3	Bipolartransistor als Kleinsignalverstärker	5-6	06	14	04	06	/ 30	
Σ							/ 70	

1. Verlustleistung, Derating, Kühlung (1/2) 18



zu 1.1a):  $P_{totA} = f(\mathcal{G}_A); R_{thJA}$



zu 1.2a):  $P_{totC} = f(\mathcal{G}_C); R_{thJC}$

1.1 Betrieb ohne Kühlkörper 5

a) allg.:  $R_{th} = \left| \frac{\Delta \mathcal{G}}{\Delta P} \right|$  für  $\mathcal{G} \geq \mathcal{G}_{Knick}$  3

hier:  $R_{thJA} = \frac{\mathcal{G}_{Jmax} - \mathcal{G}_{AKnick}}{P(\mathcal{G}_{AKnick})} = \frac{(150 - 25)K}{2W} = 62,5 K/W$

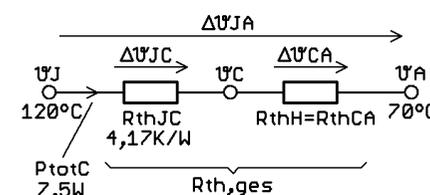
b) maßgeblich ist  $\mathcal{G}_{Amax}$ ;  $\mathcal{G}_{Amax} > \mathcal{G}_{AKnick} \rightarrow$  2

$P_{totAmax} = \frac{\Delta \mathcal{G}_{JA}}{R_{thJA}} = \frac{\mathcal{G}_{Jmax} - \mathcal{G}_{Amax}}{R_{thJA}} = \frac{(150 - 70)K}{62,5 K/W} = 1,28 W$

1.2 Betrieb mit Kühlkörper 13

a)  $R_{thJC} = \frac{(150 - 25)K}{30W} = 4,17 K/W$  3

b) 7



Vereinfachtes Thermisches ESB

1. Verlustleistung, Derating, Kühlung (2/2)

$$R_{thH} = R_{th,ges} - R_{thJC} = (6,67 - 4,17)K/W = \underline{2,50 K/W}$$

aus Diagramm abgelesen:  $l \cong 97 \text{ mm}$  (1); (aufrunden!)  $l^* = 100 \text{ mm}$

c\*) Direktes Ablesen aus den Diagrammen  $P = f(\vartheta)$  ist nicht möglich, da  $P_{totC}$  keine direkte Funktion von  $\vartheta_A$  ist → Lösungsansatz wie in 1.2b), s. Thermisches Ersatzschaltbild

$$R_{th,ges} = \frac{\vartheta_{Jmax} - \vartheta_A}{P_{totC}} = \frac{(150 - 70)K}{12,5 W} = \underline{6,4 K/W} \rightarrow R_{thH} = \underline{2,23 K/W}$$

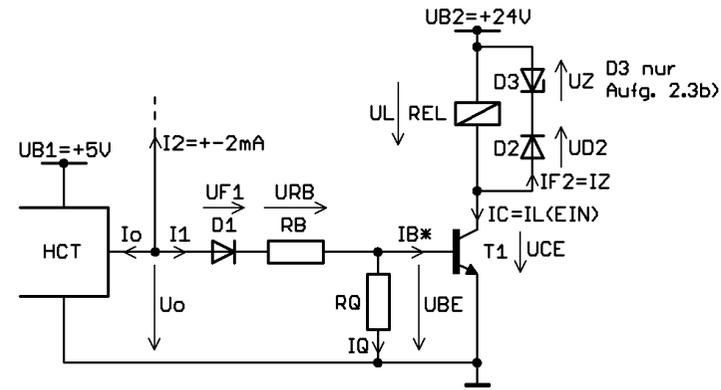
Nein, aus Diagramm  $R_{thH} = f(l)$ : Wert kleiner ca. 2,25 K/W ist auch bei größeren KK-Längen nicht mehr realisierbar. (Grund u.a. Einfluss der Wärmekapazitäten: die Wärme kann auch bei beliebig großer KK-Oberfläche nicht mehr schnell genug abtransportiert werden)

7

3

2. Bipolartransistor als Schaltverstärker (1/3)

22



Modifizierte Schaltung mit  
 - D1, RQ  
 - Freilaufdiode D2  
 - nur Aufg. 2.3b): Z-Diode D3

2.1 Steuerkreis

10

a) Si-Transistor sperrt sicher falls  $U_{BE} \leq 0,2 \text{ V}$  (npn);  
 Bereits wg.  $I_2$  ist  $|I_{OL}| > 20 \mu\text{A}$  →  $V_{OLmax} = 0,33 \text{ V}$  (s. HCT Output Specs);  
 in Ursprungsschaltung ist  $(U_{BE} = V_{OLmax}) > 0,2 \text{ V}$  → T1 sperrt nicht sicher  
 Abhilfe: Si-Diode mit  $U_F = 0,7 \text{ V}$  in Reihe zu RB, sperrt L von Gatter  
 dann ist Basisableitwiderstand RQ erforderlich für Sperren bei L

4

b) Abgelesen aus Diagramm  $I_{CBO} = f(\vartheta_a)$  mit  $\vartheta_a = +60^\circ\text{C}$ ;  
 Kennlinie „maximum“ (Worst-Case):  $I_{CBO} \cong 110 \text{ nA}$

2

$$R_{Qmax} = \frac{0,2 \text{ V}}{I_{CBO}} = \frac{0,2 \text{ V}}{110 \text{ nA}} = \underline{1,81 \text{ M}\Omega} \text{ (abrunden)}$$

c) „Spule 24 V / 480 mW“: Einheit Watt → ohmscher Wicklungswiderst.;  
 bestimmt  $I_L$  (Laststrom) =  $I_C$  (Kollektorstrom) im stationären Zustand:

4

$$R_{REL} = \frac{(U_{REL})^2}{P_{REL}} = \frac{(24 \text{ V})^2}{480 \text{ mW}} = \underline{1,2 \text{ k}\Omega}$$

$$I_C = I_{Rel} = \frac{U_{Rel}}{R_{Rel}} = \frac{24 \text{ V}}{1,20 \text{ k}\Omega} = \underline{20 \text{ mA}} \text{ (} U_{CEsat} \text{ vernachl.: } U_{CE} = 0)$$

$$I_B^* = \ddot{u} \cdot I_B = \ddot{u} \cdot \frac{I_C}{B} = 3 \cdot \frac{20 \text{ mA}}{290} = \underline{207 \mu\text{A}}$$

## 2. Bipolartransistor als Schaltverstärker (2/3)

$$I_q = \frac{U_{BE}}{R_Q} = \frac{0,7 \text{ V}}{100 \text{ k}\Omega} = 7 \mu\text{A}$$

( $I_Q$  kann vernachlässigt werden mit Begründung  $I_q \ll I_B^*$ )

$$I_1 = I_B^* + I_q = (207 + 7) \mu\text{A} = 214 \mu\text{A}$$

( $|I_{OH}| = |I_1 + I_2| > 20 \mu\text{A} \rightarrow$  maßgebend ist  $V_{OHmin} = 3,84 \text{ V}$ ; s. 2.a1);

$$R_B = \frac{U_{RB}}{I_1} = \frac{V_{OHmin} - U_F - U_{BE}}{I_1} = \frac{(3,84 - 0,7 - 0,7) \text{ V}}{214 \mu\text{A}} = \frac{2,44 \text{ V}}{214 \mu\text{A}}$$

$$R_B = 11,4 \text{ k}\Omega \quad (I_1 \cong I_B^* : 11,8 \text{ k}\Omega)$$

*Hinweis: In der ursprünglichen Textfassung konnte die Aufgabe auch so interpretiert werden, dass  $R_B$  für den maximal verfügbaren Sourcestrom des Gatters berechnet werden sollte; diese Lösung wurde ebenfalls als richtig bewertet. Diese Größen sind mit # gekennzeichnet*

Bei  $I_2 = +2 \text{ mA}$  und  $|I_{OH,max}| = 4 \text{ mA}$  ist  $I_{1,max} = 2 \text{ mA}$

$$R_B^{\#} = \frac{V_{OHmin} - U_F - U_{BE}}{I_{1,max}} = \frac{(3,84 - 0,7 - 0,7) \text{ V}}{2 \text{ mA}} = \frac{2,44 \text{ V}}{2 \text{ mA}} = 1,22 \text{ k}\Omega$$

### 2.2 Lastkreis

- a) Max. stationärer Leistungsumsatz in T1: „Ein“-Zustand; maßgebend ist Maximalwert  $U_{CEsat,max}$ . Steuerkreis und Minderung  $I_C$  vernachlässigt:

$$P_{T1max} \cong U_{CEsat,max} \cdot I_C = 0,8 \text{ V} \cdot 20 \text{ mA} = 16 \text{ mW}$$

*Hinweis: Berechnet man mit  $R_B^{\#}$  den maximalen Kollektorstrom  $I_C^{\#}$ , der sicher im niederohmigen Zustand der CE-Strecke geschaltet werden kann, erhält man:*

$$I_{1,max} \gg I_q \rightarrow I_B^{\#} = I_{1,max} = 2 \text{ mA}$$

$$I_B^{\#} = I_B^{\#} / \beta = 2 \text{ mA} / 3 = 667 \mu\text{A}$$

$$I_C^{\#} = I_B^{\#} \cdot \beta = 667 \mu\text{A} \cdot 290 = 193 \text{ mA}$$

## 2. Bipolartransistor als Schaltverstärker (3/3)

$$P_{T1max}^{\#} \cong U_{CEsat,max} \cdot I_C^{\#} = 0,8 \text{ V} \cdot 193 \text{ mA} = 154 \text{ mW}$$

- b) Ein  $\rightarrow$  Aus (Gegeninduktionsspannung der Induktivität in REL) 2

$$U_{CE(O)}$$

- c) Freilaufdiode wie in Schaltung gepolt 3

$$U_{RM2} = U_{B2} = 24 \text{ V} \text{ (Praxis: Toleranzen)}$$

$$I_{F2} = I_{REL} = I_C = 20 \text{ mA}$$

Mit  $I_C^{\#}$  aus 2.2a) entsprechend:  $I_{F2}^{\#} = I_C^{\#} = 193 \text{ mA}$

### 2.3 Transistor-Typ

- a) Mit D2: Ein  $\rightarrow$  Aus ( $t_0$ ):  $u_{CE}$  springt von 0 auf  $(U_{B2} + U_{F2}) = 24,7 \text{ V}$  und klingt dann exponentiell auf  $U_{B2}$  ab (Worst Case:  $U_{CEsat} = 0$ ). 2

Schwankungen von  $U_{B2}$  sind i.d. Praxis wesentlich größer als  $U_{F2}$ ; Grenzwert  $U_{CEO} = 25 \text{ V}$  ist bei einer Betriebsspannung von  $24 \text{ V}$  „zu knapp bemessen“, auch wenn  $U_{CEO}$  der kleinste der  $U_{CE...}$ -Grenzwerte ist

$\rightarrow$  nur Typ BC237 mit  $U_{CEO} = 45 \text{ V}$  einsetzbar

- b\*) Mit D2 + D3 (Sicherheitsmarge deckt auch Schwankungen von  $U_{B2}$  ab): 3

Z-Diode D3 antiseriell zu Freilaufdiode D2

$$U_{CEO} - 20\% \rightarrow U_{CEO}^* = 0,8 \cdot U_{CEO} = 0,8 \cdot 45 \text{ V} = 36,0 \text{ V}$$

$$U_{CEO}^* = U_{B2} + U_F + U_{Zmax} \rightarrow$$

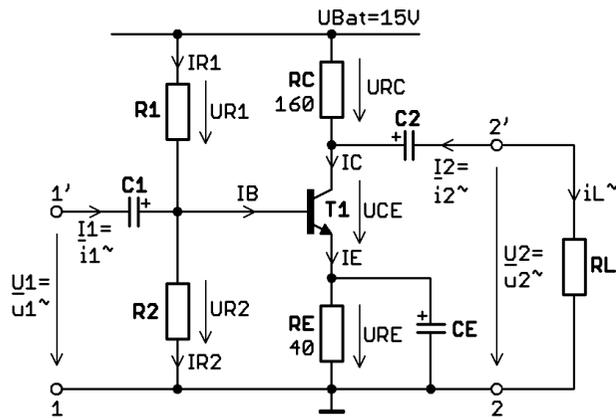
$$U_{Zmax} = (36,0 - 24 - 0,7) \text{ V} = 11,3 \text{ V}$$

$$U_{Znom} - 10\% \rightarrow U_{Znom} = \frac{U_{Zmax}}{1,1} = \frac{11,3 \text{ V}}{1,1} = 10,3 \text{ V}$$

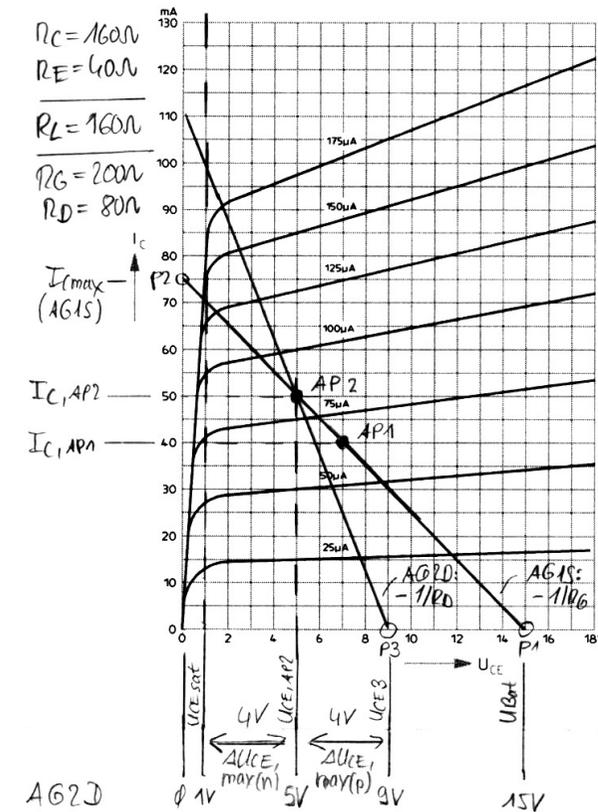
abrunden:  $U_{Znom}^* = 10 \text{ V}$

3. Bipolartransistor als Kleinsignalverstärker (1/4)

30



Schaltung mit gefalteten Spannungen und Strömen



Ausgangskennlinienfeld T1

statisch:  
 $R_G = RC + RE$   
 AP1 = (7 V | 40 mA),  
 AG1S mit  $m_S = -1/R_G$   
 dynamisch mit  $RL = RC$   
 (Leistungsanpassung):  
 $R_D = RC \parallel RL = RC/2$   
 AP2 = (5 V | 50 mA),  
 AG2D mit  $m_D = -1/R_D$   
 und  $\Delta U_{CEmax} (\pm 4 V)$

3. Bipolartransistor als Kleinsignalverstärker (2/4)

3.1 Arbeitspunkt AP1 – Statische Arbeitsgerade AG1S

6

- a) Emitterschaltung 1  
 (mit reiner DC-Stromgegenkopplung = ohne AC-Gegenkopplung)
- b)  $R_G = RC + RE = (160 + 40)\Omega = 200 \Omega$  3

AG1S bestimmt durch zwei Punkte: P1 und P2 (s.u.) oder: einen Punkt und Steigung  $m_{AG1S} = m_S = -1/R_G$

$P1 = (U_{Bat} | 0) = (15 V | 0)$

$P2 = (0 | I_{Cmax}) = (0 | \frac{U_{Bat}}{R_G}) = (0 | \frac{15 V}{200 \Omega}) = (0 | 75 mA)$

- c)  $I_E \cong I_C ; I_{C,AP1} = \frac{U_{RE,AP1}}{RE} = \frac{1,6 V}{40 \Omega} = 40 mA$  2

aus Diagramm abgelesen:  $U_{CE,AP1} = 7 V$

oder rechnerisch:  $U_{CE,AP1} = U_{Bat} - U_{RE,AP1} - I_{C,AP1} \cdot RC$

$U_{CE,AP1} = 15 V - 1,6 V - 40 mA \cdot 160 \Omega$

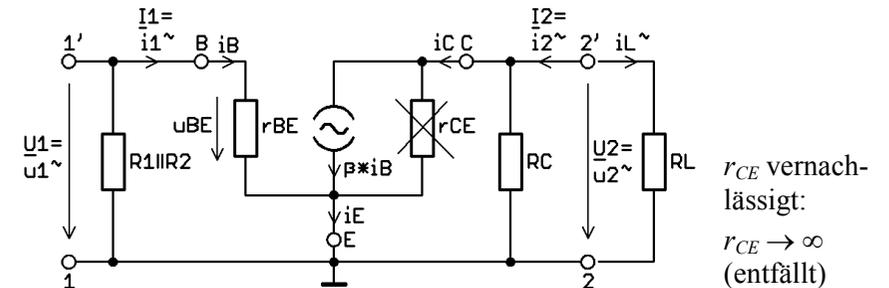
$U_{CE,AP1} = (15 - 1,6 - 6,40)V = 7 V$

→ AP1 = (7 V | 40 mA), liegt auf AG1S

3.2 Arbeitspunkt AP2 – Dynamische Arbeitsgerade AG2D

14

- a) 3



$r_{CE}$  vernachlässigt:  
 $r_{CE} \rightarrow \infty$   
 (entfällt)

## 3. Bipolartransistor als Kleinsignalverstärker (3/4)

- b) max. Leistungsentnahme: Leistungsanpassung („verfügbare Leistung“) → 5

$$\underline{R_L} = R_C = 160 \Omega \rightarrow \underline{R_D} = R_C \parallel R_L = R_C / 2 = 160 \Omega / 2 = 80 \Omega$$

$$U_{CE,AP2} = \frac{R_D \cdot U_{Bat} + R_G \cdot U_{CEsat}}{R_D + R_G} = \frac{80 \Omega \cdot 15 V + 200 \Omega \cdot 1 V}{80 \Omega + 200 \Omega} = 5 V$$

$$I_{C,AP2} = -\frac{1}{R_G} \cdot U_{CE,AP2} + \frac{U_{Bat}}{R_G} = \frac{U_{CE,AP2} - U_{CEsat}}{R_D}$$

$$\underline{I_{C,AP2}} = -\frac{1}{200 \Omega} \cdot 5 V + \frac{15 V}{200 \Omega} = \frac{(5-1)V}{80 \Omega} = 50 \text{ mA}$$

AP2 = (5 V | 50 mA) liegt auf AG1S, Schnittpunkt mit AG2D

- c) AG2D bestimmt durch zwei Punkte: AP2 (bekannt) und P3 (zu berechnen, s.u.) oder: einen Punkt und Steigung
- $m_{AG2D} = m_D = -1/R_D$
- 4

P3 = ( $U_{CE3} | I_{C3} = 0$ ) z.B. aus 2-Punkte-Form Geradengleichung:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \rightarrow m_D = \frac{I_{C3} - I_{C,AP2}}{U_{CE3} - U_{CE,AP2}} \rightarrow$$

$$U_{CE3} = \frac{-I_{C,AP2}}{m_D} + U_{CE,AP2} = I_{C,AP2} \cdot R_D + U_{CE,AP2}$$

$$\underline{U_{CE3}} = 50 \text{ mA} \cdot 80 \Omega + 5 V = (4 + 5)V = 9 V$$

$$\underline{P3 = (9 V | 0)}$$

- d)
- $\underline{\Delta u_{2\sim}(p)} = -I_{C,AP2} \cdot R_D = 50 \text{ mA} \cdot 80 \Omega = 4 V$
- 2

$$I_{C2}(U_{CEsat}) = [U_{CE}(I_C = 0) - U_{CEsat}] / R_D = [U_{CE3} - U_{CEsat}] / R_D$$

$$I_{C2}(U_{CEsat}) = (9 - 1) V / 80 \Omega = 100 \text{ mA}$$

$$\underline{\Delta u_{2\sim}(n)} = -[I_{C2}(U_{CEsat}) - I_{C,AP2}] \cdot R_D = -[100 - 50] \text{ mA} \cdot 80 \Omega = -4 V$$

$$\rightarrow \underline{\hat{U}_{2\text{max}\sim}} = \Delta u_{2\sim}(p) = |\Delta u_{2\sim}(n)| = 4 V \text{ (symmetrische Aussteuerb.)}$$

## 3. Bipolartransistor als Kleinsignalverstärker (4/4)

## 3.3 Basisspannungsteiler für AP2 4

$$\underline{I_{B,AP2}} = \frac{I_{C,AP2}}{\beta} = \frac{50 \text{ mA}}{600} = 83,3 \mu\text{A}$$

$$R_2 = \frac{U_{R2}}{I_{R2}} = \frac{U_{BE} + I_{C,AP2} \cdot R_E}{m \cdot I_{B,AP2}} = \frac{0,7 V + 50 \text{ mA} \cdot 40 \Omega}{10 \cdot 83,3 \mu\text{A}} = \frac{(0,7 + 2) V}{833 \mu\text{A}}$$

$$\underline{R_2} = \frac{2,7 V}{833 \mu\text{A}} = 3,24 \text{ k}\Omega$$

$$\underline{R_1} = \frac{U_{R1}}{I_{R1}} = \frac{U_{Bat} - U_{R2}}{(m+1) \cdot I_{B,AP2}} = \frac{(15 - 2,7)V}{(10+1) \cdot 83,3 \mu\text{A}} = \frac{12,3 V}{916 \mu\text{A}} = 13,4 \text{ k}\Omega$$

## 3.4 Verstärkung (AP2, mit RL) 6

- a)
- $r_{CE}$
- vernachlässigt:
- $r_{CE} \rightarrow \infty$
- (s. 3.2a);
- $\vartheta_A = +25^\circ\text{C} \rightarrow U_T = 26 \text{ mV}$
- 3

$$\underline{r_{BE}} = \frac{U_T}{I_{B,AP2}} = \frac{26 \text{ mV}}{83,3 \mu\text{A}} = 312 \Omega$$

$$\underline{v_u} = \frac{\hat{U}_{2\sim}}{\hat{U}_{1\sim}} \cong \frac{\beta}{r_{BE}} \cdot (R_C \parallel R_L) = \frac{\beta}{r_{BE}} \cdot R_D = \frac{600}{312 \Omega} \cdot 80 \Omega = 154 \text{ (Betrag)}$$

$$\underline{\varphi_U} = -180^\circ \text{ (1)}$$

(jeweils im flachen Bereich der Übertragungsfunktion)

- b)
- $\underline{\hat{U}_{1\text{max}\sim}} = \frac{\hat{U}_{2\text{max}\sim}}{v_u} = \frac{4 V}{154} = 26,0 \text{ mV}$
- mit
- $\hat{U}_{2\text{max}\sim}$
- aus 3.2c) 1

- c\*) Ohne CE liegt volle AC-Stromgegenkopplung vor, dann ist 2

$$\underline{v_u} \cong \frac{R_C}{R_E} = \frac{160 \Omega}{40 \Omega} = 4$$

wahrscheinlicher Fehler:

Kondensator CE hat Unterbrechung (Bauteil, Leiterbahn, kalte Lötstelle etc.)