

Übung 4 – Elektronische Schaltungen (ES)

Sommersemester 2020

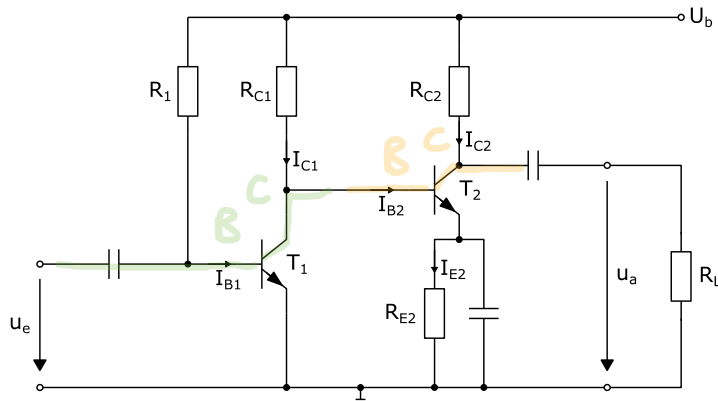
Verstärkerschaltungen

INSTITUT FÜR HOCHFREQUENZTECHNIK UND ELEKTRONIK



Aufgabe 1

■ a) ges.: Grundschialtung



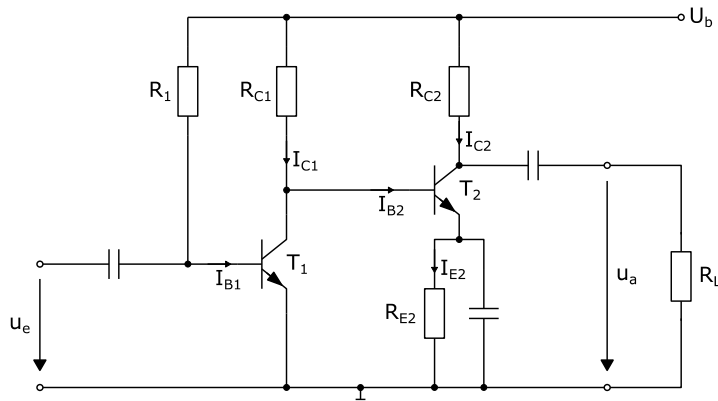
T_1 : Emitterschaltung

T_2 : Emitterschaltung mit Gleichstromgegenkopplung

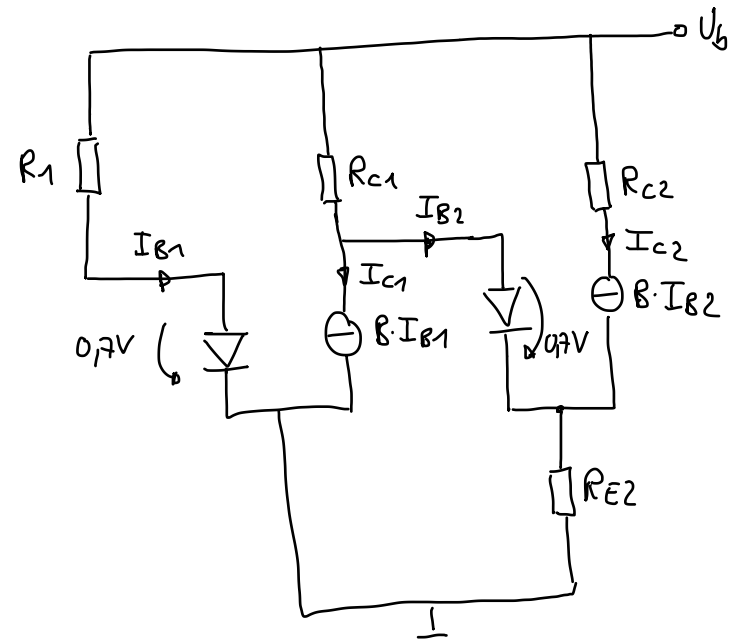
$$\begin{aligned}
 R_1 &= 1,43 \text{ M}\Omega \\
 R_{C1} &= 3,3 \text{ k}\Omega \\
 R_{C2} &= 1 \text{ k}\Omega \\
 R_{E2} &= 1,1 \text{ k}\Omega \\
 R_L &= 1 \text{ k}\Omega \\
 U_b &= 15 \text{ V} \\
 U_{BE1} &= U_{BE2} = 0,7 \text{ V} \\
 I_{B2} &\ll I_{C1} \\
 I_{C2} &\approx I_{E2} \\
 \beta_1 &= \beta_2 = 300 \\
 U_T &= 26 \text{ mV}
 \end{aligned}$$

Aufgabe 1

■ b) ges.: Großsignalersatzschaltbild

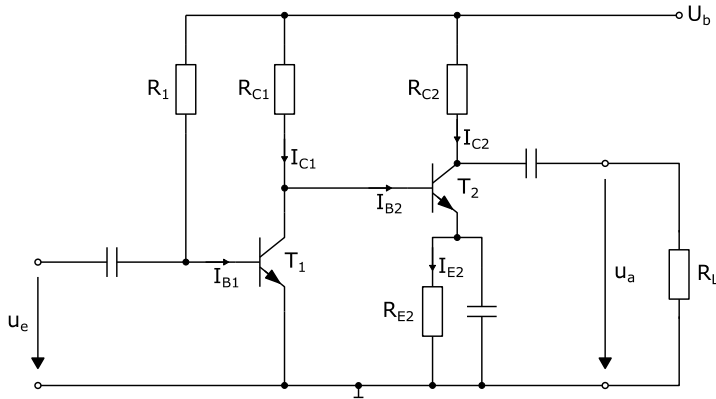


- $R_1 = 1,43 \text{ M}\Omega$
- $R_{C1} = 3,3 \text{ k}\Omega$
- $R_{C2} = 1 \text{ k}\Omega$
- $R_{E2} = 1,1 \text{ k}\Omega$
- $R_L = 1 \text{ k}\Omega$
- $U_b = 15 \text{ V}$
- $U_{BE1} = U_{BE2} = 0,7 \text{ V}$
- $I_{B2} \ll I_{C1}$
- $I_{C2} \approx I_{E2}$
- $\beta_1 = \beta_2 = 300$
- $U_T = 26 \text{ mV}$



Aufgabe 1

c) ges.: $I_{C1}, I_{C2}, S_1, S_2, U_{CE1}$



$$\begin{aligned}
 R_1 &= 1,43 \text{ M}\Omega \\
 R_{C1} &= 3,3 \text{ k}\Omega \\
 R_{C2} &= 1 \text{ k}\Omega \\
 R_{E2} &= 1,1 \text{ k}\Omega \\
 R_L &= 1 \text{ k}\Omega \\
 U_b &= 15 \text{ V} \\
 U_{BE1} &= U_{BE2} = 0,7 \text{ V} \\
 I_{B2} &\ll I_{C1} \\
 I_{C2} &\approx I_{E2} \\
 \beta_1 &= \beta_2 = 300 \\
 U_T &= 26 \text{ mV}
 \end{aligned}$$

1. I_{C1}

$$I_{C1} = \beta \cdot I_{B1}$$

$$U_b = I_{B1} \cdot R_1 + 0,7 \text{ V} \rightarrow I_{B1} = \frac{U_b - 0,7 \text{ V}}{R_1} = 10 \mu\text{A}$$

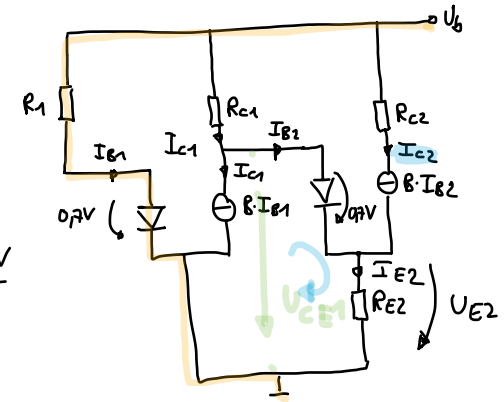
$$I_{C1} = 3 \text{ mA} //$$

2. $U_{CE1} = U_b - I_{C1} \cdot R_{C1} = 15 \text{ V} - 3 \text{ mA} \cdot 3,3 \text{ k}\Omega = 5,1 \text{ V} //$

3. $I_{C2} \approx I_{E2} = \frac{U_{E2}}{R_{E2}} = \frac{U_{CE1} - 0,7 \text{ V}}{R_{E2}} = \frac{5,1 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{1,1 \text{ k}\Omega} = 4 \text{ mA} //$

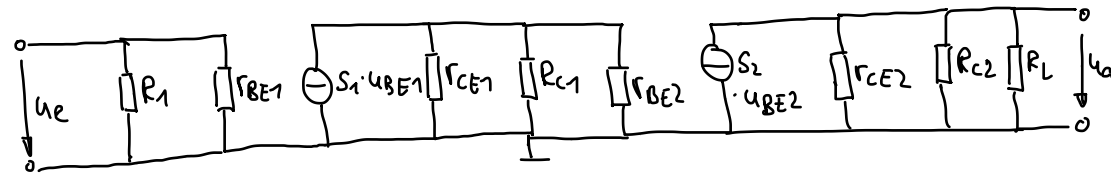
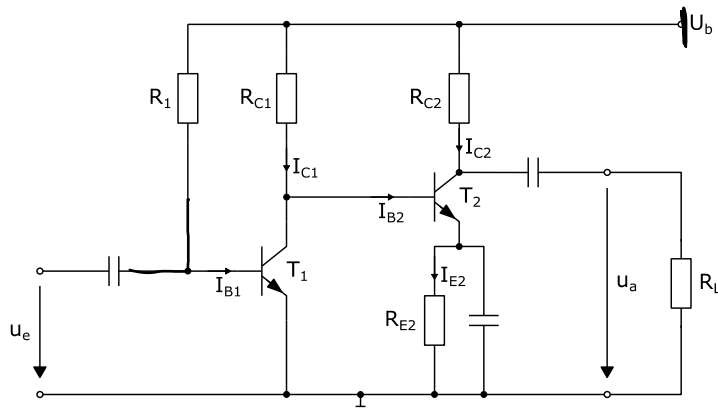
4. $S_1 = \frac{I_{C1, A}}{U_T} = \frac{3 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 115,3 \text{ mS} //$

$$S_2 = \frac{I_{C2, A}}{U_T} = \frac{4 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 153,8 \text{ mS} //$$



Aufgabe 1

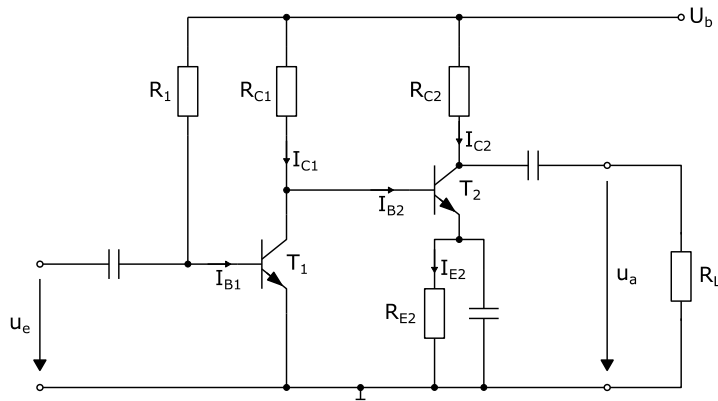
■ d) ges.: Kleinsignalersatzschaltbild



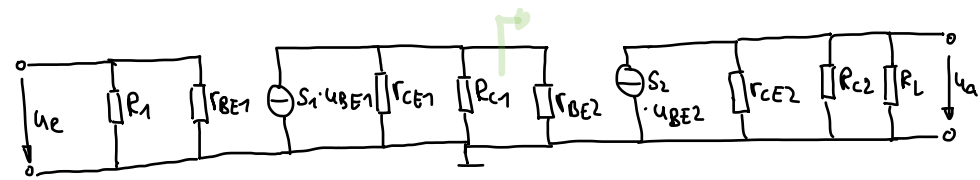
- $R_1 = 1,43 \text{ M}\Omega$
- $R_{C1} = 3,3 \text{ k}\Omega$
- $R_{C2} = 1 \text{ k}\Omega$
- $R_{E2} = 1,1 \text{ k}\Omega$
- $R_L = 1 \text{ k}\Omega$
- $U_b = 15 \text{ V}$
- $U_{BE1} = U_{BE2} = 0,7 \text{ V}$
- $I_{B2} \ll I_{C1}$
- $I_{C2} \approx I_{E2}$
- $\beta_1 = \beta_2 = 300$
- $U_T = 26 \text{ mV}$

Aufgabe 1

■ e) ges.: r_{e2} , A_g



- $R_1 = 1,43 \text{ M}\Omega$
- $R_{C1} = 3,3 \text{ k}\Omega$
- $R_{C2} = 1 \text{ k}\Omega$
- $R_{E2} = 1,1 \text{ k}\Omega$
- $R_L = 1 \text{ k}\Omega$
- $U_b = 15 \text{ V}$
- $U_{BE1} = U_{BE2} = 0,7 \text{ V}$
- $I_{B2} \ll I_{C1}$
- $I_{C2} \approx I_{E2}$
- $\beta_1 = \beta_2 = 300$
- $U_T = 26 \text{ mV}$



$$r_{e2} = r_{BE2} = \frac{\beta}{S_2} = \frac{300}{153,8 \text{ mS}} = 1,95 \text{ k}\Omega$$

$$A_g = A_1 \cdot A_2$$

$$A_1 = -S_1 \cdot r_{a1} \quad \text{mit } r_{a1} = r_{CE1} \parallel R_{C1} \parallel r_{BE2} = 1,23 \text{ k}\Omega$$

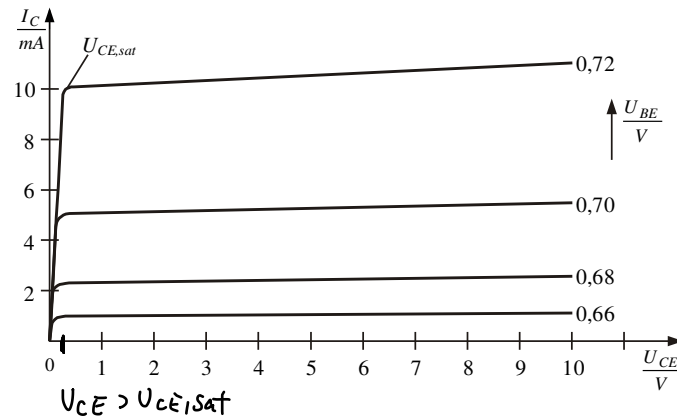
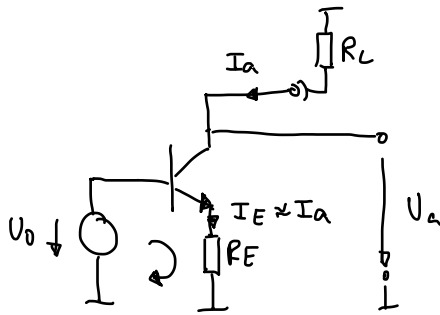
$$= -141,8$$

$$A_2 = -S_2 \cdot r_{a2} \quad \text{mit } r_{a2} = r_{CE2} \parallel R_{C2} \parallel R_L = 500 \Omega$$

$$A_g = 10 \ 904$$

Konstantstromquelle

- Liefert konstanten Ausgangsstrom
- Verwendung: Arbeitspunkteinstellung
- Bauteil: Transistor



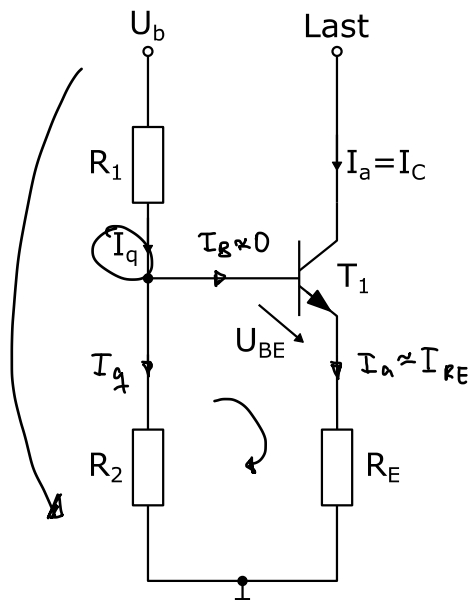
- Wichtige Kenngrößen:

$$I_a \approx \frac{U_0 - U_{BE}}{R_E}, \quad U_0 \gg U_{BE} \rightarrow I_a \approx \frac{U_0}{R_E}$$

$$U_{a,min} = U_{CE,sat} + U_{RE} = U_{CE,sat} + U_0 - U_{BE}$$

$$r_a = \left. \frac{\partial U_a}{\partial I_a} \right|_{U_0 = \text{const.}}$$

Realisierungsmöglichkeit



$$I_q \approx \frac{U_b}{R_1 + R_2}$$

$$I_q \cdot R_2 = U_{BE} + I_a \cdot R_E$$

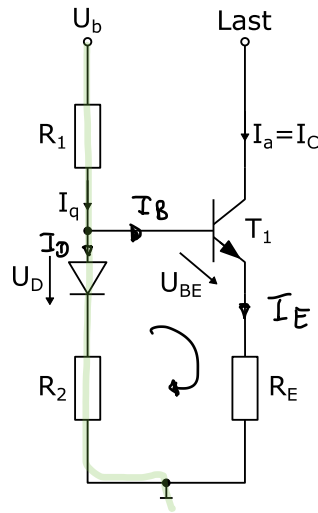
$$I_q = \frac{U_{BE} + I_a \cdot R_E}{R_2}$$

$$\left. \begin{array}{l} I_q \approx \frac{U_b}{R_1 + R_2} \\ I_q \cdot R_2 = U_{BE} + I_a \cdot R_E \end{array} \right\} \frac{U_b}{R_1 + R_2} = \frac{U_{BE} + I_a \cdot R_E}{R_2}$$

$$\rightarrow I_a = \frac{U_b \cdot R_2}{R_1 + R_2} - \frac{U_{BE}}{R_E}$$

Aufgabe 2

■ a) ges.: I_q, R_1, R_2



$\beta = 400$	} T_1
$U_{BE} = 0,7 \text{ V}$	
$U_A = -300 \text{ V}$	
$U_{CE,A} = 3 \text{ V}$	
$U_D = 0,7 \text{ V}$ bei $I_D = I_B$	
$R_E = 1 \text{ k}\Omega$	
$U_b = 15 \text{ V}$	
$I_a = 2 \text{ mA}$	

$$1. R_2: \quad \cancel{U_D} + U_{R2} = \cancel{U_{BE}} + U_{RE}$$

$$U_D = U_{BE}, \quad I_E = I_B + I_C = I_C \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

$$U_{R2} = R_E \cdot I_C \cdot \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = 1 \text{ k}\Omega \cdot 2 \text{ mA} \cdot \left(1 + \frac{1}{400}\right) = 2 \text{ V}$$

$$R_2 = \frac{U_{R2}}{I_D} \quad \text{mit } I_D = I_B = \frac{I_C}{\beta} = 5 \mu\text{A}$$

$$= 400 \text{ k}\Omega //$$

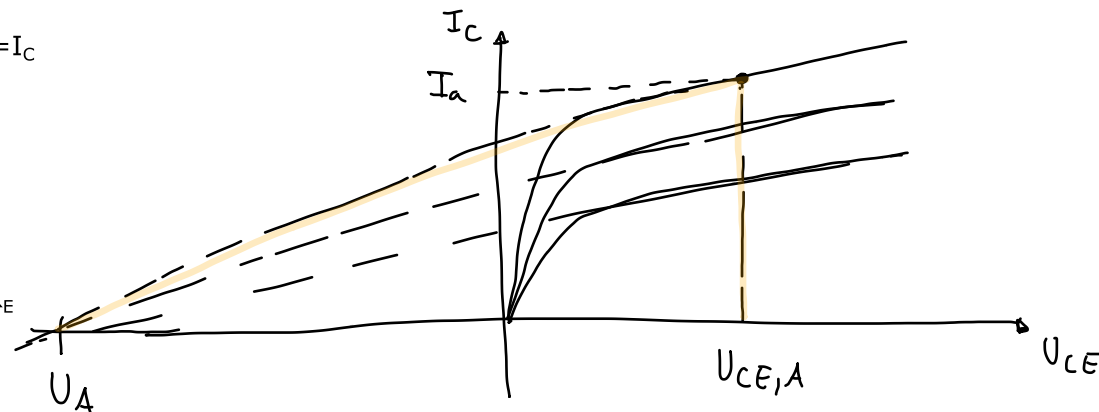
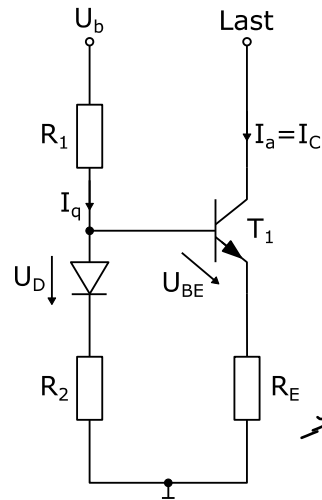
$$2. I_q = I_D + I_B = 10 \mu\text{A}$$

$$3. R_1 = \frac{U_b - 0,7 \text{ V} - U_{R2}}{I_q} = \frac{15 \text{ V} - 0,7 \text{ V} - 2 \text{ V}}{10 \mu\text{A}} = 1,23 \text{ M}\Omega$$

Aufgabe 2

■ b) ges.: r_a

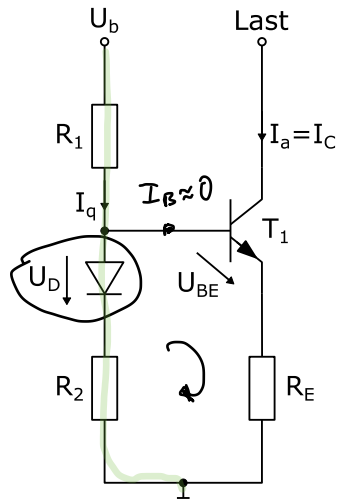
$$r_a \approx r_{CE} = \frac{U_{CE,A} - U_A}{I_a} = \frac{3V - (-300V)}{2mA} = 151,5 k\Omega$$



- $\beta = 400$
- $U_{BE} = 0,7 V$
- $U_A = -300 V$
- $U_{CE,A} = 3 V$
- $U_D = 0,7 V$ bei $I_D = I_B$
- $R_E = 1 k\Omega$
- $U_b = 15 V$
- $I_a = 2 mA$

Aufgabe 2

■ c) ges.: Aufgabe von D_1



- $\beta = 400$
- $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$
- $U_A = -300 \text{ V}$
- $U_{CE,A} = 3 \text{ V}$
- $U_D = 0,7 \text{ V}$ bei $I_D = I_B$
- $R_E = 1 \text{ k}\Omega$
- $U_b = 15 \text{ V}$
- $I_a = 2 \text{ mA}$

$$U_b = I_q \cdot R_1 + U_D + I_a \cdot R_2$$

$$\hookrightarrow I_q = \frac{U_b - U_D}{R_1 + R_2}$$

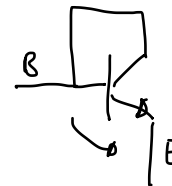
$$I_q \cdot R_2 + \cancel{U_D} = \cancel{U_{BE}} + I_a \cdot R_E$$

$$I_q = \frac{I_a \cdot R_E}{R_2}$$

$$I_a = \frac{(U_b - U_D)}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_2}{R_E}$$



$\hat{=}$



Differenzverstärker mit ohmscher Last

■ Gleich- und Gegentaktspannung

$$\begin{aligned}
 U_G &= \frac{U_{e1} + U_{e2}}{2} \\
 U_D &= U_{e1} - U_{e2}
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} U_G \\ U_D \end{aligned}} \right\}
 \begin{aligned}
 U_{e1} &= U_G + \frac{U_D}{2} \\
 U_{e2} &= U_G - \frac{U_D}{2}
 \end{aligned}$$

■ Gleich- und Gegentaktverstärkung

$$A_G = \frac{U_{a1,2}}{U_G} \Big|_{U_D=0}$$

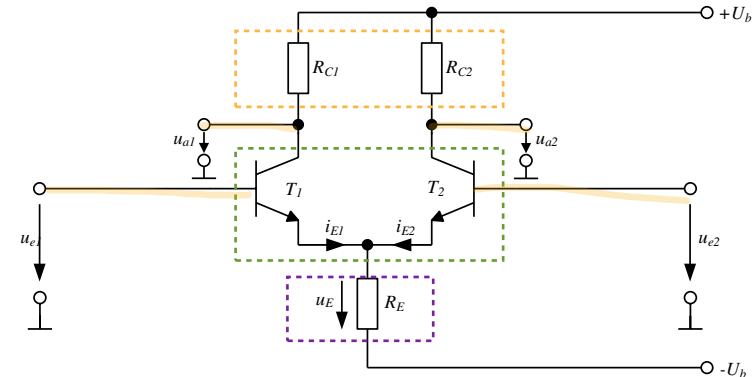
$$A_D = \frac{U_{a1,2}}{U_D} \Big|_{U_G = \text{const}}$$

■ Gleichtaktunterdrückung

$$CMRR = \frac{|A_D|}{|A_G|} \quad \text{ideal CMRR} \rightarrow \infty$$

■ Eigenschaften:

- Verstärkt die Differenzspannung an den Eingängen unabhängig von der Gleichtaktspannung



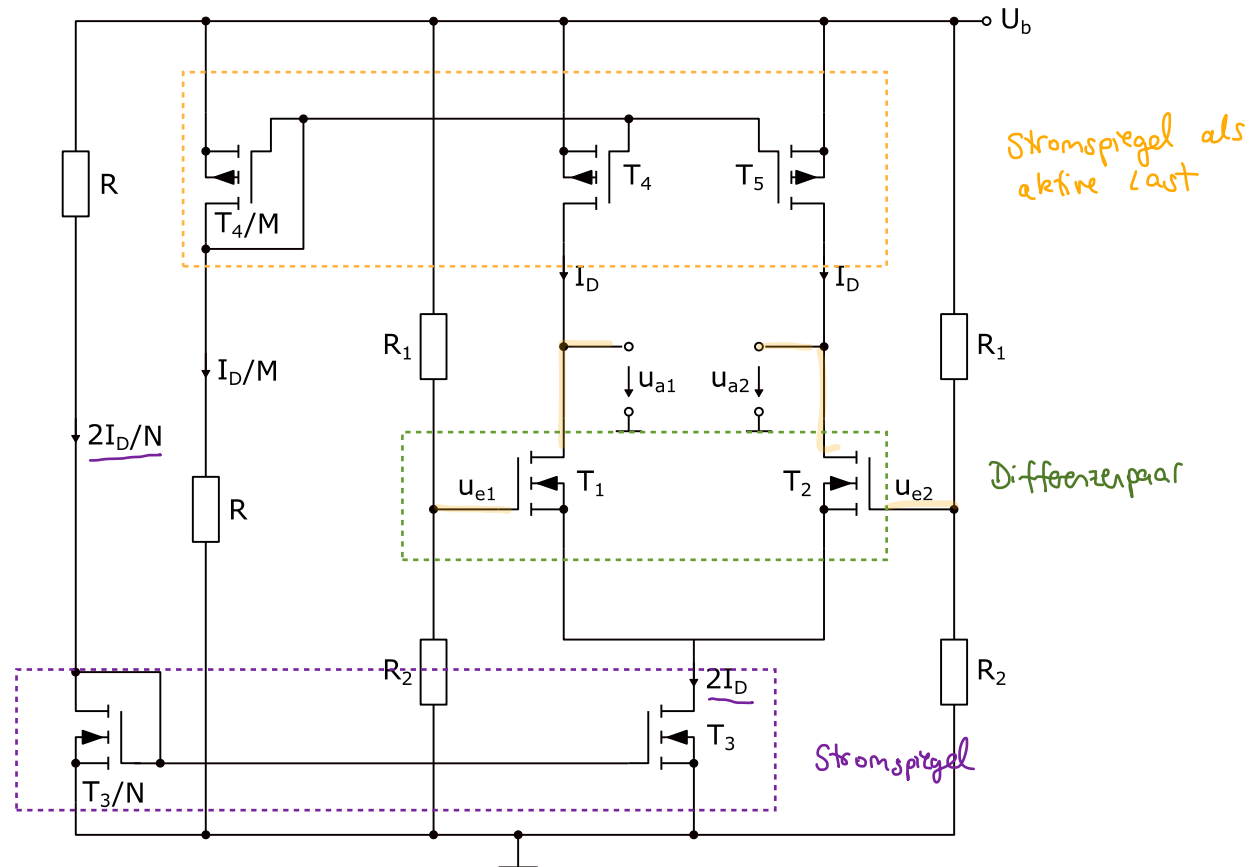
Quelle: Skript ES

Differenzverstärker mit ohmscher Last

- Vorteile:
 - Weitgehend freie Wahl der Gleichtaktspannung → Direktes Anschließen an viele Signalquellen
 - Es werden keine Koppelkondensatoren benötigt → breitbandige Verstärkung
 - Unterdrückung temperaturbedingter Änderungen in beiden Zweigen

Aufgabe 3

■ a) ges.: Aufgabe der Transistoren

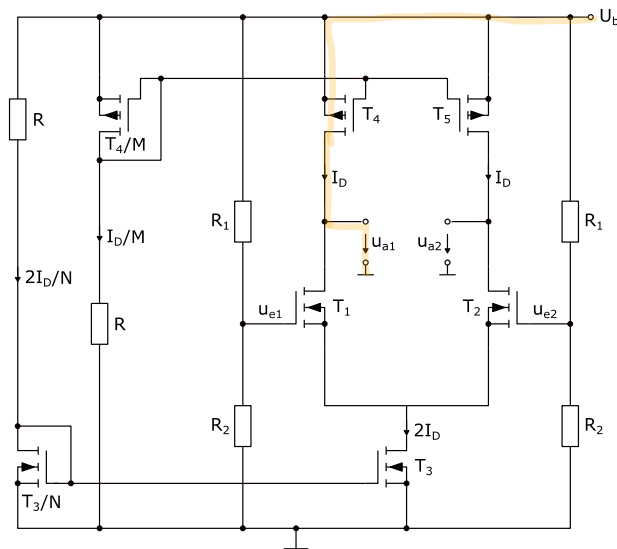


Aufgabe 3

■ b) ges.: $U_{a(1,2)}$

$$U_{a1} = U_b - U_{DS,4} = 3,3V - 2,3V = 1V //$$

$$U_{a2} = 1V //$$

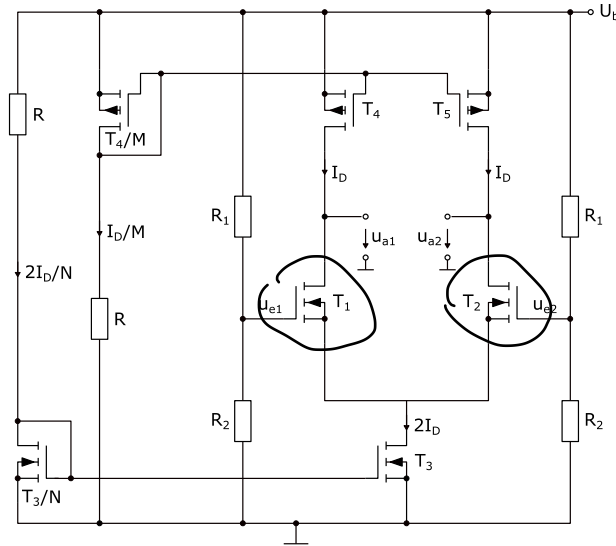


Aufgabe 3

■ c) ges.: $S_{(1,2)} = \frac{\partial I_D}{\partial U_{GS}}$

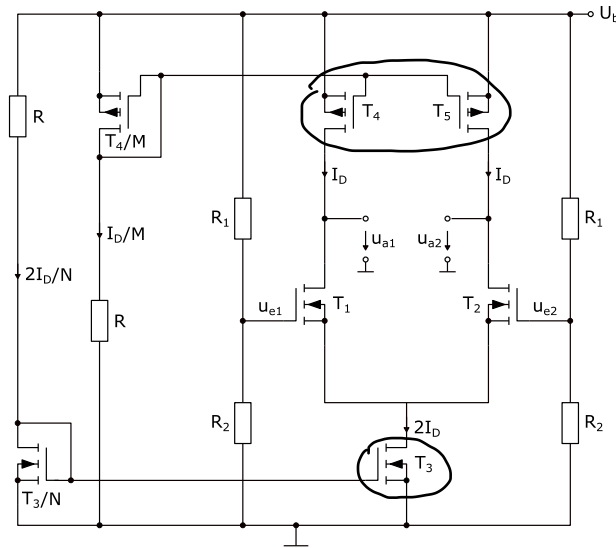
$$S_{(1,2)} = \beta \cdot (U_{GS} - U_{th}) = 1 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2} (1,5\text{V} - 0,5\text{V})$$

$$= 1 \text{ mS}$$



Aufgabe 3

■ d) ges.: $r_{DS(4,5)}$, r_{DS3}



T_4, T_5 :

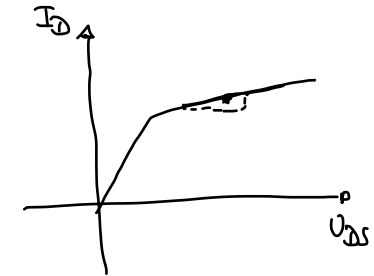
$$\left| \frac{\partial I_D}{\partial U_{DS}} \right| = \frac{5 \mu A}{1 V} = 5 \mu S$$

$$r_{DS(4,5)} = \frac{1}{5 \mu S} = 200 \text{ k}\Omega$$

T_3 :

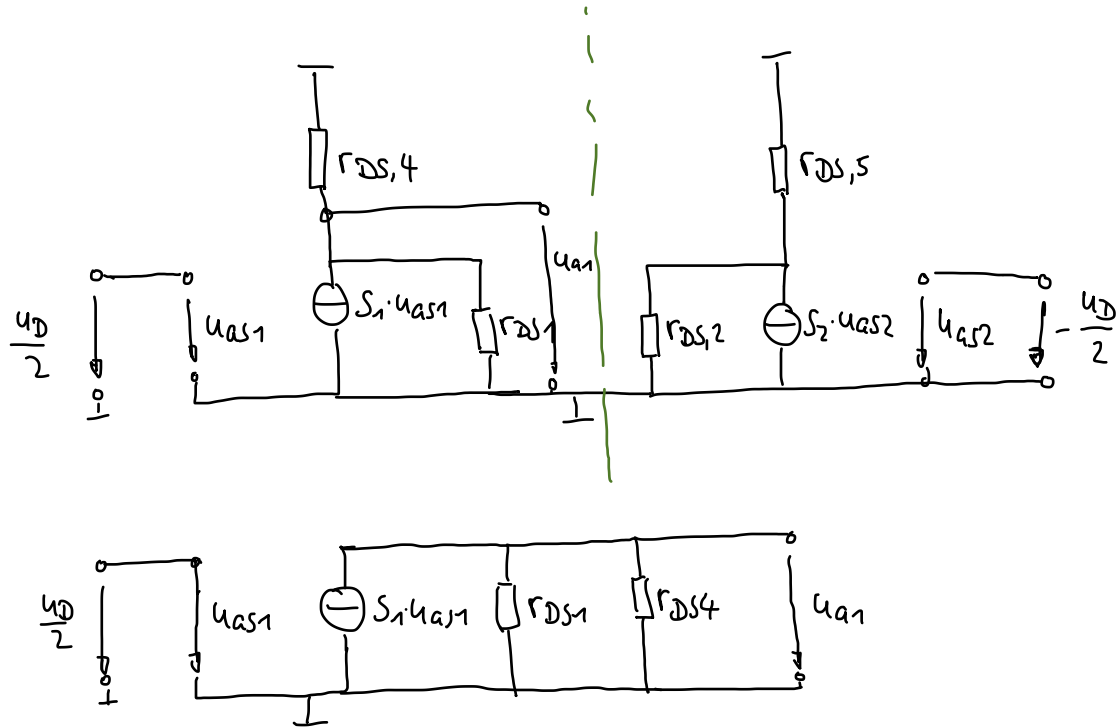
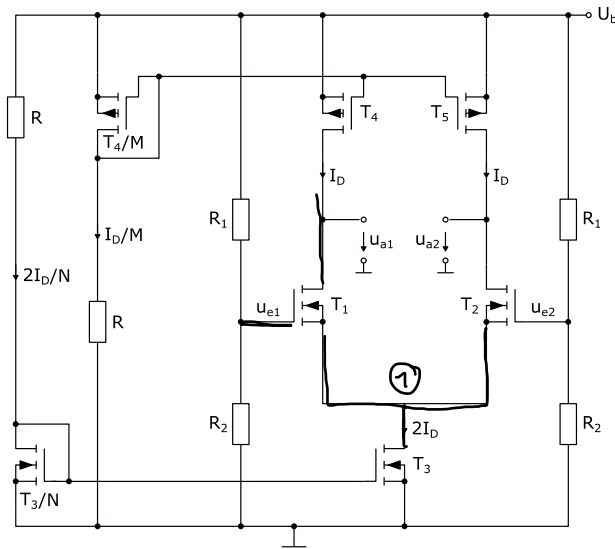
$$\left| \frac{\partial I_D}{\partial U_{DS}} \right| = \frac{2 \mu A}{1 V} = 2 \mu S$$

$$r_{DS,3} = \frac{1}{2 \mu S} = 500 \text{ k}\Omega$$



Aufgabe 3

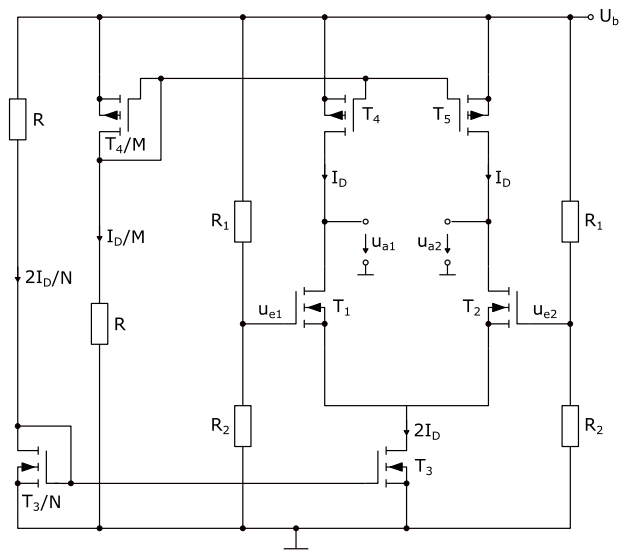
e) ges.: Gegentaktverstärkung $A_D = \frac{u_{a1,2}}{u_D}$



$$A_D = -S_1 \cdot (r_{DS1} \parallel r_{DS4}) \cdot \frac{1}{2} = -\frac{S_1}{2} \cdot r_{DS4} = -\frac{1 \text{ mS}}{2} \cdot 200 \text{ k}\Omega = -100$$

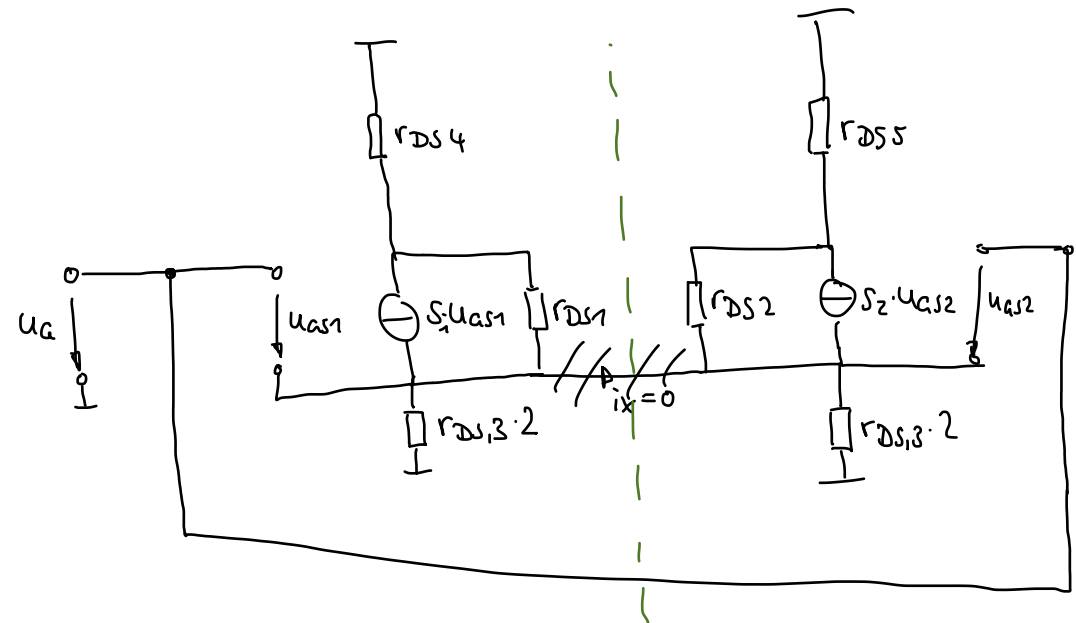
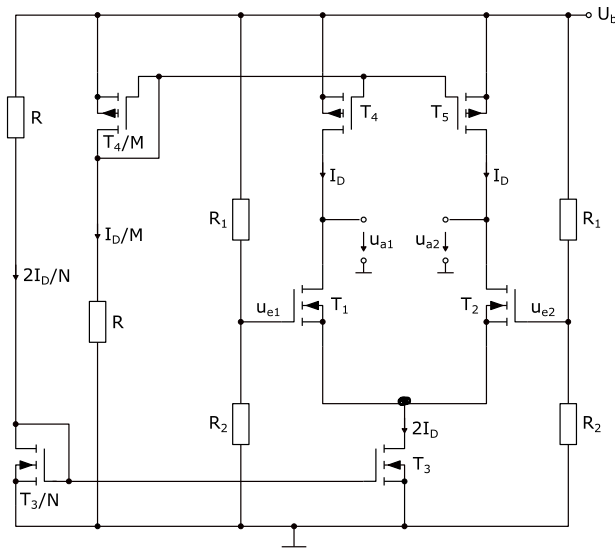
Aufgabe 3

- e) ges.: Gegentaktverstärkung A_D

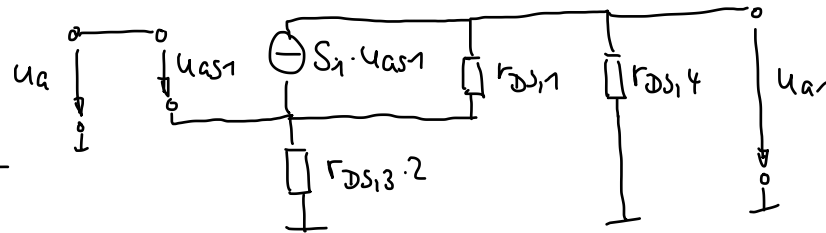


Aufgabe 3

f) ges.: Gleichtaktverstärkung $A_G = \frac{u_{a,1,2}}{u_a}$



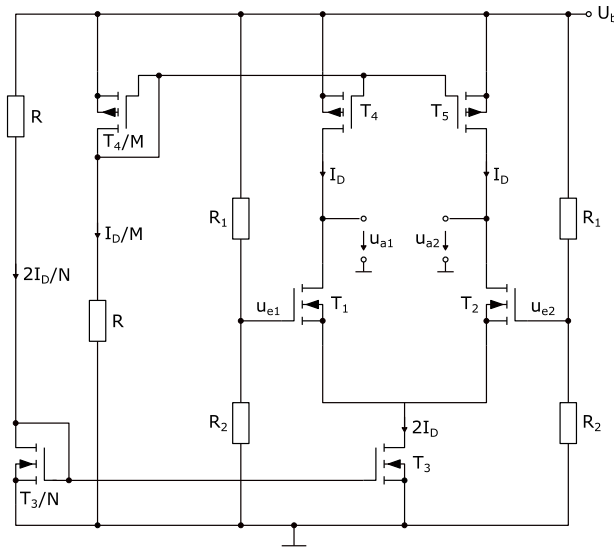
$$A_G = - \frac{r_{DS,1} \parallel r_{DS,4}}{2 \cdot r_{DS,3}} = - \frac{200 \text{ k}\Omega}{2 \cdot 500 \text{ k}\Omega} = -0,2$$



Aufgabe 3

■ g) ges.: Gleichtaktunterdrückung CMRR

$$CMRR = \frac{|A_{od}|}{|A_{a1}|} = \frac{100}{0,2} = 500 //$$



Organisatorisches

- 29.06 – 03.07. (KW 27): Tutorium 4 – Verstärkerschaltungen und Operationsverstärker
- 29.06.: Übung 5 – Operationsverstärker
- 02.07.: Live-Sprechstunde 3 – FETs & Verstärkerschaltungen

- Probe-Klausur: Aufgaben und Lösungen werden online hochgeladen

Umfrage zur Studieneingangsphase für Studierende des 2. Fachsemesters

■ Was?

Das KIT hat verschiedene Maßnahmen zur Unterstützung Studierender des ersten Fachsemesters eingeführt. Die online-basierte Umfrage erfragt Feedback der Studierenden zu Erfahrungen, Qualität der Angebote und Verbesserungsvorschlägen

■ Warum?

Weitere Verbesserung der Studienbedingungen für Studienanfänger*innen.

■ Aufwand?

ca. 8-15 Minuten

■ Wie?

■ URL: <https://onlineumfrage.kit.edu/evasys/online.php?p=MVWU4>

■ QR-Code



Vielen Dank fürs Mitmachen!

