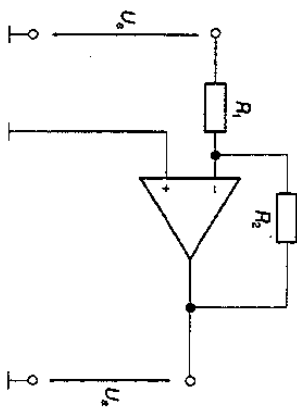


Beispiel A2

Name:

Operationsverstärker



$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$; OPV ideal!

1) Berechnen Sie R_2 für eine Spannungsverstärkung $u_u = -12$.

$R_2 =$ [5]

2) Wie groß ist der Eingangswiderstand der Schaltung?

$r_e =$ [5]

Begründung:

3) $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$; OPV ideal bis auf eine Offsetspannung

$U_{off} \in [-1 \text{ mV}, +1 \text{ mV}]$;

Wie groß ist der Bereich der Ausgangsspannung für $U_e = 200 \text{ mV}$?

$U_{a,min} =$

$U_{a,max} =$ [10]

4) $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$; OPV ideal bis auf $u_g = 1000$ und $r_{ag} = 150\Omega$. Bestimmen Sie die Verstärkung.

$u_u' =$ [15]

5) $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$; $U_e = 0.5 \text{ V}$; OPV ideal bis auf einen Eingangsruhestrom von $I_0 = 1 \mu\text{A}$. Bestimmen Sie die Ausgangsspannung des OPVs. I_0 ist als in den OPV fließend anzunehmen.

$U_a =$ [15]

Die Endergebnisse der schriftlich ausgeführten Berechnungen UNBEDINGT auch auf dieser Seite eintragen

A2: Operationsverstärker

Berechnungen:

1) $u_u = -\frac{R_2}{R_1} \rightarrow R_2 = -u_u \cdot R_1 = 120 \text{ k}\Omega$

2) $r_e = R_1$

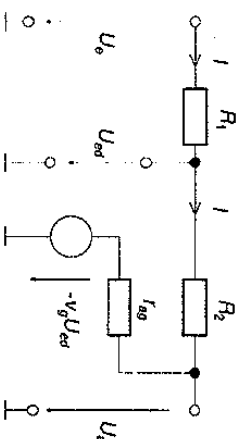
Begründung: Der invertierende Eingang des Operationsverstärkers bildet einen virtuellen Massepunkt. Die Eingangsspannung U_e fällt also zur Gänze über dem Widerstand R_1 ab.

3) $U_e - U_{off} = -\frac{U_{off} - U_a}{R_2}$

$U_a = U_{off} - \frac{R_2}{R_1} (U_e - U_{off})$

$U_{a,min} = -2.011 \text{ V}$ $U_{a,max} = -1.989 \text{ V}$

4) $I = \frac{U_{ed} + u_g \cdot U_{ed}}{R_2 + r_{ag}}$



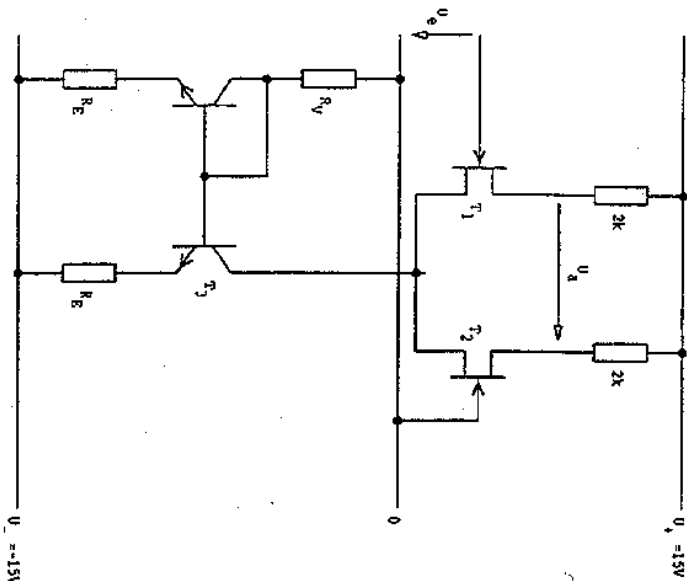
$u_u' = \frac{U_a}{U_e} = \frac{I \cdot r_{ag} - u_g \cdot U_{ed}}{I \cdot R_1 + U_{ed}} = \frac{(1 + u_g) \cdot \frac{r_{ag}}{R_2 + r_{ag}} - u_g}{(1 + u_g) \cdot \frac{R_1}{R_2 + r_{ag}} + 1}$

$u_u' = -9.891$

5) $U_a = -U_e \cdot \frac{R_2}{R_1} + I_0 \cdot R_2 = -4.9 \text{ V}$

A

Differenzverstärker mit JFETs



$T_1, T_2:$
 $I_{DSS} = 12mA$
 $U_p = -2.5V$
 $I_{G3} = 5mA$
 $U_{GS3} = 5.5V$
 $U_j = 0.6V$

Die Ergebnisse sind mit den Einheiten auf 3 Stellen genau auf diesem Blatt einzutragen. Schreiben Sie bitte auf jedes Blatt, das Sie beschreiben, Ihren Namen.

- a) Wie groß ist U_{GS} von T_2 im Arbeitspunkt ? 15Pkt.
- b) Wie groß ist der Spannungsabfall an R_{E2} ? 10Pkt.
- c) Wie groß ist R_{E2} ? 5Pkt.
- d) Wie groß ist R_{V1} , wenn $R_{E2} = 2k\Omega$ gewählt wird ? 5Pkt.
- e) Wie groß ist die Verstärkung ? 15Pkt.

A:

a.)

$$I_{G3} = 5mA \Rightarrow I_{D1} = I_{D2} = 2.5mA$$

$$U_{GS} = U_p \left(1 - \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}} \right)$$

$$U_{GS} = -2.5 \left(1 - \sqrt{\frac{2.5}{12}} \right) = -1.359V$$

b.)

$$U_{GS} + U_{GS3} + U_{R_E} = -U_-$$

$$U_{R_{E2}} = -U_- - U_{GS3} - U_{GS}$$

$$U_{R_{E2}} = 15 - 5.5 + 1.359$$

$$U_{R_{E2}} = 10.859V$$

c.)

$$U_{R_{E2}} = I_{G3} R_{E2} \Rightarrow R_{E2} = \frac{10.859V}{5mA}$$

$$R_{E2} = 2.172k\Omega$$

d.)

$$-U_- = (R_{V1} + R_{E2}) I_{G3} + U_j$$

$$R_{V1} + R_{E2} = \frac{-U_- - U_j}{I_{G3}} = \frac{15V - 0.6V}{5mA}$$

$$R_{V1} = 880\Omega$$

e.)

$$v_u = \frac{u_u}{u_e}$$

$$u_o = -i_{D1} R_{D1} + i_{D2} R_{D2}$$

$$u_e = i_{D1} / g_m - i_{D2} / g_m$$

$$v_u = -g_m R_D$$

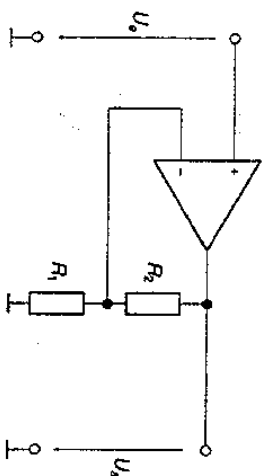
$$v_u = -\frac{2 \cdot I_{DSS} \cdot R_D}{U_p}$$

$$v_u = -\frac{2 \cdot 12mA \cdot 2k\Omega}{2.5V}$$

$$v_u = -8.764$$

Beispiel B2 Name:

Operationsverstärker



$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$; OPV ideal;

1) Berechnen Sie R_2 für $u_u = 10$.

$R_2 =$ _____ [5]

2) Wie groß ist der Eingangswiderstand der Schaltung?

$r_e =$ _____ [5]

Begründung:

3) $R_2 = 120 \text{ k}\Omega$; OPV ideal bis auf $U_{off} \in [-5 \text{ mV}, +5 \text{ mV}]$; Wie groß ist der Bereich der Ausgangsspannung für $U_e = 100 \text{ mV}$?

$U_{a,min} =$ _____
 $U_{a,max} =$ _____ [10]

4) $R_2 = 120 \text{ k}\Omega$; OPV ideal bis auf $v_g = 1000$ und $r_{ag} = 1 \text{ k}\Omega$; Bestimmen Sie die Verstärkung.

$u_u' =$ _____ [15]

5) $R_2 = 120 \text{ k}\Omega$; $U_e = 10 \text{ mV}$; OPV ideal bis auf einen Eingangsruhestrom von $I_0 = 3 \mu\text{A}$; Bestimmen Sie die Ausgangsspannung des OPVs. I_0 ist als in den OPV fließend anzunehmen.

$U_a =$ _____ [15]

rote Mappe Original

1) $u_u = 1 + \frac{R_2}{R_1} \rightarrow R_2 = (u_u - 1) \cdot R_1 = 90 \text{ k}\Omega$

2) $r_e = \infty$

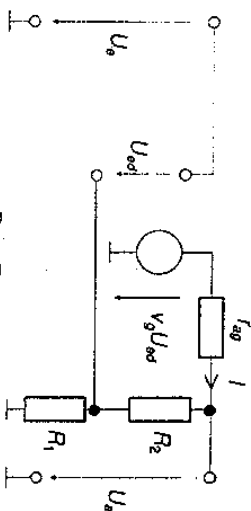
Begründung: Der Eingangswiderstand des Operationsverstärkers ist unendlich. Es fließt also kein Strom in die Operationsverstärkerschaltung.

3) $U_e - U_{off} = \frac{U_a}{R_1 + R_2}$

$U_a = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \cdot (U_e - U_{off})$

$U_{a,min} = 1.235 \text{ V}$ $U_{a,max} = 1.365 \text{ V}$

4) $I = \frac{v_g \cdot U_{ed}}{r_{ag} + R_1 + R_2}$



$u_u' = \frac{U_a}{U_e} = \frac{I \cdot (R_1 + R_2)}{U_{ed} + I \cdot R_1} = v_g \cdot \frac{R_1 + R_2}{r_{ag} + R_1 + R_2} \cdot \frac{R_1}{R_1 + v_g \cdot \frac{R_1 + R_2}{r_{ag} + R_1 + R_2}}$

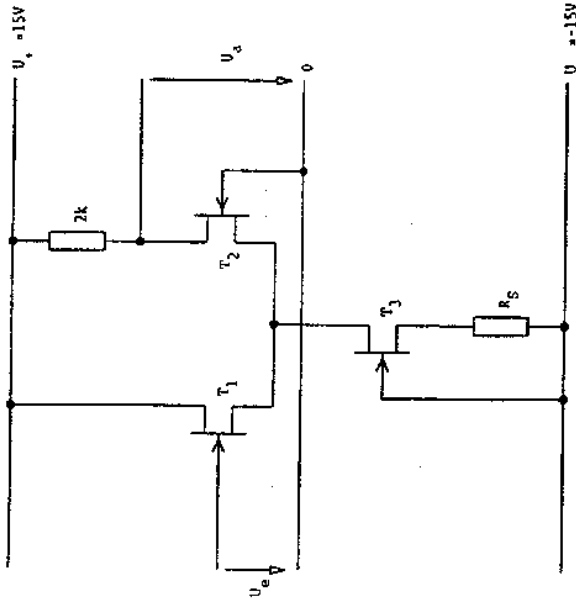
$u_u' = 12.8319$

5) $U_a = U_e \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_0 \cdot R_2 = 490 \text{ mV}$

5

B

Differenzverstärker mit JFETs



$T_1, T_2, T_3:$
 $I_{DSS} = 15mA$
 $U_p = -3.5V$

Die Ergebnisse sind mit den Einheiten auf 3 Stellen genau auf diesem Blatt einzutragen. Schreiben Sie bitte auf jedes Blatt, das Sie beschreiben, Ihren Namen.
 Für a) und b) stelle man den Arbeitspunkt des gezeigten Differenzverstärkers so ein, daß sich eine Spannungsverstärkung von $v_u = 4$ ergibt.

- a) Wie groß ist die Steilheit g_m von T_3 im Arbeitspunkt? $g_m = \underline{\hspace{2cm}}$ 10Pkt.
- b) Wie groß ist der Drainstrom I_{D2} von T_2 im Arbeitspunkt? $I_{D2} = \underline{\hspace{2cm}}$ 15Pkt.
 Für c), d), e) nehme man $I_{D2} = 3.5mA$ im Arbeitspunkt an.
- c) Wie groß ist R_S ? $R_S = \underline{\hspace{2cm}}$ 15Pkt.
- d) Wie groß ist U_{a0} ($U_e = 0V$)? $U_{a0} = \underline{\hspace{2cm}}$ 5Pkt.
- e) Wie groß muß U_+ mindestens sein, damit der Arbeitspunkt von T_3 im Stromquellenbereich liegt? $U_+ = \underline{\hspace{2cm}}$ 5Pkt.

B:

a)

$$u_a = -i_2 R_L \quad u_e = i_1/g_m - i_2/g_m \quad i_1 = -i_2$$

$$v_u = \frac{u_a}{u_e} = \frac{-i_2 R_L}{-i_2/g_m} = \frac{1}{2} g_m R_L$$

$$g_m = \frac{2v_u}{R_L} = \frac{2 \cdot 4}{2k\Omega} \quad g_m = 4 \frac{mA}{V}$$

b)

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_p}\right)^2 \quad g_m = \frac{dI_D}{dU_{GS}} = \frac{2\sqrt{I_D I_{DSS}}}{-U_p}$$

$$I_D = \left(\frac{g_m U_p}{2}\right)^2 / I_{DSS} \quad I_D = 3.27mA$$

c)

$$U_{GS3} = U_p \left(1 - \sqrt{\frac{I_{D3}}{I_{DSS}}}\right) \quad I_{D3} = 2I_{D2}$$

$$R_S = \frac{U_{GS3}}{I_{D3}} \Rightarrow R_S = 158.4\Omega$$

d)

$$U_{a0} = U_+ - I_{D2} R_{D2}$$

$$U_{a0} = 15V - 3.5mA \cdot 2k\Omega$$

$$U_{a0} = 8V$$

e)

$$U_{GD} \leq U_p \quad \text{für Stromquellenbereich}$$

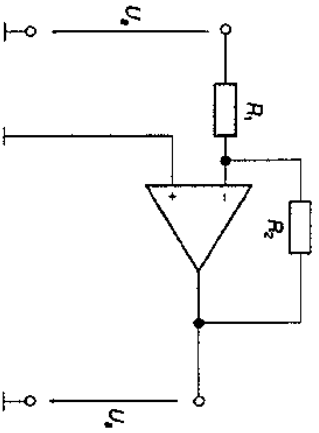
$$U_{DG} \geq -U_p = 3.5V = I_{D2} R_{D2}$$

$$U_{+min} = U_{DGmin} + I_{D2} R_{D2}$$

$$U_{+min} = 10.5V$$

Beispiel C2 Name:

Operationsverstärker



$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$; $R_2 = 150 \text{ k}\Omega$; OPV ideal;

1) Berechnen Sie die Spannungsverstärkung der Schaltung.

$U_u =$ _____ [5]

2) Wie groß ist der Eingangswiderstand der Schaltung?

$r_e =$ _____ [5]

Begründung:

3) OPV ideal bis auf eine Offsetspannung:
Wie groß darf U_{off} maximal sein, damit für $U_e = 0$ der Betrag der Ausgangsspannung $|U_a|$ kleiner als 3mV bleibt?

$|U_{off,max}| =$ _____ [10]

4) OPV ideal bis auf $u_{eg} = 5000$ und $r_{eg} = 1\text{k}\Omega$:
Bestimmen Sie die Verstärkung.

$u_u' =$ _____ [15]

5) $U_e = 0,1\text{V}$; OPV ideal bis auf einen Eingangsstrom von $I_0 = 2\mu\text{A}$.
Bestimmen Sie die Ausgangsspannung des OPVs. I_0 ist in den OPV fließend anzunehmen.

$U_a =$ _____ [15]

rote Mappe Original

Berechnungen:

1) $U_u = -\frac{R_2}{R_1} = -15$

2) $r_e = R_1$

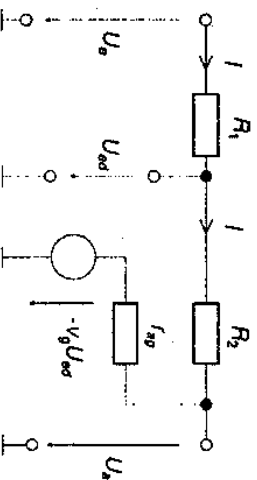
Begründung: Der invertierende Eingang des Operationsverstärkers bildet einen virtuellen Massepunkt. Die Eingangsspannung U_e fällt also zur Gänze über dem Widerstand R_1 ab.

3) $U_e - U_{off} = \frac{U_{off} - U_a}{R_2}$

$U_{off} = \frac{U_a}{1 + \frac{R_2}{R_1}}$

$|U_{off,max}| = 187,5\mu\text{V}$

4)



$I = \frac{U_{ed} + u_g \cdot U_{ed}}{R_2 + r_{ag}}$

$u_u' = \frac{U_a}{U_e} = \frac{I \cdot r_{ag} - u_g \cdot U_{ed}}{I \cdot R_1 + U_{ed}} = \frac{(1 + u_g) \cdot \frac{r_{ag}}{R_2 + r_{ag}} - u_g}{(1 + u_g) \cdot \frac{R_1}{R_2 + r_{ag}} + 1}$

$u_u' = -14,9518$

5) $U_a = -U_e \cdot \frac{R_2}{R_1} + I_0 \cdot R_2 = -1,2\text{V}$

Name:

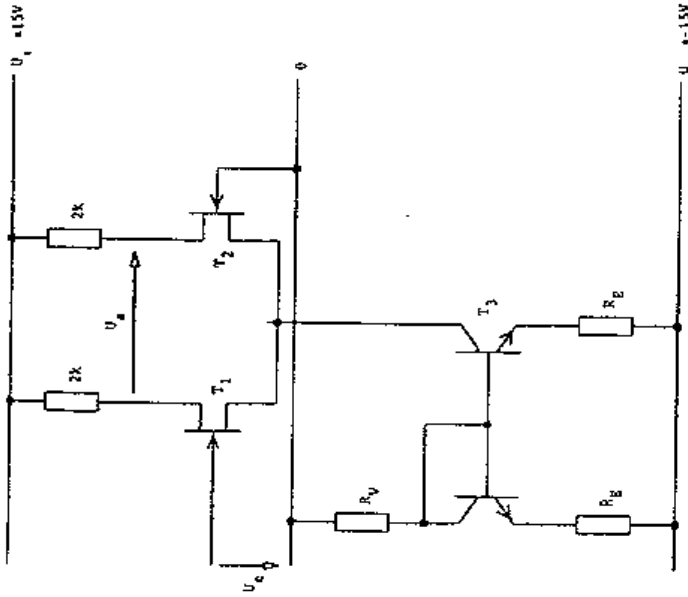
Matrikelnr.:

3. Klausur BEE

19.1.1993

C

Differenzverstärker mit JFETs



T_1, T_2 :
 $I_{DSS} = 14\text{mA}$
 $U_p = -3\text{V}$

$I_{CS} = 5\text{mA}$
 $U_{GS3} = 6\text{V}$
 $U_f = 0.6\text{V}$



Die Ergebnisse sind mit den Einheiten auf 3 Stellen genau auf diesem Blatt einzutragen. Schreiben Sie bitte auf jedes Blatt, das Sie beschreiben, Ihren Namen.

- a) Wie groß ist U_{GS} von T_2 im Arbeitspunkt? $U_{GS} = \underline{\hspace{2cm}}$ 15Pkt.
- b) Wie groß ist der Spannungsabfall an R_E ? $U_{R_E} = \underline{\hspace{2cm}}$ 10Pkt.
- c) Wie groß ist R_E ? $R_E = \underline{\hspace{2cm}}$ 5Pkt.
- d) Wie groß ist R_V , wenn $R_E = 2.2\text{k}\Omega$ gewählt wird? $R_V = \underline{\hspace{2cm}}$ 5Pkt.
- e) Wie groß ist die Verstärkung? $u_a = \underline{\hspace{2cm}}$ 15Pkt.

C:

a.)

$$I_{CS} = 5\text{mA} \Rightarrow I_{D1} = I_{D3} = 2.5\text{mA}$$

$$U_{GS} = U_p \left(1 - \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}} \right)$$

$$U_{GS} = -3 \left(1 - \sqrt{\frac{2.5}{14}} \right) = -1.732\text{V}$$

b.)

$$U_{GS} + U_{GS3} + U_{R_E} = -U_-$$

$$U_{R_E} = -U_- - U_{GS3} - U_{GS}$$

$$U_{R_E} = 15 - 6 + 1.732$$

$$U_{R_E} = 10.732\text{V}$$

c.)

$$U_{R_E} = I_{CS} R_E \Rightarrow R_E = \frac{10.732\text{V}}{5\text{mA}}$$

$$R_E = 2.1464\text{k}\Omega$$

d.)

$$-U_- = (R_V + R_E) I_{CS} + U_f$$

$$R_V + R_E = \frac{-U_- - U_f}{I_{CS}} = \frac{15\text{V} - 0.6\text{V}}{5\text{mA}}$$

$$R_V = 680\Omega$$

e.)

$$u_a = \frac{u_e}{u_e}$$

$$u_a = -i_{D1} R_D + i_{D3} R_D$$

$$u_a = i_{D1} / g_m - i_{D3} / g_m$$

$$u_a = -g_m R_D$$

$$u_a = -\frac{2\sqrt{I_{CS} I_{DSS}}}{-U_p} \cdot R_D$$

$$u_a = -\frac{2\sqrt{2.5\text{mA} \cdot 14\text{mA}}}{3\text{V}} \cdot 2\text{k}\Omega$$

$$u_a = -7.888$$

3.Klausur Rechenübungen "Bauelemente der Elektronik"

Berechnungen:

1) $v_u = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 16$

2) $r_e = \infty$

Begründung: Der Eingangswiderstand des Operationsverstärkers ist unendlich. Es fließt also kein Strom in die Operationsverstärkerschaltung.

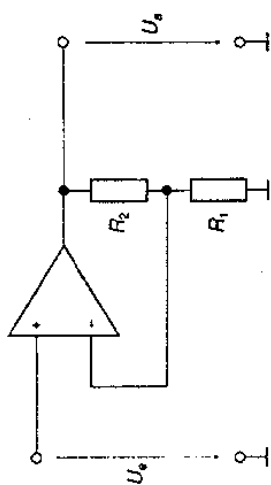
3) $\frac{U_e - U_{off}}{R_1} = \frac{U_e}{R_1 + R_2}$

$U_{off} = \frac{U_e}{R_1 + R_2}$

$|U_{off,max}| = 1.25mV$

4) $I = \frac{v_g \cdot U_{ed}}{r_{ag} + R_1 + R_2}$

5) $U_a = U_e \cdot (1 + \frac{R_2}{R_1}) + I_0 \cdot R_2 = 1.75V$



$R_1 = 10 k\Omega; R_2 = 150 k\Omega; OPV$ ideal;

1) Berechnen Sie die Spannungsverstärkung der Schaltung. 5

2) Wie groß ist der Eingangswiderstand der Schaltung? 6

Begründung:

$v_u =$ _____

$r_e =$ _____

3) OPV ideal bis auf eine Offsetspannung: Wie groß darf U_{off} maximal sein, damit für $U_e = 0$ der Betrag der Ausgangsspannung $|U_a|$ kleiner als 20mV bleibt? 10

$|U_{off,max}| =$ _____

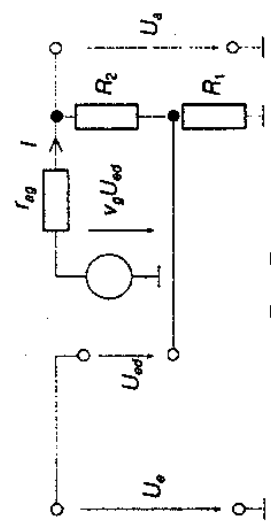
4) OPV ideal bis auf $v_g = 3000$ und $r_{ag} = 500\Omega$. Bestimmen Sie die Verstärkung. 15

$v_u' =$ _____

5) $U_e = 0.1V$; OPV ideal bis auf einen Eingangsruhestrom von $I_0 = 1\mu A$. Bestimmen Sie die Ausgangsspannung des OPVs. I_0 ist in den OPV fließend anzunehmen. 15

$U_a =$ _____

rote Mappe Original

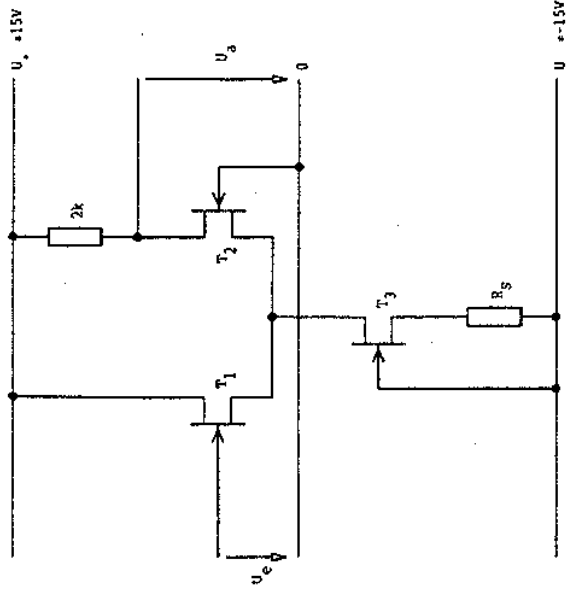


$v_u' = \frac{U_a}{U_e} = \frac{I \cdot (R_1 + R_2)}{U_{ed} + I \cdot R_1} = v_g \cdot \frac{R_1 + R_2}{r_{ag} + R_1 + R_2} \cdot \frac{R_1}{R_1 + v_g \cdot r_{ag} + R_1 + R_2}$

$v_u' = 15.9149$

D

Differenzverstärker mit JFETs



T_1, T_2, T_3 :
 $I_{DSS} = 15mA$
 $U_p = -3.5V$

Die Ergebnisse sind mit den Einheiten auf 3 Stellen genau auf diesem Blatt einzutragen. Schreiben Sie bitte auf jedes Blatt, das Sie beschreiben, Ihren Namen.
 Für a) und b) stelle man den Arbeitspunkt des gezeigten Differenzverstärkers so ein, daß sich eine Spannungsverstärkung von $v_a = 5$ ergibt.

- a) Wie groß ist die Steilheit g_m von T_3 im Arbeitspunkt ? $g_m = \dots\dots\dots$ 10Pkt.
- b) Wie groß ist der Drainstrom I_{D2} von T_2 im Arbeitspunkt ? $I_{D2} = \dots\dots\dots$ 15Pkt.
- Für c), d), e) nehme man $I_{D2} = 4.5mA$ im Arbeitspunkt an.
- c) Wie groß ist R_S ? $R_S = \dots\dots\dots$ 15Pkt.
- d) Wie groß ist U_{a0} ($U_e = 0V$) ? $U_{a0} = \dots\dots\dots$ 5Pkt.
- e) Wie groß muß U_+ mindestens sein, damit der Arbeitspunkt von T_3 im Stromquellenbereich liegt? $U_+ = \dots\dots\dots$ 5Pkt.

D:

a)

$$u_a = -i_2 R_L \quad u_e = i_1/g_m - i_2/g_m \quad i_1 = -i_2$$

$$v_a = \frac{u_a}{u_e} = \frac{-i_2 R_L}{-i_2/g_m} = \frac{1}{2} g_m R_L$$

$$g_m = \frac{2v_a}{R_L} = \frac{2 \cdot 5}{2k\Omega} \quad g_m = 5 \frac{mA}{V}$$

b)

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_p}\right)^2 \quad g_m = \frac{dI_D}{dU_{GS}} = \frac{2\sqrt{I_D I_{DSS}}}{-U_p}$$

$$I_D = \left(\frac{g_m U_e}{2}\right)^2 / I_{DSS} \quad I_D = 5.104mA$$

c)

$$U_{GS3} = U_p \left(1 - \sqrt{\frac{I_{D3}}{I_{DSS}}}\right) \quad I_{D3} = 2I_{D2}$$

$$R_S = \frac{-U_{GS3}}{I_{D3}} \Rightarrow R_S = 87.66\Omega$$

d)

$$U_{a0} = U_+ - I_{D2} R_{D2}$$

$$U_{a0} = 15V - 4.5mA \cdot 2k\Omega$$

$$U_{a0} = 6V$$

e)

$U_{GD} \leq U_p$ für Stromquellenbereich

$$U_{DG} \geq -U_p = 3.5V = I_{D2} R_{D2}$$

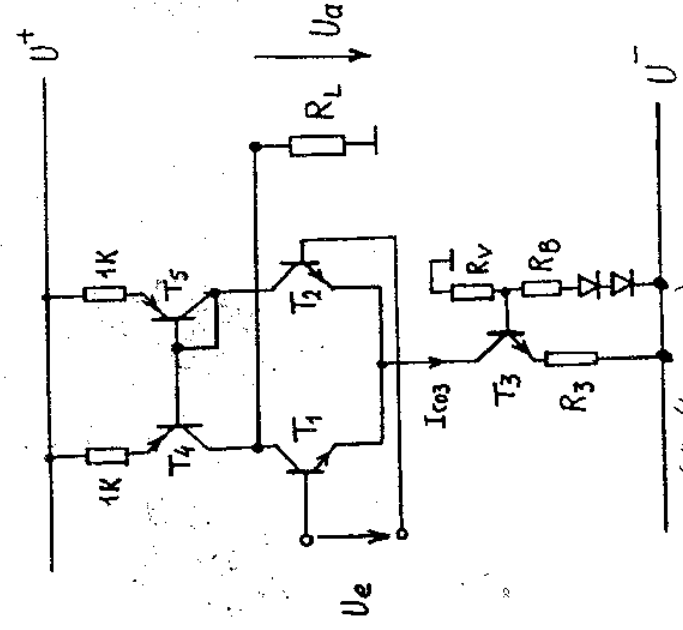
$$U_{+min} = U_{DGmin} + I_{D2} R_{D2}$$

$$U_{+min} = 12.5V$$

Name: _____ Matr.Nr.: _____

2. Klausur (Bipolar-Transistoren) aus Bauelemente der Elektronik 1990-12-07
(Gruppe A)

2. Beispiel: Differenzverstärker mit Stromspiegel, Geg.: $U^+ = 12V, U^- = -12V,$
 $\beta = B = 300, U_T = 0.6V, U_T = 25mV, I_{C03} = 10mA, R_L = 100K\Omega$



5

- n-Kanal Fet: • $U_{GS} \rightarrow I_{D1}$ (lin. $U_{GS} \rightarrow \infty$)
- Sauf U^- (negativwärts)
 - U_P (Sping-off vollst. Schaltung. ($I_D = 0$))
 - I_{DSS} (max. Strom bei ($U_{GS} = 0$))

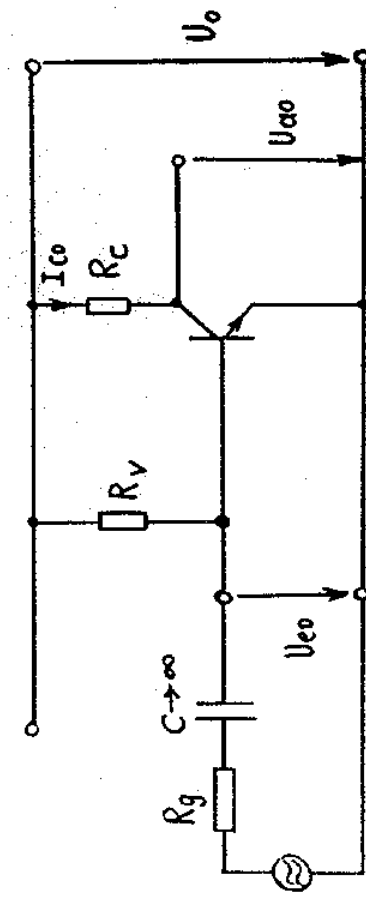
Name: _____ Matr.Nr.: _____

2. Klausur (Bipolar-Transistoren) aus Bauelemente der Elektronik 1990-12-07
(Gruppe A)

Bitte tragen Sie die Ergebnisse an den hierfür vorgesehenen Stellen ein- nur diese werden berücksichtigt! Die Ergebnisse dürfen maximal 10% von den exakten Werten abweichen.

1. Beispiel: Stellen Sie den Arbeitspunkt in folgender Emitterschaltung mit Basisstromansteuerung ein. Berechnen Sie den Eingangswiderstand r_e , den Ausgangswiderstand r_a die Spannungsverstärkung $v_u = \frac{v_a}{v_e}$.

Geg.: $\beta = B = 250, U_0 = 12V, U_f = 0.7V, U_T = 25mV, I_{C0} = 12mA, U_{a0} = 6V$



- $R_C = 500 \Omega$ (8)
- $R_V = 235 k\Omega$ (8)
- $r_e = 520 \Omega$ (8)
- $r_a = 500 \Omega$ (8)
- $v_u = -240$ (8)

FET: arbeitsbereich von $U_{GS} \rightarrow$ neg Bereich

Bauelemente der Elektronik

Rechenübungen

A

Name: _____ Matr.Nr.: _____

2. Klausur (Bipolar-Transistoren) aus Bauelemente der Elektronik 1990-12-07
(Gruppe A)

Wie groß muß das Verhältnis $z = \frac{R_3}{R_1 + R_2}$ sein, damit die Spannung an R_3 möglichst temperaturunabhängig eingestellt ist?

- $z = \underline{0,5}$ (10)
 $U_{R_3} = \underline{6V}$ (10)
 $R_3 = \underline{600\Omega}$ (10)

Stellen Sie für $U_{c0} = 0$ den Arbeitspunkt ein und berechnen Sie den Eingangswiderstand r_e und die Spannungsverstärkung $v_u = \frac{u_a}{u_e}$.

- $g_{m1} = g_{m2} = g_m = \underline{0,2 S}$ (10)
 $r_e = \underline{3 k\Omega}$ (10)
 $v_u = \underline{-20000}$ (10)

5

Bsp 1:

$$R_C = \frac{U_0 - U_{c0}}{I_{C0}} = \frac{(12 - 6)V}{12 mA} = 500 \Omega$$

$$R_V = \frac{U_0 - U_f}{I_{B0}} = B \frac{U_0 - U_f}{I_{C0}} = 250 \frac{(12 - 0,7)V}{12 mA} = 235,42 k\Omega$$

$$g_m = \frac{I_{C0}}{U_T} = \frac{12 mA}{25 mV} = 0,48 S \quad \frac{B}{g_m} = 520,83 \Omega$$

$$r_e = R_V \parallel \frac{B}{g_m} = 235,42 k\Omega \parallel 520,83 \Omega = 519,68 \Omega$$

$$r_a = R_C = 500 \Omega$$

$$V_u = -g_m R_C = -240$$

Bsp 2:

$$X = \frac{1}{2}$$

$$U_{R_3} = \frac{-U - 2U_f}{2} = \frac{12V - 2U_f}{2} = 6V - U_f$$

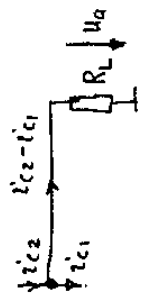
$$U_f + U_{R_3} = U_{R_3} + 2U_f \rightarrow U_{R_3} = U_{R_3} + U_f = 6V$$

$$R_3 = \frac{U_{R_3}}{I_{C03}} = \frac{6V}{10 mA} = 600 \Omega$$

$$g_{m1} = g_{m2} = g_m = \frac{I_{C03}}{U_T} = \frac{5 mA}{25 mV} = 0,2 S$$

$$r_e = \frac{B}{g_m} + \frac{B}{g_m} = 2 \frac{B}{g_m} = \frac{2 \cdot 300}{0,2 S} = 3 k\Omega$$

$$V_u = \frac{(2c_2 - 2c_1) R_L}{g_m (2c_1 - 1c_2)} = -g_m R_L = -0,2 S \cdot 100 k\Omega = -20.000$$



Bauelemente der Elektronik Rechenübungen

B

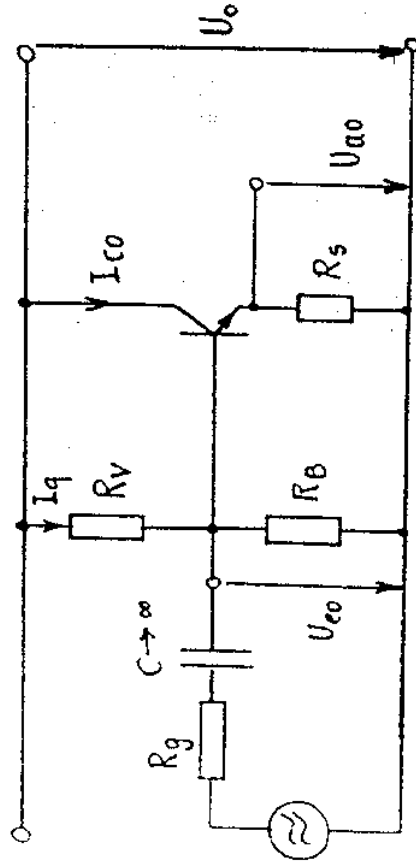
Name: _____ Matr.Nr.: _____

2. Klausur (Bipolar-Transistoren) aus Bauelemente der Elektronik 1990-12-07
(Gruppe B)

Bitte tragen Sie die Ergebnisse an den hierfür vorgesehenen Stellen ein- nur diese werden berücksichtigt! Die Ergebnisse dürfen maximal 10% von den exakten Werten abweichen.

Beispiel: Stellen Sie den Arbeitspunkt in folgender Kollektorschaltung ein. Berechnen Sie den Eingangswiderstand r_e , den Ausgangswiderstand r_a die Spannungsverstärkung $v_u = \frac{u_a}{u_e}$.

Geg: $\beta = B = 200$, $U_0 = 10V$, $U_f = 0.7V$, $U_T = 25mV$, $I_{C0} = 12mA$, $U_{a0} = 4V$,
 $I_f = 1mA$, $R_g = 50\Omega$



- $R_s = 333\Omega$ (5)
- $R_B = 4,7k\Omega$ (5)
- $R_V = 5,3k\Omega$ (5)
- $r_e = 2,49k\Omega$ (10)
- $r_a = 2,3\Omega$ (10)
- $v_u = 1$ (5)

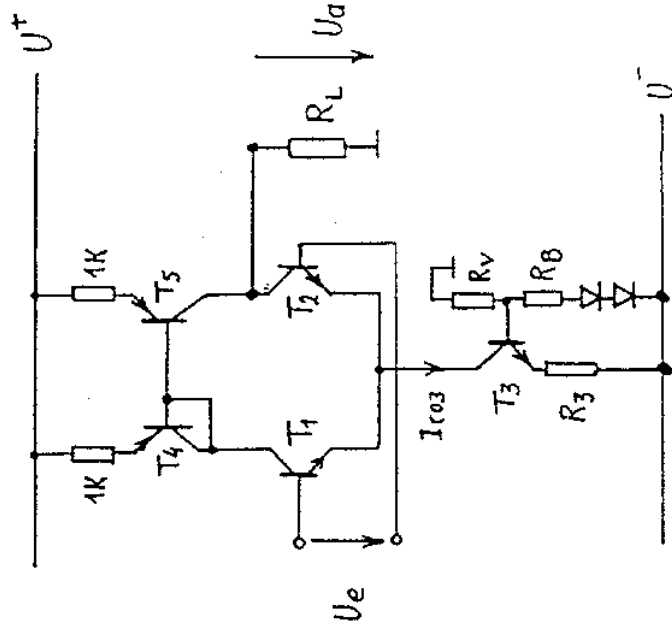
Bauelemente der Elektronik Rechenübungen

B

Name: _____ Matr.Nr.: _____

2. Klausur (Bipolar-Transistoren) aus Bauelemente der Elektronik 1990-12-07
(Gruppe B)

Beispiel: Differenzverstärker mit Stromspiegel, Geg: $U^+ = 12V$, $U^- = -12V$,
 $\beta = B = 100$, $U_f = 0.7V$, $U_T = 25mV$, $I_{C03} = 12mA$, $R_L = 100k\Omega$



US

Bauelemente der Elektronik

Rechenübungen

B

Name: _____ Matr.Nr.: _____

2. Klausur (Bipolar-Transistoren) aus Bauelemente der Elektronik 1990-12-07
(Gruppe B)

Wie groß muß das Verhältnis $x = \frac{R_B}{R_V + R_B}$ sein, damit die Spannung an R_3 möglichst temperaturunabhängig eingestellt ist?

- $x = \underline{0,5}$ (10)
- $U_{R_3} = \underline{6V}$ (10)
- $R_3 = \underline{500\Omega}$ (10)

Stellen Sie für $U_{e0} = 0$ den Arbeitspunkt ein und berechnen Sie den Eingangswiderstand r_e und die Spannungsverstärkung $v_u \approx \frac{v_a}{v_e}$.

- $g_{m1} = g_{m2} = g_m = \underline{0,245}$ (10)
- $r_e = \underline{833\Omega}$ (10)
- $v_u = \underline{24000}$ (10)

Bspl 1:

$$R_S = \frac{U_{00}}{I_{c0}} = 333,33\Omega$$

$$R_V = \frac{U_0 - (U_f + U_{00})}{I_q} = 5,3\text{ k}\Omega$$

$$R_B = \frac{U_{e0}}{I_q} = \frac{4,7\text{V}}{1\text{mA}} = 4,7\text{ k}\Omega$$

$$r_e = R_V \parallel R_B \parallel \left(\frac{\beta}{g_m} + \beta R_S \right) \approx R_V \parallel R_B = 2,49\text{ k}\Omega$$

$$r_a = \left[\frac{1}{\beta} (R_B \parallel R_V \parallel R_B) + \frac{1}{g_m} \right] \parallel R_S \approx 2,318\Omega$$

$\frac{2,49\text{ k}\Omega}{49} \quad \frac{2,108\Omega}{0,245}$

$v_u \approx 1$

Bspl 2: $x = \frac{1}{2} \quad U_{R_B} = 6V - U_f \quad U_{R_3} = 6V$

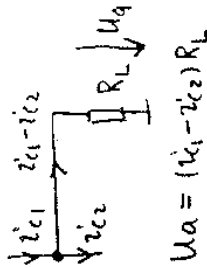
$$R_3 = \frac{6V}{I_{c03}} = 500\Omega$$

$$g_{m1} = g_{m2} = g_m = \frac{I_{c03}/2}{U_T} = \frac{6\text{mA}}{25\text{mV}} = 0,245$$

$$r_e = 2 \frac{\beta}{g_m} = \frac{200}{0,245\text{S}} = 833,33\Omega$$

$$v_u = \frac{v_a}{v_e} = \frac{(r_{c1} - r_{c2}) R_L}{\frac{1}{g_m} (r_{c1} - r_{c2})} = g_m R_L$$

$$= 0,245 \cdot 100\text{ k}\Omega = 24.000$$



$$U_a = (i_{c1} - i_{c2}) R_L$$

15

Bauelemente der Elektronik Rechenübungen

C

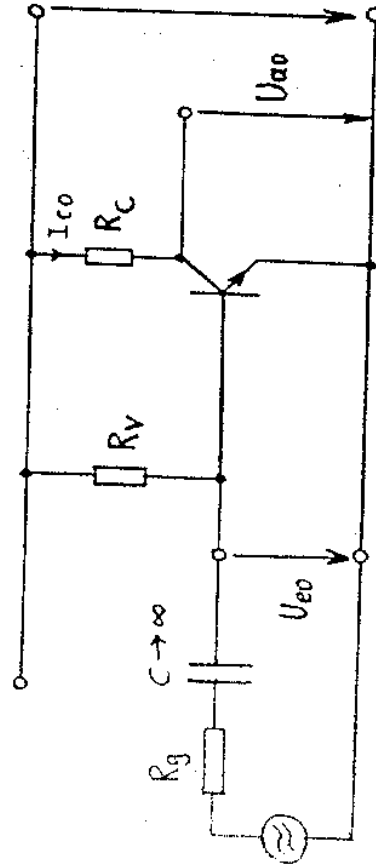
Name: _____ Matr.Nr.: _____

2. Klausur (Bipolar-Transistoren) aus Bauelemente der Elektronik 1990-12-07
(Gruppe C)

Bitte tragen Sie die Ergebnisse an den hierfür vorgesehenen Stellen ein - nur diese werden berücksichtigt! Die Ergebnisse dürfen maximal 10% von den exakten Werten abweichen.

1. Beispiel: Stellen Sie den Arbeitspunkt in folgender Emitterschaltung mit Basisstromansteuerung ein. Berechnen Sie den Eingangswiderstand r_e , den Ausgangswiderstand r_a die Spannungsverstärkung $v_u = \frac{u_a}{u_e}$.

Geg.: $\beta = B = 350$, $U_0 = 10V$, $U_f = 0.6V$, $U_T = 25mV$, $I_{C0} = 10mA$, $U_{a0} = 5V$



- $R_C = 500 \Omega$ (8)
- $R_V = 329 k\Omega$ (8)
- $r_e = 873 \Omega$ (8)
- $r_a = 500 \Omega$ (8)
- $v_u = -200$ (8)

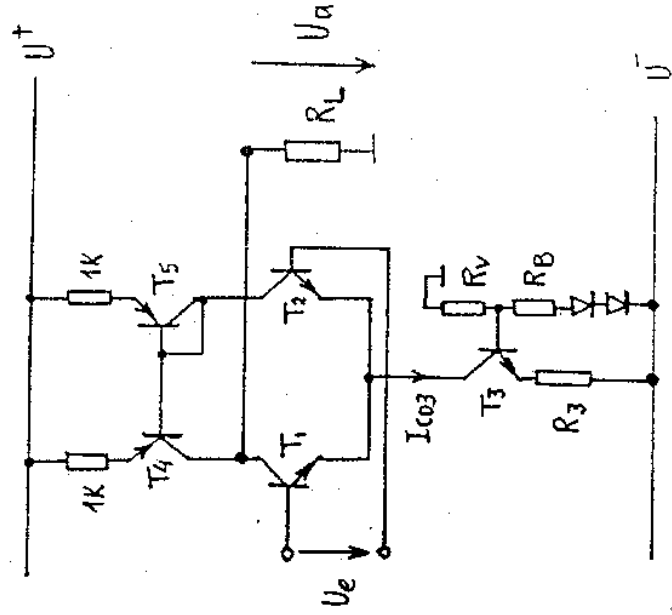
Bauelemente der Elektronik Rechenübungen

C

Name: _____ Matr.Nr.: _____

2. Klausur (Bipolar-Transistoren) aus Bauelemente der Elektronik 1990-12-07
(Gruppe C)

2. Beispiel: Differenzverstärker mit Stromspiegel, Geg.: $U^+ = 15V$, $U^- = -15V$, $\beta = B = 200$, $U_f = 0.7V$, $U_T = 25mV$, $I_{C03} = 12mA$, $R_L = 150K\Omega$



5

Bauelemente der Elektronik

Rechenübungen

Name: _____ Matr.Nr.: _____
 2. Klausur (Bipolar-Transistoren) aus Bauelemente der Elektronik 1990-12-07
 (Gruppe C)

Wie groß muß das Verhältnis $x = \frac{R_B}{R_V + R_B}$ sein, damit die Spannung an R_3 möglichst temperaturunabhängig eingestellt ist?

- $x = \underline{0,5}$ (10)
- $U_{R_3} = \underline{7,5V}$ (10)
- $R_3 = \underline{625\Omega}$ (10)

Stellen Sie für $U_{e0} = 0$ den Arbeitspunkt ein und berechnen Sie den Eingangswiderstand r_e und die Spannungsverstärkung $v_u = \frac{v_u}{v_e}$.

- $g_{m1} = g_{m2} = g_m = \underline{0,24S}$ (10)
- $r_e = \underline{1,66k\Omega}$ (10)
- $v_u = \underline{-36000}$ (10)

W

Bsp 1:

$$R_C = \frac{U_0 - U_{ao}}{I_{CO}} = \frac{(10 - 5)V}{10mA} = 500\Omega$$

$$R_V = \frac{U_0 - U_f}{I_{R_0}} = B \frac{U_0 - U_f}{I_{CO}} = 350 \frac{(10 - 0,6)V}{10mA} = 329k\Omega$$

$$\frac{B}{g_m} = B \frac{I_{CO}}{U_T} = 350 \frac{10mA}{25mV} = 875\Omega$$

$$g_m = \frac{I_{CO}}{U_T} = 0,4S$$

$$r_e = R_V \parallel \frac{B}{g_m} = 329k\Omega \parallel 875\Omega = 873\Omega$$

$$r_a = 500\Omega$$

$$v_u = -g_m \cdot R_C = -0,4S \cdot 500\Omega = -200$$

Bsp 2:

$$x = \frac{1}{2}$$

$$U_{R_0} = \frac{-U - 2U_f}{2} = (15V - 2 \cdot 2V) / 2 = 7,5V - U_f$$

$$U_f + U_{R_3} = U_{R_0} + 2U_f \rightarrow U_{R_3} = U_{R_0} + U_f = 7,5V$$

$$R_3 = \frac{7,5V}{12mA} = 625\Omega$$

$$g_{m1} = g_{m2} = g_m = \frac{I_{CO3/2}}{U_T} = \frac{6mA}{25mV} = 0,24S$$

$$r_e = 2 \frac{B}{g_m} = \frac{400}{0,24S} = 1,66k\Omega$$

$$v_u = -g_m R_C = -0,24S \cdot 150k\Omega = -36000$$

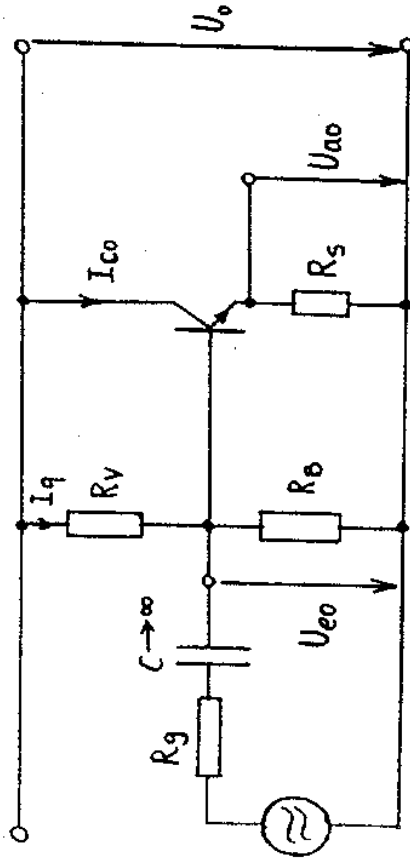
Name: _____ Matr.Nr.: _____

2. Klausur (Bipolar-Transistoren) aus Bauelemente der Elektronik 1990-12-07
(Gruppe D)

Bitte tragen Sie die Ergebnisse an den hierfür vorgesehenen Stellen ein - nur diese werden berücksichtigt! Die Ergebnisse dürfen maximal 10% von den exakten Werten abweichen.

1. Beispiel: Stellen Sie den Arbeitspunkt in folgender Kollektorschaltung ein. Berechnen Sie den Eingangswiderstand r_e , den Ausgangswiderstand r_a die Spannungsverstärkung $v_u = \frac{u_a}{u_e}$.

Geg.: $\beta = B = 300$, $U_0 = 12V$, $U_f = 0.7V$, $U_T = 25mV$, $I_{C0} = 12mA$, $U_{a0} = 5V$,
 $I_q = 2mA$, $R_g = 50\Omega$



$R_S = \underline{417 \Omega}$ (5)
 $R_B = \underline{2,85 k\Omega}$ (5)
 $R_V = \underline{3,15 k\Omega}$ (5)
 $r_e = \underline{1,49 k\Omega}$ (10)
 $r_a = \underline{2,24 \Omega}$ (10)
 $v_u = \underline{1}$ (5)

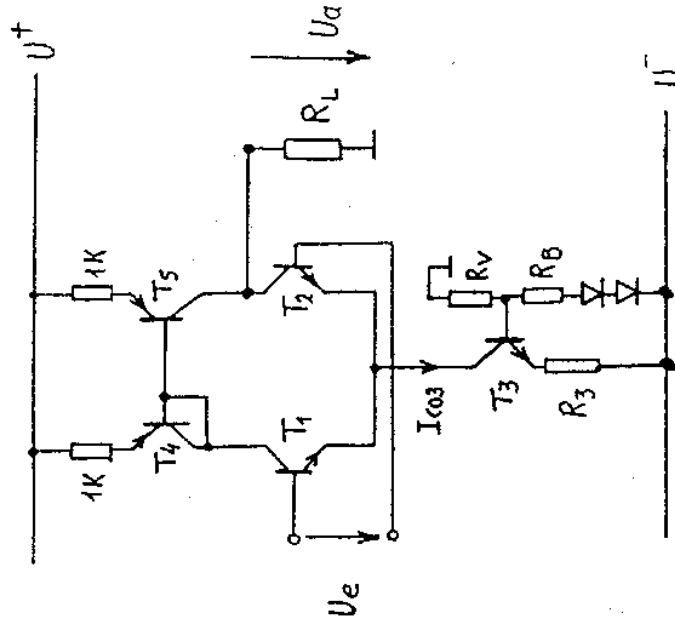
W

Name: _____

Matr.Nr.: _____

2. Klausur (Bipolar-Transistoren) aus Bauelemente der Elektronik 1990-12-07
(Gruppe D)

2. Beispiel: Differenzverstärker mit Stromspiegel, Geg.: $U^+ = 15V$, $U^- = -15V$,
 $\beta = B = 200$, $U_f = 0.6V$, $U_T = 25mV$, $I_{C03} = 12mA$, $R_L = 100k\Omega$



Bauelemente der Elektronik Rechenübungen

D

Vorname U

Name: _____ Matr.Nr.: _____

2. Klausur (Bipolar-Transistoren) aus Bauelemente der Elektronik 1990-12-07
(Gruppe D)

Wie groß muß das Verhältnis $z = \frac{R_g}{R_v + R_B}$ sein, damit die Spannung an R_3 möglichst temperaturunabhängig eingestellt ist?

- $z = 0,5$ (10)
- $U_{R_3} = 7,5V$ (10)
- $R_3 = 625\Omega$ (10)

Stellen Sie für $U_{e0} = 0$ den Arbeitspunkt ein und berechnen Sie den Eingangswiderstand r_e und die Spannungsverstärkung $v_u = \frac{v_u}{v_i}$.

- $g_{m1} = g_{m2} = g_m = 0,24S$ (10)
- $r_e = 1,66k\Omega$ (10)
- $v_u = 24000$ (10)

U

Bspl 1:

$$R_S = \frac{U_{e0}}{I_{c0}} = \frac{5V}{12mA} = 416,66\Omega$$

$$R_V = \frac{U_0 - (U_f + U_{e0})}{I_q} = 3,15k\Omega$$

$$R_B = \frac{U_{e0}}{I_q} = \frac{U_f + U_{e0}}{I_q} = 2,85k\Omega$$

$$r_e = R_v \parallel R_B \parallel \left(\frac{B}{g_m} + B R_S \right) \approx R_v \parallel R_B = 1,49k\Omega$$

$$r_a = \left[\frac{1}{B} (R_g \parallel R_v \parallel R_B) + \frac{1}{g_m} \right] \parallel R_S \approx 2,24k\Omega$$

$\frac{1,49k\Omega}{48,38} \parallel \frac{2,08\Omega}{0,16}$

$v_u \approx 1$

Bspl 2: $x = \frac{1}{2}$ $U_{R3} = 7,5V - U_f$ $U_{R3} = 7,5V$

$$R_3 = \frac{7,5V}{I_{c03}} = 625\Omega$$

$$g_{m1} = g_{m2} = g_m = \frac{I_{c03/2}}{U_T} = \frac{6mA}{25mV} = 0,24S$$

$$r_e = 2 \frac{B}{g_m} = \frac{400}{0,24S} = 1,66k\Omega$$

$$v_u = g_m R_L = 0,24S \cdot 100k\Omega = 24000$$

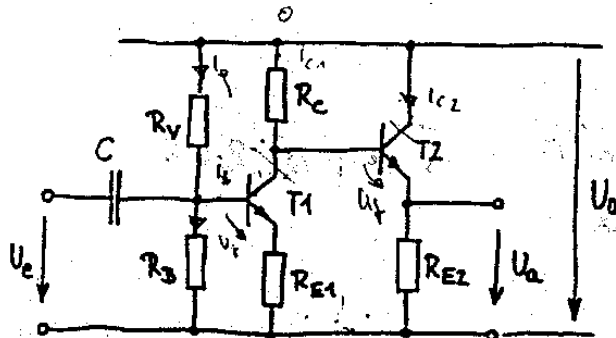
SCHALTUNGSDIMENSIONIERUNG (10 %)

$U_0 = 10 \text{ V}$

Transistoren:

$\beta = (100 \dots 300)$

$U_T = 0,6 \text{ V}, U_T = 25 \text{ mV}$



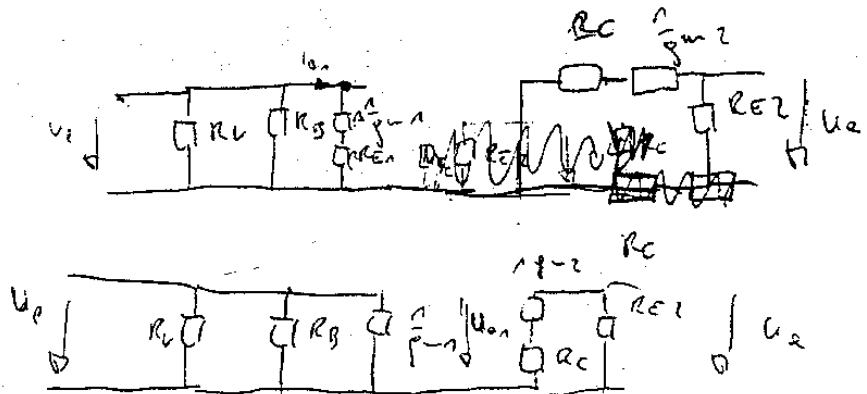
Dimensionieren Sie die Widerstände $RE2, RC, RE1, RB$ und RV sowie die Kapazität C so, daß die Schaltung folgende Eigenschaften hat:

- Kleinsignal-Spannungsverstärkung für $f \gg f_g$: $|v_u| = 1 (\pm 10 \%)$
- Kleinsignal-Ausgangswiderstand: $r_a < 50 \Omega$
- Kollektorstrom von T2: $I_{C2} = 10 \text{ mA} (\pm 10 \%)$
- Grenzfrequenz der Schaltung (d.h. Frequenz, bei der die Kleinsignalspannungsverstärkung auf $1/\sqrt{2}$ ihres Wertes bei hohen Frequenzen abnimmt): $1 \text{ kHz} < f_g < 10 \text{ kHz}$.

Wählen Sie eine Ausgangsruhespannung U_{a0} , bei der sich beide Transistoren im aktiven Betrieb befinden.

Tragen Sie die Ergebnisse bitte in unten stehende Tabelle ein!

$U_{a0} =$	33,34 uV
$RE2 =$	3,334 Ω
$RC =$	
$RE1 =$	
$RV =$	
$RB =$	
$C =$	



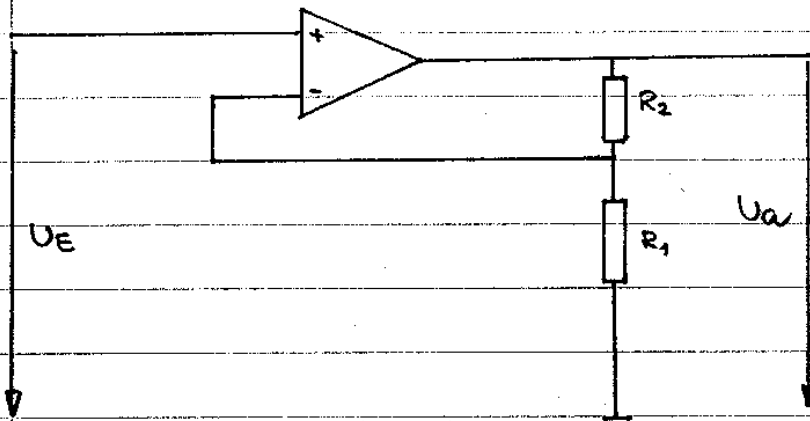
$$\underline{v_{u1}} = \frac{dU_1}{dU_{a1}} = \frac{dU_1}{dU_{a1}} = \frac{dI_{C1} \left(\frac{1}{\beta-1} + R_{E1} \right)}{dI_{C1} \left(\frac{1}{\beta-1} + R_{E1} \right)} = 1$$

$\Rightarrow dU_1 = dU_{a1}$

$$\underline{v_{u2}} = \frac{dU_2}{dU_{a2}} = \frac{dU_1}{dU_{a2}} = \frac{dU_1}{I_{C2} \cdot R_{E2}}$$

FET

BSP 1 (35%)



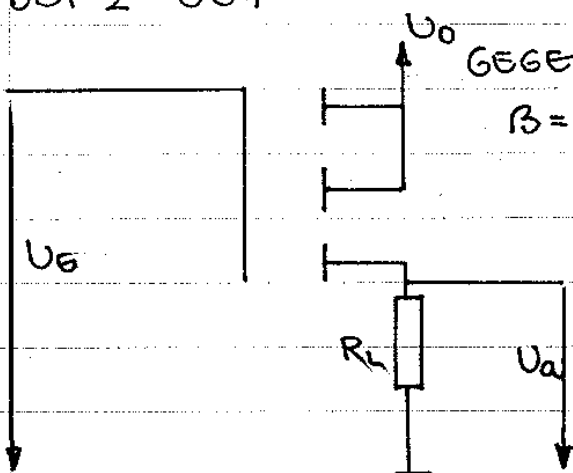
GEGEBEN:

$U_B = -2V \dots 2V$

$R_1 = 10k\Omega$

- a) OPV ist ideal. Berechnen Sie R_2 für $U_A = -12V \dots 12V$ (5%)
- b) Schaltung wie a) Berechnen Sie den Eingangswiderstand r_E und Ausgangswiderstand r_A (10%)
- c) Modifizieren Sie die Schaltung aus a) derart, daß der Ausgangsspannungsbereich $U_A = 0V \dots 24V$ beträgt (Zeichnung ergänzen) 10%
- d) Schaltung wie a) OPV ideal bis $U_{OFFS} = -20mV \dots 20mV$ Entwerfen Sie ein geeignetes Netzwerk zur Korrektur der U_{off} , wobei der Fehler der Verstärkung $V_{r\infty max}$ 0,5% sein darf (Zeichnung ergänzen) 10%

BSP 2 30%



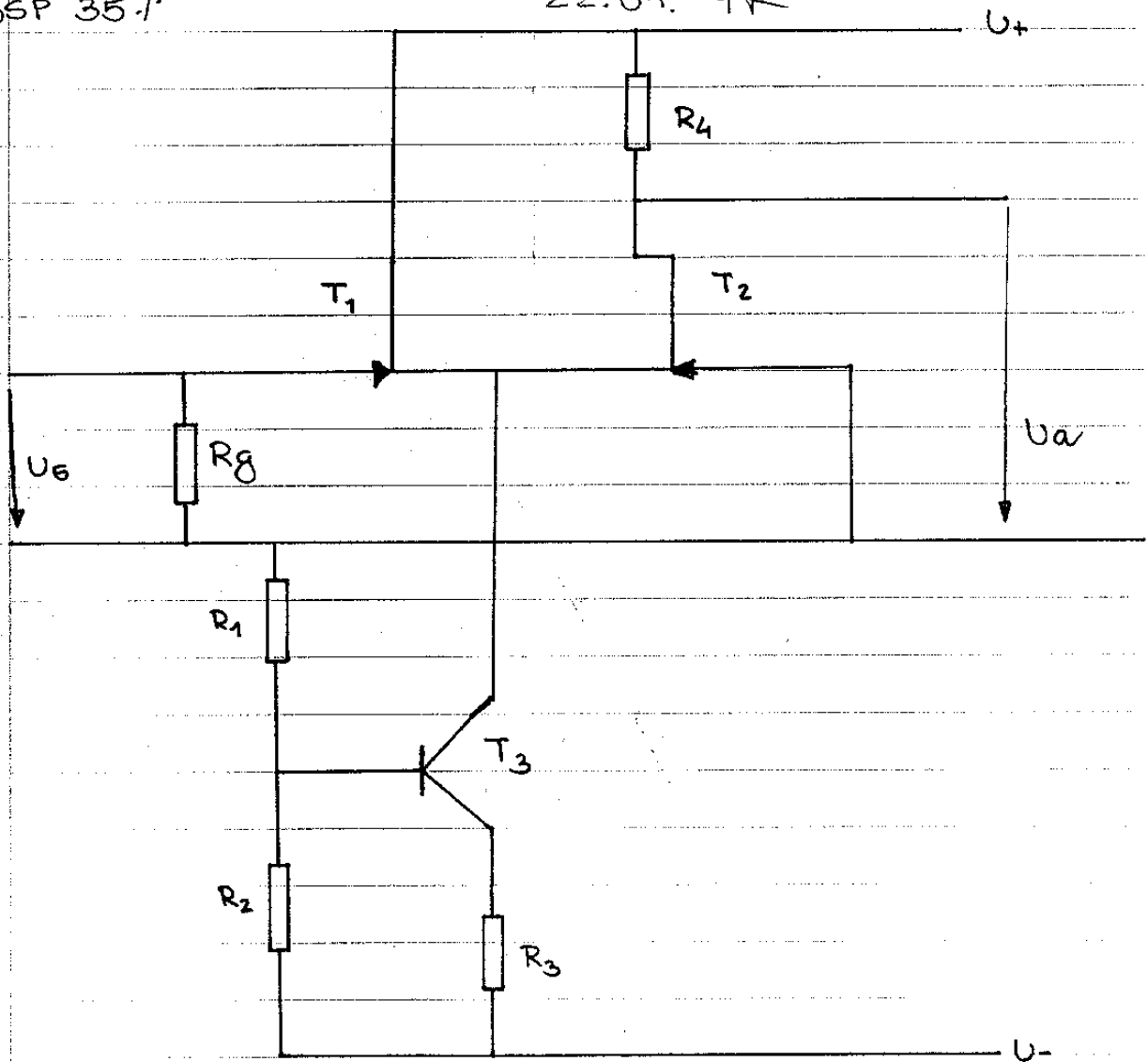
GEGEBEN: $U_0 = 12V$ $U_T = -2V$

$\beta = 2mA/V^2$ $R_L = 5k\Omega$

- a) Wie groß ist U_A für $U_E = U_0$ (5%)
- b) Bei welcher Spannung U_A erfolgt der Übergang vom Stromquellenbereich in den OB? $U_A = \dots$ (5%)

Wie groß ist dann $U_E = \dots$ (5%) ~~12V~~ ~~12V~~

- c) Wie groß ist U_A für $U_E = 9V$ (5%)
- d) Wie groß ist U_E für $U_A = 11,8V$ (5%)
- e) Zeichnen Sie die Übertragungskennlinie $U_A(U_E)$ für $0 < U_E < U_0$ und kennzeichnen Sie die markanten Bereiche (5%)



GEGEBEN: JFET: $I_{DSS} = 10 \text{ mA}$ $U_p = -3 \text{ V}$

BIPOLAR: $U_f = 0,6 \text{ V}$ $\beta = \beta = 100$ $U_T = 25 \text{ mV}$ $U_{CE, SAT} = 0,2 \text{ V}$

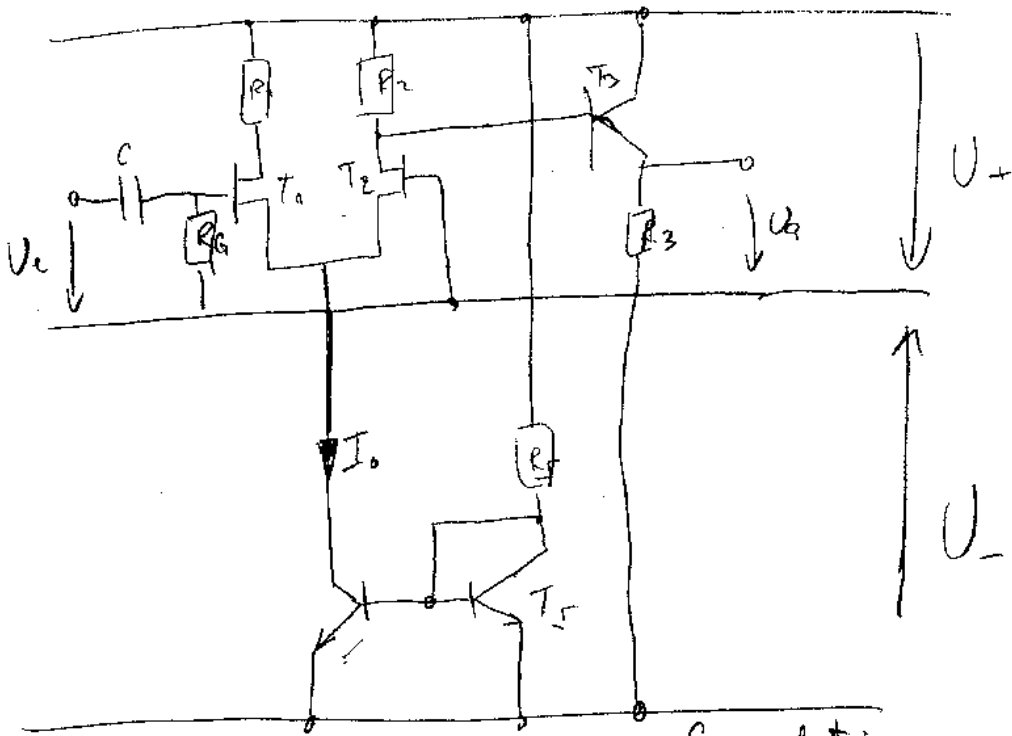
$dU_f/dT = -1,8 \text{ mV/K}$ $U_+ = 15 \text{ V}$ $U_- = -15 \text{ V}$ $U_{a\phi} = 8 \text{ V}$

$|V_u| = 5$ $r_E \approx 2 \text{ M}\Omega$

- Berechnen Sie r_g (5.1.)
- Berechnen Sie R_4 (10.1.)
- Berechnen Sie die max. Ansteuerbarkeit am Ausgang $|U_{a, MAX}|$ (5.1.)
- Wie groß ist R_3 zu wählen, daß sich I_c der Stromquelle bei einer Temperaturerhöhung um $\Delta T = 20^\circ \text{C}$ max. 5.1. erhöht? HINWEIS: BETRACHTEN SIE NUR DEN EINFLUSS DER FLUSSSPANNUNG AUF DEN KOLLEKTORSTROM $R_3 = ?$ (5.1.)
- Dimensionieren Sie die Widerstände R_1 und R_2 der Stromquelle $R_1 = ?$ $R_2 = ?$ (5.1.)

3.)

BEE - Nachklausur 3+



Gegeben:

JFET:

$I_{DSS} = 10 \text{ mA}$

$U_P = -3 \text{ V}$

Bipolartransistor:

$U_P = 0,6 \text{ V}$

$\beta = \beta = 300$

$U_T = 25 \text{ mV}$

$U_+ = 12 \text{ V} ; U_- = -12 \text{ V}$

$C \rightarrow \infty$

$R_G = 1 \text{ M}\Omega$

$R_1 = R_2 = 15 \text{ k}\Omega$

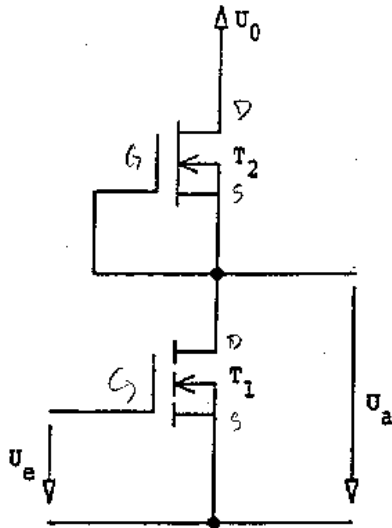
$R_3 = 2,2 \text{ k}\Omega$

$R_5 = 3,3 \text{ k}\Omega$

Gesucht:

- a) Berechnen sie den Strom I_0
- b) Ausgangsruhepot. U_{a0}
- c) Kollektorstrom I_{c3} von T_3
- d) $V_{u,1}$ des Differenzverstärkers (vernachlässigen Sie die Belastung durch die Ausgangsstufe)
- e) $V_u = \frac{U_a}{U_e} = ?$

5) NMOS-Inverter mit integrierter Last.



T1: selbstsperrend

$$U_e < U_{T1} \dots I_0 = 0$$

$$U_e < 2V \quad I_0 = 0 \Rightarrow U_a = ?$$

T2: selbstleitend

$$U_{GS} = 0 \quad U_{GS} > U_p = -2V$$

→ T2 leitet immer

$$T2: I_0 = 0 \Rightarrow U_{GS} = 0$$

$$\Rightarrow U_e < 2V \quad U_a = U_0 = 10V$$

Man ermittle die Übertragungskennlinie.

$$U_0 = 10V$$

$$U_{T1} = 2V$$

$$U_{T2} = -2V$$

$$\beta_1 = \beta_2$$

$$U_e < 2V \Rightarrow T_1 \text{ sperrt}$$

T₁ Stromquelle:

$$U_{DS1} \geq U_{GS1} - U_{T1} \Rightarrow U_a \geq U_e - 2V$$

T1 beginnt zu leiten $\Rightarrow U_e \geq 2V$

$U_a \approx 10V \Rightarrow T1$ sicher Stromquelle

$$I_{D1} = \frac{\beta}{2} (U_{GS1} - U_{T1})^2$$

T₂ Ohmscher Bereich:

$$U_{DG2} < -U_{T2} \Rightarrow U_0 - U_a < 2V \Rightarrow U_a > 8V$$

$$U_{DS2} < U_{GS2} - U_{T2}$$

$$U_0 - U_a < 0 - (-2V) \Rightarrow U_a > 8V$$

$$I_{D1} = \frac{\beta}{2} (U_{GS1} - U_{T1})^2$$

$$I_{D2} = \beta((U_{GS2} - U_{T2})U_{DS2} - \frac{1}{2}U_{DS2}^2)$$

$$I_{D1} = I_{D2}$$

$$(U_c - U_{T1})^2 = -2U_{T2}(U_0 - U_c) - (U_0 - U_c)^2$$

|: $\sqrt{\quad}$

(1)

$$U_c = \sqrt{4V(10V - U_c) - (10V - U_c)^2} + 2V$$

Kontrolle: $U_a = U_0 \Rightarrow U_c = 2V \quad \checkmark \quad (U_c = U_{T1})$

WICHTIG: an den Übergängen vom Sperrzustand in den leitenden Zustand oder vom Stromquellenbereich in den ohmschen Bereich (und umgekehrt) ist die Übertragungskennlinie $U_a(U_c)$ immer stetig!

T₁ Stromquelle:

$$U_c \geq U_c - 2V \quad (\text{bleibt weiterhin IQ})$$

T₂ Stromquelle: wenn

$$U_c \leq 8V$$

bei $U_a = 8V$ erfolgt der Übergang von T₂ in den IQ-Bereich.

mit Glg. (1) ergibt sich $U_c = 4V$

Übertragungskennlinie: $I_{D1} = I_{D2}$ (beide IQ)

$$\frac{\beta}{2}(U_{GS1} - U_{T1})^2 = \frac{\beta}{2}(U_{GS2} - U_{T2})^2$$

$$U_{GS1} - U_{T1} = U_{GS2} - U_{T2}$$

$$U_c - 2V = 0V + 2V$$

$$U_c = 4V$$

→ senkrechter Teil
in Kennlinie

Stetigkeit mit Glg. (1) ist \checkmark

U_a sinkt steil nach unten, bis $U_a = U_c - 2V = 2V$
 $\rightarrow T1$ Übergang

T_1 Ohmscher Bereich:

$$U_a < U_c - 2V$$

T_2 Stromquelle: (bleibt natürlich im IQ-Bereich!)

$$U_a \leq 8V \quad \checkmark \text{ ist erfüllt!}$$

$$I_{D1} = I_{D2} \quad \beta((U_{GS1} - U_{T1})U_{DS1} - \frac{1}{2}U_{DS1}^2) = \frac{\beta}{2}(U_{GS2} - U_{T2})^2$$

$$((U_c - U_{T1})U_a - \frac{1}{2}U_a^2) = \frac{1}{2}4V$$

$$U_c = \frac{2V}{U_a} + \frac{U_a}{2} + 2V$$

Stetigkeit: $U_a = 2V \Rightarrow U_c = 4V \quad \checkmark$

weitere Punkte der Kennlinie: $U_a = 1V$ bei $U_c = 4,5V$
 $U_a = 0,5V$ bei $U_c = 6,25V$

bei $U_c = 10V$ $U_a \neq 0$ (es bleibt eine Restspg.!))

$$I_b = \frac{\beta}{2} (V_{GS1} - V_{T1})^2 = \beta \left[(V_{GS2} - V_{T2}) V_{DS2} - \frac{V_{DS2}^2}{2} \right]$$

$$\frac{\beta}{2} (V_e - V_{T1})^2 = \beta \left(-V_{T2} (V_0 - V_a) - \frac{(V_0 - V_a)^2}{2} \right)$$

$$V_e^2 - 2V_e V_{T1} + V_{T1}^2 = -2V_{T2} V_0 + 2V_{T2} V_a - V_0^2 + 2V_0 V_a - V_a^2$$

$$V_a^2 - V_a (2V_{T2} + 2V_0) + V_e^2 + V_{T1}^2 - 2V_e V_{T1} + V_0^2 + 2V_{T2} V_0 = 0$$

$$V_a = \frac{2V_{T2} + 2V_0}{2} \pm \sqrt{(V_{T2} + V_0)^2 - (V_e^2 - 2V_e V_{T1} + V_0^2 + 2V_{T2} V_0 + V_{T1}^2)}$$

$$V_a = 8 \pm \sqrt{64 - (V_e^2 - 4V_e + 64)}$$

$$2 < V_e < 4V$$

$$V_e = 2V$$

$$V_a = 8V \pm 2V = 8V + 2V = 10V \checkmark$$

$$V_e = 4V \quad V_a = 8 + 0V = 8V \checkmark$$

$$V_e = 3V \quad V_a = 8 + \sqrt{3} = 9,73V$$

$$V_a = 8 + \sqrt{64 - (V_e^2 - 4V_e + 64)}$$

$$T2: \Omega$$

$$T1: IQ$$

$$5) T2: IQ \quad T1: \Omega$$

$$\frac{R}{2} (V_{DS2} - V_{T2})^2 = R \left[(V_{GS1} - V_{T1}) V_{DS1} - \frac{V_{DS1}^2}{2} \right]$$

$$\frac{(-V_{T2})^2}{2} = (V_e - V_{T1}) \cdot V_a - \frac{V_a^2}{2}$$

$$V_a^2 - 2V_a (V_e - V_{T1}) + V_{T2}^2 = 0$$

$$V_a = V_e - V_{T1} \pm \sqrt{(V_e - V_{T1})^2 - V_{T2}^2}$$

$$\text{Stetigkeit: } V_e = 4V \quad V_a = V_e - 2 \pm \sqrt{(V_e - 2)^2 - 4}$$

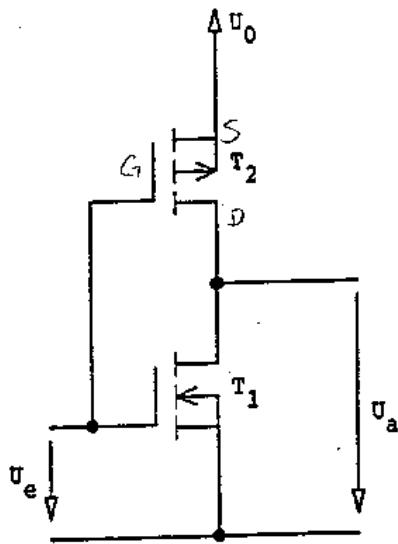
$$V_a = 2 \pm 0 = 2V \checkmark$$

$$V_e = 6V \quad V_a = 4 \pm \underbrace{\sqrt{12}}_{3,46}$$

$$V_a = 4 - 3,46 = 0,54V$$

$$V_e > 4V: \quad V_a = V_e - 2 - \sqrt{(V_e - V_{T1})^2 - V_{T2}^2}$$

6) CMOS-Inverter



Man ermittle die Übertragungskennlinie.

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta \quad \left. \begin{array}{l} U_0 = 6V \\ U_{T1} = 1V \\ \bar{U}_{T2} = 2V \end{array} \right\}$$

$$T1: U_{DS1} \approx 5V$$

$$\text{für Stromquelle: } U_{DS1} \geq U_{GS} - U_{T1} \\ U_a > U_e - 1V$$

$$U_e \approx 1V \Rightarrow T1 \text{ ist IQ!}$$

T2: für Stromquelle

$$U_{SD2} \geq U_{SG2} - \bar{U}_{T2} \\ U_0 - U_a \geq U_0 - U_e - \bar{U}_{T2} \\ U_a \leq U_e + \bar{U}_{T2}$$

$$U_e \approx 1V \quad U_a \leq 3V \text{ nicht erfüllt!}$$

$\Rightarrow T2$ ist Ω !

$$I_{D1} = I_{D2}$$

$$0 < U_e < U_{T1} \quad T1 \text{ sperrt}$$

$$I_D = 0$$

$$T2: U_{GS2} \approx U_{T1} - U_0 \approx -5V$$

$$U_{GS2} \ll U_{T2} = -2V$$

$$\Rightarrow U_{SG2} = 5V \Rightarrow \bar{U}_{T2}$$

T2 ist leitend

$$\rightarrow U_{DS2} \approx 0 \text{ bei } I_D = 0$$

$$\Rightarrow 0 < U_e < U_{T1}: U_a = U_0$$

17: LW 12.52

$$\frac{\beta}{2}(U_{GS1} - U_{T1})^2 = \beta((U_{SG2} - \bar{U}_{T2})U_{SD2} - \frac{1}{2}U_{SD2}^2)$$

$$\frac{1}{2}(U_e - U_{T1})^2 = (U_0 - U_e - \bar{U}_{T2})(U_0 - U_a) - \frac{1}{2}(U_0 - U_a)^2$$

$$(1) \quad U_a = U_e + \bar{U}_{T2} + \sqrt{(U_0 - U_e - \bar{U}_{T2})^2 - (U_e - U_{T1})^2} \quad (\pm \text{Lsg. durch einsetzen verifizieren})$$

Stetigkeit: $V_e = 1V$ $V_a = 1+2+3 = 6V$ ✓

$V_e > \Rightarrow V_a$ sinkt $\hat{=} V_{SD2}$ steigt

$\Rightarrow T2$ geht in IQ ($T1$ immer noch IQ)

$$I_{D1} = I_{D2}$$

Beide Transistoren im Stromquellenbereich

$$\frac{\beta}{2}(U_{GS1} - U_{T1})^2 = \frac{\beta}{2}(U_{SG2} - \bar{U}_{T2})^2$$

$$U_e - U_{T1} = U_0 - U_e - \bar{U}_{T2}$$

$$U_e = \frac{1}{2}(U_0 + U_{T1} - \bar{U}_{T2})$$

$$U_e = \frac{1}{2}(6V + 1V - 2V)$$

$$U_e = 2.5V$$

\Rightarrow steiler, senkrechter Abfall in \bar{U}_{T1}

$\rightarrow T1$ Stromquelle, $T2$ Ohmscher Bereich:

$$U_{T1} < U_e < 2.5V$$

Übergang $T2 \Omega \rightarrow IQ$

Grenze für $T2$

$$U_{SD2} \geq U_{SG2} - \bar{U}_{T2}$$

$$U_0 - U_a \geq U_0 - U_e - \bar{U}_{T2}$$

$$U_a \leq U_e + \bar{U}_{T2}$$

$$U_a \leq 4.5V$$

Stetigkeit Glg. (1)

$$U_e = 2.5V$$

$$\Rightarrow V_a = 2.5 + 2V$$

$$= 4.5V \checkmark$$

Übergang $T1: IQ \rightarrow \Omega$ (V_a sinkt noch mehr)

Grenze für $T1$

$$U_{DS1} \geq U_{GS1} - U_{T1}$$

$$U_a \geq U_e - U_{T1}$$

$$U_a \geq 1.5V$$

T_1 Ohmscher Bereich, T_2 Stromquelle:

$$2.5V < U_e < U_0 - \bar{U}_{T2}$$

$$2.5V < U_e < 4V$$

$$\beta((U_{GS1} - U_{T1})U_{DS1} - \frac{1}{2}U_{DS1}^2) = \frac{\beta}{2}(U_{SG2} - \bar{U}_{T2})^2$$

$$(U_e - U_{T1})U_e - \frac{1}{2}U_e^2 = \frac{1}{2}(U_0 - U_e - \bar{U}_{T2})^2$$

$$U_a = U_e - U_{T1} - \sqrt{(U_e - U_{T1})^2 - (U_0 - U_e - \bar{U}_{T2})^2}$$

± Lsg. durch Einsetzen ermitteln.

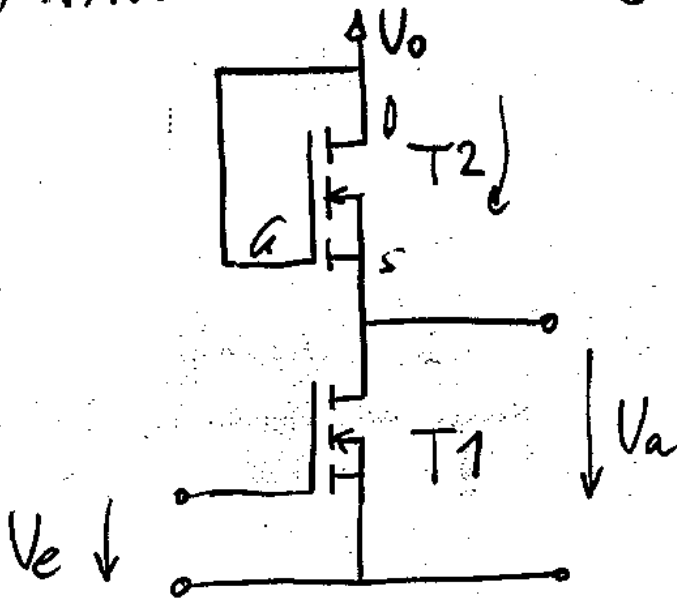
Kontrolle: $U_e = 2,5V \Rightarrow U_a = 2,5 - 1 = 1,5V \checkmark$

$U_e = 4V \quad U_a = 4 - 1 - 3 = 0V ?$

$U_e - U_0 = -2V = U_{GS2} = U_{T2} \Rightarrow T2 \text{ spernt}$

$I_0 = 0 \quad T1 \text{ ist leitend} \Rightarrow U_a = 0V$

7) NMOS-Gatterschaltung

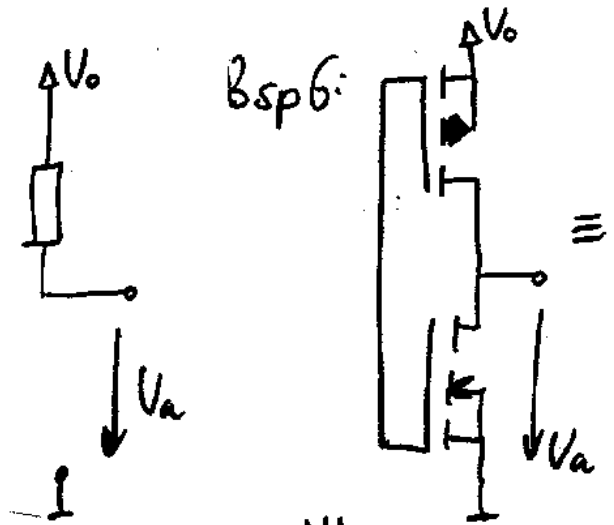
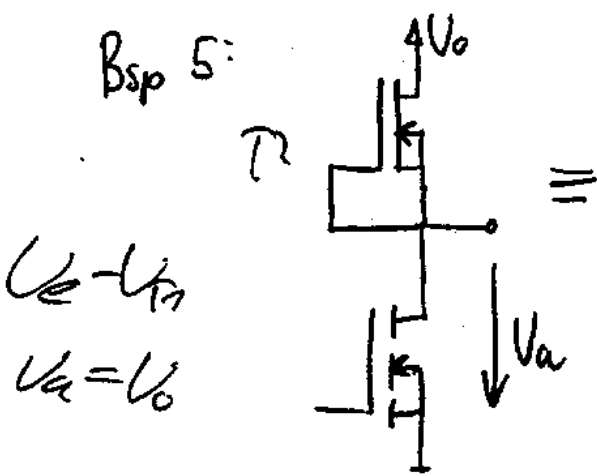


$V_0 = 10V$
 $V_{T1} = V_{T2} = U_T = 2V$
 $\beta_1 = 1 \text{ mA/V}^2$
 $\beta_2 = 0,2 \text{ mA/V}^2$
 Ges.: $U_a (U_e)$

T2: $U_{G0} = 0V < U_T \Rightarrow$ T2 immer Stromquelle

T1: $U_e < V_{T1} \Rightarrow I_D = 0 \quad U_a = ?$

Bsp 5:



hier:

