



1. Übung „Elektronik II“

1. Aufgabe

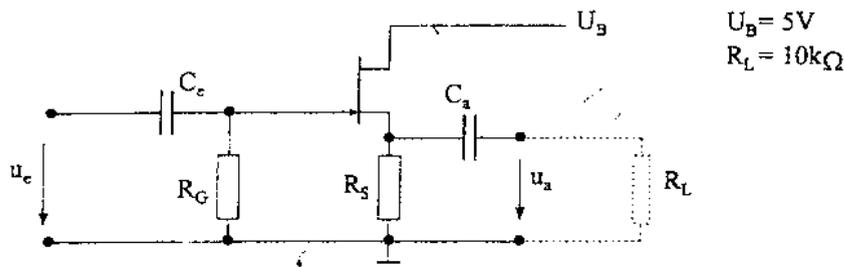


Bild 1.1

- 1.1 Welche Grundschaltung ist in Bild 1.1 dargestellt?
- 1.2 Kennzeichnen Sie im Ausgangskennfeld den ohmschen und den Abschnürbereich.
- 1.3 Wählen Sie einen sinnvollen Wert für den Widerstand  $R_G$ , und dimensionieren Sie die Kapazität  $C_e$  für die untere Grenzfrequenz  $f_G = 100$  Hz.
- 1.4 Der Arbeitspunkt der Schaltung soll bei  $U_{DS} = 3.5$  V liegen. Bestimmen Sie den dazu erforderlichen Widerstand  $R_S$ .
- 1.5 Wie weit ist der Ausgang bei dieser Dimensionierung linear in positiver und negativer Richtung aussteuerbar?
- 1.6 Skizzieren Sie das Kleinsignalersatzschaltbild der Schaltung, und bestimmen Sie die Kleinsignalparameter im Arbeitspunkt.
- 1.7 Berechnen Sie den Ein- und Ausgangswiderstand der unbelasteten Schaltung.
- 1.8 Berechnen Sie die Spannungsverstärkung  $v_U$  der mit  $R_L$  belasteten Schaltung.

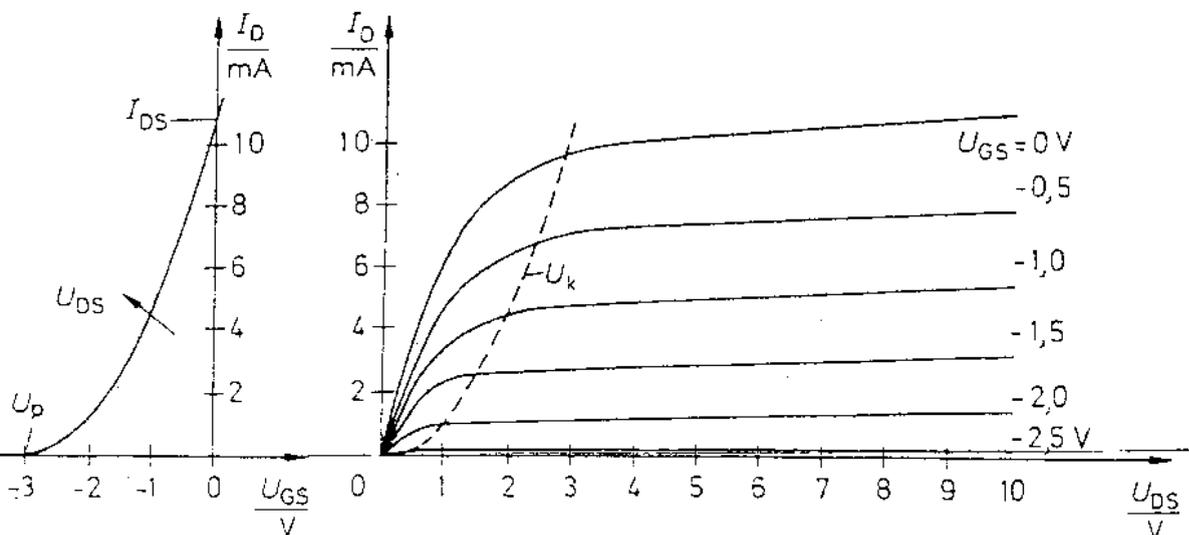
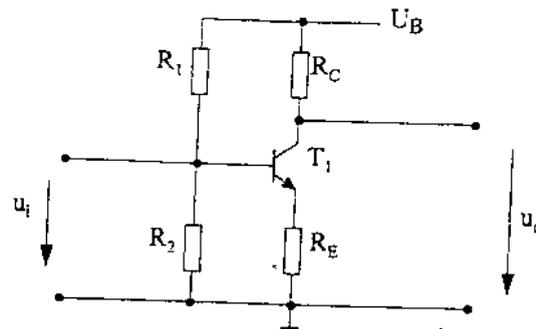


Bild 1.2

## 2. Aufgabe



$$\begin{aligned} R_C &= 5\text{k}\Omega \\ R_E &= 1\text{k}\Omega \\ r_{BE} &= 500\Omega \\ r_{CE} &= 10\text{k}\Omega \\ \beta &= 250 \end{aligned}$$

Bild 2.1

- 2.1 In welcher Grundschialtung wird  $T_1$  in Bild 2.1 betrieben, und wozu dient  $R_E$ ?
- 2.2 Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild.
- 2.3 Berechnen Sie die Spannungsverstärkung  $v_u = \frac{u_o}{u_i}$ .
- 2.4 Berechnen Sie den Grenzwert  $\lim_{r_{ce} \rightarrow \infty} (v_u)$ .
- 2.5 Wie läßt sich die Spannungsverstärkung für Wechselsignale auf einfache Weise erhöhen?
- 2.6 Berechnen Sie den Ausgangswiderstand der Schaltung ohne Kollektorwiderstand  $R_C$ .
- 2.7 Wie ändert sich der Ausgangswiderstand, wenn die Spannungsquelle  $u_i$  abgetrennt wird?

1.1 Drainklatting

1.2 → Bild

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

$$\text{Zeit } f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \Rightarrow C = \frac{1}{2\pi f_0 R} = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \text{ Hz} \cdot 1 \text{ M}\Omega}$$

$$C = 1,6 \text{ nF}$$

1.4 Arbeitspunkte / Arbeitspunkt

Vorgabe  $U_{GSAT} = 3,5 \text{ V} \Rightarrow U_{RS} = 1,5 \text{ V} = U_B - U_{GSAT}$

Strom durch  $R_G \approx 0$

Strom durch  $R_G = 0 \Rightarrow U_{GSAT} - U_{RS} = 0$

$$U_{GSAT} = -U_{RS} = -1,5 \text{ V}$$

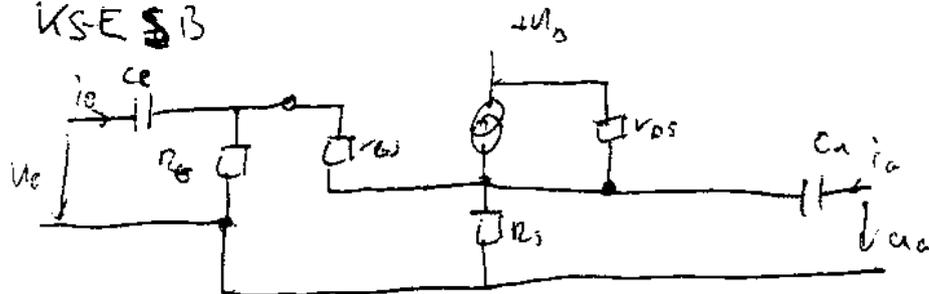
$$R_S = \frac{U_B}{I_{bmax}} = \frac{5 \text{ V}}{9,5 \text{ mA}} = 526 \Omega$$

1.5 lineare Arbeitsbereich:

in negative Richtung  $-1,5 \text{ V}$

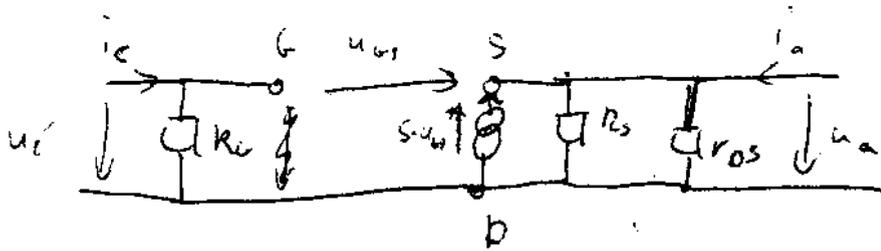
in positive Richtung  $3,5 \text{ V} - 2,1 \text{ V} = 1,4 \text{ V}$

1.6 KSE 5 B



C's Kuvonitien, Spannungelle der Invertierend

=)



1.7

$$r_e = \left. \frac{du_e}{di_e} \right|_{i_a=0} = R_G = 1 \text{ M}\Omega$$

$$r_a = \left. \frac{du_a}{di_a} \right|_{u_e=\text{const}}$$

I

$$u_e - u_a - u_{cs} = 0 \Rightarrow u_{cs} = u_e - u_a$$

II

$$s \cdot u_{cs} - u_a / r_{os} - u_a / R_s + i_a = 0$$

$$\rightarrow u_a \left( \frac{1}{r_{os}} + \frac{1}{R_s} \right) = s \cdot u_e - s \cdot u_a + i_a$$

$$u_a \left( \frac{1}{r_{os}} + \frac{1}{R_s} + s \right) = s \cdot u_e + i_a$$

$$u_a = \frac{s u_e + i_a}{\frac{1}{r_{os}} + \frac{1}{R_s} + s}$$

$$r_a = \left. \frac{du_a}{di_a} \right|_{u_e=\text{const}} = \frac{1}{\frac{1}{r_{os}} + \frac{1}{R_s} + s} \approx 180 \Omega$$

1.8:

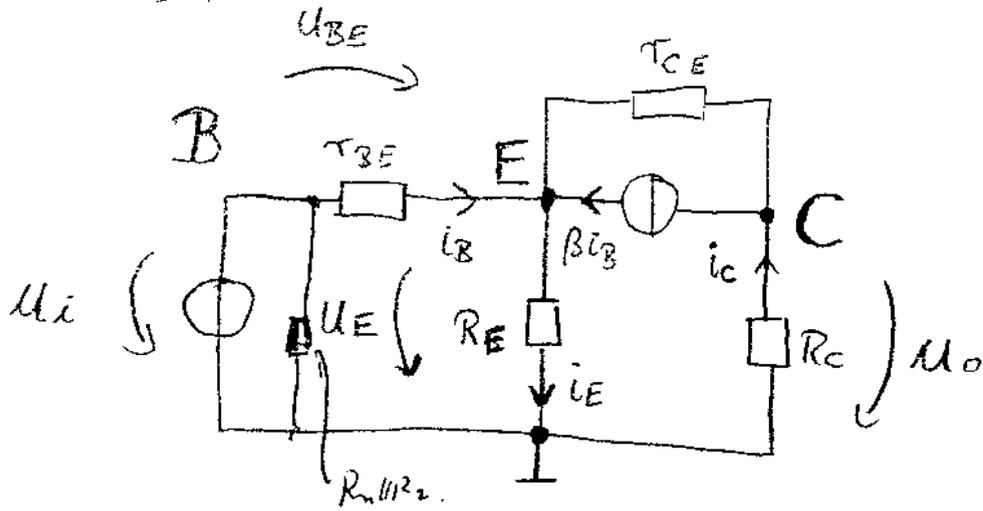
$$V_u = \frac{u_a}{u_e} \left| \text{wenn } R_L \text{ ist} \right.$$

I.  $u_{cs} = u_e - u_a$

II.  $u_a = s \cdot u_{cs} \cdot \underbrace{(R_s \parallel r_{os} \parallel R_L)}_{R_G}$

1. Übung: Gleichstrom-Emitter-Schaltung

2.2



2.3

$$i_C R_C = \left( \frac{U_o - U_E}{r_{CE}} + \beta i_B \right) R_C = -U_o \quad (1)$$

$$i_B = \frac{U_i - U_E}{r_{BE}} \quad (2)$$

$$U_E = (i_B + i_C) R_E = \left( i_B - \frac{U_o}{R_C} \right) R_E \quad (3)$$

(2) in (1)

$$\frac{U_o}{r_{CE}} - \frac{U_E}{r_{CE}} + \beta \frac{U_i}{r_{BE}} - \beta \frac{U_E}{r_{BE}} = -\frac{U_o}{R_C}$$

$$\frac{U_o}{r_{CE}} + \frac{U_o}{R_C} + \beta \frac{U_i}{r_{BE}} = \beta \frac{U_E}{r_{BE}} + \frac{U_E}{r_{CE}}$$

$$U_E = \left( \frac{U_o}{r_{CE}} + \frac{U_o}{R_C} + \beta \frac{U_i}{r_{BE}} \right) \frac{r_{CE} r_{BE}}{\beta r_{CE} + r_{BE}} \quad (4)$$

(2) in (3)

$$U_E = \left( \frac{U_i}{r_{BE}} - \frac{U_E}{r_{BE}} - \frac{U_o}{R_C} \right) R_E$$

$$\frac{U_E}{R_E} + \frac{U_E}{r_{BE}} = \frac{U_i}{r_{BE}} + \frac{U_o}{R_C} = U_E \frac{r_{BE} + R_E}{r_{BE} \cdot R_E}$$

$$U_E = \left( \frac{U_i}{r_{BE}} + \frac{U_o}{R_C} \right) \cdot \frac{r_{BE} \cdot R_E}{r_{BE} + R_E} \quad (5)$$

(4) = (5)

$$\left( \frac{U_0}{r_{CE}} + \frac{U_0}{R_C} + \beta \frac{U_i}{r_{BE}} \right) \frac{r_{CE} r_{BE}}{\beta r_{CE} + r_{BE}} = \left( \frac{U_i}{r_{BE}} + \frac{U_0}{R_C} \right) \frac{r_{BE} R_C}{r_{BE} + R_C}$$

$$\left( \frac{U_0}{r_{CE}} + \frac{U_0}{R_C} + \beta \frac{U_i}{r_{BE}} \right) r_{CE} (r_{BE} + R_C) = \left( \frac{U_i}{r_{BE}} + \frac{U_0}{R_C} \right) R_C (\beta r_{CE} + r_{BE})$$

$$U_0 r_{BE} + U_0 \frac{r_{CE} r_{BE}}{R_C} + U_i \beta r_{CE} + U_0 R_C + U_0 \frac{r_{CE} R_C}{R_C} + \cancel{U_i \beta \frac{r_{CE} R_C}{r_{BE}}} = \cancel{U_i \beta \frac{r_{CE} R_C}{r_{BE}}} - U_0 \beta \frac{r_{CE} R_C}{R_C} +$$

$$+ U_i r_{CE} - U_0 \frac{r_{BE} R_C}{R_C}$$

$$U_0 (r_{BE} + R_C) + \frac{r_{CE} r_{BE}}{R_C} + \frac{r_{CE} R_C}{R_C} + \beta \frac{r_{CE} R_C}{R_C} + \frac{r_{BE} R_C}{R_C} = U_i (R_C - \beta r_{CE})$$

$$V_u = \frac{U_0}{U_i} = \frac{R_C - \beta r_{CE}}{r_{BE} + R_C + \frac{r_{BE} (r_{CE} + R_C) + (\beta + 1) R_C r_{CE}}{R_C}}$$

2.4

$$\lim_{r_{CE} \rightarrow \infty} V_u = \frac{-\beta R_C}{r_{BE} + (\beta + 1) R_C} \approx -\frac{R_C}{R_C} = -1$$

2.5] Überbrückungs kondensator  $C_E$

# Elektronik II

## 2. Übung

### 1. Aufgabe

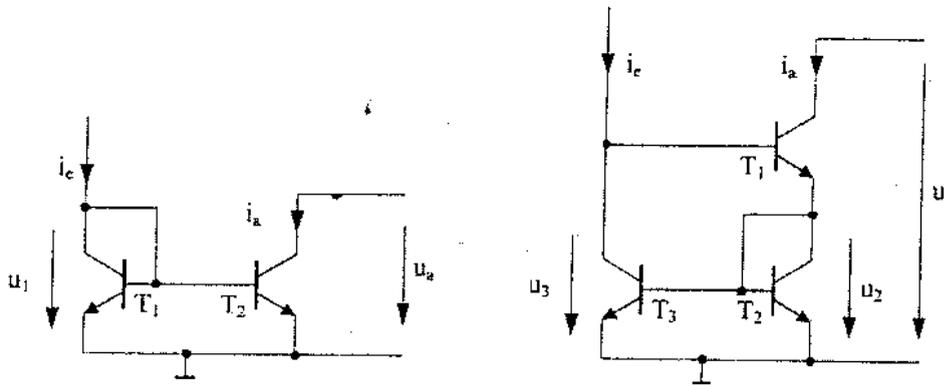


Bild 1.1

- 1.1 Zeichnen Sie die Kleinsignalersatzschaltbilder der beiden Stromspiegel nach Bild 1.1.
- 1.2 Ermitteln Sie den Ausgangswiderstand  $r_a = \left. \frac{du_a}{di_a} \right|_{i_c=0}$ . Machen Sie Vereinfachungen, wo es Ihnen sinnvoll und zulässig erscheint.

## 2. Aufgabe

Der in Bild 2.1 gezeigte Ausschnitt aus einer Schaltung eines Niederfrequenzverstärkers soll gleichstrommäßig analysiert werden.

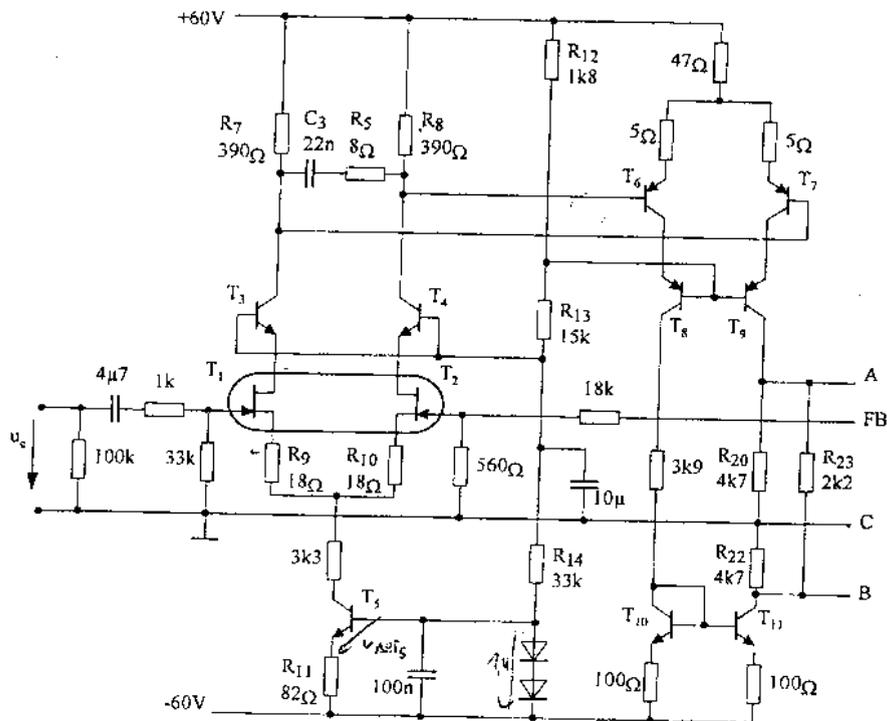


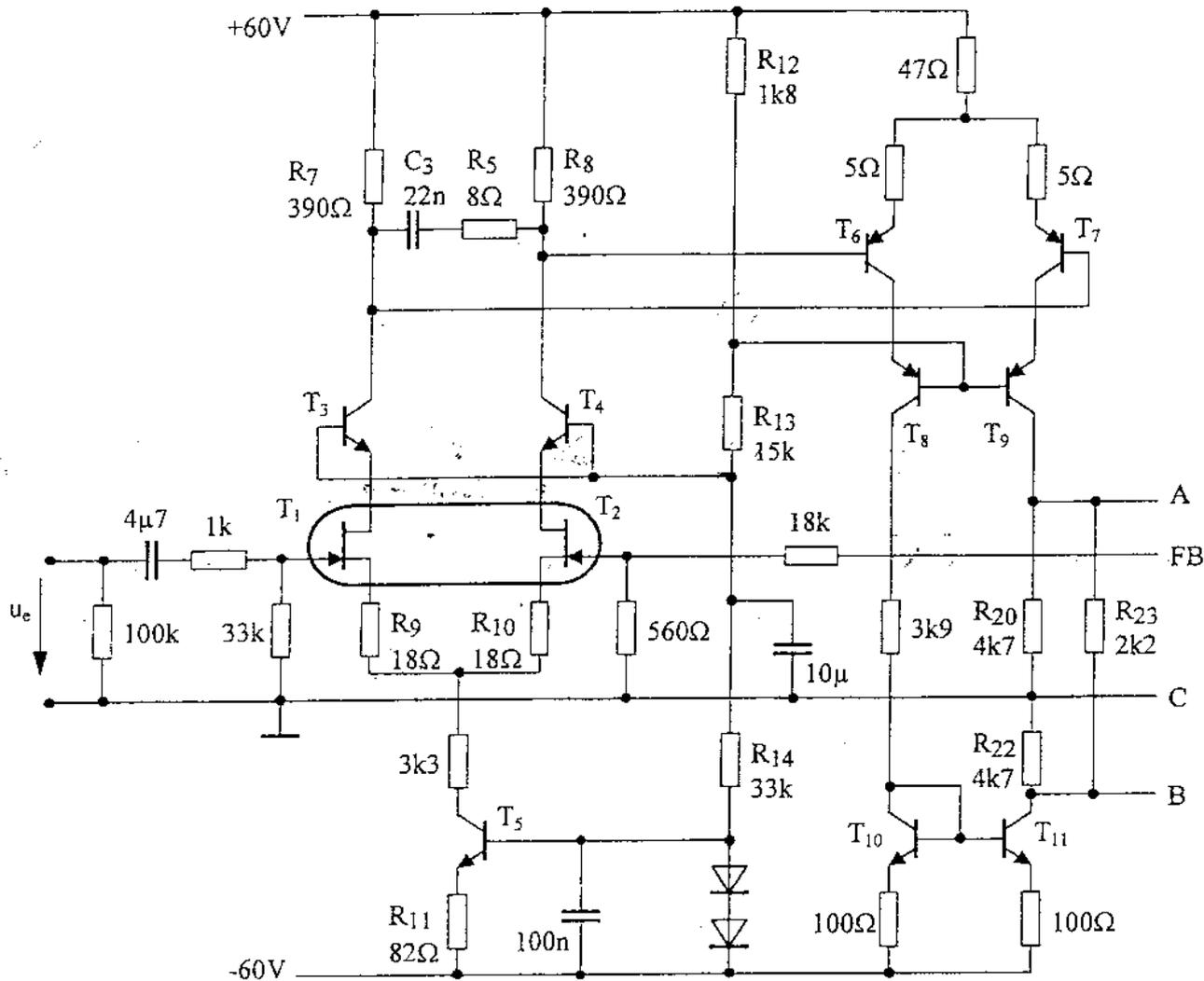
Bild 2.1

Gehen Sie bei den Berechnungen zu der Schaltung nach Bild 2.1 von einer Flußspannung von 0.7V für die Dioden und die Basis-Emitter-Strecken der Transistoren aus.

- 2.1 Kennzeichnen Sie die beiden Differenzstufen.
- 2.2 Berechnen Sie den Kollektorstrom von  $T_5$ . Warum sind  $T_1$  und  $T_2$  eingekreist?
- 2.3 Wozu dienen  $T_3$  und  $T_4$ , und in welcher Grundschaltung werden sie betrieben? Wie groß ist die Drainspannung der beiden FET?
- 2.4 Wie nennt man die Kombination aus  $T_1$  und  $T_3$ ? Welche besondere Eigenschaften hat diese Stufe?
- 2.5 Berechnen Sie das Kollektorpotential der Transistoren  $T_3$  und  $T_4$ .
- 2.6 Berechnen Sie das Kollektorpotential der Transistoren  $T_6$  und  $T_7$  sowie deren Ströme.
- 2.7 Worum handelt es sich bei  $T_{10}$  und  $T_{11}$ ?
- 2.8 Berechnen Sie das Potential an den Punkten A und B.
- 2.9 Wie wirken sich die Widerstände  $R_9$ ,  $R_{10}$  auf die Verstärkung aus? Was bewirken  $C_3$  und  $R_5$ ?

F146

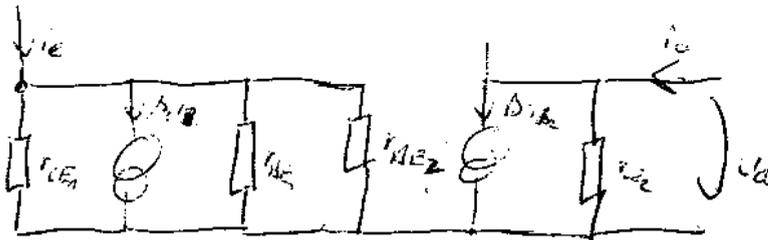
2 0603



4. E/EA  
20.11.03

2. Übung

A1 KS-ESB



$$r_o = \left. \frac{dU_o}{di_o} \right|_{v_{ie}=0} = r_{CE2}$$

$$r_o \approx 10k\Omega$$

Es muss gelten:  $r_{CE1} = r_{CE2}$

$$\beta_1 = \beta_2; \quad r_{BE1} = r_{BE2}$$

2) Wilson-Stromspiegel  
(siehe Lösungblatt)

42

2.2

$$I_{C15} = \frac{2 \cdot U_{D0} - U_{BE15}}{R_{14}} = 8,5 \text{ mA}$$

7. Diagramm 0,7V

$$\frac{U_{D0}}{I_{C15}} \ll I_{C15}$$

2.3

Basischaltung (Basis  $T_3, T_4$  über  $R_{12,13}$  auf Masse)

$$U_{Drain} = U_{D13} - U_{BE}$$

$$U_{Drain} = \frac{10V - 2U_{D0}}{R_{12} + R_{13} + R_{14}} \cdot R_{14} - 60V + 2U_{D0} - U_{BE13} = 19,3V$$

2.4

$T_1 / T_3$ : Kaskaden-Schaltung

$T_2 / T_4$ : "

→ ~~Statt~~ Millerkapazität hat praktisch keinen Einfluss mehr

→ keine Bandbreite

Elektronik II Übung 1.2

$$T_a = \frac{du_a}{di_a} \Big|_{i_e=0}$$

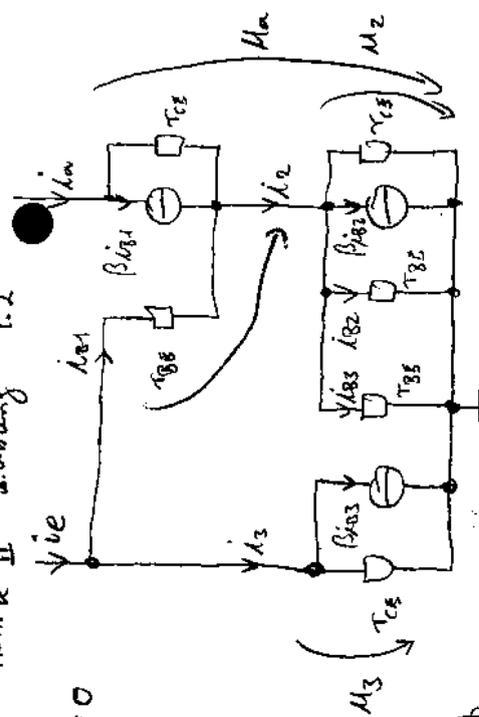


Bild 1.1b

$$i_{B1} + i_{B2} = i_{B2} = \frac{u_{B2}}{r_{BE}} + 2 \frac{u_{B2}}{r_{BE}} + \beta \frac{u_{B2}}{r_{BE}}$$

$$u_{B2} = (i_{B1} + i_{B2}) \left( \frac{r_{BE} r_{CB}}{r_{BE} + (\beta + 2) r_{CE}} \right) K_2 = (i_{B1} + i_{B2}) K_2$$

$$u_{a1} = u_{B2} + (i_{B1} - \beta i_{B2}) r_{CE} = (i_{B1} + i_{B2}) K_2 + (i_{B1} - \beta i_{B2}) r_{CE}$$

$$i_{B1} = -i_{B3} \quad \text{für } i_{e2} = 0 \quad i_{B1} = -\frac{u_{B3}}{r_{CE}} - \beta i_{B2}$$

$$= -\frac{u_{B3}}{r_{CE}} - \beta \frac{u_{B2}}{r_{BE}} = \frac{u_{B3} - \beta u_{B2}}{r_{BE}}$$

$$u_{B3} = u_{B2} (1 - \beta) \frac{r_{CE}}{r_{CE} + r_{BE}}$$

$$i_{B1} = -u_{B2} \left( \frac{\beta r_{CE} + r_{BE}}{(r_{CE} + r_{BE}) r_{BE}} \right) = -u_{B2} K_1$$

$$i_{B1} = -(i_{B1} + i_{B2}) K_2 K_1 = -i_{B1} \frac{K_1 K_2}{1 + K_1 K_2}$$

$$u_a = (i_{B1} - i_{B2}) \left( \frac{K_1 K_2}{1 + K_1 K_2} \right) K_2 + (i_{B1} + \beta i_{B2}) \left( \frac{K_1 K_2}{1 + K_1 K_2} \right) r_{CE}$$

$$= i_{B1} \frac{K_2 + r_{CE} \beta K_1 K_2 + r_{CE} (1 + K_1 K_2)}{1 + K_1 K_2}$$

$$= i_{B1} \left[ \frac{K_2 + r_{CE} \beta K_1 K_2}{1 + K_1 K_2} + r_{CE} \right]$$

$$= i_{B1} \left[ \frac{r_{BE} r_{CE}}{r_{BE} + (\beta + 2) r_{CE}} + \beta r_{CE} \frac{r_{CE} r_{BE}}{r_{BE} + (\beta + 2) r_{CE}} + \beta r_{CE} \frac{r_{CE} + r_{BE}}{r_{BE} + (\beta + 2) r_{CE}} \right] + r_{CE}$$

$$u_a = i_{B1} \left[ \frac{r_{BE} r_{CE}}{(\beta r_{CE} + r_{BE}) + \beta r_{CE}} + \beta r_{CE} \frac{r_{BE} + r_{CE}}{r_{BE} + r_{CE}} + r_{CE} \right]$$

$$u_a \approx i_{B1} \left[ \frac{r_{BE} (r_{BE} + r_{CE}) + \beta^2 r_{CE}^2}{\beta r_{CE} + (\beta + 2) (r_{BE} + r_{CE})} + r_{CE} \right]$$

$$T_a = \frac{du_a}{di_{B1}} \approx \frac{\beta^2 r_{CE}^2}{2 \beta r_{CE}} + r_{CE} \approx \frac{\beta}{2} r_{CE}$$

RS/Rno: Anschluss der  
Verdichtung

CJ/Rf: "Verdichtungsanpassung"

→ höhere Kompensation der bei  
hohem Frequenz auftretenden  
Phasenverschiebung  
→ Verstärker insgesamt stabiler

2.6 Kollisionspotential Te/Tz:

$U_{CTC} = U_{BE1} - U_{BE2} ; U_{BE1} = -97V$

$\rightarrow U_{BE2} = \frac{120V - 3 U_{AN}}{R_{B1} + R_{B2} + R_{B4}} = \frac{(R_{B1} + R_{B2}) - 60V + 2 U_{AN} + 0,7V}{56k\Omega} = 56k\Omega$

( wird 2.3

Man kann Te/Tz:

$U_{BE1} + U_{BE2} - I_{E1} \cdot 5\Omega - 2 \cdot I_{E1} \cdot 42\Omega = 0$

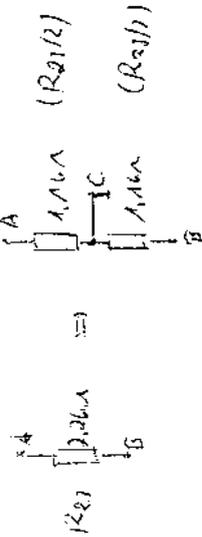
$\Rightarrow I_{E1} = I_{E2} = \frac{U_{BE1} - 0,7V}{5\Omega + 2 \cdot 42\Omega} = 9,7 \mu A$

2.7 Funktion Te/Tz: Stromspiegel

2.8 = Potential an Punkt A und Punkt B

$I_{R1} = I_{R2} \rightarrow$  gleiche Stromverhältnisse A-B-C und B-C

denke dir im Bezug auf Punkt



$\frac{U_A}{\text{Punkt A}} = I_{E1} \cdot R_2 = (120 \parallel \frac{R_{B2}}{2}) = 81,6V = \frac{U_B}{\text{Punkt B}}$   
(Vormerkung)

## Elektronik II

### 4. Übung

#### Aufgabe 1

Zwei NMOS-Transistoren sollen als aktive Lastelemente zum Aufbau eines Spannungsteilers verwendet werden. Gegeben ist:

$U_{DD} = 5V$ ;  $U_{SS} = -5V$ ,  $K_{n1} = K_{n2} = 15 \mu A/V^2$ ,  $S_1 = S_2 = 1$ ,  $U_{THN0} = 1V$ ,  $\gamma = 0,75V^{-1/2}$ ,  $2\phi_F = 0,6V$ .

- Zu bestimmen ist die Spannung  $U_{DS} = U_{out}$  des unteren Transistors und der Querstrom  $I_{REF}$  (Vernachlässigung des Substrateffekts)
- Es sei nun  $U_{out} = 1V$  einzustellen und  $S_1$  und  $S_2$  sind entsprechend zu bestimmen!
- Neuberechnung von a) unter Berücksichtigung des Substrateffekts
- Ist der Einsatz von BJT in dieser Anordnung sinnvoll? (Begründung)

#### Aufgabe 2

Für einen einfachen BJT-Stromspiegel sind die folgenden Größen gegeben:

$I_{REF} = 100 \mu A$ ,  $\beta_{F0} = 50$ ,  $U_A = 50V$ ,  $U_{BE} = 0,7V$ ,  $U_{CE} = 10V$ ,  $n=5$ .

Zu bestimmen sind die beiden Ströme  $I_{C1}$  und  $I_{C2}$  sowie die Kleinsignalparameter des Spiegels (Zweitor-ESB, h-Parameter)

#### Aufgabe 3

Für einen einfachen BJT-Stromspiegel sind die folgenden Größen gegeben:

$I_S = 0,1fA$ ,  $I_{REF} = 100 \mu A$ ,  $\beta_{F0} = 100$ ,  $U_A = 50V$ ,  $U_{CE} = 15V$ .

Zu bestimmen ist das tatsächlich vorliegende  $U_{BE}$  und die darauf beruhende minimale Spannung am Kollektor für die der Transistor noch aktiv normal arbeitet.

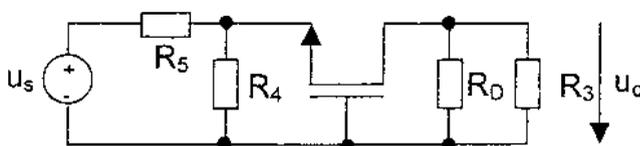
#### Aufgabe 4

Für die Gate-Schaltung (CG) soll die OCTC-Methode zur Bestimmung der oberen Grenzfrequenz angewendet werden.

Gegeben ist:

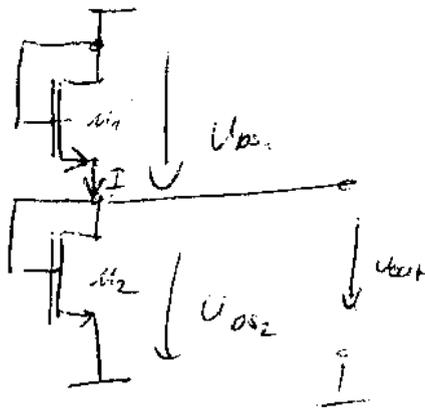
$R_3 = 100k\Omega$ ,  $R_D = 4,3k\Omega$ ,  $R_4 = 1,3k\Omega$ ,  $R_5 = 100\Omega$ ,  $C_{GS} = 10pF$ ,  $C_{GD} = 1pF$ ,  $g_m = 3mS$ .

Zu bestimmen ist für die Schaltung:  $A_{v0}$  und  $f_H$



4. Übung

a)



$$k_n = 15 \frac{\mu A}{V^2}$$

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

$$\frac{k_1}{2} \cdot (U_{GS1} - U_{THN})^2 = \frac{k_2}{2} \cdot (U_{GS2} - U_{THN})^2$$

$$\sqrt{\frac{k_{n1}}{k_{n2}} \cdot (10V - U_{OUT} - U_{THN})} = U_{OUT} - U_{THN}$$

$$I = I_{REF} = \frac{15 \mu A}{2 V^2} \cdot (5V - 1V)^2 = \frac{240 \mu A}{2} = 120 \mu A$$

$$1 \cdot (9 - U_{OUT}) = U_{OUT} - 1V \Rightarrow U_{OUT} = \frac{10V}{2} = 5V$$

b)  $U_{OUT} = 2V$  ;  $S_{1/2} = ?$

$$k_{n1} \cdot S_1 \cdot (10V - 2V - 1V)^2 = k_{n2} \cdot S_2 \cdot (2V - 1V)^2$$

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{(1V)^2}{(4.5V)^2} \Rightarrow \frac{S_2}{S_1} = \frac{4}{20.25} = \frac{4}{20.25}$$

c)  $U_{THN} = U_{THN0} + \gamma \cdot (\sqrt{U_{GS1} + 2\psi_F} - \sqrt{2\psi_F})$

$U_{OUT} = U_{GS}$

Iterative lsg:

$$U_{OUT} = \frac{10V + 9V - 2 \cdot 1.9V}{2} = 4.405V$$

Startwert  $U_{OUT} = U_{GS} = 5V$

1)  $U_{THN} = 1V + 0.75V \cdot (\sqrt{5V + 0.6V} - \sqrt{0.6V}) = 2.13V$

2)  $U_{THN} = 2.011V$

$U_{OUT} = 3.9345V$

4)  $U_{THN} = 2.0252V$

3.)  $U_{THN} = 2.0266V$

$U_{OUT} = 3.987V$

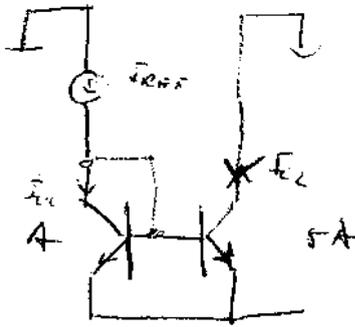
$U_{OUT} = 3.986V$

d)

$$I_C = I_S \cdot e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} \quad ; \quad U_{BE} = 5V$$

$$U_{BE} = 500 \text{ mV}$$

A2)



$$I_{C2} = I_{EEF} - I_{B1} - I_{B2}$$

$$I_C = 5 \cdot 100 \mu A \cdot \frac{1}{1 + \frac{10}{50}} = I_{C2}$$

$$I_{C2} = 500 \mu A \cdot \frac{12}{7.184} = 525 \mu A$$

$$I_{C1} = 100 \mu A - \frac{525 \mu A}{50} \left( \frac{1}{1 + \frac{10}{50}} \right)$$

$$I_{C1} = 87.6 \mu A$$

$$g_{m1} = \frac{I_{C1}}{U_T} = \frac{87.6 \mu A}{0.025V} = 35 \cdot 10^{-5} S \rightarrow \frac{1}{g_{m1}} \approx 285 \Omega = h_{ie1}$$

$$h_{21} = \frac{g_{m2}}{g_{m1}} = \frac{525 \mu A}{87.6 \mu A} = 6.034$$

$$\frac{1}{h_{22}} = r_o = \frac{U_A + U_{CE}}{I_C} = \frac{(50 + 10)V}{525 \mu A} \approx 133 k\Omega$$

4. Übung

1.1 siehe Rückseite Blatt 4

1.2. prinzipiell: lückender oder nicht lückender Strom?

=> abhängig von Zündwinkel  $\alpha$  und der Last ( $Z = \frac{L}{R}$ )

=> DGL:  $u_{s1}(t) = R \cdot i_d(t) + L \cdot \frac{di_d}{dt}$

hom. Lsg.

$0 = R i_d + L \frac{di_d}{dt}$

$i_{dh} = I_{dh0} \left( e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad \tau = \frac{L}{R}$

partikuläre Lsg.

$\underline{u}_{s1} = R \underline{i}_{dp} + j\omega L \cdot \underline{i}_{dp}$

$i_{dp} = \frac{\hat{u}_{s1}}{X_{RL}} \cdot \sin(\omega t - \varphi_{RL})$

mit:  $X_{RL} = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$

$\varphi_{RL} = \arctan \frac{\omega L}{R}$

$i_d(\omega t) = I_{dho} \cdot e^{-\frac{\omega t}{\tau}} + \frac{\hat{u}_{s1}}{X_{RL}} \cdot \sin(\omega t - \varphi_{RL})$

~~AWP~~  
AWP

(abh. lückender oder nicht lückender Strom)

lückender Strom  $i_d(\omega t = \alpha) = 0$

$i_d(\omega t = \alpha) = 0 = I_{dho} \cdot e^{-\frac{\alpha}{\tau}} + \frac{\hat{u}_{s1}}{X_{RL}} \cdot \sin(\alpha - \varphi_{RL})$

$\rightarrow I_{dho} = - \frac{\frac{\alpha}{\tau}}{e^{-\frac{\alpha}{\tau}}} \cdot \frac{\hat{u}_{s1}}{X_{RL}} \cdot \sin(\alpha - \varphi_{RL})$

~~$i_d(\omega t)$~~   
~~nicht~~

$i_d(\omega t = \pi + \alpha) = I_{dho} \cdot e^{-\frac{\pi + \alpha}{\tau}} + \frac{\hat{u}_{s1}}{X_{RL}} \cdot \sin(\pi + \alpha - \varphi_{RL})$

weiter  $\sin(\pi + \alpha - \varphi_{RL}) = -\sin(\alpha - \varphi_{RL})$

$\rightarrow I_{dho} = - \left[ e^{-\frac{\alpha}{\tau}} = e^{-\frac{\pi + \alpha}{\tau}} \right]^{-1} \cdot 2 \cdot \frac{\hat{u}_{s1}}{X_{RL}} \cdot \sin(\alpha - \varphi_{RL})$

## Lückend oder nicht-Lückend?

→ Lösung über Einsetzverfahren:

1. Energiespeicher (hier: L) ist leer zum Zeitpunkt des Zündens.

2. Betrachtung des Stromverlaufs  
(→ wie bei für lückenden Strom)

3. Bestimmung der Stromflussdauer

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi = \alpha + \varepsilon \geq \pi + \alpha \rightarrow \text{nicht lückender Strom} \\ \varepsilon \rightarrow \text{numerisch berechnet} \end{array} \right.$$

$$\overline{U_{di\alpha}} = 2 \cdot \frac{U_s}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\varepsilon} U_s \sin \omega t \, d\omega t$$

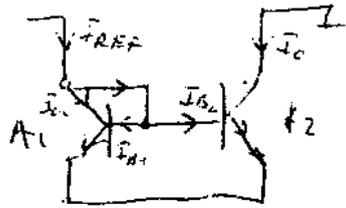
$$\overline{U_{di\alpha}} = \frac{U_s}{\pi} \left[ \cos \alpha - \cos(\alpha + \varepsilon) \right]$$

$$\text{lückend: } \alpha + \varepsilon \leq \pi + \alpha$$

$$\text{oder } \varepsilon \leq \pi$$

$$\text{nicht lückend: } \alpha + \varepsilon = \pi + \alpha$$

$$\Rightarrow \varepsilon = \pi$$



$$I_{REF} = I_{B1} + I_{B2} + I_{E2}$$

$$100 \mu A = I_{S1} e^{\frac{U_{BE1}}{U_T}} \left( 1 + \frac{U_{BE1}}{U_A} \right) + \frac{I_{S2}}{\beta_{F2}} e^{\frac{U_{BE2}}{U_T}}$$

$$+ \frac{I_{S2}}{\beta_{F2}} e^{\frac{U_{BE2}}{U_T}} = \frac{I_{S2}}{\beta_{F2}} e^{\frac{U_{BE2}}{U_T}} \left( 1 + \frac{2}{\beta_{F2}} \right)$$

$$\frac{100 \mu A}{I_{S1}} = e^{\frac{U_{BE1}}{U_T}} \left( 1 + \frac{U_{BE1}}{U_A} + \frac{2}{\beta_{F2}} \right)$$

$$U_{BE1} = U_T \ln \left( \frac{100 \mu A}{I_{S1}} \left( 1 + \frac{U_{BE1}}{U_A} + \frac{2}{\beta_{F2}} \right) \right)$$

$$U_{BE1} = 0,025 \text{ V} \cdot \ln \left( 10^2 \cdot \frac{1}{1 + \frac{U_{BE1}}{5 \text{ V}} + 0,02} \right)$$

Iteration:

Startwert 0,7 V

1.  $U_{BE1} = 0,6875 \text{ V}$

2.  $U_{BE1} = 0,6875 \text{ V}$

$$U_{C1} = -15 \text{ V} + 0,6875 \text{ V}$$

$$U_{C2} = -14,31 \text{ V}$$

# Elektronik II

## 5. Übung

### Aufgabe 1

Für einen Kaskodespiegel mit NMOS-Transistoren soll der Ausgangswiderstand berechnet werden. Gegeben ist:

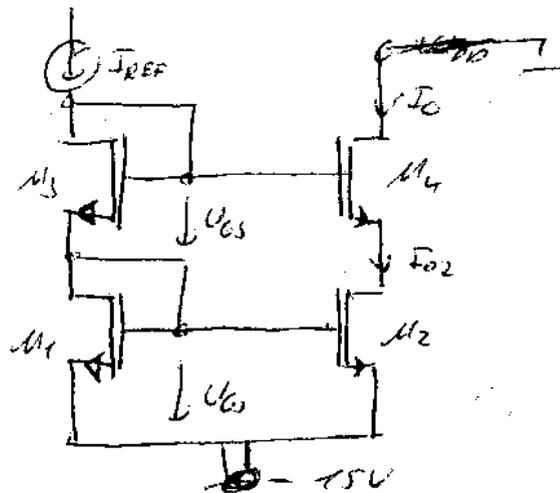
$$I_o = I_{REF} = 50 \mu\text{A}, U_{SS} = -15\text{V}, K_n = 250 \mu\text{A/V}^2, U_{THN0} = 0,8\text{V}, \lambda = 0,015\text{V}^{-1}.$$

- Berechnen Sie zunächst den Ausgangswiderstand des einfachen MOS-Spiegels mit nur zwei Transistoren unter gleichen Randbedingungen unter Berücksichtigung der Kanallängenmodulation
- Bestimmen Sie den Ausgangswiderstand des MOS-Kaskodespiegels unter Berücksichtigung der Kanallängenmodulation

### Aufgabe 2

Führen Sie mit gleichen Parametern die Berechnung des Ausgangswiderstands für den NMOS-Wilsonspiegel durch und vergleichen Sie die Ergebnisse mit Aufgabe 1.

1)



a) 
$$r_{D0} = \frac{\frac{1}{\lambda} + U_{DS}}{I_{D0}} = \frac{\frac{1}{0,015} \text{ V} + 15 \text{ V}}{I_{REF}} = \underline{\underline{116,3 \mu\text{S2}}}$$

$(I_{D0} = I_{REF})$   
 weil FETs sind alle gleich

b) 
$$R_{out} \approx g_{m4} \cdot r_{D2}$$

$$\approx \sqrt{2k_n \cdot I_0 (1 + \lambda \cdot U_{DS4})} \cdot \frac{\frac{1}{\lambda} + U_{DS2}}{I_0} \cdot \frac{\frac{1}{\lambda} + U_{DS4}}{I_0}$$

$$U_{GS} = U_{THNM} + \sqrt{\frac{2 I_{REF}}{250 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} \cdot (1 + 0,015 \cdot U_{GS})}}$$

Startwert 1,4 V

1.  $U_{GS} = 1,42509 \text{ V}$

2.  $U_{GS} = 1,47573 \text{ V}$

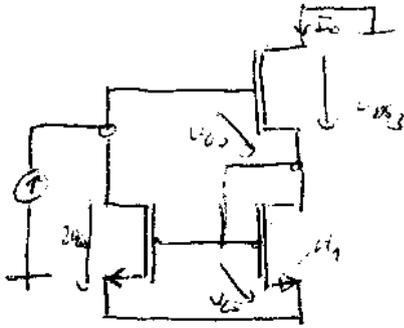
3.  $U_{GS} = 1,475735 \text{ V}$

$\Rightarrow U_{GS} = 1,475 \text{ V}$

$$R_{out} \approx \sqrt{2 \cdot 250 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} \cdot 50 \mu\text{A} (1 + 0,015 \cdot 11,5 \text{ V})}$$

$$\cdot \frac{\frac{1}{0,015} \text{ V} + 11,5 \text{ V}}{10 \mu\text{A}} \cdot \frac{\frac{1}{0,015} \text{ V} + 18,5 \text{ V}}{50 \mu\text{A}} \approx \underline{\underline{379,104 \mu\text{S2}}}$$

A2



$$V_{GS} \approx 1.143 \text{ V}$$

(at A1 b)

$$I_O = I_{REF} \cdot \frac{1 + \lambda V_{GS}}{1 + 2\lambda V_{GS}}$$

$$I_O = 50 \mu\text{A} \cdot \frac{1 + 0.015 \cdot 1.143}{1 + 2 \cdot 0.015 \cdot 1.143}$$

$$I_O \approx 48.97 \mu\text{A}$$

$$R_{out} \approx g_{m2} \cdot r_{O3} = g_{m2} \cdot r_{O2} \cdot r_{O3}$$

$$g_{m2} = \sqrt{2 \cdot 150 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} \cdot 50 \mu\text{A} \cdot (1 + 2 \cdot 0.015 \cdot 1.143)}$$

$$g_{m2} = 161.4858 \mu\text{S}$$

$$r_{O2} = \frac{\frac{1}{\lambda} + V_{DS2}}{I_{REF}} = \frac{\frac{1}{0.015} \text{ V} + 2 \cdot 1.143 \text{ V}}{50 \mu\text{A}} = 1.3905 \text{ M}\Omega$$

$$r_{O3} = \frac{\frac{1}{\lambda} + 13.5 \text{ V}}{48.97 \mu\text{A}} = 1.638 \text{ M}\Omega$$

$$R_{out} = 161.465 \mu\text{S} \cdot 1.3905 \text{ M}\Omega \cdot 1.638 \text{ M}\Omega$$

$$= 367.7680 \text{ M}\Omega$$

# Elektronik II

## 7. Übung

### Aufgabe 1

Für einen einfachen Differenzverstärker mit Bipolartransistoren, Kollektorwiderständen  $R_C$  und Emittierwiderstand  $R_{EE}$  sollen die Arbeitspunktgrößen bestimmt werden. Hiefür sind die folgenden Größen gegeben:

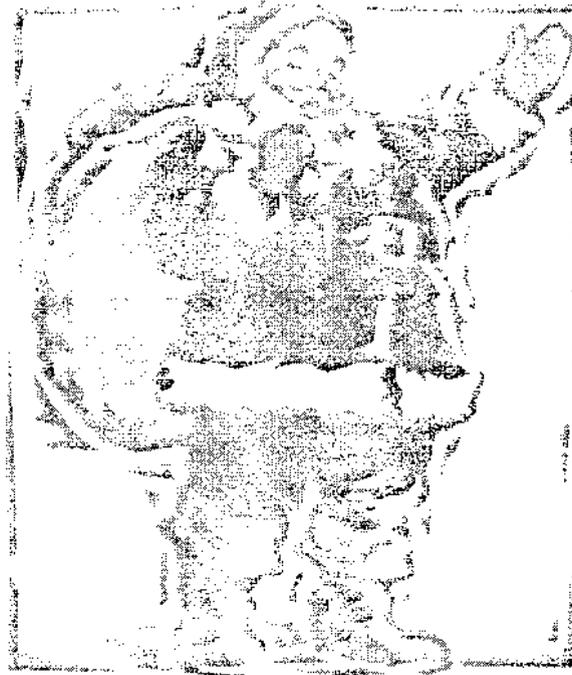
$R_{EE} = 75\text{k}\Omega$ ,  $R_C = 75\text{k}\Omega$ ,  $\beta_F = 100$ ,  $U_A = \infty$ ,  $U_{BE} = 0,7\text{V}$ ,  $U_{CC} = 15\text{V}$ ,  $-U_{EE} = -15\text{V}$ .

- Berechnen Sie zunächst die Ströme und Spannungen  $I_C$ ,  $I_B$  und  $U_C$ ,  $U_{CE}$  im Arbeitspunkt unter den angegebenen Vereinfachungen
- Bestimmen Sie nun die tatsächlichen Werte von  $U_{BE}$  und  $I_C$ . Hierfür ist der Strom  $I_S = 0,5\text{fA}$  für den Transistor geben ( $U_T$  sei  $0,025\text{V}$ ).

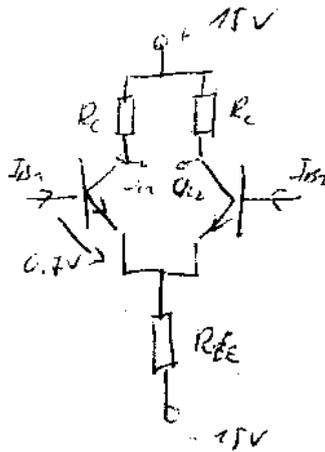
### Aufgabe 2

Berechnen Sie anhand der ermittelten Näherungen die Lage der beiden Pole und der Nullstelle für den CMOS-Inverter mit aktiver Last bei Ansteuerung mit nichtidealer Spannungsquelle und tragen Sie diese im Bode-Diagramm ein.

( $R_{th} = 1\text{M}\Omega$ ,  $C_{GS1} = C_{GS2} = 25,43\text{fF}$ ,  $C_{GD1} = C_{GD2} = 4,73\text{fF}$ ,  $C_L = 0$ ,  $g_{m1} = 51\mu\text{S}$ ,  $g_{m2} = 17\mu\text{S}$  aus Bsp. 2.4.1)



11)



$$\beta_F = 100$$

d)

$$U_{BE} + I_E \cdot R_{EE} - 15V = 0$$

$$0.7 + I_E \cdot 750 \Omega - 15 = 0$$

$$I_E = \frac{15 - 0.7}{750 \Omega} = \underline{\underline{95.3 \mu A}}$$

$$I_C = \beta_F \cdot I_E$$

$$= \frac{\beta_F}{\beta_F + 1} \cdot I_E = \underline{\underline{94.38 \mu A}}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta_F} = 0.9438 \mu A$$

$$U_{RC} = R_C \cdot I_C = 750 \Omega \cdot 94.38 \mu A = \underline{\underline{7.0785 V}}$$

$$U_{CE} - U_{RC} = \underline{\underline{7.9215 V}}$$

$$-15V = U_{BE} - U_{RC}$$

$$U_{CE} = U_C - U_E = 7.9215 V - (-0.7 V) = \underline{\underline{8.6215 V}}$$

5) Welchen Wert  $U_{BE}$  und  $I_E$

$$U_{BE} = U_T \cdot \ln \frac{I_C}{I_S}$$

$$= U_T \cdot \ln \frac{\beta \cdot I_E}{I_S}$$

$$U_{BE} = U_T \cdot \ln \left( \frac{\beta}{I_S} \cdot \frac{15V - U_{BE}}{150k\Omega} \right)$$

$$= 0,025V \cdot \ln \left( \frac{0,55}{0,5 \cdot 10^{-15}} \cdot \frac{15V - U_{BE}}{150k\Omega} \right)$$

Startwert  $U_{BE} = 0,7V$

1.  $U_{BE} = 0,645V$

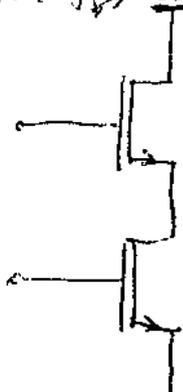
2.  $= 0,6452V$

3.  $\approx 0,6452V \Rightarrow I_E = \frac{15V - 0,6452V}{150}$

$$I_E = 55,673 \mu A$$

$$I_C = 54,7 \mu A$$

A 2) siehe Bsp 24.7



$$\omega_{p1} = \frac{g_{m1} s_{n2}}{g_{m1} C_{GD1}}$$

$$\omega_{p2} \approx \frac{s_{n1} C_{GD1}}{C'_{GD1} + C'_{GD2} + C_{GD1} C_{GD2}}$$

$$\omega_{z1} = \frac{g_{m1}}{C_{GD1}} = 10,782 \text{ Grps}$$

$$g_{m1} = 5,65$$

$$g_{m2} = 17,11$$

$$R_{Tn} \text{ sei } 1M$$

$$C'_{GD1} = C_{GD1} = C_{GD2} = 20,61 \text{ pF}$$

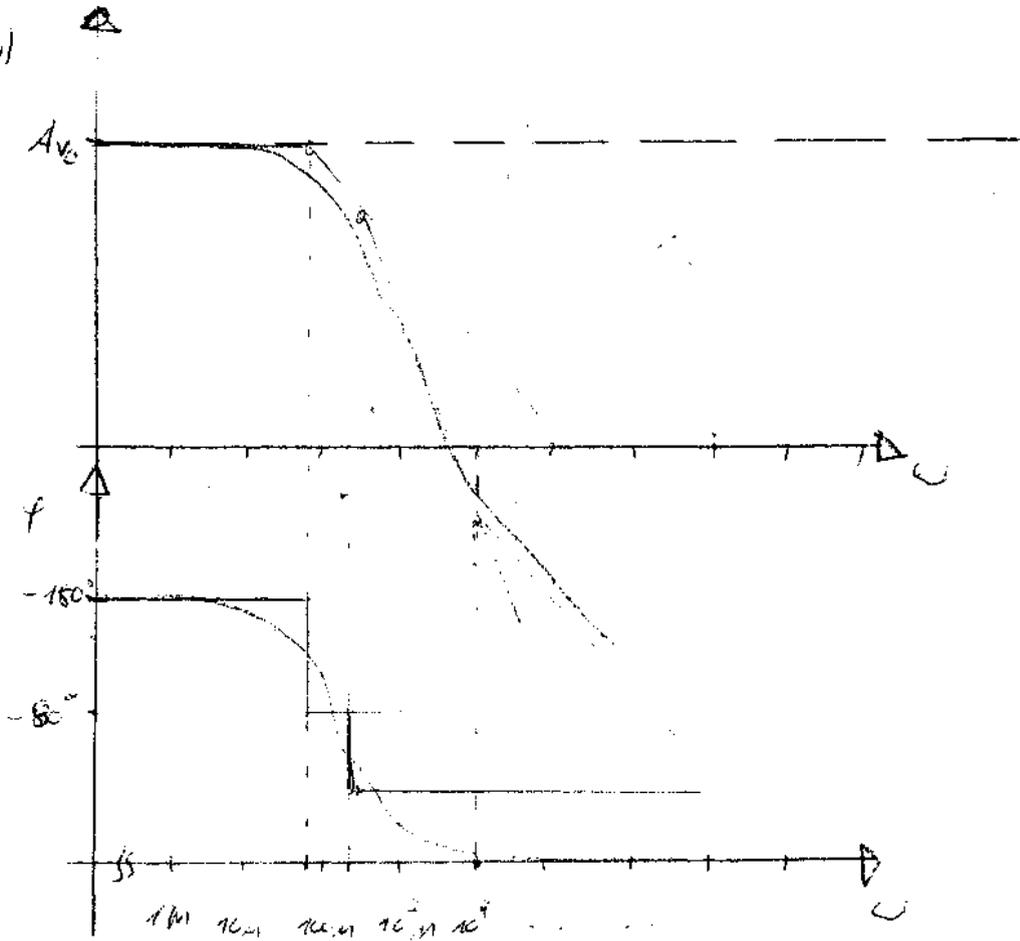
$$C_{GD1} = C_{GD2} = 4,75 \text{ pF}$$

Ü-EL16

$$G_{p1} = \frac{1 \cdot 10^6 \text{ S} \cdot 17 \cdot 10^{-6} \text{ S}}{57 \cdot 10^{-6} \text{ S} \cdot 4,73 \cdot 10^{-15} \text{ S}} = 70,4 \text{ Mrps}$$

$$G_{p2} = \frac{5 \cdot 10^5 \cdot 4,73 \text{ dT}}{(25 \text{ dS})^2 (f)^2 + 2 \cdot 25,43 \cdot 4,73 (f)} = 272,4 \text{ Mrps}$$

|A(f)|



# Elektronik II

## 8. Übung

### Aufgabe 1

Für einen einfachen Differenzverstärker mit MOSFET-Transistoren, Drainwiderständen  $R_D$  und einer Stromquelle mit dem Strom  $I_{SS}$  und dem Ausgangswiderstand  $R_{SS}$  sollen die Arbeitspunktgrößen bestimmt werden. Hiefür sind die folgenden Größen gegeben:

$$R_{SS} = 500\text{k}\Omega, R_D = 62\text{k}\Omega, I_{SS} = 200\mu\text{A}, K_n = 5\text{mA/V}^2, U_{THN0} = 1\text{V}, \lambda = 0,0133\text{V}^{-1}, U_{DD} = +U_{SS} = 12\text{V}.$$

- Berechnen Sie zunächst die Ströme und Spannungen  $I_D$  und  $U_{GS}, U_{DS}$  im Arbeitspunkt
- Bestimmen Sie den maximalen Wert  $U_{IC}$  für den Gleichtakteingangsbereich
- Welche Wirkung hat es, wenn die Stromquelle durch einen weiteren MOSFET-Transistor mit gemeinsamen Substrat realisiert wird?

### Aufgabe 2

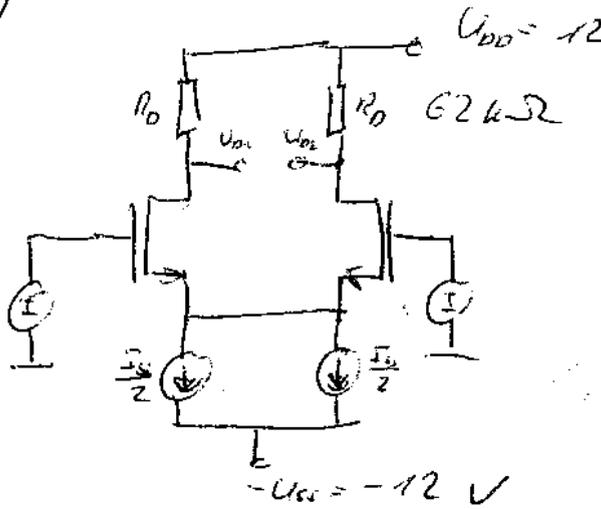
Berechnen Sie für den Differenzverstärker der Aufgabe 1 die Spannungsverstärkungen  $A_{dd}, A_{dd1}, A_{cd}$ , Eingangs- und Ausgangswiderstände  $R_{ID}, R_{IC}, R_{OD}$  für Differenz- und Gleichtaktbetrieb sowie CMRR.

### Aufgabe 3

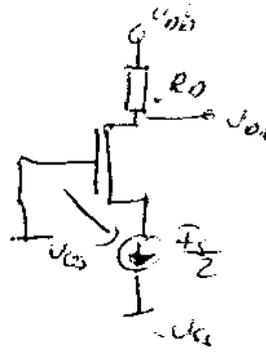
Zeichnen Sie einen Differenzverstärker vergleichbar zu Aufgabe 1, der aber aus PMOS-Transistoren aufgebaut ist.

3. Übung

A1)



AP  
=>



$$a) \quad I_D = \frac{k_n}{2} (U_{GS} - U_{THNO})^2$$

$$\Rightarrow U_{GS} = U_{THNO} + \sqrt{\frac{I_D}{k_n}}$$

$$U_{GS} = 1.2 \text{ V}$$

$$U_{DS} = 12 \text{ V} - 100 \mu\text{A} R_D + 1.2 \text{ V}$$

$$U_{DS} = 7 \text{ V}$$

$$M_n (U_{GS} = 1.2 \text{ V}, I_D = 100 \mu\text{A})$$

$$I_D = \frac{k}{n} (U_{GS} - U_{THNO})^2 (1 + \lambda U_{DS})$$

$$U_{GS} = U_{THNO} + \sqrt{\frac{I_D}{k_n (1 + \lambda U_{DS})}}$$

$$U_{DS} = 12 \text{ V} - \frac{I_D}{2} R_D + U_{GS}$$

Start  $U_{DS} = 7 \text{ V}$

(A)  $U_{GS} = 1.151 \text{ V}$

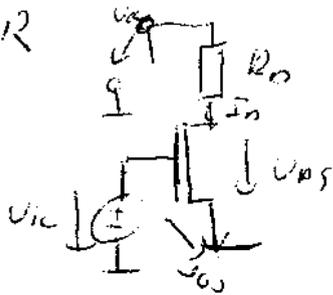
$U_{DS} = 6.99 \text{ V}$

(B)  $U_{GS} = 1.151 \text{ V}$

$U_{DS} = 6.957 \text{ V}$

b)

CMR



$$U_{DS} \geq U_{GS} - U_{THN}$$

$$U_{THN0} \geq U_{GS} - U_{DS}$$

$$U_{ic} = U_{GS} - U_{DS} - I_D \cdot R_D + U_{GS}$$

$$U_{ic} = (U_{GS} - I_D R_D) = U_{GS} - U_{DS}$$

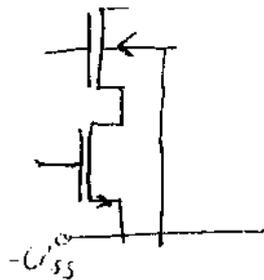
$$U_{ic} = (U_{GS} - I_D R_D) \leq U_{THN0}$$

$$\Rightarrow U_{ic} \leq U_{GS} - I_D \cdot R_D + U_{THN0}$$

$$12V - 6,2V + 1V$$

$$\boxed{U_{ic} \leq 6,8V}$$

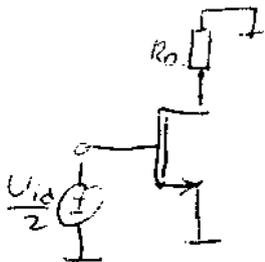
c)



$$U_{DS} \neq 0$$

$$U_{THN} \geq U_{THN0}$$

A2)



$$g_m = \sqrt{2k_n \cdot I_D} = \sqrt{k_n I_{SS}}$$

$$g_m = \sqrt{\frac{50 \mu A}{V^2} \cdot 200 \mu A} = 1 \text{ mS}$$

$$A_{dd} = -g_m R_D = \frac{U_{ds}}{U_{id}} \Big|_{U_{ic}=0} = -1 \text{ mS} \cdot 62 \text{ k}\Omega = \underline{\underline{-62}}$$

$$A_{dd1} = \underline{\underline{-31}}$$

$$A_{dd2} = \underline{\underline{31}}$$

$$R_{id} = \infty ; R_{ic} = \infty ; R_{oc} = 2R_D = \underline{\underline{124 \text{ k}\Omega}}$$

def.

CMRR  $\rightarrow \infty$

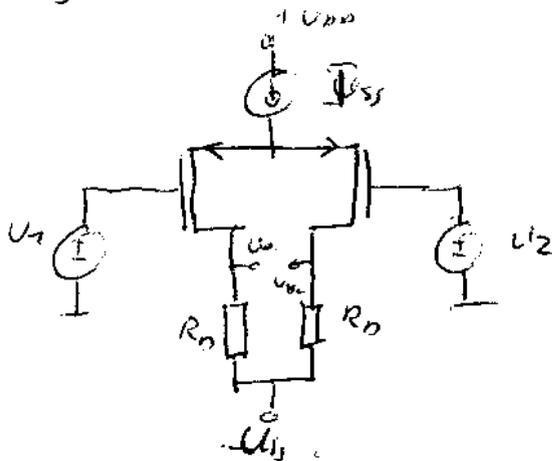
$$\text{singulärer CMRR: } \left| \frac{A_{dd1}}{A_{dd2}} \right| = \left| \frac{-\frac{g_m R_D}{2}}{-\frac{R_D}{2R_{id}}} \right|$$

$$= g_m \cdot R_{id} = 1 \text{ mS} \cdot 500 \text{ k}\Omega = 500 = \Rightarrow 56,37 \text{ dB}$$

8.01.04

$$A_{ic} = \frac{U_{oc}}{U_{ic}} = \frac{-g_m \cdot R_D}{1 + 2g_m \cdot R_{S1}} \approx -\frac{R_D}{2R_{S1}}$$

A3)



-  $U_{O1}, U_{O2}$  andue  $S_D$

- Substrat/kt

A2) d)

$$U_{GS} = U_{THN} + \sqrt{\frac{I_{DSS}}{k_n}}$$

$$U_{THN} = U_{THNC} + \gamma \cdot \left( \sqrt{U_{SD} + 2\Phi_F} - \sqrt{2\Phi_F} \right)$$

$$U_{S13} = U_{GS} - U_{GS}$$

$$U_{THN} \approx 2.77V$$

$$U_{O1} = 0.57V$$

$$I = 100 \mu A$$

# Elektronik II

## 9. Übung

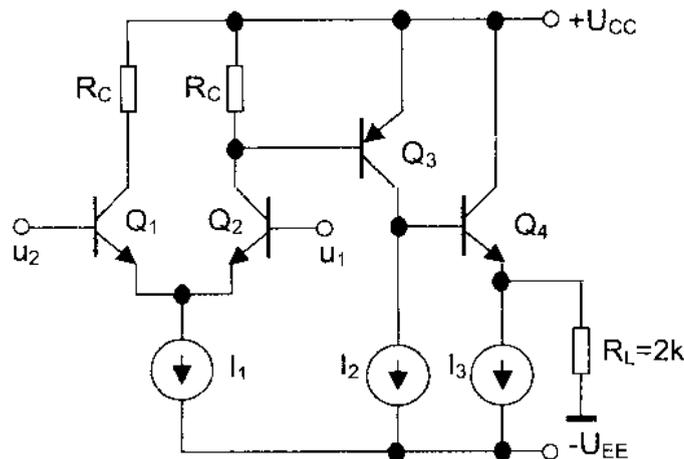
### Aufgabe 1

Für die in der Vorlesung vorgestellte dreistufige Anordnung aus einem einfachen Differenzverstärker (NPN-Transistoren, Kollektorwiderstände, Emitterstromquelle) Inverter mit Stromquellenlast (PNP-Transistor, Stromquelle) und Folgerstufe (NPN-Transistor, Stromquelle) sollen die Arbeitspunkt- und Kleinsignalgrößen bestimmt werden (s. Abbildung 1).

Hierfür sind die folgenden Größen gegeben:

$U_{CC} = 15V$ ,  $U_{EE} = 15V$ ,  $U_{A3} = 75 V$ ,  $\beta_{01} = \beta_{02} = \beta_{03} = \beta_{04} = 100$ ,  $R_1 = 750 k\Omega$ ,  $R_2 = R_3 = \infty$ ,  $R_L = 2 k\Omega$ ,  $I_1 = 100 \mu A$ ,  $I_2 = 500 \mu A$ ,  $I_3 = 5 mA$ .

- Berechnen Sie zunächst die Ströme und Spannungen im Arbeitspunkt und bestimmen Sie den erforderlichen Wert für  $R_C$
- Bestimmen Sie nun  $A_{dm}$ ,  $CMRR$ ,  $R_{in}$  und  $R_{out}$  des einfachen OPV.



**Abb. 1** Dreistufiger Verstärker mit Bipolartransistoren

# Elektronik II

## 10. Übung

### Aufgabe 1

Ein Komparator soll für eine sinusförmige Spannung mit  $u(t) = u \sin \omega t$  die Nulldurchgänge detektieren.

- Skizzieren Sie den Eingangs- und Ausgangsspannungsverlauf der Komparatorspannung für  $u=10\text{V}$ ,  $\omega=2\pi \cdot 10/\text{s}$ .
- Der Komparator habe eine Slew-Rate von  $20\text{V}/1\mu\text{s}$ . Wie lange dauert der Anstieg  $t$  von einem maximalen Ausgangswert zum anderen für eine symmetrische Betriebsspannung von  $\pm 12\text{V}$ .
- Wie ändert sich der Verlauf der Komparatorausgangsspannung qualitativ, wenn sich eine Störspannung mit einem Spitzenwert von  $20\text{mV}$  der Eingangsspannung überlagert.

### Aufgabe 2

Im folgenden soll die in Abb. 2 wiedergegebene Schaltung betrachtet werden und deren Verhalten bestimmt werden.

- Welche Formen der Rückkopplung kennen Sie ?
- Welche Form liegt in Abb.1 vor ?
- Bestimmen Sie die Übertragungskennlinie in Abhängigkeit von  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $U_{\text{omax}}$  und  $U_{\text{omin}}$  und skizzieren Sie den Ausgangsspannungsverlauf wie bei A1.
- Welche Eigenschaft besitzt diese Schaltung ?
- Errechnen Sie  $R_1$  und  $R_2$ , so dass die Störung aus A1 c) keinen Einfluss mehr hat. (Hierfür sei  $U_{\text{omax}}$  und  $U_{\text{omin}}$  mit  $11\text{V}$  bzw  $-11\text{V}$  gegeben)

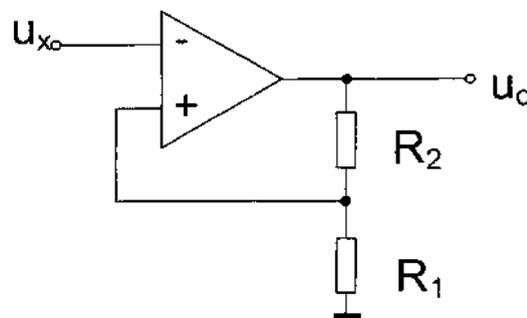


Abb. 1 Beschalteter Verstärker

### Aufgabe 3

Nun soll die in Abb. 2 wiedergegebene Schaltung betrachtet werden und deren Verhalten bestimmt werden.

- Bestimmen Sie die Übertragungskennlinie in Abhängigkeit von  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $U_{o\max}$  und  $U_{o\min}$ .
- Welche Eigenschaft besitzt diese Schaltung ?
- Was unterscheidet diese Schaltung von der der vorhergehenden Aufgabe ?
- Errechnen Sie  $R_1$  und  $R_2$ , so dass die Störung aus A1 c) keinen Einfluss mehr hat. (Hierfür sei ebenfalls  $U_{o\max}$  und  $U_{o\min}$  mit 11V bzw  $-11V$  gegeben.)

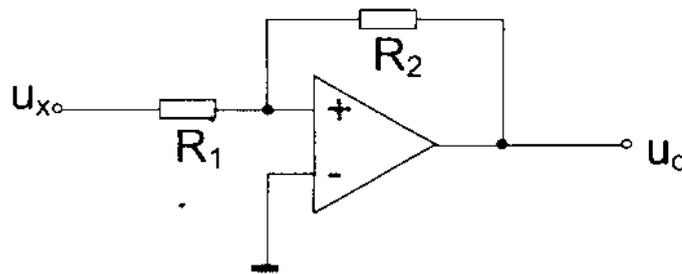
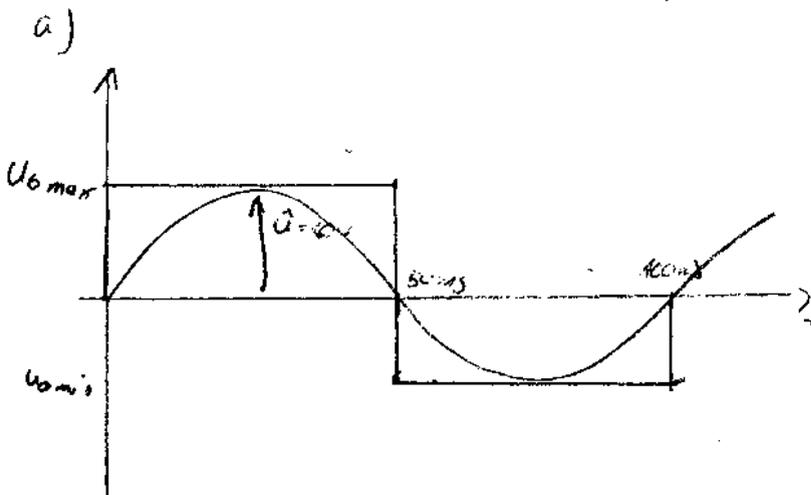
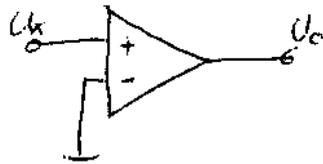


Abb. 2 Beschalteter Verstärker Variante 2

Übung 10

11)

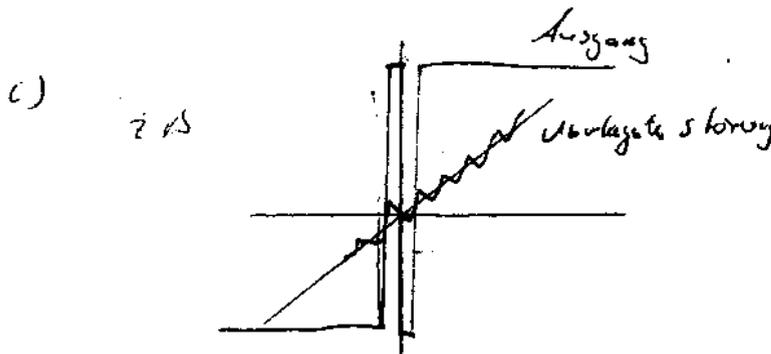
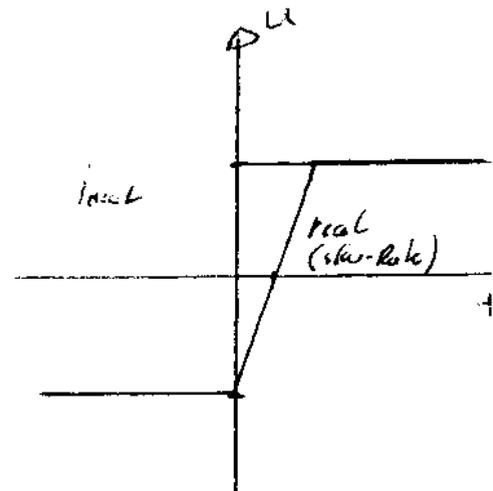


Slow Rate

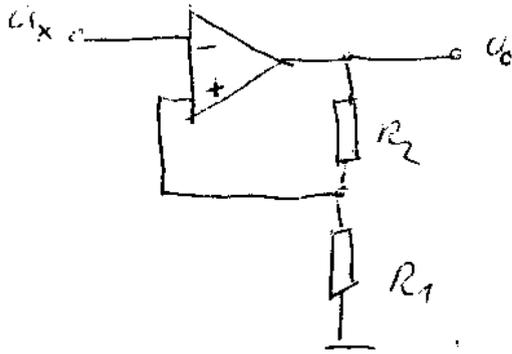
$$b) SR = 20 \frac{V}{\mu s} \pm 12 V$$

24 V Ausstieg

$$t = \frac{24 V}{20 V/\mu s} = \underline{\underline{1,2 \mu s}} = t$$



A2)



a) Mitkopplung  
Gegnekopplung

b) Mitkopplung

→ bistabiles Verhalten

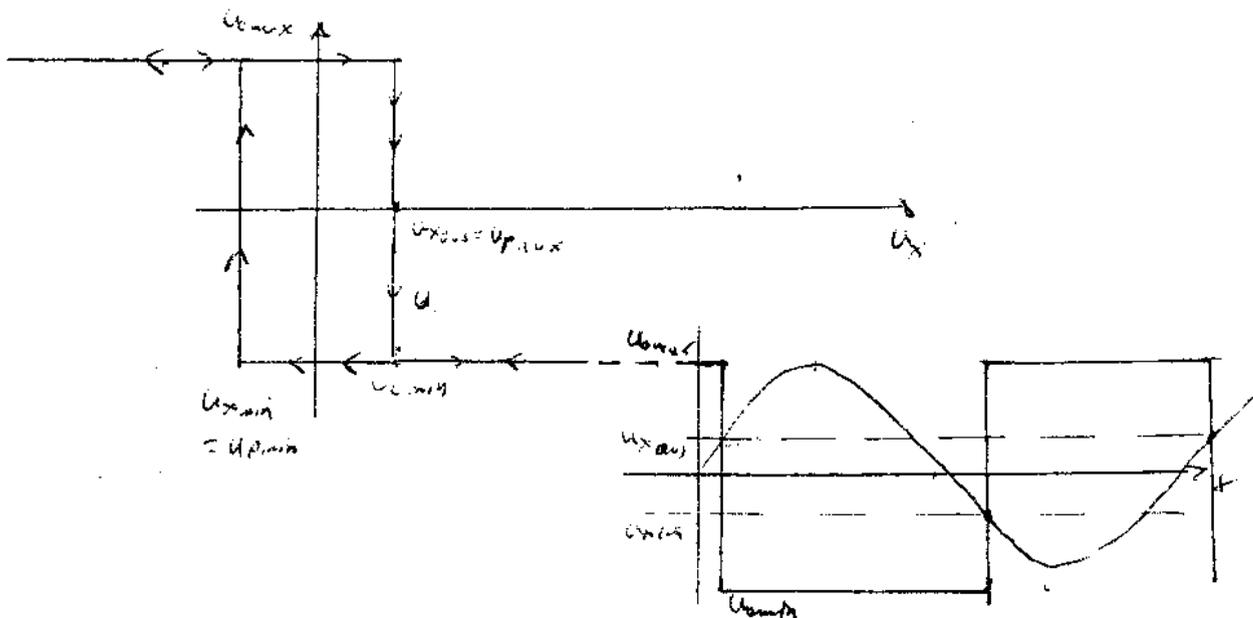
$$\text{wenn } A_v \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} > 1$$

Ausgangsbasis: für große neg.  $U_{ix} \rightarrow U_{o, \max}$

$$\Rightarrow U_{p, \max} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_{o, \max}$$

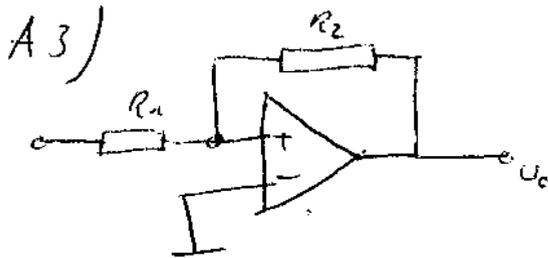
= Erhöhung von  $U_{ix}$  ohne Wirkung bis  $U_{p, \max}$  erreicht wird.

$$- U_{p, \min} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_{o, \min}$$



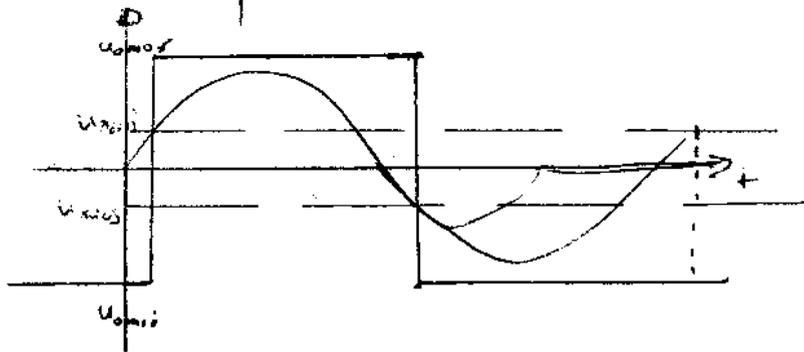
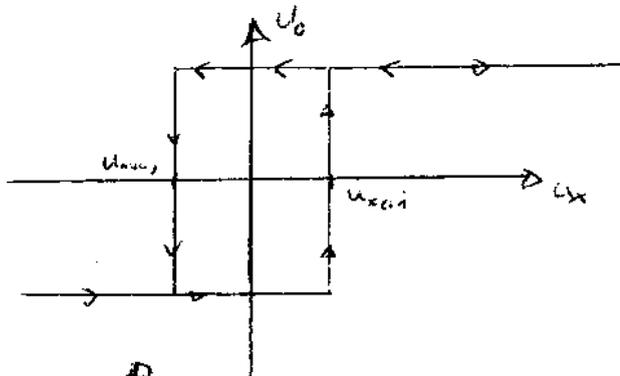
d) Schmitt-Trigger (invertierende Version)

e)  $\frac{R_1}{R_1+R_2} \cdot 11V = 20mV$   $R_1 = 1k\Omega$  (gewählt)  
 $\Rightarrow R_2 = 545 k\Omega$



$$U_{\text{aus}} = \frac{R_1 U_{\text{ref}}}{R_1 + R_2} - \frac{R_1}{R_2} U_{\text{in}}$$

$$U_{\text{ein}} = -\frac{R_2}{R_1} U_{\text{aus}}$$



b) ebenfalls hysteretisches Verhalten

c) Schmitt-Trigger (nicht invertierend)

d)  $U_{\text{aus}} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot 11V = -20mV$  ;  $-\frac{R_2}{R_1} = -\frac{20mV}{11V}$  mit  $R_1 = 1k\Omega$   
 $\Rightarrow R_2 = 545k\Omega$

# Elektronik II

## 11. Übung

### Aufgabe 1

Ein OPV ohne Gegenkopplungsnetzwerk weist eine Gegentaktspannungsverstärkung  $A$  von 48 dB und ein CMRR von 80 dB auf. Am nichtinvertierenden Eingang liegt die Spannung  $u_1=5,001\text{V}$  und am invertierenden Eingang  $u_2=4,999\text{V}$ .

- Berechnen Sie die Gleichtaktverstärkung  $A_{cm}$ .
- Wie groß ist der Fehler der Ausgangsspannung  $u_o$ , der durch das endliche CMRR verursacht wird?
- Welcher Wert ergibt sich für negatives  $A_{cm}$ ?
- Der Verstärker habe ein  $U_{OS}=+2\text{mV}$ . Wie ändert sich das Ergebnis von b) ?

### Aufgabe 2

Die in Abb. 1 wiedergegebene Schaltung soll eine Gegentaktspannungsverstärkung  $A$  von 20 dB besitzen und der OPV sei so entworfen, dass er bei einer minimalen Last von  $R_L=5\text{ k}\Omega$  eine Ausgangsspannung mit einem Spitzenwert von mindestens 10 V aufweist. Die Spezifikation des OPV gibt für den Ausgangstrom eine Grenze von 2,5 mA an.

- Dimensionieren Sie die Widerstände  $R_2$  und  $R_1$  der gegebenen Schaltung anhand verfügbarer Widerstandswerte mit 5% Toleranz, so dass der Aussteuerbereich 10V bleibt und  $A$  zu 20 dB wird.
- Der Eingangswiderstand der Schaltung soll nun mindestens 10k $\Omega$  betragen. Wie bestimmt sich  $R_{IN}$  und wie ändert sich nun die Dimensionierung?

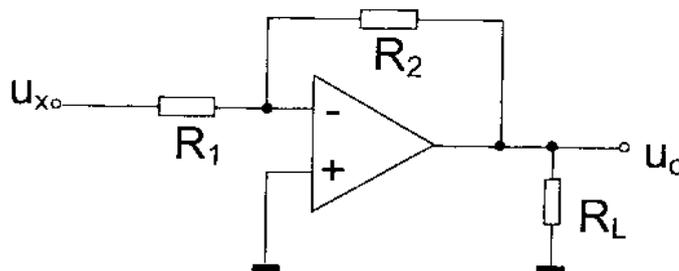


Abb. 1 Invertierender Verstärker

### Aufgabe 3

Die Gegentaktspannungsverstärkung eines unbeschalteten OPV weist zwei LHP-Polstellen bei  $\omega_{p1} = 10 \text{ k rad/s}$  und  $\omega_{p2} = 100 \text{ k rad/s}$  auf.  $A(0)_{dB} = 100 \text{ dB}$ .  $R_2$  und  $R_1$  werden aus A2 b) übernommen.

- Welcher Phasenrand liegt für die gegebene Beschaltung vor ?  
(Bestimmen Sie den Rückkoppelfaktor  $\beta$  und tragen Sie  $A(s)$  und  $1/\beta$  in das Bode-Diagramm ein (Hilfsblatt))
- Ist der gegengekoppelte Verstärker stabil ? Wo liegt die Grenze für ein sinnvolles  $\beta$  hinsichtlich der Stabilität ?
- Wie ändert sich das Ergebnis, wenn durch eine Kompensationsmaßnahme der linke Pol auf  $\omega_{p1} = 1 \text{ k rad/s}$  einrückt ?
- Wie müssten sich qualitativ beide Pole bewegen um eine weitere Vergrößerung des stabilen Bereiches von  $\beta$  zu erlauben ?

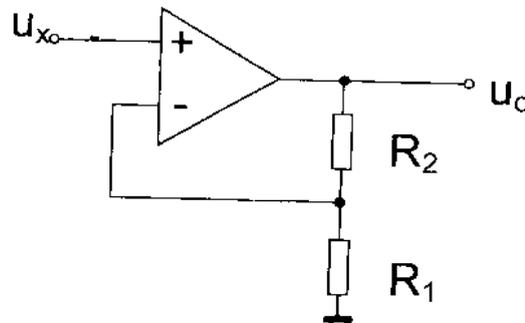
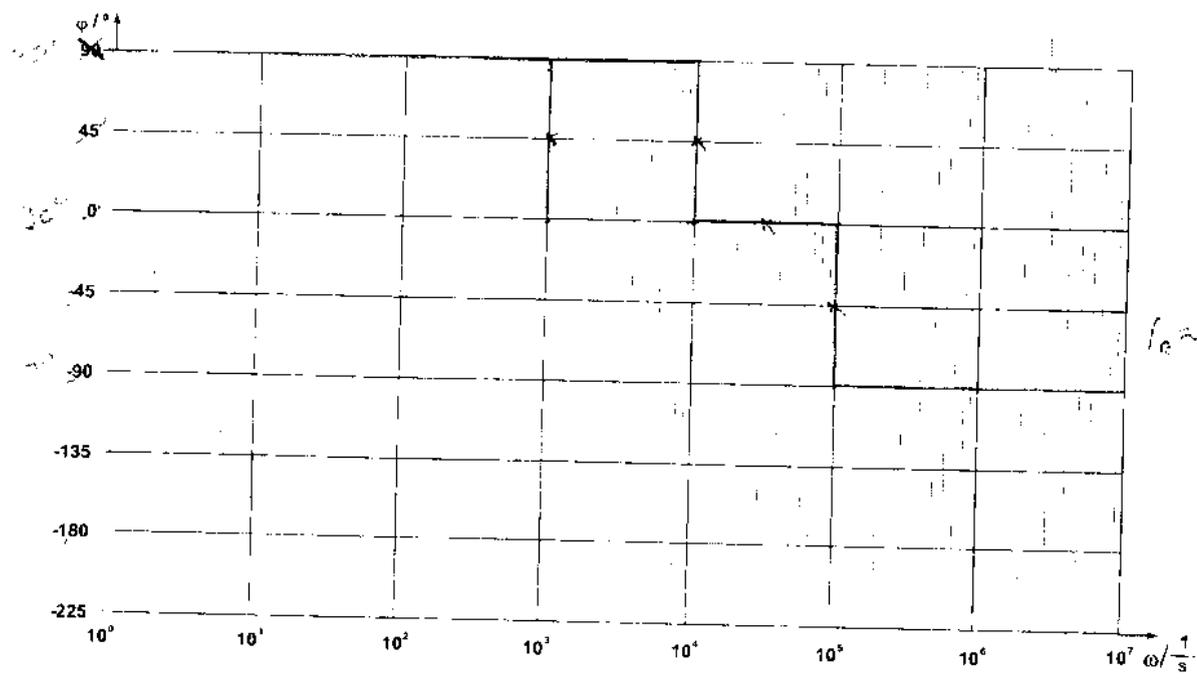
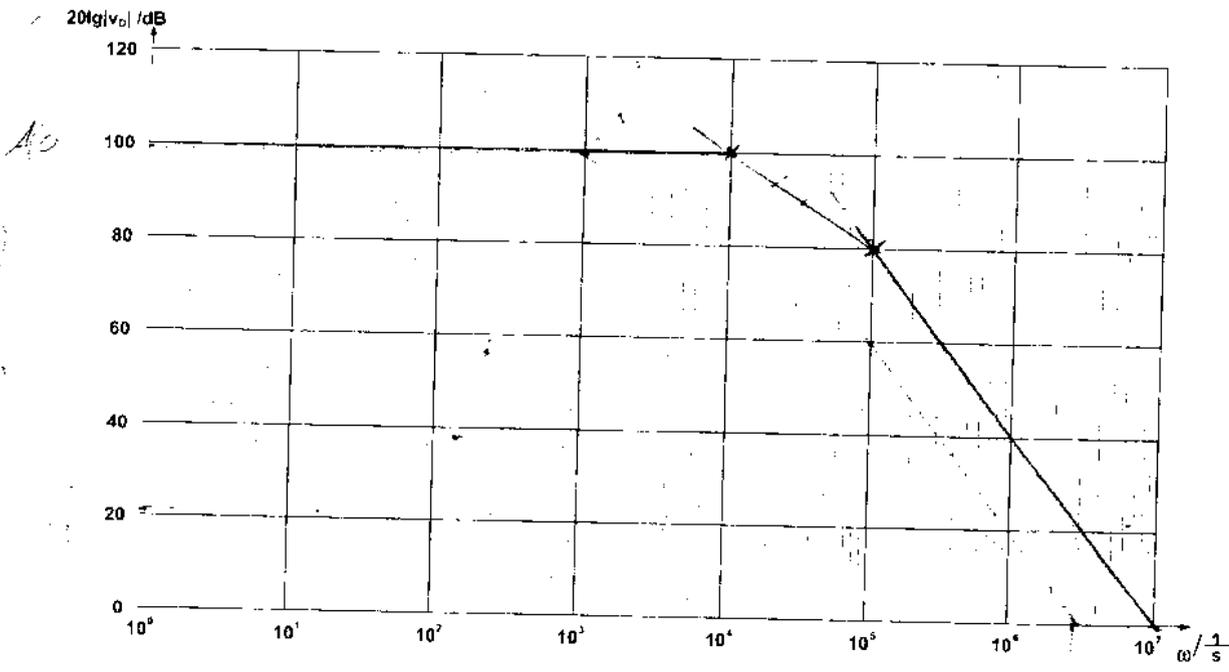


Abb. 2 Nichtinvertierender Verstärker

Hilfsblatt zur 3. Aufgabe

*Handwritten notes:*  $V_{out}$ ,  $1A$



Zy. 01.04

11

a)  $A_{cm} = \frac{A_{dm}}{CMRR}$

$= \frac{250}{10^4}$   
 $= 2,5 \cdot 10^{-2}$

$\frac{1}{dm} = 10 \cdot \frac{25}{20} = 25 \cdot 10^4$

250

CMRR = 80 dB Vorteilhaftes  
 $= 10^4$

b)

$U_{id} = 5,004 - 4,995 V = 0,009 V$

$U_{ic} = \frac{5,004 + 4,995 V}{2} = 5 V$

$U_o = A \left[ U_{id} + \frac{U_{ic}}{CMRR} \right]$

$U_o = 250 \left[ 0,009 V + \frac{5}{10^4} \right] = 250 \left[ 0,009 V + 0,0005 \right]$

$U_o = 0,625 V$

$F_{os} = \left| \frac{0,625 \cdot 0,5}{0,5} \right| = 0,25 = 25 \%$

c)

$U_o = 0,5 V - 0,175 V$

$U_o = 0,375 V$

d)  $U_{o2} = +0,009 V$

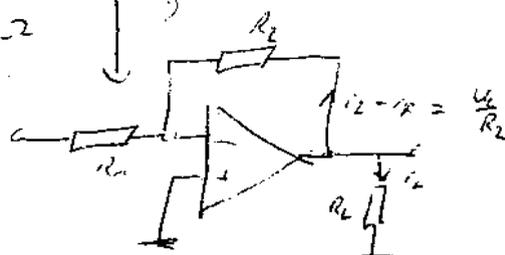
$U_o = A \left( U_{id} + \frac{U_{ic}}{CMRR} + U_{os} \right) = 0,625 + 0,5 V = 1,125 V$

12

a)  $\frac{1}{[dB]} = 20 \text{ dB} = 10 = \left| \frac{R_2}{R_1} \right|$  (Vorteil der Gegenkopplung/Av.)

$R_{eq} = R_1 \parallel R_F = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$

5kΩ



$R_{eq} \leq \frac{10V}{2,5mA} \leq 4k\Omega$

$R_2 \geq 20k\Omega$

$\Rightarrow R = 20k\Omega$

aus E Rind:  $20k\Omega \cdot 15\% = 15k\Omega$  ↓

$22k\Omega \cdot 15\% = 20500\Omega$  ↓

$\Rightarrow$	$27k\Omega$	$=$	$2,7k\Omega$
	$50k\Omega$		$5,0k\Omega$
	$100k\Omega$		$10,0k\Omega$
	$R_2$		$R_n$

aus  $R_2 = 27k$       $R_n = 2,7k$

$R_{ind} = 4,074 \Omega$

b)

$\frac{U_x}{R_2} = I_1$

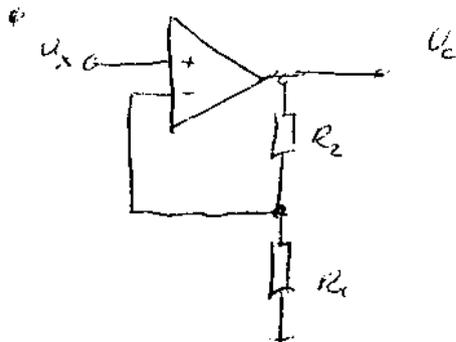
$R_{in} = R_1$

$R_{in} \geq 10k\Omega$

↓

$R_1 \geq 10k\Omega \Rightarrow R_2 = 100k\Omega$

A3)



$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

$\frac{10k\Omega}{100k\Omega + 10k\Omega} = \beta$

$= 7,20,82 \text{ dB}$

$20,82 \text{ dB}$

V-ELEK II

29.01.04

$$\frac{A}{s} = 50 \text{ dB}$$

$$A = -50 \text{ dB} \hat{=} 10^{-4}$$

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} = 10^{-4}$$

$$R_1 = 100 \Omega$$

$$R_2 \approx 1 \text{ M}\Omega$$