

1. Aufgabe

1.1 DC-Analyse: Unter welchen Bedingungen herrscht „Ruhestromkompensation“ ?

1.2 AC-Analyse: Untersuchen Sie die Stabilität der Schaltung:

a) Wo wird an geeigneter Stelle aufgetrennt und gespeist?

b) Zunächst sei $C_2 = 0$ und $r_a = 0$: Welche Schleifenverstärkung ergibt sich (Skizze im Bodediagramm nach Betrag und Phase) und welche Phasenreserve liegt dabei vor?

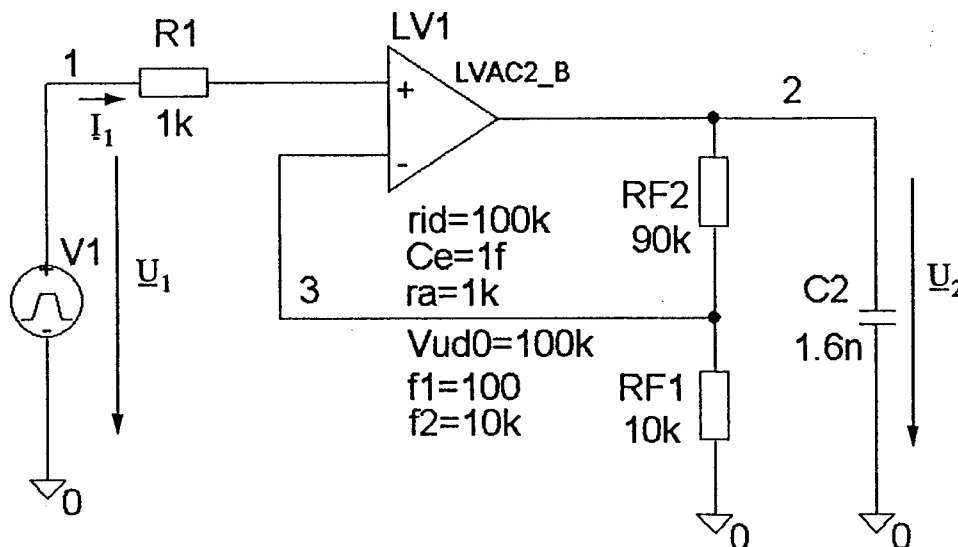
c) Sodann ist $C_2 = 1.6 \text{ nF}$ (Lastkapazität) und $r_a = 1 \text{ k}\Omega$; Welche Schleifenverstärkung ergibt sich (Skizze im Bodediagramm nach Betrag und Phase) und welche Phasenreserve liegt dabei vor? Beurteilen Sie die Stabilität der Schaltung. Geben Sie geeignete Massnahmen an, um die Schwingneigung der Schaltung zu vermeiden.

1.3 AC-Analyse: Untersuchen Sie das Übertragungsverhalten der Schaltung.

Dabei sei $C_2 = 0$, $r_a = 0$, $f_1 = 100 \text{ Hz}$ und $f_2 = 1000 \text{ kHz}$.

a) Skizzieren Sie die Verstärkung $\underline{U}_2/\underline{U}_1$ (Skizze im Bodediagramm nach Betrag und Phase).

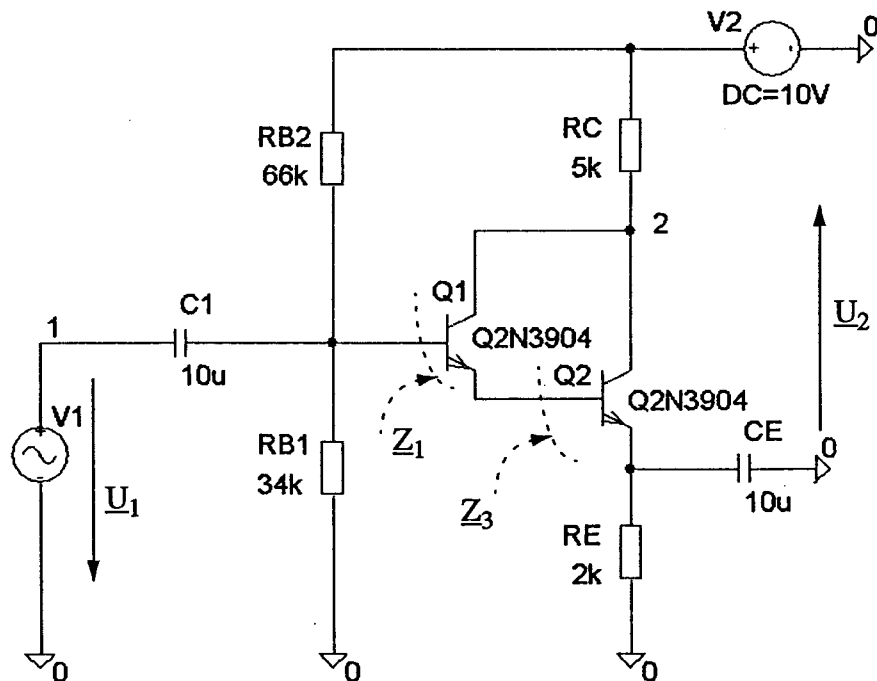
b) Bestimmen Sie den Eingangswiderstand der Schaltung. Wie gross ist der Eingangswiderstand bei tiefen Frequenzen $\underline{U}_1/\underline{I}_1$?



2. Aufgabe

Q_1, Q_2 , : $I_s = 10^{-15} \text{ A}$; $\beta = B = 100$;

- 2.1 DC-Analyse: Ermitteln Sie den Arbeitspunkt von Q_1 und Q_2 .
- 2.2 Bestimmen Sie R_C so, dass größtmögliche Aussteuerbarkeit gegeben ist.
- 2.3 AC-Analyse im Arbeitspunkt (bei mittleren Frequenzen; Block-C's mit 10u stellen Kurzschluss dar):
 - a) Geben Sie Z_3 und Z_1 an.
 - b) Wie groß ist die Verstärkung $\underline{U}_2/\underline{U}_1$?
- 2.4 AC-Analyse im Arbeitspunkt (bei tiefen Frequenzen; Blockkapazität CE ist nicht wirksam):
 - a) Geben Sie Z_3 und Z_1 an.
 - b) Wie groß ist die Verstärkung $\underline{U}_2/\underline{U}_{RB1}$?



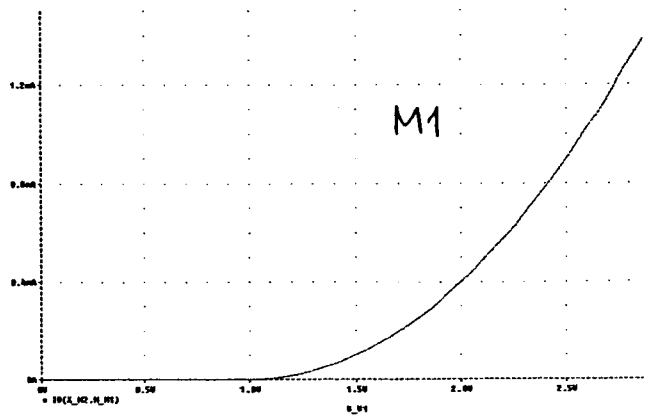
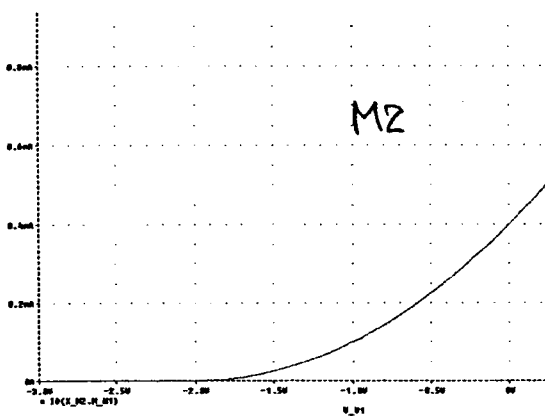
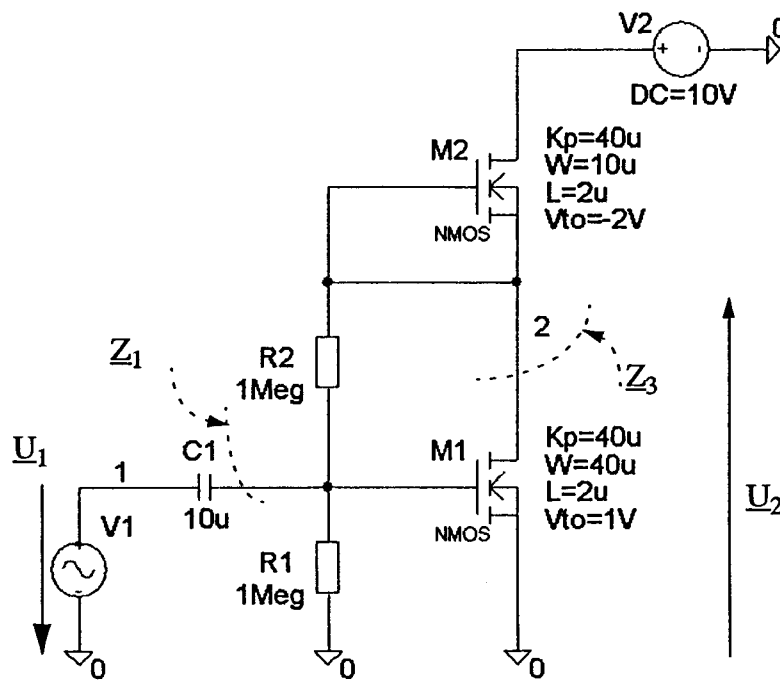
3. Aufgabe

M_1^* , M_2 wie angegeben.

3.1 DC-Analyse: Ermitteln Sie die Arbeitspunkte von M_1 und M_2 ; in welcher Betriebsart wird M_1 und M_2 betrieben?

3.2 AC-Analyse: Ermitteln Sie $\underline{U}_2/\underline{U}_1$ (C_1 ist Kurzschluß); wie gross ist Z_1 und Z_3 ?
Allgemein gilt:

$$I_D = \begin{cases} (K_p \cdot W/L) \cdot [(U_{GS} - U_p) \cdot U_{DS} - U_{DS}^2/2] \dots \text{Linearer Betrieb} \\ (K_p \cdot W/(2L)) \cdot (U_{GS} - U_p)^2 \dots \text{Sättigungsbetrieb} \end{cases}$$



Kennlinien Transistor M1 und M2

4. Aufgabe

$Q_1: I_s = 10^{-15} \text{ A}; \beta = 100;$

4.1. DC-Analyse: Bestimmen Sie die Arbeitspunkte der Transistoren Q_1 bis Q_6 .

4.2 AC-Analyse:

- Wie groß ist Z_1 und Z_3 ?
- Skizzieren Sie $I_3 = f(U_1)$.
- Ermitteln Sie $\underline{U}_3/\underline{U}_1$; $\underline{U}_2/\underline{U}_1$.

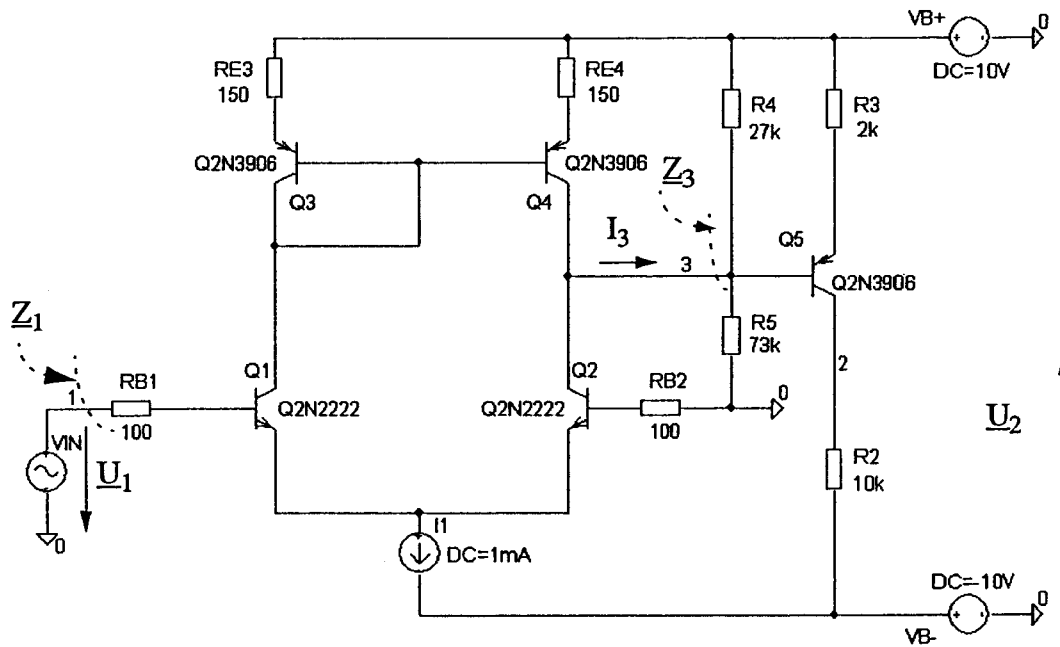
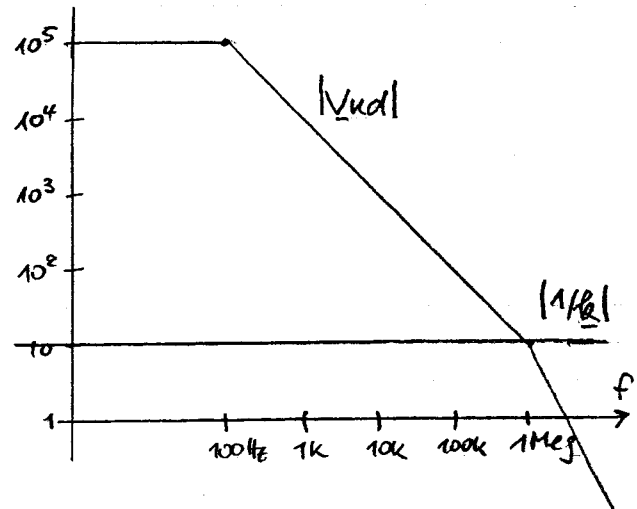
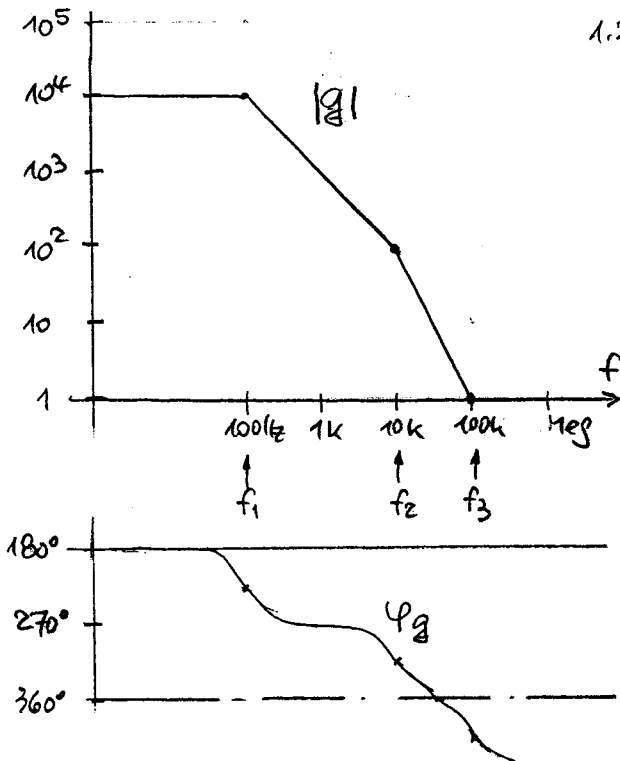


Tabelle 1:

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
$I_C^{(A)}$ in mA					
$U_{CE}^{(A)}$ in V					

1.1 $R1 = RF1 \parallel RFE$

1.2 a) am Knoten 3; b) $\underline{U}_2 / \underline{U}_1 = -10^5 \frac{1}{(1+jf/100kHz)(1+jf/10k)}$; $\underline{z} = 0,1$;



$Z_{in} = R1 + Z_{id} \cdot \underline{V}_{ud} / \underline{V}_u \approx 1000 \text{ Meg}\Omega$

2.1 $I_{C,Q2} = 1 \text{ mA}$; $I_{C,Q1} = 10 \text{ }\mu\text{A}$; $U_{CE,Q2} = 3 \text{ V}$; $U_{CE,Q1} = 2,3 \text{ V}$;

2.2 $R_{C,opt} = 3,5 \text{ k}\Omega$;

2.3 $Z_3 = 2,6 \text{ k}\Omega$; $Z_1 = 520 \text{ k}\Omega$; $\underline{U}_2 = \underline{U}_1 / 2 \cdot g_{m,Q2} \cdot RC \approx 100 \underline{U}_1$;

2.4 $Z_3 \approx 200 \text{ k}\Omega$; $Z_1 \approx 20 \text{ Meg}\Omega$; $\underline{U}_2 / \underline{U}_{RB1} \approx 2,5$;

3.1 $I_{D,M2} = 0,4 \text{ mA}$; $I_{D,M1} = 0,4 \text{ mA}$; $U_{GS,M1} = 2 \text{ V}$; $U_{DS,M1} = 4 \text{ V}$;

M2: $U_2 < 0 \text{ V} \rightarrow$ "Stromsenke"; M1: "Stromquelle", weil $U_{DS,M1} > U_{DSP,M1}$

3.2 $Z_3 = 1 \text{ Meg}\Omega$; $g_{m,M1} = \sqrt{2 \cdot 8 \cdot 10^{-4} \text{ A/V} \cdot 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ A}} \approx 1/3 \text{ k}\Omega$

$\underline{U}_2 / \underline{U}_1 \approx 800$; $Z_1 \approx 13 \text{ k}\Omega$

4.1 $I_{C,Q1} = I_{C,Q2} = I_{C,Q3} = I_{C,Q4} = 0,5 \text{ mA}$;

$|U_{CE,Q3}| = 0,7 \text{ V}$; $|U_{CE,Q4}| = 2,6 \text{ V}$; $U_{CE,Q1} = 9,9 \text{ V}$; $U_{CE,Q2} = 8 \text{ V}$;

$I_{C,Q5} = 1 \text{ mA}$; $|U_{CE,Q5}| = 8 \text{ V}$;

$Z_1 = 200 \Omega + 10,4 \text{ k}\Omega = 10,6 \text{ k}\Omega$; $Z_3 = 27 \text{ k}\Omega \parallel 73 \text{ k}\Omega \parallel 200 \text{ k}\Omega$;

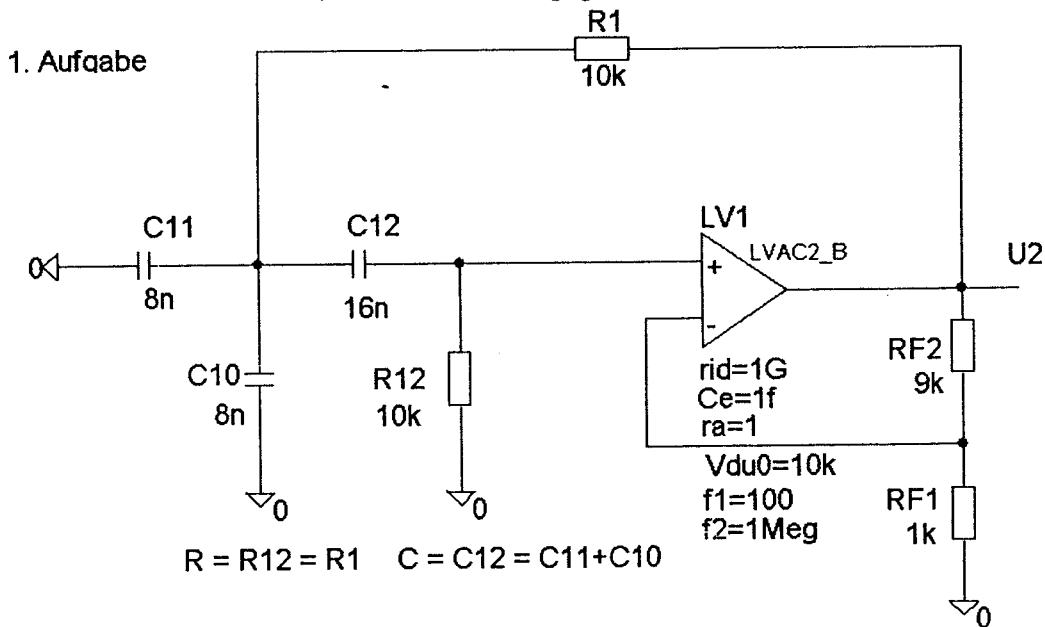
$\underline{U}_3 / \underline{U}_1 \approx \frac{20 \text{ k}\Omega}{52 \Omega} \approx 400$; $\underline{U}_2 / \underline{U}_3 = 5$; $\underline{U}_2 / \underline{U}_1 \approx 2000$;

1. Aufgabe

1.1 DC-Analyse: Unter welchen Bedingungen herrscht „Ruhestromkompensation“ ?

1.2 AC-Analyse:

Untersuchen Sie die Stabilität der Schaltung: Wo wird an geeigneter Stelle aufgetrennt und gespeist? Welche Schleifenverstärkung ergibt sich (Skizze im Bodediagramm) und welche Phasenreserve liegt dabei vor? Wie müsste der Verstärker (mit RF2 und RF1) dimensioniert werden, so daß Stabilität gegeben ist?



2. Aufgabe

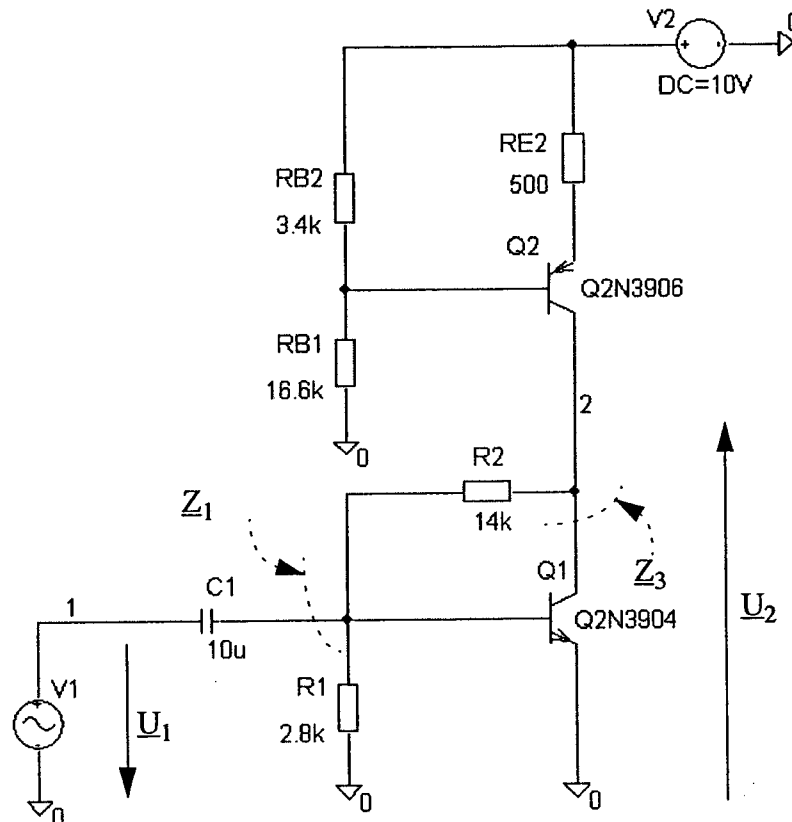
$Q_1, Q_2, : I_s = 10^{-15} \text{A}; \beta = B = 200;$

2.1 DC-Analyse: Ermitteln Sie den Arbeitspunkt von Q_1 und Q_2 .

2.2 AC-Analyse im Arbeitspunkt (bei mittleren Frequenzen; Block-C's mit 10u stellen Kurzschluss dar):

a) Geben Sie Z_1 und Z_3 an.

b) Wie groß ist die Verstärkung U_2/U_1 ?



3. Aufgabe

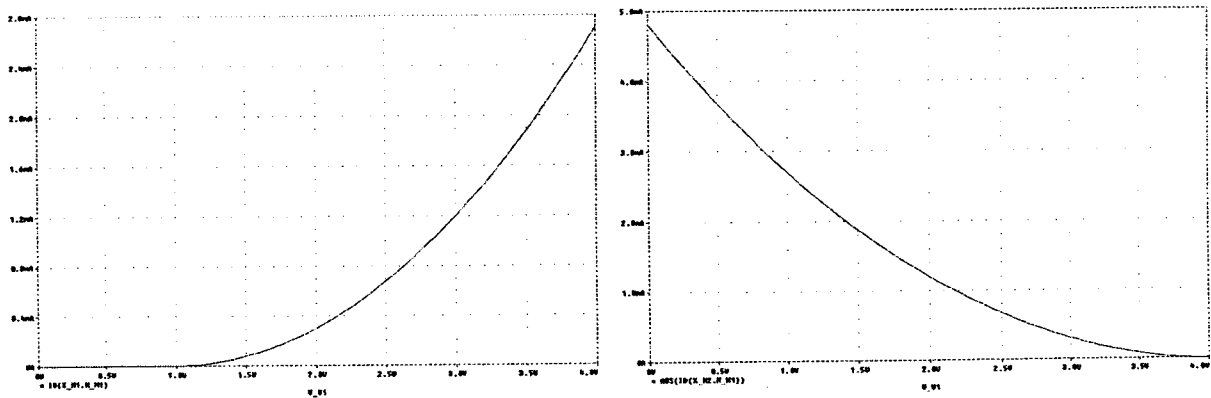
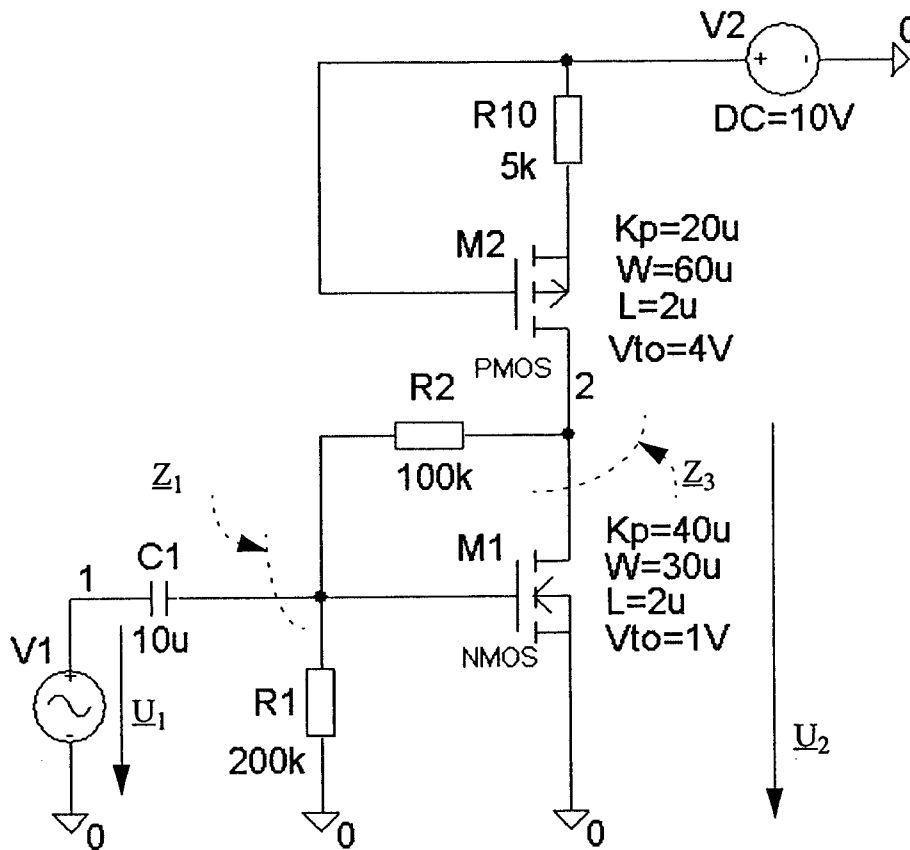
M_1 , M_2 wie angegeben.

3.1 DC-Analyse: Ermitteln Sie die Arbeitspunkte von M_1 und M_2 ; in welcher Betriebsart werden sie betrieben?

3.2 AC-Analyse: Ermitteln Sie $\underline{U}_2/\underline{U}_1$ (C_1 ist Kurzschluß); wie gross ist Z_1 und Z_3 ?

Allgemein gilt:

$$I_D = \begin{cases} (K_p \cdot W/L) \cdot [(U_{GS} - U_p) \cdot U_{DS} - U_{DS}^2/2] \dots \text{Linearer Betrieb} \\ (K_p \cdot W/(2L)) \cdot (U_{GS} - U_p)^2 \dots \text{Sättigungsbetrieb} \end{cases}$$



Kennlinien Transistor M1 und M2

4. Aufgabe

$Q_i : I_s = 10^{-15} \text{ A}; \beta = 100;$

4.1. DC-Analyse: Bestimmen Sie die Arbeitspunkte der Transistoren Q_1 bis Q_6 .

4.2 AC-Analyse:

- Wie groß ist Z_1 und Z_3 ?
- Skizzieren Sie $I_3 = f(U_1)$.
- Ermitteln Sie U_3/U_1 ; U_2/U_1 .

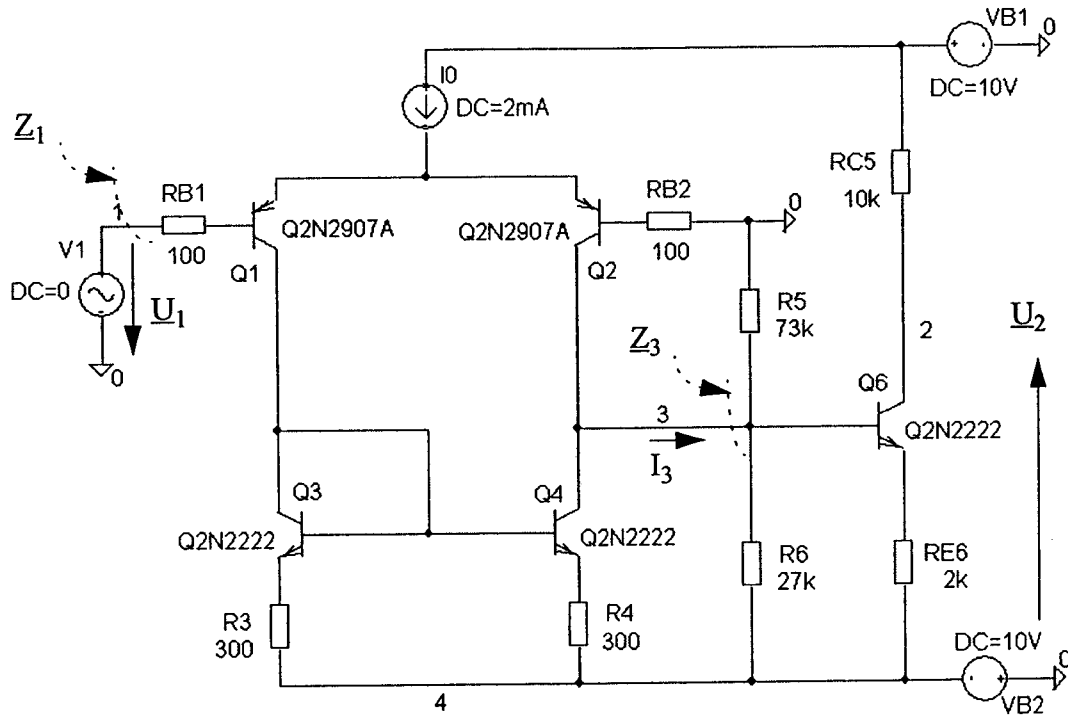
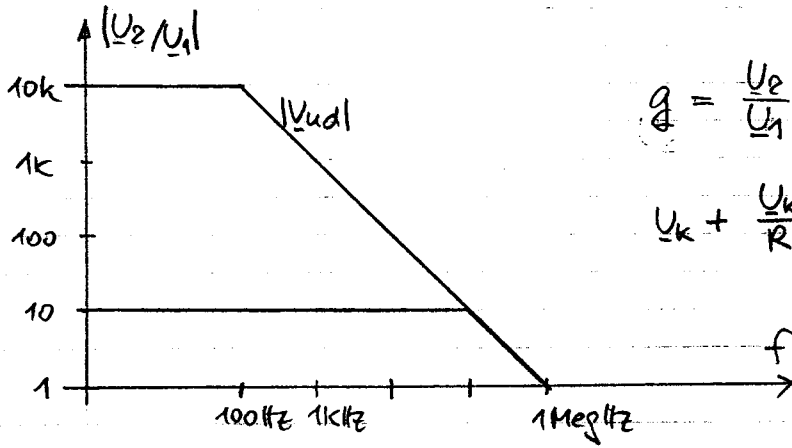


Tabelle 1:

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q6
$I_C^{(A)}$ in mA					
$U_{CE}^{(A)}$ in V					

1. Aufgabe DC-Analyse: $R_{12} = R_{F1} || R_{F2}$



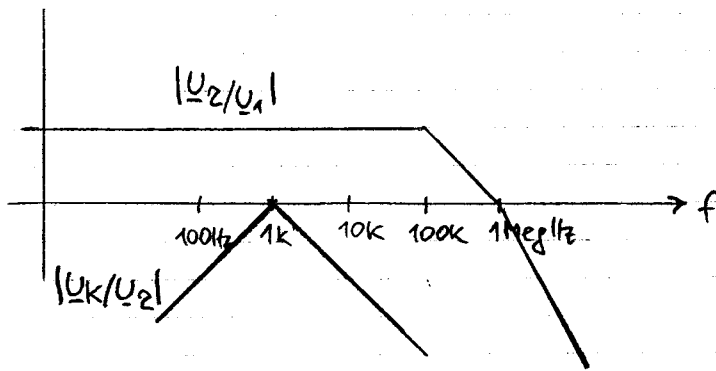
$$g = \frac{U_2}{U_1} \cdot \frac{U_k}{U_2} ; \frac{U_2}{U_1} = 10 \cdot \frac{1}{1+jf/100kHz}$$

$$U_k + \frac{U_k}{R} \cdot \frac{1}{j\omega C} = U_k \frac{1+j\omega RC}{j\omega RC} ;$$

$$U_k \frac{1+j\omega RC}{j\omega RC} \cdot j\omega C + \frac{U_k}{R} = (U_2 - U_k \frac{1+j\omega RC}{j\omega RC}) / R ;$$

$$U_k \left[(1+j\omega RC) + 1 + \frac{1+j\omega RC}{j\omega RC} \right] = U_2 ;$$

$$\frac{U_k}{U_2} = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC \cdot 3 + (j\omega RC)^2}$$



Bei $f = 1kHz$ ist die Solvingbedingung erfüllt, wenn $R_{F2}/R_{F1} > 2$ ist;

$$P_g = P_{ud} + P_B = 0$$

2. Aufgabe

$$I_{C,Q2} = 2mA ; I_{C,Q1} = 1.75mA ; U_{CE,Q1} = 4.2V$$

$$U_{EC,Q2} = 4.8V ;$$

$$Z_1 = 2.8k || 3k || 15\Omega \approx 15\Omega ; Z_3 \approx 14k \quad U_2/U_1 = 930$$

3. Aufgabe

$$\beta_{M2} = 0.6mA/V^2 ; I_{D,M2} = 0.53mA ; I_{D,M1} = 0.52mA ;$$

$$\beta_{M1} = 0.6mA/V^2 ; U_{GS,M2} = 2.6V ; U_{GS,M1} = 2.3V$$

$$g_{m,M1} = 1/1.3k\Omega ; U_{DS,M2} = 3.9V ; U_{DS,M1} = 3.5V ;$$

$$U_2/U_1 = -77 ; Z_1 = 1.3k\Omega ; Z_3 = 100k\Omega ;$$

4. Aufgabe

$$I_{C,Q1} = I_{C,Q2} = I_{C,Q3} = I_{C,Q4} = 1mA ; I_{C,Q6} = 1mA ;$$

$$U_{EC,Q1} = 9.7V ; U_{EC,Q2} = 8V ; U_{CE,Q3} = 0.7V ; U_{CE,Q4} = 2.4V ; U_{CE,Q6} = 8V$$

$$Z_1 = 5.4k\Omega ; Z_3 = 27k || 73k || 200k \approx 18k\Omega ;$$

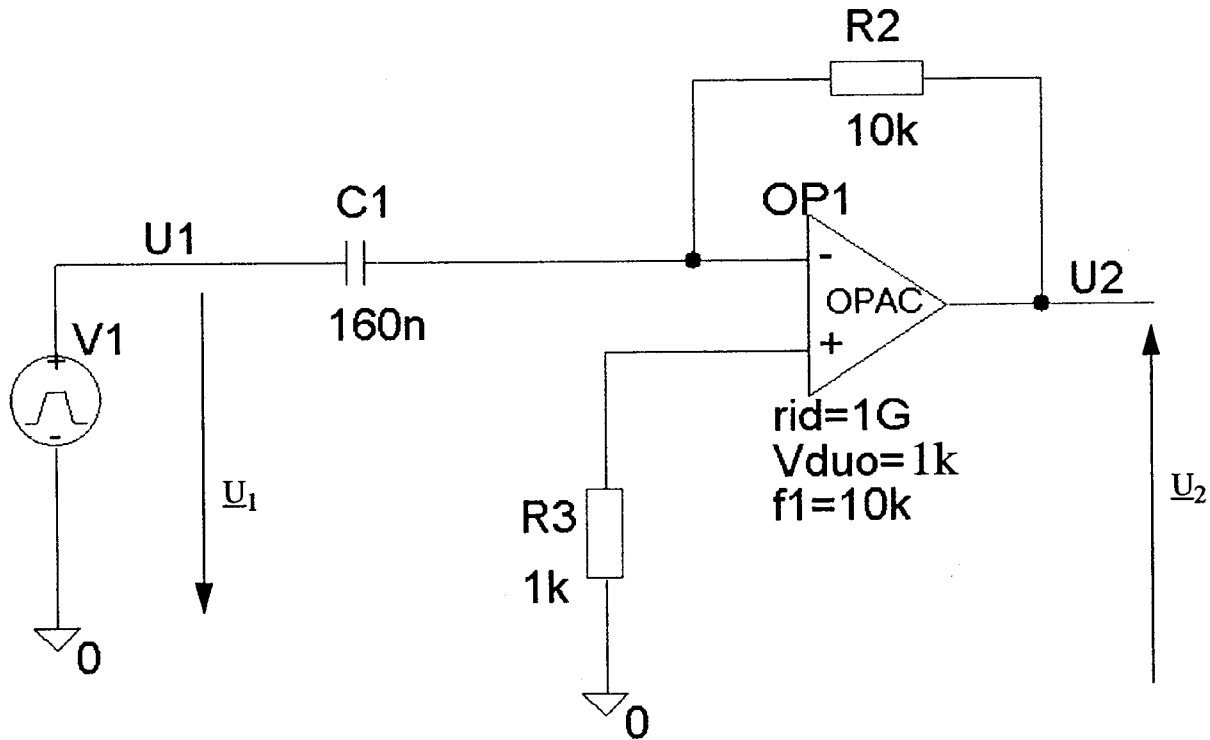
$$|U_3/U_1| = 690 ; U_2/U_1 = 3500 ;$$

1. Aufgabe

1.1 DC-Analyse: Unter welchen Bedingungen herrscht „Ruhestromkompensation“ ?

1.2 AC-Analyse:

a) Untersuchen Sie die Stabilität der Schaltung: Wo wird an geeigneter Stelle aufgetrennt und gespeist? Welche Schleifenverstärkung ergibt sich (Skizze im Bodediagramm) mit $f_1 = 10 \text{ KHz}$ und welche Phasenreserve liegt dabei vor? Wie müsste f_1 des Verstärkers dimensioniert werden, so daß Stabilität mit 45° Phasenreserve gegeben ist?



b) Die Funktion der Schaltung soll wenigstens bis 10 KHz unverändert erhalten bleiben. Welche Massnahme hinsichtlich der Beschaltung ist geeignet (z.B. mit einem zusätzlichen Widerstand - wo und wie gross?), um bei dem gegebenen Verstärker Stabilität mit hinreichender Phasenreserve zu erreichen?

c) Bestimmen Sie $\underline{U}_2/\underline{U}_1$ unter Zugrundelegung eines Breitbandverstärkers mit $f_1 = 100 \text{ KHz}$ an Stelle der angegebenen 10 KHz (sonst gleiche Parameter) und skizzieren Sie das Ergebnis im Bodediagramm.

2. Aufgabe

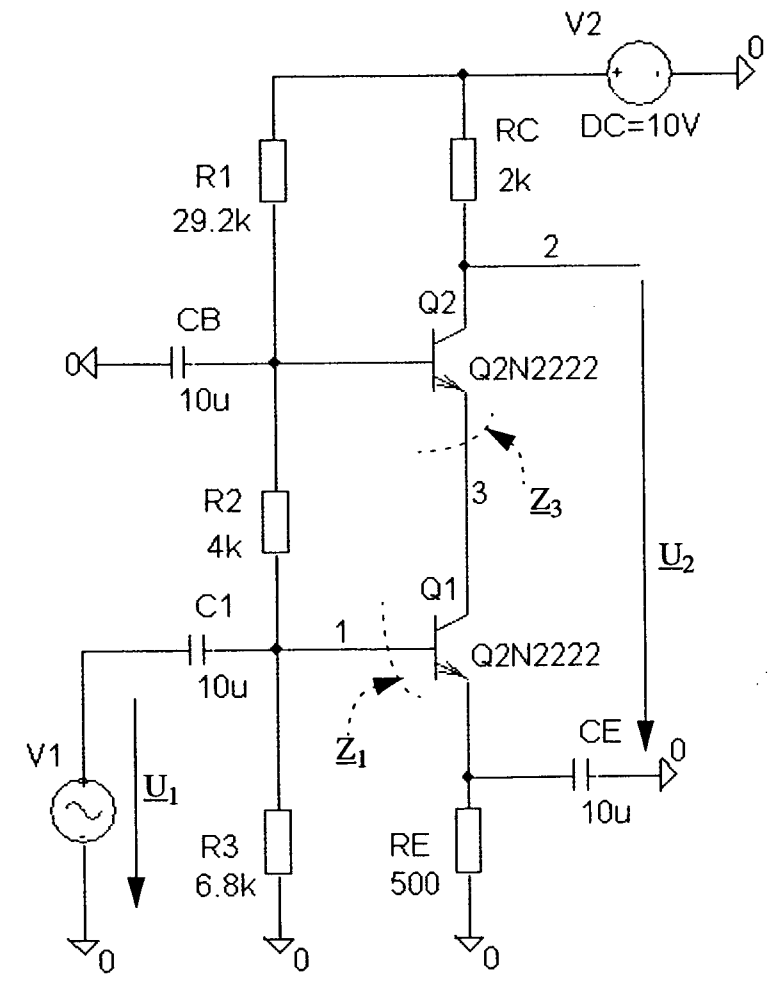
$Q_1, Q_2, : I_s = 10^{-15} \text{ A}; \beta = 200;$

2.1 DC-Analyse: Ermitteln Sie den Arbeitspunkt von Q_1 und Q_2 .

2.2 AC-Analyse im Arbeitspunkt (bei mittleren Frequenzen; Block-C's mit 10u stellen Kurzschluss dar):

a) Geben Sie Z_1 und Z_3 an.

b) Wie groß ist die Verstärkung U_3/U_1 und U_2/U_1 ?



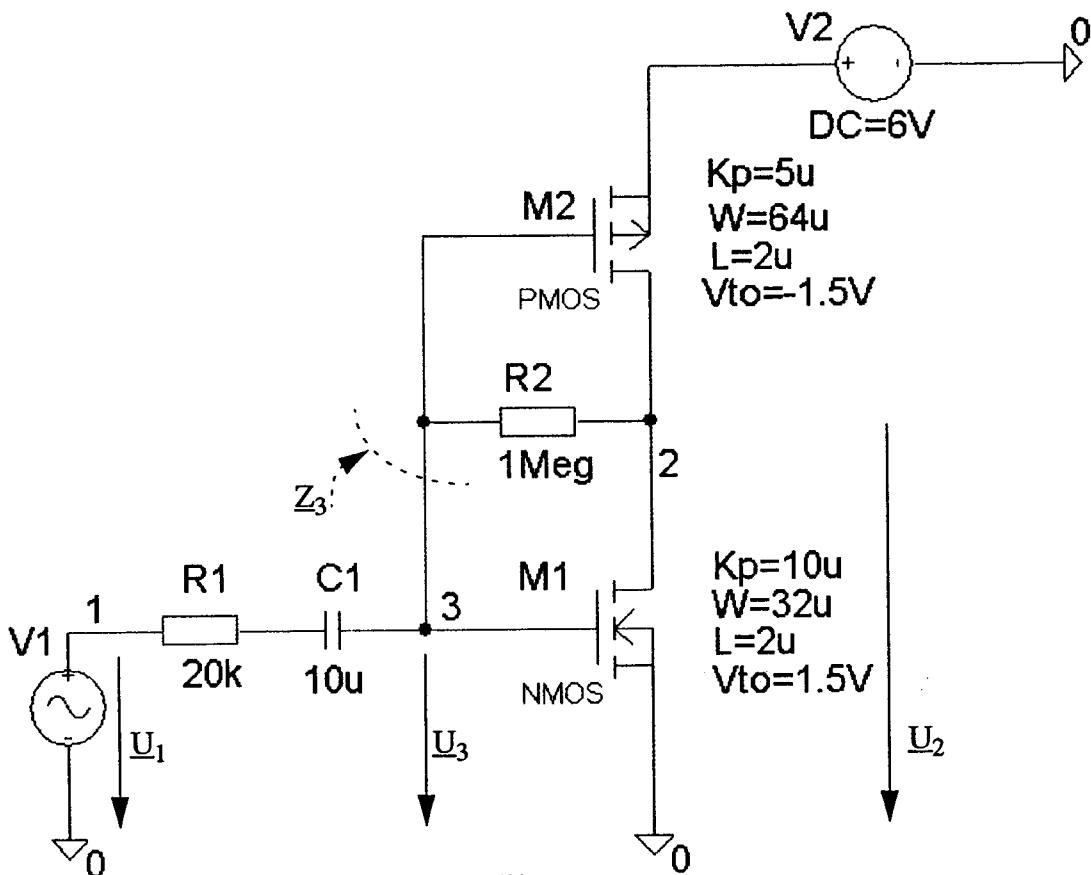
3. Aufgabe

M₁ , M₂ wie angegeben.

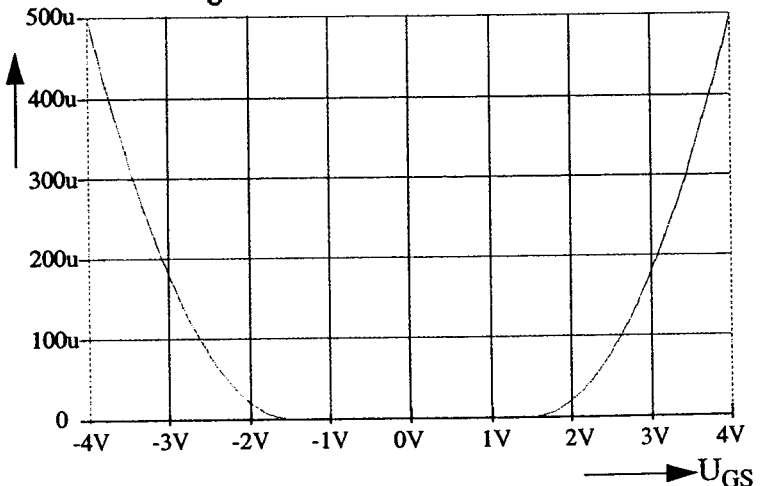
3.1 DC-Analyse: Ermitteln Sie die Arbeitspunkte von M₁ und M₂; in welcher Betriebsart werden sie betrieben?

3.2 AC-Analyse: Ermitteln Sie $\underline{U}_2/\underline{U}_3$ und $\underline{U}_2/\underline{U}_1$ (C1 ist Kurzschluß); wie gross ist \underline{Z}_3 ?
Allgemein gilt:

$$I_D = \begin{cases} (K_p \cdot W/L) \cdot [(U_{GS} - U_p) \cdot U_{DS} - U_{DS}^2/2] \dots \text{Linearer Betrieb} \\ (K_p \cdot W/(2L)) \cdot (U_{GS} - U_p)^2 \dots \dots \dots \text{Sättigungsbetrieb} \end{cases}$$



ABS(I_D) = f(U_{GS})
ABS: Betrag



4. Aufgabe

$Q_i : I_s = 10^{-15} \text{ A}; \beta = 100;$

4.1. DC-Analyse: Bestimmen Sie die Arbeitspunkte der Transistoren Q_1 bis Q_6 .

4.2 AC-Analyse:

- Wie groß ist Z_1 ?
- Skizzieren Sie $I_2 = f(U_1)$.
- Ermitteln Sie U_3/U_1 ; $U_4/U_1 \cdot U_2/U_1$.

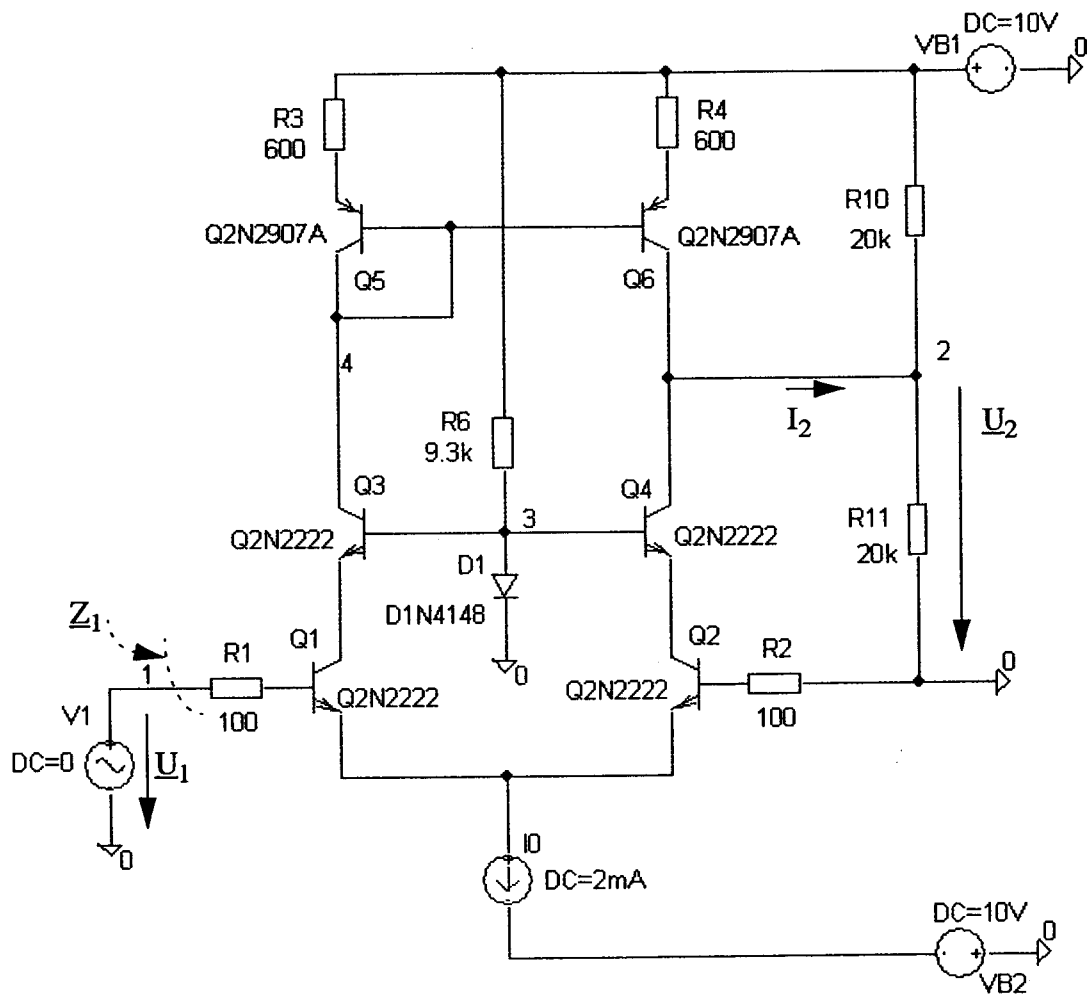
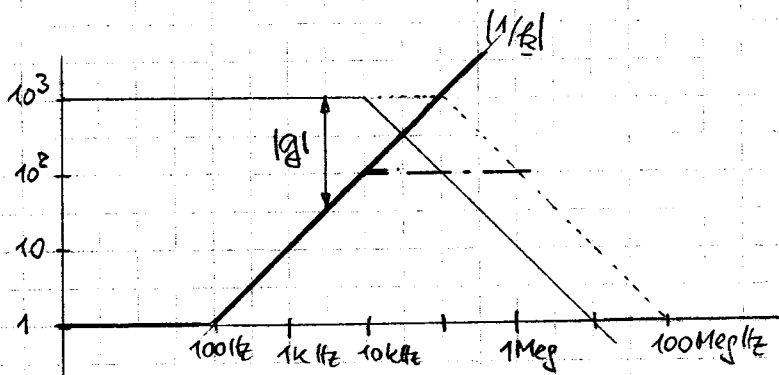


Tabelle 1:

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
$I_C^{(A)}$ in mA						
$U_{CE}^{(A)}$ in V						

1.1 $R3 = R2$

1.2 a) $\underline{k} = \frac{1/g_{m1}}{R2 + 1/g_{m1}} = \frac{1}{1 + j\omega C1 R2}$; $g = \underline{k} \cdot \underline{v_{ud}}$



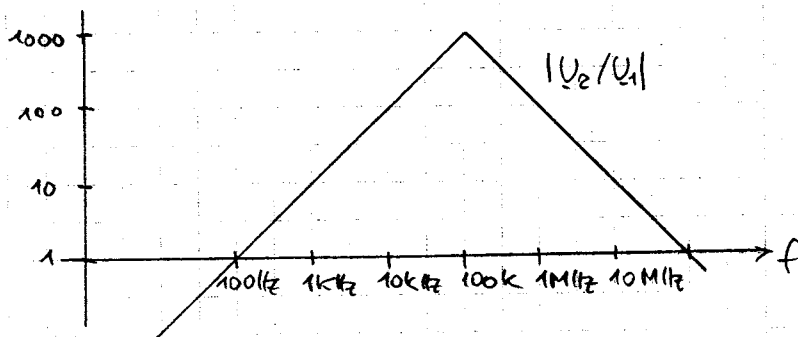
Phasenreserve = 0°

$f_1 = 100 \text{ kHz}$

→ Phasenreserve = 45°

b) $R1 = 100 \Omega$: $\underline{k} = \frac{1/g_{m1} + R1}{R1 + R2 + 1/g_{m1}} = \frac{1 + j\omega C1 R1}{1 + j\omega C1 (R1 + R2)}$

c) $\underline{v_{ud}} = \left(\frac{1}{\underline{k}} - 1\right) \cdot \frac{1}{1 + 1/g} = j\omega C1 R2 \cdot \frac{1}{1 + (1 + j\omega C1 R2) \cdot (1 + jf/f_1)/10^3}$
 $= jf/100 \text{ kHz} \cdot \frac{1}{1 + jf/100 \text{ kHz} + (jf/100 \text{ kHz})^2}$



2.1 I_B vernachlässigt: $U_{R3} = 1.7 \text{ V}$; $I_{C,Q1} = 2 \text{ mA} = I_{C,Q2}$;

$U_{CE,Q1} = 1 \text{ V}$; $U_{CE,Q2} = 4 \text{ V}$;

2.2 $Z_1 = 2.6 \text{ k}\Omega$; $Z_3 = 13 \Omega$; $v_3/v_1 = 1$; $v_2/v_1 = \frac{2000}{13} = 150$;

3.1 $0 \text{ V} = -U_{GS,M2} + U_{GS,M1}$; $I_{D,M1} = I_{D,M2} \rightarrow |U_{GS,M1}| = |U_{GS,M2}| = 3 \text{ V}$

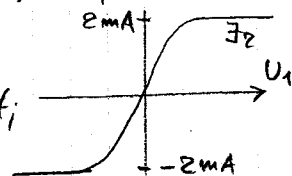
3.2 $V_{32} = -2.8 \text{ m} \cdot 1 \text{ M}\Omega = 476$; $I_{D,M1} = I_{D,M2} = 180 \mu\text{A}$; $U_{DS,M1} = |U_{DS,M2}| = 3 \text{ V}$

$Z_3 = 2.1 \text{ k}\Omega$; $v_{21} \approx 50$; → beide sind "Stromquelle";
 $g_{m,M1} = \sqrt{2 \cdot 160 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}} \cdot 180 \mu\text{A}} = \frac{240 \mu\text{A}}{\text{V}} = \frac{1}{4.2 \text{ k}}$

4.1 Alle $I_C = 1 \text{ mA}$; $U_{CE,Q1} = U_{CE,Q2} = 0.7 \text{ V}$; $U_{EC,Q5} = 0.7 \text{ V}$; $U_{EC,Q6} = 4.4 \text{ V}$;
 $U_{CE,Q3} = 8.7 \text{ V}$; $U_{CE,Q4} = 5 \text{ V}$

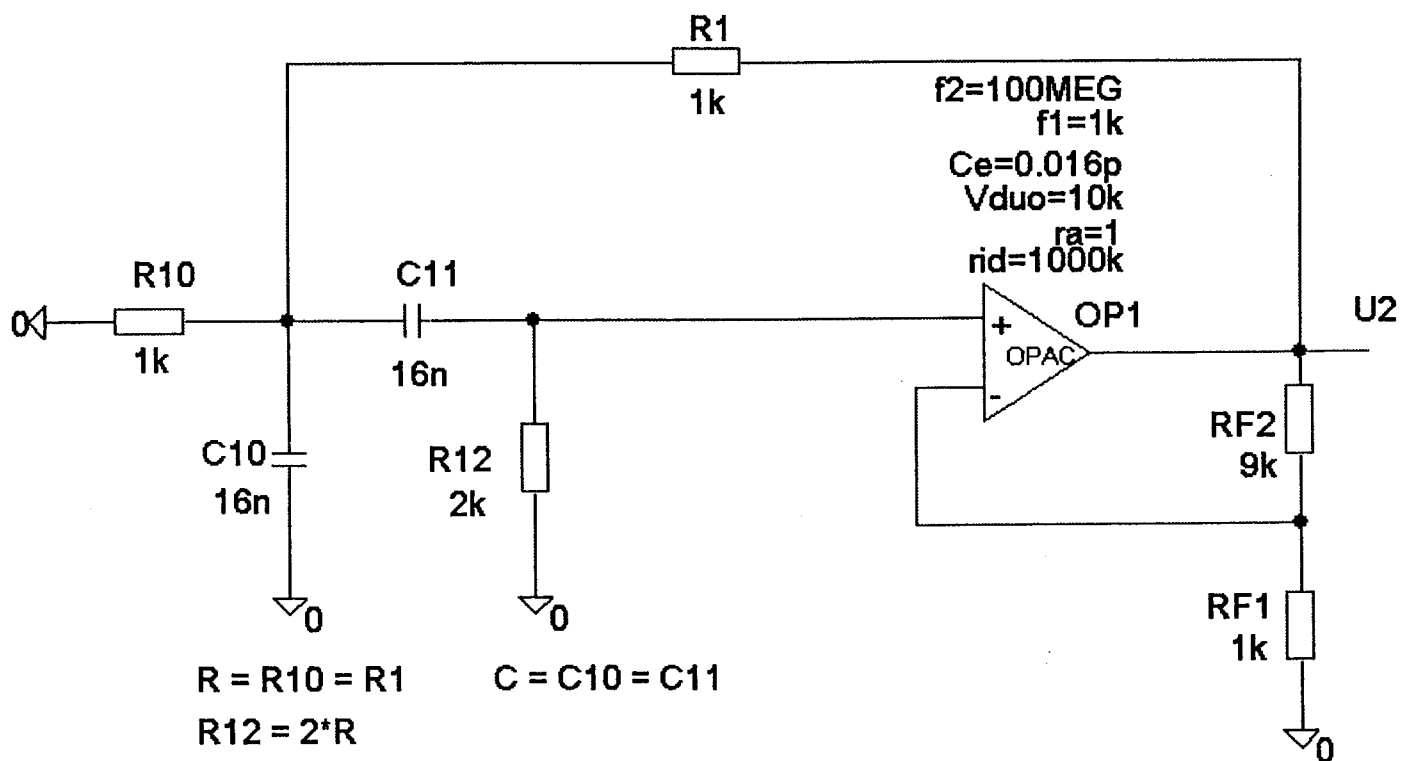
4.2 $Z_1 = 5.4 \text{ k}$;

$v_3/v_1 = 0$; $v_4/v_1 = \frac{626}{5238} = 12$; $v_2/v_1 = \frac{10000}{268} = 384$;



1. Aufgabe

- 1.1 DC-Analyse: Unter welchen Bedingungen herrscht „Ruhestromkompensation“ ?
- 1.2 AC-Analyse: Untersuchen Sie die Stabilität der Schaltung: Wo wird an geeigneter Stelle aufgetrennt? Welche Schleifenverstärkung ergibt sich (Skizze im Bodediagramm)? Wie muß RF2 dimensioniert werden, so daß Stabilität vorliegt?



2. Aufgabe

$Q_1, Q_2, : I_s = 10^{-15} \text{A}; \beta = 200;$

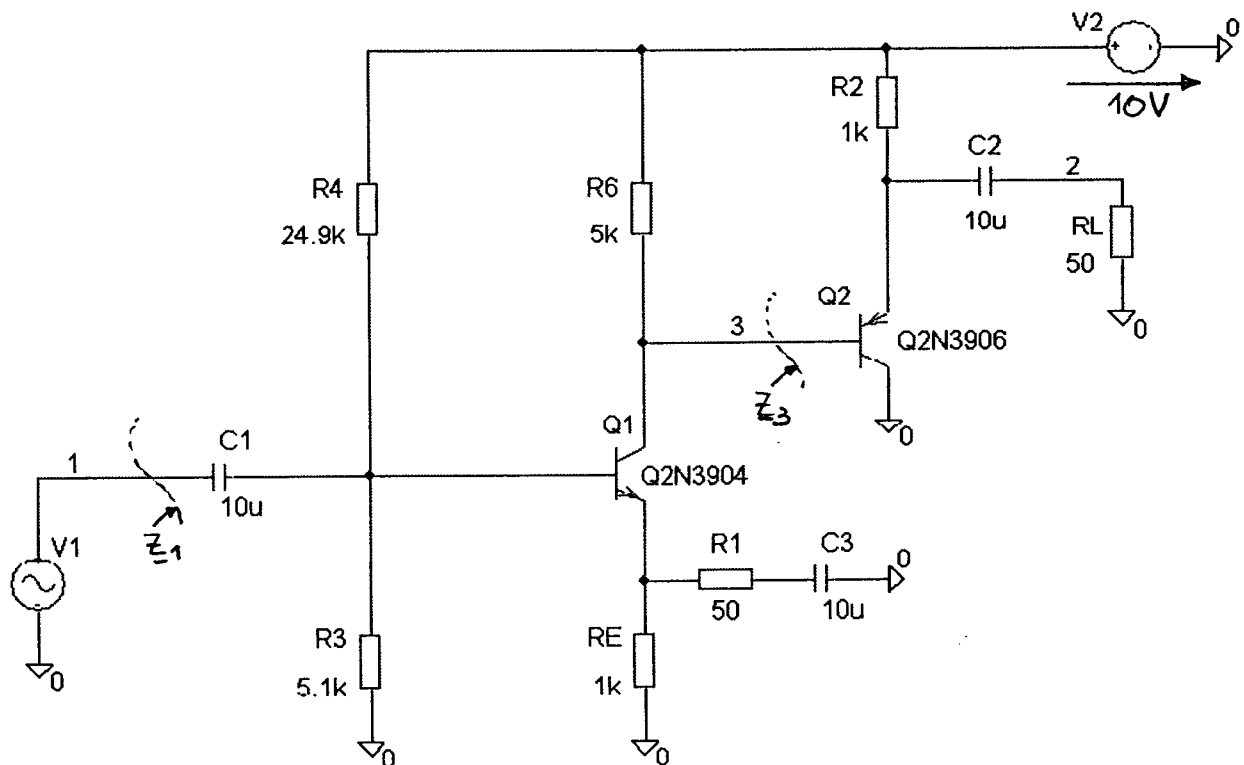
2.1 DC-Analyse: Ermitteln Sie den Arbeitspunkt von Q_1 und Q_2 .

2.2 AC-Analyse im Arbeitspunkt (bei mittleren Frequenzen):

a) Geben Sie Z_1 und Z_3 an.

b) Wie groß ist die Verstärkung U_3/U_1 und U_2/U_1 ?

c) Ermitteln Sie maximale Aussteuerbarkeit von U_2 an Knoten 2.



3. Aufgabe

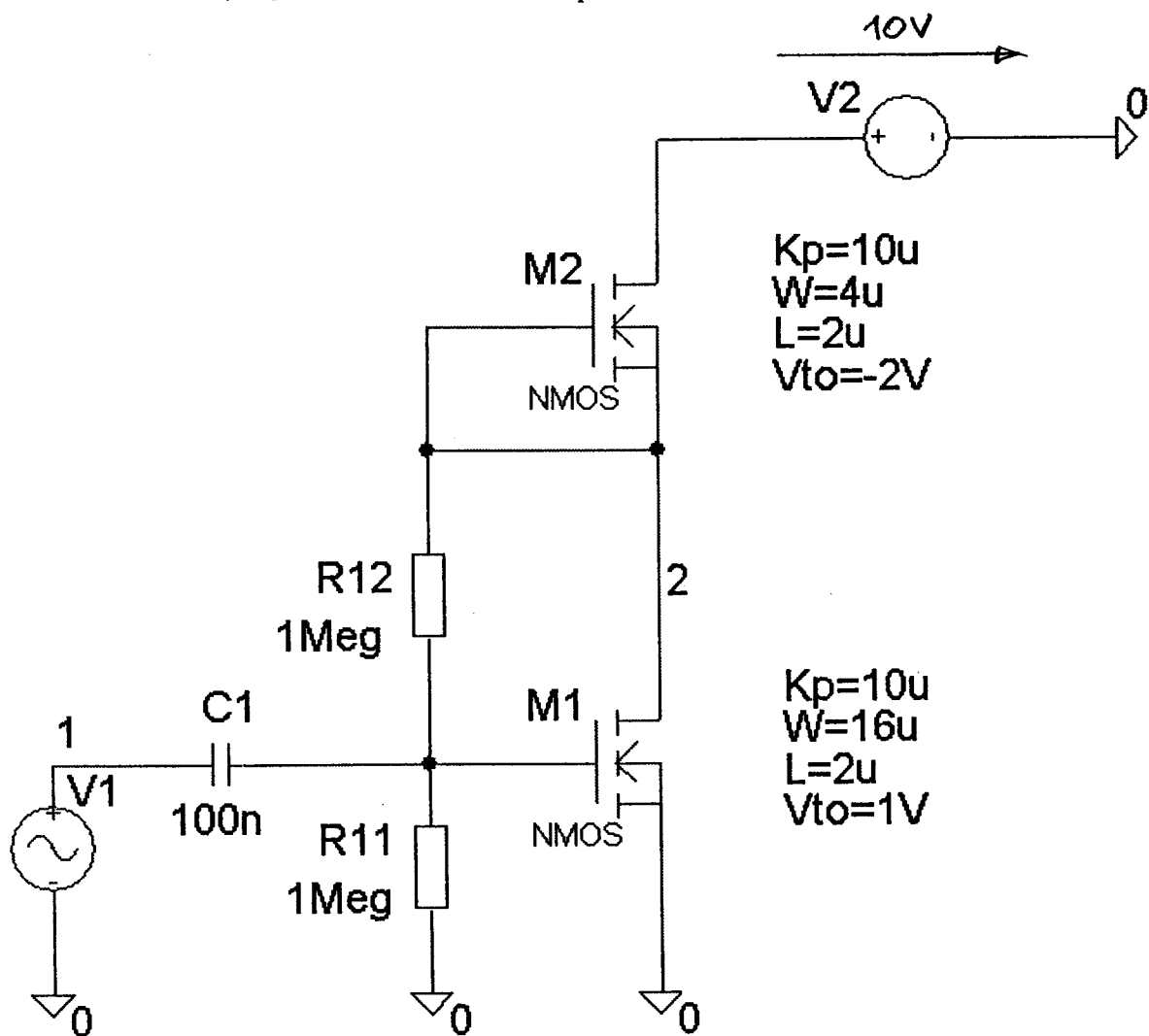
M_1 , M_2 wie angegeben.

3.1 DC-Analyse: Ermitteln Sie die Arbeitspunkte von M_1 und M_2 ; in welcher Betriebsart werden sie betrieben?

3.2 AC-Analyse: Ermitteln Sie $\underline{U}_2/\underline{U}_1$ ($C1$ ist Kurzschluß).

Allgemein gilt:

$$I_D = \begin{cases} (K_p \cdot W/L) \cdot [(U_{GS} - U_p) \cdot U_{DS} - U_{DS}^2/2] \dots \text{Linearer Betrieb} \\ (K_p \cdot W/(2L)) \cdot (U_{GS} - U_p)^2 \dots \text{Sättigungsbetrieb} \end{cases}$$



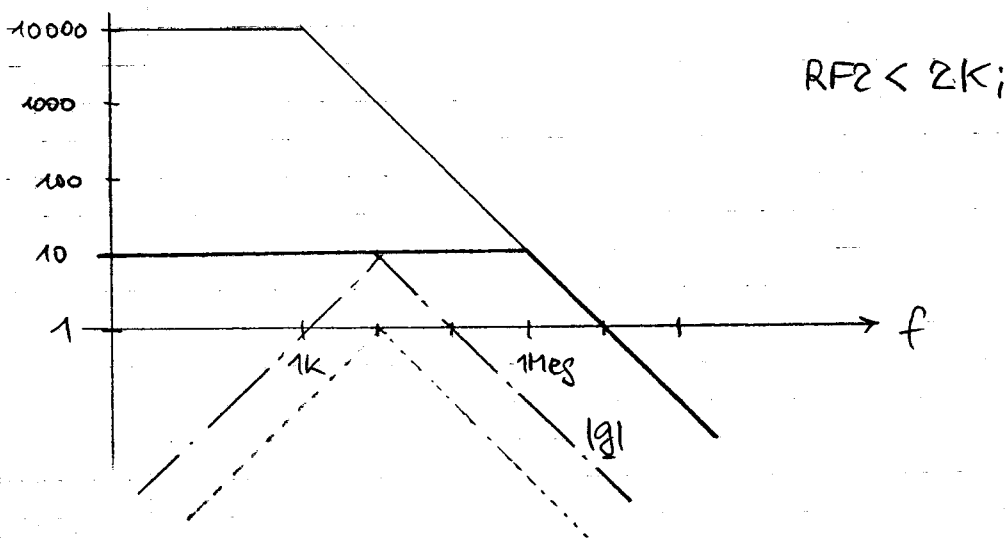
Aufgabe 1: "Rückstromkompensation" bei $R_{12} = R_{F1} \parallel R_{F2}$

$$\underline{U}_{10} = \underline{U}_k + \underline{U}_k \frac{1}{R_{12} j\omega C_{11}} = \underline{U}_k \frac{1 + j\omega R_{12} C_{11}}{j\omega R_{12} C_{11}}$$

$$\underline{U}_k \frac{1 + j\omega R_{12} C_{11}}{j\omega R_{12} C_{11}} \cdot \left[\frac{1}{R_{10}} + j\omega C_{10} \right] + \frac{\underline{U}_k}{R_{12}} = \left(\underline{U}_2 - \underline{U}_k \frac{1 + j\omega R_{12} C_{11}}{j\omega R_{12} C_{11}} \right) \cdot 1/R_1$$

$$\underline{U}_k \left[1 + \frac{1 + j\omega 2RC}{j\omega 2RC} \cdot (2 + j\omega 2RC + 2) \right] = \underline{U}_2 \cdot 2$$

$$\frac{\underline{U}_k}{\underline{U}_2} = \frac{j\omega RC \cdot 2}{j\omega RC + 2 + j\omega 4RC + j\omega RC + 2(j\omega RC)^2} = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega 3RC + (j\omega RC)^2}$$



Aufgabe 2: DC-Analyse: $U_{R3} = 1.7V$; $I_{C,Q1} = 1mA$; $U_{CE,Q1} = 4V$;
 $I_{C,Q2} = 4.3mA$; $U_{CE,Q2} = 5.7V$;

AC-Analyse: $Z_{11} = 15k \parallel 5.1k \parallel 25k = 3.3k$; $Z_{33} = 1.2k$;

$$\underline{U}_3 / \underline{U}_1 = \frac{5k \parallel 1k}{75} = 46; \quad \underline{U}_2 / \underline{U}_3 = \frac{50}{56} = 0.9; \quad \underline{U}_2 / \underline{U}_1 = 40;$$

$$(10 - 5.7V - U_2) / 1k = U_2 / 50; \quad U_{2,max} = 0.215V;$$

Aufgabe 3: $\beta_{M2} = 20mA/V^2$; $\beta_{M1} = 80mA/V^2$;

$$I_{D,M2} = 40\mu A; \quad I_{D,M1} = 38\mu A; \quad U_{GS,M1} = 2V$$

$$U_{DS,M2} = 6V; \quad U_{DS,M1} = 4V;$$

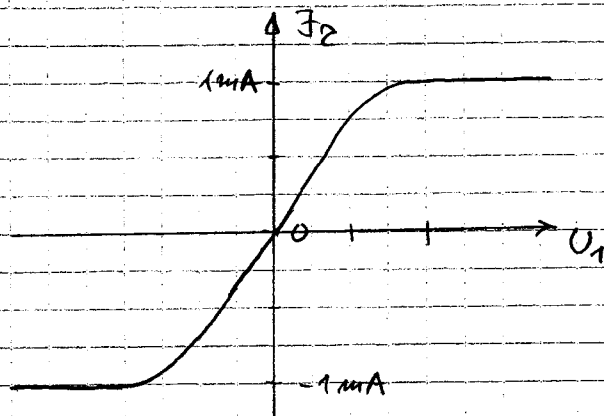
$$g_{m,M1} = \sqrt{2\beta_{M1} I_{D,M1}} = 0.08mA/V = 1/12.5k\Omega$$

$$V_{e1} = \frac{1000}{12.5} = 80;$$

Aufgabe 4:

	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	Q_7	Q_8
I_C (mA)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1
$ V_{CE} $ V	9.9	9.9	8.6	4.3	0.7	5	0.7	11.3

$$Z_1 = 20.4 \text{ k} ;$$

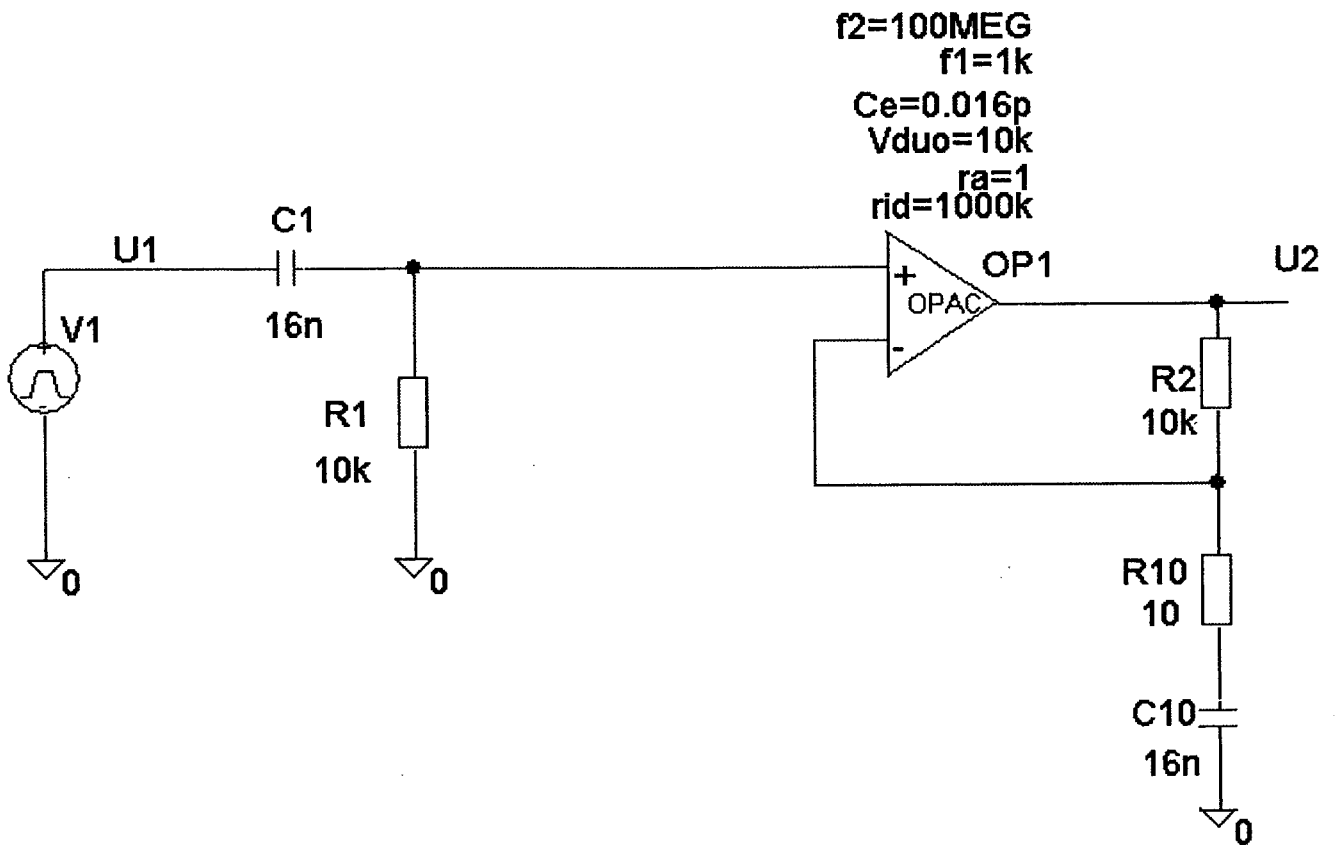


$$U_3 / U_1 = 0.5 ; \quad U_4 = \frac{U_1}{4} \cdot \frac{52}{52} ; \quad U_4 / U_1 = 0.25 ;$$

$$U_2 = \frac{U_1}{2} \cdot \frac{10000}{52} ; \quad U_2 / U_1 = 100 ;$$

1. Aufgabe

- 1.1 DC-Analyse: Unter welchen Bedingungen herrscht „Ruhestromkompensation“ ?
- 1.2 AC-Analyse: Bestimmen Sie U_2/U_1 und skizzieren Sie das Ergebnis im Bodediagramm.
- 1.3 AC-Analyse: Untersuchen Sie die Stabilität der Schaltung: Wo wird an geeigneter Stelle aufgetrennt? Welche Schleifenverstärkung ergibt sich (Skizze im Bodediagramm)? Wie muß R10 dimensioniert werden, so daß eine Phasenreserve von 45° vorliegt bei $g_t = 1$?



2. Aufgabe

$Q_1, Q_2, : I_s = 10^{-15} \text{ A}; \beta = 100;$

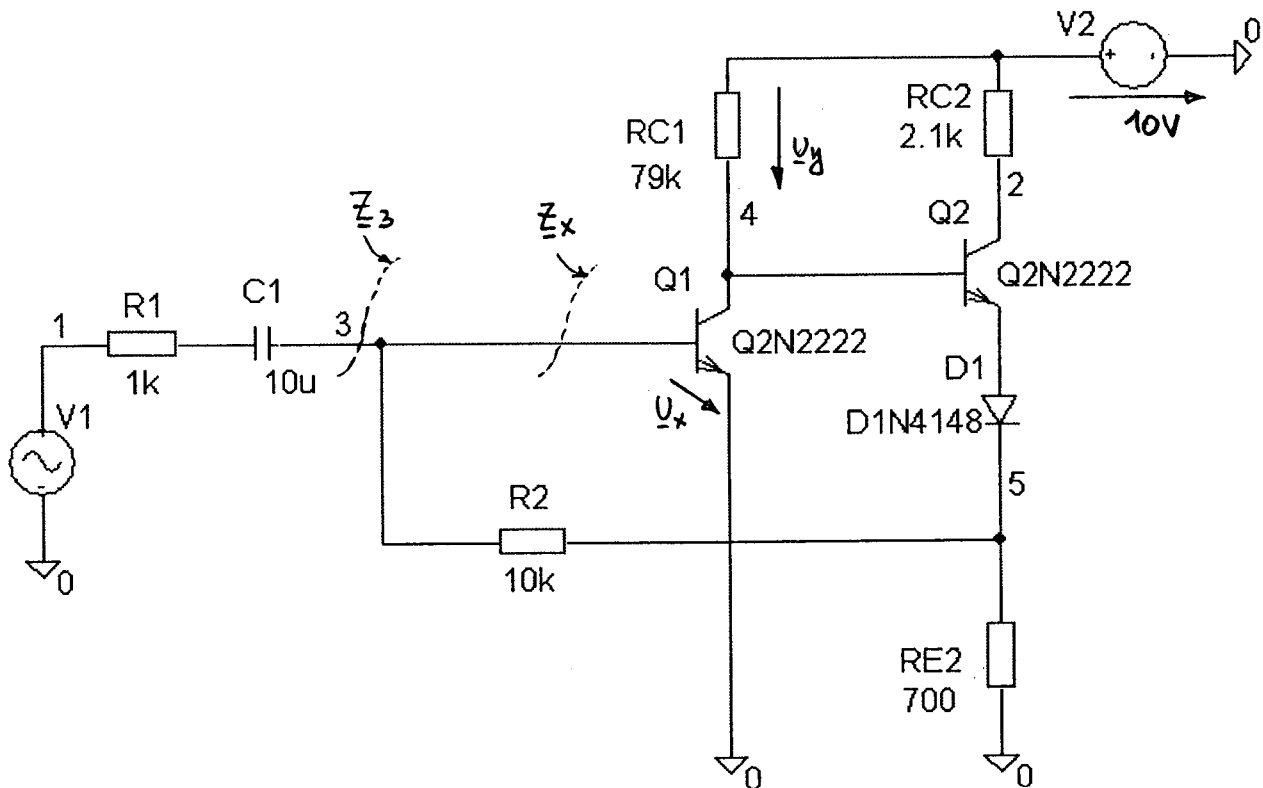
2.1 DC-Analyse: Ermitteln Sie den Arbeitspunkt von Q_1 und Q_2 .

2.2 AC-Analyse im Arbeitspunkt:

a) Geben Sie Z_x und Z_3 an.

b) Wie groß ist die Verstärkung U_y/U_x ?

c) Ermitteln Sie U_2/U_1 ; C_1 ; Kurzschluß.



3. Aufgabe

M_1 , M_2 und M_3 wie angegeben.

3.1 DC-Analyse: In welchem Wertebereich von U_2 arbeitet M_2 als „Stromquelle“ (Sättigungsbetrieb). Unter welchen Bedingungen ist M_1 :

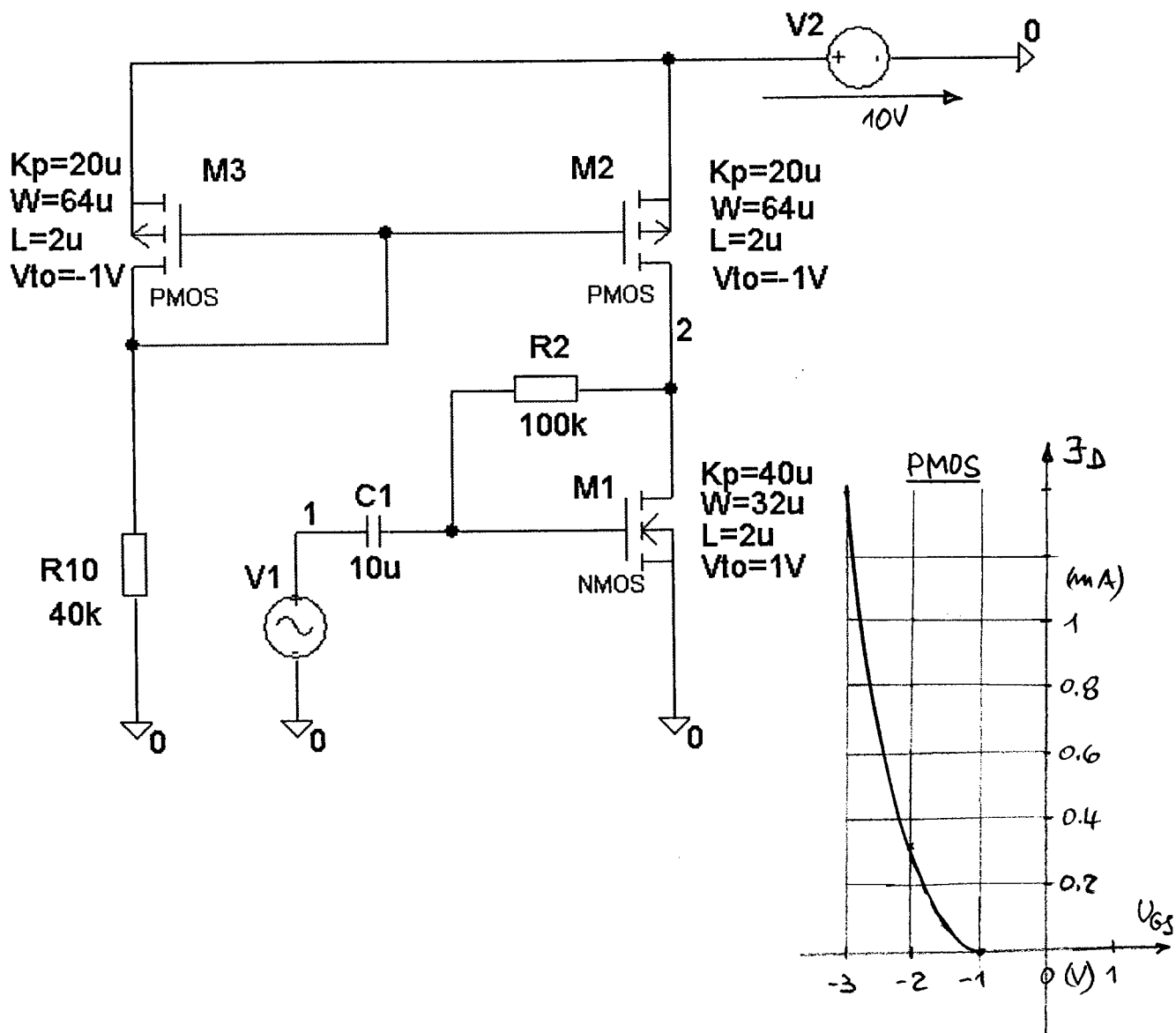
- a) gesperrt;
- b) „Stromquelle“ (Sättigungsbetrieb);
- c) „Widerstandsbetrieb“?

3.2 DC-Analyse: Bestimmen Sie den Arbeitspunkt von M_1 , M_2 und M_3 .

3.3 AC-Analyse: Ermitteln Sie $\underline{U}_2/\underline{U}_1$ (C_1 ist Kurzschluß).

Allgemein gilt:

$$I_D = \begin{cases} (K_p \cdot W/L) \cdot [(U_{GS} - U_p) \cdot U_{DS} - U_{DS}^2/2] \dots \text{Linearer Betrieb} \\ (K_p \cdot W/(2L)) \cdot (U_{GS} - U_p)^2 \dots \text{Sättigungsbetrieb} \end{cases}$$



4. Aufgabe

$Q_i : I_s = 10^{-15} \text{ A}; \beta = 100;$

4.1. DC-Analyse: Bestimmen Sie die Arbeitspunkte der Transistoren Q_1 bis Q_6 .

4.2 AC-Analyse:

a) Wie groß ist Z_{1+} ?

b) Skizzieren Sie $I(RX) = f(U_{1+})$.

b) Ermitteln Sie $\underline{U}_2 / \underline{U}_1$.

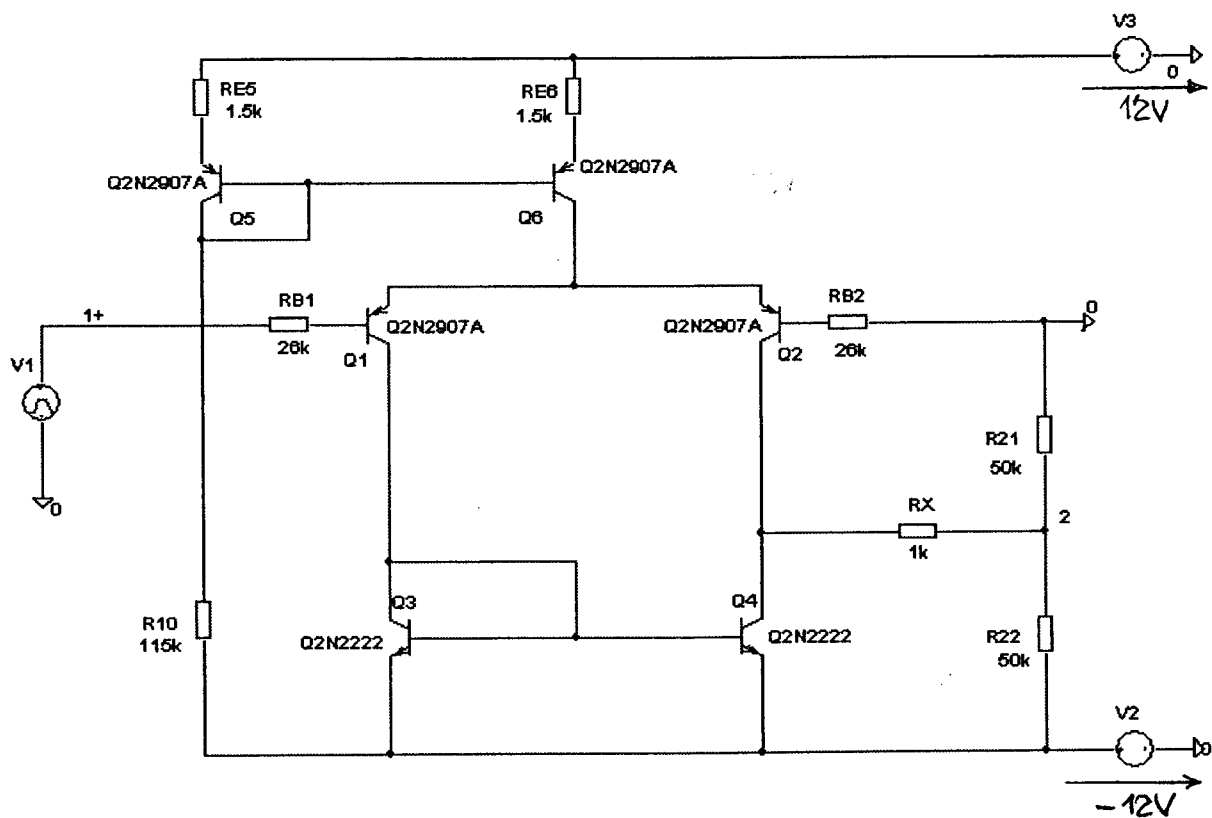
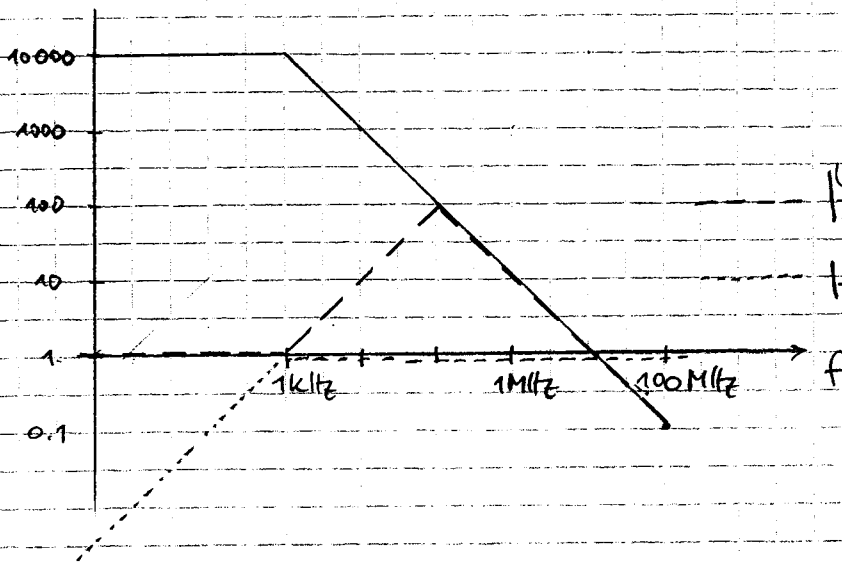


Tabelle 1:

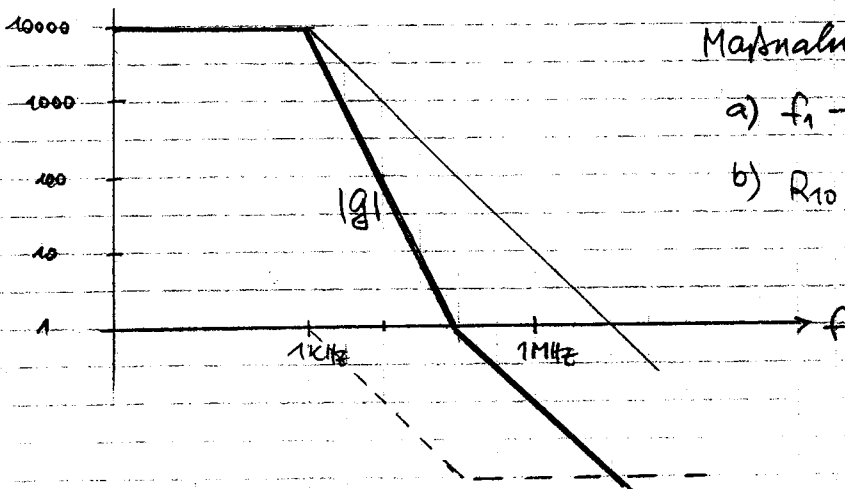
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
$I_C^{(A)}$ in mA						
$U_{CE}^{(A)}$ in V						

1. Aufgabe: 1.1 $R_1 = R_2$; 1.2 $U_{R1}/U_1 = \frac{R_1}{R_1 + 1/j\omega C} = \frac{j\omega C R_1}{1 + j\omega C R_1}$

$$\underline{R} = \frac{10\Omega + 1/j\omega C_0}{10k + 1/j\omega C_0} = \frac{1 + j\omega C_0 10\Omega}{1 + j\omega C_0 10k}$$



$$\frac{|U_2|}{|U_{R1}|} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{U_{R1}}{U_1} \cdot \frac{U_2}{U_{R1}}$$



Maßnahmen:

a) $f_1 \rightarrow 40 \text{ MHz}$

b) $R_{10} \rightarrow 100 \Omega$

2. Aufgabe: 2.1 $I_{C,Q2} = 1 \text{ mA}$; $I_{C,Q1} = 0.1 \text{ mA}$; $U_{CE,Q1} = 2.1 \text{ V}$; $U_{CE,Q2} = 6.5 \text{ V}$;

2.2 $Z_X = 26 \text{ k}\Omega$; $V_{Q1} = 150$; $Z_3 = 66 \Omega$;

$U_2/U_1 = 10.3$;

3. Aufgabe:

M2 Stromquelle bei $U_2 < 10 \text{ V} - |U_{DSP,M2}|$; $|U_{DSP,M2}| = |U_{GS} - 1 \text{ V}|$
 M1 gesperrt bei $U_1 < 1 \text{ V}$; M1 Stromquelle bei $\{U_1 < 1\} \cap \{U_2 < U_{DSP,M1}\}$;
 $I_{D,M1} = 0.2 \text{ mA} = I_{D,M2} = I_{D,M3}$; $U_{GS,M2} = -1.8 \text{ V}$;
 $U_{GS,M1} = 1.8 \text{ V}$

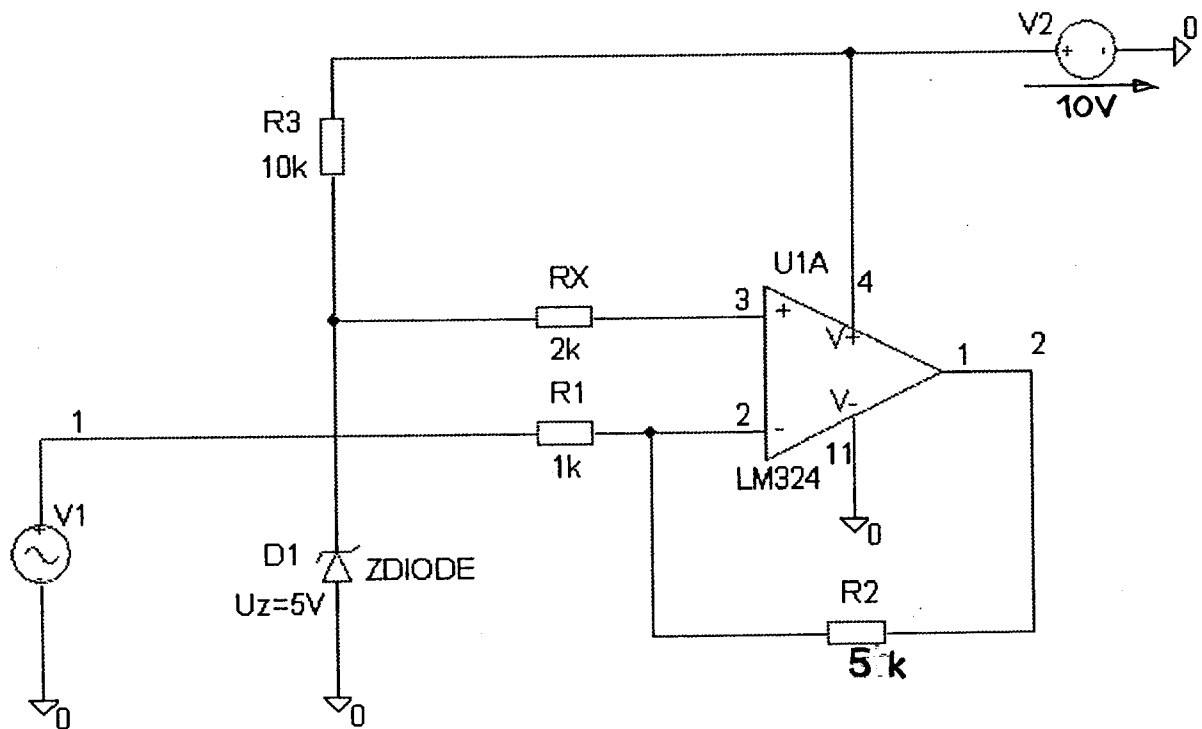
$g_{m,M1} = 1/2 \text{ k}\Omega$ $U_2/U_1 = 50$;

4. Aufgabe:

$I_{C,Q1-Q4} = 0.1 \text{ mA}$; $I_{C,Q5,6} = 0.2 \text{ mA}$; $U_{CE,Q5,3} = 0.7 \text{ V}$;
 $U_{CE,Q1} = 12 \text{ V}$; $U_{CE,Q2} = 6.7 \text{ V}$; $U_{CE,Q4} = 6 \text{ V}$; $U_{CE,Q6} = 1 \text{ mV}$;
 $Z_{11} = 104 \text{ k}\Omega$; $U_2 = U_1/4 \cdot 2 \cdot \frac{25 \text{ k}\Omega}{260 \Omega} = 50$; $\varphi_{U_2/U_1} = 0^\circ$;

1a. Aufgabe (DC-Analyse)

- 1.1a Wie groß muß U_1 sein, daß $U_2 = 5V$ ist?
- 1.2a Für welchen Wert von R_X erhält man „Ruhestromkompensation“ ?
- 1.3a DC-Übertragungskurve: Skizzieren Sie $U_2 = f(U_1)$.



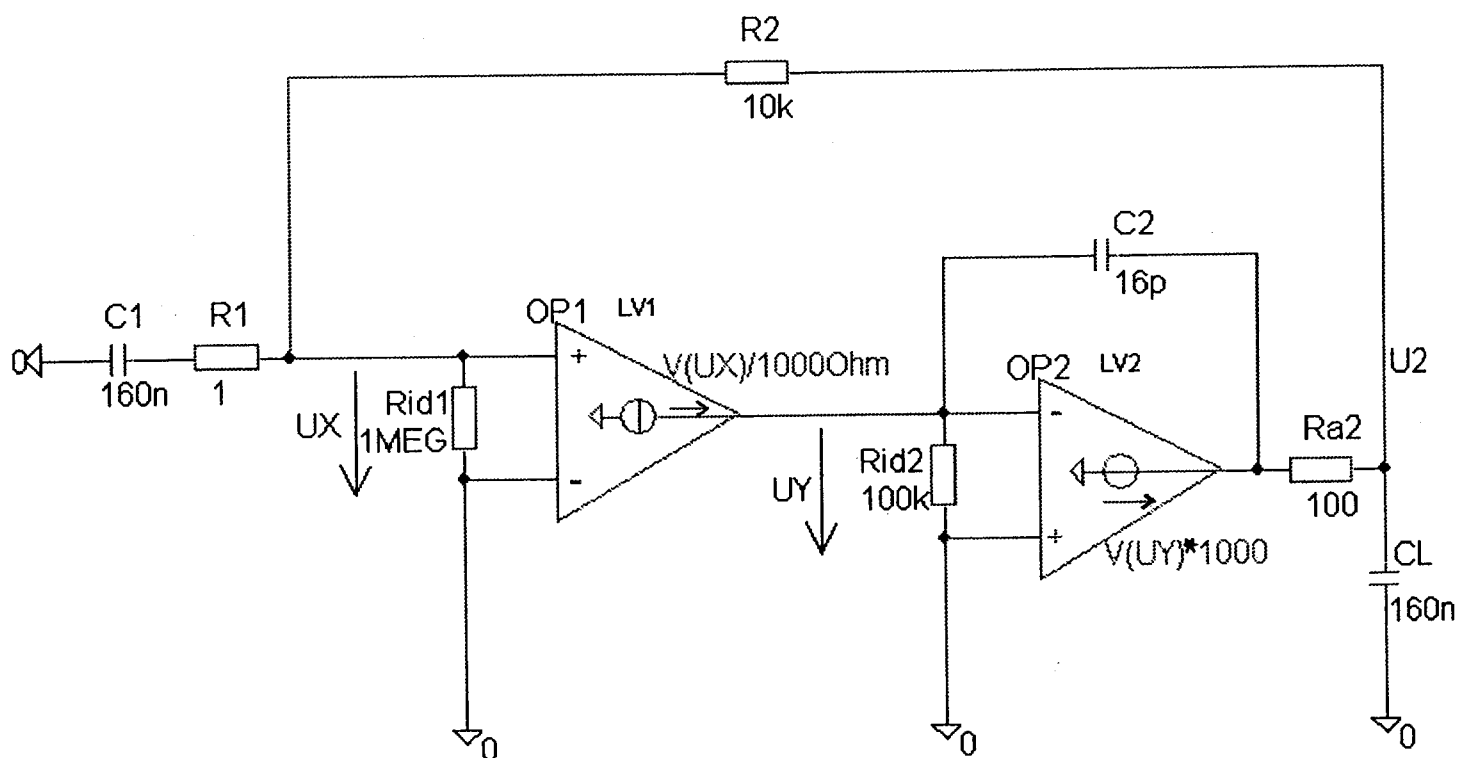
1b. Aufgabe (AC-Analyse)

1.1b Untersuchen Sie die Stabilität der Gesamtschaltung;

aa) Wo wird geeignet aufgetrennt? Wie groß ist $\underline{U}_Y/\underline{U}_X$ und $\underline{U}_2/\underline{U}_Y$; skizzieren Sie das Ergebnis im Bodediagramm.

bb) Geben Sie die Schleifenverstärkung an und skizzieren Sie das Ergebnis im Bodediagramm.

cc) Welche Maßnahmen sind geeignet, um die Stabilität zu verbessern (Die Eigenschaften des „Geradeaus-Verstärkers“ sind unveränderlich); verändern Sie in geeigneter Weise C_1 , R_1 bzw. C_L , so daß die Phasenreserve 45° beträgt.



2. Aufgabe

$Q_1, Q_2, : I_s = 10^{-15} \text{ A}; \beta = 100;$

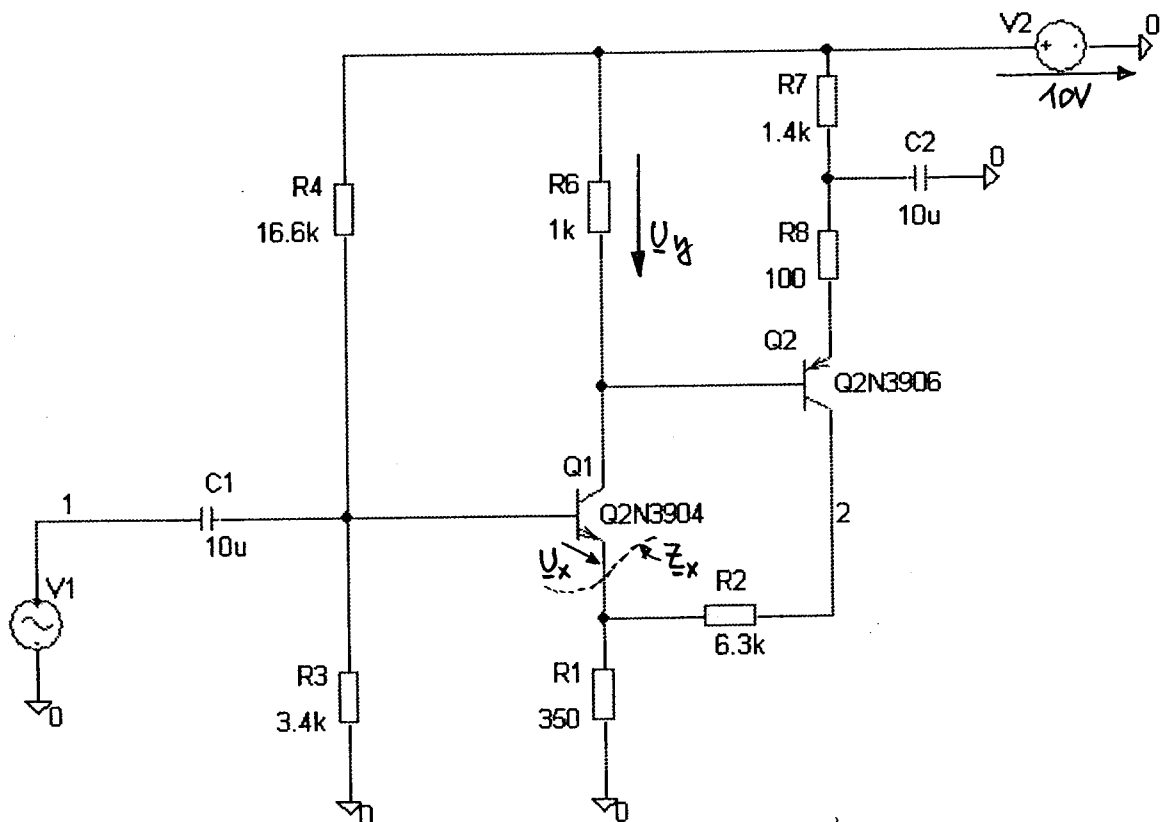
2.1 DC-Analyse: Ermitteln Sie den Arbeitspunkt von Q_1 und Q_2 .

2.2 AC-Analyse im Arbeitspunkt (bei "mikroen" Frequenzen):

a) Geben Sie Z_x an.

b) Wie groß ist die Verstärkung U_y/U_x ?

c) Ermitteln Sie U_2/U_1 .



3. Aufgabe

M_1, M_2 : wie angegeben.

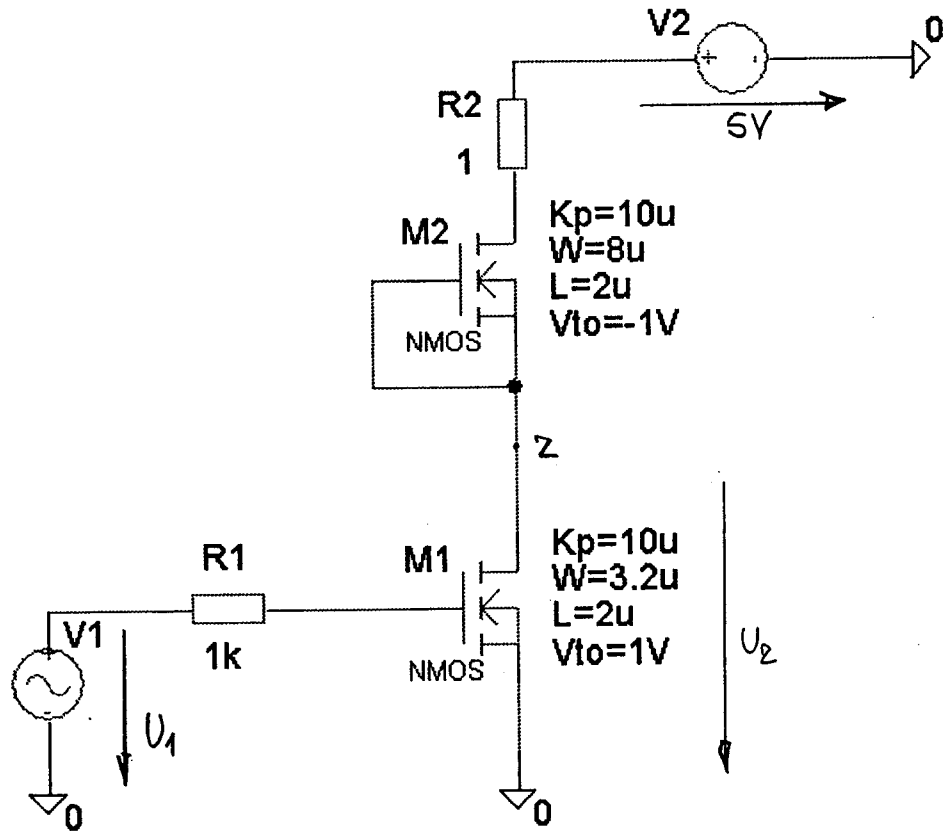
3.1 DC-Analyse: In welchem Wertebereich von U_2 arbeitet M_2 als „Stromquelle“ (Sättigungsbetrieb). Unter welchen Bedingungen ist M_1 :

- a) gesperrt;
- b) „Stromquelle“ (Sättigungsbetrieb);
- c) „Widerstandsbetrieb“?

3.2 Skizzieren Sie die DC-Übertragungsfunktion $U_2 = f(U_1)$.

Allgemein gilt:

$$I_D = \begin{cases} (K_p \cdot W/L) \cdot [(U_{GS} - U_p) \cdot U_{DS} - U_{DS}^2/2] \dots \text{Linearer Betrieb} \\ (K_p \cdot W/(2L)) \cdot (U_{GS} - U_p)^2 \dots \text{Sättigungsbetrieb} \end{cases}$$



4. Aufgabe

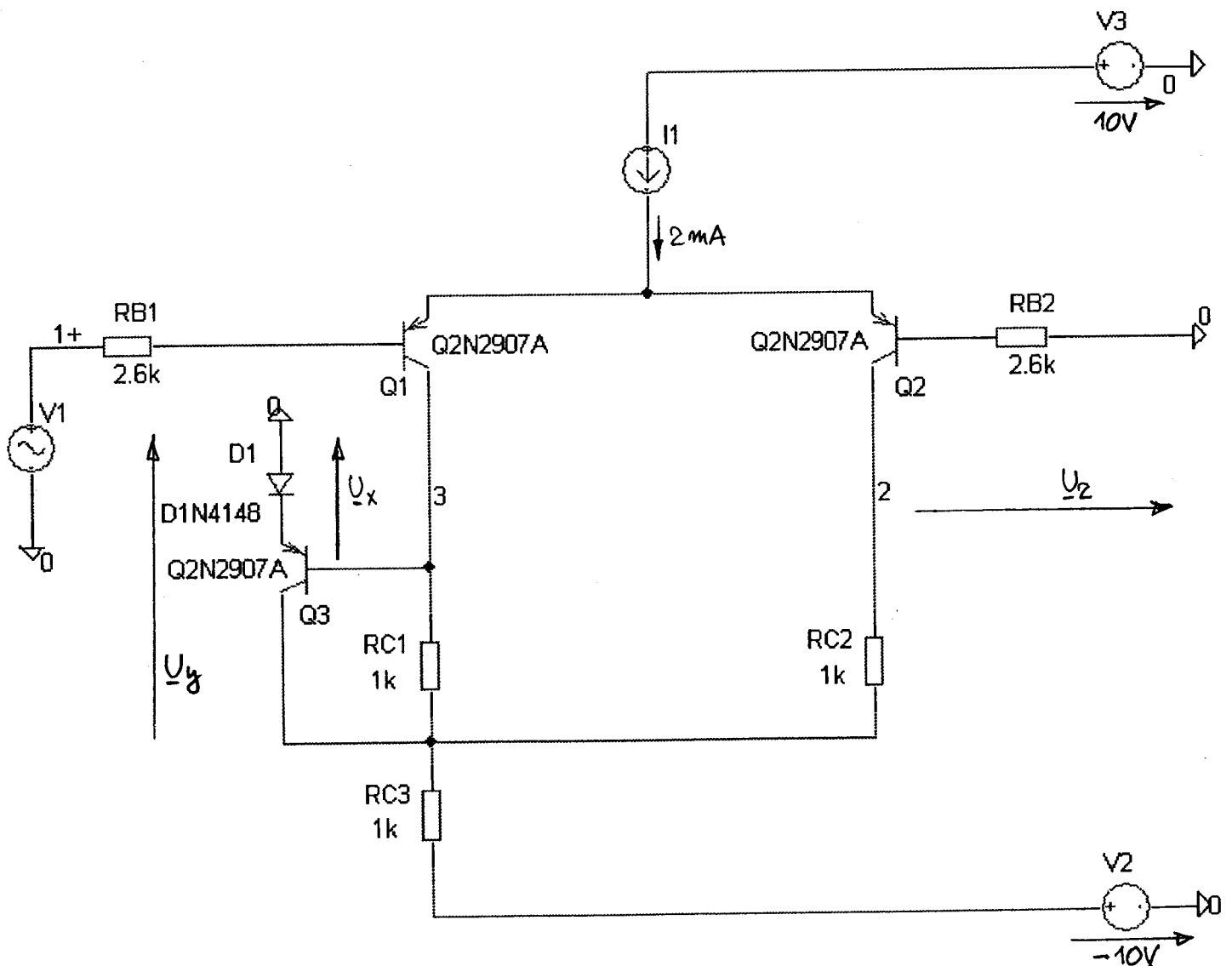
Q_i : $I_s = 10^{-15}$ A; $\beta = 100$;

4.1. DC-Analyse: Bestimmen Sie die Arbeitspunkte der Transistoren Q_1 bis Q_3 .

4.2 AC-Analyse:

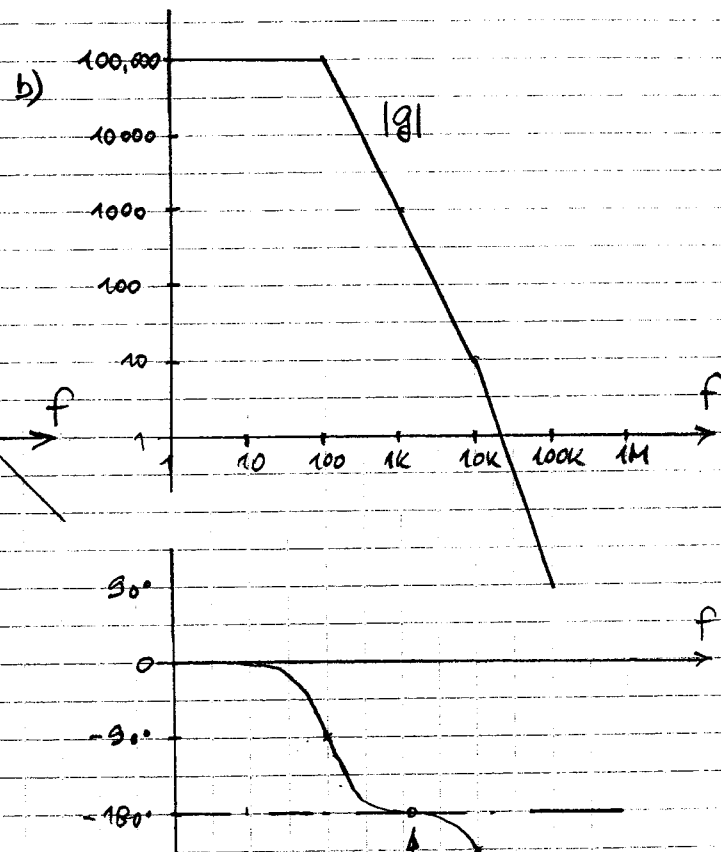
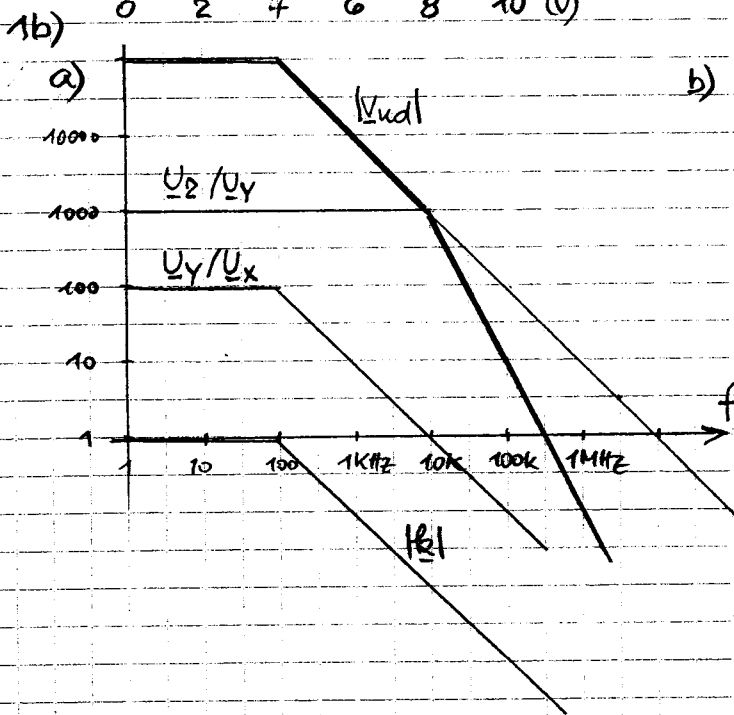
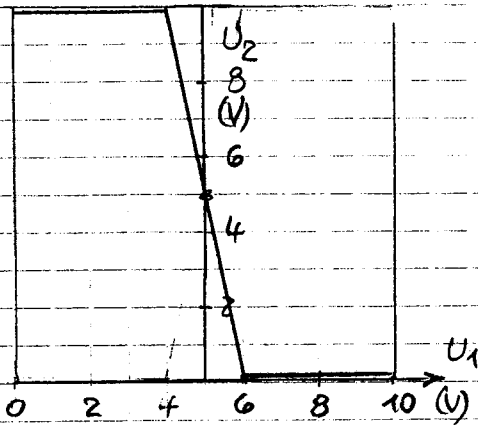
a) Wie groß ist Z_{1+} ?

b) Ermitteln Sie $\underline{U}_y / \underline{U}_x$ und $\underline{U}_2 / \underline{U}_1$.



1a.) 1.1) $U_1 = 5V$;

1.2) $R_x = 1k\Omega \parallel 100k\Omega$;



c) C_1 so, daß Schwingfrequenz um \approx bei z.B. 1 Hz;
mit R_1 zweite Schwingfrequenz um \approx bei 100 Hz;

Schwingbedingung erfüllt

2. DC: $I_{R1} = 2.86 mA = I_{C,Q1} + I_{C,Q2}$;

$I_{C,Q1} \cdot 1k = I_{C,Q2} \cdot 1.5k + 0.7V$;

$I_{C,Q1} = 1.5 I_{C,Q2} + 0.7 mA$;

$I_{C,Q2} = 0.86 mA$; $I_{C,Q1} = 2 mA$;

$U_{CE,Q1} = 7V$; $U_{CE,Q2} = 2.3V$;

AC: a) $Z_x = 13\Omega$

b) $U_y/U_x = \frac{1000}{13} = 77$;

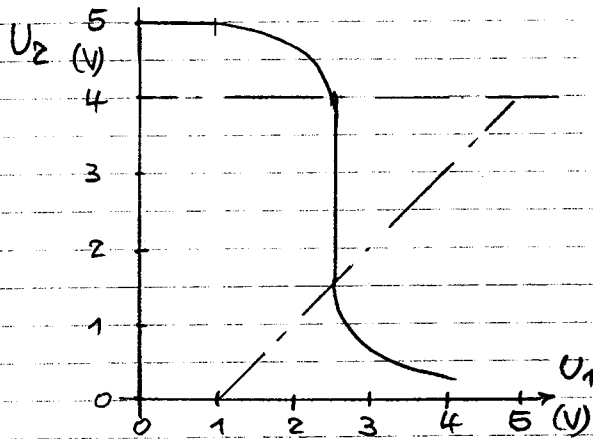
$U_x \cdot \frac{1000}{13} \cdot \frac{1}{130\Omega} + \frac{U_x}{13\Omega} = (U_1 - U_x) / 350\Omega$
 $\rightarrow U_x \left(\frac{350}{13} \cdot 8.7 + 1 \right) = U_1 = 235 U_x$

$$U_2 = U_x \cdot \underbrace{\frac{1000}{13} \cdot \frac{1}{130\Omega} \cdot 6.650}_{3935} + \frac{U_x}{13} \cdot 350 = U_x \cdot 3962;$$

$$U_2 / U_1 = 16.8;$$

3.1 $U_2 < 4V$

3.2 a) $U_1 < 1V$; b) $(U_1 > 1) \text{ \& } U_2 > U_1 - 1V$



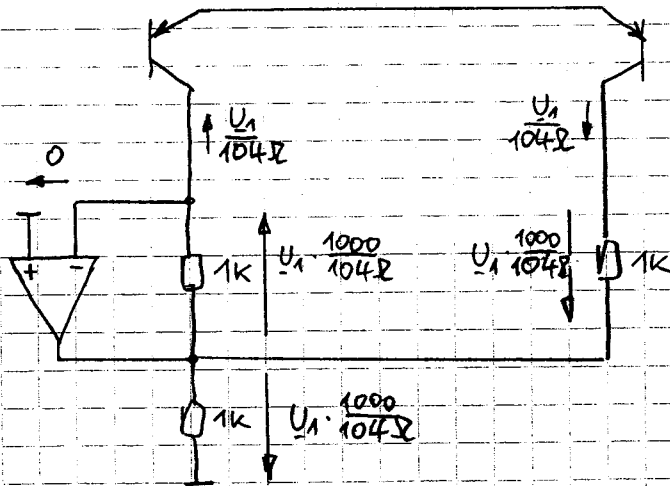
$$\frac{3.2}{2} \cdot (U_1 - 1V)^2 = 4 \cdot (1V)^2$$

$$U_1 = 2.6V$$

4. $I_{CQ1} = I_{CQ2} = 1mA$; $(I_{CQ3} + 2mA) \cdot 1k\Omega = 7.6V$; $I_{CQ3} = 5.6mA$

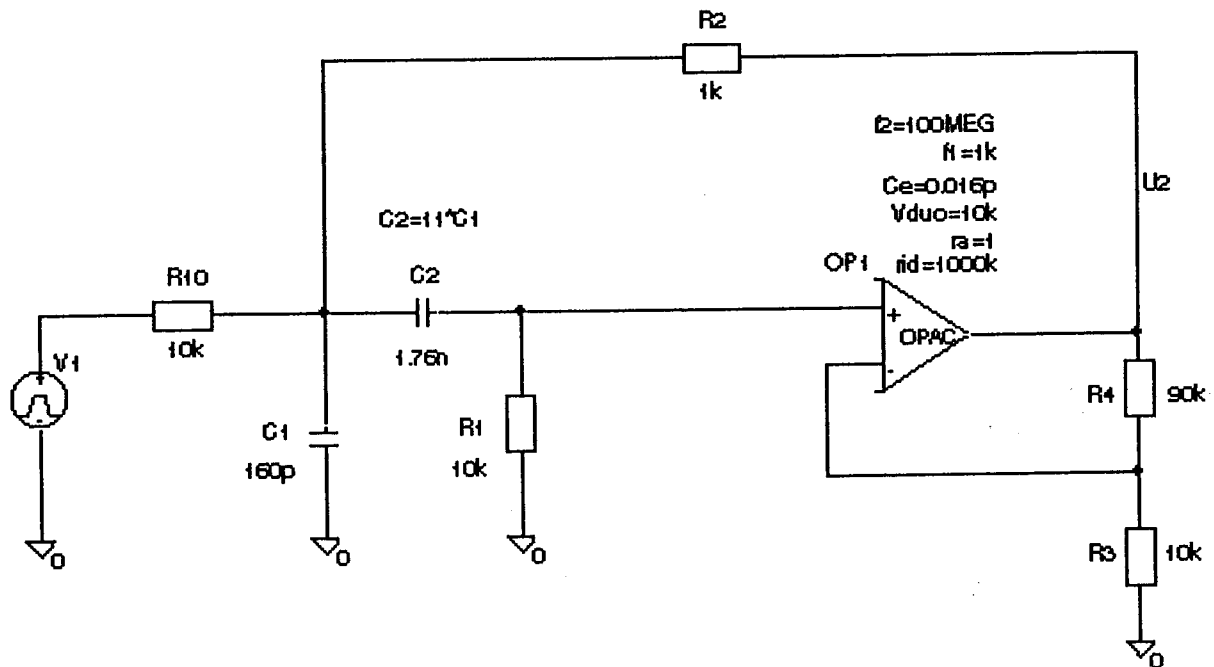
$$Z_{in} = 10.4k\Omega;$$

$$U_y / U_x = \frac{500\Omega}{4.6} \cdot \frac{1}{2} = 54; \quad U_2 / U_1 = 19;$$



1. Aufgabe

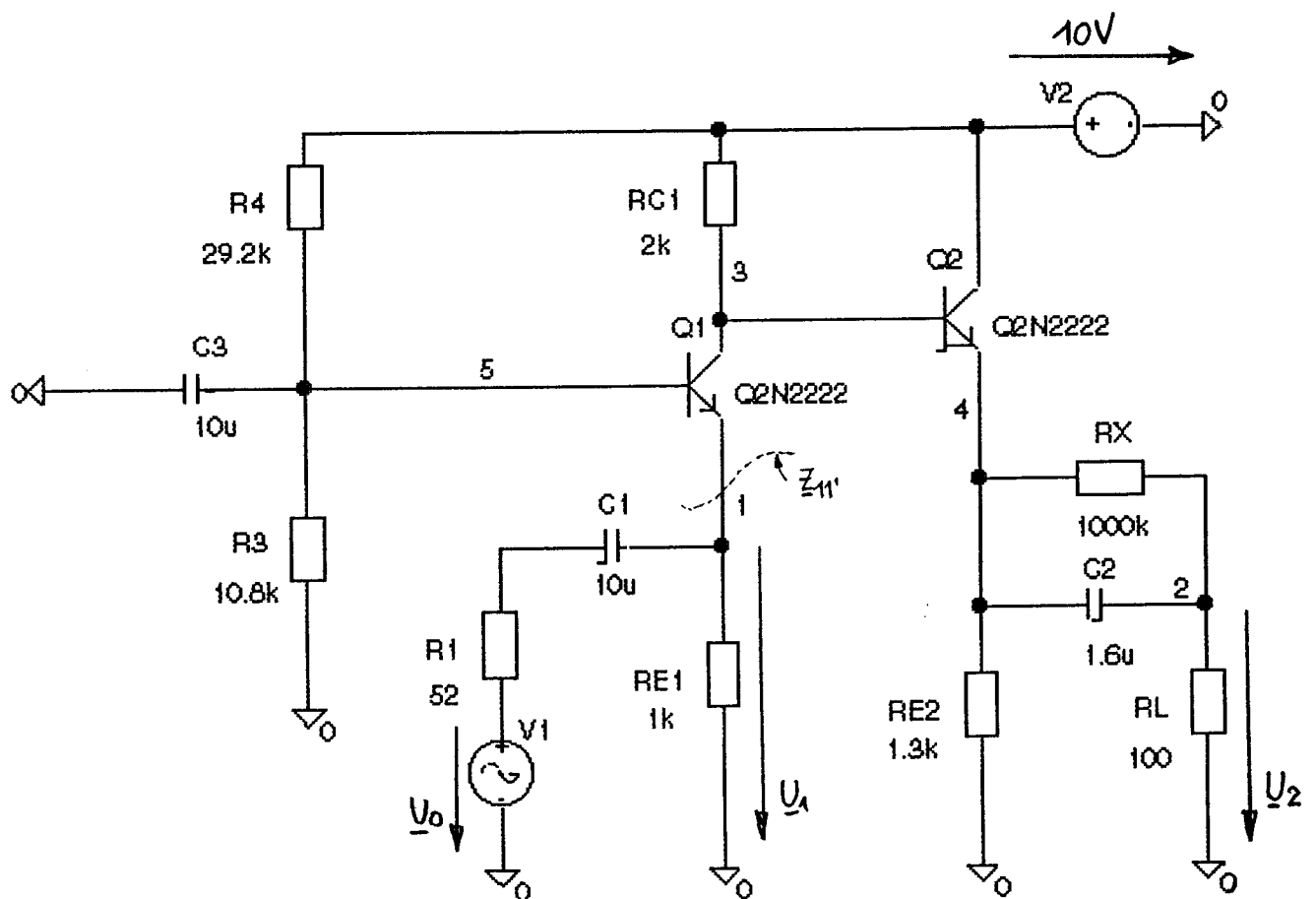
- 1.1 DC-Analyse: Wie groß sollte R_1 für „Ruhestromkompensation“ bei Verwendung eines realen OP-Verstärkers sein?
- 1.2 AC-Analyse: Untersuchen Sie die Stabilität der Schaltung unter Berücksichtigung des Linearverstärkers mit $V_{ud} = 10000/(1 + jf/1\text{kHz})$. Bestimmen Sie die Schleifenverstärkung bei geeignet offener Schleife und skizzieren Sie diese im Bode-Diagramm. Unter welchen Bedingungen (konkrete Angaben) ist die Schaltung stabil?



2. Aufgabe

$Q_1, Q_2: I_S = 10^{-15} \text{ A}; \beta = 100;$

- 2.1 DC-Analyse: Ermitteln Sie den Arbeitspunkt von Q_1, Q_2 .
- 2.2 Welchen Wert müßte R_{C1} annehmen, um größtmögliche Aussteuerung ($U_{CE, Q1}$ sollte mindestens $\geq 1 \text{ V}$ sein) zu erzielen?
- 2.3 AC-Analyse im Arbeitspunkt:
 - a) Wie groß ist Z_{11}' ?
 - b) Ermitteln Sie C_1 so, daß die untere Eckfrequenz der 1. Stufe bei ca. 1 kHz liegt.
 - c) Geben Sie die Verstärkung der 1. Stufe, der 2. Stufe und die Verstärkung U_2/U_1 an.
- 2.4 Welche Aussteuerbarkeit $U_{2, \max}$ liegt bei der 2. Stufe vor?



3. Aufgabe

M_1, M_2 : wie angegeben.

3.1 DC-Analyse: Bestimmen Sie U_2 bei $U_1 = 0V; 1V; 2V$.

Geben Sie jeweils an in welchem Betriebszustand sich M_1, M_2 befinden; skizzieren Sie $U_2 = f(U_1)$.

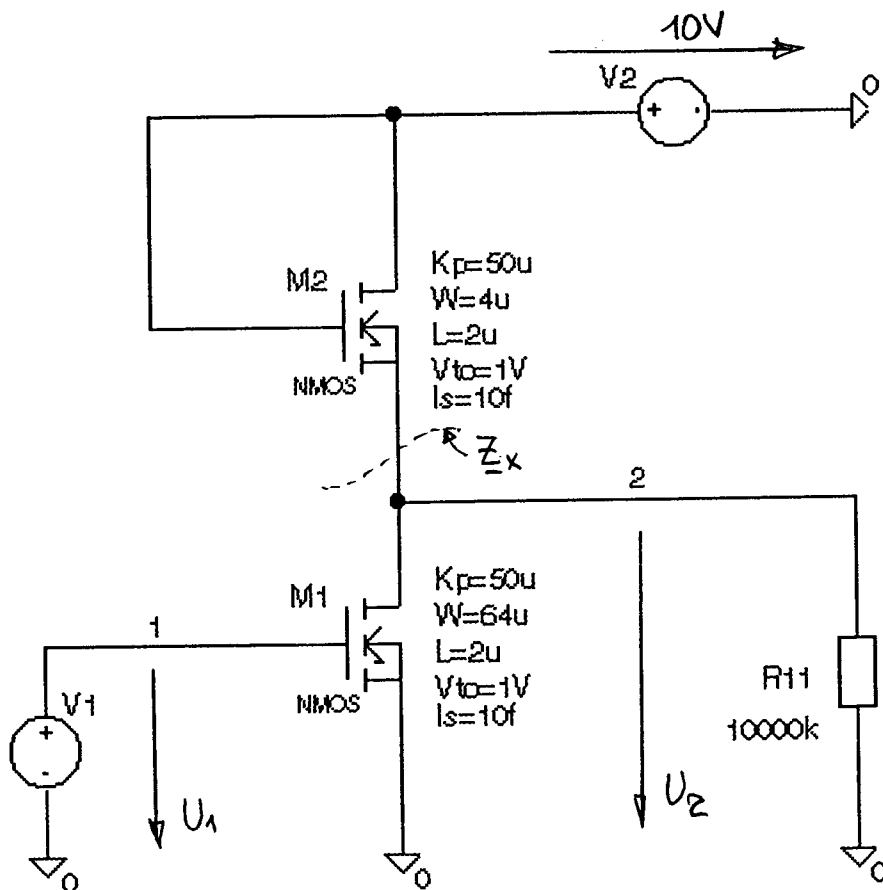
3.2 AC-Analyse im Arbeitspunkt $U^{(DC)}_1 = 2V$:

a) Geben Sie Z_x an.

b) Wie groß ist die Verstärkung U_2/U_1 ?

Allgemein gilt:/

$$I_D = \begin{cases} K_p \frac{W}{L} [(U_{GS} - U_p) \cdot U_{DS} - U_{DS}^2/2] \dots \text{Linearer Betrieb} \\ (K_p (\frac{W}{L}/2)) (U_{GS} - U_p)^2 \dots \text{Sättigungsbetrieb} \end{cases}$$



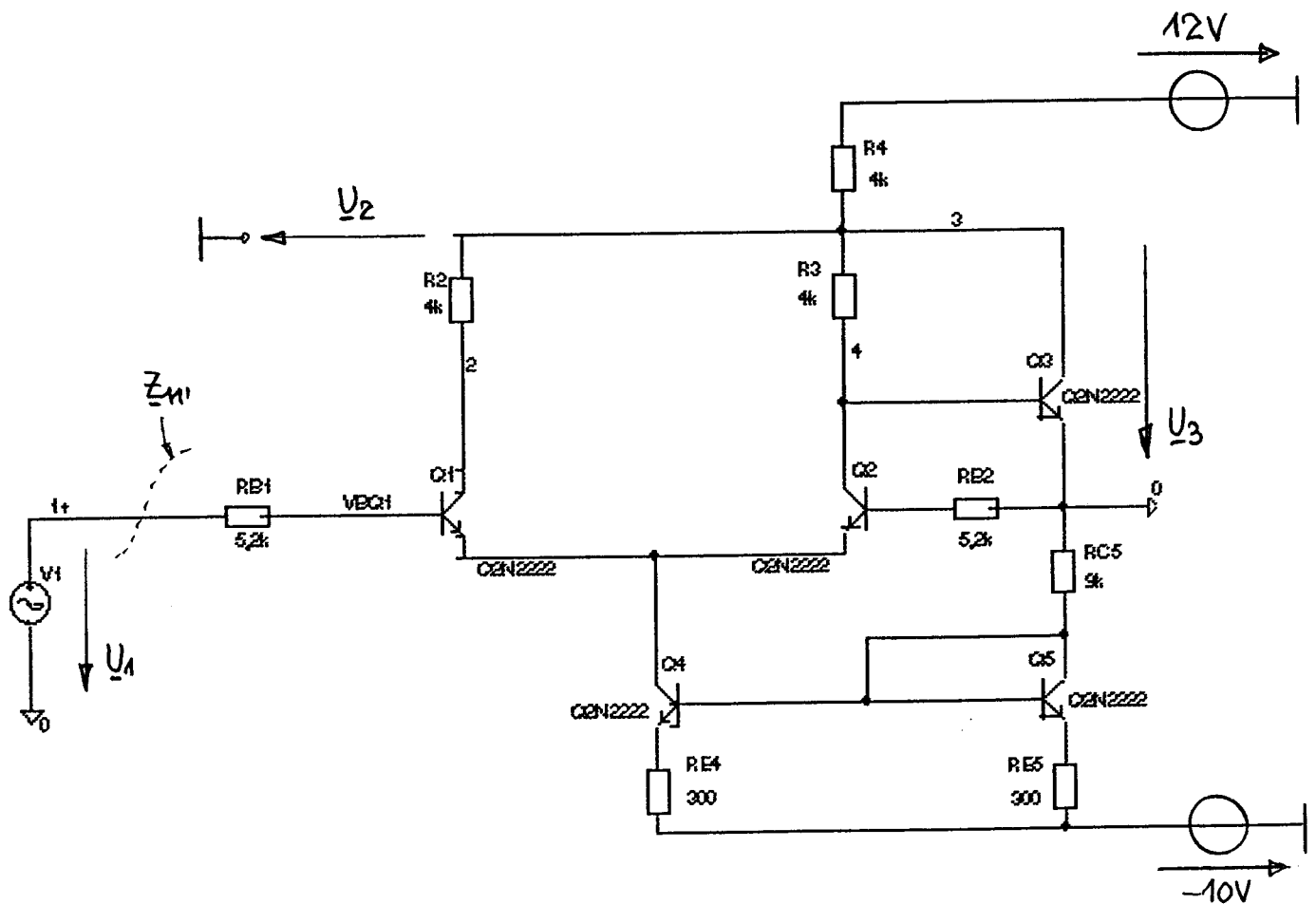
4. Aufgabe

($Q_i: I_S = 10^{-15} \text{ A}; \beta = 100$)

4.1. DC-Analyse: Bestimmen Sie die Arbeitspunkte der Transistoren Q_1 bis Q_5 .

4.2 AC_Analyse:

- Wie groß ist der Eingangswiderstand an Z_{11} '?
- Geben Sie ΔI_{CQ1} und ΔI_{CQ2} in Abhängigkeit von ΔU_1 an.
- Wie groß ist die Verstärkung $\Delta U_3 / \Delta U_{BEQ3}$?
- Ermitteln Sie ΔU_2 in Abhängigkeit von ΔU_1 .



1. Aufgabe 1.1 $R_1 = 10k \parallel 90k$

1.2 $\frac{U_k}{R_1} \cdot \frac{1}{j\omega R_1 C} + U_k = U_k \cdot \frac{1 + j\omega R_1 C}{j\omega R_1 C}$

a) $\left[U_2 - U_k \cdot \frac{1 + j\omega R_1 C}{j\omega R_1 C} \right] / R_2 = U_k \cdot \frac{1 + j\omega R_1 C}{j\omega R_1 C} (j\omega C + \frac{1}{R_1}) + U_k / R_1$

$10 U_2 = U_k \left\{ \frac{1 + j\omega R_1 C}{j\omega R_1 C} \cdot (10 + j\omega R_1 C + 1) + 1 \right\}$

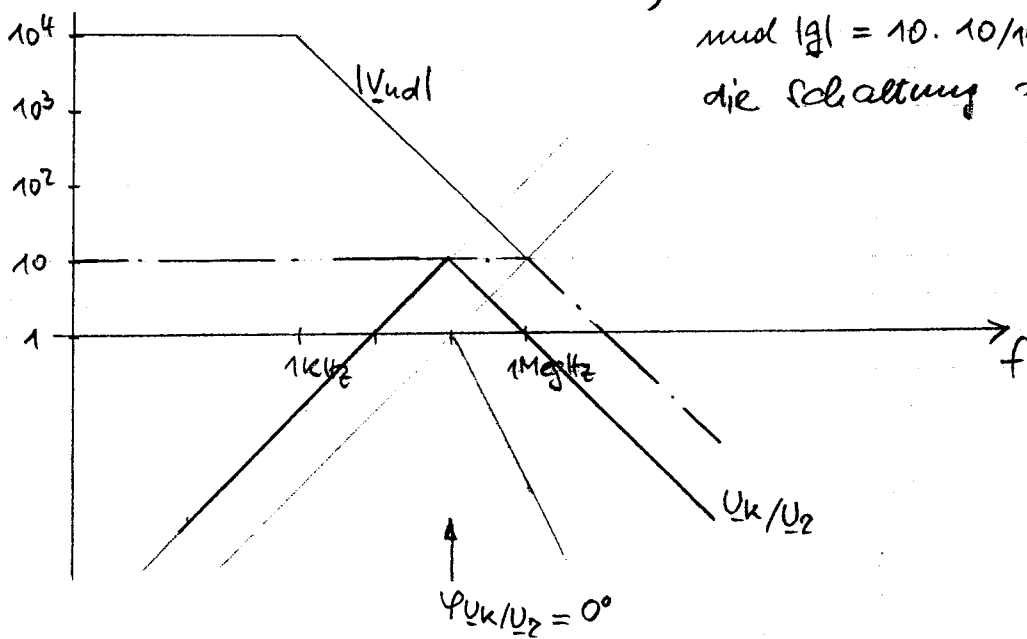
$10 U_2 j\omega R_1 C = U_k \left\{ 11 + 12 j\omega R_1 C + 11 (j\omega R_1 C)^2 + j\omega R_1 C \right\}$

$\frac{U_k}{U_2} = \frac{10 j\omega R_1 C}{1 + 12 j\omega R_1 C + (j\omega R_1 C)^2}$

b) $\frac{U_2}{U_1} = \frac{10}{1 + j f / 1 \text{ MegHz}}$

c) $g = \frac{U_k}{U_2} \cdot \frac{U_2}{U_1}$

d) bei $f = 100 \text{ kHz}$ im $\varphi_g = 0^\circ$
 und $|g| = 10 \cdot 10 / 12 > 1$;
 die Schaltung schwingt!



2. Aufgabe: 2.1 $I_{C,Q1} = 2 \text{ mA}$; $U_{CE,Q1} = 4 \text{ V}$; $I_{C,Q2} = 4 \text{ mA}$; $U_{CE,Q2} = 4.7 \text{ V}$,

2.2 $R_{C1,opt} = 1.75 \text{ k}\Omega$;

2.3 a) $Z_{in} = 13 \Omega$; b) $C_1 \approx 10 \mu\text{F}$; c) $V_{1,statk} = 150$; $V_{2,statk} = 1$

d) $\Delta U_2 / 100 \Omega = (5.3 \text{ V} - \Delta U_2) / 1.3 \text{ k}$; $\Delta U_2 = 0.4 \text{ V}$

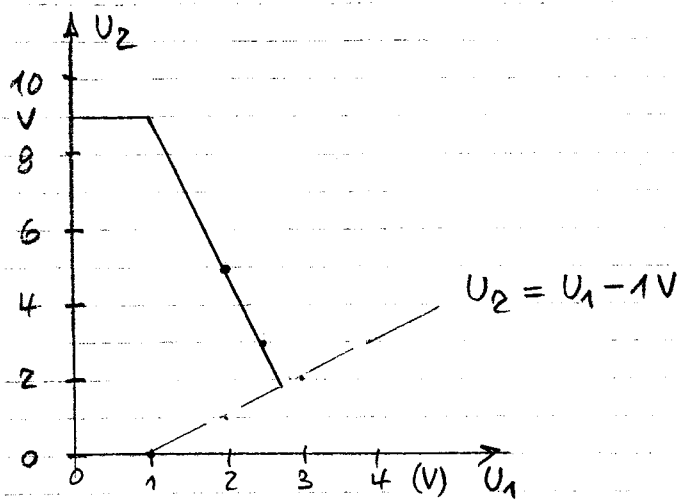
3. Aufgabe: 3.1 $U_1 = 0 \text{ V}$; M1: perspekt; M2: Stromquelle; $U_2 = 9 \text{ V}$

$U_1 = 1 \text{ V}$; M1: Stromqu.; M2: Stromquelle; $U_2 = 9 \text{ V}$

$U_1 = 2 \text{ V}$; M1: Stromqu.; M2: Stromquelle; $U_2 = 5 \text{ V}$

3.2 $I_{D,M2} = 800 \mu\text{A/V}^2 \cdot 1 \text{ V}^2 = 0.8 \text{ mA}$

$g_{m,M2} = 0.4 \text{ mA/V}$; $g_{m,M1} = 1.6 \text{ mA/V}$; $Z_x = 2.5 \text{ k}\Omega$



4. Aufgabe ; Q_1 Q_2 Q_3 Q_4 Q_5

I_C / mA 0.5 0.5 1.3 1 1

U_{CE} / V 1.4 1.4 2.7 9 0.7

4.2 a) $4 \times 5.2 \text{ k}\Omega$

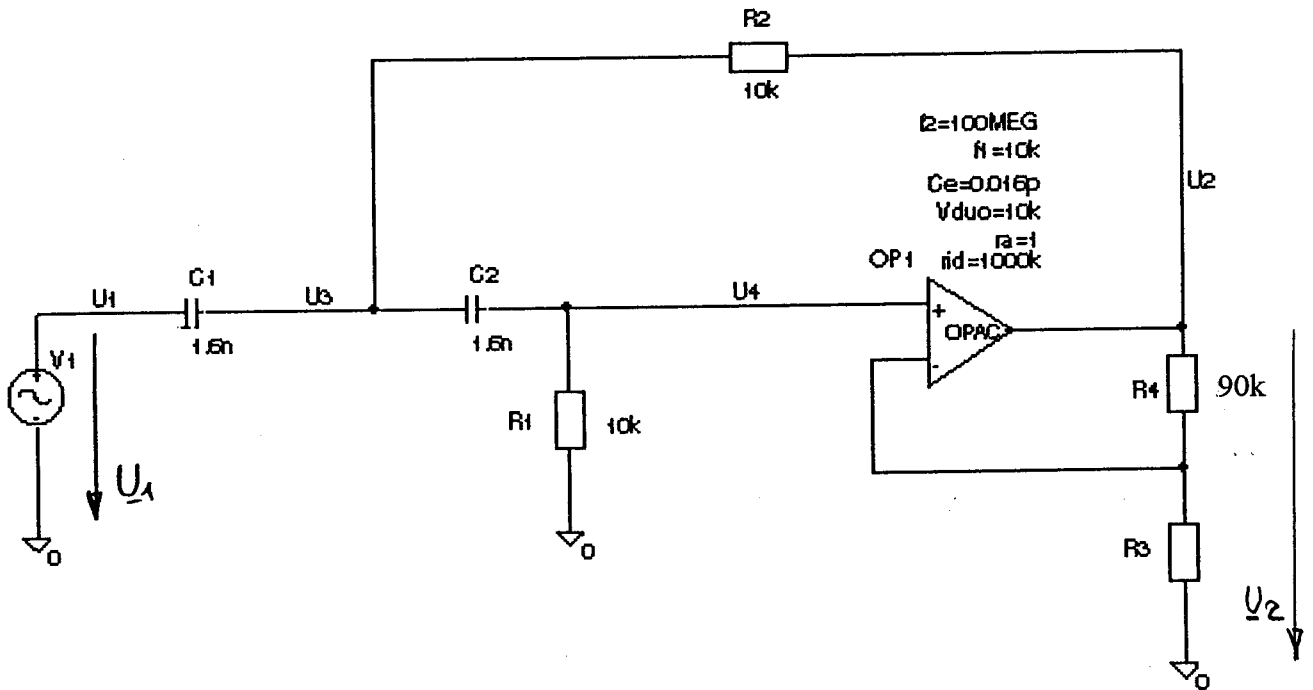
b) $\Delta I_{C, Q1} = \Delta U_1 / 208 \Omega$; $\Delta I_{C, Q2} = -\Delta U_1 / 208 \Omega$

c) $\Delta U_3 / \Delta U_{BE, Q3} = \frac{2000 \Omega}{20 \Omega} = 100$;

d) $\Delta U_2 = \Delta U_1 \cdot \frac{4000}{52} \cdot \frac{2}{4} = 40$;

1. Aufgabe

- 1.1 DC-Analyse: Wie groß sollte R_3 für „Ruhestromkompensation“ bei Verwendung eines realen OP-Verstärkers sein?
- 1.2 AC-Analyse mit $R_3 \Rightarrow \infty$: Ermitteln Sie U_2/U_1 unter Berücksichtigung des Linearverstärkers mit $V_{ud} = 10000/(1 + jf/10\text{KHz})$ und skizzieren Sie das Ergebnis im Bodediagramm.
- 1.3 AC-Analyse mit $R_3 = 10\text{ k}\Omega$: Untersuchen Sie die Stabilität der Schaltung für den Fall, daß der Linearverstärker ideal ist.

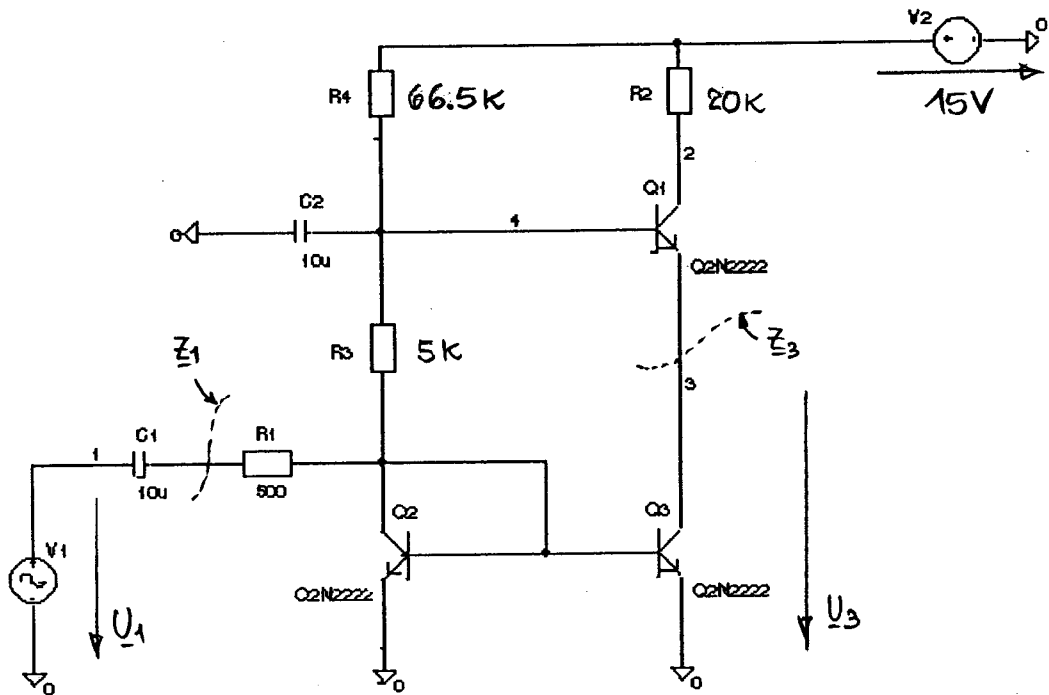


2. Aufgabe

$Q_1, Q_2, Q_3, : I_s = 10^{-15} \text{ A}; \beta = 100;$

2.1 DC-Analyse: Ermitteln Sie den Arbeitspunkt von Q_1, Q_2 und Q_3 .

2.2 AC-Analyse im Arbeitspunkt: Wie groß ist Z_3 ; wie groß Z_1 ? Bestimmen Sie die Verstärkung U_3/U_1 und U_2/U_1 .



3. Aufgabe

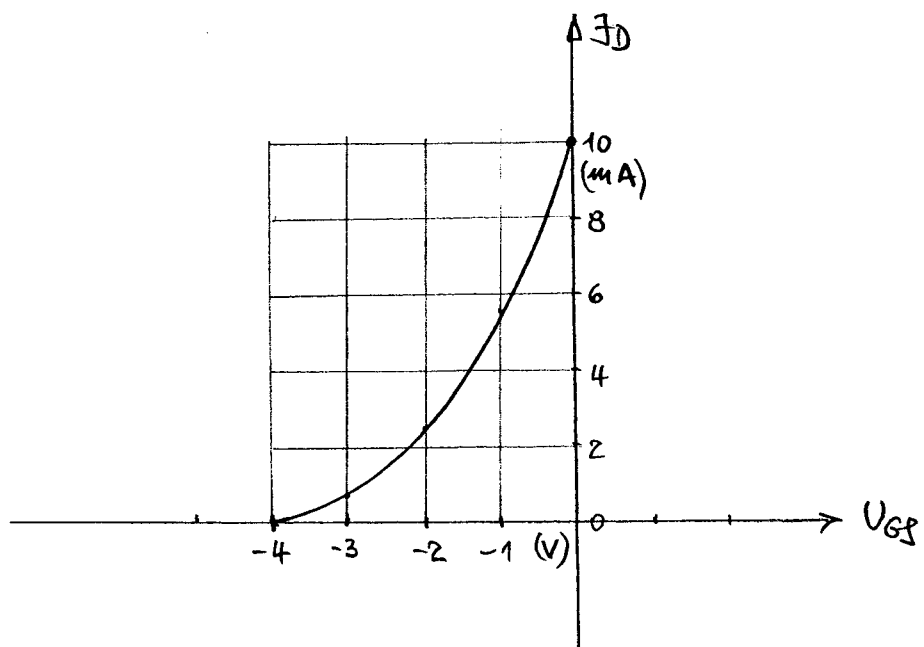
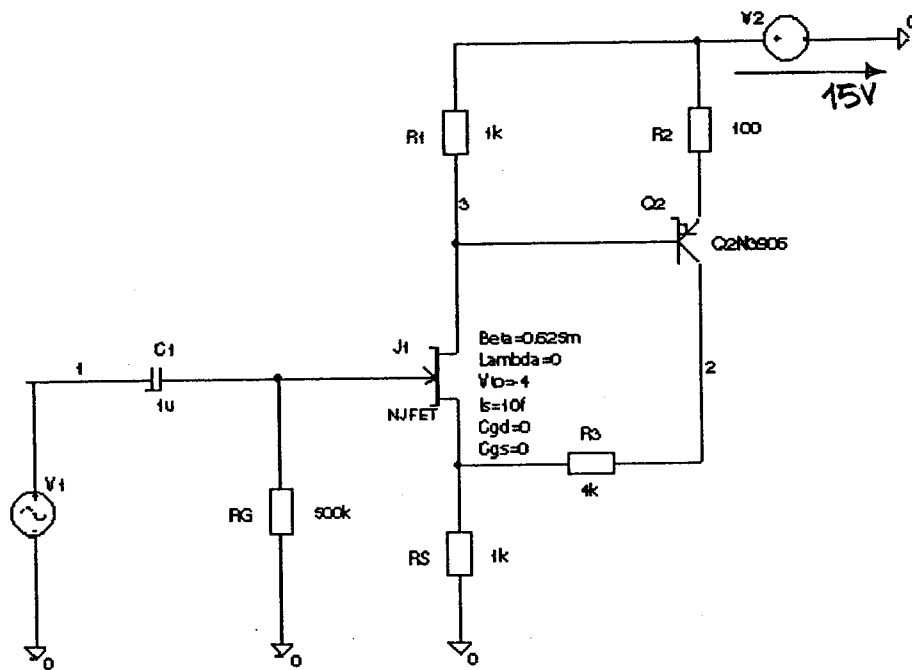
J_1 wie angegeben; Q_2 : $I_S = 10^{-15} \text{ A}$, $\beta = 100$.

3.1 DC-Analyse: Bestimmen Sie den Arbeitspunkt von J_1 und Q_2 .

3.2 AC-Analyse im Arbeitspunkt: Wie groß ist die Verstärkung U_2/U_1 ?

Allgemein gilt:

$$I_D = \begin{cases} (\text{BETA} \cdot 2) [(U_{GS} - U_p) \cdot U_{DS} - U_{DS}^2 / 2] \dots \text{Linearer Betrieb} \\ \text{BETA} \cdot (U_{GS} - U_p)^2 \dots \text{Sättigungsbetrieb} \end{cases}$$



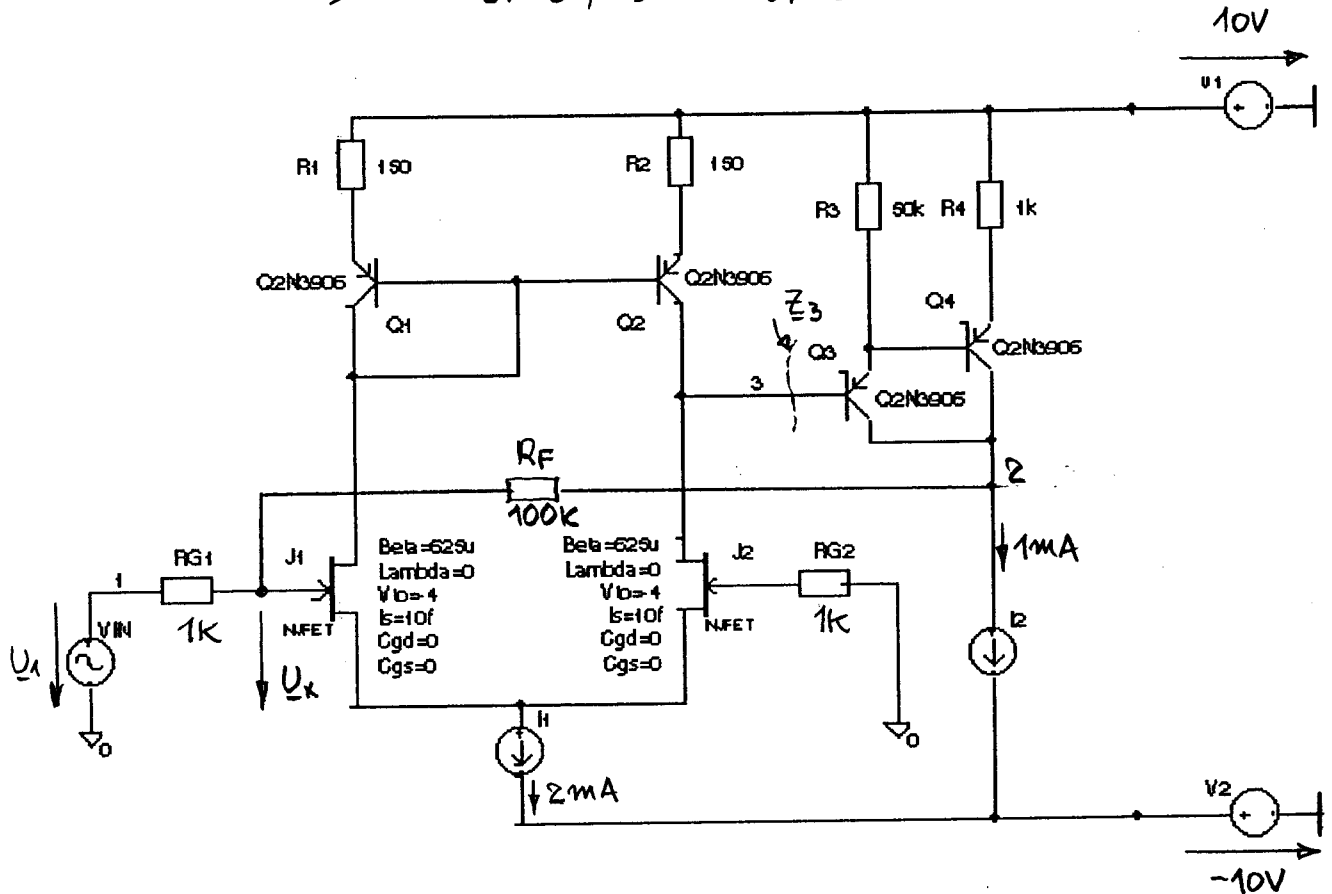
4. Aufgabe

($Q_i : I_s = 10^{-15} \text{ A}; \beta = 100$)

4.1. DC-Analyse: Bestimmen Sie die Arbeitspunkte der Transistoren Q_1 bis Q_4 sowie von J_1 und J_2 .

4.2 AC-Analyse: Ermitteln Sie U_3 / U_x und U_2 / U_3 ; wie groß ist Z_3 ?

a) ohne $Q_3; R_3$; b) mit $Q_3; R_3$



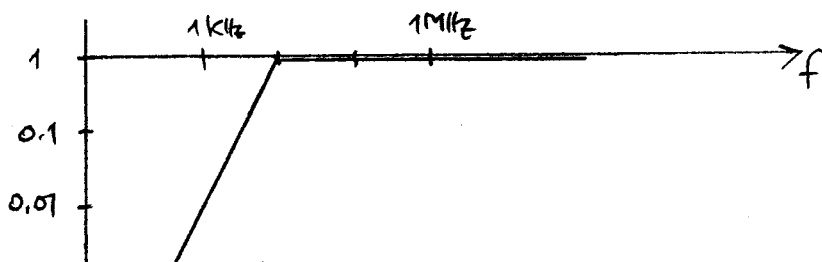
1.1 $R_3 \parallel 90k = 10k$; $R_3 = 11.25k\Omega$

1.2 $(U_1 - U_2 \frac{1+j\omega C_2 R_1}{j\omega C_2 R_1}) j\omega G + (U_2 - U_2 \frac{1+j\omega C_2 R_1}{j\omega C_2 R_1}) / R_2 = \frac{U_2}{R_1}$

$U_1 j\omega C_1 R_1 \cdot j\omega C_2 R_1 = U_2 \left\{ j\omega G R_1 + j\omega C_2 R_1 j\omega G R_1 - \frac{R_1}{R_2} j\omega C_2 R_1 \right.$

$G = C_2 = C$; $R_1 = R_2 = R$; $\left. + \frac{R_1}{R_2} (1 + j\omega C_2 R_1) + j\omega C_2 R_1 \right\}$;

$\frac{U_2}{U_1} = \frac{(j\omega CR)^2}{1 + 2j\omega CR + (j\omega CR)^2}$;

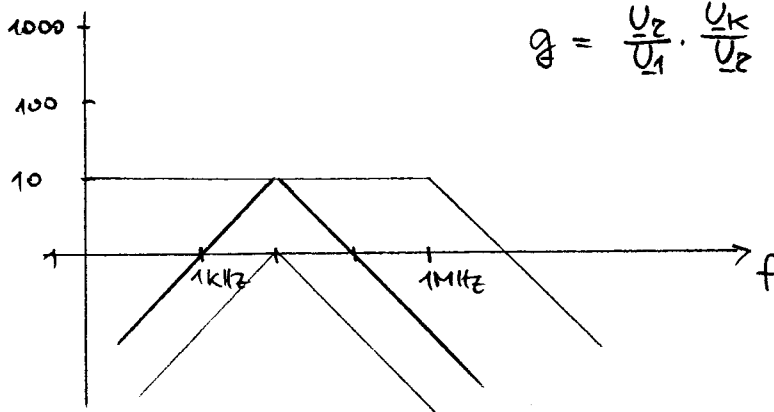


1.3 $\frac{U_2}{U_1} = 10 \cdot \frac{1}{1 + jf/10MHz}$; $(U_2 - U_k \frac{1+j\omega RC}{j\omega RC}) / R = U_k \frac{1+j\omega RC}{R} + \frac{U_k}{R}$;

$U_2 = U_k \left\{ 1 + j\omega RC + 1 + (1 + j\omega RC) / j\omega RC \right\}$

$\frac{U_2}{U_k} = \frac{1 + 3j\omega RC + (j\omega RC)^2}{j\omega RC}$;

$g = \frac{U_2}{U_1} \cdot \frac{U_k}{U_2}$; bei 10kHz ist $|g| = 10/3 > 1$ und $\varphi_g = 0^\circ$
 \Rightarrow Schwingung



2.1 $I_{C,Q2} = 0.2mA = I_{C,Q3} = I_{C,Q1}$; $V_{CE,Q2} = 0.7V$; $V_{CE,Q3} = 1V$
 $V_{CE,Q1} = 10V$;

2.2 $Z_3 = 130\Omega$; $Z_1 = 630\Omega$;

$U_1 \cdot \frac{130}{630} \cdot \frac{1}{130} \cdot 130 = 0.2$; $\frac{U_3}{U_1} = -0.2$; $\frac{U_2}{U_3} = \frac{20000}{130} = 154$; $\frac{U_2}{U_1} = -31$

3.1 $I_D \cdot 1k = 0.7V + I_C \cdot 100$; $10I_D - 7mA = I_C = 2mA$;
 $U_{GS} = -(I_D + I_C)1k = -11I_D \cdot 1k + 7V$; $I_D = \frac{7V - U_{GS}}{11k}$; $I_D = 0.9mA$
 $U_{DS} = 11.3V$; $U_{CE1} = 4V$; $U_{GS} = -2.8V$

$$g_m^{(1)} = \frac{2}{4V} \cdot \sqrt{10\mu A \cdot 0.9\text{mA}} = 1/670\Omega; \quad g_m^{(2)} = 1/113\Omega;$$

$$U_1 = U_{GS} + \left(\frac{U_{GS}}{670} + \frac{U_{GS}}{670} \cdot 1000 \cdot \frac{1}{113} \right) 1K = U_{GS} (1 + 1.5 + 13.2)$$

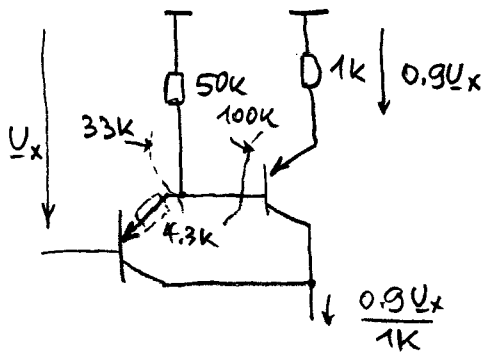
$$\frac{U_{GS}}{U_1} = 0.064; \quad U_2 = 0.936U_1 + 0.064U_1 \cdot \frac{1000}{670} \cdot \frac{4000}{113} = 4.3U_1$$

$$4.1 \quad I_{D,Q1} = I_{D,Q2} = 1\text{mA}; \quad I_{C,Q1} = I_{C,Q2} = 1\text{mA}$$

$$I_{C,Q3} + I_{C,Q4} = 1\text{mA}; \quad I_{C,Q3} \cdot 50K = 0.7V + I_{C,Q4} \cdot 1K; \quad I_{C,Q4} = 50I_{C,Q3} + 0.7\text{mA}$$

$$I_{C,Q3} = 0.034\text{mA};$$

$$U_{DS,Q1} = 6.5V; \quad U_{DS,Q2} = 4.9V \quad |U_{CE,Q3}| = 8.3V, \quad |U_{CE,Q4}| = 9V;$$



$$\bar{Z}_3 = 3.7M\Omega$$

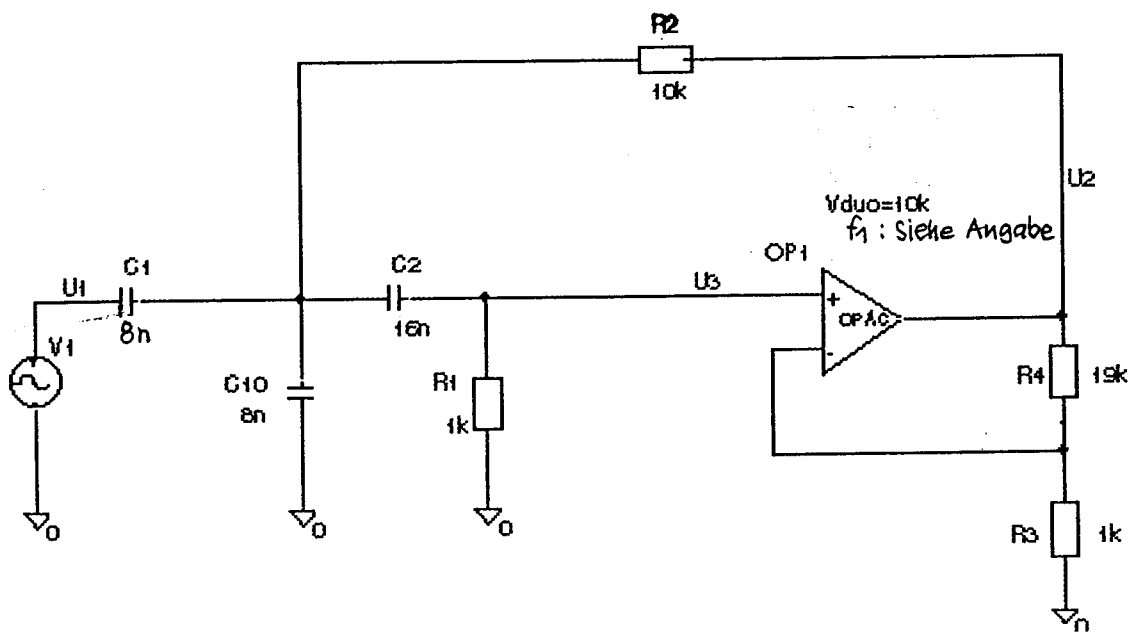
$$\frac{U_2}{U_3} \approx 90;$$

$$\frac{U_3}{U_x} \approx 5800;$$

$$g_m^{(3)} = 1/630\Omega$$

1. Aufgabe

- 1.1 Wie groß sollte R_1 für „Ruhestromkompensation“ eines realen OP-Verstärkers sein?
- 1.2 Bestimmen Sie die Schleifenverstärkung aus U_3/U_2 für den Fall, daß $Y_{ud} = 10000/(1 + jf/1\text{KHz})$ ist und skizzieren Sie das Ergebnis im Bodediagramm.
- 1.3 Ermitteln Sie U_2/U_1 für den Fall, daß der Linearverstärker näherungsweise als unendlich breitbandig angesehen werden kann und skizzieren Sie das Ergebnis im Bodediagramm.
- 1.4 Untersuchen Sie die Stabilität der Schaltung unter Berücksichtigung des Linearverstärkers mit $Y_{ud} = 1000/(1 + jf/10\text{ Hz})$ und R_1 gegen unendlich; welche Phasenreserve ist gegeben?



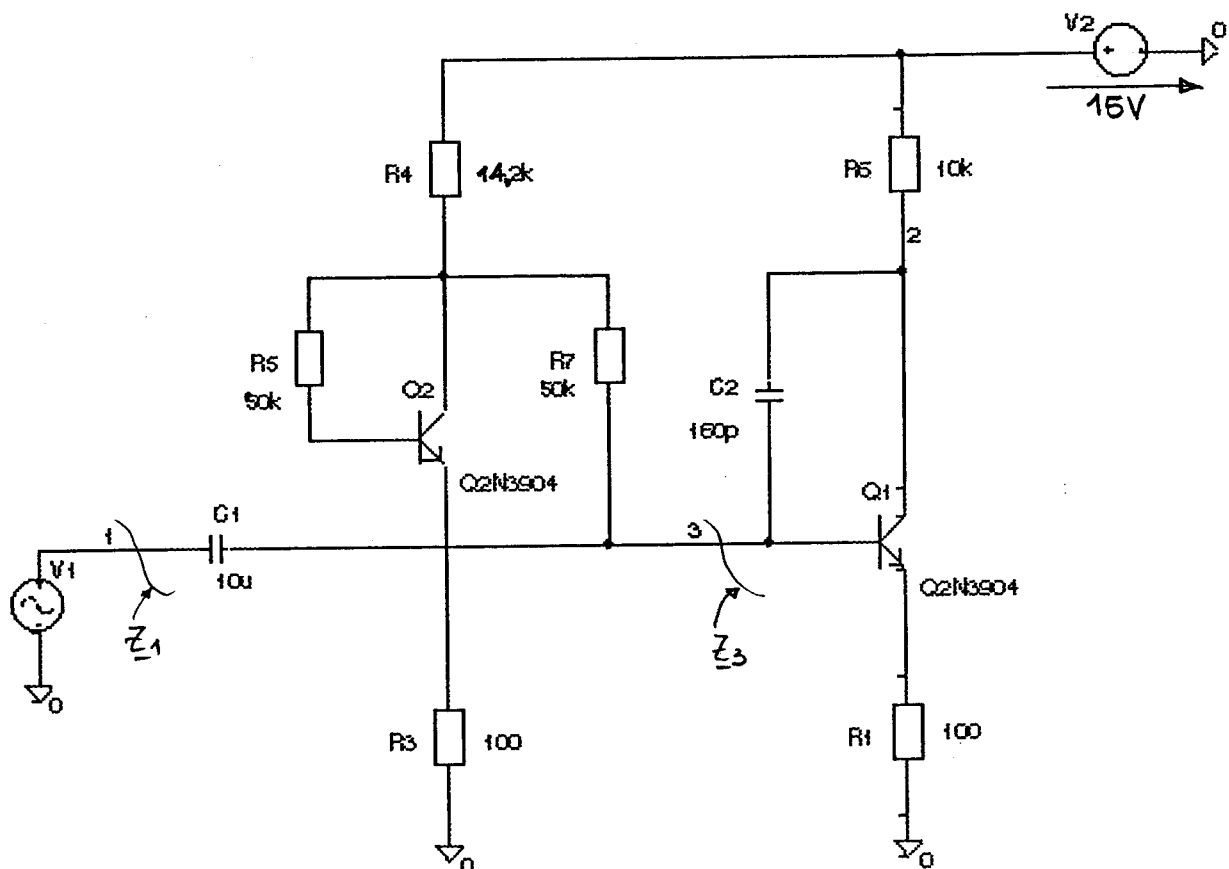
2. Aufgabe

Q_1 : $I_S = 10^{-15} \text{ A}$; $\beta = 100$; $r_b = 500 \Omega$;

2.1 DC-Analyse: Ermitteln Sie den Arbeitspunkt von Q_1 und Q_2 .

2.2 Bestimmen Sie $R_{6_{\text{opt}}}$ für größtmögliche unverzerrte Aussteuerung von Q_1 .

2.3 AC-Analyse im Arbeitspunkt unter Berücksichtigung von C_2 : Wie groß ist Z_3 ; wie groß Z_1 ? Bestimmen Sie die Verstärkung U_2/U_1 .



3. Aufgabe

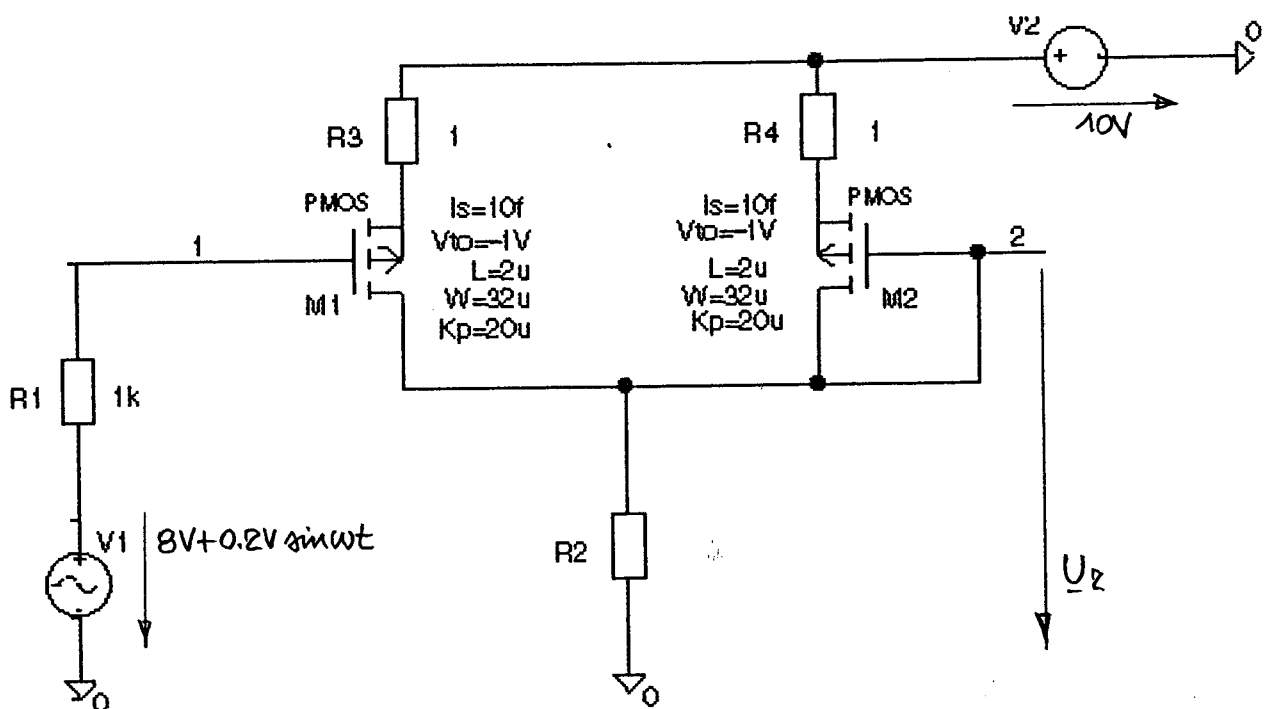
M_1, M_2 : wie angegeben.

3.1 Bestimmen Sie den Arbeitspunkt von M_1 und M_2 ; Dimensionieren Sie R_2 so, daß $I_{D,M1} = I_{D,M2}$.

3.2 AC-Analyse im Arbeitspunkt: Wie groß ist die Verstärkung U_2/U_1 ?

Allgemein gilt:/

$$I_D = \begin{cases} \beta \left[(U_{GS} - U_p) \cdot U_{DS} - U_{DS}^2/2 \right] \dots \text{Linearer Betrieb} \\ (\beta/2) (U_{GS} - U_p)^2 \dots \text{Sättigungsbetrieb} \end{cases}$$



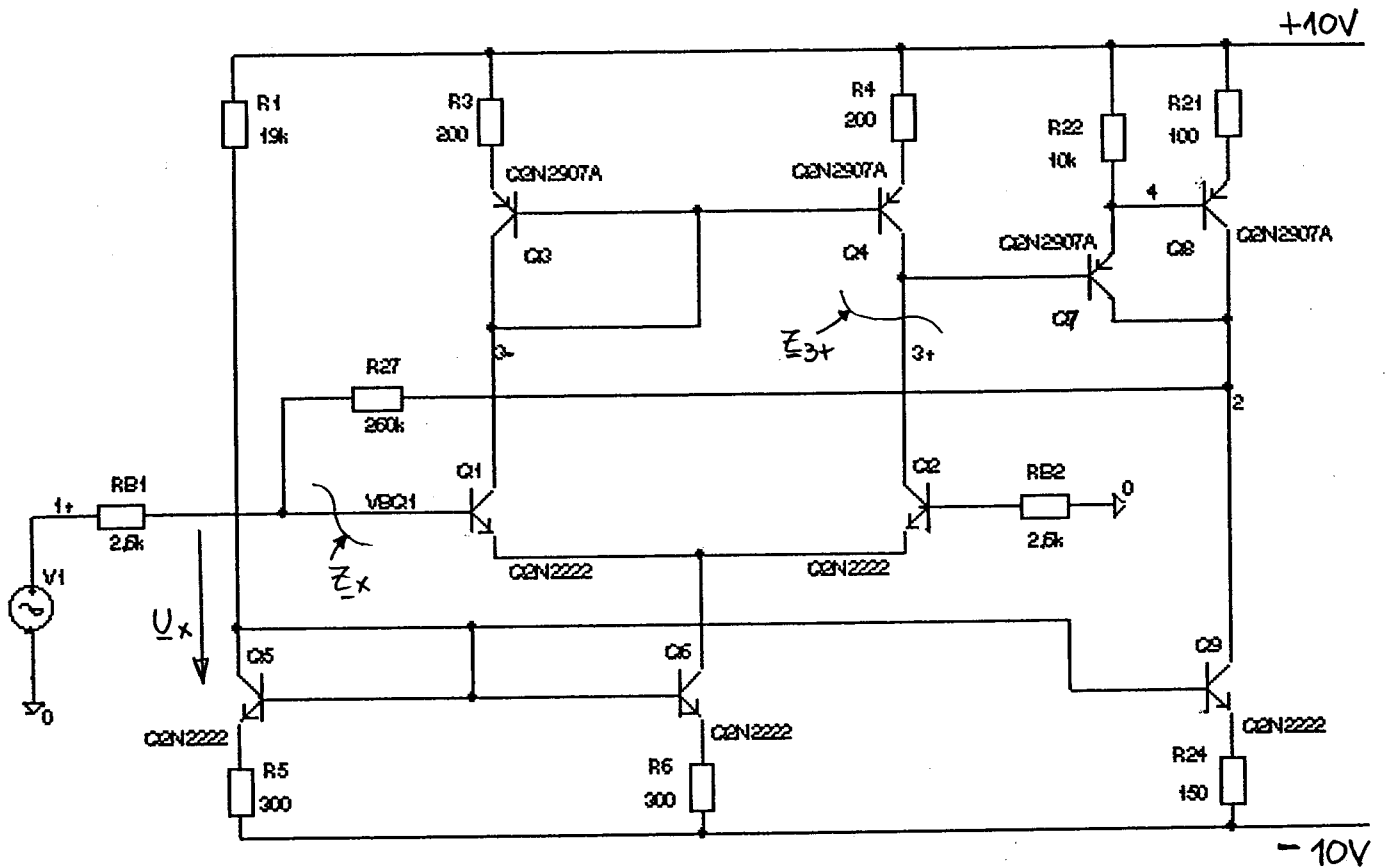
4. Aufgabe

($Q_i: I_S = 10^{-15} \text{ A}; \beta = 100$); $r_{C1, Q4} = 500 \text{ k}\Omega$;

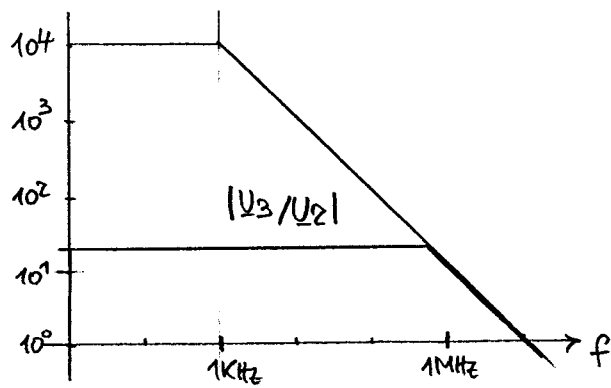
4.1. Bestimmen Sie die Arbeitspunkte der Transistoren Q_1 bis Q_8 .

4.2. Wie groß ist der Eingangswiderstand an Z_x , sowie Z_{3+} .

4.3. Ermitteln Sie U_2/U_x , U_{3+}/U_{VBQ1} und U_2/U_{3+} , sowie U_2/U_1 .



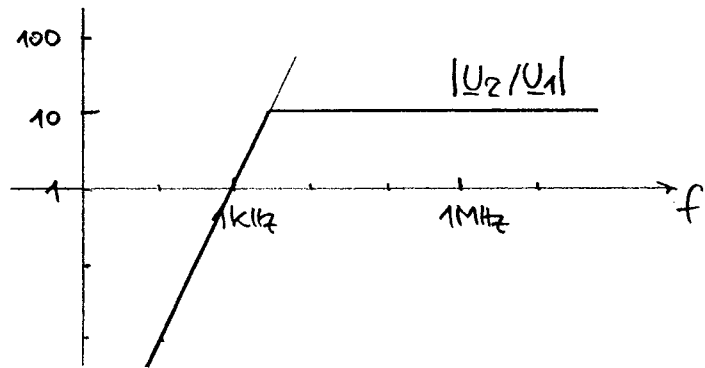
Aufg. 1: .1) $R_2 = R_3 \parallel R_4$; .2)



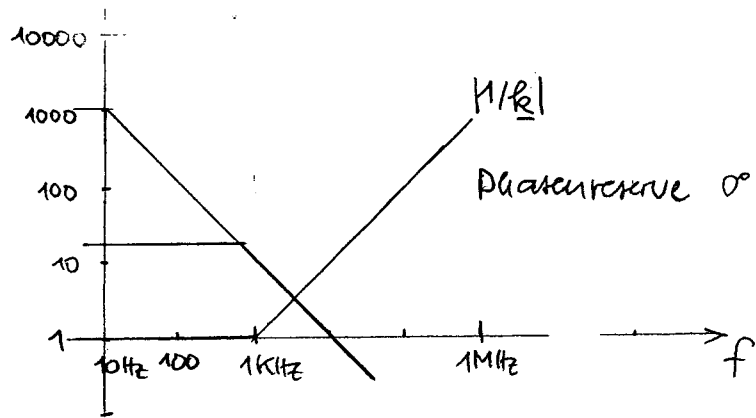
.3) $(U_1 - U_x)j\omega G + (U_2 - U_x)/R_1 = U_x j\omega G + U_x \frac{1}{R_2 + 1/j\omega C_2}$;
 $U_x \frac{R_2}{R_2 + 1/j\omega C_2} = \frac{U_2}{20}$

$U_1 j\omega G R_1 + U_2 = \frac{U_2}{20} \cdot \frac{1 + j\omega C_2 R_2}{j\omega C_2 R_2} \cdot \left[j\omega G R_1 + 1 + j\omega G R_1 + \frac{j\omega C_2 R_1}{1 + j\omega C_2 R_2} \right]$;

$U_1 20 j\omega G R_1 j\omega C_2 R_2 + U_2 20 j\omega C_2 R_2 = U_2 \left[1 + 2j\omega G R_1 + j\omega C_2 R_2 + j\omega C_2 R_2 \cdot 2j\omega C_1 R_1 + j\omega C_2 R_1 \right]$;



.4) Mit $R_2 \rightarrow \infty$: $\underline{R} = \frac{1/j\omega C_{ges}}{R_1 + 1/j\omega C_{ges}} = \frac{1}{1 + j\omega C_{ges} \cdot R_1}$



Aufg. 2: .1) $(I_{E,Q2} + I_{B,Q1}) 14.2K + I_{B,Q2} \cdot 50K + 0.7V + I_{E,Q2} \cdot 100 = 15V$

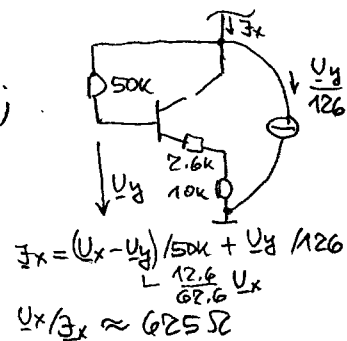
$I_{E,Q1} = I_{E,Q2}$; $I_{E,Q1} = 0.95mA$

.2) $R_{G,opt} = 7K\Omega$;

.3) $Z_3 = \frac{1}{1/(500 + 12.6k) + j\omega 16nF} = \frac{13.1k}{1 + j\omega 16nF \cdot 13.1k}$;

$Z_1 = (625\Omega + 50k) \parallel Z_3$;

$\frac{U_2}{U_1} = \frac{10000}{126} \cdot \frac{1/j\omega 16pF}{10000 + 1/j\omega 16pF}$;
 Ecktr. 1MHz



Aufg. 3: .1) $U_{GS,M1} = -2V$; $I_{D,M1} = 20 \frac{mA}{V^2} \cdot 16/2 \cdot 1V^2 = 0.16mA$;
 $10V = -U_{GS,M2} + (I_{D,M2} + 0.16mA) \cdot 25K$; $I_{D,M2} = 0.16mA$; $R_2 = 25K$

.2) $g_{m,M1} \cdot U_1 + g_{m,M2} \cdot U_2 + U_2 / 25K = 0$; $g_m = \frac{2}{1V} \cdot 0.16mA = 1/3.1K$;
 $U_2 / U_1 = -1$;

Aufg. 4: .1) $I_{C,Q5} = I_{C,Q6} = 1mA$; $I_{C,Q1} = I_{C,Q2} = 0.5mA = I_{C,Q3} = I_{C,Q4}$;
 $I_{C,Q9} = 2mA = I_{C,Q8}$; $I_{C,Q7} = 0.09mA$;
 $U_{CE,Q5} = 0.7V$; $U_{CE,Q6} = 9V$; $U_{CE,Q1} = 10V$; $U_{CE,Q2} = 9.2V$; $U_{CE,Q8} = 9.8V$

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9
I_C / mA	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	0.09	1.9	2
U_{CE} / V	10	9.2	10.7V	11.5V	0.7	9	9.2	9.9	9.85

.2) $Z_x = 2.6K + 10.4K = 13.0K$; $Z_{3+} = 500K \parallel 500K = 250K$;

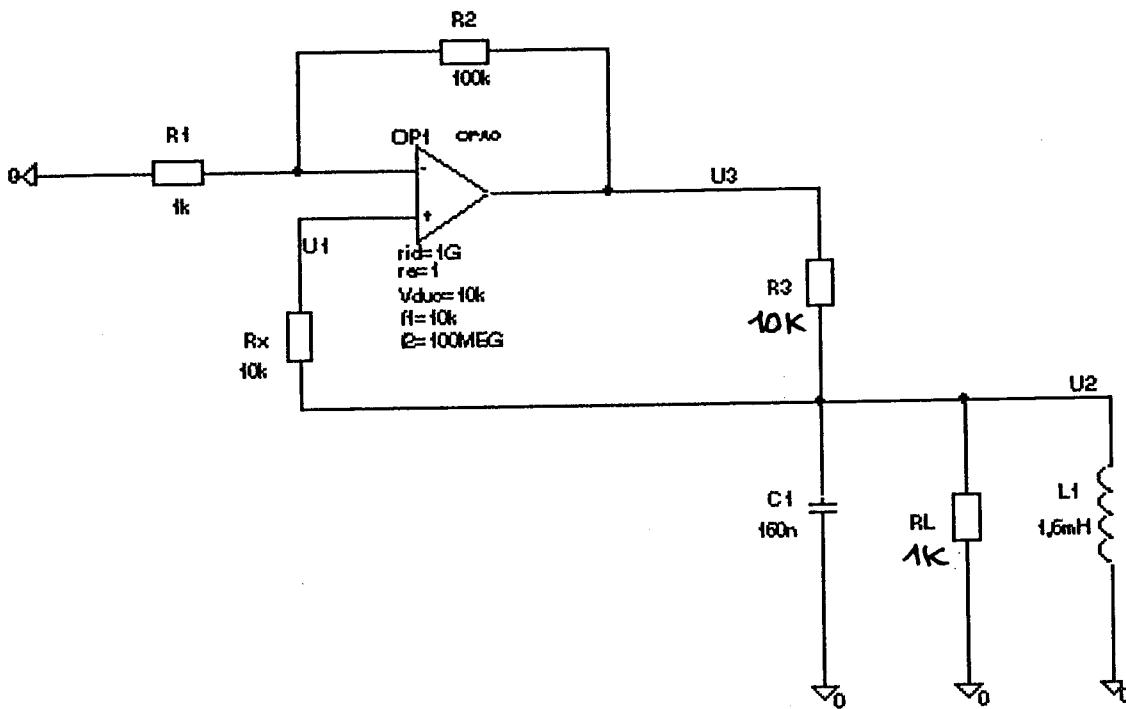
.3) $U_{3+} / U_{V_{BQ1}} = 1900$; $U_2 / U_{3+} = 2600$; $U_2 / U_1 = 100$;

Name: _____
 Semester: _____

1. Aufgabe

19 Punkte

- 1.1 Wie groß sollte R_x für „Ruhestromkompensation“ eines realen OP-Verstärkers sein?
- 1.2 Bestimmen Sie die Schleifenverstärkung aus U_3/U_1 sowie U_2/U_3 und dem Produkt daraus für den Fall, daß $V_{ud} = 10000/(1 + jf/10 \text{ KHz})$ ist und skizzieren Sie das Ergebnis im Bodediagramm.
- 1.3 Unter welchen Bedingungen erfolgt Schwingungseinsatz?

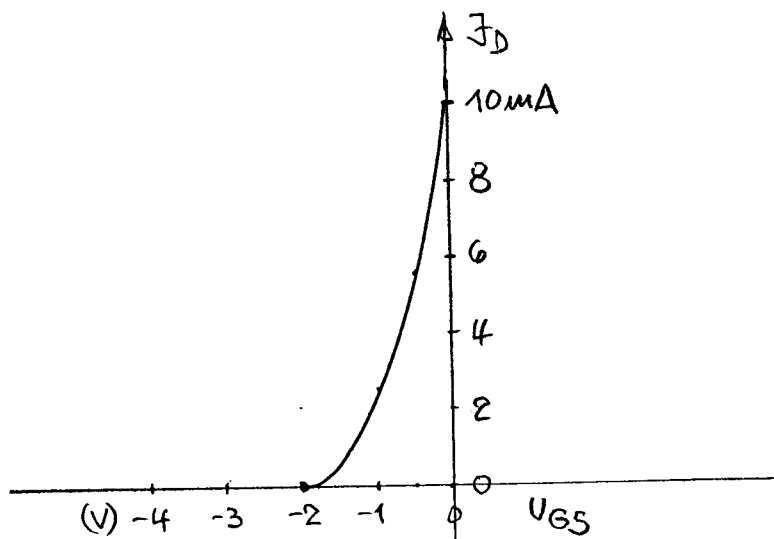
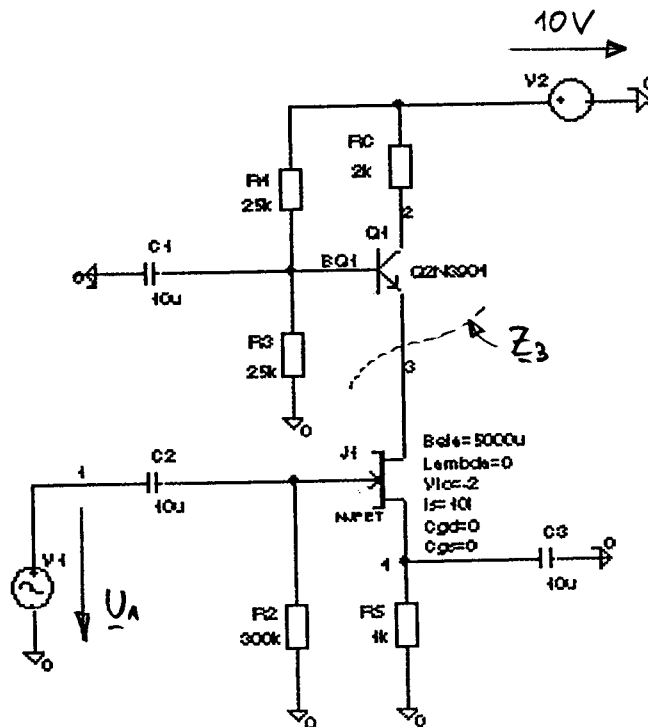


2. Aufgabe

18 Punkte

Q_1 : $I_S = 10^{-5} \text{A}$; $\beta = 100$; $r_b = 500 \Omega$; $r_c = 200 \text{k}\Omega$; J_1 wie angegeben;

- 2.1 DC-Analyse: Ermitteln Sie den Arbeitspunkt von Q_1 und J_1 .
- 2.2 Bestimmen Sie RC_{opt} für größtmögliche unverzerrte Aussteuerung von Q_1 .
- 2.3 AC-Analyse im Arbeitspunkt: Wie groß ist Z_3 ? Bestimmen Sie die Verstärkung U_2/U_1 .



3. Aufgabe

$M_1: U_p = 1V; \beta = 200\mu A/V^2$

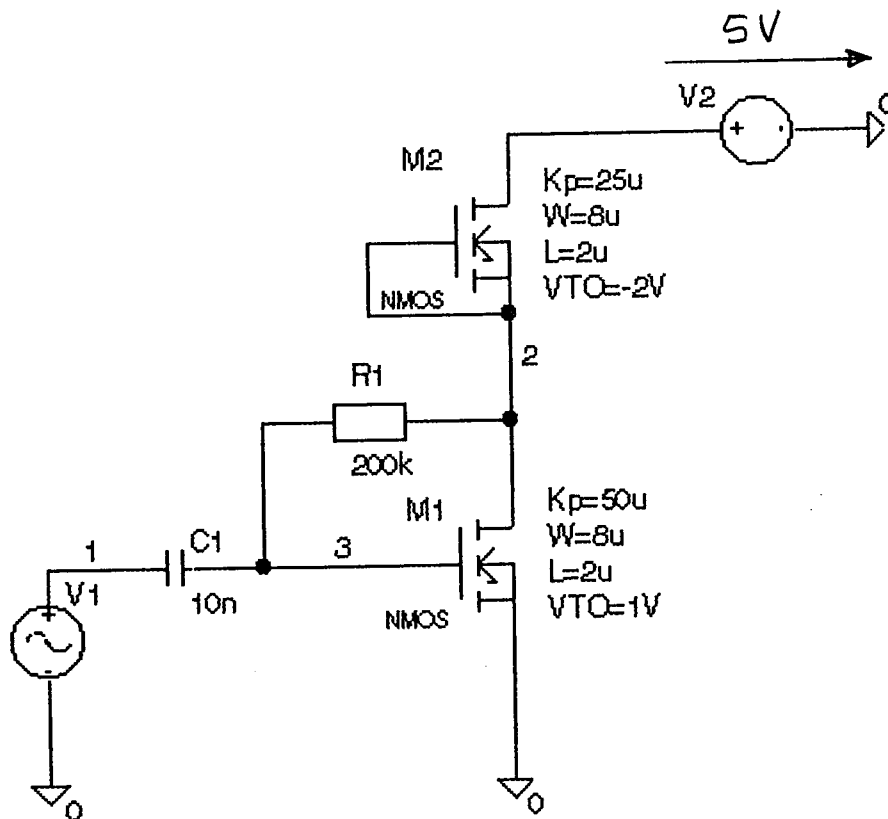
$M_2: U_p = -2V; \beta = 100\mu A/V^2$

3.1 Bestimmen Sie den Arbeitspunkt von M_1 und M_2 (Annahme: M_2 abgeschnürt, mit Begründung).

3.2 AC-Analyse im Arbeitspunkt: Wie groß ist die Verstärkung U_2/U_1 ?

Allgemein gilt:/

$$I_D = \begin{cases} \beta \left[(U_{GS} - U_p) \cdot U_{DS} - U_{DS}^2/2 \right] \dots \text{Linearer Betrieb} \\ (\beta/2) (U_{GS} - U_p)^2 \dots \text{Sättigungsbetrieb} \end{cases}$$

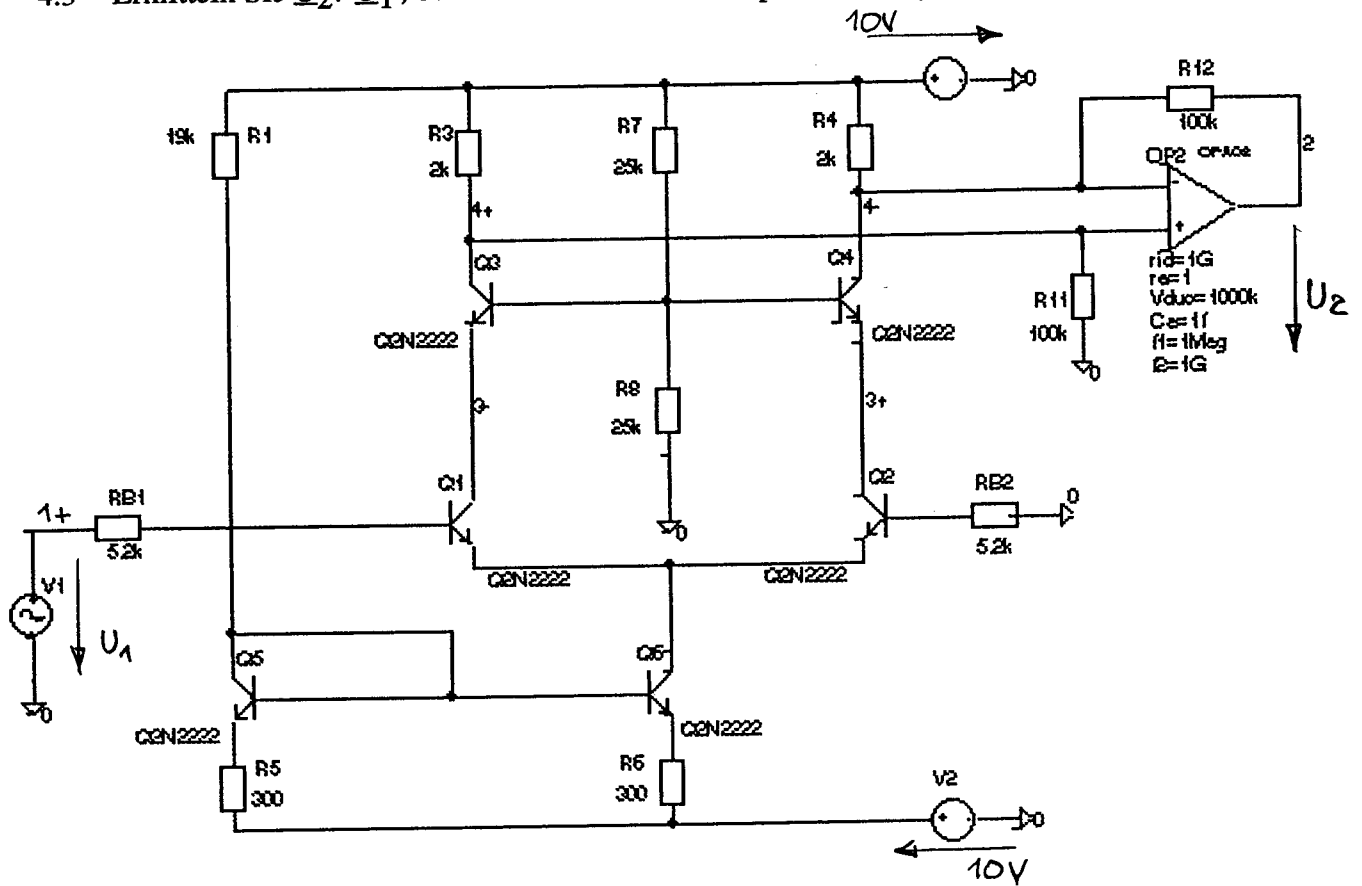


4. Aufgabe

21 Punkte

($Q_i: I_S = 10^{-15} \text{ A}; \beta = 100$)

- 4.1. Bestimmen Sie die Arbeitspunkte der Transistoren Q_1 bis Q_6
- 4.2. Wie groß ist der Eingangswiderstand an 1+, sowie zwischen 3+ und 3- ?
- 4.3. Ermitteln Sie U_2 / U_1 ; bestimmen Sie den Arbeitspunkt von U_2 .

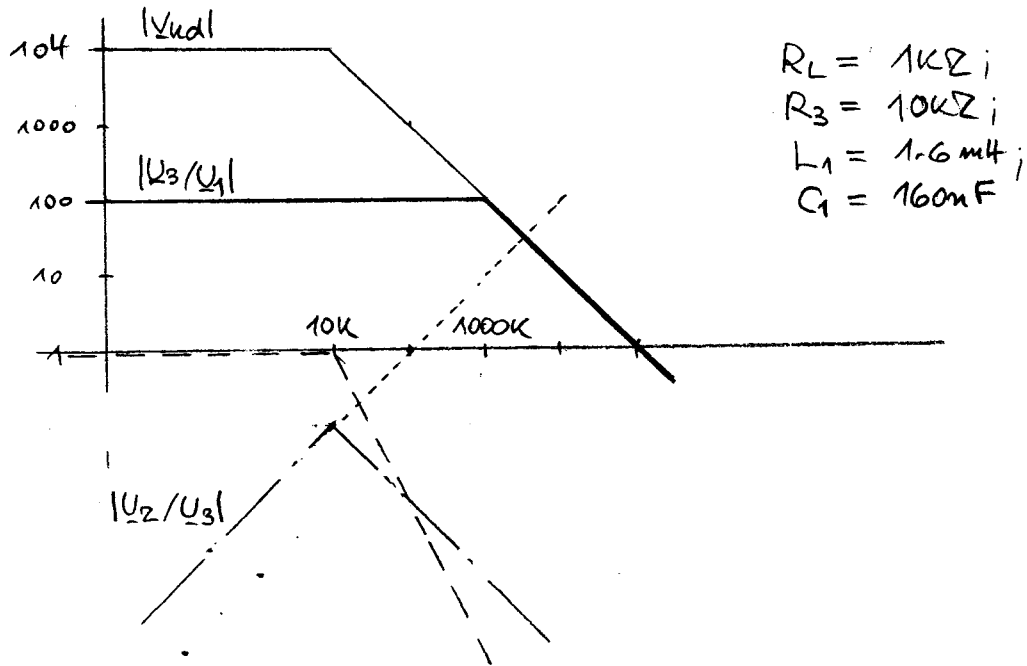


1.1 $R_x = 1k \parallel 100k$

1.2
$$\underline{Z}_x = \frac{1}{1/R_L + j\omega C + 1/j\omega L_1} = R_L \frac{j\omega L_1 / R_L}{1 + j\omega L_1 / R_L + (j\omega)^2 C L_1}$$

$$\frac{U_2}{U_3} = \frac{\underline{Z}_x}{R_3 + \underline{Z}_x} = \frac{R_L j\omega L_1 / R_L}{R_3 (1 + j\omega L_1 / R_L + (j\omega)^2 C L_1) + R_L j\omega L_1 / R_L}$$

$$= \frac{R_L}{R_3} \cdot \frac{j\omega L_1 / R_L}{1 + (1 + R_L / R_3) j\omega L_1 / R_L + (j\omega)^2 C L_1}$$



1.3 $\varphi_g = 0$ bei $f = 10k Hz$; $g = 100 \cdot 1/n$
 → Schwingbedingung erfüllt.

2.1
$$I_D = \frac{5mA/V^2}{2} \cdot (U_{GS} + 2V)^2 = U_{GS} / 1k\Omega$$
; $U_{GS}^2 - 4V \cdot U_{GS} + 4V^2 = \frac{2}{5} V \cdot U_{GS}$; $U_{GS} = -1.2$

$I_D^{(A)} = 1.28 mA$; $I_{C,Q1} = 1.28 mA$;
 $U_{DS} = 3V$; $U_{CE} = 3.1V$

2.2 $R_{C,opt} = 2.03 k\Omega$;

2.3 $Z_3 = 21\Omega + 5\Omega$;

$$g_{m1,Q1} = \frac{2}{2V} \cdot \sqrt{10mA \cdot 1.28mA} = 1/280\Omega$$

$$g_{m1,Q1} \cdot r_{e,Q1} \cdot g_{m1,Q1} \cdot 2000\Omega \cdot U_1 = U_2 = 7$$

$$3.1 \quad I_{D,M2} = \frac{0.1 \text{ mA/V}^2}{2} \cdot 4\text{V}^2 = 0.2 \text{ mA};$$

$$I_{D,M1} = \frac{0.2 \text{ mA/V}^2}{2} \cdot (U_{GS} - 1\text{V})^2 = 0.2 \text{ mA}; \quad U_{GS} = 2.41\text{V}$$

$$U_{DS,M1} = 2.41\text{V}; \quad U_{DS,M2} = 2.59\text{V};$$

$$3.2 \quad g_{m,M1} \cdot 200\text{k}; \quad ; \quad g_{m,M1} = \frac{2}{1\text{V}} \cdot \sqrt{0.2 \text{ mA} \cdot 0.1 \text{ mA}} = 1/3.5\text{k}$$

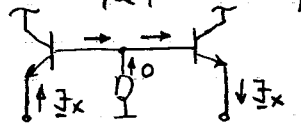
$$\frac{U_2}{U_1} = -57; \quad g_{m,M2} = \frac{2}{2\text{V}} \cdot \sqrt{0.2 \text{ mA} \cdot 0.2 \text{ mA}} = 1/5\text{k}$$

$$4.1 \quad I_{C,Q5} = I_{C,Q6} = 1\text{ mA}; \quad I_{C,Q1} = I_{C,Q2} = I_{C,Q4} = I_{C,Q3} = 0.5 \text{ mA}$$

$$U_{CE,Q5} = 0.7\text{V}; \quad U_{CE,Q6} = 9\text{V}; \quad U_{CE,Q1} = U_{CE,Q2} = 5\text{V};$$

$$U_{CE,Q3} = U_{CE,Q4} = 4.7\text{V};$$

$$Z_{1+} = 20.8 \text{ k}\Omega; \quad Z_{3+,3-} = 104 \Omega;$$



$$0.5 \text{ mA} = (10\text{V} - U_{RM})/2\text{k} + U_{RM}/100\text{k}$$

$$0.5 \text{ mA} = (10\text{V} - U_{RM})/2\text{k} + (U_{RM} - U_2)/100\text{k}$$

$$\rightarrow U_2 = 0;$$

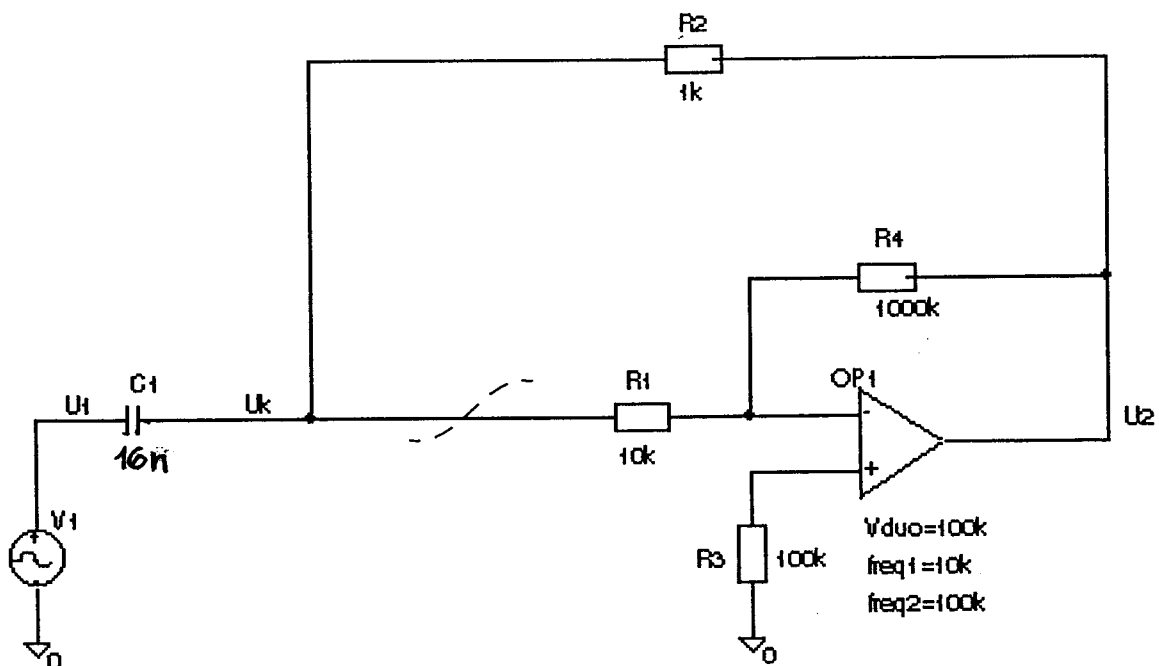
$$\frac{U_1}{208\Omega} + \frac{U_{RM}}{2\text{k}} + \frac{U_{RM}}{100\text{k}} = 0;$$

$$-\frac{U_1}{208\Omega} + \frac{U_{RM}}{2\text{k}} + \frac{U_{RM}}{100\text{k}} - \frac{U_2}{100\text{k}} = 0;$$

$$\frac{U_1}{104\Omega} + \frac{U_2}{100\text{k}} = 0 \rightarrow \frac{U_2}{U_1} = -961;$$

1. Aufgabe

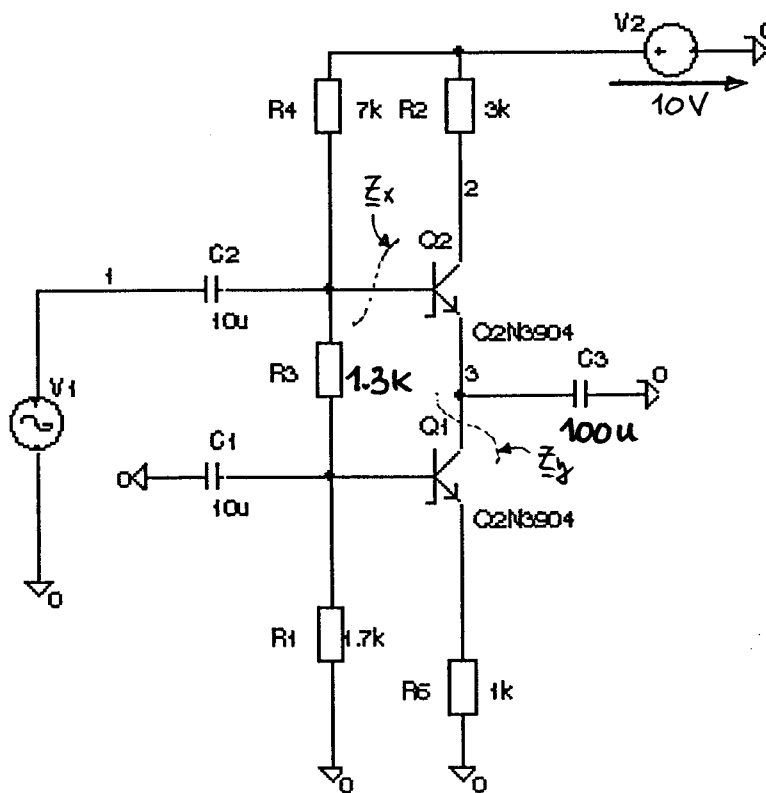
- 1.1 Wie groß sollte R_3 für „Ruhestromkompensation“ eines realen OP-Verstärkers sein?
- 1.2 Bestimmen Sie $\underline{U}_2/\underline{U}_1$ für den Fall, daß $\underline{V}_{ud} = 100000$ (beliebig breitbandig) ist und skizzieren Sie das Ergebnis im Bodediagramm.
- 1.3 Ermitteln Sie die Schleifenverstärkung der rückgekoppelten Schaltung bei Auftrennung der Rückkopplungsschleife und beurteilen Sie die Stabilität der Schaltung. Skizzieren Sie die Schleifenverstärkung im Bodediagramm.
 $\underline{V}_{ud} = 100000 / ((1 + jf/10 \text{ KHz})(1 + jf/100 \text{ KHz}))$



2. Aufgabe

$Q_1, Q_2: I_S = 10^{-5} \text{A}; \beta = 100; r_b = 500 \Omega; r_c = 200 \text{k}\Omega;$

- 2.1 DC-Analyse: Ermitteln Sie den Arbeitspunkt von Q_1 und Q_2 .
- 2.2 Bestimmen Sie $R_{2_{\text{opt}}}$ für größtmögliche unverzerrte Aussteuerung von Q_2 .
- 2.3 AC-Analyse im Arbeitspunkt: Wie groß ist $Z_x; Z_y$? Bestimmen Sie die Verstärkung $\underline{U}_2/\underline{U}_1$ (Annahme: $R_2 = 3 \text{k}\Omega$); $f > 1 \text{kHz}$.
- 2.4 Verändern Sie die Schaltung so, daß bei gleicher Verstärkung die Bandbreite wesentlich erhöht wird.



3. Aufgabe

$$M_1: U_p = 1V; \beta = 320\mu A/V^2$$

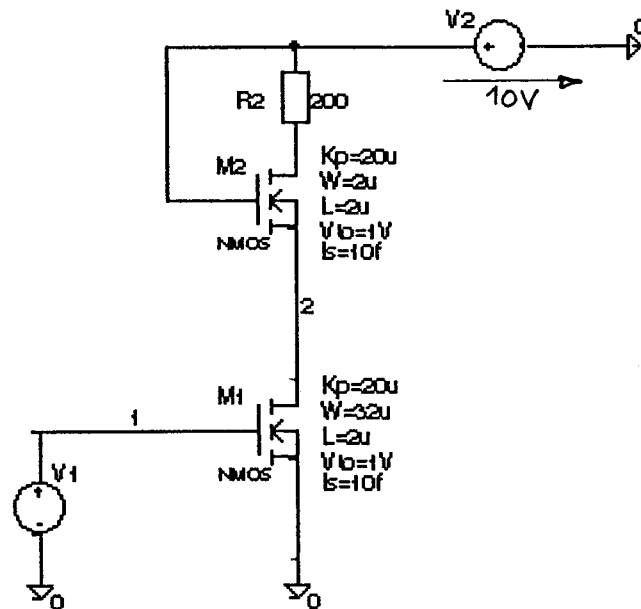
$$M_2: U_p = 1V; \beta = 20\mu A/V^2$$

3.1 $U_1 = 0V, 2V, 4V$: Wie groß ist U_2 ? Skizzieren Sie $U_2 = f(U_1)$.

3.2 Kleinsignalanalyse bei $U_1 = 2V$: Wie groß ist die Verstärkung U_2/U_1 ?

Allgemein gilt:/

$$I_D = \begin{cases} \beta [(U_{GS} - U_p) \cdot U_{DS} - U_{DS}^2/2] \dots \text{Linearer Betrieb} \\ (\beta/2) (U_{GS} - U_p)^2 \dots \text{Sättigungsbetrieb} \end{cases}$$

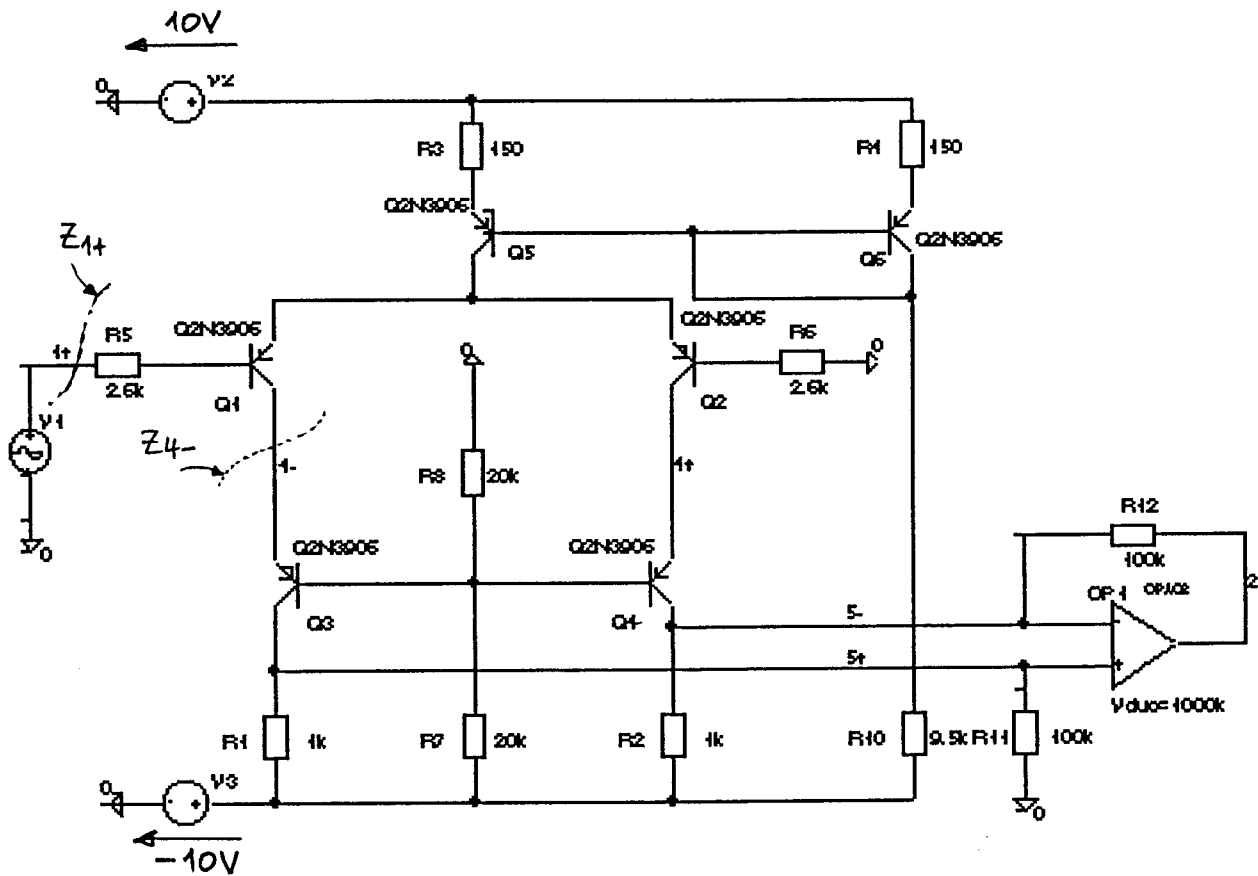


$$ax^2 + bx + c = 0 \rightarrow x_{1/2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a};$$

4. Aufgabe

($Q_i: I_S = 10^{-15} \text{ A}; \beta = 100$)

- 4.1. Bestimmen Sie die Arbeitspunkte der Transistoren Q_1 bis Q_6
- 4.2. Wie groß ist der Eingangswiderstand an $1+$ und an $4-$?
- 4.3. Ermitteln Sie $\underline{U}_2 / \underline{U}_1$.



1. Aufgabe: $R_3 = 1k \parallel 1000k = 10.9k$

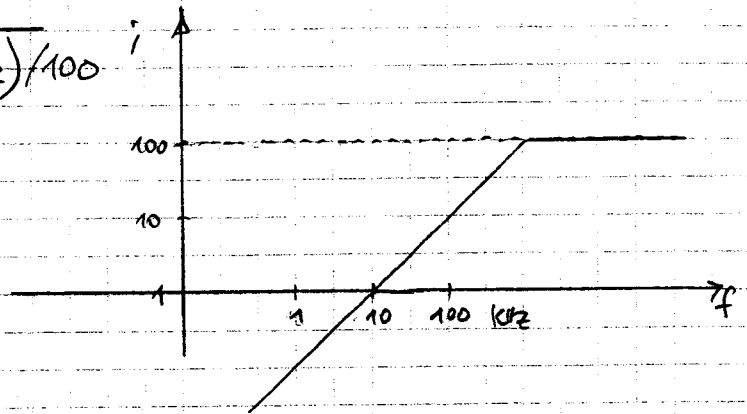
$$\frac{U_2}{U_k} = 100 \quad ; \quad (U_1 - U_k) j\omega G = (U_2 + U_k)/R_2 + U_k/R_1$$

$$U_1 j\omega G R_2 = U_2 + U_k \left\{ 1 + R_2/R_1 + j\omega G R_2 \right\}$$

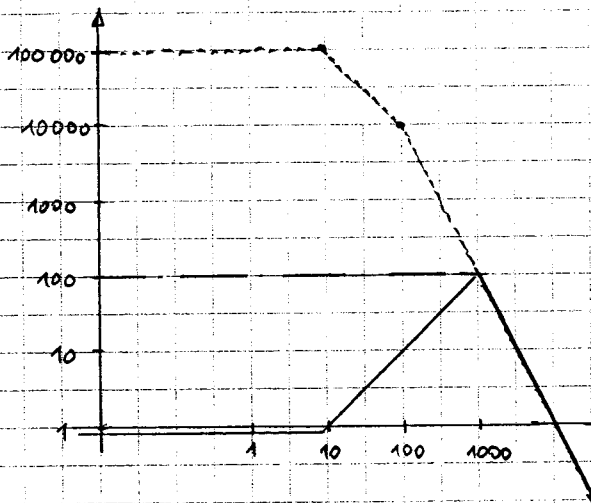
$$U_1 j\omega G R_2 = U_2 \left\{ 1 + (1 + R_2/R_1 + j\omega G R_2) / 100 \right\}$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{j\omega G R_2}{1 + (1 + R_2/R_1 + j\omega G R_2) / 100} ;$$

$$\frac{R_1 \cdot 1/j\omega G}{R_1 + 1/j\omega G} = R_1 \cdot \frac{1}{1 + j\omega G R_1} ;$$



$$g = \frac{U_k}{U_2} \cdot \frac{U_2}{U_1}$$



$$\frac{U_k}{U_2} = \frac{R_1}{\frac{R_1}{1 + j\omega G R_1} + R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + j\omega G R_1 R_2}$$

$$= \frac{R_1 / (R_1 + R_2)}{1 + j\omega G \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}$$

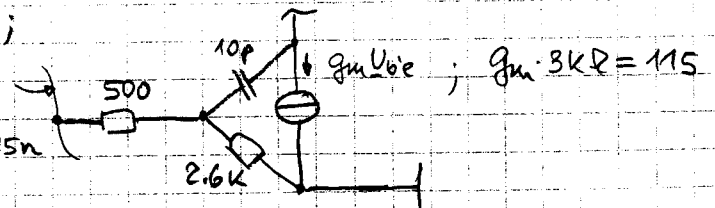
Schaltung ist an Stabilitäts-grenze

2. Aufgabe: $I_{C,Q1} = I_{C,Q2} = 1mA$; $U_{CE,Q1} = 1.3V$; $U_{CE,Q2} = 4.7V$;

$R_{C,opt} \approx 3.5k$;

$Z_x = 500\Omega +$

$2.6k \parallel 1/j\omega \cdot 15n$



$U_2/U_1 \approx 100$;

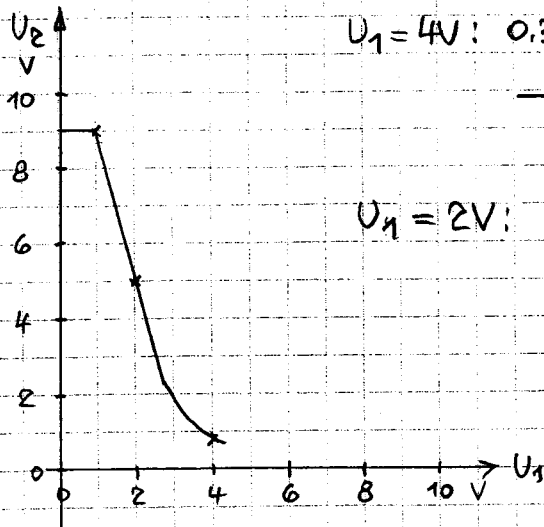
3. Aufgabe

$$U_1 = 0V: M_1 \text{ sperrt} \rightarrow U_2 = 9V;$$

$$U_1 = 2V: 0.16 \frac{\text{mA}}{\sqrt{V}} \cdot 1V^2 = 0.01 \frac{\text{mA}}{\sqrt{V}} \cdot (9V - U_2)^2 \rightarrow U_2 = 5V;$$

$$U_1 = 4V: 0.32 \frac{\text{mA}}{\sqrt{V}} \cdot 3V \cdot U_2 - U_2^2/2 = 0.01 \frac{\text{mA}}{\sqrt{V}} \cdot (9V - U_2)^2$$

$$\rightarrow U_2 = 0.75V;$$



$$U_1 = 2V: I_D = 0.16 \text{ mA}; g_{m, M1} = 2 \cdot 0.16 \frac{\text{mA}}{V} = 1/3.1 \text{ k}\Omega$$

$$g_{m, M2} = 2 \cdot 0.04 \frac{\text{mA}}{V} = 1/12.5 \text{ k}\Omega$$

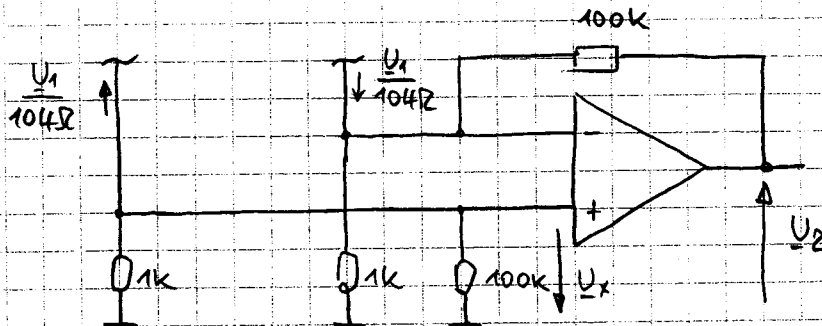
$$V = g_{m, M1} \cdot \frac{1}{g_{m, M2}} = -4;$$

4. Aufgabe

$$I_{C, Q6} = 2 \text{ mA} = I_{C, Q5}; I_{C, Q1} = I_{C, Q2} = I_{C, Q3} = I_{C, Q4} = 1 \text{ mA};$$

$$|U_{CE, Q1}| = |U_{CE, Q2}| = 5V; |U_{CE, Q3}| = |U_{CE, Q4}| = 4.7V; |U_{CE, Q5}| = 9V$$

$$Z_{1+} = 4 \cdot 2.6 \text{ k}\Omega; Z_{4-} = 26 \Omega + 100 \Omega$$



$$\frac{U_x}{100k} + \frac{U_x}{1k} + \frac{U_1}{104\Omega} = 0$$

$$\frac{U_1}{52\Omega} = \frac{U_2}{100k}; \frac{U_2}{U_1} = 1900;$$

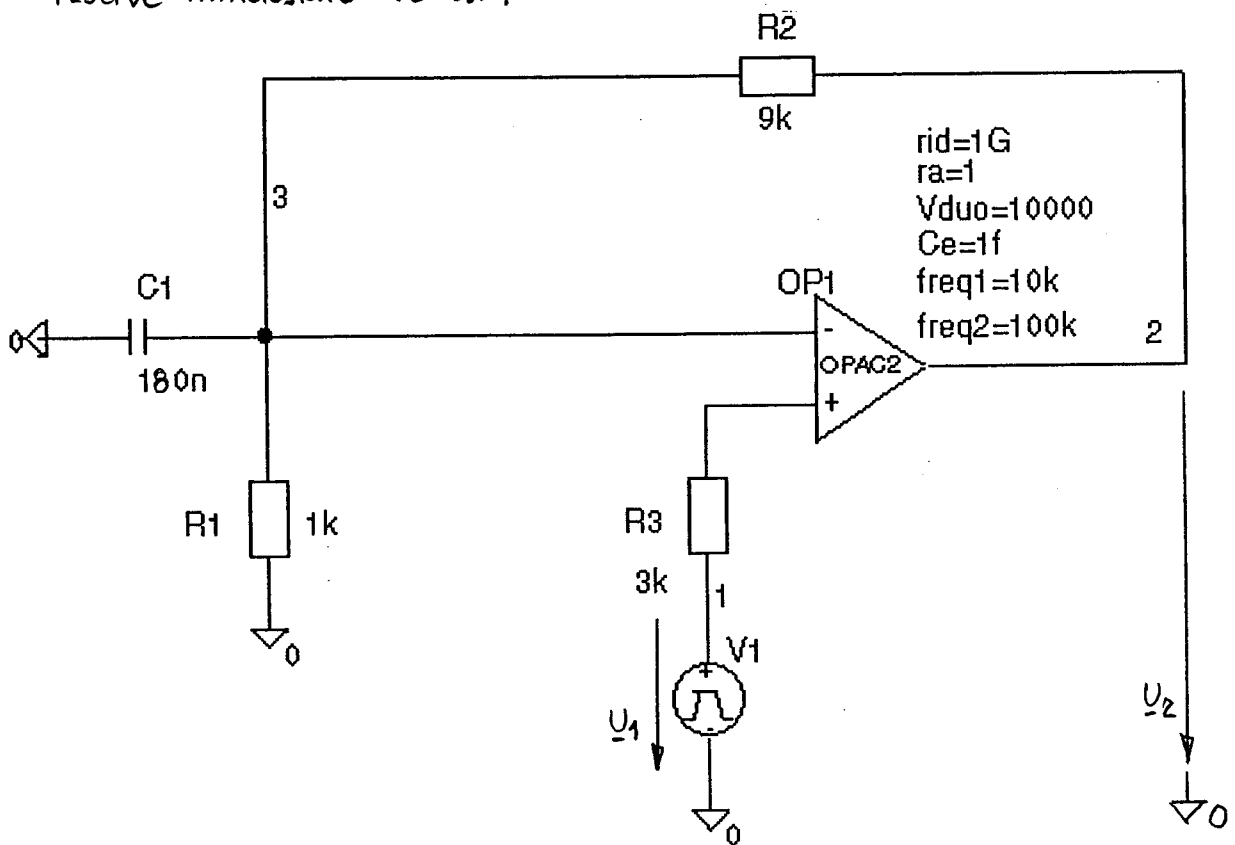
$$\frac{U_x + U_2}{100k} + \frac{U_x}{1k} - \frac{U_1}{104\Omega} = 0$$

1. Aufgabe

20 Punkte

$V_{ud} = 10000 / (1 + jf/10 \text{ KHz})(1 + jf/100 \text{ KHz})$

- 1.1 Wie groß sollte R_3 für „Ruhestromkompensation“ eines realen OP-Verstärkers sein?
- 1.2 Ermitteln Sie die Schleifenverstärkung der rückgekoppelten Schaltung bei geeigneter Auftrennung der Rückkopplungsschleife und beurteilen Sie die Stabilität der Schaltung. Skizzieren Sie die Schleifenverstärkung im Bodediagramm.
- 1.3 Bestimmen Sie U_2/U_1 für den Fall, daß $V_{ud} = 10000 / (1 + jf/100 \text{ KHz})$ ist und skizzieren Sie das Ergebnis im Bodediagramm; wie groß müßte C_1 sein, daß die Phasenreserve mindestens 45° ist?

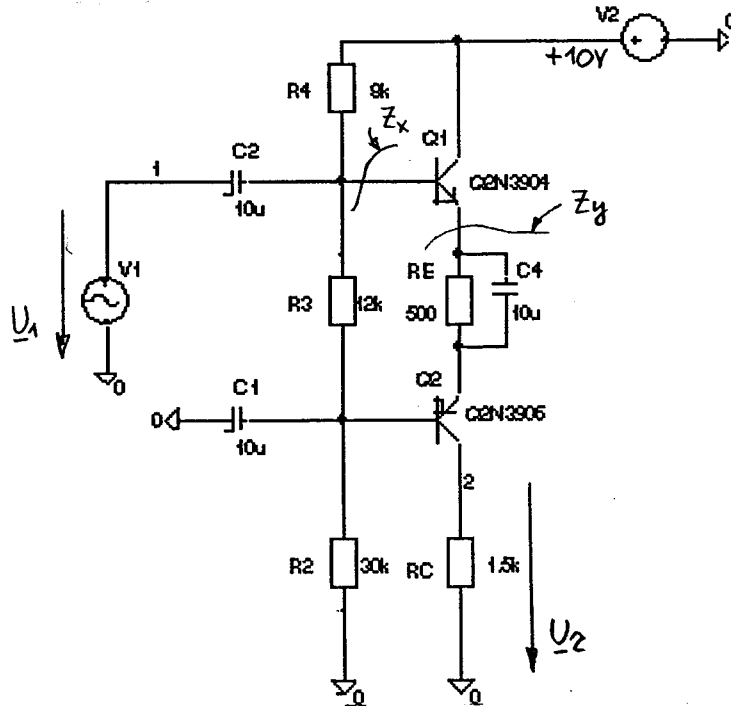


2. Aufgabe

$Q_1, Q_2: I_S = 10^{-15} \text{ A}; \beta = 100$

14 Punkte

- 2.1 DC-Analyse: Ermitteln Sie den Arbeitspunkt von Q_1 und Q_2 .
- 2.2 Bestimmen Sie $R_{C_{opt}}$ für größtmögliche unverzerrte Aussteuerung von Q_2 .
- 2.3 AC-Analyse im Arbeitspunkt: Wie groß ist $Z_x; Z_y$? Bestimmen Sie die Verstärkung $\underline{U}_2/\underline{U}_1$ (Annahme: $R_C = 2\text{k}\Omega$; $C_1, C_2, C_4 \rightarrow \infty$)



3. Aufgabe

16 Punkte

M_1 : $U_p = 1V$; $\beta = 320\mu A/V^2$;

M_2 : $U_p = -1V$; $\beta = 320\mu A/V^2$; $R_3 = 0$.

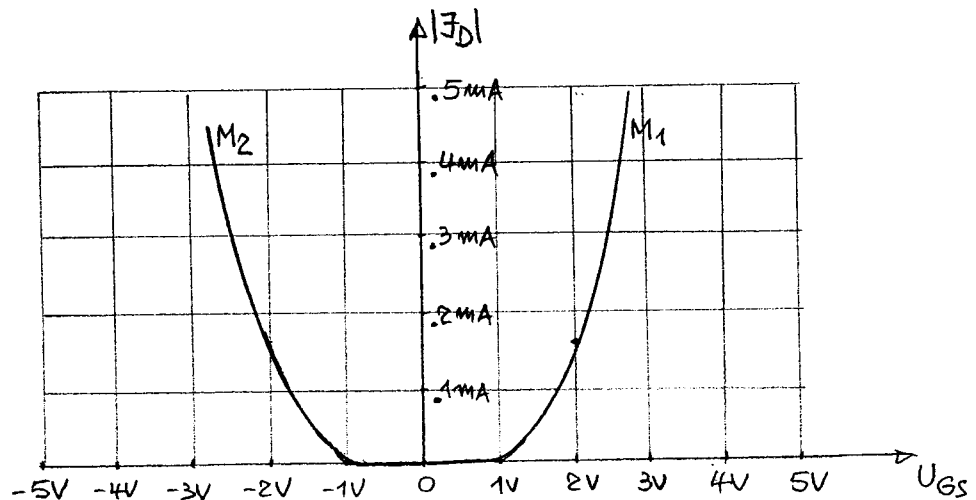
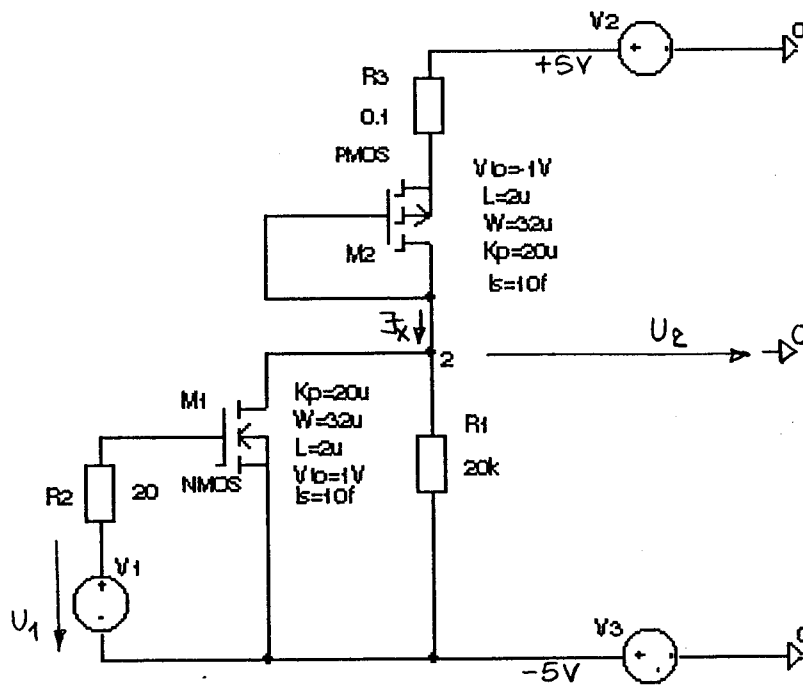
3.1 $U_1 = 0V$: Wie groß ist I_x ; wie groß ist U_2 ?

3.2 $U_2 = 0V$: Wie groß muß dann U_1 sein?

3.3 Kleinsignalanalyse im $U_2 = 0$: Bestimmen Sie die Verstärkung $\Delta U_2 / \Delta U_1$;

Allgemein gilt:/

$$I_D = \begin{cases} \beta \left[(U_{GS} - U_p) \cdot U_{DS} - U_{DS}^2 / 2 \right] \dots \text{Linearer Betrieb} \\ (\beta/2) (U_{GS} - U_p)^2 \dots \text{Sättigungsbetrieb} \end{cases}$$

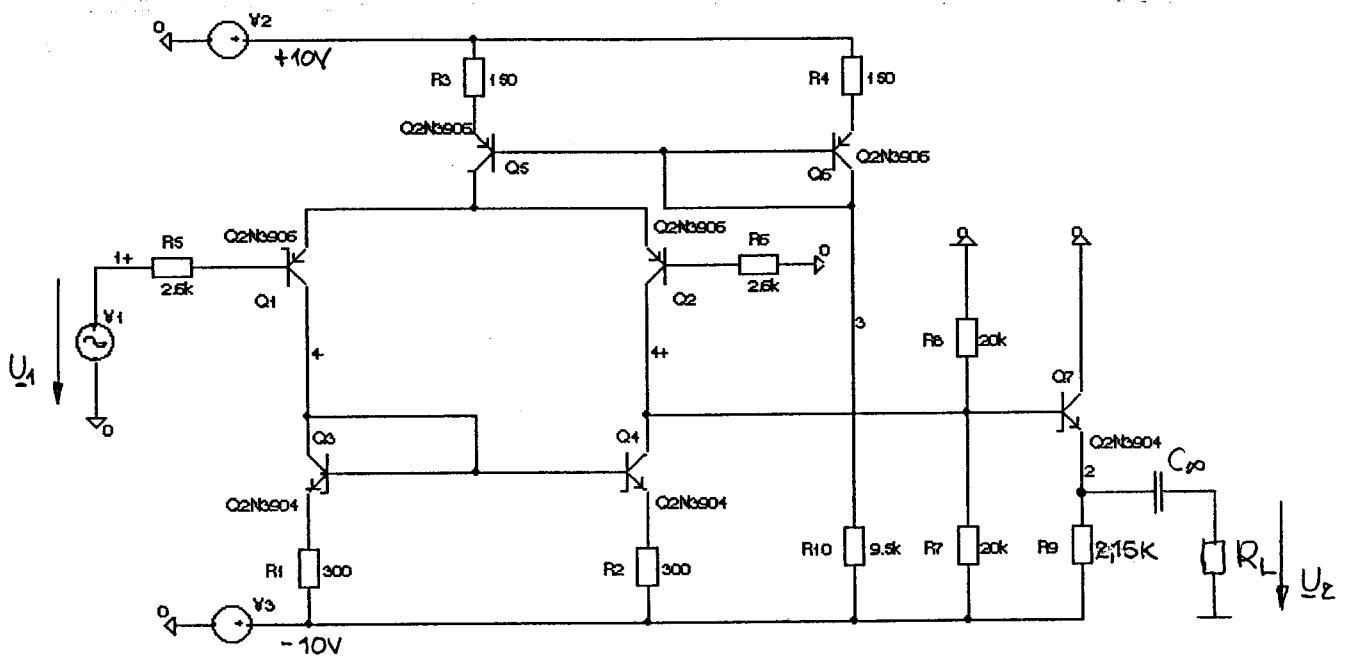


4. Aufgabe

($Q_i: I_S = 10^{-15} \text{ A}; \beta = 100$)

15 Punkte

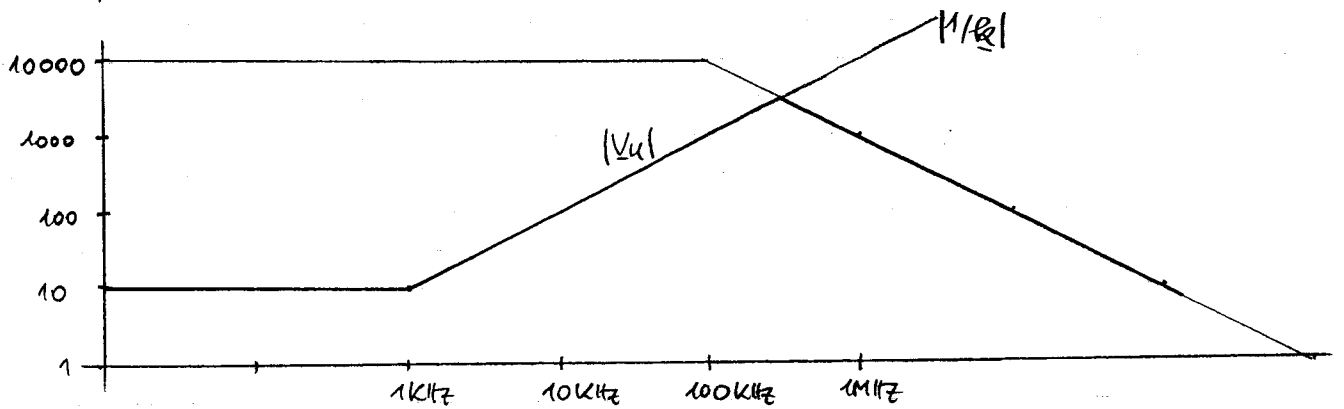
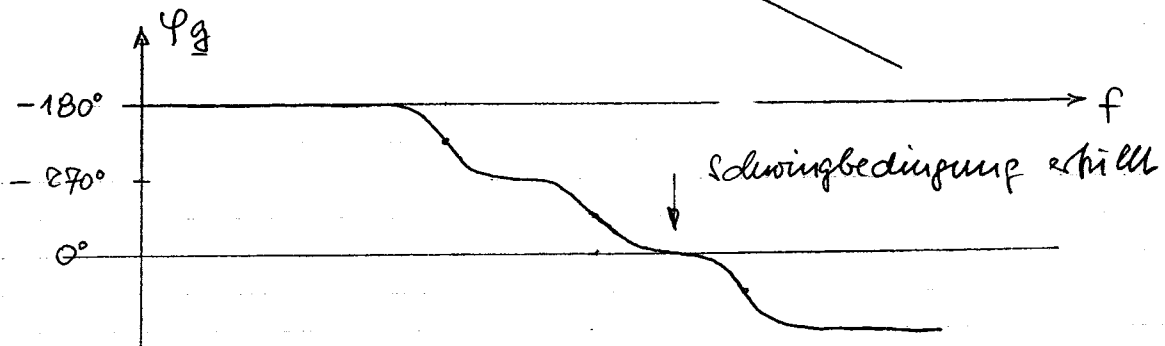
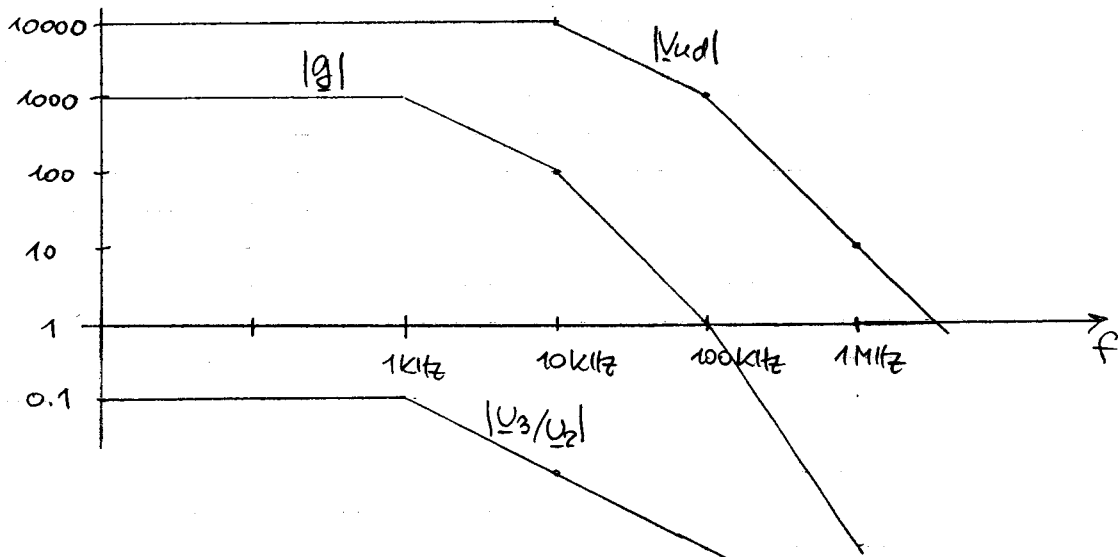
- 4.1. Bestimmen Sie die Arbeitspunkte der Transistoren
- 4.2. Ermitteln Sie $\underline{U}_2 / \underline{U}_1$ wenn R_L als sehr hochohmig angenommen werden kann.
- 4.3. Geben Sie $U_{2\text{max}}$ für größtmögliche unverzerrte Aussteuerung an, wenn $R_L = 100 \Omega$ ist.



1. Aufgabe: $R_3 = 1k \parallel 9k$

$$U_2/U_1 = -V_{ud}; \quad U_3/U_2 = \frac{R_1 \cdot 1/j\omega C}{R_1 + 1/j\omega C} \cdot \frac{1}{R_2 + \dots} = \frac{R_1}{R_2(1+j\omega R_1 C) + R_1}$$

$$\underline{g} = \frac{1}{1 + R_2/R_1 + j\omega C R_2} \cdot \frac{-10000}{(1+jf/10k) (1+jf/100k)}$$



2. Aufgabe: $V_{B,Q1} = 8.4V$; $V_{B,Q2} = 6V$; $I_{C,Q1} = I_{C,Q2} = 2mA$;
 $V_{CE,Q1} = 2.3V$; $V_{EC,Q2} = 3.7V$;
 $R_{C,opt} = 3V/2mA = 1.5k\Omega$;
 $Z_y = 13\Omega$; $Z_x = 2.6k\Omega$; $U_2 = U_1/2 \cdot \frac{2000}{13} = U_1 \cdot 77$

3. Aufgabe: $U_1 = 0V$; M_1 gesperrt; $10V = -U_{GS,M2} + I_D \cdot 20k$
 $I_D = \frac{10V + U_{GS,M2}}{20k}$; $I_D = 0.38mA$;
 $U_2 = 2.6V$;

$U_2 = 0V$; M_2 gesättigt;
Annahme M_1 gesättigt: $0.16 \frac{mA}{V^2} \cdot (U_1 - 1V)^2 + 0.25mA = 0.16 \frac{mA}{V^2} \cdot 16$
 $(U_1 - 1V)^2 = 16V^2 - 1.56V^2$
 $U_1 = 4.8V$

$U_2 = 0V$; $U_1 = 4.8V$; $I_{D,M1} = 2.3mA$; $g_{m,M1} = 1.2mA/V$
 $|I_{D,M2}| = 2.56mA$; $g_{m,M2} = 1.28mA/V$

$\frac{\Delta U_2}{\Delta U_1} = g_{m,M1} \cdot 20k \cdot \frac{1}{g_{m,M2}} = \frac{750\Omega}{830\Omega} = 0.9$;

4. Aufgabe:

	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	Q_7
$I_C (mA)$	1	1	1	1	2	2	2
$ V_{CE} (V)$	9.7	5.7V	0.7	4.7	9	0.7	5.7

$U_{4+} = \frac{U_1}{4} \cdot 2 \cdot \frac{1}{26\Omega} \cdot 10k = U_1 \cdot 192 = U_2$

$U_{2,max} / R_L = (10V - U_{2,max}) / 2.15k$

$U_{2,max} (1 + \frac{100}{2.15k}) = 10V \cdot \frac{100}{2.15k}$; $U_{2,max} = 0.44V$;