

Operationsverstärker mit diskreten Bauelementen

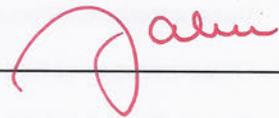
Studiengang: KMT

Datum: 04.10.2011

Set: 5.09 Platz: 4

Teilnehmer: Michael Goldbach, Jürgen Döflinger

12.10.11

2.7


Zielstellung

- Untersuchung einer mehrstufigen Schaltung
- Ermittlung von Pegel- und Signalverläufen
- Ermittlung von Grundeigenschaften eines Operationsverstärkers

1. Begriffe und Formelzeichen

Emitterschaltung, Differenzverstärker, Gleichstromkopplung, Differenzeingangsspannung U_D , Gleichakteingangsspannung U_{gl} , Differenzverstärkung A_D , Gleichaktverstärkung A_{Gl} , invertierender Eingang, nichtinvertierender Eingang, Amplitudenfrequenzgang, Phasenfrequenzgang, Grenzfrequenz f_g , Transitfrequenz f_T

2. Versuchsvorbereitung

- 2.1. Wiederholen Sie den Vorlesungsabschnitt "Differenzverstärker". Machen Sie sich mit den in Punkt 1. genannten Begriffen und Formelzeichen vertraut.
- 2.2. Gegeben ist die Schaltung nach Bild 1. Welche Spannungen gegen Masse liegen an den drei Elektroden des Si-Transistors ($B=200$) an? Wie groß ist U_{CB} ?
 An welches negative Potential muß der Emitterwiderstand R_E gelegt werden, damit die Spannung an der Basis 0 V beträgt?
 Welche Spannungswerte stellen sich am Transistor ein, wenn dessen Emitterstrom durch eine ideale Stromquelle auf $I_K=1\text{ mA}$ konstant gehalten wird und die Basis an -1 V gelegt wird (für diesen Fall entfällt der Emitterwiderstand und der Masseanschluß)?

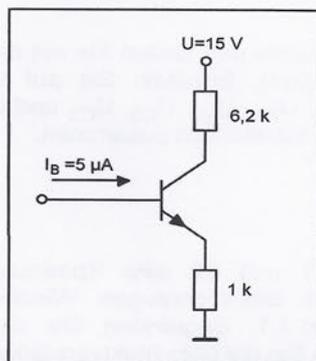


Bild 1: Schaltung zu Punkt 2.2.

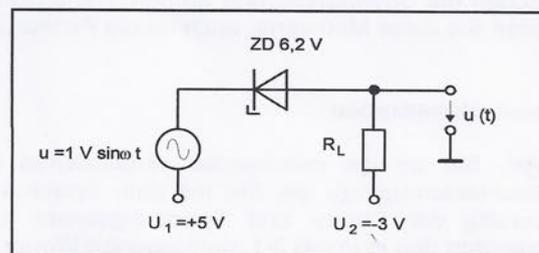


Bild 2: Schaltung zu Punkt 2.3.

- 2.3. Stellen Sie den zeitlichen Spannungsverlauf $u(t)$ für die Schaltung in Bild 2 grafisch dar. R_L ist so bemessen, daß immer $I_Z > I_{qmin}$ gilt.

- 2.4. Beschreiben Sie die Wirkungsweise der Meßschaltung im Bild 3. Welche Aufgaben haben die Schaltelemente R_5 , R_6 und D_1 ?
- 2.5. Bereiten Sie auf Papier mit einfachlogarithmischer Teilung Diagramme zur Darstellung der Meßwerte vor. Es empfiehlt sich folgende Einteilung der Achsen:

f:	$1 \text{ kHz} \leq f \leq 1 \text{ MHz}$	log. geteilt mit 5 cm/Dekade *
A:	$-10 \text{ dB} \leq A \leq +40 \text{ dB}$	5 dB/cm
φ :	$0^\circ \leq \varphi \leq -150^\circ$	20 grd/cm

(* oder handelsübliches Papier mit mindestens der angegebenen Anzahl von Dekaden)

3. Versuchsdurchführung und -auswertung

3.1. Offsetkompensation

Bauen Sie die Schaltung des Operationsverstärkers nach Bild 3 und des Spannungsteilers nach Bild 4 auf. Aufgrund der großen Anzahl der benötigten Bauelemente empfiehlt sich ein Aufbau entsprechend der Vorlage nach Bild 6. Die nicht eingezeichneten Verbindungen sind mit Schalteleitungen zu realisieren. Für R_5 verwenden Sie ein Wendelpotentiometer und für R_7 einen einstellbaren Widerstand, den Sie zuvor auf den angegebenen Wert einstellen.

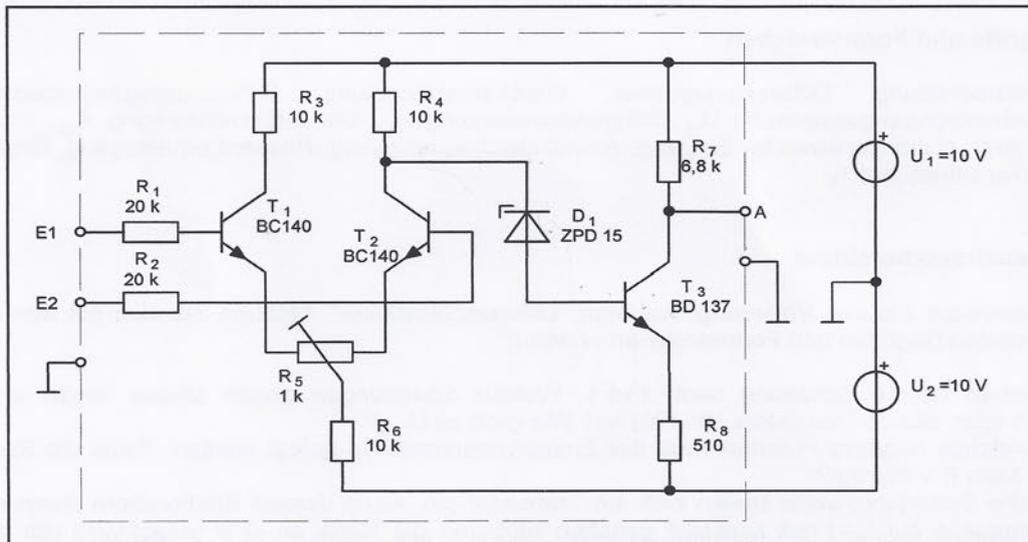


Bild 3: Operationsverstärker mit diskreten Bauelementen

Verbinden Sie die beiden Eingangsklemmen E1 und E2 mit Masse und stellen Sie mit dem Widerstand R_5 die Ausgangsspannung auf Null ein (Offsetkompensation). Ermitteln Sie auf Massepotential bezogen die Spannungswerte an den Transistoren U_{C1} , U_{C2} , U_{E1} , U_{E2} , U_{B3} , U_{C3} und den Strom I_{R6} . Stellen Sie diese Meßwerte, auch für die Punkte 3.2. und 3.3., tabellarisch zusammen.

3.2. Gleichtaktverhalten

Legen Sie an die miteinander verbundenen Klemmen E1 und E2 eine Spannung von +0,2 V (Gleichtakterregung), die Sie mit dem Spannungsteiler nach Bild 4 erzeugen. Wiederholen Sie die Messung der Strom- und Spannungswerte wie im Punkt 3.1. Begründen Sie die Änderungen gegenüber den in Punkt 3.1. gemessenen Werten. Berechnen Sie die Gleichtaktverstärkung.

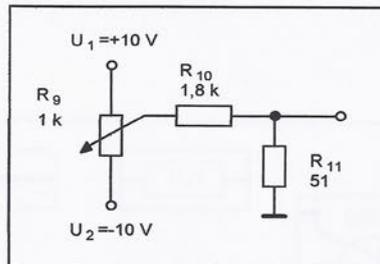


Bild 4: Spannungsteiler

3.3. Verhalten bei Differenzsignalen

Verbinden Sie E1 mit Masse und legen Sie an den Eingang E2 eine Spannung von +0,2 V ein. Messen Sie wiederum die angegebenen Strom- und Spannungswerte. Begründen Sie die Unterschiede zu den Ergebnissen von Punkt 3.1. und 3.2. Ermitteln Sie die Differenzverstärkung.

3.4. Übertragungskennlinie

Nehmen Sie bei gleicher Beschaltung der Eingänge wie in Punkt 3.3. Meßwerte für die Funktion $U_a = f(U_{e2}) = f(U_D)$ im Bereich $-0,2 \text{ V} \leq U_{e2} \leq +0,2 \text{ V}$ auf. Stellen Sie die ermittelten Werte in einem geeigneten Diagramm dar.

Wie kann in diesem Diagramm die Differenzverstärkung ermittelt werden und wie verändert eine nicht kompensierte Offsetspannung das Diagramm? Bestimmen Sie die Differenzverstärkung.

Ordnen Sie im Bild 5 anhand der Übertragungsfunktion den beiden Eingängen E1 und E2 die entsprechenden Funktionen (invertierend oder nichtinvertierend) zu.

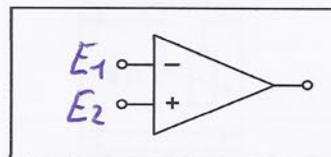


Bild 5: Schaltbild Operationsverstärker

3.5. Frequenzgang

Legen Sie an den Eingang E2 eine sinusförmige Spannung mit $U_e = 0,2 \text{ V}_{\text{ss}}$ und E1 an Masse. Ermitteln Sie für die folgenden Frequenzen die Verstärkung und den Phasenwinkel und stellen Sie Amplituden- und Phasenfrequenzgang grafisch in dem vorbereiteten Diagramm dar. Begründen Sie die Verläufe. Ermitteln Sie aus beiden Diagrammen die Grenzfrequenz. Treffen Sie aus dem Verlauf des Amplitudenfrequenzganges eine Aussage über die Transitfrequenz.

f [kHz]	1	2	5	10	20	50	100
$U_a [V_{\text{ss}}]$	13,96	13,96	13,96	13,26	11,70	6,60	3,33
A [dB]	36,88	36,88	36,88	36,43	35,34	30,37	24,43
$\Delta t [\mu\text{s}]$	0	6	5	5,5	5,2	4,5	3,2
$\varphi [^\circ]$	0	-4,32	-9	-19,8	-37,44	-81	-115,2

$$f_g = 26 \text{ kHz}$$

$$f_T = 1,87 \text{ MHz}$$

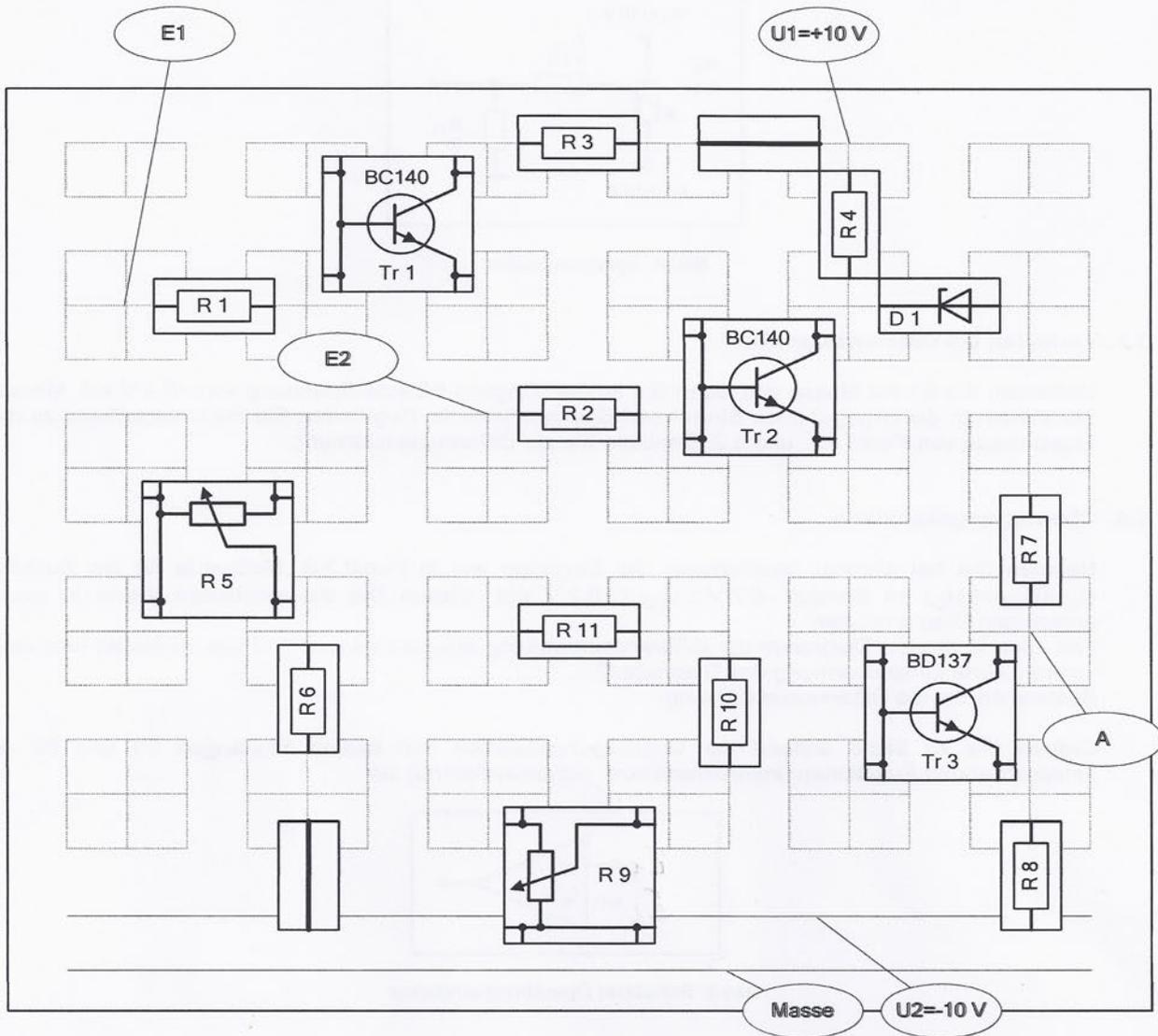
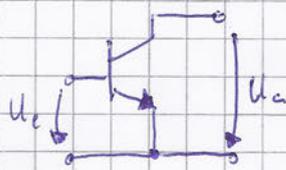


Bild 6: Vorschlag zum Schaltungsaufbau

2.

2.1.

Emitterschaltung: Ein- & Ausgangssignal haben als gemeinsamen Bezugspunkt den Emittoranschluß des Transistors.



Eingangssignal liegt zwischen Basis und Emittor

Ausgangssignal liegt zwischen Kollektor und Emittor

Differenzverstärker: Verstärkt die Differenz der beiden Eingangssignale
fließstromkopplung (auch galvanische Kopplung): Verstärkerstufen werden direkt miteinander verbunden \rightarrow keine induktiven oder kapazitiven Übertrager dazwischen.

$$U_o = U_p - U_n$$

$$U_{ge} = \frac{U_p + U_n}{2}$$

$$A_o = \left. \frac{\Delta U_a}{\Delta U_o} \right|_{\Delta U_{ge} = 0V}$$

$$A_{ge} = \left. \frac{\Delta U_a}{\Delta U_{ge}} \right|_{\Delta U_o = 0V}$$

$f_g \Rightarrow$ Oberhalb der f_g nimmt Verlaufverstärkung mit 20 dB/100 Dekaden ab.

$f_T \Rightarrow$ Frequenz bei der Diff. Verstärkung = 0 dB

$$|A_o| = 1$$

2.2.

$$I_C = I_B \cdot \beta = 5 \mu\text{A} \cdot 200 = 1 \text{mA}$$

$$I_E = I_B + I_C = 5 \mu\text{A} + 1 \text{mA} = 1,005 \text{mA}$$

$$U_{RC} = I_C \cdot 6,2 \text{k}\Omega = 1 \text{mA} \cdot 6,2 \text{k}\Omega = 6,2 \text{V}$$

$$U_{RE} = I_E \cdot 1 \text{k}\Omega = 1,005 \text{mA} \cdot 1 \text{k}\Omega = 1,005 \text{V}$$

$$U_{CE} = U - (U_{RC} + U_{RE}) = 15 \text{V} - (6,2 \text{V} + 1,005 \text{V}) = 7,795 \text{V}$$

$$U_E = 15 \text{V}$$

$$U_{BE} = 15 \text{V} - U_{RE} = 15 \text{V} - 1,005 \text{V} = 13,995 \text{V}$$

$$U_{CB} = U_{CE} - U_{BE} = -6,2 \text{V} = -U_{RC}$$

gefragt war

$$U_C = ?$$

$$U_E = ?$$

$$U_B = ?$$

$$U_B = -1 \text{V}$$

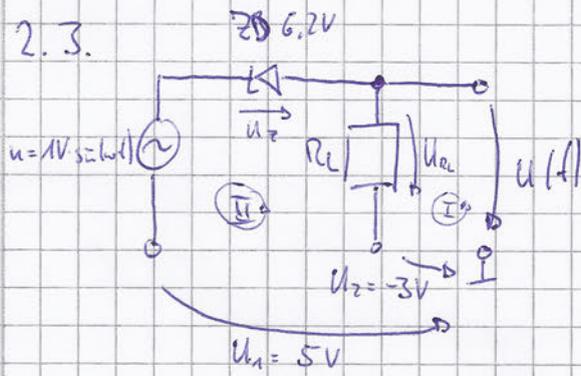
$$U_{RC} = I_C \cdot R_C = (I_K - I_B) \cdot R_C$$

$$I_K = I_E = I_C = 1 \text{mA}$$

$$U_C = U_A - U_{RC}$$

$$U_{RC} = I_C \cdot 6,2 \text{k}\Omega = 1 \text{mA} \cdot 6,2 \text{k}\Omega = 6,2 \text{V} \quad f.$$

2.3.



$$I \quad u(t) = U_{RL} - 3V \quad U_{RL} = 3V + u(t)$$

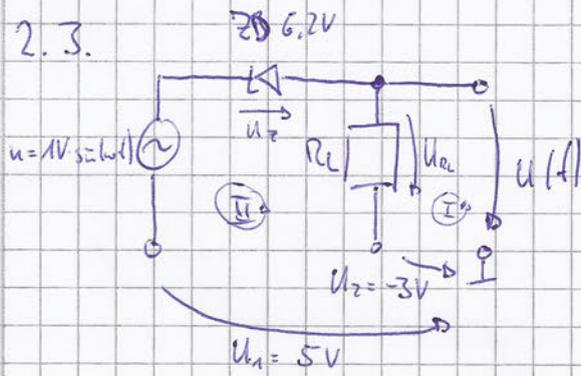
$$II \quad U_{RL} = U_z + U_{sin} + 3V$$

$$U_{RL} = 1,8V + U_{sin}$$

$$u(t) = 1,8V + U_{sin} - 3V = -1,2V + 1V \cdot \sin(\omega t)$$

grafische Darstellung?
s. eine Seite weiter

2.3.



$$I \quad u(t) = U_{RL} - 3V \quad U_{RL} = 3V + u(t)$$

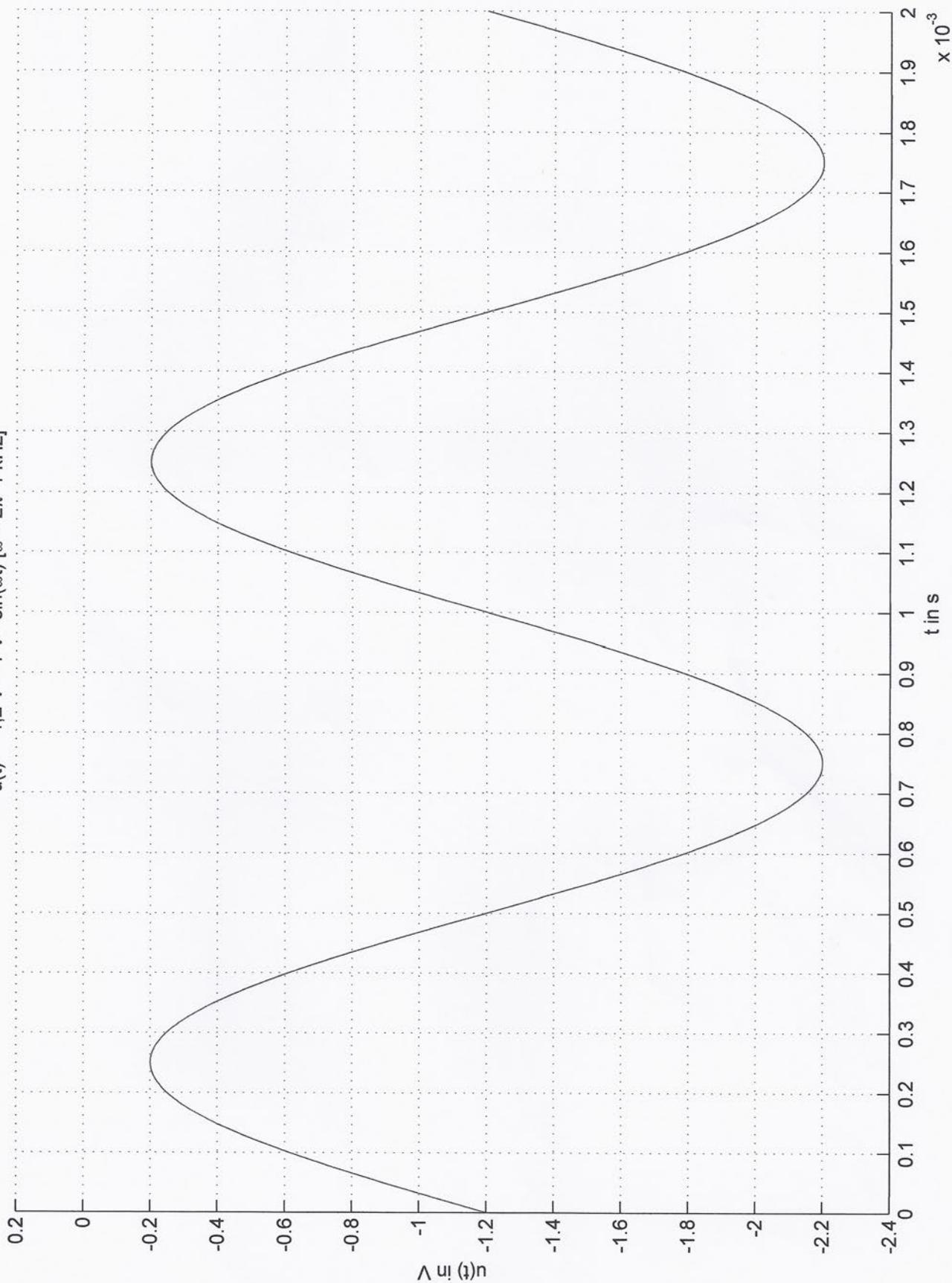
$$II \quad U_{RL} = U_z + U_{sin} + 3V$$

$$U_{RL} = 1,8V + U_{sin}$$

$$u(t) = 1,8V + U_{sin} - 3V = -1,2V + 1V \cdot \sin(\omega t)$$

grafische Darstellung?
s. eine Seite weiter

$$u(t) = -1,2 \text{ V} + 1 \text{ V} \cdot \sin(\omega t) \quad [\omega = 2\pi \cdot 1 \text{ kHz}]$$



2.4. D_z Die Z-Diode dient der Erhöhung der Spannungsstabilität. f.

R_s Poti regelt Verteilung des Konstantstroms ✓

Wenn an beiden Eingängen die gleiche Spannung anliegt (flüchtlastsp.) soll bei flüchtlast der Transistor $U_a = 0V$ sein. Doch aufgrund kleiner Unterschiede kann U_a von $0V$ abweichen. Dies kann durch R_s kompensiert werden.

R_e Emittierwiderstand (sollte möglichst hochohmig sein). Er bestimmt Emittierstrom I_e in Abhängigkeit von der Betriebsspannung ✓

Z-Diode dient der Potentialverschiebung!

	U_{C1}	U_{C2}	U_{E1}	U_{E2}	U_{B3}	U_{C3}	I_{R6}
3.1.	5,02V	6,17V	-0,633V	-0,757V	-8,61V	0,08V	0,89mA
3.2.	4,90V	6,09V	-0,494V	-0,559V	-8,69V	1,18V	0,90mA
3.3.	6,18V	5,02V	-0,665V	-0,606V	-9,57V	10,01V	0,90mA

$$A_{GE} = \frac{\Delta U_G}{\Delta U_E} = \frac{0,08V - 1,18V}{0V - 0,2V}$$

$$\underline{\underline{A_{GE} = 5,5}}$$

$$A_D = \frac{\Delta U_G}{\Delta U_D} = \frac{0,08V - 10,01V}{0V - 0,2V}$$

$$\underline{\underline{A_D = 49,65}}$$

3.2.

Die Spannung an den Basen der Transistoren 1 und 2 erhöht sich. Dadurch erhöht sich auch U_{BE} . Da I_{R6} konstant bleibt vergrößert sich U_C . Die Spannung an der Z-Diode sinkt nicht auch U_{B3} und U_{C3} erhöht sich.

3.3.

Durch die unterschiedliche Spannungsverläufe an die Basen ergeben sich auch unterschiedliche Spannungswerte und unterschiedliche Änderungen für die Kollektorspannungen. So erhöht sich U_{C1} und sinkt U_{C2} . Ebenso zu beobachten, dass U_{C3} sich stark erhöht. Begründen lässt sich dies mit der Spannung des T_3 .

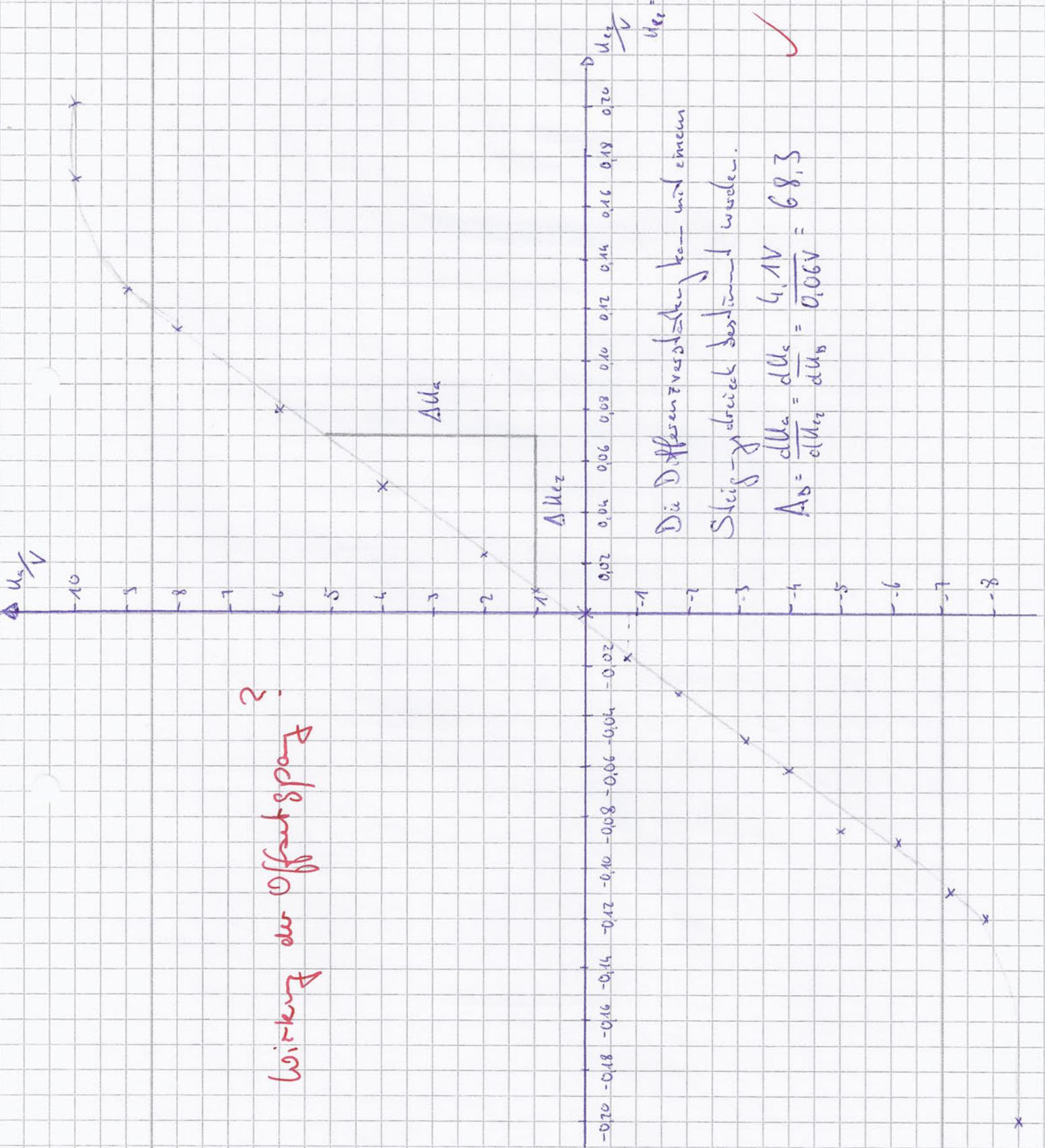
3.4

$u_{ez/v}$	-0,20	-0,12	-0,11	-0,092	-0,087	-0,063
$u_{a/v}$	-8,5	-7,9	-7,08	-6,03	-5,00	-4,00

$u_{ez/v}$	-0,050	-0,032	-0,018	0	0,008	0,023
$u_{a/v}$	-3,2	-1,9	-0,9	0	1,0	2

$u_{ez/v}$	0,05	0,08	0,111	0,127	0,17	0,20
$u_{a/v}$	4	6	8	9	10	10

3.4.



Wirkung der Offsetspanne?

Die Differenzverstärkung kann mit einem Steig-F abtrieb bestimmt werden.

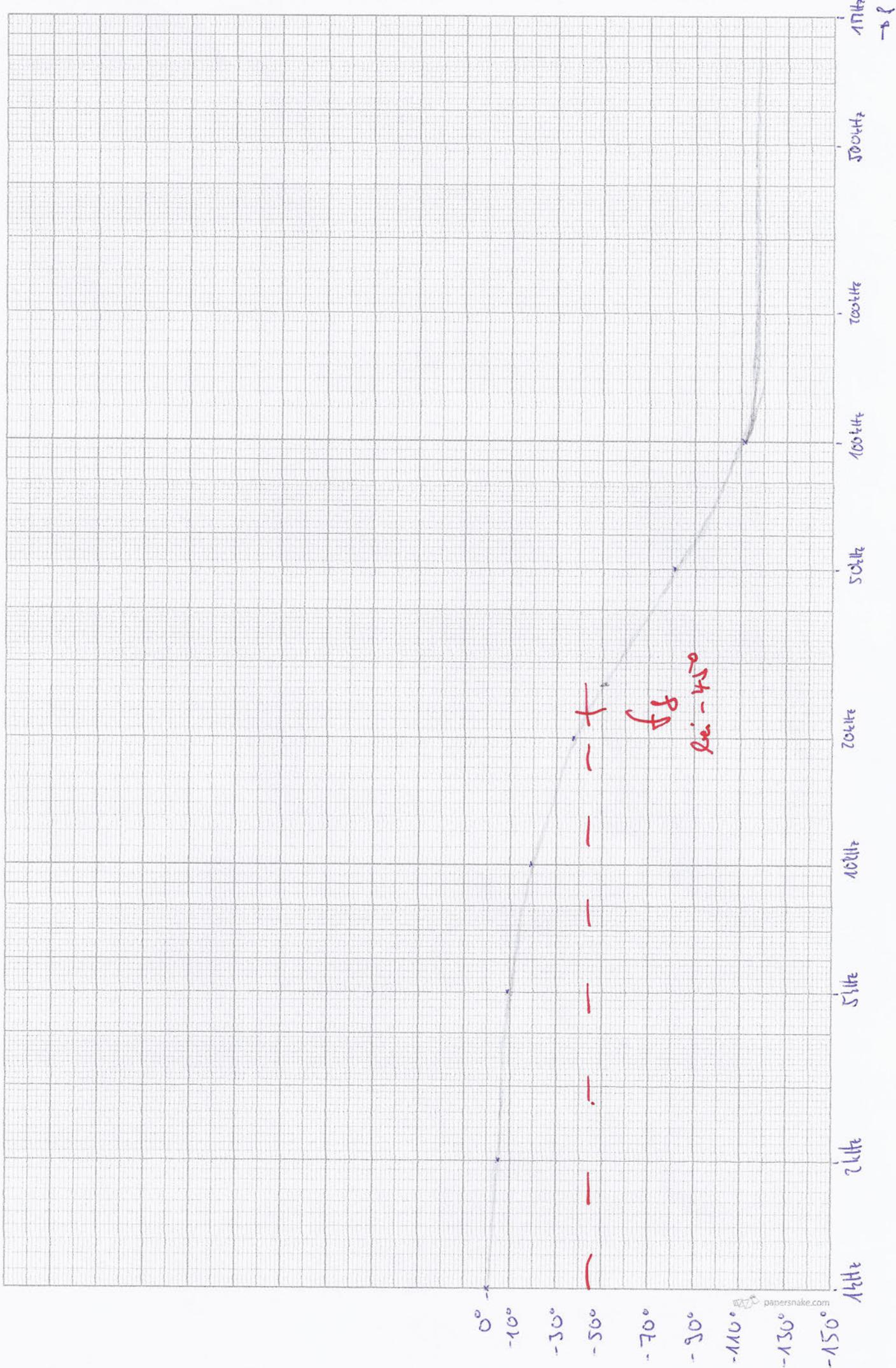
$$A_{dB} = \frac{dU_a}{dU_{ez}} = \frac{4,1V}{0,06V} = 68,3$$



$U_{ez} = -U_a$

3.5

3.5.

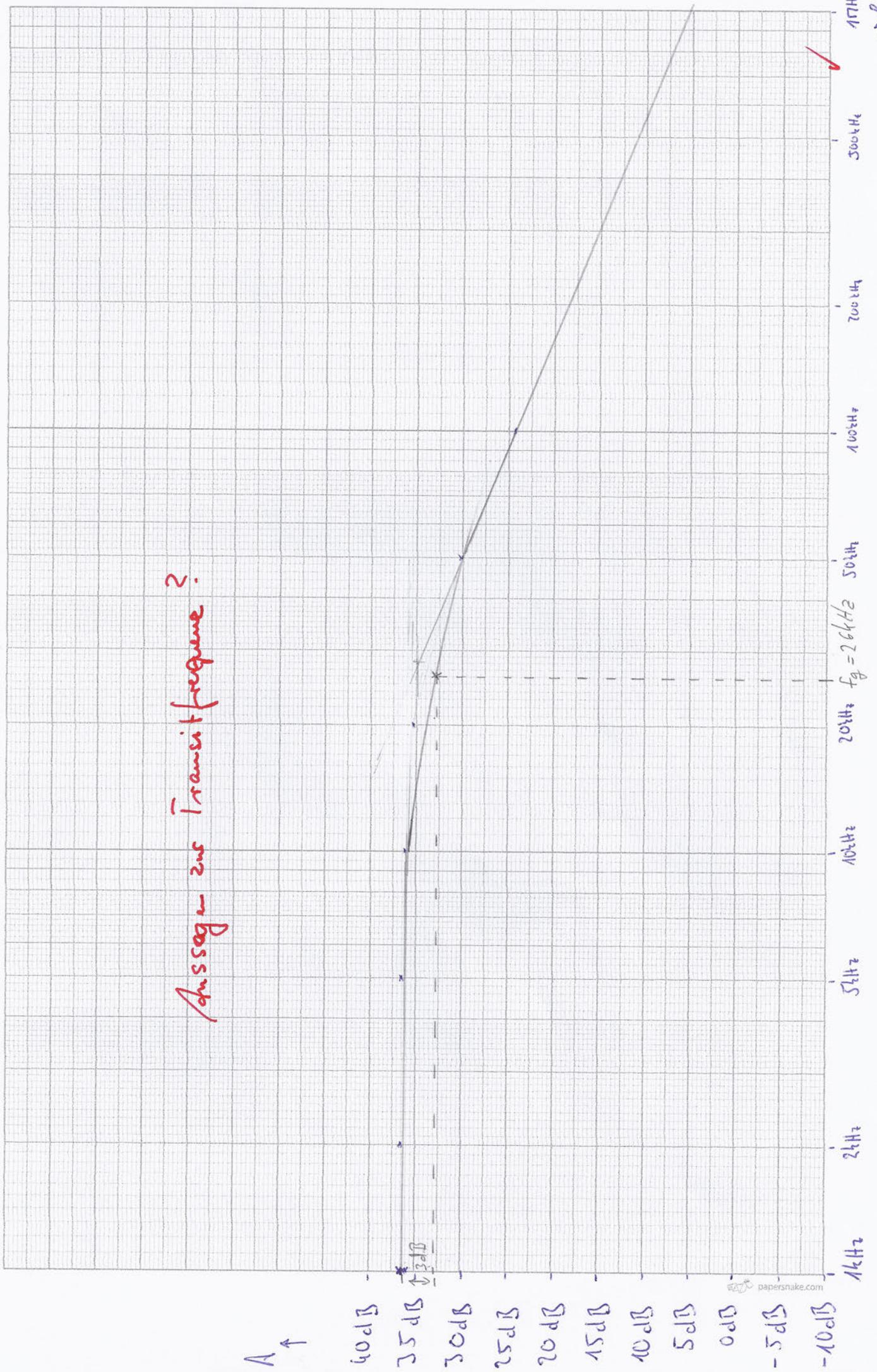


q₁

3.5.

3.5

Aussagen zur Transitfrequenz?



A ↑

40 dB
 35 dB
 30 dB
 25 dB
 20 dB
 15 dB
 10 dB
 5 dB
 0 dB
 -5 dB
 -10 dB

100 kHz
→ f

500 kHz

200 kHz

100 kHz

50 kHz

20 kHz

10 kHz

5 kHz

2 kHz

1 kHz