

Der Operationsverstärker
Eigenschaften und Grundsaltungen

Studiengang: KMT

Datum: 18.10.2011

Set: 5.09 Platz: _____

Teilnehmer: Michael Goldbach, Jürgen Döfking

31.10.11

2,3
alm

Zielstellung

- Ermittlung der statischen Parameter des Operationsverstärkers $\mu A 741$
- Untersuchung der Eigenschaften der Grundsaltungen als invertierender und nichtinvertierender Verstärker

1. Begriffe und Formelzeichen

Operationsverstärker, Differenzeingangswiderstand, Gleichakteingangswiderstand, Ausgangswiderstand (mit und ohne Gegenkopplung), Verstärkung, offene Verstärkung, Eingangsruhestrom, Eingangsoffsetstrom, Offsetspannung, Biasstrom, Gleichtaktverstärkung, Gleichtaktunterdrückung, invertierender Verstärker, nichtinvertierender Verstärker, Spannungsfolger

$A, A_D, CMRR, U_{asat}, A_{GL}, |G|, r_D, r_a, r_a'$

2. Versuchsvorbereitung

- 2.1. Wiederholen Sie die Vorlesung zu den o.g. Themen. Machen Sie sich mit den in Punkt 1. genannten Begriffen und Formelzeichen vertraut. Wiederholen Sie die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Begriffen.
- 2.2. Informieren Sie sich aus Datenblättern über Grenzwerte und typische Kennwerte des Operationsverstärkers (OV) $\mu A 741$. Tragen Sie die Werte in das beiliegende Datenblatt ein.
- 2.3. Der Ausgang eines OV reagiert auf Belastung wie ein aktiver Zweipol. Verwenden Sie die Gleichung zur Beschreibung des aktiven Zweipols, um die Berechnung des Ausgangswiderstandes herzuleiten. Entwerfen Sie das Schaltbild zur Ermittlung des Ausgangswiderstandes für einen nicht gegengekoppelten OV. Welche Messungen müssen durchgeführt werden?
- 2.4. Leiten Sie die Gleichung /1/ zur Berechnung des Differenzeingangswiderstandes r_D aus der Schaltung im Bild 1 unter Berücksichtigung des Innenwiderstandes des Meßgerätes her.
- 2.5. Stellen Sie qualitativ die Funktion $U_a=f(U_e)$ des invertierenden und des nichtinvertierenden Verstärkers bei offener Verstärkung dar. In welchen Größenordnungen sind die Eingangs- und Ausgangsspannungen zu erwarten? Ziehen Sie daraus Schlußfolgerungen für die Teilung der Koordinaten eines Koordinatensystemes.
Berechnen Sie überschlagsmäßig aus der Meßschaltung im Bild 3 den Einstellbereich der Spannung U_D .
Stellen Sie anhand der Skizzen dar, wie sich grafisch die Offsetspannung und die offene Verstärkung ermitteln lassen.
- 2.6. Stellen Sie die mathematischen Zusammenhänge dar, mit denen sich die Gleichtaktverstärkung A_{GI} und die Gleichtaktunterdrückung $|G|$ (absolut und in dB) aus den Größen U_a und U_{GI} ermitteln lassen. Leiten Sie die Gleichung /4/ her.

Beachten Sie dabei, daß eine Messung von A_{GI} bei offener Verstärkung wegen der Offsetspannung nicht möglich ist. Deshalb weist die Schaltung eine Verstärkung auf. Auf Grund der Rückkopplung wird durch das Gleichtaktausgangssignal eine Differenzeingangsspannung gebildet, die wiederum mit verstärkt wird. Dieser Anteil muß bei der Berechnung mit berücksichtigt werden.

- 2.7. Entwerfen Sie die Schaltbilder des rückgekoppelten invertierenden und des nichtinvertierenden Verstärkers mit OV zur Aufnahme der Funktion $U_a=f(U_e)$. Leiten Sie aus den Schaltungen die Berechnung der Verstärkung A her.

Berechnen Sie für beide Schaltungen die Verstärkungen für $R_1=1\text{ k}\Omega$ und den Gegenkopplungswiderstand $R_2=(10\text{ k}\Omega; 51\text{ k}\Omega)$. Berechnen Sie die erforderlichen Eingangsspannungen, wenn der Ausgangsspannungsbereich $-10\text{ V} \leq U_a \leq +10\text{ V}$ beträgt. Bereiten Sie auf der Grundlage der berechneten Werte je ein Koordinatensystem auf Millimeterpapier vor.

- 2.8. Bereiten Sie auf Millimeterpapier ein Diagramm zur Darstellung der Meßwerte vor. Es empfiehlt sich folgende Einteilung der Achsen:

zu Punkt 3.5. U_{GI} : $0\text{ V} \leq U_{GI} \leq 7\text{ V}$ 0,5 V/cm
 U_a : $0\text{ V} \leq U_a \leq 1\text{ V}$ 0,1 V/cm

3. Versuchsdurchführung und -auswertung

3.1. Ermittlung des Ausgangswiderstandes

Bauen Sie die Schaltung nach Ihrem Entwurf in Punkt 2.3. auf (Betriebsspannung $U_b=\pm 12\text{ V}$). Legen Sie an den Eingang eine Spannung die garantiert, daß am Ausgang die Sättigungsspannung erreicht wird. Messen und notieren Sie die Ausgangsspannung.

Belasten Sie den Ausgang mit einem Strom von etwa 10 mA. Bestimmen Sie aus der Änderung der Ausgangsspannung den Ausgangswiderstand des OV. Übernehmen Sie den Wert in das Datenblatt.

3.2. Bestimmung des Differenzeingangswiderstandes

Bauen Sie die Schaltung nach Bild 1 auf. Diskutieren Sie den Einfluß des Eingangswiderstandes der Multimeter auf die Gleichung //, wenn dieser mit $>1\text{ G}\Omega$ angegeben ist?

Ermitteln Sie aus den Größen U_e und U_n den Differenzeingangswiderstand und nehmen Sie den Wert in das Datenblatt auf.

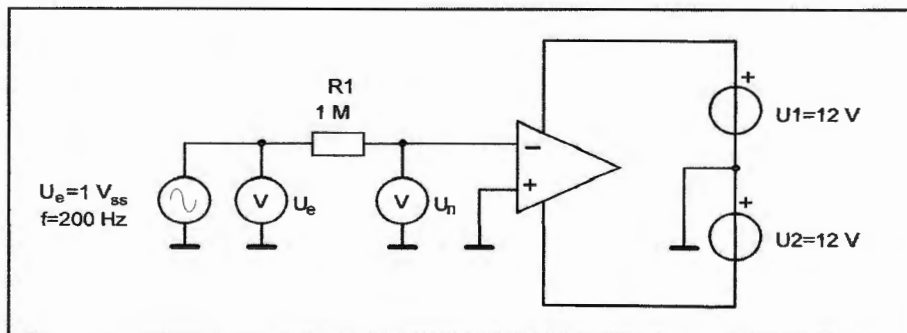


Bild 1: Meßschaltung zur Bestimmung des Differenzeingangswiderstandes

$$r_D = \frac{U_n \cdot R_1}{U_e} \cdot \frac{1}{1 - \frac{U_n}{U_e} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_M}\right)} \quad //$$

3.3. Bestimmung der Eingangsströme

Bauen Sie die Schaltung nach Bild 2 auf. Anstelle der eingezeichneten Schalter verwenden Sie Brücken. Beachten Sie beim Aufbau der Schaltung, daß Sie die Eingangsströme **nacheinander** bestimmen.

a) Öffnen Sie den Schalter S1 bei geschlossenem Schalter S2 und messen Sie U_a . Berechnen Sie den Eingangsstrom nach

$$I_{n0} = + \frac{U_a}{R1} \quad /2/$$

b) Öffnen Sie den Schalter S2 und schließen Sie S1. Berechnen Sie aus der gemessenen Ausgangsspannung den Eingangsstrom nach

$$I_{p0} = - \frac{U_a}{R2} \quad /3/$$

Bestimmen Sie aus den beiden Werten den arithmetischen Mittelwert (den Biasstrom) und den Eingangsoffsetstrom. Tragen Sie die Werte in das Datenblatt ein.

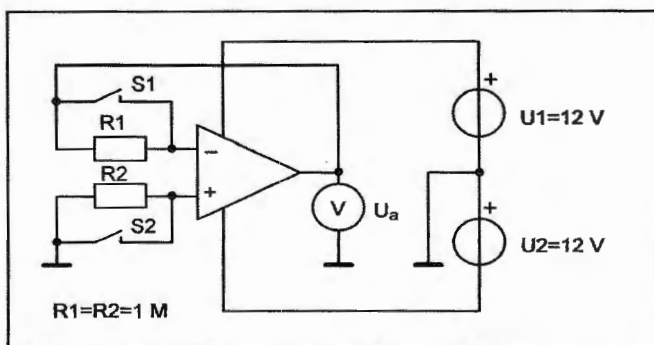


Bild 2: Meßschaltung zur Ermittlung der Eingangsströme

3.4. Bestimmung der offenen Verstärkung und der Offsetspannung

Bauen Sie die Schaltung nach Bild 3 auf. Verwenden Sie den OV 2 und für R2 ein Wendelpotentiometer.

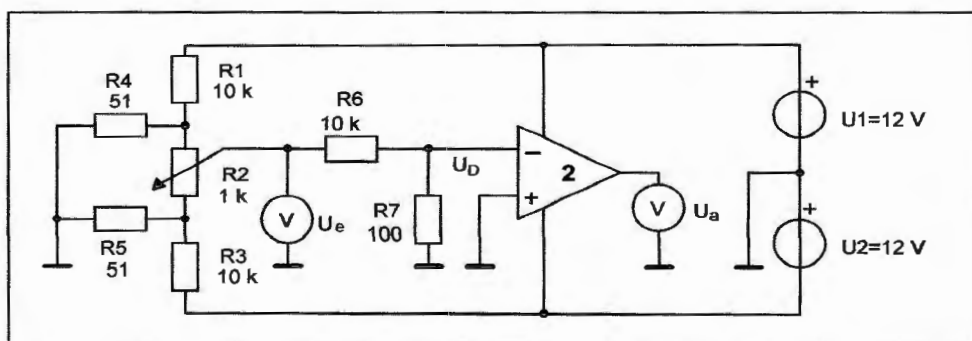


Bild 3: Meßschaltung zur Ermittlung der offenen Verstärkung und der Offsetspannung

Überprüfen Sie zunächst, ob der Umschaltpunkt der Ausgangsspannung im Regelbereich von R2 liegt. Korrigieren Sie andernfalls den Wert von R1 oder R3. Nehmen Sie Meßwerte für die Funktion $U_a=f(U_D)$

für den Bereich $-U_{\text{asat}} \leq U_a \leq +U_{\text{asat}}$ auf. (Hinweis: Beschränken Sie sich auf die Werte für U_D , bei denen U_{asat} gerade erreicht bzw. verlassen wird. Wiederholen Sie die Messung mindestens 5 mal und werten Sie die Ergebnisse statistisch aus.) Stellen Sie die Funktion in einem geeigneten Diagramm grafisch dar. Beachten Sie dabei den Spannungsteiler und dehnen Sie gegebenenfalls die Abszisse durch Unterdrückung kleiner Werte. Ermitteln Sie aus der Darstellung die Offsetspannung und die offene Verstärkung. Kennzeichnen Sie die Sättigungsspannungen und übernehmen Sie alle ermittelten Werte in das Datenblatt.

3.5. Gleichtaktunterdrückung

Bauen Sie die Schaltung nach Bild 4 auf. Bestimmen Sie zunächst den Wert, an dem die Ausgangsspannung steil ansteigt.

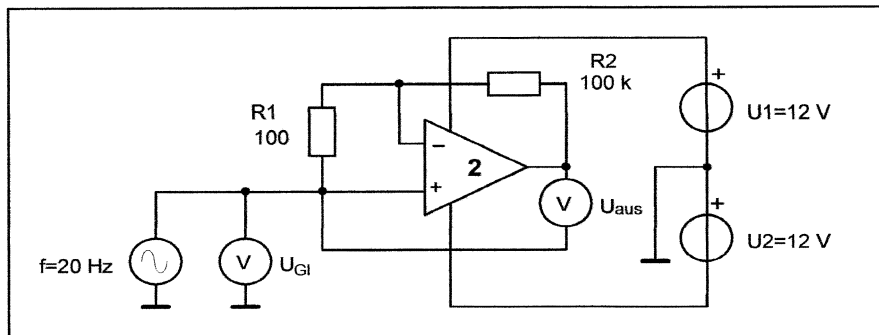


Bild 4: Meßschaltung zur Ermittlung der Gleichtaktunterdrückung

Nehmen Sie Meßwerte der Funktion $U_{\text{aus}}=f(U_{\text{Gl}})$ bis zum oben ermittelten Wert auf und stellen Sie die Funktion in dem vorgegebenen Bereich grafisch dar. Ermitteln Sie grafisch

$$A_{\text{Gl}} = \frac{\Delta U_{\text{aus}}}{\Delta U_{\text{Gl}}} \cdot \frac{A_D}{1000} \quad /4/$$

Berechnen Sie den Absolutwert der Gleichtaktunterdrückung und daraus den Wert in dB. Nehmen Sie die Werte in das Datenblatt auf.

3.6. Rückgekoppelter Operationsverstärker

Bauen Sie die Schaltung des invertierenden Verstärkers nach dem Entwurf aus Punkt 2.7. auf. Stellen Sie die Funktionen $U_a=f(U_e)$ für die dort angegebenen Widerstandskombinationen grafisch dar. Die Eingangsgleichspannung erzeugen Sie mit Hilfe eines einstellbaren Spannungsteilers aus den Betriebsspannungen. Ergänzen Sie die Darstellung für die Fälle $R_2=\infty$ und $R_2=0 \Omega$. Ermitteln Sie für alle Widerstandskombinationen die tatsächliche Verstärkung und vergleichen Sie die Meßwerte mit den in Punkt 2.7. berechneten Werten. Diskutieren Sie eventuelle Abweichungen.

Untersuchen Sie in der gleichen Art einen nichtinvertierenden Verstärker. Benutzen Sie zur Einstellung der Verstärkung die gleichen Widerstandswerte, wie sie für den invertierenden Verstärker verwendet wurden. Untersuchen Sie auch die Fälle für $R_2=\infty$ und $R_2=0 \Omega$. Welcher Sonderfall eines nichtinvertierenden Verstärkers entsteht dabei? Diskutieren Sie die Unterschiede zwischen den Funktionen des invertierenden und des nichtinvertierenden Verstärkers.

Der Operationsverstärker μA 741
Datenblatt

Studiengang: KMT

Datum: 18.10.2011

Set: 5.09 Platz: 4

Teilnehmer: Michael Goldbach ; Jürgen Döfninger

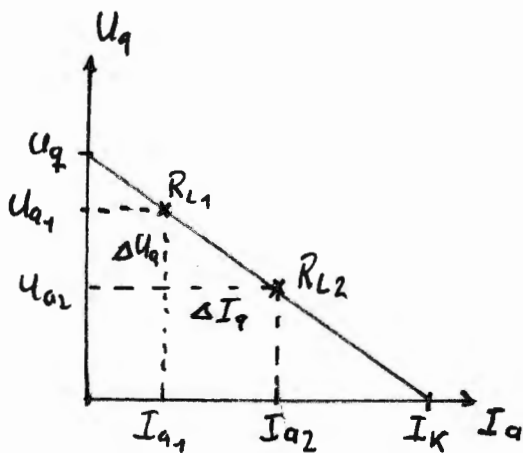
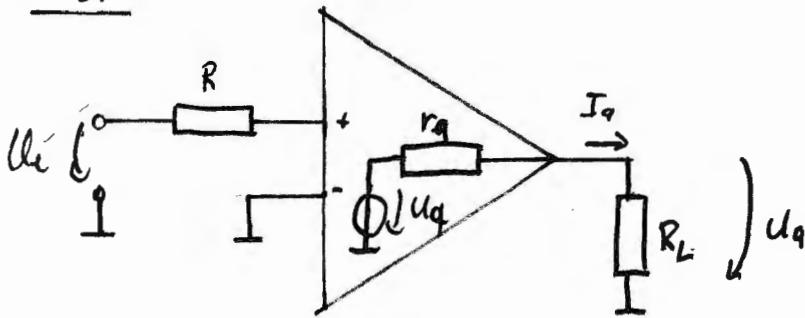
Grenzwerte

Supply Voltage	U_b	$\pm 22V$
Differential Input Voltage	U_D	$\pm 30V$
Input Voltage	U_e	$\pm 15V$
Internal Power Dissipation	P_{tot}	$85mW$
Operating Temperature Range	$\Delta\theta$	$-40 \text{ bis } 85^\circ C$
Output Current	I_{amax}	$\pm 20mA$

typische Kennwerte

		Herstellerangabe	Meßwert
Input Offset Voltage	U_o	$1mV$	$4,5V$ $2mV$
Input Offset Current	I_o	$20\mu A$	$1,31\mu A$
Input Bias Current	I_{Bias}	$80\mu A$	$34\mu A$
Input Resistance	r_e	$2M\Omega$	$0,35\Omega$
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	$90dB$	$41,8dB$
Supply Voltage Rejection Ratio	$\Delta U_o / \Delta U_b$	$30\mu V/V$	
Output Voltage +	$+U_{amax}$	$13V$	
Output Voltage -	$-U_{amax}$	$-13V$	
Output Resistance	r_a	75Ω	56Ω
Slew Rate	SR	$0,5V/\mu s$	
Open loop Gain	A_D	$200V/mV$	$792\frac{V}{mV}$
Open Loop Bandwidth	f_{gA}	$10Hz$	
Gain Bandwidth Product	f_T	$1MHz$	
Power Bandwidth	f_{PB}	$6,12kHz$	

2.3.



$$r_a = \frac{U_q}{I_k}$$

$$U_q = U_q \text{ bei } R_L \rightarrow \infty \Rightarrow I_a = 0 \Delta$$

$$U_q = \frac{\Delta U_q}{\Delta I_a} \cdot I_a + U_q$$

$$\text{bei } U_a = 0 \Rightarrow I_a = I_k \Rightarrow 0 = \frac{\Delta U_q}{\Delta I_a} \cdot I_k + U_q$$

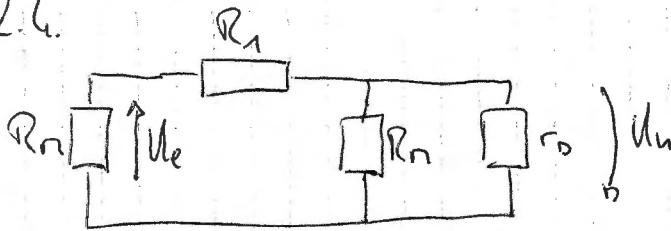
$$I_k = - \frac{\Delta I_a}{\Delta U_a} \cdot U_q$$

$$r_a = \frac{U_q}{I_k} = - \frac{U_q}{\frac{\Delta I_a}{\Delta U_a} \cdot U_q} = - \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}$$

$$r_a = - \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}$$

✓

2.6.



$$\frac{U_n}{U_e} = \frac{R_n \parallel r_D}{R_1 + R_n \parallel r_D} \quad / \cdot (R_1 + R_n \parallel r_D)$$

$$\frac{U_n}{U_e} \cdot R_1 + \frac{U_n}{U_e} R_n \parallel r_D = R_n \parallel r_D \quad / - \frac{U_n}{U_e} R_n \parallel r_D \text{ \& ausklammern}$$

$$\frac{U_n}{U_e} R_1 = R_n \parallel r_D \left(1 - \frac{U_n}{U_e}\right) \quad / : \left(1 - \frac{U_n}{U_e}\right)$$

$$\frac{\frac{U_n}{U_e} R_1}{1 - \frac{U_n}{U_e}} = R_n \parallel r_D = \frac{R_n \cdot r_D}{R_n + r_D} \quad / \cdot (R_n + r_D)$$

$$\frac{\frac{U_n}{U_e} R_1}{1 - \frac{U_n}{U_e}} \cdot R_n + \frac{\frac{U_n}{U_e} R_1}{1 - \frac{U_n}{U_e}} r_D = R_n \cdot r_D \quad / : R_n$$

$$\frac{\frac{U_n}{U_e} R_1}{1 - \frac{U_n}{U_e}} + \frac{\frac{U_n}{U_e} R_1}{1 - \frac{U_n}{U_e}} \cdot \frac{1}{R_n} \cdot r_D = r_D \quad / - \frac{\frac{U_n}{U_e} R_1}{1 - \frac{U_n}{U_e}} \cdot \frac{1}{R_n} \cdot r_D \text{ \& ausklammern}$$

$$\frac{\frac{U_n}{U_e} R_1}{1 - \frac{U_n}{U_e}} = r_D \left(1 - \frac{\frac{U_n}{U_e} R_1}{1 - \frac{U_n}{U_e}} \cdot \frac{1}{R_n}\right) \quad / : \left(1 - \frac{\frac{U_n}{U_e} R_1}{1 - \frac{U_n}{U_e}} \cdot \frac{1}{R_n}\right)$$

$$r_D = \frac{\frac{\frac{U_n}{U_e} R_1}{1 - \frac{U_n}{U_e}}}{1 - \frac{\frac{U_n}{U_e} R_1}{1 - \frac{U_n}{U_e}} \cdot \frac{1}{R_n}} = \frac{\frac{U_n}{U_e} R_1}{\frac{1 - \frac{U_n}{U_e}}{1 - \frac{U_n}{U_e}} R_n - \frac{U_n}{U_e} R_1}$$

/ gemeinsamer Nenner kürzen

$$\Gamma_D = \frac{\frac{U_n}{U_e} \cdot R_1 \cdot R_n}{\left(1 - \frac{U_n}{U_e}\right) R_n - \frac{U_n}{U_e} R_1} = \frac{\frac{U_n}{U_e} \cdot R_1 \cdot R_n}{R_n - \frac{U_n}{U_e} R_n - \frac{U_n}{U_e} R_1}$$

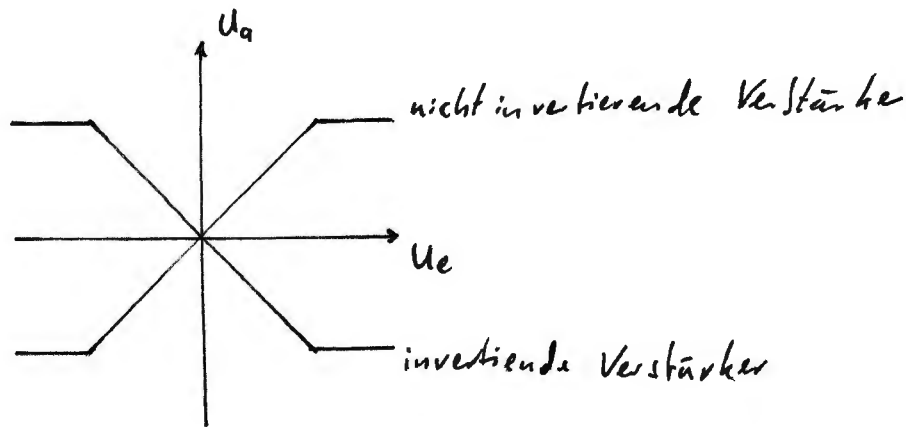
/ kürze R_n

$$\Gamma_D = \frac{\frac{U_n}{U_e} R_1}{1 - \frac{U_n}{U_e} - \frac{U_n R_1}{U_e R_n}}$$

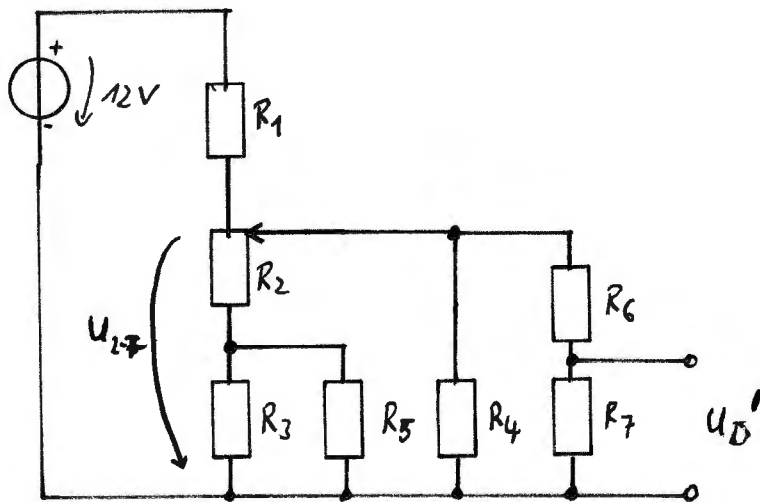
/ $\frac{U_n}{U_e}$ ausklammern

$$\Gamma_D = \frac{\frac{U_n}{U_e} R_1}{1 - \frac{U_n}{U_e} \left(1 + \frac{R_1}{R_n}\right)} \quad \checkmark$$

2.5.



a) Berechnung des U_D -Einstellbereiches mittels Superposition



$$R_{2-7} = [(R_3 \parallel R_5 + R_2) \parallel R_4] \parallel (R_6 + R_7)$$

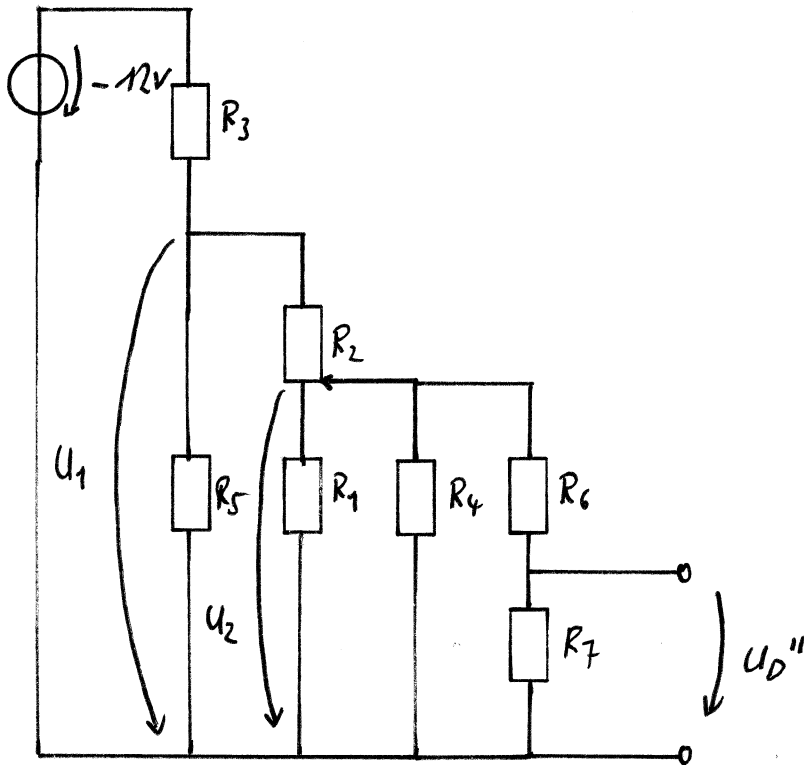
$$R_{2-7} = 48,41 \Omega$$

$$U_{2-7} = \frac{12V \cdot R_{2-7}}{R_1 + R_{2-7}} = \frac{12V \cdot 48,41 \Omega}{10k\Omega + 48,41 \Omega}$$

$$U_{2-7} = 57,812 \mu V$$

$$U_D' = \frac{57,812 \mu V \cdot R_7}{R_6 + R_7} = \frac{57,812 \mu V \cdot 100\Omega}{10k\Omega + 100\Omega}$$

$$U_D' \approx 572 \mu V \quad \text{stimmt nicht ganz!} \quad U_N = \frac{U_1 \cdot \frac{R_4}{R_1 + R_4}}{100} = 609 \mu V$$



$$R_a = [(R_6 + R_7) \parallel R_4] \parallel R_1 = 50,49 \Omega$$

$$R_b = R_a + R_2 = 1,05049 \text{ k}\Omega$$

$$R_c = R_b \parallel R_5 = 48,64 \Omega$$

$$U_1 = \frac{-12V \cdot R_c}{R_3 + R_c} = \frac{-12V \cdot 48,64 \Omega}{10 \text{ k}\Omega + 48,64 \Omega}$$

$$\underline{U_1 = -58,085 \mu\text{V}}$$

$$U_2 = \frac{U_1 \cdot R_a}{R_b} = \frac{-58,085 \mu\text{V} \cdot 50,49 \Omega}{1,05049 \text{ k}\Omega}$$

$$\underline{U_2 = -2,792 \mu\text{V}}$$

$$U_D'' = \frac{U_2 \cdot R_7}{R_6 + R_7} = \frac{-2,792 \mu\text{V} \cdot 100 \Omega}{10 \text{ k}\Omega + 100 \Omega}$$

$$\underline{U_D'' = -27,643 \mu\text{V} \approx -28 \mu\text{V}} \quad f.$$

zu 2.5.

$$U_D = U_D' + U_D''$$

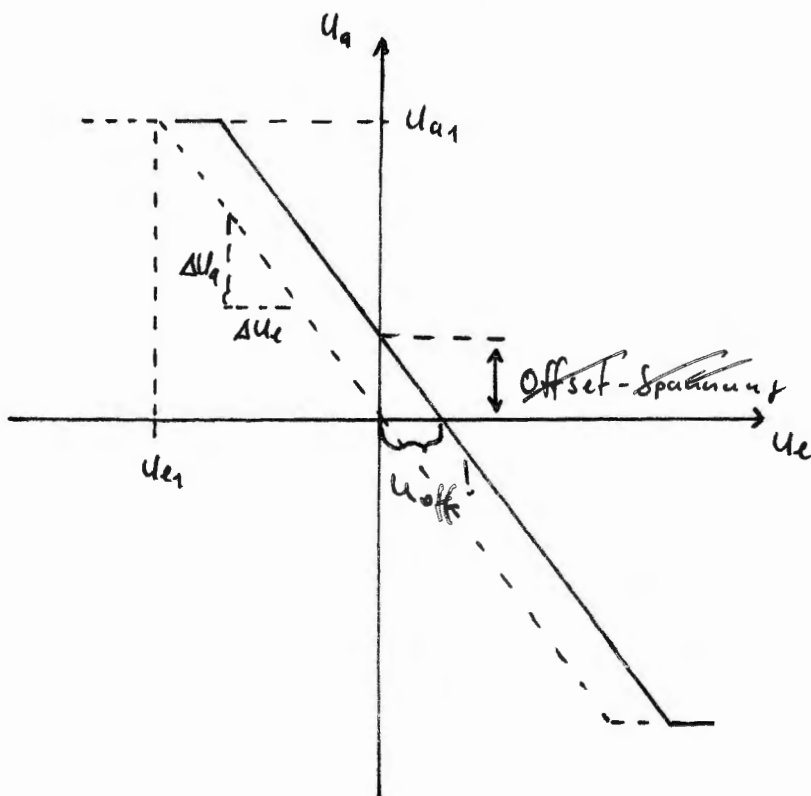
$$U_D = 572 \mu V + (-28 \mu V)$$

$$\underline{U_D = 544 \mu V} \text{ f.}$$

Siehe oben $U_N = -U_P$ also
Einstellbereich $-609 \mu V < u_e < +609 \mu V$

Aufgrund der Symmetrie ergibt sich für
 U_D ein Bereich von $\pm 544 \mu V$.

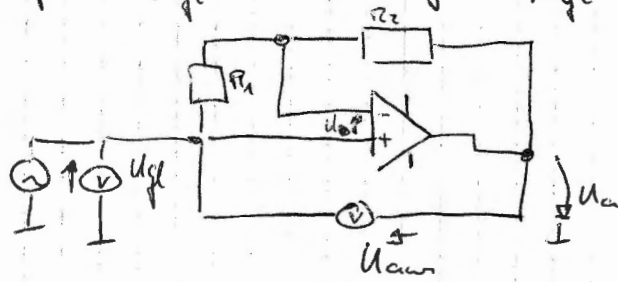
b) Offset-Spannung / offene Verstärkung



$$A_{DO} = \left| \frac{u_{a1}}{u_{e1}} \right| = \left| \frac{\Delta u_a}{\Delta u_e} \right|$$

2.6.

$$A_{ge} = \frac{U_a}{U_{ge}} \quad |G| = \frac{A_D}{A_{ge}} = A_D \cdot \frac{\Delta U_{ge}}{\Delta U_a} \Rightarrow A_D = \frac{U_a}{U_D}$$



$$R_1 = 100\Omega$$

$$R_2 = 100k\Omega$$

$$\Rightarrow A_{ge} = \frac{A_D \cdot \frac{U_a}{U_{ge}}}{\frac{U_a}{U_D}} = \frac{A_D \cdot U_a \cdot U_D}{U_{ge} \cdot U_a} = \frac{A_D \cdot U_D}{U_{ge}}$$

$$\frac{U_D}{U_{aus}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow U_D = U_{aus} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$A_{ge} = \frac{A_D \cdot U_{aus}}{U_{ge}} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{100\Omega}{100\Omega + 100k\Omega} = \frac{1}{1001}$$

$$A_{ge} = \frac{A_D \cdot \Delta U_{aus}}{\Delta U_{ge} \cdot 1000}$$

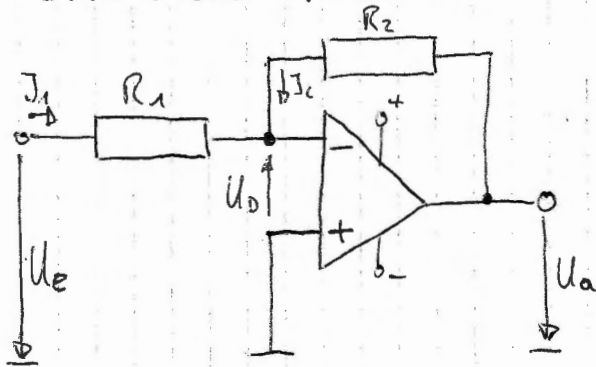
$$\approx \frac{1}{1000}$$

$$20 \log A_{ge} = 20 \log \left(\frac{U_a}{U_{ge}} \right) = (\log U_a - \log U_{ge}) \cdot 20$$

$$20 \log A_{ge} = 20 \log \left(\frac{A_D \cdot \Delta U_{aus}}{\Delta U_{ge} \cdot 1000} \right) = (\log A_D + \log \Delta U_{aus}) - (\log \Delta U_{ge} + \log 1000) \cdot 20$$

2.7.

Invertierender Verstärker



$$A = \frac{U_a}{U_e}$$

$$U_b \approx 0V$$

$$I_n, I_p \approx 0$$

$$I_1 + I_2 = 0$$

$$\frac{U_e - 0}{R_1} + \frac{U_a - 0}{R_2} = 0$$

$$\frac{U_e}{R_1} = -\frac{U_a}{R_2}$$

$$A = \frac{U_a}{U_e} = -\frac{R_2}{R_1} \quad \checkmark$$

$$R_1 = 1k\Omega \quad R_2 = 10k\Omega$$

$$U_e = U_a \cdot \left(-\frac{R_1}{R_2}\right) = (-10V \dots +10V) \cdot \left(-\frac{1k\Omega}{10k\Omega}\right) = (-10V \dots +10V) \cdot \left(-\frac{1}{10}\right) =$$

$$U_e = 1V \dots -1V$$

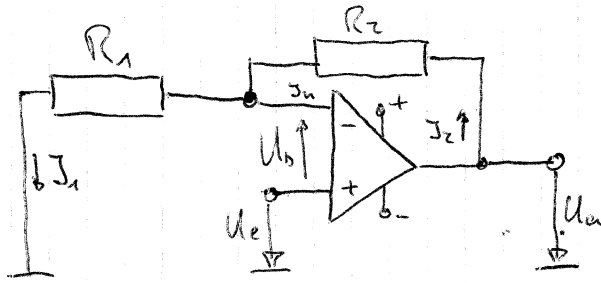
#

$$R_1 = 1k\Omega \quad R_2 = 51k\Omega$$

$$U_e = 0,196V \dots -0,196V$$

~~Wert für $R_2 = 20k\Omega$?~~

Nichtinvertierender Verstärker



$$A = \frac{U_a}{U_e}$$

$$U_e = U_b + U_a$$

$$J_n \approx 0A$$

$$J_1 = J_2 = J$$

$$U_b \approx 0V$$

$$U_e = U_{R_1} = J R_1$$

$$U_a = J (R_1 + R_2)$$

$$\underline{\underline{A = \frac{U_a}{U_e} = \frac{J(R_1 + R_2)}{J R_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \quad \checkmark}}$$

$$R_1 = 1k\Omega$$

$$R_2 = 10k\Omega$$

$$U_e = U_a \frac{R_1}{R_1 + R_2} = (-10V \dots 10V) \cdot \frac{1k\Omega}{1k\Omega + 10k\Omega}$$

$$\underline{\underline{U_e = -0,909V \dots 0,909V}}$$

#

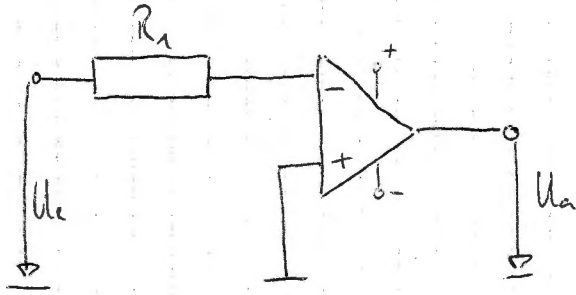
$$R_1 = 1k\Omega$$

$$R_2 = 51k\Omega$$

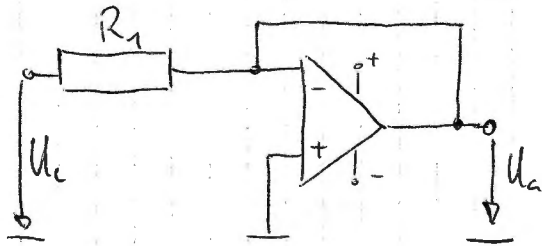
~~was für $R_2 = 20k\Omega$?~~

$$\underline{\underline{U_e = -0,192V \dots 0,192V}}$$

3.6. Invertierender Verstärker

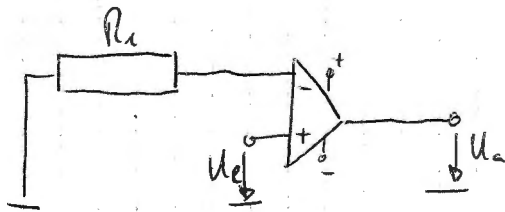


$$R_2 = \infty$$

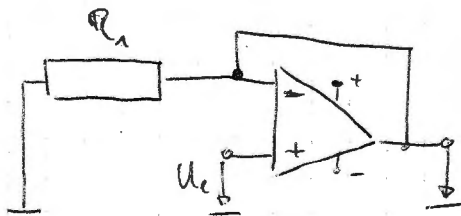


$$R_2 = 0 \Omega$$

Nicht invertierender Verstärker



$$R_2 = \infty$$



$$R_2 = 0 \Omega$$

3.1.

$$U_{a1} = 10,9 \text{ V}$$

$$I_{a1} = 10,8 \text{ mA}$$

$$U_{a2} = 11,5 \text{ V}$$

$$I_{a2} = 0 \text{ A}$$

$$r_a = - \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = - \frac{11,5 \text{ V} - 10,9 \text{ V}}{0 - 10,8 \text{ mA}} = \underline{\underline{55,56 \Omega \approx 56 \Omega = r_a}} \quad \checkmark$$

3.2

$$R_1 = 1 \text{ M}\Omega$$

$$R_n = 1 \text{ G}\Omega$$

$$u_n = -0,7 \text{ V}$$

$$u_e = -\cancel{4,81} \text{ mV} = -2,7 \text{ mV}$$

$$\Gamma_D = \frac{\frac{u_n}{u_e} \cdot R_1}{1 - \frac{u_n}{u_e} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_n}\right)} = \frac{\frac{-0,7 \text{ V}}{-2,7 \text{ V}} \cdot 1 \text{ M}\Omega}{1 - \frac{-0,7 \text{ V}}{-2,7 \text{ V}} \cdot 1} = \frac{350\,000 \Omega}{1} = 350\,000 \Omega = 0,35 \text{ M}\Omega \checkmark$$

Ist $R_n > 1 \text{ G}\Omega$ wird das Glied $1 + \frac{R_1}{R_n}$ bei $R_1 = 1 \text{ M}\Omega$

$$1. \quad D = 1 + \frac{1 \text{ M}\Omega}{1 \text{ G}\Omega} = 1,001 \approx 1.$$

3.3.

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$$

a) $U_a = 33,67 \text{ mV}$

$$J_{n_0} = + \frac{U_a}{R_1} = \frac{33,67 \text{ mV}}{1 \text{ k}\Omega} = 33,67 \text{ }\mu\text{A} \quad \checkmark$$

b) $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ $U_a = -34,98 \text{ mV}$

$$J_{p_0} = - \frac{U_a}{R_2} = - \frac{-34,98 \text{ mV}}{1 \text{ k}\Omega} = 34,98 \text{ }\mu\text{A} \quad \checkmark$$

Eingangsstrom

$$J_0 = |J_{p_0} - J_{n_0}| = |34,98 \text{ }\mu\text{A} - 33,67 \text{ }\mu\text{A}| = \underline{1,31 \text{ }\mu\text{A}} = J_0$$

Bias Strom

$$J_B = \frac{1}{2} (J_{p_0} + J_{n_0}) = \frac{1}{2} (34,98 \text{ }\mu\text{A} + 33,67 \text{ }\mu\text{A}) = \underline{34,325 \text{ }\mu\text{A}} = J_B \quad \checkmark$$

3.6.

$$U_D = +U_E \frac{100}{100 + 10k}$$

U_a	U_e	U_D
11.5V	-17.04mV	-0.169mV
11.5V	-17.33mV	-0.172mV
11.5V	-17.15mV	-0.170mV
11.5V	-17.38mV	-0.172mV
11.5V	-17.12mV	-0.170mV
-9.2V	11.44mV	0.113mV
-9.2V	9.59mV	0.095mV
-9.2V	9.81mV	0.097mV
-9.2V	9.04mV	0.090mV
-9.2V	8.54mV	0.085mV

П.М.Курт
 $U_D = \frac{100}{100+10k} \cdot 17.2 \approx 0.172mV$
 $U_a = 11.5V$

П.М.Курт
 $U_D = \frac{100}{100+10k} \cdot 9.8 \approx 0.097mV$
 $U_a = -9.2V$

Teiler $R_6/R_7 = 1:100$ verwenden!



Merken, da A_{00} in weiteren
 Versuchen vorkommt und
 Sie das gleiche Bandenlimit
 benutzen!

3.5. Phd stiler Analog: $U_{ge} = 25 \text{ mV}$ $6,73 \text{ V}_{ss}$
 $U_{aus} = 4,2 \text{ V}$

U_{aus}	U_{ge}
21 mV	1V
0 mV	0V
0 mV	0,3V
11,8 mV	0,55V
40,8 mV	2V
73,6 mV	3,5V
109,7 mV	5V
147,3 mV	6V
165,5 mV	6,5V
6,4 V	7V
3050 mV	6,6V
1V	6,83V

$$A_{ge} = \frac{\Delta U_{aus}}{\Delta U_{ge}} \cdot \frac{A_D}{1000} = \frac{6,4 \text{ V} - 4,2 \text{ V}}{7 \text{ V} - 6,73 \text{ V}} \cdot \frac{792 \text{ mV}}{1000} = \frac{2,2 \text{ V}}{0,27 \text{ V}} \cdot 0,792 = 6,45$$

$$|G| = \frac{A_D}{A_{ge}} = \frac{792}{6,45} = 122,8$$

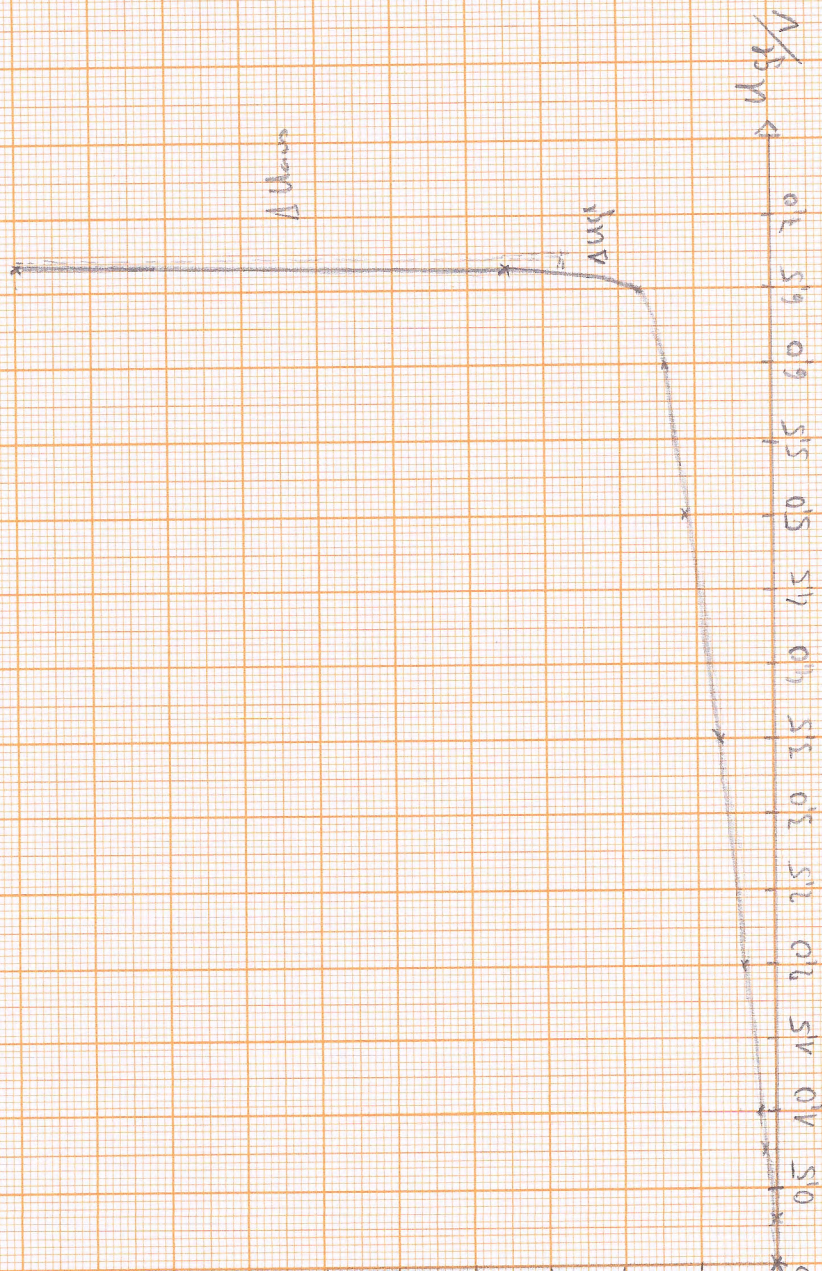
$$20 \log_{10}(|G|) = 41,8 \text{ dB}$$



Σ, 5

Bohrer

Neon



3.6

inv. Verst.

$R_2 = 10k\Omega$

 U_a U_c

-9,27V	1,3V
-9,26V	1,05V
-8,72V	0,86V
-7,92V	0,78V
-4,50V	0,45V
-2,72V	0,27V
0V	0V
1,26V	-0,12V
4,5V	-0,45V
7,0V	-0,70V
10,26V	-1,02V
11,3V	-1,15V

$R_2 = 51k\Omega$

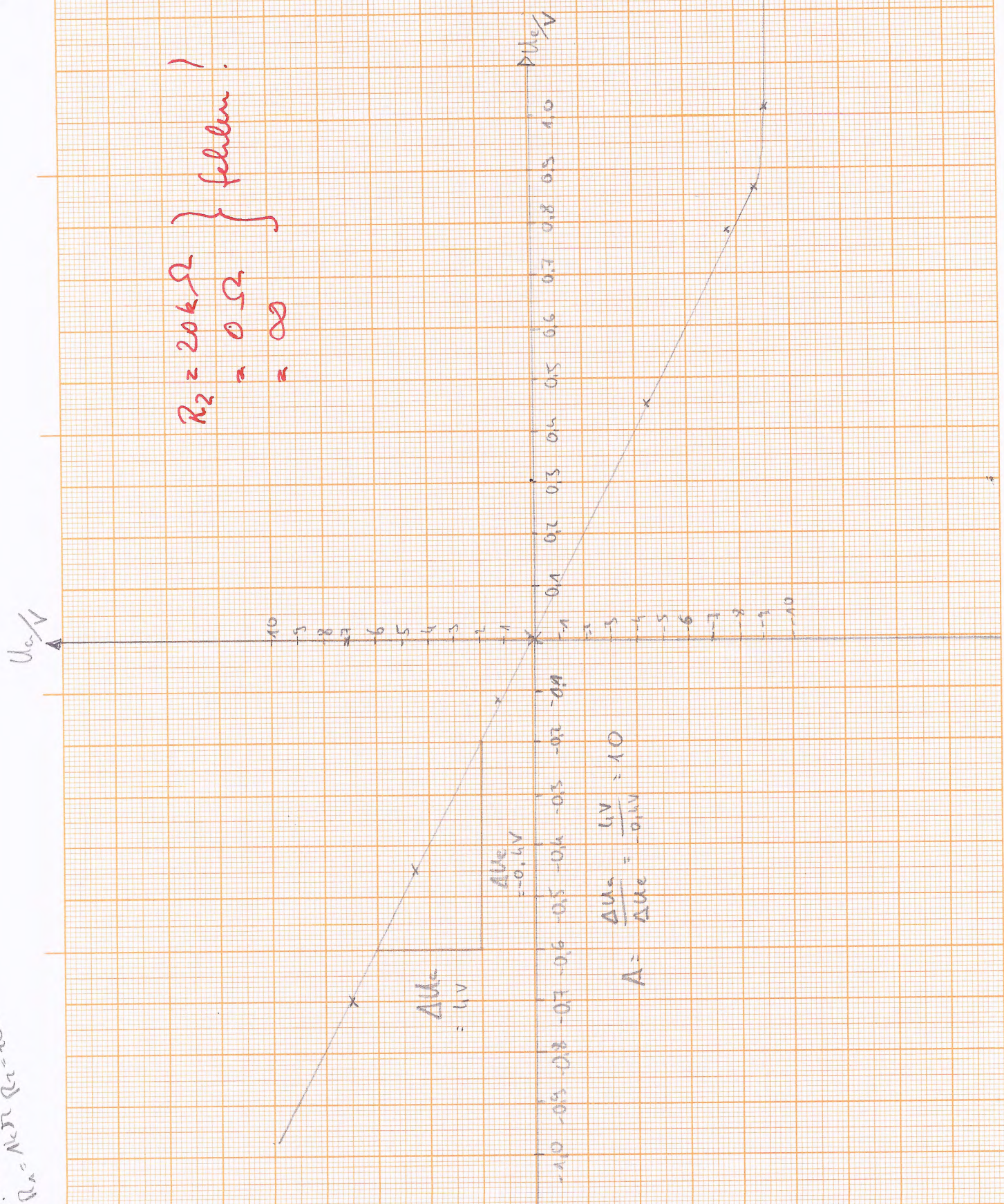
11,38V	-0,525V
10,03V	-0,193V
3,18V	-0,078V
-2,31V	0,044V
-8,04V	0,155V
-9,33V	0,32V

$R_2 = \infty$

11,52V	-3,6mV
9,0V	-1,03mV
0,7V	0V
5,0V	-1,0mV
11,5V	-2,4mV

F. Juv. Versuchsprotokoll
 1.1.16
 R₁ = 1kΩ R₂ = 10kΩ
 R₂ = 20kΩ
 R₂ = 0Ω
 R₂ = ∞

} fehlen!
 }

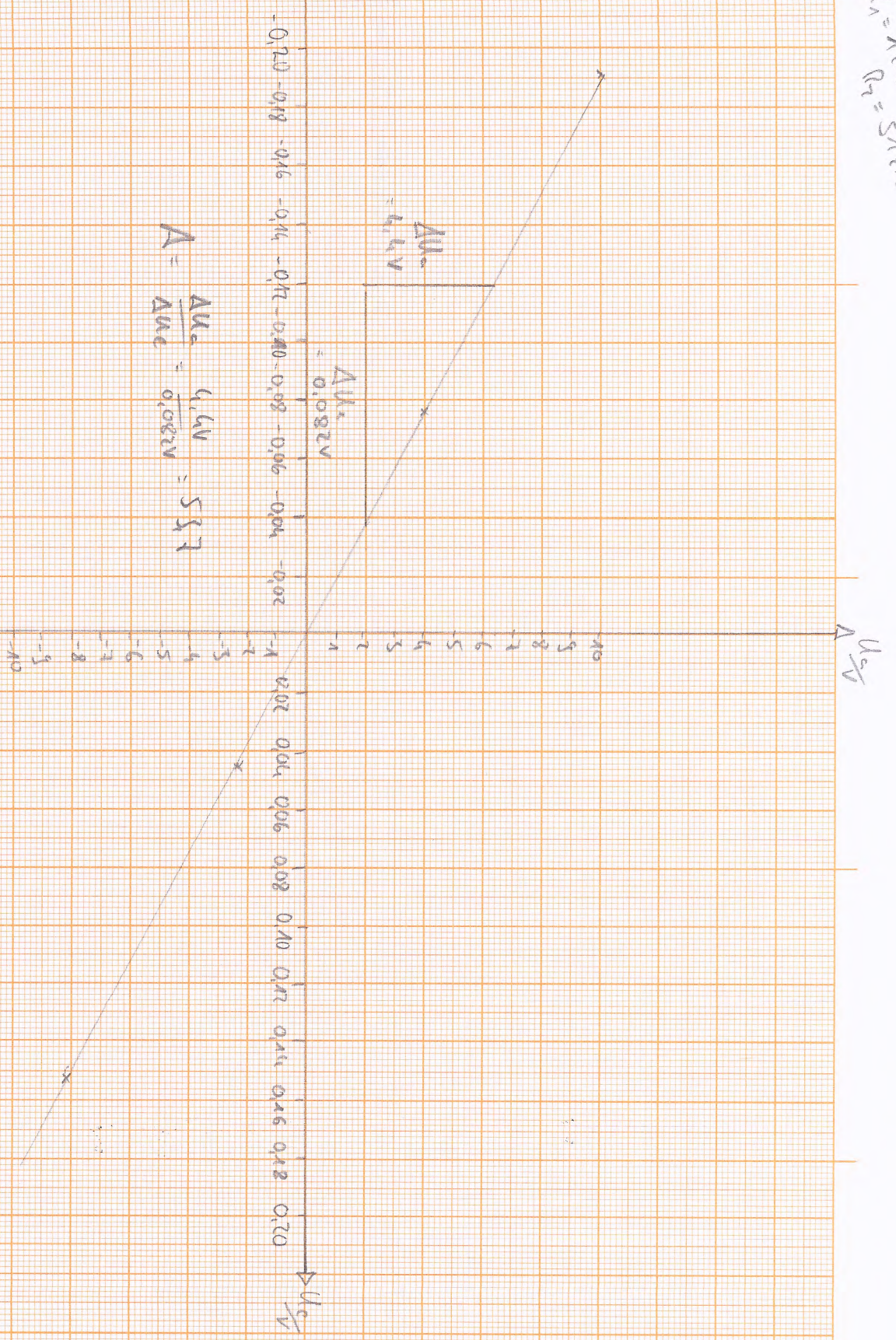


$\Delta U_{ce} = 1V$

$\Delta U_e = 0.1V$

$A = \frac{\Delta U_{ce}}{\Delta U_e} = \frac{1V}{0.1V} = 10$

2.7. 3m. Nostri
 3.6.
 R₁ = 1kΩ
 R₂ = 5kΩ



$$A = \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1} = \frac{4.4V}{0.082V} = 53.7$$

3.6. Nichl 3-w.

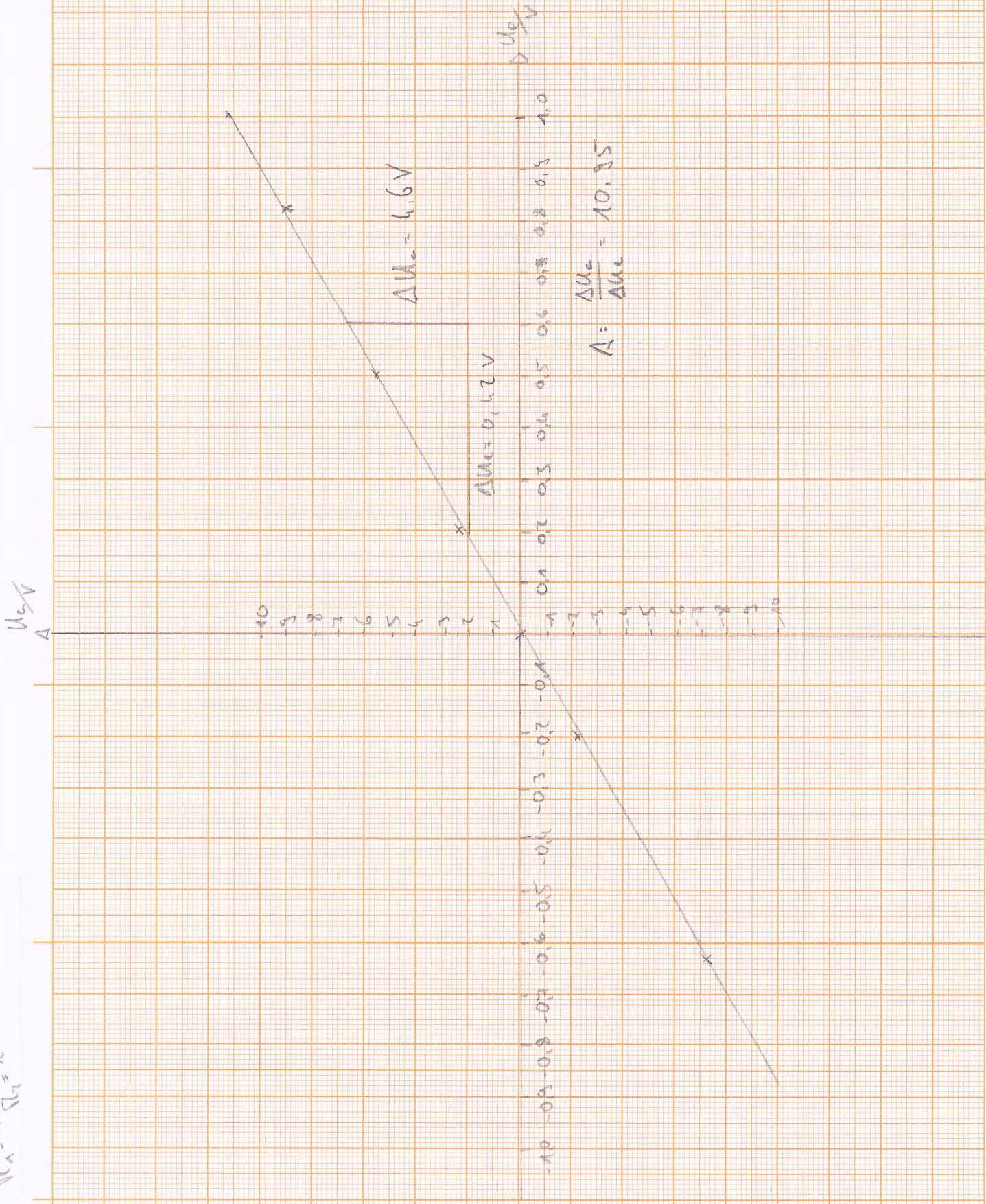
$$R_2 = 104\Omega$$

u_e	u_a
1,12 V	11,3 V
1 V	11,2 V
0,82 V	9,08 V
0,50 V	5,57 V
0,2 V	2,23 V
0 V	0 V
-0,2 V	-2,28 V
-0,64 V	-7,06 V
-1,186 V	-9,32 V

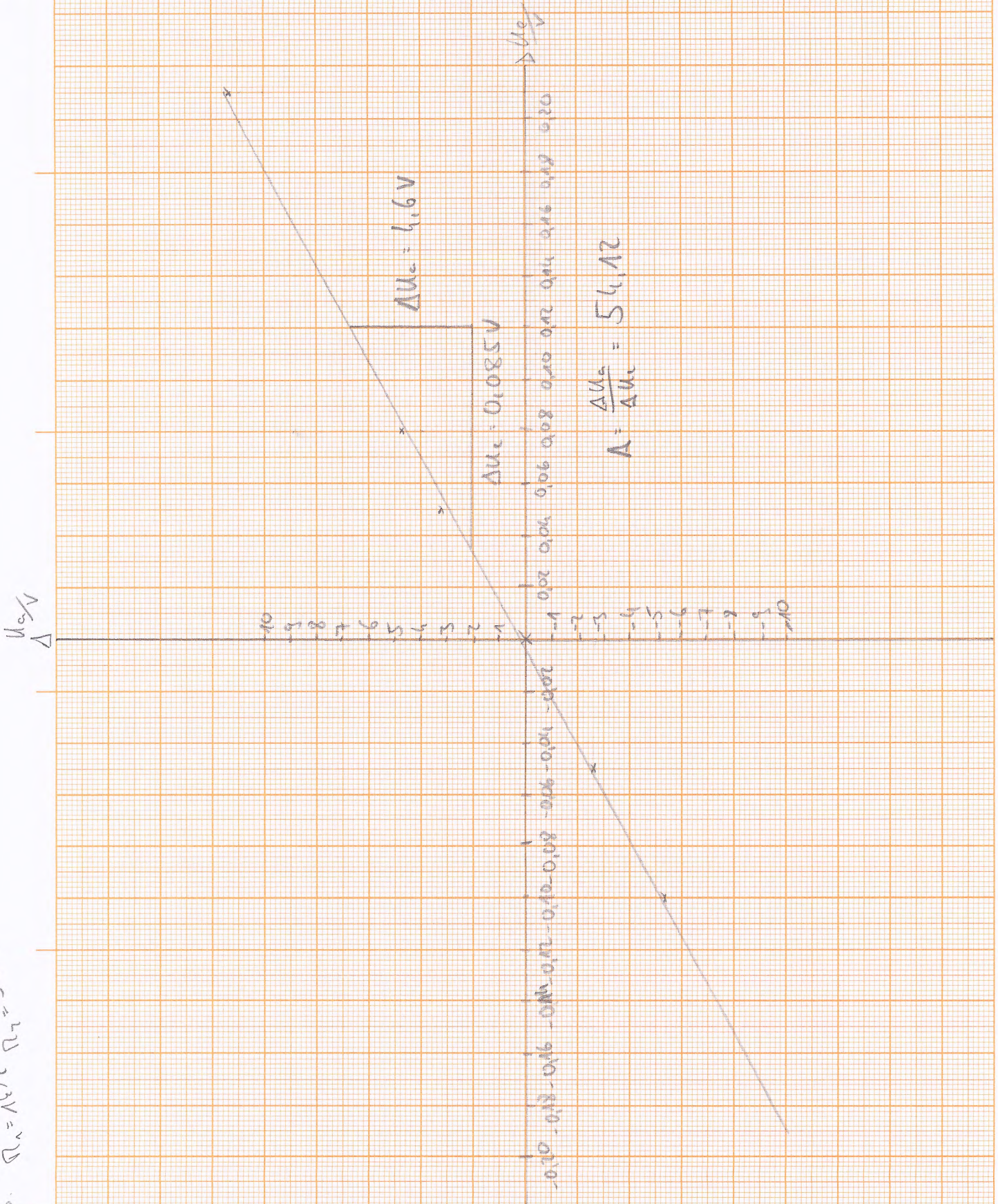
$$R_2 = 514\Omega$$

u_e	u_a
-0,29 V	-9,38 V
-0,1 V	-5,3 V
-0,05 V	-2,67 V
0 V	0 V
0,05 V	3,4 V
0,093	8,9 V 4,6 V
0,225	11,4 V

Zi. 7. N. 3. un. Varsak.
 3.6 $R_n = 1k\Omega$ $R_1 = 10k\Omega$



2.7 N. ...
 3.6. $R_1 = 117 \Omega$ $R_2 = 5117 \Omega$



Beobachtung

3.6.

$$R_2 = \infty$$

u_e	u_a
1,33 mV	11,48 V
0 V	0 V
-9,47 mV	-9,3 V

$$R_2 = 0$$

u_e	u_a
12 V	-8,83 V
-8,82 V	-8,77
-5,00 V	-5,00 V
-3,56 V	-3,57 V
0 V	0 V
1,05 V	1,05 V
1,77 V	1,77 V
5,45 V	5,47 V
9,75 V	9,75 V
10,8 V	10,8 V

(Spannungsfolge)

Der Sonderfall tritt bei $R_L = 0$ auf.
Hier wirkt die Schaltung als
Spannungsfolge?

nichtinv. Verstärker
fehlt!

Unterschied zwischen nicht- und invertierender Verstärker besteht in der Phasenänderung von 180° .

Beim invertierenden Verstärker wird durch die Rückführung des 180° gedrehten Signals verhindert, dass der Verstärker sich aufschaukelt.