

Der integrierte Multiplizierer AD 633

Studiengang: KMT

Datum: _____

Set: 6.08 Platz: 4

Teilnehmer: Michael Goldbach, Jürgen Döflinger

1.7 / Rm

Zielstellung

- Bestimmen von Kennwerten des Multiplizierers AD 633
- Entwurf von Schaltungen unter Einsatz des AD 633, deren Aufbau und Nachweis der geforderten Parameter

1. Begriffe und Formelzeichen

Zweiquadranten-, Vierquadranten- und Steilheitsmultiplizierer, Recheneinheit, Multiplikationsfehler, Amplitudenmodulation, Dividierer

2. Versuchsvorbereitung

- 2.1. Wiederholen Sie den Vorlesungsabschnitt "Multiplizierer", insbesondere die Abschnitte zu den o.g. Themen. Machen Sie sich mit den in Punkt 1. genannten Begriffen vertraut. Informieren Sie sich über charakteristische Daten des AD 633 im Datenblatt. Wiederholen Sie aus dem Versuch "Dynamisches Verhalten von Operationsverstärkern" die Verfahren zur Bestimmung von Kennwerten.
- 2.2. In der Schaltung einer Lampensteuerung nach Bild 1 soll die Leistung der Lampe bei verschiedenen Eingangsspannungen bestimmt werden. Entwerfen Sie eine Meßschaltung, mit der eine Ausgangsspannung von 2 V/W realisiert werden kann unter der Voraussetzung, daß die Eingänge des Multiplizierers nicht als Differenzeingänge zur Verfügung stehen. Für die Dimensionierung sind die im Punkt 4. aufgeführten aktiven und passiven Bauelemente zu verwenden. Begründen Sie Ihren Schaltungsentwurf. Stellen Sie mögliche Fehlerquellen dar und charakterisieren Sie die mögliche Größenordnung des Fehlers, mit dem die Ausgangsspannung beaufschlagt ist.

Bereiten Sie sich darauf vor, die von Ihnen entworfene Meßschaltung zu Beginn des Praktikums **kurz** vorzustellen.

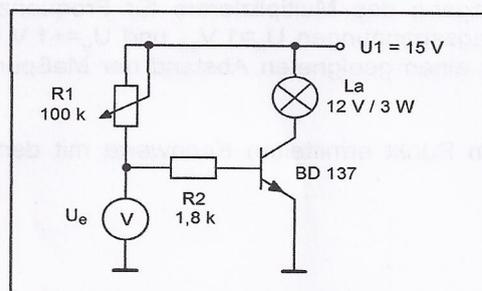


Bild 1: Lampensteuerung

2.3. Leiten Sie die Funktion der Ausgangsspannung her für:

- das Quadrat einer sinusförmigen Eingangsspannung $\hat{U} \cdot \sin \omega t$
- das Produkt zweier sinusförmiger Eingangsspannungen $\hat{U}_1 \cdot \sin \omega_1 t$ und $\hat{U}_2 \cdot \sin \omega_2 t + U_0$ mit unterschiedlichen Frequenzen (U_2 ist mit einem Gleichspannungsoffset U_0 beaufschlagt)

Erläutern Sie, welcher technische Vorgang durch die beiden Funktionen beschrieben wird. Skizzieren Sie jeweils das reale Frequenzspektrum der Ausgangsspannung bezüglich der enthaltenen Frequenzen und der Amplituden.

2.4. Erläutern Sie kurz die Funktion der Schaltung zur Bestimmung eines unbekannten Widerstandes nach Bild 2. Nutzen Sie zum Verständnis das Datenblatt des Schaltkreises AD 633. Bestimmen Sie die Gleichung $R_x=f(U_a)$. Benutzen Sie zur Herleitung die angegebenen Spannungspunkte.

2.5. Bereiten Sie auf Papier mit einfachlogarithmischer Teilung zwei Diagramme zur Darstellung der Meßwerte vor. Es empfiehlt sich folgender Maßstab:

A:	$-15 \text{ dB} \leq A \leq +5 \text{ dB}$	2 dB /cm *
f:	$1 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	5 cm/Dekade
φ :	$-200^\circ \leq \varphi \leq 0^\circ$	20 °/cm *
f:	$1 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	5 cm/Dekade

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

3. Versuchsdurchführung und -auswertung

3.0. Vorbemerkungen

Als Betriebsspannung für alle Schaltungen werden $\pm 15 \text{ V}$ verwendet. Die Strombegrenzung beider Spannungsquellen ist auf 300 mA einzustellen. Zum Schutz des Bauelementes ist streng darauf zu achten, daß Eingangsspannungen erst **nach** dem Einschalten der Betriebsspannung angelegt werden bzw. die Betriebsspannung erst nach Entfernen der Eingangsspannungen abgeschaltet wird.

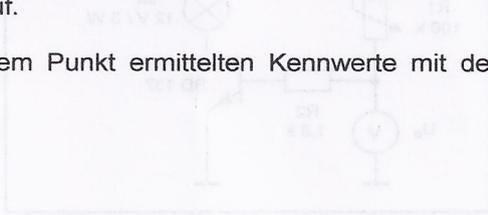
3.1. Bestimmung statischer und dynamischer Kennwerte des Multiplizierers

Bestimmen Sie den relativen Fehler der Ausgangsspannung in allen vier Quadranten bei der Multiplikation der beiden Eingangsspannungen U_x und U_y mit jeweils einem Betrag von 10 V.

Ermitteln Sie die Slew-Rate des Multiplizierers. Beachten Sie dabei, daß der Ausgang über einen möglichst großen Bereich angesteuert wird, jedoch ohne die Sättigungsspannung zu erreichen. Plotten Sie die Darstellung, die Sie dazu verwendet haben. Notieren Sie die verwendeten Eingangsgrößen und interpretieren Sie die Abbildung.

Bestimmen Sie den Frequenzgang des Multiplizierers für Frequenzen der Eingangsspannung bis 2 MHz. Wählen Sie als Eingangsspannungen $U_x=1 \text{ V}_{\text{ss}}$ und $U_y=+1 \text{ V}$ und legen Sie insbesondere im Bereich $100 \text{ kHz} \leq f \leq 1,5 \text{ MHz}$ einen geeigneten Abstand der Meßpunkte fest. Interpretieren Sie den dargestellten Funktionsverlauf.

Vergleichen Sie die in diesem Punkt ermittelten Kennwerte mit den im Datenblatt ausgewiesenen Werten.



3.2. Leistungsmessung

Bauen Sie die im Punkt 2.2. entworfene Meßschaltung auf. Nehmen Sie Meßwerte für die Funktion $P_{La}=f(U_e)$ auf und stellen Sie die Funktion in einem geeigneten Diagramm dar. Überprüfen Sie an wenigstens zwei Meßpunkten die Richtigkeit der Funktion durch direkte Messung von Spannung und Strom an der Lampe. Diskutieren Sie den Verlauf der Funktion und eventuelle Abweichungen von den direkt gemessenen Werten.

3.3. Frequenzverdopplung

Legen Sie an die beiden Eingänge X und Y des Multiplizierers jeweils eine sinusförmige Spannung mit $U_e=10 V_{SS}$ und $f=1 \text{ kHz}$. Bilden Sie Ein- und Ausgangsspannung auf dem Oszilloskop ab und plotten Sie die Darstellung. Vergleichen Sie die Ausgangsspannung mit Ihren Überlegungen aus Punkt 2.3.

3.4. Modulation

Multiplizieren Sie zwei sinusförmige Eingangsspannungen mit $U_{ex}=5 V_{SS}$, $f_{ex}=10 \text{ kHz}$ und $U_{ey}=2 V_{SS}+1 \text{ V}$, $f_{ey}=1 \text{ kHz}$. Stellen Sie die Ausgangsspannung auf dem Oszilloskop dar und plotten Sie die Darstellung. Vergleichen Sie die Ausgangsspannung mit Ihren Überlegungen aus Punkt 2.3.

Untersuchen Sie die Ausgangsspannung mit Hilfe eines Spektrum-Analysators (nur an einem Versuchsplatz als Demonstration möglich) entsprechend den vorherigen Überlegungen und vergleichen Sie die Meßwerte mit den erwarteten Werten.

3.5. Anwendung als Dividierer

Bauen Sie die Meßschaltung zur Bestimmung von Widerständen entsprechend Bild 2 auf.

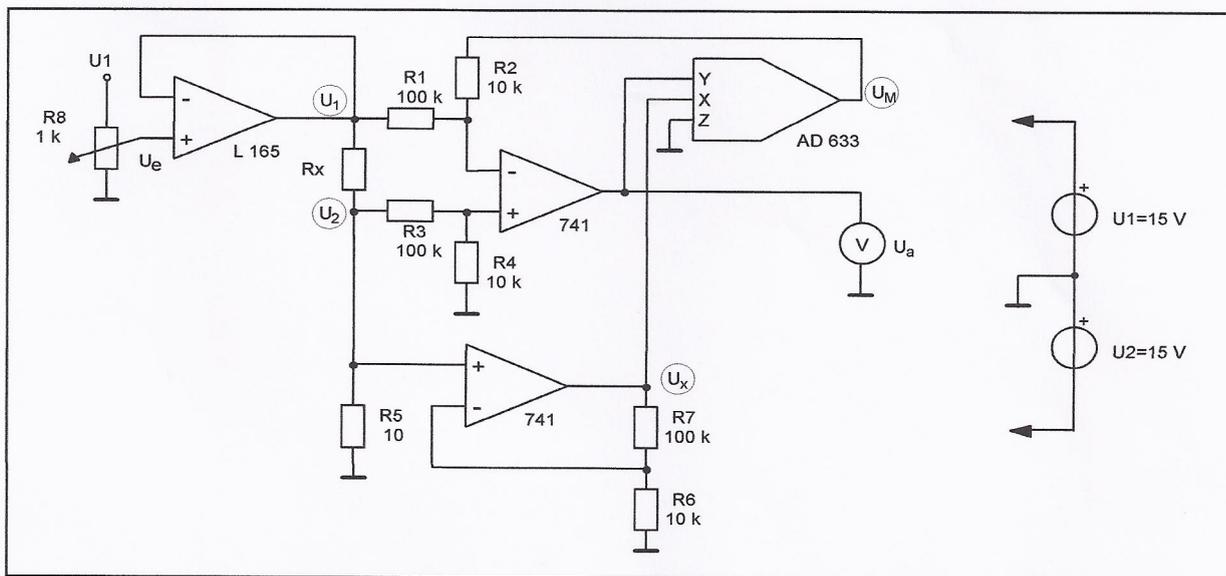


Bild 2: Meßschaltung zur Widerstandsbestimmung

Überprüfen Sie die Funktion der Schaltung, indem Sie einen Widerstand $R_x=510 \Omega$ in die Schaltung einsetzen. Vergleichen Sie den Wert der Ausgangsspannung mit dem zu erwartenden Wert.

Wählen Sie sich einen unbekanntem Widerstand aus und bestimmen Sie die Funktion $R=f(U_e)$ im Bereich $0 \text{ V} \leq U_e \leq +10 \text{ V}$. Stellen Sie die Funktion in einem geeigneten Diagramm dar und charakterisieren Sie aus dem Verlauf der Funktion den möglichen Widerstandstyp.

4. Aufstellung der vorhandenen Bauelemente

Widerstände, fest [Ω]

10; 51 (2x); 100; 510; 1 k; 1,8 k; 10 k (3x); 20 k (2x); 51 k (3x); 100 k (3x); 220 k; 470 k; 1 M; 10 M

Widerstände, einstellbar [Ω]

1 k; 10 k; 100 k

Potentiometer [Ω]

220; 1 k (2x); 10 k; 100 k

Kondensatoren [F]

2,2 n (2x); 10 n (2x); 47 n (2x); 0,1 μ (2x); 1 μ (2x); 4,7 μ (2x); 220 μ ; 470 μ

Operationsverstärker

μ A 741 (2x); L 165

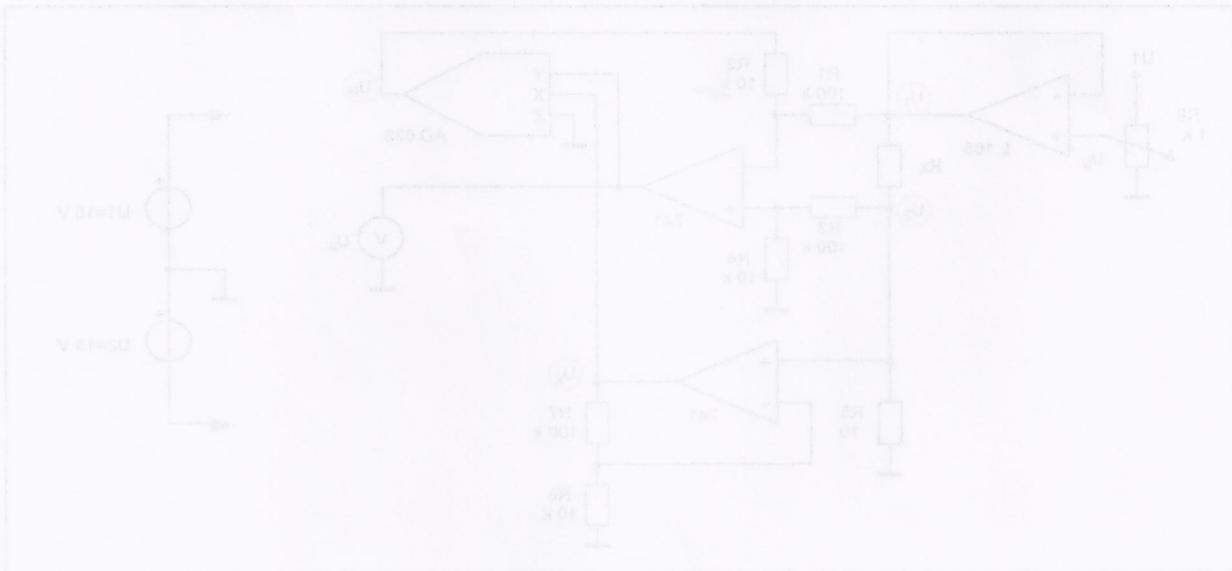


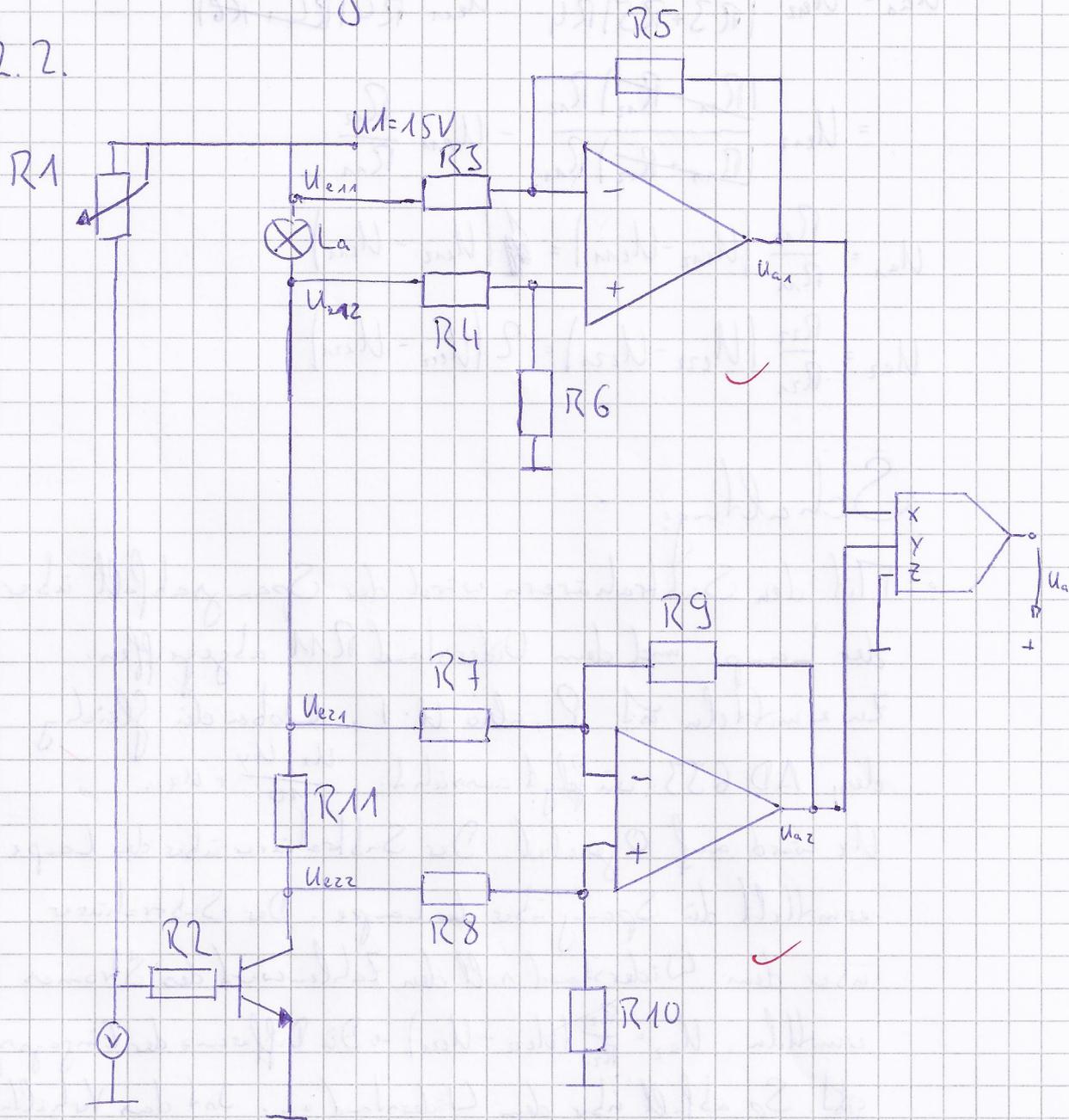
Bild 2: Messschaltung zur Widerstandsbestimmung

Überprüfen Sie die Funktion der Schaltung, indem Sie einen Widerstand $R_x = 510 \Omega$ in die Schaltung einsetzen. Vergleichen Sie den Wert der Ausgangsspannung mit dem zu erwartenden Wert.

Wählen Sie sich einen unbekanntem Widerstand aus und bestimmen Sie die Funktion $R_x(U_x)$ im Bereich $0 \text{ V} < U_x < 10 \text{ V}$. Stellen Sie die Funktion in einem geeigneten Diagramm dar und charakterisieren Sie aus dem Verlauf der Funktion den möglichen Widerstandstyp.

2. Versuchsvorbereitung

2.2.



$$R1 = 100 \text{ k}\Omega \quad (\text{Potentiometer})$$

$$R2 = 1.8 \text{ k}\Omega$$

$$R3 = R4 = 100 \text{ k}\Omega = R_{11}$$

$$R5 = R6 = 10 \text{ k}\Omega = R_{12}$$

$$R7 = R8 = 10 \text{ k}\Omega = R_{21}$$

$$R9 = R10 = 20 \text{ k}\Omega = R_{22}$$

$$R11 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$U_{ax} = U_{az} \frac{R_4 + R_6 | R_5}{R_3 + R_5 | R_4} - U_{em} \frac{R_6 | R_4 + R_6}{R_4 | R_4 + R_6}$$

$$= U_{az} \frac{(R_{11} + R_{12}) R_{12}}{(R_{11} + R_{12}) R_{11}} - U_{em} \frac{R_{12}}{R_{11}}$$

$$U_{ax} = \frac{R_{12}}{R_{11}} (U_{az} - U_{em}) = 1 (U_{az} - U_{em})$$

$$U_{az} = \frac{R_{22}}{R_{21}} (U_{ez} - U_{ez}) = 2 (U_{ez} - U_{ez})$$

Schaltung:

Mit den Subtrahierern wird der Spannungsabfall über der Lampe und dem Widerstand R_{11} abgegriffen.

Zu ermitteln ist P , also $U \cdot I$. Über die Gleichung des AD 633 w folgt ausricht: $\frac{U_x \cdot U_y}{10} + U_z$.

U_z wird auf 0 gesetzt. Der Subtrahierer über der Lampe ermittelt die Spannung über der Lampe. Der Subtrahierer über dem Widerstand soll den Zahlenwert des Stromes ermitteln. $U_{az} = \frac{R_{22}}{R_{21}} (U_{ez} - U_{ez}) \rightarrow$ Die Differenz der Eingangsspannung gibt Spannungsabfall über dem Widerstand an. Ist das Verhältnis $\frac{R_{22}}{R_{21}}$ gleich R_{11} so wird die Gleichung $I_{ca} = \frac{U}{R}$ ersatzweise berechnet und damit U_{az} den Zahlenwert von I_{ca} .

Da der Multiplizierer einen Faktor von $\frac{1}{10}$ enthüllt muß man für die wörtliche Leistung den Faktor 10 mit einbauen. Da $\frac{1}{10} \cdot 10 = 1$ muß der gemeinsame Faktor der Multiplizierer 1 ergeben. $1 \cdot 2 = 2$ mit Faktor 2

• Mögliche Fehlerquellen sind: $\frac{R_{22}}{R_{21}}$ nur ungefähr $\frac{1}{2}$; Widerstande nicht genau Nennwert. Fertigungsfehler sind schätzungsweise $\pm 5\%$.

2.3.

$$\begin{array}{l}
 a) \quad u_e = \hat{u} \sin(\omega t) \quad | \quad \hat{u}^2 \\
 u_e^2 = \hat{u}^2 \sin^2(\omega t) \quad \left| \begin{array}{l} \text{Additionstheorem:} \\ \sin^2(x) = \frac{1}{2}(1 - \cos(2x)) \end{array} \right. \\
 u_e^2 = \frac{\hat{u}^2}{2} (1 - \cos(2\omega t)) \quad \checkmark
 \end{array}$$

→ Verdopplung der Frequenz ($2\omega t$)

→ u_{\max} jetzt $\frac{\hat{u}^2}{2}$ → nur positive Werte
 → Offset kommt hinzu
 → weitere Spektrallinie bei 0Hz

Zeichnung ist auf folgende Seite zu finden.

$$\begin{array}{l}
 b) \quad u_{e1} = \hat{u}_1 \sin(\omega_1 t) \\
 u_{e2} = \hat{u}_2 \sin(\omega_2 t) + u_0
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 u_{e1} \cdot u_{e2} = \hat{u}_1 \sin(\omega_1 t) [\hat{u}_2 \sin(\omega_2 t) + u_0] \\
 = \hat{u}_1 \hat{u}_2 \sin(\omega_1 t) \sin(\omega_2 t) + u_0 \hat{u}_1 \sin(\omega_1 t)
 \end{array}$$

mit Additionstheorem: $\sin \alpha \sin \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)]$

ergibt sich:

$$\begin{array}{l}
 u_{e1} \cdot u_{e2} = \frac{1}{2} \hat{u}_1 \hat{u}_2 [\cos(\omega_1 t - \omega_2 t) - \cos(\omega_1 t + \omega_2 t)] \\
 + u_0 \hat{u}_1 \sin(\omega_1 t) \\
 = \underline{\underline{\frac{\hat{u}_1 \hat{u}_2}{2} \cos(\omega_1 t - \omega_2 t) + u_0 \hat{u}_1 \sin(\omega_1 t) - \frac{\hat{u}_1 \hat{u}_2}{2} \cos(\omega_1 t + \omega_2 t)}}
 \end{array}$$

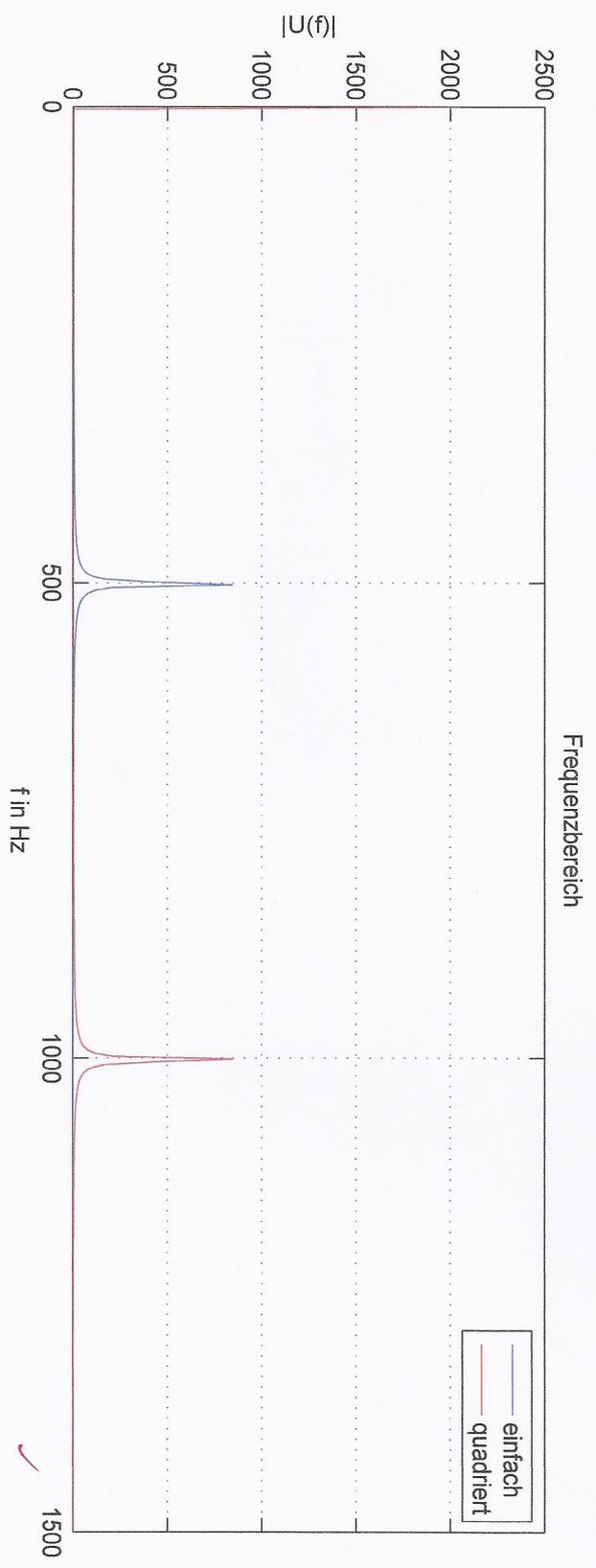
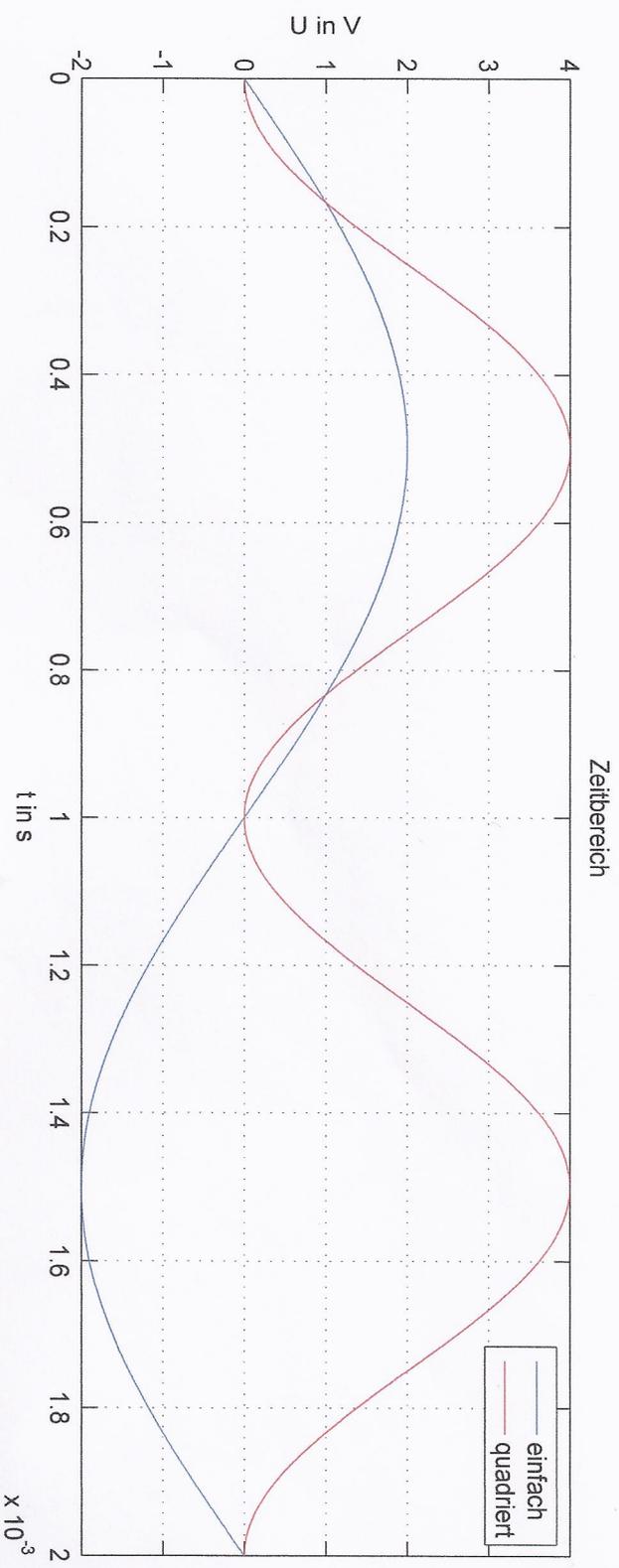
Aus der Gleichung ist eine Amplitudenmodulation zu erkennen.

Siehe dazu auch das Skript Übertragungstechnik Folie 7.3.1.

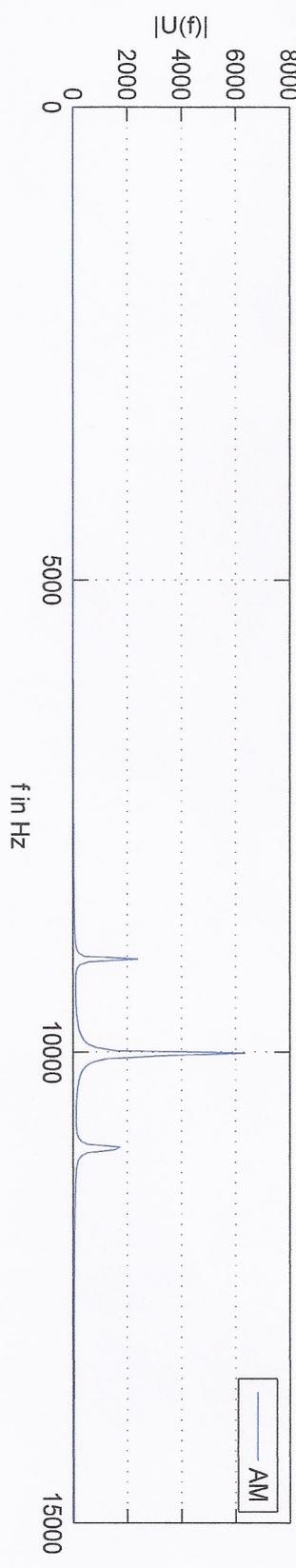
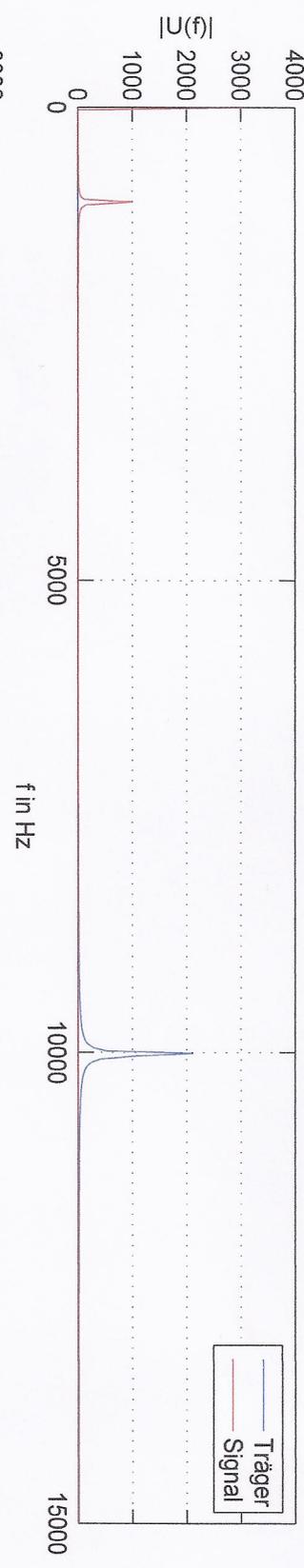
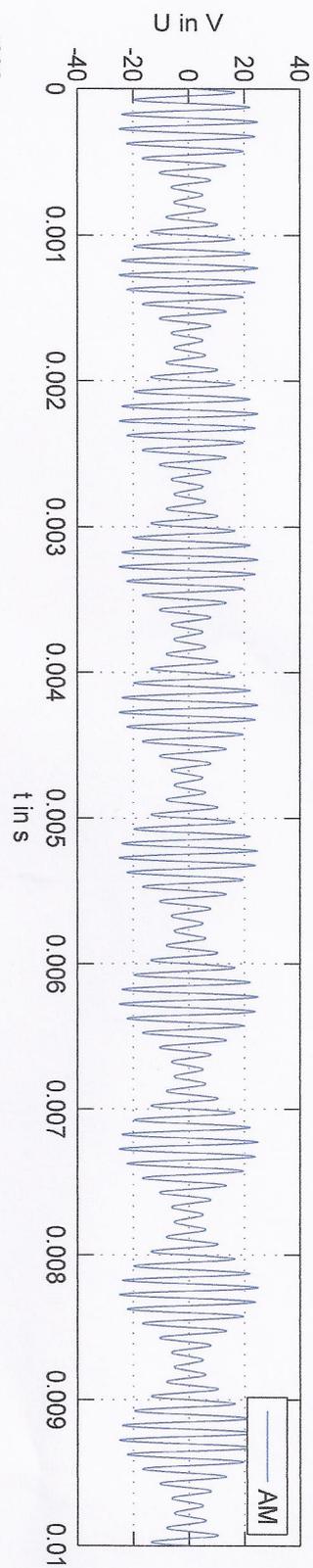
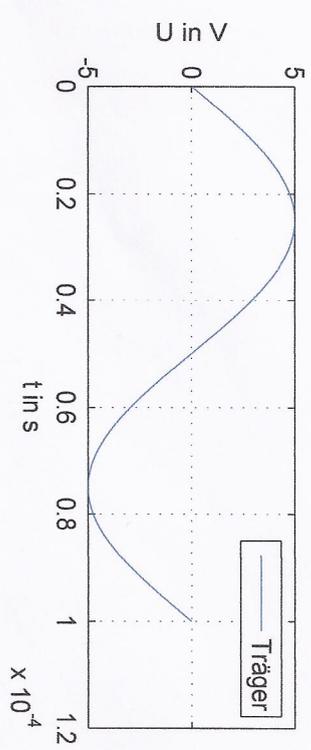
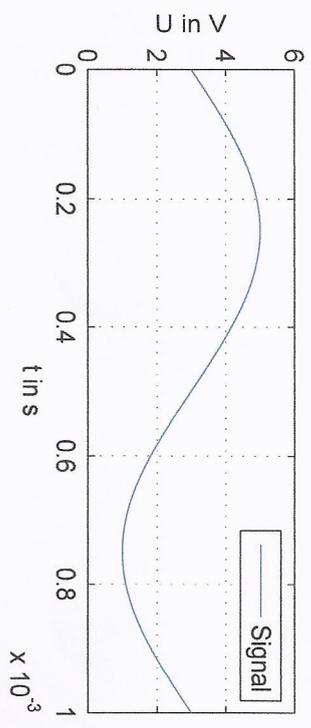
Von Prof. Niebel. Zeichnung ist auf folgender Seite zu finden.

$$u_{\max} = \hat{u}_1 \hat{u}_2 + u_0 \hat{u}_1$$

2.3. Beispiel Zeitbereich und Frequenzbereich für $q \sin(\omega t)$ mit $f = 500 \text{ Hz}$ und $q = 2 \text{ V}$
 a)



2.3. Beispiel mit $u_0 = 3V$ $u_1 = 5V$ $u_2 = 2V$ $f_1 = 10kHz$ $f_2 = 1kHz$ $\text{Signal} = \hat{u}_2 \sin(2\pi f_2 t) + u_0$ $AM = \text{Signal} \cdot \text{Träger}$
 $\text{Träger} = \hat{u}_1 \sin(2\pi f_1 t)$



2.6.

$$R_x = f(U_a)$$

$$U_x = \left(1 + \frac{R_7}{R_6}\right) \cdot U_2 \quad U_n = U_x \cdot U_a \cdot \frac{1}{10}$$

$$U_n = \frac{\left(1 + \frac{R_7}{R_6}\right) \cdot U_2 \cdot U_a}{10V}$$

$$U_p = U_n \rightarrow \frac{U_p}{U_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{U_n}{U_2} \Rightarrow U_n = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_2$$

$$R_x = \frac{U_n - U_2}{I} \Rightarrow U_2 - U_n = -(R_x \cdot I)$$

$$U_2 = R_5 \cdot I$$

$$\frac{U_n - U_n}{R_2} = \frac{U_n - U_n}{R_1} \Rightarrow U_n = \frac{R_2}{R_1} (U_n - U_n) + U_n$$

$$U_n = \frac{R_2}{R_1} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_2 - U_n \right) + \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_2$$

$$U_n = U_2 \left(\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) - \frac{R_2}{R_1} U_n$$

$$\frac{R_2^2}{R_1(R_1 + R_2)} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_2^2 + R_1 R_2}{R_1(R_1 + R_2)}$$

$$= \frac{R_2(R_2 + R_1)}{R_1(R_1 + R_2)} = \frac{R_2}{R_1}$$

$$U_n = \frac{R_2}{R_1} U_2 - \frac{R_2}{R_1} U_n$$

$$= \frac{R_2}{R_1} (U_2 - U_n)$$

$$\frac{\left(1 + \frac{R_7}{R_6}\right) \cdot U_2 \cdot U_a}{10V} = \frac{R_2}{R_1} \cdot \left(- (R_x \cdot I) \right)$$

$$\frac{\left(1 + \frac{R_7}{R_6}\right) \cdot R_5 \cdot I \cdot U_a}{10V} = - \frac{R_2}{R_1} \cdot R_x \cdot I$$

$$R_x = - \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{\left(1 + \frac{R_7}{R_6}\right) \cdot R_5}{10} \cdot U_a \cdot \left(\frac{1}{V} \right)$$

$$R_x = -110\Omega \cdot U_a \cdot \left(\frac{1}{V} \right) \quad \checkmark$$

U_1 wird mit Impedanzwandler auf Konstantspannung gehalten.

$\rightarrow U_2$ nur noch von R_x abhängig

Mit Subtrahierer wird Spannungsabfall über R_x ermittelt, bzw. abgegriffen (U_{Rx}).

Mit dem nichtinvertierenden Verstärker wird der Strom über R_x ermittelt und mit dem Faktor 10^2 versehen um E des Multiplizierers auszugleichen.

Der Multiplizierer wirkt als Divisor da es in der Rückkopplung sitzt $\rightarrow \frac{U_{Rx}}{I_{Rx}} \cdot 10 = R_{x_{min}} \cdot 10$

3. Versuchsdurchführung

3.1.

$$\left. \begin{array}{l} U_x = 10 \text{ V} \\ U_y = 10 \text{ V} \end{array} \right\} \underline{10,00 \text{ V}}? \text{ Messung!}$$

$$U_a = 10,11 \text{ V}$$

$$e_{\text{abs}} = U_a - 10 \text{ V} = 0,11 \text{ V}$$

$$e_{\text{rel}} = \frac{e_{\text{abs}}}{10 \text{ V}} = 1,1\%$$

$$U_x = -10 \text{ V}$$

$$U_y = 10 \text{ V}$$

$$U_a = -10,03 \text{ V}$$

$$e_{\text{abs}} = U_a + 10 \text{ V} = 0,03 \text{ V}$$

$$e_{\text{rel}} = \frac{e_{\text{abs}}}{10 \text{ V}} = 0,3\%$$

$$U_x = 10 \text{ V}$$

$$U_y = -10 \text{ V}$$

$$U_a = -10,01 \text{ V}$$

$$e_{\text{abs}} = U_a + 10 \text{ V} = 0,01 \text{ V}$$

$$e_{\text{rel}} = \frac{e_{\text{abs}}}{10 \text{ V}} = 0,1\%$$

$$U_x = -10 \text{ V}$$

$$U_y = -10 \text{ V}$$

$$U_a = 10,10 \text{ V}$$

$$e_{\text{abs}} = U_a - 10 \text{ V} = 0,10 \text{ V}$$

$$e_{\text{rel}} = \frac{e_{\text{abs}}}{10 \text{ V}} = 1,0\%$$

(4)

Die Fehler liegen im Maximum bei 1,1% im Vergleich mit dem Wert aus dem Datenblatt $\pm 1\%$ obwohl man das der gemessene Wert nicht darüber liegt. warum?

3.1. Für Slew Rate siehe folgendes Blatt.

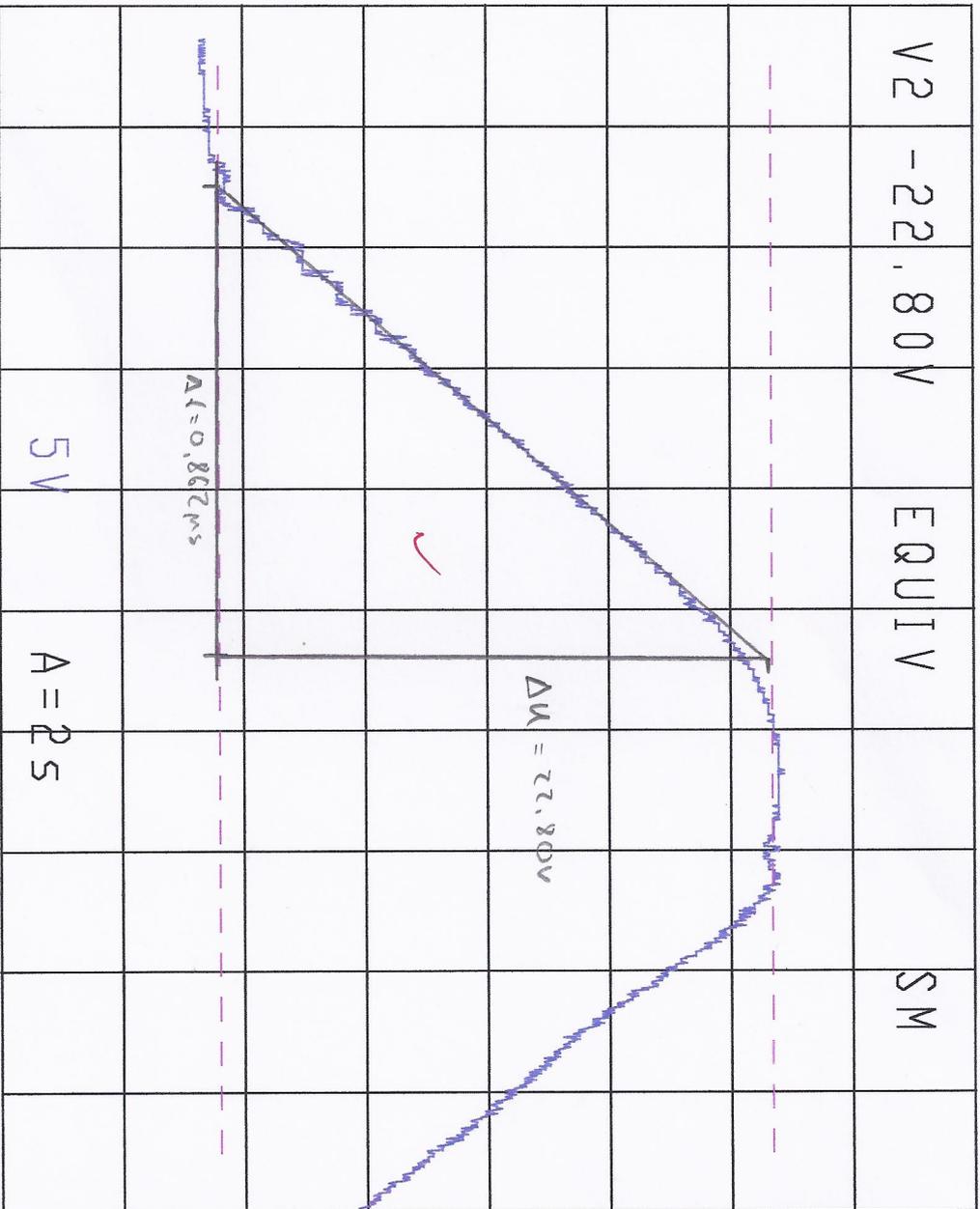
3.1. Frequenzgang siehe die Blätter nach Slew Rate für Diagramme.

Der Phasengang entspricht mit kleinen Abweichungen dem erwarteten Verlauf. ✓

Der Amplitudengang des Datenblattes zeigt einen Verlauf welcher nach einer Verstärkung von 0dB abfällt. Im gemessenen Verlauf lässt sich ein Unterschied erkennen. Zwischen 400kHz und 1MHz macht man eine Erhöhung aus. Das Maximum liegt zwischen 700kHz und 800kHz. ✓

3.5 fehlt!

3.1. Slew Rate



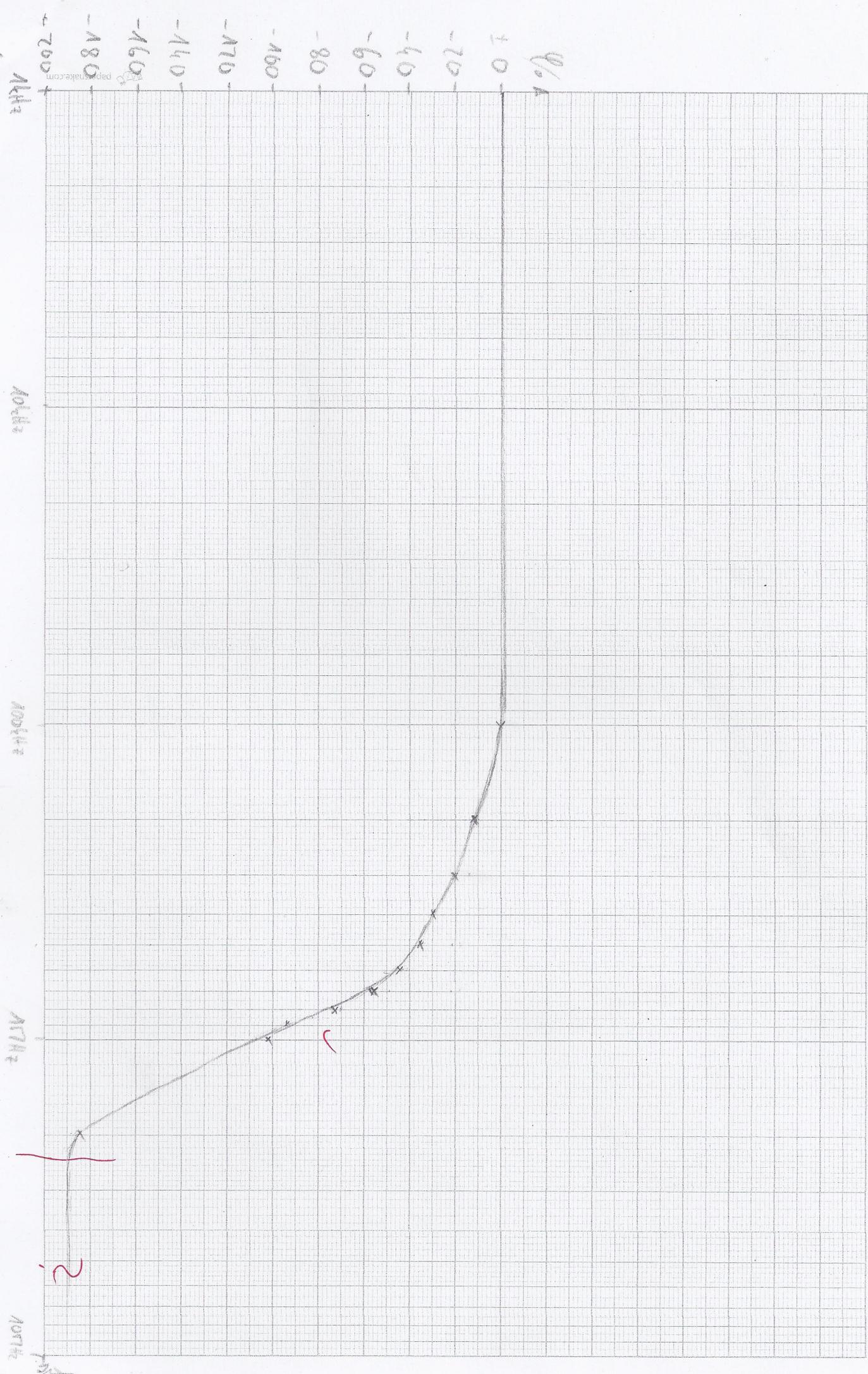
$$\text{Slew Rate} = \frac{\Delta U_{\text{max}}}{\Delta t}$$

$$= \frac{22,80V}{0,862 \mu s}$$

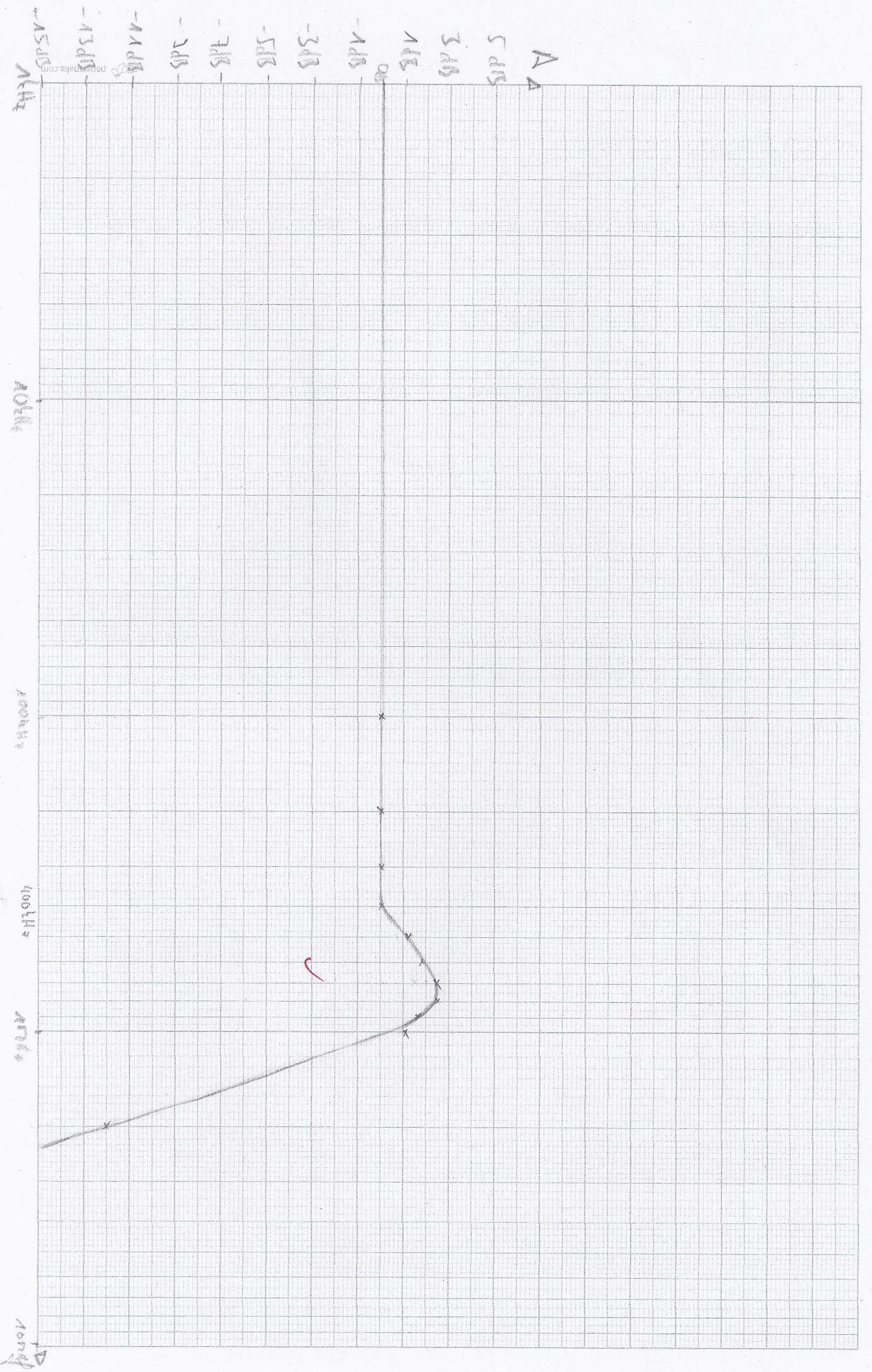
$$= 26,45 \frac{V}{\mu s}$$

Im Vergleich mit den
 Werten des
 Datenblattes (20 $\frac{V}{\mu s}$)
 ist eine höhere
 Slew Rate gemessen
 worden.

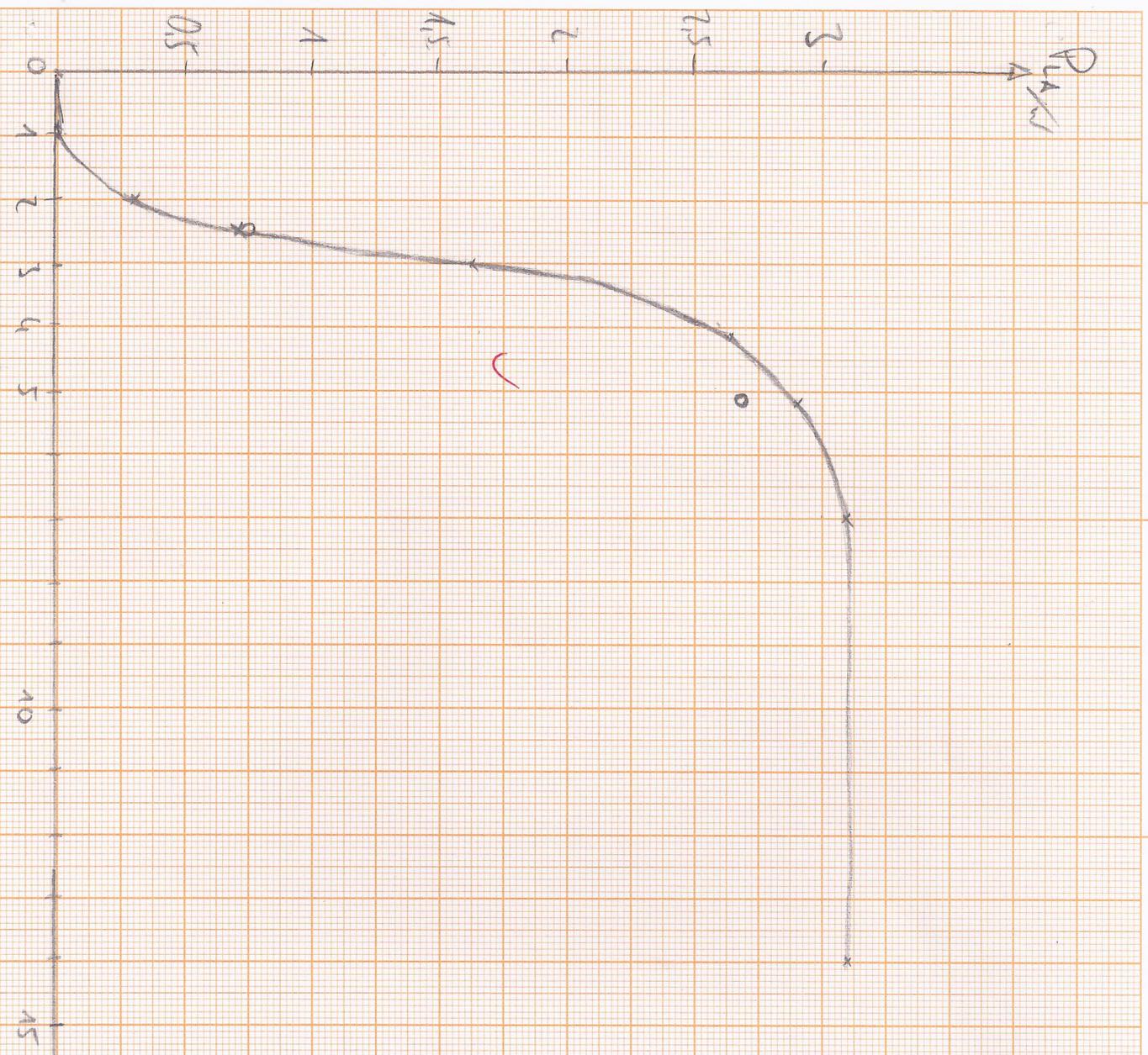
3.1. Phase-g- δ



3.1. Amplitudengang



3.2. Last gemessung



Drehel gemessene Werte: 0

$U_e = 2.5V \rightarrow U_{LIP} = 5.2V \rightarrow P_{LIP} = 0.754W$
 $I_{LP} = 14.5mA$

$U_e = 5.1V \rightarrow U_{LIP} = 11.5V \rightarrow P_{LIP} = 2.645W$
 $I_{LP} = 230mA$

Vergleich mit Soll-gewinnung:

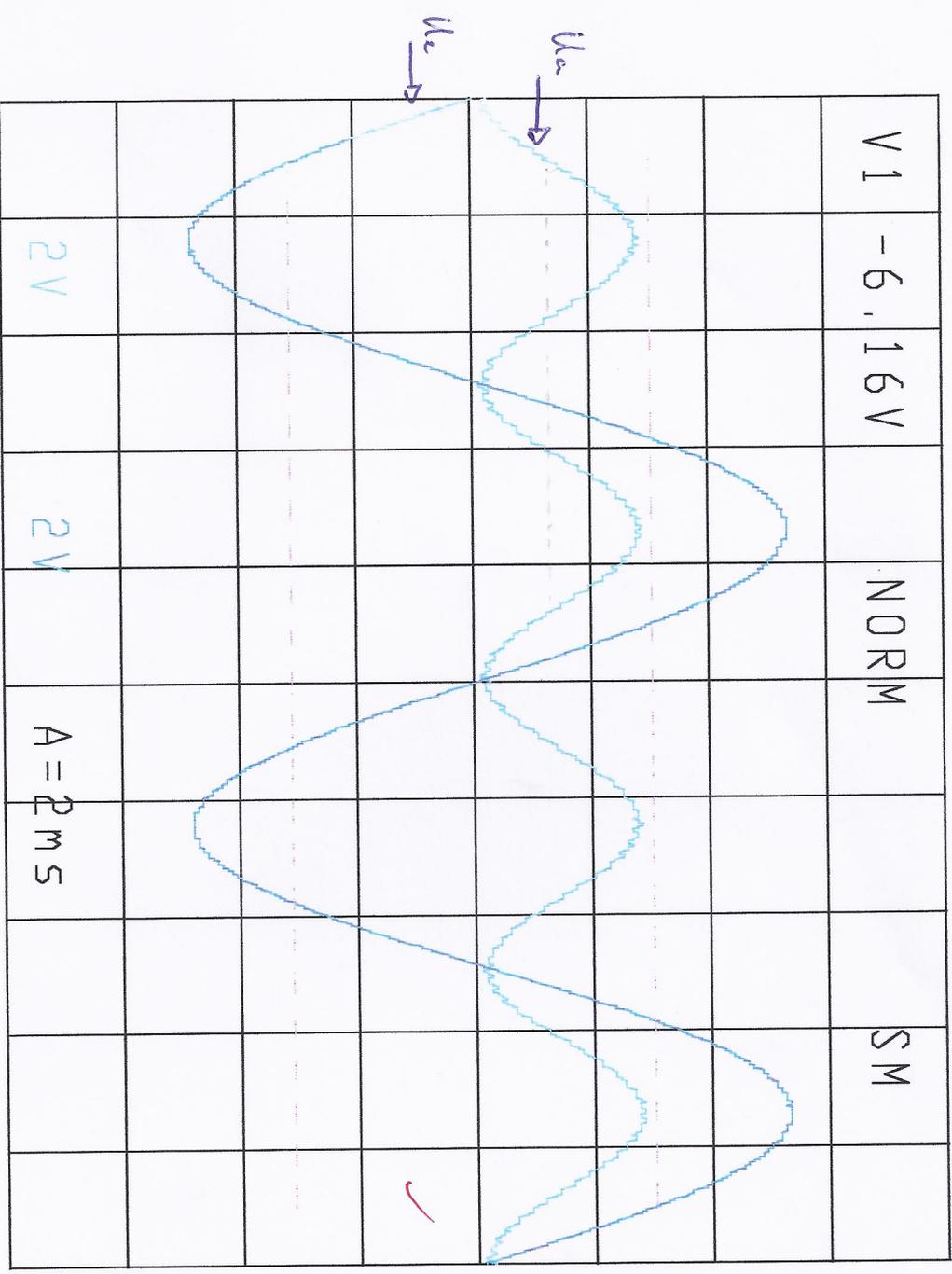
$U_e = 2.5V \quad P_{direkt} = 0.754W$
 $P_{sollig} = 0.74W$

$U_e = 5.1V \quad P_{direkt} = 2.645W$
 $P_{sollig} = 2.875W$

Die Werte der Soll liegt etwas höher.
 Ein Grund ist die Streuung durch die unterschiedlichen Rechenwerte.
 Der Verlauf der Fallkurve gilt bis zu dem Punkt in die Sättigung (Transistor)

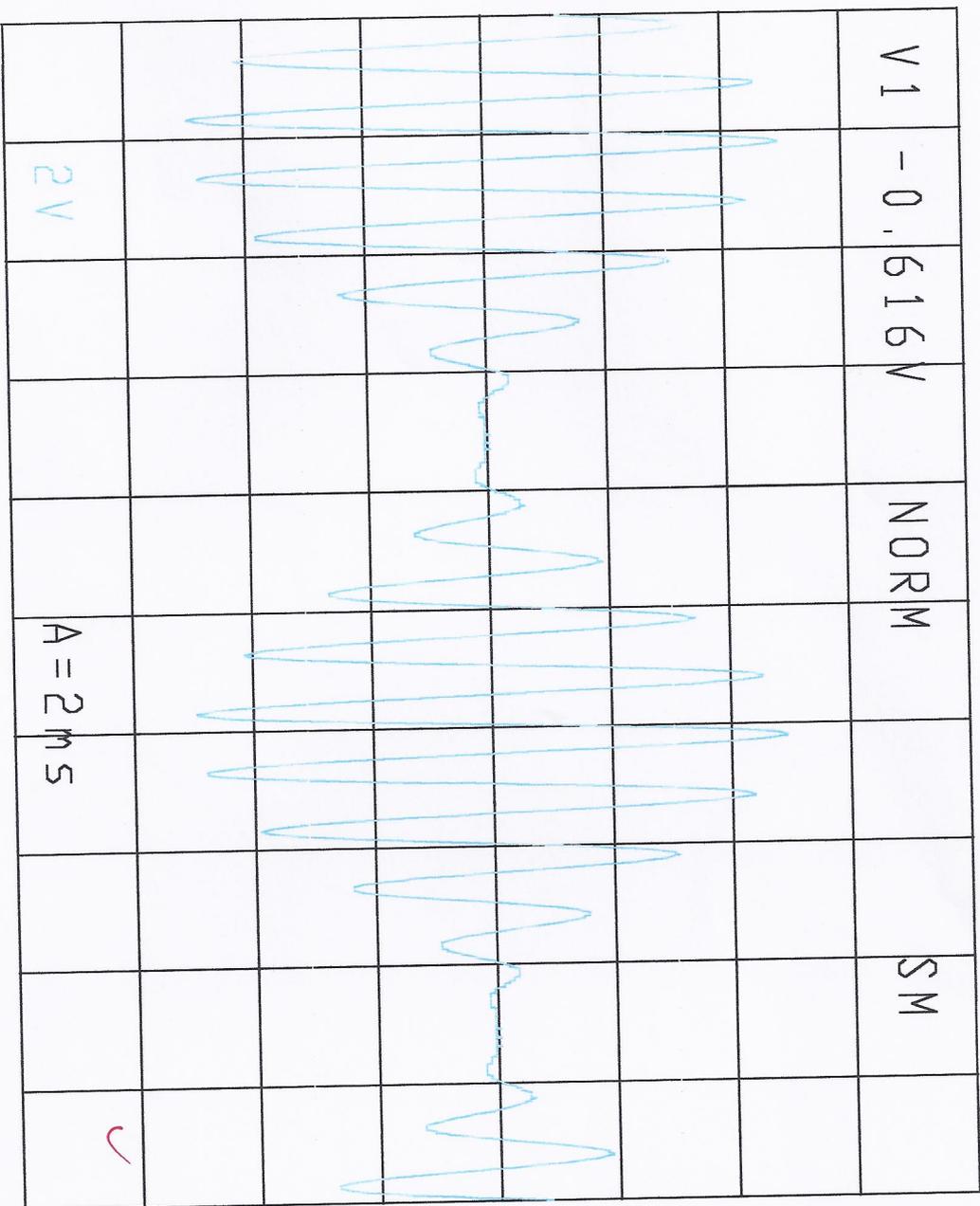
$\rightarrow U_e/V$

3.3. FT-Frequenzverdopplung



Im Vergleich mit der Vorlesung
 erweist man Abs-
 dinktion. ✓
 Für jede Δ der
 Frequenzverdopplung
 ohne Probleme zu
 erkennen.
 Ebenso Δ der
 Amplitudenänderung
 zu bemerken ✓

3.4. Modulation



Im Vergleich mit
 der Vorarbeit
 sieht sich auch hier
 Abszisse = Zeitachse
 Resultat ist
 die Frequenz. Die
 Modulation ist
 gut zu erkennen