

①

Versuch V305: Der Lock-In Verstärker
von Pelle Ofenbach und Robert Appel
durchgeführt am 18.10.16
Abgabe am 25.10.16

1. Abgabe 25.10.16



- Bilder in der Versuchs durchführung fehlen!
- Messpunkte nicht direkt verbinden!
- Quantitative Auswertung fehlt
- Diskussion etwas knapp
- kleinere Verbesserungen...

Mrs. 7.11.16

2. Abgabe 15.11.16 Kl.

noch OK!

R. 15.11.16

Theorie

präziser!

Bei dem Lock-In-Verstärker handelt es sich um ein Gerät, welches, neben einer Signalverstärkung, vor allem über eine filternde Funktion verfügt. Hierzu wird das durch Rauschen verunreinigte Eingangssignal (in Form einer Wechselspannung) in der Regel mit einem Bandpass vorgefiltert. Anschließend wird es im Herzstück des Lock-In-Verstärkers mit einer Referenzspannung der gesuchten Frequenz multipliziert. Hierbei handelt es sich häufig um eine Rechteckspannung in Fourier-Näherung.

In diesen Beispiel etwa:

$$U_{\text{ref}} = \frac{4}{\pi} (\sin(\omega t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega t) \dots)$$

Wobei $\omega = 2\pi f$ mit f als Frequenz. Gemeinsam mit einer Unverrauschten Signalspannung

$U_{\text{sig}} = U_0 \sin(\omega t)$ (mit Amplitude U_0) ergibt sich eine Ausgangsspannung von

$$U_{\text{out}} = \frac{2}{\pi} U_0 \left(1 - \frac{2}{3} \cos(2\omega t) - \frac{2}{15} \cos(4\omega t) + \dots \right)$$

welche mittels eines Tiefpassfilters auf ihren Gleichstromanteil reduziert wird. ✓ Da dieser Wert nur bei Phasengleichheit der Signale erreicht wird, besitzt der Lock-In Verstärker einen Phasenregler, um U_{ref} an U_{sig} an zu passen.

berlebig
nicht
notwendig

Liegt zwischen U_{ref} und U_{sig} eine Phase φ , so ergibt sich die Abgleichsgerechte Ausgangsspannung zu

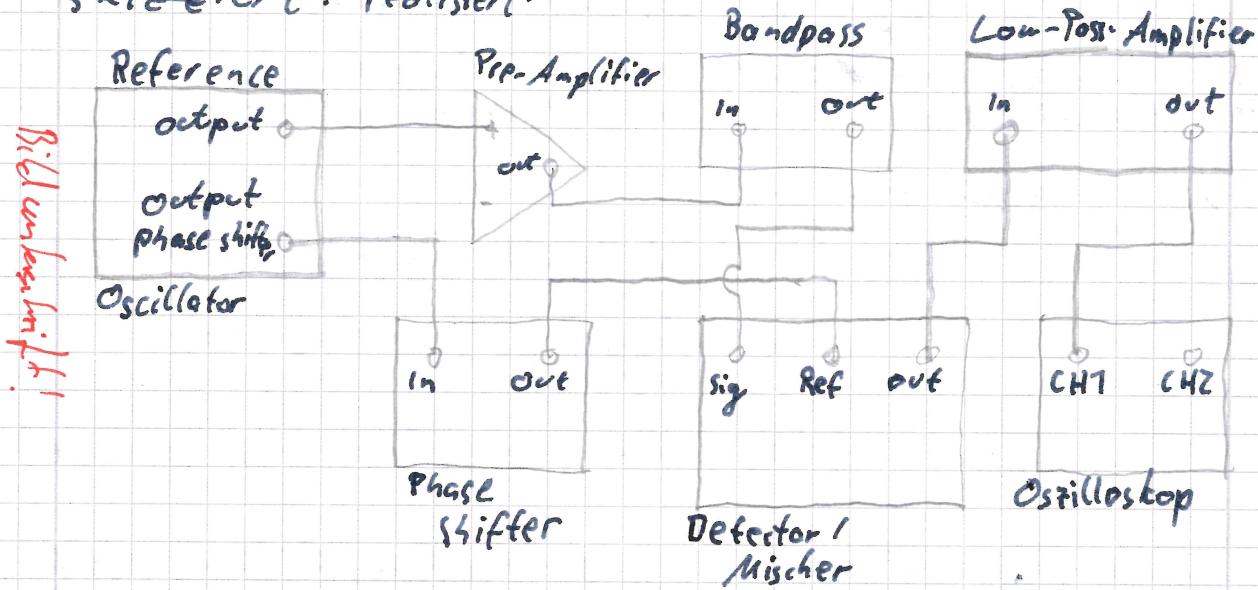
$$U_{out} = \frac{2}{\pi} U_0 \cos \varphi \quad \checkmark$$

Nur diese Formel ist wichtig!

Durchführung

Als erster Schritt des Versuchs sind die zwei Ausgangssignale des Reference Oscillators (output und output-phase shifter) darauf zu untersuchen, welcher von ihnen eine feste Spannung liefert. Bilder!

Daraufhin wird folgender Aufbau skizziert: realisiert:



Dabei wurden folgende Einstellungen vorgenommen:

U_{sig} : $f = 1 \text{ kHz}$

$\hat{U} = 20 \mu\text{V}$

U_{ref} : $f = 16 \text{ Hz}$

$\hat{U} = 71 \mu\text{V}$, Sinus

Pre-Amp: Gain = 5

Low-Pass: Gain = 1

Detector: Gain = 5

Time-const: 3,0

Anschließend werden die Ausgangsspannungen des Gesamt-
aufbaus (mit Hilfe des Oszilloskops) für folgende
Phasenunterschiede $\phi_1 - \phi_{10}$ zwischen U_{sig} und U_{ref}
aufgenommen:

$$\phi_1 = 0^\circ$$

$$\phi_6 = 75^\circ$$

$$\phi_2 = 15^\circ$$

$$\phi_7 = 90^\circ$$

$$\phi_3 = 30^\circ$$

$$\phi_8 = 105^\circ$$

$$\phi_4 = 45^\circ$$

$$\phi_9 = 180^\circ$$

$$\phi_5 = 60^\circ$$

$$\phi_{10} = 270^\circ$$

Bei Aufnahme dieser Werte fällt sofort auf, dass
eine Phasenverschiebung zur erwarteten
Cosinus-Abhängigkeit vorliegt. ✓

inscrön! Aus diesem Grund entschließen wir uns, zusätzlich
die Spannung nach jedem einzelnen Bauteil abzulegen,
um die Quelle dieser unerwarteten Phasenver-
schiebung $\Delta\phi_{intern}$ aufzufinden zu machen.

Zwischen den Ausgängen des Reference Oscillators
liegt eine Phasenverschiebung von $\Delta\phi_{ref} = 180^\circ$.

Der Pre-Amplifier gleicht diese mit einer
eigenen Verschiebung $\Delta\phi_{Pre-Amp} = -180^\circ$ aus.

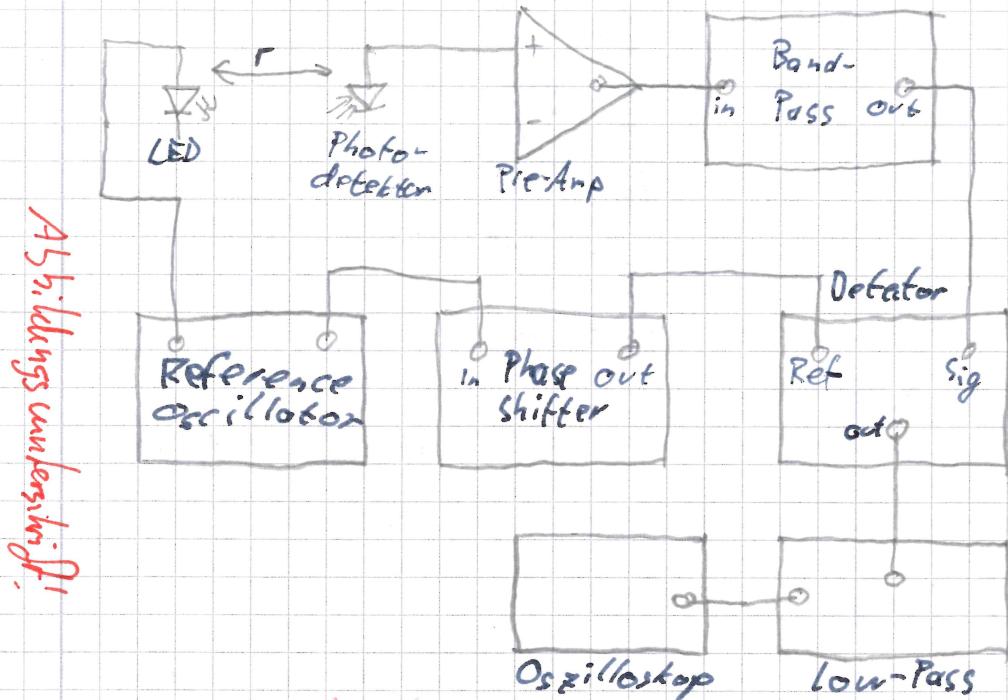
Die gesuchte Phasenverschiebung $\Delta\phi_{intern}$ röhrt von
Bandpass-Filter her.

Schön!

Nun wird der Noise-Generator vor dem
Pre-Amplifier geschaltet. Das Rauschen wird lieber
auf eine Amplitudenspannung von 11 Frequenz von
16Hz eingestellt und die Messung der Ausgangsspannung
für $\phi_1 - \phi_{10}$ wiederholt.

Zuletzt wird der Lock-In-Vervorstärker verwendet, um die Intensität I einer LED in Abhängigkeit von Abstand r zu berechnen.

Hierzu wird folgender Aufbau verwendet:



Der frei einstellbare Abstand r wird hierbei über eine Zn Schiene realisiert, welche über eine eigene Skalierung verfügt.

Die LED wird mit einer Rechteckspannung von 65,5 V bei 103,5 Hz betrieben.

Auswertung:

Im ersten Teil des Versuches stellt man fest, dass am Referenzausgang die Spannung variabel ist. Während die Spannung am Oszillatoren ausgang einen festen Wert von 11 Volt hat. ✓

Im zweiten Teil beobachteten wir den Zusammenhang zwischen der Referenzspannung und der Signalspannung. In der Grafik [Anlage: S. [Grafik 2]] haben wir den Sachverhalt, wie folgt dargestellt. Laut Versuchsanleitung gilt:
 $U_{\text{out}} = \frac{2}{\pi} U_0 \cos(\varphi)$. Um unsere Werte mit den Erwartungswerten zu vergleichen, stellen wir die Gleichung zum Kosinus der Phasenunterschiede um. Also folgt somit: $\frac{\pi}{2} \frac{U_{\text{out}}}{U_0} = \cos(\varphi)$. Daraus ist ersichtlich, dass unsere Messwerte einen Phasenunterschied zum Kosinus der Phasenunterschiede aufweisen. Trotzdem kann man aus beiden Signalen einen Kosinus erhalten.
Achtung Quantitativ ausschöpfen! ✓

Im dritten Teil des Versuches untersuchen wir die Rauschunterdrückung des Lock-in Verstärkers an hand einer Photodetektorschaltung. Indem wir die gemessene Intensität I zum Abstand auftragen. Die LED wird mit einer Rechteckspannung von 65,6 Volt und 103,5 Herz betrieben. Wir erwarten einen Intensitätsabfall mit Eins durch Abstandsquadrat ($\frac{1}{r^2}$). Trägt man diese Werte in ein doppeltlogarithmisches Koordinatensystem ein kann man einen linearen Abfall betrachten, wie man in der Grafik 2 (Anlage S.) sehen kann.

Quantitativ!

Discussion: etwas knapp!

Im zweiten Teil des Versuches stellten wir fest, dass es einen Phasenunterschied zwischen den Erwartungsweiten und den gemessenen Werten gab. Dieser Fehler liegt innerhalb des Bandpass-filters, wie wir auch in Grafik 3 [Anlage G] festgestellt haben. Wir konnten diesen Phasenunterschied feststellen, obwohl der Phasenunterschied laut Apparatur Null sein sollte. Weisst du warum dies passiert ist? (siehe oben)

Mehr zu Messwerte / Fehlerquellen
und zu LED Verzerrung

Anlagen:

1. [1 Tab] Messwerte $\Delta\varphi/\text{Vout}$ ohne und mit Rauschen
2. [2.1 Tab] 1. Messwerte r/Vout Photodetektorschaltung
3. [2.2 Tab] 2. Messwerte r/Vout Photodetektorschaltung
4. [Grafik 1] Uout - Phasenabhängig
5. [Grafik 2] Doppeltlogarithmisch Intensität abhängig von r
6. [Grafik 3] Phasenunterschied innerhalb des Verstärkers

Beschreibungen direkt an die Grafiken

Abb. XY: ... ↗

LP: Gain 1 Pre-amp 30 dB/oct

BP: f. fine = 50 Hz Pre-amp: Gain 5 Lock-in: Gain 5
Chirp Rauschen

$$\Delta\phi = 0^\circ \quad \text{U}_{\text{out}} = 34,2 \text{ V}$$

$$\Delta\phi = 90^\circ \quad \text{U}_{\text{out}} = -76,3 \text{ V}$$

$$\Delta\phi = 180^\circ \quad \text{U}_{\text{out}} = -28,0 \text{ V}$$

$$\Delta\phi = 270^\circ \quad \text{U}_{\text{out}} = 76,0 \text{ V}$$

$$\Delta\phi = 150^\circ \quad \text{U}_{\text{out}} = 20,0 \text{ V}$$

$$\Delta\phi = 33^\circ \quad \text{U}_{\text{out}} = \cancel{100,0} \text{ V} + 50 \text{ V}$$

$$\Delta\phi = 45^\circ \quad \text{U}_{\text{out}} = -21,5 \text{ V}$$

$$\Delta\phi = 60^\circ \quad \text{U}_{\text{out}} = -48,0 \text{ V}$$

$$\Delta\phi = 75^\circ \quad \text{U}_{\text{out}} = -67,9 \text{ V}$$

$$\Delta\phi = 105^\circ \quad \text{U}_{\text{out}} = \cancel{80,0} \text{ V} - 85,4 \text{ V}$$

drift Rauschen

KOMM BP: f. fine = 50 Hz Grunge Bl. Hz

$$\Delta\phi = 0^\circ \quad \text{U}_{\text{out}} = 28,0 \text{ V}$$

$$\Delta\phi = 15^\circ \quad \text{U}_{\text{out}} = 12,1 \text{ V}$$

$$\Delta\phi = 30^\circ \quad \text{U}_{\text{out}} = 1,99 \text{ V}$$

$$\Delta\phi = 45^\circ \quad \text{U}_{\text{out}} = -18,0 \text{ V}$$

$$\Delta\phi = 60^\circ \quad \text{U}_{\text{out}} = -38,0 \text{ V}$$

$$\Delta\phi = 75^\circ \quad \text{U}_{\text{out}} = -53,6 \text{ V}$$

$$\Delta\phi = 90^\circ \quad \text{U}_{\text{out}} = -58,0 \text{ V}$$

$$\Delta\phi = 105^\circ \quad \text{U}_{\text{out}} = -63,9 \text{ V}$$

$$\Delta\phi = 116^\circ \quad \text{U}_{\text{out}} = -74,1 \text{ V}$$

$$\Delta\phi = 130^\circ \quad \text{U}_{\text{out}} = \cancel{8,60,0} \text{ V}$$

M

Photo-Detector

Meße 5,2 Step

[LED] → [PSD]



0 10
10 20
20 30
30 40
40 50
50 60
60 70
70 80

Spannung LED: 65,6 V

Wig = 103,5 Hz

Pre-Amp-Gain: 200

Coupl.-Gain: 90

LP-Gain: 100

Not

AB 1034 7732

1034 42 V

22 V

12 V

8,772

6,0 V

unstabil
neu
richtig

Neu Justiert

LP Gain 200

10
20
30
40
50
60
70
80

Not

112 V

113 V

66,2 V

38,0 V

29,7 V

17,7 V

16,93 V 72,5 ± 0,5

9,99 V

7,99 V

6,0 V

112

Photo-Detector

Vorverstärker: 65,6 V

Thig = 100,5 Hz

5,2 VDC
→ PS-D

Pre-Amp-Swing: 70

Out-1/2-Gain: 70
LP-Gain: 100

10
Vout

Max

AB 1.232 7732

AB 1.232 47 V

22 V

72 V

8732

60 V

Max
Vout
new
voltage
1.232

Justiert

LP Gain 200

Max.

112 V

113 V

66,2 V

38,0 V

29,2 V

17,7 V

AB 1.232 12,5 ± 0,5

9,99 V

7,99 V

6,0 V

M2

X
65
75
85
95
105

Uout
 $3,4V \pm 0,5$
 $2,3V$
 $2,2V \pm 0,1$
 $1,7V \pm 0,28$
 $1,0 \pm 0,3$

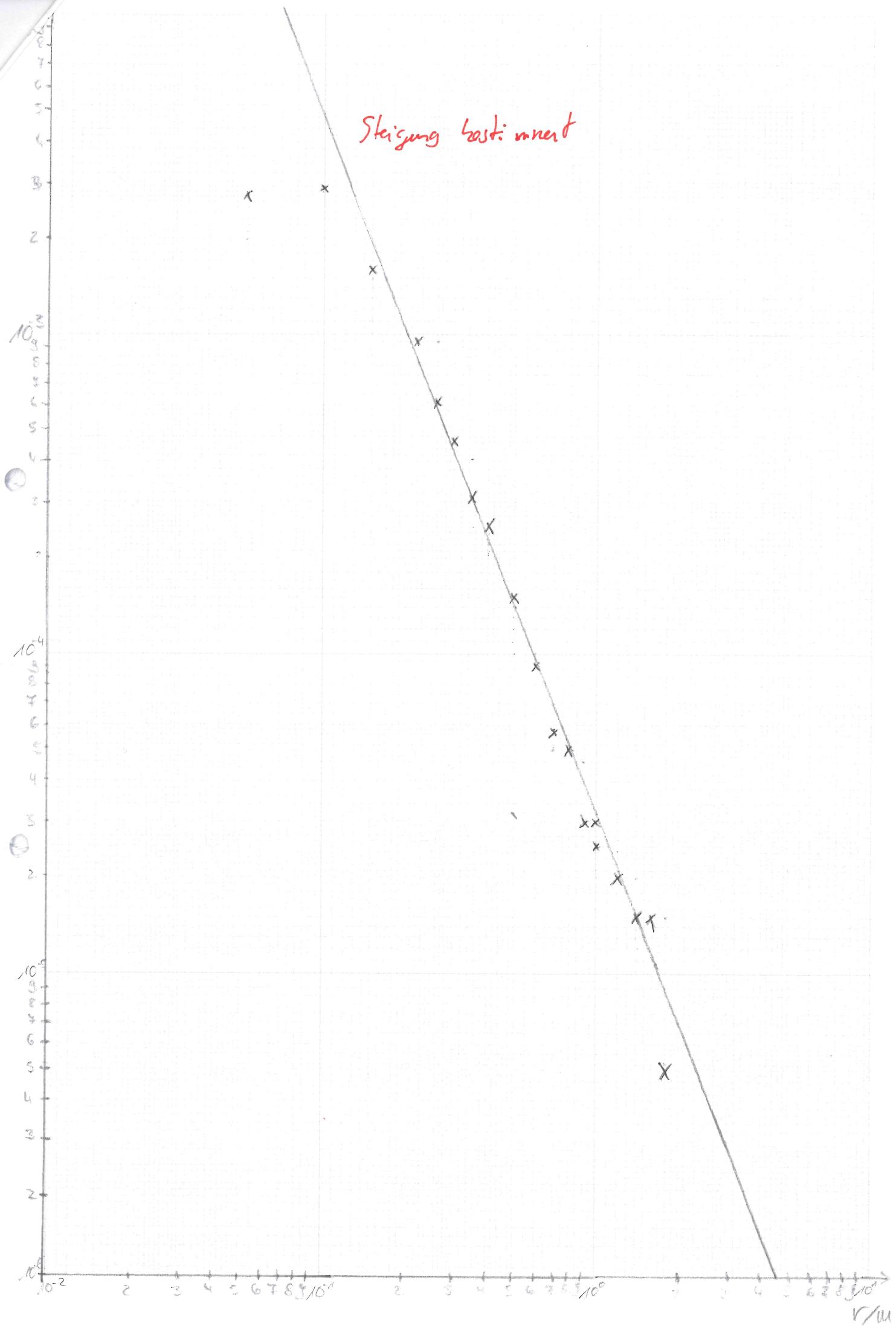
- - - - -
105
725
745
165
185

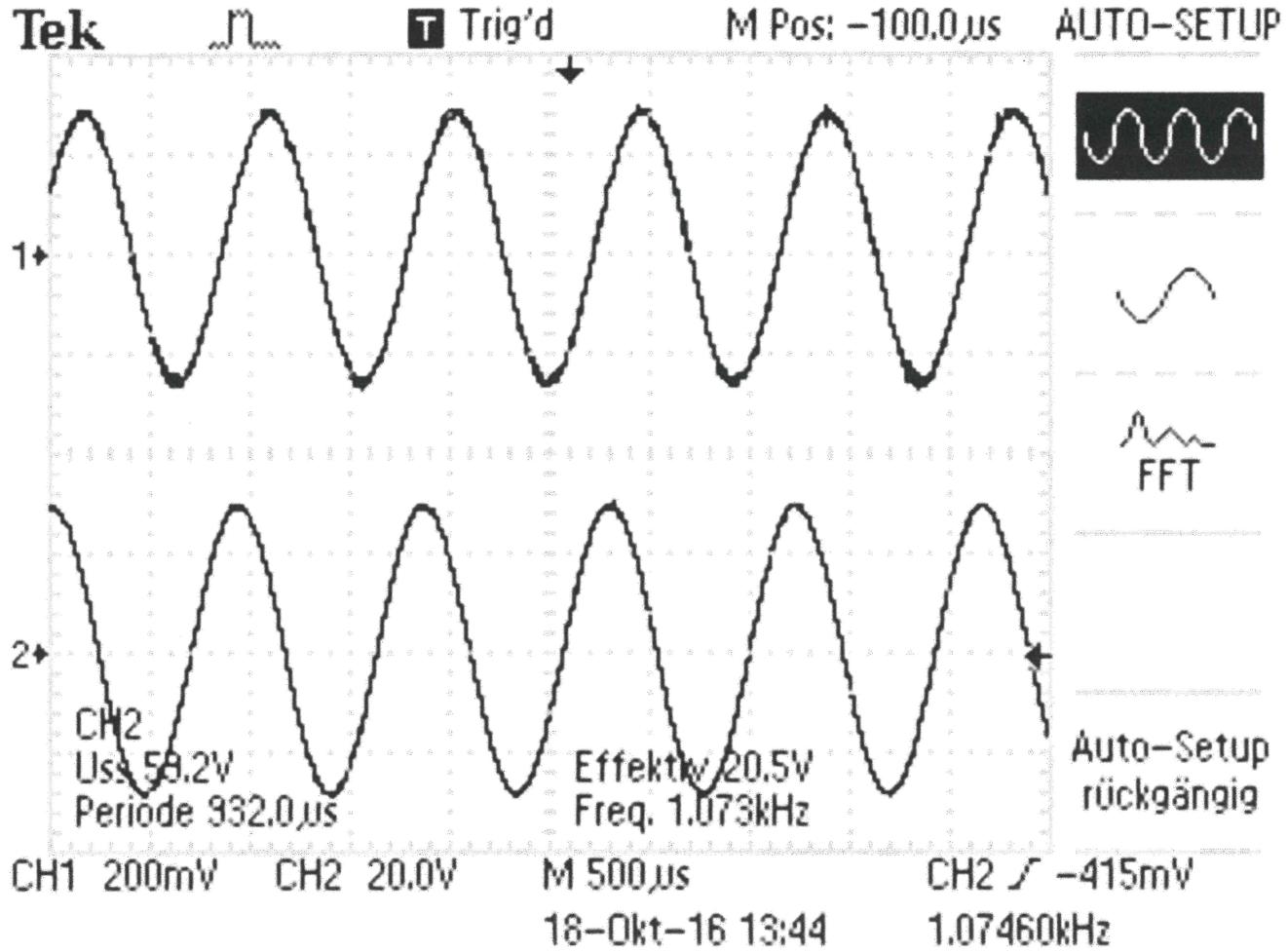
LP Gain 500
Pre-Amp 50
37 10 - 20

2A 5 - 15V
5 - 10V
5 - 10V
0 - 5V

~~MN.~~

Steigung konstant





Zusatz zum Praktikums Protokoll:

Versuch V303: Der Loch-In Verstärker
von Pelle Odenbach und Robert Appel
(pelle.odenbach@tu-dortmund.de, robertappel@tu-dortmund.de)
Abgabe: 15.11.16

Zusatz zur Auswertung:

Zur Auswertung d. zweiten Teils d. Versuches:

Zwischen dem Kosinus des Signals und der Erwartungswerte lässt sich ein Phasenunterschied von $\frac{\pi}{3}$ (mit einem Lineal) messen.

Zur Auswertung d. dritten Teils d. Versuches:

Au Graphen [Grafik 2] kann man die Steigung mit $\frac{dy}{dx} = \frac{-4,5\text{cm}}{1,8\text{cm}} = -2,5$ (mit Lineal) messen. Daraus folgt, da dieser Plot doppeltlogarithmisch ist, dass ein $(r^{(-2,5)})$ -Zusammenhang zwischen Intensität und Abstand vorliegt. ✓

Zusatz zur Diskussion:

Alle Messwerte unterliegen natürlich der allgemeinen Messungenauigkeiten. Zudem war im dritten Teil des Versuches die LED nicht perfekt auf d. Photodiode ausgerichtet. Trotzdem entsprachen d. Messwerte größtenteils den Erwartungswerten.

