

# Messtechnik LU

376.046 *Wintersemester 2018*

PATRICK STAR - 0000000

KATHI SOPHIE - 0000000

OSKAR FÜRNHAMMER - 01329133

Studienkennzahl 033 235



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>U/I/R-Messung und Messwerke</b>	<b>1</b>
1.1	Einleitung . . . . .	1
1.2	Spannungs-, Strom- und Widerstandsmessung . . . . .	2
1.2.1	Spannungsmessung . . . . .	2
1.2.2	Strommessung . . . . .	4
1.2.3	Widerstandsmessung . . . . .	6
1.3	Spannungsmessung mit dem Oszilloskop . . . . .	7
1.3.1	Tastkopf . . . . .	7
1.3.2	Spannungsmessung . . . . .	7
1.3.3	RMS im Detail . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Messbrücken und Messverstärker</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Signalübertragung</b>	<b>10</b>
3.1	Einleitung . . . . .	10
3.2	Signalübertragung auf ungestörten Drahtleitungen . . . . .	11
3.2.1	Reflexionen . . . . .	11
3.2.2	Bandbreite . . . . .	12
3.3	Signalübertragung über einen gestörten Kanal . . . . .	13
3.3.1	Bestimmung des Signal-to-Noise Ratios . . . . .	13
3.3.2	Differentielle Übertragung . . . . .	14
3.3.3	Signalübertragung von digitalen Signalen . . . . .	14
3.4	Signalübertragung mittels Stromsignalen . . . . .	15
<b>4</b>	<b>Abtastung und automatisierte Messsysteme</b>	<b>17</b>
4.1	Einleitung . . . . .	17
4.2	Spannungsmessung . . . . .	17
4.3	Umwandlung von singleended auf differentielle Signale . . . . .	17
4.4	Automatisierte Messsysteme . . . . .	17
<b>5</b>	<b>Sensoren und frequenzselektive Messverfahren</b>	<b>18</b>
5.1	Einleitung . . . . .	18
5.2	Kennlinie des Näherungssensors . . . . .	19
5.3	Rauschen und Auflösung . . . . .	21

5.4	Spektrum der Fremdlichtintensität . . . . .	22
5.5	Phasenselektiver Synchrongleichrichter (PSSG) . . . . .	23
5.6	Phasenunabhängiger Synchrodemodulator (PUSD) . . . . .	25
<b>A</b>	<b>Eigentumserklärung</b>	<b>26</b>

# Abbildungsverzeichnis

5.1	Kennlinie Reflektor 1 und 2 . . . . .	19
5.2	Linearisierung Reflektor 1 . . . . .	19
5.3	Linearisierung Reflektor 2 . . . . .	20
5.4	Prozentuelle Abweichung Kennlinie Linearisierung Messbereich 1	20
5.5	Prozentuelle Abweichung Kennlinie Linearisierung Messbereich 2	21
5.6	Schaltbild . . . . .	22
5.7	Schaltbild zur Berechnung des Spektrums der Fremdlichtintensität	23
5.8	Schaltbild PSSG . . . . .	24
5.9	Schaltbild PUSD . . . . .	25

# U/I/R-Messung und Messwerke

## 1.1 Einleitung

Teilnehmer	Oskar Fürnhammer, Katharina Kralicek, Patrick Mayr
Datum	26.11.2018
Messplatzbez.	CA0402-3

Tabelle 1.1: Grundlegende Information der 1. Laborübung

Gerät	Bezeichnung
Multimeter	Agilent U1232A
Multimeter	Agilent U1232A
Multimeter	Neumann 9140
Netzgerät	Rigol DP832
Oszilloskop	Keysight DSOX2002A
Funktionsgenerator	Agilent U1232A

Tabelle 1.2: Verwendete Geräte

## 1.2 Spannungs-, Strom- und Widerstandsmessung

### 1.2.1 Spannungsmessung

#### Berechnung des Innenwiderstandes des Voltmeters

In der ersten Übung soll der Innenwiderstand des Voltmeters ermittelt werden. Die Schaltung zur Messung des Spannungswertes wird laut Abb. aufgebaut  
TODO: SCHALTUNG

Dieser Schaltung wurde mit einer Spannung  $U$  von 10V versorgt. Der mit einem Ohmmeter gemessenen Widerstand  $R_1$  ergab  $100,2k\Omega$ . Die Spannung  $U_V$  am Voltmeter betrug 9,90V.

Die Spannung am Widerstand  $R_1$  wird aus der Differenz von der Eingangsspannung und der Spannung am Voltmeter berechnet:

$$U_{R1} = U - U_V = 0,1V \quad (1.1)$$

Der Strom durch  $R_1$  ergibt sich als Quotient aus der berechneten Spannung und dem Widerstand  $R_1$ :

$$I = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{U - U_V}{R_1} = 0,998\mu A \quad (1.2)$$

Der Innenwiderstand des Voltmeters  $R_i$  wird aus den zuvor berechneten Spannung und Strom berechnet:

$$R_i = \frac{U_V}{I} = 9,92M\Omega \quad (1.3)$$

Spannungsquelle $U[V]$	10
Vorwiderstand $R_1[k\Omega]$	100,2
Spannung an Voltmeter $U_V[V]$	9,90
Spannung am Widerstand $R_1[V]$	0,1
Strom durch $R_1[\mu A]$	998
Innenwiderstand $R_i[M\Omega]$	9,92

Tabelle 1.3: Auswertung dieser Übung

Der Innenwiderstand des Multimeters ist im MegaOhm-Bereich, damit der Strom, der durch das Messgerät fließt, klein ist, um die Spannungsmessung so gering wie möglich zu verfälschen.

### Bestimmung der Spannung am Multimeter

Bei dieser Messung soll eruiert werden, wie sich die Spannungsmessung auf die Berechnung des Innenwiderstandes auswirkt.

TODO: SCHALTUNG

Dieser Schaltung wurde mit einer Spannung  $U$  von 10V versorgt. Der mit einem Ohmmeter gemessenen Widerstand  $R_M$  ergab  $100,2\text{k}\Omega$ . Die Spannungen  $U_{V1}$  und  $U_{V2}$  an den beiden Voltmetern betrugen  $9,80\text{V}$ .

Die beiden parallel geschalteten Voltmetern werden in der Berechnung als Ersatz-Innenwiderstände ersetzt. Es wird angenommen, dass beide Ersatzwiderstände den selben Wert haben.  $R_i = 9,92\text{M}\Omega$

$$R_{iG} = \frac{R_{i1} \cdot R_{i2}}{R_{i1} + R_{i2}} \quad (1.4)$$

Die Spannung am Voltmeter V2 wird als Teilspannung mit Hilfe der Spannungsteilerregel berechnet:

$$U_{V2} = U \cdot \frac{R_{iG}}{R_M + R_{iG}} \quad (1.5)$$

TODO: BERECHNUNG + Interpretation

Spannungsquelle $U[\text{V}]$	10
Spannung an Voltmeter $U_{V1}[\text{V}]$	9,80
Spannung an Voltmeter $U_{V2}[\text{V}]$	9,80

Tabelle 1.4: Auswertung dieser Übung

### Messbereichserweiterung

Das Ziel dieser Teilübung ist, den Messbereichserweiterung der Spannungsmessung zu erstellen.

TODO: SCHALTUNG

Dieser Schaltung wurde mit einer Spannung  $U$  von 10V versorgt. Die Widerstände  $R_M$  und  $R_V$  wurde jeweils mit einem Ohmmeter gemessen und ergaben  $99,5\text{k}\Omega$  für  $R_M$  bzw.  $100,2\text{k}\Omega$  für  $R_V$ . Die gemessene Spannung  $U_{RM}$  an dem Widerstand  $R_M$  betrug  $4,952\text{V}$ .

Der Faktor  $f_{ME}$  der Messbereichserweiterung wird mit der Formel 1.6 berechnet:

$$f_{ME} = \frac{U}{U_{RM}} \quad (1.6)$$

Die Eingangsspannung  $U$  wird aus der Addition von der Spannung vom Widerstand  $R_M$  und von der vom Vorwiderstand  $R_V$  errechnet.

$$U = U_V + U_{RM} = I \cdot R = I \cdot (R_V + R_M \parallel R_{i2}) \quad (1.7)$$

Die Spannung  $U_V$  am Vorwiderstand  $R_V$  wird durch die folgende Formel berechnet:

$$U_V = I \cdot R_V \quad (1.8)$$

Die Spannung  $U_{RM}$  am Widerstand  $R_M$ :

$$U_{RM} = I \cdot (R_M \parallel R_{i2}) \quad (1.9)$$

Das Voltmeter wird durch einen Ersatz-Innenwiderstand ersetzt, somit ergibt sich der Parallelwiderstand  $R_P$

$$R_P = \frac{R_M \cdot R_{i2}}{R_M + R_{i2}} = 98,5 k\Omega \quad (1.10)$$

Setzt man die übrigen Formeln in die Formel ein, bekommt man: !!REFERENZ!!

$$f_{ME} = \frac{R_V + R_P}{R_P} = 2,02 \quad (1.11)$$

Spannungsquelle $U[V]$	10
Spannung am Widerstand $R_M [V]$	4,952
Widerstand $R_M [k\Omega]$	99,5
Widerstand $R_V [k\Omega]$	100,2
Faktor der Messbereichserweiterung $f_{ME}[1]$	2,02

Tabelle 1.5: Auswertung dieser Übung

### 1.2.2 Strommessung

#### Berechnung des Innenwiderstandes des Amperemeters

In dieser Übung soll der Innenwiderstand des Amperemeters ermittelt werden. Die Schaltung zur Messung des Stromwertes wird folgende Schaltung aufgebaut.  
TODO: SCHALTUNG

Um dieser Schaltung mit einem Strom  $I$  von  $500\mu A$  zu versorgen, wurde die Spannungsquelle  $U_A$  auf 1,5V gestellt. Der mit einem Ohmmeter gemessene Widerstand  $R_1$  ergab  $4,63k\Omega$ .

Der Innenwiderstand des Amperemeters  $R_i$  wird aus dem gemessenen Spannungs- und Stromwert berechnet:

$$R_i = \frac{U_A}{I} = 3k\Omega \quad (1.12)$$



Spannung am Voltmeter $U[V]$	1,501
Strom durch das Amperemeter $I[\mu A]$	500,6
Innenwiderstand $R_i[k\Omega]$	4,633

Tabelle 1.6: Auswertung dieser Übung

### Bestimmung des Stromes durch das Amperemeter

Bei dieser Messung soll eruiert werden, wie sich die Strommessung auf die Berechnung des Innenwiderstandes auswirkt.

TODO: SCHALTUNG

Die Spannungsversorgung wurde so lange erhöht, bis der Strom  $I_1$   $500\mu A$  erreicht wurden. Danach wurde der Bügel entfernt und erneut den Strom  $I_2$  abgelesen. Die Ströme wurden mit dem Amperemeter  $A^*$  gemessen. Die Spannung am Widerstand  $R_1$  wird aus der Differenz von der Eingangsspannung und der Spannung am Voltmeter berechnet:

Strom $I_1[\mu A]$	499,8
$R_{ges1}[k\Omega]$	7,63
Strom $I_2[\mu A]$	361,2
$R_{ges2}[k\Omega]$	10,6
Faktor - Verhältnis von Strömen und Widerständen $f_A[1]$	1,393

Tabelle 1.7: Auswertung dieser Übung

### Messbereichserweiterung

Die Destination dieser Teilübung ist, den Messbereichserweiterung der Spannungsmessung zu erstellen.

TODO: SCHALTUNG

Der Faktor  $f_{ME}$  der Messbereichserweiterung wird berechnet aus:

$$f_{ME} = \frac{I^*}{I} = 1,32 \quad (1.13)$$

$R_P[k\Omega]$	9,85
$I^*[\mu A]$	500
$I[\mu A]$	378
Faktor der Messbereichserweiterung $f_{ME}[1]$	1,32

Tabelle 1.8: Auswertung dieser Übung

### 1.2.3 Widerstandsmessung

$$R = 100\Omega$$

	U [V]	I[A]	$R_{ber}[\Omega]$
spannungsrichtige Messung	10	0,1	100
stromrichtige Messung	2	647,6 $\mu$	88

Tabelle 1.9: Auswertung dieser Übung

$$R = 100k\Omega$$

	U [V]	I[ $\mu$ A]	$R_{ber}[k\Omega]$
spannungsrichtige Messung	1,938	19,51	100,34
stromrichtige Messung	2	19,38	100,199

Tabelle 1.10: Auswertung dieser Übung

## 1.3 Spannungsmessung mit dem Oszilloskop

### 1.3.1 Tastkopf

f [Hz]	$U_{abgeglichen}$ [V]	$U_{unterkompensiert}$ [V]	$U_{ueberkompensiert}$ [V]
100	10,1	10,1	10,1
1k	10,2	9,8	10,9
10k	10,2	7,6	14,3
100k	10,3	7,4	14,6

Tabelle 1.11: Auswertung dieser Übung

### 1.3.2 Spannungsmessung

50Ω

f [Hz]	Signalform	$U_{pp}$ [mV]	$U_{RMS}$ [mV]
1k	Sinus	920	317
1k	Dreieck	900	259
10k	Dreieck	920	259
100k	Dreieck	950	262
1k	Rechteck	892	
10k	Rechteck	892,5	
100k	Rechteck	892,5	

Tabelle 1.12: Auswertung dieser Übung

*HighImp.*

f [Hz]	Signalform	$U_{pp}$ [V]	$U_{RMS}$ [V]
1k	Sinus	470	159
1k	Dreieck	470	130
10k	Dreieck	470	130
100k	Dreieck	480	131
1k	Rechteck	445	
10k	Rechteck	445	
100k	Rechteck	445	

Tabelle 1.13: Auswertung dieser Übung

### 1.3.3 RMS im Detail

f [Hz]	Signalform	$U_{pp,Oszl}[V]$	$U_{RMS,Oszl}[V]$	$U_{RMS,MM1}[V]$	$U_{RMS,MM2}[V]$
1k	Sinus	20,5	7,11	7,04	7,01
100k	Sinus	20,5	7,20	7,0	0,94
1M	Sinus	0,527	0,181	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-3}$
1k	Dreieck	20,3	5,80	5,73	5,50
100k	Dreieck	20,5	5,88	5,74	0,114
300k	Dreieck	$281 \cdot 10^{-3}$	$80 \cdot 10^{-3}$	$1,27 \cdot 10^{-3}$	$0,06 \cdot 10^{-3}$
1k	Rechteck	19,94	9,97	9,78	10,84
100k	Rechteck	20,0	10,0	8,99	0,22
1M	Rechteck	$266 \cdot 10^{-3}$	$133 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 1.14: Auswertung dieser Übung

# Messbrücken und Messverstärker

# Signalübertragung

## 3.1 Einleitung

Teilnehmer	Oskar Fürnhammer, Katharina Kralicek, Patrick Mayr
Datum	03.12.2018
Messplatzbez.	CA0406-1

Gerät	Bezeichnung
Multimeter	Neumann 9400
Multimeter	Agilent U1232A
Netzgerät	Rigol DP832
Oszilloskop	Agilent Technologies DSO-X 2002A
Funktionsgenerator	Agilent 33500B

Tabelle 3.1: Verwendete Geräte

## 3.2 Signalübertragung auf ungestörten Drahtleitungen

### 3.2.1 Reflexionen

In dieser Übung soll analysiert werden, welchen Einfluss der Abschlusswiderstand auf die Signalübertragung auf einer 30m langen Drahtleitungen haben. Um die Reflexion am Abschlusswiderstand messen zu können, wurden die Leitung an den Abschlüssen der entsprechenden Kabelboards angeschlossen. Die nicht genutzten Abschlüssen wurden mit einem Kurzschlusswiderstand versehen. Als Signalübertragung wurde die Single-Ended Voltage Signalling genommen. Am Eingang wurde der Frequenzgenerator angeschlossen und die entsprechenden Einstellungen für das Signal sind in der Tabelle 3.2 ersichtlich.

Amplitude	Offset	Frequenz	Signalform
$100mV_{pp}$	4V	10kHz	Rechteck

Tabelle 3.2: Einstellungen des Frequenzgenerators

Es wurde die Reflexionen bei verschiedenen Abschlusswiderstand aufgenommen.

Abschlusswiderstand $R_A$	$ V_{1,peak} [mV]$	$ V_{2,peak} [mV]$	$\Delta t_{peaks}[ns]$
$\infty$	135	84,75	370
50	25,5	8,5	350
100	-	-	-
200	33,25	8,5	380

Tabelle 3.3: Auswertung dieser Übung

Die Dämpfung kann über das Verhältnis  $\frac{U(100)}{U(0)}$  berechnet werden, wobei man die Spannungen mit der Formel 3.1 ermittelt werden können.

$$U(z) = U(0) \cdot e^{-\alpha z} \quad (3.1)$$

Das  $\alpha$  wird mit der Formel 3.1 berechnet. Für  $z$  wird die doppelte Kabellänge eingesetzt und die Spannungswerte für totale Reflexion werden aus der Tabelle 3.3 entnommen. Daraus ergibt für  $\alpha$  den Wert  $7,76 \cdot 10^{-3} \frac{1}{m}$ .

$$\alpha = -\frac{1}{60} \cdot \ln\left(\frac{U(60)}{U(0)}\right) \quad (3.2)$$

Zur Berechnung der Dämpfung setzt man den zuvor berechneten Wert von  $\alpha$  und die Formel 3.1 in die Formel für die Dämpfung ein.

Dämpfung $[dB/100m]$
XXX

Bei der Messung mit dem Abschlusswiderstand von  $100\Omega$  könnten keine sinnvolle Daten aufgenommen, da der Abschlusswiderstand gleich dem Wellenwiderstand ist. Daher treten auch keine Reflexionen auf.

Die Geschwindigkeit  $c$  des Signals wird über die Formel 3.3 berechnet und daraus ergibt sich für eine Signallaufzeit von  $370ns$  eine Geschwindigkeit von  $162 \cdot 10^6 \frac{m}{s}$ .

Das ist in etwa  $\frac{2}{3}$  der Lichtgeschwindigkeit.

$$c = \frac{2 \cdot l_{Kabel}}{\Delta t} \quad (3.3)$$

Leitungswiderstand $Z_L [\Omega]$
100

Ausbreitungsgeschwindigkeit $c [\frac{m}{s}]$
$162 \cdot 10^6$

### 3.2.2 Bandbreite

Die Bandbreite ist ein Bereich im Frequenzspektrum, in dem die Verstärkung größer als 3db ist. Um die Grenzfrequenz zu ermitteln, wird sukzessive die Frequenz erhöht, bis die Ausgangsgröße um das  $\frac{1}{\sqrt{2}}$ -fache kleiner als die Eingangsgröße ist. Am Eingang wurde der Frequenzgenerator angeschlossen und die entsprechenden Einstellungen für das Signal sind in der Tabelle ?? ersichtlich. Das Kabel wird mit dem Abschlusswiderstand  $R_A = 100 \Omega$  abgeschlossen.

Amplitude	Offset	Frequenz	Signalform
$100mV_{pp}$	4V	100kHz-10MHz	Rechteck

Tabelle 3.4: Einstellungen des Frequenzgenerators

Die Übertragungsstrecke zeigt ein Tiefpassverhalten.



Bandbreite B [MHz]
6,9

### 3.3 Signalübertragung über einen gestörten Kanal

#### 3.3.1 Bestimmung des Signal-to-Noise Ratios

In dieser Übung soll evaluiert werden, wie sich die Störsignalen auf die Signalübertragung auswirken. Die Schaltung wird um den Störsender erweitert, der parallel zur Signalleitung angebracht wird. Am Eingang wurde der Frequenzgenerator angeschlossen und die entsprechenden Einstellungen für das Signal sind in der Tabelle 3.5 ersichtlich. Das Kabel wird mit dem Abschlusswiderstand  $R_A = 100 \, \Omega$  abgeschlossen.

	Amplitude	Offset	Frequenz	Signalform
Sender	-	4V	-	DC
Störsender	3Vpp	2V	10MHz	Noise

Tabelle 3.5: Einstellungen des Frequenzgenerators

Bei der Messung am Oszilloskop ergaben die folgenden Werten:

Rauschen $U_{n,se}$ [mV]
13,7

Amplitude $U_s$ [V]
XXX

Um das SNR zu verbessern, ohne die Signalstärke erhöhen zu müssen, kann man einen Tiefpass-Filter am Eingang einbauen oder die Signalübertragung von Single-Ended Voltage Signalling auf die differentielle Übertragung umbauen. Bei der nächsten Aufgabe wird ein Filter am Eingang mit dem Umstecken eines Jumpers dazu geschaltet.

Filtertype	Ordnung	Grenzfrequenz $f_c$ [kHz]
Tiefpass	erste	180

Tabelle 3.6: Auswertung dieser Übung

XXXX - Berechnung??

SNR [dB]
72

Bandbreite B [MHz]
XXX

### 3.3.2 Differentielle Übertragung

Um das Verhalten einer differentiellen Übertragung zu untersuchen, wurde der Aufbau mit den entsprechenden Sende- und Empfangsmodulen von einer Single-Ended auf eine differentielle Übertragung umgebaut. Am Eingang wurde der Frequenzgenerator angeschlossen und die entsprechenden Einstellungen für das Signal sind in der Tabelle 3.7 ersichtlich. Das Kabel wird mit dem Abschlusswiderstand  $R_A = 100 \Omega$  abgeschlossen.

	Amplitude	Offset	Frequenz	Signalform
Sender	-	4V	-	DC
Störsender	3Vpp	2V	10MHz	Noise

Tabelle 3.7: Einstellungen des Frequenzgenerators

FRAGEN beantworten!!

Rauschen $U_{n,de}$ [mV]
2,5

Amplitude $U_s$ [V]
XXX

$U_{n,se}/U_{n,de}$ [1]
XXX

### 3.3.3 Signalübertragung von digitalen Signalen

Möchte man ein 10kHz-Sinus-Signal mit einer Abtastrate von 100kSPS mit einer Genauigkeit von 16-bit abtasten, benötigt man eine Bitrate  $BR = 1,6$  Mbps.

Bitrate BR [Mbps]
1,6

In dieser Übung wird ein Low-Voltage Differential Signaling (LVDS) als Übertragungsstrecke verwendet. Am Eingang wurde der Frequenzgenerator angeschlossen und die entsprechenden Einstellungen für das Signal sind in der

Tabelle 3.8 ersichtlich. Dabei wird eine Pseudo Random Bit Sequence (PRBS) als Eingangssignal verwendet, dieses generiert zufällig die Bitfolge.

	Amplitude	Offset	Frequenz	Signalform
Sender	3Vpp	1,5V	1,6MHz	PRBS
Störsender	3Vpp	2V	10MHz	Noise

Tabelle 3.8: Einstellungen des Frequenzgenerators

Um ein stehendes Bild am Oszilloskop zu bekommen, triggert man das Signal bei steigender und fallender Flanke. In der Tabelle 3.9 wurden die von dem Bild abgelesene Werte eingetragen.

Bitrate [Mbps]	1,6
$U_1$ Spannungslevel bei digital 1 [mV]	394
$U_0$ Spannungslevel bei digital 0 [mV]	-419
Anstiegszeit [ns]	50
Abfallzeit [ns]	68
Jitter des Übergangzeitpunktes 0-1 und 1-0 [ns]	35
$\sigma_1$ Rauschen des Spannungslevels von 1 [mV]	43,5
$\sigma_0$ Rauschen des Spannungslevels von 0 [mV]	46,5

Tabelle 3.9: Auswertung

BERECHNUNG!!!

Rauschen $U_{n, BER=10^{-9}}$ [V]
XXX

### 3.4 Signalübertragung mittels Stromsignalen

Bei Spannungssignalen ist die Signalamplitude am Ausgang abhängig vom Serienwiderstand der Leitung. Bei Stromsignalen passt der Sender die Spannung so an, dass der entsprechende Strom fließt. Am Eingang wurde der Frequenzgenerator angeschlossen und die entsprechenden Einstellungen für das Signal sind in der Tabelle 3.10 ersichtlich. Der Störsender wird bei dieser Übung nicht mehr benötigt.

	Amplitude	Offset	Frequenz	Signalform
Sender	5Vpp	2,5V	10kHz	Sinus

Tabelle 3.10: Einstellungen des Frequenzgenerators

Für die Berechnung der Sensitivität wird die Formel 3.6 herangezogen.

$$S = \frac{U_1 - U_2}{R} \quad (3.4)$$

Der Versuch wurde mit einem Stromsender gestartet und folgende Sensitivität wurde berechnet.

$$S = \frac{550mV - 560mV}{96\Omega} \quad (3.5)$$

Sensitivität [ $\mu V/\Omega$ ]
-104

Dann wurde der Stromsender mit einem Spannungssender Single-Ended getauscht und man kam auf einer höhere Sensitivität.

$$S = \frac{1,44V - 2,51V}{96\Omega} \quad (3.6)$$

Sensitivität [ $mV/\Omega$ ]
-11,15

# Abtastung und automatisierte Messsysteme

## 4.1 Einleitung

Verwendete Messgeräte:

- A
- B

## 4.2 Spannungsmessung

## 4.3 Umwandlung von singleended auf differentielle Signale

## 4.4 Automatisierte Messsysteme

Teilübung	Statistik und Leistungsmessung
Teilübungsnr.	2
Datum	28.11.2018
Messplatzbez.	CA

Tabelle 4.1: Grundlegende Information der 2. Laborübung

# Sensoren und frequenzselektive Messverfahren

## 5.1 Einleitung

Teilnehmer	Oskar Fürnhammer, Katharina Kralicek, Patrick Mayr
Datum	06.12.2018
Messplatzbez.	CA0410-1

Gerät	Bezeichnung
Spannungsquelle	Rigol DP832
Oszilloskop	Agilent DSO-X 2002A
Breakout-Box	Agilent U2542A

Tabelle 5.1: Verwendete Geräte

## 5.2 Kennlinie des Näherungssensors

Hierbei sollte für zwei Reflektoren unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheiten die Kennlinie des Näherungssensors aufgenommen werden. Der Näherungssensor wurde symmetrisch mit 12V versorgt, die LED mit 1,5V aus dem Funktionsgenerator des Oszilloskops, und der Ausgang des Sensors wurde mit dem Oszilloskop sowie der Breakout-Box verbunden.

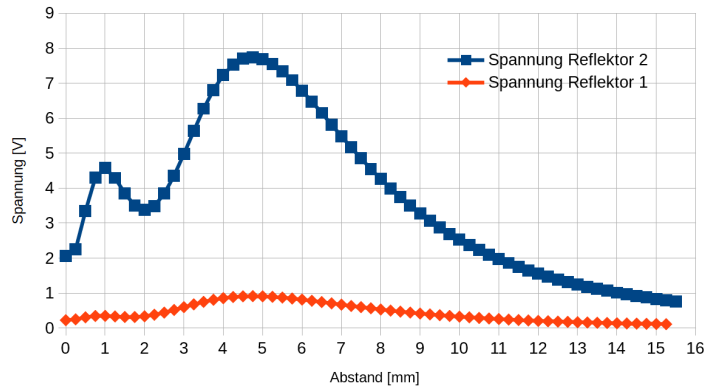


Abbildung 5.1: Kennlinie Reflektor 1 und 2

Wie in Abb. 5.1 ersichtlich haben die gemessenen Kennlinien bei beiden Reflektoren die gleiche Form, jedoch sind die Spannungswerte bei Reflektor 2 deutlich höher. Das lässt auf eine glattere, und damit besser reflektierende Oberfläche schließen.

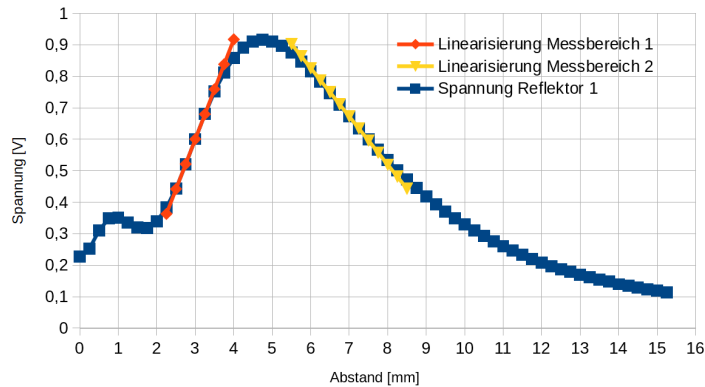


Abbildung 5.2: Linearisierung Reflektor 1

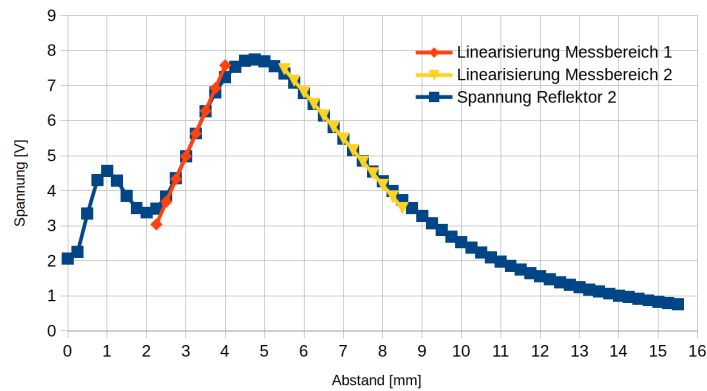


Abbildung 5.3: Linearisierung Reflektor 2

Für beide Reflektoren wurden in Abb. 5.2 und 5.3 die Bereiche gekennzeichnet, in denen die Kennlinie annähernd linear verläuft. Ihre Gleichungen lauten für Reflektor 2 im Messbereich 1  $U = 2,592(V/mm) \cdot x - 2,791V$  und im Messbereich 2  $U = -1,324(V/mm) \cdot x + 14,755V$ , und für Reflektor 1 im Messbereich 1  $U = 316,8(mV/mm) \cdot x - 349,5mV$  und im Messbereich 2  $U = -153,2(mV/mm) \cdot x + 1,7454V$ . Aus diesen Gleichungen kann man die Sensitivität  $E$  der Messbereiche ablesen, diese entspricht der jeweiligen Steigung. Es ergibt sich, dass die Sensitivität im Messbereich 1 des Reflektors 2 mit  $2,592(V/mm)$  am höchsten ist.

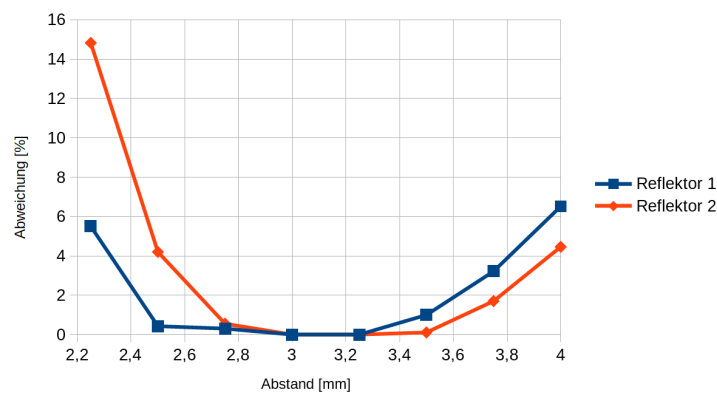


Abbildung 5.4: Prozentuelle Abweichung Kennlinie Linearisierung Messbereich 1

Die Abweichungen der Messpunkte von der Geraden sind in Abb. 5.4 und Abb.



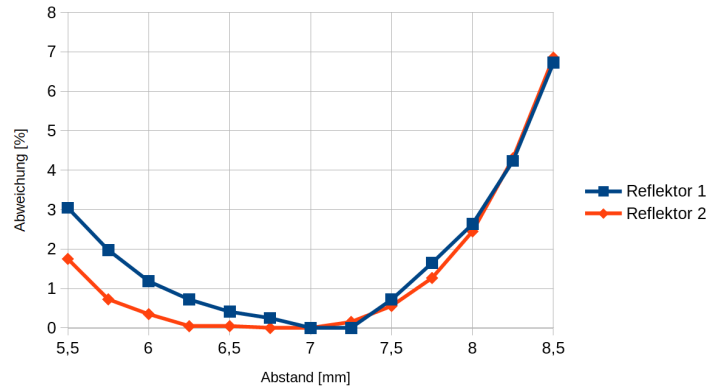


Abbildung 5.5: Prozentuelle Abweichung Kennlinie Linearisierung Messbereich 2

5.5 dargestellt. Hierbei kann man sehen, dass die Abweichung für den Reflektor 1 im Messbereich 1 bei einem Abstand von 4mm und im Messbereich 2 bei einem Abstand von 8,5mm zum Sensor maximal wird, und für den Reflektor 2 im Messbereich 1 bei einem Abstand von 2,25mm und im Messbereich 2 bei einem Abstand von 8,5mm zum Sensor maximal wird. Da die Kennlinie des Sensors durch die Messpunkte interpoliert werden kann, ist somit keine weitere Linearisierung notwendig. Dadurch kann man den Sensor in sämtlichen Messbereichen betreiben, solange man darauf achtet, dass die Kennlinie darin eindeutig bleibt, sich also Messwerte für verschiedene Abstände nicht wiederholen. Dadurch ergibt sich prinzipiell der Messbereich rechts vom Maximum als am besten geeignet für Messungen.

### 5.3 Rauschen und Auflösung

Die Messung für Rauschen und Auflösung fand bei eingeschalteter Deckenbeleuchtung und bewölktem, bereits leicht dämmernden Himmel statt, bei aufgedrehtem Monitor des Computers. Das Schaltbild in Simulink, zu sehen in Abb. 5.6 wurde um die Messung der Standardabweichung und des Spitze-Spitze-Wert erweitert, bevor die Messung begonnen wurde. Der Abstand des Reflektors zum Sensor wurde 5mm gewählt. In Tabelle 5.3 finden sich alle Messergebnisse.

Messgrößen [V]	$U_e = 1,5$	$U_e = 0,5$
Mittelwert [V]	7,645	2,097
Standardabweichung [1]	0,01368	0,01351
Spitze-Spitze-Spannung [V]	0,1117	0,9308

Man erkennt, dass die angelegte Gleichspannung die Messung den Mittelwert

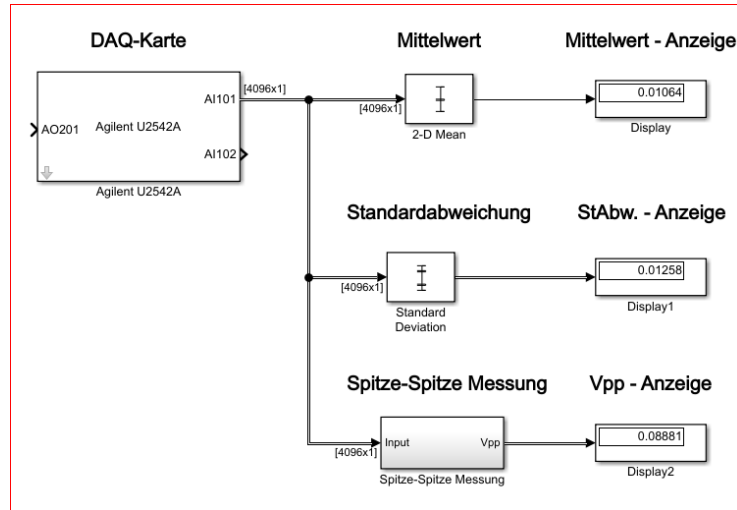


Abbildung 5.6: Schaltbild

und die Spitze-Spitze-Spannung maßgeblich beeinflusst.

Die aus der Gleichung  $U_{pp} = 6 \cdot \sigma$  errechnete Spannung  $U_{pp} = 0,082V$  für  $U_e = 1,5V$  und  $U_{pp} = 0,081V$  für  $U_e = 0,5V$  entspricht nahezu der gemessenen  $U_{pp}$  Spannung, womit die Verteilung ähnlich einer Gaußschen Verteilung ist. Allgemein als Quellen von Rauschen sind das Tageslicht, die Beleuchtung im Raum, die Schaltung, die Raumtemperatur, sowie jede Umwandlung eines analogen Signals in ein digitales zu betrachten. Das Rauschen kann folglich beispielsweise durch Abschirmung des Sensors gegenüber unerwünschter Lichtquellen oder elektromagnetischer Felder verringert werden, genauso kann man den Raum um den Sensor abkühlen und die Datenverarbeitung anders gestalten. Die Positionsauflösung errechnet sich mit der Formel  $\Delta x = \frac{\sigma}{E}$  für eine Eingangsspannung von  $U_e = 1,5V$  im Messbereich 1 für Reflektor 2 zu  $\Delta x = 5,278\mu m$ .

## 5.4 Spektrum der Fremdlichtintensität

Bei dieser Messung sollte anhand einer Glühfadenlampe, sowie der Deckenbeleuchtung, konkret Leuchtstoffröhren, das Spektrum von Fremdlichtintensitäten ermittelt werden. Dazu wurde die Sender-LED mit 0V gespeist, um rein den Einfluss äußerer Lichtquellen im Spektrum zu sehen. Zusätzlich wurde das Schaltbild in Simulink um einen Spectral Analyzer erweitert.

Bei eingeschalteter Deckenbeleuchtung und eingeschalteter Glühfaserlampe erkennt man sehr gut die Auswirkung der Glühfaserlampe im Frequenzspektrum anhand der zwei Peaks bei -100Hz und 100Hz, sowie dem Peak bei Null Hz. Diese ergeben sich aus der Netzfrequenz, da die Intensität des Lichts durch die

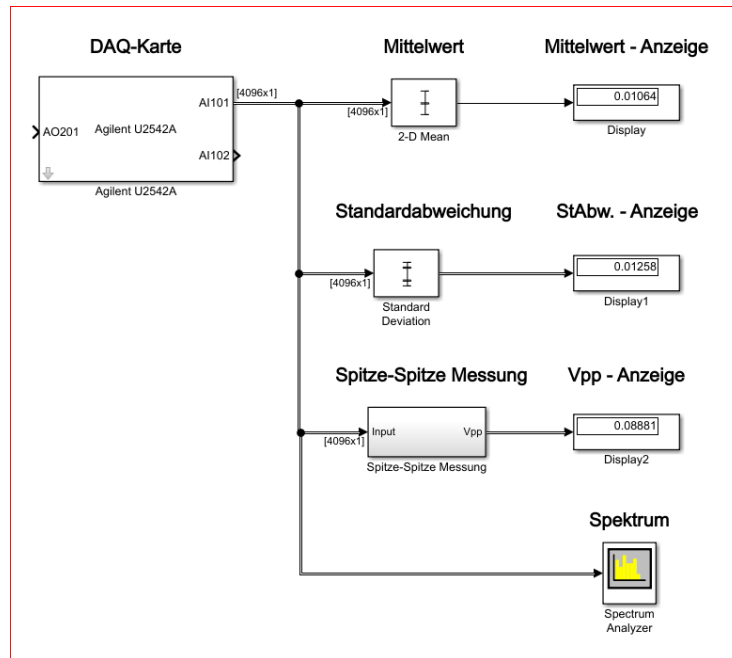


Abbildung 5.7: Schaltbild zur Berechnung des Spektrums der Fremdlichtintensität

Leistung bestimmt wird, die sich wie folgt errechnet:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{\sin(wt)^2}{R} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1 - \cos(2wt)}{R}. \quad (5.1)$$

Bei ausgeschalteter Glühfaserlampe und eingeschalteter Deckenbeleuchtung sah man den Peak bei 0Hz und ganz schwach Erhöhungen der Amplitude bei  $\pm 100\text{Hz}$ , sowie eine seltsame Verformung des Frequenzspektrums.

Zusätzlich ist noch aufgefallen, dass die Glühfaserlampe des Nachbartisches, die zwei bis drei Meter entfernt von dem Sensor stand, auf das Frequenzspektrum einen nahezu gleich ausgeprägten Einfluss hatte, wie die direkt darüber platzierte Glühfaserlampe.

!!! oskar: Abb. (6 3 4 mitTischleuchte mitDeckenleuchte (bitte irgendwo weiter hinten im Kapitel einbinden)!!!!

## 5.5 Phasenselektiver Synchrongleichrichter (PSSG)

Es sollte die Funktionsweise eines PSSG ermittelt werden. Das Schaltbild in

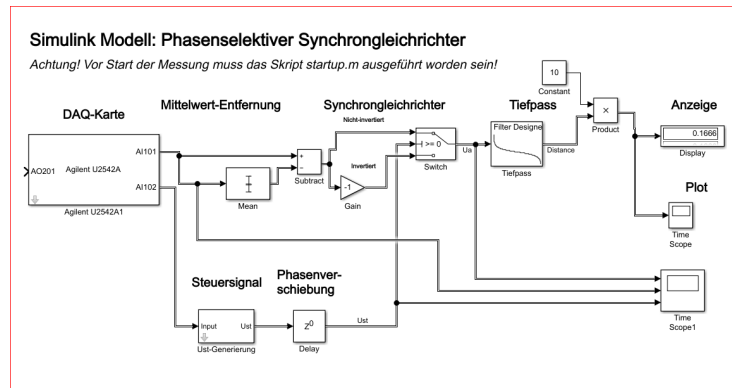


Abbildung 5.8: Schaltbild PSSG

Simulink wurde erneut entsprechend verändert, zusätzlich wurde am Funktionsgenerator ein Sinussignal mit Amplitude 0,4V und Offset 1,3V eingestellt. Als Verstärkung wurde 10 gewählt.

Der Synchrongleichrichter braucht ein Steuersignal, das festlegt, wann das Messsignal invertiert wird. Eine korrekte Messung der Amplitude des Eingangssignals ist nur möglich, wenn zwischen dem Steuersignal und dem Messsignal eine Phasenverschiebung von  $\varphi = 0^\circ$  herrscht. Ist dies nicht so, dann gelingt die Mittelwertbildung nicht korrekt und das Messergebnis ist falsch.

Die Phasenverschiebung wurde durch ein Verzögerungsglied eingestellt. Die dafür erforderlichen Schritte errechnen sich durch  $\Delta t = \frac{\varphi}{2} \cdot \pi \cdot f$  zu Schritte =  $\frac{\Delta t}{T_a}$  !!! korrekt?!!!!. Für  $45^\circ$  ergibt das 33,4, also 33 Schritte, für  $90^\circ$  66,6, folglich 67 Schritte.

!!! oskar: Abb. (6 3 5 67s 1 (bitte nach den Phasen einbauen) = Phase 90Grad verschoben)!!!!

Nun sollte noch der Einfluss von Störungen auf die Messung betrachtet werden. Immer, wenn die Störfrequenz gleich ist der Messfrequenz, wird das Messergebnis beeinflusst. Dabei müssen auch die harmonischen Oberschwingungen des Rechtecksignals berücksichtigt werden, die der Synchrongleichrichter zum Invertieren des Signales benötigt. Andere Störeinflüsse, die weder mit der Frequenz des Messsignals, noch mit einer Harmonischen des Rechtecks zusammenfallen, werden sehr gut gefiltert und beeinflussen damit die Messung nicht. Wichtig ist noch, dass bei der Messung der Störung nicht genau mit der Frequenz des Messsignals gemessen wird, sondern mit einer um circa 0,1 bis 0,5 Hz versetzten Frequenz, da sonst die Störung als Gleichanteil auftritt und somit schwieriger als solche erkennbar ist.

Die hierbei betrachtete Störquelle ist wieder die Glühfadenlampe, die eine Störfrequenz von  $f_S = 100\text{Hz}$  hat. Erwartet wurden dadurch Störungen bei den Frequenzen 20Hz, 33,333Hz und 100Hz. Die 20Hz Störung entspricht dabei der 5. Harmonischen Oberschwingung und die 33,333Hz Störung der 7. Harmonischen Ober-

schwingung des Rechtecksignals.

Die Messung ergab, entsprechend der Erwartung, eine Störung bei 20,1Hz, 33Hz und bei 100,1Hz, wobei man bei 100,1Hz die Störung am deutlichsten sehen kann. Weiters wurden die Frequenzen 50,5Hz, 75,1Hz, 125,1Hz, 150,2Hz, 175,5Hz und 200,1Hz gemessen, sie wiesen jedoch alle keine Störungen auf.

!!! oskar: Abb. (6 3 5 100hz (eher am Ende einbinden, wo's passt) = Störung bei 100Hz)!!!!

## 5.6 Phasenunabhängiger Synchrondemodulator (PUSD)

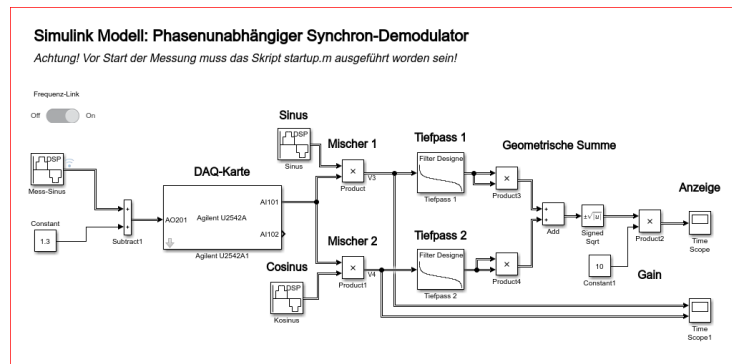


Abbildung 5.9: Schaltbild PUSD

Für den PUSD wird nun erneut das Schaltbild in Simulink verändert, ersichtlich in Abb.5.9. Das Messsignal wird nun über die DAQ Karte in die Messschaltung eingespeist, und es wird über den Block Mess-Sinus im Schaltbild am Computer generiert, mit einer Amplitude von 0,2V und einem Offset von 1,3V. Zusätzlich wird noch zur Filterung ein Butterworth-Tiefpassfilter 10. Ordnung mit Grenzfrequenz  $f_g = 5Hz$  implementiert.

Dieser Filter trägt dazu bei, dass Störungen ausschließlich an der Messfrequenz, beziehungsweise bis maximal 5Hz Abweichung um die Messfrequenz zu erwarten sind, denn alle anderen Frequenzen werden mit dem nahezu idealen Butterworth-Tiefpassfilter weggefiltert. Dies bestätigte sich bei der Messung auch, wo die gleichen Frequenzen betrachtet wurden, wie auch schon im Punkt zuvor für die PSSG, und die einzige Frequenz, an der eine Störung auftrat, war 101Hz.

Anhand dieser Messung kann man sehr schön den Vorteil eines PUSD gegenüber eines PSSG erkennen. Neben der schon im Namen steckenden Eigenschaft, dass der PUSD keine Information über die Phasenlage der Signale benötigt, sind Störungen tatsächlich nur an ihrer eigenen Frequenz zu erwarten, und es müssen keine möglichen Oberschwingungen eines Rechtecksignals betrachtet werden.

# Eigentumserklärung

Hiermit erklären wir, die xxx