



# MESSTECHNIK LABORÜBUNG 4

## SIGNALÜBERTRAGUNG

GRUPPE: 2

DATUM: 16.10.2019

ORT: CA0406

MESSPLATZ: 1

TEILNEHMER: KONSTANTIN KOBEL 01525841

MARCUS SCHISCHLIK 01609390

## Rechtliches

Ich bestätige hiermit, dass alle hier verwendeten Messergebnisse und Interpretationen von uns selbst erstellt wurden. Es wurden keine anderen Quellen als die hier schriftlich angegeben verwendet.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Übungsdurchführung</b>	<b>4</b>
2.1	Signalübertragung bei ungestörten Drahtleitungen . . . . .	4
2.1.1	Messaufbau . . . . .	4
2.1.2	Reflexionen . . . . .	5
2.1.3	Berechnung der Dämpfung des Kabels . . . . .	7
2.1.4	Bandbreite . . . . .	7
2.2	Signalübertragung über einen gestörten Kanal . . . . .	8
2.2.1	Bestimmung des Signal-to-Noise Ratios . . . . .	8
2.2.2	Differentielle Übertragung . . . . .	11
2.2.3	Analog-Digital Wandlung . . . . .	12
2.3	Signalübertragung über Stromsignale . . . . .	14
<b>3</b>	<b>Verwendete Geräte</b>	<b>15</b>

# 1 Einleitung

In dieser Laborübung verschiedene Übertragungsarten untersucht und getestet werden. Außerdem Störungen, Reflexionen und der SNR (Signal-Noise-Ratio) und deren Einfluss auf die Messung untersucht werden.

## 2 Übungsdurchführung

### 2.1 Signalübertragung bei ungestörten Drahtleitungen

In diesem Teil der Laborübung soll die Übertragung von Signal auf Drahtleitungen untersucht werden.

#### 2.1.1 Messaufbau

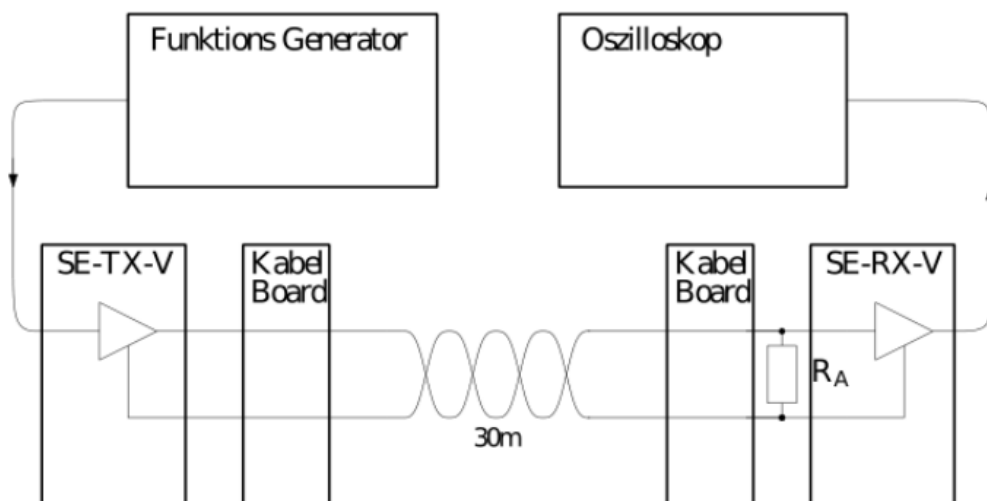


Abbildung 1: Laboraufbau für 2.1

Dieser Messaufbau wird für die nächsten beiden Messungen benötigt. Der einzige Unterschied zwischen den beiden Messungen werden die Einstellungen am Funktionsgenerator sein.

## 2.1.2 Reflexionen

### Aufgabenstellung

Hier soll der Einfluss von verschiedenen Abschlusswiderständen auf die Signalübertragung untersucht werden.

### Durchführung

Zunächst wurden zuerst am Funktionsgenerator folgende Einstellungen getätigt:

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

Tabelle 1: Einstellungen des Funktionsgenerators für die Reflexionsmessung

Das eingespeiste Signal soll über ein 30m langes Kabel übertragen werden. Dieses übertragene Signal soll wiederum mit einem Oszilloskop aufgenommen werden. Die Abschlusswiderstände sollen bei dieser Messung variiert werden um auftretende Unterschiede zu untersuchen.

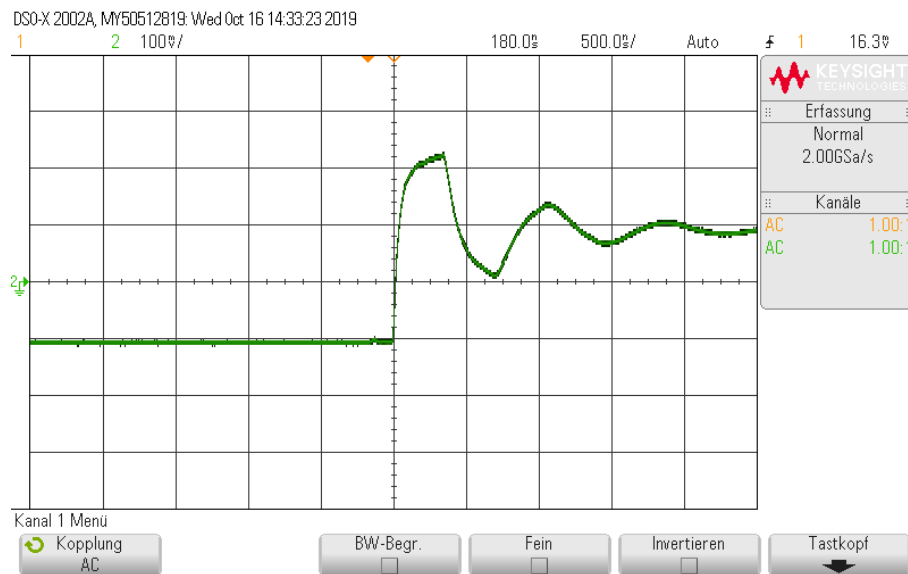
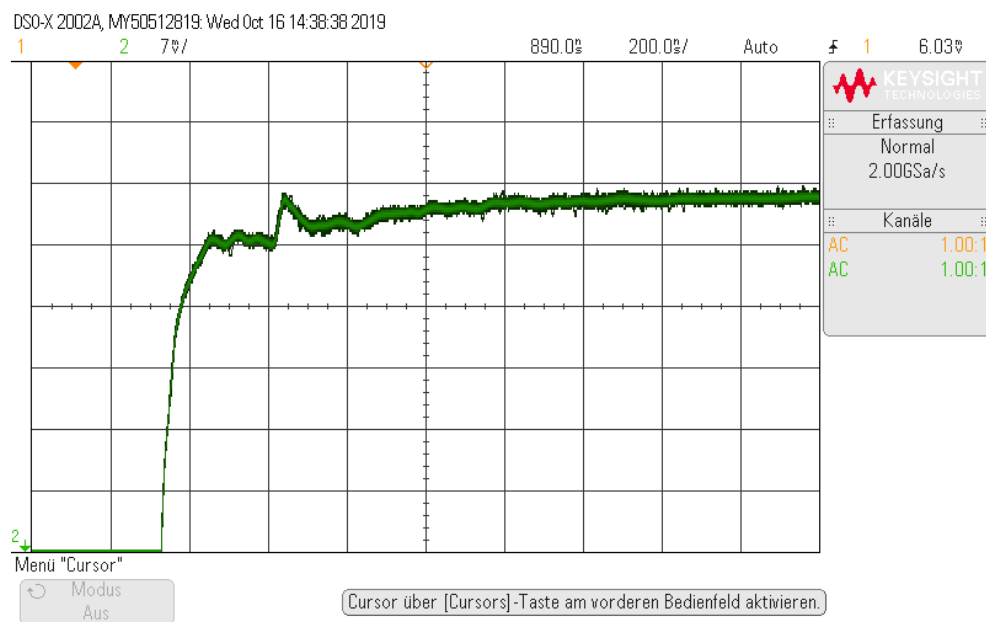


Abbildung 2: Ausgang bei  $R_A$  gleich  $\infty$

$R_A[\Omega]$	$ V_{1,peak} [mV]$	$ V_{2,peak} [mV]$	$\Delta t_{peaks}[ns]$
$\infty$	123.25	82.5	360
50	36.87	5.625	360
100	1.250	0	360
200	38.5	10	360

Tabelle 2: Auswertung der Reflexionsmessung

Aus Tabelle 2 ist klar ersichtlich, dass der Leitungswellenwiderstand  $Z_L$   $100\Omega$  betragen muss, weil, wenn die Leitung mit einem Abschlusswiderstand von  $50\Omega$  abgeschlossen, treten die wenigsten Reflexionen am Ausgang auf. Dies ist in Abbildung 3 zu erkennen.

Abbildung 3: Ausgang bei  $R_A$  gleich  $50\Omega$

### 2.1.3 Berechnung der Dämpfung des Kabels

Es wird angenommen, dass die Ausgangsspannung des Kabels entsprechend  $U(z) = U(0)e^{-\alpha z}$  abnimmt. Am besten zur Bestimmung der Dämpfung des Kabels eignen sich die Messergebnisse bei unendlichen Abschlusswiderstand.  $|V_{1,peak}|$  entspricht dem Wert  $U(0)$  und  $|V_{2,peak}|$  entspricht  $U(60)$ .  $U(60)$  deswegen, weil die Reflexion die doppelte Kabellänge zurücklegen muss. Nun kann  $\alpha$  bestimmt werden.

$$U(60) = U(0) \cdot e^{-\alpha \cdot 60}$$

$$\alpha = -\frac{\ln\left(\frac{U(60)}{U(0)}\right)}{60} = 8.36 \cdot 10^{-3}$$

Da nun  $\alpha$  bestimmt ist, kann nun die gewünschte Dämpfung wie folgt berechnet werden.

$$\frac{U(100)}{U(0)} = e^{-\alpha \cdot 100} = 0.4333 = -7.2627dB$$

Außerdem kann auch die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Signals über das Kabel berechnet werden:

$$c = \frac{l}{\Delta t_{peaks}} = \frac{60m}{360ns} = 1.667 \cdot 10^8$$

Dies entspricht dem 0.55-fachen der Lichtgeschwindigkeit  $c_0$ .

### 2.1.4 Bandbreite

#### Aufgabenstellung

Es soll die 3dB-Bandbreite des Übertragungssystem aus Abbildung 1 bestimmt werden.

#### Durchführung

In Tabelle 3 sieht man die Einstellungen, die man beim Frequenzgenerator tätigen muss, um diese Messung durchführen zu können.

Amplitude	Offset	Frequenz	Signalform
$100mV_{pp}$	4V	100kHz – 10MHz	Sinus

Tabelle 3: Einstellungen des Funktionsgenerators für 2.1.4

Es wird die Frequenz des Eingangssignales so lange erhöht, bis die Beziehung  $U_a = \frac{1}{\sqrt{2}} * U_e$  gültig ist, denn dies entspricht einer Verstärkung von -3dB. Die eingestellte Frequenz, die diese Bedingung erfüllt ist dann die Grenzfrequenz bzw. die Bandbreite des Übertragungssystem. Diese wurde als 4.56 MHz bestimmt.

## 2.2 Signalübertragung über einen gestörten Kanal

In diesem Teil wird über den gerade aufgebauten Kanal auch ein Störsignal übertragen und dessen Einwirkungen auf das Nutzsignal untersucht.

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

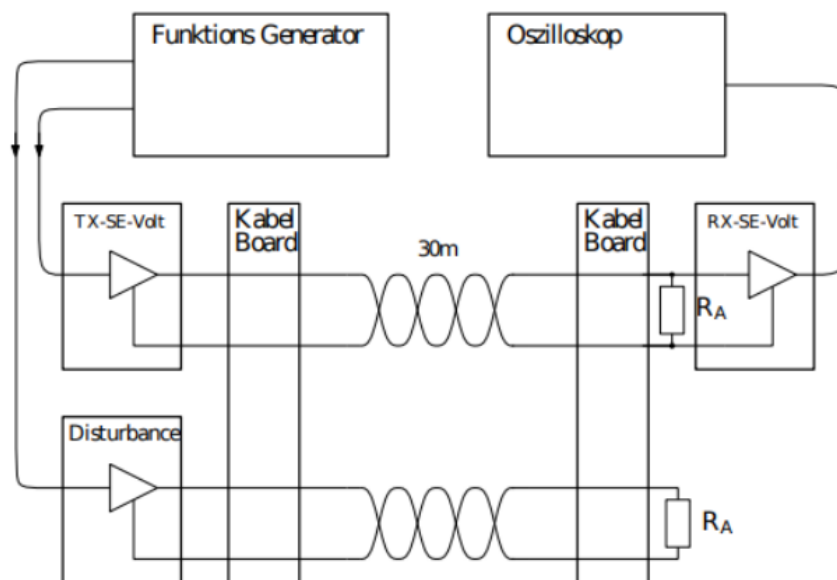


Abbildung 4: Laboraufbau für Aufgabe 2.2.1

Sowohl das Nutzsignal auch als das Störsignal wird vom Funktionsgenerator erzeugt. Die zu wählenden Einstellungen sind in folgender Tabelle zu sehen.



	Amplitude	Offset	Frequenz	Signalform
Sender	—	4V	—	DC
Störsender	3V <sub>pp</sub>	2V	10MHz	Noise

Tabelle 4: Einstellungen des Funktionsgenerator für 2.2.1

Der RMS des Rauschsignal  $U_{R,eff}$  wurde als  $11.73mV$  bestimmt. Desweiteren betrug der Effektivwert des gesamten Ausgangssignals betrug  $4V$ . Das SNR lässt sich nun wie folgt bestimmen:

$$SNR_{dB} = 20 \cdot \log \left( \frac{U_{a,eff}}{U_{R,eff}} \right) = 50.65dB$$

Um einen SNR von  $0dB$  zu erreichen, müssen die Effektivwerte des Nutz- und Rauschsignales gleich sein. Würde man ein Sinussignal mit  $10kHz$  am Eingang legen müsste dieses eine Amplitude von  $16.598mV$  besitzen um einen SNR von  $0dB$  am Ausgang zu erreichen.

$$\hat{U}_N = \sqrt{2} \cdot U_{N,eff} = \sqrt{2} \cdot U_{R,eff}$$

Anschließend wurde die FFT (Fast Fourier Transformation)-Funktion des Oszilloskop verwendet, um das Spektrum des Rauschsignales zu untersuchen.

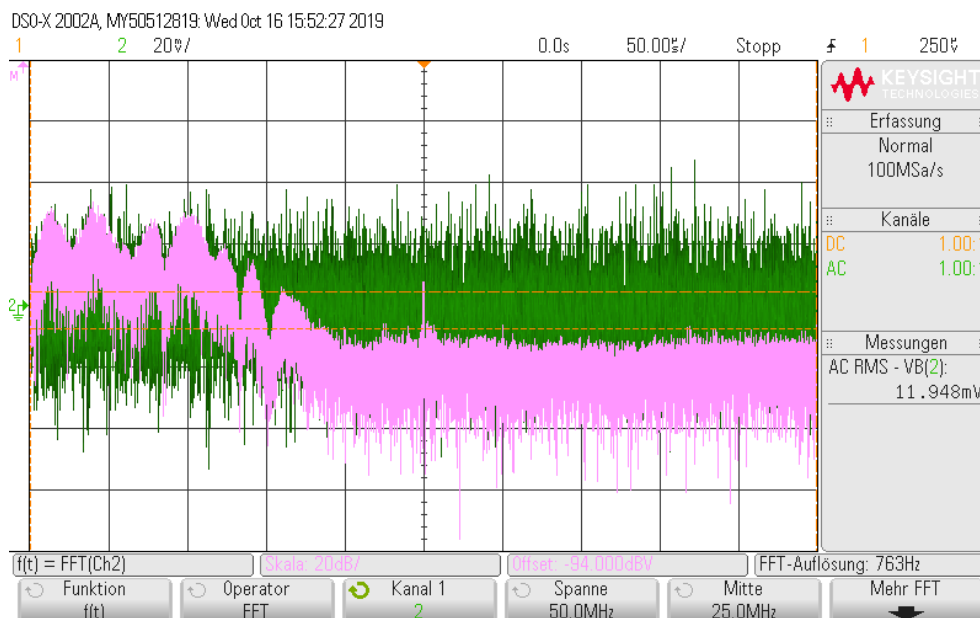


Abbildung 5: Spektrum des Rauschens

Will man nun das SNR steigern, jedoch ohne das Nutzsignal zu erhöhen, kann entweder ein Tiefpass vor den Eingang geschaltet werden, um das Rauschen, welches größtenteils höher frequent ist als das Nutzsignal ist, herauszufiltern. Eine weitere Möglichkeit besteht darin die Übertragung differentiell durchzuführen.

### Tiefpass:

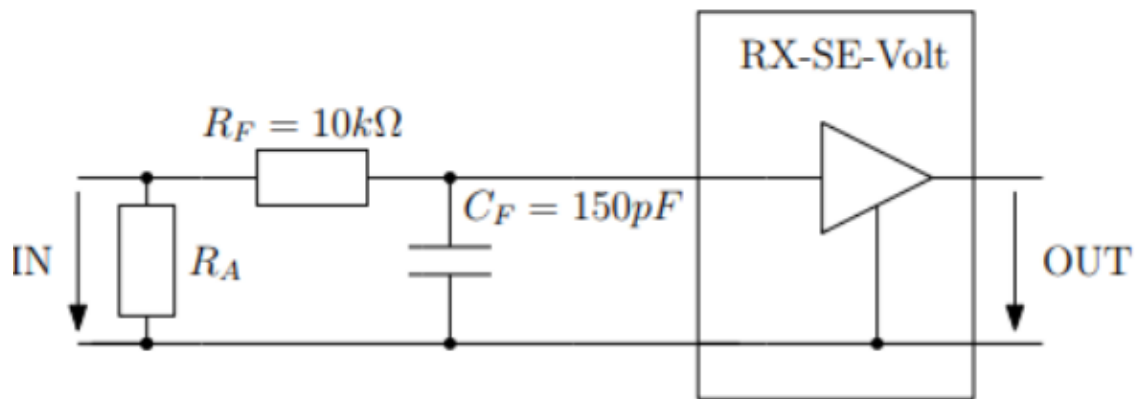


Abbildung 6: Integrierter Tiefpass

Die Grenzfrequenz dieses Tiefpasses lässt sich wie folgt bestimmen:

$$f_C = \frac{1}{2\pi R_F C_F} = 106.103 \text{ kHz}$$

Mit diesen vorgeschalteten Tiefpass konnte der RMS des Rauschen auf  $609 \mu V$  reduziert werden. Dies führt zu einem SNR von  $76.34 \text{ dB}$ . Anschließend wurde wieder die 3dB-Bandbreite bestimmt. Diese betrug nun  $85 \text{ kHz}$ .

Anhand dieser Messergebnisse kann man daraus schließen, dass das zu entwerfende Messsystem nicht einen hohen SNR und eine große Bandbreite besitzen kann. Daher muss beim Entwurf eines Messsystems also immer Überlegungen getroffen werden, welche Art von Signalen man übertragen möchte, bevor man eine Filterung durchführt. Dadurch könnte man nämlich das Messsignal verfälschen.

### 2.2.2 Differentielle Übertragung

In diesem Teil des Labors sollen die Unterschiede zwischen der single-ended und der differentiellen Übertragung untersucht werden. Der Unterschied von differentieller zur single-ended Übertragung besteht darin, dass das Nutzsignal ebenfalls invertiert und auf einer zweiten Leitung übertragen wird. Störungen werden auf beide Signale überlagert und können dann anschließend mit einem Differenzverstärker wieder entfernt werden.

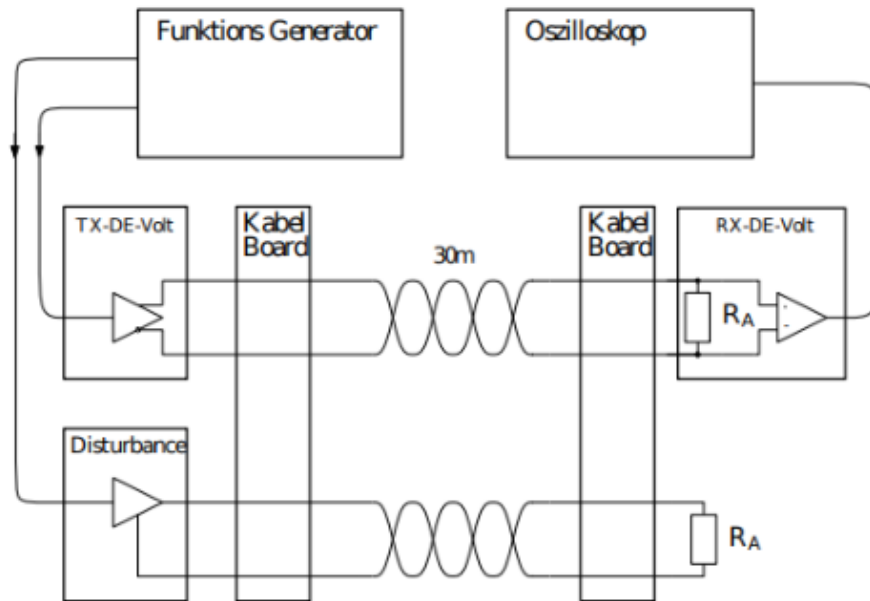


Abbildung 7: Laboraufbau von 2.2.2

Die folgenden Einstellungen wurden am Funktionsgenerator getätigt:

	Amplitude	Offset	Frequenz	Signalform
Sender	—	$0.5V$	—	DC
Störsender	$3V_{pp}$	$2V$	$10MHz$	Noise

Tabelle 5: Einstellungen des Funktionsgenerator für 2.2.2

Wird die Signalübertragung differentiell durchgeführt wurde ein RMS des Rauschen von  $962\mu V$  gemessen. Um ein SNR von  $0dB$  am Ausgang zu erreichen, wenn man ein Sinus-signal von  $10kHz$  am Eingang anlegt, muss dieses eine Amplitude von  $1.36mV$  besitzen. Da die Störung sowohl bei der single-ended als auch bei der differentiellen Übertragung die gleiche ist, kann man leicht einen Vergleich durchführen.

Die differentielle Übertragung senkt den RMS des Rauschens um den Faktor 12.19 besser als wie die single-ended Übertragung. Dadurch ist ersichtlich das die differentielle Signalübertragung eine gute Methode ist, um das SNR eines Messsystems zu erhöhen.

### 2.2.3 Analog-Digital Wandlung

Eine weitere Alternative um das Nutzsignal resistenter gegen Störungen zu machen, ist es vor der Übertragung des Signales in ein digitales Signal umzuwandeln. Die benötigte Bitrate wird folgendermaßen berechnet:

$$\text{Bitrate} = \text{Sample rate} \cdot \text{Bitzahl} = 100\text{kSPS} \cdot 16\text{bit} = 1.6\text{Mbps}$$

	Amplitude	Offset	Frequenz	Signalform
Sender	$3V_{pp}$	$1.5V$	$1.6\text{Mbps}$	PRBS
Empfänger	$3V_{pp}$	$2V$	$10\text{MHz}$	Noise

Tabelle 6: Einstellungen des Funktionsgenerator für 2.2.3

Nun soll das Augendiagramm des Empfängers am Oszilloskop dargestellt werden. Dies wird mit einem Trigger, der auf beide Flanken reagiert, und auf ein Nachleuchten im Oszilloskop realisiert.

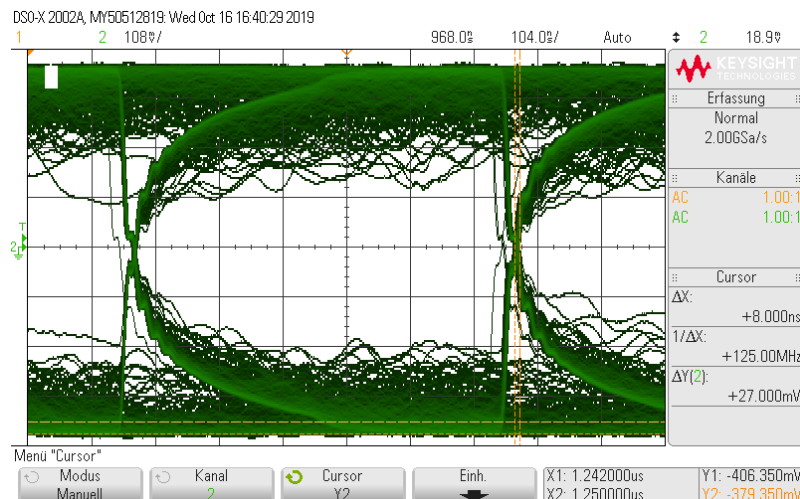


Abbildung 8: Augendiagramm

1	Bitrate[Mbps]	1.6
2	$U_1$ Spannungslevel bei digital 1 [mV]	391.5
3	$U_0$ Spannungslevel bei digital 0 [mV]	-406.35
4	Anstiegszeit[ns]	52
5	Abfallszeit[ns]	78
6	Jitter des Übergangzeitpunktes 0-1 und 1-0 [ns]	8
7	$\sigma_1$ Rauschen des Spannungslevel von 1[mV]	21.6
8	$\sigma_2$ Rauschen des Spannungslevel von 0[mV]	27

Tabelle 7: Auswertung des Augendiagrammes

Des weiteren soll der Effektivwert des Rauschen berechnet werden, der zu einer BER (Bit Error Rate) von  $10^{-9}$  führen würde. Der BER entspricht einen SNR von  $21.6dB$ .

$$SNR_{dB} = 20 \cdot \log \left( \frac{U_1 - U_0}{U_{R,RMS}} \right)$$

Nun kann der RMS des Rauschens berechnet werden.

$$U_{R,RMS} = \frac{U_1 - U_0}{10^{\frac{SNR_{dB}}{20}}} = 66.28mV$$

## 2.3 Signalübertragung über Stromsignale

In diesem Teil der Laborübung soll die Signalübertragung mittels Stromsignalen untersucht werden. Der wesentliche Vorteil von Strom- gegenüber Spannungssignal ist, dass ein Regler verwendet wird, der den Ausgangsstrom so einstellt, sodass Serienwiderstände kompensiert werden.

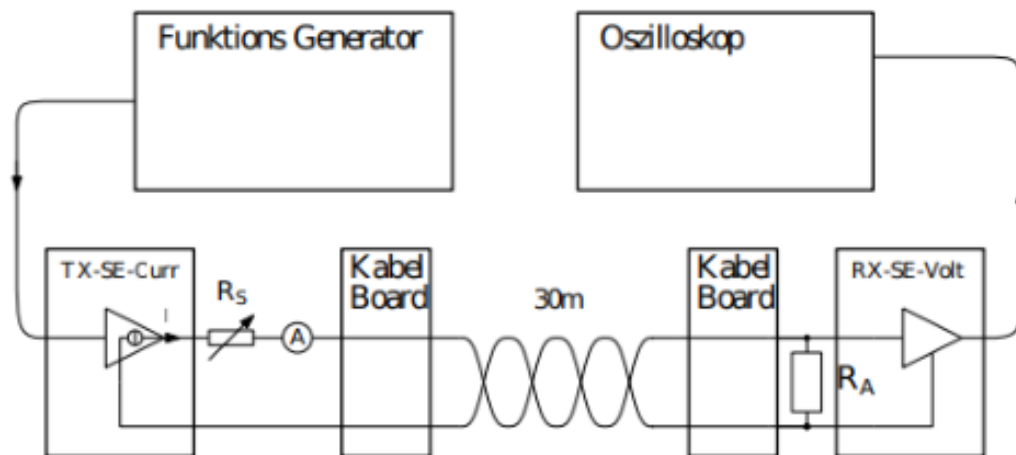


Abbildung 9: Laboraufbau für 2.2.3

Nun sollen sowohl die Sensitivität der bei Stromsignalen und Spannungssignalen ermittelt werden. Die Funktionsgeneratoreinstellungen lauten wie folgt:

	Amplitude	Offset	Frequenz	Signalform
Sender	$5V_{pp}$	$2.5V$	$10kHz$	Sinus

Tabelle 8: Einstellungen des Funktionsgenerator für 2.2.4

Der einstellbare Widerstand konnte bis zu  $100\Omega$  betragen, wenn man in bis zum Anschlag gedreht hat. Auf Anweisung des Tutors wurden zur Ermittlung der Sensitivität immer nur 2 Werte bestimmt. Dies waren bei  $R_s$  gleich  $0\Omega$  und  $R_s$  gleich  $100\Omega$ .

**Stromsignal:**

$$R_s = 0\Omega : 179mV$$

$$R_s = 100\Omega : 179mV$$

Da man hier keine Änderung erkennen kann beträgt die Sensitivität  $0V/\Omega$ .

**Spannungssignal:**

$$R_s = 0\Omega : 2.075V$$

$$R_s = 100\Omega : 2.925V$$

Die Sensitivität bei Spannungssignalen beträgt hier  $0.0085V/\Omega$ .

### 3 Verwendete Geräte

- Agilent 33500B (Funktionsgenerator)
- Agilent DSO-X-2002A (Digital Storage Oscilloscope)
- Agilent U1232A (True RMS Multimeter)

## Abbildungsverzeichnis

1	Laboraufbau für 2.1 . . . . .	4
2	Ausgang bei $R_A$ gleich $\infty$ . . . . .	5
3	Ausgang bei $R_A$ gleich $50\Omega$ . . . . .	6
4	Laboraufbau für Aufgabe 2.2.1 . . . . .	8
5	Spektrum des Rauschens . . . . .	9
6	Integrierter Tiefpass . . . . .	10
7	Laboraufbau von 2.2.2 . . . . .	11
8	Augendiagramm . . . . .	12
9	Laboraufbau für 2.2.3 . . . . .	14



## Tabellenverzeichnis

1	Einstellungen des Funktionsgenerators für die Reflexionsmessung . . . . .	5
2	Auswertung der Reflexionsmessung . . . . .	6
3	Einstellungen des Funktionsgenerators für 2.1.4 . . . . .	7
4	Einstellungen des Funktionsgenerator für 2.2.1 . . . . .	9
5	Einstellungen des Funktionsgenerator für 2.2.2 . . . . .	11
6	Einstellungen des Funktionsgenerator für 2.2.3 . . . . .	12
7	Auswertung des Augendiagrammes . . . . .	13
8	Einstellungen des Funktionsgenerator für 2.2.4 . . . . .	14