



Protokoll zum Versuch

Oszilloskop

(Versuch 25)

Autor: Finn Zeumer (hz334)

Versuchspartnerin: Annika Künstle

Versuchsbegleiter: Jonathan Rodemers

Datum der Ausführung: 19.09.2025

Abgabedatum: 22.09.2025

Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung	3
1.1. Aufgabe/Motivation	3
1.2. Physikalische Grundlagen	3
1.3. Aufbau und Funktionsweise eines Oszilloskops	3
1.3.1. yt-Betrieb	4
1.3.2. Triggerung	4
1.3.3. Bedienung	4
1.3.4. Reflexion auf Leitungen	4
1.3.5. Pulsweitenmodulation (PWM)	4
Messdaten	5
II. Durchführung	8
2.1. Durchführung Versuch 25: Oszilloskop	8
2.1.1. Aufgabe 1: Bedienung des Oszilloskops	8
2.1.2. Aufgabe 2: Amplituden- und Zeitmessung	8
III. Auswertung	12
3.1. Aufgabe 1: Function Generator	13
3.2. Aufgabe 2: Analyse der 9 Signale	13
3.3. Aufgabe 3: Pulsweitenmodulation	23
3.4. Aufgabe 4: Koaxialkabel	24
IV. Diskussion	26
4.1. Zusammenfassung	26
4.2. Diskussion	26
4.3. Kritik	29

I. Einleitung

1.1. Aufgabe/Motivation

Ziel des Versuchs war es, den grundlegenden Umgang mit dem Oszilloskop zu erlernen. Dazu gehörte das Kennenlernen der Bedienelemente, das Aufnehmen und Analysieren elektrischer Signale sowie das Verständnis der Messprinzipien. Das Oszilloskop dient in fast allen Bereichen der Elektronik als zentrales Werkzeug, weshalb die sichere Handhabung für weitere Anwendungen essenziell ist.

1.2. Physikalische Grundlagen

[Wag25a] Zunächst werden einige grundlegende Größen und Konzepte eingeführt, die für die weitere Analyse wichtig sind. Die Periodendauer T eines Signals gibt die Zeit an, die eine vollständige Periode durchläuft, während die Frequenz f durch

$$f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

definiert ist.

Für Wechselspannungen werden mehrere Spannungsarten unterschieden. Die Spitze-Spitze-Spannung U_{SS} gibt die Differenz zwischen dem maximalen und minimalen Spannungswert an. Der Effektivwert U_{eff} ist die konstante Gleichspannung, die an einem Widerstand die gleiche Energie liefert wie die Wechselspannung. Für eine sinusförmige Spannung gilt:

$$U_{eff} = \frac{U_{SS}}{\sqrt{2}}. \quad (2)$$

Wechselstrom (AC, alternating current) ändert periodisch Richtung und Betrag, während Gleichstrom (DC, direct current) zeitlich konstant bleibt.

1.3. Aufbau und Funktionsweise eines Oszilloskops

Ein Oszilloskop dient der zeitlichen Darstellung elektrischer Signale. Analoge Oszilloskope nutzen einen Elektronenstrahl, der durch elektrische Felder auf einem Leuchtschirm abgelenkt wird. Das Eingangssignal steuert die vertikale Ablenkung, eine Sägezahnspannung die horizontale Ablenkung. Dies basiert auf den Bewegungsgesetzen geladener Teilchen im elektrischen Feld und Prinzipien der Elektronenoptik. Vorteil: kontinuierliche Darstellung, hohe Amplitudenauflösung.

Digitale Oszilloskope nehmen das Signal über einen Analog-Digital-Wandler (ADC) in festen Intervallen auf, speichern die Werte und stellen sie auf einem Bildschirm dar. Das Nyquist-Theorem bestimmt die minimale Abtastrate, um Signale korrekt zu rekonstruieren. Vorteile: Speicherung, mathematische Verarbeitung, Triggerung, digitale Analyse. Nachteil: begrenzte Auflösung durch diskrete Abtastwerte.



Abbildung I.1.: Zwei verschiedene Signale gleichzeitig.

1.3.1. yt-Betrieb

Im yt-Betrieb wird Spannung gegen Zeit dargestellt. Das Signal wird am Eingang gedämpft, verstärkt, gefiltert und dann abgetastet. Die Abtastrate muss höher als die Signalfrequenz sein, um Verzerrungen zu vermeiden. Die Bandbreite definiert die Frequenz, bei der ein sinusförmiges Signal auf 71% seiner Amplitude abgeschwächt wird.

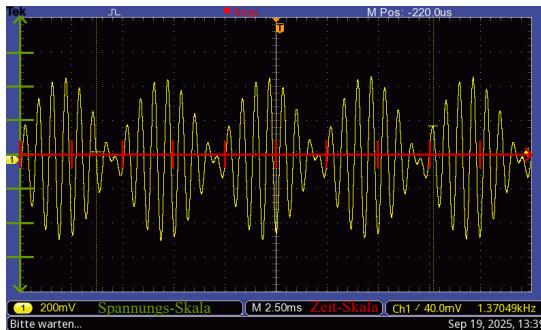


Abbildung I.2.: Achsen klar visualisiert

1.3.2. Triggerung

Triggerung stabilisiert periodische Signale, verhindert Flackern und sorgt dafür, dass immer der gleiche Signalabschnitt dargestellt wird. Meistens wird eine Flankentriggerung verwendet, bei der ein Triggerlevel festgelegt wird, an dem das Signal abgebildet wird. Steigende oder fallende Flanken können gewählt werden.

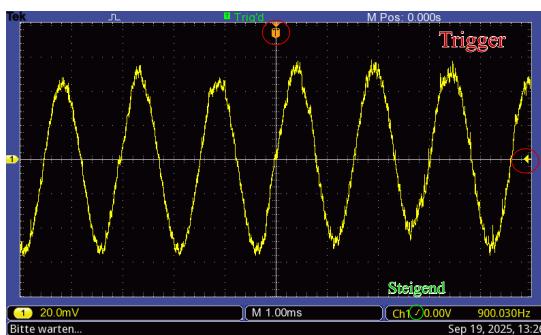


Abbildung I.3.: Visualisierung Triggering

1.3.3. Bedienung

Wichtige Funktionen sind die Eingangskopplung (AC, DC, Erde) sowie die vertikale und horizontale Skalenanpassung. AC-Kopplung filtert Gleichanteile, DC-Kopplung zeigt sie an. Die Erde-Position dient zur Nulljustierung.

1.3.4. Reflexion auf Leitungen

Ändert sich der Wellenwiderstand einer Leitung, wird ein Teil der Welle reflektiert. Der Wellenwiderstand Z hängt von Induktivität L' und Kapazität C' pro Längeneinheit ab:

$$Z = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \quad [\Omega]. \quad (3)$$

Offene Leitungen reflektieren ohne Phasensprung, kurzgeschlossene mit Phasensprung. Passender Abschluss eliminiert Reflexionen.

1.3.5. Pulsweitenmodulation (PWM)

PWM regelt Effektivspannung ohne Änderung der Betriebsspannung. Bei einer Impulsspannung U_0 ergibt sich Mittelwert U_M und Effektivwert U_{eff} über das Verhältnis von Pulsdauer t zu Periodendauer T :

$$U_M = U_0 \frac{t}{T}, \quad U_{\text{eff}} = U_0 \sqrt{\frac{t}{T}}. \quad (4)$$

So kann man bspw. LEDs dimmen.



Abbildung I.4.: Eingezeichnet sind die Periode T und die Pulsbreite t .

25 - Oszilloskop

Ziel: Im heutigen Versuch wollen wir die Funktionsweise eines Oszilloskopes verstehen. Dabei geht es dieses mal nicht um die Bestimmung einer physikalischen Größe.

Aufgabe 1)

Zunächst wollen wir qualitativ die Eigenschaften unseres Oszilloskopes betrachten. Dazu schließen wir eine Sinus-Spannung von 100 Hz am Kanal 1 an. Die Spannung wird von einem Function generator in die gewünschte Form gebracht. Wir haben 1-Fache Dämpfung

Skizze:

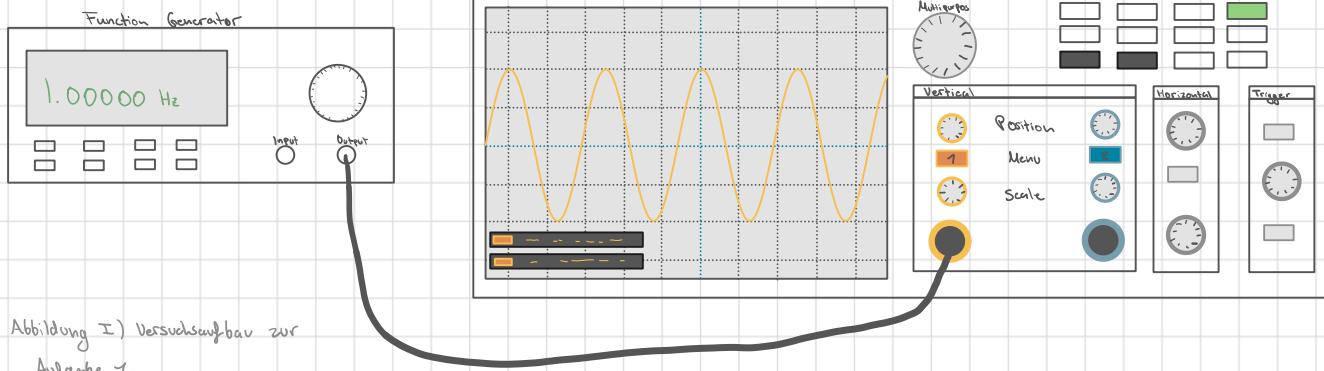


Abbildung I) Versuchsaufbau zur Aufgabe 1.

Qualitative Beobachtung:

- Vertical-Scale: Verändert die Amplitude der Anzeige
- Horizontal-Scale: Verändert Zeitachsenstreckung.
- Positionsregler: Verschiebt das Signal auf der Anzeige.
↳ Zurückgesetzt durch drücken auf Regler (Symmetrisch)

Trigger-Modus ..

- Auto: Ist der Trigger falsch gesetzt, wird dennoch ein Signal visualisiert (flackert)
- Normal: Ist der Trigger falsch gesetzt, wird auch das Signal nicht visualisiert.

Triggerlevel: Horizontale, verschiebbare Linie → Hier wird getriggert.

Triggerflanke: Ich markieren, ob Signal steigen oder fallen soll um Triggerpunkt.

Aufgabe 2)

Nun wollen wir uns verschiedene Signale anschauen und unterschiedliche Eigenschaften messen.

Tabelle I) Signale 1-4

Signal(Art)	f [Hz]	Cursor Periodendauer [ms]	Automatisch Uss [mV]	Cursor Uss [mV]	Automatisch Gleichspannungsanteil [mV]	Cursor Gleichspannungsanteil [mV]	Automatisch Umax [mV]	Cursor Umax [mV]	Automatisch Umin [mV]	Cursor Umin [mV]
0003 1.	4,983 (206)	5,000	1,060	1,064	0,930 (niedrig)	0,930 (niedrig)	1,500	1,500	0,400	0,460
003 2.	?	1,560	0,104	0,1256	1,610 (hoch)	1,610 (hoch)	-1,560	0,0688	-1,670	0,0568
3.										
4.										

Gemessene Eigenschaften der Signale 1-4. Abbildungen der Signale sind unten zu entnehmen. (gemessen in DC).

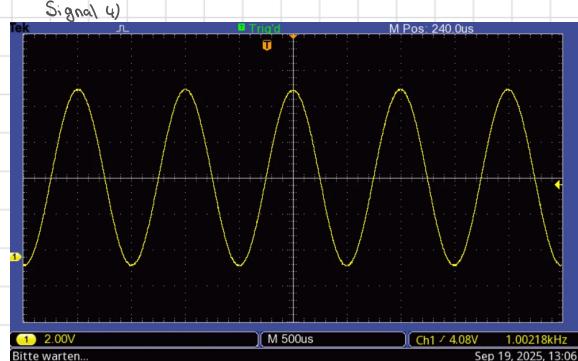
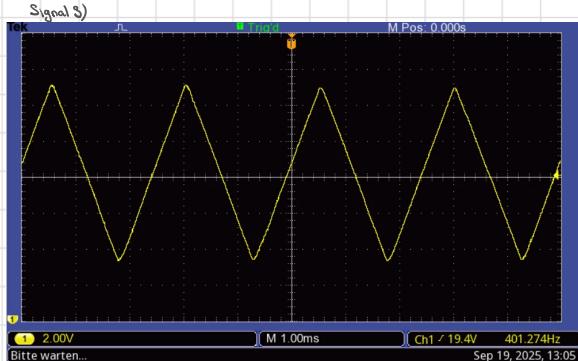


Tabelle II) Signal 5

Signal(Art)	Halbwertszeit [ms]	Zeit	Amplitude
5.	2,00 ± 0,2	Maximale Genauigkeit: 10 ns	80 µV

Minimale Genauigkeit: 2 s 200 mV

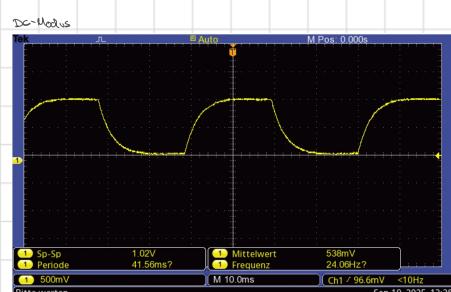
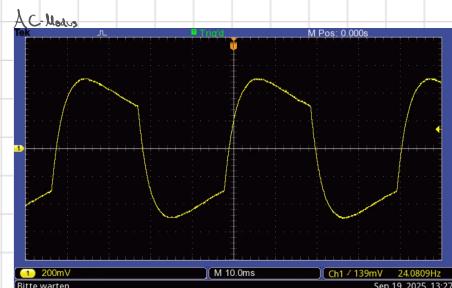
Gemessene Halbwertszeit der eines Kondensators bei einer Zeitauflösung pro DIV 25 mögliche Positionen für Cursor.

Von

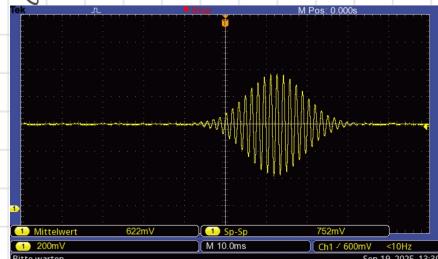
Unterschied AC und DC im Fall des (Ent-)Ladungsvorganges eines Kondensators:

DC bedeutet, dass Signale 1:1 durchgelassen werden, also inklusive des Gleichspannungsanteils.

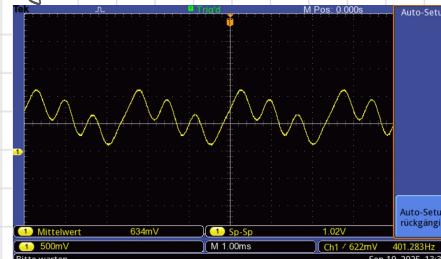
Dagegen ist bei AC ein Hochpaß eingeschaltet, welcher Spannungen filtert.



Signal 6)



Signal 7)



Signal 8)

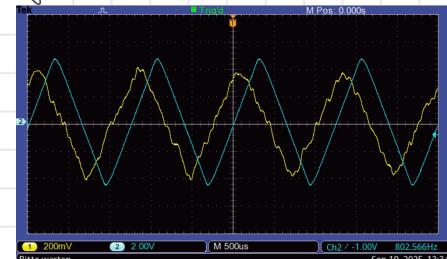


Tabelle 3) Signal 3 0022

Signal(-art)	^{5 Perioden} T_s [ms]	π [ms]	f_2 [Hz]	f_1 [Hz]	f_I [Hz]	f_{II} [Hz]
g.	3,300	0,660	100	1,51	1380	1590

Aufgabe 3) Pulsweltenmodulation

Tabelle 4)

Einstellung	Pulsester [ms]	Reihung [V]	Periode T [s]	Mittelwert [V]	Effektivspannung [V]
0028 I	0,510	9,48	1,000	1,73	2,45
0023 II	0,260	3,48	1,030	1,05	1,80

zu) 0031 offen) 0032

Zustand	Zeit [ns]	Widerstand [Ω]
zu "0"	188	
Offen	188	
R	/	38,3

II. Durchführung

2.1. Durchführung Versuch 25: Oszilloskop

2.1.1. Aufgabe 1: Bedienung des Oszilloskops

Zunächst wird der Funktionsgenerator an **Kanal 1** des Oszilloskops angeschlossen. Als Signalfunktion wird ein **Sinus mit einer Frequenz von ca. 100 Hz** gewählt. Über die Kaltaste wird sichergestellt, dass für die Dämpfung der Wert **1X** eingestellt ist, da sonst die gemessenen Spannungen verzerrt dargestellt werden.

Nachdem der Trigger korrekt eingestellt wurde, sollte das Signal als **stehendes Bild** sichtbar sein. Anschließend werden die **Scale-Regler** für das Vertikal- und Horizontalfeld sowie die **Positionsregler** getestet, um die Auswirkungen auf das Oszilloskopbild zu beobachten. Die horizontale Position wird danach wieder symmetrisch eingestellt.

Im Triggerfeld wird der Modus auf **Auto** gesetzt. Mit Hilfe des **Level-Reglers** lässt sich beobachten, wie sich das Signal an der Triggerposition verschiebt. Liegt der Triggerlevel außerhalb des Signals, erfolgt keine Triggerung, das Signal wird aber weiterhin angezeigt. Danach wird der Modus auf **Normal** umgeschaltet, und die Auswirkungen der **Triggerflanke** werden untersucht. Alle Beobachtungen werden im Protokoll dokumentiert.

2.1.2. Aufgabe 2: Amplituden- und Zeitmessung

Signale 1–4

Der Signalgenerator erzeugt verschiedene Signale mit unterschiedlicher Amplitude und Fre-

quenz. Über die Taster können die Signale ausgewählt werden. Der Ausgang 2 des Signalgenerators wird mit Kanal 1 des Oszilloskops verbunden, und die Versorgungsspannung wird eingeschaltet.

Die **Nulllage des Signals** wird eingestellt, indem die Kopplung auf **Erde** gesetzt und die Signalmitte in die vertikale Bildschirmmitte verschoben wird. Danach wird die Kopplung wieder auf **DC** gestellt.

Für jedes Signal werden folgende Größen gemessen:

- Periodendauer / Frequenz
- Spitze-Spitze-Spannung (USS) und Gleichspannungsanteil
- Bild oder Skizze des Signals

Die Messungen erfolgen sowohl mit der **Cursor-Funktion** als auch mit den **automatischen Messfunktionen**, wobei der Fehler für die Cursor-Messung aus der Ablesegenauigkeit abgeschätzt wird. Die Signale werden auf einem USB-Stick gespeichert.

Signal 5

Signal 5 zeigt einen **periodisch exponentiell abfallenden und ansteigenden Verlauf** (Lade- und Entladevorgang eines Kondensators). Hier wird die **DC-Kopplung** eingestellt, da die AC-Kopplung zu Verzerrungen führt. Es wird die **Halbwertszeit** des Signals gemessen. Die Zeitbasis wird so gewählt, dass der größte mögliche Zeitbereich sichtbar ist.

Signale 6–8 (qualitativ)

- **Signal 6:** Wellenpakete unterschiedlicher Höhe werden ausgesendet. Mit **Auto-**

Triggerung erscheinen die Pakete nur kurz. Durch **manuelle Triggerung** können gezielt einzelne Pakete dargestellt werden.

- **Signal 7:** Beobachtung im Auto-Modus. Der Triggerlevel muss angepasst werden, um eine stabile Anzeige zu erhalten.
- **Signal 8:** Beide Kanäle des Oszilloskops werden aktiviert. Kanal 1 ist verrauscht, Kanal 2 sauber. Die Triggerung erfolgt auf Kanal 2, um beide Signale stabil darzustellen.

Signal 9: Frequenzspektrum

Signal 9 zeigt eine **Schwebung**, d.h. die Überlagerung zweier Sinussignale. Nach Aktivierung der **AC-Kopplung** und Stopp des Signals wird die **Schwingungsfrequenz** f_1 und die **Schwingungsfrequenz** f_2 mittels Cursor bestimmt. Anschließend wird die **Fouriertransformation (FFT)** genutzt, um die Grundfrequenzen f_I und f_{II} zu messen.

Ausführliche Ablesefehleranalyse

In diesem Teil soll aufgeschlüsselt werden, wie hoch die Ablese Ungenauigkeit der Cursor-Funktion des Oszilloskops ist. Dazu betrachten wir zunächst den Aufbau des Displays.

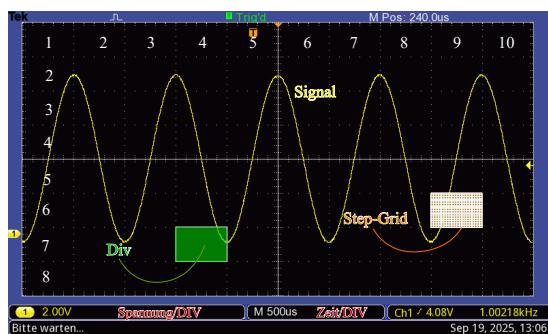


Abbildung II.1.: Beispiel aus dem Versuch. 8 mal 10 DIVs.

Es werden dabei immer 8×10 DIVs angezeigt. Die 8 sind die Amplituden in [V] und die 10 die Zeitachse [s]. Beide Achsen können dabei separat in ihrer Größe verändert werden. Insgesamt besteht jeder DIV aus 25×25 »steps«¹. Jeder Step ist dabei die Position, an der ein Cursor stehen kann. Für einen Gesamten DIV hat somit 200 Steps auf der Vertikalen und 250 Stept auf der Horizontalen.

Darüber lässt sich nun immer der Mindestabstand bestimmen, den zwei Cursor messen können. 50% dieses Abstandes (also der Zeit- bzw. Spannungsdifferenz) sind dann der Ablesefehler des Oszilloskops. Damit haben wir einen immergleichen prozentualen Fehler der Cursorgenaugigkeit.

Spannungsgenauigkeit:

$$\Delta U_{\text{Cursor}} = 0,5 \cdot \frac{1}{200} \text{ der Skaler} \quad (1)$$

Zeitgenauigkeit:

$$\Delta t_{\text{Cursor}} = 0,5 \cdot \frac{1}{250} \text{ der Skaler} \quad (2)$$

Wir schauen in die Anleitung [Cap25] und bekommen zwei wichtige Informationen. Auf Seite 112 bekommen wir die Informationen, dass die Spannungsreihe in »1-2-5 Sequenzen« eingeteilt sind. Die Zeit wird anders sequenziert, sie hat lediglich mehr Teile. Für die Tabelle wird dennoch die 1-2-5 Sequenzen verwendet, da sich alle anderen Werte ohnehin mit den gegebenen Werten berechnen lassen. Es ist vermutlich eine »1-2-2,5-5 Sequenzierung«. Aber sicher bestätigen konnte ich dies aus der Anleitung nicht. Außerdem finden wir heraus, dass auf den Seiten 115 und 116 die Ranges der beiden Achsen stehen. Für die Spannung $2 \frac{mV}{Div} \rightarrow 5 \frac{V}{Div}$ und für die Zeit $5 \frac{ns}{Div} \rightarrow 50 \frac{s}{Div}$ (da wir $70MHz$ haben).

Hier ist jedoch wichtig, dass die **Tabelle II.1** die Ungenauigkeit pro Cursor beschreibt. Der

¹Steps ist nicht der formale Begriff, sondern der von mir genutzte

Fehler, der sich für das benutzen von zwei Cursors ergibt ist somit:

$$\Delta_{2\times Cursor} = \sqrt{2 \cdot \Delta_{Cursor}} \quad (3)$$

Und somit für unsere Spannungsgenauigkeit von zwei Cursorn:

$$\Delta U_{2\times Cursor} = \sqrt{\frac{1}{200}} = 0,0707 \hat{=} 7,1\% \quad (4)$$

Und für die Zeitgenauigkeit:

$$\Delta t_{2\times Cursor} = \sqrt{\frac{1}{250}} = 0,0632 \hat{=} 6,3\% \quad (5)$$

Es gibt jedoch neben der Ablesegenauigkeit noch weitere Fehlerquellen, die auf den Messprozess des Gerätes zurückzuführend sind. Diese sind auch auf den Seiten 115 und 116 gefunden.

Time Base Accuracy

Die Time Base Accuracy gibt an, wie genau das Oszilloskop die horizontale Achse (Zeit) skaliert. Sie wird in ppm (parts per million) angegeben. Unser Oszilloskop hat dabei 50 ppm.

Bedeutung: Wir wollen den systematischen Zeitfehler Δt_{sys} des Oszilloskops bestimmen. Dabei definieren wir t_{div} also die Auflösung.

- 50 ppm = 50 Teile pro 1.000.000 Teile = $0,00005 = 0,005\%$
- Dies bedeutet, dass die tatsächliche Zeit Δt_{true} von der angezeigten Zeit t_{div} höchstens um diesen Faktor abweichen kann:

$$\Delta t_{sys} = t_{div} \pm 50 \text{ ppm} \cdot t_{div} \quad (6)$$

$$= t_{div} \pm 0,00005 \cdot t_{div}. \quad (7)$$

Beispielrechnung: Für eine Einstellung von 1 ms/Div gilt:

$$\Delta t_{sys} = 1 \text{ ms} \cdot 0,00005 = 50 \text{ ns/Div}. \quad (8)$$

Bei 10 ms/Div wäre der Fehler:

$$\Delta t_{sys} = 10 \text{ ms} \cdot 0,00005 = 0,5 \mu\text{s/Div}. \quad (9)$$

Die Time Base Accuracy ist ein systematischer Fehler der horizontalen Skala. In den meisten Messungen ist dieser Fehler sehr klein im Vergleich zu Cursorauflösung, kann aber für sehr präzise Zeitmessungen berücksichtigt werden.

DC gain accuracy

Der systematische Fehler ΔV_{sys} wird in der Anleitung mit $\pm 3\%$ für den Bereich 10mV/Div bis 5V/Div angegeben.

Ganz zum Schluss werden die Fehler zu einem GEamtfehler bestimmt, der dann als Gerätefehler der jeweiligen Auflösung genutzt werden kann.

Prozentualer Fehler nach Divition

Der gesamte Fehler einer Rechnung ist immer prozentual. Wir kommen auf insgesamt 3 prozentuale Fehler:

$$\Delta t = 6,3\% \quad (10)$$

$$\Delta U_{<10mV} = 7,1\% \quad (11)$$

$$\Delta U_{>10mV} = 7,7\%. \quad (12)$$

Diese Gesamtfehler sind nur relevant in der Cursor-Messung, nicht etwa in der automatischen. Diese ist jedoch nicht die prozentuale Abweichung vom Messwert, sondern von der Div-Größe. Man muss also die Divition kenne, dann kann man über diese Fehler die Abweichung bestimmen.

Ich: *Starte neues Latex Dokument*

Latex:



Abbildung II.2.: Wieder ein Meme

Finn Zeumer (hz334)		Oszilloskop		II. Durchführung	
Spannung [V/Div]	ΔV_{Cursor} [V]	$\Delta V_{2 \times \text{Cursor}}$ [V]	ΔV_{sys} [V]	ΔV_{gesamt} [V]	
$2,00 \times 10^{-3}$	$5,00 \times 10^{-6}$	$1,41 \times 10^{-4}$	–	–	–
$5,00 \times 10^{-3}$	$1,25 \times 10^{-5}$	$3,54 \times 10^{-4}$	–	–	–
$1,00 \times 10^{-2}$	$2,50 \times 10^{-5}$	$7,07 \times 10^{-4}$	$3,00 \times 10^{-4}$	$7,68 \times 10^{-4}$	$1,54 \times 10^{-3}$
$2,00 \times 10^{-2}$	$5,00 \times 10^{-5}$	$1,41 \times 10^{-3}$	$6,00 \times 10^{-4}$	$1,54 \times 10^{-3}$	$3,84 \times 10^{-3}$
$5,00 \times 10^{-2}$	$1,25 \times 10^{-4}$	$3,54 \times 10^{-3}$	$1,50 \times 10^{-3}$	$3,84 \times 10^{-3}$	$7,68 \times 10^{-3}$
$1,00 \times 10^{-1}$	$2,50 \times 10^{-4}$	$7,07 \times 10^{-3}$	$3,00 \times 10^{-3}$	$7,68 \times 10^{-3}$	$1,54 \times 10^{-2}$
$2,00 \times 10^{-1}$	$5,00 \times 10^{-4}$	$1,41 \times 10^{-2}$	$6,00 \times 10^{-3}$	$1,54 \times 10^{-2}$	$3,84 \times 10^{-2}$
$5,00 \times 10^{-1}$	$1,25 \times 10^{-3}$	$3,54 \times 10^{-2}$	$1,50 \times 10^{-2}$	$3,84 \times 10^{-2}$	$7,68 \times 10^{-2}$
1,00	$2,50 \times 10^{-3}$	$7,07 \times 10^{-2}$	$3,00 \times 10^{-2}$	$7,68 \times 10^{-2}$	$1,54 \times 10^{-1}$
2,00	$5,00 \times 10^{-3}$	$1,41 \times 10^{-1}$	$6,00 \times 10^{-2}$	$1,54 \times 10^{-1}$	$3,84 \times 10^{-1}$
5,00	$1,25 \times 10^{-2}$	$3,54 \times 10^{-1}$	$1,50 \times 10^{-1}$	$3,84 \times 10^{-1}$	$7,68 \times 10^{-1}$
Zeit [t/Div]	Δ_{Cursor} [s]	$\Delta t_{2 \times \text{Cursor}}$ [s]	Δt_{sys} [s]	Δt_{gesamt} [s]	
5 ns	$1,00 \times 10^{-11}$	$3,16 \times 10^{-10}$	$2,50 \times 10^{-13}$	$3,16 \times 10^{-10}$	
10 ns	$2,00 \times 10^{-11}$	$6,32 \times 10^{-10}$	$5,00 \times 10^{-13}$	$6,32 \times 10^{-10}$	
20 ns	$4,00 \times 10^{-11}$	$1,26 \times 10^{-9}$	$1,00 \times 10^{-12}$	$1,26 \times 10^{-9}$	
50 ns	$1,00 \times 10^{-10}$	$3,16 \times 10^{-9}$	$2,50 \times 10^{-12}$	$3,16 \times 10^{-9}$	
100 ns	$2,00 \times 10^{-10}$	$6,32 \times 10^{-9}$	$5,00 \times 10^{-12}$	$6,32 \times 10^{-9}$	
200 ns	$4,00 \times 10^{-10}$	$1,26 \times 10^{-8}$	$1,00 \times 10^{-11}$	$1,26 \times 10^{-8}$	
500 ns	$1,00 \times 10^{-9}$	$3,16 \times 10^{-8}$	$2,50 \times 10^{-11}$	$3,16 \times 10^{-8}$	
1 μ s	$2,00 \times 10^{-9}$	$6,32 \times 10^{-8}$	$5,00 \times 10^{-11}$	$6,32 \times 10^{-8}$	
2 μ s	$4,00 \times 10^{-9}$	$1,26 \times 10^{-7}$	$1,00 \times 10^{-10}$	$1,26 \times 10^{-7}$	
5 μ s	$1,00 \times 10^{-8}$	$3,16 \times 10^{-7}$	$2,50 \times 10^{-10}$	$3,16 \times 10^{-7}$	
10 μ s	$2,00 \times 10^{-8}$	$6,32 \times 10^{-7}$	$5,00 \times 10^{-10}$	$6,32 \times 10^{-7}$	
20 μ s	$4,00 \times 10^{-8}$	$1,26 \times 10^{-6}$	$1,00 \times 10^{-9}$	$1,26 \times 10^{-6}$	
50 μ s	$1,00 \times 10^{-7}$	$3,16 \times 10^{-6}$	$2,50 \times 10^{-9}$	$3,16 \times 10^{-6}$	
100 μ s	$2,00 \times 10^{-7}$	$6,32 \times 10^{-6}$	$5,00 \times 10^{-9}$	$6,32 \times 10^{-6}$	
200 μ s	$4,00 \times 10^{-7}$	$1,26 \times 10^{-5}$	$1,00 \times 10^{-8}$	$1,26 \times 10^{-5}$	
500 μ s	$1,00 \times 10^{-6}$	$3,16 \times 10^{-5}$	$2,50 \times 10^{-8}$	$3,16 \times 10^{-5}$	
1 ms	$2,00 \times 10^{-6}$	$6,32 \times 10^{-5}$	$5,00 \times 10^{-8}$	$6,32 \times 10^{-5}$	
2 ms	$4,00 \times 10^{-6}$	$1,26 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-7}$	$1,26 \times 10^{-4}$	
5 ms	$1,00 \times 10^{-5}$	$3,16 \times 10^{-4}$	$2,50 \times 10^{-7}$	$3,16 \times 10^{-4}$	
10 ms	$2,00 \times 10^{-5}$	$6,32 \times 10^{-4}$	$5,00 \times 10^{-7}$	$6,32 \times 10^{-4}$	
20 ms	$4,00 \times 10^{-5}$	$1,26 \times 10^{-3}$	$1,00 \times 10^{-6}$	$1,26 \times 10^{-3}$	
50 ms	$1,00 \times 10^{-4}$	$3,16 \times 10^{-3}$	$2,50 \times 10^{-6}$	$3,16 \times 10^{-3}$	
100 ms	$2,00 \times 10^{-4}$	$6,32 \times 10^{-3}$	$5,00 \times 10^{-6}$	$6,32 \times 10^{-3}$	
200 ms	$4,00 \times 10^{-4}$	$1,26 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^{-5}$	$1,26 \times 10^{-2}$	
500 ms	$1,00 \times 10^{-3}$	$3,16 \times 10^{-2}$	$2,50 \times 10^{-5}$	$3,16 \times 10^{-2}$	
1 s	$2,00 \times 10^{-3}$	$6,32 \times 10^{-2}$	$5,00 \times 10^{-5}$	$6,32 \times 10^{-2}$	
2 s	$4,00 \times 10^{-3}$	$1,26 \times 10^{-1}$	$1,00 \times 10^{-4}$	$1,26 \times 10^{-1}$	
5 s	$1,00 \times 10^{-2}$	$3,16 \times 10^{-1}$	$2,50 \times 10^{-4}$	$3,16 \times 10^{-1}$	
10 s	$2,00 \times 10^{-2}$	$6,32 \times 10^{-1}$	$5,00 \times 10^{-4}$	$6,32 \times 10^{-1}$	
20 s	$4,00 \times 10^{-2}$	$1,26 \times 10^0$	$1,00 \times 10^{-3}$	$1,26 \times 10^0$	
50 s	$1,00 \times 10^{-1}$	$3,16 \times 10^0$	$2,50 \times 10^{-3}$	$3,16 \times 10^0$	

Tabelle II.1.: Spannungs- und Zeitauflösung, systematische Fehler und Gesamtfehler des Oszilloskops. Berücksichtigung von Ablese- und Systematischenfehlern.

III. Auswertung

Fehlerrechnung

Für die statistische Auswertung von n Messwerten x_i werden folgende Größen definiert [Wag25b]:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{Arithmetisches Mittel} \quad (1)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad \text{Variation} \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{Standardabweichung} \quad (3)$$

$$\Delta\bar{x} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2} \quad \text{Fehler des Mittelwerts} \quad (4)$$

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \Delta y\right)^2} \quad \text{Gauß'sches Fehlerfortpflanzungsgesetz für } f(x, y) \quad (5)$$

$$\Delta f = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} \quad \text{Fehler für } f = x + y \quad (6)$$

$$\Delta f = |a| \Delta x \quad \text{Fehler für } f = ax \quad (7)$$

$$\frac{\Delta f}{|f|} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2} \quad \text{relativer Fehler für } f = xy \text{ oder } f = x/y \quad (8)$$

$$\sigma = \frac{|a_{lit} - a_{gem}|}{\sqrt{\Delta a_{lit}^2 + \Delta a_{gem}^2}} \quad \text{Berechnung der signifikanten Abweichung} \quad (9)$$

3.1. Aufgabe 1: Function Generator

Hat Spaß gemacht und war witzig :)



Abbildung III.1.: Meme

3.2. Aufgabe 2: Analyse der 9 Signale

Wir wollen die Signale 1 und 2 genauer analysieren. Signale 3 und 4 werden nur kurz beschrieben. Bei Signal 5 wird die Halbwertszeit berechnet. Signale 7 bis 9 werden dann wieder qualitativ beschrieben.

Signal 1

Wir mussten zur Vermessung des Signales 1 sowohl manuell mit den Cursorn vermessen und automatisch mit den eingebauten Messfunktionen des Oszilloskopes. Wir haben dabei eine DIV Größe von $200\text{mV} \times 2,5\text{ms}$ im AC-Modus gehabt und $500\text{mV} \times 2,5\text{ms}$ im DC-Modus. Aus Tabelle II.1 lassen sich somit die Fehler ablesen beziehungsweise aus den Angaben berechenn

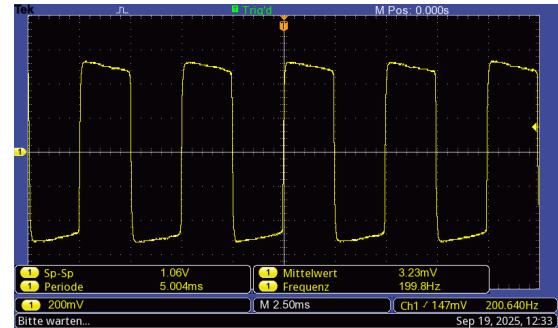


Abbildung III.2.: Signal 1 mit automatischen Messwerten und gesetztem Trigger im AC Modus.

lassen zu:

$$\Delta V_{AC} = 15 \quad [\text{mV}] \quad (10)$$

$$\Delta V_{DC} = 40 \quad [\text{mV}] \quad (11)$$

$$\Delta t = 0,16 \quad [\text{ms}] \quad (12)$$

(Es wurde auf signifikante Stellen gerundet).

In den Tabellen werden die Spalten Grün angezeigt, wenn sie in AC gemessen wurden und Lila, wenn sie im DC-Modus gemessen wurden. Dies ist nur für die Cursor wichtig.

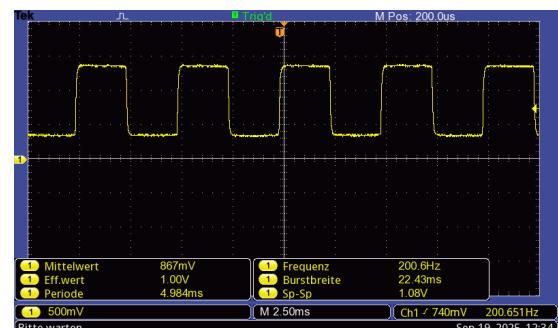


Abbildung III.3.: Signal 1 mit automatischen Messwerten und gesetztem Trigger im DC Modus.

Diese Unsicherheiten verwenden wir nun, wenn immer wir Cursor-Messungen zur Berechnung benutzen. Die automatischen Werte sollen als »perfekt« angenommen werden. In den Tabellen beschreibt T die Periodendauer

in ms, U_{SS} die Spitzen-Spitze-Spannung (also die Differenz von U_{max} und U_{min}). U_{max} und U_{min} sind die lokalen¹ Extrempunkte. U_G ist die DC_{offset} -Spannung. Berechnet wird dieser über den Mittelwert im DC-Modus.

Wir schreiben daher einmal alle Informationen aus dem [Protokoll](#) in zwei Tabellen, in eine für die automatisch berechneten Werte und eine für die Cursor-Messungen.

T [ms]	U_{SS} [V]	U_G [V]	U_{max} [V]	U_{min} [V]
4,983	1,06	0,93	1,50	0,40

Tabelle III.1.: Tabelle der vom Oszilloskop berechneten Werte.

In [Tabelle III.1](#) sind alle automatisch gemessenen Werte eingetragen.

Aus der Periodendauer können wir nun die [Frequenz](#) (1) berechnen:

$$f_{auto} = 0,202 \text{ ms}^{-1} \doteq 4,95 \text{ kHz}. \quad (13)$$

Aus den Extrema können wir U_G auch noch rechnerisch über das [arithmetische Mittel](#) 1 bestimmen:

$$U_{G,auto,r} = 0,95 \text{ V}. \quad (14)$$

Merkwürdig ist, dass die Werte U_G und $U_{G,auto,r}$ einwenig abweichen. Dies liegt daran, dass das Signal nicht konstant war. Aus nicht bekannten Gründen sind die Werte über die Zeit angestiegen. Da wir die Werte aber nacheinander abgeschrieben haben, waren zu dem Moment die Werte schon nicht mehr stringent. Die Abweichung ist jedoch nicht besonders groß.

T [ms]	U_{SS} [V]	U_{max} [V]	U_{min} [V]
5,00 ± 0,16	1,064	1,500	0,460

Tabelle III.2.: Tabelle der mit Cursor bestimmten Werte.

¹Also die auf dem Display angezeigten Extrempunkte.

Wir wollen nun U_G bestimmen. Dies ist der [Mittelwert](#) 1 von U_{max} und U_{min} .

$$U_G = 0,980 \text{ V}. \quad (15)$$

Dabei entspricht U_G gerade dem Gleichspannungsanteil.

Seinen Fehler bestimmen wir via [Gauß'scher Fehlerfortpflanzung](#) (5):

$$\Delta U_G = \sqrt{(\Delta U_{min})^2 + (\Delta U_{max})^2}. \quad (16)$$

Somit kommen wir auf ein Ergebnis von

$$U_G = (980 \pm 60) \text{ mV}. \quad (17)$$

Als nächstes berechnen wir die Frequenz der Cursor-Messung:

$$f_{cursor} = 0,2 \text{ ms}^{-1} \doteq 5 \text{ kHz}. \quad (18)$$

Den Fehler der Frequenz müssen wir noch bestimmen, wieder über [Gauß'scher Fehlerfortpflanzung](#) (5):

$$\Delta f = \frac{\Delta T}{T^2}. \quad (19)$$

Berechenn wir diesen Fehler und tragen das Ergebnis zusammen, kommen wir zu:

$$f_{cursor} = (0,200 \pm 0,006) \text{ ms}^{-1}. \quad (20)$$

(Es wurde auf signifikante Stellen gekürzt.)

Nocheinmal die Gefragten Werte zusammengetragen:

$$U_{G,auto} = 930 \text{ mV}$$

$$U_{G,auto,r} = 0,95 \text{ V}$$

$$U_{SS} = 1,06 \text{ V}$$

$$f_{auto} = 0,202 \text{ ms}^{-1}$$

$$U_{G,cursor} = (980 \pm 60) \text{ mV}$$

$$U_{SS,cursor} = (1064 \pm 15) \text{ mV}$$

$$U_{SS,cursor,r} = (1040 \pm 60) \text{ mV}$$

$$f_{cursor} = (0,200 \pm 0,006) \text{ ms}^{-1}$$

Der Wert $U_{SS,cursor,r}$ ist dabei der nochmal neu gerechnete Wert, aus dem Maximum und dem Minimum.

Wir berechnen nun noch, wie signifikant die Werte des Cursors sind, indem wir die automatisch berechneten als Referent nehmen. Wir nutzen [Gleichung 9](#) der Fehlerrechnung: Wir beginnen mit der Offset-Spannung U_G :

$$\frac{|U_{G,auto} - U_{G,cursor}|}{\Delta U_{G,cursor}} = 0,83\sigma. \quad (21)$$

Für die Spitzen-Spitzen-Spannung:

$$\frac{|U_{SS,auto} - U_{SS,cursor}|}{\Delta U_{SS,cursor}} = 0,26\sigma. \quad (22)$$

Und zuletzt für die Frequenz:

$$\frac{|f_{auto} - f_{cursor}|}{\Delta f_{cursor}} = 0,33\sigma. \quad (23)$$

Signal 2

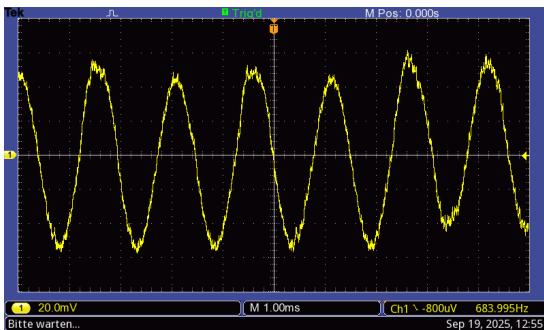


Abbildung III.4.: Signal 2 mit gesetztem Trigger.

Wir schauen uns nun das zweite Signal an, dessen Punkte wir gemessen haben. Die Tabellen sind hier wie bei Signal 1 Aufgebaut.

Die Periodendauer konnte automatisch nicht gemessen werden. Dies lag an dem stark rauschendem (beziehungsweise nicht konstanten) Signal. Auch wenn man es pausiert, kann keine automatische Periodenmessung stattfinden. Als logische Konsequenz kann hier keine Frequenz bestimmt werden.

T	U_{SS} [V]	U_G [V]	U_{max} [V]	U_{min} [V]
—	0,104	1,61	-1,56	-1,67

Tabelle III.3.: Tabelle der vom Oszilloskop berechneten Werte des zweiten Signals.

Neben den automatisch berechneten Werten für U_{SS} und U_G wollen wir die Rechnung über die U_{max} und die U_{min} nochmal überprüfen:

$$U_{SS,r} = 0,11V, \quad (24)$$

$$U_{G,r} = 1,615V. \quad (25)$$

Es sind leichte Abweichungen zu erkennen, aber grundsätzlich sind die Werte stringent. Die Abweichungen kommen wie bei Signal 1 daher, dass die Signale nicht kontinuierlich sind, sondern Schwankungen unterliegen.

Für die Cursor-Messung müssen wir zunächst wieder die Fehler bestimmen. Wir haben dieses mal für die AC-Spannung ein Step-Grid von $20mv \times 1,00ms$. Für die DC-Spannung $50mv \times 1,00ms$. Wir greifen wieder auf die [Tabelle II.1](#) zurück und kommen somit auf Ungenauigkeiten von:

$$\Delta t = 0,006ms \quad (26)$$

$$\Delta U_{AC} = 1,5mV \quad (27)$$

$$\Delta U_{DC} = 4,0mV \quad (28)$$

Wir tragen nun die Werte der Messungen in die Tabelle ein:

T [ms]	U_{SS} [mV]	U_{max} [mV]	U_{min} [mV]
1,560	125,6	68,8	56,8

Tabelle III.4.: Tabelle der mit Cursor bestimmten Werte.

Wir berechnen die [Frequenzen \(1\)](#) Cursor-Messung:

$$f_{cursor} = 0,641ms^{-1}. \quad (29)$$

Sein Fehler wird Analog zu Gleichung 19 berechnet. Wir kommen also auf ein Ergebnis von

$$f = (0,6410 \pm 0,0025) \text{ ms}^{-1}. \quad (30)$$

Als nächstes wollen wir U_G aus der Cursor-Messung bestimmen. Diese ist wieder Analog zum ersten Signal. Unser $U_{G,cursor}$ ist somit:

$$U_{G,cursor} = 62,8 \text{ mV}, \quad (31)$$

mit einer Ungenauigkeit von

$$\Delta U_{G,cursor} = 5,657 \text{ mV}. \quad (32)$$

Als Ergebnis also:

$$U_{G,cursor} = (63 \pm 6) \text{ mV}. \quad (33)$$

Recht offensichtlich ist der gemessene Wert der U_{SS} -Spannung nicht richtig. Wir würden eigentlich erwarten:

$$U_{SS,r} = 12 \text{ mV} \quad (34)$$

Der oben angegebene Wert ist scheinbar einfach die Summe der Extrema. Diese Berechnung ist flasch. Wir haben diesen Wert hier also offensichtlich nicht gemessen, sondern falsch berechnet. Von nun an ist $U_{SS,r}$ der richtige Wert. Wir müssen seine Ungenauigkeit noch bestimmen. Diese ist jedoch einfach identisch zur U_G -ungenauigkeit. Unser Ergebnis ist somit:

$$U_{SS,cursor} = (12 \pm 6) \text{ mV}. \quad (35)$$

Zum Schluss des zweiten Signals noch die Abweichungen:

Offset-Spannung:

$$\frac{|U_{G,auto,2} - U_{G,cursor,2}|}{\sqrt{(\Delta U_{G,cursor,2})^2}} = 257,84\sigma \quad (36)$$

Spitzen-Spitzen-Spannung:

$$\frac{|U_{SS,auto,2} - U_{SS,cursor,2}|}{\sqrt{(\Delta U_{SS,cursor,2})^2}} = 15,33\sigma \quad (37)$$

Signal 3

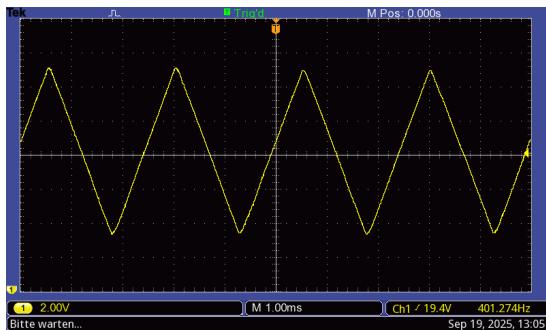


Abbildung III.5.: Signal 3

Das gemessene Signal 3 weist eine periodische Zickzackstruktur auf. Es besteht aus linearen Anstiegs- und Abfallflanken mit annähernd konstanter Steigung. Die Wiederholung der linearen Strecken kennzeichnet ein gleichmäßiges Muster mit konstanter Periodendauer. Die Signalform entspricht typischen Dreieckssignal.

Signal 4

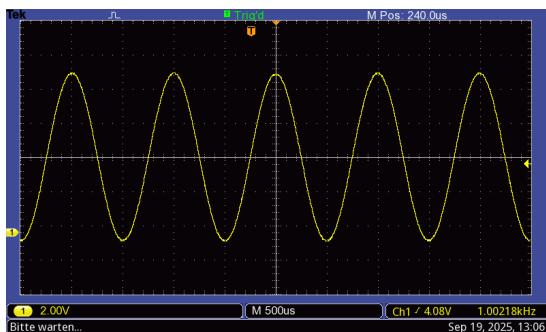


Abbildung III.6.: Signal 4

Das gemessene Signal 4 zeigt einen periodischen Sinusverlauf. Es weist eine gleichmäßige, harmonische Schwingung mit kontinuierlichem Übergang zwischen Maxima und Minima auf.

Signal 5

Für Signal 5 ist die Halbwertszeit zu bestimmen, also jene Zeit, bei der die Spannung um die Hälfte abgefallen ist. Gemessen haben wir mit einer Divgröße von $500mV \times 2,5ms$ berechnet. Das Spannungsplatau lag bei 1V. Wir haben also geschaut, wie groß die x-Achsen-Differenz vom Punkt, wo die Spannung abfällt, bis zu dem Punkt, an dem sie $500mV$ beträgt.

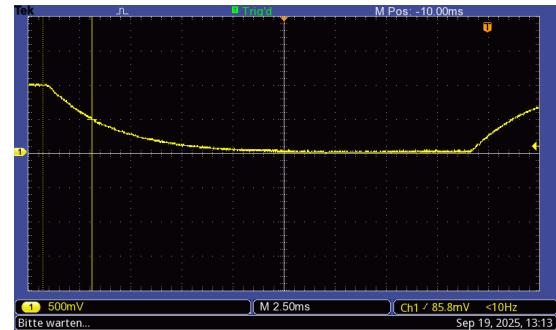


Abbildung III.7.: Signal 5 nah rangezoomed um den Abfall klar zu erkennen.

Die Halbwertszeit liegt dabei bei

$$2,40ms \quad (38)$$

Wir haben eine Auflösung von 2,5ms, wir haben also einen Zeitfehler von:

$$0,15ms \quad (39)$$

Wir tragen das gesamte zu einem Ergebnis zusammen:

$$t_H = (2,40 \pm 0,15) ms \quad (40)$$

Außerdem sind hier nochmal die beiden Grafiken, die zum Vergleich der AC und der DC-Spannung dienen. Abbildung III.8 zeigt die AC-Spannung, Abbildung III.9 die DC-Spannung.

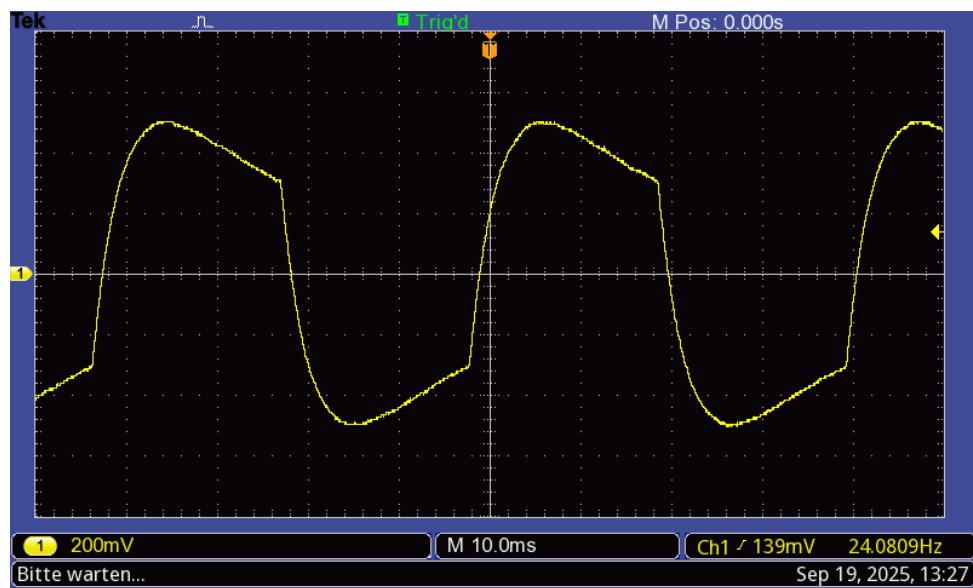


Abbildung III.8.: Signal 5-AC modus

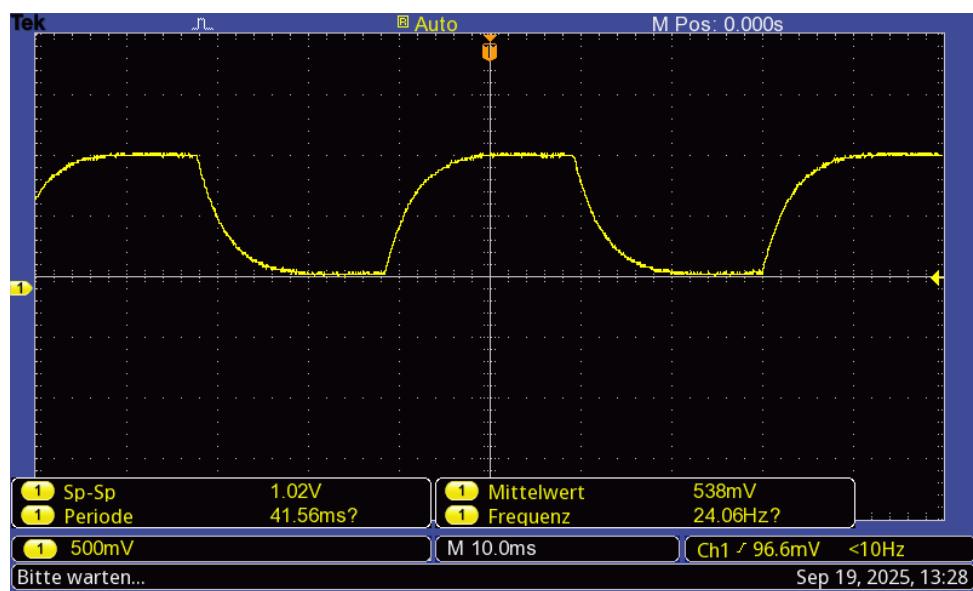


Abbildung III.9.: Signal 5-DC Modus

Signal 6

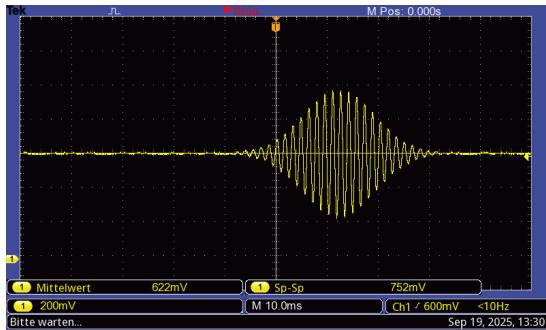


Abbildung III.10.: Signal 6

Das hier gezeigte Signal 6 ist eine kurzer Puls. Dieser ist eine Sinuskurve, mit nicht konstanter Amplitude.

Signal 7

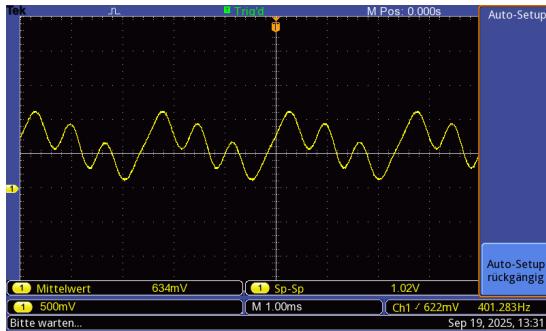


Abbildung III.11.: Signal 7

Das Signal 7 Zeigt eine periodische Sinuskurve. Diese ist jedoch nicht harmonisch, sie scheint eine Überlagerung verschiedener Sinuskurven zu sein.

Signal 8

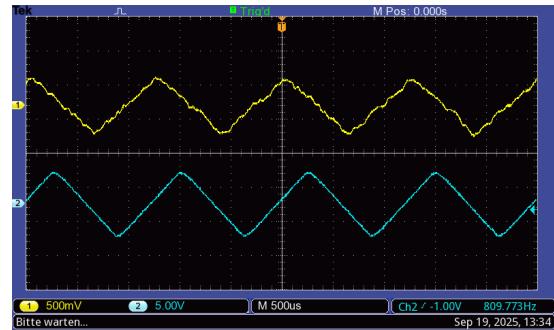


Abbildung III.12.: Signal 8 mit verschobenen Nullpunkten und verschiedenen Amplituden.

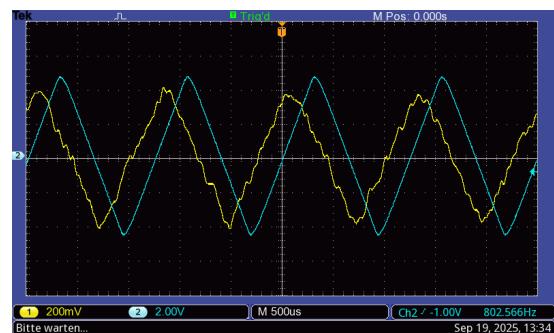


Abbildung III.13.: Signal 8 mit gleichem Nullpunkt, aber verschiedenen Amplituden.

Das Signal 8 zeigt zwei Zick-Zack-Signale, welche zum einen eine leichte Phasenverschiebung haben (geschätzt ca. $350\mu s$). Die Amplitude des Signals aus Kanal 2 (blau) ist etwas über 10-Mal größer (ca. 400mV vs. 4 800 mV).

Signal 9

Für Signal 9 sind wieder Messungen betrieben wurden. D

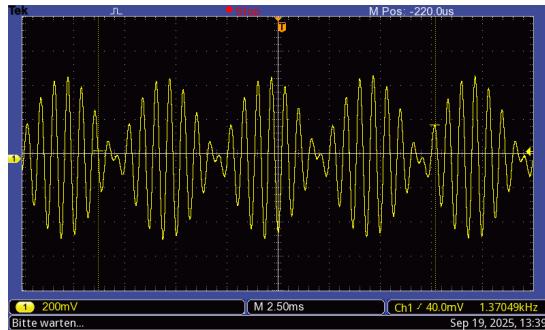


Abbildung III.14.: Signal 9. Man sieht die Pahsen und die Gruppen sehr gut

Abbildung III.14 zeigt das gemessene Signal mit einer recht geringen Zeitstauchung. Man sieht hier Gruppen und Phasen des Signals. Die Abbildung III.15 zeigt dabei die Einhüllung einer Phase.

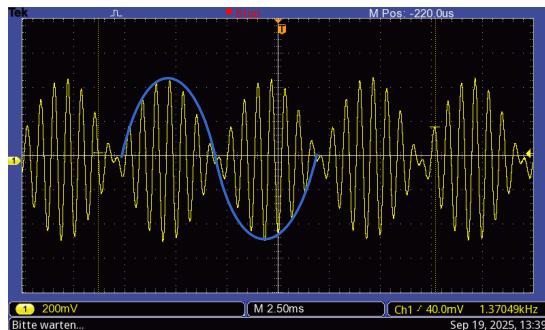


Abbildung III.15.: Signal 9 mit eingezeichneter Phasenhülle.

Verfeinert man die Zeitskala, so lässt sich auch eine einzelne Gruppe begutachten, wie in Abbildung III.16.

Damit so ein Signal möglich ist, müssen mindestens zwei Signale überlagern und sich destruktiv und konstruktiv beeinflussen. Aus der Aufgabe ist klar, dass es hier zwei Sinussignale mit konstanter Frequenz sind. Die-

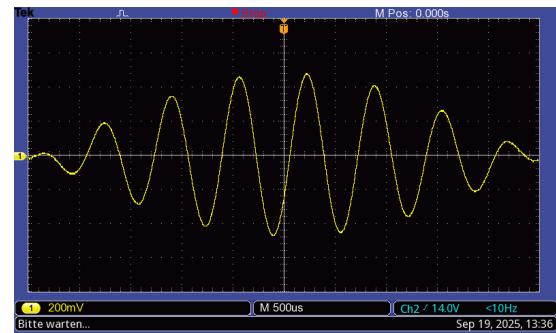


Abbildung III.16.: Signal 9, einzelne Gruppe.

se zwei Eigenfrequenzen wollen wir bestimmen und nutzen dafür den FFT-Modus (Fast-Fouriertransformation). Das Resultat ist in Abbildung III.17 gezeigt. Hier müssen beide Berge mit den Cursoren vermessen werden.

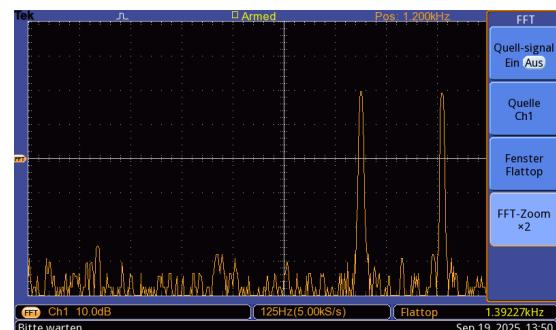


Abbildung III.17.: Signal 9 alt FFT-Signal.

Wir entnehmen dem Protokoll die Werte der Tabelle 3. Gemessen haben wir in einem $200mV \times 500\mu s$ Div-Grid, wie in Abbildung III.16. Dabei haben wir die Dauer von 5 Perioden vermessen. Unsere $500\mu s$ führen zu einer Zeitungenauigkeit von $31,5\mu s$. Unser gemessenes Ergebnis ist also:

$$T_5 = (3,30 \pm 0,03) ms \quad (41)$$

Wir dividieren das Ergebnis mit 5 und kommen somit auf eine Periodendauer von

$$T = (0,660 \pm 0,006) ms. \quad (42)$$

Zur Berechnung der Frequenz müssen wir lediglich den Kerwert der Periodendauer neh-

men. Der Fehler der Frequenz berechnet sich analog zu [Gleichung 19](#). Wir kommen somit auf eine Frequenz von

$$f_1 = (1,515 \pm 0,014) \text{ ms}^{-1}. \quad (43)$$

f_1 ist die Schwingfrequenz. Als nächstes wollen wir die Schwingungsfrequenz f_2 bestimmen. Dies entspricht der Periodendauer der Einhüllenden wie in [Abbildung III.15](#) gezeigt. Das Grid ist $200\text{mV} \times 2,5\text{ms}$ Groß. Der zeitliche Fehler beträgt hier also $\Delta t = 0,1575\text{ms}$. Leider ist uns hier abermals ein Fehler unterlaufen, wir haben hier direkt eine Frequenz berechnet, so können wir jedoch die Ungenauigkeit nicht bestimmen. Es ist etwas kompliziert jetzt an die richtig Periodendauer der Schwingung zu kommen, aber nicht unmöglich. Zum lösen dieses Problemes habe ich das Bild in ein Grafik-Programm geladen und die Breite des gesamten Containers berechnet und die Breite der Periode. Dies ist der [Abbildung III.18](#) zuentnehmen. Dabei wurde darauf geachtet, die Striche, die die Periode eingrenzen, um $\frac{1}{250}$ Steps zu bewegen. Die Striche sind für das Bild breiter gemacht wurden, zur Messung waren diese auf $0,001\text{mm}$ gestellt, diese waren jedoch nicht auf einem Bild zu erkennen. Die Messung fand dennoch mit diesen Statt, dies sind auch die angezeigten Werte.

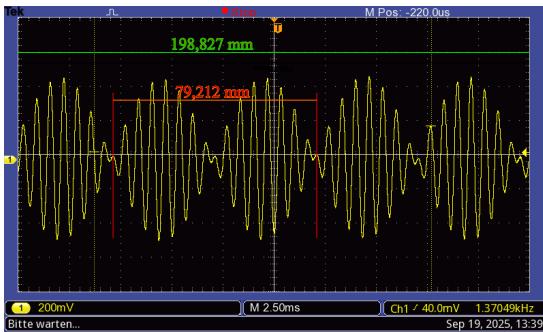


Abbildung III.18.: Signal 9 Periode mit eingezeichneten Größen.

Wir haben eine Breite von 10 Divisions, mit je einer Breite von $2,5\text{ms}$, somit ist die Gesamt-

breite 25ms . Wir können nun das Verhältnis der beiden Breiten berechnen

$$\frac{79,212\text{mm}}{198,827\text{mm}} = 0,398 \quad (44)$$

und dieses Ergebnis mit der Gesamtbreite multiplizieren

$$0,398 \cdot 25\text{ms} = 9,95\text{ms}. \quad (45)$$

Wir kommen somit auf eine Periodendauer der Schwingung von:

$$T_2 = (9,95 \pm 0,16) \text{ ms}. \quad (46)$$

Wir berechnen erneut die Frequenz und kommen dabei auf:

$$f_2 = (0,101 \pm 0,016) \text{ ms}^{-1}. \quad (47)$$

Im nächsten schritt wollen wir die spezifischen Eigenfrequenzen der beiden Sinus-Funktionen f_i und f_{ii} bestimmen. Dafür sind wir in den FFT-Modus gewechselt und haben die beiden Peaks des Signals mit dem Cursor vermessen. Die Messwerte sind folgende:

$$f_i = 1390\text{Hz} \quad (48)$$

$$f_{ii} = 1590\text{Hz}. \quad (49)$$

Den Fehler hier abzuschätzen war nicht besonders einfach². Aber mit einem analogen Verfahren wie zur Bestimmung der Periode lässt sich auch im FFT-Modus arbeiten. Wir bestimmen die Höhe eines Divs und die Höhe der beiden Peaks. Diese sind der [Abbildung III.19](#) zu entnehmen.

Ein Div sind also $13,294\text{mm}$. das Signal $f_{ii} = 1590\text{Hz} \approx 79,110\text{mm}$. Wir berechnen zu nächst, wie viele DIVs der Peak hoch ist:

$$h_{ii} = \frac{79,110\text{mm}}{13,294\text{mm}} = 5,951\text{DIVs}. \quad (50)$$

²Die folgende Abschätzung war nicht wirklich nötig, ein Div sind $125\text{Hz} \cdot 2$, da wir einen doppelten Zoom haben. Es wird nochmal die tatsächliche Skala verwendet.

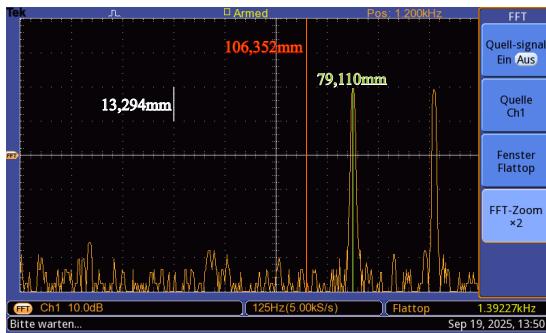


Abbildung III.19.: Signal 9 FFT-Signal mit eingeziehenen Größen.

Damit können wir nun den Wert eines DIVs bestimmen:

$$\frac{1590}{5,951} = 267,182 \frac{\text{Hz}}{\text{Div}}. \quad (51)$$

Wir haben wieder die 8 DIVs, mit á 25 Steps, somit kommen wir auf eine Step-Ungenauigkeit von:

$$\Delta f = \frac{1}{200} \text{Div} \cdot 267,182 \frac{\text{Hz}}{\text{Div}} = 1,33591 \text{Hz}. \quad (52)$$

Somit sind unsere Ergebnisse einmal für die f_i

$$f_i = (1390,0 \pm 1,3) \text{Hz} \quad (53)$$

und für f_{ii}

$$f_{ii} = (1590,0 \pm 1,3) \text{Hz} \quad (54)$$

Korrektur mit 250Hz/Div

$$\Delta f = \frac{1}{200} \text{Div} \cdot 250 \frac{\text{Hz}}{\text{Div}} = 1,25 \text{Hz}. \quad (55)$$

Somit sind unsere Ergebnisse einmal für die f_i

$$f_i = (1390,00 \pm 1,25) \text{Hz} \quad (56)$$

und für f_{ii}

$$f_{ii} = (1590,00 \pm 1,25) \text{Hz} \quad (57)$$

3.3. Aufgabe 3: Pulsweitenmodulation

Nun werden Signale eines Pulsweitenmodulators analysiert. Wir haben an einem Drehregler zwei verschiedene Signale eingestellt. Das Ziel war es, möglichst nah an 50% und 25% Pulsdauer-zu-Periodendauer zu kommen.

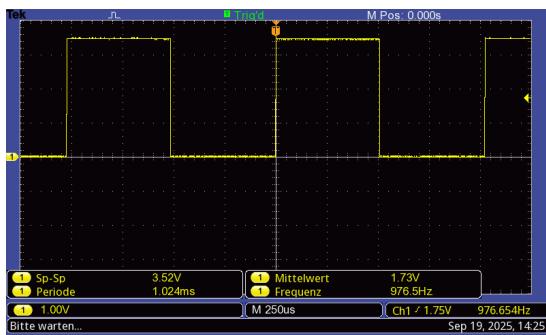


Abbildung III.20.: Signal eines Pulses mit ungefährer Pulsbreite von 50%.

Wir entnehmen die Werte aus der Tabelle 4, aus dem [Protokoll](#). Zunächst für das in [Abbildung III.20](#) gezeigte Signal.

Signal Pulsbreite 1

t [ms]	T [ms]	U_0 [V]	U_{avg} [V]	U_{eff} [V]
510	1 000	3,48	1,73	2,45

Tabelle III.5.: Messwerte des ersten Puls Signals.

In der [Tabelle III.6](#) sind alle Messwerte einge tragen. Wir wollen jedoch nochmal U_{avg} und U_{eff} berechnen, um die Messwerte des Oszilloskopes zu überprüfen. Wir nutzen die Formeln aus [Gleichung 4](#).

$$U_{avg} = 3,48V \cdot \frac{0,51s}{1s} = 1,7748V. \quad (58)$$

$$U_{eff} = 3,48V \cdot \sqrt{\frac{0,51s}{1s}} = 2,4852V. \quad (59)$$

Wir wollen noch die Ungenauigkeiten bestimmen. Unser DIV-Grid sind $1V \times 250\mu s$. Daraus ergeben sich Messfehler von:

$$\Delta t = 15,75\mu s = \Delta T \quad (60)$$

$$\Delta U = 0,077V. \quad (61)$$

Dies sind die Messungenauigkeiten. Daher müssen wir den Fehler der Spannungen über die Ungenauigkeiten der Zeit und der Spannung berechnen. Wir nutzen die [Gauß'scher Fehlerfortpflanzung \(5\)](#):

$$\Delta U_{avg,r} = \sqrt{\left(\frac{U_0}{T} \cdot \Delta t\right)^2 + \left(\frac{U_0 \cdot t}{T^2} \cdot \Delta T\right)^2 + \left(\frac{t}{T} \cdot \Delta U_0\right)^2} \quad (62)$$

Mit dieser Gleichung kommen wir zu einer Ungenauigkeit der Mittleren Spannung von:

$$\Delta U_{avg,r} = 0,0392V. \quad (63)$$

Wir tragen beides Zusammen und kommen zu einem Ergebnis von

$$U_{avg,r} = (1,775 \pm 0,040)V. \quad (64)$$

Wir berechnen auch den Fehler der U_{eff} nach der [Gauß'scher Fehlerfortpflanzung \(5\)](#).

$$\Delta U_{eff,r} = U_{eff} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta U_0}{U_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{2t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T}{2T}\right)^2} \quad (65)$$

Setzt man alle Werte ein, kommt man zu einer Ungenauigkeit von:

$$\Delta U_{eff,r} = 0,0550 \quad (66)$$

Somit kommen wir auf ein Ergebnis von

$$U_{eff} = (2,49 \pm 0,06)V. \quad (67)$$

Wir wollen nun schauen, wie gut die hier berechneten Werte zu den Werten der automatischen Messung sind. Wir berechnen die signifikante Abweichung nach Gleichung 9. Zunächst die signifikante Abweichung der mittleren Spannungen

$$\frac{|U_{avg} - U_{avg,r}|}{\sqrt{(\Delta U)^2 + (\Delta U_{avg,r})^2}} = 0,52\sigma. \quad (68)$$

Und für die Effektivspannung:

$$\frac{|U_{eff} - U_{eff,r}|}{\sqrt{(\Delta U)^2 + (\Delta U_{eff,r})^2}} = 0,41\sigma. \quad (69)$$

Signal Pulsbreite 2

Analog zum ersten Signal werden wir alles für das zweite Signal (III.21) berechnen. Zunächst die Werte aus dem Protokoll

t [ms]	T [ms]	U_0 [V]	U_{avg} [V]	U_{eff} [V]
260	1 030	3,48	1,05	1,90

Tabelle III.6.: Messwerte des ersten Puls Signales.

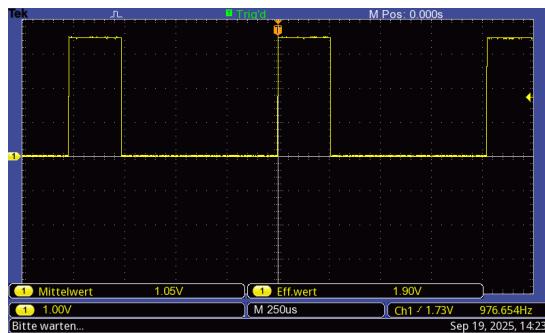


Abbildung III.21.: Signal eines Pulses mit ungefährer Pulsbreite von 25%.

Wir übernehmen dabei die Ungenauigkeiten (61) von Signal 1, da wir dieselbe Div-Größe haben. Auch die Fehler für die mittlere Spannung (62) und die Effektivspannung (65) werden von oben übernommen. Somit kommen wir

für die berechnete Mittelspannung des zweiten Signals auf ein gesamt Ergebnis von:

$$U_{avg,r,2} = (0,878 \pm 0,019) V. \quad (70)$$

Und für die Effektivspannung:

$$U_{eff,r,2} = (1,73 \pm 0,04) V. \quad (71)$$

Auch hier wollen wir die signifikanten Abweichungen bestimmen: Für die mittlere Spannung kommen wir auf eine Abweichung von

$$\frac{|U_{avg,2} - U_{avg,r,2}|}{\sqrt{(\Delta U)^2 + (\Delta U_{avg,r,2})^2}} = 2,17\sigma, \quad (72)$$

und für die Effektivspannung zu einem Wert von

$$\frac{|U_{eff,2} - U_{eff,r,2}|}{\sqrt{(\Delta U)^2 + (\Delta U_{eff,r,2})^2}} = 1,96\sigma. \quad (73)$$

3.4. Aufgabe 4: Koaxialkabel

Zu letzt soll die Länge des Koaxialkabels bestimmt werden. Am Ende des Kabels war eine Box mit drei möglichen Einstellung angebracht, die Auswirkung auf das Signal haben, welches durch das Koaxialkabel geleitet wurde: »offen«, »zu« und »R«.



Abbildung III.22.: Signal (rausgezoomed) bei Einstellung »offen«

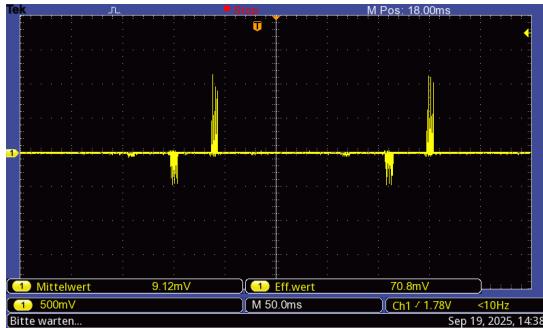


Abbildung III.23.: Signal (rausgezoomed) bei Einstellung »zu«

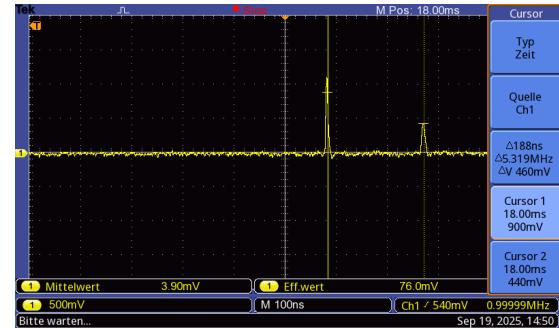


Abbildung III.24.: Signal für Zeitmessung

Über die gemessene Zeit

Für die Zeitmessung bei offen und geschlossen (es ist derselbe Zeitwert) kamen wir auf eine Messung von:

$$t = 188\text{ns}. \quad (74)$$

Wir haben dabei ein Div-Grid von $500\text{mV} \times 100\text{ns}$. Der zeitliche Fehler liegt damit bei

$$\Delta t = 6,3\text{ns}. \quad (75)$$

Der Impuls hat sich mit 66% der Vakuumlichtgeschwindigkeit bewegt. Die Länge des Kabels berechnet sich via:

$$L = 0,66c \cdot \frac{1}{2}t. \quad (76)$$

Setzen wir unsere Werte ein, so kommen wir auf

$$\underline{L = 18,599\text{m}}. \quad (77)$$

Die Unsicherheit lässt sich via [Gauß'scher Fehlerfortpflanzung \(5\)](#) bestimmen:

$$\Delta L = 0,66c \cdot \frac{1}{2}\Delta t. \quad (78)$$

Somit kommen wir auf eine Ungenauigkeit von:

$$\underline{\Delta L = 0,623\text{m}}. \quad (79)$$

Somit hat das Kabel eine Länge von

$$\boxed{L = (18,6 \pm 0,6) \text{ m}} \quad (80)$$

Über den gemessenen Widerstand

Es lagen Voltmeter aus, um den Widerstand zu messen. Dafür wurde an der Box am Ende des Kabels auf »R« gestellt und an dem Drehrädchen solange gedreht, bis der eine Puls (der rechte) kleinst möglich war. Also so nah wie möglich bei 0V. Somit ließ sich über das Voltmeter dann der eingestellte Widerstand der Box bestimmen. Dieser lag bei:

$$R = 38,3\Omega. \quad (81)$$

Die Ungenauigkeit des Ohmmeters liegt hierbei bei 1Ω . Das ausliegende Koaxialkabel ist ein RG58 Kabel, mit 50Ω Wellenwiderstand. Wenn die Reflexion verschwindet, dann ist der gemessene Widerstand gleich dem Kabelwellenwiderstand. Berechnen wir die signifikante Abweichung:

$$\frac{|50\Omega - 38,3\Omega|}{1\Omega} = 11,7\sigma. \quad (82)$$



Ich, wie ich um 3 Uhr morgens meine Auswertung korrigiere und zum dritten mal Udsr anstatt von Uss geschrieben habe.

Abbildung III.25.: (Schlechte Doku-Wahl.)

IV. Disskusion

Dieser Versuch bestand aus 4 Aufgaben. Wir wollen alle nacheinander Zusammenfassen und anschließend Disskutieren. Zum Schluss werden noch Kritiken geäußert.

4.1. Zusammenfassung

Erstmal die Zusammenfassung der Aufgaben.

Aufgabe 1

In dieser Aufgabe sollte das Oszilloskop kennengelernt werden. Es wurde ein Funktionengenerator an den ersten Kanal des Oszilloskopes geschlossen, das Signal war eine Sinuskurve. Wir haben die meisten Funktionen ausprobiert und das Oszilloskop gut kennengelernt. (Es wird hierzu keine Disskusion geben).

Aufgabe 2

Die zweite Aufgabe war eine Analyse von insgesamt 9 verschiedenen Signal-en (-kombinationen). Dabei wurden die ersten zwei auf verschiedene Eigenschaften Untersucht und die automatische Messfunktion mit der Cursor-Messfunktion verglichen. Die Signale 3 bis 4 wurden qualitativ behandelt. Das 5. Signal hat einen exponentiellen Abfall gezeigt, dessen Halbwertszeit wurde bestimmt. Signale 6 bis 8 waren wieder qualitativ. Signal 9 diente dabei als Übung für den FFT-Modus.

Aufgabe 3

In dieser Aufgabe wurde ein Pulsweitenmodulator an das Oszilloskop angeschlossen. Die Pulsdauer konnte über ein Drehregler eingestellt werden. Eine LED war als Verbraucher

Her: How can she not get my signals?

Her signals:

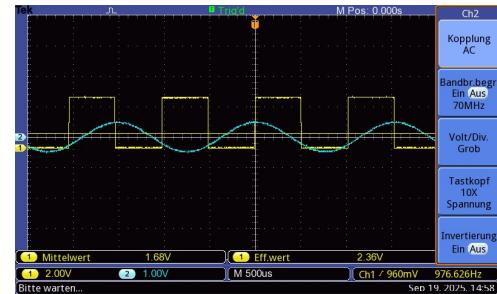


Abbildung IV.1.: Noch ein meme

angeschlossen. Hier wurden alle Werte einmal mit der Cursor-Funktion gemessen. Zudem wurden die Effektivspannung und die mittlere Spannung berechnet, um einen Vergleich zwischen diesen Werten zu ziehen.

Aufgabe 4

In der letzten Aufgabe wurde ein Impuls in Form einer elektromagnetischen Welle durch ein Koaxialkabel geschickt. Hier sollte über die Wegdauer des Signals die Kabellänge bestimmt werden. Außerdem wurde der angegebene Eigenwiderstand des Kabels bestimmt.

4.2. Disskusion

In diesem Teil wollen wir uns nun die Ergebnisse der Aufgaben anschauen und beurteilen, wie sinnvoll die Ergebnisse sind.

Aufgabe 1

Signale 1 und 2

Signal 1 Bei diesem Signal wurde einmal die DC-Offset-Spannung bestimmt:

$$U_G = (980 \pm 60) \text{ mV} \quad (1)$$

und die Frequenz

$$f_{cursor} = 0,2 \text{ ms}^{-1} \hat{=} 5 \text{ kHz.} \quad (2)$$

Wir haben dann die berechneten Werte mit den gemessenen Werten verglichen, alle Ergebnisse sind wie zu erwarten in einer 1σ -Umgebung und gelten somit als statistisch signifikant. Abweichung der Offset-Spannung

$$\frac{|U_{G,auto} - U_{G,cursor}|}{\Delta U_{G,cursor}} = 0,83\sigma, \quad (3)$$

der Frequenz

$$\frac{|f_{auto} - f_{cursor}|}{\Delta f_{cursor}} = 0,33\sigma, \quad (4)$$

und der Spitzen-Spitzen-Spannung

$$\frac{|U_{SS,auto} - U_{SS,cursor}|}{\Delta U_{SS,cursor}} = 0,26\sigma. \quad (5)$$

Das heißt für das Erste Signal konnte alle automatischen Messungen und alle Cursor-Messungen sich statistisch bestätigen.

Signal 2 Für dieses Signal wurden dieselben Werte bestimmt: Die Frequenz

$$f = (0,6410 \pm 0,0025) \text{ ms}^{-1}, \quad (6)$$

die Offset-Spannung

$$U_{G,cursor} = (63 \pm 6) \text{ mV} \quad (7)$$

und die Spitzen-Spitzen-Spannung

$$U_{SS,cursor} = (12 \pm 6) \text{ mV}. \quad (8)$$

Hier werden die signifikanten Abweichungen jedoch interessant:

Offset-Spannung:

$$\frac{|U_{G,auto,2} - U_{G,cursor,2}|}{\sqrt{(\Delta U_{G,cursor,2})^2}} = 257,84\sigma \quad (9)$$

Spitzen-Spitzen-Spannung:

$$\frac{|U_{SS,auto,2} - U_{SS,cursor,2}|}{\sqrt{(\Delta U_{SS,cursor,2})^2}} = 15,33\sigma \quad (10)$$

Für die Frequenz ließ sie sich gar nicht erst bestimmen. Wieso genau solche Abweichungen herauskamen kann ich nicht mit Garantie beantworten. Die offensichtlichste Idee ist, dass das automatische Messsystem mit dem stark schwankendem Signal nicht zurecht kam. So konnte beispielsweise die Periodendauer gar nicht erst automatisch bestimmt werden. Wie so genau jedoch das System des Oszilloskopes hier ein Problem hat ist mir nicht erschließbar.

Es lässt sich damit jedoch zeigen, dass entweder die automatisch bestimmten Messwerte oder die mit dem Cursor bestimmten Messwerte einem systemischen Fehler unterliegen, der unbekannt ist.

Somit sollte das Oszilloskop nicht für alle Signale als einwandfrei deklariert werden.

Signal 5

Die Rechnung war alles andere als kompliziert, wir kamen auf ein Ergebnis von

$$t_H = (2,40 \pm 0,15) \text{ ms}. \quad (11)$$

Diese Werte lassen sich mit einem Blick auf das Display recht schnell bestätigen, da dies gerade ca eine Div-Größe ist. Einen Vergleichswert gibt es nicht.

Signal 9

Dies wurde wieder interessanter, denn hier gab es einiges zurechnen. Zunächst wurden die

Schwinungsperiode T_1 und die Schwebungsgperiode T_2 bestimmt:

$$T_1 = (0,660 \pm 0,006) \text{ ms}, \quad (12)$$

$$T_2 = (9,95 \pm 0,16) \text{ ms}. \quad (13)$$

Aus diesen konnten die Frequenzen f_1 und f_2 bestimmt werden:

$$f_1 = (1,515 \pm 0,014) \text{ ms}^{-1}, \quad (14)$$

$$f_2 = (0,101 \pm 0,016) \text{ ms}^{-1}. \quad (15)$$

Dabei ist T_2 um einiges Größer als T_1 . Dies ist plausibel, da T_2 die Periode der Umhüllenden ist, sie umhüllt also die Perioden der Schwingungen. Wir müssten also sehen, dass die Summe der Schwingungen, die in der Umhüllenden liegen gerade der Periodendauer der Schwebung sind. Zählt man die Perioden graphisch ab, so kommt man auf 15 Schwinungsperioden pro Schwebungsperiode. Rechnerisch prüfen:

$$9,95 \div 0,66 = 15,076. \quad (16)$$

Wir sehen also, die Ergebnisse decken sich gegenseitig sehr gut.

Darüber hinaus sollten noch die spezifischen Eigenschwingungen der beiden Sinuskurven bestimmt werden, die das Schwebungssignal bilden. Dies wurde im FFT-Modus getan. Das Ergebnis war dann

$$f_i = (1390,00 \pm 1,25) \text{ Hz}, \quad (17)$$

$$f_{ii} = (1590,00 \pm 1,25) \text{ Hz} \quad (18)$$

Wir wollen die Plausibilität wieder Prüfen. Die Schwebungsfrequenz ist gerade die Differenz der beiden spezifischen Eigenfrequenzen:

$$|f_i - f_{ii}| = 200 \text{ Hz} \hat{=} 0,2 \text{ ms}^{-1}. \quad (19)$$

Der Fehler der Addition ist:

$$\sqrt{(\Delta f_i)^2 + (\Delta f_{ii})^2} = 0,00176 \text{ ms}^{-1}. \quad (20)$$

Erwartet hätten wir einen Wert von $f_2 = 0,1 \text{ ms}$.

Die Abweichung beträgt:

$$\frac{|0,2 \text{ ms}^{-1} - 0,101 \text{ ms}^{-1}|}{\sqrt{(0,00176 \text{ ms}^{-1})^2 + (0,016 \text{ ms}^{-1})^2}} = 6,15\sigma. \quad (21)$$

Selbiges können wir für die Schwinngnsfre-
quenz machen, diese ist gerade der Mittelwert
der beiden Eigenfrequenzen:

$$\frac{f_i + f_{ii}}{2} = 1490 \text{ Hz} \hat{=} 1,49 \text{ ms}^{-1}. \quad (22)$$

Der Fehler ist dabei wieder $\Delta f_{i+ii} = 0,00176 \text{ ms}^{-1}$.

Erwartet hätten wir den Wert von 1,515. Wir schauen uns die Abweichung zu f_1 an:

$$\frac{|1,49 \text{ ms}^{-1} - 1,515 \text{ ms}^{-1}|}{\sqrt{(0,00176 \text{ ms}^{-1})^2 + (0,014 \text{ ms}^{-1})^2}} = 1,77\sigma. \quad (23)$$

Es zeigt sich also, die Messergebnisse im FFT-Modus sind nicht konsistent mit dem YT-
Modus.

Aufgabe 3

In dieser Aufgabe wurden die Pulse zweier Pul-
se beobachtet. Die berechneten Spannungen
sind für den Ersten Puls:

$$U_{avg,r} = (1,775 \pm 0,040) \text{ V}, \quad (24)$$

und

$$U_{eff} = (2,49 \pm 0,06) \text{ V}. \quad (25)$$

Für das zweite Signal:

$$U_{avg,r,2} = (0,878 \pm 0,019) \text{ V} \quad (26)$$

und

$$U_{eff,r,2} = (1,73 \pm 0,04) \text{ V}. \quad (27)$$

Auffällig ist, dass die Durchschnittsspannung des ersten Pulses ca. doppelt so groß ist, seine Effektivspannung jedoch nur 1,44 mal so groß. Dies liegt offensichtlich an der Wurzelbe-
ziehung. Dies hat jedoch auch zur Folge, dass

die LED nicht doppelt so stark in ihrer Intensität abgenommen hat, sie hatte noch knapp 70% der Leuchtkraft.

Wir haben außerdem die Messwerte mit den berechneten Werten bestimmt, für das erste Signal decken sich alle Ergebnisse statistisch:

$$\frac{|U_{avg} - U_{avg,r}|}{\sqrt{(\Delta U)^2 + (\Delta U_{avg,r})^2}} = 0,52\sigma, \quad (28)$$

$$\frac{|U_{eff} - U_{eff,r}|}{\sqrt{(\Delta U)^2 + (\Delta U_{eff,r})^2}} = 0,41\sigma. \quad (29)$$

Bei dem zweiten Signal jedoch nicht:

$$\frac{|U_{avg,2} - U_{avg,r,2}|}{\sqrt{(\Delta U)^2 + (\Delta U_{avg,r,2})^2}} = 2,17\sigma, \quad (30)$$

$$\frac{|U_{eff,2} - U_{eff,r,2}|}{\sqrt{(\Delta U)^2 + (\Delta U_{eff,r,2})^2}} = 1,96\sigma. \quad (31)$$

Woran das liegt kann ich mir nicht erklären, außer es liegt an Messungenauigkeiten. Eigentlich wäre eine geringere Abweichung zu vermuten, da die Fehler größer im Verhältnis zu den Messwerten sind, was sich positiv auf die Abweichung auswirkt.

Aufgabe 4

In dieser Aufgabe sollte die Kabellänge bestimmt werden und der Wellenwiderstand geprüft.

Die Länge des Kabels kam auf einen Wert von:

$$L = (18,6 \pm 0,6) m \quad (32)$$

was stark von den erwarteten 25 Metern abweicht. Vermutlich ist das Kabel aber tatsächlich eher ca. 19 Meter lang.

Die statistische Abweichung liegt dabei bei

$$\frac{|25m - 18,6m|}{0,6m} = 10,67\sigma. \quad (33)$$

Bei dem innenwiderstand kommen wir auf ähnlich stark abweichende Werte. Mit dem gemessenen Widerstand von $38,8\Omega$, betrug die Abweichung $11,7\sigma$.

Entweder wir haben den Widerstand falsch bestimmt (zum Beispiel könnte er bei $48,3\Omega$ liegen), oder der Fehler des Gerätes ist eigentlich größer. So wäre eine Abweichung von:

$$\frac{|50\Omega - 48,3\Omega|}{2\Omega} = 0,85\sigma \quad (34)$$

möglich.

Die alternative ist, dass unsere Messwerte korrekt sind, und das Kabel tatsächlich eigentlich bei eher 40Ω liegt. Ohne weitere Test sollten beide Aussagen als gleich plausibel angenommen werden.

4.3. Kritik

Bei der Kritik kann man sich kurz halten, jegliche Fehlerquellen lassen sich auf das Oszilloskop zurückführen, bessere Technik würde die Werte genauer bestimmen. Natürlich wäre auch das anlegen größerer Messreihen sinnvoll gewesen, da so die Wahrscheinlichkeit für ausreißerwerte sinkt, beziehungsweise diese nicht so schwerwiegend sind.



Abbildung IV.2.: Wieder ein Meme

Abbildungsverzeichnis

I.1.	Zwei verschiedene Signale gleichzeitig	3
I.2.	Achsen klar visualisiert	4
I.3.	Visualisierung Triggering	4
I.4.	Eingezeichnet sind die Periode T und die Pulsbreite t.	4
II.1.	Beispiel aus dem Versuch. 8 mal 10 DIVs.	9
II.2.	Wieder ein Meme	10
III.1.	Meme	13
III.2.	Signal 1 mit automatischen Messwerten und gesetztem Trigger im AC Modus.	13
III.3.	Signal 1 mit automatischen Messwerten und gesetztem Trigger im DC Modus.	13
III.4.	Signal 2 mit gesetztem Trigger.	15
III.5.	Signal 3	17
III.6.	Signal 4	17
III.7.	Signal 5 nah rangezoomed um den Abfall klar zu erkennen.	17
III.8.	Signal 5-AC modus	18
III.9.	Signal 5-DC Modus	18
III.10.	Signal 6	19
III.11.	Signal 7	19
III.12.	Signal 8 mit verschobenen Nullpunkten und verschiedenen Amplituden.	19
III.13.	Signal 8 mit gleichem Nullpunkt, aber verschiedenen Amplituden.	19
III.14.	Signal 9. Man sieht die Pahsen und die Gruppen sehr gut	20
III.15.	Signal 9 mit eingezeichneter Phasenhülle.	20
III.16.	Signal 9, einzelne Gruppe.	20
III.17.	Signal 9 alt FFT-Signal.	20
III.18.	Signal 9 Periode mit eingezeichneten Größen.	21
III.19.	Signal 9 FFT-Signal mit eingezeichneten Größen.	22
III.20.	Signal eines Pulses mit ungefährer Pulsbreite von 50%.	23
III.21.	Signal eines Pulses mit ungefährer Pulsbreite von 25%.	24
III.22.	Signal (rausgezoomed) bei Einstellung »offen«	24
III.23.	Signal (rausgezoomed) bei Einstellung »zu«	25
III.24.	Signal für Zeitmessung	25
III.25.	(Schlechte Doku-Wahl.)	25
IV.1.	Noch ein meme	26
IV.2.	Wieder ein Meme	29

Tabellenverzeichnis

I.1.	Signale 1-4	8
I.2.	Signal 5	8
I.2.	Signal 9	8
I.2.	Pulsweitenmodulation	8
I.2.	Koaxialkabel	8
II.1.	Spannungs- und Zeitauflösung, systematische Fehler und Gesamtfehler des Oszilloskops. Berücksichtigung von Ablese- und Systematischenfehlern.	11
III.1.	Tabelle der vom Oszilloskop berechneten Werte.	14
III.2.	Tabelle der mit Cursor bestimmten Werte.	14
III.3.	Tabelle der vom Oszilloskop berechneten Werte des zweiten Signals.	15
III.4.	Tabelle der mit Cursor bestimmten Werte.	15
III.5.	Messwerte des ersten Puls Signales.	23
III.6.	Messwerte des ersten Puls Signales.	24

Literaturverzeichnis

[Cap25] Captain Joni. Versuchsanleitung + osziloskopanleitung, 2025. Zugriff am 20. September 2025.

[Wag25a] Dr. J. Wagner. *Physikalisches Praktikum PAP 1 für Studierende der Physik*, chapter 25. Universität Heidelberg, 2025.

[Wag25b] Dr. J. Wagner. *Physikalisches Praktikum PAP 1 für Studierende der Physik*, pages 4–28. Universität Heidelberg, 2025.