



universität
uulm

Praktikum Physik für Naturwissenschaftler

Bericht zum Versuch

Wechselstromkreise

Durchgeführt am 12. Januar 2024

Gruppe 6

Moritz Wieland und **Dominik Beck**
(moritz.wieland@uni-ulm.de) (dominik.beck@uni-ulm.de)

Betreuer: **Marc Guettler**

Wir bestätigen hiermit, dass wir die Ausarbeitung selbständig erarbeitet haben und detaillierte Kenntnis vom gesamten Inhalt besitzen.

_____ und _____
Moritz Wieland Dominik Beck

Inhaltsverzeichnis

Kapitel		Seite
	1 Einleitung	2
Kapitel	2 Versuchsdurchführung und Auswertung	3
2.1	Versuch 1 - Signaldarstellung mit dem Analog-Oszilloskop Versuchsaufbau und -durchführung — 3 • Ergebnisse — 3 • Diskussion — 4	3
2.2	Versuch 2 - Impedanzmessung an Widerstand, Kondensator und Spule Versuchsaufbau und -durchführung — 4 • Ergebnisse — 5 • Diskussion — 7	4
2.3	Versuch 3 - Impedanzmessung an einem unbekannten Zweipol Versuchsaufbau- und durchführung — 7 • Ergebnisse — 7 • Diskussion — 8	7

1 Einleitung

Wie der Name des Versuchs schon sagt, geht es in diesem Versuch um Wechselstrom und dessen Eigenschaften. Dabei betrachten wir u.a. die Zweipole Widerstand, Kondensator und die Spule. Dabei werden wir ein Oszilloskop verwenden, um die Spannungsverläufe zu betrachten. In der Welt der Informatik gründet sich das Fundament im Wesentlichen auf den Prinzipien der Elektronik: logische Gatter, die sämtliche Rechenoperationen verarbeiten, sowie Daten, die als Bits gespeichert und transportiert werden. Viele dieser Anwendungen operieren zwar mit Gleichstrom, der aus dem Wechselstrom durch das Netzteil gewonnen wird. Dennoch ist es in der Informatik unvermeidlich, auf Wechselspannung in Form von Rechtecksignalen zu stoßen, insbesondere im Kontext des Taktsignals.

Das Taktsignal, das zwischen den Spannungszuständen „High“ und „Low“ oszilliert, synchronisiert sämtliche logischen Schaltungen im Inneren eines Computers. Ebenso erfolgt die Synchronisation mit anderen Computern durch dieses Signal, wobei die beiden Rechner die aufeinanderfolgenden Flanken (den Wechsel von „High“ nach „Low“ oder umgekehrt) als Taktgeber nutzen.

Durch die Rechteckspannung kann jedoch, wie später erläutert wird, eine Phasenverschiebung auftreten, die je nach Ausführung zu Asynchronitäten führen kann. Um diesem entgegenzuwirken, sind viele taktabhängige Schaltungen nicht nur auf das High-Level, sondern auf die steigende, beziehungsweise fallende Flanke ausgerichtet, um einen zeitlichen Puffer zu gewährleisten. Dieser Fokus auf physikalische Prinzipien unterstreicht die fundamentale Rolle der Elektronik in der Informatik und deren Auswirkungen auf die physischen Komponenten von Rechensystemen.

2 Versuchsdurchführung und Auswertung

2.1 Versuch 1 - Signaldarstellung mit dem Analog-Oszilloskop

2.1.1 Versuchsaufbau und -durchführung

Im ersten Versuch sollten wir uns mit dem Analog-Oszilloskop vertraut machen. Der Betreuer gibt uns ein Signal vor, welches wir mit dem Analog-Oszilloskop untersuchen sollten. Es sollen die Einstellungen am Oszilloskop, Charakteristika des Signals und eine Skizze des Signal notiert werden. Es soll außerdem der Größtfehler berechnet werden.

2.1.2 Ergebnisse

Um das Signal gut auf dem Bildschirm erkennen zu können, haben wir uns für folgende Einstellung am Oszilloskop entschieden:

- Time/Div: $5 \mu\text{s}$
- Volt/Div: 0.5 V

Das Schirmbild sieht wie folgt aus:

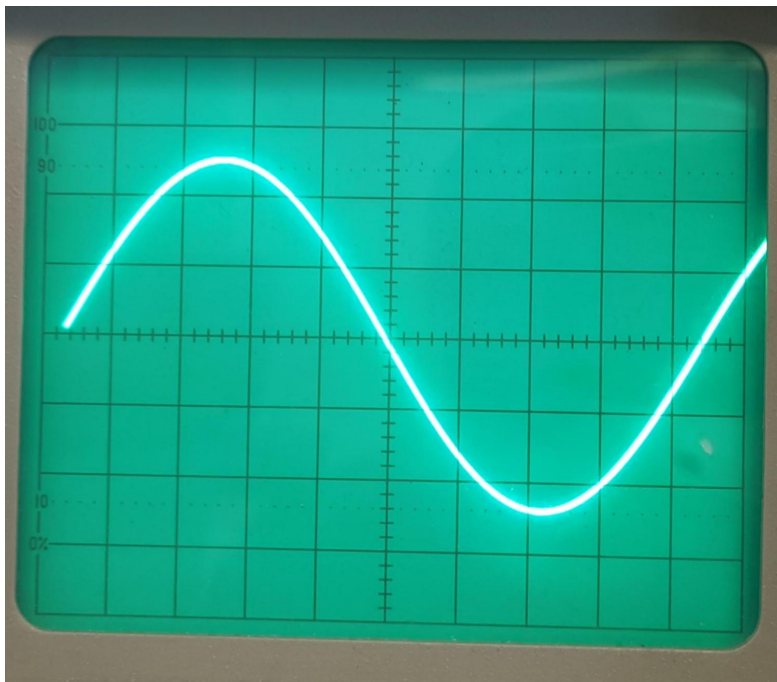


Abbildung 2.1: Schirmbild des vorgegebenen Signals

Die folgenden Werte können nun aus der Graphik 2.1 abgelesen werden:

Tabelle 2.1: Messwerte des vorgegebenen Signals

Größe	Wert
Amplitude U_0	$1.2 \pm 0.5 \text{ V}$
Periodendauer T	$45 \pm 5 \mu\text{s}$

Die Frequenz f des Signals berechnet sich dann wie folgt:

$$\begin{aligned} f &= \frac{1}{T} \\ &= \frac{1}{45 \mu\text{s}} \\ &= 21.7 \text{ kHz} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Der Größtfehler der Frequenz berechnet sich wie folgt:

$$\begin{aligned} \Delta f &= \left| \frac{1}{T^2} \right| \cdot \Delta T \\ &= \frac{1}{(45 \mu\text{s})^2} \cdot 5 \mu\text{s} \\ &= 0.1 \text{ kHz} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Der Größtfehler der Frequenz beträgt nach 2.2 0.1 kHz. Die Frequenz des Signals beträgt also $21.7 \pm 0.1 \text{ kHz}$.

2.1.3 Diskussion

Die vom Betreuer vorgegebene Frequenz beträgt 20 kHz. Die von uns gemessene Frequenz beträgt $21.7 \pm 0.1 \text{ kHz}$. Die Abweichung beträgt also 1.7 kHz. Dieser Fehler ist unter anderem auf die Ungenauigkeit des Oszilloskops zurückzuführen welche schon länger nichtmehr kalibriert wurden. Eine weitere Fehlerquelle kann die Ungenauigkeit beim Ablesen der Werte sein. Zum Beispiel dann wenn die Sinuswelle zwischen zwei Skalenstrichen durch läuft.

2.2 Versuch 2 - Impedanzmessung an Widerstand, Kondensator und Spule

2.2.1 Versuchsaufbau und -durchführung

In Versuch 2 sollen wir die im Stromkreis 2.2 angegebenen Bauteile messen und bestimmen. Aus der Kombination von bekanntem Widerstand R_m und unbekanntem Zweipol Z lässt sich mit verschiedenen Werten der Widerstand und andere Eigenschaften des unbekannten Zweipols bestimmen. Für den unbekannten Zweipol werden die verschiedenen Bauteile, Widerstand, Kondensator und Spule eingesetzt.

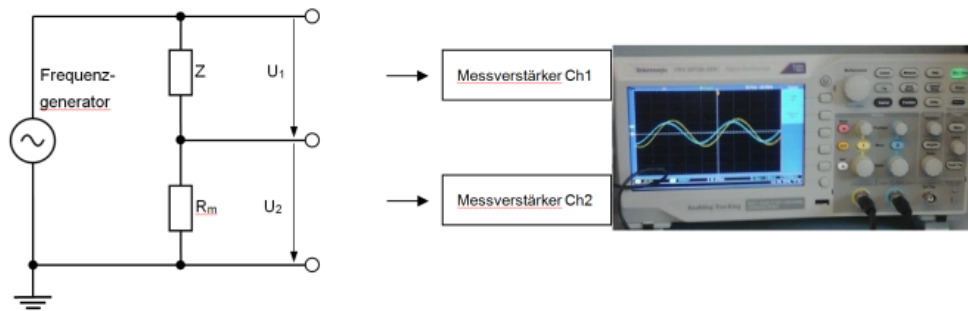


Abbildung 2.2: Schaltbild des Versuchsaufbaus, wir verwenden U_m was hier U_2 entspricht und U_z was hier U_1 entspricht.

2.2.2 Ergebnisse

Widerstand

Tabelle 2.2: Messwerte des Widerstands

U_m in mV	U_z in mV	R_m in Ω
460 ± 40	560 ± 40	82

Mit diesen Werten und folgender Formel lässt sich nun der Widerstand $R_z = |Z|$ des unbekannten Zweipols berechnen:

$$\frac{U_m}{U_z} = \frac{R_m}{|Z|} \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned}
 R_z = |Z| &= \frac{U_z}{U_m} \cdot R_m \\
 &= \frac{560 \text{ mV}}{460 \text{ mV}} \cdot 82 \text{ } \Omega \\
 &= 99.83 \text{ } \Omega
 \end{aligned} \quad (2.4)$$

Der Größtfehler beträgt:

$$\begin{aligned}
 \Delta|Z| &= \left| \frac{R_m U_z}{U_m} \right| \cdot \Delta U_m + \left| \frac{R_m}{U_m} \right| \cdot \Delta U_z \\
 &= \left| \frac{82 \text{ } \Omega \cdot 560 \text{ mV}}{460 \text{ mV}} \right| \cdot 40 \text{ mV} + \left| \frac{82 \text{ } \Omega}{460 \text{ mV}} \right| \cdot 40 \text{ mV} \\
 &= 19.13 \text{ } \Omega
 \end{aligned} \quad (2.5)$$

Kondensator

Als nächstes wird das unbekannte Bauteil durch einen Kondensator ersetzt. Die Messwerte befinden sich in folgender Tabelle:

Tabelle 2.3: Messwerte des Kondensators

U_m in V	U_z in V	R_m in Ω	T_z in μs
0.9 V	0.38 V	82 Ω	1000 μs

Mit diesen Werten lassen sich nun die Kapazität und die Phasenverschiebung bestimmen.

Zunächst bestimmen wir die Frequenz f des Signals:

$$\begin{aligned} f &= \frac{1}{T_z} \\ &= \frac{1}{1000 \mu\text{s}} \\ &= 1000 \text{ Hz} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Danach berechnen wir die Winkelgeschwindigkeit ω :

$$\begin{aligned} \omega &= 2\pi f \\ &= 2\pi \cdot 1000 \text{ Hz} \\ &= 6283.19 \text{ Hz} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Damit können wir abschließend die Kapazität C des Kondensators berechnen:

$$\begin{aligned} C &= \frac{1}{\omega \cdot |Z|} \\ &= \frac{1}{6283.19 \text{ Hz} \cdot 82 \Omega} \\ &= 4.6 \cdot 10^{-6} \text{ F} \end{aligned} \quad (2.8)$$

Anschließend können wir die Phasenverschiebung φ berechnen:

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{t}{T} \cdot 360^\circ \\ &= \frac{-250 \mu\text{s}}{1000 \mu\text{s}} \cdot 360^\circ \\ &= -90^\circ \end{aligned} \quad (2.9)$$

Zum Schluss berechnen wir noch den Größtfehler der Phasenverschiebung:

$$\begin{aligned} \Delta\varphi &= \left| \frac{360^\circ}{T_z} \right| \cdot \Delta t + \left| \frac{360^\circ \cdot t}{T_z^2} \right| \cdot \Delta T \\ &= \left| \frac{360^\circ}{1000 \mu\text{s}} \right| \cdot 50 \mu\text{s} + \left| \frac{360^\circ \cdot (-250 \mu\text{s})}{(1000 \mu\text{s})^2} \right| \cdot 50 \mu\text{s} \\ &= 13.5^\circ \end{aligned} \quad (2.10)$$

Spule

Um die Phasenverschiebung φ der Spule zu bestimmen, müssen wir die Periodendauer T_z und die Phasenverschiebung t messen. Die Periodendauer T_z beträgt $100 \mu\text{s}$, die Phasenverschiebung t beträgt $25 \mu\text{s}$. Der Fehler für T_z und t beträgt $5 \mu\text{s}$.

Die Phasenverschiebung φ berechnet sich dann wie folgt:

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{t}{T} \cdot 360^\circ \\ &= \frac{25 \mu\text{s}}{100 \mu\text{s}} \cdot 360^\circ \\ &= 90^\circ \end{aligned} \quad (2.11)$$

Der Größtfehler wird mit der gleichen Formel wie bei dem Kondensator berechnet:

$$\begin{aligned}\Delta\varphi &= \left| \frac{360^\circ}{T_z} \right| \cdot \Delta t + \left| \frac{360^\circ \cdot t}{T_z^2} \right| \cdot \Delta T \\ &= \left| \frac{360^\circ}{100 \mu\text{s}} \right| \cdot 5 \mu\text{s} + \left| \frac{360^\circ \cdot 25 \mu\text{s}}{(100 \mu\text{s})^2} \right| \cdot 5 \mu\text{s} \\ &= 22.5^\circ\end{aligned}\tag{2.12}$$

2.2.3 Diskussion

Zu 2.2.2 lässt sich sagen das unser berechneter Widerstand von $100 \pm 20 \Omega$ sehr nah an dem tatsächlichen Widerstand von 110Ω liegt.

Zu 2.2.2 lässt sich sagen das die Phasenverschiebung von $-90^\circ \pm 14^\circ$ sehr nah an der tatsächlichen Phasenverschiebung von -90° liegt. Der Fehler entspricht also dem Größtfehler von 13.5° .

Zu 2.2.2 lässt sich sagen das die gemessene Phasenverschiebung von $-90^\circ \pm 23^\circ$ sehr nah an der tatsächlichen Phasenverschiebung von 90° liegt. Der Fehler entspricht also dem Größtfehler von 22.5° .

Die Abweichungen der Fehler kamen vorallem durch Ungenauigkeiten beim ablesen vom Oszilloskop zustande. Die Linie ist hier nunmal keine gerade Sinuswelle sondern eine „zitternde“ Kurve welche das ablesen erschwert.

2.3 Versuch 3 - Impedanzmessung an einem unbekannten Zweipol

2.3.1 Versuchsaufbau- und durchführung

Im letzten Versuch sollen wir die Charakteristika von zwei unbekannten Zweipolen bestimmen. Dazu wird eine Tabelle mit verschiedenen Frequenzen vorgegeben. Anhand der Messwerte soll bestimmt werden, welche zwei Zweipole und in welcher Art und Weise sie verschaltet sind.

2.3.2 Ergebnisse

Die gemessenen Werte befinden sich in folgender Tabelle:

Tabelle 2.4: Messwerte Versuch 3

$f[\text{Hz}]$	$U_m[\text{mV}]$	$U_z[\text{mV}]$	$R_m[\Omega]$	$ Z [\Omega]$	$t[\mu\text{s}]$	$T[\text{ms}]$	$\omega[\text{Hz}]$	$\phi[^\circ]$
200,00	22,50	1000,00	82,00	3644,44	-500,00	5000,00	1256,64	-36,00
400,00	20,00	1000,00	82,00	4100,00	-200,00	2500,00	2513,27	-28,80
1000,00	20,00	1000,00	82,00	4100,00	-100,00	1000,00	6283,19	-36,00
2000,00	28,00	1000,00	82,00	2928,57	-75,00	500,00	12566,37	-54,00
4000,00	44,00	1000,00	82,00	1863,64	-50,00	250,00	25132,74	-72,00
10000,00	110,00	1000,00	82,00	745,45	-22,00	100,00	62831,85	-79,20
20000,00	200,00	1000,00	82,00	410,00	-11,00	50,00	125663,71	-79,20
40000,00	400,00	1000,00	82,00	205,00	-6,00	25,00	251327,41	-86,40
80000,00	660,00	1000,00	82,00	124,24	-3,00	12,50	502654,82	-86,40

Es lässt sich erkennen, dass ein Widerstand und ein Kondensator parallel geschaltet sind. Warum dies so ist, wird in der Diskussion erläutert.

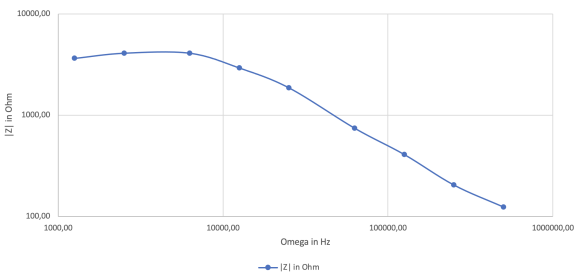
Nun können wir mit folgender Formel die Kapazität des verbauten Kondensators berechnen:

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{1}{\omega \cdot |Z|} \\
 &= \frac{1}{251327 \text{ Hz} \cdot 205 \Omega} \\
 &= 19.4 \text{ nF}
 \end{aligned}
 \tag{2.13}$$

Für $|Z|$ wählen wir das $|Z|$, bei dem ϕ am nächsten an -90° ist.

R berechnet sich dabei wie folgt:

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{U_z}{U_m} \cdot R_m \\
 &= \frac{1000 \text{ mV}}{20 \text{ mV}} \cdot 82 \Omega \\
 &= 4100 \Omega
 \end{aligned}
 \tag{2.14}$$



(a) $|Z|$ über ω



(b) φ über ω

2.3.3 Diskussion

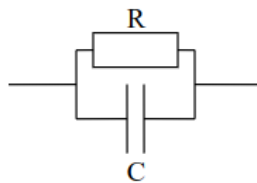


Abbildung 2.4: 2-Pol aus Versuch 3

Der uns übergebene unbekannte Zweipol ist in Abbildung 2.4 dargestellt. Es handelt sich um eine Parallelschaltung aus einem Widerstand und einem Kondensator, wie anhand der Phasenverschiebung ersichtlich ist. Gemäß den Erkenntnissen aus Versuch 2.2.2 wissen wir, dass ein Kondensator bei -90° Phasenverschiebung liegt. In Tabelle 2.4 bei einer Frequenz von 80 kHz beträgt die Phasenverschiebung -86.4° , was trotz geringer Abweichung als stimmig betrachtet wird, wobei mögliche Messungenauigkeiten berücksichtigt werden.

Der Widerstand hingegen weist keine Phasenverschiebung auf und zeigt sich bei 200 Hz. Leider kam es hier zu einer größeren Ungenauigkeit von -28.8° , was jedoch als nahezu 0 betrachtet wird. Die auftretenden Ungenauigkeiten können auf veraltete Technik und Abweichungen beim Ablesen zurückgeführt werden.

Es ist wichtig zu beachten, dass für eine Parallelschaltung von R und C der Wechselstromwiderstand (Z) bei hohen Frequenzen vom Kondensator und bei niedrigen Frequenzen vom Widerstand bestimmt wird. Bei einer Reihenschaltung hingegen wird Z bei hohen Frequenzen durch den Widerstand und bei niedrigen Frequenzen durch den Kondensator bestimmt. In unserem Fall, mit dem beobachteten Verhalten, zeigt sich das erste Szenario: Bei niedrigen Frequenzen bleibt der ohmsche Widerstand nahezu konstant, und die Phasenverschiebung nähert sich 0° . Bei

höheren Frequenzen hingegen nimmt der Wechselstromwiderstand des Kondensators mit steigender Frequenz stetig ab, und die Phasenverschiebung nähert sich -90° an.