

Institut für Experimentalphysik der Technischen Universität
Graz

&

Institut für Physik der Universität Graz

LABORÜBUNGEN 2: ELEKTRIZITÄT, MAGNETISMUS, OPTIK

Übungstitel: Phase und Leistung

Betreuer:

Gruppennummer: 41

Name: Tanja Maier, Johannes Winkler

Kennzahl: 033 678

Matrikelnummer: 11778750, 00760897

Datum: 27.11.2020

WS 20

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
1 Aufgabenstellung	4
2 Voraussetzungen und Grundlagen	4
2.1 Wechselstrom und Wechselspannung	4
2.2 Messung von Gleichrichtwert und Effektivwert	5
2.3 Wechselstromwiderstände und deren Leistung	5
3 Geräteliste	6
4 Beschreibung der Versuchsanordnung	7
4.1 Untersuchung der Anzeige von unterschiedlichen Spannungsmess- instrumenten bei verschiedenen Kurvenformen	7
4.2 Phasenlage von Strom und Spannung an einem Kondensator bzw. einer Spule	7
4.3 Leistung einer RC- bzw RL-Schaltung	8
5 Versuchsdurchführung und Messwerte	9
5.1 Untersuchung der Anzeige von unterschiedlichen Spannungsmess- instrumenten bei verschiedenen Kurvenformen	9
5.2 Phasenlage von Strom und Spannung an einem Kondensator bzw. einer Spule	12
5.3 Leistung einer RC- bzw RL-Schaltung	13
6 Auswertung	15
6.1 Untersuchung der Anzeige von unterschiedlichen Spannungsmess- instrumenten bei verschiedenen Kurvenformen	15
6.2 Phasenlage von Strom und Spannung an einem Kondensator bzw. einer Spule	16
7 Diskussion	17
7.1 Untersuchung der Anzeige von unterschiedlichen Spannungsmess- instrumenten bei verschiedenen Kurvenformen	17
7.2 Phasenlage von Strom und Spannung an einem Kondensator bzw. einer Spule	18
7.3 Leistung einer RC- bzw RL-Schaltung	18
8 Zusammenfassung	19
8.1 Untersuchung der Anzeige von unterschiedlichen Spannungsmess- instrumenten bei verschiedenen Kurvenformen	19
8.2 Phasenlage von Strom und Spannung an einem Kondensator bzw. einer Spule	19
8.3 Leistung einer RC- bzw RL-Schaltung	19

9 Literaturverzeichnis

19

1 Aufgabenstellung

1. Untersuchung der Anzeige von unterschiedlichen Spannungsmessinstrumenten bei verschiedenen Kurvenformen.
2. Messtechnische Ermittlung der Phasenlage von Strom und Spannung an einem Kondensator.
3. Messtechnische Ermittlung der Phasenlage von Strom und Spannung an einer Spule.
4. Messtechnische Ermittlung der elektrischen Leistung in einer RC-Schaltung.
5. Messtechnische Ermittlung der elektrischen Leistung in einer RL-Schaltung.

2 Voraussetzungen und Grundlagen

2.1 Wechselstrom und Wechselspannung

Als Wechselstrom bezeichnet man jene Art von elektrischem Strom, bei der sich die Stärke und die Richtung periodisch ändern. Damit einhergehend ändert sich auch die Spannung und wird daher als Wechselspannung bezeichnet. Wichtige Größen sind hier der Scheitelwert (Maximalbetrag des Augenblickwertes bei einem Wechselsignal) und die sogenannten Effektivwerte I_{eff} und U_{eff} . Dies sind jene Werte, bei denen im Wechselstromkreis die gleiche Leistungsabgabe, wie beim Gleichstromkreis (also keine periodische Änderung von Stärke und Richtung des Stroms) mit denselben Werten erfolgt.

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{\tau} \cdot \int_0^{\tau} u^2(t) \cdot dt} \quad (1)$$

$$I_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{\tau} \cdot \int_0^{\tau} i^2(t) \cdot dt} \quad (2)$$

dabei ist $u(t)$ der Augenblickswert der Spannung, $i(t)$ der Augenblickswert des Stroms und τ die Periodendauer des Signals. Zudem kann aus diesen Größen auch der Scheitelfaktor berechnet werden, der das Verhältnis von Scheitelwert zu Effektivwert (sowohl für Strom als auch für Spannung) darstellt.

$$f_s = \frac{U_s}{U_{\text{eff}}} \quad (3)$$

$$f_s = \frac{I_s}{I_{\text{eff}}} \quad (4)$$

Ähnlich zum Effektivwert lässt sich auch der Gleichrichtwert für Strom und Spannung als zeitliches Mittel berechnen

$$U_{\text{gl}} = \frac{1}{\tau} \cdot \int_0^{\tau} |u(t)| \cdot dt \quad (5)$$

$$I_{\text{gl}} = \frac{1}{\tau} \cdot \int_0^{\tau} |i(t)| \cdot dt \quad (6)$$

Der Formfaktor (Verhältnis von Effektivwert zu Gleichrichtwert) ergibt sich dann als

$$f_f = \frac{U_{\text{eff}}}{U_{\text{gl}}} \quad (7)$$

$$f_f = \frac{I_{\text{eff}}}{I_{\text{gl}}} \quad (8)$$

Wichtig zu beachten ist, dass Scheitelfaktor und Formfaktor vom zeitlichen Verlauf des Signals abhängen dementsprechend unterschiedliche Werte liefern. (vgl. [1], [2], [3], [4], [5])

2.2 Messung von Gleichrichtwert und Effektivwert

Um den Gleichrichtwert bestimmen zu können wird zunächst eine Gleichrichterschaltung aufgebaut und mithilfe dieser kann dann der Betrag der elektrischen Größe gebildet werden. Durch Einsetzen eines Tiefpassfilters erhält man auch das zeitliche Mittel.

Der Zusammenhang zwischen berechnetem Mittelwert und Scheitelwert der Wechselspannung ist gegeben durch

$$|\bar{U}| = \dots = \frac{2}{\pi} \cdot \hat{U}$$

Bei sinusförmigen Kurven kann hier außerdem noch ein Korrekturwert von $K_{\text{sin}} = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} \approx 1.11$ miteinbezogen werden, der sich aus dem Verhältnis vom Mittelwert des Betrags zum tatsächlichen Effektivwert der Spannung ergibt. Diese Messung des Effektivwertes mithilfe des Mittelwerts funktioniert jedoch nur bei sinusförmigen Signalen.

Für beliebige Signale werden andere Methoden verwendet, wie z. B. die thermische Umformung, bei der ein Widerstand durch die Wechselgröße aufgeheizt wird. Die Temperatur, die erreicht wird, dient dann als Richtwert für einen zweiten Widerstand, der über einen Gleichstrom erhitzt wird. Beim Temperaturgleichstand wird dann auch die gleiche Leistung umgesetzt. Somit gilt $U_{\text{eff}} = U_{\text{RMS}}$ bzw. $I_{\text{eff}} = I_{\text{RMS}}$. (vgl. [1], [3], [5])

2.3 Wechselstromwiderstände und deren Leistung

Hierbei wird unterschieden zwischen Wirkleistung, Blindleistung und Scheinleistung. Die Wirkleistung ist jener Teil der Leistung, der in mechanische Arbeit

umgewandelt wird. In einem Wechselstromkreis erfolgt hier eine Umwandlung von elektrischer in thermische Energie. Die Wirkleistung kann durch

$$P = U \cdot I \cdot \cos(\phi) \quad (9)$$

beschrieben werden, wobei U die Spannung und I der Strom ist. ϕ ist die Phasenverschiebung. Man erkennt relativ leicht, dass die Leistung maximal wird, wenn die Phasenverschiebung gleich 0 ist ($\cos(0) = 1$). (vgl. [1], [6])

Die Blindleistung wird zum Aufbau bzw. zum Abbau von elektromagnetischen Feldern benötigt und ergibt sich aus

$$Q = U \cdot I \cdot \sin(\phi) \quad (10)$$

wobei diese bei einer Phasenverschiebung von $\frac{\pi}{2}$ maximal wird. (vgl. [1], [6])

Die Scheinleistung ist die Gesamtleistung, die sich aus Wirkleistung und Blindleistung ergibt. Sie ergibt sich durch vektorielle Addition von P und S

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = U \cdot I \quad (11)$$

3 Geräteliste

Tabelle 1: Liste der verwendeten Geräte

Abk.	Gerätename	Modell/Wert	Unsicherheit
N	Netzgerät	Hameg HM8040-2	
FG	Funktionsgenerator	Hameg HM8030-3	
OS	Oszilloskop	DSO-X 2002A	2% (vgl. [8])
MM1	Multimeter (digital)	TTi 1604	0.5% + 4 digits (vgl. [1])
MM2	Multimeter	M4600	0.5% + 10 digits (vgl. [1])
MM3	Multimeter	Unigor 4n	1.5% (vgl. [1])
MM4-6	Multimeter (digital)	Fluke 175	1% + 3 digits
WM	Wattmeter	HM8115-2	
R	Widerstand	$R = 68.0 \, \Omega$	$\Delta R = 3.4 \, \Omega$
C1	Kondensator	$C_1 = 100 \, \mu\text{F}$	$\Delta C_1 = 20 \, \mu\text{F}$
C2	Kondensator	$C_2 = 47 \, \mu\text{F}$	$\Delta C_2 = 10 \, \mu\text{F}$
C3	Kondensator	$C_3 = 20 \, \mu\text{F}$	$\Delta C_3 = 4 \, \mu\text{F}$
C4	Kondensator	$C_3 = 10 \, \mu\text{F}$	$\Delta C_3 = 2 \, \mu\text{F}$

Die Bezeichnungen MM1, MM2 und MM3 entsprechen den Geräten P1, P2 und P3 im Schaltplan von Aufgabe 1. In späteren Plänen ändern sich die Bezeichnungen im Schaltplan, sodass wir zum Zwecke der Eindeutigkeit diese Geräte

mit MM1 bezeichnet haben. Das Messgerät MM4 (Fluke 175) liegt mehrfach vor, die weiteren Geräte werden als MM5 und MM6 bezeichnet. Sämtliche Daten wurden nach den Versuch mit Python3.8 ausgewertet, wobei für Grafiken die Library `Matplotlib` verwendet wird.

4 Beschreibung der Versuchsanordnung

4.1 Untersuchung der Anzeige von unterschiedlichen Spannungsmessinstrumenten bei verschiedenen Kurvenformen

Der Hameg HM8030-3 Funktionsgenerator wird verwendet um verschiedene Spannungskurven zu erzeugen. Der Ausgangswiderstand des Funktionsgenerators beträgt $50\ \Omega$. Die Frequenz wird auf 50 Hz gestellt. Dann wird die Spannung einmal mit dem Oszilloskop gemessen (inkl. Spitze-Spitze-Wert und Effektivwert). Zusätzlich werden noch 3 weitere Messgeräte (TTi1604, M4600 und Unigor 4) zur Messung der Spannung parallel geschaltet. Die Messung der Effektivwerte soll verglichen werden.

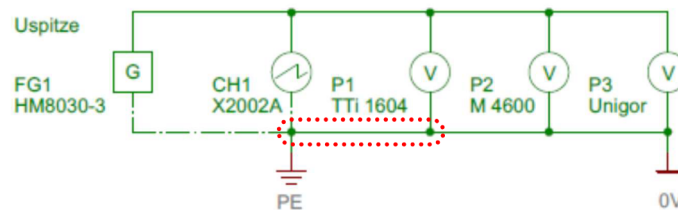


Abbildung 1: Versuchsaufbau, Aufgabe 1

4.2 Phasenlage von Strom und Spannung an einem Kondensator bzw. einer Spule

In diesem Versuch wird zweimal derselbe Versuchsaufbau verwendet, wobei der Kondensator für den dritten Versuch durch eine Spule ersetzt wird. Die Aufbauten sind in Grafiken 2 und 3 zu sehen. CH2 misst die betreffende Spannung an Kondensator bzw. Spule, während CH1 für die Berechnung des dazugehörigen Stromes herangezogen wird.

Für das Signal wird in beiden Fällen ein Transformator herangezogen. Als Bezugspunkt für die Messung der Spannung wird in beiden Fällen das Verbindungsstück zwischen dem Widerstand und dem zu vermessenden Bauteil definiert.

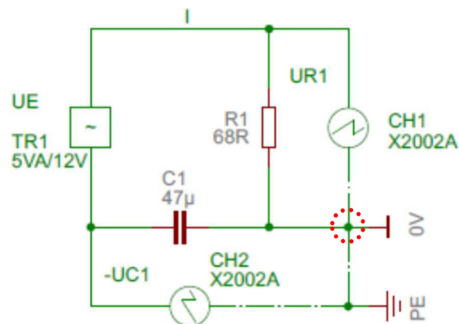


Abbildung 2: Versuchsaufbau, Aufgabe 2

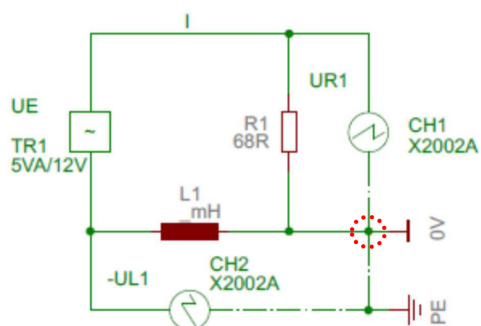


Abbildung 3: Versuchsaufbau, Aufgabe 3

4.3 Leistung einer RC- bzw RL-Schaltung

In diesem Kapitel ist die Leistung einer RC- bzw. RL-Schaltung zu bestimmen. Diese Schaltungen sind in den Grafiken 4 und 5 dargestellt. Der Aufbau ist im wesentlichen identisch, bis auf den Kondensator in 4 und der Spule in 5.

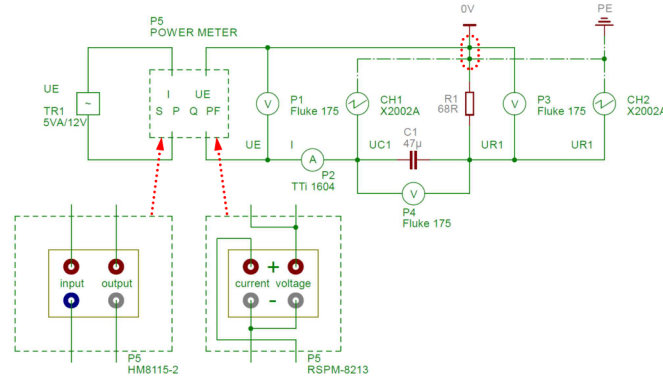


Abbildung 4: Versuchsaufbau, Aufgabe 4

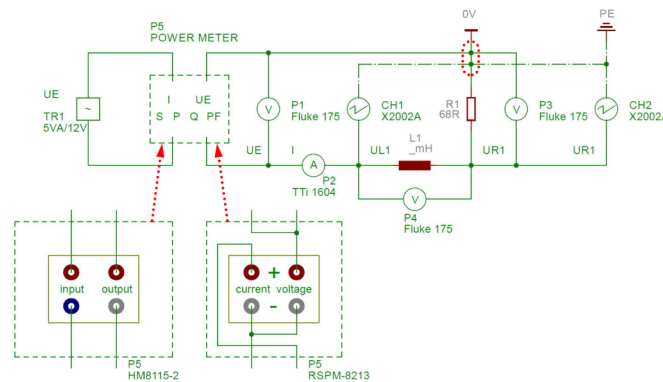


Abbildung 5: Versuchsaufbau, Aufgabe 5

5 Versuchsdurchführung und Messwerte

5.1 Untersuchung der Anzeige von unterschiedlichen Spannungsmessinstrumenten bei verschiedenen Kurvenformen

Abschnitt 4.1 beschreibt den Aufbau des Versuchs. Dieser wird nun mit einer Sinusspannung, einer Dreiecksspannung und einer Rechtecksspannung durchgeführt. Diese Kurven sollten jeweils dieselbe Frequenz und Amplitude haben, um die Ergebnisse besser vergleichen zu können. Das Oszilloskop zeichnet diese 3 Kurven. Sie sind in Grafiken 6, 7 und 8 dargestellt. Zusätzlich wurde der Effektivwert mit 3 verschiedenen Messgeräten gemessen und soll verglichen werden.

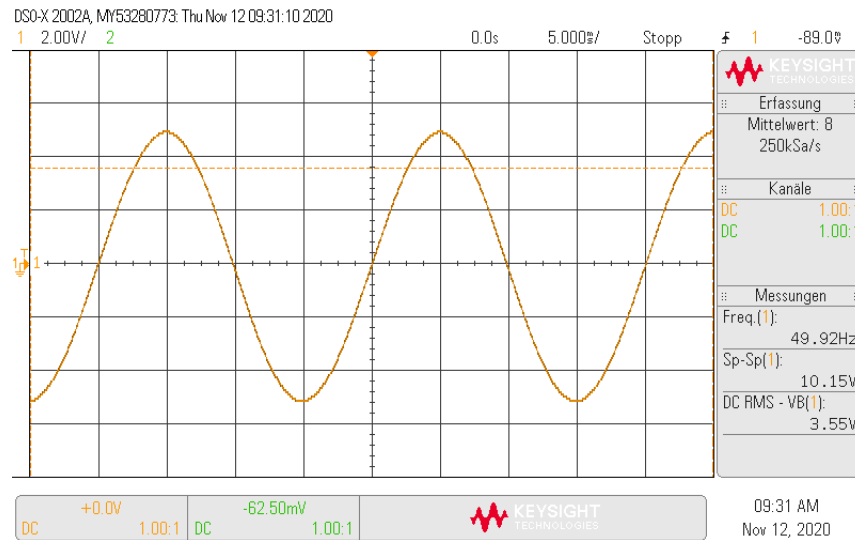


Abbildung 6: Sinusschwingung für Aufgabe 1

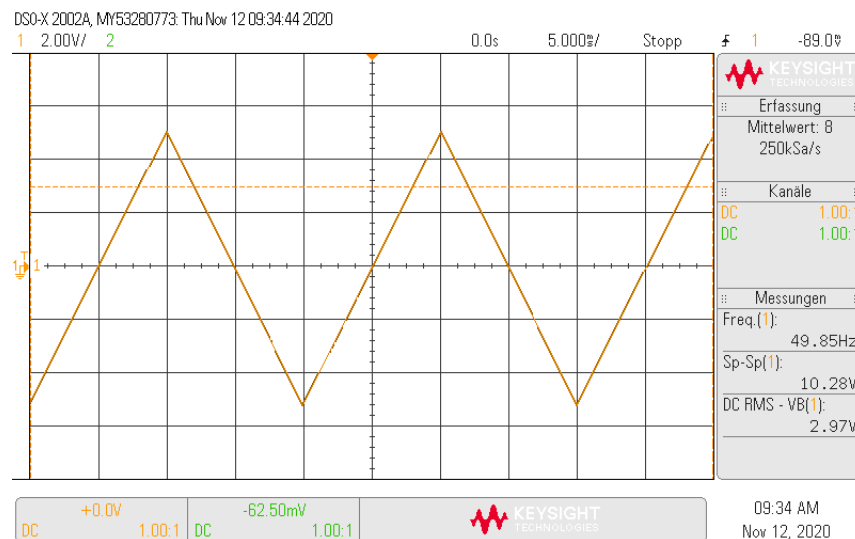


Abbildung 7: Dreiecksschwingung für Aufgabe 1

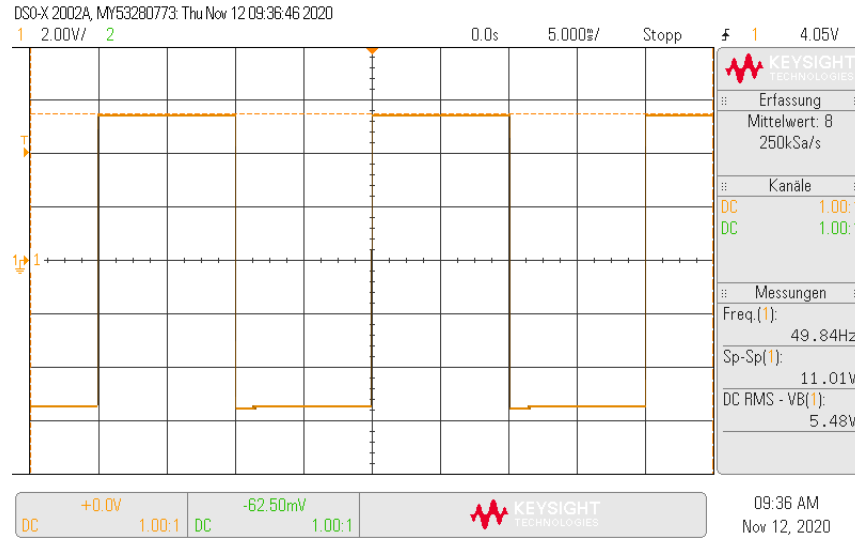


Abbildung 8: Rechtecksschwingung für Aufgabe 1

Die gemessenen Werte werden in Tabellen 2 und 3 zusammengefasst.

Tabelle 2: Gemessene Effektivwerte im Versuch 1 mit 3 verschiedenen Messgeräten. U_1 ist MM1 (P1 laut Schaltplan), U_2 ist MM2 (P2 laut Schaltplan) und U_3 ist MM3 (P3 laut Schaltplan). Alle Unsicherheiten sind aus den Datenblättern entnommen und in der Geräteliste angegeben.

Schwingung	P1	P2	P3
	$U_{1,\text{eff}} / \text{V}$	$U_{2,\text{eff}} / \text{V}$	$U_{3,\text{eff}} / \text{V}$
Sinus	3.532 ± 0.022	3.535 ± 0.028	3.31 ± 0.05
Dreieck	2.965 ± 0.019	2.863 ± 0.024	2.66 ± 0.04
Rechteck	5.500 ± 0.032	6.003 ± 0.040	5.91 ± 0.09

Tabelle 3: Messwerte bei Versuch 1 mit Oszilloskop. Alle Unsicherheiten sind in der Geräteliste angegeben.

Schwingung	U_{ss} / V	$U_{\text{eff}} / \text{V}$
Sinus	10.15 ± 0.20	3.55 ± 0.07
Dreieck	10.28 ± 0.21	2.97 ± 0.06
Rechteck	11.01 ± 0.22	5.48 ± 0.11

5.2 Phasenlage von Strom und Spannung an einem Kondensator bzw. einer Spule

In diesem Fall werden beide Versuchsaufbauten (Grafiken 2 und 3) vermessen und man erhält die jeweiligen Kurven. Diese sind in Grafiken 9 und 10 zu sehen. Gemäß der jeweiligen Versuchsaufbauten ist CH1 proportional zu den Strom durch Spule bzw. Kondensator. Man erkennt in Grafik 9 deutlich, dass der Strom (CH1) der Spannung (CH2) vorausgeht. Bei der Spule in Grafik 10 ist es genau umgekehrt.

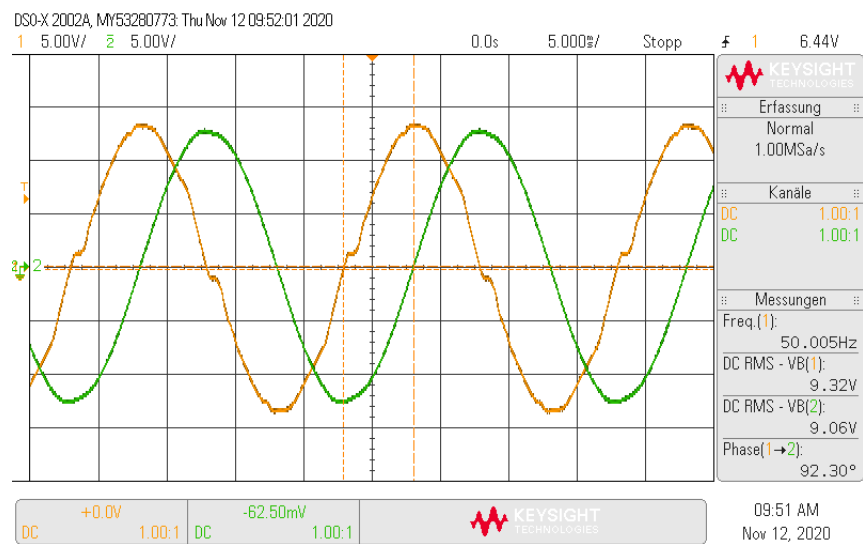


Abbildung 9: Kurve des Kondensators aus Aufgabe 2

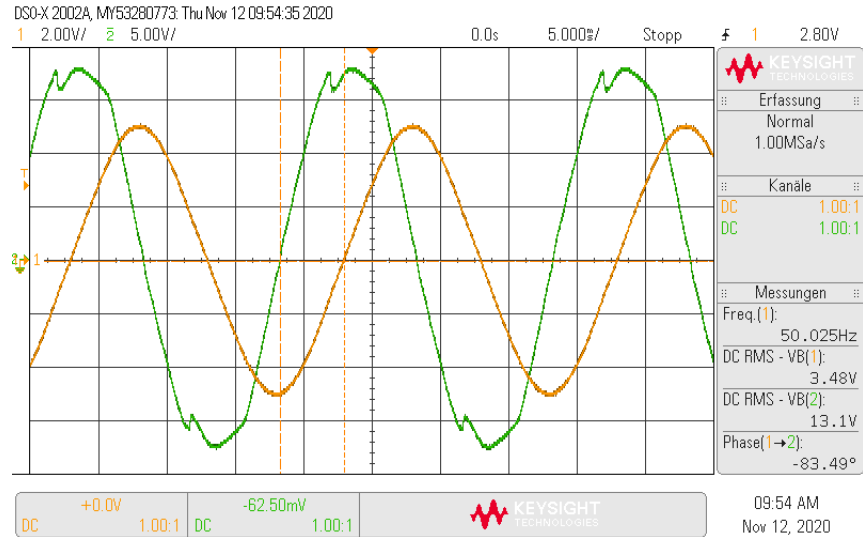


Abbildung 10: Kurve der Spule aus Aufgabe 3

5.3 Leistung einer RC- bzw RL-Schaltung

In diesem Teil werden die Daten für die Berechnung der Leistungsaufnahme einer RC- bzw RL-Schaltung gemessen. Für die Messung der Leistung sind sowohl die Eingangsspannung U_E , der Strom I , sowie die Phasenverschiebung nötig. Das Wattmeter wird zwischen Transformator und RC/RL-Schaltung geschaltet. Dadurch können die Größen in Tabelle 4 ermittelt werden. Diese Werte liefern die Leistungsaufnahme der Schaltung.

Tabelle 4: Werte des Wattmeters WM (P5 laut Schaltplan) für die RC bzw. RL Schaltung in den Versuchen 4 und 5

	U_E / V	I / A	P / W	Q / W	S / W	$\cos(\phi)$
RC	13.3	0.137	1.342	1.22	1.182	0.74
RL	13.9	0.051	0.256	0.65	0.699	0.37

Zusätzlich befinden sich 3 Messgeräte vom Typ Fluke 175 (MM4, MM5 und MM6 laut Geräteliste, P1, P3, P4 laut Schaltplan) in der Schaltung zur Messung von Spannungen. Für die Messung des Stromes wird ein TTI 1604 (MM1 laut Geräteliste, P2 laut Schaltplan) verwendet. Diese Messungen wurden zusätzlich durchgeführt und in Tabelle 5 aufgelistet.

Tabelle 5: Händisch durchgeführte Messungen mit P1, P2, P3 und P4 laut Schaltplan. Messungen jeweils für RC und RL Schaltung.

	P1	P2	P3	P4	P4
	U_E / V	I / mA	U_{R1} / V	U_{C1} / V	U_{L1} / V
RC	13.24	136.7	9.19	8.97	–
RL	13.83	51.0	3.41	–	13.07

Bei den Versuchsaufbauten in Grafik 4 und 5 wird jeweils mit dem Oszilloskop die Spannung an zwei Stellen gemessen. Diese Spannungen sind für die RC-Schaltung in Grafik 11, und für die RL-Schaltung in Grafik 12 dargestellt.

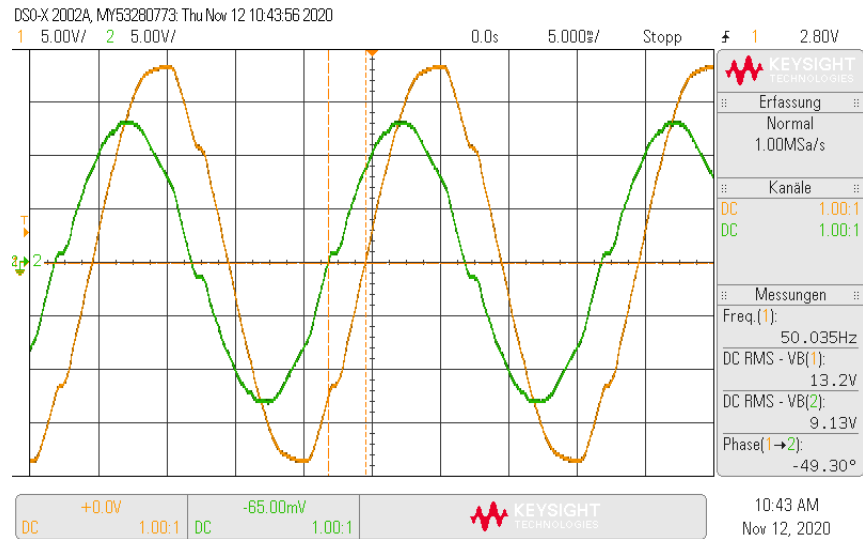


Abbildung 11: Spannungen in einer RC-Schaltung

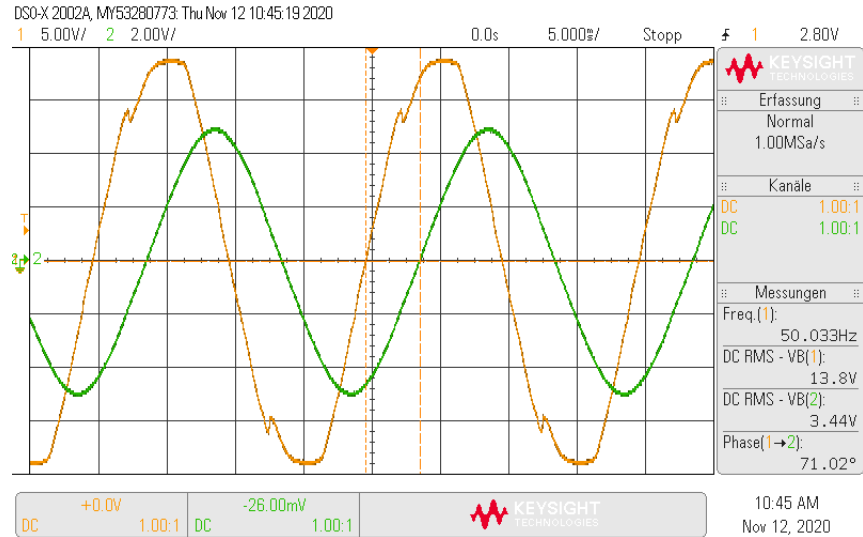


Abbildung 12: Spannungen in einer RL-Schaltung

6 Auswertung

6.1 Untersuchung der Anzeige von unterschiedlichen Spannungsmessinstrumenten bei verschiedenen Kurvenformen

Für die Effektivwerte wurde testweise eine numerische Integration durchgeführt. Hierfür wurde auf die Simpson-Formel zurückgegriffen. Diese findet sich im Python-Paket `scipy`. Im Falle der Sinus-Schwingung und der Dreiecksschwingung wurde über die eine Periode von 2 benachbarten Maxima integriert. Bei der Rechtecksschwingung wurde zwischen 2 steigenden Flanken des Rechtecks integriert. Daraus ergeben sich die Werte in Tabelle 6.

Tabelle 6: Spitze-Tal Werte für die Kurven.

Schwingung	$U_{\text{eff}} / \text{V}$
Sinus	3.557
Dreieck	2.983
Rechteck	5.487

Das Oszilloskop berechnet den Spitze-Tal Wert und den Effektivwert direkt. Durch Division durch den Scheitelfaktor kann man aus dem Scheitelwert den Effektivwert berechnen. Der Scheitelfaktor beträgt $\sqrt{2}$ für Sinus, $\sqrt{3}$ für Dreiecksverteilungen und 1 für die Rechtecksverteilung. Zusätzlich muss U_{ss} noch halbiert werden, damit man den Scheitelwert erhält.

Tabelle 7: Effektivwert mit Oszilloskop. Zum einen der gemessene Wert, zum anderen der berechnete Wert mit Hilfe des Scheitelfaktors.

Schwingung	U_{ss} / V	gemessen $U_{\text{eff}} / \text{V}$	berechnet $U_{\text{eff}} / \text{V}$
Sinus	10.15 ± 0.20	3.55 ± 0.07	3.59 ± 0.07
Dreieck	10.28 ± 0.21	2.97 ± 0.06	2.96 ± 0.06
Rechteck	11.01 ± 0.22	5.48 ± 0.11	5.51 ± 0.11

Tabelle 8: Gemessene Effektivwerte mit den Messgeräten P1 (MM1), P2 (MM2) und P3 (MM3) nach Grafik 1.

Schwingung	P1 $U_{1,\text{eff}} / \text{V}$	P2 $U_{2,\text{eff}} / \text{V}$	P3 $U_{3,\text{eff}} / \text{V}$
Sinus	3.532 ± 0.022	3.535 ± 0.028	3.31 ± 0.05
Dreieck	2.965 ± 0.019	2.863 ± 0.024	2.66 ± 0.04
Rechteck	5.500 ± 0.032	6.003 ± 0.040	5.91 ± 0.09

6.2 Phasenlage von Strom und Spannung an einem Kondensator bzw. einer Spule

Die Phasenverschiebung kann theoretisch und praktisch berechnet werden. Gemäß der Formel für die Impedanz ergibt sich nach der Theorie (vgl. [7])

$$Z_2 = R + Z_{C_1} = R - \frac{i}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_1}$$

$$Z_3 = R + Z_L = R + i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

für die Gesamtimpedanz Z_2 in den Versuch 2 bzw Z_3 in Versuch 3.
Für die Phasenverschiebung beim Kondensator aus Aufgabe 2 (φ_2) gilt daher

$$\tan(\varphi_2) = \frac{\Im(Z_2)}{\Re(Z_2)}$$

$$= \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{1}{f \cdot R \cdot C_1} \pm \frac{\Delta f \cdot R \cdot C_1 + f \cdot \Delta R \cdot C_1 + f \cdot R \cdot \Delta C_1}{(f \cdot R \cdot C_1)^2} \right)$$

Für die Phasenverschiebung bei der Spule aus Aufgabe 3 (φ_3) gilt nach der Theorie

$$\tan(\varphi_3) = \frac{\Im(Z_3)}{\Re(Z_3)}$$

$$= 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{f \cdot L}{R} \pm \frac{\Delta f \cdot L \cdot R + f \cdot \Delta L \cdot R + f \cdot L \cdot \Delta R}{R^2} \right)$$

Für Aufgabe 2 ergibt sich ein theoretischer Wert $\varphi_2 = (44 \pm 8)^\circ$, die sich der Strom vor der Spannung eines Kondensators befindet. Dabei wurde allerdings

von einem idealen Kondensator ausgegangen (den es real nicht gibt). Es müsste gemäß [1] noch der Isolationswiderstand berücksichtigt werden.

Da für die Spule keine Induktion gegeben ist, kann der theoretische Wert nicht berechnet werden.

Für die Aufgaben 2 und 3 können nun Zeigerdiagramme erstellt werden. Die Eingangsspannung ist jeweils die Summe über die Spannung am Widerstand und die Spannung am Bauteil (Kondensator bzw. Spule). Es gilt also

$$U_E = U_{R1} + U_{C1}$$

im Falle des Kondensators und

$$U_E = U_{R1} + U_{L1}$$

im Falle der Spule.

7 Diskussion

7.1 Untersuchung der Anzeige von unterschiedlichen Spannungsmessinstrumenten bei verschiedenen Kurvenformen

Generell ist zu sagen, dass die meisten Messgeräte für Sinus-Schwingungen ausgelegt sind und alle anderen Schwingungen durch Sinus-Schwingungen approximieren. Durch diverse Faktoren lassen sich bekannte Funktionsverläufe ineinander umrechnen. Das funktioniert, sofern es keine gröberen Verzerrungen oder Abweichungen von der gewünschten Form gibt. Zusätzlich gelten diese Faktoren nur für definierte Signale mit einer gewissen Regelmäßigkeit. Bei sich mehrmals ändernden oder überlagerten Signalen sollte man auf numerische Integration zurückgreifen.

Wir konnten beobachten, dass das Ergebnis der numerischen Integration den Effektivwert genauer bestimmt, als der Weg über den Scheitelwert. Die Simpson-Formel für die numerische Integration liefert nach den Erkenntnissen der numerischen Analysis hervorragende Werte, insbesondere für Sinusschwingungen. Es liegt daher der Schluss nahe, dass das Oszilloskop intern ebenfalls eine numerische Integration durchführt.

Es sollte zusätzlich noch kritisch hinterfragt werden, ob sich die Messgeräte bei gleichzeitiger Messung gegenseitig beeinflussen. Bei der Spannungsmessung sollte ein Messgerät über einen sehr hohen Innenwiderstand verfügen. Durch die parallelen Messungen werden diese Innenwiderstände parallel geschaltet, was eine Senkung des Gesamtwiderstandes zur Folge hat. Es wäre daher besser, die Messungen nacheinander anstatt parallel durchzuführen.

7.2 Phasenlage von Strom und Spannung an einem Kondensator bzw. einer Spule

Für den Kondensator wurde eine Phasenverschiebung von $\varphi_2 = 92.30^\circ$ gemessen. Das ist nach der Theorie nicht möglich, da ein perfekter Kondensator ohne Widerstand eine Impedanz von

$$Z_C = \frac{1}{i \cdot \omega \cdot C}$$

aufweist. In der Beziehung $U = Z_C \cdot I$ entsteht dadurch eine 90° Phasenverschiebung zwischen I und U . Der Isolationswiderstand, welcher in [1] beschrieben ist, würde diese Phasenverschiebung höchstens verkleinern. Der theoretische Wert der Phasenverschiebung wäre $\varphi_2 = (44 \pm 8)^\circ$ unter Vernachlässigung des Isolationswiderstandes und der Annahme eines perfekten Kondensators für die gegebenen Werte $R = 68 \, \Omega$, $f = 50 \, \text{Hz}$ und $C = 47 \, \mu\text{F}$.

Die Impedanz einer Spule wäre

$$Z_L = i \cdot \omega \cdot L$$

Analog könnte man bei gegebener Induktivität einen theoretischen Wert für die Phasenverschiebung berechnen, sofern L gegeben wäre. Die Phasenverschiebung würde sich durch das Vorzeichen von jener beim Kondensator unterscheiden.

7.3 Leistung einer RC- bzw RL-Schaltung

Die Leistung wird einmal durch ein Wattmeter gemessen und einmal durch manuelles Messen der Phasenverschiebung, des Stromes und der Spannung. Grundsätzlich sollte man dasselbe Ergebnis erhalten. Das Problem ist allerdings, dass hier von sämtlichen Messgeräten verschiedene Innenwiderstände überlagert werden. Da jedes Messgerät die Messgröße geringfügig belastet, wäre hier zu klären, ob man bei einzelnen Messungen ein genaueres Messergebnis erhält.

8 Zusammenfassung

- 8.1 Untersuchung der Anzeige von unterschiedlichen Spannungsmessinstrumenten bei verschiedenen Kurvenformen
- 8.2 Phasenlage von Strom und Spannung an einem Kondensator bzw. einer Spule
- 8.3 Leistung einer RC- bzw. RL-Schaltung

9 Literaturverzeichnis

- [1] Moodle-Unterlagen zum Versuch, bereitgestellt von der Karl-Franzens-Universität Graz.
- [2] <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/wechselstrom/15456>
- [3] <https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/wechselstromtechnik/grundwissen/effektivwerte-von-wechselstrom-und-spannung>
- [4] <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik-abitur/artikel/wechselspannung-und-wechselstrom>
- [5] <https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Gleichrichtwert>
- [6] <https://www.emf.ethz.ch/emf-info/themen/physik/verknuepfung-von-elektrischen-und-magnetischen-feldern/wirkleistung-blindleistung-scheinleistung/>
- [7] W. Demtröder: *Experimentalphysik 2 - Elektrizität und Optik*, 7. Auflage, 2017.
- [8] <https://www.keysight.com/at/de/assets/7018-02733/data-sheets/5990-6618.pdf>