

Institut für Experimentalphysik der Technischen Universität Graz

&

Institut für Physik der Universität Graz

LABORÜBUNGEN 2: ELEKTRIZITÄT, MAGNETISMUS, OPTIK

Übungsnummer: PHYC03UF

Übungstitel: Phase und Leistung

Betreuer: Surnev Svetlozar

Gruppennummer: 1

Name: PHILIPP Maximilian

Name: STARK Matthias

Mat. Nr.: 11839611

Mat. Nr.: 12004907

Datum der Übung: 22 Oktober

WS 2021/2022

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	3
2	Grundlagen	3
3	Versuchsanordnung	5
4	Geräteliste	9
5	Versuchsdurchführung & Messergebnisse	10
5.1	Anzeige von unterschiedlichen Spannungsmessinstrumenten	10
5.2	Phasenlage von Strom und Spannung an einem Kondensator	12
5.3	Phasenlage von Strom und Spannung an einer Spule	13
5.4	elektrische Leistung in einer RC-Schaltung	15
5.5	elektrische Leistung in einer RL-Schaltung	17
5.6	Blindleistungskompensation eines induktiven Verbrauchers	19
6	Auswertung	24
6.1	Anzeige von unterschiedlichen Spannungsmessinstrumenten	24
6.2	Phasenlage von Strom und Spannung an einem Kondensator	24
6.3	Phasenlage von Strom und Spannung an einer Spule	26
6.4	elektrische Leistung in einer RC-Schaltung	26
6.5	elektrische Leistung in einer RL-Schaltung	27
6.6	Blindleistungskompensation eines induktiven Verbrauchers	28
7	Diskussion	31
7.1	Anzeige von unterschiedlichen Spannungsmessinstrumenten	31
7.2	Phasenlage von Strom und Spannung an einem Kondensator	31
7.3	Phasenlage von Strom und Spannung an einer Spule	31
7.4	elektrische Leistung in einer RC-Schaltung	31
7.5	elektrische Leistung in einer RL-Schaltung	32
7.6	Blindleistungskompensation eines induktiven Verbrauchers	32
7.7	Phasenversatz	33
8	Zusammenfassung	33

1 Aufgabenstellung

- Untersuchung der Anzeige von unterschiedlichen Spannungsmessinstrumenten bei verschiedenen Kurvenformen
- Messtechnische Ermittlung der Phasenlage von Strom und Spannung an einem Kondensator
- Messtechnische Ermittlung der Phasenlage von Strom und Spannung an einer Spule
- Messtechnische Ermittlung der elektrischen Leistung in einer RC-Schaltung
- Messtechnische Ermittlung der elektrischen Leistung in einer RL-Schaltung
- Messtechnische Untersuchung der Blindleistungskompensation eines induktiven Verbrauchers

2 Grundlagen

Fließt in einem Netzwerk ausschließlich Gleichstrom, so errechnet sich die Leistung nach folgender Formel. Dabei beschreibt P die Leistung U die Spannung und I den Strom.

$$P = UI \quad (1)$$

Fließt nun Wechselstrom durch das Netzwerk, errechnet sich die Leistung ebenfalls nach Gleichung 1. Allerdings ist dabei zu beachten, dass die Leistung aufgrund zeitlicher Phasenrelationen auch komplexe Anteile hat. Der Winkel dieser Phasenverschiebung wird Phase genannt, während der Betrag als Amplitude bezeichnet wird.

Der Wechselstrom hat den Vorteil, dass dieser leicht Übertragen und mit Transformatoren verwendet werden kann.

Ein Ohm'scher Widerstand, der in einem Wechselstromkreis geschlossen ist, ruft keine Phasenverschiebung hervor.

Wird eine Spule in den Wechselstromkreis geschlossen, so eilt der Strom I der Spannung U um 90° nach. Der entsprechende induktive Blindwiderstand X_L errechnet sich dabei nach folgender Gleichung 2. Dabei bezeichnet ω die Kreisfrequenz und L die Induktivität.

$$X_L = \frac{U}{I} = \omega L \quad (2)$$

Ein Kondensator in Wechselspannung bewirkt, dass der Strom I der Spannung U um 90° vorausseilt. Der kapazitive Widerstand X_C errechnet sich dabei nach folgender Formel, wobei das negative Vorzeichen durch die entgegengesetzte Phasendrehung im Bezug zur Induktivität entsteht. C bezeichnet dabei die Kapazität des Kondensators.

$$X_C = -\frac{U}{I} = -\frac{1}{\omega C} \quad (3)$$

Der Scheitelwert eines Signals bezeichnet den größten Betrag des Augenblickwerts. Bei einem sinusförmigen Signal entspricht dies beispielsweise der Amplitude.

Unter dem Effektivwert versteht man jenen Energieumsatz, den eine rein reelle Gleichgröße ausrichten würde. Man berechnet ihn nach folgenden Formeln.

$$U_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U(t)^2 dt} \quad (4)$$

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I(t)^2 dt} \quad (5)$$

Der Gleichrichtwert \bar{U} / \bar{I} entspricht den Mittelwert eines durch Gleichrichter gerichteten Signals und kann nach folgenden Formeln berechnet werden.

$$\bar{U} = \frac{1}{T} \int_0^T |U(t)| dt \quad (6)$$

$$\bar{I} = \frac{1}{T} \int_0^T |I(t)| dt \quad (7)$$

Der Formfaktor gibt das Verhältnis vom Effektivwert zum Gleichrichtwert an und wurde so für verschiedene Signaltypen im Zuge der Vorbereitung berechnet. Die erhaltenen Ergebnisse sind im Folgenden aufgelistet.

Für den Formfaktor eines rechteckigen Signals $f_{Rechteck}$ ergibt sich folgendes

$$f_{Rechteck} = \frac{U_{eff}}{\bar{U}} = \frac{\sqrt{\frac{2}{T_0} \int_0^{\frac{T_0}{2}} \hat{U}^2 dt}}{\frac{2}{T_0} \int_0^{\frac{T_0}{2}} \hat{U} dt} = \frac{\hat{U}}{\bar{U}} = 1 \quad (8)$$

Durch analoge Umformungen ergibt sich schließlich für den Formfaktor des Sinussignals f_{Sinus} folgender Wert.

$$f_{Sinus} = \frac{U_{eff}}{\bar{U}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \quad (9)$$

Für den Formfaktor des Dreieckssignal $f_{Dreieck}$ ergibt sich schließlich folgendes.

$$f_{Dreieck} = \frac{U_{eff}}{\bar{U}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \quad (10)$$

Unter dem Scheitelfaktor f_s versteht man das Verhältnis des Scheitelwerts zum Effektivwert, welches nach folgender Gleichung bestimmt werden kann. U_s und I_s bezeichnen dabei die Scheitelwerte der Spannung und des Stroms.

$$f_s = \frac{U_s}{U_{eff}} = \frac{I_s}{I_{eff}} \quad (11)$$

Für die Scheitelwerte des Rechtecksignals $f_{sRechteck}$, des Sinussignals f_{sSinus} und des Dreieckssignal $f_{sDreieck}$ ergeben sich schließlich folgende Werte.

$$f_{sRechteck} = 1 \quad f_{sSinus} = \sqrt{2} \quad f_{sDreieck} = \sqrt{3} \quad (12)$$

Die gesamte Leistung in einem Wechselstromkreis wird als Scheinleistung S bezeichnet. Diese setzt sich aus der Wirkleistung P , die wirklich abgegriffen werden kann, und der Blindleistung Q , die nur zur Aufrechterhaltung des Systems benötigt wird, zusammen. Diese beiden Komponenten lassen sich nach folgenden Formeln berechnen.

$$P = U I \cos(\varphi) \quad Q = U I \sin(\varphi) \quad (13)$$

φ bezeichnet dabei den Phasenwinkel, der nach folgender Formel berechnet werden kann. [3] [4]

$$\cos(\varphi) = \frac{P}{S} \quad (14)$$

Schlussendlich werden noch Grundlagen der Zeigerdiagramme für komplexe Wechselstromrechnung angeführt in folgender Abbildung 1

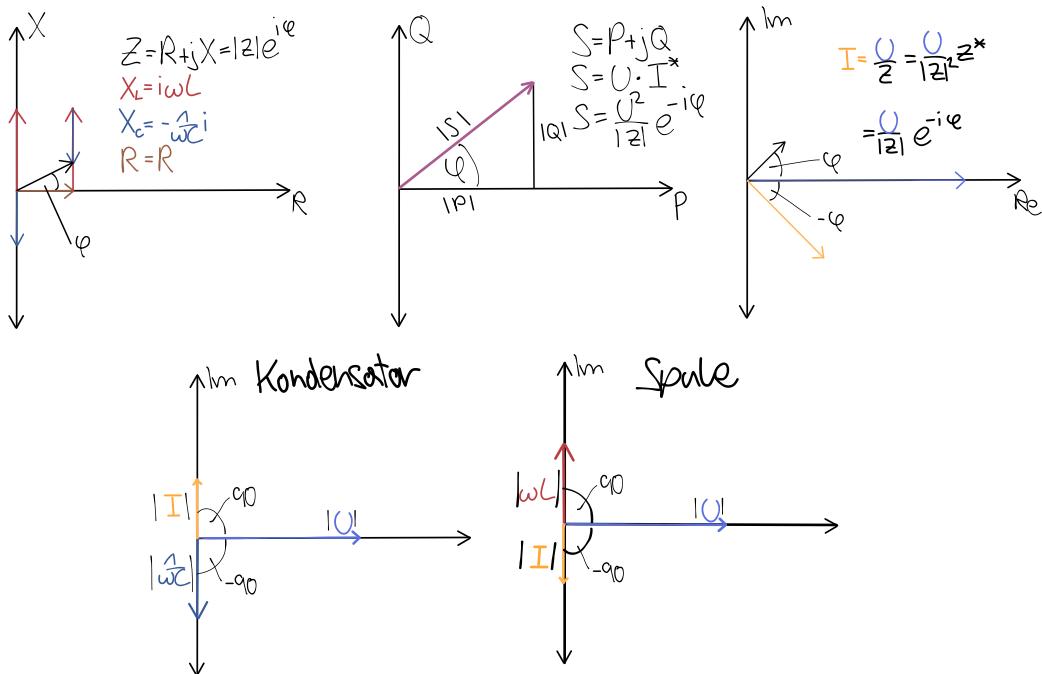


Abbildung 1: Hier sind die Grundlagen der Zeigerdiagramme für komplexe Wechselstromrechnung kurz und knapp in einem Diagramm dargestellt worden. Die Symbole entsprechen den zuvor definierten. [8]

3 Versuchsanordnung

Im Rahmen dieses Versuchs wurden verschiedene Schaltungen dimensioniert. Eine jeweilige Skizze des Schaltplans und eine kurze Erklärung finden sich, der besseren Übersicht halber, immer am Anfang des entsprechenden Versuchs im Abschnitt 5.

Um die Signale für die entsprechenden Schaltpläne zu Erzeugen und Auszuwerten wurden folgende Geräte verwendet.

Es handelt sich dabei um einen “Power Supply“, in Abbildung 2 und ein Oszilloskop, siehe Abbildung 3

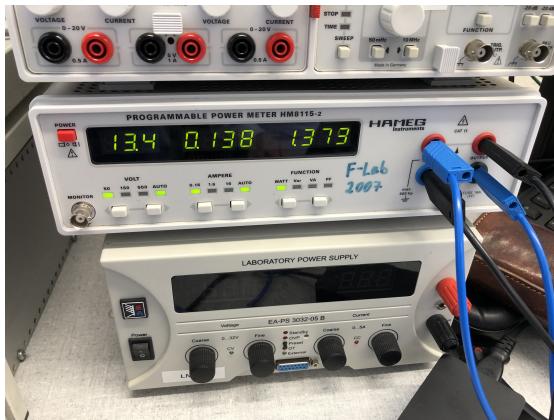


Abbildung 2: Verwendeter “Power Supply“

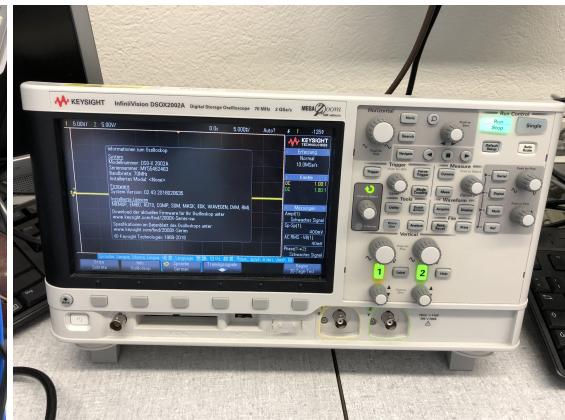


Abbildung 3: Verwendetes Oszilloskop

Zusätzlich wurden ein Transformator, siehe Abbildung 4 und digitales Multimeter, siehe Abbildung 5, verwendet.



Abbildung 4: Verwendeter Trafo

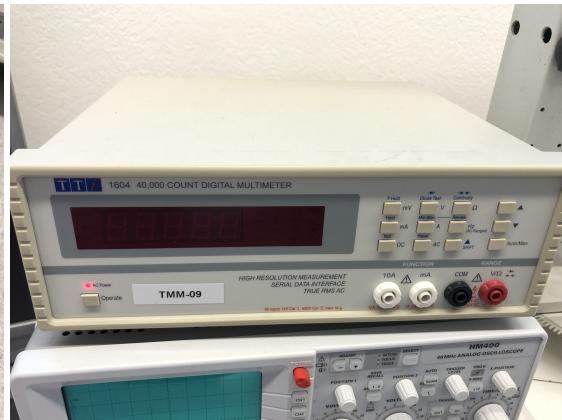


Abbildung 5: Verwendetes digitales Multimeter

Zusätzlich zum digitalen Multimeter aus Abbildung 5 werden auch noch herkömmliche Multimeter der Firma FLUKE, rechts in Abbildung 6 und eine etwas billigere Version eines digitalen Multimeters, links in Abbildung 6, verwendet. Auch steht ein analoges Multimeter zur Verfügung, siehe Abbildung 7.



Abbildung 6: Verwendeter Multimeter der Marken Metex und Fluke



Abbildung 7: Verwendetes analoges Multimeter

Für den Versuchsaufbau wird außerdem eine Spule, (1) in Abbildung 8, verwendet. Zusätzlich wird ein Widerstand von 66.76Ω für den Versuchsaufbau benötigt, markiert mit (2) in Abbildung 8. Auch werden Kondensatoren mit verschiedenen Kapazitäten benötigt. In Abbildung 8 handelt es sich dabei um Kondensatoren mit Kapazitäten von $100 \mu F$ (3), $47 \mu F$ (4), $20 \mu F$ (5) und $10 \mu F$ (6). Um die verschiedenen Schaltungen zu realisieren, werden normale Steckkabel verwendet. Um die Koaxialanschlüsse in den Stromkreis zu integrieren werden Tastkabel, sichtbar in Abbildung 9, verwendet.

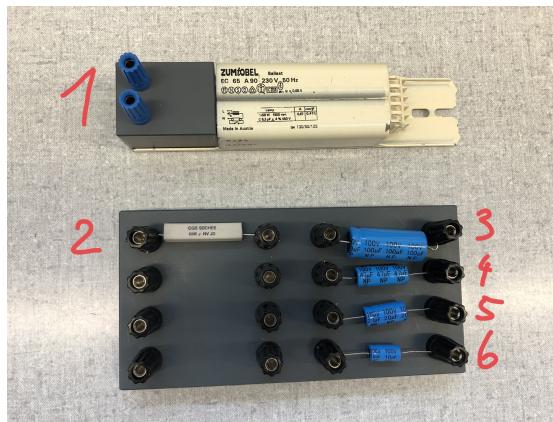


Abbildung 8: Verwendete Spule (1), Widerstand (2) und Kapazitäten



Abbildung 9: Verwendete Tastkabel

4 Geräteliste

Für die Messungen wurden folgende Geräte verwendet:

Tabelle 1: Verwendete Geräte

Gerät	Typ	Hersteller	Seriennummer
Oszilloskop	DSO-X 2002A	Keysight	MY55462463
“Power Supply“	HM 8115-2	Hameg Instruments	F-Lab 2007
Digitales Multimeter	1604 40,000 Count	TTi	TMM-05
Multimeter	M-4600	METEX	
3 Multimeter	175 True RMS	Fluke	
analoges Multimeter	3s	Unigor	F
Transformator			
Kabel	60 V DC 16 A		
Tastkabel	N2862B 300 VRMS CATI	Agilent	
Steckbrett			
Spule	Ballast	ZUMtOBEL	0493 64780
Widerstand	66.76 Ω		
Kondensator	100 μ Farad		
Kondensator	47 μ Farad		
Kondensator	20 μ Farad		
Kondensator	10 μ Farad		

5 Versuchsdurchführung & Messergebnisse

Zunächst wird mithilfe des Multimeters der genaue Wert des Widerstands gemessen, was der besseren Übersicht halber bereits in der Tabelle 1 und bei der Versuchsanordnung hinzugefügt wurde.

Die Unsicherheiten der Messgeräte wurden dabei den Datenblättern entnommen.

5.1 Anzeige von unterschiedlichen Spannungsmessinstrumenten

Zunächst wird der Stromkreis nach folgenden Schaltplan in Abbildung 10 aufgebaut. Dabei werden die 3 verschiedenen Multimeter parallel in die Schaltung geschlossen um so die angezeigten Werte direkt vergleichen zu können. Beim analogen Multimeter ist dabei zu beachten, dass ein Messbereich eingestellt ist, der groß genug ist, um die Feder nicht zu Überspannen.

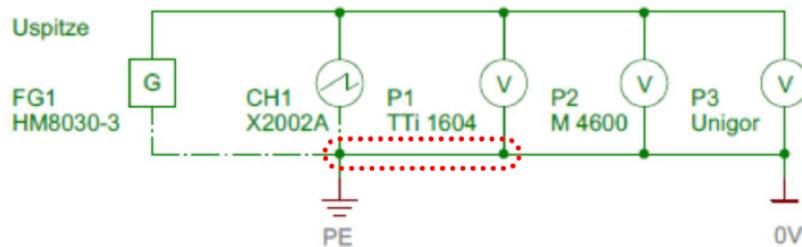


Abbildung 10: Skizze des Schaltplans, der für die erste Aufgabe benötigt wird [7]

Der tatsächliche Aufbau ist in folgender Abbildung 11 sichtbar.

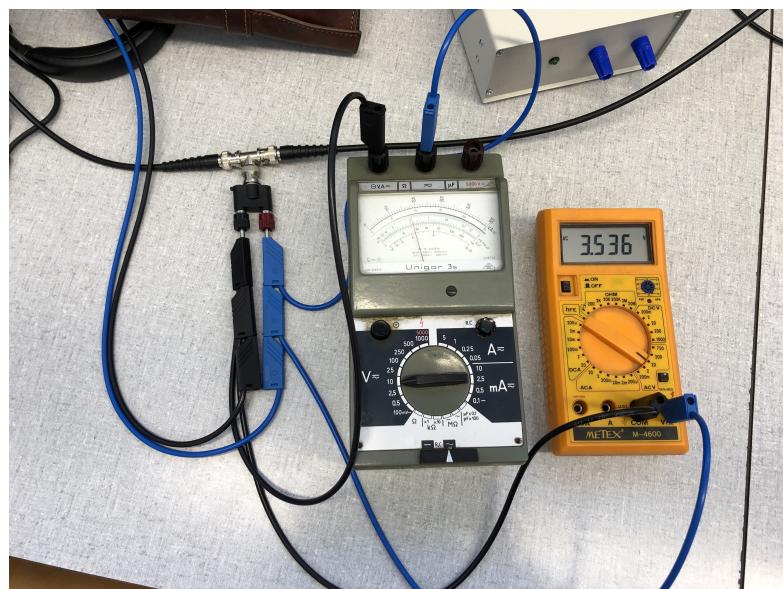


Abbildung 11: Versuchsaufbau für die Ermittlung der Anzeige von unterschiedlichen Spannungsmessinstrumenten

Bei der Eingangsspannung wird dabei zwischen einer Sinus-, Dreiecks- und Rechteckspannung variiert und die entsprechenden aufgezeichneten Spannungen an den verschiedenen Multimeter abgelesen und in folgender Tabelle notiert. Die Unsicherheit des analogen Multimeters ist dabei aufgrund von Ablesegenauigkeiten so groß gewählt. Rechnet man die Unsicherheit nach [11] aus erhält man sehr hohe Unsicherheiten. Daher wird die Unsicherheit nach folgender Formel in Gleichung 15 berechnet. LSB bezeichnet dabei die “least significant bit“ und ergibt sich konkret als $(\frac{1}{2})^8$.

$$\Delta U = 2\% \text{ 8div} * \frac{V}{\text{div}} + 1\text{LSB} \quad (15)$$

Tabelle 2: Abgelesene Werte auf den verschiedenen Multimeter für die Spannung beim entsprechenden Signal, dabei sind alle Geräte “true RMS“, bis auf das analoge, welches den “true RMS“ analog misst U_{Oszzi} ... abgelesener Wert der “Peak to Peak“ Spannung am Oszilloskop in V, Unsicherheit nach Gleichung 15

U_{theo} ... theoretisch ausgerechnete Spannung aus dem “Peak to Peak“ Wert des Oszilloskops in V

U_{TTi} ... abgelesener Wert der Spannung am digitalen Multimeter der Marke TTi in V, Unsicherheit [10]

U_{Metex} ... abgelesener Wert der Spannung am Multimeter der Marke Metex in V, Unsicherheit [9]

U_{Unigor} ... abgelesener Wert der Spannung am analogen Multimeter der Marke Unigor in V, Unsicherheit [12]

Spannungsart	U_{Oszzi} / V	U_{theo} / V	U_{TTi} / V	U_{Metex} / V	U_{Unigor} / V
Sinusspannung	$8,06 \pm 0,04$	$2,849 \pm 0,014$	$2,986 \pm 0,019$	$2,98 \pm 0,03$	$2,9 \pm 0,1$
Dreieckspannung	$8,46 \pm 0,04$	$2,327 \pm 0,012$	$2,447 \pm 0,017$	$2,36 \pm 0,03$	$2,20 \pm 0,05$
Rechteckspannung	$8,05 \pm 0,04$	$4,03 \pm 0,02$	$4,03 \pm 0,06$	$4,19 \pm 0,04$	$4,2 \pm 0,1$

5.2 Phasenlage von Strom und Spannung an einem Kondensator

Nun wird der Stromkreis nach folgenden Schaltplan in Abbildung 12 aufgebaut, um den Strom und die Spannung am Kondensator mithilfe des Oszilloskops gemessen. Dabei werden 2 verschiedene Kondensatoren verwendet. Wie bereits erwähnt wurde das Oszilloskop mithilfe von Tastkabeln in den Stromkreis geschlossen, weil diese besser an das Gerät angepasst sind.

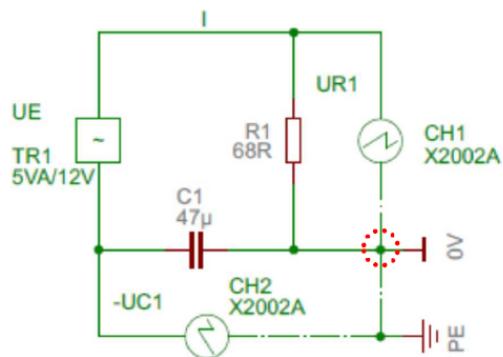


Abbildung 12: Skizze des Schaltplans, der für die Messung der Phasenlage von Strom und Spannung an einem Kondensator benötigt wird [7]

Der tatsächliche Aufbau ist in folgender Abbildung 13 sichtbar.

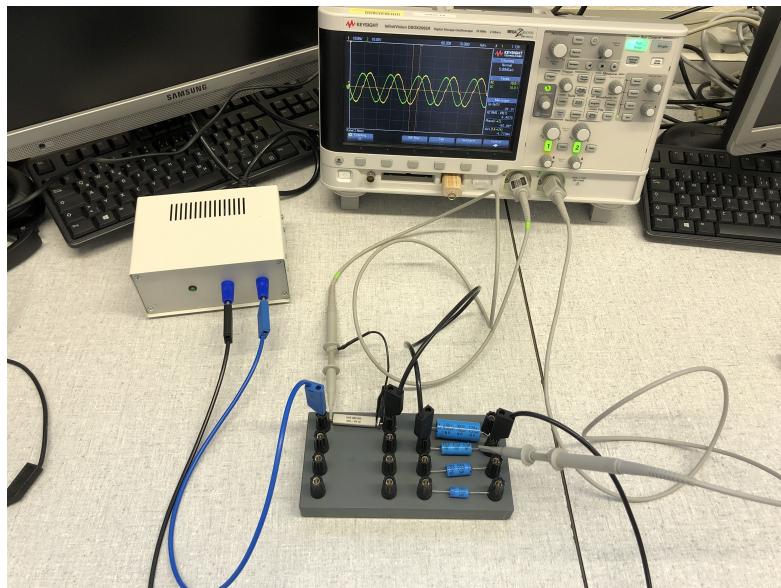
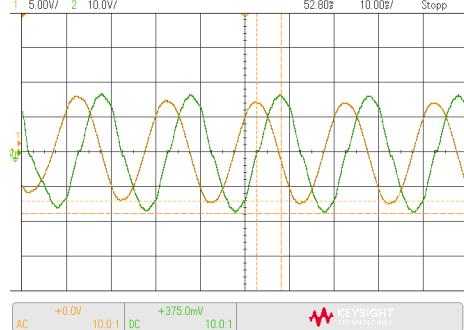


Abbildung 13: Versuchsaufbau für die Messung der Phasenlage von Strom und Spannung an einem Kondensator

Die vom Oszilloskop aufgezeichneten Signale sind in folgenden Abbildungen sichtbar.

Zusätzlich wurden diese mithilfe eines USB Sticks als CSV Datei für die spätere Auswertung gespeichert.

DSO-X 2002A, MN65462463 Fri Oct 22 21:22:36 2021



DSO-X 2002A, MN65462463 Fri Oct 22 21:24:53 2021

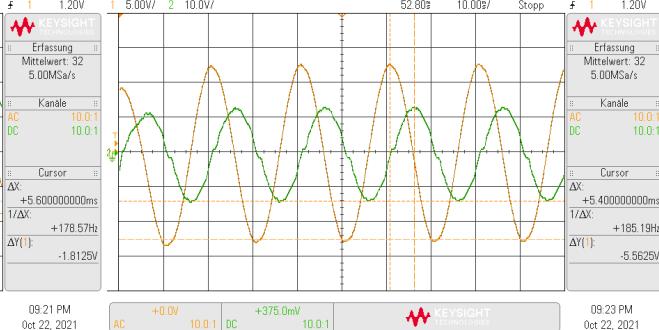


Abbildung 14: Vom Oszilloskop aufgezeichnetes Signal mit der Verwendung des Kondensators mit einer Kapazität von $100 \mu\text{F}$

Abbildung 15: Vom Oszilloskop aufgezeichnetes Signal mit der Verwendung des Kondensators mit einer Kapazität von $70 \mu\text{F}$

5.3 Phasenlage von Strom und Spannung an einer Spule

Zunächst wird der Stromkreis nach folgenden Schaltplan in Abbildung 16 aufgebaut. Das Oszilloskop wird wie bereits zuvor erklärt mithilfe der Tastkabel in die Schaltung integriert.

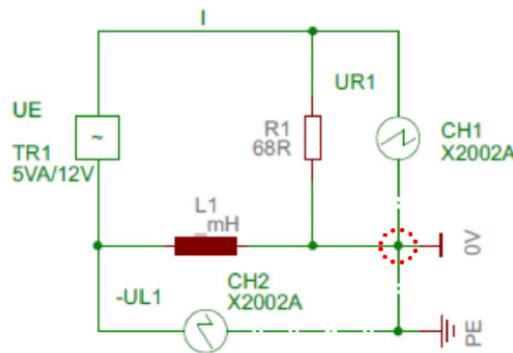


Abbildung 16: Skizze des Schaltplans, der für die Messung der Phasenlage von Strom und Spannung an einer Spule benötigt wird [7]

Der tatsächliche Aufbau ist in folgender Abbildung 17 sichtbar.

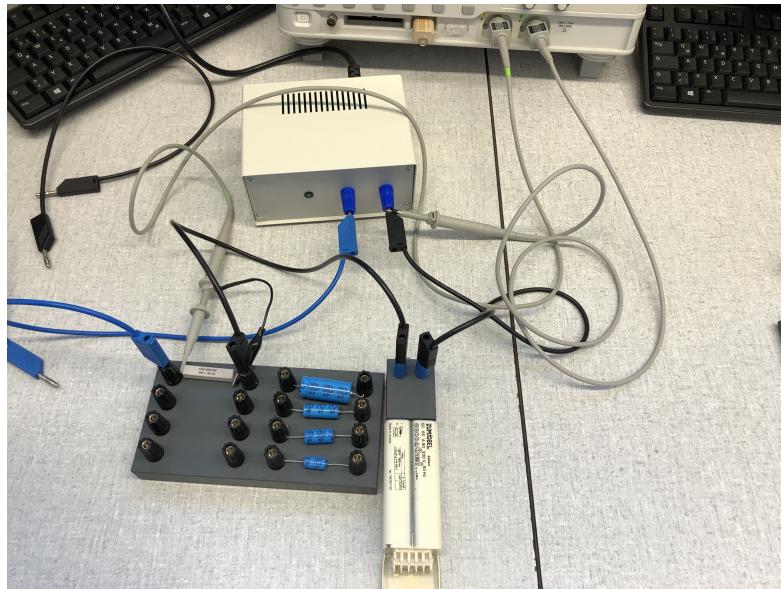


Abbildung 17: Versuchsaufbau für die Messung der Phasenlage von Strom und Spannung an einer Spule

Das vom Oszilloskop aufgezeichnete Signal ist in folgender Abbildung 18 sichtbar. Auch die entsprechenden CSV Daten wurden, wie bereits erwähnt auf den USB Stick importiert.

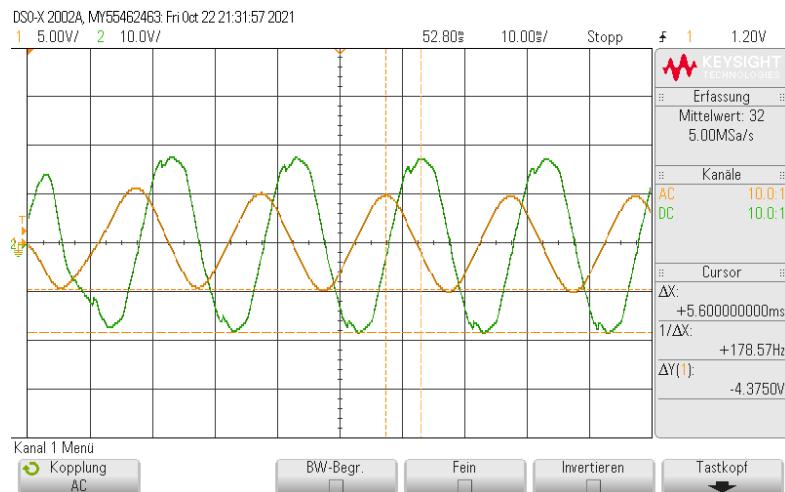


Abbildung 18: Vom Oszilloskop aufgezeichnetes Signal mit der Verwendung der Spule

Um den Phasenwinkel zwischen den beiden Kurven leichter bestimmen zu können, wurde dieser mithilfe des Oszilloskops bestimmt, was in folgender Abbildung 19 sichtbar ist.

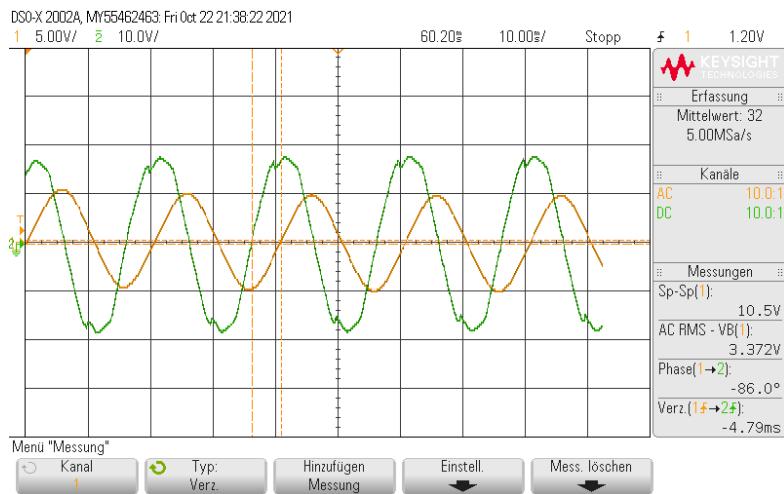


Abbildung 19: Vom Oszilloskop aufgezeichnetes Signal mit der Verwendung der Spule, bei der der Phasenwinkel angezeigt wird

5.4 elektrische Leistung in einer RC-Schaltung

Nun wird der Stromkreis nach folgenden Schaltplan in Abbildung 20 aufgebaut. Weil es sich beim "Power Supply" um den "HM8115-2" Typ handelt kann der einfachere linke Aufbau verwendet werden.

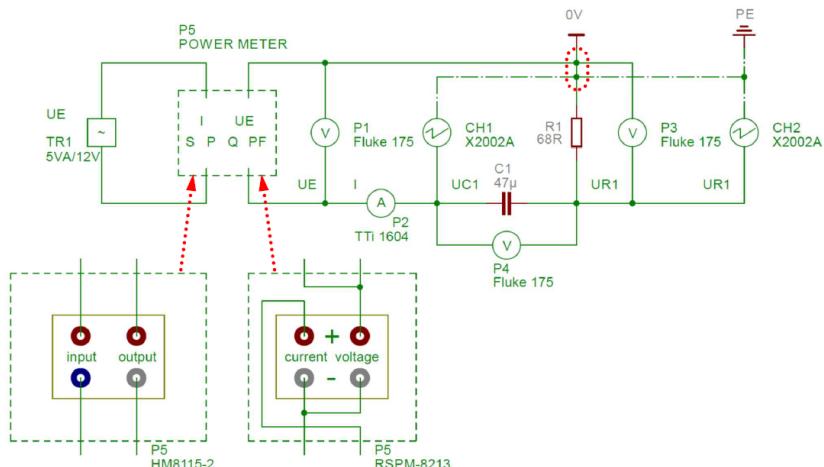
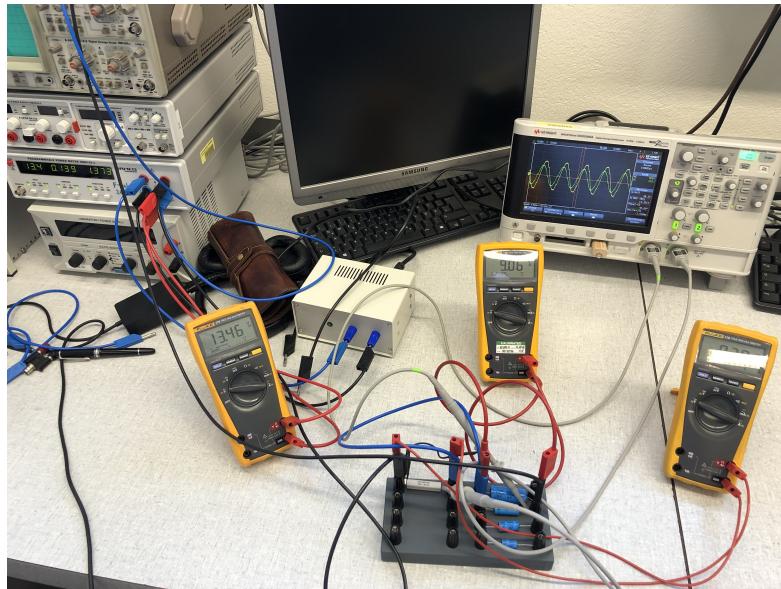
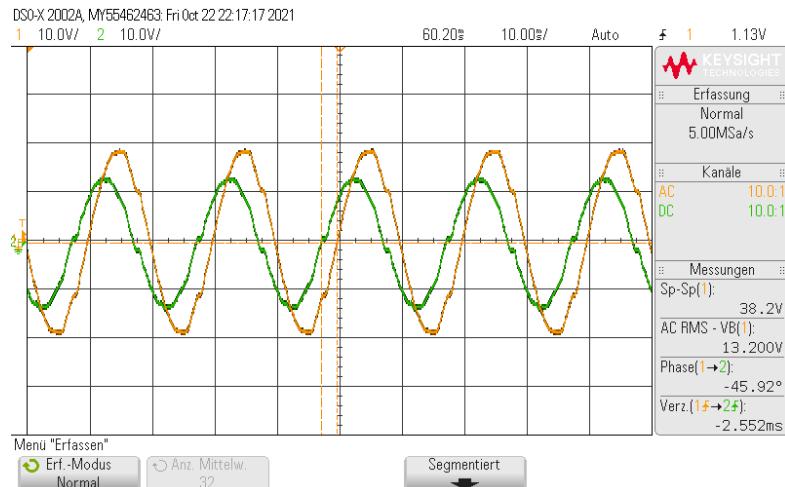


Abbildung 20: Skizze des Schaltplans für die RC Schaltung [7]

Der tatsächliche Aufbau ist in folgender Abbildung 21 sichtbar.

**Abbildung 21:** Versuchsaufbau für die RC Schaltung

Das vom Oszilloskop aufgezeichnete Signal ist in folgender Abbildung 22 ersichtlich. Mit der entsprechenden Einstellung wird auch hier wieder direkt der Phasenwinkel eingeblendet, der im konkreten Fall 45.92° beträgt.

**Abbildung 22:** Vom Oszilloskop aufgezeichnetes Signal bei einer RC Schaltung

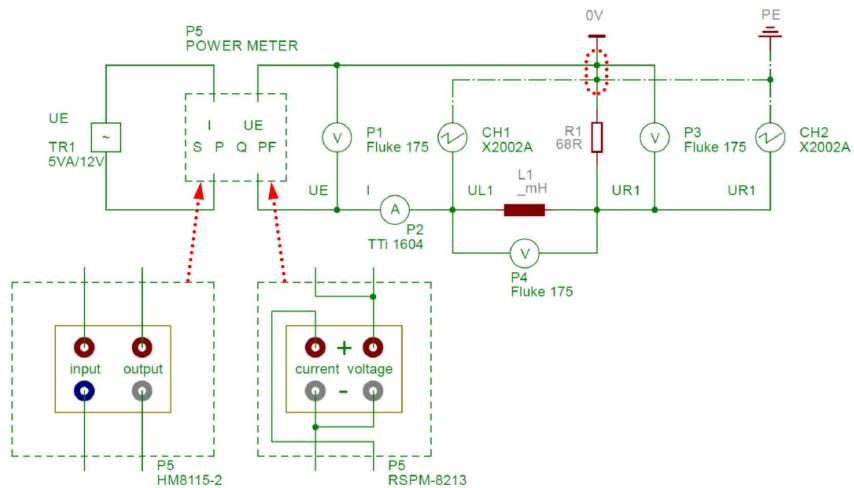
Zusätzlich werden von den Messgeräten folgende Daten, siehe Tabelle 3, abgelesen. Die Daten am "Power Supply" können dabei durch Drücken der jeweiligen Knöpfe angezeigt werden.

Tabelle 3: Abgelesene Werte auf den verschiedenen Geräten bei der RC Schaltung U_C ... abgelesener Wert der Spannung am Kondensator in V, Unsicherheit [1] U_R ... abgelesener Wert der Spannung am Widerstand in V, Unsicherheit [1] U_{Pow} ... abgelesener Wert der Spannung am "Power Supply" in V, Unsicherheit [1] I ... abgelesener Wert des Stroms in A, Unsicherheit [10] U_H ... abgelesener Wert der Spannung am "Power Supply" in V, Unsicherheit [2] I_H ... abgelesener Wert des Stroms am "Power Supply" in mA, Unsicherheit [2] Va_H ... abgelesener Wert am "Power Supply" für die Scheinleistung, Unsicherheit [2] Var_H ... abgelesener Wert am "Power Supply" für die Blindleistung, Unsicherheit [2] PF_H ... abgelesener Wert am "Power Supply", Unsicherheit [2] P_H ... abgelesener Wert der Leistung am "Power Supply" in Watt, Unsicherheit [2]

	Typ	Wert
Voltmeter	U_C	$(9,05 \pm 0,13) \text{ V}$
	U_R	$(9,31 \pm 0,13) \text{ V}$
	U_{Pow}	$(13,49 \pm 0,17) \text{ V}$
Amperemeter	I	$(140 \pm 5) \text{ mA}$
"Power Supply"	U_H	$(13,4 \pm 0,6) \text{ V}$
	I_H	$(0,139 \pm 0,006) \text{ A}$
	Va_H	$(1,851 \pm 0,019) \text{ Va}$
	Var_H	$(1,24 \pm 0,16) \text{ Var}$
	PF_H	$0,74 \pm 0,05$
	P_H	$(1,38 \pm 0,03) \text{ W}$

5.5 elektrische Leistung in einer RL-Schaltung

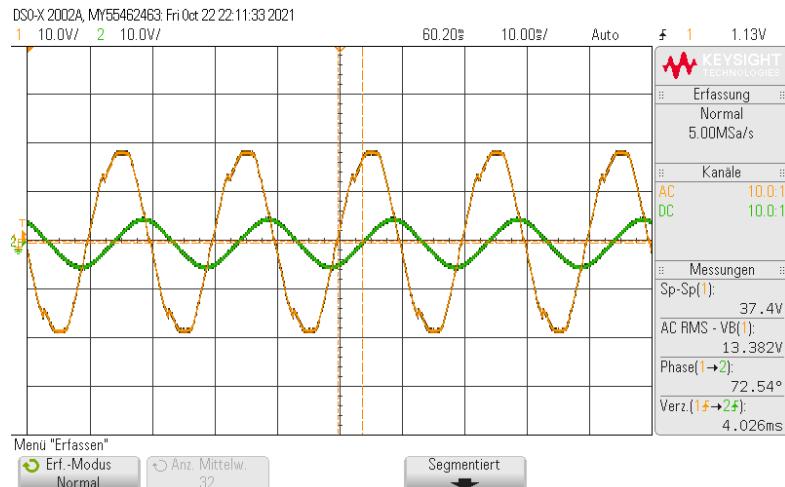
Zunächst wird der Stromkreis nach folgenden Schaltplan in Abbildung 23 aufgebaut. Wie bereits zuvor erwähnt wird dabei der linke Aufbau des Typs "HM8115-2" verwendet.

**Abbildung 23:** Skizze des Schaltplans für die RL Schaltung [7]

Der tatsächliche Aufbau ist in folgender Abbildung 24 sichtbar.

**Abbildung 24:** Versuchsaufbau für die RL Schaltung

Das vom Oszilloskop aufgezeichnete Signal ist in folgender Abbildung 25 ersichtlich. Mit der entsprechenden Einstellung wird auch hier wieder direkt der Phasenwinkel eingeblendet, der im konkreten Fall 72.54° beträgt.

**Abbildung 25:** Vom Oszilloskop aufgezeichnetes Signal bei einer RL Schaltung

Zusätzlich werden von den Messgeräten folgende Daten, siehe Tabelle 4, abgelesen. Die Daten am "Power Supply" können dabei durch Drücken der jeweiligen Knöpfe angezeigt werden.

Tabelle 4: Abgelesene Werte auf den verschiedenen Geräten bei der RL Schaltung

- U_L ... abgelesener Wert der Spannung an der Spule in V, Unsicherheit [1]
- U_R ... abgelesener Wert der Spannung am Widerstand in V, Unsicherheit [1]
- U_{Pow} ... abgelesener Wert der Spannung am "Power Supply" in V, Unsicherheit [1]
- I ... abgelesener Wert des Stroms in A, Unsicherheit [10]
- U_H ... abgelesener Wert der Spannung am "Power Supply" in V, Unsicherheit [2]
- I_H ... abgelesener Wert des Stroms am "Power Supply" in mA, Unsicherheit [2]
- Va_H ... abgelesener Wert am "Power Supply" für die Scheinleistung, Unsicherheit [2]
- Var_H ... abgelesener Wert am "Power Supply" für die Blindleistung, Unsicherheit [2]
- PF_H ... abgelesener Wert am "Power Supply", Unsicherheit [2]
- P_H ... abgelesener Wert der Leistung am "Power Supply" in Watt, Unsicherheit [2]

	Typ	Wert
Voltmeter	U_L	(13,16 ± 0,17) V
	U_R	(3,41 ± 0,04) V
	U_{Pow}	(14,05 ± 0,18) V
Amperemeter	I	(51,5 ± 0,7) mA
"Power Supply"	U_H	(13,9 ± 0,6) V
	I_H	(0,051 ± 0,006) A
	Va_H	(0,715 ± 0,011) Va
	Var_H	(0,66 ± 0,13) Var
	PF_H	0,37 ± 0,04
	P_H	(0,262 ± 0,012) W

5.6 Blindleistungskompensation eines induktiven Verbrauchers

Zunächst wird der Stromkreis nach folgenden Schaltplan in Abbildung 26 aufgebaut.

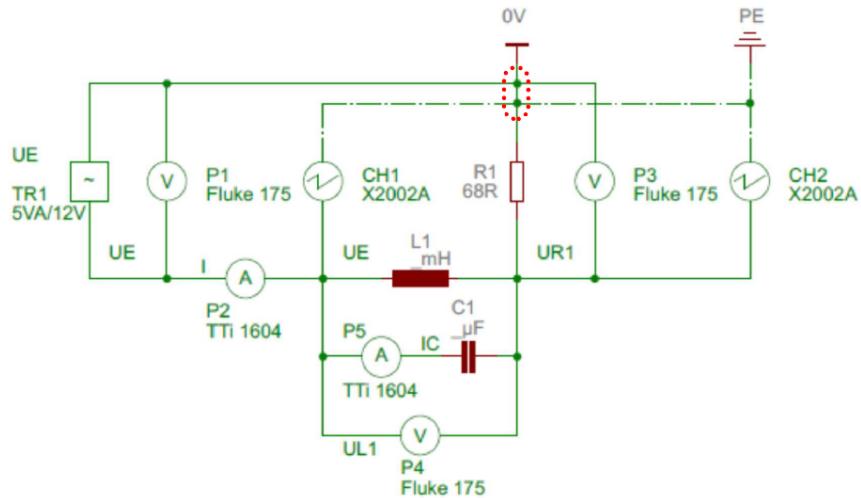


Abbildung 26: Skizze des Schaltplans für die Bildleistungskompensation [7]

Der tatsächliche Aufbau ist in folgender Abbildung 27 sichtbar. Das 2. Amperemeter ist dabei, der besseren Übersicht halber, nicht im Foto ersichtlich und ist an die beiden, rechts aus dem Bild ragenden, Kabel angeschlossen.

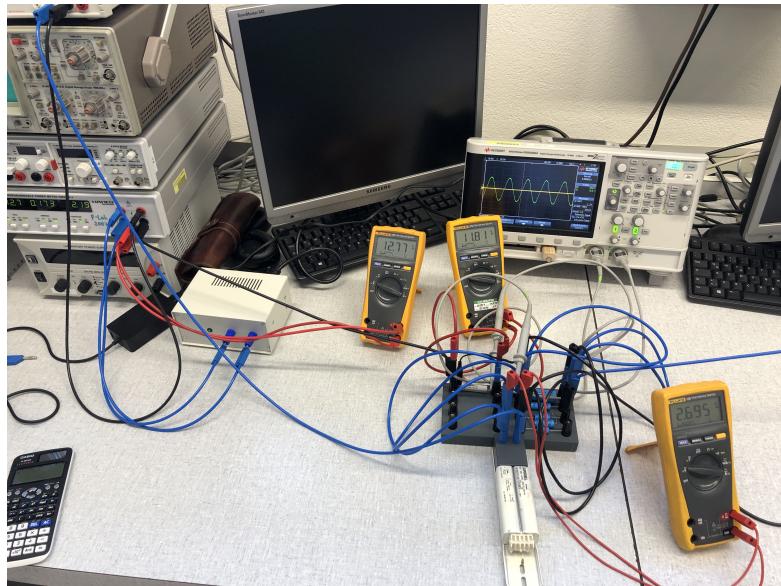


Abbildung 27: Versuchsaufbau für die Bildleistungskompensation

Zunächst wurde der Kondensator mit einer Kapazität von $47 \mu\text{F}$ in den Stromkreis geschlossen, was folgendes Signal aus Abbildung 28 am Oszilloskop liefert.

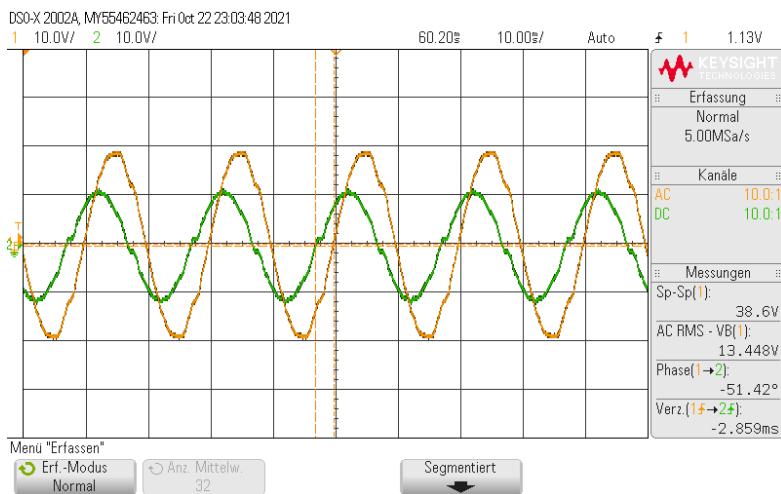


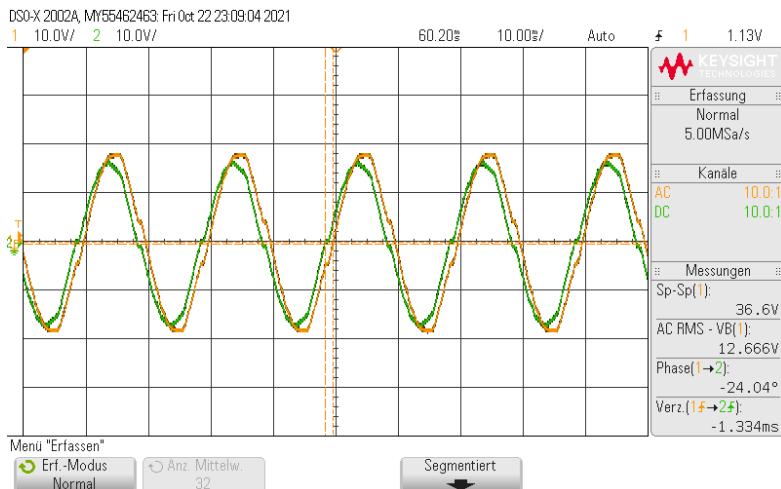
Abbildung 28: Vom Oszilloskop aufgezeichnetes Signal bei einem Kondensator mit einer Kapazität von $47 \mu\text{F}$

Die abgelesenen Daten der Messgeräte sind in folgender Tabelle 5 sichtbar.

Tabelle 5: Abgelesene Werte bei Verwendung des Kondensators mit einer Kapazität von 47μ Farad U_L ... abgelesener Wert der Spannung an der Spule in V, Unsicherheit [1] U_R ... abgelesener Wert der Spannung am Widerstand in V, Unsicherheit [1] U_T ... abgelesener Wert der Spannung am Trafo in V, Unsicherheit [1] I_{ges} ... abgelesener Wert des gesamten Stroms in mA, Unsicherheit [10] I_C ... abgelesener Wert des Stroms durch den Kondensator in mA, Unsicherheit [10]

	Typ	Wert
Voltmeter	U_L	$(10,10 \pm 0,14) \text{ V}$
	U_R	$(7,81 \pm 0,11) \text{ V}$
	U_T	$(13,73 \pm 0,17) \text{ V}$
Amperemeter	I_{ges}	$(120 \pm 4) \text{ mA}$
	I_C	$(160 \pm 5) \text{ mA}$

Nun wird zusätzlich zum Kondensator mit einer Kapazität von 47μ Farad ein Kondensator mit der Kapazität von 100μ Farad parallel in den Stromkreis geschlossen, was folgendes Signal aus Abbildung 29 am Oszilloskop liefert.

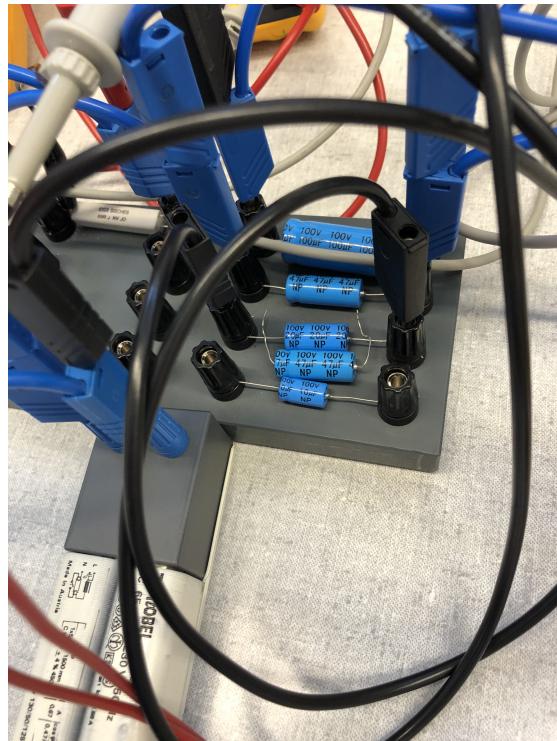
**Abbildung 29:** Vom Oszilloskop aufgezeichnetes Signal bei einem Kondensator mit einer gesamten Kapazität von 147μ Farad

Die abgelesenen Daten der Messgeräte sind in folgender Tabelle 6 sichtbar.

Tabelle 6: Abgelesene Werte bei Verwendung des Kondensators mit einer gesamten Kapazität von 147μ Farad U_L ... abgelesener Wert der Spannung an der Spule in V, Unsicherheit [1] U_R ... abgelesener Wert der Spannung am Widerstand in V, Unsicherheit [1] U_T ... abgelesener Wert der Spannung am Trafo in V, Unsicherheit [1] I_{ges} ... abgelesener Wert des gesamten Stroms in mA, Unsicherheit [10] I_C ... abgelesener Wert des Stroms durch den Kondensator in mA, Unsicherheit [10]

	Typ	Wert
Voltmeter	U_L	$(3,91 \pm 0,05)$ V
	U_R	$(11,64 \pm 0,15)$ V
	U_T	$(13,01 \pm 0,17)$ V
Amperemeter	I_{ges}	(170 ± 5) mA
	I_C	(190 ± 5) mA

Um nun den Blindstrom weiter zu kompensieren wird zusätzlich ein 2. Kondensator mit einer Kapazität von 47μ Farad, sowie ein Kondensator mit der Kapazität von 20μ Farad angeschlossen, was laut parallel geschalteten Powermeter einen Wirkungsgrad von 99% liefert. Die finale Schaltung der Kapazitäten ist in folgender Abbildung 30 sichtbar.

**Abbildung 30:** Finale Schaltung der Kapazitäten

Das so erhaltene Signal, welches am Oszilloskop angezeigt wird, ist in Abbildung 31 sichtbar.

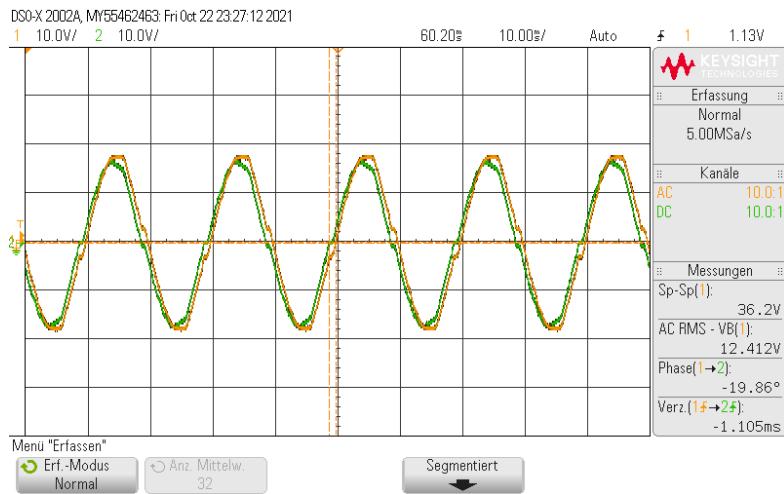


Abbildung 31: Vom Oszilloskop aufgezeichnetes Signal bei einem Kondensator mit einer gesamten Kapazität von 214μ Farad

Die abgelesenen Daten der Messgeräte sind in folgender Tabelle 7 sichtbar.

Tabelle 7: Abgelesene Werte bei Verwendung des Kondensators mit einer gesamten Kapazität von 214μ Farad

U_L ... abgelesener Wert der Spannung an der Spule in V, Unsicherheit [1]

U_R ... abgelesener Wert der Spannung am Widerstand in V, Unsicherheit [1]

U_T ... abgelesener Wert der Spannung am Trafo in V, Unsicherheit [1]

I_{ges} ... abgelesener Wert des gesamten Stroms in mA, Unsicherheit [10]

I_C ... abgelesener Wert des Stroms durch den Kondensator in mA, Unsicherheit [10]

	Typ	Wert
Voltmeter	U_L	$(2,69 \pm 0,03)$ V
	U_R	$(11,78 \pm 0,15)$ V
	U_T	$(12,76 \pm 0,16)$ V
Amperemeter	I_{ges}	(180 ± 5) mA
	I_C	(190 ± 5) mA

6 Auswertung

Um zu sehen wie sich die Unsicherheit der Messungen bis in die Ergebnisse fortplanzt, ist Gleichung 16 verwendet worden. Die Grundlagen dieser Gleichung stammen von den Powerpointfolien von GUM.[13] Die Verallgemeinerung ist von Wikipedia entnommen worden [5]. Für die Auswertung ist die Programmiersprache Python im speziellen das Packet `scipy`, zur Hilfe genommen worden.

$$V_y = J(x) \cdot V_x \cdot J^T(x) \quad (16)$$

Wobei V_y und V_x die Kovarianzmatrizen von den Vektoren \mathbf{y} und \mathbf{x} sind. \mathbf{x} ist der Vektor der Eingangsvariablen und \mathbf{y} ist der Vektor der Ausgangsvariablen. J ist die Jakobimatrix der vektorwertigen Funktion $\mathbf{y} = \vec{F}(\mathbf{x})$. So lassen sich die Komponenten der Matrix relativ einfach anschreiben $J_{ij}(x) = \frac{\partial y_i}{\partial x_j}(x)$. Damit man die Unsicherheit der einzelnen Variablen y_i bekommt, muss nur die Quadratwurzel des i-ten Diagonalelementes der \mathbf{y} -Kovarianzmatrix genommen werden $u_i = \sqrt{\text{diag}(V_y)_i}$. Da in diesem Experiment meistens nur skalare Funktionen untersucht werden, vereinfacht sich die Gleichung 16 dramatisch und die Unsicherheit der Variable y lässt sich einfach so berechnen:

$$u_y = \sqrt{\text{grad}y^T \cdot V_x \cdot \text{grad}y} \quad (17)$$

Unter Verwendung der “discrete fourier series“ mit nur dem ersten Term ist die Phase der Schwingung zusätzlich berechnet worden [6]. Diese wurde gemacht damit es als Vergleich mit dem vom Oszilloskop errechneten Wert dienen kann. Diese Phasenversätze sind den Bildern beigefügt worden.

6.1 Anzeige von unterschiedlichen Spannungsmessinstrumenten

Betrachtet man die verschiedenen Messwerte aus Tabelle 2 so stellt man fest, dass verschiedene Messgeräte unterschiedliche Werte für die selbe Spannung liefern.

6.2 Phasenlage von Strom und Spannung an einem Kondensator

Zunächst muss die Phasenverschiebung zwischen Kondensatorspannung und -strom gefunden werden. Dazu wird der Strom I durch den Spannungsabfall am Widerstand nach folgender Formel berechnet.

$$I = \frac{U_{CH1}}{R1} \quad (18)$$

Der so erhaltene Strom, sowie die Spannung, die invertiert wurde, wurden nun geplottet, was in folgender Abbildung 32 sichtbar ist.

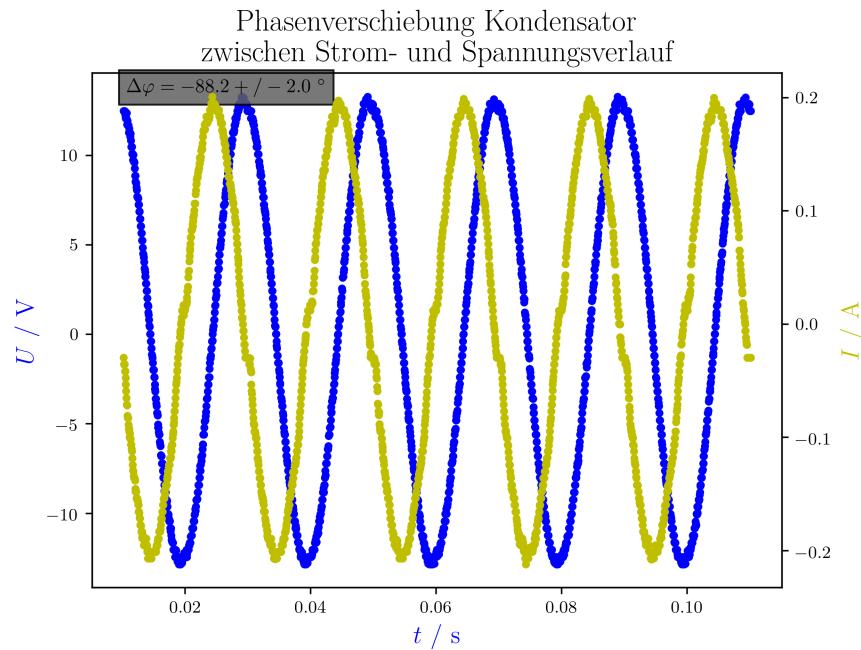


Abbildung 32: Strom und Spannungsverlauf des Kondensators, anhand denen die Phasenverschiebung sichtbar wird

Der genaue Winkel der Phasenverschiebung wurde anhand des Oszilloskops, mit der jeweiligen Einstellung, bestimmt und beträgt einen Wert von -86.25° , wie in Abbildung 33 sichtbar.

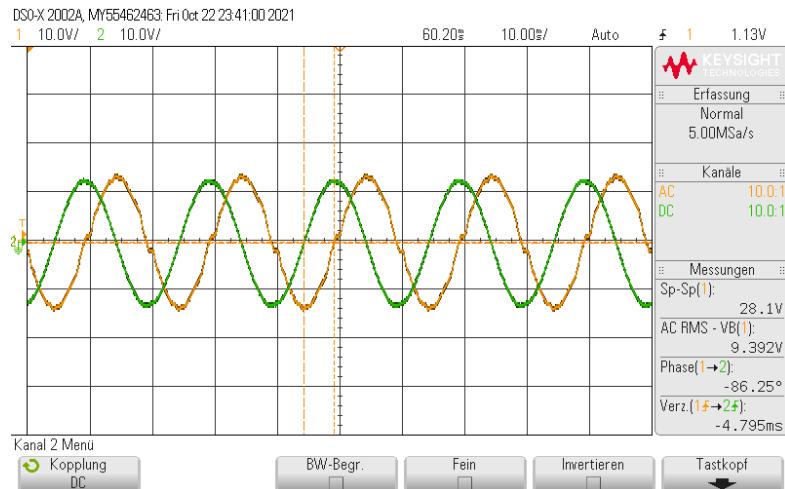


Abbildung 33: Vom Oszilloskop aufgezeichnetes Signal bei dem der Phasenwinkel angezeigt wird

6.3 Phasenlage von Strom und Spannung an einer Spule

Um die Phasenverschiebung zwischen Spulenspannung und -strom zu bestimmen, wird der Strom zunächst durch den Spannungsabfall am Widerstand nach Gleichung 18 berechnet.

Nun wird dieser Wert für den Strom zusammen mit den der Spannung, diesmal jedoch nicht invertiert, geplottet, was folgende Abbildung 34 ergibt.

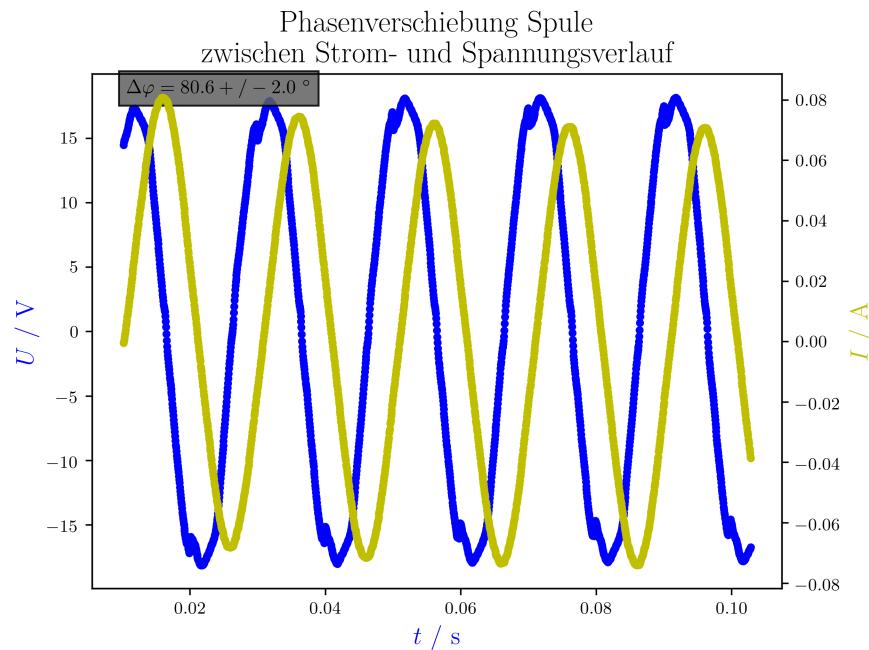


Abbildung 34: Strom und Spannungsverlauf der Spule, anhand denen die Phasenverschiebung sichtbar wird

Der erhaltene Wert der Phasenverschiebung laut Oszilloskop beträgt 86.00° , siehe Abbildung 19. Dies deckt sich jedoch nicht mit dem erhaltenen Wert.

6.4 elektrische Leistung in einer RC-Schaltung

Zunächst muss wieder die Phasenverschiebung zwischen der Spannung U_E und dem Strom I bestimmt werden. Die Spannung ist einfach das vom Oszilloskop aufgezeichnete Signal von "Channel 1", U_{CH1} . Der Strom wird durch den Spannungsabfall am Widerstand nach Gleichung 18 berechnet. Dabei ist zu beachten, dass das richtige Signal des Oszilloskops bei dieser Schaltung an "Channel 2" abgegriffen wird, sodass sich für den Strom $I = \frac{U_{CH2}}{R_1}$ ergibt.

Die erhaltenen Daten wurden in folgender Abbildung 35 geplottet.

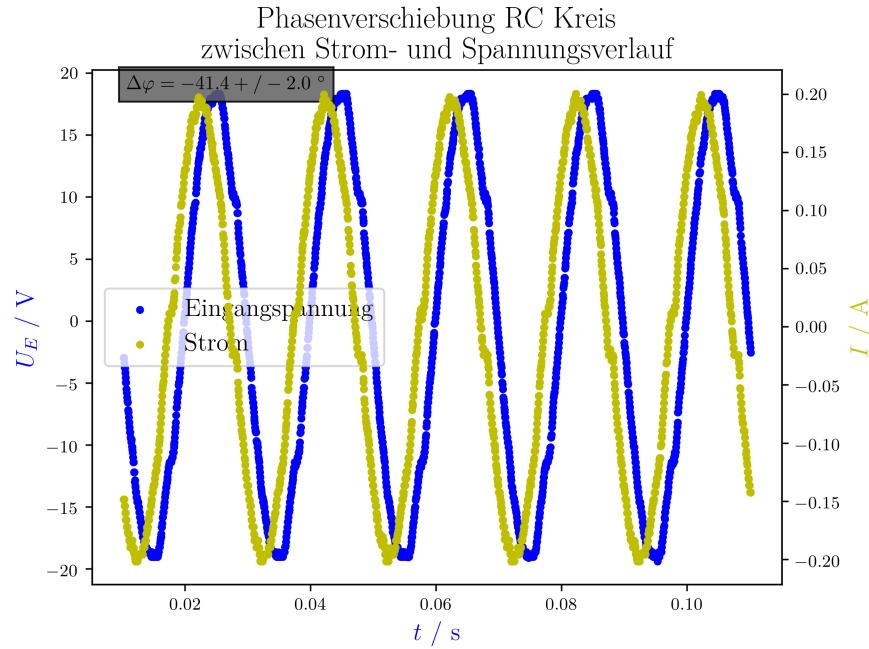


Abbildung 35: Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung in RC-Schaltung

Der vom Oszilloskop angezeigte Wert beträgt einen Winkel von -45.92° , siehe Abbildung 22 und ist wieder nicht im errechneten Intervall enthalten.

Eine andere Möglichkeit den Phasenversatz zu bestimmen ist anhand Gleichung 14. Dies liefert mit den Werten aus Tabelle 3 einen Phasenwinkel von $(-41.8 \pm 1.5)^\circ$

6.5 elektrische Leistung in einer RL-Schaltung

Auch hier muss wieder die Phasenverschiebung zwischen der Spannung U_E und dem Strom I bestimmt werden. Die Spannung und der Strom ergeben sich analog zur RC-Schaltung als $U = U_{CH1}$ und $I = \frac{U_{CH2}}{R_1}$.

Die so erhaltenen Daten wurden in folgender Abbildung 36 geplottet.

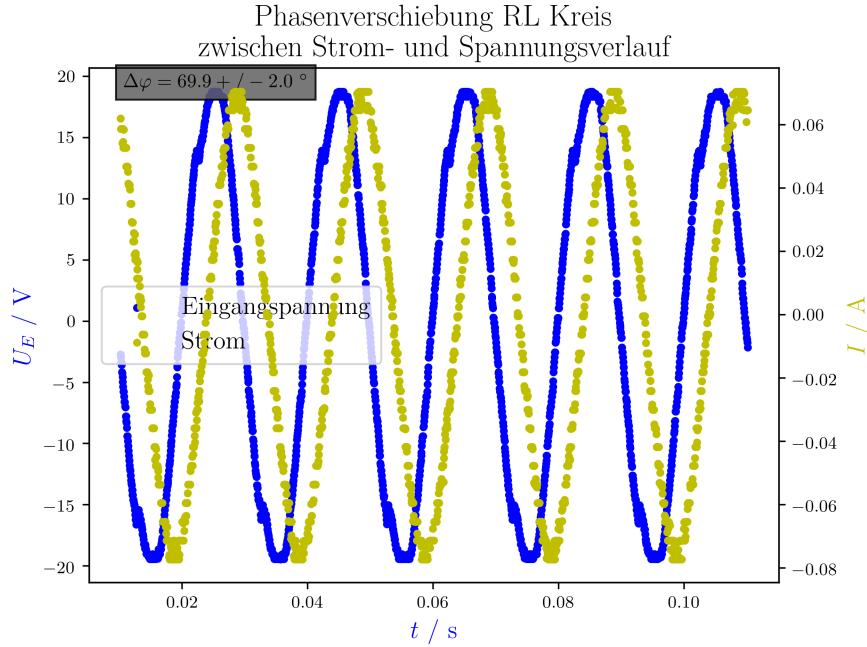


Abbildung 36: Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung in RL-Schaltung

Auch hier wurde der Winkel der Phasenverschiebung wieder vom Oszilloskop angezeigt und beträgt einen Winkel von 72.54° , siehe Abbildung 25 und ist wieder nicht im errechneten Intervall enthalten.

Auch hier wurde der Vergleichswert der mithilfe des Powermeter gemessenen Werte aus Tabelle 3 und Gleichung 14 bestimmt, was einen Wert von $(68 \pm 3)^\circ$.

6.6 Blindleistungskompensation eines induktiven Verbrauchers

Unter idealer Blindleistungskompensation versteht man, dass sich der Blindleistungsanteil der Spule und des Kondensators kompensieren. Daher muss $X_L = X_C$ gelten. Unter der Verwendung von Gleichung 3 und Gleichung 2 ergibt sich schließlich:

$$\begin{aligned} |X_L| &= |X_C| \\ \omega L &= \frac{1}{\omega C} \\ C &= \frac{1}{\omega^2 L} \end{aligned}$$

Da die Induktivität L bekannt ist folgt schließlich:

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{R \tan(\Delta\varphi)}{\omega} \\
 &= \frac{RU_{L_{eff}}}{2\pi f U_{R_{eff}}} \\
 &= (828 \pm 10) \text{ mH} \\
 \hookrightarrow C &= (12,24 \pm 0,14) \mu\text{F}
 \end{aligned}$$

Die Werte

$$\begin{aligned}
 U_{L_{eff}} &= (13,14 \pm 0,17) \text{ V} \\
 U_{R_{eff}} &= (3,41 \pm 0,04) \text{ V}
 \end{aligned}$$

wurden bei der 5.Aufgabe mit den Fluke-Multimeter gemessen.

Anhand der vom Oszilloskop aufgezeichneten Daten wurden folgende Graphen für die unterschiedlichen Kapazitäten erzeugt. Als Wert für die Spannung wurde wieder $U = U_{CH1}$ geplottet. Der Strom erneut durch den Spannungsabfall am Widerstand als $I = \frac{U_{CH2}}{R_1}$ berechnet.

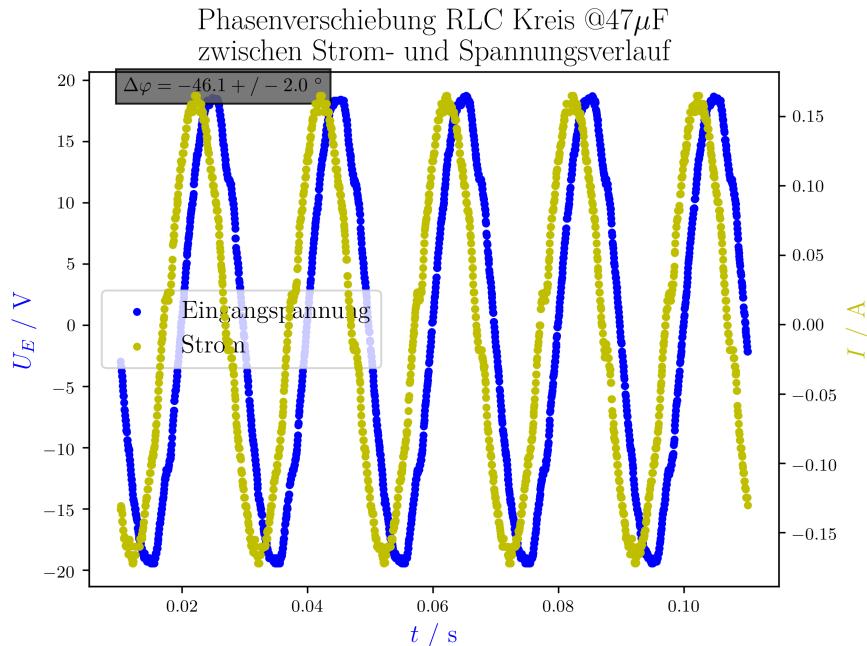


Abbildung 37: Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung in RLC-Kreis bei einer Kapazität von 47μ Farad

Der entsprechende Wert der Phasenverschiebung am Oszilloskop beträgt -51.42° , siehe Abbildung 28 und ist wieder nicht im erhaltenen Fehlerintervall des errechneten Phasenversatzes enthalten.

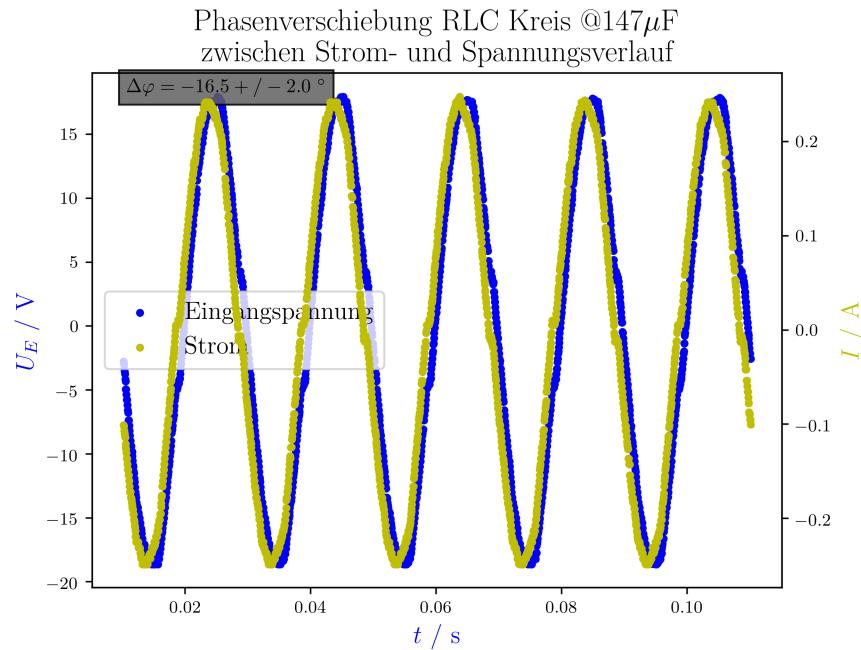


Abbildung 38: Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung in RLC-Kreis bei einer Kapazität von 147μ Farad

Der entsprechende Wert der Phasenverschiebung am Oszilloskop beträgt -24.04° , siehe Abbildung 29 und ist wieder nicht im erhaltenen Fehlerintervall des errechneten Phasenversatzes enthalten.

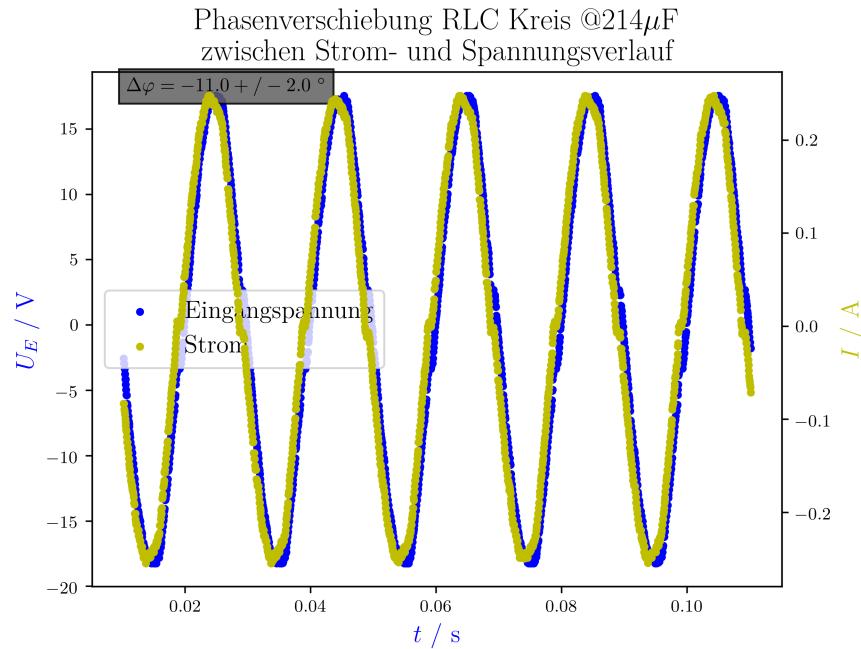


Abbildung 39: Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung in RLC-Kreis bei einer Kapazität von 214μ Farad

Der entsprechende Wert der Phasenverschiebung am Oszilloskop beträgt -19.86° , siehe Abbildung 31 und ist wieder nicht im erhaltenen Fehlerintervall des errechneten Phasenversatzes enthalten.

7 Diskussion

7.1 Anzeige von unterschiedlichen Spannungsmessinstrumenten

Vergleicht man die verschiedenen Werte der Spannungen, die in Tabelle 2 aufgelistet sind, wird klar ersichtlich dass keine absoluten Aussagen über die gemessenen Spannungen getroffen werden können, da diese stark vom Gerät abhängen.

Vor allem der Spannungswert des analogen Multimeters ist dabei jedoch mit Vorsicht zu verwenden, da dieser bei einer defekten Feder im inneren des Geräts leicht verfälscht werden kann. Dies kann beispielsweise durch deren Überspannung wegen einen falsch eingestellten Messbereich erreicht werden, was aufgrund des Alters des Geräts und der Tatsache, dass es von vielen Studenten benutzt wird, nicht ausgeschlossen werden kann.

Bei allen Geräten stimmt die aufgezeichnete Spannung jedoch großenordnungsmäßig mit dem theoretisch errechneten Wert überein.

7.2 Phasenlage von Strom und Spannung an einem Kondensator

Wie es die Theorie voraussagt, eilt der Strom im Kondensator der Spannung voraus, wie auch in Abbildung 32 ersichtlich. Deckend dazu wurde ein negativer Phasenversatz vom Strom zur Spannung gemessen.

7.3 Phasenlage von Strom und Spannung an einer Spule

Wie es die Theorie voraussagt, eilt der Strom in der Spule der Spannung nach, wie auch in Abbildung 34 ersichtlich. Deckend dazu wurde ein positiver Phasenversatz vom Strom zur Spannung gemessen.

7.4 elektrische Leistung in einer RC-Schaltung

Wie es zu erwarten war zeigt der Scheinleistungszeiger in den 1. Quadranten aufgrund des Phasenversatzes, siehe Abbildung 40

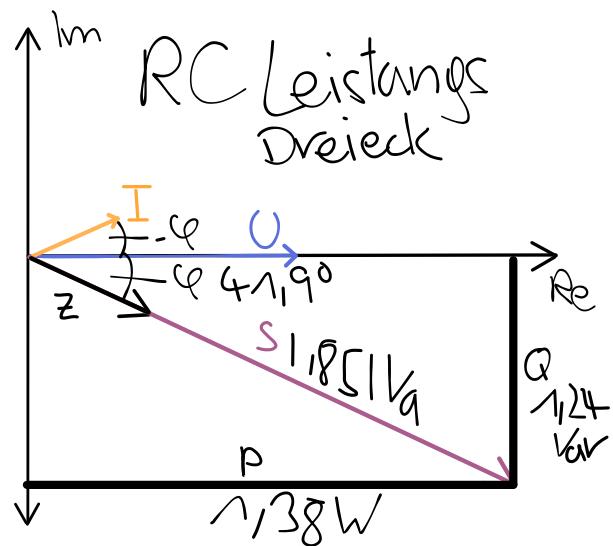


Abbildung 40: Hier sind die Gemessenen Werte der Leistungen im Zeigerdiagramm für den RC Kreis dargestellt worden

7.5 elektrische Leistung in einer RL-Schaltung

Wie es zu erwarten war zeigt der Scheinleistungszeiger in den 4. Quadranten aufgrund des Phasenversatzes, siehe Abbildung 41

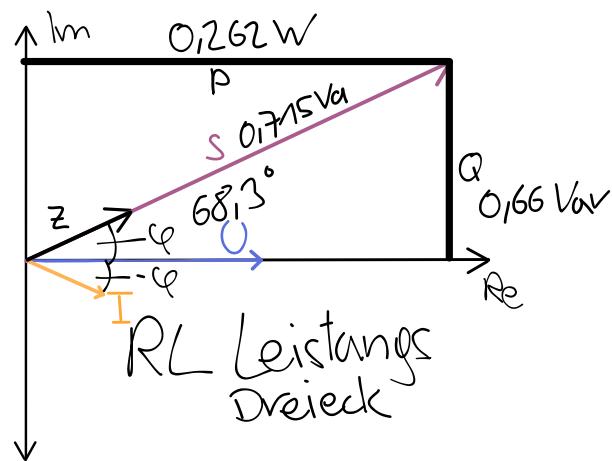


Abbildung 41: Hier sind die Gemessenen Werte der Leistungen im Zeigerdiagramm für den RL Kreis dargestellt worden

7.6 Blindleistungskompensation eines induktiven Verbrauchers

Weil die genaue Induktivität der Spule leider aufgrund von Zeitmangel Vorort, trotz Versuchten Fehlerkorrekturen und erneuten Messungen, nicht richtig bestimmt werden

konnte und der Versuch fortgesetzt werden musste, konnte auch die ideale Kapazität zur Kompensation im Vorhinein nicht numerisch bestimmt werden. Daher wurde mit verschiedenen Kapazitäten experimentiert und die gesamte Kapazität immer erhöht. Weil das Powermeter durch nochmaliges anschließen einen Wirkungsgrad von 99 % anzeigen, wurde davon ausgegangen, die ideale Kapazitätsverteilung gefunden zu haben. Dies stellte sich jedoch bei der Auswertung als falsch heraus.

Ein Verbesserungsvorschlag wäre dadurch den Versuch mit der errechneten Kapazität von $12,24 \mu$ Farad zu wiederholen.

7.7 Phasenversatz

Im Laufe dieses Versuchs wurden die Phasenversätze auf verschiedene Arten gemessen. Diese lieferten nicht immer gleiche Werte, weshalb die erhaltenen Winkel in folgender Tabelle nochmals aufgelistet sind. Die Unsicherheit des abgelesenen Phasenwinkel am Oszilloskop wurde dabei als absolut angenommen, weil keine genauen Informationen bezüglich des Fehlers bekannt sind und der Wert ohnehin nur gegenübergestellt und für keine Rechnungen verwendet wird.

Tabelle 8: erhaltene Werte für die Phasenverschiebungen

ϕ_{Osz} ... abgelesener Wert des Phasenwinkels am Oszilloskop

ϕ_{er} ... errechneter Wert für den Phasenwinkel

ϕ_{pow} ... errechneter Wert für den Phasenwinkel anhand der vom Powermeter abgelesenen Daten

C ... bei Kondensator

L ... bei Spule

RC ... bei Serienschaltung von Widerstand und Kondensator

RL ... bei Serienschaltung von Widerstand und Spule

RLC ... bei der Schaltung für die Blindleistungskompensation bei entsprechender Kapazität

Schaltung	ϕ_{Osz}	ϕ_{er}	ϕ_{pow}
C	-86.25°	(-88 ± 2)°	
L	86.00°	(81 ± 2)°	
RC	-45.92°	(-41 ± 2)°	(-41,8 ± 1,5)°
RL	72.54°	(70 ± 2)°	(68 ± 3)°
RLC_{47}	-51.42°	(-46 ± 2)°	
RLC_{147}	-24.04°	(-17 ± 2)°	
RLC_{214}	-19.86°	(-11 ± 2)°	

Vergleicht man die so erhaltenen Winkel erkennt man, dass diese zwar nicht übereinstimmen aber in der gleichen Größenordnung sind.

8 Zusammenfassung

Anhand des Versuchs wurde gezeigt, dass verschiedene Messgeräte unterschiedliche Werte für die selbe Spannung liefern.

Betrachtet man die erhaltenen Phasenwinkel aus Tabelle 8, stellt man fest, dass der Strom im Kondensator (sowohl bei C als auch bei RC) vorausseilt, negativer Phasenwinkel, und bei der Spule nacheilt, positiver Phasenwinkel.

Wie ersichtlich sind die zeigt die Leistung in die Richtung des komplexen Widerstandszeigen wie zu erwarten war.

Für die Kapazität der Spule L wurde folgender Wert errechnet.

$$L = (828 \pm 10) \text{ mH}$$

Für die ideale Kapazität C wurde folgender Wert bestimmt.

$$C = (12,24 \pm 0,14) \mu\text{F}$$

Literatur

- [1] 175, 177, 179 *True-rms Multimeters. Users Manual*. Fluke. 2003. URL: https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/175_____umeng0200.pdf (besucht am 28.09.2021).
 - [2] 8 kW Power Meter HM8115-2. URL: <https://studieverzameling.utwente.nl/documents/Unigor%203s%20Goerz%20Electro.pdf> (besucht am 28.09.2021).
 - [3] Franz Deimel. *Grundlagen der Elektrotechnik*. Linz: Veritas, 2015. ISBN: 9783710101342.
 - [4] Wolfgang Demtröder. *Experimentalphysik 2*. Springer-Verlag GmbH, 23. März 2018. ISBN: 978-3-662-55789-1. URL: https://www.ebook.de/de/product/31029958/wolfgang_demtroeder_experimentalphysik_2.html.
 - [5] *Fehlerfortpflanzung*. de. Page Version ID: 205827844. Nov. 2020. URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Fehlerfortpflanzung&oldid=205827844> (besucht am 08.05.2021).
 - [6] Joel Feldman. *Discrete-time Fourier Series and Fourier Transforms*. en. The University of British Columbia, 2007. URL: <https://personal.math.ubc.ca/~feldman/m267/dft.pdf> (besucht am 28.09.2021).
 - [7] Franz Hanauer. *Phase und Leistung*. de. Version 30.09.2020. Universitätsplatz 5/I, 8010 Graz, Karl-Franzens Universität Graz, 2020.
 - [8] Dieter Meschede. *Gerthsen Physik*. Springer-Verlag GmbH, 27. Feb. 2015. 1052 S. ISBN: 9783662459775. URL: https://www.ebook.de/de/product/25604544/dieter_meschede_gerthsen_physik.html.
 - [9] Metex 4600 serie Digital-Multimeter Bedienungsanleitung. URL: <https://www.opweb.de/deutsch/firma/Metex/4600> (besucht am 28.09.2021).
 - [10] THURLBY THANDAR INSTRUMENTS 1604. URL: <https://docs.rs-online.com/161d/0900766b8001c649.pdf> (besucht am 28.09.2021).
 - [11] Understanding Voltage Measurement Accuracy for InfiniiVision Oscilloscopes. en. Keysight, 2020. URL: <https://edadocs.software.keysight.com/kkbopen/understanding-voltage-measurement-accuracy-for-infiniivision-oscilloscopes-584425356.html> (besucht am 28.09.2021).
 - [12] Unigor S3. URL: <https://studieverzameling.utwente.nl/documents/Unigor%203s%20Goerz%20Electro.pdf> (besucht am 28.09.2021).
 - [13] Braunschweig Wolfgang Kessel. *Die ISO/BIPM-GUM Sicht: Schätzwert & Messunsicherheit*. 2004.

Abbildungsverzeichnis

2	Verwendeter "Power Supply"	6
3	Verwendetes Oszilloskop	6
4	Verwendeter Trafo	7
5	Verwendetes digitales Multimeter	7
6	Verwendeter Multimeter der Marken Metex und Fluke	8
7	Verwendetes analoges Multimeter	8
8	Verwendete Spule (1), Widerstand (2) und Kapazitäten	9
9	Verwendete Tastkabel	9
10	Skizze des Schaltplans, der für die erste Aufgabe benötigt wird [7]	10
11	Versuchsaufbau für die Ermittlung der Anzeige von unterschiedlichen Spannungsmessinstrumenten	10
12	Skizze des Schaltplans, der für die Messung der Phasenlage von Strom und Spannung an einem Kondensator benötigt wird [7]	12
13	Versuchsaufbau für die Messung der Phasenlage von Strom und Spannung an einem Kondensator	12
14	Vom Oszilloskop aufgezeichnetes Signal mit der Verwendung des Kondensators mit einer Kapazität von 100μ Farad	13
15	Vom Oszilloskop aufgezeichnetes Signal mit der Verwendung des Kondensators mit einer Kapazität von 70μ Farad	13
16	Skizze des Schaltplans, der für die Messung der Phasenlage von Strom und Spannung an einer Spule benötigt wird [7]	13
17	Versuchsaufbau für die Messung der Phasenlage von Strom und Spannung an einer Spule	14
18	Vom Oszilloskop aufgezeichnetes Signal mit der Verwendung der Spule	14
19	Vom Oszilloskop aufgezeichnetes Signal mit der Verwendung der Spule, bei der der Phasenwinkel angezeigt wird	15
20	Skizze des Schaltplans für die RC Schaltung [7]	15
21	Versuchsaufbau für die RC Schaltung	16
22	Vom Oszilloskop aufgezeichnetes Signal bei einer RC Schaltung	16
23	Skizze des Schaltplans für die RL Schaltung [7]	17
24	Versuchsaufbau für die RL Schaltung	18
25	Vom Oszilloskop aufgezeichnetes Signal bei einer RL Schaltung	18
26	Skizze des Schaltplans für die Bildleistungskompensation [7]	19
27	Versuchsaufbau für die Bildleistungskompensation	20
28	Vom Oszilloskop aufgezeichnetes Signal bei einem Kondensator mit einer Kapazität von 47μ Farad	20
29	Vom Oszilloskop aufgezeichnetes Signal bei einem Kondensator mit einer gesamten Kapazität von 147μ Farad	21
30	Finale Schaltung der Kapazitäten	22
31	Vom Oszilloskop aufgezeichnetes Signal bei einem Kondensator mit einer gesamten Kapazität von 214μ Farad	23
32	Strom und Spannungsverlauf des Kondensators, anhand denen die Phasenverschiebung sichtbar wird	25
33	Vom Oszilloskop aufgezeichnetes Signal bei dem der Phasenwinkel angezeigt wird	25

34	Strom und Spannungsverlauf der Spule, anhand denen die Phasenverschiebung sichtbar wird	26
35	Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung in RC-Schaltung	27
36	Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung in RL-Schaltung	28
37	Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung in RLC-Kreis bei einer Kapazität von 47μ Farad	29
38	Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung in RLC-Kreis bei einer Kapazität von 147μ Farad	30
39	Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung in RLC-Kreis bei einer Kapazität von 214μ Farad	30
40	Hier sind die Gemessenen Werte der Leistungen im Zeigerdiagramm für den RC Kreis dargestellt worden	32
41	Hier sind die Gemessenen Werte der Leistungen im Zeigerdiagramm für den RL Kreis dargestellt worden	32

Tabellenverzeichnis

1	Verwendete Geräte	9
2	Abgelesene Werte auf den verschiedenen Multimeter für die Spannung beim entsprechenden Signal, dabei sind alle Geräte “true RMS“, bis auf das analoge, welches den “true RMS“ analog misst U_{Osz} . . . abgelesener Wert der “Peak to Peak“ Spannung am Oszilloskop in V, Unsicherheit nach Gleichung 15 U_{theo} . . . theoretisch ausgerechnete Spannung aus dem “Peak to Peak“ Wert des Oszilloskops in V U_{TT} . . . abgelesener Wert der Spannung am digitalen Multimeter der Marke TTi in V, Unsicherheit [10] U_{Metex} . . . abgelesener Wert der Spannung am Multimeter der Marke Metex in V, Unsicherheit [9] U_{Unigor} . . . abgelesener Wert der Spannung am analogen Multimeter der Marke Unigor in V, Unsicherheit [12] . . .	11
3	Abgelesene Werte auf den verschiedenen Geräten bei der RC Schaltung U_C . . . abgelesener Wert der Spannung am Kondensator in V, Unsicherheit [1] U_R . . . abgelesener Wert der Spannung am Widerstand in V, Unsicherheit [1] U_{Pow} . . . abgelesener Wert der Spannung am “Power Supply“ in V, Unsicherheit [1] I . . . abgelesener Wert des Stroms in A, Unsicherheit [10] U_H . . . abgelesener Wert der Spannung am “Power Supply“ in V, Unsicherheit [2] I_H . . . abgelesener Wert des Stroms am “Power Supply“ in mA, Unsicherheit [2] V_{aH} . . . abgelesener Wert am “Power Supply“ für die Scheinleistung, Unsicherheit [2] Var_H . . . abgelesener Wert am “Power Supply“ für die Blindleistung, Unsicherheit [2] PF_H . . . abgelesener Wert am “Power Supply“, Unsicherheit [2] P_H . . . abgelesener Wert der Leistung am “Power Supply“ in Watt, Unsicherheit [2] . . .	17

4	Abgelesene Werte auf den verschiedenen Geräten bei der RL Schaltung U_L ... abgelesener Wert der Spannung an der Spule in V, Unsicherheit [1] U_R ... abgelesener Wert der Spannung am Widerstand in V, Unsicherheit [1] U_{Pow} ... abgelesener Wert der Spannung am "Power Supply" in V, Unsicherheit [1] I ... abgelesener Wert des Stroms in A, Unsicherheit [10] U_H ... abgelesener Wert der Spannung am "Power Supply" in V, Unsicherheit [2] I_H ... abgelesener Wert des Stroms am "Power Supply" in mA, Unsicherheit [2] V_{aH} ... abgelesener Wert am "Power Supply" für die Scheinleistung, Unsicherheit [2] Var_H ... abgelesener Wert am "Power Supply" für die Blindleistung, Unsicherheit [2] PF_H ... abgelesener Wert am "Power Supply", Unsicherheit [2] P_H ... abgelesener Wert der Leistung am "Power Supply" in Watt, Unsicherheit [2]	19
5	Abgelesene Werte bei Verwendung des Kondensators mit einer Kapazität von 47μ Farad U_L ... abgelesener Wert der Spannung an der Spule in V, Unsicherheit [1] U_R ... abgelesener Wert der Spannung am Widerstand in V, Unsicherheit [1] U_T ... abgelesener Wert der Spannung am Trafo in V, Unsicherheit [1] I_{ges} ... abgelesener Wert des gesamten Stroms in mA, Unsicherheit [10] I_C ... abgelesener Wert des Stroms durch den Kondensator in mA, Unsicherheit [10]	21
6	Abgelesene Werte bei Verwendung des Kondensators mit einer gesamten Kapazität von 147μ Farad U_L ... abgelesener Wert der Spannung an der Spule in V, Unsicherheit [1] U_R ... abgelesener Wert der Spannung am Widerstand in V, Unsicherheit [1] U_T ... abgelesener Wert der Spannung am Trafo in V, Unsicherheit [1] I_{ges} ... abgelesener Wert des gesamten Stroms in mA, Unsicherheit [10] I_C ... abgelesener Wert des Stroms durch den Kondensator in mA, Unsicherheit [10]	22
7	Abgelesene Werte bei Verwendung des Kondensators mit einer gesamten Kapazität von 214μ Farad U_L ... abgelesener Wert der Spannung an der Spule in V, Unsicherheit [1] U_R ... abgelesener Wert der Spannung am Widerstand in V, Unsicherheit [1] U_T ... abgelesener Wert der Spannung am Trafo in V, Unsicherheit [1] I_{ges} ... abgelesener Wert des gesamten Stroms in mA, Unsicherheit [10] I_C ... abgelesener Wert des Stroms durch den Kondensator in mA, Unsicherheit [10]	23
8	erhaltene Werte für die Phasenverschiebungen ϕ_{Osz} ... abgelesener Wert des Phasenwinkels am Oszilloskop ϕ_{er} ... errechneter Wert für den Phasenwinkel ϕ_{pow} ... errechneter Wert für den Phasenwinkel anhand der vom Powermeter abgelesenen Daten C ... bei Kondensator L ... bei Spule RC ... bei Serienschaltung von Widerstand und Kondensator RL ... bei Serienschaltung von Widerstand und Spule RLC ... bei der Schaltung für die Blindleistungskompensation bei entsprechender Kapazität	33