

## Phase und Leistung im Wechselstromkreis

### Aufgabenstellung

1. Untersuchung der Anzeige von unterschiedlichen Spannungsmessinstrumenten bei verschiedenen Kurvenformen
2. Aufnahme des Amplitudenganges von unterschiedlichen Spannungsmessinstrumenten
3. Ermittlung der Phasenlage von Strom und Spannung an einem Kondensator
4. Ermittlung der Phasenlage von Strom und Spannung an einer Spule
5. Ermittlung der elektrischen Leistung in einer RC-Schaltung
6. Ermittlung der elektrischen Leistung in einer RL-Schaltung
7. Option: Untersuchungen zur Blindleistungskompensation an einem induktiven Verbraucher

### Hinweise

Die Außenleiter (Schirmung) der BNC-Eingangsbuchsen eines Oszilloskops sind in der Regel intern miteinander und mit der Schutzerde des Netzanschlusses verbunden. Dies gilt auch für BNC-Buchsen eines Funktionsgenerators. In den Schaltbildern ist dies durch strichpunktisierte Linien und dem Erdungszeichen PE gekennzeichnet. Das Bezugspotential Ihrer Schaltungen – jenes mit dem Symbol 0V – ist mit einem Kabel mit PE zu verbinden.

Verwenden Sie für die Messungen mit dem Oszilloskop Laborkabel und BNC-4mm-Bananenbuchsen-Adapter. Die oben erwähnte Verbindung des Außenleiters der BNC-Eingangsbuchse mit dem Bezugspotential der Schaltung erfolgt über die **schwarze** Buchse **eines** Adapters. Bei Verwendung von Tastköpfen mit den aufgesteckten Prüf-Clips zur leichteren Umfassung der Bauteilanschlüsse kann diese Verbindung über **eine** Erdklammer **eines** Tastkopfes erfolgen.

Die mit dem Oszilloskop zu messenden Größen sollen als „single-shot“ gespeichert und über die USB-Schnittstelle als ASCII-Datenfile (.csv) in ein Speichermedium (USB-Stick) übertragen werden. Die Auswertung soll mit einem geeigneten Programm (z. Bsp. Excel oder QtiPlot) erfolgen.

Fall erforderlich oder auch nur für Dokumentationszwecke kann ein „screen-shot“ der gespeicherten Messung angefertigt und in gleicher Weise als Bild (.bmp oder .png) in ein Speichermedium übertragen werden.

Als Signalquelle dient bei den Aufgaben 2 bis 7 die Sekundärwicklung eines Standard-Transformators TR1. Diese liefert eine Nennspannung von ca. 12V<sub>eff</sub> und ist durch eine zusätzliche Leistungselektronik vor Überlastung und Kurzschluss geschützt. Der maximale Strom wird dadurch auf 500 mA<sub>Spitze</sub> begrenzt.

Zur Vermeidung von unbeabsichtigt induzierten hohen Spannungsspitzen ist der Spule ein Varistor (*VDR = voltage dependent resistor*) mit entsprechender Leistung und einer Schwellenspannung von ca. 40V parallelgeschaltet.

Ein Kondensator verliert nach dem Abstecken bzw. Ausschalten der elektrischen Versorgung seine zuletzt gespeicherte Ladung mitunter nur langsam (Entladezzeitkonstante  $\tau$ ). Zur Vermeidung einer lange vorhandenen Restspannung zwischen den Elektroden ist er in diesem Fall mit einem 100Ω-Widerstand manuell zu entladen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Aufgabenstellung</b>	<b>4</b>
<b>2 Voraussetzungen &amp; Grundlagen</b>	<b>4</b>
2.1 Kenngrößen . . . . .	4
2.2 Komplexe Wechselstromtechnik . . . . .	4
2.3 Leistung und Verluste . . . . .	5
2.4 Wichtige Zusammenhänge . . . . .	5
<b>3 Versuchsanordnung</b>	<b>5</b>
3.1 Untersuchung der Anzeigen . . . . .	6
3.2 Amplitudengänge . . . . .	6
3.3 Phasenlage Kondensator . . . . .	6
3.4 Phasenlage Spule . . . . .	7
3.5 Elektrische Leistung RC-Schaltung . . . . .	7
3.6 Elektrische Leistung RL-Schaltung . . . . .	8
3.7 Blindleistungskompensation . . . . .	9
<b>4 Geräteliste</b>	<b>9</b>
<b>5 Versuchsdurchführung &amp; Messergebnisse</b>	<b>9</b>
5.1 Untersuchung der Anzeigen . . . . .	9
5.2 Amplitudengänge . . . . .	10
5.3 Phasenlage Kondensator . . . . .	10
5.4 Phasenlage Spule . . . . .	11
5.5 Elektrische Leistung RC-Schaltung . . . . .	11
5.6 Elektrische Leistung RL-Schaltung . . . . .	12
5.7 Blindleistungskompensation . . . . .	13
<b>6 Auswertung und Unsicherheitsanalyse</b>	<b>14</b>
6.1 Untersuchung der Anzeigen . . . . .	14
6.2 Amplitudengänge . . . . .	14
6.3 Phasenlage Kondensator . . . . .	15
6.4 Phasenlage Spule . . . . .	16
6.5 Elektrische Leistung RC-Schaltung . . . . .	16
6.6 Elektrische Leistung RL-Schaltung . . . . .	18
6.7 Blindleistungskompensation . . . . .	19
<b>7 Diskussion</b>	<b>20</b>
7.1 Untersuchung der Anzeigen / Amplitudengänge . . . . .	20
7.2 Phasenlage Kondensator / Spule . . . . .	21
7.3 Elektrische Leistung RC-Schaltung / RL-Schaltung . . . . .	21
7.4 Blindleistungskompensation . . . . .	21
<b>8 Zusammenfassung</b>	<b>21</b>
8.1 Untersuchung der Anzeigen . . . . .	21
8.2 Amplitudengänge . . . . .	21
8.3 Phasenlage Kondensator . . . . .	21
8.4 Phasenlage Spule . . . . .	21

---

8.5 Elektrische Leistung RC-Schaltung . . . . .	21
8.6 Elektrische Leistung RL-Schaltung . . . . .	21
8.7 Blindleistungskompensation . . . . .	22
<b>Literatur</b>	<b>22</b>

# 1 Aufgabenstellung

Beim Versuch Phase Leistung dreht sich alles um die Phasenlage von Strom und Spannung bzw. die elektrische Leistung. Diese Größen sollen in verschiedenen Schaltungen praktisch ermittelt und ausgewertet werden. Die genaue Aufgabenstellung hierfür sieht wie folgt aus:

- Untersuchung der Anzeige von unterschiedlichen Spannungsmessinstrumenten bei verschiedenen Spannungsformen
- Amplitudengang von verschiedenen Spannungsmessinstrumenten
- Phasenlage  $\phi_C$  von Strom/Spannung an einem Kondensator
- Phasenlage  $\phi_L$  von Strom/Spannung an einer Spule
- Elektrische Leistung  $P_{RC}$  in einer RC-Schaltung
- Elektrische Leistung  $P_{RL}$  in einer RL-Schaltung
- Untersuchungen zur Blindleistungskompensation

Alle Informationen und Methodiken wurden uns von der Technischen Universität bereitgestellt [1].

## 2 Voraussetzungen & Grundlagen

### 2.1 Kenngrößen

Zu Beginn der Grundlagen ist es wichtig, einige Größen zu definieren.

**Tab. 1:** Definitionen [1]

Scheitelwert	Der größte Betrag der Augenblickswerte eines Wechselsignals.
Effektivwert	Wert einer Gleichspannung / eines Gleichstromes, die / der an einem ohmschen Widerstand im zeitlichen Mittel die gleiche Leistung wie die entsprechende Wechselspannung / der entsprechende Wechselstrom.
Gleichrichtwert	Mittelwert des Betrages der Spannung / des Stromes.
Formfaktor	Verhältnis von Effektivwert zu Gleichrichtwert.
Scheitelfaktor	Verhältnis von Scheitelwert zu Effektivwert.

### 2.2 Komplexe Wechselstromtechnik

Die beliebteste Signalart, welche auch am häufigsten verwendet wird, ist in der Wechselstromtechnik die Sinusspannung. Ohm'sche Widerstände verursachen hier keine Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung. Kapazitive- und Induktive Widerstände jedoch führen zu einer positiven bzw. negativen Phasenverschiebung zwischen diesen Größen. Deshalb müssen in der Wechselstromtechnik Reaktanzen definiert werden, welche auch Blindwiderstände genannt werden. Diese hängen von der verwendeten Frequenz und den Kapazitäten bzw. Induktivitäten ab (Formeln in Abteil Wichtige Zusammenhänge). Diese Reaktanzen bilden im Prinzip das Äquivalent zu den herkömmlichen Widerständen an ohm'schen Verbrauchern. Weiters können daraus komplexe Impedanzen  $Z$  gebildet werden, welche zusätzlich zu den Signalstärken auch die Signalverschiebung beschreiben.

## 2.3 Leistung und Verluste

Die Leistung, die von einem Stromnetz tatsächlich benötigt wird, wird auch Scheinleistung S [VA] genannt. Diese setzt sich aus dem Produkt der Effektivwerte von Strom I und Spannung U zusammen. Der Realteil der Scheinleistung stellt dabei die Wirkleistung P, angegeben in Watt, dar. Diese beschreibt die Leistung an den ohm'schen Verbrauchen. Der Imaninärteil wird auch Blindleistung Q [var] genannt und bezeichnet jene Leistung, welche für die ohm'schen Verbraucher keinen Nutzen hat. Sie kommt durch verschiedene Phänomene zustande, wie z.B. Aufbau von B-Feldern bei Induktion.

Um letztere Leistung zu verringen wird auf das Prinzip der Blindleistungskompensation gesetzt. Dabei werden Blindleistungsanteile durch gezieltes hinzufügen von bestimmten Kondensatoren und Spulen möglichst klein gehalten. Dadurch, dass auch jedes kapazitive- und induktive Bauteil einen ohm'schen Innenwiderstand besitzt und somit Verluste aufweist, gibt es in der realen Umgebung keine Blindwiderstände.

## 2.4 Wichtige Zusammenhänge

$$\Phi = \frac{360}{T} * \Delta t = 360 * \Delta t * f \quad \Delta\Phi = \left| \frac{\partial\Phi}{\partial\Delta t} * \Delta\Delta t \right| + \left| \frac{\partial\Phi}{\partial f} * \Delta f \right| \quad (1)$$

$$\Phi = \arg(U) = \arctan\left(\frac{U_C \sin(\phi_C)}{U_R + U_C \cos(\phi_C)}\right) \quad \Delta\Phi = \left| \frac{\partial\Phi}{\partial U_C} * \Delta U_C \right| + \left| \frac{\partial\Phi}{\partial U_R} * \Delta U_R \right| + \left| \frac{\partial\Phi}{\partial \phi_C} * \Delta \phi_C \right| \quad (2)$$

$$S = UI \quad \Delta P = \left| \frac{\partial P}{\partial U} * \Delta U \right| + \left| \frac{\partial P}{\partial I} * \Delta I \right| \quad (3)$$

$$P = S * \cos(\phi) \quad \Delta P = \left| \frac{\partial P}{\partial S} * \Delta S \right| + \left| \frac{\partial P}{\partial \phi} * \Delta \phi \right| \quad (4)$$

$$Q = S * \sin(\phi) \quad \Delta Q = \left| \frac{\partial Q}{\partial S} * \Delta S \right| + \left| \frac{\partial Q}{\partial \phi} * \Delta \phi \right| \quad (5)$$

$$X_C = -\frac{1}{\omega C} \quad \Delta X_C = \left| \frac{\partial X_C}{\partial C} * \Delta C \right| \quad (6)$$

$$X_L = \omega L \quad \Delta X_L = \left| \frac{\partial X_L}{\partial L} * \Delta L \right| \quad (7)$$

## 3 Versuchsanordnung

Wie im Punkt Aufgabenstellung bereits erwähnt, beinhaltet der Versuch mehrere Versuchsaufbauten.

### 3.1 Untersuchung der Anzeigen

Für den ersten Teil wird eine Schaltung mit folgenden Aufbau realisiert:

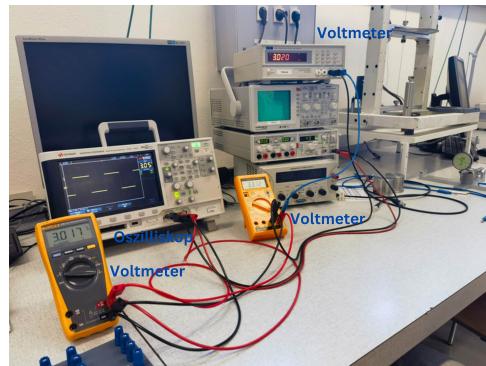
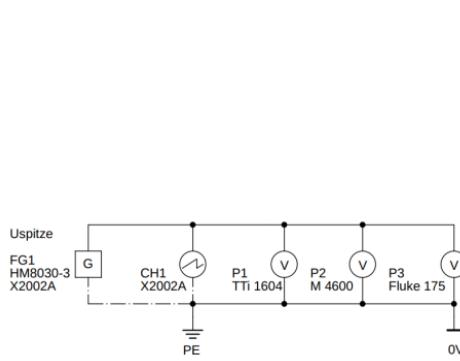


Abb. 1: Schaltplan und realer Aufbau zur Untersuchung der Anzeigen

### 3.2 Amplitudengänge

Die Amplitudengänge wurden mit der gleichen Schaltung ermittelt:

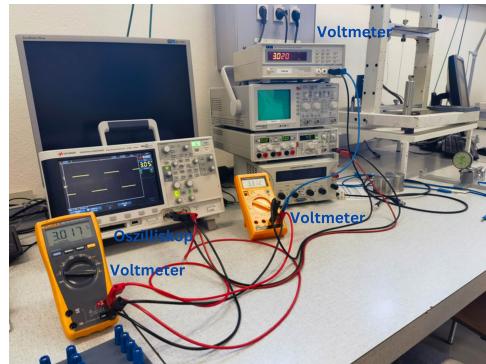
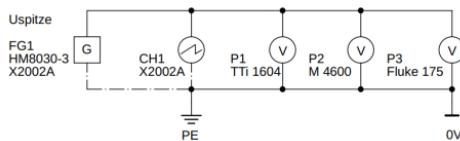
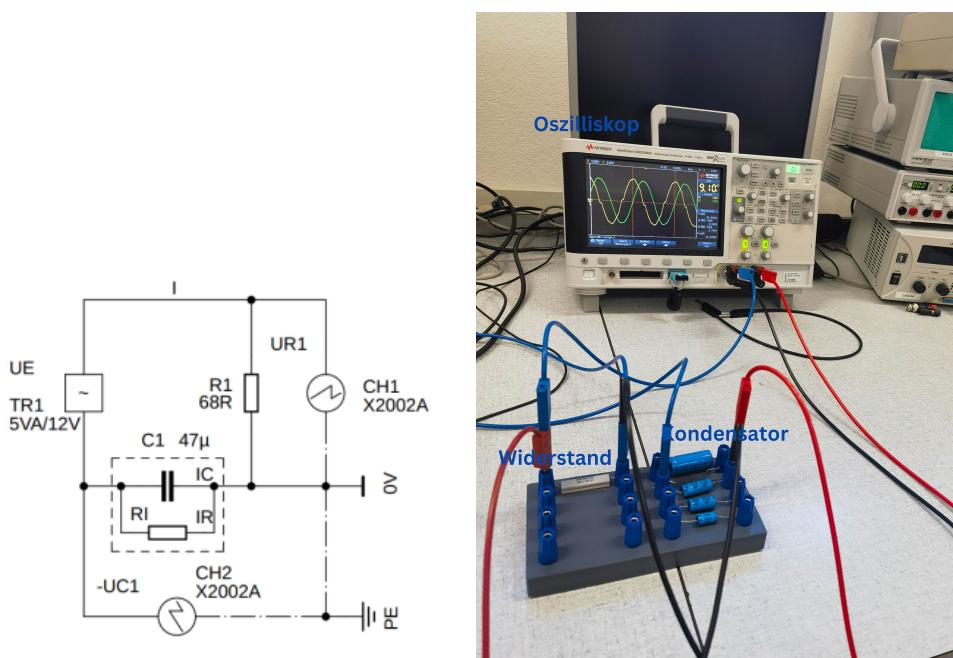


Abb. 2: Schaltplan und realer Aufbau zur Untersuchung Amplitudengänge

### 3.3 Phasenlage Kondensator

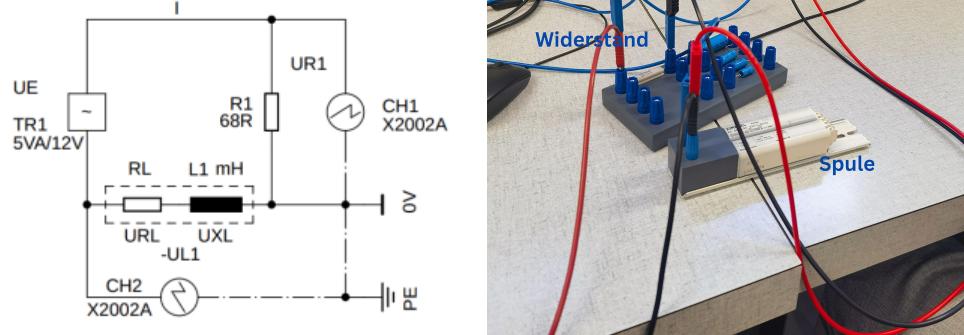
Zur Bestimmung der Phasenlagen wurde zunächst für jene mit dem Kondensator folgender Aufbau vorgenommen:



**Abb. 3:** Schaltplan und realer Aufbau zur Bestimmung der Phasenlage des Kondensators

### 3.4 Phasenlage Spule

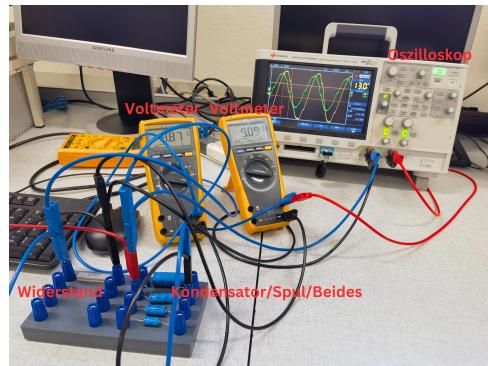
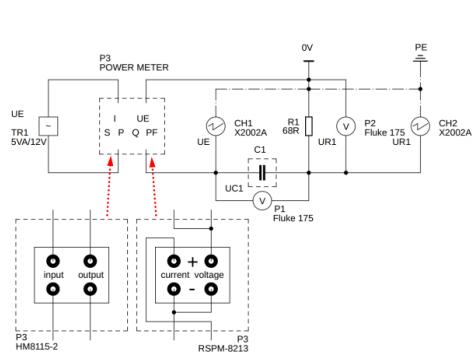
Selbiger Aufbau, jedoch mit einer Spule anstelle des Kondensators wurde dann beim nächsten Versuchspunkt realisiert.



**Abb. 4:** Schaltplan und realer Aufbau zur Bestimmung der Phasenlage der Spule

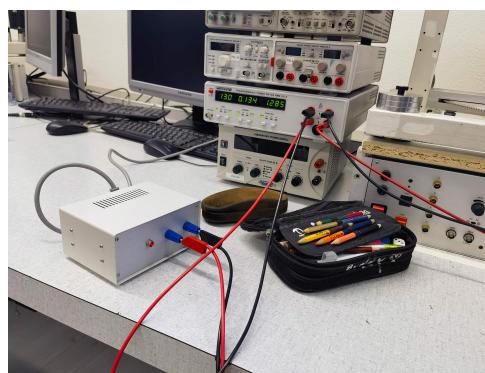
### 3.5 Elektrische Leistung RC-Schaltung

Zur Bestimmung der Leistung in der RC-Schaltung wurde folgender Schaltplan in die Tat umgesetzt:



**Abb. 5:** Schaltplan und realer Aufbau zur Bestimmung der elektrischen Leistung der RC-Schaltung

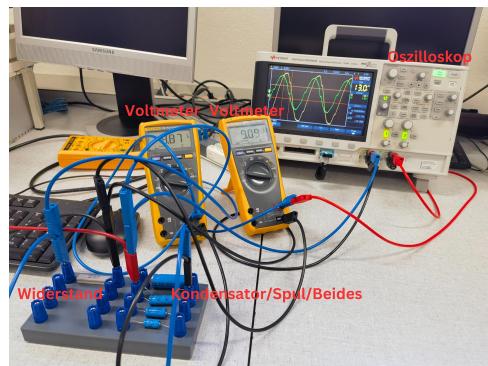
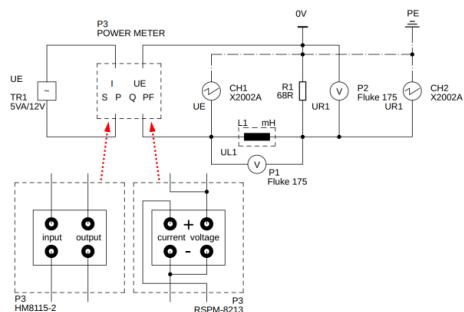
Für die letzten drei Aufgabenpunkte wurde außerdem ein Trafo und ein PowerMeter zur Spannungsversorgung verwendet:



**Abb. 6:** Trafo und Powermeter

### 3.6 Elektrische Leistung RL-Schaltung

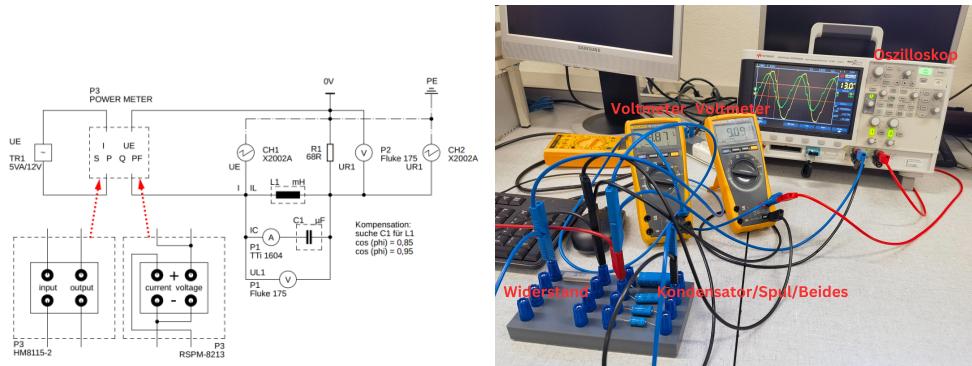
Mit der selben Spannungsversorgung wie in vorheriger Aufgabe wurde dann die RL-Schaltung aufgebaut:



**Abb. 7:** Schaltplan und realer Aufbau zur Bestimmung der elektrischen Leistung der RL-Schaltung

### 3.7 Blindleistungskompensation

Beim experimentieren mit der Blindleistungskompensation wurden dann eine Kapazität und eine Spule gemeinsam in den Schaltkreis eingebunden:



**Abb. 8:** Schaltplan und realer Aufbau zur Untersuchung der Blindleistungskompensation

## 4 Geräteliste

**Tab. 2:** Im Versuch verwendete Geräte und Utensilien.

Gerät	Gerät	Unsicherheit
Funktionsgenerator	HM8030	n.a
Leistungsmessgerät	HM8030	$\pm 0.8\% + 10 \text{ dig } P / \pm 2.5\% + 10 \text{ dig } Q / \pm 0.8\% + 5 \text{ dig } S / \pm 2\% + 3 \text{ dig } PF$
DMM1	TTi 1604	$\pm 0.5\% + 4 \text{ dig}$
DMM2	Matex M-4600	$\pm 0.5\% + 10 \text{ dig}$
DMM1	Fluke 175	$\pm 1.5\% + 3 \text{ dig}$
Oszilloskop	Keysight DSO-X 2002A	$\pm 0.1 \text{ div}$
Trafo	n.a	n.a
Widerstand	68 $\Omega$	n.a
Kondensatoren	10, 20, 47, 100 $\mu F$	n.a
Spule	Zumtobel	n.a

## 5 Versuchsdurchführung & Messergebnisse

### 5.1 Untersuchung der Anzeigen

Um die verschiedenen Messgeräte auf Anzeigefehler zu überprüfen, wird zunächst ein  $50\Omega$  Eingangssignal am Frequenzgenerator erzeugt und in die aufgebaute Schaltung laut Aufbauabbildung 1 eingespeist. Dabei wird eine symmetrische Wechselspannung zwischen vier und acht Volt (pp) mit 50 Hz ohne DC-Anteil gewählt. Wichtig dabei ist noch das Abschwächungsverhältnis am Oszilloskop für beide Kanäle auf 1:1 zu stellen. Nun werden für den späteren Vergleich Messdaten verschiedener Messgeräte notiert.

**Tab. 3:** Amplitudengänge Daten

Gerät	Sinus / V	Dreieck / V	Rechteck / V
Oszilloskop	$2.2 \pm 0.3$	$1.84 \pm 0.19$	$3.1 \pm 0.4$
DMM 4600	$2.22 \pm 0.11$	$1.766 \pm 0.018$	$3.31 \pm 0.12$
DMM Fluke	$2.23 \pm 0.07$	$1.84 \pm 0.05$	$3.02 \pm 0.08$
DMMTTi	$2.23 \pm 0.06$	$1.837 \pm 0.012$	$3.02 \pm 0.05$

## 5.2 Amplitudengänge

Das Eingangssignal wie im vorherigen Teil soll nun nicht nur auf die Effektivwerte der Spannung, sondern auch mittels Oszilloskop auf Frequenz untersucht werden. Dabei wird die Eingangsfrequenz aber nicht auf einem stabilen Wert gelassen, sondern zwischen 10 Hz - 100 kHz variiert. Die daraus resultierenden Werte sind in folgender Tabelle ersichtlich:

**Tab. 4:** Amplitudengänge Daten

Nr	$f_{Generator}$ / Hz	$f_{Oszi}$ / Hz	$U_{eff-Fluke}$ / V	$U_{eff-4600}$ / V	$U_{eff-TTi}$ / V	$U_{eff-Oszi}$ / V
1	10	9	2.2508	2.2140	2.278	2.219
2	97	96	2.2489	2.2400	2.224	2.239
3	503	504	2.2152	2.2340	2.222	2.238
4	1007	1008	2.2504	2.2120	2.228	2.233
5	2999	2998	2.2465	2.0450	2.377	2.231
6	5181	5183	2.2756	1.1780	2.698	2.233
7	10760	10762	2.2291	1.1760	2.698	2.233
8	20790	20792	2.1977	0.6330	5.734	2.250
9	25190	25202	2.2252	0.5526	6.421	2.262
10	30490	30466	2.2262	0.4525	7.101	2.274
11	35143	35177	2.2283	0.3873	7.594	2.284
12	40370	40391	2.2302	0.3394	8.045	2.297
13	45300	45310	2.2316	0.2890	8.388	2.309
14	50800	50779	2.2073	0.2522	8.686	2.323
15	55000	55020	2.2651	0.2287	8.864	2.335
16	61700	61742	2.1861	0.1977	9.112	2.362
17	66300	66287	2.2008	0.1806	9.202	2.378
18	69500	69512	2.1808	0.1699	9.244	2.386
19	75700	75728	2.1357	0.1520	9.278	2.406
20	79900	79921	2.1765	0.1415	9.274	2.419
21	84200	84214	2.1935	0.1311	9.241	2.435
22	90900	90901	2.2426	0.1159	9.149	2.470
23	93600	93685	2.2064	0.1103	9.101	2.489
24	96300	96377	2.1645	0.1051	9.046	2.510
25	100400	100410	2.1418	0.0979	8.955	2.547

## 5.3 Phasenlage Kondensator

Nun wird die Eingangssignalquelle gewechselt. Anstelle des Frequenzgenerators kommt ein Trafo zum Einsatz, dessen Sekundärseite nun das Signal für die neue Schaltung laut 3 liefern soll. Gemessen werden dann die Effektivwerte von  $U_R$  und  $U_C$ , also die Spannungsabfälle am Widerstand und Kondensator, die Phasenverschiebung zwischen den beiden und eine exportierte Grafik des Messergebnisses.

**Tab. 5:** Phasenlage Kondensator Daten

Messgröße	Messergebniss
$U_{pp-gelb}$	$(26.8 \pm 1.3)$ V
$U_{pp-grn}$	$(25.1 \pm 1.3)$ V
$\Delta t$	$(-4.9 \pm 0.5)$ ms

Um die Spannungen auch richtig darzustellen muss Kanal 1 außerdem invertiert werden ( $-U_{Ch1}$ ).

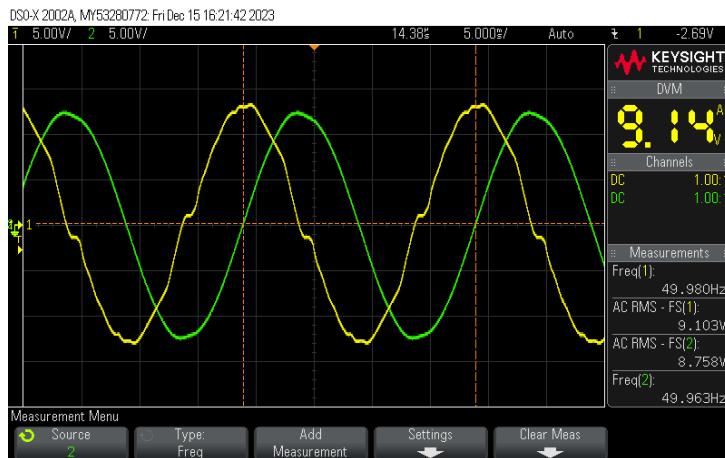


Abb. 9: Grafisches Messergebnis mit Kondensator

## 5.4 Phasenlage Spule

Unter den selben Voraussetzungen wie in der vorherigen Aufgabe sollen nun die gleichen Größen mit einer Spule ermittelt und festgehalten werden. Ein weiterer Unterschied zu den vorherigen Ergebnissen ist natürlich auch, dass nun die Spannung an der Spule  $U_L$  anstelle von  $U_C$  resultiert.

Tab. 6: Phasenlage Spule Daten

Messgröße	Messergebniss
$U_{pp-gelb}$	$(10.2 \pm 1.1)$ V
$U_{pp-grn}$	$(34.9 \pm 1.7)$ V
$\Delta t$	$(4.7 \pm 0.5)$ ms

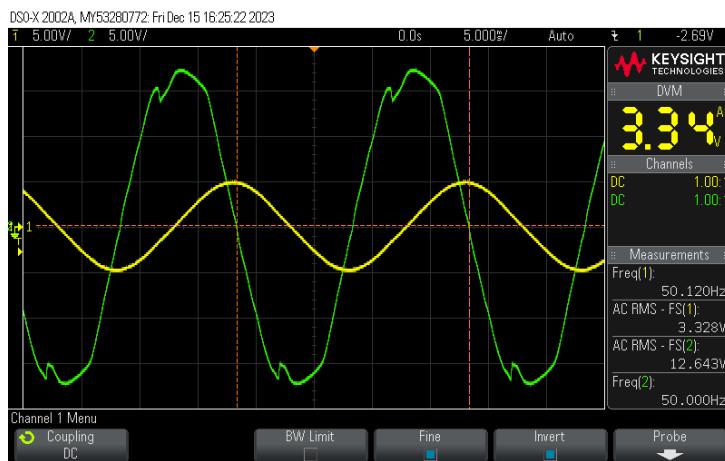


Abb. 10: Grafisches Messergebnis mit Spule

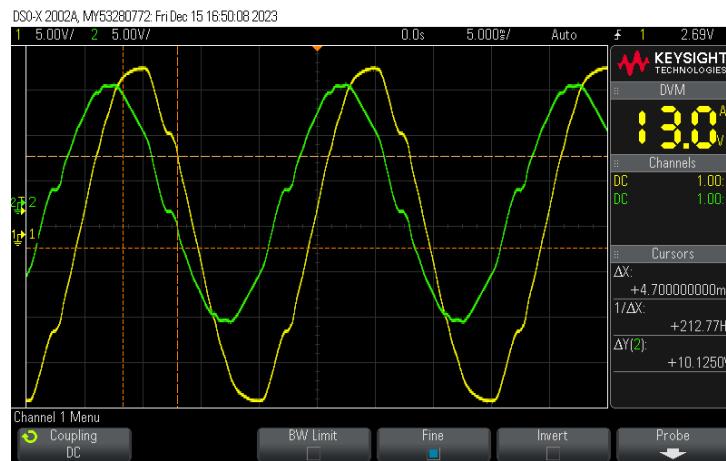
## 5.5 Elektrische Leistung RC-Schaltung

Nun wird die Schaltung zu 5 umgebaut und erneut der Trafo als Spannungsquelle hinzugeschalten. Dabei sollen nun die Spannungen  $U_{R1}$  an  $R_1$  und  $U_{C1}$  an  $C_1$  gemessen werden.

Weiters soll noch der fließende Strom I und mittel PowerMeter die Wirk-, Blind- und Scheinleistung sowie der Leistungsfaktor PF notiert werden.

**Tab. 7:** Elektrische Leistung RC Daten

Messgröße	Messergebniss
U	(13.0 ± 0.2) V
I	(0.134 ± 0.0015) A
$U_R$	(9.09 ± 0.17) V
$U_C$	(8.86 ± 0.09) V
P	(1.286 ± 0.11) W
Q	(1.18 ± 0.13) var
S	(1.74 ± 0.14) VA
PF	(0.740 ± 0.018)



**Abb. 11:** Grafisches Messergebnis RC

## 5.6 Elektrische Leistung RL-Schaltung

Selbiges wird nun am RL-Kreis gemessen. Hierfür wird die Schaltung wieder abgeändert und die Messung erneut gestartet.

**Tab. 8:** Elektrische Leistung RL Daten

Messgröße	Messergebniss
U	(13.6 ± 0.2) V
I	(0.0500 ± 0.0007) A
$U_R$	(3.35 ± 0.09) V
$U_L$	(12.82 ± 0.11) V
P	(0.245 ± 0.012) W
Q	(0.630 ± 0.026) var
S	(0.674 ± 0.024) VA
PF	(0.360 ± 0.018)

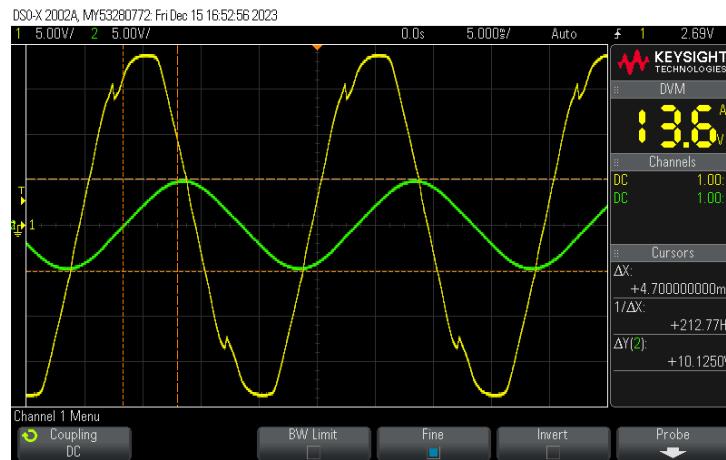


Abb. 12: Grafisches Messergebnis RL

## 5.7 Blindleistungskompensation

Für die Blindleistungskompensation wird nun ein RLC-Kreis laut 8 realisiert. Durch das Hinzufügen von richtig gewählten Spulen und Kondensatoren wird hier versucht, den Blindstromanteil zu verringern. Die Schaltung wird so adjustiert, dass sich ein Powerfaktor zwischen 0.8 und 0.9 ergibt. Auch hier sollen nun die gleichen Größen wie bei den vorherigen Kreisen plus dem Strom am Kondensator  $I_C$  ermittelt werden.

Tab. 9: Blindleistungskompensation Daten

Messgröße	Messergebniss
U	$(13.2 \pm 0.2)$ V
I	$(0.113 \pm 0.0014)$ A
$U_R$	$(7.61 \pm 0.08)$ V
$U_C$	$(9.97 \pm 0.15)$ V
$I_C$	$(0.0397 \pm 0.0009)$ A

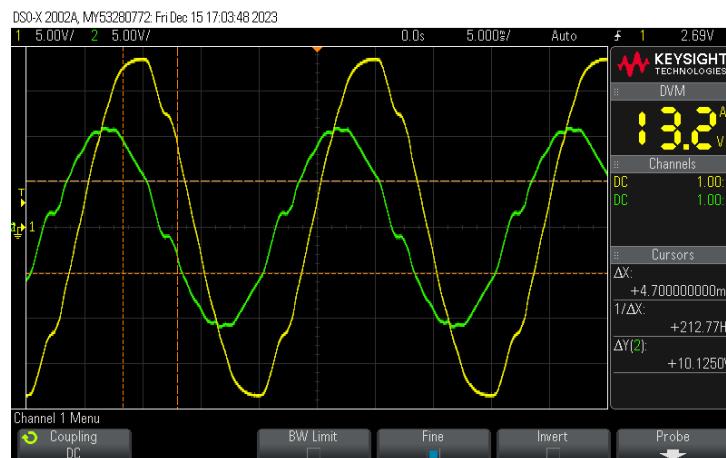


Abb. 13: Grafisches Messergebnis RLC

## 6 Auswertung und Unsicherheitsanalyse

In der Auswertung werden zur erhöhten Genauigkeit durchgehend ungerundete Werte bis zu den Endergebnissen verwendet und nur zur Darstellung gerundet.

Zur Berechnung der Unsicherheiten wird, wenn nicht anders angegeben, die Größtunsicherheitsmethode verwendet.

### 6.1 Untersuchung der Anzeigen

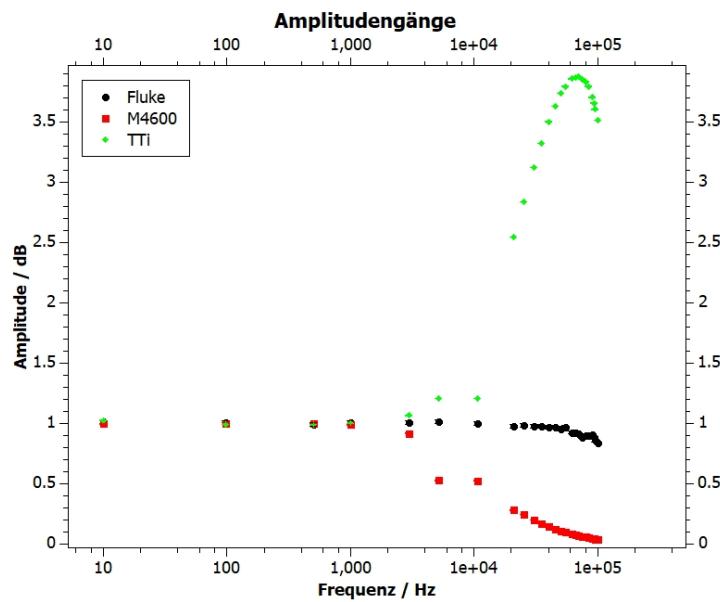
Bei genauerer Analyse der resultierenden Daten aus Tabelle 3 lassen sich einige Auffälligkeiten der verschiedenen Anzeigen der Spannungsmessinstrumente erkennen.

Bei den sinusförmigen Messungen lässt sich erkennen, dass alle Messgeräten unter Einbezug der Unsicherheiten auf ein gleiches Ergebnis kommen. Bei den Dreieckssignalen sind das Oszilloskop und das Fluke in einem gemeinsamen Bereich. Das M4600 und das TTi Messgerät schwanken leicht von den anderen beiden ab. Die Rechteckssignale wiederum werden von vom Fluke und TTi sehr ähnlich aufgenommen. Hier bilden das Oszilloskop und das M4600 die Außenseiter, wobei vor allem das M4600 etwas stärker von den anderen Werten abweicht.

Das M4600 weist von allen die häufigsten Abweichungen auf. Dies könnte damit zusammenhängen, dass dieses Messgerät mittels einer Analogschaltung den Gleichrichtwert bestimmt und diesen dann lediglich zum Effektivwert umrechnet. Für die Sinuswerte stimmt dieser Umrechnungsfaktor, bei anderen Signalformen jedoch kommt es so zu Messfehlern.

### 6.2 Amplitudengänge

Die Amplitudengänge sind, resultierend aus den gewonnenen Daten aus Tabelle 4, in nachfolgender Abbildung zu erkennen. Wichtig hierbei ist, dass sich die Amplitude aus dem Verhältnis des Ausgangs- zum Eingangssignal ergibt. Eingangssignal ist dabei das Oszilloskopsignal, Ausgangssignale kommen von den jeweiligen Messgeräten.



**Abb. 14:** Diagramm der Amplitudengänge in Abhängigkeit der Frequenz der verschiedenen Messinstrumente

Es lässt sich erkennen, dass die Amplitudengänge des Fluke stabil im Bereich des Wertes 1 Verlaufen. Die Verläufe des TTI und des M4600 Messgerätes verlaufen hingegen etwas anders. In den höheren Frequenzbereichen steigen sie stark an bzw. sinken stark ab. Dies lässt darauf schließen, dass die beiden Messgeräte ab einem gewissen Frequenzbereiches nicht mehr optimale Ergebnisse liefern. In der Grafik lässt sich außerdem erkennen, dass dies für Frequenzen ab ungefähr 1000 Hz gilt.

### 6.3 Phasenlage Kondensator

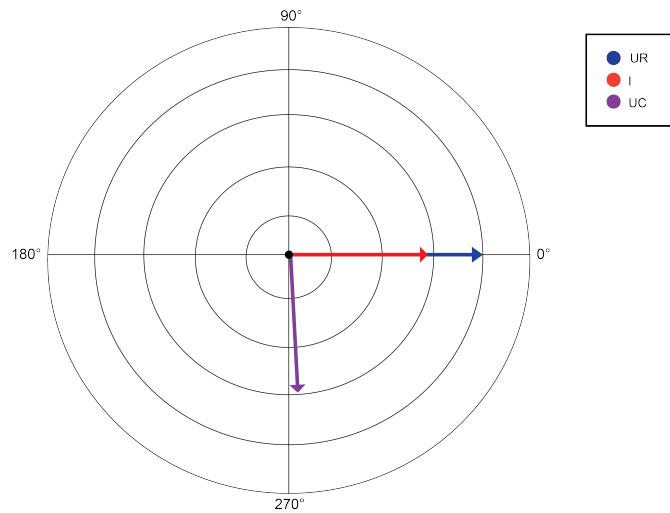
Mit den Daten aus Tabelle 5 lassen sich zunächst die Werte für  $U_R$  und  $U_C$  festlegen.

- $U_R = (26.8 \pm 1.3)$  V
- $U_C = (25.1 \pm 1.3)$  V

Mittels Gleichung 1 und dem Zeitunterschied aus Tabelle 5 lässt sich die Phasenverschiebung ermitteln.

$$\phi_C = (-88.2 \pm 0.3)^\circ$$

Damit lässt sich nun das Zeigerdiagramm erstellen:



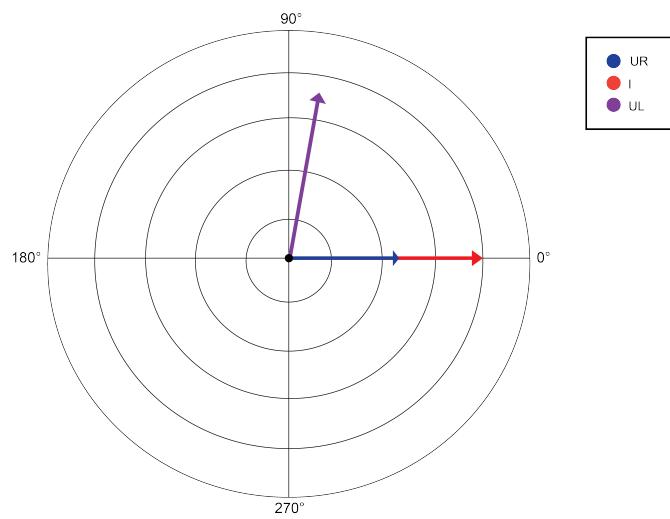
**Abb. 15:** Zeigerdiagramm der Phasenverschiebung des Kondensators

## 6.4 Phasenlage Spule

Nach gleichem Prinzip nur mit den Daten aus Tabelle 6 lassen sich nun auch die Spannung und in weiterer Folge deren Phasenlage bestimmen.

- $U_R = (10.2 \pm 1.1) \text{ V}$
  - $U_L = (34.9 \pm 1.7) \text{ V}$
- $\phi_L = (84.6 \pm 0.7)^\circ$

Daraus folgt ebenfalls ein Zeigerdiagramm mit den berechneten Größen.



**Abb. 16:** Zeigerdiagramm der Phasenverschiebung der Spule

## 6.5 Elektrische Leistung RC-Schaltung

Aus den Daten von Tabelle 7 ergeben sich die Werte für  $U$ ,  $U_R$  und  $U_C$ . Die Phasenverschiebung  $\phi_C$  ergibt sich aus dem zuvor berechneten Ergebnis aus Punkt Phasenlage

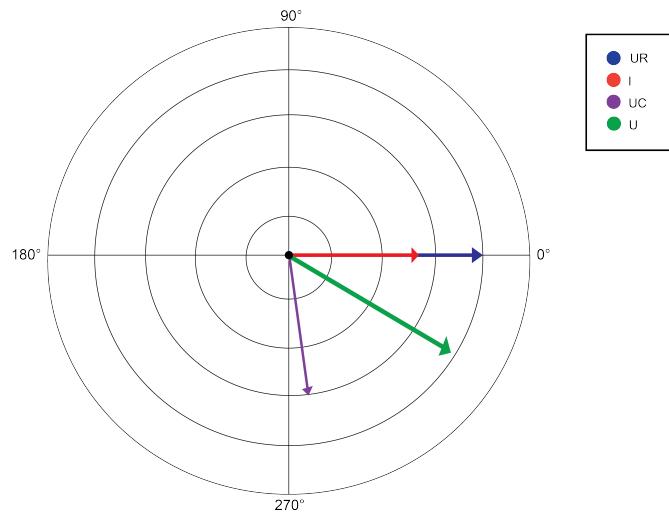
Kondensator.

- $U = (13.0 \pm 0.2) \text{ V}$
- $U_R = (9.09 \pm 0.17) \text{ V}$
- $U_C = (8.86 \pm 0.09) \text{ V}$
- $\phi_C = (-88.2 \pm 0.3)^\circ$

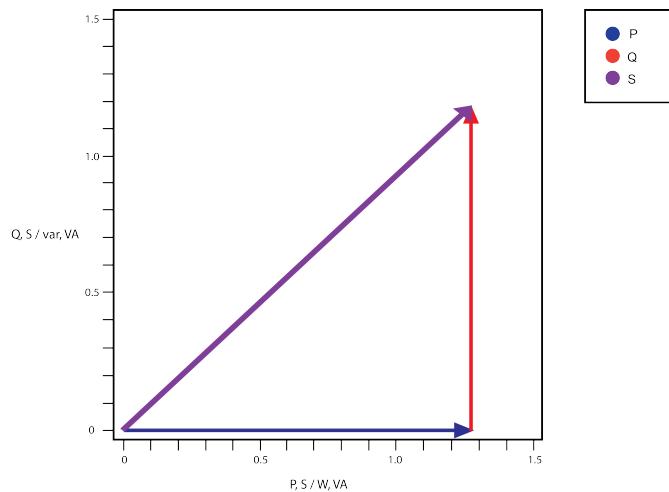
Mittels Formel 2 kann nun der Phasenversatz zwischen Strom und Eingangsspannung bestimmt werden.

- $\phi = (-43.39 \pm 0.13)^\circ$

Aus den gewonnenen Daten kann nun ebenfalls ein Zeigerdiagramm und ein Leistungsdreieck erstellt werden.



**Abb. 17:** Zeigerdiagramm RC-Kreis



**Abb. 18:** Leistungsdreieck RC-Kreis

## 6.6 Elektrische Leistung RL-Schaltung

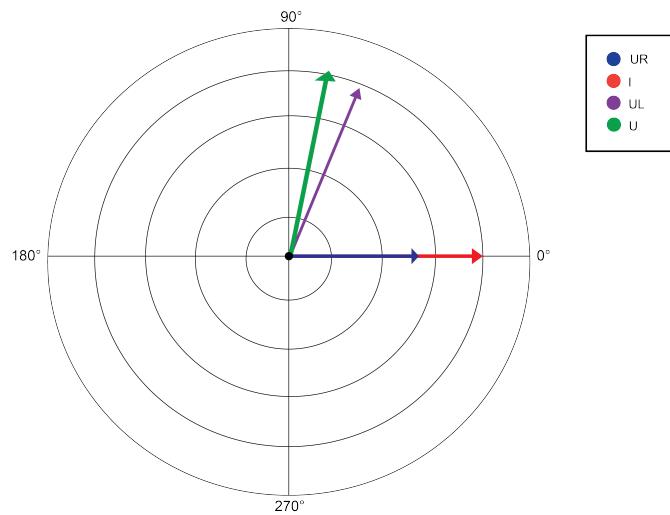
Mit gleicher Vorgehensweise wie in vorherigem Punkt lässt sich der Phasenversatz auch für die RL-Schaltung bestimmen. Aus Tabelle 8 lassen sich wieder die benötigten Größen ablesen.

- $U = (13.6 \pm 0.2) \text{ V}$
- $U_R = (3.35 \pm 0.09) \text{ V}$
- $U_L = (12.82 \pm 0.11) \text{ V}$
- $\phi_C = (84.6 \pm 0.7)^\circ$

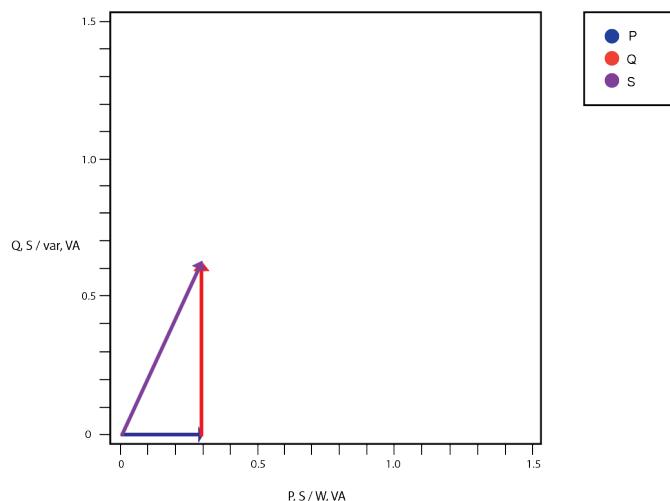
Unter erneutem Verwenden von Formel 2 lässt sich der neue Phasenversatz bestimmen.

- $\phi = (70 \pm 5)^\circ$

Zu guter Letzt kann wieder ein Phasendiagramm und ein Leistungsdreieck gezeichnet werden.



**Abb. 19:** Zeigerdiagramm RL-Kreis



**Abb. 20:** Leistungsdreieck RL-Kreis

## 6.7 Blindleistungskompensation

Aus der verwendeten Induktivität von  $L = 1\text{H}$  und der verwendeten Kapazität  $C = 47 \mu\text{F}$  ergeben sich unter Verwendung der Formeln 6 und 7 die Reaktanzen  $X_C$  und  $C_L$ .

- $X_C = (68 \pm 3) \Omega$
- $X_L = (314 \pm 15) \Omega$

Aus den Reaktanzen ergeben sich mit den Verlusten  $R_C/R_L$  die komplexen Impedanzen  $Z_C/Z_L$ :

$$Z_C = \frac{(X_C)^2}{R_C} \quad \Delta Z_C = \left| \frac{\partial Z_C}{\partial X_C} * \Delta X_C \right| + \left| \frac{\partial Z_C}{\partial R_C} * \Delta R_C \right| \quad (8)$$

$$Z_L = R_L + X_L \quad \Delta Z_L = \left| \frac{\partial Z_L}{\partial X_L} * \Delta X_L \right| + \left| \frac{\partial Z_L}{\partial R_L} * \Delta R_L \right| \quad (9)$$

- $Z_C = (68 \pm 3) \Omega$
- $Z_L = (315 \pm 14) \Omega$

Die dazugehörigen Phasenversätze ergeben sich dabei mit:

$$\phi_L = \arctan\left(\frac{-X_L}{R_L}\right) \quad \Delta Z_L = \left| \frac{\partial Z_L}{\partial X_L} * \Delta X_L \right| + \left| \frac{\partial Z_L}{\partial R_L} * \Delta R_L \right| \quad (10)$$

$$\phi_C = \arctan\left(\frac{-X_C}{R_C}\right) \quad \Delta Z_C = \left| \frac{\partial Z_C}{\partial X_C} * \Delta X_C \right| + \left| \frac{\partial Z_C}{\partial R_C} * \Delta R_C \right| \quad (11)$$

- $\phi_{Z_L} = (-87.17 \pm 0.41)^\circ$
- $\phi_{Z_C} = (77.11 \pm 0.34)^\circ$

Abschließend können nun die geforderten Phasenversätze mittels folgenden Formeln bestimmt werden.

$$\phi_U = \arg(Z_C \parallel Z_L) \quad (12)$$

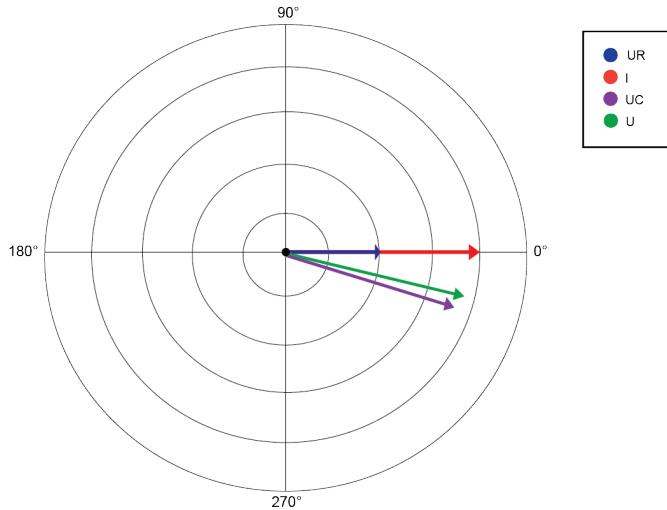
$$\phi_{L/C} = \arg(Z_C \parallel Z_L) \quad (13)$$

- $\phi_U = (22 \pm 4)^\circ$
- $\phi_{L/C} = (20 \pm 4)^\circ$

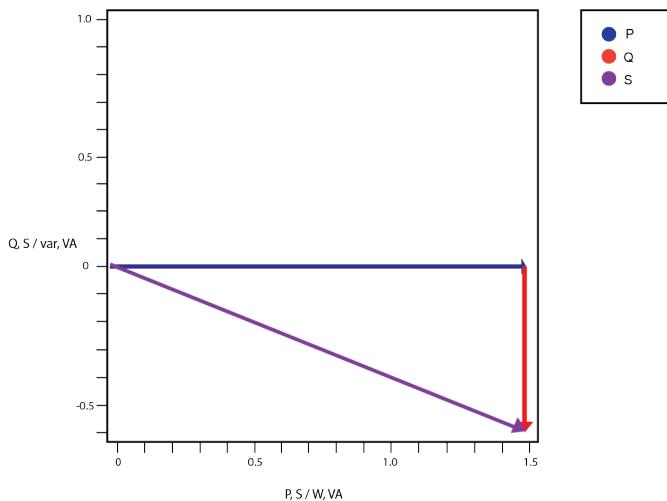
Mittels Formeln 3 - 5 können nun die Werte für Schein-, Blind- und Wirkleistung bestimmt werden.

- $S = (1.49 \pm 0.26) \text{ VA}$
- $Q = (-0.56 \pm 0.08) \text{ var}$
- $P = (1.38 \pm 0.21) \text{ W}$

Somit lassen sich auch ein weiteres Zeigerdiagramm und Leistungsdreieck erstellen.



**Abb. 21:** Zeigerdiagramm RLC-Kreis



**Abb. 22:** Leistungsdreieck RLC-Kreis

## 7 Diskussion

### 7.1 Untersuchung der Anzeigen / Amplitudengänge

Den Resultaten der ersten Aufgabe ist zu entnehmen, dass es für verschiedene Geräte einen Unterschied macht, mit welchem Signal und welcher Frequenz gearbeitet wird. Somit ist darauf zu achten, um fehlerhafte Messergebnisse zu vermeiden.

## 7.2 Phasenlage Kondensator / Spule

Die resultierenden Zeigerdiagramme zeigen die Wirkung der Kapazität und Induktivität als Reaktanzen. Aufgrund von Innenwiderständen haben aber auch sie einen Einfluss auf die reale Leistung der Schaltung und müssen miteinbezogen werden. Es lässt sich außerdem erkennen, dass bei der Kapazität die Spannung dem Strom "hinterherhengt", und bei Induktivität die Spannung dem Strom "vorausseilt".

## 7.3 Elektrische Leistung RC-Schaltung / RL-Schaltung

Anhand der resultierenden Blindleistung, welche in den vorherigen Teilen bestimmt wurde, lässt sich erkennen, dass die Leistung nicht nur vom ohm'schen Widerstand, sondern auch von inneren Widerständen der Kapazität/Induktivität abhängt.

## 7.4 Blindleistungskompensation

Die Blindleistungskompensation wurde bestmöglich zu bestimmen versucht.

# 8 Zusammenfassung

## 8.1 Untersuchung der Anzeigen

Das Problem wurde im Punkt Auswertung diskutiert.

## 8.2 Amplitudengänge

Die Amplitudengänge sind in Abbildung 14 ersichtlich.

## 8.3 Phasenlage Kondensator

$$\phi_C = (-88.2 \pm 0.3)^\circ$$

## 8.4 Phasenlage Spule

$$\phi_L = (84.6 \pm 0.7)^\circ$$

## 8.5 Elektrische Leistung RC-Schaltung

Zeigerdiagramm und Leistungsdreieck wurden, ersichtlich in den Abbildungen 17 und 18, ermittelt.

## 8.6 Elektrische Leistung RL-Schaltung

Zeigerdiagramm und Leistungsdreieck wurden, ersichtlich in den Abbildungen 19 und 20, ermittelt.

## 8.7 Blindleistungskompensation

Zeigerdiagramm und Leistungsdreieck wurden, ersichtlich in den Abbildungen 21 und 22, ermittelt.

## Literatur

- [1] TU Graz TeachCenter. "*Laborübungen 2: Elektrizität, Magnetismus, Optik*". Kurs: *PHYD30UF*. (besucht am 15.12.2023). URL: <https://tc.tugraz.at/main/course/view.php?id=796>.