

Phase und Leistung im Wechselstromkreis

Dokumentation der Durchführung, Messdaten

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

Option

6. Messtechnische Untersuchung der Blindleistungskompensation eines induktiven Verbrauchers

verwendete Bauteile

Widerstandswert: $68R=68\Omega$, Toleranz $\pm 5\%$

Kapazitätswerte: $100\mu F=100 \cdot 10^{-6}F=0,0001$ Farad, $47\mu F$, $20\mu F$, $10\mu F$

Toleranz $\pm 20\%$, Tonfrequenzkondensatoren - nicht gepolt,

Induktivität: Drossel mit zu bestimmendem Wert

Induktivität



Widerstand
68 Ohm



Kondensatoren

100µFarad

47µFarad

20µFarad

10µFarad

Abbildung a: Steckbrett mit Bauteilen und 4mm-Buchsen

Versuchsdurchführung

zu 1.

Aufbau der Schaltung – siehe Abbildung 1.

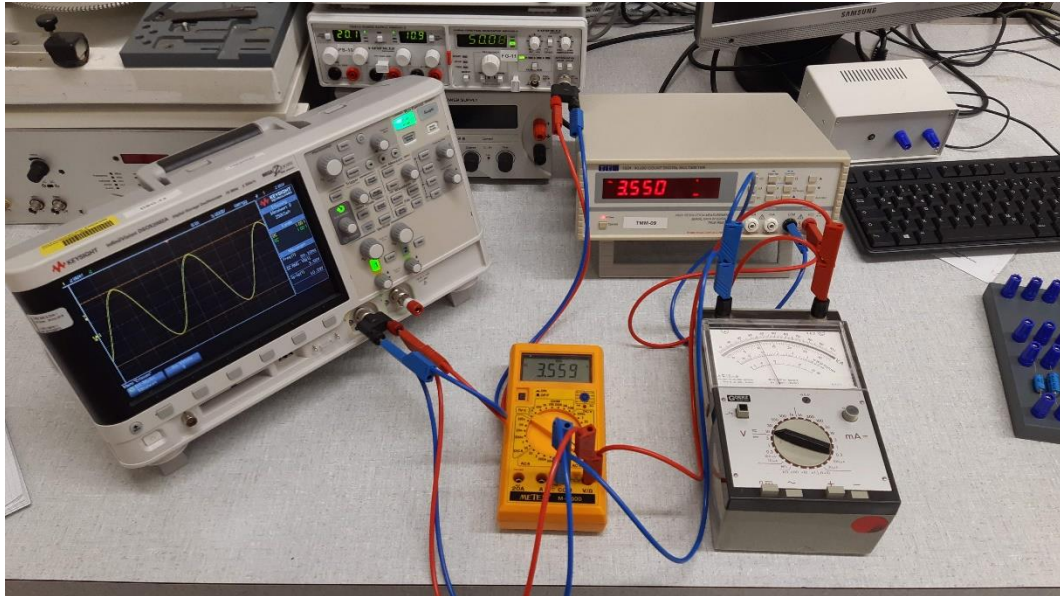


Abbildung 1: Untersuchung der Anzeige von Spannungsmessern

Als Signalquelle dient der 50 Ω - Ausgang des Hameg *HM8030-3* Funktionsgenerators. Es wird ein symmetrischer, sinusförmiger Verlauf der Generatorspannung ohne Gleichspannungsanteil mit einer Höhe von ca. 10V_{SS} und einer Frequenz von 50Hz eingestellt.

Diese Generatorspannung wird mit Kanal 1 (CH1) des *DSO-X 2002A* Oszilloskops grafisch aufgezeichnet und unter Verwendung der Messtechnik-Features des Gerätes sowohl als Spitze-Spitze-Wert als auch als Effektivwert gemessen. Dabei wird die Möglichkeit der Mittelwertbildung durch „Tiefpassfilterung“ über acht Messzyklen genutzt. Die Messung wird als „screenshot“ im Format .png und als Datensatz im Format .csv am USB-Stick abgespeichert. Die weiteren drei parallel geschalteten Spannungsmesser zeigen den Effektivwert dieser Generatorspannung an.

Diese Messungen werden mit einer dreieck- und einer rechteckförmigen Spannung gleicher Amplitude und Frequenz wiederholt.

	X2002A	X2002A	TTi1604	M4600	Unigor 4	HM8030	datafile
	CH1	CH1	P1	P2	P3	FG1	USB
	U _{SS} [V]	U _{eff} [V]	U _{eff} [V]	U _{eff} [V]	U _{eff} [V]	f [Hz]	.csv/.png
Sinus	10,15	3,55	3,532	3,535	3,31	49,90	pul_1.xxx
Dreieck	10,28	2,97	2,965	2,863	2,66	49,84	pul_2.xxx
Rechteck	11,01	5,48	5,500	6,003	5,91	49,82	pul_3.xxx

Tabelle 1: Messergebnisse zur Untersuchung der Anzeige von Spannungsmessern

Auswertung: Siehe Skriptum - Hinweise zur Erstellung des Laborberichtes – Auswertung. Verwenden Sie den Spitze-Spitze-Wert des Oszilloskops als Referenzwert und berechnen Sie die dazugehörigen Effektivwerte. Vergleichen Sie diese mit den Messwerten der einzelnen Messgeräte. Bewerten und erklären Sie Abweichungen von den berechneten Werten anhand der unterschiedlichen Verfahren der Messgeräte zur Bestimmung der Effektivwerte. Berücksichtigen Sie die Unsicherheiten der Messgeräte und führen Sie diese an.

Hinweise:

DSO-X 2002A: numerische Berechnung des Effektivwertes.

Link zum Datenblatt (Unsicherheiten):

<https://www.keysight.com/at/de/assets/7018-02733/data-sheets/5990-6618.pdf>

TTi 1604: analoge Berechnung des Effektivwertes.

Link zum Datenblatt (Unsicherheiten):

https://resources.aimtti.com/datasheets/AIM-1604_multimeter_data_sheet-Iss2A.pdf

Unigor 4n: Messung des zeitlichen Mittelwertes eines gleichgerichteten Stromes. Ein Vollweggleichrichter liefert einen pulsierenden Gleichstrom, mit dem unter Berücksichtigung des Formfaktors der „Effektivwert“ der Spannung angezeigt werden kann. Die Anzeige erfolgt über ein Drehspul-Instrument, in dessen Skala der Formfaktor integriert ist.

Unsicherheit für ac-Spannungsmessung: $\pm 1,5\%$ bei sinusförmigem Signal im Bereich zwischen 25-1000Hz.

M 4600: Ähnlich dem Messverfahren des Unigor 4n – die Anzeige erfolgt digital, der Formfaktor wird durch einen analogen Verstärker (Formfaktor = Verstärkungsfaktor) berücksichtigt.

Unsicherheit für ac-Spannungsmessung: $\pm 0,5\% \pm 10\text{digits}$

zu 2.

Aufbau der Schaltung – siehe Abbildung 2.

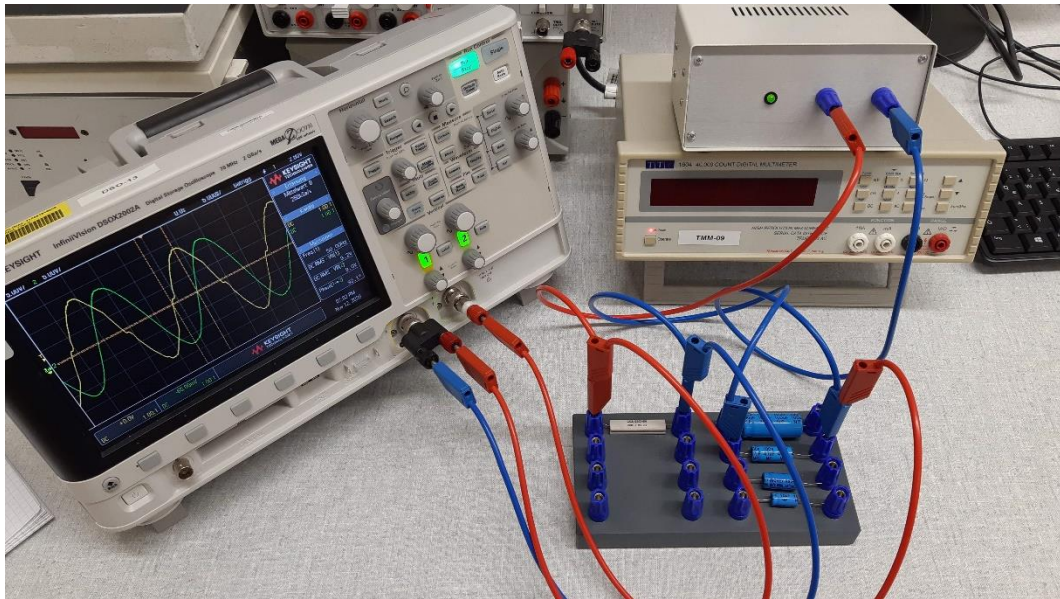


Abbildung 2: Aufnahme der Phasenlage von Kondensatorstrom und -spannung

Als Signalquelle dient die Sekundärwicklung eines Standard-Transformators TR1.

Der Bezugspunkt für die Messungen mit dem Oszilloskop (0V) liegt an der Verbindung von R1 und C1. Der Strom I wird durch Messung des Spannungsabfalls U_{R1} mit Kanal CH1 am ohmschen Widerstand R1 und nachfolgender Anwendung des Ohm'schen Gesetzes ermittelt. Um die vorzeichenrichtige Messung von U_{C1} mit Kanal CH2 durchführen zu können, wird CH2 invertiert.

Die Spannungsverläufe werden mit dem *DSO-X 2002A* Oszilloskops grafisch aufgezeichnet und unter Verwendung der Messtechnik-Features des Gerätes als Effektivwert angezeigt. Weiters werden die Phasenverschiebung zwischen CH1 und CH2 sowie die Frequenz des Signals an CH1 gemessen. Die Messung wird als „screenshot“ im Format .png und als Datensatz im Format .csv am USB-Stick abgespeichert.

X2002A	X2002A	X2002A	X2002A	datafile
CH1	CH2	Phase	Frequenz	USB
U_{R1} [V]	U_{C1} [V]	φ [°]	f [Hz]	.csv/.png
9,32	9,06	92,30	50,005	pul_4.xxx

Tabelle 2: Messergebnisse zur Aufnahme der Phasenlage von Kondensatorstrom und -spannung

Auswertung: Siehe Skriptum - Hinweise zur Erstellung des Laborberichtes – Auswertung. Führen Sie die Maßstäbe des Zeigerdiagramms an - diese sind in allen Richtungen gleich! Berücksichtigen Sie den Isolationswiderstand von C1 (Verlustfaktor $\tan\delta$) und tragen Sie seine Auswirkung (Teilstrom) im Zeigerdiagramm ein. Berücksichtigen Sie die Unsicherheiten der Messgeräte und führen Sie diese an.

Hinweis: Die Phasenverschiebung kann nicht größer als 90° sein. Auch die Berücksichtigung des Isolationswiderstandes von C1 führt allenfalls zu einer Verkleinerung der Phasenverschiebung. Der Grund liegt in den Verzerrungen im Signalverlauf und der Messung der Phasenverschiebung über die Bestimmung des zeitlichen Abstandes der Nulldurchgänge in Relation zur Periodendauer.

zu 3.

Aufbau der Schaltung - siehe Abbildung 3.

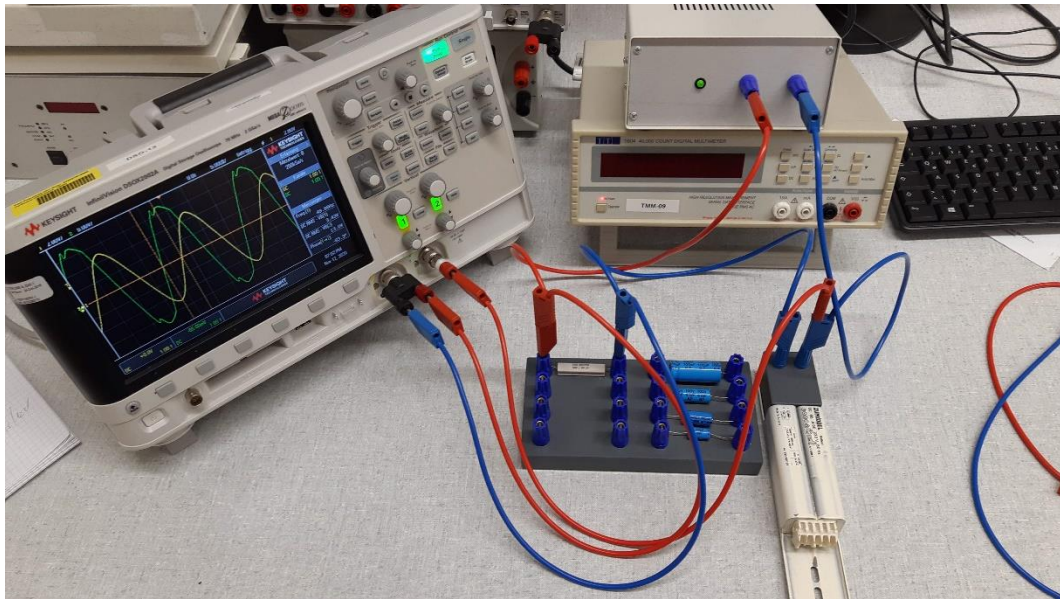


Abbildung 3: Aufnahme der Phasenlage von Spulenstrom und -spannung

Als Signalquelle dient die Sekundärwicklung eines Standard-Transformators TR1.

Der Bezugspunkt für die Messungen mit dem Oszilloskop (0V) liegt an der Verbindung von R1 und L1. Der Strom I wird durch Messung des Spannungsabfalls U_{R1} mit Kanal CH1 am ohmschen Widerstand R1 und nachfolgender Anwendung des Ohm'schen Gesetzes ermittelt. Um die vorzeichenrichtige Messung von U_{L1} mit Kanal CH2 durchführen zu können, wird CH2 invertiert.

Die Spannungsverläufe werden mit dem *DSO-X 2002A* Oszilloskops grafisch aufgezeichnet und unter Verwendung der Messtechnik-Features des Gerätes als Effektivwert angezeigt. Weiters werden die Phasenverschiebung zwischen CH1 und CH2 sowie die Frequenz des Signals an CH1 gemessen. Die Messung wird als „screenshot“ im Format .png und als Datensatz im Format .csv am USB-Stick abgespeichert.

X2002A	X2002A	X2002A	X2002A	TTi1604	datafile
CH1	CH2	Phase	Frequenz	Widerstand	USB
U_{R1} [V]	U_{L1} [V]	φ [°]	f [Hz]	R_L [Ω]	.csv/.png
3,48	13,1	-83,49	50,025	18,66	pul_5.xxx

Tabelle 3: Messergebnisse zur Aufnahme der Phasenlage von Spulenstrom und -spannung

Auswertung: Siehe Skriptum - Hinweise zur Erstellung des Laborberichtes - Auswertung. Führen Sie die Maßstäbe des Zeigerdiagramms an - diese sind in allen Richtungen gleich! Berücksichtigen Sie den Wicklungswiderstand R_L von L1 und tragen Sie seine Auswirkung (Teilspannung) im Zeigerdiagramm ein. Berücksichtigen Sie die Unsicherheiten der Messgeräte und führen Sie diese an.

Hinweis: Die Berücksichtigung des Wicklungswiderstandes von $L1$ führt allenfalls zu einer Verkleinerung der Phasenverschiebung. Die Verzerrungen im Signalverlauf und die Messung der Phasenverschiebung über die Bestimmung des zeitlichen Abstandes der Nulldurchgänge in Relation zur Periodendauer führen zu einer Verfälschung des Messergebnisses.

zu 4.

Aufbau der Schaltung – siehe Abbildung 4.

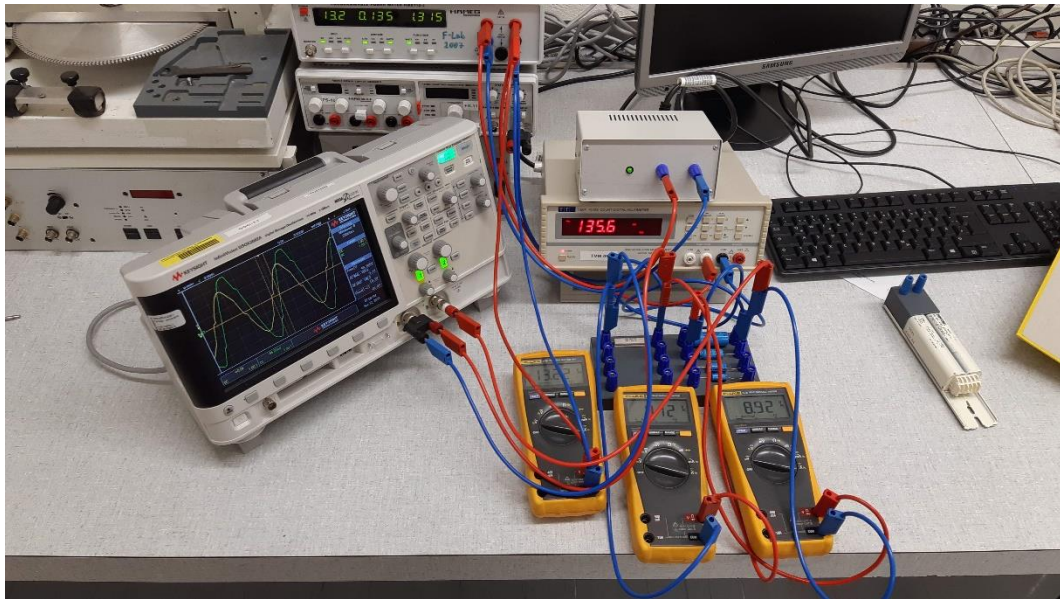


Abbildung 4: Aufnahme von Phasenlage und elektrischer Leistung im RC-Kreis

Als Signalquelle dient die Sekundärwicklung eines Standard-Transformators TR1.

Das Wattmeter wird in die Zuleitungen zwischen TR1 und der Schaltung geschaltet und ermöglicht die Messung folgender elektrischer Größen:

P5	P5	P5	P5	P5	P5
U_E	I	P	Q	S	$\cos\varphi$
[V]	[A]	[W]	[var]	[VA]	[]
13,3	0,137	1,342	1,22	1,812	0,74

Tabelle 4: Messergebnisse RC-Kreis mit P5

Mit den Vielfachinstrumenten P1 bis P4 werden Eingangsspannung bzw. -strom sowie die Teilspannungen an R1 und C1 gemessen.

P1	P4	P3	P2
U_E	U_{C1}	U_{R1}	I
[V]	[V]	[V]	[mA]
13,24	8,97	9,19	136,7

Tabelle 5: Messergebnisse RC-Kreis mit P1 – P4

Der Bezugspunkt für die Messungen mit dem Oszilloskop (0V) liegt an der Verbindung von R1 und einem Ausgang des Wattmeters. Der Strom I wird durch Messung des

Spannungsabfalls UR1 mit Kanal CH2 am ohmschen Widerstand R1 und nachfolgender Anwendung des Ohm'schen Gesetzes ermittelt. Die Spannungsverläufe werden mit dem *DSO-X 2002A* Oszilloskops grafisch aufgezeichnet und unter Verwendung der Messtechnik-Features des Gerätes als Effektivwert angezeigt. Weiters werden die Phasenverschiebung zwischen CH1 und CH2 sowie die Frequenz des Signals an CH1 gemessen. Die Messung wird als „screenshot“ im Format .png und als Datensatz im Format .csv am USB-Stick abgespeichert.

CH1	CH2	Frequenz	Phase	datafile
U_E	U_{R1}	f	φ	USB
[V]	[V]	[Hz]	[°]	.csv/.png
13,2	9,13	50,035	49,30	pul_6.xxx

Tabelle 6: Messergebnisse RC-Kreis mit Oszilloskop

Auswertung: Siehe Skriptum - Hinweise zur Erstellung des Laborberichtes - Auswertung. Führen Sie die Maßstäbe der Zeigerdiagramme an - diese sind in allen Richtungen gleich! Berücksichtigen Sie den Isolationswiderstand von C1 (Verlustfaktor $\tan\delta$) und tragen Sie seine Auswirkung (Teilstrom) im Zeigerdiagramm ein. Berücksichtigen Sie die Unsicherheiten der Messgeräte und führen Sie diese an. Berechnen Sie die Leistungen anhand der an den Bauteilen gemessenen Ströme und Spannungen bzw. anhand der Gesamtspannung und des Stromes unter der Berücksichtigung des Phasenwinkels und vergleichen Sie diese Ergebnisse mit den Messungen. Berechnen Sie die Unsicherheiten anhand der Größtfehlermethode (Ableitung).

Hinweis: Die Invertierung von Kanal CH2 am Oszilloskop wurde wieder ausgeschaltet.

HM8115-2 Leistungsmessgerät, Link zum Datenblatt (Unsicherheiten):

https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_manufacturers/gb_1/h/hm8115_1/HM8115-2_Power_Meter_UserManual_de_en_03.pdf

zu 5.

Aufbau der Schaltung – siehe Abbildung 5.

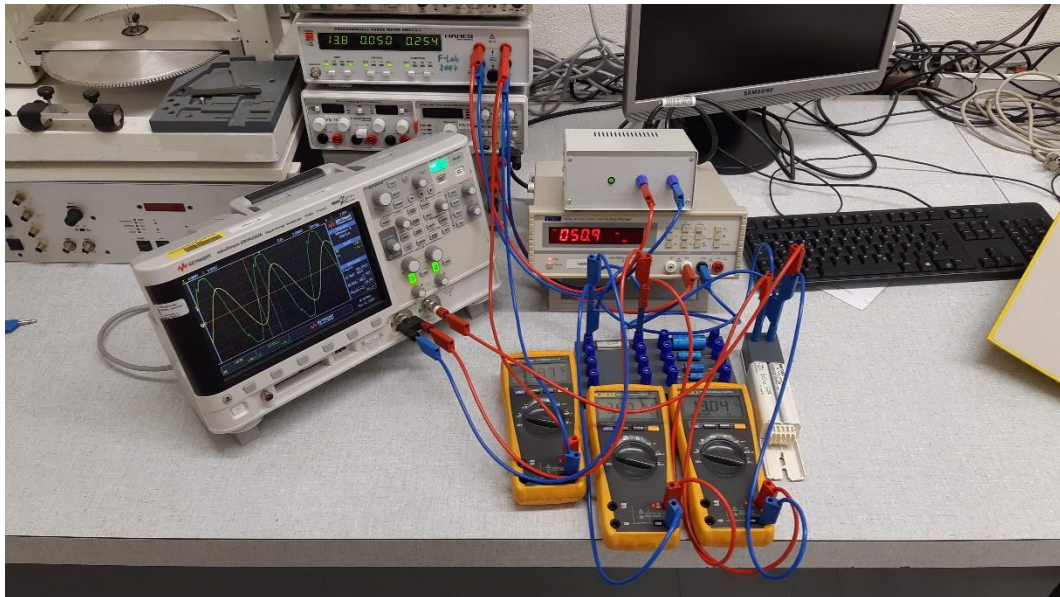


Abbildung 5: Aufnahme von Phasenlage und elektrischer Leistung im RL-Kreis

Als Signalquelle dient die Sekundärwicklung eines Standard-Transformators TR1.

Das Wattmeter wird in die Zuleitungen zwischen TR1 und der Schaltung geschaltet und ermöglicht die Messung folgender elektrischer Größen:

P5	P5	P5	P5	P5	P5
U_E	I	P	Q	S	$\cos\varphi$
[V]	[A]	[W]	[var]	[VA]	[]
13,9	0,051	0,256	0,65	0,699	0,37

Tabelle 7: Messergebnisse RL-Kreis mit P5

Mit den Vielfachinstrumenten P1 bis P4 werden Eingangsspannung bzw. -strom sowie die Teilspannungen an R1 und L1 gemessen.

P1	P4	P3	P2
U_E	U_{L1}	U_{R1}	I
[V]	[V]	[V]	[mA]
13,83	13,07	3,410	51,0

Tabelle 8: Messergebnisse RL-Kreis mit P1 – P4

Der Bezugspunkt für die Messungen mit dem Oszilloskop (0V) liegt an der Verbindung von R1 und einem Ausgang des Wattmeters. Der Strom I wird durch Messung des

Spannungsabfalls UR1 mit Kanal CH2 am ohmschen Widerstand R1 und nachfolgender Anwendung des Ohm'schen Gesetzes ermittelt. Die Spannungsverläufe werden mit dem *DSO-X 2002A* Oszilloskops grafisch aufgezeichnet und unter Verwendung der Messtechnik-Features des Gerätes als Effektivwert angezeigt. Weiters werden die Phasenverschiebung zwischen CH1 und CH2 sowie die Frequenz des Signals an CH1 gemessen. Die Messung wird als „screenshot“ im Format .png und als Datensatz im Format .csv am USB-Stick abgespeichert.

CH1	CH2	Frequenz	Phase	datafile
U_E	U_{R1}	f	φ	USB
[V]	[V]	[Hz]	[°]	.csv/.png
13,8	3,44	50,033	-70,02	pul_7.xxx

Tabelle 9: Messergebnisse RL-Kreis mit Oszilloskop

Auswertung: Siehe Skriptum - Hinweise zur Erstellung des Laborberichtes - Auswertung. Führen Sie die Maßstäbe der Zeigerdiagramme an - diese sind in allen Richtungen gleich! Berücksichtigen Sie den Wicklungswiderstand RL von L1 und tragen Sie seine Auswirkung (Teilspannung) im Zeigerdiagramm ein. Berücksichtigen Sie die Unsicherheiten der Messgeräte und führen Sie diese an. Berechnen Sie die Leistungen anhand der an den Bauteilen gemessenen Ströme und Spannungen bzw. anhand der Gesamtspannung und des Stromes unter der Berücksichtigung des Phasenwinkels und vergleichen Sie diese Ergebnisse mit den Messungen. Berechnen Sie die Unsicherheiten anhand der Größtfehlermethode (Ableitung).

zu 6.

Aufbau der Schaltung - siehe Abbildung 6.

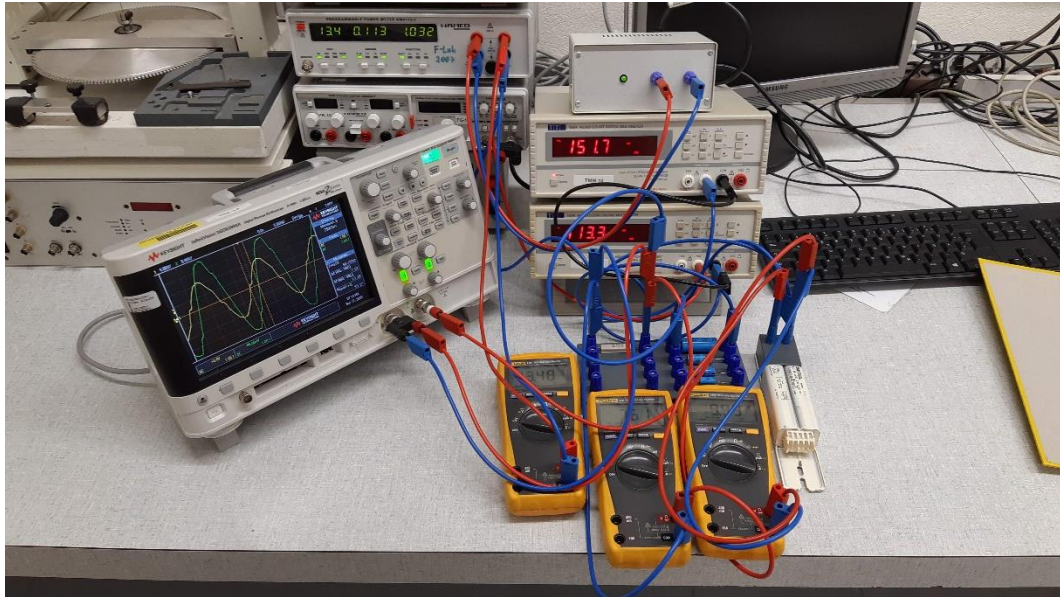


Abbildung 6: Aufnahme von Phasenlage und elektrischer Leistung im RLC-Kreis

Als Signalquelle dient die Sekundärwicklung eines Standard-Transformators TR1.

Für unterschiedliche Kapazitäten wurden die geforderten elektrischen Größen in der Schaltung gemessen. Obwohl in dieser nicht eingezeichnet, wurde das Leistungsmessgerät HM 8115-2 (P6) zwischen der Signalquelle und der RLC-Schaltung platziert und die Messwerte aufgenommen. Als Orientierung diene der diesbezügliche Aufbau der beiden vorhergehenden Schaltungen.

6.1. Messungen mit Kapazität $C1 = 100\mu\text{F}$

P6	P6	P6	P6	P6	P6
U_E	I	P	Q	S	$\cos\varphi$
[V]	[A]	[W]	[var]	[VA]	[]
12,9	0,161	1,880	0,88	2,074	0,90

Tabelle 10: $100\mu\text{F}$ -Messergebnisse RLC mit Leistungsmesser

P1	P4	P3	P2	P5
U_E	U_{L1}	U_{R1}	I	I_C
[V]	[V]	[V]	[mA]	[mA]
12,94	5,54	10,90	161,8	183,9

Tabelle 11: $100\mu\text{F}$ -Messergebnisse RLC-Kreis mit P1 - P5

CH1	CH2	Frequenz	Phase	datafile
U_E	U_{R1}	f	φ	USB
[V]	[V]	[Hz]	[°]	.csv/.png
12,48	10,80	50,005	-35,16	pul_8.xxx

Tabelle 12: 100 μ F-Messergebnisse RLC-Kreis mit Oszilloskop6.2. Messungen mit Kapazität $C1 = 47\mu\text{F}$

P6	P6	P6	P6	P6	P6
U_E	I	P	Q	S	$\cos\varphi$
[V]	[A]	[W]	[var]	[VA]	[]
13,5	0,114	1,042	1,12	1,532	0,68

Tabelle 13: 47 μ F-Messergebnisse RLC mit Leistungsmesser

P1	P4	P3	P2	P5
U_E	U_{L1}	U_{R1}	I	I_C
[V]	[V]	[V]	[mA]	[mA]
13,61	10,03	7,70	114,6	153,1

Tabelle 14: 47 μ F-Messergebnisse RLC-Kreis mit P1 - P5

CH1	CH2	Frequenz	Phase	datafile
U_E	U_{R1}	f	φ	USB
[V]	[V]	[Hz]	[°]	.csv/.png
13,3	7,62	49,978	-54,05	pul_9.xxx

Tabelle 15: 47 μ F-Messergebnisse RLC-Kreis mit Oszilloskop6.3. Messungen mit Kapazität $C1 = 22\mu\text{F}$

P6	P6	P6	P6	P6	P6
U_E	I	P	Q	S	$\cos\varphi$
[V]	[A]	[W]	[var]	[VA]	[]
13,9	0,041	0,288	0,50	0,573	0,50

Tabelle 16: 22 μ F-Messergebnisse RLC mit Leistungsmesser

P1	P4	P3	P2	P5
U_E	U_{L1}	U_{R1}	I	I_C
[V]	[V]	[V]	[mA]	[mA]
14,01	12,82	2,815	0,042	0,089

Tabelle 17: 22 μ F-Messergebnisse RLC-Kreis mit P1 - P5

CH1	CH2	Frequenz	Phase	datafile
U_E	U_{R1}	f	φ	USB
[V]	[V]	[Hz]	[°]	.csv/.png
13,9	2,79	50,020	-63,17	pul_10.xxx

Tabelle 18: 22 μ F-Messergebnisse RLC-Kreis mit Oszilloskop

6.4. Messungen mit Kapazität $C1 = 10\mu\text{F}$

P6	P6	P6	P6	P6	P6
U_E	I	P	Q	S	$\cos\varphi$
[V]	[A]	[W]	[var]	[VA]	[]
13,7	0,014	0,156	0,11	0,189	---

Tabelle 19: 10 μ F-Messergebnisse RLC mit Leistungsmesser

P1	P4	P3	P2	P5
U_E	U_{L1}	U_{R1}	I	I_C
[V]	[V]	[V]	[mA]	[mA]
13,75	12,95	0,943	14,2	45,4

Tabelle 20: 10 μ F-Messergebnisse RLC-Kreis mit P1 - P5

CH1	CH2	Frequenz	Phase	datafile
U_E	U_{R1}	f	φ	USB
[V]	[V]	[Hz]	[°]	.csv/.png
13,9	0,95	50,023	45,87	pul_11.xxx

Tabelle 21: 10 μ F-Messergebnisse RLC-Kreis mit Oszilloskop

Auswertung: Siehe Skriptum - Hinweise zur Erstellung des Laborberichtes - Auswertung. Führen Sie die Maßstäbe der Zeigerdiagramme an - diese sind in allen Richtungen gleich!

Berücksichtigen Sie die Unsicherheiten der Messgeräte und führen Sie diese an. Berechnen Sie die Unsicherheiten anhand der Größtfehlermethode (Ableitung).

Hinweis: Beachten Sie, dass auf Grund der Oberwellen in einigen Signalen keine eindeutige Bestimmung der Phasenlage möglich ist.