



Laborbericht

BA-MECH-25

Elektrotechnik I

Autor(en)

Matrikelnummer

Kohorte

Gruppe

Lektor

Stefan Höllrigl, Noah Kandziora, Vsevolod Kopus
2510602025, 2510602059, 2410602042

BA-MECH-25

BA-MECH-25-2A

Dr. Georg Saxl

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Gleichstromtechnik	1
1.2	Wechselstromtechnik	1
2	Gleichstromtechnik	2
2.1	Ohmsches Gesetz Versuch 1	2
2.1.1	Einleitung und Aufgabenstellung	2
2.1.2	Versuchsaufbau und Materialien	2
2.1.3	Versuchsdurchführung und Methoden	3
2.1.4	Ergebnis und Interpretation	3
2.2	Ohmsches Gesetz Versuch 2	5
2.2.1	Einleitung und Aufgabenstellung	5
2.2.2	Versuchsaufbau und Materialien	5
2.2.3	Versuchsdurchführung und Methoden	5
2.2.4	Ergebnis und Interpretation	5
2.3	Mischen von Reihen- und Parallelschaltungen	7
2.3.1	Einleitung und Aufgabenstellung	7
2.3.2	Versuchsaufbau und Materialien	7
2.3.3	Versuchsdurchführung und Methoden	7
2.3.4	Ergebnis und Interpretation	8
2.4	Unbelasteter Spannungsteiler	10
2.4.1	Einleitung und Aufgabenstellung	10
2.4.2	Versuchsaufbau und Materialien	10
2.4.3	Versuchsdurchführung und Methoden	10
2.4.4	Ergebnis und Interpretation	10
2.5	Belasteter Spannungsteiler	12
2.5.1	Einleitung und Aufgabenstellung	12
2.5.2	Versuchsaufbau und Materialien	12
2.5.3	Versuchsdurchführung und Methoden	13
2.5.4	Ergebnis und Interpretation	13
2.6	Spannungsrichtige Messung	15
2.6.1	Einleitung und Aufgabenstellung	15
2.6.2	Versuchsaufbau und Materialien	15

2.6.3	Versuchsdurchführung und Methoden	15
2.6.4	Ergebnis und Interpretation	16
2.7	Stromrichtige Messung	17
2.7.1	Einleitung und Aufgabenstellung	17
2.7.2	Versuchsaufbau und Materialien	17
2.7.3	Versuchsdurchführung und Methoden	17
2.7.4	Ergebnis und Interpretation	18
2.8	Ersatzspannungsquelle	19
2.8.1	Einleitung und Aufgabenstellung	19
2.8.2	Versuchsaufbau und Materialien	19
2.8.3	Versuchsdurchführung und Methoden	19
2.8.4	Ergebnis und Interpretation	20
2.9	Reihenschaltung von Spannungsquellen	21
2.9.1	Einleitung und Aufgabenstellung	21
2.9.2	Versuchsaufbau und Materialien	21
2.9.3	Versuchsdurchführung und Methoden	21
2.9.4	Ergebnis und Interpretation	21
2.10	Parallelschaltung von Spannungsquellen	22
2.10.1	Einleitung und Aufgabenstellung	22
2.10.2	Versuchsaufbau und Materialien	22
2.10.3	Versuchsdurchführung und Methoden	22
2.10.4	Ergebnis und Interpretation	23
3	Wechselstromtechnik	24
3.1	Lade- und Entladevorgang eines Kondensators	24
3.1.1	Einleitung und Aufgabenstellung	24
3.1.2	Versuchsaufbau und Materialien	24
3.1.3	Versuchsdurchführung und Methoden	25
3.1.4	Ergebnis und Interpretation	25
3.2	Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung am Kondensator	28
3.2.1	Einleitung und Aufgabenstellung	28
3.2.2	Versuchsaufbau und Materialien	28
3.2.3	Versuchsdurchführung und Methoden	29
3.2.4	Ergebnis und Interpretation	29
3.3	Kapazitiver Blindwiderstand eines Kondensators	30
3.3.1	Einleitung und Aufgabenstellung	30
3.3.2	Versuchsaufbau und Materialien	30
3.3.3	Versuchsdurchführung und Methoden	30
3.3.4	Ergebnis und Interpretation	31

3.4	Blindleistung eines Kondensators	32
3.4.1	Einleitung und Aufgabenstellung	32
3.4.2	Versuchsaufbau und Materialien	32
3.4.3	Versuchsdurchführung und Methoden	32
3.4.4	Ergebnis und Interpretation	33
3.5	Ein- und Ausschaltvorgang an einer Spule	34
3.5.1	Einleitung und Aufgabenstellung	34
3.5.2	Versuchsaufbau und Materialien	34
3.5.3	Versuchsdurchführung und Methoden	34
3.5.4	Ergebnis und Interpretation	35
3.6	Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung an einer Spule	37
3.6.1	Einleitung und Aufgabenstellung	37
3.6.2	Versuchsaufbau und Materialien	37
3.6.3	Versuchsdurchführung und Methoden	37
3.6.4	Ergebnis und Interpretation	38
3.7	Parallelschaltung von Widerstand und Spule	39
3.7.1	Einleitung und Aufgabenstellung	39
3.7.2	Versuchsaufbau und Materialien	39
3.7.3	Versuchsdurchführung und Methoden	40
3.7.4	Ergebnis und Interpretation	40
3.8	Reihenschaltung von Widerstand und Kondensator	42
3.8.1	Einleitung und Aufgabenstellung	42
3.8.2	Versuchsaufbau und Materialien	42
3.8.3	Versuchsdurchführung und Methoden	43
3.8.4	Ergebnis und Interpretation	43
3.9	Wirk-, Blind- und Scheinleistung	45
3.9.1	Einleitung und Aufgabenstellung	45
3.9.2	Versuchsaufbau und Materialien	45
3.9.3	Versuchsdurchführung und Methoden	46
3.9.4	Ergebnis und Interpretation	46

Abbildungsverzeichnis

2.1	Schematischer Aufbau des Stromkreises mit einem ohmschen Verbraucher, Bildquelle: Laboranleitung 1 - Gleichstromtechnik [1]	3
2.2	Stromkennlinien der Labormesswerte vom Voltmeter und Amperemeter bei $100\ \Omega$ und $330\ \Omega$	4
2.3	Stromkennlinien der berechneten Werte bei $100\ \Omega$ und $330\ \Omega$	4
2.4	Stromkennlinien der Labormesswerte vom Voltmeter und Amperemeter bei $0\ \Omega$ bis $1000\ \Omega$	6
2.5	Stromkennlinien der berechneten Werte bei $0\ \Omega$ bis $1000\ \Omega$	6
2.6	Schematischer Aufbau der Reihen- und Parallelschaltung, Bildquelle: Laboranleitung 1 - Gleichstromtechnik [1]	7
2.7	Schematischer Aufbau unbelasteter Spannungsteiler, Bildquelle: Laboranleitung 1 - Gleichstromtechnik [1]	10
2.8	Kennlinie vom unbelasteten Spannungsteiler mit den Messwerten	11
2.9	Kennlinie vom unbelasteten Spannungsteiler mit den errechneten Werten	11
2.10	Schematischer Aufbau belasteter Spannungsteiler, Bildquelle: Laboranleitung 1 - Gleichstromtechnik [1]	12
2.11	Kennlinie vom belasteten Spannungsteiler mit den Messwerten	13
2.12	Kennlinie vom belasteten Spannungsteiler mit den berechneten Werten	14
2.13	Schematischer Aufbau der spannungsrichtigen Messung, Bildquelle: Laboranleitung 1 - Gleichstromtechnik [1]	15
2.14	Schematischer Aufbau der stromrichtigen Messung, Bildquelle: Laboranleitung 1 - Gleichstromtechnik [1]	17
2.15	Schematischer Aufbau einer Ersatzspannungsquelle, Bildquelle: Laboranleitung 1 - Gleichstromtechnik [1]	19
2.16	Widerstandkennlinie der Ersatzspannungsquelle	20
2.17	Schematischer Aufbau einer Reihenschaltung von Spannungsquellen, Bildquelle: Laboranleitung 1 - Gleichstromtechnik [1]	21
2.18	Schematischer Aufbau einer Parallelschaltung von Spannungsquellen, Bildquelle: Laboranleitung 1 - Gleichstromtechnik [1]	22
3.1	Schematischer Aufbau der RC Schaltung, Bildquelle: Laboranleitung 2 - Wechselstromtechnik [2]	24

3.2	Zeitlicher Verlauf der Lade- und Entladevorgänge des Kondensators im Vergleich zur Eingangsspannung	25
3.3	Zeitlicher Verlauf der Spannung am Widerstand im Vergleich zur Eingangsspannung	26
3.4	Schematischer Aufbau der RC Schaltung, Bildquelle: Laboranleitung 2 - Wechselstrom- technik [2]	28
3.5	Zeitlicher Verlauf der Phasenverschiebung zwischen Kondensatorspannung und Wi- derstandsspannung	29
3.6	Schematischer Aufbau der RC Schaltung, Bildquelle: Laboranleitung 2 - Wechselstrom- technik [2]	30
3.7	Zusammenhang zwischen Blindwiderstand des Kondensators bei verschiedenen Fre- quenzen	31
3.8	Schematischer Aufbau der RC Schaltung, Bildquelle: Laboranleitung 2 - Wechselstrom- technik [2]	32
3.9	Zeitlicher Verlauf der Kondensatorspannung, des Kondensatorstromes und der Kon- densatorblindleistung	33
3.10	Schematischer Aufbau der RL Schaltung, Bildquelle: Laboranleitung 2 - Wechselstrom- technik [2]	34
3.11	Zeitlicher Verlauf der Eingangsspannung und der Spulenspannung	36
3.12	Zeitlicher Verlauf der Spannung am Widerstand im Vergleich zur Eingangsspannung	36
3.13	Schematischer Aufbau der RL Schaltung, Bildquelle: Laboranleitung 2 - Wechselstrom- technik [2]	37
3.14	Zeitlicher Verlauf der Phasenverschiebung zwischen Spulenspannung und Widerstandss- pannung	38
3.15	Schematischer Aufbau von einer Parallelschaltung von Widerstand und Spule, Bild- quelle: Laboranleitung 2 - Wechselstromtechnik [2]	39
3.16	Zeigerdiagramme der Ströme und Leitwerte	41
3.17	Schematischer Aufbau von einer Reihenschaltung von Widerstand und Kondensator, Bildquelle: Laboranleitung 2 - Wechselstromtechnik [2]	42
3.18	Zeigerdiagramme der Ströme und Leitwerte	44
3.19	Schematischer Aufbau von einer RLC-Schaltung, Bildquelle: Laboranleitung 2 - Wech- selstromtechnik [2]	45
3.20	Zeigerdiagramm der Leistungen	47

Tabellenverzeichnis

2.1	Teilströme und Gesamtströme [mA]	8
2.2	Teilspannungen [V]	8
2.3	Ergebnis der spannungsrichtigen Messung	16
2.4	Ergebnis der stromrichtigen Messung	18
2.5	Gleiche Urspannung ($U_{01} = U_{02}$)	23
2.6	Ungleiche Urspannung ($U_{01} \neq U_{02}$)	23

Kapitel 1

Einleitung

In den folgenden Laborversuchen werden die wichtigsten Grundlagen der Elektrotechnik praktisch untersucht. Der Bericht ist in zwei Hauptteile unterteilt: Gleichstrom und Wechselstrom.

1.1 Gleichstromtechnik

Im ersten Teil geht es darum, wie sich Strom und Spannung in einfachen Stromkreisen verhalten. Folgende Punkte werden untersucht:

- Das ohmsche Gesetz
- Verteilung von Strom und Spannung in Reihenschaltungen und Parallelschaltungen
- Verhalten von Spannungsquellen in verschiedensten Schaltungen

1.2 Wechselstromtechnik

Der zweite Teil behandelt die Versuche zur Wechselstromtechnik. Folgende Punkte werden untersucht:

- Die Reaktion von Widerständen, Spulen oder Kondensatoren auf Wechselspannung
- Untersuchung der zeitlichen Verschiebung zwischen Strom und Spannung
- Berechnung der Leistungen

Kapitel 2

Gleichstromtechnik

2.1 Ohmsches Gesetz Versuch 1

2.1.1 Einleitung und Aufgabenstellung

Im ersten Versuch werden die Zusammenhänge zwischen Strom und Spannung bei konstanten Widerstand abhängig von der Spannung im Gleichstromkreis wiedergegeben.

2.1.2 Versuchsaufbau und Materialien

Als Energiequelle dient ein regelbares Netzgerät, welches eine variable Gleichspannung zur Verfügung stellt. Wie in Abbildung 2.1 werden zur Erfassung der Messwerte zwei digitale Multimeter eingesetzt, wobei ein Gerät als Amperemeter und das andere als Voltmeter konfiguriert wird. Als Last dient ein $100\ \Omega$ und ein $330\ \Omega$ Widerstand. Zuerst wird der gewählte Widerstand mit dem Amperemeter in Reihe geschaltet. Das Voltmeter wird parallel zum Widerstand angeschlossen. Die gesamte Schaltung wird mit der Gleichspannungsquelle verbunden.

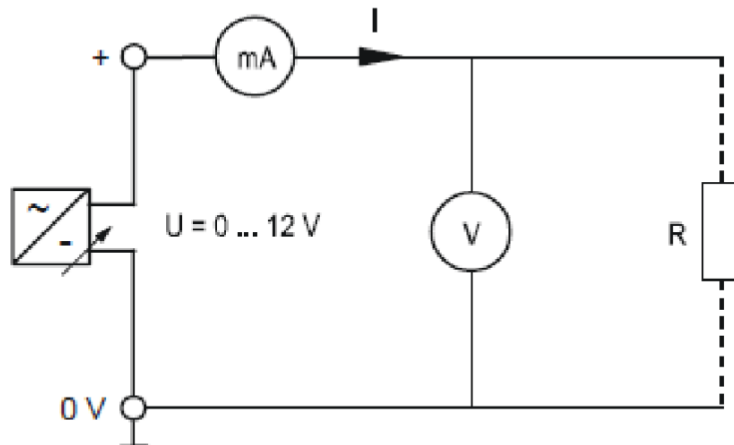


Abbildung 2.1: Schematischer Aufbau des Stromkreises mit einem ohmschen Verbraucher, Bildquelle: Laboranleitung 1 - Gleichstromtechnik [1]

2.1.3 Versuchsdurchführung und Methoden

Die Eingangsspannung wird eingestellt. Folglich werden die Messungen für beide Lasten Schritt für Schritt von 0 V bis 12 V in zweischritten durchgeführt.

2.1.4 Ergebnis und Interpretation

Strom und Spannung sind proportional zueinander. In Abbildung 2.2 sieht man die beiden nahezu linearen Kennlinien des Stroms. Bei doppelter Spannung verdoppelt sich auch der Strom. Je steiler die Kurve desto kleiner ist der Widerstand. Das belegt genau die Theorie vom Ohmschen Gesetz.

$$I = \frac{U}{R}, \quad (2.1)$$

Die Stromkennlinien bei konstanten Widerstand sind abhängig von der Spannung.

$$I = f(U), \quad (2.2)$$

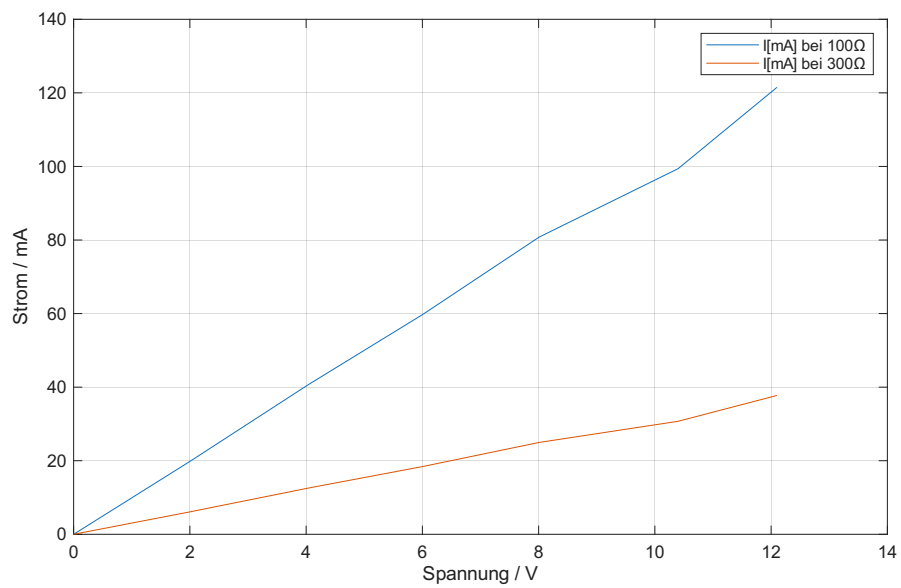


Abbildung 2.2: Stromkennlinien der Labormesswerte vom Voltmeter und Amperemeter bei 100 Ω und 330 Ω

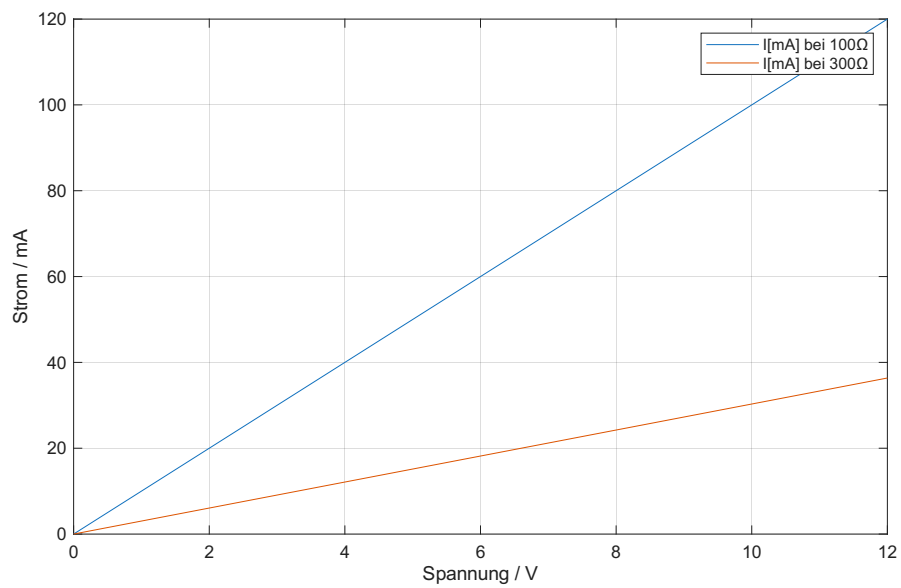


Abbildung 2.3: Stromkennlinien der berechneten Werte bei 100 Ω und 330 Ω

2.2 Ohmsches Gesetz Versuch 2

2.2.1 Einleitung und Aufgabenstellung

Im zweiten Versuch werden die Zusammenhänge zwischen Strom und Spannung bei konstanter Spannung abhängig vom Widerstand im Gleichstromkreis wiedergegeben.

2.2.2 Versuchsaufbau und Materialien

Der Versuchsaufbau ist wie bei 2.1.2 durchzuführen. Für den Lastwiderstand werden für diesen Versuch folgende Widerstände verwendet: 100 Ω , 220 Ω , 330 Ω , 470 Ω , 680 Ω und 1000 Ω .

2.2.3 Versuchsdurchführung und Methoden

Die Eingangsspannung wird eingestellt. Folglich werden die Messungen für die Lasten Schritt für Schritt mit jeweils konstanter Spannung mit 12 V, 8 V und 4 V durchgeführt.

2.2.4 Ergebnis und Interpretation

Die Abbildung 2.4 zeigt einen hyperbolischen Zusammenhang zwischen dem Widerstand und der Stromstärke bei verschiedenen konstanten Spannungen. Das Messergebnis bestätigt das Ohmsche Gesetz, da die Stromstärke mit zunehmendem Widerstand degressiv abnimmt. Höhere Spannungen führen dabei zu einer vertikalen Verschiebung der Kurven nach oben, wobei das Verhältnis der Stromwerte exakt proportional zur angelegten Spannung bleibt.

$$I = \frac{U}{R}, \quad (2.3)$$

Die Stromkennlinien bei konstanter Spannung sind abhängig vom Widerstand.

$$I = f(R), \quad (2.4)$$

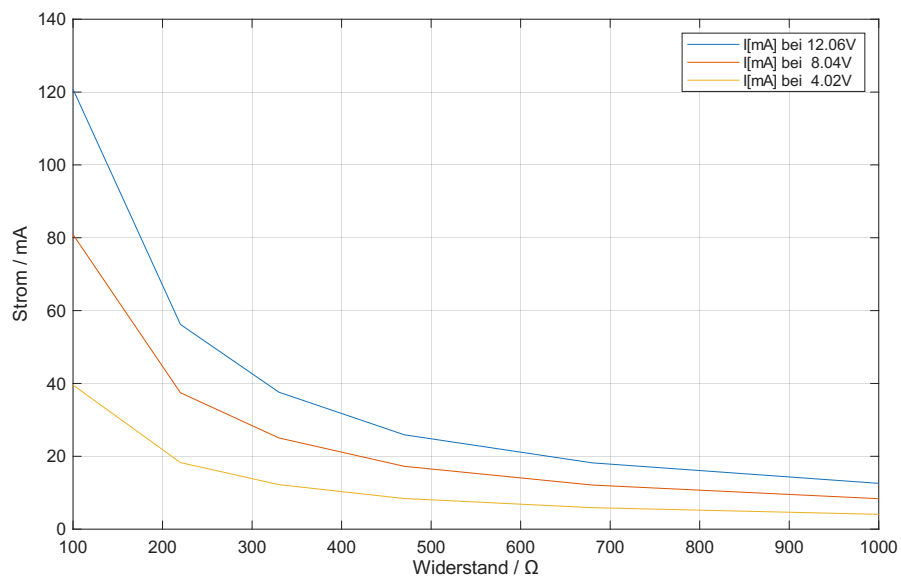


Abbildung 2.4: Stromkennlinien der Labormesswerte vom Voltmeter und Amperemeter bei 0 Ω bis 1000 Ω

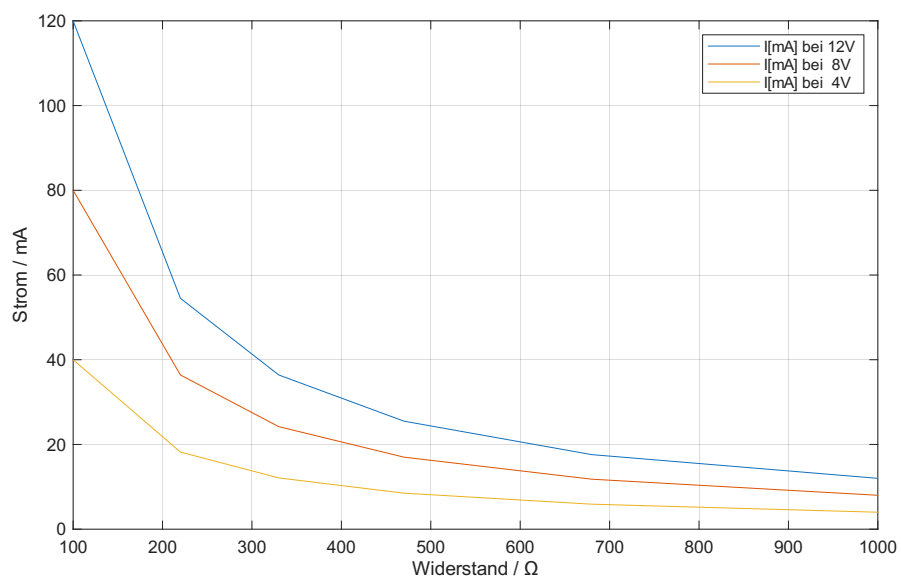


Abbildung 2.5: Stromkennlinien der berechneten Werte bei 0 Ω bis 1000 Ω

2.3 Mischen von Reihen- und Parallelschaltungen

2.3.1 Einleitung und Aufgabenstellung

Im Versuch wird eine Reihen- und Parallelschaltung aufgebaut, dabei werden bei den Messpunkten die Ströme und die Teilspannungen der Widerstände in der Schaltung gemessen.

2.3.2 Versuchsaufbau und Materialien

Als Energiequelle dient ein regelbares Netzgerät, welches eine variable Gleichspannung zur Verfügung stellt. Wie in Abbildung 2.6 wird zur Erfassung der Messwerte ein digitales Multimeter eingesetzt. In der Schaltung ist der Widerstand $R_1 = 20\ \Omega$ und der Widerstand $R_2 = 100\ \Omega$ in Reihe mit der Parallelschaltung aus dem Widerstand $R_3 = 330\ \Omega$ und dem Widerstand $R_4 = 680\ \Omega$ geschaltet. Die gesamte Schaltung wird mit der Gleichspannungsquelle verbunden.

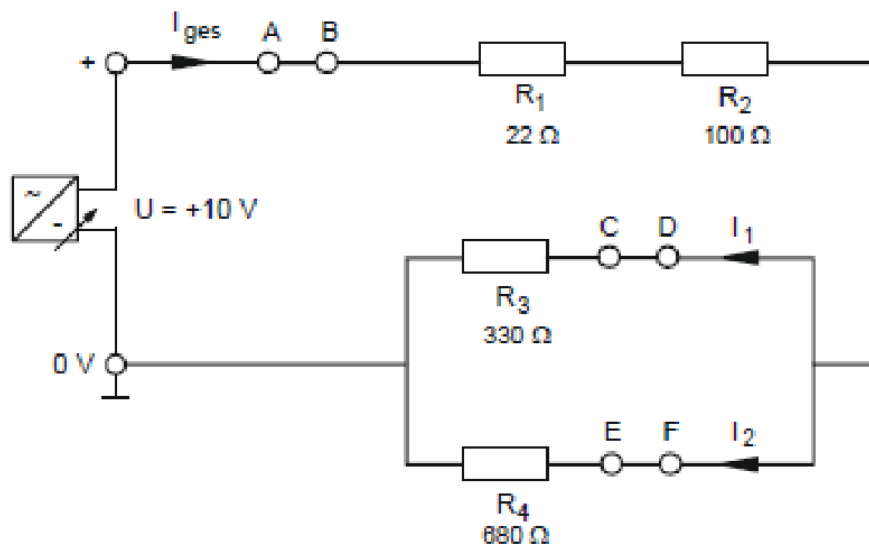


Abbildung 2.6: Schematischer Aufbau der Reihen- und Parallelschaltung, Bildquelle: Laboranleitung 1 - Gleichstromtechnik [1]

2.3.3 Versuchsdurchführung und Methoden

Die Eingangsspannung wird auf 10 V eingestellt. Folglich werden die Strommessungen bei den Messpunkten A-B, C-D und E-F durchgeführt. Dabei ist darauf zu achten, dass das Multimeter als Amperemeter und der Messbereich auf mA eingestellt wird. Zudem werden die Teilspannungen aller Widerstände mittels Multimeter, das als Voltmeter konfiguriert ist bemessen. Dabei wird jeweils ein Messeingang vor und nach dem Widerstand eingesteckt.

2.3.4 Ergebnis und Interpretation

Die Messwerte der Ströme sind in der Tabelle 2.1 dargestellt. Die Messwerte der Teilspannungen sind in der Tabelle 2.2 dargestellt. Die Werte der Tabellen sind die Messwerte aus dem Labor.

Tabelle 2.1: Teilströme und Gesamtströme [mA]

Messpunkte		
A-B (I_{ges})	C-D (I_1)	E-F (I_2)
29,28	19,79	9,55

Tabelle 2.2: Teilspannungen [V]

U_{R1}	U_{R2}	U_{R3}	U_{R4}
0,64	2,93	6,50	6,50

In den folgenden Berechnungen sieht man, dass die Rechnungen mit idealen Werten fast genau den Messwerten im Labor entsprechen. Der Spannungsabfall in der Parallelschaltung ist bei beiden Widerständen gleich. In der Reihenschaltung ist gut erkennbar, dass der Strom bei beiden Widerständen gleich ist.

$$R_{12} = R_1 + R_2 = 122 \, \Omega, \quad (2.5)$$

$$R_{34} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = 222,18 \, \Omega \quad (2.6)$$

$$R_{ges} = R_{12} + R_{23} = 344,18 \, \Omega \quad (2.7)$$

$$U_{34} = U - R_{12} \cdot I_{ges} = 6,46 \, V \quad (2.8)$$

$$I_{ges} = \frac{U}{R_{ges}} = 29,05 \, mA \quad (2.9)$$

$$I_1 = \frac{U_{34}}{R_3} = 19,58 \, mA \quad (2.10)$$

$$I_2 = \frac{U_{34}}{R_4} = 9,5 \, mA \quad (2.11)$$

$$U_{R1} = R_1 \cdot I_{ges} = 0,64 \, V \quad (2.12)$$

$$U_{R2} = R_2 \cdot I_{ges} = 2,91 \, V \quad (2.13)$$

$$U_{R3} = R_3 \cdot I_1 = 6,46 \text{ V} \quad (2.14)$$

$$U_{R4} = R_4 \cdot I_2 = 6,46 \text{ V} \quad (2.15)$$

2.4 Unbelasteter Spannungsteiler

2.4.1 Einleitung und Aufgabenstellung

Im Versuch wird eine Schaltung mit einem variabel einstellbaren $1\text{ k}\Omega$ Potentiometer realisiert. Die Kennlinie des Spannungsteilers wird mit den Messwerten ermittelt.

2.4.2 Versuchsaufbau und Materialien

Als Energiequelle dient ein regelbares Netzgerät, welches eine variable Gleichspannung zur Verfügung stellt. Wie in Abbildung 2.7 wird zur Erfassung der Messwerte ein digitales Multimeter eingesetzt, wobei das Gerät als Voltmeter konfiguriert wird. Das Potentiometer wird mit dem Kontakt E zum Pluspol und dem Kontakt A zum Minuspol mit der Gleichspannungsquelle verbunden.

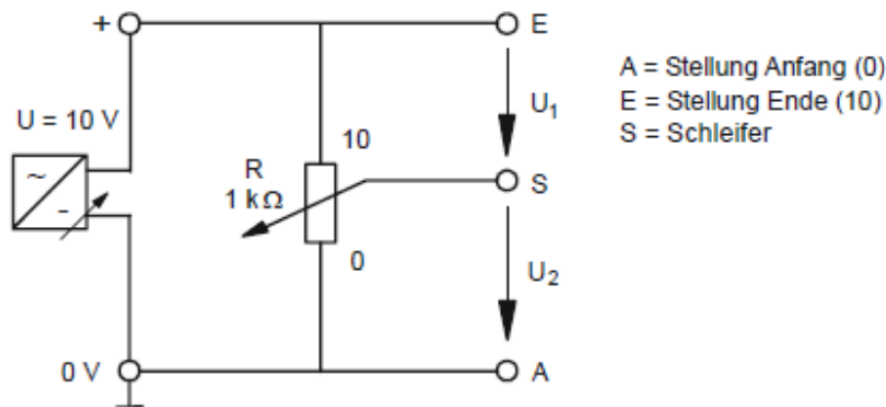


Abbildung 2.7: Schematischer Aufbau unbelasteter Spannungsteiler, Bildquelle: Laboranleitung 1 - Gleichstromtechnik [1]

2.4.3 Versuchsdurchführung und Methoden

Eine Gleichspannung von 10 V wird angelegt. Folglich werden die Potentiometerstellungen (α) von $0 - 10$ in Einzerschritten abgearbeitet, dabei wird die Spannung U_2 zwischen den Messpunkten S und A notiert.

2.4.4 Ergebnis und Interpretation

Die Kennlinie eines idealen unbelasteten Spannungsteilers ist linear. In Abbildung 2.8 sieht man sehr gut, dass die Kennlinie des Spannungsteilers im unbelasteten Zustand nahezu linear ansteigt. Berechnung unbelasteter Spannungsteiler:

$$U_2 = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = U \cdot \frac{\alpha}{10}, \quad (2.16)$$

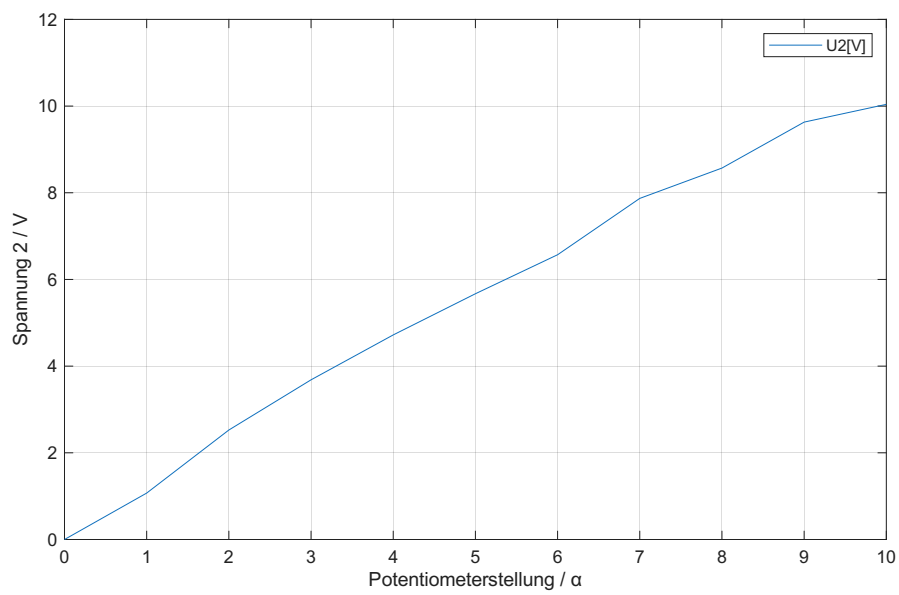


Abbildung 2.8: Kennlinie vom unbelasteten Spannungsteiler mit den Messwerten

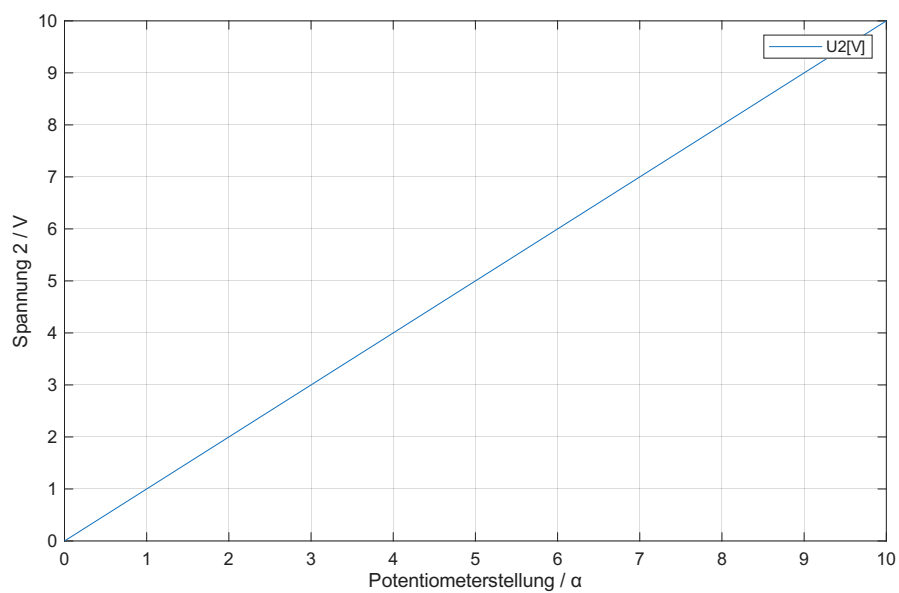


Abbildung 2.9: Kennlinie vom unbelasteten Spannungsteiler mit den errechneten Werten

2.5 Belasteter Spannungsteiler

2.5.1 Einleitung und Aufgabenstellung

Im Versuch wird eine Schaltung mit einem variabel einstellbaren $1\text{ k}\Omega$ Potentiometer realisiert. Es werden verschiedene Lasten beim Spannungsteiler angelegt und beobachtet wie sich der Spannungsteiler unter verschiedenen Belastungen verhält.

2.5.2 Versuchsaufbau und Materialien

Als Energiequelle dient ein regelbares Netzgerät, welches eine variable Gleichspannung zur Verfügung stellt. Wie in Abbildung 2.10 wird zur Erfassung der Messwerte ein digitales Multimeter eingesetzt, wobei das Gerät als Voltmeter konfiguriert wird. Das Potentiometer wird mit dem Kontakt E zum Pluspol und mit dem Kontakt A zum Minuspol mit der Gleichspannungsquelle verbunden. Zwischen dem Schleifer Kontakt und dem Kontakt A werden die Lastwiderstände $R_3 = 100\ \Omega$, $R_3 = 470\ \Omega$ und $R_3 = 1000\ \Omega$ angeschlossen.

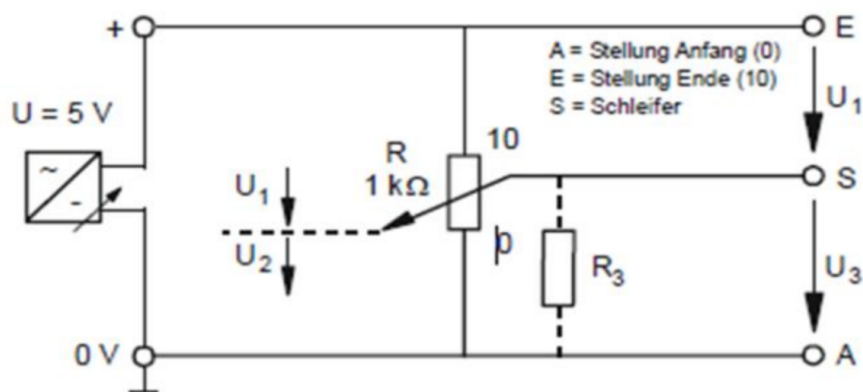


Abbildung 2.10: Schematischer Aufbau belasteter Spannungsteiler, Bildquelle: Laboranleitung 1 - Gleichstromtechnik [1]

2.5.3 Versuchsdurchführung und Methoden

Eine Gleichspannung von 5 V wird angelegt. Folglich werden die Potentiometerstellungen (α) von 0-10 in Einzerschritten abgearbeitet, dabei wird die Spannung U_3 notiert.

2.5.4 Ergebnis und Interpretation

Die Kennlinie des belasteten Spannungsteilers weicht bei zunehmender Belastung von der idealen Linearität ab. Wie in Abbildung 2.11 ersichtlich, führt die Belastung zu einem charakteristischen Spannungseinbruch. Das bedeutet, dass die Proportionalität zwischen der Potentiometerstellung (α) und der Ausgangsspannung U_3 nicht mehr gegeben ist. Mit sinkendem Lastwiderstand (höhere Last) verringert sich die Spannung U_3 bei identischer Stellung α aufgrund des zusätzlichen Laststroms deutlich.

Berechnung belasteter Spannungsteiler:

$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}, \quad (2.17)$$

$$\frac{U}{U_3} = \frac{R_1 + R_{23}}{R_{23}}, \quad (2.18)$$

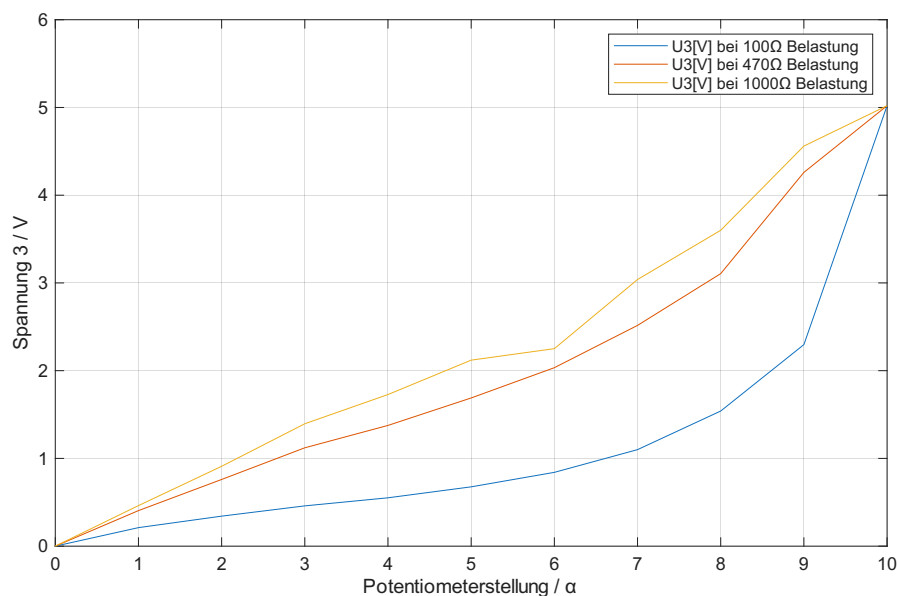


Abbildung 2.11: Kennlinie vom belasteten Spannungsteiler mit den Messwerten

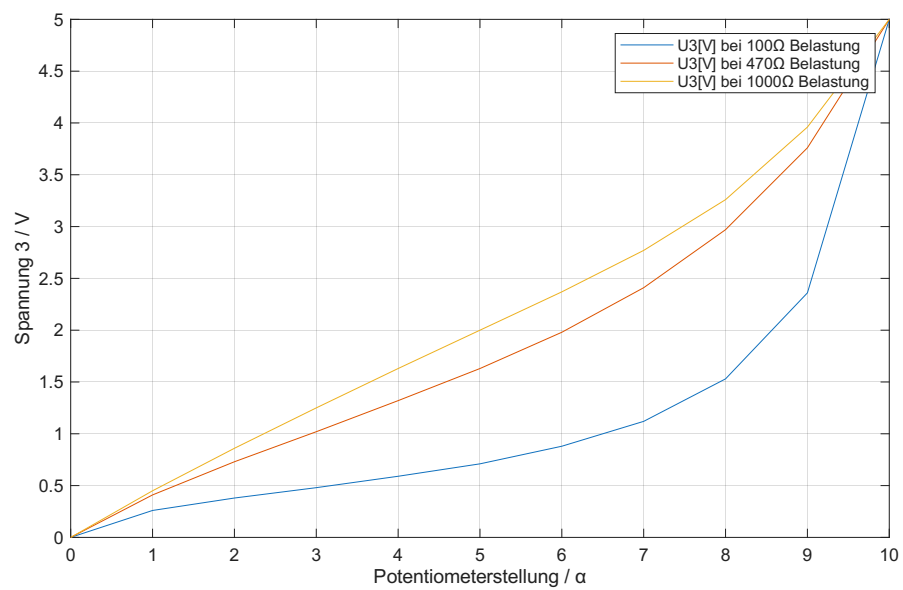


Abbildung 2.12: Kennlinie vom belasteten Spannungsteiler mit den berechneten Werten

2.6 Spannungsrichtige Messung

2.6.1 Einleitung und Aufgabenstellung

Die spannungsrichtige Messung dient der präzisen Bestimmung von Widerständen, indem das Voltmeter direkt parallel zum Messobjekt geschaltet wird. Da das Amperemeter hierbei den Stromfluss durch das Voltmeter miterfasst, entsteht eine systematische Messabweichung, die als Schaltungsfehler bezeichnet wird. Diese Anordnung wird primär für hochohmige Widerstände genutzt, um den Einfluss des Messgeräteigenverbrauchs zu minimieren.

2.6.2 Versuchsaufbau und Materialien

Als Energiequelle dient ein regelbares Netzgerät, welches eine variable Gleichspannung zur Verfügung stellt. Wie in Abbildung 2.13 werden zur Erfassung der Messwerte zwei digitale Multimeter eingesetzt, wobei ein Gerät als Amperemeter und das andere als Voltmeter konfiguriert wird. Als Last dient ein $10\ \Omega$ und ein $1\ \text{M}\Omega$ Widerstand. Das Amperemeter wird in Reihe geschaltet und das Voltmeter wird parallel zum Lastwiderstand angeschlossen.

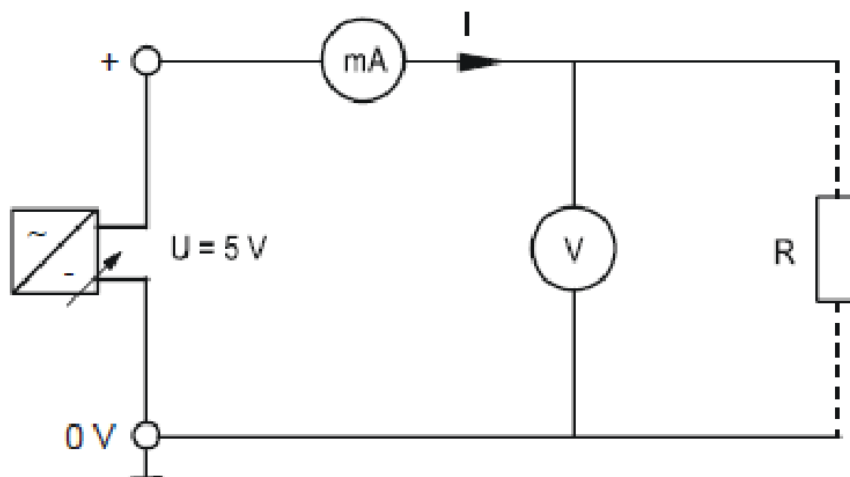


Abbildung 2.13: Schematischer Aufbau der spannungsrichtigen Messung, Bildquelle: Laboranleitung 1 - Gleichstromtechnik [1]

2.6.3 Versuchsdurchführung und Methoden

Die genauen Werte der beiden Lastwiderstände werden mit dem Multimeter bemessen bevor sie in die Schaltung eingebaut werden. Folglich wird bei der Spannungsquelle eine Eingangsspannung von 5 V eingestellt. Der Strom und die Spannung können von den Multimetern abgelesen und anschließend notiert werden.

2.6.4 Ergebnis und Interpretation

Tabelle 2.3: Ergebnis der spannungsrichtigen Messung

$R[\Omega]$ gemessen	$I[\text{mA}]$	$U[\text{V}]$	$R[\Omega]$ errechnet
9,7	497	4,92	9,9
$1.001 \cdot 10^6$	$5,4 \cdot 10^{-3}$	5,04	$0,933 \cdot 10^6$

Die Messergebnisse bestätigen, dass die spannungsrichtige Messung bei hochohmigen Widerständen zu einer deutlichen systematischen Messabweichung führt, da der Eigenverbrauch des Voltmeters den Gesamtwiderstand der Parallelschaltung messbar verringert. Im Gegensatz dazu ist der Einfluss bei niederohmigen Widerständen vernachlässigbar gering, da der Laststrom wesentlich größer ist als der durch das Voltmeter fließende Strom. Für hochohmige Messobjekte sollte daher zur Fehlervermeidung vorzugsweise die stromrichtige Messung eingesetzt werden.

2.7 Stromrichtige Messung

2.7.1 Einleitung und Aufgabenstellung

Die stromrichtige Messung dient der präzisen Bestimmung von Widerständen, indem das Amperemeter unmittelbar in Reihe zum Messobjekt geschaltet wird. Da das Voltmeter in dieser Anordnung zusätzlich zum Spannungsabfall am Widerstand die über dem Amperemeter abfallende Spannung miterfasst, entsteht eine systematische Messabweichung. Diese Schaltung wird primär für niederohmige Widerstände genutzt, da der geringe Spannungsabfall am Amperemeter hier im Verhältnis zur Lastspannung die kleinste Abweichung vom wahren Wert verursacht.

2.7.2 Versuchsaufbau und Materialien

Als Energiequelle dient ein regelbares Netzgerät, welches eine variable Gleichspannung zur Verfügung stellt. Wie in Abbildung 2.14 werden zur Erfassung der Messwerte zwei digitale Multimeter eingesetzt, wobei ein Gerät als Amperemeter und das andere als Voltmeter konfiguriert wird. Als Last dient ein $10\ \Omega$ und ein $1\ \text{M}\Omega$ Widerstand. Das Voltmeter wird parallel zum Lastwiderstand angeschlossen und unmittelbar vor dem Lastwiderstand wird das Amperemeter angeschlossen.

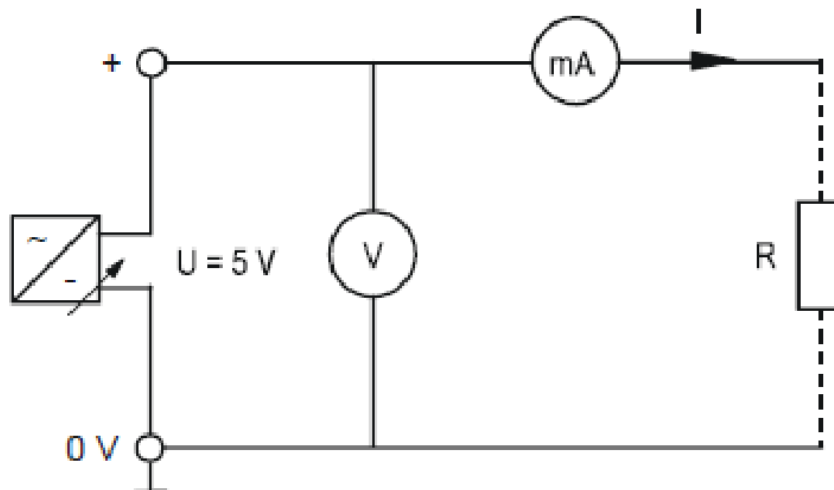


Abbildung 2.14: Schematischer Aufbau der stromrichtigen Messung, Bildquelle: Laboranleitung 1 - Gleichstromtechnik [1]

2.7.3 Versuchsdurchführung und Methoden

Die genauen Werte der beiden Lastwiderstände werden mit dem Multimeter bemessen bevor sie in die Schaltung eingebaut werden. Folglich wird bei der Spannungsquelle eine Eingangsspannung von 5 V eingestellt. Der Strom und die Spannung können von den Multimetern abgelesen und anschließend notiert werden.

2.7.4 Ergebnis und Interpretation

Tabelle 2.4: Ergebnis der stromrichtigen Messung

$R[\Omega]$ gemessen	$I[\text{mA}]$	$U[\text{V}]$	$R[\Omega]$ errechnet
9,7	495	4,95	10
$1.001 \cdot 10^6$	$4,9 \cdot 10^{-3}$	5,06	$1,032 \cdot 10^6$

Die Messergebnisse der stromrichtigen Messung verdeutlichen, dass diese Schaltung bei allen Widerstandsbereichen zu einem systematisch zu hohen berechneten Wert führt, da das Voltmeter den Spannungsabfall über dem Amperemeter miterfasst. Bei dem niederohmigen Widerstand ist die prozentuale Abweichung besonders ausgeprägt, da der Eigenwiderstand des Amperemeters hier proportional stark ins Gewicht fällt. Im Gegensatz dazu ist der Einfluss bei dem hochohmigen Widerstand deutlich geringer, da die zusätzliche Fehlerspannung des Amperemeters im Verhältnis zur hohen Lastspannung vernachlässigbar klein bleibt.

2.8 Ersatzspannungsquelle

2.8.1 Einleitung und Aufgabenstellung

Im Versuchsteil werden die Widerstandskennlinien einer Ersatzspannungsquellenschaltung aufgenommen.

2.8.2 Versuchsaufbau und Materialien

Als Energiequelle dient ein regelbares Netzgerät, welches eine variable Gleichspannung zur Verfügung stellt. Wie in Abbildung 2.15 werden zur Erfassung der Messwerte zwei digitale Multimeter eingesetzt, wobei ein Gerät als Amperemeter und das andere als Voltmeter konfiguriert wird. Unmittelbar nach der Spannungsquelle wird ein Widerstand eingebaut, der den Innenwiderstand einer realen Spannungsquelle darstellen soll. Als Last dient ein $100\ \Omega$ und ein $33\ \Omega$ Widerstand.

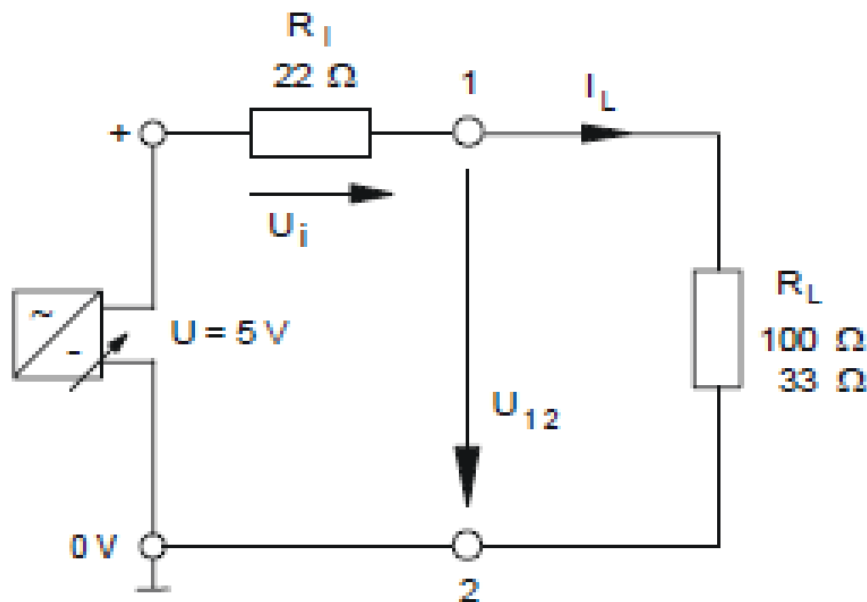


Abbildung 2.15: Schematischer Aufbau einer Ersatzspannungsquelle, Bildquelle: Laboranleitung 1 - Gleichstromtechnik [1]

2.8.3 Versuchsdurchführung und Methoden

Die Eingangsspannung wird auf 5 V eingestellt. Bei den Klemmen 1 und 2 wird zuerst ein Voltmeter angeschlossen um die Spannung $U_0 = U_{12}$ zu ermitteln. Daraufhin kann der Kurzschlussstrom I_k mit dem Amperemeter zwischen Klemme 1 und 2 bemessen werden. Dieselbe Vorgehensweise kann mit den Lastwiderständen durchgeführt werden.

2.8.4 Ergebnis und Interpretation

Mit der gemessenen Leerlaufspannung und dem gemessenen Kurzschlussstrom lassen sich Innenwiderstand und die Quellspannung bestimmen. Die Belastungskennlinie der Ersatzspannungsquelle zeigt einen linear fallenden Verlauf, wobei die Klemmenspannung ausgehend von der Leerlaufspannung $U_0 = 5\text{ V}$ mit zunehmender Stromstärke kontinuierlich absinkt. Die experimentell ermittelten Messpunkte für die Lastwiderstände $100\ \Omega$ und $33\ \Omega$ liegen nahezu deckungsgleich auf dieser theoretischen Kennlinie (Abbildung 2.16), was die Plausibilität der Messreihe bestätigt. Die Abweichung des gemessenen Kurzschlussstroms $208,1\text{ mA}$ vom berechneten Idealwert 227 mA lässt sich quantitativ durch den zusätzlichen Innenwiderstand des verwendeten Amperemeters erklären.

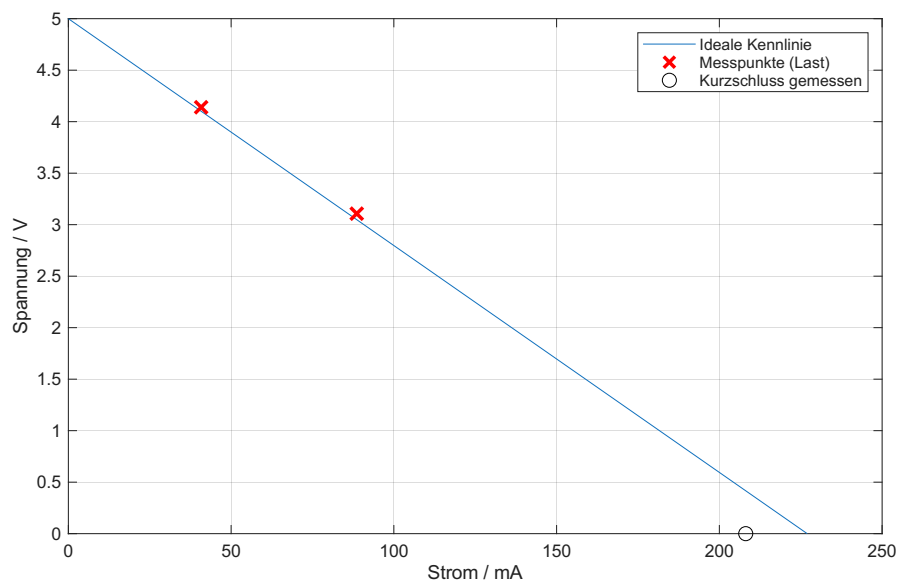


Abbildung 2.16: Widerstandskennlinie der Ersatzspannungsquelle

2.9 Reihenschaltung von Spannungsquellen

2.9.1 Einleitung und Aufgabenstellung

Zwei Spannungsquellen werden mit ungleichnamigen Polen zusammen in Reihe verschaltet.

2.9.2 Versuchsaufbau und Materialien

Als Energiequellen dienen zwei regelbare Netzgeräte, welche jeweils eine variable Gleichspannung zur Verfügung stellen. Wie in Abbildung 2.17 wird zur Erfassung der Messwerte ein digitales Multimeter eingesetzt. Die Spannungsquellen werden so zusammengeschaltet, dass das Voltmeter an beiden Pluspolen der Quellen angeschlossen wird, um die Gesamtspannung zu ermitteln.

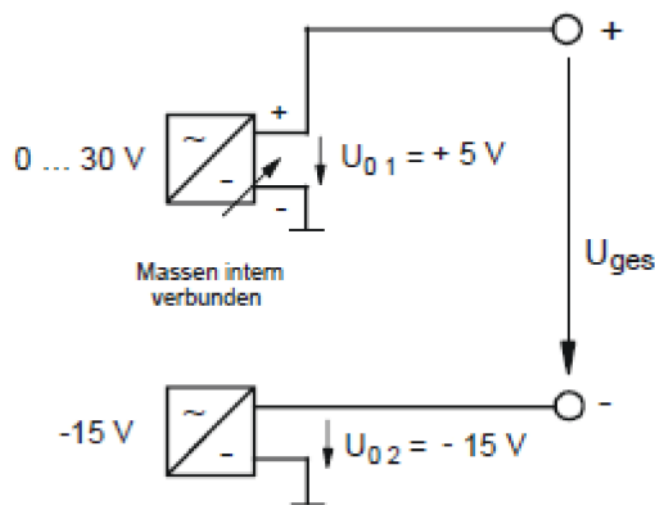


Abbildung 2.17: Schematischer Aufbau einer Reihenschaltung von Spannungsquellen, Bildquelle: Laboranleitung 1 - Gleichstromtechnik [1]

2.9.3 Versuchsdurchführung und Methoden

Die Spannung U_{01} ist auf 5 V eingestellt und die Spannung U_{02} ist auf -15 V eingestellt. Bei den Klemmen + und – wird ein Voltmeter angeschlossen um die Spannung U_{ges} zu ermitteln.

2.9.4 Ergebnis und Interpretation

U_{ges} bemessen:

$$U_{ges} = 19,92 \text{ V}, \quad (2.19)$$

U_{ges} berechnet:

$$U_{ges} = U_{01} - U_{02} = 5 \text{ V} - (-15 \text{ V}) = 20 \text{ V}, \quad (2.20)$$

2.10 Parallelschaltung von Spannungsquellen

2.10.1 Einleitung und Aufgabenstellung

Gegenstand dieser Untersuchung ist das Betriebsverhalten zweier parallelgeschalteter Spannungsquellen bei gleichen und ungleichen Urspannungen. Im Leerlauf und unter Last werden die Klemmenspannung U_{12} , die Spannungsabfälle an den Innenwiderständen sowie die auftretenden Ausgleichs-, Teil- und Lastströme messtechnisch erfasst. Die Ergebnisse werden abschließend durch eine rechnerische Überprüfung der Lastströme I_L auf ihre Plausibilität verifiziert.

2.10.2 Versuchsaufbau und Materialien

Als Energiequellen dienen zwei regelbare Netzgeräte, welche jeweils eine variable Gleichspannung zur Verfügung stellen. Wie in Abbildung 2.18 wird zur Erfassung der Messwerte ein digitales Multimeter eingesetzt. Die Spannungsquellen werden so zusammengeschaltet, dass die beiden Plus- und Minuspole der Quellen zusammengeschaltet sind. Unmittelbar nach den Quellen ist jeweils ein Innenwiderstand $R_i = 100\ \Omega$ verbaut. Als Verbraucher ist ein $1\ \text{k}\Omega$ Lastwiderstand verbaut.

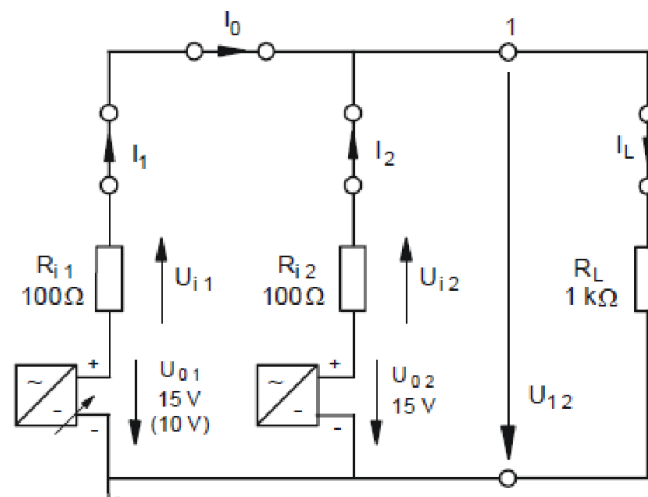


Abbildung 2.18: Schematischer Aufbau einer Parallelschaltung von Spannungsquellen, Bildquelle: Laboranleitung 1 - Gleichstromtechnik [1]

2.10.3 Versuchsdurchführung und Methoden

Die Spannung U_{01} und U_{02} sind auf 15 V eingestellt. Alle Größen der Tabelle 2.5 werden ermittelt. Folglich wird die Spannung U_{01} auf 10 V eingestellt und die Messungen werden für die Werte der Tabelle 2.6 wiederholt.

2.10.4 Ergebnis und Interpretation

Tabelle 2.5: Gleiche Ursprungung ($U_{01} = U_{02}$)

Leerlauf			
U_{i1} [V]	U_{i2} [V]	U_{12} [V]	I_0 [mA]
14,90	14,79	0,025	0,55

Belastung (1 k Ω)					
U_{i1} [V]	U_{i2} [V]	U_{12} [V]	I_1 [mA]	I_2 [mA]	I_L [mA]
0,716	0,710	14,21	7,23	7,02	14,41

Tabelle 2.6: Ungleiche Ursprungung ($U_{01} \neq U_{02}$)

Leerlauf			
U_{i1} [V]	U_{i2} [V]	U_{12} [V]	I_0 [mA]
9,93	14,78	0,021	24,25

Belastung (1 k Ω)					
U_{i1} [V]	U_{i2} [V]	U_{12} [V]	I_1 [mA]	I_2 [mA]	I_L [mA]
1,437	2,63	12,26	-14,44	26,87	12,45

I_L bei gleicher Ursprungung berechnet:

$$I_L = \frac{U_{01} \cdot R_{i2} + U_{02} \cdot R_{i1}}{R_{i1} \cdot R_{i2} + R_{i1} \cdot R_L + R_{i2} \cdot R_L} = 14,29 \text{ mA}, \quad (2.21)$$

I_L bei ungleicher Ursprungung berechnet:

$$I_L = \frac{U_{01} \cdot R_{i2} + U_{02} \cdot R_{i1}}{R_{i1} \cdot R_{i2} + R_{i1} \cdot R_L + R_{i2} \cdot R_L} = 11,9 \text{ mA}, \quad (2.22)$$

Die Parallelschaltung realer Spannungsquellen zeigt, dass bei gleichen Quellspannungen eine symmetrische Lastverteilung stattfindet, wobei sich der Gesamtstrom nahezu gleichmäßig auf beide Quellen aufteilt. Liegen hingegen ungleiche Quellspannungen vor, entstehen bereits im Leerlauf erhebliche Ausgleichsströme, da die stärkere Quelle die schwächere belastet. Unter Last führt diese Ungleichheit dazu, dass die Quelle mit der höheren Spannung den Hauptteil des Stroms liefert.

Kapitel 3

Wechselstromtechnik

3.1 Lade- und Entladevorgang eines Kondensators

3.1.1 Einleitung und Aufgabenstellung

Ziel des Versuchs ist die oszilloskopische Erfassung der Lade- und Entladevorgänge eines Kondensators bezüglich Spannung u_C und Strom i_C . Aus den gewonnenen Kurvenverläufen werden die Zeitkonstante τ sowie spezifische Augenblickswerte zu definierten Zeitpunkten ermittelt und anschließend berechnet. Ergänzend wird die gespeicherte Ladung Q nach einer Ladezeit von 5 ms bestimmt.

3.1.2 Versuchsaufbau und Materialien

Der Aufbau umfasst einen Funktionsgenerator zur Erzeugung einer Rechteck-Wechselspannung ($u_s = 6\text{ V}$, $f = 100\text{ Hz}$), die ein RC-Glied aus einem $4,7\text{ k}\Omega$ Widerstand und einem $0,22\text{ }\mu\text{F}$ Kondensator speist. Die Signalanalyse erfolgt gemäß der vorliegenden schematischen Abbildung 3.1 über ein Oszilloskop, wobei Kanal Y1 am Punkt A die Eingangsspannung und Kanal Y2 am Punkt B die Kondensatorspannung u_C gegen das gemeinsame Massepotential an Punkt C erfasst.

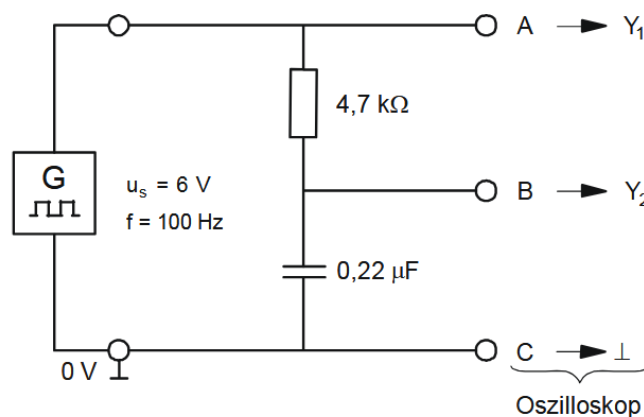


Abbildung 3.1: Schematischer Aufbau der RC Schaltung, Bildquelle: Laboranleitung 2 - Wechselstromtechnik [2]

3.1.3 Versuchsdurchführung und Methoden

Das RC-Glied wird mit der Rechteckspannung gespeist, um die Lade- und Entladevorgänge periodisch am Oszilloskop darzustellen. Die Zeitkonstante τ sowie die geforderten Augenblickswerte werden grafisch aus den Kurvenverläufen ermittelt. Abschließend erfolgt ein Abgleich der Messwerte durch eine rechnerische Überprüfung mittels der Exponentialfunktionen für die Ladung und Entladung.

3.1.4 Ergebnis und Interpretation

Die Messungen bestätigen das theoretische Zeitverhalten des RC-Glieds. Wie in Abbildung 3.2 und 3.3 zu sehen ist, folgt die Kondensatorspannung u_C einer exponentiellen Sättigungskurve, während die Spannung am Widerstand u_R (proportional zum Ladestrom) bei jedem Schaltvorgang der Rechteckspannung auf ihr Maximum springt und dann gegen Null abfällt. Die berechnete Zeitkonstante von $\tau = 1,03 \text{ ms}$ stimmt mit den beobachteten Kurvenverläufen überein, da der Kondensator innerhalb einer halben Periodendauer nahezu vollständig geladen wird.

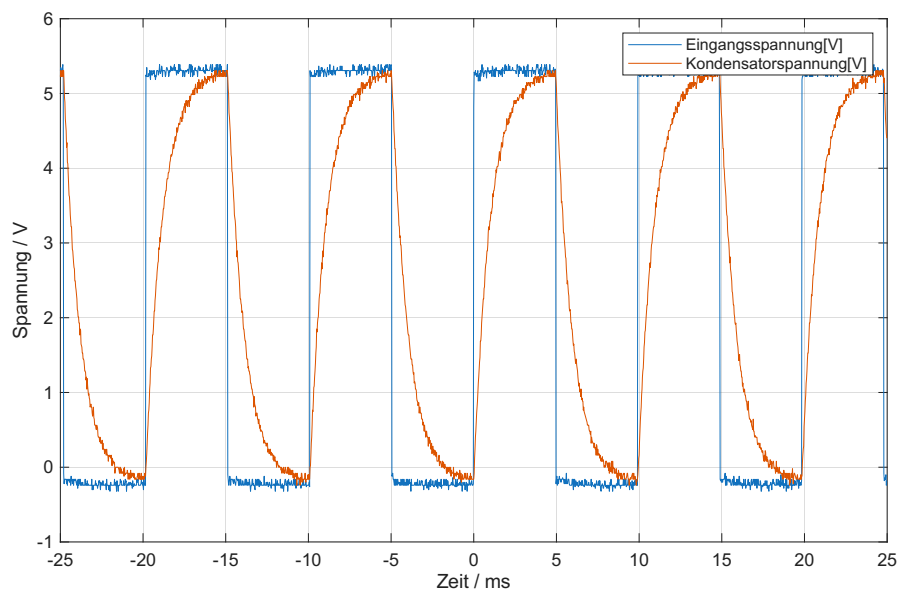


Abbildung 3.2: Zeitlicher Verlauf der Lade- und Entladevorgänge des Kondensators im Vergleich zur Eingangsspannung

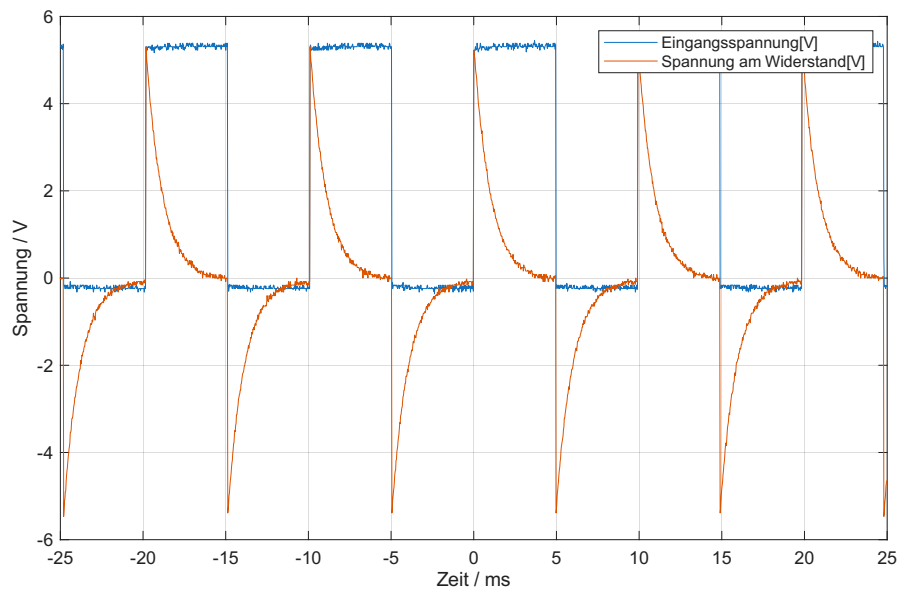


Abbildung 3.3: Zeitlicher Verlauf der Spannung am Widerstand im Vergleich zur Eingangsspannung

Zeitkonstante τ aus Schirmbild = 1 ms

Zeitkonstante τ berechnet:

$$\tau = R \cdot C = 1,03 \text{ ms}, \quad (3.1)$$

Augenblickswert der Spannung u_C aus Schirmbild = 4,88 V

Augenblickswert der Spannung u_C berechnet:

$$u_C = U \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = 5,14 \text{ V}, \quad (3.2)$$

Augenblickswert des Stromes i_C aus Schirmbild:

$$i_C = \frac{U(\Delta Y)}{R} = 117 \text{ }\mu\text{A}, \quad (3.3)$$

Augenblickswert des Stromes i_C berechnet:

$$i_C = -\frac{U}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = 113 \text{ }\mu\text{A}, \quad (3.4)$$

Ladung Q nach einer Ladezeit von 5 ms:

$$Q = C \cdot u_C(5 \text{ ms}) = 1,32 \text{ }\mu\text{C}, \quad (3.5)$$

3.2 Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung am Kondensator

3.2.1 Einleitung und Aufgabenstellung

Ziel dieses Versuchs ist die Analyse des frequenzabhängigen Übertragungsverhaltens eines RC-Glieds bei einer sinusförmigen Wechselspannung. Im Mittelpunkt steht dabei die experimentelle Bestimmung der Phasenverschiebung zwischen der Kondensatorspannung u_C und dem Ladestrom i_C (gemessen als Spannungsabfall u_R am Messwiderstand).

3.2.2 Versuchsaufbau und Materialien

Der Aufbau folgt der Schaltung aus Abb. 3.4 unter Verwendung eines Funktionsgenerators, der eine Sinusspannung von 3 V_{ss} bei 1 kHz liefert. Die Schaltung besteht aus einem $1\text{ k}\Omega$ Messwiderstand und einem $0,22\text{ }\mu\text{F}$ Kondensator, wobei der Bezugspunkt des Oszilloskops zwischen beide Bauteile (Messpunkt C) gelegt wird. Um die daraus resultierende Phasenverschiebung von 180° zu korrigieren und die tatsächlichen Spannungsverläufe korrekt darzustellen, wird die Spannung u_C am Oszilloskop invertiert.

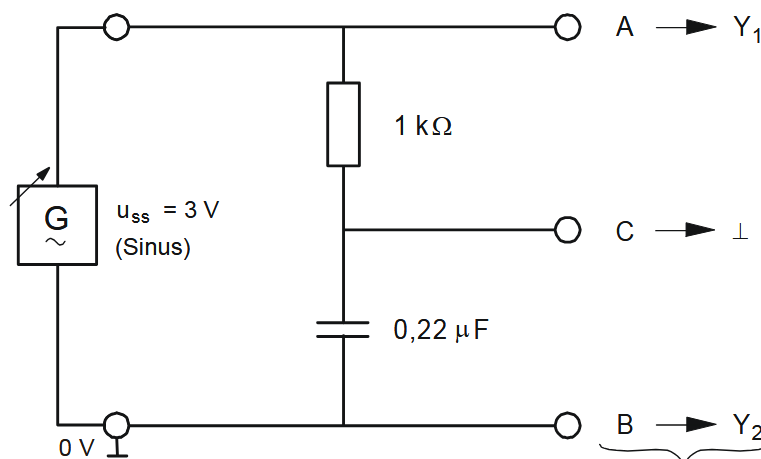


Abbildung 3.4: Schematischer Aufbau der RC Schaltung, Bildquelle: Laboranleitung 2 - Wechselstromtechnik [2]

3.2.3 Versuchsdurchführung und Methoden

Der Funktionsgenerator wird eingeschaltet. Die Spannungsverläufe über dem Widerstand und dem Kondensator werden mittels Oszilloskop erfasst. Da der Widerstand als Messwiderstand fungiert, wird über u_R der Stromverlauf i_C visualisiert. Um die schaltungsbedingte Verschiebung des Bezugspunkts auszugleichen, wird Kanal 2 am Oszilloskop invertiert. Abschließend wird die Zeitdifferenz Δt der Nulldurchgänge und der Phasenverschiebungswinkel gemessen.

3.2.4 Ergebnis und Interpretation

Der Versuch belegt die theoretische Phasenverschiebung in einem RC-Glied bei sinusförmiger Anregung. Aus dem Plot 3.5 ist ersichtlich, dass die Spannung am Widerstand und damit der Ladestrom der Kondensatorspannung zeitlich vorausläuft. Die Messung bestätigt, dass der Kondensator als Blindwiderstand wirkt, wodurch Strom und Spannung nicht zeitgleich ihre Maxima erreichen. Die Invertierung von Kanal 2 ermöglicht dabei die korrekte Darstellung der Phasenbeziehung trotz des gemeinsamen Bezugspunkts C.

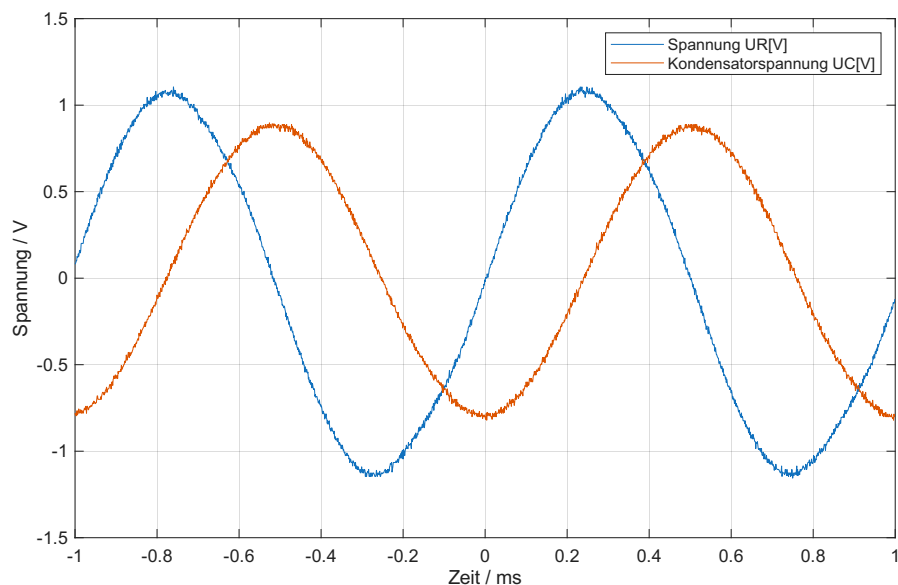


Abbildung 3.5: Zeitlicher Verlauf der Phasenverschiebung zwischen Kondensatorspannung und Widerstandsspannung

Periodendauer T gemessen = 1,01 ms

Periodendauer T berechnet:

$$T = \frac{1}{f} = 1 \text{ ms}, \quad (3.6)$$

Phasenverschiebungswinkel ϕ gemessen = 88° ; berechnet = 90°

3.3 Kapazitiver Blindwiderstand eines Kondensators

3.3.1 Einleitung und Aufgabenstellung

Dieser Versuch untersucht den frequenzabhängigen Blindwiderstand X_C von verschiedenen Kondensatoren. Ziel ist es, die Spitze-Spitze-Werte der Spannungen am Messwiderstand u_R und am Kondensator u_C bei unterschiedlichen Frequenzen oszilloskopisch zu messen. Aus diesen Werten wird der jeweilige Kondensatorstrom i_C und der Blindwiderstand X_C berechnet, um den theoretischen Zusammenhang zwischen Frequenz, Kapazität und Widerstand experimentell zu bestätigen.

3.3.2 Versuchsaufbau und Materialien

Der Aufbau aus Abb. 3.6 besteht aus einer Reihenschaltung eines Widerstands $1\text{ k}\Omega$ und einem der zur Verfügung stehenden Kondensatoren ($0,22\text{ }\mu\text{F}$, $0,47\text{ }\mu\text{F}$ oder $1\text{ }\mu\text{F}$). Ein Funktionsgenerator dient als Spannungsquelle und liefert eine Sinusspannung von 8 V bei variablen Frequenzen. Zur Messung wird ein Oszilloskop verwendet, wobei der Bezugspunkt an den Messpunkt C zwischen die Bauteile gelegt wird, um die Spannung u_R und u_C zu erfassen.

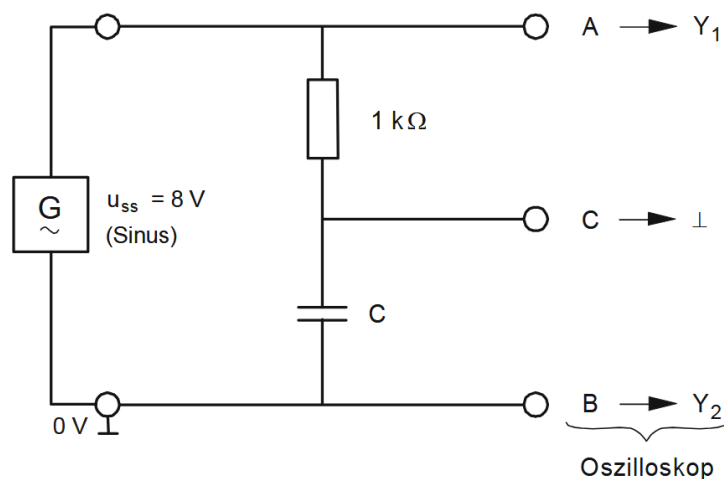


Abbildung 3.6: Schematischer Aufbau der RC-Schaltung, Bildquelle: Laboranleitung 2 - Wechselstromtechnik [2]

3.3.3 Versuchsdurchführung und Methoden

Der Funktionsgenerator wird eingeschaltet. Für die verschiedenen Kondensatoren werden nacheinander die in der Tabelle vorgegebenen Frequenzen eingestellt. Am Oszilloskop werden die Spitze-Spitze-Werte der Spannungen u_R und u_C vom Schirmbild abgelesen und notiert. Mithilfe dieser Messwerte werden anschließend der Kondensatorstrom i_C sowie der Blindwiderstand X_C berechnet.

3.3.4 Ergebnis und Interpretation

Der Verlauf der Kennlinien verdeutlicht den Zusammenhang zwischen dem Blindwiderstand, der Frequenz und der Kapazität. Man erkennt deutlich, dass der Widerstandswert bei allen Kondensatoren mit steigender Frequenz sinkt, da der Kondensator für schnellere Wechselvorgänge durchlässiger wird. Zudem zeigt der Vergleich der Kurven, dass ein kleinerer Kapazitätswert wie $0,22\ \mu\text{F}$ über den gesamten Frequenzbereich einen deutlich höheren Blindwiderstand aufweist als ein größerer Kondensator mit $1\ \mu\text{F}$. Die Kurven bestätigen somit experimentell die physikalische Gesetzmäßigkeit, nach der X_C sowohl bei zunehmender Frequenz als auch bei zunehmender Kapazität abnimmt.

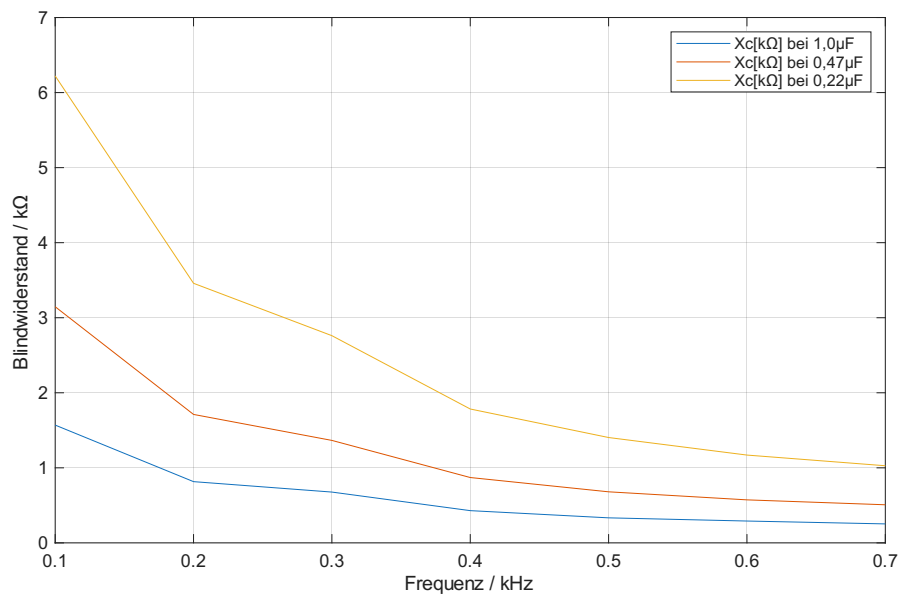


Abbildung 3.7: Zusammenhang zwischen Blindwiderstand des Kondensators bei verschiedenen Frequenzen

Überprüfung des Blindwiderstandes X_C bei $C = 0,47\ \mu\text{F}$ und $f = 600\ \text{Hz}$:

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 600\ \text{Hz} \cdot 0,47 \cdot 10^{-6}\ \text{F}} = 564,38\ \Omega, \quad (3.7)$$

3.4 Blindleistung eines Kondensators

3.4.1 Einleitung und Aufgabenstellung

Dieser Versuch dient der Untersuchung der Augenblickswerte von Strom und Spannung an einem Kondensator sowie der daraus resultierenden Leistungskurve. Ziel ist es, die Phasenverschiebung zwischen der Kondensatorspannung u_C und dem Ladestrom i_C (gemessen als u_R) bei einer festen Frequenz von 1 kHz oszilloskopisch darzustellen. Durch die Auswertung der Messwerte soll der zeitliche Verlauf der Blindleistung nachvollzogen werden.

3.4.2 Versuchsaufbau und Materialien

Der Aufbau nach Abb. 3.8 besteht aus einer Reihenschaltung eines Messwiderstands $1\text{ k}\Omega$ und eines Kondensators $0,22\text{ }\mu\text{F}$. Als Spannungsquelle dient ein Funktionsgenerator, der eine Sinusspannung von $u_s = 4\text{ V}$ bei einer Frequenz von $f = 1\text{ kHz}$ liefert. Die Messung erfolgt über ein Oszilloskop, wobei der Bezugspunkt an den Messpunkt C zwischen die Bauteile gelegt wird, um die Spannungen u_R (Kanal 1) und u_C (Kanal 2) gleichzeitig zu erfassen.

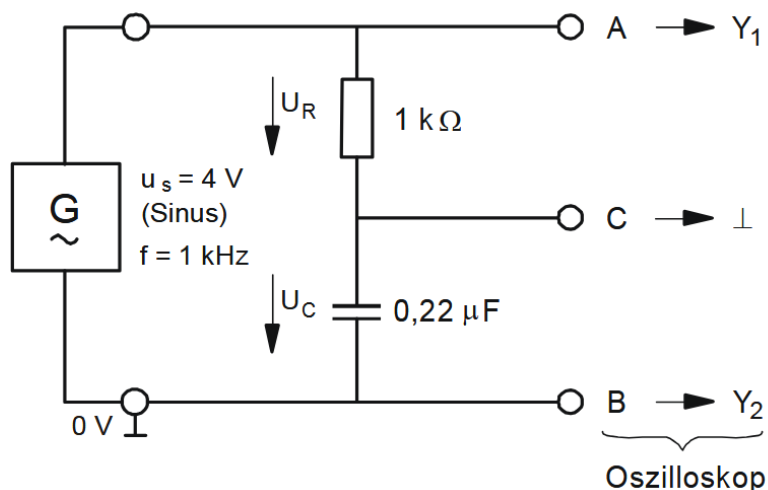


Abbildung 3.8: Schematischer Aufbau der RC-Schaltung, Bildquelle: Laboranleitung 2 - Wechselstromtechnik [2]

3.4.3 Versuchsdurchführung und Methoden

Der Funktionsgenerator wird eingeschaltet. Um die schaltungsbedingte Phasenverschiebung von 180° am Messpunkt C auszugleichen, wird Kanal 2 am Oszilloskop invertiert. Die so erhaltenen Kurvenverläufe werden in ein Diagramm übertragen.

3.4.4 Ergebnis und Interpretation

Das Diagramm in Abbildung 3.8 zeigt deutlich, dass Strom und Spannung am Kondensator nicht gleichzeitig verlaufen, sondern zeitlich versetzt sind. Der Strom erreicht sein Maximum früher als die Spannung, was die typische Phasenverschiebung eines Kondensators bestätigt. Die daraus berechnete Leistungskurve schwankt gleichmäßig um die Nulllinie, was beweist, dass der Kondensator keine Energie verbraucht, sondern sie nur zwischenspeichert und wieder abgibt. Die Wirkleistung ist Null. Die Energie pendelt nur als Blindleistung hin und her.

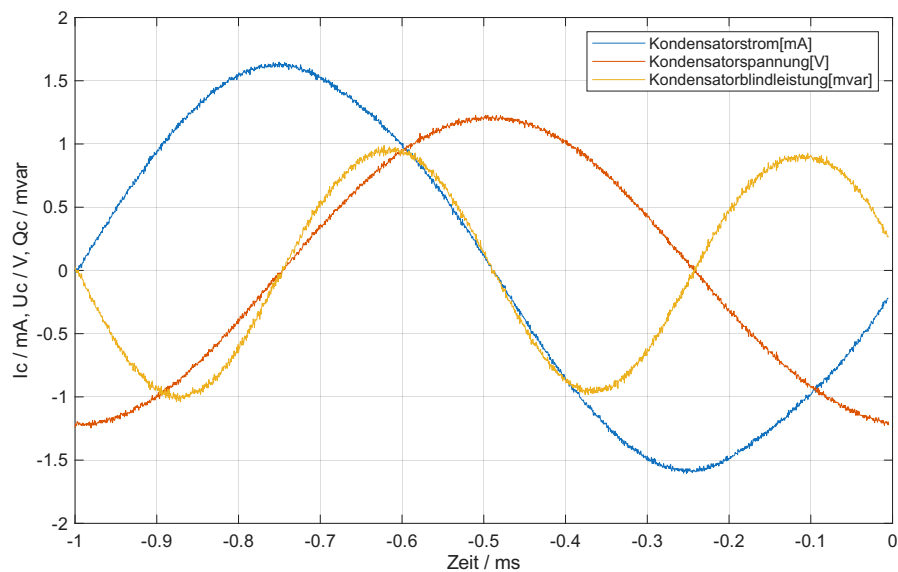


Abbildung 3.9: Zeitlicher Verlauf der Kondensatorspannung, des Kondensatorstromes und der Kondensatorblindleistung

3.5 Ein- und Ausschaltvorgang an einer Spule

3.5.1 Einleitung und Aufgabenstellung

Dieser Versuch untersucht das Einschalt- und Ausschaltverhalten einer Spule an einer Gleichspannung. Ziel ist es, den zeitlichen Verlauf von Spulenstrom i_L und Spulenspannung u_L mithilfe eines Oszilloskops sichtbar zu machen. Aus den resultierenden Kurven sollen wichtige Kenngrößen wie die Zeitkonstante τ , die Induktivität L sowie spezifische Augenblickswerte zu festgesetzten Zeitpunkten ermittelt werden.

3.5.2 Versuchsaufbau und Materialien

Der Aufbau nach Abbildung 3.6 besteht aus einer Reihenschaltung eines Widerstands $1\text{ k}\Omega$ und einer Spule 100 mH . Als Spannungsquelle dient ein Funktionsgenerator, der eine positive Rechteckspannung mit einer Amplitude von $U = 6\text{ V}$ und einer Frequenz von $f = 1\text{ kHz}$ liefert. Zur Messung der Spannungsverläufe wird ein Oszilloskop verwendet, wobei der Bezugspunkt am Messpunkt C liegt, um die Eingangsspannung an Kanal 1 und die Spulenspannung an Kanal 2 zu erfassen.

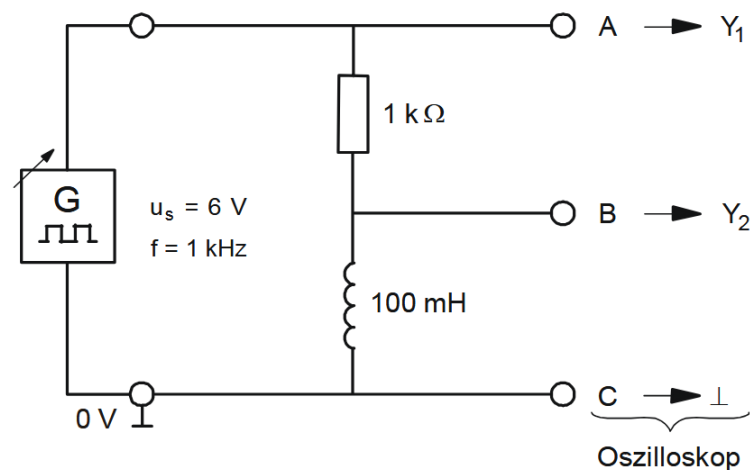


Abbildung 3.10: Schematischer Aufbau der RL-Schaltung, Bildquelle: Laboranleitung 2 - Wechselstromtechnik [2]

3.5.3 Versuchsdurchführung und Methoden

Zuerst wird die Schaltung aufgebaut und der Funktionsgenerator mit den vorgegebenen Werten für Spannung und Frequenz gestartet. Um den Spulenstrom i_L darzustellen, werden der Widerstand und die Spule in der Schaltung getauscht, sodass die am Widerstand abfallende Spannung oszilloskopiert werden kann, da diese proportional zum Strom ist. Die Einstellungen am Oszilloskop werden gemäß den Diagrammvorgaben angepasst, um die Kurven für den Ein- und Ausschaltvorgang exakt

ablesen zu können. Aus den gewonnenen Kurvenverläufen werden anschließend die Zeitkonstante und die Induktivität berechnet.

3.5.4 Ergebnis und Interpretation

Die Kurvenverläufe in den Abbildungen 3.11 und 3.12 zeigen das typische Verhalten einer Spule. Beim Einschalten sinkt die Spannung u_L exponentiell ab, während der Strom i_L (sichtbar an u_R) zeitgleich ansteigt. Die berechnete Zeitkonstante von $\tau = 100 \mu\text{s}$ lässt sich im Diagramm bestätigen, da die Kurven nach dieser Zeit jeweils etwa 63 % ihrer Änderung vollzogen haben. Die kleinen Unterschiede zwischen den berechneten Augenblickswerten und den Werten vom Schirmbild (z. B. 5,19 mA zu 4,27 mA) liegen im Rahmen der üblichen Messungenauigkeiten. Diese entstehen vor allem durch die Toleranzen der verwendeten Bauteile (Widerstand und Spule) sowie durch die begrenzte Ablesegenauigkeit am Oszilloskop.

Zeitkonstante τ aus Schirmbild = 100 μs

Zeitkonstante τ berechnet:

$$\tau = \frac{L}{R} = 100 \mu\text{s}, \quad (3.8)$$

Augenblickswert i_L bei einer Einschaltdauer von 0,2 ms aus Schirmbild = 4,27 mA

Augenblickswert i_L bei einer Einschaltdauer von 0,2 ms berechnet:

$$i_L = \frac{U}{R} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = 5,19 \text{ mA}, \quad (3.9)$$

Augenblickswert u_L bei einer Einschaltdauer von 0,25 ms aus Schirmbild = 0,3 V

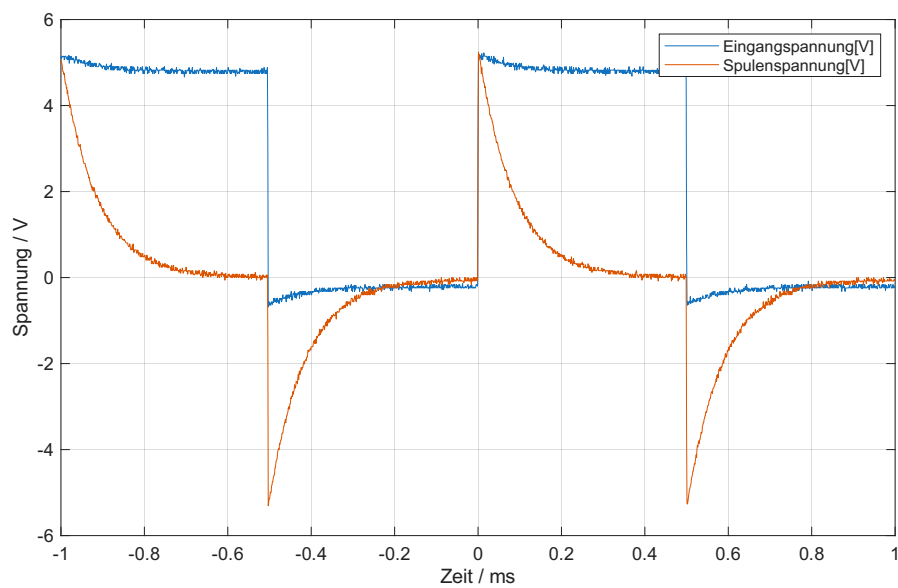
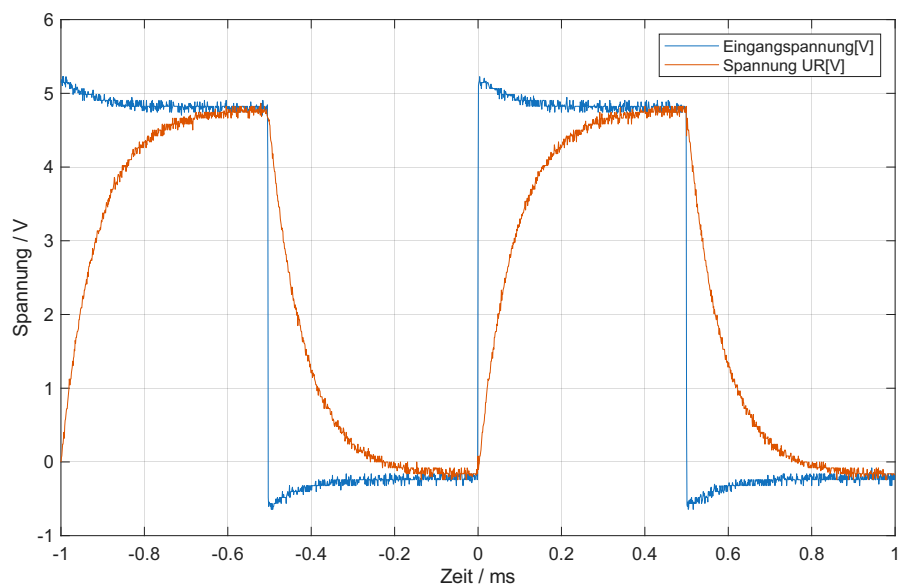
Augenblickswert u_L bei einer Einschaltdauer von 0,25 ms berechnet:

$$u_L = U \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = 0,493 \text{ V}, \quad (3.10)$$

Induktivität L aus Schirmbild = 0,1 H

Induktivität L berechnet:

$$L = \tau \cdot R = 0,1 \text{ H}, \quad (3.11)$$

**Abbildung 3.11:** Zeitlicher Verlauf der Eingangsspannung und der Spulenspannung**Abbildung 3.12:** Zeitlicher Verlauf der Spannung am Widerstand im Vergleich zur Eingangsspannung

3.6 Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung an einer Spule

3.6.1 Einleitung und Aufgabenstellung

In diesem Versuchsteil wird das Verhalten einer Spule an einer sinusförmigen Wechselspannung untersucht. Das Ziel ist es, die Verläufe von Spulenstrom i_L und Spulenspannung u_L gleichzeitig zu oszilloskopieren, um die Phasenverschiebung zwischen diesen beiden Größen experimentell zu bestimmen.

3.6.2 Versuchsaufbau und Materialien

Der Schaltungsaufbau nach Abb. 3.13 besteht aus einer Reihenschaltung eines Messwiderstands ($1\text{ k}\Omega$) und einer Spule (100 mH). Ein Funktionsgenerator liefert hierfür eine Sinusspannung von $u_{ss} = 3\text{ V}$ bei einer Frequenz von $f = 1\text{ kHz}$. Zur Messung wird ein Oszilloskop verwendet, dessen Masse am Messpunkt C zwischen den Bauteilen angeschlossen ist. Kanal 1 erfasst dabei die Spannung u_R am Widerstand (proportional zum Strom), während Kanal 2 die Spulenspannung u_L misst.

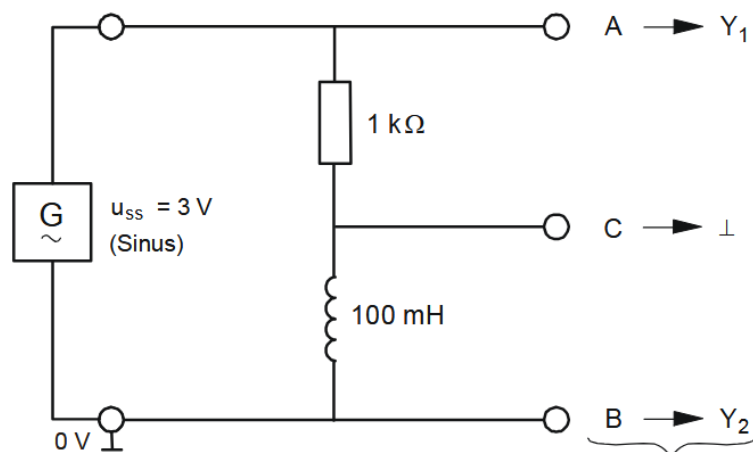


Abbildung 3.13: Schematischer Aufbau der RL-Schaltung, Bildquelle: Laboranleitung 2 - Wechselstromtechnik [2]

3.6.3 Versuchsdurchführung und Methoden

Zunächst werden die Parameter am Funktionsgenerator und Oszilloskop eingestellt. Aufgrund des gemeinsamen Bezugspunkts C sind die Spannungen um 180° phasenverschoben; daher wird Kanal 2 am Oszilloskop invertiert, um die tatsächliche Phasenlage darzustellen. Die so erhaltenen Kurvenverläufe werden in das Diagramm übertragen. Anhand der Nulldurchgänge oder Maxima der beiden

Signale wird anschließend die zeitliche Verschiebung gemessen und die daraus resultierende Phasenverschiebung bestimmt.

3.6.4 Ergebnis und Interpretation

Das Oszilloskop-Diagramm in Abbildung 3.14 bestätigt das theoretische Verhalten der Spule im Wechselstromkreis. Der Vergleich zwischen der Spulenspannung (orange) und der Spannung am Widerstand (blau), die stellvertretend für den Spulenstrom steht, zeigt eine deutliche Phasenverschiebung. Die Auswertung ergibt eine Phasenverschiebung von 84° , wobei die Spannung dem Strom vorausläuft. Dieser Wert liegt sehr nah an der idealen theoretischen Verschiebung von 90° . Die geringe Abweichung lässt sich durch die Messgenauigkeit am Oszilloskop und die Bauteiltoleranzen der verwendeten Spule und des Widerstands erklären. Damit ist nachgewiesen, dass die Spule als induktiver Blindwiderstand wirkt, der den Strom zeitlich verzögert.

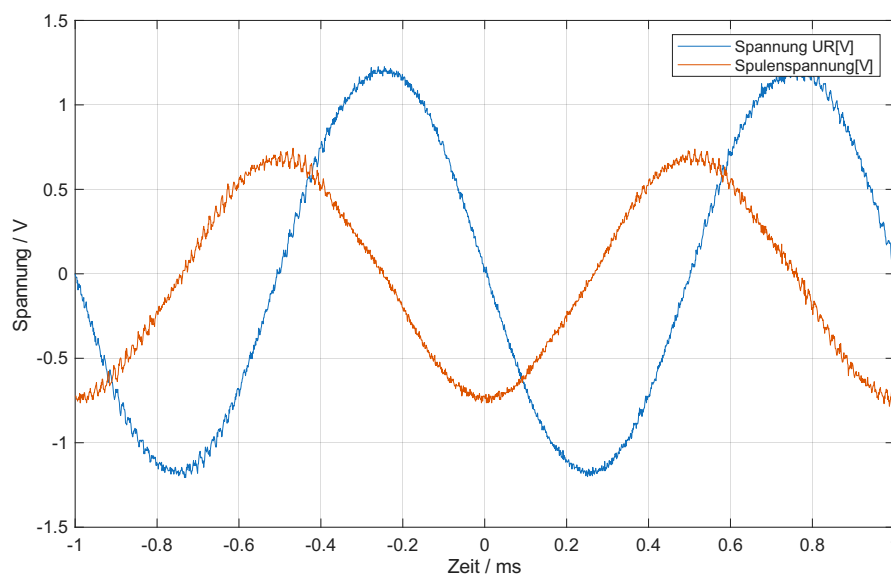


Abbildung 3.14: Zeitlicher Verlauf der Phasenverschiebung zwischen Spulenspannung und Widerstandsspannung

Periodendauer T gemessen = 1 ms

Periodendauer T berechnet:

$$T = \frac{1}{f} = 0,1 \text{ ms}, \quad (3.12)$$

Phasenverschiebungswinkel ϕ gemessen = 84° ; berechnet = 90°

3.7 Parallelschaltung von Widerstand und Spule

3.7.1 Einleitung und Aufgabenstellung

In diesem Versuch wird eine Parallelschaltung aus einem ohmschen Widerstand und einer Spule untersucht. Ziel ist es, die verschiedenen Teilströme (Wirkstrom und Blindstrom) sowie den Gesamtstrom messtechnisch zu erfassen. Durch den Vergleich der Messwerte sollen die rechnerischen Zusammenhänge der Leitwerte und der Phasenverschiebung im Zeigerdiagramm überprüft werden.

3.7.2 Versuchsaufbau und Materialien

Der Versuch wird gemäß der Schaltung in Abbildung 3.15 als Parallelschaltung realisiert. Hierbei werden ein ohmscher Widerstand mit $1\text{ k}\Omega$ und eine Spule mit einer Induktivität von 100 mH parallel an einen Funktionsgenerator angeschlossen.

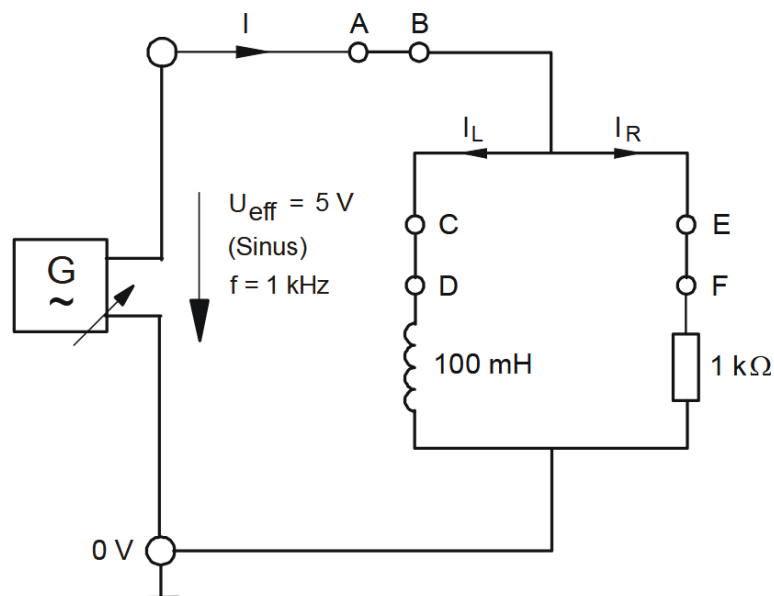


Abbildung 3.15: Schematischer Aufbau von einer Parallelschaltung von Widerstand und Spule, Bildquelle: Laboranleitung 2 - Wechselstromtechnik [2]

3.7.3 Versuchsdurchführung und Methoden

Der Funktionsgenerator wird eingeschaltet. Er wird auf eine sinusförmige Ausgangsspannung mit einem Effektivwert von $U_{eff} = 5\text{ V}$ und einer Frequenz von $f = 1\text{ kHz}$ eingestellt. Zur messtechnischen Erfassung der Teilströme und des Gesamtstroms wird ein Multimeter verwendet, das nacheinander an den dafür vorgesehenen Messpunkten A-B (Gesamtstrom I), C-D (Blindstrom I_L) und E-F (Wirkstrom I_R) in den Stromkreis eingebracht wird.

3.7.4 Ergebnis und Interpretation

Gemessene Ergebnisse:

Scheinstrom I (Messpunkte A-B): $206\text{ }\mu\text{A}$,

Blindstrom I_L (Messpunkte C-D): $193,4\text{ }\mu\text{A}$,

Wirkstrom I_R (Messpunkte E-F): $98,6\text{ }\mu\text{A}$,

$$I_{ges} = \sqrt{I_L^2 + I_R^2} = 217,1\text{ }\mu\text{A} \quad (3.13)$$

Ideale Berechnungen:

$$I_R = \frac{U}{R} = 5\text{ mA}, \quad (3.14)$$

$$I_L = \frac{U}{X_L} = 7,96\text{ mA}, \quad (3.15)$$

$$I_{ges} = \sqrt{I_L^2 + I_R^2} = 9,4\text{ mA} \quad (3.16)$$

$$G = \frac{1}{R} = 1\text{ mS}, \quad (3.17)$$

$$B_L = \frac{1}{\omega \cdot L} = 1,59\text{ mS}, \quad (3.18)$$

$$Y = \sqrt{G^2 + B_L^2} = 1,88\text{ mS}, \quad (3.19)$$

$$\sin\phi = \frac{I_L}{I_{ges}} = 0,846; \phi = 57,8^\circ, \quad (3.20)$$

Die rechnerische Auswertung und die grafische Darstellung in den Zeigerdiagrammen (Abb. 3.16) verdeutlichen das Verhalten der Parallelschaltung aus Widerstand und Spule. Während in einer Reihenschaltung die Spannungen addiert werden, zeigt dieser Versuch, dass sich in der Parallelschaltung die Teilströme zum Gesamtscheinstrom I geometrisch addieren. Der berechnete Phasenwinkel von ca. $57,8^\circ$ zeigt, dass die Schaltung aufgrund der gewählten Bauteilwerte ($1\text{ k}\Omega$ und 100 mH) einen stark induktiven Charakter aufweist. Dies wird im Zeigerdiagramm durch den deutlich längeren Blindstromzeiger im Vergleich zum Wirkstromzeiger visualisiert. Da die berechneten Idealwerte im Milliampere-Bereich liegen, die im Labor gemessenen Werte jedoch im Mikroampere-Bereich waren, ist von einem Messfehler oder einer falschen Skalierung am Messgerät auszugehen.

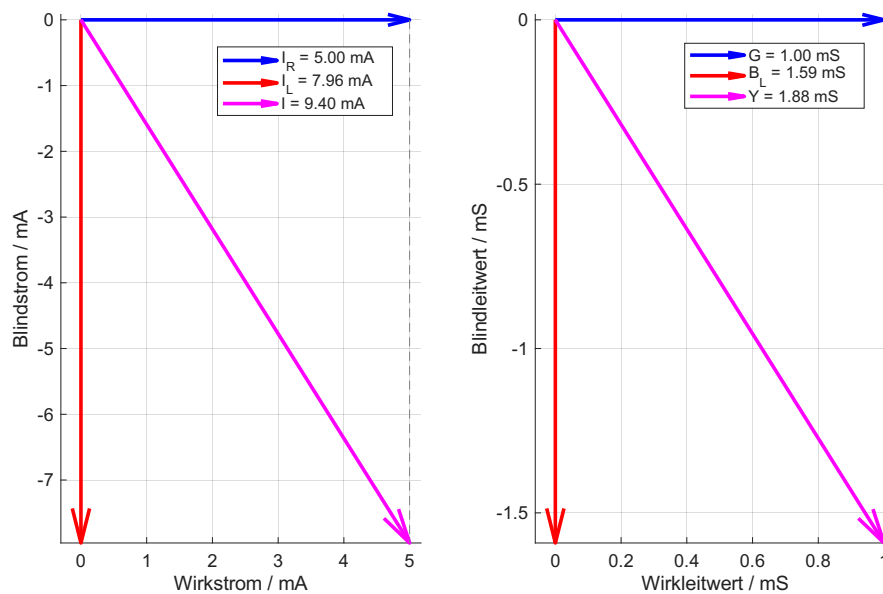


Abbildung 3.16: Zeigerdiagramme der Ströme und Leitwerte

3.8 Reihenschaltung von Widerstand und Kondensator

3.8.1 Einleitung und Aufgabenstellung

In diesem Versuch wird eine RC-Reihenschaltung aus einem Widerstand und einem Kondensator bei einer Sinusspannung untersucht. Ziel ist die messtechnische und rechnerische Bestimmung der Wirkspannung, der Blindspannung sowie des Stroms. Aus den Werten werden der Scheinwiderstand, der Blindwiderstand und der Phasenwinkel ermittelt und in Zeigerdiagrammen für Spannung und Widerstand dargestellt.

3.8.2 Versuchsaufbau und Materialien

Der Versuch wird als Reihenschaltung gemäß Abbildung 3.17 aufgebaut. Als Komponenten werden ein ohmscher Widerstand mit $1\text{ k}\Omega$ und ein Kondensator mit einer Kapazität von $0,22\text{ }\mu\text{F}$ verwendet. Die Schaltung wird an einen Funktionsgenerator angeschlossen, der auf eine sinusförmige Ausgangsspannung von $U_{\text{eff}} = 5\text{ V}$ und eine Frequenz von $f = 1\text{ kHz}$ eingestellt wird. Zur Erfassung der Messwerte dient ein Multimeter.

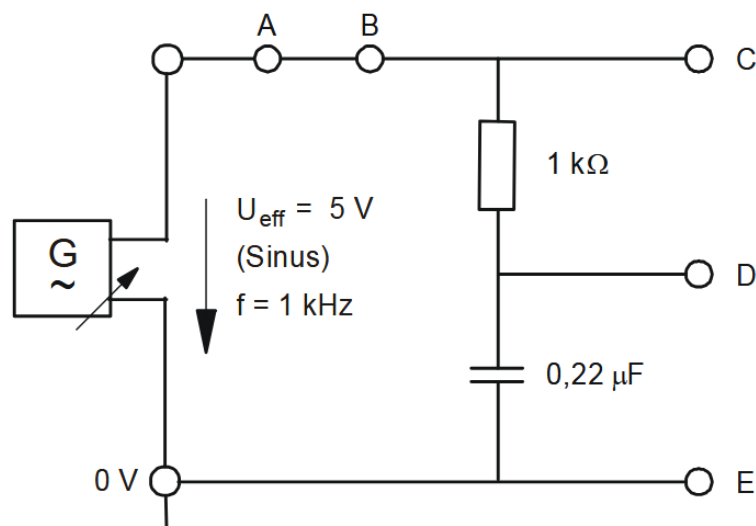


Abbildung 3.17: Schematischer Aufbau von einer Reihenschaltung von Widerstand und Kondensator, Bildquelle: Laboranleitung 2 - Wechselstromtechnik [2]

3.8.3 Versuchsdurchführung und Methoden

Mit dem Multimeter werden nacheinander die Wirkspannung U_R am Widerstand, die Blindspannung U_C am Kondensator sowie der Gesamtstrom I in der Leitung gemessen. Die ermittelten Werte dienen als Basis für die rechnerische Bestimmung des Phasenwinkels ϕ , des Scheinwiderstands Z und des Blindwiderstands X_C .

3.8.4 Ergebnis und Interpretation

Gemessene Ergebnisse:

Scheinstrom I (Messpunkte A-B): $34,7 \mu\text{A}$,

Blindspannung U_C (Messpunkte D-E): $0,955 \text{ V}$,

Wirkspannung U_R (Messpunkte C-D): $1,28 \text{ V}$,

Ideale Berechnungen:

$$U_R = I \cdot R = 4,05 \text{ V}, \quad (3.21)$$

$$U_C = I \cdot X_C = 2,93 \text{ V}, \quad (3.22)$$

$$I = \frac{U}{Z} = 4,05 \text{ mA} \quad (3.23)$$

$$\tan\phi = \frac{U_C}{U_R} = 0,723; \phi = 35,9^\circ, \quad (3.24)$$

$$Z = \frac{U}{I} = 1234,3 \Omega, \quad (3.25)$$

$$X_C = Z \cdot \sin\phi = 723,43 \Omega \quad (3.26)$$

Die Untersuchung der RC-Reihenschaltung zeigt deutlich das für Kapazitäten typische Verhalten im Wechselstromkreis. Im Gegensatz zur reinen Wirkwiderstandsschaltung tritt hier eine Phasenverschiebung auf, bei welcher der Strom der Spannung voreilt. Dies wird in den Zeigerdiagrammen (Abb. 3.18) durch die nach unten gerichteten Blindanteile (U_C und X_C) visualisiert. Die rechnerische Auswertung ergibt einen Phasenwinkel von ca. $35,9^\circ$. Der Vergleich zwischen den idealen Werten und den Messungen bestätigt erneut, dass die im Labor erfassten Daten (insbesondere der Strom) weit unter den theoretisch erwarteten Werten liegen. Dennoch belegen die Verhältnisse der Spannungen zueinander die physikalische Korrektheit des Spannungsdreiecks, bei dem die Gesamtspannung U die geometrische Summe aus Wirk- und Blindspannung bildet. Die Schaltung verhält sich somit exakt nach den Gesetzen der komplexen Wechselstromrechnung. Die Zeigerdiagramme wurden wegen der Messfehler mit den idealen Werten erstellt.

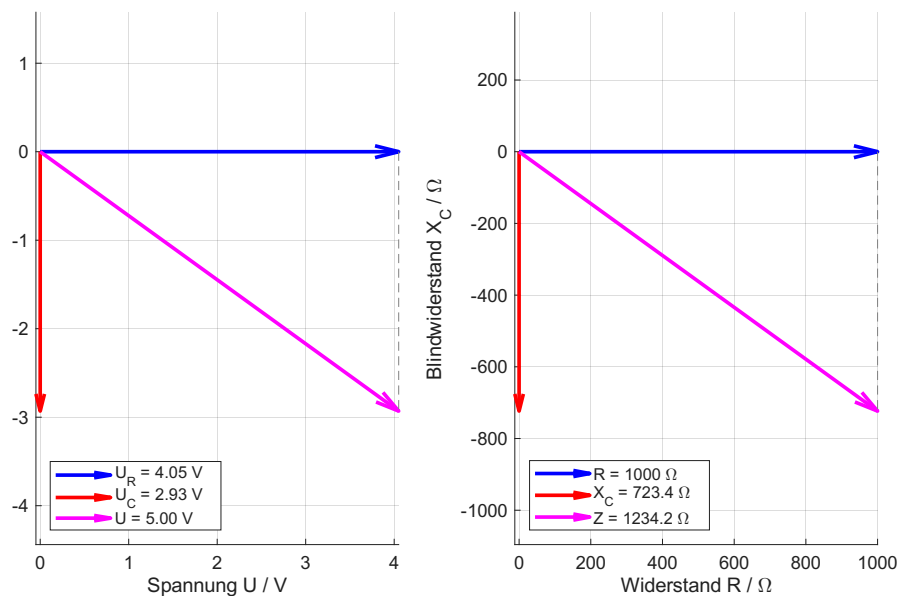


Abbildung 3.18: Zeigerdiagramme der Ströme und Leitwerte

3.9 Wirk-, Blind- und Scheinleistung

3.9.1 Einleitung und Aufgabenstellung

In diesem Versuchsteil wird eine Parallelschaltung aus einem Widerstand, einem Kondensator und einer Spule untersucht. Bei einer sinusförmigen Spannung sollen die Leistungen (Scheinleistung, Wirkleistung sowie die Blindleistungen) sowie der Phasenverschiebungswinkel messtechnisch und rechnerisch bestimmt werden. Ziel ist es, das Zusammenwirken der drei unterschiedlichen Bauelemente in der Parallelschaltung zu analysieren und im Leistungs-Zeigerdiagramm darzustellen.

3.9.2 Versuchsaufbau und Materialien

Die Schaltung wird als Parallelschaltung gemäß Abbildung 3.19 realisiert. Dabei werden ein ohmscher Widerstand ($R = 470 \, \Omega$), ein Kondensator ($C = 0,47 \, \mu\text{F}$) und eine Spule ($L = 100 \, \text{mH}$) parallel an einen Funktionsgenerator angeschlossen. Der Generator liefert eine sinusförmige Ausgangsspannung mit einem Effektivwert von $U_{\text{eff}} = 3 \, \text{V}$ bei einer Frequenz von $f = 1 \, \text{kHz}$. Zur Bestimmung der Leistungen werden ein Multimeter sowie die entsprechenden Messpunkte (A bis H) genutzt, um den Gesamtstrom I sowie die Teilströme nacheinander zu erfassen.

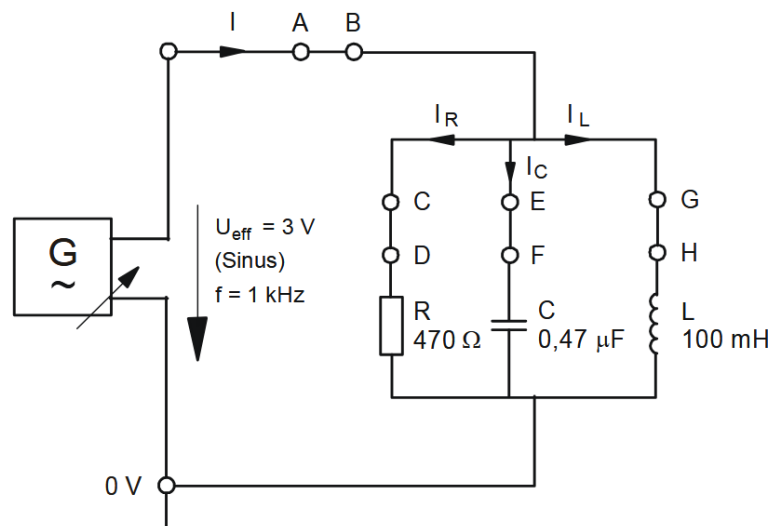


Abbildung 3.19: Schematischer Aufbau von einer RLC-Schaltung, Bildquelle: Laboranleitung 2 - Wechselstromtechnik [2]

3.9.3 Versuchsdurchführung und Methoden

Mit dem Multimeter werden nacheinander die Effektivwerte des Gesamtstroms I sowie der Teilströme an den jeweiligen Messpunkten erfasst. Diese Messdaten dienen als Grundlage, um die Wirk-, Blind- und Scheinleistungen sowie den Phasenverschiebungswinkel rechnerisch zu bestimmen.

3.9.4 Ergebnis und Interpretation

Gemessene Ergebnisse:

Gesamtstrom I (Messpunkte A-B): 145,5 μA ,

Wirkstrom I_R (Messpunkte C-D): 120,4 μA ,

Kondensatorstrom I_C (Messpunkte E-F): 174,5 μA ,

Spulenstrom I_L (Messpunkte G-H): 93,8 μA ,

Ideale Berechnungen:

$$I_R = \frac{U}{R} = 6,38 \text{ mA}, \quad (3.27)$$

$$I_L = \frac{U}{X_L} = 4,77 \text{ mA}, \quad (3.28)$$

$$I_C = \frac{U}{X_C} = 8,86 \text{ mA}, \quad (3.29)$$

$$P = U \cdot I_R = 19,14 \text{ mW}, \quad (3.30)$$

$$S = U \cdot I = 22,74 \text{ mVA}, \quad (3.31)$$

$$Q_C = U \cdot I_C = 26,58 \text{ mvar}, \quad (3.32)$$

$$Q_L = U \cdot I_L = 14,31 \text{ mvar}, \quad (3.33)$$

$$\cos\phi = \frac{P}{S} = 0,641; \phi = 32,66^\circ, \quad (3.34)$$

Die RCL-Parallelschaltung demonstriert die Teilkompensation von Blindleistungen: Da Q_C und Q_L entgegengesetzt wirken, reduziert sich die Gesamt-Blindleistung auf $Q_{ges} = Q_C - Q_L$. Da Q_C überwiegt, verhält sich die Schaltung mit einem Phasenwinkel von $\phi = 32,66^\circ$ kapazitiv. Die theoretische Analyse bestätigt das Leistungsdreieck, in dem die Scheinleistung S die geometrische Summe aus Wirkleistung P und der resultierenden Blindleistung bildet. Trotz geringer Messstromstärken (vermutlich falsch angeschlossener Messspitzen) belegen die berechneten Verhältnisse die physikalische Korrektheit der komplexen Wechselstromrechnung für parallele Zweige.

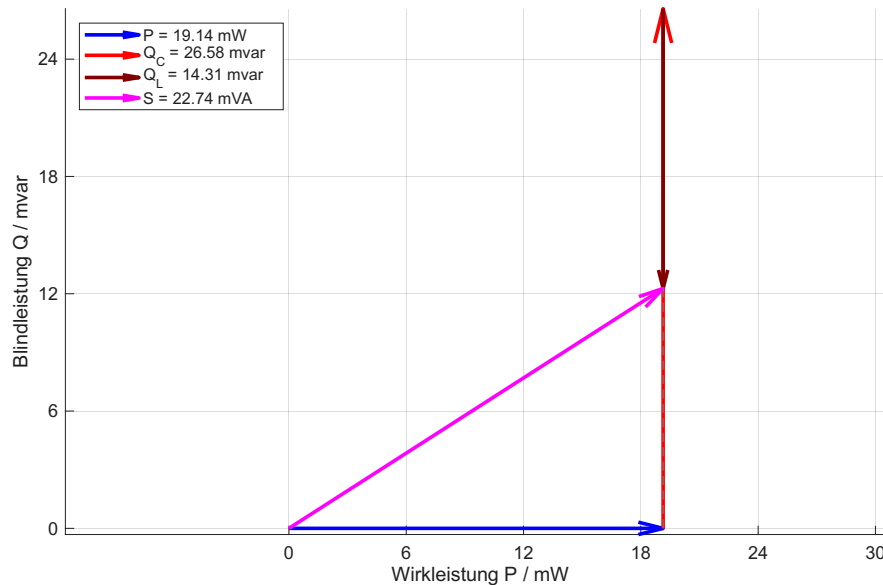


Abbildung 3.20: Zeigerdiagramm der Leistungen

Literatur

- [1] G. Saxl, *Laboranleitung 1 - Gleichstromtechnik*, Managementcenter Innsbruck, 2025.
- [2] G. Saxl, *Laboranleitung 2 - Wechselstromtechnik*, Managementcenter Innsbruck, 2025.