

ACIN



MESSTECHNIK LABORÜBUNG 2

STATISTIK UND LEISTUNGSMESSUNG

GRUPPE: 2

DATUM: 10.10.2019

ORT: CA0410

MESSPLATZ: 6

TEILNEHMER: KONSTANTIN KOBEL 01525841

MARCUS SCHISCHLIK 01609390

Rechtliches

Ich bestätige hiermit, dass alle hier verwendeten Messergebnisse und Interpretationen von uns selbst erstellt wurden. Es wurden keine anderen Quellen als die hier schriftlich angegeben verwendet.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	4
2 Übungsdurchführung	6
2.1 Strommessung	6
2.2 Widerstandsmessung	7
2.3 Impedanzmessung	9
2.4 Fehlerfortpflanzung	13
2.5 Impedanzmessung mittels LCR-Meter	15
2.6 5/8-Methode	16
2.7 Leistungsmessung	18
3 Verwendete Geräte	20

1 Einleitung

Die zweite Laborübung beschäftigt sich damit die Charakteristiken unterschiedlicher Impedanzen, mittels gezielter Messungen, zu bestimmen und daraus die Struktur und Bauteilwerte abzuleiten. Zusätzlich beschäftigen wir uns mit der Leistungsmessung mithilfe eines Wattmeters.

Als Testaufbau dienen fünf Stränge mit unterschiedlichen Impedanzen, welche in einer Blackbox verbaut wurden. Von den Strängen sind die Strukturen bekannt: R, L, C, RL, RC. Die exakten Bauteilwerte sind unbekannt. Die Stränge sind über Anschlussbuchsen von außen zugänglich.



Abbildung 1: Blackbox mit unterschiedlichen Impedanzen

Zur Charakterisierung der einzelnen Stränge werden folgende Messungen durchgeführt:

- Strommessung
- Widerstandsmessung
- Impedanzmessung
- Fehlerfortpflanzung
- Impedanzmessung mittels LCR-Meter
- 5/8-Methode
- Leistungsmessung

2 Übungsdurchführung

2.1 Strommessung

Aufgabenstellung

Für die ersten Aufgabe soll ein der Spannung proportionales Stromsignal am Oszilloskop gemessen werden. Um die Strommessung am Oszilloskop zu ermöglichen, muss der Impedanz-Strang um einen Widerstand, auch Shuntwiderstand genannt, erweitert werden. Aus der Spannung, die am Widerstand abfällt, und dem Widerstandswert kann der Strom, der durch den Strang fließt, errechnet werden.

Aus der zeitlichen Verschiebung zwischen dem Spannungssignal und dem Stromsignal kann die Art der Impedanz abgeleitet werden.

Messaufbau

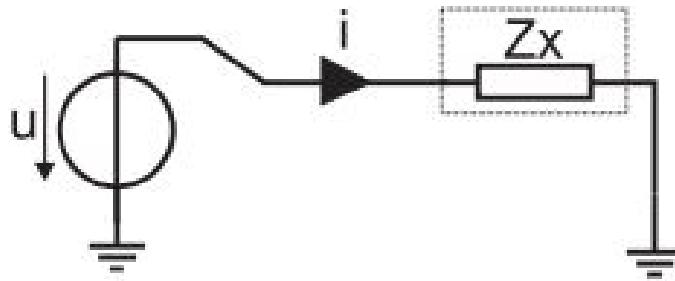


Abbildung 2: Schaltung zur Strommessung

Der Messaufbau wird von dem Frequenzgenerator mit einer Spannung versorgt. Es wird ein Sinus-Signal mit $10V_{pp}$ eingestellt.

Damit die Komponenten in der Blackbox nicht beschädigt werden, ist ein maximaler Strom von $5mA$ vorgeschrieben. Aus diesen Vorgaben ergibt sich für den Shuntwiderstand ein Wert von

$$R_S = \frac{u_{max}}{i_{max}} = \frac{5V}{5mA} = 1k\Omega$$

Somit errechnet sich der Strom, der durch den Strang fließt, zu

$$i_S = \frac{u_S}{R_S}$$

2.2 Widerstandsmessung

Aufgabenstellung

Damit bei der Bestimmung der Impedanzen Abweichungen des Bauteilwertes bereits in die Berechnungen mit einfließen, wird in dieser Aufgabe zuerst der genaue Wert des Shuntwiderstands bestimmt.

Um Messabweichungen einzelner Multimeter zu kompensieren wird der Widerstandswert mit drei unterschiedlichen Hand-Multimetern und einem Desktop-Multimeter erfasst.

Aus diesen Werten wird im darauf folgenden Schritt der Mittelwert und die Standardabweichung errechnet.

Messdurchführung mittels Multimeter

Zur Messung des Widerstandswertes werden folgende Multimeter genutzt:

M1	Agilent U1232A
M2	Neumann 9140
M3	Fluke 87 V
DM	Agilent 34461A

Tabelle 1: Multimeter zur Vermessung des Shuntwiderstands

Die Auswertung der Messungen ergibt folgende Werte:

Messung	Widerstandswert	Ergebnis
M1	1077 Ω	Mittelwert: $\bar{R}_i = \frac{1}{4} \sum_{n=1}^4 R_i = 1079.75\Omega$
M2	1081 Ω	
M3	1082 Ω	
DM	1079 Ω	

$$\text{Standardabweichung: } s(\bar{R}_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 (R_i - \bar{R}_i)^2}{3}} = 2.2\Omega$$

Tabelle 2: Auswertung der Widerstands-Vermessung mit unterschiedlichen Multimetern

Ermittlung des Mittelwertes und der Standardabweichung

Das Desktop-Multimeter ist in der Lage die Messwerte als Histogramm darzustellen. Hierzu wurden 5110 Messungen vorgenommen mit einer Aperture von 1 PLC durchgeführt.

Die Aperture-Einstellung des Desktop-Multimeters gibt die Dauer einer Messung an. Umso länger eine Messung dauert, umso genauer ist das Ergebnis, da sich der Widerstand nicht so stark erwärmt.

Das Histogramm stellt eine gauß'sche Verteilung dar. Der Mittelwert beträgt 1079.27Ω .

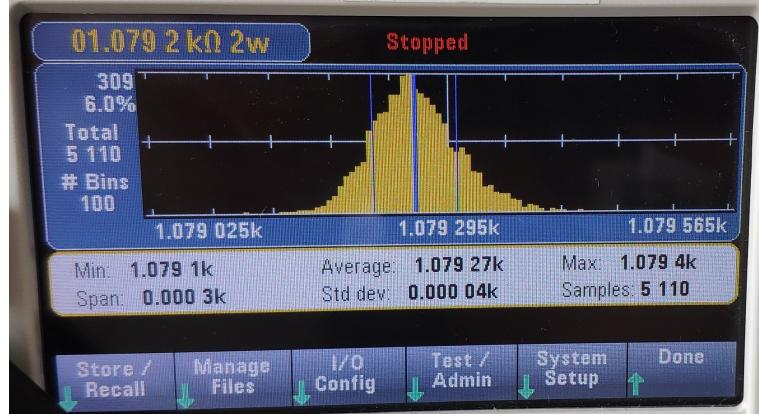


Abbildung 3: Histogramm über 5110 Messungen mit einer Aperture von 1 PLC

Links vom Maximum sind leichte Ausreißer zu erkennen, welche auf die, durch die Messungen, erhöhte Temperatur des Widerstandes zurück zu führen ist.

Die Standardabweichung beträgt $40\mu\Omega$. Die relativ geringe Standardabweichung ergibt sich aus der hohen Anzahl an Messungen, die eine kleine Unsicherheit ermöglichen.

Zum Vergleich war die Standardabweichung bei einer Aperture von 0.02 PLC mit $200\mu\Omega$ deutlich größer.

2.3 Impedanzmessung

Aufgabenstellung

In dieser Aufgabe sollen die Impedanzen, über ihre jeweiligen charakteristischen Eigenarten, mithilfe eines analogen Oszilloskops bestimmt werden.

Die Impedanz der Stränge kann aus der zeitlichen Differenz zwischen dem Strom- und Spannungsverlauf abgeleitet werden. Zusätzlich wird die Amplitude des Spannungs- und des Stromsignals gemessen.

Messaufbau

Um den Strom- und den Spannungsverlauf auf dem analogen Oszilloskop darstellen zu können, wird die Schaltung gemäß Abbildung 4 aufgebaut. Als Spannungsversorgung wird ein Siglent SDG1025 verwendet, welches die Schaltung mit einer Sinus-Spannung mit $10V_{pp}$ und einer Frequenz von abwechselnd 1kHz und 15 kHz versorgt. Als Shuntwiderstand wird der in Aufgabe 2.2 vermessene Widerstand genutzt.

Bei dieser Messung ist es wichtig den Shuntwiderstand hinter der Impedanz direkt auf Masse zu schalten, damit er nicht vom Oszilloskop kurzgeschlossen wird.

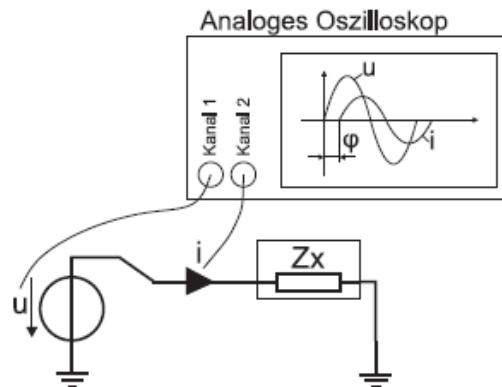


Abbildung 4: Messaufbau zur Impedanzmessung

Strommessung

Am Oszilloskop wird die Spannung über den Shuntwiderstand dargestellt. Aus der Beziehung $i = \frac{u_R}{R_i}$ ergibt sich der Strom zu $i = \frac{u_R}{1079.75\Omega}$.

Strom- und Spannungsverlauf

Durch Aktivieren der Spannungsversorgung lässt sich am Oszilloskop ein Bild, wie in Abbildung 5, erkennen.

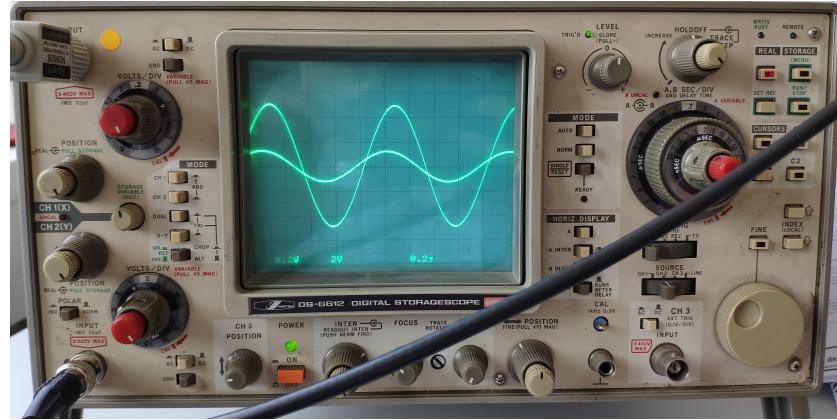


Abbildung 5: Strom- und Spannungsverlauf am analogen Oszilloskop

Nun kann am Oszilloskop die zeitliche Verschiebung zwischen der Spannung und dem Strom gemessen werden.

Mithilfe der zeitlichen Differenz kann der Phasenwinkel aus $\frac{\Delta t}{T} = \frac{\Delta\Phi}{360^\circ}$ errechnet werden. Die Periodendauer ergibt sich zu $T = \frac{1}{f}$.

Daraus kann die Impedanz errechnet werden.

$$Z = |Z|e^{j\Phi} = \frac{u}{i} \cos(\Phi) + j \sin(\Phi)$$

Strang	$f[kHz]$	$u[V]$	$i[A]$	$Z[\Omega]$	Struktur
S1	1	5	1.2m	$2651.27 - j 2007.30$	RC
	15	5	1.6m	$2125 - j 0$	RC
S2	1	5	2.6m	$30.44 - j 1623.71$	RC
	15	5	4m	$250 - j 0$	RC
S3	1	5	4m	$250 + j 0$	RL
	15	5	4m	$162.22 + j 460.55$	RL
S4	1	5	4m	$210.72 + j 310.86$	RL
	15	5	1.2m	$36.2 + j 4035.76$	RL
S5	1	5	3m	$666.67 + j 0$	R
	15	5	2.5m	$1000 + j 0$	R

Tabelle 3: Berechnung der Impedanzen und Ermittelung der Struktur

Ermittelung der Impedanz-Struktur

Für den Strom- und Spannungsverlauf über Impedanzen gilt:

Eilt der Strom der Spannung voraus, handelt es sich bei dem Strang um eine kapazitive Last (ein reines C- oder RC-Glied). In diesem Fall ist der Phasenwinkel negativ.

Wenn jedoch die Spannung dem Strom voraus eilt, handelt es sich bei dem Strang um eine induktive Last (ein reines L- oder RL-Glied). Der Phasenwinkel ist dann positiv.

- S1 - Im ersten Strang ist ein negativer Phasenwinkel zu erkennen was auf ein kapazitives Verhalten schließen lässt. Da die reale Impedanz $2.65k\Omega$ beträgt, wobei $1k\Omega$ von unserem Shuntwiderstand kommen, muss es sich bei diesem Strang um einen RC Strang handeln. $R = 1.65k\Omega, C = 79.28nF$
- S2 - In diesem Strang ist ebenfalls ein negativer Phasenwinkel zu erkennen, was wieder auf ein kapazitives Verhalten schließe lässt. Da von unserem Shuntwiderstand $1k\Omega$ in die Berechnung mit einfließt, beträgt die übrige reale Impedanz des Stranges nur 30Ω , was vom Innenwiderstand eines Kondensators kommen kann. Daher muss es sich bei diesem Strang um einen reinen C-Glied handeln. $C = 98.01nF$
- S3 - Im dritten Strang ist ein positiver Phasenwinkel zu erkennen, was auf eine induktive Last hindeutet. Da in diesem Fall der reale Teil der Impedanz mit 250Ω relativ groß ist, ist es unwahrscheinlich, dass er vom Innenwiderstand der Spule kommt. Somit handelt es sich in diesem Fall um einen RL Strang.
 $R = 250\Omega, L = 4.88mH$

- S4 - Im vierten Strang eilt ebenfalls die Spannung dem Strom voraus. Wir gehen daher auch in diesem Fall von einem induktiven Glied aus. Da die reale Impedanz mit 36Ω relativ gering ist, kann man hier von einem reinen L Strang ausgehen.
 $L = 49.47mH$
- S5 - Im fünften Strang ist keine zeitliche Verschiebung zwischen dem Strom und der Spannung zu erkennen. Wir gehen daher von einem reinen R Glied aus. $R = 1000\Omega$

2.4 Fehlerfortpflanzung

Aufgabenstellung

Ziel dieser Aufgabe ist es die gesamte Unsicherheit der Wirkleistung am RL-Strang (in unserem Fall Strang 3) zu berechnen. Hierzu sind die Messung der Spannung, des Stroms und des Phasenwinkels erforderlich.

Messaufbau

Um die Messung von Spannung, Strom und Phasenwinkel durchzuführen, wird die Schaltung wie in Abbildung 4 aufgebaut.

In dieser Aufgabe ersetzen wir jedoch das analoge durch das digitale Oszilloskop, da es uns die schnelle Berechnung der RMS-Werte von Spannung und Strom ermöglicht.

Am Funktionsgenerator wird ein Sinus-Signal mit $10V_{pp}$ und einer Frequenz von $150Hz$ eingestellt.

Berechnung von Wirkleistung, Mittelwert und Standardabweichung

Die Formel zur Berechnung der Wirkleistung lautet

$$P = UI \cos(\Phi)$$

Die Berechnung des Mittelwerts erfolgt aus

$$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N P_i$$

Die Standardabweichung errechnet sich zu

$$s(\bar{P}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2}{N-1}}$$

In dieser Aufgabe sollten fünf unterschiedliche Werte für den Strom und den Phasenwinkel gemessen werden.

Um Abweichungen zwischen den Werten zu erhalten, wurde am Oszilloskop mithilfe unterschiedlicher Measure-Funktionen eine gewollte Abweichung zwischen den Messungen

MessungNr.	$x_1 = I_{RMS}[A]$	$x_2 = \Phi[rad]$
1	3.57m	0.052
2	3.36m	0.0634
3	3.579m	0.049
4	3.39m	0.0536
5	3.67m	0.0572
\bar{x}_i	3.51m	55m
$s(\bar{x}_i)$	133μ	5.516m
$\frac{\partial P}{\partial x_i}$	3.53	-0.967m
$(\frac{\partial P}{\partial x_i})^2 s^2(\bar{x}_i)$	221n	93n
Kovarianz	-0.329μ	
$s(\bar{P})$	0.56m	

Tabelle 4: Strom und Phasenwinkel Messung

erzeugt.

Verwendete Formeln:

$$\text{Mittelwert: } \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

$$\text{Standardabweichung: } s(\bar{x}_i) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}_i)^2}$$

$$\text{Kovarianz: } cov(x_1, x_2) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_{1i} - \bar{x}_{1i})(x_{2i} - \bar{x}_{2i})$$

$$s(\bar{P}) = \left(\frac{\partial P}{\partial x_1} \right)^2 s^2(\bar{x}_1) + \left(\frac{\partial P}{\partial x_2} \right)^2 s^2(\bar{x}_2) + \frac{\partial P}{\partial x_1} \frac{\partial P}{\partial x_2} cov(x_1, x_2)$$

2.5 Impedanzmessung mittels LCR-Meter

Aufgabenstellung

Die Aufgabe hat als Ziel die Ergebnisse der Impedanz-Berechnung zu bestätigen. Hierzu wird im Labor ein Philips PM 6303 LCR-Meter zur Verfügung gestellt.

Impedanzmessung mittels LCR-Meter Mithilfe eines LCR-Meters ist möglich die Impedanz in einem Strang in seine Bestandteile aufzuteilen. Das LCR-Meter zeigt nämlich nicht nur die Gesamtimpedanz an, sondern kann die Impedanz auch in die einzelnen Komponenten, also R , C und L , aufteilen.

Zur Messung wird eine Frequenz von 1kHz eingestellt. Über die Pfeiltasten kann zwischen R_s , C_s und L_s gewechselt werden. In den unterschiedlichen Modi misst das LCR-Meter dann den Real- bzw. den Imaginär-Teil der Impedanz.

Der Serienwiderstand ist für diese Messung nicht mehr erforderlich.

Strang	C/L [F/H]	$R[\Omega]$	$Z[\Omega]$
S1	99.54nF	2.689k	3.129k
S2	94.05nF	36.25	1.693k
S3	1.182mH	17.9	19.42
S4	54.19mH	15.92	340.9
S5	/	986.7	986.7

Tabelle 5: Auswertung der Messung mittels LCR-Meter

2.6 5/8-Methode

Aufgabenstellung

Ziel dieser Aufgabe ist es die Induktivität des L-Stranges (in unserem Fall Strang 4) zu bestimmen. Hierzu wird die 5/8-Methode benutzt, mit welcher der Wert von τ bestimmt werden kann. Unter dem Wissen der Widerstandswerte des Shuntwiderstands und des Innenwiderstands der Spule kann daraus die Induktivität errechnet werden.

Messaufbau

Der Messaufbau, für die 5/8-Methode, erfolgt wie in Abbildung 6 dargestellt.

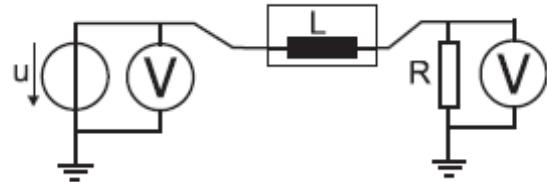


Abbildung 6: Messaufbau zur Bestimmung von L anhand der 5/8-Methode

Darstellen eines Einschwingvorgangs

Als Eingangsspannung wird ein Rechtecksignal mit einer geringen Frequenz angelegt. Mithilfe der Single-Shot Funktion des Oszilloskops kann ein Einschwingvorgang am Bildschirm dargestellt werden.

Bei der 5/8-Methode wird das Oszilloskop so eingestellt, dass das Signal durch die linke untere Ecke läuft und der stationäre Endwert am oberen Bildschirmrand ausgerichtet ist. Beim Schnittpunkt der 5. vertikalen Unterteilung mit unserer aufgenommenen Kurve, hat das Signal circa 62.5% (5/8-tel) des Endwertes erreicht.

Die Zeitdifferenz zwischen dem linken Bildschirmrand und dem oben beschriebene Schnittpunkt entspricht der Zeitkonstante τ .

In unserem Fall entspricht das $\tau = 45.2\mu s$.

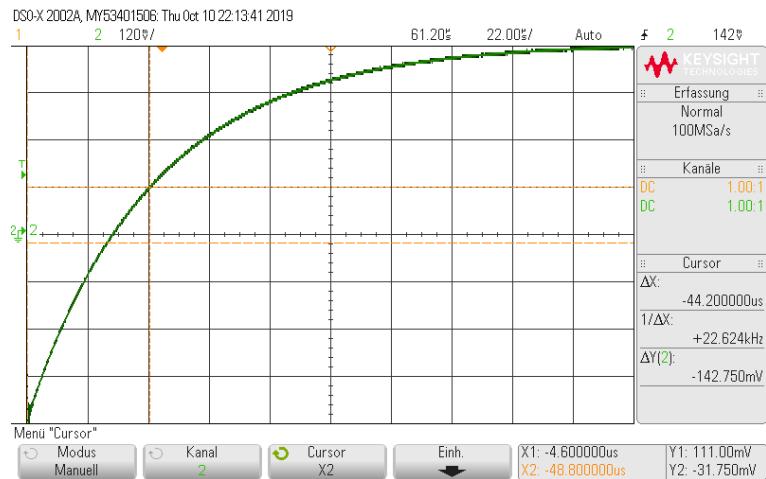


Abbildung 7: Der Einschwingvorgang des L-Strangs

Berechnung der Induktivität

Aus der Formel

$$\tau = \frac{L}{R}$$

lässt sich die Induktivität bestimmen.

Da sich die Widerstände im Fall einer realen Spule aus R und R_L (dem Innenwiderstand der Spule) zusammensetzen, folgt

$$L = \tau(R + R_L) = 44.2\mu s(1079.75\Omega + 15.92\Omega) = 49.52mH$$

Der Innenwiderstand der Spule kann aus der Tabelle 5 abgelesen werden.

Die Abweichung von ungefähr $5mH$ ist durch Ungenauigkeiten beim Ablesen vom Oszilloskop zu erklären.

	L[mH]
Oszilloskop	49.47
LCR-Meter	54.19
5/8 - Methode	49.52

Tabelle 6: Vergleich der unterschiedlichen Messarten von Strang 4

2.7 Leistungsmessung

Aufgabenstellung

Ziel dieser Aufgabe ist es mithilfe eines Wattmeters die Leistung des RL-Strangs (in unserem Fall Strang 3) zu messen.

Messaufbau

Zur Leistungsmessung wird ein Rohde & Schwarz Hameg Wattmeter genutzt. Um den Frequenzgenerator bei der Messung vor der Belastung zu schützen, wird ein Impedanzwandler, wie in Abbildung 8, zwischengeschaltet.

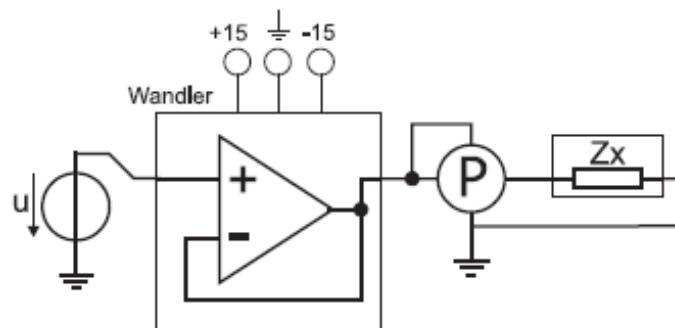


Abbildung 8: Schaltung zur Leistungsmessung mit einem Wattmeter

Der Impedanzwandler wird mit einer bipolaren Spannung von $+ - 15V$ und einer Strombegrenzung von $300mA$ versorgt. Am Frequenzgenerator wird ein Sinus-Signal mit $7V_{pp}$ und $100Hz$ eingestellt.

Leistungsmessung mittels Wattmeter

Nun können am Wattmeter die Scheinleistung, Wirkleistung und Blindleistung abgelesen werden.

Bei unserer Messung ergab sich durch die begrenzte Genauigkeit des Wattmeters ein Messfehler. Dieser Messfehler macht sich dadurch ersichtlich, dass die Scheinleistung geringer ist, als die Summe der Blindleistung und der Wirkleistung.

Das ist dadurch zu begründen, dass das Wattmeter nur eine Auflösung von fünf Digits bietet.

Scheinleistung [VA]	0.311
Wirkleistung [W]	0.312
Blindleistung [Var]	0.02
Leistungsfaktor	1

Tabelle 7: Auswertung der Messung mittels Wattmeter

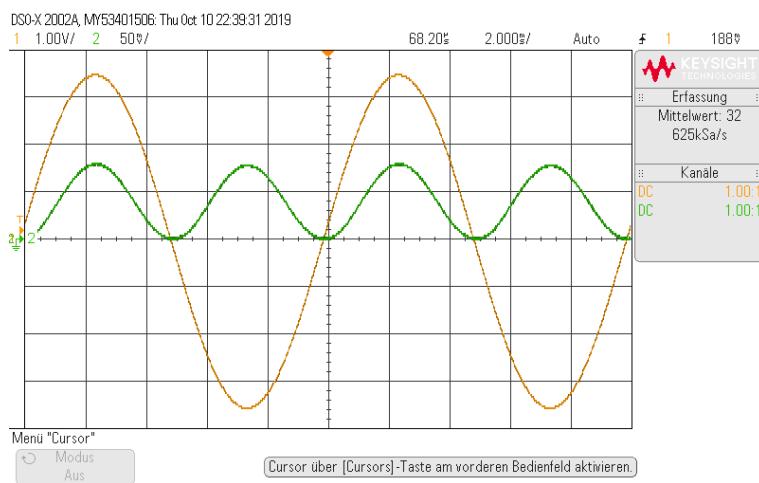


Abbildung 9: Darstellung der Momentan-Leistung am Oszilloskop (grün)

Durch die Messung der Spannung, des Stroms und des Phasenwinkels konnten wir die Leistung zusätzlich berechnen.

Scheinleistung [VA]	0.315
Wirkleistung [W]	0.314
Blindleistung [Var]	0.05
Leistungsfaktor	0.99914

Tabelle 8: Berechnung der Leistung aus Spannung, Strom und Phasenwinkel

Interpretation:

Die Frequenz der Momentanleistung (grün) schwingt mit der doppelten Frequenz, was auch zu erwarten war. Da es sich hier eigentlich um eine induktive Last handelt, sollte eigentlich eine Phasenverschiebung erkennbar sein, diese tritt aber nicht auf. Dies folgt daraus das die Induktivität so einen geringen Wert hat, sodass dieser die Phase kaum um einen veränderbaren Wert dreht.

Die doppelte Frequenz beruht darauf:

$$\begin{aligned}
 p &= ui = 2UI \cos(\omega t + \varphi_u) \cos(\omega t + \varphi_i) \\
 &= UI \cos(\varphi) + UI \cos(2\omega t + \varphi_u + \varphi_i) \\
 &= P + S \cos(2\omega t + \varphi_u + \varphi_i) \\
 \varphi &= \varphi_u - \varphi_i
 \end{aligned}$$

Der Mittelwert des in Abbildung 9 zu sehenden Signales (grün) ist die Wirkleistung P. Die Amplituden der Schwingung, die um P mit der doppelten Frequenz schwingt, ist die Scheinleistung S.

3 Verwendete Geräte

- Blackbox 1
- Agilent U1232A - Hand-Multimeter
- Neumann 9140 - Hand-Multimeter
- Fluke 87 V - Hand-Multimeter
- Agilent 34461A - Desktop-Multimeter
- Rigol DP832 - Spannungsversorgung
- Rohde&Schwarz Hameg - Wattmeter
- Philips PM 6303 - RCL-Meter
- DS-6612 Digital StorageScope - Analoges Oszilloskop
- Agilent DSO-X 2002A - Digitales Oszilloskop

Abbildungsverzeichnis

1	Blackbox mit unterschiedlichen Impedanzen	4
2	Schaltung zur Strommessung	6
3	Histogramm über 5110 Messungen mit einer Aperture von 1 PLC	8
4	Messaufbau zur Impedanzmessung	9
5	Strom- und Spannungsverlauf am analogen Oszilloskop	10
6	Messaufbau zur Bestimmung von L anhand der 5/8-Methode	16
7	Der Einschwingvorgang des L-Strangs	17
8	Schaltung zur Leistungsmessung mit einem Wattmeter	18
9	Darstellung der Momentan-Leistung am Oszilloskop (grün)	19

Tabellenverzeichnis

1	Multimeter zur Vermessung des Shuntwiderstands	7
2	Auswertung der Widerstands-Vermessung mit unterschiedlichen Multimetern	7
3	Berechnung der Impedanzen und Ermittelung der Struktur	11
4	Strom und Phasenwinkel Messung	14
5	Auswertung der Messung mittels LCR-Meter	15
6	Vergleich der unterschiedlichen Messarten von Strang 4	17
7	Auswertung der Messung mittels Wattmeter	19
8	Berechnung der Leistung aus Spannung, Strom und Phasenwinkel	19