

HOCHSCHULE REGENSBURG Praktikum zu den Grundlagen der Elektrotechnik		
Name: <i>Schuster Matthias</i>		Testat:
Semester: <i>Ree46</i>	Gruppe: <i>3</i>	Teilnahme:
Versuchsdatum: <i>10.04.14</i>	Abgabedatum: <i>15.04.14</i>	Ausarbeitung:
Versuch-Nr. 29	Wechselstrom- Widerstandsbestimmung aus Strom, Spannung und Leistung	
Inhalt des Versuchsberichts:		
1) Aufgabenblatt; 2) Stückliste aller verwendeten Geräte mit Positionsnummern; 3) Schaltbild mit Positionsnummern der Geräte laut Stückliste; 4) Messdaten in Tabellenform; 5) Auswertung der Messdaten; 6) Diagramme; 7) Diskussion		

Stand: 28.03.2012 Unh

1 Versuchsziel

Einige Wechselstromwiderstände sollen nacheinander mittels Strom-Spannungs-Leistungsmessung, Drei-Spannungs-Messer-, Drei-Strom-Messer-Methode sowie einem kommerziellen LCR-Meter bestimmt werden. Darüber hinaus ist das Parallel- bzw. Reihenersatzschaltbild der untersuchten Impedanzen zu ermitteln.

2 Grundlagen

Zur Bestimmung eines Wechselstromwiderstandes

$$\underline{Z} = Z e^{j\varphi} = Z \angle \varphi = R + jX$$

ist im allgemeinen eine einfache Strom-Spannungs-Messung nicht ausreichend, da sie lediglich den Betrag Z des zu bestimmenden komplexen Widerstandes liefert. Zur vollständigen Bestimmung des unbekanntes Widerstandes ist noch eine zweite Messung erforderlich, die über den Phasenwinkel φ der Impedanz \underline{Z} Aufschluss gibt.

2.1 Widerstandsbestimmung aus Strom, Spannung, Leistung (IUP-Messung)

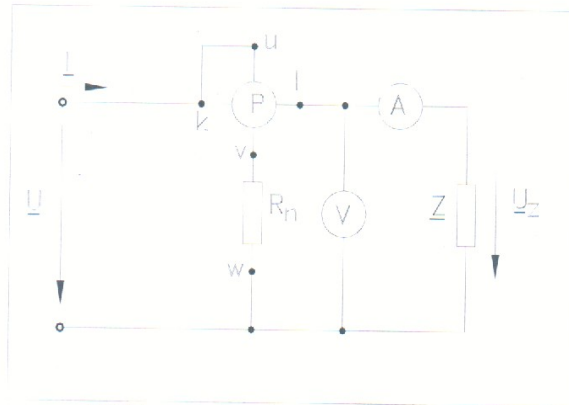


Abbildung 1: IUP-Messung (stromrichtig)

Wird außer der an der Impedanz angelegten Spannung U und dem von ihr getriebenen Strom I die aufgenommene Wirkleistung P gemessen, so liefert die Strom-Spannungsmessung den Betrag $Z = U/I$ und die Leistungsmessung den Phasenwinkel $\cos \varphi = P/U \cdot I$ der unbekanntes Impedanz.

2.2 Drei-Spannungsmesser-Methode (3U-Messung)

Steht jedoch kein Wattmeter zur Verfügung, so kann der Phasenwinkel auch unter Verwendung des Cosinussatzes:

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos(\gamma)$$

aus der Anzeige von drei Spannungsmessern ermittelt werden. Dazu wird dem Widerstand Z ein bekannter rein Ohmscher Widerstand R in Reihe geschaltet und außer der Verbraucherspannung U_Z , der vom Verbraucherstrom I_Z am Widerstand R erzeugte Spannungsabfall U_R sowie die an der Schaltung liegende Gesamtspannung U_I gemessen.

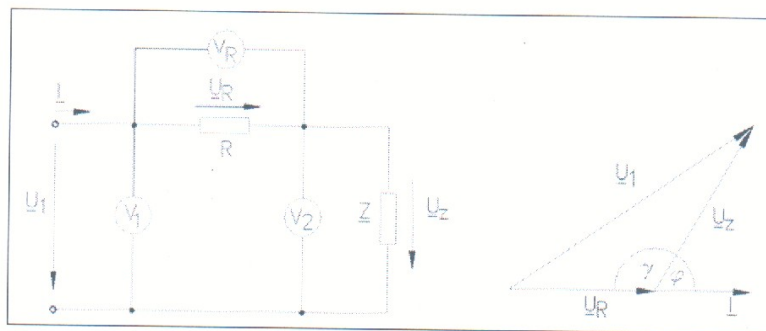


Abbildung 2: 3U-Messung

Es ergibt dann das Zeigerdiagramm der Spannungen U_I , U_R , U_Z (Abb.2b) für den Phasenwinkel und den Betrag die Beziehung

$$\cos \varphi = \frac{U_I^2 - U_R^2 - U_Z^2}{2 \cdot U_R \cdot U_Z}; \quad Z = \frac{U_Z}{I_Z} \quad \text{mit } I_Z = U_R/R \quad \text{und} \quad \cos \varphi = -\cos \gamma$$

$$Z = \frac{U_Z}{U_R} \cdot R$$

Für ausreichende Messgenauigkeit sollte $R \approx 160 \Omega$ für den Kondensator und $R \approx 220 \Omega$ für die Induktivität gewählt werden.

2.3 Drei-Strommesser-Methode (3I-Messung)

In ähnlicher Weise kann der unbekannte Widerstand auch aus der Anzeige dreier Strommesser bestimmt werden, wenn der Ohmsche Widerstand R nicht in Reihe, sondern parallel zum unbekanntem Widerstand Z geschaltet wird und die Ströme I_Z , I_R und I_1 gemessen werden (Abb.: 3).

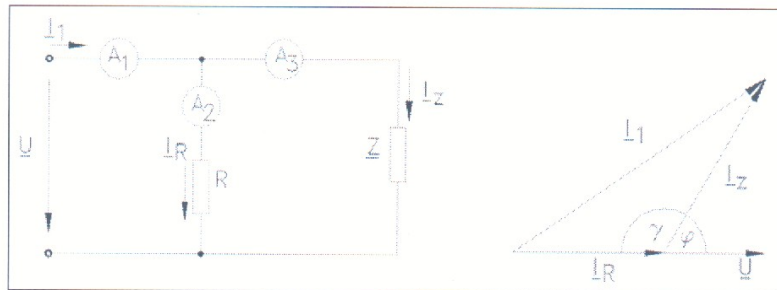


Abbildung 3: 3I-Messung

Aus dem Zeigerdiagramm der Ströme (Abb. 3b) ergibt sich:

$$\cos \varphi = \frac{I_1^2 - I_R^2 - I_Z^2}{2 \cdot I_R \cdot I_Z};$$

$$Z = \frac{U_R}{I_Z} \quad \text{mit } U_R = R \cdot I_R \quad \text{und} \quad Z = R \cdot \frac{I_R}{I_Z}$$

Für ausreichende Messgenauigkeit sollte $R \approx 160\Omega$ für den Kondensator und $R \approx 220\Omega$ für die Induktivität gewählt werden.

2.4 Wahl des Ersatzschaltbildes

Auch darüber, ob der unbekannte Widerstand aus einer Reihenschaltung aus einem rein Ohmschen Widerstand R mit einem Blindwiderstand jX oder Parallelschaltung aus einem rein Ohmschen Leitwert G und einem reinen Blindleitwert $-jB$ bzw. aus einer gemischten Schaltung besteht, geben die Messungen keinen Aufschluss.

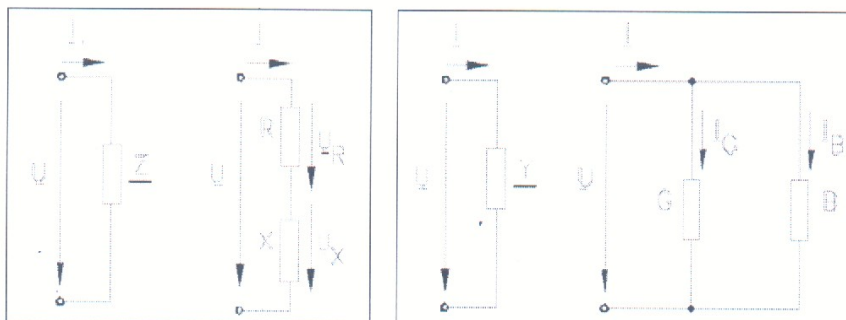


Abbildung 4: Reihen- und Parallelschaltung

Man wählt daher das auf Grund des Aufbaus der vorliegenden Impedanz naheliegendere Ersatzschaltbild.

3 Versuchsdurchführung

Es sind die Wechselstromwiderstände Drossel und Kondensator mit folgenden Methoden nacheinander zu messen. Ihre **vorbereitete** Messtabelle muss die für die Auswertung notwendigen Spalten bereits enthalten.

- 3.1 Strom-Spannungs-Leistungs-Messung (IUP) mit zwei verschiedenen Stufen der Eingangsspannung (100V, 200V).
- 3.2 Drei-Spannungsmesser-Methode (3U) mit zwei verschiedenen Stufen der Eingangsspannung (100V, 200V).
- 3.3 Drei-Strommesser-Methode (3I) mit zwei verschiedenen Stufen des Eingangsstroms (0.4A, 0.8A).
- 3.4 Messen Sie mit dem RLC-Meter die Werte L_s , R_s , Q , ϕ (bzw. θ) und $|Z|$ für die Drossel sowie C_p , R_p , Q , ϕ (bzw. θ) und $|Z|$ für den Kondensator bei $f=1000\text{Hz}$.
- 3.5 Bestimmen Sie den Kupferwiderstand R_{Cu} der Drossel.

4 Versuchsauswertung

- 4.1 Die mit den Methoden 3.1, 3.2 und 3.3 gemessenen Werte sind als komplexe Widerstände und komplexe Leitwerte nach Real- und Imaginärteil, sowie in polarer Form tabellarisch zusammenzustellen. Zusätzlich sind die Gütewerte und die L- bzw. C-Werte in die Tabelle einzutragen.
- 4.2 Vergleichen Sie die unter 3.4 gemessenen Werte und begründen Sie die Abweichungen.
- 4.3 Berechnen Sie den Eisenverlustwiderstand R_{Fe} der Drossel. Berechnen Sie die Eisen- und die Kupferverluste für die Eingangsspannung $U=200\text{V}$.
- 4.4 Tragen Sie die gemessenen Widerstandswerte als Mittelwerte für jedes Messobjekt in die komplexe Z-Ebene ein.
- 4.5 Diskussion der Messergebnisse:
 - a) Ist bei 3.1 die stromrichtige oder die spannungsrichtige Messung sinnvoller?
 - b) Inwiefern beeinflusst der Widerstandswert bei 3.2 und 3.3 die Messgenauigkeit?
 - c) Erläutern Sie, warum sich die komplexen Widerstandswerte stark ändern, wenn bei 3.4 die Messfrequenz verändert wird.

Stückliste aller verwendeten Geräte

Pos. Nr	Gerät
1	Extech - Instruments (Multimeter 410)
2	HAMEG - Instruments (Prog.ble Power Meter HM 8115-2)
3	HAMEG - Instruments (LCR Meter HM 8018)
4	Drossel (65 W, 404 μ H) $R_{cu} = 15,7 \Omega$
5	Kondensator (14 μ F, 400 V, 50 Hz)
6	Trenntrafo (50 Hz)
7	Belast. Widerstand (0-230 Ω)

3.1 IUP - Messung

	Drossel		Kondensator	
U_Z in [V]	100	200	100	200
P in [W]	4,7	20,6	0,2	0,8
I in [A]	0,42	0,88	0,45	0,90
Z in [Ω]	238	227	222	222
φ	$83,68^\circ$	$83,11^\circ$	$-85,77^\circ$	$-85,77^\circ$
S in [VA]	42	176	45	180

Berechnung von Z, φ, S aus den Messwerten I, U, P :

$$Z = \frac{U_Z}{I}$$

$$\varphi = \cos^{-1} \left(\frac{P}{U_Z \cdot I} \right) \quad \varphi = -\cos^{-1} \left(\frac{P}{U_Z \cdot I} \right)$$

$$S = U_Z \cdot I$$

3.2 3U - Messung

	Drossel		Kondensator	
U_1 in [V]	100	200	100	200
U_R in [V]	60,6	130,5	58,1	117,3
U_Z in [V]	69,2	136	80,7	163,3
I_2 in [A]	0,30	0,60	0,36	0,73
R in [Ω]	220	220	160	160
Z in [Ω]	231	227	222	224
φ	$84,26^\circ$	$82,95^\circ$	$-83,32^\circ$	$-50,64^\circ$
γ	$55,74^\circ$	$57,05^\circ$	$-50,68^\circ$	$-83,36^\circ$

Berechnung von Z, φ, I_2 aus den Messwerten U_1, U_R, U_Z :

$$Z = \frac{U_Z}{I_2} \quad \text{mit} \quad I_2 = \frac{U_R}{R}$$

$$\varphi = \cos^{-1} \left(\frac{U_1^2 - U_R^2 - U_Z^2}{2 \cdot U_R \cdot U_Z} \right)$$

$$\varphi = -\cos^{-1} \left(\frac{U_1^2 - U_R^2 - U_Z^2}{2 \cdot U_R \cdot U_Z} \right)$$

$$\gamma = 180 - \varphi$$



3.3 3I - Messung

	Drossel		Kondensator	
I_1 in [A]	0,4	0,8	0,4	0,8
I_R in [A]	0,27	0,55	0,32	0,63
I_2 in [A]	0,25	0,52	0,23	0,46
U_R in [V]	59,4	121	51,2	100,8
R in [Ω]	220	220	160	160
Z in [Ω]	232,6	232,7	222,2	215,1
φ	$74,57^\circ$	$83,26^\circ$	$-88,17^\circ$	$-140,76^\circ$
γ	$105,93^\circ$	$96,74^\circ$	$-51,83^\circ$	$-38,30^\circ$

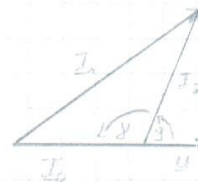
Berechnung von Z, φ, U_R aus den Messwerten I_1, I_R, I_2 :

$$Z = \frac{U_R}{I_2} \quad \text{mit} \quad U_R = R \cdot I_R$$

$$\varphi = \cos^{-1} \left(\frac{I_1^2 - I_R^2 - I_2^2}{2 \cdot I_R \cdot I_2} \right)$$

$$\varphi = -\cos^{-1} \left(\frac{I_1^2 - I_R^2 - I_2^2}{2 \cdot I_R \cdot I_2} \right)$$

$$\gamma = 180 - \varphi$$



3.4 LCR-Meter Messung

Drossel		Kondensator	
f in [Hz]	1000	f in [Hz]	1000
ω in [$\frac{1}{s}$]	2000π	ω in [$\frac{1}{s}$]	2000π
L_s in [mH]	413,0	C_p in [μF]	14,04
R_s in [Ω]	501,0	R_p in [Ω]	954,20
Q	5,18	Q	84
Θ in [Deg]	$79,07^\circ$	Θ in [Deg]	$-89,32^\circ$
X_L in [Ω]	2594,95	X_C	11,36
$ Z $ in [Ω]	2640	$ Z $ in [Ω]	11,34

$$X_L = \omega \cdot L$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

3.5 Kupferwiderstand der Drossel

$$\text{Drossel } R_{Cu} = 15,7 \Omega$$

4.1 Angabe der komplexen Widerstands werte

IUP-Messung	Drossel		Kondensator	
Spannung in [V]	100	200	100	200
\underline{Z} in [Ω]	$238 \angle 83,68^\circ$	$227 \angle 83,11^\circ$	$222 \angle -85,77^\circ$	$222 \angle -85,77^\circ$
$ \underline{Z} $ in [Ω]	238	227	222	222
$\text{Re}\{\underline{Z}\}$ in [Ω]	26,20	27,23	0,85	0,85
$\text{Im}\{\underline{Z}\}$ in [Ω]	236,55	225,36	-221,95	-221,95
$\text{Re}\{\underline{Y}\}$ in [mS]	0,46	0,52	0,018	0,018
$\text{Im}\{\underline{Y}\}$ in [mS]	-4,78	-4,37	4,5	4,5
\underline{Y} in [mS]	$4,2 \angle -83,68^\circ$	$4,4 \angle -83,21^\circ$	$4,5 \angle 85,77^\circ$	$4,5 \angle 85,77^\circ$
L in [mH]	752,9	717,3	/	/
C in [μ F]	/	/	14,3	14,3
φ in [$^\circ$]	83,68	83,11	-85,77	-85,77
Q	10,4	8,4	24,5	24,5

$$C = \frac{1}{\omega \cdot |Z| \cdot \sin \varphi}$$

$$L = \frac{|Z| \cdot \cos \varphi}{\omega}$$

$$Q_{\text{Drossel}} = \frac{X_L}{R}$$

$$Q_{\text{Kondensator}} = \frac{B_C}{G}$$

3U-Messung	Drossel		Kondensator	
Spannung in [V]	100	200	100	200
\underline{Z} in [Ω]	$231 \angle 84,26^\circ$	$227 \angle 82,55^\circ$	$222 \angle -85,32^\circ$	$224 \angle -50,64^\circ$
$ \underline{Z} $ in [Ω]	231	227	222	224
$\text{Re}\{\underline{Z}\}$ in [Ω]	23,10	27,86	2,63	-2,5
$\text{Im}\{\underline{Z}\}$ in [Ω]	225,84	225,28	-221,58	-223,58
$\text{Re}\{\underline{Y}\}$ in [mS]	0,43	0,54	0,53	-0,49
$\text{Im}\{\underline{Y}\}$ in [mS]	-4,31	-4,37	4,50	4,46
\underline{Y} in [mS]	$4,33 \angle -84,26^\circ$	$4,41 \angle -82,55^\circ$	$4,50 \angle 85,32^\circ$	$4,46 \angle 50,64^\circ$
L in [mH]	731,6	717,0	/	/
C in [μ F]	/	/	14,3	14,2
φ in [$^\circ$]	84,26	82,55	-85,32	-50,64
Q	5,95	8,05	8,50	5,10

4.1

3I-Messung	Drossel		Kondensator	
Strom in [A]	0,4	0,8	0,4	0,8
\underline{Z} in [Ω]	237,6 \angle 74,57°	232,7 \angle 83,26°	222,2 \angle -88,17°	215,1 \angle -86,88°
$ Z $ in [Ω]	237,6	232,7	222,2	215,1
$Re\{Z\}$ in [Ω]	61,6	27,31	7,05	11,92
$Im\{Z\}$ in [Ω]	229,5	231,09	-222,08	-218,77
$Re\{Y\}$ in [mS]	1,09	0,50	0,14	0,084
$Im\{Y\}$ in [mS]	-4,06	-4,27	4,50	4,57
\underline{V} in [V]	4,21 \angle -74,57°	4,29 \angle -83,26°	4,50 \angle 88,17°	4,36 \angle 86,88°
L in [mH]	731,0	735,6	/	/
C in [μF]	/	/	14,3	14,3
g in [S]	74,57	83,26	-88,17	-86,88
Q	3,73	8,46	32,15	54,40

Rechenfolle
3.3 / -86,81°
= -146,70°

4.2 Begründung der Abweichungen zu Messwerte von 3.4

- unterschiedliche Frequenzen : UIP, 3U und 3I $\hat{=}$ 50 Hz
- $Z = j\omega L$ $Z = \frac{1}{j\omega C}$ RLC-Meter $\hat{=}$ 1000 Hz

$\underline{Z} = j\omega L / \underline{Z} = \frac{1}{j\omega C}$ mit $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$

(- Weiche bezieht
- Wechselwirkung des Induktionsstromes)

R_L ist Frequenzabhängig, weil die Induktivität L durch die Ummagnetisierung von der Permeabilitätszahl μ_r abhängt ($L = \frac{N^2 \mu_r \mu_0 \cdot A}{l}$ mit $\mu_r = \frac{B}{\mu_0 \cdot H}$)

$\Rightarrow \mu_r$ aus Magnetisierungskennlinie

\hookrightarrow Hystereschleife, die abhängig von der Frequenz ist

\hookrightarrow Erhöhung der Frequenz \rightarrow Vergrößerung der Kernzeitfeldstärke

\rightarrow aufweitung der Ummagnetisierungsschleife

R_s ist Frequenzabhängig, durch Wirbelstrom- und Eisenverluste

\hookrightarrow ebenfalls einfluss auf die Gestalt der Ummagnetisierungsschleife

Die $\frac{U}{I}$ -Kennlinie stellt eine Ellipse dar, die sich mit der reinen $\frac{B}{H}$ -Hystereschleife überlagert und diese zur Ummagnetisierungsschleife aufweitet. \rightarrow dynamische Hystereschleife (mit dem Wirbelstrom verlusten)

4.3 a) Berechnung Eisenverlustwiderstand R_{Fe} der Drossel

$$R_{Cu} = 15,7 \Omega$$

$$R_{Fe} = R - R_{Cu}$$

$$R_{Fe-IUP-100V} = 26,20 - 15,7 = 10,5 \Omega$$

$$R_{Fe-IUP-200V} = 27,23 - 15,7 = 11,53 \Omega$$

$$R_{Fe-3U-100V} = 23,10 - 15,7 = 7,4 \Omega$$

$$R_{Fe-3U-200V} = 27,86 - 15,7 = 12,16 \Omega$$

$$R_{Fe-3I-100V} = 61,60 - 15,7 = 45,9 \Omega$$

$$R_{Fe-3I-200V} = 27,31 - 15,7 = 11,61 \Omega$$

4.3 b) Berechnung Eisen- und Kupferverluste (für $U=200V$)

$$P_{Fe-IUP} = (0,88 A)^2 \cdot 27,23 \Omega = 21,16 W$$

$$P_{Fe-3U} = (0,60 A)^2 \cdot 27,86 \Omega = 10,03 W$$

$$P_{Fe-3I} = (0,52 A)^2 \cdot 27,31 \Omega = 7,38 W$$

$$P_{Cu-IUP} = (0,88 A)^2 \cdot 15,7 \Omega = 12,16 W$$

$$P_{Cu-3U} = (0,60 A)^2 \cdot 15,7 \Omega = 5,65 W$$

$$P_{Cu-3I} = (0,52 A)^2 \cdot 15,7 \Omega = 4,25 W$$

4.4 Widerstandsmittelwerte

$$\bullet \text{ IUP} \quad R[\text{Re}] \text{ in } \Omega = \frac{26,2 + 27,2}{2} = 26,7 \Omega$$

$$X_L[\text{Im}] \text{ in } \Omega = \frac{236,5 + 225,1}{2} = 230,5 \Omega$$

$$R[\text{Re}] \text{ in } \Omega = 0,85 \Omega$$

$$X_C[\text{Im}] \text{ in } \Omega = -221,55 \Omega$$

$$Z_L \text{ in } \Omega = 232,5 \Omega$$

$$Z_C \text{ in } \Omega = 222,0 \Omega$$

$$\bullet \text{ 3U} \quad R[\text{Re}] = 25,48 \Omega$$

$$X_L[\text{Im}] = 227,56 \Omega$$

$$Z_L = 225,0 \Omega$$

$$R[\text{Re}] = 0,065 \Omega$$

$$X_C[\text{Im}] = -222,98 \Omega$$

$$Z_C = 223,0 \Omega$$

$$\bullet \text{ 3I} \quad R[\text{Re}] = 44,45 \Omega$$

$$X_L[\text{Im}] = 230,25 \Omega$$

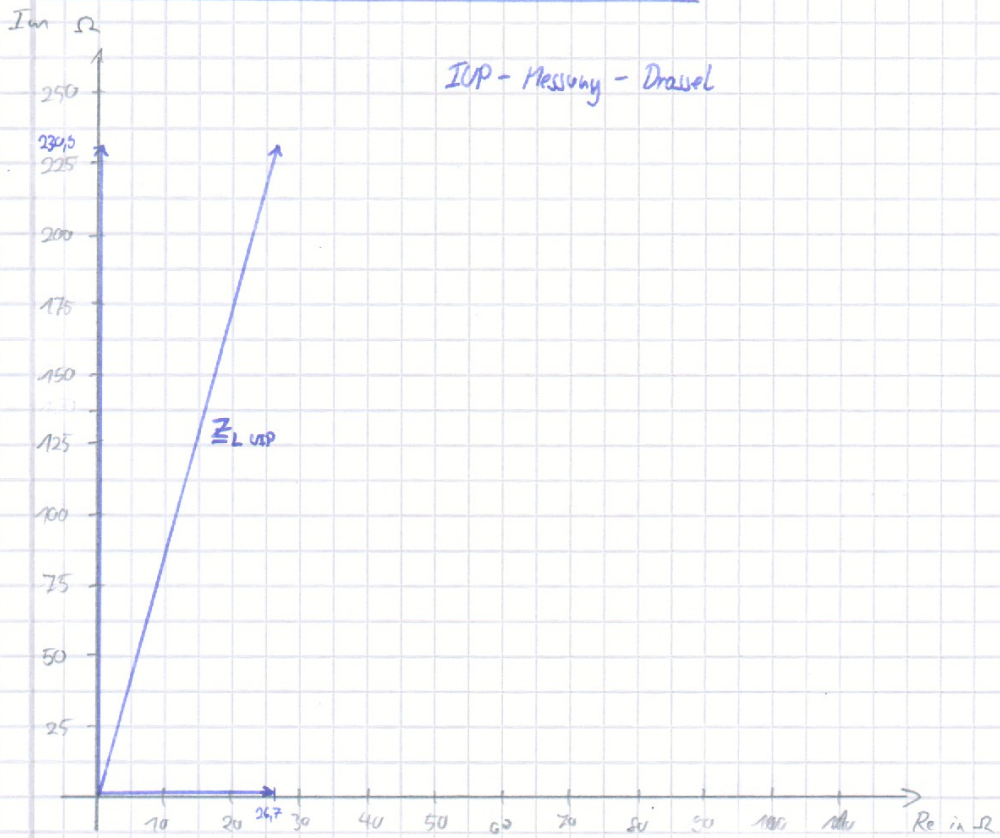
$$Z_L = 235,15 \Omega$$

$$R[\text{Re}] = 5,51 \Omega$$

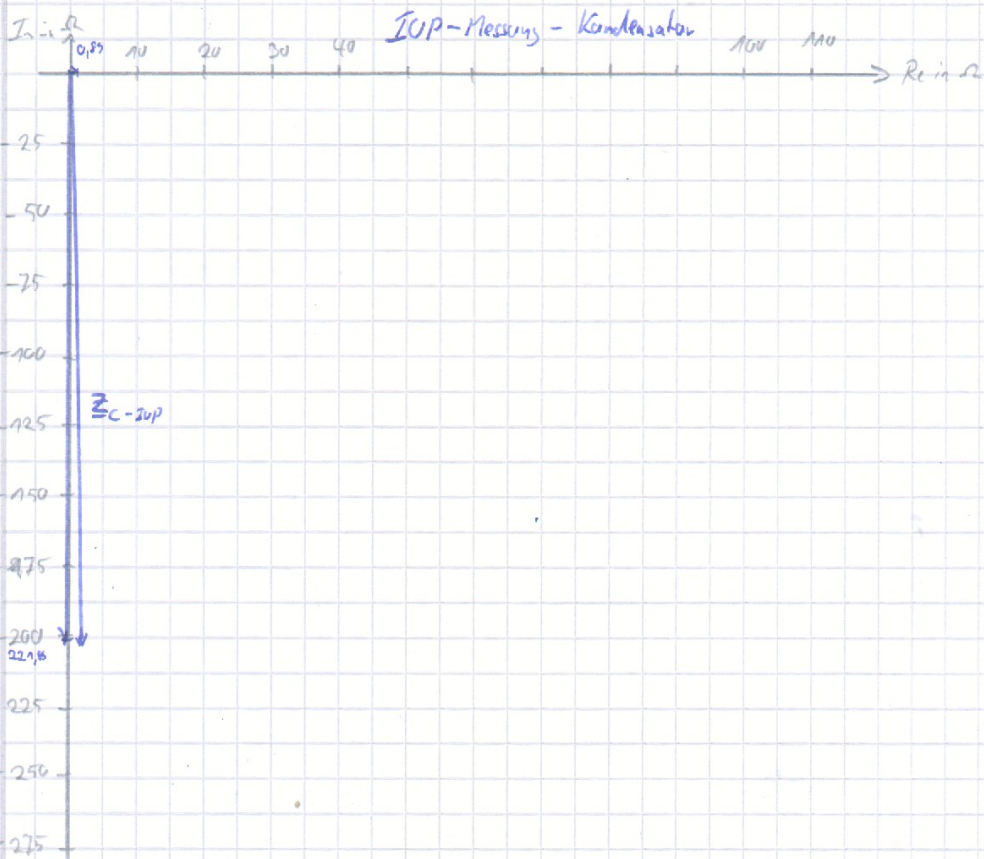
$$X_C[\text{Im}] = -220,48 \Omega$$

$$Z_C = 220,65 \Omega$$

4.4 Widerstandsmittelwerte in Komplexe Z-Ebene

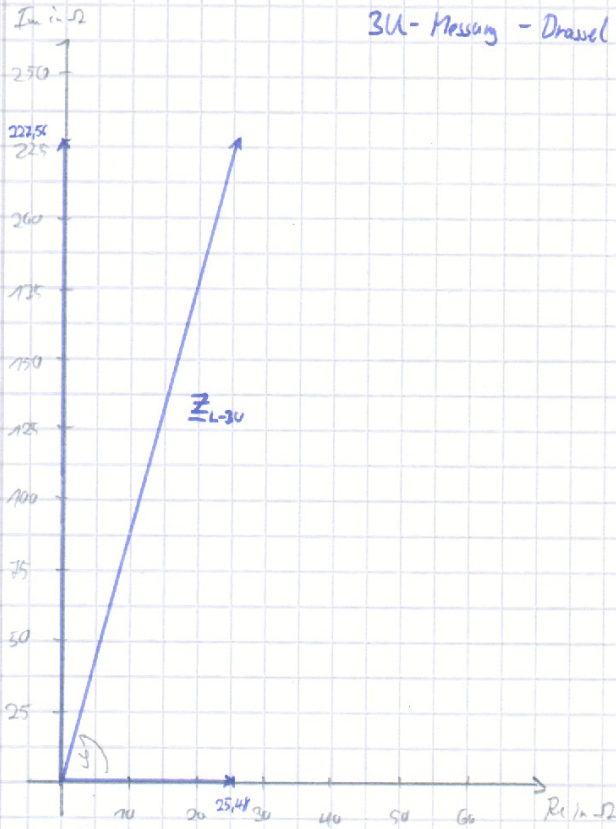


(Messwert $Im = 25 \Omega \cong 1 \mu H$ $Re = 10 \Omega = 1 \mu H$)



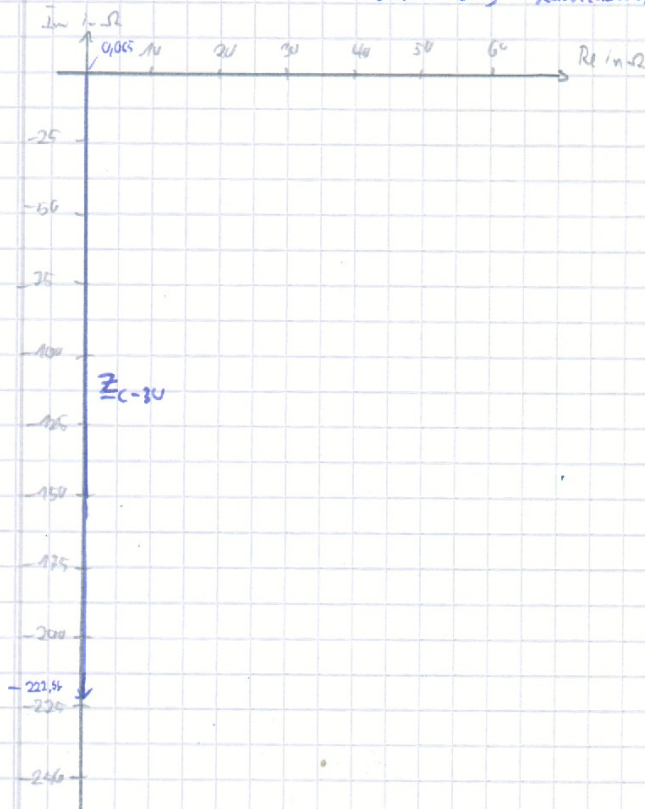
4.4

3U-Messung - Drossel

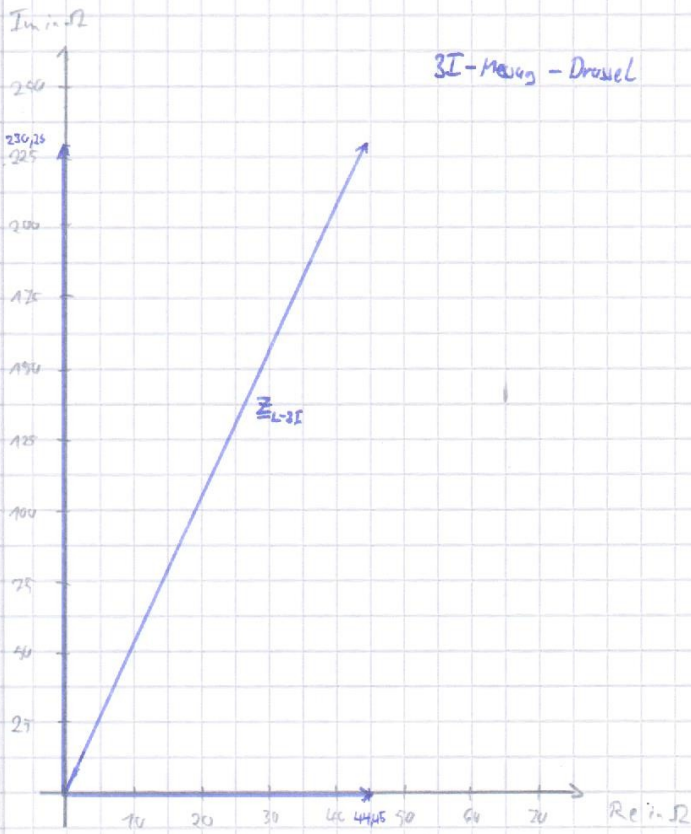


(Maßstab: $Re\ 10\ \Omega \hat{=} 1\ cm$ $Im\ 25\ \Omega \hat{=} 1\ cm$)

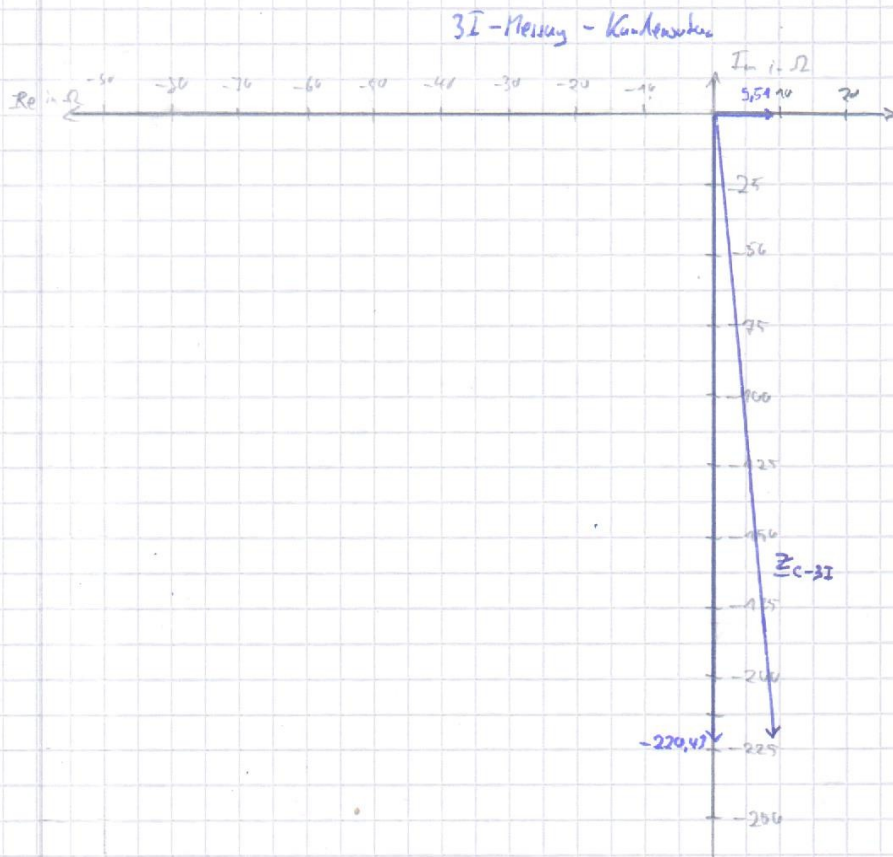
3U-Messung - Kondensator



4.4



(Maßstab: Re $10 \Omega = 1 \text{cm}$ Im $25 \Omega = 1 \text{cm}$)



4.5 Diskussionsergebnisse

a) Bei 3.1 ist die stromrichtige Messung sinnvoll, dann je nachdem welche Impedanzgrößen man misst wählt man zwischen strom- oder spannungsrichtig und in unserem Fall liegen die Widerstandswerte über 200 Ohm somit stromrichtig.
Bei der stromrichtigen Schaltung liegt auch eine geringere Spannungsänderung vor somit erhält man genauere Messergebnisse.

b) Sollte sich der Widerstand R während der Messung ändern (z.B. durch erwärmen) würde das auswirkung auf Betrag u. Phase von Z haben und somit die Messgenauigkeit merklich beeinflussen.

- berechnung des Phasenwinkels φ durch Cosinussatz der U_R (Spannungsfall an R) und I_R (Strom durch R) beinhaltet

- berechnung vom Betrag Z 3U-M. $Z = \frac{U_0}{I_2}$ mit $I_2 = \frac{U_0}{R}$

3I-M. $Z = R \cdot \frac{I_0}{I_2}$

- siehe Seite 12: Ergänzung u. Verbesserung

c) Die komplexen Widerstandswerte bei 3.4 ändern sich je nach Messfrequenz, da die komplexen Widerstände direkt frequenzabhängig sind: $Z_C = R - j \frac{1}{\omega C}$ u. $Z_L = R + j\omega L$ mit $\omega = 2\pi \cdot f$

- Kondensator:

$f \uparrow \quad Z_C \downarrow$

$f \downarrow \quad Z_C \uparrow$

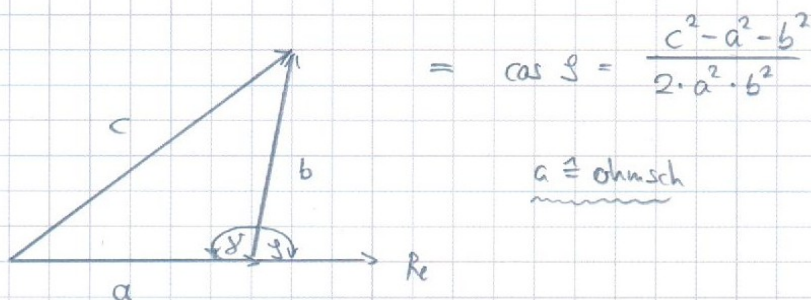
- Drossel

$f \uparrow \quad Z_L \uparrow$

$f \downarrow \quad Z_L \downarrow$

Ergänzung bzw. Verbesserung b) Warum wir 160Ω bzw. 220Ω eingestellt haben.

- Zumal, weil es so in der Versuchsanleitung steht.
- Desweiteren ist er ein uns bekannter rein Ohmscher Widerstand, den wir für die Widerstandsberechnung nutzen. Wir berechnen über den Cosinussatz $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos(\gamma)$ die uns unbekanntem Größen (wie z.B. die Phase, die wir hier bei der $3U$, $-3I$ -Messung nicht Messtechnisch ermitteln können)



Würde man den Widerstand R anders wählen, bekäme man immer noch die selben Werte für γ bzw. Z da die Beziehungen immer gelten.

Jedoch sollten die Werte in angepasstem Rahmen bleiben

- wird R zu groß gewählt müssen wir durch die großen/kleinen Zahlenwerte (bzw. zu klein)

mit Rundungsfehlern rechnen, um die Fehlergrenze nicht zu überschreiten haben wir 160Ω bzw. 220Ω eingestellt 