

TITLE OF THE REPORT

Subtitle of the Report

AUTHOR NAME

2020

Inhaltsverzeichnis

1	Serieninduktivität eines Drahtwiderstands	3
1.1	Vorbereitung	3
1.2	Versuchsdurchführung	4
1.3	Auswertung	4
2	Verlustwiderstand einer Induktivität	5
2.1	Vorbereitung	5
2.2	Versuchsdurchführung	6
2.3	Auswertung	6
3	Serienverlustwiderstand eines Bechereikos	7
3.1	Vorbereitung	7
3.2	Versuchsdurchführung	7
3.3	Auswertung	8

1 Serieninduktivität eines Drahtwiderstands

Aufgabe 1

Im ersten Versuch soll die Serieninduktivität eines Drahtwiderstands erst über Messung der Serienresonanzfrequenz bei gegebenem Kondensator berechnet werden. Im Anschluss wird dann das Ergebnis genutzt, um das Verhalten der Schaltung bei Parallelresonanzfrequenz zu untersuchen.

Abbildung 1: Schaltplan zur Bestimmung der Serienimpedanz eines Drahtwiderstands

Geräteliste 1

- Oszilloskop: Tektronix MDO3012
- Funktionsgenerator: Keysight 33210A
- HP 4294A Impedance Analyzer
- Multimeter: MetraHit X-TRA Multimeter

1.1 Vorbereitung

Zunächst wollen wir die gegebenen Formeln so umstellen, dass wir mit ihnen die gesuchten Größen errechnen können.

Für unsere erste Schaltung gilt:

$$f_{1Res} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_S \cdot C}} \quad (1)$$

Durch ein wenig umstellen erhalten wir dann folgende Form, die wir dann quadrieren:

$$\begin{aligned} \sqrt{L_S \cdot C} &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{1Res}} \\ L_S \cdot C &= \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f_{1Res}^2} \end{aligned}$$

Wir bringen nun zum Schluss noch C auf die andere Seite und erhalten:

$$L_S = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f_{1Res}^2 \cdot C} \quad (2)$$

Um nun schlussendlich auch die Parallelresonanzfrequenz zu berechnen, gibt es noch eine entsprechende Formel:

$$f_{2Res} = \frac{\sqrt{1 - \frac{R^2}{L_S/C}}}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_S \cdot C}} \quad (3)$$

1.2 Versuchsdurchführung

Um die Resonanzfrequenz zu ermitteln, müssen die beiden Spannungen U_1 und U_2 in Phase sein. Dazu variieren wir also am Frequenzgenerator die Frequenz des Eingangssignals U_1 so lange, bis sich U_1 und U_2 am Oszilloskop überlagern. An diesem Punkt ist auch U_2 minimal. Es ist außerdem hilfreich, das Oszilloskop im X-Y-Betrieb laufen zu lassen, damit man die Resonanzfrequenz noch genauer einstellen kann. Findet sich nämlich in der Form eine genau gerade und scharfe Linie vor, ist die Resonanzfrequenz erreicht.

1.3 Auswertung

Unsere abgelesene Resonanzfrequenz liegt nun also bei: $f_{1Res} = 835kHz$. Aus dieser können wir mit (2) die gesuchte Serieninduktivität des Drahtwiderstands berechnen: $L_S = 3,633\mu H$

Um nun die Serienresonanzfrequenz mit der Parallelresonanzfrequenz zu vergleichen, setzen wir unsere errechnete Induktivität in (3) ein und erhalten dadurch: $f_{2Res} = 648,745kHz$. Wir testen nun mit dem Oszilloskop diese berechnete Resonanzfrequenz, indem wir die beiden Signale wieder in Phase bringen, wobei wir $f_{2Res} = 652kHz$ ablesen.

Da unsere Rechnungen auf der Annahme beruhen, dass unsere Bauteile, im Besonderen der Kondensator, bei jeder Frequenz die gleichen Kenngrößen haben, erkennen wir eine mögliche Fehlerquelle. Mit dem HP4294A messen wir bei den bestimmten Resonanzfrequenzen die Kapazität aus und erhalten bei f_{1Res} eine Kapazität von $C_{f1} = 9,53nF$ und bei f_{2Res} eine Kapazität von $C_{f2} = 9,55nF$. Aus den angepassten Werten ergibt sich dann eine Serieninduktivität von $L_S = 3,812\mu F$ und eine Parallelresonanzfrequenz von $f_{2Res} = 666,922kHz$. Da allerdings diese Messwerte sich implizit auf den "falschen" Messwerten beruhen, sind hier die Toleranzen aufgrund der Fehlerfortpflanzung größer. Dazu kommen noch Ungenauigkeiten bei den Geräten und deren Bedienung.

2 Verlustwiderstand einer Induktivität

Aufgabe 2

Im zweiten Versuch soll durch das Ermitteln des Verlustwiderstands in Abhängigkeit von der Frequenz der Einfluss selbiger auf das Verhalten des Verlustwiderstands erarbeitet werden. Gleichzeitig ist das Einstellen einer Kapazitätsdekade auf Resonanzfrequenz mit der Induktivität Gegenstand der Aufgabe.

Abbildung 2: Schaltplan zur Bestimmung des Verlustwiderstands einer Induktivität

Geräteliste 2

- Oszilloskop: Tektronix MDO3012
- Kapazitätsdekade Time Electronics Model 1071 CapBox
- Funktionsgenerator: Keysight 33210A
- Multimeter: MetraHit X-TRA Multimeter

2.1 Vorbereitung

Wir wollen zuerst einmal aus den bereits erarbeiteten Formeln die Berechnung der Kapazitätsdekade herleiten:

$$C = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f_{Res}^2 \cdot L} \quad (4)$$

Aus der Annahme, dass sich bei eingestellter Resonanzfrequenz die Impedanzen der Spule und der Kapazitätsdekade aufheben, können wir die Formel für die Berechnung des Verlustwiderstands R_v aus dem Spannungsteiler herleiten:

$$\begin{aligned} U_2 &= U_1 \cdot \frac{R_v}{R_v + R} \\ (R_v + R) \cdot U_2 &= U_1 \cdot R_v \\ R_v + R &= \frac{U_1}{U_2} \cdot R_v \\ R &= \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right) \cdot R_v \end{aligned}$$

Nun teilen wir noch durch $\frac{U_1}{U_2} - 1$ und bekommen:

$$\frac{R}{\left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right)} = R_v \quad (5)$$

Wir messen mit dem MetraHit vorher noch den Gleichstromwiderstand der Spule, um den später bei der Messung zu berücksichtigen. Dieser beträgt $R_{Cu} = 38,8 \Omega$.

2.2 Versuchsdurchführung

Wir stellen die Kapazitätsdekade so ein, dass wir bei den Frequenzen $f = 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100\text{kHz}$ jeweils die Resonanzfrequenz bekommen und Messen dann U_1 und U_2 mit dem Oszilloskop. Daraus errechnen wir dann R_v und tragen diese Werte dann in einem Plot ab.

2.3 Auswertung

$\frac{f}{\text{kHz}}$	$\frac{C_{\text{Rechnung}}}{\mu\text{F}}$	$\frac{C_{\text{Messung}}}{\mu\text{F}}$	$\frac{U_1}{\text{mV}}$	$\frac{U_2}{\text{mV}}$	$\frac{R_v}{\Omega}$
1	1,151377	1,13019	952	37,11	40,56
2	0,287	0,282	953	37,5	40,96
5	0,046055	0,04556	956,1	40,02	43,69
10	0,0151	0,0113	952,1	30,93	33,576
20	0,002878	0,00278	955	36,1	39,286
50	460pF	370pF	959	79	89,772
100	151pF	30pF	972	405	714,28

Abbildung 3: Der Verlustwiderstand doppelt logarithmisch von der Frequenz abgetragen

Aus der Abbildung und den Messwerten folgt nun, dass bei kleinen Frequenzen bis ca. 50kHz die Auswirkungen der Frequenz auf den Verlustwiderstand minimal sind. Der Verlustwiderstand wird zu einem großen Teil durch den Gleichstromwiderstand C_{Cu} bestimmt. Ab dieser Marke setzt dann der Skin-Effekt ein; hier wird auch die Frequenzabhängigkeit eines Widerstandes eindrucksvoll klar. Es ist außerdem anzumerken, dass sich daraus, für die Anwendung in echten Schaltkreisen eine Präferenz für niedrige Frequenzen ergibt, wenn man zum Ziel hat, den Verlustwiderstand einer Induktivität möglichst gering zu halten.

3 Serienverlustwiderstand eines Becherelkos

Aufgabe 3

Im dritten und letzten Versuch soll nun der Serienverlustwiderstand eines RC-Glieds in einer Brückenschaltung gemessen und errechnet werden. Dazu soll das Variieren einer Widerstands- und Kapazitätsdekade zum Abgleich einer einfachen Brückenschaltung als Methode der Messung geübt werden.

Abbildung 4: Schaltplan der Brückenschaltung

Geräteliste 3

- Transformator Sennheiser RVZ11
- Oszilloskop: Tektronix MDO3012
- Kapazitätsdekade: Time Electronics Model 1071 CapBox
- Widerstandsdekade: Time Electronics Model 1051 ResBox
- Funktionsgenerator: Keysight 33210A

3.1 Vorbereitung

Unter der Voraussetzung, dass die Variation des einstellbaren RC-Glieds ein Abgleich der Brückenschaltung hervorruft, gilt:

$$\frac{C_N}{C_X} = \frac{R_1}{R_2}$$
$$\frac{R_N}{R_X} = \frac{R_2}{R_1}$$

Aus diesen Voraussetzungen folgt dann:

$$\frac{C_N \cdot R_2}{R_1} = C_X \quad (6)$$

$$\frac{R_N \cdot R_1}{R_2} = R_X \quad (7)$$

3.2 Versuchsdurchführung

Wir stellen am Funktionsgenerator jeweils die Frequenzen $f = 100\text{Hz}$, 500Hz und 1kHz ein und ermitteln die Kapazität C_X und den Verlustwiderstand R_X und tragen dann die Werte in eine Tabelle ab. Im Anschluss werden die Ergebnisse dann mit dem HP 4294A Impedance Analyzer überprüft.

3.3 Auswertung

$\frac{f}{\text{Hz}}$	$\frac{C_X}{\text{nF}}$	$\frac{R_X}{\Omega}$	$\frac{U_{Br}}{\mu V}$
100	1000	81	4, 2
500	988	21	6, 4
1000	898	20	4, 2

Wir erkennen einen deutlichen Abfall der Kapazität des Becherelkos sowie ihres Serienwiderstandes bei steigender Frequenz. Im Gegensatz zur Aufgabe 2 ist hier der Einfluss des Skin-Effektes nicht zu verspüren, da hier keine hochfrequenten Signale verwendet werden. Bei der Bestimmung von unbekannten passiven Bauelementen ist es also förderlich auch die Frequenz bei der Analyse der Ergebnisse mit einzubeziehen und dann gegebenenfalls auch eine Bezugsfrequenz festzulegen.