ET2 - Praktikum 5

Resonanz

Florian Tietjen   Eric Antosch

2020

Inhaltsverzeichnis

1 Vorbereitung

2 Resonanz - Eingeschwungener Zustand

Aufgabe 2

Im ersten Versuch soll Peter

Abbildung 1: Schaltplan zur Bestimmung der Serienimpedanz eines Drahtwiderstands

Geräteliste 2

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

2.1 Vorbereitung

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

Für unsere erste Schaltung gilt:

$$f_{1Res} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_S \cdot C}} \tag{1}$$

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

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

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

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

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

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

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

2.2 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.

2.3 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.

3 Resonanz - Schaltverhalten

Aufgabe 3

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 3

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

3.1 Vorbereitung

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

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

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:

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

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

3.2 Versuchsdurchführung

Wir stellen die Kapazitätsdekade so ein, dass wir bei den Frequenzen $f = 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100kHz$ 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.

3.3 Auswertung

$\frac{f}{kHz}$	$\frac{C_{Rechnung}}{\mu F}$	$\frac{C_{Messung}}{\mu F}$	$\frac{U_1}{mV}$	$\frac{U_2}{mV}$	$\frac{R_v}{\Omega}$
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.