Elektrizitätslehre

Gleich- und Wechselstrom

LC-Schwingkreis

UNTERSUCHUNG DES RESONANZVERHALTENS EINES LC-SERIENSCHWINGKREISES

- **Aufzeichnung der Amplituden-Resonanzkurven eines LC-Serienschwingkreises für verschiedene Dämpfungen.**
- **Bestimmung der Resonanzfrequenz des LC-Serienschwingkreises.**

UE3050400

05/18 UD

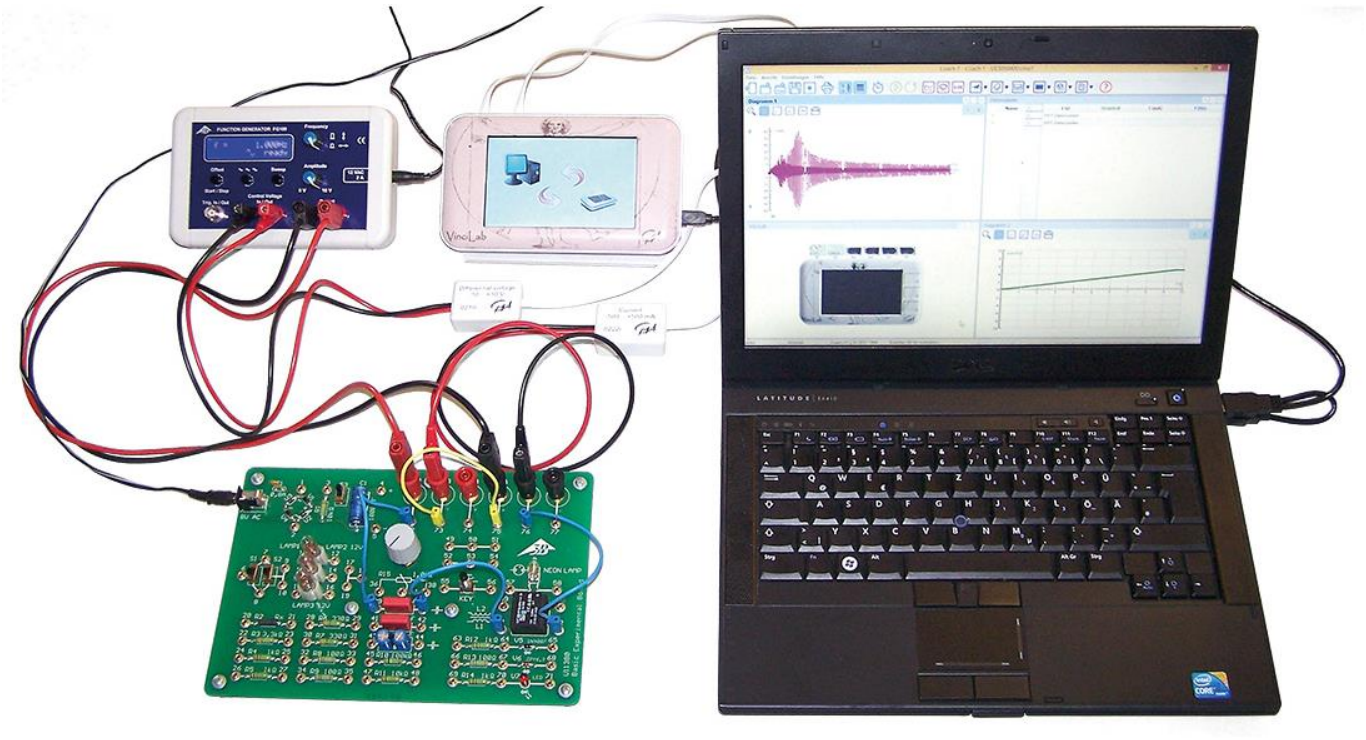

Fig. 1: Messanordnung.

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Ein elektrischer Schwingkreis ist eine resonanzfähige Schaltung, die aus einer Spule mit der Induktivität *L* und einem Kondensator mit der Kapazität *C* besteht. Durch periodischen Austausch der Energie zwischen dem magnetischen Feld der Spule und dem elektrischen Feld des Kondensators führt der Schwingkreis elektrische Schwingungen aus. Der Austausch führt abwechselnd zu maximaler Stromstärke an der Spule oder zu maximaler Spannung am Kondensator.

Wenn der Schwingkreis nicht frei schwingt, sondern von außen durch ein Sinussignal angeregt wird, schwingt er mit derselben Frequenz wie die Anregung, und die Amplituden des Stroms und der Spannungen an den einzelnen Bauelementen sind frequenzabhängig. Der Strom *I* folgt aus dem Ohm'schen Gesetz:

$$(1) \quad I = \frac{U}{Z} = \frac{U_0 \cdot e^{j\omega t}}{Z}.$$

U: sinusförmige Eingangsspannung
U_0: Amplitude, ω: Kreisfrequenz
Z: Gesamtimpedanz

In einer Serienschaltung ist die Gesamtimpedanz die Summe der Impedanzen der einzelnen Bauelemente. Hinzu kommt ein Ohm'scher Widerstand R, der die in einem realen Schwingkreis auftretenden Verluste berücksichtigt und eventuell durch einen externen Widerstand R_{ext} ergänzt wird. Also ist

$$(2) \quad Z = R + i\omega L + \frac{1}{i\omega C}.$$

Aus (1) und (2) ergibt sich für den Strom

$$(3) \quad I(\omega) = \frac{U_0 \cdot e^{i\omega t}}{R + i\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}.$$

Der Betrag des Stroms entspricht seiner Amplitude, die frequenzabhängig ist:

$$(4) \quad I_0(\omega) = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}.$$

Sie wird maximal bei der Resonanzfrequenz

$$(5) \quad f_r = \frac{\omega_r}{2\pi} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

und erreicht dort den Wert

$$(6) \quad I_0(\omega_r) = \frac{U_0}{R}.$$

Der Serienschwingkreis verhält sich also im Resonanzfall so, als ob er nur aus einem Ohm'schen Widerstand bestünde. Insbesondere stellen eine in Serie geschaltete Kapazität und Induktivität im Resonanzfall einen Kurzschluss dar.

Im Experiment wird mit dem Funktionsgenerator eine Wechselspannung erzeugt, mit der der Schwingkreis angeregt wird. Gemessen wird der Strom I in Abhängigkeit von der Frequenz f bei konstant bleibender Spannungsamplitude. Der Strom wird mit einem Messinterface gemessen und mit einer Mess- und Auswertesoftware erfasst und graphisch dargestellt. Die Amplitudenresonanzkurve des Stroms, d.h. die Abhängigkeit der Amplitude des Stroms von der Frequenz, wird automatisch aufgenommen.

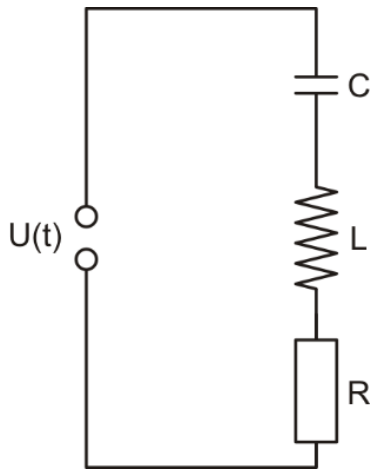

Fig. 2: Schaltskizze für den LC-Serienschwingkreis.

GERÄTELISTE

1	Grundlagen Experimentierboard @230V	1000573 (U11380-230)
oder		
	@115V	1000572 (U11380-115)
1	Funktionsgenerator FG 100 @230V	1009957 (U8533600-230)
oder		
	@115V	1009956 (U8533600-115)
1	Satz 15 Experimentierkabel 1 mm², 75 cm	1002840 (U13800)
1	VinciLab	1021477 (UCMA-001)
1	Coach 7, Schullizenz 5 Jahre	1021522 (UCMA-18500)
oder		
1	Coach 7, Universitätslizenz 5 Jahre	1021524 (UCMA-185U)
1	Spannungssensor 10 V, differentiell	1021680 (UCMA-0210i)
1	Stromsensor 500 mA	1021679 (UCMA-0222i)

AUFBAU UND EINSTELLUNGEN

Verkabelung

- Folgende Anschlüsse miteinander verbinden:

  FG 100 Control Voltage OUT → Spannungssensor → VinciLab A1

  FG 100 Output → Board X2, X5

  Board X3, X6 → Stromsensor → VinciLab A2

  Board 72 ↔ 39

  Board 40 ↔ 61

  Board 62 ↔ 76

  Board 75 ↔ 73

Funktionsgenerator FG 100

- Die Signalform Sinus auswählen.
- Den Amplitudensteller rechtsherum bis zum Anschlag drehen, d.h. U_0 = 10 V.
- Die Taste „Sweep" drücken und folgende Einstellungen wählen:

  Start: 1 Hz

  Stop: 1000 Hz

  Mode: int. single

  Time: 10.00 sec

Im Display erscheint „ready".

Der FG 100 ist jetzt fertig für die Messung konfiguriert.

VinciLab und Coach 7

- Die Software Coach 7 auf dem Messrechner installieren.
- Das VinciLab mit Hilfe des USB-Kabels an den Computer anschließen.
- Das VinciLab und Coach 7 starten. In Coach 7 die Schaltfläche anklicken, in dem sich öffnenden Fenster „Anmelden" den Benutzernamen „Autor" aus dem Drop-down-Menü auswählen, das Autorenpasswort eingeben und mit OK bestätigen.

- Die Schaltfläche anklicken. In dem sich öffnenden Fenster „Einstellungen für Aktivitäten“ die Vor-Auswahlen „Typ Aktivität: Messung“ und „Schnittstelle: VinciLab“ durch Anklicken von OK bestätigen.

Die Software stellt die Verbindung zum VinciLab her. Ein Bild des VinciLab mit Piktogrammen der angeschlossenen Sensoren erscheint im linken unteren der vier Fenster.

- Die Schaltfläche anklicken, folgende Parameter eingeben und anschließend mit OK bestätigen:

  Methode

  Art: Zeitgesteuert

  Messdauer: 10 Sekunden

  Frequenz: 200 pro Sekunde

  Anzahl Messungen: 2000

  Triggerung

  Triggerkanal: A2: Ampèremeter

  Triggerschwelle: 0,4 mA

  Richtung: aufwärts

  Vortriggerzeit: 0 Sekunden

- Die Schaltfläche anklicken.

Die Datentabelle erscheint im rechten oberen Fenster. Sie enthält (noch leere) Spalten für die Zeit *t*, die Spannung *U* und den Strom *I*.

- Im Fenster mit der Datentabelle den Schraubenschlüssel in der Titelleiste anklicken. In dem sich öffnenden Menü „Neue Variable hinzufügen“, „in die Datenreihe“ und „Formel“ auswählen. In dem sich öffnenden Fenster „Variable - Eigenschaften“ folgende Parameter eingeben:

  Größe: f

  Einheit: Hz

  Formel: U/0,005

Der FG 100 erzeugt bei Beschaltung der „Control Voltage“ als Ausgang („Out“) eine Spannungsrampe 0 – 5 V, entsprechend einer Spannung von 0,005 V/Hz für den zu durchfahrenden Frequenzbereich 1 – 1000 Hz.

In der Datentabelle erscheint eine weitere, vierte Spalte für die Frequenz *f*.

- Die Schaltfläche anklicken. In dem sich öffnenden Menü „Neu hinzufügen“ auswählen, den Mauszeiger in das linke obere Fenster bewegen und in das Fenster klicken.

Im Fenster erscheint ein (noch leeres) Diagramm.

- In der Datentabelle das Spannungssymbol in der Überschrift der zweiten Spalte anklicken, in die linke Diagramm-Schaltfläche ziehen, und bei Erscheinen eines blauen Rahmens in den Rahmen klicken. Das Frequenzsymbol in der Überschrift der vierten Spalte anklicken, in die untere Diagramm-Schaltfläche ziehen, und bei Erscheinen eines blauen Rahmens in den Rahmen klicken.

Der x-Achse des Diagramms ist jetzt die Frequenz, der y-Achse der Strom zugeordnet.

VinciLab und Coach 7 sind jetzt fertig für die Messung konfiguriert.

DURCHFÜHRUNG

- Die Messung in Coach 7 durch Anklicken der Schaltfläche starten. Es öffnet sich ein Fenster „Warte auf Triggerung“.
- Die Taste „Start“ am FG 100 drücken. Sobald die Triggerschwelle überschritten ist, startet der Frequenzscan automatisch. Die aufgenommenen Messwerte werden in Coach 7 im Diagramm dargestellt.

Da Gleichstrom gemessen wird, werden die Werte beider Polaritäten dargestellt. Die Resonanzkurve entspricht der Einhüllenden im positiven Quadranten.

- Die Messung mit der Spule L2 (Anschlüsse 59 und 60 statt 61 und 62 auf dem Grundlagen Experimentierboard) durchführen.

MESSBEISPIEL UND AUSWERTUNG

Fig. 3 zeigt die Amplitudenresonanzkurven des Stroms für die Spulen L1 und L2 auf dem Grundlagen Experimentierboard und R_{ext} = 0. Wie erwartet liegt bei der Resonanzfrequenz f_r jeweils die maximale Amplitude des Stroms I_0 vor.

- In Coach 7 die Schaltfläche anklicken, und in dem sich öffnenden Menü „Werte auswählen/entfernen“ wählen. In dem sich öffnenden Fenster „Methode: Punktweise“ auswählen. Es erscheint ein rotes Fadenkreuz.
- Mit dem Fadenkreuz auf das Maximum gehen und die Werte für die Resonanzfrequenz und den Strom notieren:

$$(7)\quad f_r = \begin{Bmatrix} 178\ \text{Hz} & (\text{Spule L1}) \\ 88\ \text{Hz} & (\text{Spule L2}) \end{Bmatrix}$$

$$I_0(f_r) = \begin{Bmatrix} 59\ \text{mA} & (\text{Spule L1}) \\ 24\ \text{mA} & (\text{Spule L2}) \end{Bmatrix}$$

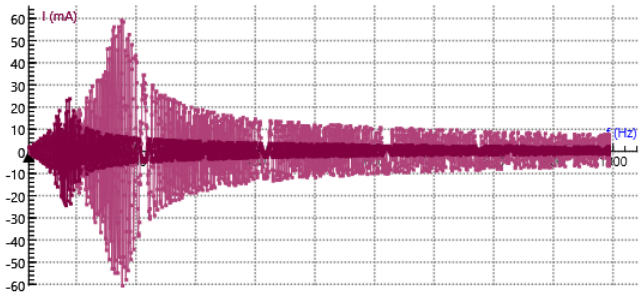

Fig. 3: Amplitudenresonanzkurven des Stroms für die Spulen L1 und L2 und R_{ext} = 0. Screenshot aus Coach 7.

Die unbekannten Induktivitäten *L* aus der bekannten Kapazität *C* = 2,2 µF unter Anwendung von Gleichung (5) berechnen:

$$(8)\quad L = \frac{1}{4\pi^2 \cdot f_r^2 \cdot C} = \begin{Bmatrix} 363\ \text{mH} & (\text{Spule L1}) \\ 1487\ \text{mH} & (\text{Spule L2}) \end{Bmatrix}$$

Die Ohm'schen Widerstände *R* aus den maximalen Amplituden der Resonanzkurve unter Anwendung von Gleichung (6) berechnen (U_0 = 10 V):

$$(9)\quad R = \frac{U_0}{I_0(f_r)} = \begin{Bmatrix} 169\ \Omega & (\text{Spule L1}) \\ 417\ \Omega & (\text{Spule L2}) \end{Bmatrix}$$

Da kein externer Widerstand R_{ext} hinzugeschaltet ist, entspricht *R* den Ohm'schen Verlusten im realen Schwingkreis.

© Copyright 2018 3B Scientific GmbH