

Versuch SK: Elektrischer Schwingkreis

Physikpraktikum für Studierende der Chemie

Hinweis: Für diesen Versuch ist eine Online-Version der Anleitung auf <http://ibe.physik.rwth-aachen.de> verfügbar.

Elektrische Schwingkreise und die darin vorkommenden Wechselstromwiderstände haben Bedeutung als Grundlage für Messmethoden der Analytik, Mikrowellenspektroskopie und Elektrochemie.

In diesem Versuch soll ein elektrischer Schwingkreis aufgebaut werden. Es sollen Resonanzkurven, Phasenkurven, der Frequenzgang von Wechselstromwiderständen sowie charakteristische Größen wie Eigenfrequenz und Güte bestimmt werden.

Vorkenntnisse:

Ohmscher Widerstand, Kondensator, Kapazität, Spule, Induktivität, Schwingkreis, erzwungene Schwingungen, Resonanzkurve, Güte.

1 Grundlagen

1.1 Wechselströme und -spannungen

Unter Wechselstrom versteht man jeden Strom, der seine Stärke und Richtung zeitlich periodisch ändert. Wir beschränken uns auf den rein sinusförmigen Strom, wie er in Abbildungen 1 und 2 und

$$I_{\approx}(t) = I_0 \cdot \sin(\omega t - \phi).$$

wiedergegeben ist. Dabei gibt $I_{\approx}(t)$ den Momentanwert des Stromes, I_0 den Scheitelwert oder die Strom-Amplitude an mit der Kreisfrequenz $\omega = 2\pi f$ (f ist die Frequenz des Wechselstroms). Das Argument der Sinusfunktion ($\omega t - \phi$) heißt die Phase des Wechselstromes. ϕ nennt man die

Phasenverschiebung, deren Einfluss in Abbildungen 1 und 2 dargestellt ist. Ein Wechselstrom ist somit eindeutig bestimmt durch Angabe von Scheitelwert, Kreisfrequenz und Phase.

Wechselstrommessinstrumente zeigen in der Regel Effektivwerte an, welche wie folgt berechnet werden:

$$I_{\text{eff}} = I_0/\sqrt{2}$$

Alle Angaben zum Strom sind auch auf die Wechselspannung zu übertragen:

$$U_{\approx}(t) = U_0 \cdot \sin(\omega t) \quad U_{\text{eff}} = U_0/\sqrt{2}$$

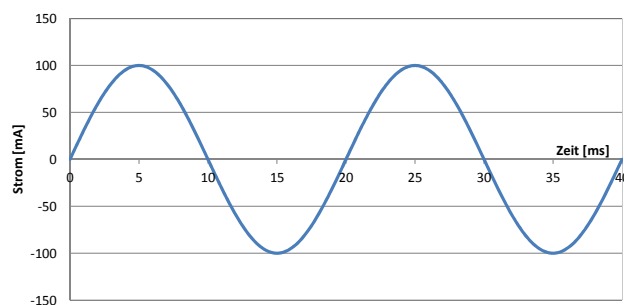


Abbildung 1: Zeitlicher Verlauf eines sinusförmigen Wechselstroms ($f = 50$ Hz, $I_0 = 100$ mA) (ohne Phasenverschiebung)

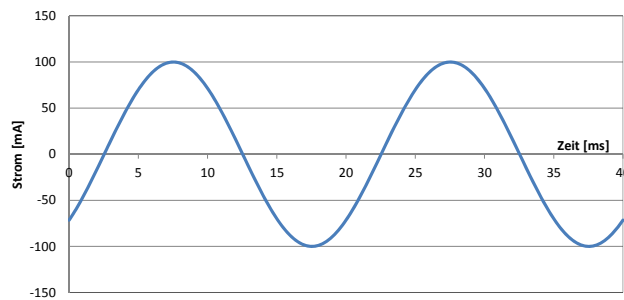


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf eines sinusförmigen Wechselstroms ($f = 50$ Hz, $I_0 = 100$ mA) (mit Phasenverschiebung)

1.2 Wechselstromwiderstände

Im vorliegenden Versuch werden die drei gängigsten Komponenten von Wechselstromkreisen behandelt, dies sind der ohmsche Widerstand, der Kondensator und die Spule. Für jedes Bauteil kann eine Beziehung zwischen Spannung $U_X(t)$ und Strom $I_X(t)$ hergeleitet werden, wobei X als Platzhalter für den ohmschen Widerstand R , den Kondensator C und die Spule L verwendet wird:

$$U_X(t) = U_0 \cdot \sin(\omega t) = Z I_0 \cdot \sin(\omega t - \phi) = Z I_X(t).$$

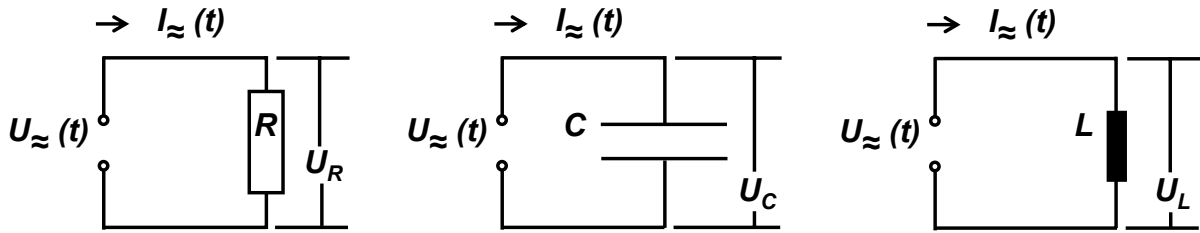


Abbildung 3: Widerstands-Netzwerke

Das Verhältnis wird somit durch die Impedanz Z und die Phasenverschiebung ϕ vollständig beschrieben. Sie lassen sich aus dem ohmschen Widerstand R , der Kapazität C (Kondensator) und der Induktivität L (Spule) berechnen. Diese Zusammenhänge werden für die oben genannten Bauteile in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Typ	Impedanz Z	Phasenverschiebung ϕ
ohmscher Widerstand	R	0
Kondensator	$\frac{1}{\omega C}$	-90°
Spule	ωL	$+90^\circ$

Tabelle 1: Impedanz und Phasenverschiebung

1.3 Schwingkreis

Unter Berücksichtigung der Phasenverschiebungen werden die Widerstände in einer Reihenschaltung zu einem Gesamtwiderstand oder Impedanz Z addiert:

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}$$

Der Scheitelwert des Stromes als Funktion der Frequenz

$$I_0(\omega) = U_0/Z(\omega) = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}}$$

zeigt folgendes Verhalten: Bei der Resonanzfrequenz f_0 mit

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

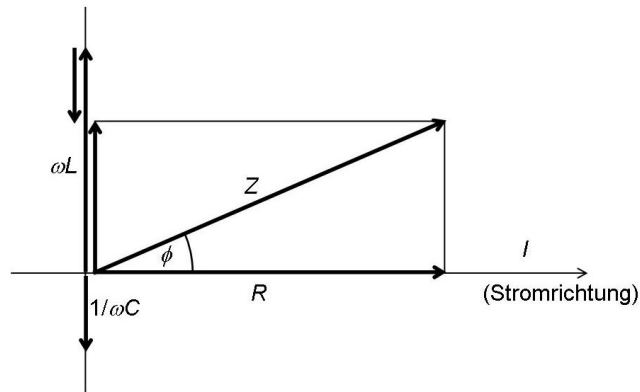


Abbildung 4: Vektoraddition von Widerständen

erreicht $I_0(\omega)$ seinen maximalen Wert.

ω_0 ist die Eigenkreisfrequenz des Schwingkreises. I_0 ist in Abbildung 5 für verschiedene Werte von R als Funktion von ω dargestellt. Man beachte die asymmetrische Form und die Analogie zur Amplitude einer erzwungenen Schwingung bei verschiedenen Dämpfungen.

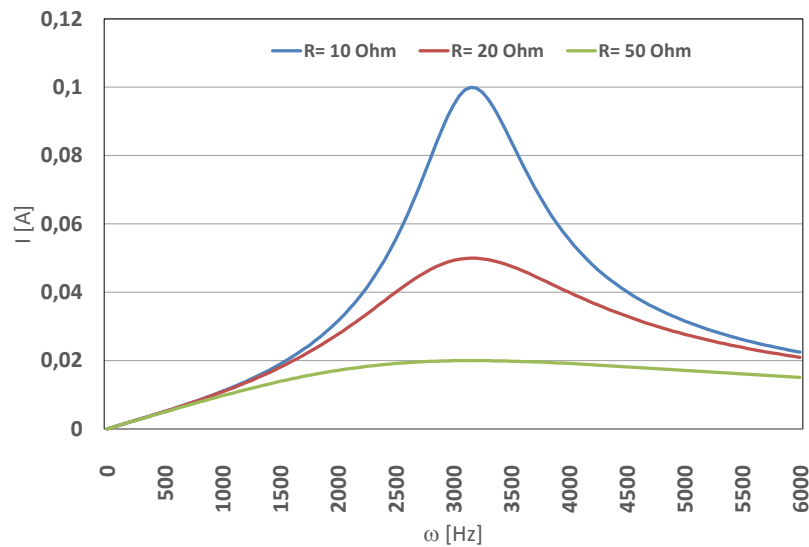


Abbildung 5: Beispiel für Resonanzkurven: $I_0(\omega)$ mit $U = 1 \text{ V}$, $L = 10 \text{ mH}$ und $C = 10 \mu\text{F}$ für drei Werte von R

Wie bei jeder Resonanzkurve lässt sich auch in diesem Fall die Güte Q aus der Resonanzbreite bestimmen. Sind ω_1 und ω_2 die Frequenzen zu beiden Seiten der Resonanzkreisfrequenz, bei denen die Amplitude auf den Wert $A = A_{\text{max}}/\sqrt{2}$, d.h. auf etwa 70%, gesunken ist, dann gilt

$$Q = \omega_0 / \Delta\omega \quad \text{mit} \quad \Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$$

Ergänzend zur Resonanzkurve lässt sich auch die Phasenverschiebung ϕ zwischen Spannung und Strom als Funktion der Frequenz angeben. Wie sich aus Abbildung 4 entnehmen lässt, gilt für die Phase:

$$\tan \phi = \frac{\omega L - 1/\omega C}{R}$$

2 Versuchsidee und -aufbau

Das Schaltbild des aufzubauenden Schwingkreises ist in Abbildung 6 dargestellt.

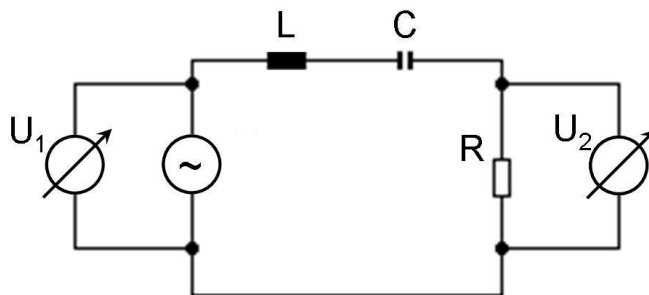


Abbildung 6: Schaltbild des Versuchsaufbaus

Um das Resonanzphänomen zu untersuchen, muss der Schwingkreis aus Spule L , Kondensator C und ohmschem Widerstand R zu Schwingungen angeregt werden. Dazu wird ein Frequenzgenerator verwendet, d. h. eine Wechselspannungsquelle, bei der Frequenz und Amplitude variabel eingestellt werden können. An einigen Generatoren kann auch die Signalform variiert werden (Dreieck-, Rechteck- oder Sinusspannung). In diesem Versuch wird nur die sinusförmige Wechselspannung benötigt.

Der Strom I wird mit Hilfe der Spannung U_2 und dem Widerstand R berechnet. Beide Spannungen U_1 und U_2 werden unter Verwendung von Oszilloskopen gemessen. Vergessen Sie nicht, den Wert R zu notieren!

3 Versuchsdurchführung

Die in Abbildung 6 gezeigte Schaltung ist mit $C = 4,7 \mu\text{F}$, $L \approx 2 - 12 \text{ mH}$ (siehe Angabe auf der Spule) und einem ohmschen Widerstand $R = 56 \Omega$ aufzubauen. Die Spule ist zunächst ohne Eisenkern zu verwenden. Aus C und L können Sie die zu erwartende Resonanzfrequenz

$f_0 = \omega_0/2\pi$ nach $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ berechnen. Die Unsicherheiten auf C und L sind mit 20% anzunehmen, auf R als 5%.

Folgende Messungen sollen durchgeführt werden:

- **Resonanzkurve:** Das Verhältnis I/U_1 wird als Funktion der Anregungsfrequenz gemessen. Zweckmäßigerweise beginnt man in der Nähe von f_0 (Messbereich und möglichen Anstieg des Stroms beachten!). Nehmen Sie in der Umgebung von f_0 hinreichend viele Messpunkte ($I/U_1, f$) auf (Empfehlung: 13 Punkte), so dass sie den in Abbildung 5 gezeigten Verlauf reproduzieren können.
- **Phasenkurve:** Die Zeitdifferenz Δt zwischen zwei phasengleichen Punkten von $U_1(t)$ und $U_2(t)$ wird als Funktion der Anregungsfrequenz gemessen. Daraus ergibt sich die Phasenverschiebung ϕ zwischen Spannung und Strom. Die in der Nähe der Resonanz liegenden Messpunkte sollten zweckmäßigerweise wie bei der vorherigen Messung gewählt werden.
- **Einfluss von Materialeigenschaften:** Das Resonanzverhalten des Schwingkreises wird im Allgemeinen von den bereits genannten Stoffkonstanten (spezifischer Widerstand, Dielektrizitätszahl, magnetische Permeabilitätszahl) mitbestimmt. Variieren Sie die magnetische Permeabilitätszahl μ_r durch Verwendung eines Eisenkerns in der Spule. Wie ändert sich dadurch die Resonanzfrequenz? Nehmen Sie die Resonanzkurve analog zum Fall ohne Eisenkern auf.
- *Dieser Versuchsteil wird bei Zeitnot gestrichen, was der Betreuer entscheidet.* **Frequenzgang einer weiteren Schaltung:** Nehmen Sie eine Messreihe (Spannung als Funktion der Frequenz) Ihrer Wahl auf, wobei ein Frequenzfilter zu realisieren ist. Folgende Vorschläge stehen zur Auswahl: (a) Hochpass (b) Tiefpass (c) Bandfilter

Für diese Messungen empfiehlt es sich, bereits während der Datenaufnahme eine grobe Auftragung von I/U_1 bzw. ϕ als Funktion von f anzufertigen. Auch außerhalb der Resonanz sollen hinreichend viele Messpunkte aufgenommen werden, um z. B. die Breite der Resonanz oder das asymptotische Verhalten für $f \gg f_0$ bzw. $f \ll f_0$ zu zeigen.

4 Auswertung

Bitte geben Sie am nächsten Termin einen Bericht ab, der auch die folgenden Unterlagen enthält:

- **Resonanzkurve:** Ermitteln Sie aus den aufgezeichneten Daten zunächst die Eigenfrequenz und geben Sie sie in der Form $f_0 \pm \Delta f_0$ an. Wie ist dieses Ergebnis zu beurteilen (Vergleich mit der zu erwartenden Resonanzfrequenz)? I/U_1 ist als Funktion von $\omega/\omega_0 = f/f_0$ aufzutragen. Beschreiben sie ihre Messung und vergleichen sie diese mit den Erwartungen. Ermitteln Sie außerdem die Güte Q der Resonanz, z. B. nach $Q = \omega_0/\Delta\omega$ mit $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$ aus der Resonanzbreite.

- **Phasenkurve:** Darstellung der Phasenkurve für eine Dämpfung. Dazu ist die Phasenverschiebung $\phi = 360^\circ \cdot \Delta t \cdot f$ über ω/ω_0 aufzutragen. Die x-Achse sollte wie bei der Resonanzkurve skaliert sein. Beschreiben sie ihre Messung und vergleichen sie diese mit den Erwartungen.
- **Einfluss von Materialeigenschaften:** Stellen Sie die Resonanzkurve wie im ersten Versuchsteil dar, jedoch über die Frequenz f , d. h. ohne Normierung auf f_0 . Für Vergleichszwecke sollte der Verlauf ohne Eisenkern im gleichen Diagramm wenigstens grob skizziert werden. Aus dem Verhältnis der Eigenfrequenzen des Schwingkreises (mit und ohne Eisenkern) lässt sich die magnetische Permeabilität des Eisenkerns bestimmen.
- **Frequenzgang einer weiteren Schaltung:** Stellen Sie die Messdaten in einem geeigneten Diagramm (Spannung gegen Frequenz) dar und beschreiben Sie das Frequenzverhalten qualitativ.

Die bestimmten Größen sind immer in der Form *Bestwert* \pm *Messunsicherheit* anzugeben, siehe auch den Abschnitt *Korrekte Angabe des Resultats* zum Versuch MEDA.

Bitte vermerken Sie auf Ihrem Bericht den Namen Ihres Betreuers, Ihre Gruppe, Ihren Namen und Ihre Matrikelnummer. Heften Sie bitte alle Blätter zusammen.