

## 14 Wechselstromwiderstände

### 14.1 Stichworte

Induktive und kapazitive Widerstände, Generatoren, Elektromotoren, Hauptschluss- und Nebenschlussmotoren, Ohmsches Gesetz für Wechselstrom, Komplexe Schreibweise, Zeigerdiagramme, Impedanz, Wirkleistung, Scheinleistung.

### 14.2 Literatur

NPP: 22-24; BS-2; Walcher; Metzler: Physik [29]; Physik für Ingenieure [36]; Schülerduden Physik; Gerthsen; Dem-2; Kohlrausch; Geschke.

### 14.3 Zubehör

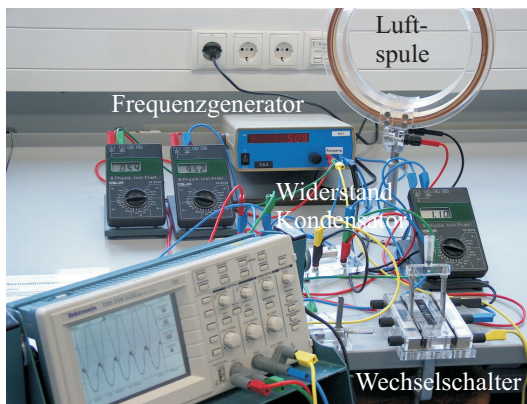


Bild 14.1: Der Versuch »Wechselstromwiderstände«.

Bild 14.1 zeigt ein Foto des Versuches mit Zubehör: Frequenzgenerator mit Frequenzanzeige, 1 Netzgerät (0-220 V, 2 A), 1 Induktionsspule und 1 Kondensator, 1 Ohmscher Widerstand, 2 Schalter, 1 Wechselschalter, 3 Multimeter, Oszilloskop.

### 14.4 Grundlagen

Der Wechselstrom und seine Eigenschaften spielen eine große Rolle in der Technik und im täglichen Leben. Wechselstrom oder -spannung hat einen (meist) sinusförmigen Verlauf wie in Bild 14.2 symbolisch dargestellt. Die dargestellten Kurven ergeben sich aus folgenden Gleichun-

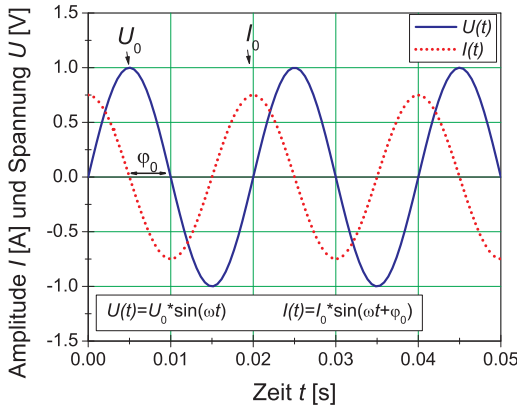


Bild 14.2: Symbolische Darstellung von Wechselspannung und Wechselstrom.

gen:

$$U(t) = U_0 \sin \omega t \quad (14.1)$$

$$I(t) = I_0 \sin (\omega t + \varphi) \quad (14.2)$$

Hierbei beachte man die Phasenverschiebung  $\varphi$  zwischen Strom und Spannung. Diese spielt für die Leistungsberechnung die entscheidende Rolle. Der Effektivwert einer Wechselspannung oder Wechselstromes wird wie folgt definiert:

#### Definition 14.1: Effektivwert

Der Effektivwert eines Wechselstromes ist der Wert eines Gleichstromes, welcher an einer rein ohmschen Last die gleiche Leistung erzielen würde. (Generell: Effektivwert = Wurzel der zeitlichen Mittelwertes des Quadrates der Größe,  $I_{\text{eff}} = \sqrt{\langle I^2 \rangle}$ ).

Für unsere haushaltsübliche Wechselspannung ist die Angabe 220 V bereits der Effektivwert, d.h. die Scheitelspannung beträgt  $U_0 = \sqrt{2} \cdot U_{\text{eff}} = 311 \text{ V}$ .

In Wechselstromkreisen besteht wegen des Einflusses von induktiven und kapazitiven Elementen in der Regel eine Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom. Um dies auch rechnerisch behandeln zu können, wurde die Impedanz  $Z$  eingeführt, die sich analog zum Widerstand  $R$  rechnerisch aus dem Quotienten der Scheitelwerte von Spannung und Strom ergibt:

$$Z = \frac{U_0}{I_0} \quad (14.3)$$

und zur vollständigen Beschreibung muss auch die Phasenverschiebung angegeben werden. Der Scheinwiderstand  $Z$  (Impedanz) ergibt sich als geometrische Summe von Wirkwiderstand  $R$  und Blindwiderstand  $X$  (Reaktanz) durch  $Z^2 = R^2 + X^2$ . Noch einfacher lässt sich dies alles in komplexer Schreibweise behandeln und sehr anschaulich in so genannten Kreisdiagrammen veranschaulichen.

## 14.5 Fragen

1. Wie wird Wechselspannung erzeugt? Wie funktioniert ein Generator?
2. Wie funktioniert ein Elektromotor?
3. Legt man eine Wechselspannung mit dem Maximalwert  $\hat{U}$  an ein Multimeter an, so wird ein Effektivwert angezeigt. Wie ist dieser definiert? In welchem Zusammenhang steht dieser Wert zum Maximalwert bei sinus- bzw. rechteckförmiger Wechselspannung?
4. Welche Beziehung herrscht zwischen Strom und Spannung, wenn eine Wechselspannung  $U(t) = \hat{U} \sin(\omega t)$  an einen Kondensator / eine Spule / einen ohmschen Widerstand angelegt wird? (mathematische Beschreibung, Zeigerdiagramm,  $U(t)$ - $I(t)$ -Diagramm). Wie ändert sich die Impedanz  $Z$  jedes dieser Elemente in Abhängigkeit von der Frequenz ( $Z_{C/L/\Omega}(\omega)$ -Diagramm)?
5. Diskutieren Sie eine Reihenschaltung aus Kondensator, Spule und ohmschem Widerstand. Wie sieht ein Zeigerdiagramm dazu aus? Wo liegt die Resonanzfrequenz? Skizzieren Sie Impedanz und Effektivstrom in Abhängigkeit der Frequenz.
6. Diskutieren Sie eine Parallelschaltung aus Kondensator, Spule und ohmschem Widerstand. Wie sieht ein Zeigerdiagramm dazu aus? Wo liegt die Resonanzfrequenz? Skizzieren Sie Impedanz und Effektivstrom in Abhängigkeit der Frequenz.
7. Diskutieren Sie die Leistung in einem Wechselstromkreis (Schein-/Wirk-/Blind-Leistung).

Es ist sehr wichtig, dass Sie sich in der Vorbereitung Gedanken über die Durchführung machen (insbesondere die Punkte 2 und 5 in Abschnitt 14.7.2)!

## 14.6 Weiterführendes

1. Was ist ein Hauptschluss- und ein Nebenschlussmotor. Kennen Sie weitere Motorarten?
2. Skizzieren Sie bitte den Aufbau von Tief-, Hoch-, und Bandpass und zeichnen Sie den jeweiligen Frequenzgang schematisch auf.

## 14.7 Durchführung

### 14.7.1 Hinweise zur Durchführung

In diesem Versuch werden Spannungen erzeugt, die *lebensgefährlich* sein können. Verhalten Sie sich entsprechend und lassen Sie z.B. *niemals* blanke Kabelverbindungen offen liegen und schalten Sie Spannung/Strom ab, bevor Sie Änderungen am Aufbau vornehmen!

Der zu vermessende Frequenzbereich liegt etwa zwischen 60 Hz und 480 Hz.

Wenn Sie den Wechselschalter benutzen, beachten Sie, dass er aus 2 getrennten, gegenüberliegenden Schaltern mit jeweils 3 Anschlüssen besteht. Die beiden gegenüberliegenden Schalter werden gleichzeitig geschaltet.

### 14.7.2 Experimentelle Durchführung

1. Bauen Sie gemäß Bild 14.3 einen Serienresonanzkreis auf. Je nach Verfügbarkeit an Multimetern kann eines davon auch durch einen Wechselschalter ersetzt werden.

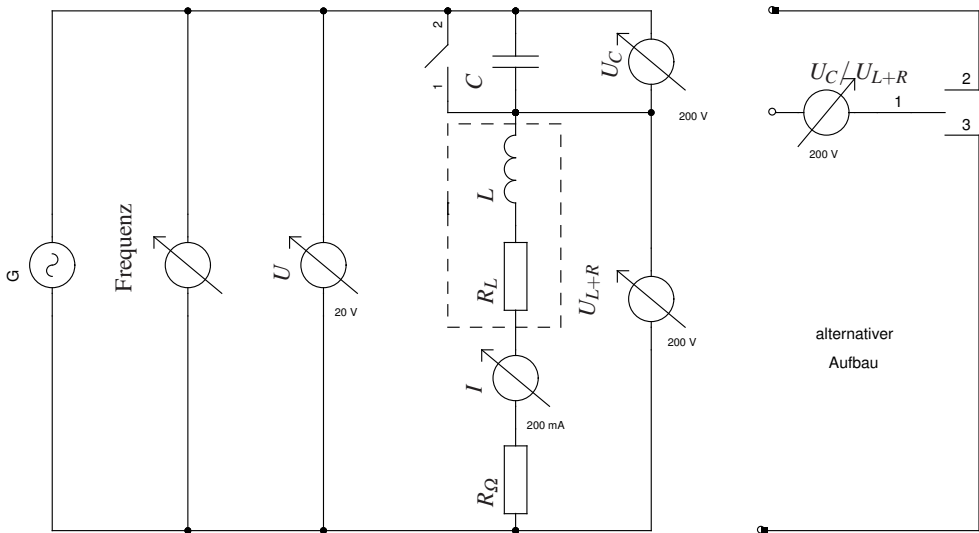


Bild 14.3: Schaltplan für die Serienschaltung.

- Schließen Sie das Oszilloskop so an, dass Sie die Phasenverschiebung zwischen Gesamtspannung  $U$  und Strom  $I$  bestimmen können.
- Zur Bestimmung der Induktivität der Spule wird zunächst der Kondensator mit dem Schalter überbrückt und für ca. 10 verschiedene Frequenzen  $f$  der Strom  $I$  und die Spannung  $U$  gemessen. Gleichzeitig messen Sie bitte die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung mit dem Oszilloskop.
- Messen Sie nun im Serienresonanzkreis (mit dem Kondensator, d.h. Schalter offen) den Strom  $I$ , den gesamten Spannungsabfall  $U$ , die Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom, die Spannungen  $U_C$  am Kondensator und  $U_{L+R}$  an Spule und Widerstand als Funktion der Frequenz. Vermessen Sie die Resonanzstelle besonders genau.
- Bauen Sie nun einen Parallelkreis aus Kondensator und Spule (ohne einzelnen ohmschen Widerstand) auf und bestimmen Sie in Abhängigkeit der Frequenz die Spannung  $U$  und den gesamten Strom  $I$ . Vermessen Sie auch hier die Resonanzstelle besonders genau.
- Notieren Sie den Innenwiderstand des Ampèremeters aus der Anleitung, oder messen Sie ihn. Bitte messen und notieren Sie auch den Widerstands-Wert des einzelnen ohmschen Widerstandes  $R$ .<sup>1</sup>
- Messen Sie den ohmschen Widerstand  $R_L$  der Spule und notieren Sie die angegebenen Spulendaten.
- Messen Sie die Kapazität  $C_C$  des Kondensators mit einem grünen Multimeter.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dieser  $R$  kann mit dem Multimeter genau gemessen werden.

<sup>2</sup> Nur die grünen Multimeter haben einen Kapazitätsmessbereich.

## 14.8 Angaben

Der ohmsche Widerstand hat einen Wert von  $10\,\Omega \pm 1\,\Omega$ , sofern nicht anders beschriftet.

## 14.9 Auswertung

1. Man trage das Quadrat der gesamten Impedanz  $Z_0^2 = (\frac{U}{I})^2$  als Funktion des Quadrats der Kreisfrequenz  $\omega^2$  ( $\omega = 2\pi f$ ) auf (Messung 3). Man bestimme daraus die Induktivität  $L$  und den gesamten ohmschen Widerstand der Schaltung  $R$ . Für die lineare Regression kann der Fehler der Frequenz vernachlässigt werden, womit die Formeln aus Abschnitt E.7.2 verwendet werden können.
2. Man trage die gesamte Impedanz  $Z_0 = \frac{U}{I}$  des Serienresonanzkreises als Funktion der Kreisfrequenz  $\omega$  auf. Man bestimme daraus die Resonanzfrequenz  $\omega_R$  und den gesamten ohmschen Widerstand der Schaltung  $R$ . Geben Sie sinnvolle(!) Fehler an!
3. Man trage die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung auf und bestimme daraus die Resonanzfrequenz  $\omega_R$ .
4. Fassen Sie die bisherigen Ergebnisse für den gesamten ohmschen Widerstand  $R$  (siehe Angaben), die Resonanzfrequenz  $\omega_R$  und die Induktivität der Spule  $L$  zusammen und bestimmen Sie daraus den ohmschen Widerstand  $R_L$  der Spule und die Kapazität des Kondensators  $C$ .
5. Aus den Messungen im Serienresonanzkreis zeichne man  $U$ ,  $U_C$  und  $U_{L+R}$  als Funktion der Kreisfrequenz  $\omega$  in ein gemeinsames Diagramm.
6. Für die Resonanzfrequenz  $\omega_R$  im Serienresonanzkreis zeichne man aus den gemessenen Spannungen  $U$ ,  $U_C$  und  $U_{L+R}$  ein maßstäbliches Zeigerdiagramm. Man vergleiche die daraus bestimmte Phasenverschiebung  $\phi$  zwischen dem Strom  $I$  und der Spannung  $U_{L+R}$  mit dem theoretischen Wert, der sich aus den errechneten Werten von 4 errechnet.
7. Man zeichne die gesamte Impedanz des Parallelkreises als Funktion der Kreisfrequenz  $\omega$ .