

Versuch E06: Frequenzgang von Wechselstromwiderständen

27. Februar 2023

I. Einleitung

Das Ohmsche Gesetz ist recht einfach zu verstehen, wenn es sich um einen Gleichstromkreis handelt. Der durch einen Widerstand R fließende Strom I ergibt sich einfach als Quotient aus der anliegenden Spannung U und dem Widerstandswert:

$$I = \frac{U}{R} \quad (1)$$

Spule und Kondensator zeigen im Gleichstromkreis folgendes Verhalten: Die Spule hat (vom häufig vernachlässigbaren Widerstand des Drahtes abgesehen) den Gleichstromwiderstand Null Ohm, und der Kondensator lässt gar keinen Gleichstrom durch.

Etwas komplizierter ist der Wechselstromkreis: Spule und Kondensator stellen frequenzabhängige Wechselstromwiderstände (Blindwiderstände) dar und verschieben den Strom in seiner Phasenlage gegenüber der Spannung. Wenn man eine Wechselstromschaltung betrachtet, die aus einer Zusammenschaltung von Schichtwiderständen (Ohm'sche Widerstände), Spulen und Kondensatoren besteht, an die eine sinusförmige Wechselspannung gelegt wird, so fließt durch die Schaltung ein ebenfalls sinusförmiger Strom, dessen Effektivwert I_{eff} nach dem Ohm'schen Gesetz (1) berechnet werden kann:

$$I_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{eff}}}{Z} \quad (2)$$

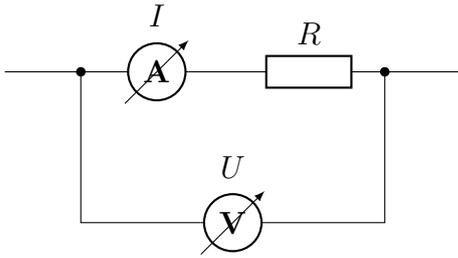
Als Z wird dabei der Betrag des Gesamtwiderstandes (des Scheinwiderstands) der Schaltung bezeichnet, der sich aus den Ohm'schen Widerständen (Wirkwiderständen) und den Wechselstromwiderständen (Blindwiderständen) zusammensetzt. Für die Kreisfrequenz ω gilt: $\omega = 2\pi f$.

In dem vorliegenden Versuch soll die Frequenzabhängigkeit der Scheinwiderstände Z von einem Schichtwiderstand R , einem Kondensator C und einer Spule L durch Messung des Stroms und der angelegten Spannung ermittelt werden.

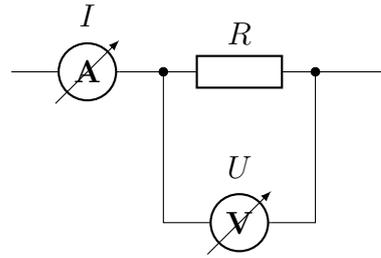
Zur Messung der Widerstände mit Volt- und Ampèremeter gibt es grundsätzlich zwei Schaltungsmöglichkeiten, wie sie in Abbildung 1 skizziert sind.

Eine exakte Berücksichtigung der Innenwiderstände der Messgeräte (auch wenn sie rein ohmsch angenommen werden) ist manchmal schwierig oder sogar unmöglich. Es ist deshalb ratsam, die Messschaltung so einzurichten, dass die Innenwiderstände der Messgeräte vernachlässigt werden können. Die Innenwiderstände sind auf der Rückseite der hier zu benutzenden Instrumente angegeben.

Bei den Messungen ist zu beachten, dass die einzelnen Elemente nicht ideal sind. Sogar der Kohleschichtwiderstand ist nicht für jede Frequenz und für beliebig hohe Genau-



(a) Hier wird der Strom I durch den Widerstand R richtig angezeigt, die abgelesene Spannung U muss korrigiert werden.



(b) Hier wird die Spannung U über dem Widerstand R richtig angezeigt, der abgelesene Strom I muss korrigiert werden.

Abbildung 1: Möglichkeiten der Messung des Widerstandes R mit Volt- und Ampèremeter

igkeit als rein ohmsch anzusehen. Zur Beschreibung solcher Zweipole verwendet man Ersatzschaltbilder.

Da die exakten Verhältnisse fast immer sehr verwickelt sind, kommt man selten mit einem einzigen Ersatzschaltbild aus, um die Funktionsweise eines technisch realisierten Zweipols für jede Frequenz und für jede Genauigkeit darzustellen. In dem vorliegenden Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz und bei der durch die Messgeräte vorgegebenen Genauigkeit kann man zur Beschreibung der drei Messobjekte folgende Ersatzschaltbilder verwenden:

1. Der Kohleschichtwiderstand sei ein rein Ohm'scher Widerstand.

$$Z_R = R$$

2. Der Kondensator sei verlustlos, also als reine Kapazität aufzufassen.

$$Z_C = \frac{1}{\omega C}$$

3. Die Spule kann durch die Hintereinanderschaltung von einem induktiven und einem Ohm'schen Anteil beschrieben werden.

$$Z_L = \omega L$$

$$|Z_L^*| = \sqrt{\omega^2 L^2 + R^2}$$

II. Aufgaben

1. Die Frequenzabhängigkeit des Kohleschichtwiderstandes ist zu überprüfen und der Ohm'sche Widerstand R anzugeben (Fehlerabschätzung).
2. Der Scheinwiderstand Z_c des Kondensators ist im Frequenzbereich zwischen 20 Hz und 20 kHz zu messen. Der reziproke Scheinwiderstand $1/Z_c$ ist als Funktion der Frequenz f auf Millimeterpapier aufzuzeichnen und aus der Steigung der Kurve die Kapazität C des Kondensators zu bestimmen. Um einen Fehler für die ermittelte Kapazität C abzuschätzen, berechne man Fehlerbalken für zwei charakteristischen Messwerte und bestimme mit ihrer Hilfe eine maximale und minimale Steigung der gefundenen Kurve. Bei der Fehlerabschätzung kann man mit den Scheinwiderständen Z genau so rechnen wie mit Ohm'schen Widerständen.
3. Der Scheinwiderstand Z_L der Spule ist zwischen 20 Hz und 20 kHz zu bestimmen und im Blindwiderstandsnomogramm zeichnerisch darzustellen. Aus der Zeichnung sind die Induktivität L und der ohmsche Anteil R_Ω zu bestimmen.

