

E3 Induktivität

Physikalische Grundlagen

Die Spule ist ein wichtiges passives Bauelement, welches u.a. in elektronischen Schaltungen oder bei der Erzeugung von Magnetfeldern Verwendung findet. Das Magnetfeld im Innern einer genügend langen stromdurchflossenen Spule (Stromstärke I) mit der Windungszahl N und der Länge l wird mit

$$B = \mu_0 \mu_r \frac{N}{l} I \quad (1)$$

berechnet. μ_0 ist die magnetische Feldkonstante und μ_r die Permeabilitätszahl des die Spule ausfüllenden Stoffes.

Diamagnetische Stoffe (z.B. Kupfer) schwächen das von einer stromdurchflossenen Spule erzeugte Magnetfeld. Sie haben eine Permeabilitätszahl kleiner als Eins. Paramagnetische Stoffe (z.B. Aluminium) stärken das Magnetfeld geringfügig. Die Permeabilitätszahl ist größer als Eins. Bei ferromagnetischen Stoffen (z.B. Eisen) wird das Magnetfeld erheblich verstärkt. Diese Stoffe haben eine sehr große Permeabilitätszahl.

Ändert sich der Stromfluss in der Spule, so wird gemäß dem Induktionsgesetz in den N Windungen der Spule mit der Querschnittsfläche A eine der Ursache entgegengerichtete Selbstinduktionsspannung induziert.

$$U = -N \frac{d(B \cdot A)}{dt} = -\mu_0 \mu_r \frac{N^2 A}{l} \frac{dI}{dt} \quad (2)$$

Sie ist außer von der Änderungsgeschwindigkeit der Stromstärke nur vom Aufbau der Spule bestimmt. Alle den Aufbau betreffenden Größen bestimmen die Induktivität L der Spule.

$$L = \mu_0 \mu_r \frac{N^2 A}{l} \quad (3)$$

Wird die an einer Spule anliegende Spannung verändert, folgt die entsprechende Stromänderung zeitlich verzögert, was bei periodischen Spannungsänderungen zu einem Nachlaufen des Stromes mit einer Phasenverschiebung eines Viertels der Periodendauer der Wechselspannung führt.

Der aus einer Wechselspannungs- und Wechselstrommessung ermittelbare Widerstand

$$Z = \frac{U_{\sim}}{I_{\sim}} \quad (4)$$

wird als Scheinwiderstand bezeichnet. Dieser stimmt bei einer idealen Spule mit deren induktiven Blindwiderstand X_L überein.

$$Z = X_L = 2\pi fL \quad (5)$$

Er ist von der Frequenz f linear abhängig. Der Name Blindwiderstand rührt daher, dass wegen der Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung an der idealen Spule keine Arbeit verrichtet wird.

Auf Grund der endlichen Leitfähigkeit des Materials des Drahtes einer realen Spule, hat sie neben ihrem Blindwiderstand auch immer einen ohmschen Widerstand. Wegen der Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung kann dieser nicht einfach zum Blindwiderstand addiert werden. Mittels Zeigerdiagramm (Abb.1), in welchem die Phasenverschiebung berücksichtigt wird, indem für die Reihenschaltung der induktive Blindwiderstand in der komplexen Widerstandsebene in Richtung der imaginären Achse und der ohmsche Widerstand entlang der reellen Achse aufgetragen wird, kann der Scheinwiderstand Z aus der geometrischen Addition der beiden Widerstände ermittelt werden.

$$Z = \sqrt{X_L^2 + R^2} \quad (6)$$

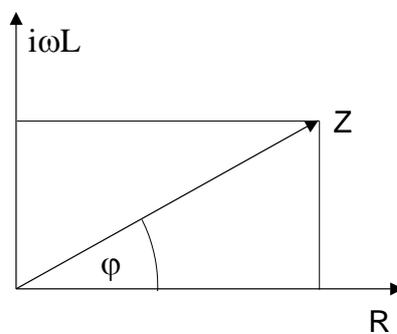


Abb.1 Zeigerdiagramm für die Reihenschaltung einer idealen Spule $X_L = 2\pi fL$ mit einem ohmschen Widerstand R

Versuchsvorbereitung

- Gesetzmäßigkeiten im Gleichstromkreis
- spezifischer Widerstand, Leitfähigkeit, Widerstand eines Drahtes
- Magnetfeld stromdurchflossener Draht und Spule, Magnetisierung
- strom- und spannungsrichtige Meßschaltungen
- Induktionsgesetz
- Zeigerdiagramme bei Reihenschaltung und Parallelschaltung von Widerständen, Spulen und Kondensatoren

Aufgaben

- Ermitteln Sie für verschiedene Spulen die Frequenzabhängigkeit des induktiven Scheinwiderstandes (Messung von Strom und Spannung in spannungsrichtiger Schaltung).
- Bestimmen Sie die ohmschen Widerstände durch Messungen mit Gleichspannung.
- Berechnen Sie aus Ihren Meßwerten die Induktivitäten der Spulen.
Führen Sie dazu eine Fehlerschätzung durch.
- Berechnen Sie die Induktivitäten der Spulen aus deren Parametern und vergleichen Sie diese mit Ihren Messwerten!
- Zeichnen Sie ein Zeigerdiagramm nach Abb.1 und ermitteln Sie daraus den Phasenwinkel!