

GRUNDLAGEN DER ELEKTROTECHNIK

Versuch 4: Messungen von Kapazitäten und Induktivitäten

1 Versuchsdurchführung

1.1 Messen des Blindwiderstands eines Kondensators

Der Blindwiderstand X_C eines Kondensators unbekannter Kapazität soll durch spannungsrichtige Messung (vergleiche Versuch 1) bei verschiedenen Messfrequenzen bestimmt werden. Dazu wird bei jeder Messfrequenz die Spannung U_C am Kondensator sowie der Strom I_C durch den Kondensator gemessen. Führen Sie die Messung mit zwei Digitalmultimeter unter den folgenden Bedingungen durch:

$$U_C = 3 \text{ V und } f = 250 \text{ Hz, } 500 \text{ Hz und } 1000 \text{ Hz}$$

Als Signalquelle dient der Funktionsgenerator.

Der verwendete Kondensator ist als ideal anzusehen, d.h. er ist eine reine Kapazität und hat keinen ohmschen Anteil. Damit beträgt der Phasenwinkel zwischen Spannung und Strom 90° und es gilt für den Blindwiderstand:

$$X_C = \frac{U_C}{I} = \frac{1}{\omega C}$$

Berechnen Sie für alle Messfrequenzen Blindwiderstände sowie die Kapazität C und diskutieren Sie die Änderung des Blindwiderstandes. Messen Sie die Kapazität mit einer LRC Messbrücke bei $f = 1000 \text{ Hz}$ und vergleichen Sie diesen Wert mit Ihren Messungen. Die Messbrücke der Fa. Hewlett-Packard befindet sich im Laborraum an einem separaten Messplatz.

1.2 Messen des Scheinwiderstands einer Induktivität

Der Scheinwiderstand Z_L einer Spule unbekannter Induktivität soll mit und ohne Eisenkern durch spannungsrichtige Messung bei verschiedenen Messfrequenzen bestimmt werden. Führen Sie die Messung an der Spule mit $N = 900$ Windungen zunächst ohne Eisenkern durch. Es wird bei jeder Messfrequenz die Spannung U_Z an der Spule, sowie der Strom I durch die Spule gemessen. Verwenden Sie für die Messung zwei Digitalmultimeter. Messen Sie unter folgenden Bedingungen:

$$U_Z = 3 \text{ V und } f = 250 \text{ Hz, } 500 \text{ Hz und } 1000 \text{ Hz}$$

Die verwendete Induktivität ist als real anzusehen, d.h. als Reihenschaltung aus Induktivität und Widerstand. Der Phasenwinkel zwischen Spannung und Strom ist damit ungleich 90° . Für den Scheinwiderstand gilt:

$$Z_L = \frac{U_Z}{I} =$$

Zur Bestimmung des Blindwiderstands X_L und damit der Induktivität L der Spule müssen Sie zunächst den ohmschen Widerstand R_x des Spulendrahtes messen. Führen Sie diese Messung mit einem digitalen Multimeter durch. Bedenken Sie, dass die induktive Blindwiderstand X_L bei der Gleichstrommessung wegfällt und dementsprechend nur der ohmsche Widerstand R_x in Erscheinung tritt. Den Blindwiderstand X_L und die Induktivität L_x kann mit Hilfe von Z , R_x und f bestimmt werden:

$$Z_L = \frac{U_Z}{I} = \sqrt{R_x^2 + X_L^2} = \sqrt{R_x^2 + (\omega L_x)^2}$$

Berechnen Sie für alle Messfrequenzen die Scheinwiderstände, die Blindwiderstände sowie die Induktivität L_x und diskutieren Sie die Änderung des Blindwiderstandes. Messen Sie die Induktivität mit der LRC – Messbrücke bei $f = 1000$ Hz und vergleichen Sie diesen Wert mit Ihren Messungen.

1.3 Messen des Scheinwiderstands einer Spule mit Eisenkern

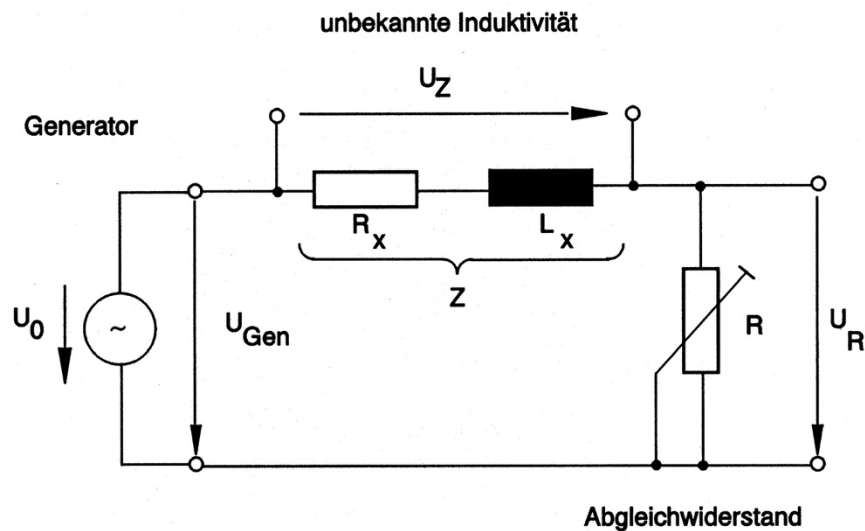
Wiederholen Sie die Messung aus 1.2 bei $f = 1$ kHz, nachdem Sie die Luftspule mit einem geschlossenen Eisenkern versehen haben.

Schätzen Sie die relative Permeabilität des verwendeten Kernmaterial ab, behandeln Sie dazu die Spule wie eine lange Zylinderspule.

1.4 Messen des Scheinwiderstands einer Induktivität und des Phasenwinkels nach der "Drei Spannungsmessermethode"

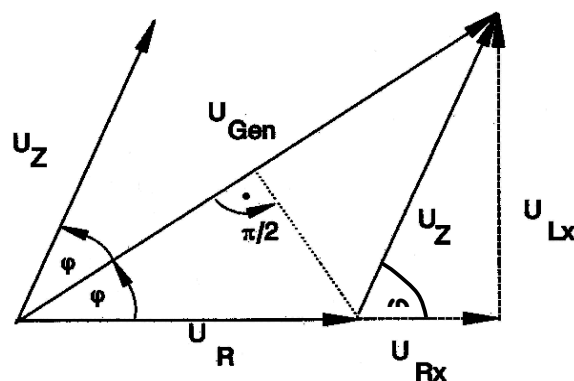
Mit Hilfe der "Drei Spannungsmessermethode" ist der Scheinwiderstand der Luftspule mit der Windungszahl $N = 900$ und der Phasenwinkel zwischen Spannung und Strom zu bestimmen. Der mit der "Drei Spannungsmessermethode" ermittelte Phasenwinkel ist zusätzlich mit Hilfe eines Oszilloskops zu kontrollieren.

Die Drei Spannungsmessermethode beruht auf folgender Messanordnung, wobei die Induktivität durch ihre Ersatzschaltung aus idealer Induktivität und ohmschen Widerstand dargestellt ist:



Die Spannungen U_{Gen} an der Wechselspannungsquelle, U_Z an der Induktivität und U_R an dem in Reihe geschalteten Widerstand werden gemessen.

Erzeugen Sie mit dem Frequenzgenerator eine sinusförmige Spannung der Frequenz $f = 500 \text{ Hz}$ und stellen Sie die Ausgangsspannung so ein, dass die Amplitudeanzeige des Generators 20 V anzeigt. Der Abgleichwiderstand R ist so einzustellen, dass $U_R = U_Z$ wird. Für diesen Abgleichfall gilt das folgende Zeigerdiagramm.



U_R und U_Z addieren sich geometrisch zu U_{Gen} . Wenn nun $U_R = U_Z$ ist, ergibt sich ein gleichschenkeliges Dreieck. Errichtet man die Mittelsenkrechte von U_{Gen} , so entsteht ein rechtwinkliges Dreieck, dessen Ankathete $U_{\text{Gen}} / 2$ und dessen Hypotenuse U_R ist. Der Winkel φ entspricht in diesem Fall dem Phasenwinkel zwischen U_{Gen} und U_Z bzw. U_{Gen} und U_R , er beträgt

$$\varphi = \arccos\left(\frac{U_{\text{Gen}}}{2 U_R}\right) =$$

Zur Kontrolle des mit der "Drei Spannungsmessermethode" ermittelten Phasenwinkels wird der Phasenwinkel mit dem Oszilloskop nachgemessen. Die Generatorspannung U_{Gen} wird auf Kanal 2 und U_R auf Kanal 1 des

Oszilloskops gelegt. Die Zeitdifferenz der Signale beim Nulldurchgang entspricht dem Phasenwinkel φ , unter der Voraussetzung, dass $U_R = U_Z$ ist.

Durch Rechnung, d.h. ohne Grafik sind zu bestimmen:

Scheinwiderstand	Z_L
Blindwiderstand	X_L
Ohm'sche Widerstand	R_X
Induktivität	L_X

Da der Widerstand R so eingestellt wird, dass U_R gleich U_Z ist, wird auch R gleich Z sein, da der Strom überall die gleiche Größe hat. Ferner gilt für die Beträge der Spannungen

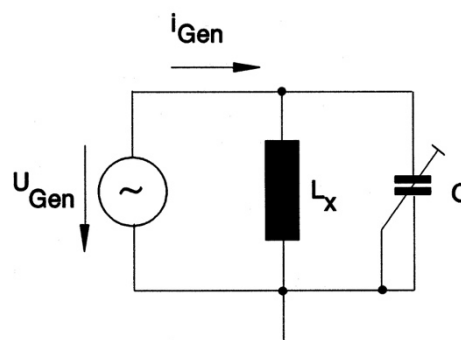
$$U_Z^2 = U_{R_X}^2 + U_{L_X}^2 = \quad \text{und} \quad U_{Gen}^2 = (U_{R_X} + U_R)^2 + U_{L_X}^2 =$$

U_Z ; U_R und U_{Gen} sind bekannt, so dass man zwei Gleichungen mit den zwei Unbekannten U_{R_X} und U_{L_X} hat, die man lösen kann. Mit diesen Werten und dem berechneten Strom (Ohm'sches Gesetz) können R_X und L_X bestimmt werden und aus letzterem wiederum X_L .

Überprüfen Sie die errechnete Induktivität L_X mit der LRC – Messbrücke.

1.5 Blindstromkompensation

Bauen Sie zunächst die folgende Schaltung auf, verwenden Sie dazu die Spule mit der Windungszahl $N = 300$ mit dem geschlossenen Eisenkern und die Kapazitätsdekade als einstellbaren Kondensator.



Messen Sie bei $f = 500$ Hz und $U_{L_X} = 3$ V den Strom $I_{Gen} = f(C)$ für $C = 0; 0,1 \mu\text{F}; 0,2 \mu\text{F}; \dots; 1 \mu\text{F}$ und tragen Sie die Werte in ein Diagramm ein. Diskutieren Sie den Kurvenverlauf und berechnen Sie den Wert der Induktivität L_X . Zur Berechnung der unbekanntenen Induktivität L_X ist davon auszugehen, dass im Minimum des Stromverlaufs die Blindwiderstände der Induktivität und der Kapazität gleich groß sind (Resonanzbedingung), d.h.

$$\omega L_X = \frac{1}{\omega C_{I_{Gen} \min}}$$

Vergleichen Sie den berechneten Wert von L_x mit einer Messung an der LRC Messbrücke. Kontrollieren Sie mit dem Oszilloskop, ob bei Resonanzbedingung der Phasenwinkel $\varphi = 0^\circ$ wird. Um die Phasenlage des Stroms mit dem Oszilloskop messen zu können, müssen Sie diesen durch einen Widerstand fließen lassen, den Spannungsabfall am Widerstand können Sie am Oszilloskop darstellen. Schalten Sie dazu einen 10Ω Widerstand zwischen Generator und Spule.