


Department Informations- und Elektrotechnik		Labor für Grundlagen der Elektrotechnik	 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences
Studiengruppe:	<b>EE1- ETP1 Labor 4</b>	Protokollführer (Name, Vorname):	
Übungstag:		Weitere Übungsteilnehmer:	
Professor:		Testat:	
<b>Messung von Kapazitäten und Induktivitäten</b>			

BRM 09/10, DHL 12/13

## 1 Einführung

In diesem Versuch messen Sie die Impedanz und den Blindwiderstand von Kondensatoren und Spulen. Dabei machen Sie sich mit den Begriffen Blindwiderstand und Impedanz und der komplexen Wechselstromrechnung vertraut.

## 2 Messen des Blindwiderstands eines Kondensators

Der Blindwiderstand  $X_C$  eines Kondensators unbekannter Kapazität soll durch spannungsrichtige Messung bei verschiedenen Meßfrequenzen bestimmt werden. Dazu muß bei jeder Meßfrequenz die Spannung  $U_C$  am Kondensator sowie der Strom  $I_C$  durch den Kondensator gemessen werden. Führen Sie die Messung mit zwei Digitalmultimetern unter den folgenden Bedingungen durch:

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

Als Signalquelle dient der Funktionsgenerator, achten Sie darauf, daß Sie ein sinusförmiges Signal eingestellt haben.

Der verwendete Kondensator ist als ideal anzusehen, d.h. er besitzt nur kapazitive Eigenschaften und hat keinen ohmschen Anteil.

Damit beträgt der Phasenwinkel zwischen Spannung und Strom  $-90^\circ$  und es gilt für den Blindwiderstand:

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

Berechnen Sie für alle Meßfrequenzen die Blindwiderstände sowie die Kapazität  $C$  und diskutieren Sie die Änderung des Blindwiderstands.

Messen Sie die Kapazität mit einer automatischen LRC Meßbrücke bei  $f = 1000\text{Hz}$  und vergleichen Sie diesen Wert mit Ihren Messungen. Die LRC Meßbrücke ist im Laborraum nur einmal vorhanden, sie befindet sich auf einem separaten Meßplatz.

### 3 Messen der Impedanz einer Luftspule

Die Impedanz  $Z_L$  einer Spule unbekannter Induktivität soll mit und ohne Eisenkern bestimmt werden. Führen Sie die Messung an der Spule mit  $N = 900$  Windungen zunächst ohne Eisenkern durch. Es muß bei jeder Meßfrequenz die Spannung  $U_L$  an der Spule, sowie der Strom  $I_L$  durch die Spule spannungsrichtig gemessen werden. Verwenden Sie für die Messung zwei Digitalmultimeter, messen Sie unter den folgenden Bedingungen:

$$U_L = 2V; f = 250\text{Hz}, 500\text{Hz und } 1000\text{Hz}$$

Die verwendete Spule ist als real anzusehen, d.h. als Reihenschaltung aus Induktivität und Widerstand. Der Phasenwinkel zwischen Spannung und Strom ist damit ungleich  $90^\circ$ . Für die Impedanz gilt:

$$Z_L = \frac{U_L}{I_L}$$

Zur Bestimmung des Blindwiderstands  $X_L$  und damit der Induktivität  $L$  der Spule müssen Sie zunächst den ohmschen Widerstand  $R_L$  des Spulendrahts bestimmen. Führen Sie diese Messung mit einem digitalen Multimeter durch.

Der Blindwiderstand und die Induktivität können nun mit Hilfe der folgenden Zusammenhänge berechnet werden:

$$Z_L = \sqrt{R_L^2 + (\omega \cdot L)^2} \quad \text{und} \quad X_L = \omega \cdot L$$

Berechnen Sie für  $f = 250\text{Hz}, 500\text{Hz und } 1000\text{Hz}$  die Impedanzen, die Blindwiderstände sowie die Induktivität  $L$  und diskutieren Sie die Änderung des Blindwiderstands.

Messen Sie die Induktivität mit einer automatischen LRC Meßbrücke bei  $f = 1000\text{Hz}$  und vergleichen Sie diesen Wert mit Ihren Berechnungen.

### 4 Messen der Impedanz einer Spule mit Eisenkern

Wiederholen Sie die Messungen aus dem vorigen Versuch bei  $f = 1\text{kHz}$ , nachdem Sie die Luftspule mit einem geschlossenen Eisenkern versehen haben.

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

## 5 Messen der Impedanz einer Spule und des Phasenwinkels nach der "Drei Spannungsmessermethode"

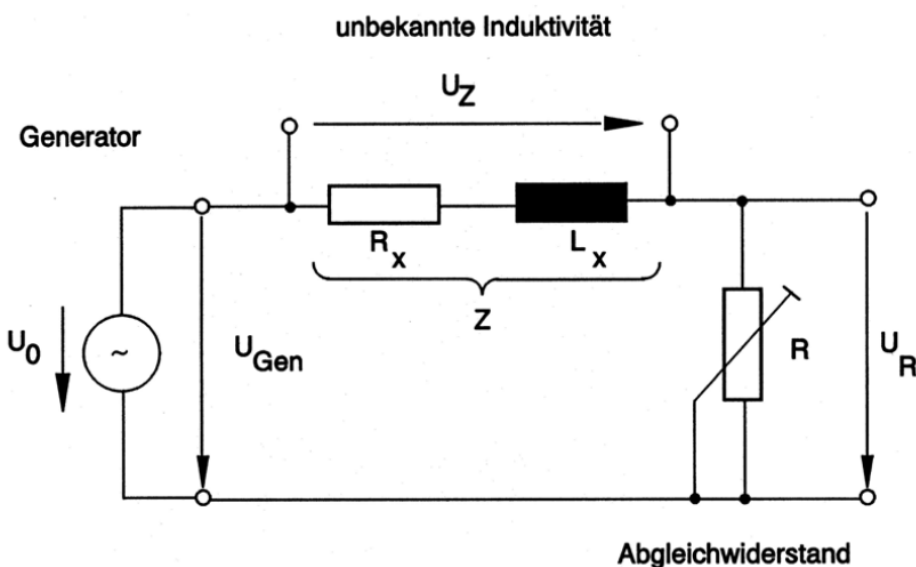
Mit Hilfe der "Drei Spannungsmessermethode" ist der Scheinwiderstand der Luftspule  $N = 900$  und der Phasenwinkel zwischen Spannung und Strom zu bestimmen. Der mit der "Drei-Spannungsmessermethode" ermittelte Phasenwinkel ist zusätzlich mit Hilfe eines Oszilloskops zu kontrollieren.

Durch Rechnung, d.h. ohne Grafik, sind zu bestimmen:  
 Scheinwiderstand  $Z$  der Induktivität bestehend aus  $R_x$  und  $L_x$   
 Blindwiderstand  $X_L$   
 Ohmscher Anteil  $R_x$   
 Induktivität  $L_x$

Überprüfen Sie die errechnete Induktivität  $L$  mit der LRC Meßbrücke.

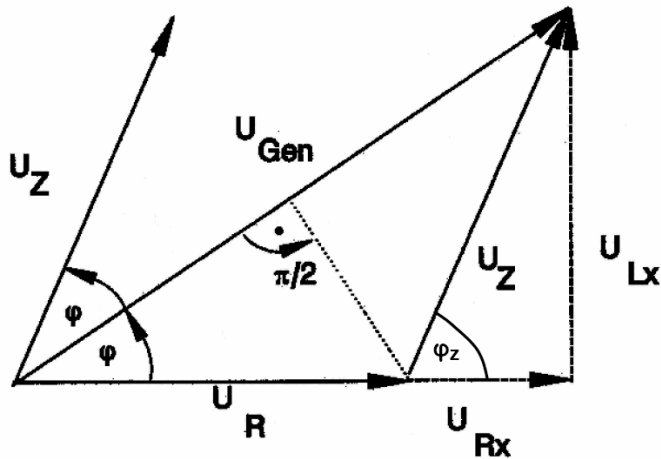
### Drei-Spannungsmessermethode:

Die Drei-Spannungsmessermethode beruht auf folgender Meßanordnung, wobei die Induktivität durch ihre Ersatzschaltung aus idealer Induktivität und ohmschem 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. Verwenden Sie die Widerstandsdekade als Abgleichwiderstand.

Erzeugen Sie mit dem Funktionsgenerator eine sinusförmige Wechselspannung von 500Hz und stellen Sie die Ausgangsspannung so ein, daß die Amplitudenanzeige des Geräts 20V anzeigt. Der Abgleichwiderstand muß nun so eingestellt werden, daß  $U_Z = U_R$  wird. Für diesen Abgleichfall gilt folgendes Zeigerdiagramm:



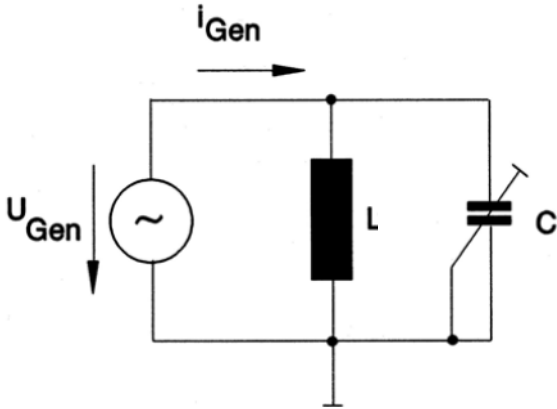
$U_R$  und  $U_Z$  addieren sich geometrisch zu  $U_{Gen}$ . Wenn nun  $U_R = U_Z$  ist, ergibt sich ein gleichschenkeliges Dreieck. Errichtet man die Mittelsenkrechte von  $U_{Gen}$ , so entsteht ein rechtwinkliges Dreieck, dessen Ankathete  $U_{Gen}/2$  und dessen Hypotenuse  $U_R$  ist. Der Winkel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

Phasenwinkel zwischen  $U_{Gen}$  und  $U_Z$  bzw.  $U_{Gen}$  und  $U_{Rx}$ , er beträgt  $\varphi = \arccos\left(\frac{U_{Gen}}{2U_R}\right)$ .

Zur Kontrolle des so ermittelten Phasenwinkels wird der Phasenwinkel mit dem Oszilloskop nachgemessen.  $U_{Gen}$  und  $U_R$  werden an jeweils einen y-Kanal eines Zweikanal-Oszilloskops angeschlossen. Die Zeitdifferenz der Signale im Nulldurchgang entspricht dem Phasenwinkel  $\varphi$ , unter der Voraussetzung, daß  $U_R = U_Z$  gilt.

## 6 Blindstromkompensation

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



Messen Sie bei  $f = 500\text{Hz}$  und  $U_{Lx} = 3\text{ V}$  den Strom  $I_{\text{Gen}} = f(C)$  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, also für diesen Fall gilt:

$$\frac{1}{\omega \cdot C} = \omega \cdot L$$

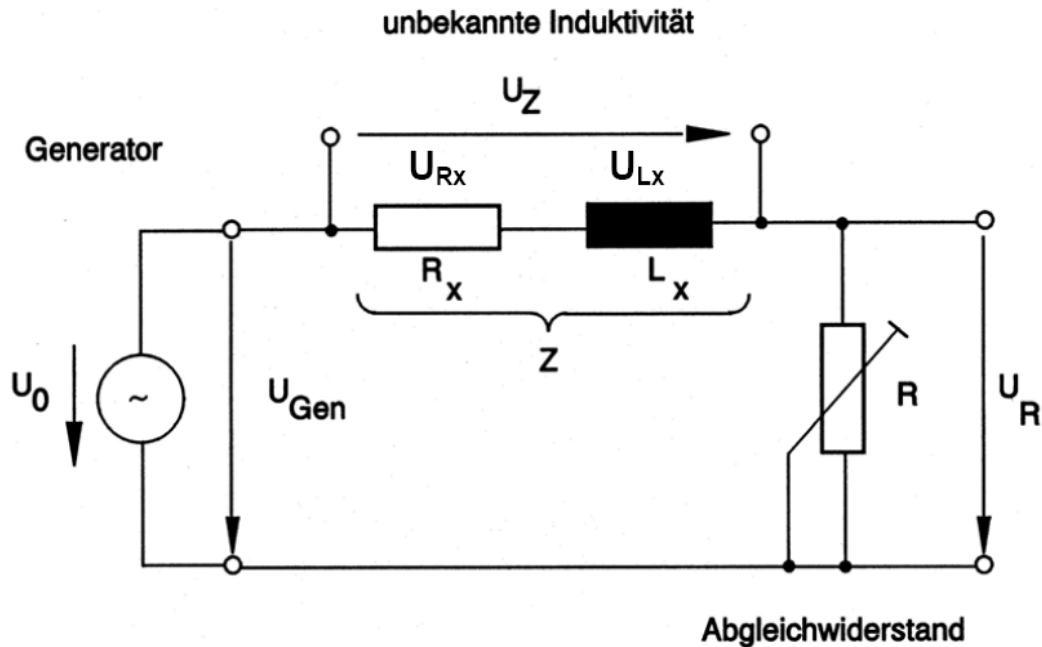
Vergleichen Sie den berechneten Wert von  $L$  mit einer Messung an der LRC Meßbrücke.

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  $10\Omega$  Widerstand zwischen Generator und Spule. Da die Spannung über dem Widerstand und über der Spule nicht den gleichen Bezugspunkt (Masse) haben, müssen Sie eine der beiden Spannungen mit dem Differentialtastkopf messen.

## 7 Hinweise zu Versuchsauswertung und Protokoll

Rechnerische Bestimmung von  $Z$ ,  $X_L$ ,  $R_x$  und  $L_x$

Wir betrachten folgende Schaltung:



Der Widerstand  $R$  soll so eingestellt werden, dass  $U_R$  gleich  $U_Z$  ist. Damit ist auch  $R$  gleich  $Z$ , da der Strom überall die gleiche Größe hat. Ferner gilt für die Beträge der Spannungen

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

$U_Z$ ,  $U_R$  und  $U_{Gen}$  sind bekannt, so dass man zwei Gleichungen mit den zwei Unbekannten  $U_{Rx}$  und  $U_{Lx}$  hat, die man lösen kann. Mit diesen Werten und dem berechneten Strom (Ohmsches Gesetz) können  $R_x$  und  $L_x$  bestimmt werden und aus letzterem wiederum  $X_L$ .