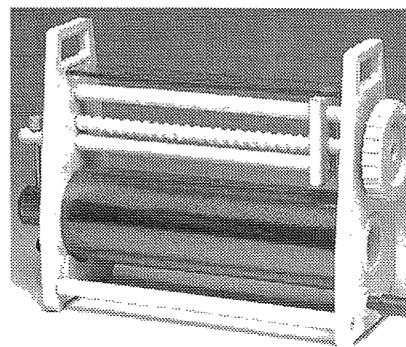


## MC03840 Spule mit veränderbarer Induktivität

### I. Beschreibung

In eine Kupferdrahtspule ( $R = 11 \Omega$ ) wird ein Kern aus geblätterm Eisen über eine Spindelschraube eingeschoben. Zudem wird es ermöglicht, elektromagnetische Eigenschaften mit und ohne Kern zu zeigen.



### II. Charakteristische Eigenschaften

- Gleichspannungswiderstand der Spule:  $11 \Omega$
- Anzahl der Windungen: 3000
- Ableseskala: 0,11 - 0,19 H  
(0,14 H - 1,1 H mit Kern aus geblätterm Eisen – MT03836)
- Überspannungskoeffizient: 22, bei einer Induktivität von 1 H, einer Frequenz von 50 Hz und einer Kapazität von  $10 \mu\text{F}$
- max. Spannung: 250 V
- Dauerstrom: 2 A maximal

#### Abmessungen des Gerätes:

- Länge: 290 mm (bei vollständig eingeführtem Kern)
- Breite: 100 mm
- Höhe: 205 mm
- Gewicht: 4,9 kg

### III. Bestandteile

Das Gerät besteht aus folgenden Einzelteilen :

- Einer Spule, die zwischen 2 Seitenteilen aus Kunststoff montiert ist.
- Einem Kern aus geblätterm Eisen.
- Einer Spindelschraube mit Handrad, über die der Kern in der Spule verschoben werden kann. Kern und Spindelschraube sind mit einer Messingschraube verbunden.
- Einer Skala aus Kunststoff, an der die eingestellte Induktivität in H abgelesen werden kann.

#### A - Prinzip und Theorie

Wir werden zunächst den Scheinwiderstand  $Z$  der Spule bei Wechselspannung messen, unter Verwendung eines Vielfachinstrumentes. Für die Berechnung des Scheinwiderstandes gilt:

$$Z = \sqrt{R^2 + L^2 \omega^2} = \frac{U}{I}$$

Daraus ergibt sich:  $R^2 + L^2 \omega^2 = \frac{U^2}{I^2}$  und  $L = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{U^2}{I^2} - R^2}$  Henry

Wenn R nicht bekannt ist, kann man ihn durch eine Schaltung wie in Abb. 1 bestimmen:  $R = \frac{U_o}{I_o}$

Bei der Messung kann man wie in Abb. 1 die strom- oder die spannungsrichtige Schaltung verwenden. Der Wechselstrom sollte so eingestellt werden, dass er in gleicher Größenordnung von dem Strom liegt, welcher die Spule durchfließt, wenn nicht gemessen wird.

### B - Messung

1. Bauen Sie die für Sie günstigere Schaltung aus Abb.1 auf.
2. Stellen Sie  $R_h$  so ein, dass der Wert für I dem Strom ohne Mess-Schaltung in etwa (hier  $\leq 1,5$  A) entspricht

R	
U	
I	
Z	
L	

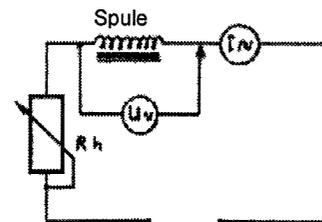
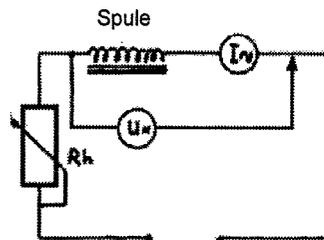


Abb.1

Stromrichtige Schaltung

Spannungsrichtige Schaltung

3. Messen von  $U_{eff}$  und  $I_{eff}$ .
4. Bestimmen Sie R durch die strom- bzw. spannungsrichtige Schaltung oder verwenden Sie ein Ohmmeter mit hinreichender Genauigkeit.
5. Berechnen Sie Z und I
6. Tragen Sie die Resultate in eine Tabelle ein.  
Setzen Sie dabei  $\omega = 314 \text{ rad/s} = 2 \pi f$

### Fehlerberechnung

es gilt: (1)  $R = \frac{U_o}{I_o}$  (2)  $Z = \frac{U}{I}$  (3)  $L = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z^2 - R^2}$

Für R kann man nun ansetzen (Gleichung 1):

$$\frac{dR}{R} = \frac{dU_o}{U_o} + \frac{dI_o}{I_o} \quad \text{oder} \quad \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta U_o}{U_o} + \frac{\Delta I_o}{I_o}$$

Für Z ergibt sich entsprechend:  $\frac{\Delta Z}{Z} = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I}$

### Die Ungenauigkeiten ergeben sich durch:

a. Ungenauigkeiten beim Eichen der Geräte, z.B. :  $\frac{\Delta U_o}{U_o} = \frac{\Delta I_o}{I_o} = \frac{\Delta U}{U} = \frac{\Delta I}{I} = 2 \%$

b. Ablesefehler, z.B. 1/2 oder 1/4 Teilstrichs der Skala.

Diesen Fehlern muss man noch hinzufügen:

Aus Gleichung 3, durch differenzieren:

$$\frac{dL}{L} = -\frac{d\omega}{\omega} + \frac{d(\sqrt{Z^2 - R^2})}{\sqrt{Z^2 - R^2}} = -\frac{d\omega}{\omega} + \frac{1}{\sqrt{Z^2 - R^2}} \left( \frac{2ZdZ - 2RdR}{2\sqrt{Z^2 - R^2}} \right) = -\frac{d\omega}{\omega} + \frac{1}{Z^2 - R^2} \left( Z^2 \frac{dZ}{Z} - R^2 \frac{dR}{R} \right)$$

die Ungenauigkeit bei L ergibt:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta \omega}{\omega} + \frac{1}{Z^2 - R^2} \left( Z^2 \frac{\Delta Z}{Z} + \frac{\Delta R}{R} \right)$$

$\omega$  ist etwa 0.5 % - es ergibt sich  $\omega / \omega = 0.5/100$

$dR/R$  und  $dZ/Z$  sind weiter oben berechnet worden.

Man kann folgende Tabelle aufstellen

Messung von R	$\frac{\Delta R}{R}$	$\langle R \rangle$	Messung von Z	$\frac{\Delta Z}{Z}$	L	$\frac{\Delta L}{L}$	$\langle L \rangle$
U I R			U I Z				

Verbesserte Methode mit 3 Voltmetern:

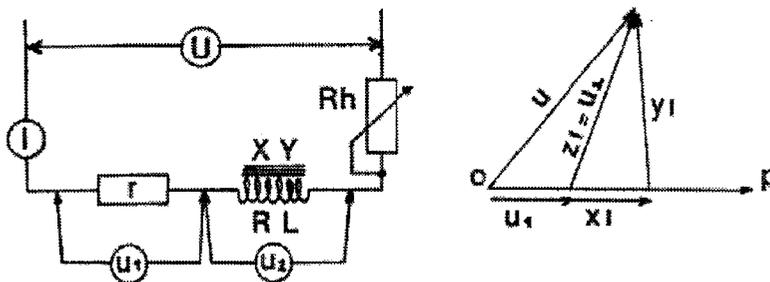
Man setzt  $Z = X + jY$

und baut die Versuchsschaltung in Abbildung 2 auf, wo R ein Widerstand unbekannter Grösse ist. Der Wert sollte jedoch gross genug gewählt werden, damit  $U_2$  und  $U$  einen merkbaren Werteunterschied haben.

Man misst  $U$ ,  $U_1$ ,  $U_2$  und kann schreiben:

$$U_1 = rI \quad U_2 = I\sqrt{X^2 + Y^2} \quad U = I\sqrt{(X+r)^2 + Y^2}$$

wobei X der ohmsche Widerstand ist (mit Einrechnung der Verluste im Eisen der Spule) und Y der effektive Widerstand der Spule.



Es ergibt sich:

$$X = \frac{1}{2r} \left[ \left( \frac{U}{I} \right)^2 - \left( \frac{U_1}{I} \right)^2 - \left( \frac{U_2}{I} \right)^2 \right] \quad Y = \sqrt{\left( \frac{U_2}{I} \right)^2 + X^2}$$

Auszuführende Arbeiten:

1. Bauen Sie die Versuchsschaltung nach Abb. 2 auf. Wählen Sie r hinreichend gross, wobei der Widerstand den Effektivstrom der Spule vertragen muss.
2. Messen Sie U, U1, U2, I
3. Berechnen Sie X und Y
4. Erstellen Sie die folgende Tabelle

I	U	U1	U2	U/I	U1/I	U2/I	X	Y

5. Unter Verwendung der gleichen Spule wie in der ersten Messung werden nun X mit R und Y mit  $L_w$  verglichen.
6. Ziehen Sie die möglichen Schlussfolgerungen

Erforderliche Geräte für beide Verfahren:

- 1 Voltmeter ( $\approx$ ) mit verschiedenen Messbereichen
- 1 Amperemeter ( $\approx$ ) mit verschiedenen Messbereichen)
- 1 Ohmmeter
- 1 Schiebewiderstand 100  $\Omega$
- 1 Schiebewiderstand 3  $\Omega$
- 1 Schiebewiderstand 1000  $\Omega$
- 1 Spule veränderbarer Induktivität

## V. Anwendungsbeispiel für die Spule veränderbarer Induktivität

### Elektrische Resonanz

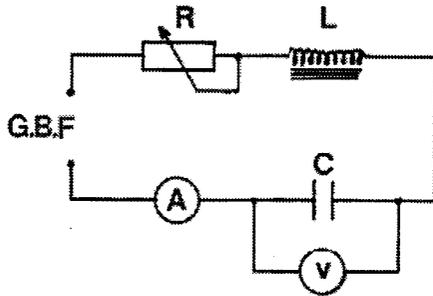
#### A. Verwendung eines Niederspannungsgenerators

Der Niederspannungsgenerator stellt Sinusschwingungen mit einstellbaren Frequenzen und Amplituden zur Verfügung.

Beobachtung: In vielen Fällen ermöglicht eine Skalierung direkt das Ablesen der Amplitude. Ansonsten muss man ein Voltmeter zum Einstellen der gewünschten Ausgangsspannung verwenden.

#### B. Serienresonanz

Schaltungsaufbau:



Erforderliche Geräte:

- L: Spule mit veränderlicher Induktivität
- C: verschiedene Kondensatoren
- R: Potentiometer oder Schiebewiderstand
- mA: Milliampereometer
- V: Voltmeter
- F: Funktionsgenerator

1. Für 3 verschiedene Werte von R wird die Frequenz N auf eine Höhe eingestellt, die in etwa 3 - 4 mal der Resonanzfrequenz entspricht.
2. Zeichnen Sie die Funktionen :  $I = f(N)$  und  $V = f(N)$
3. Bestimmen Sie grafisch die Resonanzfrequenz und vergleichen Sie den gefundenen Wert mit dem theoretischen Wert.

Anmerkung 1: Das Ausgangssignal des Funktionsgenerators kann leichte Frequenzschwankungen haben. Korrigieren Sie diese Abweichungen.

Anmerkung 2: Bei einer Messserie sollte der Gesamtwiderstand konstant gehalten werden. Wenn Sie den Bereich des Milliampereometers ändern, berechnen Sie die Widerstandsänderung und stellen Sie R nach.