Nebenfachpraktikum Physik vom 22.01.02

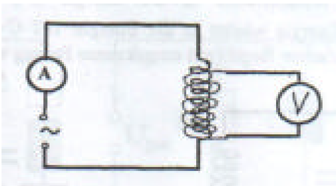
Tutor: Torsten Sievers
Vorgelegt von: Sven Siebler und Martin Podszus

Kapitel 6: Magnetfeld, Induktion und Wechselstromgrößen

V6.2.1 Magnetische Feldkonstante – Induktion

Geräte: Netztrafo, Induktionsspule, Amperemeter, Voltmeter

Versuchsdurchführung:
Zur Bestimmung der magnetischen Feldkonstante μ_0 werden verschieden starke Ströme an einer Feldspule angelegt und jeweils die induzierte Spannung gemessen.
Versuchsskizze:



Meßergebnisse:
Es wurden folgende Messwerte ermittelt:

I [A]	U [V]
0,15	0,2
0,2	0,26
0,35	0,42
0,45	0,55
0,6	0,7
0,75	0,85
0,9	1,03
1	1,15
1,2	1,4
1,4	1,6

Aus diesen Werten wird der Graph V6.2.1 erstellt.
Zusätzlich wurden noch folgende Werte abgelesen bzw. berechnet:

Länge der Feldspule: l = 0,64m
Durchmesser der Feldspule: d = 0,0074m
Querschnittsfläche: A = 0,0043m²
Anzahl der Windungen der Primärspule: n1 = 400
Anzahl der Windungen der Sekundärspule: n2 = 1000

Auswertung:
Die magnetische Feldkonstante μ_0 soll mit Hilfe der ermittelten Steigung des Graphen V6.2.1 berechnet werden.
Hierzu verwendet man die Gleichung 6.3 aus dem Skript:

$$U_0 = m_0 \cdot \frac{n_1 \cdot n_2 \cdot A}{l} \cdot w \cdot I_0$$

Die aus dem Graphen bestimmte Steigung entspricht demnach:

$$m = m_0 \cdot \frac{n_1 \cdot n_2 \cdot A}{l} \cdot w$$

Dies wird nach μ_0 umgeformt:

$$m_0 = m \cdot \frac{l}{n_1 \cdot n_2 \cdot A \cdot w}$$

Zur Berücksichtigung gedrungener Spulen wird diese Gleichung mit dem Faktor

$$\frac{1}{\sqrt{1+\frac{d^2}{l^2}}}$$

korrigiert.

Man erhält also zur Berechnung von μ_0 folgende Gleichung:

$$m_0 = m \cdot \frac{l \cdot \sqrt{1+\frac{d^2}{l^2}}}{n_1 \cdot n_2 \cdot A \cdot w}$$

Die Kreisfrequenz w beträgt $2 \cdot p \cdot 50$, da der verwendete Wechselstrom aus der Steckdose eine Frequenz von 50 Hertz besitzt.

Durch einsetzen der Werte in die Gleichung erhält man einen Wert für die magnetische Feldkonstante:

$$m_0 = 1{,}135 \cdot \frac{0{,}64 \cdot \sqrt{1+\frac{0{,}0074^2}{0{,}64^2}}}{400 \cdot 1000 \cdot 0{,}0043 \cdot 2 \cdot p \cdot 50} \Rightarrow m_0 = 13{,}53 \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$$

Fehlerbetrachtung/Fazit:

Der Literaturwert der magnetischen Feldkonstante liegt bei $4p \cdot 10^{-7}$, ist also geringfügig kleiner, als der von uns gemessene Wert.

Als Fehlerquellen sind dafür natürlich hauptsächlich Ungenauigkeiten beim Ablesen der Steigung und beim Zeichnen des Graphen anzusehen. Weiterhin treten auch geringfügige Spannungsverluste auf, da die verwendeten Geräte (Amperemeter, Voltmeter) Innenwiderstände besitzen, die allerdings nicht berücksichtigt worden sind.

V6.2.2 Wechselstromwiderstand einer Spule

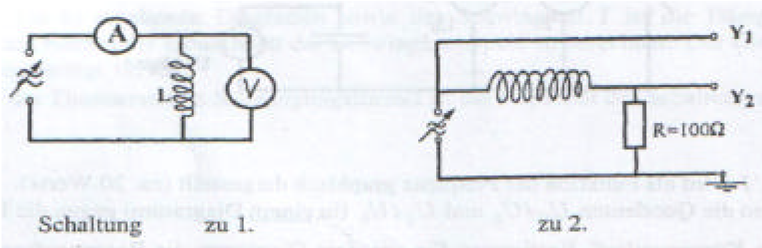
Geräte: Funktionsgenerator, Spule mit 1600 Windungen, stabförmiger Eisenkern, U-Kern, Spannungsvorrichtung, Ampere- und Voltmeter, Oszilloskop

Versuchsdurchführung:

Im ersten Teil des Versuches werden für drei verschiedene Spulen die Stromstärke und Spannung gemessen. Hierzu werden die Frequenzen bis 600 Hz variiert. Der Versuch wird einmal mit einer Spule ohne Kern(a), einmal mit einem stabförmigen Eisenkern(b) und einmal mit einem geschlossenem U-Kern(c) durchgeführt.

Im zweiten Teil wird der Kurvenverlauf der Spannung und des Stromes verglichen und die Phasenverschiebung zwischen beiden Kurven berechnet bzw. gemessen.

Versuchsskizze:



Messergebnisse:

a) ohne Kern

I [mA]	U [V]	Rges [Ohm]	R^2 [kOhm]	F [Hz]	$v = 2 \cdot p \cdot F$ W [Hz]	v^2 [MHz]
59	2,38	40,34	1,63	10	62,83	0,004
60	2,45	40,83	1,67	20	125,66	0,016
59	2,59	43,9	1,93	50	314,16	0,099
57	2,93	51,4	2,64	100	628,32	0,395
50	3,73	74,6	5,57	200	1256,6	1,58
43	4,35	101,2	10,2	300	1884,9	3,55
37	4,75	128,38	16,5	400	2513,3	6,315
28	5,20	185,7	34,5	600	3769,9	14,205

b) mit offenem Kern

I [mA]	U [V]	Rges [Ohm]	R^2 [MOhm]	F [Hz]	$v = 2 \cdot p \cdot F$ W [Hz]	v^2 [MHz]
56,5	2,78	49,2	0,0024	10	62,83	0,004
51	3,59	70,4	0,005	20	125,66	0,016
34	4,81	141,5	0,02	50	314,16	0,099
19,2	5,37	279,7	0,078	101	634,6	0,403
10,6	5,58	526,4	0,277	204	1281,77	1,643
6,9	5,61	813	0,661	305	1916,4	3,671
5,3	5,63	1062,3	1,123	400	2513,3	6,315
3,6	5,66	1572,2	2,471	600	3769,9	14,205

c) mit geschlossenem Kern

I [mA]	U [V]	Rges [Ohm]	R^2 [MOhm]	F [Hz]	$v = 2 \cdot p \cdot F$ W [Hz]	v^2 [MHz]
12	5,3	441,7	0,195	10	62,83	0,004
9	5,45	605,5	0,366	20	125,66	0,016
5,35	5,6	1046,7	1,094	50	314,16	0,099
3,4	5,61	1650	2,723	100	628,32	0,395
2,1	5,64	2685,7	7,213	200	1256,6	1,58
1,46	5,62	3849,3	14,815	300	1884,9	3,55
0,99	5,65	5655,6	31,979	500	3141,6	9,87
0,87	5,65	6519	42,497	602	3782,5	14,31

Zur Auswertung wird der gemessene Gesamtwiderstand R_{ges} quadratisch gegen das Quadrat der Frequenz aufgetragen. Als Frequenz wird die Kreisfrequenz $v = 2 \cdot p \cdot$ F verwendet. Man erhält die drei Graphen unter V6.2.2 a- c.

Aus diesen Diagrammen soll nun die Induktivität L bestimmt werden.

Auswertung:
Zur Bestimmung der Induktivität L wird die Gleichung R_l = w * L verwendet.
Da die Werte zur graphischen Auswertung quadriert wurden, gehen wir von der quadrierten Form aus : $R_l^2 = L^2 * w^2$.
Diese Gleichung entspricht nun der graphischen Darstellung. Da wir R^2 über w^2 abgetragen haben, entspricht die Steigung des Graphen genau L^2.
Es gilt also: $L = \sqrt{m}$
Für a) gilt: $m = 2{,}333 \cdot 10^{-3} \Rightarrow L = \sqrt{2{,}333 \cdot 10^{-3}} = 0{,}0483$ [H]
Für b) gilt: $m = 0{,}166 \Rightarrow L = \sqrt{0{,}166} = 0{,}4074$ [H]
Für c) gilt: $m = 2{,}81 \Rightarrow L = \sqrt{2{,}81} = 1{,}6763$ [H]

Es soll noch zusätzlich der Gleichstromwiderstand für die Spule ohne Eisenkern bestimmt werden. Dieser läßt sich einfach aus dem Y-Achsenabschnitt des Graphen ablesen, da in diesem Punkt die Frequenz den Wert 0 hat und somit ein Gleichstrom vorliegt.
Der Schnittpunkt mit der Y-Achse befindet sich bei dem Wert 1,6kOhm², daraus folgt für den Gleichstromwiderstand ein Wert von 40 Ohm.

Auswertung des zweiten Teils:
Der Spannungs- und Stromverlauf der Spule mit geschlossenem Eisenkern wird durch zwei Sinuskurven auf dem Oszilloskop dargestellt. Diese beiden Kurven sind phasenverschoben. Im folgenden soll diese Verschiebung berechnet werden.
Die mit dem Oszi gemessene zeitliche Verschiebung betrug bei 1kHz genau 0,2ms.
Daraus folgt: $\frac{j}{360°} = \frac{0{,}0002s}{T}$, wobei $T = \frac{1}{F}$ ist.

$$\Rightarrow j = 0{,}0002s \cdot 360° \cdot 1000Hz = 72°$$

Die gemessene Verschiebung beträgt also 72°.

Die Phasenverschiebung kann man auch mit den experimentell ermittelten Werten berechnen,
Zur Berechnung verwendet man die Formel: $\tan j = \frac{1}{R} \cdot (w \cdot L - \frac{1}{w \cdot C})$
Da in der zu berechnenden Schaltung kein Kondensator vorhanden ist, kann man den Term vereinfachen: $\tan j = \frac{w \cdot L}{R}$.
Man setzt nun die Werte ein und erhält eine Phasenverschiebung von:

$$\tan j = \frac{2 \cdot p \cdot 1000Hz \cdot 1{,}6763}{1596{,}87} \Rightarrow j = 81{,}38°$$

Fehlerbetrachtung:
In einer idealen Schaltung beträgt die Phasenverschiebung zwischen dem Strom und der Spannung 90°. Der errechnete Wert von 81,38° weicht natürlich von dem Idealwert ab, da gerade bei diesem Versuch zu beachten ist, daß hier das Ablesen der Werte vom Graphen sehr schwierig war, denn die Maßstäbe mußten z.T. sehr klein sein gewählt werden. Hierdurch wird das Ergebnis relativ stark beeinflußt.
Desweiteren war das Ablesen der Phasenverschiebung auf dem Oszilloskop recht ungenau, so daß auch der gemessene Wert mit einem relativ großen Fehler behaftet ist.

V6.2.3 Wechselstromwiderstand eines Kondensators

Geräte: siehe V6.2.2, allerdings statt der Spule wurden zwei verschiedene Kondensatoren verwendet

Versuchsdurchführung:
Die Messungen unter V6.2.2 werden für die beiden Kondensatoren unbekannter Kapazität wiederholt. Es soll aus den erhaltenen Graphen die Kapazität des jeweiligen Kondensators berechnet werden.
Im zweiten Teil werden wieder die Spannungs- und Stromkurve verglichen du die Phasenverschiebung berechnet.

Messwerte:

Kondensator P156

F [Hz]	I [mA]	U [V]	Rc [Ohm]	1/F [1/Hz]
10	0,792	5,65	7133,8	0,1
20	1,565	5,65	3610	0,05
50	4	5,66	1415	0,02
100	8	5,64	705	0,01
200	15,5	5,6	361,3	0,005
300	23	5,5	239,1	0,003
400	30	5,4	180	0,0025
600	42	5,15	122,6	0,0016
800	52,5	4,86	92,6	0,00125
1000	62	4,62	74,5	0,001

Kondensator P444a

F [Hz]	I [mA]	U [V]	Rc [Ohm]	1/F [1/Hz]
10	1,52	5,65	3717,1	0,1
20	3,2	5,65	1765,6	0,05
50	8	5,65	706,3	0,02
100	15,5	5,60	361,3	0,01
200	30	5,41	180,3	0,005
400	53	4,86	91,7	0,0025
600	68	4,23	62,2	0,0016
800	80	3,7	46,3	0,00125
1000	87	3,23	37,1	0,001

Zur Auswertung wird der gemessene Gesamtwiderstand Rc gegen den Kehrwert der Frequenz abgetragen. Man erhält die Graphen V6.2.3.
Zur Berechnung der Kapazität der jeweiligen Kondensatoren wird die Steigung der Graphen berechnet:
P156 = 72921,1
P444a = 37000
Es wird folgende Gleichung verwendet:

$$Rc = \frac{1}{w \cdot C} \Rightarrow Rc = \frac{1}{2 \cdot p \cdot F \cdot C} \Rightarrow Rc = \frac{1}{2 \cdot p \cdot C} \cdot \frac{1}{F}$$

Somit entspricht die errechnete Steigung dem Ausdruck: $m = \frac{1}{2 \cdot p \cdot C} \Rightarrow C = \frac{1}{2 \cdot p \cdot m}$

Die Kapazitäten der Kondensatoren beträgt also:
für p156: C =2,183 µF
Für p444a: C = 4,301 µF

<u>Bestimmung der Phasenverschiebung:</u>
Die Phasenverschiebung wird exemplarisch nur für den Kondensator P156 berechnet, analog müßte man für den zweiten Kondensator vorgehen. Leider lagen uns nur die Werte eines Kondensators zur Verfügung.
Die mit dem Oszi gemessene zeitliche Verschiebung betrug bei 20kHz genau 0,2µs.

$\frac{j}{360°} = \frac{2 \cdot 10^{-6} s}{T}$, wobei $T = \frac{1}{F}$

$j = 2 \cdot 10^{-6} s \cdot 360° \cdot 20000 Hz = 14{,}4°$

Die gemessene Phasenverschiebung beträgt also 14,4°

Berechnung der Phasenverschiebung:
Es gilt zur Berechnung wieder die Gleichung:

$$\tan j = \frac{1}{R} \cdot (w \cdot L - \frac{1}{w \cdot C})$$

Da in der zu berechnenden Schaltung dieses Mal keine Spule vorhanden ist, kann man den Term vereinfachen: $\tan j = \frac{1}{R} \cdot (-\frac{1}{w \cdot C}) = \frac{1}{R \cdot w \cdot C}$

Man setzt nun die Werte ein und erhält eine Phasenverschiebung von:

$$\tan j = -\frac{1}{11 \cdot 2 \cdot p \cdot 20000 \cdot 2{,}183 \cdot 10^{-6}} = 18{,}34°$$

<u>Fehlerbetrachtung:</u>
Als Fehlerquellen sind wie immer die Zeichenungenauigkeiten und die Schwierigkeit des Ablesens der Werte zu nennen.
Der gemessene Wert von 14,4° bzw. der errechnete Wert von 18,34° sind durch die ziemlich groß gewählte Frequenz ziemlich gering, da gilt: Wenn w gegen unendlich strebt, dann wird der Term $\frac{1}{R \cdot w \cdot C}$ gegen 0 streben und somit der Wert für j, also der Phasenverschiebung, immer kleiner werden. D.h. mit immer größer werdender Frequenz wird die Phasenverschiebung immer mehr abnehmen.