物理学実験レポート

実験題目：インダクタンスと静電容量

提出者：１学年ウ組２５番　政木 智成

学籍番号：６０１２０１６７

実験日：平成１３年６月１９日

## 《目的》

自作のコイルとコンデンサーを使った回路で電気共振を観察し、インダクタンスと電気容量を測る。

## 《理論》

コイルとコンデンサーは抵抗器と並んで電気回路の基本的な素子である。これら三つの素子を組み合わせると、フィルター回路、共振回路、微分回路、積分回路など、色々な機能の回路を作ることができる。

（１）インダクタンス

円筒状のコイル（ソレノイド）に電流*I*が流れているとき、コイルの内外に磁界が生じる。*I*が一定ならばAB間の電位差はゼロであるが（導線の抵抗は小さく、無視できるとする）、*I*が変化するときはコイルを通り抜ける磁束が変化するために、電磁誘導によってAB間に電位差が生じる。Aを基準としたBの電位*V*は*I*の変化の速さに比例するので



（１）

と表される。比例係数Lをこのコイルのインダクタンス（自己誘導係数）という。一般に、どんな形状のコイルでも（１）式によってインダクタンスを定義できる。*V*、*I*、*ｔ*の単位をそれぞれV（ボルト）、A（アンペア）、s（秒）とするとき、Lの単位はV･s･A-1となるが、この単位をH（ヘンリー）という。

角周波数ωで正弦的に変化する電流*I* = *I*0Sinωtがコイルに流れているとき、電圧*V*は（１）式より



（2）

であるから、電圧は電流に比べて位相が90°進んでいる。（抵抗Rの低抗器では*V*=*RI*だから、電圧と電流は同位相である。）

半径*r*の円筒の枠に長さlにわたってすき間なく巻かれた、総巻数Wの単層ソレノイドのインダクタンスLは、*r*≪lのとき、*r*とlを単位mで表すと



（３）

で与えられる。r≪lが成り立たない場合は、（3）式は少し修正され、次のようになる。



この式で出てきたKは長岡係数と呼ばれるもので、γ/lの関数で、

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| γ/l | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 1.0 | 2.0 |
| K | 0.920 | 0.850 | 0.780 | 0.735 | 0.688 | 0.526 | 0.635 |

（表：γ/lと長岡係数*K*の関係）

上の表の様に表せる。これらの値についてrに実験結果を代入してソレノイドのインダクタンスLについて考えてグラフにして示してみた。

（２）静電容量

#### A

#### I

#### V

#### ＋＋＋＋＋＋＋＋＋＋＋＋＋ ＋Q

－－－－－－－－－－－－－ －Q

#### I

#### I

*B*

上の図のように電気を流さない物質または真空で隔てられた一対の電極に電位差*V*を与えると、＋Qと－Qの電荷がそれぞれの電極に蓄えられ、コンデンサー（蓄電器）として働く。Qは*V*に比例し、

*Q*＝*CV* （４）

と表わされ、比例係数Cをこのコンデンサーの静電容量という。Qと*V*の単位をそれぞれC（クーロン）とV（ボルト）とするとき、静電容量の単位はC･V-１となるが、この単位をF（ファラッド）という。

上の図で、単位時間にB側から流れ込む（同時にA側から流れ出る）電荷dQ/dtが電流*I*であるから、*V*と*I*の関係は（４）式を使って



（５）

となる。これを*V*について解くと



（６）

と表される。

電流が*I*＝*I*0sinωtのとき、（６）式から



となる。すなわち、コンデンサーでは電圧は電流より位相が90°遅れている。

コンデンサーの両電極の向い合う部分の面積がSで、電極間の距離が一定値dで、その間を占める物質の誘電率がεのとき、dが電極の広がりに比べて十分小さければ、静電容量Cは、



（８）

で与えられる。εは物質および角周波数ωによって異なる。真空の誘電率ε0との比ε/ε0を比誘電率といい、kεで表す。普通の状態の空気のkεはほぼ１に等しい。Sとdをそれぞれ単位m2とmで表せば、（８）式は



（９）

と書き直せる。

（3）共振

コイルとコンデンサーを直列に接続した回路の両端ACの間に角周波数ωの交流電圧*V*をかけ、その結果電流*I*0sinωtが流れているとする。AB間の電圧は（２）式、BC間の電圧は（７）式で与えられるので、*V*はそれらの和に等しく

（１０）

となる。すなわち、電圧*V*の振幅*V*0は|Lω－１/(Cω)|となるので、*V*0と*I*0の比は



（１１）

である。したがって、



（１２）

とおくと、ω=ω0のときに*I*0は無限大となる。

（１３）

で与えられるf0をこの回路の共振周波数という。

## 《実験方法》

・コイルの作成

下図のように、円筒の枠に端に太いテープを張り、２０回導線を巻いた。次に細いテープを張り、そして１００回導線を巻いた。このとき、接続部分として導線を２０cmほど残して、テープで止めておいた。そしてその端の部分を紙やすりで削った。

また円筒の半径（r）と１００巻した部分の長さ（L）と導線の太さを調べておいた。

コイルの作る時、導線に隙間ができないようにつくった。

太いテープ 細いテープ

２０巻 １００巻

・コンデンサの作成

下の図のように、アルミホイル（点線）とビニールカバー（実線）を交互に重ねる。このときアルミホイルは幅3cm、長さ30cmのものを使い、ビニールカバーは十分にそれを覆えるものを使った。

これをエンピツに巻いて、クリップでとめておいた。このとき、巻ききれていない部分の長さと、エンピツの直径を測っておいた。

A．インダクタンス

20巻部分をターミナル１と２に接続し、100巻部分をターミナル３と４に接続した。そして、ターミナル３と４にはさらに、12.16nFのコンデンサーを接続した。

ターミナル１と２は発振器につないで正弦波を励振コイルに入力し、ターミナル３と４の間に生じた交流電圧をオシロスコープで観察した。このときオシロスコープ上の波形の振幅が最大となったときの周波数（共振周波数f0 ）をダイヤルから測定した。このときの振幅から電圧*V*0を求めた。次に電圧が*V*0を1/√2倍した値になる周波数f1，f2を求めた。

ここから、次の式を用いてQ値を求めた。

・補習課題

発振器の入力波形を ～ から 凸 に変えて、波形の振幅が最大となるfとVを記録した。

B．静電容量

自分で作ったコンデンサーを用いて、A．インダクタンスと同じ手順で実験を進めた。

実験結果から、コンデンサーの静電容量を求めた。

## 《実験結果》

A．インダクタンス

それぞれの値は次のようになった。

l＝20.2［mm］

r＝10.7［mm］

C＝4.81［nF］

f0＝195.0［kHz］

V0＝4.0［V］

f1＝204.1［kHz］

f2＝178.1［kHz］

Q値＝7.5

ここからこのコイルのインダクタンスLの理論値を求めると、（３）より



＝4.78×10－6

実験値からインダクタンスLを求める時は（１３）より



＝1.38×10－6

となった。

・補習課題

それぞれV＝1.2Vとなった。このときfは234.3［kHz］，443.0［kHz］，748.1［kHz］だった。

このとき、だいたい200kHzの差で三つが分布している。

B．静電容量

このときビニールの厚さをd［mm］，巻ききれなかった部分をl［cm］として、測定すると、以下のようになった。

l＝1.5［cm］

d＝［mm］

f0＝213.8［kHz］

V0＝3.1［V］

f1＝231.4［kHz］

f2＝197.9［kHz］

Q値＝6.38

となった。このとき、コンデンサーの静電容量の理論値は（９）から、

またコンデンサーの静電容量の実験値はL=0.0000013のとき、（１３）から

となった。



## 《考察》

A．インダクタンス

長岡係数を用いたグラフを見て考えた。プロットした値は教科書に載っている長岡係数のデータをもとに取ったもので次の表の様になっている。

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| l（mm） | 107.00 | 53.50 | 35.67 | 26.75 | 21.40 | 10.70 | 5.35 |
| L（H） | 0.78×10－6 | 1.44×10－6 | 1.98×10－6 | 2.49×10－6 | 2.91×10－6 | 4.45×10－6 | 10.74×10－6 |

（表：lとLの関係）

ここで実験値から求めたインダクタンスLに近い値としてはl＝53.50くらいのものになってしまうが、実際はその半分にも満たない長さであったのでこれは大きな誤差と考えられる。

今回の実験の値を見ると、その誤差がかなり大きく思える。その原因として考えられるものを挙げてみた。

・コイルの巻き方が悪かった。（透き間があったりした。）

・コイルの巻き数を間違っていた。

・接続部分が削りきれておらず、接触が悪かった。

・振幅の最大値が別の周波数の時だった。

・周波数をダイヤルから読んでいたため、実際より多少の誤差があった。

このように理想の状態で実験ができていなかった事，実験器具を正確に使いきれていなかった事が大きな原因と思われる。解決策としては

・実験回数を増やして、そのデータから精度の高い値を出す。

・実験器具自体の精度を上げる。

といった事が言える。

・補充課題

実験中に見た矩形波は色々な周波数を正弦波の重ね合わせとしてして表したものである。ここから考えて、A.インダクタンスで求めた共振周波数が関係していると思われる。各周波数の間の部分には共振周波数の周期が入っていたと考えられる。

B．静電容量

まず、誤差が発生した原因を考えた。

・インダクタンスLをA.インダクタンスの実験で求めたものをそのまま使っていた。これが違っていた、もしくは誤差があったとすればその大きな原因として考えられる。

・共振周波数が別の値であった。理論値に合わせるのであればもっと小さかった。

・コンデンサーから出ていたホイル部分がもう少し大きかったかもしれないが、これはあまり大きな差は生まれないと言える。

これらを解決する手段としては、

・インダクタンスLをA.インダクタンスでもっと正確に求める必要があった。

・共振周波数についてもっと細かく見るべきだった。

と言ったことが考えられる。

## 《感想》

とにかくコイル作成が大変だった。それなりに面白かったし、中等部にいた頃に化学研究会リニア班でつくっていたのを思い出した。かなりキレイにつくったつもりだったが、実際に周りの人たちのを見たら、かなりいいかげんに作って良いのがわかった。自分の容量の無さに気付いた。実験自体が終わるのはかなり遅い方だと思った。今後の実験は、多少遅くても正確なデータがとれる実験をしたいと思った。