自然科学実験　３　インダクタンスと静電容量

1. 目的

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

２,　原理

インダクタンス

ソレノイドコイルに電流*I*が流れているとき、コイルの内外に磁界が生じる。*I*が変化するとき、コイルを通り抜ける磁界が変化するので、それを妨げようとする起電力が発生する。これは電磁誘導と呼ばれ、AB間に*I*の変化の速さに対応する電位差

･･･①

が生じる。*L*は、コイルのインダクタンスと呼ばれる。各周波数の正弦的に変化する交流電流をコイルに流すと、①式より

･･･②

が生じる。電圧は、電流に比べ位相が進む。



図１　円筒に巻かれたソレロイド

　図１のような半径*r*の円筒の枠に、導線を総巻数*N*、長さ*l*だけすき間無く巻くと、ソレロイドコイルのインダクタンスは、

･･･③

となる。但し、*r*が*l*に比べて非常に小さい場合、修正が必要であり、

･･･④

となる。

静電容量

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、電極にそれぞれ+*Q*、-*Q*の電荷が蓄えられ、コンデンサーとして働く。QはVに比例し、

･･･⑤

と表される。比例係数*C*はコンデンサーの電気容量である。単位時間あたり流れ込む電荷が電流*I*と等しいので、

･･･⑤

Vについて解くと、

･･･⑥

となる。電流がのとき、⑥式より、

･･･⑦

となる。ここで、*A*は積分定数である。

すなわち、電圧は電流に比べ位相が遅れている。

コンデンサーの向かい合う部分の面積がSで、電極間の距離を一定値dで、その間を占める物質の誘電率がεのとき、dが電極に比べて十分に小さければ、

･･･⑧

であたえられる。真空の誘電率との比は比誘電率と呼ばれ、で表される。平行平板では、長さの単位を*m*としたとき、

･･･⑨

となる。

共振

コイルとコンデンサーを直列に接続した回路に角振動数ωの交流電圧*V*をかけ、その結果電流の電流が流れているとき、*V*はコイル間とコンデンサー間の電圧の合計になるため、②式と⑦式より、

･･･⑩

となる。すなわち電圧の振幅をは、となり、との比は、

･･･⑪

となる。したがって、

のときは無限大となり、このときのをとおくと

･･･⑫

となる。

３．結果

まずN＝80、l＝1.865cm、r＝1.256cmであった。

1. インダクタンス

=203.2kHz

=198.9kHz

=207.6kHz

であった。

残りの8点は以下の表のようであった。

表１,共振周波数と振幅

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 周波数f (kHz) | 振幅V (V) |
| f1 | 215.7 | 0.14 |
| f2 | 211.7 | 0.1 |
| f3 | 209.5 | 0.17 |
| f4 | 205.8 | 0.28 |
| f5 | 198.6 | 0.2 |
| f6 | 195 | 0.14 |
| f7 | 191.4 | 0.1 |
| f8 | 189.1 | 0.08 |

以上をグラフにして表すと図２のようになった。

よりこのときの共振回路のQ値は23.36となった。

　(1)

より求めたインダクタンスの値はHであった。

　(2)

より求めたインダクタンスの値はHであった。

2)静電容量

=227.4kHz

=218.5kHz

=238.5kHz

であった。

よってQ’は11.37となる。

(2)式より、Lを上記で求めたとしてコンデンサーの静電容量を求めると

Fとなった。

また、

　(3)

を用いてコンデンサーの面積S＝0.0154、d=0.1、比誘電率=3.5としてコンデンサーの静電容量を求めると4.77×Fとなった。

４.検討

今回の実験での共振から求めたインダクタンスの値はHであり、理論値の

Hとは1.82%の誤差があった。

今回の実験で、誤差に関係があるのは、主コイルであると考えられる。であるが、巻き数Nは巻く時とコイルを解体する時に数えたので間違いはないと考えられる。また、も定数である。よって、この誤差の原因は、*r*及び*l*によるものと考えられる。

まず、rおよびｌを測定するときマイクロメータとノギスを用いたが、その時、目盛の値を正確に測ることができなかった。また、マイクロメータ、ノギスは共に検定公差があるので、これも誤差に影響したといえる。

また主コイルは励振コイルからの磁束によって誘導起電力が生じているわけだが、コイルの巻き数が80でコイルの長さが十分でなかったため、その磁束のすべてを誘導起電力にできず誤差が生じたことも言える。

静電容量の方では、アルミフォイルを二枚ラップフィルムをはさんで重ねたが、その時、二枚が正確に重ね合わさっていなく実際には極板の面積が小さくなっていて理論値と差が生じたことが考えられる。リード部分で、二枚のアルミフォイルの長さがそれぞれ異なっていたので差が生じたことも考えられる。

課題１

エナメル線の直径は0.225mmであったのでｌは0.225×80=18.00mmとなる。測定値は18.65mmだったので理論的な状態より大きくなっていた。

長岡係数はｒ/ｌの関数でグラフはｒ/ｌが大きくなるとKが小さくなる右下がりのグラフなのでｌが大きくなるとKは大きくなる。また、をみてみるとｌが大きくなるとLは小さくなることが分かる。ｌが大きくなると長岡係数が大きくなるがは分子より分母のほうが非常に大きいので、KよりｌのほうがLに影響を与えると考えられるので、Lはｌが大きくなると小さくなる。

課題２

をについて書き換えて

となる。を(3)式より求めた4.77×Fとし、Cを(2)式より求めたとすると、空気を誘電体とするコンデンサーの静電容量は18.45×となる。

(3)式で比誘電率を１として計算してを求めると7.39×m=7.39μmであった。

課題３

LC回路は損失はないが、銅線などの内部抵抗、今回の実験では自作コンデンサーの内部抵抗により抵抗Rが直列に接続しているかのようになり、Q値は小さくなる。このとき(LCR回路)のQ値は

と表せられる。

二番目の共振回路のQ値は11.37、L＝、C＝4.77×だったので、これよりこの回路の抵抗値を求めると、

=1872.7Ω＝1.9kΩ

であった。このRで消費されたエネルギー分の損失がありQ値は小さくなったと考えられる。

５,参考文献

「理工学部1年　自然科学実験　物理学編　2009」　　　慶応義塾大学理工学部，2009

「基礎教養　物理学実験」白井俊二・河本俊平・山本宗一・阿部健著　学術図書出版社発行　1973