**実験題目**：インダクタンスと静電容量

**実験目的**：自作のコイルとコンデンサーを使った回路を用いて電気的共振を観察し、インダクタンスと静電容量を測る。

**実験原理**：コイルとコンデンサーは、抵抗器と同じように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（ハイパスフィルター）、積分回路（ローパスフィルター）などの様々な機能を持つ回路を作ることができる。

（１）インダクタンス

　　　 円筒形の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。このとき、Iが一定ならば電位差はゼロであるが、Iが変化するときはコイルを貫く磁束が変化するために、電磁誘導により電位差

　　 V＝L**

　　 が生じる。ここで、Lをコイルのインダクタンスといい、単位はヘンリー（H）で与えられる。

　　インダクタンスに角周波数ωの正弦波の電流I＝Isin(ωt＋)がコイルに流れていると、電圧Vは

　 V＝LωIcosωt＝LωIsin(ωt＋)

　　となり、電流に比べて電圧はだけ位相が進んでいる。

　　また、半径ｒの円筒の枠に、長さｌにわたって隙間なく巻かれた、総巻数の単層ソレノイドコイルのインダクタンスLは、ｒ≪ｌのとき、

　　 L＝×3.95×10 H

　　で与えられる。

　　　　　ただし、ｒ≪ｌでないときは、上式は成立せず、

　　　　　　L＝×3.95×10 H

　　　　　　という式が代わりに成り立つ。ここでKは長岡係数と呼ばれる係数であり、r/lの関数である。今回の実験ではこの式を使うことにする。

　　（２）静電容量

　　　電気を通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の電荷が電極に蓄えられ、コンデンサー（蓄電器）として働く。このとき、

　　Q=CV

　　　が成り立ち、Cをコンデンサーの静電容量といい、単位はファラド（F）で与えられる。

　　ここで、

　 I＝

　　　より、

　　 I=C

　　　 が成り立ち、これをVについて解いて、

　　 V=

　　　 と表される。ここに、I=Isinωtのとき、

　　 V=－cosωt＋α＝sin(ωt－)＋α

　　　となり、コンデンサーでは電圧は電流より位相が遅れる。

　　　 コンデンサーの極板の面積をS、極板間の距離をd、その間を占める物質の誘電率をεとしたとき、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、

　　 C＝ε

　　　で与えられる。このεは物質と角周波数ωに依存し、真空の誘電率εとの比

　　 ｋ＝

　　　を比誘電率という。

　　（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の交流電圧をかけ、Isinωtの電流が流れているとき、

　　 V＝（Lω－）Isin(ωt＋)

　　　となる。

＝→∞

　　　より、

＝＝

　　 　と、共振周波数が求められる。

**実験方法**：①インダクタンス

# １．円筒の枠にすべり防止のために、太いテープを巻き、導線を20巻きして、これを励振コイルとした。さらに、その横に細いテープを巻き、導線を100巻きにして、同様にリード部分を残した。そして、このリード部分の先端の被覆を紙やすりで削った。(コイルの寸法は結果参照)

　　　　　２．励振コイルをターミナル１と２に接続し、100巻きの主コイルをターミナル３と４に接続した。さらに、ターミナル３と４の間に静電容量1.04nFのコンデンサーを接続した。これに、ターミナル１と２の方を発振器に接続し、ターミナル３と４の方をオシロスコープに接続して、回路を作った。

３．発振器のfを変化させ､共振周波数fをオシロスコープで測定した。

４．振幅が最大値Ｖ₀としてとなるような、周波数f、f（f₁> f）をオシロスコープで探した。

５．測定した各周波数から、回路のQ値

　　　Q＝

　　　　　　を計算して求めた。

②静電容量

１．ホイルを二枚、ビニールシートを二枚用いて、コンデンサーを作った。(寸法は結果参照)このとき、極板同士を接触させないように気をつけた。

図１．コンデンサーの作り方

２．発振器のfを変化させ、共振周波数fをオシロスコープで測定した。

３．振幅が最大値Ｖ₀としてとなるようなf、f（f₁> f）をオシロスコープで測定した。

４．測定した各周波数から、回路のQ値を計算して求めた。

**実験結果**：①インダクタンス

振幅が最大V₀となるｆ₀は

＝358.8（ｋHz）

振幅がとなる、は、

＝352.8（ｋHz）

＝364.1（ｋHz）

となった。

　今、実験値から主コイルのインダクタンスLを求める。

よりであるので、



となる。

次に、コイルの形状のデータから主コイルのインダクタンスLを求めてみる。この実験に用いたコイルは、半径ｒ＝1.13×10［m］、コイルの巻き数N＝100、コイルの長さｌ＝2.07×10[m]であり、

これよりr/l＝0.54であり、実験書のKの値の表からr/l＝0.50のときの値0.688を用いると、L＝3.95×10×より



となる。

また、Q値の値は、



　　　となった。

②静電容量

　　　振幅が最大値V₀となる周波数ｆ₀はｆ₀＝171.5（kＨz）、振幅が　となるｆ₁、ｆ₂は、

　　　ｆ₁＝162.8（ｋＨｚ）、ｆ₂＝181.0（ｋＨｚ）

　　　　となった。

これから自作したコンデンサーの静電容量Cを求めてみる。



となった。

　　　　　　次に、このコンデンサーの形状のデータから静電容量Ｃを求めてみる。鉛筆の直径は7.15ｍｍ、アルミ箔の横の長さは36ｍｍ、縦の長さは300ｍｍであるが、コンデンサー機能を持っている部分は264ｍｍである。今、このコンデンサーには、巻きついている状態で一番内側および一番外側のアルミ箔の片側しかコンデンサーとして働いていない部分Ａとそれ以外の両側がコンデンサーとして機能している部分Ｂがあることを注意すると、Ａの部分の長さは、直径が鉛筆と同じとして計算すると、

　　　　　　２×7.15×3.14＝44.9ｍｍとなり、Ｂの部分の長さは

　　　　　　264-44.9＝219.1ｍｍとなった。よって、このコンデンサーの局番面積は、

　　　　　　36×10⁻³×(44.9×10⁻³＋2×219.1×10⁻³)＝1.74×10⁻⁶(ｍ²)

　　　　　　となる。

　　　　　　よって、比誘電率、極板間距離ｄ＝1.0×10－⁴ｍより、　　　　　　このコンデンサーの静電容量Ｃは、

(Ｆ)

また、この回路のQ値は



となった。

**考察**：(１)誤差について

共振で求めたＬ、Ｃと形状から求めたＬ、Ｃの理論値を比較した表を下に示す。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Ｌ(×10⁻⁴Ｆ） | Ｃ（ｎＦ） |
| 実験値 | 1.89 | 4.56 |
| 理論値 | 1.68 | 5.39 |
| 精度(%) | 11.1 | 18.2 |

　まず、インダクタンスについて考える。精度は11.1%と、やや大きい誤差が出た。この原因について考えられるのは、

　　　①コイルに隙間が開いたこと

　　　②長岡係数Ｋの値が正確でなかった

　　　である。①では、これによりコイルが理想的でなくなるので誤差が出ると考えられる。②では、Ｋが0.01ずれるとＬの値が0.024×10⁻⁴Ｆずれるので、この誤差は無視できないと思われる。

　　　　次に、静電容量について考える。精度は18.2％と、かなり大きい誤差が出た。この原因について考えられるのは、

　　　①比誘電率としたが、これが正確ではなかったこと。

　　　②アルミホイルとビニールシートの間に隙間があったこと

　　　①では、が0.1ずれるとＣの値が0.15nFずれる。

　　　②では、隙間が存在するとｄの値が変わるため誤差が生じると考えられる。

　　　(２)Ｑ値の持つ意味について

　　　　Ｑ値とは、コイルの品質を表す記号で、値が大きいほどエネルギーの損失が少ないことを表している。これは、高周波回路では共振の鋭さを示す値として用いられていて、この値が大きいほど帯域が狭いことを表している。この実験における回路はＬとＣが並列につながれた回路であり、Ｑ値の値は



　　　で与えられる。また、直列の場合はで与えられる。

　よって、今回の実験の場合、Ｃが一定の時は、インダクタンスＬの値を小さくし、Ｌが一定の時は、静電容量Ｃの値を大きくすれば、Ｑ値は大きくなり､共振の鋭さが増すことになると考えられる。

　　　(３) 共振現象について

　共振とは、電気回路や機械系などにおいて、外部からある周波数（振動数）の振動を加えると、同じ周波数を持つ、より大きな振動がその系に生ずることである。その周波数は系固有のものであり、共振周波数（力学・機械系では固有振動数）と呼ばれている。風による共振の影響でアメリカのタコマ橋が落橋したことが有名である。

**参考文献**：実験書、フリー百科事典｢ウィキペディア｣(Q値) <http://ja.wikipedia.org/wiki/Q%E5%80%A4>

**謝辞**：実験の指導をしてくださった内山先生、どうもありがとうございました。