**目的**

自作のコイルとコンデンサ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。

**実験原理**

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。L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、コイル両端の電圧**は



（2）

である。－１≦≦１　なので、実験では＝１として近似する。

よって（２）式を変形するとより、

（これをコイルのリアクタンスという。）　　　（３）

この式によって、周波数をあげるとリアクタンスは大きくなるため電流は流れにくくなることがわかる。

一方で、コンデンサの場合は、

コンデンサに流れる電流はと表せるので、*I* = *I*0sinωtを流すと

　　　　　　　　　（４）

である。ここで、－１≦≦１なので＝１として近似すると（４）式を変形させ、より

（これをコンデンサのリアクタンスという）　　　（５）

この式から、コンデンサの電気容量が増すにつれリアクタンスは低くなることがわかる。

（３）と（５）のグラフを示すと以下のようになる。

では、次にコイルと、コンデンサを直列につないだときを考える。そのときの電圧は

　（６）

とあらわせる。ここで－１≦≦１　なので、＝１として近似すると　⇒　　　（７）

このとき、　⇔　　　のとき理論上は無限大となる。この現象を共振という。

Q値

理論上はにおいては無限大となるが、実際には導線の抵抗や誘電体の損失のためある有限の値にしかならない。また同様の理由によって周波数に対する電流のグラフは急峻なピーク曲線にはならず山型の曲線になる。そのため

となるに対応するが存在し、ピーク時の鋭さをQ値とすると、

　として計算できる。

よってコンデンサとコイルを直列につないだときの電流と周波数の関係のグラフは以下のようになる。

**実験方法**

1. **コイルの作成**
   1. 半径ｒのボビンに直径0.2mmの導線を励振コイルとして20回巻いた。
   2. 次に、励振コイルの上に幅10mmの細テープを巻いて、その上に主コイルとして直径0.2mmの導線100回巻きつけてコイルを作成した。
      * コイルを巻く際のポイント
        + 巻き始める前に端をテープで固定した。
        + ボビンには5～10回ずつ巻いて寄せた。
        + コイルがほどけてしまう場合は上から紙テープを貼り付けて固定した。
   3. 各銅線の端をカッターで被覆を取り除いた。
   4. ボビンの半径とコイル幅をノギス、マイクロメータで計測した。
2. **回路の作成**
   1. 主コイルと励振コイルの巻いてあるボビンを右図のように配線し、３と４の所に1.03ｎF、4.82ｎF、自作、の３つのコンデンサを順次接続した。
   2. そして、３と４の隣の端子をそれぞれ５、６とするとき５、６にはオシロスコープの入力に接続し、１，２を発信機の出力に接続した。（右図）
3. **測定（1.03ｎF、4.82ｎFのコンデンサを利用して主コイルのLを求める）**

**インダクタンスの実験**

　　　発信機の周波数を変え、その時の振幅（電圧）を記録しグラフ化する。

を測定　⇒　を計算　⇒を測定し、Lの実験値がわかる。

1. **自作コンデンサの作成**

市販されているアルミホイルを30mm×300mmの大きさにはさみで慎重に２枚と、それより幅の広いラップフィルム２枚をフォイル同士が接触しないように交互に重ね、ラップが外側、アルミホイルが内側になるように鉛筆に巻いてクリップで留めた。

1. **共振周波数の測定（自作コイルの電気容量を求める）**

**静電容量の実験**

主コイルと自作コンデンサを利用し、発信機の周波数を変え、その時の振幅（電圧）を記録する。Lは3.の実験で求めた実験値の平均を利用して自作コンデンサの実験値を求めた。

**実験結果**

**インダクタンスの実験**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 巻き数　N（回） | 半径（ｍ） | 長さ（ｍ） |
| １００回 | 0.01165（m） | 0.02150（ｍ） |

　主コイルについて

　共振周波数について

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| コンデンサの電気容量 | 1.03ｎF | オシロスコープに  表示された電圧[V] |
| 共振周波数　　　[kHz] | 371.1 | 1.20 |
| 1/2点周波数　 　[kHz] | 364.5 | 0.844 |
| 1/2点周波数　 　[kHz] | 377.7 | 0.844 |
| 任意の点周波数 | 356.3 | 0.500 |
| 任意の点周波数 | 384.7 | 0.500 |
| 任意の点周波数 | 339.7 | 0.250 |
| 任意の点周波数 | 401.8 | 0.250 |
| Lの実験値　[H] | 0.00017857 |  |
| Q値 | 28.113636 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| コンデンサの電気容量 | 4.82ｎF | オシロスコープに  表示された電圧[V] |
| 共振周波数　　　[kHz] | 173.1 | 0.500 |
| 1/2点周波数　 　[kHz] | 169.5 | 0.353 |
| 1/2点周波数　 　[kHz] | 177.2 | 0.100 |
| 任意の点周波数 | 193.3 | 0.100 |
| 任意の点周波数 | 155.6 | 0.100 |
| 任意の点周波数 | 132.0 | 0.050 |
| 任意の点周波数 | 213.8 | 0.050 |
| Lの実験値　[H] | 0.00017538 |  |
| Q値 | 22.48052 |

* Lの実験値は　　　⇒　によって求めた。
* Q値はによって求めた。

・・・一方で、Lの理論値は、

　[H]によって求める。このときのKは長岡係数といい、の関数によって決まってくる。実験時の＝0.5418だった。下の表は実験書に書いてあった長岡係数との関係を示した表だが、とりあえず、ここでは＝0.5418≒0.5として扱う。

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ｒ／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 | 0.365 |

すると、＝**0.000171553**

**まとめると、**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| コンデンサ[ｎF] | 理論値 | 1.03 | 4.82 |
| L　　　[] | 1.71553 | 1.78575 | 1.7538 |

**静電容量の実験**

製作したコンデンサの各部位の値

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 電極の幅ｗ(m) | 電極の長さｈ(m) | 電極間距離ｄ(m) |
| 0.03 | 0.30 | 0.0001 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 出力周波数 | オシロスコープに  表示された電圧[V] |
| 共振周波数　　　[kHz] | 206.3 | 0.300 |
| 1/2点周波数　 　[kHz] | 196.7 | 0.212 |
| 1/2点周波数　 　[kHz] | 216.3 | 0.212 |
| Q値 | 10.52551 |  |
| C　[ｎF] | 3.3629 |

* 自作コンデンサーの電気容量Cは、　⇒　とし、Lの値は、インダクタンスの実験で求めたLの相加平均値を利用した。
* Q値はによって求めた。

・・・一方でCの理論値は

極板としてのアルミホイルを鉛筆に巻きつけることによって、表面と裏面を極板として利用しているため、×２をする



比誘電率は3.5、断面積S=電極の幅ｗ(m)×電極の長さｈ(m)×２　を上式に代入すると

＝**5.5755[ｎF]**

よって、まとめると

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 実験値 | 理論値 |
| コンデンサの電気容量[ｎF] | 3.3629 | 5.5755 |

**実験考察（A実験について）**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| コンデンサ[ｎF] | 理論値 | 1.03 | 4.82 |
| L　　　[] | 1.71553 | 1.78575 | 1.7538 |
| 誤差の割合 | 0％ | 3.93％ | 2.18％ |

今回の実験で誤差が出てしまったことについて考察する。

**誤差の原因**

1. **導線の巻き数の真偽**

実験における励振コイルの巻き数は関係ないが、主コイルはインダクタンスに大いに関係がある。実験では自作コイルを作ったため、本当に100回ちょうど巻けていたかという保証がない。途中で、導線が飛び出してしまったり、数え間違いなども考えられる。

もし、コイルを101回、もしくは102回巻いていたとしたら、より、1.75001×、1.78484×となり、理想値は非常に実験値に近づく。しかし、1.03ｎFの実験と4.82ｎFの実験では同じ自作コイルを使用したのでコイルの巻き数が各々の実験で異なることはありえない。よって、コイルの巻き数が100回なのか101回なのか102回なのか、事実関係はわからない。

1. **長岡係数の値について**

理論値のKの値として、＝0.5418≒0.5のときの値の0.688という値を使用した。しかし、実際には＝0.5418という値が与えられているのでこのときの長岡係数を考える。0.5＜＝0.5418＜１なので考えられるKの範囲は0.526＜K＜0.688　でなくてはならない。しかしここで、の式で考えてみると、この式にK＜0.688を満たすKを当てはめると理論値は実験値から離れていってしまう。よって、長岡係数が誤差の主要因であるとは考えにくい。

1. **コイルの長さの問題**

実験には0.2mmのコイルを使用したのだが、100回きちんと隙間をうめながら巻いていったのにもかかわらずｌが21.5ｍｍという値になった。ということは、コイルが100回巻かれていたとしたら、1.5mm分の隙間が開いていたことになる。もし、隙間なく巻いたのならば、ｌの値は0.2×100＝20.0ｍｍなのでこれを＝1.8442×となる。この大きさの理論値となれば、②に述べた長岡係数に関して考えたときに、K＜0.688を満たすKをに入れても実験値に近づけることができるだろう。そうすれば0.6543≦K≦0.6662のとき、理論値は、1.03ｎFと4.82ｎFの実験値二つを満たすことができる。

1. **測定方法の問題**

今回の測定では、コイルにノギスをあてて長さｌを測定した。しかし、木の葉借り方では不安定であり、正確にはかることができなかった。また、オシロスコープにおける電圧の測定方法も目測であったため、信憑性にかける部分も多いかと思われる。また、発信機のつまみをごくわずかだけしか動かさなくてもオシロスコープの画面上では大いに電圧が変化してしまうという細かい作業だったのでの値が本当に最大周波数をとっているかどうかも確実ではない。

**実験考察（B実験について）**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 実験値 | 理論値 |
| コンデンサの電気容量[ｎF] | 3.3629 | 5.5755 |
| 誤差率 | 34.2% |  |

今回の実験で誤差が出てしまったことについて考察する。

①**極板となる面積の考え方**

実験は自作コンデンサを用いて行った。そもそも、アルミ箔を確実に30mm×300mmの形にきり抜くことは相当な努力が必要と思った。そして、アルミ箔の幅と長さを確実にものさしで測ったわけではないが、切り口が欠けたりして、理想のホイルの表面積よりも小さくなってしまった。また、アルミ箔の端15ｍｍ程度はビニールで挟んでおらず、極板間距離も十分に広くなってしまったので、実質285ｍｍの長さの極板として考えることができる。もし、285ｍｍ×30mmの極板の場合、理論値は5.29ｎFとなり、わずかだが理論値に近づいた。

②**２極板間のずれ**

また、鉛筆にぐるぐる巻いていくと、次第に上と下のアルミホイルがずれてきてしまうので、そのずれを±2.5mmとすると極板として働いているアルミ箔の断面積はそれぞれ5mmずつ考慮すると280ｍｍ×25ｍｍの極板と仮定することができ、そうすると理論値は4.3365nFとなる。

③**２極板間の隙間**

ビニールを巻いていくときにできる微妙な隙間である。極板間が広がると、コンデンサの電気容量は低くなる。もし、280ｍｍ×25ｍｍの極板で極板間距離が0.1mmでなく0.13ｍｍであったならば、理論値は実験値にかなり近い値である3.33ｎFという値を得ることができる。

④**測定方法の問題**

発信機のつまみをごくわずかだけしか動かさなくてもオシロスコープの画面上では大いに電圧が変化してしまうという細かい作業だったのでの値が本当に最大周波数をとっているかどうかも確実ではない。

**教科書問題**

*r*<<*l*のとき、コイル内の磁界*H*は一様で、で与えられる。コイルの磁束密度は、となる。

コイルの断面積をSとすると、半径ｒのコイルを貫く磁束はとなり、これが巻き数Nにわたってつながるので、コイル全体の磁束をとすると、



よって、真空の透磁率はより、

となり一致する。

**Qに関しての考察**

実験からわかったことは、Q値は電圧が大きければ大きいほどおおきくなり、電圧が小さくなればなるほど小さくなることがわかる。よって、電圧は電流と比例の関係にある（オームの法則）なので、Q値は電流が多く流れれば流れるほど大きくなり、電流が少なくなればなるほどQ値は小さくなるといえる。