1. 実験の目的

* 自作のコイル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。また、この実験を通してインダクタンス、静電容量および共振について理解を深める。

1. 原理

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。これらの３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、いろいろ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が変化するときコイルを通り抜ける磁束が変化するため、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）

と表せる。このLは比例係数でコイルのインダクタンスという。

半径ｒの円筒の枠に長さにわたって隙間なく巻かれた総巻数Nの単層ソレノイドのインダクタンスLはｒ≪のとき、

‥‥‥‥（２）

で与えられる。（ただしｒ、の単位は[]）

ｒ≪でないとき、

‥‥‥‥（３）

で与えられる。（Kは長岡係数）

(２)静電容量

コンデンサーの両電極の向か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[*F/m*]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、

‥‥‥‥（４）

また、（４）式を比誘電率を使って表すと、

‥‥‥‥（５）

となる。

(３)共振回路

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、その結果電流が流れていたとすると

‥‥‥‥（６）

すなわち、電圧Vの振り幅はとなるので、

との比は

‥‥‥‥（７）

である。故に、

‥‥‥‥（８）

のときは無限大となる。

‥‥‥‥（９）

であるをこの回路の共振周波数という。

３．方法

1. 実験Ａ インダクタンス

ボビンの下部に励振コイルとして導線を２０回巻いた。巻線の両端の被覆をサンドペーパーで除き、ターミナル１、２に接続した。次に、励振コイルから１ｃｍ離れたところから上部に１００巻の主コイルを巻いた。励振コイルと同様に導線の両端の被覆を除いてからターミナル３、４に接続した。さらにターミナル３、４の間に４．３２ｎＦのコンデンサーを接続して閉回路を作った。ターミナル１、２を発振器につないで正弦波を励振コイルに流しターミナル３、４の間に生じた交流電圧をオッシロスコープで観察した。発振器の周波数を広い範囲で変え、オッシロスコープ上の波形の振幅が最大値となる周波数（共振周波数）を測った。

1. 実験Ｂ 静電容量

幅３ｃｍ、長さ３０ｃｍに切ったアルミフォイルとそれより幅の広いラップフィルム２枚を交互にフォイル同士が接触しないように重ね、端から円柱に巻きつけクリップで固定して、コンデンサーとした。巻き終わりの部分の２枚のフォイルを３．２ｃｍ残し、リード線とした。そして先ほど作ったコイルのターミナル３と４に接続して閉回路を作り、実験Ａと同様にして共振周波数を測った。

４．結果

1. 実験Ａ インダクタンス

主コイル 総巻数Ｎ＝１００[回]

半径ｒ＝０．０１１５ [ｍ]

長さｌ＝０．０２７７５［ｍ］

コンデンサーの容量Ｃ＝４．３２［ｎＦ］

共振周波数 f0＝１６７［kHz］

1／√２点 f1＝１６２［kHz］

f2＝１７０［kHz］

Q値＝２０．８７５

 Ｌの実験値の計算：

より

 



 理論値との比較：



1. 実験Ｂ 静電容量

電極 幅 ＝３．０ [cm]

長さ ＝２６．８ [cm]

電極間距離ｄ＝０．０１ [cm]

共振周波数 f0＝２１７［kHz］

1／√２点 f1＝２０８［kHz］

f2＝２２０［kHz］

Q値＝１８．０８３

 Ｃの実験値の計算：

より







理論値との比較





５．考察

1. 実験Ａ インダクタンス

この実験における誤差として考えられる要因は、

* コイルが正確に隙間なく巻かれていなかった
* コイルが重なって巻かれていた
* コイルの巻き数が正確に100回でなかった
* 発信機の読み違い
* 発信機のメモリの誤差
* コンデンサーの誤差

1. 実験Ｂ 静電容量

この実験においては、誤差が大きかった。考えられる要因は、

* ラップフィルムの厚さ及び比誘電率が、正確でない。
* アルミフォイルをきちんと切れなかった。
* アルミフォイルがずれていた。
* 自作のコンデンサーに隙間が生じていた（空気が入った）。

この中でも、アルミフォイルがずれていたというのが一番の要因だと思われる。

ⅰ．インダクタンス

二つのコイルが互いに近いところにあるとき、その一方に電流ｉが流れれば、それによって生ずる磁束の一部φは他方のコイルを通る。もし、電流の値が変化することによって、この磁束の値が変化するならば、第２のコイルには、Faradayの法則にしたがって誘導起電力があらわれる。しかしながら、このような誘電効果を示すためには、コイルを二つ置く必要はない。コイルに誘導起電力があらわれるためには、そのコイル自身を流れる電流の値が変わればよい。この現象は自己誘導とよばれ、その結果現れる起電力を自己誘導起電力という。この誘導起電力は、ほかの誘導起電力とまったく同じように、Faradayの誘導の法則にしたがう。

まず、〈密にまかれた〉コイルやトロイドや長いソレノイドの中央部分について考える。これら三つの場合には、いずれも、電流ｉによってそれぞれの一巻きの中を通る磁束φは、どの一巻きについてもほぼ同じである。このようなコイルについてのFaradayの法則は、次の式であらわされる。



この式は総磁束の数Ｎφ（Ｎは巻き数）が、誘導をあらわす重要な量であることを示す。鉄のような磁性物質が近くにないならば、ある特定のコイルについては、その量は電流ｉに比例する。すなわち

ここで、Ｌは比例定数で、その素子のインダクタンスと呼ばれている。

Ｆaradayの法則から、誘導起電力は次のように書くことができる。

これからＬについて

という形の式を作ると、この式はコイルのインダクタンスを定義する式として使うことができる。その時、コイルはどんな形でどんな大きさであってもよい。これは、静電容量を定義するつぎのような式に対応するものである。

鉄などのような物質が近くになければ、Ｌはコイルに磁場が存在するということは、キャパシティーに電場が存在するということに対応する、重要なことがらである。

自己誘電起電力の方向は、Ｌenzの法則によって知ることができる。電池によって、コイルの中に定常電流ｉが流れているとする。そのとき、回路の中の（電池の）起電力を急に取り去ってゼロにしたとする。電流ｉはただちに減少しはじめる。この減少は、Ｌenzの法則について言えば、電流の減少に対抗しなければならない〈変化〉にあたる。電流の減少の対抗するためには、誘導起電力の方向は、電流と同じ方向でなければならない。コイルを流れる電流が増加するときには、Ｌenzの法則は自己誘導起電力が電流の方向と反対の方向に現れなければならないことを示す。どちらの場合にも、自己誘導起電力は、電流の変化に対抗するように起こる。

ⅱ．ＬＣ振動

 はじめ、コンデンサーＣは電荷ｑを持っていて、コンデンサーを通る電流ｉはゼロであると仮定する。この時点において、コンデンサーに蓄積しているエネルギーは次式である。

コイルにためられているエネルギーは

で与えられるが、電流がゼロであるから、これはゼロである。つぎにコンデンサーがコイルを通じて放電を始め、正電荷のキャリアーが動くとする。これはつまりｄｐ／ｄｔであたえられる電流ｉが、コイルを通る下向きの矢印のように生じることを意味する。

ｑが減少することにつれてコンデンサー中の電場にたくわえられるエネルギーも同様に減少する。このエネルギーは、コイルの中で増えていく電流ｉによってコイルのまわりに生じる磁場の中へ移っていく。このように電場は弱くなり磁場は強くなって、エネルギーは前者から後者へと移動するのである。

時間がたつと、コンデンサー中の電荷は全部なくなってしまっている。コンデンサー中の電場はゼロで、そこにたまっていたエネルギーは完全にコイルの磁場へ移ってしまっている。前述の式によると、コイルには電流－それも最大の値の電流が－流れていなければならない。たとえｑはゼロにあっても、（ｄｐ／ｄｔである）電流はその時にゼロでないことに注意せよ。

さらに時間がたつと、コイル中を流れる大電流は、正電荷をコンデンサーの上の極板から下の極板へと運び続ける。電場が再び形成されるに従って、エネルギーはコイルからコンデンサーへもどり始める。そしてついには、エネルギーは完全にコンデンサーへ移ってしまう。この状態は、最初の状態と似ているが、コンデンサーが逆向きに充電されている点が違う。

コンデンサーは再び放電を始めるが、こんどは電流は前とは逆向きに流れる。そしてやがて、最初の状態にもどる。その過程はある一定の振動数ν、あるいはνに対応する一定の角振動数ωをもって続いていくことがわかる。実際のＬＣ回路では、つねになんらかの抵抗があって、それがＪoule熱によってエネルギーを逃がしてしまうから、振動がいつまでも続くことはない。

1. 共振回路を用いた例

共振回路を用いたものにラジオがある。

これは、色々な周波数の電波が混信するので、共振回路を用いて受信したい電波の電流だけを大きくし、電波の電圧だけを取り出している。

1. 参考文献

* 電磁気学 川西 健次著
* 物理学Ⅱ ハリデー・レスニク著