５．直列共振回路

目的

抵抗―誘導―容量の直列回路に交流正弦電圧を加えて回路電流及び各素子の端子電圧を測定し、この直列回路に生ずる共振現象、すなわち、直列共振現象を理解する。

ダイアグラム, 概略図

自動的に生成された説明原理

図１のようなRLC直列回路を考えた時、

合成インピーダンスZおよび電流Iは、

図１．ＲＬＣ直列回路

また、

式より、の条件を満たすとき電圧Eと電流Iは同位相となり電流Iは極大値

I₀となる。この状態を直列共振と呼び、その時の角周波数を共振角周波数（ω₀）と呼ぶ。

条件より、　ω₀＝１/√LC、　I₀＝E/R

これらより式（１）を変形して、

ここでのQはQ=

である。上式は共振尖鋭度という。電流が極大値I₀の１/√２となる角周波数をω₁、ω₂とするとQ＝

とも表される。（ここでのｆ₀は共振周波数、ｆ₂、ｆ₁はω₁、ω₂の周波数）

このQはQ値といい、共振回路のよさを表している。

ベクトル軌跡

ベクトル軌跡とは、周波数を変化させたときの周波数による関数を複素平面上に描く軌跡のことである。抵抗の電圧についてを変化させたときの複素平面上でのベクトル軌跡は図 のような円を描く。

ダイアグラム, 設計図

自動的に生成された説明ダイアグラム, 概略図

自動的に生成された説明

図３．ＶＲのベクトル軌跡

図２．電圧ベクトル図

実験器具

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 器具名 | メーカー名 | 型番 |
| バイボーラ電源　増幅器 | KIKUSUI ELECTRONICS CORP | POW35-5 |
| 低周波発信機 | KENWOOD | AG-204D |
| デジタルマルチメータ | SANWA | CD771 |
| デジタルマルチメータ | ADVENTEST | R6441A |
| デジタルマルチメータ | TAKEDA RIKEN | TR-6855 |

その他　回路で用いた抵抗、コイルやコンデンサ

実験方法

1. 図２の回路を構成する。次に供給電圧を一定とし,周波数を可変した場合の回路電流および各素子端の電圧を測定する。ただし,抵抗R〔Ω〕,キャパシタンスC〔μF〕,インダクタンスL〔mH〕はR＝10.0（Ω）、43.0（Ω）、C＝0.696（μF）、1.005（μF）のうち抵抗とキャパシタをそれぞれ一つずつ用いる組み合わせ４つを使用する。
2. RLC各素子の組合せNo.1〜4を使用して次の手順で実験を行う。
3. 実験回路の供給電圧E= 3 V一定となるように調整しながら、周波数ｆを変化させ、回路電流が最大I₀となる共振周波数ｆおよび各素子端のVR、VL、Vｃを測定する。
4. 実験回路の供給電圧E= 3 V一定となるように調整しながら、周波数ｆ

を変化させ,回路電流が最大電流値I₀の1/ √2となる時の周波数ｆ₁、ｆ₂および各素子端のVR、VL、Vｃを測定する。

1. 実験回路の供給電圧E= 3 V一定となるように調整しながら、周波数ｆを1 kHz〜30 kHzまで変化させ、そのときの回路電流Iおよび各素子端のVR、VL、Vｃを測定する。
2. RLC各素子の組み合わせNo2を使用して、２と同様の実験を行う。
3. RLC各素子の組み合わせNo３を使用して、２と同様の実験を行う。
4. RLC各素子の組み合わせNo４を使用して、２と同様の実験を行う。

図４　実験回路

実験結果

実験２～５で以下のような結果が得られた。（表１～8）

また、ｆに対する回路電流I、VR,VL,Vcの関係を表した共振曲線を実験結果からと、理論からの計算式（ＲだけのものとＲＬを考慮したもの）から図示した。（図５～２０）理論からの計算式においてＲＬＣ直列回路のＩ，ＶＲ、ＶＬ、ＶＣは以下の式を用いた。（ＲＬを考慮した場合はR’=R+RL）

表１：図４の回路の測定結果No1（R=10Ω、L＝0.98ｍH、C＝0.696μF）



表2：図４の回路の計算結果No1（R=10Ω、L＝0.98ｍH、C＝0.696μF）



表3：図４の回路の測定結果No2（R=10Ω、L＝0.98ｍH、C＝1.005μF）



表4：図４の回路の計算結果No2（R=10Ω、L＝0.98ｍH、C＝1.005μF）



表５：図４の回路の測定結果No3（R=4３Ω、L＝0.98ｍH、C＝0.696μF）



表６：図４の回路の計算結果No3（R=4３Ω、L＝0.98ｍH、C＝0.696μF）



表７：図４の回路の測定結果（R=４３Ω、L＝0.98ｍH、C＝1.005μF）



表８：図４の回路の計算結果（R=４３Ω、L＝0.98ｍH、C＝1.005μF）



グラフ, 折れ線グラフ

自動的に生成された説明

図５～８実験２のＩ、ＶＲ、ＶＬ、ＶＣの共振曲線

**グラフ, 折れ線グラフ

自動的に生成された説明**

図９～１２.実験3のＩ、ＶＲ、ＶＬ、ＶＣの共振曲線

**グラフ, 折れ線グラフ

自動的に生成された説明**

グラフ, 折れ線グラフ

自動的に生成された説明図. 13～16.実験4のＩ、ＶＲ、ＶＬ、ＶＣの共振曲線

９～１２.実験3のＩ、ＶＲ、ＶＬ、ＶＣの共振曲線

図17～20.実験5のＩ、ＶＲ、ＶＬ、ＶＣの共振曲線

共振曲線のグラフを見ると、f-I,f-VRは対数グラフで対称だが、f-VL,f-VCグラフは左右非対称になっていることが分かる。I,VRは式(5)、(6)から考えると共振周波数ω₀を境にの符号が入れ変わるだけなので左右対称になっていると考えられる。一方、ＶＬが高周波数、ＶＣが低周波数で電源電圧に収束している。これは、低周波ではキャパシタのインピーダンスが大きくなるのに対しVRは式(6)のの部分がとても大きくなり０に近づき、インダクタのインピーダンスは０に近づくので、インピーダンスのほとんどが依存しているキャパシタの電圧ＶＣが電源電圧に収束し、逆に高周波ではインダクタのンピーダンスが大きくなるのに対し、VRは式(6)のの部分がとても大きくなり０に近づき、キャパシタのインピーダンスは０に近づくので、インピーダンスのほとんどが依存しているインダクタンスの電圧ＶＬが電源電圧に収束する。実験２、３の時は抵抗が小さいので、逆位相の状態であるＶＬとＶＣは大きさが電源電圧を超えるが相殺されるので問題はなく、抵抗が大きい実験４、５ではＱ値が下がり、電流と電圧の振幅が抑えられＶＬ、ＶＣは電源電圧を超えにくくなる。

１　回路電流Iについて、実験から得られた値が理論値を下回る原因として、インダクタンスの内部抵抗RLが考えられる。今回の実験で用いた内部抵抗RL＝0.72(Ω)は直列回路であるので単純にR´=R＋RLと考えてよいので電流の式(5)で考えると、　(5’)となり、考慮される誤差がおおむね近づく。

各素子端電圧と周波数の関係での理論値と実験の値の誤差が生まれる理由としても、内部抵抗ＲＬが考えられる。VR、VC、VLの測定値は、式(6)～(8)で示したように、回路全体のインピーダンスが大きくなることで小さくなる電流(式(5’))に比例しているからである。内部抵抗によって小さくなった電流に比例した電圧VR、VL、VCはそれぞれ

(の分子のRは内部抵抗を含まない抵抗だけに由来するのでそのままである。)となり、実際にＲＬを考慮しない理論値と考慮した理論値を比較したところ、ＲＬを考慮した理論値はかなり測定値に近づいていることが分かる。

2　　式(3)を用いた計算により得られるQ値は実験２ではQ₁=1/10・√(0.00098/0.000000696)≃3.752実験３，４，５も同様にQ₂≃3.122、Q₃≃0.873、Q₄≃0.726ＲＬを考慮した場合Q₁≃3.50、Ｑ₂≃2.91、Ｑ₃≃0.858、Ｑ₄≃0.714となる。（（3‘））　実験結果から得られるQ値はQ＝ω₀/（ω₂－ω₁）＝ｆ₀/（ｆ₂－ｆ₁）より、Q₁≃3.40、Q₂≃2.87、Ｑ₃≃0.877、Q₄≃0.737

実験結果と理論値でのQ値を比較すると、小さい抵抗（１０Ω）を使った回路の方が誤差が大きいと確認できる。これは、式(3‘)から考えると、内部抵抗を含んだ全体の抵抗のうち、内部抵抗の割合が大きくなる(小さい抵抗の)方が理論値よりもQ値が低くなる際の誤差が大きくなるからだと考えられる。

４、周波数ｆ（f₁、f₂）がＱ値に与える影響は、式(4)よりf₁―f₂が小さくなるほどＱ値は大きくなる。また、式(3)より、Ｑ値はRに反比例することが分かる。

ホワイトボードに書かれたイラスト

低い精度で自動的に生成された説明５、ＶＲのベクトル軌跡を図示するためにＩを複素数表示する必要がある。ＲＬＣ直列回路のインピーダンスは、となり、

この回路を３Ｖの電圧源に接続すると、ＶＲを　　　で表すと

テキスト, 手紙

自動的に生成された説明テキスト, 手紙

自動的に生成された説明

テキスト, 手紙

自動的に生成された説明

となるので計算からのベクトル軌跡はＲの値によらず図２１のベクトル軌跡が図示できる。実験３～５（組み合わせNo2~4）も同様のベクトル軌跡である。

図２よりであるので、を基準にして考えると実数成分が、虚数成分はであり、,であるのではより位相が90°進んでいて、はより位相が90°遅れている。よってを正の虚数成分、を負の虚数成分として考えると、実験の測定値(正の実数)を用いる場合、（）として考えることができる。これを用いてベクトル軌跡を図示する。（横軸をｘ軸、縦軸をｙ軸とし測定値VRを用いて、　としている。）

理論式からのベクトル軌跡(図２１)とその結果を重ねたものを以下の図22～図25に示す。

図２３.実験３のＶＲのベクトル軌跡

図２２．実験2のＶＲのベクトル軌跡

図２５．実験５のＶＲのベクトル軌跡

図２４．実験４のＶＲのベクトル軌跡

両者を比較すると、計算により図示したベクトル軌跡も、実験の結果から得られたベクトル軌跡も、どちらも円を描くことが分かる。また、計算により描いたベクトル軌跡は、理論式からのベクトル軌跡よりも少し小さい円を描いている。これは、内部抵抗の部分にかかる電圧の分、VRは電源電圧より小さくなるので、VRの測定値を基に描いている実験結果からの軌跡は、その分内部抵抗RLを考慮していない理論式からのベクトル軌跡より少し小さい円を描くのだと考えられる。この事は、内部抵抗が全体の抵抗に占める割合が小さい実験４、５のベクトル軌跡の方が、理論式からのベクトル軌跡に大きさが近いことからも考えられる。

メモ

式番号、理論軌跡

内部抵抗を考慮したときのＶＲの計算と、考慮しない場合との比較

Ｑ値内部抵抗による変化もう少し詳しく

実験からのベクトル軌跡なぜ角度は理論式なのか

ω₀の時の電流Ｉ₀を基準にし、

1/16

VLとVCの内部抵抗による誤差も考察

であり、内部抵抗を考慮した場合では、となり、それに比例するVR、VL、VCの測定値は