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。

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、

また、

式より、ωL－１/ωC＝０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。

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２　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１～４）

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２～１７）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

表１：図２の回路の測定結果と計算結果No1（R=10Ω、L＝0.98ｍH、C＝0.696μF）





表２：図２の回路の測定結果と計算結果No2（R=10Ω、L＝0.98ｍH、C＝1.005μF）





表３：図２の回路の測定結果No3（R=40.3Ω、L＝0.98ｍH、C＝0.696μF）





表４：図２の回路の測定結果（R=４３Ω、L＝0.98ｍH、C＝1.005μF）





図　～　　実験２のＩ、ＶＲ、ＶＬ、ＶＣの共振曲線

図　～　　実験３のＩ、ＶＲ、ＶＬ、ＶＣの共振曲線

図　～　　実験４のＩ、ＶＲ、ＶＬ、ＶＣの共振曲線

図　～　　実験５のＩ、ＶＲ、ＶＬ、ＶＣの共振曲線

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インダクタンスの内部抵抗RL＝0.72であり、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に当てはめて考えると、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、インダクタンスの内部抵抗ＲＬが考えられる。電圧の測定値は理論で示したように、回路全体のインピーダンスが大きくなることで大きくなる電流に比例しているからである。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。(図　、図　)

1. 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≃0.726また、ＲＬを考慮したＱ値はQ₁≃3.50、Ｑ₂≃2.91、Ｑ₃≃0.858、Ｑ₄≃0.714となる。

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、理論からの計算式Q＝（１/R）・√（L/C）に当てはめて考えると、インダクタンス内部抵抗RL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、理論よりＱ＝　　　　　であるのでf₁―f₂が小さくなるほどＱ値は大きくなる。また、理論より

別式Ｑ＝　　　　　であるので、ＲはＱ値に反比例することが分かる。

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

以上より、

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　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。

また、実験結果からは、ω₀の時の電流Ｉ₀を基準にし、電圧の大きさと角度（理論より　＝　　　　　　　　）を用いてベクトル軌跡を図示する。

その結果、図　～図　のベクトル軌跡が図示された。

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。

グラフから、ＶＬ，ＶＣについて、ＶＲと同様、

（位相差の関係でＶＬ＋ＶＣ