**『オシロスコープ』**

平成14年11月28日 実施

**１　実験目的**

電気計測において必要不可欠であるオシロスコープの基本的な使用法を学び、簡単な実験に応用させる。

**２　実験原理**

オシロスコープの基本的な働きは、入力電圧の瞬時値をブラウン管上に変位として表示することである。これによって、電気信号の時間変化を可視化し、周期的な信号ならばその周期や振幅を測ることもできる。また複数の信号を同時に入力し、それらの間の周波数比や位相差などを測定できる。

* **瞬時値**：その時間における電圧または電流の値

また実効値と対になる言葉である

**A 〈構造〉**

オシロスコープの最も本質的な部分は、表示部のブラウン管である。ブラウン管は電子銃、偏向電極、蛍光面から成る。電子銃は、陰極から出た電子を一定速度まで加速し細いビーム上の電子流にする。電子流は2組の偏向電極の電界を通過したのち、蛍光面に当たり輝点を生じる。2組の偏向電極の向きは直行しており、輝点は、それぞれの電極に加えられた電圧に比例して、水平方向（Ｘ軸方向）と鉛直方向（Ｙ軸方向）に独立に変位する。

**Ｂ 〈主な使用方法〉**

**ａ） 時間掃引**

時間tと共に直線的に変化する掃引電圧をX軸に加えると、輝点は水平方向に**等速運動**をする。したがって、時間的に変化する信号V(t)を同時にY軸に加えると、V(t)の図形が表示される。このとき掃引電圧はオシロスコープの内部で作られるので、外からの入力は必要ない。

信号波形が周期的な場合は、時間掃引を繰り返すことによって波形を継続的に表示できる。しかし掃引の周期が信号の周期と無関係だと、掃引毎に波形の位置が一定にならず、波形が移動して見える。波形を静止させるために掃引の周期を信号の周期の整数倍にすることを**同期**と言い、同期を取るためには掃引開始（**trigger**）を波形の１周期内の同じ点にあわせればよい。掃引開始の点を決めるためには、まず掃引開始の電圧(level)を決める。しかし一定の電圧における値は１つの周期の間に2点存在する。そして勾配(slope)を正→負、または負→正を設定し、どちらか一方の点だけを選ぶ。

同期を取る方法として、表示したい入力信号を利用する同期方法**internal trigger**、表示したい信号とは別の信号によって同期を取る方法**external trigger**がある。さらに、オシロスコープに電力を供給している電源（line）の50Hz(関東における電源の周波数)または60Hz(関西における電源の周波数)の正弦波による同期を**line trigger**といい、また、何にも同期を取らない掃引を**free run**と言う。

入力端子が２つ以上あるオシロスコープでは、複数の信号を同時に表示することができる。これによって、信号の周波数比や位相差などを容易に調べることができる。

なお、時間掃引を1回だけ行うことによって単発現象を観測することができる**single sweep**機能がある。

＊別紙プリントに図を含めた形で利用方法を含めた形で

説明してあるので、参考として同時に載せておく。

**ｂ) X－Y動作**

Y軸だけでなくX軸にも外部の信号を加える使い方をX－Y動作と言う。2つの信号をX軸とY軸に別々に加えると、両者の関係が図形になってブラウン管に表示される。両者の信号が正弦波のときに描かれる図形を**リサージュ図形**（**Lissajous figure**）といい、この図形を用いることで、２つの信号の周波数比や位相差を容易に測定できる。

**ｃ) ＲＣ回路の交流特性**

図１のようなＲＣ回路の性質を調べてみる

と、一般にＲ(＝抵抗)、Ｃ(＝コンデンサー)、

Ｌ(＝コイル)からなる回路に正弦波

　　　 ――― ①

を入力すると、正弦波は定常になったのち出

力はやはり正弦波

　――― ②

　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　図１

と表される。

そこで図２のように発信器から回路への入力信号をオシロスコープのチャンネル１へ、出力信号をチャンネル２へ接続し、時間掃引によって２つの信号を同時に表示する。

このとき位相差、振幅は次式で計算される。

図２　　　　　　　　　　　　　　――― ③

　――― ④

**ｄ) 音速の測定**

超音波送信器への入力信号と受信器の出力信号の位相差から、空気中の音速を求めることができる。発信器から出てくる周波数と正弦波の波長を求め、を利用して考えることができる。

**３　実験方法**

* 1. **ＲＣ回路の交流特性**

１　図３のように、入力信号をチャン

ネル１へ、出力信号をチャンネル

２へ接続した。そして発信器から

出る周波数ｆを広い範囲で変化さ

せて、振幅と位相差の変化

を観察した。

２　発信機から出力する電圧を、受

信器で測定される電圧をとして　　　　　　　　　図３

測定した。

３　Ｘ－Ｙ動作を行い、ブラウン管に表示されるリサージュ図形から次の値を測定した。２ｂはリサージュ図形における最大に長い点どうしを結んだ直線の値であり、２ｃはリサージュ図形とｙ軸の交点のｙ座標の距離である。図４に示した。

＊このとき周波数は  [Hz]の範囲で実験を行った。

４　結果から図形の様子を観察し調べた。

　　　　　　図４　リサージュ図形

* 1. **音速の測定**

１．図５のように、発信器とチャンネル

１の間に約40ｋＨｚを発する発信

器を置き、受信器とチャンネル２を

接続した。

２．Ⅹ―Ｙモードにしてブラウン管上に

リサージュ図形を描いた。そして受

信器を動かしていき、正弦波の位相

が半波長ずれたときの図形（右上が

りの直線）が描かれたとき、金属定

規を用いて送信器と受信機の距離を

測定した。このときの長さをと

して測定を２０回

とし20回測定した。

３．であるので、この結果　　　　　　　　　図５

の平均を用いの式から計算した。

４　３における実験値と実験室の温度を用

いた理論値を求め、２つの値を比較し

誤差を求めた。(実験室の気温　23.0℃)

**４　実験結果**

1. **RC回路の交流特性**

今回実験で測定した7つの異なる周波数に関する実験の結果

を以下のグラフに示す。

　　　表１　周波数と電圧、リサージュ図形の値

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ［Hz］ | ［Div］ | ［Div］ | 2b　［Div］ | 2c　［Div］ |
| 100 | 6.2 | 6.1 | 6.0 | 0.4 |
| 500 | 6.1 | 5.8 | 5.6 | 1.3 |
| 1000 | 6.0 | 5.5 | 5.3 | 2.2 |
| 1500 | 5.8 | 4.8 | 4.7 | 2.6 |
| 5000 | 5.7 | 2.0 | 2.1 | 2.0 |
| 10ｋ | 5.6 | 1.2 | 1.3 | 1.3 |
| 100ｋ | 5.5 | 0.3 | 0.2 | 0.2 |

　　　上の結果を用いて電圧とその結果を下に計算する。

　　　表２　周波数と電圧の関係

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ［Hz］ | ［V］ | ［V］ | ／ |
| 100 | 3.10 | 3.05 | 0.984 |
| 500 | 3.0.5 | 2.90 | 0.950 |
| 1000 | 3.00 | 2.75 | 0916 |
| 1500 | 2.90 | 2.40 | 0.827 |
| 5000 | 2.85 | 1.00 | 0.350 |
| 10ｋ | 2.80 | 0.60 | 0.214 |
| 100ｋ | 2.75 | 0.15 | 0.0545 |

ここではVolts/Div＝0.5の値を利用しているために

**(表１の値)×0.5＝(表２の値)**　として計算している。

また、表１をもとにしたリサージュ図形の関係を下に整理する。

　　　　　表３　周波数における値ｂ,cの関係

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ［Hz］ | 2ｂ　［V］ | 2ｃ　［V］ | 2ｂ／2ｃ | ［rad］ |
| 100 | 3.00 | 0.20 | 0.0666 | 0.0666 |
| 500 | 2.80 | 0.65 | 0.232 | 0.234 |
| 1000 | 2.65 | 1.10 | 0.415 | 0.428 |
| 1500 | 2.35 | 1.30 | 0.553 | 0.586 |
| 5000 | 1.05 | 1.00 | 0.952 | 1.260 |
| 10ｋ | 0.65 | 0.65 | 1.00 | 1.571 |
| 100ｋ | 0.10 | 0.10 | 1.00 | 1.571 |

＊　今回は有効数字2桁の実験であるが、この表２.３におい

ては4桁目を四捨五入し、有効数字3桁で考えている。

**＊グラフの作成＊**

別紙に今回の実験におけるグラフを添付しておく。

　　図a　「周波数と出力／入力の電圧の比の関係」

　　 図b　「周波数とリサージュ図形におけるb,cの比の関係」

1. **音速の測定**

実験結果を以下の表にまとめておく。

　　　表４　音速の測定による受信器の位置と波長の関係

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | [m] |  | [m] | 5波長　[m] | 波長λ　［m］ |
|  | 0.0055 |  | 0.0527 | 0.0472 | 0.00944 |
|  | 0.0105 |  | 0.0571 | 0.0466 | 0.00932 |
|  | 0.0153 |  | 0.0609 | 0.0456 | 0.00912 |
|  | 0.0201 |  | 0.0656 | 0.0455 | 0.0091 |
|  | 0.0252 |  | 0.0704 | 0.0452 | 0.00904 |
|  | 0.0299 |  | 0.0756 | 0.0457 | 0.00914 |
|  | 0.0343 |  | 0.0801 | 0.0458 | 0.00916 |
|  | 0.0391 |  | 0.0845 | 0.0454 | 0.00908 |
|  | 0.0435 |  | 0.0889 | 0.0454 | 0.00908 |
|  | 0.0476 |  | 0.0935 | 0.0459 | 0.00918 |
|  |  |  |  | 平均値 | 0.009166 |

**５　考察　－**理論値と実験値の比較－

1. **RC回路の交流特性**

交流回路の理論(④式)から次式が成り立つ。

　　　　　　　　　――― ⑤

ここで次の条件が成り立つとする。

　　　　　　　　　　 ――― ⑥

　　　　上の⑤式、⑥式より

　　 ――― ⑦

　　　　この⑦式がの理論値と考えることができる。

ここで抵抗の値とコンデンサーの電気容量は実験書より

　[Ω]　　　[]F

　　　　で与えられているので、⑥式よりは次式で与えられる。

　［Hz］　 ―――　➇

　　　また、このときブラウン管上に表示さえるリサージュ図形は下記の図５のような図形である。

　　　　　　　　　　　　図５

このリサージュ図形はＸ、Ｙ軸に次式を入力すると描ける。





この図上の点(0,ｃ)、または(0,－ｃ)はωt＝0、πの点であることより

 

 

以上のことより、実験値の位相差を求めることができる。

また、同時に理論値における位相差の計算式も載せておく。

（実験値の位相差）　　　  　――― ⑨

（理論値の位相差）　　　 　――― ⑩

以下にこの関係式⑨、⑩を用いた理論値と実験値を比較してみる。

　　表５　ＲＣ回路における実験値と理論値の比較

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | / | /(実) | /(理) | (実) | (理) |
| 100 | 0.06289 | 0.983 | 0.998 | 0.0666 | 0.0628 |
| 500 | 0.3145 | 0.95 | 0.954 | 0.234 | 0.305 |
| 1000 | 0.629 | 0.916 | 0.846 | 0.428 | 0.561 |
| 1500 | 0.9434 | 0.827 | 0.727 | 0.586 | 0.756 |
| 5000 | 3.145 | 0.35 | 0.303 | 1.26 | 1.26 |
| 10 ｋ | 6.29 | 0.214 | 0.157 | 1.57 | 1.41 |
| 100 ｋ | 62.9 | 0.0545 | 0.0159 | 1.57 | 1.55 |

　　　　これより周波数が大きくなると

1　出力される電圧に比べて、入力する電圧は極端に小さくなる。これは**（周波数が増加すること）＝（流れている電流が大きくなること）**と考えられ、電流と電圧は反比例するからである。

　　　　２　の値が大きくなる。すなわちリサージュ図形におけるb：cの比がｃよりもｂのほうが大きかったが逆転することになる。

　　　　　＊とは何か？　また＝の時に何が起こるか？

　　　　(⑤式より)

　　　　　　上の式において＝の時、つまりを代入すると

＝　　と計算できるので

　　が成り立つ。

よって、**がの実効値になるときのがである**。

したがっての時のが交流電圧であり、の平均値になっている。

＊　リサージュ図形の追跡

　　　　　　　周波数を変えていくことでリサージュ図形は形を変えていく。

これは上の表を参考にしてみると当然である。ここではいく

つか周波数に応じた図形を下に載せておく。

図６　＝100［Hz］

　図７　＝10ｋ［Hz］

図8　＝100ｋ［Hz］

1. **音速の測定**

表４より、発信器か出てくる正弦波の波長は［m］である。

これに今回の実験で用いた装置から発信される周波数[Hz]の２つから実験における音速を求める。

**〈実験値〉**

 より [m/s］となる

**〈理論値〉**

　より［m/s］となる

＊周期の測定＊

　　　　　今回の実験の周波数を38.16［kHz］として、この正弦波

の周期を計算すると ［s］として定まる。今回

の実験の正弦波の周期は早かったように思った。

　　　　　本来ならばここでブラウン管上に表示された正弦曲線を用

いて、周期・周波数を測定し、理論値と測定値を比較するべ

きであったが、測定を行い忘れたために実験値を得ることが

できなかった。

上の実験値と理論値による結果を比べてみると、大きな差は生まれなかったように感じる。この結果のズレは実験上におけるわずかなズレなどから生じたのかもしれない。

**（理論値）＝（実験値）　(誤差)**　の範囲に含まれているか、以下の「誤差の測定」において検討してみる。

**誤差の測定**

以下に今回の実験における誤差について考えてみる。

１　波長における誤差

　(1)　金属定規における検定公差　　　0.0005［m］

　　　　　(2)　波長に関する平均値の平均自乗誤差

　　　　　　　　　表５　波長の平均値の平均自乗誤差

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 波長［cm］ | 残差　［cm］ | [] |
|  | 0.944 | 0.0274 | 75.1 |
|  | 0.932 | 0.0154 | 23.7 |
|  | 0.912 | -0.0046 | 2.12 |
|  | 0.91 | -0.0066 | 4.36 |
|  | 0.904 | -0.0126 | 15.9 |
|  | 0.914 | -0.0026 | 0.676 |
|  | 0.916 | -0.0006 | 0.036 |
|  | 0.908 | -0.0086 | 7.40 |
|  | 0.908 | -0.0086 | 7.40 |
|  | 0.918 | 0.0014 | 0.196 |
| 和 | 9.166 | 0 | 137 |

ここで　　　を用いる。

よって平均値の平均自乗誤差は　　0.00039［m］と求められる。

よって検定交差と平均値の平均自乗誤差の２つの誤差の和が波長

の誤差となる。

＝　　0.00089［m］

２．周波数の誤差

　　今回は有効数字3桁として4桁目までとってあるので出力計において読み取った値の最後の桁を誤差と考えることにする。

　0.01　［kHz］

以上の結果を基にして誤差の伝播を利用し、速度の誤差を求める。



＝349.8　　34.06　［m/s］

　(＊理論値　345.5［ｍ/s］)

　　　精度は9.75％となる。

誤差を含めた実験値と理論値を比較してみると、誤差の範囲内に理論値は含まれた。しかしこれは有効数字が2桁であるために誤差が大きかったためからであると考えられる。また実験値による値と理論値による値のズレの原因は**出力計において、周波数が一定値に定まらずに、変動を続けていた**。よって限りなく正確な周波数の値をとることは不可能であったことが一番の要因だと僕は考える。他にも原因は考えられる。波長や気温の数値のわずかな読み違いなども、その１つと考えることができる。

しかし特別に大きな違いは生まれなかったので、今回の実験は成功だったと思っていいのではないだろうか。

**補足**：

今回の実験「RC回路の交流特性」で用いた回路は、何回路と呼ばれているか？

**ローパスフィルタ**と呼ばれていて、ラジオから出てくる音を聞きやすくすること

などに利用されている。

使われ方は、ラジオからの音声をイヤホンの端子などから入力して使っているが、ここでは良く使われる４つのフィルタについて紹介する。 低い周波数だけを通す**ローパスフィルタ**、高い周波数だけを通す**ハイパスフィルタ**、ある周波数の近傍だけを通す**バンドパスフィルタ**、ある周波数の近傍をカットする**ノッチフィルタ**の４つである。聞きにくい放送局を聞くときにはかなりの効果を発揮する。 特に雑音が気になるときはノッチフィルタが最も効果を発揮します。 高い専用の受信機を買うと付いていることが多い機能で、さらに効果の高いフィルタとして、**デジタルフィルタ**というものがある。 **DSP**(デジタル・シグナル・プロセッサー)というチップを用いて信号を処理するというもので音声を望むようにコントロールすることができるのである。

**６．感想**

　オシロスコープの簡単な実験における使用目的は、ある程度理解したように思う。しかし実用的に使うのは難しいのが、率直な意見である。きっと今までの電磁気を勉強してきた上で、使う機会が全く無かったことや日常生活で使っている場面に直面してこなかったからなのだろう。今回の目的である「基本的な使用方法を学ぶ」という課題は達成できたのだろう。簡単な「実験にオシロスコープを利用する」という課題は、完璧とはいかなかった気がした。

しかし数学で習っていたリサージュ図形を、ブラウン管上とはいえ、実際に初めて見た時には驚いた。２つの波長の関係を変えていくことで、図形は思いもよらない形を描くので、図形に関してはもっと多くの図形に直面したかった。

　もし今回の実験で学んだオシロスコープを今後の授業や実験を含めた中で、利用していく機会があれば今回の実験におけることをいかしていきたい。

　唯一の失敗だと思った点は、RC回路の交流特性において、ブラウン管上の正弦曲線の周期を読み忘れたことである。次からは実験のプリントにもしっかり目を通し、このような基本的なミスはなくしていきたい。

　最後に、今回のレポートを書く上で、何度も読み返し誤字脱字には最善の注意を払ったけれども、もし見つけた場合は御了承ください。

**７．参考文献**

　　　・自然科学実験　物理学編　　　　　　　　　　　慶應義塾大学 理工学部

　　　・　　物理学大百科　　　　　　　　　　　　　　　　　朝倉書店

* http://www1tokoha.ac.jp/staff/kdeguchi/hobby/radio/filter.html

　　　　　　　　(補足に関する資料の参考サイト)