**オシロスコープ**

**[目的]**

オシロスコープの基本的な使用法を学び、簡単なRC回路の周波数と振幅を調べる。また、常温における空気中の音速を測定する。

**[理論]**

オシロスコープの正式名称は、陰極線管オシロスコープである。交流などの時間とともに変化する電気現象を二次元的に陰極線管の蛍光面上に描かせ、その図形から定量的測定を行う電子計測器である。オシロスコープの特徴は、電気信号の時間変化を可視化し、周期的な信号の場合その周期や振幅の測定が可能である。複数の信号を同時入力した場合は、周波数比や位相を測定することができる。

***① オシロスコープの構造***

オシロスコープの基本的な部分のブラウン管は、図1に表示されているように電子銃、垂直偏向電極、水平偏向電極と蛍光板からなる。電子銃から一定速度で加速する細い電子ビームが放出され、2組の偏光電極の電界を通り、蛍光板に当たり輝点が生じる。輝点は互いに直交している偏向電極に加えられた電圧によって水平(x軸方向）、または鉛直(ｙ軸方向)に独立に移動する。

**図１ ブラウン管の部分**

***② 使用法***

**時間掃引：**時間ｔとともに直線的に変化する掃引電圧をx軸に加える。すると、

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

号を同時にｙ軸に加えるとの図形が表示される。信号波形が

周期的な場合、時間掃引を繰り返すことによって、波形を継続的に表

示することができる。だが、掃引の周期と信号の周期が無関係である

と、波形の位置が一定にならず波形が移動して見える。静止した波形

にするためには、掃引の周期を信号の周期の整数倍に調整する。この

操作を同期と呼ぶ。

**x－ｙ動作：** y軸だけでなく、x軸にも外部の信号を加える。二つの信号を独立に

表示して、両者の関係が分かる。両方の信号が正弦波の場合に描かれ

る図形をリサージュ図形という。この図形を使って、2つの信号の周

波数比や位相差を求めることができる。

***③ 音速の求め方***

変換器から直接オシロスコープに送った信号と超音波送信器と受信器を使った信号の波が表示される。よって、2つの波の振幅と位相差が分かる。理論的に考えれば、この2つの信号は同じ波を表示するはずである。周期を測定して、振動数に変換してを使えば音速を求めることができる。超音波は空中を通るため、測定値は理論値と誤差が生じることが予想される。

***④ RC回路の交流***

図2のRC回路の性質を調べてみる。一般に、R(抵抗)とC(コンデンサー)からなる回路に正弦波を



と表せる。これを入力すると、定常になった後の出力は正弦波で



と表せる。位相差は、図2と同じ接続でX‐Y動作にし、リサージュ図形から求めることができる。また、交流回路の理論から

 ➊

 ➋

と計算される。となるｆを特性周波数foと呼ぶ。すると、➊と➋式は次のように書き換えられる。

　　❸

　　❹

**[方法]**

**✫***実験A：時間掃引*

[時間的に変化する電気量の変化状態を静止した状態に調節する]

TIME／DIVダイヤルを「X-Y」以外の設定では、輝点は水平方向（x軸）に左右に等速運動をする。したがって、時間ｔに依存する電圧をチャンネル1または2に入力すると、鉛直方向をｙととるとあＹ=Ｖ(x)の形で表示される。1kHzの正弦波を発振器からオシロスコープのチャンネル1または２に入力して、波形を観察する。

**✫***実験Ｂ：X‐Y動さ*

[TIME／DIVダイヤル「X‐Y」の位置にすることによって、輝点がCH1とCH2への入力電圧に比例して水平軸(x軸)と鉛直軸に変位するを確認する]

TIME／DIVダイヤルを「X-Y」、垂直表示切替スイッチを「CHOP」、入力結合切替スイッチを「AC」に設定し、発振器から1kHzの正弦波をCH1とCH2に入力し、観察する。

CH1とCH2に別々の発振器から正弦波を入力し、両方の周波数ｆ１とｆ２をほぼ等しくし、観察する。また、ｆ１＝ｎｆ２（n＝1,2,3,4…）の場合を試し、様々なリサ－ジュ図形を観察する。図2の(a)-(i)の図形が見られる。

**図2**

**✫**応用課題1〈RC回路の交流特性〉

図２のようにRC回路で発振器から回路への入力信号をCH1、出力信号をCH2へ接続し、垂直表示切替を｢CHOP｣に合わせる。蛍光板に表示された2つの波形を観察して、周期と振幅(電圧)を測定する。図3のように接続する。

**図3**

**✫**応用課題2〈音速の測定〉

TIME／DIVダイヤルを「X-Y」に設定する。発振器を周波数40kHzに合わせ、CH1と超音波発信器に繋げる。また、超音波受信器をCH2に繋げる。発信器と受信器を定規の上に向かい合わせてセットし、蛍光板の波形で受信器と送信器の位相が一致することを確認しながら、1波長ずつ離す。その距離を定規から読み取る。この周波数と波長から空気中の音速を算出する。図4のように接続する。

**図4**

**[結果]**

**表1　実験課題1の測定結果**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| (Hz) | (V) | (V)  [測定値] | [測定値] | (V)  [理論値] | [理論値] |
| **500** | 4.8 | 4.6 | 0.96 | 4.58 | 0.95 |
| **1000** | 4.8 | 4.1 | 0.85 | 4.06 | 0.85 |
| **2000** | 4.6 | 3.0 | 0.65 | 2.86 | 0.62 |
| **3000** | 4.6 | 2.2 | 0.48 | 2.16 | 0.47 |
| **5000** | 4.6 | 1.5 | 0.33 | 1.40 | 0.30 |
| **7000** | 4.6 | 1.1 | 0.24 | 1.02 | 0.22 |
| **10000** | 4.6 | 0.75 | 0.17 | 0.72 | 0.16 |

C: 0.01

R: 10 

(Hz)

図4は表１のデータをグラフにしたものである。

図5は❹式を使って求められる位相と振動数の関係を表している。

**表２　実験課題2の測定値と誤差**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | (cm) | (cm) | (cm2) |
| **1** | 0.8 | -0.035 | 1.2310-3 |
| **2** | 0.9 | 0.065 | 4.2310-3 |
| **3** | 0.8 | -0.035 | 1.2310-3 |
| **4** | 0.9 | 0.065 | 4.2310-3 |
| **5** | 0.8 | -0.035 | 1.2310-3 |
| **6** | 0.9 | 0.065 | 4.2310-3 |
| **7** | 0.75 | -0.085 | 7.2310-3 |
| **8** | 0.8 | -0.035 | 1.2310-3 |
| **9** | 0.9 | 0.065 | 4.2310-3 |
| **10** | 0.8 | -0.035 | 1.2310-3 |

波長の平均：

周期T：

振動数：

波長：0.8350.018cm

を使って、となる。v＝331.5＋0.6tを使って、理論値を求めることができる。v＝331.5＋(0.6)(21.0)=344.1(m/s)となる。精度を計算すると、



となる。

**[考察]**

**注意：**ブラウン管の表示を明るくしすぎると、蛍光面が焼ける恐れがあるためINTENSITYつまみで明るさを十分下げておく。

* **実験Ａ：時間掃引**

信号の波形を観察するためには、位置は時間ｔに依存するのでx軸を時間軸とする必要がある。つまり、輝点の水平方向運動を時間に比例させればよい。よって、時間に比例する電圧を加えればいい。だが、加える電圧が高すぎると輝点は画面からでてしまい、波形が見えなくなってしまう。

また、掃引は輝点が左右に移動することをいう。このときに鉛直方向は垂直偏向板に加えた電圧を表している。

信号が周期的な信号の場合は時間掃引によって、波形を継続的に表示できた。だが、掃引の周期と信号の周期がまったく無関係である場合は、波形が一定の位置にならず動いて見えてしまった。

**◎ 実験B：X‐Y動作**

静止したリサージュ図形が見られるのは、x軸方向とy軸方向の両方に入力した信号の周波数が整数比の場合だった。x、y方向の入力信号を

 ❹

 ❺

とする、ここで、❹と❺式を使って簡単な整数比で表されるリサージュ曲線を表してみる。例えば、周波数比が1：1のときを考える。=のときfx＝fy＝fとすると、



 ❻

❻は直線の方程式なので、リサージュ図形も直線となる。また、＝の場合は傾きが負の直線になる。の時、

 ❼

 ❽

よって、❼と❽式をそれぞれ２乗して加えると次の❾式になる。



 ❾

❾式は楕円の方程式である。このとき、リサージュ図形は楕円を描く。また、＝3　　のときも同じようにに考えられる。

* **応用課題１**

入力信号と出力振動数はそれぞれ❶と❷式で表せた。これらの式は信号は正弦波であることを示している。また、❸と❹式は交流回路の理論より得られ、これらの式を使って。位相と出力電圧を求めることができる。

全体的に理論値に近い値が得られた。だが、誤差の原因を考える必要がある。まず、蛍光板から値を読み取るときに、波形が目盛りに間にある場合があった。ここで、調整せずに予想で読み取った。TIME／DIVダイヤルをもっと細かい値に設定したら、更に正確な値が得られた。例えば、2msに設定している時は、1目盛り2msを表す。だが、1msに設定すると横軸の目盛りの値が半分になり、正確さが増す。

微妙なずれが見られるのは、オシロスコープ自体の回路に微小な抵抗がある可能性がある。すると、発信器から送られている信号の電圧より低い電圧を表していることになる。

**◎ 応用課題２**

音波の測定実験では、振動数と波長を測定することによって空中の音速を求めることができた。理論値は、

v＝331.5＋0.6t

の式から求められた。気温21.0°Cだったので、v＝344.1(m/s)となった。測定値は、を使って求めると347.9(m/s)となり、1.09％の精度となる。この誤差の原因がいくつか考えられる。

1. 超音波受信器と送信器の位置
2. ドップラー効果
3. 室温
4. 周期の測定

①について

金属定規の上に超音波受信器と発信器を置いたとき、隙間があった。よって、受信器と発信器が垂直になっていなかった。結果としては、実際に定規から読み取った波長と超音波が動いた距離とでは、誤差がでてしまう。結果的には、異なった音速を計算してしまう。

②について

蛍光板を見ながら、超音波受信器を遠ざけたため正確に位置を止めたとしても、ドップラー効果によって誤差を含む波長を計算に使ってしまうことになる。ドップラー効果は波長を伸ばしてしまうため、実際の波長は測定した波長より短い。

③について

室温は実験を行った後に調べたため、実験を行った時から微妙に変わっていた。

v＝331.5＋0.6tから誤差を計算できる。0.1の温度差から19.89(m/s)の音速誤差が出てしまう。

④について

周期を蛍光板から読み取ったとき、目盛りの間だったためだいたいの値で測定した。微調整のダイヤルをオフにして測定をしたため、正確に測定できなかった。この原因は、微調整のダイヤルを使えば無視できる。

**[参考文献]**

（1）自然科学実験　物理編：慶應義塾大学理工学部、学術図書出版社、1999

（2）オシロスコープのすべて：岡田清隆、共立出版株式会社、1969