1. 実験目的

オシロスコープは電気計測において不可欠である。本実験ではオシロスコープの基本的な使用法を学び、RC回路の交流特性と音速の測定について応用実験を行う。

1. 実験原理

*オシロスコープの原理と構造*

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。これにより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の測定が可能になる。また、複数の信号を同時に入力して、それらの間の周波数の比や位相差なども測定することができる。

　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り、それは電子銃、偏向電極、蛍光面からなる。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状の電子流にする。電子流は二組の偏向電極の電界を通った後、蛍光面に当たり輝点を生じる。二組の偏向電極の向きは直交していて、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と鉛直方向に変位する。

　また，電圧信号の時間変化を観測するためには軸を時間軸にしなければならない。そのためには時間によって比例して増加する電圧を水平軸に加えればよい。

図1 オシロスコープのブラウン管の構造

1. *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軸に加えると、輝点は水平方向に等速直線運動をする。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。掃引電圧はオッシロスコープ内部で作られるので、外から入力する必要はない。

1. *X-Y動作*

TIME/DIVダイヤルを「X-Y」の位置にすると、輝点はCH1とCH2への入力電圧にそれぞれ比例して、水平方向（X軸）と鉛直方向（Y軸）に変位する。両方の信号が正弦波の時に描かれる図形をリサージュ図形といい、この図形から2つの信号の周波数比や位相差を容易に測定することができる。

3. 実験方法

1. *時間掃引*

（1）TIME/DIVダイヤルを「X-Y」以外の位置にし、1[kHz]くらいの周波数の正弦波を発振器からオッシロスコープに入力してその波形を観察した。表示切替スイッチは「CHOP」、トリガー信号源切替スイッチは「INT」、押しボタンは「CH1」を選択した。また、LEVELつまみによってトリガーのlevelとslopeを変えると表示がどのように変わるか、矩形波を入力するとどうなるか観察した。

（2）トリガー信号源切替スイッチを「LINE」にし、周波数カウンターをオッシロスコープに接続してから、発振器から正弦波を入力し、発振器のダイアルを回して波形が静止するところを観察した。

（3）トリガー信号源切替スイッチを「INT」にし、入力結合切替スイッチを「DC」にした。発振器から3[Hz]の正弦波を入力し、入力結合切替スイッチを「AC」にして波形の変化を観察した。また、1[kHz]の正弦波も同様に観察を行った。

*B. X-Y動作*

（1）TIME/DIVダイヤルを「X-Y」に，表示切替スイッチを「CHOP」に，CH1,CH2の入力結合切替スイッチを「AC」にして，発振器から100[Hz]くらいの正弦波を入力した。このとき画面に表示されるリサージュ図形を観察した。

（2）CH1,CH2に入力する正弦波の振動数をf1=nf2となるよういろいろに変化させ、そのとき表示されるリサージュ図形を観察した。

*応用課題1〈RC回路の交流特性〉*

図2のように、発振器から回路への入力信号をオッシロスコープのCH1へ、出力信号をCH2へ接続し、時間掃引によって2つの信号を同時に表示した。周波数fを広い範囲で変え，振幅Voと位相差Δφがどのように変化するかを観察した。また、同じ接続でX-Y動作にし、リサージュ図形から位相差Δφを求めた。

図2 RC回路

*応用課題2〈音速の測定〉*

図3のような音速測定装置を作り、発信機および受信機を金尺のうえに数cm離して乗せ、時間掃引によって2つの信号を同時に表示し、距離を少しずつ離していき、位相がそろったところの距離を測定した。なお、超音波発信機には40[kHz]くらいの信号を送った。

図3 音速測定装置

1. 実験結果
2. *時間掃引*

（1）CH1に1[kHz]の正弦波を入力し、TIME/DIVダイヤルを1[ms]に合わせると1周期あたり1目盛りの正弦波が表示された。LEVELつまみを回すと最初は表示が流れて、はっきりした波は表示されなかったが、あるところで同期をとり静止した状態で表示された。また、LEVELつまみを手前に引くと半波長ずれた正弦波が表示された。また、矩形波を入力すると2本の波線が上下に表示されて、はっきりした波は見られなかった。

（2）波形がほぼ静止して見えたのは、だいたい50[Hz]の整数倍の周波数だった。

（3）オシロスコープの入力結合をDCにして波形が画面一杯に表示されるようにし、ACに換えると、波形は上下の最大値の線の内側に収まった。つまり、振幅が小さくなったことになる。

*B. X-Y動作*

（1）y=xの直線が表示された。

（2）周波数の比が1:1, 1:2, 1:3, 2:3の時のリサージュ図形は図4のようになった。

位相差 0 π/4 π/2 3π/4 π

周波数比

1:1

1:2

1:3

2:3

図4 リサージュ図形

*応用課題1〈RC回路の交流特性〉*

オシロスコープに図5のような静止した楕円が観測された。

ここでは、実験書のとおり、X-Y入力によってできる

リサージュ図形から位相差を求めた。すなわち、

RC回路の入出力信号をX,Y成分として入力すると、

 、という、傾いた楕円の

リサージュ図形が得られるが、これのY切片(0、c)では

ωt=0またはπなので、、よって 図5 観測された楕円

これでΔφが求められる。

結果は表1のようになった。a=4.0Vのままであったが、これはaが入力信号であり、理論上は変化しない値だからである。また、図6、図7にそれぞれ、電圧比Vo/VI と周波数fの関係、位相差Δφと周波数fの関係を示す。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表1 測定結果 | | | | | | |
| 周波数 f[kHz] | a=VI [cm] | b=Vo [cm] | Vo/VI | c[cm] | -c/b | Δφ[rad] |
| 0.1 | 4.0 | 4.00 | 1.00 | 0.16 | -0.0400 | -0.04 |
| 0.2 | 4.0 | 3.90 | 0.98 | 0.36 | -0.0923 | -0.09 |
| 0.4 | 4.0 | 3.80 | 0.95 | 0.74 | -0.1947 | -0.20 |
| 0.5 | 4.0 | 3.80 | 0.95 | 0.90 | -0.2368 | -0.24 |
| 0.7 | 4.0 | 3.60 | 0.90 | 1.20 | -0.3333 | -0.34 |
| 1.0 | 4.0 | 3.40 | 0.85 | 1.50 | -0.4412 | -0.46 |
| 2.0 | 4.0 | 2.60 | 0.65 | 1.80 | -0.6923 | -0.76 |
| 4.0 | 4.0 | 1.60 | 0.40 | 1.40 | -0.8750 | -1.07 |
| 5.0 | 4.0 | 1.30 | 0.33 | 1.20 | -0.9231 | -1.18 |
| 7.0 | 4.0 | 0.95 | 0.24 | 0.90 | -0.9474 | -1.24 |
| 10 | 4.0 | 0.68 | 0.17 | 0.65 | -0.9559 | -1.27 |

*応用課題2〈音速の測定〉*

この実験で使用した超音波送信機は40[kHz]で最も効率よく超音波を出すので発振器から40[kHz]の正弦波を入力した。ここでは、入力波の周期が1つ分ずれると、波長の山がずれて重なることを利用して求めた。他の方法として、リサージュ図形が一回転することを利用して測定することもできる。なお、より正確性の高い測定結果を得るために、10波長分数えて10で割った値を波長とし、測定を2回行った。結果は表2のようになった。

表2 音速の測定

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 距離 [cm] | 波長 λ[mm] |
| 1回目 | 9.0 | 9.0 |
| 2回目 | 8.8 | 8.8 |

表より平均をとって、波長λは8.9[mm]となった。

また周波数カウンターで計測した発振器の正確な周波数は40.19[kHz]であった。

そこで v = fλより空気中の音速を求めると357.7[m/s]となった。

1. 考察

1）内部トリガーのlevelとslopeについて

LEVELつまみを回すことによってトリガーのlevelを調節することができる。このときlevelが振幅より大きくなると波形が正しく表示されない。これは、levelの値が観測対象の信号の最大値を超えたためで、表示開始のタイミングが合っていないからである。

トリガーを設定した場合、トリガーのlevelと波形が2点以上で交点を持つ場合がある。この場合はslopeで（LEVELつまみを手前に引く）、波形の傾きの符号を異符号にかえたりして、一方の点を選ぶことになる。

1. ライントリガーで波形が静止する条件

観測対象の信号に合わせている内部トリガーと、オシロスコープに電力を供給している電源（line）のトリガーのタイミングが合致すると波形は静止した状態で観測される。このとき電源の周波数は関東で50[Hz]だから、同期をとるのは100, 150, 200 …のように50の整数倍時の周波数であると考えられる。また、タイミングが合っていないと開始点のずれが生じるから、波形が流れて、はっきりとした波が表示されなくなる。内部トリガーとライントリガーの同期の仕組みの違いは内部トリガーの場合は周波数をいくら変えても同期しつづけることである。

1. 「AC」結合と「DC」結合について

オシロスコープの入力結合切替スイッチを使って、AC結合、DC結合の違いを調べた。DC結合にした場合は直流（0[Hz]）の値が表示されているが、AC結合の場合は交流の値だけが表示されている。普通、ハイパスフィルタ特性といって、直流がかぶってしまい、交流の値がうまく読めないが、AC結合にすることによってこれが解消できる。DC結合は直流から4[Hz]くらいの低い周波数成分を表示するときに用いる。一方AC結合は直流を取り除き、振幅の小さい交流成分を拡大するときに用いられる。

一般の電圧は交流と直流の両方の波が混ざってできている。周波数3[Hz]ではある時間内での電圧変化がほとんどないので、直流に近い性質をもつ。従って、AC結合によって取り除かれる。このとき振幅が小さくなるのは、直流の振幅を取り除く回路の影響を受け、低い周波数の信号の振幅が減衰されるからである。

4）リサージュ図形について

X軸、Y軸にそれぞれ外部の異なる発振器から信号を入力するとき、2つの信号の周波数が全く同じであるか、完全な整数比で表されるとき、オシロスコープには静止したリサージュ図形が表示される。この図形によって2つの信号の関係を視覚的に見ることができ、周波数比、位相差を測定することができる。しかし、ごくわずかな周波数のずれでも、周波数の比が完全な整数倍でなくなるので、リサージュ図形は変化する。実験で観測した限り、図形は静止せずに位相差の異なる図形が流れるように表示された。

5）RC回路の交流特性での測定結果について

交流回路の理論から



となる。

これよりVo、Δφの理論値を求める。

表3にVo、Δφの実験値と理論値を示す。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 表3 実験値と理論値の比較結果 | | | | |
| 周波数 f[kHz] | Vo [V] | | Δφ[rad] | |
| 理論値 | 測定値 | 理論値 | 実験値 |
| 0.1 | 3.99 | 4.00 | -0.06 | -0.04 |
| 0.2 | 3.97 | 3.90 | -0.13 | -0.09 |
| 0.4 | 3.88 | 3.80 | -0.25 | -0.20 |
| 0.5 | 3.82 | 3.80 | -0.30 | -0.24 |
| 0.7 | 3.66 | 3.60 | -0.41 | -0.34 |
| 1.0 | 3.39 | 3.40 | -0.56 | -0.46 |
| 2.0 | 2.49 | 2.60 | -0.90 | -0.76 |
| 4.0 | 1.48 | 1.60 | -1.19 | -1.07 |
| 5.0 | 1.21 | 1.30 | -1.26 | -1.18 |
| 7.0 | 0.89 | 0.95 | -1.35 | -1.24 |
| 10 | 0.63 | 0.68 | -1.41 | -1.27 |

Δφについては最大で30%以上の誤差が生じた。この原因として、まず、周波数の誤差があげられる。周波数は発振器のダイヤルを回して合わせるがこれには必ず誤差が出てしまう。次に、a,b,cの値について目測により測定を行ったため誤差が生じたと考えられる。また、周波数が大きくなるにつれてリサージュ図形がつぶれてきて値が読みづらくなってきた。そのため、倍率を上げて読み取ろうとしても図形が上下にずれるので、やはり読みづらいことに変わりはない。さらに、オシロスコープでは最小目盛りが0.5mmと粗い。その他にも、回路や導線の抵抗、抵抗の発熱が挙げられる。

6）音速の測定結果について

まず、音速の理論値を求める。実験室の室温は23℃であったので、

音速の理論式　　v = 331.5 + 0.6t

より音速は345.3[m/s]となる。

測定値357.7[m/s]との相対誤差は、3.6%となった。

誤差の原因としては、まず、温度計の誤差が考えられるが、理論式から、温度のみによる誤差はそれほど大きく生じないことがわかる。すると、周囲の空気の微弱な振動、また、波の伝わり方は媒体の状態によるから、湿度も誤差の原因として考慮することができる。また、回路や導線の抵抗、抵抗の発熱も挙げられる。

より精度の高い測定結果を得るには距離を測る回数を増やし、また、測定器具をより精度の高いものにして、音波の波長の測定精度を上げればよいと考えられる。特に空気の振動や湿度などの外的要因を受けにくい測定器具があればよいと思う。

TA（寺田）からのコメント：

音速の測定で、波長λ＝8.9mmという2桁の値から、音速を357.7m/sという4桁の値にしている。数値の桁数の取扱には注意を要する。

応用課題1のグラフは表計算ソフトで作画したものであるが、対数目盛りにしていないため、100～1000Hzの間にプロットが集中して非常にわかりにくくなっている。対数目盛りの設定はないか、ソフトウェアを確認してみること。（←多分オレがレポを作ったExcel97にはそんな設定はないと思う）