# 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が、このオシロスコープの基本的な使用法を学び、簡単な実験に応用できるようにする。

# 実験背景

## オシロスコープとは 　オシロスコープの基本的働きは、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り、これにより電気信号の時間変化を視覚的に観測可能にして、入力した電気信号が周期的なものであればその周期や振幅を測ることができる。また、オシロスコープは複数の信号を同時に入力して、それらの信号の周波数比や位相差なども測定可能である。本実験で用いたオシロスコープは２０MHzまでの信号に応答するものであったが、標準的な機種としては２００MHzまでの信号に対応するものがある。さらに、最近ではメモリーや演算機能を備えた機種も普及している。

## 構造 　オシロスコープのブラウン管が主たる部分であり、電子銃・偏向電極・蛍光面から成る。陰極から出た電子は電子銃により一定速度まで加速された後、２組の偏向電極による電界を通過し、蛍光面に当たって輝点を生じる。２組の偏向電極は互いに直行しており、電子はそれぞれの電極にかかる電圧に比例して、水平方向（X方向）と鉛直方向（Y方向）に同区立に変位する。 　他の部分は入力信号の増幅回路や時間掃引（後述）のための掃引電圧発生回路などがある。

## 主な使用法

### 時間掃引 　時間ととも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。このとき、同時に時間的に変化する信号V（ｔ）をY軸に加えてやると、V（ｔ）の図形が表示される。この際の掃引電圧はオシロスコープ内部で作られるものであるから、外部からの入力の必要はない。 　信号波形が周期的なとき、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。このとき、波形を静止して表示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“同期をとる”という。同期をとるには、trigger（掃引開始）を波形の１周期内の同じ点にあわせればよい。そのために、まず、level（掃引開始の電圧）を決める。周期性のある信号では１周期の中に同じ電圧になる点が２点存在するから、slope（勾配）を＋か－に決める。ここで、掃引速度を速くすれば画面上に波形の一部だけが表示されるようになり、逆に遅くすれば何周期かの連続した波形が表示されるようになる。 　以上のように表示したい入力信号を利用する同期方法をinternal trigger(内部トリガー)という。 　一方、表示したい信号とは違う別の信号を使って同期をとる方法をexternal trigger（外部トリガー）という。 　さらに、line（電源）の５０Hzまたは６０Hzの正弦波によって同期をとる方法はline trigger（ライントリガー）という。 　また、同期を足らない掃引のことをfree runという。 　入力端子が２つ以上あるオシロスコープを使うと複数の信号を同時に表示することができ、これを用いて信号の周波数比や位相差などを簡単に調べることができる。 　single sweep機能では、その名のとおり時間掃引を１回だけ行なって、その単発現象を観測することもできる。

### X－Y動作 　Y軸だけでなくX軸にも外部信号を加える使い方をX－Y動作をいい、ふたつの信号を別々に加えると、両者の関係を視覚化できる。加える信号がふたつとも正弦波のときに描かれる信号をリサージュ図形（Lissajous figure）という。この図形を観測することによって、ふたつの信号の周波数比や位相差を測定することができる。

### 操作方法

#### 時間掃引とX－Y掃引の選択 　時間掃引を使う場合は、TIME/DIVダイヤル を回して、適切な時間掃引速度（０.５s/cm～０.２μs/cm）をHOLD OFFを「NORM」にしたときに表示通りの掃引速度になる。Ｘ－Ｙ掃引モードにするにはTIME/DIVダイヤルを「Ｘ－Ｙ」に合わせればよい。

#### 入力信号の接続、表示の選択 　入力する信号をINPUT X（CH１）かINPUT Y（CH２）、またはその両方に接続する。時間掃引の場合は、表示したい信号を垂直切替スイッチで選ぶ。二つの信号を同時に表示するときは「CHOP」または「ALT」にセットする。「CHOP」では約300kHzでふたつの信号を切り替えて表示する。一方「ALT」では１掃引ごとにふたつの信号を順番に表示する。また、垂直切替スイッチを「ADD」に合わせると、ふたつの信号の和が表示される。

#### 入力結合の選択、感度、位置調整 　入力信号のうち、直流から約４Hzまでの低周波数成分も表示させるときは、入力結合切替スイッチを「DC」にする。大きな直流電圧に重畳された小振幅の交流成分を拡大表示したいときはこのスイッチを「AC」にセットして、直流成分を除いた上、感度ダイヤルを順次右に回して感度を上げる。また、このスイッチを「GND」に合わせると、入力信号に関わらずゼロ電圧の位置が表示される。表示の上下左右位置の調整は各種つまみを回すココとによって容易に行なえる。

#### トリガー信号源の選択 　トリガー信号源切替スイッチは「INT」は内部トリガー、「EXT」は外部トリガー、「LINE」はライントリガーを意味し、目的に合うトリガー信号源を選ぶ。「INT」のときは、押しボタンでCH１（X）かＣＨ２（Y）を選択する。「EXT」のときは、EXT TRIG INPUT端子に外部信号を接続する。

#### 掃引モードの選択、トリガーの調整 　時間掃引のとき、中央の押しボタンは通常「AUTO」を選ぶ。また、トリガー信号の結合切替スイッチは「AC」にする。LEVELつまみを回し、また、押したり引いたりして希望する同期状態を探す。このスイッチを「FIX」に合わせると、LEVELが自動設定される。「AUTO」では同期がかかりにくいというときは押しボタンで「NORM」を選ぶ。「NORM」を選ぶと、同期がかかったときだけ掃引が行なわれる。

## 超音波素子 　超音波素子は同じもの２つで一組で、一方が超音波発生器、他方が超音波受信機として機能する。音として人間が聴くことはできないが、超音波発生器がスピーカ、超音波受信器はマイクロフォンとして機能する。

# 実験方法 　ここでは、ある操作の結果が先述の実験背景より明らかなものは省略する。

## 時間掃引 　最初に、オシロスコープに何も接続せずに、X－Y の位置に合わせていたTIME/DIV つまみを、0.5s に合わせた。それからTIME/DIV つまみを切り替え、他の値にしてみると、画面上の表示はどのように変化するかを観測した。 　次に、発振器とオシロスコープを、リード線で適切に接続した。それから発信器のコンセントを接続し、電源スイッチを入れ、周波数を 1KHz に合わせ、波形は正弦波とした。発振器の AMPLITUDE つまみはとりあえず適当な位置に設定して、後で、オシロスコープの画面に表示された波形を観測しながら調整することとした。オシロスコープ側の設定は、０.２ms/cmの時間掃引とした。そしてこの状態で表示される波形を観測した。

## 内部トリガー 　画面上に正弦波が表示されている状態から、水平方向位置調整つまみで、波形全体を右方向に移動させて、表示の開始点が見えるようにした。このとき、LEVELつまみを時計方向および反時計方向に回すと、波形の表示開始点はどうなるか観測した。このつまみをカチッというまで引っ張ると波形はどのようになるかも観測した。また、発振器からの波形を矩形波にかえて同様の観測をした。

## ライントリガー 　トリガー信号源切替スイッチを「LINE」に設定し、静止していた波形が正しく表示されなくなることを確認した。それから、実験系に適切に周波数カウンタを接続した。周波数カウンタの設定は、FUNCTIONボタンはFREQ Aとし、GATE TIMEつまみは右に限界まで回し、INPUT AボタンはON/OFFボタンだけを押すものとした。そして、発信器からの波形を正弦波とし、オシロスコープのTIME/DIV つまみの設定を適当に変更して、正弦波が静止しなくとも観測できるように設定した。発振器のダイアルを回し、1KHz程度から少しづつ周波数を変化させると静止しない信号波形が、ある周波数ごとにほぼ静止することを観察した。このとき、ほぼ静止した周波数の値を記録した。

## 低周波域の波 　まず、トリガー信号源切替スイッチを「INT」に戻した。それから周波数カウンタを実験系からはずし、オシロスコープの入力結合スイッチが「DC」になっていることを確認した。次に発振器の周波数を約３Hzに設定して、これに対応するようオシロスコープのTIME/DIV つまみの設定を適当に変更して正弦波として観測できるようにした。このとき発振器の AMPLITUDE ダイアルを回し、画面上に表示された正弦波の振幅が、画面の表示範囲の上下の幅に対して、ほぼいっぱいになるように調整した。その後、そのままの状態で入力結合スイッチを「AC」に切り替えて、どのような変化があるか観測した。

## 直流電圧に重畳された小振幅の交流を取り出す 　オシロスコープの入力結合スイッチが「DC」に成っていることを確認して上で、発振器から１kHz程度の正弦波を発生させて、オシロスコープのTIME/DIV つまみの設定を適当に変更して正弦波として観測できるようにした。このとき発振器の AMPLITUDE ダイアルを回してオシロスコープの画面上に比較的振幅の小さい正弦波が表示されるように設定した。この状態で、発振器の DC OFFSET つまみをカチッというまで引っ張り、適度に回して、交流信号に直流信号を重畳させた。この状態で、入力結合切替スイッチを 「AC」 に切り換えると、波形はどのように変化するかを観測した。

## Ｘ－Ｙ動作（同じ信号） 　発振器の DC OFFSET つまみを元に戻し、発振器の周波数を100Hz程度に調整した。TIME/DIV つまみを「Ｘ－Ｙ」に設定し、入力結合スイッチが「DC」になっていることを確認した。そして、周波数比が１：１、位相差なしのときのリサージュ図形が観測できる事を確認した。

## X－Y動作（異なる信号） 　発振器をもう一台用意して、2 台の発振器の周波数がほぼ同じ値になるように設定した。２台の発振器の周波数比を調節して観測されるリサージュ図形を記録した。

## 音速の測定 　２個の超音波素子と発振器、周波数カウンタ、オシロスコープを適当に接続し、発振器の周波数を周波数カウンタの値にしたがって４０kHzに合わせた。オシロスコープのDIV/TIMEつまみは４０kHz程度の波形が観測できるようにし、表示選択スイッチは「CHOP」に設定した。さらにトリガー信号の選択スイッチ⑩の「CH1」ボタンを押し、CH1 に入力された信号を基準に、2つの信号が表示されるようにした。そして超音波素子の距離がどれだけの変化すると位相差がなくなるがを観測して、計算によって音速を求めた。

# 実験結果 　ここでの(ア)から(ク)は実験方法の(ア)から(ク)に対応するものとする。

## 時間掃引 　オシロスコープは操作に対し実験背景で述べたとおりの動作と示した。１kHzの正弦波で、DIV/TIMEつまみを0.2ｍsに合わせると、約５マスで１周期の波形が画面上に観測できた。

## 内部トリガー 　LEVELつまみを回すと、トリガーをかける基準電圧が上下した。基準電圧は下限と上限があり、それぞれ一定以上になると波形が正しく表示されなくなった。また、これは発振器から発生させる波形が正弦波のときも矩形波のときも同様の結果が得られた。

## ライントリガー 　信号波形は１kHz、９５０Hz、９００Hz、８５０Hz・・・と５０Hzの倍数のときにほぼ静止した。

## 低周波域の波 　入力切替スイッチを「ＤＣ」から「ＡＣ」に切り替えると、波形の振幅が小さくなり、振幅の中心が画面上でほんの少し下がった。

## 直流電圧に重畳された小振幅の交流を取り出す 　入力切替スイッチを「ＤＣ」から「ＡＣ」に切り替えると、波形の振幅はほとんど変化せずに、振幅の中心が下がった。

## Ｘ－Ｙ動作（同じ信号） 　理論通りのリサージュ図形が観測できた。

## Ｘ－Ｙ動作（異なる信号） 　静止はしなかった理論どおりのリサージュ図形が観測できた。

## 音速の測定 　39.9695ｋＨｚのもとで、ふたつの入力波の位相差がなくなったときのマイクロフォン間の距離は7.2 mm、16.3mm、25.5 mm、34.5 mm、43.2 mm、52.0 mm、61.0 mm、69.6 mm、78.3 mm、87.0 mmであった。 　　　　　　　　　　　表１　音速の測定結果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | (mm) | (mm) | (mm) | (mm²) |
| 1 | 7.2 |  |  |  |
| 2 | 16.3 | 9.1 | 0.23 | 0.0542 |
| 3 | 25.5 | 9.2 | 0.33 | 0.1108 |
| 4 | 34.5 | 9.0 | 0.13 | 0.0176 |
| 5 | 43.2 | 8.7 | -0.17 | 0.0278 |
| 6 | 52.0 | 8.8 | -0.07 | 0.0044 |
| 7 | 61.0 | 9.0 | 0.13 | 0.0176 |
| 8 | 69.6 | 8.6 | -0.27 | 0.0712 |
| 9 | 78.3 | 8.7 | -0.17 | 0.0278 |
| 10 | 87.0 | 8.7 | -0.17 | 0.0278 |
|  | 合計 | 79.8 | -0.03 | 0.360 |
|  | 平均 | 8.87 |  |  |

平均自乗誤差は



となり、超音波の波長はである。ここで、より音速が求められ、その値は



である。ここで、周波数計の誤差は下２桁はほぼ影響しないので無視してよいものとすると、誤差の伝播により音速の誤差は、



である。

# リサージュ図形の課題 　別載

# 考察

## 内部トリガーの動作原理および level と slope の意味 　内部トリガーとは、オシロスコープで設定された基準電圧levelになった時点でトリガーがかけられるという設定で、時間掃引モードで周期的な波形の入力波の測定に用いられる。Levelとは、時間掃印モードで入力波の電圧がその値になったらトリガーをかける基準電圧のことで、周期的な波形には電圧が同じ値になるところが１周期以内に複数あるので、基準電圧を生の方向に通過したか不の方向に通過したかを分けて判断し、どちらの場合にトリガーを書けるかという設定のことである。

## ライントリガーで波形が静止する条件と用途 　ライントリガーは、表示がオッシロスコープに供給されている電源の周波数で行われる動作モードである。この実験では、東京電力から供給されている電源を使用しているため、この周波数は公称５０Hz である。すなわち、毎秒 50回の割合でトリガーがかかることになるので、入力波が周期的であり且つその周波数が５０Hzの倍数のとき、理論上は波形が静止して見えることになる。しかし、実際は入力波をライン電源の正確な整数倍の周波数にすることが困難なので、波形表示の開始点が少しずつずれて、波形がぶれてしまった。実験結果は、理論どおりの結果が得られた。

## 入力結合で、AC結合における直流の挙動と用途 　入力結合切替スイッチを「DC」に設定すると、直流成分と交流成分の両方が観測できる。一方「AC」に設定すると、直流成分を排除して交流成分だけを観測できるようになる。このとき、低周波域の波は直流成分の振幅の削減の影響を受けて、振幅が減衰する。４－(オ)はこれを示している。

## X－Y動作での、リサージュ図形について 　オシロスコープを X－Y 動作のモードにし、適当な周波数比の正弦波を CH1 と CH2 に入力すると、両者の振幅が X－Y 平面上で合成され、特徴あるリサージュ図形が観測される。また、逆に画面に表示されたリサージュ図形を観測することによって、二つの入力波の周波数比や位相差を知ることもできる。しかし実際は、2 台の発振器を使う場合、両者を完全に制御した状態にすることが困難なため、両者の位相差が徐々に変化する状態になる。このため、リサージュ図形は静止した状態にならず、徐々に形状を変化させていることろが観測される。

## 音速の測定について 　今回の実験で得られた音速は354.5ｍ/sであったが、音速に関しては次の経験式がる。 　　　　　〔ｔ：温度（℃）〕 実験室の室温は22.3℃であったから上の式に温度を代入すると、 　　　 であるから、実験結果はまずまずの結果であったといえる。平均自乗誤差が大きいのは、マイクロフォン間の距離の測定精度が低いためであると考えられるので、その測定精度を上げれば、この誤差は小さくなると考えられる。しかし、今回の実験方法ではこの程度の誤差は避けられないかと思われるので、やはり結果はまずまずであった。

# 実験を終えて 　今回の実験は結果や考察よりもオシロスコープの動作原理と操作方法の理解が重要であるように思われた。実験を通じてオシロスコープの基本操作を覚えることができた。