**１．目的**

・オシロスコープの基本的な使用法を学ぶ。

1. リサージュ図形を利用して二つの交流波の周波数比、位相差を見る。
2. 超音波送信器の入力信号と受信機の出力信号の位相差から、空気中の音速を求める｡
3. **実験原理**

＜実験原理＞

（ブラウン管）

ここでは構造の中心であるブラウン管の部分について説明する。ブラウン管は以下の「図：ブラウン管」の様に、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ある一定速度まで加速し細いビーム状の電子流にする。電子銃は2組の偏向電極の電界を通った後、蛍光面にあたり輝点を生じる。2組の平行電極の向きは直行していて、水平方向（X軸）と鉛直方向（Y軸）をそれぞれ変位させる。

　　電子はマイナスの電極を持つため、電圧をかけると水平方向と鉛直方向それぞれのプラス側に引き寄せられて変位する。変位の度合いはそれぞれの電圧の強さに比例するから、水平方向（X軸）の電極と垂直方向（Y軸）の電極にそれぞれ情報を持った電圧を加えることでモニターに特定の形の線が生まれる。X軸の信号とY軸の信号の比較によってそれぞれの波形が分かるようになっている。そのため、X軸（あるいはY軸）の波形が分かっていれば、もう一方が分かる。そのため、オシロスコープ内で作られる時間掃引の電圧が正しいことは非常に重要といえる。

（送信機と受信機の距離と波長）

　　送信機から放たれた超音波（周期s、周波数ｆ）は速さVで空気中を伝わっていくものとすれば、空気中を伝わっている音波の１波長分の距離λは

　　λ＝s×V

という式で表せる。よって、音速を求めるならば、

　　V＝λ/s

ここで、１/s＝ｆであるから、

　　V＝λ×ｆ　　　　　…　①

という式によって音速は求まる。

送信側の振幅の最大をｂ、角速度ωとおくとその振幅Y1は

　Y1＝ｂsin（ωｔ）

と表せるが、これに対応させて受信側の取る波形の振幅Y2は

　Y2＝ｂsin(ωｔ+(2πｐ/λ))

となる。そのため、送信機と受信機の距離が(4λ+ｐ)ならばオシロスコープにはCH1とCH2の波形は同波長で(2πｐ/λ)の位相差が生まれているものになる。

　言い換えれば、波形が重なった距離nλから受信側と送信側の距離を変化させ、再び波形が重なった距離を記録すれば、超音波の周波数を計測することで音速を求められる。

（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運動する｡信号波形が一定なときは、波形を断続的に表示できるが､そうでない場合は同期を行う｡同期とは､波形を静止させるために総引きの周期を信号の周期の整数倍にすることである｡同期を取るために、掃引開始を波形の1周期内の同じ点にあわせればよい｡

（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動作という｡2つの信号をＸ軸とＹ軸に別々に加えると、両者の関係を人目で見ることが出来る｡両方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という｡この図形から、2つの信号の周波数日や位相差を用意に測定できる｡

**３．実験方法**

「器具」

発信機×2、オシロスコープ、ワニ口クリップコード×6、定規、超音波送信機、超音波受信機、周波数カウンター

１．トリガの信号源はINT、入力結合は[GND]にし、そのときモニターを流れる点がY＝0（X軸上）を通るようにつまみを回した。

２． 発信機より1kHzの正弦波を設定し、オシロスコープのCH1に入れた。波形を観察し、最大電圧と周期を求め、それより周波数を求めた。

３． 入力結合の切り替えスイッチを[AC]、[DC]に切り替え、それぞれについて直流を加えた合成波になるよう垂直表示切り替えスイッチを[CH1][CHOP]と切り替え、波形の変化を見た。

４．PULL SLOPEダイヤルを回し、波形の変化を見た。

５．一方の発信機の周波数を２KHz,他方を１ＫＨｚにし、それぞれをＣＨ１とＣＨ２につないだ｡

６．つぎに、発信機１と発信機２の周波数を変え、そのとき出来たリサ－ジュ図形をスケッチした｡

（音速の測定）

７． CH1側に超音波送信機、CH2には超音波受信機をつないだ。送信機及び受信機を定規の上にはめ、距離を測定した。発信機の周波数はあらかじめ40kHzに設定し、そこからCH2の振幅が最も高い位置に周波数を合わせた。そのときの周波数をオシロスコープと周波数カウンターで測定し、その値から空気中での音速を求めた。またその日の室温を計り、　（音速）＝331.45＋0.607×（室温）　より音速の理論値を求めた｡

図１ オシロスコープの前面

**４．結果**

＜各スイッチの意味＞

1. ＴIME/DIV ： 時間掃引速度の設定
2. HOLD OFF ： ｢ＮＯＲＭ｣の位置では、１の表示通り。

それ以外の位置では中間的な掃引速度になる｡

1. 垂直表示切替スイッチ ： ＣＨ１ ｏｒ CH２ の選択

「CHOP」・・・約３００ＫＨｚで２つの信号の切り替え

｢ＡＬＴ｣・・・１掃引ごとに２つの信号を交互に表示

｢ＡＤＤ｣・・・２つの信号の和を表示

1. 入力結合切替スイッチ ： ｢ＡＣ｣｢ＤＣ｣｢ＧＮＤ｣の選択
2. 感度ダイヤル ： 感度の調整

⑥⑦ ： 表示の上下位置の調節

⑧ ： 表示の左右位置の調節

⑨切り替えスイッチ ： 「ＩＮＴ」､｢ＥＸＩＴ｣、「ＬＩＮＥ」の選択

⑩押しボタン ： 「ＣＨ１」か｢ＣＨ２｣の選択

⑪EXT TRIG INPUT端子 ： 外部信号を接続する｡

⑫押しボタン ： 「ＳＩＮＧＬＥ」｢ＮＯＲＭ｣｢ＡＵＴＯ｣の選択

⑬トリガ信号の結合切替スイッチ ： 「ＡＣ」｢ＡＣ－ＬＦ｣｢ＴＶ｣｢ＤＣ｣の選択

⑭LEVELつまみ ： トリガーの調節

1kHzの正弦波

振幅 １０ V

周期 0．45×0．02 ＝ ０．００９ ｓ

原理より、であるから、ｆ＝１１１．１１ Hz

測定値が １１０ Hz であるから 誤差 １.00％となる｡

リサージュ図形

（１） CH1 ： CH2 ＝ １２３ MHz ： １８５ MHz ≒ ２ ： ３

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

図２

（２） CH1 ： CH2 ＝ ２１１ MＨｚ ： ４９３ MＨｚ ≒ ３ ： ７

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

図３

表１　超音波送信機と受信機を用いて測定した距離

|  |  |
| --- | --- |
| 測定回数 | 測定値（mm） |
| 1 | 12.5 |
| 2 | 21.5 |
| 3 | 30.5 |
| 4 | 39.5 |
| 5 | 47.5 |
| 6 | 56.5 |
| 7 | 65 |
| 8 | 73.5 |
| 9 | 82 |
| 10 | 90.5 |
| 11 | 99.5 |
| 12 | 107.5 |
| 13 | 116.5 |
| 14 | 124.5 |
| 15 | 133.5 |
| 16 | 141.5 |
| 17 | 150.5 |
| 18 | 159 |
| 19 | 168 |
| 20 | 176.5 |

平均の波長 ８．５８ mm

周波数カウンターの周波数40.５０kHz

従って、 V= ８．５８×４０．５ ＝ ３４７．４９ m/s

一方、理論値は原理より、温度Tのときの音速は

V＝ 331.45 + 0.607×T

だから、 V= ３３１．４５＋０．６０７×２４＝３４６．０２ m/s

**５．考察**

１～４．（AC結合とDC結合）

入力結合の表す切り替えスイッチには[AC]、[DC]、[GND]がある。まず[GND]で入力信号に関係無くゼロ電圧の位置を表示するから、この状態で輝線がモニターの中心の高さの桝目に重なるようにする。これで振幅が正しく読み取れる。[DC]にセットすると、直流から約4Hzまでの低い周波数成分も表示できる。たとえば、この状態で発信機の直流成分を足す方向につまみを回すと、モニターの波は波形(振幅や周期)をそのままに、モニター上を上に移動する。[AC]では直流成分を無視して交流成分のみを表示する。例えば、この状態で発信機の直流成分を足す方向につまみを回しても、モニターの波形は一瞬上下するものの結局はその位置が変化しない。実験では交流成分しか見ないので、[AC]にセットしておく。

(トリガレベルの変更)

トリガレベルはPULL SLOPEダイヤルによって変更する。これにより同期を取る。同期を取るとは掃引の周期が信号の周期の整数倍にすることで、単純に言えば、CH１またはCH２にいれた信号の波形がモニターで止まって見えるようにすることである（ただし、その左の切り替えスイッチがINTになっていることが必要）。掃引電圧は時間とともに変化する掃引電圧で、X軸(横軸)に加えられる。これにより輝点が水平方向に等速運動をする。電圧が最高に至った後、一瞬で電圧は最小の値に戻る。そして最小のまま少しの時間t２～t３を置き、また電圧が上っていく。Y軸には、信号の振幅（電圧）が加えられるから、t１～t３の時間が周期の整数倍になれば波形が止まり、同期が取れる。

　（垂直表示切り替え）

　CH1とCH2に入れた信号を同時に表示する場合、[CHOP]もしくは[ALT]で二つの波形が表示される。しかし信号の走査方法が異なる点に注意しなければならない。[CHOP]では一つの時間軸でX軸とY軸の値を同時に読みとるのに対し、[ALT]では二つの信号を一回ずつ交互に走査するという形を取る。実験中は[CHOP]に設定した。

５～８．今までの掃引の仕方では、X軸にはオシロスコープ内で作られた電圧を表示していた。しかし、TIME/DIVダイヤルを一番反時計回りに回し、[X-Y]に合わせると、それはX-Y掃引といわれるものになる。このとき表示しているのは同時間毎のCH1(X軸)とCH2(Y軸)の電圧の値となる。

リサージュ図形は一筆で書け、かつある点からその点まで戻ってくる図形をしているため、それを「1周した」というならば、その間に必ずX軸、Y軸ともに、CH1、CH2の1周期の自然数倍していることになる。また、プラスとマイナスのそれぞれの最大値にいく回数はX軸とY軸でそれぞれ等しくなる。

1. 線の仕方により、CH１には発信機の周期と振幅の波の波形が映し出される。

また、送信側の超音波送信機の出す超音波の波はこれに影響を受け、発信機の作る波と同じ周期と、超音波送信機の効率の度合いによりそれよりも小さくなってしまった振幅の超音波を出す。CH2には、超音波送信機によって放たれ、空気中を伝い受信機に届いた音波の波形が映る。このときCH2の波形は、CH1と同波長で振幅はCH2のほうが小さいものになる。

　 また発信機の周期を調節してCH2の波形の振幅の最も大きい部分にあわせたのは、使用する超音波送信機には最も振幅の大きく強い音波を出せる周波数が存在する為で、その位置に合わせる事でCH2の波形を見易いものとするためである。

音速について

測定値は ３４６．０２ m/s

理論値は ３４７．４９ m/s となったため

誤差は ０．４２ ％ である。

両者の誤差を算出することで、実験の正確性と誤差要因について考察する。誤差はこの場合***０．４２％***となった。このことから実験は十分正確であったと結論づけられる。

続いて誤差要因について考察する。この場合最も誤差が出るであろうと予想されるものは、物差しの値を読むときの目分量による誤差である。また、送信機と受信機の間に空気の揺れがあっても結果に支障をきたすため、機器の移動に際して数値が変動した可能性がある。さらにこれに伴う空気の温度変化で、音速及び周波数が局所的に上下した恐れもある。

このことは逆に言えば、それらの要因がなければさらに正確な値を出せたということである。つまりこれだけの要因がそろっても誤差が低く抑えられるほど、元来の機器は精密であると結論づけられる。

***５．感想***

オシロスコープというものは、よく耳にしていたがあまり馴染みが無かった｡自分が思っていた以上にスイッチがあったので最初は戸惑ってしまった｡しかし、一度慣れてしまえば大変便利でかつ興味深いものであると感じた。また、リサージュ図形の美しい姿には聊か驚き、感動した｡