**＜目的＞**

* オッシロスコープの基本的な使用法を学ぶ。
* オッシロスコープを使い、音波の波長を求めて、そこから音速を求める。
* RC回路の交流特性を、オッシロスコープを使い、調べる。

**＜実験原理＞**

1. **オッシロスコープとは**
2. 構造

　オッシロスコープの構造は、基本的にトムソンの実験装置と同じである。ただし、トムソンの実験のときは、電子を加速させず、そのまま使っていたのに対し、オッシロスコープは電子銃を使い、電子を高速にし、電子流にして蛍光面（ブラウン管）に飛ばすのである。その間に、1対の偏向電極の電界を水平、垂直2組おき、ここの間を通すことで、電子をブラウン管の写したいところへ持っていき、輝点とするのだ。図１にその図を示す。カラーテレビも同じ原理を使っており、ただ、カラーテレビは、3本の電子銃を１つにまとめ、赤、青、緑の３つの電子ビームを発射するのだ。

1. 目的

オッシロスコープは、入力電圧の瞬時値をブラウン管上に変位としてあらわすことができる。そのため、1つの電気信号を入れ、その時間的電圧変化を見たり、複数（今回は2つ）の電気信号を入れ、それらの形づくるリサージュ曲線やグラフや図からその電気信号の電圧の関係が分かる。

1. 使用方法

使用方法には大まかに2つあり、時間的変化を見るは**時間掃引**と呼ばれる手法を使い、２つ(複数)の電圧の関係が知りたいならば、**X-Y動作**と呼ばれる手法を使う。この2つの手法は、次で記す。

　　　　　（時間掃引）

この手法を使うと、X軸方向に時間の変位、Y軸方向に電圧の変位をあらわす、グラフとして、オッシロスコープの画面上に現れる。もし、その波が、周期的なときは、波形を継続的に続けることができる。しかし、このような時でも、掃引の周期と信号の周期とが無関係ならば、掃引するごとに波形の位置が変わってしまい、移動しているように見える。波形を静止させるためには掃引の周期を信号の周期の整数倍にしなくてはならない。こうすることを**同期**という。同期を取るためには、掃引開始(trigger)を波形1周期内の同じ点に合わせればよい。

（X-Y動作）

　Y軸だけでなく、Xじく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１目でみることができる。とくに両方が正弦波のときに書かれるリサージュ図形は、形によって周波数比や位相差を容易に測定できる。

1. **実験：音速の測定**

　オッシロスコープのX-Y動作を使った実験である。振動数一定(ｆ)の超音波発信機と受信機を向かい合わせておく。２つの波は、音波なので正弦波、また受信側は間の距離の分だけ受信側は波が遅れて入ってくるので、位相差が生じ、オッシロスコープ上にはリサージュ曲線が表れてくる。間の距離をだんだんあけると、やがて、リサージュ曲線が元と同じ形になるときがくる。これは、位相差2πとなったためで、こうなったとき、同じ形が出たときの間の長さ同士を引くと一波長分の長さ(λ)が出る。あとは、v(音速)＝fλの公式に代入すれば、音速はでる。

**（２）実験：ファンクションジェネレーターの誤差**

今回行った実験の振動数は、機材についていた、ダイヤル式で合わせるもの

　　　を利用している。しかし、これにも誤差があるはずなので、オッシロスコープ

　　　で求めた。まず、ある一定の振動数にダイヤルであわせ、そのあと、時間掃引

　　　で、波を示し、一波長にかかる時間つまり、周期（T）をますを数えることで

　　　もとめる。そして、ｆ＝１/Tで振動数をだす。

1. **実験：リサージュ曲線**

　X-Y動作を使い、実際リサージュ曲線が、正弦波のｆとどのような関係を持っているのかを調べた。X軸、Y軸にそれぞれ異なった振動数を入れ、その形がどのようになるかを実際にたしかめた。

1. **実験：RC回路の交流特性**

図2のような回路の入力部と出力部をオッシロスコープにつなぎ、X-Y動作

　　　につなぎ、オッシロスコープ上にリサージュ曲線をとることで、入、出力間の

　　　位相差を見つけ、図2のRC回路の性質を見つける実験である。

　　　　　　①計算による位相差Δφを求めかた

　　　　　　　　Ｒ(抵抗)、Ｃ(コンデンサ)からなる回路(図２)に正弦波

　①

　　　　　　　　を入力すると、定常になった後の出力も

　②

　　　　　　　　の定常波となる。

　　　　　　　　なお、交流回路の理論から

　　　　③

　　　　④

　　　　　　　　　で位相差Δφと振幅V0が求められる。またこのほかの方法として、位相差はリサ

　　　　　　　　　ージュ図形を用いて求めることが出来る。

　　　　　　　　　②リサージュ図形による位相差Δφの求め方

　　　　　　　　　　　X軸、Y軸端子にそれぞれ

　　　　　　　⑤

　　　⑥

　　　　　　　　　　　を入力すると図３のようなリサージュ図形が

　　　　　　　　　　　得られる。図上の(0,c)点はま

　　　　　　　　　　　たはπの点であるから

 または 

　または 　　　　⑦

　　　　　　　　　　　これよりΔφを求められる。

**＜実験操作＞**

1. **オッシロスコープの初期設定**
2. まずコンセントを入れる。
3. 電源をONにする。
4. 輝点があらわれるので、輝度と焦点を調整して、ブラウン管が焼けない

　　　ようにする。

1. **音速の測定**
2. ファンクションジェネレーターに電源を入れ、ダイヤルを回して、４０kHzに振動数をあわせた。
3. オッシロスコープのチャンネル１の入力Xとファンクションジェネレータの出力の部分とを導線でつないだ。
4. 同じように超音波発信機とファンクションジェネレータの出力の部　分とを導線でつないだ。
5. 超音波受信機とオッシロスコープのチャンネル２の入力Yとを導線でつないだ。
6. 超音波発信機と超音波受信機を金尺の上においた。
7. オッシロスコープのTIME/DIVをX－Y動作のところに合わせ、両チャンネルVOLTS/DIYを１Vにあわせた。
8. 超音波受信機を金尺の上で移動させていくと、図５のようなリサージュ曲線ができるので、右上がりの一本の線になったときの距離を順に記録した。
9. ｎ回目とｎ＋１回目の、右上がりの一本の線になったときの長さの差が一波長よりｖ＝ｆλで音速を求めた。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Y |  |  |  |  |  |  |  |  |
| X |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

図５ リサージュ曲線（左から、位相差0、1/4π、3/4π、π）

1. **ファンクションジェネレーターの誤差**

①　（１）の状態から、図４の③をCH１のなっているのを確認し、TIME/DIV

　　　　　　　をX-Yから、5ms、2ms……(時間掃引)とかえていった。

1. しっかりとした波の波長が観察できるところにきたとき、ます数をかぞえ、周期（T）をだした。
2. ｆ＝１/Tに代入しｆ（振動数）をだし、ダイヤルのさす、振動数と比べた。
3. その他の振動数（500kHz、230kHz）に対しても行った。
4. **リサージュ曲線**
5. チャンネル１、チャンネル２を別々のファンクションジェネレーターにつないだ。
6. オッシロスコープのTIME/DIVをX-Y動作にあわせた。
7. 1,2両チャンネルのVOLTS/DIVが同じになっていることを確認した。
8. ファンクションジェネレーターの振動数を設定した。
9. リサージュ曲線がはっきりと見えないとき、VOLTS/DIVを同じだけ変えた。
10. これを、振動数比1：1、1：2、1：3のときについて行った。
11. **RC回路の交流特性**
12. ファンクションジェネレーターとRC回路の入力部をつないだ。
13. RC回路の入力部とチャンネル１を導線でつないだ。
14. RC回路の出力部とチャンネル２を導線でつないだ。
15. TIME/DIVをX-Y動作とした。
16. 100Hzにファンクションジェネレーターをセットする。
17. 両方とも正弦波なのでリサージュ曲線がでるのだが、はっきりと見えないとき、両チャンネルのVOLTS/DIVを同じだけ変えた。
18. このときの図3の２ｂ、２ｃの長さを測って記録しておいた。
19. ⑤～⑦を500、1k、5k、10k、100kの各Hzにおいて行った。
20. 次に図2の③をＣＨ１に合わせておき、TIME/DIVをかえ、時間掃引としておいた。（振動数は、いくつでも同じなのでどの値でもよい。）
21. チャンネル１のVOLTS/DIVを変え、波全体が見えるとなった状態の振幅をもとめ、入力部のボルトをだし、記録した。
22. 図2の③をＣＨ２にかえ、100Hzにファンクションジェネレーターをセットし、時間掃引のまま、⑩と同じことを行った。
23. ⑪を500、1k、5k、10k、100kの各Hzにおいて行った。

\*注：今回はR=10kΩ、C=0.01μFを使った。

**＜結果＞**

1. **音速の測定について**

周波数40kHzの超音波を発し、発信側と受信側との間の長さ（L）より、音波の波長をだして、音速を求めた。結果を表1に示す。

　　　　　表1．音速の測定結果（単位：m）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 回数（ｎ） | 測定値（Ｌｎ） | 測定値（Ｌｎ+１） | 波長（λ） | 音速（m/s） |
| 1 | 0.0115 | 0.0201 | 0.0086 | 344 |
| 2 | 0.0201 | 0.0292 | 0.0091 | 364 |
| 3 | 0.0292 | 0.0379 | 0.0087 | 348 |
| 4 | 0.0379 | 0.0468 | 0.0089 | 356 |
| 5 | 0.0468 | 0.0558 | 0.009 | 360 |

波長はLn+1－Lnより、Lの誤差が含まれ,また、振動数は、（2）の実験による誤差があるので、両方による、誤差の伝播が起こる。よって、誤差伝播の法則による音速の誤差の式は、

とあらわせる。波長（λ）の平均自乗誤差を求めると、表3のようになる。

表２．波長の平均自乗誤差（単位：m）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 波長（λ） | 平均波長 | 残差(δi) | 残差の2乗 |
| 0.0086 | 0.00886 | -0.00026 | 6.76E-08 |
| 0.0091 | 0.00886 | 0.00024 | 5.76E-08 |
| 0.0087 | 0.00886 | -0.00016 | 2.56E-08 |
| 0.0089 | 0.00886 | 4E-05 | 1.6E-09 |
| 0.009 | 0.00886 | 0.00014 | 1.96E-08 |

よって、平均値の自乗誤差の定義の式は



であり,それ値をに代入すると、δλ＝0.0000927362である。よって、　　　となり、これと(2)の結果を利用して①の式に代入すると音速の誤差は



よって、測定値の音速は、

ｖ=354.4±20.2(ｍ/ｓ)である。

1. **ファンクションジェネレーターの誤差の測定結果**

　ファンクションジェネレーター（FJ）にある一定の波長を流して、画面のますめを数えて、周期（T）を数え、振動数(f’)を出し、ファンクションジェネレーターのさす、振動数(f)と比べ、誤差を出す。

表３．ファンクションジェネレーターの誤差(単位：f=[Hz]T=[s])

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| FJの振動数(f) | マスメ数(個) | 周期（T)[s] | 振動数（ｆ’） | 残差 | 誤差(％） |
| 400000 | 1.35 | 0.000002668 | 374812 | 25187 | 6.30 |
| 500000 | 9.8 | 0.00000196 | 510204 | -10204 | 2.04 |
| 230000 | 4 | 0.000004 | 250000 | -20000 | 8.70 |
| 50000 | 9.7 | 0.0000194 | 51546 | -1546 | 3.09 |
| 40000 | 1.25 | 0.0000258 | 38759 | 1240 | 3.10 |

よって,誤差の平均を取ると、約4.65％の誤差があることが分かった。

1. **リサージュ曲線の測定結果**

実験して、得たリサージュ曲線の図を位相差0,0.25π,0.5π,0.75π,πの順で、書いた。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Y |  |  |  |  |  |  |  |  |
| X |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

⊿t=0　　　　　　　⊿t=0.25π　　　　⊿t=0.5π　　　　⊿t=0.75π　　　　　⊿t=π

図6．振動数X:Y比1：1のリサージュ曲線（X=sinωt,Y＝sinωt+⊿t）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ｘ | Y |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

⊿t=0　　　　　　　⊿t=0.25π　　　　⊿t=0.5π　　　　⊿t=0.75π　　　　　⊿t=π

図７．振動数X:Y比1：２のリサージュ曲線（X=sinωt,Y＝sin2ωt+⊿t）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Y |  |  |  |  |  |  |  |  |
| X |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

⊿t=0　　　　　　　⊿t=0.25π　　　　⊿t=0.5π　　　　⊿t=0.75π　　　　　⊿t=π

図８．振動数X:Y比1：3のリサージュ曲線（X=sinωt,Y＝sin3ωt+⊿t）

1. **RC回路の交流特性**

ファンクション・ジェネレーターの出力のおおよその周波数ｆ　と入力波の振幅VI、出力

　　　　　波の振幅VO 、リサージュ図形の２ｂ、２ｃ（図３参照）の関係は表９のようにまとめられる。

表４：ＲＣ回路の交流特性

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 振動数(f)[Hz] | f/fo | 入力電圧（Vi)[V] | 出力電圧（Vo)[V] | Vo/Vi | ２ｂ[V] | ２C[V] | ⊿φ(rad) |
| 100 | 0.0628 | 4.2 | 4.2 | 1 | 8 | 0.52 | 0.0650 |
| 500 | 0.314 | 4.2 | 3.9 | 0.92857 | 8 | 2.4 | 0.304 |
| 1000 | 0.628 | 4.2 | 3.6 | 0.8571 | 7.2 | 3.6 | 0.523 |
| 5000 | 3.140 | 4.2 | 1.25 | 0.2976 | 2.38 | 2.3 | 1.310 |
| 10000 | 6.281 | 4.2 | 0.8 | 0.190 | 0.248 | 0.248 | 1.570 |
| 100000 | 62.81 | 4.2 | 0.075 | 0.0178 | 0.025 | 0.025 | 1.570 |

注：foは、2πｆCR=1を満たす、振動数である。

この表をもとに周波数と振幅比VO/VIの関係を表したのが図10のグラフである。（別表）

**＜考察＞**

1. **音速の測定**

　音波のような弱い圧力変動が気体中を伝播する速度を音速と呼びます。弱いというのは、圧縮が等エントロピ的に行われると仮定して構わないという意味です。

音速は気体の温度のみに依存し、 一般に、気体や液体中の音速 Cは、質量密度 ρ、体積弾性率 ｋ＝－Ｖ＊ｄｐ/ｄＶ を 用いて によって与えられる。ここで、pは圧力、Vは体積です。

この実験の状況では、音波に伴う気体の状態変化が断熱変化とみなせることと、

空気は近似で理想気体とみなせることから、ポアソンの関係式を用いて体積弾性

率 κを計算することができる。計算するとｋ＝γｐ（γ=気体の比熱比）となり、

がえられる。圧力や密度は温度・湿度によって変化するので、音

速も温度・湿度の関数となります。０℃の空気のの密度（ｑ）は0.001293ｇ／ｃ㎡、１気圧

（Ｐ）はdyn／ｃ㎡で、γは実験書P.89より1.4であるから式に代入して(dyn

とは力の絶対単位であり１ｇのものにの加速度を生じるような力)



がえられ、これが０℃の時の音速である。０℃のときの圧力をＰｏ密度をｑ0とし、T℃の

ときの圧力をＰ、密度をρとすれば



であるから、ｔ0℃のときの音の速度は



ここでは０℃のときの音の速度であるから、これをＶ0とすると



Ｖ0の値は331.5m/sであるから代入して



今回、気温は、２６℃だったので、代入すると３４７．１(m/s)となり、理想値

が定 まった。測定値は、354.4±20.2(m/s)だったので、理想値は、誤差の範囲に含

まれており、実験は、成功したと言える。しかし、今回は普段に比べ、誤差の範囲

がとても大きかった。これは、どうしてだろうか？

一般に誤差は、防げないものである。主な要因として測定者に原因があるものや、

測定機器に原因があるものや外的要因が起こす誤差などがある。そのうち、今回、

今までの実験などよりも大きかった誤差の要因は後者の2つだと思う。まず測定

機器についてだが計測に使ったのが金尺で、測定可能最小単位が1mmと大きく、

0.1mm単位は自分の判断で定めるしかなく正確に測るとことができない。0.1

mm波長λが狂ったとしても、音速は、約1%（約4m/s）も狂ってくる。金尺の

公定誤差は、0.5mmより、この段階で5%～8％（20～32m/s）ほども狂ってきて

しまう。これを防ぐためには、精度が高い計測器、例えばレーダー計測器などを

使えば良かったと思う。また、音速は、外的要因として、温度に左右される。今

回において、気温は、 26℃だったが、温度計は、実験から離れたところにあり、

実際の測定中のその場の温度とはいいにくい。理由は、実験中いろいろな、電気

機器（オッシロスコープやファンクションジェネレーターなど）が起動しており、

その排出する熱や人間の放射熱のせいで温度計のところの気温より実際の温度は

高くなっていたからだ。理想値計算の式より、1℃温度が上がると、音速は0.6m/s

変わってくる。温度計を側においておき実験のつど、その場の温度を測れば、これ

を原因とする誤差は、少なくなったと思う。その他可能性としては、実験中に発し

た声と超音波が干渉したことなどもあると思う。

1. **ファンクションジェネレータの誤差**

ファンクションジェネレータの誤差は、（１）や（４）の実験の基本誤差とし

て、大きく関わってくる。これは、実験機器による誤差なので、この誤差を小

さくするには、実験前に予備実験として、ファンクションジェネレーターのな

るべく少ないものを選び、実験を行うか、実験中周波測定器を使い、正確に調

べた上で、使っていくなどの対策を取れば良いと思う。

1. **リサージュ曲線**

リサージュ曲線とは、Ｘ＝sin（ωt）とY=sin(ω’t+Δφ)によってできる図形

であり、ω：ω’の比とΔφによって大きくことなる図ができる。しかし、今回

は振動数の比を与えただけで、ω：ω’の比はかわらず、Δφが変化し続ける（つ

まり動く）リサージュ曲線がえられた。Ｘ＝sin（ωt）とY=sin(ω’t+Δφ)の2 つ

の式ではリサージュ曲線はある1つの図をかくだけなのにこれはどうしてか？

まず、ωはω=ｆ＊2πで表される。これにより、ｆは、与えられた値によって、

一定に定まっているので、ω、ω’は、一定なので比も一定に定まり、その比、

固有の形が取られる。さて問題であるリサージュ曲線が動く理由はＸにもＹに

もΔφとなるものがあるせいだと思う。Ｘ＝sin（ωt）は、振動数ｆ、波長λ、

初期変位ｘを使って表すと、で表せれており、Ｙも同様で

ある。便宜上Ｘは初期変位ｘ=0 として、Δφを０としているが、実験を行うときに、初期

変位を0とすることは、まず出来ない（どんなに0に近づけたとしても、誤差の範囲でず

れる）ので動くリサージュ曲線が出来るのだと思う。理想状態Ｘ＝sin（ωt）と

Y=sin(ω’t+Δφ)では動かないリサージュ曲線となるのだが、実際はととい

うΔφにあたるものがあったため、動いたのである。

1. **RC回路の交流特性について**

まず、理論値のΔφを実験原理（4）の③の式より求め、又、Vo/Viも実験原

理（4）の④の式より求め測定値と比べてみる。

表5．RC回路の交流特性

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 振動数(f)[Hz] | 測定値Δφ(rad) | 理想値⊿φ(rad) | 測定値(Vo/Vi) | 理想値(Vo/Vi) |
| 100 | 0.06504 | 0.06271 | 1 | 0.99803 |
| 500 | 0.30469 | 0.30425 | 0.92857 | 0.95407 |
| 1000 | 0.52359 | 0.56075 | 0.85714 | 0.8468 |
| 5000 | 1.3107 | 1.26248 | 0.29761 | 0.30345 |
| 10000 | 1.57079 | 1.41288 | 0.19047 | 0.15725 |
| 100000 | 1.57079 | 1.55487 | 0.017857 | 0.01592 |

少しずれているが、概ね誤差は、5％から10％の間である。これは、振動数の

誤差や２ｂや２Cの長さを測定する時の誤差などを考えると、最終的に誤差の範

囲内といえる。（2ｂや2cなどはますめを数えているため正確な誤差が分からな

かった。）誤差が生じた理由としては、最後の100kHzあたりでは、リサージュ曲

線を描く曲線(光線)が太く、あいまいな測定になってしまったことや、オッシロスコープ

の桝目の精度が悪かったことなどがある。

さて、今回使ったRC回路は、一般に積分回路といわれている。この回路の特徴は、

2つの電流の入り口のうち低い電圧の方だけをオッシロスコープに通す装置であるとい

うことである。またなぜこの回路が積分回路といわれるかというと、抵抗Rを通って流れ

込む電流IｓとフィードバックコンデンサCを充電する電流Iは等しくなるので，入力電

圧Vi，出力電圧Voとすると

 

となるから，結局



となり，積分によって、出力電圧VoがViによって定めることが出来るからである。

1. **実験を終えての感想**

はじめてオッシロスコープをつかったので、使い方が分からず、友人や先生にきいて

ばかりで、あっという間に実験が終わってしまった感じでした。でも、最後の方には何と

か1人で使いこなせることができるようになりました。これからもはじめて使う実験機器が

多く出てくると思うので、しっかりと1つずつやり方を覚えていきたいと思います。