

実験 10. オシロスコープによる波形の観察

オシロスコープ (oscilloscope) の原理・基本操作法

1. 目的

オシロスコープの原理を理解し、基本操作法を学ぶ。時間的に変化する電気信号をオシロスコープのブラウン管上で波形として観測し、また、マイクロフォンを用いて電気信号に変えた音波の波形を観察することによって、波についての理解を深める。

2. 「予習課題」 オシロスコープの使用法についてはテキストをよく読み、オシロスコープで使われている文字や記号とその意味およびつまみ・ボタンの役割についてよく読んでくること。

サイン (正弦) 波形 $y = \sin 2\pi t$ と $y = 2 \sin 0.5 \times 2\pi t$ をグラフ用紙 (A4 の 1mm 方眼紙) に描いてくる。横軸を時間軸 t 、縦軸を y にとること。

音によるうなり現象とはどのようなものか簡潔にまとめなさい。

必要に応じてその他の物理学実験書、高校物理教科書等を参考にする。

例 工科系の基礎物理学：高橋正雄著 (東京教学社)、オシロスコープ入門：田中新治著 (CQ 出版)

オシロスコープとは

オシロスコープは電圧信号の波形をブラウン管の蛍光面に表示して目で見えるようにした計測器である。電流、温度、音などの物理量も電圧の形に変換すれば観測できる。

3-1 オシロスコープの概略と基本操作法 (参考文献 オシロスコープ入門 田中新治著 CQ 出版社)

オシロスコープはブラウン管とブラウン管を作動させる多くの電気回路から成り立っている。

(1) ブラウン管の構造と原理

ヒータでカソード (陰極) が加熱されるとそこから電子が飛び出す。電子は負の電荷を持っているため、+極のアノード (陽極) にひかれて加速され、電子ビームとなって飛び出す (電子銃部・ガン)。電子ビームを上下の垂直方向へ曲げる垂直 (Y 軸) 偏向板、左右の水平方向へ曲げる水平 (X 軸) 偏向板、電子ビームが衝突して輝点となって見える蛍光面の 3つの部分からできている。偏向板に加えられた電圧に比例して電子ビームは上下左右に曲げられると蛍光面上では輝点の位置が電圧に比例して上下左右に移動して見える。

また、残光により輝点のつながった輝線として見える。

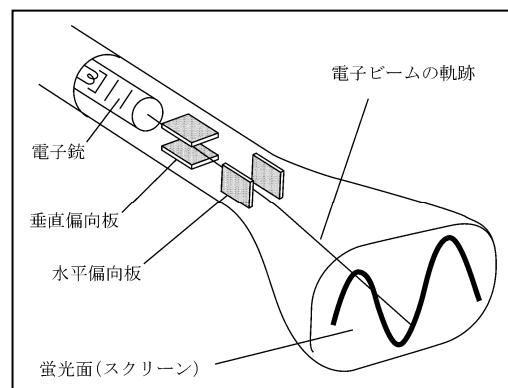
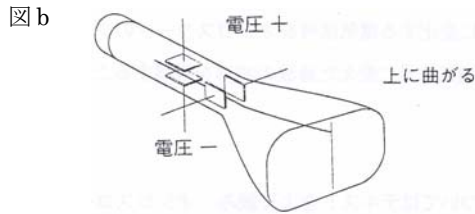


図 1

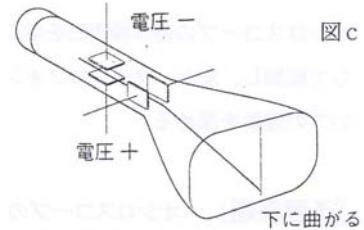
(2) 波形測定の原理

a) 垂直、水平偏向板に電圧を加えないとき ⇒ 電子ビームは直進する。

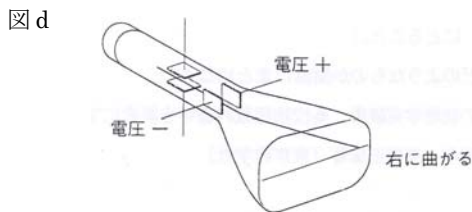
b) 垂直偏向板の上側に+電圧を加えたとき
⇒電子は-電荷を帯びているので電子ビームは+の偏向板（上側）に引っ張られて上側に曲がる。



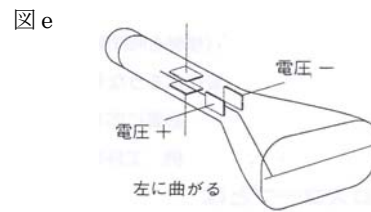
c) 図 b とは反対に垂直偏向板の上側に-の電圧を加えたとき ⇒電子ビームは+の偏向板（下側）に引っ張られて下側に曲がる。



d) 水平偏向板の右側に+電圧を加えたとき
⇒電子ビームは右側に曲がる。

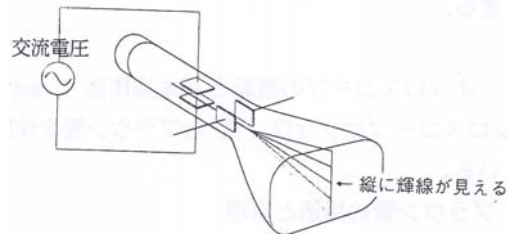


e) 水平偏向板の右側に-電圧を加えたとき
⇒電子ビームは左側に曲がる。

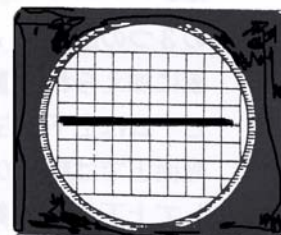
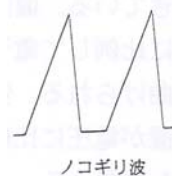


f) 交流電圧（正弦波）を垂直偏向板に加えたとき ⇒電子ビームは+側、-側へと交流電圧が変化するにつれて、輝点の位置が絶え間なく上下へ変化する。この繰り返しの変化が早いと、目には縦に1本の輝線として見える。

図 f



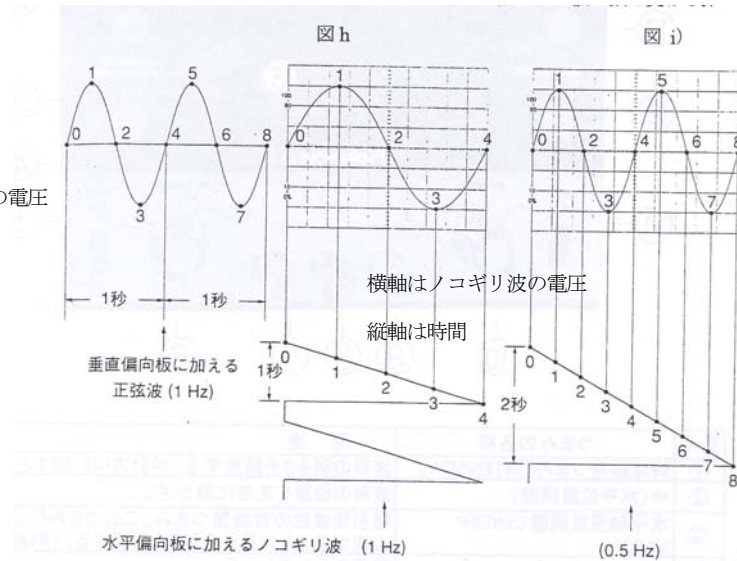
g) ノコギリ波を水平偏向板に加えたとき ⇒ f) では垂直偏向板に交流電圧を加えると輝線がみえるだけで電圧の時間変化はわからない。そこで水平偏向板に左から右へ電子ビームを一定速度で移動させる（偏向させる）ための電圧を加える。この操作をオシロスコープでは「掃引する」(sweepする) という。加える電圧波形はノコギリ波である。輝点は左端から右へ等速度で移動し、右端にたどりついたとたん消え、再び左端に現れ、前と同じように繰り返す。この繰り返しの変化が早いと目には横に1本の輝線として見える。水平軸は時間軸として扱える。



- g) 正弦波の信号を垂直偏向板に、同じ周期のノコギリ波信号を水平偏向板に同時に加えたとき ⇒ ブラウン管上には2つの波の電圧を合成した波形が表れる。どちらも周波数が1 Hzの場合、図hのような波形が見える。
- h) 図hと同じ正弦波信号を垂直偏向板に、周期の異なるノコギリ波信号を水平偏向板に同時に加えたとき ⇒ 正弦波周波数1 Hz、ノコギリ波周波数0.5 Hzの場合、図 i) のような波形が見える。(同じ周波数の正弦波でも掃引周波数を変えるとスクリーンに描かれる波の数は変わる。)
- スクリーンに描かれる波形

図 A

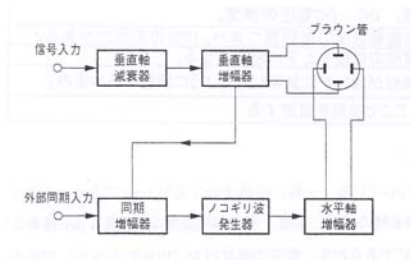
縦軸は正弦波の電圧
横軸は時間



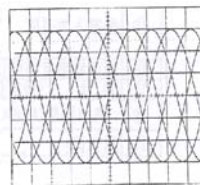
スクリーンの横軸の番号にあわせ、同じ番号の縦軸の値をグラフにプロットする

オシロスコープでは水平軸に加えるノコギリ波信号の周期によって 同じ入力信号であってもブラウン管に表れる波の数が変わる。垂直軸に加える信号の周期がノコギリ波信号の周期の整数倍のとき、スクリーン上の波形は静止して見える。(同期がとれているという。) 整数倍でないとき、波形は左または右方向に移動していくように見えたり、静止していてもいくつもの波が重なって見える。(同期がとれていないという。) しかし、信号の周期が一定であればノコギリ波の周期を変えることによって信号の波形を静止させて観測できるようになる。このことを「同期をとる」という。

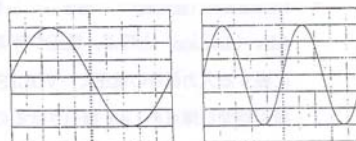
同期掃引方式のブロックダイアグラム



同期がとれていない 波形が静止しない



同期がとれている 波形が静止して見える



演習 1 ブラウン管で描かれる波形を実際に図示し、掃引周波数と信号電圧の周波数の関係を理解する。作図はレポートにとじ込み提出すること。

ここでは、グラフの水平軸方向には時間経過に比例して変化するノコギリ波の電圧、垂直軸方向には観測する波の信号電圧を描く。2つの電圧波形を合成して描かれる図形は、オシロスコープの蛍光面で観測される信号電圧の波形である。

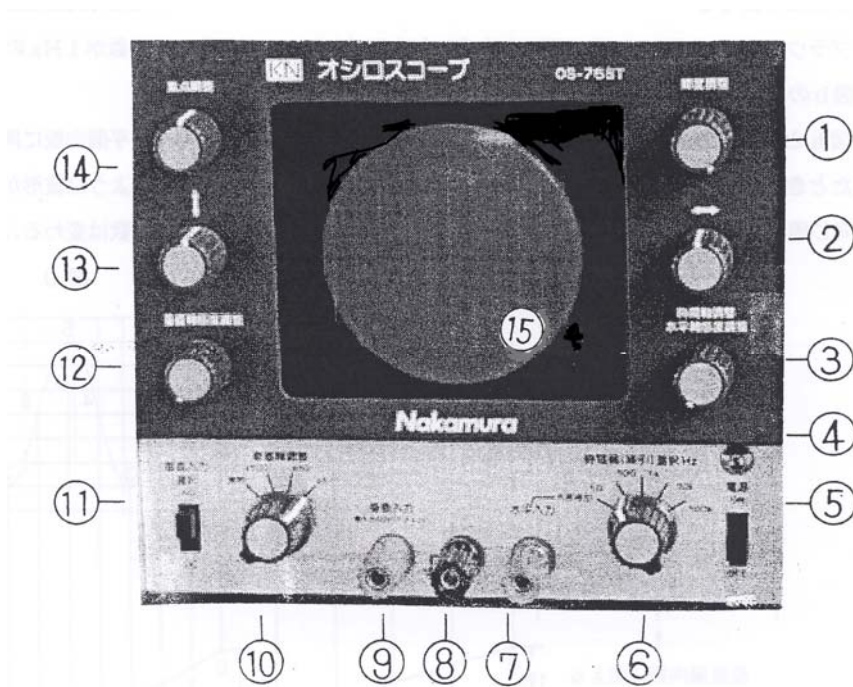
使用するもの。グラフ用紙（実験室で用意する。）

手順 前ページの図 A を参照して描くこと。

- (1)① 枠 (1) 部に水平偏向板に加える 1Hz のノコギリ波を描く。(→ 図 A 中の図 h 下方のノコギリ波は左端の 0 点からスタートし、一定の速さで電圧が上がり、最大値に達すると急激に 0 に戻る。それに比例して輝点は水平ライン上を 0→1→2→3→4 で右端に達し、次の瞬間には再び 0 に戻り、これを繰り返す。)
- ② 枠 (2) 部には垂直偏向板に加える 1Hz の正弦波の 1 波長分を描く。(→ 図 A の左の波形 0→1→2→3→4 に同じ)
- ③ スクリーンの中に (1) ①の 1Hz のノコギリ波と(1) ②1Hz の正弦波が同時に加えられたときに描かれる波形を時間経過にしたがって 0→1→2→3→4 の順に描く。
- (2)① (1)と同様に水平偏向板に 0.5Hz のノコギリ波を加えた場合について 0 点をスタート位置として 0→1→2→3→4→5→6→7→8 までの 1 波長分を描く。(→ 図 A 中の図 i の下方参照)
- ② 枠 (2) 部には垂直偏向板に加える 1Hz の正弦波の 2 波長分を描く。(手順(1)②に図 A の左の正弦波の 5→6→7→8 を追加する)
- ③ スクリーンの中に水平偏向板に(2) ①の 0.5Hz のノコギリ波と垂直偏向板に(2) ② 1Hz の正弦波を同時に加えたときに描かれる波形を時間経過にしたがって 0→1→2→3→4→5→6→7→8 の順に描く。
- (3) (1)、(2)と同様に水平偏向板に 2Hz のノコギリ波を、垂直偏向板に 1Hz の正弦波を加えた場合について作図する。

参考：リサージュ図形は水平方向、垂直方向の両方へ正弦波を加えるときに描かれる図形である。

(1) オシロスコープのつまみと記号 (中村理科 OS-75ST)



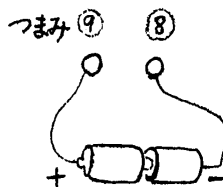
番号	つまみの名称	用途
①	輝度調整つまみ (INTENSITY)	波形の明るさを調整する。時計方向に回すと明るさが
②	⇄ (水平位置調整)	波形の位置を左右に動かす。
③	水平軸感度調整 (SWEEP VAR)	掃引周波数の微調整つまみ。このつまみにより適当な山数が静止して見えるように調整する。(同期をとる)
④	パイロットランプ	電源を入れるとつく。
⑤	電源 (POWER ON OFF)	電源のオン/オフ
⑥	時間軸(掃引)選択Hz (SWEEP FREQ Hz)	掃引周波数のレンジ切替をする。EXTのとき外部からHIN端子⑦に掃引信号を加えることにより外部掃引がで
⑦	水平入力端子 (HIN)	外部掃引用信号を入力する端子。
⑧	接地端子 (アース端子)	
⑨	垂直入力端子 (VIN)	垂直軸に信号電圧を加える端子。
⑩	垂直軸調整 (VERT INPUT)	垂直軸に加えられた信号電圧を適正な大きさにするための減衰器。
⑪	垂直入力選択 (AC—DC)	垂直軸と信号との結合を選択する。AC(交流) :DC(直流)にかさなっている交流電圧の観測や交流の観測。DC :DC電圧の測定。
⑫	垂直軸感度調整 (VERT GAIN)	垂直軸感度の微調整つまみ。10倍の変化比がある。
⑬	⇄ (垂直位置調整)	波形の位置を上下に移動させる。
⑭	焦点調整 (FOCUS)	波形がぼけずに鮮明になるように調整するつまみ。
⑮	蛍光面*	ここで波形を観測する

* SCREEN (蛍光面) : 格子状の目盛がついている。一般には格子の1辺が1cmである。この1辺を1div (division) と呼ぶ。電圧や時間を測る時の目盛。垂直、水平偏向感度は輝点を1div移動させるに要する入力信号の電圧で VOLTS·DIV であらわす。電圧の単位はV (VOLT ボルト) である。掃引時間は輝点を1div掃引させるのに要する時間(秒)で、TIME/DIV (秒/div) であらわす。

実験によって得られた結果と理解したことは すべて余白に記入し、後でレポートとしてまとめる。

実験 1 スポット(輝点)出しとベースライン探し

- 1) 電源 ON ⑤
ヒータが暖まるまで1分待つ。
- ↓
- 2) INTENSITYつまみ①を時計方向に回す。輝点 or 輝線が現れる。
- ↓
- 3) 時間軸(掃引)選択 Hz⑥を切り替える。
左から右への掃引の様子がわかる。
外部掃引位置では輝点が見える。
4. 見えないとき、4-1)~4-5)の手順で操作する
- ↓
- 4-1) 垂直軸調整つまみ⑩を反時計方向にまわす
(×100にする)。
垂直軸の感度を下げる。
- ↓
- 4-2) 時間軸(掃引)選択 Hz⑥を 100kHzにする。
- ↓
- 4-3) 垂直位置調整つまみ⑬と水平位置調整つまみ⑭をゆっくりまわし、。印を真上にする。
輝点や輝線が上下、左右に移動する。
- ↓
- 4-4) 垂直軸調整つまみ⑩を ^{グランド}GNDに切りかえる。
- ↓
- 4-5) 垂直入力端子⑨と接地端子⑧の間をショートする。



乾電池を直列に2ヶつないだ場合

実験 2 交流雑音の観測(指で触れる)

- 1) 垂直入力選択スイッチ⑪をAC(交流)にする。
交流電圧を観測するため。
- 輝線が見えたなら ↓
- 2) 垂直入力端子⑨に接続コードを差込みコードの反対側を指でふれる。→指先に発生する交流電圧により波形が見える。
- ↓
- 3) 時間軸(掃引)選択 Hz⑥や垂直軸調整つまみ⑩を切り替える。水平軸感度調整つまみ⑬をまわす。
波の振幅が変わり、止まって見えたり、波の山の数が変わる。

実験 3 乾電池の電圧測定(1ヶ及び2ヶのとき)

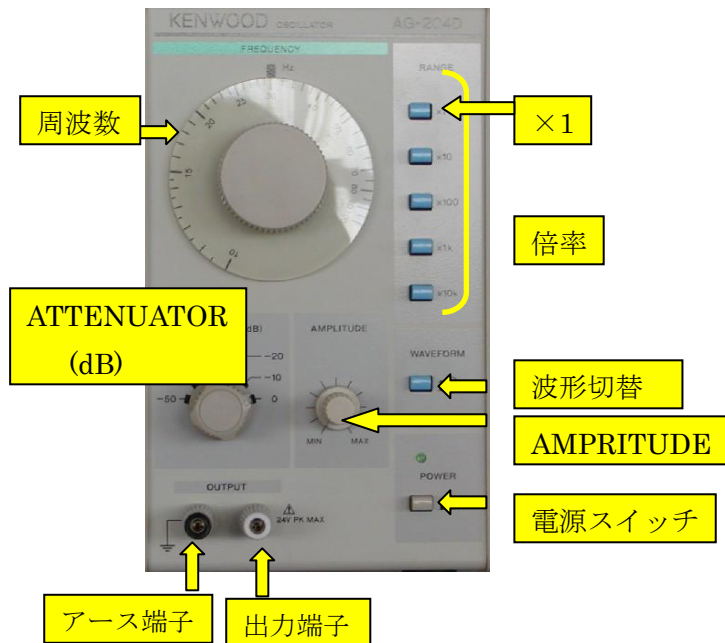
- 1) 垂直入力選択スイッチ⑪をDC(直流)にする。
直流電圧を観測するため。
 - ↓
 - 2) 垂直軸調整つまみ⑩は×100にする。
 - ↓
 - 3) 垂直位置調整つまみ⑬を輝線の位置が基準線(ベースライン)上にくるまでまわす。
- 乾電池1ヶ使用するとき、
- 3) 乾電池の一極側と接地端子⑧をつなぎ、乾電池の+極側を垂直入力端子⑨に入力する。
乾電池電圧は約1.5Vであるから、水平軸より少し上に水平な輝線が現われる。
何目盛かを記録する。0.1 div 以下のとき⑭を ×10にする。

乾電池2ヶ使用するとき、↓

- 4) 3)と同様にする。
輝線の位置は何目盛かを記録する。

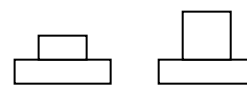
実験 4. サイン波形の観察(低周波発信器と操作法含む)

低周波発信器を用いて正弦波や方形波(矩形波)を観察する。



接続方法と手順

- 1) 発信器の電源プラグをコンセントに差し込む
- 2) 発信器のアース端子とオシロスコープの接地端子⑧をつなぐ
- 3) 発信器の出力端子と垂直軸入力端子⑨をつなぐ
- 4) 垂直入力選択スイッチ⑩を AC(交流)にする。交流電圧を観測するため。
- 5) 垂直軸調整つまみ⑩を反時計方向にまわす。(倍率 $\times 100$ にする)。垂直軸の感度を下げる。
- 6) 時間軸(掃引)選択 Hz⑥を 100Hz にする。
- 7) 発信器の波形選択を正弦波(ポタンは低い位置)にする。出力波形を正弦波にする。
- 8) 発信器の ATENUATOR(dB)を 0 にする。



9) 発信器の AMPLITUDE を反時計方向いっぱい
にまわす。Min(最小値)にする。

10) **発信器の電源 ON**

11) 発信器の出力周波数位置を 30Hz、倍率×1 に
する

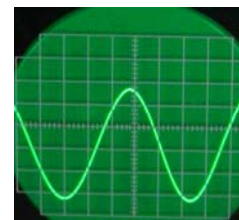
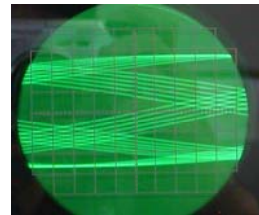
12) AMPLITUDE を時計方向に少しまわす。サイン
波形の山が 0.1div 以下のとき、垂直軸調整つま
み⑩を ×10 にする。波の山が画面からはみ出し
たらふりきれたら AMPLITUDE を逆の反時計
方向に少しまわす。

13) 水平軸感度調整つまみ③をゆっくりまわし、同
期をとる。波形を静止させる。

14) 時間軸掃引選択 Hz⑥を切り替えてみる。見える
波の数が変化する様子を観察し、理解したこと
を図や言葉で記録する。

15) 発信器の出力周波数を 60Hz にし、30Hz のとき
と同様に観察し、記録する。

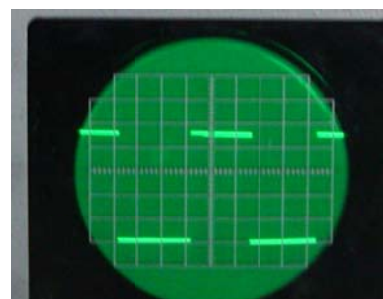
16) 蛍光面に波形 2 波長分が止まって見えるよう
にした後、トレーシングペーパーを画面にあて、警
き写し、そのときの周波数、電圧、垂直軸感度
調整つまみおよび、水平軸感度調整つまみの
位置を記録する。電圧を変え 1 人ずつ行うこと。



実験 5 方形波の観察

低周波発信器の波形ボタンを押して出力波形を
方形波に変える。正弦波の場合と同様に行う。

低周波発信器を OFF にするときは、AMPLITUDE つ
まみは Min にしてから 電源
OFF、その後、電源プラグをコンセントからはずす



実験 6 音の波形の観察

槌で音叉をたたいて鳴らし、音をマイクロフォンで拾い、電圧に変換してプリアンプで増幅した後、オシロスコープに入力し、音の波形を観察する。

使用するもの 音叉2つ(440Hzの音叉、金属片付音叉)、プリアンプ(増幅器)、マイクロフォン、槌、オシロスコープ

接続方法と手順

- 1)

マイクロフォンの両端子をプリアンプ(増幅器)の入力端子に接続する。

↓
- 2)

プリアンプのアース端子とオシロスコープのアース端子を接続する。

↓
- 3)

プリアンプの出力端子+側とオシロスコープの垂直入力端子⑨を接続する。

↓
- 4)

オシロスコープの垂直軸調整つまみ⑩の感度を下げる。反時計方向にまわす。

↓
- 5)

時間軸(掃引)選択 Hz⑥を 1kHzにする。

↓
- 6)

プリアンプの倍率 ×3、
プリアンプの電源 ON
マイクロフォンの電源 ON にする。

↓
- 7)

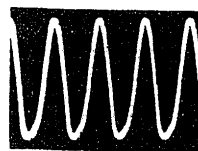
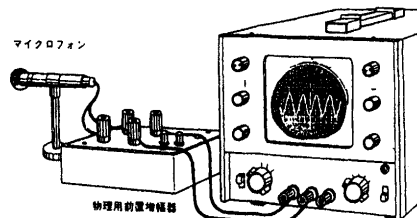
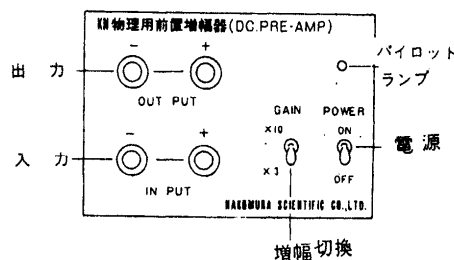
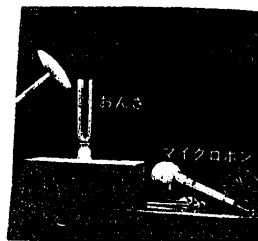
音叉を槌でたたきマイクロフォンを近づけオシロスコープで波形を観察する。たたく力の強弱を変えてみる。

↓
- 8)

水平軸感度調整つまみ③をゆっくりまわし、同期をとる。
波形を静止させる。低周波発信器の場合と違い長時間静止しない

↓
- 9)

時間軸掃引選択 Hz⑥を切り替えてみる。
見える波の数が変化する様子を観察し、理解したことを図や言葉で記録する。



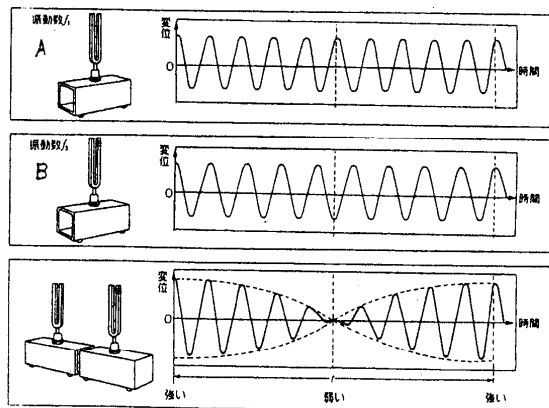
実験7 うなりの観察

440Hzの音叉Aと440Hzの音叉に金属片をつけ周波数を少し変えた音叉Bを近くに置いて同時に鳴らし、音がどのように聞こえるのか観測する。

うなりについて

振動数がわずかに異なる音叉(周波数 $f_1 > f_2$)を同時に鳴らすと音の重なりにより、それぞれの音の振動数は変わらないが2つの音叉の振動数とは異なり音が強くなったり弱くなったりするように聞こえる。

これを「うなり」という。この強弱の周期は次に示すような式により求めることができる。



うなりのできかた

振動数 f_1, f_2 の音が重なり合うとき、 t 秒間に1回の割合で合成波の振幅が大きくなるとすると二つの波の振動する回数は t 秒間に1振動だけ差がある。 t 秒間では二つの音波の振動回数はそれぞれ $f_1 t, f_2 t$ であり この差が1であるから ($f_1 > f_2$ のとき)

$$f_1 t - f_2 t = 1$$

が成り立つ。したがって1秒間に音が大きくなる回数 (= 1秒間のうなりの数) が f (回/秒) のとき、

$$f = \frac{1}{t} = f_1 - f_2$$

となる。上式から1秒間のうなりの数は二つの音波の振動数の差に等しいことがわかる。

実験手順 ↓

- 1)

実験6 に続き、A,B の音叉の共鳴箱を近づけておき、二つの共鳴箱の中間付近にマイクロフォンを置く。
- ↓
- 2)

水平軸感度調整つまみ③は反時計回りにいっぱいまわしておく。
- ↓
- 3)

時間軸(掃引)選択 Hz⑥は 100. Hzにする。
- ↓
- 4)

二つの音叉を同時に鳴らし、オシロスコープで二つの音叉による波形を観察する。
- ↓
- 5)

観察した結果、理解したことを図に描き(大体でよい)説明を書く。

実験 8. 自分の声をマイクで拾い、オシロスコープで波形を見てみよう。

- ・ 声の強さを変える。高低を変える。
- ・ あいうえお と言ってみる。
- ・ 共同実験者の波形と較べる
など。

5. 考察

- ・ 理解したことを箇条書きにしてみる。
- ・ 実験への提案。(このようにすると・・・理解しやすい、わかりやすい、面白い
または、してみたい など.)

実験テキストの修正、新たな実験への提案があったら、遠慮なく担当者に連絡してください。

6. 感想