

## 2-1 オシロスコープ

**I. 目的** オシロスコープは、時間的に変動する電気信号を観測するのに最も一般的なものであり、物理現象の観測など数多くの分野で用いられている。ここでは基本的なオシロスコープの操作を修得し、簡単な交流回路についても理解を深める。

**II. 原理** オシロスコープは、表示にブラウン管を使用しているため、電気信号の極めて速い時間変化を観測できる。図1にブラウン管の構造を、図2にオシロスコープの回路構成を示す。ブラウン管の中では次のような事が起こっている。ヒータによって熱せられたカソードから飛び出した熱電子は、途中の電子レンズ系（電極G1、G2、P1、P2）によって収束、加速される。こうして得られた電子ビームは、偏向部にある水平、垂直の偏向電極にかけられた電圧によって向きを変えられ、蛍光体が塗られた陽極に当り、点状の蛍光を発する。この水平と垂直偏向電極に相関のある信号（例えばアンプの入力と出力の信号など）を加えると、入力と出力の関係が蛍光点の軌跡として表示される。この使い方をX-Yスコープと呼ぶ。

通常は画面の横軸を時間軸として使用する。その場合、水平偏向電極にはのこぎりの刃のような波形の電圧がかけられ、輝点は画面の左から右へと移動する。その間に測定信号を増幅した電圧を垂直偏向板へ加えてやれば、画面に測定信号の時間変化が軌跡として表示される。ただし、水平掃引の周期と入力信号の周期にずれがあると、軌跡は画面上を横方向に動き回り、非常に見にくくなる。それを解決する方法として、入力信号がある設定電圧（トリガレベル）になったら掃引が始まるような仕組み（同期掃引）が用いられている。波形を静止させるには、パネル面にあるトリガレベル設定つまみを調整する。

微小な信号を観測するために、増幅器が各入力端子に付けられている。入力端子と接地端子の間の電圧が信号として増幅されるので（直流結合）、入力端子の接続だけでなく、接地端子も信号源の接地端子に接続しないと正しい測定はできない。直流電圧に含まれている微小な交流成分だけを観測したい場合がしばしば有る。その時には、入力結合切換スイッチをAC（交流結合）に切り換える。入力端子と増幅器の間にコンデンサが挿入され、直流成分を遮断するので、交流成分だけを測定することができる。

**【参考文献】** CQ出版社：高橋 徹著、『新・オシロスコープ測定技術のすべて』  
オーム社：長谷川英一著、『シンクロスコープ技術』

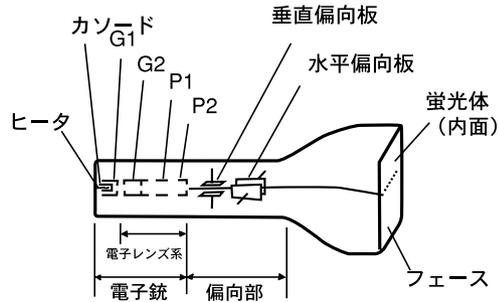


図1

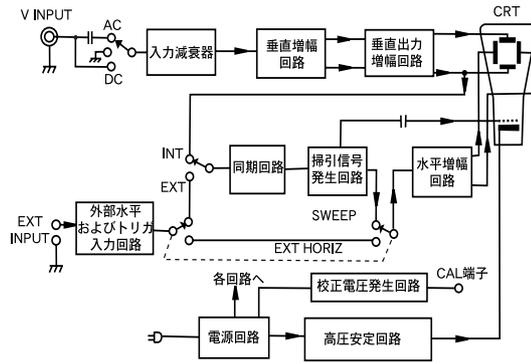
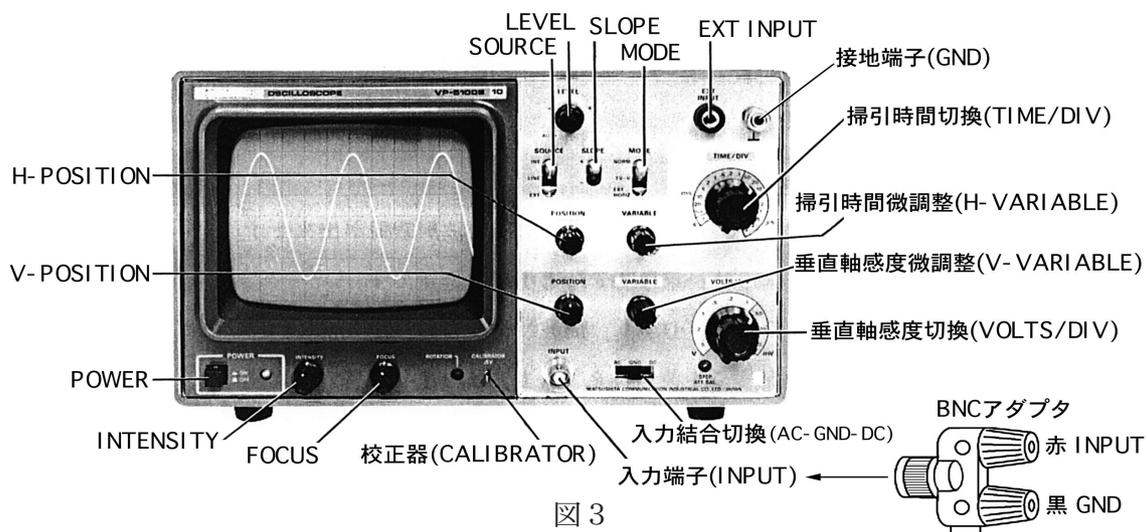


図2



### III. 装置

1. オシロスコープ 図3にオシロスコープのパネル面を示す。各つまみ、端子等の機能を以下に述べる。

#### 電源、ブラウン管関係

- POWER** オシロスコープ全体の電源スイッチ。
- INTENSITY** 輝線の輝度を調整する。右に回すと明るくなる。
- FOCUS** 輝線の太さを調整する。
- V-POSITION** 輝線の上下方向の位置を調節する。
- H-POSITION** 輝線の水平方向の位置を調節する。

#### 水平軸関係

- TIME/DIV** 掃引時間切換。水平（時間）軸の掃引速度を切り替える。目盛は、水平方向の1DIVがどれだけの時間に対応しているかを表示している。1DIVはブラウン管の画面に書かれてある方眼の1ますの長さ（約1cm）である。（DIVはdivisionの略）
- H-VARIABLE** 掃引時間微調整。水平軸の掃引速度を無段階に遅くできる。ただし目盛りが不正確になるので、通常はCALの位置で使用する。（CALはcalibrationの略）
- SOURCE** 同期信号切換。水平掃引の開始信号にどの信号を使うかを選択する。通常はINT。
- LEVEL** トリガレベル（掃引を開始する電圧）を調節する。
- SLOPE** 同期極性。観測信号がトリガレベルを+のどちらの方向に通過する時に掃引を開始するかを選択する。
- MODE** 同期機能切換。水平軸の動作を選択する。EXT-HORIZでX-Yスコープとして動作をする。通常はNORM（normalの略）。

#### 垂直軸関係

- VOLTS/DIV** 垂直軸感度切換。信号の振幅を上下方向の1DIVあたり何ボルトで表示するかを選択する。
- V-VARIABLE** 垂直軸感度微調整。垂直軸の感度を無段階に減衰できる。ただし、感度が不正確になるので、通常はCALの位置で使用する。

## 端子関係

- INPUT** 垂直軸の入力接栓。被測定信号の入力端子。GND 端子と一対で使用する。
- GND** アース接地端子(groundの略)。各入力端子の電位の基準となる。
- EXT-INPUT** 掃引開始信号または X-Y スコープ時の水平軸入力端子。GND 端子と一対で使用する。
- AC-GND-DC** INPUT 端子を交流 (AC) 結合、アース、直流 (DC) 結合にするかの選択。
- CALIBRATOR** 校正用端子。校正用信号 (周波数が 60Hz で振幅が 0.5V の方形波) が出力されており、これを用いて水平軸及び垂直軸の校正を行なう。
- BNC アダプタ** INPUT 接栓に配線コードを接続するために取り付ける。赤色端子は INPUT、黒色端子は GND に接続されるようになっている。

2. CR 発振器 本実験で使用する CR 発振器は、10Hz から 1000kHz の範囲の正弦波と方形波を出力することができる。図 4 にパネル面を示す。

- ①電源スイッチ (POWER)
- ②周波数目盛り (指標で示された値に④の FREQ. RANGE の倍率をかけた値が周波数)
- ③周波数可変用つまみ
- ④周波数範囲切替スイッチ (FREQ. RANGE)
- ⑤出力信号波形選択スイッチ (WAVE FORM)
- ⑥出力調整つまみ (AMPLITUDE)
- ⑦出力減衰器 (ATTENUATOR)
- ⑧出力端子 (OUTPUT)
- ⑨ GND 端子

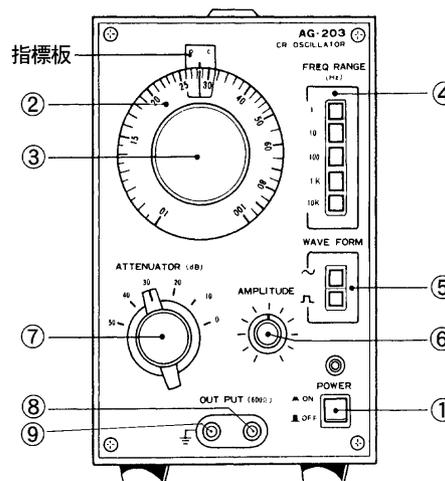


図 4

**【注意】** 本実験に使う CR 発振器は、電源スイッチの ON、OFF 時に異常電圧が OUTPUT に現われるので、他の機器との接続は電源を ON にしてから行い、配線を外してから OFF にすること。

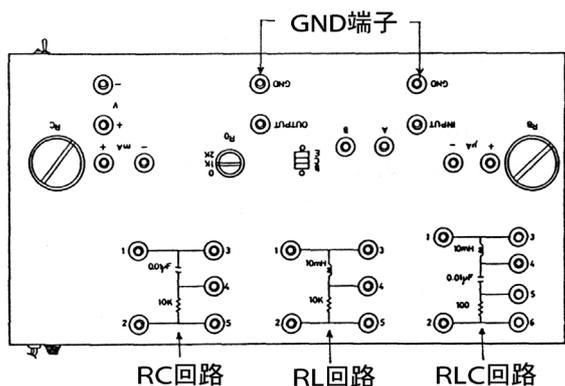


図 5

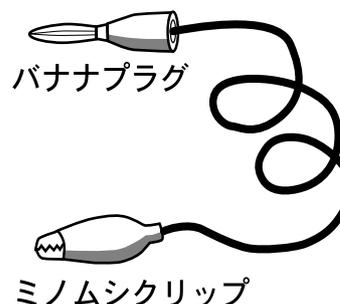


図 6

3. **回路盤** パネル面を図5に示す。1つの装置にトランジスタの回路と、本実験で使用する RC、RL、RLC 回路が一緒に組み込んである。各回路は独立している。オシロスコープの画面に雑音が混入する場合には、回路盤の GND 端子（ケースに接続されている）をオシロスコープの GND 端子に接続すると効果がある。
4. **配線コード** 両端がバナナプラグになっているものと、片側がバナナプラグで、もう一方がミノムシクリップのものがある（図6）。普通は、両端がバナナプラグのコードだけで接続するが、オシロスコープの CALIBRATOR 端子に接続する場合にはミノムシクリップが使い易い。またコードの色は、慣習的に暖色系（赤、黄）をプラス（または信号線）、寒色系（黒、青）をマイナス（または GND）電位の配線に使用する（配線ミスを防止するため）。

## IV. 方法

### IV-A. 実験 1 オシロスコープの調整と波形観測の基本。

#### 1. オシロスコープの電源投入と調整

##### (A) 電源投入

- ①オシロスコープの入力端子に何も接続されていないことを確認する。
- ② POWER スイッチが OFF であることを確認して電源コードをコンセントにさしこむ。
- ③オシロスコープの各部のつまみを次のようにセットする。

<b>INTENSITY</b>	右（時計）回しいっぱい
<b>AC-GND-DC</b>	GND の位置
<b>V-POSITION</b>	中央
<b>H-POSITION</b>	中央
<b>TIME/DIV</b>	5msec/DIV
<b>MODE</b>	NORM
<b>SOURCE</b>	INT
<b>LEVEL</b>	AUTO（左（反時計）回しいっぱい。カチッと音がするまで。）
- ④ POWER スイッチを ON にする。5 秒ほどで輝線が表示されるので、次の調整を行う。

##### (B) 調整

- ① **INTENSITY** : 適度な明るさになるように調整する。(高輝度のまま使用すると蛍光面が焼損するし、輝線が太くなるため読み取り誤差が大きくなる)
- ② **FOCUS** : 輝線が最も細くなるようにする。
- ③ **V-POSITION**、**H-POSITION** : 画面中央に輝線が表示されるように調整する。

##### (C) 校正 オシロスコープの垂直軸の動作確認をする。

- ① **VOLTS/DIV** を 0.5V にセットし、**AC-GND-DC** を DC にする。
- ② **INPUT** 端子に BNC アダプタを装着する。ミノムシクリップが一方に付いた配線コードのミノムシクリップを **CALIBRATOR** の端子に接続し、もう一端を BNC アダプタの赤色の端子に接続する。(CALIBRATOR はオシロスコープに内蔵されているので GND の配線不要)

- ③方形波の振幅が画面上で縦方向の 1DIV になっているどうかを確認する。V-POSITION を調節して、輝線が画面上の線とほぼ重なればよい。その後、配線コードをはずす。

2. 基本的波形の観測 オシロスコープの時間軸と発振器の動作確認をする。

(A) CR 発振器の波形

- ① 2 台の CR 発振器に配線コードが接続されていないことを確認する。(CR 発振器は 1 番 (○ -1)、2 番 (○ -2) とラベルで区別がしてある)
- ② 2 台とも電源スイッチが OFF 状態であることを確認する。
- ③ 2 台とも電源コードをコンセントに差し込む。
- ④ 2 台の CR 発振器のつまみとスイッチを以下のようにセットする。

**ATTENUATOR** 0dB

**AMPLITUDE** 右回しいっぱい (最大)

**WAVE FORM** 正弦波 (周波数は 100Hz 程度に設定する)

- ⑤ 1 番の CR 発振器の電源を ON にする。(以下は全て 1 番の CR 発振器の操作)
- ⑥ CR 発振器の GND 端子とオシロスコープの GND (BNC アダプタの黒い端子) を接続する。
- ⑦ オシロスコープの VOLTS/DIV を 5V にセットし、AC-GND-DC を AC にする。
- ⑧ オシロスコープの INPUT (BNC アダプタの赤い端子) と CR 発振器の OUTPUT を接続する。画面に正弦波が表示される。波形の簡単なスケッチを行い、記録せよ。
- ⑨ 発振器の波形選択スイッチを方形波にして、その波形を同様に記録せよ。
- ⑩ 発振周波数を 100Hz にした時に、TIME/DIV のつまみを 10ms/DIV に合わせると、信号波形の 1 周期が画面上で横方向の 1DIV になることを確認する。
- ⑪ 発振周波数を 1kHz にした時に、TIME/DIV のつまみを 1ms/DIV に合わせると、信号波形の 1 周期が画面上で横方向の 1DIV になることを確認する。
- ⑫ 発振周波数を 10kHz にした時に、TIME/DIV のつまみを 0.1ms/DIV に合わせると、信号波形の 1 周期が画面上で横方向の 1DIV になることを確認する。

(B) リサージュ図形の観測 オシロスコープ

の垂直軸に  $V_V = V_{V0}(2\pi f_V t + \alpha)$ 、水平軸に  $V_H = V_{H0}(2\pi f_H t + \beta)$  の正弦波交流電圧を加えると、画面にはその合成波形が表示されるが、水平周波数と垂直周波数の比が整数比であるときには、図 7 に示すようなりサージュ図形と呼ばれる静止像が見られる。このとき水平周波数と垂直周波数の比は画面上の波形から



図 7

$$\frac{\text{水平周波数}}{\text{垂直周波数}} = \frac{\text{曲線が垂直の線に接する数}}{\text{線が水平の線に接する数}}$$

で与えられる。ただし図8で示すように往復の曲線が重なっているところは2と数える。実際には水平、垂直周波数の位相の差が変動するので、この判定は実際に見た方が容易に理解できる。

- ① 2番目のCR発振器の電源を入れる。
- ② 2台ともFREQ. RANGEは×10で正弦波とし、2番のATTENUATORを-30dBとする。
- ③ 2番目のCR発振器のGND端子を、オシロスコプの（EXT INPUTの横にある方の）GND端子と接続する。
- ④ 2番目のCR発振器のOUTPUTをオシロスコプのEXT-INPUTに接続する。

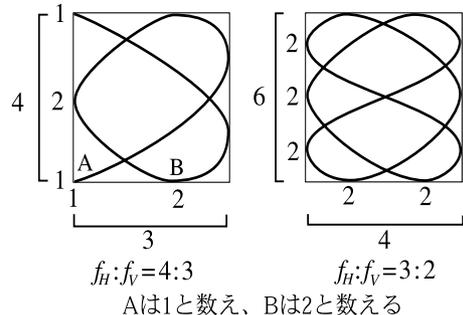


図8

- ⑤ オシロスコプのMODEをEXT-HORIZに切り替えるとリサージュ図形が表示される。
- ⑥ V-POSITION、H-POSITIONを調整して図形が画面中央に表示されるようにする。
- ⑦ 2番のAMPLITUDEを調整して縦横の大きさがだいたい1:1になるようにする。
- ⑧ 2番（水平方向）の発振周波数を200Hzに合わせる。
- ⑨ 1番の発振器の周波数を静かに変えていくと特定の周波数で図7のような波形が見られる。
- ⑩ 1番の発振器の周波数が2番と同じであれば、 $f_V/f_H = 1$ となり、輝線は円または楕円となって静止する。図形が安定しない場合は若干の周波数のずれや時間的変動が原因である。もし水平方向（2番）の発振周波数200Hzが正しいと仮定すると、図形が静止した時には垂直方向（1番）の発振周波数も200Hzのはずである。もしその時に1番の周波数目盛りが205Hzを指しているとする、目盛りの誤差が200Hzに対して+5Hzあることになる。
- ⑪ 垂直方向（1番）の周波数が200、400、600、300、150の付近で、1:1、1:2、1:3、2:3、4:3のリサージュ図形が観察できる。2番の発振器の目盛が正しいと仮定して、リサージュ図形が静止した時の1番の発振器の周波数目盛りの値を理想値と比較し、レポートに書くこと。周波数ずれが小さくて目盛りから読み取りにくい場合は、リサージュ図形が徐々に変化してt秒後に元にもどる時に標準となる周波数に対して1/t Hzだけずれている事を利用しても良い。

### 3. 後片付け

- ① オシロスコプのMODEをNORMにする。
- ② 接続コードをOUTPUTに接続されているものから順番に、全てはずす。
- ③ 1番のCR発振器は、以後使用しないので電源スイッチをOFFにする。2番のCR発振器のATTENUATORは0dB、AMPLITUDEは左回しいっぱい（最小）にしておく。

IV - B. 実験 2 交流回路の波形 RL 回路、RC 回路、RLC 回路に正弦波交流電圧を加えた時、各素子に生じる電圧及びその位相関係をオシロスコープによって測定し、理論値と比較する。

1. 交流回路の解説 交流波形の基本は図 9 のような正弦波である。それを特徴づける基本量は振幅と周波数である。周波数は、1 秒間に何回その電流の向きが変わるかを示す量で、単位は Hz (ヘルツ) で表わされる。家庭用 100V 電灯線も 50~60Hz の交流である。100V といっても、瞬間的には最大で 141V の電圧になる。これは抵抗器に交流電圧をかけた時に直流と同じ取扱いができるように、電力の時間平均が直流と同じになるような換算をするためである。これを実効値と言ひ、通常はすべてこれを用いて表現する。電流も同様に定義されている。従って 100V の交流電圧を 100Ω の抵抗器にかけると、1A の交流電流が流れ、100W の電力を消費すると計算することができる。

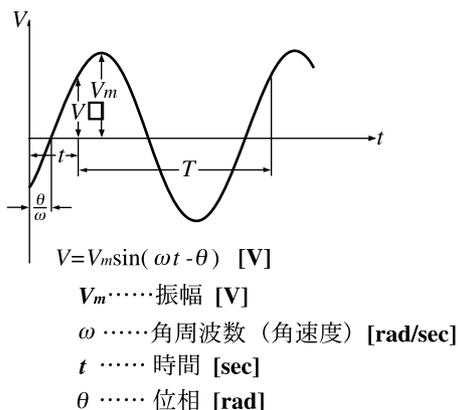


図 9

交流回路では抵抗をインピーダンス (impedance) という言葉で置き換える。これは以下で述べるコイルやコンデンサも抵抗器と同様に扱うために、抵抗の概念を複素数にまで拡張したもので、 $Z = V/I$  で定義される。ここで  $Z$  はインピーダンス (単位は Ω)、 $V$  は電圧、 $I$  は電流であるが、いずれも複素数に拡張されている。この複素数の虚数部分は、交流波形の位相のずれを表わしている。抵抗器は基本的に電流とその両端の電圧との位相のずれはないので、抵抗値  $R$  はそのまま実数のみのインピーダンスとなる ( $Z_R = R$ )。

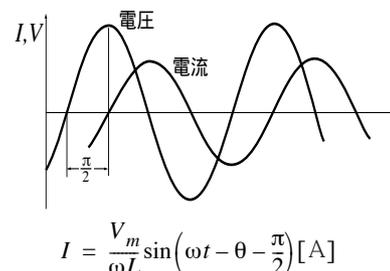


図 10

コイルに交流電圧をかけると、磁束の変化を妨げるように電流が流れる。電圧が増加している時は電流は逆向きに流れ、電圧の変化が小さくなった時には電流も少なくなる (図 10)。電圧が sine 関数であるとする、電流は -cosine 関数に比例し、この時、電圧の位相は電流に対して  $\pi/2$  進んでいる。コイルのインピーダンス  $Z_L$  は、コイルのインダクタンスを  $L$  (単位は H (ヘンリー))

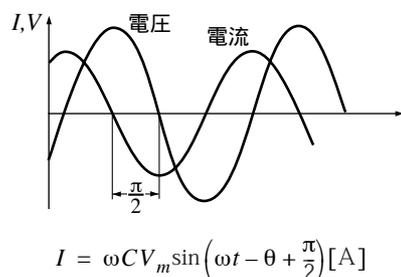


図 11

とすると、 $Z_L = i\omega L$  で与えられる ( $i = \sqrt{-1}$ )。ここで  $\omega$  は角度周波数と呼ばれるものであり、周波数に  $2\pi$  を掛けた値である。(単位は rad/sec)

逆にコンデンサの場合、電極に電荷をためようとする働きがあり、電荷の量は電圧に比例するから、電圧が増える時は電荷もたまるために電流が流れ、変化が小

さくになると電流も少なくなる (図 1 1)。この場合は、電圧が sine 関数とすると電流は cosine 関数に比例し、電圧は電流より位相が  $\pi/2$  遅れている。コンデンサのインピーダンス  $Z_C$  は、コンデンサの容量を  $C$  (単位は F (ファラッド)) とすると、 $Z_C = -i/(\omega C)$  で与えられる。

## 2. 実験

(A) RC 直列回路 図 1 2 で端子 1、2 間に交流電流  $I$  を流すと抵抗器  $R$  には  $RI$ 、コンデンサ  $C$  には  $-iI/(\omega C)$  の電圧が生じる。抵抗器の場合、電流と抵抗の両端に生じる電圧は同位相であるが、コンデンサの両端の電圧は電流に対して位相が  $\pi/2$  遅れているので、全電圧  $I\{R-i/(\omega C)\}$  を図示すると図 1 3 のようになる。従って各電圧の絶対値の比、 $V_{3-5}:V_{4-5}:V_{3-4}$  は次のようになる。

$$\begin{aligned} V_{3-5} : V_{4-5} : V_{3-4} &= \left| R - \frac{i}{\omega C} \right| : R : \left| \frac{i}{\omega C} \right| \\ &= \sqrt{R^2 + \frac{1}{(\omega C)^2}} : R : \frac{1}{\omega C} \end{aligned}$$

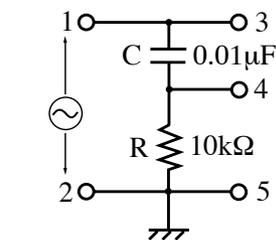


図 1 2

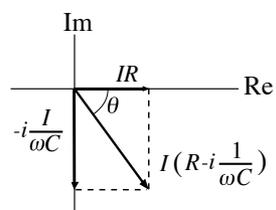


図 1 3

① 電圧比  $V_{3-5}:V_{4-5}:V_{3-4}$  及び位相差  $\theta$  の正弦 ( $\sin \theta = V_{3-4}/V_{3-5}$ ) を計算で求めよ。(ただし  $R=1 \times 10^4$  ( $\Omega$ )、 $C=1 \times 10^{-8}$  (F)、 $\omega = 2\pi \times 10^3$  (rad/sec)(=1kHz)。結果は  $V_{4-5}=1.00$  となるように規格化せよ。)

② CR 発振器の GND 端子と回路盤の RC 回路の端子 2 を配線コードで接続する。

③ 発振器の OUTPUT と端子 1 を接続し、正弦波電圧を RC 回路にかける。

④ 発振器の周波数を 1kHz にする。ATTENUATOR は 0dB、AMPLITUDE は最大にする。

⑤ オシロスコープで各端子間の電圧、 $V_{3-5}$ 、 $V_{4-5}$ 、

$V_{3-4}$  を VOLTS/DIV、TIME/DIV を見やすいように調整ながら測定し、上の計算値と比較せよ。接続のしかたは、例えば  $V_{3-5}$  を測定する場合には INPUT を端子 3 に、GND を端子 5 に接続する。交流電圧の大きさは図 1 4 に示すように正弦波の上端と下端の間の振幅 (peak-to-peak 値) を読みとるとよい。V-POSITION を調整して輝線の下端を画面の線に合わせると読みとり易い。

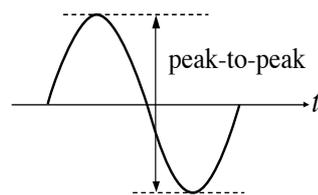


図 1 4

**【注意】**  $V_{3-4}$  の測定の時、発振器の GND 端子とオシロスコープの GND 端子をつないだままオシロスコープの GND 端子を端子 4 に接続すると、端子 2 と端子 4 がショートされることになって装置の故障の原因となる。これを避けるには、この時だけ配線を入れ換えて発振器及びオシロスコープの GND 側の端子をそれぞれ端子 1、3 に接続して、測定するのが良い。また、雑音を減らす効果も有る。

## 位相差を求める

- ⑥端子5をオシロスコープのGND端子に、端子3をオシロスコープのINPUTに、端子4をEXT-INPUTに接続する。
- ⑦CR発振器のATTENUATORは-30dBにする。
- ⑧オシロスコープのMODEをEXT-HORIZに切り換えると、画面に図15のような楕円ができる。
- ⑨画面の中央付近に図形が表示されるように、V-POSITION、H-POSITIONを調整する。輝線に雑音がひどく入るときは、図5に示す回路盤のGND端子をオシロスコープのGND端子に接続すると、雑音低減に効果がある。

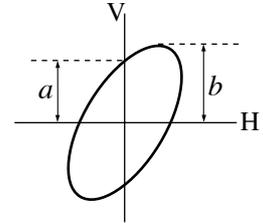


図15

- ⑩位相差 $\theta$ の正弦は $\sin\theta = a/b$ で与えられる。これを実験によって確かめ、①の計算値と比較せよ。

(B)RL直列回路 図16の回路で端子1、2間に交流電流 $I$ を流すと抵抗器 $R$ には $RI$ 、コイル $L$ には $i\omega LI$ の電圧が生じる。抵抗器の場合は電流と電圧は同位相であるが、 $L$ の両端の電圧は電流に対して位相が $\pi/2$ 進んでいるので、全電圧 $I(R+i\omega L)$ を図示すると図17のようになる。従って各電圧の絶対値の比は次のようになる。

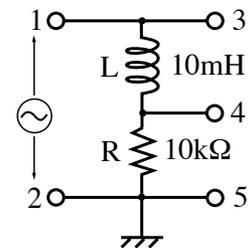


図16

$$V_{3-5} : V_{4-5} : V_{3-4} = |R+i\omega L| : R : |\omega L|$$

$$= \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} : R : \omega L$$

- ①電圧比 $V_{3-5} : V_{4-5} : V_{3-4}$ を計算で求めよ。(ただし $R=1 \times 10^4$ ( $\Omega$ )、 $L=1 \times 10^{-2}$ (H)、 $\omega=2\pi \times 10^4$ (rad/sec)(=10kHz)。結果は $V_{4-5}=1.00$ となるように電圧比を規格化せよ。)

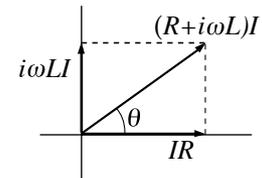


図17

- ②CR発振器を10kHzの正弦波にセットし、(A)と同様にして、RL回路の端子1、2に接続する。
- ③オシロスコープにより、各端子間電圧、 $V_{3-5}$ 、 $V_{4-5}$ 、 $V_{3-4}$ を測定し、計算値と比較せよ。
- ④また(A)⑥以降と同様にして $\sin\theta = a/b = (V_{3-4}/V_{3-5})$ の測定値と計算値を求めて比較せよ。

(C) RLC 直列回路 図18で1、2端子間のインピーダンス  $Z$  は、 $R + i\{\omega L - 1/(\omega C)\}$  である。これに交流電流  $I$  を流す時、3-5間に生じる電圧は  $iI\{\omega L - 1/(\omega C)\}$  である。ここで、 $f_o = \omega_o/(2\pi) = 1/(2\pi\sqrt{LC})$  なる周波数に対しては  $\omega_o L = 1/(\omega_o C)$  となって3-5間の電圧は0になる。この周波数  $f_o$  を共振周波数という。

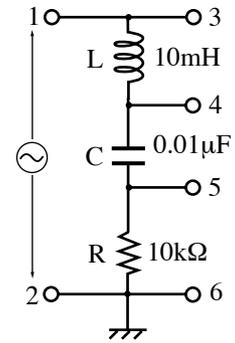


図18

- ①  $L=1\times 10^{-2}$  (H)、 $C=1\times 10^{-8}$  (F) として共振周波数  $f_o$  を計算で求めよ。
- ② 発振器を RCL 回路に接続する (GND → 端子1、OUTPUT → 端子2)。
- ③ 端子5をオシロスコープの INPUT 端子に、端子3を GND 端子に接続する。
- ④ 2kHz ~ 200kHz の範囲で発振器の周波数を変え、オシロスコープで  $V_{3-5}$  の peak-to-peak の電圧を測定する。片対数方眼紙の対数目盛りを横軸に使い、発振周波数を横軸に、縦軸に  $V_{3-5}$  をとって、測定点を記入しながら測定せよ。記入の例として  $f_o=20\text{kHz}$  の場合を図19に示す。
- ⑤ もし振幅が最小になる周波数があれば、その周波数を図に記入せよ。

以上、(A)、(B)、(C) の実験について計算値と実験値が一致しない場合、その原因を考察せよ。

### 3. 後片付け

- ① オシロスコープの AC-GND-DC を GND にし、VOLTS/DIV=5V にしておく。
- ② 配線コードをすべてはずし、バラバラにならないように束ねておく。
- ③ 電源スイッチをすべて OFF にする。
- ④ 電源コードをコンセントから外し、からみ合わないよう束ねておく。
- ⑤ CR 発振器の ATTENUATOR は -0dB、AMPLITUDE は左 (反時計) 回しいっぱい (最小) にする。
- ⑥ 机上を整理し、退席する。

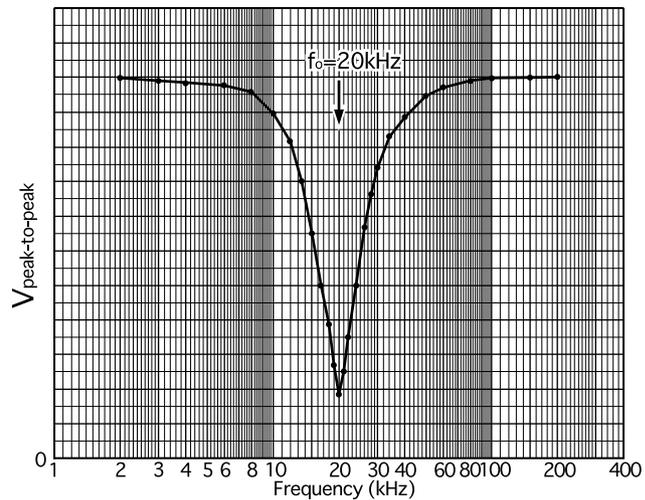


図19