

オシロスコープの取り扱い

1. 目的

オシロスコープの基本的な取り扱い方を理解することが目的である。そのために以下のことができることを目標とする。

- 電圧波形を静止して表示できる(静止して表示できるのは繰り返し波形だけであることを理解できる)。
- オシロスコープの画面から電気量を測定することができる。
- プローブを適切な場所に接続することができる。

上記の目標の達成度を確認するために実験の2週目にはオシロスコープ検定を行うので、合格するまで受験すること。

2. オシロスコープの使い方

2-1. オシロスコープの構成と測定準備

オシロスコープは電圧波形を観測、測定する装置であり、以下により構成される。

- オシロスコープ本体(アナログ式、デジタル式)
- プローブ(1または2本)

図1にデジタルオシロスコープとアナログオシロスコープの概観を示す。アナログオシロスコープは動作原理上奥行きが長くなる。一般的に使われるオシロスコープは2つの波形を同時に観測できるものが多く、これを2チャンネルオシロスコープといい、プローブを2本使う。もちろん、1チャンネルだけ(1本だけ)使用してもよい。測定はプローブ接続して行う場合が多く、オシロスコープとプローブを接続するコネクタをBNCコネクタという。オシロスコープによって操作パネルは異なるが基本的な使い方は同じである。

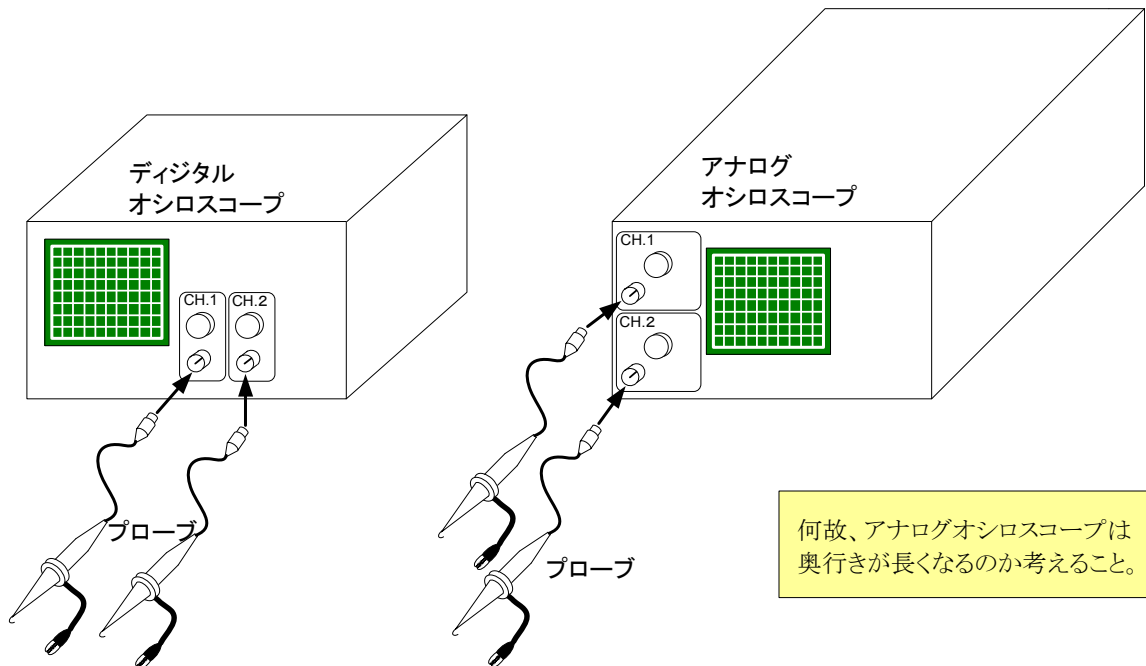


図1 オシロスコープとプローブ

プローブは図2のように引っ張るとフックが出て、離す元に戻るなので測定したい場所に引っ掛けて使う。ワニ口クリップはオシロスコープのアースであり、ここの電位を0[V]としてプローブの先端に現れる電圧を測定する。2チャンネルで測定する場合、プローブのワニ口は内部でつながっているので同じ場所に接続するか、一方のみつなぐこと。それぞれのワニ口を別の場所に接続すると短絡(ショート)する可能性があるので注意が必要である。

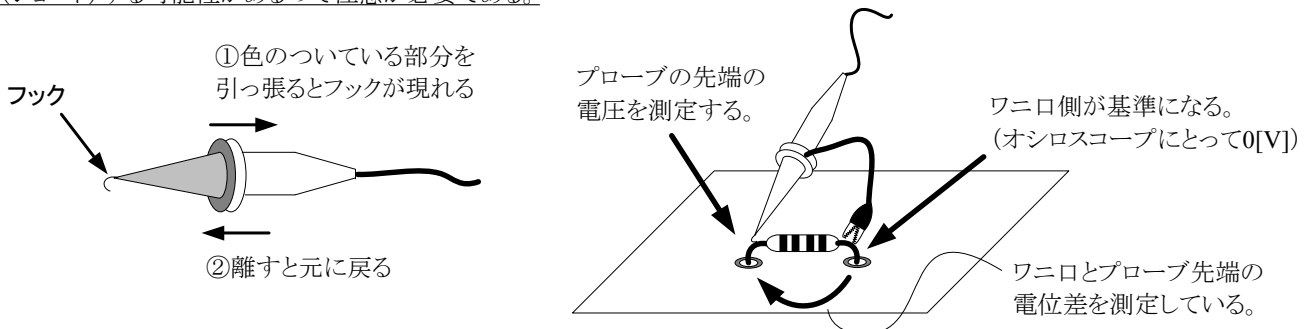


図2 プローブの使い方

2-2. 画面と基本的な操作

図3に示すようにオシロスコープの画面は縦軸が電圧、横軸が時間を表し、縦8ます、横10ますで構成される。1ますのことを1divisionといい、divと省略される。時間に対する電圧など電気量の変化を表したものを波形という。オシロスコープは基本的に電圧波形を測定する装置である。

電圧はVolts/divつまみで時間はTIME/divつまみで大きさを変更できる。これらのつまみを電圧および時間の感度調節つまみという。Volts/divつまみは1ます当たりの電圧を、TIME/divつまみは1ます当たりの時間をそれぞれ表している。両つまみの使い方の具体例を図4に示す。

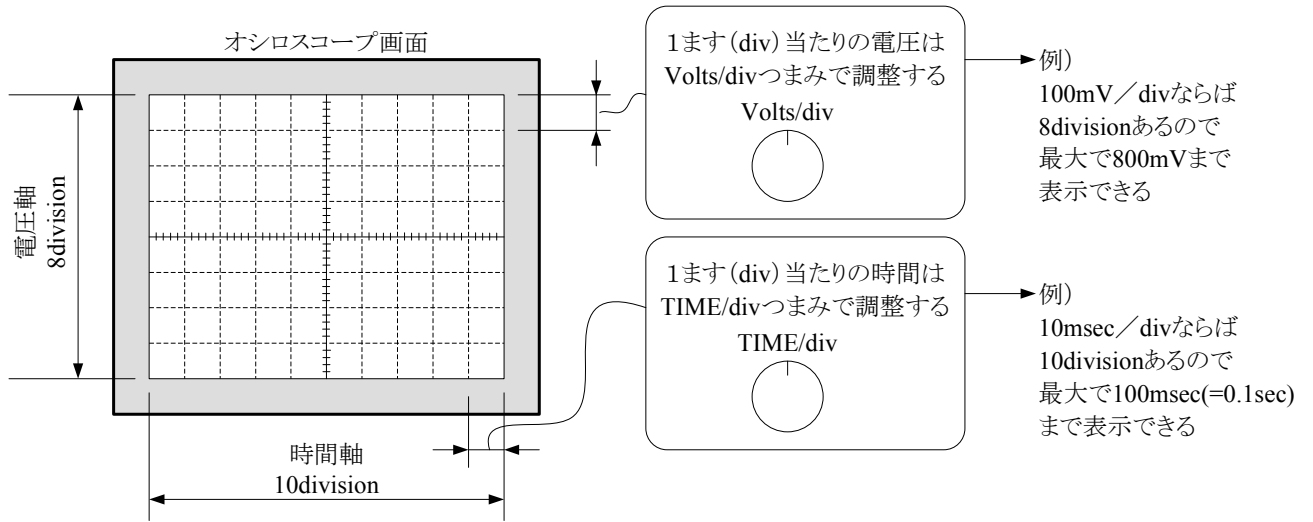
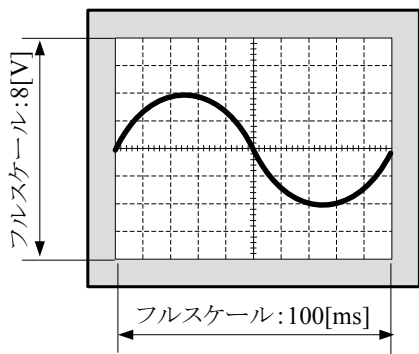


図3 オシロスコープの画面

以下の条件で画面のように観測していた波形が各つまみを変更するとどのように表示されるか考えてみよう。

- Volts/divつまみ (電圧感度つまみ) の設定 → 1[V/div]
- TIME/divつまみ (時間感度つまみ) の設定 → 10[ms/div]



Volts/divつまみ (電圧感度つまみ) の変更

0.5[V/div]に変更
→ 電圧軸のフルスケールは? [V]

2[V/div]に変更
→ 電圧軸のフルスケールは? [V]

TIME/divつまみ (時間感度つまみ) の変更

20[ms/div]に変更
→ 時間軸のフルスケールは? [ms]

5[ms/div]に変更
→ 時間軸のフルスケールは? [ms]

図4 感度つまみの使用例

2-3. 基本的な測定方法

正弦波交流電圧波形を例にとって具体的な測定方法について述べる。波形が方形波、三角波などに変わっても基本的な考え方は同じである。オシロスコープで測定できる項目は図5に示すように周期 T 、 v_{pp} (peak-to-peak電圧のこと)である。一般的に振幅とは v_{pp} の半分の値を指すので直接測定しないことが多い。また、周期より周波数を求めることもできる。

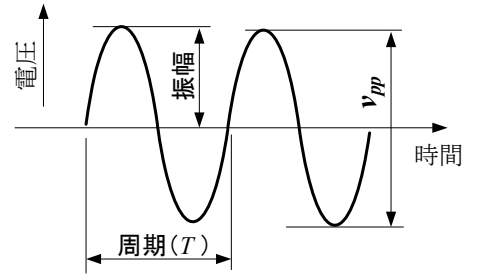
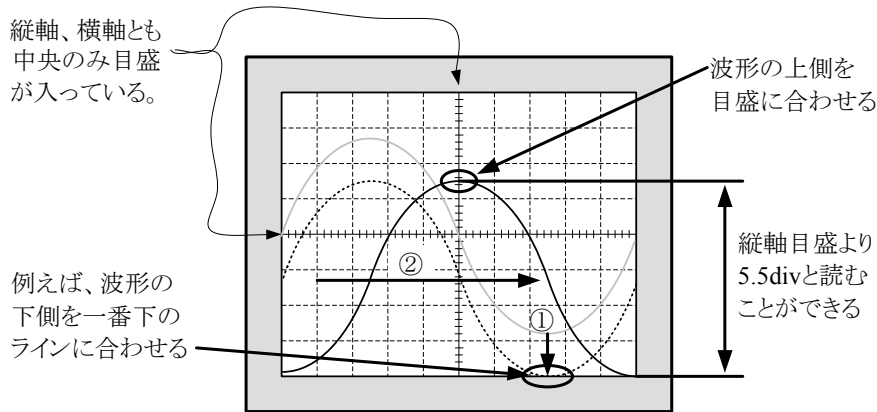


図5 正弦波交流波形

測定するときは電圧、時間ともに目盛をよみ、それにVolts/div、TIME/divつまみを掛けると測定値が得られる。測定するときは各軸のpositionつまみを調整して中央にある目盛を利用すること。図6は v_{pp} の、図7は周期の測定例である。なお、測定するときはできるだけ画面に大きく表示させること。

ただし、ほとんどの測定ではプローブを使って測定するため、測定された電圧値を10倍する必要がある。これをプローブ倍率という。



例えば、波形の下側を一番下のラインに合わせる

縦軸の目盛が5.5[div]で、縦軸のVolts/divつまみが100mV/divならば
 $v_{pp} = 5.5[\text{div}] \times 100[\text{mV}/\text{div}] = 550[\text{mV}]$
 となるが、プローブを使用している場合はプローブ倍率により10倍されるので
 $v_{pp} = 550[\text{mV}] \times 10 = 5500[\text{mV}] = 5.5[\text{V}]$
 よって、この波形の電圧 v_{pp} は5.5[V]となる。

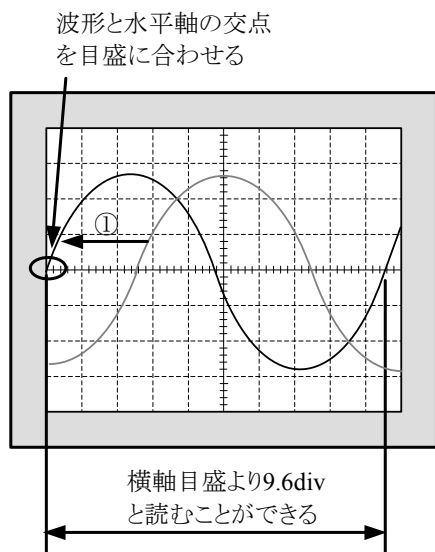
測定手順

① 縦位置をposition POSITION つまみを使ってどこかのラインに合わせる。

② 横位置をposition POSITION つまみを使って縦軸中央の目盛に合わせる。

なぜ10倍するのか？
 プローブの構造から考えること。
 デジタルオシロスコープでは自動的に10倍にしてVolts/divつまみの値を表示する場合もあるので注意が必要。

図6 電圧(v_{pp})の測定例



波形と水平軸の交点を目盛に合わせる

測定手順

① 横位置をposition POSITION つまみを使ってどこかのラインに合わせる。

※ 横軸の目盛と波形が交わっていない場合はpositionつまみを使って移動すること。

横軸の目盛が9.6[div]で、横軸のTIME/divつまみが10ms/divならば
 $T = 9.6[\text{div}] \times 10[\text{ms}/\text{div}] = 96[\text{ms}]$
 となる。これよりこの波形の周波数 f は周期の逆数なので、
 $f = 1/96[\text{ms}] = 0.0104[\text{kHz}] = 10.4[\text{Hz}]$
 となる。
 ※時間にはプローブ倍率をかけないこと。

図7 周期の測定例

2-4. アナログオシロスコープとデジタルオシロスコープの違い




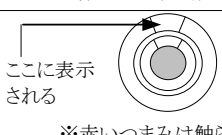


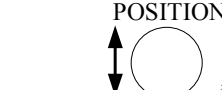


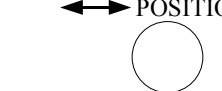


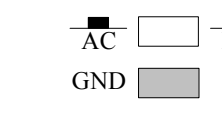

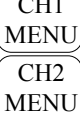
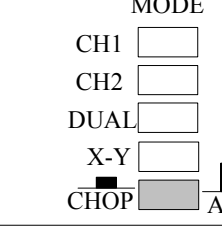


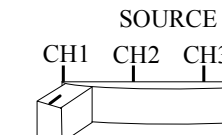
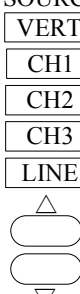

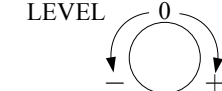


ここまでオシロスコープの基本的な操作方法および測定方法について説明してきたが、より具体的な内容になると各つまみおよびボタンなどが違うととまどうことが多い。

アナログオシロスコープは電子回路技術を駆使してテレビと同じブラウン管により波形を表示するのに対して、デジタルオシロスコープは入力電圧をAD変換によりデジタル値に変換して表示する。両者の測定方式の違いはあるが、操作上の違いはほとんどないため、どちらか一方の操作を憶えれば他方も操作できる。

どちらのオシロスコープも操作パネルの位置も表示の仕方もまちまちであるが、どれか一つのオシロスコープの操作を修得すれば応用して使えるようになる。

表1に主なアナログオシロスコープとデジタルオシロスコープの操作パネルの違いを対比してまとめるので参考にする。

表1 アナログオシロスコープとデジタルオシロスコープの操作パネルの比較

各操作 つまみ	アナログオシロスコープ		デジタルオシロスコープ
	SS5704 (岩通)	CS-5370 (KENWOOD)	TDS1002 (Tektronix)
Volts/div	 ここに表示される ※赤いつまみは触らないこと 各チャンネル毎	 VOLTS/DIV 各チャンネル毎	 VOLTS/DIV 各チャンネル毎
TIME/div	 ここに表示される ※赤いつまみは触らないこと 内側のつまみは使わない (遅延掃引用)	 TIME/DIV	 SEC/DIV
position (縦軸)	 POSITION 各チャンネル毎	 POSITION 各チャンネル毎	 POSITION 各チャンネル毎
position (横軸)	 POSITION	 POSITION	 POSITION
入力切替 (AC/DC/GND)	 AC DC GND 各チャンネル毎	 AC/DC GND 各チャンネル毎	 CH1 MENU CH2 MENU →MENUボタンを押して、 入力結合ソフトキー※1を 押して切替 各チャンネル毎
表示切替 CH1 CH2 DUAL X-Y CH1+CH2	 MODE CH1 CH2 DUAL X-Y CHOP ALT	 CH1 CH2 各チャンネル毎	 CH1 MENU CH2 MENU →MENUボタンを押して、 表示するかしないか切替 各チャンネル毎
トリガソース	 SOURCE CH1 CH2 CH3 LINE	 SOURCE VERT CH1 CH2 CH3 LINE 各チャンネル毎	 TRIG MENU →MENUボタンを押して、 ソースソフトキー※1を押 して切替
トリガレベル	 LEVEL 0 - +	 LEVEL - 0 +	 LEVEL

※2 CHはチャンネルの略称

※1 ソフトキーとは画面右側のボタンのこと。指示は画面上に現れる。デジタルオシロスコープではこのタイプが多い

2-5. 直流電圧と交流電圧の表示

測定する波形が交流だけとは限らない。直流電圧または直流電圧と交流電圧が混在した波形を観測することがある。直流、交流に関わらずオシロスコープに入力される波形をそのまま表示するのが一般的であるが、用途に応じて測定する電圧を選別してもよい。この場合、各チャンネルの入力切替を変更する。

DC・・・直流電圧と交流電圧をどちらも表示する。通常はこの状態で測定する。

AC・・・交流電圧のみ表示する。具体的には20～30[Hz]以上の周波数をもつ交流電圧のみ表示する。
直流は0[Hz]なので遮断される。

GND・・・一切の入力電圧を遮断してオシロスコープの0[V]のラインを表示する。0[V]のラインをベースラインという。
具体的にはワニ口の電位を表している。

図8のように交流電圧と直流電圧が合成された波形をオシロスコープに入力した場合、各入力方法でどのように表示されるか図9に示す。

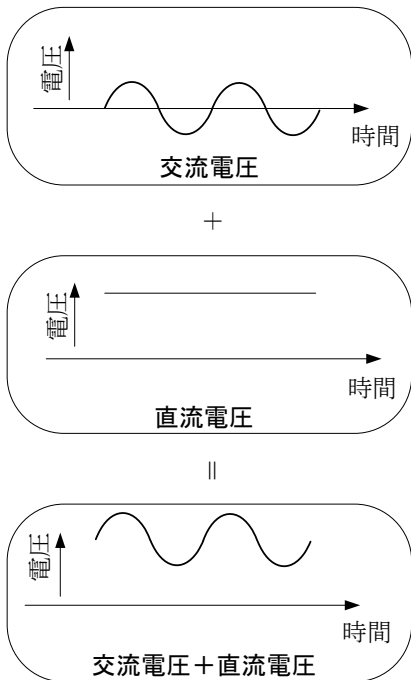


図8 交流電圧と直流電圧の合成波形

図8で示した交流波形が入力されたときオシロスコープにはどのように表示されるか？

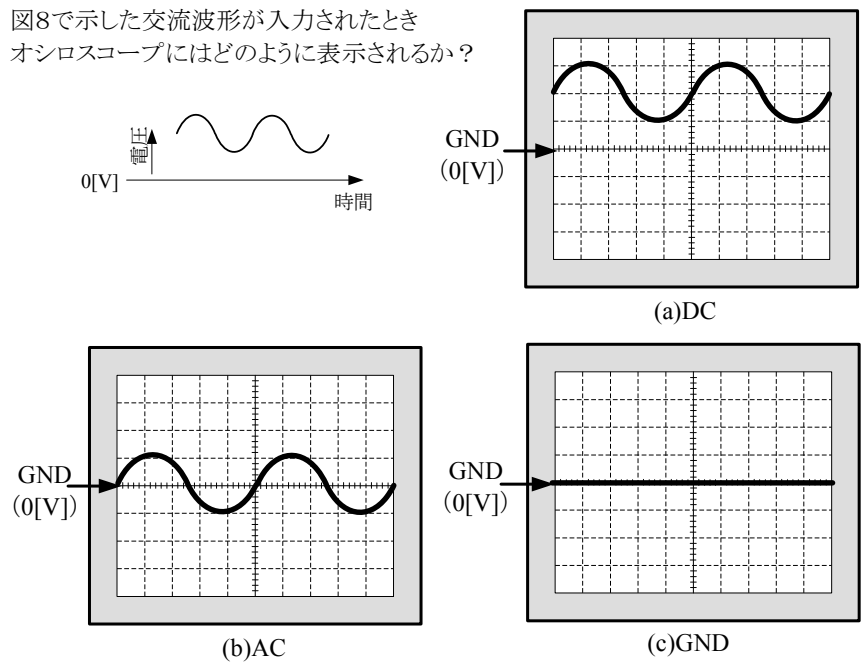
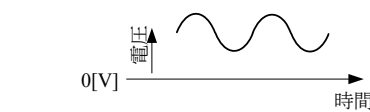
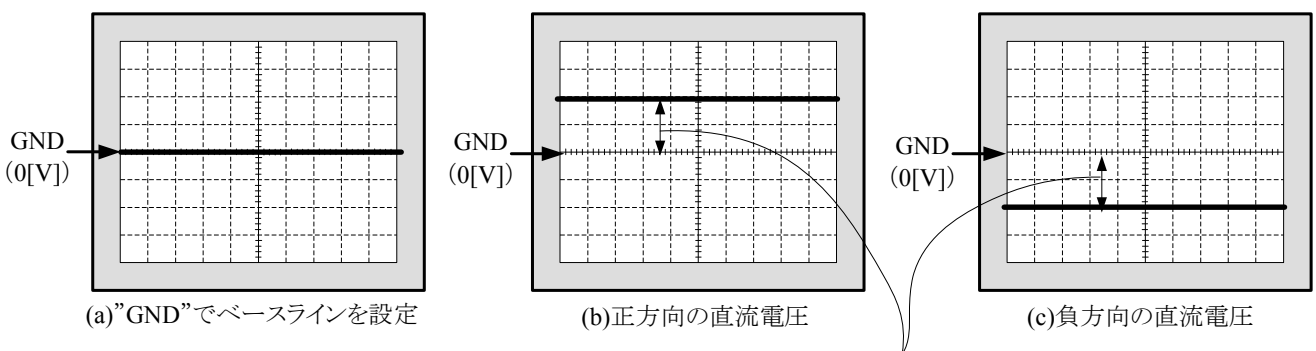


図9 入力切替による表示の違い

特に、直流電圧のみ入力された場合、ラインしか表示されない。このため、図10のように最初にベースラインをどこかのラインに合わせてから測定する必要がある。また、負の電圧を測定する場合はベースラインより下側にラインが表示される。

できるだけ精度よく測定するためには、画面にできるだけ大きく表示した方がよい。そのため、正の電圧を測定している場合はベースラインを画面の一番下のラインに合わせて、逆に負の電圧の場合は一番上のラインに合わせてよい。

最初にベースラインを合わせても、Volts/divつまみを切り換えるとずれる場合があるので、各Volts/div毎にまめに合わせることを。



ベースラインからの電位差が直流電圧になる。
負方向の場合は電圧にマイナスをつけること。

図10 直流電圧の測定例

2-6. 波形が静止しないとき(オシロスコープの同期の取り方)

オシロスコープでは直流、交流の両方の電圧を表示できるが、交流電圧は様々な波形があり、周期がある場合や単発で発生して繰り返さない場合もある。この中でオシロスコープが波形を静止して表示できるのはある一定の周期を有する繰り返し波形だけである。繰り返し波形を静止して表示しているとき、オシロスコープは入力信号に対して同期がとれているという。

しかし、同期がとれていないことはよくあることであり、この状態から同期させて波形を表示させることができることは本実験の達成目標である。ここでは、同期の取り方について説明するので、実験中に参考すること。

※同期は英語でsynchronizationであるが、同期をとることをトリガ(trigger)をかけるともいう。

同期がとれない原因は主に以下の4つである。このうち、④はオシロスコープの性能に依存するので同期をとることができない。

- ①同期をとりたいチャンネルと同期をとるチャンネルが合っていない
- ②トリガレベルがずれている
- ③信号の表示が小さい
- ④入力信号が小さすぎる

①はチャンネル1に入力されている波形を観測したいが、トリガソースがチャンネル1以外に設定されている場合に起こる。表1のトリガソースを観測したいチャンネルに合わせることで解決する。トリガソースのうち、“LINE”は50[Hz]の商用周波数に合わせることを、“EXT”は外部の信号源に合わせることをそれぞれ示している。

②はオシロスコープの同期がどのようにかけられているのか理解することが重要になる。オシロスコープでは図11のように入力波形がトリガレベルを超えたときにタイミングパルスを発生し、このタイミングパルスの時間間隔によってのこぎり波が生成される。オシロスコープは原理上、タイミングパルスおよびのこぎり波が生成されないと静止して表示できないため、トリガレベルがずれている場合は波形の範囲に入るようにトリガレベルを設定し直す必要がある。対策としては、表1のトリガレベルつまみを動かすことでトリガレベルを波形の範囲に移動することで同期をとることができる。

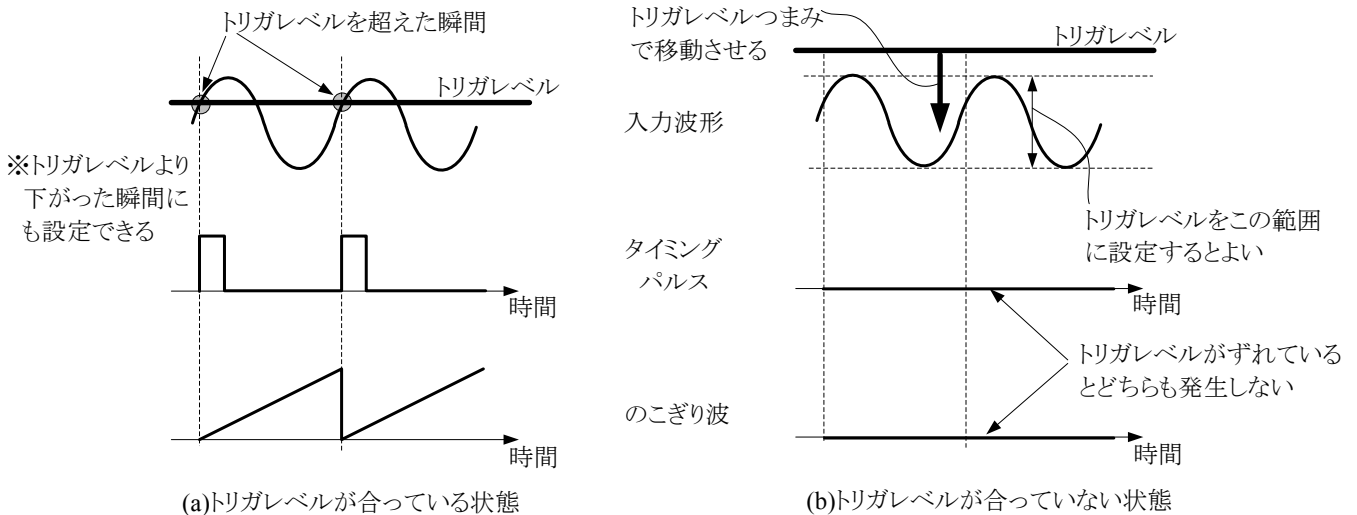


図11 トリガレベル

③は②と同様にうまくタイミングパルスが発生できないことに起因する。表示されている波形が小さいと前述のタイミングパルスが発生しにくいいため、同期がとれない場合がある。この場合はVolts/divつまみを適切に設定し、画面上にできるだけ大きく表示すると解決する。

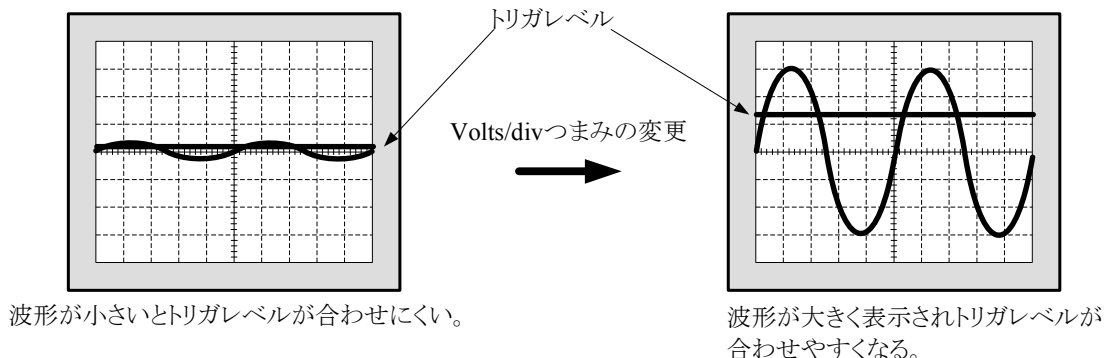


図12 トリガレベルの設定

2-7. 2チャンネル測定(位相の測定)

2チャンネルオシロスコープでは2つの入力波形を同時に表示できる。アナログオシロスコープでは表示切替を”DUAL”に、デジタルオシロスコープではCH1とCH2の表示ボタンを押せばそれぞれに入力された波形を同時に表示できる。2つの波形を同時に観測することで両者の周波数 f が等しいときは位相差 θ が分かる。

図13(a)は2つの波形を時間表示した測定例である。時間表示する場合は2つの波形のGNDレベルを必ず合わせる。図より両者の波形の時間のずれ t と周期 T が得られ、次式により位相差 θ が求められる。

$$\theta = \frac{t}{T} \times 360^\circ \quad (1)$$

また、図13(b)のようにX-Y表示すると図のようなリサージュ図形が得られる。図中 A と B より位相 θ を次式により求めることができる。

$$\theta = \sin^{-1} \frac{B}{A} \quad (2)$$

ただし、 B は縦軸中心との交点間の長さであるので必ず図形の横幅の中心を縦軸中心と合わせる。

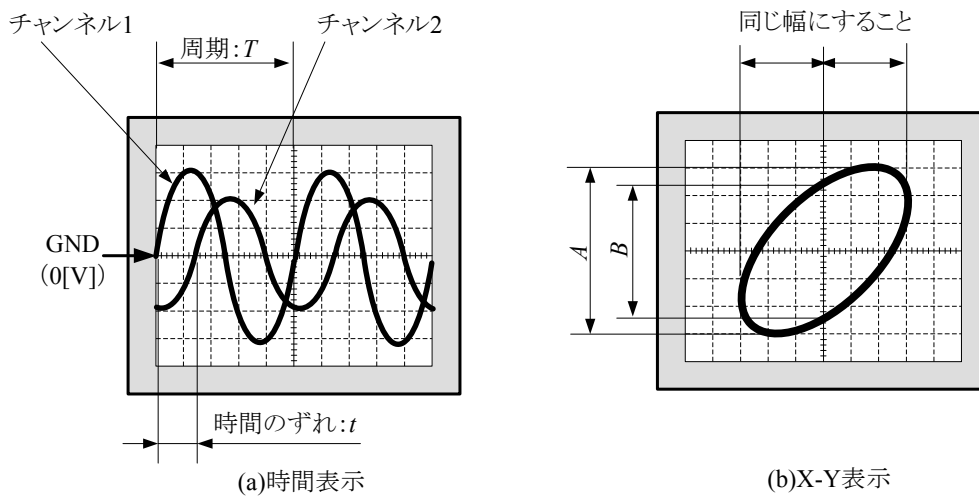
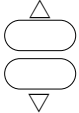


図13 位相測定

X-Y表示するときは各オシロスコープごとに表2を参考にする。横軸(X軸)はチャンネル1の入力、縦軸(Y軸)はチャンネル2の入力にそれぞれ対応している。よって、横軸は時間ではなく、縦軸、横軸ともに電圧を表している。リサージュ図形の縦軸の大きさを変更したい場合はチャンネル2のVolts/divつまみを、横軸の大きさを変更したい場合はチャンネル1のVolts/divつまみをそれぞれ調整するとよい。

表2 X-Y表示のための操作

SS5704 (岩通)	CS-5370 (KENWOOD)	TDS1002 (Tektronix)
MODE CH1 <input type="checkbox"/> CH2 <input type="checkbox"/> DUAL <input type="checkbox"/> X-Y <input type="checkbox"/> CHOP <input checked="" type="checkbox"/> ALT <input checked="" type="checkbox"/>	H.MODE <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> ALT <input type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/> X-Y 	DISPLAY <input type="checkbox"/> →DISPLAYボタンを押して、 軸設定ソフトキーでXYを 選択する。 (時間表示はYT)

3. 実験

留意事項

- ・2人1組で交互に実験を行うこと。1人の場合は全て1人で行うこと。
- ・マルチメータなど共通して使うことができる測定装置は実験台に1台とすると場所を有効に使うことができる。
- ・レポート製作時には測定に用いた回路図を各自で作図すること。また、使用器具は各自まとめてレポートに記載すること。

3-1. 実験の準備

- (1) オシロスコープの電源スイッチを入れる。
- (2) チャンネル1とチャンネル2にプローブを接続する。
- (3) 校正信号端子 (CALまたはPROBE COMP) にそれぞれのプローブの先端を引っ掛け、Volts/divおよびTIME/divつまみを調整すると画面上にきれいな方形波が現れるはずである。もし、現れない場合はプローブの調整や交換が必要な場合があるので教員に申し出ること。
- (4) 輝度 (INTENSITY) および焦点 (FOCUS) を適切な位置に調節し、ライン (輝線) の太さをできるだけ細く、はっきりとみえるようにすること。

3-2. 直流電圧の測定

- (1) 直流安定化電源 (アナログメータがついているもの) とマルチメータを準備する。全ての結果は表3のようにまとめること。
- (2) 直流安定化電源を2[V]に設定したときの直流電圧を測定しなさい。電源からプローブを直接つなげられるようにリード線を出して測定すること。リード線同士が接触すると短絡 (ショート) してしまう可能性があるので注意すること。
- (3) 上記の測定後、プローブの先端とワニ口を逆につないで同様の実験を行うこと (これを負方向とする)。
- (4) 最後にマルチメータで直流安定化電源の電圧を測定すること。
- (5) 同じ実験を10[V]にして行うこと。

表3 直流電圧の測定

電源電圧 [V]	接続方向	Volts/div [V/div]	電圧目盛 [div]	電圧 [V]	マルチメータの電圧[V]
	正				
	負				
	正				
	負				

3-3. 交流電圧の測定

- (1) 発振器 (ファンクションジェネレータ) とマルチメータを準備する。全ての結果は表4のようにまとめること。
- (2) 発振器の波形を正弦波とし、周波数を50[Hz]、1[kHz]、100[kHz]として、直流電圧の測定と同様にプローブを直接つないで電圧と周波数を測定しなさい。
- (3) マルチメータで発振器の電圧と周波数を測定すること。
- (4) 次に波形を方形波とし、周波数を50[Hz]、1[kHz]、100[kHz]として同様の測定を行いなさい。

表4 交流電圧の測定

波形	発振器の周波数[Hz]	Volts/div [V/div]	電圧目盛 [div]	電圧 [V]	マルチメータの電圧[V]	TIME/div [s/div]	時間目盛 [div]	周期 [s]	周波数 [Hz]	マルチメータの周波数[Hz]
正弦波										
方形波										

発振器を用いる場合は直流電圧の場合と異なり、短絡する危険はない。その理由について考えてみる。

3-4. 位相の測定

- (1) 発振器(ファンクションジェネレータ)とブレッドボードを準備する。
- (2) 任意の抵抗、コンデンサを2組選択すること。抵抗値は1~10[k Ω]、コンデンサは0.01~0.22[μ F]の範囲を目安にすること。
- (3) 発振器の波形は正弦波、周波数は1[kHz]とすること。周波数はオシロスコープを使って正確に合わせる。

どのように合わせればよいか考えること。

- (4) 図14のようにブレッドボードに抵抗とコンデンサを直列につなぎ、図13に示した2つの波形の時間差 t と周期 T を測定し、(1)式より位相差 θ を求めなさい。結果を表5のようにまとめること。
- (5) 次にX-Y表示にして図13に示した A 、 B を測定し、(2)式より位相差 θ' を求めなさい。結果を表5のようにまとめること。
- (6) 同様の実験をもう一組の抵抗とコンデンサについておこなうこと。

位相の測定が終了後、各抵抗とコンデンサの組について、オシロスコープでチャンネル1の電圧 v_1 とチャンネル2の電圧 v_2 の電圧を測定し、マルチメータでコンデンサの両端の電圧 v_c を測定すること。結果は表6のようにまとめること。

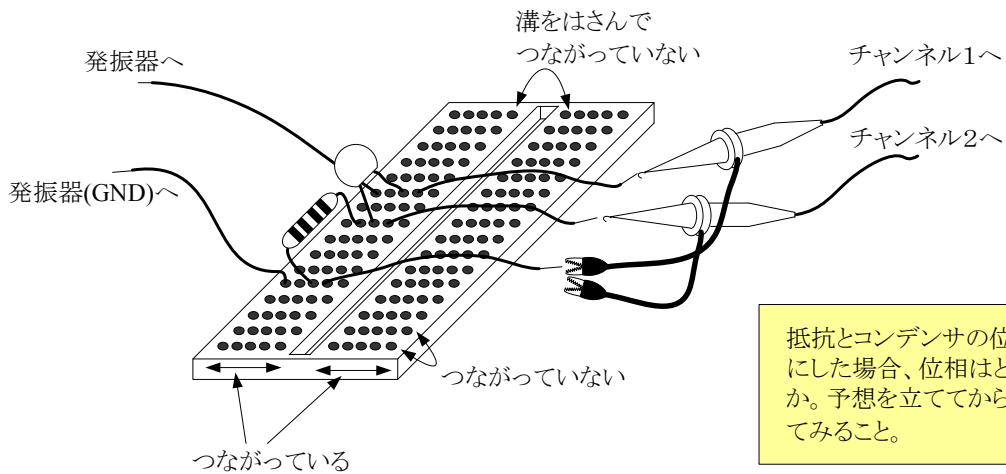


図14 位相の測定

表5 位相の測定

抵抗値 [Ω]	コンデンサ [F]	時間差 t [div]	周期 T [div]	(1)式による 位相差 θ [°]	A [div]	B [div]	(2)式による 位相差 θ' [°]

表6 直列回路の電圧測定

抵抗値 [Ω]	コンデンサ [F]	Volts/div [V/div]	電圧目盛 [div]	v_1 [V]	Volts/div [V/div]	電圧目盛 [div]	v_2 [V]	マルチメータ の電圧 v_c [V]

4. 考察課題

(1) 以下の4つを使ってアナログオシロスコープの基本的な構造を図示し、その動作についてまとめなさい。

画面、水平軸偏向板、垂直軸偏向板、電子銃

(2) オシロスコープが繰り返し波形を静止して表示できる理由について図を用いて詳細に説明すること。

(3) プローブの構造について図を用いて解説し、電圧を10倍する理由について述べよ。

(4) X-Y表示について図を用いて説明すること。また、式(2)より位相が求められることを証明しなさい。

(5) 電流波形を観測するには電流プローブを用いて測定することもあるが、電流プローブを用意せずに安価で観測したいとする。オームの法則を応用してどのように測定すればよいか述べなさい。

5. 考察のポイント

(1) オシロスコープの誤差は縦軸、横軸ともに $\pm 4\%$ であるので、測定装置としての精度はよいとは言えないが、時間による変化を観測できる利点がある。全てのマルチメータの値を真値として誤差および誤差率を求めること。

(2) 3-3の交流電圧の測定ではマルチメータの値は実効値になる。誤差を求めるときは注意すること。

(3) 3-4の位相測定の実験では2つの測定方法で位相差を求めている。理論計算で求めた値を真値として誤差および誤差率を求め、それぞれの測定方法の比較を行うこと。理論計算は図15の電圧ベクトルからインピーダンスベクトルの図を作図して求めること。

(4) 3-4の表6にまとめた各電圧を測定する実験において、 v_1 と v_2 より v_C の理論式を求めなさい。求めた理論式より v_C を算出し、マルチメータの値と比較、検討すること。理論式は図15の電圧ベクトルを参考にして求めること。

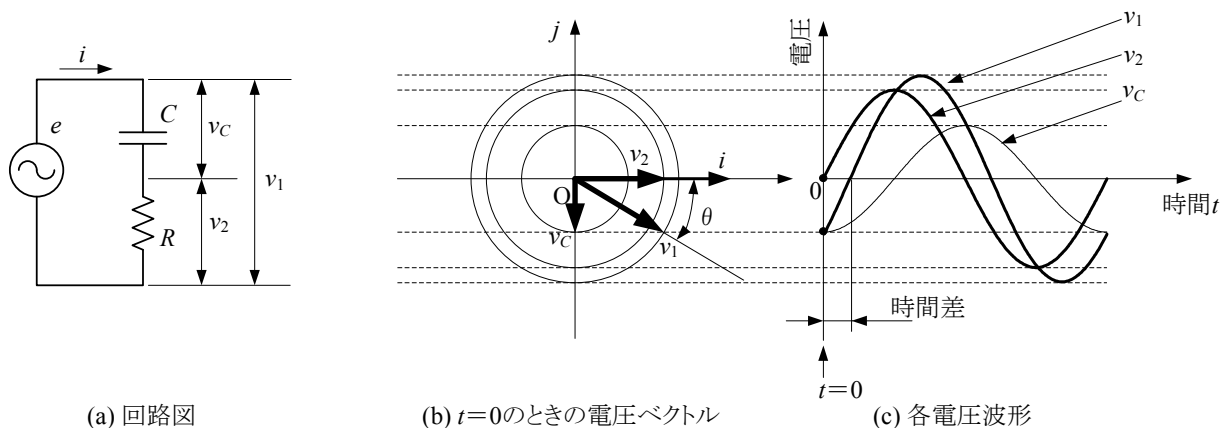


図15 RC直列回路の波形と電圧ベクトルの関係

6. オシロスコープ検定

実験の2週目にオシロスコープ検定を行う。検定内容としては制限時間内に任意に発生する波形に対してオシロスコープを操作して画面上に表示させる。ある一定のレベルを超えるまでは繰り返し検定を行うので、実験時間内に合格しない場合は補習を行う場合もある。

7. レポート製作時の注意事項

- ・レポートには2章について書く必要はない。2章の内容は実験中の理解に役立てること。
- ・3章の実験については自分がやった内容を第三者(今回の場合は担当教員)に報告することを前提に、文章を書き換えること。また、実験で使用した回路図も各自で作図して文章中に引用すること。
- ・使用器具は本テキストには書かれていないが各自でまとめて記載すること。
- ・実験結果に対する考察は必ず書くこと。
- ・4章の考察課題および実験結果に対する考察は、2週目にゼミおよび解説を行うので必ず調べておくこと。また、レポートには解答だけではなく設問も書くこと。
- ・2週目のオシロスコープ検定の内容はレポートに書く必要はない。