

1 実験の目的

交流を扱う電気・電子回路では、その特性を調べるのに波形観測が基本になるので、オシロスコープを自在に扱えるように測定技術を習得することを目的とする。

2 原理

2.1 デジタルオシロスコープの仕組み

図 2.1 に回路構成の例を示す。A/D(アナログ/デジタル) コンバータを使用して、測定した電圧をデジタル・データに変換し、波形から連続したサンプルを取得する。波形を表示するのに十分なサンプルが蓄積されると、それを画面上に波形として表示する。

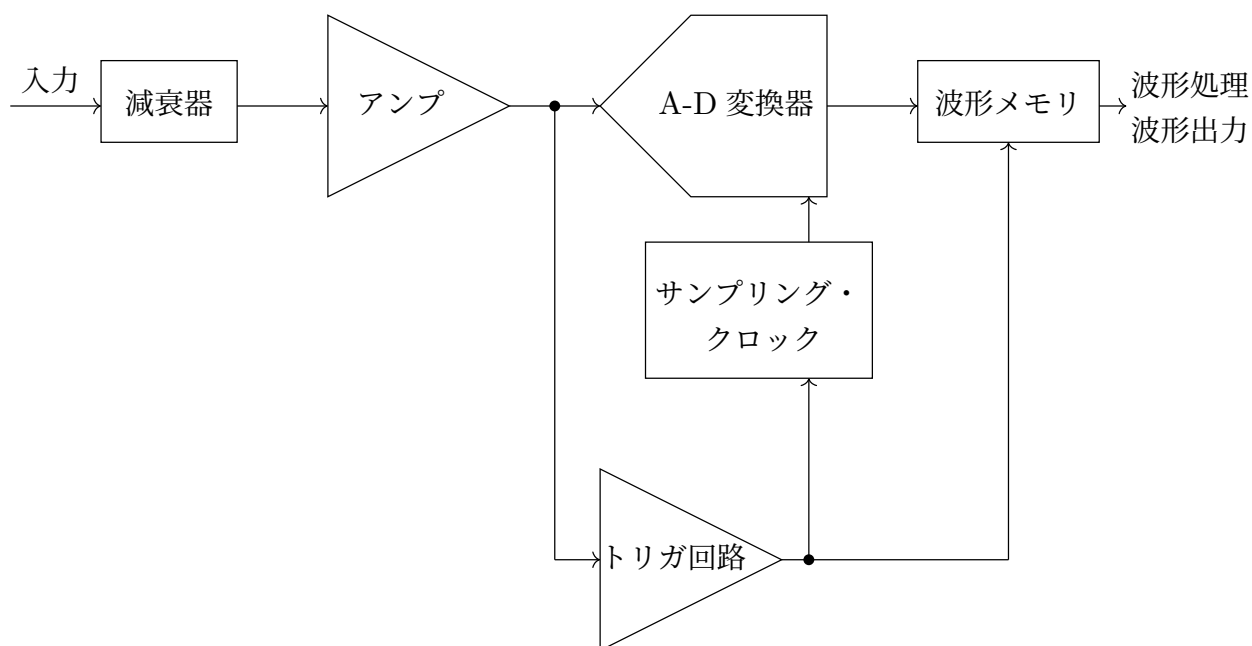


図 2.1 デジタルオシロスコープの原理図

2.2 デジタルオシロスコープの特徴

デジタルオシロスコープは、入力信号をデジタル処理しているため、データを解析して画面に数字で表示したり、USB などのインタフェースを介して PC にデータを送り、表計算・グラフ表示などのデータ処理が可能である。

2.3 種々のオシロスコープ

オシロスコープには、種々の特殊な目的のために、特徴のあるものが開発されてきた。以下にその代表的なものを列記する。

- 多現象オシロスコープ：2つ以上の異なる現象を同時に表示できるようにしたもの。
- デジタルメモリスコープ：信号電圧をデジタル化して内部メモリに記憶し、必要に応じて読み出せるようにしたもの。
- ストレージオシロスコープ：特殊なアナログで管面の波形を長時間保存できるようにしたもの。
- サンプリングオシロスコープ：高速の繰り返し波形を観測するため、波形の一定間隔ごとにサンプリングを行って、元の波形を表示するもの。

なお、最近のデジタルオシロスコープは、上記の複数の機能を搭載したものがある。

3 実験

今回の実験では、オシロスコープの測定技術を習得するために、オシロスコープの様々な機能を使って周波数 f と周期 RMS V_{rms} 、P-P 値 V_{pp} を測定した。

3.1 実験方法

図 3.1 の回路図で周波数 f と周期 RMS V_{rms} 、P-P 値 V_{pp} の測定をするために、以下のような手順で実験を行った。

3.1.1 オシロスコープの準備・プローブの調整

- (1) 電源プラグを差し込む前に、電源スイッチが「POWER OFF」になっていることを確認した。
- (2) 電源プラグを差し込み、POWER を ON にし、フロント・パネルの「Default Setup (工場出荷時設定)」ボタンを押して、オシロスコープを既知の開始状態にした。
- (3) TPP0101 型の $\times 10$ 受動プローブを、CH1 入力に接続した。このとき、TPP0101 型などの BNC コネクタを使用しているプローブを接続するには、プローブのコネクタがオシロスコープの入力 CH のコネクタに差し込めるまで押しながら回した。次にプローブのロック・リングを右に回して、プローブのコネクタを固定した。
- (4) プローブのワニ口型のグラウンド・リードをオシロスコープ画面の脇にあるグラウンド・コネクタに取り付けた。
- (5) プローブ・チップをグラウンド・リード・コネクタの上にある Probe Comp(プローブ補正) のコネクタに取り付けた。このコネクタは 1 kHz の方形波を出力した。
- (6) 方形波のすべての角が直角としてオシロスコープの画面に出力されていない時、「ProbeCheck」ボタンを押した。
- (7) プローブの倍率が 10 倍になっていることを確認した。
- (8) CH1 からプローブを抜き (3) ~ (7) のことを、CH2 にもう一つのプローブを差ししてもう一度行った。

3.1.2 オシロスコープを用いての測定

- (1) 最初に図 3.1 のように結線した。このとき使う抵抗は $R_1 = R_2 = 1\text{ k}\Omega$ であった。
- (2) オシロスコープにある、「measure」ボタンを押し CH1 では周波数 f ・周期 RMS V_{rms} ・P-P 値 V_{pp} と、CH2 では周波数 f ・周期 RMS V_{rms} が見れるように設定をした。
- (3) 発振器にある一番大きいロータリースイッチと、その横にある「FREQ」と書かれた枠の中にあるスイッチを調整して、オシロスコープの画面に出力された周波数が 200 Hz になるようにした。
- (4) CH1 と CH2 の波形を比べるために、「Position」と「Scale」のロータリースイッチを操作し、Y軸では CH1 と CH2 が真ん中に来るようにそろえて、波形の倍率をそろえた。
- (5) USB メモリを差し「print」ボタンを押して、オシロスコープの記録を USB メモリに保存した。
- (6) (3) ～ (5) を 1 kHz、2 kHz、10 kHz のそれぞれの周波数 f で行った。

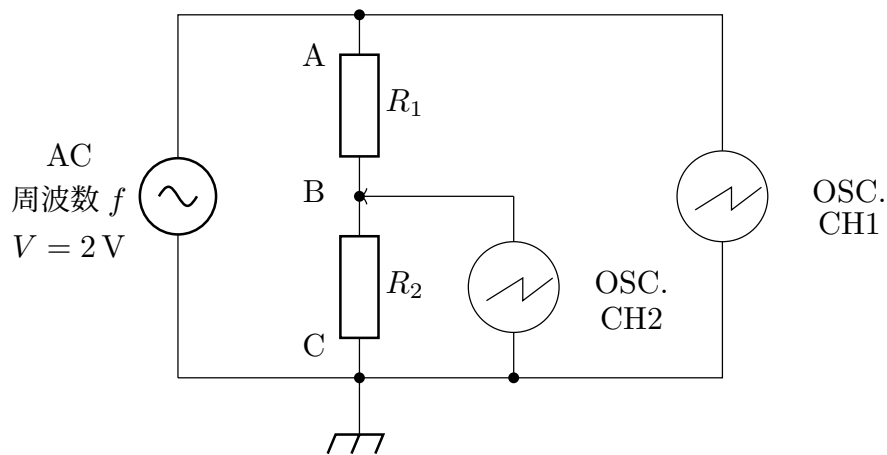


図 3.1 今回の測定回路

3.2 実験機器

今回の実験で使用した機器を以下の表 3.1 に示す。

表 3.1 使用機器

使用機器	規格	シリアルナンバー	製造会社
デジタルストレージオシロスコープ	TBS1022	C013037	Tektronix
発振器	AG-205	18080358	TEXIO
ブレッドボード	SRH-21B		Sunhayato
抵抗体	1 k Ω		

4 実験結果

図 4.1 では発振器を使って、(1) は 200 Hz、(2) は 1 kHz、(3) は 2 kHz、(4) は 10 kHz 時のオシロスコープの出力画面を、「print」ボタンを押して記録したものである。また、この図では凡例をつけるのが難しいため、黄色が CH1 で水色が CH2 とする。

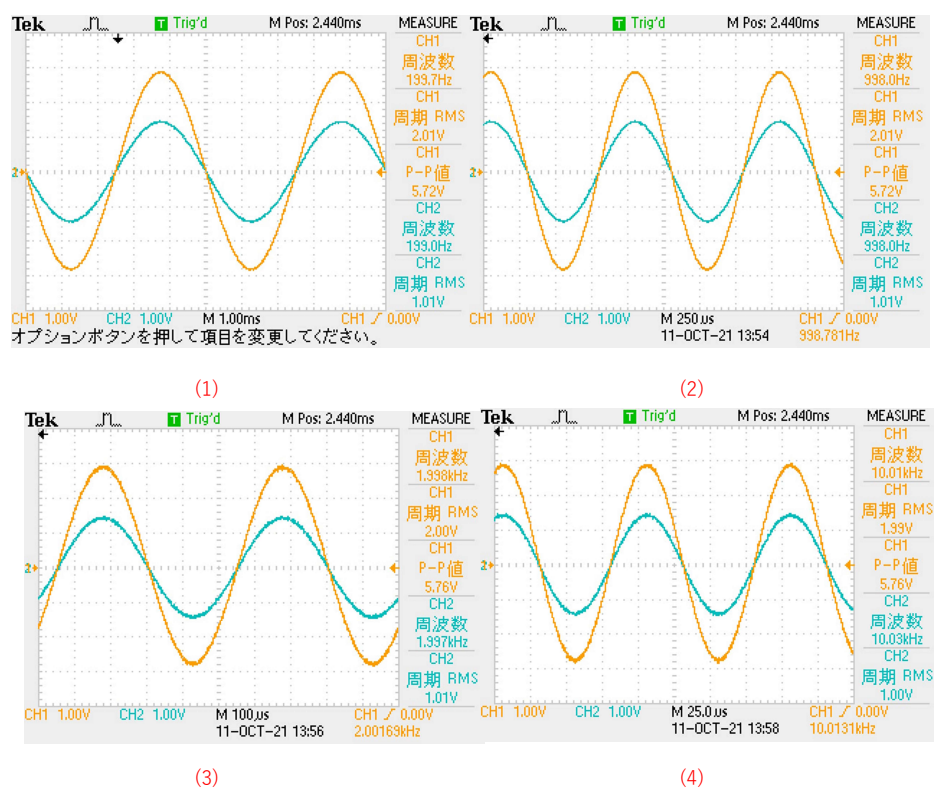


図 4.1 それぞれの周波数でのオシロスコープの出力画面

次に続く→

表 4.1 にオシロスコープの出力結果を示す。表 4.1 の CH1 では、発振器で設定した周波数 f と図 3.1 の回路図で流れてる周期 RMS V_{rms} と、P-P 値 V_{pp} の測定結果を示す。また表 4.1 の CH2 では、発振器で設定した周波数 f と図 3.1 の回路図で流れている周波数 RMS V_{rms} の測定結果を示す。

なお、周波数 f は 1sec 間に何周期することができるかというもので、以下の式から求めることができる [1]。(ここでは、周期を T とする。)

$$f = \frac{1}{T} \quad (4.1)$$

から求めることができる。周期 RMS V_{rms} は電圧の最大値を V_{max} としたとき、

$$V_{rms} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \quad (4.2)$$

から求めることができる。また P-P 値 V_{pp} とは、正弦波周期の電圧が正の最大値と負の最大値を足したものである。

表 4.1 オシロスコープの測定結果

入力 CH コネクタ		測定値			
CH1	周波数 f_1/Hz	199.7	998.0	1.998k	10.01k
	周期 RMS V_{rms1}/V	2.01	2.01	2.00	1.99
	P-P 値 V_{pp}/V	5.72	5.72	5.76	5.76
CH2	周波数 f_2/Hz	199.0	998.0	1.997k	10.03k
	周期 RMS V_{rms2}/V	1.01	1.01	1.01	1.00

図 4.1 と表 4.1 から読み取れることは以下のとおりである。

- 周波数を大きく変えたが、周期 RMS V_{rms} との値は誤差レベルでしか、ずれていないことが分かる。
- 図 4.1 の (1) から (4) のどの波形でも、CH1 と CH2 の電圧の最大値の差が変わらない。
- 図 4.1 の (1) から (4) において、CH1 の周期 RMS V_{rms} の値は、どれも CH2 の約 2 倍である。

5 考察

今回の実験での考察は2つある。それを以下に (1) と (2) に示す。

(1) CH1 の V_{pp} と発振器 V の関係

最初に、P-P 値 V_{pp} は 4. 実験結果にあるように、正弦波周期の電圧が正の最大値 V_{max} と負の最大値 V_{min} を足したものであることから、以下の式が成り立つ。

$$V_{pp} = V_{max} - V_{min} \quad (5.1)$$

次に、各抵抗にかかる電圧の実効値を分圧の法則より求める。

$$V_{rms1} = \frac{VR_1}{R_1 + R_2} \quad (5.2)$$

$$V_{rms2} = \frac{VR_2}{R_1 + R_2} \quad (5.3)$$

V_{rms} はキルヒホッフの第2法則より、以下のように求められる。

$$V_{rms} = V_{rms1} + V_{rms2} \quad (5.4)$$

式 (5.4) に式 (5.2),(5.3) を代入すると以下の式が成り立つ。

$$\begin{aligned} V_{rms} &= \frac{VR_1}{R_1 + R_2} + \frac{VR_2}{R_1 + R_2} \\ &= \frac{VR_1 + VR_2}{R_1 + R_2} \\ &= \frac{V(R_1 + R_2)}{R_1 + R_2} \\ &= V \end{aligned} \quad (5.5)$$

よって、発振器 V は実効値であると言える。次に、 V_{rms} は式 (4.2) より求められる。

$$V_{rms} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \quad (5.6)$$

式 (5.1) を式 (5.6) に代入するために、式変形を行うと、

$$V_{max} = V_{pp} + V_{min} \quad (5.7)$$

$$V_{rms} = \frac{V_{pp} + V_{min}}{\sqrt{2}} \quad (5.8)$$

を求められる。最後に、式 (5.8) に式 (5.5) の関係を適用すると、

$$V = \frac{V_{pp} + V_{min}}{\sqrt{2}} \quad (5.9)$$

式 (5.9) より、CH1 の V_{pp} と発振器 V の関係がわかる。また、式 (5.9) に表 4.1 の測定値を代入すると、

$$V = \frac{5.72 + (-\frac{5.72}{2})}{\sqrt{2}} = 2.022 \quad (5.10)$$

$$V = \frac{5.72 + (-\frac{5.72}{2})}{\sqrt{2}} = 2.022 \quad (5.11)$$

$$V = \frac{5.76 + (-\frac{5.76}{2})}{\sqrt{2}} = 2.036 \quad (5.12)$$

$$V = \frac{5.76 + (-\frac{5.76}{2})}{\sqrt{2}} = 2.036 \quad (5.13)$$

この時、式 (5.10)～(5.13) はそれぞれ、周波数 f の 199.7 Hz、998.0 Hz、1.998 kHz、10.01 kHz の時の測定値で計算したものである。式 (5.10)～(5.13) の計算結果より、発振器 V はほぼ 2 V あるため、測定値と設定値 2 V であまり変わらないことが分かるため。よって、式 (5.9) は成り立つと考えられる。

(2) CH1 V_{rms1} と CH2 V_{rms2} の周期 RMS V_{rms} の関係

図 4.1 のそれぞれの波形を見ると周波数が異なっているにもかかわらず、CH1 では電圧の正の最大値と負の最大値が約 2.9V で、CH2 では電圧の正の最大値と負の最大値が約 1.4V である。

まず CH 1 と CH2 の交流電圧を求める。ここで V_{max1} は CH1 の電圧の最大値、 V_{max2} は CH2 の電圧の最大値である。

$$V_1 = V_{max1} \sin(\omega t) \quad (5.14)$$

$$V_2 = V_{max2} \sin(\omega t) \quad (5.15)$$

式 (5.14) と (5.15) にある、周波数 ω は同じ記号のため、周波数はそれぞれの交流電圧や電圧の最大値に影響しないことが分かる。また、周期 RMS は以下のように求めることができる。

$$V_{rms} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \quad (5.16)$$

式 (5.16) を式 (5.14) と (5.15) に代入するために、式変形をすると、

$$V_{max} = \sqrt{2} \times V_{rms} \quad (5.17)$$

になり、式 (5.17) を式 (5.14) と (5.15) に代入すると、

$$V_1 = \sqrt{2} \times V_{rms} \sin(\omega t) \quad (5.18)$$

$$V_2 = \sqrt{2} \times V_{rms} \sin(\omega t) \quad (5.19)$$

になる。式 (5.16) より、周期 RMS V_{rms} は電圧の正の最大値 V_{max} に比例して増えることが分かる。この事と、CH1 は CH2 に比べて最大値が 2 倍ということから、周期 RMS も 2 倍であると言える。次に電圧はオームの法則より

$$V = RI \quad (5.20)$$

から求めることができる。式 (5.20) より、電圧は抵抗に比例することが分かるため、抵抗が 2 倍になると電圧も 2 倍になるということが分かる。またこの時、抵抗 $R_1 R_2$ は共に 1 k Ω である。そして、CH1 の抵抗 $R_1 R_2$ が接続されていて、CH2 の抵抗は R_2 のみが接続されている。このことから、CH1 の抵抗値は CH2 に比べて 2 倍である。

よって電圧 V_1 は V_2 より 2 倍であるといえる。電圧が 2 倍であると、式 (5.18)、(5.19) より CH1 は CH2 に比べて周期 RMS が 2 倍になる。

6 まとめ

今回の授業を通して、実験の目的である「オシロスコープを自在に扱えるように測定技術を習得する必要がある。」を達成することができたと思います。オシロスコープの機能を使って、波形を手動で位置調整し、CH1 と CH2 の位相を比較できるようになりました。しかし、図 4.1 では自分のオシロスコープの設定を間違えたことにより、X 軸の 1 マスあたりの秒数をそろえることができていませんでした。このことから、図を大雑把に見たときに単純比較ができなくなってしまいました。次回からはこのようなことをなくすために、USB メモリに保存する前に、オシロスコープの確認作業を怠らないようにしたいと思います。

7 参考文献

1. 山下 明、文系でもわかる電気回路、(株)翔泳社、2020 年、P120・P130