

提出日 2026 年 04 月 28 日

2026 年度 電子制御工学科 3 年

電子制御工学実験 1 レポート

課題記号 A-1

実験テーマ名 計測器の使い方

提出者： 実験班 - 名列番号 15 氏名 柴田健琉

共同実験者： なし

実験実施日：
1. 2026 年 04 月 14 日
2. 2026 年 04 月 21 日
3. 2026 年 04 月 27 日

1 実験目的

今回の実験では、今後電子・電気回路実験をするにあたって重要になる計測器などを使用した回路の測定方法を確認するために行った。

2 理論

2.1 直流と交流回路

直流回路とは電流・電圧・電力が時間変化しない回路のことである。逆に、交流回路とは電流・電圧・電力が時間変化する回路を指す。

現実で取り扱う回路はこの直流回路と交流回路の特徴を合成されたものが多く、それらは直流成分と交流成分に分けられる。

直流成分は電流・電圧などの電氣的要素の平均値としてあらわれ、交流成分はその平均値の差分の時間変化としてあらわれる。

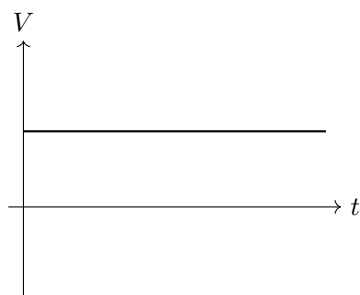


Fig. 2-1: DC Voltage

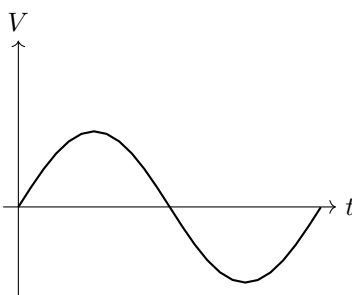


Fig. 2-2: AC Voltage

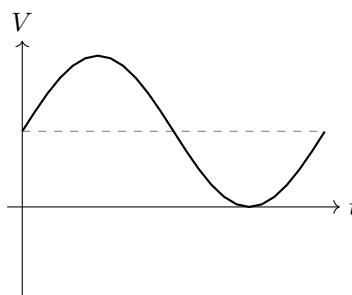


Fig. 2-3: DC Voltage + AC Voltage

2.2 インピーダンス

交流回路でのインピーダンスとは直流回路における抵抗に相当する電圧と電流の比である。回路計測の際には入力と出力でのインピーダンスが重要になる。

2.3 振幅と実効値

交流の大きさを表す指標は主にピークツピーク値と実効値がある。交流電圧 $v(t)$ に対するピークツピーク値 V_{pp} は以下の式となる：

$$V_{pp} = \max(v(t)) - \min(v(t)) \quad (2-1)$$

実効値は交流の時間に対する二乗平均値であり、以下の式で求まる：

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v(t)^2 dt} \quad (2-2)$$

ここで T は交流電圧の周期 [s] である。

また、正弦波交流 $v(t) = V_m \sin(\omega t)$ でのピークツピーク値と実効値には以下の関係がある：

$$\begin{aligned} V_{pp} &= V_m - (-V_m) = 2V_m \\ V_{rms} &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v(t)^2 dt} \\ &= \sqrt{\frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} (V_m \sin(\omega t))^2 dt} \\ &= \sqrt{\frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} \left(\frac{V_{pp}}{2} \sin(\omega t)\right)^2 dt} \\ &= \sqrt{\frac{V_{pp}^2}{4} \cdot \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} \frac{1 - \cos(2\omega t)}{2} dt} \\ &= \sqrt{\frac{V_{pp}^2}{8} \cdot \frac{\omega}{2\pi} \left(t - \frac{1}{2\omega} \sin(2\omega t)\right) \Big|_0^{\frac{2\pi}{\omega}}} \\ &= \sqrt{\frac{V_{pp}^2}{8}} \\ V_{rms} &= \frac{V_{pp}}{2\sqrt{2}} \end{aligned} \tag{2-3}$$

2.4 マルチメータ

マルチメータとは電流・電圧など複数の電氣的要素をこれ1つで計測できる機器である。この機器ではある瞬間の値を計測することができる。

マルチメータには数個の端子があるが、必ず1つはコモンであり、電流と電圧の計測で使用する端子を変える。マルチメータの中には大電流の計測にヒューズが入っていないものがあるのでメータの絶対最大定格を越えないよう注意する必要がある。

2.5 オシロスコープ

オシロスコープとは電圧の時間変化を一定時間計測・グラフ化することができる機器である。信号を全てアナログ回路で処理し、ブラウン管に波形を表示する物をアナログオシロスコープ、信号を A/D 変換しデジタルで波形を表示するデジタルオシロスコープがある。

オシロスコープの使用前にプローブの補正を確認する必要がある。補正にはプローブに付いているトリマを回転させる。

オシロスコープには波形を安定して観察できるようにするトリガを掛けることができる。さらに、交流信号ではトリガを掛ける電圧変化の向きを設定できる。立上がりでトリガレベルを低電位から高電位へ、立下がりではトリガレベルを高電位から低電位へ横切る時にトリガを掛けるようにできる。

デジタルオシロスコープには様々な機能を持つ物がある。波形に対して加算・減算などの演算を行なう機能、FFT を用いた波形の周波数特性の表示、周波数・振幅・周期などの計測、波形を画像として保存する機能など多彩である。

2.6 ファンクションジェネレータ (FG)

ファンクションジェネレータは特定の周波数・振幅・デューティ比・オフセット・波形を生成することができる機器である。

3 実験条件・手順

3.1 実験器具

今回の実験で使用した機材は以下の通りである：

- SANWA, PC700 マルチメータ
- Tektronix, TBS 1072B-EDU デジタルオシロスコープ
- TEXIO, FG-274 ファンクションジェネレータ
- HONG KONG TEXAS, TEXAS250 プローブ x2
- ブレッドボード
- $47\ \Omega \pm 5\%$
- $10\text{k}\ \Omega \pm 5\%$
- $100\text{k}\ \Omega \pm 5\%$

3.2 実験 1 - プローブの補正

1. オシロスコープと FG を用意する。
2. パッシブプローブを接続し、トリマを回転させ波形を歪ませ、記録する。プローブはアッテネーション (x10) を有効にしておく。
3. 比較・位相測定用に補正済のプローブを接続する。
4. 補正不足の状態でプローブを FG の出力に接続し、100 Hz, 300 Hz, 1 kHz, 3kHz, 10kHz, 100kHz, 1MHz の正弦波の振幅をオシロスコープで測定・記録する。同時に FG の出力を交流電圧・周波数測定モード (\tilde{V}/Hz) にしたマルチメータに接続しそれぞれで振幅を測定・記録する。入力電圧振幅も記録しておく。別チャンネルの基準波形を元に位相をオシロスコープで測定・記録する。
5. プローブを補正し、3 と同様に測定・記録を行なう。

3.3 実験 2 - ピークツピーク値と実効値

1. FG から 5 V のオフセット、周波数 1 kHz, 2 V_{pp} の正弦波を出力し、オシロスコープで観察する。
2. マルチメータで直流電圧と交流電圧の実効値を測定・記録する。その後、実効値をマルチメータ上で $0.15\text{V}_{\text{rms}}$ にする。
3. オシロスコープの測定機能を用いて正弦波のピークツピーク値を測定・記録する。

3.4 実験 3 - 入出力インピーダンス

1. FG の出力を周波数 1 kHz, 1 V_{pp} の正弦波に設定する.
2. Fig. 3-1 の様に FG の出力に 47Ω と 10kΩ の 2 個の抵抗をそれぞれ接続し, 各条件における抵抗の端子間の電圧 (V_{pp}) をオシロスコープで測定・記録する.

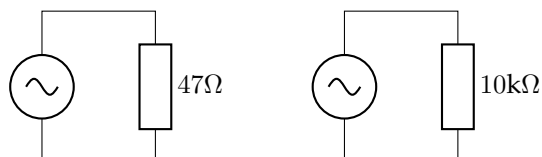


Fig. 3-1: Circuit Diagrams for Experiment #3

3.5 実験 4 - 複数信号の測定

1. Fig. 3-2 の様に 100kΩ と 10kΩ の抵抗を直列接続した回路において節点 C を基準電位とした時の節点 A・節点 B の電圧波形をオシロスコープで同時計測して記録する.
2. 節点 B を基準電位とした時の節点 A・節点 B の電圧波形をオシロスコープで同時計測して記録する.
3. 2. において, オシロスコープの演算機能を用いて節点 A の波形から節点 C の波形を減算した波形が節点 C を基準電位とした節点 A の波形が得られることを確認し, その波形を記録する.

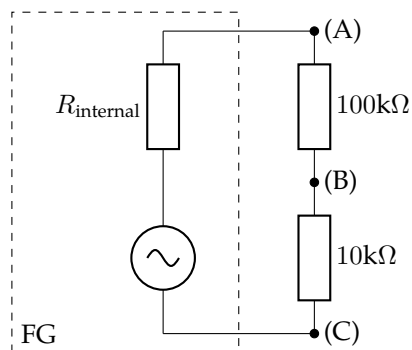


Fig. 3-2: Circuit Diagram for Experiment #4

4 実験結果

4.1 実験 1

計測前にプローブのトリマを回転させ, 補正不足の状態にした. その時のオシロスコープの基準信号の波形は Fig. 4-1 に示した様に上下にひげが生えた波形となった.

この実験で周波数が高くなるにつれ, 未補正での振幅が変化することを確認した. また, マルチテスタで測定した入力電圧振幅が周波数が高くなるにつれ小さくなり, 最終的に 1 MHz で測定不能となった.

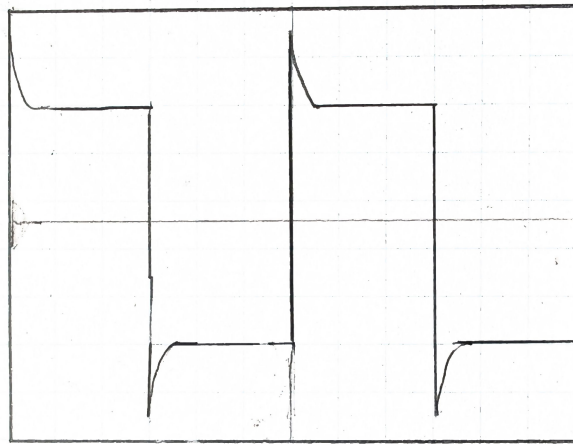


Fig. 4-1: A Sketch of Observed Distorted Signal

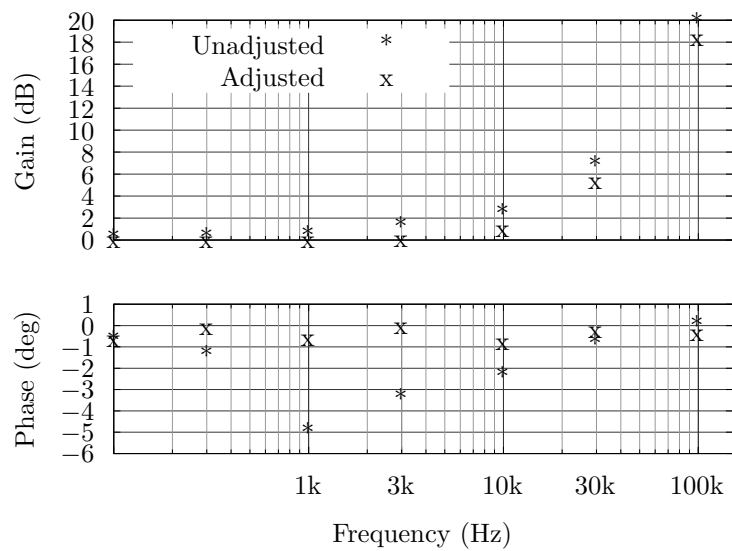


Fig. 4-2: Bode Plot

補正時では未補正時よりも振幅が最大約 2.3 dB 低下した。

4.2 実験 2

実効値はそれぞれ以下となった：

1. DC: 4.955 V
2. AC: 0.680 V

交流実効値を 0.15 V とした時、ピークツピーク値は 460 mV となった。

4.3 実験 3

抵抗の両端の電圧はそれぞれ以下となった：

Table 4-1: Voltage between Different Resistor

Resistance (Ω)	Voltage (V_{pp})
47	0.480
10k	1.00

4.4 実験 4

電圧波形は以下となった：

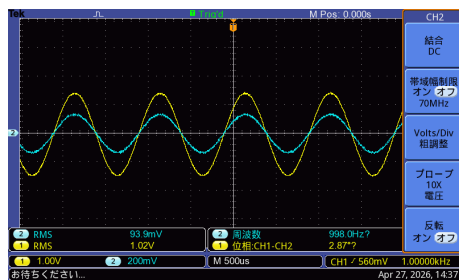


Fig. 4-3: From Common Ground

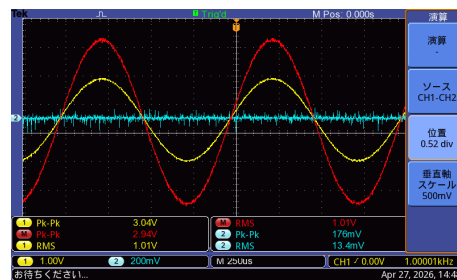


Fig. 4-4: From Floating Voltage

Fig. 4-3 では黄色の波形が節点 A の、青色の波形が節点 B の節点 C を基準電位とした電圧となっている。

Fig. 4-4 では黄色の波形が節点 A の、青色の波形が節点 C の節点 B を基準電位とした電圧となっている。

節点 B を基準電位とした時、節点 C の波形が得られなかったが、手順の演算を行なったところ、節点 C を基準電位とした節点 A の電圧波形が得られたことを確認できた。また、オシロスコープの電源にはアースを接続することでより精度よく、低ノイズで測定できることを実験中に確認した。

5 考察

5.1 実験 1

5.1.1 トリマとアッテネーション

オシロスコープのプロープにはトリマとアッテネーションがある。それぞれ測定の精度を左右する重要なパラメータである。

トリマは Fig. 5-1 のようにプロープ内部で並列接続された可変コンデンサのキャパシタンスを変える効果がある。これによりプロープのインピーダンスを変化させ交流電圧を正しく計測できるようになる¹⁾。

アッテネーションは測定範囲を変更できるもので、プロープの最低電圧レンジ：オシロスコープの最低電圧レンジの比で表示されている。例えば 10 : 1 のプロープを使いオシロスコープでの最低電圧レンジが 10 mV/div の場合、プロープの最低電圧レンジは 100 mV/div となる。この設定では 50 mV/div のような低

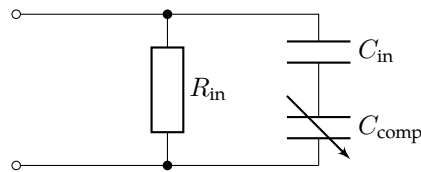


Fig. 5-1: Equivalent Circuit Diagram of Oscilloscope Probe

電圧の測定に向かないので 1 : 1 での測定が必要となる²⁾。

5.1.2 マルチテスタの測定結果の変化

Fig. 4-2 より、10 kHz を境に振幅が大きくなっていく様子が分かる。これはマルチメータの定格測定周波数レンジ (15 ~ 10 kHz) を超えたためと思われる³⁾。

5.1.3 トリガ

画面上で流れている波形はトリガレベルを調節することで止めることで観察しやすくする、これがトリガの効果である。オシロスコープは連続的に電圧を波形として表示する特性上、表示タイミングが合わないとき波形表示が乱れたり、左右に動いてしまう。

デジタルオシロスコープとアナログオシロスコープでは回路が異なるが、どちらもトリガレベルと測定波形を比較し、測定電圧がトリガレベル以上 (立上がり) または以下 (立下がり) になった時にトリガ (実行) し、トリガ前後波形を表示するようになっている。トリガによる測定開始タイミングの一致が安定した波形表示に寄与している⁴⁾。

トリガにも様々な種類があり、特定のパルス幅・ロジックレベル・一定期間以上電圧レベルを維持した時などがある⁴⁾。

5.2 実験 2

実験手順 1 で得た値を Eq. (2-3) に代入して計算すると V_{pp} は 1.923 V となった。これは 2 V_{pp} から -3.833 % の誤差率となる。

実験手順 2 の実効値を同様に代入・計算すると V_{rms} は 0.163 V となり、0.15 V からの誤差率は +8.423 % となった。

この誤差はマルチメータでの小電圧の測定に向けた交流 mV モードではなく誤差の大きい交流 V モードで測定したことに起因すると考えられている³⁾。

5.3 実験 3

Table 4-1 では一見オームの法則に反しているように見える。しかし、調査すると FG の内部抵抗による分圧回路の出力であると判明した。

FG のデータシートによると内部抵抗は 50 Ω であると分かった⁵⁾。なので、実験 3 の回路図は Fig. 5-2 となった。

Fig. 5-2 の回路図より、抵抗にかかる電圧 V_R は以下の式で表せる：

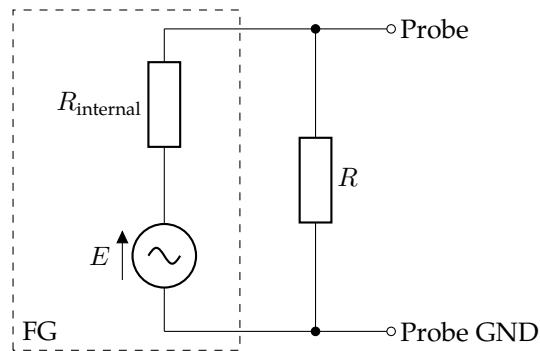


Fig. 5-2: Actual Circuit Diagram for Experiment #3

$$V_R = \frac{R}{R + R_{\text{internal}}} E \quad [\text{V}] \quad (5-1)$$

ここで R を被測定抵抗器の抵抗値 $[\Omega]$, R_{internal} を FG の内部抵抗の抵抗値 $[\Omega]$, E を FG の出力ピークツピーク電圧 $[\text{V}]$ とする.

Eq. (5-1) の E に 1 を, R_{internal} に 50 を, そして R に 47 と 10k を代入して計算を行うとそれぞれ 0.485, 0.995 となり, 実験値と近い値となった.

5.4 実験 4

オシロスコープのプロブのグラウンドは内部で接続されている. なので Fig. 5-3 のようにプロブを接続するとオシロスコープ内で短絡し, 測定回路またはオシロスコープを破損・故障させる恐れがある⁶⁾.

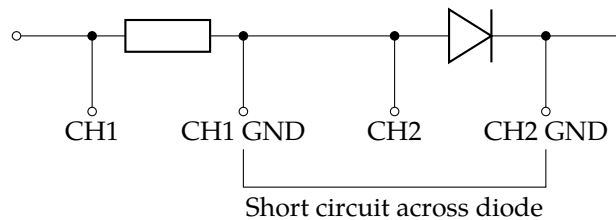


Fig. 5-3: Bad Example of Oscilloscope Probing

2 チャンネルによる同時測定ではオシロスコープの演算機能を駆使した差動測定が可能である. Fig. 5-4 のようにプロブを接続し, 演算機能で CH1 - CH2 の波形を表示すればダイオードにかかる電圧を CH2 で, 抵抗器にかかる電圧を CH1 - CH2 で確認できる. またグラウンドを気にせずに任意の 2 点間の電位差を測定できる差動プロブというものでも同じ結果が得られる.

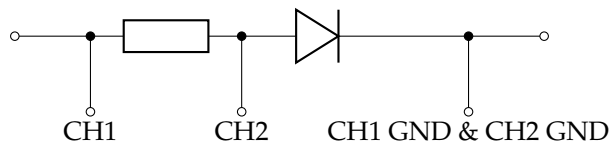


Fig. 5-4: Example of Differential Probing with Passive Probes

6 まとめ

今回の実験より以下の事が分かった：

- マルチメータのモードが測定精度を左右する
- 測定機器の内部抵抗には注意すること
- 測定機器の電源にアースが付いている場合は接続することが望ましい
- オシロスコープのプロープの校正は測定前に確認すること
- オシロスコープのプロープの接続には十分注意すること

参考文献

- [1] 橋詰伸一. “電子工作のためのテスト & オシロスコープ活用”. In: CQ 出版株式会社, 2010/05, 70–71頁.
- [2] 橋詰伸一. “電子工作のためのテスト & オシロスコープ活用”. In: CQ 出版株式会社, 2010/05, 181頁.
- [3] 三和電気計器株式会社. “PC700 DIGITAL MULTIMETER INSTRUCTION MANUAL”. 2014/04. URL: https://www.sanwa-meter.co.jp/japan/pdf/manual/digital_multimeters/PC700_JP.pdf (2026/04/26 参照).
- [4] Tektronix Inc. “The Basics of an Oscilloscope Trigger”. 2021/04. URL: <https://www.tek.com/en/video/the-basics-of-an-oscilloscope-trigger> (2026/04/27 参照).
- [5] TEXIO TECHNOLOGY. “FG-274 取扱説明書”. 2014/10. URL: https://www.texio.co.jp/uploads/FG-274_B71-0173-11_J.pdf (2026/04/26 参照).
- [6] 橋詰伸一. “電子工作のためのテスト & オシロスコープ活用”. In: CQ 出版株式会社, 2010/05, 187–189頁.