

提出日 2026 年 05 月 19 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-2

実験テーマ名 オームの法則とキルヒホッフの法則

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 28 日
2. 2026 年 05 月 12 日

1 実験目的

今回の実験では、電気回路の基本的な法則が現実の回路でも成り立つかを確認するために行った。

2 理論

2.1 オームの法則

ある抵抗値を持つ抵抗器 R [Ω] に対し端子間電圧 V [V] を印加すると抵抗に電流 I [A] が流れる。この時、 V, R, I には次の関係式が成り立つ。

$$V = RI \quad (2-1)$$

Eq. (2-1) で表されるこの関係をオームの法則という¹⁾。

電圧は電流に比例するので V-I 図は Fig. 2-1 のようになる。

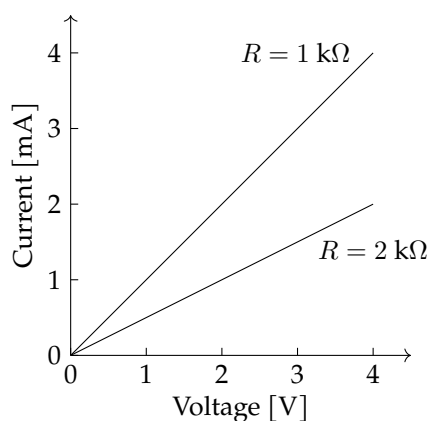


Fig. 2-1: Ohm's Law on Graph

2.2 キルヒホッフの法則

複数の抵抗・電源からなる複雑な回路はオームの法則だけでは回路を解くことはできない。キルヒホッフの法則はそのような回路網を計算する際に用いられる。

この法則には2つの性質が定義されている。

第一法則は電流則とも呼ばれ、Fig. 2-2a のように回路中の接点の電流の入出流の関係が定義されている。具体的には、Eq. (2-2) に示すように流入（または流出）を正として総和した電流は常に零である、または、接点に流れ込む電流と流れ出る電流は等しい²⁾。

$$\sum_{k=0} i_k = 0 \quad (2-2)$$

第二法則は電圧則とも呼ばれ、Fig. 2-2b のように回路の 1 つのループ (閉路) での電圧降下の関係が定義されている。具体的には、Eq. (2-3) に示すように回路内の任意の閉路について、その閉路に向定め、各枝の電圧を閉路向きに総和したとき、その和は常に零である³⁾。

$$\sum_{k=0} v_k = 0 \quad (2-3)$$

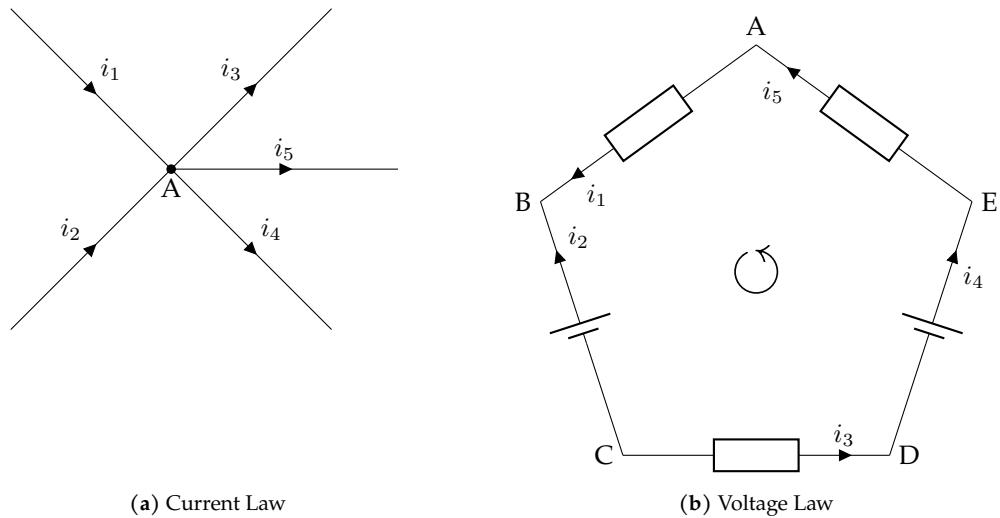


Fig. 2-2: Kirchhoff's Laws

2.3 重ね合わせの理

電気回路に電圧源、電流源、抵抗器、キャパシタ、インダクタが複数個存在する場合、その回路は線形であり、電流・電圧源が単独で存在する場合の回路網の電流・電圧分布を求め、それらを重ね (加え) 合わせた値は同時に存在する場合の値と等しい。ただし、取り去られる電流源は開放除去、電圧源は短絡除去する⁴⁾。

2.4 テブナンの定理

電源を含む線形回路の端子開放電圧が V_0 で内部インピーダンスが Z_0 であった場合にインピーダンス Z を端子に接続したとき、流れる電流 I は Eq. (2-4) となる。

$$I = \frac{V_0}{Z_0 + Z} \quad (2-4)$$

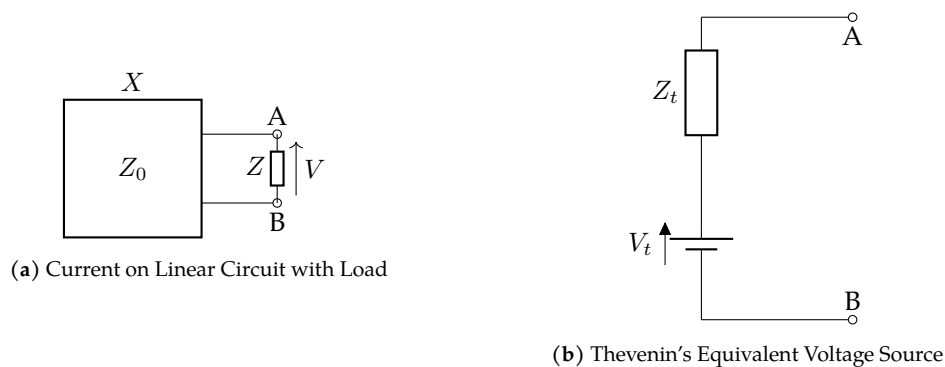


Fig. 2-3: Thevenin's Theorem

3 実験条件・手順

3.1 実験器具

今回の実験では以下の器具を用いた：

- ブレッドボード Sunhayato SHR-74
- デジタルマルチメータ SANWA PC700
- 直流安定化電源 KENWOOD PR18-1.2A
- 抵抗器 $1.0\text{ k}\Omega \pm 5\%$, $1/4\text{ W}$
- 抵抗器 $2.2\text{ k}\Omega \pm 5\%$, $1/4\text{ W}$
- 抵抗器 $3.3\text{ k}\Omega \pm 5\%$, $1/4\text{ W}$

3.2 実験 1

1. Fig. 3-1 の回路をブレッドボード上で作成する
2. 3 種類の抵抗 ($R = 1.0\text{ k}\Omega, 2.2\text{ k}\Omega, 3.3\text{ k}\Omega$) について, 3 つの電源電圧 ($E = 3\text{ V}, 6\text{ V}, 9\text{ V}$) における電流を測定する

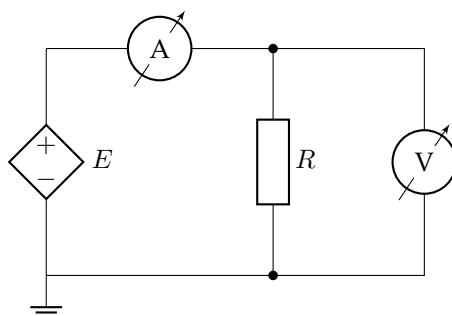


Fig. 3-1: Circuit Diagram of Experiment # 1

3.3 実験 2

1. Fig. 3-2a の回路を作成し、電流 I_1, I_2, I_3 、抵抗 R_1, R_2, R_3 の端子間電圧 V_1, V_2, V_3 および電源電圧 E_1, E_2 を測定する
2. Fig. 3-2b の回路を作成し、1. 同様に測定する

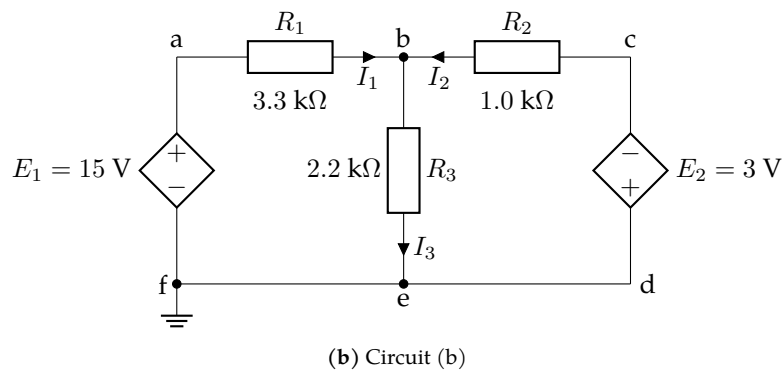
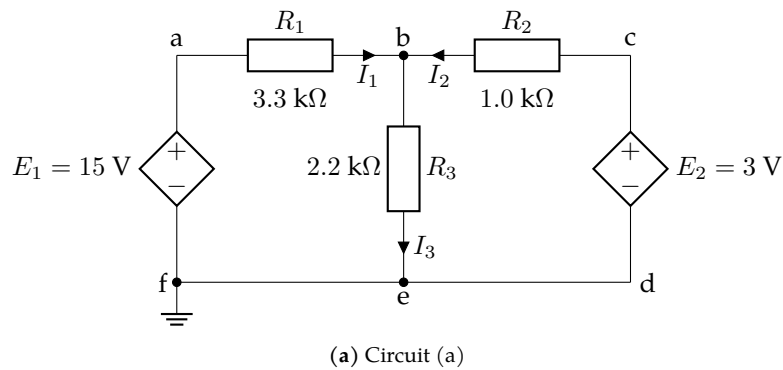


Fig. 3-2: Circuit Diagrams of Experiment # 2

3.4 実験 3

1. Fig. 3-2a の回路を作成し、電流 I_1, I_2, I_3 、抵抗 R_1, R_2, R_3 の端子間電圧 V_1, V_2, V_3 および電源電圧 E_1, E_2 を測定する。この時、 E_2 を取り外し、短絡させる
2. E_2 を戻し、 E_1 を取り外し、短絡させ、1. 同様に測定する
3. E_1 を戻し、 E_1, E_2 同時に印加させ、1. 同様に測定する

なお今回の実験の手順 3 では実験 2 の手順 1 の結果を使用する。

3.5 実験 4

1. Fig. 3-3a を Fig. 3-3b の等価回路で表す時、 V_t と R_t を理論的に求める
2. Fig. 3-3a の回路を作成し、負荷抵抗 R_L の端子間電圧とそれに流れ込む電流を測定する

3. Fig. 3-3b の回路を作成し，2. 同様に測定する．なお R_t には $10\text{ k}\Omega$ の可変抵抗を使い，電源電圧も理論値 V_t に設定する

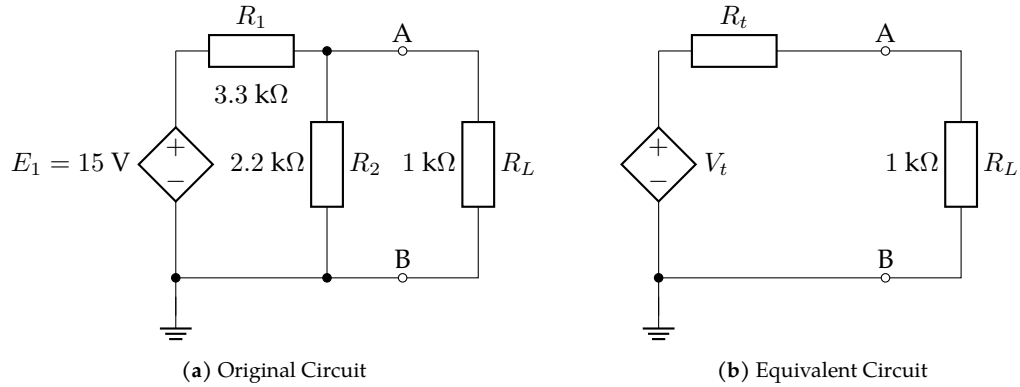


Fig. 3-3: Circuit Diagrams of Experiment # 4

4 実験結果

4.1 実験 1

それぞれの抵抗の理論値と実測値を Fig. 4-1 に示す．なお，理論値には $\pm 5\%$ の誤差の範囲も同時に表示している．

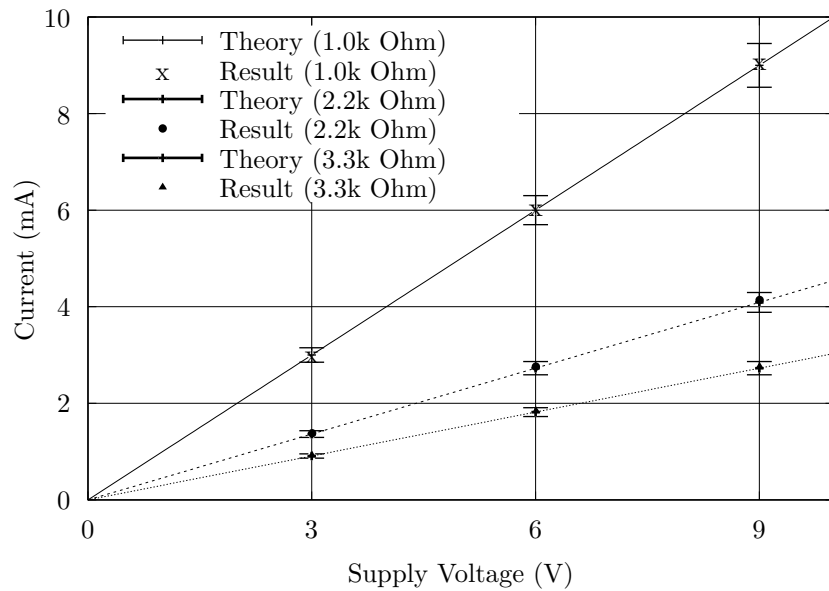


Fig. 4-1: Voltage v.s. Current of Different Resistors with Theoretical Values and $\pm 5\%$ Error Ranges

4.2 実験 2

4.2.1 回路 (a)

$E_1 = 15.000 \text{ V}$, $E_2 = 3.005 \text{ V}$ の時, 各抵抗での電流・電圧は Table 4-1 となった:

Table 4-1: Voltage and Current on each Resistors in Circuit (a)

Resistor	Voltage [V]	Current [mA]
R_1	10.69	3.28
R_2	1.30	-1.31
R_3	4.30	1.98

4.2.2 回路 (b)

$E_1 = 15.000 \text{ V}$, $E_2 = -3.007 \text{ V}$ の時, 各抵抗での電流・電圧は Table 4-2 となった:

Table 4-2: Voltage and Current on each Resistors in Circuit (b)

Resistor	Voltage [V]	Current [mA]
R_1	14.10	4.33
R_2	3.89	-3.93
R_3	0.89	0.40

4.3 実験 3

4.3.1 E_1 のみ

$E_1 = 15.000 \text{ V}$ での各抵抗にかかった電流・電圧は Table 4-3 となった:

Table 4-3: Voltage and Current of each Resistors in Circuit (a) with E_1 as Voltage Source

Resistor	Voltage [V]	Current [mA]
R_1	12.40	3.81
R_2	2.61	2.61
R_3	2.59	1.19

4.3.2 E_2 のみ

$E_2 = 3.004 \text{ V}$ での各抵抗にかかった電流・電圧は Table 4-4 となった:

4.4 実験 4

等価回路でのパラメータの値は $V_t = 6 \text{ V}$, $R_t = 1320 \Omega$ となった. これらの値に元にした実験の結果を Table 4-5 にまとめる.

Table 4-4: Voltage and Current of each Resistors in Circuit (a) with E_2 as Voltage Source

Resistor	Voltage [V]	Current [mA]
R_1	1.71	0.52
R_2	1.29	1.32
R_3	1.70	0.78

Table 4-5: Voltage and Current of Load

Circuit	Voltage [V]	Current [mA]
Original Circuit	2.595	2.62
Replaced with Variable Resistor	2.576	2.61

5 考察

5.1 実験 1

Fig. 4-1 より測定値はすべて $\pm 5\%$ の抵抗値の誤差に収まっている．理想値の曲線は $I = \frac{V}{R}$ なので測定値はオームの法則 (Eq. (2-1)) に従っているといえる．

5.1.1 抵抗器の制限について

オームの法則は実験で使用した抵抗器よりも低い抵抗値を持つものでも成り立つはずだが定格電力の制限で手順書では使用しなかった．

試しに，実験で使用した抵抗値が $\frac{1}{10}$ で定格電力が $1/4\text{ W}$ の抵抗を用いて同じ実験を行なった場合を考える．オームの法則により，3，6，9 V の電流と電力は Table 5-1 となる．

Table 5-1: Current and Power of Resistors with Tenth of Resistance

Voltage [V]	100 Ω		220 Ω		330 Ω	
	Current (mA)	Power (W)	Current (mA)	Power (W)	Current (mA)	Power (W)
3	30	0.09	13.64	0.041	9.09	0.027
6	60	0.36	27.27	0.16	18.18	0.11
9	90	0.81	40.91	0.37	27.27	0.25

一部で $1/4 = 0.25\text{ W}$ を超過してしまう条件がある．これらの値は理想的な抵抗を使用した場合なので現実ではかろうじて超過しなかったり，僅かながら超える条件があるだろう．

抵抗器はその性質上，電力の一部を熱に変換して発熱しながら電流を制限する．定格電力を超えての使用は抵抗器が焼損・破裂する可能性があるので注意すること⁵⁾．

5.2 実験 2

実験結果 Table 4-1, Table 4-2 より接点 (b) での電流の総和はそれぞれ Table 5-2 となった．

Table 5-2: Applying Kirchhoff's Current Law at Point (b) to each Circuits

Circuit	Current [mA]
(a)	0.01
(b)	0.80

また、各回路の閉路 abef, bcde, acdf での電圧の和は Table 5-3 となった。

Table 5-3: Applying Kirchhoff's Voltage Law to each Loops

Loop	Circuit (a) [V]	Circuit (b) [V]
abef	0.010	0.010
bcde	-0.005	0.007
acdf	0.005	-0.017

これらから、実験回路はおおかたキルヒホッフの法則に従っているといえる。しかし、回路 (b) の電流則と閉路 acdf では真の値である 0 からかなり離れてしまった。これには 2 つの実験回路での測定方法の差異や測定機器・抵抗値の誤差などが考えられる。

5.3 実験 3

実験結果 Table 4-3・Table 4-4 と Fig. 3-2a より、電流の向きに注意しながら重ね合わせると

$$V_{R_1} = 12.40 \text{ V} - 1.71 \text{ V} = 10.69 \text{ V} \quad (5-1)$$

$$V_{R_2} = 2.61 \text{ V} - 1.29 \text{ V} = 1.32 \text{ V} \quad (5-2)$$

$$V_{R_3} = 2.59 \text{ V} + 1.70 \text{ V} = 4.29 \text{ V} \quad (5-3)$$

$$I_{R_1} = 3.81 \text{ mA} - 0.52 \text{ mA} = 3.29 \text{ mA} \quad (5-4)$$

$$I_{R_2} = -2.61 \text{ mA} + 1.32 \text{ mA} = -1.29 \text{ mA} \quad (5-5)$$

$$I_{R_3} = 1.19 \text{ mA} + 0.78 \text{ mA} = 1.97 \text{ mA} \quad (5-6)$$

それぞれの誤差率は Table 5-4 の通りである。

Table 5-4: Percentage Differences of Experiment # 3 from Experiment # 2 on Circuit (a)

Measurement	Difference (%)
V_{R_1}	0.00
V_{R_2}	+1.54
V_{R_3}	-0.23
I_{R_1}	+0.30
I_{R_2}	-1.53
I_{R_3}	-0.51

この誤差は前節の測定方法の差異が影響していると思われる。

5.3.1 電源の除去法について

この重ね合わせの理を適用する際の電源の除去法は電圧源と電流源で違ってくる．電圧源は短絡除去，電流源は開放除去である．これは Fig. 5-1 のように電圧源は直列接続，電流源は並列接続であるため，電圧・電流をなくし，抵抗値を変化させないような除去を行なっている．

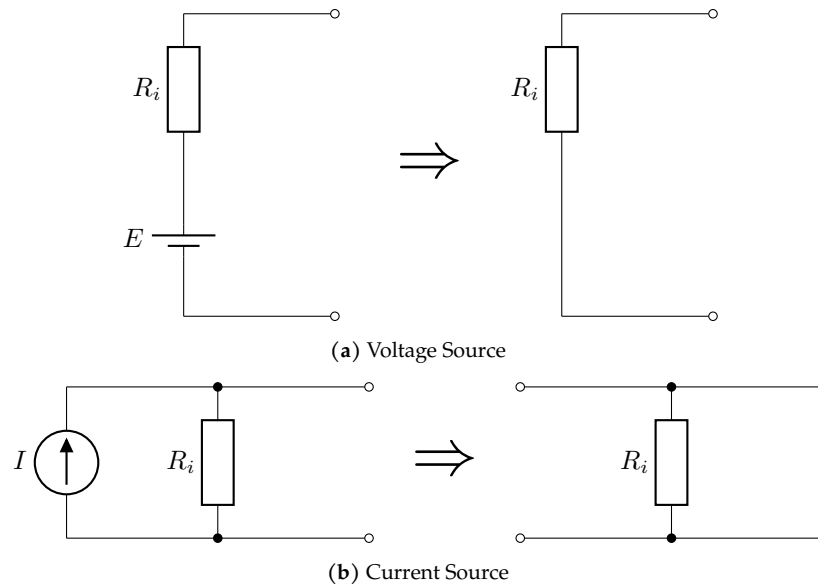


Fig. 5-1: Removal of Voltage and Current Source

5.4 実験 4

実験結果 Table 4-5 から誤差率 Table 5-5 を求める．

Table 5-5: Percentage Differences of Original and Equivalent Circuit of Experiment # 4

Measurement	Difference [%]
Voltage	-0.73
Current	-0.38

比較的小さな誤差に収まったが，可変抵抗の抵抗値が少し触れるだけで変化してしまうため設定が難しく，誤差が出てしまった．

5.4.1 テブナンの定理の証明

Fig. 5-2a のような回路 N を考える．この回路には複数の電圧源・電流源があり内部インピーダンスは Z_0 である．そして，この回路の開放電圧を V_0 とする．

次に Fig. 5-2b のように負荷インピーダンス Z_L を接続する．この時，回路には電流 I が流れる．

そして Fig. 5-2c を考える．この回路は負荷インピーダンスだけでなく， V_0 と同じ電圧を持つ 2 つの電源を互いに打ち消し合うように接続する．重ね合わせの理を適用して Fig. 5-2d と Fig. 5-2e のように電圧源 V_1 ，

V_2 をそれぞれ独立させる。電流 I は I_1 と I_2 の和として表わせれる。

Fig. 5-2d では点 A での電位が等しいため電流が流れない，よって $I_1 = 0$ である。

Fig. 5-2e では回路 N の電圧源を短絡，電流源を開放して内部インピーダンス Z_0 を得る。この時， I_2 はオームの法則より Eq. (5-7) で表わせれる。

$$I_2 = \frac{V_2}{Z_0 + Z_L} = \frac{V_0}{Z_0 + Z_L} \quad (5-7)$$

結果的に I_1 と I_2 の和である電流 I は $0 + \frac{V_0}{Z_0 + Z_L}$ で Eq. (2-4) が得られる。

Fig. 5-2e の回路を変形し電圧源となる部分を抜き出したのが Fig. 5-2f である⁶⁾。

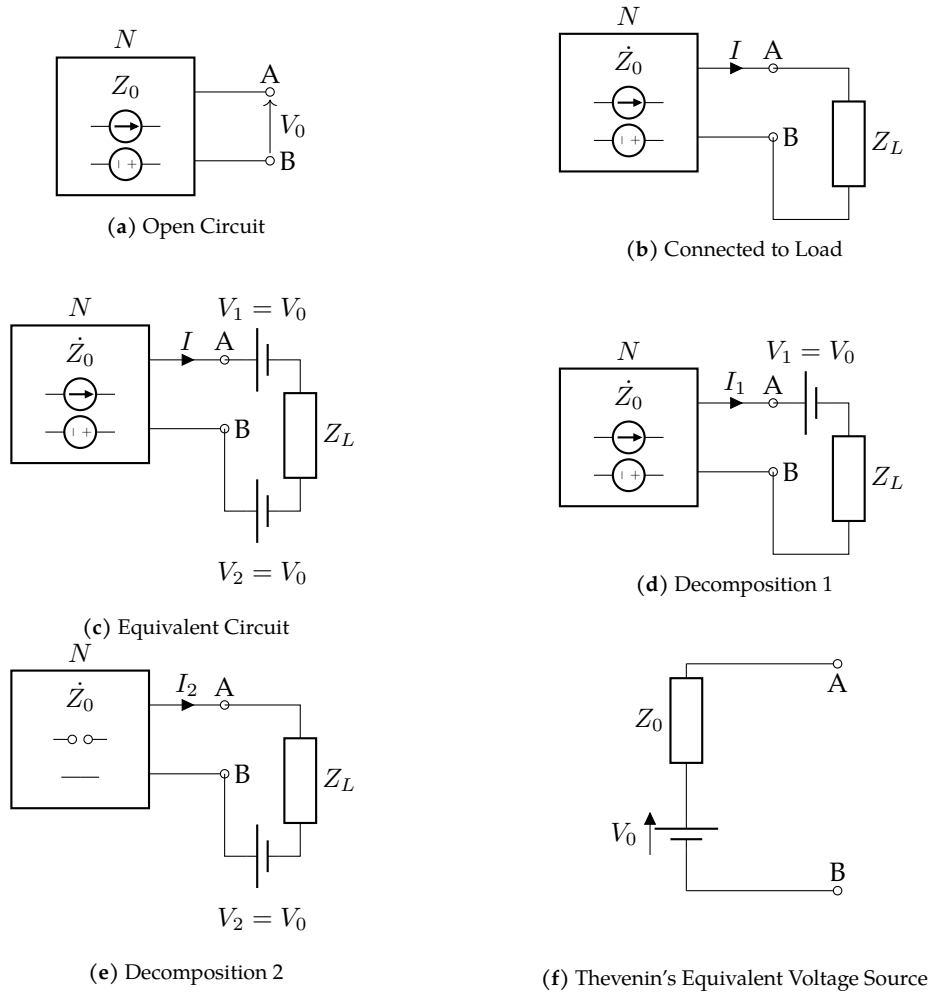


Fig. 5-2

6 まとめ

今回の実験より以下の事が分かった：

- 電気回路の諸定理・諸法則は現実でも成り立つこと
- 線形回路は重ね合わせの理で簡単に解を求められること
- ブラックボックスな線形回路はテブナンの定理で等価電圧源に置き換えれること

参考文献

- [1] 小郷 寛, 小亀 英己, and 石亀 篤司. “基礎からの交流理論”. In: 電気学会 and オーム社, 2023/04, 1頁.
- [2] 小郷 寛, 小亀 英己, and 石亀 篤司. “基礎からの交流理論”. In: 電気学会 and オーム社, 2023/04, 13–16頁.
- [3] 小郷 寛, 小亀 英己, and 石亀 篤司. “基礎からの交流理論”. In: 電気学会 and オーム社, 2023/04, 11–13頁.
- [4] 小郷 寛, 小亀 英己, and 石亀 篤司. “基礎からの交流理論”. In: 電気学会 and オーム社, 2023/04, 138–140頁.
- [5] ouimetn. “Resistor Overload”. 2012/08. URL: <https://youtu.be/xPaN4xG0px4> (2026/05/18 参照).
- [6] 小郷 寛, 小亀 英己, and 石亀 篤司. “基礎からの交流理論”. In: 電気学会 and オーム社, 2023/04, 145頁.