

はじめに

「ハードウェアのないところにソフトウェアはない」

ハードウェアのないところにソフトウェアは存在できません。

コンピュータが組み込まれていない電気製品は皆無です。

かつての日本はマイクロコンピュータを使った組込制御技術で世界を席巻していましたが、国内での開発コストの高騰から、開発・製造を外国に依存するケースが多くなり、日本の組込制御技術は海外へ流出し続け、日本の技術は空洞化しています。

さらに学生の理数離れがこの状況に拍車をかけています。

このままの状態が続けば、日本国内ではハードウェアの設計、製作ができなくなります。誇張した言い方をすれば、このことは国威の衰退にもつながる由々しき事態なのです。

このような状況下においてハードエンジニアを志すことはきわめて賢明な選択です。

本書を手にすることで一人でも多くの方々がハードウェアの世界に興味を持ち、実践していただくことが筆者のささやかな願いです。



勉



学



ひとみお姉さん

目 次

第 1 章 電子回路を学ぶための基礎知識

| | |
|---------------------|----|
| 1.1 電気単位 | 1 |
| 1.1.1 電流単位 | 1 |
| 1.1.2 電力単位[W] | 2 |
| 1.1.3 電圧単位[V] | 3 |
| 1.2 オームの法則 | 4 |
| 1.2.1 オームの法則 | 4 |
| 1.2.2 電力式 | 4 |
| 1.2.3 抵抗の直列接続 | 6 |
| 1.2.4 抵抗の並列接続 | 7 |
| 1.3 キルヒホッフの法則 | 9 |
| 1.4 重ね合わせの定理 | 11 |
| 1.4.1 「重ね合わせの定理」計算例 | 11 |
| 1.5 鳳ーテブナン定理 | 13 |

第 2 章 交流電気理論の基礎講座

| | |
|---------------------------------|----|
| 2.1 「交流」って何? | 19 |
| 2.2 正弦波交流の大きさの表現 | 24 |
| 2.2.1 平均値 | 24 |
| 2.2.2 実効値 | 24 |
| 2.2.3 PP 値 (peak to peak value) | 26 |
| 2.3 交流電力計算 | 27 |
| 2.3.1 コイルの特質 | 27 |
| 2.3.2 コイルに流れる電流 | 29 |
| 2.3.3 交流電力 | 30 |
| 2.4 三相交流 | 32 |
| 2.4.1 つなぎ方その 1 スター結線 | 33 |
| 2.4.2 つなぎ方その 2 デルタ結線 | 34 |
| 2.5 三相交流の電力 | 36 |

第3章 受動部品の使い方

| | |
|-----------------------------|----|
| 3.1 抵抗 | 41 |
| 3.1.1 抵抗の種類 | 41 |
| 3.1.2 いろいろな形状の抵抗 | 42 |
| 3.1.3 抵抗の選定 | 43 |
| 3.1.4 抵抗値の読み方 | 45 |
| 3.1.5 可変抵抗 | 49 |
| 3.2 コンデンサ | 52 |
| 3.2.1 コンデンサの原理 | 52 |
| 3.2.2 コンデンサの基礎講座 | 53 |
| 3.2.3 直流に対するコンデンサの作用 | 55 |
| 3.2.4 交流に対するコンデンサの電圧位相と電流位相 | 59 |
| 3.2.5 容量性リアクタンス | 60 |
| 3.2.6 コンデンサの用途 | 62 |
| 3.2.7 コンデンサの選択 | 63 |
| 3.2.8 コンデンサの種類 | 70 |
| 3.3 コイル | 73 |
| 3.3.1 コイルの大きさの単位 | 73 |
| 3.3.2 コイルの製作実験 | 75 |
| 3.3.3 コイルの直並列接続 | 78 |
| 3.3.4 コイルの用途 | 79 |
| 3.3.5 コイルの不確定要素 | 83 |
| 3.3.6 直流に対するコイル L の作用 | 87 |
| 3.3.7 交流に対するコイルの電圧位相と電流位相 | 90 |
| 3.3.8 誘導性リアクタンス | 91 |
| 3.3.9 インピーダンス | 94 |
| 3.3.10 共振 | 98 |

第4章 電子回路部品の使い方

| | |
|-------------------|-----|
| 4.1 ダイオード | 101 |
| 4.1.1 ダイオードの基礎知識 | 101 |
| 4.1.2 整流ダイオード | 107 |
| 4.1.3 ツェナダイオード ZD | 110 |

| | | |
|-------|--------------------|-----|
| 4.1.4 | ショットキーバリアダイオード SBD | 112 |
| 4.1.5 | 可変容量ダイオード | 113 |
| 4.2 | オプトデバイス | 118 |
| 4.2.1 | 発光ダイオード | 118 |
| 4.2.2 | 受光素子 | 121 |
| 4.2.3 | フォトカプラ | 123 |
| 4.2.4 | いろいろなオプトデバイス | 128 |
| 4.3 | サイリスタとトライアック | 131 |
| 4.3.1 | サイリスタ | 131 |
| 4.3.2 | トライアック | 134 |
| 4.4 | 圧電素子 (ピエゾ素子) | 135 |
| 4.4.1 | 圧電効果(圧力-電気変換)の用途例 | 136 |
| 4.4.2 | 逆圧電効果(電気-圧力変換)の用途例 | 136 |
| 4.4.3 | センサーへの応用 | 137 |
| 4.5 | 標準ロジック IC | 138 |
| 4.5.1 | ロジック IC とは | 138 |
| 4.5.2 | ロジック IC の機能 | 141 |
| 4.6 | 電子デバイスいろいろ | 144 |
| 4.6.1 | リレー | 144 |
| 4.6.2 | スナバ素子 | 146 |
| 4.6.3 | 三端子レギュレータ | 149 |

第5章 トランジスタ、FET の使い方

| | | |
|-------|------------------------|-----|
| 5.1 | トランジスタと FET | 153 |
| 5.1.1 | トランジスタの名前と回路記号 | 153 |
| 5.1.2 | 信号増幅 | 154 |
| 5.2 | トランジスタ回路 | 157 |
| 5.2.1 | PNP トランジスタと NPN トランジスタ | 157 |
| 5.2.2 | トランジスタの等価回路と h パラメータ | 159 |
| 5.2.3 | 接地位置による増幅回路の分類 | 160 |
| 5.2.4 | トランジスタ回路のバイアス | 163 |
| 5.2.5 | 負帰還を使いバイアスを安定させる工夫 | 165 |
| 5.2.6 | 差動増幅 | 169 |

| | | |
|--------|--------------------|-----|
| 5.2.7 | 電力増幅 | 172 |
| 5.2.8 | いろいろなトランジスタの組み合わせ方 | 176 |
| 5.2.9 | トランジスタのスイッチング動作 | 179 |
| 5.2.10 | トランジスタ規格表の見方 | 182 |
| 5.3 | FET | 186 |
| 5.3.1 | FET の分類と特性 | 186 |
| 5.3.2 | 増幅基本回路 | 189 |
| 5.3.3 | FET のバイアス調整 | 190 |
| 5.3.4 | FET の特性 | 192 |
| 5.3.5 | FET の使い方いろいろ | 194 |

第6章 オペアンプ

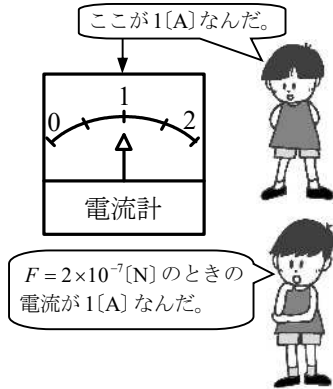
| | | |
|-------|---------------------|-----|
| 6.1 | オペアンプの基本動作 | 199 |
| 6.1.1 | OP アンプの概要 | 199 |
| 6.1.2 | データシートの見方 | 201 |
| 6.1.3 | OP アンプの基本増幅回路 | 205 |
| 6.1.4 | オフセット調整 | 211 |
| 6.1.5 | 2 電源動作と単電源動作 | 211 |
| 6.1.6 | OP アンプを扱う際の注意事項 | 212 |
| 6.2 | OP アンプの基本モジュール | 219 |
| 6.2.1 | 電流-電圧変換回路 | 219 |
| 6.2.2 | 半波整流回路 | 220 |
| 6.2.3 | 全波整流回路 | 221 |
| 6.2.4 | 積分回路 | 221 |
| 6.2.5 | 交流増幅回路 | 223 |
| 6.2.6 | ローパスフィルタ | 224 |
| 6.3 | アナログ増幅デバイス | 228 |
| 6.3.1 | パワーOP アンプ | 228 |
| 6.3.2 | アイソレーションアンプ(アイソレータ) | 228 |

第7章 発振

| | |
|------------------------|-----|
| 7.1 LC 発振 | 231 |
| 7.1.1 LC 共振 | 231 |
| 7.1.2 LC 発振回路 | 232 |
| 7.1.3 ハートレー発振回路 | 233 |
| 7.2 RC 発振 | 234 |
| 7.2.1 RC 発振回路の目的 | 234 |
| 7.2.2 ウィーンブリッジ発振回路 | 235 |
| 7.2.3 ウィーンブリッジ発振回路の実用図 | 236 |
| 7.2.4 RC 移相発振回路 | 236 |
| 7.2.5 実用移相発振回路 | 238 |
| 7.3 水晶発振 | 240 |
| 7.3.1 水晶発振子(振動子) | 240 |
| 7.3.2 水晶発振子の仕様 | 241 |
| 7.3.3 水晶発振回路例 | 242 |
| 7.3.4 水晶発振の高速化、安定性 | 244 |
| 7.3.5 セラミック発振子 | 245 |
| 7.4 最新の発振回路事情 | 246 |
| 7.4.1 発振回路に求められること | 246 |
| 7.4.2 PLL の概要 | 247 |
| 《Appendix ノイズについて》 | 249 |
| 問題解答 | 258 |
| 索引 | 261 |

が $2 \times 10^{-7}[\text{N}]$ のときの電流が $1[\text{A}]$ アンペアとなります。また $1[\text{A}]$ の電流が 1 秒間に $1[\text{C}]$ クーロンの電荷を移動させます。

しかし我々が電気を扱う上で、この国際基準はあまり意味を持ちません。実際は電流計が $1[\text{A}]$ を指したところが $1[\text{A}]$ です。ただし電気関係で国際単位系(SI)として扱われるのはこの電流単位[A]アンペアだけです。これは覚えておきましょう。



電気単位の基準はアンペア

次は電流単位[A]アンペアから導かれる誘導単位です。電気でよく使う次の3つの単位を順次紹介します。

- ・ 電力単位 …… [W] ワット
- ・ 電圧単位 …… [V] ボルト
- ・ 抵抗単位 …… [Ω] オーム

1.1.2 電力単位 [W]

電力単位は一定時間にどれだけの仕事をするかという仕事率単位です。

$$\text{仕事単位} \longrightarrow 1[\text{J}] = 1[\text{N}] \cdot 1[\text{m}] \quad (1.3)$$

仕事単位 $1[\text{J}]$ ジュールは $1[\text{N}]$ ニュートンの力で $1[\text{m}]$ メートル移動したもののこれだけの仕事を 1 秒間で行う仕事率 $P[\text{W}]$ は $P = 1[\text{J}]/1[\text{秒}] = 1[\text{W}]$ です。

重要です

具体例を示します。

質量 $60[\text{kg}]$ のものを $10[\text{m}]$ 持ち上げる仕事 $E_p[\text{J}]$ は

$$E_p = mgh[\text{J}] \quad (1.4)$$

$$= 60 \cdot 9.8 \cdot 10 = 5880[\text{J}] \text{ となります。}$$

これを 5 秒間で行うと、このときの仕事率 $P[\text{W}]$ は

$$P = \text{J}/\text{s}[\text{W}] = 5880/5 = 1176[\text{W}] \quad (1.5)$$

コラム カロリー

$$1[\text{J}] = \frac{1}{4.2}[\text{cal}] \doteq 0.24[\text{cal}] \quad (\text{カロリー})$$

1 カロリーは水1[g]を1°C上昇させる熱量です。

$W = J/s$ ですから、1[W]の発熱は1[cm³]の水を毎秒0.24°C上昇させます

1.1.3 電圧単位 [V]

電圧単位は図 1.3 のように電力と電流から導きますが、少し順序がおかしいのではと多少疑問を感じます。鶏と卵のような定義付けを行っています。

電圧定義：

1[A]の定電流が流れている回路において、ある2点間の消費電力が1[W]であるとき、この2点間の電圧を1[V]とする。

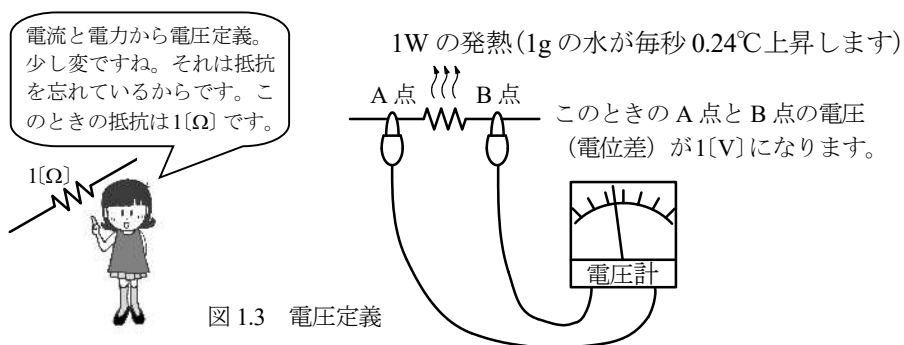


図 1.3 電圧定義

コラム 馬力

参考までに、1馬力=735[W]ですから、1176[W]は約1.6馬力です。この仕事を家庭用の100[V]コンセントで作動するモータで行うと、11.76[A]の電流が必要となり、コンセントから駆動できる限界です(注:効率100%の場合)。



そうすると、280馬力の車ってすごいパワーですね。



びっくり!

280馬力の車は1500[kg]の車重を毎秒14[m]持ち上げます。これは45度の坂道を71[km/h]で登ることになります。

1.2 オームの法則

1.2.1 オームの法則

回路を流れる電流の大きさ I は電圧に比例し、回路抵抗 R に反比例する

図 1.4 に示す E [V] の電池に R [Ω] の抵抗を接続する回路を流れる電流 I [A] は

$$I = \frac{E}{R} [\text{A}] \quad (1.6)$$

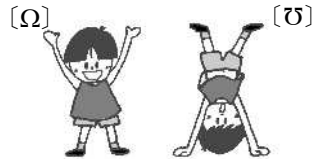
となり、この式を変形すると

$$E = I \cdot R [\text{V}] \quad (1.7) \quad R = \frac{E}{I} [\Omega] \quad (1.8) \text{ となります。}$$

抵抗 R [Ω] は「電流の流しにくさ」を表します。また、この逆の発想で抵抗の逆数 $1/R$ を使い「電流の流れやすさ」を表す方法があります。これをコンダクタンスといい通常 G の記号で表し、単位は [Ω] (ohm) の逆ですから [℧] (mho) を使います。また、単位として [℧] では率直すぎるのか最近ではドイツ式で [S] ジーメンズも使われます。

コンダクタンス G は

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{E} [\text{℧}] \text{ または } [\text{S}] \text{ となります。}$$



— [℧] モーと [S] ジーメンズについて —

日本では国際単位系 SI と整合させるため、1993 年から JIS で扱うコンダクタンスの単位を [℧] から [S] へ変更しました。しかし、[℧] は捨てがたい単位なので、本書では両者を併記しています。

1.2.2 電力式

抵抗の中を電流が流れると電気エネルギーが熱エネルギーに変換されます。このとき、変換されるエネルギー P [W] は

$$P = E \cdot I [\text{W}] \quad (1.9)$$

抵抗 R [Ω] の両端電圧 E [V] に回路を流れる電流 I [A] を掛け合わせたもので、単位は [W] ワットです。図 1.5 の抵抗 R で熱になる電力を計算します。

$$P = E \cdot I [\text{W}]$$

$$= 1.5 \cdot 2 = 3 [\text{W}]$$

このときの R は式 (1.8) から

$$R = \frac{E}{I} = \frac{1.5}{2} = 0.75 [\Omega] \text{ となります。}$$

もしこのとき、電圧 E と抵抗 R の値しか分からなかった場合、

$$P = E \cdot I [\text{W}] \cdots \text{式 (1.9) に } I = \frac{E}{R} [\text{A}] \cdots$$

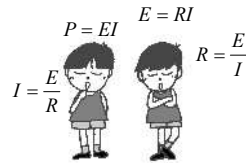
$$\text{式 (1.6) を代入し、} P = E \cdot \frac{E}{R} = \frac{E^2}{R} [\text{W}]$$

となります。このような組み合わせを行い、次の 12 通りの式が導かれます。

| | | | |
|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| 電力 $P = EI [\text{W}]$ | 電圧 $E = RI [\text{V}]$ | 電流 $I = \frac{E}{R} [\text{A}]$ | 抵抗 $R = \frac{E}{I} [\Omega]$ |
| $P = \frac{E^2}{R} [\text{W}]$ | $E = \frac{P}{I} [\text{V}]$ | $I = \frac{P}{E} [\text{A}]$ | $R = \frac{E^2}{P} [\Omega]$ |
| $P = I^2 R [\text{W}]$ | $E = \sqrt{PR} [\text{V}]$ | $I = \sqrt{\frac{P}{R}} [\text{A}]$ | $R = \frac{P}{I^2} [\Omega]$ |

重要です

この 12 通りの式がオームの法則のすべてです。
 のついている各項目の代表式は記憶して下さい。他の式はすぐに導けるようにして下さい。



※ これらの式は交流の場合でも抵抗 R がインピーダンス Z となるだけで同じように使用されます。

ここで少しおさらい問題です。

きちんと式を書いて計算して下さい。

問 1.1) 100[V] 40[W] の電球が点灯しているときの抵抗は何[Ω]?

$$R = \frac{E^2}{P} \text{ を使う、または } I = \frac{P}{E} \text{ から導く。}$$

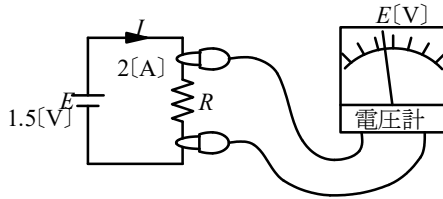


図 1.5 電力計算

問 1.2) 1[l]の水を 1000W のヒータで 1 分間加熱すると水の温度上昇は何度?
 $1[\text{W}] = 1[\text{J/s}] = 0.24[\text{cal/s}]$ を使います。
 これは抵抗やトランジスタの発熱を考えるときに必要です。

1.2.3 抵抗の直列接続

図 1.6 のように 3 本の抵抗 R_1, R_2, R_3 を直列にし、
 電源 E_0 を接続すると、 $I[\text{A}]$ の電流が流れます。
 このとき、抵抗 R_1 の両端電圧 $E_1[\text{V}]$ は

$$E_1 = IR_1[\text{V}]$$

抵抗 R_2, R_3 の両端電圧 E_2, E_3 も同じように

$$E_2 = IR_2[\text{V}]$$

$$E_3 = IR_3[\text{V}]$$

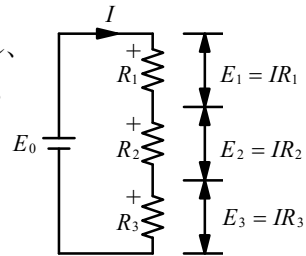


図 1.6 抵抗の直列接続

となり、この電圧を電圧降下といいます。またこの電圧の方向は電源電圧と逆方向ですから、逆起電力として扱えます。この関係を整理すると、

$$E_0 = E_1 + E_2 + E_3[\text{V}] = IR_1 + IR_2 + IR_3[\text{V}] \quad (1.10)$$

電源電圧 ———— 逆起電力 ———— 電圧降下

となり、電源と逆起電力または電圧降下の総和は打ち消し合ったかたちになります。また式 (1.10) の両辺を I で割ると、合成抵抗 $R_0[\Omega]$

$$R_0 = R_1 + R_2 + R_3[\Omega] \quad (1.11)$$

が求められます。

このように、抵抗で電圧を分配することを「分圧する」といいます。

少しまとめます。

☆ 直列接続の合成抵抗 $R_0 = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$

☆ オームの法則は回路のどこでも使えます。

例 1: 図 1.6 の抵抗 R_1, R_2, R_3 の値が分からないとき、 E_n と I が分かれば

$$R_n = \frac{E_n}{I}[\Omega] \quad \text{です。}$$

例 2: 図 1.6 の回路電流 I が分からない、でも E_2 と R_2 が分かれば

$$I = \frac{E_2}{R_2}[\text{A}] \quad \text{です。}$$

☆ \sum 起電力 = \sum 電圧降下

1.2.4 抵抗の並列接続

図1.7のように3本の抵抗 R_1, R_2, R_3 を並列にし、電源 E_0 を接続すると、 I_0 [A] の電流が流れます。合成抵抗 R_0 は

$$R_0 = \frac{E_0}{I_0} [\Omega] \quad (1.12)$$

I_0 は各抵抗を流れる電流 I_1, I_2, I_3 に分流されますから、

$$I_0 = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{E_0}{R_1} + \frac{E_0}{R_2} + \frac{E_0}{R_3} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) E_0 [\text{A}]$$

(1.13)

となります。この式 (1.13) I_0 を式 (1.12) に代入すると、 R_0 は

$$R_0 = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} [\Omega] \quad (1.14)$$

並列接続の合成抵抗 R_0 は、各抵抗値の逆数の和の逆数です。少し計算が面倒です。もし各抵抗値 R が等しい n 個の並列接続であれば、合成抵抗 R_0 は

$$R_0 = \frac{R}{n} [\Omega] \quad (1.15)$$

となり、計算が楽です。

また、図1.8のように抵抗2本の並列接続に限れば、合成抵抗 R_0 は

$$R_0 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} [\Omega] \quad (1.16) \text{ です。}$$

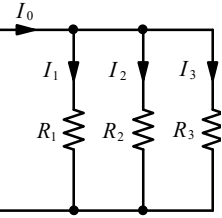


図1.7 抵抗の並列接続

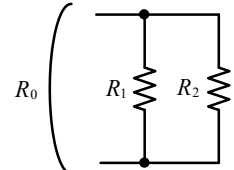


図1.8 2並列接続

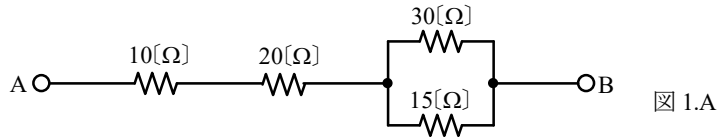
ほとんどの計算はこの方法でできます。3並列の場合、この計算を電卓で2回行います。端数ができるときは、有効数字3桁までの計算で十分です。



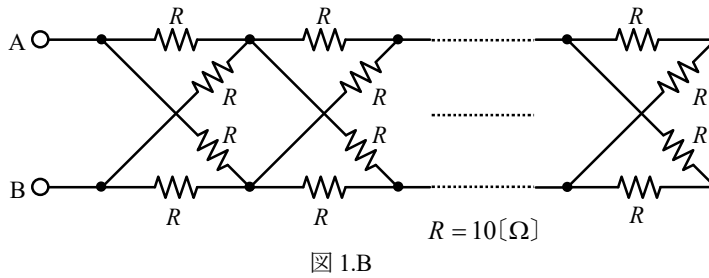


おさらい問題です。

問 1.3) 図 1.A の A,B 間の合成抵抗はいくらか?



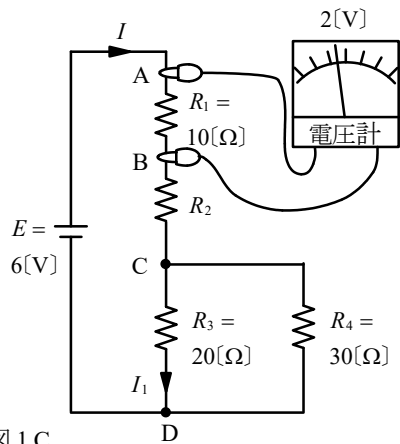
問 1.4) 図 1.B の A,B 間の合成抵抗はいくらか?



問 1.5) オームの法則は回路のどこでも成立します。

図 1.C の回路で $R_1 = 10[\Omega]$ の
両端電圧を実測したら $2[\text{V}]$
だった。式を示して下記の間
に答えて下さい。

- ①回路電流 $I =$
- ②A-D 間の合成抵抗 $=$
- ③ R_2 の抵抗値 $=$
- ④ R_3 を流れる電流 $I_1 =$



1.3 キルヒホッフの法則

図 1.9 のように電源と抵抗が複雑に絡み合った回路網は、オームの法則だけでは対応できません。この回路解析にはそれなりのテクニックが必要です。それが「キルヒホッフの法則」や後述の「重ね合わせの定理」、「鳳-テブナン定理」などです。

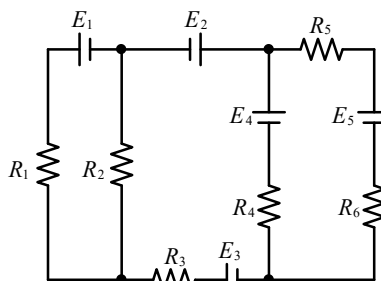


図 1.9 複雑な閉回路網

抵抗ラダーネットワークの設計でも行わない限り、実際はあまり使用しませんが、各法則の理解は必要です。

例えば、ブラックボックス化されているアンプの入力インピーダンスの実測などは、これらのテクニックの延長です。なお、これらの法則、定理は直流回路でも交流回路でも同じように使用できます。

| |
|----------------------------------|
| キルヒホッフの第1法則 |
| 回路網の任意の1点に流れ込む電流と流れ出る電流の総和は0である。 |

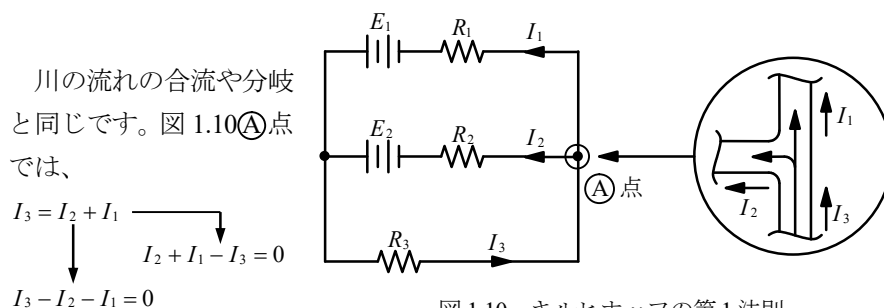


図 1.10 キルヒホッフの第1法則

| |
|-------------------------|
| キルヒホッフの第2法則 |
| 1閉回路内の起電力と電圧降下の総和は0である。 |

電源が1つの簡単な閉回路図 1.11 で、キルヒホッフ第2法則式の作り方を説明します。

1. 閉回路に流れる電流の方向を仮定します。この方向はどちらに向けても構いませんが、電流が流れるであろうと思われる方向にするのが望ましいです。

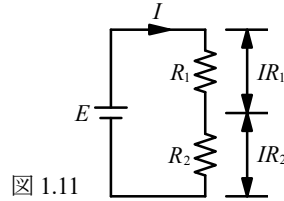


図 1.11

2. 仮定した方向と同じ方向の起電力は+とし、電圧降下は-として式を作ります。電流は I の方向へ流れると仮定すると、この閉回路は $+E - IR_1 - IR_2$ となります。



仮定方向の電池は+、
抵抗は-。



仮定方向の逆の電池
は-、抵抗は+。

- 例) 図 1.12 キルヒホッフの法則計算例の回路電流 I_1, I_2, I_3 を求めます。
分岐点 A に第 1 法則を適用します。

$$I_3 = I_2 + I_1 \quad (1.17)$$

- ①の方向で、図の上半分にて第 2 法則を適用します。

$$E_2 - I_2 R_2 - E_1 + I_1 R_1 = 0 \quad (1.18)$$

- ②の方向で、図の下半分にて第 2 法則を適用します。

$$E_2 - I_2 R_2 - I_3 R_3 = 0 \quad (1.19)$$

- 式 (1.18) へ既知数を入れ、整理します。

$$\begin{aligned} 75 - 30I_2 - 120 + 15I_1 &= 0 \\ -45 - 30I_2 + 15I_1 &= 0 \quad (1.18') \end{aligned}$$

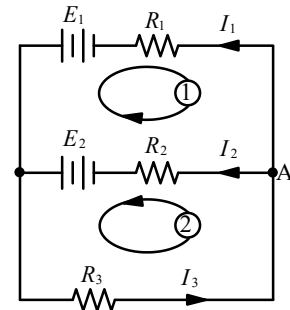
- 式 (1.19) へ式 (1.17) を代入後、既知数を入れ、整理します。

$$\begin{aligned} E_2 - I_2 R_2 - I_2 R_3 - I_1 R_3 &= 0 \\ 75 - 30I_2 - 15I_2 - 15I_1 &= 0 \\ 75 - 45I_2 &= 15I_1 \quad (1.19') \end{aligned}$$

- 式 (1.18') へ式 (1.19') を代入し、 I_2 を求めます。

$$\begin{aligned} -45 - 30I_2 + 75 - 45I_2 &= 0 \\ 30 &= 75I_2 \\ I_2 &= 0.4[\text{A}] \end{aligned}$$

- 式 (1.19') に I_2 の値を入れて I_1 を求めます。



$$\begin{aligned} E_1 &= 120[\text{V}], E_2 = 75[\text{V}] \\ R_1 &= 15[\Omega], R_2 = 30[\Omega] \\ R_3 &= 15[\Omega] \end{aligned}$$

図 1.12 キルヒホッフの法則
計算例

$$75 - 45 \cdot 0.4 = 15I_1$$

$$I_1 = 3.8[\text{A}]$$

式 (1.17) を使い $I_1 \cdot I_2$ の値から I_3 を求めます。

$$I_3 = 4.2[\text{A}]$$

キルヒホッフの法則は万能ですが、あまり使いやすいものではありません。次項で説明する「重ね合わせの定理」、「鳳-テブナン定理」の方が実用的です。



1.4 重ね合わせの定理

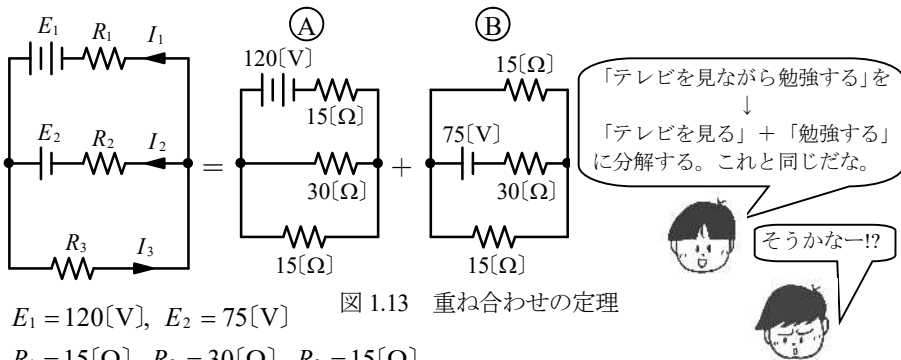
1 回路内に複数の電源が存在する場合、重ね合わせの定理が最適です。

重ね合わせの定理

複数の起電力が存在する回路網において、各枝回路の電流は、複数の起電力がそれぞれ単独に存在するとして算出した値の代数和となる。

1.4.1 「重ね合わせの定理」計算例

図 1.12 のキルヒホッフの法則で使った例題を、今度は重ね合わせの定理で解きます。図 1.13 のように電源が 1 つの回路 (A) と (B) に分解します。



$E_1 = 120[\text{V}]$, $E_2 = 75[\text{V}]$ 図 1.13 重ね合わせの定理
 $R_1 = 15[\Omega]$, $R_2 = 30[\Omega]$, $R_3 = 15[\Omega]$

図 1.13 (A) の各電流を求め、 I_1', I_2', I_3' とします。

$$I_1' = \frac{E_1}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}} = \frac{120}{15 + \frac{30 \cdot 15}{30 + 15}} = 4.8[\text{A}]$$

$$I_2' = \frac{E_1 - I_1' \cdot R_1}{R_2} = \frac{120 - 4.8 \cdot 15}{30} = -1.6[\text{A}]$$

$$I_3' = \frac{E_1 - I_1' \cdot R_1}{R_3} = \frac{120 - 4.8 \cdot 15}{15} = 3.2[\text{A}]$$

I₂の仮定方向と逆だから(-)です。

図 1.13 (B) の各電流を求め、 I_1'' , I_2'' , I_3'' とします。

$$I_2'' = \frac{E_2}{R_2 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3}} = \frac{75}{30 + \frac{15 \cdot 15}{15 + 15}} = 2[\text{A}]$$

$$I_1'' = \frac{E_2 - I_2'' \cdot R_2}{R_1} = \frac{75 - 2 \cdot 30}{15} = -1[\text{A}]$$

$$I_3'' = \frac{E_2 - I_2'' \cdot R_2}{R_3} = \frac{75 - 2 \cdot 30}{15} = 1[\text{A}]$$

I₁の仮定方向と逆だから(-)です。

図 1.13 (A) と図 1.13 (B) の各電流の代数和を求めます。

$$I_1 = I_1' + I_1'' = 4.8 + (-1) = 3.8[\text{A}]$$

$$I_2 = I_2' + I_2'' = (-1.6) + 2 = 0.4[\text{A}]$$

$$I_3 = I_3' + I_3'' = 3.2 + 1 = 4.2[\text{A}]$$

— E と V について —

電圧を表す記号に E または V を使います。

E は起電力 (Electromotive force) を

V は電圧 (Voltage) を意味します。

回路上では電源を E で表し、端子電圧を V で表すようにします。しかし、電圧降下 IR は電圧 V か起電力 E か厳格な使い分けは困難です。

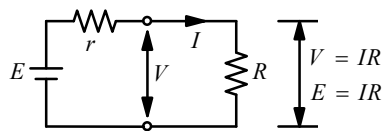


図 1.D E と V の説明