第 095 講 直列回路と並列回路

この講でできるようになること

- 導線の接続点と電流の経路を調べ、直列接続と並列接続を判断できる。
- 直列回路では電流が共通、並列回路では電圧が共通になる理由を説明できる。
- 電流と電圧の関係を使って、合成抵抗と各抵抗の電流・電圧を求められる。
- 抵抗を追加した場合や枝を開放した場合の変化を、接続と電源の条件から説明できる。

1. 回路の計算は「つながり方」から始める

二つの抵抗を同じ電池につないでも、接続の仕方によって回路全体に流れる電流は変わる。

例えば、二つの抵抗を一つの道に順番に置く場合と、電流が通る道を二つ用意する場合とでは、電流や電圧の関係が異なる。したがって、回路の問題では、計算式を選ぶ前に電流が通れる経路を確かめる必要がある。

本講では、特に指定がない限り、次の条件で考える。

- **定常直流**を扱う。十分に時間が経過し、各部の電流と電圧が時間的に変化しない状態を考える。
- 電池は、端子間の電圧を一定に保つ**理想電圧源**とする。
- 導線の抵抗は無視する。
- 各抵抗は抵抗値が正で有限の**オーム抵抗**とし、温度を一定に保って抵抗値が変化しないものとする。

この条件では、抵抗 R にかかる電圧の大きさを V、流れる電流の大きさを I とすると、オームの法則

$$V = RI$$

が成り立つ。

1.1 接続点を見つける

回路では、導線や抵抗の端子が電気的につながっている場所を**接続点**として考える。

導線の抵抗を無視すると、導線だけでつながる場所はすべて同じ電位になる。導線が折れ曲がっていても、その途中に抵抗や電源などがなければ、同じ接続点としてまとめられる。

一方、回路図で二本の線が交差していても、電気的につながっているとは限らない。交差部分に接続を示す黒点があるかなど、回路図の表示を確認する必要がある。

この黒点は導線どうしの**接続を示す記号**であり、そこに電荷が集まっていることを意味しない。

回路を読む四つの確認

1. 導線だけで結ばれている場所を同じ接続点としてまとめる。
2. 電流が通れる閉じた経路を確認する。
3. 抵抗と抵抗の間に電流の分岐があるか、各抵抗の両端が同じ二つの接続点に結ばれるかを調べる。
4. 接続の関係を確認してから、直列・並列の式を選ぶ。

抵抗の見た目の配置ではなく、接続点と経路で判断する。

1.2 電流の向き

電池の記号では、長い線が正極、短い線が負極を表す。

©ミライコーチング

電流の向きは、正の電荷が移動すると仮定した向きとして定義される。外部回路の抵抗では、電流は電位の高い側から低い側へ流れる。

金属中で実際に移動する電子の向きは、この電流の向きと反対である。

電流の向きを決めるときも、回路図の線が左向きか右向きかだけでは判断しない。電池の極性と各部の接続を読み取ることが必要である。

2. 直列回路――一つの経路を順番に通る

2.1 直列接続とは

二つの抵抗が途中に分岐のない一つの電流経路に順番に接続されているとき、**直列接続**という。

抵抗 R_1 と R_2 が直列につながれているとする。

R_1 を通過した電流は、途中でほかの経路へ分かれることなく R_2 を通過する。定常状態では、二つの抵抗の間に電荷がたまり続けることもない。

したがって、各抵抗を流れる電流は共通となる。

$$I = I_1 = I_2$$

ここで、I は回路全体の電流、I_1 と I_2 はそれぞれの抵抗の電流である。

抵抗値が異なっていても、直列接続であれば各抵抗を流れる電流は等しい。

2.2 各抵抗の電圧は足し合わせる

電池の電圧を V、二つの抵抗にかかる電圧をそれぞれ V_1、V_2 とする。

電池によって高められた電位は、電流が二つの抵抗を通過する間に段階的に低下する。

導線の抵抗を無視すると、各抵抗での電圧降下の和は電池の電圧に等しくなる。

$$V = V_1 + V_2$$

また、直列回路では電流が共通なので、

$$V_1 = IR_1, \qquad V_2 = IR_2$$

が成り立つ。これらを代入すると、

$$\begin{aligned} V &= IR_1 + IR_2 \\ &= I(R_1 + R_2) \end{aligned}$$

となる。

2.3 直列回路の合成抵抗

複数の抵抗を、回路全体の電流と電圧の関係が同じになる一つの抵抗で置き換えたとき、その抵抗値を**合成抵抗**という。

合成抵抗を R_{eq} とすると、

$$V = IR_{\mathrm{eq}}$$

と表せる。

先ほどの関係と比較すると、直列回路では、

$$R_{\mathrm{eq}} = R_1 + R_2$$

となる。

直列回路では、一つの経路に抵抗が順番に加わるため、合成抵抗は各抵抗の和になる。

正の有限抵抗を二つ直列につなぐ場合、合成抵抗はどちらの抵抗値よりも大きい。

2.4 回路図で確認する

次の回路は、理想 12 V 電源に 4 Ω と 8 Ω の抵抗を直列につないだものである。導線抵抗を無視し、二つの抵抗の温度は一定に保つ。

上辺の左側が 4 Ω、右側が 8 Ω であり、両者の間には別の枝がない。下辺の電池記号は左の長い線が正極、右の短い線が負極である。

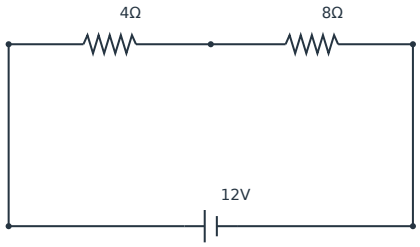

図 1　4Ω と 8Ω の直列、理想 12V 電源。導線抵抗は無視。

外部回路では電流が左側の導線を上がり、上辺を左から右へ流れる。途中に分岐がないので、4 Ω と 8 Ω を流れる電流は等しい。

合成抵抗は、

$$R_{\mathrm{eq}} = 4\,\Omega + 8\,\Omega = 12\,\Omega$$

である。よって、全電流は、

$$I = \frac{12\,\mathrm{V}}{12\,\Omega} = 1\,\mathrm{A}$$

となる。

したがって、上辺では左から右へ 1 A が流れ、各抵抗にかかる電圧は、

$$V_1 = (1\,\mathrm{A})(4\,\Omega) = 4\,\mathrm{V}$$

$$V_2 = (1\,\mathrm{A})(8\,\Omega) = 8\,\mathrm{V}$$

となる。

$$4\,\mathrm{V} + 8\,\mathrm{V} = 12\,\mathrm{V}$$

となり、電池の電圧と一致する。

図の黒点は接続点を示すものであり、電荷を表していない。また、図に電流の向きや値を表す矢印が描かれていなくても、電池の極性と接続関係から電流を判断できる。

©ミライコーチング

直列回路では電圧が抵抗値に比例する

直列回路では電流が共通なので、

$$V_1 : V_2 = R_1 : R_2$$

が成り立つ。

4Ω と 8Ω では抵抗値が 1 : 2 であるため、電圧も 1 : 2 に分かれる。

抵抗値が大きい側で電流が小さくなるのではなく、電圧降下が大きくなる。

3. 並列回路――電流が分かれて再び合流する

3.1 並列接続とは

二つの抵抗の一方の端が同じ接続点につながり、もう一方の端も別の同じ接続点につながっているとき、**並列接続**という。

並列回路では、電流は接続点で複数の枝に分かれ、それぞれの抵抗を通って再び合流する。

ここで重要なのは、抵抗が紙面の上下に並んでいることではない。二つの抵抗の**両端が、それぞれ同じ二つの接続点に結ばれていること**である。

3.2 各枝の電圧は共通になる

並列につないだ抵抗 R_1、R_2 を考える。

導線抵抗を無視すると、二つの抵抗の一方の端は同じ電位にあり、反対側の端も同じ電位にある。

電圧は二点間の電位差であるため、各抵抗にかかる電圧は等しい。

$$V = V_1 = V_2$$

一方、各枝を流れる電流は、オームの法則から、

$$I_1 = \frac{V}{R_1}, \qquad I_2 = \frac{V}{R_2}$$

である。

電圧が共通なので、抵抗値が小さい枝ほど大きな電流が流れる。

3.3 分岐点では電流の和が保存される

分岐前の全電流を I、二つの枝を流れる電流を I_1、I_2 とする。

定常状態では、分岐点に電荷がたまり続けない。そのため、分岐点に流れ込む単位時間当たりの電荷量と、流れ出る単位時間当たりの電荷量が等しくなる。

したがって、

$$I = I_1 + I_2$$

が成り立つ。

枝が合流する場所でも、各枝から流れ込む電流の和が全電流になる。

これは電荷保存に基づく関係であり、電流が分岐点で新しく生まれたり、抵抗で消滅したりすることを意味しない。

3.4 並列回路の合成抵抗

並列回路では電圧が共通なので、

$$\begin{aligned} I &= I_1 + I_2 \\ &= \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} \\ &= V\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \end{aligned}$$

となる。

一方、合成抵抗を使えば、

$$I = \frac{V}{R_{\mathrm{eq}}}$$

である。

電源電圧 V は正なので、両式を比較すると、

$$\frac{1}{R_{\mathrm{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

が得られる。

並列接続では、抵抗値そのものを足すのではなく、抵抗値の逆数を足す。

正の有限抵抗を並列につなぐと、合成抵抗は最も小さい抵抗値よりも小さくなる。これは、電流が通れる経路が増え、同じ電圧で流れる全電流が大きくなるためである。

©ミライコーチング

3.5 回路図で確認する

次の回路では、理想 12 V 電源に 6 Ω と 3 Ω の抵抗が並列につながっている。導線抵抗を無視し、各抵抗の温度を一定に保つ。

左側の縦配線は上端・中央・下端が導線でつながる一つの接続点であり、右側の縦配線も別の一つの接続点である。上枝には 6 Ω、中枝には 3 Ω の抵抗がある。下辺の電池記号では左長線が正極、右短線が負極である。

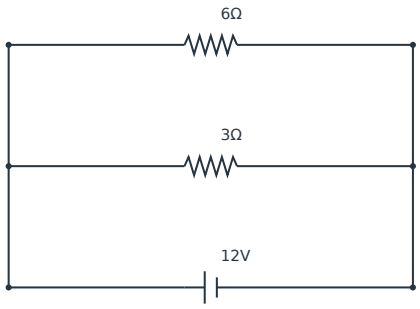

図 2　6Ω と 3Ω の並列、理想 12V 電源。両抵抗の左端同士・右端同士を導線で接続。

二つの抵抗は同じ二つの接続点の間にあるので、どちらにも 12 V がかかる。

電流は電池の正極から左側の縦配線を通って分岐し、上枝を左から右へ 2 A、中枝を左から右へ 4 A 流れる。その後、右側の接続点で合流し、電池の負極へ戻る。

全電流は、

$$I = 2\,\mathrm{A} + 4\,\mathrm{A} = 6\,\mathrm{A}$$

となる。

図中の黒点は導線の接続を示すものであり、電荷を表していない。電流の値と方向は、図中に矢印が表示されていなくても接続と電池の極性から読み取れる。

上枝の 6 Ω を流れる電流は、

$$I_1 = \frac{12\,\mathrm{V}}{6\,\Omega} = 2\,\mathrm{A}$$

である。

中枝の 3 Ω を流れる電流は、

$$I_2 = \frac{12\,\mathrm{V}}{3\,\Omega} = 4\,\mathrm{A}$$

である。

合成抵抗は、

$$R_{\mathrm{eq}} = \frac{12\,\mathrm{V}}{6\,\mathrm{A}} = 2\,\Omega$$

である。

各抵抗の両端の接続関係が等しいため、紙面上で上枝と中枝の位置を入れ替えても、合成抵抗や各枝の電流は変わらない。

並列回路では電流が抵抗値に反比例する

各枝にかかる電圧 V が共通なので、

$$I_1 : I_2 = R_2 : R_1$$

が成り立つ。

$6\,\Omega$ と $3\,\Omega$ では、抵抗値の比が $2:1$ であるため、電流の比は $1:2$ となる。

並列回路では、抵抗値が小さい枝ほど大きな電流が流れる。

4. 直列と並列の判断を比較する

見ること	直列回路	並列回路
接続の特徴	分岐のない同じ経路を順番に通る	同じ二つの接続点の間に枝がある
共通の量	電流	電圧
足す量	各抵抗の電圧	各枝の電流
基本関係	$I = I_1 = I_2$	$V = V_1 = V_2$
和の関係	$V = V_1 + V_2$	$I = I_1 + I_2$
合成抵抗	$R_{\mathrm{eq}} = R_1 + R_2$	$\frac{1}{R_{\mathrm{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$
抵抗値による配分	電圧が抵抗値に比例	電流が抵抗値に反比例

どちらの回路でも、各抵抗にはオームの法則が成り立つ。

異なるのは、接続の仕方によって、何が共通になり、何を足し合わせるかである。

例えば、二つの抵抗が上下に描かれていても、途中で一つの道につながっていて分岐がなければ直列である。反対に、二つの抵抗が左右に離れて描かれていても、両端がそれぞれ同じ二つの接続点につながっていれば並列である。

5. 電荷保存とエネルギーの変化

5.1 電流は抵抗で消費されない

電流とは、単位時間にある断面を通過する電荷量を表す物理量である。

時間間隔 Δt の間に通過する電荷量を ΔQ とすると、平均電流は、

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

で表される。

直列回路では、一つの経路を通る電荷が順番に抵抗を通過する。定常状態では途中に電荷が蓄積し続けないため、抵抗の前後で電流の大きさは変わらない。

並列回路では、電荷の移動経路が分かれるだけである。分岐点で流入・流出する電荷量の関係から、全電流は枝電流の和になる。

つまり、電流が抵抗で消費されるわけではない。

5.2 抵抗ではエネルギーが変換される

電圧は、単位電荷当たりの電気的なエネルギーの変化と関係する。

$1\,\mathrm{V}$ の電圧は、電荷 $1\,\mathrm{C}$ 当たり $1\,\mathrm{J}$ のエネルギー変化に相当する。

電池は電荷にエネルギーを与えて電位差を保ち、抵抗では電気的なエネルギーが主に熱エネルギーへ変換される。

直列回路で、

$$V = V_1 + V_2$$

となるのは、電池が単位電荷に与えるエネルギーに対応する量が、二つの抵抗を通る間の電圧降下の和に等しいからである。

並列回路では各枝が同じ始点と終点の間につながっているので、どちらの枝でも単位電荷当たりの電気的なエネルギーの変化が等しくなる。

したがって、次の二つを区別する必要がある。

- **電荷保存**：電荷は抵抗で消費されず、定常状態では各接続点で流入する電流と流出する電流がつり合う。
- **エネルギー変換**：抵抗では電気的なエネルギーが主に熱へ変わるが、エネルギー全体が消滅するわけではない。

電流が減ることとエネルギーが使われることは別

「抵抗を通ると電流が消費される」という説明は正しくない。

抵抗の前後で電荷が失われるわけではない。抵抗によって電気的なエネルギーが熱に変わることと、電荷が保存されることは両立する。

6. 回路の接続を変更するとどうなるか

6.1 直列に抵抗を追加する

理想電圧源の電圧を一定に保ったまま、正の抵抗を直列に追加すると、合成抵抗は増加する。

オームの法則から、全電流は、

$$I = \frac{V}{R_{\mathrm{eq}}}$$

となる。

電源電圧 V が一定であれば、合成抵抗が増えると全電流は減少する。

また、電源電圧が新しく追加した抵抗にも配分されるため、元の抵抗にかかる電圧も一般に変化する。

6.2 並列に枝を追加する

理想電圧源の電圧を一定に保ったまま、新しい正の抵抗を並列に追加すると、電流の通り道が増える。

元の枝と新しい枝には、どちらも同じ電源電圧がかかる。

元の枝の抵抗値と電圧が変わらないので、その枝の電流は変化しない。一方、新しい枝にも電流が流れるため、電源から供給される全電流は増加する。

したがって、並列の枝を増やすと合成抵抗は減少する。

この判断は、**理想電圧源が端子間電圧を一定に保つ**という条件に基づく。実際の電池で内部抵抗などの影響を考える場合、同じ結論を無条件には使えない。

6.3 開放と短絡

回路の一部を切断して、電流が通る経路が途切れた状態を**開放**という。

開放された枝では、閉じた経路がないため定常電流は流れず、その枝の電流は 0 A になる。

ただし、ほかの枝に閉じた経路が残っている場合、その枝には電流が流れ得る。

これに対し、**短絡**とは、抵抗などを迂回する非常に抵抗の小さい経路ができたり、電源の両端が導線で直接つながれたりすることである。

開放は経路が切れること、短絡は低抵抗の経路でつながることであり、両者を同じものとして扱ってはいけない。

理想電圧源の正極と負極を抵抗ゼロの導線で直接結ぶ状況は、今回の正の有限抵抗を用いる回路計算の対象にしない。実際の電源の短絡は危険を伴うため、実験で試してはならない。

例題

例題 1

理想 12 V 電源に、抵抗値がそれぞれ 6 Ω の抵抗を 3 個つないだ。3 個の抵抗は、途中に分岐のない一つの閉じた電流経路上に順番に接続されている。

導線抵抗は無視し、各抵抗の温度は一定とする。

例題 1(1) 抵抗の接続方法を答え、合成抵抗を求めよ。

例題 1(2) 回路全体に流れる電流を求めよ。答えは分数で表してよい。

例題 1(3) 各抵抗にかかる電圧を求め、電圧の和を確認せよ。

例題 1 の解答・解説

例題 1(1) 解答・解説 直列接続であり、合成抵抗は 18 Ω である。

3 個の抵抗が分岐のない同じ電流経路上にあるため、直列接続である。したがって、

$$R_{\mathrm{eq}} = 6\,\Omega + 6\,\Omega + 6\,\Omega$$

$$= 18\,\Omega$$

となる。

例題 1(2) 解答・解説 全電流は $\frac{2}{3}$ A である。

$$I = \frac{V}{R_{\mathrm{eq}}}$$

$$= \frac{12\,\mathrm{V}}{18\,\Omega}$$

$$= \frac{2}{3}\,\mathrm{A}$$

直列回路なので、この電流が 3 個すべての抵抗に流れる。

分数で得られた値を途中で小数に丸める必要はない。

例題 1(3) 解答・解説 各抵抗にかかる電圧はすべて 4 V であり、その和は 12 V である。

各抵抗には同じ $\frac{2}{3}$ A が流れるので、

$$V_1 = V_2 = V_3 = \left(\frac{2}{3}\,\mathrm{A}\right)(6\,\Omega)$$
$$= 4\,\mathrm{V}$$

となる。

$$4\,\mathrm{V} + 4\,\mathrm{V} + 4\,\mathrm{V} = 12\,\mathrm{V}$$

であり、電池の電圧と一致する。

3 個の抵抗がすべて 6 Ω なので、電源電圧は等しく 3 分割される。

例題 2

理想 12 V 電源に、6 Ω の抵抗と、抵抗値が未知の正の抵抗 R を並列につないだ。どちらの枝も閉じた経路であり、電源から流れる全電流は 5 A である。

例題 2(1) 6 Ω の抵抗を流れる電流を求めよ。

例題 2(2) 未知の抵抗 R を流れる電流と、抵抗値 R を求めよ。

例題 2(3) 回路全体の合成抵抗を求め、二つの枝の抵抗値と比較せよ。

例題 2 の解答・解説

例題 2(1) 解答・解説 6 Ω の枝の電流は 2 A である。

並列接続なので、6 Ω の抵抗にも電源と同じ 12 V がかかる。

$$I_1 = \frac{12\,\mathrm{V}}{6\,\Omega} = 2\,\mathrm{A}$$

例題 2(2) 解答・解説 未知の枝の電流は 3 A、抵抗値は 4 Ω である。

全電流は二つの枝電流の和であるため、

$$I_2 = 5\,\mathrm{A} - 2\,\mathrm{A}$$
$$= 3\,\mathrm{A}$$

となる。

未知の枝にも 12 V がかかるので、

$$R = \frac{12\,\mathrm{V}}{3\,\mathrm{A}} = 4\,\Omega$$

である。

ここでは、電源の全電流 5 A をそのまま各抵抗の電流として使ってはいけない。

©ミライコーチング

例題 2(3) 解答・解説 合成抵抗は 2.4 Ω である。

$$\begin{aligned} R_{\mathrm{eq}} &= \frac{12\,\mathrm{V}}{5\,\mathrm{A}} \\ &= \frac{12}{5}\,\Omega \\ &= 2.4\,\Omega \end{aligned}$$

となる。

これは、4 Ω と 6 Ω のどちらよりも小さい。

並列回路の合成抵抗は最も小さい枝の抵抗値よりも小さくなるため、求めた値は接続の性質とも一致している。

演習問題

以下では、特に指定がない限り、定常直流回路を考える。電源は電圧一定の理想電圧源、導線抵抗は無視し、各抵抗は正のオーム抵抗で温度を一定に保つ。

演習 1

理想 12 V 電源に、抵抗値がそれぞれ 6 Ω の抵抗を 3 個つないだ。

3 個の抵抗の左端はすべて一つの接続点、右端はすべて別の一つの接続点につながっており、各枝は閉じた経路をつくっている。

演習 1(1) この接続が直列・並列のどちらであるかを答え、その理由を説明せよ。

演習 1(2) 3 個の抵抗の合成抵抗を求めよ。

演習 1(3) 各抵抗にかかる電圧と、各枝を流れる電流を求めよ。

演習 1(4) 電源から供給される全電流を求めよ。

演習 1(5) 例題 1 と同じ抵抗を使っているのに、全電流が異なる理由を説明せよ。

解答・解説は「演習 1 の解答・解説」を参照。

©ミライコーチング

演習 2

理想 12 V 電源に、6 Ω の抵抗 1 個をつないだ閉じた回路がある。

この回路について、次の二つの変更を別々に考える。変更後も電源の電圧は 12 V に保たれる。

- 変更 A：元の 6 Ω の抵抗と同じ二つの接続点の間に、3 Ω の抵抗を含む新しい枝を並列に追加する。
- 変更 B：元の 6 Ω の抵抗と同じ電流経路上に、別の 6 Ω の抵抗を直列に追加する。

変更 A と変更 B は、いずれも変更前の回路から独立に行うものとする。

演習 2(1) 変更前の全電流を求めよ。

演習 2(2) 変更 A の後、元の 6 Ω の枝の電流、追加した 3 Ω の枝の電流、全電流を求めよ。

演習 2(3) 変更 A によって元の 6 Ω の枝の電流が変化するか答え、その理由を説明せよ。

演習 2(4) 変更 B の後、合成抵抗、全電流、各抵抗にかかる電圧を求めよ。

演習 2(5) 変更 A と変更 B で全電流がどのように変わるか比較し、その理由を説明せよ。

解答・解説は「演習 2 の解答・解説」を参照。

演習 3

理想 12 V 電源に、6 Ω と 3 Ω の抵抗を並列につないだ。

二つの枝が閉じている状態から、**3 Ω の枝だけを途中で切断して開放した**。6 Ω の枝と電池の間の閉じた経路はそのまま残るものとする。

電源は開放後も 12 V を保つ。

演習 3(1) 開放前に各枝を流れていた電流と全電流を求めよ。

演習 3(2) 開放後、3 Ω の枝を流れる電流を求め、その理由を説明せよ。

演習 3(3) 開放後、6 Ω の枝の電流と全電流を求めよ。

演習 3(4) 開放前後で全電流がどのように変化したかを説明せよ。

演習 3(5) この枝の開放と、電池の正極と負極を導線で直接結ぶ短絡との違いを説明せよ。

解答・解説は「演習 3 の解答・解説」を参照。

©ミライコーチング

演習 4

理想 12 V 電源と、2 Ω、4 Ω の二つの抵抗について、次の回路 A・B を考える。

- 回路 A：二つの抵抗は分岐のない一つの経路上に順番に接続される。
- 回路 B：二つの抵抗の左端同士が同じ接続点に、右端同士が別の同じ接続点につながる。

両回路とも電源との閉じた経路があり、各抵抗値は一定である。

演習 4(1) 回路 A・B をそれぞれ直列・並列に分類せよ。

演習 4(2) 回路 A の合成抵抗と全電流を求めよ。

演習 4(3) 回路 B の各枝電流と全電流、合成抵抗を求めよ。

演習 4(4) 回路図の抵抗や導線の位置を描き直した場合、何が変わらなければ合成抵抗の式は変わらないか説明せよ。

解答・解説は「演習 4 の解答・解説」を参照。

演習 5

直列回路と並列回路について、次の問いに答えよ。

演習 5(1) 「直列回路では、抵抗値の大きい抵抗ほど流れる電流が小さい」という説明は正しいか。理由も述べよ。

演習 5(2) 「並列回路では、抵抗値の大きい抵抗ほど、かかる電圧が大きい」という説明は正しいか。理由も述べよ。

演習 5(3) 分岐点に 5 A が流れ込み、二つの枝に 2 A と 3 A が流れ出ている。この関係がどのような保存則を表すか説明せよ。

演習 5(4) 「抵抗を流れるうちに電流が消費され、その分だけエネルギーがなくなる」という説明の誤りを、電荷保存とエネルギー変換の違いから説明せよ。

解答・解説は「演習 5 の解答・解説」を参照。

演習問題の解答・解説

演習 1 の解答・解説

演習 1(1) 解答・解説 並列接続である。

3 個の抵抗の左端がすべて同じ接続点、右端もすべて別の同じ接続点につながっているためである。

並列接続かどうかは抵抗の配置ではなく、両端の接続関係で判断する。

演習 1(2) 解答・解説 合成抵抗は 2 Ω である。

並列回路なので、抵抗値の逆数を足す。

$$\begin{aligned}\frac{1}{R_{\text{eq}}} &= \frac{1}{6\,\Omega} + \frac{1}{6\,\Omega} + \frac{1}{6\,\Omega} \\ &= \frac{3}{6\,\Omega} \\ &= \frac{1}{2\,\Omega}\end{aligned}$$

したがって、

$$R_{\text{eq}} = 2\,\Omega$$

である。

演習 1(3) 解答・解説 各抵抗にかかる電圧は 12 V、各枝の電流は 2 A である。

並列接続では、各抵抗の両端が同じ二つの接続点につながるため、

$$V_1 = V_2 = V_3 = 12\,\text{V}$$

となる。

また、各抵抗の抵抗値はすべて 6 Ω なので、

$$\begin{aligned}I_1 = I_2 = I_3 &= \frac{12\,\text{V}}{6\,\Omega} \\ &= 2\,\text{A}\end{aligned}$$

である。

演習 1(4) 解答・解説 全電流は 6 A である。

各枝の電流の和が全電流になるため、

$$\begin{aligned}I &= I_1 + I_2 + I_3 \\ &= 2\,\text{A} + 2\,\text{A} + 2\,\text{A} \\ &= 6\,\text{A}\end{aligned}$$

となる。

合成抵抗を使っても、

$$I = \frac{12\,\text{V}}{2\,\Omega} = 6\,\text{A}$$

と一致する。

演習 1(5) 解答・解説 抵抗の接続方法が異なるため、合成抵抗と全電流が異なる。

例題 1 は直列接続であり、3 個の抵抗を一つの電流経路が順番に通る。このとき合成抵抗は 18 Ω、全電流は $\frac{2}{3}$ A である。

演習 1 は並列接続なので、各枝に電源と同じ電圧がかかり、各枝の電流が足し合わされる。合成抵抗は 2 Ω、全電流は 6 A となる。

同じ抵抗を使っていても、電流が通れる経路の構成が変われば、回路全体の電流も変化する。

演習 2 の解答・解説

演習 2(1) 解答・解説 変更前の全電流は 2 A である。

$$I = \frac{12\,\mathrm{V}}{6\,\Omega} = 2\,\mathrm{A}$$

演習 2(2) 解答・解説 変更 A の後、元の 6 Ω の枝は 2 A、新しい 3 Ω の枝は 4 A、全電流は 6 A である。

変更 A では並列の枝を追加しているため、各枝には 12 V がかかる。

$$I_1 = \frac{12\,\mathrm{V}}{6\,\Omega} = 2\,\mathrm{A}$$

$$I_2 = \frac{12\,\mathrm{V}}{3\,\Omega} = 4\,\mathrm{A}$$

全電流は、

$$I = 2\,\mathrm{A} + 4\,\mathrm{A} = 6\,\mathrm{A}$$

となる。

演習 2(3) 解答・解説 元の 6 Ω の枝の電流は変化せず、2 A のままである。

理想電圧源が端子間の電圧を 12 V に保つため、元の枝にかかる電圧は変わらない。

また、元の枝の抵抗値も 6 Ω で一定なので、オームの法則から枝電流も変化しない。

ただし、新しい枝にも 4 A が流れるので、電源が供給する全電流は増加する。

演習 2(4) 解答・解説 変更 B の後、合成抵抗は 12 Ω、全電流は 1 A、各抵抗にかかる電圧はそれぞれ 6 V である。

直列接続なので、

$$R_{\mathrm{eq}} = 6\,\Omega + 6\,\Omega = 12\,\Omega$$

となる。

全電流は、

$$I = \frac{12\,\mathrm{V}}{12\,\Omega} = 1\,\mathrm{A}$$

である。

直列回路では各抵抗を同じ電流が流れるため、

$$V_1 = V_2 = (1\,\mathrm{A})(6\,\Omega) = 6\,\mathrm{V}$$

となる。

電源電圧は 12 V のままであるが、各抵抗に 12 V ずつかかるわけではない。

$$6\,\mathrm{V} + 6\,\mathrm{V} = 12\,\mathrm{V}$$

となるように電圧が配分される。

演習 2(5) 解答・解説 変更 A では全電流が 2 A から 6 A に増加し、変更 B では 2 A から 1 A に減少する。

変更 A では並列の枝が増え、合成抵抗が小さくなる。

変更 B では一つの経路に抵抗が追加され、合成抵抗が大きくなる。

どちらの比較も、理想電圧源によって電源電圧が 12 V に保たれる条件で成り立つ。

演習 3 の解答・解説

演習 3(1) 解答・解説 開放前は、6 Ω の枝に 2 A、3 Ω の枝に 4 A が流れ、全電流は 6 A である。

並列回路なので各枝に 12 V がかかる。

$$I_1 = \frac{12\,\mathrm{V}}{6\,\Omega} = 2\,\mathrm{A}$$

$$I_2 = \frac{12\,\mathrm{V}}{3\,\Omega} = 4\,\mathrm{A}$$

したがって、

$$I = 2\,\mathrm{A} + 4\,\mathrm{A} = 6\,\mathrm{A}$$

となる。

演習 3(2) 解答・解説 開放された 3 Ω の枝の電流は 0 A である。

その枝の導線が途中で切断され、閉じた電流経路がなくなっているためである。

これは抵抗値がゼロになったのではなく、接続が途切れていることによる。

演習 3(3) 解答・解説 開放後、6 Ω の枝の電流は 2 A、全電流も 2 A である。

6 Ω の枝と電池の閉じた経路は残っており、電源電圧も 12 V に保たれる。

したがって、

$$I_1 = \frac{12\,\mathrm{V}}{6\,\Omega} = 2\,\mathrm{A}$$

となる。

開放枝には電流が流れないので、

$$I = 2\,\mathrm{A} + 0\,\mathrm{A} = 2\,\mathrm{A}$$

である。

演習 3(4) 解答・解説 全電流は 6 A から 2 A に減少する。

開放前には、3 Ω の枝を 4 A が流れていたが、その枝を切断したため電流が流れなくなった。

一方、6 Ω の枝は電圧も抵抗値も変わらないので、2 A のままである。

したがって、全電流の減少量は、

$$6\,\mathrm{A} - 2\,\mathrm{A} = 4\,\mathrm{A}$$

となる。

演習 3(5) 解答・解説 開放は電流の経路が切れている状態、短絡は抵抗の非常に小さい経路で直接つながる状態である。

開放した枝では定常電流が流れない。一方、短絡では非常に大きな電流が流れる場合があり、両者は異なる。

特に、理想電圧源の正極と負極を抵抗ゼロの導線で直接結ぶ場合は、正の有限抵抗から合成抵抗を求める本講の計算対象ではない。

©ミライコーチング

演習 4 の解答・解説

演習 4(1) 解答・解説 回路 A は直列接続、回路 B は並列接続である。

回路 A では抵抗が分岐のない同じ電流経路上に順番に接続されている。

回路 B では二つの抵抗の両端がそれぞれ同じ二つの接続点につながっている。

演習 4(2) 解答・解説 回路 A の合成抵抗は 6 Ω、全電流は 2 A である。

直列接続なので、

$$R_{\mathrm{eq}} = 2\,\Omega + 4\,\Omega = 6\,\Omega$$

となる。

全電流は、

$$I = \frac{12\,\mathrm{V}}{6\,\Omega} = 2\,\mathrm{A}$$

である。

演習 4(3) 解答・解説 回路 B では、2 Ω の枝に 6 A、4 Ω の枝に 3 A が流れる。全電流は 9 A、合成抵抗は $\frac{4}{3}\,\Omega$ である。

並列接続なので、各枝には 12 V がかかる。

$$I_1 = \frac{12\,\mathrm{V}}{2\,\Omega} = 6\,\mathrm{A}$$

$$I_2 = \frac{12\,\mathrm{V}}{4\,\Omega} = 3\,\mathrm{A}$$

全電流は、

$$I = 6\,\mathrm{A} + 3\,\mathrm{A} = 9\,\mathrm{A}$$

である。

よって、合成抵抗は、

$$R_{\mathrm{eq}} = \frac{12\,\mathrm{V}}{9\,\mathrm{A}}$$

$$= \frac{4}{3}\,\Omega$$

となる。

この値は、二つの抵抗のうち小さい方の 2 Ω よりも小さい。

演習 4(4) 解答・解説 各抵抗がどの接続点の間につながっているか、また電流がどこで分岐・合流するかという電気的な接続関係が変わらなければ、合成抵抗の式は変わらない。

抵抗を紙面上で左右に動かしたり、導線を折り曲げたりしても、電気的な接続が同じなら回路の性質は同じである。

反対に、図の見た目が似ていても、接続点や分岐の有無が変われば、直列・並列の判断や合成抵抗の式が変わることがある。

演習 5 の解答・解説

演習 5(1) 解答・解説 正しくない。

直列回路では、抵抗値の大小に関係なく、各抵抗を流れる電流は等しい。

途中に分岐がなく、定常状態では各抵抗の間に電荷がたまり続けないため、単位時間に通過する電荷量が共通になるからである。

抵抗値が大きい抵抗ほど大きくなるのは、共通電流のもとでの電圧降下である。

演習 5(2) 解答・解説 正しくない。

並列回路では、各抵抗の両端が同じ二つの接続点につながっているため、各抵抗にかかる電圧は共通になる。

抵抗値が異なる場合に変化するのは枝電流である。電圧が同じなら、抵抗値が小さい枝ほど大きな電流が流れる。

演習 5(3) 解答・解説 電荷保存則を表している。

定常状態では、分岐点に電荷がたまり続けないため、流入する電流と流出する電流の和が等しくなる。

$$5\,\mathrm{A} = 2\,\mathrm{A} + 3\,\mathrm{A}$$

この関係は、分岐点に流れ込む電荷量と、流れ出る電荷量が同じ時間当たりで等しいことを示す。

演習 5(4) 解答・解説 誤りは、電気的なエネルギーが熱に変わることを、電流が消費されることだと捉えている点である。

定常直流回路では、抵抗の入口と出口で電流の大きさは等しい。電荷は抵抗で失われない。

一方、抵抗では電気的なエネルギーが主に熱エネルギーへ変換される。エネルギー全体がなくなるのではなく、その形が変わるのである。

したがって、正しくは「抵抗を通っても電荷は保存され、電気的なエネルギーは主に熱へ変換される」と説明できる。

©ミライコーチング