

【18 直流回路】

- ・ オームの法則

$$V = RI$$

- ・ 合成抵抗

$$\text{直列} : R = R_1 + R_2$$

$$\text{並列} : \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

- ・ ジュール熱（電力量）

$$Q = IVt = RI^2t = \frac{V^2}{R}t \text{ [J]}$$

- ・ 消費電力

$$P = IV = RI^2 = \frac{V^2}{R} \text{ [W]}$$

- ・ 電流の定義

$$I = \frac{Q}{t} \text{ [A]} \quad I = envS \text{ [A]}$$

- ・ 抵抗

$$R = \rho \frac{l}{S} \text{ [\Omega]}$$

()年 ()科 ()組 ()番 名前()

-
- ・キルヒホッフの法則

第一法則：流れ込む電流の和＝流れ出る電流の和

第二法則：閉じた回路を一周すると電圧は±0

- ・電池の電圧

$$V = E - rI$$

- ・ホイートストンブリッジ回路

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

- ・非直線抵抗の解き方

1. 豆電球にかかる電圧を $V[V]$ ，流れる電流を $I[A]$ とする
2. 抵抗で $V = RI$ を立てる
3. 2で得られた式をグラフに書き込み、交点を求める

- ・コンデンサーを含む直流回路

1. スイッチを入れた瞬間 → 導線として扱う
2. 十分に時間が経過 → 断線として扱う
3. コンデンサーの放電 → 電池として扱う

- ・半導体

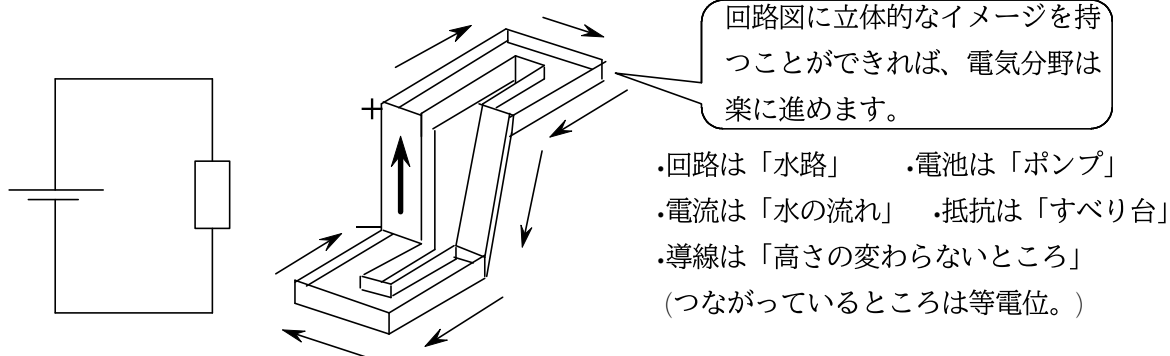
n 型半導体のキャリアは 電子

p 型半導体のキャリアは ホール

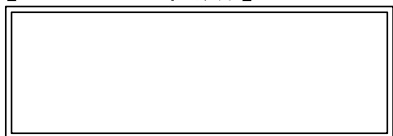
第2章 電流

※このページはすべて中学校のときに習う内容です。覚えてるよね...?

1 オームの法則 B オームの法則



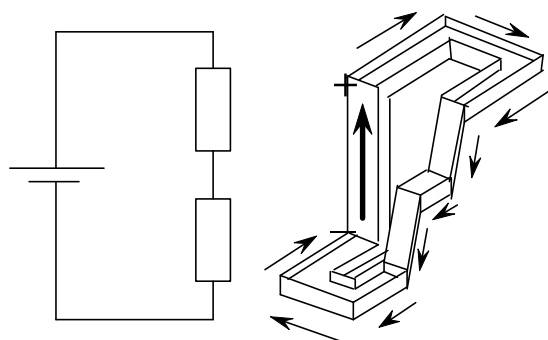
【オームの法則】



$R[\Omega]$ の抵抗に電流 $I[A]$ が流れると、左上の図のように電圧が「 」[V] 下がります。このことを「 」と言います。また、抵抗に電流が流れていないときには電圧降下は0Vであり、抵抗の両端は等電位になります。

2 直流回路 A 抵抗の接続

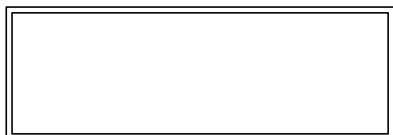
① 直列接続



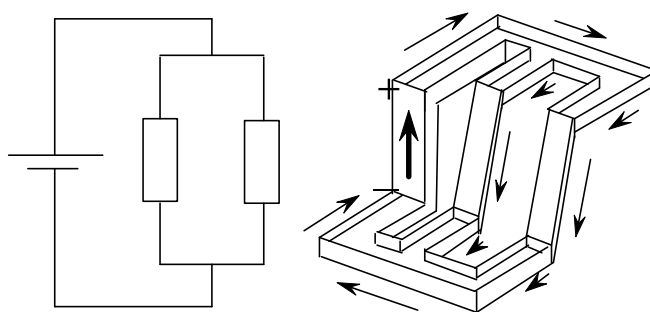
<直列回路のポイント>

- ・電流はどこでも等しい
- ・電圧は $V = V_1 + V_2$

【直列の合成抵抗】



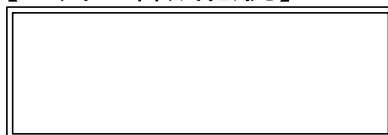
② 並列接続



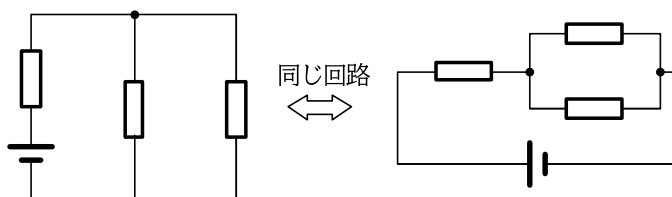
<並列回路のポイント>

- ・電圧はどこでも等しい
- ・電流は $I = I_1 + I_2$

【並列の合成抵抗】



また、一見複雑な回路も回路図を書きかえることによって、見慣れた形に表せることがあります。つながり方さえ等しければ、実際の回路と導線の長さが異なってもかまいません。コツは導線部分をゴムひものように考えることです。



E 電気とエネルギー

1 ジュール熱

電子機器を充電するとき、バッテリーやケーブルが熱くなりますよね。一般的に、抵抗のある導体に電流が流れると熱が発生します。これをジュール熱と呼びます。

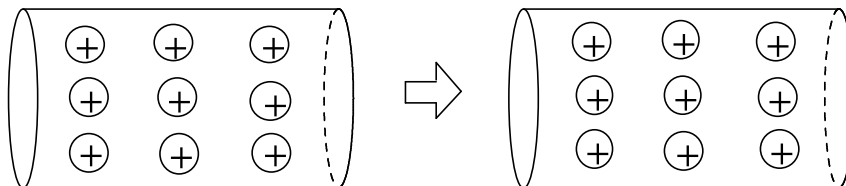
【ジュール熱】

$$Q = \quad = \quad = \quad [\quad]$$

<ジュール熱が発生する仕組み>

電流が流れていると、

※最初の式だけ覚えて、残りは $V = RI$ で変形させれば脳のメモリを節約できますね。



① 自由電子が陽イオンにぶつかる

→ ② 陽イオンが振動する (運動エネルギーになる)

→ ③ 陽イオンの振動が熱エネルギーになる

2 電力量と電力

抵抗で発生したジュール熱 Q は、抵抗に流れた電流がした仕事 W に等しい。

【(消費)電力】

$$P = \quad = \quad = \quad [\quad]$$

【電力量】

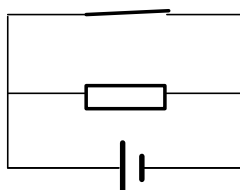
$$W = \quad = \quad = \quad [\quad]$$

※ジュール熱=電流のした仕事(電力量)ということ。摩擦熱=摩擦のした仕事みたいな関係。

また、ワット時(Wh)とは、電力 W に時間 h をかけたものです。例えば、5Wで2hなら10Wh。

・短絡 (ショート)

図の回路のスイッチを閉じたとき、抵抗の両端の電圧はどうなると思いますか？スイッチを閉じた部分は導線になります。この導線には何もないのでこの部分を無視してしまっても…、そうすると抵抗に全電流が流れるから…と思うかもしれませんが、しかし、ちょっと待ってください。スイッチを閉じた部分は導線になりますが、この導線を無視してはいけません。導線の抵抗は0Ωですから抵抗 R_1 よりもはるかに電流が流れやすく、導線に全電流が流れます。つまり抵抗には電流は流れず、抵抗の両端の電圧は0Vとなります。このように、回路部分の両端を導線でつなぐことを「 」または「 」といいます。



抵抗のある道と、導線だけの道があったら、全電流が導線だけの道を通ります！それが『短絡 (ショート)』です。

- 1 導体の両端に 10 V の電圧を加えたとき、 0.40 A の電流が流れた。この導体の抵抗は何 Ω か。

$$「V=RI」より \quad R=\frac{V}{I}=\frac{10}{0.40}=25\ \Omega$$

- 2 次の問いに答えよ。

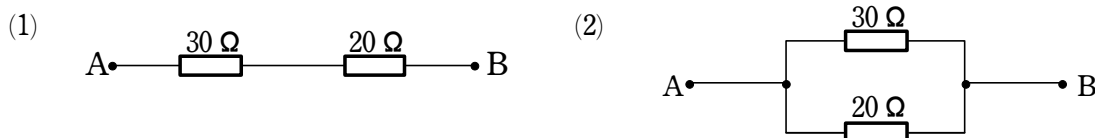
- (1) $6.0\ \Omega$ の抵抗にある電圧 V を加えると、 1.5 A の電流が流れた。電圧 V は何 V か。
 (2) $4.0\ \Omega$ の抵抗に 8.0 V の電圧を加えると、何 A の電流が流れるか。
 (3) ある抵抗に 6.0 V の電圧を加えると、 1.2 A の電流が流れた。この抵抗は何 Ω か。

(1) オームの法則「 $V=RI$ 」より $V=6.0\times 1.5=9.0\text{ V}$

(2) 「 $V=RI$ 」より $I=\frac{V}{R}$ よって $I=\frac{8.0}{4.0}=2.0\text{ A}$

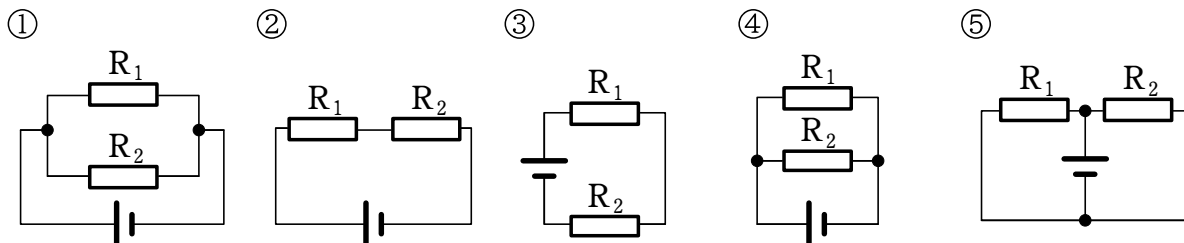
(3) 「 $V=RI$ 」より $R=\frac{V}{I}$ よって $R=\frac{6.0}{1.2}=5.0\ \Omega$

- 3 図の (1), (2) について、AB 間の合成抵抗を求めよ。



【解答】 (1) $50\ \Omega$ (2) $12\ \Omega$

- 4 次の回路図の抵抗 R_1 , R_2 が直列接続か並列接続か、それぞれ答えよ。

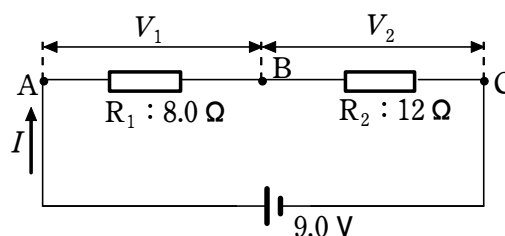


① 直列 or 並列 ② 直列 or 並列 ③ 直列 or 並列 ④ 直列 or 並列 ⑤ 直列 or 並列

【解答】 ① 並列接続 ② 直列接続 ③ 直列接続 ④ 並列接続 ⑤ 並列接続

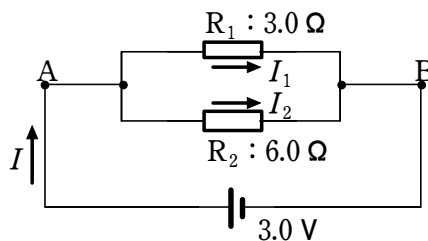
- 5 $8.0\ \Omega$ の抵抗 R_1 , $12\ \Omega$ の抵抗 R_2 と、 9.0 V の電池を図のようにつないだ。

- (1) 点 A を流れる電流 $I[\text{A}]$ を求めよ。
 (2) AB 間、BC 間の電圧 $V_1[\text{V}]$, $V_2[\text{V}]$ を求めよ。
 (3) AC 間の合成抵抗 $R[\Omega]$ を求めよ。



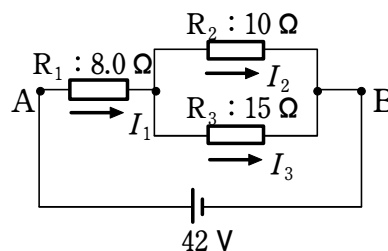
【解答】 (1) 0.45 A (2) $V_1=3.6\text{ V}$, $V_2=5.4\text{ V}$ (3) $20\ \Omega$

- 6 $3.0\ \Omega$ の抵抗 R_1 , $6.0\ \Omega$ の抵抗 R_2 と,
 $3.0\ \text{V}$ の電池を図のようにつないだ。
 (1) 抵抗 R_1 , 抵抗 R_2 を流れる電流 $I_1[\text{A}]$,
 $I_2[\text{A}]$ を求めよ。
 (2) 点 A を流れる電流 $I[\text{A}]$ を求めよ。
 (3) AB 間の合成抵抗 $R[\Omega]$ を求めよ。



【解答】 (1) $I_1: 1.0\ \text{A}$ $I_2: 0.50\ \text{A}$ (2) $1.5\ \text{A}$ (3) $2.0\ \Omega$

- 7 図の回路について, 電流 I_1 , I_2 , $I_3[\text{A}]$ をそれぞれ求めよ。



【解答】 $I_1 = 3.0\ \text{A}$, $I_2 = 1.8\ \text{A}$, $I_3 = 1.2\ \text{A}$

- 8 (1) 電熱線に $10\ \text{V}$ の電圧を加えたところ $1.2\ \text{A}$ の電流が流れた。このとき, 30 秒間に発生するジュール熱は何 J か。
 (2) 抵抗値が $30\ \Omega$ の電熱線に $20\ \text{V}$ の電圧を加えるとき, 1.0 分間に発生するジュール熱は何 J か。

(1) 「 $Q = IVt$ 」より

$$Q = 1.2 \times 10 \times 30 = 3.6 \times 10^2\ \text{J}$$

(2) 「 $Q = \frac{V^2}{R}t$ 」より

$$Q = \frac{20^2}{30} \times 1.0 \times 60 = 8.0 \times 10^2\ \text{J}$$

- 9 ヒーターを $100\ \text{V}$ の電圧で使用したところ, $3.0\ \text{A}$ の電流が流れた。

- (1) このヒーターの消費電力は何 W か。
 (2) このヒーターが 60 秒間に消費する電力量は何 J か。
 (3) このヒーターが 4.0 時間に消費する電力量は何 kWh か。

(1) 「 $P = IV$ 」より

$$P = 3.0 \times 100 = 3.0 \times 10^2\ \text{W}$$

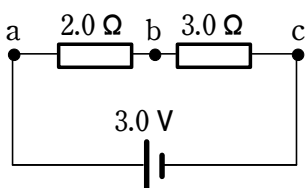
(2) 「 $W = IVt$ 」より

$$W_1 = 3.0 \times 100 \times 60 = 1.8 \times 10^4\ \text{J}$$

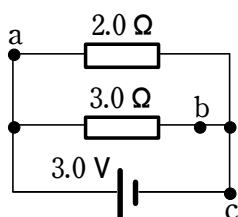
(3) $W_2 = 3.0 \times 100 \times 4.0 = 1.2 \times 10^3\ \text{Wh} = 1.2\ \text{kWh}$

10 次の回路図中の点 a, b, c における電流の大きさをそれぞれ求めよ。

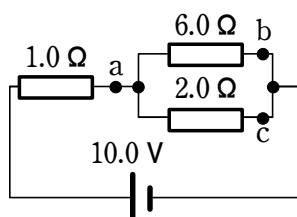
①



②



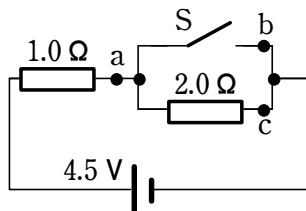
③



解答 ① a : 0.60 A, b : 0.60 A, c : 0.60 A ② a : 1.5 A, b : 1.0 A, c : 2.5 A
③ a : 4.0 A, b : 1.0 A, c : 3.0 A

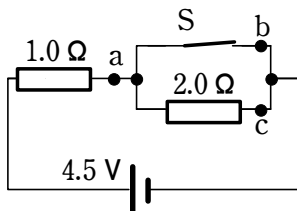
④

スイッチ S
(開)



⑤

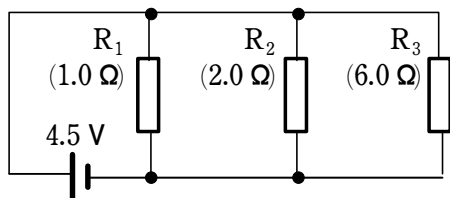
スイッチ S
(閉)



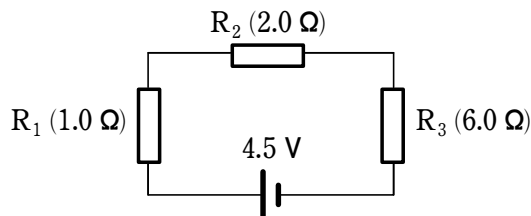
解答 ④ a : 1.5 A, b : 0 A, c : 1.5 A ⑤ a : 4.5 A, b : 4.5 A, c : 0 A

11 次の回路図において、各抵抗に加わる電圧の大きさをそれぞれ求めよ。

①



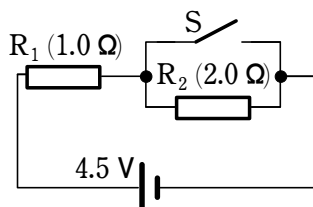
②



解答 ① $R_1 : 4.5 \text{ V}$, $R_2 : 4.5 \text{ V}$, $R_3 : 4.5 \text{ V}$ ② $R_1 : 0.50 \text{ V}$, $R_2 : 1.0 \text{ V}$, $R_3 : 3.0 \text{ V}$

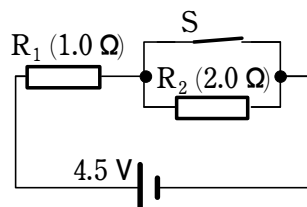
③

スイッチ S
(開)



④

スイッチ S
(閉)



解答 ③ $R_1 : 1.5 \text{ V}$, $R_2 : 3.0 \text{ V}$ ④ $R_1 : 4.5 \text{ V}$, $R_2 : 0 \text{ V}$

1 オームの法則

A 電流

【電流の定義】

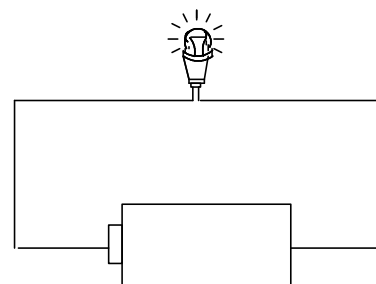
電流の向き

正の電気が移動する向き or

負の電気が移動する向きの逆

電流の大きさ

1 秒間あたりに導体の断面を通過する電気量 Q [C]



【電流の定義】

= _____

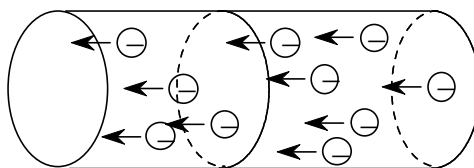
C オームの法則の意味

① 電子の運動と電流 ～自由電子による電流 I [A]の説明～

I [A]... 電流 e [C]... 電気素量 n [/m³]... 単位体積あたりの自由電子の数

v [m/s]... 自由電子の速さ S [m²]... 断面積

電流の定義は「1 秒間あたりに断面積を通過する電気量[C]」でした。



今、とある断面を考えると、その断面を今から1秒間に通過する電子は、上のように色を塗った範囲に存在している電子になります。

体積は、

なので

電子の個数は、

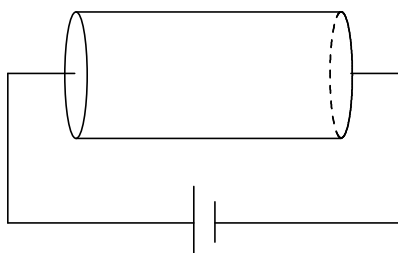
となります。

1つあたり e [C] の電気量を持つので、通過する電子の総電気量を求めると、それが電流となります。

【電流の大きさ】

[]

② オームの法則の意味 ～ $V=RI$ の導出～



一様な電場の式は、

なので

電場は、

となり、

電子が電場から受ける力は、

となります。

自由電子は、電場から力を受けて加速しますが、陽イオンと衝突しながら進むことになり、全体を平均すると、ある一定の速さ v [m/s] で進むことになります。

このとき自由電子は陽イオンから速さ v に比例した抵抗 kv [N] (k は比例定数) を受けているとすると、「抵抗」と「電場から受ける力」の力のつりあいより

$$= \quad \text{となります。}$$

この式から、 $v =$ となるので、

これを $I =$ に代入すると、

$$I =$$

$$I =$$

ここで、とおくと、

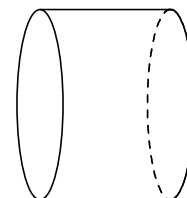
$$I = \frac{V}{R} \quad \text{が得られます。}$$

D 抵抗率

抵抗とは、流れにくさのことです。「長さ」と「断面積」で決まります。イメージは体育大会の障害物競争です！



入り口が狭く、長さが長いと流れにくい



入口が広く、長さが短いと流れやすい

$\rho \cdots$ 抵抗率 [$\Omega \cdot \text{m}$] とすると、

【抵抗】

[]

抵抗は長さ l に比例し、断面積 S に反比例する。

※コンデンサーの電気容量とは逆の関係です。ご注意ください。(面積 S に比例し極板間隔 d に反比例する)

問題演習(アウトプット) シャベる、質問する、説明する、動く、他者と協力する

- 1 一定の電流が流れる導線がある。この導線の断面を 30 秒間に大きさ 9.6 C の電気量が通過するとすれば、電流は何 A か。

$$\left[I = \frac{Q}{t} \right] \text{より} \quad I = \frac{9.6}{30} = 0.32 \text{ A}$$

- 2 断面積 $1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ の導線に 1.7 A の電流が流れているとき、自由電子の平均移動速度 $v [\text{m/s}]$ を求めよ。導線 1.0 m^3 当たりの自由電子の数を $8.5 \times 10^{28} / \text{m}^3$ 、電子の電気量を $-1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ とする。

$$\left[I = envS \right] \text{より} \quad 1.7 = (1.6 \times 10^{-19}) \times (8.5 \times 10^{28}) \times v \times (1.0 \times 10^{-6})$$

$$\begin{aligned} \text{よって} \quad v &= \frac{1.7}{(1.6 \times 10^{-19}) \times (8.5 \times 10^{28}) \times (1.0 \times 10^{-6})} \\ &\doteq 1.3 \times 10^{-4} \text{ m/s} \end{aligned}$$

- 3 断面積が $2.0 \times 10^{-7} \text{ m}^2$ 、抵抗率が $1.1 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ のニクロム線を用いて、 1.0Ω の抵抗をつくりたい。ニクロム線の長さを何 m にすればよいか。

$$\left[R = \rho \frac{l}{S} \right] \text{より}$$

$$l = \frac{RS}{\rho} = \frac{1.0 \times (2.0 \times 10^{-7})}{1.1 \times 10^{-6}} \doteq 0.18 \text{ m}$$

- 4 0°C でのアルミニウムの抵抗率は $2.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ である。 40°C のときのアルミニウムの抵抗率は、 0°C のときよりどれだけ大きいか。アルミニウムの抵抗率の温度係数を $4.2 \times 10^{-3} / \text{K}$ とする。

※ 0°C 、 $t [^\circ \text{C}]$ のときのアルミニウムの抵抗率をそれぞれ ρ_0 、 $\rho [\Omega \cdot \text{m}]$ とすると、 $\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$ という関係式が成り立ちます。

0°C 、 $t [^\circ \text{C}]$ のときのアルミニウムの抵抗率をそれぞれ ρ_0 、 $\rho [\Omega \cdot \text{m}]$ とすると、

$\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$ より ρ と ρ_0 の差は

$$\rho - \rho_0 = \rho_0(1 + \alpha t) - \rho_0 = \rho_0 \alpha t$$

よって、 $t = 40^\circ \text{C}$ のとき

$$\begin{aligned} \rho - \rho_0 &= (2.5 \times 10^{-8}) \times (4.2 \times 10^{-3}) \times 40 \\ &= 4.2 \times 10^{-9} \Omega \cdot \text{m} \end{aligned}$$

5 次の文中の 内に適当な数式を記入せよ。

断面積 $S[\text{m}^2]$ 、長さ $l[\text{m}]$ の金属導体中の自由電子の運動モデルより、導体の電気抵抗について考えよう。

- (1) 電子が金属中を一定の速さ $v[\text{m/s}]$ で動き、電流 $I[\text{A}]$ が流れているとする。この金属の単位体積中の自由電子の数を $n[1/\text{m}^3]$ 、電子の電気量を $-e[\text{C}]$ として、電流 $I[\text{A}]$ を表すと、 $I = \text{ア}$ となる。
- (2) 金属の両端に電圧 $V[\text{V}]$ を加えると、金属導体内部に [V/m] の電場が生じる。金属内の自由電子はこの電場から力を受けながら移動するが、熱振動している金属の陽イオンと衝突してその運動を妨げられる。つまり、陽イオンは電子の流れに抵抗力を及ぼす。この抵抗力の大きさは電子の流れの速さ v に比例すると仮定し、 $kv[\text{N}]$ で表す(k は比例定数)。電子は電場から受ける力と抵抗力がつりあって等速直線運動しているとする、 $v = \text{ウ}$ であり、(ア)、(ウ) より $I = \text{エ}$ が得られる。
- (3) (2) で得られた電流 $I[\text{A}]$ と電圧 $V[\text{V}]$ の関係式より、金属の電気抵抗 $R[\Omega]$ および抵抗率 $\rho[\Omega \cdot \text{m}]$ は、それぞれ $R = \text{オ}$ 、および $\rho = \text{カ}$ で表される。
- (4) 金属の温度 $T[^\circ\text{C}]$ における抵抗率 $\rho[\Omega \cdot \text{m}]$ は、 0°C における抵抗率を $\rho_0[\Omega \cdot \text{m}]$ 、温度係数を $\alpha[1/\text{K}]$ とすると、 $\rho = \rho_0 \times (\text{キ})$ で表される。
- (5) (1)、(2) で考察した金属導体に電圧 $V[\text{V}]$ を加えて電流 $I[\text{A}]$ が流れるとき、 $t[\text{s}]$ 間に発生するジュール熱は [J] で与えられる。これは、自由電子の運動モデルより説明できる。すなわち、導体中の1個の自由電子には負極側から正極側へ静電気力 [N] がはたらき、 $t[\text{s}]$ 間でその力の向きに [m] だけ移動するので、この電子は(ケ)×(コ)の大きさの仕事をされる。導体中の自由電子の総数は だから、ジュール熱 $Q[\text{J}]$ は全自由電子がされる仕事の大きさとして $Q = (\text{ケ}) \times (\text{コ}) \times (\text{サ})$ となり、 $t[\text{s}]$ 間に発生するジュール熱 [J] に等しい。

ヒント (ア) 長さ $l[\text{m}]$ の導体内の自由電子数は $nvS[\text{個}]$ である。

(カ) (オ) で得られる式と「 $R = \rho \frac{l}{S}$ 」を比べる。

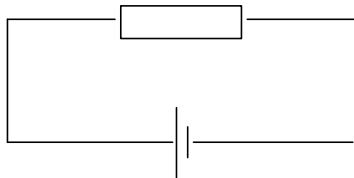
ア		イ		ウ		エ	
オ		カ		キ		ク	
ケ		コ		サ			

解答 (ア) $envS$ (イ) $\frac{V}{l}$ (ウ) $\frac{eV}{kl}$ (エ) $\frac{e^2 nVS}{kl}$ (オ) $\frac{kl}{e^2 nS}$ (カ) $\frac{k}{e^2 n} [\Omega \cdot \text{m}]$
 (キ) $1 + \alpha T$ (ク) IVt (ケ) $e \frac{V}{l}$ (コ) vt (サ) $n l S$

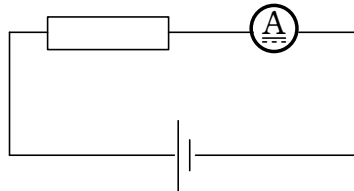
B 電流計

実は電流計の中には、「 r_A 」と呼ばれる抵抗が入っています。

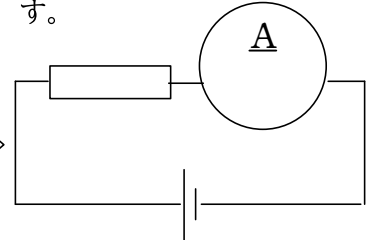
1、このように、抵抗が1つだけの回路に流れる電流を計りたいとき、



2、下のように電流計を直列につなげますよね。



3、しかし、実際には中でこのようになっています。



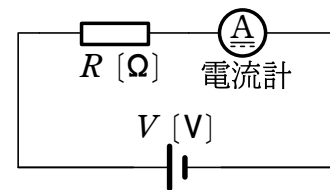
つまり、たとえ抵抗が1つの回路であっても電流計をつなぐと「 r_A 」になって

しまいます。すると本来の電流が減ってしまい、もとの状態を乱してしまうため、電流計の

内部抵抗はできるだけ「 r_A 」ものを使用します。

問題

$R [\Omega]$ の抵抗，電源，内部抵抗が $r_A [\Omega]$ の電流計を図のように接続した。電源の電圧を $V [V]$ としたとき，電流計の示す値はいくらか。

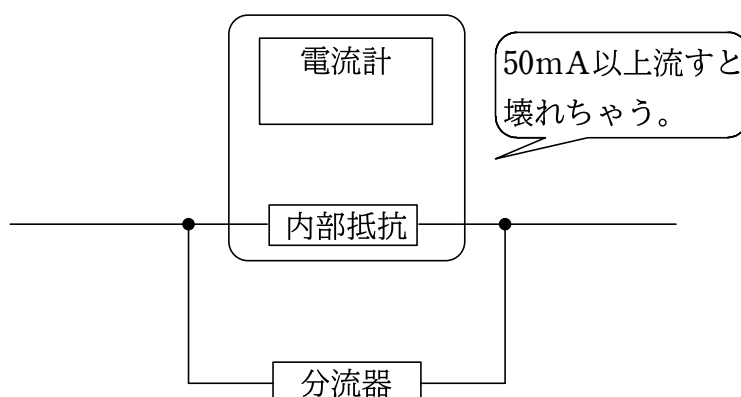


分流器

電流計に抵抗を「 r_s 」につなぐと、電流が枝分かれするため電流計の測定範囲を広げることができます。この抵抗を「 r_s 」といいます。

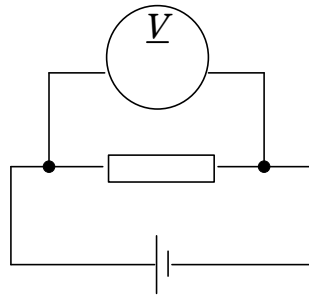
問題

50 mA までの電流をはかることができる内部抵抗 9.0Ω の電流計がある。これを用いて、500 mA までの電流をはかるようにするには、何 Ω の分流器 (抵抗) を接続すればよいか。



B 電圧計

左の電流計と同じで、電圧計の中にも「」が入っています。



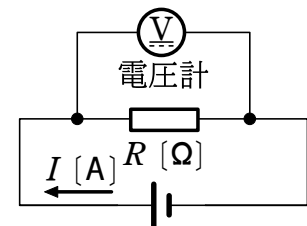
つまり、抵抗が1つの回路であっても、電圧計をつなぐことで「」になります。

すると電流が枝分かれしてしまい、本来の状態が変化してしまうので電圧計側にあまり電流が

流れないように、内部抵抗は「」ものを使用します。

問題

$R [\Omega]$ の抵抗，電源，内部抵抗が $r_V [\Omega]$ の電圧計を図のように接続した。電源から流れる電流を $I [A]$ としたとき，電圧計の示す値はいくらか。

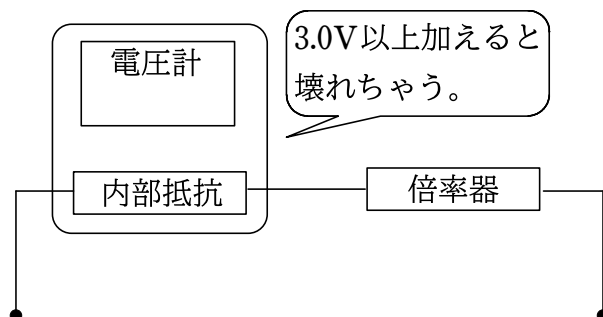


倍率器

電圧計に抵抗を「」につなぐと、電圧が分かれるので電圧計の測定範囲を広げることができます。この抵抗を「」といいます。

問題

3.0 V までの電圧をはかることができる内部抵抗 3.0 k Ω の電圧計がある。これを用いて、30 V までの電圧をはかるようにするには、何 k Ω の倍率器(抵抗)を接続すればよいか。

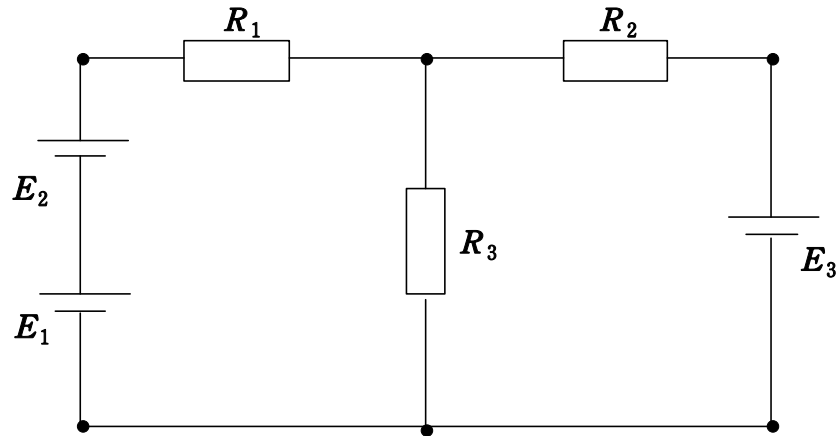


C キルヒホッフの法則

キルヒホッフの法則

第一法則：流れ込む電流の和＝流れ出る電流の和

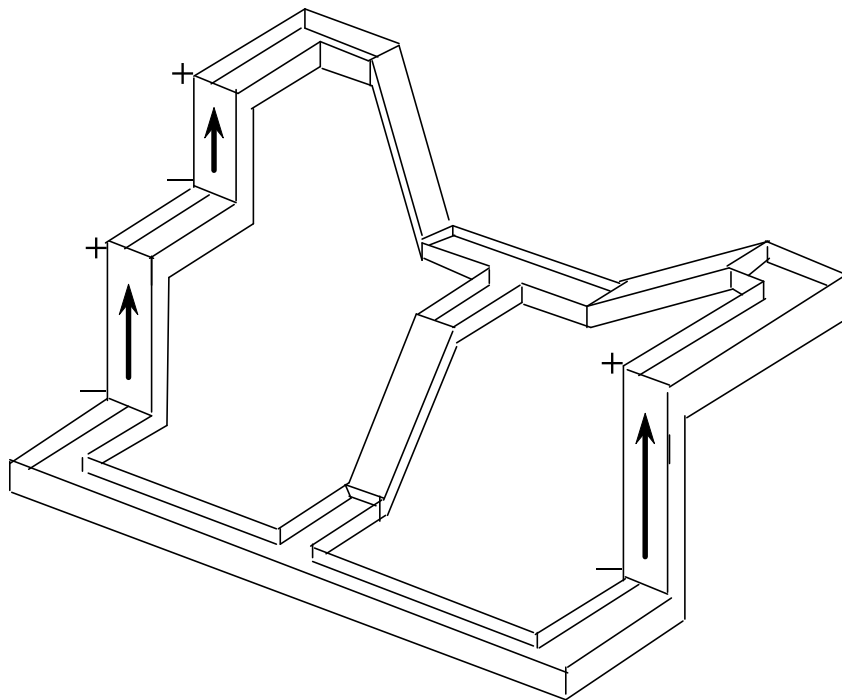
第二法則：閉じた回路を一周すれば電位は元通り（プラマイゼロ）



第一法則より ：

第二法則より 経路Ⅰ：

経路Ⅱ：

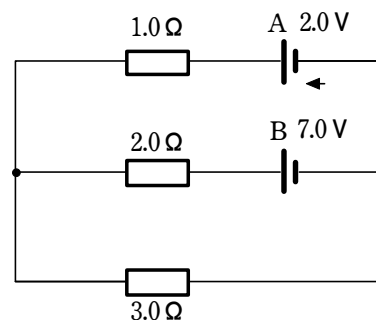


※第二法則は、自分がその建物をテクテク歩いて、一周したら高さが戻っていたという感じです。

キルヒホッフの解き方

- 1、流れているであろう電流の向きを仮定する（適当でOK）
- 2、キルヒホッフの第一法則を立てる
- 3、未知数が解ける数だけ閉回路にキルヒホッフの第二法則を立てる
（ぐるっと囲んだ矢印をたどって、上がったったり下がったり=0）
- 4、連立方程式を解く

- 1 起電力 2.0 V の電池 A，起電力 7.0 V の電池 B
と抵抗値が $1.0\ \Omega$ ， $2.0\ \Omega$ ， $3.0\ \Omega$ の抵抗がある。
これらを図のように接続する。 $1.0\ \Omega$ の抵抗に流
れる電流の大きさと向きを求めよ。



指針 キルヒホッフの法則 I，II を適用する。

解答 各抵抗に流れる電流の大きさと向きを図の
ように仮定する。

キルヒホッフの法則 I を用いると，
点 a について

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad \cdots \cdots \textcircled{1}$$

キルヒホッフの法則 II を用いると，
経路 1 について

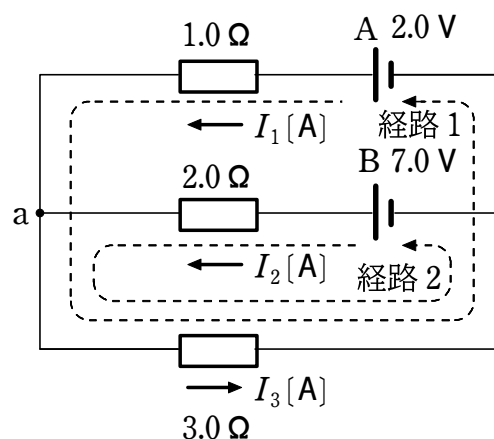
$$2.0 = 1.0 \times I_1 + 3.0 \times I_3 \quad \cdots \cdots \textcircled{2}$$

経路 2 について

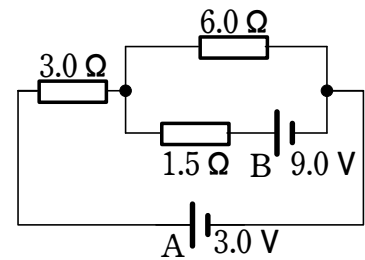
$$7.0 = 2.0 \times I_2 + 3.0 \times I_3 \quad \cdots \cdots \textcircled{3}$$

①～③ 式を連立して解くと $I_1 = -1.0\text{ A}$ ， $I_2 = 2.0\text{ A}$ ， $I_3 = 1.0\text{ A}$

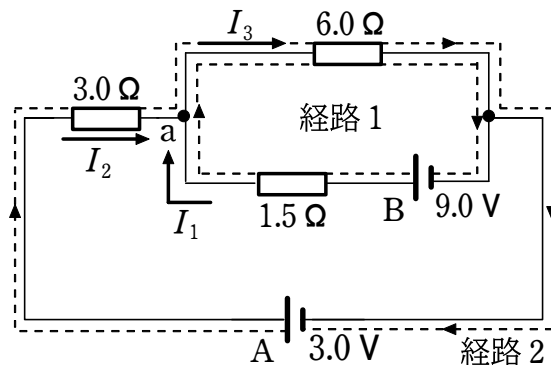
I_1 は負であるので，図に定めた向きと逆向きである。したがって， $1.0\ \Omega$ の抵抗に流れる電流は，右向きに 1.0 A である。



- 2 起電力 3.0 V の電池 A, 起電力 9.0 V の電池 B と抵抗値が $1.5\ \Omega$, $3.0\ \Omega$, $6.0\ \Omega$ の抵抗がある。これらを図のように接続する。 $3.0\ \Omega$ の抵抗に流れる電流の大きさと向きを求めよ。



各抵抗に流れる電流の大きさと向きを図のように仮定する。



キルヒホッフの法則Ⅰを用いると、点 a について

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad \cdots \cdots \textcircled{1}$$

キルヒホッフの法則Ⅱを用いると、経路 1 について

$$9.0 = 1.5I_1 + 6.0I_3 \quad \cdots \cdots \textcircled{2}$$

経路 2 について

$$3.0 = 3.0I_2 + 6.0I_3 \quad \cdots \cdots \textcircled{3}$$

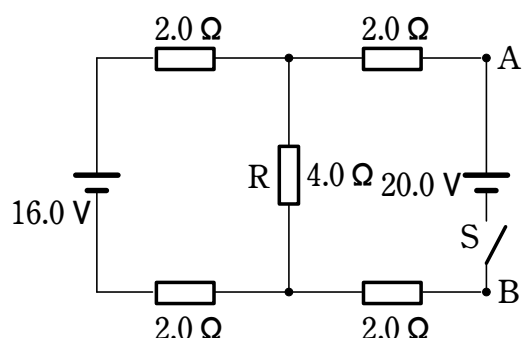
①～③ 式を連立して解くと

$$I_1 = 2.0\text{ A}, I_2 = -1.0\text{ A}, I_3 = 1.0\text{ A}$$

I_2 は負であるので、図に定めた向きと逆向きである。したがって、 $3.0\ \Omega$ の抵抗を流れる電流は、左向きに 1.0 A である。

- 3 図のような、抵抗、電池、スイッチが接続された回路がある。電池には内部抵抗はないものとする。

- (1) スイッチ S を開いたとき、A、B 間の電位差 $V[\text{V}]$ を求めよ。
- (2) スイッチ S を閉じたとき、 $4.0\ \Omega$ の抵抗 R に流れる電流の大きさと向きを求めよ。



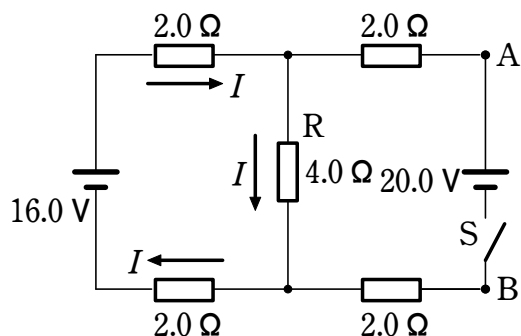
- (1) 回路に流れる電流 $I[\text{A}]$ は図のようになる。

キルヒホッフの法則Ⅱより

$$16.0 = (2.0 + 4.0 + 2.0) \times I$$

よって $I = 2.0\ \text{A}$

A、B 間の電位差は抵抗 R の両端の電位差に等しいので $V = 4.0 \times 2.0 = 8.0\ \text{V}$



- (2) 回路に流れる電流の大きさと向きを図のように仮定する。キルヒホッフの法則Ⅰを用いると、点 a について

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad \dots\dots \textcircled{1}$$

キルヒホッフの法則Ⅱを用いると、経路 1 について

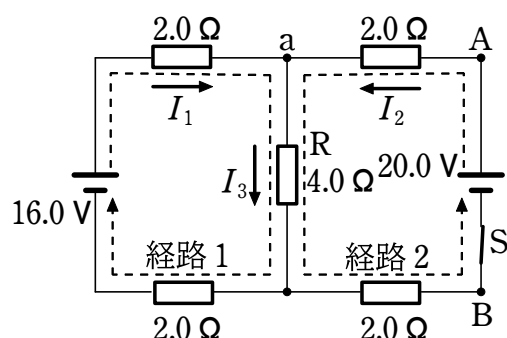
$$16.0 = 2.0 \times I_1 + 4.0 \times I_3 + 2.0 \times I_1 \quad \dots\dots \textcircled{2}$$

経路 2 について

$$20.0 = 2.0 \times I_2 + 4.0 \times I_3 + 2.0 \times I_2 \quad \dots\dots \textcircled{3}$$

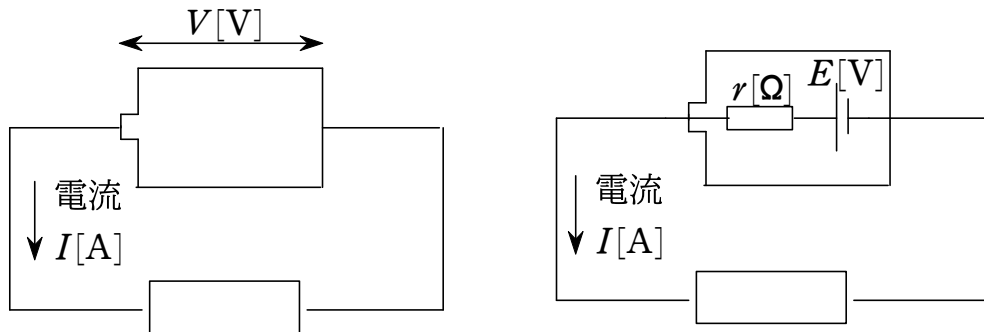
①～③ 式を連立して解くと $I_1 = 1.0\ \text{A}$, $I_2 = 2.0\ \text{A}$, $I_3 = 3.0\ \text{A}$

したがって、抵抗 R を流れる電流は、下向きに $3.0\ \text{A}$ である。



D 電池の起電力と内部抵抗

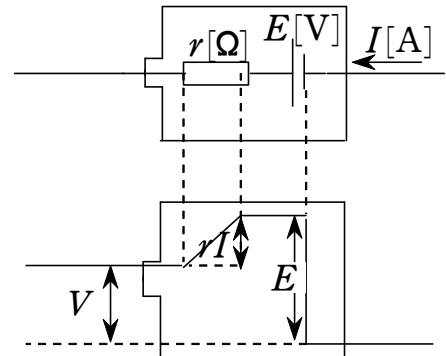
電流計のときにも話しましたが、実は、電池の中にも「内部抵抗」が入っているのです。そのため、回路に電流が流れていると、「 」の電圧降下が起こってしまうため、本来の電圧より少し小さい電圧になってしまいます。



電池本来の持っている電位差を「 」といい、 E で表します。

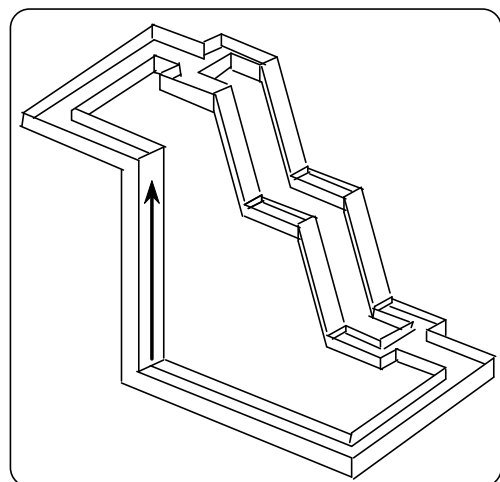
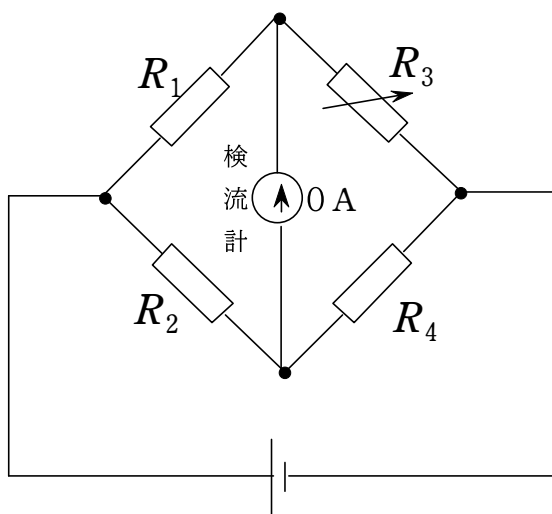
よって、実際に電池の両端に現れる電位差 $V[V]$ は、

となります。



E 抵抗の測定 (ホイートストンブリッジ)

同じ高さ（電位）の2地点に橋をかけると水平になり、水が流れない。



こういう形の回路で、真ん中に電流が流れないとは、どういうことでしょうか？

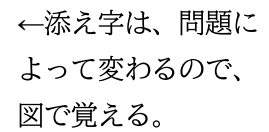
まず、回路の上（ R_1 と R_3 ）を流れている電流を I_1 、

回路の下（ R_2 と R_4 ）を流れている電流を I_2 とします。

電流が流れないとは、その結んでいる2点に「電位差がない」ということです！

上の水路図のように、偶然にも電圧降下が同じだけ起こったとき、途中の電位（高さ）が同じなので、そこに橋（導線）をかけても電流が流れないのです。

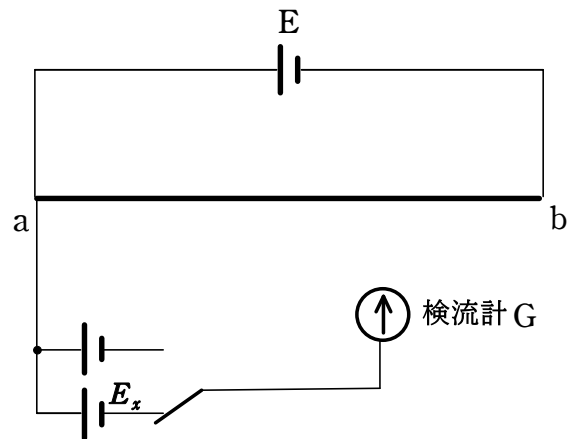
電圧降下が等しいという式を立てると、



F 起電力の測定

電池の起電力を測定する装置のことを「起電力計」といいます。

ab間の単位長さ当たりの抵抗値を r [Ω/m]とする。



ホイートストンブリッジの考え方と同じで、「電流が流れない」＝「その2地点に電位差がない」を利用することで、未知の起電力を求めることができます。

- 1 起電力が 1.5 V 、内部抵抗が 0.50Ω の電池に可変抵抗器を接続し、抵抗値を調整したところ、電流が 0.60 A 流れた。このときの、電池の端子電圧 $V [\text{V}]$ と可変抵抗器の抵抗値 $R [\Omega]$ を求めよ。

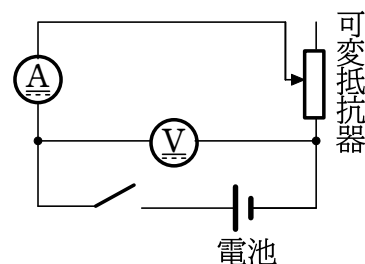
$$「V = E - rI」より$$

$$V = 1.5 - 0.50 \times 0.60 = 1.2 \text{ V}$$

$$「V = RI」より \quad R = \frac{V}{I} = \frac{1.2}{0.60} = 2.0 \Omega$$

- 2 電池に可変抵抗器をつなぎ、その抵抗値を変えながら流れる電流 I と電池の端子電圧 V を測定した。

$I = 0.40 \text{ A}$ のとき $V = 1.30 \text{ V}$ であり、 $I = 0.80 \text{ A}$ のとき $V = 1.10 \text{ V}$ であった。この電池の起電力 $E [\text{V}]$ と内部抵抗 $r [\Omega]$ を求めよ。



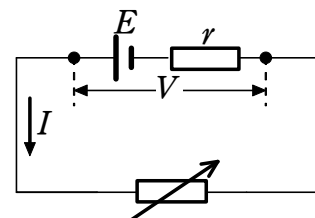
$$「V = E - rI」より$$

$$1.30 = E - r \times 0.40 \quad \dots\dots ①$$

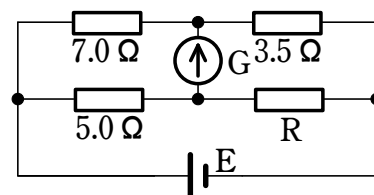
$$1.10 = E - r \times 0.80 \quad \dots\dots ②$$

①, ② 式を連立して解くと

$$E = 1.50 \text{ V}, \quad r = 0.50 \Omega$$



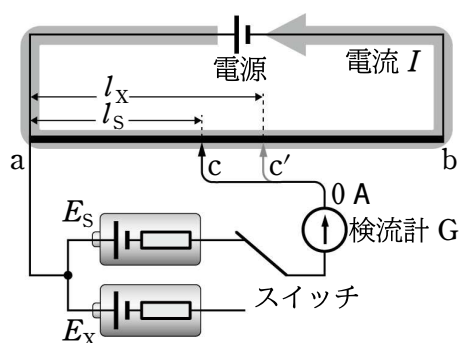
- 3 図のように、抵抗を組み合わせた回路がある。検流計 G に電流が流れていないとき、抵抗 R の抵抗値は何 Ω か。



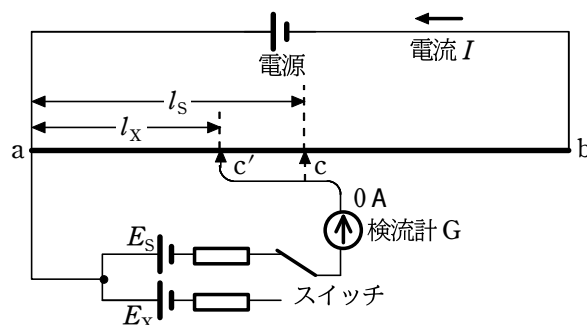
$$\text{求める抵抗値を } R [\Omega] \text{ とすると } \frac{7.0}{5.0} = \frac{3.5}{R}$$

$$\text{よって } R = \frac{3.5 \times 5.0}{7.0} = 2.5 \Omega$$

- 4 図の装置で、電池 E_S の起電力が 1.50 V 、 ac の長さが 50.0 cm のときに検流計が 0 となった。その後、未知の電池に変えて同様の作業をしたところ、 ac' の長さが 43.0 cm で、検流計が 0 となった。未知の電池の起電力を求めよ。



電池 E_S の起電力を $E_S [\text{V}]$ 、未知の電池の起電力を $E_X [\text{V}]$ 、 ab 間の単位長さ当たりの抵抗値を $r [\Omega/\text{m}]$ とする。電池 E_S と未知の電池をそれぞれつないで検流計に電流が流れないとき ($ac=l_S$ 、 $ac'=l_X$ とする) に、抵抗線を通る電流を $I [\text{A}]$ とすると、電池 E_S をつないだとき



$$E_S = (r \times l_S) \times I \quad \dots\dots ①$$

未知の電池をつないだとき

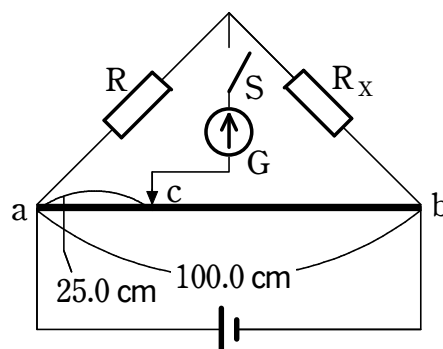
$$E_X = (r \times l_X) \times I \quad \dots\dots ②$$

$$\text{①, ② 式より} \quad \frac{E_X}{E_S} = \frac{l_X}{l_S}$$

$$E_S = 1.50 \text{ V}, l_S = 0.500 \text{ m}, l_X = 0.430 \text{ m} \quad \text{より}$$

$$E_X = 1.50 \times \frac{0.430}{0.500} = 1.29 \text{ V}$$

- 5 図の回路において、 ab は長さが 100.0 cm で太さが一定の均質な抵抗線、 R は 10.0Ω の標準抵抗、 R_X は抵抗値が不明の抵抗である。 ac の長さが 25.0 cm のとき、 S を閉じて検流計 G には電流が流れなかった。 R_X の抵抗値 $R_X [\Omega]$ を求めよ。



抵抗線の ac 、 cb の部分の抵抗値をそれぞれ r_{ac} 、 r_{cb} とする。 r_{ac} と r_{cb} は、 ac と cb の長さの比が $25.0 : 75.0$ であるから

$$r_{ac} : r_{cb} = 25.0 : 75.0$$

$$\text{ゆえに} \quad r_{cb} = 3.00 r_{ac}$$

$$\text{ホイートストンブリッジの回路と同様に考えて} \quad \frac{10.0}{r_{ac}} = \frac{R_X}{r_{cb}}$$

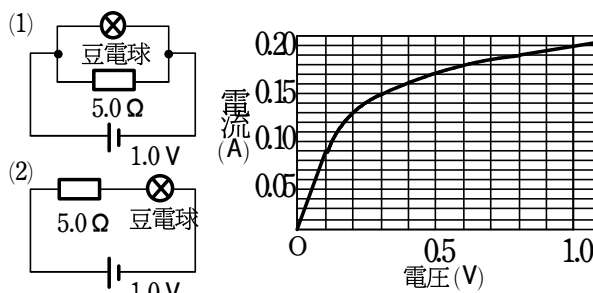
$$\text{以上より} \quad R_X = 30.0 \Omega$$

G 非直線抵抗

豆電球や白熱電灯は温度によって抵抗が変化するので、電流と電圧が単純な比例関係にならず、下の問題のグラフのように曲線を描きます。このような非直線抵抗の解き方は、

- 1、豆電球にかかる電圧を V [V] 流れる電流を I [A] とおく。
- 2、抵抗でオームの法則「 $V=RI$ 」を立てる。
- 3、2で得られた V と I の比例の関係をグラフに書き込み、交点を求める。

- 1 図のグラフは、ある豆電球の電流－電圧特性を示したものである。この豆電球を(1)、(2)のように接続するとき、豆電球に流れる電流はそれぞれ何 A か。

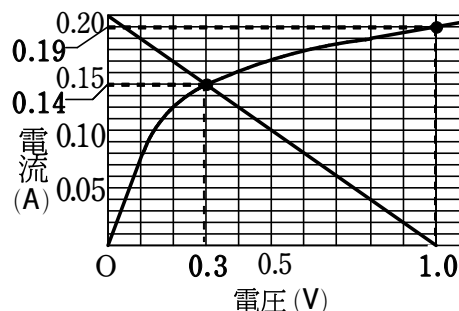


【指針】 豆電球に加わる電圧と流れる電流の関係がどのような式で表されるかを考える。

【解答】 (1) 豆電球に加わる電圧は 1.0 V である。

このときの電流の値は、グラフより、**0.19 A**

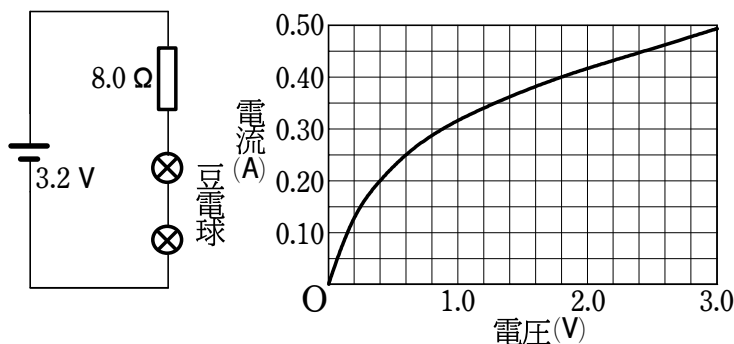
- (2) 電流を I [A]、豆電球の両端の電圧を V [V] とする。(2)の回路において I と V が満たすべき条件を求める。抵抗の両端の電圧は $5.0I$ [V] であるから、回路に関する条件は $1.0 = 5.0I + V$ …… ① となる。



豆電球の特性(グラフの曲線)と回路に関する条件(①式)を同時に満たす I と V の組合せは、

①式の直線をグラフにかき入れ、交点の値を読み取ればよい。よって、電流は **0.14 A**

- 2 図のグラフは、ある豆電球の電流－電圧特性を示したものである。この豆電球を2つ用意し、図のように接続するとき、豆電球に流れる電流は何 A か。



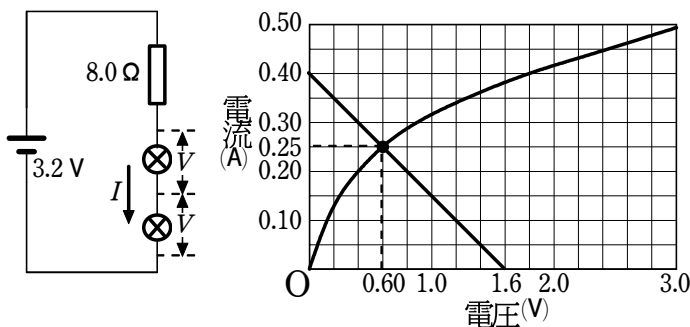
各豆電球に加わる電圧を V [V]、流れる電流を I [A] とする。

抵抗にも I [A] の電流が流れているので、抵抗に加わる電圧は $8.0I$ [V] である。

よって $3.2 = 8.0I + 2V$ …… ①

が成り立つ。①式の直線を豆電球の電流－電圧特性のグラフにかき入れ、交点の値を読み取ればよい。

よって、電流は **0.25 A**



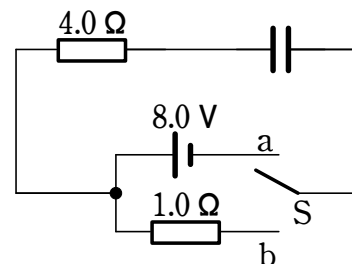
H コンデンサーを含む直流回路

コンデンサーは充電の有無によって直流回路での振る舞いが変わります。

- 1、スイッチ入れた直後 → 導線として扱う
 - 2、十分に時間が経った後 → 断線として扱う
 - 3、充電されたコンデンサー → 電池として扱う（放電）
- ※ただし、電圧は徐々に落ちていく。

- 1 図のように、電池、電荷のないコンデンサー、抵抗、スイッチ S を接続する。次の場合、 $4.0\ \Omega$ の抵抗を流れる電流の大きさは何 A か。

- (1) スイッチ S を a 側に入れた直後
- (2) (1) の後、十分に時間が経過したとき
- (3) (2) の後、スイッチ S を b 側に切りかえた直後



【指針】 コンデンサーの充電・放電をするときの電流の変化をふまえて考える。

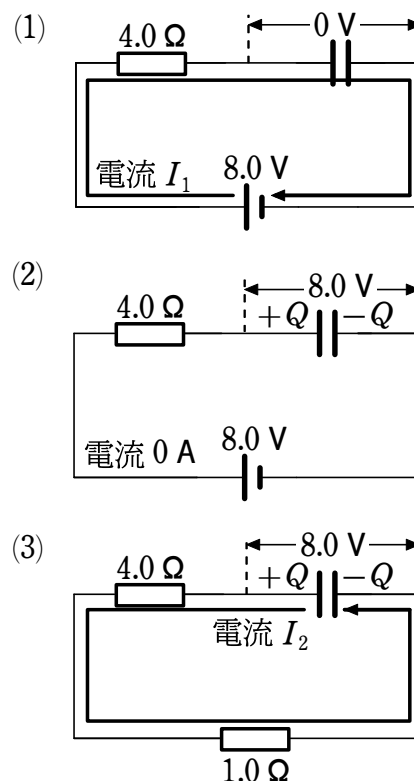
【解答】 (1) コンデンサーには電荷がないので両端の電位差は 0 である。このとき、 $4.0\ \Omega$ の抵抗には電圧 $8.0\ \text{V}$ が加わるので、流れる電流の大きさは

$$I_1 = \frac{8.0}{4.0} = 2.0\ \text{A}$$

- (2)十分に時間が経過すると、充電が終了し、コンデンサーには電荷が流れこまなくなる。よって、 $4.0\ \Omega$ の抵抗を流れる電流の大きさは **0 A**

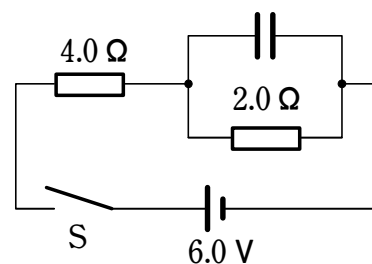
- (3) コンデンサーの両端の電位差は $8.0\ \text{V}$ である。このとき、直列接続された $4.0\ \Omega$ と $1.0\ \Omega$ の抵抗に電圧 $8.0\ \text{V}$ が加わるので、 $4.0\ \Omega$ の抵抗を流れる電流の大きさは

$$I_2 = \frac{8.0}{4.0 + 1.0} = \frac{8.0}{5.0} = 1.6\ \text{A}$$



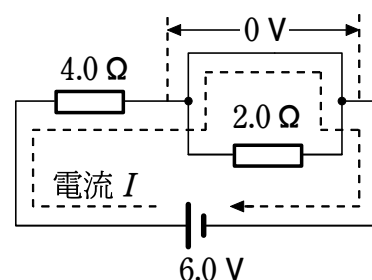
- 2 図のように、電池、電荷のないコンデンサー、抵抗、スイッチ S を接続する。次の場合、 $2.0\ \Omega$ の抵抗を流れる電流の大きさは何 A か。

- (1) スイッチ S を閉じた直後
- (2) (1) の後、十分に時間が経過したとき



- (1) コンデンサーに蓄えられている電気量は 0 だから、コンデンサーの両端の電圧も 0 である。このとき、コンデンサーは抵抗のない導線とみなせる。

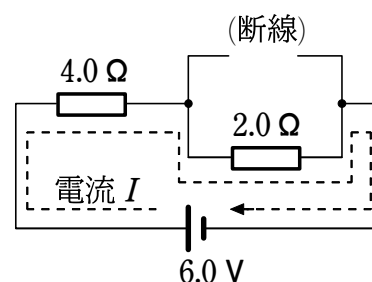
右の図より、 $2.0\ \Omega$ の抵抗を流れる電流の大きさは $0\ A$



- (2) 十分に時間が経過したとき、コンデンサーに電荷が流れこまなくなる (コンデンサーは断線とみなせる)。

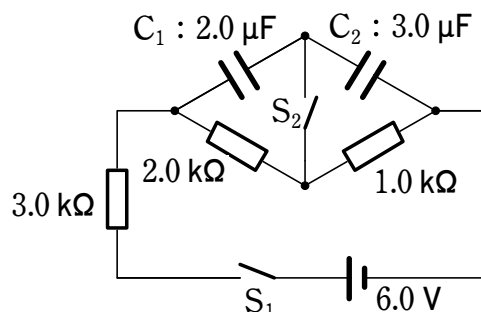
右の図より、 $2.0\ \Omega$ の抵抗に流れる電流の大きさは

$$I = \frac{6.0}{4.0 + 2.0} = 1.0\ A$$



- 3 図のような、抵抗、コンデンサー、電池、スイッチが接続された回路がある。初め、スイッチ S_1 と S_2 は開いており、コンデンサーに電荷はない。電池には内部抵抗はないものとする。

- (1) スイッチ S_1 だけを閉じた直後、 $3.0\ k\Omega$ の抵抗を流れる電流 $I_1\ [A]$ を求めよ。
- (2) スイッチ S_1 を閉じて十分に時間が経過したときに、 $3.0\ k\Omega$ の抵抗を流れる電流 $I_2\ [A]$ を求めよ。
- (3) (2) のとき、コンデンサー C_1 、 C_2 の電気量 Q_1 、 $Q_2\ [C]$ を求めよ。
- (4) 次に、スイッチ S_1 を閉じたまま、スイッチ S_2 も閉じて十分に時間が経過したとき、コンデンサー C_1 、 C_2 の電気量 Q_1' 、 $Q_2'\ [C]$ を求めよ。
- (5) (4) において、スイッチ S_2 を閉じてから十分に時間が経過するまでの間に、 S_2 を通過する電気量の大きさ $Q\ [C]$ を求めよ。



- (1) このとき、コンデンサーは抵抗のない導線とみなせる。 S_1 を閉じた直後

$$I_1 = \frac{6.0}{3.0 \times 10^3}$$

$$= 2.0 \times 10^{-3} \text{ A}$$

- (2) 十分に時間が経過すると、コンデンサーには電荷が流れこまなくなる。

キルヒホッフの法則Ⅱより

$$6.0 = (3.0 \times 10^3) \times I_2 + (2.0 \times 10^3) \times I_2 + (1.0 \times 10^3) \times I_2$$

よって $I_2 = 1.0 \times 10^{-3} \text{ A}$

- (3) $3.0 \text{ k}\Omega$ の抵抗に加わる電圧は

$$(3.0 \times 10^3) \times (1.0 \times 10^{-3}) = 3.0 \text{ V}$$

であるから、 C_1 と C_2 に加わる電圧の和は

$$6.0 - 3.0 = 3.0 \text{ V}$$

よって、「 $Q = CV$ 」より

$$\frac{Q_1}{2.0 \times 10^{-6}} + \frac{Q_2}{3.0 \times 10^{-6}} = 3.0 \quad \dots\dots ①$$

また、 C_1 と C_2 の間で電荷量が保存されるから

$$Q_1 - Q_2 = 0 \quad \dots\dots ②$$

①、② 式を連立して解くと

$$Q_1 = 3.6 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$Q_2 = 3.6 \times 10^{-6} \text{ C}$$

- (4) このとき、各抵抗を流れる電流は(2)と同じく $I_2 = 1.0 \times 10^{-3} \text{ A}$ である。また、 C_1 と C_2 に加わる電圧 V_1' 、 V_2' [V] は、 $2.0 \text{ k}\Omega$ 、 $1.0 \text{ k}\Omega$ の抵抗に加わる電圧に等しいから

$$V_1' = (2.0 \times 10^3) \times (1.0 \times 10^{-3}) = 2.0 \text{ V}$$

$$V_2' = (1.0 \times 10^3) \times (1.0 \times 10^{-3}) = 1.0 \text{ V}$$

よって

$$Q_1' = C_1 V_1' = (2.0 \times 10^{-6}) \times 2.0 = 4.0 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$Q_2' = C_2 V_2' = (3.0 \times 10^{-6}) \times 1.0 = 3.0 \times 10^{-6} \text{ C}$$

- (5) 図の破線で囲まれた部分の電荷量の

差が、 S_2 を通過した電荷量に等しい。

閉じる前の電荷量は

$$-Q_1 + Q_2$$

$$= -(3.6 \times 10^{-6}) + (3.6 \times 10^{-6})$$

$$= 0 \text{ C}$$

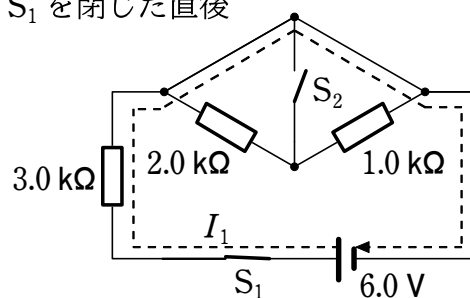
閉じた後の電荷量は

$$-Q_1' + Q_2'$$

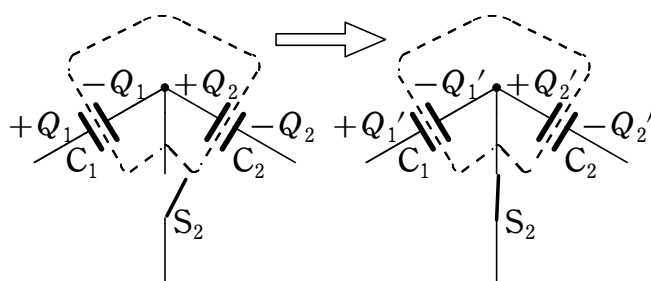
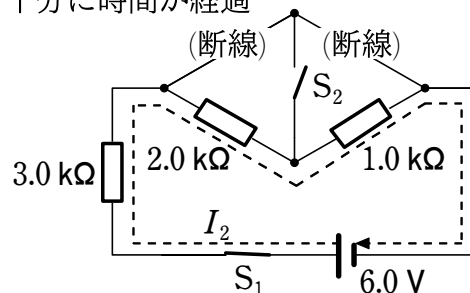
$$= -(4.0 \times 10^{-6}) + (3.0 \times 10^{-6})$$

$$= -1.0 \times 10^{-6} \text{ C}$$

よって、通過した電荷量の大きさは $1.0 \times 10^{-6} \text{ C}$



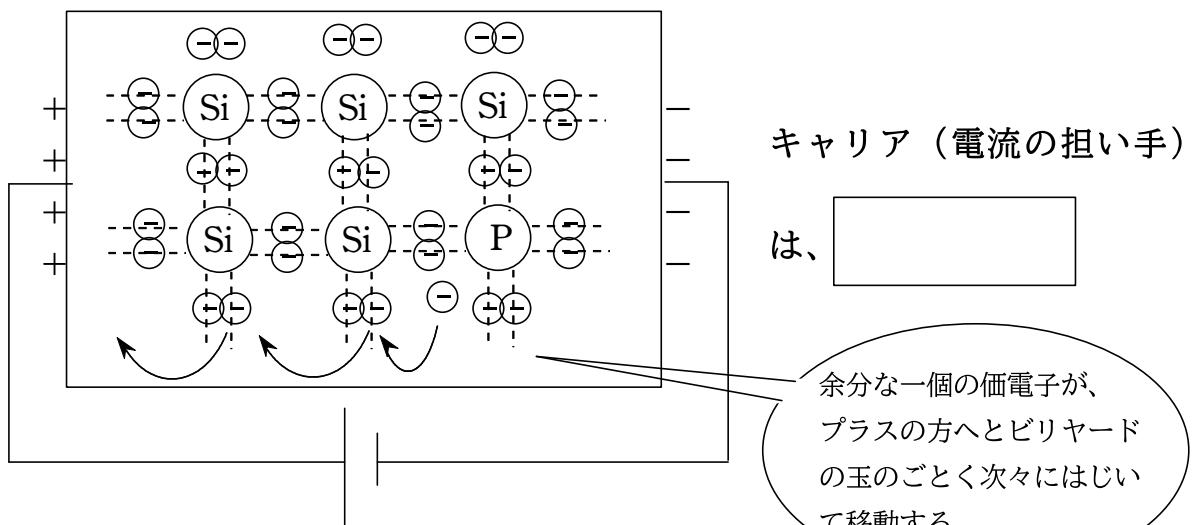
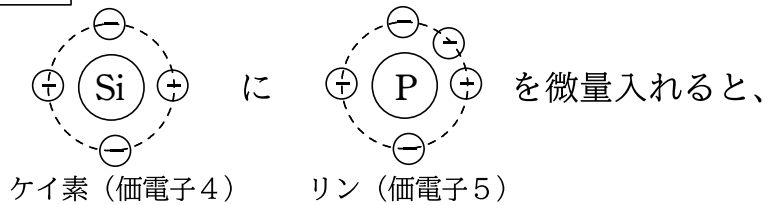
十分に時間が経過



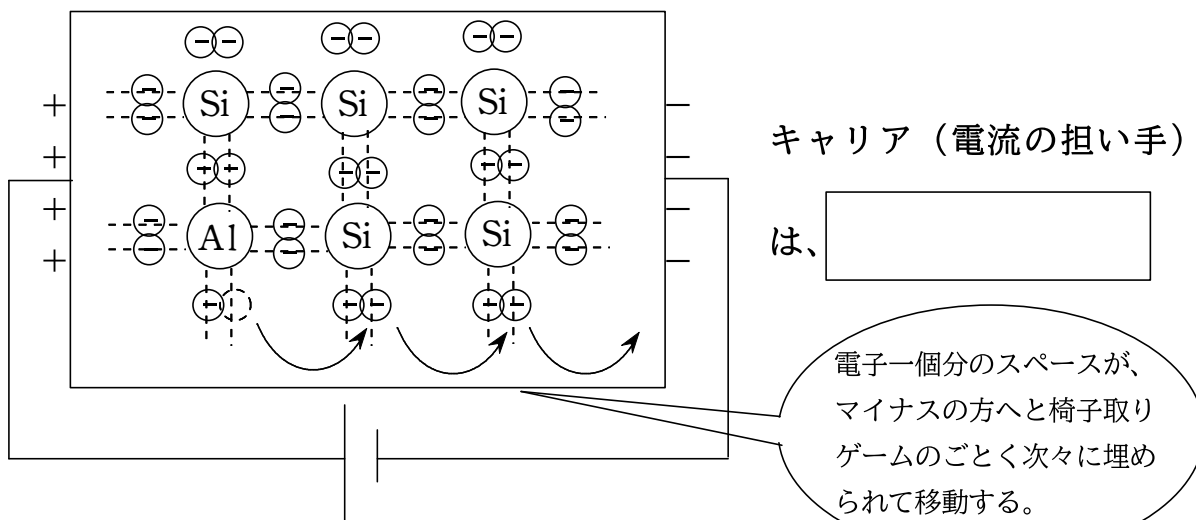
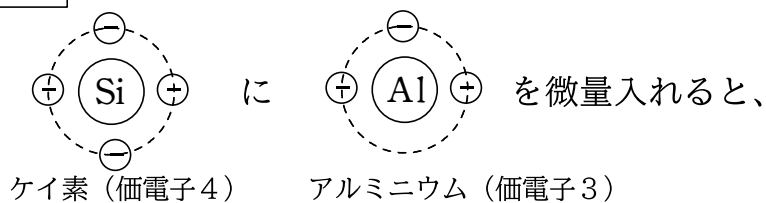
3 半導体 A 半導体

半導体とは、電気を良く通す金属などの「導体」と電気をほとんど通さないゴムなどの「絶縁体」との、中間の性質を持つシリコンなどの物質や材料のことです。2種類あります。

型半導体 (negative半導体)



型半導体 (positive半導体)

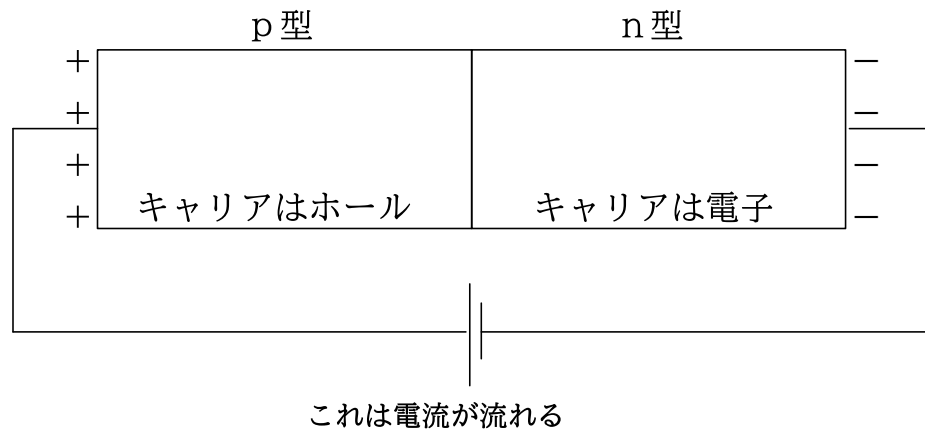


B ダイオード

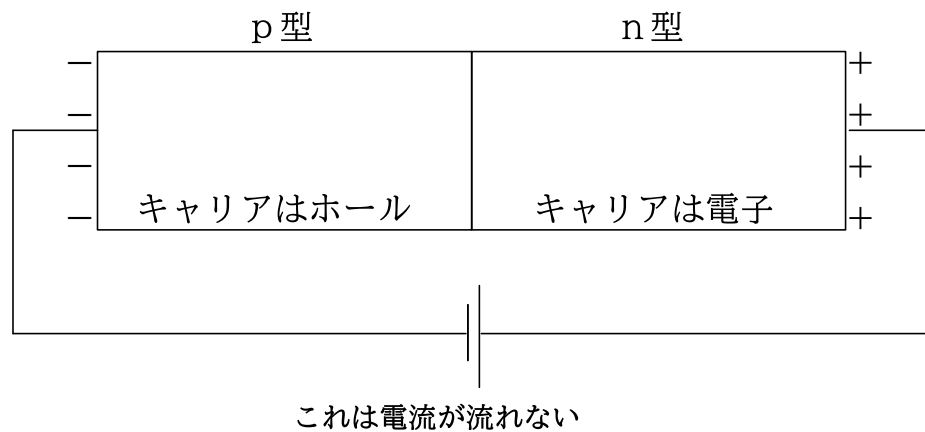
先ほどのp型半導体とn型半導体をくっつけるとダイオードができます。

ダイオードは電圧のかけ方によって、電流が流れたり流れなかったりします。

順方向

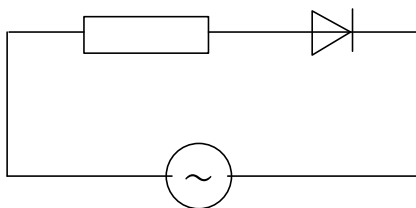


逆方向



このように一方向のみに電流を流す作用のことを「**整流作用**」といいます。

実際の回路図では下のように矢印のような形で表します。

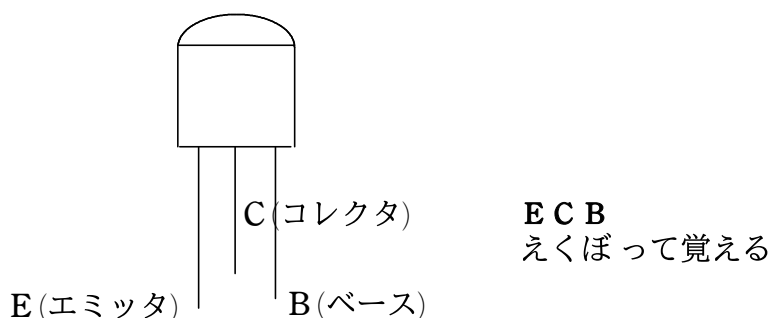


※交流の電源につなぐと電流が周期的に流れたり流れなくなったりします。特に発光ダイオードをつなぐと、イルミネーションのように点滅するようになります。

C トランジスタ

このページはとりあえず授業では飛ばします。工学部や理学部に進む人は大学で習うことになると思います。知りたい人は個別に聞いてください。

トランジスタとは、簡単に説明すると、テレビやラジオ、携帯電話などの非常に弱い電気信号を増幅する装置のことです。先ほどのページの半導体を3つ組み合わせることでできています。組み合わせる順番によって2種類のトランジスタがあります。「pnp型トランジスタ」と「nnp型トランジスタ」です。



トランジスタには増幅作用があると言われますが、その日本語に誤解を招く要因があります。この「増幅」という言葉から連想されるイメージによってトランジスタに入力された信号がそのまま大きくなって出力されるように考えてしまいがちなのですが、最初にこのようなイメージを持ってしまうと実際のトランジスタの動作を理解する妨げになってしまいます。どちらかという、もともと大きく流れている電流を、流すか流さないかを定めるスイッチのようなはたらきをするというのが正しいです。「増幅」というよりは「ダムの制御」の方が実際の動作に近いです。

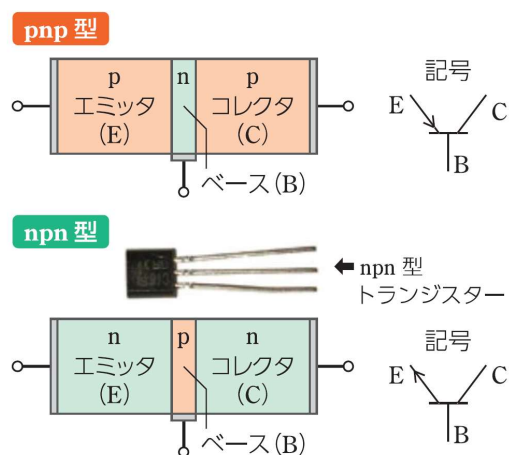


図 72 トランジスタとその構造と記号

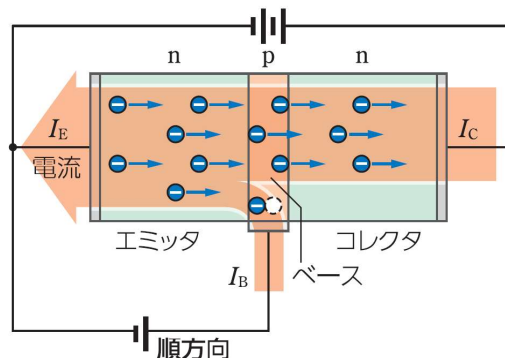
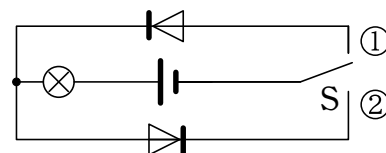


図 73 npn型トランジスタ エミッタ-コレクタ間だけに電圧を加えた状態では電流は流れない。ところが、それに加えて、エミッタ-ベース間に順方向の電圧を加えると、エミッタからベースに、キャリア(nnp型では電子)が送りこまれる。ベースは非常に薄い、ため、送りこまれたキャリアの大部分は、再結合せずにコレクタへ流れこむ。

ベース電流の小さな変化をコレクタ電流の大きな変化に変えることができる

- 1 右の回路で電球がつくのはスイッチ S を ①, ② どちらに入れたときか。

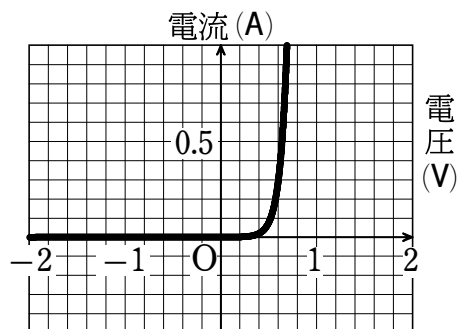
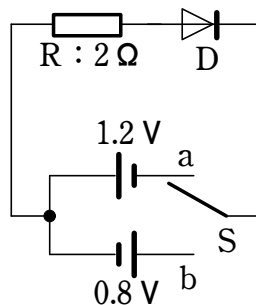


【解答】 ②

- 2 図のような、抵抗 R, ダイオード D, 電池, スイッチ S が接続された回路がある。ダイオード D の電流 - 電圧の特性曲線は下のグラフのようになっている。電池には内部抵抗はないものとする。

- (1) スイッチ S を a 側に入れたときに抵抗 R に流れる電流 I_1 [A] を求めよ。

- (2) スイッチ S を b 側に入れたときに抵抗 R に流れる電流 I_2 [A] を求めよ。

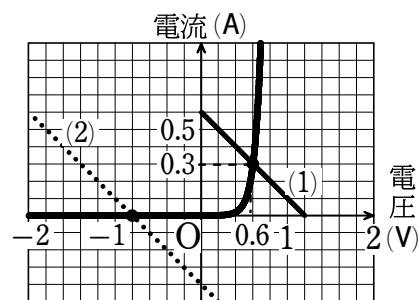


- (1) ダイオードに加わる電圧を V_1 [V], 順方向に流れる電流を I_1 [A] とすると, キルヒホッフの法則Ⅱより次の式が成り立つ。

$$1.2 = 2I_1 + V_1 \quad \cdots \cdots \textcircled{1}$$

- ① 式の直線をグラフにかき入れ, 交点の値を読み取ればよい。よって, $I_1 = 0.3$ A

- (2) このときの電流と電圧の関係は, 図の破線のようなになる。
ダイオードには逆方向の電圧が加わるので, 電流は流れない。
よって, $I_2 = 0$ A





「不屈不撓の物理ホームページリンク」

パスワード ○○○○