$\boxed{282}$

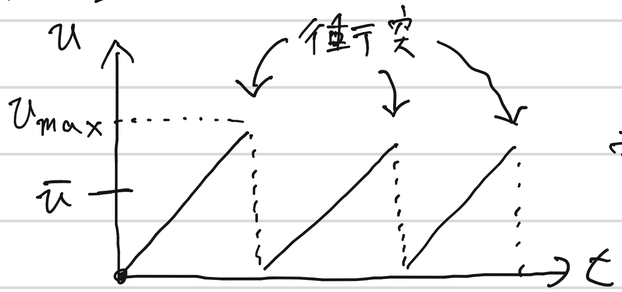
(ア) $I = enS\bar{v}$ // (ア) ← 覚えて使ってよい式

(イ) $E = \frac{V}{d}$ より $E = \frac{V}{l}$ // (イ)

(ウ) $F = qE$ より $F = \frac{eV}{l}$ // (ウ)

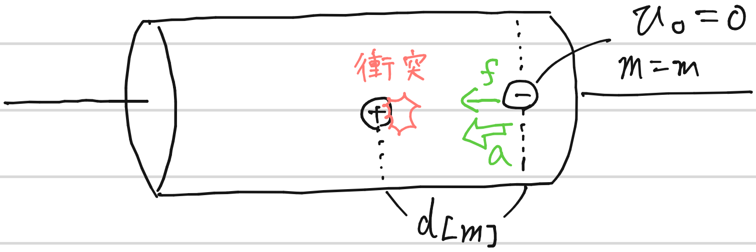
(1) 今回のモデルは、$v =$ (一定) ではなく、
電場で加速 → ⊕に衝突で $v=0$ に戻る → 再び加速
としており、速度の平均値を $\bar{v}$ としている

イメージ



電場から力を受けて加速

(エ)



f は (ウ) より
$f = \frac{eV}{l}$

$ma = F$ より
$$ma = \frac{eV}{l} \quad \therefore a = \frac{eV}{ml}$$
$x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$ より
$$d = 0 + \frac{1}{2} \cdot \frac{eV}{ml} \cdot t^2 \quad \therefore t = \sqrt{\frac{2mld}{eV}}$$ // (エ)

$\boxed{282}$ (1) 続き

(オ)

$\bar{v} = \frac{1}{2} v_{max}$ となる。(前ページの(イメージ)参照)

t[s]後の速度 v_{max} は $v = v_0 + at$ より

$$v_{max} = 0 + \frac{eV}{m\ell} \cdot \sqrt{\frac{2m\ell d}{eV}} = \sqrt{\frac{2edV}{m\ell}}$$

$\bar{v} = \frac{1}{2} v_{max}$ なので

$$\bar{v} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{2edV}{m\ell}} = \underline{\sqrt{\frac{edV}{2m\ell}}} \quad /\!/ \text{(オ)}$$

(カ)

$I = enS\bar{v}$ に代入して

$$I = enS \cdot \sqrt{\frac{edV}{2m\ell}}$$

V の $\underline{\frac{1}{2}\text{乗}}$ $/\!/$ (カ) に比例

(2)

(キ) $v = v_0 + at$ より

$$v_{max} = 0 + \frac{eV}{m\ell} \cdot T$$

$\bar{v} = \frac{1}{2} v_{max}$ より

$$\bar{v} = \underline{\frac{eTV}{2m\ell}} \quad /\!/ \text{(キ)}$$

(ク) $I = enS\bar{v}$ に代入して

$$I = enS \cdot \frac{eTV}{2m\ell}$$

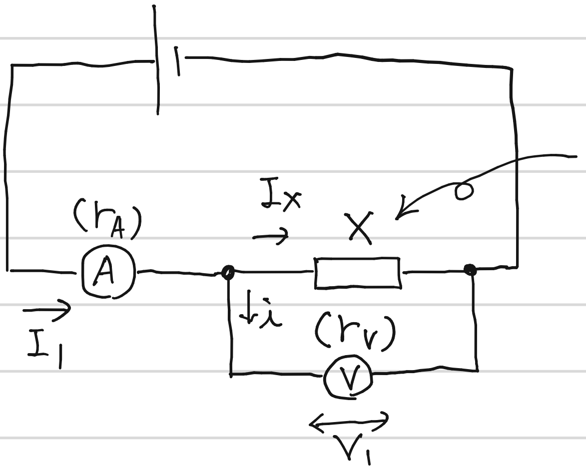
$$= \underline{\frac{e^2 nST}{2m\ell} V} \quad /\!/ \text{(ク)}$$

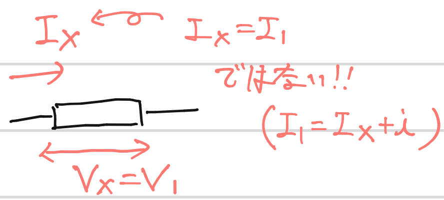
※ V の1乗に比例

※ 使う文字次第で $V = RI$ の関係が示せなくなるのが面白い

283

(1)





(ア)

オームの法則より

$\boxed{X}$ $V_1 = X I_x$ $\therefore I_x = \dfrac{V_1}{X}$

Ⓥ $V_1 = r_V i$ $\therefore i = \dfrac{V_1}{r_V}$

これより

$$I_1 = I_x + i$$

$$= \frac{V_1}{X} + \frac{V_1}{r_V} = \underline{\left(\frac{1}{X}+\frac{1}{r_V}\right)V_1}_{\#}\ (ア)$$

(イ)

真の抵抗値は

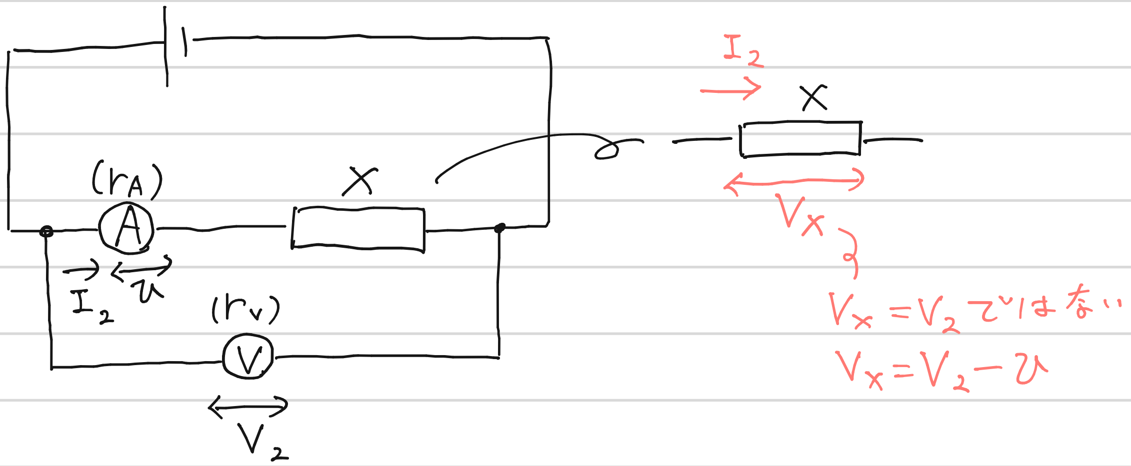
$$X = \frac{V_1}{I_x}$$

なのだが、実験では I_1 と V_1 が測定されるので $\dfrac{V_1}{I_1}$ を測定値としている。

$$\frac{V_1}{I_1} = \frac{V_1}{\left(\frac{1}{X}+\frac{1}{r_V}\right)V_1} = \underline{\frac{X r_V}{X + r_V}}_{\#}\ (イ)$$

283 続き

(2)



(ウ)

オームの法則より

Ⓐ　ひ $= r_A I_2$　　Ⓥ　$V_2 -$ ひ $= X I_2$

これより

$$V_2 - r_A I_2 = X I_2$$

$$\therefore V_2 = \underline{(r_A + X) I_2} \quad /\!/ \text{(ウ)}$$

(エ)

真の抵抗値は

$$X = \frac{V_x}{I_2}$$

なのだが、実験では I_2 と V_2 が測定されるので $\frac{V_2}{I_2}$ を測定値としている。

$$\frac{V_2}{I_2} = \frac{(r_A + X) I_2}{I_2}$$

$$= \underline{r_A + X} \quad /\!/ \text{(エ)}$$

$\boxed{283}$ 続き

(3) (オ)(カ)

$$\varepsilon_1 = \frac{\frac{x r_v}{x+r_v} - x}{x} = \underline{\frac{x}{x+r_v}} \text{ // (オ)}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{r_A + x - x}{x} = \underline{\frac{r_A}{x}} \text{ // (カ)}$$

(キ)

ε_1 を変形

$$\varepsilon_1 = \frac{x}{x+r_v} = \frac{1}{1+\frac{r_v}{x}}$$

← $\underline{x \ll r_v}$ // (キ) だと ε_1(誤差)が小さくなる.

(ク)

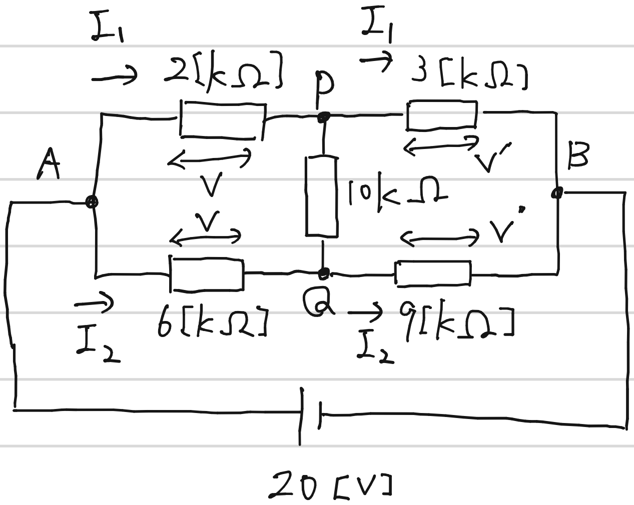
$$\varepsilon_2 = \frac{r_A}{x}$$

← $\underline{r_A \text{ が小さい程}}$ // (ク) ε_2(誤差)が小さくなる。

284

(1) ブリッジ回路なので合成公式は使えない。
そもそも基本的に使わないという方針を持っておこう。

抵抗値をよくみるとホイートストンブリッジの条件を満たしている。よって P→Q に電流が流れない



配置のまま分数にして

$$\frac{2}{6} = \frac{3}{9}$$

を満たすので
$I_{P \to Q}$ は 0 となる。

キルヒホッフ則より

$$20 = V + V'$$

オームの法則より

$$V = 2I_1 \qquad V' = 3I_1$$

$$V = 6I_2 \qquad V' = 9I_2$$

$20 = V + V'$ に代入して、I_1, I_2 を求めると、

$$20 = 2I_1 + 3I_1 \quad \therefore I_1 = 4\,[\mathrm{mA}]$$

$$20 = 6I_2 + 9I_2 \quad \therefore I_2 = \frac{4}{3}\,[\mathrm{mA}]$$

よって回路全体に流れる電流は

$$I = I_1 + I_2 = 4 + \frac{4}{3}$$

$$= \frac{16}{3}\,[\mathrm{mA}]$$

合成抵抗は

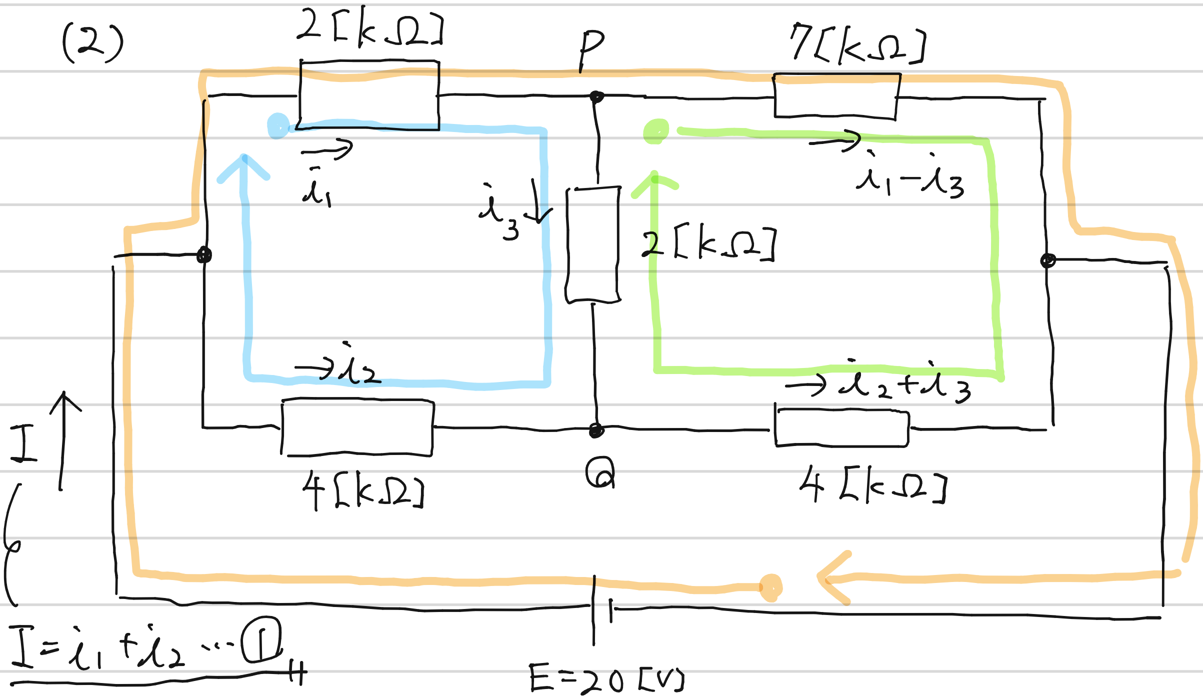
$$R = \frac{V}{I} = \frac{20}{\frac{16}{3}} = \frac{15}{4} \fallingdotseq \underline{3.8\,[\mathrm{k\Omega}]}_{\#}$$

284 続き

(1) 別解

模範解答のようにブリッジ部分を無視して、
合成抵抗の公式を使ってもよい。

(2)



$I = i_1 + i_2 \cdots ①$

楽に計算するため不明数が多くならないように工夫する。

⇒ 7[kΩ]の電流は i_1-i_3、4[kΩ]の電流は i_2+i_3

⇒ 電圧Vを文字でおかずに、V=RIで暗算する。

不明数が、i_1、i_2、i_3 の3つなので、経路3つで、キルヒホッフの式をたてればよい。

—— の経路より

(はじめ) + (変化) = (終わり)

$0 + 20 - 2i_1 - 7(i_1 - i_3) = 0 \cdots ②$

—— の経路より

$0 - 2i_1 - 2i_3 + 4i_2 = 0 \cdots ③$

—— の経路より

$0 - 7(i_1 - i_3) + 4(i_2 + i_3) + 2i_3 = 0 \cdots ④$

※抵抗では、上流の電位が高いことに気をつけよう。

$\boxed{284}$ 続き

(3) 前問(2)の式を整理する

②$'$: $9i_1 - 7i_3 = 20$

③$'$: $-2i_1 + 4i_2 = 2i_3$

④$'$: $7i_1 - 4i_2 = 13i_3$

③$'$+④$'$ で i_2 を消去

$5i_1 = 15i_3$

$\Rightarrow i_1 = 3i_3 \cdots$ ③$''$

②$'$ に代入して

$9 \cdot 3i_3 - 7i_3 = 20$

$\therefore i_3 = \underline{1.0\,[\mathrm{mA}]}$

③$''$ より

$i_1 = \underline{3.0\,[\mathrm{mA}]}$

③$'$ より

$-2 \cdot 3.0 + 4i_2 = 2 \cdot 1.0$

$\therefore i_2 = \underline{2.0\,[\mathrm{mA}]}$

① に代入して

$I = i_1 + i_2$

$= \underline{5.0\,[\mathrm{mA}]}$ //

(4) 全体でオームの法則をたてて

$R = \dfrac{V}{I} = \dfrac{20\,[\mathrm{V}]}{5.0\,[\mathrm{mA}]}$

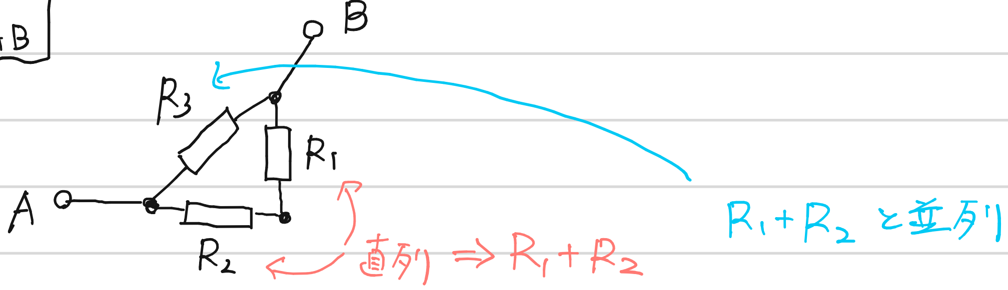
$= \underline{4.0\,[\mathrm{k\Omega}]}$ //

$\boxed{285}$ 合成抵抗の公式を使う練習をしよう。

(1)

(a)

$\boxed{R_{AB}}$



R_1+R_2 と R_3 の並列の合成をすると

$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_1+R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$= \frac{R_3+(R_1+R_2)}{(R_1+R_2)R_3} \qquad \therefore R_{AB} = \frac{(R_1+R_2)R_3}{R_1+R_2+R_3}$$

(ア) ⑥

$\boxed{R_{BC}}$

同様にして

$$\frac{1}{R_{BC}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2+R_3} \qquad \therefore R_{BC} = \frac{R_1(R_2+R_3)}{R_1+R_2+R_3}$$

(イ) ④

$\boxed{R_{CA}}$

同様にして

$$\frac{1}{R_{CA}} = \frac{1}{R_1+R_3} + \frac{1}{R_2} \qquad \therefore R_{CA} = \frac{R_2(R_1+R_3)}{R_1+R_2+R_3}$$

(ウ) ⑤

$\boxed{285}$ (1) 続き

(b) 図2での R_{AB}, R_{BC}, R_{CA} を考えると

$$R_{AB} = R_a + R_b \quad \leftarrow R_c \text{は関与しない}$$
$$R_{BC} = R_b + R_a$$
$$R_{CA} = R_a + R_c$$

これが(α)の値と等しいとすると

$\boxed{R_{AB}}$
$$R_a + R_b = \frac{(R_1 + R_2) R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$\boxed{R_{BC}}$
$$R_b + R_c = \frac{R_1 (R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$\boxed{R_{CA}}$
$$R_a + R_c = \frac{R_2 (R_1 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3}$$

3式を辺々たすと

$$2(R_a + R_b + R_c) = \frac{(R_1 + R_2) R_3 + R_1 (R_2 + R_3) + R_2 (R_1 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3}$$
$$= \frac{2(R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1)}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$\therefore R_a + R_b + R_c = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$\boxed{285}$ (1) (b) 続き

$$\Rightarrow R_a = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_1+R_2+R_3} - (R_b + R_c)$$

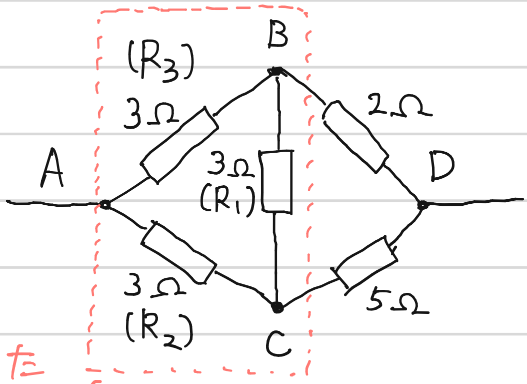
$$= \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_1+R_2+R_3} - \frac{R_1(R_2+R_3)}{R_1+R_2+R_3}$$

$$= \frac{R_2R_3}{R_1+R_2+R_3} \quad (エ)②$$

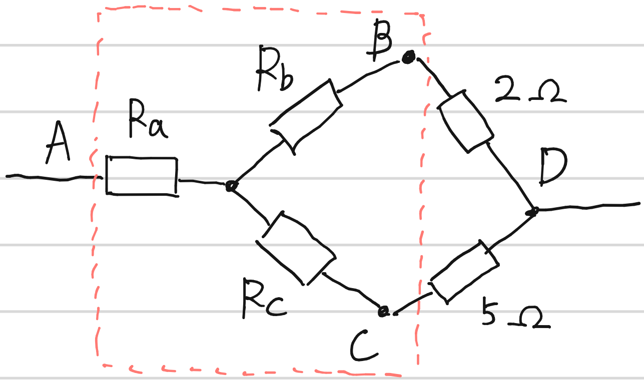
同様にして

$$\Rightarrow R_b = \frac{R_3R_1}{R_1+R_2+R_3} \quad (オ)③ \qquad R_c = \frac{R_1R_2}{R_1+R_2+R_3} \quad (カ)①$$

(2) (キ)



(1)でまとめたおきかえ



ここで

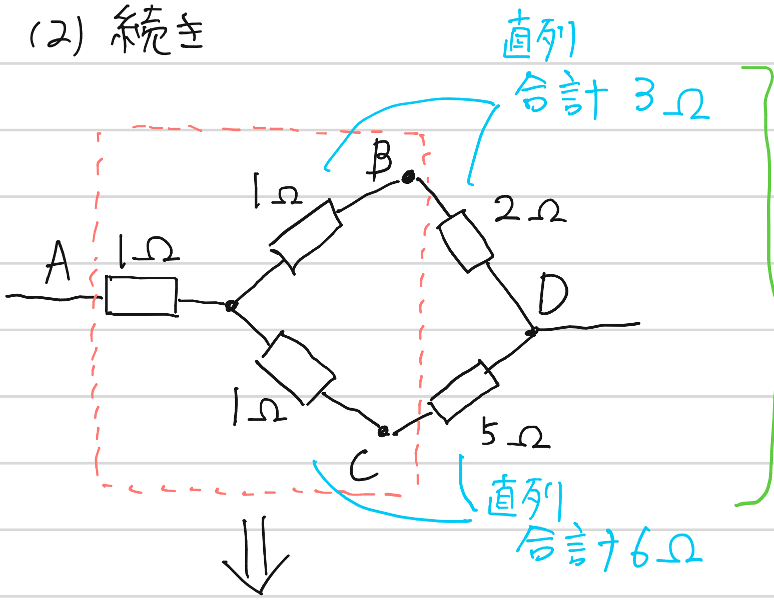
$$R_a = \frac{R_2R_3}{R_1+R_2+R_3} = \frac{3\cdot 3}{3+3+3}$$

$$= 1\ [\Omega]$$

同様に

$R_b = 1\ [\Omega] \qquad R_c = 1\ [\Omega]$

285 (2) 続き



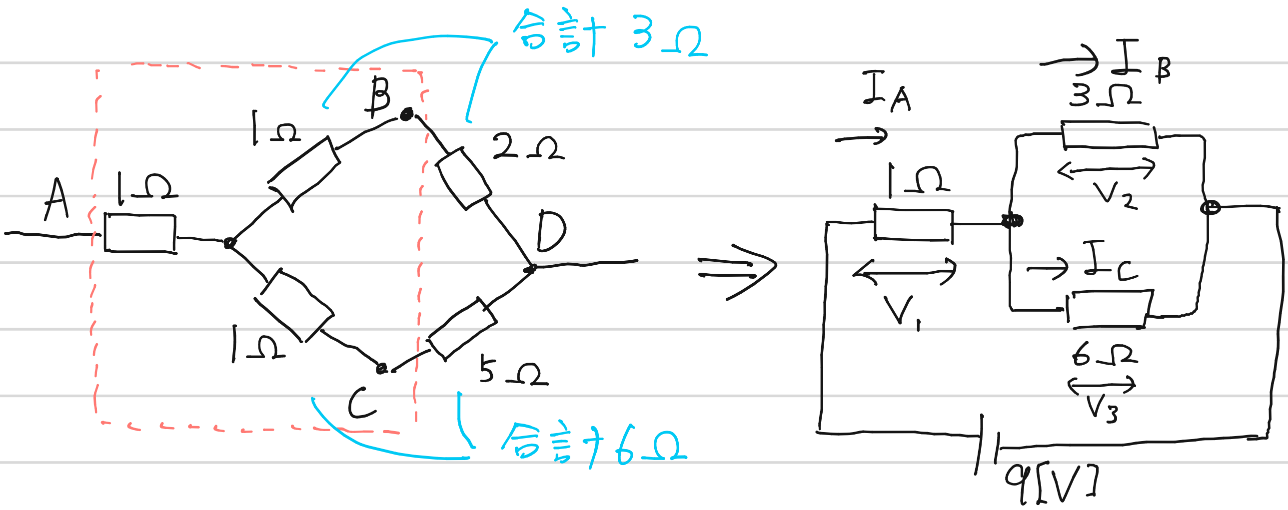
並列の合成として

$$\frac{1}{R_{合}} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{1}{2}$$

$\therefore R_{合} = 2\Omega$

AD間は $\underline{3\Omega}$ // (キ)

(ク)



$$I_A = I_B + I_C \quad \cdots ①$$
$$9 = 1 \cdot I_A + 3I_B \quad \cdots ②$$
$$9 = 1I_A + 6I_C \quad \cdots ③$$

} $V = RI$で暗算して キルヒホッフ則

①を②、③に代入して

$$9 = 4I_B + I_C \quad \cdots ②'$$
$$9 = I_B + 7I_C \quad \cdots ③'$$

②'より $I_C = 9 - 4I_B$. これを③'に代入して

$$9 = I_B + 7(9 - 4I_B)$$

$\therefore I_B = \underline{2.0\,[A]}$ // (ク)

$\boxed{286}$ 時系列が複雑なので気をつけよう

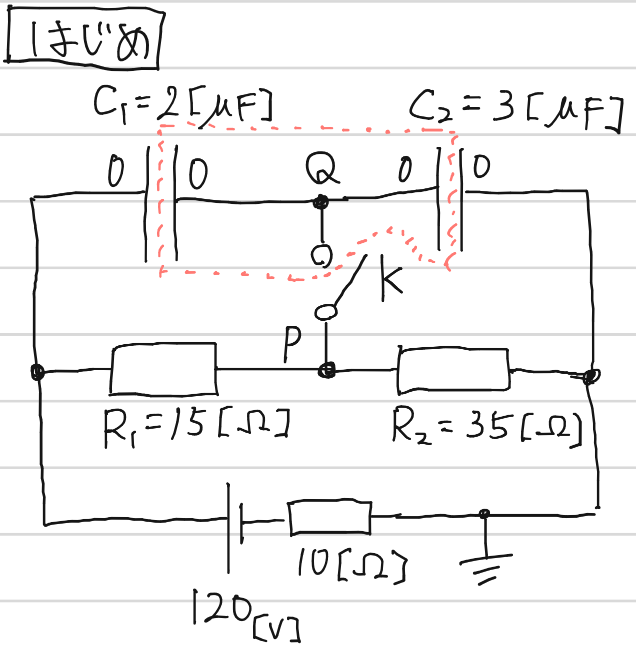
$\boxed{はじめ}$ ⇒ $\boxed{(1)(2)}$ ⇒ $\boxed{(3)(4)}$ ⇒ $\boxed{(5)}$

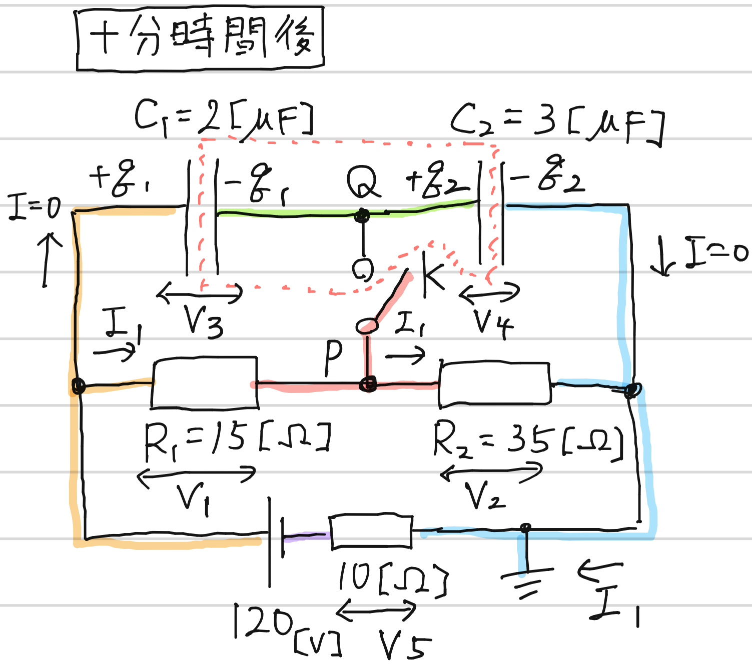
コンデンサーに電荷はない　　Kはひらいたまま十分時間後　　Kをとじて十分時間後　　Kをひらいて十分時間後

※ (3)がKをとじた直後にも読めるが、ちがうようである。

---

(1) (2)





(1) 十分時間後、コンデンサーに電流は流れないので、3つの抵抗に流れる電流は全て同じになる。⇒I_1とおく。

キルヒホッフ則より

$$120 = V_1 + V_2 + V_5$$

オームの法則より

$$V_1 = 15I_1 \quad , V_2 = 35I_1 \quad , V_5 = 10I_1$$

連立して

$$120 = 15I_1 + 35I_1 + 10I_1$$

$\therefore I_1 = \underline{2.0[A]}_{//}$ （また、$V_1 = 30[V]$, $V_2 = 70[V]$ ）

$\boxed{286}$ 続き

(2) アースとつながっている ―― の部分が 0 [V] の基準となる.

⇒ P は V_2 あがっている. Q は V_4 あがっている.

$\boxed{V_P}$ $V_P = V_2 = \underline{70\ [V]}$ //

$\boxed{V_Q}$ V_4 を求める.

- キルヒホッフ則より

$$120 = V_3 + V_4 + V_5$$

10 [Ω] の抵抗のオームの法則より $V_5 = 10 \cdot 2 = 20$ [V] なので

$$120 = V_3 + V_4 + 20 \quad \cdots ①$$

- 電気量保存より (の部分が前後で保存)

$$0 = -q_1 + q_2 \quad \cdots ②$$

- $Q = CV$ より

$$q_1 = 2V_3 \cdots ③ \qquad q_2 = 3V_4 \cdots ④$$

- 連立する. ② に ③, ④ を代入して

$$0 = -2V_3 + 3V_4$$

$$\Rightarrow V_3 = \frac{3}{2}V_4 \quad \cdots ②'$$

① に代入して

$$120 = \frac{3}{2}V_4 + V_4 + 20$$

$$\therefore V_4 = \underline{40\ [V]} \text{ //} \ (= V_Q)$$

次の問題で使うものをだしておく.

②' より

$$V_3 = \frac{3}{2} \cdot 40 = 60\ [V]$$

③' より

$$q_1 = 2 \cdot 60 = 120\ [\mu C]$$

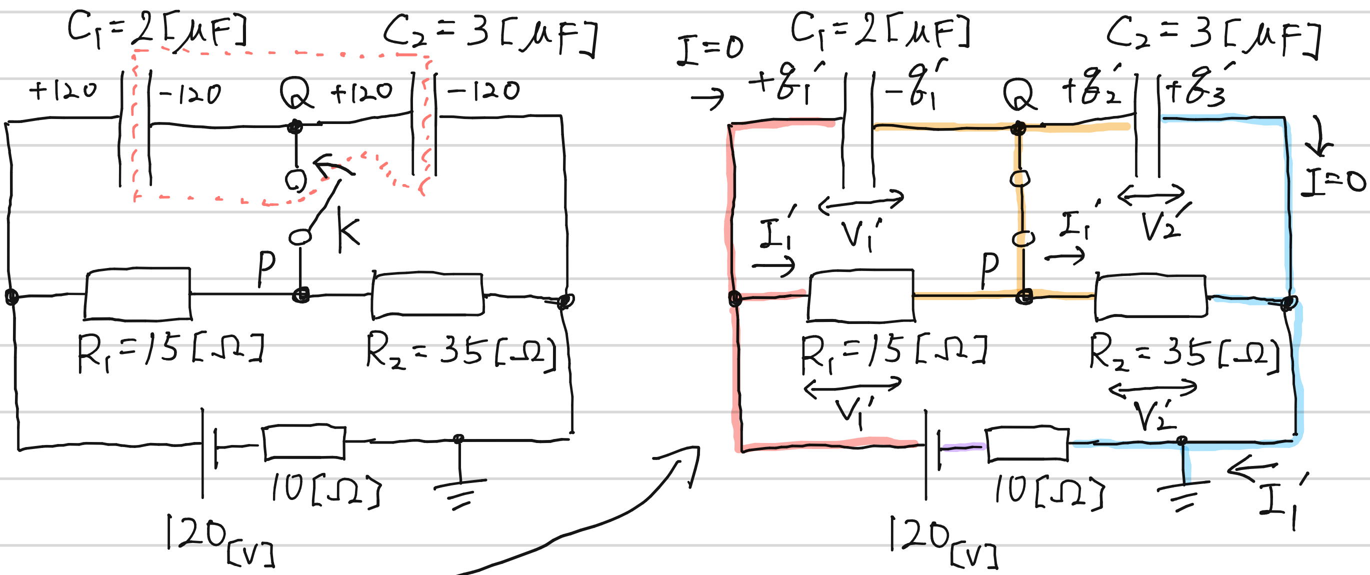
④' より

$$q_2 = 3 \cdot 40 = 120\ [\mu C]$$

286 続き

(3)

Kをとじる直前　　　　十分時間後



ポイント

① コンデンサーに流れる電流が0
⇒ 抵抗には流れる.

② 色分けを行う.
⇒ C_1とR_1, C_2とR_2にかかる電圧が同じとわかる。V_1', V_2'とおく.

③ 　　　が独立しなくなるので電気量保存は不成立となる

・抵抗の情報からV_1', V_2'を求める。
⇒ 実は(1).(2)と状況は同じ.

$V_1' = V_1 = 30[V]$　　　$V_2' = V_2 = 70[V]$

・$Q=CV$より

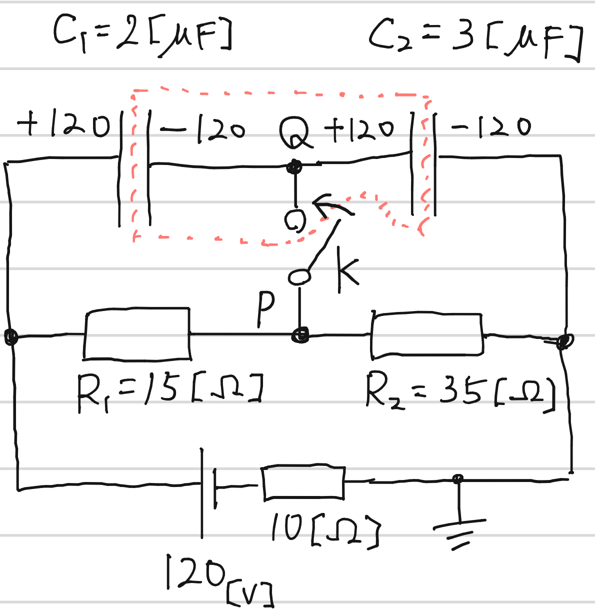
$q_1' = C_1 V_1'$
$= 2 \cdot 30 = 60[\mu C]$ //

$q_2' = C_2 V_2'$
$= 3 \cdot 70 = 210[\mu C]$ //

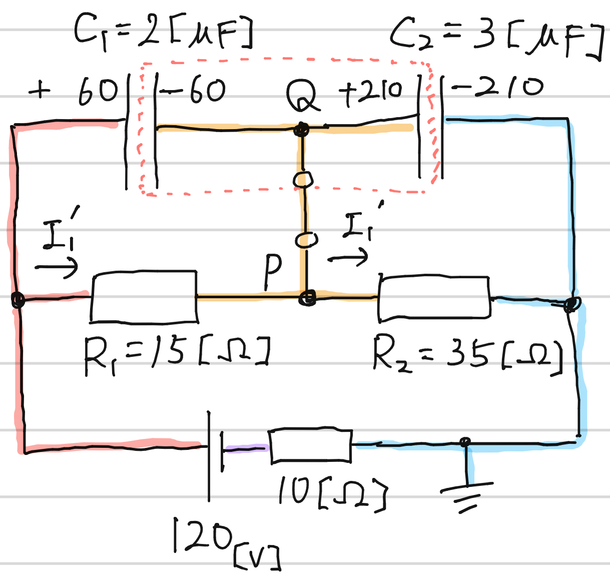
286 続き

(4) 前後の状況を整理する。

$\boxed{\text{Kをとじる直前}}$



$\boxed{\text{十分時間後}}$



で囲んだ部分に注目すると、電荷の総量は

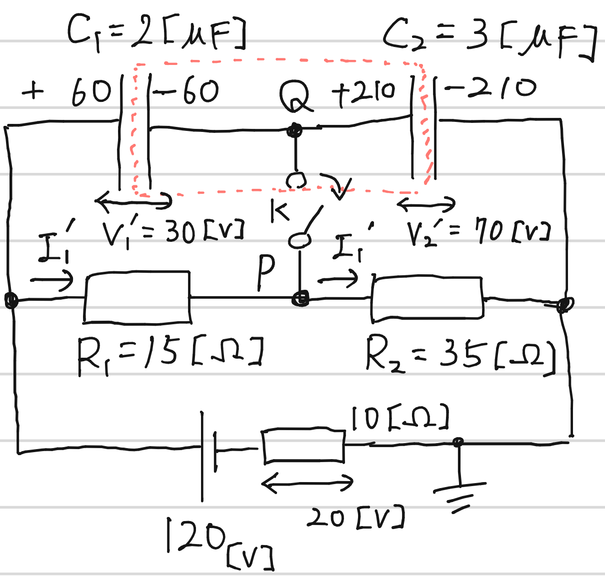
0 ⟶ +150 に変化している

よって $\underline{P\to Q \text{ 向きに} 150[\mu C]}_{//}$ の電荷が流入したとわかる

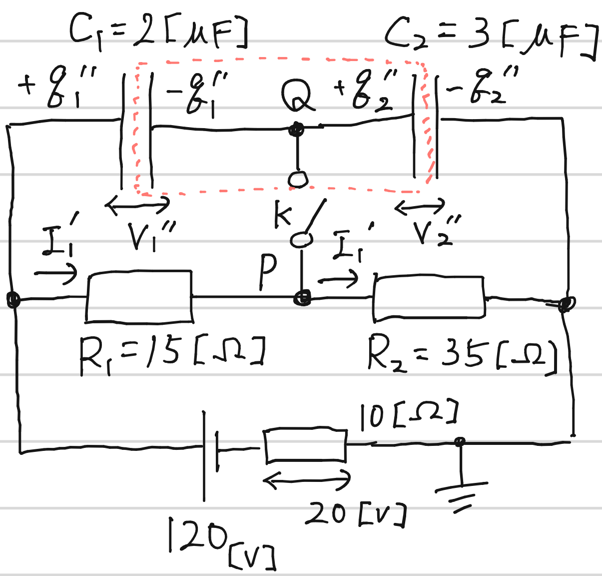
286 続き

(5)

Kを開く直前



十分時間後



- スイッチを開いても、抵抗を流れる電流に変化は無いので10[Ω]にかかる電圧も変わらず20[V]である。よってキルヒホッフ則より

$$120 = V_1'' + V_2'' + 20$$

$$\Rightarrow V_1'' = 100 - V_2'' \quad \cdots ⑤$$

- また が独立するので電気量が保存する。

$$-60 + 210 = -q_1'' + q_2'' \quad \cdots ⑥$$

- $Q = CV$ より

$$q_1'' = 2V_1'' \quad \cdots ⑦ \qquad q_2'' = 3V_2'' \quad \cdots ⑧$$

- ⑥に⑦、⑧を代入して

$$150 = -2V_1'' + 3V_2'' \quad \cdots ⑥'$$

- ⑤を代入して

$$150 = -2(100 - V_2'') + 3V_2''$$

$$\therefore V_2'' = \underline{70\,[\mathrm{V}]}_{//}$$

⑤より

$$V_1'' = \underline{30\,[\mathrm{V}]}_{//}$$

状況はKを開く前と変わらないのだ。

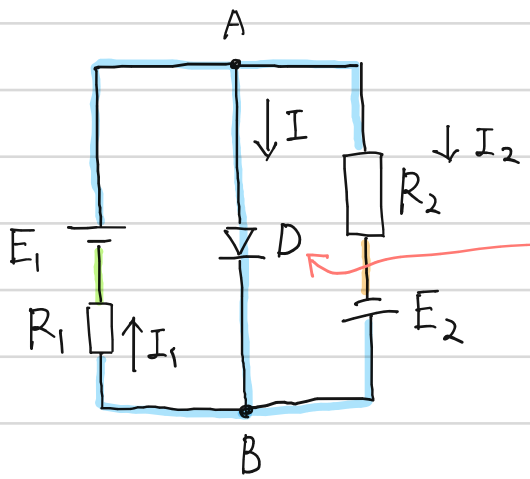
(これは本冊解答の別解にあたる。⑤の立式の経路がちがうので読みづらくなりました。申し訳ないです。)

$\boxed{287}$

理想的ダイオードの解法

① とりあえず導線として扱い、回路の式をたてて解く。

② 逆方向だったら、断線として扱い、最初から解き直す



① とりあえず導線として扱う。

⇒ 電位差0なので同じ色。

色分けより

R_1 に E_1 、R_2 に E_2 の電圧がかかるとわかる。

$V=RI$ より

$$I_1=\frac{E_1}{R_1} \qquad I_2=\frac{E_2}{R_2}$$

I_1, I_2, I_3 の関係は

$$I_1=I+I_2$$

となり、I_1, I_2 を代入すると

$$\frac{E_1}{R_1}=I+\frac{E_2}{R_2}$$

$$\therefore I=\frac{E_1}{R_1}-\frac{E_2}{R_2}$$

ここで $I>0$ なら電流が流れるので

$$\frac{E_1}{R_1}-\frac{E_2}{R_2}>0$$

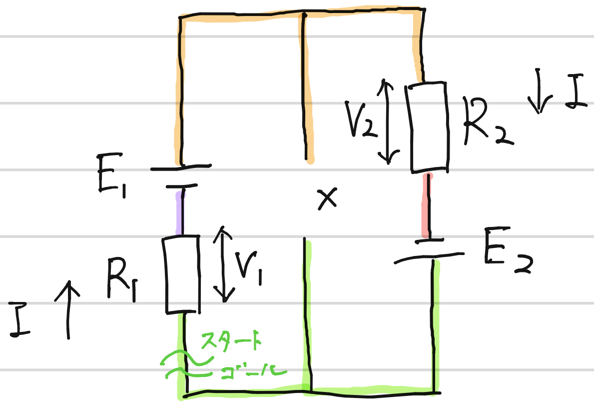
$$\therefore \frac{E_1}{R_1}>\frac{E_2}{R_2} \quad \cdots ①$$

287 続き

(2) 前問(1)でたてたように

$$I_2 = \frac{E_2}{R_2}$$

(3) 流れないときは、断線として扱い最初から解き直す.



枝わかれしないので
Iは共通.

キルヒホッフ則より

$$0 - V_1 + E_1 - V_2 + E_2 = 0$$ (スタート→ゴールの経路)

$$\Rightarrow \quad E_1 + E_2 = V_1 + V_2$$

$V = RI$より

$$V_1 = R_1 I \qquad V_2 = R_2 I$$

代入して

$$E_1 + E_2 = R_1 I + R_2 I$$

$$\therefore I = \frac{E_1 + E_2}{R_1 + R_2}$$

$\boxed{287}$ 続き

(4) ダイオードを流れる電流の向きが変わるタイミングを考える。

①より $\frac{E_1}{R_1} > \frac{E_2}{R_2}$ が流れる条件であり、値を代入すると.

$$\frac{16}{4} > \frac{E_2}{1} \Rightarrow 4 > E_2$$

$4 > E_2$ のときは (2) で求めた電流

$$I_2 = \frac{E_2}{R_2} = \underline{\frac{E_2}{1}}$$

が流れる。

$4 < E_2$ のときは (3) で求めた電流

$$I = \frac{E_1 + E_2}{R_1 + R_2} = \frac{16 + E_2}{4 + 1}$$

$$= \underline{3.2 + \frac{E_2}{5}}$$

が流れる. グラフを書くと、