自然科学 II（物理学）

第２回

白倉　尚貴

授業情報

講義資料

- https://naoki-sh.github.io/documents/physic/

質問

- 授業後
- メール
  - shirakura.naoki.se8@is.naist.jp
  - 名前を本文に入れる
  - PCからのメールが受信拒否になってないか確認

復習

4/9 電流 (教科書 p.103-107)

- 電流と抵抗とオームの法則
- 抵抗接続
- 電力とジュール熱
- 電流と磁界
- 電流が受ける力

電流と抵抗とオームの法則

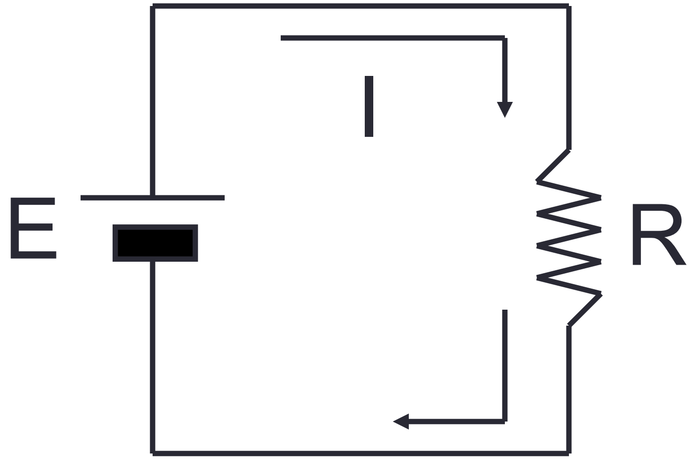
- オームの法則

右図のように抵抗Rを接続すると、
起電力E[ボルト:V]に対する
電流I[アンペア:A]は

$E = RI$

この関係を **オームの法則** という

Rは導体の性質で決定
単位は[オーム:Ω]



おさらい

オームの法則 $E=RI$

抵抗Rの決定 $R=\rho\frac{I}{S}$

直列接続の合成抵抗 $R=R_1+R_2+\cdots+R_n$

並列接続の合成抵抗 $\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\cdots+\frac{1}{R_n}$

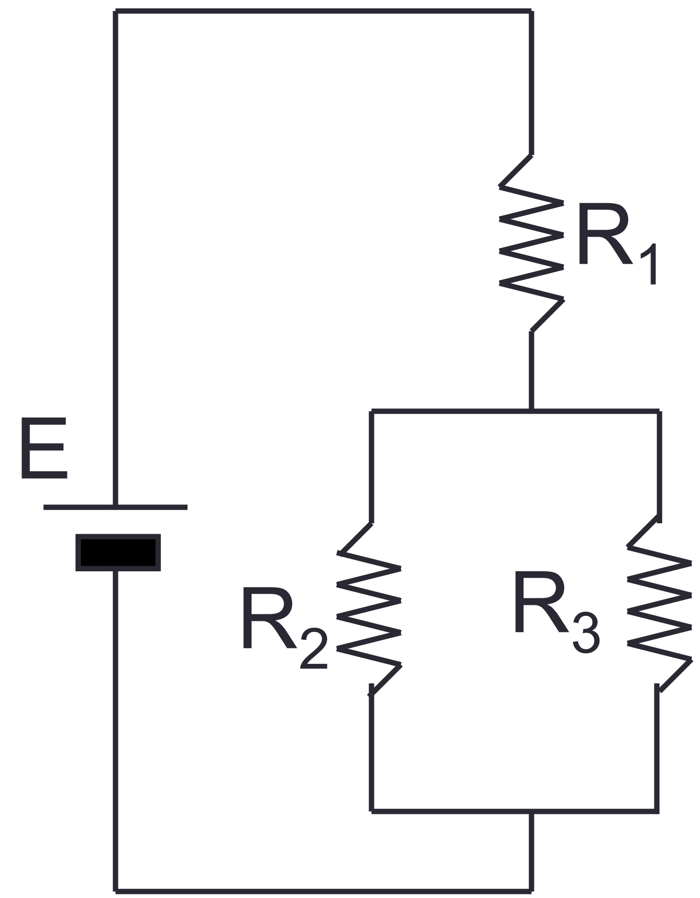
抵抗が2つの場合 $R=\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}$

電流が行う仕事の大きさ･電力 $P=RI^2=VI$

復習1

右図の様な回路を作成したときの全体の合成抵抗Rを求めよう。
（抵抗の値は
それぞれR_1=9,R_2=1,R_3 = 1[Ω]）

また電池電圧をE = 19Vとして、
全体の電力Pを求めよう。



復習1 解答

解答

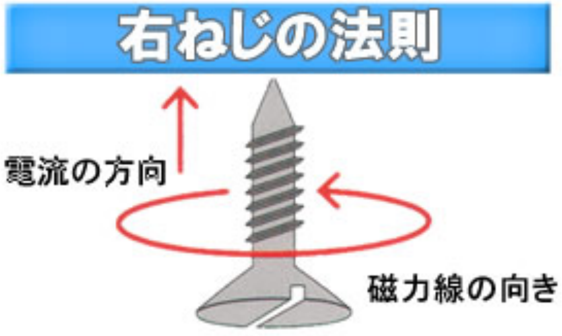
$R = R_1 + \{R_2R_3 / (R_2+R_3)\} = 9 + \{1 \times 1 / (1+1)\}$

$= 9.5$ [Ω]

$I = E / R = 19 / 9.5 = 2$ [A]

$P = I E = 2 \times 19 = 38$ [W]

電流と磁界



まっすぐな導線に電流Iを流す⇒
図の様な磁界（磁力線）が発生

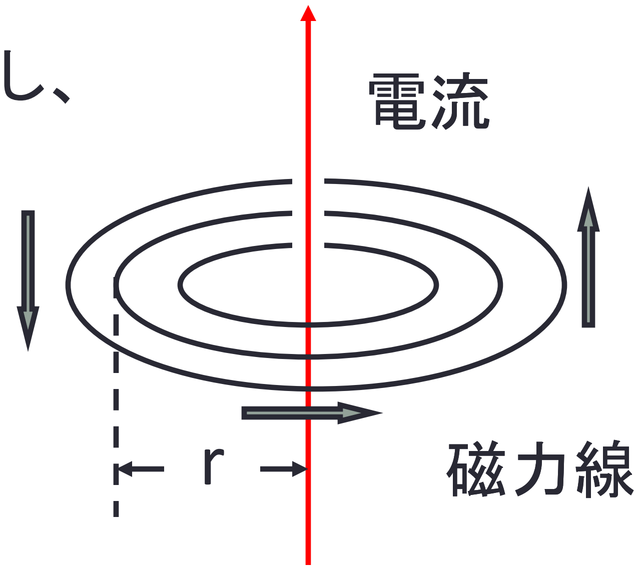
磁界の強さは導線からの距離rに反比例し、
磁束密度をB[T:テスラ]とすると

$$B = k\frac{I}{r}$$

ここでk = μ_0 / 2πであり

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

μ_0: 真空中の透磁率



右図の様な磁束密度の線を磁力線と言う。

電流が受ける力

右下図で示す様に、力、磁界、電流の向きがそれぞれ親指、人差し指、中指を垂直になるように曲げた方向に向けた時と等しくなる。

これを フレミングの左手の法則 という

電流に働く力は導線に流れる電流が大きいほど、また磁石の磁界が強いほど大きい

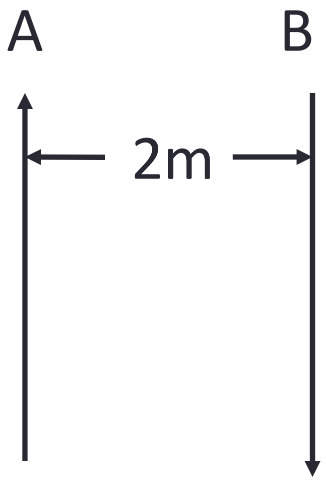
おさらい

磁束密度 $B = k\frac{I}{r}$

磁束密度の定数 $\kappa = \frac{\mu_0}{2\pi}$

定数を代入した磁束密度 $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$

復習問題2



上方向に流れる電流A:40[A]と下方向に流れる電流B:30[A]が距離 2m離れて置かれている。

(1)電流Aが電流Bの位置につくる磁束密度Bの大きさはいくらか。向きは紙面奥、手前どちらの方向か。透磁率μ_0とπの記号を解答中に用いて良い。

(2)二つの電流に働く力の向きはどちらか。

ヒント:(2)はそれぞれの電流とその場所の磁界の向きからフレミングの左手の法則を用いる

復習問題2の解答

(1) 電流A が電流Bの場所につくる磁束密度

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{\mu_0 \times 40}{2\pi \times 2} = \frac{10\mu_0}{\pi}$$

右ねじの法則より紙面奥方向に働く

(2) お互いの電流がつくる磁界はどちらも紙面奥に向かう

フレミングの左手の法則より二つの間には遠ざかる力が働く

今回の授業

4/16　直流回路 (教科書 p.112-115)

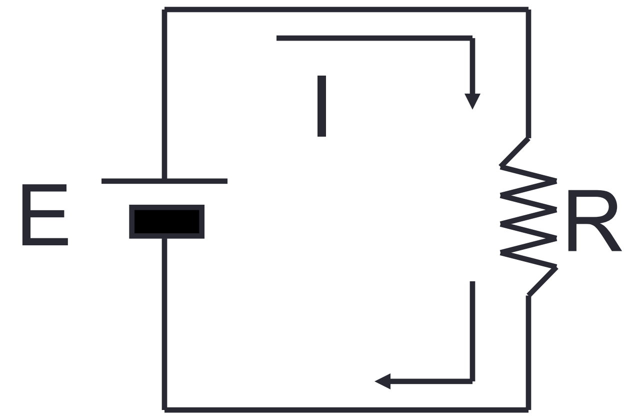
- 直流回路
- キルヒホッフの法則
- ブリッジ回路

今回の授業

4/16　直流回路

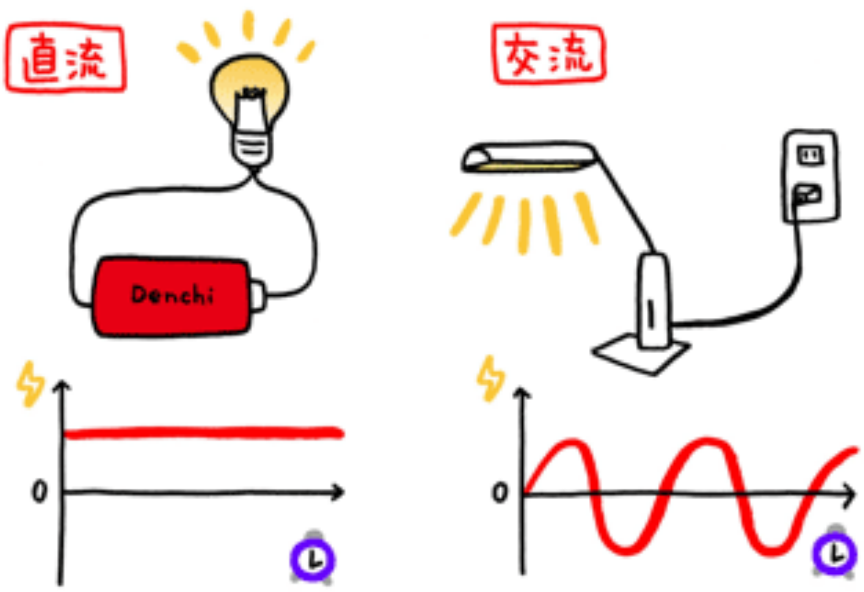
- 直流回路
- キルヒホッフの法則
- ブリッジ回路

直流回路



右図のように電池電源につないだ
抵抗の電流、電圧

時間的に変化しない
このような回路を直流回路という



一般家庭に発電所から
送られる電力

周期的にプラスマイナスが
逆になる交流電源

今回の授業

4/16　直流回路

- 直流回路
- キルヒホッフの法則
- ブリッジ回路

キルヒホッフの法則

4/16　直流回路

- 直流回路
- キルヒホッフの法則
- ブリッジ回路

キルヒホッフの電流則

右図のように、ある一点に流入する電流と、一点から流出する電流の和は等しくなる

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5 + I_6$$

これを キルヒホッフの第1法則 という

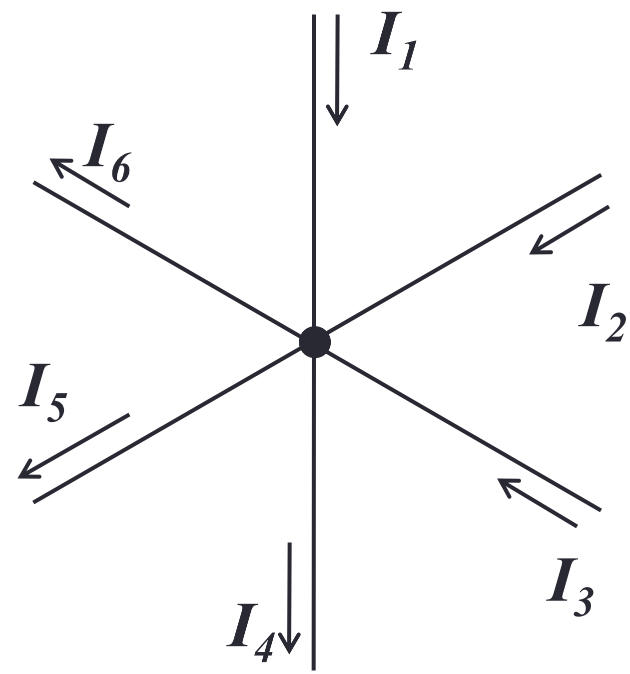
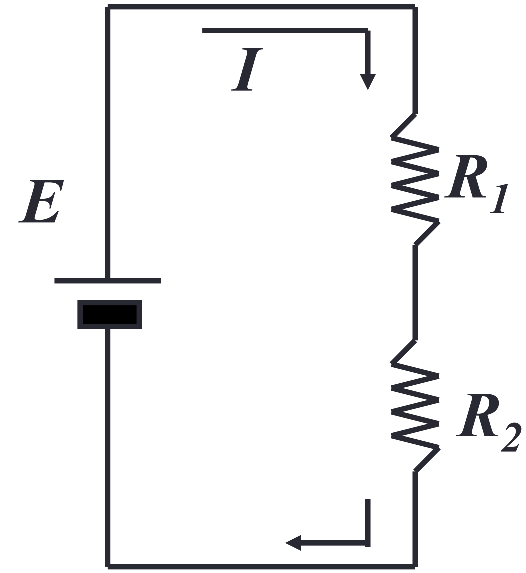


図: 電流分岐

キルヒホッフの電圧則



右図のように、電池に抵抗を直列に接続すると、

$$E = IR_1 + IR_2$$

電圧降下の和が電池の電圧に等しくなる。

各抵抗にかかる電圧の和が電池の電圧に等しくなる

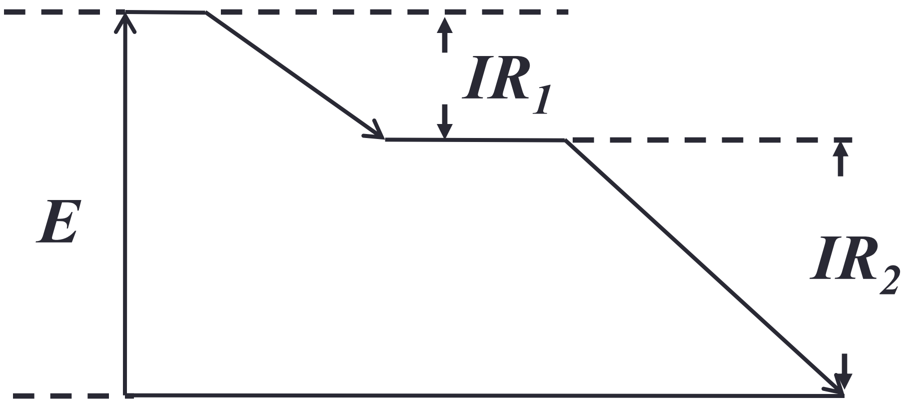


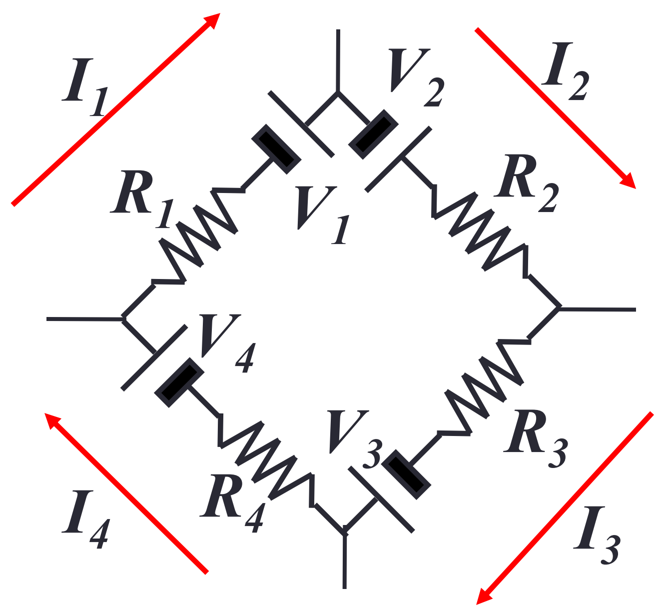
図　電圧降下

キルヒホッフの電圧則

右図のように、複数の抵抗や
電池が存在する場合も

$$V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = I_1R_1 + I_2R_2 + I_3R_3 + I_4R_4$$

となり、電圧上昇の和と電圧降下の和は等しくなる
これを キルヒホッフの第2法則
という



おさらい

キルヒホッフの第1法則（電流則）

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5 + I_6$$

キルヒホッフの第2法則（電圧則）

$$V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = I_1R_1 + I_2R_2 + I_3R_3 + I_4R_4$$

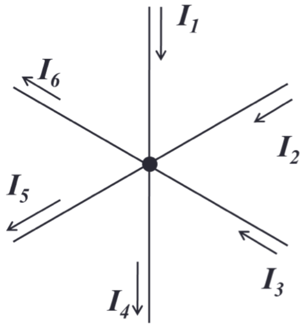


図　電流分岐

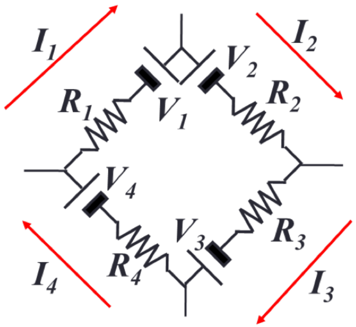


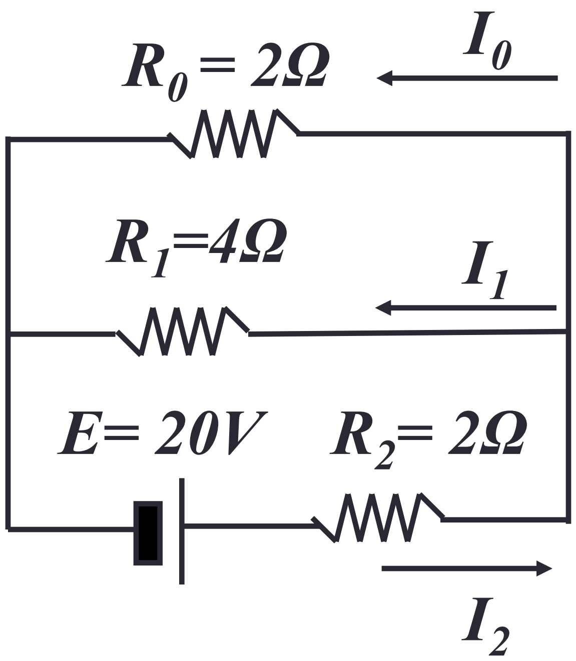
図　キルヒホッフの第2法則

例題1-1

- 図に示す回路について以下の問いに答えよ。

（1）キルヒホッフの法則を用いて電流に関する式をたてよ。

（2）キルヒホッフの法則を用いて電圧に関する式をたてよ。



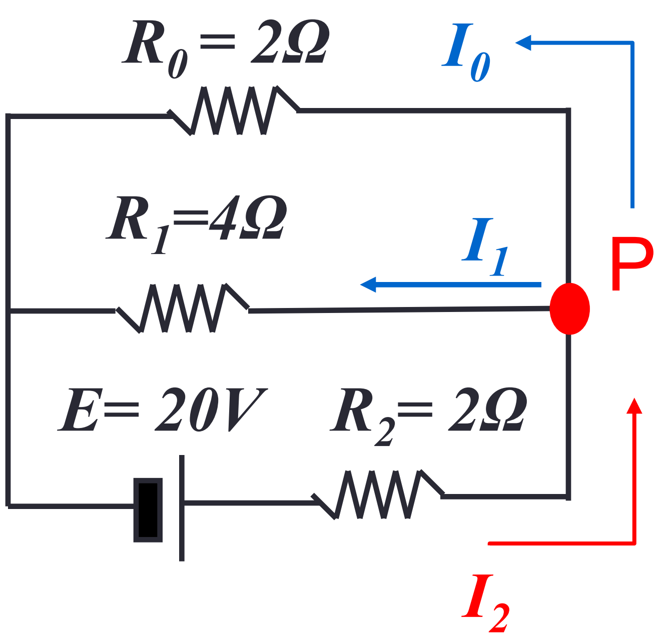
例題1-1　解答

- 図に示す回路について以下の問いに答えよ。

（1）点Pにおいて、キルヒホッフの電流則を使う。

点Pに 流れ込む電流 ＝ 点Pから 流れ出る電流

$$I_2 = I_0 + I_1$$



例題1-1　解答

- 図に示す回路について以下の問いに答えよ。

(2)ループが2つあるので2つの式が立つ。
まず、図に示すようなループについて電圧則を使う。

・電源は

E　のみ

・電圧降下は

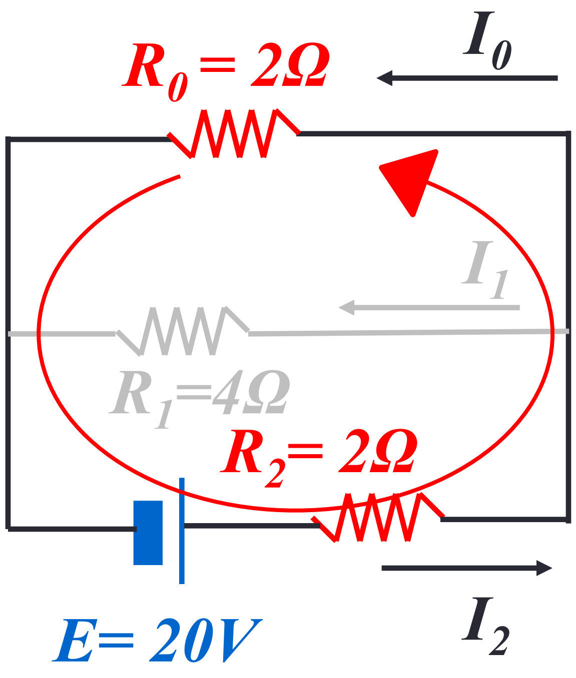
$R_2 I_2$　と　$R_0 I_0$

・キルヒホッフの電圧則から

電源 ＝ 電圧降下

$E = R_2 I_2 + R_0 I_0$

$20 = 2I_2 + 2I_0$



例題1-1　解答

- 図に示す回路について以下の問いに答えよ。

(2)ループが2つあるので2つの式が立つ。
まず、図に示すようなループについて電圧則を使う。

- ・電源は

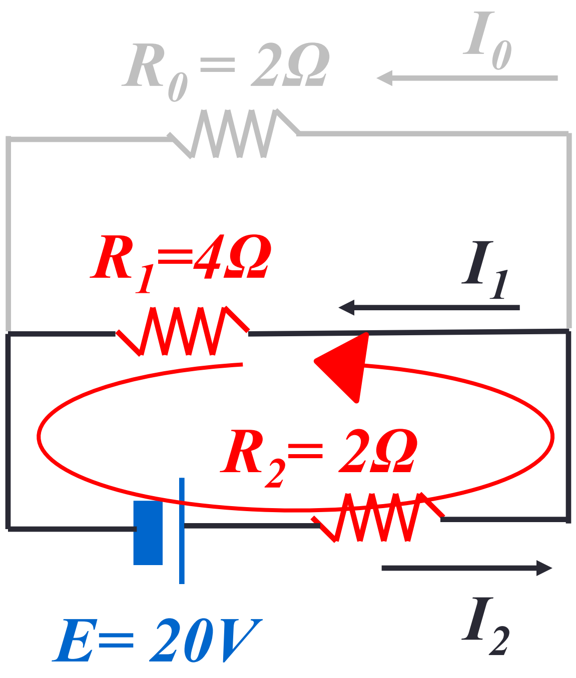
  E　のみ
- ・電圧降下は

  $R_2 I_2$　と　$R_1 I_1$
- ・キルヒホッフの電圧則から

  電源 = 電圧降下

  $E = R_2 I_2 + R_1 I_1$

  $20 = 2I_2 + 4I_1$



例題1-1　解答

（1）電流の式

$$I_2 = I_0 + I_1$$

（2）電圧の式

$$20 = 2I_2 + 2I_0$$
$$20 = 2I_2 + 4I_1$$

全て合わせると以下のような連立方程式が得られる。

$$\begin{cases} I_2 = I_0 + I_1 \\ 20 = 2I_2 + 2I_0 \\ 20 = 2I_2 + 4I_1 \end{cases}$$

例題1-2

- 次の連立方程式を解け（ I_0, I_1, I_2を求めよ）

$$\begin{cases} I_2 = I_0 + I_1 \\ 20 = 2I_2 + 2I_0 \\ 20 = 2I_2 + 4I_1 \end{cases}$$

ヒント: とにかく文字を1つずつ減らしていく。

代入法 or 加減法

例題1-2　解答

$$\begin{cases} I_2 = I_0 + I_1 & \cdots ① \\ 20 = 2I_2 + 2I_0 & \cdots ② \\ 20 = 2I_2 + 4I_1 & \cdots ③ \end{cases}$$

①を②に代入。

$$20 = 2(I_0 + I_1) + 2I_0$$
$$20 = 2I_0 + 2I_1 + 2I_0$$
$$20 = 4I_0 + 2I_1 \quad \cdots ②'$$

①を②に代入。

$$20 = 2(I_0 + I_1) + 4I_1$$
$$20 = 2I_0 + 2I_1 + 4I_1$$
$$20 = 2I_0 + 6I_1 \quad \cdots ③'$$

例題1-2　解答

$$\begin{cases} 20 = 4I_0 + 2I_1 & \cdots ②' \\ 20 = 2I_0 + 6I_1 & \cdots ③' \end{cases}$$

②′から③′×2をひく

$$\begin{array}{rl} & 20 = 4I_0 + 2I_1 \\ -) & 40 = 4I_0 + 12I_1 \\ \hline & -20 = -10I_1 \end{array}$$

$$-10I_1 = -20$$

$$I_1 = -20 \div (-10)$$

$$I_1 = 2$$

②′に$I_1 = 2$を代入

$$20 = 4I_0 + 2 \times I_1$$

$$20 = 4I_0 + 2 \times 2$$

$$20 = 4I_0 + 4$$

$$4I_0 + 4 = 20$$

$$4I_0 = 20 - 4$$

$$4I_0 = 16$$

$$I_0 = 16 \div 4$$

$$I_0 = 4$$

例題1-2　解答

①に$I_1 = 2, I_0 = 4$を代入

$I_2 = I_0 + I_1$

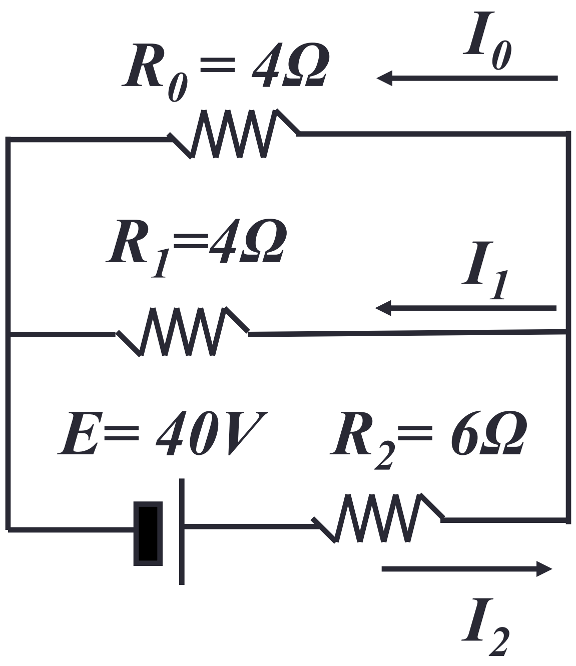
$I_2 = 4 + 2$

$I_2 = 6$

$\underline{I_0 = 4, I_1 = 2, I_2 = 6}$

練習問題1-1

- 右図に示す回路において矢印のような電流が流れているとき抵抗R_0 を流れる電流I_0は何(A)か？
  ただし、内部抵抗は無視するものとする。



練習問題1-1　解答

- 解答

キルヒホッフの法則から、方程式を3つたてる

$$I_2 = I_0 + I_1 \qquad (1)$$

$$E = I_1 R_1 + I_2 R_2 \rightarrow \ 40 = 4\, I_1 + 6\, I_2 \qquad (2)$$

$$E = I_0 R_0 + I_2 R_2 \rightarrow \ 40 = 4\, I_0 + 6\, I_2 \qquad (3)$$

3つのわからない変数に対して方程式が3つあるので、計算ができる。

練習問題1-1　解答

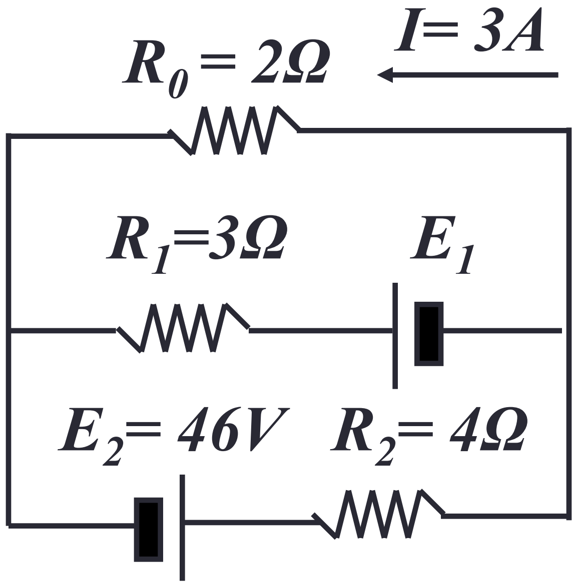
(1より)$I_0 = I_2 - I_1$ を(3)に代入→　$40 = 10\, I_2 - 4\, I_1$　(4)

(4) + (2)→　$40+40=10\, I_2 + 6\, I_2$ → $I_2 = 5$ [A]

I_2 を(3)に代入→　$40 = 4\, I_0 + 5 \times 6$ → $I_0 = 2.5$ [A]

練習問題1-2

- 右図に示す回路において抵抗 R_0 に矢印のような電流が流れているとき、電池の起電力 E_1 は何(V)か？
  ただし、電池の内部抵抗は無視するものとする。



練習問題1-2

- 解答

キルヒホッフの法則から、方程式を3つたてる

$$I_2 = I + I_1 \qquad (1)$$

$$E_2 + E_1 = I_1R_1 + I_2R_2 \rightarrow 46 + E_1 = 3 I_1 + 4 I_2 \qquad (2)$$

$$E_2 = IR_0 + I_2R_2 \rightarrow 46 = 3 \times 2 + 4 I_2 \qquad (3)$$

練習問題1-2

(3より) I_2 = 10 [A]

(1)にI_2を代入→ 10 = 3 + I_1 → I_1 = 7 [A]

I_1、I_2を(2)に代入→ 46+E_1 = 3 × 7 + 4 ×10

E_1 = 15 [V]

今回の授業

4/16　直流回路

- 直流回路
- キルヒホッフの法則
- ホイートストンブリッジ

ホイートストンブリッジ

右図の様に抵抗を接続し、
R_1,R_2,R_3,R_4を適当な値にする
と、Rに流れる電流I_Gが0になる
この様な回路を
「ホイートストンブリッジ」
という。

以下に$I_G = 0$となる抵抗の条件

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$$ 平衡条件

をキルヒホッフの法則から導いていく。

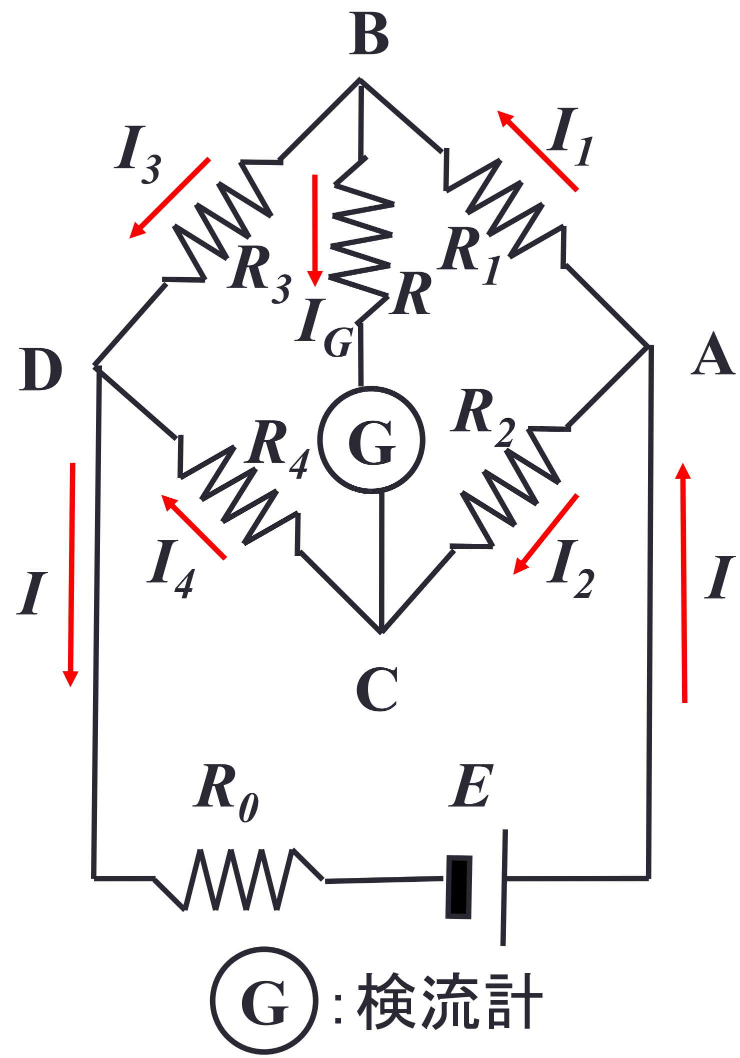


図　ホイートストンブリッジ

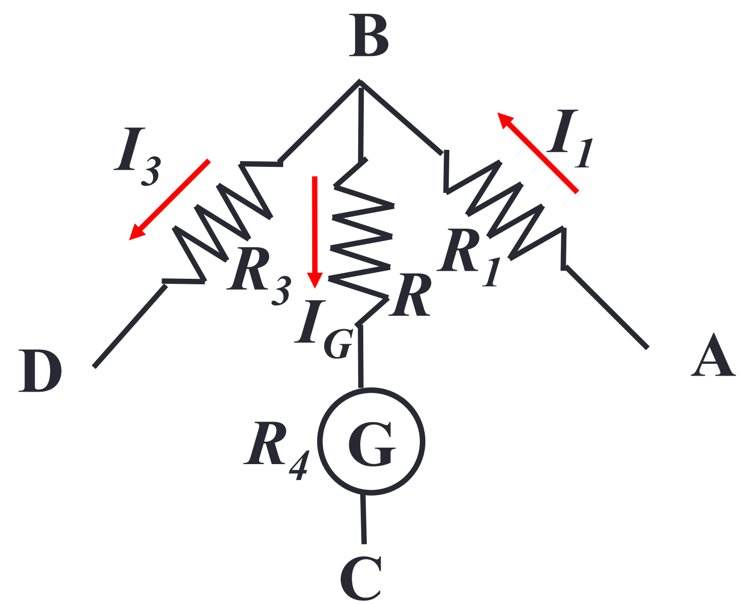
平衡条件の導出

右図のB点に注目すると

キルヒホッフの第1法則より

$$I_1 = I_3 + I_G$$

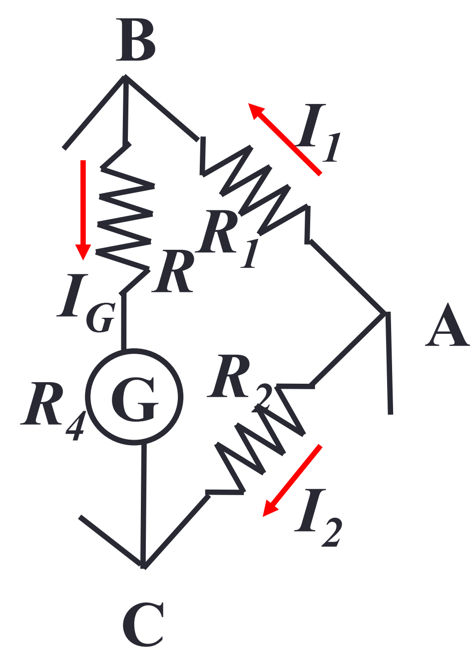
$$I_G = I_1 - I_3$$



ABC点を通る回路を考えると

キルヒホッフの第2法則より

$$R_1 I_1 + R(I_1 - I_3) = R_2 I_2$$



$I_G = 0$ にすると上式は

$$R_1 I_1 = R_2 I_2$$

$$I_1 = I_3$$

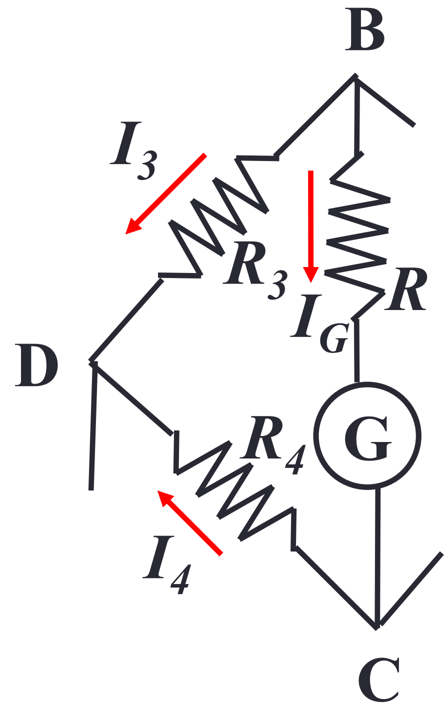
平衡条件の導出

同様に回路BCDでは

$$R_3 I_3 = R(I_1 - I_3) + R_4 I_4$$

$I_1 = I_3$ より

$$R_3 I_3 = R_4 I_4$$

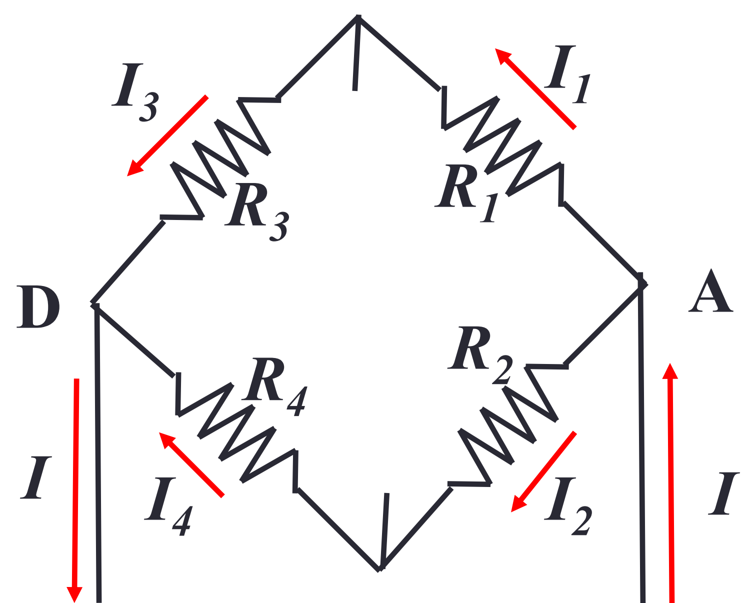


一方、A点およびD点では
キルヒホッフの第1法則より

$$I = I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$

$I_1 = I_3$ より

$$I_2 = I_4$$



平衡条件の導出

回路ABCおよびBCDでは

$R_1 I_1 = R_2 I_2,\ R_3 I_3 = R_4 I_4$ より

$R_1/R_2 = I_2/I_1,\ R_3/R_4 = I_4/I_3$

$I_1 = I_3,\ I_2 = I_4$ より

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

すなわち$I_G = 0$,つまり検流計のメータが0になる条件は

$$R_1 R_4 = R_2 R_3$$

これをブリッジの平衡条件という

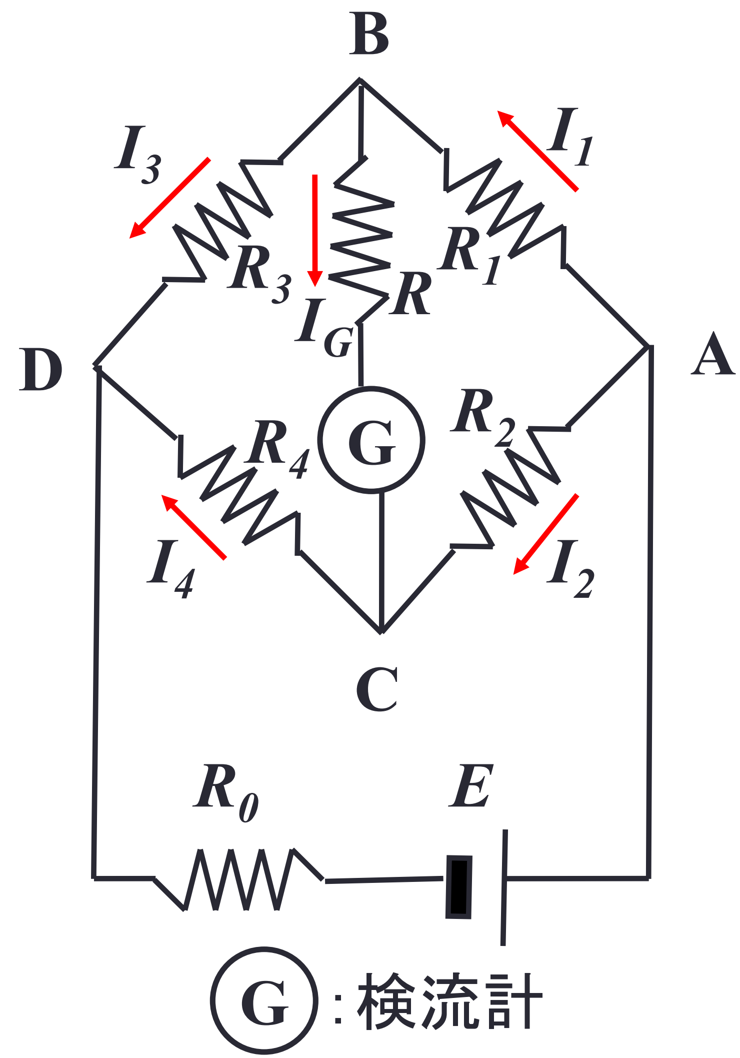


図　ブリッジ回路

未知抵抗の計測

ブリッジ回路を応用し、
抵抗の測定ができる。
R_1,R_2を既知の抵抗、
R_4を未知の値R_Xとすると、
R_3を調節して検流計の針を
0にした場合、

前式の $\dfrac{R_1}{R_2} = \dfrac{R_3}{R_X}$ より

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

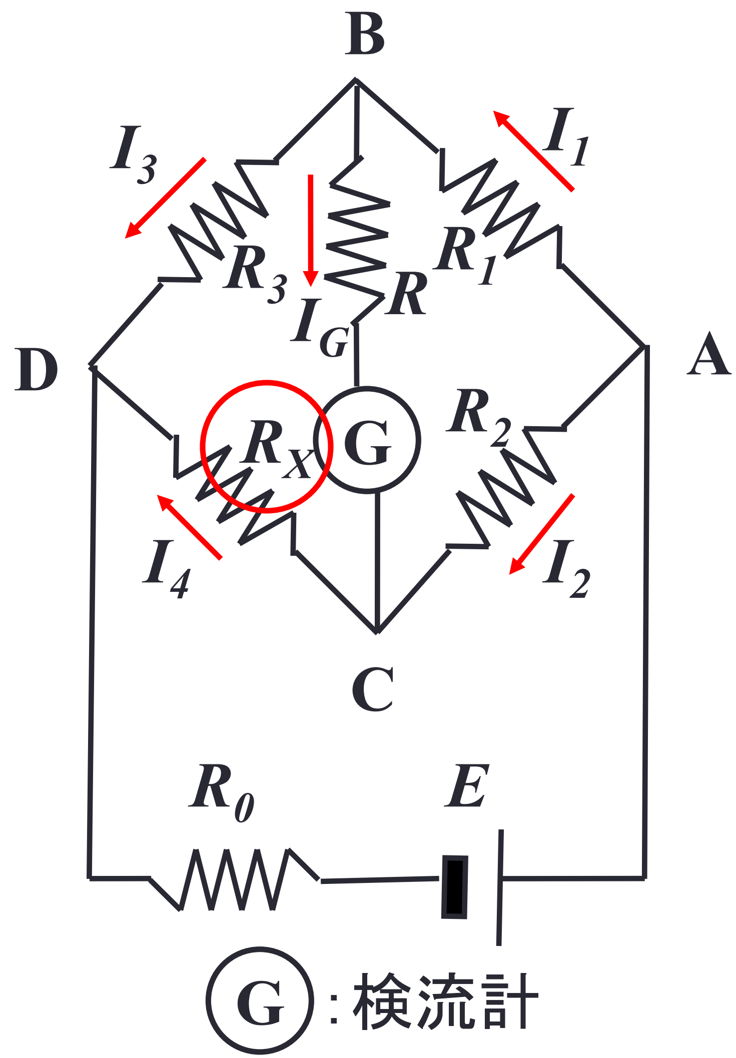
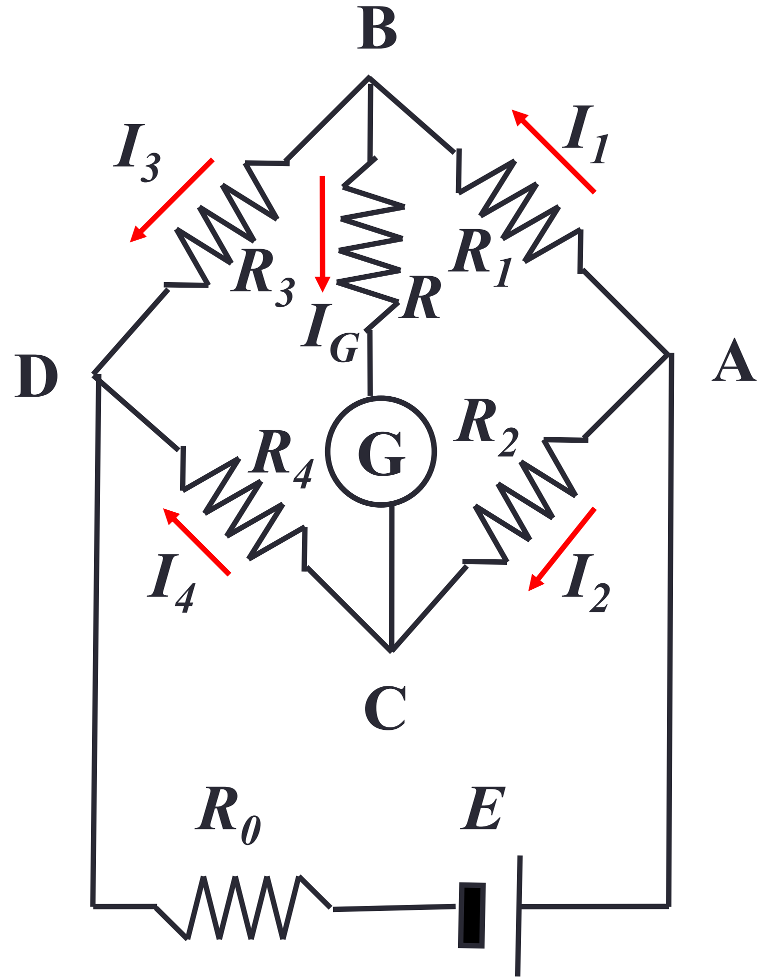


図　ブリッジ回路

例題2

以下の場合について抵抗Rに流れる電流が0[A]になるとき、抵抗 R_3の値 を求めよ

R_1＝ 2、R_2＝3、R_4＝6



例題2

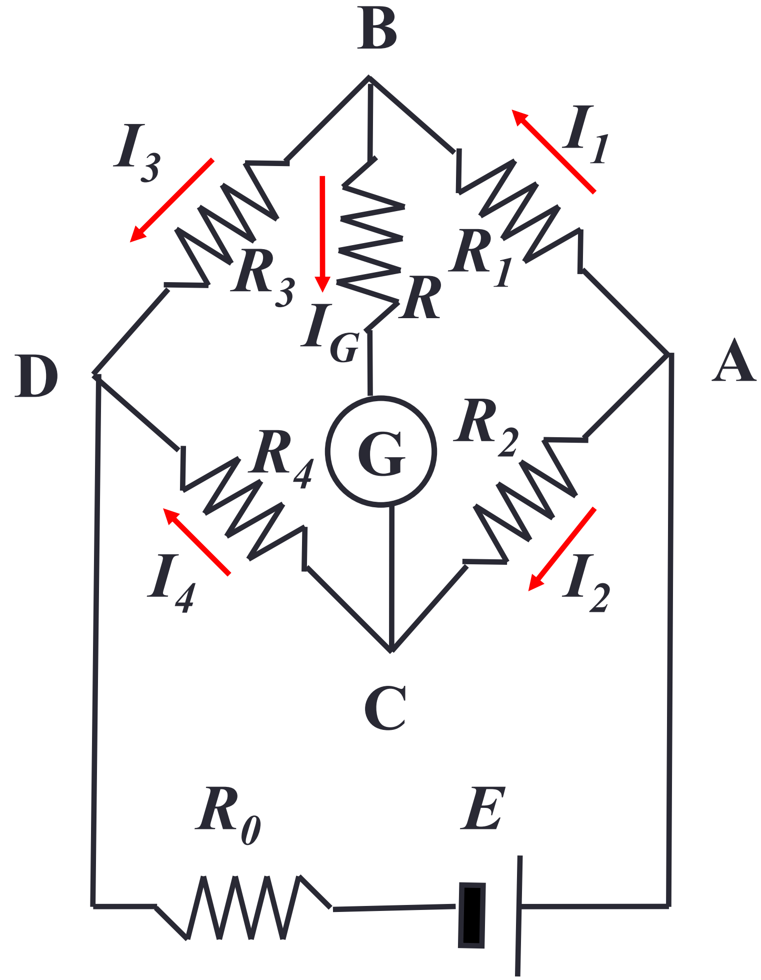
- 解答
  ブリッジの平衡条件 $R_1R_4 = R_2R_3$ を利用する

  したがって、$\boldsymbol{R_3} = \frac{\boldsymbol{R_1}}{\boldsymbol{R_2}}\boldsymbol{R_4} = \frac{2}{3}\times 6 = 4\ [\Omega]$

練習問題2-1

以下の場合について抵抗Rに流れる電流が0[A]になるとき、抵抗 R_3の値 を求めよ

R_1= 2、R_2=3、R_4=6



練習問題2-1

- 解答

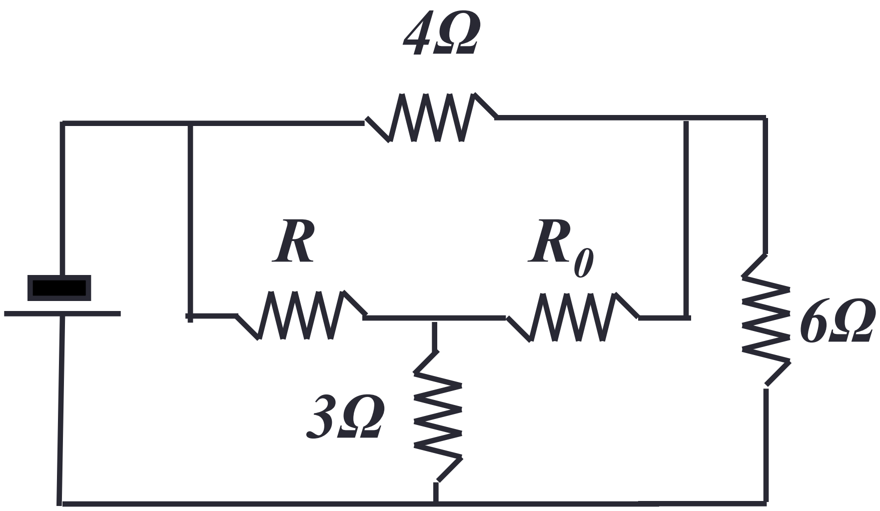
  ブリッジの平衡条件 $R_1R_4 = R_2R_3$ を利用する

  したがって、$\boldsymbol{R_3} = \frac{\boldsymbol{R_1}}{\boldsymbol{R_2}}\boldsymbol{R_4} = \frac{2}{3}\times 6 = 4\ [\Omega]$

練習問題2-2

図 の回路において抵抗R_0に流れる電流が0[A]になるとき、抵抗Rの値 を求めよう

解答



練習問題2-2

- 解答

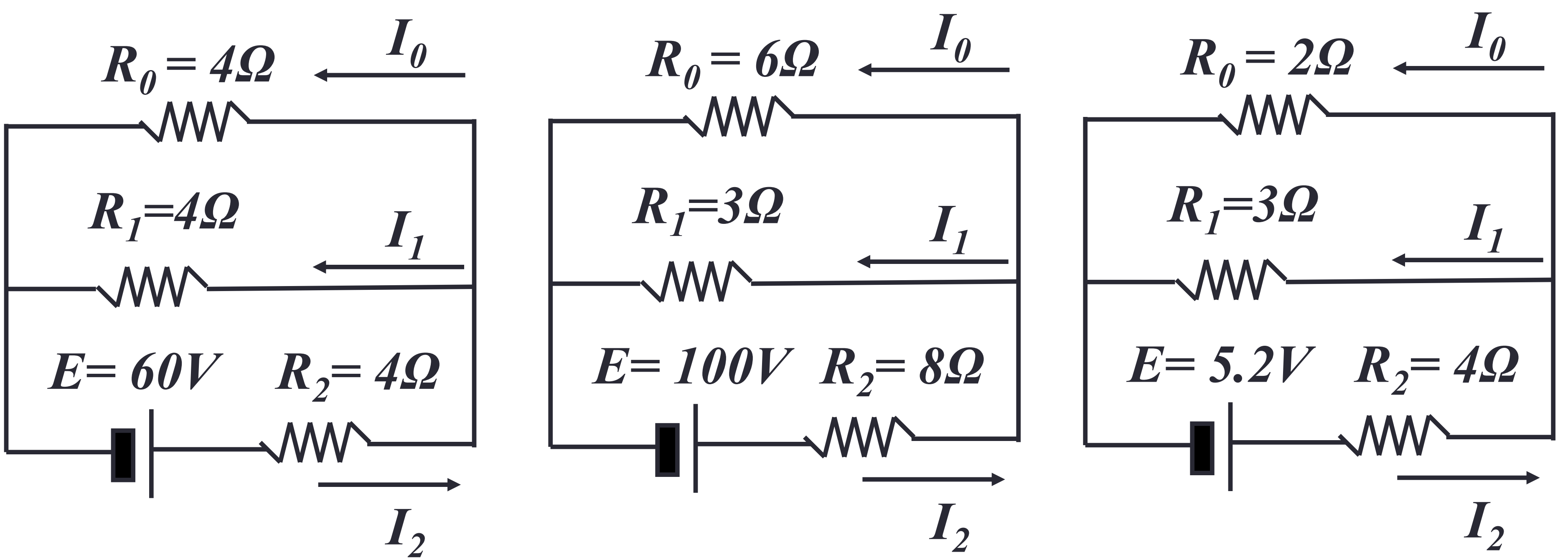
この回路もブリッジ回路であるため、
ブリッジの平衡条件（$R_1R_4 = R_2R_3$）が適用できる

したがって、 $\boldsymbol{R} = \frac{3}{6} \times 4 = 2\ [\Omega]$

練習問題3

以下の①~⑤の各回路について以下の問いについて答えよ。ただし、内部抵抗は無視するものとする。

① R_0に流れる電流I_0　② R_0に流れる電流I_0　③ R_0に流れる電流I_0



練習問題3 解答

以下の①~⑤の各回路について以下の問いについて答えよ。ただし、内部抵抗は無視するものとする。

① $I_0 = 5\ [A], I_1 = 5\ [A], I_2 = 10\ [A]$

② $I_0 = \frac{10}{3}\ [A], I_1 = \frac{20}{3}\ [A], I_2 = 10\ [A]$

③ $I_0 = \frac{3}{5}\ [A], I_1 = \frac{2}{5}\ [A], I_2 = 1\ [A]$

練習問題4

- 次の値を求めよ

(1) $\dfrac{1}{2}+\dfrac{1}{3}$

(2) $\dfrac{\frac{5}{2}}{1+\frac{1}{4}}$

(3)

θ	0°	30°	45°	60°	90°
$\sin\theta$					
$\cos\theta$					

練習問題4　解答

- 次の値を求めよ

(1) $\frac{1}{2}+\frac{1}{3}=\frac{3+2}{6}=\frac{5}{6}$

(2) $\frac{\frac{5}{2}}{1+\frac{1}{4}}=\frac{10}{4+1}=\frac{10}{5}=2$

(3)

θ	0°	30°	45°	60°	90°
$\sin\theta$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1
$\cos\theta$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{2}$	0