

電気工学2 第1回

藤田 一寿

■ 目的

- 電磁気学の習得
 - 電気回路の復習
 - 電子回路の予習
-
- 裏の目的
 - ME2種、国家試験の電気電子関連の計算問題を解けるようになる。

■ スケジュール

1. 電気回路：抵抗
2. 電気回路：キルヒ霍ッフの法則
, テブナンの定理, 電力
3. 電気回路：交流, 実効値, 複素数表記
4. 電磁気学：クーロン力
5. 電磁気学：電場, ガウスの法則
6. 電磁気学：電位, 静電容量
7. 電磁気学：磁場
8. 電磁気学：誘導起電力・トランス
9. 電気回路：過渡現象
10. 電気回路：フィルタ
11. 電子回路：ダイオード, 整流
12. 電子回路：増幅器, オペアンプ
13. 電子回路：オペアンプ
14. 電磁気学：ローレンツ力 電磁波
15. 現代物理：粒子の性質

■ スケジュール

1. 演習：抵抗
2. 演習：内部抵抗
3. 演習：キルヒホッフの法則，電力
4. 演習：交流，複素数表記
5. テスト1
6. 演習：電場
7. 演習：コンデンサ，磁場
8. 演習：ソレノイド
9. 演習：変圧器，コンデンサ回路
10. 演習：コンデンサ回路，インダクタ回路，RLC回路
11. テスト2
12. 演習：ダイオード，整流
13. 演習：增幅器，オペアンプ
14. 演習：オペアンプ
15. テスト3

■ 評価

- 電気工学2
 - 3回のテストで評価
- 電気工学演習2
 - 出席確認演習で評価

■ 講義資料の場所

- http://spikingneuron.net/ja/electro_eng2/

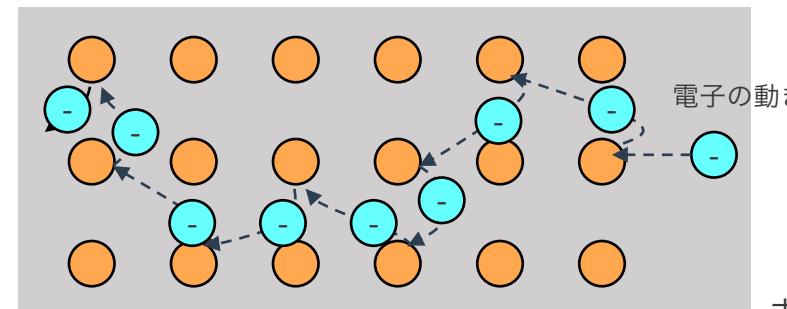
■ 電流とは

- ・電流とは電荷の流れ
- ・単位時間あたりの電荷の変化で定義される。

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

- ・電流と電子の流れる方向は逆となる。
- ・単位はアンペア[A]

電流

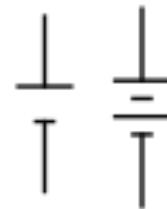


古典論的なイメージ

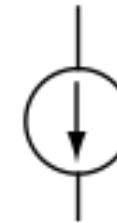
導線

■ 電圧

- 電位の差を電圧（電位差）という。
 - 電位の詳しい説明は電磁気の講義のときに説明する。
- 単位はボルト[V]



定電圧源



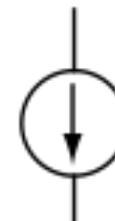
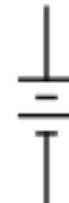
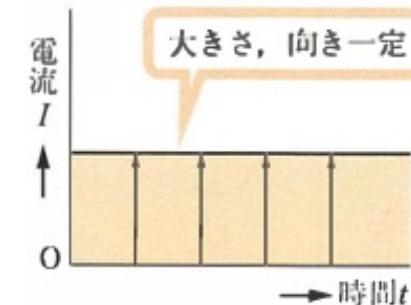
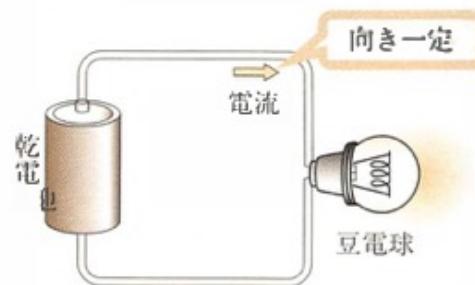
定電流源



交流電圧源

■ 直流

- 電圧や電流の大きさと向きが一定



定電圧源

定電流源

■ 単位の接頭語

接頭語の名称	接頭語の記号	単位に乗じられる倍数
ギガ (giga)	G	10^9
メガ (mega)	M	10^6
キロ (kilo)	k	10^3
ミリ (milli)	m	10^{-3}
マイクロ (micro)	μ	10^{-6}
ナノ (nano)	n	10^{-9}
ピコ (poco)	p	10^{-12}

電気電子回路では、キロ、マイクロ、ナノ、ピコをよく使うので覚えておこう。

■ 問題

- 次の補助単位を使った値が等しくなるよう空欄を埋めよ。

$$10k\Omega = \boxed{} \Omega$$

$$1nF = \boxed{} \mu F$$

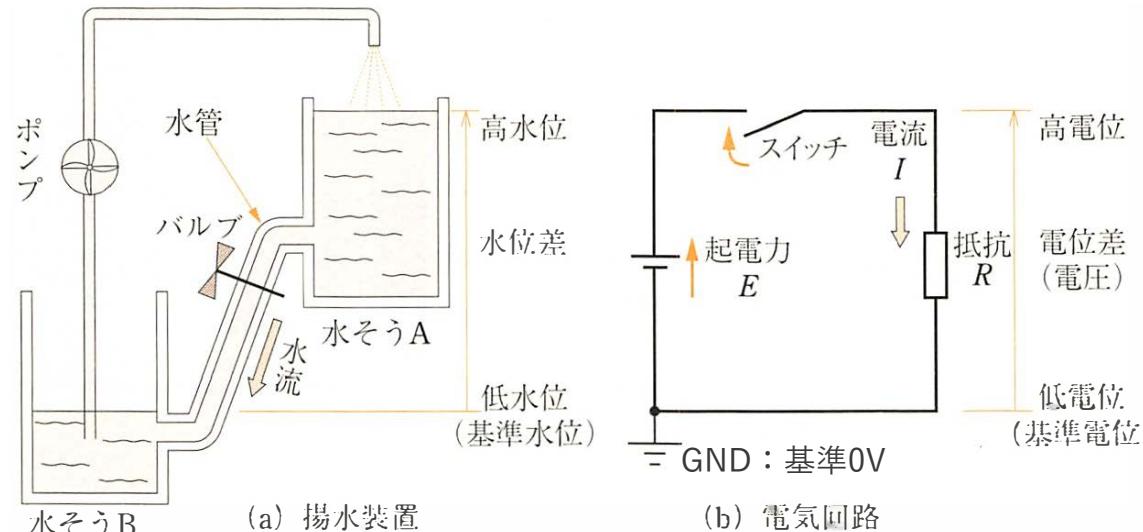
$$0.1\mu F = \boxed{} nF$$

$$1kHz = \boxed{} MHz$$

$$10mV = \boxed{} V$$

■ 電流と電圧の簡単な解説

- ・回路：水が流れる水路
- ・電流：水の流れ
- ・電圧：水路の高低差



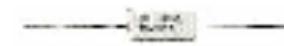
抵抗

■ 抵抗

- ・物質の電流の流しにくさを表す指標
- ・抵抗値が大きければ大きいほど電流が流れにくい
- ・単位はΩ（オーム）
- ・抵抗値と抵抗率の違いに注意する。



図記号



セメント抵抗器



金属被膜抵抗器



ソリッド抵抗器

■ 抵抗と抵抗率

- ・抵抗が長いほど、その抵抗値は大きくなる。
 - ・自動車で考えると、長い道のりは疲れる。短いほうが楽。
- ・抵抗が断面積が大きいほど、その抵抗値は小さくなる。
 - ・自動車で考えると、狭い道は走りにくい。広い道のほうが走りやすい。
- ・抵抗 $R[\Omega]$ 、断面積 $S[m^2]$ 、長さ $l[m]$ の関係は次のように表される。

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

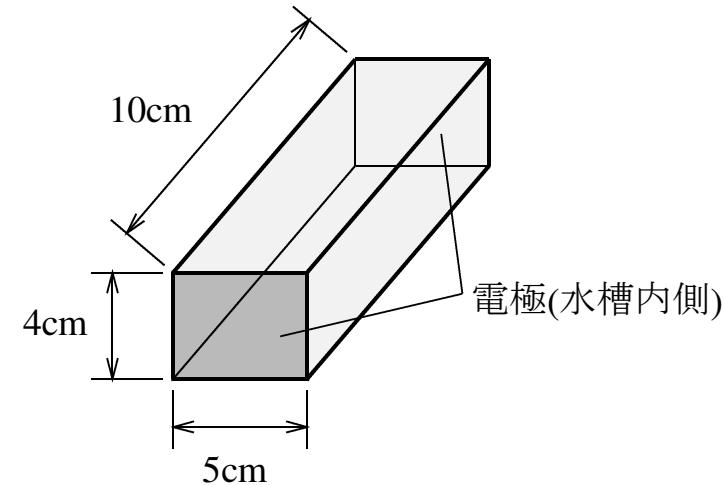
- ・定数を抵抗率 ρ という。



■ 問題解説

【AM23】図のような水槽に抵抗率 $5 \Omega \text{m}$ ($500 \Omega \text{cm}$) の溶液が一杯に満たされている。両側面には $4 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ の金属電極が貼り付けてある。電極間の抵抗は何 Ω になるか。

- (1) 50
- (2) 125
- (3) 200
- (4) 250
- (5) 500

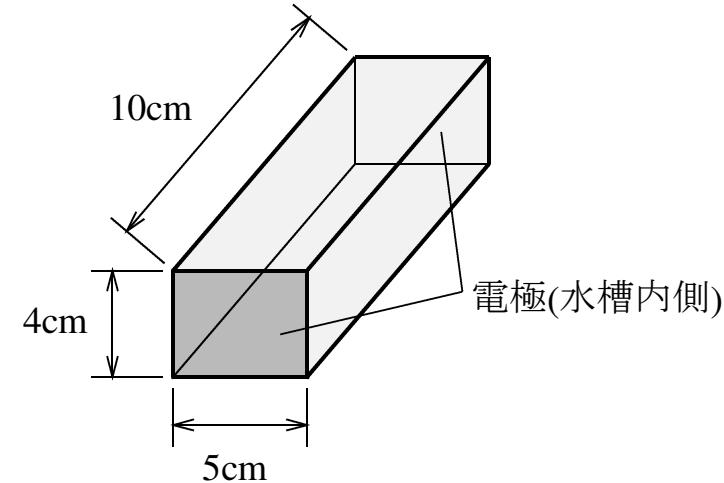


問題解説

【AM23】図のような水槽に抵抗率 $5 \Omega \text{m}$ ($500 \Omega \text{cm}$) の溶液が一杯に満たされている。両側面には $4 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ の金属電極が貼り付けてある。電極間の抵抗は何 Ω になるか。

- (1) 50
- (2) 125
- (3) 200
- (4) 250**
- (5) 500

単位に注意しよう！！



単位にcmを使った場合

$$R = 500 \Omega \text{cm} * 10 \text{cm} / (4 \text{cm} * 5 \text{cm}) = 250 \Omega$$

単位にmを使った場合

$$R = 5 \Omega \text{m} * 0.1 \text{m} / (0.04 \text{m} * 0.05 \text{m}) = 250 \Omega$$

■ 問題解説

半径 $r[m]$, 長さ $L[m]$, 電気抵抗 0.2Ω の導線がある。同一素材で作られた半径 $2r$, 長さ $8L$ の導線の電気抵抗 $[\Omega]$ はいくらか。(第38回ME2種)

1. 0.1
2. 0.2
3. 0.4
4. 0.8
5. 1.0

■ 問題解説

半径 $r[m]$, 長さ $L[m]$, 電気抵抗 0.2Ω の導線がある。同一素材で作られた半径 $2r$, 長さ $8L$ の導線の電気抵抗 $[\Omega]$ はいくらか。(第38回ME2種)

1. 0.1
2. 0.2
3. 0.4
4. 0.8
5. 1.0

抵抗率を ρ とする。

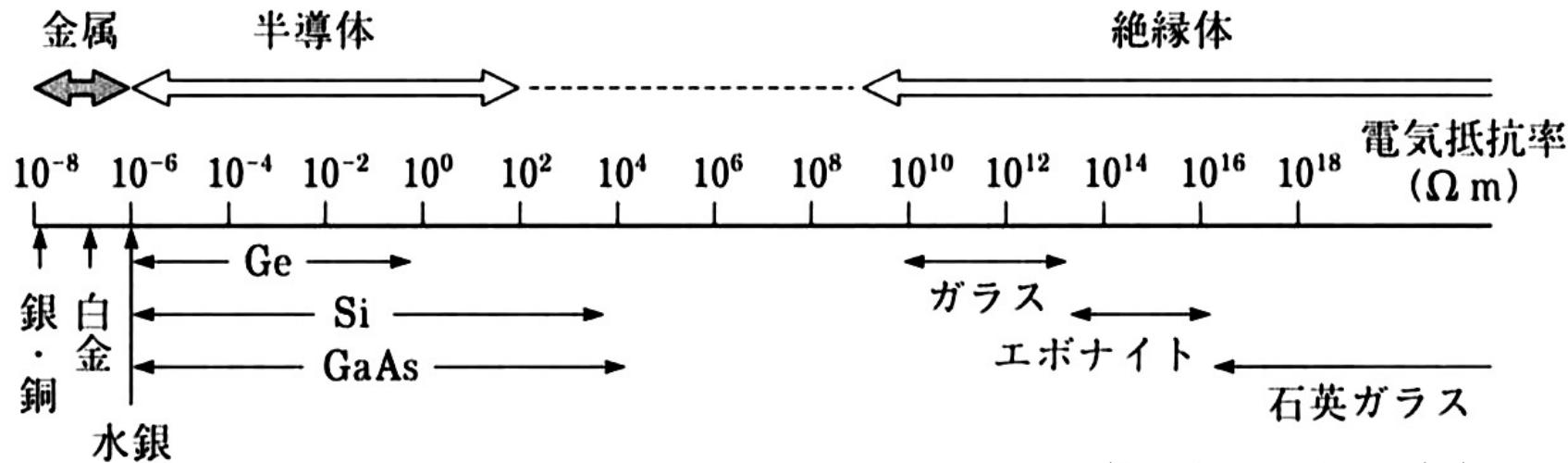
$$\rho \frac{L}{\pi r^2} = 0.2$$

$$\rho = 0.2 \frac{\pi r^2}{l}$$

求める抵抗Rは

$$R = \rho \frac{8L}{\pi(2r)^2} = 2 \times \rho \frac{l}{\pi r^2} = 2 \times 0.2 = 0.4$$

■ 物質の抵抗



(豊田, 半導体の科学とその応用)

導体（金属）：電気を通す

半導体：導体と絶縁体の中間

絶縁体：電気をほとんど通さない

オームの法則

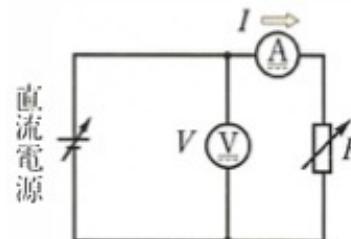
■ オームの法則

- 電圧Vは電流Iに比例する。比例定数は抵抗Rである。
- 抵抗Rに対して電流Iは反比例する。

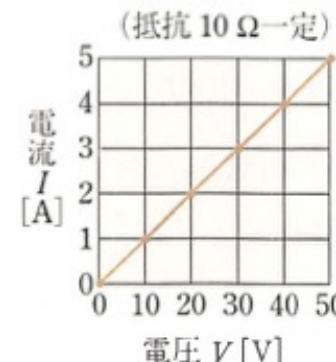
$$V = RI$$

- これをオームの法則という。

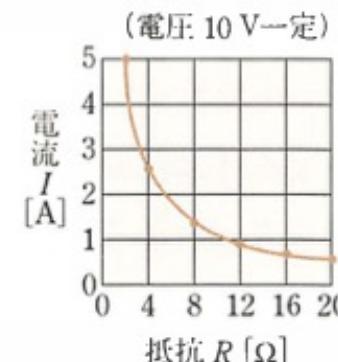
キャベンディッシュがすでに見つけていたのだが…



(a) 測定回路



(b) 電圧と電流の関係



(c) 抵抗と電流の関係

■ 問題

- 50Ω の抵抗に $100V$ の電圧を加えると電流はいくら流れるか？

■ 問題

- 50Ω の抵抗に $100V$ の電圧を加えると電流はいくら流れるか？

オームの法則から

$$V=RI$$

$$100=50I$$

$$I=2A$$

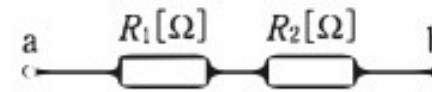
抵抗の直列接続

■ 抵抗の直列接続

- 図のように抵抗の一端にもう一つの抵抗の一端をつなぐつなぎ方を直列接続という



(a) 直列接続の実体図



(b) 図記号

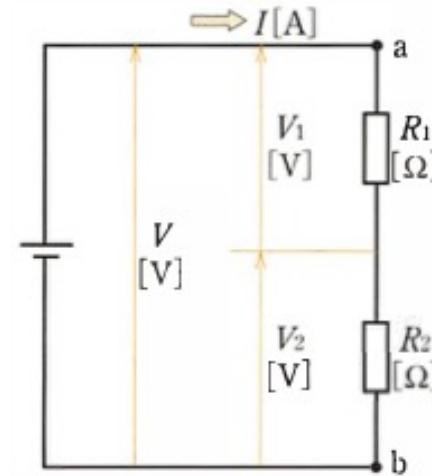
■ 抵抗の直列

- 各抵抗に流れる電流は同じである。
- 各抵抗にかかる電圧の総和は電源電圧に等しい。

$$V = V_1 + V_2$$

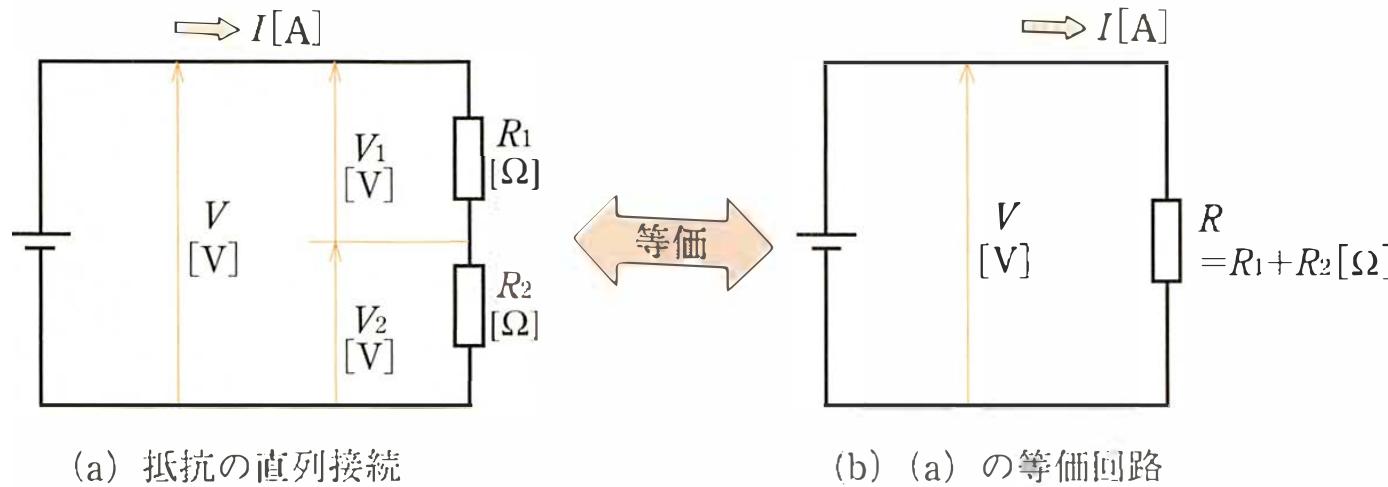
$$V_1 = R_1 I$$

$$V_2 = R_2 I$$



■ 合成抵抗

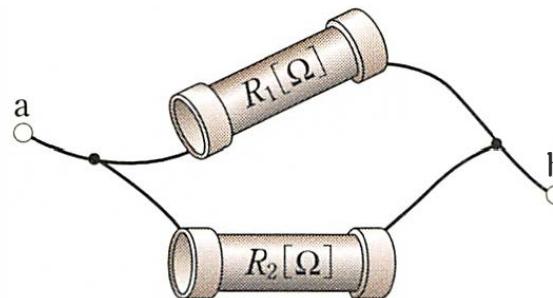
- 複数の抵抗を1とみなした（抵抗を合成した）ときの抵抗を合成抵抗とよぶ。



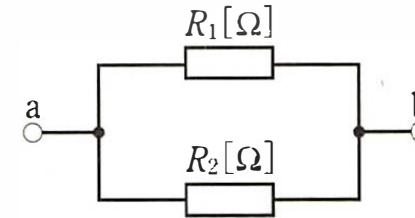
抵抗の並列接続

■ 並列回路

- 図のように複数の抵抗の一端を接続し、他端も同様に接続したものを並列接続という。



(a) 並列接続の実体図



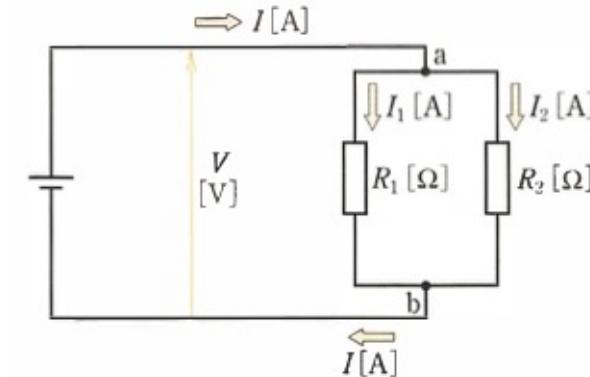
(b) 図記号

■ 並列回路

- 各抵抗にかかる電圧は等しい。
- 各抵抗に流れる電流の総和は、並列回路に流れ込む電流に等しい。

$$I = I_1 + I_2$$

$$V = I_1 R_1 = I_2 R_2$$

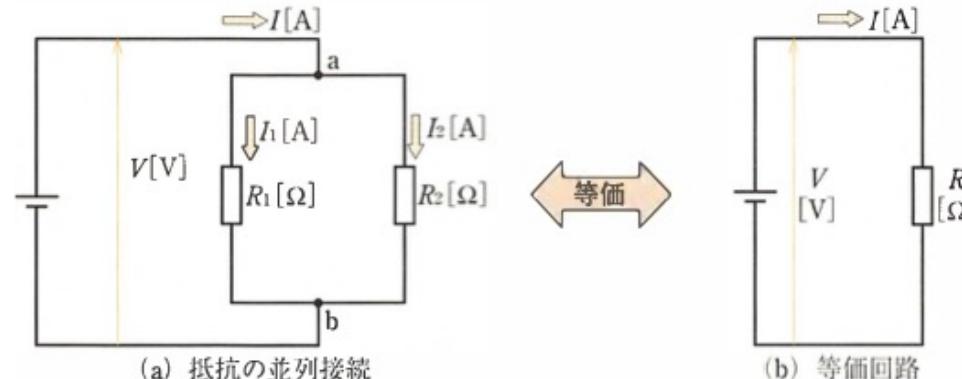


■ 並列回路の合成抵抗

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

並列回路の合成抵抗の逆数とみなせる

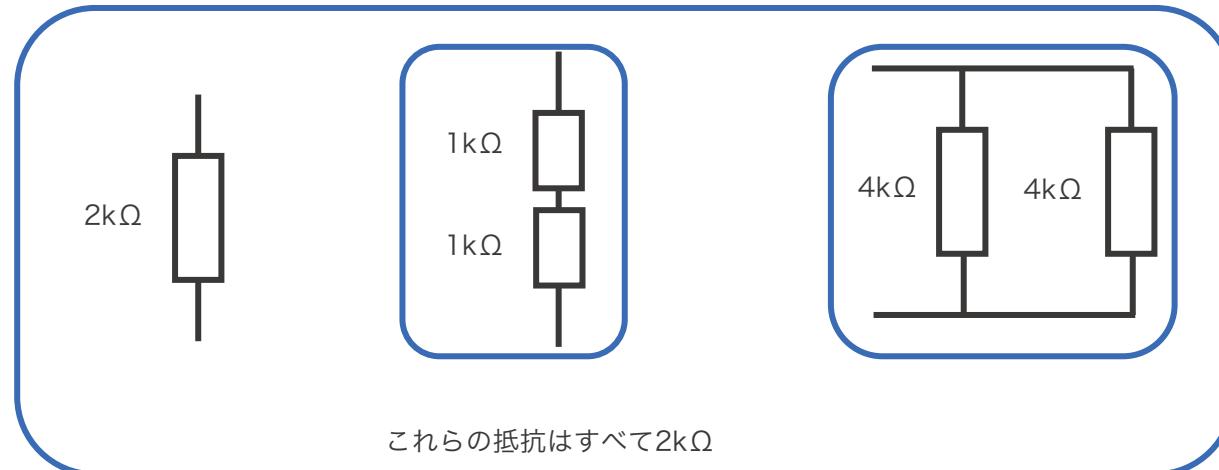
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$



等価回路

■ 等価回路

- 実際の回路は異なっているが、外から見て同じ働きをする回路のことを等価回路という。



■ 問題

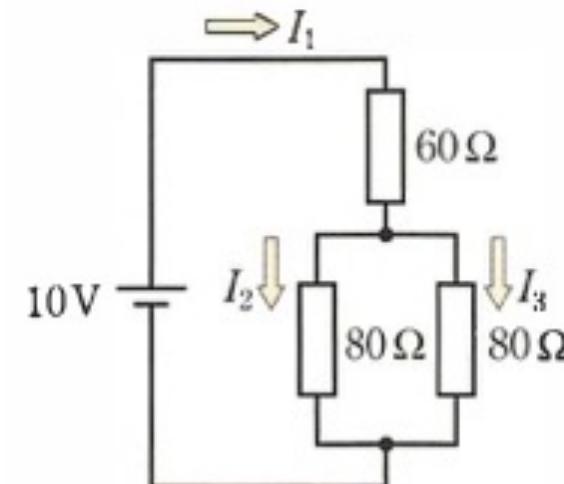
- 20Ω の抵抗を2つ並列に接続した回路の合成抵抗はいくらか.
- 20Ω と 40Ω の抵抗を並列に接続すると, その合成抵抗はいくらか.

■ 問題

- 20Ω の抵抗を2つ並列に接続した回路の合成抵抗はいくらか.
- $\frac{1}{R} = \frac{1}{20} + \frac{1}{20} = \frac{1}{10}$
- 合成抵抗は 10Ω
- 20Ω と 40Ω の抵抗を並列に接続すると, その合成抵抗はいくらか.
- $\frac{1}{R} = \frac{1}{20} + \frac{1}{40} = \frac{3}{40}$
- 合成抵抗は $40/3\Omega$

問題

- この直並列回路の合成抵抗を求めよ。
- 電流 I_1 , I_2 , I_3 を求めよ。



問題

- この直並列回路の合成抵抗を求めよ.
- 電流I₁, I₂, I₃を求めよ.

1.

並列回路の合成抵抗は40Ω.

よって直並列回路の合成抵抗は $60+40=100\Omega$

2.

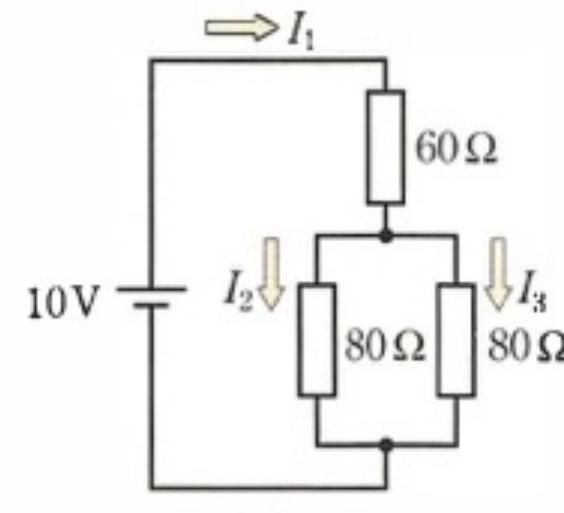
オームの法則より

$$I_1 = \frac{10}{100} = 0.1A$$

並列回路は同じ抵抗なので、同じ電流が流れる.

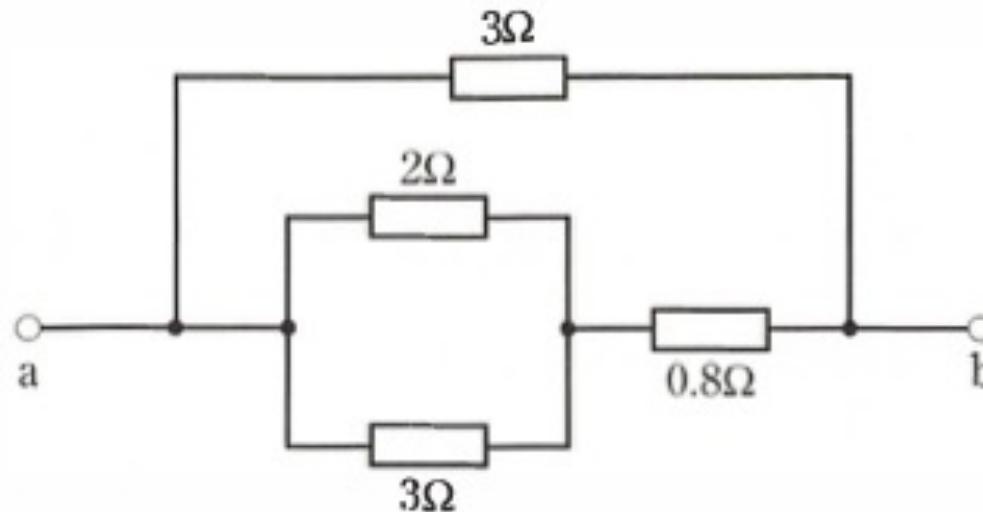
よって

$$I_2 = I_3 = \frac{0.1}{2} = 0.05A$$



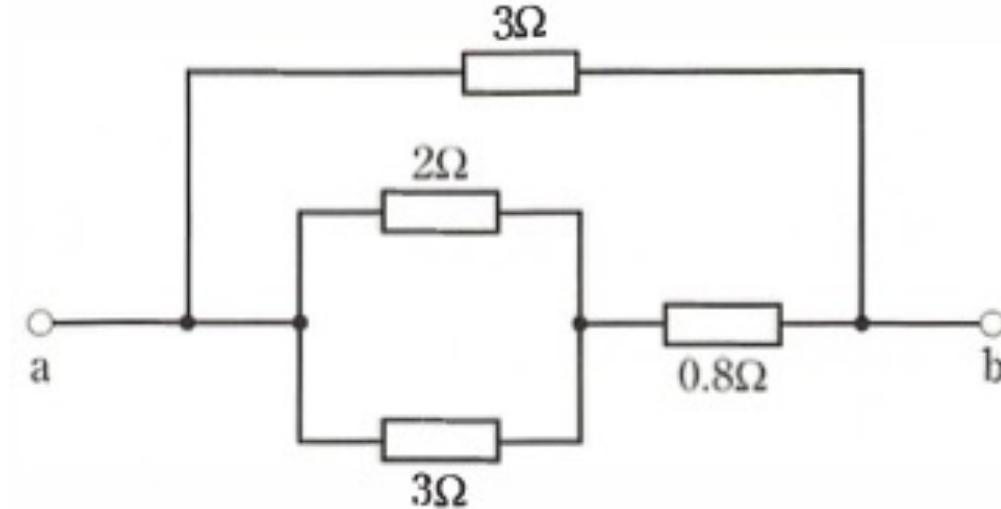
問題

- a-b間の合成抵抗を求めよ



問題

- a-b間の合成抵抗を求めよ



2Ωと3Ωの並列回路の合成抵抗は

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

より1.2Ω

2Ωと3Ωの並列回路と0.8Ωの合成抵抗は

$$1.2 + 0.8 = 2$$

よってab間の合成抵抗は

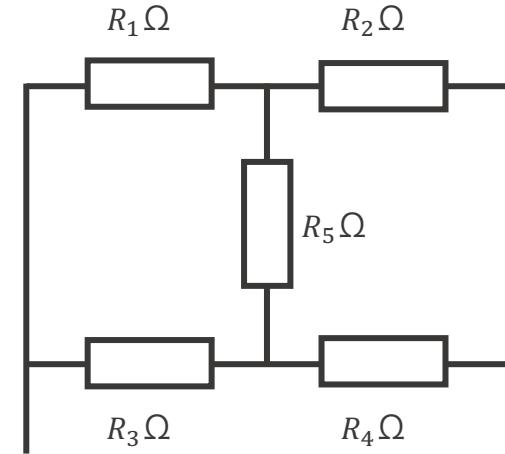
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{3} + \frac{1}{2} = \frac{5}{6}$$

つまり1.2Ω

ブリッジ回路

■ ブリッジ回路

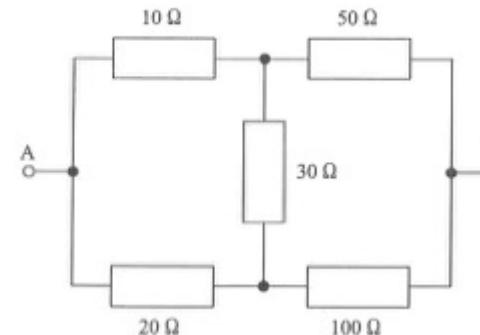
- 図のような回路ある.
- $R_1R_2 = R_3R_4$ のとき
- R_5 を流れる電流は0である.
- つまり R_5 は無視できる（開放とみなせる）.



■ 問題解説

- 図の回路の端子A, B間の合成抵抗は何Ωか. (第39回ME2種)

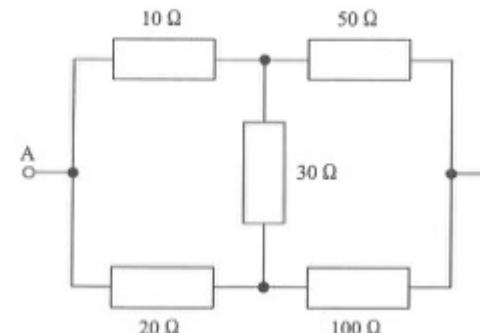
1. 10
2. 20
3. 30
4. 40
5. 50



■ 問題解説

- 図の回路の端子A, B間の合成抵抗は何Ωか. (第39回ME2種)

1. 10
2. 20
3. 30
4. 40
5. 50



抵抗値から30Ωの抵抗には電流は流れない.

つまり30Ωの抵抗は無視できる.

よって合成抵抗は

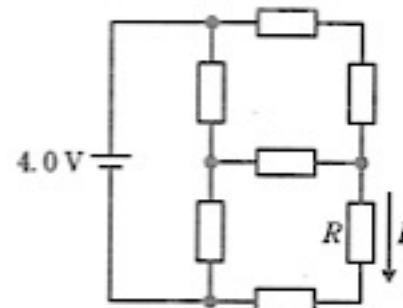
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{10 + 50} + \frac{1}{20 + 100} = \frac{1}{60} + \frac{1}{120} = \frac{3}{120} = \frac{1}{40}$$

より40Ωである.

■ 問題

- 図の回路で抵抗に流れる電流 I [A]はどれか。ただし、電池の起電力は4.0V、抵抗はすべて 1.0Ω とする。（臨床工学技士国家試験35）

1. 1.0
2. 2.0
3. 3.0
4. 4.0
5. 5.0



問題

- 図の回路で抵抗に流れる電流I[A]はどれか。ただし、電池の起電力は4.0V、抵抗はすべて 1.0Ω とする。（臨床工学技士国家試験35）

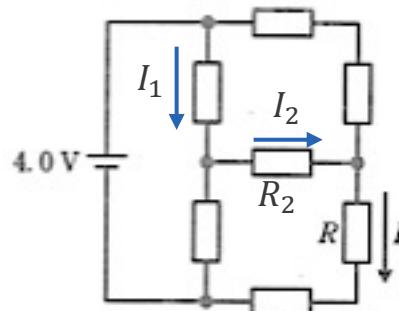
1. 1.0

2. 2.0

3. 3.0

4. 4.0

5. 5.0



すべての抵抗値が等しいのでブリッジ回路である。
つまり電流 I_2 は0である。

回路の合成抵抗は、

$$\frac{1}{4} + \frac{1}{2} = \frac{3}{4}$$

より $4/3\Omega$ である。よって回路を流れる電流は
 $4.0 \div \left(\frac{4}{3}\right) = 3.0A$ である。

ブリッヂ回路なので R_2 を無視できるため、並列回路とみなすことができる。
電流 I と I_1 の比は抵抗値の比に等しいので

$$I : I_1 = 4 : 2$$

よって電流 I は

$$I = 3.0 \times \frac{4}{6} = 2.0A$$

である。

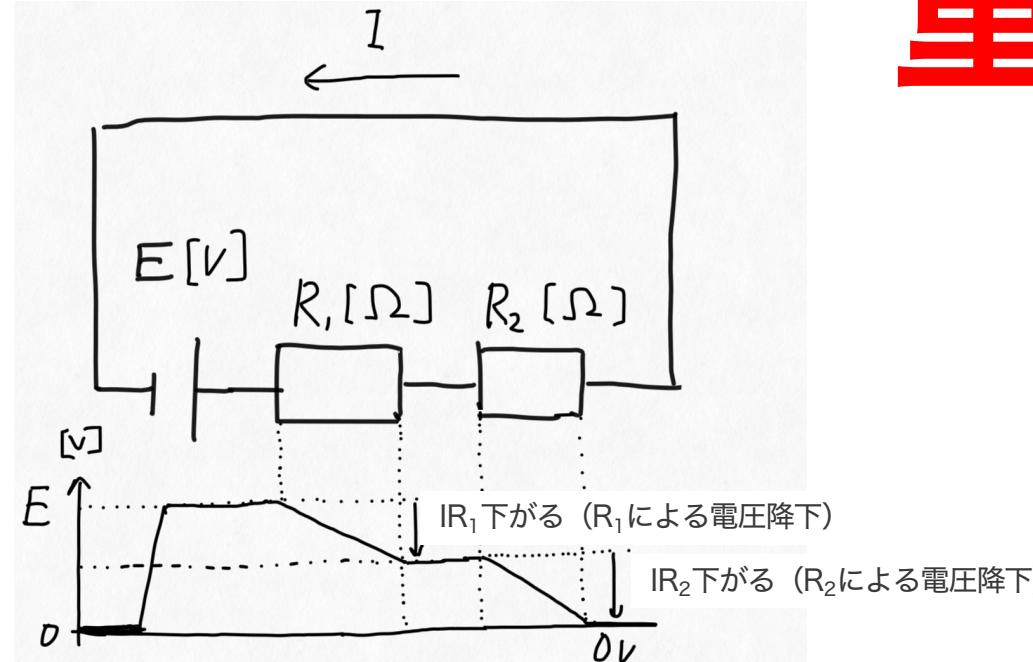
電圧降下

電気電子回路で最も重要!!

■ 電圧降下

- 回路を一周すると各抵抗の電圧降下により電圧は下がっていき、最終的に0となる。
- 各抵抗に電圧が分かれることを分圧という。

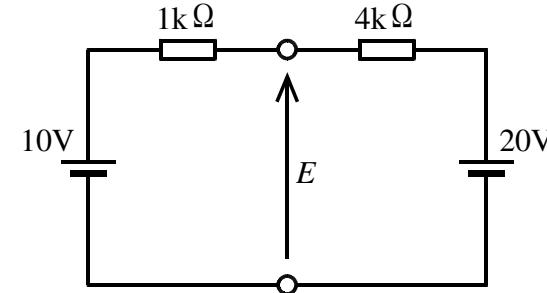
重要!!



問題解説

【AM30】図の回路の電圧 E は何 V か。

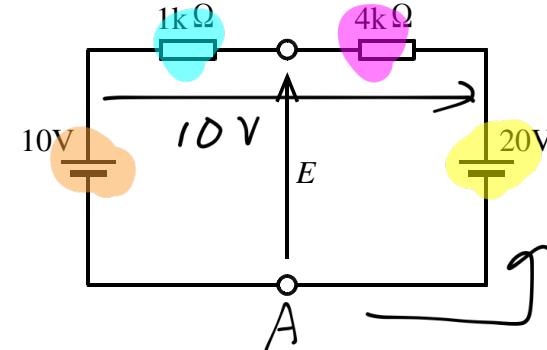
- (1) 10
- (2) 12
- (3) 14
- (4) 18
- (5) 20



問題解説

【AM30】図の回路の電圧 E は何 V か。

- (1) 10
- (2) 12
- (3) 14
- (4) 18
- (5) 20

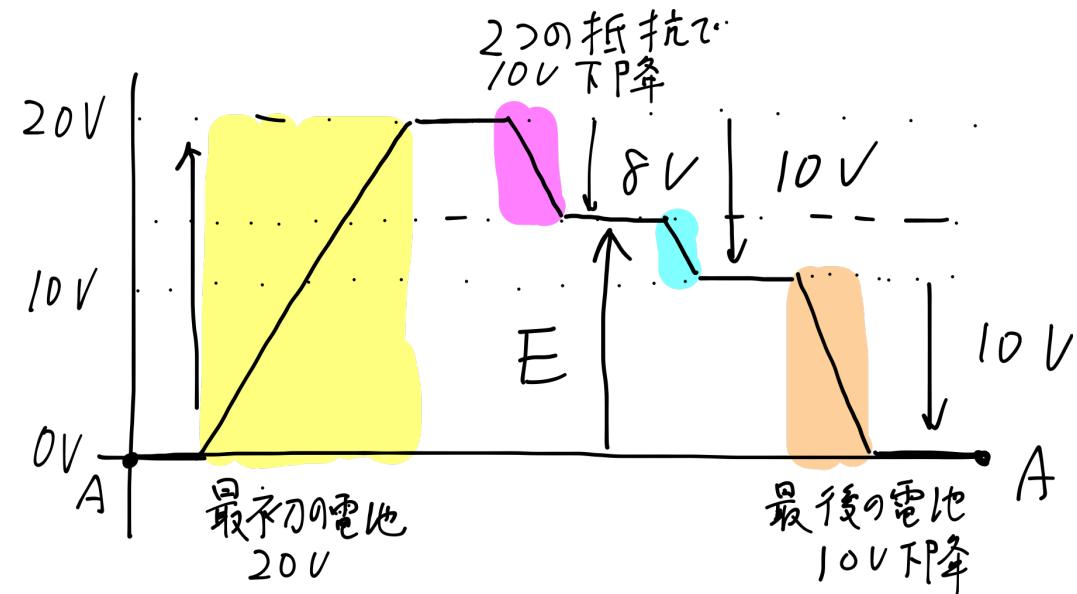


Aから時計と逆周りに電圧の変化を見てみると、そうすると、1つ目の電源で20V上昇し、2つ目の電源で10V下がっている。回路を一周しAに戻るとき電圧は0Vとならなければならぬので、2つの抵抗で10V電圧が下がる必要がある。

また、Eは1つ目の電源の電圧から4kΩの抵抗の電圧降下分を引いた値になる。4kΩの抵抗に加わる電圧は、

$$10 \times 4/5 = 8V$$

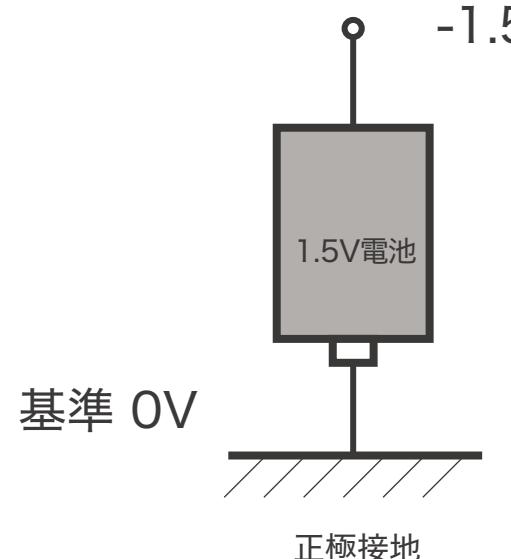
となるため、Eは12Vである。



グランド

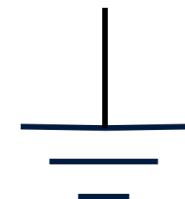
■ グランド (GND) , 接地 (アース)

- ・グランド：電位基準（0V）
- ・接地：地面に接続すること。地球は巨大な導体としてみなせるため、電荷与えても電位変化はないと考える。そのため、大地に接続した点を基準（0ボルト）とする。



GND

電位基準



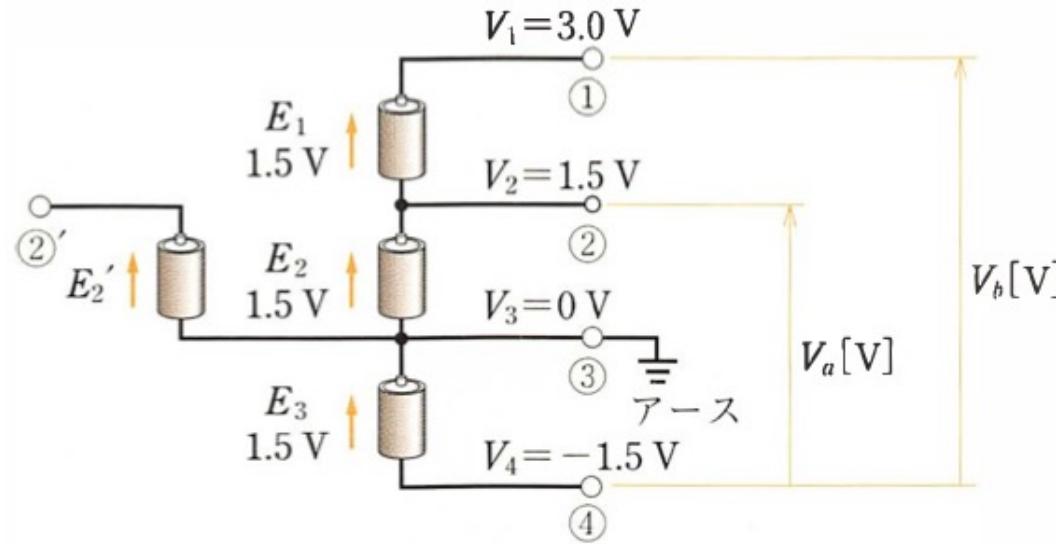
接地, アース

大地に接続
電位基準

これらの記号とつながっている場所は電圧0Vである。

問題

- 図において、電圧 V_a , V_b を求めよ。
- また、点①と点②'が等電位であるとすれば、起電力 $E_{2'}$ はいくらか。

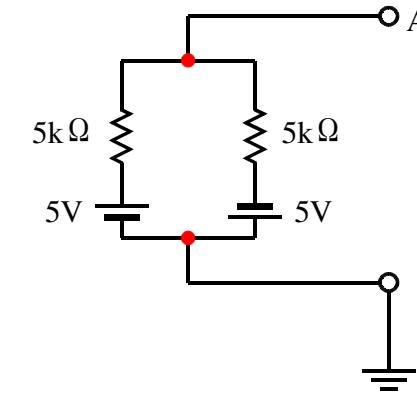


■ 問題解説

第27回(2005)

【AM21】図の直流回路で、A点の電位は何Vか。

- (1) -5
- (2) -2.5
- (3) 0
- (4) 2.5
- (5) 5



問題解説

第27回(2005)

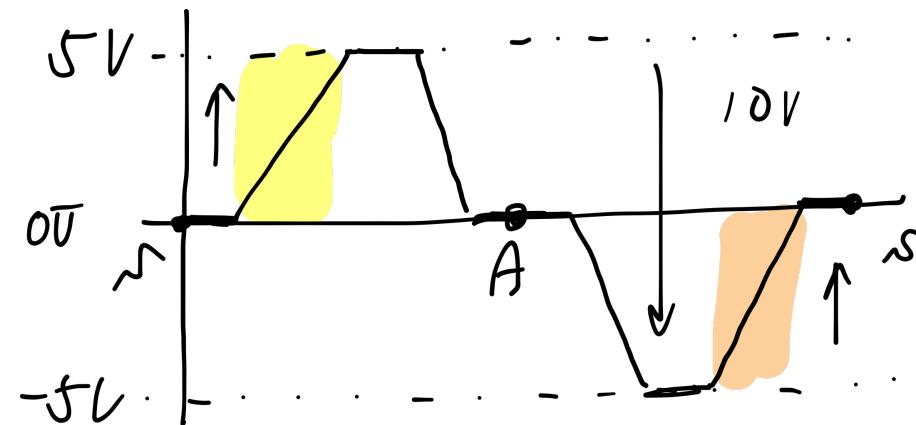
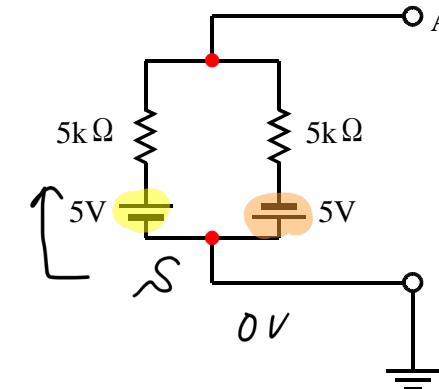
【AM21】図の直流回路で、A点の電位は何Vか。

- (1) -5
- (2) -2.5
- (3) 0
- (4) 2.5
- (5) 5

まず点Sの電圧は接地されているので0Vとする。

点Sから時計回りに電圧の変化を見てみる。そうすると、1つ目の電源で5Vと上がり更に、2つ目の電源で5Vと上がる事が見て取れる。そのため、2つの抵抗で10Vの電圧降下が起こらなければ点Sの電圧が0に戻らない。2つの抵抗の抵抗値は等しいため、それぞれの抵抗で同じ電圧降下が起こる。つまり、一つの抵抗で5Vの電圧降下が起こる。

よって、最初の電圧で5Vの電圧が上昇し、最初の抵抗で5V電圧が下がるので、点Aの電圧は0Vである。



内部抵抗

■ 電源の内部抵抗

- 理想的な電源の抵抗値は0である。
- 実際の電源の抵抗値は0ではない（内部抵抗）。
 - 実際は内部抵抗があり電源内部で電圧降下が起こる。
- 計算するときは、電源を、右図のように理想的な電源と内部抵抗の2つに分け、それらを直列につないだものとして考える。



理想的な電源



実際の電源

■ 問題

- 図1の回路における端子電圧Vと電流Iの関係を図2に示す。この電池の両端子を短絡したとき(負荷抵抗=0)、電流I[A]はどれか。ただし、図1の点線内は電池の等価回路である。(臨床工学技士国家試験29回)

1. 0
2. 1.5
3. 2.0
4. 3.0
5. 6.0

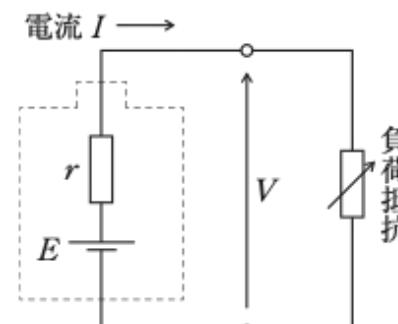


図1

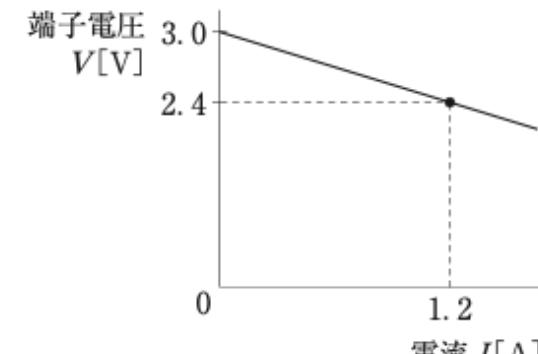
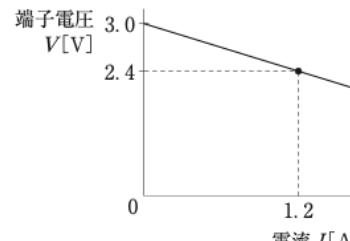
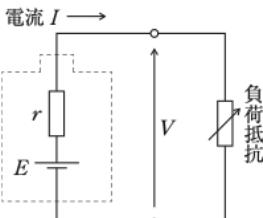


図2

問題

- 図1の回路における端子電圧Vと電流Iの関係を図2に示す。この電池の両端子を短絡したとき(負荷抵抗=0)、電流I[A]はどれか。ただし、図1の点線内は電池の等価回路である。(臨床工学技士国家試験29回)

- 0
- 1.5
- 2.0
- 3.0
- 6.0



負荷抵抗を R とする。電源電圧と各抵抗にかかる電圧は等しいので

$$E = Ir + IR$$

端子電圧 V は負荷抵抗にかかる電圧と同じなので

$$V = IR$$

である。よって V と I の関係は

$$E = Ir + V$$

となる。 $I = 0$ のとき $V = 3$ なので

$$E = 3$$

$I = 1.2$ のとき $V = 2.4$ なので

$$3 = 1.2r + 2.4$$

$$1.2r = 0.6$$

$$r = 0.5$$

よって、最初の式は

$$0.5I + IR = 3$$

端子を短絡した場合 $R = 0$ なので

$$0.5I = 3$$

$$I = 6$$

問題

- 図1の回路における端子電圧Vと電流Iの関係を図2に示す。この電池の両端子を短絡したとき(負荷抵抗=0)、電流I[A]はどれか。ただし、図1の点線内は電池の等価回路である。(臨床工学技士国家試験29回)

- 0
- 1.5
- 2.0
- 3.0
- 6.0

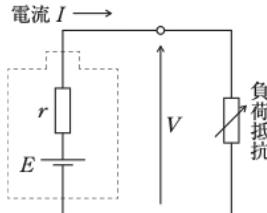


図1

別解

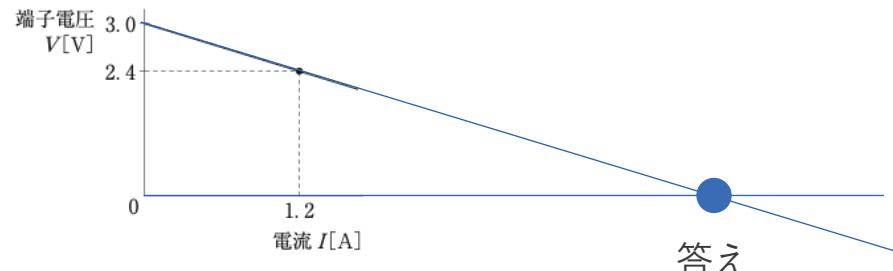
負荷抵抗が0のとき、内部抵抗に電圧 E がかかる。そのため、両端電圧 V は0となる。

$V = 0$ 、すなわち直線と I 軸が交わるときの I が答えとなる。直線の式は $V = aI + b$ なのでグラフ上の点を代入すると

$$a = -0.5 \quad b = 3$$

となる。よって $V = 0$ のときの I は

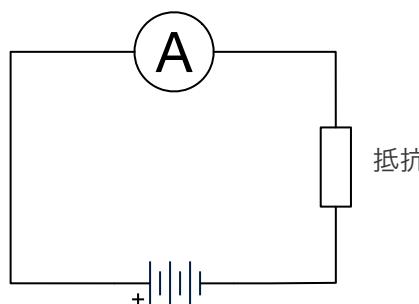
$$0.5I = 3 \\ I = 6$$



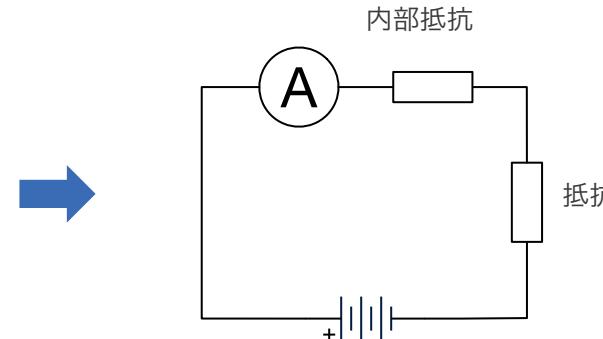
答え

■ 電流計の内部抵抗

- 理想的な電流計の抵抗値は0.
- 実際の電流計の抵抗値は0ではない（内部抵抗）.
 - 左図のような接続をした場合、電流計で電圧降下が起こる。
- 計算するときは、電流計を、右図のように理想的な電流計と内部抵抗の2つに分け、それらを直列につないだものとして考える。



電流計でわずかに電圧が下がる。

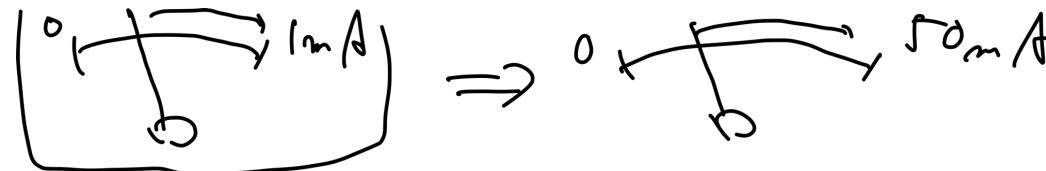


電流計内部に抵抗があるため電圧が下がると考える。

■ 問題解説（分流器）

- フルスケール1mA、内部抵抗 4.9Ω の電流計を使って50mAまでの電流を測定したい。正しいのはどれか。

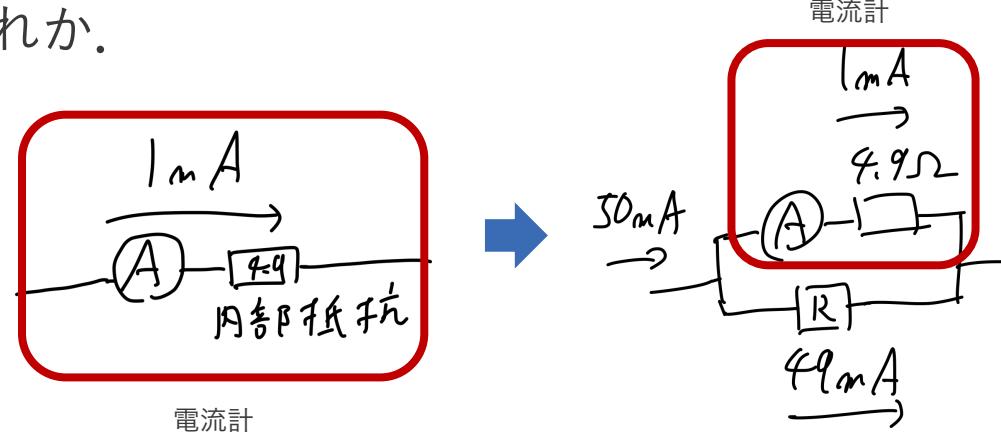
- 1.00Ωの抵抗を電流計に直列に接続する。
- 0.49Ωの抵抗を電流計に並列に接続する。
- 0.10Ωの抵抗を電流計に直列に接続する。
- 1.00Ωの抵抗を電流計に並列に接続する。
- 0.10Ωの抵抗を電流計に並列に接続する。



■ 問題解説（分流器）

- フルスケール1mA、内部抵抗4.9Ωの電流計を使って50mAまでの電流を測定したい。正しいのはどれか。

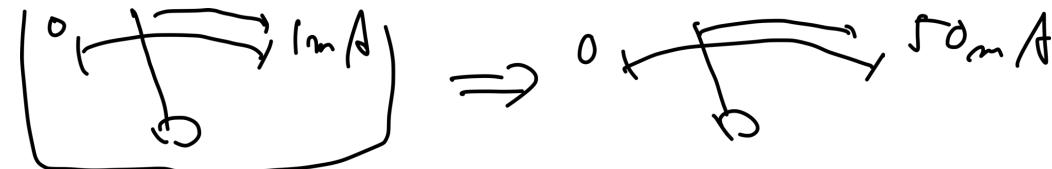
- 1.00Ωの抵抗を電流計に直列に接続する。
- 0.49Ωの抵抗を電流計に並列に接続する。
- 0.10Ωの抵抗を電流計に直列に接続する。
- 1.00Ωの抵抗を電流計に並列に接続する。
- 0.10Ωの抵抗を電流計に並列に接続する。



この問題の電流計だけでは1mAまでしか流せない。50mAの電流を計測したければ、電流計に抵抗を並列に抵抗Rを加え、電流計に1mA、抵抗Rに残りの49mA流せばよい。並列回路なので、電流計と抵抗Rには等しい電圧が加わる。つまり、次の式が成り立つ。

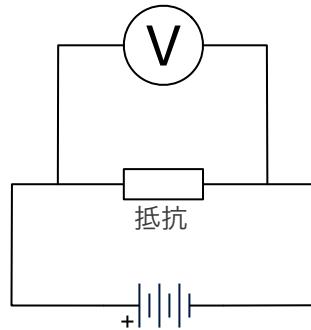
$$1\text{mA} \times 4.9\Omega = 49\text{mA} \times R$$

よって、 $R=0.1\Omega$ である。

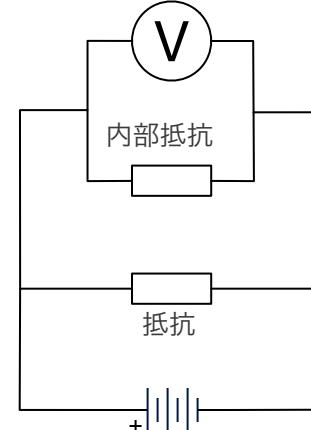


電圧計の内部抵抗

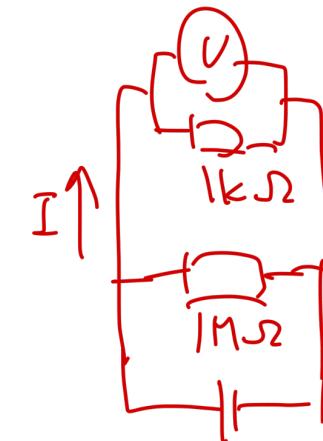
- 理想的な電圧計の抵抗値は無限大.
 - 実際の電圧計の抵抗値は無限大ではない（内部抵抗）.
 - 左図のような接続をした場合，電圧計にも電流が流れる.
 - 計算するときは，電圧計を，右図のように理想的な電圧計と内部抵抗の2つに分け，それらを並列につないだものとして考える.



電圧計にわずかに電流が流れる



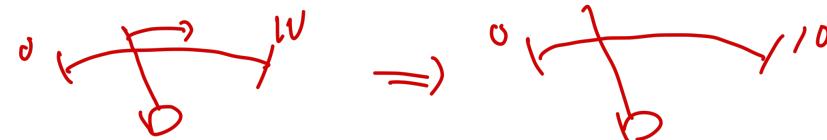
電圧計内部に抵抗があるため、電圧計に電流が流れると考える。



もし、計測対象の抵抗が大きかった場合、電流の多くが内部抵抗に流れるかもしれない。

■ 問題解説（倍率器）

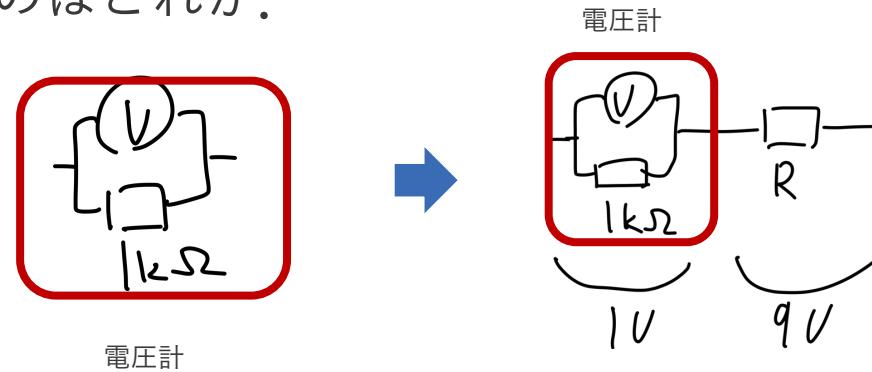
- フルスケール1V、内部抵抗 $1\text{k}\Omega$ の電圧計を使ってフルスケール10Vの電圧計としたい。正しいのはどれか。（第41回ME2種）
- 9 $\text{k}\Omega$ の抵抗を電圧計に並列に接続する。
 - 9 $\text{k}\Omega$ の抵抗を電圧計に直列に接続する。
 - 10 $\text{k}\Omega$ の抵抗を電圧計に並列に接続する。
 - 11 $\text{k}\Omega$ の抵抗を電圧計に直列に接続する。
 - 11 $\text{k}\Omega$ の抵抗を電圧計に並列に接続する。



■ 問題解説（倍率器）

- フルスケール1V、内部抵抗 $1\text{k}\Omega$ の直列電圧計を使ってフルスケール10Vの電圧計としたい。正しいのはどれか。

- 9 $\text{k}\Omega$ の抵抗を電圧計に並列に接続する。
- ②** 9 $\text{k}\Omega$ の抵抗を電圧計に直列に接続する。
- 10 $\text{k}\Omega$ の抵抗を電圧計に並列に接続する。
- 11 $\text{k}\Omega$ の抵抗を電圧計に直列に接続する。
- 11 $\text{k}\Omega$ の抵抗を電圧計に並列に接続する。



この問題の電圧計には1Vまでしか加えることができない。10Vの電圧を計測したければ、直列に抵抗Rを加え、10Vを電圧計で1V、抵抗で9Vに分圧すれば良い。電圧計と抵抗Rには等しい電流が流れるので、次の式が成り立つ。

$$1\text{V}/1\text{k}\Omega = 9\text{V}/R$$

よって、 $R=9\text{k}\Omega$ となる。

