令和 6 年上期　第 3 種電気主任技術者試験
を茂木嘉之が解くとこうなる

よしゆき　/ Yoshiyuki Mogi

2024 年 9 月 2 日

第 1 章

理論

1.1　本資料の意味

■意味はない

茂木嘉之がどれくらい実力があるか確認のために書いた。
私は、人間だから、当然間違いもある。
ただ、私はほとんど正しいことを言っているつもりである。
なぜなら、間違いが見つかった瞬間に、訂正し、相手がいたらお詫びをする。
そう軽いのだ。

■電験 1 種合格

をしてからもう 30 年以上も経ってしまった。
自分の実力なんて大したものは持っていないが、30 年以上学びつづけられたのは、電気は、実に楽しいからだ。
本資料は、茂木嘉之の頭の中を整理するために書き出している。ここに書けないものは、私にとっては理解できないことであるし電験の試験を満点を試験で取るのが目的ではなく、自分がわかっているか自分の目でみたことか、自分で考えたことか、なぜその推論になったのか簡単に説明できるのか。他の事象に比較して検討しても理論的なのか。だけだ。

■試験の問題も様変わり

ぜひ、研鑽の諸君のためになれば嬉しいし、この資料に間違いがあれば、大いに、メールを欲しい。
残念ながら、30 年後に頭に残っていたのは、こんなものである。
私の連絡先:ja1nku.m o g i @ gmail.com
試験問題は下記のリンクから入手して欲しい。
著作権の問題もあるだろうから引用はしない。
全て、私なりに作図をして解説をしている。
一般財団法人　電気技術者試験センター

1.2　問 1

■どんな問題

平行平板電極のコンデンサ内部が二つの複合誘電体で構成されている。
このコンデンサの電極間の誘電体別の電位を考える。

■考えかた

図の書いてある問題は、図からの情報をいかに読み取れるかがカギになる。と
電験 3 種は、以前も言ったように時間内に自信をもって解答するには、参考書のような模範解答どおりに解いていたのでは、時間がたりない。

■手順と問題からのヒント

図 1.2 は、図 1.1 の上部を表した等電位面である。電極や誘電体接合部で端効果がないとのことから、電極近傍での等電位面の変化はないと考える。
以上より
(2),(4) は不適
(1) は均一なため、誘電率の違いが等電位面の密度に関係がないのなら解だが、下記の解説のとおり影響があるから不適

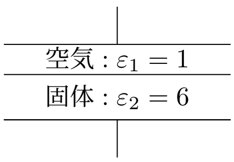

図 1.1　複合誘電体平行平板電極の断面図

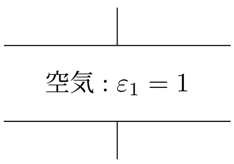

図 1.2　ε_1 平行平板電極の断面図

■電束密度とは

1.1 式は、電束密度の式
電極の電源側にプラス電荷 +q [C] があるとすると、誘電体側にそれと同数の-q [C] の電荷が発生する。
絶縁体中にあたかもチェーンのように、絶縁体の分子の電気的ダイポールとして縦長につながりかつ、電極一面に存在する。

電束密度は、電極面積が同じで電極電圧が一箇所であれば、どの絶縁体でも同じだ。
つまり、何か手がかりが見つからなければ、電束密度に着目してみよう。
磁気の問題だったら、磁束密度だ。

$$\text{電束密度}\, D = \varepsilon E\,[\mathrm{C/m^2}] \tag{1.1}$$

$$\text{電界の強さ}\, E = \frac{D}{\varepsilon}\,[\mathrm{V/m}] \tag{1.2}$$

■答え

1.2 式は、1.1 式を変形しただけだ。
固体は 1.2 式の分母が空気の 6 倍なので、空気の 1/6 の電界の強さとなるから、等電位面は荒くなる。
よって、(5) となる。

■導体と絶縁体と家族と子供

電気的特性には導体と絶縁体があるが、絶縁体と導体の違いは何なのか。
原子の話を家族に例えてみよう。中心には、お父さんとお母さんがいて子供が数人いる。
お父さんは、子供の数たけプラスの電荷を持っている。
お母さんは、いつも中性
子供は、電子と同じでマイナスの電荷を持っている。
子供がたくさんいるが、長男次男は、親の言うことをよく聞くので意外と、親の近くにいることが多い。ただ、末っ子やその上の子は、たまにどっか行ってしまう。ひどい時は、隣の家で、夕飯食べていたりして困ってしまう。
いつも親の見張っている範囲にしか、子供が移動できない。あるいは、移動しない。
これを、拘束というが、一定のエリア以外に飛びださない子供 (電子) の状態
これが、絶縁体である。
でもよく考えて欲しい。この拘束されている子供達も親と少し離れた場所に一箇所に集まってたらどうだろう。
そう、親はプラス　子はマイナスだからとけた水飴の上がプラス　下が　マイナスのように電荷が偏る。これが、絶縁体の特徴
仮に、電荷が　P-N のように偏っていたなら、その隣の家族も
P-N P-N P-N ..... P-N
となるであろう。
物質には全て電子があるからこの理論は成りたつ
導体は、子供数人が、親の目の届かないところにいつてしまう。または、きてしまう。自由電子だ。ただ、注意してほしい。電気の初学者がおもいうかべる電気のイメージではあたかも、銅線の中の自由電子が銅線の端から入って光の速さで、銅線の反対側に出て来るんじゃないかと思っていないだろうか。
全く、このイメージを持ちやすい。昔から電気の流れを水の流れに例える人達がいる。ホースを抵抗だよなんて図を見ているもんだから勘違いするのである。

とにかく、物質の中は、たくさんの原子という家族が「ぎゅうぎゅう」に集まっているのだからいくら身軽な子供でも、100m を 1 秒で移動できるはずがない。身動きも大変なんだ。尺取虫くらいの遅さと言われている。驚いたかな？
でも、電子は、素粒子だからね、その大きさからしてそのわずかな移動でもかなりのエネルギーが伝送できるんだろうね。
簡単に言えば、自分のテリトリーがあって、そこに、同極性が近づくと少し場所をずらしたりして、バランスをとっているはずだ。
満員電車のすし詰め状態だからね。とにかく一人の子供が導体と言う名の満員電車に入った瞬間に車両の端から一人押し出されちやうというイメージなんだ。
電荷の極性が変わると絶縁体では、
[N] p-n p-n p-n ....p-n [P]
[P] n-p n-p n-p ....n-p [N]
これを繰り返すと絶縁体の左から入った電子が反対側に移動したようになる。
わかるかな
絶縁体は電気を通すのだ。
交番周波数の電圧が絶縁体の端部に発生していたら反対側に電流を流すのだ。
導体ではどうだろうここでは、陽子を +2 とし電子の拘束電子 -n と　自由電子　 n とを考えてみた。
[N] 2p-n n 2p-n n ..... n 2p-n n 2p-n n[P]
[P] n n-2P n n-2P ..... n n-2p n n-2p [N]
こんなイメージだろうか。導体端部に電荷が来ると反対極性の電荷が偏る
今度は、導体内に電荷を入れてみると
最初の状態　—— 2p-n n 2p-n n .... 2P-n n ——
外部からの N
——N 2p-n n 2p-n n .... 2P-n —— n: 外に飛び出された n
——P n n-2p n n-2P ....n n-2P ——p 電荷が現れる (n が一つ分足りないから)
押し出されるのは同極の電荷となる。押し出されるの電子だけでありマイナス電荷ではプラス電荷とは、それは、電子の存在が不足した状態。
親は、必死に子供を探している状態。
では、絶縁体がその内部から電子が出てきたらどうなる・強靭な親子関係が崩れそして崩壊するのだ。これを絶縁破壊という。
絶縁状態なら、まだ外部要因で反応もできるが絶縁破壊状態では、一方向に電子が流れ出すから二度と元の絶縁状態には戻れない。
人間も絶縁状態でも、相手は意思疎通できる導体状態と思っているかもしれないから、コミュニケーションをとってみるのも大切かもしれないね、
怨憎会苦なんてことを言わないでどんな人にもいいところがあるってことかな。
最後に質問
原子核と電子は、男か女か
答えは、両方女性です。だって名前が、ようこさんとでんこさんでしょ
えっ
陽子(ようし)と電子(でんし)だろ (笑)

1.3　問 2

■どんな問題

導体球に帯電できる最大電荷の量を考える。

■手順と問題からのヒント

図がないので、図を書いてみよう。
作図をしながら、球の中心から半径 a の球の表面積を考えてみよう。
先ほどの問 ***1*** で出てきた、電束密度の定義をもう一度使ってみよう。
解答選択肢の違いは何かな*?*

■電束密度とは 2

1.3 式は、電束密度の式再び
球の中心にプラス電荷 +q [C] があるとすると、その中心から放射状に[*1]電極に中心から放たれた電荷の束は、その導体裏面に到達するとその裏面に接する金属部には、それと同数の-q [C] の電荷が発生[*2]する。
その電荷が最大となる条件は、電束密度で決定される。
式 1.3 の Q は、電荷であり単位は [C]
S は、導体球の表面積で、$4\pi r^2$ [m^2]

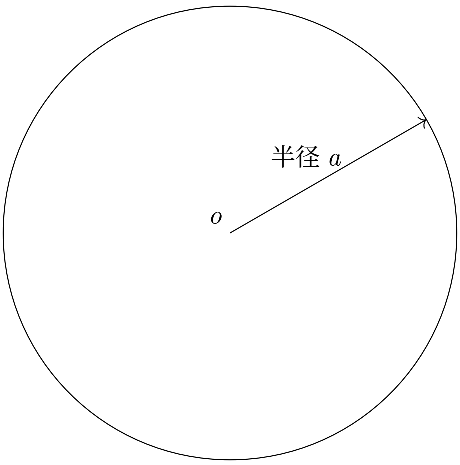

図 1.3　半径 a の導体球

$$\text{電束密度}\ D = \varepsilon E = \frac{Q}{S}\ [\mathrm{C/m^2}] \tag{1.3}$$

[*1] 全球の表面積に一様にあたかも、太陽から放射されるの光のように
[*2] 金属板の中の自由電子と拘束電子が裏面側に集中すると、表面は電子が欠乏となり導体球表面は +q [C] の電荷が形成される

$$電荷\,Q = \varepsilon SE = 4\pi\varepsilon a^2 E\,[\mathrm{V/m}] \tag{1.4}$$

■答え

1.4 式より、誘電率 ε_0 になり
よって、(4) となる。

1.4　問 3

■どんな問題

磁気に関する単位の問題

■手順とヒントや手がかり

磁気はなんの作用で発生するのか
その単位は
選択肢で仲間はずれがいないかな

■答え

電圧 V の単位を使っているから (2)

■磁気の大切な関係式

後で
解説

1.5　問 4

■どんな問題

直線導体からの磁界の強さを考える。
2 本の導体の片側の点 P で合成された磁界が 0 となった時の
2 本の導体の離隔距離を計算する。

■手順とヒントや手がかり

1 本づつ考える。
計算しやすくするために、1 本づつ作図をする。
電流の向きが逆だからどちらかの方を、プラスと仮定して式を立てる。
今回は、導体 A での電流方向をプラスと考える。

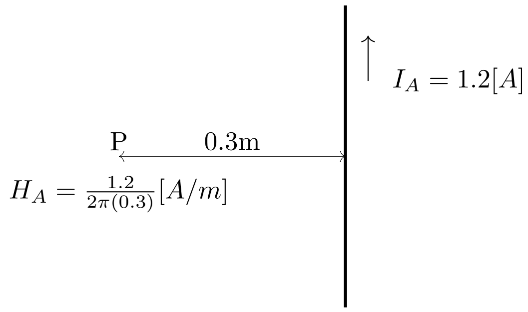

図 1.4　導体 A による磁界の強さ

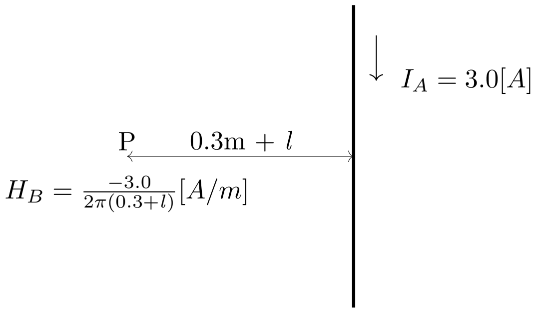

図 1.5　導体 B による磁界の強さ

$$\text{導体 } A \text{ の磁界の強さ} \quad H_A = \frac{1.2}{2\pi(0.3)}\,[\mathrm{A/m}] \tag{1.5}$$

$$\text{導体 } B \text{ の磁界の強さ} \quad H_A = \frac{-3.0}{2\pi(0.3+l)}\,[\mathrm{A/m}] \tag{1.6}$$

$$|H_A| = |H_B| = \frac{1.2}{2\pi(0.3)} = \frac{3.0}{2\pi(0.3+l)}\,[\mathrm{A/m}] \tag{1.7}$$

$$1.2 \times (0.3 + l) = \mathit{0.93}\,[\mathrm{A/m}] \tag{1.8}$$

■答え

$H_A + H_B = 0$ より　$|H_A| = |H_B|$ として、l を解けば良い。
1.8 式を変形し解を求めると、離隔距離 l は、*0.45* [m] となる。
答え　*(2)*

1.6　問 5

■どんな問題

直流電源二つと相似系の抵抗結線の中央に抵抗 R があり、その抵抗 R=10 [Ω] で消費される電力を求める問題

■手順とヒントや手がかり

抵抗 R を切り離して、鳳・テブナンの法則で解いてみよう。
まずは、電源を左の回路と右の回路で分けて考える。抵抗 R のリード線を伸ばして、その配線に開閉器 S をつけてしまおう。60 [V] 側を a, 80 [V] 側を b として、開閉器 S を開放してしまおう。
a の電圧と b の電圧を求めてみよう。
a-b 間の合成抵抗はどうなるかな。
最後に、電流 I を求めたら、抵抗 R の消費電力は、
$P = I^2R$ [W] で解がもとまる。

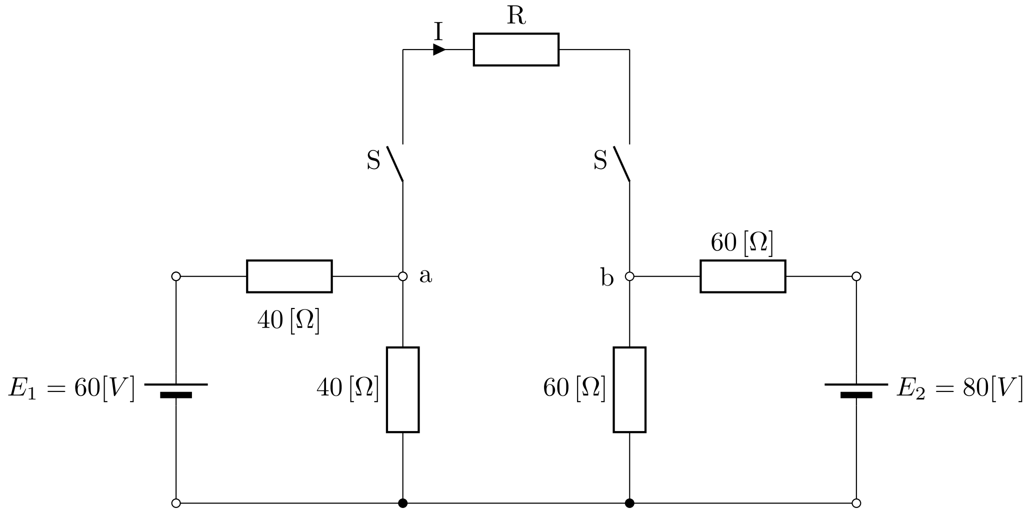

図 1.6　鳳・テブナンで解くために回路に S を挿入

■答え

図 1.6 から開閉器 S を開放し、それぞれの端子の電圧を求めるために
図 1.7 に、回路図に電流方向と電圧方向を記載した。計算してみめると、

$$I_a = \frac{60}{40+40} = \frac{3}{4}\,[\mathrm{A}] \tag{1.9}$$

$$E_a = I_a \times 40 = 30\,[\mathrm{V}] \tag{1.10}$$

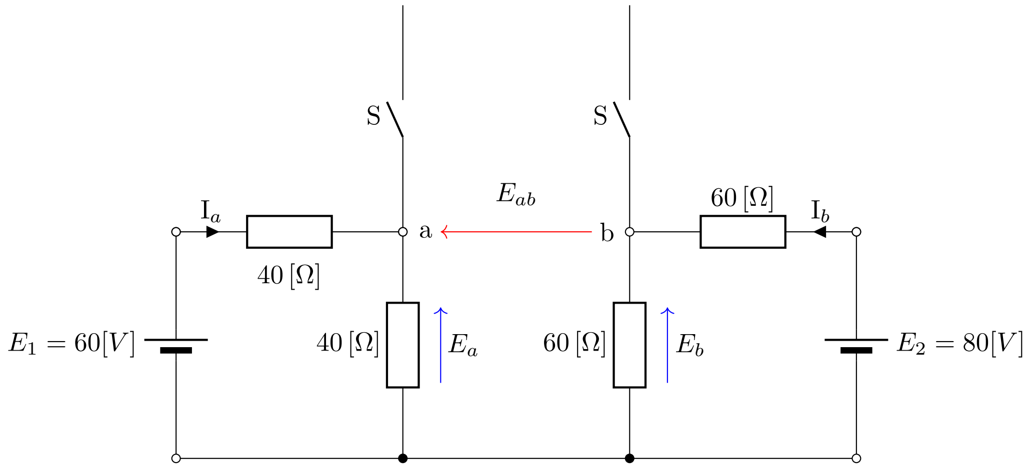

図 1.7　鳳・テブナンで解くために電圧を考える

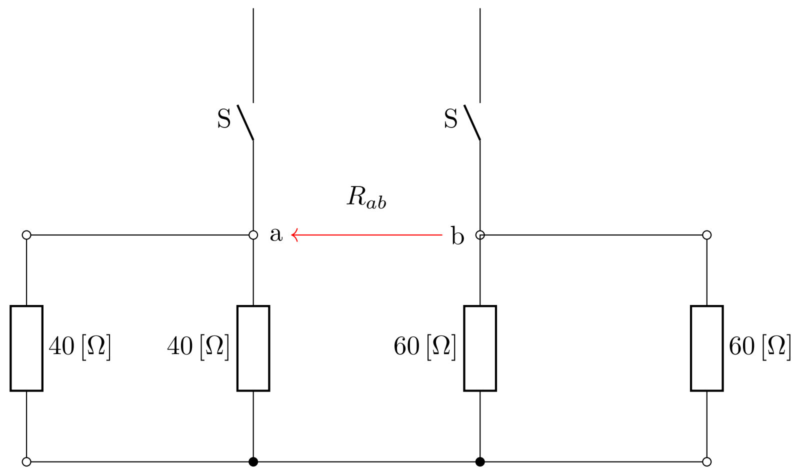

図 1.8　鳳・テブナンで解くために合成抵抗を考える

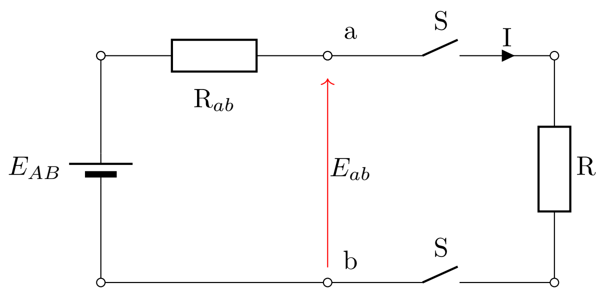

図 1.9　鳳・テブナンでシンプル回路に変形して解く

$$I_b = \frac{80}{60+60} = \frac{2}{3}\,[\mathrm{A}] \tag{1.11}$$

$$E_b = I_b \times 60 = 40\,[\mathrm{V}] \tag{1.12}$$

$$E_{ab} = E_a - E_b = -10\,[\mathrm{V}] \tag{1.13}$$

開閉器 S の内部合成抵抗 R_{ab} は、電源を各々 短絡して回路をつくると図 1.8 のようになる。40 [Ω]2 本の並列と 60 [Ω]2 本の並列の直列回路であるから合成抵抗は

$$R_{ab} = \frac{40 \times 40}{40+40} + \frac{60 \times 60}{60+60} = 50\,[\Omega] \tag{1.14}$$

図 1.9 に電圧と合成抵抗を書き込みましょう。電流の方向や電圧の極性がおかしいと思っても、修正してはいけませんよ。ここがいつも間違えてしまう要因なのです。仮定した電圧方向 E_{ab} は、端子 b から端子 a に向かって計った時の電圧と仮定しています。図 1.8 参照
だから、この図で良いのです。回路を書き換えてはいけません。仮定したまま計算して最終結果から、回路を書き換えましょう。ここでは、$E_{ab} = -10\,[\mathrm{V}]$ として計算します。

$$I = \frac{E_{ab}}{R_{ab}+R} = \frac{-10}{50+10} = \frac{-1}{6}\,[\mathrm{A}] \tag{1.15}$$

$$P = I^R = (\frac{-1}{6})^2 \times 10 = \frac{10}{36} = 0.278\,[\mathrm{W}] \tag{1.16}$$

■計算結果から電流の向きを考える

計算結果から、抵抗 R に流れる電流は、$\frac{-1}{6}$ であり、電流の流れ方向の仮定は、a から b であった。これを、出題された図に転記してみる。図 1.10 となる。ただ、電流の方向を逆転しただけだ。

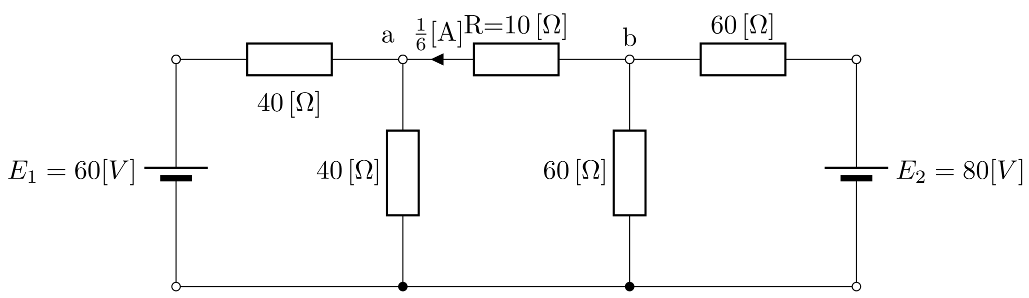

図 1.10　鳳・テブナンで計算後の電流の流れ

1.7　問 6

■どんな問題

複雑な回路で、流れている電流を手がかりに抵抗 R の大きさを求める。

■手順とヒントや手がかり

電流と抵抗から、電圧降下を考慮し、回路が並列となっている点を頂点とした
等価回路に書換して、その回路から式を導出して求めてみよう。
キルヒホッフの第 1 法則で節点を考えよう。
キルヒホッフの第 2 法則は使わないで、電圧降下ベクトル (青矢印) の向きを考えよう。

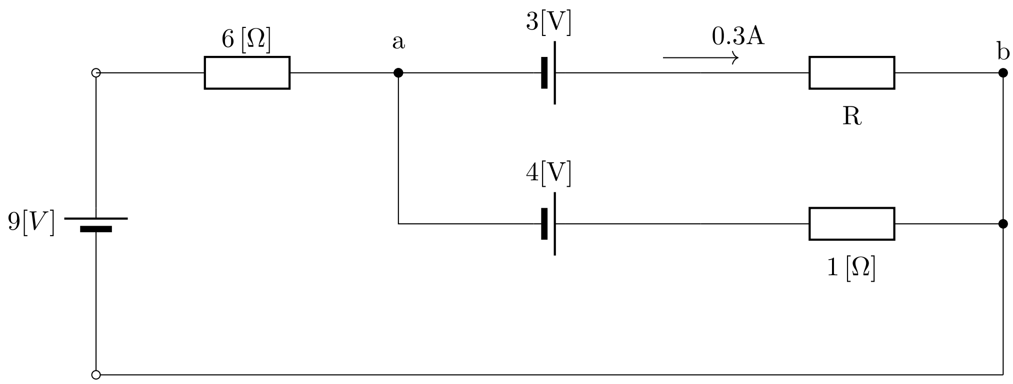

図 1.11　電圧降下の同じ点をさがせ

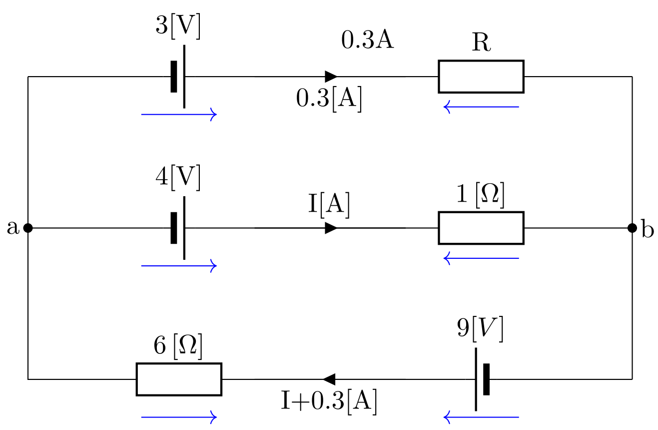

図 1.12　電圧降下の同じ点をさがせ 2

■キルヒホッフの第一法則

まず電流の流れる方向を決定する。ここでは、右から左に流れる電流が二回路あるからそれを正として

式を導出してみよう。
節点　a　に君が立ってみよう。
君の体から、4V 電源側へ　I [A] が流出する。
3 [V]　側は、君の体から題意のとおり 0.3 [A] 流れ出る。
9 [V] 側は、君の体へ
I + 0.3 [A] が　流れこむ。
もういちど、復習してみよう。左手で心臓が中心と仮定し、心臓から左手を 3 [V] 側へ　伸ばしてみよう。電流が流れる。0.3 [A] 右手で心臓から　4 [V] 側へ　I [A] が流れるから手を伸ばして、だめだよ、椅子に座ってちゃ。きちんと立ってね。君は今電線の交点 a にいるんだから。左手で 0.3 [A] 出ていく。　右手で　I [A] でていく。
そして、入ってくるのは？
そう、出ていった電流の合計と同じだね。　I + 0.3 [A] どーんと入ってくるんだ。このイメージがキルヒホッフ第一法則
節点に流れ込む電流と流れでる電流の和は等しい。
なんだ゛。

■電圧降下を考える

ポイントは、素子に電流が入ってきたら、その入ってきた方向に電圧ベクトル (青矢印の頭、矢の部分) が向くように各素子に電圧ベクトルを書いてみる。電流の方向は、先ほど決定したから、電流の流れ込んだ方向と逆に電圧降下が発生するね・

■等価回路から電圧降下式を導出する

図 1.12 から、a - b 間の電圧降下式を導出してみる。
3V と抵抗 R から

$$E = 3 - 0.3R\,[\mathrm{V}] \tag{1.17}$$

4V と抵抗 1 [Ω] から

$$E = 4 - I\,[\mathrm{V}] \tag{1.18}$$

9V と抵抗 6 [Ω] から

$$E = 6 \times (I + 0.3) - 9 = 6I - 7.2\,[\mathrm{V}] \tag{1.19}$$

以上より、式 1.18 と式 1.19 から　I を　消去して、E を求めてから式 1.17 に代入すれば、抵抗 R が求められるとわかる。

$$4 - I = 6I - 7.2 \rightarrow I = \frac{11.2}{7} = 1.6\,[\mathrm{A}] \tag{1.20}$$

$$E = 6 \times 1.6 - 7.2 = 2.4\,[\mathrm{V}] \tag{1.21}$$

$$2.4 = 3 - 0.3R \rightarrow R = 2.0\,[\Omega] \tag{1.22}$$

1.8　問 7

■どんな問題

R_2 を可変したとき、R_2 で発生するジュール熱を最大にする条件は、なにか

■手順とヒントや手がかり

最大の条件は、分母が最小となる場合か、分子が最大となることである。
まずは、等価回路を書いてみよう。なにか手がかりが見つかるかもしれない。
やさしい問題に見えるが実に手ごわい。
選択肢があるから、それから選べば答えられる問題として受験すべきだ。
まず、選択肢の (4),(5) は　、あまりお目にかからない式だ。　あやしいと思うべし
(1) は R_2=r,(2) は $R_2 = R_1$,(3)$R_2 = r$ と R_1 の並列合成抵抗で、これが正解。これから解く、鳳・テブナンでの内部抵抗と等しいからだ。
じゃあなぜそうなのかと、いうが、この問題、3 分で解けないから、捨ててください。前問も意外と手ごわい。ここのあたりのシンプル回路は、うかつにはまらないようきちんと
タイマーで計って、3 分考えて手がかりがつかめなければ
どれかなと、考えて次の問題をやるべし

$$E_{ab} = \frac{ER_1}{r + R_1}\,[\mathrm{V}] \tag{1.23}$$

$$R_{ab} = \frac{rR_1}{r + R_1}\,[\Omega] \tag{1.24}$$

$$i_2 = \frac{E_{ab}}{R_{ab} + R_2}\,[\Omega] \tag{1.25}$$

$$P = (i_2)^2 R_2 = (\frac{E_{ab}}{R_{ab} + R_2})^2 R_2\,[\mathrm{W}] \tag{1.26}$$

$$P = \frac{(E_{ab})^2}{(R_{ab})^2 + (R_2)^2 + 2R_{ab}R_2} R_2 = \frac{(E_{ab})^2}{(R_{ab})^2/R_2 + R_2 + 2R_{ab}}\,[\mathrm{W}] \tag{1.27}$$

$$y = \frac{(R_{ab})^2}{R_2} + R_2 + 2R_{ab} \tag{1.28}$$

$$\frac{dy}{dR_2} = \frac{-(R_{ab})^2}{(R_2)^2} + 1 = 0 \to R_2 = R_{ab} \tag{1.29}$$

■このまま P について式を展開して、分母を微分すればいいんだけど

こんなに手ごわくて、まだ解にいたらないのは、いやになるね。
まず、式 1.26 の R_2 に着目してみようか。整理して、分母に固めると式 1.27 となり分母を y とおき書き出すと
式 1.28 となる。この y を題意の可変する R_2 で微分してその結果を 0 とすれば
式 1.29 となり、R_2=R_{ab} となる。
これが最大か最小かは二階微分しなければならないが、電験 3 種としては、この解き方よりは、以下の方法を取得しておくべきだ。

■変数を含む 2 つの項の積が定数となる時、2 つの項が等しい時が最小となる。

式 1.28 で前項の $\frac{(R_{ab})^2}{R_2}$ と次項の R_2 の積は、$(R_{ab})^2$ となり定数となる。
この場合、
$\frac{(R_{ab})^2}{R_2}=R_2$
が最小となる。

■答え

以上より

$$R_2 = R_{ab} = \frac{rR_1}{r + R_1}$$

となり、(3) を選択する。
まず、この手の問題は、捨てるべきだ。電験 2 種の自主学習でやるのは大いに結構だが、電験 3 種でこの問題が解けても、逆に電験 2 種や 1 種へのアプローチとしては微積で回答できない限り、手を付けないのが無難だ。
なんでも学ぶという姿勢は、悪くはないが、理解できないものを理解しようとするのではなく、
できる問題を確実にできるように実力をつけるほうが、よっぽど現場の武器になる。
現場には、科目もなければ、合格にかかわらず故障事象や事故か、目の前に迫ってくるのであるから。

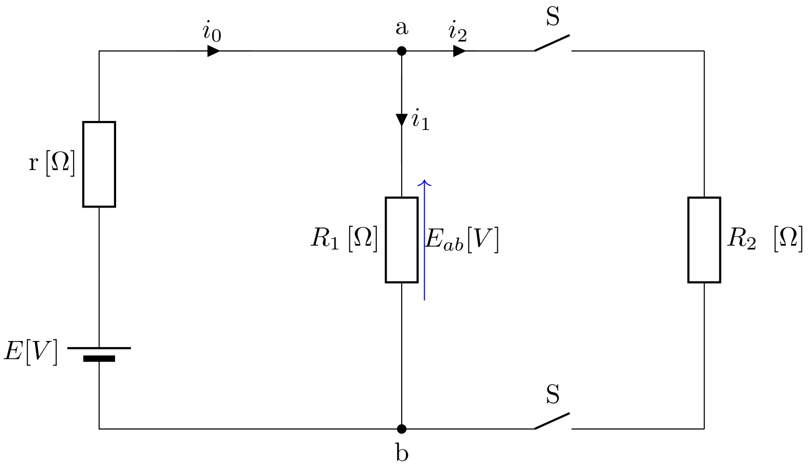

図 1.13　等価回路を描く

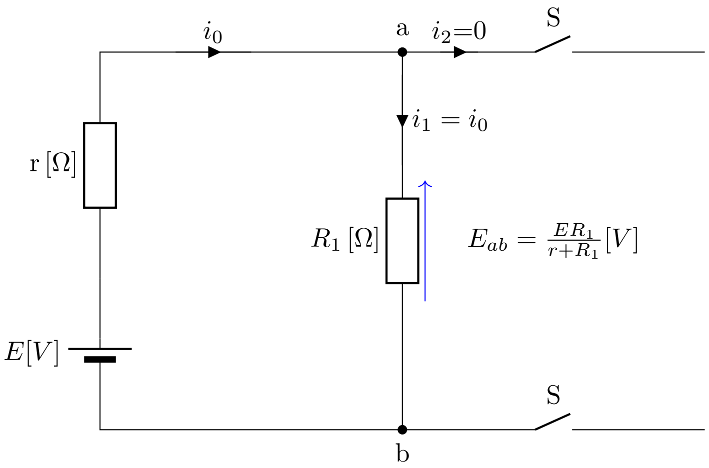

図 1.14　鳳・テブナン　電圧を計算

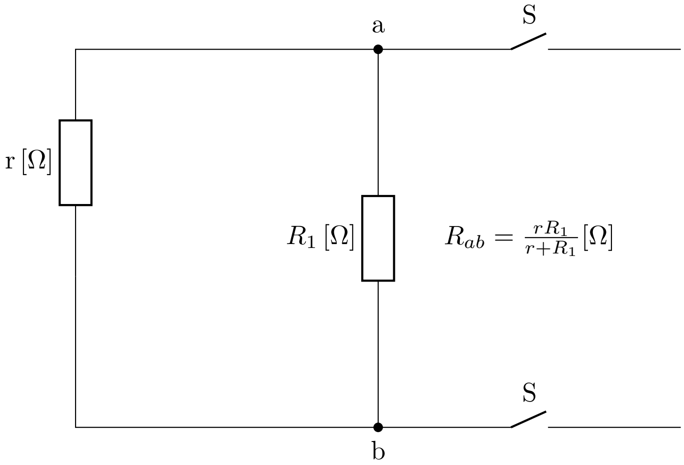

図 1.15　電源側の合成抵抗を求める

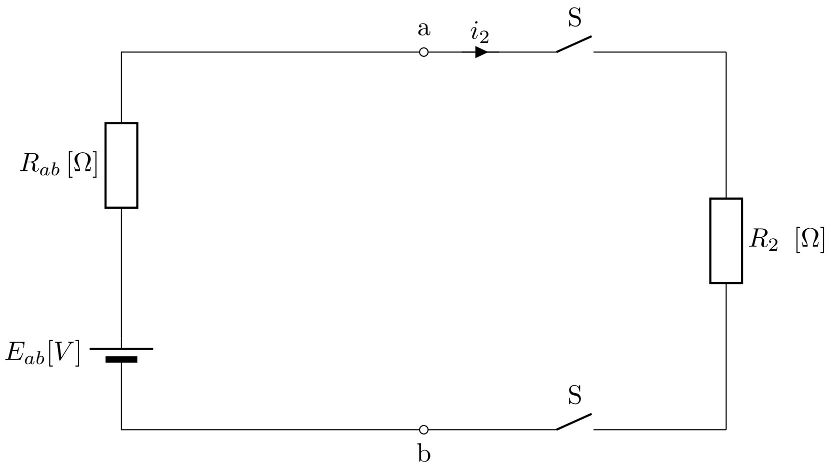

図 1.16　鳳・テブナンで解く