

令和 9 年度 豊橋技術科学大学第 3 年次入学者選抜学力検査問題解答例

専門科目（2：電気・電子情報工学）

[1] 解答例

(1)

ア. 導体球と導体球殻の間に半径 r の同心球を考え、この同心球に対してガウスの法則を適用すると $4\pi r^2 E = \frac{Q}{\epsilon_0}$ となる。これより、導体球と導体球殻との間 ($a < r < b$) では

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (a < r < b)$$

導体内の電界は0なので、導体球殻内 ($b < r < c$) では

$$E = 0 \quad (b < r < c)$$

導体球殻内 ($b < r < c$) に半径 r の同心球を考える。導体球殻内面 ($r = b$) に誘導される電荷を Q' としてガウスの定理を適用すると、 $4\pi r^2 \cdot 0 = \frac{Q + Q'}{\epsilon_0} = 0$ より

$Q' = -Q$ となるため、導体球殻外表面 ($r = c$) には Q の電荷が生じる。

導体球殻外部に半径 r の同心球を考え、この同心球に対してガウスの法則を適用すると $4\pi r^2 E = \frac{Q}{\epsilon_0}$ となる。これより導体球殻外 ($r > c$) では

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (r > c)$$

$$\text{イ. } V_c = -\int_x^c E(r) dr = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{r} \right]_x^c = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 c}$$

$$\text{ウ. } V_a = -\int_x^a E(r) dr = V_c - \int_c^a 0 dr - \int_b^a \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} dr = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 c} + \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{r} \right]_b^a = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} + \frac{1}{c} \right)$$

エ. 導体球殻を接地すると

$$V_c = 0, \quad V_a = -\int_x^a E(r) dr = -\int_b^a \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} dr = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{r} \right]_b^a = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)$$

(2)

ア. 無限長直線導線を中心とする半径 x の円を積分経路として、アンペールの周回積分の法則を適用すると $2\pi x H = I$ の関係が得られる。これより

$$H = \frac{I}{2\pi x}$$

イ. 無限長直線導線を通る電流 I によって発生する磁界は、導線からの距離 x の関数であることに加えて、ループ導線のループ面と直交することを考慮して

$$\Phi = b \int_d^{a+d} \mu_0 H dx = \frac{b\mu_0 I}{2\pi} \int_d^{a+d} \frac{dx}{x} = \frac{b\mu_0 I}{2\pi} \ln \left(\frac{a+d}{d} \right)$$

$$\text{ウ. } M = \frac{\Phi}{I} = \frac{b\mu_0}{2\pi} \ln \left(\frac{a+d}{d} \right)$$

[2] 解答例

- (1) 図2-1の回路について、 R_3 が2個並列の合成抵抗は、 $\frac{R_3}{2}$ となるため、図2-1Aの回路に置き換えられる。この回路に対して、設問の解答を行う。

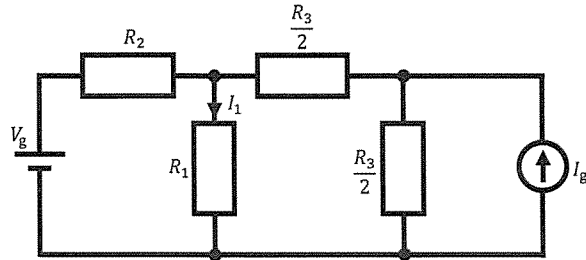


図 2-1A

ア．電圧源 V_g のみを作作用させたときの回路は、図2-1B (a)となる。節点Aから右側を見たときの合成抵抗は、

$$\frac{R_3}{2} + \frac{R_3}{2} = R_3$$

であるため、図2-1B (b)の回路に書き換えられる。節点Aの電位を V_A として、分圧則より V_A を求めると、次の通りである。

$$V_A = \frac{(R_1 || R_3)}{R_2 + (R_1 || R_3)} V_g$$

したがって、 I'_1 は次のように求められる。

$$I'_1 = \frac{V_A}{R_1} = \frac{1}{R_1} \frac{\frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}}{R_2 + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}} V_g = \frac{V_g R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} = \frac{12 \times 6}{2 \times 3 + 2 \times 6 + 3 \times 6} = 2 \text{ A}$$

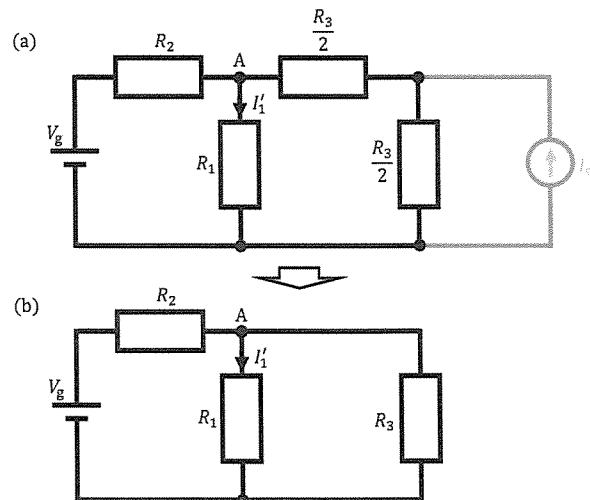


図 2-1B

イ．電流源 I_g のみを作用させたときの回路は，図 2-1C となる。節点 A，節点 B の電位をそれぞれ V_A ， V_B とおく。節点 A において流出する枝路電流に着目して，キルヒホッフの電流則を適用して方程式を立てると次の通りである。

$$\frac{V_A}{R_1} + \frac{V_A}{R_2} + \frac{V_A - V_B}{\frac{R_3}{2}} = 0 \quad \cdots (1)$$

同様に，節点 B において流出する枝路電流に着目して，キルヒホッフの電流則を適用して方程式を立てると次の通りである。

$$\frac{V_B - V_A}{\frac{R_3}{2}} + \frac{V_B}{\frac{R_3}{2}} - I_g = 0 \quad \cdots (2)$$

式 (1)，(2) より V_B を削除し， V_A を求めると次の通りである。

$$V_A = \frac{R_1 R_2 R_3}{2(R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3)} I_g$$

よって I_1'' は次のように求められる。

$$I_1'' = \frac{V_A}{R_1} = \frac{R_2 R_3}{2(R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3)} I_g = \frac{3 \times 6}{2(2 \times 3 + 2 \times 6 + 3 \times 6)} \times 8 = 2 \text{ A}$$

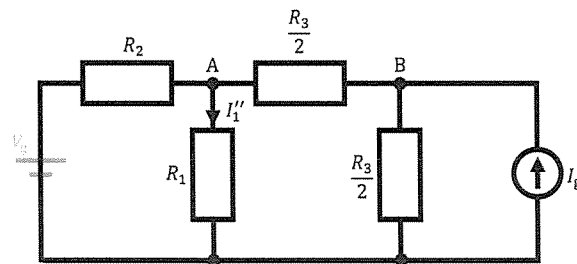


図 2-1C

ウ．重ね合わせの理より， I_1 は次の通りである。

$$I_1 = I_1' + I_1'' = 2 + 2 = 4 \text{ A}$$

(2)

ア．直流電圧源のみを作用させ，定常状態になったとき（インダクタは短絡相当）の直流回路は，図 2-2A となる。オームの法則から回路電流を求めれば次の通りである。

$$I' = \frac{V_g}{R} = \frac{100}{20} = 5 \text{ A}$$

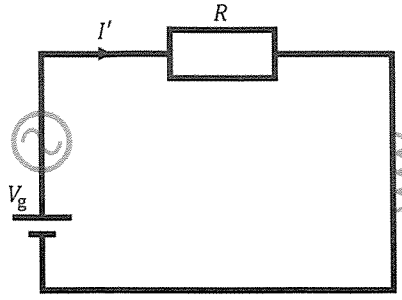


図 2-2A

イ．交流電圧源のみを作用させ，定常状態になったときの交流回路は，図 2-2B となる。複素数表示で $\dot{I}''$ を求めるために，回路全体の複素数インピーダンス $\dot{Z}$ を求める。

$$\dot{Z} = R + j2\pi fL = 20 + j\left(2\pi \times \frac{180}{\pi} \times \frac{1}{24}\right) = 20 + j15 \Omega$$

よって， $\dot{I}''$ は次の通り求められる。

$$\dot{I}'' = \frac{\dot{E}_g}{\dot{Z}} = \frac{|\dot{E}_g| \angle 0^\circ}{20 + j15} = \frac{300}{20 + j15} = \frac{60}{4 + j3} = \frac{60}{25}(4 - j3) = \frac{12}{5}(4 - j3) = 9.6 - j7.2 \text{ A}$$

またその大きさ $|\dot{I}''|$ は次の通り求められる。

$$|\dot{I}''| = \frac{12}{5} \sqrt{(4^2 + 3^2)} = 12 \text{ A}$$

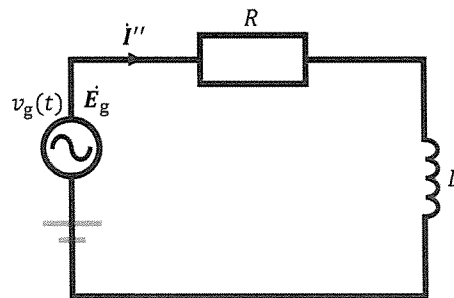


図 2-2B

ウ．直流電圧源および交流電圧源を作用させたときに回路に流れる電流 $i(t)$ は，イで求めた複素電流 $\dot{I}''$ の瞬時値を $i''(t)$ とすると，重ね合わせの理より $i(t) = I' + i''(t)$ から求められる。交流成分の平均値が 0 であり，交差項が 0 となるため，その実効値は，

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{(I')^2 + |\dot{I}''|^2} = \sqrt{5^2 + 12^2} = 13 \text{ A}$$

となる。

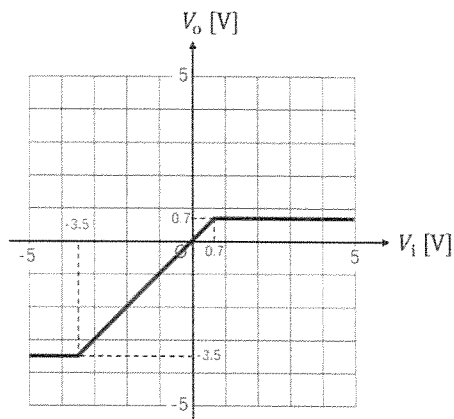
[3] 解答例

(1)

ア .

$$I = \frac{2.0 - 0.7}{100} = 0.013 \text{ A} = 13 \text{ mA}$$

イ .



(2)

ア .

$$v_A = \frac{2}{3} v_2$$

イ .

$$\frac{v_1 - v_B}{10 \times 10^3} = \frac{v_B - v_3}{20 \times 10^3}$$

$$\therefore v_B = \frac{2v_1 + v_3}{3}$$

ウ .

$$v_A = v_B \text{ より ,}$$

$$v_3 = 2(v_2 - v_1)$$

エ .

$$v_3 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_4$$

$$\therefore v_4 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_3$$

$$\therefore v_4 = 2 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) (v_2 - v_1)$$

題意より ,

$$v_4 = 200(v_2 - v_1)$$

$$\therefore \frac{R_2}{R_1} = 99$$

[4] 解答例

(1) 1回の送信が成功する確率は p であり、各回の送信結果は互いに独立である。

ア. 1回の送信が失敗する確率は、成功の余事象であるから $1-p$

イ. 2回の送信がともに失敗するとは、1回目も2回目も失敗する場合である。

各回は独立であるから、その確率は $(1-p)(1-p) = (1-p)^2$

ウ. 2回の送信のうち少なくとも1回成功する確率は、「2回とも失敗する」事象の余事象である。したがって、 $1 - (1-p)^2$

(2) 送信するデータは10ビットからなり、各ビットは独立に確率 q で誤る。

ア. 誤りがちょうど1ビット発生する確率を考える。10個のビットのうち、どの1個が誤るかの選び方は10通りある。また、そのとき、1ビットが誤り、残り9ビットが正しい確率は $q(1-q)^9$ である。よって求める確率は $10q(1-q)^9$

イ. 誤りがちょうど2ビット発生する確率を考える。10個のビットのうち、どの2個が誤るかの選び方は

$${}_{10}C_2 = 45$$

通りある。また、その2ビットが誤り、残り8ビットが正しい確率は $q^2(1-q)^8$ である。したがって、求める確率は

$${}_{10}C_2 q^2 (1-q)^8 = 45q^2 (1-q)^8$$

ウ. 各ビットが誤る確率は q であり、10ビットあるので、誤りビット数の期待値は $E[X] = 10q$

(3) 1回の送信が成功する確率は r であり、失敗する確率は $1-r$ である。また、各回の送信結果は互いに独立である。

ア. 2回目の送信で初めて成功するとは、1回目は失敗であり、2回目は成功であることを意味する。したがって、求める確率は $(1-r)r$

イ. 3回目までに送信が成功する事象は、「最初の3回がすべて失敗する」事象の余事象である。3回すべて失敗する確率は $(1-r)^3$ であるから、求める確率は $1 - (1-r)^3$

ウ. 成功するまでに必要な送信回数を Y とし、その期待値を $E(Y) = m$ とおく。まず1回目の送信を行う。1回目で成功する確率は r であり、このとき送信回数は1回である。一方、1回目で失敗する確率は $1-r$ であり、このとき、以降の送信回数の期待値は m のままである。したがって、 $m = r \cdot 1 + (1-r)(1+m)$ となる。これを整理すると、 $m = \frac{1}{r}$ 、よって $E(Y) = \frac{1}{r}$

[5] 解答例

(1)

ア.

立方格子の(1 1 1)面間隔に相当する。

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} = \frac{3}{a^2} \quad \text{したがって, } d = \frac{a}{\sqrt{3}} \approx 1.7 \text{ \AA}$$

イ.

頂点から体心位置までの距離に相当するため, L は立方体の対角線の $\frac{1}{2}$ となる。
つまり,

$$L = \frac{\sqrt{3}a}{2} \quad \text{したがって, } L = 1.5\sqrt{3} \approx 2.6 \text{ \AA}$$

(2)

まず, モル体積を, 密度と分子量から求める。

$$\bar{V} = \frac{18 \text{ g mol}^{-1}}{1.0 \text{ g mL}^{-1}} = 18 \text{ mL mol}^{-1} = 1.8 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1} \quad \text{よって,}$$

$$\ln a = (1.8 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}) \left[\frac{1}{(8.3 \text{ m}^3 \text{ Pa mol}^{-1} \text{ K}^{-1})(300 \text{ K})} \right] (1.0 \times 10^6 \text{ Pa} - 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}) \approx 0.0067$$

(3)

ア.

ボイルの法則より, 最終体積 V_1 は,

$$V_1 = \frac{P_i V_i}{P_1} = \frac{2.0 \times 10^5 \text{ Pa} \times 1.0 \text{ m}^3}{4.0 \times 10^5 \text{ Pa}} = 0.50 \text{ m}^3$$

仕事 w_1 は,

$$w_1 = -P \Delta V = -(4.0 \times 10^5 \text{ Pa})(-0.50 \text{ m}^3) = 2.0 \times 10^5 \text{ m}^3 \text{ Pa} = 2.0 \times 10^5 \text{ J}$$

イ.

$3.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ で等温圧縮した際の最終体積 V_f は,

$$V_f = \frac{P_i V_i}{P_f} = \frac{2.0 \times 10^5 \text{ Pa} \times 1.0 \text{ m}^3}{3.0 \times 10^5 \text{ Pa}} = 0.67 \text{ m}^3$$

したがって, その後さらに $4.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ で等温圧縮した際の仕事 w_2 は,

$$w_2 = -(3.0 \times 10^5 \text{ Pa})(-0.33 \text{ m}^3) + [-(4.0 \times 10^5 \text{ Pa})(-0.17 \text{ m}^3)] \approx 1.7 \times 10^5 \text{ m}^3 \text{ Pa} = 1.7 \times 10^5 \text{ J}$$

これらの結果から, 2段階過程の仕事 w_2 は, 1段階過程の仕事 w_1 よりも小さくなる
ことがわかる。これは, 1段階過程では圧縮初期において過剰な圧力がかか
っており, 無駄な仕事が発生していることを意味している。