「電気電子工学通論」第 **1** 章　問題解答

1−1　ドリル問題

問題 1

（1.1.1）式より，$B = \mu_0 H$　（$\mu = \mu_0$ とする）

また，単位長さあたりの巻数を N として（1.1.4）式より

$$B = \mu_0 NI$$

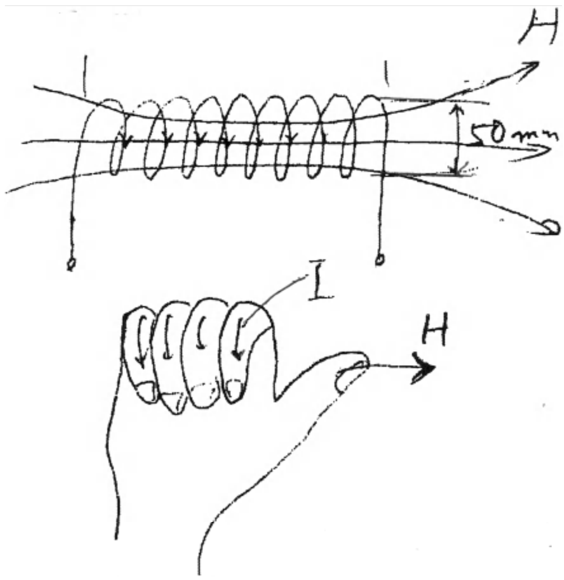
したがって

$$H = NI$$

長さ 50cm で 100 回巻きであるから，$N = \dfrac{100}{0.5}$ として

$$H = \frac{100}{0.5} \times 1 = 200\ \mathrm{A/m}$$

磁界の方向は, 右ねじの法則より, 右手を図のようにして, 親指の向く方向の $\boxed{\text{右方向}}$ へ向かう。



問題 2

円環の磁路の平均長さを l とすると，中心半径が r であるから

$$l = 2\pi r = 2\pi \times 50 \times 10^{-3} = 0.1\pi$$

電流 I を流したときの磁束密度を B とすると

$$B = \mu H = \mu \frac{NI}{l}$$　（N は総巻数）

よって

$$I = \frac{Bl}{\mu N}$$

ｉ）　中空円環の場合

$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$，$B = 0.1T$，$N = 100$，$l = 0.1\pi$　を代入して

$$I = \frac{0.1 \times 0.1\pi}{4\pi \times 10^{-7} \times 100} = 250\ \mathrm{A}$$

ⅱ）　鉄心 $\mu_s = 5000$　がある場合

$$\mu = \mu_0 \mu_s = 4\pi \times 10^{-7} \times 5000$$

として

$$I = \frac{0.1 \times 0.1\pi}{4\pi \times 10^{-7} \times 5000 \times 100} = 0.05\ \mathrm{A}$$

鉄心がある場合，電流が非常に小さくなることがわかる。

問題 3

平行 2 線間に流れる電流の間に働く力 F は，（1.1.9）式より

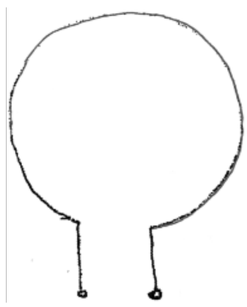
$$\begin{aligned} F &= \frac{\mu_0}{2\pi d} I_1 I_2 \quad (d = 0.1,\ \ I_1 = I_2 = 100\,\mathrm{A}) \\ &= \frac{4\pi \times 10^{-7}}{2\pi \times 0.1} \times 100 \times 100 \\ &= 0.02\,\mathrm{N} \end{aligned}$$

引力（互いに引き合う方向）である。

逆方向に流れている場合は，働く力の大きさ F は同じで $0.02\,\mathrm{N}$。方向は斥力（反発しあう方向）である。

問題 4

向かい合う電線同士に流れる電流の向きが逆方向になるため，斥力（反発しあう力）が働き，電線は広がろうとし，円状になる。



1－2　ドリル問題

問題 1

巻数を N とすると，誘起電圧 e は，（1.2.2）式より $e=-N\dfrac{d\phi}{dt}$ で求められる。

$$\phi = 8\times10^{-5}\sin\omega t,\ \ N=100$$

$$e=-100\times8\times10^{-5}\omega\cos\omega t$$

$\omega = 2\pi f = 314\quad (f=50\,\mathrm{Hz})$ より

$$\begin{aligned} e &= -100\times8\times10^{-5}\times314\times\cos\omega t \\ &= -2.51\cos\omega t\ \ [\mathrm{V}] \end{aligned}$$

（答）2.51V　（波高値）（正弦波）

問題 2

平等磁界中の導体に働く力 F は

$$F = Bil$$

$B=0.6\,\mathrm{T}$，$i=100\,\mathrm{A}$ では単位長さ $1\,\mathrm{m}$ あたりの導体に働く力は

$$F = 0.6\times100\times1 = \underline{60\mathrm{N}}$$

働く力の方向は，フレミングの左手の法則により，<u>図面下方向</u>である。

問題 3

平等磁界中を動く導体に発生する起電力 e は

$$e = Blv$$

$B=1\mathrm{T},\ l=1\mathrm{m},\ v=50\,\mathrm{m/s}$ を代入して

$$e = 1\times1\times50 = \underline{50\mathrm{V}}$$

方向は，フレミングの右手の法則より，紙面の<u>裏面より表面に向かう方向</u>である。

1－3　ドリル問題

問題 1

二つの電荷 Q_1，Q_2 に働く力は，（1.3.1）式より

$$\begin{aligned} F &= k\frac{Q_1Q_2}{r^2} = 9\times10^9\frac{Q_1Q_2}{r^2} \\ &= 9\times10^9\frac{3\times10^{-6}\times5\times10^{-6}}{(10^{-1})^2} \\ &= 13.5\ \mathrm{N} \end{aligned}$$

問題 2

平等電界であるから，絶縁破壊電界 BDE は，破壊電圧を間隙長で割って

$$BDE = \frac{30\,\mathrm{kV}}{1\,\mathrm{cm}} = 30\,\mathrm{kV/cm}$$

問題 3

内径円筒半径を a，外側円筒半径を b とすると，
内筒表面の電界は

$$E = \frac{V}{a \ \ln\left(\frac{b}{a}\right)} \quad (a = 35,\ b = 50\mathrm{mm})$$

$$= \frac{10}{35 \ \ln\left(\frac{50}{35}\right)}$$

$$= 0.80 \ \ \mathrm{kV/mm}$$

外筒表面の電界は

$$E = \frac{V}{b \ \ln\left(\frac{b}{a}\right)}$$

$$= \frac{10}{50 \ \ln\left(\frac{50}{35}\right)}$$

$$= 0.56 \ \ \mathrm{kV/mm}$$

式の導出は問題 6 参照。

問題 4

容量 C_n が折り重なっているので，並列に接続されていると考えると合成容量 C は

$$C = C_1 + C_2 + \cdots\cdots + C_n$$

$$= \frac{\varepsilon S_1 + \varepsilon S_2 + \cdots\cdots \varepsilon S_n}{d}$$

$$= \frac{\varepsilon (S_1 + S_2 + \cdots + S_n)}{d}$$

幅 $50\,\mathrm{cm}$，長さ $10\,\mathrm{m}$ であるから

$$\sum S_n = 50 \times 10^{-2} \times 10 = 5\,\mathrm{m}^2,\quad d = 50 \times 10^{-6}$$

を代入して

$$C = \frac{8.855 \times 10^{-12} \times 4 \times 5}{50 \times 10^{-6}} = 3.54 \times 10^{-6}\,\mathrm{F}$$

$$= 3.54\,\mu\mathrm{F}$$

問題 5

$L=\mu_0 \pi a^2 N^2 l$ で与えられる。

$a=2.5\times10^{-2}$， $N=500$， $l=10\times10^{-2}=0.1$， $\mu_0=1.257\times10^{-6}$

を代入して

$$
\begin{aligned}
L &= 6.17\times10^{-5} \\
&= 61.7\times10^{-6}\,\mathrm{H}\ \ (61.7\,\mu\mathrm{H})
\end{aligned}
$$

長岡係数を考慮すると（図 1.3.13 より $\dfrac{2a}{l}=0.5$ のとき長岡係数は 0.82 ）

$$
\begin{aligned}
L &= 0.82\times61.7 \\
&= 50.6\,\mu\mathrm{H}
\end{aligned}
$$

問題 6

(i) 同心球の場合

内球に Q の電荷を与えた場合，中心から r の距離の点の電界 E は

$$E=\frac{Q}{4\pi\varepsilon\cdot r^2} \quad \cdots\cdots①$$

内･外球の電位差 V は

$$V=\int_b^a -\frac{Q}{4\pi\varepsilon\cdot r^2}dr=\frac{Q}{4\pi\varepsilon}\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right) \quad \cdots\cdots②$$

静電容量 C は

$$C=\frac{Q}{V}=\frac{4\pi\varepsilon}{\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right)} \quad \cdots\cdots③$$

なお， E は①②式より

$$E=\frac{V}{r^2\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right)}$$ で表される。

(ii) 無限大同心円筒の場合（単価長さあたり Q の電荷を与えるとする）

中心軸から r の距離の点の電界は

電界： $E=\dfrac{Q}{2\pi\varepsilon r}$

電位差： $V=\int_b^a -Edr$

$$=\int_b^a -\frac{Q}{2\pi\varepsilon r}$$

$$=\frac{Q}{2\pi\varepsilon}\log\frac{b}{a}$$

E と V の式より Q を消去して

$$E=\frac{V}{r\log\left(\frac{b}{a}\right)}$$

単位長さあたりの容量

$$C=\frac{Q}{V}=\frac{2\pi\varepsilon}{\log\frac{b}{a}}$$

(iii)　無限大平行平板の場合

電界：$E=\dfrac{Q}{\varepsilon}$

電位差：$V=\displaystyle\int_0^d Edr=dE=\frac{dQ}{\varepsilon}$

E と V の式より Q を消去して

$$E=\frac{V}{d}$$

単位面積あたりの容量

$$C=\frac{Q}{V}=\frac{\varepsilon}{d}$$

1－4　**ドリル問題**

問題 1

直列抵抗の合成抵抗 R は

$$R=5+10+25=40\Omega$$

電流 I は

$$I=\frac{E}{R}=\frac{100}{40}=2.5\,\mathrm{A}$$

各抵抗端子間電圧は，それぞれ $E=IR$ で求められる。

5Ω　$\cdots\cdots 2.5\times 5=12.5\,\mathrm{V}$

$10\Omega\cdots\cdots 2.5\times 10=25\,\mathrm{V}$

$25\Omega\cdots\cdots 2.5\times 25=62.5\,\mathrm{V}$

ちなみに合計は$100\,\mathrm{V}$となり，端子電圧に等しくなる。

問題 2

並列回路であるので，各抵抗にかかる電圧はすべて等しく，$100\,\mathrm{V}$である。

したがって，各抵抗を流れる電流は

10Ωに流れる電流：$I=\dfrac{100}{10}=10\mathrm{A}$

50Ωに流れる電流：$I=\dfrac{100}{50}=2\mathrm{A}$

20Ωに流れる電流：$I=\dfrac{100}{20}=5\mathrm{A}$

電源の電流はこれらの和となり

$$10+2+5=17\,\mathrm{A}$$

問題 3

全体の合成抵抗Rは

$$R=1+\frac{1}{\frac{1}{5}+\frac{1}{20}}=5\Omega$$

回路を流れる電流Iは

$$I=\frac{50}{5}=10\,\mathrm{A}$$

1Ωを流れる電流は$10\,\mathrm{A}$

5Ωを流れる電流は$10\times\dfrac{20}{5+20}=8\,\mathrm{A}$

20Ωを流れる電流は$10\times\dfrac{5}{5+20}=2\,\mathrm{A}$

5Ωの抵抗の端子間電圧は

$$8\mathrm{A}\times5\Omega=40\,\mathrm{V}$$

（全体の合成抵抗が5Ωであり，1Ωの抵抗は直列になっているから，5Ωの抵抗にかかる電圧は全体の$\dfrac{4}{5}$。したがって$50\times\dfrac{4}{5}=40\,\mathrm{V}$）

問題 4

$100\mathrm{V}$，$600\mathrm{W}$のヒータであるから，流れる電流Iは

$$I=\frac{P}{V}=6\mathrm{A}$$

抵抗値は

$$R=\frac{100}{6}=16.7\Omega$$

30分間使用した時のエネルギー（kWh）は

$$0.6\,\mathrm{kW} \times 0.5\,\mathrm{h} = 0.3\,\mathrm{kWh}$$

問題5

トルクτ，角速度ω，動力P_{m}，電力をPとすると（1.4.5）式より

$$\begin{aligned} P = P_{\mathrm{m}} &= \tau\omega \\ &= \tau \cdot 2\pi f \\ &= \tau \cdot 2\pi \frac{\mathrm{RPM}}{60} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau = \frac{P \times 60}{2\pi \times \mathrm{RPM}} = \frac{500 \times 10^3 \times 60}{2\pi \times 450} &= 10.6 \times 10^3\,\mathrm{N \cdot m} \\ &= 10.6\mathrm{kN \cdot m} \end{aligned}$$

1－5　ドリル問題

問題1

角速度$\omega = 2\pi f$で求められる。

$f = 50\mathrm{Hz}$のとき，$\omega = 100\pi = 314\,\mathrm{rad/s}$

$f = 60\mathrm{Hz}$のとき，$\omega = 120\pi = 377\,\mathrm{rad/s}$

問題2

$$\begin{aligned} P &= ei \\ &= E_{\mathrm{m}} \sin \omega t \cdot I_{\mathrm{m}} \sin(\omega t - \phi) \\ &= E_{\mathrm{m}} \cdot I_{\mathrm{m}} \sin \omega t \sin(\omega t - \phi) \\ &= \frac{1}{2} E_{\mathrm{m}} I_{\mathrm{m}} \left\{ \cos\phi - \cos(2\omega t - \phi) \right\} \end{aligned}$$

実効値電圧E_{eff}，実効値電流I_{eff}で表すと

$$E_{\mathrm{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} E_{\mathrm{m}}, \quad I_{\mathrm{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_{\mathrm{E}}$$

であるので

$$P = E_{\mathrm{eff}} I_{\mathrm{eff}} \left\{ \cos\phi - \cos(2\omega t - \phi) \right\}$$

問題 3

1 カ月は 30 日として，1 日 8h 使用すると

$$P = 60\text{W} \times 8 \times 30$$
$$= 14400\ \text{Wh}$$
$$= 14.4\ \text{kWh}$$

問題 4

$$i = \frac{200}{1}\left\{\sin\omega t - \sin(\omega t - \frac{\pi}{40}\right\}$$

（注） $\sin x - \sin y = 2\cos\frac{x+y}{2}\cos\frac{x-y}{2}$

$$= 200\left\{2\cos\frac{\left(2\omega t - \frac{\pi}{40}\right)}{2}\cos\frac{\frac{\pi}{40}}{2}\right\}$$

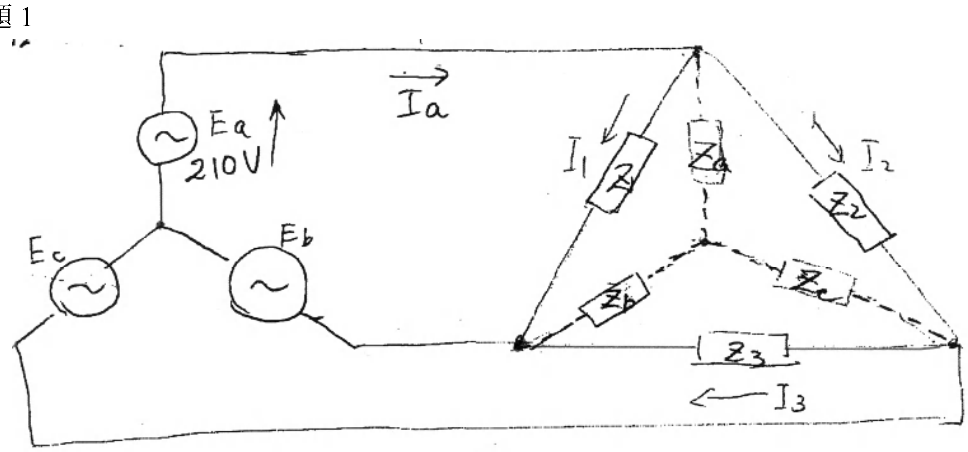
$$= 400\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{80}\right)\cos\frac{\pi}{80}$$

$$\fallingdotseq 400\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{80}\right) \qquad \left(\ \cos\frac{\pi}{80} \fallingdotseq 1.0\ \right)$$

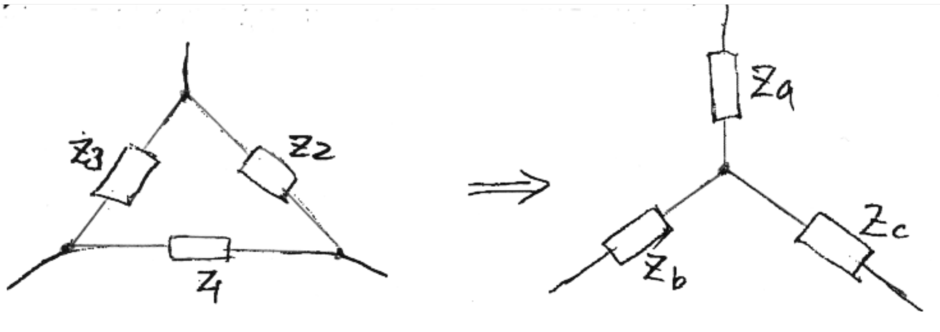
交流回路では，2 端子間に絶対値の等しい電圧が印加されていても，位相差があると電流が流れる。波高値（最大値） 400 A。

1－6　ドリル問題

問題 1



インピーダンスの△結線をY結線に変換すると

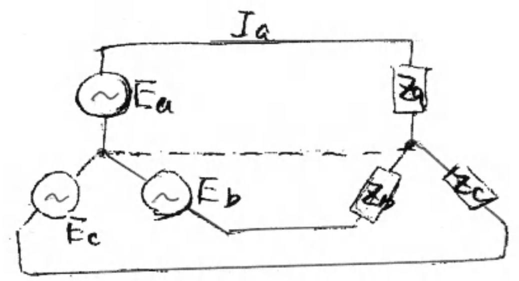


△からYへの変換

$$Z_a = \frac{\triangle}{Z_1},\quad Z_b = \frac{\triangle}{Z_2},\quad Z_c = \frac{\triangle}{Z_3}$$

ただし，$\triangle = \dfrac{Z_1 Z_2 Z_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3}$

$$\left(\begin{array}{l} \text{すなわち，} Z_a = \dfrac{Z_2 Z_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \\ Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z \text{のとき} Z_a = \dfrac{Z}{3} \end{array} \right)$$



$Z_1 = Z_2 = Z_3 = 50\Omega$ のとき

$$\triangle = \frac{50 \times 50 \times 50}{150} = \frac{2500}{3}\Omega$$

$$Z_a = Z_b = Z_c = \frac{50}{3}\Omega$$

$$I_a = I_b = I_c = \frac{E_a}{Z_a} = \frac{210}{\frac{50}{3}} = 12.6\,\mathrm{A}$$

位相はそれぞれ $\dfrac{2\pi}{3}$ ずれ

$$\left(Z_a = \frac{Z_2 Z_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3} = \frac{50 \times 50}{150} = \frac{50}{3}\Omega \right)$$

問題 2

$$Z_1 = \omega L = 2\pi f L = 100\pi \times 800 \times 10^{-3} = 251.2\Omega$$

$$Z_{\mathrm{a}} = \frac{251.2}{3} = 83.7\Omega$$

$$I_{\mathrm{a}} = \frac{E_{\mathrm{a}}}{Z_{\mathrm{a}}} = \frac{210}{83.7} = 2.51\ \mathrm{A}$$

問題 3

$$Z_1 = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 500 \times 10^{-6}} = 6.37\Omega$$

$$Z_{\mathrm{a}} = 2.12\Omega$$

$$I_{\mathrm{a}} = \frac{E_{\mathrm{a}}}{Z_{\mathrm{a}}} = \frac{210}{2.12} = 99.1\ \mathrm{A}$$

問題 4

$$\begin{aligned} Z_1 &= R + j\omega L \\ &= 30 + j100\pi \times 200 \times 10^{-3} \\ &= 30 + j62.8 \end{aligned}$$

位相は

$$\begin{aligned} \phi &= \tan^{-1}\frac{\omega L}{R}\left(\tan^{-1}\frac{62.8}{30}\right) \\ &= 64.5^{\circ} \end{aligned}$$

$$Z_{\mathrm{a}} = \frac{Z}{3} = 10 + j21.9$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{\mathrm{a}} = \frac{E_a}{Z_a} &= \frac{210}{10 + j21.9} \\ &= \frac{210(10 - j21.9)}{(10 + j21.9)(10 - j21.9)} \\ &= \frac{2100 - j4599}{579.61} \\ &= 3.62 - j7.93 \end{aligned}$$

$$I = \sqrt{3.62^2 + 7.93^2} = 8.72\ \mathrm{A}$$

（答）　<u>電流 8.72A，位相 64.5°</u>

有効電力は

$$P = V \cdot I \cos\phi$$

$$= 210 \times 8.72 \cos 64.5$$

$$=\underline{7880\mathrm{W}}\ (7.88\mathrm{kW})$$

無効電力は

$$Q = VI\sin\phi$$
$$=\underline{1650\mathrm{W}}\ (1.65\mathrm{kW})$$

問題 5

$$Z_1 = \frac{R\cdot\dfrac{1}{j\omega C}}{R+\dfrac{1}{j\omega C}} = \frac{R}{j\omega CR+1} = \frac{50}{j100\pi\times 50\times 10^{-6}\times 50+1}$$

$$= \frac{50}{1+j0.785}$$
$$= \frac{50(1-j0.785)}{(1+j0.785)(1-j0.785)}$$
$$= \frac{50-j39.3}{1+0.616}$$
$$= 30.9-j24.3$$

位相は

$$\phi = \tan^{-1}\frac{24.3}{30.9} = 38.2^\circ$$

$$Z_a = \frac{Z_1}{3} = 10.3-j8.1$$

$$I_a = \frac{E_a}{Z_a} = \frac{210}{10.3-j8.1} = \frac{210(10.3+j8.1)}{(10.3-j8.1)(10.3+j8.1)} = \frac{2163+j1701}{171.7}$$
$$= 12.6+j9.9$$

$$I = \sqrt{12.6^2+9.9^2} = 16.0$$

（答）　電流$16.0\,\mathrm{A}$，位相38.2°

有効電力は

$$P = VI\cos\phi$$
$$= 210\times 16.0\times\cos 38.2$$
$$= 2640\mathrm{W}\ (2.64\mathrm{kW})$$

無効電力は

$$Q = VI\sin\phi$$
$$= 210\times 16.0\times\sin 38.2$$
$$= 2080\mathrm{W}\ (2.08\mathrm{kW})$$

1－7　ドリル問題
問題 1

$$B = \mu_0 \mu_s H = \frac{\mu_0 \mu_s N i}{l}$$

したがって，$i = \dfrac{Bl}{\mu_0 \mu_s N}$

$B = 1(\mathrm{T})$，$l = 0.7$，$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$，$\mu_s = 5000$，$N = 200$ を代入すると

$$\underline{i = 0.557 \ \ \mathrm{A}}$$

【別解】

$\mathbb{R} = \dfrac{l}{\mu A}$　（断面積を A とする），$\phi = \dfrac{Ni}{\mathbb{R}}$，$B = \dfrac{\phi}{A} = \dfrac{Ni}{\mathbb{R}A}$

$i = \dfrac{B \cdot \mathbb{R} \cdot A}{N}$　……①

（$\mathbb{R}$ を代入して $i = \dfrac{Bl}{\mu N}$ となり，上式に一致する。）

問題 2

1mm のギャップ g があるとき，$l = 70 - 0.1 = 69.9\mathrm{cm}$，$A = 10 \times 10^{-4} \mathrm{m}^2$

$$\mathbb{R} = \mathbb{R}_1 + \mathbb{R}_g = \frac{l}{\mu_0 \mu_s A} + \frac{g}{\mu_0 A} = \frac{69.9 \times 10^{-2}}{4\pi \times 10^{-7} \times 5000 \times 10 \times 10^{-4}} + \frac{1 \times 10^{-3}}{4\pi \times 10^{-7} \times 10 \times 10^{-4}}$$
$$= 1.11 \times 10^5 + 7.96 + 10^5 = 9.07 \times 10^5$$

（なお，$\dfrac{1}{\mu_0 A}\underline{\left(\dfrac{l}{\mu_s} + g\right)}$ のカッコ内は等価ギャップ長）

$$i = \frac{B \cdot \mathbb{R} \cdot A}{N}$$
$$= \frac{1 \times 9.07 \times 10^5 \times 10 \times 10^{-4}}{200}$$
$$= 2.27 \ \ \mathrm{A}$$

1－8　ドリル問題
問題 1
(ｉ)　共振周波数は，（1.8.1）式より

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad \text{より，} \quad 2\pi f_r L = \frac{1}{2\pi f_r C}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{100\times10^{-3}\times10\times10^{-6}}} = 159\ \mathrm{Hz}$$

(ⅱ)　合成インピーダンス Z は

$$Z = j\omega L - j\frac{1}{\omega C}$$

$$|Z| = \omega L - \frac{1}{\omega C}$$

$$= \frac{\omega^2 CL - 1}{\omega C}$$

$$= \frac{4\pi^2 f^2 CL - 1}{2\pi f C}$$

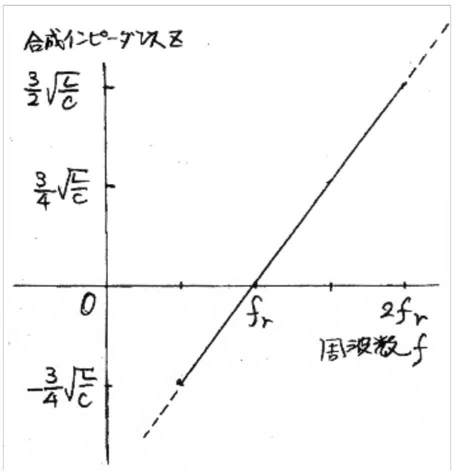
$f = f_r$ のとき，$Z = 0$

$f = 0.5_r$ のとき，$f = \dfrac{1}{4\pi\sqrt{LC}}$ を代入して

$$Z = -\frac{3}{4}\sqrt{\frac{L}{C}}$$

$f = 2.0_r$ のとき，$f = \dfrac{1}{\pi\sqrt{LC}}$ を代入して

$$Z = \frac{3}{2}\sqrt{\frac{L}{C}}$$



問題 2

L と C の並列回路での共振周波数 f_r は，（1.8.5）式より

$$f_r = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}}$$

$R = 0$ であるから，（1.8.6）式が成り立ち，

$$f_r = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}}$$

$$= \frac{\omega}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{\omega L}\cdot\frac{1}{\omega C}}$$

$$= f\sqrt{\frac{X_C}{X_L}}$$

$X_L = \omega L = 20\Omega$　（$f = 50\,\mathrm{Hz}$ のとき）

$X_C = \dfrac{1}{\omega C} = 10\Omega$　（$f = 50\,\mathrm{Hz}$ のとき）

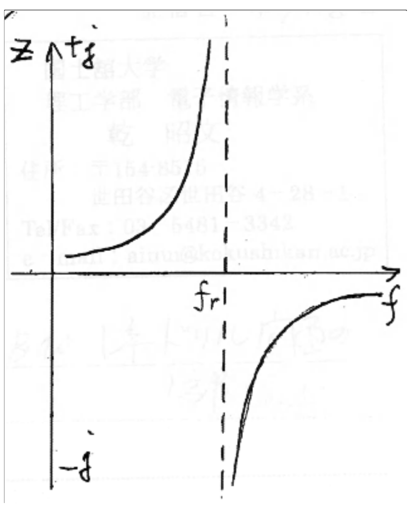
$$f_r = 50\sqrt{\frac{10}{20}} = 35.36\,\mathrm{Hz}$$

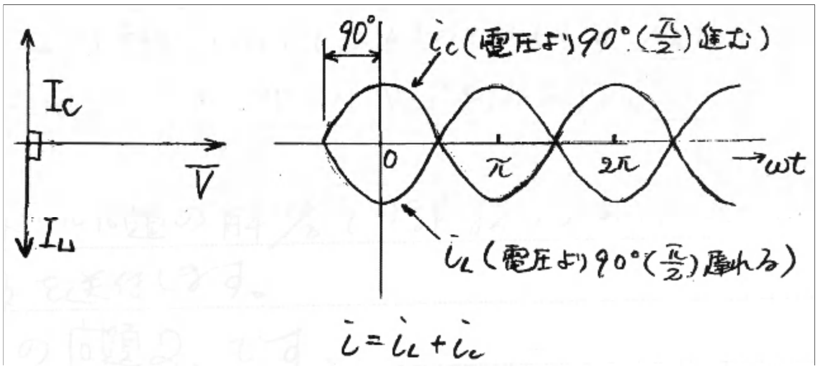
（答）　共振周波数 f は $35.4\,\mathrm{Hz}$

合成インピーダンス Z は

$$Z = \frac{X_L X_C}{X_L + X_C}$$

$X_L = 2\pi fL$，$X_C = \dfrac{1}{2\pi fC}$





第 1 章　演習問題

1.

$$B = \mu \frac{Ni}{l} \text{ より，} \ i = \frac{Bl}{\mu N} = \frac{1 \times 1}{4\pi \times 10^{-7} \times 500} = 1.59 \times 10^3$$

1.59 kA

磁路が共通で，誘起される電圧は巻数に比例するから

$$210 \times \frac{100}{500} = 42\,\mathrm{V}$$

（答） 42 V

2.

コイル面と磁界方向とのなす角をθとする。コイル横幅をa，縦をbとすると

$\Phi = N\phi$， $\phi = BS$ より， $N = 1$ であるから， $\Phi = Bab\sin\theta$

$$\theta = \omega t$$

起電力は

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = -Bab\omega\cos\omega t \qquad \text{（負符号は逆向きを表す）}$$

$B = 1.5$， $\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot \dfrac{\mathrm{RPM}}{60}$， $a = 0.1$， $b = 0.05$， $\mathrm{RPM} = 600$ より

$$e = 1.5 \times 0.1 \times 0.05 \times 2\pi \times \frac{600}{60} \cos\omega t = 0.471\cos\omega t$$

平行な位置にあるとき$\theta = \omega t = 0^\circ$ では$e = 0.471\,\mathrm{V}$

$$\theta = 30^\circ \text{ では } \ e = 0.471\cos 30^\circ = 0.407\mathrm{V}$$
$$\theta = 60^\circ \text{ では } \ e = 0.471\cos 60^\circ = 0.236\mathrm{V}$$
$$\theta = 90^\circ \text{ では } \ e = 0.471\cos 90^\circ = 0\mathrm{V}$$

3.

磁界に対して，コイルの横幅部分が磁界と平行にあるとき，これに作用する力は

$$F = NIB \cdot b$$

で与えられる。

$$F = 1 \times 100 \times 1.5 \times 0.01 = 1.5\ \mathrm{N}$$

瞬時トルクは

$$\tau = F \cdot \frac{a}{2} = 1.5 \times \frac{0.1}{2} = 0.075\ \mathrm{N \cdot m}$$

コイル面が磁界方向とθ傾いているときのτ'は

$$\tau' = F\cos\theta \cdot \frac{a}{2} = \tau'\cos\theta$$

$\theta = 30^\circ$ のとき $\tau = 0.065$

$\theta = 60^\circ$ のとき $\tau = 0.038$

$\theta = 90^\circ$ のとき $\tau = 0$

4.

内円筒に単位長さあたりλの電荷を与えると中心軸からrの距離の点での電束密度をDとすると，$2\pi rD = \lambda$ であるから

$$D = \frac{\lambda}{2\pi r}$$

よって電界Eは

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_1 r}$$

電位差は

$$V = \int_a^b -Edr = \int_a^b -\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_1 r}dr = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_1}\log\frac{b}{a}$$

電位差 V で充電するときの電界は，この2式からλを消去して

$$E = \frac{V}{r\log\frac{b}{a}}$$

で与えられる。

なお，$r = a$のとき最大（中心導体表面），$r = b$のとき最小（外側円筒表面）である。

5.

磁気抵抗を$\mathbb{R}_\mathrm{m}$，磁束をΦ，磁束密度をBとすると

$$\mathbb{R}_\mathrm{m} = \frac{l_1}{\mu_1 S_1} + 2\frac{\delta}{\mu_0 S_1} + \frac{l_2}{\mu_2 S_2} \qquad \delta\text{：間隙長}$$

（電磁石）（間隙）（鉄片）

$$\phi = \frac{NI}{\mathbb{R}_{\mathrm{m}}} = \frac{NI}{\dfrac{l_1}{\mu_1 S_1} + \dfrac{2\delta}{\mu_0 S_1} + \dfrac{l_2}{\mu_2 S_2}}$$

$$B = \frac{\phi}{S_1} = \frac{NI}{\dfrac{l_1}{\mu_1} + \dfrac{2\delta}{\mu_0} + \dfrac{l_2}{\mu_2} \cdot \dfrac{S_1}{S_2}}$$

空隙中のエネルギーは

$$U = \frac{B^2}{2\mu_0}(S_1 \cdot \delta) \qquad \delta：間隙長$$

吸引力を F とし，$\Delta\delta$ だけ変位させせたときのエネルギー変化は

$$\Delta U = \frac{B^2}{2\mu_0} S_1 \Delta\delta = F \cdot \Delta\delta$$

したがって，吸引力 F は

$$F = \frac{B^2}{2\mu_0} S_1$$

$$= \frac{\dfrac{N^2 I^2 S_1}{2\mu_0}}{\left(\dfrac{l_1}{\mu_1} + \dfrac{2\delta}{\mu_0} + \dfrac{l_2}{\mu_2} \cdot \dfrac{S_1}{S_2}\right)^2}$$

で求められる。

これに，$N = 1000$，$I = 0.1$，$S_1 = S_2 = 1 \times 10^{-4}$，$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$，$\mu_1 = 1000$，

$\mu_2 = 1000$，$l_1 = 0.1$，$l_2 = 0.03$，$\delta = 0.001$ を代入して

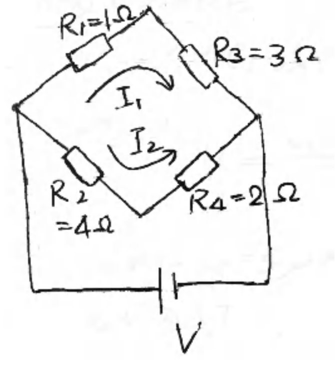
$F = 0.157$　（答）

鉄片の透磁率　$\mu_2 = 10000$ のとき

$F = 0.157$　（答：変化なし）

6.

(i)



S が開放時は，電源電圧を V，流れる電流を I_1，I_2 とすると，キルヒホッフの法則によ

り

$V = 4I_1 \cdots\cdots$①

$V = 6I_2 \cdots\cdots$②

また，スイッチ S 開放時の電圧が $3.0\,\mathrm{V}$ であるから

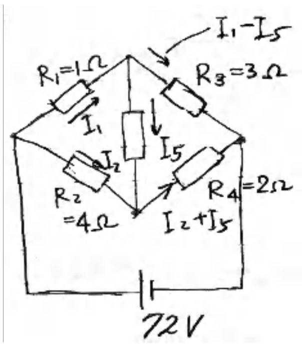
$4I_2 - I_1 = 30 \cdots\cdots$③

①②③式より，V の値を求めると

$V = 72\,\mathrm{V}$

（なお，$I_1 = 18\,\mathrm{A}$，$I_2 = 12\,\mathrm{A}$）

(ⅱ)



S を閉じた時，R_3，R_4 を流れる電流は，$I_1 - I_5$，$I_2 + I_5$ となる。キルヒホッフの法則より

① $I_1R_1 + I_5R_5 - I_2R_2 = 0$

② $(I_1 - R_5)R_3 - (I_2 + I_5)R_4 - I_5R_5 = 0$

③ $I_2R_2 + (I_2 + I_5)R_4 = V$

この 3 式より I_1，I_2 を消去して I_5 を求めると

$$I_5 = \frac{(R_2R_3 - R_1R_4)V}{R_5(R_1 + R_3)(R_2 + R_4) + R_1R_3(R_2 + R_4) + R_2R_4(R_1 + R_3)}$$

各抵抗値を代入して　$V = 72\,\mathrm{V}$ のとき

$$I_5 = \frac{72}{17} = 4.2\,\mathrm{A}$$

7.

並列接続すると，静電容量は $C_1 + C_2$ になる。並列接続後の電位を V とすると，回路内の電荷は不変であるから

$$C_1 + V_1 + C_2V_2 = (C_1 + C_2)V$$

したがって

$$V = \frac{C_1V_1 + C_2V_2}{C_1 + C_2}$$

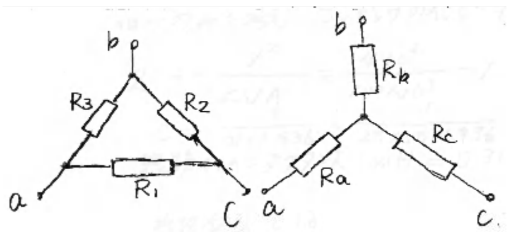
これに $C_1 = 5\mu\mathrm{F}$，$C_2 = 10\mu\mathrm{F}$，$V_1 = 200\mathrm{V}$，$V_2 = 100\mathrm{V}$

を代入して

$$V = \frac{(5\times 200 + 10\times 100)\times 10^{-6}}{(5+10)\times 10^{-6}} \fallingdotseq 133\,\mathrm{V}$$

8.

△接続から Y 接続への変換は，△，Y 接続の各端子間の合成抵抗が等しいとおく。



ab 間

$$R_\mathrm{a} + R_\mathrm{b} = \frac{R_3(R_1 + R_2)}{R_3 + (R_1 + R_2)}$$

bc 間

$$R_\mathrm{b} + R_\mathrm{c} = \frac{R_2(R_3 + R_1)}{R_2 + (R_3 + R_1)}$$

ca 間

$$R_\mathrm{c} + R_\mathrm{a} = \frac{R_1(R_2 + R_3)}{R_1 + (R_2 + R_3)}$$

3 式を加えて

$$R_\mathrm{a} + R_\mathrm{b} + R_\mathrm{c} = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_1 + R_2 + R_3}$$

ab，bc，ca 間の式から上式をひけば

$$R_\mathrm{a} = \frac{\varDelta}{R_2},\quad R_\mathrm{b} = \frac{\varDelta}{R_1},\quad R_\mathrm{c} = \frac{\varDelta}{R_3}$$

ただし，$\varDelta = \dfrac{R_1R_2R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$

本問題では,

$$R_1 = R_2 = R_3 = Z$$

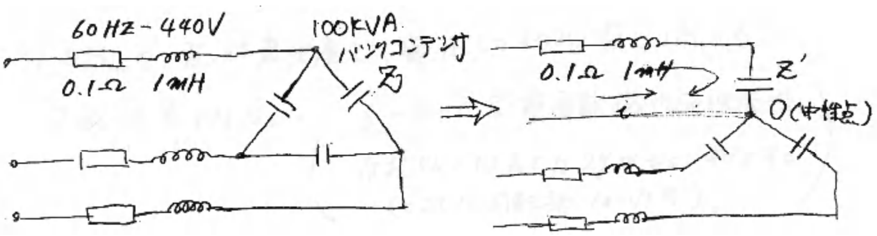
$$R_a = R_b = R_c = Z'$$

$$\varDelta = \frac{Z^3}{3Z} = \frac{Z^2}{3}$$

$$Z' = \frac{\frac{Z^2}{3}}{Z} = \frac{Z}{3}$$

（答） $Z' = \dfrac{Z}{3}$

9.



一相分のみを考え，コンデンサのインピーダンスZ'は

$$Z' = \frac{V^2}{KVA} = \frac{440^2}{100\times10^3} = 1.936\Omega = \frac{1}{\omega C}$$

$$C = \frac{1}{\omega\times1.936} = \frac{1}{2\pi\times50\times1.936} = 1650\mu\mathrm{F}$$

線路のインダクタンスは$1\mathrm{mH} = 0.314\Omega$であるから，線路電流$i$は

$$i = \frac{\frac{440}{\sqrt{3}}}{0.1 + j(0.314 - 1.936)} = \frac{254}{0.1 - j1.622}$$

$$\fallingdotseq 254\,\mathrm{A}$$

コンデンサの端子電圧V'は

$$V' = \left| i\frac{1}{j\omega C} \right| = 254\times1.936$$

$$= 4917$$

$$V \fallingdotseq 492\,\mathrm{V}$$

10.

3相分の合成磁束がつくられる。コイル内径をD_s，巻線電流（実効値）をi_a，巻回数をwとすると，1相分の巻線によってつくられる磁束密度は，波高値で

$$B_{\mathrm{r}} = \frac{\sqrt{2} i_{\mathrm{a}} w}{D_{\mathrm{s}}}$$

これが3相分の合成磁界となり，この磁束密度B_{a}は$1.5B_{\mathrm{m}}$の一定磁束密度で，電圧1サイクル間に1周する回転磁界となる。(6－2－1 同期電動機の原理参照。なお，(6.2.1) 式では$2g$がD_{s}に相当する（ここでは回転子が無いため)。)