「電気理論基礎1・2」詳解

第1章　直流回路

第1節　直流回路の電流と電圧

〔p.11〕　**問1．** 鉛蓄電池，太陽電池など。電動機，電熱器，電気冷蔵庫など。

〔p.14〕　**問2．** 電線に電流1Aが流れているとき，その任意の断面を1秒間に通過する電気量は1Cであるから，求める電子の数 n は，

$$n = \frac{Q}{e} = \frac{1}{1.602 \times 10^{-19}} = \mathbf{6.24 \times 10^{18}}$$

〔p.15〕　**問3．** $V_b = V_1 - V_4 = 3.0 - (-1.5) = \mathbf{4.5\ V}$

$E'_2 = E_1 + E_2 = \mathbf{3.0\ V}$

〔p.16〕　**問4．** $0.05\ \mathrm{A} = 0.05 \times 10^3\ \mathrm{mA} = \mathbf{50\ mA}$

$6\,000\ \mathrm{V} = 6\,000 \times 10^{-3}\ \mathrm{kV} = \mathbf{6\ kV}$

問5． $2\ \mathrm{mV} = 2 \times 10^{-3}\ \mathrm{V} = 2\,000 \times 10^{-6}\ \mathrm{V} = \mathbf{2\,000\ \mu V}$

$5\ \mu\mathrm{A} = 5 \times 10^{-6}\ \mathrm{A} = 0.005 \times 10^{-3} = \mathbf{0.005\ mA}$

〔p.19〕　**問6．** $R = \dfrac{V}{I} = \dfrac{100}{5} = \mathbf{20\ \Omega}$

問7． $G = \dfrac{1}{R} = \dfrac{1}{100} = \mathbf{0.01\ S}$

問8． $R = \dfrac{V}{I} = \dfrac{100}{10} = 10\ \Omega$

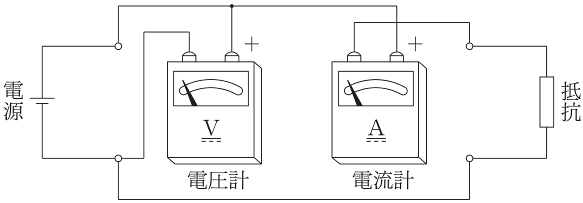
95 V のときの電流 I' [A] は，

$I' = \dfrac{V'}{R} = \dfrac{95}{10} = \mathbf{9.5\ A}$

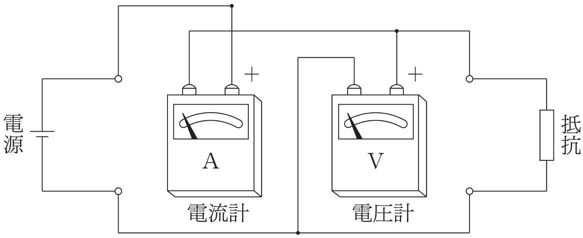
〔p.20〕　**問9．** $I = \dfrac{V}{R} = \dfrac{1}{1 \times 10^3} = 1 \times 10^{-3}\ \mathrm{A} = \mathbf{1\ mA}$

$I = \dfrac{V}{R} = \dfrac{1}{1 \times 10^6} = 1 \times 10^{-6}\ \mathrm{A} = \mathbf{1\ \mu A}$

〔p.20〕　**問10.**



(a)



(b)

問11. $R = \dfrac{V}{I} = \dfrac{100}{2} = \mathbf{50\ \Omega}$

$G = \dfrac{1}{R} = \dfrac{1}{50} = \mathbf{0.02\ S}$

〔p.22〕　**問12.** $R_1 = \dfrac{10}{5} = \mathbf{2\ \Omega}$

$V_2 = 4 \times 5 = \mathbf{20\ V}$

$V = 10 + 20 = \mathbf{30\ V}$

〔p.24〕　**問13.** $R = R_1 + R_2 = 5 + 7 = 12\ \Omega$

$I = \dfrac{V}{R} = \dfrac{120}{12} = \mathbf{10\ A}$

$V_1 = R_1 I = 5 \times 10 = \mathbf{50\ V}$

$V_2 = R_2 I = 7 \times 10 = \mathbf{70\ V}$

〔p.26〕　**問14.** 合計抵抗　$R = \dfrac{V}{I} = \dfrac{120}{50} = 2.4\ \Omega$

抵抗　$R_2 = R - R_1 - R_3 = 2.4 - 0.1 - 0.1 = 2.2\ \Omega$

b-c 間の電圧降下　$R_2 I = 2.2 \times 50 = \mathbf{110\ V}$

c-d 間の電圧降下　$R_3 I = 0.1 \times 50 = \mathbf{5\ V}$

b-d 間の電圧降下　$R_2 I + R_3 I = 110 + 5 = \mathbf{115\ V}$

〔p.28〕　**問15.** $R=\dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2}=\dfrac{20\times 40}{20+40}=\dfrac{800}{60}=\mathbf{13.3\,\Omega}$

問16. $R=\dfrac{1}{\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}+\dfrac{1}{R_3}}=\dfrac{1}{\dfrac{1}{4}+\dfrac{1}{10}+\dfrac{1}{20}}=\dfrac{1}{\dfrac{5}{20}+\dfrac{2}{20}+\dfrac{1}{20}}=\dfrac{1}{\dfrac{8}{20}}=\dfrac{20}{8}=\mathbf{2.5\,\Omega}$

〔p.30〕　**問17.** $I_1=\dfrac{R_2}{R_1+R_2}I=\dfrac{10}{40+10}\times 0.025=0.005=\mathbf{5\,mA}$

$I_2=\dfrac{R_1}{R_1+R_2}I=\dfrac{40}{40+10}\times 0.025=0.02=\mathbf{20\,mA}$

〔p.31〕　**問18.** $R=R_1+\dfrac{R_2R_3}{R_2+R_3}=50+\dfrac{100\times 100}{100+100}=100\,\Omega$

$I=\dfrac{V}{R}=\dfrac{100}{100}=\mathbf{1\,A}$

問19. $R=36+\dfrac{40\times 60}{40+60}=36+\dfrac{2\,400}{100}=36+24=\mathbf{60\,\Omega}$

$I_1=\dfrac{V}{R}=\dfrac{120}{60}=\mathbf{2\,A}$

V_{ab}(36 Ω による電圧降下) $=36\times 2=\mathbf{72\,V}$

V_{bc}(並列回路による電圧降下) $=V-V_{ab}=120-72$

$=\mathbf{48\,V}$

$I_2=\dfrac{V_{bc}}{R_2}=\dfrac{48}{40}=\mathbf{1.2\,A}$

$I_3=\dfrac{V_{bc}}{R_3}=\dfrac{48}{60}=\mathbf{0.8\,A}$

問20. 下の部分の合成抵抗 R' [Ω] は,

$R'=\dfrac{2\times 3}{2+3}+0.8=2\,\Omega$

したがって，a，b 間の合成抵抗 R は,

$R=\dfrac{2\times 3}{2+3}=\mathbf{1.2\,\Omega}$

〔p.33〕　**問21.** $m=\dfrac{0.1\,\mathrm{A}}{20\,\mathrm{mA}}=\dfrac{0.1}{0.02}=\mathbf{5}$

$R_s=\dfrac{r_a}{m-1}=\dfrac{2}{5-1}=\mathbf{0.5\,\Omega}$

最大目盛 0.1 A の電流計の内部抵抗は

$\dfrac{r_aR_s}{r_a+R_s}=\dfrac{2\times 0.5}{2+0.5}=\mathbf{0.4\,\Omega}$

問22. $m=\dfrac{r_a+R_s}{R_s}=\dfrac{27+3}{3}=10$

$0.1\,\mathrm{A}\times 10=\mathbf{1\,A}$

〔p.35〕　**問23.** $m = \dfrac{1\,\mathrm{V}}{50\,\mathrm{mV}} = \dfrac{1}{0.05} = 20$

$R_m = r_v(m-1) = 100 \times (20-1) = \mathbf{1\,900\,\Omega}$

$R_m + r_v = 1\,900 + 100 = \mathbf{2\,000\,\Omega}$

〔p.37〕　**問24.** $X = \dfrac{P}{Q}R = \dfrac{100}{10} \times 142 = \mathbf{1\,420\,\Omega}$

〔p.39〕　**問25.** $V = E - rI$ より，

$r = \dfrac{E-V}{I} = \dfrac{1.2-1.0}{5} = \dfrac{0.2}{5} = \mathbf{0.04\,\Omega}$

〔p.42〕　**問26.** 全体の内部抵抗　$r = 0.1 \times 10 = \mathbf{1\,\Omega}$

全体の起電力　$E = 1.5 \times 10 = \mathbf{15\,V}$

問27. 全体の内部抵抗　$r = \dfrac{0.2}{5} = \mathbf{0.04\,\Omega}$

全体の起電力　$E = \mathbf{2\,V}$

〔p.44〕　**問28.** 抵抗 R_2，R_3，R_4 に流れる電流を I_2，I_3，I_4 とする。さらに，抵抗 R_1 に流れる電流を I_1，10 A の電流を I_0 とすると，

$I_2 = I_0 - I_1 = 10 - 5 = \mathbf{5\,A}$

$I_3 = I_1 - I_5 = 5 - 2 = \mathbf{3\,A}$

$I_4 = I_2 + I_5 = 5 + 2 = \mathbf{7\,A}$

〔p.46〕　**問29.** 図44 の上の黒丸の点に第 1 法則を適用すると，①が得られる。

$$I_1 + I_2 = I_3 \qquad ①$$

閉回路に第 2 法則を適用すると，次の②，③が得られる。

$$120 = 15I_1 + 60I_3 \qquad ②$$

$$80 = 20I_2 + 60I_3 \qquad ③$$

①を②，③に代入して I_3 を消去すると，

$$120 = 75I_1 + 60I_2 \qquad ②'$$

$$80 = 60I_1 + 80I_2 \qquad ③'$$

②′，③′ から I_1，I_2 を求め，それを①に代入すると，次の結果が得られる。

$$I_1 = \mathbf{2.0\,A},\ I_2 = \mathbf{-0.5\,A},\ I_3 = \mathbf{1.5\,A}$$

〔p.47〕　**問30.**

$$I_1 = I_2 + I_3 \qquad ①$$

$$160 = 40I_1 + 40I_3 \qquad ②$$

$$120 = 20I_2 - 40I_3 \qquad ③$$

①を②に代入する。

$$160 = 40I_2 + 80I_3 \qquad ②'$$

③ × 2

$$240 = 40I_2 - 80I_3 \qquad ③'$$

②′+ ③′

$$400 = 80I_2$$

ゆえに，$I_2 = \mathbf{5\ A}$

②′に代入すると，

$$160 = 200 + 80I_3$$

ゆえに，$I_3 = \mathbf{-\ 0.5\ A}$

I_2，I_3 の値を①に代入すると，

$$I_1 = I_2 + I_3 = 5 - 0.5 = \mathbf{4.5\ A}$$

〔**p.48**〕 **問31.**

$$I_1 + I_2 = I_3 \qquad ①$$

$$12 = 3I_1 + 6I_3 \qquad ②$$

$$10 = 2I_2 + 6I_3 \qquad ③$$

①を②に代入すると，

$$12 = 3(I_3 - I_2) + 6I_3$$

$$12 = -\ 3I_2 + 9I_3 \qquad ②'$$

③ × 3

$$30 = 6I_2 + 18I_3 \qquad ③'$$

②′ × 2

$$24 = -\ 6I_2 + 18I_3 \qquad ②''$$

③′+ ②″

$$54 = 36I_3$$

ゆえに，$I_3 = \mathbf{1.5\ A}$

②に代入すると，

$$3I_1 = 12 - 6I_3 = 12 - 6 \times 1.5 = 12 - 9 = 3$$

ゆえに，$I_1 = \mathbf{1.0\ A}$

I_1，I_3 の値を①に代入すると，

$$I_2 = I_3 - I_1 = 1.5 - 1.0 = \mathbf{0.5\ A}$$

a-b 間の電圧 V_{ab} は，

$$V_{ab} = 8 - 3I_1 = 8 - 3 \times 1.0 = \mathbf{5\ V}$$

または，$V_{ab} = -\ 4 \times 3I_3 = -\ 4 + 6 \times 1.5 = \mathbf{5\ V}$

または，$V_{ab} = 6 - 2I_3 = 6 - 2 \times 0.5 = \mathbf{5\,V}$

〔p.48〕 **問32.** $I_3 = 3 - 2 = \mathbf{1\,A}$ ①

$12 = 2r_1 + 3r_2$ ②

$10 = 2I_3 + 3r_2 = 2 + 3r_2$ ③

ゆえに，$3r_2 = 8$，$r_2 = \dfrac{8}{3} = \mathbf{2.67\,\Omega}$

r_2 の値を②に代入すると，

$12 = 2r_1 + 8$

ゆえに，$2r_1 = 4$，$r_1 = \mathbf{2\,\Omega}$

問33. $I_1 = 5 - 2 = \mathbf{3\,A}$ ①

$E = 10 + 5R$ ②

$18 = I_1 + 5R$ ③

③に①を代入すると，

$18 = 3 + 5R$

ゆえに，$5R = 15$，$R = \mathbf{3\,\Omega}$

R の値を②に代入すると，

$E = 10 + 15 = \mathbf{25\,V}$

〔p.49〜50〕 問題

1． ab 間から右側の合成抵抗 R は，

$$R = \frac{4 \times \left(2 + \dfrac{4 \times 4}{4 + 4}\right)}{4 + \left(2 + \dfrac{4 \times 4}{4 + 4}\right)} = 2\,\Omega$$

回路に流れる電流 I は，$I = \dfrac{16}{2 + R} = \dfrac{16}{2 + 2} = 4\,\mathrm{A}$

ab 間の電圧 V は，$V = RI = 2 \times 4 = 8\,\mathrm{V}$

したがって，正解は(ウ)

2． $m = \dfrac{I}{I_a} = \dfrac{40}{10} = 4$

$R_s = \dfrac{r_a}{m - 1} = \dfrac{0.03}{4 - 1} = 0.01\,\Omega$

分流器 R_s は電流計と並列に接続する。

したがって，正解は(ウ)

3． $R_{cd} = \dfrac{2 \times 5}{2 + 5} = \dfrac{10}{7}\,\mathrm{k\Omega}$，$R_{ab} = 10 + \dfrac{10}{7} = \dfrac{80}{7}\,\mathrm{k\Omega}$

電圧の比は抵抗の比に等しいから，

$$\frac{V_{cd}}{V_{ab}} = \frac{R_{cd}}{R_{ab}} = \frac{\frac{10}{7}}{\frac{80}{7}} = \mathbf{\frac{1}{8}}$$

4． この回路は平衡しているから，

$$R_{ab} = \frac{2\,200 \times 1\,100}{2\,200 + 1\,100} = \frac{2\,420\,000}{3\,300} = \frac{2\,200}{3} = \mathbf{733\,\Omega}$$

$$I = \frac{V}{R_{ab}} = \frac{2}{\frac{2\,200}{3}} = 0.00273\ \mathrm{A} = \mathbf{2.73\,mA}$$

5． 平衡条件から，$R_x \times 1\,000 = 100 \times 350$

ゆえに，$R_x = \dfrac{100 \times 350}{1\,000} = \mathbf{35\,\Omega}$

$$R = \frac{(100 + 35) \times (1\,000 + 350)}{(100 + 35) + (1\,000 + 350)} = \frac{1\,350}{11} = 123\,\Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{2}{\frac{1\,350}{11}} = \frac{22}{1\,350} = 0.0163\ \mathrm{A} = \mathbf{16.3\,mA}$$

6． $I_1 = \dfrac{5}{20 + 5} \times 10 = \mathbf{2\,A}$

$I_2 = \dfrac{20}{20 + 5} \times 10 = \mathbf{8\,A}$

7． $I = 100 \times \dfrac{0.3}{29.7 + 0.3} = \mathbf{1\,mA}$

8． $I_3 = I_1 + I_2$ ①

$2I_1 + I_3 = 10$ ②

$I_2 + I_3 = 5$ ③

①を②，③に代入して，I_3 を消去すると，

$3I_1 + I_2 = 10$ ②′

$I_1 + 2I_2 = 5$ ③′

②′，③′から，I_1，I_2 を求めると，

$I_1 = \mathbf{3\,A}$，$I_2 = \mathbf{1\,A}$

これらの値を①に代入して，I_3 を求めると，

$I_3 = \mathbf{4\,A}$

a，b 間の電圧 V_{ab} は，

$V_{ab} = I_3 \times 1 = 4 \times 1 = \mathbf{4\,V}$

9．c，d から順に抵抗を求めていくと，a，b 間の抵抗 R_{ab} は，

$$R_{ab} = \mathbf{200\ \Omega}$$

$$I_1 = \frac{V}{R_{ab}} = \frac{200}{200} = \mathbf{1\ A}$$

I_2 は I_1 の $\frac{1}{8}$ 倍であるから，

$$I_2 = \frac{I_1}{8} = \frac{1}{8} = \mathbf{0.125\ A}$$

c，d 間の電圧 V_{cd} は，$V_{cd} = 100 \times 0.125 = \mathbf{12.5\ V}$

10. $R_s = \dfrac{r_a}{m-1}$ を使って，

$$r_1 + r_2 = \frac{0.02}{2-1} = 0.02$$

ゆえに，$r_1 + r_2 = 0.02$ ①

$$r_1 = \frac{r_2 + 0.02}{5-1} = \frac{r_2 + 0.02}{4}$$

ゆえに，$r_1 = \dfrac{r_2 + 0.02}{4}$ ②

②から，$4r_1 - r_2 = 0.02$ ③

① ＋ ③ から，

$$5r_1 = 0.04,\quad r_1 = \mathbf{0.008\ \Omega}$$

r_1 の値を①に代入すると，

$$r_2 = \mathbf{0.012\ \Omega}$$

第 2 節　電力と熱エネルギー

〔**p.52**〕 **問 1**．$I = 2\ \text{A}$，$R = 100\ \Omega$，$t = 20 \times 60 = 1\,200\ \text{s}$ であるから，

$Q = I^2Rt$ より，

$$Q = 2^2 \times 100 \times 20 \times 60 = 400 \times 1\,200 = 480\,000\ \text{J}$$

$M = 5\,\text{kg}$ であるから，$Q = 4.19 \times 10^3 MT$ より，上昇したときの温度を T_2 とすると，

$$480\,000 = 4.19 \times 10^3 \times 5 \times (T_2 - 10)$$

$$T_2 - 10 = \frac{480\,000}{4.19 \times 5 \times 10^3} = \frac{480}{20.95} \fallingdotseq 22.9$$

ゆえに，$T_2 = 22.9 + 10 = \mathbf{32.9\ ^\circ C}$

〔**p.54**〕 **問 2**．$P = VI = 100 \times 6 = \mathbf{600\ W}$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{100}{6} = \mathbf{16.7\ \Omega}$$

〔**p.54**〕　**問 3．** $I = \dfrac{V}{R} = \dfrac{100}{5} = 20\ \mathrm{A}$

$P = VI = 100 \times 20 = 2\,000\ \mathrm{W} = \mathbf{2\ kW}$

問 4． $V = \dfrac{P}{I} = \dfrac{1\,000}{5} = \mathbf{200\ V}$

$R = \dfrac{V}{I} = \dfrac{200}{5} = \mathbf{40\ \Omega}$

〔**p.55**〕　**問 5．** $W = Pt = VIt = 100 \times 5 \times 2\dfrac{15}{60} \times 3\,600$

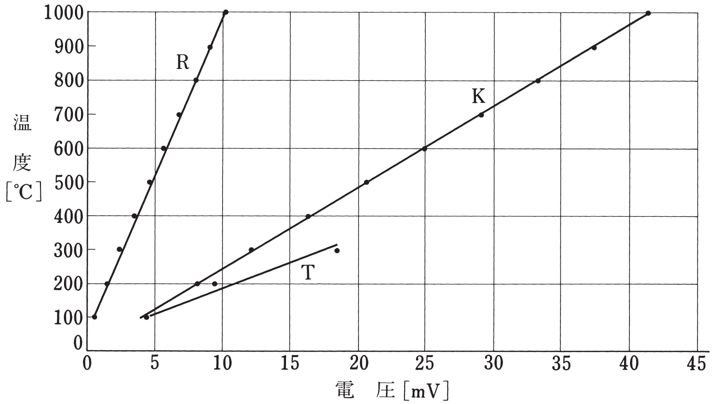
$= \mathbf{4\,050 \times 10^3\ J}$

$= \dfrac{4\,050 \times 10^3}{3\,600}\ \mathrm{W \cdot h} = \mathbf{1.125\ kW \cdot h}$

〔**p.59**〕　**問 6．** $I = \sqrt{\dfrac{P}{R}} = \sqrt{\dfrac{10 \times 10^3}{10}} = \mathbf{31.6\ A}$

問 7． $120 - 40 = \mathbf{80\ ^\circ C}$

〔**p.62**〕　**問 8.** R，K，T は，熱電対の両脚の構成材料の記号である。



〔**p.64〜65**〕　**問題**

1． (1)　①**ジュール熱**

(2)　②**電力**　③**ワット**　④$\boldsymbol{I^2Rt}$　⑤**電力量**

(3)　⑥**許容電力**

(4)　⑦**ゼーベック効果**　⑧**熱起電力**

(5)　⑨**ペルチエ効果**

2． $Q = I^2Rt = 10^2 \times 0.5 \times 3\,600 = 180 \times 10^3\ \mathrm{J} = 180\ \mathrm{kJ}$

したがって，正解は(ア)

3．$Q = Pt = 300 \times (2 \times 3\,600) = 2\,160 \times 10^3\ \mathrm{J} = 2\,160\ \mathrm{kJ}$

したがって，正解は(イ)

4．$I = \dfrac{P}{V} = \dfrac{2 \times 10^3}{200} = \mathbf{10\ A}$，$R = \dfrac{V}{I} = \dfrac{200}{10} = \mathbf{20\ \Omega}$

5．100 V のときの電流，電力を I，P とし，95 V のときの電流，電力を I'，P' とする。

$I = \dfrac{V}{R} = \dfrac{100}{100} = \mathbf{1\ A}$，$I' = \dfrac{V'}{R} = \dfrac{95}{100} = 0.95\ \mathrm{A}$

$P = I^2R = 1^2 \times 100 = \mathbf{100\ W}$，$P' = I'^2R = 0.95^2 \times 100 = 90.3\ \mathrm{W}$

$\dfrac{I'}{I} \times 100\,[\%] = \dfrac{0.95}{1} \times 100 = \mathbf{95\ \%}$

$\dfrac{P'}{P} \times 100\,[\%] = \dfrac{90.3}{100} \times 100 = \mathbf{90.3\ \%}$

6．発生する熱エネルギー $Q = I^2Rt = 5^2 \times 20 \times 30 \times 60$

$= \mathbf{9 \times 10^5\ J}$

水 10 kg の温度上昇 $T\,[\,°C\,]$ は，

$$T = \frac{9 \times 10^5}{10 \times 4.19 \times 10^3} = 21.5\ °\mathrm{C}$$

加熱後の温度 $t\,[°\mathrm{C}\,]$ は，

$$t = 30 + T = 30 + 21.5 = \mathbf{51.5\ °C}$$

7．(1)　$I = \dfrac{V}{R} = \dfrac{100}{20} = \mathbf{5\ A}$

(2)　$P = VI = 100 \times 5 = \mathbf{500\ W}$

(3)　$H = I^2Rt = 5^2 \times 20 \times 20 \times 60 = \mathbf{6 \times 10^5\ J}$

(4)　温度上昇 T は，$T = \dfrac{6 \times 10^5 \times 0.6}{4.19 \times 10^3} = 85.9\ °\mathrm{C}$

加熱後の温度は，$5 + 85.9 = \mathbf{90.9\ °C}$

8．回路の合成抵抗 R は，

$$R = R_1 + \frac{R_2R_3}{R_2 + R_3} = 80 + \frac{40 \times 60}{40 + 60} = 80 + 24 = 104\ \Omega$$

抵抗 R_1，R_2，R_3 を流れる電流を I_1，I_2，I_3 とすると，

$$I_1 = \frac{V}{R} = \frac{4}{104} = 38.5 \times 10^{-3}\ \mathrm{A} = \mathbf{38.5\ mA}$$

$$I_2 = \frac{R_3}{R_2 + R_3}I_1 = \frac{60}{40 + 60} \times 38.5 = \mathbf{23.1\ mA}$$

$$I_3 = \frac{R_2}{R_2 + R_3}I_1 = \frac{40}{40 + 60} \times 38.5 = \mathbf{15.4\ mA}$$

抵抗 R_1，R_2，R_3 における消費電力 P_1，P_2，P_3 および全消費電力 P は，

$$P_1 = I_1{}^2 R_1 = (38.5 \times 10^{-3})^2 \times 80 = 118.6 \times 10^{-3}\ \mathrm{W} = \mathbf{119\ mW}$$

$$P_2 = I_2{}^2 R_2 = (23.1 \times 10^{-3})^2 \times 40 = 21.3 \times 10^{-3}\ \mathrm{W} = \mathbf{21.3\ mW}$$

$$P_3 = I_3{}^2 R_3 = (15.4 \times 10^{-3})^2 \times 60 = 14.2 \times 10^{-3}\ \mathrm{W} = \mathbf{14.2\ mW}$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 118.6 + 21.3 + 14.2 = \mathbf{154\ mW}$$

9． $R_1 = 1\ \mathrm{k\Omega}$，$P_1 = 100\ \mathrm{mW}$，および $R_2 = 100\ \Omega$，$P_2 = 10\ \mathrm{mW}$ であるから，それぞれの許容電流 I_1，I_2 は，

$$I_1 = \sqrt{\frac{P_1}{R_1}} = \sqrt{\frac{100 \times 10^{-3}}{10^3}} = \sqrt{10^{-4}} = 10^{-2}\ \mathrm{A} = 10\ \mathrm{mA}$$

$$I_2 = \sqrt{\frac{P_2}{R_2}} = \sqrt{\frac{10 \times 10^{-3}}{100}} = \sqrt{10^{-4}} = 10^{-2}\ \mathrm{A} = 10\ \mathrm{mA}$$

直列の回路の許容電流 I は，I_1 と I_2 の小さいほうの値をとるから，

$$I = \mathbf{10\ mA}$$

10. $R = R_A + R_B = 1 + 2 = \mathbf{3\ k\Omega}$

$$I_A = \sqrt{\frac{P_A}{R_A}} = \sqrt{\frac{1}{1 \times 10^3}} = 0.0316\ \mathrm{A} = 31.6\ \mathrm{mA}$$

$$I_B = \sqrt{\frac{P_B}{R_B}} = \sqrt{\frac{2}{2 \times 10^3}} = 0.0316\ \mathrm{A} = 31.6\ \mathrm{mA}$$

直列接続した場合の全体の許容電流 I は，I_A と I_B の小さいほうの値をとるから，

$$I = \mathbf{31.6\ mA}$$

$$V = RI = 3 \times 10^3 \times 31.6 \times 10^{-3} = \mathbf{94.8\ V}$$

第 3 節　電気抵抗

〔**p.68**〕　**問 1．** $\rho = R\dfrac{A}{l} = 200 \times \dfrac{0.1}{1000} = \mathbf{2 \times 10^{-2}\ \Omega{\cdot}mm^2/m = 2 \times 10^{-8}\ \Omega{\cdot}m}$

問 2． 直径 1.6 mm の銅線 50 m の抵抗 R は，

$$R = \rho\frac{l_1}{A_1} = \rho\frac{50}{(0.8 \times 10^{-3})^2\pi} = \rho\frac{50}{6.4 \times 10^{-7}\pi}$$

直径 2.0 mm の銅線の l_2[m] の抵抗 R' は，

$$R' = \rho\frac{l_2}{A_2} = \rho\frac{l_2}{(1.0 \times 10^{-3})^2\pi} = \rho\frac{l_2}{1 \times 10^{-6}\pi}$$

$R = R'$ とすると，

$$\rho\frac{50}{6.4 \times 10^{-7}\pi} = \rho\frac{l_2}{1 \times 10^{-6}\pi}$$

よって，

$$l_2 = \frac{50 \times 1 \times 10^{-6}}{6.4 \times 10^{-7}} = \mathbf{78.1\ m}$$

〔**p.69**〕 **問 3．** $\rho = \dfrac{1}{\rho} = \dfrac{1}{1.62 \times 10^{-8}} = 0.617 \times 10^{8} = \mathbf{6.17 \times 10^{7}\ S/m}$

$$\text{パーセント導電率} = \frac{\sigma}{\sigma_s} \times 100 = \frac{6.17 \times 10^{7}}{\dfrac{1}{1.7241 \times 10^{-8}}} \times 100$$

$$= 6.17 \times 1.7241 \times 10 = \mathbf{106\ \%}$$

〔**p.73**〕 **問 4．** $R_{35} = R_{20}\{1 + \alpha_{20}(t_2 - t_1)\}$

$$= 3 \times \{1 + 3.9 \times 10^{-3} \times (35 - 20)\} = \mathbf{3.18\ \Omega}$$

問 5． $R_{30} = R_0\{1 + \alpha_0(t_2 - t_1)\}$

$$= 1\,000 \times \{1 + 4.3 \times 10^{-3} \times (30 - 0)\}$$

$$= 1\,000 \times (1 + 0.129) \fallingdotseq \mathbf{1\,130\ \Omega}$$

〔**p.74**〕 **問 6．** $R_{t2} = R_{t1}\{1 + \alpha_{t1}(t_2 - t_1)\} = R_{t1} + R_{t1}\alpha_{t1}(t_2 - t_1)$

ゆえに，

$$R_{t2} - R_{t1} = R_{t1}\alpha_{t1}(t_2 - t_1) = 234.5 \times 4.3 \times 10^{-3} \times 1$$

$$= \mathbf{1\ \Omega}$$

問 7． $R_{t2} = R_{t1}\{1 + \alpha_{t1}(t_2 - t_1)\}$

ゆえに，

$$t_2 - t_1 = \frac{R_{t2} - R_{t1}}{R_{t1}\alpha_{t1}} = \frac{5\,325 - 5\,000}{5\,000 \times 4.3 \times 10^{-3}} = 15.1$$

$$t_2 = t_1 + 15.1 = 0 + 15.1 = \mathbf{15.1\ ^\circ C}$$

問 8． $R_{t2} = R_{t1}\{1 + \alpha_{t1}(t_2 - t_1)\}$

ゆえに，

$$t_2 - t_1 = \frac{R_{t2} - R_{t1}}{R_{t1}\alpha_{t1}} = \frac{23.45 - 21.34}{21.34 \times 4.3 \times 10^{-3}} = 23.0\ ^\circ\mathrm{C}$$

$$t_2 = t_1 + 23.0 = 0 + 23.0 = \mathbf{23.0\ ^\circ C}$$

〔**p.76**〕 **問 9．** $\dfrac{1000\ \mathrm{V}}{2 \times 10^{6}\ \Omega} = 0.5 \times 10^{-3}\ \mathrm{A} = \mathbf{0.5\ mA}$

問10． ・導体(標準軟銅)

$$\rho = \frac{1}{58} \times 10^{-6} = 1.7241 \times 10^{-8}\ \Omega\cdot\mathrm{m}$$

・絶縁体……教科書 p.70 表3「いろいろな絶縁体の抗抵率」参照。

問11． 温度の上昇によって電荷を運ぶキャリアが増加するため，抵抗が減少する。したがって，温度係数は**負**である。

〔p.81〕 **問題**

1． $R_1=\rho\dfrac{l_1}{A_1}$ より，$\rho=\dfrac{A_1}{l_1}R_1=\dfrac{2}{12}\times 0.1=\dfrac{1}{60}\,\Omega\cdot\mathrm{mm^2/m}$

$R_2=\rho\dfrac{l_2}{A_2}=\dfrac{1}{60}\times\dfrac{96}{8}=0.2\,\Omega$

したがって，正解は(ウ)

2． $\sigma=1.82\times 10^{-2}\,\Omega\cdot\mathrm{mm^2/m}=1.82\times 10^{-2}\times 10^{-6}\,\Omega\cdot\mathrm{m}$

$=\mathbf{1.82\times 10^{-8}\,\Omega\cdot m}$

$\sigma=\dfrac{1}{\rho}=\dfrac{1}{1.82\times 10^{-8}}=\mathbf{5.5\times 10^{7}\,S/m}$

3． $\rho=\dfrac{1}{\rho}=\dfrac{1}{2.86\times 10^{-2}\times 10^{-6}}=35\times 10^{6}=\mathbf{3.5\times 10^{7}\,S/m}$

パーセント導電率 $=\dfrac{\sigma}{\sigma_s}\times 100=\dfrac{3.5\times 10^{7}}{\dfrac{1}{1.7241\times 10^{-8}}}\times 100=\mathbf{60.3\,\%}$

4． $R_{t2}=R_{t1}\{1+\alpha_{t1}(t_2-t_1)\}$

ゆえに，

$t_2-t_1=\dfrac{R_{t2}-R_{t1}}{R_{t1}\alpha_{t1}}=\dfrac{1740-1500}{1500\times 0.00381}=42.0$

$t_2=t_1+42.0=20+42.0=\mathbf{62.0\,^{\circ}C}$

5． $R_1=\rho\dfrac{l_1}{A}$，$R_2=\rho\dfrac{l_2}{A}$

ゆえに，

$\dfrac{R_2}{R_1}=\dfrac{l_2}{l_1}$

$R_2=\dfrac{l_2}{l_1}R_1=\dfrac{1}{1000}\times 200=\mathbf{0.2\,\Omega}$

$R'=\rho\dfrac{l_1}{10A}=\rho\dfrac{l_1}{A}\cdot\dfrac{1}{10}=200\times\dfrac{1}{10}=\mathbf{20\,\Omega}$

$\rho=\dfrac{A}{l_1}R_1=\dfrac{0.1\times 10^{-6}}{10^{3}}\times 200=\mathbf{2\times 10^{-8}\,\Omega\cdot m}$

6． 直径 0.4 mm の電線の体積を V，直径を d，長さを l，抵抗を R とし，直径 0.2 mm の電線の体積を V'，直径を d'，長さを l'，抵抗を R' とする。

直径が 0.4 mm の電線の体積　$V=\dfrac{\pi}{4}d^2l$

直径が 0.2 mm の電線の体積　$V'=\dfrac{\pi}{4}d'^2l'=\dfrac{\pi}{4}\left(\dfrac{d}{2}\right)^2l'=\dfrac{1}{4}\cdot\dfrac{\pi}{4}d^2l'$

$V=V'$ から，$l'=4l=4\times 1=\mathbf{4\,km}$

直径が 0.4 mm の電線の抵抗　$R = \rho \dfrac{1}{\dfrac{\pi}{4} d^2} = 145.3\,\Omega$

直径が 0.2 mm の電線の抵抗

$$R' = \rho \frac{l'}{\dfrac{\pi}{4} d'^2} = \rho \frac{4l}{\dfrac{\pi}{4}\left(\dfrac{d}{2}\right)^2} = \rho \frac{4l}{\dfrac{1}{4} \cdot \dfrac{\pi}{4} d^2} = 16\rho \frac{l}{\dfrac{\pi}{4} d^2} = 16R$$

ゆえに,

$R' = 16R = 16 \times 145 = \mathbf{2.32\,k\Omega}$

7. $\rho = 1.23 \times 10^{-6}\,\Omega \cdot \mathrm{m}$

$$R = \rho \frac{l}{A} = 1.23 \times 10^{-6} \times \frac{1}{\dfrac{\pi}{4} \times (0.4 \times 10^{-3})^2} = \frac{1.23 \times 4}{0.16 \times \pi}$$

$$= \mathbf{9.79\,\Omega}$$

$$R_{t2} = R_{t1}\{1 + \alpha_{t1}(t_2 - t_1)\} = 9.79 \times \{1 + 2 \times 10^{-4} \times (500 - 20)\}$$

$$= 9.79 \times (1 + 0.096) = \mathbf{10.7\,\Omega}$$

8. 軟銅線を多数巻いてコイルをつくり，20 ℃ における抵抗 R_{20}[Ω] をあらかじめ測定しておく。なお，20 ℃ における抵抗の温度係数を α_{20}[℃$^{-1}$] とする。

温度を測定したい場所にこのコイルを置き，そのときのコイルの抵抗 R_t[Ω] を測定すると，その場所の温度 t[℃] は，次の①から算出できる。

$$R_t = R_0\{1 + \alpha_{20}(t - 20)\} \qquad ①$$

ゆえに，$t - 20 = \dfrac{R_t - R_0}{R_0 \alpha_{20}}$

ゆえに，$t = \dfrac{R_t - R_0}{R_0 d_{20}} + 20$

9. スイッチ類(ナイフスイッチ，テレビジョンのチャネルスイッチ)，プラグ，コンセント類，端子とリード線の接続部分。

アークなどによる欠損(スイッチ類，プラグ，コンセント)や，過熱などによる腐食がある場合。

ねじのゆるみや，刃と受けの機械的接触不良がある場合。

第 4 節　電流の化学作用と電池

〔**p.87**〕　**問 1.** $t = w \cdot \dfrac{n}{A} \cdot \dfrac{96\,500}{I} = 5\,000 \times \dfrac{2}{63.5} \times \dfrac{96\,500}{200}$

$$= 75\,984\,\mathrm{s} = \mathbf{21.1\,h}$$

〔p.87〕　**問 2.** 求める電気量を Q とすると，$Q = It$ なので式(3)より，

$$Q = It = \frac{w \times n \times 96\,500}{A}$$

題意により，$w = 50$，表1 より $A = 107.9$，$n = 1$ であるから，

$$Q = \frac{50 \times 1 \times 96\,500}{107.9} = \mathbf{44.7 \times 10^3\ C}$$

これを何アンペア時に換算すると，

$$Q = \frac{44.7 \times 10^3}{3\,600} = \mathbf{12.4\ A \cdot h}$$

〔p.89〕　**問 3．** 二酸化マンガン MnO_2 は，正極付近の H_2 を酸化して水とし，導電性をよくする。また二酸化マンガンは，減極剤の働きをする。

問 4． 乾電池が古くなると，水分が多くなり，電極板が腐食する。また，絶縁物質が増加し内部抵抗が増加する。

〔p.93〕　**問 5．** $\dfrac{3.5\ \mathrm{A \cdot h}}{0.7\ \mathrm{A}} = \mathbf{5\ h}$

問 6． $10\ \mathrm{A} \times 20\ \mathrm{h} = \mathbf{200\ A \cdot h}$

〔p.97〕　**問題**

1． 鉛蓄電池の電解液には，希硫酸が用いられる。したがって，誤っているものは(ア)である。

2． $t = w \cdot \dfrac{n}{A} \cdot \dfrac{96\,500}{I} = 10 \times \dfrac{1}{107.9} \times \dfrac{96\,500}{5} = 1\,789\ \mathrm{s} = \mathbf{29.8\ min}$

3． 一次電池は屋外等，交流電源の供給が不可能な場所で用いられたり，ボタン電池のように小形機器の電源として用いられる。二次電池は，非常用の予備電源として用いられることが多い。

〔p.101〜104〕　**章末問題**

A 1． $12\ \Omega$ の抵抗に流れる電流 I_1 は，$I_1 = \dfrac{24}{12} = 2\ \mathrm{A}$

$6\ \Omega$ の抵抗に流れる電流 I_2 は，$I_2 = \dfrac{24}{6} = 4\ \mathrm{A}$

全体に流れる電流 I は，$I = I_1 + I_2 = 2 + 4 = 6\ \mathrm{A}$

$2\ \Omega$ の抵抗に流れる I_0 は，$I_0 = \dfrac{4}{2+4} I = \dfrac{4}{2+4} \times 4 = 4\ \mathrm{A}$

したがって，正解は(ウ)

A 2． $m = \dfrac{V}{V_v} = \dfrac{300}{3} = 100$

$R_m = r_v(m-1) = 30 \times 10^3 \times (100-1) = 2\,970 \times 10^3\,\Omega = 2\,970\,\Omega$

したがって，正解は㋐

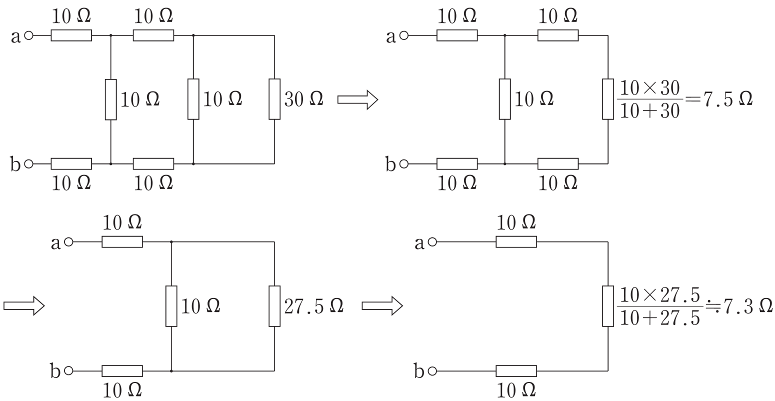
A 3． ⑴ $R = \dfrac{4 \times 6}{4+6} = \mathbf{2.4\,\Omega}$

⑵ $R = \dfrac{10 \times 10}{10+10} + 5 + \dfrac{3 \times 6}{3+6} = \mathbf{12\,\Omega}$

⑶ $$R = \frac{20 \times \left(15 + \dfrac{20 \times 60}{20+60}\right)}{20 + \left(15 + \dfrac{20 \times 60}{20+60}\right)} = \mathbf{12\,\Omega}$$

⑷ $$R = 10 + \frac{1}{\dfrac{1}{20} + \dfrac{1}{20} + \dfrac{1}{20}} = \mathbf{15\,\Omega}$$

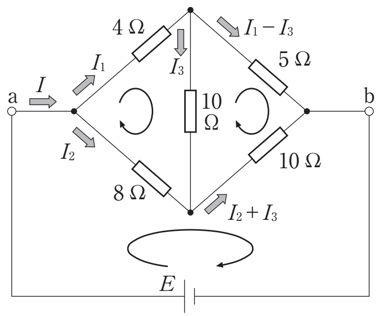
⑸ 一番右側の抵抗が 3 個直列に接続された部分の合成抵抗を求め，図のように回路をかき直しながら求める。$R = 10 + 10 + 7.3 = \mathbf{27.3\,\Omega}$



⑹ 与えられた回路をかき直すと，平衡したブリッジになっている。

$R = \dfrac{9 \times 18}{9+18}$

$= \dfrac{162}{27} = \mathbf{6\,\Omega}$



A 4． $V = E - rI$ より，

$0.7 = E - 5r$　　①

$1.0 = E - 2r$　　②

② − ① より，

$3r = 0.3$　　ゆえに，$r = \mathbf{0.1\,\Omega}$

②に代入して，

$E = 2r + 1.0 = 2 \times 0.1 + 1.0 = \mathbf{1.2\,V}$

A 5． $I = \dfrac{6 - 3}{2 + 4} = \mathbf{0.5\,V}$

$V_{ab} = 2 \times 0.5 + 3 = \mathbf{4\,V}$

A 6． $E = 15 \times 4 = \mathbf{60\,V}$，　$I_1 = \dfrac{20}{8} = 2.5\,\mathrm{A}$

$V_1 = 60 - 20 = 40\,\mathrm{V}$

$R_1 = \dfrac{40}{2.5} = \mathbf{16\,\Omega}$

A 7． 回路に流れる電流は，

$$I = \frac{106}{0.3 + 10 + 0.3} = \frac{106}{10.6} = 10\,\mathrm{A}$$

ゆえに求める電圧は，

$V = 10 \times 10 = \mathbf{100\,V}$

A 8． $I = \dfrac{V}{R_1 + R_2} = \dfrac{48}{30 + 90} = \dfrac{48}{120}\,\mathrm{A}$

ゆえに求める電圧は，

$$P = I^2 R_2 = \left(\frac{48}{120}\right)^2 \times 90 = \mathbf{14.4\,W}$$

A 9． (1)　$P = IV = \dfrac{V^2}{R}$

$R = \dfrac{V^2}{P} = \dfrac{100^2}{300} = \mathbf{33.3\,\Omega}$

(2)　$I = \dfrac{P}{V} = \dfrac{300}{100} = \mathbf{3\,A}$

(3)　水に有効に供給される熱エネルギー Q[J] は，

$Q = 0.8 \times VIt = 0.8 \times 100 \times 3t = 240\,t\,[\mathrm{J}]$

$Q = 4.19 \times 10^3\,MT = 4.19 \times 10^3 \times 1 \times (80 - 10) = 293.3 \times 10^3$

$240t = 293.3 \times 10^3$

$t = \dfrac{293.3 \times 10^3}{240} = 1\,222\,\mathrm{s} = \mathbf{20.4\,min}$

B 1． 抵抗 $2\,\Omega$ を流れる電流 I[A] は,

$$I = \frac{36 - 32}{2} = 2\ \mathrm{A}$$

抵抗 $80\,\Omega$ を流れる電流を I_1[A] とすれば,

$$I_1 = \frac{32}{80} = 0.4\ \mathrm{A}$$

抵抗 R[Ω] を流れる電流 I_2[A] は,

$$I_2 = I - I_1 = 2 - 0.4 = 1.6\ \mathrm{A}$$

$$R = \frac{32}{1.6} = \mathbf{20\ \Omega}$$

B 2． R_L の大きさは,

$$R_L = \frac{10}{5} = 2\,\Omega$$

R にかかっている電圧は 100 V であることから，流れる電流は,

$$I = \frac{100}{12} = \frac{25}{3}\ \mathrm{A}$$

r に流れる電流は,

$$i = \frac{25}{3} - 5 = \frac{10}{3}\ \mathrm{A}$$

ゆえに求める r[Ω] は,

$$r = \frac{10}{i} = \frac{10}{\frac{10}{3}} = \mathbf{3\ \Omega}$$

B 3． 抵抗 $2\,\Omega$ を図の下から上へ流れる電流を I_1

抵抗 $1\,\Omega$ を図の下から上へ流れる電流を I_2

抵抗 $2.5\,\Omega$ を図の上から下へ流れる電流を I_3

とすると,

キルヒホッフの第 1 法則より,

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad ①$$

キルヒホッフの第 2 法則より,

$$5 = I_2 - 2I_1 \quad ②$$

$$27 = I_2 + 2.5I_3 \quad ③$$

①，②，③より,

$$I_1 = 1\ \mathrm{A}$$

ゆえに，求める V[V] は,

$$V = 22 - 1 \times 2 = \mathbf{20\ V}$$

B 4． $I_1 = I_2 + I_3$ ①

$25 - 6 = 7I_1 + I_2$

$19 = 7I_1 + I_2$ ②

$25 = 7I_1 + 4I_3$ ③

①を $I_3 = I_1 - I_2$ として③に代入すると，

$25 = 11I_1 - 4I_2$ ③′

② × 4

$76 = 28I_1 + 4I_2$ ②′

②′ + ③′

$101 = 39I_1$

$I_1 = \frac{101}{39} = \mathbf{2.59\ A}$

I_1 の値を②に代入すると，

$I_2 = 19 - 7I_1 = 19 - \frac{7 \times 101}{39} = \frac{34}{39} = \mathbf{0.87\ A}$

I_1，I_2 の値を①に代入すると，

$I_3 = I_1 - I_2 = \frac{101}{39} - \frac{34}{39} = \frac{67}{39} = \mathbf{1.72\ A}$

B 5． 抵抗 1 Ω を左から右へ流れる電流を I_1

〃 2 Ω 〃 I_2

〃 4 Ω 〃 I_3

〃 3 Ω 〃 I_4

とすると，

キルヒホッフの第 1 法則より，

$I + I_4 = I_1$ ①

$I + I_2 = I_3$ ②

キルヒホッフの第 2 法則より，

$2I_2 + 4I_3 = 255$ ③

$I_1 + 5I - 2I_2 = 0$ ④

$5I + 4I_3 - 3I_4 = 0$ ⑤

①，②，③，④，⑤より，

$I = \mathbf{3\ A}$

B 6． 電流計の内部抵抗は無視する。

回路の合成抵抗は，

$$R_0 = R + \frac{10 \times 40}{10 + 40} = R + 8$$

ゆえに，次式がなりたつ。

$$\frac{100}{R + 8} = 10 \quad \text{これより } R = 2\,\Omega$$

求める電力は，

$$P = I^2R = 10^2 \times 2 = \mathbf{200\ W}$$

B 7． R_1 の両端の電圧は，$P = \dfrac{V^2}{R}$ より，

$$V = \sqrt{PR_1} = \sqrt{104 \times 26} = 52\ \mathrm{V}$$

回路の電流は，

$$I = \frac{V}{R_1} = \frac{52}{26} = 2\ \mathrm{A}$$

R の両端の電圧は，

$$V_R = 100 - 52 = 48\ \mathrm{V}$$

R の両端の合成抵抗は，

$$R_{ab} = \frac{48}{2} = 24\,\Omega$$

よって，$24 = \dfrac{60 \times R}{60 + R}$

$$24 \times (60 + R) = 60\,R$$

$$60R - 24R = 1\,440$$

$$36R = 1\,440$$

$$R = \mathbf{40\,\Omega}$$

B 8． (1) $R' = \dfrac{4}{5}R$

ゆえに，$\dfrac{R'}{R} = \dfrac{\mathbf{4}}{\mathbf{5}}$ **倍**

(2) $I = \dfrac{V}{R}$，$I' = \dfrac{V}{R'}$

ゆえに，$\dfrac{I'}{I} = \dfrac{R}{R'} = \dfrac{\mathbf{5}}{\mathbf{4}}$ **倍**

$$P = VI,\ P' = VI'$$

ゆえに，$\dfrac{P'}{P} = \dfrac{I'}{I} = \dfrac{\mathbf{5}}{\mathbf{4}}$ **倍**

B 9． $R_2 = R_1\{1 + \alpha_{20}(t_2 - t_1)\}$

$$652 = 500 \times \{1 + 3.9 \times 10^{-3} \times (t_2 - 20)\}$$

$$3.9 \times 10^{-3} \times (t_2 - 20) = \frac{652}{500} - 1 = 0.304$$

$$t_2 - 20 = \frac{0.304}{3.9 \times 10^{-3}} = 77.9$$

ゆえに，$t_2 = 20 + 77.9 =$ **97.9 ℃**

第２章　電流と磁気

第１節　電流と磁界

〔p.111〕　**問１．** $F = 6.33 \times 10^4 \times \dfrac{m_1 m_2}{r^2} = 6.33 \times 10^4 \times \dfrac{3 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^{-6}}{1^2}$

$= 6.33 \times 6 \times 10^{-8} = \mathbf{3.80 \times 10^{-7}\ N}$，**反発力**

問２． $F = 6.33 \times 10^4 \times \dfrac{m_1 m_2}{r^2}$ より，

$$r = \sqrt{\frac{6.33 \times 10^4 \times m_1 m_2}{F}}$$

$$= \sqrt{\frac{6.33 \times 10^4 \times 1.5 \times 10^{-4} \times 2 \times 10^{-5}}{0.211}} = 0.03\ \mathrm{m} = \mathbf{3\ cm}$$

〔p.114〕　**問３．** 左から右へ

問４． 左から右へ

〔p.116〕　**問５．** $F = mH = 4 \times 10^{-3} \times 6.5 = \mathbf{2.6 \times 10^{-2}\ N}$

〔p.122〕　**問６．** $H = \dfrac{NI}{2r} = \dfrac{10 \times 0.1}{2 \times 0.5} = \mathbf{1\ A/m}$

問７． $H = \dfrac{NI}{2r}$ より $I = \dfrac{2rH}{N} = \dfrac{2 \times 2 \times 10^{-2} \times 0.5}{100}$

$= 0.2 \times 10^{-3}\ \mathrm{A}$

$= \mathbf{0.2\ mA}$

問８． $H = \dfrac{I}{2\pi r} = \dfrac{3}{2 \times 3.14 \times 5 \times 10^{-2}} = \mathbf{9.55\ A/m}$

$H = \dfrac{I}{2\pi r} = \dfrac{3}{2 \times 3.14 \times 15 \times 10^{-2}} = \mathbf{3.18\ A/m}$

　磁界の大きさは，電線からの距離が大きくなるにつれて，弱くなることがわかる。

問９． $H = \dfrac{NI}{l} = \dfrac{50 \times 2}{1} = \mathbf{100\ A/m}$

〔p.123〕　問題

１． $F = 6.33 \times 10^4 \times \dfrac{m_1 m_2}{r^2}$ より，

a，b 間の力 $F_{ab} = 6.33 \times 10^4 \times \dfrac{9 \times 10^{-5} \times 4 \times 10^{-4}}{(5 \times 10^{-2})^2}$

$= 0.912\ \mathrm{N}$(b に対して右向き)

b，c 間の力 $F_{bc} = 6.33 \times 10^4 \times \dfrac{4 \times 10^{-4} \times 2 \times 10^{-4}}{(5 \times 10^{-2})^2}$

$= 2.03\,\mathrm{N}$(b に対して左向き)

$F_{bc} - F_{ab} = 2.03 - 0.912 = \mathbf{1.12\,N}$，**左向き**

2． $H = 6.33 \times 10^4 \times \dfrac{m}{r^2}$ より，

$H_1 = 6.33 \times 10^4 \times \dfrac{m_1}{r^2} = 6.33 \times 10^4 \times \dfrac{8 \times 10^{-4}}{5^2}$

$= 2.03\,\mathrm{A/m}$(a に対して右向き)

$H_2 = 6.33 \times 10^4 \times \dfrac{m_2}{r^2} = 6.33 \times 10^4 \times \dfrac{-3 \times 10^{-4}}{2^2}$

$= -4.75\,\mathrm{A/m}$(a に対して左向き)

$H_1 + H_2 = 2.03 + (-4.75) = -2.72\,\mathrm{A/m}$，**左向きで $\mathbf{2.72\,A/m}$**

3． $F = mH$ より，

$H = \dfrac{F}{m} = \dfrac{3 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-2}} = \mathbf{0.06\,A/m}$

4． $H = \dfrac{NI}{2r} = \dfrac{150 \times 30 \times 10^{-3}}{2 \times 5 \times 10^{-2}} = \mathbf{45\,A/m}$

5． $H = \dfrac{I}{2\pi r}$ より，

$I = 2\pi r H = 2 \times 3.14 \times 5 \times 10^{-2} \times 8 = \mathbf{2.51\,A}$

6． $H = \dfrac{NI}{2\pi r}$ より，

$I = \dfrac{2\pi r H}{N} = \dfrac{2\pi \times 50 \times 10^{-2} \times 110}{200} = \mathbf{1.73\,A}$

第 2 節　磁界中の電流に働く力

〔**p.126**〕　**問 1．** $B = \dfrac{\Phi}{A} = \dfrac{8 \times 10^{-6}}{5 \times 10^{-4}} = \mathbf{1.6 \times 10^{-2}\,T}$

〔**p.127**〕　**問 2．** 略

〔**p.129**〕　**問 3．** $\sin 0^\circ = 0$，$\sin 30^\circ = \dfrac{1}{2} = 0.5$，$\sin 90^\circ = 1$

$\sin 120^\circ = \dfrac{\sqrt{3}}{2} = 0.866$，$\sin 135^\circ = \dfrac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$

$\theta = 0^\circ$ の場合　$F_0 = BIl \sin\theta = 1 \times 10 \times 0.2 \times \sin 0^\circ = \mathbf{0\,N}$

$\theta = 30^\circ$ の場合　$F_{30} = 1 \times 10 \times 0.2 \times \sin 30^\circ = 2 \times \dfrac{1}{2} = \mathbf{1\,N}$

$\theta = 90^\circ$ の場合　$F_{90} = 1 \times 10 \times 0.2 \times \sin 90^\circ = 2 \times 1 = \mathbf{2\,N}$

$\theta = 120^\circ$ の場合　$F_{120} = 1 \times 10 \times 0.2 \times \sin 120^\circ = 2 \times \dfrac{\sqrt{3}}{2}$

$= \sqrt{3} = \mathbf{1.73\ N}$

$\theta = 135^\circ$ の場合　$F_{135} = 1 \times 10 \times 0.2 \times \sin 135^\circ = 2 \times \dfrac{1}{\sqrt{2}}$

$= \sqrt{2} = \mathbf{1.41\ N}$

〔p.130〕　**問 4．** $T = BIAN = 0.4 \times 100 \times 10^{-3} \times 0.001 \times 500 = \mathbf{0.02\ N \cdot m}$

$T' = BIAN = 0.4 \times 50 \times 10^{-3} \times 0.001 \times 500 = 0.01\ \mathrm{N \cdot m}$

ゆえに，$\dfrac{T'}{T} = \dfrac{0.01}{0.02} = \dfrac{1}{2}$　　$\mathbf{\dfrac{1}{2}}$ **倍**

〔p.131〕　**問 5．** 教科書 p.131 図 8 のように，コイルの導体⊗の上側は磁力線が密で，下側は疎である。また，⊙の上側は磁力線が疎で，下側は密である。磁力線は，p.108 で学んだように，それ自身は縮まろうとし，同じ向きの磁力線どうしは，たがいに反発しようとする。そのため，導体⊗は下向きの力を受け，⊙は上向きの力を受ける。その結果として，コイルには，図 8 のようなトルクが働く。

〔p.134〕　**問 6．** $f = \dfrac{2I_1I_2}{r} \times 10^{-7} = \dfrac{2 \times 0.1 \times 0.1}{4 \times 10^{-3}} \times 10^{-7} = \mathbf{5 \times 10^{-7}\ N/m}$

$f' = \dfrac{5 \times 10^{-7}}{100} = \mathbf{5 \times 10^{-9}\ N/cm}$

問 7． 2 m の平行電線に働く力は単位長さあたりの 2 倍となる。

$f' = 2f = 2 \times \dfrac{2I_1I_2}{f} \times 10^{-7} = 2 \times \dfrac{2 \times 10 \times 10}{50 \times 10^{-3}} \times 10^{-7}$

$= \mathbf{8 \times 10^{-4}\ N}$

電流の方向がたがいに逆であるから，電線に働く力は反発力である。

〔p.135〕　**問題**

1． ⑴　磁界の向きを反対にする。または，電流の向きを反対にする。

⑵　磁束密度 B[T]，電流 I[A]，導体の磁界中の長さ l[m]のどれかを 2 倍にするか，BIl の積を 2 倍にすればよい。

2． $F = BIl\sin\theta = 0.2 \times 20 \times 20 \times 10^{-2} \times \sin 90^\circ = \mathbf{0.8\ N}$

3． $F = BIl\sin\theta = 1.2 \times 10 \times 0.5 \times \sin 90^\circ = \mathbf{6\ N}$

上向き（フレミングの左手の法則）

4． $I = \dfrac{F}{Bl\sin\theta} = \dfrac{0.01}{1.4 \times 10 \times 10^{-2} \times 0.5} = \mathbf{0.143\ A}$

5. $T = BIAN\cos\theta = 0.4 \times 3 \times 4 \times 10^{-2} \times 5 \times 10^{-2} \times 1 \times \cos 0°$

$$= \mathbf{2.4 \times 10^{-3}\ N \cdot m}$$

6. $T = BIAN\cos\theta = 1.2 \times 0.1 \times 2 \times 10^{-4} \times 10 \times \dfrac{\sqrt{3}}{2}$

$$= \mathbf{2.08 \times 10^{-4}\ N \cdot m}$$

7. $f' = 50 \times 10^{-2} f = 50 \times 10^{-2} \times \dfrac{2I_1I_2}{r} \times 10^{-7}$

$$= 50 \times 10^2 \times \frac{2 \times 0.5 \times 0.5}{5 \times 10^{-3}} \times 10^{-7} = \mathbf{5 \times 10^{-6}\ N}$$

第3節　磁性体と磁気回路

〔**p.138**〕　**問1**. $F_m = NI = 1\,000 \times 0.5 = \mathbf{500\ N}$, $I = \dfrac{F_m}{N} = \dfrac{500}{20} = \mathbf{25\ A}$

問2. $R_m = \dfrac{l}{\mu A}$ であるから,

$$\mu = \frac{l}{AR_m} = \frac{1}{25 \times 10^{-4} \times 2 \times 10^6} = \frac{1}{50 \times 10^2} = \mathbf{2 \times 10^{-4}\ H/m}$$

〔**p.139**〕　**問3**. 鉄心の磁束 Φ[Wb]は, $\Phi = \dfrac{\mu ANI}{l} = \dfrac{\mu_0\mu_r ANI}{l}$ で, 鉄心を取り去った場合の磁束 Φ_0[Wb]は, $\Phi_0 = \dfrac{\mu_0 ANI}{l}$ となるから,

$$\frac{\Phi}{\Phi_0} = \frac{\dfrac{\mu_0\mu_r ANI}{l}}{\dfrac{\mu_0 ANI}{l}} = \mu_r,\ \ \mu_r = \frac{\Phi}{\Phi_0} = -\frac{5 \times 10^{-4}}{2.5 \times 10^{-6}} = \mathbf{200}$$

問4. $\mu = \mu_0\mu_r = 4\pi \times 10^{-7} \times 10^3 = \mathbf{1.26 \times 10^{-3}\ H/m}$

〔**p.141**〕　**問5**. $B = \dfrac{\Phi}{A} = \dfrac{\mu NI}{l} = \dfrac{\mu_0\mu_r NI}{l} = \dfrac{4\pi \times 10^{-7} \times 100 \times 1\,000 \times 10}{1}$

$$= 4\pi \times 10^{-1} = \mathbf{1.26\ T}$$

問6. $H = \dfrac{NI}{l} = \dfrac{10\,000 \times 2}{0.8} = \mathbf{2.5 \times 10^4\ A/m}$

問7. p.139 式(7)より, $B = \dfrac{\Phi}{A} = \dfrac{\mu NI}{l}$　　これを変形して,

$$I = \frac{\Phi l}{\mu AN} = \frac{3.2 \times 10^{-6} \times 0.8}{500 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 1.2 \times 10^{-4} \times 8\,500}$$

$$= \mathbf{3.99 \times 10^{-3}\ A}$$

〔**p.142**〕　**問8**. 教科書 p.142 表2より, 電気回路の起電力は磁気回路の① **起磁力** に, 電気抵抗は② **磁気抵抗** に, 電流は③ **磁束** に, 導電率は④ **透磁率** に対応する。

〔**p.142**〕　**問 9．** $\Phi = \dfrac{\mu ANI}{l}$

$$I = \frac{\Phi l}{\mu AN} = R_m \cdot \frac{\Phi}{N} = 4 \times 10^4 \times \frac{6 \times 10^{-2}}{300} = \mathbf{8\ A}$$

問10． (1)　$R_m = \dfrac{1}{\mu} \cdot \dfrac{l}{A} = \dfrac{1}{3.5 \times 10^{-6}} \times \dfrac{80 \times 10^{-2}}{3.14 \times (2 \times 10^{-2})^2}$

$$= \mathbf{1.82 \times 10^8\ H^{-1}}$$

(2)　$NI = 2\,000 \times 5 = \mathbf{10^4\ A}$

(3)　$\Phi = \dfrac{\mu ANI}{l} = \dfrac{NI}{R_m} = \dfrac{10^4}{1.82 \times 10^8} = \mathbf{5.49 \times 10^{-5}\ Wb}$

(4)　$B = \dfrac{\Phi}{A} = \dfrac{5.49 \times 10^{-5}}{3.14 \times (2 \times 10^{-2})^2} = \mathbf{4.37 \times 10^{-2}\ T}$

〔**p.145**〕　**問11．** $R_{m1} = \dfrac{l_1}{\mu A} = \dfrac{1}{4 \times 3.14 \times 10^{-7} \times 200 \times 10 \times 10^{-4}}$

$$= 3.98 \times 10^6\ \mathrm{H^{-1}}$$

$$R_{m2} = \frac{l_2}{\mu_0 A} = \frac{2 \times 10^{-3}}{4 \times 3.14 \times 10^{-7} \times 10 \times 10^{-4}}$$

$$= 1.59 \times 10^6\ \mathrm{H^{-1}}$$

合成磁気抵抗 $R_m = R_{m1} + R_{m2}$

$$= 3.98 \times 10^6 + 1.59 \times 10^6 = 5.57 \times 10^6\ \mathrm{H^{-1}}$$

磁束 $\Phi = \dfrac{NI}{R_m} = BA$ より

電流 $I = \dfrac{R_m BA}{N} = \dfrac{5.57 \times 10^6 \times 0.5 \times 10 \times 10^{-4}}{1\,000}$

$$= \mathbf{2.80\ A}$$

問12． 鉄心 l_1 の磁気抵抗 R_1 は，

$$R_1 = \frac{l_1}{\mu_0 \mu_r A} = \frac{l_1}{\mu_0 A \times 1\,000}$$

で，エアギャップ $l_2 = 1 \times 10^{-3}$ m の磁気抵抗 R_2 は，

$$R_2 = \frac{l_2}{\mu_0 A} = \frac{1 \times 10^{-3}}{\mu_0 A}$$

である。$R_1 = R_2$ とすると，

$$\frac{l_1}{\mu_0 A \times 1\,000} = \frac{1 \times 10^{-3}}{\mu_0 A}$$

ゆえに，$l_1 = 1$ m

〔**p.146**〕　**問13．** エアギャップでは，磁気抵抗が大きいため磁束が広がり，エアギャップが大きいほど漏れ磁束は多くなる。

問14． 一部に巻かれたコイルのほうが，漏れ磁束は大きい。

〔p.146〕　**問15.** (1)　A′ > A > A″

(2)　磁束のほとんどが中空球体鉄心中を通るからである。

(3)　外部磁界，すなわち電磁波の影響を受けては困るようなところで利用される。測定器・ラジオ・テレビジョンの各部で磁気遮へいが行われている。

〔p.149〕　**問16.** $B = \mu H$ より $\mu = \dfrac{B}{H} = \dfrac{1}{200} = \mathbf{5 \times 10^{-3}\ H/m}$

$\mu = \mu_0 \mu_r$ より $\mu_r = \dfrac{\mu}{\mu_0} = \dfrac{5 \times 10^{-3}}{4 \times 3.14 \times 10^{-7}} = \mathbf{3.98 \times 10^3}$

〔p.152〜153〕　**問題**

1．(2)

2． $H = \dfrac{NI}{l} = \dfrac{3\,000 \times 100 \times 10^{-3}}{0.2} = 1\,500 = \mathbf{1.5 \times 10^3\ A/m}$

$B = \dfrac{\Phi}{A} = \dfrac{10^{-5}}{10^{-4}} = \mathbf{0.1\ T}$

3． 起磁力 NI は，どちらも等しい。

点①のほうが，②より B，H ともに大(図(b)のほうが図(a)に比べて漏れ磁束が多いため，B，H ともに，①のほうが②よりわずかに大きい)。

4． (1)　$F_m = NI = 500 \times 2 = \mathbf{10^3\ A}$

(2)　$R_m = \dfrac{l_1}{\mu A_1} + \dfrac{l_2}{\mu A_2} = \dfrac{0.2}{4\pi \times 10^{-7} \times 1\,000 \times 1 \times 10^{-4}}$

$+ \dfrac{0.2}{4\pi \times 10^{-7} \times 1\,000 \times 4 \times 10^{-4}} = \mathbf{1.99 \times 10^6\ H^{-1}}$

(別解)上半分の磁気抵抗は，断面積の比より，下半分の磁気抵抗の4倍となるので，全磁気抵抗は下半分の磁気抵抗の値を5倍して求められる。

$R_m = 5 \times \dfrac{l_2}{\mu A_2} = 5 \times \dfrac{0.2}{4\pi \times 10^{-7} \times 1\,000 \times 4 \times 10^{-4}}$

$= 1.99 \times 10^6\ \mathrm{H}^{-1}$

(3)　$\Phi = \dfrac{NI}{R_m} = \dfrac{10^3}{1.99 \times 10^6} = \mathbf{5.03 \times 10^{-4}\ Wb}$

第 4 節　電磁誘導と電磁エネルギー

〔p.156〕　**問 1．** コイル B をコイル A から遠ざけるとき，コイル A に発生する誘導起電力の向きは，コイル B をコイル A に近づけるときに発生する誘導起電力の向きと逆である。

問 2． $\Delta(N\Phi) = 400 \times 5 \times 10^{-3} = \mathbf{2\ Wb}$

$\Delta t = 1 \times 10^{-3}$ であるから，

$$e = -\frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t} = -\frac{2}{1 \times 10^{-3}} = -2\,000\ \mathrm{V}$$

誘導起電力の大きさは，起電力の正の向きと逆に **2 000 V** である。

〔p.158〕　**問 3．** $e = Blu\sin\theta = 0.2 \times 40 \times 10^{-2} \times 50 \times 10^{-2} \times 1$

$= 4 \times 10^{-2}\ \mathrm{V}$

誘導起電力は，**z 軸方向と逆の向きに 4×10^{-2} V** である。

〔p.159〕　**問 4．** $e = Blu\sin\theta = 0.3 \times 30 \times 10^{-2} \times 40 \times 10^{-2} \times \dfrac{\sqrt{2}}{2}$

$= 2.55 \times 10^{-2}\ \mathrm{V}$

誘導起電力は，**z 軸方向と逆の向きに 2.55×10^{-2} V** である。

〔p.160〕　**問 5．** (1)　磁石を図10(b)の矢印の向きに移動させると，磁石の前方では磁束が増加し，磁石の後方では磁束が減少しようとする。このような磁束の増加・減少をさまたげるように流れる電流が渦電流である。したがって，渦電流は，図(b)に示す向きに流れる。

(2)　磁束の向きは紙面に垂直であり，電流は円板の中心に向かう。フレミングの左手の法則を適用すれば，円板には磁石の回転する向きと同じ向きの力が働くことがわかる。

〔p.163〕　**問 6．** $$L = -\frac{e}{\dfrac{\Delta I}{\Delta t}} = -\frac{-20}{\dfrac{5}{0.5 \times 10^{-3}}} = \frac{20 \times 0.5 \times 10^{-3}}{5}$$

$= 2 \times 10^{-3}\ \mathrm{H} = \mathbf{2\ mH}$

問 7． $$e = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} = -0.1 \times \frac{0.5}{0.1 \times 10^{-3}} = -500\ \mathrm{V}$$

負の向きに **500 V**

〔p.165〕　**問 8．** $L = \dfrac{\mu_0\mu_r AN^2}{l}$ からわかるように，コイルの自己インダクタンス L は，コイルの巻数 N の 2 乗に比例する。$N' = 2\,000$ のコイルの自己インダクタンスを L'，$N = 1\,000$のコイルの自己インダクタ

ンスを L とすると，$\dfrac{L'}{L}=\dfrac{N'^2}{N^2}=\dfrac{2\,000^2}{1\,000^2}=4$

ゆえに，$L'=4L=4\times1\,\mathrm{mH}=\mathbf{4\,mH}$

〔**p.165**〕　**問 9．** $L=\dfrac{\mu_0\mu_r AN^2}{l}=\dfrac{4\pi\times10^{-7}\times500\times5\times10^{-4}\times400^2}{0.5}$

$$=\frac{16\pi\times10^{-3}}{0.5}=0.100\,\mathrm{H}=\mathbf{100\,mH}$$

問10. $\mu_r=\dfrac{Ll}{\mu_0 AN^2}=\dfrac{1\times0.36}{4\pi\times10^{-7}\times2\times10^{-4}\times1\,200^2}=\mathbf{995}$

問11. (1) $\dfrac{\boldsymbol{N}}{\boldsymbol{l}}$　(2) $L=\dfrac{\boldsymbol{\mu AN^2}}{\boldsymbol{l}}$ **[H]**

(3) $L_1=\dfrac{L}{l}=\dfrac{\boldsymbol{\mu AN^2}}{\boldsymbol{l^2}}$ **[H/m]**

〔**p.167**〕　**問12.** $\dfrac{2r}{l}=\dfrac{2\times6\times10^{-2}}{30\times10^{-2}}=0.4$，教科書 p.166 図15(b)から，

$\boldsymbol{\lambda=0.85}$

問13. $\dfrac{2r}{l}=\dfrac{2\times1\times10^{-2}}{8\times10^{-2}}=0.25$ で，$\lambda=0.9$

$$L=\lambda\frac{\mu_0\pi r^2}{l}N^2=0.9\times\frac{4\pi\times10^{-7}\times\pi\times10^{-4}}{8\times10^{-2}}\times100^2$$

$$=\frac{0.9\times4\pi^2\times10^{-5}}{8}=44.4\times10^{-6}\,\mathrm{H}=\mathbf{44.4\,\mu H}$$

〔**p.169**〕　**問14.** $M=-\dfrac{e_2}{\dfrac{\varDelta I_1}{\varDelta t}}=-\dfrac{-3}{\dfrac{0.5}{0.1\times10^{-3}}}=\dfrac{3\times0.1\times10^{-3}}{0.5}$

$$=0.6\times10^{-3}\,\mathrm{H}=\mathbf{0.6\,mH}$$

問15. $e_2=-M\dfrac{\varDelta I_1}{\varDelta t}=-100\times10^{-3}\times\dfrac{10}{10\times10^{-3}}=-100\,\mathrm{V}$

負の向きに **100 V**

〔**p.170**〕　**問16.** $M=\dfrac{\mu AN_1N_2}{l}=\dfrac{4\pi\times10^{-7}\times500\times3\times10^{-3}\times1000\times2000}{0.8}$

$$=\frac{4\pi\times3}{8}=\mathbf{4.71\,H}$$

問17. $N_1=100$，$N_2=200$ のとき，$M=100\,\mathrm{mH}$ であるから，

$$M=\frac{\mu AN_1N_2}{l}=100\times200\frac{\mu A}{l}=100\,\mathrm{mH} \qquad ①$$

$N_1'=150$，$N_2'=250$ にしたときの相互インダクタンスを M' [mH] とすれば，

$$M'=150\times250\frac{\mu A}{l} \qquad ②$$

①，②から，

$$M' = \frac{150 \times 250}{100 \times 200} M = 1.875 \times 100\,\mathrm{mH} = \mathbf{188\ mH}$$

〔p.171〕 **問18.** $M = \sqrt{L_1 L_2} = \sqrt{3 \times 10^{-3} \times 12 \times 10^{-3}} = \sqrt{36 \times 10^{-6}}$

$= 6 \times 10^{-3}\,\mathrm{H} = \mathbf{6\ mH}$

問19. $L_1 = \dfrac{\mu A N_1{}^2}{l}$ から,

$$\frac{\mu A}{l} = \frac{L_1}{N_1{}^2} = \frac{200 \times 10^{-3}}{1\,000^2} = 2 \times 10^{-7}$$

$$L_2 = \frac{\mu A N_2{}^2}{l} = \frac{\mu A}{l} \times N_2{}^2 = 2 \times 10^{-7} \times 2\,000^2 = 0.8\,\mathrm{H}$$

$= \mathbf{800\ mH}$

$$M = \frac{\mu A N_1 N_2}{l} = \frac{\mu A}{l} \times N_1 N_2 = 2 \times 10^{-7} \times 1\,000 \times 2\,000$$

$= 0.4\,\mathrm{H}$

$= \mathbf{400\ mH}$

（別解） $M = \sqrt{L_1 L_2} = \sqrt{200 \times 10^{-3} \times 800 \times 10^{-3}}$

$= 400 \times 10^{-3}\,\mathrm{H} = \mathbf{400\ mH}$

問20. $M = k\sqrt{L_1 L_2} = 0.1 \times \sqrt{30 \times 10^{-3} \times 240 \times 10^{-3}}$

$= 8.49 \times 10^{-3}\,\mathrm{H}$

$= \mathbf{8.49\ mH}$

〔p.172〕 **問21.** $k = \dfrac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} = \dfrac{14 \times 10^{-6}}{\sqrt{8 \times 10^{-6} \times 98 \times 10^{-6}}} = \dfrac{14 \times 10^{-6}}{28 \times 10^{-6}} = \mathbf{0.5}$

〔p.174〕 **問22.** $L = L_1 + L_2 - 2M$

$= 15 \times 10^{-3} + 20 \times 10^{-3} - 2 \times 5 \times 10^{-3}$

$= 25 \times 10^{-3} = \mathbf{25\ mH}$

〔p.176〕 **問23.** p.175 式(28)より,

$$W = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times (100 \times 10^{-3})^2 = \mathbf{0.05\ J}$$

問24. I[A]のとき, $W = \dfrac{1}{2} L I^2$[J]

5倍の電流 $I' = 5I$[A]のときの電磁エネルギーを W' とすれば,

$$W' = \frac{1}{2} L I'^2 = \frac{1}{2} L (5I)^2 = 25 \times \frac{1}{2} L I^2 = 25W,\ \frac{W'}{W} = \mathbf{25}\ \textbf{倍}$$

〔p.177〕 **問25.** $w = \dfrac{1}{2} \mu H^2 = \dfrac{1}{2} \times 4 \times 3.14 \times 10^{-7} \times 500 \times 800^2$

$= \mathbf{2.01 \times 10^2\ J/m^3}$

〔p.177〜178〕 **問題**

1. (1) $A = \pi r^2 = \pi \times (1 \times 10^{-1})^2 = \pi \times 10^{-2} = \mathbf{3.14 \times 10^{-2}\ m^2}$

$l = 2\pi r = 2\pi \times (50 \times 10^{-1}) = \pi = \mathbf{3.14\ m}$

$\mu = \mu_0 \mu_r = 4\pi \times 10^{-7} \times 500 = 2\pi \times 10^{-4}\ \mathrm{H/m}$

$= \mathbf{6.28 \times 10^{-4}\ H/m}$

(2) $R = \dfrac{l}{\mu A} = \dfrac{\pi}{2\pi \times 10^{-4} \times \pi \times 10^{-2}} = \dfrac{10^6}{2\pi} = \mathbf{1.59 \times 10^5\ H^{-1}}$

(3) $L_1 = \dfrac{\mu A N_1{}^2}{l} = \dfrac{2\pi \times 10^{-4} \times \pi \times 10^{-2} \times 100^2}{\pi} = 2\pi \times 10^{-2}$

$= 6.28 \times 10^{-2}\ \mathrm{H} = \mathbf{62.8\ mH}$

$L_2 = \dfrac{\mu A N_2{}^2}{l} = \dfrac{2\pi \times 10^{-4} \times \pi \times 10^{-2} \times 2\,500^2}{\pi} = 2\pi \times 2.5^2 = \mathbf{39.3\ H}$

$L_3 = \dfrac{\mu A N_3{}^2}{l} = \dfrac{2\pi \times 10^{-4} \times \pi \times 10^{-2} \times 10^2}{\pi} = 2 \times 10^{-4}$

$= 6.28 \times 10^{-4}\ \mathrm{H} = \mathbf{0.628\ mH}$

(4) $M_{12} = \sqrt{L_1 L_2} = \sqrt{6.28 \times 10^{-2} \times 39.3} = 15.7 \times 10^{-1} = \mathbf{1.57\ H}$

$M_{23} = \sqrt{L_2 L_3} = \sqrt{39.3 \times 6.28 \times 10^{-4}} = 15.7 \times 10^{-2}\ \mathrm{H} = \mathbf{157\ mH}$

$M_{13} = \sqrt{L_1 L_3} = \sqrt{6.28 \times 10^{-2} \times 6.28 \times 10^{-4}} = 6.28 \times 10^{-3}\ \mathrm{H}$

$= \mathbf{6.28\ mH}$

(5) $L_{14} = L_1 + L_2 + 2M_{12} = 62.8 \times 10^{-3} + 39.3 + 2 \times 1.57 = \mathbf{42.5\ H}$

(6) $L_{36} = L_2 + L_3 - 2M_{23} = 39.3 + 0.628 \times 10^{-3} - 2 \times 157 \times 10^{-3}$

$= \mathbf{39.0\ H}$

(7) $L_{25} = L_1 + L_3 - 2M_{13} = 62.8 \times 10^{-3} + 0.628 \times 10^{-3} - 2 \times 6.28 \times 10^{-3}$

$= 50.9 \times 10^{-3}\ \mathrm{H} = \mathbf{50.9\ mH}$

2. $L = -\dfrac{e}{\dfrac{\Delta I}{\Delta t}} = -\dfrac{-10}{\dfrac{5}{0.1 \times 10^{-3}}} = \dfrac{10 \times 0.1 \times 10^{-3}}{5} = 0.2 \times 10^{-3}\ \mathrm{H}$

$= \mathbf{0.2\ mH}$

3. 端子 2, 3 を接続すると和動接続，端子 2, 4 を接続すると差動接続となる。

端子 2，3 を接続すると，　$L = L_1 + L_2 + 2M = 50\ \mathrm{mH}$　①

端子 2，4 を接続すると，　$L = L_1 + L_2 - 2M = 2\ \mathrm{mH}$　②

①＋②

$$\begin{array}{rr} & L_1 + L_2 + 2M = 50 \\ +) & L_1 + L_2 - 2M = \ \ 2 \\ \hline & 2(L_1 + L_2) = 52 \end{array}$$

①－②

$$\begin{array}{rr} & L_1 + L_2 + 2M = 50 \\ -) & L_1 + L_2 - 2M = \ \ 2 \\ \hline & 4M = 48 \end{array}$$

ゆえに，$L_1+L_2=26$，また $L_1=L_2$ であるから，

$L_1=L_2=\mathbf{13\ mH}$　　$M=\mathbf{12\ mH}$

4． $M=\dfrac{(L_1+L_2)-L}{2}=\dfrac{20\times10^{-3}+20\times10^{-3}-10\times10^{-3}}{2}=15\times10^{-3}\ \mathrm{H}$

$k=\dfrac{M}{\sqrt{L_1L_2}}=\dfrac{15\times10^{-3}}{\sqrt{20\times10^{-3}\times20\times10^{-3}}}=\mathbf{0.75}$

5． $W=\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{B^2}{\mu}Al=\dfrac{1}{2}\times\dfrac{0.4^2\times10^{-4}\times0.2}{4\pi\times10^{-7}\times500}$

$=\dfrac{0.16\times0.2}{4\pi}=2.546\times10^{-3}=\mathbf{2.55\times10^{-3}\ J}$

6． 問題１(3)の L_1 を用いて，

$W=\dfrac{1}{2}L_1I^2=\dfrac{1}{2}\times62.8\times10^{-3}\times10^2=\mathbf{3.14\ J}$

〔p.181〜184〕　章末問題

A 1． (1)　①**吸引力**　②**反発力**　③**磁力（磁気力）**

(2)　④**ウェーバ**

(3)　⑤**磁気誘導**

(4)　⑥**電磁力**

(5)　$\dfrac{I〔\mathrm{A}〕}{\Phi〔\mathrm{Wb}〕}=R_m〔\mathrm{H}^{-1}〕$　⑦**磁気抵抗**

A 2． $F=6.33\times10^4\times\dfrac{m_1m_2}{r^2}$

$=6.33\times10^4\times\dfrac{3\times10^{-5}\times4\times10^{-4}}{(15\times10^{-2})^2}=\mathbf{3.38\times10^{-2}\ N}$

A 3． $F=mH=0.8\times30=24\ \mathrm{N}$

A 4． (1)　**上向き**　　(2)　**左向き**　　(3)　**左向き**

A 5． $F=BIl\sin\theta=0.4\times10\times0.3\times\dfrac{\sqrt{3}}{2}=\mathbf{1.04\ N}$

の大きさの力が $\boldsymbol{z}$ **軸方向に**働く。

A 6． $f=\dfrac{2I_1I_2}{r}\times10^{-7}=\dfrac{2\times50\times10}{0.3}\times10^{-7}=\mathbf{3.33\times10^{-4}\ N/m}$

電流の方向が同じであるから，**吸引力**が働く。

A 7． フレミングの右手の法則から，誘導起電力の向きは⊗である。

A 8． $e=-N\cdot\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=-30\times\dfrac{1}{0.1}=-300\ \mathrm{V}$

コイルに発生する起電力 e の大きさは **300 V** となる。

A 9． $k=\dfrac{M}{\sqrt{L_1L_2}}=\dfrac{0.1}{\sqrt{0.2\times0.1}}=\mathbf{0.707}$

A10. $W=\dfrac{1}{2}LI^2=\dfrac{1}{2}\times5\times10^{-3}\times20^2$

$=\mathbf{1\,J}$

B 1． $e=Blu\sin\theta$，$Bl=\mu_0Hl$ は一定値である。

磁界の向きと導体が運動する向きとのなす角は，図1参照。なお，a→b を正，b→a の向きを負の向きとする。

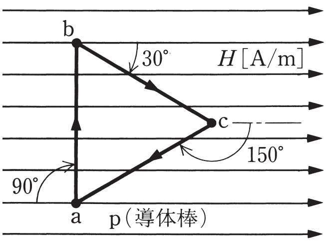


図 1

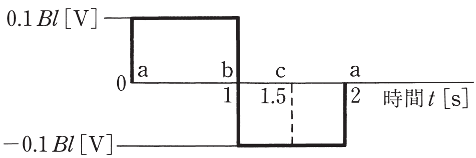


図 2

(ア) a，b 間は速度が 10 cm/s で，距離は 10 cm に相当するから，起電力 e_{ab} は 1 秒間発生し，

$e_{ab}=Bl\times0.1\sin90°=0.1Bl$[V]

(イ) b，c 間は速度が 20 cm/s で，距離は 10 cm に相当するから，起電力 e_{bc} は 0.5 秒間発生し，

$e_{bc}=Bl\times0.2\sin(-30°)=-0.1Bl$[V]

(ウ) c，a 間は速度が 20 cm/s で，距離は 10 cm に相当するから，起電力 e_{ca} は 0.5 秒間発生し，

$e_{ca}=Bl\times0.2\sin(-150°)=-0.1Bl$[V]

したがって，図2 のようになる。　　答 **(3)**

B 2． (1) $F_0=2\times\dfrac{B}{\mu_0}l_0=2\times\dfrac{1}{4\pi\times10^{-7}}\times10^{-3}=\dfrac{10^4}{2\pi}=\mathbf{1\,590\,A}$

(2) $F_1=\dfrac{B}{\mu}l_1=\dfrac{1}{4\pi\times10^{-7}\times1\,000}\times0.75=\dfrac{0.75\times10^4}{4\pi}=\mathbf{597\,A}$

(3) $F_2=\dfrac{B}{\mu}l_2=\dfrac{1}{4\pi\times10^{-7}\times2\,000}\times0.25=\dfrac{0.25\times10^4}{8\pi}=\mathbf{99.5\,A}$

(4) $F=F_0+F_1+F_2=1\,590+597+99.5=2\,286.5=\mathbf{2\,290\,A}$

(5) $F=NI$ から，$I=\dfrac{F}{N}=\dfrac{2\,290}{2\,000}=\mathbf{1.15\,A}$

B 3． $R_1 = \dfrac{l_1}{\mu A} = \dfrac{2\pi \times 0.5 - 1 \times 10^{-3}}{4\pi \times 10^{-7} \times 500 \times 0.2 \times 0.1} = \dfrac{\pi - 0.001}{4\pi \times 10^{-6}}$

$= 2.50 \times 10^5\ \mathrm{H^{-1}}$

$R_2 = \dfrac{l_2}{\mu_0 A} = \dfrac{1 \times 10^{-3}}{4\pi \times 10^{-7} \times 0.2 \times 0.1} = \dfrac{1}{8\pi \times 10^{-6}}$

$= 0.398 \times 10^5\ \mathrm{H^{-1}}$

$R = R_1 + R_2 = 2.50 \times 10^5 + 0.398 \times 10^5 = 2.90 \times 10^5\ \mathrm{H^{-1}}$

$\Phi = \dfrac{NI}{R} = \dfrac{100 \times 15}{2.90 \times 10^5} = \dfrac{1.5 \times 10^3 \times 10^{-5}}{2.90} = 5.17 \times 10^{-3}\ \mathrm{Wb}$

(1)　$B = \dfrac{\Phi}{A} = \dfrac{5.17 \times 10^{-3}}{0.2 \times 0.1} = \dfrac{5.17 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-2}} = \mathbf{0.259\ T}$

(2)　$B = \mathbf{0.259\ T}$

(3)　$H_0 = \dfrac{B}{\mu_0} = \dfrac{0.259}{4\pi \times 10^{-7}} = \dfrac{0.259 \times 10^7}{4\pi} = \mathbf{2.06 \times 10^5\ A/m}$

(4)　$H = \dfrac{B}{\mu} = \dfrac{0.259}{4\pi \times 10^{-7} \times 500} = \dfrac{0.259 \times 10^4}{2\pi}$

$= \mathbf{4.12 \times 10^2\ A/m}$

(5)　$F = BIl = 0.259 \times 10 \times 0.2 = \mathbf{0.518\ N}$

下向き(フレミングの左手の法則)

B 4． $L = \dfrac{\mu A N^2}{l}$ なので $\dfrac{L_1}{L_2} = \dfrac{{N_1}^2}{{N_2}^2}$

$\dfrac{2\,000^2}{{N_2}^2} = \dfrac{0.1}{0.225}$　　よって，$N_2 = \sqrt{\dfrac{0.225}{0.1} \times 2\,000^2} = 3\,000$

$N_2 - N_1 = 3\,000 - 2\,000 = \mathbf{1\,000}$ **回**

B 5． 和動接続の場合

$L = L_1 + L_2 + 2M = 10 + 30 + 2 \times 15 = \mathbf{70\ mH}$

差動接続の場合

$L = L_1 + L_2 - 2M = 10 + 30 - 2 \times 15 = \mathbf{10\ mH}$

B 6． $L_1 + L_2 + 2M = 72$　　①

$L_1 + L_2 - 2M = 16$　　②

①，②より，

$M = \mathbf{14\ mH}$

B 7． $L = \dfrac{\mu A N^2}{l} = \dfrac{1\,000 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 30 \times 10^{-4} \times 300^2}{0.5} = 0.679\ \mathrm{H}$

$= \mathbf{679\ mH}$

$W = \dfrac{1}{2} L I^2 = \dfrac{1}{2} \times 0.679 \times 2^2 = \mathbf{1.36\ J}$

第 3 章　静電気

第 1 節　電荷と電界

〔p.189〕　問 1．$F = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \dfrac{Q_1Q_2}{r_2} = 9 \times 10^9 \times \dfrac{3 \times 10^{-6} \times (-12) \times 10^{-6}}{(5 \times 10^{-2})^2}$

$\fallingdotseq -1.30 \times 10^2\,\mathrm{N}$

ゆえに，大きさ **1.30 × 10² N** で **吸引力**

〔p.190〕　問 2．①**負**　②**正**　③**静電誘導**　④**静電遮へい**　⑤**シールド**

〔p.192〕　問 3．$Q = \dfrac{E \times r^2}{9 \times 10^9} = \dfrac{7.20 \times 10^6 \times (5 \times 10^{-2})^2}{9 \times 10^9}$

$= 2 \times 10^{-6}\,\mathrm{C} = \mathbf{2\,\mu C}$

問 4．$E = \dfrac{F}{Q} = \dfrac{0.05}{3 \times 10^{-6}} = \mathbf{1.67 \times 10^4\ V/m}$

〔p.193〕　問 5．$V = E \times l = 400 \times 3 \times 10^{-2} = \mathbf{12\ V}$

〔p.195〕　問 6．$D = \varepsilon E = 0.24 \times 10^{-6} \times 20$

$= 4.8 \times 10^{-6}\,\mathrm{C/m^2} = \mathbf{4.8\,\mu C/m^2}$

〔p.197〕　問 7．$Q = \dfrac{V \times r}{9 \times 10^9} = \dfrac{6 \times 10^3 \times 3}{9 \times 10^9} = 2 \times 10^{-6}\,\mathrm{C} = \mathbf{2\,\mu C}$

問 8．$V_{AB} = 9 \times 10^9 \times Q \times \left(\dfrac{1}{r_1} - \dfrac{1}{r_2}\right)$

$60 \times 10^3 = 9 \times 10^9 \times 8 \times 10^{-6} \times \left(\dfrac{1}{30 \times 10^{-2}} - \dfrac{1}{r_2}\right)$

$\dfrac{1}{30 \times 10^{-2}} - \dfrac{1}{r_2} = \dfrac{60 \times 10^3}{9 \times 10^9 \times 8 \times 10^{-6}}$

$\dfrac{1}{r_2} = \dfrac{1}{30 \times 10^{-2}} - \dfrac{60 \times 10^3}{9 \times 10^9 \times 8 \times 10^{-6}}$

ゆえに，$r_2 = 0.4\,\mathrm{m} = \mathbf{40\ cm}$

〔p.199〕　問 9．$C = 4\pi\varepsilon_0 r = \dfrac{1}{9 \times 10^9} \times 6\,400 \times 10^3 = 7.11 \times 10^{-4}\,\mathrm{F}$

$= 711 \times 10^{-6}\,\mathrm{F} = \mathbf{711\,\mu F}$

〔p.199〕　**問題**

1．$F = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \dfrac{Q_1Q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \dfrac{1 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-6}}{1^2} = \mathbf{9 \times 10^{-3}\ N}$

2．$Q = 4\pi\varepsilon_0 r^2 E = \dfrac{2.7^2 \times 100}{9 \times 10^9} = 8.1 \times 10^{-8}\,\mathrm{C} = \mathbf{0.081\,\mu C}$

3． $Q = 4\pi\varepsilon_0 rV = \dfrac{2.7 \times 100}{9 \times 10^9} = 3 \times 10^{-8}\,\mathrm{C} = \mathbf{0.03\,\mu C}$

4． $C = 4\pi\varepsilon_0 r = \dfrac{1}{9 \times 10^9} \times 1 = 1.11 \times 10^{-10}\,\mathrm{F} = \mathbf{111\,pF}$

5． $Q = CV = 0.05 \times 10^{-6} \times 10 = 0.5 \times 10^{-6} = \mathbf{0.5\,\mu C}$

第２節　コンデンサ

〔**p.202**〕　**問１．** $C = \varepsilon\dfrac{A}{l} = 8.85 \times 10^{-12} \times \dfrac{\pi \times (5 \times 10^{-2})^2}{0.5 \times 10^{-2}}$

$= 13.9 \times 10^{-12}\,\mathrm{F} = \mathbf{13.9\,pF}$

問２． $C = \dfrac{A}{l}\varepsilon$

$C' = \dfrac{2A}{\frac{1}{3}l}\varepsilon = \dfrac{6A}{l}\varepsilon$，**６倍**になる。

〔**p.203**〕　**問３．** $\varepsilon = \dfrac{lC}{A} = \dfrac{2 \times 10^{-3} \times 22.125 \times 10^{-12}}{10 \times 10^{-4}} = 4.425 \times 10^{-11}\,\mathrm{F/m}$

$\varepsilon_r = \dfrac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \dfrac{4.425 \times 10^{-11}}{8.85 \times 10^{-12}} = \mathbf{5}$

〔**p.204**〕　**問４．** (1)　$Q_1 = C_1V = 10 \times 10^{-6} \times 200 = 2 \times 10^{-3}\,\mathrm{C} = \mathbf{2\,mC}$

$Q_2 = C_2V = 5 \times 10^{-6} \times 200 = 1 \times 10^{-3}\,\mathrm{C} = \mathbf{1\,mC}$

$Q = Q_1 + Q_2 = 2 + 1 = \mathbf{3\,mC}$

(2)　$C = C_1 + C_2 = 10 + 5 = \mathbf{15\,\mu F}$ または，

$C = \dfrac{Q}{V} = \dfrac{3 \times 10^{-3}}{200} = 15 \times 10^{-6}\,\mathrm{F}$

$= \mathbf{15\,\mu F}$

〔**p.206**〕　**問５．** $C = \dfrac{1}{\dfrac{1}{C_1} + \dfrac{1}{C_2} + \dfrac{1}{C_3}} = \dfrac{1}{\dfrac{1}{9} + \dfrac{1}{30} + \dfrac{1}{45}} = \mathbf{6\,\mu F}$

$Q = CV = 6 \times 10^{-6} \times 300 = 1.8 \times 10^{-3}\,\mathrm{C} = \mathbf{1.8\,mC}$

$V_1 = \dfrac{Q}{C_1} = \dfrac{1.8 \times 10^{-3}}{9 \times 10^{-6}} = \mathbf{200\,V}$

$V_2 = \dfrac{Q}{C_2} = \dfrac{1.8 \times 10^{-3}}{30 \times 10^{-6}} = \mathbf{60\,V}$

$V_3 = \dfrac{Q}{C_3} = \dfrac{1.8 \times 10^{-3}}{45 \times 10^{-6}} = \mathbf{40\,V}$

〔**p.207**〕　**問６．** $Q = C_1V_1 = 6 \times 10^{-6} \times 150 = 9 \times 10^{-4}\,\mathrm{C}$

$V = \dfrac{Q}{C_1 + C_2} = \dfrac{9 \times 10^{-4}}{6 \times 10^{-6} + 3 \times 10^{-6}} = \mathbf{100\,V}$

〔**p.209**〕　**問 7．**「103」は，10×10^3 pF のこと。

したがって，**0.01 μF** となる。

〔**p.210**〕　**問 8．** $E = \dfrac{V}{l}$ であるから，

$$w = \frac{1}{2}\varepsilon E^2 = \frac{1}{2}\varepsilon\left(\frac{V}{l}\right)^2 = \frac{1}{2}\varepsilon_0\varepsilon_r\left(\frac{V}{l}\right)^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 8.85 \times 10^{-12} \times 8 \times \left(\frac{1\,000}{20 \times 10^{-3}}\right)^2$$

$$= \frac{1}{2} \times \frac{8.85 \times 8 \times 10^{-6}}{4 \times 10^{-4}} = \mathbf{8.85 \times 10^{-2}\ J/m^3}$$

〔**p.212**〕　**問 9．** ①**誘電損**　②**誘電加熱**　③**電荷**　④**圧電効果**

〔**p.212～213**〕　**問題**

1． 直列

$$C_s = 30 \times \frac{1}{3} = 10\ \mu\text{F}，\text{または}\ C_s = \frac{1}{\dfrac{1}{30} + \dfrac{1}{30} + \dfrac{1}{30}} = \frac{30}{3} = \mathbf{10\ \mu F}$$

並列

$$C_p = 30 \times 3 = 90\ \mu\text{F}，\text{または}\ C_p = 30 + 30 + 30 = \mathbf{90\ \mu F}$$

2． $C = \varepsilon\dfrac{A}{l}$，$C' = \varepsilon\dfrac{A'}{l'}$

$l' = \dfrac{1}{2}l$，$A' = 2A$

$C' = \varepsilon\dfrac{A'}{l'} = \varepsilon\dfrac{2A}{\dfrac{1}{2}l} = 4\varepsilon\dfrac{A}{l} = 4C$，**4 倍**になる。

3． (1)　$C = \dfrac{C_1(C_2 + C_3)}{C_1 + C_2 + C_3} = \dfrac{10 \times (20 + 20)}{10 + 20 + 20} = \mathbf{8\ \mu F}$

(2)　$Q = CV = 8 \times 10^{-6} \times 100 = 0.8 \times 10^{-3}\ \text{C}$

$V_1 = \dfrac{Q}{C_1} = \dfrac{0.8 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-6}} = \dfrac{800}{10} = \mathbf{80\ V}$

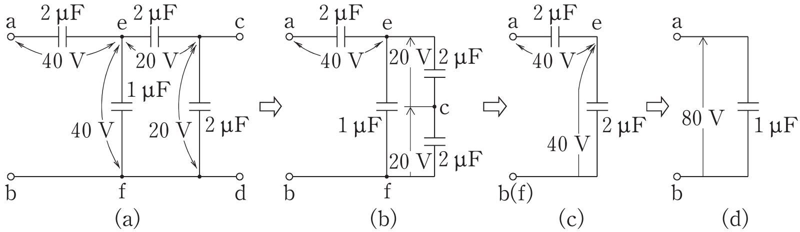
$V_2 = V_3 = V - V_1 = 100 - 80 = \mathbf{20\ V}$

(3)　$W_1 = \dfrac{1}{2}QV_1 = \dfrac{1}{2} \times 0.8 \times 10^{-3} \times 80 = 32 \times 10^{-3}$

$= 3.2 \times 10^{-2}\ \text{J} = \mathbf{0.032\ J}$

$W_2 = W_3 = \dfrac{1}{2} \times 0.4 \times 10^{-3} \times 20 = 4 \times 10^{-3}\ \text{J} = \mathbf{0.004\ J}$

4．合成静電容量は，次の図のように端末(右)から電源へと計算する。



図(b)：$C_{ef} = 1 + \dfrac{2 \times 2}{2 + 2} = 1 + 1 = 2\ \mu\mathrm{F}$

図(c)：$C_{ab} = \dfrac{2 \times 2}{2 + 2} = \mathbf{1\ \mu F}$

図より $V_{cd} = \mathbf{20\ V}$

5．並列接続の合成静電容量　$C_p = C_1 + C_2 = 5 \times 10^{-6}\ \mathrm{F}$　①

直列接続の　〃　$C_s = \dfrac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = 1.2 \times 10^{-6}\ \mathrm{F}$　②

式①を②に代入すると

$\dfrac{C_1 \cdot C_2}{5 \times 10^{-6}} = 1.2 \times 10^{-6}$

$C_1 \cdot C_2 = 6 \times 10^{-12}$　③

式③に $C_1 = 5 \times 10^{-6} - C_2$

を代入すると

$C_2(5 \times 10^{-6} - C_2) = 6 \times 10^{-12}$

$C_2{}^2 - 5 \times 10^{-6} C_2 + 6 \times 10^{-12} = 0$

$(C_2 - 3 \times 10^{-6})(C_2 - 2 \times 10^{-6}) = 0$

$C_2 = 3 \times 10^{-6}$ または 2×10^{-6}

$C_2 = 3 \times 10^{-6}$ を①に代入すると，$C_1 = 2 \times 10^{-6}\ \mathrm{F}$

$C_2 = 2 \times 10^{-6}$ を①に代入すると，$C_1 = 3 \times 10^{-6}\ \mathrm{F}$

$\begin{cases} C_1 = \mathbf{2\ \mu F} \\ C_2 = \mathbf{3\ \mu F} \end{cases}$ または $\begin{cases} C_1 = \mathbf{3\ \mu F} \\ C_2 = \mathbf{2\ \mu F} \end{cases}$

6．(1)　S を開いている場合

$Q_1 = C_1 V_1 = 12 \times 10^{-6} \times 30 = 360 \times 10^{-6}\ \mathrm{C} = \mathbf{360\ \mu C}$

$C_2 = \dfrac{Q_1}{V_2} = \dfrac{Q_1}{V - V_1} = \dfrac{360 \times 10^{-6}}{90} = 4 \times 10^{-6}\ \mathrm{F} = 4\ \mu\mathrm{F}$

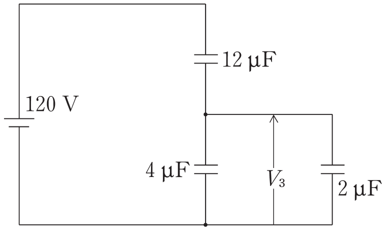
$C_{12} = \dfrac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \dfrac{12 \times 4}{12 + 4} = \dfrac{48}{16} = \mathbf{3\ \mu F}$

(2)　S を閉じた場合の回路

$C_0 = \dfrac{12 \times (4 + 2)}{12 + (4 + 2)} = \dfrac{72}{18} = 4\ \mu\mathrm{F}$

$Q_0 = C_0 V = 4 \times 10^{-6} \times 120 = 480 \times 10^{-6} = 480\ \mu\mathrm{C}$

$V_3 = \dfrac{Q_0}{C_{23}} = \dfrac{480 \times 10^{-6}}{6 \times 10^{-6}} = \mathbf{80\ V}$



第 3 節　絶縁破壊と放電現象

〔p.218〕 問題

1． **①温度　②湿度　③気圧　④低圧水銀ランプ　⑤高圧水銀ランプ**
⑥ナトリウムランプ　⑦ネオン管灯　⑧ネオンランプ

〔p.220～222〕 章末問題

A 1． ⑴ ① **0.02**　② $\mathbf{10^{-8}}$　⑵ ③ $\mathbf{10^{-12}}$　④ **0.0005**
⑶ ⑤ **Q**　⑥ $\mathbf{18 \times 10^{-3}}$　⑦ $\mathbf{2 \times 10^{-12}}$　⑧ **2**

A 2． 合成静電容量 C は，$C = \dfrac{3 \times (3+3)}{3+(3+3)} = 2\ \mu\mathrm{F}$
$W = \dfrac{1}{2}CV^2 = \dfrac{1}{2} \times 2 \times 10^{-6} \times 1\,000^2 = 1\ \mathrm{J}$
したがって，正解は(ウ)

A 3． $F = 9 \times 10^9 \times \dfrac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \dfrac{3 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{2^2}$
$= 27 \times 10^{-3} = \mathbf{0.027\ N}$

A 4． $F = QE = 400 \times 10^{-6} \times 30 \times 10^3 = \mathbf{12\ N}$

A 5． 電気力線の密度は電界の大きさである。

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-6}}{(5 \times 10^{-2})^2} = \frac{18}{25} \times 10^7$$
$$= \mathbf{7.2 \times 10^6\ 本/m^2}$$

電束密度 $D = \varepsilon E = 8.85 \times 10^{-12} \times 7.2 \times 10^6 = 63.7 \times 10^{-6}\ \mathrm{C/m^2}$
$= \mathbf{63.7\ \mu C/m^2}$

電界の大きさ ＝ 電気力線の密度 ＝ $\mathbf{7.2 \times 10^6\ V/m}$

電位 $V = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r} = 9 \times 10^9 \times \dfrac{2 \times 10^{-6}}{5 \times 10^{-2}} = \dfrac{18}{5} \times 10^5$
$= 3.6 \times 10^5\ \mathrm{V} = \mathbf{360\ kV}$

A 6． $C = \varepsilon \dfrac{A}{l} = 8.85 \times 10^{-12} \times 10 \times \dfrac{10 \times 10^{-4}}{3 \times 10^{-3}} = \dfrac{8.85}{3} \times 10^{-11}$

$= 2.95 \times 10^{-11}\,\mathrm{F} = \mathbf{29.5\,pF}$

A 7． $C = \varepsilon \dfrac{A}{l} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \dfrac{A}{l}$

$C_1 = \varepsilon_0 \times 10 \times \dfrac{10 \times 10^{-4}}{10^{-3}} = 10\varepsilon_0$，$C_2 = \varepsilon_0 \times 5 \times \dfrac{10 \times 10^{-4}}{2 \times 10^{-3}} = 2.5\varepsilon_0$

図から，C_1 と C_2 は直列接続であるから，合成静電容量 C_0 は，

$C_0 = \dfrac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \dfrac{10\varepsilon_0 \times 2.5\varepsilon_0}{10\varepsilon_0 + 2.5\varepsilon_0} = \dfrac{25{\varepsilon_0}^2}{12.5\varepsilon_0} = 2\varepsilon_0$

$= 2 \times 8.85 \times 10^{-12} = 17.7 \times 10^{-12}\,\mathrm{F} = \mathbf{17.7\,pF}$

A 8． $C_A = 4\pi\varepsilon_0 r_A$，$C_B = 4\pi\varepsilon_0 r_B$，$r_B = 2r_A$

ゆえに，$\dfrac{C_B}{C_A} = \dfrac{4\pi\varepsilon_0 r_B}{4\pi\varepsilon_0 r_A} = \dfrac{r_B}{r_A} = \dfrac{2r_A}{r_A} =$ **2 倍**

A 9． (1) $C = 5 + 8 + 12 = \mathbf{25\,\mu F}$

(2) $C = \dfrac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \dfrac{4 \times 6}{4 + 6} = \dfrac{24}{10} = \mathbf{2.4\,\mu F}$

(3) $C = \dfrac{15 \times (2 + 3)}{15 + (2 + 3)} = \dfrac{75}{20} = \mathbf{3.75\,\mu F}$

(4) $C = \dfrac{6 \times 14}{6 + 14} + \dfrac{2 \times 8}{2 + 8} = \dfrac{84}{20} + \dfrac{16}{10} = \dfrac{116}{20} = \mathbf{5.8\,\mu F}$

A10. $240 = \dfrac{400 \times C_A}{400 + C_A}$

$400C_A = 96\,000 + 240C_A$

$160C_A = 96\,000$　　　ゆえに，$C_A = \dfrac{96\,000}{160} = \mathbf{600\,pF}$

A11. (1) $C_0 = \dfrac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \dfrac{3 \times 2}{3 + 2} = \mathbf{1.2\,\mu F}$

(2) $Q_0 = C_0 V = 1.2 \times 10^{-6} \times 100 = 1.2 \times 10^{-4}\,\mathrm{C} = \mathbf{120\,\mu C}$

(3) $Q_1 = Q_2 = Q = 1.2 \times 10^{-4}\,\mathrm{C} = \mathbf{120\,\mu C}$

(4) $V_1 = \dfrac{Q}{C_1} = \dfrac{120 \times 10^{-6}}{3 \times 10^{-6}} = \mathbf{40\,V}$

$V_2 = \dfrac{Q}{C_2} = \dfrac{120 \times 10^{-6}}{2 \times 10^{-6}} = \mathbf{60\,V}$

B 1． $C = \dfrac{1}{\dfrac{1}{C_1}+\dfrac{1}{C_2}+\dfrac{1}{C_3}} = \dfrac{1}{\dfrac{1}{2}+\dfrac{1}{4}+\dfrac{1}{12}} = \dfrac{12}{10} = \mathbf{1.2\ \mu F}$

$Q = CV = 1.2 \times 10^{-6} \times 200 = 240 \times 10^{-6} = \mathbf{240\ \mu C}$

$V_1 = \dfrac{Q}{C_1} = \dfrac{240 \times 10^{-6}}{2 \times 10^{-6}} = \mathbf{120\ V}$

$V_2 = \dfrac{Q}{C_2} = \dfrac{240 \times 10^{-6}}{4 \times 10^{-6}} = \mathbf{60\ V}$

$V_3 = \dfrac{Q}{C_3} = \dfrac{240 \times 10^{-6}}{12 \times 10^{-6}} = \mathbf{20\ V}$

B 2． C_1，C_2 のコンデンサにたくわえることができる最大の電荷は，

$Q_1 = 1 \times 500 = 500\ \mu\mathrm{C}$，$Q_2 = 2 \times 500 = 1\,000\ \mu\mathrm{C}$

である。

C_1，C_2 を直列にして電圧を加えると，ともに等しい電荷量となるので，ともに最大 500 μC の電荷におさえる必要がある。

$$V = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} = \frac{500 \times 10^{-6}}{1 \times 10^{-6}} + \frac{500 \times 10^{-6}}{2 \times 10^{-6}}$$

$$= 500 + 250 = \mathbf{750\ V}$$

B 3． 直列に接続したコンデンサに電圧を加えると，どのコンデンサにも等量の電荷がたくわえられるから，静電容量が最も小さなコンデンサに最も大きな電圧が加わる。

静電容量が最小の 0.1 μF のコンデンサに 500 V の電圧が加わっているときにたくわえられる電荷の量 Q[C] は，

$$Q = C_1V_1 = 0.1 \times 10^{-6} \times 500 = 50 \times 10^{-6}\ \mathrm{C} = 50\ \mu\mathrm{C}$$

0.2 μF のコンデンサに 50 μC の電荷をたくわえるのに必要な電圧は，

$$V_2 = \frac{Q}{C_2} = \frac{50 \times 10^{-6}}{0.2 \times 10^{-6}} = 250\ \mathrm{V}$$

0.3 μF のコンデンサでは，

$$V_3 = \frac{Q}{C_3} = \frac{50 \times 10^{-6}}{0.3 \times 10^{-6}} = 167\ \mathrm{V}$$

各コンデンサの端子電圧が 500 V を超えないために，全体に加えることができる最大の電圧 V_0 [V] は，

$$V_0 = V_1 + V_2 + V_3 = 500 + 250 + 167 = \mathbf{917\ V}$$

B 4． ⑴　4 μF を C_1，6 μF を C_2，3.6 μF を C_3 とする。

$$C_0 = \frac{C_1C_2}{C_1 + C_2} + C_3 = \frac{4 \times 6}{4 + 6} + 3.6$$

$$= 2.4 + 3.6 = \mathbf{6\ \mu F}$$

⑵　C_1，C_2 の合成静電容量を C_{12} とする。

$$Q_1 = Q_2 = Q_{12} = C_{12}V = 2.4 \times 10^{-6} \times 50 = 1.2 \times 10^{-4}\ \mathrm{C} = \mathbf{120\ \mu C}$$

$$Q_3 = C_3V = 3.6 \times 10^{-6} \times 50 = 1.8 \times 10^{-4}\ \mathrm{C} = \mathbf{180\ \mu C}$$

⑶　$$V_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{120 \times 10^{-6}}{4 \times 10^{-6}} = \mathbf{30\ V}$$

$$W_1 = \frac{1}{2}C_1{V_1}^2 = \frac{1}{2} \times 4 \times 10^{-6} \times 30^2 = \mathbf{1.8 \times 10^{-3}\ J}$$

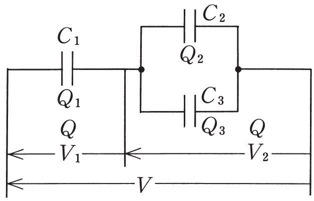
B 5． 回路全体の合成静電容量 C は，

$$C = \frac{C_1 \times (C_2 + C_3)}{C_1 + (C_2 + C_3)} = \frac{40 \times (4 + 6)}{40 + (4 + 6)} = 8\ \mu\mathrm{F}$$

したがって，回路全体の電荷 Q は，

$$Q = CV = 800 \times 10^{-6}\ \mathrm{C} = \mathbf{800\ \mu C}$$

この電荷は右図のように分布するから，



$$Q_1 = Q = \mathbf{800\ \mu C}$$

$$V_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{800 \times 10^{-6}}{40 \times 10^{-6}} = \mathbf{20\ V}$$

ゆえに，$V_2 = 100 - 20 = \mathbf{80\ V}$

$$Q_2 = C_2V_2 = 4 \times 10^{-6} \times 80 = 320 \times 10^{-6}\ \mathrm{C} = \mathbf{320\ \mu C}$$

$$Q_3 = C_3V_2 = 6 \times 10^{-6} \times 80 = 480 \times 10^{-6}\ \mathrm{C} = \mathbf{480\ \mu C}$$

B 6． 二つのコンデンサに充電されている電荷の和は，

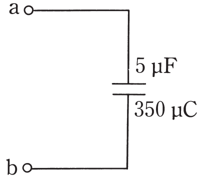
$$Q = C_1V_1 + C_2V_2 = 2 \times 100 + 3 \times 50 = 350\ \mu\mathrm{C}$$

二つのコンデンサは並列であるから合成容量は，

$$C = C_1 + C_2 = 2 + 3 = 5\ \mu\mathrm{F}$$

したがって，右図のような等価回路となる。

この図より a，b 間の電圧 V は，



$$V = \frac{Q}{C} = \frac{350}{5} = \mathbf{70\ V}$$

B 7． $W = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}\cdot Q\cdot\frac{Q}{C} = \frac{Q^2}{2C} = \frac{(10^{-2})^2}{2\times 1\times 10^{-6}} = \frac{1}{2}\times 10^2 = \mathbf{50\ J}$

B 8． $w = \frac{1}{2}\cdot\frac{D^2}{\varepsilon_0\varepsilon_r} = \frac{1}{2}\times\frac{(2.124\times 10^{-6})^2}{8.85\times 10^{-12}\times 4} = \mathbf{6.372\times 10^{-2}\ J/m^3}$

第 4 章　交流回路

第 1 節　交流の基礎

〔p.227〕　**問 1．** 式(1)で起電力が最大値ということは，$\sin\theta = 1$ である。

$$u = \frac{E_m}{2Bl} = \frac{60}{2 \times 0.2 \times 2} = \mathbf{75\ m/s}$$

〔p.230〕　**問 2．** $T = \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{100 \times 10^3} = 1 \times 10^{-5}\ \mathrm{s} = \mathbf{10\ \mu s}$

問 3． 50 Hz：$T = \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{50} = 0.02\ \mathrm{s} = \mathbf{20\ ms}$

60 Hz：$T = \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{60} = 0.167\ \mathrm{s} = \mathbf{16.7\ ms}$

問 4． (1)　$1\ \mathrm{MHz} = \mathbf{10^3\ kHz}$

(2)　$1\ \mathrm{THz} = \mathbf{10^6\ MHz}$

(3)　$1\ \mu\mathrm{s} = \mathbf{10^{-3}\ ms}$

(4)　$1\ \mathrm{ns} = \mathbf{10^{-3}\ \mu s}$

(5)　1 MHz：$T = \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{1 \times 10^6} = 10^{-6}\ \mathrm{s} = \mathbf{1\ \mu s}$

1 THz：$T = \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{1 \times 10^{12}} = 10^{-12}\ \mathrm{s} = \mathbf{10^{-3}\ ns}$

〔p.231〕　**問 5．** $60^\circ = \dfrac{60^\circ}{180^\circ} \times \pi = \boldsymbol{\dfrac{\pi}{3}}[\mathbf{rad}]$，$180^\circ = \boldsymbol{\pi}[\mathbf{rad}]$

$360^\circ = \mathbf{2}\boldsymbol{\pi}[\mathbf{rad}]$，$720^\circ = \mathbf{4}\boldsymbol{\pi}[\mathbf{rad}]$

問 6． $\dfrac{\pi}{2}[\mathrm{rad}] = \dfrac{\dfrac{\pi}{2} \times 360^\circ}{2\pi} = \dfrac{360^\circ}{4} = \mathbf{90^\circ}$

$\pi[\mathrm{rad}] = \mathbf{180^\circ}$

$\dfrac{3}{2}\pi[\mathrm{rad}] = \mathbf{270^\circ}$，$4\pi[\mathrm{rad}] = \mathbf{720^\circ}$

〔p.232〕　**問 7．** 50 回転　$\omega = 2\pi f = 2\pi \times 50 = \mathbf{100}\boldsymbol{\pi}[\mathbf{rad/s}]$

60 回転　$\omega = 2\pi f = 2\pi \times 60 = \mathbf{120}\boldsymbol{\pi}[\mathbf{rad/s}]$

〔p.233〕　**問 8．** $\theta = \omega t = 50\pi \times 0.02 = \boldsymbol{\pi}[\mathbf{rad}]$

問 9． 図より，$T = 0.8\ \mathrm{s}$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.8} = \mathbf{1.25\ Hz}$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \times 1.25 = \mathbf{2.5}\boldsymbol{\pi}[\mathbf{rad/s}]$$

〔p.234〕 **問10.** $\dfrac{\pi}{2}$[rad]のとき，**100 V**

2π[rad]のとき，**0 V**

問11. $E_{pp} = \mathbf{200\ V}$

〔p.235〕 **問12.** $E_a = \dfrac{2}{\pi}E_m = \dfrac{2}{\pi} \times 100 = \mathbf{63.7\ V}$

問13. $E_m = \dfrac{\pi}{2}E_a = \dfrac{\pi}{2} \times 100 = \mathbf{157\ V}$

〔p.238〕 **問14.** $I_m = \sqrt{2}\,I = \sqrt{2} \times 200 = \mathbf{283\ A}$

問15. $V = \dfrac{V_m}{\sqrt{2}} = \dfrac{200}{\sqrt{2}} = \mathbf{141\ V}$

問16. $e_{50} = 100\sqrt{2}\sin 2\pi \times 50t = \mathbf{100\sqrt{2}\,sin\,100\pi t}$ [V]

$e_{60} = 100\sqrt{2}\sin 2\pi \times 60t = \mathbf{100\sqrt{2}\,sin\,120\pi t}$ [V]

〔p.238〕 **問題**

1．$\boldsymbol{e = 2BluN\sin\theta}$ [V]

2．周波数：コイルが1秒間に f 回転し，f 回の割合で交流の波形が繰り返されるとき，その波形が1秒間に繰り返す回数をその交流の周波数といい，f[Hz]で表す。

角周波数：交流波形の繰り返し状態を回転角で表したもの。1秒間に f 回転するとき，その角速度は，$\omega = 2\pi f$[rad/s]である。

3．(1) $f = \dfrac{1}{T} = \dfrac{1}{0.01} = \mathbf{100\ Hz}$ (2) **500 kHz**

4．(1) $T = \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{1 \times 10^3} = \mathbf{1\ ms}$ (2) **500 ps**

5．最大値 $I_m = \sqrt{2} \times 10 = \mathbf{14.1\ A}$

ピークピーク値 $I_{pp} = 2 \times \sqrt{2} \times 10 = \mathbf{28.3\ A}$

実効値 $I = \mathbf{10\ A}$，　平均値 $I_a = \dfrac{2}{\pi}I_m = \dfrac{2}{\pi} \times \sqrt{2} \times 10 = \mathbf{9.00\ A}$

周波数 $f = \dfrac{120\pi}{2\pi} = \mathbf{60\ Hz}$，　周期 $T = \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{60} = \mathbf{16.7\ ms}$

6．最大値 $E_m = \mathbf{141\ V}$

ピークピーク値 $V_{pp} = 2 \times 141 = \mathbf{282\ V}$

実効値 $E = \dfrac{141}{\sqrt{2}} = \mathbf{100\ V}$，　平均値 $V_a = \dfrac{2}{\pi}V_m = \dfrac{2}{\pi} \times 141 = \mathbf{89.8\ V}$

周波数 $f = \dfrac{100\pi}{2\pi} = \mathbf{50\ Hz}$，　周期 $T = \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{50} = \mathbf{20\ ms}$

7． $i = 5\sqrt{2}\sin 2\pi \times 50t = \mathbf{5\sqrt{2}\sin 100\pi t\,[A]}$

8．

	最大値	実効値	周波数
(1)	**100 V**	**70.7 V**	$\boldsymbol{\frac{\omega}{2\pi}}$ **[Hz]**
(2)	**141 V**	**100 V**	$\boldsymbol{\frac{3}{8\pi}}$ **[Hz]**
(3)	**200 V**	**141 V**	$\boldsymbol{\frac{1}{60}}$ **Hz**
(4)	$\boldsymbol{A}$ **[A]**	$\boldsymbol{\frac{A}{\sqrt{2}}}$ **[V]**	$\boldsymbol{\frac{\omega}{2\pi}}$ **[Hz]**

第2節　R，L，C の働き

〔p.241〕　問1．(i_1 の位相角) − (i_2 の位相角) $= \left(-\frac{\pi}{6}\right) - \left(\frac{\pi}{9}\right) = -\frac{5}{18}\pi$

i_1 は i_2 に比べ **$\boldsymbol{\frac{5}{18}\pi}$[rad]遅れている。**

〔p.246〕　問2．$\dot{E} = \sqrt{(5\sqrt{2})^2 + (5\sqrt{2})^2 + 2(5\sqrt{2})(5\sqrt{2})\cos\left(0 - \frac{\pi}{2}\right)} = 10$

$$\tan\theta = \frac{5\sqrt{2}\sin 0 + 5\sqrt{2}\sin\frac{\pi}{2}}{5\sqrt{2}\cos 0 + 5\sqrt{2}\cos\frac{\pi}{2}} = \frac{5\sqrt{2}}{5\sqrt{2}} = 1$$

$$\theta = \tan^{-1}1 = \frac{\pi}{4}$$

したがって，$\boldsymbol{e = 10\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{4}\right)}$

〔p.248〕　問3．(1)　$i = \frac{v}{R} = \frac{200\sqrt{2}\sin 100\pi t}{10} = \mathbf{20\sqrt{2}\sin 100\pi t\,[A]}$

(2)　$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{200\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = \mathbf{200\ V}$

$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{20\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = \mathbf{20\ A}$

問4．$R = \frac{V}{I} = \frac{100}{4} = \mathbf{25\ \Omega}$

〔p.251〕　問5．**電流の位相は電圧より $\boldsymbol{\frac{\pi}{2}}$[rad]だけ遅れている。**

問6．50 Hz：$X_L = 2\pi fL = 2\pi \times 50 \times 20 \times 10^{-3} = \mathbf{6.28\ \Omega}$

60 Hz：$X_L = 2\pi fL = 2\pi \times 60 \times 20 \times 10^{-3} = \mathbf{7.54\ \Omega}$

〔p.251〕　問 7．$X_L = \dfrac{V}{I} = \dfrac{100}{60 \times 10^{-3}} = \dfrac{5}{3} \times 10^3\,\Omega = \mathbf{1.67\ k\Omega}$

$L = \dfrac{X_L}{2\pi f} = \dfrac{1}{2\pi \times 50} \times \dfrac{5}{3} \times 10^3 = \mathbf{5.31\ H}$

〔p.254〕　問 8．電流の位相は電圧より $\dfrac{\pi}{2}$[rad]だけ進んでいる。

問 9．$50\ \mathrm{Hz} : X_C = \dfrac{1}{2\pi fC} = \dfrac{1}{2\pi \times 50 \times 20 \times 10^{-6}} = \dfrac{10^3}{2\pi} = \mathbf{159\ \Omega}$

$60\ \mathrm{Hz} : X_C = \dfrac{1}{2\pi fC} = \dfrac{1}{2\pi \times 60 \times 20 \times 10^{-6}} = \dfrac{10^3}{2\pi \times 1.2} = \mathbf{133\ \Omega}$

問10．$X_C = \dfrac{V}{I} = \dfrac{100}{60 \times 10^{-3}} = \dfrac{5}{3} \times 10^3\,[\Omega] = \mathbf{1.67\ k\Omega}$

$C = \dfrac{1}{2\pi f X_C} = \dfrac{1}{2\pi \times 50 \times \dfrac{5}{3} \times 10^3} = \dfrac{3 \times 10^{-5}}{5\pi}\,[\mathrm{F}] = \mathbf{1.91\ \mu F}$

問11．$C = \dfrac{1}{2\pi f X_C} = \dfrac{1}{2\pi \times 50 \times 20} = \dfrac{10^{-3}}{2}\pi = 1.59 \times 10^{-4}\ \mathrm{F}$

$= \mathbf{159\ \mu F}$

〔p.256〕　問12．$\omega L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{50^2 - 30^2} = \mathbf{40\ \Omega}$

$V = ZI = 50 \times 3 = \mathbf{150\ V}$

〔p.257〕　問13．$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = \sqrt{10^2 + 10^2} = \mathbf{14.1\ \Omega}$

$\theta = \tan^{-1}\dfrac{\omega L}{R} = \tan^{-1}\dfrac{10}{10} = \mathbf{0.785\ rad(= 45°)}$

問14．$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = \sqrt{20^2 + 15^2} = 25\ \Omega$

$V = ZI = 25 \times 4 = \mathbf{100\ V}$

〔p.259〕　問15．$R = \sqrt{Z^2 - {X_C}^2} = \sqrt{12^2 - 4^2} = \mathbf{11.3\ \Omega}$

$V = ZI = 12 \times 2 = \mathbf{24\ V}$

問16．$Z = \sqrt{R^2 + {X_C}^2} = \sqrt{15^2 + 12^2} = \mathbf{19.2\ \Omega}$

$\theta = \tan^{-1}\dfrac{X_C}{R} = \tan^{-1}\dfrac{12}{15}$

$= \mathbf{0.675\ rad(= 38.7°)}$

問17．$I = \dfrac{V}{\sqrt{R^2 + {X_C}^2}} = \dfrac{100}{\sqrt{16^2 + 12^2}} = \mathbf{5\ A}$

$\theta = \tan^{-1}\dfrac{X_C}{R} = \tan^{-1}\dfrac{12}{16}$

$= \mathbf{0.644\ rad(= 36.9°)}$

〔p.263〕　問18．$\tan\theta = \dfrac{X_L - X_C}{R}$ より

$X_C = X_L - R\tan\theta = 10 - 5\tan 0.785 = \mathbf{5\ \Omega}$

〔**p.264**〕 **問19.** $f_0=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ より

$$C=\frac{1}{4\pi^2 f_0{}^2 L}=\frac{1}{4\pi^2\times 100^2\times 30\times 10^{-3}}=\mathbf{84.4\ \mu F}$$

〔**p.266**〕 **問20.** $I=\sqrt{\left(\dfrac{1}{R}\right)^2+\left(\dfrac{1}{X_L}\right)^2}\,V=\sqrt{\left(\dfrac{1}{4}\right)^2+\left(\dfrac{1}{5}\right)^2}\times 80=\mathbf{25.6\ A}$

$$\theta=\tan^{-1}\frac{R}{X_L}=\tan^{-1}\frac{4}{5}=\mathbf{0.675\ rad(=38.7^\circ)}$$

問21. $Z=\dfrac{1}{\sqrt{\left(\dfrac{1}{R}\right)^2+\left(\dfrac{1}{X_L}\right)^2}}$ より

$$X_L=\sqrt{\frac{1}{\left(\dfrac{1}{Z}\right)^2-\left(\dfrac{1}{R}\right)^2}}=\sqrt{\frac{1}{\left(\dfrac{1}{2}\right)^2-\left(\dfrac{1}{4.8}\right)^2}}=\mathbf{2.2\ \Omega}$$

$$V=ZI=2\times 5=\mathbf{10\ V}$$

〔**p.268**〕 **問22.** $I=\sqrt{\left(\dfrac{1}{R}\right)^2+\left(\dfrac{1}{X_C}\right)^2}\,V=\sqrt{\left(\dfrac{1}{4}\right)^2+\left(\dfrac{1}{5}\right)^2}\times 80=\mathbf{25.6\ A}$

$$\theta=\tan^{-1}\frac{R}{X_C}=\tan^{-1}\frac{4}{5}=\mathbf{0.675\ rad(=38.7^\circ)}$$

問23. $X_C=\sqrt{\dfrac{1}{\left(\dfrac{1}{Z}\right)^2-\left(\dfrac{1}{R}\right)^2}}=\sqrt{\dfrac{1}{\left(\dfrac{1}{3}\right)^2-\left(\dfrac{1}{4.8}\right)^2}}=\mathbf{3.84\ \Omega}$

$$V=ZI=3\times 5=\mathbf{15\ V}$$

〔**p.272**〕 **問24.** $\tan\theta=\left|\dfrac{1}{X_C}-\dfrac{1}{X_L}\right|\times R,\quad X=\dfrac{1}{X_C}-\dfrac{1}{X_L}$ とすると，

$$X=\frac{\tan\theta}{R}=\frac{0.25}{4}=0.0625$$

$$X_L=\frac{1}{\dfrac{1}{X_C}-0.0625}=\frac{1}{\dfrac{1}{8}-0.0625}=\mathbf{16\ \Omega}$$

問25. $f_0=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ より

$$L=\frac{1}{4\pi^2 f_0{}^2 C}=\frac{1}{4\pi^2\times 200^2\times 20\times 10^{-6}}=\mathbf{31.7\ mH}$$

〔p.273〜274〕 **問題**

1．（i_1の位相角）−（i_2の位相角）$= \left(\dfrac{\pi}{18}\right) - \left(-\dfrac{\pi}{6}\right) = \boldsymbol{\dfrac{2}{9}\pi}$

i_1が$\dfrac{2}{9}\pi$[rad]進んでいる。

2．$I = \dfrac{V}{X_L} = \dfrac{V}{2\pi fL} = \dfrac{100}{2\pi \times 50 \times 100 \times 10^{-3}} = \dfrac{10}{\pi} = \mathbf{3.18\ A}$

3．$I = \dfrac{V}{X_C} = \dfrac{V}{\dfrac{1}{2\pi fC}} = 2\pi fCV$

$= 2\pi \times 60 \times 10 \times 10^{-6} \times 100 = 12\pi \times 10^{-2} = \mathbf{0.377\ A}$

4．電流は一定である。

5．負荷がインダクタンスだけの交流回路では，電圧V[V]を一定とし，周波数f[Hz]を増加させると，電流I[A]は図14(b)のように減少する。すなわち，電流I[A]は$I = \dfrac{V}{2\pi fL}$であるから，周波数f[Hz]に反比例する。誘導性リアクタンスX_L[Ω]は，$X_L = 2\pi fL$からわかるように，周波数f[Hz]に比例して増加する。

$X_{L50} = \dfrac{V}{I} = \dfrac{20}{20 \times 10^{-3}} = 10^3\ \Omega = \mathbf{1\ k\Omega}$

$X_{L100} = \dfrac{V}{I} = \dfrac{20}{10 \times 10^{-3}} = 2 \times 10^3\ \Omega = \mathbf{2\ k\Omega}$

6．負荷が静電容量だけの交流回路では，電圧V[V]を一定とし，周波数f[Hz]を増加させると，電流I[A]は図17(b)のように増加する。すなわち，電流I[A]は，周波数f[Hz]に比例する。容量性リアクタンスX_C[Ω]は，$X_C = \dfrac{1}{2\pi fC}$からわかるように，f[Hz]に反比例する。

$X_{C50} = \dfrac{V}{I} = \dfrac{20}{40 \times 10^{-3}} = \mathbf{500\ \Omega}$，$X_{C100} = \dfrac{V}{I} = \dfrac{20}{80 \times 10^{-3}} = \mathbf{250\ \Omega}$

7．$Z = \dfrac{V}{I} = \dfrac{100}{10} = 10\ \Omega,\quad \theta = \dfrac{\pi}{3},\quad R = Z\cos\theta = 10\cos\dfrac{\pi}{3} = \mathbf{5\ \Omega}$

$X_L = Z\sin\theta = 10\sin\dfrac{\pi}{3} = \mathbf{8.66\ \Omega}$

8．$Z = \dfrac{V}{I} = \dfrac{100}{4} = 25\ \Omega$

$X_C = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{25^2 - 24^2} = \sqrt{49} = \mathbf{7\ \Omega}$

$X_C = \dfrac{1}{2\pi fC}$であるから，

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 7} = 4.55 \times 10^{-4}\,\mathrm{F} = \mathbf{455\,\mu F}$$

9. $X_L = \omega L = 120 \times 4 = 480\,\Omega$

$$X_C - \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{120 \times 2 \times 10^{-6}} = 4\,170\,\Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2} = \sqrt{140^2 + (4\,170 - 480)^2} = \mathbf{3\,690\ s}$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{100}{3\,690} = 27.1\,\mathrm{mA}$$

$$V_R = RI = 140 \times 27.1 \times 10^{-3} = \mathbf{3.79\ V}$$

$$V_L = X_L I = 480 \times 27.1 \times 10^{-3} = \mathbf{13.0\ V}$$

$$V_C = X_C I = 4\,170 \times 27.1 \times 10^{-3} = \mathbf{113\ V}$$

10. $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ であるから,

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f_0{}^2 C} = \frac{1}{4\pi^2 \times (20 \times 10^6)^2 \times 10 \times 10^{-12}} = \frac{1}{16\pi^2 \times 10^3}$$

$$= 6.33 \times 10^{-6}\,\mathrm{H} = \mathbf{6.33\,\mu H}$$

11. $Z = \dfrac{V}{I} = \dfrac{100}{5} = 20\,\Omega$

$$X_L = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{Z}\right)^2 - \left(\frac{1}{R}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{20}\right)^2 - \left(\frac{1}{30}\right)^2}} = \mathbf{26.8\,\Omega}$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{26.8}{2\pi \times 60} = \mathbf{71.1\ mH}$$

$$I = \frac{V}{X_L} = \frac{100}{26.8} = \mathbf{3.73\ A}$$

12. $Z = \dfrac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + (\omega C)^2}} = \dfrac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{30}\right)^2 + (2\pi \times 60 \times 30 \times 10^{-6})^2}} = \mathbf{28.4\,\Omega}$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{100}{28.4} = \mathbf{3.52\ A}$$

13. $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{15 \times 10^{-3} \times 0.04 \times 10^{-6}}} = \dfrac{1}{2\pi \times \sqrt{6}} \times 10^5$

$$= 6\,497\,\mathrm{Hz}$$

$$= \mathbf{6.50\ kHz}$$

第 3 節　交流電力

〔p.277〕　**問 1．** $P = VI\cos\theta = 100 \times 10 \times 0.8 = \mathbf{800\ W}$

〔p.278〕　**問 2．** $\cos\theta = \dfrac{P}{VI} = \dfrac{1\,800}{200 \times 10} = \mathbf{0.9}(= \mathbf{90\ \%})$

問 3． $Z = \sqrt{R^2 + X_L{}^2} = \sqrt{20^2 + 15^2} = 25\ \Omega$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{100}{25} = \mathbf{4\ A}$$

$$\cos\theta = \frac{R}{Z} = \frac{20}{25} = \mathbf{0.8}(= \mathbf{80\ \%})$$

$$P = VI\cos\theta = 100 \times 4 \times 0.8 = \mathbf{320\ W}$$

$X_L - X_C = 0$　ゆえに，$X_C = X_L = \mathbf{15\ \Omega}$

問 4． $V = \dfrac{S}{I} = \dfrac{3\,000}{15} = \mathbf{200\ V}$

〔p.280〕　**問 5．** 有効電力 $P = VI\cos\theta$

$$= V\cdot\frac{V}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}\cdot\frac{R}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

$$= \boldsymbol{\frac{V^2}{R^2 + (X_L - X_C)^2}R}\,[\mathbf{W}]$$

無効電力 $Q = VI\sin\theta$

$$= V\cdot\frac{V}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}\cdot\frac{(X_L - X_C)}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

$$= \boldsymbol{\frac{V^2}{R^2 + (X_L - X_C)^2}(X_L - X_C)}\,[\mathbf{var}]$$

力率 $\cos\theta = \dfrac{R}{Z} = \boldsymbol{\dfrac{R}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}}$

無効率 $\sin\theta = \boldsymbol{\dfrac{X_L - X_C}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}}$

問 6． $P = VI\cos\theta$ であるから，

$$\cos\theta = \frac{P}{VI} = \frac{753}{200 \times 5} = \mathbf{0.753}(= \mathbf{75.3\ \%})$$

$$\sin\theta = \sqrt{1 - \cos^2\theta} = \sqrt{1 - 0.753^2} = \mathbf{0.658}(= \mathbf{65.8\ \%})$$

〔p.280～281〕 問題

1． $P = VI\cos\theta = 200 \times 10 \times \cos\dfrac{\pi}{6}$

$= 200 \times 10 \times 0.866 = 1\,730\ \mathrm{W} = \mathbf{1.73\ kW}$

$\cos\theta = \cos\dfrac{\pi}{6} = \mathbf{0.866}(= \mathbf{86.6\ \%})$

2． $Z = \sqrt{R^2 + X_L{}^2} = \sqrt{12^2 + 16^2} = 20\ \Omega$

$I = \dfrac{V}{Z} = \dfrac{100}{20} = \mathbf{5\ A}$

$\cos\theta = \dfrac{R}{Z} = \dfrac{12}{20} = \mathbf{0.6}(= \mathbf{60\ \%})$

$P = VI\cos\theta = 100 \times 5 \times 0.6 = \mathbf{300\ W}$

3． $X_L = 2\pi fL = 2\pi \times 60 \times 42.5 \times 10^{-3} = 16.0\ \Omega$

$\cos\theta = \dfrac{R}{Z} = 0.5$ から，$Z = 2R$

$Z^2 = R^2 + X_L{}^2$ から，$(2R)^2 = R^2 + 16^2$

ゆえに，$4R^2 - R^2 = 16^2$，$3R^2 = 256$

$R = \sqrt{\dfrac{256}{3}} = \mathbf{9.24\ \Omega}$

4． $V = \dfrac{100}{\sqrt{2}}[\mathrm{V}]$，$I = \dfrac{50}{\sqrt{2}}[\mathrm{A}]$，$\cos\theta = \cos\dfrac{\pi}{6} = 0.866$

$P = VI\cos\theta = \dfrac{100}{\sqrt{2}} \times \dfrac{50}{\sqrt{2}} \times 0.866 = 2.17 \times 10^3\ \mathrm{W} = \mathbf{2.17\ kW}$

$S = VI = \dfrac{100}{\sqrt{2}} \times \dfrac{50}{\sqrt{2}} = 2\,500\ \mathrm{V\cdot A} = \mathbf{2.5\ kV\cdot A}$

$\cos\theta = \mathbf{0.866}(= \mathbf{86.6\ \%})$

5． $Z = \sqrt{R^2 + X_L{}^2} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5\ \Omega$

$\cos\theta = \dfrac{R}{Z} = \dfrac{4}{5} = \mathbf{0.8}(= \mathbf{80\ \%})$

$I = \dfrac{V}{Z} = \dfrac{100}{5} = 20\ \mathrm{A}$

$P = VI\cos\theta = 100 \times 20 \times 0.8 = 1\,600\ \mathrm{W} = \mathbf{1.6\ kW}$

6． $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{80^2 + (100 - 20)^2} = \sqrt{80^2 + 80^2} = 80\sqrt{2}\ \Omega$

(1) $I = \dfrac{V}{Z} = \dfrac{100}{80\sqrt{2}} = \mathbf{0.884\ A}$

(2) $\cos\theta = \dfrac{R}{Z} = \dfrac{80}{80\sqrt{2}} = \dfrac{1}{\sqrt{2}} = \mathbf{0.707}(= \mathbf{70.7\ \%})$

(3) $P = VI\cos\theta = 100 \times 0.884 \times 0.707 = \mathbf{62.5\ W}$

(4) $Q = VI\sin\theta = 100 \times 0.884 \times 0.707 = \mathbf{62.5\ var}$

7. (1) $\cos\theta = \dfrac{P}{VI} = \dfrac{11 \times 10^3}{220 \times 70} = \mathbf{0.714 (= 71.4\ \%)}$

(2) $Z = \dfrac{V}{I} = \dfrac{220}{70} = \mathbf{3.14\ \Omega}$

(3) $\cos\theta = \dfrac{R}{Z}$ から，$R = Z\cos\theta = 3.14 \times 0.714 = \mathbf{2.24\ \Omega}$

(4) $X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{3.14^2 - 2.24^2} = \mathbf{2.20\ \Omega}$

8. $X_L = 2\pi fL = 2\pi \times 60 \times 100 \times 10^{-3} = 12\pi\,[\Omega]$

$Z = \sqrt{R^2 + X_L{}^2} = \sqrt{15^2 + (12\pi)^2} = \mathbf{40.6\ \Omega}$

$\cos\theta = \dfrac{R}{Z} = \dfrac{15}{40.6} = \mathbf{0.369 (= 36.9\ \%)}$

9. $X_C = \dfrac{1}{2\pi fC} = \dfrac{1}{2\pi \times 60 \times 1 \times 10^{-6}} = 2.65 \times 10^3\ \Omega = 2.65\ \mathrm{k\Omega}$

$Z = \sqrt{R^2 + X_C{}^2} = \sqrt{1^2 + 2.65^2} = 2.83\ \mathrm{k\Omega}$

$I = \dfrac{V}{Z} = \dfrac{100}{2.83 \times 10^3} = 35.3 \times 10^{-3}\ \mathrm{A} = \mathbf{35.3\ mA}$

$\cos\theta = \dfrac{R}{Z} = \dfrac{1}{2.83} = 0.353$

$\sin\theta = \dfrac{X_C}{Z} = \dfrac{2.65}{2.83} = 0.936$

$P = VI\cos\theta = 100 \times 35.3 \times 10^{-3} \times 0.353 = \mathbf{1.25\ W}$

$Q = VI\sin\theta = 100 \times 35.3 \times 10^{-3} \times 0.936 = \mathbf{3.30\ var}$

〔p.286～289〕 章末問題

A 1. (イ)

$R = \dfrac{V}{I} = \dfrac{100}{25} = 4\ \Omega$

$Z = \dfrac{V}{I} = \sqrt{R^2 + X_L{}^2} = \dfrac{100}{20} = \sqrt{4^2 + X_L{}^2}$ より

$X_L = 3\ \Omega$

A 2. (ウ)

$\cos\theta = \dfrac{R}{\sqrt{R^2 + X_C{}^2}} = \dfrac{6}{\sqrt{6^2 + 8^2}} = 0.6$

$I = \dfrac{V}{Z} = \dfrac{100}{10} = 10\ \mathrm{A}$

$P = VI\cos\theta = 100 \times 10 \times 0.6 = 600\ \mathrm{W}$

A 3. 最大値 $V_m = 200\sqrt{2} = \mathbf{283\ V}$

ピークピーク値 $V_{pp} = 283 \times 2 = \mathbf{566\ V}$

$I_m = 15\sqrt{2} = \mathbf{21.2\ A}$

実効値 $V = \dfrac{V_m}{\sqrt{2}} = \dfrac{200\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = \mathbf{200\ V}$

$I = \dfrac{I_m}{\sqrt{2}} = \dfrac{15\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = \mathbf{15\ A}$

平均値 $V_a = \dfrac{2}{\pi}V_m = \dfrac{2}{\pi} \times 200\sqrt{2} = \mathbf{180\ V}$

$I_a = \dfrac{2}{\pi}I_m = \dfrac{2}{\pi} \times 15\sqrt{2} = \mathbf{13.5\ A}$

周波数 $f = \dfrac{\omega}{2\pi} = \dfrac{200\pi}{2\pi} = \mathbf{100\ Hz}$

初位相角 $\theta_v = \boldsymbol{\dfrac{\pi}{6}}\,[\mathbf{rad}]$,　$\theta_i = \boldsymbol{-\dfrac{\pi}{3}}\,[\mathbf{rad}]$

A 4. $\dfrac{\pi}{6} - \left(-\dfrac{\pi}{3}\right) = \dfrac{\pi}{2}\,[\mathrm{rad}]$

$\boldsymbol{v}$ の位相が $\boldsymbol{i}$ の位相より $\boldsymbol{\dfrac{\pi}{2}}\,[\mathbf{rad}]$ 進んでいる。

A 5. $\boldsymbol{v = 6\,600\sqrt{2}\sin\left(120\pi t + \dfrac{\pi}{4}\right)}\,[\mathrm{V}]$

A 6. $f = 50\ \mathrm{Hz}$

$T = \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{50} = \mathbf{20\ ms}$

$\omega = 2\pi f = 2\pi \times 50 = \boldsymbol{100\pi}\,[\mathbf{rad/s}]$

A 7. $\boldsymbol{i = 5\sin\left(\omega t - \dfrac{\pi}{3}\right)}\,[\mathrm{A}]$

A 8. $I = \dfrac{V}{R} = \dfrac{100}{50} = \mathbf{2\ A}$

A 9. $X_L = \omega L = 2\pi f L = 2\pi \times 50 \times 50 \times 10^{-3} = \mathbf{15.7\ \Omega}$

$I = \dfrac{V}{X_L} = \dfrac{2}{15.7} = 0.127\ \mathrm{A} = \mathbf{127\ mA}$

A10. $X_C = \dfrac{1}{\omega C} = \dfrac{1}{2\pi f C} = \dfrac{1}{2\pi \times 60 \times 100 \times 10^{-6}} = 26.53 = \mathbf{26.5\ \Omega}$

$I = \dfrac{V}{X_C} = \dfrac{12}{26.5} = 0.452\ \mathrm{A} = \mathbf{452\ mA}$

A11. $I_{50} = \dfrac{V}{2\pi \times 50L}\,[\mathrm{A}]$,　$I_{60} = \dfrac{V}{2\pi \times 60L}\,[\mathrm{A}]$

$$\frac{I_{60}}{I_{50}} = \frac{\dfrac{V}{2\pi \times 60L}}{\dfrac{V}{2\pi \times 50L}} = \frac{5}{6} = \mathbf{0.833}\ \textbf{倍}$$

A12. $I_{50}=\dfrac{V}{\dfrac{1}{2\pi\times 50C}}=2\pi\times 50CV[\mathrm{A}]$，$I_{60}=\dfrac{V}{\dfrac{1}{2\pi\times 60C}}=2\pi\times 60CV[\mathrm{A}]$

$\dfrac{I_{60}}{I_{50}}=\dfrac{2\pi\times 60CV}{2\pi\times 50CV}=\dfrac{6}{5}=$ **1.2 倍**

A13. $Z=\sqrt{R^2+X_C{}^2}=\sqrt{30^2+70^2}=\mathbf{76.2\,\Omega}$

$\theta=\tan^{-1}\dfrac{70}{30}=\mathbf{66.8°}$

A14. $Z=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}$

$=\sqrt{40^2+(40-70)^2}=\sqrt{40^2+(-30)^2}=\mathbf{50\,\Omega}$

A15. $Z=\dfrac{1}{\sqrt{\left(\dfrac{1}{R}\right)^2+\left(\dfrac{1}{X_L}\right)^2}}=\dfrac{1}{\sqrt{\left(\dfrac{1}{20}\right)^2+\left(\dfrac{1}{40}\right)^2}}=17.9\,\Omega(=8\sqrt{5}\,\Omega)$

$I_R=\dfrac{V}{R}=\dfrac{100}{20}=\mathbf{5\,A}$

$I_L=\dfrac{V}{X_L}=\dfrac{100}{40}=\mathbf{2.5\,A}$

$I=\dfrac{V}{Z}=\dfrac{100}{17.9}=\mathbf{5.59\,A}$

A16. $Z=\dfrac{1}{\sqrt{\left(\dfrac{1}{R}\right)^2+(\omega C)^2}}=\dfrac{1}{\sqrt{\left(\dfrac{1}{50}\right)^2+(120\pi\times 50\times 10^{-6})^2}}=\mathbf{36.4\,\Omega}$

$I_R=\dfrac{V}{R}=\dfrac{80}{50}=\mathbf{1.6\,A}$

$I_C=\dfrac{V}{X_C}=\omega CV=120\pi\times 50\times 10^{-6}\times 80=\mathbf{1.51\,A}$

$I=\dfrac{V}{Z}=\dfrac{80}{36.4}=\mathbf{2.20\,A}$

A17. $f_0=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{4\times 10^{-3}\times 0.4\times 10^{-6}}}=\mathbf{3.98\,kHz}$

$Z=R=\mathbf{12\,\Omega}$

A18. $S=\sqrt{P^2+Q^2}=\sqrt{5\,000^2+3\,000^2}=5\,830\,\mathrm{V\cdot A}=\mathbf{5.83\,kV\cdot A}$

$\cos\theta=\dfrac{P}{S}=\dfrac{5\,000}{5\,830}=\mathbf{0.858(=85.8\,\%)}$

B 1 . $Z=\dfrac{V}{I}=\dfrac{50}{2}=\mathbf{25\,\Omega}$

$R=Z\cos\theta=25\times\cos 30°=21.7\,\Omega$

$X_L=Z\sin\theta=25\times\sin 30°=12.5\,\Omega$

$L=\dfrac{X_L}{2\pi f}=\dfrac{12.5}{2\pi\times 50}=0.039\,8=\mathbf{39.8\,mH}$

B 2． $Z=\dfrac{V}{I}=\dfrac{50}{4}=\mathbf{12.5\,\Omega}$

$$Z^2=\dfrac{1}{\dfrac{1}{X_C{}^2}+\dfrac{1}{X_C{}^2}}=\dfrac{X_C{}^2}{2}\quad (X_C=R\ より)$$

$$2Z^2=X_C{}^2$$

$$X_C=\sqrt{2Z^2}=\sqrt{2\times12.5^2}=\mathbf{17.7\,\Omega}$$

B 3． $X_L=2\pi fL=2\pi\times50\times20\times10^{-3}=6.28\,\Omega$

$$X_C=\dfrac{1}{2\pi fC}=\dfrac{1}{2\pi\times50\times200\times10^{-6}}=15.9\,\Omega$$

$$Z=\sqrt{8^2+(6.28-15.9)^2}=\mathbf{12.5\,\Omega}$$

$$I=\dfrac{V}{Z}=\dfrac{100}{12.5}=\mathbf{8\,A}$$

B 4． $R=100\,\Omega$

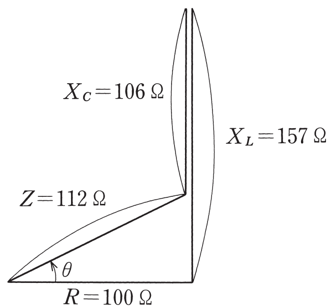
$$X_L=2\pi fL=2\pi\times50\times0.5=157\,\Omega$$

$$X_C=\dfrac{1}{2\pi fC}=\dfrac{1}{2\pi\times50\times30\times10^{-6}}=106\,\Omega$$

$$Z=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}$$
$$=\sqrt{100^2+(157-106)^2}=\mathbf{112\,\Omega}$$

$$I=\dfrac{V}{Z}=\dfrac{100}{112}=\mathbf{0.893\,A}$$

$$\theta=\tan^{-1}\dfrac{X_L-X_C}{R}$$
$$=\tan^{-1}\dfrac{157-106}{100}$$
$$=\mathbf{0.472\,rad(=27.0°)}$$



$$V_R=IR=0.893\times100=\mathbf{89.3\,V}$$

$$V_L=IX_L=0.893\times157=\mathbf{140\,V}$$

$$V_C=IX_C=0.893\times106=\mathbf{94.7\,V}$$

B 5． $V=X_L\times I_L=50\times1=\mathbf{50\,V}$

$$I_R=\dfrac{V}{R}=\dfrac{50}{50}=1\,\mathrm{A}$$

$$I_C=\dfrac{V}{X_C}=\dfrac{50}{100}=0.5\,\mathrm{A}$$

$$I=\sqrt{I_R{}^2+(I_L-I_C)^2}=\sqrt{1^2-(1-0.5)^2}=\mathbf{1.12\,A}$$

$$\theta=\tan^{-1}\dfrac{0.5}{1}=\mathbf{0.464\,rad(=26.6°)}$$

B 6． $\cos\theta = \dfrac{P}{VI} = \dfrac{3\,600}{200 \times 20} = \mathbf{0.9}(\mathbf{= 90\,\%})$

$S = VI = 200 \times 20 = 4\,000\ \mathrm{V{\cdot}A} = \mathbf{4\ kV{\cdot}A}$

B 7． $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{L_0 C_0}}, \quad C_0 = \dfrac{1}{4\pi^2 {f_0}^2 L_0}$

f_0 を，2 倍にすると，

$$C = \frac{1}{4\pi^2 (2f_0)^2 L_0} = \frac{C_0}{4}$$

$\boldsymbol{\dfrac{1}{4}}$ **倍** にすればよい。

第5章　交流回路の計算

第1節　記号法の取り扱い

〔p.5〕　**問1．**(1)　$(2+j3)+(-3+j2)=(2-3)+j(3+2)$

$$=\boldsymbol{-1+j5}$$

(2)　$(3+j4)-(2+j2)=(3-2)+j(4-2)$

$$=\boldsymbol{1+j2}$$

(3)　$(-2-j4)-(3-j5)=\boldsymbol{-5+j}$

(4)　$(3-j4)(1+j2)=3+j6-j4-j^2 8=\boldsymbol{11+j2}$

(5)　$(3+j)(3+j)=9+j3+j3+j^2=\boldsymbol{8+j6}$

(6)　$(-j\sqrt{3})^2=j^2 3=\boldsymbol{-3}$

問2．(1)　$\dfrac{1}{j}=\dfrac{j}{j^2}=\dfrac{j}{-1}=\boldsymbol{-j}$

(2)　$\dfrac{1-j}{1+j}=\dfrac{(1-j)(1-j)}{(1+j)(1-j)}=\dfrac{1-j-j+j^2}{1+1}=\dfrac{-2j}{2}=\boldsymbol{-j}$

(3)　$\dfrac{3+j}{j2}=\dfrac{(3+j)(-j2)}{(j2)(-j2)}=\dfrac{2-j6}{4}=\boldsymbol{0.5-j1.5}$

(4)　$\dfrac{4+j3}{3+j4}=\dfrac{(4+j3)(3-j4)}{(3+j4)(3-j4)}=\dfrac{12-j16+j9+12}{9+16}=\dfrac{24-j7}{25}$

$$=\boldsymbol{0.96-j0.28}$$

(5)　$\dfrac{2-j}{2+j}=\dfrac{(2-j)(2-j)}{(2+j)(2-j)}=\dfrac{4-j2-j2-1}{4+1}=\dfrac{3-j4}{5}$

$$=\boldsymbol{0.6-j0.8}$$

(6)　$\dfrac{3+j2}{3-j2}=\dfrac{(3+j2)(3+j2)}{(3-j2)(3+j2)}=\dfrac{9+j6+j6-4}{9+4}$

$$=\frac{5+j12}{13}=\boldsymbol{0.385+j0.923}$$

〔p.6〕　**問3．**(1)　$r=\sqrt{{a_1}^2+{a_2}^2}=\sqrt{(2\sqrt{3})^2+(-2)^2}=\sqrt{16}=4$

$$\left.\begin{aligned}\cos\theta&=\frac{a_1}{r}=\frac{2\sqrt{3}}{4}=\frac{\sqrt{3}}{2}\\ \sin\theta&=\frac{a_2}{r}=\frac{-2}{4}=-\frac{1}{2}\end{aligned}\right\}\text{から，}\ \theta=-\frac{\pi}{6}$$

$$2\sqrt{3}-j2=\boldsymbol{4\times\left\{\cos\left(-\frac{\pi}{6}\right)+j\sin\left(-\frac{\pi}{6}\right)\right\}}$$

(2)　$r=\sqrt{{a_1}^2+{a_2}^2}=\sqrt{(-1)^2+(\sqrt{3})^2}=\sqrt{4}=2$

$$\left.\begin{aligned}\cos\theta &= \frac{a_1}{r} = \frac{-1}{2} = -\frac{1}{2}\\ \sin\theta &= \frac{a_2}{r} = \frac{\sqrt{3}}{2}\end{aligned}\right\}\text{から，}\ \theta = \frac{2}{3}\pi$$

$$-1 + j\sqrt{3} = \mathbf{2\times\left(\cos\frac{2}{3}\pi + j\sin\frac{2}{3}\pi\right)}$$

(3) $r = \sqrt{a_1{}^2 + a_2{}^2} = \sqrt{0^2 + (-5)^2} = \sqrt{25} = 5$

$$\left.\begin{aligned}\cos\theta &= \frac{a_1}{r} = \frac{0}{5} = 0\\ \sin\theta &= \frac{a_2}{r} = \frac{-5}{5} = -1\end{aligned}\right\}\text{から，}\ \theta = -\frac{\pi}{2}$$

$$-j5 = \mathbf{5\times\left\{\cos\left(-\frac{\pi}{2}\right) + j\sin\left(-\frac{\pi}{2}\right)\right\}}$$

〔**p.9**〕 **問 4．** $\varepsilon^{j\frac{\pi}{2}} = \cos\frac{\pi}{2} + j\sin\frac{\pi}{2} = j$

$$\varepsilon^{j\left(-\frac{\pi}{2}\right)} = \cos\left(-\frac{\pi}{2}\right) + j\sin\left(-\frac{\pi}{2}\right) = -j = \frac{-j\cdot j}{j} = \frac{1}{j}$$

問 5． $z = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10$

$\tan\theta = \frac{8}{6}$ であるから，$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{8}{6}\right) = 0.927\ \mathrm{rad}$

したがって，$6 + j8 = \mathbf{10\varepsilon^{j0.927}}$

問 6． $\dot{z}_1\dot{z}_2 = 10\varepsilon^{j0.644} \times 5\varepsilon^{j0.321} = \mathbf{50\varepsilon^{j0.965}}$

$$\frac{\dot{z}_1}{\dot{z}_2} = \frac{10\varepsilon^{j0.644}}{5\varepsilon^{j0.321}} = \mathbf{2\varepsilon^{j0.323}}$$

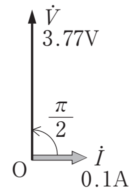
問 7． (1) $20\varepsilon^{j\frac{\pi}{6}} = 20\left(\cos\frac{\pi}{6} + j\sin\frac{\pi}{6}\right) = \mathbf{17.3 + j10}$

(2) $10\varepsilon^{j\left(-\frac{\pi}{6}\right)} = 10\left\{\cos\left(-\frac{\pi}{6}\right) + j\sin\left(-\frac{\pi}{6}\right)\right\} = \mathbf{8.66 - j5}$

〔**p.15**〕 **問 8．** $\dot{Z} = j\omega L = \omega L\angle\frac{\pi}{2}$

$$= 120\pi \times 100 \times 10^{-3}\angle\frac{\pi}{2} = \mathbf{37.7\angle\frac{\pi}{2}\,[\Omega]}$$

$$\dot{V} = \dot{I}\dot{Z} = 0.1 \times 37.7\angle\frac{\pi}{2} = \mathbf{3.77\angle\frac{\pi}{2}\,[V]}$$

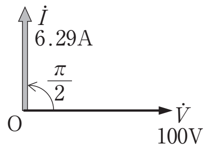


〔p.16〕　問 9． $\dot{Z}=\dfrac{1}{j\omega C}=\dfrac{1}{\omega C}\angle-\dfrac{\pi}{2}=\dfrac{1}{2\pi fC}\angle-\dfrac{\pi}{2}$

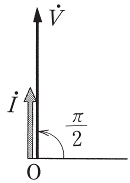
$$=\frac{1}{2\pi\times 50\times 200\times 10^{-6}}\angle-\frac{\pi}{2}$$

$$=\mathbf{15.9}\angle-\boldsymbol{\frac{\pi}{2}}\,[\boldsymbol{\Omega}]$$

$$\dot{I}=\frac{\dot{V}}{\dot{Z}}=\frac{100}{15.9\angle-\frac{\pi}{2}}=\mathbf{6.29}\angle\boldsymbol{\frac{\pi}{2}}\,[\mathbf{A}]$$



〔p.17〕　**問題**



1． $\dot{I}=\dfrac{\dot{V}}{\dot{Z}}=\dfrac{50\angle\frac{\pi}{2}}{12}=\mathbf{4.17}\angle\boldsymbol{\dfrac{\pi}{2}}\,[\mathbf{A}]$

2． $\dot{Z}=j\omega L=\omega L\angle\dfrac{\pi}{2}$

$$=2\pi\times 100\times 50\times 10^{-3}\angle\frac{\pi}{2}=\mathbf{3.14}\angle\boldsymbol{\frac{\pi}{2}}\,[\boldsymbol{\Omega}]$$

$$\dot{I}=\frac{\dot{V}}{\dot{Z}}=\frac{200}{31.4\angle\frac{\pi}{2}}$$

$$=\mathbf{6.37}\angle-\boldsymbol{\frac{\pi}{2}}\,[\mathbf{A}]$$

3． $\dot{Z}=\dfrac{1}{j\omega C}=\dfrac{1}{\omega C}\angle-\dfrac{\pi}{2}=\dfrac{1}{2\pi fC}\angle-\dfrac{\pi}{2}$

$$=\frac{1}{2\pi\times 60\times 100\times 10^{-6}}\angle-\frac{\pi}{2}=\mathbf{26.5}\angle-\boldsymbol{\frac{\pi}{2}}\,[\boldsymbol{\Omega}]$$

$$\dot{V}=\dot{I}\dot{Z}=2\times 26.5\varepsilon^{j\left(-\frac{\pi}{2}\right)}=\mathbf{53}\angle-\boldsymbol{\frac{\pi}{2}}\,[\mathbf{V}]$$

4． $\omega L=7.85$ より $L=\dfrac{7.85}{50\pi}=\mathbf{50\ mH}$

第 2 節　記号法による計算

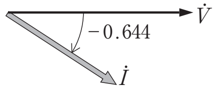
〔p.20〕　問 1． $\dot{Z}=R+j\omega L=\mathbf{40}+\boldsymbol{j}\mathbf{30}\,[\boldsymbol{\Omega}]$

$$Z=\sqrt{40^2+30^2}=50\ \Omega$$

$$\theta=\tan^{-1}\frac{30}{40}=0.644\ \mathrm{rad}$$

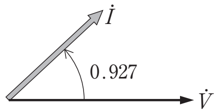
$$\dot{Z}=50\angle 0.644$$

$$\dot{V}=\dot{I}\dot{Z}=2\angle-0.644\times50\angle0.644$$
$$=\mathbf{100\angle0\,[V]}$$



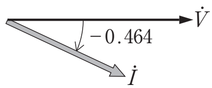
〔**p.22**〕　**問 2．** $\dot{Z}=R-j\dfrac{1}{\omega C}=\mathbf{15-j20\,[\Omega]}$

$$Z=\sqrt{15^2+20^2}=25\,\Omega$$
$$\theta=\tan^{-1}\left(-\frac{20}{15}\right)=-0.927\,\mathrm{rad}$$
$$\dot{Z}=25\angle-0.927\,[\Omega]$$
$$\dot{V}=\dot{I}\dot{Z}=2\angle0.927\times25\angle-0.927$$
$$=\mathbf{50\angle0\,[V]}$$



〔**p.24**〕　**問 3．** $\dot{Z}=R+j\left(2\pi fL-\dfrac{1}{2\pi fC}\right)$

$$=8+j\left(2\pi\times60\times31.8\times10^{-3}-\frac{1}{2\pi\times60\times166\times10^{-6}}\right)$$
$$=8+j(12.0-16.0)=\mathbf{8-j4.0\,[\Omega]}$$
$$Z=\sqrt{8^2+4.0^2}=\mathbf{8.94\,\Omega}$$
$\tan\theta=\dfrac{-4.0}{8}=-0.5$ から，$\theta=\tan^{-1}(-0.5)=\mathbf{-0.464\,rad}$
$$\dot{I}=\frac{\dot{V}}{\dot{Z}}=\frac{100\angle0}{8.94\angle-0.464}=\mathbf{11.2\angle0.464\,[A]}$$



〔**p.25**〕　**問 4．** $\dot{Z}=r+R+j\omega L=1+4+j8.66=5+j8.66=10\angle\dfrac{\pi}{3}\,[\Omega]$

$$\dot{I}=\frac{\dot{V}}{\dot{Z}}=\frac{100\angle0}{10\angle\frac{\pi}{3}}=10\angle-\frac{\pi}{3}=5-j8.66\,[\mathrm{A}]$$
$$\dot{V}_L=(1+j8.66)\dot{I}=(1+j8.66)\times(5-j8.66)$$
$$=5-j8.66+j43.3+75=80+j34.6$$
$$=\mathbf{87.2\angle0.408\,[V]}$$

〔p.25〕　**問 5．** $\dot{Z} = 30 - j40 = \mathbf{50\angle - 0.927\,[\Omega]}$

$$\dot{I} = \frac{\dot{V}}{\dot{Z}} = \frac{100}{50\angle - 0.927} = \mathbf{2\angle 0.927\,[A]}$$

〔p.27〕　**問 6．** $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{10 \times 10^{-3} \times 0.28 \times 10^{-6}}}$

$$= 3.01 \times 10^3$$

$$= \mathbf{3.01\,kHz}$$

$$\dot{V}_L = j\omega_0 L I_0 = j2\pi f_0 L I_0$$

$$= j2\pi \times 3.01 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-3} \times 10$$

$$= j1\,891\,[\mathrm{V}]$$

$$\fallingdotseq \mathbf{1\,890\angle\frac{\pi}{2}\,[V]}$$

$$\dot{V}_C = -j\frac{1}{\omega_0 C}\cdot I_0 = -j\frac{1}{2\pi f_0 C}\cdot I_0$$

$$= -j\frac{1}{2\pi \times 3.01 \times 10^3 \times 0.28 \times 10^{-6}} \times 10$$

$$= -j1\,888\,[\mathrm{V}]$$

$$\fallingdotseq \mathbf{1\,890\angle - \frac{\pi}{2}\,[V]}$$

$$Q = \frac{V_L}{V} = \frac{V_C}{V} \fallingdotseq \frac{1\,890}{100} = \mathbf{18.9}$$

〔p.29〕　**問 7．** $Z = \dfrac{R\omega L}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} = \dfrac{20 \times 25}{\sqrt{20^2 + 25^2}} = 15.6\,\Omega$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{R}{\omega L} = \tan^{-1}\frac{20}{25} = 0.675\,\mathrm{rad}$$

$$\dot{Z} = \mathbf{15.6\angle 0.675\,[\Omega]}$$

$$\dot{I} = \frac{\dot{V}}{\dot{Z}} = \frac{100}{15.6\angle 0.675} = \mathbf{6.41\angle - 0.675\,[A]}$$

〔p.31〕　**問 8．** $Z = \dfrac{R}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}} = \dfrac{50}{\sqrt{1 + \left(\dfrac{1}{40} \times 50\right)^2}} = \dfrac{50}{\sqrt{2.56}} = 31.2$

$$\theta = \tan^{-1}(-\omega CR) = \tan^{-1}\left(-\frac{1}{40} \times 50\right) = -0.896\,\mathrm{rad}$$

$$(= -51.3^\circ)$$

$$\dot{Z} = \mathbf{31.2\angle - 0.896\,[\Omega]}$$

$$\dot{I} = \frac{\dot{V}}{\dot{Z}} = \frac{100}{31.2\angle - 0.896} = \mathbf{3.21\angle 0.896\,[A]}$$

〔p.35〕　**問 9．** (1)　$G = \dfrac{1}{R} = \dfrac{1}{30} = \mathbf{0.0333\,S}$

(2)　$B = \dfrac{1}{\omega L} = \dfrac{1}{50} = \mathbf{0.02\,S}$

(3)　$B = \omega C = \dfrac{1}{-40} = \mathbf{-0.025\,S}$

(4)　$\dot{Y} = \dfrac{1}{\dot{Z}} = \dfrac{1}{30 - j40} = 0.012 + j0.016 = \mathbf{0.02\angle 0.927}\,[\mathrm{S}]$

$G = \mathbf{0.012\,S}, \quad B = \mathbf{0.016\,S}$

〔p.37〕　**問10．** $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{200 \times 10^{-3} \times 20 \times 10^{-6}}}$

$= \dfrac{1}{4\pi \times 10^{-3}} = \mathbf{79.6\,Hz}$

問11． (1)　$\dot{I}_R = \dfrac{\dot{V}}{R} = \dfrac{100}{10} = \mathbf{10\,A}$

$\dot{I}_L = \dfrac{V}{jX_L} = \dfrac{100}{j10} = \boldsymbol{-j10}\,[\mathrm{A}]$

$\dot{I} = 10 - j10 = \mathbf{14.1}\boldsymbol{\angle -\dfrac{\pi}{4}}\,[\mathrm{A}]$

(2)　$\dot{I}_R = \dfrac{\dot{V}}{R} = \dfrac{100}{10} = \mathbf{10\,A}$

$\dot{I}_C = \dfrac{\dot{V}}{-jX_C} = \dfrac{100}{-j10} = \boldsymbol{j10}\,[\mathrm{A}]$

$\dot{I} = \dot{I}_R + \dot{I}_C = 10 + j10 = \mathbf{14.1}\boldsymbol{\angle \dfrac{\pi}{4}}\,[\mathrm{A}]$

(3)　$\dot{I}_R = \mathbf{10\,A}$

$\dot{I}_L = \boldsymbol{-j10}\,[\mathrm{A}]$

$\dot{I}_C = \boldsymbol{j10}\,[\mathrm{A}]$

$\dot{I} = \dot{I}_R + \dot{I}_L + \dot{I}_C = 10 - j10 + j10 = \mathbf{10\,A}$

〔p.39〕　**問12．** 共振周波数でインピーダンス Z は，直列共振回路では最小となるが，並列共振回路では最大となる。

〔p.41〕　**問13．** ブリッジの各辺のインピーダンスは，次のように表される。

$$\dot{Z}_1 = \frac{1}{\dfrac{1}{R_1} + j\omega C_1} + \frac{R_1}{1 + j\omega C_1 R_1}$$

$$\dot{Z}_2 = R_2,\ \dot{Z}_3 = R_3,\ \dot{Z}_4 = R_4 + j\omega L_4$$

式(47)から，　$\dfrac{R_1}{(1 + j\omega C_1 R_1)R_2} = \dfrac{R_3}{R_4 + j\omega L_4}$

$$(R_1 R_4 - R_2 R_3) + j\omega(L_4 R_1 - C_1 R_1 R_2 R_3) = 0$$

ゆえに，　　$R_1R_4 = R_2R_3$，$\omega L_4 R_1 = \omega C_1 R_1 R_2 R_3$

したがって，R_4，L_4 は，次のように表される。

$$\boldsymbol{R_4 = \frac{R_2R_3}{R_1}},\quad \boldsymbol{L_4 = C_1R_2R_3}$$

問14. $\dot{Z}_1 = 100\,\Omega$，$\dot{Z}_2 = 0.2 + j\omega \times 40 \times 10^{-3}\,[\Omega]$，$\dot{Z}_3 = 1\,000\,\Omega$，

$\dot{Z}_4 = R_X + j\omega L_X\,[\Omega]$

ブリッジの平衡条件 $\dot{Z}_1\dot{Z}_4 = \dot{Z}_2\dot{Z}_3$ から，

$$100(R_X + j\omega L_X) = (0.2 \times j\omega \times 40 \times 10^{-3}) \times 1\,000$$

ゆえに，$R_X + j\omega L_X = 2 + j\omega \times 0.4$

$$R_X = \mathbf{2\,\Omega},$$

$$L_X = 0.4\,\mathrm{H} = \mathbf{400\,mH}$$

〔p.42〕 **問題**

1. (a) $\dot{V} = R\dot{I} = 10 \times (4 - j3)$

$$= \mathbf{40 - \boldsymbol{j}30\,[V] = 50\angle 0.644\,[V]}$$

(b) $\dot{V} = j\omega L\dot{I} = j10 \times (4 - j3)$

$$= \mathbf{30 + \boldsymbol{j}40\,[V] = 50\angle -0.927\,[V]}$$

(c) $\dot{V} = -j\dfrac{1}{\omega C}\dot{I} = -j10 \times (4 - j3)$

$$= \mathbf{-30 - \boldsymbol{j}40\,[V] = 50\angle -2.21\,[V]}$$

2. $\dot{Z} = R + jX_L = \mathbf{3 + \boldsymbol{j}4\,[\Omega]}$

3. $\dot{Z} = \dfrac{1}{\dfrac{1}{3} + \dfrac{1}{j4}} = \dfrac{1}{\dfrac{3 + j4}{j12}} = \dfrac{j12}{3 + j4} = \dfrac{j12(3 - j4)}{3^2 + 4^2} = \mathbf{1.92 + \boldsymbol{j}1.44\,[\Omega]}$

$\dot{Y} = \dfrac{1}{3} + \dfrac{1}{j4} = \mathbf{0.333 - \boldsymbol{j}0.25\,[S]}$

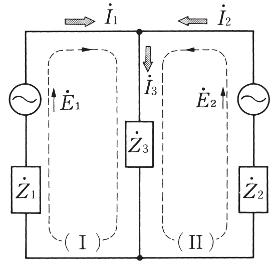
4. LC の並列共振時には，$\dot{I}$ と $\dot{V}$ が同相になる。そのときのインピーダンス $\dot{Z}$ は，R だけになるので，$\dot{Z} = \mathbf{10\,\Omega}$。共振周波数 f_0 は，

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{5 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^{-6}}}$$

$$= \frac{1}{2\pi \times 10^{-4}} = \mathbf{1\,590\,Hz}$$

第3節　回路に関する定理

〔p.46〕　**問1．** $\dot{Z}_1 = \dot{Z}_2 = \dot{Z}_3 = 200\,\Omega$



第1法則から，

$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \dot{I}_3$　①

第2法則から，

閉回路(Ⅰ)

$200\dot{I}_1 + 200\dot{I}_3 = 60 + j80$

$10\dot{I}_1 + 10\dot{I}_3 = 3 + j4$　②

閉回路(Ⅱ)

$200\dot{I}_2 + 200\dot{I}_3 = 80 + j60$

$10\dot{I}_2 + 10\dot{I}_3 = 4 + j3$　③

①から，$\dot{I}_1 = \dot{I}_3 - \dot{I}_2$ として，②に代入し，$\dot{I}_1$ を消去する。

$-10\dot{I}_2 + 20\dot{I}_3 = 3 + j4$　③′

③＋③′

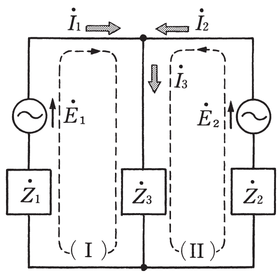
$30\dot{I}_3 = 7 + j7$

ゆえに，$\dot{I}_3 = \dfrac{7}{30}(1 + j)\,[\mathrm{A}]$

$\dot{V}_3 = \dot{Z}_3\dot{I}_3 = 200 \times \dfrac{7}{30}(1 + j)$

$\mathbf{= 46.7 + j46.7\,[V] = 66.0\angle 45°\,[V]}$

問2． $\dot{E}_1 = 66 + j88\,[\mathrm{V}]$，$\dot{E}_2 = 104 + j78\,[\mathrm{V}]$



第1法則から，

$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \dot{I}_3$　①

第2法則から，

閉回路(Ⅰ)

$\dot{I}_1 + 4\dot{I}_3 = 66 + j88$　②

閉回路(Ⅱ)

$2\dot{I}_2 + 4\dot{I}_3 = 104 + j78$　③

①を②，③に代入し，$\dot{I}_3$ を消去する。

$5\dot{I}_1 + 4\dot{I}_2 = 66 + j88$　②′

$4\dot{I}_1 + 6\dot{I}_2 = 104 + j78$　③′

②′× 3，③′× 2

$$15\dot{I}_1 + 12\dot{I}_2 = 198 + j264 \qquad ②''$$

$$8\dot{I}_1 + 12\dot{I}_2 = 208 + j156 \qquad ③''$$

②'' − ③''

$$7\dot{I}_1 = -10 + j108$$

$$\dot{I}_1 = -\frac{10}{7} + j\frac{108}{7}$$

$$= \mathbf{-1.43 + j15.4\,[A] = 15.5\angle 95.3°\,[A]}$$

これを②′に代入する。

$$-\frac{50}{7} + j\frac{540}{7} + 4\dot{I}_2 = 66 + j88$$

$$4\dot{I}_2 = \frac{512}{7} + j\frac{76}{7}$$

$$\dot{I}_2 = \frac{128}{7} + j\frac{19}{7}$$

$$= \mathbf{18.3 + j2.71\,[A] = 18.5\angle 8.42°\,[A]}$$

これらを①に代入する。

$$\dot{I}_3 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \frac{118}{7} + j\frac{127}{7}$$

$$= \mathbf{16.9 + j18.1\,[A] = 24.8\angle 47°\,[A]}$$

〔**p.50**〕　**問 3.** (1)　重ね合わせの理によって求めると，次のようになる。

電源が E_1 だけの場合

$$I_1' = \frac{E_1}{R_1 + \dfrac{R_2R_3}{R_2 + R_3}} = \frac{3}{1 + \dfrac{2 \times 2}{2 + 2}} = 1.5\,\mathrm{mA}$$

$$I_2' = \frac{R_3}{R_2 + R_3}I_1' = \frac{2}{2 + 2} \times 1.5 = 0.75\,\mathrm{mA}$$

$$I_3' = I_1' - I_2' = 1.5 - 0.75 = 0.75\,\mathrm{mA}$$

電源が E_3 だけの場合

$$I_3'' = \frac{E_3}{R_3 + \dfrac{R_1R_2}{R_1 + R_2}} = \frac{6}{2 + \dfrac{1 \times 2}{1 + 2}} = 2.25\,\mathrm{mA}$$

$$I_1'' = \frac{R_2}{R_1 + R_2}I_3'' = \frac{2}{1 + 2} \times 2.25 = 1.5\,\mathrm{mA}$$

$$I_2'' = I_3'' - I_1'' = 2.25 - 1.5 = 0.75\,\mathrm{mA}$$

E_1，E_3 が同時に存在する場合

$$I_1 = I_1' + I_1'' = 1.5 + 1.5 = \mathbf{3\,mA}$$

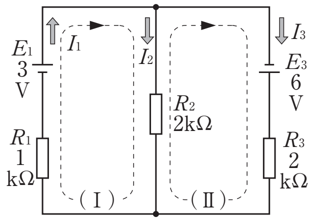
$$I_2 = I_2' - I_2'' = 0.75 - 0.75 = \mathbf{0\,mA}$$

$I_3 = I_3' + I_3'' = 0.75 + 2.25 = \mathbf{3\ mA}$

(2) キルヒホッフの法則によって求めると，次のようになる。

第 1 法則から，

$I_1 = I_2 + I_3$ ①



第 2 法則から，

閉回路(Ⅰ)

$I_1 + 2I_2 = 3$ ②

閉回路(Ⅱ)

$-2I_2 + 2I_3 = 6$ ③

①を②に代入する。

$3I_2 + I_3 = 3$ ②′

③ ×3+ ②′×2

$8I_3 = 24$

ゆえに，

$I_3 = \dfrac{24}{8} = \mathbf{3\ mA}$

I_3 の値を③に代入する。

$-2I_2 + 2 \times 3 = 6$

ゆえに，

$I_2 = \mathbf{0\ mA}$

$I_1 = I_2 + I_3 = 0 + 3 = \mathbf{3\ mA}$

したがって，重ね合わせの理で求めた値と一致する。

〔p.50〕 **問 4．** $\dot{I}_1' = \dfrac{\dot{E}_1}{\dot{Z}_1 + \dfrac{\dot{Z}_2\dot{Z}_3}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3}} = \dfrac{100}{10 + \dfrac{40 \times 12}{40 + 12}} = \dfrac{100}{10 + 9.23} = \dfrac{100}{19.2}$

$= 5.2\ \mathrm{A}$

$\dot{I}_2' = \dfrac{\dot{Z}_3}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3}\dot{I}_1' = \dfrac{12}{40 + 12} \times 5.2 = 1.2\ \mathrm{A}$

$\dot{I}_3' = \dot{I}_1' - \dot{I}_2' = 5.2 - 1.2 = 4.0\ \mathrm{A}$

$\dot{I}_2'' = \dfrac{\dot{E}_2}{\dot{Z}_2 + \dfrac{\dot{Z}_1\dot{Z}_3}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_3}} = \dfrac{100}{40 + \dfrac{10 \times 12}{10 + 12}} = \dfrac{100}{40 + 5.45} = \dfrac{100}{45.5}$

$= 2.2\ \mathrm{A}$

$\dot{I}_1'' = \dfrac{\dot{Z}_3}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_3}\dot{I}_2'' = \dfrac{12}{10 + 12} \times 2.2 = 1.2\ \mathrm{A}$

$I_3'' = 2.2 - 1.2 = 1.0\ \mathrm{A}$

$\dot{I}_1 = \dot{I}_1' - \dot{I}_1'' = 5.2 - 1.2 = \mathbf{4\ A}$

$\dot{I}_2 = \dot{I}_2'' - \dot{I}_2' = 2.2 - 1.2 = \mathbf{1\ A}$

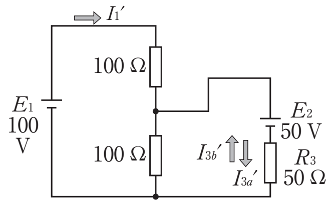
$\dot{I}_3 = \dot{I}_3' + \dot{I}_3'' = 4 + 1 = \mathbf{5\ A}$

〔**p.53**〕 **問 5．** ⑴　E_2とE_3は大きさが等しく向きが反対であるので，キルヒホッフの第2法則から，E_2，E_3が入っていないのと同じである。

⑵　次図をもとに，$E_2 = 0$のときR_3を流れる電流I_{3a}'は，次のように表される。

$$I_1' = \frac{E_1}{100 + \dfrac{100 \times 50}{100 + 50}} = \frac{100}{\dfrac{15000}{150} + \dfrac{5000}{150}} = \frac{100}{\dfrac{20000}{150}} = \frac{15000}{20000}$$

$$= \frac{1.5}{2} = 0.75\ \mathrm{A}$$



$$I_{3a}' = \frac{100}{100 + 50} \times I_1'$$

$$= \frac{100}{150} \times 0.75$$

$$= 0.5\ \mathrm{A}$$

$E_1 = 0$のとき，R_3を流れる電流I_{3b}'は，次のように表される。

$$I_{3b}' = \frac{E_2}{50 + 50} = \frac{50}{100} = 0.5\ \mathrm{A}$$

E_1，E_2が同時に存在する場合，R_3を流れる電流I_3'は，次のように表される。

$$I_3' = I_{3a}' - I_{3b}' = 0.5 - 0.5 = \mathbf{0\ A}$$

⑶　$I_3'' = \dfrac{50}{50 + 50} = \mathbf{0.5\ A}$

⑷　**重ね合わせの理**

⑸　鳳･テブナンの定理によって求めた結果，0.5 A と**一致する**。

問 6． R_3を切り離したときに流れる電流は，

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{100}{50 + 100} = \frac{100}{150} = 0.667\ \mathrm{A}$$

$$V' = R_2 I_1 = 100 \times 0.667 = 66.7\ \mathrm{V}$$

$$R' = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{50 \times 100}{50 + 100} = \frac{100}{3} = 33.3\ \Omega$$

$$I_3 = \frac{V'}{R' + R_3} = \frac{66.7}{33.3 + 100} = \mathbf{0.5\ A}$$

〔**p.36**〕　**問 7．** $\dot{V}_0 = \dfrac{\dot{Z}_2\dot{E}_1}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} = \dfrac{(3 + j4) \times 10}{5 + (3 + j4)} = 5 + j2.5\,[\mathrm{V}]$

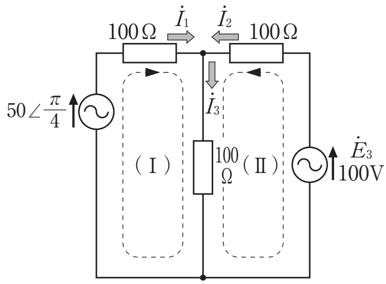
$$\dot{Z}_0 = \frac{\dot{Z}_1\dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} = \frac{5(3 + j4)}{5 + (3 + j4)} = 2.5 + j1.25\,[\Omega]$$

鳳・テブナンの定理より，

$$\dot{I} = \frac{\dot{V}_0}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_3} = \frac{5 + j2.5}{(2.5 + j1.25) + (10 + j5)}$$

$$= \frac{5 + j2.5}{12.5 + j6.25} = 0.4 + j0 = \mathbf{0.4\ A}$$

〔**p.57**〕　**問題**



1． $50\angle\dfrac{\pi}{4} = 35.3 + j35.3\,[\mathrm{V}]$

第 1 法則から，

$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \dot{I}_3$

$\dot{I}_2 = \dot{I}_3 - \dot{I}_1$　①

閉回路(Ⅰ)から，

$100\dot{I}_1 + 100\dot{I}_3 = 35.3 + j35.3$　②

閉回路(Ⅱ)から，

$100\dot{I}_2 + 100\dot{I}_3 = 100$　③

①を③に代入する。

$-100\dot{I}_1 + 200\dot{I}_3 = 100$　④

② + ④ から，

$300\dot{I}_3 = 135.3 + j35.3$

ゆえに，$\dot{I}_3 = 0.451 + j0.118\,[\mathrm{A}]$

$\dot{V} = 100 \times \dot{I}_3 = 100 \times (0.451 + j0.118)$

$= \mathbf{45.1 + j11.8\,[V] = 46.6\angle 14.7^\circ\,[V]}$

2． 回路の内部抵抗を $\dot{Z}_0$，スイッチ S を閉じたときの電圧を $\dot{V}_0$ とすると，次の関係がなりたつ。

$\dfrac{\dot{V}_0}{\dot{Z}_0 + 60} = 1$　ゆえに，$\dot{V}_0 = \dot{Z}_0 + 60$　①

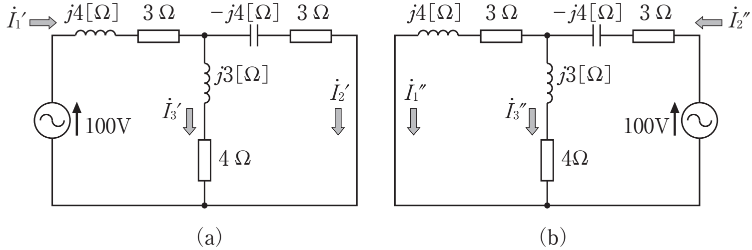
$\dfrac{\dot{V}_0}{\dot{Z}_0 + 160} = 0.5$　ゆえに，$2\dot{V}_0 = \dot{Z}_0 + 160$　②

② − ① より，$\dot{V}_0 = \mathbf{100\ V}$

これを①に代入すると，

$100 = \dot{Z}_0 + 60$，$\dot{Z}_0 = \mathbf{40\ \Omega}$

3．



図(a)から，

$$\dot{I}_1{}' = \frac{100}{(3+j4)+\dfrac{(3-j4)(4+j3)}{(3-j4)+(4+j3)}} = 11.9 - j6.42$$

$$\dot{I}_2{}' = \dot{I}_1{}' \times \frac{4+j3}{(4+j3)(3-j4)} = (11.9 - j6.42)(0.5 + j0.5)$$

$$= 9.16 + j2.74$$

$$\dot{I}_3{}' = \dot{I}_1{}' - \dot{I}_2{}' = (11.9 - j6.42) - (9.16 + j2.74)$$

$$= 2.74 - j9.16$$

図(b)から，

$$\dot{I}_2{}'' = \frac{100}{(3-j4)+\dfrac{(3+j4)(4+j3)}{(3+j4)+(4+j3)}} = 17.2 + j7.95$$

$$\dot{I}_1{}'' = \dot{I}_2{}'' \times \frac{4+j3}{(3+j4)+(4+j3)} = 9.16 + j2.78$$

$$\dot{I}_3{}'' = \dot{I}_1{}'' - \dot{I}_2{}'' = 8.04 + j5.17$$

したがって，$\dot{I}_1$，$\dot{I}_2$，$\dot{I}_3$ は，

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_1{}' - \dot{I}_1{}'' = (11.9 - j6.42) - (9.16 + j2.78)$$

$$= \mathbf{2.74 - \mathit{j}9.20\,[A]}$$

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_2{}'' - \dot{I}_2{}' = (17.2 + j7.95) - (9.16 + j2.74)$$

$$= \mathbf{8.04 + \mathit{j}5.21\,[A]}$$

$$\dot{I}_3 = \dot{I}_3{}' + \dot{I}_3{}'' = (2.74 - j9.16) + (8.04 + j5.17)$$

$$= \mathbf{10.8 - \mathit{j}3.99\,[A]}$$

〔p.62～64〕 **章末問題**

A 1． (ウ)

$$I_R=\frac{V}{R}=\frac{24}{8}=3\text{ A},\qquad I_C=\frac{V}{X_C}=\frac{24}{6}=4\text{ A}$$

$$I=\sqrt{I_R{}^2+I_C{}^2}=\sqrt{3^2+4^2}=\mathbf{5\ A}$$

A 2． $\dot{Z}=R-j\dfrac{1}{\omega C}=20-j30\,[\Omega]$

$$\dot{I}=\frac{\dot{V}}{\dot{Z}}=\frac{100}{20-j30}=\frac{100\times(20+j30)}{20^2+30^2}=\mathbf{1.54+j2.31}\,[\mathrm{A}]$$

$$Z=\sqrt{20^2+30^2}=36.1\,\Omega$$

$\tan\theta=\dfrac{-30}{20}=-1.5$　ゆえに，$\theta=-0.983\,\mathrm{rad}=-56.3°$

$$\dot{Z}=\mathbf{36.1\angle-0.983}\,[\boldsymbol{\Omega}]=\mathbf{36.1\angle-56.3°}\,[\boldsymbol{\Omega}]$$

$$\dot{I}=\frac{\dot{V}}{\dot{Z}}=\frac{100}{36.1\varepsilon^{j(-0.983)}}$$

$$=\mathbf{2.77\angle0.983}\,[\mathrm{A}]=\mathbf{2.77\angle56.3°}\,[\mathrm{A}]$$

A 3． $\dot{Z}=R+j\omega L=300+j300$

$$Z=\sqrt{300^2+300^2}=300\sqrt{2}=424\,\Omega$$

$\tan\theta=\dfrac{300}{300}=1$　ゆえに，$\theta=\dfrac{\pi}{4}\,[\mathrm{rad}]$

$$\dot{Z}=\mathbf{424\angle\frac{\boldsymbol{\pi}}{4}}\,[\boldsymbol{\Omega}]$$

$$\dot{I}=\frac{\dot{V}}{\dot{Z}}=\frac{100\varepsilon^{j0}}{424\varepsilon^{j\frac{\pi}{4}}}=\mathbf{0.236\angle-\frac{\boldsymbol{\pi}}{4}}\,[\mathrm{A}]$$

A 4． $f_0=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ より

$$C=\frac{1}{4\pi^2f_0{}^2L}=\frac{1}{4\pi^2\times(10\times10^6)^2\times2\times10^{-6}}$$

$$=126\times10^{-12}=\mathbf{126\ pF}$$

A 5． $\dot{I}_R=5\text{ A}$，$\dot{I}_L=-j16\,[\mathrm{A}]$，$\dot{I}_C=j4\,[\mathrm{A}]$

$$\dot{I}=5-j16+j4=5-j12$$

$$=\mathbf{13\angle-1.18}\,[\mathrm{A}]=\mathbf{13\angle-67.4°}\,[\mathrm{A}]$$

A 6． $\dot{Y}_1=\dfrac{1}{4+j3}=\dfrac{4-j3}{4^2+3^2}=\mathbf{0.16-j0.12}\,[\mathrm{S}]$

$$\dot{Y}_2=\frac{1}{3-j4}=\frac{3+j4}{3^2+4^2}=\mathbf{0.12+j0.16}\,[\mathrm{S}]$$

$$\dot{I}_1=\dot{Y}_1\dot{V}=(0.16-j0.12)\times100$$

$=\mathbf{16-j12}\,[\mathrm{A}]$　（極座標表示では，$20\angle-36.9°\,[\mathrm{A}]$）

$\dot{I}_2 = \dot{Y}_2\dot{V} = (0.12 + j0.16) \times 100$

$= \mathbf{12 + \mathit{j}16}$ [A]　（極座標表示では，$20\angle 53.1°$ [A]）

$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = (16 - j12) + (12 + j16)$

$= \mathbf{28 + \mathit{j}4}$ [A]　（極座標表示では，$28.3\angle 8.13°$ [A]）

A 7． $\theta = \tan^{-1}\dfrac{R}{\omega L}$ より，$\omega L = \dfrac{R}{\tan\theta} = X$

インピーダンス角 θ が $22.6°$ であるから，

$X = \dfrac{R}{\tan\theta} = \dfrac{5}{\tan 22.6} = \mathbf{12\,\Omega}$

A 8． 平衡条件 $\dot{Z}_1\dot{Z}_4 = \dot{Z}_2\dot{Z}_3$ から，

$$R_1R_2 = j\omega L \cdot \frac{1}{j\omega C}$$

ゆえに，$\boldsymbol{R_1R_2 = \dfrac{L}{C}}$

B 1． 図7 の電流を $\dot{I}_1$ とすると，

$\dot{I}_1 = \dfrac{E}{R + jX} = \dfrac{100}{R + jX}$

$I_1 = \dfrac{100}{\sqrt{R^2 + X^2}} = 10$ A

よって，$\sqrt{R^2 + X^2} = 10$

$R^2 + X^2 = 100$　①

同様に，図8 の電流を $\dot{I}_2$ とすると，

$\dot{I}_2 = \dfrac{100}{\sqrt{(R + 12)^2 + X^2}} = 5$ A

$\sqrt{(R + 12)^2 + X^2} = \dfrac{100}{5} = 20$

$(R + 12)^2 + X^2 = 400$　②

②から①をひくと

$$\begin{array}{rr} & (R + 12)^2 + X^2 = 400 \\ -) & R^2 + X^2 = 100 \\ \hline & 24R + 144 = 300 \end{array}$$

ゆえに，$R = \dfrac{300 - 144}{24} = \mathbf{6.5\,\Omega}$

B 2． $\dot{Z} = \dfrac{4\cdot(-j4)}{4 - j4} + \dfrac{3\cdot j3}{3 + j3}$

$= \dfrac{-j16(4 + j4)}{4^2 + 4^2} + \dfrac{j9(3 - j3)}{3^2 + 3^2}$

$= 2 - j2 + 1.5 + j1.5 = \mathbf{3.5 - j0.5}[\Omega]$

$$\dot{I} = \frac{\dot{V}}{\dot{Z}} = \frac{100}{3.5 - j0.5} = \frac{100 \times (3.5 + j0.5)}{3.5^2 + 0.5^2}$$

$= \mathbf{28 + j4}[\mathrm{A}] = \mathbf{28.3\angle 8.1°}[\mathrm{A}]$

B 3． ⑴　キルヒホッフの法則を用いた場合

$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \dot{I}_3$　①

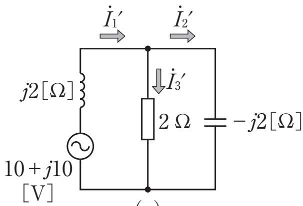
$10 + j10 - 10 = j2\dot{I}_1 - 2\dot{I}_2$　②

$10 = 2\dot{I}_2 - j2\dot{I}_3$　③

式①，②，③の連立方程式を解くと，次の結果が得られる。

$\dot{\boldsymbol{I}}_1 = \mathbf{10 + j5}[\mathrm{A}]$，$\dot{\boldsymbol{I}}_2 = \mathbf{-5 + j5}[\mathrm{A}]$，$\dot{\boldsymbol{I}}_3 = \mathbf{5 + j10}[\mathrm{A}]$

⑵　重ね合わせの理を用いた場合

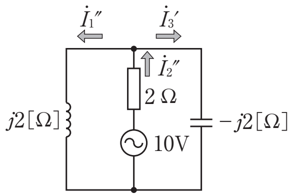


(a)

図(a)から，$\dot{I}_0' = \dfrac{10 + j10}{j2 + \dfrac{2(-j2)}{2 - j2}} = 10$

$\dot{I}_2' = \dot{I}_1' \times \dfrac{-j2}{2 - j2} = \dfrac{10(-j2)}{2 - j2} = 5 - j5$

$\dot{I}_3' = \dot{I}_1' - \dot{I}_2' = 10 - (5 - j5) = 5 + j5$



(b)

図(b)から，$\dot{I}_2'' = \dfrac{10}{2 + \dfrac{j2(-j2)}{j2 - j2}} = 0$

分母が ∞ で $\dot{I}_2'' = 0$，すなわち並列共振という特殊な状態ということができる。

$\dot{I}_1'' = \dfrac{10}{j2} = -j5$，$\dot{I}_3'' = \dfrac{10}{-j2} = j5$

したがって，$\dot{I}_1$，$\dot{I}_2$，$\dot{I}_3$ は，

$\dot{I}_1 = \dot{I}_1' - \dot{I}_1'' = 10 - (-j5) = \mathbf{10 + j5}[\mathrm{A}]$

$\dot{I}_2 = \dot{I}_2'' - \dot{I}_2' = 0 - (5 - j5) = \mathbf{-5 + j5}[\mathrm{A}]$

$\dot{I}_3 = \dot{I}_3' + \dot{I}_3'' = 5 + j5 + j5 = \mathbf{5 + j10}[\mathrm{A}]$

以上のように，どちらの方法で解いても解が一致したことが確められた。

B 4． 平衡したとき，次式がなりたつ。

$$R_1 \times \frac{1}{j\omega C_3} = \left(r_x + \frac{1}{j\omega C_x}\right) \times \frac{R_2 \cdot \dfrac{1}{j\omega C_2}}{R_2 + \dfrac{1}{j\omega C_2}}$$

よって，$-R_1R_2\omega^2C_2C_x + j\omega C_xR_1 = -r_xR_2\omega^2C_3C_x + jR_2\omega C_3$

両辺の実部および虚部が等しいことから，

$$\boldsymbol{r_x = \frac{C_2}{C_3}R_1}\,[\boldsymbol{\Omega}],\quad \boldsymbol{C_x = \frac{R_2}{R_1}C_3}\,[\mathbf{F}]$$

B 5． 合成インピーダンスを $\dot{Z}$ とおくと，

$$\dot{Z} = R + \frac{\dfrac{1}{j\omega C}\left(R + \dfrac{1}{j\omega C}\right)}{\dfrac{1}{j\omega C} + R + \dfrac{1}{j\omega C}} = R + \frac{1 + jR\omega C}{j\omega C(2 + jR\omega C)}$$

$$\dot{V}_2 = \frac{\dot{V}_1}{\dot{Z}} \times \frac{\dfrac{1}{j\omega C}}{\dfrac{1}{j\omega C} + R + \dfrac{1}{j\omega C}} \times R$$

$$= \frac{jR\omega C}{(1 - R^2\omega^2C^2) + j3R\omega C}\dot{V}_1$$

よって，$\dfrac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = 3 - j\dfrac{1 - R^2\omega^2C^2}{R\omega C}$

$\dot{V}_1$ と $\dot{V}_2$ が同相であることから，上式の虚部は 0 でなければならない。

$$1 - R^2\omega^2C^2 = 0$$

よって，そのときの周波数 f は，

$$f = \frac{1}{2\pi RC} = \mathbf{0.159\ Hz}$$

さらに，虚部が 0 であるとき，

$$\boldsymbol{\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = 3}$$

第 6 章　三相交流

第 1 節　三相交流

〔p.70〕　**問 1．** $\dot{I}_a = 10 = \mathbf{10\ A}$

$$\dot{I}_b = 10 \times \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = \mathbf{-5 - j8.66\,[A] = 10\angle -\frac{2}{3}\pi\,[A]}$$

$$\dot{I}_c = 10 \times \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = \mathbf{-5 + j8.66\,[A] = 10\angle -\frac{4}{3}\pi\,[A]}$$

〔p.71〕　**問 2．** 図 4 の②について

$$\begin{cases} e_a = E_m \sin\dfrac{\pi}{6} = \dfrac{1}{2}E_m \\ e_b = E_m \sin\left(\dfrac{\pi}{6} - \dfrac{2}{3}\pi\right) = E_m \sin\left(-\dfrac{\pi}{2}\right) = -E_m \\ e_c = E_m \sin\left(\dfrac{\pi}{6} - \dfrac{4}{3}\pi\right) = E_m \sin\left(-\dfrac{7}{6}\pi\right) = \dfrac{1}{2}E_m \end{cases}$$

よって，

$$e_a + e_b + e_c = \frac{1}{2}E_m + (-E_m) + \frac{1}{2}E_m = 0$$

同様に③について

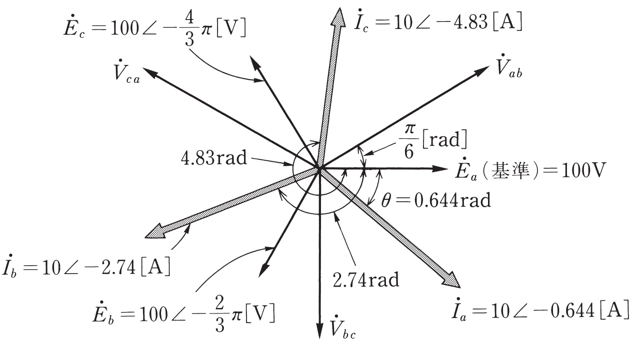
$$\begin{cases} e_a = E_m \sin\dfrac{\pi}{3} = \dfrac{\sqrt{3}}{2}E_m \\ e_b = E_m \sin\left(\dfrac{\pi}{3} - \dfrac{2}{3}\pi\right) = E_m \sin\left(-\dfrac{\pi}{3}\right) = -\dfrac{\sqrt{3}}{2}E_m \\ e_c = E_m \sin\left(\dfrac{\pi}{3} - \dfrac{4}{3}\pi\right) = E_m \sin(-\pi) = 0 \end{cases}$$

よって，$e_a + e_b + e_c = \dfrac{\sqrt{3}}{2}E_m + \left(-\dfrac{\sqrt{3}}{2}E_m\right) + 0 = \mathbf{0}$

第 2 節　三相交流回路

〔p.78〕　**問 1．** $I_l = \dfrac{V}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \dfrac{100}{\sqrt{8^2 + 6^2}} = \mathbf{10\ A} = I_a = I_b = I_c$

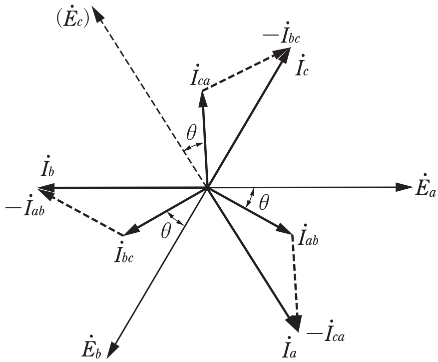
$$\theta = \tan^{-1}\frac{X}{R} = \tan^{-1}\frac{6}{8} = 0.644\ \mathrm{rad}\,(= 36.9°)$$



〔**p.82**〕　**問 2.** $I_p = \frac{V_p}{Z_p} = \frac{200}{\sqrt{8^2+6^2}} = \mathbf{20\ A}$

$$I_l = \sqrt{3}\,I_p = \sqrt{3} \times 20 = \mathbf{34.6\ A}$$

〔**p.83**〕　**問 3.**



〔**p.87**〕　**問 4.** Y 結線負荷を△結線負荷に変換すると，

$$\dot{Z}_\triangle = 3\dot{Z} = 3(5 + j5\sqrt{3}) = 15 + j15\sqrt{3}\,[\Omega]$$

大きさは

$$Z_\triangle = \sqrt{15^2 + (15\sqrt{3})^2} = \sqrt{900} = 30\,\Omega$$

負荷に流れる相電流は，

$$I_p = \frac{V_l}{Z_\triangle} = \frac{100\sqrt{3}}{30} = \frac{10}{\sqrt{3}}\ \mathrm{A}$$

よって，線電流は

$$I_l = \sqrt{3}\,I_p = \sqrt{3} \times \frac{10}{\sqrt{3}} = \mathbf{10\ A}$$

〔**p.88**〕　**問 5.** △結線負荷を Y 結線負荷に変換すると，

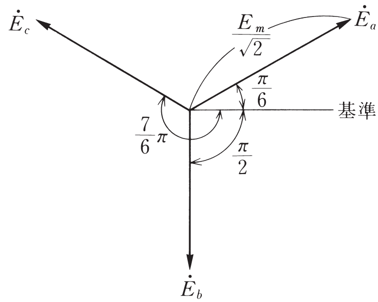
$$\dot{Z}_Y = \frac{\dot{Z}}{3} = \frac{15 + j15\sqrt{3}}{3} = 5 + j5\sqrt{3}\,[\Omega]$$

この大きさは，$Z_Y = \sqrt{5^2 + (5\sqrt{3})^2} = 10\,\Omega$

線電流は相電流に等しいから，

$$I_l = \frac{V_p}{Z_Y} = \frac{100}{10} = \mathbf{10\,A}$$

〔p.88〜89〕 **問題**



1． $e_a = \boldsymbol{E_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)}$ **[V]**

$$e_b = E_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6} - \frac{2}{3}\pi\right)$$

$$= \boldsymbol{E_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)}\ \mathbf{[V]}$$

$$e_c = E_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6} - \frac{4}{3}\pi\right)$$

$$= \boldsymbol{E_m \sin\left(\omega t - \frac{7}{6}\pi\right)}\ \mathbf{[V]}$$

2． $\dot{I}_a = 3\left\{\cos\left(-\frac{\pi}{4}\right) + j\sin\left(-\frac{\pi}{4}\right)\right\}$

$$= 3(0.707 - j0.707) = \mathbf{2.12 - \boldsymbol{j}2.12\,[A]}$$

$$\dot{I}_b = 3\left\{\cos\left(-\frac{\pi}{4} - \frac{2}{3}\pi\right) + j\sin\left(-\frac{\pi}{4} - \frac{4}{3}\pi\right)\right\}$$

$$= 3(-0.966 - j0.259) = \mathbf{-2.90 - \boldsymbol{j}0.777\,[A]}$$

$$\dot{I}_c = 3\left\{\cos\left(-\frac{\pi}{4} - \frac{4}{3}\pi\right) + j\sin\left(-\frac{\pi}{4} - \frac{4}{3}\pi\right)\right\}$$

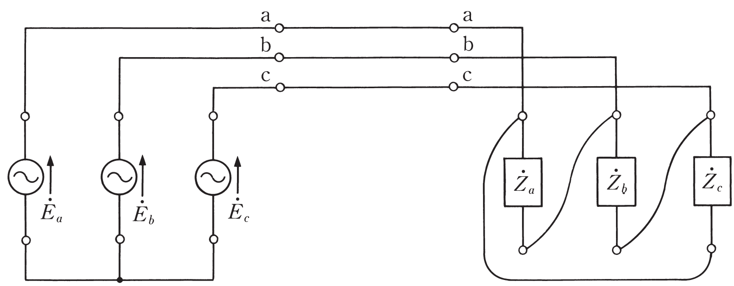
$$= 3(0.259 + j0.966) = \mathbf{0.777 + \boldsymbol{j}2.90\,[A]}$$

3． $\dot{E}_a = \dfrac{210}{\sqrt{2}} = \mathbf{148\,V}$

$$\dot{E}_b = \frac{210}{\sqrt{2}}\left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = \mathbf{-74 - \boldsymbol{j}128\,[V]}$$

$$\dot{E}_c = \frac{210}{\sqrt{2}}\left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = \mathbf{-74 + \boldsymbol{j}128\,[V]}$$

4．



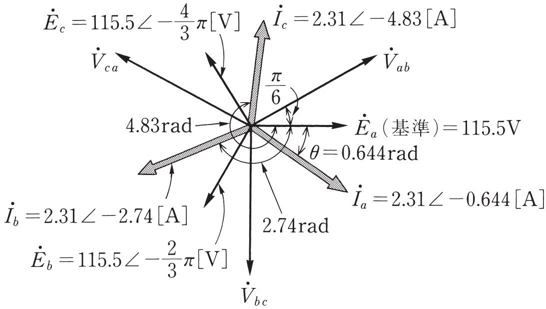
5． $V_p = \dfrac{V_l}{\sqrt{3}} = \dfrac{200}{\sqrt{3}} = 115.5\ \mathrm{V}$

$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{40^2 + 30^2} = 50\ \Omega$

Y 回路の線電流は相電流と同じであるから，

$I_l = \dfrac{V_p}{Z} = \dfrac{115.5}{50} = \mathbf{2.31\ A}$

$\theta = \tan^{-1}\dfrac{X}{R} = \tan^{-1}\dfrac{30}{40} = 0.644\ \mathrm{rad}(= 36.9°)$



6． $Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{20^2 + 10^2} = 22.4\ \Omega$

相電流の大きさは，

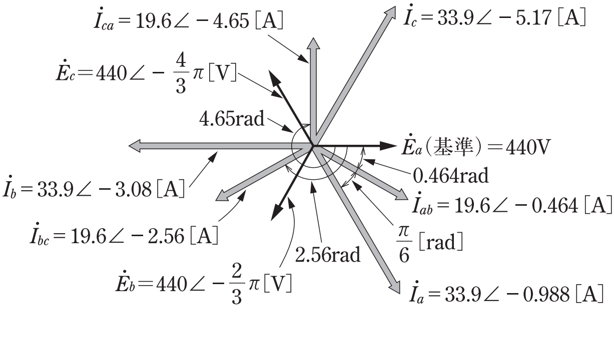
$I_p = I_{ab} = I_{bc} = I_{ca} = \dfrac{V_p}{Z} = \dfrac{440}{22.4} = \mathbf{19.6\ A}$

線電流の大きさは，

$I_l = I_a = I_b = I_c = \sqrt{3}\,I_p = \sqrt{3} \times 19.6 = \mathbf{33.9\ A}$

位相差は，

$\theta = \tan^{-1}\dfrac{X}{R} = \tan^{-1}\dfrac{10}{20} = 0.464\ \mathrm{rad}(= 26.6°)$



7． Y 結線負荷を△結線負荷に変換すると

$\dot{Z}_{\triangle} = 3(12 + j9) = 36 + j27\,[\Omega]$

この大きさは,

$Z_{\triangle} = \sqrt{36^2 + 27^2} = 45\,\Omega$

相電流の大きさは,

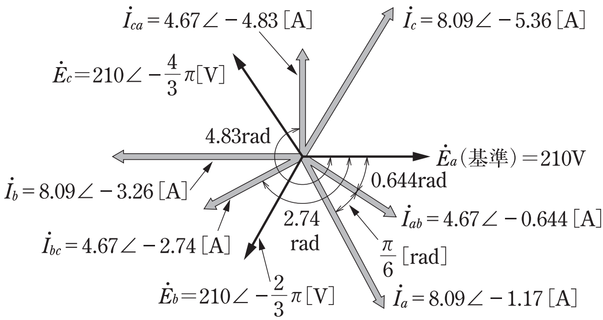
$$I_p = I_{ab} = I_{bc} = I_{ca} = \frac{V_p}{Z_{\triangle}} = \frac{210}{45} = \mathbf{4.67\ A}$$

線電流の大きさは,

$I_l = I_a = I_b = I_c = \sqrt{3}I_p = \sqrt{3} \times 4.67 = \mathbf{8.09\ A}$

位相差は,

$$\theta = \tan^{-1}\frac{X}{R} = \tan^{-1}\frac{9}{12} = 0.644\ \mathrm{rad}(= 36.9°)$$



第 3 節　三相電力

〔p.92〕　**問 1．** $Z = \sqrt{R^2 + X_L{}^2} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5\,\Omega$

$V_p = V_l = 200\ \mathrm{V}$

$$I_p = \frac{V_p}{Z} = \frac{200}{5} = \mathbf{40\ A}$$

$I_l = \sqrt{3}I_p = \sqrt{3} \times 40 = \mathbf{69.3\ A}$

$$\cos\theta = \frac{R}{Z} = \frac{4}{5} = 0.8$$

$P = \sqrt{3}\,V_l I_l \cos\theta = \sqrt{3} \times 200 \times (\sqrt{3} \times 40) \times 0.8 = 19\,200\ \mathrm{W}$

$= \mathbf{19.2\ kW}$

〔**p.95**〕　**問 2．** $I_l = \dfrac{\dfrac{200}{\sqrt{3}}}{\sqrt{5^2 + 5^2}} = 16.33\ \mathrm{A}$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{X_L}{R} = \tan^{-1}\frac{5}{5} = 45^\circ \left(= \frac{\pi}{4}\mathrm{rad}\right)$$

$$W_1 = V_l I_l \cos\left(\frac{\pi}{6} - \theta\right) = 200 \times 16.33 \times \cos\left(\frac{\pi}{6} - \frac{\pi}{4}\right)$$

$$= 3\,154.9 = \mathbf{3\,155\ W}$$

$$W_2 = V_l I_l \cos\left(\frac{\pi}{6} + \theta\right) = 200 \times 16.33 \times \cos\left(\frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{4}\right)$$

$$= 845.8 = \mathbf{846\ W}$$

〔**p.96〜97**〕　**問題**

1． $Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{9^2 + 12^2} = 15\,\Omega$

$I_l = \dfrac{V_p}{Z} = \dfrac{110}{15} = \mathbf{7.33\ A}$

$\cos\theta = \dfrac{R}{Z} = \dfrac{9}{15} = \mathbf{0.6}$

三相電力 ＝ 3×(1 相分の電力)

$P = 3V_p I_p \cos\theta = 3 \times 110 \times 7.33 \times 0.6 = 1\,451\ \mathrm{W} = \mathbf{1.45\ kW}$

2． $Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{16^2 + 12^2} = 20\,\Omega$

$I_p = \dfrac{V_p}{Z} = \dfrac{200}{20} = \mathbf{10\ A}$

$I_l = \sqrt{3}\,I_p = \sqrt{3} \times 10 = \mathbf{17.3\ A}$

$\cos\theta = \dfrac{R}{Z} = \dfrac{16}{20} = \mathbf{0.8}$

$P = 3V_p I_p \cos\theta = 3 \times 200 \times 10 \times 0.8 = 4\,800\ \mathrm{W} = \mathbf{4.8\ kW}$

3． △結線負荷を Y 結線負荷に変換すると，

$\dot{Z}_Y = \dfrac{\dot{Z}}{3} = \dfrac{3 + j4}{3} = 1 + j1.333\,[\Omega]$

$Z_Y = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{1^2 + 1.333^2} = 1.666\,\Omega$

$I_l = \dfrac{V_p}{Z_Y} = \dfrac{200}{1.666} = \mathbf{120\ A}$

$I_p = \dfrac{I_l}{\sqrt{3}} = \dfrac{120}{\sqrt{3}} = \mathbf{69.3\ A}$

$\cos\theta = \dfrac{R}{Z} = \dfrac{1}{1.666} = \mathbf{0.6}$

$P = \sqrt{3}\,V_l I_l \cos\theta = \sqrt{3} \times \sqrt{3} \times 200 \times 120 \times 0.6 = 43\,200\ \mathrm{W} = \mathbf{43.2\ kW}$

4． Y 結線負荷を△結線負荷に変換すると，

$\dot{Z}_{\triangle} = 3\dot{Z} = 3(8 + j8) = 24 + j24\,[\Omega]$

$Z_{\triangle} = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{24^2 + 24^2} = 33.94\,\Omega$

$I_p = \dfrac{V_p}{Z_{\triangle}} = \dfrac{210}{33.94} = 6.187\text{ A}$

$I_l = \sqrt{3}\,I_p = \sqrt{3} \times 6.187 = \mathbf{10.7\text{ A}}$

$\cos\theta = \dfrac{R}{Z} = \dfrac{24}{33.94} = \mathbf{0.707}$

$P = 3V_pI_p\cos\theta = 3 \times 210 \times 6.187 \times 0.707 = 2\,755\text{ W} = \mathbf{2.76\text{ kW}}$

5． $X_L = 2\pi fL = \omega L = 100\pi \times 18 \times 10^{-3} = 5.65\,\Omega$

$Z = \sqrt{R^2 + {X_L}^2} = \sqrt{8^2 + 5.65^2} = \mathbf{9.79\,\Omega}$

Y 回路の線電流は，相電流と同じだから，

$I_l = \dfrac{V_p}{Z} = \dfrac{100}{9.79} = \mathbf{10.2\text{ A}}$

$\cos\theta = \dfrac{R}{Z} = \dfrac{8}{9.79} = \mathbf{0.817}$

$P = 3V_pI_p\cos\theta = 3 \times 100 \times 10.2 \times 0.817 = 2\,500\text{ W} = \mathbf{2.5\text{ kW}}$

第 4 節　回転磁界

〔**p.100**〕　**問 1．** $N_s = \dfrac{120f}{p} = \dfrac{120 \times 60}{6} = \mathbf{1\,200\text{ min}^{-1}}$

〔**p.102**〕　**問題**

1． $p = \dfrac{120f}{N_s} = \dfrac{120 \times 50}{1\,000} = $ **6 極**

〔**p.105～110**〕　**章末問題**

A 1． (イ)　Y 結線のとき，$V_l = \sqrt{3}\,V_p$，$I_l = I_p$ より，

$V_p = \dfrac{V_l}{\sqrt{3}} = \dfrac{200}{\sqrt{3}}\text{ V}$

$I_p = I_l = 10\text{ A}$

A 2． (ア)　相電流 $I_p = \dfrac{E}{R}$

線電流 $I_l = \sqrt{3}\,I_p = \dfrac{\sqrt{3}\,E}{R}$

A 3． (イ)　$I_1 = \sqrt{3}\,I_p = \sqrt{3}\,\dfrac{100}{R_1}$，$I_2 = \dfrac{\dfrac{100}{\sqrt{3}}}{R_2}$

$I_1 = I_2$ より，$R_1 \times \dfrac{100}{\sqrt{3}} = \sqrt{3} \times 100 \times R_2$

よって，$R_1 = 3R_2$

A 4． ㈣ △結線負荷を Y 結線負荷に変換すると，

$$\dot{Z}_Y = \frac{\dot{Z}}{3} = \frac{9 + j6}{3} = 3 + j2\,[\Omega]$$

$$Z_Y = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{3^2 + 2^2} = 3.61\,\Omega$$

$$I_l = I_p = \frac{V_p}{Z_Y} = \frac{200}{3.61} = 55.4\,\mathrm{A}$$

A 5． ㈡ 負荷が R のみだから，$\cos\theta = 1$

$$P = \sqrt{3}\,V_l I_l \cos\theta = \sqrt{3}\,E\frac{\frac{E}{\sqrt{3}}}{R} = \frac{E^2}{R}$$

A 6． ㈠ $P = \sqrt{3}\,V_l I_l \cos\theta$

$$= \sqrt{3} \times 3\,300 \times 1\,000 \times 0.8$$

$$= 4.57 \times 10^6\,\mathrm{W}$$

$$= 4.57 \times 10^3\,\mathrm{kW} = 4\,570\,\mathrm{kW}$$

A 7． Y 結線より，$R = \dfrac{\frac{100}{\sqrt{3}}}{20} = \dfrac{5}{\sqrt{3}}\,\Omega$

△結線では

$$I_l = \sqrt{3} \times \frac{100}{R} = \frac{100\sqrt{3}}{\frac{5}{\sqrt{3}}} = \mathbf{60\,A}$$

A 8． $Z = \sqrt{16^2 + 12^2} = 20\,\Omega$

$\tan\theta = \dfrac{12}{16}$ より，$\theta = \tan^{-1}\left(\dfrac{12}{16}\right) = 0.644\,\mathrm{rad}$

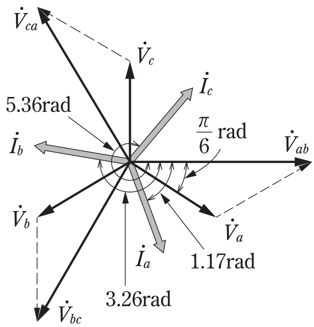
したがって，

$$\dot{Z} = 16 + j12 = 20\angle 0.644\,[\Omega]$$

$$\dot{I}_a = \frac{\dot{V}_a}{\dot{Z}} = \frac{\frac{100}{\sqrt{3}}\angle -\frac{\pi}{6}}{20\angle 0.644} = \mathbf{2.89\angle -1.17}\,[\mathrm{A}]$$

$$\dot{I}_b = \frac{\dot{V}_b}{\dot{Z}} = \frac{\frac{100}{\sqrt{3}}\angle -2.62}{20\angle 0.644} = \mathbf{2.89\angle -3.26}\,[\mathrm{A}]$$

$$\dot{I}_c = \frac{\dot{V}_c}{\dot{Z}} = \frac{\frac{100}{\sqrt{3}}\angle -4.71}{20\angle 0.644} = \mathbf{2.89\angle -5.35}\,[\mathrm{A}]$$



A 9． $\dot{Z} = 16 + j12 = 20\angle 0.644\,[\Omega]$

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{V}_{ab}}{\dot{Z}} = \frac{100}{20\angle 0.644} = 5\angle -0.644\,[\mathrm{A}]$$

$$\dot{I}_a = \sqrt{3}\dot{I}_{ab}\angle -\frac{\pi}{6} = 8.66\angle -1.17\,[\mathrm{A}]$$

$$\dot{I}_{bc} = \frac{100\angle -\frac{2}{3}\pi}{20\angle 0.644} = 5\angle -2.74\,[\mathrm{A}]$$

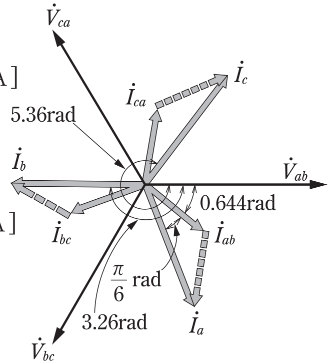
$$\dot{I}_b = \sqrt{3}\dot{I}_{bc}\angle -\frac{\pi}{6} = 8.66\angle -3.26\,[\mathrm{A}]$$

$$\dot{I}_{ca} = \frac{100\angle -\frac{4}{3}\pi}{20\angle 0.644} = 5\angle -4.83\,[\mathrm{A}]$$

$$\dot{I}_c = \sqrt{3}\dot{I}_{ca}\angle -\frac{\pi}{6} = 8.66\angle -5.36\,[\mathrm{A}]$$

線電流の大きさ

$I_l = I_a = I_b = I_c =$ **8.66 A**

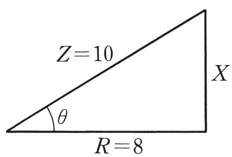


A10． ①$V_l = \sqrt{3}\,V_p$ より，

$$V_p = \frac{V_l}{\sqrt{3}} = \frac{200}{\sqrt{3}} = \mathbf{115\ V}$$

②各相のインピーダンス Z を求める。

$$Z = \frac{V_p}{I_p} = \frac{115}{11.5} = 10\,\Omega$$



$\cos\theta = \dfrac{R}{Z}$ より，

$R = Z\cos\theta$

$= 10 \times 0.8 = \mathbf{8\,\Omega}$

$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ より，$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{10^2 - 8^2} = \mathbf{6\,\Omega}$

A11. Y 結線負荷を△結線負荷に変換すると，

$\dot{Z}_{\triangle} = 3\dot{Z} = 3(15 + j20) = 45 + j60\,[\Omega]$

$Z_{\triangle} = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{45^2 + 60^2} = 75\,\Omega$

$I_p = \dfrac{V_p}{Z_{\triangle}} = \dfrac{220}{75} = \mathbf{2.93\,A}$

$I_l = \sqrt{3}\,I_p = \sqrt{3} \times 2.93 = \mathbf{5.07\,A}$

A12. $P = \sqrt{3}\,V_l I_l \cos\theta$ から，

$\cos\theta = \dfrac{P}{\sqrt{3}\,V_l I_l} = \dfrac{14 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 200 \times 50} = \mathbf{0.808(= 80.8\,\%)}$

$\sin\theta = \sqrt{1 - \cos^2\theta} = \sqrt{1 - 0.808^2} = \mathbf{0.589(= 58.9\,\%)}$

$Q = \sqrt{3}\,V_l I_l \sin\theta = \sqrt{3} \times 200 \times 50 \times 0.589 = 10.2 \times 10^3\,\mathrm{var}$

$= \mathbf{10.2\,kvar}$

A13. $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{(6 \times 10^3)^2 + (8 \times 10^3)^2} = 10 \times 10^3\,\mathrm{V \cdot A}$

$\cos\theta = \dfrac{P}{S} = \dfrac{6 \times 10^3}{10 \times 10^3} = \mathbf{0.6}$

A14. $\cos\theta = \dfrac{P}{\sqrt{3}\,V_l I_l} = \dfrac{2 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 200 \times 8} = 0.722$

$Z = \dfrac{V_p}{I_p} = \dfrac{200}{\dfrac{8}{\sqrt{3}}} = 43.3\,\Omega$

$R = Z\cos\theta = 43.3 \times 0.722 = \mathbf{31.3\,\Omega}$

$X_L = Z\sin\theta = 43.3 \times \sqrt{1 - 0.722^2} = \mathbf{30.0\,\Omega}$

A15. (a) $\dot{Z}_{\triangle} = 3\dot{Z} = 3 \times 9 = \mathbf{27\,\Omega}$

(b) $\dot{Z}_{\triangle} = 3(3 + j6) = \mathbf{9 + j18\,[\Omega]}$

(c) $\dot{Z}_{\triangle} = 3(6 - j24) = \mathbf{18 - j72\,[\Omega]}$

A16. (a) $\dot{Z}_Y = \dfrac{\dot{Z}}{3} = \dfrac{3 + j6}{3} = \mathbf{1 + j2\,[\Omega]}$

(b) $\dot{Z}_Y = \dfrac{6 - j15}{3} = \mathbf{2 - j5\,[\Omega]}$

(c) $\dot{Z}_Y = \dfrac{j30 - j15}{3} = \dfrac{j15}{3} = \mathbf{j5\,[\Omega]}$

A17. ① $Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{20^2 + 20^2} = 28.3\,\Omega$

$V_p = \dfrac{V_l}{\sqrt{3}} = \dfrac{200}{\sqrt{3}} = 115.5\,\mathrm{V}$

$I_l = \dfrac{V_p}{Z} = \dfrac{115.5}{28.3} = \mathbf{4.08\,A}$

② $\cos\theta = \dfrac{R}{Z} = \dfrac{20}{28.3} = \mathbf{0.707}$

③ $P = \sqrt{3}\, V_l I_l \cos\theta = \sqrt{3} \times 200 \times 4.08 \times 0.707$

$= \mathbf{999\ W}$

④ $\sin\theta = \sqrt{1 - \cos^2\theta} = \sqrt{1 - 0.707^2} = 0.707$

$Q = \sqrt{3}\, V_l I_l \sin\theta = \sqrt{3} \times 200 \times 4.08 \times 0.707$

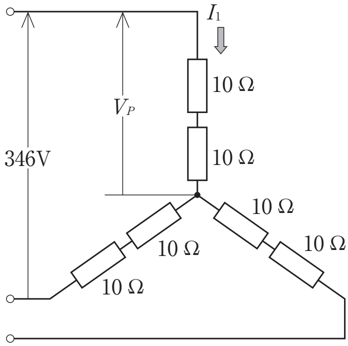
$= \mathbf{999\ var}$

A18. $P = P_1 + P_2 = 6 + 3 = 9\,\mathrm{kW}$

また，$P = \sqrt{3}\, V_l I_l \cos\theta$ より，

$$\cos\theta = \frac{P}{\sqrt{3}\, V_l I_l} = \frac{9\,000}{\sqrt{3} \times 200 \times 30} = \mathbf{0.866}$$

B 1 . 30 Ω の△結線の抵抗を Y 結線に換算すると，次の図のようになる。



$$Z_Y = \frac{1}{3} Z_\triangle = \frac{1}{3} \times 30 = 10\,\Omega$$

したがって，図に示したようになる。相電圧 V_p を求める。

$$V_p = \frac{V_l}{\sqrt{3}} = \frac{346}{\sqrt{3}}\ \mathrm{V}$$

よって相電流 I_1 は，

$$I_1 = \frac{V_p}{Z} = \frac{346}{20\sqrt{3}} = 10\ \mathrm{A}$$

また，I_2 を求めると，

$$I_2 = \frac{I_1}{\sqrt{3}} = \frac{10}{\sqrt{3}} = \mathbf{5.77\ A}$$

B 2 . 抵抗負荷の電流 I_R を求めると，

$$I_R = \frac{P}{\sqrt{3}\, V} = \frac{1\,200 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6 \times 10^3} = \frac{200}{\sqrt{3}} = 115.5\ \mathrm{A}$$

また，力率 0.707 の負荷電流 I_A を求めると，

$$I_A = \frac{P}{\sqrt{3}\, V \cos\theta} = \frac{1\,700 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6 \times 10^3 \times 0.707} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 231\ \mathrm{A}$$

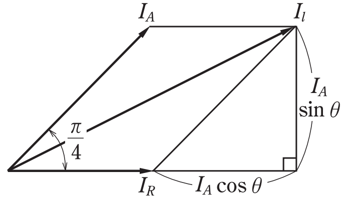
結果からベクトル図をかき，I_l を求める。

$\cos\theta = 0.707$,

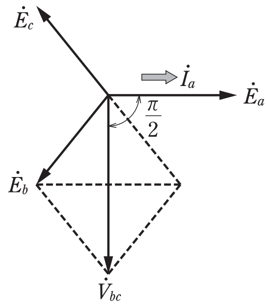
$$\theta = \cos^{-1}(0.707) = \frac{\pi}{4}\,[\mathrm{rad}]$$

$$I_A \sin\theta = 231 \times \sin\frac{\pi}{4} = 163\ \mathrm{A}$$

$$I_A \cos\theta = 231 \times \cos\frac{\pi}{4} = 163\ \mathrm{A}$$



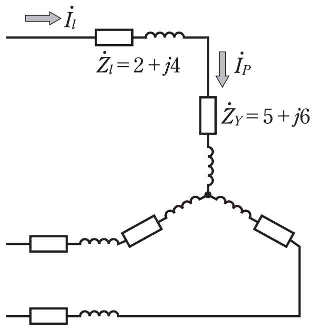
$$I_l = \sqrt{(I_R + I_A\cos\theta)^2 + (I_A\sin\theta)^2}$$
$$= \sqrt{(115.5 + 163)^2 + (163)^2}$$
$$= \mathbf{323\ A}$$



B 3． ベクトル図から，電力計の指示 P を求める。

$$P = V_{bc}I_a\cos\theta$$
$$= 200 \times 5 \times \cos\frac{\pi}{2}$$
$$= \mathbf{0\ W}$$

B 4． 図12の負荷のインピーダンス $Z_\triangle$ を△-Y 変換する。



$$\dot{Z}_Y = \frac{1}{3}\dot{Z}_\triangle = \frac{15 + j18}{3}$$
$$= 5 + j6\,[\Omega]$$

△結線を Y 結線に変換した回路を次に示す。

① 線電流の大きさ I_l を求める。

$$\dot{I}_l = \frac{\dot{E}_a}{\dot{Z}_l + \dot{Z}_Y} = \frac{200}{2 + j4 + 5 + j6}$$
$$= \frac{200}{7 + j10} = \frac{200(7 - j10)}{49 + 100}$$
$$= 9.4 - j13.4\,[\mathrm{A}]$$
$$I_l = \sqrt{9.4^2 + 13.4^2} = \mathbf{16.4\ A}$$

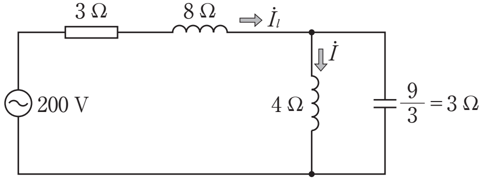
② 負荷の相電圧の大きさ V_p を求める。$I_p = I_l = 16.4\ \mathrm{A}$ より，

$$V_p = \sqrt{3}I_pZ_Y = \sqrt{3} \times 16.4 \times \sqrt{5^2 + 6^2} = \mathbf{222\ V}$$

③ 負荷の消費電力 P を求める。

$$P = 3I_p{}^2R_p = 3 \times 16.4^2 \times 5 = 4\,034\ \mathrm{W} = \mathbf{4.03\ kW}$$

B 5． 静電容量 9 Ω の△結線を Y 結線に変換し，a 相のみの回路をかくと，



回路のインピーダンス $\dot{Z}$ を求める。

$$\dot{Z} = 3 + j8 + \frac{j4 \cdot (-j3)}{j4 - j3} = 3 + j8 - j12$$

$$= 3 - j4\,[\Omega]$$

線電流 I_l を求める。

$$\dot{I}_l = \frac{200}{3 - j4} = \frac{200(3 + j4)}{(3 - j4)(3 + j4)} = \frac{200(3 + j4)}{9 + 16}$$

$$= 24 + j32\,[\mathrm{A}]$$

次にインダクタンスに流れる電流 I を求めると,

$$\dot{I} = \frac{-j3}{j4 - j3} \times (24 + j32) = \frac{-j3}{j} \times (24 + j32)$$

$$= -72 - j96\,[\mathrm{A}]$$

したがって,

$$I = \sqrt{(-72)^2 + (-96)^2} = \mathbf{120\ A}$$

第7章　電気計測

第1節　測定量の取り扱い

〔p.115〕　**問1．** 固有の名称の単位は **F(ファラド)**。

組立単位は，$C=\dfrac{Q}{V}$ より，**クーロン毎ボルト[C/V]**。

〔p.117〕　**問2．** 電気計器の記号表示をみる(教科書 p.116 図2参照)。

問3． 目盛と垂直な位置に置き，指針の像と指針を一致させて読む(教科書 p.116 図3参照)。

〔p.118〕　**問4．** $\varepsilon=M-T=120.5-120.0=\mathbf{0.5}$

$$\varepsilon_0=\frac{M-T}{T}=\frac{120.5-120.0}{120.0}=\mathbf{0.00417}$$

〔p.119〕　**問5．** $\varepsilon'_0=\dfrac{M-T}{\text{計器の最大目盛}}\times 100=\dfrac{15.2-15.0}{30}\times 100=\mathbf{0.667\,\%}$

〔p.120〕　**問6．** $300\times 0.005=\mathbf{1.5\,mA}$

〔p.121〕　**問7．** 0.01250 は有効数字が 4 けたで，0.012495 以上 0.012505 未満である。また，1.25×10^{-2} は有効数字 3 けたで，0.01245 以上 0.01255 未満である。

問8． (a)　**4けた**　　(b)　**3けた**

〔p.123〕　**問9．** ①**1.24**　②**2.83**　③**47.0**　④**0.327**

⑤**7.25**　⑥**0.0824**　⑦**936**　⑧**62.4**

問10． ①**18.4**　②**27.7**　③**61.3**　④**1.44**

第2節　電気計測の基礎

〔p.126〕　**問1．** (1)　階級指数が 0.5 の計器は，全目盛において最大目盛の ± 0.5 %の範囲内の誤差が許されるので，

$10\times 0.005=0.05$　よって，± 0.05 A の誤差が許される。

したがって，真の値は，**2.95 A から 3.05 A** の範囲にある。

(2)　計器の誤差は階級指数で決まり，± 0.05 A の範囲である。

測定の真の値が 1 A と 10 A のときの誤差率は，

1 A のとき　誤差率 $\varepsilon_0=\dfrac{\varepsilon}{T}=\dfrac{0.05}{1}=0.05$

10 A のとき　誤差率 $\varepsilon_0=\dfrac{\varepsilon}{T}=\dfrac{0.05}{10}=0.005$

よって，**10 A**を測定したほうが測定値に対する誤差は小さい。

〔**p.128**〕　**問2．** 最大目盛に近いほど，誤差が小さくなるので，測定値に近い定格の計器を使用する。

①　(**b**)　　②　(**a**)

〔**p.131**〕　**問3．** 100 mA の電流計とするとき，電流計の内部抵抗を r_a，分流器の抵抗を R_S とすると，$10\,\mathrm{mA} \times r_a = (100\,\mathrm{mA} - 10\,\mathrm{mA}) \times R_S$

ゆえに，$R_S = \dfrac{10}{90} r_a = \dfrac{1}{9} \times 9 = \mathbf{1\,\Omega}$

100 V の電圧計とするとき，直列抵抗器の抵抗を R_m とすると，

$$\frac{90\,\mathrm{mV}}{r_a} = \frac{100\,\mathrm{V} - 90\,\mathrm{mV}}{R_m}$$

ゆえに，$R_m = \dfrac{99.91}{0.09} \cdot r_a = \dfrac{99.91}{0.09} \times 9 = \mathbf{9\,991\,\Omega}$

〔**p.132**〕　**問4．** 0.3 A の電流計では，$R_{S1} + R_{S2}$ が分流器の抵抗になる。

$I_a \cdot r_a = (I - I_a) \cdot R_S$ より，

$10\,\mathrm{mA} \times 20 = (0.3\,\mathrm{A} - 10\,\mathrm{mA}) \times (R_{S1} + R_{S2})$

$$R_{S1} + R_{S2} = \frac{20}{29} \qquad ①$$

1 A の電流計では，分流器は R_{S1} だけになり，R_{S2} は電流計に直列に接続されるので，内部抵抗を $20 + R_{S2}$ として計算する。

$10\,\mathrm{mA} \times (20 + R_{S2}) = (1\,\mathrm{A} - 10\,\mathrm{mA}) \times R_{S1}$

$20 + R_{S2} = 99R_{S1}$

$$99R_{S1} - R_{S2} = 20 \qquad ②$$

① ＋ ② より，

$$100R_{S1} = 20 + \frac{20}{29} = 20.7$$

$$R_{S1} = \mathbf{0.207\,\Omega} \qquad ③$$

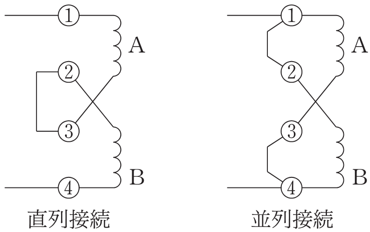
式③を式①に代入すると，

$$R_{S2} = 0.690 - 0.207 = \mathbf{0.483\,\Omega}$$

〔**p.135**〕　**問5．** 可動鉄片形計器では，空心固定コイルを使っているので磁界に弱く，外部磁界の影響を受けやすい。したがって，磁気遮へいをする必要がある。

問6． 鉄片のヒステリシスのために誤差を生じる。

〔p.137〕　**問 7．**(1)



(2)　逆になる　　(3)　2 倍　　(4)　永久磁石

〔p.139〕　**問 8．**①　有効けた数が多く，精度がよい。

②　測定値が数字で表示されるので，読み取りやすく，読み取りの個人差がない。

③　測定値をディジタル信号で取り出すことができるため，コンピュータに接続し，数値の記録やデータ処理ができる。

問 9．アナログ量の直流電圧を，パルスなどのディジタル量に変換する装置。

〔p.140〕　**問題**

1．30 × 0.015 ＝ 0.45　　よって，± **0.45 V** の誤差が許される。

2．(a) **永久磁石可動コイル形**　(b) **電流力計形**

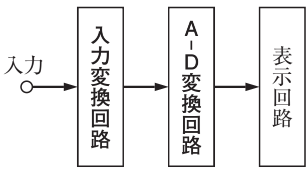
(c) **可動鉄片形**　(d) **整流形**

3．電気計器の三要素は，**駆動装置**，**制御装置**，**制動装置**をいう。

4．・永久磁石可動コイル形計器は，直流計器として最も広く用いられている。正確さや感度がすぐれているのが特徴である。

・可動鉄片形計器は，商用周波数の交流電圧計・交流電流計として広く用いられ，構造が簡単でじょうぶなのが特徴である。

5．



第 3 節　基礎量の測定

〔p.145〕　**問 1.** (1)　電力計を使用する場合，負荷の消費電力の大きさによって，電力計の指示はまちまちである。測定誤差を小さくするために，消費電力に応じた電圧レンジ・電流レンジを使い，指示値を大きくして測定する。測定値は，指示値に倍率をかけて求める。この倍率を計器定数という。倍率は表から**5** 倍である。

(2)　$P = 64 \times 5 = \mathbf{320\ W}$，　　$\cos\theta = \dfrac{P}{VI} = \dfrac{320}{100 \times 4} = \mathbf{0.8}$

〔p.146〕　**問 2.** $W = Pt = VIt\cos\theta = 100 \times 10 \times 0.5 \times 0.6 = 300\ \mathrm{W{\cdot}h}$

回転数 n は，$n = 2\,000 \times \dfrac{300}{1\,000} = \mathbf{600}$ **回転**

〔p.148〕　**問 3.** $R = \dfrac{V_v}{I_a - \dfrac{V_v}{r_v}} = \dfrac{10}{8 \times 10^{-3} - \dfrac{10}{10 \times 10^3}} = \dfrac{10}{8 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-3}}$

$= \dfrac{10}{7 \times 10^{-3}} = \dfrac{10}{7} \times 10^3 = \mathbf{1\,428\ \Omega}$

問 4. $R = \dfrac{V_v}{I_a} - r_a = \dfrac{10}{8 \times 10^{-3}} - 5 = \dfrac{10}{8} \times 10^3 - 5$

$= 1\,250 - 5 = \mathbf{1\,245\ \Omega}$

〔p.153〕　**問 5.** ①　内部抵抗 $r = 500\ \Omega$ の $100\ \mu\mathrm{A}$ 電流計に分流器を接続して，1 mA の電流計とするための分流器 R の倍率 M は

$$M = \frac{1 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-6}} = 10$$

したがって，分流器 R の値は，$R = \dfrac{r}{M-1} = \dfrac{500}{9} \fallingdotseq \mathbf{55.6\ \Omega}$

②　スイッチ S を②に切り換えると，$R = 5.05\ \Omega$の分流器を接続したことになる。このときの分流器の倍率 M は，

$$M = \frac{r}{R} + 1 = \frac{500}{5.05} + 1 \fallingdotseq 100$$

したがって，電流計の最大指示値は，

$$100 \times 100 \times 10^{-6}\ \mathrm{A} = 10 \times 10^{-3}\ \mathrm{A} = \mathbf{10\ mA}$$

〔p.153〕　**問 6.** 電線相互間の絶縁抵抗を測定する場合：器具のスイッチは ON にし，器具をはずして，電線相互間を測定する。

1 線と大地間の絶縁抵抗を測定する場合：器具のスイッチは ON にし，器具を使用状態として，L 端子は電線側，E 端子は大地側に接続して測定する。

〔p.153〕　**問 7．** 測定接地電極 E から一直線上に補助接地電極 P と C を 10 m 間隔に打ち込む。接地抵抗計の端子 E と測定接地電極 E を，端子 P と補助接地極 P を，端子 C と補助接地極 C をそれぞれ接続する。接地抵抗計の目盛板から接地抵抗を読む。

〔p.157〕　**問 8．** 12 cm/min = 0.2 cm/s

周期　$T=\dfrac{10}{0.2}=\mathbf{50\ s}$,　　周波数　$f=\dfrac{1}{T}=\dfrac{1}{50}=\mathbf{0.02\ Hz}$

〔p.160〕　**問 9．** 周期 T は，画面から 8 目盛である。時間目盛は 1 目盛あたり 1 ms なので，$T=8\times1=\mathbf{8\ ms}$

周波数 f は，$f=\dfrac{1}{T}=\dfrac{1}{8\times10^{-3}}=\mathbf{125\ Hz}$

最大値 V_m は，画面から 3 目盛である。電圧目盛は 1 目盛あたり 2 V なので，$V_m=3\times2=\mathbf{6\ V}$

実効値 V は，$V=\dfrac{V_m}{\sqrt{2}}=\dfrac{6}{\sqrt{2}}=\mathbf{4.24\ V}$

平均値 V_a は，$V_a=\dfrac{2}{\pi}V_m=\dfrac{2}{\pi}\times6=\mathbf{3.82\ V}$

〔p.161〕　**問題**

1． ① **d**　② **e**　③ **f**　④ **b**　⑤ **a**　⑥ **c**　⑦ **h**　⑧ **g**

〔p.163～164〕　**章末問題**

A 1． $\varepsilon=M-T=1.01725-1.01830=\mathbf{-0.00105\ V}$

$$\varepsilon_0=\frac{\varepsilon}{T}=\frac{-0.00105}{1.01830}=\mathbf{-1.03\times10^{-3}}$$

A 2． (1)　$r_a=\dfrac{V_a}{I_a}=\dfrac{18\times10^{-3}}{1\times10^{-3}}=\mathbf{18\ \Omega}$

(2)　$I_a=\dfrac{R_1}{R_1+r_a}I$,　　$1\times10^{-3}=\dfrac{R_1}{R_1+18}\times10\times10^{-3}$

$(R_1+18)\times10^{-3}=R_1\times10\times10^{-3}$

$R_1+18=10R_1$,　　$R_1=\dfrac{18}{10-1}=\mathbf{2\ \Omega}$

(3)　$V_a=\dfrac{r_a}{R_2+r_a}V$,　　$18\times10^{-3}=\dfrac{18}{R_2+18}\times30\times10^{-3}$

$R_2+18=\dfrac{18}{18}\times30=30$,　　$R_2=30-18=\mathbf{12\ \Omega}$

A 3． 周期　$T=2\times8=\mathbf{16\ ms}$

周波数　$f=\dfrac{1}{T}=\dfrac{1}{16\times10^{-3}}=\mathbf{62.5\ Hz}$

最大値　$V_m=5\times3=\mathbf{15\ V}$

実効値　$V=\dfrac{V_m}{\sqrt{2}}=\dfrac{15}{\sqrt{2}}=\mathbf{10.6\ V}$

平均値　$V_a=\dfrac{2}{\pi}V_m=\dfrac{2}{\pi}\times15=\mathbf{9.55\ V}$

B 1． 電圧計 V の内部抵抗 $R_v[\Omega]$ は，$R_v=20\times1\,000=20\ \mathrm{k\Omega}$

1，2 間の合成抵抗は，$R_{12}=90+R_{34}=90+\dfrac{20\times20}{20+20}$

$$=90+10=100\ \mathrm{k\Omega}$$

$$V_{12}=\frac{R_{12}}{R_{34}}V_{34}=\frac{100}{10}\times10=\mathbf{100\ V}$$

B 2． (1)　電圧計の内部抵抗 r_v がわかる。

$$r_v=\frac{V}{I}=\frac{200}{0.5\times10^{-3}}=400\times10^{3}\ \Omega=\mathbf{400\ k\Omega}$$

(2)　電流計の内部抵抗 r_a がわかる。

$$r_a=\frac{V}{I}=\frac{100\times10^{-3}}{10}=10\times10^{-3}\ \Omega=\mathbf{10\ m\Omega}$$

(3)　電圧計を流れる電流 I_v は，

$$I_v=\frac{V}{r_v}=\frac{50\times10^{-3}}{50}=1\times10^{-3}\ \mathrm{A}=1\ \mathrm{mA}$$

抵抗 r を流れる電流 I_r は，

$$I_r=\frac{V}{r}=\frac{50\times10^{-3}}{0.000\,5}=\frac{50\times10^{-3}}{5\times10^{-4}}=100\ \mathrm{A}$$

$$I=I_v+I_r=100+1\times10^{-3}=100.001\ \mathrm{A}=\mathbf{100\ A}$$

(4)　$I_v=\dfrac{r}{r+r_v+2r_0}I=\dfrac{0.000\,5}{0.000\,5+50+2\times0.5}\times100$

$$=\frac{0.05}{51.000\,5}=0.000\,980\ \mathrm{A}$$

$$V=I_vr_v=0.000\,980\times50=0.049\,0\ \mathrm{V}=\mathbf{49.0\ mV}$$

B 3． 整流形計器の指針の振れは平均値に比例する。問題文から，この計器の目盛は，「測定値 $\times\left(\dfrac{\text{正弦波の実効値}}{\text{正弦波の平均値}}\right)$倍」で示されているので，

$$V=\frac{\frac{1}{\sqrt{2}}}{\frac{2}{\pi}}\times\text{平均値}=1.11\times5=\mathbf{5.55\ V}$$

第８章　各種の波形

第１節　非正弦波交流

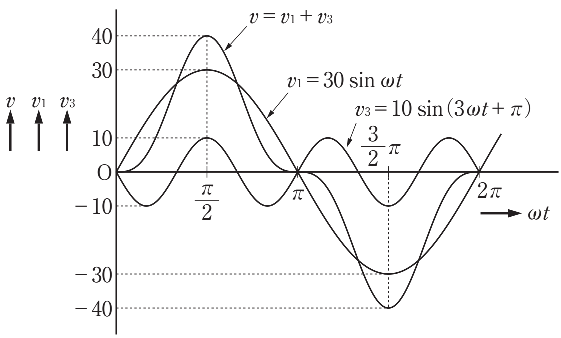
〔p.169〕　**問１．** Φ-H 特性が直線であるからひずまない。

問２． 図２(c)の曲線 i は図(b)をそのまま移したものであるから，図(c)上に図(b)の⑥″に相当する点を求め，その点から垂線を引き，v，i，ϕ との交点を求めればよい。

〔p.171〕　**問３．** 次のように，ωt を０から 2π まで $\dfrac{\pi}{18}$[rad](10°)ずつ増加させたときの v_1，v_3 の瞬時値とその和(v の瞬時値)を計算する。

ωt[rad]	$v_1 = 30\sin\omega t$[V]	$v_3 = 10\sin(3\omega t + \pi)$[V]	$v = v_1 + v_3$[V]
0	0.0	0.0	0.0
$\frac{\pi}{18}$	5.2	− 5.0	0.2
$\frac{2\pi}{18}$	10.3	− 8.7	1.6
$\frac{3\pi}{18}$	15.0	−10.0	5.0
$\frac{4\pi}{18}$	19.3	− 8.7	10.6
$\frac{5\pi}{18}$	23.0	− 5.0	18.0
$\frac{6\pi}{18}$	26.0	0.0	26.0
$\frac{7\pi}{18}$	28.2	5.0	33.2
$\frac{8\pi}{18}$	29.5	8.7	38.2
$\frac{9\pi}{18}$	30.0	10.0	40.0
$\frac{10\pi}{18}$	29.5	8.7	38.2
$\frac{11\pi}{18}$	28.2	5.0	33.2
$\frac{12\pi}{18}$	26.0	0.0	26.0
$\frac{13\pi}{18}$	23.0	− 5.0	18.0
$\frac{14\pi}{18}$	19.3	− 8.7	10.6
$\frac{15\pi}{18}$	15.0	−10.0	5.0
$\frac{16\pi}{18}$	10.3	− 8.7	1.6
$\frac{17\pi}{18}$	5.2	− 5.0	0.2

ωt[rad]	$v_1 = 30\sin\omega t$[V]	$v_3 = 10\sin(3\omega t + \pi)$[V]	$v = v_1 + v_3$[V]
$\frac{18\pi}{18}$	0.0	0.0	0.0
$\frac{19\pi}{18}$	− 5.2	5.0	− 0.2
$\frac{20\pi}{18}$	−10.3	8.7	− 1.6
$\frac{21\pi}{18}$	−15.0	10.0	− 5.0
$\frac{22\pi}{18}$	−19.3	8.7	−10.6
$\frac{23\pi}{18}$	−23.0	5.0	−18.0
$\frac{24\pi}{18}$	−26.0	0.0	−26.0
$\frac{25\pi}{18}$	−28.2	− 5.0	−33.2
$\frac{26\pi}{18}$	−29.5	− 8.7	−38.2
$\frac{27\pi}{18}$	−30.0	−10.0	−40.0
$\frac{28\pi}{18}$	−29.5	− 8.7	−38.2
$\frac{29\pi}{18}$	−28.2	− 5.0	−33.2
$\frac{30\pi}{18}$	−26.0	0.0	−26.0
$\frac{31\pi}{18}$	−23.0	5.0	−18.0
$\frac{32\pi}{18}$	−19.3	8.7	−10.6
$\frac{33\pi}{18}$	−15.0	10.0	− 5.0
$\frac{34\pi}{18}$	−10.3	8.7	− 1.6
$\frac{35\pi}{18}$	− 5.2	5.0	− 0.2
$\frac{36\pi}{18}$	0.0	0.0	0.0



〔p.173〕　問 4．(1)　$f = \dfrac{1}{T} = \dfrac{1}{10 \times 10^{-3}} = \mathbf{100\ Hz}$

$\omega = 2\pi f = 2\pi \times 100 = 200\pi\,[\mathrm{rad/s}] = \mathbf{628\ rad/s}$

(2)　$f = \mathbf{100\ Hz}$

基本波　$\dfrac{4}{\pi} V \sin \omega t$ から,

振幅　$\dfrac{4}{\pi} \times 10 = \mathbf{12.7\ V}$

(3)　$f = 100 \times 3 = \mathbf{300\ Hz}$

第 3 調波　$\dfrac{4}{3\pi} V \sin(3\omega t)$から,

振幅　$\dfrac{4}{3\pi} \times 10 = \mathbf{4.24\ V}$

(4)　$f = 100 \times 99 = \mathbf{9\,900\ Hz}$

第 99 調波　$\dfrac{4}{99\pi} V \sin(99\omega t)$から,

振幅　$\dfrac{4}{99\pi} \times 10 = \mathbf{0.129\ V}$

〔p.175〕　問 5．(1)　$I = \sqrt{I_0{}^2 + I_1{}^2 + I_2{}^2 + I_3{}^2} = \sqrt{5^2 + 20^2 + 10^2 + 5^2}$

$= \mathbf{23.4\ A}$

(2)　$V = \sqrt{V_0{}^2 + V_1{}^2 + V_2{}^2} = \sqrt{2^2 + \left(\dfrac{4}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\dfrac{2}{\sqrt{2}}\right)^2}$

$= \sqrt{4 + 8 + 2} = \mathbf{3.74\ V}$

〔p.176〕　問 6．$V = \sqrt{V_1{}^2 + V_2{}^2 + V_3{}^2} = \sqrt{100^2 + 5^2 + 2^2} = \mathbf{100\ V}$

$V_k = \sqrt{V_2{}^2 + V_3{}^2} = \sqrt{5^2 + 2^2} = \sqrt{29} = \mathbf{5.39\ V}$

$k = \dfrac{V_k}{V_1} \times 100 = \dfrac{5.39}{100} \times 100 = \mathbf{5.39\ \%}$

問 7．$\text{波形率} = \dfrac{\text{実効値}}{\text{平均値}} = \dfrac{\dfrac{V}{2}}{\dfrac{V}{\pi}} = \dfrac{\pi}{2} = \mathbf{1.57}$

$\text{波高率} = \dfrac{\text{最大値}}{\text{実効値}} = \dfrac{V}{\dfrac{V}{2}} = \mathbf{2}$

〔p.179〕　問 8．$\dot{Z}_1 = R - j\dfrac{1}{\omega C} = 200 - j\dfrac{1}{2\pi \times 50 \times 20 \times 10^{-6}}$

$= 200 - j159\,[\Omega]$

$\theta_1 = \tan^{-1}\dfrac{-159}{200} = -0.672\,[\mathrm{rad}](= -38.5°)$

$\dot{Z}_1 = \sqrt{200^2 + 159^2} \angle -0.672 = 256 \angle -0.672\,[\Omega]$

$\dot{I}_1 = \dfrac{\dot{V}_1}{\dot{Z}_1} = \dfrac{100}{256 \angle -0.672} = 0.391 \angle 0.672\,[\mathrm{A}]$　①

$$\dot{Z}_2 = R - j\frac{1}{2\omega C} = 200 - j\frac{1}{4\pi \times 50 \times 20 \times 10^{-6}}$$
$$= 200 - j79.6[\Omega]$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\frac{-79.6}{200} = -0.379[\text{rad}](= -21.7°)$$

$$\dot{Z}_2 = \sqrt{200^2 + 79.6^2}\angle -0.379 = 215\angle -0.379[\Omega]$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{V}_2}{\dot{Z}_2} = \frac{50}{215\angle -0.379} = 0.233\angle 0.379[\text{A}] \qquad ②$$

よって，式①と式②より，

$$i = i_1 + i_2$$
$$= \mathbf{0.391\sqrt{2}\sin(\omega t + 0.672) + 0.233\sqrt{2}\sin(2\omega t + 0.379)}[\text{A}]$$

〔**p.179**〕 **問 9．** 抵抗の値は周波数に無関係である。したがって，電流 i は，

$i = \dfrac{v}{R}$ であり，R は一定であるから，波形は相似形である。

問10． $\dot{Z}_1 = R + j\omega L = 200 + j2\pi \times 50 \times 1 = 200 + j314[\Omega]$

$$\theta_1 = \tan^{-1}\frac{314}{200} = 1.00[\text{rad}](= 57.5°)$$

$$\dot{Z}_1 = \sqrt{200^2 + 314^2}\angle 1.00 = 372\angle 1.00[\Omega]$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{V}_1}{\dot{Z}_1} = \frac{100}{37.2\angle 1.00} = 0.269\angle -1.00[\text{A}] \qquad ①$$

$$\dot{Z}_2 = R + j2\omega L = 200 + j4\pi \times 50 \times 1 = 200 + j628[\Omega]$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\frac{628}{200} = 1.26[\text{rad}](= 72.3°)$$

$$\dot{Z}_2 = \sqrt{200^2 + 628^2}\angle 1.26 = 659\angle 1.26[\Omega]$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{V}_2}{\dot{Z}_2} = \frac{50}{659\angle 1.26} = 0.0759\angle -1.26[\text{A}] \qquad ②$$

よって，式①と式②より，

$$i = i_1 + i_2$$
$$= 0.269\sqrt{2}\sin(\omega t - 1.00) + 0.0759\sqrt{2}\sin(2\omega t - 1.26)[\text{A}]$$

したがって，電流 i の位相は，電圧 v に比べて**遅れている。**

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{50}{100} = 0.5$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{0.0759}{0.269} = 0.282$$

ゆえに，$\boldsymbol{\dfrac{V_2}{V_1} > \dfrac{I_2}{I_1}}$

基本波電流の遅れ角 1.00 rad ＜ 第 2 調波電流の遅れ角 1.26 rad

〔p.182〕　**問11.** (1)　$i = \dfrac{v}{R} = \dfrac{100\sqrt{2}\sin\omega t + 10\sqrt{2}\sin 3\omega t}{100}$

$$= \boldsymbol{\sqrt{2}\sin\omega t + \frac{\sqrt{2}}{10}\sin 3\omega t}\,[\mathrm{A}]$$

(2)　$P = V_1 I_1 \cos\theta_1 + V_2 I_2 \cos\theta_2$

$$= 100 \times 1 \times 1 + 10 \times \frac{1}{10} \times 1 = \mathbf{101\ W}$$

〔p.184〕　**問12.** (1)　①　$Z_1 = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = \sqrt{40^2 + 10^2} = \mathbf{41.2\ \Omega}$

$Z_3 = \sqrt{R^2 + (3\omega L)^2} = \sqrt{40^2 + 30^2} = \mathbf{50\ \Omega}$

②　$P_1 = V_1 I_1 \cos\theta_1 = 200 \times \dfrac{200}{41.2} \times \dfrac{40}{41.2} = \mathbf{943\ W}$

$P_3 = V_3 I_3 \cos\theta_3 = 50 \times \dfrac{50}{50} \times \dfrac{40}{50} = \mathbf{40\ W}$

③　$P = P_1 + P_3 = 943 + 40 = \mathbf{983\ W}$

④　$V = \sqrt{{V_1}^2 + {V_3}^2} = \sqrt{200^2 + 50^2} = \mathbf{206\ V}$

⑤　$I = \sqrt{\left(\dfrac{V_1}{Z_1}\right)^2 + \left(\dfrac{V_3}{Z_3}\right)^2} = \sqrt{\left(\dfrac{200}{41.2}\right)^2 + \left(\dfrac{50}{50}\right)^2} = \mathbf{4.96\ A}$

⑥　$\cos\theta = \dfrac{P}{VI} = \dfrac{983}{206 \times 4.96} = \mathbf{0.962}$

(2)　①　$Z_1 = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \dfrac{1}{\omega C}\right)^2}$

$= \sqrt{50^2 + (10 - 90)^2} = \mathbf{94.3\ \Omega}$

$Z_3 = \sqrt{R^2 + \left(3\omega L - \dfrac{1}{3\omega C}\right)^2}$

$= \sqrt{50^2 + (30 - 30)^2} = \mathbf{50\ \Omega}$

②　$P_1 = V_1 I_1 \cos\theta_1 = 90 \times \dfrac{90}{94.3} \times \dfrac{50}{94.3} = \mathbf{45.5\ W}$

$P_3 = V_3 I_3 \cos\theta_3 = 40 \times \dfrac{40}{50} \times \dfrac{50}{50} = \mathbf{32\ W}$

③　$P = P_1 + P_3 = 45.5 + 32 = \mathbf{77.5\ W}$

④　$V = \sqrt{{V_1}^2 + {V_3}^2} = \sqrt{90^2 + 40^2} = \mathbf{98.5\ V}$

⑤　$I = \sqrt{\left(\dfrac{V_1}{Z_1}\right)^2 + \left(\dfrac{V_3}{Z_3}\right)^2} = \sqrt{\left(\dfrac{90}{94.3}\right)^2 + \left(\dfrac{40}{50}\right)^2} = \mathbf{1.24\ A}$

⑥　$\cos\theta = \dfrac{P}{VI} = \dfrac{77.5}{98.5 \times 1.24} = \mathbf{0.634}$

〔p.185〕　**問題**

1.　$\dfrac{4V}{5\pi} \div \dfrac{4V}{\pi} = \dfrac{4V}{5\pi} \times \dfrac{\pi}{4V} = \mathbf{\dfrac{1}{5}}$

2． $V=\sqrt{V_1{}^2+V_2{}^2+V_3{}^2}=\sqrt{10^2+\left(\dfrac{10}{3}\right)^2+2^2}=\mathbf{10.7\ V}$

$$k=\frac{\sqrt{V_2{}^2+V_3{}^2}}{V_1}\times 100=\frac{\sqrt{\left(\dfrac{10}{3}\right)^2+2^2}}{10}\times 100$$

$$=\frac{3.89}{10}\times 100=\mathbf{38.9\ \%}$$

3． $\dot{Z}_1=R+j\omega L=80+j20\,[\Omega]$

$$\theta_1=\tan^{-1}\frac{20}{80}=0.245\,[\mathrm{rad}](=14.0^\circ)$$

$$\dot{Z}_1=\sqrt{80^2+20^2}\angle 0.245=82.5\angle 0.245\,[\Omega]$$

$$\dot{I}_1=\frac{\dot{V}_1}{\dot{Z}_1}=\frac{120}{82.5\angle 0.245}=1.45\angle -0.245\,[\mathrm{A}] \quad ①$$

$$\dot{Z}_3=R+j3\omega L=80+j60\,[\Omega]$$

$$\theta_3=\tan^{-1}\frac{60}{80}=0.644\,[\mathrm{rad}](=36.9^\circ)$$

$$\dot{Z}_3=\sqrt{80^2+60^2}\angle 0.644=100\angle 0.644\,[\Omega]$$

$$\dot{I}_3=\frac{\dot{V}_3}{\dot{Z}_3}=\frac{80}{100\angle 0.644}=0.8\angle -0.644\,[\mathrm{A}] \quad ②$$

よって，式①と式②より，

$$i=i_1+i_3$$

$$=\mathbf{1.45\sqrt{2}\sin(\omega t-0.245)+0.8\sqrt{2}\sin(3\omega t-0.644)}\,[\mathrm{A}]$$

4． ① $Z_1=\sqrt{R^2+\left(\dfrac{1}{\omega C}\right)^2}=\sqrt{40^2+60^2}=\mathbf{72.1\ \Omega}$

$$Z_2=\sqrt{R^2+\left(\frac{1}{2\omega C}\right)^2}=\sqrt{40^2+30^2}=\mathbf{50\ \Omega}$$

② $V=\sqrt{V_1{}^2+V_2{}^2}=\sqrt{60^2+40^2}=\mathbf{72.1\ V}$

③ $I=\sqrt{\left(\dfrac{V_1}{Z_1}\right)^2+\left(\dfrac{V_2}{Z_2}\right)^2}=\sqrt{\left(\dfrac{60}{72.1}\right)^2+\left(\dfrac{40}{50}\right)^2}=\mathbf{1.15\ A}$

④ $P_1=V_1I_1\cos\theta_1=60\times\dfrac{60}{72.1}\times\dfrac{40}{72.1}=27.7\ \mathrm{W}$

$$P_2=V_2I_2\cos\theta_2=40\times\frac{40}{50}\times\frac{40}{50}=25.6\ \mathrm{W}$$

$$P=P_1+P_2=27.7+25.6=\mathbf{53.3\ W}$$

$$\cos\theta=\frac{P}{VI}=\frac{53.3}{72.1\times 1.15}=\mathbf{0.643}$$

5． $\cos\theta=\dfrac{P}{VI}=\dfrac{3.8}{100\times 0.197}=0.193$

ゆえに，$\theta=\cos^{-1}(0.193)=1.377\fallingdotseq\mathbf{1.38\ rad}$

第 2 節　過渡現象

〔p.190〕　**問 1 .** ⑴　$\tau = RC = 10^6 \times 10^{-6} = \mathbf{1\ s}$

⑵　$\tau = 500 \times 10^3 \times 0.01 \times 10^{-6} = 5 \times 10^{-3} = \mathbf{5\ ms}$

⑶　$\tau = 10 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-12} = 10^{-6} = \mathbf{1\ \mu s}$

⑷　$\tau = 50 \times 10^3 \times 200 \times 10^{-6} = \mathbf{10\ s}$

問 2 . ⑴　$\tau = RC = 100 \times 10^3 \times 200 \times 10^{-6} = \mathbf{20\ s}$

⑵　$t = 0$ のとき，

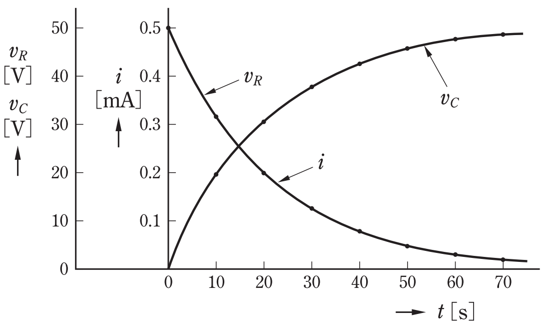
$$i = \frac{V}{R}\varepsilon^{-\frac{t}{RC}} = \frac{50}{100 \times 10^3}\varepsilon^{-\frac{0}{20}} = 0.5\ \mathrm{mA}$$

$$v_R = Ri = 100 \times 10^3 \times 0.5 \times 10^{-3} = 50\ \mathrm{V}$$

$$v_C = V - v_R = 50 - 50 = 0\ \mathrm{V}$$

以下同様に，$t = 70$ s まで計算したのちグラフをかくと，次のようになる。

t[s]	0	10	20	30	40	50	60	70
i[mA]	0.5	0.303	0.184	0.112	0.068	0.041	0.025	0.015
v_R[V]	50	30.3	18.4	11.2	6.8	4.1	2.5	1.5
v_C[V]	0	19.7	31.6	38.8	43.2	45.9	47.5	48.5



〔p.193〕　**問 3 .** $RC = 500 \times 10^3 \times 50 \times 10^{-6} = 25$ s

$t = 0$ s のとき，

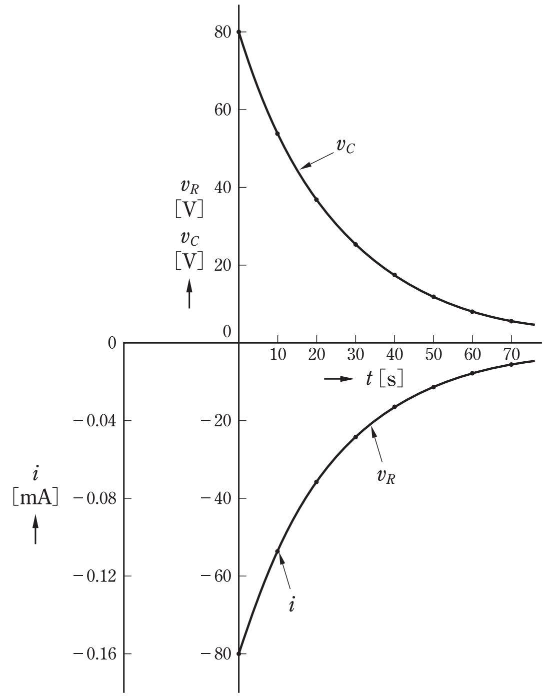
$$i = -\frac{V}{R}\varepsilon^{-\frac{t}{RC}} = -\frac{80}{500 \times 10^3}\varepsilon^{-\frac{0}{25}} = -0.16\ \mathrm{mA}$$

$$v_R = Ri = 500 \times 10^3 \times (-0.16) \times 10^{-3} = -80\ \mathrm{V}$$

$$v_C = -v_R = 80\ \mathrm{V}$$

以下同様に，$t = 70$ sまで計算したのちグラフをかくと，次のようになる。

t[s]	0	10	20	30	40	50	60	70
i[mA]	−0.16	−0.107	−0.072	−0.048	−0.032	−0.022	−0.014	−0.010
v_R[V]	−80	−53.5	−36.0	−24.0	−16.0	−11.0	−7.0	−5.0
v_C[V]	80	53.5	36.0	24.0	16.0	11.0	7.0	5.0



〔**p.195**〕 **問 4．** $i = \dfrac{V}{R} = \dfrac{150}{100 \times 10^3} = 1.50 \times 10^{-3}\,\mathrm{A} = \mathbf{1.5\,mA}$

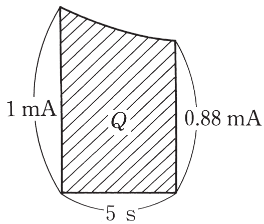
$v_C = \mathbf{0\,V}$

問 5． 抵抗 R を通して電流が流れ，R で i^2R の電力を消費してエネルギーを失い，電圧 v_C は時間とともに減少していく。

$v_C = V\varepsilon^{-\frac{t}{CR}}$[V]

問 6． (1) $t = 0$〜5 s の間で，教科書 p.194 図 9(b)の①の曲線の部分で囲まれた面積が電荷 Q である。

$Q = \dfrac{1 + 0.88}{2} \times 5 = \mathbf{4.7\,mC}$



(2)　$v_C = \dfrac{Q}{C} = \dfrac{4.7 \times 10^{-3}}{400 \times 10^{-6}} = \mathbf{11.8\ V}$

(3)　図9(b)の5sのときの①′，$C = 400\ \mu\text{F}$ の v_C の値。

〔p.197〕　**問7．** (1)　$\tau = \dfrac{L}{R} = \dfrac{20 \times 10^{-3}}{10} = \mathbf{2\ ms}$

(2)　$\tau = \dfrac{40 \times 10^{-3}}{10} = \mathbf{4\ ms}$

(3)　$\tau = \dfrac{10}{5} = \mathbf{2\ s}$

(4)　$\tau = \dfrac{2 \times 10^{-3}}{100} = 2 \times 10^{-5} = 20 \times 10^{-6} = \mathbf{20\ \mu s}$

問8． 式(8)の V，R，L に数値を代入して，

$$i = \frac{V}{R}(1 - \varepsilon^{-\frac{R}{L}t}) = \frac{10}{5}(1 - \varepsilon^{-\frac{5}{2 \times 10^{-3}}t})$$

$$= \mathbf{2(1 - \boldsymbol{\varepsilon}^{-2\,500t})[A]}$$

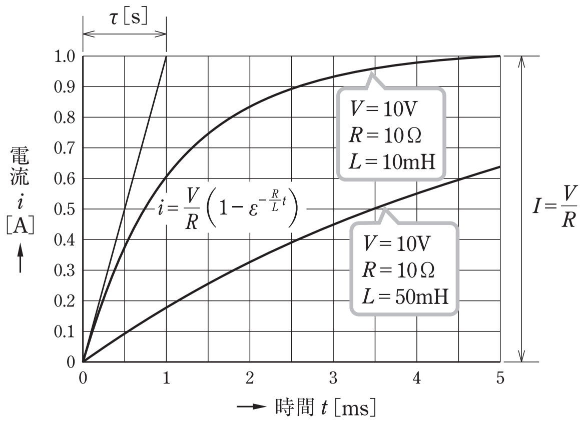
問9． $\tau = \dfrac{L}{R} = \dfrac{50 \times 10^{-3}}{10} = 5 \times 10^{-3}\ \text{s}$

$t = 0\ \text{s}$ のとき

$$i = \frac{V}{R}(1 - \varepsilon^{-\frac{t}{\tau}}) = \frac{10}{10}(1 - \varepsilon^{-\frac{0}{5 \times 10^{-3}}}) = 0\ \text{A}$$

以下同様に，$t = 5\ \text{ms}$ まで計算したのちグラフをかくと，次のようになる。

t[ms]	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
i[A]	0	0.10	0.18	0.26	0.33	0.39	0.45	0.50	0.55	0.59	0.63



〔p.199〕　**問10.** 初期値とは $t=0$, 最終値とは $t=\infty$ のときの電流であるから, 式⑽において,

初期値　$i=\dfrac{V}{R}(1-\varepsilon^{-\frac{0}{\tau}})=\dfrac{V}{R}(1-1)=\mathbf{0\ A}$

最終値　$i=\dfrac{V}{R}(1-\varepsilon^{-\frac{\infty}{\tau}})=\dfrac{V}{R}(1-0)=\dfrac{V}{R}=\dfrac{10}{100}=\mathbf{0.1\ A}$

となる。

問11. $\tau=\dfrac{L}{R}=\dfrac{0.4}{2}=\mathbf{0.2\ s}$

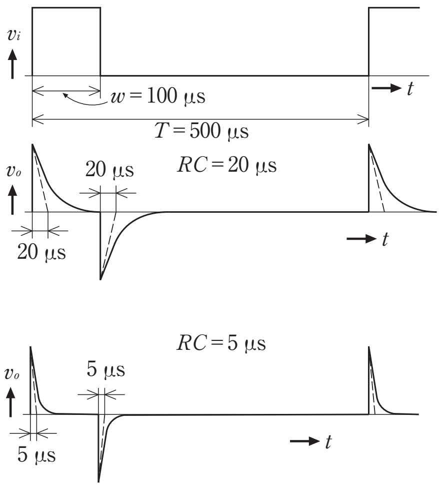
$i=\dfrac{V}{R}(1-\varepsilon^{-\frac{t}{\tau}})=\dfrac{10}{2}(1-\varepsilon^{-\frac{0.1}{0.2}})=\mathbf{1.97\ A}$

〔p.200〕　**問12.** C に充電されている電荷が放電されないので,

$v_o=\mathbf{0\ V}$

となる。

問13.

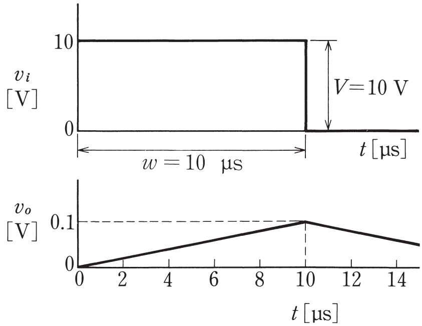


問14. 点 A では充電電流 $i=\dfrac{V}{R}\varepsilon^{-\frac{1}{RC}t}$[A]が流れており, v_o は $v_o=V\varepsilon^{-\frac{1}{RC}t}$ となり, 正の電圧が発生し, 時間とともに減少していく。これに対して, 点 B では入力電圧が 0 であるから, コンデンサの放電がはじまり, $i=-\dfrac{V}{R}\varepsilon^{-\frac{1}{RC}t}$ の放電電流が流れるため, 電圧は $v_o=-V\varepsilon^{-\frac{1}{RC}t}$ となり, 負の電圧が発生する。

〔p.201〕　**問15.** $v_o = V(1-\varepsilon^{-\frac{t}{RC}})$[V]で，$\dfrac{t}{RC} = x$ とおくとき，表1より x が 0.000～0.010 の間では，$1-\varepsilon^{-x}$ は直線的に増加している。したがって，v_o も直線的に増加する。

問16. $v_o = V(1-\varepsilon^{-\frac{t}{RC}}) = 10 \times (1-\varepsilon^{-\frac{1}{10^{-3}}t})$[V]

$RC \gg w$ なので，v_o は 0～10 µs で直線的に増加し，10 µs 以上は直線的に減少する。



〔p.203〕　**問17.** $f = \dfrac{1}{T} = \dfrac{1}{100 \times 10^{-6}} = 10^4\ \mathrm{Hz} = \mathbf{10\ kHz}$

$$\frac{w}{T} = \frac{1 \times 10^{-6}}{100 \times 10^{-6}} = \mathbf{0.01}$$

問18. $T = T_S + T_f = 1 \times 10^{-3} + 100 \times 10^{-6} = 1\,100 \times 10^{-6}\ \mathrm{s}$

$$= \mathbf{1\,100\ \mu s = 1.1\ ms}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1\,100 \times 10^{-6}} = \frac{10^6}{1\,100} = \mathbf{909\ Hz}$$

〔p.204〕　**問題**

1. (1)　**初期値　定常値**(または最終値)　(2)　$\boldsymbol{RC}$　(3)　$\boldsymbol{\dfrac{L}{R}}$

2. $\tau = RC = 50 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-6} = \mathbf{5\ s}$

$$i = \frac{V}{R}\varepsilon^{-\frac{t}{RC}} = \frac{100}{50 \times 10^3} \times \varepsilon^{-\frac{2}{5}} = \mathbf{1.34\ mA}$$

$$v_R = Ri = 50 \times 10^3 \times 1.34 \times 10^{-3} = \mathbf{67\ V}$$

$$v_C = V - v_R = 100 - 67 = \mathbf{33\ V}$$

3. $\tau = RC = 10 \times 10^3 \times 200 \times 10^{-6} = \mathbf{2\ s}$

$$i = -\frac{V}{R}\varepsilon^{-\frac{t}{RC}} = -\frac{10}{10 \times 10^3} \times \varepsilon^{-\frac{1}{2}} = \mathbf{-0.606\ mA}$$

$$v_R = Ri = 10 \times 10^3 \times (-0.606) \times 10^{-3} = \mathbf{-6.06\ V}$$

$v_C = -v_R = \mathbf{6.06\ V}$

4． 時定数RC[s]の値は，パルス幅w[s]よりはるかに小さくとる($RC \ll w$)。

5． 時定数RC[s]の値は，パルス幅w[s]よりはるかに大きくとる($RC \gg w$)。

6． w[s]をパルス幅，T[s]を繰り返し周期とすると，パルスの衝撃係数は $\dfrac{w}{T}$ で表される。

7． $f = \dfrac{1}{T} = \dfrac{1}{2 \times 10^{-3}} = \mathbf{500\ Hz}$

$$\frac{w}{T} = \frac{50 \times 10^{-6}}{2 \times 10^{-3}} = 25 \times 10^{-3} = \mathbf{0.025}$$

〔p.208〕 章末問題

A 1． (1) $V_1 = \dfrac{10}{\sqrt{2}} = \mathbf{7.07\ V}$

(2) $V_2 = \dfrac{2}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} = \mathbf{1.41\ V}$

$V_3 = \dfrac{0.5}{\sqrt{2}} = \mathbf{0.354\ V}$

(3) $$V = \sqrt{{V_1}^2 + {V_2}^2 + {V_3}^2} = \sqrt{\left(\frac{10}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{2}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{0.5}{\sqrt{2}}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\frac{100 + 4 + 0.25}{2}} = \sqrt{\frac{104.25}{2}} = \mathbf{7.22\ V}$$

(4) $1\,000\pi = 2\pi f_1, \qquad f_1 = \mathbf{500\ Hz}$

$2\,000\pi = 2\pi f_2, \qquad f_2 = \mathbf{1\,000\ Hz}$

(5) $$k = \frac{V_k}{V_1} \times 100 = \frac{\sqrt{\left(\dfrac{2}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\dfrac{0.5}{\sqrt{2}}\right)^2}}{\dfrac{10}{\sqrt{2}}} \times 100$$

$$= \frac{\sqrt{4.25}}{10} \times 100 = \mathbf{20.6\ \%}$$

A 2． (1) $$I = \sqrt{{I_1}^2 + {I_2}^2 + {I_3}^2} = \sqrt{\left(\frac{10}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{5}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{0.4}{\sqrt{2}}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\frac{100 + 25 + 0.16}{2}} = \sqrt{\frac{125.16}{2}} = \mathbf{7.91\ mA}$$

(2) $I_2 = \dfrac{5}{\sqrt{2}} = \mathbf{3.54\ mA}, \qquad I_3 = \dfrac{0.4}{\sqrt{2}} = \mathbf{0.283\ mA}$

(3) $$P = V_1 I_1 \cos\theta_1 + V_2 I_2 \cos\theta_2 + V_3 I_3 \cos\theta_3$$

$$= \frac{10}{\sqrt{2}} \times \frac{10}{\sqrt{2}} \cos 60^\circ + \frac{2}{\sqrt{2}} \times \frac{5}{\sqrt{2}} \cos 0^\circ + \frac{0.5}{\sqrt{2}} \times \frac{0.4}{\sqrt{2}} \cos 30^\circ$$

$$= 50 \times 0.5 + 5 \times 1 + 0.1 \times 0.866 = \mathbf{30.1\ mW}$$

B 1． $\tau = \dfrac{L}{R} = \dfrac{80 \times 10^{-3}}{20} = \mathbf{4\ ms}$

$i = \dfrac{V}{R}(1 - \varepsilon^{-\frac{t}{\tau}}) = \dfrac{20}{20}(1 - \varepsilon^{-\frac{2 \times 10^{-3}}{4 \times 10^{-3}}}) = \mathbf{0.393\ A}$

B 2． $f = \dfrac{1}{T} = \dfrac{1}{1 \times 10^{-3}} = \mathbf{1\,000\ Hz}$

衝撃係数は,

$\dfrac{w}{T} = \dfrac{50 \times 10^{-6}}{1 \times 10^{-3}} = 50 \times 10^{-3} = \mathbf{0.05}$