令和５年度第二種電気主任技術者二次試験　標準解答

配点：一題当たり 30 点

電力・管理科目　4 題×30 点＝120 点

機械・制御科目　2 題×30 点＝ 60 点

＜電力・管理科目＞

〔問１の標準解答〕

(1) 負荷遮断時には，ガイドベーンが急閉塞するため，管路を流れている水が減速され，水の運動エネルギーが圧力エネルギーに変わる。これにより，ガイドベーン直前の水圧が上昇し，その圧力が水圧管路や圧力トンネルに伝搬する現象である。

(2) ①サージタンク

サージタンクを水圧管路と導水路である圧力トンネルの間に設置し，水路の途中に自由水面を設けることにより，水撃作用による圧力変動を吸収する。

②制圧機

制圧機をケーシング若しくは水圧管路末端に設置し，調速機によるガイドベーン急閉塞と連動して制圧機の弁体を開放することで圧力上昇を抑える。

〔問２の標準解答〕

(1) 表皮効果が小さくなり，また放熱が良くなるので，熱的許容電流容量が増加する。

(2) 送電線インダクタンスが減少し，また静電容量が増加するため，固有送電容量が増加する。

(3) 導体表面の電位傾度を減少できるので，コロナ開始電圧が高くなり，コロナ損失，雑音障害を防止できる。

(4) 送電線インダクタンスが小さくなるので，同期安定度が向上する。

〔問３の標準解答〕

(1) 発電機出力は次式の通り表される。

$$P_{\mathrm{G}} = \frac{E_{\mathrm{G}} E_0}{X_{\mathrm{d}}' + X_{\mathrm{t}} + 0.5 X_l} \sin\delta_0 \quad \cdots (答) \qquad ①$$

(2) ①式に各パラメータを代入して次式を得る。

$$0.8 = \frac{1}{0.35} \sin\delta_0 \qquad ②$$

したがって，近似式を適用して，

$$\sin\delta_0 \approx \delta_0 = 0.28\,\mathrm{rad} \quad \cdots (答) \qquad ③$$

(3) 1回線開放された状態で小問(2)と同様に安定平衡点の位相角を導出すると，

$$P_{\mathrm{G0}} = \frac{E_{\mathrm{G}} E_0}{X_{\mathrm{d}}' + X_{\mathrm{t}} + X_l} \sin\delta_{\mathrm{s}} \qquad ④$$

ここで，$X_1 = X_{\mathrm{d}}' + X_{\mathrm{t}} + X_l$ とすると，各パラメータを代入して，

$$0.8 = \frac{1}{X_1} \sin\delta_{\mathrm{s}} = \frac{1}{0.45} \sin\delta_{\mathrm{s}} \qquad ⑤$$

これより安定平衡点の位相角は次式のように求まる。

$$\sin\delta_{\mathrm{s}} \approx \delta_{\mathrm{s}} = 0.36\,\mathrm{rad} \qquad ⑥$$

不安定平衡点の位相角は，P−δ 曲線の対称性から次式で計算できる。

$$\delta_{\mathrm{u}} = \pi - \delta_{\mathrm{s}} \approx 2.8\,\mathrm{rad} \quad \cdots (答) \qquad ⑦$$

(4) 故障発生から故障除去時点までに生じる加速エネルギーは，故障継続中の発電機出力を0として次式で表される。

$$P_{\mathrm{G0}} \left(\delta_{\mathrm{c}} - \delta_0 \right) \qquad ⑧$$

一方で減速エネルギーの最大値は次式となる。

$$\int_{\delta_{\mathrm{c}}}^{\delta_{\mathrm{u}}} \left(\frac{1}{X_1} \sin\delta - P_{\mathrm{G0}} \right) \mathrm{d}\delta \qquad ⑨$$

⑧式＝⑨式として，次式を得る。

$$\cos\delta_{\mathrm{c}} = X_1 P_{\mathrm{G0}} \left(\delta_{\mathrm{u}} - \delta_0 \right) + \cos\delta_{\mathrm{u}} \qquad ⑩$$

ここで対称性から，次式が成立する。

$$\cos\delta_{\mathrm{u}} = -\sqrt{1-\sin^2\delta_{\mathrm{u}}} \approx -0.933 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots \qquad ⑪$$

⑩式に代入して,

$$\cos\delta_{\mathrm{c}} = -0.033 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots \qquad ⑫$$

・・・(答)

〔問４の標準解答〕

(1) 需要家に流れ込む有効電力を P, 需要家端電圧を V_{r}, 需要家の力率を $\cos\theta$ とし, 負荷電流 I を求めると,

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}V_{\mathrm{r}}\cos\theta} \,[\mathrm{A}]$$

$$I = \frac{300\times10^3}{\sqrt{3}\times6\,600\times0.90} = 29.159\ \mathrm{A}$$

線路定数は,

$$R + \mathrm{j}X = 4\left(0.2+\mathrm{j}0.6\right) = 0.8 + \mathrm{j}2.4\ [\Omega]$$

送電端電圧 V_{s} [V] は, 遅れ力率で $\theta > 0$ とすると, 近似式を用いて,

$$V_{\mathrm{s}} = V_{\mathrm{r}} + \sqrt{3}I\left(R\cos\theta + X\sin\theta\right) = 6\,600 + \sqrt{3}\times29.159\left(0.8\times0.90 - 2.4\times\sqrt{1-0.90^2}\right)$$

$$= 6\,600 + \sqrt{3}\times29.159\left(0.72 - 1.046\,1\right)$$

$$= 6\,600 - 16.470 = 6\,583.5\ \mathrm{V}$$

$\therefore 6\,580\ \mathrm{V}$・・・(答)

(2) 需要家端で必要なリアクトル設置後の総合力率を $\cos\theta_1$ とすると,

電圧降下 ΔV は, 近似式を用いて,

$$\Delta V = \sqrt{3}I\left(R\cos\theta_1 + X\sin\theta_1\right)$$

このときの線路電流は, P_{r} を需要家に流れ込む有効電力とすると,

$$I = \frac{P_{\mathrm{r}}}{\sqrt{3}V_{\mathrm{r}}\cos\theta_1} = \frac{-200\times10^3}{\sqrt{3}\times6\,600\cos\theta_1} = \frac{-17.496}{\cos\theta_1}\,[\mathrm{A}]$$

電圧降下 ΔV は, 送電端と需要家端は同じ電圧のため, 0 V。

したがって，

$$0=\sqrt{3}\times\frac{-17.496}{\cos\theta_1}\times\left(0.8\cos\theta_1+2.4\sin\theta_1\right)=-24.242-72.727\tan\theta_1$$

$$\tan\theta_1=\frac{-24.242}{72.727}=-0.333\,33$$

需要家端の無効電力（遅れ）Q_L は，

$$Q_L=P_r\tan\theta_1=-200\times-0.333\,33=66.666\ \text{kvar}$$

また，分散型電源とリアクトル設置前の需要家の無効電力（遅れ）Q_r は，

$$Q_r=-300\times\frac{\sqrt{1-0.90^2}}{0.90}=-300\times\frac{0.435\,89}{0.90}=-145.30\ \text{kvar}$$

よって，必要なリアクトル容量 Q_1 は，

$$Q_1=Q_L-Q_r=66.666-\left(-145.30\right)=211.97\ \text{kvar}$$

∴ 212 kvar・・・（答）

〔問５の標準解答〕

(1) 下記①～④など，中性点接地方式の目的についての基本的事項を二つ記載してあればよい。

① 地絡事故が発生したときに健全相の電位上昇を抑制する。

② 地絡事故が発生したときに保護リレーを確実に動作させる。

③ 地絡事故時の事故電流を抑制して電磁誘導障害を軽減する。

④ 鉄共振・アーク間欠地絡などの不安定現象を抑制する。

(2)

ａ） 非接地方式

ｂ） 抵抗接地方式

(3) 抵抗接地方式は，地絡電流を抑制して通信線への電磁誘導障害を軽減することが目的である。直接接地方式に比べ，1 線地絡電流が小さく保護リレーの事故検出機能は低下する。また，直接接地方式よりも 1 線地絡時の健全相の電圧上昇が大きく，線路や機器の絶縁レベルを低減できない。

〔問６の標準解答〕

（1） ｃ）

（2）

ａ）

(a) LFC（負荷周波数制御，AFC（自動周波数制御）も可）

ｂ）

(b) 負荷変動により発電機の回転速度が変動した際，発電機の動力である蒸気又は水の流量を自動的に調整する調速機（ガバナ）により，回転速度が上昇した時は出力を抑制，低下した時は出力を増加させて回転速度を一定に保つ制御。

（3） ・UFR

・事故波及防止リレー

（4）

ａ） $K_A = 12\,000 \times \dfrac{1}{100} = 120$ MW/0.1Hz

$K_B = 5\,000 \times \dfrac{0.8}{100} = 40$ MW/0.1Hz

ｂ）$K = K_A + K_B = 120 + 40 = 160$ MW/0.1Hz

ｃ）$\varDelta F = \dfrac{2\,000}{K \times 10} = \dfrac{2\,000}{160 \times 10} = 1.25$ Hz

ｄ）1.25 Hz＜1.5Hz のため，動作しない。

＜機械・制御科目＞

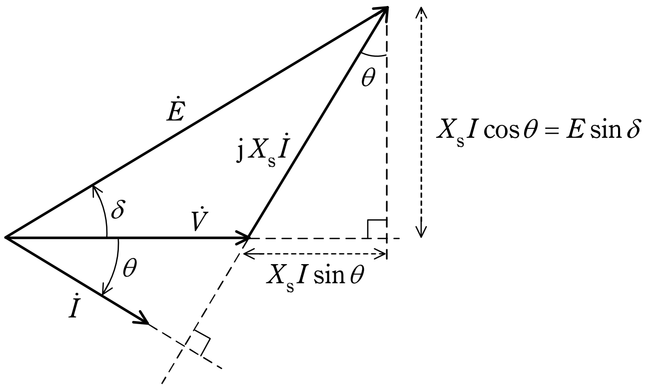
〔問１の標準解答〕

(1)

(a) $\dot{E}$, (b) $\mathrm{j}X_{\mathrm{s}}\dot{I}$, (c) δ , (d) θ , (e) $\dot{I}$ ・・・（答）

(2)

（フェーザ図は解答ではなく参考用）



フェーザ図より，

$$E = \sqrt{(V + X_{\mathrm{s}}I\sin\theta)^2 + (X_{\mathrm{s}}I\cos\theta)^2}$$

$$= \sqrt{V^2 + 2VX_{\mathrm{s}}I\sin\theta + \left(X_{\mathrm{s}}I\right)^2} \quad \cdots \text{（答）}$$

定格状態では， $V = 1$ ， $I = 1$ ， $\sin\theta = 0.6$ ，また $X_{\mathrm{s}} = 1.8$ より

$$E_{\mathrm{n}} = \sqrt{1^2 + 2\times1\times1.8\times1\times0.6 + \left(1.8\times1\right)^2} = 2.5298 \quad \rightarrow \quad 2.53\ \mathrm{p.u.} \cdots \text{（答）}$$

(3)

$P = VI\cos\theta$ に，フェーザ図から得られる $X_{\mathrm{s}}I\cos\theta = E\sin\delta$ の関係を代入すると，

$$P = VI\cos\theta = \frac{VE}{X_{\mathrm{s}}}\sin\delta\ [\mathrm{p.u.}]$$

$$P = \frac{VE}{X_{\mathrm{s}}}\sin\delta\ [\mathrm{p.u.}] \quad \cdots ① \qquad \cdots \text{（答）}$$

(4)

a) ①式から，$\sin\delta$ は $\sin\delta = \dfrac{PX_s}{VE}$ と表され，また定格状態では，$V = 1$，

$E_n = 2.5298$ p.u.，$P = 0.8$ p.u.であるので，

$$\sin\delta_n = \frac{PX_s}{VE_n} = \frac{0.8\times1.8}{1\times2.5298} = 0.56921 \quad\rightarrow\quad 0.569\cdot\cdot\cdot(答)$$

b) P_m は①式において $\sin\delta = 1$ のときに得られるので，

$$P_m = \frac{VE}{X_s}\ [\text{p.u.}]\cdot\cdot\cdot(答)$$

定格状態では，$V = 1$，$E_n = 2.5298$ p.u.であるので，

$$P_{mn}[\text{p.u.}] = \frac{VE_n}{X_s} = \frac{1\times2.5298}{1.8} = 1.4054\ \text{p.u.}$$

$$P_{mn}[\text{MW}] = 1.4054\times15 = 21.081\ \text{MW} \quad\rightarrow\quad 21.1\ \text{MW}\cdot\cdot\cdot(答)$$

(5)

a) 定格運転時と比べて定態安定極限電力は減少する。 ・・・(答)

磁気飽和を無視した条件では，界磁電流を 80%にするとそのときの無負荷誘導起電力 E' は E_n の 80%になるので，

$$P'_m[\text{p.u.}] = \frac{VE'}{X_s} = \frac{VE_n\times0.8}{X_s} = \frac{1\times2.5298\times0.8}{1.8} = 1.1244\ \text{p.u.}$$

$$P'_m[\text{MW}] = 1.1244\times15 = 16.866\ \text{MW} \quad\rightarrow\quad 16.9\ \text{MW}\cdot\cdot\cdot(答)$$

b) 界磁電流を 80%にしても発電機の有効電力 P は変化しないので，

$$\sin\delta' = \frac{PX_s}{VE'} = \frac{0.8\times1.8}{1\times2.5298\times0.8} = 0.71152 \quad\rightarrow\quad 0.712\cdot\cdot\cdot(答)$$

定格運転時と比べて定態安定度(同期安定性)は低下する。・・・(答)

〔問２の標準解答〕

(1) 巻数比をaとすると題意から$a=4$であるから，図２における一次側線間電圧V_{1ab}の二次側換算値V'_{1ab}を求めると，

$$V'_{1ab}=\frac{1}{a}\cdot V_{1ab}=\frac{1}{4}\times 400=100\,\mathrm{V}\quad\cdot\cdot\cdot\quad(答)$$

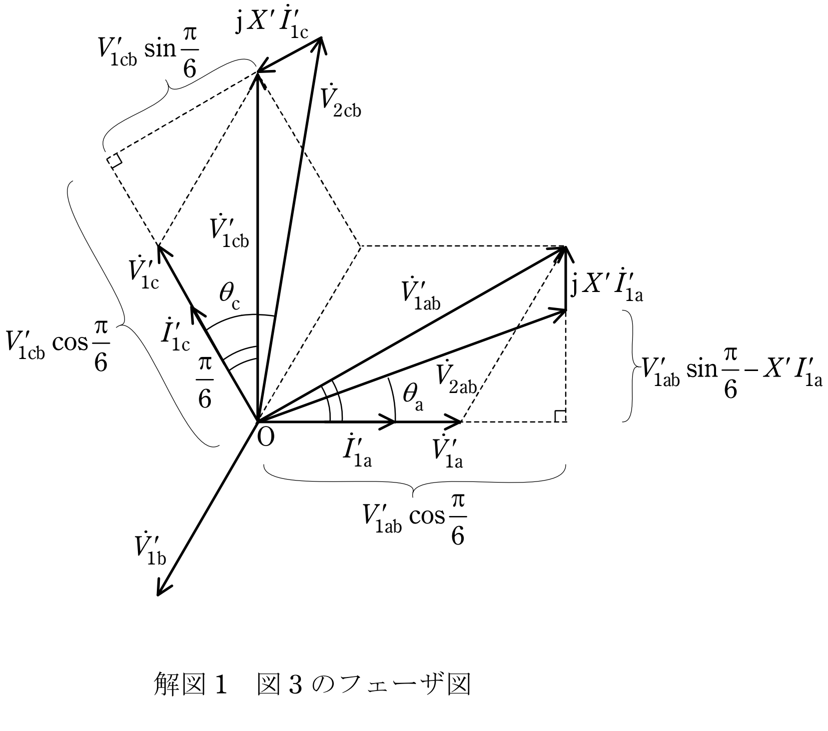
(2) 図２における一次側線電流I_{1a}の二次側換算値I'_{1a}を求めると，

$$I'_{1a}=aI_{1a}=4\times 30=120\,\mathrm{A}\quad\cdot\cdot\cdot\quad(答)$$

(3) 一次及び二次の漏れリアクタンスをx_1及びx_2とすると，図２における二次側に換算した合成リアクタンスX'は，

$$X'=\frac{1}{a^2}x_1+x_2=\frac{1}{4^2}\times 0.64+0.21=0.04+0.21=0.25\,\Omega\quad\cdot\cdot\cdot\quad(答)$$

(4) 解図１は，図３のフェーザ図である。



解図１　図３のフェーザ図

この図より，図中の①，②，③，④の電圧のフェーザは以下となる。

① $\dot{V}'_{1\mathrm{ab}}$

② $\mathrm{j}X'\dot{I}'_{1\mathrm{a}}$

③ $\dot{V}'_{1\mathrm{cb}}$

④ $\dot{V}_{2\mathrm{cb}}$

(5) 解図 1 より，負荷接続時の変圧器二次電圧 $V_{2\mathrm{ab}}$ 及び $V_{2\mathrm{cb}}$ を求めると以下となる。

$$V_{2\mathrm{ab}} = \left|\dot{V}_{2\mathrm{ab}}\right| = \sqrt{\left(V'_{1\mathrm{ab}}\cos\frac{\pi}{6}\right)^2 + \left(V'_{1\mathrm{ab}}\sin\frac{\pi}{6} - X'I'_{1\mathrm{a}}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(100\times\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2 + \left(100\times\frac{1}{2} - 0.25\times 120\right)^2} = \sqrt{\left(50\sqrt{3}\right)^2 + \left(50-30\right)^2}$$

$$= \sqrt{7\,500 + 400} = \sqrt{7\,900} = 88.882 \quad \to \quad 88.9\mathrm{V} \quad \cdot\cdot\cdot \quad (答)$$

$$V_{2\mathrm{cb}} = \left|\dot{V}_{2\mathrm{cb}}\right| = \sqrt{\left(V'_{1\mathrm{cb}}\cos\frac{\pi}{6}\right)^2 + \left(V'_{1\mathrm{cb}}\sin\frac{\pi}{6} + X'I'_{1\mathrm{c}}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(V'_{1\mathrm{cb}}\cos\frac{\pi}{6}\right)^2 + \left(V'_{1\mathrm{cb}}\sin\frac{\pi}{6} + X'I'_{1\mathrm{a}}\right)^2} \qquad \because \ I'_{1\mathrm{c}} = I'_{1\mathrm{a}}$$

$$= \sqrt{\left(100\times\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2 + \left(100\times\frac{1}{2} + 0.25\times 120\right)^2} = \sqrt{\left(50\sqrt{3}\right)^2 + \left(50+30\right)^2}$$

$$= \sqrt{7\,500 + 6\,400} = \sqrt{13\,900} = 117.90 \quad \to \quad 118\,\mathrm{V} \quad \cdot\cdot\cdot \quad (答)$$

【(5)別解】

解図 1 より，$\dot{V}_{2\mathrm{ab}}$ 及び $\dot{V}_{2\mathrm{cb}}$ を求めると

$$\dot{V}_{2\mathrm{ab}} = \dot{V}'_{1\mathrm{ab}} - \mathrm{j}X'\dot{I}'_{1\mathrm{a}}$$

$$= \left|\dot{V}'_{1\mathrm{ab}}\right|\left(\cos\frac{\pi}{6} + \mathrm{j}\sin\frac{\pi}{6}\right) - \mathrm{j}X'\left|\dot{I}'_{1\mathrm{a}}\right|$$

$$=100\left(\frac{\sqrt{3}}{2}+\mathrm{j}\frac{1}{2}\right)-\mathrm{j}0.25\times 120$$

$$=50\sqrt{3}+\mathrm{j}50-\mathrm{j}30$$

$$=50\sqrt{3}+\mathrm{j}20$$

$$V_{2\mathrm{ab}}=\left|\dot{V}'_{1\mathrm{ab}}-\mathrm{j}X'\dot{I}'_{1\mathrm{a}}\right|$$

$$\therefore V_{2\mathrm{ab}}=\left|\dot{V}_{2\mathrm{ab}}\right|=\sqrt{\left(50\sqrt{3}\right)^2+20^2}=\sqrt{7500+400}$$

$$=\sqrt{7900}=88.882 \quad\rightarrow\quad 88.9\mathrm{V} \quad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot (答)$$

$$\dot{V}_{2\mathrm{cb}}=\dot{V}'_{1\mathrm{cb}}-\mathrm{j}X'\dot{I}'_{1\mathrm{c}}$$

$$=\left|\dot{V}_{1\mathrm{cb}}\right|\left(\cos\frac{\pi}{2}+\mathrm{j}\sin\frac{\pi}{2}\right)-\mathrm{j}X'\left|\dot{I}_{1\mathrm{c}}\right|\left(\cos\frac{2\pi}{3}+\mathrm{j}\sin\frac{2\pi}{3}\right)$$

$$=\mathrm{j}100-\mathrm{j}0.25\times 120\left(-\frac{1}{2}+\mathrm{j}\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

$$=\mathrm{j}100-\mathrm{j}30\left(-\frac{1}{2}+\mathrm{j}\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

$$=\mathrm{j}100+\mathrm{j}15+15\sqrt{3}$$

$$=15\sqrt{3}+\mathrm{j}115$$

$$V_{2\mathrm{cb}}=\left|\dot{V}_{1\mathrm{cb}}-\mathrm{j}X'\dot{I}'_{1\mathrm{c}}\right|$$

$$\therefore V_{2\mathrm{cb}}=\left|\dot{V}_{2\mathrm{cb}}\right|=\sqrt{\left(15\sqrt{3}\right)^2+115^2}=\sqrt{675+13225}$$

$$=\sqrt{13900}=117.90 \quad\rightarrow\quad 118\mathrm{V} \quad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot (答)$$

(6) 変圧器の損失を無視しているため，変圧器入力＝変圧器出力が成り立つ。対称三相交流電源電圧 V_{1ab} と I_{1a} との位相差が $\dfrac{\pi}{6}$ であり，V_{1cb} と I_{1c} との位相差が $\dfrac{\pi}{6}$ であるから，Tr1 及び Tr2 の出力の有効電力 P_1 及び P_2 はそれぞれ，

$$P_1 = V_{1ab} I_{1a} \cos\frac{\pi}{6} = 400 \times 30 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 10\,392\ \mathrm{W} \quad \rightarrow \quad 10.4\ \mathrm{kW}$$

$$P_2 = V_{1cb} I_{1c} \cos\frac{\pi}{6} = 400 \times 30 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 10\,392\ \mathrm{W} \quad \rightarrow \quad 10.4\ \mathrm{kW}$$

となるため，いずれも $P_1 = P_2 = 10.4\ \mathrm{kW}$ となる。

【(6)別解】

変圧器の損失を無視しているため，変圧器入力＝変圧器出力が成り立つ。変圧器 Tr1，Tr2 のそれぞれの複素電力 $\dot{S}_1$，$\dot{S}_2$ を求め、その実部から P_1，P_2 を求める（$\dot{S} = P + \mathrm{j}Q$）。

変圧器入力としての $\dot{S}_1$

$$\dot{S}_1 = \overline{\dot{V}_{1ab}} \cdot \dot{I}'_{1a}$$

$$= 100\left(\overline{\cos\frac{\pi}{6} + \mathrm{j}\sin\frac{\pi}{6}}\right) \times 120$$

$$= 100\left(\frac{\sqrt{3}}{2} - \mathrm{j}\frac{1}{2}\right) \times 120 = \left(50\sqrt{3} - \mathrm{j}50\right) \times 120 = 6\,000\sqrt{3} - \mathrm{j}6\,000$$

$$P_1 = 6\,000\sqrt{3} = 10\,392\ \mathrm{W} \quad \rightarrow \quad 10.4\ \mathrm{kW} \cdot\cdot\cdot\ (答)$$

変圧器出力としての $\dot{S}_1$

$$\dot{S}_1 = \overline{\dot{V}_{2ab}} \cdot \dot{I}_{2a} = \overline{\dot{V}_{2ab}} \cdot \dot{I}'_{1a}$$

$$= \left(\overline{50\sqrt{3} + \mathrm{j}50}\right) \times 120$$

$$=\left(50\sqrt{3}-\mathrm{j}50\right)\times 120=6000\sqrt{3}-\mathrm{j}6000$$

$P_1=6000\sqrt{3}=10392\ \mathrm{W}\quad\rightarrow\quad 10.4\ \mathrm{kW}$・・・・・(答)

変圧器入力としての $\dot{S}_2$

$$\dot{S}_2=\overline{\dot{V}_{1\mathrm{cb}}}\cdot\dot{I}'_{1\mathrm{c}}$$

$$=100\overline{\left(\cos\frac{\pi}{2}+\mathrm{j}\sin\frac{\pi}{2}\right)}\times 120\left(\cos\frac{2\pi}{3}+\mathrm{j}\sin\frac{2\pi}{3}\right)$$

$$=-\mathrm{j}100\times 120\left(-\frac{1}{2}+\mathrm{j}\frac{\sqrt{3}}{2}\right)=-\mathrm{j}12000\left(-\frac{1}{2}+\mathrm{j}\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

$$=6000\sqrt{3}+\mathrm{j}6000$$

$P_2=6000\sqrt{3}=10392\ \mathrm{W}\quad\rightarrow\quad 10.4\ \mathrm{kW}$・・・・・(答)

変圧器出力としての $\dot{S}_2$

$$\dot{S}_2=\overline{\dot{V}_{2\mathrm{cb}}}\cdot\dot{I}_{2\mathrm{c}}=\overline{\dot{V}_{2\mathrm{cb}}}\cdot\dot{I}'_{1\mathrm{c}}$$

$$=\overline{\mathrm{j}100}\times 120\left(\cos\frac{2\pi}{3}+\mathrm{j}\sin\frac{2\pi}{3}\right)=-\mathrm{j}100\times 120\left(-\frac{1}{2}+\mathrm{j}\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

$$=6000\sqrt{3}+\mathrm{j}6000$$

$P_2=6000\sqrt{3}=10392\ \mathrm{W}\quad\rightarrow\quad 10.4\ \mathrm{kW}$・・・・・(答)

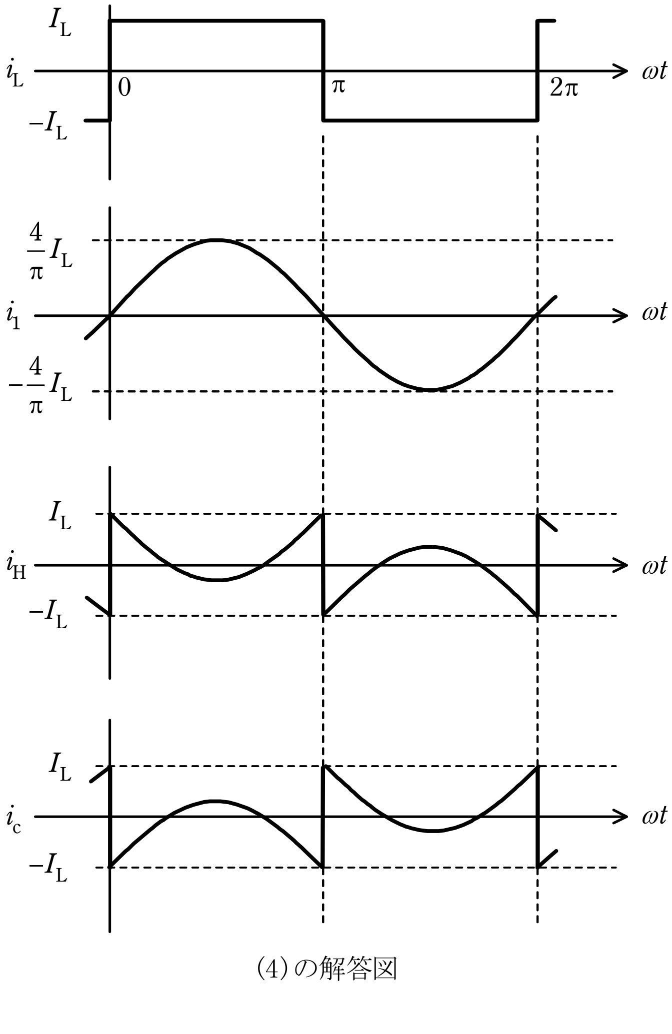
〔問３の標準解答〕

(1) ダイオード整流器・変換器，サイリスタ整流器・変換器，インバータ，など。

(2) コンデンサやリアクトルの過熱や振動，コンピュータや電子機器の誤作動，など。

(3) $i_{\mathrm{c}} = i_1 - i_{\mathrm{L}} = -i_{\mathrm{H}}$　【(3) 別解】$i_{\mathrm{c}} + i_{\mathrm{H}} = 0$，$i_{\mathrm{c}} - i_1 + i_{\mathrm{L}} = 0$ など。

(4)



(4)の解答図

(5)　i_{L} の 実 効 値 は I_{L} ，　i_1 の 実 効 値 は $\dfrac{4}{\pi\sqrt{2}}I_{\mathrm{L}} = 0.900I_{\mathrm{L}}$ ，　i_{c} の 実 効 値 は

$$I_{\mathrm{L}}\sqrt{1-\frac{8}{\pi^2}} = 0.435I_{\mathrm{L}}$$

【(5) 別解】

	実効値
i_1	$\dfrac{2\sqrt{2}}{\pi}I_{\mathrm{L}}$ ，　$\dfrac{\sqrt{8}}{\pi}I_{\mathrm{L}}$，　$\dfrac{2.83}{\pi}I_{\mathrm{L}}$
i_{c}	$I_{\mathrm{L}}\sqrt{\dfrac{\pi^2-8}{\pi^2}}$ ，　$\dfrac{I_{\mathrm{L}}}{\pi}\sqrt{\pi^2-8}$ ，　$0.44I_{\mathrm{L}}$

〔問 4 の標準解答〕

(1)　図 1 のゲイン特性曲線は傾きが $-20\,\mathrm{dB/dec}$ の直線なので，積分要素であって，その伝達関数は,

$$G_1(s) = \frac{1}{T_{\mathrm{I}}s},\ T_{\mathrm{I}} > 0 \quad \cdots\cdots ①$$

で表される。ここで，定数 T_{I} を積分時間という。ゲインが $0\,\mathrm{dB}$ となる角周波数は，積分時間 T_{I} を使って $\dfrac{1}{T_{\mathrm{I}}}$ [rad/s] で表すことができる。したがって，図 1 より,

$$\frac{1}{T_{\mathrm{I}}} = 0.1 \quad \cdots\cdots ②$$

が成り立つ。上式を解いて,

$$T_{\mathrm{I}} = 10 \quad \cdots\cdots ③$$

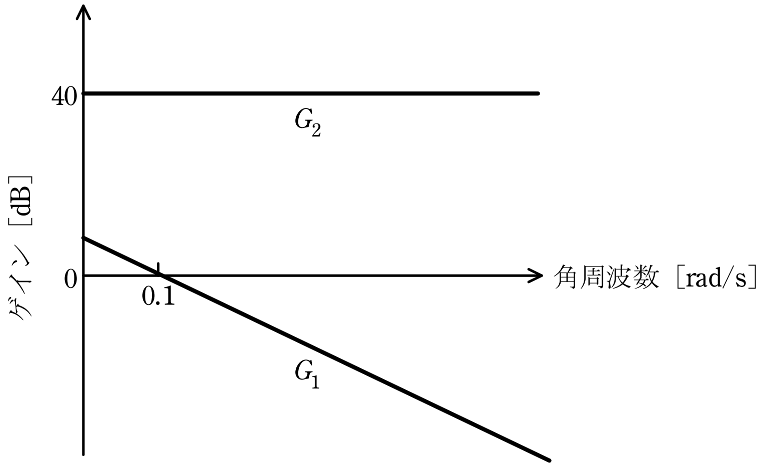
を得る。

③式を①式に代入して,

$$G_1(s) = \frac{1}{10s} \cdots (答) \quad \cdots\cdots ④$$

となる。

(2) 解図 1 に示すように，積分要素 $G_1(s)=\dfrac{1}{T_{\mathrm{I}}s}$ と比例要素 $G_2(s)=K$ に分解することができる。



解図 1

$G_1(s)$ は小問(1)で扱った伝達関数に一致している。

$G_2(s)$ は，

$20\log_{10}K=40=20\log_{10}10^2$ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ⑤

から， $K=100$ となる。したがって，

$G_2(s)=100$ ・・・ ⑥

と求められる。 ・・・（答）

(3) 図 2 のゲイン特性曲線は傾きが $-20\,\mathrm{dB/dec}$ の直線なので，積分要素 $G(s)=\dfrac{1}{T_{\mathrm{I1}}s}$ ，$T_{\mathrm{I1}}>0$ である。その周波数伝達関数 $G(\mathrm{j}\omega)=\dfrac{1}{\mathrm{j}T_{\mathrm{I1}}\omega}$ のゲインは，

$\left|G(\mathrm{j}\omega)\right|=\left|\dfrac{1}{\mathrm{j}T_{\mathrm{I1}}\omega}\right|=\dfrac{1}{T_{\mathrm{I1}}\omega}$ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ⑦

となるから，デシベルで表すと $20\log_{10}\dfrac{1}{T_{\mathrm{I1}}\omega}$ ［dB］である。

さて，図 2 から，$\omega = 0.1\,\mathrm{rad/s}$ のとき $40\,\mathrm{dB}$ なので次式が成り立つ。

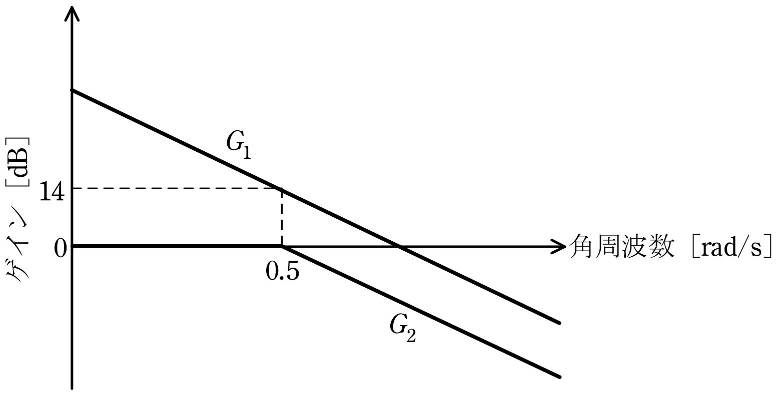
$$20\log_{10}\frac{1}{0.1T_{\mathrm{I1}}} = 40 = 20\log_{10}10^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots ⑧$$

よって，

$$\frac{1}{0.1T_{\mathrm{I1}}} = 100 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots ⑨$$

より，$T_{\mathrm{I1}} = \dfrac{1}{10}$ となるので，求める伝達関数は $G(s) = \dfrac{10}{s}$ である。・・・（答）

(4)　解図 2 に示すように積分要素 $G_1(s) = \dfrac{1}{T_{\mathrm{I2}}s}$ と一次遅れ要素 $G_2(s) = \dfrac{1}{1+Ts}$ に分解して考える。



解図 2

小問(3)において，積分要素 $G_1(s) = \dfrac{1}{T_{\mathrm{I2}}s}$ のゲインは $20\log_{10}\dfrac{1}{T_{\mathrm{I2}}\omega}$［dB］で計算できることを学んでいる。解図 2 から，$\omega = 0.5\,\mathrm{rad/s}$ のとき $14\,\mathrm{dB}$ なので次式が成り立つ。

$$20\log_{10}\frac{1}{0.5T_{\mathrm{I2}}} = 14 = 20\log_{10}10^{0.7} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots ⑩$$

よって，

$$\frac{1}{0.5T_{\mathrm{I2}}}=10^{0.7}=5.0119 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad ⑪$$

より， $T_{\mathrm{I2}}=0.39905$ となる。一方，一次遅れ要素 $G_2(s)=\dfrac{1}{1+Ts}$ は，折れ点角周波数が $\omega=0.5\,\mathrm{rad/s}$ なので，$T=2$ となる。したがって，求める伝達関数は，

$$G(s)=\frac{1}{0.39905s(1+2s)} \rightarrow \frac{1}{0.399s(1+2s)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad ⑫$$

・・・（答）

である。