令和５年度

第　２　種

機械・制御

（第２時限目）

第２種　**機械・制御**

答案用紙記入上の注意事項

１．答案用紙（記述用紙）について

○　記入には，濃度ＨＢの鉛筆又はシャープペンシルを使用してください。

○　指示がありましたら答案用紙２枚を**引き抜き，２枚とも直ちに試験地，受験番号及び生年月日**を記入してください。なお，氏名は記入不要です。

○　「選択した問の番号」欄には，**必ず選択した問番号を記入**してください。
　記入した問番号で採点されます。**問番号が未記入のものは，採点されません。**

○　**答案用紙は１問につき１枚**です。

○　答案用紙にはページ番号を付しており，(1)～(3)ページに記述します。(4)ページは，図表等の問題に使用するもので，使用する場合は問題文で指定します。

２．試験問題について

（計算問題）**解に至る過程を簡潔に記入**してください。

○　導出過程が不明瞭な答案は，０点となる場合があります。

○　答は，問題文で指定がない限り，３桁（４桁目を四捨五入）です。なお，解答以外の数値の桁数は，誤差が出ないよう多く取ってください。

例：線電流 I は，$I=\dfrac{P}{\sqrt{3}V\cos\theta}=\dfrac{10\times10^{3}}{\sqrt{3}\times200\times0.9}=32.075$ A　（答）32.1 A

１線当たりの損失 P_{L} は，$P_{\mathrm{L}}=I^{2}R=32.075^{2}\times0.2=205.76$ W　（答）206 W

（記述問題）**問題文の要求に従って記入**してください。

○　例えば「３つ答えよ。」という要求は，４つ以上答えてはいけません。

答案用紙は，白紙解答であっても２枚すべて提出してください。
なお，この問題冊子についてはお持ち帰りください。

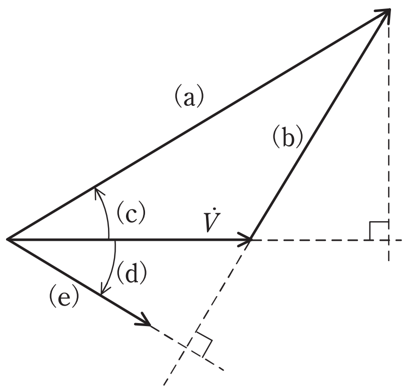
第 2 種

機械・制御

問１～問４の中から任意の２問を解答すること。（配点は 1 問題当たり 30 点）

問 1　三相円筒形同期発電機を無限大母線に接続して運転する場合に関して，次の問に答えよ。ただし，無限大母線の電圧は同期機の定格電圧に等しく，同期機の定格皮相電力は 15 MV·A，定格力率は遅れ 80 %，同期リアクタンス X_s は 1.8 p.u.，また単位法は自己定格皮相電力及び自己定格電圧を基準とし，同期機の磁気飽和と損失は無視するものとする。

(1) この発電機を遅れ力率で運転したとき，端子電圧（相電圧）を V [p.u.]，無負荷誘導起電力を E [p.u.]，電流を I [p.u.]，負荷角を δ [rad]，力率角を θ [rad]，として，端子電圧のフェーザ $\dot{V}$ を基準にしたフェーザ図は以下のようになった。このフェーザ図中の（a），（b），（c），（d），（e）に当てはまる記号を答えよ。（解答例　(a)　$\mathrm{j}X_s\dot{I}$，（b）θ，（c）$\dot{I}$，…）



(2) フェーザ図から無負荷誘導起電力 E [p.u.] を V，I，θ，及び X_s で表す式を導出し，定格運転時における無負荷誘導起電力を E_n [p.u.] として，その値を求めよ。

(3) フェーザ図と有効電力 $P = VI\cos\theta$ [p.u.] の式から，P を V，E，δ，及び X_s で表す式を導出せよ。

(4) この発電機を定格運転した場合に，次の問に答えよ。

a) 定格運転時の負荷角をδ_{n}として，$\sin\delta_{\mathrm{n}}$の値を求めよ。

b) 小問(3)で求めた式の最大値が定態安定極限電力P_{m}[p.u.]である。このP_{m}を表す式を示せ。また，定格運転時の定態安定極限電力をP_{mn}[MW]として，その値を求めよ。

(5) 定格運転中の発電機において，界磁電流を定格値の 80％に減少させた場合に，次の問に答えよ。

a) このときの発電機の定態安定極限電力P'_{m}[MW]は定格運転時と比べて増加または減少するかいずれか答えよ。また，P'_{m}の値を求めよ。

b) このときの発電機の負荷角をδ'として，$\sin\delta'$の値を求めよ。また，このときの発電機の定態安定度(同期安定性)は定格運転時と比べて向上又は低下するかいずれか答えよ。

問２　図１のように同一の２台の単相変圧器 Tr1 及び Tr2 を V 結線し，一次側を線間電圧 400 V の対称三相交流電源に接続する。一次巻線と二次巻線の巻数は 4 : 1 であり，一次及び二次の漏れリアクタンスはそれぞれ 0.64 Ω，0.21 Ωである。三相負荷を二次側に接続すると，一次側線電流には 30 A で力率 1 の平衡三相電流が流れた。

また，図２は，図１を二次側に換算した等価回路である。次の問に答えよ。

ただし，変圧器の励磁電流，鉄損及び巻線抵抗は無視し，変圧器鉄心は磁気飽和しないものとする。

(1) 図２における一次側線間電圧 V_{1ab} の二次側換算値 V'_{1ab} を求めよ。

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

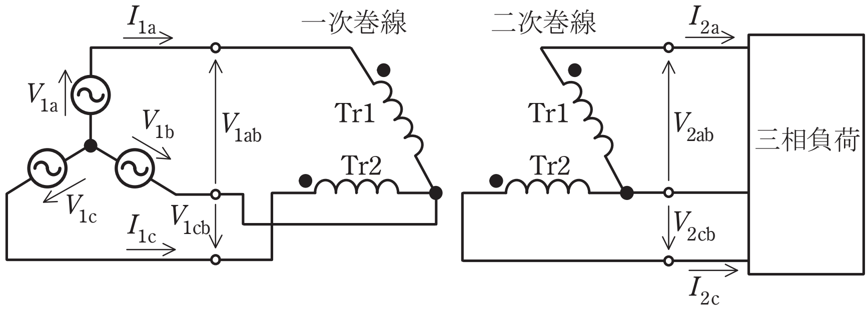
(3) 図２における一次漏れリアクタンスの二次側換算値と二次漏れリアクタンスの合成リアクタンス X' を求めよ。

次に，対称三相交流電源における a 相の相電圧の二次側換算値を基準として，図２の回路の電圧・電流のフェーザ図を図３に示す。

(4) 図３のフェーザ図中の①，②，③，④に適する電圧のフェーザをそれぞれ答えよ。

(5) 二次側の線間電圧 V_{2ab} 及び V_{2cb} を求めよ。

(6) ２台の単相変圧器 Tr1 及び Tr2 が負荷に供給する有効電力 P_1 及び P_2 をそれぞれ求めよ。



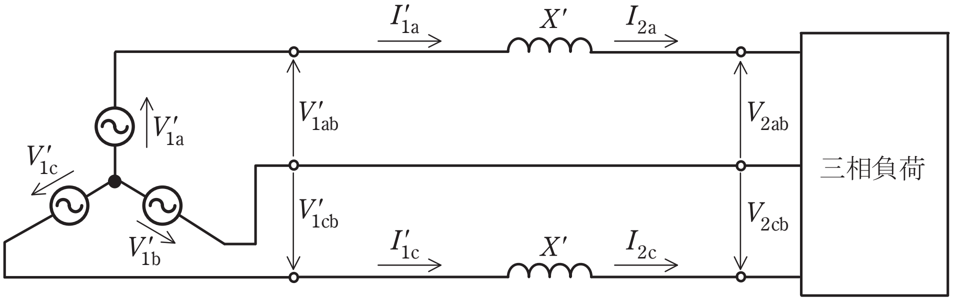
V_{1a}， V_{1b}， V_{1c} ：対称三相交流電源の相電圧

V_{1ab}， V_{1cb} ：一次側線間電圧　　V_{2ab}， V_{2cb} ：二次側線間電圧

I_{1a}， I_{1c} ：一次側線電流　　I_{2a}， I_{2c} ：二次側線電流

図１　V 結線図

● S2 − K 012



V'_{1a}, V'_{1b}, V'_{1c} ：対称三相交流電源相電圧の二次側換算値

V'_{1ab}, V'_{1cb} ：一次側線間電圧の二次側換算値

I'_{1a}, I'_{1c} ：一次側線電流の二次側換算値

X' ：一次漏れリアクタンスの二次側換算値と二次漏れリアクタンスの合成リアクタンス

図２　二次側に換算した等価回路

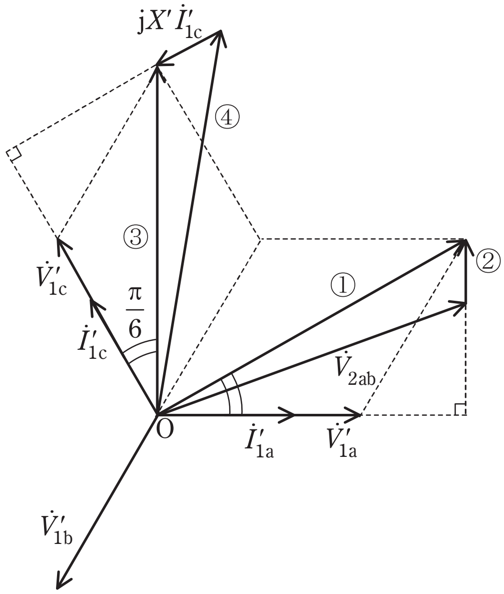


図３　フェーザ図

問３　以下の文章は，負荷の発生する高調波を除去する電力用能動フィルタに関するものである。次の問に答えよ。

図１は能動フィルタを用いた高調波電流除去の概念図である。電力系統から流出する電源電流をi_sとし，電力系統の高調波に対するインピーダンスは十分小さく無視できるものとする。負荷電流i_Lは基本波成分i_1と高調波成分i_Hの和$i_L = i_1 + i_H$であるとする。能動フィルタは，補償電流i_cを制御してi_sをi_1のみとなるようにする。

(1) 高調波を発生する半導体デバイスを用いた電力変換装置の名称を一つ挙げよ。

(2) 系統に高調波が存在する場合，系統に接続された他の機器にどのような影響が生じるか，20 文字以内で述べよ。

(3) i_sをi_1のみにするためのi_cの式を示せ。

(4) 図で示すi_Lの波形が最大値I_Lと最小値$-I_L$の２レベル矩形波であるとき，i_1の振幅は$\frac{4}{\pi}I_L$である。このとき，答案用紙に図２と同じ図が印刷されているので，i_H，i_cの波形を大小・正負が明らかになるように図示せよ。

(5) i_L，i_1，i_cの実効値を，それぞれI_Lを用いて表せ。なお，i_cの実効値を求めるときは，ひずみ波の実効値は直流分及び各調波の実効値の２乗の和の平方根であることを用いても良い。

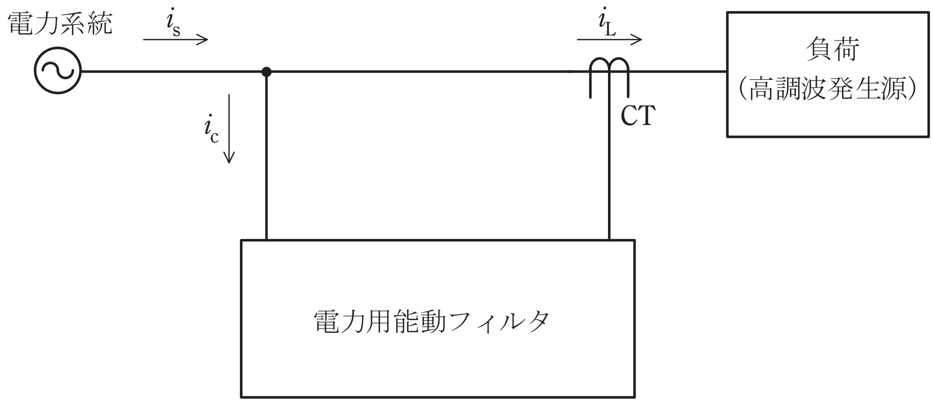


図1 能動フィルタを用いた高調波電流除去の概念図

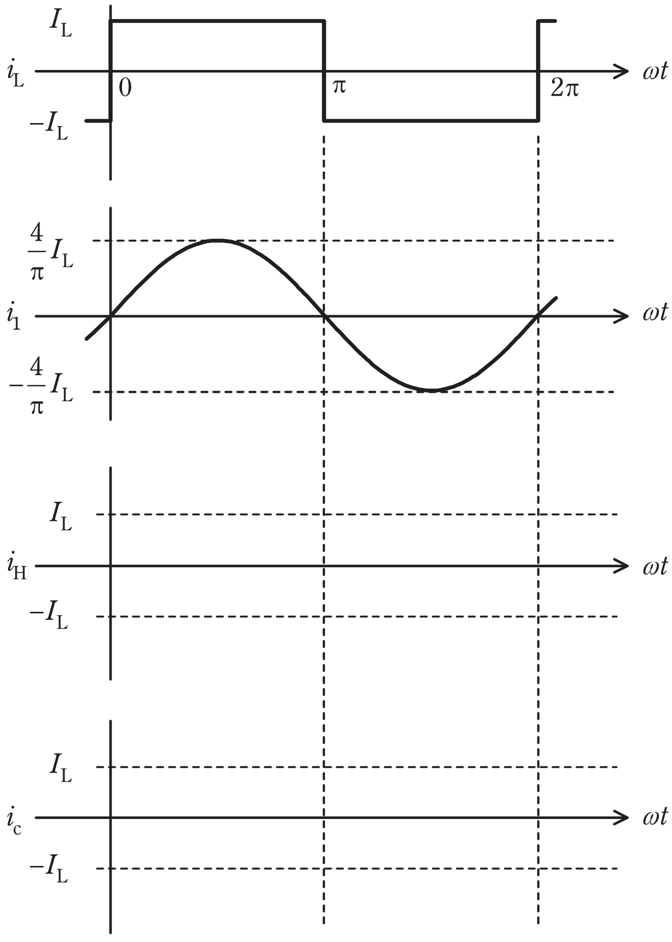


図2 i_L, i_1, i_H, i_cの波形

問4　本問題で扱う伝達関数の全ての極と零点は複素平面上の右半平面には存在しないものと仮定する。以下の問に答えよ。ここで必要に応じて，$14 = 20\log_{10} 10^{0.7}$，$10^{0.7} = 5.0119$ を用いよ。ただし，全ての図は折れ線近似で表している。

(1) 図1に示すゲイン特性曲線から積分要素の伝達関数 $G_1(s) = \dfrac{1}{T_\mathrm{I} s}$ を求めよ。

(2) 図2に示すゲイン特性曲線が表す伝達関数 $G(s)$ を $G(s) = G_1(s) G_2(s)$ のように分解して考える。$G_1(s)$ を小問(1)で求めた伝達関数とするときの $G_2(s)$ を求めよ。

(3) 図2に示すゲイン特性曲線から伝達関数 $G(s)$ を求めよ。ただし，$G(s) = \dfrac{1}{T_{\mathrm{I}1} s}$ とおいて，その周波数伝達関数 $G(\mathrm{j}\omega) = \dfrac{1}{\mathrm{j} T_{\mathrm{I}1} \omega}$ のゲインが $\omega = 0.1\,\mathrm{rad/s}$ のとき $40\,\mathrm{dB}$ であることを用いて $T_{\mathrm{I}1}$ を決定せよ。

(4) 折れ線近似で表した図3に示すゲイン特性曲線から伝達関数 $G(s)$ を求めよ。ただし，$G(s)$ を積分要素 $G_1(s) = \dfrac{1}{T_{\mathrm{I}2} s}$ と一次遅れ要素 $G_2(s) = \dfrac{1}{1 + Ts}$ に分解して考えよ。

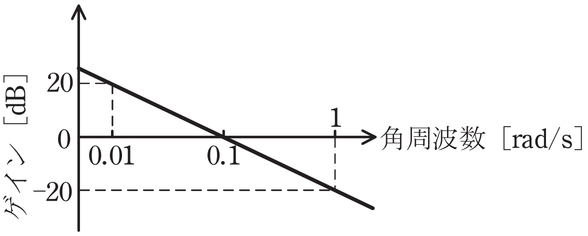

ゲイン［dB］
20
0
−20
0.01
0.1
1
角周波数［rad/s］

図 1

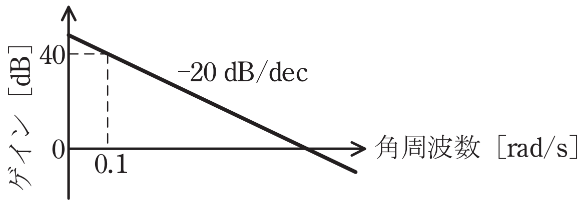

ゲイン［dB］
40
0
0.1
−20 dB/dec
角周波数［rad/s］

図 2

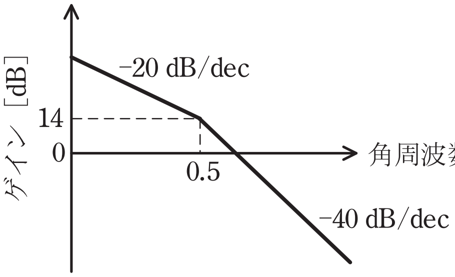

ゲイン［dB］
−20 dB/dec
14
0
0.5
角周波数［rad/s］
−40 dB/dec

図 3

＜機械・制御科目＞

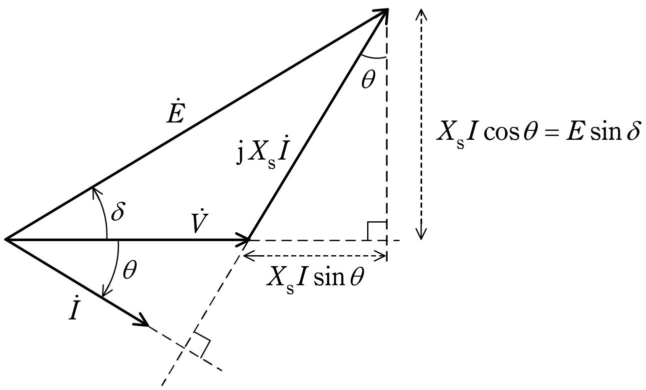
〔問１の標準解答〕

(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

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

(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,

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

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

(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，

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

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

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

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

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

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

(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，

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

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

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，

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

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，

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

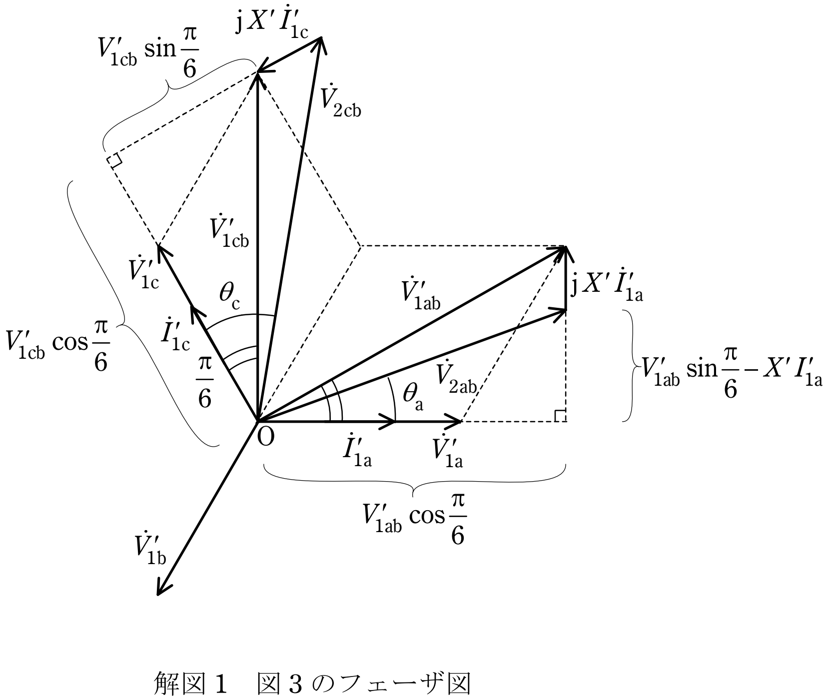
(2) 図２における一次側線電流 I_{1a} の二次側換算値 I'_{1a} を求めると，

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

(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，

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

(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。

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

$$=\sqrt{\left(100\times\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2+\left(100\times\frac{1}{2}-0.25\times120\right)^2}=\sqrt{\left(50\sqrt{3}\right)^2+\left(50-30\right)^2}$$

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

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

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

$$=\sqrt{\left(100\times\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2+\left(100\times\frac{1}{2}+0.25\times120\right)^2}=\sqrt{\left(50\sqrt{3}\right)^2+\left(50+30\right)^2}$$

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

【(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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(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 $V_{1\mathrm{ab}}$ と $I_{1\mathrm{a}}$ との位相差が $\dfrac{\pi}{6}$ であり， $V_{1\mathrm{cb}}$ と $I_{1\mathrm{c}}$ 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，

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

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

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 $\dot{S}_1$

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

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

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

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

変圧器出力としての $\dot{S}_1$

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

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

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

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

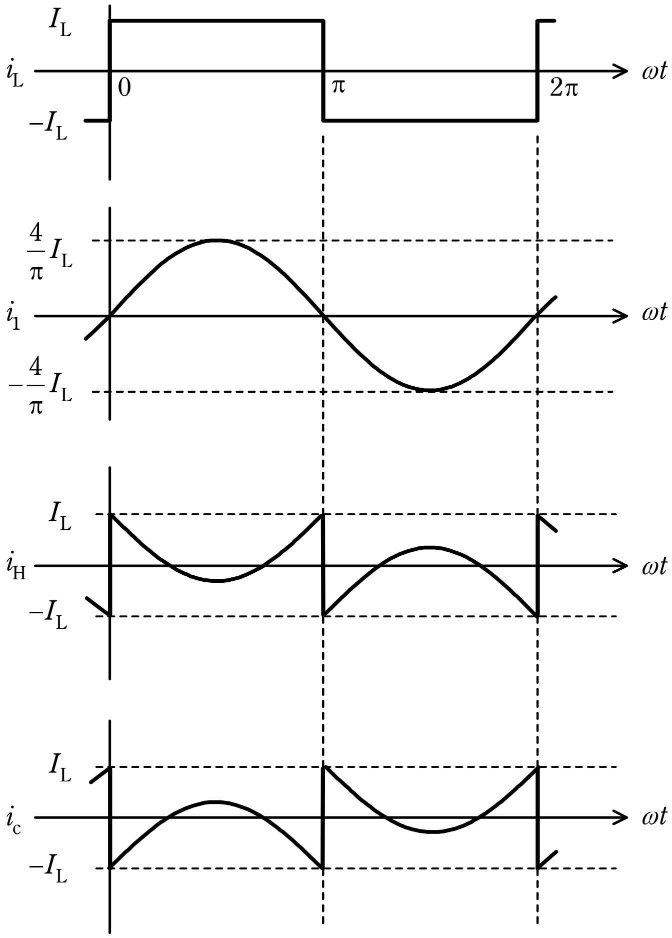
〔問３の標準解答〕

(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) $i_c = i_1 - i_L = -i_H$　　【(3) 別解】$i_c + i_H = 0$， $i_c - i_1 + i_L = 0$ 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 $\dfrac{4}{\pi\sqrt{2}}I_L = 0.900I_L$，　i_c の実効値は

$I_L\sqrt{1-\dfrac{8}{\pi^2}} = 0.435I_L$

【(5) 別解】

	実効値
i_1	$\dfrac{2\sqrt{2}}{\pi}I_L$，　$\dfrac{\sqrt{8}}{\pi}I_L$，　$\dfrac{2.83}{\pi}I_L$
i_c	$I_L\sqrt{\dfrac{\pi^2-8}{\pi^2}}$，　$\dfrac{I_L}{\pi}\sqrt{\pi^2-8}$，　$0.44I_L$

〔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，

$$G_1(s) = \frac{1}{T_I s},\ T_I > 0 \cdots\cdots ①$$

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 $\dfrac{1}{T_I}$ $[\mathrm{rad/s}]$ で表すことができる。したがって，図 1 より，

$$\frac{1}{T_I} = 0.1 \cdots\cdots ②$$

が成り立つ。上式を解いて，

$$T_I = 10 \cdots\cdots ③$$

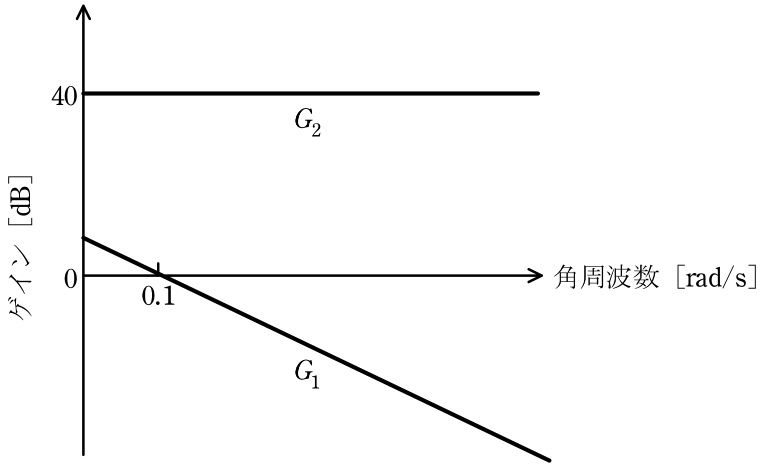
を得る。

③式を①式に代入して，

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

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，

$$\left|G(\mathrm{j}\omega)\right|=\left|\frac{1}{\mathrm{j}T_{\mathrm{I1}}\omega}\right|=\frac{1}{T_{\mathrm{I1}}\omega}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\quad ⑦$$

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。

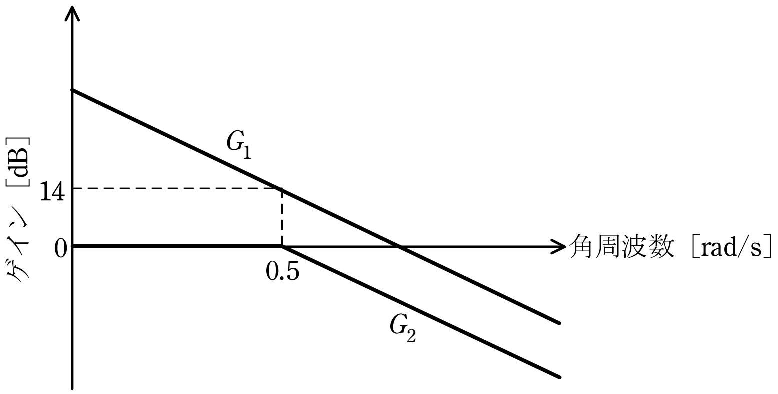
$$20\log_{10}\frac{1}{0.1T_{\mathrm{I1}}} = 40 = 20\log_{10}10^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots ⑧$$

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，

$$\frac{1}{0.5T_{\mathrm{I}2}}=10^{0.7}=5.0119 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad ⑪$$

より， $T_{\mathrm{I}2}=0.39905$ 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，

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

・・・（答）

である。