●平成16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) 負荷脱落後のG_1の回転速度n_{11}〔min^{-1}〕を表す式を求める。

周波数fと回転速度nは比例し，負荷脱落前の周波数は50〔Hz〕なので，次のように表される。

$$\frac{n_{11}}{n_{10}}=\frac{f}{50} \quad \rightarrow \quad n_{11}=n_{10}\times\frac{f}{50} \quad \cdots\cdots ①$$

(2) 負荷脱落後のG_1の出力P_{11}〔kW〕を求める。

上記(1)と同様に，G_2についても，負荷脱落前・後の回転速度を各々n_{20}，n_{21}〔min^{-1}〕とすると，これらには次の関係が成り立つ。

$$n_{21}=n_{20}\times\frac{f}{50} \quad \cdots\cdots ②$$

また，G_1，G_2につき，負荷脱落前・後のG_1の出力を各々P_{10}，P_{11}〔kW〕とし，G_2の出力を各々P_{20}，P_{21}〔kW〕とすると，速度調定率の定義より次式が成り立つ。

$$0.04=-\frac{\dfrac{n_{10}-n_{11}}{n_{10}}}{\dfrac{P_{10}-P_{11}}{P_{10}}} \quad \cdots\cdots ③ \qquad 0.05=-\frac{\dfrac{n_{20}-n_{21}}{n_{20}}}{\dfrac{P_{20}-P_{21}}{P_{20}}} \quad \cdots\cdots ④$$

③，④式に①，②式を代入して整理すると，次式が成り立つ。

$$0.04 = -\frac{\dfrac{50-f}{50}}{\dfrac{P_{10}-P_{11}}{P_{10}}} \cdots\cdots\cdots \quad ③' \qquad 0.05 = -\frac{\dfrac{50-f}{50}}{\dfrac{P_{20}-P_{21}}{P_{20}}} \cdots\cdots\cdots \quad ④'$$

$$\therefore\ 0.04\frac{P_{10}-P_{11}}{P_{10}} = 0.05\frac{P_{20}-P_{21}}{P_{20}} \cdots\cdots\cdots \quad ⑤$$

ここで，題意より P_{10} = 40 000〔kW〕，P_{20} = 20 000〔kW〕であるから⑤式に代入すると，

$$0.04(40000 - P_{11}) = 0.1(20000 - P_{21}) \cdots\cdots\cdots \quad ⑤'$$

また，負荷脱落後の G_1 と G_2 の出力の合計が 46 000〔kW〕であるから，

$$P_{11} + P_{21} = 46000 \cdots\cdots\cdots \quad ⑥$$

⑤′，⑥式を解くと負荷脱落後の G_1 の出力 P_{11} は次のようになる。

$$P_{11} = \frac{4200}{0.14} = 30000\,〔\mathrm{kW}〕 \cdots\cdots\cdots \quad ⑦$$

(3) 負荷脱落後の系統周波数 f〔Hz〕を求める。

⑦式の P_{11} の値を③ 式に代入して負荷脱落後の周波数 f を解くと，

$$f = 50 + 50 \times 0.04 \times \frac{40000 - 30000}{40000} = 50.5\,〔\mathrm{Hz}〕$$

となる。

〔問２の標準解答〕

A (電力用コンデンサの原理)

電力用コンデンサは系統に並列に接続され，進み電流を消費する。そのため，系統に流れている遅れ無効電力が打ち消され，系統に流れる遅相電流が補償される。その結果，線路における電力損失を軽減するとともに電圧降下を改善する。

B（分路リアクトルの原理）

分路リアクトルは系統に並列に接続され，遅れ電流を消費することにより進相電流を補償し，系統の電圧上昇を抑制する。

C（同期調相機の長所・短所）

長　所：・進相･遅相ともに無効電力の調整が可能である。
・試送電能力がある。
・電圧の安定維持能力が高い。
・電圧調整制御は連続的である。
・系統の安定度に寄与する。

短　所：・設備コストが比較的高価である。
・保守が煩雑である。

D（静止形無効電力補償装置の原理）

・リアクトルとコンデンサを組み合わせて用いる。
・半導体スイッチにより，リアクトルに流れる電流を連続的に変化させるとともに，コンデンサの容量を段階的に切り換えて，無効電力を遅相から進相まで連続的に調整する。

〔問３の標準解答〕

線路電流，１相当たりのインピーダンス，送電端及び受電端の線間電圧を各々 $\dot{I}, \dot{Z}, \dot{V}_s, \dot{V}_r$ とし，各々の絶対値を I,　Z,　V_s,　V_r とする。

（1）線路電流〔A〕の大きさを求める。

$$\dot{Z}\,\dot{I} = \frac{\dot{V}_s}{\sqrt{3}} - \frac{\dot{V}_r}{\sqrt{3}}$$ より

$\dot{V}_r$ を基準ベクトルとし

$$\dot{I} = \frac{\dot{V}_s - \dot{V}_r}{\sqrt{3}\dot{Z}}$$

$$= \frac{V_s\cos\theta + jV_s\sin\theta - V_r}{\sqrt{3}(jZ)}$$

$$= \frac{V_s\cos\theta - V_r + jV_s\sin\theta}{j\sqrt{3}\,Z}$$

$$= \frac{V_s\sin\theta + j(V_r - V_s\cos\theta)}{\sqrt{3}\,Z} \cdots\cdots ①$$

ここで，V_s ＝ 220〔kV〕，V_r ＝ 200〔kV〕，Z ＝ 40〔Ω〕，θ ＝ 30〔°〕を代入すると。

$$\dot{I} = \frac{220\times10^3\times\frac{1}{2} + j\left(200\times10^3 - 220\times10^3\times\frac{\sqrt{3}}{2}\right)}{\sqrt{3}\times40}$$

$$= \frac{110\times10^3 + j9\,474.4}{40\sqrt{3}}$$

$$= 1\,587.713 + j136.751〔A〕 \cdots\cdots ②$$

$$\therefore\ I = \sqrt{1\,587.713^2 + 136.751^2}$$

$$= \sqrt{2.520832\times10^6 + 0.0187008\times10^6}$$

$$= 1\,593.591 \rightarrow 1\,590〔A〕 \cdots\cdots ③$$

(2) 受電端の有効電力を P_r，無効電力を Q_r とすると，

（無効電力の遅れを正とするから）

$$P_r + jQ_r = \sqrt{3} \cdot \dot{V}_r \cdot \bar{\dot{I}}$$

①式から $\bar{\dot{I}} = \dfrac{V_s \sin\theta - j(V_r - V_s \cos\theta)}{\sqrt{3}\, Z}$ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ④

$$P_r + jQ_r = \sqrt{3} \cdot V_r \cdot \frac{V_s \sin\theta - j(V_r - V_s \cos\theta)}{\sqrt{3}\, Z}$$

$$= \frac{V_r \cdot V_s \sin\theta}{Z} - j\frac{(V_r - V_s \cos\theta)V_r}{Z} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \text{⑤}$$

⑤式より，

$$P_r = \frac{V_r \cdot V_s \sin\theta}{Z} \qquad Q_r = -\frac{(V_r - V_s \cos\theta)V_r}{Z}$$

それぞれに数値を代入すると，

$$P_r = \frac{200\times10^3 \times 220\times10^3 \times \frac{1}{2}}{40}$$

$$= 550\times10^6 \text{〔W〕} \rightarrow 550 \text{〔MW〕}$$

$$Q_r = -\frac{(200\times10^3)^2 - 200\times10^3 \times 220\times10^3 \times \frac{\sqrt{3}}{2}}{40}$$

$$= -47\,372\times10^6 \text{〔var〕} \rightarrow -47.4 \text{〔M var〕}$$

(2)の別解

$$P_r + jQ_r = \sqrt{3} \cdot \dot{V}_r \cdot \bar{\dot{I}}$$

$$= \sqrt{3} \times 200\times10^3 \times (1\,587.713 - j136.751)$$

$$= 550\times10^6 - j47.372\times10^6$$

これより，

$$P_r = 550\times10^6 \text{〔W〕} \rightarrow 550 \text{〔MW〕}$$

$$Q_r = -47\,372\times10^6 \text{〔var〕} \rightarrow -47.4 \text{〔M var〕}$$

V_s が V_r より 30 ° 遅れると仮定して計算した場合は，

有効電力が負となるが，この場合でも正解とする。

(3) 受電端の力率 pf は,

$$pf = \frac{P_r}{\sqrt{P_r^{\ 2} + Q_r^{\ 2}}} \times 100$$

$$= \frac{550}{\sqrt{550^2 + 47.372^2}} \times 100$$

$$= \frac{550}{552.04} \times 100 = 99.63$$

無効電力が負であるの で進みとなる。

$\therefore$ 99.6〔%〕(進み)

(3)の別解

$$pf = \frac{\text{電流 } I \text{ の有効分}}{\text{電流 } I} \times 100$$

$$= \frac{1587.713}{1593.591} \times 100$$

$$= 99.63$$

電流の無効分が正であ るので進みとなる。

$\therefore$ 99.6〔%〕(進み)

〔問４の標準解答〕

1〔m〕当たりの電線荷重を w〔N/m〕，支持物 B が建て替わる前のたるみを D〔m〕とすると，支持点 A ～ C の実長 L〔m〕及び支持点 A における電線の水平張力 T〔N〕は，

$$L=2\left(S+\frac{8D^2}{3S}\right) \quad \cdots\cdots ①$$

$$T=\frac{wS^2}{8D} \quad \cdots\cdots ②$$

支持物 B が建て替わった後の支持点 AB 間のたるみを D_A〔m〕とすると，支持点 A ～ B の実長 L_A〔m〕及び支持点 A における電線の水平張力 T_A〔N〕は，

$$L_A=\left(\frac{4}{5}S\right)+\frac{8{D_A}^2}{3\left(\frac{4}{5}S\right)} \quad \cdots\cdots ③$$

$$T_A=\frac{w\left(\frac{4}{5}S\right)^2}{8D_A} \quad \cdots\cdots ④$$

同様に，支持点 BC 間のたるみを D_C〔m〕とすると，支持点 B ～ C の実長 L_C〔m〕及び支持点 C における電線の水平張力 T_C〔N〕は，

$$L_C=\left(\frac{6}{5}S\right)+\frac{8{D_C}^2}{3\left(\frac{6}{5}S\right)} \quad \cdots\cdots ⑤$$

$$T_C=\frac{w\left(\frac{6}{5}S\right)^2}{8D_C} \quad \cdots\cdots ⑥$$

支持点 A と C における電線の水平張力の大きさは等しいことから，

$$T_A = T_C$$

$$\therefore \frac{w\left(\frac{4}{5}S\right)^2}{8D_A}=\frac{w\left(\frac{6}{5}S\right)^2}{8D_C} \to D_C=2.25D_A \quad \cdots\cdots ⑦$$

また，支持点 A ～ C の電線の実長は，支持物 B が建て替わる前後で変わらないことから，

$$L = L_A + L_C$$

$$\therefore\ 2\left(S+\frac{8D^2}{3S}\right)=\left(\frac{4}{5}S\right)+\frac{8{D_A}^2}{3\left(\frac{4}{5}S\right)}+\left(\frac{6}{5}S\right)+\frac{8{D_C}^2}{3\left(\frac{6}{5}S\right)}$$

$$\therefore\ D_A=\frac{8}{5\sqrt{7}}D=0.6047D \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{⑧}$$

⑧式を④式に代入すると，

$$T_A=\frac{w\left(\frac{4}{5}S\right)^2}{8D_A}=\frac{w\left(\frac{4}{5}S\right)^2}{8\times\frac{8}{5\sqrt{7}}D}=\frac{2\sqrt{7}}{5}\left(\frac{wS^2}{8D}\right)=\frac{2\sqrt{7}}{5}T=1.058T$$

答え	支持点 AB 間のたるみ	0.605 倍	0.6 倍
	支持点 A における電線の水平張力	1.058 倍	1.06 倍

〔問５の標準解答〕

(1) ａ．保護上の盲点箇所及びその理由

・保護上の盲点箇所：箇所③から箇所④の範囲

・理　由：送電線主保護リレーの保護範囲は CT_2 から送電線側であり，母線保護リレーの保護範囲は CT_1 から変電所母線側である。したがって，箇所③から箇所④間で事故が発生した場合，母線保護リレーの動作により，箇所②と箇所③の間の遮断器は開放されるが，送電線保護リレーは動作せず，事故点には送電線側より故障電流が供給され続けることとなり，事故は継続する。

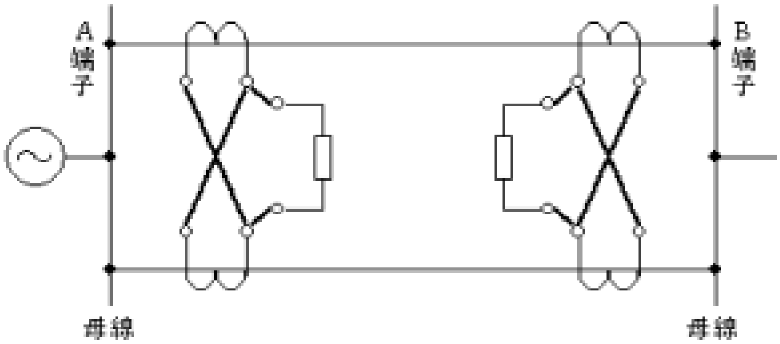
ｂ.保護上の盲点箇所をなくすための CT_1 及び CT_2 の設置箇所及びその理由

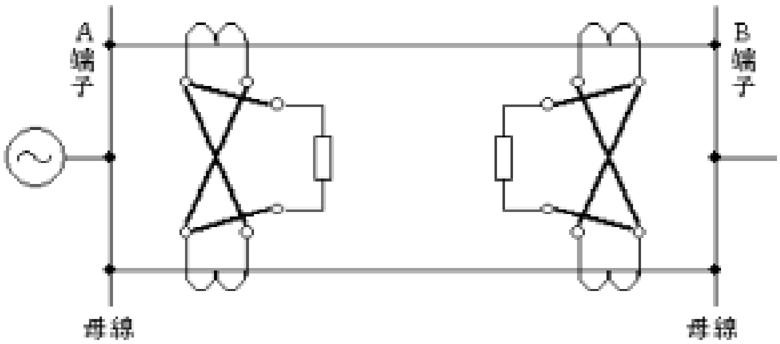
・設置箇所：CT_2 は②に，CT_1 は③の箇所に設置

・理　由：CT_2 を遮断器の変電所母線側に移行し，送電線主保護リレーで検出し遮断器を開放することにより，事故の除去を可能とする。なお，母線保護リレーと送電線主保護リレーの保護範囲の重複部を極力狭くする必要があるため，CT_2 は遮断器の変電所母線側の直近に，CT_1 は遮断器の送電線側の直近に設ける必要がある。(重複部が広いと，この重複部で事故が発生した場合，変電所母線用保護リレーと送電線保護リレーの両方が動作し，事故の拡大となる。)

(2) 回線選択リレー方式の単線結線図

下記の二つの図のいずれか。





〔問６の標準解答〕

（1）需要率を α，不等率を β，力率を $\cos\phi$ として，各需要設備の最大電力 P_M，最大無効電力 Q_M をそれぞれ求める。

$$P_{aM} = \alpha_a VI\cos\phi_a = 0.75\times 4\,000\times 0.95 = 2\,850 \text{〔kW〕}$$
$$P_{bM} = \alpha_b VI\cos\phi_b = 0.70\times 3\,500\times 0.70 = 1\,715 \text{〔kW〕}$$
$$P_{cM} = \alpha_c VI\cos\phi_c = 0.70\times 7\,500\times 0.85 = 4\,462.5 \text{〔kW〕}$$

$$Q_{aM} = \alpha_a VI\sin\phi_a = 0.75\times 4\,000\times\sqrt{1-0.95^2} = 0.75\times 4\,000\times 0.31224 = 936.7 \text{〔kvar〕}$$
$$Q_{bM} = \alpha_b VI\sin\phi_b = 0.70\times 3\,500\times\sqrt{1-0.70^2} = 0.70\times 3\,500\times 0.71414 = 1\,749.6 \text{〔kvar〕}$$
$$Q_{cM} = \alpha_c VI\sin\phi_c = 0.70\times 7\,500\times\sqrt{1-0.85^2} = 0.70\times 7\,500\times 0.52678 = 2\,765.6 \text{〔kvar〕}$$

次に，配電線 A，B の最大電力，最大無効電力を求める。

$$P_{AM} = \frac{P_{aM}+P_{bM}}{\beta_A} = \frac{2\,850+1\,715}{1.25} = 3\,652 \text{〔kW〕}$$
$$P_{BM} = P_{cM} = 4\,462.5 \text{〔kW〕}$$
$$Q_{AM} = \frac{Q_{aM}+Q_{bM}}{\beta_A} = \frac{936.7+1\,749.6}{1.25} = 2\,149.0 \text{〔kvar〕}$$
$$Q_{BM} = Q_{cM} = 2\,765.6 \text{〔kvar〕}$$

変圧器に対する最大電力（変電所の総合最大電力）を求める。

$$P_M = \frac{P_{AM}+P_{BM}}{\beta} = \frac{3\,652+4\,462.5}{1.1} = 7\,376.8 \rightarrow 7\,380 \text{〔kW〕} \quad \cdots\cdots \quad \text{（答）}$$

次に変圧器に対する最大無効電力を求める。

$$Q_M = \frac{Q_{AM}+Q_{BM}}{\beta} = \frac{2\,149+2\,765.6}{1.1} = 4\,467.7 \text{〔kvar〕}$$

したがって，変電所の力率は，

$$\text{力率} = \frac{P_M}{\sqrt{{P_M}^2+{Q_M}^2}} = \frac{7\,376.8}{\sqrt{7\,376.8^2+4\,467.7^2}} = 0.85535 \rightarrow 0.855 \quad \cdots\cdots \quad \text{（答）}$$

(2) 変圧器の平均電力 P_{AV} は各負荷の平均電力の和となるから，変電所の総合負荷率 γ は，次式のようになる。

$$\gamma = \frac{P_{AV}}{P_M} = \frac{P_{aAV} + P_{bAV} + P_{cAV}}{P_M}$$

ここで，

$$P_{aAV} = \gamma_a P_{aM} = 0.7 \times 2\,850 = 1\,995 \text{〔kW〕}$$
$$P_{bAV} = \gamma_b P_{bM} = 0.8 \times 1\,715 = 1\,372 \text{〔kW〕}$$
$$P_{cAV} = \gamma_c P_{cM} = 0.6 \times 4\,462.5 = 2\,677.5 \text{〔kW〕}$$

であるから，

$$\gamma = \frac{1\,995 + 1\,372 + 2\,677.5}{7\,376.8} = \frac{6\,044.5}{7\,376.8} = 0.81939 \rightarrow 0.819$$

(3) 必要な有効電力を供給した場合，変圧器容量を U とすると，過負荷を生じない最大の無効電力 Q は

$$Q = \sqrt{U^2 - P_M{}^2} = \sqrt{7\,500^2 - P_M{}^2} = \sqrt{7\,500^2 - 7\,376.8^2} = 1\,353.8 \text{〔kvar〕}$$

したがって，必要なコンデンサ容量 Q_c は

$$Q_c = Q_M - Q = 4\,467.7 - 1\,353.8 = 3113.9 \rightarrow 3114 \text{〔kvar〕以上}$$

＜機械・制御科目＞

〔問１の標準解答〕

（1）出力 15〔kW〕時の滑り及びトルク

滑り：$n_0=\dfrac{120f}{2p}=\dfrac{120\times 50}{4}=1500$〔$\mathrm{min}^{-1}$〕より

$$s_1=\frac{n_0-n}{n_0}=\frac{1500-1440}{1500}=0.04\ \rightarrow\ 4.00〔\%〕$$

トルク：$T_1=\dfrac{P_{o1}}{\omega}=\dfrac{P_{o1}}{(2\pi/60)n}=\dfrac{15000}{(2\pi/60)\times 1440}=99.471\ \rightarrow\ 99.5$〔N・m〕

（2）出力 15〔kW〕時の二次銅損及び固定損

二次銅損：$P_{c21}=\dfrac{s_1}{1-s_1}P_{o1}=\dfrac{0.04}{1-0.04}\times 15000=625$〔W〕

固定損 P_{F}：　全損失　$P_{\mathrm{TL}}=\dfrac{15000}{0.885}-15000=1949.1$〔W〕

題意により一次銅損は二次銅損に等しいから

固定損　$P_{\mathrm{F}}=P_{\mathrm{TL}}-2P_{c2}=1949.1-2\times 625=699.1\ \rightarrow\ 699$〔W〕

（3）出力 7.5〔kW〕時の滑り及びトルク

滑り s_2：

$$\frac{T_2}{T_1}=\frac{P_2/\omega_2}{P_1/\omega_1}=\frac{P_2}{P_1}\cdot\frac{\omega_0(1-s_1)}{\omega_0(1-s_2)}=\frac{P_2}{P_1}\cdot\frac{1-s_1}{1-s_2}$$

題意によりトルクと滑りは比例関係にあるから

$$\frac{T_2}{T_1}=\frac{7500}{15000}\cdot\frac{1-s_1}{1-s_2}=\frac{1}{2}\cdot\frac{1-s_1}{1-s_2}=\frac{s_2}{s_1}$$

$$s_2(1-s_2)=\frac{1}{2}s_1(1-s_1)=\frac{1}{2}\times 0.04\times(1-0.04)=0.0192$$

$$s_2{}^2-s_2+0.0192=0$$

$$s_2=\frac{1\pm\sqrt{1^2-4\times 1\times 0.0192}}{2\times 1}=0.019583\ \text{or}\ \ 0.98041$$

出力 15〔kW〕時の滑りより小さな値として 0.019583 をとって

s_2 = 1.96〔%〕

トルク：$T_2=\dfrac{s_2}{s_1}T_1=\dfrac{0.019583}{0.04}\times 99.471=48.698\ \rightarrow\ 48.7$〔N・m〕

〔問２の標準解答〕

（1）二次巻線の抵抗と漏れリアクタンスの星形一相一次換算値

変圧比

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{6\,600}{210} = 31.428$$

二次側インピーダンスの一次側への換算値

二次抵抗　$r_2{}' = a^2 r_2 = 31.428^2 \times 0.00025 = 0.24692 \rightarrow 0.247$〔Ω〕

二次リアクタンス　$x_2{}' = a^2 x_2 = 31.428^2 \times 0.0012 = 1.1852 \rightarrow 1.185$〔Ω〕

（2）一次電压

一次換算負荷電流

$$I_2{}' = \frac{P_L}{\sqrt{3}V_2{}'} = \frac{1\,000}{\sqrt{3} \times 6.6} = 87.477 \text{〔A〕}$$

$$\dot{I}_2{}' = 87.477 \times (0.8 - j0.6) = 69.981 - j52.486 \text{〔A〕}$$

L 形等価回路における二次電流枝路のインピーダンス

抵抗　$R_2 = r_1 + r_2{}' = 0.29 + 0.24692 = 0.53692$〔Ω〕

リアクタンス　$X_2 = x_1 + x_2{}' = 1.15 + 1.1852 = 2.3352$〔Ω〕

インピーダンス　$\dot{Z}_2 = R_2 + jX_2 = 0.53692 + j2.3352$〔Ω〕

インピーダンス降下　$\dot{I}_2{}'\dot{Z}_2 = (69.981 - j52.486) \times (0.53692 + j2.3352)$

$= 160.13 + j135.23$〔V〕

一次星形電圧ベクトル　$\dot{V}_1 = \dot{V}_2{}' + \dot{I}_2{}'\dot{Z}_2 = \dfrac{6\,600}{\sqrt{3}} + 160.13 + j135.23$

$= 3\,970.6 + j135.23$〔V〕

一次線間電圧の大きさ　$V_{1\Delta} = \sqrt{3} \times \sqrt{3\,970.6^2 + 135.23^2}$

$= 6\,881.2 \rightarrow 6\,881$〔V〕

（3）電圧変動率

$$\varepsilon = \frac{V_{20} - V_{2n}}{V_{2n}} = \frac{V_{1\Delta} - V_{1\Delta n}}{V_{1\Delta n}} = \frac{6\,881.2 - 6\,600}{6\,600} \times 100 = 4.2606 \ \rightarrow \ 4.26\text{〔\%〕}$$

（4）効率

鉄損　$P_i = 3 \times \left(V_{1\Delta} / \sqrt{3} \right)^2 g_0 = 6\,881.2^2 \times 0.043 \times 10^{-3} = 2\,036.0$〔W〕

銅損　$P_c = 3 I_2'^2 R_2 = 3 \times 87.477^2 \times 0.53692 = 12\,325$〔W〕

効率　$$\eta = \frac{1000 \times 0.8}{1000 \times 0.8 + 2.0360 + 12.325} \times 100 = 98.236 \ \rightarrow \ 98.24\text{〔\%〕}$$

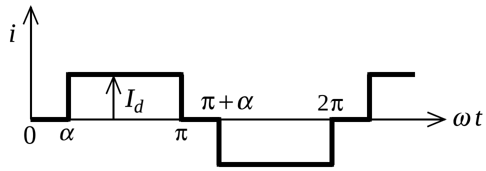
〔問３の標準解答〕

(1) 表中の空欄(ｱ)から(ｵ)

(ｱ) 単相ブリッジ整流回路の直流出力電圧

$$E_d = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi+\alpha} E_m \sin\omega t \mathrm{d}(\omega t) = \frac{E_m}{\pi}\left[-\cos\omega t\right]_{\alpha}^{\pi+\alpha} = \frac{2}{\pi}E_m\cos\alpha$$

(ｲ) 単相混合ブリッジ整流回路の交流側電流



交流側電流波形

上図を参照して

$$I = \left[\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} i^2 \mathrm{d}(\omega t)\right]^{1/2} = \left[\frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi} {I_d}^2 \mathrm{d}(\omega t)\right]^{1/2} = \left(\frac{1}{\pi}\left[{I_d}^2(\omega t)\right]_{\alpha}^{\pi}\right)^{1/2}$$

$$= I_d\sqrt{1-\frac{\alpha}{\pi}} = \left(1-\frac{\alpha}{\pi}\right)^{1/2} I_d$$

(ｳ) 単相ブリッジ整流回路の有効電力

整流回路の損失を無視すると，交流側電力 P_{ac} と直流側電力 P_{dc} は等しい。

したがって，有効電力 P_1 は次のように求められる。

$$P_1 = E_d I_d = \frac{2}{\pi}E_m I_d \cos\alpha$$

(ｴ) 単相混合ブリッジ整流回路の有効電力

有効電力 P_2 は，(ｳ)と同様にして求められる。したがって，

$$P_2 = E_d I_d = \frac{1}{\pi}E_m I_d (1+\cos\alpha)$$

(ｵ) 単相ブリッジ整流回路の総合力率

皮相電力 S は，電圧実効値と電流実効値との積であるから $S=\dfrac{E_m}{\sqrt{2}}I_d$ である。

したがって，総合力率は次のように求められる。

$$pf=\frac{P_1}{S}=\frac{2\sqrt{2}}{\pi}\cos\alpha$$

(2) 表中の空欄(ｶ)及び(ｷ)

(ｶ) 下記の内容が一つあれば正解

・制御角を 180 度まで広げることができる。

・直流電圧波形が純抵抗負荷時と同じになる。

・直流出力電圧の脈動率及び入力力率が共に改善される。

(ｷ) ・転流失敗の防止になる。

〔問 4 の標準解答〕

(1) 特性方程式

開ループ伝達関数を $G(s)$ とすれば，ブロック線図より次のようになる。

$$G(s)=\left(K\left(1+\frac{1}{s}\right)\right)\left(\frac{1}{(10s+1)(4s+1)}\right)=\frac{Ks+K}{40s^3+14s^2+s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \text{①}$$

特性方程式は，一般に $G(s)+1=0$ で与えられる。したがって，①式より

$$\frac{Ks+K}{40s^3+14s^2+s}+1=0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \text{②}$$

となり，これを整理すれば，特性方程式は次式のようになる。

$$40s^3+14s^2+(1+K)s+K=0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \text{③}$$

(2) 系が安定であるための K の範囲

ラウスの安定判別法によれば，K の範囲は以下のようにして求められる。

ラウス数列は，③式より次のようになる。

s^3	40	$1+K$
s^2	14	K
s^1	$\dfrac{14-26K}{14}$	0
s^0	K	

この系が安定であるための条件はラウス数列の第一列の要素がすべて正であることである。

第 3 行第一列より　$14-26K>0$，したがって　$K<7/13$　$\cdots\cdots$ ④

第 4 行第一列より　$K>0$　$\cdots\cdots\cdots\cdots$ ⑤

以上の結果，④及び⑤の両式を満足する K の範囲は，$0<K<7/13$ である。

(3) 外乱から偏差までの閉ループ伝達関数

閉ループ伝達関数 $\dfrac{E(s)}{D(s)}$ は, ブロック線図を参照して次のように求められる。$R(s) = 0$ とおき,

$$\frac{E(s)}{D(s)} = -\frac{\dfrac{1}{(10s+1)(4s+1)}}{G(s)+1} = -\frac{\dfrac{1}{(10s+1)(4s+1)}}{K\left(1+\dfrac{1}{s}\right)\left(\dfrac{1}{(10s+1)(4s+1)}\right)+1}$$

$$= -\frac{s}{40s^3+14s^2+(1+K)s+K} \quad \cdots\cdots ⑥$$

(4) 単位ステップ外乱に対する定常偏差

ラプラス変換の最終値定理を用いれば, 定常偏差 e_s は, 一般に次式で与えられる。

$$e_s = \lim_{s\to 0} sE(s) \quad \cdots\cdots ⑦$$

⑥式に単位ステップ外乱 $D(s) = 1/s$ を代入し, ⑦式を計算すると

$$e_s = \lim_{s\to 0} s\frac{-s}{40s^3+14s^2+(1+K)s+K}\left(\frac{1}{s}\right) = 0 \quad \cdots\cdots ⑧$$

となる。したがって, この場合の定常偏差は零である。