令和７年度第一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)　高圧タービンで膨張した蒸気は水滴を含む湿り蒸気になり，蒸気タービンの羽根を腐食・浸食させることがあるため，蒸気をボイラに戻して加熱し，湿り度を低下させる。また，蒸気を加熱することで，低圧タービンの熱効率を向上させる。

(2)　ボイラから与えられる単位質量当たりの熱量は，給水ポンプからボイラに送り込まれた給水を過熱蒸気にして高圧タービンに送るために加えられた単位質量当たりの熱量$\left(h_3-h_2\right)$と，高圧タービンで仕事をした蒸気を再熱して低圧タービンに送るために加えられた単位質量当たりの熱量$\left(h_5-h_4\right)$の和であるため，

$$\left(h_3-h_2\right)+\left(h_5-h_4\right) \cdots\cdots\cdots\cdots \quad ①$$

(3)　この熱サイクル全体から出される単位質量当たりの熱量の総量は，高圧タービン及び低圧タービンで出される単位質量当たりの熱量の和から給水ポンプで使われる単位質量当たりの熱量を引いたものであるため，

$$\left(h_3-h_4\right)+\left(h_5-h_6\right)-\left(h_2-h_1\right) \cdots\cdots\cdots\cdots \quad ②$$

熱サイクル全体としての熱効率ηは，②を①で除したものであるため，

$$\eta=\frac{②}{①}$$

$$=\frac{\left(h_3-h_4\right)+\left(h_5-h_6\right)-\left(h_2-h_1\right)}{\left(h_3-h_2\right)+\left(h_5-h_4\right)}$$

$$=\frac{(3\,300-2\,700)+(2\,900-2\,000)-(150-140)}{(3\,300-150)+(2\,900-2\,700)}$$

$$=0.444\,78 \rightarrow 0.445$$・・・(答)

〔問２の標準解答〕

(1) 母線がいしは，がいし増結等によって設計汚損量まで絶縁強化で対策し，機器用がいし(がい管含む)は，漏れ距離の長い長尺もしくは深ひだがい管など耐塩性能の高いものを適用する絶縁強化で対策する。

(2)

・活線洗浄による対策：機器用がいしやがい管が，必要な絶縁強化ができない場合，かつ設備停止が困難な場合でも充電状態のまま注水洗浄を行える。活線洗浄で注意すべきことは，洗浄中がいし耐電圧が一時的に低下することである。

・シリコーンコンパウンド塗布による対策：がいし類表面の水分をはじく優れた撥水性やがいし類に付着した塩分を包み込むアメーバ作用により塩分付着を防ぐ。寿命が 0.5～2 年と短く，多頻度で設備停止を伴う洗浄再塗布が必要となる。

〔問３の標準解答〕

(1) 事故時の発電機群の電圧位相差の動揺をシミュレーションし，脱調の可能性があれば未然防止に必要な電源制限の最適制御量を演算し，その結果を発電機へ指令して実行する。系統条件を事前に予測して演算する事前演算形と，事故現象をリアルタイムで計測しながらシミュレーションを行う事後演算形がある。

(2)

インピーダンスローカス方式：

　二つの系統を連系する送電線の距離リレーが自端での線路電流と電圧の計測情報から測距インピーダンスを求め，その軌道が電気的中心付近に来た際に脱調の発生を検出し，両系統を分離する方式。

電圧位相比較方式：

　二つの系統を連系する送電線両端の電圧を送電線保護装置である電流差動リレーの伝送信号と一緒に伝送して電圧位相の検出を行い，両電圧の位相差がπを超えた場合に脱調が発生したと判定して両系統を分離する方式。

〔問4の標準解答〕

（1）逆フラッシオーバ　又は　鉄塔逆フラッシオーバ

（2）以下の雷害対策から二つ解答する。

・アークホーンの設置

・送電用避雷装置の設置

・塔脚接地抵抗の低減（埋設地線や連接接地を設ける）

（3）頂部A点における電圧の関係より

$$e_0 + e_0{}' = e_g = e_t \cdots\cdots ①$$

・・・(答)

頂部A点におけるキルヒホッフ第一法則(電流則)より

$$i_0 - i_0{}' = 2i_g + i_t \cdots\cdots ②$$

・・・(答)

（4）雷道，架空地線，鉄塔それぞれにおけるオームの法則より

$$i_0 = \frac{e_0}{Z_0},\quad i_0{}' = \frac{e_0{}'}{Z_0},\quad i_g = \frac{e_g}{Z_g},\quad i_t = \frac{e_t}{Z_t} \cdots\cdots ③$$

①式と③式を②式へ代入して$e_0{}'$，e_gを消去すると

$$\frac{e_0}{Z_0} - \frac{e_t - e_0}{Z_0} = \frac{2e_t}{Z_g} + \frac{e_t}{Z_t} \cdots\cdots ④$$

④式を整理して，$e_t = \dfrac{2Z_g Z_t}{Z_g Z_t + 2Z_0 Z_t + Z_0 Z_g} e_0 \cdots\cdots ⑤$

・・・(答)

（5）⑤式に，与えられた数値を代入して

$$e_t = \frac{2\times500\times100}{500\times100 + 2\times400\times100 + 400\times500} \times 3\,000 = 909.09 \rightarrow 909\ \mathrm{kV}$$ ・・・(答)

〔問５の標準解答〕

(1) 以下に示すような題意の内容を三つ挙げる。

・キュービクルの据え付け時

・開閉器，変圧器等受変電設備の現場組み立て施工時

・高圧ケーブルの布設(敷設・通線・配線)時

・高圧ケーブルの端末処理時

・接地工事の接地極の施設(埋設・打設)時

・予備発電装置の基礎工事完成時

・予備発電装置の据え付け時

・低圧配線の隠ぺい箇所が確認できる時

(2) 以下に示すような題意の内容を三つ挙げる。

・接地抵抗測定

　接地抵抗計(アーステスタ)を使用し，接地工事の種類毎に電技解釈に規定された抵抗値以下であることを確認する。

・絶縁抵抗測定

　絶縁抵抗計(メガー)を使用し，電技省令に規定された絶縁抵抗値以上であることを確認する。

・保護継電器動作試験

　保護継電器試験器等を使用し，動作電流特性及び動作時間特性並びに遮断器との連動動作試験結果が適正であることを確認する。

・非常用予備発電装置試験

　商用電源停電時に自動的に起動し，発電電圧，周波数が正常であり，運転時の振動，騒音が正常範囲であることを確認する。

・蓄電池試験

　セルの電圧，電解液の比重，温度，内部抵抗値を測定し，測定値が正常範囲にあることを確認する。

〔問 6 の標準解答〕

(1) 以下に示すような題意の内容を 3 項目挙げる。

・電力需給及び系統周波数の調整

・系統電圧の調整

・主要電力系統潮流の調整及び一般送配電事業者間連系線潮流の監視・制御

・送電系統を変更する場合の指示とそれに関連する機器操作の指示

・電力設備保守点検作業の調整と作業停電の指示

・系統事故発生時における応急対策や復旧操作の指示

(2)

(a) 発電機 B は出力一定でベースロード運転を行っているので，出力は系統周波数の変化を受けない。

発電機 A が 160 MW，50 Hz で運転中である。需要が 40 MW 増えたときの系統周波数を F [Hz]とおくと，次式が成り立つ。

$$F = 50 + 0.04 \times \frac{50}{200}(160 - 200) = 49.6\ \text{Hz}$$ ・・・(答)

(b) 速度調定率 4%の発電機 A が出力 160MW で，速度調定率 5%の発電機 B が出力 100MW で並列運転を行い，系統周波数が 50Hz であった。系統需要が 45MW 増加したときの系統周波数を F[Hz]，発電機 A の出力を P_{A}[MW]，発電機 B の出力を P_{B}[MW]とすると，以下の式が成り立つ。

$$\begin{cases} F = 50 + 0.04 \times \dfrac{50}{200}(160 - P_{\mathrm{A}}) \\ F = 50 + 0.05 \times \dfrac{50}{200}(100 - P_{\mathrm{B}}) \\ P_{\mathrm{A}} + P_{\mathrm{B}} = 160 + 100 + 45 \end{cases}$$

これを解くと， $P_{\mathrm{A}} = 185$ MW， $P_{\mathrm{B}} = 120$ MW，$F = 49.75$ Hz となる。

発電機 A の出力 ＝ 185 MW・・・(答)

発電機 B の出力 ＝ 120 MW・・・(答)

系統周波数 ＝ 49.75 Hz・・・(答)

＜機械・制御科目＞

〔問 1 の標準解答〕

(1) 三相円筒形同期電動機の機械的出力は,

$$P_{\mathrm{out1}} = \frac{3EV}{X_{\mathrm{s}}}\sin\delta\ [\mathrm{W}] \quad ・・・(答)$$

(2) 負荷角 $\delta_0 = \frac{\pi}{6}$, 端子電圧 V_0, 角速度 ω を用いれば負荷トルク T_{L} は以下のように表せる。

$$T_{\mathrm{L}} = \frac{3EV_0}{\omega X_{\mathrm{s}}}\sin\delta_0 = \frac{3EV_0}{\omega X_{\mathrm{s}}}\sin\frac{\pi}{6} = \frac{3EV_0}{2\omega X_{\mathrm{s}}}$$

$V < V_1$ となった際に脱調を起こしたことから, V_1 のときの同期電動機の負荷角は $\frac{\pi}{2}$ であり, そのときの脱出トルクを T とすると,

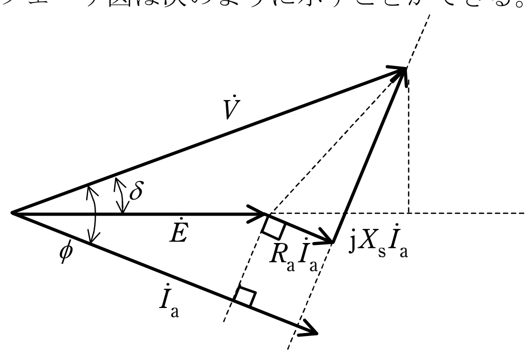
$$T = \frac{3EV_1}{\omega X_{\mathrm{s}}}\sin\frac{\pi}{2} = \frac{3EV_1}{\omega X_{\mathrm{s}}}$$

この脱出トルク T と負荷トルク T_{L} のつり合いから,

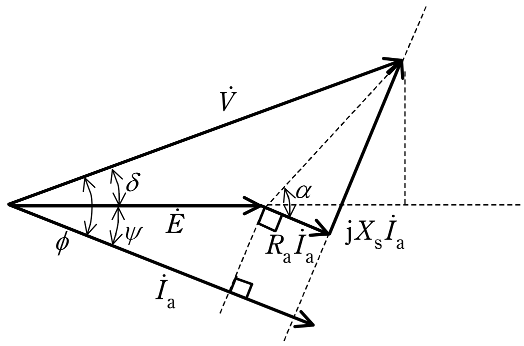
$$T = T_{\mathrm{L}}$$

$$V_1 = \frac{V_0}{2} \quad ・・・(答)$$

(3) 三相円筒形同期電動機のフェーザ図は次のように示すことができる。



(4) (3)のフェーザ図を基に，次のように無負荷誘導起電力と電流の位相差ψと，Z_sのαを追記した図を以下に示す。



ここで機械的出力は，

$$P_{out2} = 3EI_a\cos\psi \quad \cdots\cdots ①$$

と表すことができ，またフェーザ図より以下の式を導くことができる。

$$V\cos\delta - E = R_aI_a\cos\psi + X_sI_a\sin\psi \quad \cdots\cdots ②$$

$$V\sin\delta = -R_aI_a\sin\psi + X_sI_a\cos\psi \quad \cdots\cdots ③$$

これら式②③から$I_a\cos\psi$を導くと，

$$\left(R_a^2 + X_s^2\right)I_a\cos\psi = R_a\left(V\cos\delta - E\right) + VX_s\sin\delta$$

$$I_a\cos\psi = \frac{1}{Z_s^2}\left[R_a\left(V\cos\delta - E\right) + VX_s\sin\delta\right] \quad \cdots\cdots ④$$

得られた$I_a\cos\psi$を式①に代入すれば，機械的出力は次のように表せる。

$$P_{out2} = \frac{3E}{Z_s^2}\left[R_a\left(V\cos\delta - E\right) + VX_s\sin\delta\right] \quad \cdots\cdots ⑤$$

ここで　$R_a = Z_s\cos\alpha$，$X_s = Z_s\sin\alpha$であるから，

$$P_{out2} = \frac{3E}{Z_s}\left[V\cos\left(\delta - \alpha\right) - E\cos\alpha\right]$$

$$= \frac{3EV}{Z_s}\left[\cos\left(\delta - \alpha\right) - \frac{E}{V}\cos\alpha\right] \text{〔W〕} \quad ・・・(答)$$

(5) P_{out2} が最大となるのは $\cos\left(\delta-\alpha\right)=1$ の条件であるから $\delta=\alpha$

よって，最大となる P_{out2} は，

$\delta=\alpha$ のとき， $P_{\mathrm{out2}}=\dfrac{3EV}{Z_{\mathrm{s}}}\left(1-\dfrac{E}{V}\cos\alpha\right)$ ［W］ ・・・（答）

〔問２の標準解答〕

(1) L 型等価回路において一次換算二次電流 I_2' は次のように表される。ここで，V_1 は相電圧，s は滑りとする。

$$I_2' = \frac{V_1}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + \left(x_1 + x_2'\right)^2}}$$

問で与えられた数値を代入すると，次のように求めることができる。

$$I_2' = \frac{\frac{200}{\sqrt{3}}}{\sqrt{\left(0.33 + \frac{0.33}{0.03}\right)^2 + \left(0.63 + 0.63\right)^2}} = 10.129 \ \rightarrow \ 10.1\ \mathrm{A} \cdot\cdot\cdot (答)$$

(2) 設問より，機械損は無視するので，L 型等価回路において出力 P_0 は次のように表される。

$$P_0 = \frac{3V_1^2}{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + \left(x_1 + x_2'\right)^2} \cdot \frac{1-s}{s} \cdot r_2'$$

問で与えられた数値を代入すると，次のように求めることができる。

$$P_0 = \frac{3 \times \left(\frac{200}{\sqrt{3}}\right)^2}{\left(0.33 + \frac{0.33}{0.03}\right)^2 + \left(0.63 + 0.63\right)^2} \times \frac{1-0.03}{0.03} \times 0.33 = 3\,284.1 \rightarrow \ 3.28\ \mathrm{kW} \cdot\cdot\cdot (答)$$

(3) トルク T は出力を用いて次のように表される。ここで，ω_{m} は回転子の角速度，P は極数，f は電源周波数とする。

$$T = \frac{P_0}{\omega_{\mathrm{m}}}$$

$$\omega_{\mathrm{m}} = 2\pi\frac{2f}{P}(1-s)$$

数値を代入すると，次のように求めることができる。

$$T = \frac{3\,284.1}{2\pi\times\frac{2\times 50}{4}(1-0.03)} = 21.554 \quad \rightarrow \quad 21.6\,\mathrm{N{\cdot}m}$$ ・・・(答)

(4) L 型等価回路においてトルク T は次のように表される。

$$T = \frac{1}{\omega_{\mathrm{m}}}\cdot\frac{3V_1^2}{\left(r_1+\frac{r_2'}{s}\right)^2+\left(x_1+x_2'\right)^2}\cdot\frac{1-s}{s}\cdot r_2'$$

$$= \frac{P}{2\pi\cdot 2f}\cdot\frac{3V_1^2}{\left(r_1+\frac{r_2'}{s}\right)^2+\left(x_1+x_2'\right)^2}\cdot\frac{r_2'}{s}$$

ここで，求める滑りを s_x とし，$\frac{r_2'}{s_x}$ を X として，$T = 21.554$，$V_1 = \frac{160}{\sqrt{3}}$，

r_1，r_2'，x_1，x_2' の値を代入する。

$$21.554 = \frac{1}{50\pi}\times\frac{3\times\left(\frac{160}{\sqrt{3}}\right)^2 X}{(0.33+X)^2+(0.63+0.63)^2}$$

$$1077.7\pi\times\left(0.1089+0.66X+X^2+1.5876\right) = 25600X$$

ここで，$\pi = 3.1416$ として，式を整理すると次のようになる。

$$X^2+0.66X+1.6965 = 7.5612X$$

$$X^2-6.9012X+1.6965 = 0$$

二次方程式の解の公式より，

$$X = \frac{6.9012\pm\sqrt{(-6.9012)^2-4\times 1.6965}}{2}$$

$$X = 0.25527,\quad 6.6459$$

となる。

$$X = \frac{0.33}{s_x}$$

より，$s_x = 1.2927$，0.04965 であるが，電動機動作で，$s_x < 1$ なので，

$0.04965 \rightarrow 4.97\,\%$・・・(答)

〔問３の標準解答〕

(1) ターンオン期間中の電源側の閉回路より $E = L\dfrac{\mathrm{d}i_\mathrm{L}}{\mathrm{d}t}$，したがって傾きは $\dfrac{E}{L}$ である。

ターンオフ期間中の閉回路より $E - E_\mathrm{o} = L\dfrac{\mathrm{d}i_\mathrm{L}}{\mathrm{d}t}$，したがって傾きは $\dfrac{E - E_\mathrm{o}}{L}$ である。

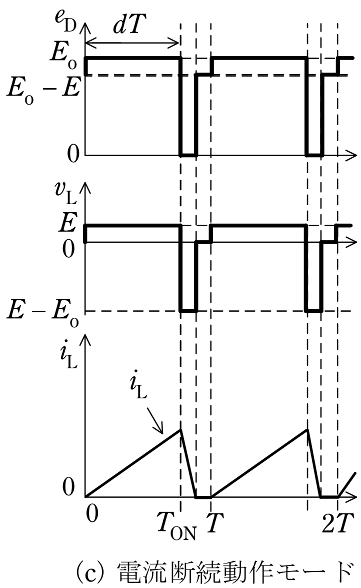
(2) $EdT + \left(E - E_\mathrm{o}\right)\left(1 - d\right)T = 0$ を解いて $E_\mathrm{o} = \dfrac{E}{1-d}$ である。

(3) ターンオン期間中の i_L の波形より， $2I_\mathrm{L} = \left(\dfrac{E}{L}\right)dT$ よって $I_\mathrm{L} = \dfrac{EdT}{2L}$ と求まる。

ターンオフ期間中の i_L を用いても同様に求まる。

(4) $EI_\mathrm{L} = E_\mathrm{o}\dfrac{E_\mathrm{o}}{R}$，また，小問(2)及び(3)を用いると $R = \dfrac{2L}{d\left(1-d\right)^2 T}$ が得られる。

(5)解答図のとおり。



(c) 電流断続動作モード

〔問４の標準解答〕

(1)　図１のブロック線図より，

$$Y(s)=\frac{1}{s}\cdot\frac{1}{s}(2U(s)+D(s))=\frac{2}{s^2}U(s)+\frac{1}{s^2}D(s)\ \ ・・・（答）$$

となる。

また，図１のブロック線図より，

$$Y(s)=\frac{1}{s}V(s)$$

よって， $V(s)=sY(s)$ ・・・（答）

となる。

(2)　図２のブロック線図より，

$$U(s)=\frac{4s+f}{s+1}R(s)+3(R(s)-Y(s))-2.5V(s)$$

となる。(1) より， $V(s)=sY(s)$ であることを用いて， $R(s)$， $Y(s)$ について整理すると，

$$U(s)=\left(\frac{4s+f}{s+1}+3\right)R(s)-(3+2.5s)Y(s)$$

$$=\left(\frac{7s+f+3}{s+1}\right)R(s)-(2.5s+3)Y(s)\ \ ・・・（答）$$

となる。

(3)　(2) で得られた $U(s)$ を (1) で得られた $Y(s)$ の式に代入すると，

$$Y(s)=\frac{2}{s^2}\left(\left(\frac{7s+f+3}{s+1}\right)R(s)-(2.5s+3)Y(s)\right)+\frac{1}{s^2}D(s)$$

$$=\frac{14s+2f+6}{s^3+s^2}R(s)-\frac{5s+6}{s^2}Y(s)+\frac{1}{s^2}D(s)$$

となる。右辺の $-\frac{5s+6}{s^2}Y(s)$ を左辺に移項して整理すると，

$$\left(1+\frac{5s+6}{s^2}\right)Y(s)=\frac{14s+2f+6}{s^3+s^2}R(s)+\frac{1}{s^2}D(s)$$

$$Y(s)=\frac{14s+2f+6}{(s^2+5s+6)(s+1)}R(s)+\frac{1}{s^2+5s+6}D(s)$$

$$=\frac{14s+2f+6}{s^3+6s^2+11s+6}R(s)+\frac{1}{s^2+5s+6}D(s)$$

となる。

したがって，$R(s)$ から $Y(s)$ の閉ループ伝達関数 $T_1(s)$，$D(s)$ から $Y(s)$ の閉ループ伝達関数 $T_2(s)$ はそれぞれ，次のように与えられる。

$$T_1(s)=\frac{14s+2f+6}{s^3+6s^2+11s+6}$$ ・・・（答）

$$T_2(s)=\frac{1}{s^2+5s+6}$$ ・・・（答）

(4) $T_2(s)$ のゲイン特性をあらわす $|T_2(\mathrm{j}\omega)|$ は，

$$|T_2(\mathrm{j}\omega)|=\left|\frac{1}{(\mathrm{j}\omega+2)(\mathrm{j}\omega+3)}\right|=\frac{1}{\sqrt{\omega^2+4}}\cdot\frac{1}{\sqrt{\omega^2+9}}$$

となる。$\omega=1$ のときは，$|T_2(\mathrm{j}1)|=\frac{1}{\sqrt{5}}\cdot\frac{1}{\sqrt{10}}=\frac{\sqrt{2}}{10}=0.141$ となる。・・・（答）

(5) $R(s)$ および $D(s)$ は単位ステップ信号なので，$R(s)=D(s)=\frac{1}{s}$ である。これらを用いると，

$$Y(s)=\frac{14s+2f+6}{s^3+6s^2+11s+6}\cdot\frac{1}{s}+\frac{1}{s^2+5s+6}\cdot\frac{1}{s}$$

$$=\frac{15s+2f+7}{s^3+6s^2+11s+6}\cdot\frac{1}{s}$$

最終値の定理より， $\lim_{t \to \infty} y(t) = 1$ の条件は $\lim_{s \to 0} sY(s) = 1$ となる。したがって，求める条件は，

$$1 = \lim_{s \to 0} sY(s) = \lim_{s \to 0} \frac{15s + 2f + 7}{s^3 + 6s^2 + 11s + 6} = \frac{2f + 7}{6}$$

となる。これより，求める条件は， $2f + 7 = 6$ となる。したがって，

$f = -\dfrac{1}{2}$ となる。すなわち， $f = -0.5$ となる。・・・(答)