令和７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) 運転状況(運転時間，状態など)

(2) 磁粉

(3) 超音波

(4) 非破壊

(5) 進展性(進行性など)

(6) ヒートサイクル

(7) 電気(課電)

(8) 成極指数(P.I)

(9) 部分放電(コロナ)

(10) 隙間(空隙，ボイドなど)

〔問２の標準解答〕

(1) 点 F から見た各インピーダンスは次式のように計算できる。

$$\left.\begin{aligned}\dot{Z}_1 &= \mathrm{j}0.2+\frac{0.01+\mathrm{j}0.04}{2}=0.005+\mathrm{j}0.22\ \text{p.u.}\\ \dot{Z}_2 &= \mathrm{j}0.2+\frac{0.01+\mathrm{j}0.04}{2}=0.005+\mathrm{j}0.22\ \text{p.u.}\\ \dot{Z}_0 &= 3\times 15+\mathrm{j}0.2+\mathrm{j}\frac{0.2}{2}=45+\mathrm{j}0.3\ \text{p.u.}\end{aligned}\right\}\quad \cdot\cdot\cdot\text{(答)}$$

(2) 点 F における故障発生前の電圧を単位法で表すと $\dfrac{162}{154}\fallingdotseq 1.051\,9$ となる。したがって，題意より 1 線地絡故障による地絡電流の零相分は次式で表される。

$$\dot{I}_0=\frac{1.051\,9}{45+\mathrm{j}0.3+0.005+\mathrm{j}0.22+0.005+\mathrm{j}0.22}=\frac{1.051\,9}{45.01+\mathrm{j}0.74}$$

$$\therefore \left|\dot{I}_0\right|=0.023\,367$$

したがって，

$$\left|\dot{I}_{\mathrm{a}}\right|=3\left|\dot{I}_0\right|=0.070\,101\to 0.0701\ \text{p.u.}\quad \cdot\cdot\cdot\text{(答)}$$

(3) 小問(2)で得られた解に基準電流を乗じて以下のとおり導出できる。

$$\left|\dot{I}_{\mathrm{a}}\right|[\mathrm{A}]=0.070\,101\,[\text{p.u.}]\cdot\frac{1\,000\cdot 10^6}{\sqrt{3}\cdot 154\cdot 10^3}[\mathrm{A}]=262.81\to 263\ \mathrm{A}\quad \cdot\cdot\cdot\text{(答)}$$

〔問３の標準解答〕

(1) 抵抗，アドミタンスを無視した送電線の送電端電圧 $\dot{V}_s$，受電端電圧 $\dot{V}_r$ の関係は以下の式で表される。

$\dot{V}_s = \dot{V}_r + jX_L\dot{I}$（$X_L$：リアクタンス，$\dot{I}$：送電線電流）………… ①

受電端の有効電力を P_r，遅れ無効電力を Q_r とし，受電端電圧を位相基準にとれば $\dot{V}_r = V_r$ となることから，

$$\dot{I} = \frac{P_r - jQ_r}{\bar{\dot{V}}_r} = \frac{P_r - jQ_r}{V_r} \quad \cdots\cdots \quad ②$$

①式に②式を代入し，

$$\dot{V}_s = \dot{V}_r + jX_L\left(\frac{P_r - jQ_r}{V_r}\right) = V_r + \frac{X_L Q_r}{V_r} + j\frac{X_L P_r}{V_r} \quad \cdots\cdots \quad ③$$

本問において 100 MV·A，154 kV を基準とすると，

$$V_r = \frac{154}{154} = 1.0\ \text{p.u.} \qquad X_L = \frac{0.16}{100} \times 40 = 0.064\ \text{p.u.}$$

$$P_r = \frac{100}{100} = 1.0\ \text{p.u.} \qquad Q_r = \frac{20}{100} = 0.2\ \text{p.u.}$$

これらの値を③式に代入すると，

$$\dot{V}_s = 1.0 + \frac{0.064 \times 0.2}{1.0} + j\frac{0.064 \times 1.0}{1.0} = 1.0128 + j0.064\ \text{p.u.}$$

よって，$V_s = \sqrt{1.0128^2 + 0.064^2} \times 154 = 1.0148 \times 154 = 156.28 \rightarrow 156\ \text{kV}$ ・・・（答）

(2) 図中の各％リアクタンスを 100 MV·A ベースに換算すると，

154 kV 電源：$0.3 \times \dfrac{100}{10} = 3\ \%$

TrB3：$18 \times \dfrac{100}{200} = 9\ \%$

変圧器３台の％リアクタンス X_{Tr} は，

$$X_{Tr} = \frac{16 \times 16 \times 9}{16 \times 9 + 16 \times 9 + 16 \times 16} = 4.2353\ \%$$

77 kV 電源： $2 \times \dfrac{100}{10} = 20\ \%$

したがって，77 kV 母線からみた電源側の％リアクタンス X_{s} は，

$$X_{\mathrm{s}} = (3 + 6.4 + 4.235\,3) \times \frac{20}{3 + 6.4 + 4.235\,3 + 20} = 8.107\,7\ \%$$

よって，77 kV 母線の短絡容量 P_{s} は，

$$P_{\mathrm{s}} = \frac{100}{X_{\mathrm{s}}} \times 100 = \frac{100}{8.107\,7} \times 100 = 1\,233.3 \to 1\,230\ \mathrm{MV{\cdot}A}$$ ・・・（答）

〔問４の標準解答〕

(1) 連系用開閉器を投入しループにした際，連系点両側の配電線の電圧や位相に大きな差があると，横流の発生により配電線に過大な電流が流れ，変電所の過電流リレーが動作して配電線用遮断器がトリップするため，横流の影響を考慮する必要がある。

(2) 太陽光発電の逆潮流を考慮して切替後の電流・電圧を計算する必要がある。具体的には，切替実施時期・時間の太陽光発電の逆潮流量やその変動を予測して，許容電流範囲・適正電圧範囲内に入るかの検討を行う。

〔問５の標準解答〕

(1)

a）気体：空気（SF_6 など）

b）液体：絶縁油（鉱油など）

c）固体：がいし（架橋ポリエチレンなど）

(2)

(A) 1.15

(B) 1.1

(C) 大地

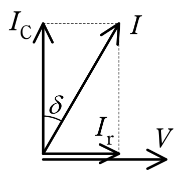
(D) 10

(E) 2

(3)

a） $\tan\delta$

b）



c）損失 $W = VI_r$，$I_r = I_C \tan\delta$，$I_C = \omega CV$ より，

$$W = VI_r = VI_C \tan\delta = V\omega CV \tan\delta = \omega CV^2 \tan\delta$$

d） ωCV^2 が一定の場合，損失 W は誘電正接 $\tan\delta$ に比例するので，$\tan\delta$ を測定して管理すれば絶縁性能が確認できる。

〔問６の標準解答〕

（1） DR（デマンドレスポンス）

（2） 需要抑制（需要削減）

（3） 需要創出（需要拡大）

（4） 需給ひっ迫（供給力不足）

（5） 発電設備（電源）

（6） 生産設備の停止・稼働抑制（蓄電池の放電）

（7） 供給過剰（余剰）

（8） 生産設備の稼働増加（蓄電池の充電）

（9） 特定卸供給

（10） 1 000

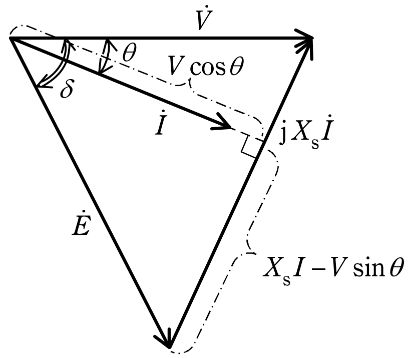
<機械・制御科目>

〔問１の標準解答〕

(1)

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

(2)



フェーザ図から三平方の定理によって,

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

$$= \sqrt{V^2 + (X_{\mathrm{s}}I)^2 - 2VX_{\mathrm{s}}I\sin\theta} \quad \cdots\cdots \quad ①$$

・・・(答)

(3)

①式に $V = 1.0$, $I = 1.0$, $\cos\theta = 0.8$, $X_{\mathrm{s}} = 2.0$ を代入して,

$$E = \sqrt{V^2 + (X_{\mathrm{s}}I)^2 - 2VX_{\mathrm{s}}I\sin\theta} = \sqrt{1.0^2 + (2.0\times 1)^2 - 2\times 1.0\times 2.0\times 1.0\times 0.6}$$

$= 1.6125 \quad \rightarrow \quad E = 1.61\ \mathrm{p.u.}$ ・・・(答)

(4)

フェーザ図のV，E，$X_s I$の三角形に余弦定理を適用すると，

$$(X_s I)^2 = E^2 + V^2 - 2EV\cos\delta$$

$$X_s I = \sqrt{E^2 + V^2 - 2EV\cos\delta} \cdots\cdots ②$$

・・・(答)

(5)

a) ②式より，

$$I = \frac{1}{X_s}\sqrt{E^2 + V^2 - 2EV\cos\delta}$$

同期調相機運転は無負荷運転なので負荷角δは零，即ち$\cos\delta = 1.0$である。

この$\cos\delta = 1.0$と定格電圧$V = 1.0$を上式に代入して，

$$I = \frac{1}{X_s}\sqrt{E^2 - 2E + 1}$$

$$= \frac{1}{X_s}\sqrt{(E-1)^2} = \frac{|E-1|}{X_s}$$

$$\rightarrow \quad I = \frac{|E-1|}{X_s} \cdots\cdots ③$$

・・・(答)

b) Iの最小値は0なので③式より，

$$I = \frac{|E-1|}{X_s} = 0$$

$\rightarrow$ $E = 1.0$ p.u.・・・(答)

〔問２の標準解答〕

(1)　電源の周波数を f [Hz]，電動機の極数を p とすれば電動機の同期速度 N_{s} は，

$$N_{\mathrm{s}} = \frac{120f}{p} = \frac{120 \times 60}{6} = 1200\,\mathrm{min}^{-1}$$

である。したがって，定格回転速度を N_1 [min^{-1}] とすれば定格時の滑り s_1 は，

$$s_1 = \frac{N_{\mathrm{s}} - N_1}{N_{\mathrm{s}}} \times 100 = \frac{1200 - 1158}{1200} \times 100 = 3.5\,\% \cdot\cdot\cdot (\text{答})$$

となる。定格出力を P_1 [W]，定格出力時の回転角速度を ω_1 [rad/s] とすれば定格トルク T_1 は次式となる。

$$T_1 = \frac{P_1}{\omega_1} = \frac{P_1}{2\pi \dfrac{N_1}{60}} = \frac{22 \times 10^3}{2\pi \times \dfrac{1158}{60}} = 181.42 \rightarrow 181\,\mathrm{N \cdot m} \cdot\cdot\cdot (\text{答})$$

(2)　総損失を P_{L} [W] とすれば定格運転時の効率 η_1 [%] は，次式となる。

$$\eta_1 = \frac{P_1}{P_1 + P_{\mathrm{L}}} \times 100 = \frac{P_1}{P_1 + P_{\mathrm{c}} + P_{\mathrm{f}}} \times 100 = \frac{P_1}{P_1 + 2P_{\mathrm{c2}} + P_{\mathrm{f}}} \times 100\,\%$$

この式を変形して与えられた数値を代入すると P_{L} は次式のように求まる。

$$P_{\mathrm{L}} = \left(\frac{100}{\eta_1} - 1\right) P_1 = \left(\frac{100}{87.5} - 1\right) \times 22 \times 10^3 = 3142.9\,\mathrm{W}$$

二次銅損 P_{c2} と定格出力 P_1 との間には滑り s_1 を用いれば次式に示す関係が成り立つ。

$$P_{\mathrm{c2}} : P_1 = s_1 : (1 - s_1)$$

よって，P_{c2} は，この式を変形して与えられた数値を代入すると次式のようになる。

$$P_{\mathrm{c2}} = \frac{s_1}{1 - s_1} \cdot P_1 = \frac{0.035}{1 - 0.035} \times 22 \times 10^3 = 797.93 \rightarrow 798\,\mathrm{W} \cdot\cdot\cdot (\text{答})$$

題意から，一次銅損 P_{c1} と二次銅損 P_{c2} は等しいので，銅損 P_{c} は，

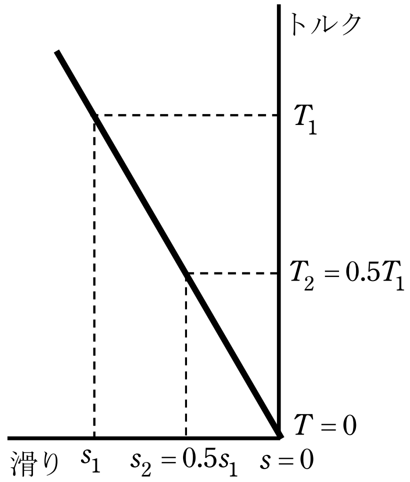
$$P_{\mathrm{c}} = P_{\mathrm{c1}} + P_{\mathrm{c2}} = 2P_{\mathrm{c2}}$$

であり，負荷損は銅損のみを考えるので，総損失 P_{L} は，

$$P_{\mathrm{L}} = P_{\mathrm{c}} + P_{\mathrm{f}} = 2P_{\mathrm{c2}} + P_{\mathrm{f}}$$

$$\therefore P_{\mathrm{f}} = P_{\mathrm{L}} - 2P_{\mathrm{c2}} = 3142.9 - 2\times 797.93 = 1547.0 \rightarrow 1550\ \mathrm{W}$$ ・・・（答）

(3)　出力トルクが定格トルクの 50%のときのトルクを T_2 および滑りを s_2 [%]とすると，題意から滑りとトルクは図に示すような比例関係にあるので，



このときの滑り s_2 は，

$$s_2 = 0.5s_1$$

となる。このときの回転速度 N_2 は，

$$N_2 = N_s\left(1 - s_2\right) = N_s\left(1 - 0.5s_1\right)$$

$$= 1200\left(1 - 0.5\times\frac{3.5}{100}\right) = 1179$$

$$= 1179 \rightarrow 1180\ \mathrm{min}^{-1}$$ ・・・（答）

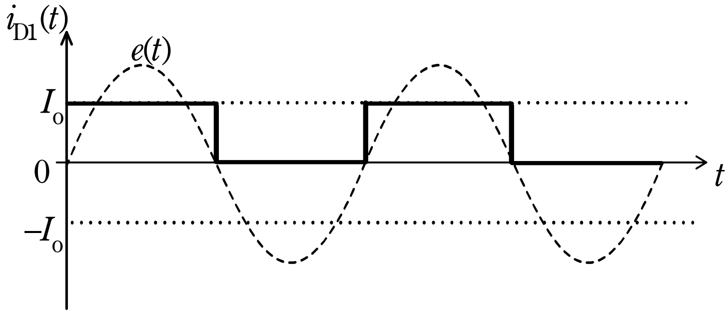
また，このときの出力 P_2 は，

$$P_2 = \omega_2 T_2 = \frac{2\pi}{60} N_2 \cdot 0.5T_1$$

$$= \frac{2\pi}{60}\times 1179\times 0.5\times 181.42 = 11199 \rightarrow 11200\ \mathrm{W}$$ ・・・（答）

〔問３の標準解答〕

(1)



(2) 周期定常状態であるので，リアクトル平均電圧 $V_L = 0$ ・・・(答)

(3) V_o は整流回路出力電圧 $v_o(t)$ に等しく，電源電圧 $e(t)$ を

$$e(t) = \sqrt{2}V\sin(2\pi f t)$$

周期 T を，周波数 f を用いて，

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0.02\,\mathrm{s}$$

とすると，

$$V_o = \frac{1}{T}\int_0^T e(t)\mathrm{d}t = \frac{2}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} \sqrt{2}V\sin(2\pi f t)\mathrm{d}t$$

$$= \frac{2\sqrt{2}V}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} \sin(2\pi f t)\mathrm{d}t = \frac{2\sqrt{2}V}{T}\left[\frac{-\cos(2\pi f t)}{2\pi f}\right]_0^{\frac{T}{2}} = \frac{\sqrt{2}V}{\pi}(-\cos\pi + \cos 0)$$

$$= \frac{2\sqrt{2}V}{\pi} = \frac{2\sqrt{2}\times 100}{\pi} = 90.031 \to 90.0\,\mathrm{V}$$ ・・・(答)

(4) コンデンサの直流に対するリアクタンスは，

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \infty$$

であるので，平均電流すなわち直流成分は，$I_c = 0\mathrm{A}$ ・・・(答)

(5) コンデンサ電圧の変動を無視すると，コンデンサ電圧は電源電圧波高値となるので，

$$I_{\mathrm{o}}=\frac{\sqrt{2}V}{R}=\frac{100\sqrt{2}}{10}=10\sqrt{2}=14.142\rightarrow 14.1\ \mathrm{A}$$ ・・・(答)

(6)

$$P_{\mathrm{OL}}=\frac{V_{\mathrm{D}}^{2}}{R}=\frac{90.031^{2}}{10}=810.56\,\mathrm{W}$$

$$P_{\mathrm{OC}}=RI_{\mathrm{o}}^{2}=10\times 14.142^{2}=2000.0\,\mathrm{W}$$

したがって，

$2000.0\,\mathrm{W}\div 810.56\mathrm{W}=2.4674\rightarrow 2.47$ 倍・・・(答)

〔問 4 の標準解答〕

(1) 与えられたフィードバック制御系の一巡伝達関数 $G_{\mathrm{o}}(s)$ は,

$$G_{\mathrm{o}}(s) = G_{\mathrm{p}}(s)G_{\mathrm{c}}(s) = \frac{1}{s+3}\cdot\frac{2s+4}{s} = \frac{2s+4}{s^2+3s}$$

となる。よって, $R(s)$ から $E(s)$ までの伝達関数 $G_{\mathrm{e}}(s)$ は,

$$G_{\mathrm{e}}(s) = \frac{1}{1+G_{\mathrm{o}}(s)} = \frac{1}{1+\dfrac{2s+4}{s^2+3s}} = \frac{s^2+3s}{s^2+5s+4} \quad \cdot\cdot\cdot\ (\text{答})$$

(2) 大きさ a のステップ信号, $r(t)=a$, $t \geqq 0$ のラプラス変換 $R(s)$ は,

$$R(s) = \mathcal{L}\left[r(t)\right] = \frac{a}{s}$$

となる。よって, $E(s)$ は,

$$E(s) = G_{\mathrm{e}}(s)R(s) = \frac{s^2+3s}{s^2+5s+4}\cdot\frac{a}{s} = \frac{as+3a}{s^2+5s+4}$$

となる。定常状態の偏差信号の値, $\lim_{t\to\infty} e(t)$ は, 最終値の定理より,

$$\lim_{t\to\infty} e(t) = \lim_{s\to 0} sE(s) = \lim_{s\to 0}\frac{as^2+3as}{s^2+5s+4} = 0$$

よって, 定常状態における偏差信号の値は 0 となる。 ・・・(答)

(3) 傾き b のランプ信号, $r(t)=bt$, $t \geqq 0$ のラプラス変換 $R(s)$ は,

$$R(s) = \mathcal{L}\left[r(t)\right] = \frac{b}{s^2}$$

となる。よって, $E(s)$ は,

$$E(s) = G_{\mathrm{e}}(s)R(s) = \frac{s^2+3s}{s^2+5s+4}\cdot\frac{b}{s^2} = \frac{bs+3b}{s^3+5s^2+4s}$$

となる。定常状態の偏差信号の値, $\lim_{t\to\infty} e(t)$ は, 最終値の定理より,

$$\lim_{t\to\infty} e(t) = \lim_{s\to 0} sE(s) = \lim_{s\to 0}\frac{bs+3b}{s^2+5s+4} = \frac{3b}{4}$$

よって，定常状態における偏差信号の値は$\dfrac{3b}{4}$となる。・・・（答）

（4） $R(s)$から$Y(s)$までの伝達関数$G_{\mathrm{y}}(s)$は，

$$G_{\mathrm{y}}(s) = \frac{G_{\mathrm{o}}(s)}{1+G_{\mathrm{o}}(s)} = \frac{\dfrac{2s+4}{s^2+3s}}{1+\dfrac{2s+4}{s^2+3s}} = \frac{2s+4}{s^2+5s+4} = \frac{2s+4}{(s+1)(s+4)}$$

となる。$G_{\mathrm{y}}(s)$の逆ラプラス変換を計算するためヘビサイドの部分分数展開を求めると，

$$\frac{2s+4}{(s+1)(s+4)} = c_1\frac{1}{s+1} + c_2\frac{1}{s+4}$$

ここで，

$$c_1 = \lim_{s\to -1}\frac{2s+4}{(s+1)(s+4)}(s+1) = \lim_{s\to -1}\frac{2s+4}{s+4} = \frac{2}{3}$$

$$c_2 = \lim_{s\to -4}\frac{2s+4}{(s+1)(s+4)}(s+4) = \lim_{s\to -4}\frac{2s+4}{s+1} = \frac{4}{3}$$

である。したがって，伝達関数$G_{\mathrm{y}}(s)$のインパルス応答$g_{\mathrm{y}}(t)$，$t>0$は逆ラプラス変換を用いて，次のように計算できる。

$$g_{\mathrm{y}}(t) = \mathcal{L}^{-1}\left[G_{\mathrm{y}}(s)\right]$$

$$= \frac{2}{3}\mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s+1}\right] + \frac{4}{3}\mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s+4}\right] = \frac{2}{3}\mathrm{e}^{-t} + \frac{4}{3}\mathrm{e}^{-4t}, \quad t>0 \quad ・・・（答）$$

（5） 制御量$y(t)$の時刻$t=1$における値は(4)で求めたインパルス応答と目標信号

$r(t)=1$，$0 \leqq t \leqq 1$とのたたみ込み積分を用いて計算できる。すなわち，

$$y(1)=\int_0^1 g_{\mathrm{y}}(1-\tau)r(\tau)\,\mathrm{d}\tau=\int_0^1 g_{\mathrm{y}}(\tau)r(1-\tau)\,\mathrm{d}\tau=\int_0^1 g_{\mathrm{y}}(\tau)\,\mathrm{d}\tau$$

$$=\int_0^1\left(\frac{2}{3}\mathrm{e}^{-\tau}+\frac{4}{3}\mathrm{e}^{-4\tau}\right)\mathrm{d}\tau=\frac{2}{3}\int_0^1\mathrm{e}^{-\tau}\,\mathrm{d}\tau+\frac{4}{3}\int_0^1\mathrm{e}^{-4\tau}\,\mathrm{d}\tau$$

$$=\frac{2}{3}\Big[-\mathrm{e}^{-\tau}\Big]_0^1+\frac{4}{3}\left[-\frac{1}{4}\mathrm{e}^{-4\tau}\right]_0^1=\frac{2}{3}\left(1-\mathrm{e}^{-1}\right)+\frac{1}{3}\left(1-\mathrm{e}^{-4}\right)$$

$$=1-\frac{2}{3}\mathrm{e}^{-1}-\frac{1}{3}\mathrm{e}^{-4}=0.74863\rightarrow 0.749$$ ・・・（答）