

平成17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) この河川の年間平均流量 $[m^3/s]$

この河川の年間平均流量 $Q_n [m^3/s]$ は、

$$\begin{aligned} Q_n &= \frac{\text{流出系数} \times \text{年間降水量} [mm] \times \text{流域面積} [km^2] \times 10^3}{365 \times 24 \times 60 \times 60} \\ &= \frac{0.7 \times 1600 [mm] \times 270 [km^2] \times 10^3}{365 \times 24 \times 60 \times 60} \\ &= 9.589 \rightarrow 9.59 [m^3/s] \end{aligned}$$

(2) 発電所の最大出力 $[kW]$

総落差 $H_0 = \text{取水口標高} - \text{放水口標高} = 380 - 220 = 160 [m]$

損失落差 H_l は総落差の 5 [%] であるから、

$$H_l = 160 \times 0.05 = 8 [m]$$

よって、有効落差 H は、

$$H = H_0 - H_l = 160 - 8 = 152 [m]$$

また、最大使用水量 Q_{\max} は年間平均流量の 2 倍であるから、

$$Q_{\max} = 9.59 \times 2 = 19.18 [m^3/s]$$

したがって、この発電所の最大出力 $P [kW]$ は、

$$\begin{aligned} P &= 9.8 \times Q_{\max} \times H \times \text{水車効率} \times \text{発電機効率} \\ &= 9.8 \times 19.18 \times 152 \times 0.88 \times 0.97 \\ &= 24\,388 \quad 24\,400 [kW] \end{aligned}$$

〔問2の標準解答〕

[絶縁物の吸湿防止の観点からの項目]

・ 輸送中の封入ガス圧管理

輸送中に封入ガスが漏れて外気が侵入し、絶縁物が吸湿することがないように、圧力計により内部圧力を管理する。

・ 絶縁物の露出時間管理

輸送用仮蓋の交換時やタンク内作業時における絶縁物の吸湿を防止するため、絶縁物の露出時間を管理する。

・ 絶縁物露出中の乾燥空気使用による湿度管理

輸送用仮蓋の交換時やタンク内作業時における絶縁物の吸湿を防止するため、作業に使用する乾燥空気の湿度とタンクの内部湿度を管理する。

・ 絶縁物中水分の管理

電气的性能面を満足するとともに長期使用による熱劣化を防止するため、輸送や現地作業中に絶縁物が吸収した水分を熱油噴霧循環により乾燥させ、絶縁物表面部分の水分値を基準値以下にする。

・ 絶縁油中水分管理

油中水分による絶縁紙の吸湿(絶縁紙への水分移動)の防止のため、絶縁油中水分を管理する。

[異物混入防止の観点からの項目]

・ 輸送用仮蓋の交換時やタンク内作業時の防塵管理

タンク内に塵埃(じんあい)や異物が混入しないために周囲に隔壁や覆いを設置する等の防塵措置を施すとともに、作業場周辺に散水を行うなどの作業環境を整備し、場合により粉じん計を使用して防塵管理を行う。

・ 脱気ろ過循環による微小塵埃(じんあい)管理

絶縁油中の微小な塵埃を除去し、脱気度を向上するためにタンク内の絶縁油を真空脱気装置を通して脱気ろ過循環する。

[衝撃防止の観点からの項目]

・ 輸送中における衝撃管理

衝撃記録計により輸送中における衝撃を記録し，異常衝撃の有無を確認する。

[その他の項目]

・ 静置時間管理

注油後，絶縁物に絶縁油を含浸させ，残存気泡をなくするための静置時間を管理する。

・ 油中全ガス量管理

気泡発生による絶縁強度の低下を防止するため，油中全ガス量を管理する。

〔問3の標準解答〕

(1) 損失の内容

- ・抵抗損：導体に電流が流れるとき、導体抵抗によるジュール損に相当する電力が熱となって失われる。
- ・コロナ損：送電線表面の電位の傾きの大きい部分（標準状態で 30〔kV/cm〕）でコロナ放電が発生する。このコロナ放電により損失が発生する。コロナ放電は一般に雨天時の水滴により発生し、雨天以外のコロナ損失は雨天時の 10 から 20〔%〕にとどまる。

(2) 損失に対する対策

- ・抵抗損：電流を減少させる対策と導体抵抗を減少させる対策の二つの対策がある。電流を減少させる対策には運用電圧の上昇、負荷力率の改善、系統内の電流分布の適正化が挙げられる。また、導体抵抗を減少させる対策としては、低抵抗材料の使用、使用導体の太線化、多導体の採用が挙げられ、この方策は次のコロナ損の減少にも効果がある。
- ・コロナ損：送電線導体表面の電位の傾きを減少させる方策として、多導体の採用、直径の大きい導体の使用、導体表面の円滑化が挙げられる。

〔問4の標準解答〕

- (1) 30〔kV・A〕及び50〔kV・A〕の変圧器のインピーダンスをそれぞれ Z_1, Z_2 〔 Ω 〕とする。変圧器のインピーダンス Z 〔 Ω 〕を%インピーダンス% Z 〔%〕及び変圧器容量 P 〔V・A〕で表すと、

$$Z = \%Z \times \frac{E^2}{100P}$$

題意より、

% $Z = 5$ 〔%〕, $E = 200$ 〔V〕, $P = 30 \times 10^3$ 及び 50×10^3 〔V・A〕であるから、

$$Z_1 = 5 \times \frac{200^2}{100 \times 30 \times 10^3} = 0.06667 \rightarrow 0.0667 \text{〔}\Omega\text{〕}$$

$$Z_2 = 5 \times \frac{200^2}{100 \times 50 \times 10^3} = 0.04 \text{〔}\Omega\text{〕}$$

- (2) 故障点からみたインピーダンスは、変圧器2台が直列となっているから、 $Z_1 + Z_2$ となる。

短絡電流 I_s 〔A〕は、テブナンの定理より故障前の電圧を E 〔V〕とすると、

$$I_s = \frac{E}{Z_1 + Z_2}$$

となる。これに上記(1)の値を代入すると、

$$I_s = \frac{E}{Z_1 + Z_2} = \frac{200}{0.06667 + 0.04} = \frac{200}{0.10667} = 1874.94 \rightarrow 1870 \text{〔A〕}$$

〔問5の標準解答〕

(1) 誘導電圧

a . 異常時誘導電圧

送電線に1線地絡事故が発生した場合に地絡電流が大地帰路電流となって流れることにより、隣接する通信線路と大地との間に相互誘導作用により誘起される電圧であり、誘導電圧が高いため、交換機器、通信ケーブルに絶縁破壊をもたらしたり、通信設備の保守者、建設者、交換手等に感電の危害を与えるおそれがある。

b . 常時誘導電圧

送電線の常時運転時に、各相の負荷電流の不均衡や各相の対地静電容量の不均衡による零相電流によって、隣接する通信線路と大地の間に相互誘導作用により誘起される電圧であり、異常時誘導電圧と比べて誘導電圧は低いが、10から15〔V〕程度以上になると交換機器、宅内機器又は伝送機器等端末機器の誤動作をひき起こすこととなり、さらに電圧が大きく（60〔V〕以上）になると人に感電の危害を与えるおそれがある。

c . 常時誘導雑音電圧

送電線に流れる常時の高調波電流に起因して生じる電圧であり、通話妨害をひき起こし、通話品質の低下となる。

(2) 防止対策

- a . 特別高圧架空電線路のルートを選定に当たっては、通信線との離隔距離をできるだけ大きくし、また、交差する場合にはできるだけ直角とする。
- b . 架空地線の遮へい効果を向上させるため、導電率のよいものを使用するほか、条数を増加させる。
- c . 地絡事故を迅速に除去するため、高速度リレーや高速度遮断器を使用する。
- d . 通信線と特別高圧架空電線の間導電率のよい遮へい線を設ける。
- e . 送電線のねん架を完全にし、対地静電容量の不均衡による零相電流を低減させる。
- f . 単相負荷による電圧不平衡率は受電点において 3〔%〕以下とするなどの対策を行い、負荷のアンバランスによる零相電流をできるだけ小さく抑える。
- g . 「高圧又は特別高圧で受電する需要家の高調波抑制対策ガイドライン」による高調波抑制対策を推進する。

〔問6の標準解答〕

(1) 一般に，第 n 発電機の増分燃料費 λ_n は

$$\lambda_n = \frac{dF_n(P_n)}{dP_n}$$

となる。したがって，各発電機の増分燃料費 λ_1, λ_2 は，

$$\lambda_1 = \frac{dF_1(P_1)}{dP_1} = 900 + 10P_1$$

$$\lambda_2 = \frac{dF_2(P_2)}{dP_2} = 600 + 15P_2$$

となる。

(2) 最も経済的な負荷配分は，すべての発電機について増分燃料費が等しいときであるので，そのときの λ は，

$$\lambda = \lambda_1 = \lambda_2 = 900 + 10P_1 = 600 + 15P_2$$

また，負荷が P_R であるので，

$$P_R = P_1 + P_2$$

上記 及び 式より P_1, P_2 を消去して

$$\lambda = 6P_R + 780$$

(3) $P_R = 100$ [MW] のとき， 式より

$$\lambda = 6 \times 100 + 780 = 1380$$

この $\lambda = \lambda_1 = \lambda_2$ の値を 式に代入して，

$$P_1 = \frac{\lambda_1 - 900}{10} = \frac{1380 - 900}{10} = \frac{480}{10} = 48 \text{ [MW]}$$

また， 式より，

$$P_2 = P_R - P_1 = 100 - 48 = 52 \text{ [MW]}$$

となる。

< 機械・制御科目 >

[問 1 の標準解答]

(1) 発生トルク

回転角速度を ω_m とすれば, 出力 P_m と発生トルク T との間には $P_m = \omega_m T$ の関係があり, また, 回転角速度 ω_m と回転速度 n との間には $\omega_m = 2\pi \frac{n}{60}$ の関係があるから, 発生トルク T は

$$T = \frac{P_m}{\omega_m} = \frac{P_m}{2\pi \frac{n}{60}} = \frac{5000}{2\pi \times \frac{1200}{60}} = 39.788 \rightarrow 39.8 \text{ [N } \cdot \text{ m]}$$

(2) 電機子電流

発生トルク T は $T = K_a \Phi I_a$ となる。ただし, $K_a = \frac{2pZ}{2\pi \times 2a} = \frac{6 \times 600}{2\pi \times 6} = 95.492$ したがって,

$$I_a = \frac{T}{K_a \Phi} = \frac{2\pi \times 2a T}{2pZ \Phi} = \frac{2\pi \times 6 \times 39.788}{6 \times 600 \times 0.01} = 41.665 \rightarrow 41.7 \text{ [A]}$$

(3) 誘導起電力

誘導起電力 E_a は $E_a = K_a \Phi \omega_m$ となる。

このとき, $K_a = \frac{2pZ}{2\pi \times 2a}$, $\omega_m = 2\pi \frac{n}{60}$ なので,

$$E_a = \frac{2pZ}{2a} \Phi \frac{n}{60} = \frac{6 \times 600}{6} \times 0.01 \times \frac{1200}{60} = 120 \text{ [V]}$$

(4) チョップパの通流率

チョップパの平均出力電圧は αE となるので, $\alpha E - R_a I_a = E_a$ の関係から

$$\alpha = \frac{E_a + R_a I_a}{E} = \frac{120 + 0.1 \times 41.665}{200} = 0.62083 \rightarrow 0.621$$

となる。

〔問2の標準解答〕

(1) 分路巻線の定格電流

分路巻線の定格電流 I_1 は

$$I_1 = \frac{P}{V_1} = \frac{50 \times 10^3}{6300} = 7.9365 \rightarrow 7.94 \text{ [A]}$$

(2) 直列巻線の定格電流

直列巻線の定格電流 I_2 は

$$I_2 = \frac{P}{V_2} = \frac{50 \times 10^3}{210} = 238.09 \rightarrow 238 \text{ [A]}$$

(3) 電圧 V_L に対する電圧 V_H の比の値

電圧 V_L は

$$V_L = V_1 = 6300 \text{ [V]}$$

電圧 V_H は

$$V_H = V_1 + V_2 = 6300 + 210 = 6510 \text{ [V]}$$

したがって、 V_L に対する V_H の比の値は次のようになる。

$$\frac{V_H}{V_L} = \frac{6510}{6300} = 1.0333 \rightarrow 1.03$$

(4) 電流 I_L に対する電流 I_H の比の値

電流 I_L は

$$I_L = I_1 + I_2 = 7.9365 + 238.09 = 246.02 \text{ [A]}$$

電流 I_H は

$$I_H = I_2 = 238.09 \text{ [A]}$$

したがって、 I_L に対する I_H の比の値は次のようになる。

$$\frac{I_H}{I_L} = \frac{238.09}{246.02} = 0.96776 \rightarrow 0.968$$

(5) 負荷容量

負荷容量 P_L は

$$P_L = I_H V_H = \frac{238.09 \times 6510}{1000} = 1549.965 \rightarrow 1550 \text{ [kV} \cdot \text{A]}$$

〔問3の標準解答〕

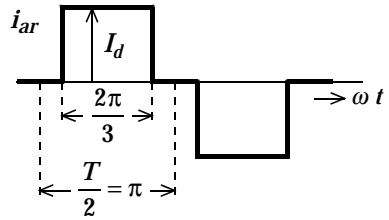
(1) 直流平均電圧

$\omega t = \theta$ とおけば、 V_d は次のように求まる。

$$\begin{aligned} V_d &= \frac{3}{\pi} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} \sqrt{2} V_r \sin \theta \, d\theta = \frac{3\sqrt{2} V_r}{\pi} [-\cos \theta]_{\pi/3}^{2\pi/3} \\ &= \frac{3\sqrt{2} V_r}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \right) = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_r = 1.35 V_r \end{aligned}$$

(2) 交流電流の実効値

題意より、交流電流 i_{ar} は図のような波形
(周期 $T = 2\pi$) である。この電流の実効値
 I_r は次のように求まる。



$$I_r = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i_{ar}^2 \, dt} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi/3} I_d^2 \, dt} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \cdot \frac{2\pi}{3} I_d^2} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_d = 0.816 I_d$$

(3)

a. 逆ピーク電圧

逆ピーク電圧は交流線間電圧のピーク値に等しく、式より次の値となる。

$$\sqrt{2} V_r = \frac{\pi}{3} V_d = \frac{\pi}{3} \times 250 = 261.79 \rightarrow 262 \text{ [V]}$$

b. 順電流の平均値

各ダイオードは $1/3$ 周期ずつ通流するので、順電流の平均値は

$$\frac{I_d}{3} = 466.66 \rightarrow 467 \text{ [A]} \text{ となる。}$$

c . 変圧器容量

及び 式より

$$\begin{aligned} P_t &= \sqrt{3} V_r I_r = \sqrt{3} \frac{\pi}{3\sqrt{2}} V_d \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} I_d = \frac{\pi}{3} V_d I_d = \frac{\pi}{3} \times 250 \times 1400 \\ &= 366.51 \times 10^3 \rightarrow 367 \text{ [kV} \cdot \text{A]} \end{aligned}$$

〔問4の標準解答〕

(1) $C(s)$ の名称

PI補償器，PIコントローラ，PI制御器，PI調節計，比例・積分制御器。

(2) 閉ループ伝達関数

図より， $D(s)$ から $E(s)$ までの閉ループ伝達関数を求めると，

$$\begin{aligned}\frac{E(s)}{D(s)} &= -\frac{G(s)}{1+G(s)C(s)} = -\frac{1}{1+\frac{K_P(T_I s+1)}{T_I s(5s+1)}} \\ &= -\frac{T_I s}{5T_I s^2 + T_I(K_P+1)s + K_P}\end{aligned}$$

となる。

(3) K_P と T_I の値

式より閉ループ伝達関数の分母多項式は，

$$s^2 + \frac{K_P+1}{5}s + \frac{K_P}{5T_I}$$

となる。固有角周波数 ω_n が2〔rad/s〕，減衰係数 ζ が0.8となる2次系の分母多項式は

$$s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 = s^2 + 3.2s + 4$$

となるので，式と式の各項をそれぞれ比較すると， $K_P = 15$ ， $T_I = 0.75$ となる。

(4) 伝達関数

図で $D(s) = 0$ とおくと、

$$\begin{aligned} Y(s) &= \frac{F(s)}{G(s)} \cdot \frac{G(s)}{1 + C(s)G(s)} R(s) + F(s) \cdot \frac{C(s)G(s)}{1 + C(s)G(s)} R(s) \\ &= \frac{F(s) + F(s)C(s)G(s)}{1 + C(s)G(s)} R(s) = F(s) R(s) \end{aligned}$$

となり

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = F(s) = \frac{1}{0.1s + 1}$$

が成り立つ。すなわち、 $G(s)$ 及び $C(s)$ の形によらず、 $R(s)$ から $Y(s)$ までの目標値応答特性は $F(s)$ となる。

(5) 2 自由度制御系の特徴

目標値応答特性は $F(s)$ で指定することができる。一方、外乱に対するフィードバック制御特性は $C(s)$ で指定できる。このように二つの制御器により目標値応答特性とフィードバック制御特性とを独立に指定できる特徴がある。