

平成 26 年度

第 2 種

機械・制御

(第 2 時限目)

答案用紙記入上の注意事項

この試験は、4問中任意の2問を選び解答する方式です。解答する際には、この問題に折込まれている答案用紙（記述用紙）を引き抜いてから記入してください。

以下は、答案用紙記入上の注意事項です。

1. 筆記用具は、濃度HBの鉛筆又はHBの芯を用いたシャープペンシルを使用してください。
2. 2枚の答案用紙を引き抜いたらすぐに試験地、受験番号及び生年月日を記入してください。
3. 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。
4. 問題は4問あります。この中から任意の2問を選び、1問につき1枚の答案用紙にて、解答してください。この場合、答案用紙には、選択した問の番号を記入してください。
5. 計算問題については、答案用紙に計算過程を明記してください。また、必要に応じ、計算根拠となる式も書いてください。
6. 計算問題の答は、特に指定がない限り、有効数字は3けたです。なお、解答以外の数値のけた数は、誤差が出ないように多く取ってください。

例：線電流 I は

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}V \cos \theta} = \frac{10 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 200 \times 0.9} = 32.075 \text{ A} \quad (\text{答}) 32.1 \text{ A}$$

1線当たりの損失 P_L は

$$P_L = I^2 R = 32.075^2 \times 0.2 = 205.76 \text{ W} \quad (\text{答}) 206 \text{ W}$$

以 上

(この問題は持ち帰ってください。また、白紙部分はメモ用紙として使用できます。)

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 定格線間電圧 200 V，定格周波数 50 Hz，4 極の三相かご形誘導電動機について，三相星形結線 1 相分の L 形等価回路から動作特性を考える。三相星形結線 1 相分の L 形等価回路の回路定数を，励磁アドミタンス $y_0 = 0.05 - j0.15 \text{ S}$ ，一次抵抗 $r_1 = 0.1 \Omega$ ，一次漏れリアクタンス $x_1 = 0.3 \Omega$ ，二次抵抗の一次側換算値 $r_2' = 0.15 \Omega$ ，二次漏れリアクタンスの一次側換算値 $x_2' = 0.4 \Omega$ とする。誘導電動機を定格電圧，定格周波数の三相交流電源に接続し，負荷トルクを $T_L [\text{N}\cdot\text{m}]$ としたとき，滑りは $s = 0.03$ であった。負荷トルクが $T_L [\text{N}\cdot\text{m}]$ のときの次の値を求めよ。

- (1) 同期速度 n_0 [min^{-1}]
- (2) 励磁電流 I_0 [A]
- (3) 二次電流の一次換算値 I_2' [A]
- (4) 負荷トルク T_L [$\text{N}\cdot\text{m}$]
- (5) 一次電流 I_1 [A]
- (6) 入力力率

問2 三相星形結線の円筒形同期発電機 [定格容量 100 000 kV・A, 定格電圧 (線間電圧) $V_R = 13 800$ V, 定格電流 (相電流) $I_R = 4 184$ A, 定格周波数 60 Hz, 定格力率 0.9(遅れ)] における正相及び逆相リアクタンスの測定法に関して, 次の問に答えよ。ただし, 電機子抵抗などの抵抗分は無視する。

(1) 正相リアクタンス

円筒形同期発電機の正相リアクタンスは, 定格回転速度で定常運転状態では同期リアクタンスとなる。同期リアクタンスは, 図1に示す無負荷飽和曲線と三相短絡電流特性曲線から求めることができる。同期リアクタンスの定格電圧での飽和値 $X_{ss}[\Omega]$ 及び同期リアクタンスの不飽和値 $X_{su}[\Omega]$ を, $V_R[\text{V}]$, $I_R[\text{A}]$, $I_{f2}[\text{A}]$, $I_{f0}[\text{A}]$ 又は $I_{f0g}[\text{A}]$ を用いて表す式を導出せよ。その導出過程も示すこと。なお, I_{f2} , I_{f0} 及び I_{f0g} は図1に示す界磁電流である。また, $I_{f2} = 600$ A, $I_{f0} = 300$ A, $I_{f0g} = 270$ A として, $X_{ss}[\Omega]$ 及び $X_{su}[\Omega]$ を算出せよ。

(2) 逆相リアクタンス

図2に示すように, 電機子巻線の2端子を短絡し, 発電機を定格回転速度で運転する。界磁電流を流し, 短絡回路の電流 $I_S[\text{A}]$ 及び短絡回路と開放端子との間の電圧 $V_{OS}[\text{V}]$ を計測する。また, このときの対称座標法による等価回路を図3に示す。逆相リアクタンス $X_2[\Omega]$ を, $V_{OS}[\text{V}]$ 及び $I_S[\text{A}]$ を用いて表す式を導出せよ。その導出過程も示すこと。また, $V_{OS} = 250$ V, $I_S = 400$ A として, $X_2[\Omega]$ を算出せよ。

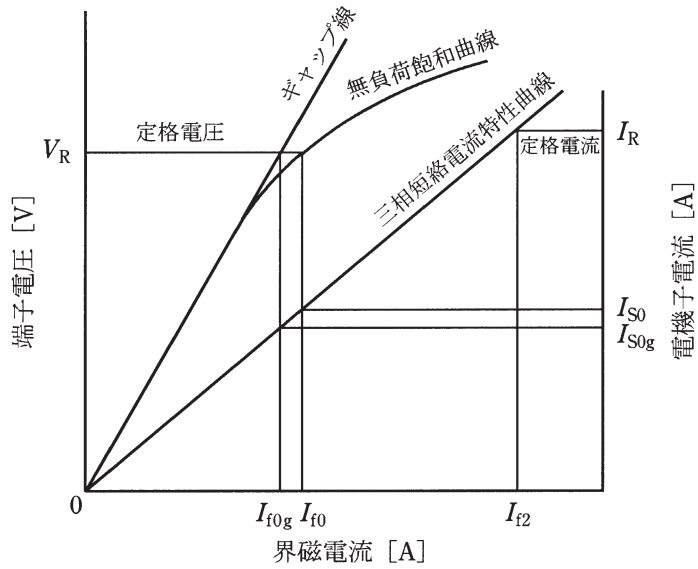


図1 無負荷飽和曲線と三相短絡電流特性

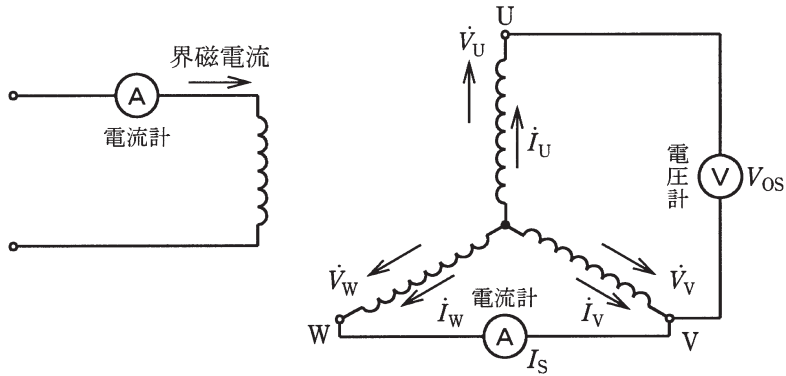


図2 逆相リアクタンスの測定回路

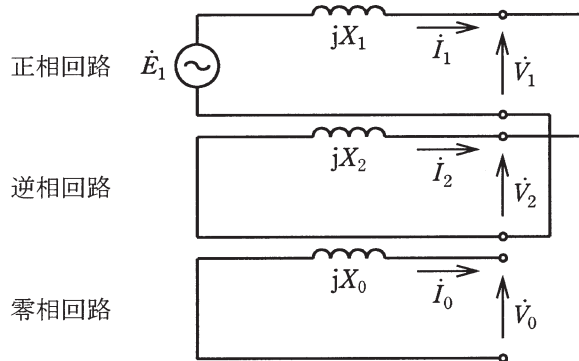


図3 対称座標法における等価回路

問3 図1に示す昇降圧チョップ及び図3に示す昇圧チョップは、運転が定常状態にあるものとする。この動作特性について、次の問に答えよ。ただし、両図において、リアクトルのインダクタンスはその電流が連続するほどに適度に大きく、また、コンデンサの静電容量は出力直流電圧が一定とみなせるほど十分に大きいものとし、損失のない理想的なチョップとする。

(1) 図1の昇降圧チョップにおいて、トランジスタ Q_1 が時刻0でターンオン、時刻 T_1 でターンオフ、時刻 T_2 でターンオンするという1周期の動作を繰り返しているとする。図2は、この昇降圧チョップの各部の電流波形を示す。図1に示す各部の電流 i_s 、 i_D 、 i_L 及び i_C の波形を図2の波形の中から選び、その記号で答えよ。

(2) 図2から T_1 及び T_2 を用いて通流率（時比率） α を表せ。

(3) 図1の出力電圧 V_1 を入力電圧 E_1 及び通流率 α を用いて表せ。

(4) 図3の昇圧チョップにおいて、トランジスタ Q_2 が時刻0でターンオン、時刻 T_a でターンオフ、時刻 T_b でターンオンするという1周期の動作を繰り返しているとする。このときの通流率（時比率） β を T_a 及び T_b を用いて表し、出力電圧 V_2 を入力電圧 E_2 及び通流率 β を用いて表せ。

(5) 図1の昇降圧チョップと図3の昇圧チョップとにおいて、同じ入力電圧で同じ通流率のときに出力電圧がより高いのはどちらのチョップであるか。また、その理由を示せ。

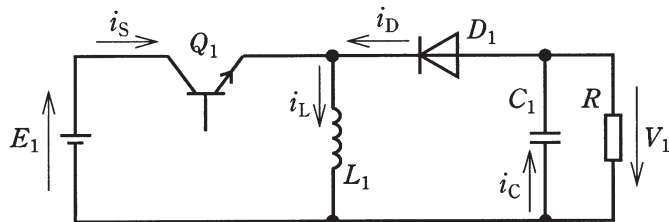


図1

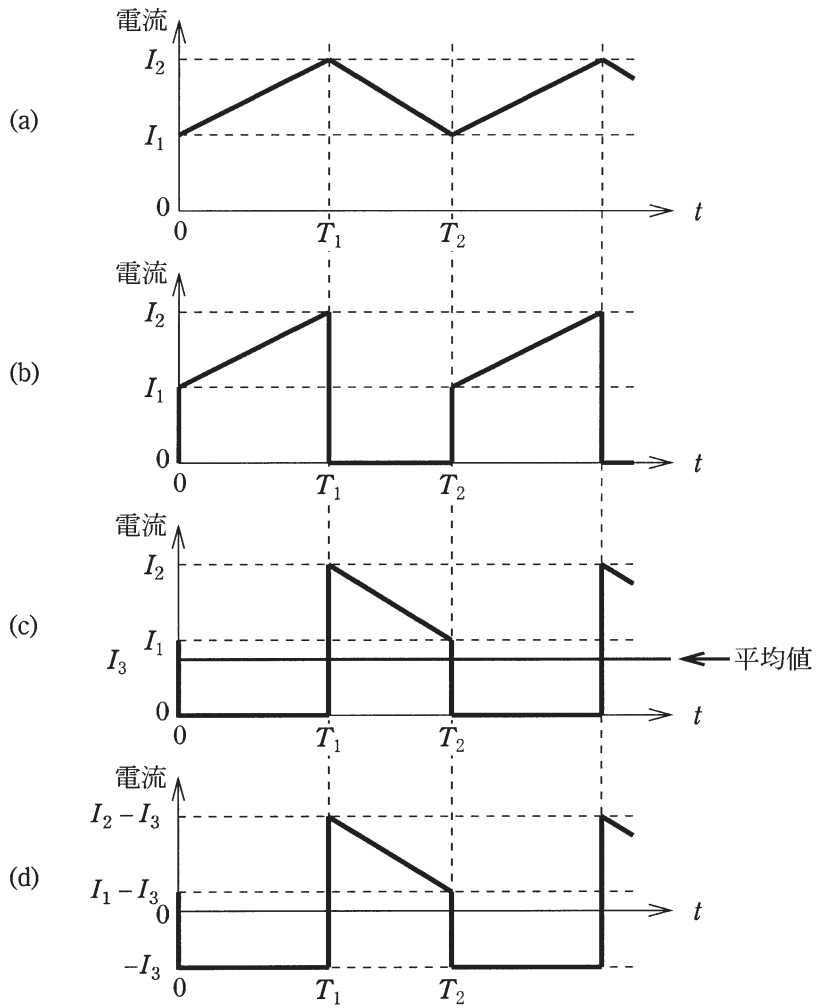


圖 2

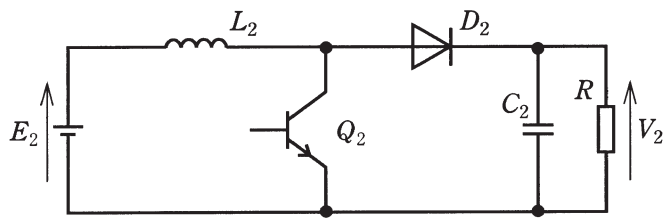


圖 3

問4 図1はフィードバック制御系の基本構成を示し、 $G_C(s)$ は補償器の伝達関数、 $G_P(s)$ は制御対象の伝達関数を表している。また、 $R(s)$ 、 $E(s)$ 、 $D(s)$ 及び $Y(s)$ は、目標値 $r(t)$ 、偏差 $e(t)$ 、外乱 $d(t)$ 及び制御量 $y(t)$ をそれぞれラプラス変換したものである。 $G_C(s) = \frac{4(s+1)}{s+2}$ 、 $G_P(s) = \frac{1}{s(s^2+5s+5)}$ として、次の間に答えよ。

- (1) $D(s) = 0$ としたとき、 $R(s)$ から $E(s)$ までの伝達関数を求めよ。
- (2) 上記(1)において、目標値として図2に示す大きさ a のステップ信号を入力したときの定常偏差を求めよ。
- (3) 上記(1)において、目標値として図3に示す傾き b のランプ信号を入力したときの定常偏差を求めよ。
- (4) $R(s) = 0$ としたとき、 $D(s)$ から $Y(s)$ までの伝達関数を求めよ。
- (5) 上記(4)において、外乱として図2に示す大きさ a のステップ信号を印加したとき、制御量の最終値を求めよ。
- (6) 上記(4)において、外乱として図3に示す傾き b のランプ信号を印加したとき、制御量は発散することを示せ。

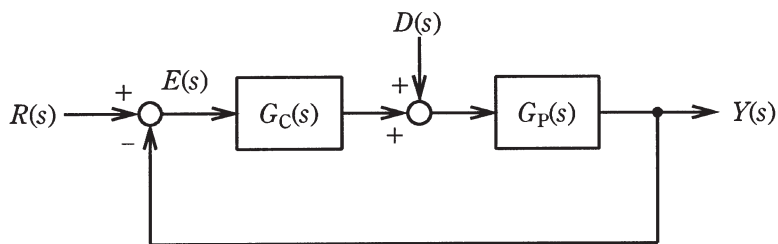


図1 フィードバック制御系

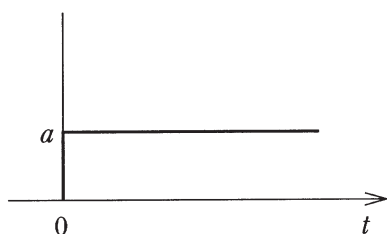


図2 ステップ信号

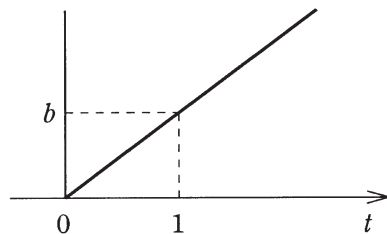


図3 ランプ信号

●平成26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) 発電機や発電所構内事故あるいは送電線事故などにより、保護装置が発電機の負荷を自動遮断した場合、水車・発電機が危険な速度まで速度上昇しないよう、(調速機及び保護装置により) ガイドベーンを急速閉止する。この場合、流水を急激に停止させたことにより、運動エネルギー(水流による慣性)が圧力エネルギー(高圧力)となって、水撃が発生する。
- (2) 水撃作用の圧力変動により、水車のケーシング、水圧管路あるいは圧力トンネルを損傷するおそれがある。
- (3) ① サージタンクを圧力トンネルの末端付近に設置し、水撃作用による圧力変動を吸収させる。
② 制圧機をケーシングあるいは水圧管路の末端に設置し、水圧が危険圧力まで上昇しないよう、調速機(ガバナー)によるガイドベーンの急速閉止に連動して、この制圧機の弁体を開放し、ケーシング及び水圧管路内の水圧を逃がす。

[問2の標準解答]

- (1) 二次-三次巻線間の%インピーダンスを X_{23} とする。

$$X_{23} = 0.02 \times \frac{200}{50} = 0.08 \rightarrow 0.08 \text{ p.u.} \dots (\text{答})$$

- (2) 前問の結果及び、 $X_{12}=0.15 \text{ p.u.}$, $X_{31}=0.08 \text{ p.u.}$ を用いると、一次側、二次側、三次側の%インピーダンス、 X_1 , X_2 , X_3 は、

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= \frac{X_{12} + X_{31} - X_{23}}{2} = \frac{0.15 + 0.08 - 0.08}{2} = 0.075 \text{ p.u.} \\ X_2 &= \frac{X_{12} + X_{23} - X_{31}}{2} = \frac{0.15 + 0.08 - 0.08}{2} = 0.075 \text{ p.u.} \\ X_3 &= \frac{X_{23} + X_{31} - X_{12}}{2} = \frac{0.08 + 0.08 - 0.15}{2} = 0.005 \text{ p.u.} \end{aligned} \right\} \dots (\text{答})$$

- (3) X_1 , X_2 , X_3 に流れ込む無効電力をそれぞれ Q_1 , Q_2 , Q_3 とすると、

$$Q_2 = 100 \sin \theta_2 = 100 \sqrt{1 - \cos^2 \theta_2} = 100 \sqrt{1 - 0.8^2} = 60 \text{ Mvar}$$

$$Q_3 = 30 \text{ Mvar}$$

$$Q_1 = Q_2 - Q_3 = 60 - 30 = 30 \text{ Mvar}$$

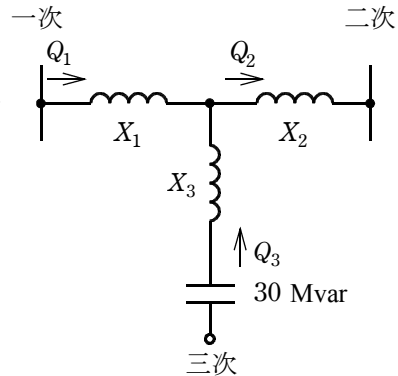
それぞれ $200 \text{ MV} \cdot \text{A}$ ベースの単位法に

換算すると、

$$Q_1 = \frac{30}{200} = 0.15 \text{ p.u.}$$

$$Q_2 = \frac{60}{200} = 0.3 \text{ p.u.}$$

$$Q_3 = \frac{30}{200} = 0.15 \text{ p.u.}$$



したがって、電圧降下 Δv は簡略な計算法により、

$$\Delta v = X_1 Q_1 + X_2 Q_2 = 0.075 \times 0.15 + 0.075 \times 0.3 = 0.03375 \text{ p.u.}$$

よって二次側の電圧 V_2 は、

$$V_2 = 152 \times \frac{77}{154} - 77 \times 0.03375 = 76 - 2.59875 \doteq 73.40125 \rightarrow 73.4 \text{ kV} \dots (\text{答})$$

[問3の標準解答]

(1) 許容電流, 電力損失, コロナ, 電圧降下のような項目が挙げられる。そこで以下には, これらの項目について記す。

① 許容電流

一般に電線に電流が流れると温度が上昇し, ある限度以上に高くなると引張強さなどの性能が低下するので, 電線の性能に悪影響を及ぼさない温度限度(最高許容温度)以下で使用しなければならない。この限度の電流を許容電流といい, 電線の材質, 構造, 表面の状況, 周囲温度, 日射状態, 風雨などにより異なる。

② 電力損失

電線の径が小さい場合, 抵抗 R が大きくなる。抵抗 R の電線に電流 I が流れると I^2R に相当する電力損失が発生するが, エネルギー輸送の観点から望ましいことではない。

③ コロナ

特に高電圧の送電線において電線の径が小さい場合, 周囲の電界強度が高くなり, これが過大な場合にはコロナ放電が発生し電力損失, ラジオ雑音, 近接通信線の誘導障害などを与えるので, これが発生しない範囲(AC 21 kV/cm 程度)で使用しなければならない。

④ 電圧降下

電線の径が小さい場合, 抵抗 R と作用インダクタンス L が共に大きくなるので, 直列インピーダンス $Z = R + j\omega L$ も大きくなる。直列インピーダンス Z の電線に電流 I を流すと ZI の電圧降下が生じるが, 送配電機器や負荷の電圧は可能なかぎり定格値近くで運用する方が望ましい。すなわち, 電圧降下が過大にならないようにしなければならない。

(2)

① 機械的強度

電線の材質が同じであれば電線が太い方が、引張強さが向上するため有利である。

② 重量

電線の材質が同じであれば電線が細い方が軽量化できるため有利である。

③ 価格

電線の材質が同じであれば電線が細い方が安価であり有利である。

④ 許容電流

電線の材質が同じであれば電線が太い方が許容電流は大きく有利である。

⑤ 電力損失

電線の材質が同じであれば電線が太い方が低抵抗となり電力損失は小さく有利である。

⑥ コロナ

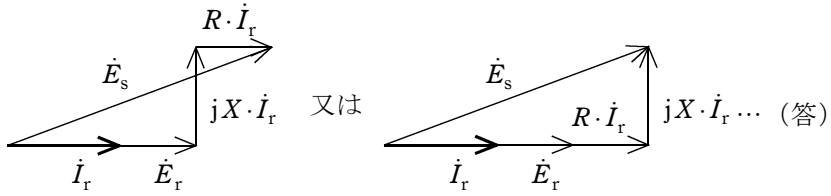
同一の材質の電線を単導体と比較すれば電線が太い方が電界強度が低くなり、コロナ発生は小さく有利である。ただし多導体を採用する場合には実効的な電界強度によって性能が左右される。

⑦ 電圧降下

電線の材質が同じであれば電線が太い方が抵抗、リアクタンスが低くなるため、電圧降下が小さくなるので有利である。

[問4の標準解答]

(1)



(2) 負荷電流 \dot{I}_r ，線路の抵抗及びリアクタンスを R ， X ，電源側，受電端の相電圧を \dot{E}_s ， \dot{E}_r とおくと， \dot{I}_r は抵抗負荷であるため \dot{E}_r と同相となる。

$$\begin{aligned}\dot{E}_s &= \dot{E}_r + \dot{I}_r(R + jX) \\ &= (\dot{E}_r + R\dot{I}_r) + j(X\dot{I}_r)\end{aligned}$$

両辺の絶対値の2乗を求める。

$$E_s^2 = (E_r + RI_r)^2 + (XI_r)^2$$

題意より， $E_s = \frac{6.93}{\sqrt{3}}$ kV， $R = 5 \Omega$ ， $X = 7 \Omega$ ， $I_r = 50$ A を代入すると，

$$\left(\frac{6.930}{\sqrt{3}}\right)^2 = (E_r + 5 \times 50)^2 + (7 \times 50)^2$$

$$16\,008\,300 = E_r^2 + 2 \times 250E_r + 62\,500 + 122\,500$$

$$E_r^2 + 2 \times 250E_r - 15\,823\,300 = 0$$

$$E_r = \frac{-250 \pm \sqrt{(250)^2 - 1 \times (-15\,823\,300)}}{1} = 3\,735.7 \text{ V} = \frac{6\,470.4}{\sqrt{3}} \text{ V}$$

(±のマイナスは不適)

受電端の線間電圧は，

$$\sqrt{3} |\dot{E}_r| = \sqrt{3} E_r = 6\,470.4 \text{ V} \rightarrow 6.47 \text{ kV} \dots (\text{答})$$

(3) 負荷電流 \dot{I}_r ，線路の抵抗及びリアクタンスを R, X ，電源側，受電端の相電圧を \dot{E}_s, \dot{E}_r とおくと， \dot{I}_r は抵抗負荷であるため \dot{E}_r と同相となる。

$$\begin{aligned}\dot{E}_s &= \dot{E}_r + \dot{I}_r(R + jX) \\ &= (\dot{E}_r + R\dot{I}_r) + j(X\dot{I}_r)\end{aligned}$$

両辺の絶対値の 2 乗を求める。

$$\begin{aligned}E_s^2 &= (E_r + RI_r)^2 + (XI_r)^2 \\ E_s^2 &= E_r^2 + 2E_rRI_r + R^2I_r^2 + X^2I_r^2 \\ (R^2 + X^2)I_r^2 + 2E_rRI_r + (E_r^2 - E_s^2) &= 0\end{aligned}$$

$$I_r = \frac{-E_rR \pm \sqrt{(E_rR)^2 - (R^2 + X^2)(E_r^2 - E_s^2)}}{R^2 + X^2}$$

線路の電圧降下率 10 % より， $\frac{|\dot{E}_s| - |\dot{E}_r|}{|\dot{E}_r|} = 0.1$ ，ゆえに $|\dot{E}_r| = E_r = \frac{6\,300}{\sqrt{3}} \text{ V}$

$E_s = \frac{6.93}{\sqrt{3}} \text{ kV}$ ， $E_r = \frac{6.3}{\sqrt{3}} \text{ kV}$ ， $R = 5 \Omega$ ， $X = 7 \Omega$ を代入すると，

$$\begin{aligned}I_r &= \frac{-\frac{6.3}{\sqrt{3}} \times 5 \pm \sqrt{\left(\frac{6.3}{\sqrt{3}} \times 5\right)^2 - (5^2 + 7^2) \left[\left(\frac{6.3}{\sqrt{3}}\right)^2 - \left(\frac{6.93}{\sqrt{3}}\right)^2\right]}}{5^2 + 7^2} \times 1\,000 \\ &\doteq 67.197 \rightarrow 67.2 \text{ A} \cdots (\text{答})\end{aligned}$$

(±のマイナスは不適)

したがって，抵抗負荷 P_1 は，

$$P_1 = 3 \times E_r \times I_r = 3 \times \frac{6\,300}{\sqrt{3}} \times 67.2 \doteq 733\,281 \rightarrow 733 \text{ kW} \cdots (\text{答})$$

[問5の標準解答]

(1) 負荷側に流れる電流 I_L のうち、有効分を I_{PL} 無効分を I_{QL} とすると、

$$800 \times 10^3 = \sqrt{3} \times 6600 \times I_{PL}$$

$$I_{PL} = \frac{800 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6600}$$

$$\doteq 69.98 \rightarrow 70.0 \text{ A} \dots (\text{答})$$

無効電力のうち動力分の遅れ無効電力は、 $\cos\theta = 0.6$ から $\sin\theta = 0.8$ 、

$$800 \times 10^3 \times \frac{0.8}{0.6} = 1067 \text{ kvar}$$

力率改善用コンデンサは進みであるから、配電線に流れる無効電力は、

$$1067 - 1000 = 67 \text{ kvar}$$

I_{QL} を求めると、

$$I_{QL} = \frac{67 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6600}$$

$$\doteq 5.861 \rightarrow 5.86 \text{ A} \dots (\text{答})$$

(2) 太陽電池発電所に流れる電流 I_G は、

$$2000 \times 10^3 = \sqrt{3} \times 6600 \times I_G$$

$$I_G = \frac{2000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6600}$$

$$\doteq 174.95$$

電流の向きに注意し、配電線に流れる電流 I は、

$$I = 69.98 + j5.861 - 174.95 = -104.97 + j5.861$$

電圧上昇は、与えられている式から

$$\Delta V = -\sqrt{3}(-104.97 \times 2.82 + 5.861 \times 3.19) \doteq 480.33 \text{ V}$$

低圧側の受電電圧 V_L はタップ比を考慮して

$$V_L = \frac{(6600 + 480.33) \times 210}{6600} \doteq 225.283 \rightarrow 225 \text{ V} \dots (\text{答})$$

(3) 電気事業法施行規則より上限電圧は $202+20 = 222 \text{ V}$ であるから,

$$V_D = 225.283 - 222 = 3.283 \rightarrow 3.28 \text{ V} \dots (\text{答})$$

(4)

- ・電線を太くしインピーダンスを減少
- ・力率改善用コンデンサの開放
- ・新たな無効電力補償装置の設置
- ・太陽電池発電設備側でインバータによる無効電力補償の増
- ・柱上変圧器のタップ変更

[問6の標準解答]

- (1) 電気工作物の故障等の発生により、公共の安全や電力の安定供給等が脅かされるので、常に法令で定める技術基準に適合するよう、その性能等を維持すると共に、事故の未然防止を図ることが必要であり、それが保全の目的となる。
- (2)
- a. 故障停止又は著しい性能低下に至ってから修理を行う保全方式であり、通常事後保全と緊急保全とに管理上、分類できる。
 - b. 従来の経験又は、その電気工作物の特性から一定期間の周期を定めて点検を行い、定期的に分解・清掃又は部品交換や補修を行い、突発事故を未然に防ぐ保全方式をいう。
 - c.
 - ① 機器・設備の劣化状態等を把握できるので、無駄な交換が不要となり、保全費用を低減できる。
 - ② 機器・設備の異常兆候の早期発見や予測などが可能であり、機器の故障やシステム停止を未然に防止できる。
 - ③ 機器の劣化による機能低下を検知することができ、システムの機能及び性能の低下を防止できる。

< 機械・制御科目 >

[問 1 の標準解答]

(1) 同期速度 n_0 は、定格周波数 f_1 と極対数 p から

$$n_0 = \frac{f_1}{p} \times 60 = \frac{50}{2} \times 60 = 1500 \rightarrow 1500 \text{ min}^{-1} \dots (\text{答})$$

(2) 励磁電流 I_0 は、相電圧 V_1 と励磁回路のアドミタンス y_0 から、

$$\begin{aligned} \dot{I}_0 &= V_1 y_0 = \frac{200}{\sqrt{3}} (0.05 - j0.15) \\ &= 5.7735 - j17.320 \\ I_0 &= \sqrt{5.7735^2 + 17.320^2} = 18.257 \rightarrow 18.3 \text{ A} \dots (\text{答}) \end{aligned}$$

(3) 二次電流の一次換算値 I'_2 は、等価回路の二次等価抵抗を考慮して、

$$\begin{aligned} \dot{I}'_2 &= \frac{V_1}{r_1 + \frac{r'_2}{s} + j(x_1 + x'_2)} = \frac{\frac{200}{\sqrt{3}}}{0.1 + \frac{0.15}{0.03} + j(0.3 + 0.4)} = \frac{\frac{200}{\sqrt{3}}}{5.1 + j0.7} \\ &= 22.222 - j3.0500 \\ I'_2 &= \sqrt{22.222^2 + 3.0500^2} = 22.430 \rightarrow 22.4 \text{ A} \dots (\text{答}) \end{aligned}$$

(4) 負荷トルク T_L は、回転角速度を ω_m [rad/s]、機械出力を P_m [W]、電源角周波数を ω_1 [rad/s]、同期ワットを P_2 [W] とすると、

$$\begin{aligned} T_L &= \frac{P_m}{\omega_m} = \frac{P_2}{\frac{\omega_1}{p}} = \frac{3p}{2\pi f_1} \times I'^2_2 \times \frac{r'_2}{s} \\ &= \frac{3 \times 2}{2\pi \times 50} \times 22.430^2 \times \frac{0.15}{0.03} = 48.067 \rightarrow 48.1 \text{ N} \cdot \text{m} \dots (\text{答}) \end{aligned}$$

(5) 一次電流 I_1 は、

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= \dot{I}_0 + \dot{I}'_2 = 5.7735 - j17.320 + 22.222 - j3.0500 \\ &= 27.995 - j20.370 \\ I_1 &= \sqrt{27.995^2 + 20.370^2} = 34.621 \rightarrow 34.6 \text{ A} \dots (\text{答}) \end{aligned}$$

(6) 力率 $\cos\phi$ は、一次電流とその実部から、

$$\cos\phi = \frac{27.995}{34.621} = 0.80861 \rightarrow 0.809 \dots (\text{答})$$

[問2の標準解答]

(1) 短絡電流 \dot{I}_{sc} は発電機の無負荷誘導起電力 (相電圧) \dot{E}_0 と jX_s から, 次の式となる。

$$\dot{I}_{sc} = \frac{\dot{E}_0}{jX_s} = \frac{1}{jX_s} \cdot \frac{V_R}{\sqrt{3}} = \frac{1}{X_s} \cdot \frac{V_R}{\sqrt{3}} \cdot e^{-j\frac{\pi}{2}}$$

同期リアクタンス X_s は,

$$X_s = \frac{V_R}{\sqrt{3} \cdot I_{sc}}$$

となる。

同じ界磁電流であれば無負荷誘導起電力は同じである。

無負荷飽和曲線上で電圧 V_R における界磁電流 I_{f0} と, 三相短絡電流特性曲線上での同じ界磁電流 I_{f0} における短絡電流 I_{S0} の値から算出した同期リアクタンスが, 飽和値 X_{ss} となる。

$$I_{S0} = \frac{I_R \cdot I_{f0}}{I_{f2}}$$

したがって,

$$X_{ss} = \frac{V_R \cdot I_{f2}}{\sqrt{3} \cdot I_R \cdot I_{f0}} \quad \dots \text{ (答)}$$

無負荷飽和曲線の低電圧不飽和域の直線部を延長したギャップ線上で電圧 V_R における界磁電流 I_{f0g} と, 三相短絡電流特性曲線上での同じ界磁電流 I_{f0g} における短絡電流 I_{S0g} の値から算出した同期リアクタンスが, 不飽和値 X_{su} となる。

$$I_{S0g} = \frac{I_R \cdot I_{f0g}}{I_{f2}}$$

したがって,

$$X_{su} = \frac{V_R \cdot I_{f2}}{\sqrt{3} \cdot I_R \cdot I_{f0g}} \quad \dots \text{ (答)}$$

前述の式に, $V_R = 13\,800\text{ V}$, $I_R = 4\,184\text{ A}$, $I_{f2} = 600\text{ A}$, $I_{f0} = 300\text{ A}$, $I_{f0g} = 270\text{ A}$
 を代入すると,

飽和値

$$X_{ss} = \frac{13800 \times 600}{\sqrt{3} \times 4184 \times 300} = 3.8085 \rightarrow 3.81\ \Omega \quad \dots \text{ (答)}$$

不飽和値

$$X_{su} = \frac{13800 \times 600}{\sqrt{3} \times 4184 \times 270} = 4.2317 \rightarrow 4.23\ \Omega \quad \dots \text{ (答)}$$

(2) 二相短絡 (V 相と W 相間短絡) 状態であり,

$$\dot{V}_V = \dot{V}_W \text{ から,}$$

$$\dot{V}_V = \dot{V}_0 + a^2 \dot{V}_1 + a \dot{V}_2 = \dot{V}_0 + a \dot{V}_1 + a^2 \dot{V}_2 = \dot{V}_W$$

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2 \text{ となる。}$$

ここで,

$$a = e^{j\frac{2\pi}{3}} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}, \quad a^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

である。

$$\dot{I}_U = 0, \quad \dot{I}_V = -\dot{I}_W \text{ から,}$$

$$\dot{I}_0 = 0 \text{ となり,}$$

$$\dot{I}_0 = 0 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 \text{ から}$$

$$\dot{I}_1 = -\dot{I}_2 \text{ となり, 図 3 の等価回路となる。}$$

$$\dot{I}_V = a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 = -a^2 \dot{I}_2 + a \dot{I}_2 = j\sqrt{3} \cdot \dot{I}_2 \text{ から}$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{I}_V}{j\sqrt{3}} \text{ となる。}$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_{UV} &= \dot{V}_U - \dot{V}_V \\ &= \dot{V}_0 + \dot{V}_1 + \dot{V}_2 - (\dot{V}_0 + a^2 \dot{V}_1 + a \dot{V}_2) \\ &= 2\dot{V}_2 - (-\dot{V}_2) = 3\dot{V}_2 \text{ から} \end{aligned}$$

$$\dot{V}_2 = \frac{\dot{V}_{UV}}{3} \text{ となる。}$$

$$jX_2 = \frac{\dot{V}_2}{-\dot{I}_2} = \frac{\dot{V}_{UV} \cdot j\sqrt{3}}{-3 \cdot \dot{I}_V}$$

$$V_{UV} = V_{OS}, \quad I_V = I_S \text{ から,}$$

$$X_2 = \frac{V_{OS}}{\sqrt{3} \cdot I_S} \quad \dots \text{ (答)}$$

算出式に $V_{OS} = 250 \text{ V}$, $I_S = 400 \text{ A}$ を代入すると,

$$X_2 = \frac{250}{\sqrt{3} \times 400} = 0.36084 \rightarrow 0.361 \text{ } \Omega \quad \dots \text{ (答)}$$

[問3の標準解答]

(1)

$$\left. \begin{array}{l} i_S \text{ は (b)} \\ i_D \text{ は (c)} \\ i_L \text{ は (a)} \\ i_C \text{ は (d)} \end{array} \right\} \dots \text{ (答)}$$

(2) オン時間を T_{ON} 、オフ時間を T_{OFF} 、周期を T とすると、通流率 α は次式で定義される。

$$\alpha = \frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}} = \frac{T_{ON}}{T}$$

図2から T_{ON} が T_1 、 T が T_2 であるので、 α は次式で表される。

$$\alpha = \frac{T_1}{T_2} \dots \text{ (答)}$$

(3) 定常状態において、リアクトルの1周期の電圧時間積は零となることから、次式が与えられる。

$$E_1 T_1 + (-V_1)(T_2 - T_1) = 0$$

したがって、 E_1 と V_1 との関係は次式となる。

$$V_1 = \frac{T_1}{T_2 - T_1} E_1 = \frac{\frac{T_1}{T_2}}{1 - \frac{T_1}{T_2}} E_1 = \frac{\alpha}{1 - \alpha} E_1 \dots \text{ (答)}$$

(4) (2)と同様に通流率 β は次式で示される。

$$\beta = \frac{T_a}{T_b} \dots \text{ (答)}$$

図3の昇圧チョップにおいても、定常状態では、リアクトルの1周期の電圧時間積は零となることから、次式が与えられる。

$$E_2 T_a + (E_2 - V_2)(T_b - T_a) = 0$$

したがって、 E_2 と V_2 との関係は次式となる。

$$V_2 = \frac{T_b}{T_b - T_a} E_2 = \frac{1}{1 - \frac{T_a}{T_b}} E_2 = \frac{1}{1 - \beta} E_2 \quad \dots \text{ (答)}$$

- (5) 昇降圧チョッパと昇圧チョッパにおいて、同じ入力電圧 E 、同じ通流率 γ のときの出力電圧を $V_{1\gamma}$ 、 $V_{2\gamma}$ とすると、

$$V_{1\gamma} = \frac{\gamma}{1 - \gamma} E$$

$$V_{2\gamma} = \frac{1}{1 - \gamma} E$$

となる。 γ は $0 < \gamma < 1$ であるので、

$$\frac{\gamma}{1 - \gamma} < \frac{1}{1 - \gamma}$$

となる。したがって、

$$V_{1\gamma} < V_{2\gamma}$$

となるので、昇圧チョッパの出力電圧の方が高くなる。 … (答)

[問 4 の標準解答]

(1) 図 1 から, 次の関係式を得る。

$$E(s) = R(s) - G_C(s)G_P(s)E(s)$$

これを変形して,

$$\frac{E(s)}{R(s)} = \frac{1}{1 + G_C(s)G_P(s)}$$

となる。

上式に $G_C(s) = \frac{4(s+1)}{s+2}$, $G_P(s) = \frac{1}{s(s^2+5s+5)}$ を代入して次式を得る。

$$\frac{E(s)}{R(s)} = \frac{s^4 + 7s^3 + 15s^2 + 10s}{s^4 + 7s^3 + 15s^2 + 14s + 4} \dots\dots\dots \textcircled{1} \dots \text{(答)}$$

(2) 目標値として図 2 のステップ信号を入力するとき, 目標値のラプラス変換は,

$$R(s) = \frac{a}{s} \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

である。定常偏差 $e(\infty)$ を求めるために, 次の最終値の定理を用いる。

$$e(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) \dots\dots\dots \textcircled{3}$$

①式, ②式及び③式から次式を得る。

$$\begin{aligned} e(\infty) &= \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{s^4 + 7s^3 + 15s^2 + 10s}{s^4 + 7s^3 + 15s^2 + 14s + 4} \cdot \frac{a}{s} \\ &= 0 \dots \text{(答)} \end{aligned}$$

(3) 目標値として図 3 のランプ信号を入力するとき, 目標値のラプラス変換は,

$$R(s) = \frac{b}{s^2}$$

である。(2)と同様にして,

$$\begin{aligned} e(\infty) &= \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{s^4 + 7s^3 + 15s^2 + 10s}{s^4 + 7s^3 + 15s^2 + 14s + 4} \cdot \frac{b}{s^2} \\ &= \frac{5}{2}b \dots \text{(答)} \end{aligned}$$

を得る。

(4) 図 1 から次の関係式を得る。

$$Y(s) = [D(s) - G_C(s)Y(s)]G_P(s)$$

上式を変形して、

$$\frac{Y(s)}{D(s)} = \frac{G_P(s)}{1 + G_C(s)G_P(s)} = \frac{s+2}{s^4 + 7s^3 + 15s^2 + 14s + 4} \quad \dots \text{ (答)}$$

となる。

(5) 外乱として図 2 のステップ信号を印加するとき、外乱のラプラス変換は次となる。

$$D(s) = \frac{a}{s}$$

よって、外乱が制御量に及ぼす定常値 $y_d(\infty)$ は、次式で計算することができる。

$$\begin{aligned} y_d(\infty) &= \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{s+2}{s^4 + 7s^3 + 15s^2 + 14s + 4} \cdot \frac{a}{s} \\ &= \frac{a}{2} \quad \dots \text{ (答)} \end{aligned}$$

(6) 外乱として図 3 のランプ信号を印加するとき、外乱のラプラス変換は、

$$D(s) = \frac{b}{s^2}$$

である。(5)と同様に計算して、

$$\begin{aligned} y_d(\infty) &= \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{s+2}{s^4 + 7s^3 + 15s^2 + 14s + 4} \cdot \frac{b}{s^2} \\ &= \infty \end{aligned}$$

となり、発散する。… (答)