

平成 26 年度

第 2 種

電力・管理

(第 1 時限目)

## 答案用紙記入上の注意事項

この試験は、6問中任意の4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. 4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4枚すべて提出してください。
4. 問題は6問あります。この中から任意の4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せん。)

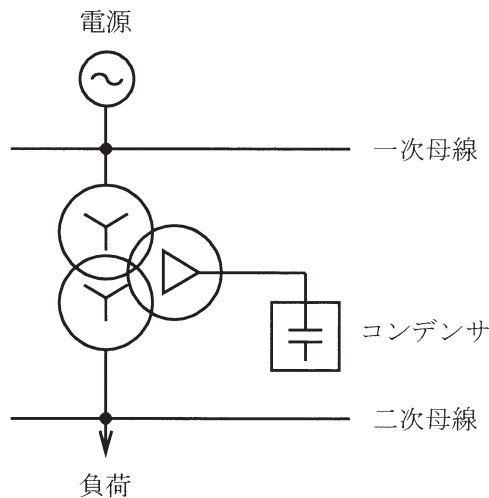
問 1～問 6 の中から任意の 4 問を解答すること。(配点は 1 問題当たり 30 点)

問 1 フランス水車を設置するダム水路式水力発電所における水撃作用について、次の問に答えよ。

- (1) 水撃作用が発生する主な原因を説明せよ。
- (2) 設計段階で水撃作用に対する機械的強度の確保や対策設備の設置を考慮しなかった場合、水車及び水路のどのような部分に被害の発生が考えられるか説明せよ。
- (3) この発電所で水撃作用による被害を避けるため、機械的強度の確保とは別に採用される、設備による対策事例を二つ挙げ、その設備名称、設備の設置場所及びその仕組みを説明せよ。

問2 図のように変電所から、皮相電力  $100 \text{ MV}\cdot\text{A}$ 、遅れ力率  $80\%$  の負荷に電力を供給している。変圧器の一次、二次及び三次の定格線間電圧は  $154 \text{ kV}$ 、 $77 \text{ kV}$ 、 $22 \text{ kV}$  であり、巻線の結線は、一次側 Y 結線、二次側 Y 結線、三次側  $\Delta$  結線である。変圧器の三次には  $30 \text{ Mvar}$  の進相コンデンサが接続されている。変圧器の容量及び%インピーダンスは以下のとおりとする。

- ・容量 一次  $200 \text{ MV}\cdot\text{A}$  二次  $200 \text{ MV}\cdot\text{A}$  三次  $50 \text{ MV}\cdot\text{A}$
- ・%インピーダンス 一次-二次  $15\%$  ( $200 \text{ MV}\cdot\text{A}$  ベース)  
 一次-三次  $8\%$  ( $200 \text{ MV}\cdot\text{A}$  ベース)  
 二次-三次  $2\%$  ( $50 \text{ MV}\cdot\text{A}$  ベース)



- (1) 二次-三次巻線間の%インピーダンスの p.u. 値を一次容量基準で表せ。
- (2) 一次、二次及び三次巻線の%インピーダンスの p.u. 値をそれぞれ一次容量基準で表せ。
- (3) 一次母線の電圧が  $152 \text{ kV}$  の場合、二次母線の電圧を求めよ。

ただし、変圧器のタップは一次  $154 \text{ kV}$ /二次  $77 \text{ kV}$  とする。また、変圧器の励磁電流や有効電力による電圧への影響は考慮しなくてよく、巻線リアクタンスでの無効電力消費は無視する。なお、電圧降下が十分に小さいとして、簡略な計算法を用いてよい。

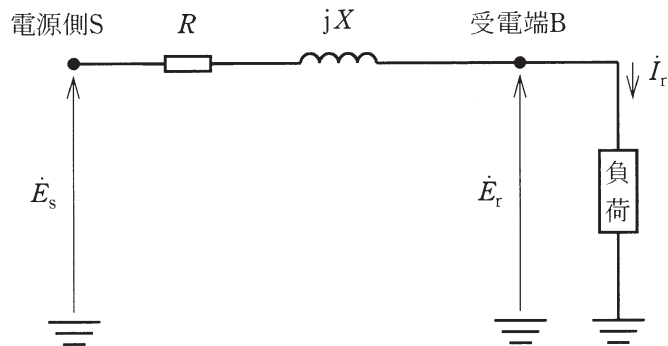
問3 架空送電線の電線の太さの選定について、次の問に答えよ。

架空送電線の電線の太さを選定するにあたっては、様々な要因を考慮する必要があるが、その要因としては、電氣的要因、機械的・重量・耐振性・工事上の取り扱いなど）や価格などがある。

- (1) 太さの選定に関係する主要な電氣的要因を4項目挙げて、その概要を説明せよ。
- (2) 上記の文章で説明されている要因のうち、機械的強度、重量、価格に上記(1)で挙げた各項目を加えた7項目の要因それぞれに関して、電線の太さが太い方が望ましいか細い方が望ましいかを理由を付して述べよ。

問4 図に示す等価回路の三相3線式1回線の高圧配電系統がある。電源側S点の線間電圧6.93kV、1線当たりの抵抗 $5\Omega$ 、リアクタンス $7\Omega$ であるとき、次の問に答えよ。ただし、負荷は三相抵抗負荷とする。

- (1) 電源側の相電圧 $\dot{E}_s$ 、受電端の相電圧 $\dot{E}_r$ 、負荷電流 $\dot{I}_r$ のベクトルを図示せよ。
- (2) 負荷電流が50A流れた際の受電端の線間電圧 $\sqrt{3}|\dot{E}_r|$  [kV]を上記(1)で表したベクトル図の関係式から求めよ。ただし、当該線路に他の負荷はなく、漏れ電流等は無視できるものとする。
- (3) 受電端B点において線路の電圧低下率が10%となる三相抵抗負荷電力[kW]及びそのときの負荷電流[A]を求めよ。



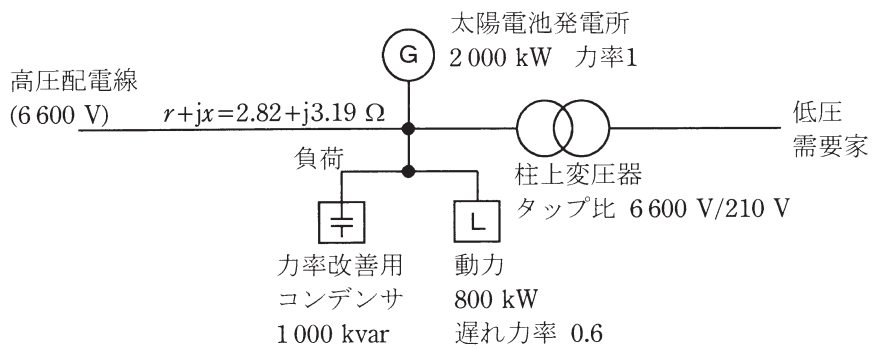
三相3線式1回線高圧配電系統の1相分の等価回路

問5 図に示すような三相3線式高圧配電線の末端に負荷が接続されており、新たに太陽電池発電所を設置した場合の逆潮流による電圧上昇について、次の問に答えよ。

ただし、低圧需要家側の電流は無視し、計算諸元は次のとおりとする。

- ・高圧配電線電圧：高圧 6600 V
- ・高圧配電線インピーダンス： $r+jx = 2.82+j3.19 \Omega$
- ・柱上変圧器のタップ比：一次電圧/二次電圧 6600 V/210 V
- ・負荷：動力 800 kW，遅れ力率 0.6  
力率改善用コンデンサ 1000 kvar
- ・太陽電池発電所：出力 2000 kW，力率 1
- ・電流値計算にあたっては、高圧配電線電圧 6600 V を用いる

- (1) 負荷側に流れる有効電流  $I_{PL}$  [A] と無効電流  $I_{QL}$  [A] を求めよ。
- (2) 太陽電池発電所が接続されることによる低圧需要家側の受電電圧  $V_L$  [V] を求めよ。ただし、逆潮流による配電線の電圧上昇  $\Delta V$  は、負荷側に流れる電流を正とした場合，
$$\Delta V = -\sqrt{3}(\text{有効電流} \times \text{線路の抵抗分} + \text{無効電流} \times \text{線路のリアクタンス分})$$
で求めよ。
- (3) 上記(2)で求めた受電電圧  $V_L$  [V] は、法令で定める維持すべき電圧をいくら超えているか、その値  $V_D$  [V] を求めよ。
- (4) 高圧配電線，負荷，太陽電池発電所及び柱上変圧器で考えられる電圧上昇抑制対策を二つ述べよ。





問6 電気工作物の保全について、次の問に答えよ。

- (1) 電気工作物の保全について、技術的見地からその必要性（目的）について述べよ。
- (2) 保全方式は、事後保全（CM：Corrective Maintenance）と予防保全（PM：Preventive Maintenance）に大別される。
  - a. 事後保全方式について説明せよ。
  - b. 予防保全方式のうち、定期保全方式について説明せよ。
  - c. 予防保全方式のうち、予知保全（状態監視保全）方式を採用する利点（メリット）を二つ述べよ。

●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、

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

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

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

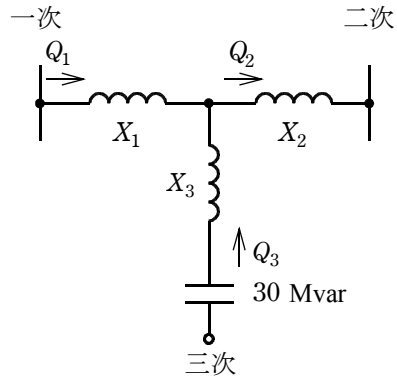
それぞれ  $200 \text{ MV} \cdot \text{A}$  ベースの単位法に

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  $\Delta v$  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

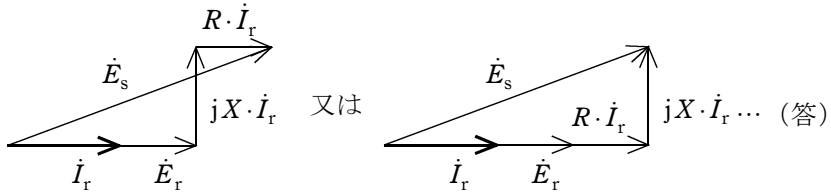
同一の材質の電線を単導体と比較すれば電線が太い方が電界強度が低くなり、コロナ発生は小さく有利である。ただし多導体を採用する場合には実効的な電界強度によって性能が左右される。

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。

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

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  $202+20 = 222$  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  $\omega_m$  [rad/s]、機械出力を  $P_m$  [W]、電源角周波数を  $\omega_1$  [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  $\alpha$  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、 $\alpha$  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  $\beta$  は次式で示される。

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

図3の昇圧チョップパにおいても、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  $\gamma$  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。 $\gamma$  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。

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

これを变形して,

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

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)