

平成 24 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（又はB）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す。）

第 2 種

# 電力・管理

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 1 台のポンプ水車と発電電動機による揚水発電所について、次の問に答えよ。ただし、諸元は次のとおりとし、貯水池水位の変動に伴う有効落差の変化はないものとする。

項目	記号	数 値	単 位	項目	記 号	数 値
有効貯水池容量	$V$	$2 \times 10^6$	$[\text{m}^3]$	電動機効率	$\eta_M$	0.97
満水時静落差	$H$	150	$[\text{m}]$	発電機効率	$\eta_G$	0.95
発電時水路損失	$H_L$	10	$[\text{m}]$	ポンプ効率	$\eta_P$	0.88
重力加速度	$g$	9.8	$[\text{m}/\text{s}^2]$	水車効率	$\eta_T$	0.90
水の密度	$\rho$	1 000	$[\text{kg}/\text{m}^3]$	電動機力率	$\phi_M$	1.00
主変圧器容量	$T$	150	$[\text{MV}\cdot\text{A}]$	発電機力率	$\phi_G$	0.80

(1) 電動機の最大皮相電力を  $S_M$   $[\text{MV}\cdot\text{A}]$ 、電動機出力（ポンプ入力）を機械最大出力  $P_M$   $[\text{MW}]$ 、電動機入力を  $P_{Mi}$   $[\text{MW}]$ 、発電機容量を  $S_G$   $[\text{MV}\cdot\text{A}]$ 、発電機の最大出力を  $P_G$   $[\text{MW}]$  とした場合、次の関係式の  に当てはまる記号を答えよ。

$$\cdot P_M = P_{Mi} \times \text{A}$$

$$\cdot P_{Mi} = \text{B} \times \text{C}$$

$$\cdot P_G = \text{D} \times \text{E}$$

(2) さらに、発電機容量  $S_G$   $[\text{MV}\cdot\text{A}]$  が電動機の最大皮相電力  $S_M$   $[\text{MV}\cdot\text{A}]$  と同じとした場合、発電使用水量  $Q_G$   $[\text{m}^3/\text{s}]$  を  $P_M$  など与えられた記号を用いて表せ。

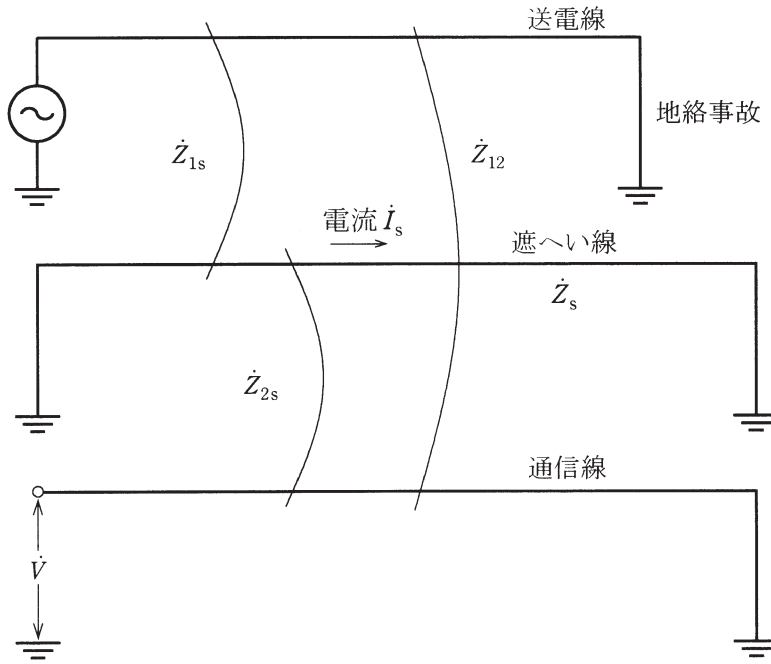
(3) (2) の条件において、 $P_M=100$   $[\text{MW}]$  の場合の発電使用水量  $Q_G$  を計算せよ。

(4) (3) の条件において、有効貯水池容量をすべて使用するときの発電時間を計算せよ。

問2 架空地線付き送電線路において発生する雷事故に関し、次の問に答えよ。

- (1) 雷事故は、発生メカニズムの違いにより、遮へい失敗事故と逆フラッシュオーバー事故に大別される。それぞれの事故の発生メカニズムを簡潔に説明せよ。
- (2) 架空送電線路において発生する雷事故の防止効果を高める対策を三つ挙げ、それぞれについて簡潔に述べよ。

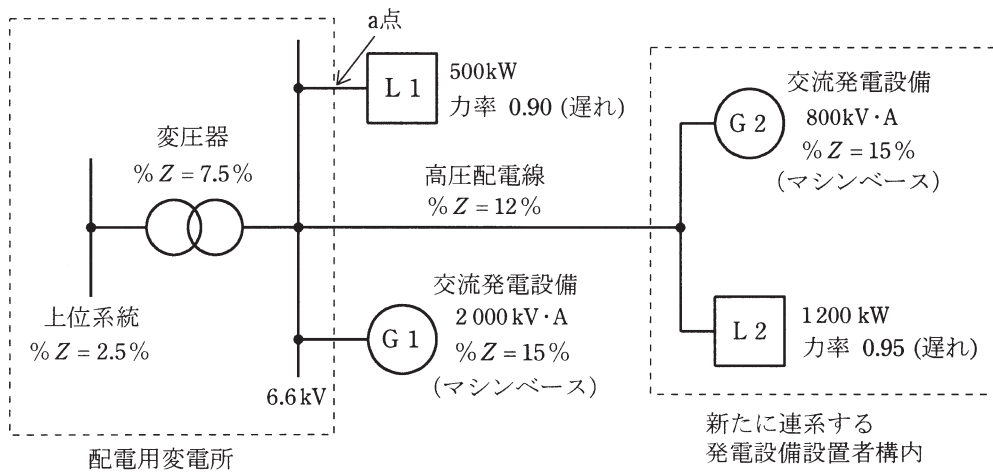
問3 図のように三相交流送電線（単線結線図）と通信線があり，その間に遮へい線がある。送電線と通信線の相互インピーダンスを $\dot{Z}_{12}$ ，送電線と遮へい線との相互インピーダンスを $\dot{Z}_{1s}$ ，遮へい線と通信線の相互インピーダンスを $\dot{Z}_{2s}$ ，遮へい線の自己インピーダンスを $\dot{Z}_s$ とする。一線地絡事故により送電線に流れる零相電流を $\dot{I}_0$ とするとき次の間に答えよ。



- (1) 遮へい線が無い場合に，通信線の開放端に生じる誘導電圧  $\dot{V}$  を求めよ。
- (2) 遮へい線が存在する場合に，遮へい線に流れる電流  $\dot{I}_s$  と通信線の開放端に生じる誘導電圧  $\dot{V}'$  を求めよ。
- (3) (2)の計算結果を用いて，遮へい線をどのように配置するのが良いか説明せよ。

問4 図のように、2000 [kV・A] の発電設備が連系されている配電用変電所において、新たに 800 [kV・A] の発電設備を連系する際の a 点における三相短絡電流計算について、次の問に答えよ。

なお、各地点の%Z は図中に示したとおりの値であり、特に断りのない場合は、10 [MV・A] ベースである。また、線路の抵抗は無視できるものとし、配電用変電所から L1 及び G1 までの高圧配電線はこう長が短いことから%Z は無視できるものとする。



- (1) 連系する 800 [kV・A] の発電設備の%Z (10 [MV・A] ベース) を求めよ。
- (2) 800 [kV・A] の発電設備を連系した後における a 点の三相短絡インピーダンス%Z (10 [MV・A] ベース) を求めよ。
- (3) 800 [kV・A] の発電設備を連系した後における a 点の三相短絡電流値 [kA] を求めよ。
- (4) (3)において、a 点の三相短絡電流値 [kA] を遮断器の定格遮断電流 (10 [kA]) 以下に抑制するために、新たに連系する発電設備設置者構内に限流リアクトルを設置する場合におけるリアクトルの最低インピーダンス%Z (10 [MV・A] ベース) を求めよ。

問5 電力系統の変電所での電圧調整について、次の問に答えなさい。

図1のようにモデル化した電力系統において、電源1と電源2の電圧がそれぞれ一定であるとき、変圧器二次側（変電所母線側）タップ電圧（以下、変圧器タップ電圧）の微小調整量を $\Delta n$ 、電力用コンデンサからの無効電力の微小調整量を $\Delta q$ とおけば、これらの調整による変電所の電圧の微小変化量 $\Delta V$ は近似的に、単位法で示すと

$$\Delta V = A_n \cdot \Delta n + A_q \cdot \Delta q$$

と表すことができる。この式の係数 $A_n$ 、 $A_q$ を次のようにして求めることができる。

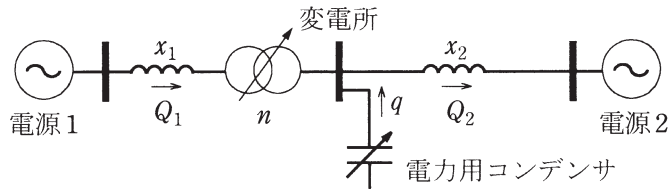
(1) 電力用コンデンサからの無効電力調整を行わない（ $\Delta q = 0$ ）場合、変圧器タップ電圧を $\Delta n$ 調整したときの電圧変化の分布は図2のようになる。変圧器のタップ調整にともない線路の無効電力潮流は $\Delta Q$ 変化するものとした場合、係数 $A_n$ を $x_1$ 及び $x_2$ で表しなさい。

(2) 変圧器のタップ調整を行わない（ $\Delta n = 0$ ）場合、電力用コンデンサからの無効電力を $\Delta q$ 調整したときの電圧変化の分布は図3のようになる。線路の無効電力潮流は、 $\Delta q$ が線路リアクタンスの逆比で分流した分だけそれぞれ変化するものとした場合、係数 $A_q$ を $x_1$ 及び $x_2$ で表しなさい。

なお、モデル系統における上記の計算において、リアクタンス $x$ を通る無効電力潮流が $\Delta Q$ 変化したときの変電所の電圧変化 $\Delta V$ は近似的に、単位法で示すと

$$\Delta V = x \cdot \Delta Q$$

で表されるものとする。



- $Q_1, Q_2$  :  $x_1, x_2$  にそれぞれ流れる無効電力
- $n$  : 変圧器二次側（変電所母線側）タップ電圧
- $q$  : 電力用コンデンサからの無効電力
- $x_1$  : 電源1から変電所までのリアクタンス
- $x_2$  : 変電所から電源2までのリアクタンス

図 1 モデル化した電力系統

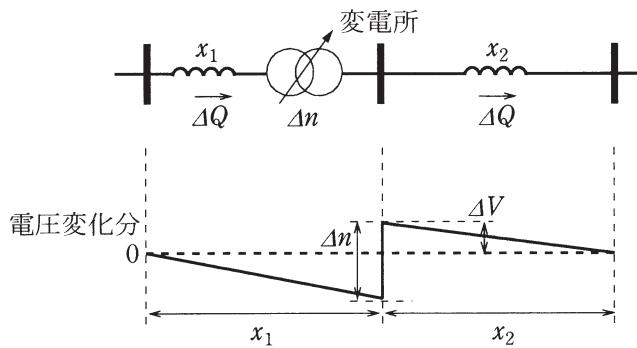


図 2

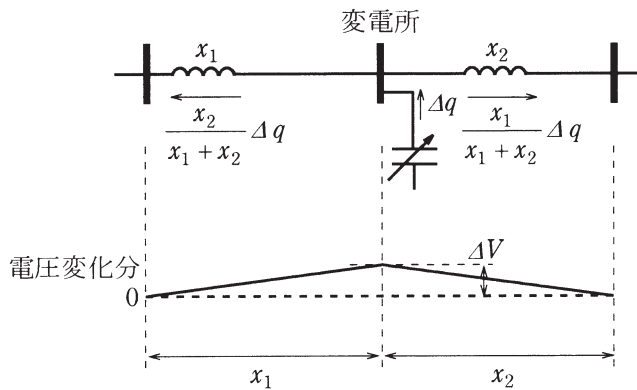


図 3



問6 次の表は、「電気設備技術基準の解釈」に基づく、常時監視をしない変電所の監視制御方式の種類、定義、適用電圧及び警報する場所等に関して記述したものである。AからFの記号を付した空欄に記入すべき適切な語句又は文章を答えなさい。

監視制御方式の種類	定義	適用電圧	警報する場所等
A	技術員が必要に応じて変電所に出向いて、変電所の監視及び機器の操作を行うもの	100 [kV] 以下	技術員 (技術員に連絡するための補助員がいる場合は、当該補助員)
断続監視制御方式	B	170 [kV] 以下	E
遠隔断続監視制御方式	C	170 [kV] 以下	F
遠隔常時監視制御方式	技術員が変電制御所に常時駐在し、変電所の監視及び機器の操作を行うもの	D	変電制御所

●平成24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) 電動機出力（ポンプ入力）＝電動機入力×電動機効率 なので、

$$A \quad \cdot P_M = P_{Mi} \times \boxed{\eta_M} \quad \dots \textcircled{1}$$

$$B \text{ 又は } C \quad \cdot P_{Mi} = \boxed{S_M} \times \boxed{\phi_M} \quad \dots \textcircled{2}$$

$$D \text{ 又は } E \quad \cdot P_G = \boxed{S_G} \times \boxed{\phi_G} \quad \dots \textcircled{3}$$

(2)  $S_G = S_M$  なので、上記 3 式から、 $P_G = \frac{\phi_G P_M}{\phi_M \eta_M}$

発電機出力と発電使用水量の関係から、

$$P_G = \eta_T \eta_G g \rho Q_G (H - H_L) \times 10^{-6}$$

なので、

$$Q_G = \frac{\phi_G P_M \times 10^6}{\eta_T \eta_G g \rho (H - H_L) \phi_M \eta_M} \quad \dots \textcircled{4}$$

(3) ④式で  $P_M = 100$  [MW] とすると、

$$Q_G = \frac{0.8 \times 100 \times 10^6}{0.9 \times 0.95 \times 9.8 \times 1000 \times (150 - 10) \times 1.0 \times 0.97}$$

$$= 70.3069 \rightarrow 70.3 \text{ [m}^3/\text{s]}$$

(4)  $\frac{V}{Q_G} = \frac{2\,000\,000}{70.3} = 28\,449$  [s]  $\rightarrow$  約 28 400 [s] (又は約 7 時間 54 分)

なお、(4)は(1)～(3)の条件において計算することから、答は主変圧器容量  $T$  [MV・A] にはよらない。

[問2の標準解答]

(1) 遮へい失敗事故：雷が電力線を直撃してアークホーンにフラッシュオーバが発生する。

逆フラッシュオーバ事故：架空地線あるいは鉄塔への雷撃によって架空地線あるいは鉄塔の電位が上昇し、架空地線と導体間、又はアークホーンにフラッシュオーバが発生する。

(2) ① 架空地線の弛度を電力線のそれより小さくすることで、架空地線と導体間のフラッシュオーバを低減する。

② 埋設地線、深打ち電極及び接地シートなどにより鉄塔の塔脚接地抵抗を低減することで、鉄塔の電位上昇による逆フラッシュオーバを低減する。

③ 架空地線を多条化することで、鉄塔の電位上昇による逆フラッシュオーバを低減する。

④ 系統に過電圧が侵入した場合に、フラッシュオーバが継続して送電線が遮断されるのを防止するため、送電用避雷装置を設置する。

[問3の標準解答]

(1) 遮へい線がない場合通信線に誘導される電圧  $\dot{V}$  は

$$\dot{V} = 3\dot{Z}_{12}\dot{I}_0$$

(2) 遮へい線に流れる電流  $\dot{I}_S$  は,  $\dot{I}_0$  による誘導電圧を打ち消すように流れる。

したがって, 次式が成り立つ。

$$3\dot{Z}_{1S}\dot{I}_0 + \dot{Z}_S\dot{I}_S = 0$$

$$\dot{I}_S = -\frac{3\dot{Z}_{1S}\dot{I}_0}{\dot{Z}_S}$$

通信線に生じる誘導電圧  $\dot{V}'$  は送電線の電流  $3\dot{I}_0$  と遮へい線を通る誘導電流  $\dot{I}_S$  による誘導電圧の和だから次式となる。

$$\begin{aligned} \dot{V}' &= 3\dot{Z}_{12}\dot{I}_0 + \dot{Z}_{2S}\dot{I}_S = 3\dot{Z}_{12}\dot{I}_0 + \dot{Z}_{2S}\left(\frac{-3\dot{Z}_{1S}\dot{I}_0}{\dot{Z}_S}\right) \\ &= 3\dot{Z}_{12}\dot{I}_0\left(1 - \frac{\dot{Z}_{1S}\dot{Z}_{2S}}{\dot{Z}_{12}\dot{Z}_S}\right) = 3\dot{I}_0\left(\dot{Z}_{12} - \frac{\dot{Z}_{1S}\dot{Z}_{2S}}{\dot{Z}_S}\right) \\ &= \dot{V}\left(1 - \frac{\dot{Z}_{1S}\dot{Z}_{2S}}{\dot{Z}_{12}\dot{Z}_S}\right) \end{aligned}$$

(3) 送電線近傍に遮へい線を設置した場合の誘導電圧を  $\dot{V}'_T$  とし, 通信線近傍に遮へい線を設置した場合の誘導電圧を  $\dot{V}'_C$  としたとき,  $|\dot{V}'_T| > |\dot{V}'_C|$  となるので, 通信線のできるだけ近くに遮へい線を設置するのが良い。

[理由]

遮へい線を送電線近傍に設置したとき  $\dot{Z}_{2S} \doteq \dot{Z}_{12}$  となり, 通信線の近傍に設置したとき  $\dot{Z}_{1S} \doteq \dot{Z}_{12}$  となる。したがって,  $\dot{V}'_T$  と  $\dot{V}'_C$  は各々次式で近似される。

$$\dot{V}'_T = \dot{V}\left(1 - \frac{\dot{Z}_{1S}}{\dot{Z}_S}\right) \quad \dot{V}'_C = \dot{V}\left(1 - \frac{\dot{Z}_{2S}}{\dot{Z}_S}\right)$$

ここで, 遮へい線との離隔距離が小さいほど相互インピーダンスが大きくなり, 自己インピーダンス  $\dot{Z}_S$  との比が 1 に近い値となるので通信線に誘導される電圧は小さくなる。実際に遮へい線を設置する場合, 電圧の違いに

より、電力線の近傍に設置する場合は通信線の近傍に設置する場合と比べて  
隔離距離を小さくすることができない。

したがって、

$$|\dot{Z}_S| > |\dot{Z}_{2S}| > |\dot{Z}_{1S}|$$

となり、次式が成り立つ。

$$\left| 1 - \frac{\dot{Z}_{1S}}{\dot{Z}_S} \right| > \left| 1 - \frac{\dot{Z}_{2S}}{\dot{Z}_S} \right|$$

したがって、 $|\dot{V}_T| > |\dot{V}_C|$ となるので、通信線のできるだけ近くに遮へい線を  
設置するのが良い。

[問4の標準解答]

(1) 連系する発電設備は800 [kV・A], %Z=15 [%] (マシンベース) なので,

当該発電設備の%Zは,

$$\frac{15 [\%] \times 10\,000 [\text{kV} \cdot \text{A}]}{800 [\text{kV} \cdot \text{A}]} = 187.5 [\%] \rightarrow 188 [\%]$$

(2) 10 [MV・A] をベースとしたインピーダンスマップを作成すると以下のとおりとなる。

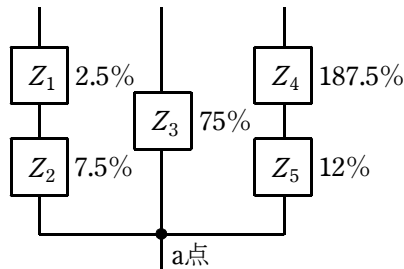
配電用変電所の上位系統の%Z :  $Z_1 = 2.5 [\%]$

配電用変電所の変圧器の%Z :  $Z_2 = 7.5 [\%]$

発電設備 G1 の%Z :  $Z_3 = \frac{15 [\%] \times 10\,000 [\text{kV} \cdot \text{A}]}{2\,000 [\text{kV} \cdot \text{A}]} = 75 [\%]$

発電設備 G2 の%Z :  $Z_4 = 187.5 [\%]$

新たに連系する発電設備までの高圧配電線の%Z :  $Z_5 = 12 [\%]$



上記インピーダンスマップに基づき, %Zの合成値を求めると,

$$\%Z = \frac{1}{\frac{1}{2.5+7.5} + \frac{1}{75} + \frac{1}{187.5+12}} = 8.449 \rightarrow 8.45 [\%]$$

(3) 三相短絡容量  $P_S$  は

$$P_S = \frac{10\,000 [\text{kV} \cdot \text{A}] \times 100}{8.449} = 118.4 [\text{MV} \cdot \text{A}]$$

したがって, 三相短絡電流  $I_S$  は

$$I_S = \frac{118.4 [\text{MV} \cdot \text{A}]}{\sqrt{3} \times 6.6 [\text{kV}]} = 10.35 \rightarrow 10.4 [\text{kA}]$$

(4) 三相短絡電流が 10 [kA] となるためには、三相短絡容量  $P'_S$  は

$$P'_S = 10 \text{ [kA]} \times \sqrt{3} \times 6.6 \text{ [kV]} = 114.3 \text{ [MV}\cdot\text{A]}$$

したがって、合成%Zは、

$$\%Z = \frac{10 \text{ 000 [kV}\cdot\text{A]} \times 100}{114.3 \text{ [MV}\cdot\text{A]}} = 8.749 \text{ [%]}$$

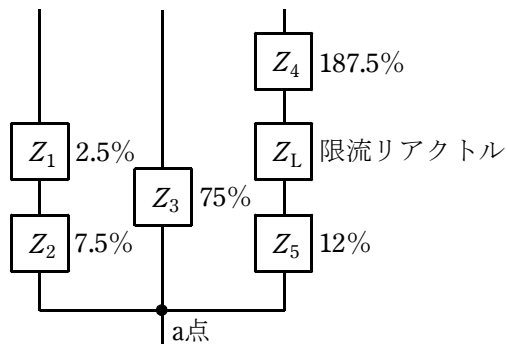
求める限流リアクトルのインピーダンスを% $Z_L$ とすると、

$$\%Z = \frac{1}{\frac{1}{2.5+7.5} + \frac{1}{75} + \frac{1}{187.5+12+\%Z_L}} = 8.749 \text{ [%]}$$

式を整理すると

$$\begin{aligned} \%Z_L &= \frac{8.749}{1 - 8.749 \times \left( \frac{1}{2.5+7.5} + \frac{1}{75} \right)} - (187.5+12) \\ &= \frac{8.749}{1 - 8.749 \times 0.1133} - 199.5 \\ &= 1006 - 199.5 \\ &= 806.5 \rightarrow 807 \text{ [%]} \end{aligned}$$

(注) 桁数の取り方、計算の順序により上記とは異なる正答もある。



[問5の標準解答]

(1) 図2において、変圧器タップ電圧の微小調整量  $\Delta n$  は線路  $x_1$  と線路  $x_2$  の電圧変化量の和であり、

$$\Delta n = x_1 \Delta Q + x_2 \Delta Q = (x_1 + x_2) \Delta Q$$

変電所の電圧変化  $\Delta V$  は、線路  $x_2$  の電圧変化と等しいので、

$$\Delta V = x_2 \Delta Q$$

$\Delta q = 0$  より

$$\therefore A_n = \frac{\Delta V}{\Delta n} = \frac{x_2 \Delta Q}{(x_1 + x_2) \Delta Q} = \frac{x_2}{x_1 + x_2} \quad \dots (\text{答})$$

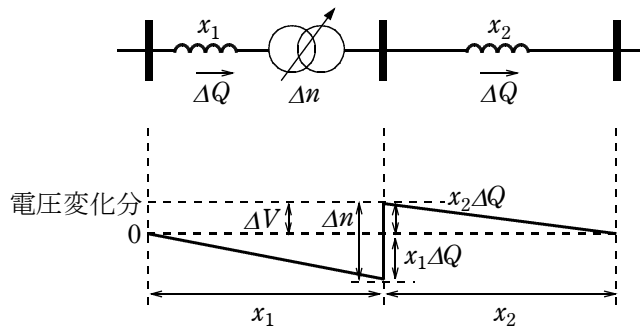


図2 変圧器タップ電圧調整による電圧分布 ( $\Delta q = 0$ )

(2) 図3において、線路  $x_1$  の無効電力変化は、

$$\Delta Q = \frac{x_2}{x_1 + x_2} \Delta q$$

変電所の電圧変化  $\Delta V$  は、線路  $x_1$  の電圧変化と等しいので、

$$\Delta V = x_1 \Delta Q = x_1 \frac{x_2}{x_1 + x_2} \Delta q$$

$\Delta n = 0$  より

$$\therefore A_q = \frac{\Delta V}{\Delta q} = \frac{x_1 x_2}{x_1 + x_2} \quad \dots (\text{答})$$



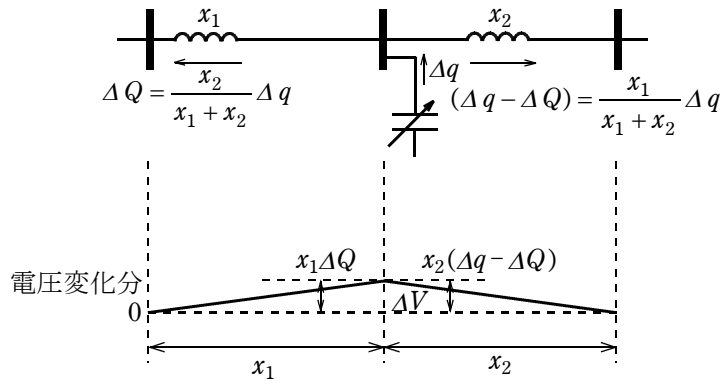


図 3 電力用コンデンサからの無効電力調整による電圧分布 ( $\Delta n=0$ )

[問6の標準解答]

A：簡易監視制御方式

B：技術員が当該変電所又は 300〔m〕以内にある技術員駐在所に常時駐在し，断続的に変電所に向向いて，変電所の監視及び機器の操作を行うもの

C：技術員が変電制御所又は 300〔m〕以内にある技術員駐在所に常時駐在し，断続的に変電制御所に向向いて，変電所の監視及び機器の操作を行うもの

D：制限なし

E：技術員駐在所

F：変電制御所及び技術員駐在所

< 機械・制御科目 >

[問 1 の標準解答]

(1) 電機子巻線の銅損は、

$$200 \times 20 - 3750 - 2.5 \times 20 = 200 \text{ [W]}$$

したがって、電機子巻線抵抗は、

$$\frac{200}{20^2} = 0.500 \text{ [\Omega]}$$

(2) 誘導起電力は、

$$E_0 = 200 - 2.5 - 0.5 \times 20 = 187.5 \rightarrow 188 \text{ [V]}$$

(3) IGBT の電圧降下を考え、

$$E_0 = 200 - 2 - 2.5 - 0.5 \times 20 = 185.5 \text{ [V]}$$

したがって、回転速度は、

$$\frac{185.5}{187.5} \times 1500 = 1484 \rightarrow 1480 \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

(4) 1000 [min<sup>-1</sup>] の起電力は、

$$\frac{187.5}{1500} \times 1000 = 125 \text{ [V]}$$

ブラシの電圧降下と巻線抵抗を考慮すると電機子の端子電圧は、

$$125 + 2.5 + 0.5 \times 10 = 132.5 \rightarrow 133 \text{ [V]}$$

(5) IGBT S<sub>1</sub> がオンのときの S<sub>2</sub> のコレクタ-エミッタ間電圧は、S<sub>1</sub> の電圧降下を考えて、

$$200 - 2 = 198 \text{ [V]}$$

オフのときは、ダイオード D<sub>2</sub> の電圧降下により、

$$-1 \text{ [V]}$$

S<sub>1</sub> の通流率を  $D$  とすると、チョッパ端子電圧は、

$$198 \times D + (-1)(1 - D) = 199 \times D - 1 \text{ [V]}$$

したがって、 $199 \times D - 1 = 132.5$  [V] を  $D$  について解けば、

$$D = \frac{132.5 + 1}{199} = 0.67085 \rightarrow 0.671$$

- (6) 定格トルクを発生する場合の電機子電流は 20 [A] であり、20 [A] の電機子電流を流すためには、少なくとも電圧降下分の起電力が必要であるので、

$$0.5 \times 20 + 2.5 + 2 = 14.5 \text{ [V]}$$

$$\text{このときの回転速度は、} \frac{14.5}{187.5} \times 1500 = 116 \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

一方、電機子電流を 20 [A] に制御できる電動機起電力の最大値は、

$$200 + 1 + 2.5 + 0.5 \times 20 = 213.5 \text{ [V]}$$

このときの回転速度は、

$$\frac{213.5}{187.5} \times 1500 = 1708 \rightarrow 1710 \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

ゆえに制動トルクを定格トルクに制御できる範囲は、

116 [min<sup>-1</sup>] から 1710 [min<sup>-1</sup>]

[問2の標準解答]

(1) コイルに誘導される起電力の瞬時値  $e$  は,

$$e = -n_c \frac{d\phi}{dt} = -n_c \frac{d}{dt} (\Phi_m \cdot \cos \omega t) = n_c \omega \Phi_m \sin \omega t = E_m \sin \omega t$$

となり,

誘導起電力の最大値  $E_m$  は,

$$E_m = n_c \omega \Phi_m = 2\pi f n_c \Phi_m$$

となり,

誘導起電力の実効値  $E$  は,

$$E = \sqrt{2} \pi f n_c \Phi_m = 4.4429 f n_c \Phi_m \rightarrow 4.44 f n_c \Phi_m \text{ [V]}$$

(2) 図1を参照して,  $e_1 = e_2 = e_3 = e_c$  として基本波に対する分布係数  $K_d$  は,

$$K_d = \frac{e_d}{n e_c} = \frac{2 \sin\left(\frac{\pi}{2m}\right)}{n \cdot 2 \sin\left(\frac{\pi}{2mn}\right)} = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2m}\right)}{n \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2mn}\right)}$$

となる。

相数  $m = 3$ , 每極每相のスロット数  $n = 3$  の場合の基本波に対する  $K_d$  は,

$$K_d = \frac{\sin \frac{\pi}{6}}{3 \sin \frac{\pi}{18}} = \frac{0.5}{3 \times 0.173648} = 0.95979 \rightarrow 0.960$$

となる。

(3) 図2を参照して,  $e_a = e_b = e_s$  として基本波に対する短節係数  $K_p$  は,

$$K_p = \frac{e_p}{2e_s} = \frac{2e_s \cdot \sin\left(\frac{\beta\pi}{2}\right)}{2e_s} = \sin\left(\frac{\beta\pi}{2}\right)$$

となる。

$\beta = \frac{2}{3}$  の場合の基本波に対する短節係数  $K_p$  は,

$$K_p = \sin \frac{\pi}{3} = 0.86602 \rightarrow 0.866$$

となる。

(4) 上記(1)の全節巻及び集中巻の場合の誘導起電力の式と巻線係数から、分布巻及び短節巻の場合の誘導起電力の実効値  $E$  は、

$$E = 4.44 f n_c \Phi_m K_d K_p \text{ [V]}$$

となる。

周波数  $f = 50$  [Hz]，コイル数  $n_c = 12$ ，コイルに鎖交する磁束の最大値  $\Phi_m = 1.5$  [Wb] として、

$$E = 4.4429 \times 50 \times 12 \times 1.5 \times 0.95979 \times 0.86602 = 3323.6 \rightarrow 3320 \text{ [V]}$$

となる。

[問3の標準解答]

(1) 次の式となる。

$$\dot{V}_v = V_L + jX \cdot \dot{I}$$

(2) 出力電力 3 [kW] ,  $V_L = 100$  [V] , 力率 1 なので,  $\dot{I}$  は大きさ 30 [A] で位相角 0 [°] である。

したがって

$$\dot{V}_v = V_L + jX \cdot \dot{I} = 100 + j0.4 \times 30 = 100 + j12$$

a.  $V_v = \sqrt{100^2 + 12^2} = 100.71 \rightarrow 101$  [V]

b.  $K = V_v \frac{\sqrt{2}}{E_d} = 100.71 \times \frac{1.4142}{150} = 0.94949 \rightarrow 0.949$

c.  $\tan \phi = \frac{12}{100} = 0.120$

(3) 上記(1)で得られた式に  $\dot{I} = I_P + jI_Q$  を代入し

$$\dot{V}_v = V_L + jX(I_P + jI_Q) = V_L - X \cdot I_Q + jX \cdot I_P$$

したがって

$$V_v = \sqrt{(V_L - X \cdot I_Q)^2 + (X \cdot I_P)^2}$$

( $V_v = |V_L + jX \cdot \dot{I}|$ ,  $V_v = |V_L - X \cdot I_Q + jX \cdot I_P|$  など, 絶対値のままでは不可。)

(4)  $V_v$  の範囲から

$$\sqrt{(V_L - X \cdot I_Q)^2 + (X \cdot I_P)^2} \leq \frac{E_d}{\sqrt{2}}$$

$I_P = 0$  として次の解が得られる。

$$I_{Q\min} = \frac{V_L - \frac{E_d}{\sqrt{2}}}{X} = \frac{100 - \frac{150}{\sqrt{2}}}{0.4} = -15.165 \rightarrow -15.2 \text{ [A]}$$

[問 4 の標準解答]

(1) 制御対象のステップ応答

ラプラス変換域におけるステップ応答は,

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

で与えられる。この逆ラプラス変換を求めるために、部分分数展開すると,

$$\begin{aligned} Y(s) &= \frac{a}{s^2} + \frac{b}{s} + \frac{c}{s+1} \\ &= \frac{a(s+1) + bs(s+1) + cs^2}{s^2(s+1)} = \frac{(b+c)s^2 + (a+b)s + a}{s^2(s+1)} \dots\dots\dots ② \end{aligned}$$

となり、①式と②式の分子を等しくする部分分数展開の各係数は,

$$b+c=0, \quad a+b=0, \quad a=1$$

を満たす。これから

$$a=1, \quad b=-1, \quad c=1$$

が得られる。したがって、 $Y(s)$  の逆ラプラス変換は,

$$y(t) = \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{1}{s^2} - \frac{1}{s} + \frac{1}{s+1} \right\} = t - 1 + e^{-t} \quad (t \geq 0)$$

となる。

(2) 補償器の伝達関数の計算

図の信号の関係から

$$U(s) = C(s) \left[ E(s) + \frac{1}{s} U(s) \right]$$

が成り立つ。上式を整理すると,

$$U(s) = \frac{sC(s)}{s-C(s)} E(s)$$

となり、補償器の伝達関数は,

$$\frac{sC(s)}{s-C(s)} \dots\dots\dots ③$$

で与えられる。



(3) 伝達関数の計算

$D(s)$  から  $E(s)$  までの伝達関数は,

$$\begin{aligned}\frac{E(s)}{D(s)} &= -\frac{1}{1 + \frac{sC(s)}{s-C(s)} \cdot \frac{1}{s(s+1)}} = -\frac{(s+1)[s-C(s)]}{(s+1)[s-C(s)]+C(s)} \\ &= -\frac{(s+1)[s-C(s)]}{s[s-C(s)+1]} \dots\dots\dots ④\end{aligned}$$

で与えられる。

(4) 定常速度偏差の計算

④式へ  $C(s) = \frac{s}{Ts+1}$  を代入すると

$$\begin{aligned}\frac{E(s)}{D(s)} &= -\frac{(s+1)\left(s - \frac{s}{Ts+1}\right)}{s\left(s - \frac{s}{Ts+1} + 1\right)} = -\frac{(s+1)\left(1 - \frac{1}{Ts+1}\right)}{s+1 - \frac{s}{Ts+1}} \\ &= -\frac{Ts(s+1)}{Ts^2 + Ts + 1} \dots\dots\dots ⑤\end{aligned}$$

となる。ランプ関数の外乱  $d(t) = t$  に対する定常速度偏差は,

$$e_s = -\lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{Ts(s+1)}{Ts^2 + Ts + 1} \cdot \frac{1}{s^2} = -T \dots\dots\dots ⑥$$

で与えられる。

(5) 時定数の選び方

⑤式及び⑥式より,  $C(s)$  の時定数  $T$  を小さく選ぶことにより, 偏差に対する外乱の影響を抑制することが可能となる。

(6) 安定判別について

特性方程式は、次式

$$1 + \left( K_1 + \frac{K_2}{s} \right) \cdot \frac{1}{s(s+1)} = 0$$

となり、

$$s^3 + s^2 + K_1 s + K_2 = 0$$

で与えられる。ここで、ラウスの安定判別法を適用する。ラウス表は、

$s^3$	1	$K_1$
$s^2$	1	$K_2$
$s^1$	$K_1 - K_2$	0
$s^0$	$K_2$	

となり、安定条件は、特性方程式の係数がすべて正より、

$$K_1 > 0, K_2 > 0$$

が得られ、ラウス列の係数がすべて正より、

$$K_1 > K_2, K_2 > 0$$

が得られる。以上をまとめると、安定条件は

$$K_1 > K_2 > 0$$

で与えられる。