

平成 27 年度

第 2 種

電力・管理

(第 1 時限目)

答案用紙記入上の重要事項及び注意事項

指示がありましたら答案用紙（記述用紙）4枚を引き抜いてください。答案用紙には、4枚とも直ちに試験地、受験番号及び生年月日を記入してください。

1. 重要事項

- a. 「選択した問の番号」欄には、必ず選択した問番号を記入してください。
記入した問番号で採点されます。問番号が未記入のものは、採点されません。
- b. 計算問題では、解に至る過程を簡潔に記入してください。
導出過程が不明瞭な答案は、0点となる場合があります。

2. 注意事項

- 記入には、濃度HBの鉛筆又はシャープペンシルを使用してください。
- 答案用紙は1問につき1枚としてください。
- 計算問題の答は、特に指定がない限り、有効数字は3桁です。なお、解答以外の数値の桁数は、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

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

- 記述問題については、問題の要求を逸脱しないでください。
例：「問題文に3つ答えよ。」という要求で、4つ以上答えてはいけません。
- 氏名は記載しないでください。（答案用紙に氏名記載欄はありません。）

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。
なお、この問題冊子についてはお持ち帰りください。

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 大容量のタービン発電機に採用される冷却方式に関して、次の問に答えよ。

(1) 水素冷却方式が採用される理由を水素ガスの特徴を挙げて述べよ。

また、安全上留意すべき事項を述べよ。

(2) 固定子水冷却方式が採用される理由を水の特徴を挙げて述べよ。

問2 電力用半導体を用いた静止形無効電力補償装置（SVC，STATCOM）について，次の問に答えよ。

- (1) SVC は具体的にどのような目的に用いられるか，系統側，需要側の事例をそれぞれ一つずつ挙げよ。
- (2) SVC の代表的な方式である TCR と TSC について，それぞれの動作原理と制御の特徴を簡潔に述べよ。
- (3) STATCOM（自励式 SVC あるいは SVG）の動作原理を述べよ。あわせて，TCR 方式の SVC と比較した制御の特徴を簡潔に述べよ。

問3 図1に示すように、A点からB点に行くほど直線的に負荷密度が大きくなる低圧負荷が分布している配電線路（全長 L [m]）の途中で、変圧器を設置し給電するとき、次の間に答えよ。

ただし、配電線路の線路特性は均一として、給電点（P点）電圧は一定であり、負荷は抵抗負荷とする。また、線路の電圧降下は抵抗分（単位長さ当たりの等価抵抗を R [Ω /m] とする。）のみを考慮することとし、図中の I [A/m] は、B点における負荷密度とする。

(1) 変圧器の設置地点Pから、A点及びB点までのそれぞれの電圧降下が等しくなるようにしたい。P点は、A点から何メートルの場所にすればよいかを考える。次の各問に答えよ。

a. A点とP点の間の距離を x [m] とし、P点からA点の間の電圧降下 V_A [V] を求めよ。

b. P点からB点の間の電圧降下 V_B [V] を求めよ。

c. $V_A = V_B$ となる場合のA点とP点の間の距離 x [m] を求めよ。

(2) 上記(1)で求めた地点に変圧器を設置する場合のP点からA点までの電圧降下の値は、図2に示すようにB点に変圧器を設置した場合のP点（=B点）からA点までの電圧降下の値の何 [%] になるのか計算せよ。

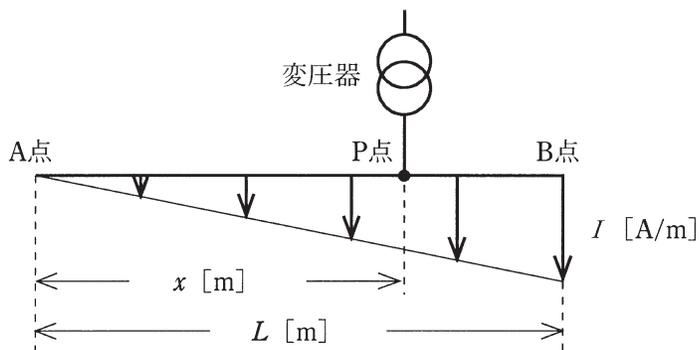


图 1

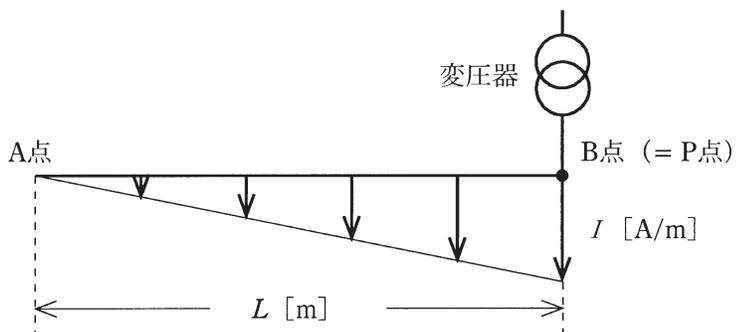


图 2

問4 送電線の抵抗とリアクタンスの求め方に関して、次の問に答えよ。

送電線両端の電圧や位相角が測定できると、送電線の抵抗やリアクタンスが求められる。送電端電圧 \dot{V}_1 の大きさを V_1 、その受電端電圧 \dot{V}_2 に対する位相差を δ 、送電端から受電端への潮流の送電端側の有効電力を P 、無効電力を Q とする。また、送電線の並列アドミタンスは無視できるものとし、送電線の抵抗を r 、リアクタンスを x とする。

ただし、電力や電流は送電端から受電端への向きを正、無効電力は遅れ側を正、及び $P \neq 0$ あるいは $Q \neq 0$ とする。また、 δ の単位は [rad]、その他の単位は [p.u.] とする。

- (1) 送電端と受電端の複素電圧をそれぞれ $\dot{V}_1 = V_1 \angle \delta$ 、 $\dot{V}_2 = V_2 \angle 0$ 、送電線電流を \dot{I} としたとき、 \dot{V}_1 を \dot{V}_2 、 \dot{I} 、 r 、 x を用いて表せ。
- (2) \dot{I} を、 P 、 Q 、 \dot{V}_1 を用いて表せ。
- (3) 上記(1)及び(2)にて表した式から \dot{I} を消去して V_1 、 V_2 、 δ 、 P 、 Q 、 r 、 x 間の関係を表す式を示せ。
- (4) 上記(3)の式で、実数部と虚数部に分けて考えると、 x と r に関する下記の式が導かれる。 α と β は、 V_1 、 V_2 、 δ の関数である。 α と β を表す式を示せ。

$$x = \frac{P\alpha + Q\beta}{P^2 + Q^2}, \quad r = \frac{P\beta - Q\alpha}{P^2 + Q^2}$$

- (5) $V_1 = 1.05$ p.u., $V_2 = 1.01$ p.u., $\delta = \frac{\pi}{12}$ rad, $P = 1.23$ p.u., $Q = 0.195$ p.u. のときの x [p.u.] と r [p.u.] を求めよ。

なお、 $\sin \frac{\pi}{12} = 0.25882$ 、 $\cos \frac{\pi}{12} = 0.96593$ を使用すること。

問5 定格容量 $9500 \text{ kV}\cdot\text{A}$ の変圧器 1 台を有する変電所から、配電線 A, B により、下表に示す需要設備 a, b, c に電力を供給しているとき、次の間に答えよ。

ただし、需要設備 a, b, c の需要率はそれぞれ 80 %、需要設備 a, b, c の負荷力率はそれぞれ遅れの一定値とし、結果は、小数第 1 位を四捨五入せよ。

- (1) 需要設備 a, b, c の平均電力 [kW] をそれぞれ求めよ。
- (2) 変電所の総合最大電力 [kW] を求めよ。
- (3) 変電所の総合負荷率 [%] を求めよ。
- (4) 需要設備 a, b, c の負荷力率 [%] をそれぞれ求めよ。
- (5) 変圧器が過負荷とならないために必要なコンデンサの最小容量 [kvar] を求めよ。

配電線	需要設備	設備容量 [kV·A]	最大電力 [kW]	負荷率 [%]	需要設備間 の不等率	配電線間 の不等率
A	a	7 500	5 700	70	—	1.1
B	b	4 000	3 040	80	1.25	
	c	3 500	2 660	60		

問6 電力用 CV ケーブル（架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル）の水トリーに関する次の問に答えよ。

(1) 水トリーの発生要因，特徴について簡潔に述べよ。

(2) 以下に示す CV ケーブルの水トリー劣化診断技術の中から二つ選び，その概要について簡潔に述べよ。

- a. 損失電流法
- b. 残留電荷法
- c. 耐電圧法
- d. 直流漏れ電流測定

●平成27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) 空気と比較して水素ガスは密度が小さいため風損が小さく発電機効率を向上させることができるほか、熱伝導率、比熱が大きいため冷却効果が高く、発電機の小型化を図ることができる。さらに、加圧して用いることにより、熱容量、熱伝達率が大きくなり、より大きな冷却能力を発揮できる。また、水素ガスは不活性であるため、絶縁物の劣化影響が少ない。以上のように、発電機の機械寸法の大幅な増大を抑えることができるなどの利点があるため、大容量のタービン発電機では、水素冷却方式が採用される。

また、安全上留意すべき事項については以下のとおり。

火源があっても酸素がないと燃焼は起こらないが、水素と空気が混合した場合、ある水素濃度の範囲では爆発性になるので、これを防ぐため発電機内部の水素濃度をその範囲よりもある程度高く保つ必要がある。また、発電機内の水素ガスが軸に沿って機外に漏れないようにする必要があり、軸受内部に油膜によるシール機構を施し、ガス漏れを防いでいる。

(2) 水は空気や水素と比較して熱容量、熱伝達率が大きく冷却効果が高いため、大容量のタービン発電機では、固定子（電機子巻線）水冷却方式が採用される。

[問2の標準解答]

(1)

系統側：設置点の送電系統の事故時の電圧維持による同期安定性を向上させるため。

配電系統の末端など、電源系統の弱い地域において、負荷変動などに起因する電圧変動を抑制するため。

需要側：アーク炉、採石場のクラッシャー等の変動負荷による急激な電圧変動を抑制するため。

負荷で発生する無効電力をキャンセルして力率を改善するため。

(2)

・TCR は、サイリスタを用いてリアクトル電流の位相制御を行う方式で、誘導性（遅れ）の無効電力を連続的に制御できる。また、並列にコンデンサを接続することにより、進みから遅れの領域にわたる無効電力を連続的に変化させることができる。

・TSC は、サイリスタを用いてコンデンサの開閉を行う方式で、容量性（進み）の無効電力を制御できる。突入電流が流れない位相でオンオフ制御を行うため、無効電力は段階的にしか制御できない。

(3) STATCOM は、自己消弧素子を用いた自励式変換器を用いることにより、進みから遅れまでの幅広い無効電力補償を、連続かつ高速で行うことができる。TCR 方式の SVC に比較して、系統電圧の低下時にも高い補償能力が得られるため、電圧安定性を高める効果に優れる。

[問3の標準解答]

(1)

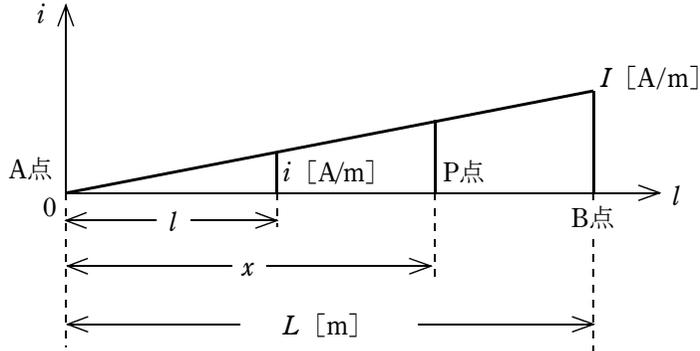


図1

a. 各点の線電流を式で表す。始めに P 点～ A 点までの線電流を求める。線電流は P 点から A 点に向かって負荷密度を積分して求める。

ここで、P 点～ A 点の距離を x とすると、図1の A 点から距離 l [m] 点の負荷密度 i は、図の比例関係から、

$$i = \frac{l}{L} I \text{ [A/m]} \quad \dots\dots\dots \text{①}$$

この距離 l [m] の点の線電流 i_ℓ は、

$$i_\ell = \int_0^l i \, dl = \int_0^l \frac{I}{L} l \, dl = \frac{I}{L} \left[\frac{l^2}{2} \right]_0^l = \frac{I}{2L} l^2 \text{ [A]} \quad \dots\dots\dots \text{②}$$

単位長さ当たりの等価抵抗が R [Ω /m] であるとする、距離 l [m] の点の微小長さ dl における電圧降下は、

$$dV_A = i_\ell R dl = \frac{I}{2L} R l^2 dl \text{ [V]}$$

P 点から A 点の間の電圧降下 V_A は、これを積分して次のように求まる。

$$V_A = \int_0^x dV_A = \frac{IR}{2L} \int_0^x l^2 \, dl = \frac{IR}{2L} \left[\frac{l^3}{3} \right]_0^x = \frac{IR}{6L} x^3 \text{ [V]} \quad \dots\dots\dots \text{③}$$

… (答)

b. 同様に、P 点から B 点の間の線電流の式を求める。

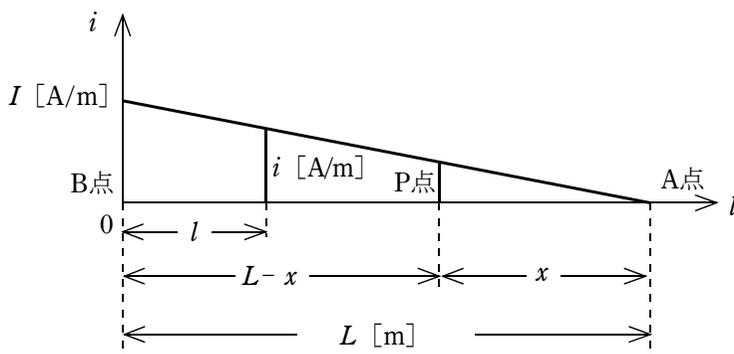


図2 P点～B点間の線電流を求めるための図

図2で、距離 l [m] の点の負荷密度 i は、

$$i = I \left(\frac{L-l}{L} \right) = I \left(1 - \frac{l}{L} \right) \text{ [A/m]}$$

この距離 l [m] の点の線電流 i_ℓ は、

$$i_\ell = \int_0^l i \, dl = I \int_0^l \left(1 - \frac{l}{L} \right) dl = I \left[l - \frac{l^2}{2L} \right]_0^l = \frac{I}{2L} (2Ll - l^2) \text{ [A]} \quad \dots\dots\dots \text{④}$$

したがって、P 点から B 点の電圧降下 V_B は、積分して次のように求まる。

$$\begin{aligned} V_B &= \int_0^{L-x} i_\ell R \, dl = \frac{IR}{2L} \int_0^{L-x} (2Ll - l^2) dl = \frac{IR}{2L} \left[Ll^2 - \frac{l^3}{3} \right]_0^{L-x} \\ &= \frac{IR}{6L} [3L(L-x)^2 - (L-x)^3] = \frac{IR}{6L} (L-x)^2 (2L+x) \text{ [V]} \quad \dots\dots\dots \text{⑤} \end{aligned}$$

… (答)

c. $V_A = V_B$ であれば、題意を満足する。③式及び⑤式より、

$$\begin{aligned} \frac{IR}{6L} x^3 &= \frac{IR}{6L} [(L-x)^2 (2L+x)] \\ x^3 &= [(L-x)^2 (2L+x)] = (2L+x)(L^2 - 2Lx + x^2) \\ (1-1)x^3 + (-2L+2L)x^2 + (-4L^2 + L^2)x + 2L^3 &= 0 \\ 3L^2 x &= 2L^3 \\ x &= \frac{2}{3} L \end{aligned}$$

A 点から $\frac{2}{3}L$ [m] の地点となる。… (答)

(2) B 点に変圧器を設置した際の B 点から A 点の電圧降下 V_{BA} は③式において $x=L$ とすれば求まる。

したがって、

$$V_{BA} = \frac{1}{6} IRL^2 \text{ [V]} \dots\dots\dots \text{⑥}$$

また、P 点から A 点の電圧降下 V_{PA} は③式において $x = \frac{2}{3}L$ とすれば求まる。

$$V_{PA} = \frac{4}{81} IRL^2 \text{ [V]} \dots\dots\dots \text{⑦}$$

ゆえに、 V_{PA} と V_{BA} の比は、

$$\frac{V_{PA}}{V_{BA}} = \frac{\frac{4}{81}}{\frac{1}{6}} = \frac{8}{27} = 0.29629 \doteq 29.6 \% \dots \text{ (答)}$$

[問4の標準解答]

(1) $\dot{V}_1 = \dot{V}_2 + (r + jx)\dot{I}$ ①
..... (答)

(2) $P + jQ = \dot{V}_1 \bar{\dot{I}}$
より,
 $\dot{I} = \frac{P - jQ}{\dot{V}_1}$ ②
..... (答)

(3) ②式を①式に代入して,
 $\dot{V}_1 = \dot{V}_2 + (r + jx) \frac{P - jQ}{\dot{V}_1}$
より,
 $V_1^2 = V_1 V_2 e^{-j\delta} + (r + jx)(P - jQ)$ ③
..... (答)

(4) ③式の実数部と虚数部の式から,
 $Pr + Qx = V_1(V_1 - V_2 \cos \delta)$
 $-Qr + Px = V_1 V_2 \sin \delta$

したがって,
 $r = \frac{PV_1(V_1 - V_2 \cos \delta) - QV_1 V_2 \sin \delta}{P^2 + Q^2}$
 $x = \frac{PV_1 V_2 \sin \delta + QV_1(V_1 - V_2 \cos \delta)}{P^2 + Q^2}$

よって,
 $\left. \begin{aligned} \alpha &= V_1 V_2 \sin \delta \\ \beta &= V_1(V_1 - V_2 \cos \delta) \end{aligned} \right\} \dots (\text{答})$

(5) $x = 0.228 \text{ p.u.}, r = 0.0275 \text{ p.u.}$ (答)

[問5の標準解答]

(1) 需要設備 a, b, c の平均電力を, それぞれ $\overline{P}_a, \overline{P}_b, \overline{P}_c$ とすると,

平均電力 = 最大電力 × 負荷率の関係があるので,

$$\left. \begin{aligned} \overline{P}_a &= 5700 \times 0.7 = 3990 \text{ kW} \\ \overline{P}_b &= 3040 \times 0.8 = 2432 \text{ kW} \\ \overline{P}_c &= 2660 \times 0.6 = 1596 \text{ kW} \end{aligned} \right\} \dots (\text{答})$$

(2) 配電線 A, B の最大電力を, それぞれ P_A, P_B とすると,

総合最大電力 = 合計最大電力 / 不等率の関係があるので,

$$\begin{aligned} P_A &= 5700 \text{ kW} \\ P_B &= \frac{3040 + 2660}{1.25} = 4560 \text{ kW} \end{aligned}$$

よって, 同様に, 変電所の総合最大電力 P_S は,

$$P_S = \frac{P_A + P_B}{1.1} = \frac{5700 + 4560}{1.1} \doteq 9327.27 \rightarrow 9327 \text{ kW} \dots (\text{答})$$

(3) 変電所の平均電力を \overline{P}_S とすると,

$$\overline{P}_S = \overline{P}_a + \overline{P}_b + \overline{P}_c$$

よって, (1) で示した関係式より, 変電所の総合負荷率 LF は,

$$\begin{aligned} LF &= \frac{\overline{P}_S}{P_S} \times 100 \\ &= \frac{3990 + 2432 + 1596}{9327} \times 100 \\ &\doteq 85.97 \rightarrow 86 \% \dots (\text{答}) \end{aligned}$$

(4) 需要設備 a, b, c の負荷力率を, それぞれ $\cos\theta_a, \cos\theta_b, \cos\theta_c$ とすると,

最大電力 = 設備容量 × 負荷力率 × 需要率

の関係があるので,

$$\left. \begin{aligned} \cos\theta_a &= \frac{5700}{7500 \times 0.80} \times 100 = 95 \% (\text{遅れ}) \\ \cos\theta_b &= \frac{3040}{4000 \times 0.80} \times 100 = 95 \% (\text{遅れ}) \\ \cos\theta_c &= \frac{2660}{3500 \times 0.80} \times 100 = 95 \% (\text{遅れ}) \end{aligned} \right\} \dots (\text{答})$$

(5) 必要なコンデンサ容量を Q_c , 変圧器定格容量を S , 変電所の総合負荷力率を $\cos\theta$ とすると,

$$P_S^2 + (P_S \tan\theta - Q_c)^2 \leq S^2$$

を満足しなければならない。

$$\cos\theta = \cos\theta_a = \cos\theta_b = \cos\theta_c = 0.95$$

であり, 遅れ力率より $\tan\theta > 0$ なので,

$$\begin{aligned} Q_c &\geq P_S \tan\theta - \sqrt{S^2 - P_S^2} \\ &= P_S \sqrt{\sec^2\theta - 1} - \sqrt{S^2 - P_S^2} \\ &= 9\,327.27 \sqrt{\frac{1}{0.95^2} - 1} - \sqrt{9\,500^2 - 9\,327.27^2} \\ &\doteq 1\,262.38 \rightarrow 1\,262 \text{ kvar} \end{aligned}$$

よって, Q_c の最小値は, 1 262 kvar …… (答)

[問6の標準解答]

(1) CVケーブルの絶縁体内に水分が多く含まれている状態で電圧が印加されると、突起周辺など電界集中部に水分が集まり凝集し、樹枝状の劣化が進むが、この劣化痕を水トリーと呼ぶ。水トリー内部は、健全部分に比べて導電率はけた違いに高く電界は低くなるので、水トリーが発生しても、電気トリーとは異なり部分放電は観測されない。このため、水トリーの発生は検知しにくい。うえに、水トリー先端の電界が高い部分より電気トリーが発生すると短時間で絶縁体の全路破壊に結びつくことが多い。

(2)

- a. 損失電流法：ケーブル絶縁体に流れる充電電流から課電電圧と同位相の電流成分（損失電流成分）を抽出し、その中に含まれる高調波電流（主に第三高調波電流）を劣化信号として用いる。
- b. 残留電荷法：水トリー劣化部に蓄積された電荷の放出状況を評価して劣化状況を診断する。具体的には、直流電圧をケーブルに課電し、接地後、水トリー劣化部に蓄積された電荷を、交流電圧を印加することにより放出させて診断する。
- c. 耐電圧法：水トリー劣化ケーブルのスクリーニングを目的とし、常規電圧よりも高い電圧をケーブル線路に課電する。スクリーニングする劣化レベルに応じて試験電圧や、効果的な試験電圧種類（商用周波、超低周波、可変周波）を選定する。
- d. 直流漏れ電流測定：ケーブルの導体-シース間に一定の直流電圧を印加し、漏れ電流の大きさ・変化・三相不平衡などを時間で整理し、その形状や値から絶縁状態を調査する。