

平成 28 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。

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 水力発電所の部分負荷運転時における水車効率の向上策に関して、次の問に答えよ。

- (1) ペルトン水車の運用方法による部分負荷運転時の水車効率の向上策について説明せよ。
- (2) クロスフロー水車について、部分負荷運転時の水車効率を向上させる目的で設置する設備の特徴とともにその運用方法を説明せよ。
- (3) カプラン水車や斜流水車の運用方法による部分負荷運転時の水車効率の向上策について説明せよ。

問2 変圧器の異常診断手法として油中ガス分析が用いられている。油中ガス分析は可燃性ガスの量や組成比などから内部異常の有無・様相を診断する手法である。油中ガス分析による異常診断方法及び最終的な処置を決定するための総合診断に関する下記項目について述べよ。

- (1) 過熱時に発生する特徴的なガスを二つ挙げ、その発生ガスの組成比などから推定できる過熱の様相について述べよ。
- (2) 放電を伴う内部異常時に発生する特徴的なガスを一つ挙げ、内部異常時以外にもこのガスが発生する要因について述べよ。
- (3) 油中ガス分析で内部異常と診断された場合、総合診断を行うために実施すべき試験・点検・調査事項並びに、最終的に決定する処置内容について述べよ。

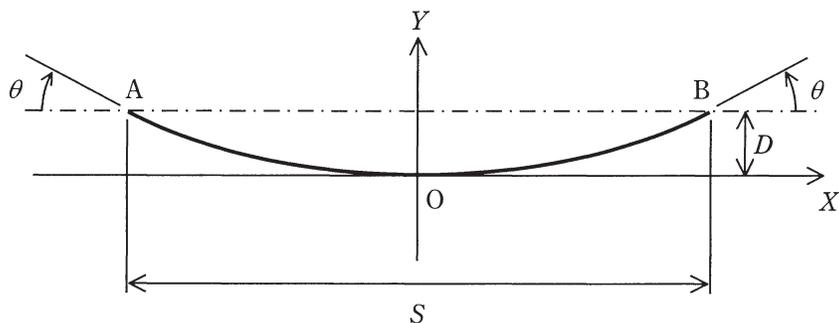
問3 電線のたるみに関して、次の問に答えよ。

図は電線のたるみを表している。点 A, B は同一水平面上にある二つの支持点であり、その間の距離を  $S$ [m]、ここからたるみ  $D$ [m] だけ下がったところにある最下点 O を座標軸の原点とした。電線の形状は二次関数で表しても誤差は小さいことが知られているので、縦軸方向の変数  $Y$ [m]、横軸方向の変数  $X$ [m]、係数  $a$ [m] を用いて、

$$Y = \frac{X^2}{2a} \dots\dots\dots ①$$

と表すことにする。支持点における電線の張力を  $T$ [N]、電線の単位長さ当たりの質量を  $W$ [kg/m] として、たるみ  $D$  に関する②式を導出したい。 $g$ [m/s<sup>2</sup>] は重力加速度を意味している。

$$D = \frac{WgS^2}{8T} \dots\dots\dots ②$$

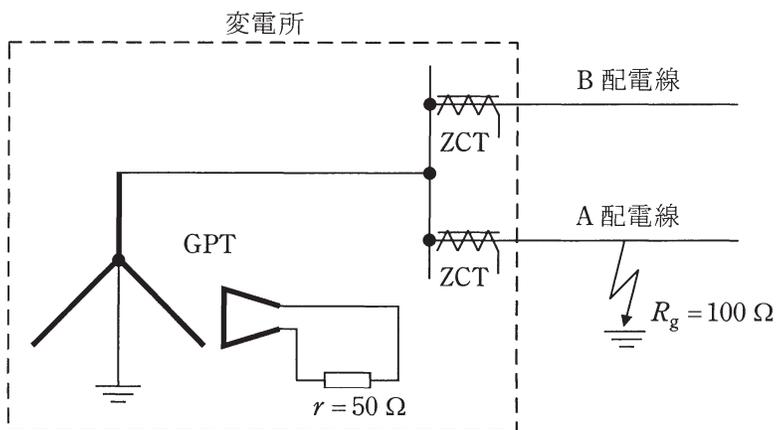


- (1) ①式を基に支持点 B における電線の傾きを  $a$  と  $S$  を用いて表せ。
- (2) 支持点における張力の垂直分力が電線自重の半分に等しいことを用いて  $a$  を  $T$  と  $W$  で表せ。ただし、支持点での電線が水平直線となす角  $\theta$  は小さいため、 $\tan\theta \doteq \sin\theta$  と近似すること。また、電線の長さは  $S$  と等しいものとする。
- (3) たるみ  $D$  は支持点の  $Y$  の値に他ならない。これに注意して上記の②式を導出せよ。

問4 図のような6.6kV, 50Hzの三相3線式配電線がある。A配電線に1線地絡故障が発生した際、変電所に施設したA配電線用零相変流器(ZCT)に流れる零相電流の合計値を、次の(1)～(4)に基づき答えよ。

ただし、配電線1線当たりの対地静電容量は $0.01\mu\text{F}/\text{km}$ 、配電線のこう長はA, Bともに5km、接地用変圧器(GPT)二次側の挿入抵抗 $r$ は $50\Omega$ 、GPTの変成比は $6600\text{V}/110\text{V}$ 、配電線の電圧は $6600\text{V}$ (平衡三相電圧)、地絡抵抗 $R_g$ は $100\Omega$ とし、その他定数は無視するものとする。

- (1) A, B配電線の1線当たりの対地アドミタンスを $\dot{Y}$ 、GPT二次側挿入抵抗の一次側に換算した等価中性点抵抗を $R_n$ 、地絡抵抗を $R_g$ 、地絡故障が発生した線の故障発生前の対地電圧を $\dot{E}_a$ とすると、1線地絡故障時の等価回路を示せ。
- (2) 地絡点からみたインピーダンス $Z$ 及びA配電線用ZCTに流れる零相電流 $\dot{I}_{AG}$ を等価回路から $\dot{Y}$ 、 $R_n$ 、 $R_g$ 及び $\dot{E}_a$ を用いて表せ。
- (3)  $R_n$ をGPTの二次側挿入抵抗値から、一次側に換算した値で求めよ。
- (4) 各値を用いて $\dot{I}_{AG}$ の大きさを計算せよ。



問5 変電所の接地に関して、次の問に答えよ。

(1) 変電所の接地設計においては、人体にかかる歩幅電圧及び接触電圧を考慮する必要がある。歩幅電圧及び接触電圧について、それぞれ簡潔に説明せよ。

(2) 次の条件における、歩幅電圧及び接触電圧の許容値をそれぞれ求めよ。

なお、手の接触抵抗は無視することとする。

(計算条件) 人体に対する電流の許容値： $I_K = \frac{0.116}{\sqrt{t}}$  [A]

片足あたりの大地との抵抗： $R_F = 400 \Omega$

人体の抵抗： $R_K = 1000 \Omega$

事故電流の継続時間： $t = 1 \text{ s}$

(3) 歩幅電圧又は接触電圧が許容値を若干超えてしまう場合、対策として、取り扱われる機器の周囲の地表の砂利層を厚くすることがある。なぜ効果があるのか簡潔に説明せよ。

問6 図1は、送電線から受電した66kVを20MV・A変圧器で降圧して6.6kV負荷回路に供給する回路である。 $Z_0 \sim Z_3$ がそれぞれの送電線路、配電線路における区分ごとの合成インピーダンスを表すとき、次の問に答えよ。ただし、上位系統の背後電圧を66kV一定とし、負荷回路からの短絡電流供給はないものとする。

- (1) 66kV CB3 から見た電源側背後インピーダンスの大きさ $[\Omega]$ を求めよ。
- (2) 66kV CB3 における三相短絡電流 $[\text{kA}]$ を求めよ。
- (3) 6.6kV CB6 における三相短絡電流 $[\text{kA}]$ を求めよ。
- (4) 100MV・Aの発電機(初期過渡リアクタンス $Z_4 = j12\%$ )を図2のように66kV母線に接続することとした。CB2, CB3 及び CB7 の定格遮断電流が20kAであるとき、100MV・A変圧器の自己容量基準パーセントインピーダンスの下限値 $[\%]$ を求めよ。

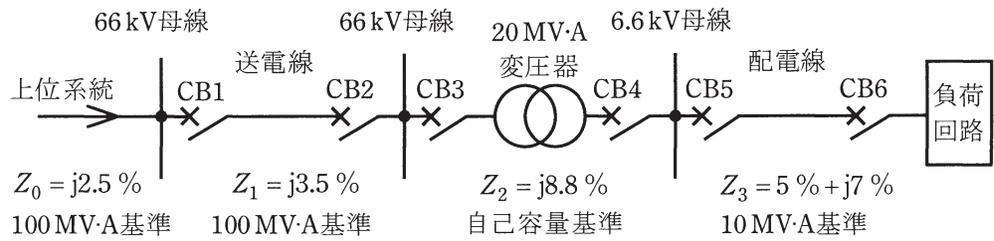


図 1

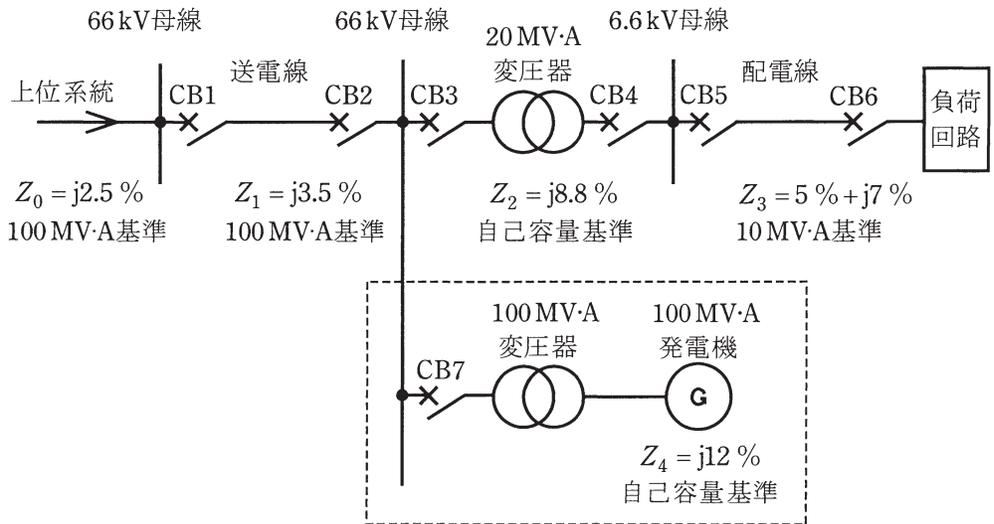


図 2

平成 28 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) ペルトン水車では、ノズルの使用射数を減らす又はニードルを絞ることで、流速を維持し、部分負荷での効率を高めている。
- (2) クロスフロー水車では、ガイドベーンを二枚として、流量の減少に合わせて、二枚、一枚のみ使用と変更していくことにより、流量に応じた部分負荷での効率を高めている。また、ガイドベーンを大小の二分割構成で設置し、大小両方、大のみ、小のみ使用と変更していくことにより、流量に応じた部分負荷での効率を高めている。
- (3) カプラン水車や斜流水車では、ガイドベーンと連動してランナベーンの開度を調整することで、部分負荷での効率を高めている。

[問2の標準解答]

- (1) 過熱時に発生する特徴的なガスとしてエチレン( $C_2H_4$ )とエタン( $C_2H_6$ )が挙げられる。

過熱レベル(高温過熱・低温過熱)により発生ガスの成分が変化し、高温過熱ではエチレンが、低温過熱ではエタンが多く発生する。また、組成比などから過熱部位(巻線部・金属部)の推定を行うことができる。

過熱時発生するガスに、メタン( $CH_4$ )、一酸化炭素(CO)、二酸化炭素( $CO_2$ )などもある。

- (2) 放電時に発生する特徴的なガスとしてアセチレン( $C_2H_2$ )、水素( $H_2$ )が挙げられる。アセチレンは絶縁油から発生する分解ガスのうち、アーク放電など特に高温時に発生するものである。

水素は経年劣化でも発生する一方、アセチレンは微量であっても検出された場合は内部異常の可能性が高い。

アセチレンは LTC(負荷時タップ切換器)動作時に切換開閉器室内の絶縁油が分解することでも発生することから、LTC内の絶縁油が変圧器本体タンクへ混入すると内部異常と誤診断されるおそれがあるため、注意が必要である。

- (3) 電氣的試験(巻線抵抗、部分放電測定など)、外部一般点検(放圧管の動作、タンクの変形など)、運転履歴・改修履歴の調査(過負荷運転など)などの項目を総合して、変圧器の運転継続可否、内部点検・修理の要否などの最終的な処置を決定する。

[問3の標準解答]

- (1) 支持点 B で  $X = \frac{S}{2}$  であるから、この点での電線の傾き

$$\frac{dY}{dX} = \frac{X}{a}$$

に  $X = \frac{S}{2}$  を代入して、

$$\frac{dY}{dX} = \frac{S}{2a} \dots (\text{答})$$

- (2) 支持点の張力の垂直分力は、問題文中で与えられている近似式より、

$$T \sin \theta = T \tan \theta = T \times \frac{S}{2a}$$

これが長さ  $S$  の電線全体の半分の重さに等しくなければならないので、

$$T \times \frac{S}{2a} = \frac{SWg}{2}$$

これを解くと、

$$a = \frac{T}{Wg} \dots (\text{答})$$

- (3) ①式で  $X = \frac{S}{2}$  とすると、

$$Y = \frac{S^2}{8a}$$

前問で得られた  $a$  をここに代入すると

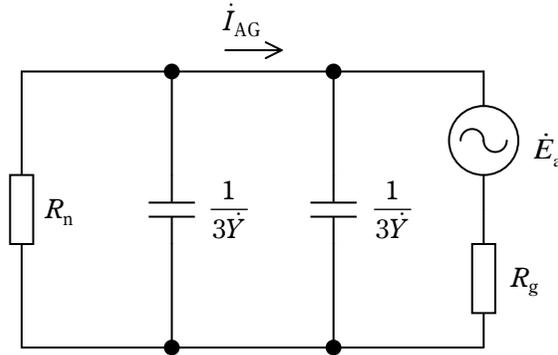
$$Y = \frac{WgS^2}{8T}$$

以上で②式が得られた。

[問4の標準解答]

- (1) 故障点において、故障発生前に存在していた対地電圧を  $\dot{E}_a$  とすると、テブナンの定理より図のように等価回路で示すことができる。

※なお、 $\frac{1}{3\dot{Y}}$  はアドミタンス表記では、 $3\dot{Y}$  とする場合もある。



… (答)

- (2) 等価回路より、地絡点からみたインピーダンス  $\dot{Z}$  は、

$$\dot{Z} = R_g + \frac{1}{6\dot{Y} + \frac{1}{R_n}} \quad [\Omega] \quad \dots \text{ (答)}$$

ゆえに、A 配電線用 ZCT に流れる零相電流  $\dot{I}_{AG}$  は、

$$\dot{I}_{AG} = \frac{\dot{E}_a}{\dot{Z}} \times \frac{\frac{1}{3\dot{Y}}}{\frac{1}{3\dot{Y}} + \frac{1}{3\dot{Y} + \frac{1}{R_n}}} = \frac{1 + 3\dot{Y}R_n}{R_g + R_n + 6\dot{Y}R_gR_n} \dot{E}_a \quad [A] \quad \dots \text{ (答)}$$

- (3)  $R_n$  は GPT 二次側挿入抵抗の一次側換算値であることから、GPT 二次側挿入抵抗を  $r$ 、GPT の変成比を  $n$  とすると次式のように求まる。

$$R_n = \frac{r}{3} \times n^2 \times \frac{1}{3} = \frac{50}{9} \times \left( \frac{6600}{110} \right)^2 = 2 \times 10^4 \quad \Omega \quad \dots \text{ (答)}$$

(4) 配電線の対地電位  $\dot{E}_a$  は  $\frac{6\,600}{\sqrt{3}}$  V となる。

また、アドミタンス  $3\dot{Y}$  は、配電線 1 線当たりの対地静電容量は  $0.01\ \mu\text{F}/\text{km}$ 、配電線のこう長は A、B ともに  $5\ \text{km}$  であることから、以下のとおり求まる。

$$\begin{aligned} 3\dot{Y} &= 3 \times j\omega C \times (5\ \text{km}) = j \times 3 \times 2 \times \pi \times (50\ \text{Hz}) \times (0.01\ \mu\text{F}/\text{km}) \times (5\ \text{km}) \\ &= j4.71 \times 10^{-5}\ \text{S} \end{aligned}$$

以上の定数を  $\dot{I}_{\text{AG}}$  の計算式に代入して計算すると、

$$\begin{aligned} \dot{I}_{\text{AG}} &= \frac{1 + j4.71 \times 10^{-5} \times 20\,000}{100 + 20\,000 + j2 \times 4.71 \times 10^{-5} \times 100 \times 20\,000} \times \frac{6\,600}{\sqrt{3}} \\ &= \frac{1 + j0.942}{20\,100 + j188.4} \times \frac{6\,600}{\sqrt{3}} \\ |\dot{I}_{\text{AG}}| &= \left| \frac{1 + j0.942}{20\,100 + j188.4} \times \frac{6\,600}{\sqrt{3}} \right| \doteq 0.260 \rightarrow 0.260\ \text{A} \cdots (\text{答}) \end{aligned}$$

[問5の標準解答]

(1)

歩幅電圧：接地極に大電流(事故電流)が流れるとき、大地の電位の傾きにより地表面の2点間に電位差が生じる。これにより人体の両足間に加わる電圧をいう。

接触電圧：接地極に大電流(事故電流)が流れるとき、大地の電位の傾きにより、接地した物体とその物体と少し離れた地表面との間に電位差が生じ、接地した物体に人体が接触した場合に人体に加わる電圧をいう。

(2)

歩幅電圧の許容値：

$$(R_K + 2R_F) \times I_K = 208.8 \rightarrow 209 \text{ V} \dots (\text{答})$$

接触電圧の許容値：

$$\left( R_K + \frac{R_F}{2} \right) \times I_K = 139.2 \rightarrow 139 \text{ V} \dots (\text{答})$$

(3) 足の大地との抵抗を大きくすることができるため、歩幅電圧と接触電圧の許容値を大きくすることができる。

[問 6 の標準解答]

(1) 66 kV, 100 MV·A 基準での単位インピーダンスの大きさは,

$$\frac{66^2}{100} = 43.56 \Omega$$

したがって, 電源側背後インピーダンスの大きさは,

$$43.56 \times (0.025 + 0.035) \doteq 2.614 \Omega \rightarrow 2.61 \Omega \quad \cdots (\text{答})$$

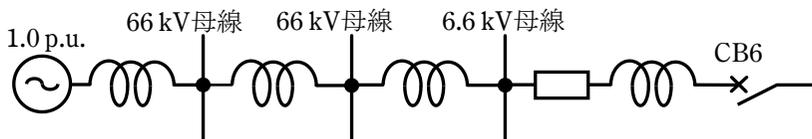
(2) 66 kV, 100 MV·A 基準での単位電流の大きさは,

$$\frac{100}{66 \times \sqrt{3}} = 0.8748 \text{ kA}$$

したがって, CB3 における三相短絡電流の大きさは,

$$\frac{0.8748}{0.025 + 0.035} \doteq 14.58 \text{ kA} \rightarrow 14.6 \text{ kA} \quad \cdots (\text{答})$$

(3) 図 1 の回路全体を 10 MV·A 基準で書き直すと, 次のようになる。



したがって, 電源から CB6 までの合計インピーダンスは,

$$j0.25 + j0.35 + j4.4 + (5 + j7) = 5 + j12 \%$$

となる。

一方, 6.6 kV, 10 MV·A 基準での単位電流は,

$$\frac{10}{6.6 \times \sqrt{3}} = 0.8748 \text{ kA}$$

である。

ゆえに, CB6 端での三相短絡電流の大きさは,

$$0.8748 \times \frac{1}{\sqrt{0.05^2 + 0.12^2}} = \frac{0.8748}{0.13} \doteq 6.729 \text{ kA} \rightarrow 6.73 \text{ kA} \quad \cdots (\text{答})$$

(4) 発電機昇圧用 100 MV・A 変圧器の%インピーダンスを  $x$  [%] とすると, CB2, CB3, CB7 での三相短絡電流は, 負荷回路側からの短絡電流供給がないので,

$$\left( \frac{100}{2.5+3.5} + \frac{100}{x+12} \right) \times \frac{100}{66 \times \sqrt{3}} = 14.58 + \frac{87.48}{x+12} \text{ kA} \quad \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

CB2, CB3, CB7 の定格遮断電流は 20 kA なので, ① 式の値は 20 kA 以下でなければならない。

$$14.58 + \frac{87.48}{x+12} \leq 20$$

したがって,  $x$  は

$$x \geq 4.140 \% \rightarrow 4.14 \% \quad \dots \text{ (答)}$$