

令和 5 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

1. 答案用紙（記述用紙）について

- 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。
- 指示がありましたら答案用紙4枚を引き抜き、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。なお、氏名は記入不要です。
- 「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。
- 答案用紙は1問につき1枚です。
- 答案用紙にはページ番号を付しており、(1)～(3)ページに記述します。(4)ページは、図表等の問題に使用するもので、使用する場合は問題文で指定します。

2. 試験問題について

(計算問題) 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。
- 答は、問題文で指定がない限り、3桁（4桁目を四捨五入）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) 問題文の要求に従って記入してください。

- 例えば「3つ答えよ。」という要求は、4つ以上答えてはいけません。

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 フランス水車を設置した圧力トンネルを伴うダム水路式発電所において、負荷遮断を実施した際の水撃作用について、次の問に答えよ。

- (1) この水撃作用の概要について、発生原因を含めて 100 字程度以内で述べよ。
- (2) 水撃作用による被害を避けるために、機械的強度の確保とは別に、旧来から採用されてきた設備対策を二つ挙げ、その設備の設置場所及び仕組みについて、設備毎に 70 字程度以内で述べよ。

問2 超高压送電線に多く用いられる多導体送電線には、単導体送電線に比べて種々の利点がある。単導体送電線と合計断面積が等しい多導体送電線について、この多導体送電線の利点とその理由を、それぞれの項目について50字程度以内で述べよ。

- (1) 電流容量
- (2) 固有送電容量
- (3) コロナ放電
- (4) 系統安定性

問3 等面積法を用いた過渡安定性の計算に関して、次の問に答えよ。

図1のように、変圧器及び2回線送電線を介して、同期発電機から無限大母線へ三相3線式で送電する系統を考える。変圧器のリアクタンスは X_t [p.u.]、送電線1回線当たりのリアクタンスを X_l [p.u.]、同期発電機のリアクタンスは系統じょう乱の影響によらず過渡リアクタンス X_d' [p.u.]で一定とし、いずれも抵抗や静電容量は無視する。同期発電機の内部電圧及び無限大母線の電圧の大きさはそれぞれ E_G [p.u.]及び E_0 [p.u.]で一定とし、同期発電機の発電出力(電氣的出力)及びその初期値をそれぞれ P_G [p.u.]及び P_{G0} [p.u.]とする。無限大母線の電圧を位相の基準、単位法による定数は全て同一の基準容量に基づくものとして、以下の問に答えよ。

- (1) 発電機内部電圧の位相角を δ_0 [rad]として、同期発電機の発電出力 P_G を表す数式を E_G 、 E_0 、 X_d' 、 X_t 、 X_l 、 δ_0 を用いて記載せよ。

以降の設問では、 $X_t = 0.10$ p.u.、 $X_l = 0.20$ p.u.、 $X_d' = 0.15$ p.u.、 $E_G = E_0 = 1.0$ p.u.、 $P_{G0} = 0.8$ p.u.とする。また、発電機への機械的入力 P_{G0} に等しく、かつ、一定とする。 $\pi = 3.14$ として計算し、有効桁数を2桁として答えよ。なお、同期発電機が定常状態にある平衡点では発電機内部電圧の位相角は小さいとみなし、 $\sin \delta \approx \delta$ の近似を用いてよい。

- (2) 同期発電機の内部電圧の位相角 δ_0 [rad]を求めよ。
- (3) 図1の送電線1回線で三相地絡故障が生じ、その後、当該の回線が両端の遮断器の動作により切り離されることを想定する。1回線開放後の不安定平衡点における位相角 δ_u [rad]を求めよ。ここで、1回線開放後の系統における発電出力と内部電圧の位相角との関係を図2に示す。同図の安定平衡点における位相角を δ_s [rad]とし、 $\delta_u = \pi - \delta_s$ を用いること。
- (4) 小問(3)の故障が生じた際、故障継続中の同期発電機の発電出力を0 p.u.とすると、同期発電機の位相角が図3の δ_c [rad]に到達する前に当該の回線を開放できれば脱調を回避できる。ここで δ_c [rad]は、等面積法により同図中の面積(A)と(B)が等しくなる位相角である。 $\cos \delta_c$ の値を求めよ。ただし、同期発電機の制動効果は無視する。

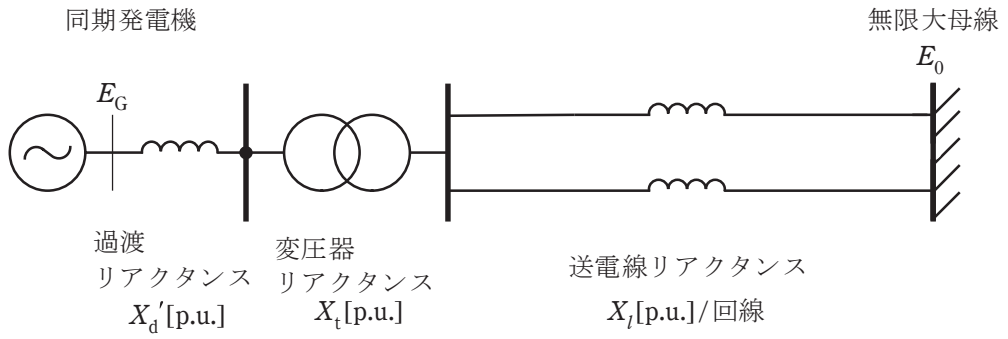


図 1

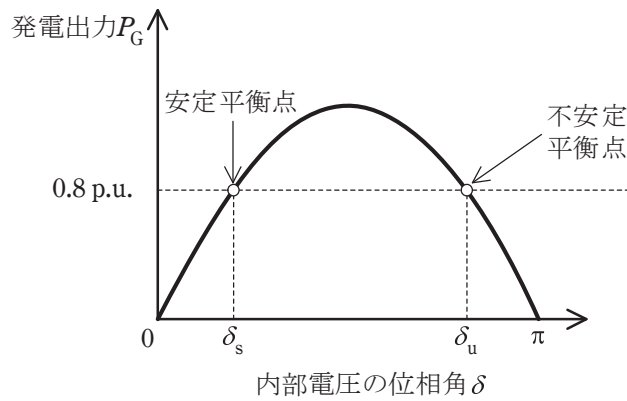


図 2

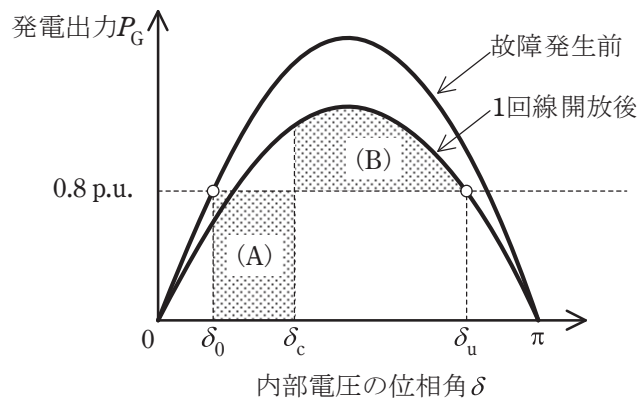


図 3

問4 配電系統の電圧に関して、次の問に答えよ。

図1のように、こう長4 kmの三相高圧配電線の末端に300 kWの三相負荷、力率改善後の力率(進み)90%の需要家が接続されている。

(1) 需要家端の線間電圧を6600 Vとすると、送電端電圧を求めよ。

なお、1相当りの線路抵抗及びリアクタンスを、それぞれ0.2 Ω/km、0.6 Ω/kmとする。

また、電圧計算の近似式を用いること。

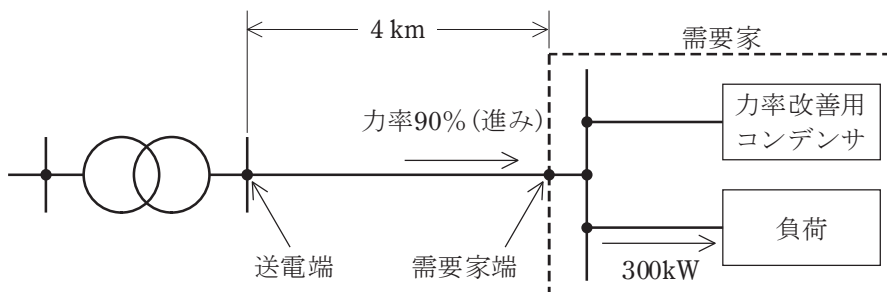


図1

(2) 小問(1)の系統において、図2のように、需要家の構内に新たに分散型電源を設置した。送電端の線間電圧が6600 Vである場合、送電端と需要家端の電圧を同じ電圧(6600 V)に保つために需要家端に設置が必要なリアクトル容量 Q_1 [kvar]を求めよ。分散型電源の出力は500 kW、力率は100%とする。

なお、電圧計算の近似式を用いること。

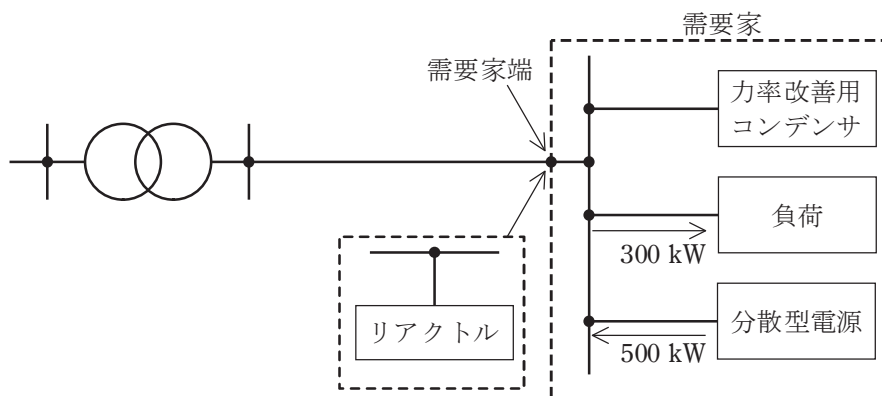


図2

問5 我が国における電力系統の中性点接地方式に関して次の問に答えよ。

- (1) 中性点接地の主たる目的について、各 30 字程度で二つ述べよ。
- (2) 中性点接地方式には、非接地方式、直接接地方式、抵抗接地方式、消弧リアクトル接地方式などがある。

上記のうち、以下の系統で広く適用されている中性点接地方式を答えよ。

- a) 高圧配電系統
 - b) 154kV の送電系統
- (3) 直接接地方式との比較において、抵抗接地方式の特徴を合計 130 字程度で述べよ。

問6 電力系統の周波数に関して、次の問に答えよ。

(1) 「電気事業法」及び「電気事業法施行規則」において、電力系統の周波数をどのような値に維持するよう努めなければならないと規定されているか。最も適切なものを選んで記号で答えよ。

a) $50 \pm 0.5 \text{ Hz}$ 又は $60 \pm 0.5 \text{ Hz}$

b) $50 \pm 1 \text{ Hz}$ 又は $60 \pm 1 \text{ Hz}$

c) 標準周波数

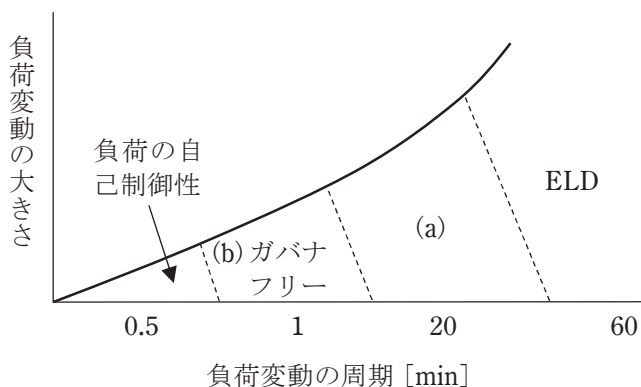
d) 一定周波数

e) 特に規定されていない

(2) 下図は、電力系統の負荷が変動した際に周波数を維持するための制御方式の分担を表した概念図である。これについて次の問に答えよ。

a) 図中の(a)に入る適切な語句を答えよ。

b) 図中の(b)ガバナフリーとはどのような制御か、100字程度以内で説明せよ。



(3) 電力系統の周波数低下を検出して負荷遮断するために変電所に設置される保護リレーを英字 3 文字で答えよ。また、送電線や変圧器の保護リレーが事故除去リレーに分類されることに対比して、このリレーは何リレーに分類されるか答えよ。

(4) A・B 二つの系統が連系線でつながれた電力系統に，平常時より周波数が 1.5Hz 以上低下すると動作するよう整定された小問(3)の保護リレーが設置されている。このとき，次の問に答えよ。

a) A 及び B 系統の系統定数 K_A [MW/0.1 Hz]， K_B [MW/0.1 Hz] を求めよ。

ただし，

A 系統の容量 12 000 MW，百分率で表した系統定数 1.0 %MW/0.1 Hz

B 系統の容量 5 000 MW，百分率で表した系統定数 0.8 %MW/0.1 Hz
とする。

b) この系統全体の系統定数 K [MW/0.1 Hz] を求めよ。

c) この系統で 2 000 MW の電源が脱落した際の周波数低下 ΔF [Hz] を求めよ。

d) c) の結果を用いて，この場合に保護リレーが動作するか答えよ。

令和5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) 負荷遮断時には、ガイドベーンが急閉塞するため、管路を流れている水が減速され、水の運動エネルギーが圧力エネルギーに変わる。これにより、ガイドベーン直前の水圧が上昇し、その圧力が水圧管路や圧力トンネルに伝搬する現象である。

(2) ①サージタンク

サージタンクを水圧管路と導水路である圧力トンネルの間に設置し、水路の途中に自由水面を設けることにより、水撃作用による圧力変動を吸収する。

②制圧機

制圧機をケーシング若しくは水圧管路末端に設置し、調速機によるガイドベーン急閉塞と連動して制圧機の弁体を開放することで圧力上昇を抑える。

[問2の標準解答]

(1) 表皮効果が小さくなり、また放熱が良くなるので、熱的許容電流容量が増加する。

(2) 送電線インダクタンスが減少し、また静電容量が増加するため、固有送電容量が増加する。

(3) 導体表面の電位傾度を減少できるので、コロナ開始電圧が高くなり、コロナ損失、雑音障害を防止できる。

(4) 送電線インダクタンスが小さくなるので、同期安定度が向上する。

[問3の標準解答]

(1) 発電機出力は次式の通り表される。

$$P_G = \frac{E_G E_0}{X_d' + X_t + 0.5X_l} \sin \delta_0 \dots\dots\dots \text{①}$$

\dots (答)

(2) ①式に各パラメータを代入して次式を得る。

$$0.8 = \frac{1}{0.35} \sin \delta_0 \dots\dots\dots \text{②}$$

したがって、近似式を適用して、

$$\sin \delta_0 \approx \delta_0 = 0.28 \text{ rad} \dots\dots\dots \text{③}$$

\dots (答)

(3) 1回線開放された状態で小問(2)と同様に安定平衡点の位相角を導出すると、

$$P_{G0} = \frac{E_G E_0}{X_d' + X_t + X_l} \sin \delta_s \dots\dots\dots \text{④}$$

ここで、 $X_1 = X_d' + X_t + X_l$ とすると、各パラメータを代入して、

$$0.8 = \frac{1}{X_1} \sin \delta_s = \frac{1}{0.45} \sin \delta_s \dots\dots\dots \text{⑤}$$

これより安定平衡点の位相角は次式のように求まる。

$$\sin \delta_s \approx \delta_s = 0.36 \text{ rad} \dots\dots\dots \text{⑥}$$

不安定平衡点の位相角は、 $P-\delta$ 曲線の対称性から次式で計算できる。

$$\delta_u = \pi - \delta_s \approx 2.8 \text{ rad} \dots\dots\dots \text{⑦}$$

\dots (答)

(4) 故障発生から故障除去時点までに生じる加速エネルギーは、故障継続中の発電機出力を0として次式で表される。

$$P_{G0}(\delta_c - \delta_0) \dots\dots\dots \text{⑧}$$

一方で減速エネルギーの最大値は次式となる。

$$\int_{\delta_c}^{\delta_u} \left(\frac{1}{X_1} \sin \delta - P_{G0} \right) d\delta \dots\dots\dots \text{⑨}$$

⑧式=⑨式として、次式を得る。

$$\cos \delta_c = X_1 P_{G0} (\delta_u - \delta_0) + \cos \delta_u \dots\dots\dots \text{⑩}$$

ここで対称性から、次式が成立する。

$$\cos \delta_u = -\sqrt{1 - \sin^2 \delta_u} \approx -0.933 \quad \dots\dots\dots \textcircled{11}$$

⑩式に代入して,

$$\cos \delta_c = -0.033 \quad \dots\dots\dots \textcircled{12}$$

... (答)

[問4の標準解答]

(1) 需要家に流れ込む有効電力を P , 需要家端電圧を V_r , 需要家の力率を $\cos \theta$ とし, 負荷電流 I を求めると,

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}V_r \cos \theta} \text{ [A]}$$

$$I = \frac{300 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6\,600 \times 0.90} = 29.159 \text{ A}$$

線路定数は,

$$R + jX = 4(0.2 + j0.6) = 0.8 + j2.4 \text{ } [\Omega]$$

送電端電圧 V_s [V] は, 遅れ力率で $\theta > 0$ とすると, 近似式を用いて,

$$V_s = V_r + \sqrt{3}I(R \cos \theta + X \sin \theta) = 6\,600 + \sqrt{3} \times 29.159 \left(0.8 \times 0.90 - 2.4 \times \sqrt{1 - 0.90^2} \right)$$

$$= 6\,600 + \sqrt{3} \times 29.159 (0.72 - 1.0461)$$

$$= 6\,600 - 16.470 = 6\,583.5 \text{ V}$$

$\therefore 6\,580 \text{ V} \dots$ (答)

(2) 需要家端で必要なリアクトル設置後の総合力率を $\cos \theta_1$ とすると, 電圧降下 ΔV は, 近似式を用いて,

$$\Delta V = \sqrt{3}I(R \cos \theta_1 + X \sin \theta_1)$$

このときの線路電流は, P_r を需要家に流れ込む有効電力とすると,

$$I = \frac{P_r}{\sqrt{3}V_r \cos \theta_1} = \frac{-200 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6\,600 \cos \theta_1} = \frac{-17.496}{\cos \theta_1} \text{ [A]}$$

電圧降下 ΔV は, 送電端と需要家端は同じ電圧のため, 0 V .

したがって、

$$0 = \sqrt{3} \times \frac{-17.496}{\cos \theta_1} \times (0.8 \cos \theta_1 + 2.4 \sin \theta_1) = -24.242 - 72.727 \tan \theta_1$$

$$\tan \theta_1 = \frac{-24.242}{72.727} = -0.33333$$

需要家端の無効電力(遅れ) Q_L は、

$$Q_L = P_r \tan \theta_1 = -200 \times -0.33333 = 66.666 \text{ kvar}$$

また、分散型電源とリアクトル設置前の需要家の無効電力(遅れ) Q_r は、

$$Q_r = -300 \times \frac{\sqrt{1-0.90^2}}{0.90} = -300 \times \frac{0.43589}{0.90} = -145.30 \text{ kvar}$$

よって、必要なリアクトル容量 Q_1 は、

$$Q_1 = Q_L - Q_r = 66.666 - (-145.30) = 211.97 \text{ kvar}$$

∴ 212 kvar・・・(答)

[問5の標準解答]

(1) 下記①～④など、中性点接地方式の目的についての基本的事項を二つ記載してあればよい。

- ① 地絡事故が発生したときに健全相の電位上昇を抑制する。
- ② 地絡事故が発生したときに保護リレーを確実に動作させる。
- ③ 地絡事故時の事故電流を抑制して電磁誘導障害を軽減する。
- ④ 鉄共振・アーク間欠地絡などの不安定現象を抑制する。

(2)

- a) 非接地方式
- b) 抵抗接地方式

(3) 抵抗接地方式は、地絡電流を抑制して通信線への電磁誘導障害を軽減することが目的である。直接接地方式に比べ、1線地絡電流が小さく保護リレーの事故検出機能は低下する。また、直接接地方式よりも1線地絡時の健全相の電圧上昇が大きく、線路や機器の絶縁レベルを低減できない。

[問6の標準解答]

(1) c)

(2)

a)

(a) LFC(負荷周波数制御, AFC(自動周波数制御)も可)

b)

(b) 負荷変動により発電機の回転速度が変動した際, 発電機の動力である蒸気又は水の流量を自動的に調整する調速機(ガバナ)により, 回転速度が上昇した時は出力を抑制, 低下した時は出力を増加させて回転速度を一定に保つ制御。

(3) ・UFR

・事故波及防止リレー

(4)

$$a) K_A = 12000 \times \frac{1}{100} = 120 \text{ MW/0.1Hz}$$

$$K_B = 5000 \times \frac{0.8}{100} = 40 \text{ MW/0.1Hz}$$

$$b) K = K_A + K_B = 120 + 40 = 160 \text{ MW/0.1Hz}$$

$$c) \Delta F = \frac{2000}{K \times 10} = \frac{2000}{160 \times 10} = 1.25 \text{ Hz}$$

d) 1.25 Hz < 1.5Hz のため, 動作しない。