

令和 5 年度

第 1 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。
- 計算問題において、簡略式を用いても算出できる場合もありますが、問題文中に明記がある場合を除き、簡略式は使用しないでください。
- 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。

第 1 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 タービン発電機の固定子巻線の冷却方式として用いられる, 水による直接冷却方式に関する次の各項目について答えよ。

- (1) 水による直接冷却方式を採用することの長所と短所を合わせて 100 字程度以内で述べよ。
- (2) 発電機に付属する機器と, 固定子巻線を冷却するときの制御の対象となる物理量を合わせて 100 字程度以内で述べよ。
- (3) 発電機運転中に冷却水の循環が停止した場合の対応の概要を 150 字程度以内で述べよ。

問2 近年，採用される例が増えている  $\text{SF}_6$  ガスを循環して冷却する方式のガス絶縁変圧器に関して，油入変圧器との比較において次の各問にそれぞれ 100 字程度以内で答えよ。

- (1) 採用される場所とその理由
- (2) 変電所設計に対する構造上の長所
- (3) 保守面に対する構造上の長所
- (4) 300 MV・A 程度の大容量器における  $\text{SF}_6$  ガスの冷却性能向上方策

問3 図1の抵抗 $R$ とリアクタンス $X$ で表される送電線の特性について電力円線図を用いて考える。なお、本問において単位のない諸量は単位法で表されており、受電端電圧 $\dot{E}_r$ の位相を零、送電端電圧 $\dot{E}_s$ の位相を $\delta[\text{rad}]$ ( $0 \leq \delta \leq \pi - \alpha$ )とする。次の間に答えよ。

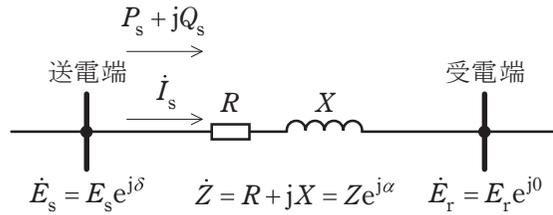


図1

- (1) 送電端円線図の式を次の手順で求めよ。
- 送電端から流れ出す電流 $\dot{I}_s$ を $\dot{E}_s$ ,  $\dot{E}_r$ ,  $\dot{Z}$ を用いて表せ。
  - 送電端から流れ出す有効電力 $P_s$ , 無効電力 $Q_s$ を $E_s$ ,  $E_r$ ,  $Z$ ,  $\alpha$ ,  $\delta$ を用いて表せ。
  - 送電端円線図の式を $P_s$ ,  $Q_s$ を用いて,  $(P_s - x_1)^2 + (Q_s - x_2)^2 = x_3^2$ と表したとき, 送電端円線図の中心 $(x_1, x_2)$ , 半径 $x_3$ を $E_s$ ,  $E_r$ ,  $Z$ ,  $\alpha$ を用いて表せ。  
なお,  $\sin^2(\delta + \alpha) + \cos^2(\delta + \alpha) = 1$ を用いてもよい。

- (2) 答案用紙に印刷されている図2に受電端円線図を描き，有効電力損失，無効電力損失を図中で示せ。なお，受電端円線図は， $E_s = E_r$ として，二つの円の中心と原点の位置関係，二つの円の交差に留意して描くこと。

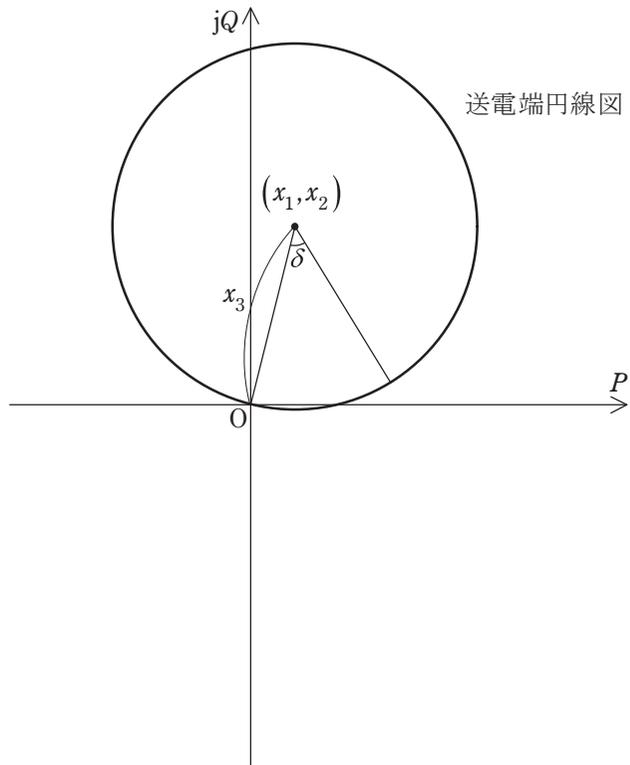
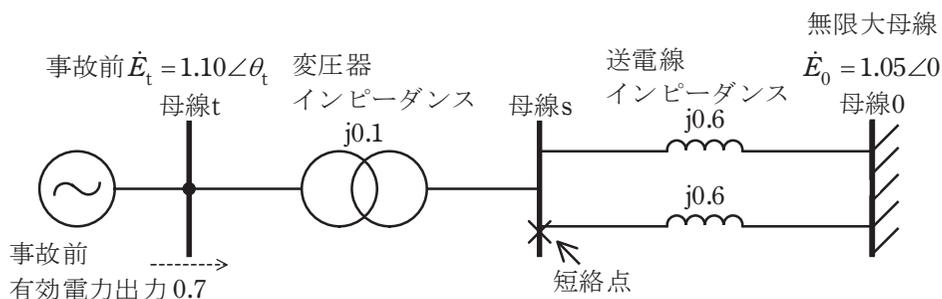


図2

- (3) 図1の送電線1相当りの抵抗が $5\Omega$ ，リアクタンスが $20\Omega$ ，送電端電圧と受電端電圧が $500\text{kV}$ の場合，単位法の基準容量を $1000\text{MV}\cdot\text{A}$ ，基準電圧を $500\text{kV}$ として，送電端円線図の中心と半径を単位法で求めよ。

問4 図の系統で、2回線送電線の母線sでbc相2相短絡故障が発生したときの正相短絡電流及びそのときの母線sの正相電圧を、対称座標法を用いて次の手順で求めよ。なお、計算には単位法を用い、系統及び発電機の逆相インピーダンスは全て正相インピーダンスと同じとする。また、短絡前の各母線の電圧位相 $\theta$ [rad]は $|\theta| < \frac{\pi}{2}$ とする。

- (1) 短絡前の母線sの電圧を $\dot{E}_s$  [p.u.]、同母線から系統を見た正相インピーダンスを $\dot{Z}_{s1}$  [p.u.]とすると、母線sにおけるbc相2相短絡故障時の正相短絡電流 $\dot{I}_{s1}$  [p.u.]の式を求めよ。
- (2) 図の値を用いて $\sin \theta_t$ の値を求め、これを用いて短絡前の母線sの電圧の絶対値 $E_s$  [p.u.]を求めよ。
- (3) 図の値を用いて、母線sから系統を見た正相インピーダンス $\dot{Z}_{s1}$ の値[p.u.]を求めよ。
- (4) 上記bc相2相短絡故障時の正相短絡電流の絶対値 $I_{s1}$  [p.u.]、及びこのときの母線sの正相電圧の絶対値 $V_{s1}$  [p.u.]を求めよ。



発電機 $X'_d = 0.32$ (自己容量基準)  
 発電機容量 $800 \text{ MV} \cdot \text{A}$

注) 発電機出力及び変圧器・送電線インピーダンスは  
 $1000 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 基準のp.u.値、母線電圧は定格電圧基準のp.u.値

問5 図のように、抵抗  $R$  とリアクタンス  $X$  とをもつ電線路を介して分散型電源が無限大母線と連系して運転している。無限大母線の電圧の大きさを  $V_S$  [kV]、分散型電源の連系点電圧の大きさを  $V$  [kV] とする。分散型電源の出力が大きくなると、連系点が過電圧となる可能性があるため、保安確保の面から電圧管理が必要となる。 $V_S$  [kV] を基準電圧、10 MV·A を基準容量としたとき、抵抗  $R$  の値が  $r$  [p.u.]、リアクタンス  $X$  の値が  $x$  [p.u.] であった。次の問に答えよ。ただし、無限大母線電圧  $V_S$  [kV] は、分散型電源の出力によらず、一定とする。

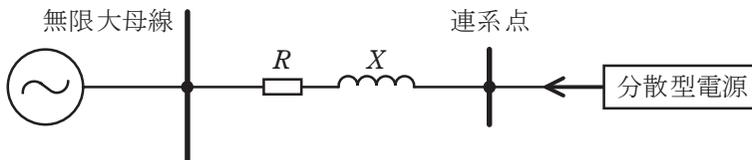
- (1) 分散型電源が連系される前の連系点での短絡容量を p.u. の単位で求めよ。
- (2) 連系点電圧  $V$  [kV] の単位法表示を  $v$  [p.u.] とする。無限大母線電圧に対する連系点電圧の位相差を無視できるならば、分散型電源の有効出力が  $p$  [p.u.]、無効出力(発電機の遅れ側を正とする。)が  $q$  [p.u.] のとき、連系点電圧  $v$  [p.u.] が次式で求められることを示せ。

$$v = 1 + r \cdot p + x \cdot q \text{ [p.u.]}$$

ただし、 $r$  と  $q$  は小さいので、1 に比べて小さな  $a$  に関する次の近似式を用いてもよい。

$$\sqrt{1+a} \approx 1 + 0.5a$$

- (3) 連系点電圧の上限値が 1.06 p.u. であるとする。 $r$  が 0.05 p.u.、 $x$  が 0.1 p.u. であるとき、力率 1、有効電力 14 MW で運転する分散型電源が連系できるか否かを計算過程及び判断根拠とともに述べよ。
- (4) 小問(3)において分散型電源の無効電力が  $-2.0$  Mvar のとき、連系できる最大有効電力 [MW] を求めよ。



問6 電力系統の周波数制御に関して、次の問に答えよ。

- (1) 電力系統の周波数が規定範囲を超えて低下すると、電気使用側では精密機械の誤動作や製品の品質低下などの問題が発生する可能性がある。一方、このとき、電力供給側の汽力発電設備にはどのような問題が発生する可能性があるか50字程度で答えよ。
- (2) 系統事故時を除く周波数変動の主な原因には、負荷の変動と再生可能エネルギー電源の出力変動がある。このうち、負荷の変動は、変動周期により次のa)～c)に大別される。a)～c)について、どのように発電量を調整するか、それぞれ80字程度で答えよ。
  - a) 日間周期変化を持つもので工場の稼働、事務所の冷暖房、夕方の点灯などによって生じる負荷変動
  - b) 数分～数十分ぐらいの比較的短時間の間に頻繁に起きる負荷変動
  - c) きわめて短時間の偶発的な負荷変動
- (3) 日本の電力系統では、連系状態に応じて、2種類の負荷周波数制御方式が採用されている。これについて次の問に答えよ。
  - a) 制御方式の一つは定周波数制御方式である。この制御方式はどのような系統に採用されているか50字程度で答えよ。
  - b) 日本で採用されているもう一つの負荷周波数制御方式の名称を答えよ。