

令和 3 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 大気汚染防止法にて規制される以下の大気汚染物質について、その発生原因と、我が国の火力発電所での対策装置(設備)、及びその原理について(1)～(3)それぞれ 100 字程度で述べよ。

- (1) 媒じん
- (2) 硫黄酸化物(SO_x)
- (3) 窒素酸化物(NO_x)

問2 変電所の絶縁設計において支配的な要素となる雷サージに関して、次の問に答えよ。

- (1) 変電所内への直撃雷の防止対策について100字程度で述べよ。
- (2) 送電線からの侵入雷の発生要因を三つ挙げ、変電所内でのサージ低減対策を合わせて100字程度で述べよ。
- (3) 低圧制御回路におけるケーブル敷設時でのサージ低減対策を二つ挙げ、合わせて50字程度で述べよ。

問3 単位法を用いた三相回路の故障電流の検討について以下の間に答えよ。

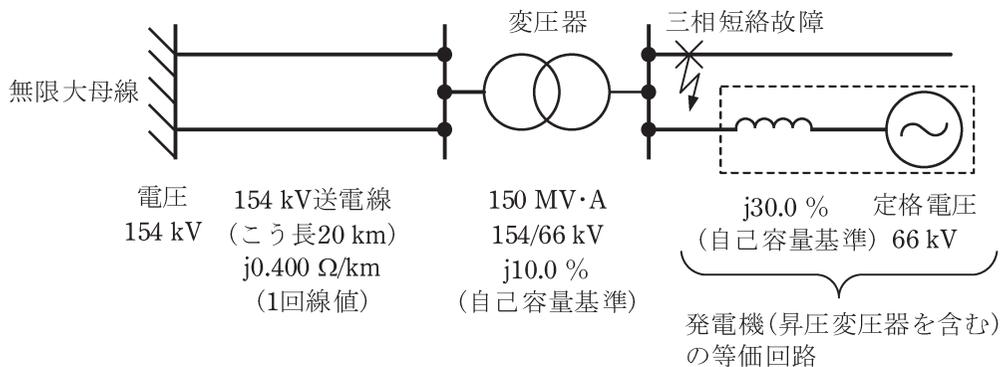
(1) 線間電圧 154 kV, 三相容量 100 MV・A を基準値とするとき, 次を求めよ。

- a) 基準電流 I_B [kA]
- b) 基準インピーダンス Z_B [Ω]

(2) 図に示す無限大母線と送電線, 変圧器, 発電機から構成される電力系統を対象として, 以下の量を, 100 MV・A を基準容量とし各部の公称電圧ないしは定格電圧を基準電圧とする単位法による値に換算せよ。

- a) 公称電圧 154 kV のこう長 20 km の 1 回線送電線のインピーダンスを上記の単位法の値 [p.u.] に換算せよ。ただし, 送電線 (1 回線) のインピーダンスは $j0.400 \Omega/\text{km}$ とする。
- b) 容量 150 MV・A の変圧器 (154/66 kV) のインピーダンスを上記の単位法の値 [p.u.] に換算せよ。ただし, 同変圧器のインピーダンスは自己容量基準で $j10.0 \%$ とする。
- c) 変圧器二次側 (定格電圧 66 kV) の電流 25 kA を上記の単位法の値 [p.u.] に換算せよ。

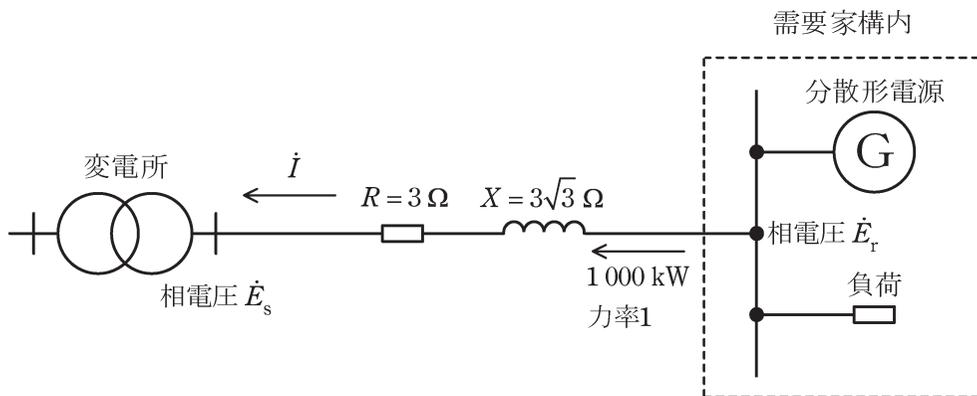
(3) 図の電力系統で, 変圧器二次側 (定格電圧 66 kV) の母線至近端での三相短絡時における故障電流を 25 kA 以下に抑えることができる発電機の最大容量 S [MV・A] を求めよ。ここに送電線と変圧器のインピーダンスは小問 (2) に示すとおりであるが, 154 kV 送電線は 2 回線とする。また発電機 (昇圧変圧器を含む) は, 定格電圧が 66 kV の電圧源と自己容量基準で $j30.0 \%$ のインピーダンスの直列回路で表すこととする。なお無限大母線の電圧は 154 kV, 電圧源の電圧は 66 kV とする。



問4 分散形電源の系統連系に関して、次の問に答えよ。

図に示す 6.6 kV 三相 3 線式高圧配電線の末端に、分散形電源を有する需要家が連系されている。

- (1) 需要家から配電線へ逆潮流(力率 1)がある場合の、需要家端の相電圧(1 線と中性点間の電圧) \dot{E}_r と変電所の相電圧 \dot{E}_s の関係を示すベクトル図及び関係式を \dot{E}_s , \dot{E}_r , \dot{I} , R , X を用いて描け。ただし、ベクトル図は \dot{E}_r (位相 0) を基準とし、電流 \dot{I} は図中の矢印の向きを正とする。
- (2) 小問(1)のベクトル図から需要家端の線間電圧値を求めよ。ただし、需要家端からの逆潮流は 1000 kW、力率は 1(分散形電源、負荷設備ともに 1)であり、高圧配電線は当該需要家のみ専用線とし、1 線当たりの抵抗 R 及びリアクタンス X はそれぞれ 3Ω 及び $3\sqrt{3}\Omega$ 、変電所端の線間電圧は 6.6 kV で一定とする。



問5 地中送電線の絶縁劣化診断法と事故点測定法について、次の問に答えよ。

- (1) 表1は、CVケーブルの絶縁劣化である水トリーに関する絶縁劣化診断法についての記述である。表中の(A)～(D)に当てはまる適切な語句についてそれぞれ答えよ。
- (2) 表2は、地中送電線の事故点測定法である「マーレーループ法」と「パルスレーダー法(送信形パルス法)」の原理並びにそれぞれの長所及び短所についての記述である。表中の(E)～(I)に当てはまる適切な語句についてそれぞれ答えよ。

表1

絶縁劣化診断法	原理
損失電流法	水トリー劣化ケーブルの充電電流の中に、課電電圧と同位相の損失電流成分が含まれることから、この損失分を測定し劣化の状況を把握する手法である。劣化したケーブルの測定波形には (A) 歪みが観測される。
(B) 電荷法	最初に (C) 課電によって水トリー部に電荷を蓄積させ、次に (D) 課電で蓄積した電荷を放出させる、(C) 課電と (D) 課電を組み合わせた手法である。検出された電荷の量は、水トリーの数や長さによって変化するため水トリーの発生状況を検知することが出来る。

表 2

事故点 測定法	原理	長所	短所
マーレー ループ法	(E) の原理により、事故点までの抵抗値を高精度に測定する方法である。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 導体抵抗を利用した (E) 法のため、測定精度が高く、誤差は 1% 程度以下である。 ・ ケーブル事故の多くが (F) 地絡であるため、適用範囲、使用実績が最も多い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ (G) 事故に適用できない。 ・ (H) 同時地絡事故のように並行健全相がない場合、測定は困難である。
パルス レーダー 法(送信形 パルス法)	事故ケーブルにパルス電圧を加え、健全相と異なるサージインピーダンスをもつ事故点からの (I) パルスを検知して、パルスの伝搬時間を測定し、事故点までの距離を求める方法である。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 並行健全相が不要であるので、(H) 同時地絡事故の測定に適している。 ・ 線路こう長がはっきりしていない場合でも測定できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 測定操作、パルス波形の判読に熟練を必要とする。 ・ 測定精度が若干低い。(誤差は一般的に 2~5%)

問6 定格出力 120 MW, 定格周波数 50 Hz の同期発電機 A と定格出力 80 MW, 定格周波数 50 Hz, 速度調定率 4.0 % の同期発電機 B とが並列運転可能な電力系統がある。次の問に答えよ。ただし, 調速機(ガバナ)の特性は線形であるとし, 負荷の周波数特性は無視する。

- (1) 発電機 A のみの運転によって, 系統周波数が 50.00 Hz に保たれているとする。発電機が出力 80 MW で運転しているときに系統負荷が 40 MW 減少した結果, 周波数が 50.50 Hz となった。発電機 A の速度調定率[%]を求めよ。ただし, 有効数字は, 小数点以下 1 桁とする。
- (2) 出力 100 MW で運転中の発電機 A と出力 80 MW で運転中の発電機 B とが並列運転を行っており, 系統周波数が 50.00 Hz に保たれているとする。系統負荷が 30 MW 減少したときの, 系統周波数[Hz], 発電機 A の出力[MW], 及び発電機 B の出力[MW]を求めよ。ただし, 系統周波数の有効数字は, 小数点以下 2 桁とする。

令和3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) 媒じん

発生原因：燃料に含まれる灰分が燃焼することで生成される

対策装置(設備)：電気集じん機(媒じん除去装置)を使用する

原理：(電気集じん機)媒じんを帯電させて静電気力により排ガスより分離捕集を行う

(2) 硫黄酸化物(SO_x)

発生原因：燃料中に含まれる硫黄分が燃焼することで生成される

対策装置(設備)：脱硫装置を使用する

原理：(脱硫装置)石灰石-石膏法にて排ガス中の亜硫酸ガスを石灰(石灰スラリー)に吸収させ亜硫酸カルシウムとして除去する。これを空気で酸化することで石膏が生成される

(3) 窒素酸化物(NO_x)

以下の発生原因の中から一つ、対策装置(設備)の中から一つ及びその原理が記載されていればよい。

発生原因：燃焼空気中の窒素が高温条件下で酸素と反応して生成される

燃料中に含まれる窒素分が燃焼により酸化され生成される

対策装置(設備)：低 NO_x バーナー，排ガス混合法，ボイラ二段燃焼，脱硝装置を使用する

原理：(低 NO_x バーナー)燃焼方法(燃焼温度低下)の改善により生成量を減らす
(排ガス混合法)ガス混合機により排ガスを燃焼空気に混合して低酸素燃焼を行う

(ボイラ二段燃焼)バーナー周りの空気比を下げ NOx の生成を抑制させ未燃分を後流から注入した空気です再燃焼させる
 (脱硝装置)アンモニア接触還元法にて還元剤としてアンモニアを加え混合したのち触媒層に通すことで NOx とアンモニアが還元反応して窒素と水蒸気に分解される

[問 2 の標準解答]

- (1) 変電所の変圧器や開閉器などの電力機器を雷の直撃に耐えるように絶縁することは極めて困難であるため、架空地線と避雷鉄塔による変電所内の遮へいと接地を施して、直撃雷の発生を防止する。
- (2) 送電線への直撃雷、鉄塔フラッシュオーバ、誘導雷がある。いずれの場合も避雷器を変圧器付近、母線、線路引き込み口、あるいはそれらを組み合わせて設置して、雷サージの低減を行うことにより、保護する機器の絶縁レベルとの協調を行う。
- (3)
- ・ 金属シース付き低圧制御ケーブルを採用しシースを接地する。
 - ・ 低圧制御ケーブルを高電圧ケーブルから離す。

[問 3 の標準解答]

(1)

$$a) I_B = \frac{100}{\sqrt{3} \times 154} = 0.37490 = 0.375 \text{ kA} \cdots (\text{答})$$

$$b) Z_B = \frac{154}{0.37490} = 237.16 \approx 237 \Omega \cdots (\text{答})$$

(2)

$$a) Z = j \frac{0.40 \times 20}{237.16} = j0.033733 \approx j0.0337 \text{ p.u.} \cdots (\text{答})$$

$$b) Z = j \frac{10}{100} \times \frac{100}{150} = j0.066667 \approx j0.0667 \text{ p.u.} \cdots (\text{答})$$

c) (1)a)の基準電流値を用い、下式より求められる。

$$\frac{25}{0.37490 \times \frac{154}{66}} = 28.579 \doteq 28.6 \text{ p.u.} \cdots (\text{答})$$

(3) 発電機の最大容量を $S[\text{MV}\cdot\text{A}]$ とすると、短絡電流 I_S は下式で計算できる。

$$\begin{aligned} I_S &= \frac{\frac{154}{154}}{j\frac{0.033733}{2} + j0.066667} + \frac{\frac{66}{66}}{j0.30 \times \frac{100}{S}} \\ &= -j\frac{1}{0.083534} - j0.033333S \\ &= -j(11.971 + 0.033333S) \text{ p.u.} \end{aligned}$$

この短絡電流が 25 kA (28.6 p.u.) を上回らないためには、 S は次の値以下である必要がある。

$$\begin{aligned} 11.971 + 0.033333S &= 28.579 \\ \therefore S &= 498.24 \text{ MV}\cdot\text{A} \end{aligned}$$

したがって、求める発電機の最大容量は 498 MV·A ……(答)

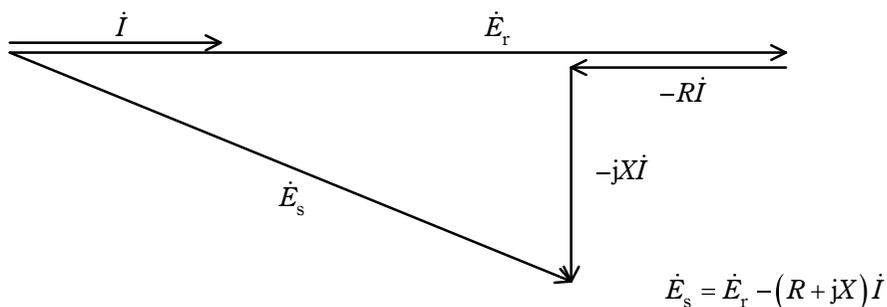
[問4の標準解答]

(1) 抵抗を R 、リアクタンスを X 、線路電流を \dot{I} とすると、需要家から逆潮流があるので、相電圧 \dot{E}_r を基準にとると、 $\dot{E}_r - (R + jX)\dot{I} = \dot{E}_s$ であることから、

$$\dot{E}_r = \dot{E}_s + (R + jX)\dot{I} \cdots \cdots \cdots \text{①} \cdots \cdots (\text{答})$$

①式が得られる。

ベクトル図は以下のとおりとなる。



解図 \dot{E}_r と \dot{E}_s の関係を示すベクトル図

(2) ベクトル図から、次式が成立する。

$$E_s^2 = (E_r - RI)^2 + (XI)^2 \cdots \cdots \cdots \textcircled{2}$$

逆潮流は $P = 3E_r I$ ，つまり $I = \frac{P}{3E_r}$ であるから、②式は、

$$E_s^2 = \left(E_r - \frac{PR}{3E_r} \right)^2 + \left(\frac{PX}{3E_r} \right)^2 \cdots \cdots \cdots \textcircled{3}$$

となる。②式で電圧を [kV] にとると、 P は [MW] になるから、

題意の $P = 1.0 \text{ MW}$ ， $R = 3 \Omega$ ， $X = 3\sqrt{3} \Omega$ ， $E_s = \frac{6.6}{\sqrt{3}} \text{ kV}$ を②式に代入する。

$$\left(\frac{6.6}{\sqrt{3}} \right)^2 = \left(E_r - \frac{1.0 \times 3}{3E_r} \right)^2 + \left(\frac{1.0 \times 3\sqrt{3}}{3E_r} \right)^2 \cdots \cdots \cdots \textcircled{4}$$

$$\left(\frac{6.6}{\sqrt{3}} \right)^2 = E_r^2 - 2 + \frac{1}{E_r^2} + \frac{3}{E_r^2}$$

$$16.52 = E_r^2 + \frac{4}{E_r^2}$$

$$E_r^4 - 16.52E_r^2 + 4 = 0 \cdots \cdots \cdots \textcircled{5}$$

⑤式より、

$$E_r^2 = \frac{16.52 \pm \sqrt{16.52^2 - 4 \times 4}}{2} \doteq 16.274, 0.246$$

となるが、明らかに 0.246 は不適である。

よって、需要家端の線間電圧の大きさ V_r は以下のとおりとなる。

$$V_r = \sqrt{3}E_r = 6.9873 \text{ kV} \doteq 6990 \text{ V} \cdots \cdots \text{(答)}$$

[問 5 の標準解答]

(1) 絶縁劣化診断法

- (A) : 高調波
- (B) : 残留
- (C) : 直流
- (D) : 交流

(2) 事故点測定法

- (E) : ホイートストンブリッジ
- (F) : 1 線
- (G) : 断線
- (H) : 三相
- (I) : 反射

[問 6 の標準解答]

(1) 発電機 A の速度調定率を x [%] とする。次の方程式が成り立たなければならない。

$$50.50 = 50.00 + 50 \times \frac{x}{100} \times \frac{40}{120}$$

これを解くと、 $x=3$

発電機 A の速度調定率は、3.0 % である。

(2) 系統負荷が 30 MW 減少したときの発電機 A の出力を P_A [MW]，発電機 B の出力を P_B [MW]，系統周波数を f [Hz] とする。次の連立方程式が成り立たなければならない。

$$\begin{cases} P_A + P_B = 180 - 30 \\ f = 50.00 + 50 \times \frac{3}{100} \times \frac{100 - P_A}{120} \\ f = 50.00 + 50 \times \frac{4}{100} \times \frac{80 - P_B}{80} \end{cases}$$

これを解くと、 $P_A=80$ ， $P_B=70$ ， $f=50.25$

発電機 A の出力は 80 MW，発電機 B の出力は 70 MW，系統周波数は 50.25 Hz となる。