

令和 6 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。

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 水力発電所の建設計画を策定するにあたって、河川流況は極めて重要である。

ここに、①、②式の直線近似式で示される図の流況曲線の河川がある。この河川に有効落差 $H=40$ m の自流式(流れ込み式)水力発電所を建設したい。

ここで、河川流量 $X[\text{m}^3/\text{s}]$ は日数 $t[\text{日}]$ の関数とし、

$$0 \leq t < 100 \text{ のとき : } X = 30 - 0.2t \cdots \cdots \cdots \text{①}$$

$$100 \leq t \leq 365 \text{ のとき : } X = 12 - 0.02t \cdots \cdots \cdots \text{②}$$

で示される。この発電所計画において、発電に用いる最大使用水量 $Q_{\text{max}}[\text{m}^3/\text{s}]$ は年間平均流量の 2 倍とすることとする。

また、水車・発電機の総合効率 $\eta[\%]$ は、使用水量 $Q[\text{m}^3/\text{s}]$ によって変化するものとし、計算の便宜上、以下によって与えられる。

$$10 \leq Q \text{ のとき : } \eta = 90\% \cdots \cdots \cdots \text{③}$$

$$5 \leq Q < 10 \text{ のとき : } \eta = 60\% \cdots \cdots \cdots \text{④}$$

$$Q < 5 \text{ のとき : } \eta = 0\% \cdots \cdots \cdots \text{⑤}$$

なお、発電出力 $P[\text{kW}]$ は $P = 9.8QH\eta$ で表され、1 年間は 365 日とする。

次の問に答えよ。

- (1) この発電所の計画最大出力 $P_{\text{max}}[\text{kW}]$ を求めよ。
- (2) この計画において、最大使用水量で発電できる期間の累計発電電力量 $[\text{kW} \cdot \text{h}]$ を求めよ。
- (3) この計画において、最大使用水量未満での累計発電電力量 $[\text{kW} \cdot \text{h}]$ を求めよ。
- (4) この発電所の計画年間発電電力量 $W[\text{kW} \cdot \text{h}]$ 及び計画設備利用率 $[\%]$ を求めよ。
- (5) 上記の結果を踏まえ計画の変更を検討したいが、どのような観点で計画変更を検討するべきかを 50 字程度以内で述べよ。

但し、落差、効率は変更できないものとする。

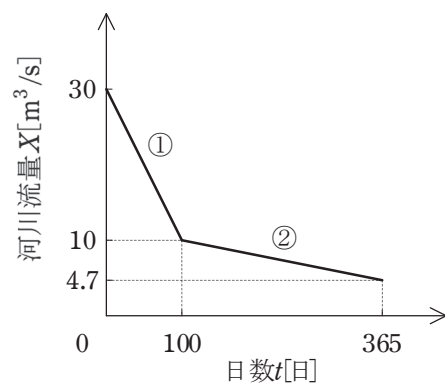
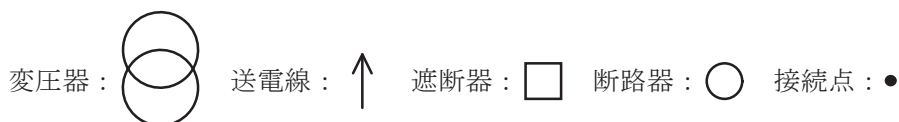


図 流況曲線

問2 変電所の母線方式及び母線保護リレーについて、次の問に答えよ。

- (1) 変電所の母線方式を選定する上で一般的に考慮すべき事項を三つ挙げよ。
- (2) 複母線方式のうち、二重母線1ブスタイ方式は様々な電圧階級で採用されている。送電線4回線(平行2回線2ルート)、変圧器2台の場合の二重母線1ブスタイ方式の単線結線図を描け。なお、各シンボルは以下の凡例及び記載例に従うものとし、変圧器二次側及び三次側の単線結線図は省略すること。

(凡例)



(記載例)

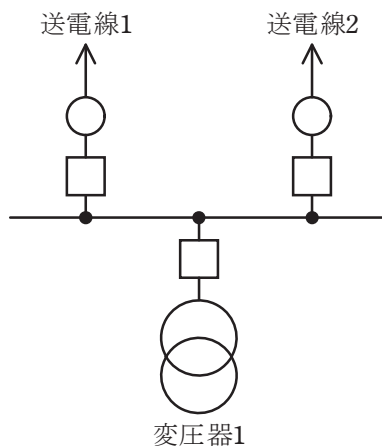
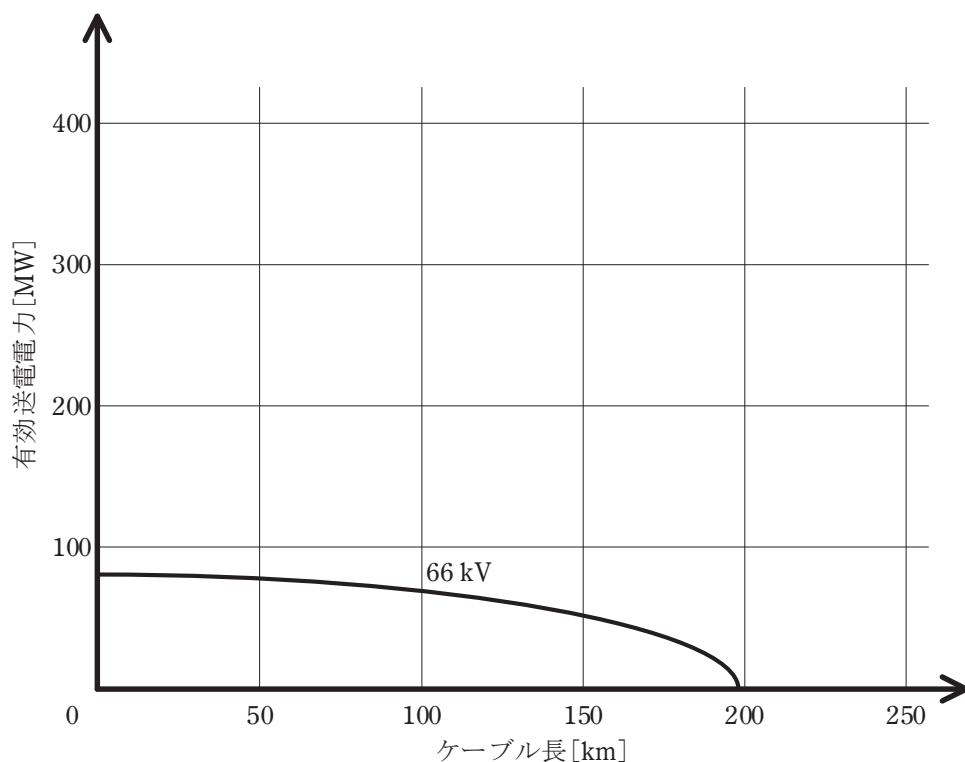


図 送電線2回線、変圧器1台の単母線方式の場合

- (3) 小問(1)で挙げた考慮すべき事項について、単母線方式と比較した場合の二重母線1ブスタイ方式の特徴を、それぞれ50字程度で具体的に述べよ。
- (4) 複母線方式において、系統の運用状態に応じて母線保護リレーが故障母線を正しく選択遮断するためには、計器用変圧器(VT)及び計器用変流器(CT)からの電圧・電流入力に加えて、ある条件(入力要素)が必要となる。母線保護リレーが当該条件を用いてどのように故障母線を正しく選択遮断しているか、100字程度で具体的に述べよ。なお、計器用変流器(CT)の設置位置に起因する保護上の盲点は存在せず、かつ全ての遮断器は正常に動作するものとする。

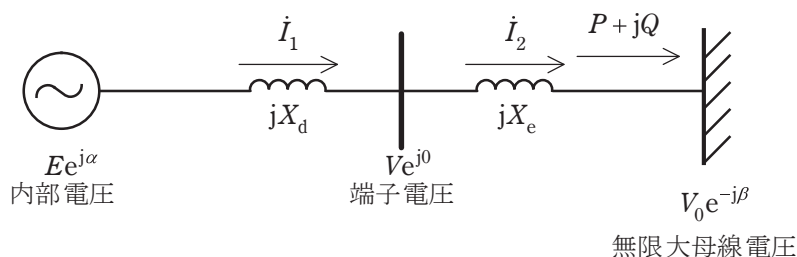
問3 地中送電線路の電力用ケーブルの送電特性について、次の問に答えよ。

- (1) 電力用ケーブルにおける抵抗損以外の電力損失について2点あげ、その電力損失が大きくなり留意が必要となる状況と理由について各々50字程度以内で述べよ。
- (2) 許容送電電力[MV・A]が決まる要因及び増大させる方策について200字程度以内で述べよ。
- (3) 有効送電電力[MW]と限界のケーブル長の相関性について電圧が高くなるとどうなるか理由を含め50字程度以内で述べよ。また、図の線間電圧 V が66kVのケーブル長と有効送電電力の関係を踏まえて、答案用紙に印刷されている図中に V が275kVの線路の特性を概略で記載せよ。なお、どちらも許容送電電流 $I=700\text{A}$ 、静電容量 $C=0.3\mu\text{F/km}$ 、周波数 $f=50\text{Hz}$ として、単位長当たりの充電電流 $I_C = \frac{2}{\sqrt{3}}\pi f C V$ [A]とする。



問4 図に示す1機無限大母線系統において、発電所から無限大母線へと送電することを考える。発電機の内部電圧と端子電圧をそれぞれ $Ee^{j\alpha}$ 及び Ve^{j0} 、無限大母線の電圧を $V_0e^{-j\beta}$ 、発電機の同期リアクタンスを X_d 、送電線のリアクタンスを X_e とする(ただし、 $\alpha > 0$ 、 $\beta > 0$ とする)。無限大母線での受電電力を $P+jQ$ とする(ただし $P > 0$ 。 Q は遅れを正とする)。送電線の抵抗や静電容量は無視して良い。全ての変数は共通の基準値による単位法表現とし、以下の間に答えよ。なお、同期化力が0以上である場合には小じょう乱同期安定性(定態安定度)の観点から安定な送電は可能とする。

- (1) 無限大母線の受電電力 P 及び Q を、それぞれ E 、 V_0 、 α 、 β 、 X_d 、 X_e を用いて表せ。
- (2) 同期化力により定まる小じょう乱同期安定性の観点から、安定な送電のために $\alpha + \beta$ が満たすべき条件を示せ。
- (3) 図の jX_d を流れる電流 $\dot{I}_1$ を、 E 、 V 、 α 、 X_d を用いて表せ。同様に、 jX_e を流れる電流 $\dot{I}_2$ を、 V 、 V_0 、 β 、 X_e を用いて表せ。
- (4) 小問(2)で示した小じょう乱同期安定限界において $V = V_0$ であるとき、発電機の内部電圧 E を V_0 、 X_d 、 X_e を用いて表せ。ここで、 $\dot{I}_1 = \dot{I}_2$ であり、かつ複素数 $a + jb = c$ (a 、 b 、 c は実数) について $a^2 + b^2 = c^2$ が成立することを利用せよ。
- (5) $V = V_0$ かつ $X_e = \frac{1}{2}X_d$ のとき、安定に送電できる有効電力の最大値を V_0 と X_d を用いて表せ。ただし、小じょう乱同期安定性以外の制約条件は無視せよ。



問5 配電系統への分散型電源の導入に伴い配電系統の電圧に生じる問題について、次の問に答えよ。

- (1) 分散型電源の導入拡大に伴い、分散型電源から配電系統への逆潮流が大幅に増加した場合、分散型電源が無い場合と比べて配電系統の電圧にどのような問題が生じるか、200字程度で説明せよ。
- (2) 上記(1)の問題を解決するために、分散型電源の設置者が取り得る対策を二つ挙げて、100字程度で説明せよ。
- (3) 上記(1)の問題を解決するために、一般送配電事業者が取り得る対策を二つ挙げて、100字程度で説明せよ。

問6 各種の電気設備から発生する高調波電流により電圧波形がひずみ、他の電気設備に障害を与える事例が発生している。このような高調波電流を抑制するためには、電圧ひずみと高調波流出電流の管理が必要であり、そのための諸量を適切に把握することが重要である。

図のように、66kV 系統から受電する 6.6kV 母線に整流器負荷、純抵抗負荷、発電機が遮断器 CB2, CB3, CB4 を介して接続されている。CB1 は、受電用遮断器である。受電変圧器の容量は 3300kV・A、インピーダンスは自己容量基準で 10% であり、抵抗分と励磁インピーダンスとを無視できるものとする。整流器負荷は 5 次高調波電流を発生し、その他の高調波成分は無視できるものとする。

- (1) 高調波が電気設備に与える可能性のある障害を二つ挙げよ。
- (2) 5 次高調波に対する受電変圧器の 2 次側換算リアクタンス [Ω] を求めよ。
- (3) CB1 と CB2 のみが閉であるとする。整流器負荷が発生する 5 次高調波電流の大きさが I_5 [A] のとき、6.6kV 母線の相電圧に含まれる 5 次高調波成分の大きさを求めよ。
- (4) 上記 (3) の状態で CB3 が閉となったとする。系統に流れ出す 5 次高調波電流の大きさ I_{ss} を純抵抗負荷の値 R [Ω] と I_5 とで表せ。
- (5) CB1 が開で、発電機が整流器負荷と純抵抗負荷とに電源供給している。このときの 6.6kV 母線相電圧に含まれる 5 次高調波成分の大きさを求めよ。ただし、発電機の 5 次高調波に対するリアクタンスを X_5 [Ω] とする。

