

令和 4 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 調整池式の水力発電所の運用に関して、次の問に答えよ。

有効貯水量 $180 \times 10^3 \text{ m}^3$ の調整池を有する有効落差 60 m の水力発電所がある。自然流量が $20 \text{ m}^3/\text{s}$ であるとき、図に示す負荷曲線で運転した場合のピーク負荷時の出力[kW]及びオフピーク負荷時の出力[kW]を求めよ。ただし、年間を通して毎日同様の運転を繰り返すものとし、調整池は最大限活用し、オフピーク負荷時には越流させないこととする。

なお、水車と発電機の合成効率、ピーク負荷時出力で 85%、オフピーク負荷時出力で 80% とする。

また、発電機の定格出力はピーク負荷を十分供給できるものとする。

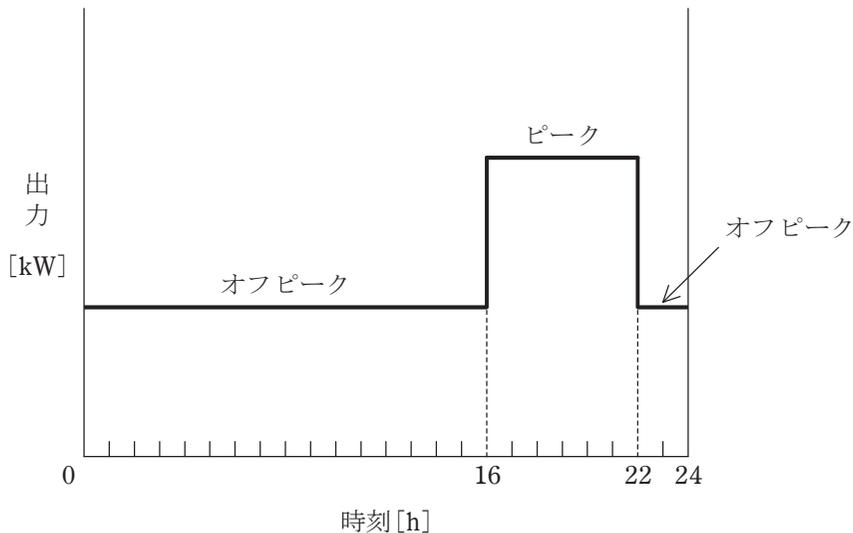


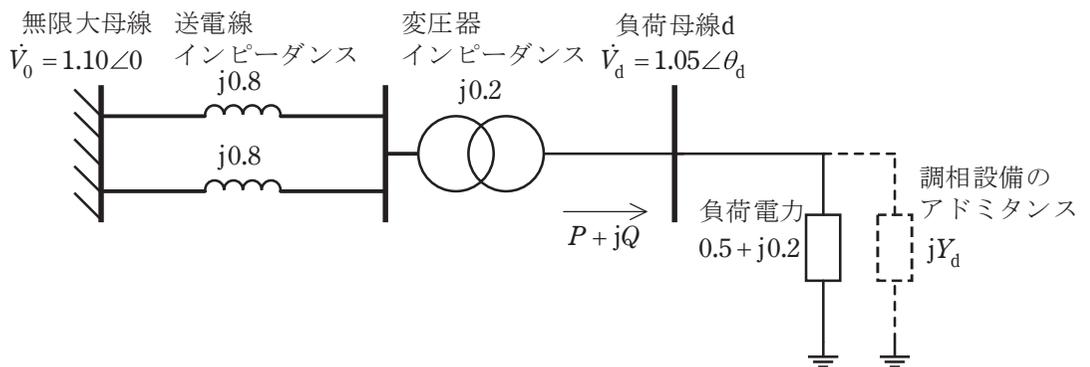
図 負荷曲線(運転パターン)

問2 電力系統には雷撃や系統運用における過渡現象などにより異常電圧が発生することがあり、電気施設の絶縁保護を目的に、変電所等に避雷器が設置される。近年は、特に、保護特性の優れた、直列ギャップを使用しない酸化亜鉛(ZnO)を主成分とした酸化亜鉛形避雷器(ギャップレス避雷器)が多く使用されている。変電所に設置される酸化亜鉛形避雷器(ギャップレス避雷器)について、次の問に答えよ。

- (1) 変電所における避雷器の設置上の留意点及びその理由を100字程度以内で述べよ。
- (2) 酸化亜鉛形避雷器(ギャップレス避雷器)の特徴を三つ挙げ、それによるメリットも含めてそれぞれ50字程度以内で述べよ。
- (3) 酸化亜鉛形避雷器(ギャップレス避雷器)では、保護レベルと機器寿命の関係を定量的に表すのに、常時連続的に印加される電圧ストレスの大きさを示す課電率(通常、連続使用電圧/動作開始電圧)を用いる。そこで、課電率による保護レベル設定と機器寿命の関係について80字程度以内で述べよ。

問3 送電線により受電する下図の負荷母線dの受電電圧 V_d を1.05 p.u.に維持するために必要な調相設備(コンデンサあるいはリアクトル)のサセプタンス Y_d を、単位法を用いて、以下の手順で求める。それぞれの間に答えよ。なお、遅れ無効電力を正とする。

- (1) 負荷母線dに到達する有効電力 P に関する数式を用いて、 $\sin\theta_d$ の値を求めよ。
- (2) 負荷母線dに到達する遅れ無効電力 Q を $\cos\theta_d$ の関数で表せ。
- (3) 上記小問(2)の解を用いて必要調相設備サセプタンス Y_d を $\cos\theta_d$ の関数で表せ。
- (4) 上記の各小問の解を用いて必要調相設備サセプタンス Y_d を求めよ。ただし、 $|\theta_d| < \frac{\pi}{2}$ とする。



注) 数値は全てp.u.値(ただし、位相はrad)

問4 高圧受電設備の保護について、次の問に答えよ。

- (1) 高圧受電設備の主遮断装置と保護の方式について、受電設備容量 $300\text{ kV}\cdot\text{A}$ 以下とそれ以上に分けて、それぞれ 130 字程度以内で記載せよ。
- (2) 地絡方向リレー (DGR) と地絡リレー (GR) の地絡事故に対する動作原理の違いを、150 字程度以内で記載せよ。

問5 再生可能エネルギーに関して、次の問に答えよ。

- (1) 総合エネルギー統計によれば、令和2年度（2020年度）の日本の総発電電力量は約1兆kW・hである。このうち、再生可能エネルギーの発電電力量の占める割合は約何割であるか、有効数字一桁で答えよ。
- (2) 温室効果ガスの排出削減のため、今後も再生可能エネルギーを最大限導入する必要がある。この場合において、太陽光発電及び風力発電の導入拡大を図っていくに当たって、電力系統に生じる技術的課題を電力需給、送配電設備容量及び安定度の三つの視点から、それぞれについて70字程度で述べよ。

問6 ある変電所から、配電線 A, B により、下表に示す需要設備 a, b, c に電力を供給しているとき、次の問に答えよ。配電線は A, B 以外にはないものとし、需要設備 a, b, c の力率は全て 90 % (遅れ一定) とする。

- (1) 需要設備 a, b, c の最大電力[kW]をそれぞれ求めよ。
- (2) 変電所の総合最大電力[kW]を求めよ。
- (3) 需要設備 a, b, c の平均電力[kW]をそれぞれ求めよ。
- (4) 変電所の総合負荷率[%]を求めよ。

配電線	需要設備	設備容量 [kV·A]	需要率	負荷率 [%]	需要設備間 の不等率	配電線間 の不等率
A	a	9 000	0.6	70	—	1.1
B	b	5 000	0.7	80	1.25	
	c	3 000	0.8	60		

令和4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]

貯水容量 $V[\text{m}^3]$ ，自然流量 $Q[\text{m}^3/\text{s}]$ 及びピーク負荷時間 $T[\text{h}]$ としたときのピーク負荷時使用水量 Q_p ，オフピーク負荷時使用水量 Q_o は以下のとおり。

$$Q_p = Q + \frac{V}{60 \times 60 \times T}$$

$$Q_o = Q - \frac{V}{60 \times 60 \times (24 - T)}$$

よって，題意より，

$$Q_p = 20 + \frac{180 \times 10^3}{3600 \times 6} = 28.333 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_o = 20 - \frac{180 \times 10^3}{3600 \times 18} = 17.222 \text{ m}^3/\text{s}$$

ピーク時出力を $P_p[\text{kW}]$ ，オフピーク時出力を $P_o[\text{kW}]$ とすると，

$$P_p = 9.8 \times 28.333 \times 60 \times 0.85 = 14161 = 14200 \text{ kW} \cdots (\text{答})$$

$$P_o = 9.8 \times 17.222 \times 60 \times 0.80 = 8101.2 = 8100 \text{ kW} \cdots (\text{答})$$

[問2の標準解答]

(1) 以下の避雷器の設置上の留意点及びその理由から一つ記載されていればよい。

- 避雷器は線路引込口や極力被保護機器に近く設置する(約 50 m 以下)ことが望ましく，距離があまり遠くなると被保護機器の端子に加わる異常電圧の値は避雷器の制限電圧に比べて高くなり，これを設置した効果がなくなる。
- 避雷器と大地間の接地線は極力接地抵抗(インピーダンス)を小さくし，高周波サージに対するインダクタンスを抑えることで，避雷器－大地間の電圧上昇に

より保護レベルに影響をおよぼさないようにする。

(2) 以下の酸化亜鉛形避雷器の特徴とメリットから三つ記載されていればよい。

- ・直列ギャップがないため放電電圧－時間特性に関する課題がなく，機器絶縁に対する保護レベルが向上する。
- ・微小電流から大電流サージ領域まで高い非直線抵抗特性を有することで過電圧を抑制することができる。
- ・素子の単位体積当たりの処理エネルギーが大きいので，従来に比べ寸法の小型化と構造の簡素化が実現できる。
- ・並列素子数を増加することにより，許容される吸収エネルギーの増加が図れ，サージに対する耐量が向上する。
- ・無続流のため，多重雷などに対する動作責務に余裕があり温度上昇が少なく，機器の長寿命化が期待できる。
- ・降雨等による汚損及び洗浄時の不均一電位分布などの問題がなく，局部アークの発生を抑制することができる。

(3)

- ・課電率を高くすることで，保護レベルを低く設定でき，絶縁設計の合理化が実現できるが，機器寿命が短くなるためこの経済バランスを考慮した仕様検討が必要となる。

[問3の標準解答]

負荷端における電力の平衡式は下記。

$$P + jQ = \text{負荷電力}(0.5 + j0.2) + \text{調相設備電力}$$

左辺を各電圧変数で表すと，線路電流を i ，無限大母線から負荷母線に至る全体のリアクタンスを X_{total} とするとき，

$$\begin{aligned}
P + jQ &= \dot{V}_d \dot{I}^* = \dot{V}_d \left[\frac{(\dot{V}_0 - \dot{V}_d)}{jX_{\text{total}}} \right]^* \\
&= j \frac{V_0 \dot{V}_d - V_d^2}{X_{\text{total}}} \\
&= j \frac{V_0 V_d \angle \theta_d - V_d^2}{X_{\text{total}}} \\
&= j \frac{V_0 V_d (\cos \theta_d + j \sin \theta_d) - V_d^2}{X_{\text{total}}} \\
&= -\frac{V_0 V_d \sin \theta_d}{X_{\text{total}}} + j \frac{V_0 V_d \cos \theta_d - V_d^2}{X_{\text{total}}}
\end{aligned}$$

また、右辺は、

$$\begin{aligned}
&0.5 + j0.2 + \dot{V}_d (jY_d \dot{V}_d)^* \\
&= 0.5 + j(0.2 - Y_d V_d^2)
\end{aligned}$$

すなわち、

$$\begin{cases}
-\frac{V_0 V_d \sin \theta_d}{X_{\text{total}}} = 0.5 \\
\frac{V_0 V_d \cos \theta_d - V_d^2}{X_{\text{total}}} = 0.2 - Y_d V_d^2
\end{cases}$$

(参考： jY_d は、コンデンサの場合は $j\omega C (Y_d > 0)$ ，リアクトルの場合は $\frac{1}{j\omega L} (Y_d < 0)$)

の単位法表示を総称した変数。この jY_d で消費される電力は「 $-Y_d V_d^2$ 」の負符号の遅れ無効電力。そこで、 Y_d による無効電力の流れる向きを母線 d に入る向きとし、「 $+Y_d V_d^2$ の無効電力供給源」とする考えもある。）

(1) 上式の実数分等価式 (P 潮流等価) に \sin が含まれており、その式を用いる。

$$X_{\text{total}} = \frac{0.8}{2} + 0.2 = 0.6 \text{ なので,}$$

$$-\frac{V_0 V_d \sin \theta_d}{X_{\text{total}}} = 0.5$$

$$\Rightarrow -\frac{1.1 \times 1.05 \times \sin \theta_d}{0.6} = 0.5$$

これから,

$$\sin \theta_d = -\frac{0.5 \times 0.6}{1.1 \times 1.05}$$

$$= -0.25974$$

$$\sin \theta_d = -0.260 \dots (\text{答})$$

(2) 上式の虚数分等価式(Q潮流等価)を取り出すと,

$$Q = \frac{V_0 V_d \cos \theta_d - V_d^2}{X_{\text{total}}}$$

$$\Rightarrow \frac{1.1 \times 1.05 \times \cos \theta_d - 1.05^2}{0.6}$$

$$= 1.925 \cos \theta_d - 1.8375$$

$$Q = 1.93 \cos \theta_d - 1.84 \dots (\text{答})$$

(3) 上記 Q 式と冒頭式の Q 平衡式から,

$$Q = 1.925 \cos \theta_d - 1.8375 = 0.2 - 1.05^2 Y_d$$

Y_d を左辺に移行して,

$$Y_d = \frac{-1.925 \cos \theta_d + 2.0375}{1.05^2}$$

$$= -1.7460 \cos \theta_d + 1.8481$$

$$Y_d = -1.75 \cos \theta_d + 1.85 \dots (\text{答})$$

(4) 上記設問の右辺 $\cos \theta_d$ は小問(1)の答を用いて,

$$\cos \theta_d = \pm \sqrt{1 - \sin^2 \theta_d}$$

$$= \pm \sqrt{1 - (-0.25974)^2}$$

$$= \pm 0.96568$$

題意より $|\theta_d| < \frac{\pi}{2}$ ($\cos \theta_d > 0$) なので正値を採用。この値を小問(3)の式に代入

して、

$$Y_d = -1.7460 \times 0.96568 + 1.8481 \\ = 0.16202$$

$$Y_d = 0.162 \dots (\text{答})$$

[問4の標準解答]

(1) 受電設備容量 300 kV・A 以下の主遮断装置には、高圧限流ヒューズ(PF)と負荷開閉器(LBS 又は S)を組み合わせた方式が主に用いられる。

地絡事故が発生したときは地絡リレー(GR)又は地絡方向リレー(DGR)で検出し開閉器をトリップ(※)させ、短絡事故のときは、短絡電流が大電流であるため PF で遮断する。

300 kV・A 以上の主遮断装置には、真空遮断器(VCB)などの遮断器(CB)と地絡・短絡などのリレーを組み合わせた方式が主に用いられる。

地絡、短絡などの事故、あるいは過負荷が発生したときは、GR 又は DGR、過電流リレー(OCR)などで検出(※)し CB を遮断させ設備を保護する。

※地絡事故時の保護は、PAS の取り付けに言及した場合、PAS を遮断も可

- ・ 地絡リレー(GR)は、地絡過電流リレー(OCGR)でも可
- ・ 負荷開閉器は、高圧交流負荷開閉器でも可

(2) DGR は、零相電圧検出器(ZPD)で零相電圧(V_0)、零相変流器(ZCT)で零相電流(I_0)を同時に検出する。また、 V_0 と I_0 の位相から地絡電流の方向を判別することで、地絡事故が自家用構内側か構外側かを区別している。

GR は、ZCT のみしか使用していないため、一定以上の I_0 が流れた場合に地絡事故の判定をする。零相電流の値のみのため、誤作動の可能性がある。

[問5の標準解答]

(1) 2割

(2)

①電力需給

再生可能エネルギーの発電量は、天候や季節により変動してコントロールが難しいため、調整力が不足すると需給バランスに問題が生じる。

②送配電設備容量

電力需要が少ないエリアなどで再生可能エネルギーが大量に導入されると、既存の一部の送電線や連系線の設備容量が不足し、送電に問題が生じる。

③安定度

非同期電源である太陽光発電などが大量に導入され、火力発電等の同期電源の割合が減少すると、系統全体の慣性力・同期化力が減少し、事故時の安定度に問題が生じる。

[問6の標準解答]

(1) 需要設備 a, b, c の最大電力[kW]を、それぞれ P_a , P_b , P_c とすると、

最大電力=設備容量×力率×需要率の関係があるので、

$$\left. \begin{aligned} P_a &= 9\,000 \times 0.9 \times 0.6 = 4\,860 \text{ kW} \\ P_b &= 5\,000 \times 0.9 \times 0.7 = 3\,150 \text{ kW} \\ P_c &= 3\,000 \times 0.9 \times 0.8 = 2\,160 \text{ kW} \end{aligned} \right\} \dots (\text{答})$$

(2) 配電線 A, B の最大電力を、それぞれ P_A , P_B とすると、

総合最大電力=合計最大電力/不等率の関係があるので、

$$\begin{aligned} P_A &= 4\,860 \text{ kW} \\ P_B &= \frac{3\,150 + 2\,160}{1.25} = 4\,248 \text{ kW} \end{aligned}$$

よって、同様に、変電所の総合最大電力 P_S は、

$$P_S = \frac{P_A + P_B}{1.1} = \frac{4\,860 + 4\,248}{1.1} = 8\,280 \text{ kW} \dots (\text{答})$$

- (3) 需要設備 a, b, c の平均電力[kW]を, それぞれ $\overline{P}_a, \overline{P}_b, \overline{P}_c$ とすると,
平均電力=最大電力×負荷率の関係があるので,

$$\left. \begin{aligned} \overline{P}_a &= 4860 \times 0.7 = 3402 \rightarrow 3400 \text{ kW} \\ \overline{P}_b &= 3150 \times 0.8 = 2520 \rightarrow 2520 \text{ kW} \\ \overline{P}_c &= 2160 \times 0.6 = 1296 \rightarrow 1300 \text{ kW} \end{aligned} \right\} \dots (\text{答})$$

- (4) 変電所の平均電力を \overline{P}_s とすると,

$$\overline{P}_s = \overline{P}_a + \overline{P}_b + \overline{P}_c$$

よって, 小問(3)で示した関係式より, 変電所の総合負荷率 LF は,

$$\begin{aligned} LF &= \frac{\overline{P}_s}{P_s} \times 100 \\ &= \frac{3402 + 2520 + 1296}{8280} \times 100 \approx 87.17 \rightarrow 87.2\% \dots (\text{答}) \end{aligned}$$