

平成 29 年度

第 1 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。
- 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。

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 理論水力 11 000 kW の水力発電所で 100 % 負荷遮断試験を行い、速度上昇率は 30 %，電圧変動率は 25 % であった。水車発電機の総合効率は 86 %，発電機は 18 極，定格周波数は 60 Hz である。負荷遮断試験は，定格電流 517 A，定格力率 96 %，定格回転速度の下で行った。水車の速度調定率は 5 % とし，调速機のガバナ特性は直線とする。

次の(1)から(6)の数値を求めよ。

- (1) 水車発電機の定格回転速度 [min^{-1}]
- (2) 水車発電機の最大回転速度 [min^{-1}]
- (3) 水車発電機の無負荷安定時の回転速度 [min^{-1}]
- (4) 発電機の定格出力 [kW]
- (5) 発電機の定格電圧 [kV]
- (6) 発電機の最大電圧 [kV]

問2 油入変圧器の内部絶縁には、絶縁油と絶縁紙(クラフト紙)などのセルロース系絶縁材料が使用されている。これら絶縁材料について次の問に答えよ。

- (1) 絶縁油には一般に鉱油が使用されているが、絶縁油が吸湿したり、空気に長時間さらされると絶縁性能が低下する。この場合の絶縁油の絶縁特性を確認する診断項目を四つ挙げ、その診断項目と絶縁性能低下との関係がどのようなになるかを簡潔に述べよ。
- (2) 不燃性・難燃性などの防災性や環境適合性の観点から、鉱油以外の絶縁媒体を使用した油入変圧器が実用化されている。鉱油以外の絶縁媒体を二つ挙げよ。
- (3) 絶縁紙の絶縁特性を向上させる方法の一つとして、油浸して気密度を上げる方法があるが、その他の方法を一つ説明せよ。

問3 超高压系統における後備保護に関して、次の問に答えよ。

- (1) 自端後備保護の一種である図1のブスタイ分離リレーについて、その設置目的を説明せよ。また、図1の事故に対して、CB2は回線2の主保護リレーで遮断されるがCB4は遮断失敗した場合、ブスタイ分離リレーの有無によって停電区間がどのように違うのか説明せよ。
- (2) 図2の遠端後備保護方式について、以下の問に答えよ。
 - a. 設置目的と、図のF点での事故時の動作概要を記せ。
 - b. 一般に遠端後備保護は、当該事故区間の保護リレーの不具合だけでなくそれに関わる他の機器の不具合に対しても有効である。有効となる不具合機器を三つ挙げよ。
 - c. 遠端後備保護に距離リレーを用いる場合の保護協調について、図2の電気所Aでの設定方法の概要を記せ。なお、想定事故点はF点に限るものではない。

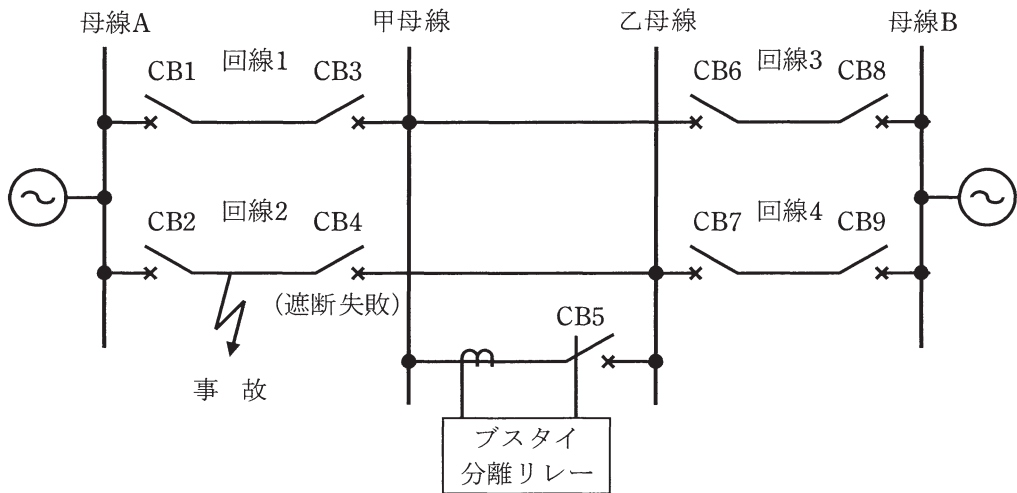


図1 ブスタイ分離リレーによる動作例

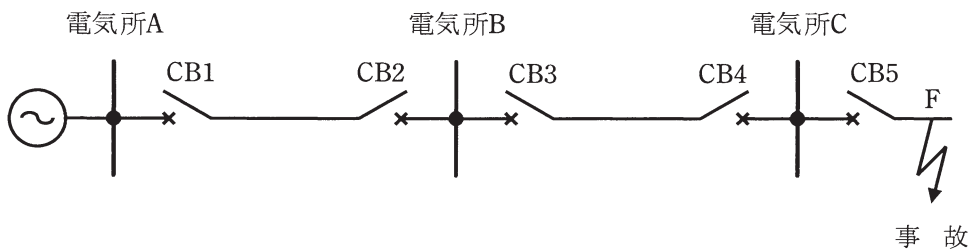


図2 遠端後備保護方式例

問4 図において、並行2回線送電線(周波数50Hz)の1回線故障に伴う高速再閉路がタービン発電機の軸に与える影響を検討する。昇圧変圧器の高圧側母線至近端で三相短絡故障(故障点抵抗零)が発生し、その後0.1秒で三相遮断、故障除去、1回線運用に瞬時に移行した状況を想定している。次の問に答えよ。

タービン発電機は過渡リアクタンス背後電圧一定のモデルで表現し、その定格容量は $1000\text{ MV}\cdot\text{A}$ 、過渡リアクタンスは $x'_d = 0.3\text{ p.u.}$ (自己容量基準)、慣性定数 M は自己容量基準で7秒とし、固定子抵抗、励磁制御や調速機の効果、電氣的トルクの振動成分は全て無視するものとする。ここで、発電機の回転速度 ω の挙動は、機械的入力 P_m 、電氣的出力 P_e を用いて、微分方程式

$$M \frac{d\omega}{dt} = P_m - P_e$$

で表現するものとする。なお、回転速度の変化は小さいため、電力とトルクは同じものと仮定する。変圧器と送電線はともにリアクタンス 0.1 p.u. ($1000\text{ MV}\cdot\text{A}$ 基準。送電線は1回線分)とし、その他のインピーダンスは無視する。故障発生前は、タービン発電機は定格端子電圧 1.0 p.u. 、定格出力、定格力率90%(遅れ)で運転していたものとする。

- (1) 短絡時の電氣的トルクのステップ変化の大きさを p.u.単位で求めよ。
- (2) 故障発生後0.1秒間のタービン発電機の内部相差角増大量 $\Delta\delta$ を rad 単位で計算せよ。
- (3) 故障発生前及び故障除去後(1回線運用中)の直列合成リアクタンス(発電機内部電圧から無限大母線までの間にある全リアクタンスを合成した値)をそれぞれ求めよ。また、故障発生前の発電機の運転条件から、 x'_d 背後電圧 \dot{E}'_q の大きさと、無限大母線電圧 \dot{V}_i の大きさを求めよ。答えは全て p.u.単位で記すこと。
- (4) 小問(2)で求めた故障除去時までの $\Delta\delta$ [rad]について $\sin\Delta\delta \approx \Delta\delta$ と近似するものとして、故障除去時の電氣的トルクのステップ変化の大きさを p.u.単位で求めよ。正弦関数の加法定理 $\sin(\alpha + \beta) = \sin\alpha \cos\beta + \cos\alpha \sin\beta$ を用いてよい。

- (5) 高速再閉路の際に故障が継続していると再び電氣的トルクが大きく変化する。タービン発電機には振動数 10 Hz 程度の軸ねじれ振動を生じることを参考にして、高速再閉路のタイミングが 0.1 秒程度以下ずれるだけで軸の機械的疲労が大きく左右されることを説明せよ。

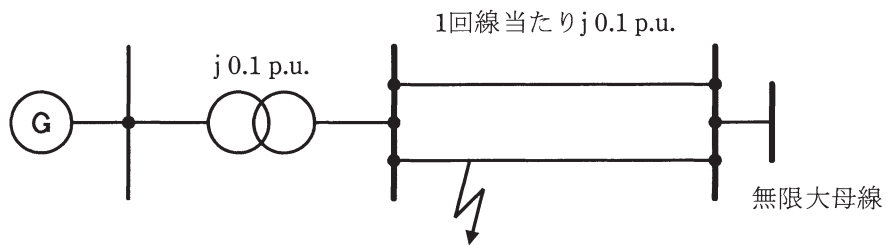


図 一機無限大母線系統

問5 無効電力及び静止型無効電力補償装置に関する以下の問に答えよ。

(1) 有効消費電力が $P[\text{W}]$ ($P > 0$)，力率が $\cos\theta$ ($\frac{\pi}{2} > \theta > -\frac{\pi}{2}$) の単相負荷がある。

電圧と電流は、ひずみのない正弦波とする。次の a 及び b に答えよ。

a この単相負荷が消費する無効電力 $Q[\text{var}]$ はいくらか。ただし、 Q は、 θ が正のときに正とする。

b 静止型無効電力補償装置の運転制御においては、交流電力の値を1サイクルでの平均値としてではなく、瞬時値で考える必要がある。無効消費電力 Q がゼロでないときには、負荷であるにもかかわらず、上記負荷の消費する瞬時電力が発電側(負)となる時間が1サイクルの期間内に一定の割合で発生する。皮相電力が同じでも無効電力があることによって有効消費電力が低下するのは、このことが理由である。電圧を $v(t) = V \sin(\omega t)$ [V]，電流を $i(t) = I \sin(\omega t - \theta)$ [A] としたとき、1サイクル ($2\pi > \omega t \geq 0$) の間で瞬時電力が発電側(負)となる時間を、 θ に応じた ωt の範囲式として示せ。

(2) 以下の文章は、静止型無効電力補償装置の種類及び動作に関する記述である。(イ)から(ハ)の記号を付した空欄に当てはまる語句又は文章を、次の解答方法に従って答案用紙に記入せよ。

解答方法 (イ)，(ロ)，(ハ)，(ニ)及び(ホ)：適切な語句を記入すること。

(ハ)：適切な文章を記入すること。

a パワーエレクトロニクスを利用した静止型無効電力補償装置には、，TSC，自励式 SVC がある。 は、サイリスタの位相制御によってリアクトル電流を制御して無効電力を に調整する。リアクトル電流のみでは進み無効電力を発生できないので、 又は TSC を並列に設置することがある。

b TSC は、サイリスタによってコンデンサを して無効電力を調整する。採用に当たっては、 に調整することはできないこと及び投入位相によっては が流れることを考慮しなければならない。

- c 自励式 SVC は STATCOM とも呼ばれ，自励式電力変換装置を用いて無効電力を発生し，又は吸収する。同期調相機と比較した場合，電力系統に並列運転をして無効電力を発生し，又は吸収する点は同じであるが，電気回路要素として両者は次の点で相異している。

(ハ)

問6 電力系統における電力損失(発電所で発生した電力が、需要家に供給されるまでの間に発電所、変電所及び送電線や配電線でその一部が失われること)に関して、次の問に答えよ。

- (1) 電力損失を発電所所内電力と送変配電設備に分け、それぞれの損失を構成する内容について簡単に述べよ。なお、発電所は汽力を原動力とする火力発電所とし、直流送電は想定しなくてよい。
- (2) 近年の水力発電所所内電力の所内比率(発電電力量に対する所内電力量の割合)、及び送変配電設備の損失率について、全国平均実績値[%]として最も近いものを解答群の中から選び、それぞれその記号を答えよ。

[解答群]

(イ) 1 (ロ) 5 (ハ) 10 (ニ) 15 (ホ) 20 (ヘ) 30

- (3) 発電所を除く電力系統における電力損失軽減対策について三つ挙げ、それぞれ簡潔に説明せよ。