

令和元年度

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 ある出力 P [kW] で運転中の水車発電機で負荷遮断が発生した。この水車調速機の閉鎖時間は t 秒、不動時間は τ 秒であり、ガイドベーンの開鎖時間特性は直線で表されるものとして、次の問に答えよ。ただし、損失は無視する。

(1) 負荷遮断からガイドベーンを閉鎖し終わるまでに水車発電機に与えられるエネルギー W [J] を P 、 t 及び τ を用いて表せ。

(2) 出力運転中の回転速度を N_i [min^{-1}]、最大回転速度を N_{\max} [min^{-1}] としたとき、水車発電機が最大回転速度に到達した時点の運動エネルギーと負荷遮断前の運動エネルギーの差を、水車発電機の慣性モーメント I [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$] を用いて表せ。なお、回転体の角速度を ω [rad/s] としたとき、その運動エネルギー W [J] は $W = \frac{1}{2} I \omega^2$ で表される。

(3) 小問 (1) 及び小問 (2) で求めたエネルギーは等しいことから、速度変動率 δ_N [%] を P 、 t 、 τ 、 I 及び定格回転速度 N [min^{-1}] を用いて表せ。ただし、 $N \doteq N_i$ 、 $N_i + N_{\max} \doteq 2N$ とし、 $\pi = 3.1416$ とする。

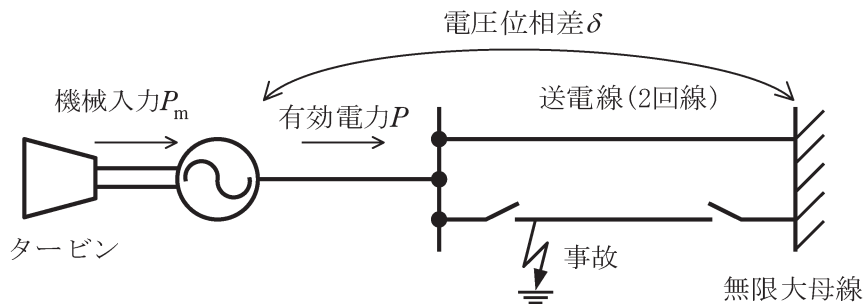
(4) 不動時間が 0.5 秒に調整された水車発電機において、25 % 負荷での負荷遮断が発生したとき、閉鎖時間は 3 秒で速度変動率は 2 % であった。そこで、調速機の閉鎖時間の再調整を実施した。その結果、100 % 負荷での負荷遮断時の閉鎖時間は 4 秒であった。このときの速度変動率 [%] を小問 (3) で得た式を用いて求めよ。

問2 電力系統の送電用変電所に用いられる油入変圧器の内部に発生する事故に関して、次の問に答えよ。小問(2)～(5)については、200字程度以内で簡潔に述べよ。

- (1) 変圧器の事故のうち、巻線に関する事故様相について三つ挙げよ。
- (2) 変圧器の流動帯電について、どのような現象であるか説明せよ。また、流動帯電により絶縁破壊に至る過程及び防止策について説明せよ。
- (3) 変圧器の保護に用いられる機械式保護リレーと電気式保護リレーについて、代表的なリレーを挙げて検出方式を説明せよ。
- (4) 変圧器の事故を未然に防止するための外部診断方法の一つである油中ガス分析について、ガスが発生する過程及び判定方法とあわせて説明せよ。
- (5) 変圧器の事故により火災や噴油が発生した際の、当該変圧器の周辺機器や変電所周圍環境への波及防止策について、二つ挙げて説明せよ。

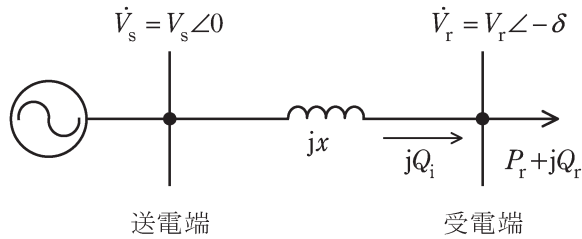
問3 図に示す1機無限大母線系統の2回線送電線において、1回線の送電端母線の至近端で事故が起こり、当該回線の三相遮断が行われた場合の過渡安定性について、次の問に答えよ。

- (1) 3線地絡事故時に比べ1線地絡事故時の方が、過渡安定性面から見た送電線事故の過酷度合いは低い。この理由を、事故中の送電電力の違いをもとに、200字程度以内で説明せよ。
- (2) 3線地絡事故に対し、事故除去時間が短いほど過渡安定性の余裕が増大する。この理由を、図中の P 、 P_m 、 δ を用いた等面積法の図を描き、説明せよ。ここに事故中の事故点電圧は零とする。
- (3) 一般に、発電機励磁系に超速応励磁装置を用いて過渡安定性を改善する場合、PSS (Power System Stabilizer) を組み合わせることが多い。PSS を組み合わせる目的と PSS の基本機能を 200 字程度以内で説明せよ。



問4 図に示すような送電系統において、次の問に答えよ。

ただし、単位は表記のない場合は、系統容量 $1000 \text{ MV}\cdot\text{A}$ 、系統定格電圧を基準とする単位法 [p.u.] とする。



V_s : 送電端電圧

P_r : 負荷の有効電力

V_r : 受電端電圧

Q_r : 負荷の無効電力

x : 送電線のリアクタンス δ : 送電端と受電端の電圧位相差角 [rad]

Q_i : 送電線から受電端に流入する無効電力

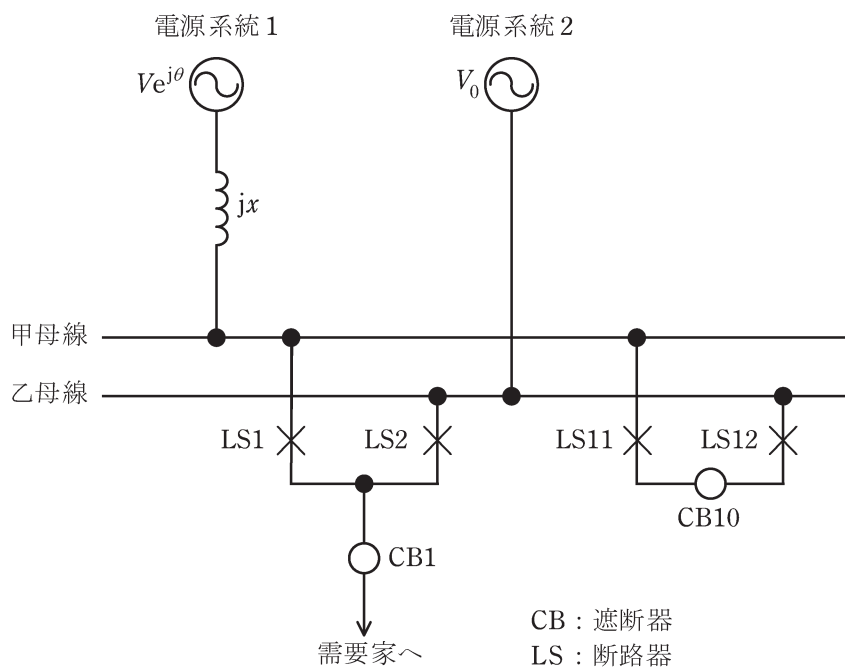
- (1) Q_i を V_s , V_r , x 及び δ で表す式を求めよ。ただし、遅れ無効電力を正とする。
- (2) δ は十分に小さいとして P_r による V_r の大きさの変化を考えなければ、 Q_i と Q_r が等しくなる条件で受電端電圧の大きさ V_r が決まる。 Q_r が $V_r = 1.0$ 付近で次式による特性を持つ場合、 V_r と Q_r [Mvar] を求めよ。

$$Q_r = 4V_r - 3 \text{ [p.u.]} \quad (\text{負荷の自己容量 } 600 \text{ MV}\cdot\text{A} \text{ を基準, 定格電圧は送電系統に同じ})$$

ただし、送電端の V_s は常に 1.0 とし、 x は 0.03 とする。

問5 二つの異なる電源系統から受電する電気所が、図のようにCB1を介して需要家に電気を供給している。電源系統2につながる乙母線は無量大母線と考えてよく、線間電圧の大きさは V_0 [V] ($V_0 > 0$)である。甲母線がつながる電源系統1には背後インピーダンス jx [Ω]があり、背後電源の線間電圧の大きさが V [V] ($V > 0$)、電源系統2に対する位相が θ [rad]進んでいるとする。CB10は母線連絡遮断器であり、常時開で運用されている。乙母線から供給していた需要家を、甲母線からの供給に無停電で切り換える必要が生じた。次の問に答えよ。

- (1) 切り換えを手動で行うこととした。操作の手順を順序立てて述べよ。ただし、切り換え前には、LS11及びLS12が共に開放されているとする。
- (2) 甲母線の三相短絡電流の大きさ I_s [A]、短絡容量 S [V·A]を求めよ。
- (3) CB10を投入したときにLS11からLS12に向けて流れる電流 \dot{I} [A]を求めよ。ただし、投入の前後で V_0 、 V 、 θ の値に変化はないものとし、需要家への供給電流は無視できるものとする。
- (4) 電源系統1の電圧の大きさ V が電源系統2の電圧の大きさ V_0 と等しいとする。この場合、母線電圧の位相差 θ が小さいならば、CB10を投入したときにCB10を流れる電流の大きさが $I_s \cdot |\theta|$ [A]で近似できることを示せ。



問6 我が国の一般送配電事業者(沖縄電力株式会社を除く。)間の電力系統は、互いに接続されることで広域運営が行われているが、これらの中には直流周波数変換装置や直流送電線等、直流設備を介した直流連系が存在する。直流連系に関して、次の間に答えよ。

(1) 我が国の系統周波数は 50 Hz と 60 Hz に分かれていることから、広域運営のための周波数変換所が現在 3 箇所存在する。これら 3 箇所の名称を全て答えよ。

(2) 周波数が異なる系統の連系が可能となること以外の直流連系の長所及び短所について、それぞれ三つずつ答えよ。

(3) 周波数が同じ電力系統間において、直流連系が採用されている場合がある。そのうち、BTB 方式と呼ばれる直流連系に関して、次の間に答えよ。

①BTB 方式による直流連系の設備構成上の特徴を答えよ。

②BTB 方式による直流連系は、我が国では現在、隣接する一般送配電事業者 3 者間の電力系統の連系において 1 箇所の連系所に採用されている。この場合において、交流連系ではなく直流連系が採用された最も大きな技術的理由を答えよ。