

令和 4 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。

第 1 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 火力発電所におけるタービン発電機の進相運転に関して，次の問に答えよ。

- (1) 進相運転を実施する目的を 100 字程度で答えよ。
- (2) 進相運転時の留意点を三つ挙げ，合わせて 100 字程度で答えよ。
- (3) 小問(2)の留意点に対する発電所における対策を二つ挙げ，合わせて 100 字程度で答えよ。

問2 図に示す電源、変圧器、架空送電線から構成される三相が平衡した電力系統を対象として、四端子定数を用いてフェランチ効果の検討を行う。送電線は公称電圧 500 kV、こう長 200 km の二回線送電線とし、その直列リアクタンスは $0.50 \Omega/\text{km}$ 、並列サセプタンスは $2.0 \mu\text{S}/\text{km}$ (ともに正相に対する一回線値) とする。また変圧器は容量 $500 \text{ MV}\cdot\text{A}$ で、漏れリアクタンスは 15 % (自己容量基準) とする。ここで、上記以外のインピーダンス等は全て無視する。

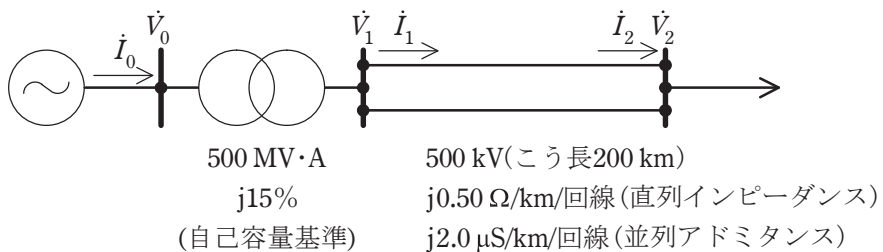
- (1) 二回線送電線の π 形等価回路を示し、回路中の直列インピーダンス、並列アドミタンスを単位法で記せ。ここで、基準容量は $1000 \text{ MV}\cdot\text{A}$ とし、基準電圧は線路の公称電圧とする。

小問(2)以降の計算は全て単位法で行う。

- (2) 送電線の送電端の電圧 $\dot{V}_1$ 、電流 $\dot{I}_1$ をそれぞれ受電端の電圧 $\dot{V}_2$ 、電流 $\dot{I}_2$ で表す式を導出せよ。ここに $\dot{I}_1$ 、 $\dot{I}_2$ は二回線合計の電流であり、その向きは図示のとおりとする。

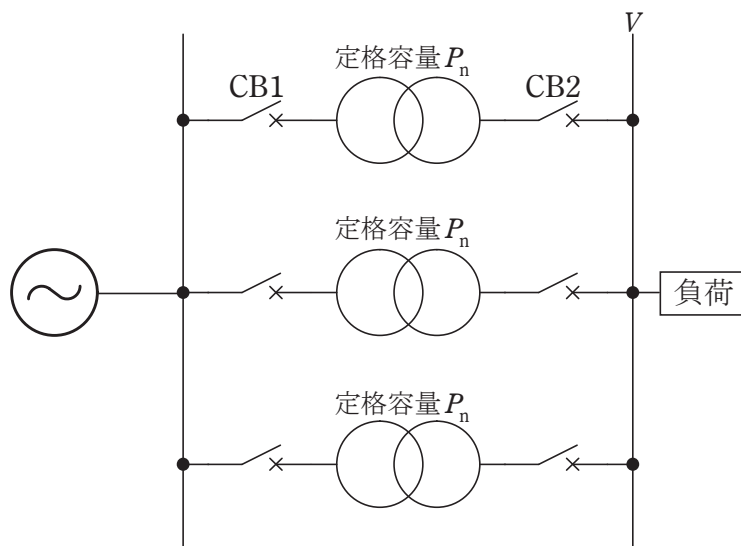
- (3) 電源の端子電圧 $\dot{V}_0$ 、電流 $\dot{I}_0$ をそれぞれ $\dot{V}_1$ 、 $\dot{I}_1$ で表す式を導出せよ。ここに $\dot{I}_0$ の向きは図に示すとおりとする。

- (4) 送電線を負荷 ($\dot{I}_2 = 0$) とするとき、送電線の受電端電圧の大きさ $|\dot{V}_2|$ を求めよ。なお電源の端子電圧の大きさ $|\dot{V}_0|$ は 1.05 p.u. とする。



問3 図に示した変電所において効率的な運転を行いたい。3 台の変圧器は同一特性である。変圧器 1 台当たりの定格容量を P_n ，鉄損を P_i ，銅損を P_c ，変圧器の負荷側の電圧を V ，電流を I ，力率を 1 としたとき，変圧器 1 台当たりの効率 η は①式で表される。なお，変圧器は全て定格電圧で運転されており，鉄損 P_i は V ， I に依存せず，銅損 P_c は電流 I^2 に比例する。また，遮断器(CB)の開閉の前後で母線電圧は変化しないものとする。

$$\eta = \frac{\sqrt{3}VI}{\sqrt{3}VI + P_i + P_c} \times 100[\%] \dots\dots\dots \text{①}$$



変圧器 3 台運転から、CB1・CB2 を開いて変圧器 2 台運転とした方が、変電所の効率が上がる全変圧器負荷容量 L の範囲を次の a)～f) に従い求めよ。ただし、変圧器 1 台当たりの定格運転時の銅損を P_{c0} とする。

- a) 全変圧器負荷容量が L のときの変圧器 n 台運転時の 1 台当たりの銅損 P_{c1} を L , P_{c0} , P_n , n を用いて表せ。
- b) n 台運転時の変圧器の全損失 W_n を L , P_i , P_{c0} , P_n , n を用いて表せ。
- c) $(n-1)$ 台で運転したときの変圧器の全損失 W_{n-1} を L , P_i , P_{c0} , P_n , n を用いて表せ。ただし、 $n \geq 2$ とする。
- d) $W_{n-1} < W_n$ の関係式を用いて $W_2 < W_3$ となる全変圧器負荷容量 L の範囲を P_i , P_{c0} , P_n を用いて表せ。

次に、変圧器は負荷率 ε のときに最高効率 $k (< 1)$ をとるものとし、このとき②式が成り立つ。

$$\text{鉄損 } P_i = \text{銅損 } P_c \cdots \cdots \cdots \text{②}$$

- e) 変圧器 1 台当たりの P_i と P_{c0} を P_n , k , ε を用いて表せ。
- f) 前問 d) における $W_2 < W_3$ となる全変圧器負荷容量 L の範囲を ε , P_n を用いて表せ。

問4 図1の1機無限大母線系統における過渡安定性とその向上対策について、以下の問に答えよ。慣性定数を M 、発電機の機械的入力を P_m 、発電機出力を P_e 、発電機端の電圧を $V_s \angle \delta$ 、送電線のインピーダンスを jX 、無限大母線の電圧を $V_r \angle 0$ とする。なお、 δ は[rad]、 M は[sec²/rad]で、その他は[p.u.]で表されている。

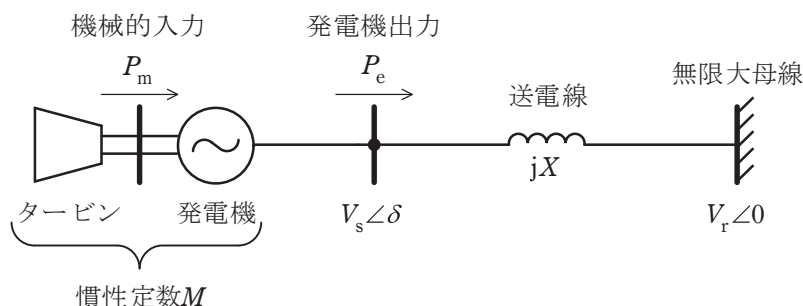


図1

- (1) 発電機の動揺方程式の $M \frac{d^2 \delta}{dt^2}$ を P_m 、 P_e で、 P_e を V_s 、 V_r 、 X 及び δ で表し、送電線で地絡などの故障が起きた直後の P_m と P_e の変化による δ への影響を50字程度以内で説明せよ。また、 M 、 δ 、 X の各々に関して過渡安定性が悪化する条件を、各変数について大小で簡潔に示せ。
- (2) 送電線故障による電力系統の過渡安定性を向上するための具体的な方策について、故障中の P_e の観点から三つ簡潔に示せ。
- (3) 過渡安定性を向上するための P_m に関する具体的な方策として、電源制限による過渡安定性の改善効果を、平行2回線送電線に地絡などの故障が発生した場合を示す図2の電力相差角曲線を用いて、簡潔に説明せよ。また、電源制限を実施する場合の留意事項と対策を100字程度以内で説明せよ。

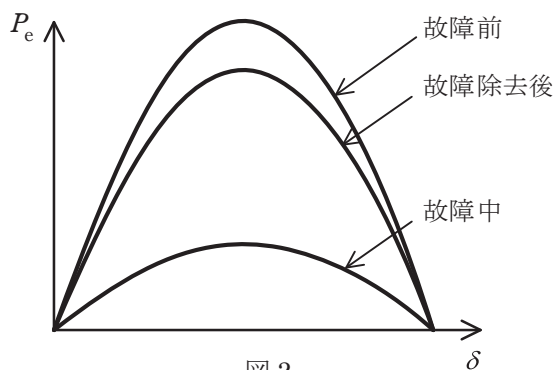


図2

- (4) 平行 2 回線送電線では、2 回線×3 相の計 6 相に発生する故障は様々な組み合わせがあるが、超高圧送電線における高速による多相再閉路方式において、同相での 2 回線地絡故障(1 ϕ G2LG)が、1 回線 3 相地絡故障(3 ϕ G3LG)よりも過渡安定性が厳しくなる理由を故障中、故障除去後の P_e の観点で 200 字程度以内で説明せよ。なお、説明は、図 2 の電力相差角曲線を用いてもよい。

問5 次の表は、高圧又は特別高圧油入変圧器の絶縁劣化状態を診断するための試験のうち、通常よく行われている試験について記載したものである。表中の に記入すべき用語を、答案用紙の(4)頁にある表に記入しなさい。

劣化診断試験の目的	劣化の原因	劣化診断試験の種類	劣化診断の原理	劣化診断試験の実施方法例
絶縁油の劣化診断	絶縁油に空気中の水分や (1) が溶け込むと、 (2) の低下、 (3) の上昇などにより劣化が進行する。	(2) 試験	(4) における絶縁油の (2) を測定し、劣化度を推定する。	試料を試験容器に満たし、相対する球電極間に (4) の試験電圧を印加し、一定の割合で上昇させ (2) を測定する。
		(3) 試験	絶縁油に含まれる (3) を測定し劣化度を推定する。 (3) とは、絶縁油 1g 中に含まれる全酸性成分を中和するのに要する (5) の mg 数をいう。	試料をトルエン・エタノールの混合溶剤に溶かし、アルカリブルー6Bを指示薬として (5) の標準エタノール溶液で滴定する。

絶縁油， 〔6〕， プレスボードなどの内部絶縁材料の劣化診断	内部異常時の局所的な発熱や，長期間の運転による発熱で，絶縁材料が 〔7〕し劣化が進行する。	油中ガス 分析試験	内部絶縁材料が 〔7〕すると，絶縁材料や異常の種類によって特有のガスが発生し，一部は油中に溶解する。この発生ガスを分析し，内部異常や劣化度を推定する。	試料に溶け込んだ発生ガスをガス 〔8〕により分析する。
〔6〕の劣化診断	油入変圧器の長期間の運転による発熱により 〔6〕の平均重合度が低下すると 〔9〕が低下し劣化が進行する。	油中 〔10〕 分析試験	〔6〕のセルロース分子が劣化分解すると，〔10〕などの生成物が発生する。 〔10〕は，沸点が約162℃の液体であるため，常温で絶縁油に溶解する。〔6〕の平均重合度残率及び 〔9〕と一定の関係がある 〔10〕量を測定し，劣化度を推定する。	試料に溶け込んだ 〔10〕を液体 〔8〕により分析する。

問6 図は、1次電圧6kV、2次電圧200Vの単相変圧器2台を用いて単相負荷及び三相負荷に電力を供給する回路である。次の問に答えよ。ただし、変圧器1次側電圧は平衡三相6kVに維持され、三相負荷は平衡であるとする。無効電力の向きは、遅れ消費側を正とする。変圧器のインピーダンスは、無視してよい。相回転の順序はa, b, cとする。

- (1) 三相負荷だけに供給しているとする。三相負荷の容量が30kV・Aであるとき、変圧器T1、変圧器T2が供給する皮相電力を求めよ。
- (2) 小問(1)で三相負荷の力率角が遅れ 30° のとき、変圧器T1が供給する有効電力と無効電力、並びに変圧器T2が供給する有効電力と無効電力をそれぞれ求めよ。
- (3) 小問(2)に8.66kV・A、進み力率角 60° の単相負荷の需要家が追加となった。そのときの変圧器T1が供給する有効電力と皮相電力をそれぞれ求めよ。

