令和５年度

第　１　種

機械・制御

（第２時限目）

第 1 種　　**機 械 ・ 制 御**

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２枚を**引き抜き，２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，誤差が出ないよう多く取ってください。

例：線電流 I は，$I = \dfrac{P}{\sqrt{3}V\cos\theta} = \dfrac{10\times10^3}{\sqrt{3}\times200\times0.9} = 32.075$ A （答）32.1 A

１線当たりの損失 P_L は，$P_L = I^2R = 32.075^2\times0.2 = 205.76$ W （答）206 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２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

機械・制御

問１～問４の中から任意の２問を解答すること。（配点は1問題当たり 30 点）

問1　三相星形接続の同期発電機が三相平衡負荷に接続されており，発電機の各定数が以下の記号で示される。

X_{d} [Ω]：直軸（d 軸）同期リアクタンス，X_{q} [Ω]：横軸（q 軸）同期リアクタンス，E [V]：無負荷誘導起電力（相電圧），V [V]：端子電圧（相電圧），I_{a} [A]：電機子電流，I_{d} [A]：電機子電流の直軸（d 軸）成分，I_{q} [A]：電機子電流の横軸（q 軸）成分，ϕ [rad]：力率角（遅れ），δ [rad]：負荷角（内部相差角）

この同期発電機の電機子巻線抵抗が無視できるとし，以下の問に答えよ。

(1)　この三相同期発電機が遅れ力率で運転しているときのフェーザ図を示し，図中に $\dot{E}$，$\dot{V}$，$\dot{I}_{\mathrm{a}}$，$\mathrm{j}X_{\mathrm{d}}\dot{I}_{\mathrm{d}}$，$\mathrm{j}X_{\mathrm{q}}\dot{I}_{\mathrm{q}}$，$\phi$，$\delta$ を記入せよ。ただし，q 軸は $\dot{E}$ の正方向とし，q 軸の $\dfrac{\pi}{2}$ 遅れに d 軸をとること。

(2)　発電機の出力 P [W] を E, V, X_{d}, X_{q}, δ を用いて表せ。

(3)　$X_{\mathrm{d}} = 0.9\ \Omega$，$X_{\mathrm{q}} = 0.7\ \Omega$，$I_{\mathrm{a}} = 200\ \mathrm{A}$，$V = 400\ \mathrm{V}$，$\delta + \phi = \dfrac{\pi}{6}$ であるとき，三相同期発電機の無負荷誘導起電力（相電圧）E_1 [V] を求めよ。

(4)　X_{d}，X_{q}，I_{a}，V が小問(3)の値と等しいとき，力率 $=1$ とする際の $\sin\delta$ の値を求めよ。

(5)　X_{d}，X_{q}，I_{a}，V が小問(3)の値と等しいとき，力率 $=1$ とする際の無負荷誘導起電力（相電圧）E_2 [V] を求めよ。

問２　単相変圧器について次の問に答えよ。

(1)　下記に示す記号を用いて，単相変圧器の簡易等価回路（L 型等価回路）を描け。

【等価回路に使用する記号】

V_1 ：一次端子電圧，I_1 ：入力電流，I_0 ：励磁電流，r_s ：一次側換算全巻線抵抗，
x_s ：一次側換算全漏れリアクタンス，g_0 ：一次側励磁コンダクタンス，
b_0 ：一次側励磁サセプタンス

(2)　ある単相変圧器を定格周波数の電源を用いて試験したところ，次のような結果となった。

二次端子を開放して無負荷試験を行い，定格電圧 V_{NL} [V]を一次端子に加えたところ，入力電流 $I_1 = I_{NL}$ [A]，入力電力は P_{NL} [W]であった。さらに，二次端子を短絡して短絡試験を行い，二次電流が定格電流になるような電圧 V_s [V]を一次端子に加えたところ，入力電流 $I_1 = I_s$ [A]，入力電力は P_s [W]であった。

試験により得られた測定値から，等価回路定数 r_s [Ω]，x_s [Ω]，g_0 [S]，b_0 [S]を求める式を導出せよ。導出にあたっては，次のような仮定を用いること。また，導出の経過について，考え方を説明すること。

（Ⅰ）無負荷試験においては，入力した電力はすべて鉄損である。

（Ⅱ）短絡試験においては，励磁電流は無視する。

問３　図１は三相サイリスタ整流回路であり，整流器のサイリスタに番号を付している。交流電源の電圧は三相対称正弦波で，線間電圧実効値をV，相順は a→b→c 相とする。制御遅れ角αで運転していて，直流回路のインダクタンスは十分に大きく直流電流I_dは一定とし，重なり角，回路の損失などは無視できるものとする。回路の動作に関して，次の問に答えよ。

(1) ある時刻に整流器のサイリスタ T1 及び T6 がオンしていたとする。サイリスタは相順に従って電気角で 120° 期間オンすることを考慮すると，電気角で 60° に相当する時間後にオンしているのはどの二つのサイリスタであるかを示せ。

(2) 整流器を図 2 に示す制御遅れ角αで運転したときに，直流電圧v_dの平均値V_dを表す式を，V及びαを用いて示せ。

(3) 損失がないとしているので，整流器に入力される交流の有効電力P_aと直流電力P_dとは等しい。電力P_aを表す式をV，I_d及びαを用いて示せ。

(4) 電源に流れる線電流は，半サイクルで 120° 通電で波高値I_dの方形波であるので，この電流波形に含まれる基本波実効値I_{a1}は$\dfrac{\sqrt{6}}{\pi}I_d$である。電源の基本波の皮相電力S_aを表す式をV及びI_dを用いて示せ。

(5) 小問(3)と小問(4)から，電源からの基本波の遅れの無効電力Q_aを表す式をV，I_d及びαを用いて示せ。

(6) 小問(3)と小問(5)の結果は，負荷の電力を制御遅れ角αで制御すると，付随して電源の無効電力が変化することを示している。今，負荷を純抵抗Rとし，電源の無効電力がゼロである運転をしたとき，負荷の電力P'_dを表す式をV及びRを用いて示せ。

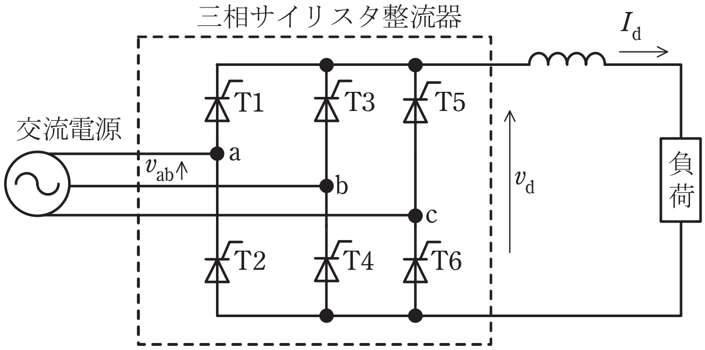

図1 三相サイリスタ整流回路

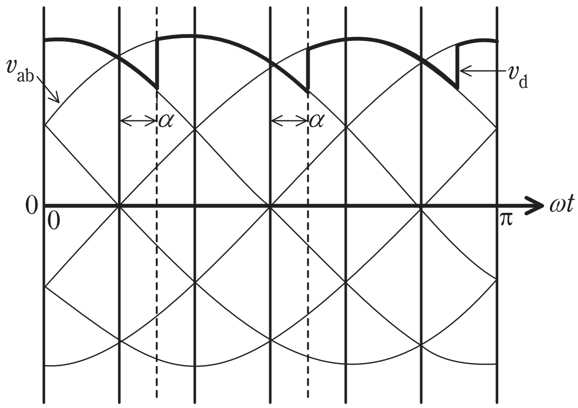

図2 交流線間電圧と直流電圧の関係

問 4　伝達関数 $G(s)$ が次式で表されるシステムについて，以下の問に答えよ。

$$G(s) = \frac{1000}{s^2 + as + 100}$$

(1)　$a = 20$ としたとき，$G(s)$ のベクトル軌跡は，位相が 90° 遅れたとき虚軸と交わる。このときのゲイン $|G(\mathrm{j}\omega)|$ を求めよ。

(2)　$a = 20$ としたとき，$G(s)$ のボード線図の折れ線近似を考える。この折れ線近似において，角周波数が 100 rad/s であるときのゲインを求めデシベルで表せ。

(3)　$a = 10$ としたとき，ゲイン $|G(\mathrm{j}\omega)|$ を求めよ。

次に，小問(3)で求めたゲイン $|G(\mathrm{j}\omega)|$ の最大値（共振値）M_{p} とそのときの角周波数（共振角周波数）ω_{p} を求めよう。以下の問に答えよ。

(4)　変数変換 $x = \omega^2$ を施すことで，小問(3)で求めたゲイン $|G(\mathrm{j}\omega)|$ の式を $\dfrac{1000}{\sqrt{f(x)}}$ の形に変形することを考える。$f(x)$ の最小値とそのときの x を求めよ。

(5)　M_{p} と ω_{p} を求めよ。