令和３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）２枚を**引き抜いて**ください。答案用紙には，**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。

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

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}V\cos\theta} = \frac{10\times10^3}{\sqrt{3}\times200\times0.9} = 32.075\ \mathrm{A}\quad（答）32.1\ \mathrm{A}$$

１線当たりの損失 P_L は

$$P_\mathrm{L} = I^2R = 32.075^2\times0.2 = 205.76\ \mathrm{W}\quad（答）206\ \mathrm{W}$$

○　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　直軸同期リアクタンスが X_d（=2.0 p.u.），横軸同期リアクタンスが X_q（=0.9 p.u.）である三相突極形同期発電機を，端子電圧 V[p.u.]，電機子電流 I[p.u.]，及び力率 $\cos\varphi$ で運転した場合に，次の問に答えよ。なお，単位法は自己定格容量及び自己定格電圧を基準とし，電機子抵抗は無視する。

(1) 図は突極形同期発電機のフェーザ図である。図において下記の諸量に対応するフェーザを図中の記号で答えよ。なお，電気諸量の単位は p.u.とする。

①発電機端子電圧　$\dot{V}$

②無負荷誘導起電力　$\dot{E}$

③電機子電流　$\dot{I}$

④直軸同期リアクタンス電圧降下　$\mathrm{j}X_d\dot{I}$

⑤横軸同期リアクタンス電圧降下　$\mathrm{j}X_q\dot{I}$

(解答例　①　(a)，②　(b)，…)

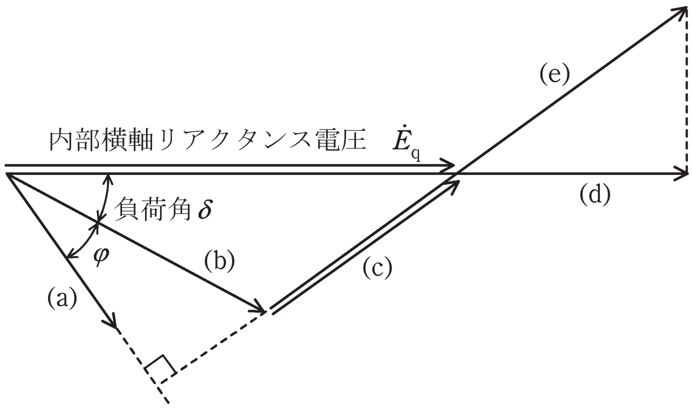
(2) この発電機の定格運転(V=1.0 p.u., I=1.0 p.u., $\cos\varphi$ =0.8)における E_q [p.u.]，$\sin(\varphi+\delta)$，及び E [p.u.]の値を求めよ。

(3) この発電機の運転において，E，V を一定として機械入力を徐々に増加させてゆく場合の発電機の定態安定限界出力における負荷角を δ_m とする。このときの $\cos\delta_m$ を V，X_d，X_q，及び E で表せ。

なお，突極形同期発電機の出力 P [p.u.]は一般に下記の①式で表すことができ，$\cos\delta_m$ の導出にはこの式を利用してよい。

$$P\,[\text{p.u.}] = \frac{VE}{X_d}\sin\delta + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d}\right)V^2 \sin 2\delta \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad ①$$

(4) 小問(2)の定格運転状態から，小問(3)と同じ条件で機械入力を増加させる場合の $\cos\delta_{\mathrm{m}}$ の値を求めよ。



突極形同期発電機のフェーザ図

●F2－K 009

問２　図１にはリアクトルを介して交流電源に連系する単相インバータを示す。インバータに三角波比較正弦波変調 PWM 制御を適用する。この問では高調波を無視し，インバータの出力電圧の基本波瞬時値を $v_{\mathrm{inv}}=\sqrt{2}V_{\mathrm{inv}}\sin(\omega t+\varphi)$ [V] とする。ここで，V_{inv} は変調率 k (ただし,$0\leqq k\leqq 1$) のときに出力する交流電圧の基本波実効値，ω は交流電源電圧の角周波数，φ は交流電源電圧の位相を基準とした v_{inv} の位相角である。また，直流電源である電池電圧 E_{d} の初期値は $E_{\mathrm{d0}}=200$ V，リアクトルのリアクタンスは $X=0.75\,\Omega$ で，回路の抵抗分は無視できるものとする。さらに，交流電源の実効値電圧は $V_l=100$ V とする。この回路の動作に関して，次の問に答えよ。

(1) インバータは，交流電源に力率 1 の有効電力を供給している。このときのフェーザ図を図２に示す。図中の(a)～(d)のフェーザは何のフェーザであるかを示せ。ただし，その内三つは，インバータ出力電圧 $\dot{V}_{\mathrm{inv}}$，インバータ出力電流 $\dot{I}_{\mathrm{inv}}$，交流電源電圧 $\dot{V}_l$ のフェーザである。

(2) 交流電源には力率 1 で 10 kW の有効電力が供給されている。電池電圧 $E_{\mathrm{d}}=E_{\mathrm{d0}}$ 一定と仮定して，次の値を示せ。

・インバータの出力電圧 v_{inv} の実効値 V_{inv}

・インバータが出力する皮相電力 S，無効電力 Q

・電池に流れる直流電流平均値 I_{dc}

・PWM 制御の変調率 k

(3) 電池は放電が進むと電池電圧 E_{d} が低下することが一般的である。変調率が $0\leqq k\leqq 1$ の範囲で小問(2)の交流電圧を出力できる電池電圧 E_{d} の最小値は E_{d0} に対して何％であるかを示せ。

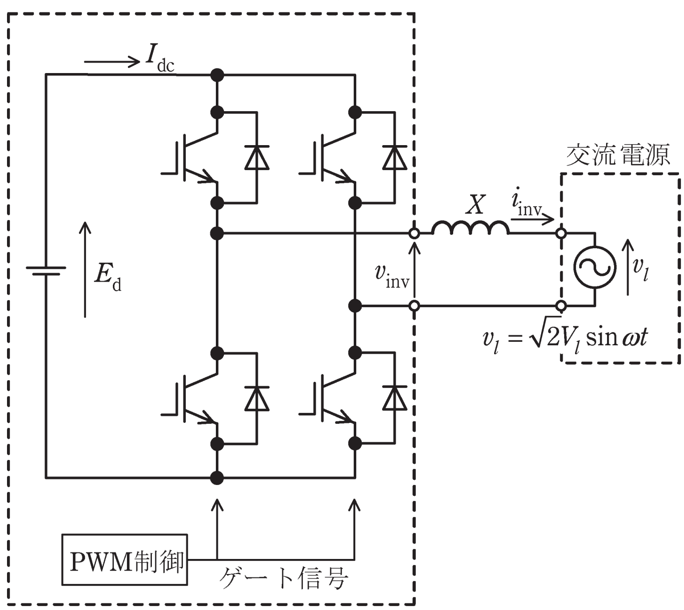


図１　単相インバータと交流電源の回路図

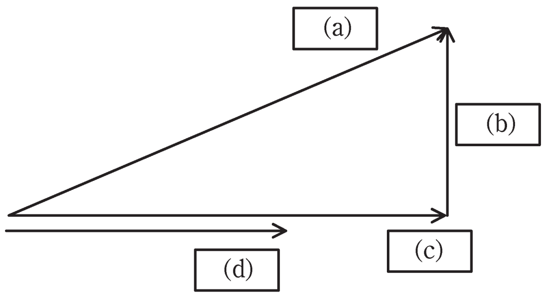


図２　フェーザ図

問３　三相誘導電動機に関して，次の問に答えよ。

(1)　次に示す記号を用いて，三相誘導機の星形結線一相分の L 型等価回路を描け。

［等価回路に使用する記号］

V_1 ：一次相電圧，I_1 ：一次電流，I_2' ：二次電流の一次換算値，I_0 ：励磁電流，

r_1 ：一次巻線抵抗，r_2' ：二次巻線抵抗の一次換算値，

x ：漏れリアクタンス（$x = x_1 + x_2'$ とする。ただし，x_1 ：一次漏れリアクタンス，

x_2' ：二次漏れリアクタンスの一次換算値），

s ：滑り，g_0 ：励磁コンダクタンス，b_0 ：励磁サセプタンス。

(2)　ある三相誘導電動機を試験したところ，次のような結果となった。

（Ⅰ）抵抗測定試験により室温 t［℃］において端子間の抵抗値は R_1［Ω］であった。

（Ⅱ）無負荷試験において定格電圧 V_N［V］，定格周波数を加えたところ，入力電流は I_N［A］，入力電力は P_N［W］であった。また，定格電圧から端子電圧を下げ安定運転できる最低値まで徐々に低下させ，端子電圧に対する入力電力を測定した。その結果をもとに，外挿して求めた電圧ゼロの点の電力は P_m［W］であった。

（Ⅲ）拘束試験において定格周波数の三相交流電圧 V_s［V］を加えたところ，入力電流は I_s［A］，入力電力は P_s［W］であった。

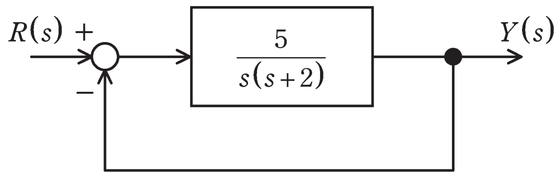
以上の試験により得られた結果から，等価回路定数 r_1，r_2'，x，g_0，b_0 を求める式を導出せよ。導出にあたっては，仮定，及び導出の考え方を示すこと。

なお，等価回路の基準温度は T［℃］とし，ある温度 t［℃］における抵抗値 $R(t)$ は次の式に従うとする。

$$R(t) = R(0)\left[1 + \alpha_0 (t - 0)\right]$$

ここで，$R(0)$ は 0℃における抵抗値であり，α_0 は 0℃における銅の温度係数である。なお，$\alpha_0 = \dfrac{1}{235}$［(℃)$^{-1}$］とする。

問４　図に示すフィードバック制御系について，次の問に答えよ。



(1) 目標値$R(s)$から制御量$Y(s)$までの閉ループ伝達関数$W(s)$を求めよ。

(2) 閉ループ伝達関数$W(s)$の固有角周波数ω_nと減衰係数ζを求めよ。

(3) 目標値$R(s)$を$t=0$で単位ステップで変化させたときの制御量の時間応答$y(t)$を求めよ。

必要に応じて，ラプラス変換の複素領域における推移定理である$\mathcal{L}\left[e^{-at}x(t)\right]=X(s+a)$を使ってよい。

(4) 小問(3)の時間応答$y(t)$は減衰振動となる。$y(t)$を時間微分し，$t>0$における一つ目の極値が最大値であることを使って，時間応答$y(t)$が最大となる時間t_pを求めよ。

(5) 小問(3)の時間応答$y(t)$の最大値$y(t_p)$を求めよ。