令和８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

O　答案用紙は機械で読み取るため，新たな折り曲げや破るのは禁止です。

O　シール票は本人のものであることを受験票と照合してください。

O　記入にはＨＢの鉛筆またはシャープペンシルを使用してください。薄いと採点されないので，見えづらければＨＢより濃いＢや２Ｂを使用してください。

O　指示がありましたら答案用紙２枚を引き抜き，２枚とも直ちに受験番号及び生年月日を記入し，受験番号シールを貼付してください。氏名は記入不要です。

O　答案用紙は１問につき１枚です。追加支給はありません。

O　答案用紙にはページ番号を付しており，(2)～(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。

O　導出過程が不明瞭な答案は，0 点となる場合があります。

O　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。**

O　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，$P_{\mathrm{L}}=I^2R=32.075^2\times0.2=205.76$ 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。

O　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。

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　三相円筒形同期発電機の運転に関して以下の問に答えよ。ただし，単位法は自己定格皮相電力及び自己定格電圧を基準とし，各種損失は無視する。また，同期リアクタンスは X_s [p.u.]とする。

(1)　遅れ力率運転の場合の発電機のフェーザ図を端子電圧 $\dot{V}$ [p.u.]を基準として答案用紙に描き，$\dot{V}$，無負荷誘導起電力 $\dot{E}$ [p.u.]，電機子電流 $\dot{I}$ [p.u.]，同期リアクタンス降下 $\mathrm{j}X_s\dot{I}$ [p.u.]，力率角 θ，及び負荷角 δ を図中に記入せよ。

(2) フェーザ図から I を，E，V，X_s，$\cos\delta$ で表す式を導出せよ。

次に，この発電機を無限大母線に接続し，$V=1.0$ p.u. 一定及び有効電力 $P=0.9$ p.u. 一定で運転する。図はこのときの V 曲線であり，界磁電流の代わりに E を横軸としている。この V 曲線上での運転について以下の問に答えよ。

(3) 図の V 曲線において I が最小値 $I_{\min}$ となる点を A 点として，A 点における力率を示し，$I_{\min}$ の値を求めよ。

(4) 界磁電流を減少させると発電機の定態安定極限電力も低下し，図の V 曲線では B 点において定態安定極限になるとする。定態安定極限電力を表す式を利用して，安定運転の限界となる無負荷誘導起電力 $E_{\lim}$ を X_s で表す式を求めよ。

(5)　$P=\dfrac{EV}{X_s}\sin\delta$ の式から $\cos\delta$ を E と X_s で表す式を示せ。次に，求めた $\cos\delta$ の式と小問(2)で求めた式から $\cos\delta$ を消去して，図の V 曲線を表す式，すなわち I を E と X_s で表す式を導出せよ。

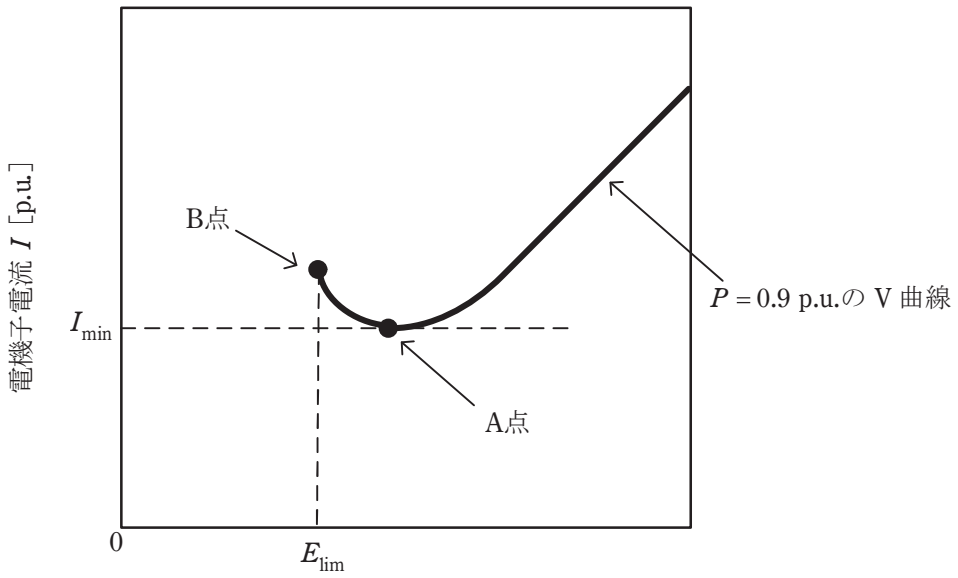


図　同期発電機のV曲線（端子電圧 V=1.0 p.u.）

問２　定格出力 30 kW，定格周波数 50 Hz，定格回転速度 1 425 $\mathrm{min^{-1}}$，極数 4 極の三相かご形誘導電動機がある。定格運転時の効率は 92 %で，定格運転時における電動機の鉄損と銅損との比率は 1 : 2 である。この誘導電動機に関して，次の問に答えよ。ただし，滑りとトルクは比例するものとし，機械損及び漂遊負荷損は無視する。また，計算には L 形等価回路を用いるものとし，励磁電流による一次銅損を無視する。

(1) 定格運転時の銅損 P_c を求めよ。

(2) 一定トルク 75 N･m を要求する負荷を接続した場合の電動機の滑り s_1 及び出力 P_1 を求めよ。

(3) 小問(2)において，電動機の全損失 P_L 及び効率 η_1 をそれぞれ求めよ。

(4) 出力 20 kW のときの滑り s_2 及びトルク T_2 をそれぞれ求めよ。

問３　図１は，ダイオード整流器と電圧形三相インバータを用いた定格 200 V の三相電動機を可変速駆動するシステムである。電源は理想的な三相平衡正弦波電圧源で，電源と電動機の定格は図１に示すとおりである。コンデンサの静電容量は十分に大きいものとし，それぞれのコンデンサの電圧は直流リンク部電圧 V_{dc} の $\frac{1}{2}$ であるとする。このとき，点 O を基準電位とする。回路素子は理想素子であるとして，以下の問に答えよ。ただし，各相の下アーム IGBT は常に上アーム IGBT のオン／オフ状態とは逆になる動作をし，デッドタイムは考慮しないものとする。

(1)　コンデンサの電圧リプルは無視できるほど小さいとして，直流リンク部電圧 V_{dc} を求めよ。

(2)　インバータを三角波比較 PWM 方式により制御することを考える。各相の信号波 s_U，s_V，s_W とキャリア波（三角波）が図２のような関係になっている。これと同じ図が答案用紙に印刷されているので，すでに記入されている U 相，V 相の相電圧 v_U，v_V を参考にして，U 相−V 相の線間電圧 v_{U-V} を太線で明確に描け。また，縦軸の電圧値①～④を答えよ。

(3)　信号波 s_U，s_V，s_W の振幅を 1，出力周波数を 60 Hz とするとき，各相出力相電圧 v_U，v_V，v_W の基本波成分 v_{U1}，v_{V1}，v_{W1} の式を sin を使った時間 t の関数として示せ。ただし，v_{U1} は時間 $t = 0$ における位相が 0 rad とし，キャリア波周波数は出力周波数より十分に高いものとする。

(4)　出力線間電圧の基本波成分実効値を求めよ。

(5)　小問(3)で用いた信号波 s_U，s_V，s_W に基本波振幅の $\frac{1}{6}$ 倍，時間 $t = 0$ における位相が 0 rad の 3 次高調波を重畳した合成信号波 s_U'，s_V'，s_W' を考える。このとき U 相の合成信号波 s_U' は $\omega t = \frac{\pi}{3}, \frac{2\pi}{3}$ のときに最大値となる。s_U' の最大値を求めよ。

(6)　s_U'，s_V'，s_W' に，最大振幅が 1 になるような係数を乗じた合成信号波 s_U''，s_V''，s_W'' を考える。s_U''，s_V''，s_W'' を sin を使った時間 t の関数として示せ。また，このときの出力線間電圧の基本波成分実効値を求めよ。

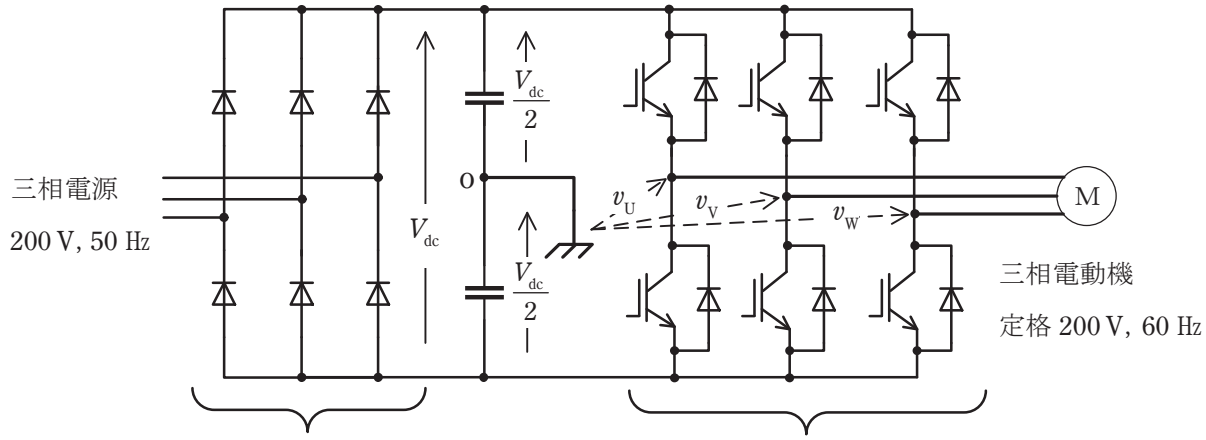

三相電源
200 V, 50 Hz
V_{dc}
$\frac{V_{dc}}{2}$
o
$\frac{V_{dc}}{2}$
v_U
v_V
v_W
M
三相電動機
定格 200 V, 60 Hz
ダイオード整流器
三相インバータ

図1

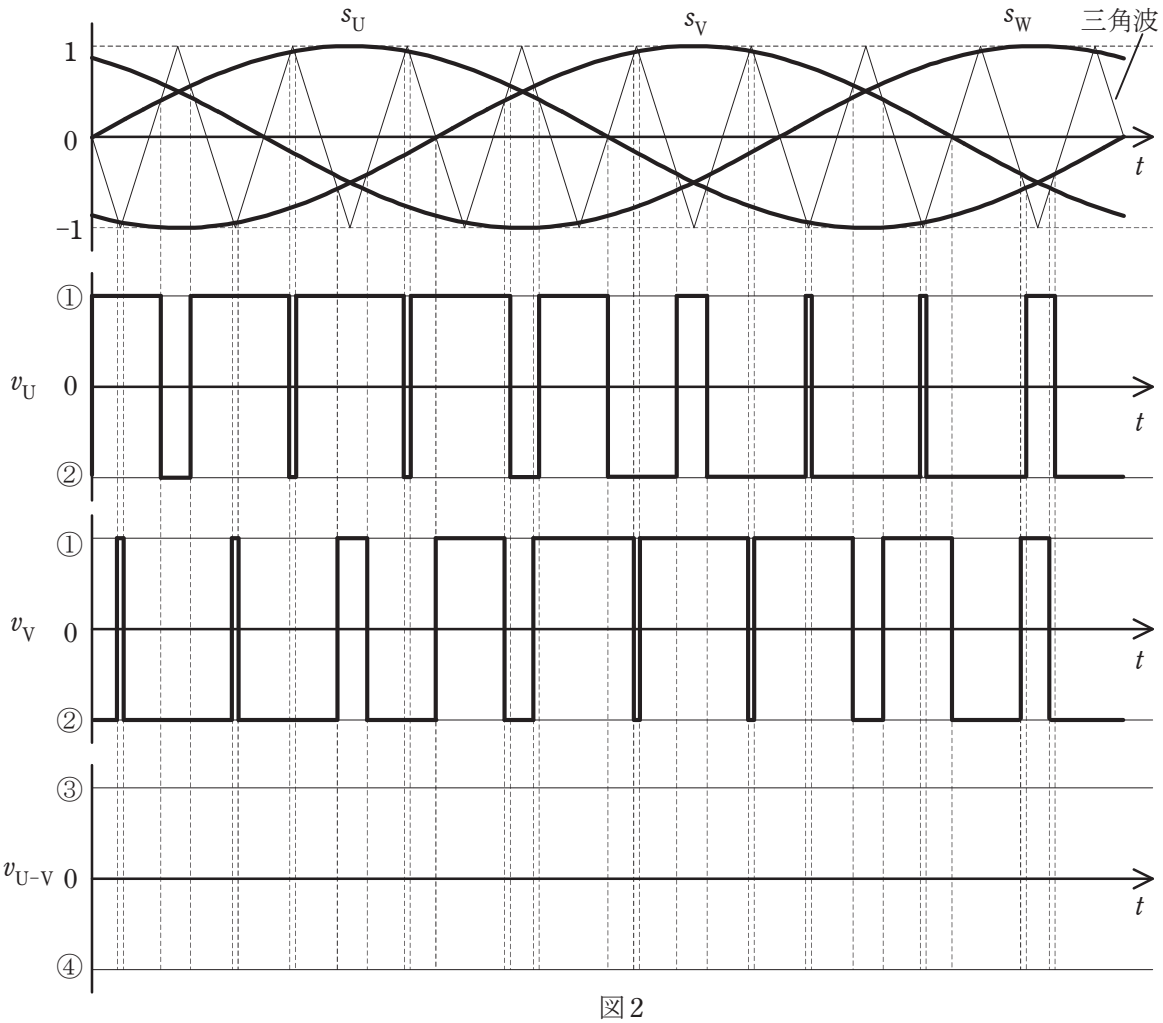

s_U
s_V
s_W
三角波
1
0
−1
t
①
v_U 0
②
①
v_V 0
②
③
v_{U-V} 0
④

図2

問４　制御対象の伝達関数を $G(s)=\dfrac{1}{5s+2}$ とする。また，伝達関数 $G(s)$ は制御量 $Y(s)$，操作量 $U(s)$ を用いて $G(s)=\dfrac{Y(s)}{U(s)}$ で表されているとする。また，参照量 $R(s)$ は単位ステップ信号 $R(s)=\dfrac{1}{s}$ とする。このとき，以下の問に答えよ。

(1) 図１のように制御器 $C(s)$ を用いて，操作量 $U(s)$ を

$$U(s)=C(s)R(s)$$

と与える。このとき，ステップ応答が $y(t)=1-\mathrm{e}^{-2t}$ となる制御器 $C(s)$ を求めよ。

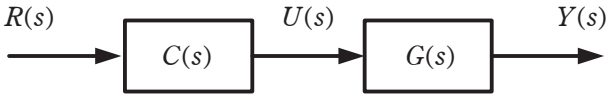


図１ 小問(1)のブロック線図

(2) 図２のようにゲイン K_1，K_2 を用いて操作量 $U(s)$ を

$$U(s)=K_1R(s)-K_2Y(s)$$

と与える。このとき，ステップ応答が，$y(t)=1-\mathrm{e}^{-2t}$ となるゲイン K_1，K_2 を求めよ。

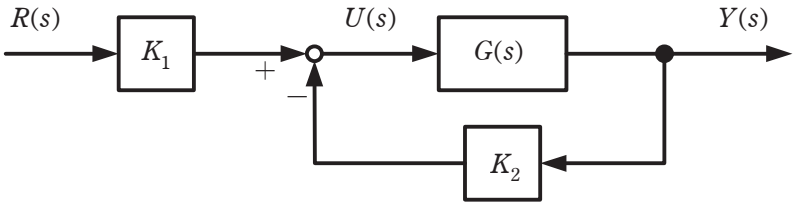


図２ 小問(2)のブロック線図

(3) 図 3 のようにゲイン K_3 を用いて，操作量 $U(s)$ を

$$U(s) = K_3 \frac{1}{s}\left[R(s) - Y(s)\right]$$

と与える。このとき，$R(s)$ から $Y(s)$ への閉ループ伝達関数を求めよ。また，その伝達関数の極が複素数 $-\alpha \pm \mathrm{j}\beta$ ($\alpha > 0$, $\beta > 0$) となる K_3 の条件を示せ。さらに，$\dfrac{\beta}{\alpha} = 0.5$ となるゲイン K_3 を求めよ。

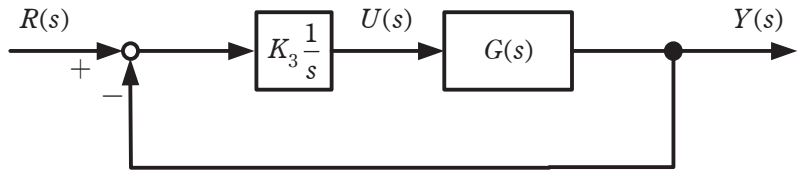


図 3 小問(3)のブロック線図

(4) 図 4 のようにゲイン K_4 を用いて，操作量 $U(s)$ を

$$U(s) = \frac{K_4}{s(s+1)}\left[R(s) - Y(s)\right]$$

と与える。このとき，$R(s)$ から $Y(s)$ への閉ループ伝達関数を求めよ。また，図 4 の閉ループ系が安定となる K_4 の条件を求めよ。

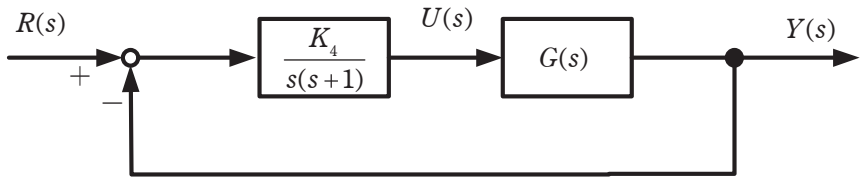


図 4 小問(4)のブロック線図