平成 28 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。

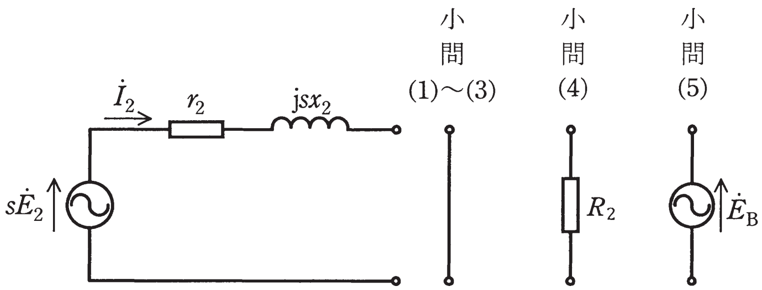
なお，この問題冊子についてはお持ち帰りください。

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　図は，三相巻線形誘導電動機の 1 相分の二次等価回路である。f_0 は同期周波数，$\omega_0(=2\pi f_0)$ は同期角周波数，$s\dot{E}_2$ は滑り s のときの二次誘導起電力，$\dot{I}_2$ (大きさ $\left|\dot{I}_2\right| = I_2$) は二次電流，r_2 は二次巻線抵抗，x_2 は ω_0 での二次回路リアクタンスであるとして，次の問に答えよ。ただし，励磁アドミタンス，一次巻線抵抗，一次漏れリアクタンス及び機械損は無視し，ω_0，$\left|\dot{E}_2\right| = E_2$ は一定とする。



(1) 二次側端子を短絡して滑り s で運転しているときの，二次電流の大きさ $\left|\dot{I}_2\right| = I_2$，及び二次入力(同期ワットで表したトルク) P_2 を示せ。

(2) この電動機は，二次側端子を短絡して運転するとき滑り $s_\mathrm{m} = 0.2$ で最大トルクとなる。$x_2 = 5r_2$ となることを示し，同期ワットで表した最大トルク $P_{2\mathrm{m}}$ を E_2 及び r_2 で表せ。

(3) この電動機が，二次側端子を短絡して一定トルクをもつ負荷を駆動しているとき，滑りが $s_1 = 0.02$ であった。二次入力 P_2，二次銅損 P_{C2} を，E_2 及び r_2 で表せ。$x_2 = 5r_2$ の関係を用いよ。

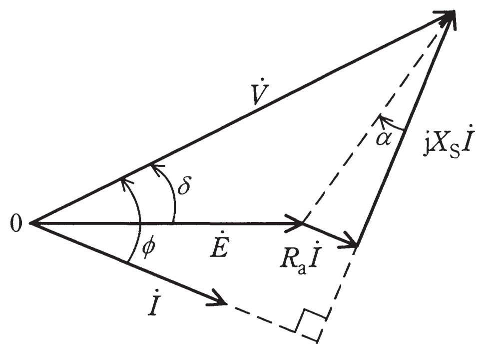
(4) 二次側端子に抵抗 $R_2 = r_2$ を挿入して，同じ一定トルクをもつ負荷を駆動したところ滑りが s_2 となった。s_2 を求めよ。このときの二次側損失 P_{w2} (二次銅損と抵抗 R_2 での損失の和)を，E_2 及び r_2 で表せ。$x_2 = 5r_2$ の関係を用いよ。

(5) 抵抗 R_2 に代えて，双方向の電力変換ができる二次励磁回路を電源とみなし，図中矢印の方向に，$s_2\dot{E}_2$ と同相で滑り周波数 $(s_2 f_0)$ の二次励磁電圧 $\dot{E}_\mathrm{B}$（大きさ $\left|\dot{E}_\mathrm{B}\right| = E_\mathrm{B}$）を印加した。すなわち二次巻線に掛かる電圧は $s_2\dot{E}_2 - \dot{E}_\mathrm{B}$ であり，その大きさは $\left|s_2\dot{E}_2 - \dot{E}_\mathrm{B}\right| = s_2 E_2 - E_\mathrm{B}$ である。こうして，同じ一定トルクをもつ負荷を駆動したところ，滑りは変わらず s_2 であった。E_B を E_2 で表せ。このときの二次銅損 P''_{C2} 及び二次励磁回路へ返還する電力 P_B を，E_2 及び r_2 で表せ。$x_2 = 5r_2$ の関係を用いよ。

問２　三相円筒形同期電動機のトルク特性に関して，次の問に答えよ。

ただし，電動機の鉄心の磁気飽和は無視する。また，単位法において，電力の基準値は同期電動機の定格皮相電力[kV・A]であり，トルクの基準値は定格回転速度での定格皮相電力相当トルク[N・m]としている。

(1) 円筒形同期電動機の電機子巻線抵抗を考慮した場合のフェーザ図を示す。図において，$\dot{V}$ は端子電圧(相電圧)，$\dot{E}$ は無負荷誘導起電力(相電圧)，$\dot{I}$ は相電流，ϕ は力率角，δ は内部相差角(負荷角)，X_S は同期リアクタンス，R_a は電機子巻線抵抗，α は $\alpha = \tan^{-1}\dfrac{R_a}{X_S}$ の位相角である。定格回転速度での軸出力トルク T[p.u.]を E[p.u.]，V[p.u.]，同期インピーダンス Z_S [p.u.]（$Z_S = \sqrt{{X_S}^2 + {R_a}^2}$），$\delta$[rad]及び α[rad]で表す式を導出せよ。ただし，電機子巻線抵抗以外の損失は無視する。



円筒形同期電動機の電機子巻線抵抗を考慮した場合のフェーザ図

●F2－K010

(2) 図において $R_a = 0$ p.u.及び $\alpha = 0$ rad とした場合，電機子巻線抵抗を無視した場合のフェーザ図となる。同期リアクタンス X_S=1.00 p.u.及び定格力率（$\cos\phi$）1.0 の円筒形同期電動機に対して，電機子巻線抵抗を無視した場合における次の問に答えよ。また，全ての損失は無視する。

a　定格運転状態の E[p.u.]，δ［rad］及び T[p.u.]を算出せよ。また，界磁電流，回転速度及び V が定格運転状態と同じとして，脱出トルク T_{max}[p.u.]を算出せよ。

b　負荷トルク，界磁電流及び回転速度が定格運転状態と同じままで，V が定格電圧から徐々に降下することによって，脱調が起こる V[p.u.]を算出せよ。

c　界磁電流，回転速度及び V が定格運転状態と同じままで，負荷トルクが定格運転状態からステップ的に（瞬時に）T_{OL}=1.28 p.u.に上昇したとき，δ の最初の過渡変化によって脱調が起こるか否かを，電動機の軸出力トルク－内部相差角特性を用いて説明せよ。ただし，この過渡状態においても，電動機のリアクタンスは同期リアクタンス X_S で扱うこととする。なお，$\sin\theta = 0.90510$ となる θ は，1.1316 rad 又は 2.0100 rad とする。

問３　図１は 12 パルスサイリスタブリッジ整流器，図２は電圧電流波形である。ブリッジ１は巻数比 1:1 の Y-Y 結線した変圧器に，ブリッジ２は巻数比 $\sqrt{3}:1$ の Δ-Y 結線変圧器に接続する。変圧器の一次側は線間電圧実効値が V[V]の三相平衡正弦波交流電源に接続する。変圧器の漏れインダクタンスと励磁電流は十分に小さく，重なり角及びサイリスタの電圧降下は無視できるものとする。ブリッジ１及びブリッジ２の直流端子は直列に接続し，出力電圧を v_{d}[V]とする。ブリッジ１及びブリッジ２の制御角を α[rad]とする。整流器出力には，インダクタ L[H]と負荷抵抗 R[Ω]を直列にして接続する。インダクタ L は十分に大きく，出力電流 i_{d}[A]のリプルは無視でき，$i_{\mathrm{d}}=I_{\mathrm{d}}$[A]一定として，次の問に答えよ。必要であれば，

$$\cos\frac{\pi}{12}=\frac{\sqrt{2+\sqrt{3}}}{2}$$

を用いてもよい。

(1) 出力電圧 v_{d} の平均値 V_{d} を V 及び α を用いて表せ。

(2) $\alpha=\dfrac{\pi}{3}$ のときの出力電圧 v_{d} の最大値 V_{max} を求めよ。

(3) 電源電流 i_{U}[A]の波高値 I_{max} を I_{d} を用いて表せ。

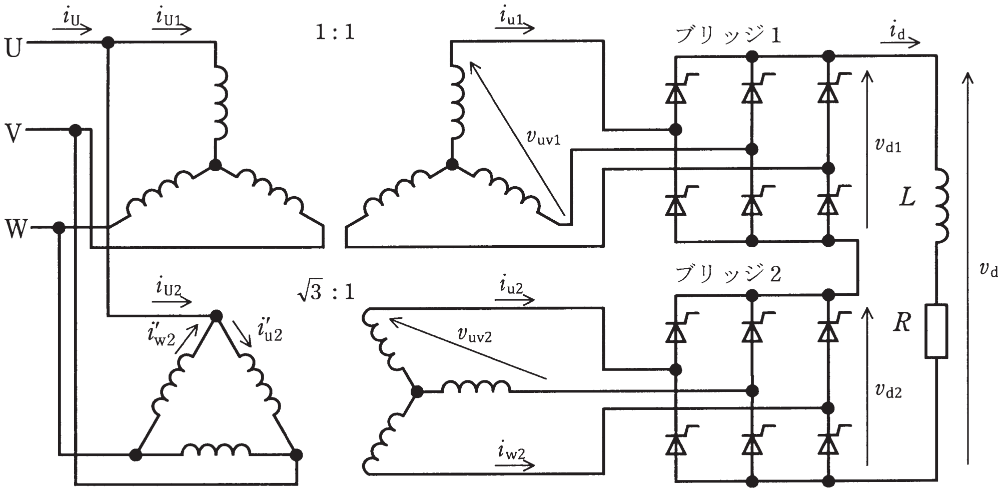
(4) 電源電流 i_{U} の実効値 I_{U} を I_{d} を用いて表せ。

(5) 電源電流 i_{U} の基本波成分の実効値 I_{Uf} を I_{d} を用いて表せ。

(6) 高調波ひずみ率は次式で表される。

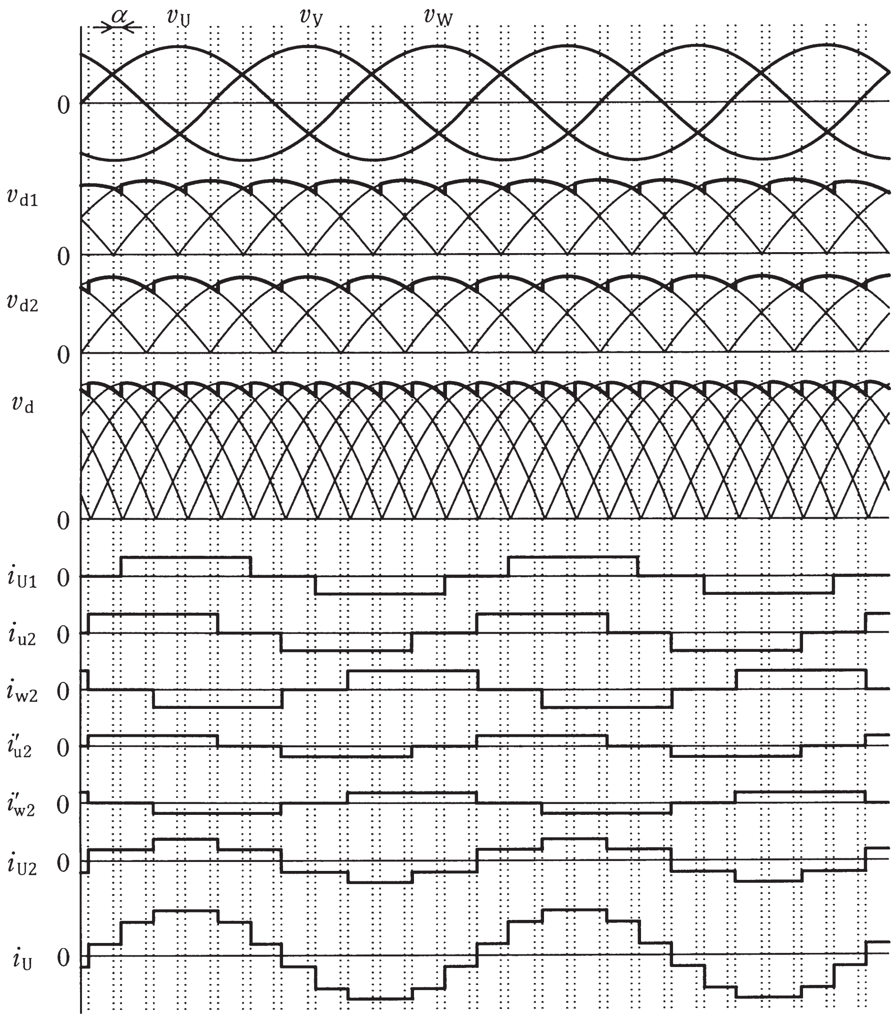
$$\text{高調波ひずみ率}=\frac{\text{高調波実効値}}{\text{基本波実効値}}$$

電源電流 i_{U} の高調波ひずみ率 D を求めよ。



i_U
i_{U1}
U
V
W
1 : 1
i_{u1}
ブリッジ1
i_d
v_{uv1}
v_{d1}
L
v_d
i_{U2}
$\sqrt{3}$: 1
i_{u2}
ブリッジ2
i'_{w2}
i'_{u2}
v_{uv2}
R
v_{d2}
i_{w2}

図 1



α
v_U
v_V
v_W
0
v_{d1}
0
v_{d2}
0
v_d
0
i_{U1} 0
i_{u2} 0
i_{w2} 0
i'_{u2} 0
i'_{w2} 0
i_{U2} 0
i_U 0

図 2

問４　次式で記述される制御対象について，次の問に答えよ。

$$\dot{\boldsymbol{x}}(t) = \boldsymbol{A}\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{b}u(t)$$

$$\boldsymbol{A} = \begin{pmatrix} -1 & 2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix},\ \boldsymbol{b} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

(1) システム行列 $\boldsymbol{A}$ の固有値を計算して，$u(t)=0$ のとき制御対象は不安定であることを示せ。

(2) 可制御性行列を計算することで，制御対象は不可制御であることを示せ。

(3) この制御対象に状態フィードバック制御 $u(t) = -\boldsymbol{f}\boldsymbol{x}(t)$ を施す。係数ベクトル $\boldsymbol{f}$ を $\boldsymbol{f} = (f_1 \quad f_2)$ として，閉ループ系のシステム行列 $\boldsymbol{A}-\boldsymbol{b}\boldsymbol{f}$ を求めよ。

(4) 閉ループ系の特性多項式 $|s\boldsymbol{I} - \boldsymbol{A} + \boldsymbol{b}\boldsymbol{f}|$ を，f_1 と f_2 を用いて表せ。指定したい特性多項式を $P(s) = |s\boldsymbol{I} - \boldsymbol{A} + \boldsymbol{b}\boldsymbol{f}| = s^2 + a_1 s + a_0$ とおく。a_0 と a_1 を，f_1 と f_2 で表せ。

(5) 上記小問(4)で求めた関係式を f_1 と f_2 を求める方程式と考えるとき，この方程式が解をもつために，a_0 と a_1 が満たすべき条件を示せ。

(6) 上記小問(5)で求めた関係式を用いて $P(s) = s^2 + a_1 s + a_0$ の係数 a_1 を代入消去したうえで，$P(s)$ を因数分解せよ。この結果から，制御対象を安定化できることを示せ。

(7) 不安定な固有値を−2 に移動することで制御対象を安定化せよ。これを実現する状態フィードバック係数ベクトル $\boldsymbol{f}$ は無数に存在することを示せ。