平成 24 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

この試験は，**4問中任意の2問を選び解答する方式**です。**解答する際には，この問題に折込まれている答案用紙（記述用紙）を引き抜いてから記入**してください。

以下は，答案用紙記入上の注意事項です。

1．筆記用具は，**濃度ＨＢの鉛筆又はＨＢ（又はＢ）の芯を用いたシャープペンシルを使用してください。**

2．２枚の答案用紙を引き抜いたらすぐに**試験地，受験番号及び生年月日**を記入してください。

3．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。

4．問題は４問あります。この中から任意の２問を選び，１問につき１枚の答案用紙にて，解答してください。この場合，答案用紙には，選択した問の番号を記入してください。

5．計算問題については，**答案用紙に計算過程を明記**してください。また，必要に応じ，計算根拠となる式も書いてください。

6．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。**

7．計算問題の答は，特に指定がない限り，有効数字は３けたです。なお，解答以外の数値のけた数は，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

$$P_L=I^2R=32.075^2\times0.2=205.76\,〔\mathrm{W}〕\quad 答\ 206\,〔\mathrm{W}〕$$

以　上

（この問題は持ち帰ってください。また，白紙部分はメモ用紙として使用できます。）

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　定格電圧，定格周波数のもとで運転している三相巻線形誘導電動機がある。本問で考慮する運転範囲では，負荷の要求するトルクは $T=k_0+k_1n^2$ で表される。ただし，k_0，k_1 は定数であり，また，T は同期ワットで表したトルク（誘導電動機の二次入力に相当）を誘導電動機の定格容量で除した値で，単位法で表したトルクである。n は回転速度を同期速度で除した値である。次の問に答えよ。

(1) 滑りを s として，n を s で表す式を求めよ。また，単位法で表した出力及びトルクを P〔p.u.〕及び T〔p.u.〕とするとき，T を s 及び P で表す式を求めよ。

(2) a．スリップリング間に外部抵抗を挿入して 1 相当たりの二次抵抗の値を r_{21} としたところ，電動機の出力 P_1 が 0.6〔p.u.〕，滑り s_1 が 0.1 となった。このときのトルク T_1〔p.u.〕を求めよ。

b．外部抵抗を調節し，出力を P_2〔p.u.〕にした。このときの滑りを s_2 及びトルクを T_2〔p.u.〕とするとき，T_2-T_1 を k_1，s_1 及び s_2 で表す式を求めよ。

c．$P_2=0.85$〔p.u.〕とするとき，s_2 及び T_2〔p.u.〕はいくらか。ただし，$k_1=1.64$ であり，また，$|x|\ll 1$ のとき $(1-x)^3\fallingdotseq 1-3x$ と近似できる。

(3) 上記(2)で出力 P_2 を 0.85〔p.u.〕としたときの 1 相当たりの二次抵抗を r_{22} とする。r_{21} は r_{22} の何倍か。ただし，電動機のトルクと滑りの関係は直線で表されるものとする。

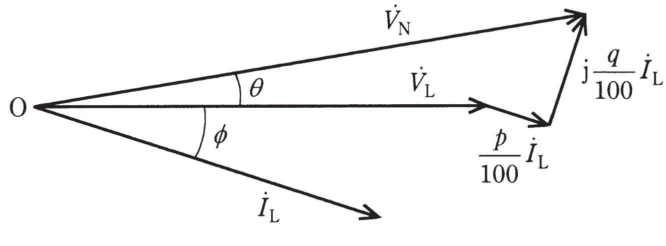
問２　変圧器の一次巻線の基準タップに電圧を加えたときの二次端子の電圧変動率 ε〔%〕は，IEC(国際電気標準会議)での定義によると次の値である。すなわち，変圧器を無負荷として一次巻線の基準タップに定格一次電圧を加え，二次電圧を定格二次電圧 V_N とする。次に一次電圧を定格電圧に保ったまま指定の負荷及び力率としたときの二次電圧 V_L を求める。ε〔%〕は，次の値である。

$$\varepsilon = \frac{V_N - V_L}{V_N} \times 100 \text{〔\%〕}$$

この定義に従って電圧変動率 ε〔%〕に関する次の問に答えよ。ただし，電圧，電流，インピーダンスなどは，変圧器の定格電圧及び定格容量を基準とした百分率で表す。

(1) 百分率抵抗降下 $p = 0.5$〔%〕及び百分率リアクタンス降下 $q = 10$〔%〕の変圧器の二次端子に力率が 0.8(遅れ)で大きさが 100〔%〕の負荷インピーダンスを接続したときの電圧変動率を求めよ。

(2) 百分率抵抗降下 p〔%〕及び百分率リアクタンス降下 q〔%〕の変圧器に力率が $\cos\phi$(遅れ)で大きさが I_L〔%〕の二次電流を通電したときの電圧変動率 ε〔%〕を I_L，p，q 及び ϕ を用いた式で求めよ。ここで，$\dot{V}_L$ を基準としてフェーザで表したとき，無負荷時の二次電圧 $\dot{V}_N$，及び二次電流 $\dot{I}_L$ は，次の図の関係があること，$\dot{V}_N$ の大きさは 100〔%〕であること，並びに $\cos\theta = \sqrt{1-\sin^2\theta}$ であることを考慮する。なお，θ は $\dot{V}_L$ に対する $\dot{V}_N$ の位相角である。



(3) $x^2 \ll 1$ のとき，次の近似式が成り立つ。

$$\sqrt{1-x^2} \fallingdotseq 1 - \frac{x^2}{2}$$

この近似式を用いて上記(2)で得た式の近似式を求めよ。

●F2－K009

問３　図１に示す三相電圧形インバータにおいて，u 相→ v 相→ w 相の相順で出力する相電圧（o 点を基準にした各出力端子との間の電圧）v_{u}，v_{v}，v_{w} の制御に，図２に示す三角波比較 PWM 制御を用いる。

変調率を $A = \dfrac{\text{信号波波高値}}{\text{三角波波高値}}$ と定義し，信号波周波数に対して三角波周波数は十分に高く，デッドタイムを無視する。図２に示す信号波 v_{u}^{*} が正弦波であれば，u 相の瞬時電圧 v_{u} には，変調率 1 以下では信号波 v_{u}^{*} に比例した基本波電圧 v_{uf} が含まれる。直流電圧を E_{d}，基本波電圧の角周波数を ω として，次の問に答えよ。

(1) 各相 IGBT について，信号波と三角波とを比較して，大小がどのような関係のときに上アーム IGBT 及び下アーム IGBT をオン又はオフとするかを述べよ。

(2) 図 2 に示す基本波を信号波とする PWM 制御を方式 1 とする。この方式の瞬時出力電圧 v_{u1}，v_{v1}，v_{w1} に含まれる基本波電圧を v_{uf1}，v_{vf1}，v_{wf1} とする。この三つの基本波電圧 v_{uf1}, v_{vf1}, v_{wf1} の瞬時値を，そのときの変調率 A_1 及び E_{d} を用いて，sin を使った式で示せ。ただし，三角波波高値を 1 とすると，変調率 A_1 の u 相信号波は $v_{\mathrm{u1}}^{*} = A_1 \sin\omega t$ で表される。さらに，$A_1 = 1$ の場合，基本波電圧 v_{uf1} の波高値は，インバータで出力できる最大電圧 $\dfrac{E_{\mathrm{d}}}{2}$ となる。また，三相信号波 v_{u1}^{*}，v_{v1}^{*}，v_{w1}^{*} は三相対称であるとする。

(3) PWM 制御方式 1 において，$A_1 = 1$ の場合の u−v 相線間電圧 v_{uv1} の基本波実効値 V_{uvf1} を，E_{d} を用いて示せ。

(4) 基本波に，波高値が $\dfrac{1}{6}$ 倍の 3 次高調波を加算した信号波を用いた PWM 制御を方式２とする。この方式２において，基本波の波高値が１の場合の u 相信号波 v_{u2}^{*} を次式とする。

$$v_{\mathrm{u2}}^{*} = \sin\omega t + \frac{1}{6}\sin 3\omega t$$

この信号波 v_{u2}^{*} は，図 3 に示すように $\omega t = \dfrac{\pi}{3}, \dfrac{2\pi}{3}, \dfrac{4\pi}{3}, \dfrac{5\pi}{3}$ 〔rad〕のときに最大又は最小となる。

三角波波高値は 1 で，上式の基本波の波高値を１とする信号波 v_{u2}^{*} としたときの変調率 A_2 は，上記の変調率の定義式からいくつの数値となるかを示せ。

(5)（4）の PWM 制御方式 2 において，v 相，w 相出力電圧の信号波に $v_{u2}{}^*$ を基本波位相で $\dfrac{2\pi}{3}$〔rad〕，$\dfrac{4\pi}{3}$〔rad〕ずつ遅らせた波形を用いる。このとき，(4)で求めた変調率 A_2 を 1 とするように信号波を大きくすると，u-v 相線間電圧 v_{uv2} の基本波実効値 V_{uvf2} は，(3) で求めた V_{uvf1} の何倍となるかを示せ。

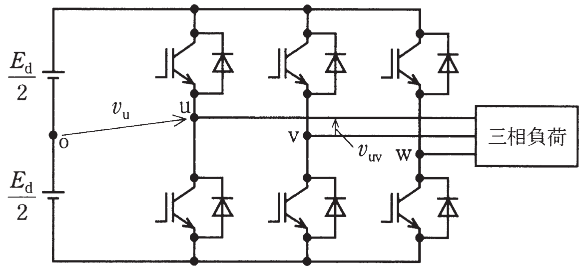


図 1

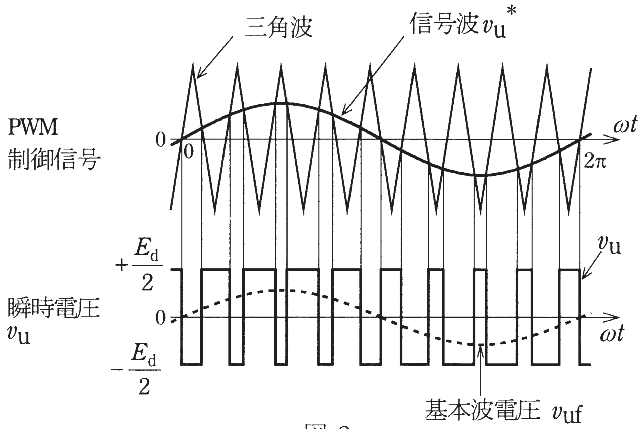


図 2

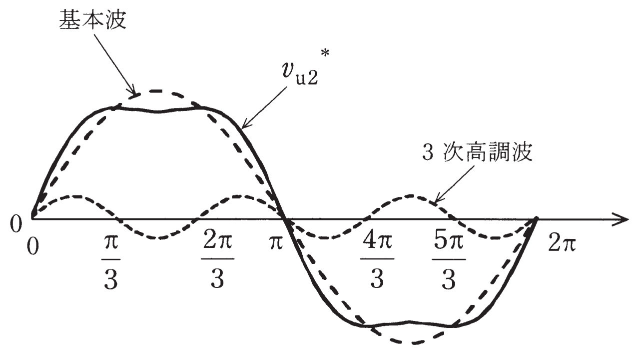
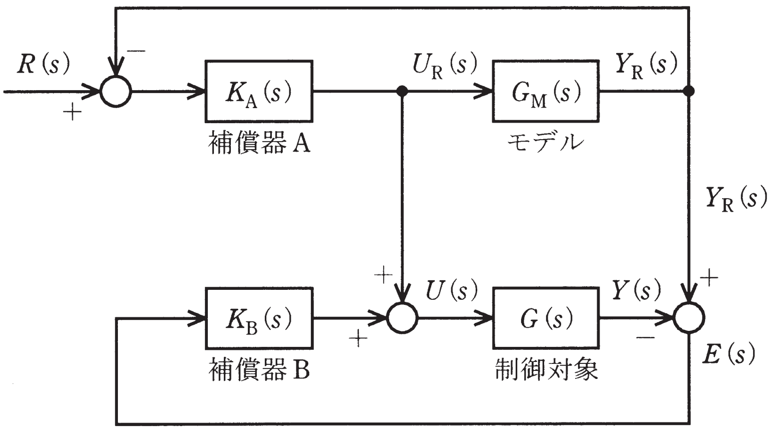


図 3

問４　図は，制御対象の出力をモデルの規範出力に追従させるサーボ系の構造を示す。この制御系について，次の問に答えよ。ただし，$R(s)$，$U_R(s)$，$Y_R(s)$，$U(s)$，$Y(s)$及び$E(s)$は，規範目標値$r(t)$，規範入力$u_R(t)$，規範出力$y_R(t)$，制御入力$u(t)$，出力$y(t)$及び偏差$e(t)$をそれぞれラプラス変換したものであり，$G_M(s)$はモデルの伝達関数，$G(s)$は制御対象の伝達関数，$K_A(s)$及び$K_B(s)$はそれぞれの補償器の伝達関数を表す。



(1) $R(s)$から$Y_R(s)$までの伝達関数を求めよ。

(2) $R(s)$から$E(s)$までの伝達関数を求めよ。

(3) 図において，それぞれの伝達関数が，$G_M(s)=\dfrac{1}{J_M s^2}$，　$G(s)=\dfrac{1}{J s^2}$，$K_A(s)=K_1+K_2 s$，$K_B(s)=K_3+K_4 s+\dfrac{K_5}{s}$で与えられるとき，次の問に答えよ。ただし，$J_M>0$，$J>0$及び$K_1$～$K_5$のすべての定数は正とする。

a．上記(1)で求めた伝達関数から得られる図の上部のフィードバック系の特性方程式を求め，安定であることを示せ。そのとき，減衰定数ζ及び固有角周波数ω_nを，K_1，K_2，J_Mを用いてそれぞれ表せ。

b．図のサーボ系全体が安定となるための条件を求めよ。

c．規範目標値$r(t)$が時間tのべき乗$r(t)=t^n$ ($t \geqq 0$，nは正の整数)で与えられるとき，定常偏差が有限な値をとる最大のnとそのときの定常偏差を求めよ。ただし，ラプラス変換の公式$\mathcal{L}\{t^n\}=\dfrac{n!}{s^{n+1}}$を利用してよい。

●F2－K012