令和元年度

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１　180 kW，3 000 V，6 極，50 Hz の定格をもつ三相かご形誘導電動機の拘束試験の結果は次のとおりであった。

線間電圧 610 V，線電流 31 A，三相入力 5.2 kW

また，電機子巻線の接続は Y 接続とし，端子間の抵抗の平均値は 0.92 Ωであった。次の問に答えよ。ただし，励磁電流は無視する。

(1) 拘束試験時の二次入力[kW]を求めよ。

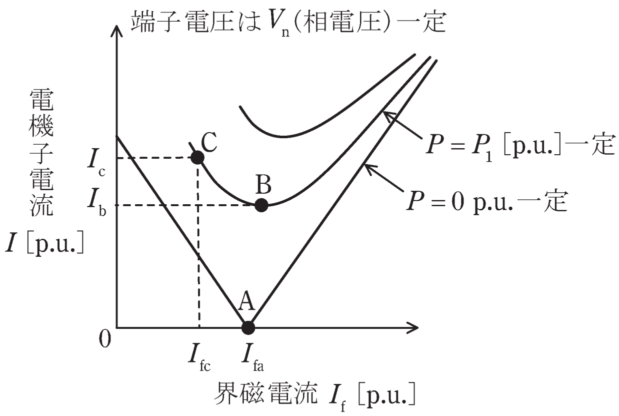
(2) 定格電圧での拘束時の二次入力[kW]を求めよ。

(3) 定格電圧始動時の始動トルク[N･m]を求めよ。

(4) この電動機を定格電圧で始動した場合, 始動トルクは全負荷トルクの 50.5％, 始動電流は全負荷電流の 410％である。始動電流を全負荷電流の 200％に抑えるための始動電圧及びトルクを求めよ。ただし，全負荷運転時の滑りは 3％とする。

問２　図は三相円筒形同期電動機のＶ曲線である。図中の運転点(A，B，C 点)における同期機の諸量に関して，次の問に答えよ。

ただし，端子電圧は V_n [p.u.]一定であり，同期機の同期リアクタンスは X_s [p.u.]とする。また，鉄心の磁気飽和は無視し，無負荷誘導起電力 E[p.u.]は界磁電流 I_f [p.u.]に比例して $E=k\,I_f$ で表されるものとする。巻線抵抗や各種損失は無視する。



(1)　図中の出力 $P=0$ p.u.の V 曲線上の運転において，界磁電流 I_f を変化させると，図中の A 点にて電機子電流 I が 0 p.u.となった。このときの界磁電流 I_{fa} [p.u.]を k と V_n を用いて表せ。

(2)　図中の出力 $P=P_1$ [p.u.]の V 曲線上の運転において，界磁電流 I_f を変化させると，図中の B 点にて電機子電流 I の値が最小になった。このときの電機子電流 I_b [p.u.]を P_1 と V_n で表せ。

(3)　図中の出力 $P=P_1$ の V 曲線上の運転において，界磁電流を I_{fc} [p.u.]とすると，図中の C 点の運転状態となり，このとき電機子電流は I_c [p.u.]，無負荷誘導起電力は E_c [p.u.]，力率角は θ_c (遅れ)，負荷角(内部相差角)は δ_c であった。C 点の運転状態における，$\dot{E}_c$，$\dot{V}_n$，$\dot{I}_c$，$jX_s\dot{I}_c$，力率角 θ_c，負荷角 δ_c を記入したフェーザ図を描け。ただし，基準フェーザは $\dot{V}_n$ とする。

(4)　図中の C 点の運転状態における電機子電流 I_c を，E_c，X_s，V_n，$\cos\delta_c$ で表す式を示せ。

(5)　小問(4)で求めた I_c を表す式から $\cos\delta_c$ と E_c を消去して，電機子電流 I_c を V_n，X_s，P_1 及び $k\,I_{fc}$ で表す式(すなわち V 曲線を表す式)を示せ。

●F2－K 009

問３　ダイオード整流器，PWM 制御インバータ及び誘導電動機からなるドライブシステムがある。滑りによる損失を含めてこのドライブシステムの損失は全て無視するものとして，次の問に答えよ。

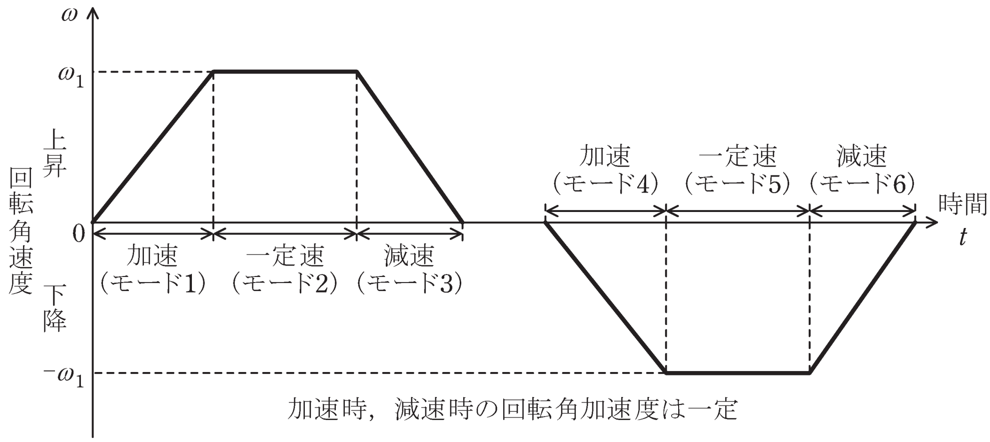
(1) トルクが速度の２乗に比例する特性の負荷及びトルクが速度に関係なく一定の特性の負荷がある。それぞれの負荷に誘導電動機をつないで，V/f 一定制御のインバータで可変速運転する。ドライブシステムの入力電力を P_0，電動機の回転角速度を ω_0 とすると，それぞれの負荷の定常特性として，P_0 を ω_0 と比例定数を用いた式で示せ。

(2) 電動機がある質量の負荷を巻き上げあるいは巻き下げすると，この負荷は電動機の回転方向にかかわらず一方向の定トルク特性負荷である。この電動機をベクトル制御のインバータによって図の速度パターンで可変速運転することを考える。ただし，電動機は，負荷の質量だけを昇降するものとし，その他のトルク及び損失を無視できるものとする。

誘導電動機の入力電力を P_1，誘導電動機の回転軸に換算した機械系の慣性モーメントを J，この運転の最中の回転角速度を $\omega(-\omega_1 \leqq \omega \leqq \omega_1)$，負荷トルクを T_L（一定）とする。P_1 を J，ω 及び T_L を用いた式で示せ。ただし，電力 P_1 は加減速に要する電力 P_a と負荷の昇降に要する電力 P_c の和 $P_a + P_c$ となる。

(3) 小問(2)において，電動機の運転には図に示す六つの運転モードがある。運転モード 1〜6 において，電力 P_a，P_c，P_1 が正となるか負となるかを示せ。もし運転モードだけで決まらなければどのような要因によって正となるか負となるかを簡潔に説明せよ。

(4) 小問(3)のような，誘導電動機の入力電力 P_1 が負になる運転モードがある場合には，与えられている電力変換器の構成では負の電力を処理できないので，主回路及びその制御方法に追加又は変更が必要である。その例を一つ挙げて，その動作を簡潔に説明せよ。


ω
ω1
上昇
回転角速度
0
下降
−ω1
加速
（モード1）
一定速
（モード2）
減速
（モード3）
加速
（モード4）
一定速
（モード5）
減速
（モード6）
時間
t
加速時，減速時の回転角加速度は一定

問４　図のようなフィードバック制御系がある。ここで，$R(s)$ と $Y(s)$ は，それぞれ目標値 $r(t)$ と制御量 $y(t)$ のラプラス変換である。次の問に答えよ。

(1) 2 次遅れ系の標準形 $G(s)=\dfrac{\omega_\mathrm{n}{}^2}{s^2+2\zeta\omega_\mathrm{n}s+\omega_\mathrm{n}{}^2}$ を考える。ここで，ω_n [rad/s]は固有角周波数，ζは減衰係数であり，$\omega_\mathrm{n}>0$，$0<\zeta<\dfrac{\sqrt{2}}{2}$ とする。周波数応答の振幅 $|G(\mathrm{j}\omega)|$ が，$|G(\mathrm{j}\omega)|=\dfrac{1}{\sqrt{(1-x)^2+4\zeta^2x}}$ で与えられることを示せ。ただし，$x\triangleq\left(\dfrac{\omega}{\omega_\mathrm{n}}\right)^2$ とする。

(2) 関数 $f(x)=(1-x)^2+4\zeta^2x$ を最小にする x を x_p とするとき，x_p をζで表せ。また，周波数応答の振幅 $|G(\mathrm{j}\omega)|$ の最大値 M_p をζで表せ。

(3) 図のフィードバック制御系の閉ループ伝達関数 $G_\mathrm{c}(s)$ を求めよ。また，ω_n 及びζの値を求めよ。

(4) 小問(3)で求めた閉ループ伝達関数 $G_\mathrm{c}(s)$ の周波数応答の振幅を最大にする角周波数 ω_p [rad/s]及び最大振幅 M_p の値を求めよ。