平成21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

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

１線当たりの損失$P_L$は

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

8．**問３を選択する場合は，答案用紙の裏面に図が印刷されているので，どちらか１枚を使用して解答してください。選択しない場合，図は無視してください。**

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。**

問1　次の文章は，単相誘導電動機に関する記述である。文中の $\boxed{\phantom{(1)}}$ の(1)から(3)については，最も適切な語句又は式を解答群の中から選び，その記号を答案用紙に，また，(4)から(7)については値を求め答案用紙に記入しなさい。

単相誘導電動機の単相巻線に交流電流を流すと交番磁界が発生する。この交番磁界は互いに反対方向に同期速度で回転し，大きさが交番磁界の $\frac{1}{2}$ である二つの回転磁界に分解できる。回転子が静止しているとき，これらの回転磁界は互いに逆方向のトルクを生じさせるので，始動トルクは零となる。しかし，どちらかの方向に少し回してやると回転子はその方向に加速し，同期速度に近い速度で定常運転に入る。

単相誘導電動機は，互いに反対方向に回転する二つの回転磁界が存在することから，回転子が機械的に直結され，回転磁界の回転方向が異なる二つの同じ二相誘導電動機と考え，その等価回路は図のように表すことができる。等価回路のAの部分は回転子の回転方向と同方向にトルクを発生する $\boxed{(1)}$ 電動機，Bの部分は回転方向と逆方向のトルクを発生する $\boxed{(2)}$ 電動機の等価回路である。$\boxed{(1)}$ 電動機の滑りを $s$ とするとき，$\boxed{(2)}$ 電動機の滑り $s_N$ は $\boxed{(3)}$ となる。

定格 200〔W〕，100〔V〕の単相誘導電動機が定格電圧のもと，滑り $s = 0.03$ で運転している。定格を基準とする単位法で表した回路定数は $r_1 = 0.04$〔p.u.〕，$x_1 = 0.04$〔p.u.〕，$r_2 = 0.042$〔p.u.〕，$x_2 = 0.06$〔p.u.〕，$x_m = 2$〔p.u.〕である。ただし，等価回路Bの部分の計算において，滑り $s$ が小さい範囲では $\frac{1}{2}\cdot\frac{r_2}{s_N} \fallingdotseq \frac{1}{2}\cdot\frac{r_2}{2}$ とし，また，$\frac{x_m}{2}$ は $\left|\frac{1}{2}\cdot\frac{r_2}{2}+\mathrm{j}\frac{x_2}{2}\right|$ と比べて大きいので $\frac{x_m}{2}$ に流れる電流を無視して計算せよ。



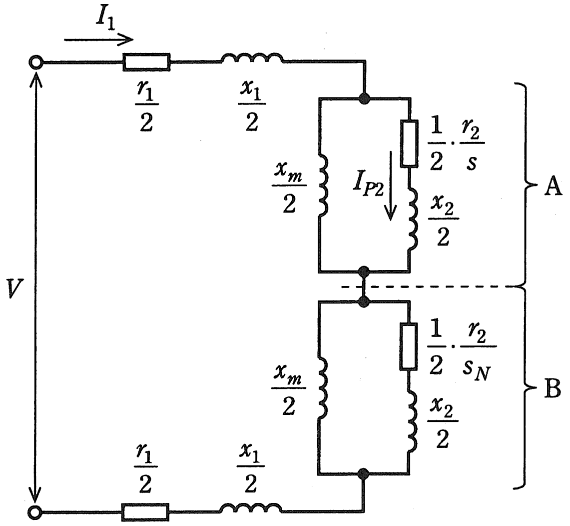
●F2－K008

(4) 入力インピーダンス $Z$〔p.u.〕

(5) 一次電流の大きさ $I_1$〔A〕

(6) 等価回路 A の二次電流の大きさ $I_{P2}$〔A〕（一次換算値）

(7) 同期ワットで表したトルク $T$〔W〕




$r_1$：一次抵抗

$x_1$：一次漏れリアクタンス

$x_m$：励磁リアクタンス

$r_2$：一次換算二次抵抗

$x_2$：一次換算二次漏れリアクタンス

〔(1)～(3)の解答群〕

| | | |
|---|---|---|
| (イ) 零相分 | (ロ) 逆相分 | (ハ) 分　相 |
| (ニ) 同相分 | (ホ) 反作用 | (ヘ) 正相分 |
| (ト) $3-s$ | (チ) $2-s$ | (リ) $1-s$ |

問２　タービン発電機の回転軸系を一つの質点にて近似した場合，その運動方程式は次式で表される。

$$J\frac{\mathrm{d}^2\theta_m}{\mathrm{d}t^2}=T_a \ 〔\mathrm{N\cdot m}〕 \quad \cdots\cdots \quad ①$$

ここで，$J=\dfrac{GD^2}{4}$〔kg·m$^2$〕は慣性モーメント(ただし，$GD^2$〔kg·m$^2$〕ははずみ車効果)，$\theta_m$〔rad〕は回転子の位置を表す機械角，$T_a$〔N·m〕は加速トルク，$t$〔s〕は時間である。

このとき，タービン発電機が回転体としてもつ蓄積エネルギー $E_K$〔J〕は，

$$E_K=\frac{1}{2}J\left(\frac{\mathrm{d}\theta_m}{\mathrm{d}t}\right)^2=\frac{1}{2}J\omega_m{}^2 \ 〔\mathrm{J}〕 \quad \cdots\cdots \quad ②$$

として表される。ここで，$\omega_m$〔rad/s〕は回転子の機械角速度である。

また，①式の運動方程式は，発電機容量ベースの単位法表現では，タービン発電機の単位慣性定数 $H$〔s〕を用いて次のように記述される。

$$2H\frac{\mathrm{d}\overline{\omega}_e}{\mathrm{d}t}=\overline{T}_a \ 〔\mathrm{p.u.}〕 \quad \cdots\cdots \quad ③$$

ここで，$\overline{\omega}_e$〔p.u.〕は回転子の電気角速度，$\overline{T}_a$〔p.u.〕は加速トルクである。

同一発電所に並列運転された２台のタービン発電機(４極機)A，B がある。両機の定格周波数を 50〔Hz〕，A の発電機容量を 1000〔MV·A〕，そのはずみ車効果を 973〔t·m$^2$〕とし，一方 B の発電機容量を 800〔MV·A〕，そのはずみ車効果を 830〔t·m$^2$〕とする。このタービン発電機の蓄積(運動)エネルギーに関し，次の問に答えよ。

(注)単位慣性定数 $H$ は，蓄積エネルギー定数とも呼ばれる。

(1) これら A，B のタービン発電機が定格角速度で運転しているとき，これらのもつ蓄積エネルギー $E_K$〔MJ〕をそれぞれ求めよ。

(2) 単位慣性定数 $H$〔s〕は蓄積エネルギー $E_K$〔MJ〕と発電機容量〔MV·A〕が分かれば，蓄積エネルギーの発電機容量に対する比として計算できる。これら A，B のタービン発電機の単位慣性定数 $H$〔s〕をそれぞれ求めよ。

(3) 並列運転された 2 台のタービン発電機 A，B が常に同じ角速度をもつと仮定して，容量 1800〔MV·A〕の 1 台の等価発電機として機械的運動特性を表現するとき，その 1800〔MV·A〕ベースでの等価慣性定数 $H_{eq}$〔s〕を求めよ。

問3　図1に示す回路は，電圧形三相ブリッジ変換器である。オンオフ制御バルブデバイスにはIGBTを用いている。この変換器において，IGBTは商用周波数の正弦波信号波と三角波搬送波とを比較してオン･オフを制御している。各相のアーム対それぞれにおいて，各相の信号波瞬時値が搬送波瞬時値よりも大きい場合はC側のIGBTをオンし，D側のIGBTをオフする。逆の場合はD側のIGBTをオンし，C側のIGBTをオフする。搬送波には信号波の周波数の3倍の周波数の三角波を用いている。この変換器の出力端子にフィルタなどの付属装置を追加して，誘導性の三相負荷に出力する。この変換器の動作について，次の問に答えよ。

(1) 信号波と搬送波とが図2のような関係になっている。この図と同じ図が答案用紙に印刷されているので，その図に時刻0から$T$までの期間における，接地点に対するU相及びV相の電圧，並びにU-V相間の電圧の波形を太線で明確に描け。ただし，直流電源電圧の大きさは$E_d$であり，直流回路は図1に示すように中点が接地されているものとする。デッドタイムなどのほかの要因を考慮する必要はない。

(2) 図2では，搬送波の周波数が信号波の周波数の3倍となっている。三相変換器の出力をリアクタンスを介して三相商用系統に連系するとき，搬送波の周波数が低い場合は，その周波数は信号波の周波数の3倍，9倍，15倍，21倍のように3の奇数倍とすることが一般的である。3の倍数とする理由及び奇数倍とする理由をそれぞれ一つずつ記載せよ。

(3) 信号波の周波数の3倍から21倍の範囲内で搬送波の周波数を高くしたときのメリット，デメリットをそれぞれ一つずつ記載せよ。

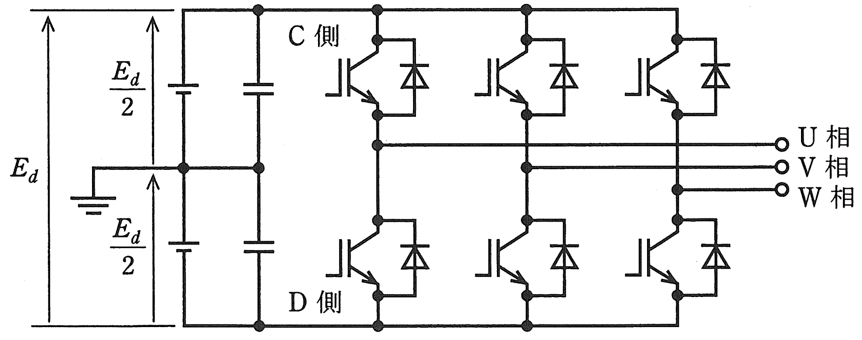



図1



●F2－K012

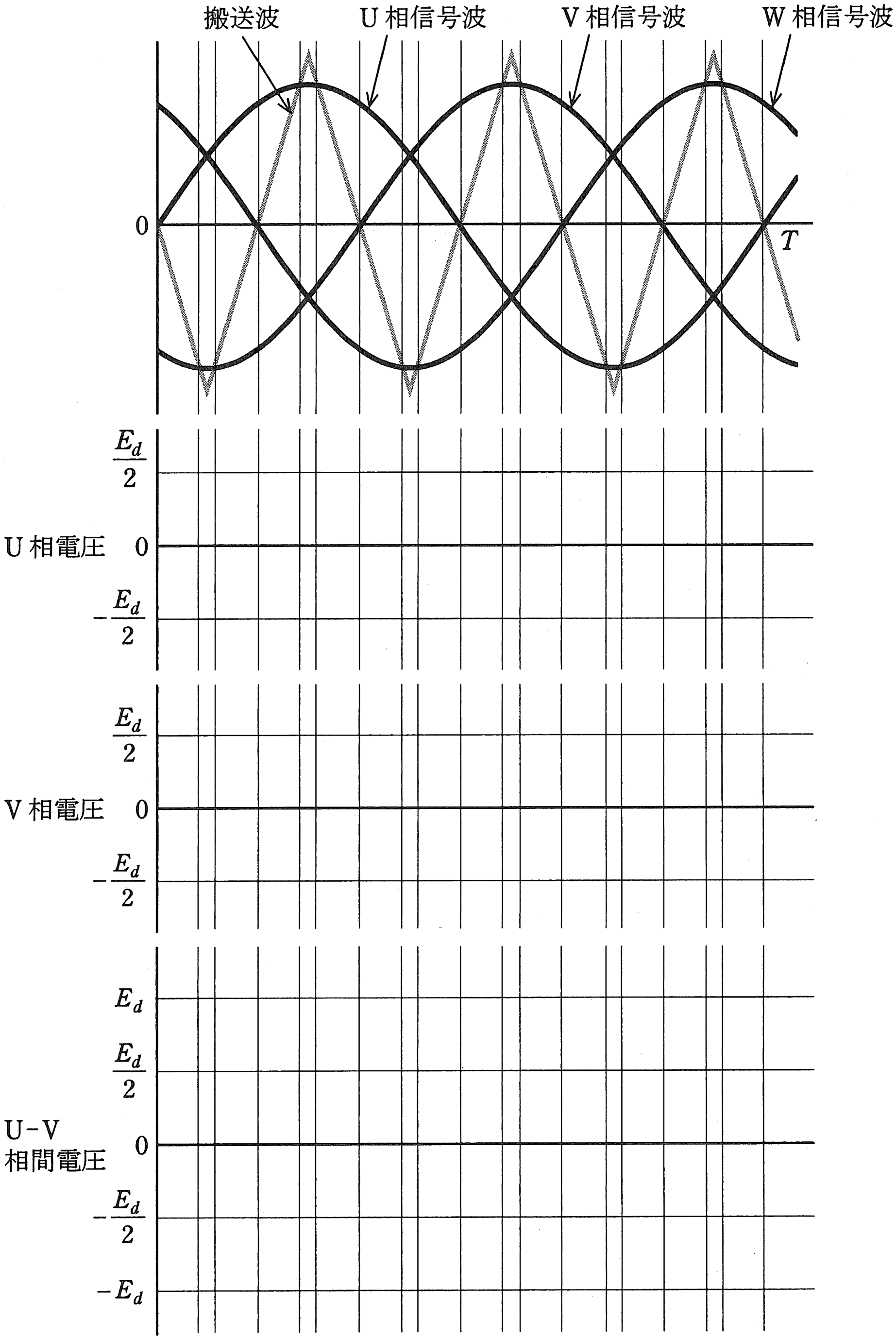



図 2

問４　図１及び図３に示す制御系において，次の問に答えよ。ただし，$R(s)$は目標値，$E(s)$は偏差，$U(s)$は操作量，$Y(s)$は出力であり，$G(s)$は制御対象の伝達関数，$K$は定数ゲインとする。

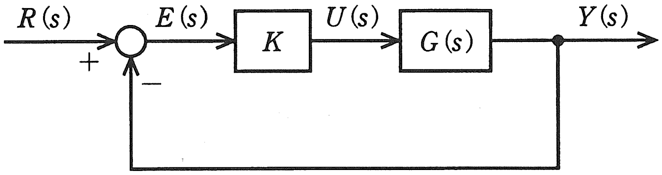



図１

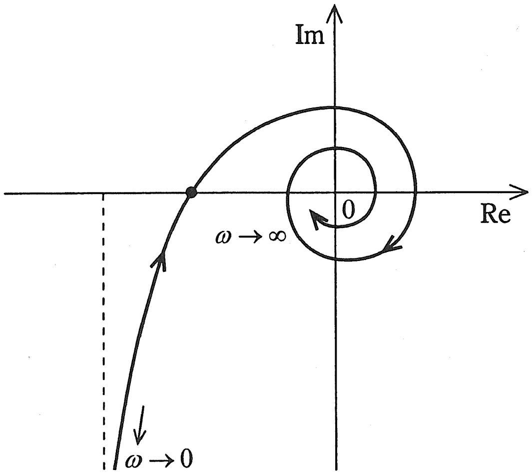



図２



●F2－K014

(1) 図 1 において $G(s)=\dfrac{1}{s}$ のとき，$K>0$ ならば図 1 のフィードバック制御系が安定となることを示せ。

(2) 図 1 において $G(s)=\dfrac{1}{s}\mathrm{e}^{-Ls}$ のとき，むだ時間 $L$ を含む図 1 の制御系の安定性を解析するために，$KG(\mathrm{j}\omega)=K\dfrac{\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\omega L}}{\mathrm{j}\omega}$ のベクトル軌跡の概形を描くと図 2 のようになる。図 1 の制御系を安定にする $K$ の範囲を求めよ。

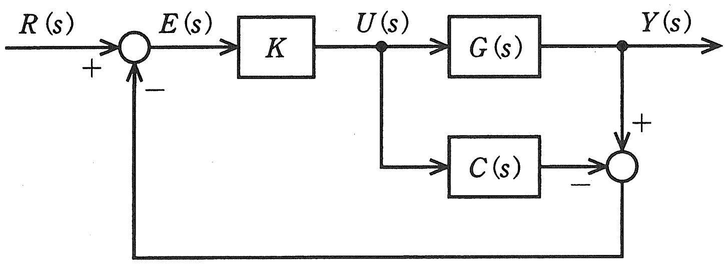



図 3

(3) $G(s)=\dfrac{1}{s}\mathrm{e}^{-Ls}$ のむだ時間を補償するために，補償器 $C(s)$ を付加した図 3 のフィードバック制御系を考える。$C(s)=\dfrac{1}{s}(\mathrm{e}^{-Ls}-1)$ とするとき，$R(s)$ から $Y(s)$ までの伝達関数を求めよ。

(4) 上記 (3) の結果から，図 3 の制御系を安定にする $K$ の範囲を求めよ。



●F2－K015