

平成 25 年度

第 1 種

機械・制御

(第 2 時限目)

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、誤差が出ないように多く取ってください。

例：線電流 I は

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}V \cos \theta} = \frac{10 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 200 \times 0.9} = 32.075 \text{ [A]} \quad \text{答 } 32.1 \text{ [A]}$$

1線当たりの損失 P_L は

$$P_L = I^2 R = 32.075^2 \times 0.2 = 205.76 \text{ [W]} \quad \text{答 } 206 \text{ [W]}$$

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。)

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)

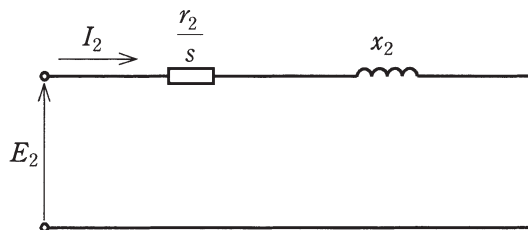
問 1 図は、三相誘導電動機の星形換算二次 1 相分の等価回路を示す。図中の記号は以下のとおりである。

E_2 : 二次誘導起電力 [V], I_2 : 二次電流 [A], s : 滑り

r_2 : 二次抵抗 [Ω], x_2 : 一次周波数における二次リアクタンス [Ω]

同期角速度を ω_0 [rad/s] として、次の問に答えよ。

- (1) E_2 , r_2 , x_2 及び ω_0 を用いて始動トルク T_s [N·m] を表す式を求めよ。
- (2) T_s が最大となる r_2 を求めよ。また、そのときのトルク T_{sm} [N·m] を求めよ。
- (3) r_2 は上記(2)で求めた値で、この誘導電動機が滑り s で運転されている。このときのトルク T [N·m] を上記(2)で求めた T_{sm} 及び s を用いて表せ。



問2 三相星形結線の円筒形同期発電機 A 機及び B 機の 2 台が共通母線に接続され並列運転している。A 機は定格容量 $8000 \text{ [kV}\cdot\text{A]}$ 、定格電圧（線間電圧） 6600 [V] 、定格力率 0.9 （遅れ）、同期リアクタンス 1.7 [p.u.] であり、B 機は定格容量 $10000 \text{ [kV}\cdot\text{A]}$ 、定格電圧（線間電圧） 6600 [V] 、定格力率 0.9 （遅れ）、同期リアクタンス 1.7 [p.u.] である。この並列運転に関して次の問に答えよ。ただし、鉄心の磁気飽和及び電機子抵抗は無視できるものとする。また、単位法は各機の定格容量を基準としている。

(1) 両機が母線電圧（線間電圧） 6600 [V] で並列運転して、 12000 [kW] 遅れ力率 0.9 の負荷を負っている。両機が 6000 [kW] ずつ負荷電力を分担するように調整したとき、A 機の運転力率は 0.95 （遅れ）であった。

a. 負荷電流 $I_L \text{ [A]}$ 、両機の電機子電流 $I_A \text{ [A]}$ 、 $I_B \text{ [A]}$ 、及び B 機の運転力率 $\cos\phi_B$ を求めよ。

b. 両機の同期リアクタンス $X_A \text{ [\Omega]}$ 、 $X_B \text{ [\Omega]}$ 、及び無負荷誘導起電力（相電圧） $E_A \text{ [V]}$ 、 $E_B \text{ [V]}$ を求めよ。

(2) 上記(1)において、母線電圧（線間電圧） 6600 [V] のままで、徐々に負荷状態が変化して、両機は並列運転にて 15000 [kW] の負荷電力を負うことになった。この負荷電力に対して、両機の無負荷誘導起電力 E_A 、 E_B を上記(1) b. の値に保ちながら、各機の負荷電力を徐々に変えると、同期化力によって E_A 、 E_B は同位相になった。このときの E_A 、 E_B と母線の相電圧との内部相差角を $\delta \text{ [rad]}$ として、その $\sin\delta$ 及びそのときの各機が分担する有効電力 $[\text{kW}]$ を求めよ。

問3 三相ブリッジ接続のサイリスタ変換装置に関して、次の問に答えよ。

(1) 図1は、三相ブリッジ接続サイリスタ変換装置の転流を説明する図である。変換装置用変圧器の交流（一次）側は、直流（二次）側に換算している。交流電源電圧は V_L [V] で、変換装置用変圧器の短絡リアクタンスは X [Ω] である。交流回路にはそれ以外にインピーダンスがなく、サイリスタのオン電圧（電圧降下）は無視できる。直流回路にはインダクタンスが十分に大きな直流リアクトルが接続されており、直流電流は一定値 I_d [A] で脈動が無視できる。

サイリスタ T_1 が通電しているときに制御遅れ角 α [rad] でサイリスタ T_3 がオンすると、重なり角 μ [rad] の期間、図1に示すように転流電流 i_c [A] が流れる。転流電圧が零のときを基準とした電気角 $\omega t = \theta$ [rad] が α [rad] のときに $i_c = 0$ [A] で転流が開始し、 $\alpha + \mu$ [rad] のときに $i_c = I_d$ [A] となって転流が完了する。 $\cos(\alpha + \mu)$ を V_L , I_d , α 及び X を用いて表せ。

(2) 瞬時直流電圧 v_d [V] は、重なり角によって図2に示すハッチング部分が低下するため、制御遅れ角が α [rad] のときの直流電圧（平均値） V_d [V] は $\frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_L \cos \alpha$ [V] よりも低くなる。 V_d を V_L , I_d , α 及び X を用いて表せ。

(3) 上記の変換装置2台を図3に示すように直列に接続した。変換装置用変圧器の交流側（一次）電圧と直流側（二次）電圧との電圧比は2台とも1:1であり、交流電源電圧は、 $V_L = 500 \times \frac{\pi}{3\sqrt{2}}$ [V] である。直流電流が I_d [A] のときのそれぞれの変換装置の交流電流基本波実効値は、 $I_L = \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d$ [A] で求められるものとする。変換装置1の直流電圧 V_{d1} を400 [V]、変換装置2の直流電圧 V_{d2} [V] を-300 [V] とし、全体で直流電圧 $V_d = 100$ [V]、直流電流 $I_d = 1000$ [A] を出力した。

a. 交流電源からみたそれぞれの変換装置の入力有効電力 [kW] 及び基本波無効電力 [kvar]、並びに、合計の入力有効電力 [kW] 及び基本波無効電力 [kvar] を求めよ。

b. 2台の変換装置全体での交流電源からみた基本波力率 $\cos \phi_1$ を求めよ。

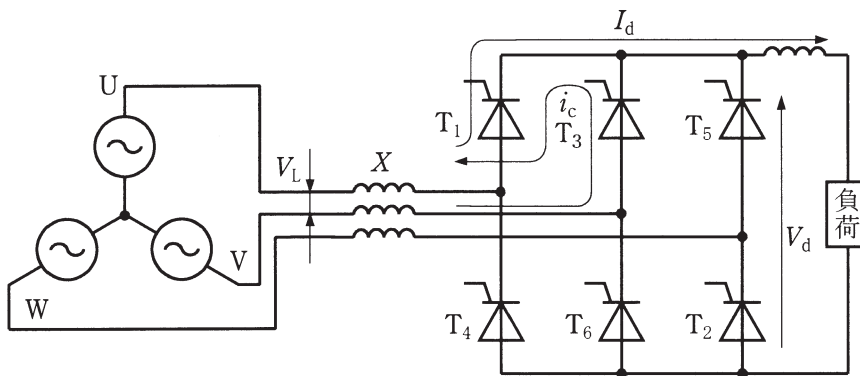


図 1 サイリスタ変換装置の転流を説明する図

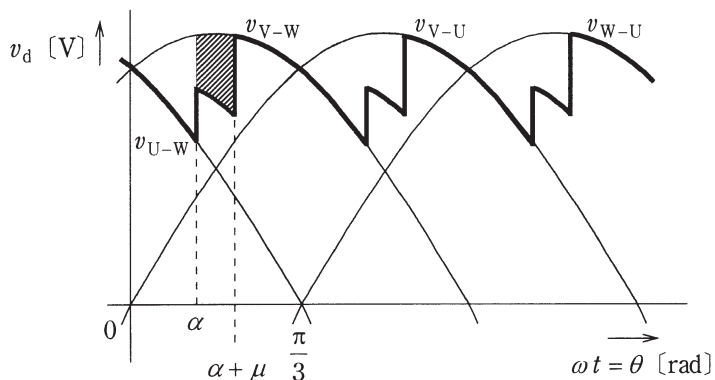


図 2 瞬時直流電圧 v_d の波形 (v_{V-W} などは、交流各相の間の電圧を示す)

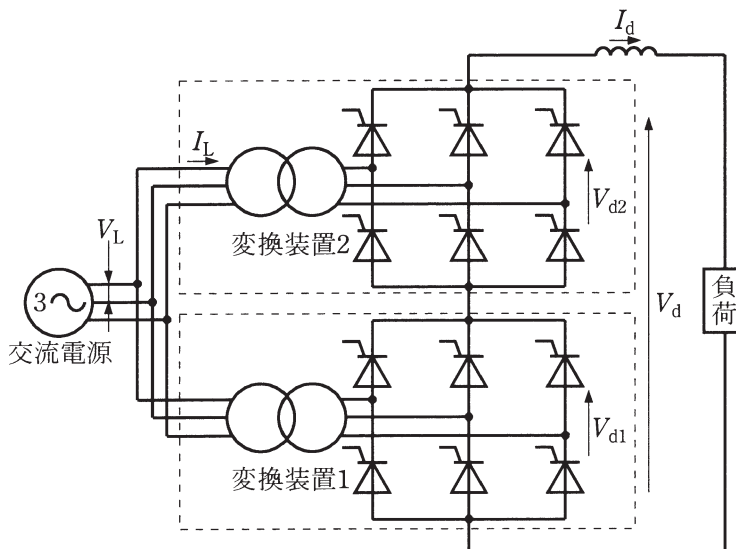


図 3 変換装置の直列接続

問4 図1のフィードバック制御系において、 $r(t)$ は目標値、 $e(t)$ は偏差、 $v(t)$ は入力、 $u(t)$ は制御入力、 $x_1(t)$ 、 $x_2(t)$ は状態、 $y(t)$ は出力を表す。また、ゲイン K は正、上付添字 T は転置を表し、 I は単位行列を表す。このとき、次の問に答えよ。

- (1) 図1のブロック(A)だけを取り出した図2の制御対象において、制御入力 $u(t)$ 、状態ベクトル $\mathbf{x}(t)=[x_1(t), x_2(t)]^T$ 、出力 $y(t)$ とする。このとき、状態空間表現 (A, b, c^T)

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = A\mathbf{x}(t) + bu(t) \quad \dots\dots\dots ①$$

$$y(t) = c^T \mathbf{x}(t) \quad \dots\dots\dots ②$$

における A, b, c^T を求めよ。さらに、この制御対象が可制御、可観測であることを示せ。

- (2) ブロック(B)において、制御入力 $u(t)$ を次の状態フィードバック

$$u(t) = -\mathbf{f}^T \mathbf{x}(t) + v(t) = -f_1 x_1(t) - f_2 x_2(t) + v(t) \quad \dots\dots ③$$

によって与えている。ここで、 $\mathbf{f}^T = [f_1, f_2]$ とおいた。③式を①式に代入した状態空間表現 $(A - b\mathbf{f}^T, b, c^T)$ における $A - b\mathbf{f}^T$ を求め、特性多項式 $\det[sI - (A - b\mathbf{f}^T)]$ を f_1, f_2 を用いて表せ。さらに、特性根を $-5 \pm j10$ に配置するための f_1, f_2 を求めよ。

- (3) 上記(2)で求めた f_1, f_2 のとき、入力 $v(t)$ から出力 $y(t)$ までのブロック(B)の伝達関数 $G_f(s)$ を求めよ。ただし、計算式 $G_f(s) = c^T [sI - (A - b\mathbf{f}^T)]^{-1} b$ 、又はブロック線図の変形を利用してよい。

- (4) 上記(2)で求めた f_1, f_2 のとき、図1のフィードバック制御系全体の安定限界における三つの閉ループ極を求めよ。

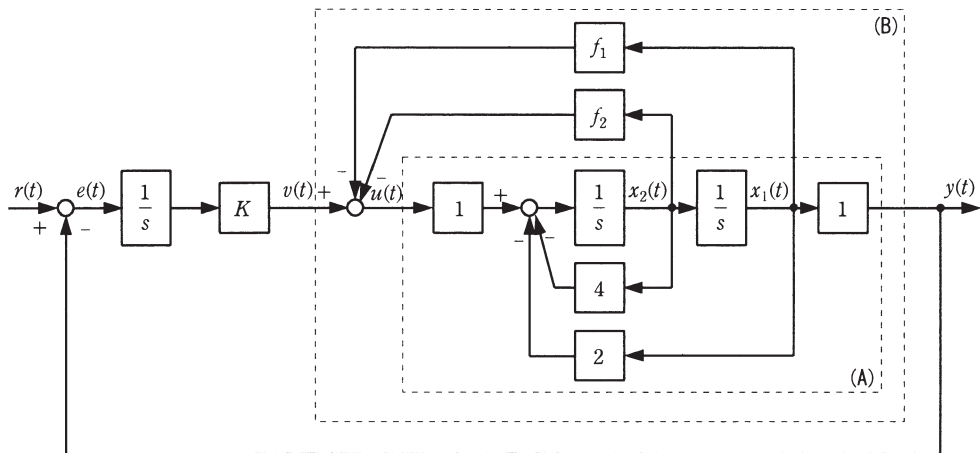


图 1

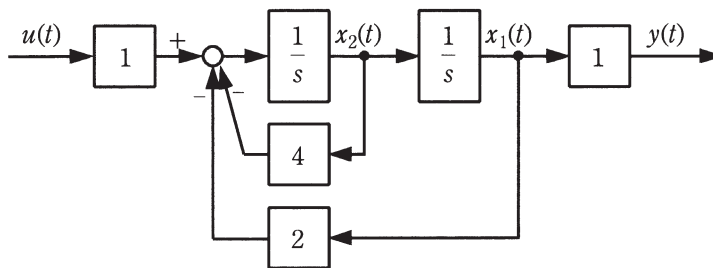


图 2