

平成 27 年度

第 2 種

機械・制御

(第 2 時限目)

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

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

- 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。

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 同期リアクタンス X_s [Ω] の同期発電機をインピーダンスが十分に小さい相電圧 V_0 [V] の三相交流系統に接続し、発電機に P_0 [W] の機械的入力を加えたとき、内部相差角は $\delta_0 = 45^\circ$ で動作した。界磁電流及び回転速度は一定で、発電機の突極性及び損失は無視できるものとする。

(1) 同期発電機を相電圧 V_0 の三相交流系統に接続した場合について、以下の a. 及び b. に答えよ。

a. 発電機に加える機械的入力を P_1 [W] にすると、内部相差角は $\delta_1 = 30^\circ$ となった。機械的入力の比 $\frac{P_1}{P_0}$ を求めよ。

b. 発電機と交流系統の間に $X_2 = X_s$ のリアクトルを挿入した。 P_2 [W] の機械的入力を加えると、交流系統電圧と無負荷誘導起電力の間の位相角が $\delta_2 = 45^\circ$ に増加した。このときの機械的入力の比 $\frac{P_2}{P_0}$ を求めよ。

- (2) 同期発電機を三相交流系統から切り離して R [Ω] の抵抗器を Y 結線して接続し、抵抗器だけに電力を供給する。ここで、 $P_3 = P_0$ [W] の機械的入力を加えたところ、発電機端子の相電圧は V_3 [V]、内部相差角は $\delta_3 = 60^\circ$ となった。抵抗器だけを接続した場合について、以下の a. 及び b. に答えよ。
- a. 発電機端子の相電圧の比 $\frac{V_3}{V_0}$ を求めよ。
- b. 同期リアクタンス X_s に対する抵抗 R の比 $\frac{R}{X_s}$ を求めよ。

問2 変圧器の特性に関して、次の問に答えよ。

- (1) 定格容量 $S_n = 100 \text{ kV}\cdot\text{A}$ 、定格一次電圧 $V_{1n} = 6600 \text{ V}$ 、定格二次電圧 $V_{2n} = 210 \text{ V}$ 、定格周波数 60 Hz の単相変圧器がある。巻数比 a 、定格一次電流 $I_{1n} [\text{A}]$ を求めよ。
- (2) この変圧器の二次巻線端子を短絡し、一次巻線端子に定格周波数の電圧 $V_{1s} = 218 \text{ V}$ を印加したところ、二次側電流が定格電流となり、入力電力は、 $P_{1s} = 1200 \text{ W}$ であった。短絡インピーダンスの大きさ [%] を求めよ。
- (3) 図1は二次側の諸量を一次側に換算した変圧器の簡易等価回路である。上記(2)の条件から、図中の巻線の抵抗 $r = r_1 + a^2 r_2 [\Omega]$ 及び漏れリアクタンス $x = x_1 + a^2 x_2 [\Omega]$ を求めよ。ただし、励磁アドミタンスは無視する。

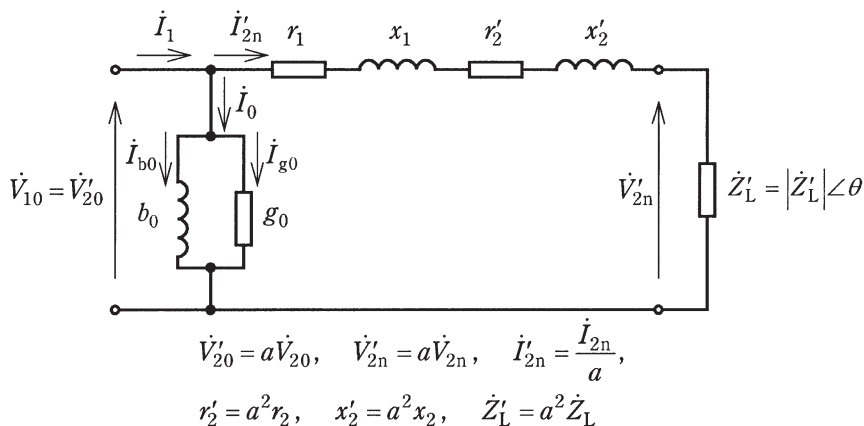


図1

- (4) 図1に示すように、二次巻線端子に力率 $\cos\theta$ の負荷 ($\dot{Z}_L = |\dot{Z}_L| \angle \theta$) を接続して一次巻線電圧を V_{10} としたとき、負荷に定格電圧 V_{2n} が印加され定格電流 I_{2n} が流れた。図2は、このときの電圧電流ベクトル概略図の一部である。図2が答案用紙に印刷されているので、電圧 $\dot{V}'_{20}(=\dot{V}_{10})$ 及び電流 $\dot{I}_1, \dot{I}_{g0}, \dot{I}_{b0}$ のベクトルを書き足して、ベクトル図を完成させよ。巻線抵抗 r 及び漏れリアクタンス x による電圧降下の成分も図中に明示せよ。

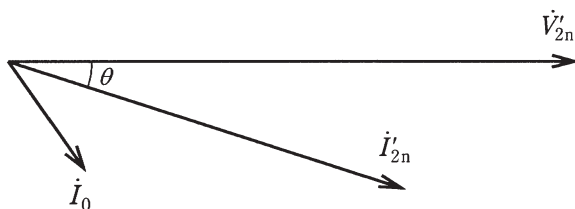


図2

- (5) 一次端子電圧を V_{10} のままにして、無負荷としたときの二次端子電圧を V_{20} とする。このとき、この変圧器の電圧の変動率 ε を、次式で表す。

$$\varepsilon = \frac{V_{20} - V_{2n}}{V_{2n}} \times 100 [\%]$$

これは、次式で近似できることを示せ。

$$\varepsilon \doteq (q_R \cos\theta + q_X \sin\theta) \times 100 [\%]$$

ただし、 $R = \frac{r}{a^2}$, $X = \frac{x}{a^2}$, $q_R = \frac{RI_{2n}}{V_{2n}} \ll 1$, $q_X = \frac{XI_{2n}}{V_{2n}} \ll 1$ とする。また、必要に応じて、展開式 $\sqrt{1+\delta} = 1 + \frac{1}{2}\delta - \frac{1}{8}\delta^2 + \dots$, ($|\delta| < 1$) を用いよ。

問3 図1は、三相交流電源から単相交流を出力するサイクロコンバータである。このサイクロコンバータに関する次の問に答えよ。ただし、交流電源のインピーダンス、及びコンバータでの電圧降下は無視する。また、負荷は誘導性である。

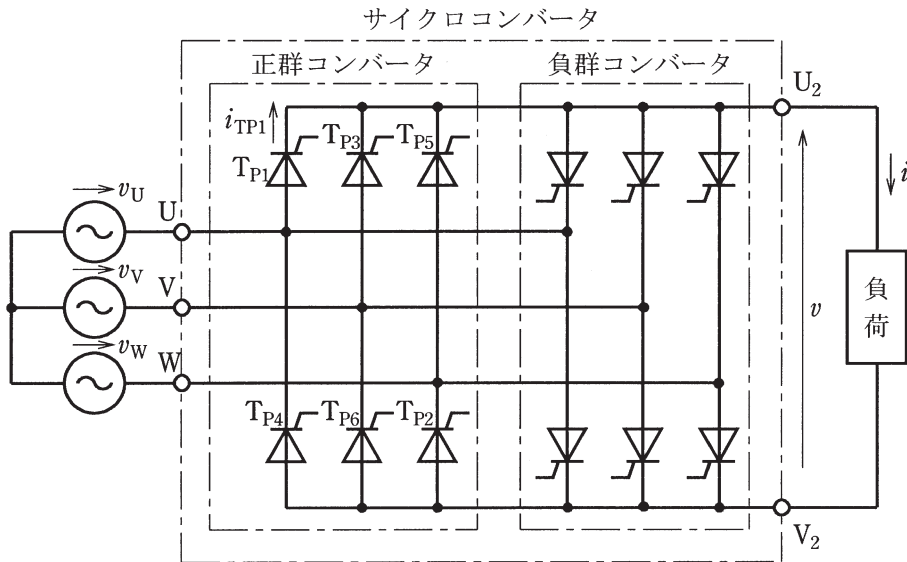


図1

(1) (a) このサイクロコンバータの実用的な出力周波数の上限は電源周波数に対して何分の1程度であるか、また、(b) どのような要因で上限が決まるかを全体で100字程度で説明せよ。

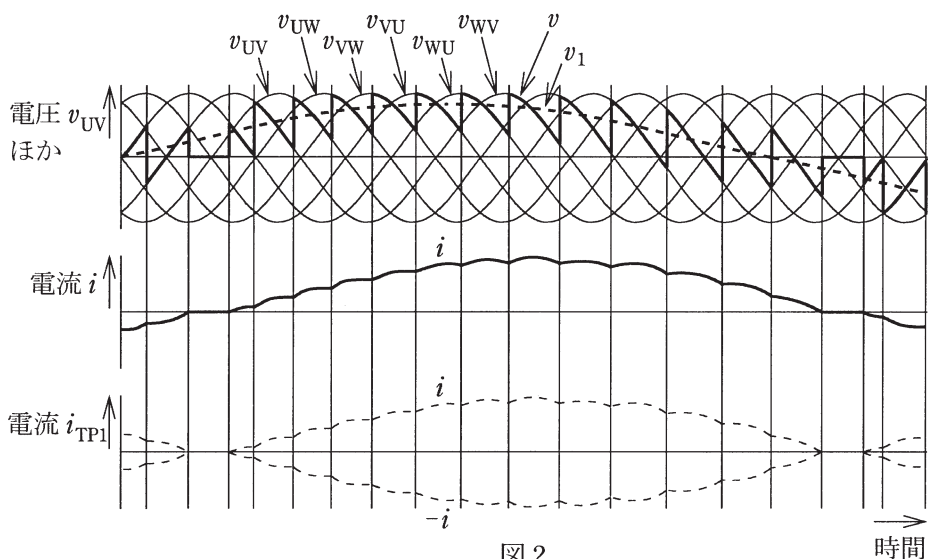
(2) 正群コンバータが、入力交流線間電圧実効値 E 及び制御遅れ角 α が一定で、連続した出力電流 i で定常的に動作しているときの出力電圧 v の平均値(直流電圧) V_d を求める式を示せ。

(3) サイクロコンバータから交流電圧を出力するには、制御遅れ角を時間関数 $\alpha(t)$ として変化させる必要がある。出力電圧 v の基本波電圧 v_1 を

$$v_1(t) = \sqrt{2} \times 0.8E \sin(2\pi f_1 t)$$

とするには、正群コンバータに対しては $\alpha(t)$ をどのように与えればよいかを数式で示せ。ここで、出力周波数 f_1 は電源周波数に比べて十分に低い値とする。また、電流の正負切替時の動作は考慮しない。

- (4) 正群コンバータは、サイリスタが T_{P1} , T_{P2} , \dots , T_{P6} , T_{P1} , \dots と順番にオンされて動作する。 T_{P1} がオンした直後に出力される電圧は、図 2 に示す v_{UV} , v_{UW} , v_{VW} , v_{VU} , v_{WU} , v_{WV} の 6 種類の交流線間電圧のうち、どの電圧となるか。なお、交流線間電圧の記号は、例えば v_{UV} は三相交流電源の V 相を基準とした U 相の電圧 $v_{UV} = v_U - v_V$ を表す。また、 v は出力電圧、 v_1 はその基本波電圧である。
- (5) サイクロコンバータの出力には図 2 に示す電流 i が流れているものとする。図 2 が答案用紙に印刷されているので、このときに正群コンバータのサイリスタ T_{P1} に流れる電流 i_{TP1} の波形を太い線で明確に描け。



問4 図に示すフィードバック制御系において、 $R(s)$ 、 $E(s)$ 、 $U(s)$ 、 $Y(s)$ はそれぞれ、目標値 $r(t)$ 、制御偏差 $e(t)$ 、操作入力 $u(t)$ 、制御量 $y(t)$ のラプラス変換を表している。また、 $G(s)$ は制御対象の伝達関数、 $\frac{k}{s}$ は積分動作の直列補償要素、 $F(s)$ はフィードバック補償要素を表している。

以下において、 $\frac{k}{s}$ と $F(s)$ とに含まれる制御定数を調整することで、フィードバック制御系の目標値 $R(s)$ から制御量 $Y(s)$ までの伝達関数を、望ましい動特性を実現する参照モデルの伝達関数に一致させることを考える。次の問に答えよ。

(1) 制御対象は零点をもたない遅れ系であって、多項式 $h(s)$ を用いて次のように表されている。

$$G(s) = \frac{1}{h(s)}$$

フィードバック制御系の目標値 $R(s)$ から制御量 $Y(s)$ までの伝達関数 $W(s)$ を s 、 k 、 $F(s)$ 、 $h(s)$ を用いて表せ。

(2) 制御対象は2次遅れ系

$$G(s) = \frac{1}{h(s)} = \frac{1}{h_0 + h_1s + h_2s^2}$$

であるとする。また、フィードバック補償要素 $f(s)$ は定数であるとし、

$$F(s) = f_0$$

とおく。

次の参照モデルを導入する。

$$W_d(s) = \frac{1}{1 + \sigma s + \alpha_2 \sigma^2 s^2 + \alpha_3 \sigma^3 s^3}$$

ここで、 α_2 及び α_3 は時間応答の形を規定する係数であり、 σ は、その次数を s の次数と合わせているので、時間スケールのパラメータである。しかも、1次のモーメントに一致するので、立ち上がりの一つの特性値でもある。この σ も設計時の計算において決定する。

フィードバック制御系の目標値から制御量までの伝達関数 $W(s)$ と参照モデル $W_d(s)$ を一致させるために、パラメータ σ と制御定数 k 、 f_0 が満たさ

なくてはならない連立方程式を求めよ。

(3) 連立方程式を解いてパラメータ σ を $\alpha_2, \alpha_3, h_1, h_2$ を用いて表せ。

(4) 制御定数 k を求める式を α_2, h_1, σ を用いて表せ。

(5) 制御定数 f_0 を求める式を k, h_0, σ を用いて表せ。

