

令和 2 年度

第 1 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 同期リアクタンスが  $X_s (=2 \text{ p.u.})$  である小型の三相円筒形同期発電機を、その定格電圧(相電圧)  $V_N (=1 \text{ p.u.})$  と同じ電圧の母線に直接接続して運転したときの発電機の運転状態と界磁電流  $I_f [\text{p.u.}]$  の関係に関して、次の間に答えよ。

ただし、巻線抵抗及び各種損失は無視できるものとし、また鉄心の磁気飽和も無視して、発電機の無負荷誘導起電力  $E [\text{p.u.}]$  は界磁電流  $I_f [\text{p.u.}]$  に比例して  $E = kI_f$  で表されるものとする。なお、単位法は自己定格容量及び自己定格電圧を基準とする。

(1) 上記の条件で発電機を定格運転すると、皮相電力  $S_N (=1 \text{ p.u.})$ 、機械入力  $P_N (=0.8 \text{ p.u.})$ 、無効電力  $Q_N (=0.6 \text{ p.u.})$  (遅れ)、界磁電流  $I_{fN} [\text{p.u.}]$ 、無負荷誘導起電力  $\dot{E}_N [\text{p.u.}]$ 、電機子電流  $\dot{I}_N$  ( $I_N = 1 \text{ p.u.}$ )、力率角は  $\theta_N$  であった。

a. このときのフェーザ図を描き、図中に  $\dot{E}_N$ 、 $\dot{V}_N$ 、 $\dot{I}_N$ 、 $\theta_N$  及び  $jX_s \dot{I}_N$  を記入せよ。また、 $E = kI_f$  であることに留意して、図から  $I_{fN}$  を  $V_N$ 、 $I_N$ 、 $\theta_N$ 、 $X_s$ 、 $k$  で表す式を導出せよ。

b. 求めた式に数値(p.u.)を代入して、 $I_{fN}$  を  $k$  のみで表す式を示せ。

(2) 定格運転の状態から、機械入力を一定に保ち無効電力を零とするように界磁電流を調整すると、界磁電流は  $I_{f2} [\text{p.u.}]$ 、電機子電流は  $\dot{I}_2 [\text{p.u.}]$ 、無負荷誘導起電力は  $\dot{E}_2 [\text{p.u.}]$  になった。

a. このときのフェーザ図を描き、図中に  $\dot{E}_2$ 、 $\dot{V}_N$ 、 $\dot{I}_2$  及び  $jX_s \dot{I}_2$  を記入せよ。また、図から  $I_{f2}$  を  $I_2$ 、 $V_N$ 、 $X_s$ 、 $k$  で表す式を示せ。

b. 求めた式に数値(p.u.)を代入して、 $I_{f2}$  を  $k$  のみで表す式を示せ。また、調整後の  $I_{f2}$  は定格時の  $I_{fN}$  の何%になるか答えよ。

(3) 定格運転の状態から，機械入力を零にして，かつ無効電力を  $Q_N$  に維持するように界磁電流を調整すると，界磁電流は  $I_{f3}$  [p.u.]，電機子電流は  $\dot{I}_3$ ，無負荷誘導起電力は  $\dot{E}_3$  [p.u.] になった。

a. このときのフェーザ図を描き，図中に  $\dot{E}_3$ ， $\dot{V}_N$ ， $\dot{I}_3$  及び  $jX_s\dot{I}_3$  を記入せよ。

また，図から  $I_{f3}$  を  $I_3$ ， $V_N$ ， $X_s$ ， $k$  で表す式を示せ。

b. 求めた式に数値 (p.u.) を代入して， $I_{f3}$  を  $k$  のみで表す式を示せ。また，調整後の  $I_{f3}$  は定格時の  $I_{fN}$  の何%になるか答えよ。

問2 定格容量 15 000 kV・A， 定格一次電圧 66 kV， 定格二次電圧 11 kV の単相変圧器があり， 試験結果は次のとおりであった。

・ 高圧側(一次側)を開放して無負荷試験を行った場合：

$$\text{電圧 } V_{20} = 11\,000 \text{ V， 電流 } I_{20} = 44 \text{ A， 電力 } P_{20} = 55 \text{ kW}$$

・ 高圧側(一次側)を短絡して短絡試験を行った場合：

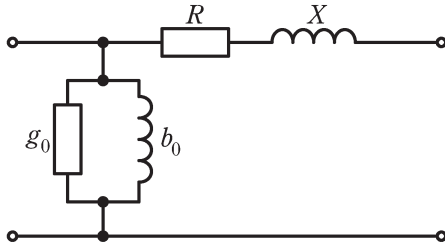
$$\text{電圧 } V_{2s} = 660 \text{ V， 電流 } I_{2s} = 1\,364 \text{ A， 電力 } P_{2s} = 110 \text{ kW}$$

次の問に答えよ。

ただし， 定格容量の負荷時の力率  $\cos\theta$  における電圧の変動率  $\varepsilon[\%]$  は， 百分率抵抗降下を  $p[\%]$ ， 百分率リアクタンス降下を  $q[\%]$  とすれば， 次式で表せるものとする。

$$\varepsilon = p \cos\theta + q \sin\theta + \frac{1}{200}(q \cos\theta - p \sin\theta)^2 [\%]$$

- (1) 図に示す一次側から見た簡易等価回路の回路定数をそれぞれ求めよ。ただし， 上記無負荷試験においては巻線抵抗と漏れリアクタンスによる電圧降下を， 短絡試験においては鉄損を無視できるものとする。
- (2) 百分率抵抗降下  $p[\%]$ ， 百分率リアクタンス降下  $q[\%]$  及び百分率インピーダンス  $z[\%]$  を求めよ。
- (3) 遅れ力率 80 % で定格容量の負荷における電圧の変動率  $\varepsilon[\%]$  を求めよ。
- (4) 力率 100 % において効率が最大するとき， 負荷電力  $P_L$  [kW] 及び最大効率  $\eta_m$  [%] を求めよ。



一次側換算全巻線抵抗： $R$

一次側換算全漏れリアクタンス： $X$

一次側励磁コンダクタンス： $g_0$

一次側励磁サセプタンス： $b_0$

問3 高周波スイッチング直流-直流変換回路のリプルに関して、次の問に答えよ。

図1に定電圧源 $V_i$ と内部抵抗 $R$ からなる電源を入力とし、抵抗 $R_L$ を負荷とした高周波スイッチング直流-直流変換回路を示す。スイッチ $S_1$ の通流率を $D$ とし、スイッチ $S_1$ と $S_2$ はスイッチング周期 $T$ の間にそれぞれ $DT$ と $(1-D)T$ の期間に相補的に導通し、通流率 $D$ を調整して、出力電圧 $v_o$ 及び出力電流 $i_o$ の平均値 $V_o$ と $I_o$ を制御することができる。ただし、これらのスイッチは理想的であり、エネルギー損失なしに瞬時にオンとオフが切り換わるものとする。入力電流 $i_i$ と並列コンデンサ電流 $i_c$ は図中の向きとする。回路はある $D$ において連続的な繰返し状態、すなわち周期定常状態にあるとする。

今、簡単のために直列リアクトル $L$ が十分大きいとして、出力電流 $i_o = I_o$ が一定であるとするとき、電源のリプルについて以下の問に答えよ。以下では、リプルを表す交流成分の表記に記号( ' )を用いる。

(1) 図2にスイッチ $S_1$ を流れる電流 $i_{s1}$ 、及びその交流成分 $i'_{s1}$ の波形を示す。

- a. 電流 $i_{s1}$ の平均値 $I_{s1}$ を求めよ。
- b. 交流成分 $i'_{s1}$ の最大値 $I_{\max}$ と最小値 $I_{\min}$ を求めよ。

(2) 並列コンデンサ $C$ の電圧 $v_c$ の交流成分 $v'_c(t)$ について考える。交流成分 $i'_{s1}$ に対して電圧源 $V_i$ は短絡とみなせるので、交流成分 $v'_c(t)$ について次式の微分方程式が成り立つ。

$$v'_c(t) + RC \frac{dv'_c(t)}{dt} = -Ri'_{s1}(t) = \begin{cases} -RI_{\max} & (0 \leq t < DT) \\ -RI_{\min} & (DT \leq t < T) \end{cases}$$

- a. 答案用紙に図2と同じ図が印刷されているので、 $v'_c(t)$ の概略図を描け。
- b. 交流成分 $v'_c(t)$ の波形が三角波で近似することができる条件を示せ。
- c. 三角波として近似したときのリプル幅 $\Delta v'_c$ は $I_o$ に比例し、 $\Delta v'_c = kI_o$ と表すことができる。比例係数 $k$ を求めよ。

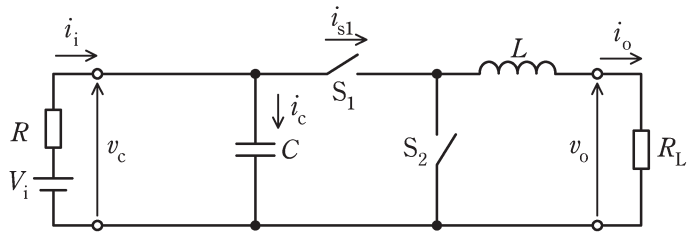


図 1

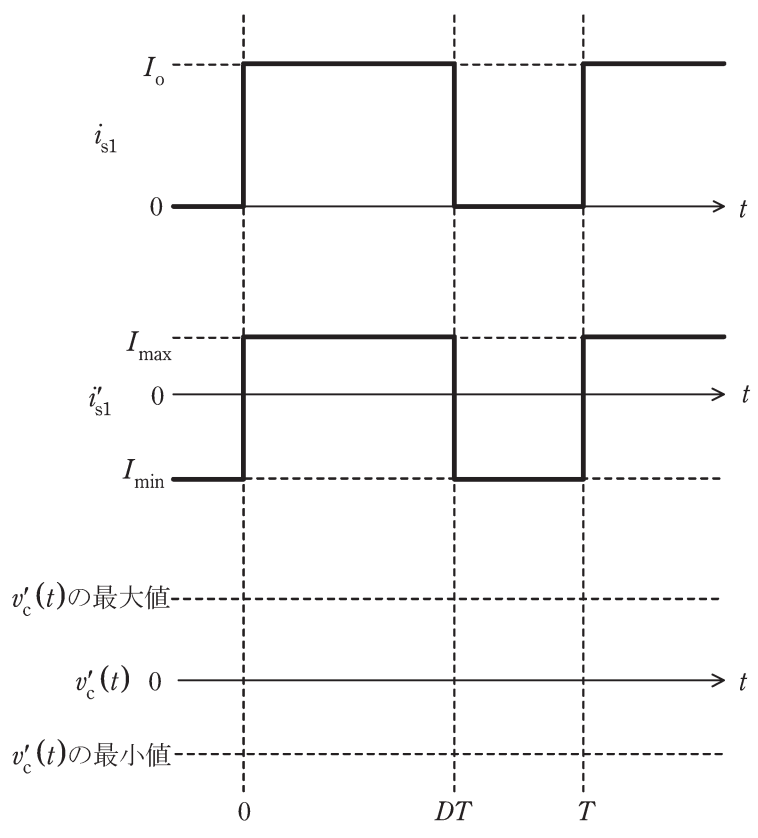


図 2



問4 図1に示すフィードバック制御系において、角周波数 $\omega$ [rad/s]を0から $+\infty$ まで変化させたときの一巡周波数伝達関数 $G(j\omega)H(j\omega)$ のベクトル軌跡が図2であった。ゲイン余裕 $g_m$ は、線分OQの長さを $\overline{OQ}$ で表すとき $g_m = 20 \log_{10} \frac{1}{\overline{OQ}}$  [dB]で与えられる。位相交差角周波数を $\omega_{cp}$ とする。次の問に答えよ。

- (1)  $\overline{OQ}$ を一巡周波数伝達関数 $G(j\omega)H(j\omega)$ を用いて表せ。
- (2)  $g_m = 20$  dB のとき $|G(j\omega)H(j\omega)|$ に成立する条件式を対数関数を用いずに示せ。
- (3)  $G_p(s) = \frac{1}{(1+3s)(1+7s)}$ ,  $G_c(s) = K$ ,  $H(s) = \frac{1}{1+s}$ であるとき,  $\omega_{cp}$ の値を求めよ。ただし,  $K > 0$ とする。
- (4) 小問(3)のとき, ゲイン余裕を20 dBとする $K$ の値を求めよ。
- (5) 小問(3)のとき, 制御系を安定限界とする $K$ の値を求めよ。
- (6) 小問(5)のときの閉ループ系の特性根 $\lambda$ を全て求めよ。

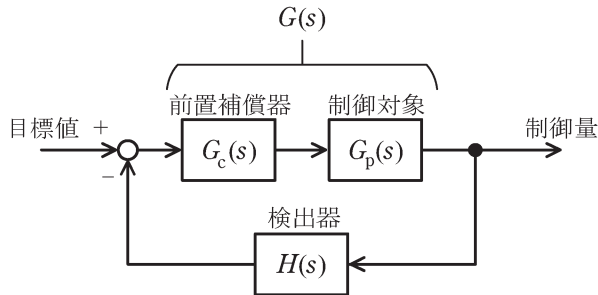


図1

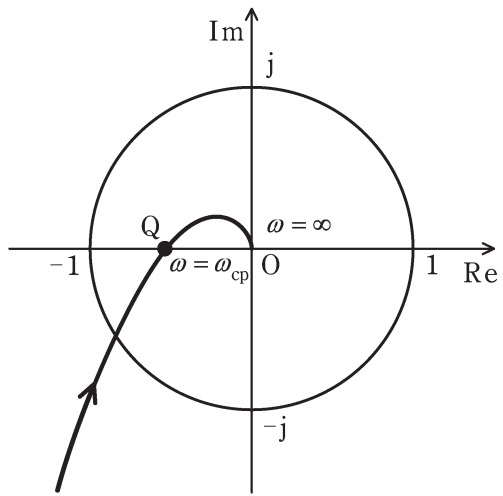


图 2