

令和 7 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

1. 答案用紙（記述用紙）について

- 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。
- 指示がありましたら答案用紙2枚を引き抜き、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。なお、氏名は記入不要です。
- 「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。

- 答案用紙は1問につき1枚です。
- 答案用紙にはページ番号を付しており、(1)～(3)ページに記述します。(4)ページは、図表等の問題に使用するもので、使用する場合は問題文で指定します。

2. 試験問題について

(計算問題) 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。
- 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。
- 答は、問題文で指定がない限り、3桁（4桁目を四捨五入）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) 問題文の要求に従って記入してください。

- 例えば「3つ答えよ。」という要求は、4つ以上答えてはいけません。

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 三相円筒形同期電動機(星形結線)において,

$\dot{E}$ [V]: 無負荷誘導起電力(相電圧),

$\dot{V}$ [V]: 端子電圧(相電圧),

$\dot{I}_a$ [A]: 電機子電流,

X_s [Ω]: 同期リアクタンス,

R_a [Ω]: 電機子巻線抵抗,

ϕ [rad]: 力率角(遅れ),

δ [rad]: 負荷角(内部相差角)

とする。また, $\dot{E}$, $\dot{V}$, $\dot{I}_a$ の実効値を E , V , I_a とし, 同期インピーダンスを

$Z_s = \sqrt{X_s^2 + R_a^2}$ [Ω], その角を $\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{X_s}{R_a} \right)$ [rad] とする。ただし, 鉄損, 漂遊負

荷損, 機械損は無視する。

(1) 機械的出力 P_{out1} [W] を E , V , X_s , δ を用いて示せ。ただし, 電機子巻線抵抗 R_a は無視する。

(2) 電動機の出力軸をある負荷に接続し, $V = V_0$ で運転したとき, 負荷角は

$\delta_0 = \frac{\pi}{6}$ rad であった。周波数を一定のまま, V を徐々に低下すると, $V < V_1$ で

脱調した。このときの V_1 を示せ。ただし, 励磁電流は一定とし, 電機子巻線抵抗 R_a を無視する。

(3) 電機子巻線抵抗 R_a を考慮した場合に, この電動機を遅れ力率で運転しているときのフェーザ図を描いて, 図中に $\dot{E}$, $\dot{V}$, $\dot{I}_a$, $jX_s\dot{I}_a$, $R_a\dot{I}_a$, ϕ , δ を示せ。

(4) 電機子巻線抵抗 R_a を考慮した場合に, 電動機の機械的出力 P_{out2} [W] を E , V , δ , Z_s , α を用いて示せ。

(5) 小問(4)において, 機械的出力 P_{out2} を最大とする δ を示すとともに, その際の P_{out2} を示せ。

問2 定格出力 3.7kW，定格電圧 200V，定格周波数 50Hz の 4 極かご形三相誘導電動機がある。この電動機に関して，次の問に答えよ。ただし，星形一相の L 型等価回路において励磁回路は無視し，抵抗値[Ω]及びリアクタンス値[Ω]は次のとおりとする。なお，機械損は無視するものとする。

$$\text{一次抵抗 } r_1 = 0.33 \, \Omega, \quad \text{一次漏れリアクタンス } x_1 = 0.63 \, \Omega$$

$$\text{二次抵抗 } r'_2 = 0.33 \, \Omega, \quad \text{二次漏れリアクタンス } x'_2 = 0.63 \, \Omega$$

ここで， r'_2 ， x'_2 はいずれも一次換算値である。

- (1) 定格電圧，滑り 3 % で運転しているときの一次換算二次電流[A]を求めよ。
- (2) そのときの出力[kW]を求めよ。
- (3) そのときのトルク[N・m]を求めよ。
- (4) この電動機の端子電圧を定格の 80 % に下げた場合に，上記(3)で得られたトルクと同一トルクが発生しているときの滑り[%]を求めよ。

問3 昇圧チョップの動作モードに関して、次の問に答えよ。

図1は昇圧チョップの基本回路であり、一定電圧 E の直流電源、インダクタンス L のリアクトル、静電容量 C のコンデンサ、理想ダイオード D 、スイッチ S から構成される。抵抗 R は負荷抵抗を表す。静電容量 C は十分に大きく、出力電圧 E_o のリプルは無視できる。リアクトル電流と電圧をそれぞれ i_L と v_L 、 D の逆電圧を e_D とする。図2は昇圧チョップ回路の各部の電圧電流波形を示し、横軸は時間である。 d は S のスイッチング周期 T に対するオン期間 T_{ON} の比であり、

$d = \frac{T_{ON}}{T}$ である。図1の回路は d を一定で駆動される。

図2(a)は i_L が連続する電流連続動作モードの場合である。 S がオンすると i_L は直線的に増加し、 S がオフすると i_L は直線的に減少する。 I_L は i_L の平均値である。

(1) S のオン期間中及びオフ期間中の i_L の傾きを求めよ。

(2) E_o を E と d を用いて表せ。

図2(b)は電流連続動作モードと i_L が断続する電流断続動作モードの境界の臨界モードの場合であり、 i_L の最大値は平均値 I_L の2倍である。

(3) I_L を E 、 L 、 d 、 T を用いて表せ。

(4) 直流電源からの入力電力と負荷抵抗での消費電力が等しいことを用いて、臨界モードとなる R を L 、 d 、 T を用いて表せ。

図2(c)は電流断続動作モードの場合であり、 i_L のみが描かれている。

(5) 図2(c)と同じものが答案用紙に描かれているので、このときの e_D と v_L の概形を答案用紙に太い線で明確に描け。

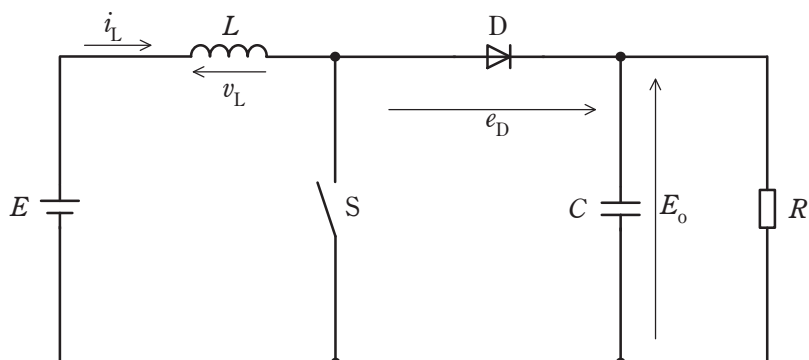


図 1 昇圧チョッパの基本回路

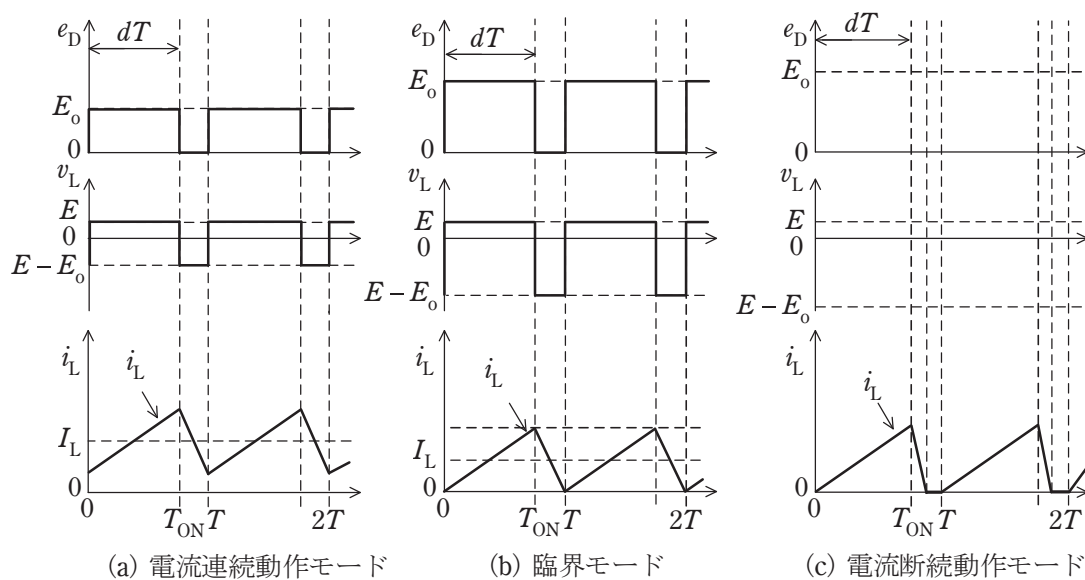


図 2 昇圧チョッパ回路の電圧電流波形

問4 図1のブロック線図は制御対象、図2のブロック線図はフィードフォワード・フィードバック制御器を表している。

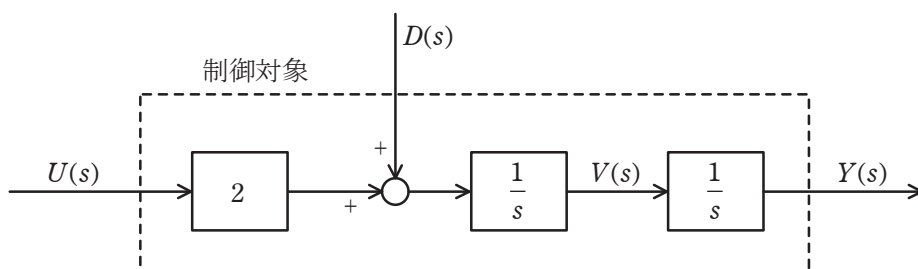


図1 制御対象のブロック線図

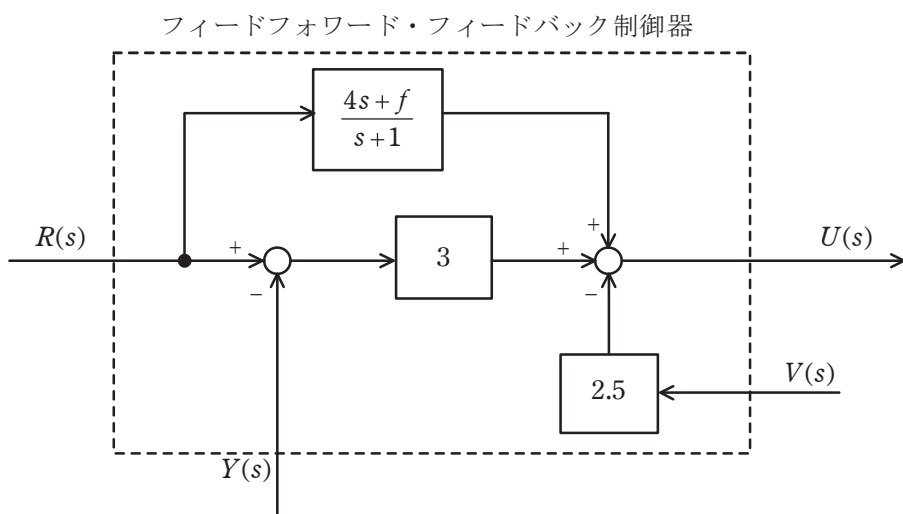


図2 フィードフォワード・フィードバック制御器のブロック線図

なお、 $R(s)$ は目標信号、 $Y(s)$ は制御量、 $V(s)$ は制御量の変化率(微分)を表す量、 $U(s)$ は操作量、 $D(s)$ は外乱である。図1の $\frac{1}{s}$ は積分器、 $\frac{4s+f}{s+1}$ の f は実数パラメータである。このとき、以下の問に答えよ。ただし、伝達関数で答える場合は、分母多項式、分子多項式は s の降べきの順で表し、分母多項式の最高次係数は1とする。また、伝達関数の分母多項式と分子多項式に共通因子があればそれらは消去する。

- (1) 図 1 のブロック線図が表す信号間の関係から $Y(s)$ を $U(s)$, $D(s)$ を用いて表せ。また, $V(s)$ を $Y(s)$ を用いて表せ。
- (2) (1) で求めた $V(s)$ と $Y(s)$ の関係および図 2 のブロック線図が表す信号間の関係を用いて $U(s)$ を $R(s)$, $Y(s)$ を用いて表せ。
- (3) (1), (2) を用いて $R(s)$ から $Y(s)$ への閉ループ伝達関数 $T_1(s)$ および $D(s)$ から $Y(s)$ への閉ループ伝達関数 $T_2(s)$ を求めよ。
- (4) 伝達関数 $T_2(s)$ に対して角周波数 1 rad/s の正弦波信号が加わったときのゲインを求めよ。ただし, $\sqrt{2}=1.41$ とする。
- (5) $R(s)$ および $D(s)$ は単位ステップ信号, すなわち $\mathcal{L}^{-1}[R(s)]=\mathcal{L}^{-1}[D(s)]=1$ とする。このとき, 制御量 $Y(s)$ の逆ラプラス変換 $y(t)=\mathcal{L}^{-1}[Y(s)]$ の定常値が 1, すなわち $y(\infty)=1$ となるように f の値を定めよ。