電験二種　オンライン講座

R07 機械制御

2025.11.23 Sun

R07 問1

問1　三相円筒形同期電動機を遅れ力率で運転する場合に関して，次の問に答えよ。ただし，単位法の基準は電動機の定格容量及び定格電圧とし，電動機の損失は無視するものとする。

(1)　この電動機の同期リアクタンスを X_s [p.u.]，端子電圧(相電圧)を V [p.u.]，無負荷誘導起電力を E [p.u.]，電機子電流を I [p.u.]，力率角を θ [rad]，負荷角を δ [rad]として，そのフェーザ図は次ページの図のようになった。このフェーザ図中の(a)，(b)，(c)，(d)，(e)，(f)に当てはまる記号を答えよ。(解答例(a) $\dot{I}$，(b) $\dot{V}$，(c) $\mathrm{j}X_s\dot{I}$，・・・)

(2)　フェーザ図から E を，V，θ，I，X_s で表す式を導出せよ。

(3)　小問(2)で求めた式から，電動機が定格力率=0.8，X_s =2.0 p.u. である場合の定格運転時の E の値を求めよ。

(4)　フェーザ図から X_sI を E，V，及び $\cos\delta$ で表す式を導出せよ。

(5)　この電動機を同期調相機として運転する場合に次の問に答えよ。ただし，このときの端子電圧は定格電圧一定とする。

a)　小問(4)で求めた式から，I を E と X_s で表す式を求めよ。

b)　小問(5) a)で求めた式は，界磁電流を調整して E を変化させたときの I の値を示すグラフを表し，これは同期調相機のV曲線に相当する。このグラフにおいて，I が最小値のときの E の値を求めよ。

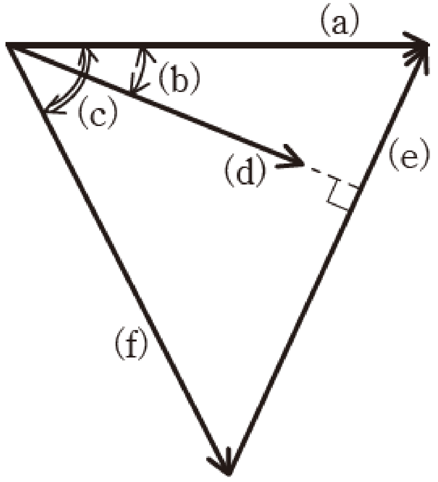
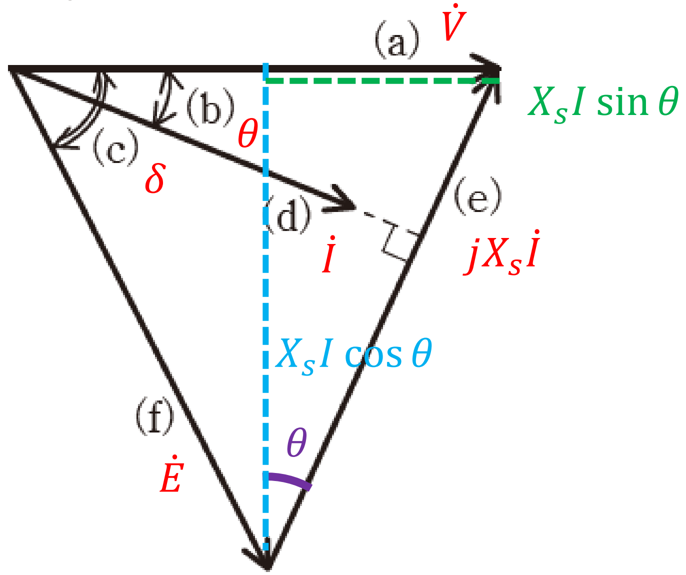


図　同期電動機のフェーザ図

R07 問1

問1　三相円筒形同期電動機を遅れ力率で運転する場合に関して，次の問に答えよ。ただし，単位法の基準は電動機の定格容量及び定格電圧とし，電動機の損失は無視するものとする。

(1)　この電動機の同期リアクタンスを X_s [p.u.]，端子電圧(相電圧)を V [p.u.]，無負荷誘導起電力を E [p.u.]，電機子電流を I [p.u.]，力率角を θ [rad]，負荷角を δ [rad]として，そのフェーザ図は次ページの図のようになった。このフェーザ図中の(a)，(b)，(c)，(d)，(e)，(f)に当てはまる記号を答えよ。(解答例(a) $\dot{I}$，(b) $\dot{V}$，(c) $\mathrm{j}X_s\dot{I}$，・・・)



(2)　フェーザ図から E を，V，θ，I，X_s で表す式を導出せよ。

$$E = \sqrt{(X_sI\cos\theta)^2 + (V - X_sI\sin\theta)^2}$$
$$= \sqrt{X_s^2I^2\cos^2\theta + V^2 - 2VX_sI\sin\theta + X_s^2I^2\sin^2\theta}$$
$$= \sqrt{V^2 + X_s^2I^2 - 2VX_sI\sin\theta}$$

(3)　小問(2)で求めた式から，電動機が定格力率=0.8，X_s =2.0 p.u. である場合の定格運転時の E の値を求めよ。

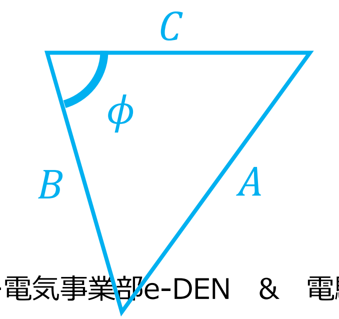
定格運転をしているので、 $V = 1\ \mathrm{p.u.}$　$I = 1\ \mathrm{p.u.}$

定格力率 $\cos\theta = 0.8$ **より、** $\sin\theta = \sqrt{1-\cos^2\theta} = \sqrt{1-0.8^2} = 0.6$

$$E = \sqrt{V^2 + X_s^2I^2 - 2VX_sI\sin\theta} = \sqrt{1^2 + 2^2\cdot 1^2 - 2\cdot 1\cdot 2\cdot 0.6}$$
$$E = 1.6125 \sim 1.61$$

(4)　フェーザ図から X_sI を E，V，及び $\cos\delta$ で表す式を導出せよ。

余弦定理 $A^2 = B^2 + C^2 - 2BC\cos\phi$ **より**



$$X_s^2I^2 = E^2 + V^2 - 2VE\cos\delta$$
$$\rightarrow X_sI = \sqrt{E^2 + V^2 - 2VE\cos\delta}$$

R07 問1

問１　三相円筒形同期電動機を遅れ力率で運転する場合に関して，次の問に答えよ。ただし，単位法の基準は電動機の定格容量及び定格電圧とし，電動機の損失は無視するものとする。

(5)　この電動機を同期調相機として運転する場合に次の問に答えよ。ただし，このときの端子電圧は定格電圧一定とする。

a)　小問(4)で求めた式から，I を E と X_s で表す式を求めよ。

端子電圧は定格電圧なので、 $V=1\ \mathrm{p.u.}$

同期調相機は無効電力を調整するために用いられる。
負担する有効電力は0なので、負荷角δは0。

$$P=\frac{VE}{X_s}\sin\delta=0\ \rightarrow \sin\delta=0\ \rightarrow \delta=0$$

$$I=\frac{\sqrt{E^2+V^2-2VE\cos\delta}}{X_s}=\frac{\sqrt{E^2+1^2-2E\cdot1\cdot\cos 0}}{X_s}$$
$$=\frac{\sqrt{E^2-2E+1}}{X_s}=\frac{\sqrt{(E-1)^2}}{X_s}=\frac{E-1}{X_s}$$

b)　小問(5) a)で求めた式は，界磁電流を調整して E を変化させたときの I の値を示すグラフを表し，これは同期調相機のV曲線に相当する。このグラフにおいて，I が最小値のときの E の値を求めよ。

$$I=\frac{E-1}{X_s}$$ $\rightarrow E=1$**のとき電流**I **は最小となる**

R07　問2

問２　定格出力 22 kW，定格周波数 60 Hz，6 極の三相かご形誘導電動機があり，定格回転速度が 1158 $\mathrm{min^{-1}}$，定格運転時の効率が 87.5 %である。この誘導電動機に関して，次の問に答えよ。

ただし，負荷損は銅損のみとし，一次銅損と二次銅損は常に等しいものとする。また，機械損は無視する。

(1) 定格出力のときの滑り s_1 [%]及び定格トルク T_1 [N·m]をそれぞれ求めよ。

(2) 定格出力のときの二次銅損 P_{c2} [W]及び固定損 P_f [W]をそれぞれ求めよ。

(3) 出力トルクが定格トルクの 50%のときの回転速度 N_2 [$\mathrm{min^{-1}}$]及び出力 P_2 [W]をそれぞれ求めよ。ただし，滑りとトルクが比例するものとする。

R07 問2

問２　定格出力 22 kW，定格周波数 60 Hz，6 極の三相かご形誘導電動機があり，定格回転速度が 1158 min^{-1}，定格運転時の効率が 87.5 % である。この誘導電動機に関して，次の問に答えよ。

ただし，負荷損は銅損のみとし，一次銅損と二次銅損は常に等しいものとする。また，機械損は無視する。

(1) 定格出力のときの滑り s_1 [%] 及び定格トルク T_1 [N·m] をそれぞれ求めよ。

同期速度N_s

$$N_s = \frac{120f}{p} = \frac{120 \times 60}{6} = 1200\ \mathrm{min^{-1}}$$

すべりs_1

$$s_1 = \frac{N_s - N_1}{N_s} = \frac{1200 - 1158}{1200} = 0.035 \to 3.5\ \%$$

トルクT_1

$$T_1 = \frac{P}{\omega} = \frac{22 \times 10^3}{2\pi \times \frac{1158}{60}} = 181.420 \sim 181\ \mathrm{N \cdot m}$$

(2) 定格出力のときの二次銅損 P_{c2} [W] 及び固定損 P_f [W] をそれぞれ求めよ。

二次側電力の比　$P_2 : P_{c2} : P_m = 1 : s : 1 - s$

$$P_{c2} = \frac{s}{1-s} P_m = \frac{0.035}{1 - 0.035} \times 22000 = 797.93 \sim 798\ \mathrm{W}$$

誘導機の効率の式

$$\eta = \frac{P_m}{P_m + P_{c1} + P_{c2} + P_f} \to P_m + P_{c1} + P_{c2} + P_f = \frac{P_m}{\eta}$$

$$\to P_f = \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) P_m - P_{c1} - P_{c2}$$

$$= \left(\frac{1}{0.875} - 1\right) \times 22000 - 797.93 - 797.93 = 1547.0\ \mathrm{W}$$

$$P_f \sim 1550\ \mathrm{W}$$

(3) 出力トルクが定格トルクの 50% のときの回転速度 N_2 [min^{-1}] 及び出力 P_2 [W] をそれぞれ求めよ。ただし，滑りとトルクが比例するものとする。

トルクT_2

$$T_2 = \frac{T_1}{2} = \frac{181.420}{2} = 90.710\ \mathrm{N \cdot m}$$

すべりはトルクに比例するので

$$s_2 = \frac{s_1}{2} = \frac{0.035}{2} = 0.0175$$

$$N_2 = (1 - s_2) N_s = (1 - 0.0175) \times 1200 = 1179\ \mathrm{min^{-1}}$$

$$P_2 = \omega_2 T_2 = 2\pi \frac{N_2}{60} T_2 = 2\pi \times \frac{1179}{60} \times 90.710 = 11199\ \mathrm{W}$$

$$P_2 \sim 11.2\ \mathrm{kW}$$

R07 問3

問３　図１に単相ダイオードブリッジ整流回路を示す。電源は，実効値 100 V，周波数 50 Hz の単相交流電圧源である。負荷抵抗 R=10 Ωとして，次の問に答えよ。ただし，すべての回路素子は理想的で，回路は周期定常状態にあるものとする。

(1)　図 1 に示す回路の端子 A と端子 B の間にリアクトル L を接続した場合を考える。このリアクトル L のインダクタンスは十分に大きく，リアクトル L を流れる電流 $i_o(t) = I_o$ は一定とする。答案用紙に図 2 と同じ図が描かれているので，ダイオード D1 に流れる電流 $i_{D1}(t)$ を図示せよ。答案用紙には太い線で明確に描け。なお，同図には電源電圧 $e(t)$ が破線で，I_o と $-I_o$ が点線で示してある。

(2)　小問 (1) において，リアクトル L の両端電圧の平均値 V_L を求めよ。

(3)　小問 (2) の結果を考慮して，負荷抵抗 R の両端電圧 $v_o(t)$ の平均値 V_o を求めよ。

(4)　図 1 に示す回路の端子 A と端子 B を短絡し，端子 B と端子 C の間にコンデンサ C を接続した場合を考える。このとき，コンデンサに流れる電流の平均値 I_c を求めよ。

(5)　小問 (4) のコンデンサの静電容量は十分に大きく，両端電圧の変動は無視できるとして，負荷抵抗 R に流れる電流 $i_o(t)$ の平均値 I_o を求めよ。

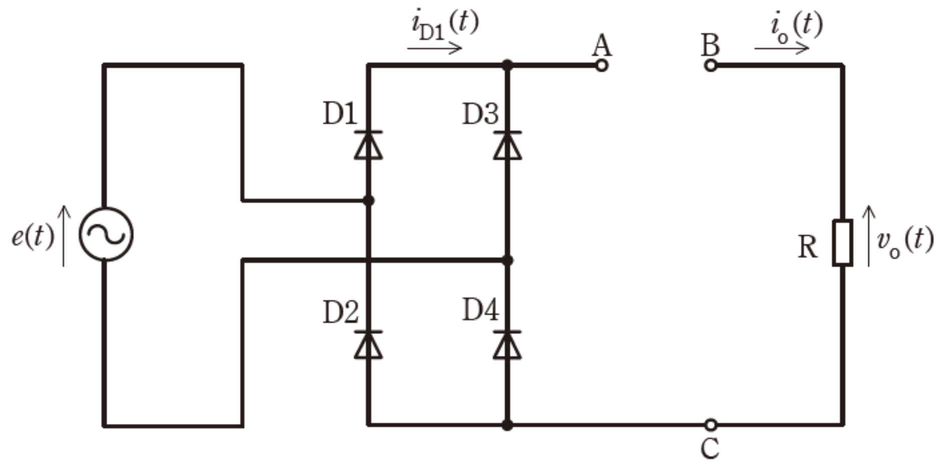


図1 単相ダイオードブリッジ整流回路

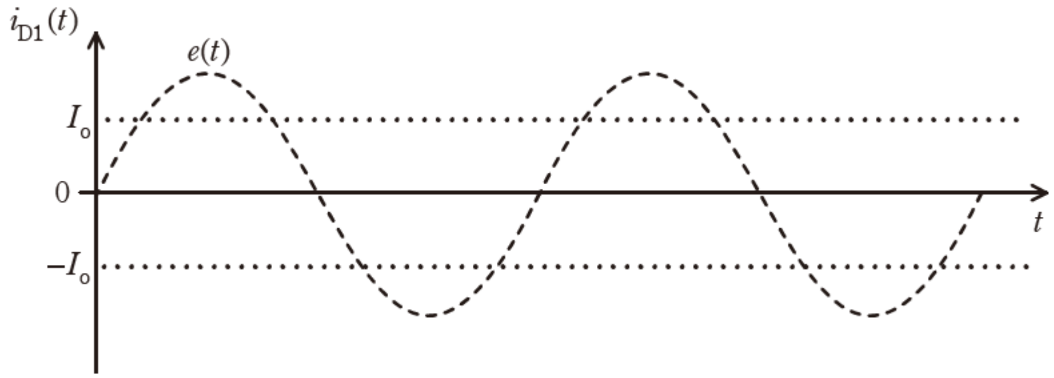


図2 電流波形及び電源電圧波形

(6)　小問 (5) の負荷抵抗 R の平均消費電力 P_{OC} は，小問 (1) で用いた回路での負荷抵抗 R の平均消費電力 P_{OL} の何倍か。

R07 問3

問３　図１に単相ダイオードブリッジ整流回路を示す。電源は，実効値 100 V，周波数 50 Hz の単相交流電圧源である。負荷抵抗 R=10 Ωとして，次の問に答えよ。ただし，すべての回路素子は理想的で，回路は周期定常状態にあるものとする。

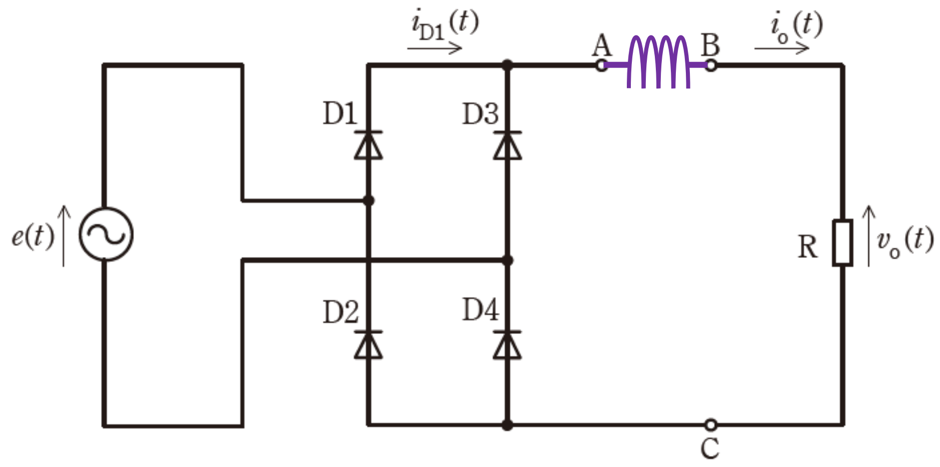


図1 単相ダイオードブリッジ整流回路

(1) 図１に示す回路の端子 A と端子 B の間にリアクトル L を接続した場合を考える。このリアクトル L のインダクタンスは十分に大きく，リアクトル L を流れる電流 $i_o(t)=I_o$ は一定とする。答案用紙に図２と同じ図が描かれているので，ダイオード D1 に流れる電流 $i_{D1}(t)$ を図示せよ。答案用紙には太い線で明確に描け。なお，同図には電源電圧 $e(t)$ が破線で，I_o と $-I_o$ が点線で示してある。

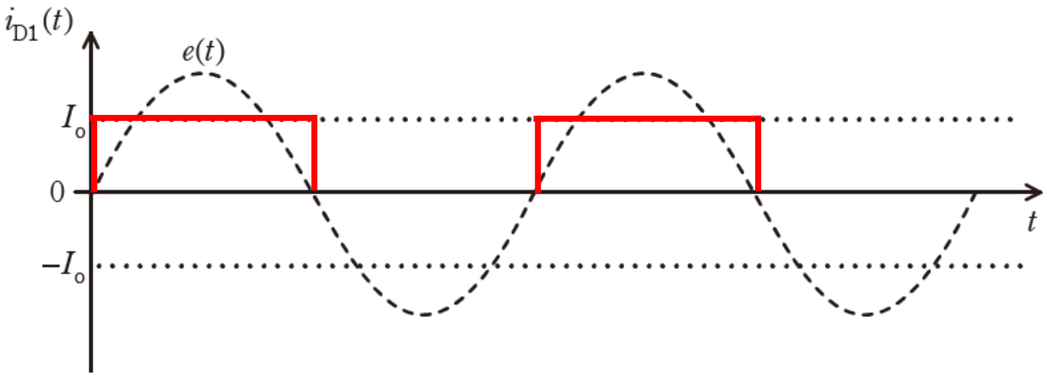


図2 電流波形及び電源電圧波形

(2) 小問(1)において，リアクトル L の両端電圧の平均値 V_L を求めよ。

ファラデーの法則より

$$V_L = L\frac{\mathrm{d}i_0}{\mathrm{d}t} = L \times 0 = 0\ \mathrm{V}$$

(3) 小問(2)の結果を考慮して，負荷抵抗 R の両端電圧 $v_o(t)$ の平均値 V_o を求めよ。

$$e_0(t) = v_L(t) + v_0(t) \ \rightarrow E_{ave} = 0 + V_0$$

$$V_0 = -\frac{2\sqrt{2}}{T\pi}[\cos 50\pi T - \cos 0] \rightarrow T = \frac{1}{50}\text{より}$$

$$V_0 = E_{ave} = \frac{1}{T/2}\int_0^{T/2} 100\sqrt{2}\sin 100\pi t\,\mathrm{d}t = -\frac{200\sqrt{2}}{T}\frac{1}{100\pi}[\cos 100\pi t]_0^{T/2}$$

$$V_0 = \frac{200\sqrt{2}}{\pi} = 90.031 \sim 90.0\ \mathrm{V}$$

R07 問3

問３　図１に単相ダイオードブリッジ整流回路を示す。電源は，実効値 100 V，周波数 50 Hz の単相交流電圧源である。負荷抵抗 R=10 Ωとして，次の問に答えよ。ただし，すべての回路素子は理想的で，回路は周期定常状態にあるものとする。

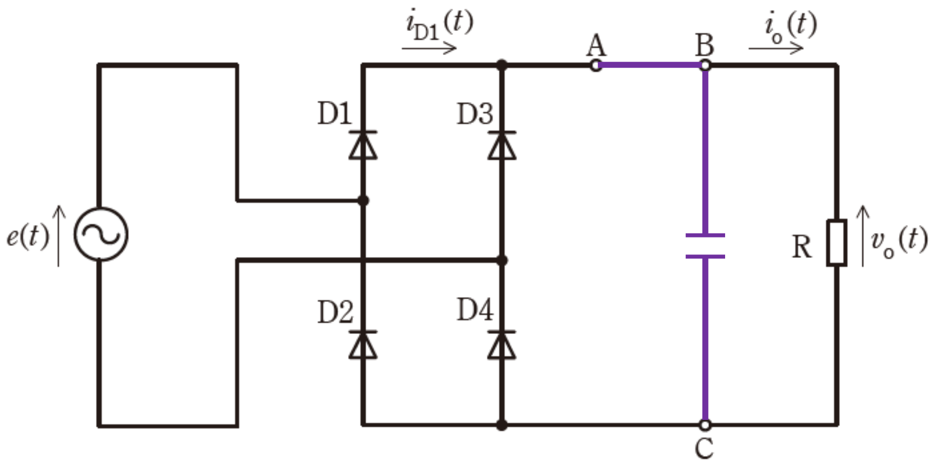


図1 単相ダイオードブリッジ整流回路

(4) 図１に示す回路の端子 A と端子 B を短絡し，端子 B と端子 C の間にコンデンサ C を接続した場合を考える。このとき，コンデンサに流れる電流の平均値 I_c を求めよ。

コンデンサで蓄えられた静電エネルギーは抵抗で消費されるため、電荷の収支は0となる。
したがって、電流の平均値も０となる。

$$I_c = 0\ \mathrm{A}$$

$$V_0 = \frac{200\sqrt{2}}{\pi} = 90.031 \sim 90.0\ \mathrm{V}$$

(5) 小問 (4) のコンデンサの静電容量は十分に大きく，両端電圧の変動は無視できるとして，負荷抵抗 R に流れる電流 $i_o(t)$ の平均値 I_o を求めよ。

静電容量が一定の場合、コンデンサの電圧は一定となり、

$$V_0' = 100\sqrt{2}\ \mathrm{V}$$

$$I_0' = \frac{V_0'}{R} = \frac{100\sqrt{2}}{10} = 10\sqrt{2} = 14.142 \sim 14.1\ \mathrm{A}$$

(6) 小問 (5) の負荷抵抗 R の平均消費電力 P_{OC} は，小問 (1) で用いた回路での負荷抵抗 R の平均消費電力 P_{OL} の何倍か。

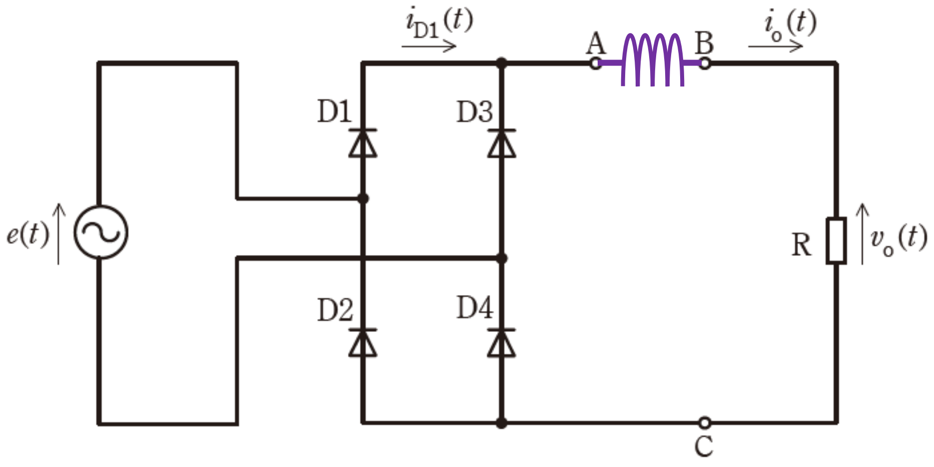
$$I_0 = \frac{E_{ave}}{R} = \frac{90.031}{10} = 9.0031\ \mathrm{A} \qquad P_{OL} = RI_0^2$$

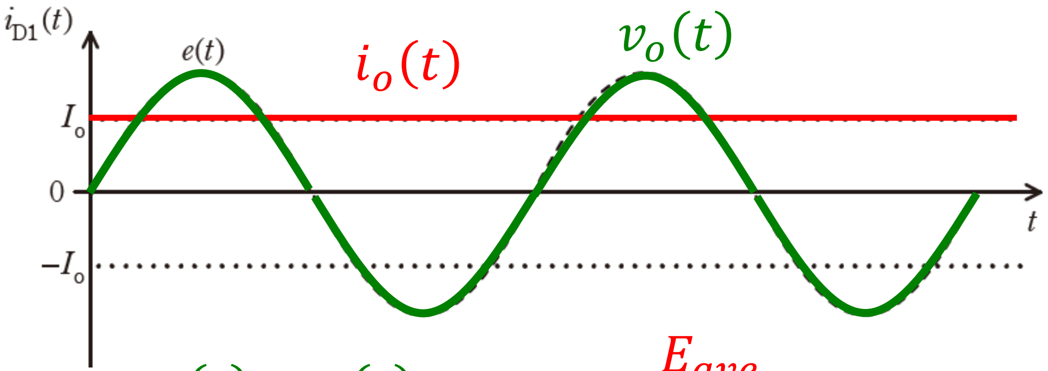
$$P_{OC} = RI_0'^2$$

$$\frac{P_{OC}}{P_{OL}} = \frac{RI_0'^2}{RI_0^2} = \frac{(14.142)^2}{(9.0031)^2} = 2.4674 \sim 2.47\ 倍$$

R07 問3

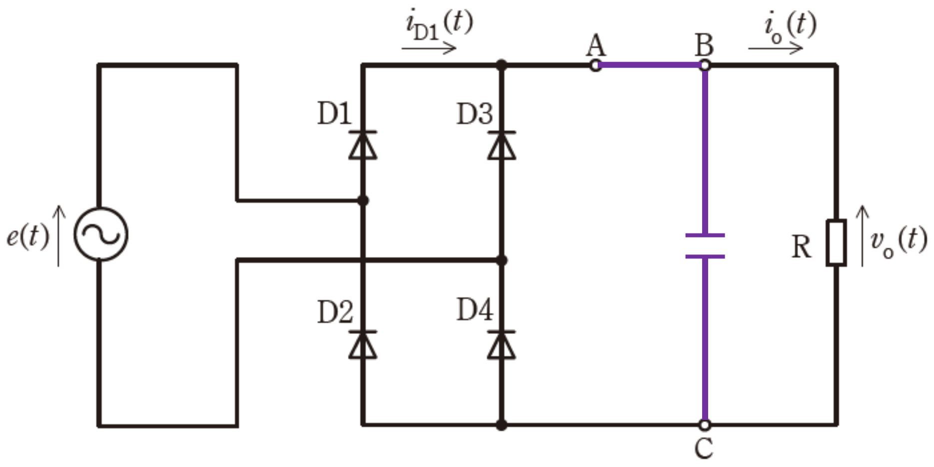
コイルが電流を一定に保つ

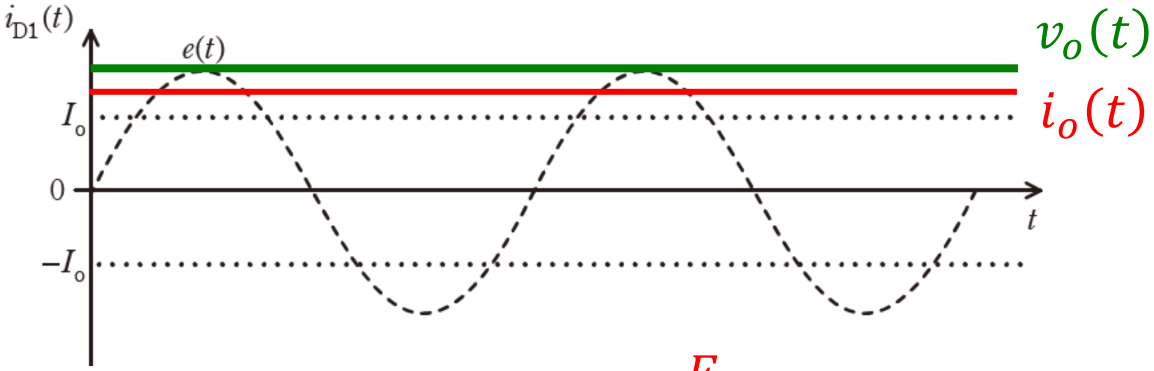




$$v_o(t) = e(t) \qquad i_o(t) = \frac{E_{ave}}{R}$$

コンデンサが電圧を一定に保つ





$$v_o(t) = E_{max} \qquad i_o(t) = \frac{E_{max}}{R}$$

R07 問4

問４　図はフィードバック制御系の基本構成を示し，$G_c(s)$ は補償器の伝達関数，$G_p(s)$ は制御対象の伝達関数を表わしている。また，$R(s)$，$E(s)$，$Y(s)$ は，目標信号 $r(t)$，偏差信号 $e(t)$，制御量 $y(t)$ をそれぞれラプラス変換したものである。

$G_c(s)=\dfrac{2s+4}{s}$，$G_p(s)=\dfrac{1}{s+3}$ として，次の問に答えよ。

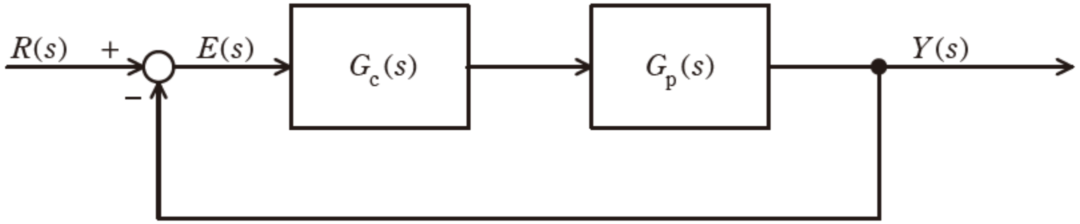


図　フィードバック制御系のブロック線図

(1)　$R(s)$ から $E(s)$ までの伝達関数 $G_e(s)$ を求めよ。

(2)　目標信号として大きさ a のステップ信号，$r(t)=\begin{cases}0\ (t<0)\\ a\ (t\geqq 0)\end{cases}$ を入力したときの定常偏差を求めよ。

(3)　目標信号として傾き b のランプ信号，$r(t)=\begin{cases}0\ (t<0)\\ bt\ (t\geqq 0)\end{cases}$ を入力したときの定常偏差を求めよ。

(4)　$R(s)$ から $Y(s)$ までの伝達関数 $G_y(s)$ を求め，$G_y(s)$ のインパルス応答 $g_y(t)$，$t>0$ を求めよ。

(5)　目標信号として $r(t)=\begin{cases}0\ (t<0)\\ 1\ (t\geqq 0)\end{cases}$ を入力したとき，時刻 $t=1$ の制御量 $y(1)$ を求めよ。なお，自然対数の底 e に対して $\mathrm{e}^{-1}=3.679\times10^{-1}$ とする。

R07 問4

問４　図はフィードバック制御系の基本構成を示し，$G_c(s)$ は補償器の伝達関数，$G_p(s)$ は制御対象の伝達関数を表わしている。また，$R(s)$，$E(s)$，$Y(s)$ は，目標信号 $r(t)$，偏差信号 $e(t)$，制御量 $y(t)$ をそれぞれラプラス変換したものである。

$G_c(s)=\dfrac{2s+4}{s}$，　$G_p(s)=\dfrac{1}{s+3}$ として，次の問に答えよ。

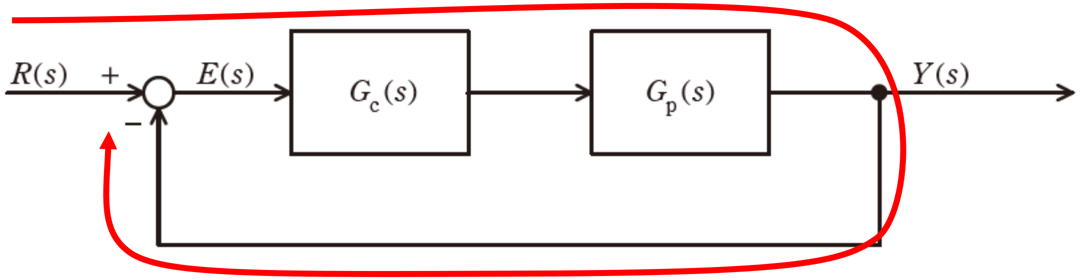


図　フィードバック制御系のブロック線図

(1)　$R(s)$ から $E(s)$ までの伝達関数 $G_e(s)$ を求めよ。

$$E(s)=R(s)-Y(s) \qquad Y(s)=G_c(s)G_p(s)E(s)$$

$$E(s)=R(s)-G_c(s)G_p(s)E(s) \rightarrow E(s)=\frac{1}{1+G_c(s)G_p(s)}R(s)$$

$$G_e(s)=\frac{E(s)}{R(s)}=\frac{1}{1+G_c(s)G_p(s)}=\frac{1}{1+\frac{2s+4}{s}\cdot\frac{1}{s+3}}=\frac{s(s+3)}{s(s+3)+2s+4}=\frac{s(s+3)}{s^2+5s+4}$$

(2)　目標信号として大きさ a のステップ信号，$r(t)=\begin{cases}0\ (t<0)\\ a\ (t\geqq 0)\end{cases}$ を入力したときの定常偏差を求めよ。

大きさaのステップ入力 → $R(s)=\dfrac{a}{s}$

$$E(s)=G_e(s)R(s)=\frac{s(s+3)}{s^2+5s+4}\cdot\frac{a}{s}=\frac{a(s+3)}{s^2+5s+4}$$

最終値の定理

$f(\infty)\ \rightarrow \lim_{s\to 0} sF(s)$

$$e=\lim_{s\to 0} s\frac{a(s+3)}{s^2+5s+4}=0\cdot\frac{a(0+3)}{0^2+0\cdot s+4}=0$$

(3)　目標信号として傾き b のランプ信号，$r(t)=\begin{cases}0\ (t<0)\\ bt\ (t\geqq 0)\end{cases}$ を入力したときの定常偏差を求めよ。

傾きbのランプ入力 → $R(s)=\dfrac{b}{s^2}$

$$E_v(s)=G_e(s)R(s)=\frac{s(s+3)}{s^2+5s+4}\cdot\frac{b}{s^2}=\frac{(s+3)}{s^2+5s+4}\cdot\frac{b}{s}$$

最終値の定理より

$$e_v=\lim_{s\to 0} s\frac{(s+3)}{s^2+5s+4}\cdot\frac{b}{s}=\frac{b(0+3)}{0^2+0\cdot s+4}=\frac{3b}{4}$$

R07 問4

問４　図はフィードバック制御系の基本構成を示し，$G_c(s)$ は補償器の伝達関数，$G_p(s)$ は制御対象の伝達関数を表わしている。また，$R(s)$，$E(s)$，$Y(s)$ は，目標信号 $r(t)$，偏差信号 $e(t)$，制御量 $y(t)$ をそれぞれラプラス変換したものである。

$G_c(s)=\dfrac{2s+4}{s}$，$G_p(s)=\dfrac{1}{s+3}$ として，次の問に答えよ。

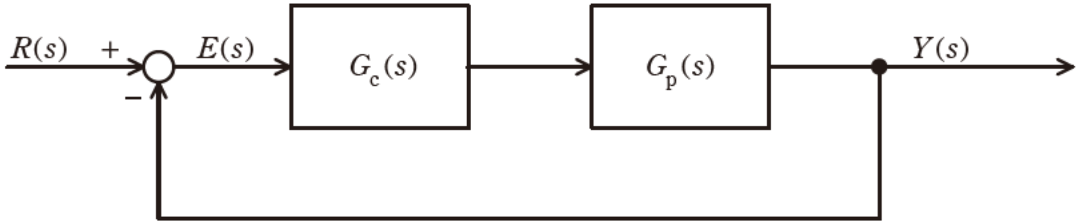


図　フィードバック制御系のブロック線図

(4)　$R(s)$ から $Y(s)$ までの伝達関数 $G_y(s)$ を求め，$G_y(s)$ のインパルス応答 $g_y(t)$，$t>0$ を求めよ。

$$G_y(s)=\frac{G_c(s)G_p(s)}{1+G_c(s)G_p(s)}=\frac{\frac{2s+4}{s}\cdot\frac{1}{s+3}}{1+\frac{2s+4}{s}\cdot\frac{1}{s+3}}$$

$$=\frac{2s+4}{s(s+3)+2s+4}=\frac{2s+4}{s^2+5s+4}$$

$$G_y(s)=\frac{2s+4}{s^2+5s+4}=\underbrace{\frac{2s+4}{(s+1)(s+4)}}_{F(s)}=\frac{A}{s+1}+\frac{B}{s+4}$$

ヘビサイドの展開定理より

$$A=\lim_{s\to-1}(s+1)F(s)=\lim_{s\to-1}\frac{2s+4}{s+4}=\frac{2}{3}\to A=\frac{2}{3}$$

$$B=\lim_{s\to-4}(s+4)F(s)=\lim_{s\to-4}\frac{2s+4}{s+1}=\frac{-4}{-3}\to B=\frac{4}{3}$$

$$G_y(s)=\frac{2}{3}\left(\frac{1}{s+1}+\frac{2}{s+4}\right)\xrightarrow[\text{変換}]{\text{逆ラプラス}}g_y(t)=\frac{2}{3}\mathrm{e}^{-t}+\frac{4}{3}\mathrm{e}^{-4t}$$

R07 問4

問４　図はフィードバック制御系の基本構成を示し，$G_c(s)$ は補償器の伝達関数，$G_p(s)$ は制御対象の伝達関数を表わしている。また，$R(s)$，$E(s)$，$Y(s)$ は，目標信号 $r(t)$，偏差信号 $e(t)$，制御量 $y(t)$ をそれぞれラプラス変換したものである。

$G_c(s)=\dfrac{2s+4}{s}$，　$G_p(s)=\dfrac{1}{s+3}$ として，次の問に答えよ。

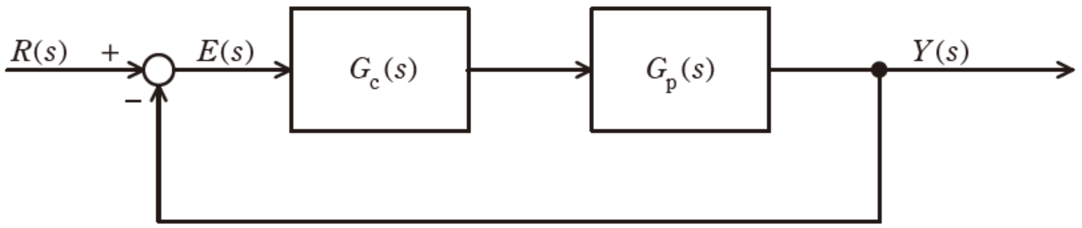


図　フィードバック制御系のブロック線図

(5)　目標信号として $r(t)=\begin{cases}0\ (t<0)\\1\ (t\geqq 0)\end{cases}$ を入力したとき，時刻 $t=1$ の制御量 $y(1)$ を求めよ。なお，自然対数の底 e に対して $\mathrm{e}^{-1}=3.679\times10^{-1}$ とする。

$$Y(s)=G_y(s)U(s)=\underbrace{\frac{2s+4}{(s+1)(s+4)}}_{F(s)}\cdot\frac{1}{s}=\frac{A}{s}+\frac{B}{s+1}+\frac{C}{s+4}$$

ヘビサイドの展開定理より

$$A=\lim_{s\to0}sF(s)=\lim_{s\to0}\frac{2s+4}{(s+1)(s+4)}=\frac{4}{4}\to A=1$$

$$B=\lim_{s\to-1}(s+1)F(s)=\lim_{s\to-1}\frac{2s+4}{s(s+4)}=\frac{2}{-3}\to B=-\frac{2}{3}$$

$$C=\lim_{s\to-4}(s+4)F(s)=\lim_{s\to-4}\frac{2s+4}{s(s+1)}=\frac{-4}{12}\to C=-\frac{1}{3}$$

$$Y(s)=\frac{1}{s}-\frac{2}{3}\frac{1}{s+1}-\frac{1}{3}\frac{1}{s+4}\xrightarrow[\text{変換}]{\text{逆ラプラス}}y(t)=1-\frac{2}{3}\mathrm{e}^{-t}-\frac{1}{3}\mathrm{e}^{-4t}$$

$$y(1)=1-\frac{2}{3}\mathrm{e}^{-1}-\frac{1}{3}\mathrm{e}^{-4}=1-\frac{2}{3}\times0.3679-\frac{1}{3}\times(0.3679)^4=0.74862\sim0.749$$

ご聴講ありがとうございました!!