

- ① 資料 演習問題 13.2
- ② 資料 演習問題 13.3
- ③ 資料 演習問題 13.4
- ④ 資料 演習問題 13.5
- ⑤ 資料 演習問題 13.6
- ⑥ 資料 演習問題 13.7
- ⑦ 資料 演習問題 14.1
- ⑧ 資料 演習問題 14.2
- ⑨ 資料 演習問題 14.3

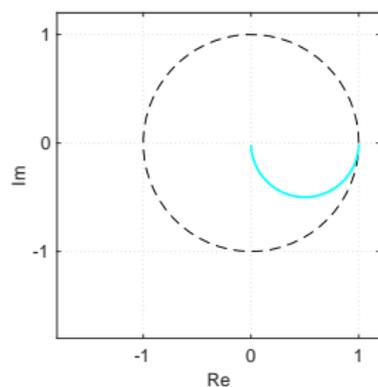
演習問題 13.2

Fig. 13.1(a) のフィードバック制御系の有界入力有界出力安定性を考える。ただし $P(s) = \frac{1}{(s+1)^2}$, $C_2(s) = \frac{1}{s}$ とする。

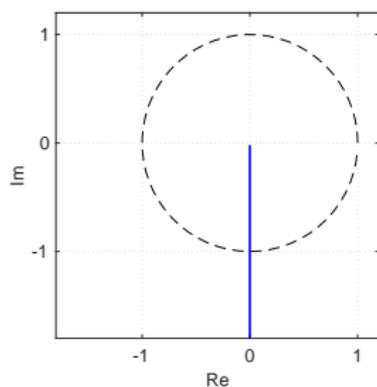
- ① 伝達関数 $\frac{1}{s+1}$ のベクトル軌跡を Fig. 13.17(a) に記入しなさい。
- ② $C_2(s)$ のベクトル軌跡を Fig. 13.17(b) に記入しなさい。
- ③ 開ループ特性 $L_2(s) = P(s)C_2(s)$ の $|L_2(j\omega)|$, $\angle L_2(j\omega)$ を求めなさい。
- ④ $|L_2(j0)|$, $\angle L_2(j0)$ を求めなさい。
- ⑤ $\lim_{\omega \rightarrow \infty} |L_2(j\omega)|$, $\lim_{\omega \rightarrow \infty} \angle L_2(j\omega)$ を求めなさい。
- ⑥ Fig. 13.18 のうち、開ループ特性 $L_2(s)$ のベクトル軌跡を示しているのはどれか？
- ⑦ ナイキストの安定判別法により、このフィードバック制御系の安定性を判定しなさい。

演習問題 13.2

- ① 伝達関数 $\frac{1}{s+1}$ のベクトル軌跡を Fig. 13.17(a) に記入しなさい。
- ② $C_2(s)$ のベクトル軌跡を Fig. 13.17(b) に記入しなさい。



a $\frac{1}{s+1}$



b C_2

演習問題 13.2

- ① 開ループ特性 $L_2(s) = P(s)C_2(s)$ の $|L_2(j\omega)|$, $\angle L_2(j\omega)$ を求めなさい.

$$L_2(s) = P(s)C_2(s) = \frac{1}{(s+1)^2} \frac{1}{s} = \frac{1}{s+1} \frac{1}{s+1} \frac{1}{s}$$

$$L_2(j\omega) = \frac{1}{j\omega+1} \frac{1}{j\omega+1} \frac{1}{j\omega}$$

演習問題 13.2

- ① 開ループ特性 $L_2(s) = P(s)C_2(s)$ の $|L_2(j\omega)|$, $\angle L_2(j\omega)$ を求めなさい.

$$L_2(s) = P(s)C_2(s) = \frac{1}{(s+1)^2} \frac{1}{s} = \frac{1}{s+1} \frac{1}{s+1} \frac{1}{s}$$

$$L_2(j\omega) = \frac{1}{j\omega+1} \frac{1}{j\omega+1} \frac{1}{j\omega}$$

$$|L_2(j\omega)| = \left| \frac{1}{j\omega+1} \right| \left| \frac{1}{j\omega+1} \right| \left| \frac{1}{j\omega} \right|$$

$$\begin{aligned}\angle L_2(j\omega) &= \angle \frac{1}{j\omega+1} + \angle \frac{1}{j\omega+1} + \angle \frac{1}{j\omega} \\ &= \angle 1 - \angle(j\omega+1) + \angle 1 - \angle(j\omega+1) + \angle 1 - \angle j\omega \\ &= -\angle(j\omega+1) - \angle(j\omega+1) - \angle j\omega\end{aligned}$$

演習問題 13.2

- ① 開ループ特性 $L_2(s) = P(s)C_2(s)$ の $|L_2(j\omega)|$, $\angle L_2(j\omega)$ を求めなさい.

$$|L_2(j\omega)| = \left| \frac{1}{j\omega + 1} \right| \left| \frac{1}{j\omega + 1} \right| \left| \frac{1}{j\omega} \right|$$

$$\left| \frac{1}{j\omega} \right| = \frac{1}{|\omega|} \quad \left| \frac{1}{j\omega + 1} \right| = \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + 1}}$$

$$|L_2(j\omega)| = \left| \frac{1}{j\omega + 1} \right| \left| \frac{1}{j\omega + 1} \right| \left| \frac{1}{j\omega} \right| = \frac{1}{|\omega|(\omega^2 + 1)}$$

演習問題 13.2

- ① 開ループ特性 $L_2(s) = P(s)C_2(s)$ の $|L_2(j\omega)|$, $\angle L_2(j\omega)$ を求めなさい.

$$\angle L_2(j\omega) = -\angle(j\omega + 1) - \angle(j\omega + 1) - \angle j\omega$$

$$\angle j\omega = \frac{\pi}{2} \quad \angle(j\omega + 1) = \tan^{-1} \omega$$

$$\angle L_2(j\omega) = -\angle(j\omega + 1) - \angle(j\omega + 1) - \angle j\omega = -\frac{\pi}{2} - 2 \tan^{-1} \omega$$

演習問題 13.2

- ① $|L_2(j0)|$, $\angle L_2(j0)$ を求めなさい.
- ② $\lim_{\omega \rightarrow \infty} |L_2(j\omega)|$, $\lim_{\omega \rightarrow \infty} \angle L_2(j\omega)$ を求めなさい.

$$|L_2(j\omega)| = \frac{1}{|\omega|(\omega^2 + 1)} \quad \angle L_2(j\omega) = -\frac{\pi}{2} - 2 \tan^{-1} \omega$$

$$|L_2(j0)| = \infty \quad \angle L_2(j0) = -\pi/2$$

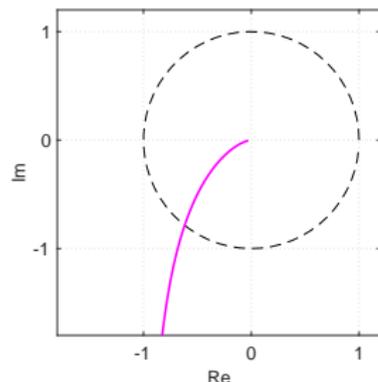
$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} |L_2(j\omega)| = 0 \quad \lim_{\omega \rightarrow \infty} \angle L_2(j\omega) = -3\pi/2$$

演習問題 13.2

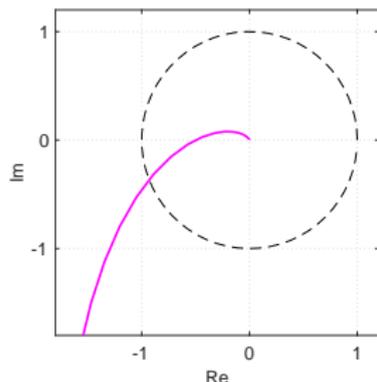
- ① Fig. 13.18 のうち, 開ループ特性 $L_2(s)$ のベクトル軌跡を示しているのはどれか?

$$|L_2(j0)| = \infty \quad \angle L_2(j0) = -\pi/2$$

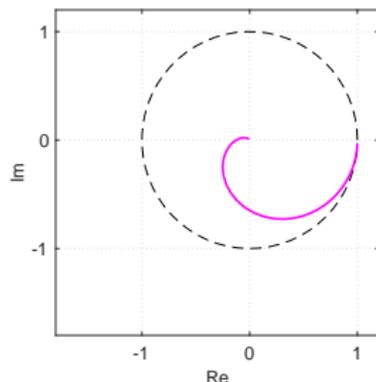
$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} |L_2(j\omega)| = 0 \quad \lim_{\omega \rightarrow \infty} \angle L_2(j\omega) = -3\pi/2$$



a L_2 かな?



b L_2 かな?

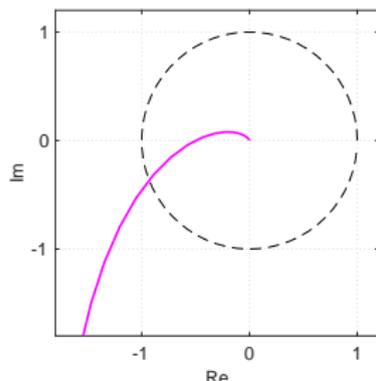


c L_2 かな?

(b)

演習問題 13.2

- ① ナイキストの安定判別法により、このフィードバック制御系の安定性を判定しなさい。



L_2 には、簡略化されたナイキストの安定判別法が適用できる。ベクトル軌跡上を進むとき、点 $-1 + j0$ を常に左手に見ているので、フィードバック制御系は有界入力有界出力安定。

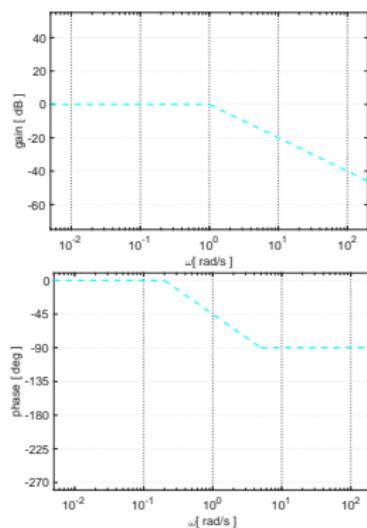
演習問題 13.3

演習問題 13.2 の $P(s)$ に $C_1(s) = \frac{1}{10} \frac{1}{s}$ を適用し, Fig. 13.1(a) のフィードバック制御系の有界入力有界出力安定性を考える.

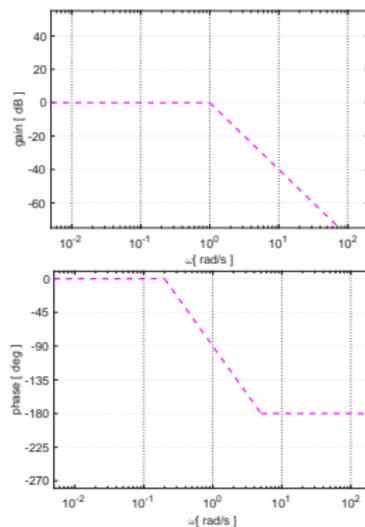
- ① 伝達関数 $\frac{1}{s+1}$ のボード線図 (ゲイン線図, 位相線図ともに折れ線近似) は, Fig. 13.19(a) で与えられる. $P(s)$ のボード線図を, 折れ線近似により, Fig. 13.19(a) に記入しなさい.
- ② $C_1(s)$ のボード線図は, Fig. 13.19(b) で与えられる. 開ループ特性 $L_1(s) = P(s)C_1(s)$ のボード線図を, 折れ線近似により, Fig. 13.19(c) に記入しなさい.
- ③ この制御系の位相余裕を読み取りなさい.

演習問題 13.3

- ① 伝達関数 $\frac{1}{s+1}$ のボード線図 (ゲイン線図, 位相線図ともに折れ線近似) は, Fig. 13.19(a) で与えられる. $P(s)$ のボード線図を, 折れ線近似により, Fig. 13.19(a) に記入しなさい.



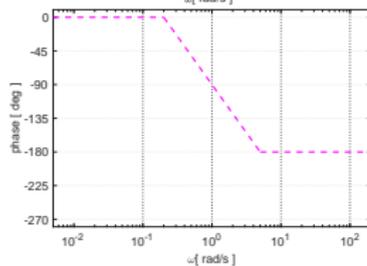
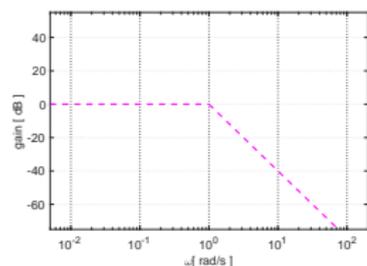
a $\frac{1}{s+1}$



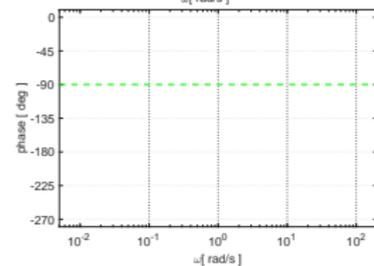
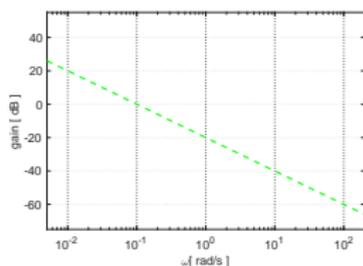
b $P(s) = \frac{1}{(s+1)^2}$

演習問題 13.3

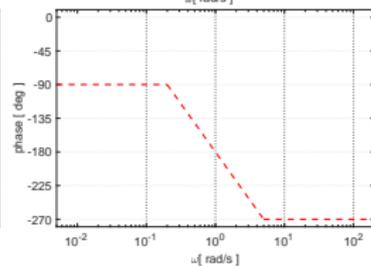
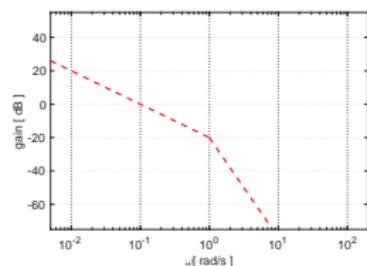
- ① $C_1(s)$ のボード線図は, Fig. 13.19(b) で与えられる. 開ループ特性 $L_1(s) = P(s)C_1(s)$ のボード線図を, 折れ線近似により, Fig. 13.19(c) に記入しなさい.
- ② この制御系の位相余裕を読み取りなさい.



a $P(s)$



b $C_1(s)$



c L_1

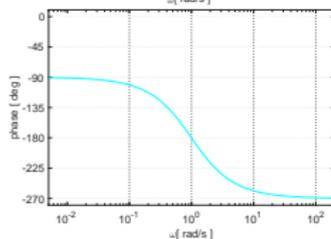
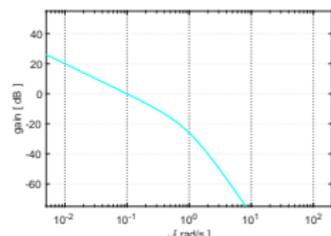
演習問題 13.4

演習問題 13.2, 13.3 の $P(s)$ に $C_1(s)$, $C_2(s)$, $C_3(s) = 2C_2(s) = \frac{2}{s}$ をそれぞれ適用する. 開ループ特性 $L_1(s)$, $L_2(s)$, $L_3(s) = P(s)C_3(s)$ のボード線図は, Fig. 13.20 で与えられる.

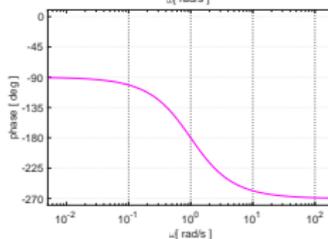
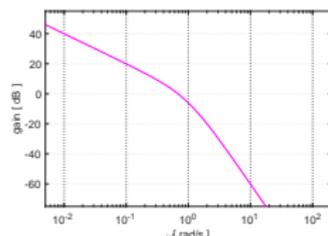
- ① C_1 , C_2 , C_3 を適用した場合の位相余裕を, それぞれ読み取りなさい.
- ② C_1 , C_2 , C_3 を適用したそれぞれのフィードバック制御系の安定性を判定しなさい.
- ③ C_1 , C_2 , C_3 を適用したフィードバック制御系のステップ応答は, Fig. 13.21 のいずれかで与えられる. C_1 , C_2 , C_3 とステップ応答の正しい組み合わせを答えなさい.

演習問題 13.4

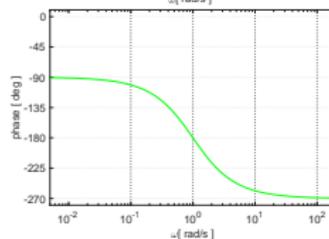
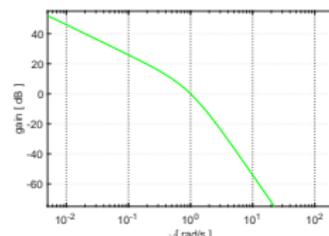
- ① C_1, C_2, C_3 を適用した場合の位相余裕を、それぞれ読み取りなさい。
- ② C_1, C_2, C_3 を適用したそれぞれのフィードバック制御系の安定性を判定しなさい。



a L_1



b L_2



c L_3

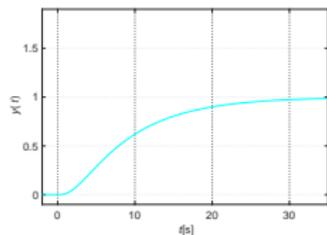
90° 弱

20° 程度

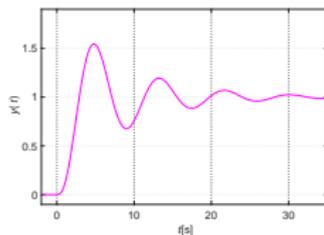
ほぼ 0°

演習問題 13.4

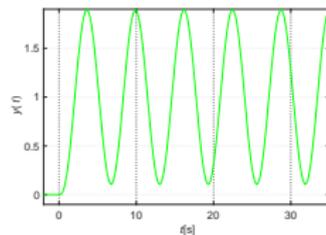
- ④ C_1, C_2, C_3 を適用したフィードバック制御系のステップ応答は、Fig. 13.21 のいずれかで与えられる。 C_1, C_2, C_3 とステップ応答の正しい組み合わせを答えなさい。



a C_1 かな？



b C_2 かな？



c C_3 かな？

$C_1 \leftrightarrow$ (a) $C_2 \leftrightarrow$ (b) $C_3 \leftrightarrow$ (c)

演習問題 13.5

$$P(s) = \frac{1}{s-1}, C(s) = \frac{s-1}{s+1} \text{ とする } ^1$$

- ① (13.4), (13.5) 式における $N_p(s)$, $D_p(s)$, $N_c(s)$, $D_c(s)$ を求めなさい。
- ② 開ループ伝達関数を求めなさい。
- ③ 不安定な開ループ極の数を求めなさい。
- ④ ナイキストの安定判別法により, 不安定な閉ループ極の数を求めなさい。

¹不安定な極零相殺と呼ばれる状況の例になっている。実際には, 不安定な極零相殺が生じると, フィードバック制御系は内部安定にはならないことが知られていて, ナイキストの安定判別法を適用しなくても不安定と判定できる。

演習問題 13.5

$$P(s) = \frac{1}{s-1} \quad C(s) = \frac{s-1}{s+1}$$

- ① (13.4), (13.5) 式における $N_p(s)$, $D_p(s)$, $N_c(s)$, $D_c(s)$ を求めなさい.
- ② 開ループ伝達関数を求めなさい.
- ③ 不安定な開ループ極の数を求めなさい.
- ④ ナイキストの安定判別法により, 不安定な閉ループ極の数を求めなさい.

$$\begin{aligned} N_p(s) &= 1 \quad (m_p = 0) & D_p(s) &= s - 1 \quad (n_p = 1), \\ N_c(s) &= s - 1 \quad (m_c = 1) & D_c(s) &= s + 1 \quad (n_c = 1) \end{aligned}$$

演習問題 13.5

$$P(s) = \frac{1}{s-1} \quad C(s) = \frac{s-1}{s+1}$$

- ① (13.4), (13.5) 式における $N_p(s)$, $D_p(s)$, $N_c(s)$, $D_c(s)$ を求めなさい.
- ② 開ループ伝達関数を求めなさい.
- ③ 不安定な開ループ極の数を求めなさい.
- ④ ナイキストの安定判別法により, 不安定な閉ループ極の数を求めなさい.

$$L(s) = P(s)C(s) = \frac{1}{s-1} \frac{s-1}{s+1} = \frac{1}{s+1}$$

演習問題 13.5

$$P(s) = \frac{1}{s-1} \quad C(s) = \frac{s-1}{s+1}$$

- ① (13.4), (13.5) 式における $N_p(s)$, $D_p(s)$, $N_c(s)$, $D_c(s)$ を求めなさい.
- ② 開ループ伝達関数を求めなさい.
- ③ 不安定な開ループ極の数を求めなさい.
- ④ ナイキストの安定判別法により, 不安定な閉ループ極の数を求めなさい.

$D_p(s)D_c(s) = (s-1)(s+1) = 0$ より, 開ループ極は 1 と -1 . したがって不安定な開ループ極の数は $P = 1$.

演習問題 13.5

$$P(s) = \frac{1}{s-1} \quad C(s) = \frac{s-1}{s+1}$$

- ① (13.4), (13.5) 式における $N_p(s)$, $D_p(s)$, $N_c(s)$, $D_c(s)$ を求めなさい.
- ② 開ループ伝達関数を求めなさい.
- ③ 不安定な開ループ極の数を求めなさい.
- ④ ナイキストの安定判別法により, 不安定な閉ループ極の数を求めなさい.

$L(s) = 1/(s+1)$ より, ナイキスト軌跡は Fig. 13.8 と同じ. したがって点 $-1 + j0$ を囲む回数は $N = 0$. $N = Z - P$ より $P = 1$ であり, 不安定な閉ループ極が 1 つ存在し, フィードバック制御系は安定ではない.

演習問題 13.6

$P(s) = \frac{1}{s}$, $C(s) = \frac{20}{s^2 + 5s + 2}$ により構成されるフィードバック制御系を考える. この制御系のゲイン余裕を求めなさい. またこのフィードバック制御系の安定性を判定しなさい.

演習問題 13.6

簡略化されたナイキストの安定判別法が適用できる。周波数伝達関数 $L(j\omega)$ を求めると

$$L(j\omega) = \frac{20}{j\omega(-\omega^2 + j5\omega + 2)} = \frac{-100\omega^2 - j20\omega(2 - \omega^2)}{(-5\omega^2)^2 + \omega^2(2 - \omega^2)^2}$$

となる。位相が 180° 遅れる，すなわち $L(j\omega)$ の虚数部が 0 となる位相交差周波数 ω_{pc} を考える ($\text{Im}L(j\omega_{pc}) = 0$) と， $\omega_{pc} = \sqrt{2}$ [rad/s]。よって $|L(j\omega_{pc})| = 2$ より， $\text{GM} = 1/2 \approx -6$ [dB]。したがってこのフィードバック制御系は内部安定ではない。

演習問題 13.7

$P(s) = \frac{K}{s}$, $K > 0$, $C(s) = \frac{1}{s^2 + 2s + 1}$ により構成されるフィードバック制御系を考える. このフィードバック制御系を安定にする K の条件を, ナイキストの安定判別法により, 求めなさい (ヒント: $L(j\omega)$ の虚数部が 0 となる ω の値を求めてみよう.).

演習問題 13.7

簡略化されたナイキストの安定判別法が適用できる。周波数伝達関数 $L(j\omega)$ を求めると

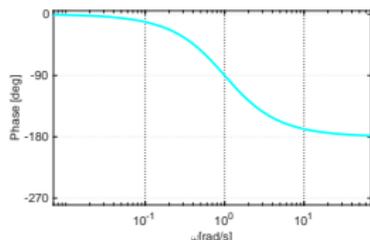
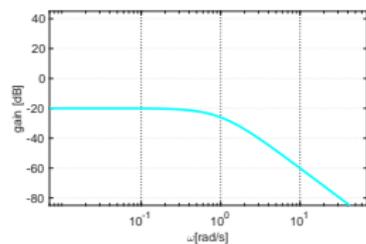
$$L(j\omega) = \frac{K}{j\omega(-\omega^2 + j2\omega + 1)} = \frac{-2K\omega^2 - jK\omega(1 - \omega^2)}{(-2\omega^2)^2 + \omega^2(1 - \omega^2)^2}$$

となる。位相が 180° 遅れる, すなわち $L(j\omega)$ の虚数部が 0 となる位相交差周波数 ω_{pc} を考える ($\text{Im}L(j\omega_{pc}) = 0$) と, $\omega_{pc} = 1$ [rad/s]. よって $L(j\omega_{pc}) = -K/2$. 点 $-K/2 + j0$ が点 $-1 + j0$ より右側であれば, ナイキストの安定判別法より内部安定となる. したがって $0 < K < 2$.

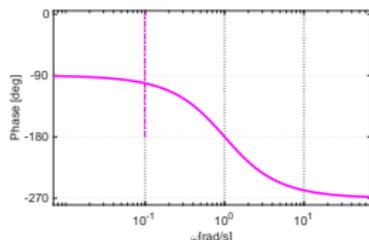
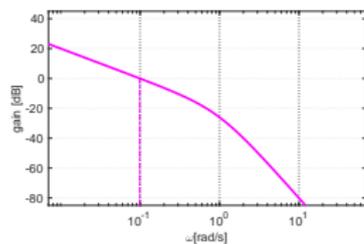
演習問題 14.1

制御対象 $P(s) = \frac{1}{10(s+1)^2}$ に対するフィードバックコントローラ的设计を考えよう. 開ループ特性 $L_0(s) = P(s)$ を Fig. 14.29(a) に, 対応するフィードバック制御系のステップ応答 $y_0(t)$ を Fig. 14.30(a) に示す.

- ① $L_0(s)$ の低周波数ゲイン $\lim_{\omega \rightarrow 0} L_0(j\omega)$ を読み取りなさい.



a $L_0(s) = P(s)$

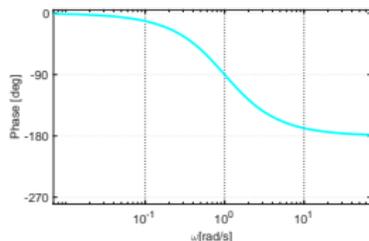
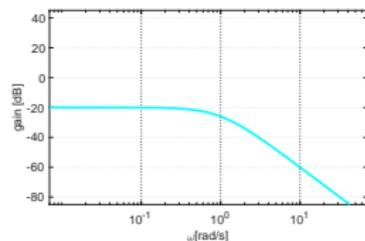


b $L_1 = P(s)C_1(s)$

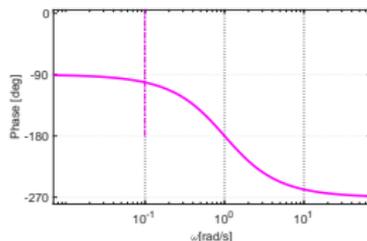
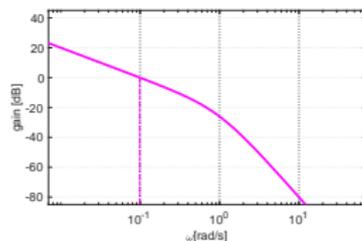
演習問題 14.1

コントローラ $C_1(s)$ として, 1 制御コントローラ $C_1(s) = \frac{1}{s}$ を考える.
開ループ特性 $L_1(s) = P(s)C_1(s)$ を Fig. 14.29(b) に, 対応するステップ応答 $y_1(t)$ を Fig. 14.30(b) に示す.

- ② $L_1(s)$ のゲイン交差周波数 ω_{gc} , 位相余裕 PM, 低周波数ゲイン $\lim_{\omega \rightarrow 0} L_1(j\omega)$ を読み取りなさい.



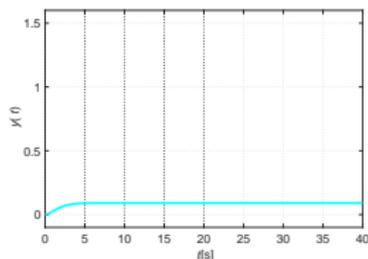
a $L_0(s) = P(s)$



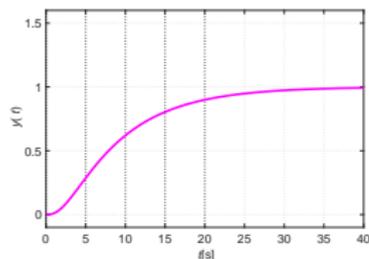
b $L_1 = P(s)C_1(s)$

演習問題 14.1

- ② $\lim_{t \rightarrow \infty} y_1(t) = 1$ であるのに対して、 $y_0(t)$ には定常偏差が生じている。この理由を Fig. 14.29 の開ループ特性の違いにもとづき説明しなさい。



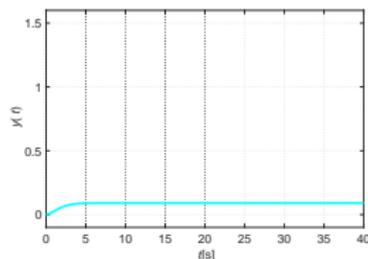
a $y_0(t)$



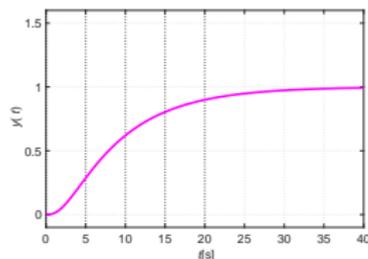
b $y_1(t)$

演習問題 14.1

- ② $\lim_{t \rightarrow \infty} y_1(t) = 1$ であるのに対して、 $y_0(t)$ には定常偏差が生じている。この理由を Fig. 14.29 の開ループ特性の違いにもとづき説明しなさい。



a $y_0(t)$



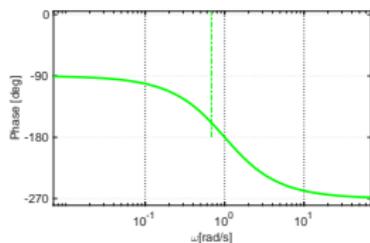
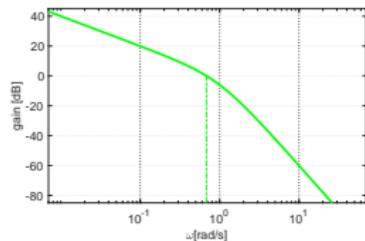
b $y_1(t)$

$\lim_{\omega \rightarrow \infty} |L_0(\omega)| = -20$ [dB] と定数値に留まっているのに対し、 $L_1(s)$ では、 $\omega \rightarrow 0$ のとき、 -20 [dB / dec] の傾きでゲインが増加し $\lim_{\omega \rightarrow \infty} |L_1(\omega)| = \infty$ となっている。これにより、ステップ応答に対する定常偏差を除去することができる。

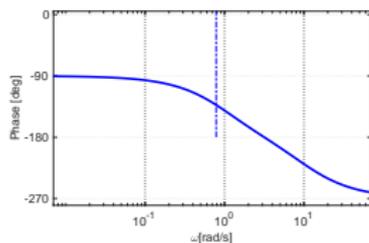
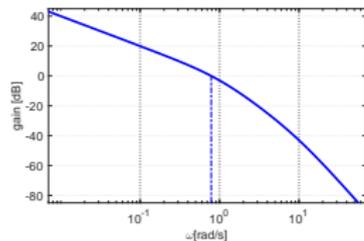
演習問題 14.1

$C_1(s)$ にゲイン補償を加え、制御コントローラ $C_2(s) = 10 \times C_1(s)$ を新たなコントローラとする。開ループ特性 $L_2(s) = P(s)C_2(s)$ を Fig. 14.31(a) に、対応するステップ応答 $y_2(t)$ を Fig. 14.32(a) に示す。

- ④ $L_2(s)$ のゲイン交差周波数 ω_{gc} , 位相余裕 PM, 低周波数ゲイン $\lim_{\omega \rightarrow 0} L_2(j\omega)$ を読み取りなさい。



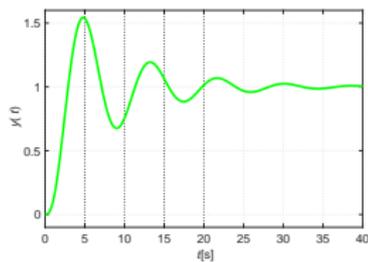
a $L_2(s) = P(s)C_2(s)$



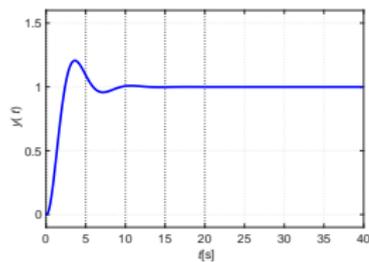
b $L_3(s) = P(s)C_3(s)$

演習問題 14.1

- ④ $y_1(t)$ と $y_2(t)$ を比較すると、 $y_2(t)$ の方が速応性に優れている。この理由を $L_1(s)$ と $L_2(s)$ の開ループ特性の違いにもとづき説明しなさい。



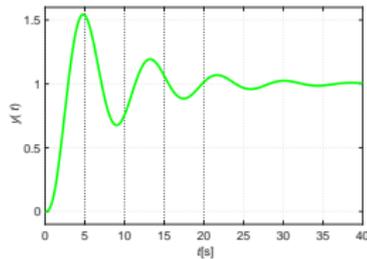
a $y_2(t)$



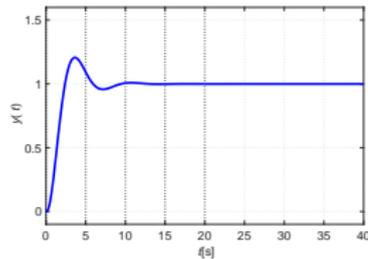
b $y_3(t)$

演習問題 14.1

- ④ $y_1(t)$ と $y_2(t)$ を比較すると、 $y_2(t)$ の方が速応性に優れている。この理由を $L_1(s)$ と $L_2(s)$ の開ループ特性の違いにもとづき説明しなさい。



a $y_2(t)$

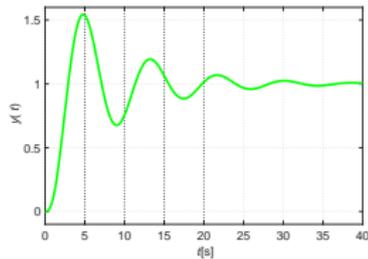


b $y_3(t)$

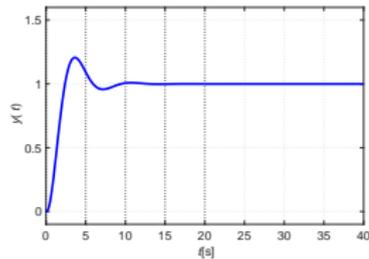
$L_1(s)$ での $\omega_{gc} = 0.1$ [rad / s] に対し、 $L_2(s)$ では $\omega_{gc} = 0.7$ [rad / s] とゲイン交差周波数を引き上げることができている。これにより制御系の速応性が向上し、ステップ応答の立ち上がりを早くできている。

演習問題 14.1

- ④ $y_1(t)$ と $y_2(t)$ を比較すると、 $y_2(t)$ の方が振動的である。フィードバック制御系の安定性が劣化した理由を $L_1(s)$ と $L_2(s)$ の開ループ特性の違いにもとづき説明しなさい。



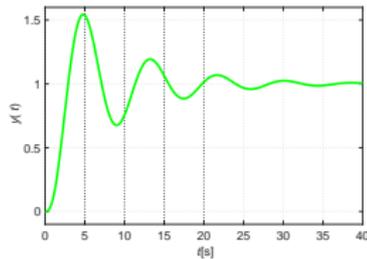
a $y_2(t)$



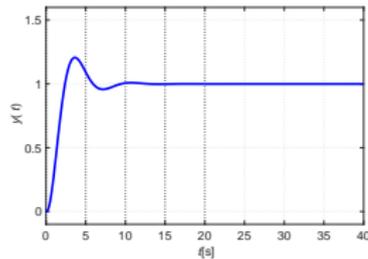
b $y_3(t)$

演習問題 14.1

- ④ $y_1(t)$ と $y_2(t)$ を比較すると、 $y_2(t)$ の方が振動的である。フィードバック制御系の安定性が劣化した理由を $L_1(s)$ と $L_2(s)$ の開ループ特性の違いにもとづき説明しなさい。



a $y_2(t)$



b $y_3(t)$

$L_1(s)$ での $PM = 80^\circ$ に対し、 $L_2(s)$ では $PM = 20^\circ$ と位相余裕が減少している。このため制御系の安定余裕が劣化し、ステップ応答が振動的になっている。

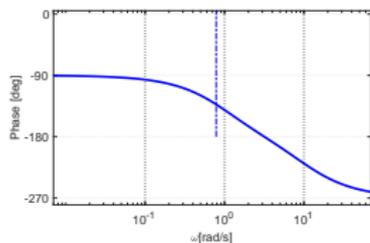
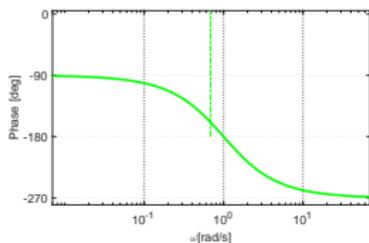
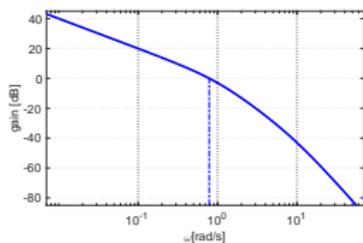
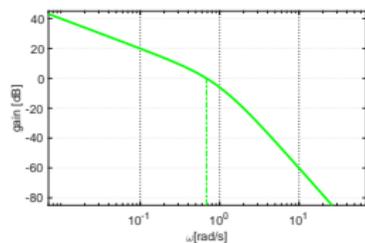
演習問題 14.1

さらに位相進みコントローラを加え $C_3(s) = \frac{\omega_3}{\omega_4} \frac{s + \omega_4}{s + \omega_3} \times C_2(s)$,

$\omega_3 = 10, \omega_4 = 1$ を新たなコントローラとする. 開ループ特性

$L_3(s) = P(s)C_3(s)$ を Fig. 14.31(b) に, 対応するステップ応答 $y_3(t)$ を Fig. 14.32(b) に示す.

- ⑦ $L_3(s)$ のゲイン交差周波数 ω_{gc} , 位相余裕 PM, 低周波数ゲイン $\lim_{\omega \rightarrow 0} L_3(j\omega)$ を読み取りなさい.

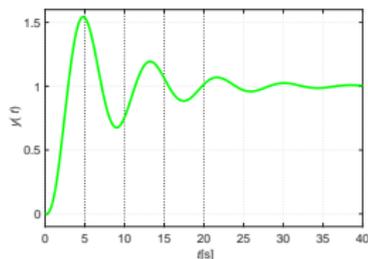


a $L_2(s) = P(s)C_2(s)$

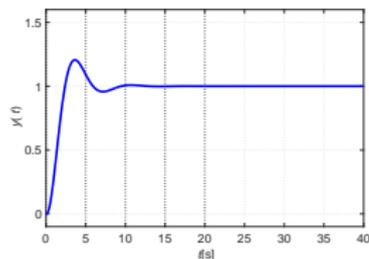
b $L_3(s) = P(s)C_3(s)$

演習問題 14.1

- ⑦ $y_2(t)$ と $y_3(t)$ を比較すると、コントローラ $C_3(s)$ によりフィードバック制御系の安定性が改善され、 $y_2(t)$ に見られた振動的な振る舞いが抑制されている。フィードバック制御系の安定性が改善された理由を Fig. 14.31 の開ループ特性の違いにもとづき説明しなさい。



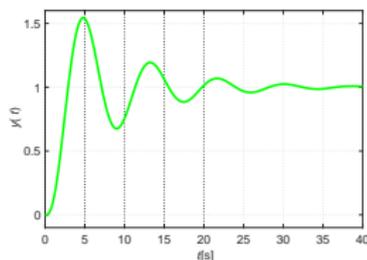
a $y_2(t)$



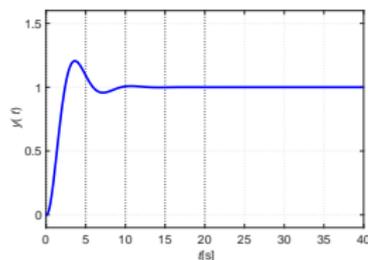
b $y_3(t)$

演習問題 14.1

- ⑦ $y_2(t)$ と $y_3(t)$ を比較すると、コントローラ $C_3(s)$ によりフィードバック制御系の安定性が改善され、 $y_2(t)$ に見られた振動的な振る舞いが抑制されている。フィードバック制御系の安定性が改善された理由を Fig. 14.31 の開ループ特性の違いにもとづき説明しなさい。



a $y_2(t)$



b $y_3(t)$

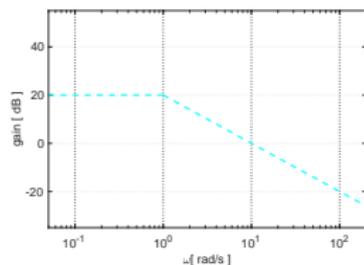
$L_2(s)$ で $PM = 20^\circ$ まで減少していた位相余裕が、位相進みコントローラにより、 $PM = 45^\circ$ まで引き上げられている。これにより制御系の余裕が向上し、振動的な振る舞いが抑制された。

演習問題 14.2

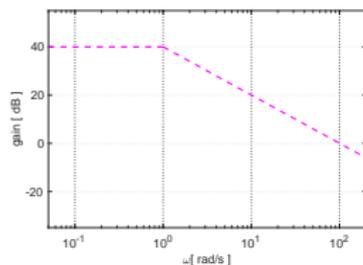
制御対象 $P(s) = \frac{10}{s+1}$ に対するフィードバック制御系の設計を考えよ。

う。ここでは $C_1(s) = 1$, $C_2(s) = 10$ の二つのコントローラを考える。

- ① 開ループ伝達関数 $L_1(s) = P(s)C_1(s)$ のボード線図 (ゲイン線図, 位相線図共に折れ線近似) を Fig. 14.33(a) に示す。開ループ伝達関数 $L_2(s) = P(s)C_2(s)$ のボード線図 (ゲイン線図, 位相線図共に折れ線近似でよい) を Fig. 14.33(b) に記入しなさい。



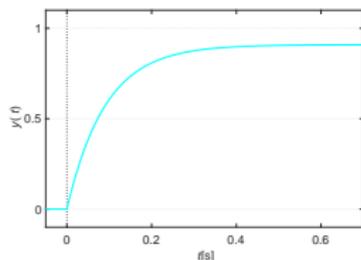
a $L_1(s)$



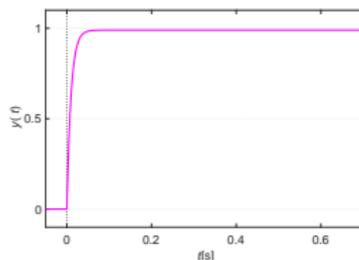
b $L_2(s)$

演習問題 14.2

- ① $L_1(s)$, $L_2(s)$ のゲイン交差周波数 ω_{gc} をそれぞれ読み取りなさい。
- ② $C_1(s)$, $C_2(s)$ を適用した場合のフィードバック制御系のステップ応答は、それぞれ Fig. 14.34 のどちらかで与えられる。 $C_1(s)$, $C_2(s)$ とステップ応答の正しい組み合わせを答えなさい。



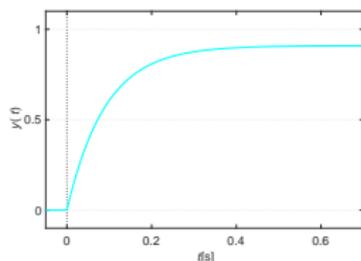
a $C_1(s)$ かな？



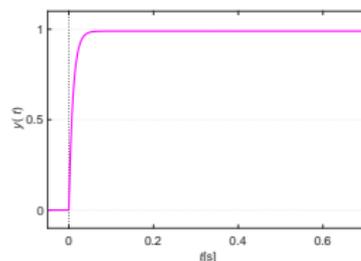
b $C_2(s)$ かな？

演習問題 14.2

- ① $L_1(s)$, $L_2(s)$ のゲイン交差周波数 ω_{gc} をそれぞれ読み取りなさい。
- ② $C_1(s)$, $C_2(s)$ を適用した場合のフィードバック制御系のステップ応答は、それぞれ Fig. 14.34 のどちらかで与えられる。 $C_1(s)$, $C_2(s)$ とステップ応答の正しい組み合わせを答えなさい。



a $C_1(s)$ かな？



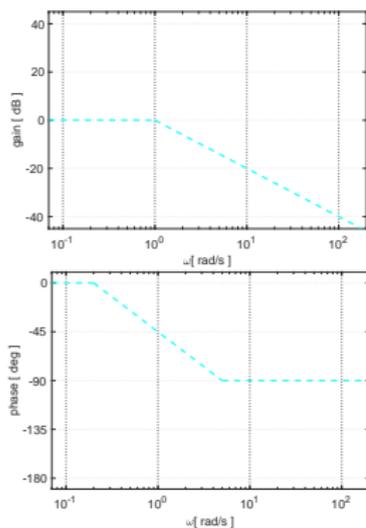
b $C_2(s)$ かな？

$L_1(s)$ と $L_2(s)$ を比較すると、 $L_2(s)$ の方がゲイン交差周波数 ω_{gc} が高く、したがって速応性に優れている。よって $L_1(s)$ に対応するのは (a) のステップ応答、 $L_2(s)$ に対応するのは (b) のステップ応答。

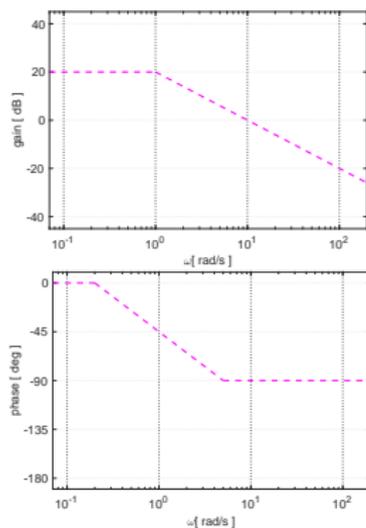
演習問題 14.3

制御対象 $P(s) = \frac{1}{s+1}$ に対するフィードバック制御系の設計を考えよう. $P(s)$ のボード線図 (ゲイン線図, 位相線図共に折れ線近似) を Fig. 14.35(a) に示す.

- ④ $C_1(s) = 10$ の P 制御コントローラを考える. 開ループ伝達関数 $L_1(s) = P(s)C_1(s)$ のボード線図 (ゲイン線図, 位相線図共に折れ線近似でよい) を Fig. 14.35(a) に記入しなさい.



a $P(s)$



b $L_1(s)$

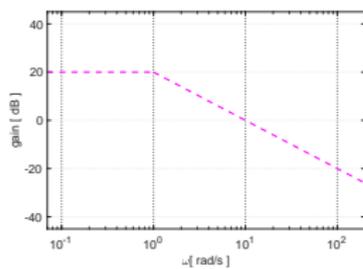
演習問題 14.3

- ① $L_1(s)$ のゲイン交差周波数 ω_{gc} , 位相余裕 PM, 低周波ゲイン $\lim_{\omega \rightarrow 0} L_1(j\omega)$ を読み取りなさい.

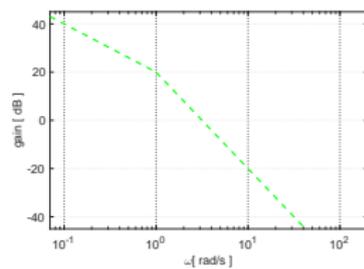
演習問題 14.3

つぎに、コントローラ $C_2(s)$ として、積分補償器 $\frac{1}{s}$ を加え、I 制御コントローラ $C_2(s) = C_1(s) \times \frac{1}{s}$ を考える。

- ③ 開ループ伝達関数 $L_2(s) = P(s)C_2(s)$ のボード線図 (ゲイン線図, 位相線図共に折れ線近似でよい) を Fig. 14.35(b) に記入しなさい。



a $L_1(s)$



b $L_2(s)$

演習問題 14.3

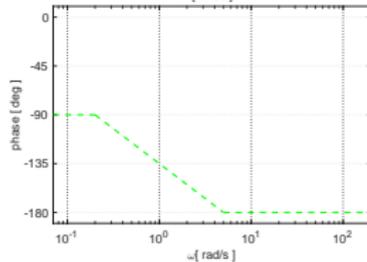
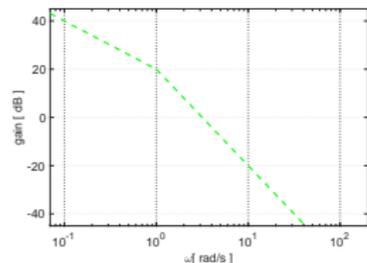
- ③ $L_2(s)$ のゲイン交差周波数 ω_{gc} , 位相余裕 PM, 低周波ゲイン $\lim_{\omega \rightarrow 0} L_2(j\omega)$ を読み取りなさい.

演習問題 14.3

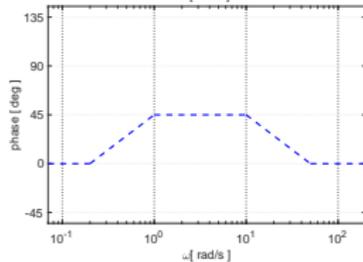
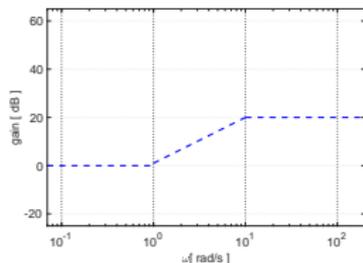
さらに位相進みコントローラ $\frac{\omega_3}{\omega_4} \frac{s + \omega_4}{s + \omega_3}$, $\omega_3 = 10$, $\omega_4 = 1$ を加え, 新たなコントローラ $C_3(s) = C_2(s) \times \frac{\omega_3}{\omega_4} \frac{s + \omega_4}{s + \omega_3}$ を考える. 位相進みコントローラ $\frac{\omega_3}{\omega_4} \frac{s + \omega_4}{s + \omega_3}$, $\omega_3 = 10$, $\omega_4 = 1$ のボード線図 (ゲイン線図, 位相線図共に折れ線近似) を Fig. 14.36(a) に示す.

- ⑤ 開ループ伝達関数 $L_3(s) = P(s)C_3(s)$ のボード線図 (ゲイン線図, 位相線図共に折れ線近似でよい) を Fig. 14.36(b) に記入しなさい.

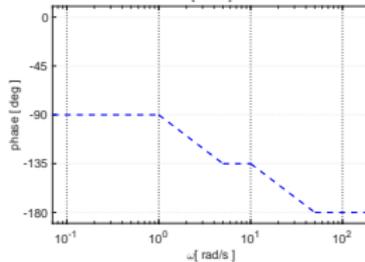
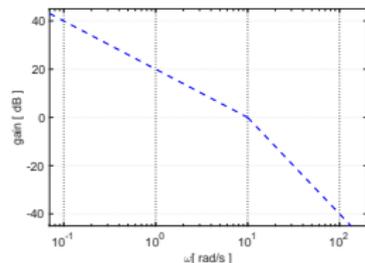
演習問題 14.3



a $L_2(s)$

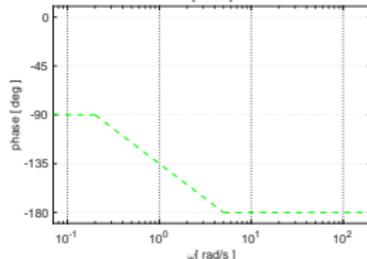
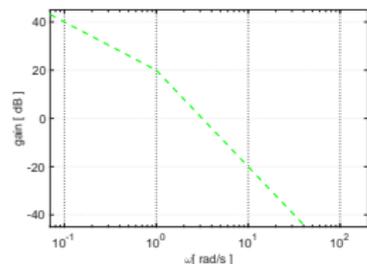


b $\frac{\omega_3}{\omega_4} \frac{s + \omega_4}{s + \omega_3}$, $\omega_3 = 10$,
 $\omega_4 = 1$

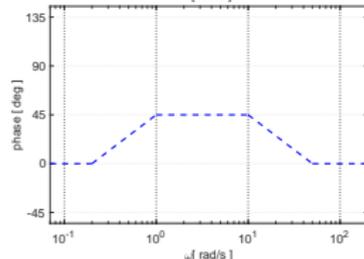
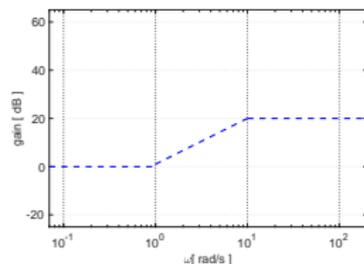


c $L_3(s)$

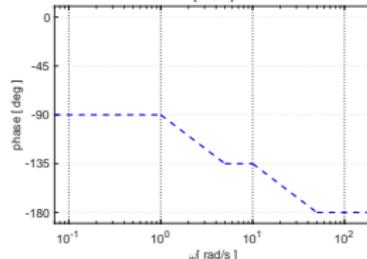
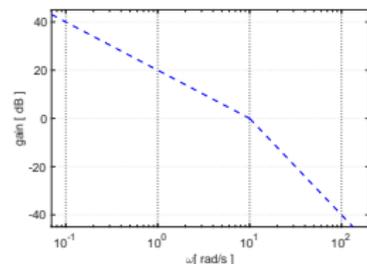
演習問題 14.3



a $L_2(s)$



b $\frac{\omega_3}{\omega_4} \frac{s + \omega_4}{s + \omega_3}$, $\omega_3 = 10$,
 $\omega_4 = 1$

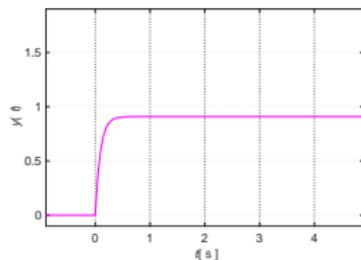


c $L_3(s)$

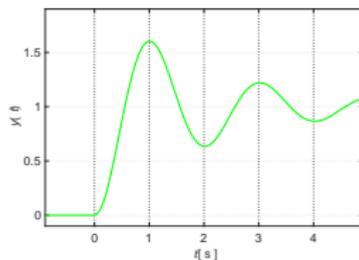
- ④ $L_3(s)$ のゲイン交差周波数 ω_{gc} , 位相余裕 PM, 低周波ゲイン $\lim_{\omega \rightarrow 0} L_3(j\omega)$ を読み取りなさい。

演習問題 14.3

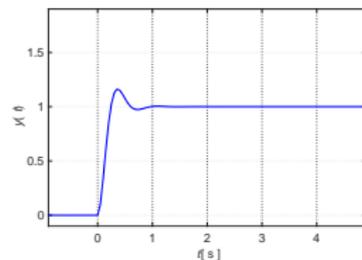
- 5 $C_1(s)$, $C_2(s)$, $C_3(s)$ を適用した場合のフィードバック制御系のステップ応答は、それぞれ Fig. 14.37 のいずれかで与えられる。 $C_1(s)$, $C_2(s)$, $C_3(s)$ とステップ応答の正しい組み合わせを答えなさい。



a C_1 かな？

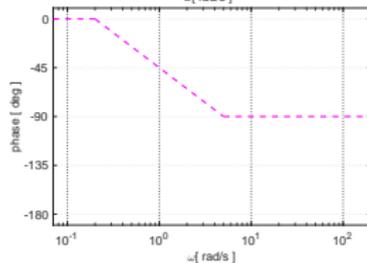
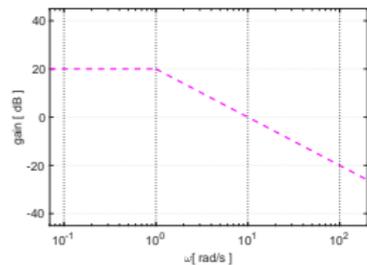


b C_2 かな？

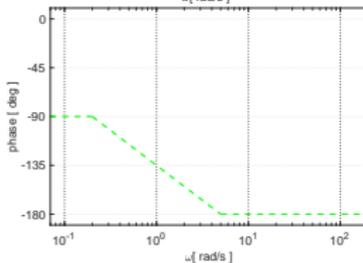
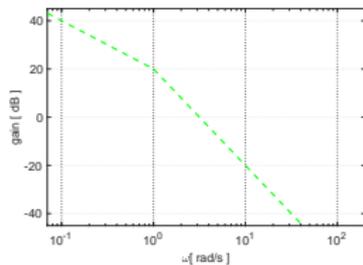


c C_3 かな？

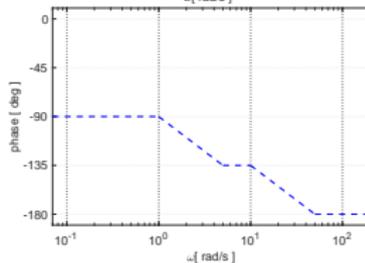
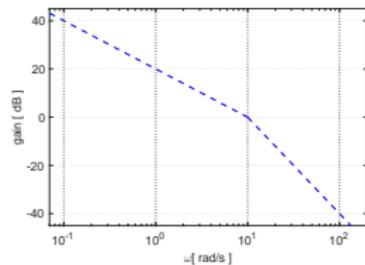
演習問題 14.3



a $L_1(s)$



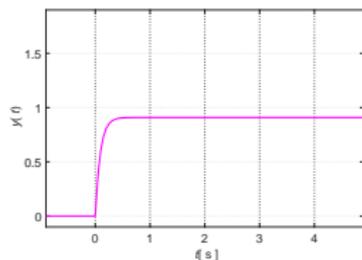
b $L_2(s)$



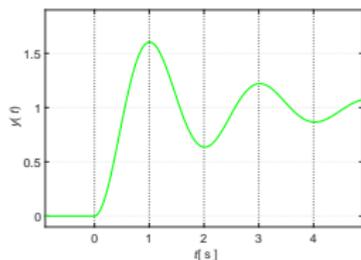
c $L_3(s)$

演習問題 14.3

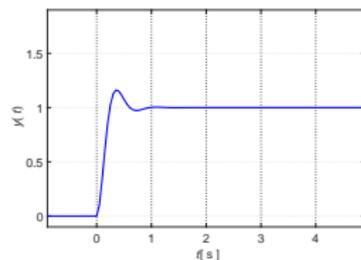
- 5 $C_1(s)$, $C_2(s)$, $C_3(s)$ を適用した場合のフィードバック制御系のステップ応答は、それぞれ Fig. 14.37 のいずれかで与えられる。 $C_1(s)$, $C_2(s)$, $C_3(s)$ とステップ応答の正しい組み合わせを答えなさい。



a C_1 かな？



b C_2 かな？



c C_3 かな？

$C_1 \leftrightarrow$ (a) $C_2 \leftrightarrow$ (b) $C_3 \leftrightarrow$ (c)