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

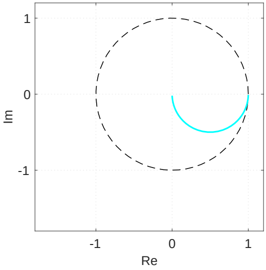
演習問題 13.2

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 $P(s) = \dfrac{1}{(s+1)^2}$, $C_2(s) = \dfrac{1}{s}$ とする．

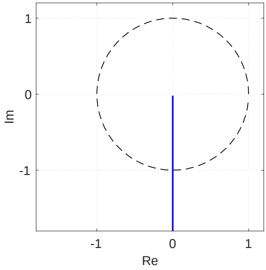
1. 伝達関数 $\dfrac{1}{s+1}$ のベクトル軌跡を Fig. 13.17(a) に記入しなさい．
2. $C_2(s)$ のベクトル軌跡を Fig. 13.17(b) に記入しなさい．
3. 開ループ特性 $L_2(s) = P(s)C_2(s)$ の $|L_2(j\omega)|$, $\angle L_2(j\omega)$ を求めなさい．
4. $|L_2(j0)|$, $\angle L_2(j0)$ を求めなさい．
5. $\lim\limits_{\omega\to\infty} |L_2(j\omega)|$, $\lim\limits_{\omega\to\infty} \angle L_2(j\omega)$ 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 $\dfrac{1}{s+1}$ 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 $\dfrac{1}{s+1}$



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.

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

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

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.

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

$$|\frac{1}{j\omega}| = \frac{1}{|\omega|} \qquad |\frac{1}{j\omega+1}| = \frac{1}{\sqrt{\omega^2+1}}$$

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

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.

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

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

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

演習問題 13.2

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

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

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

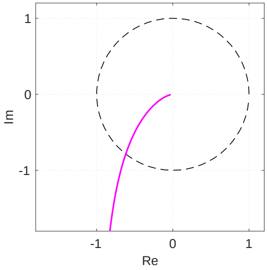
$$\lim_{\omega \to \infty} |L_2(j\omega)| = 0 \qquad \lim_{\omega \to \infty} \angle L_2(j\omega) = -3\pi/2$$

演習問題 13.2

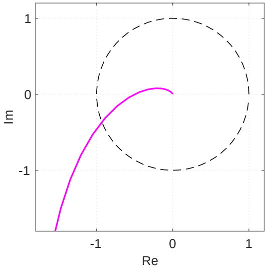
1. Fig. 13.18 のうち，開ループ特性 $L_2(s)$ のベクトル軌跡を示しているのはどれか？

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

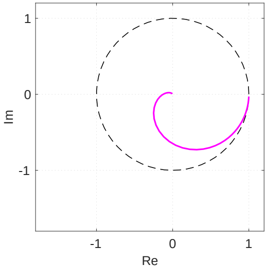
$$\lim_{\omega\to\infty} |L_2(j\omega)| = 0 \qquad \lim_{\omega\to\infty} \angle L_2(j\omega) = -3\pi/2$$



a L_2 かな？



b L_2 かな？

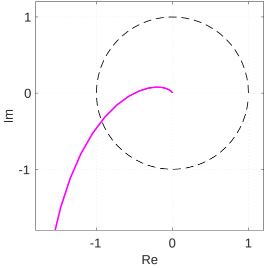


c L_2 かな？

(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．

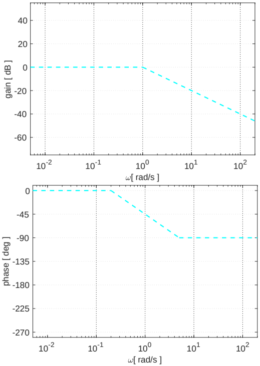
演習問題 13.3

演習問題 13.2 の $P(s)$ に $C_1(s) = \dfrac{1}{10}\dfrac{1}{s}$ 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.

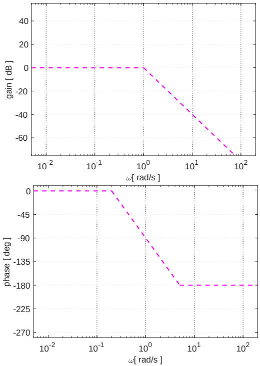
1. 伝達関数 $\dfrac{1}{s+1}$ のボード線図 (ゲイン線図, 位相線図ともに折れ線近似) は, Fig. 13.19(a) で与えられる. $P(s)$ のボード線図を, 折れ線近似により, Fig. 13.19(a) に記入しなさい.
2. $C_1(s)$ のボード線図は, Fig. 13.19(b) で与えられる. 開ループ特性 $L_1(s) = P(s)C_1(s)$ のボード線図を, 折れ線近似により, Fig. 13.19(c) に記入しなさい.
3. この制御系の位相余裕を読み取りなさい.

演習問題 13.3

1. 伝達関数 $\dfrac{1}{s+1}$ 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.



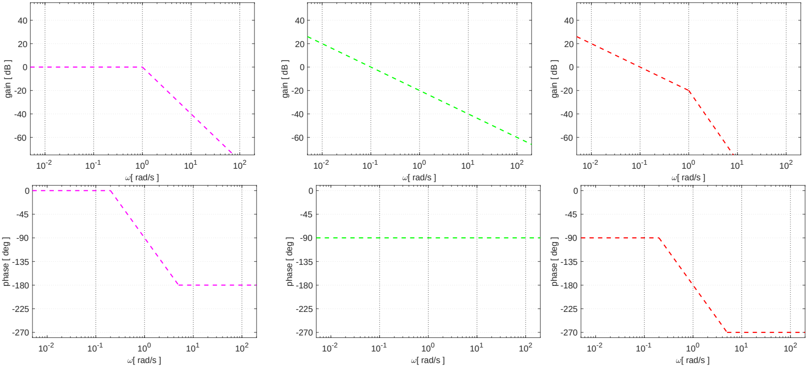
a $\dfrac{1}{s+1}$



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

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

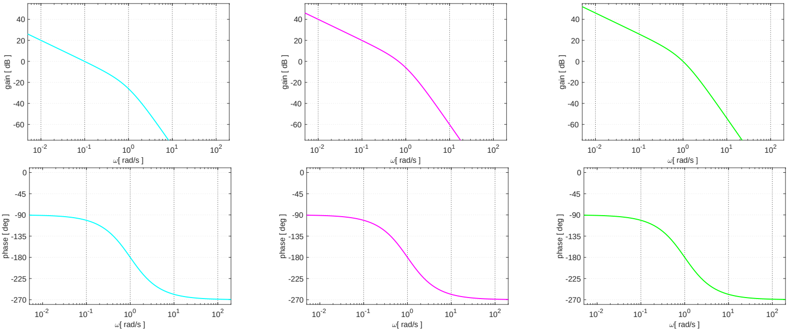
演習問題 13.4

演習問題 13.2, 13.3 の $P(s)$ に $C_1(s)$, $C_2(s)$, $C_3(s) = 2C_2(s) = \dfrac{2}{s}$ 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.

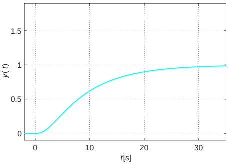


a L_1　　b L_2　　c L_3

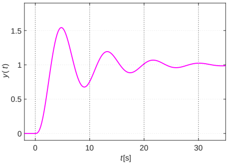
90° 弱　　20° 程度　　ほぼ 0°

演習問題 13.4

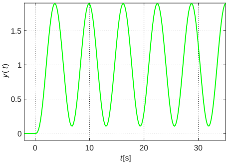
1. C_1, C_2, C_3 を適用したフィードバック制御系のステップ応答は，Fig. 13.21 のいずれかで与えられる．C_1, C_2, C_3 とステップ応答の正しい組み合わせを答えなさい．



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

$P(s) = \dfrac{1}{s-1}$, $C(s) = \dfrac{s-1}{s+1}$ 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

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

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.

$$N_p(s) = 1 \ (m_p = 0) \qquad D_p(s) = s-1 \ (n_p = 1),$$
$$N_c(s) = s-1 \ (m_c = 1) \qquad D_c(s) = s+1 \ (n_c = 1)$$

演習問題 13.5

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

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

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

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

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

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

$P(s) = \dfrac{1}{s}$, $C(s) = \dfrac{20}{s^2 + 5s + 2}$ 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 $(\mathrm{Im}L(j\omega_{\mathrm{pc}}) = 0)$ と，$\omega_{\mathrm{pc}} = \sqrt{2}\ [\,\mathrm{rad/s}\,]$．よって $|L(j\omega_{\mathrm{pc}})| = 2$ より，$\mathrm{GM} = 1/2 \approx -6\ [\,\mathrm{dB}\,]$．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

$P(s) = \dfrac{K}{s}$, $K > 0$, $C(s) = \dfrac{1}{s^2 + 2s + 1}$ 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

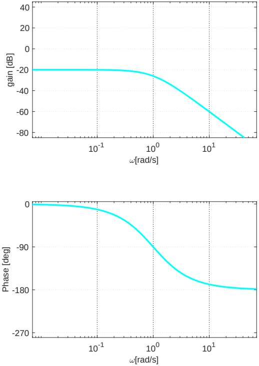
$$L(j\omega) = \frac{K}{j\omega(-\omega^2 + j2\omega + 1)} = \frac{-2K\omega^2 - jK\omega(1-\omega^2)}{(-2\omega^2)^2 + \omega^2(1-\omega^2)^2}$$

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 $\omega_{\rm pc}$ を考える $(\mathrm{Im}L(j\omega_{\rm pc}) = 0)$ と，$\omega_{\rm pc} = 1$ [rad/s]．よって $L(j\omega_{\rm pc}) = -K/2$．点 $-K/2 + j0$ が点 $-1 + j0$ より右側にあれば，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 $0 < K < 2$．

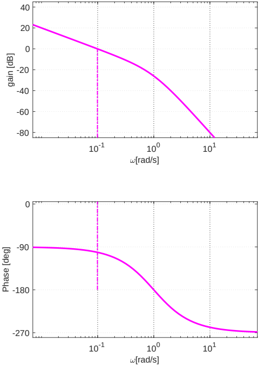
演習問題 14.1

制御対象 $P(s) = \dfrac{1}{10(s+1)^2}$ に対するフィードバックコントローラの設計を考えよう．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 $\lim_{\omega \to 0} L_0(j\omega)$ を読み取りなさい．



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

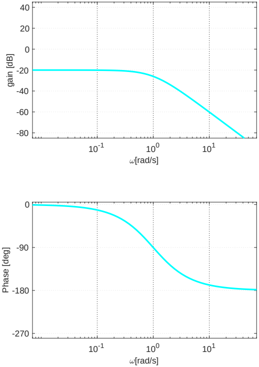


b $L_1 = P(s)C_1(s)$

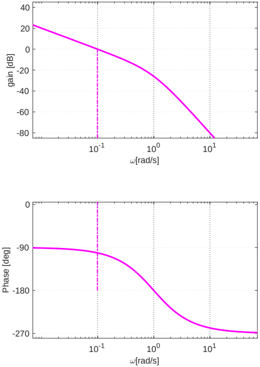
演習問題 14.1

コントローラ $C_1(s)$ として，I 制御コントローラ $C_1(s) = \dfrac{1}{s}$ 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 $\lim_{\omega \to 0} L_1(j\omega)$ を読み取りなさい．



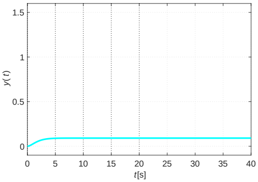
a $L_0(s) = P(s)$



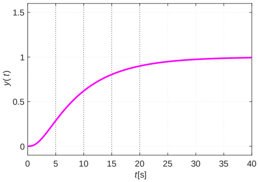
b $L_1 = P(s)C_1(s)$

演習問題 14.1

2. $\lim_{t\to\infty} y_1(t) = 1$ 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．



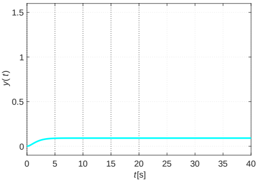
a $y_0(t)$



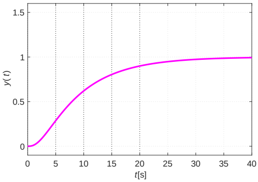
b $y_1(t)$

演習問題 14.1

2. $\lim_{t\to\infty} y_1(t) = 1$ 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 $y_0(t)$



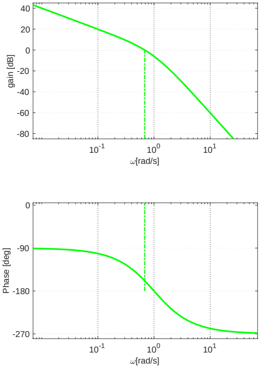
b $y_1(t)$

$\lim_{\omega\to\infty} |L_0(\omega)| = -20$ [dB] と定数値に留まっているのに対し，$L_1(s)$ では，$\omega \to 0$ のとき，-20 [dB / dec] の傾きでゲインが増加し $\lim_{\omega\to\infty} |L_1(\omega)| = \infty$ 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ている．

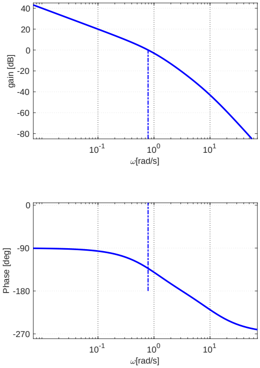
演習問題 14.1

$C_1(s)$ にゲイン補償を加え I 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 $\lim_{\omega \to 0} L_2(j\omega)$ を読み取りなさい．



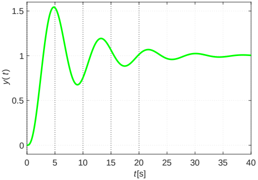
a $L_2(s) = P(s)C_2(s)$



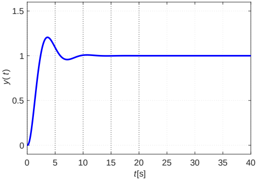
b $L_3(s) = P(s)C_3(s)$

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．



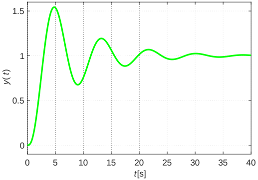
a $y_2(t)$



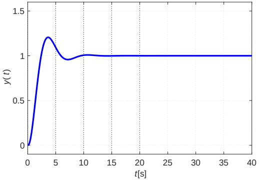
b $y_3(t)$

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 $y_2(t)$

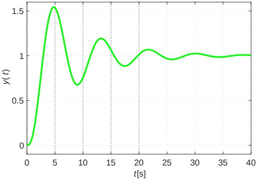


b $y_3(t)$

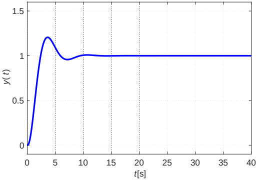
$L_1(s)$ での $\omega_{\rm gc} = 0.1$ [rad / s] に対し，$L_2(s)$ では $\omega_{\rm gc} = 0.7$ [rad / s] とゲイン交差周波数を引き上げることができている．これにより制御系の速応性が向上し、ステップ応答の立ち上がりを早くできている．

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．



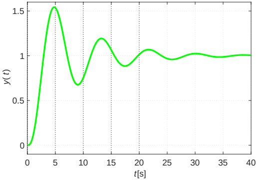
a $y_2(t)$



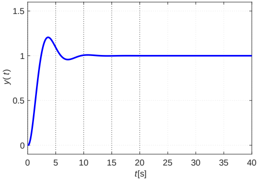
b $y_3(t)$

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 $y_2(t)$



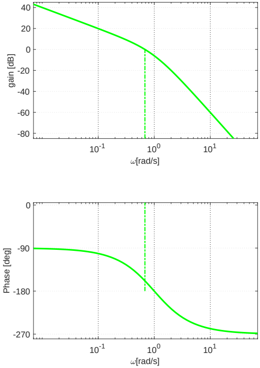
b $y_3(t)$

$L_1(s)$ での $\mathrm{PM} = 80°$ に対し，$L_2(s)$ では $\mathrm{PM} = 20°$ 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．

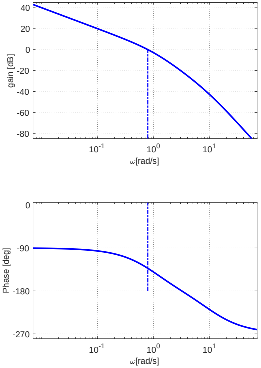
演習問題 14.1

さらに位相進みコントローラを加え $C_3(s) = \dfrac{\omega_3}{\omega_4}\dfrac{s+\omega_4}{s+\omega_3} \times C_2(s)$, $\omega_3 = 10$, $\omega_4 = 1$ 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 $\lim_{\omega\to 0} L_3(j\omega)$ を読み取りなさい．



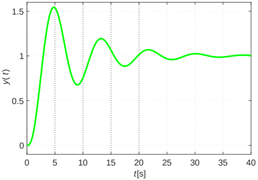
a. $L_2(s) = P(s)C_2(s)$



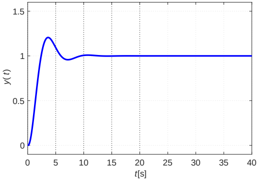
b. $L_3(s) = P(s)C_3(s)$

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．



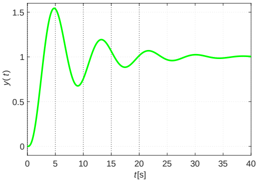
a $y_2(t)$



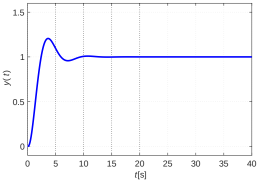
b $y_3(t)$

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 $y_2(t)$



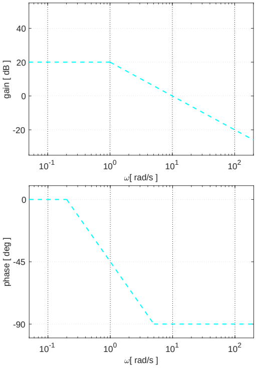
b $y_3(t)$

$L_2(s)$ で $\mathrm{PM} = 20^\circ$ 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，$\mathrm{PM} = 45^\circ$ 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．

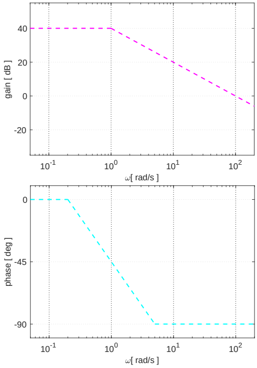
演習問題 14.2

制御対象 $P(s) = \dfrac{10}{s+1}$ 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．



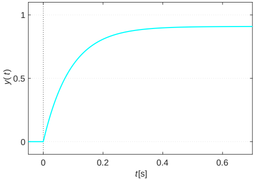
a $L_1(s)$



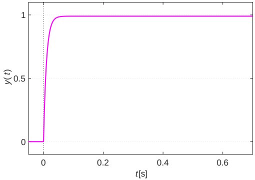
b $L_2(s)$

演習問題 14.2

1. $L_1(s)$, $L_2(s)$ のゲイン交差周波数 $\omega_{\rm gc}$ 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.



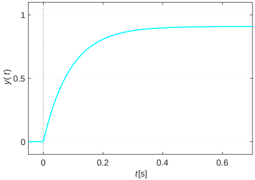
a $C_1(s)$ かな？



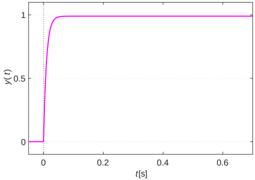
b $C_2(s)$ かな？

演習問題 14.2

1. $L_1(s)$, $L_2(s)$ のゲイン交差周波数 $\omega_{\rm gc}$ 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？



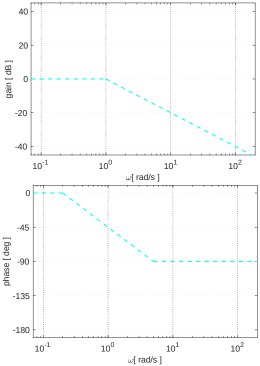
b $C_2(s)$ かな？

$L_1(s)$ と $L_2(s)$ を比較すると, $L_2(s)$ の方がゲイン交差周波数 $\omega_{\rm gc}$ 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.

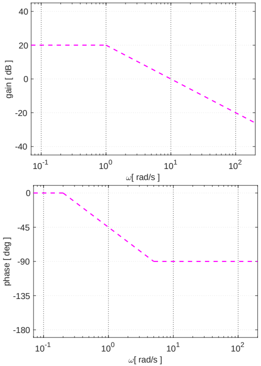
演習問題 14.3

制御対象 $P(s) = \dfrac{1}{s+1}$ 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.

1. $C_1(s) = 10$ 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 $L_1(s)$

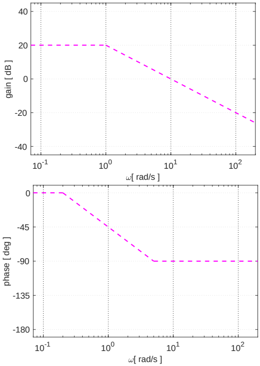
演習問題 14.3

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 $\lim_{\omega \to 0} L_1(j\omega)$ を読み取りなさい.

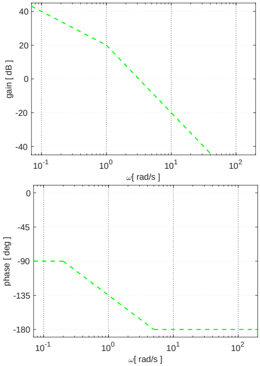
演習問題 14.3

つぎに，コントローラ $C_2(s)$ として，積分補償器 $\dfrac{1}{s}$ を加え，I 制御コントローラ $C_2(s) = C_1(s) \times \dfrac{1}{s}$ 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

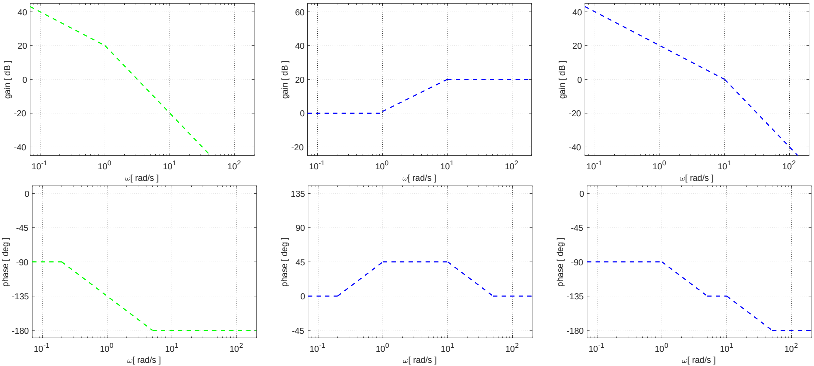
3. $L_2(s)$ のゲイン交差周波数 ω_{gc}, 位相余裕 PM, 低周波ゲイン $\lim_{\omega \to 0} L_2(j\omega)$ を読み取りなさい.

演習問題 14.3

さらに位相進みコントローラ $\dfrac{\omega_3}{\omega_4}\dfrac{s+\omega_4}{s+\omega_3}$, $\omega_3 = 10$, $\omega_4 = 1$ を加え, 新たなコントローラ $C_3(s) = C_2(s) \times \dfrac{\omega_3}{\omega_4}\dfrac{s+\omega_4}{s+\omega_3}$ を考える. 位相進みコントローラ $\dfrac{\omega_3}{\omega_4}\dfrac{s+\omega_4}{s+\omega_3}$, $\omega_3 = 10$, $\omega_4 = 1$ 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

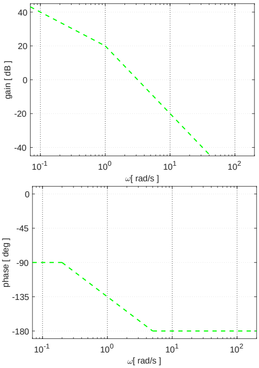


a $L_2(s)$

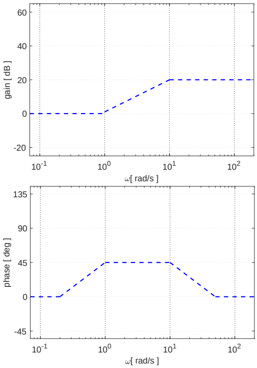
b $\dfrac{\omega_3}{\omega_4}\dfrac{s+\omega_4}{s+\omega_3}$, $\omega_3 = 10$, $\omega_4 = 1$

c $L_3(s)$

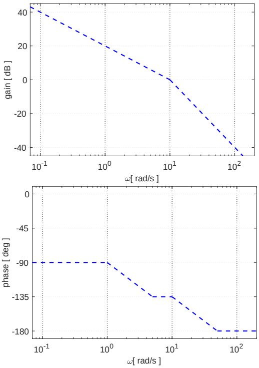
演習問題 14.3



a $L_2(s)$



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

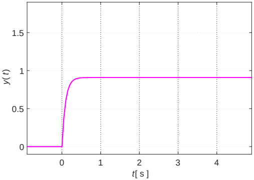


c $L_3(s)$

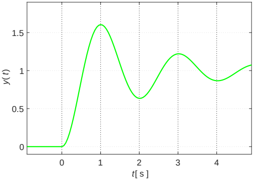
1. $L_3(s)$ のゲイン交差周波数 ω_{gc}, 位相余裕 PM, 低周波ゲイン $\lim_{\omega \to 0} L_3(j\omega)$ を読み取りなさい.

演習問題 14.3

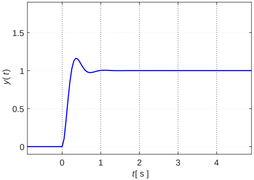
5. $C_1(s)$, $C_2(s)$, $C_3(s)$ を適用した場合のフィードバック制御系のステップ応答は，それぞれ Fig. 14.37 のいずれかで与えられる．$C_1(s)$, $C_2(s)$, $C_3(s)$ とステップ応答の正しい組み合わせを答えなさい．



a C_1 かな？

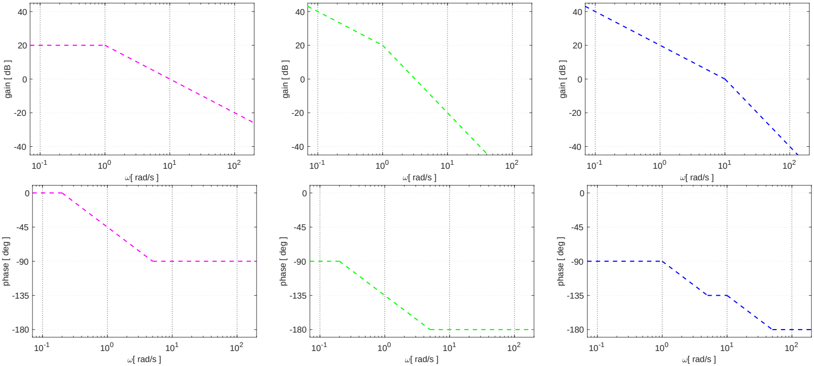


b C_2 かな？



c C_3 かな？

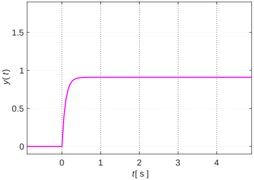
演習問題 14.3



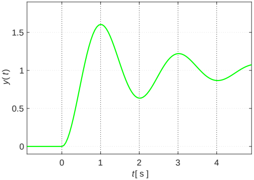
a $L_1(s)$　　b $L_2(s)$　　c $L_3(s)$

演習問題 14.3

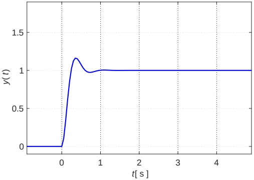
5. $C_1(s)$, $C_2(s)$, $C_3(s)$ を適用した場合のフィードバック制御系のステップ応答は，それぞれ Fig. 14.37 のいずれかで与えられる．$C_1(s)$, $C_2(s)$, $C_3(s)$ とステップ応答の正しい組み合わせを答えなさい．



a C_1 かな？



b C_2 かな？



c C_3 かな？

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