

第 8 章 : フィードバック制御系の設計法

8.3 位相進み-遅れ補償による制御系設計 [in situ]

キーワード : **ループ整形, 位相遅れ補償,**

学習目標 : **位相遅れ補償による制御系設計を習得する。**

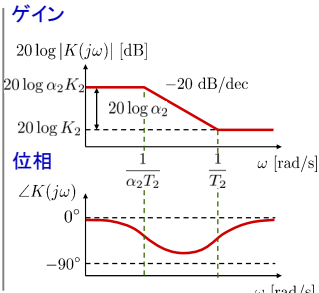
1

位相遅れ補償

コントローラ

$$K(s) = K_2 \frac{\alpha_2(T_2s + 1)}{\alpha_2 T_2 s + 1} \quad (\alpha_2 > 1)$$

定常特性の改善
 $+20 \log \alpha_2$ [dB]
 $(K(0) = \alpha_2 K_2, K(\infty) = K_2)$

ゲイン


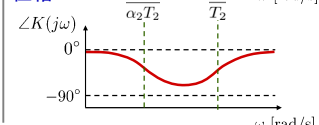

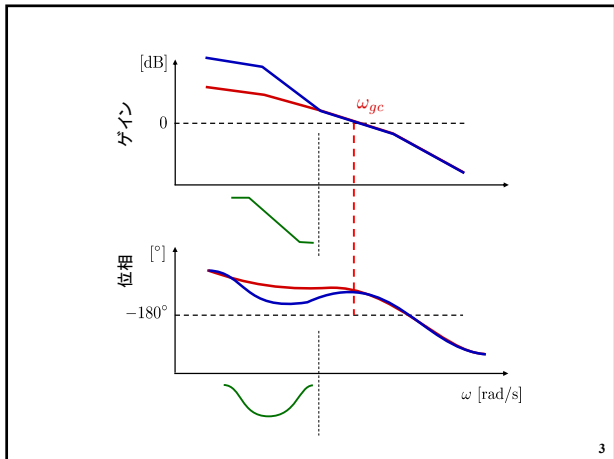
位相


図8.10 位相遅れ補償のボード線図

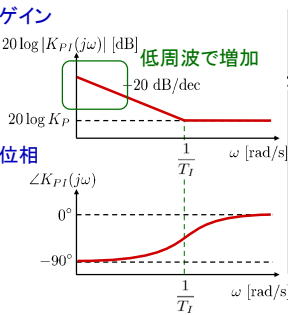
[注] 位相遅れ: (安定性の劣化の原因)
 折点角周波数 $1/T_2$ を適切に

2



3

位相遅れ補償とPI制御の違い

ゲイン


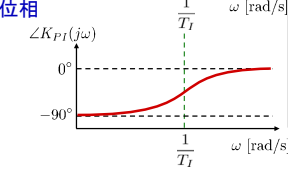
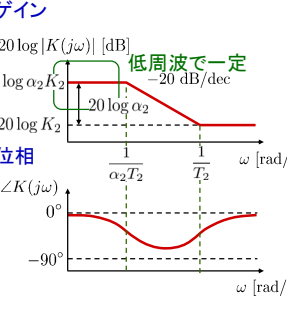
位相


図8.3 PI 補償のボード線図

ゲイン


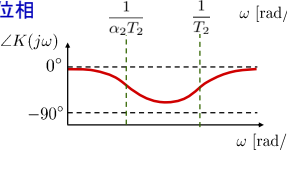
位相


図8.10 位相遅れ補償のボード線図

4

位相遅れ補償の設計手順

[ステップ1] 位相余裕やゲイン交差周波数に着目し、望ましい過渡応答特性が得られるように**ゲイン補償 K_2** を決める。

[ステップ2] [ステップ1]の K_2 を用いて開ループ伝達関数の**ボード線図**を描き、その低周波ゲインを評価する。

[ステップ3] 低周波ゲインが $+20 \log \alpha_2$ [dB]上がることを考慮し、定常特性に関する仕様を満たすように**パラメータ α_2** の値を定める。

[ステップ4] 位相遅れにより安定性が劣化しないように、折点角周波数 $\omega = \frac{1}{T_2}$ をゲイン交差周波数より 1dec 程度下になるように選ぶ。もうひとつの折点角周波数を $\omega = \frac{1}{\alpha_2 T_2}$ と定める。

[ステップ5] 以上で**設計パラメータ K_2, α_2, T_2** が定められたので、位相遅れ補償を構成する。

5


[例 8.3]

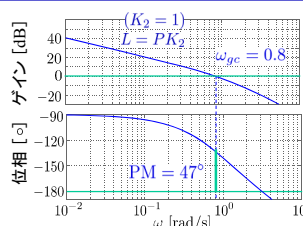
制御対象 $P(s) = \frac{10}{s(s+1)(s+10)}$ 性能仕様
 速度偏差定数(定常特性) $K_v \geq 10$
 位相余裕(減衰特性) $PM \geq 40^\circ$

[ステップ1] 位相余裕やゲイン交差周波数に着目し、望ましい過渡応答特性が得られるように**ゲイン補償 K_2** を決める。

ゲイン交差周波数
 $\omega_{gc} \approx 0.8$ [rad/s]

位相余裕
 $PM = 47^\circ$
 $PM \geq 40^\circ$ を満たす OK

 $K_2 = 1$

ゲイン


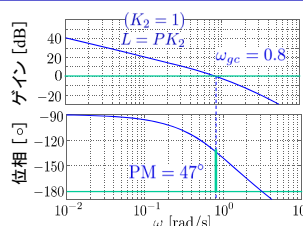
位相


図8.11 位相遅れ補償と開ループ特性

6

[ステップ2] [ステップ1]の K_2 を用いて開ループ伝達関数のボード線図を描き、その低周波ゲインを評価する。

開ループ伝達関数

$$L' = PK_2 = \frac{10}{s(s+1)(s+10)} \quad (K_2 = 1)$$

速度偏差定数

$$K_v' = \lim_{s \rightarrow 0} sL'(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{10}{(s+1)(s+10)} = 1$$

性能仕様は $K_v \geq 10$
 低周波ゲイン10倍以上必要

図8.11 位相遅れ補償と開ループ特性

7

[ステップ3] 低周波ゲインが $+20 \log \alpha_2$ [dB] 上がることを考慮し、定常特性に関する仕様を満たすようにパラメータ α_2 の値を定める。

低周波ゲイン10倍で
 速度偏差定数 $K_v = 10$
 $\alpha_2 = 10$

ゲイン
 $20 \log \alpha_2 K_2$
 $20 \log \alpha_2$
 -20 dB/dec

位相
 $\angle K(j\omega)$
 0°
 -90°

8

[ステップ4] 位相遅れにより安定性が劣化しないように、折点角周波数 $\omega = \frac{1}{T_2}$ をゲイン交差周波数より 1dec 程度下になるように選ぶ。もうひとつの折点角周波数を $\omega = \frac{1}{\alpha_2 T_2}$ と定める。

$T_2 = 10$ ($\omega = 0.1$) と選べば、ゲイン交差周波数 ω_{gc} より十分に小さい。

折点角周波数 $\frac{1}{\alpha_2 T_2} = 0.01$, $\frac{1}{T_2} = 0.1$

9

[ステップ5] 以上で設計パラメータ K_2 , α_2 , T_2 が定められたので、位相遅れ補償を構成する。

位相遅れ補償

$$K(s) = K_2 \frac{\alpha_2(T_2 s + 1)}{\alpha_2 T_2 s + 1}$$

$K_2 = 1, \alpha_2 = 10, T_2 = 10$

$$K(s) = 1 \cdot \frac{10(10s + 1)}{10 \cdot 10s + 1} = \frac{s + 0.1}{s + 0.01}$$

ゲイン交差周波数 $\omega_{gc} = 0.8$
 位相余裕 $PM \geq 40^\circ$

10

[CHECK]

性能仕様
 速度偏差定数(定常特性) $K_v \geq 10$
 位相余裕(減衰特性) $PM \geq 40$

$$L(s) = P(s)K(s) = \frac{10(s+0.1)}{s(s+0.01)(s+1)(s+10)}$$

$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} sL(s) = \frac{1}{0.1} = 10$ OK
 $PM \geq 40^\circ, \omega_{gc} \approx 0.8$ OK
 ステップ応答, ランプ応答 OK

11

MATLAB演習

制御対象(モータ) 性能仕様

$$P(s) = \frac{10}{s(0.0933s + 1)}$$
 速度偏差定数(定常特性) $K_v \geq 20$
 位相余裕(減衰特性) $PM \geq 40^\circ$

[ステップ1] file8_1.m を実行

- $L(s) = P(s)K_2$, ($K_2 = 1$) のゲイン交差周波数 ω_{gc} , 位相余裕 PM を求め、位相余裕が性能を満たすように K_2 を設計せよ。
- 設計した K_2 のときのゲイン交差周波数 ω_{gc} , 位相余裕 PM を求めよ。

file8_1.m

```

% -----
% 入力
K2 = 1; % 性能を満たすようにこの数字
% -----
    
```

性能を満たすようにこの数字を変える

12

[ステップ2][ステップ3]

- 速度偏差定数を求めて、性能を満たすために必要なゲインを求めて、 α_2 を答えよ。

[ステップ4]

- 折点角周波数 $\omega = \frac{1}{T_2}$ をゲイン交差周波数より 1dec 程度下になるようにするための T_2 を答えよ。

13

[ステップ5] file8_2.m を実行

- 設計パラメータ K_2, α_2, T_2 を入れて、ゲイン交差周波数 ω_{gc} , 位相余裕 PM を求めよ。

file8_2.m

```

% 入力
K2 = 0;
alpha2 = 0;
T2 = 0;
    
```

14

[CHECK] okure.mdl を開く

15

16

17

第 8 章 : フィードバック制御系の設計法

8.3 位相進み-遅れ補償による制御系設計 [in situ]

キーワード : ループ整形, 位相遅れ補償,

学習目標 : 位相遅れ補償による制御系設計を習得する。

18