

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

$$K(s) = K_2 \frac{\alpha_2(T_2s + 1)}{\alpha_2T_2s + 1} \quad (\alpha_2 > 1)$$

定常特性の改善

$$+20 \log \alpha_2 \text{ [dB]} \\ (K(0) = \alpha_2 K_2, K(\infty) = K_2)$$

ゲイン

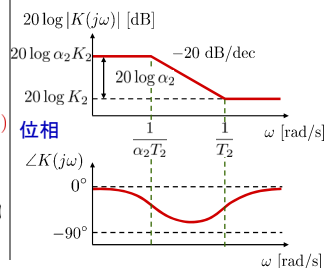
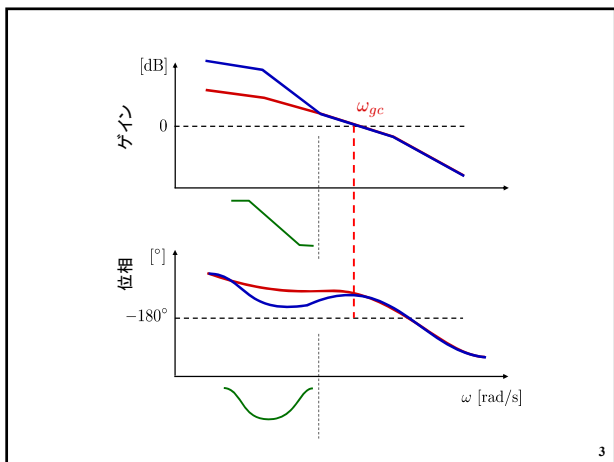


図8.10 位相遅れ補償のボード線図

[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

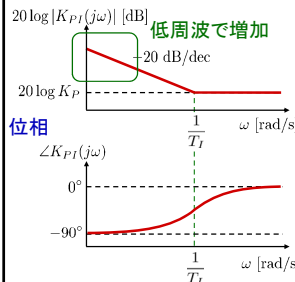


図8.3 PI 補償のボード線図

ゲイン

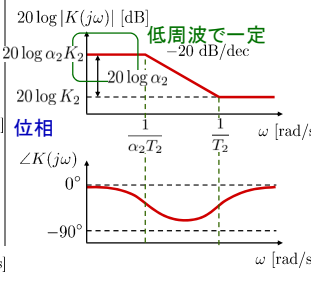


図8.10 位相遅れ補償のボード線図

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  $\alpha_2$  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  $K_2, \alpha_2, T_2$  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

$$\omega_{gc} \approx 0.8 \text{ [rad/s]}$$

位相余裕

$$PM = 47^\circ$$

$PM \geq 40^\circ$  を満たす

OK

➡  $K_2 = 1$

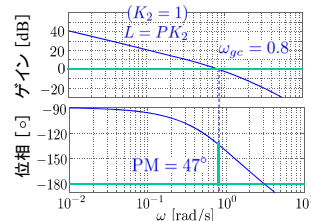


図8.11 位相遅れ補償と開ループ特性 6

**[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

**[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  $\alpha_2$  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  
 $20 \log \alpha_2 K_2$   
 $20 \log \alpha_2$   
 $-20 \text{ dB/dec}$

位相  
 $\angle K(j\omega)$   
 $0^\circ$   
 $-90^\circ$

**[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  $\omega_{gc}$  より十分に小さい。

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

**[ステップ5]** 以上で設計パラメータ  $K_2, \alpha_2, T_2$  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  

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

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

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

**[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)  $PM \geq 40$

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

$$K'_v = \lim_{s \rightarrow 0} sL(s) = \frac{1}{0.1} = 10 \quad \text{OK}$$

$PM \geq 40^\circ, \omega_{gc} \approx 0.8 \quad \text{OK}$

ステップ応答, ランプ応答  $\text{OK}$

**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  $\omega_{gc}$ , 位相余裕  $PM$  を求め、位相余裕が仕様を満たすように  $K_2$  を設計せよ。
- 設計した  $K_2$  のときのゲイン交差周波数  $\omega_{gc}$ , 位相余裕  $PM$  を求めよ。

file8\_1.m

```

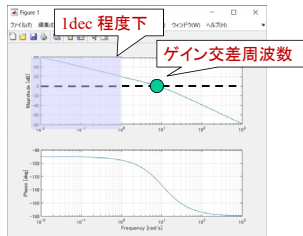
% ----- %
% 入力 ----- %
K2 = 1; % 性能を満たすようにこの数字を
% ----- %
    
```

[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、 $\alpha_2$  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。

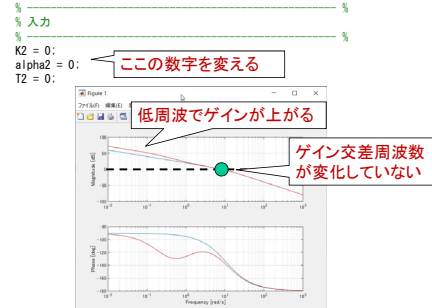


13

[ステップ5] file8\_2.m を実行

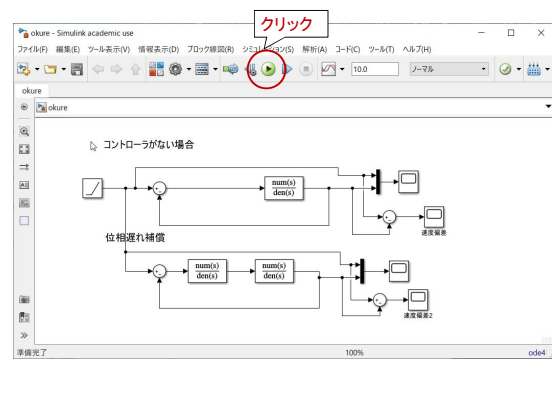
- 設計パラメータ  $K_2$ ,  $\alpha_2$ ,  $T_2$  を入れて、ゲイン交差周波数  $\omega_{gc}$ , 位相余裕 PM を求めよ。

file8\_2.m

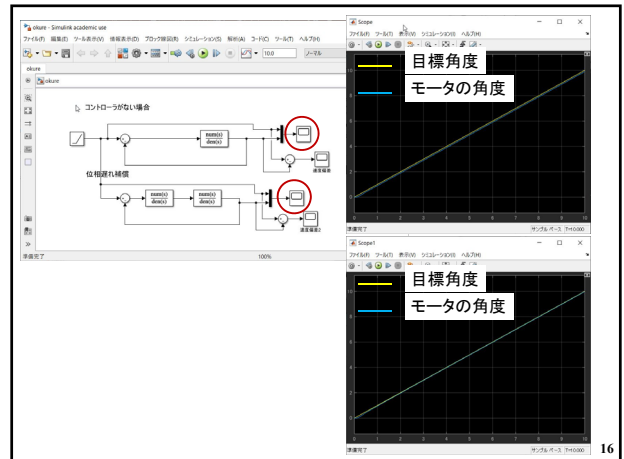


14

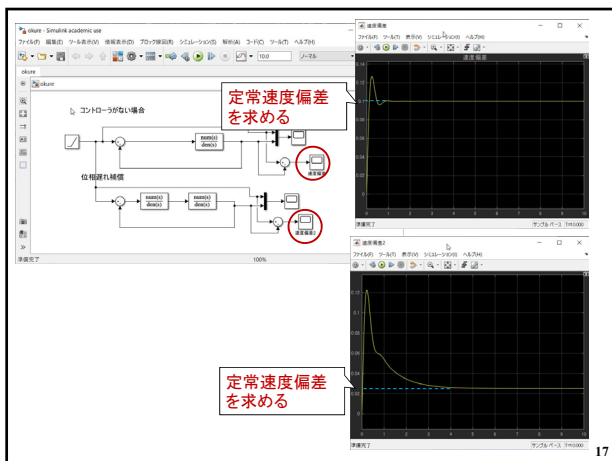
[CHECK] okure.mdl を開く



15



16



17

[図を描く]

dataplot.m を実行

18

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。