圖5.26  $F(s)$  的步進回應

要設計 PI 控制器,讓我們假設其傳輸功能由以下函數描述:

$$C(s) = K_P \left| \frac{K_I}{s} \right|$$

$$= \frac{1 + n_s}{s}$$

與  $K_P = \frac{1}{n_s}$  與  $K_I = \frac{1}{s}$ .

利用此,補償系統的開環傳輸功能由以下方式給出:

$$b_m s^m = [ ] = b_{-1} s = 1$$

$$T(s) = C(s)G(s) = K (1 + n_s s) \frac{1}{s} = 1 \quad (n_s s = 1)$$

$$K = \frac{1}{n_s}$$

以下程序可用於此控制器的設計:

1. 確定不等於原點極(對應於最高時間常數的極點)的最慢極,然後繼續零/極取消。這會使我們能夠透過以下情況對參數 $\tau_{in}$ 進行排序:

$$[n = \text{最大}_v] \{1, \dots\}$$

其中 $i, j = 1, \dots$ , 是要控制的系統的時間常數。

2. 使用博德圖確定提供所需相位裕量的增益 $K_P$ 並取得:

$$\omega_i = \frac{k}{K_P}$$

3. 使用: 1 控制器的增益 $K_P$ 和 $K_I$

$$K_P = \frac{\omega_i}{\omega_n}$$

$$K_I = \frac{\omega_i}{\omega_n}$$

4. 確定補償系統的開環傳輸功能,並檢查是否獲得所需的性能。在負回應的情況下調整 $n$  並重複過程設計。

**範例 5.5.2** 要顯示此過程的工作原理,請讓我們瞭解以下動態系統:

$$G(s) = \frac{1}{(s+1)(s+5)(s+10)}$$

並設計一個

*PI*

控制器,該控制器給出等於零的穩定誤差和約 $45^\circ$ 的相位裕量,增益裕量大於 8 db。

要回答這些表演,讓我們按照前面的過程:

1. 被控制器系統的打開傳輸功能有 $11, 0^\circ$  和  $0.1$  作為時間常量。最大值等於 1,因此通過取消相應的極點(按 controller 的零),我們可以得到:

$$[n = 1 \text{ s}]$$

2. 帶極點/零取消的開環傳輸功能由:

$$T(s) = \frac{0.02K}{s(0.2s+1)(0.1s+1)}$$

此傳輸函數的博德圖如圖 5.27 所示

在  $\omega = 2 \times 8 \text{ rad/s}$ , 相位距等於  $45^\circ$  在此頻率下, 幅度等於  $+10 \times 5 \text{ db}$ . 要獲得這樣的相位裕量, 我們需要將幅度曲線向上轉換  $17 \times 5 \text{ db}$ , 這意味著使用增益:

$$K_p = 10^{\frac{10.5}{20}} = 3 \times 3.497$$

這反過來意味著:

$$\tau_i = \frac{0.02}{K_p} = \frac{0.02}{3.497} = 0.0060$$

Bode Diagram

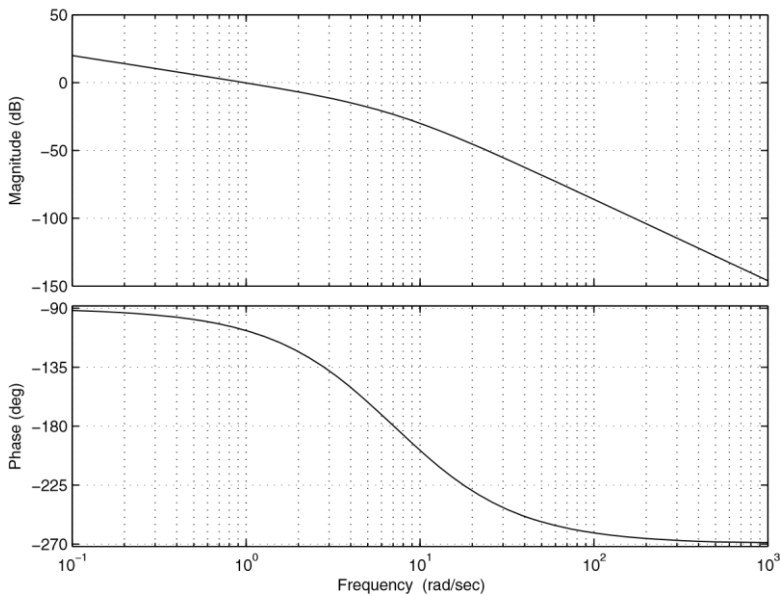


圖 5.27  $T(s)$  的博德圖,  $K = 1$

3. 控制器增益由以下人員提供:

$$K_p = \frac{1}{166 \times 6667 \times 0.0027} = \frac{1}{166 \times 6667 \times 0.0027}$$

$$K_I = \frac{1}{0.0027} = 166 \times 6667$$

4. 有了這個控制器,我們可以檢查相位裕量是否等於 $45^{\circ}$ ,但增益裕量等於 $4.5\text{ db}$ ,此控制器的閉環傳輸功能由以下功能提供:

$$F(s) = \frac{K_p}{15s^250s} s^3 = K_p$$

如果我們接受現在的增益裕量,則設計已完成,否則我們必須修改 $n_n$ 的值並重複設計

圖 5.28 說明了閉環動力學與計算控制器的行為  
在 5% 的建立時間等於  $1.47\text{ s}$  是可以接受的,步進輸入的錯誤等於零。

現在,讓我們重點介紹使用博德方法的  
控制器的設計。此控制器改進瞬態機制。此控制器的傳輸功能為::  
步回應點

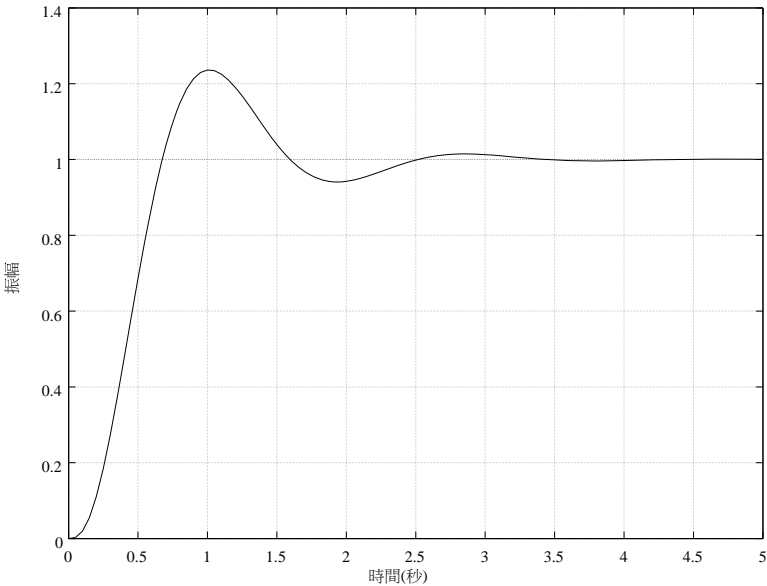


圖5.28  $F(s)$  的步進回應

$$K_P + K_D s = K(s) = + \tau) C(s) = K P = K D s = K P (1 + D s)$$

與 $D = K_{D_P}$ 。

補償系統的開環傳輸功能由以下方式給出:

$$(1 = _{Ds})(bbs^m = [ ], b_1s = 1)$$

$$T(s) = K \frac{1}{s^n (1 + s \tau)^n} \quad (n=1, 2, 3, \dots, \tau=1)$$

其中  $K = kK_P$

PD 控制器的設計被確定兩個增益  $K_P$  和  $K_D$ 。

以下過程可用於此控制器的設計: 1. 從錯誤規格, 確定增益  $K, K+P_P$

給出所需的誤差 2. draw 博德圖的系統:

$$K \frac{1}{s^n (1 + s \tau)^n} \quad [P, \dots, b, a, a_1, s, s=1]$$

並確定頻率,  $\omega_m$  在其幅度等於 +20 db

3. 由於 PD 控制器的切割頻率等於  $\omega_m$ , 因此頻率為  $\omega_m$

10  
D, PD 控制器對幅度和相位的貢獻分別為 20 分貝和  $90^\circ$ 。如果我們選擇  $\tau$   
D, 則:

$$\omega_m = \frac{10}{\tau}$$

給出了補償系統的相位裕量:

$$[\phi_c] \gg 90$$

其中  $\phi_c$  是系統的相位邊距, 沒有控制器的頻率  $\omega_m$

如果

$[\phi_c] > 50^\circ$  減少參數,  $\tau$  直到  $[\phi_c] = 45^\circ < 40^\circ$   
選擇另一個控制器  
"

4. 使用:

$$K_P = \frac{K}{\omega_m^2} \quad K_D = K \tau = \frac{K}{\omega_m}$$

5. 檢查是否取得所需的規格

範例

5.5.3 為了顯示

PD

控制器設計過程的工作原理,讓我們考慮以下動態系統:

$$G(s) = \frac{4}{s(0.1s + 1)(4s + 1)}$$

作為規格,我們考慮以下事項:

- 1. 穩定系統
- 2. 相位裕量等於45°
- 3. 穩定狀態誤差等於 0.1

為了滿足這些規格,必須設計

PD

控制器。為此,讓我們按照前面的過程操作:

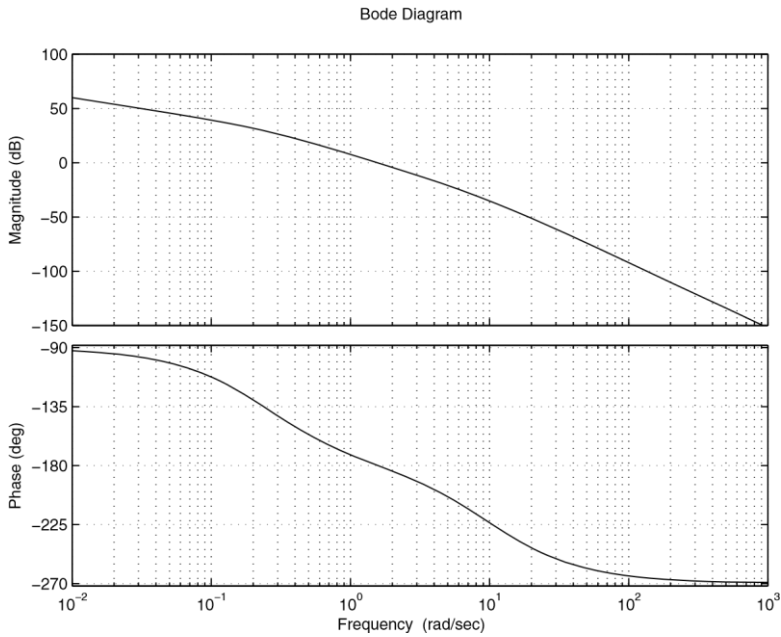
- 1. 從錯誤規範中,我們需要將  $K_p$  固定為 10。
- 2. 博德圖:

$$\frac{K_p}{s(0.1s + 1)(4s + 1)}$$

圖 5.29 所示,當頻率  $\omega_m = 4$ 時,幅度等於±20 db。 73 號s. 參數 \_D

然後由以下指定:

$$\frac{10}{4.73} \cdot \frac{10}{2} \cdot x_d = \frac{1}{1142 \omega_m}$$

圖 5.29  $T(s)$  的博德圖,  $K = 10$ 

3. 控制器位於  $w_m = 4$  的系統的相位  $73^\circ$   $rd/s$  等於  $+202^\circ$ 。補償系統的相位裕量由:

$$[c = 180 - 202 = -22^\circ]$$

相位裕量大於  $45^\circ$ , 應減小參數  $*D_D$ 。因此, 如果我們選擇  $*D = \frac{10}{9.1} = 1.0989$ , 在這種情況下, 相位裕量等於  $49^\circ$

4. 控制器增益由以下人員提供:

$$K_P = \frac{K_P}{2.5} = \frac{10}{2.5} = 4$$

$$K_D = K_P = 2.0 \times 1.0989 = 2.1978$$

5. 補償系統的開環傳輸功能由以下方式給出:

$$T(s) = \frac{4(K_P + K_D s)}{s(0.1s + 1)(4s + 1)}$$

此控制器所使用的相位裕量約為  $61.5^\circ$ , 閉環傳輸功能由以下功能提供:

$$F(s) \mid \frac{4(K_s = K_p)}{0.1s^3 \times 4 \circ 1s^2 + (1 + 4K_D)s = 4K_P}$$

補償系統的步進回應如圖5.30所示。

步回應驟

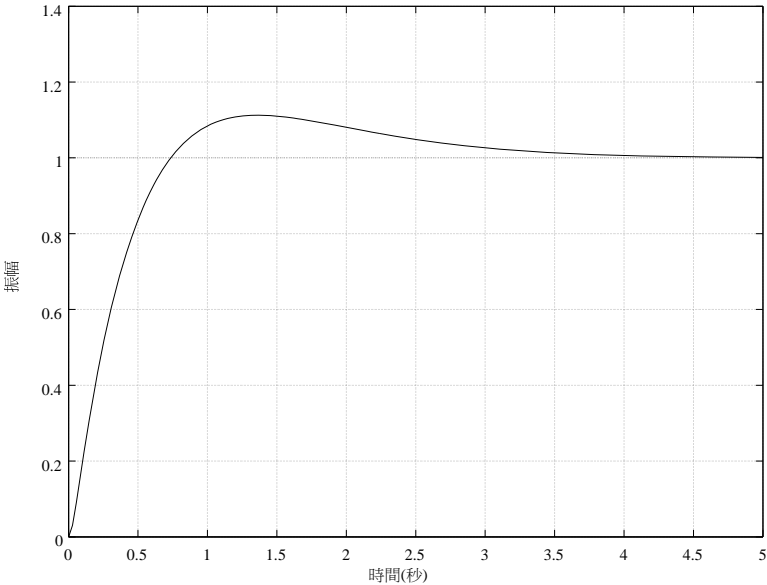


圖5.30  $F(s)$  的步進回應

現在,讓我們重點介紹使用博德方法的PID控制器的設計。此控制器作用於瞬態和穩定狀態。此控制器的傳輸功能由以下人員提供:

$$K_D s = \frac{K_I (1 + \tau_n s)(1 + \tau_i s)}{s} C(s) = K_P \frac{1}{s} + \tau_i s$$

其中  $K_P = \frac{1}{K_I \tau_i}$ ,  $K_I = \frac{1}{\tau_i}$  與  $K_D = \tau_n \tau_i$ 。

補償系統的開環傳輸功能由以下方式給出:

$$T(s) = K \frac{(1 + \tau_n s)(1 + \tau_i s)(b_m s^m + \dots + b_1 s + 1)}{s^{l+1} (n_n s^n + \dots + I_1 s + 1)}$$

其中  $K = \frac{k_i}{k_p}$ 。



為了設計這樣的控制器,我們使用用於單獨設計 PI 和 PD 控制器的想法。設計此類控制器的過程基於以下事實:在原點引入極點、增益  $\cdot K+P, \tau_p$  該極給出穩定誤差並使用最大相位,  $90^\circ$  由 PD 控制器引入),當量級為  $+20 \text{ db}$  ( $w_{wm}=\nu$   $=$  10)時對應於頻率。以下程序可用於此控制器的設計:

1. 確定系統最慢的極點,以 controller,除了那些在原點,並繼續一個極/零取消。這將有助於修復  $\tau_v$ ,即:

$$[n = \text{最大} \nu] \{1, \dots\}$$

2. 確定提供需要誤差的增益  $K=P$ ,繪製博德圖:

$$T(s) = K \frac{(1 + s\tau_p) \prod_{n=1}^n (1 + s\tau_{pn})}{\prod_{m=1}^m (1 + s\tau_{mn})}$$

並確定幅度等於  $+20 \text{ db}$  的頻率  $w_m$ 。

使用此頻率,我們  $\tau_v$  通過:

$$= \frac{10 \times \nu}{w_m}$$

給出了補償系統的相位裕量:

$$[c] \cdot 90$$

其中  $[c]$  是系統的相位邊距,沒有控制器的頻率  $w_m$

如果

$$[c] > 50^\circ \quad \text{減少參數, } \tau_D \text{ 直到 } +c = 45^\circ < 40^\circ$$

選擇另一個控制器

4. 使用以下方式計算控制器的增益:

$$K_P = \frac{[n] \nu}{\prod_{i=1}^i \tau_{pi}}$$

$$K_I = \frac{1}{\prod_{i=1}^i \tau_{mi}}$$

$$K_D = \frac{1}{\prod_{i=1}^i \tau_{di}}$$

5. 檢查是否取得所需的規格

**範例 5.5.4**為了顯示 *PID* 控制器的設計的工作原理,讓我們考慮以下動態系統:

$$G(s) = \frac{2}{(0.1s + 1)(0.2s + 1)(0.5s + 1)}$$

對於等於 0.1 的單位斜坡,需要穩定狀態錯誤。  
 此系統為零型,並且具有三個時間常數 0.5, 0.2 和 0.1. .最大時間常數為 0.5. .

按照程式設計,我們得到:

1. 使用我們擁有的系統的最大時間常數:

$$[n = 0.5$$

2. 使用錯誤規範,我們得到:

$$K_P = \frac{1}{0.1} \left[ \frac{1}{10} \right] 10 \quad 1$$

$$K_P$$

3. 繪製博德圖:

$$T(s) = \frac{1}{s(0.1s + 1)(0.2s + 1)}$$

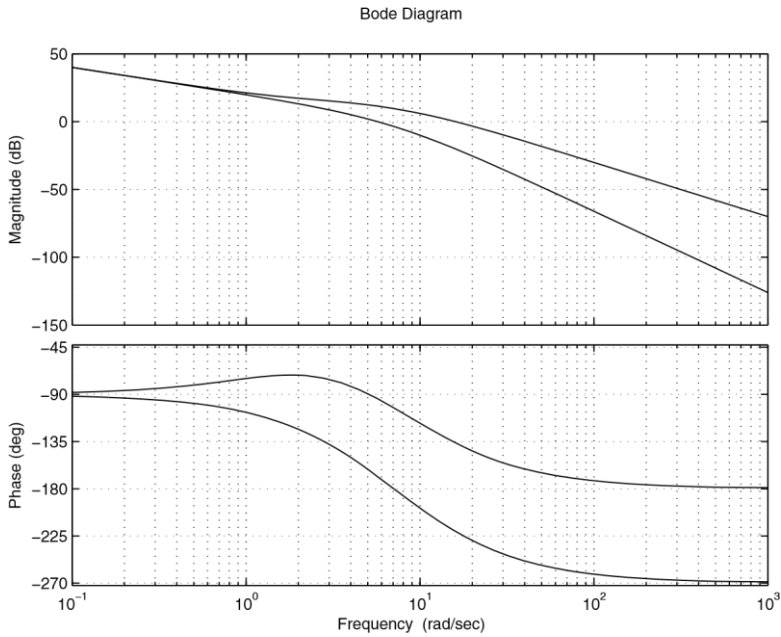
圖5.31  $T(s)$  的博德圖

圖 5.31 說明瞭此圖。量級等於  $20 \text{ dB}$  的頻率等於  $\omega_m = 15.9$ 。此頻率的相位等於  $+220^\circ$ 。此 frequency 的相位裕量由以下指定：

$$[ ] 180^\circ - \angle G(j\omega_m) = 90^\circ - 180^\circ - 220^\circ = -110^\circ$$

控制器的第二個參數  $K_v$  由以下因素確定：

$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} s G(s) = 0.6289 \omega_m$$

4. 使用以下方式計算控制器的增益：

$$\bullet_i \left[ \frac{2}{10} = 0.2 \right]$$

$$[n] v$$

$$K_P \left[ \frac{1}{5} = 0.2 \right]$$

$$\bullet_i$$

$$K_I \left[ \frac{1}{5} \times_i \right]$$

$$K_D \left[ \frac{n_{n=v}}{\bullet_i} = 1 \circ 5723 \right]$$

5. 具有此控制器的閉環傳輸功能為:

$$\frac{2*}{[i \ ( \ vS \ = \ 1) \ F(s) \ ]} \frac{}{0.02s^2 + 0.2s^2 + (1 + \frac{2\tau_v}{\tau_i})\tau_i s + \tau_i^2}$$

補償系統的步進回應如圖5.32所示。

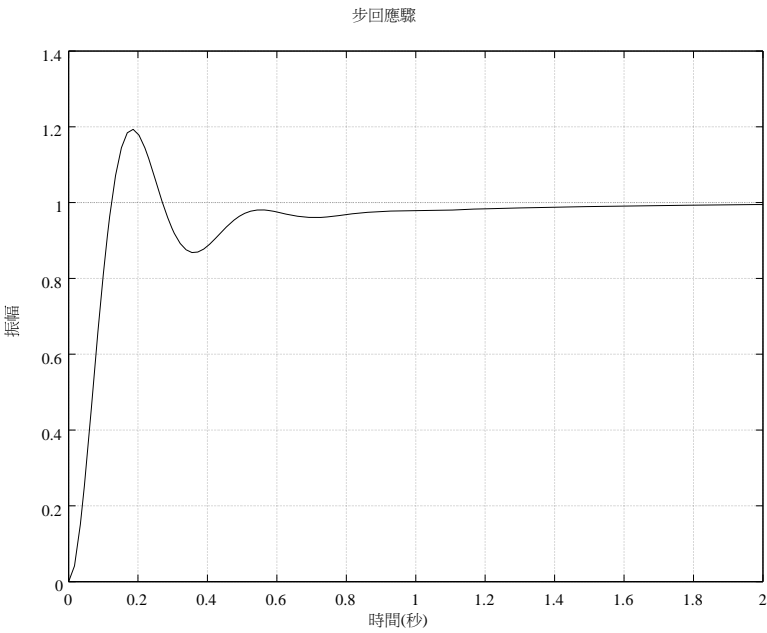


圖5.32  $F(s)$  的步進回應

現在,讓我們重點介紹使用
Bode
方法的相位引線控制器的設計。此控制器的傳輸功能由以下人員提供:

$$C(s) = K_P \frac{aT = 1}{Ts = 1}, \quad > 1$$

可以顯示,此控制器可以為的每個值提供的最大相位 $a$ 。此最大值的值與發生此頻率的頻率由以下值給出:

$$w_m = \frac{1}{T a} \sqrt{\frac{a}{1}}$$

$$\sin(\mu_m) = \frac{1}{a}$$

第二個關係還給出了：

$$1 = \sin(\mu_m) a$$

$$= \frac{1}{\sin(\mu_m)}$$

這些關係在相位控制器的設計過程中非常重要。

以下程序可用於此控制器的設計：

1. 使用錯誤規範,確定增益 $K_P$ 並透過以下方式計算控制器增益:

$$K_P = \frac{K}{k}$$

繪製博德圖:

$$K_P \frac{1}{s^2} \frac{1}{(1 + sT)^2}$$

並確定非補償系統的相位和增益邊距。然後計算缺少的相位裕量。對於安全性,此值增加一個系數 (5%) 被用於 $\mu_m$ ,然後按以下方式計算參數  $a$ : by:

$$1 = \sin(\mu_m) a$$

$$= \frac{1}{\sin(\mu_m)}$$

3. 確定 $w_m$  非補償系統的大小等於  $+20 \log w_m$  的頻率,  $w_m$  並將其視為補償系統的交叉。使用以下參數 T 控制器的參數  $T$ :

$$T = \frac{1}{w_m a}$$

4. 檢查是否取得所需的規格

**範例 5.5.5** 讓我們考慮以下動態系統:

$$G(s) = \frac{5 (0.125s + 1)}{s(2s + 1)(0.1s + 1)}$$

本示例中的目標是設計一個相位引線控制器,滿足以下規格的實現:

1. 穩定系統
2. 坡次輸入的穩態誤差等於 0.1
3. 相位裕量大於 40°
4. 增益邊距大於 6 db

相位引線控制器的設計被引入參數  $a$  和  $T$  的確定。為此,我們遵循前面的過程。

1. 由於系統為 1 型,因此斜坡輸入的錯誤由:

$$e_p(\infty) = \frac{1}{K}$$

這反過來給:

$$K_p = 10$$

它給出:

$$K_p = \frac{K}{K_p} = 2$$

2. 取得此增益後,系統的開環傳輸功能變為:

$$T(s) = \frac{10}{s(2s + 1)(0.1s + 1)}$$

該系統的博德圖由圖 5.33 給出。

從這個圖中,我們得出結論,具有比例控制器的系統相位裕量等於 15°。67° 和增益邊距等於 +

db。為了得到我們所需的相位保證金,我們需要增加 24 個。33°。如果我們採取 50° 安全,控制器應添加一個相位,  $\mu_m$  等於 29°。33°。這給出了:

$$a = \frac{1 = \sin(29) \cdot 33}{1 = \sin(29) \cdot 33} = 2.9201$$

3. 具有我們具有的值:

$$-20 \log \sqrt{a} = -4.6540$$

從 5.33 開始, 我們指出幅度曲線為  $+40.6540$  頻率  $\omega_m = 20.93 \text{ rad/s}$ . 這給出了:

$$T = \frac{1}{\omega_m a} = 0.1997$$

然後, 控制器由以下人員給出:

$$C(s) = K_P \frac{aTs + 1}{Ts + 1} = \frac{0.5832s + 1}{0.1997s + 1}$$

補償系統的開環傳輸功能由以下方式給出:

$$T(s) = 10 \frac{0.5832s + 1}{s(2s + 1)(0.1s + 1)(0.1997s + 1)}$$

Bode Diagram

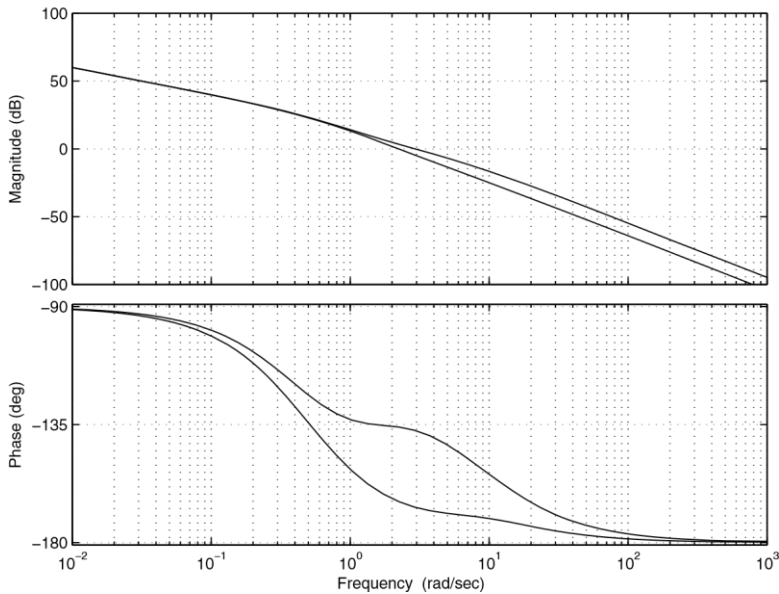


圖5.33  $T(s)$  的博德圖

4. 與控制器, 我們得到  $42.8^\circ$  和  $+20 \text{ dB}$  分別作為相位裕量和增益裕量。

閉環傳輸功能由以下功能提供:

$$kK_P \cdot 0.125aT^2 = (0 \cdot 125 + aT)s = 1$$

$$F(s) = \frac{b_4s^4 + b_3s^3 + b_2s^2 + b_1s + b_0}{b_4s^4 + b_3s^3 + b_2s^2 + b_1s + b_0}$$

$$k = 5, b_4 = 0 \cdot 2T, b_3 = 0 \cdot 2 \times 2 \cdot 1T, b_2 = 2 \cdot 1 = T = 0.125aTkK_P, b_1 = 1 = akK_P(0.125 = aT \text{ 與 } b_0 = kK_P \cdot$$

圖 5.34 說明了閉環動力學與計算控制器的行為

在 5% 的建立時間等於1.68 s

是可以接受的,步進輸入的誤差等於零,而過高大約30%。

現在,讓我們重點介紹使用 Bode 方法的相位滯後控制器的設計。此控制器的傳輸功能由以下人員提供:

$$C(s) = K_P \frac{aT = 1}{Ts = 1}, < 1 \ a$$

步回應驟

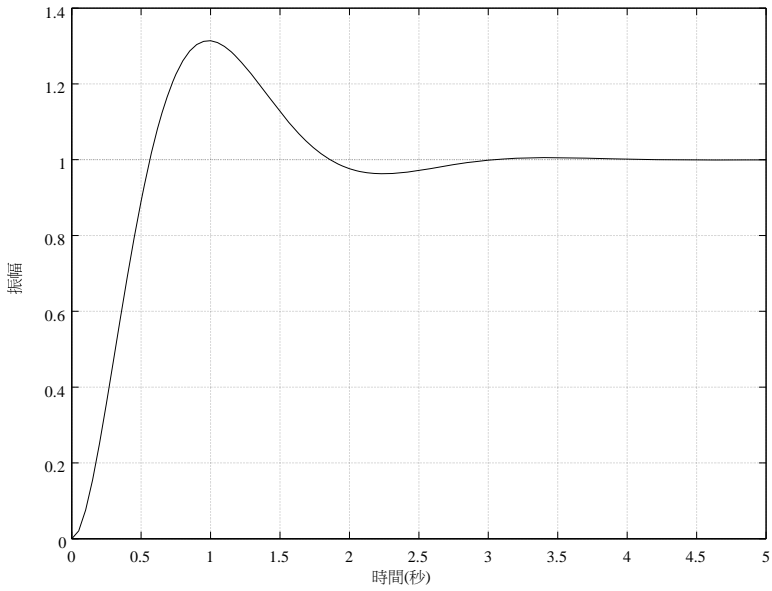


圖5.34  $F(s)$  的步進回應

以下程序可用於此控制器的設計:

1. 使用錯誤規範,確定增益 $K_P$ ,並透過以下方式計算控制器增益:

$$K_P =$$



$$K_P = \frac{K}{k} \quad 2.$$

繪製博德圖:

$$K \frac{[P]}{s^l b(m a_n s^n) [ ] [ ] b a_{11} s = 11)$$

並確定我們擁有所需相位裕量的非補償系統的頻率,  $\omega_m$ 。

然後計算分貝的多少,  $mm$  在  $\omega_m$  時將量級級帶到  $0 \text{ db}$ 。控制器的參數  $a$  由以下人員給出:

$$a = 10^{20}$$

3. 要獲得相位曲線的顯著變化, 我們需要選擇參數  $T$ , 如下所示:

$$T \frac{10}{\omega_m}$$

4. 檢查是否取得所需的規格

**範例 5.5.6** 讓我們考慮以下動態系統:

$$G(s) = \frac{2}{s(0.1s + 1)(0.05s + 1)}$$

這個範例中的目標是設計滿足以下規格的相位延遲控制器:

1. 穩定系統
2. 坡次輸入的穩態誤差等於  $0.1$
3. 相位裕量大於  $40^\circ$
4. 增益邊距大於  $4 \text{ db}$

phas 電子滯後控制器的設計被引入參數  $a$  和  $T$  的確定。為此, 我們遵循前面的過程。

1. 要控制的系統為  $1$  型。單位斜坡作為輸入的穩態誤差由以下公式給出:

$$e_p(\infty) = \frac{1}{K}$$

這意味著:

$$K_P = 10$$

由此,我們得出結論,控制器的增益是 $K_P = 5$ 。

2. 取得此增益後,系統的開環傳輸功能變為:

$$T(s) = \frac{10}{s(0.1s + 1)(0.05s + 1)}$$

該系統的博德圖由圖5.35給出。  
從這個數字,我們得出結論,在 $\omega_m = 5.59$  第/s,相位裕量等於 $45^\circ$ 。在此頻率下,幅度等於 $3.52$  db.使用此參數,給  $a$ :

$$a = 10^{\frac{3.20 + 5.2}{20}} = 0.6668$$

**備註5.5.3** 我們考慮的事實  $\omega_m = 5.59$  第/s, 相位裕量等於  $45^\circ$  db

表示我們希望控制器在此頻率下引入此振幅。

3.  $T$  選擇是將頻率 $\omega_m$ 置於  $\omega_m$  的十年  
 $5.59$  rd/s,即:

$$\omega_m = 5.59$$

這意味著 $T = 2.6828$ 。  
我們的相位滯後共壓機的轉移功能由:

$$G(s) = \frac{K_P}{Ts + 1}$$

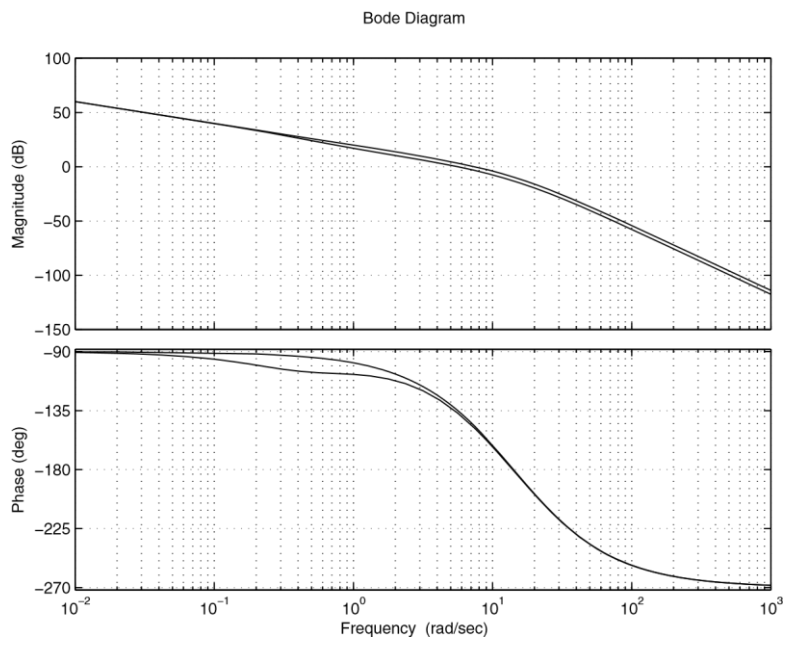


圖5.35  $T(s)$  的博德圖

$K_P = 5^\circ$

使用此控制器,我們得到:

$[ ] = 43^\circ 13'$

$[G = 4.37\text{ db}]$

閉環傳輸功能由以下功能提供:

$$F(s) | \frac{kK_P (aT (= 1))}{0.005Ts^4 + (0 \cdot 005 \times 0.15T)s^3 + (0) \cdot .15 + T)s^2 + (1 + kK_P aT)s = kK_P \text{與} k = 2^\circ$$

圖 5.36 說明了閉環動力學與計算控制器的行為  
在 5% 的建立時間等於0.78 s  
是可以接受的,步進輸入的誤差等於零,而過高大約27%。

現在,讓我們重點介紹使用 Bode 方法的相位引線滯後控制器的設計。控制器的傳輸功能由以下人員提供:

$$C(s) = K_P \frac{a^1 T^1 s + 1}{T_1 s + 1} \frac{a^2 T^2 s + 1}{T_2 s + 1}$$

以下程序可用於此控制器的設計:

步回應驟

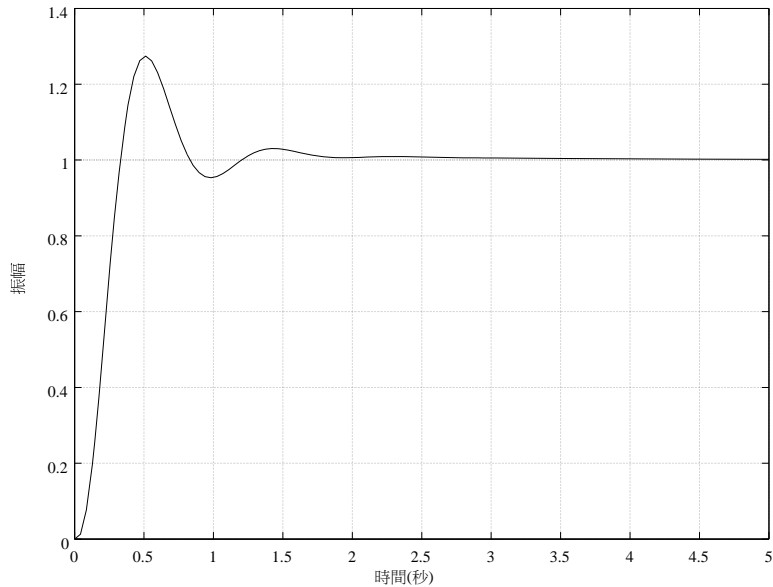


圖5.36  $F(s)$  的步進回應

1. 使用錯誤規範,確定增益 $K_P$ 並透過以下方式計算控制器增益:

$$K_P = \frac{K}{k}$$

繪製博德圖:

$$K \frac{[P \frac{1}{s^l b(a_n s^n)}] [1] [1] b a_{11} s s=11)$$

並確定非補償系統的相位裕量

- 3. 確定相位引線控制器的參數,1 和  $T_1$
- 4. 確定相位滯後控制器的參數,2 和  $T_2$

## 5. 檢查是否取得所需的規格

**範例 5.5.7** 為了展示如何設計相位滯後控制器,讓我們考慮以下動態系統:

$$G(s) = \frac{4(0.125s + 1)}{s(0.1s + 1)(0.2s + 1)}$$

作為規範,我們搜尋得到以下:

1. 穩定系統
2. 等於 0.05 的單位斜坡的穩態誤差
3. 大於 40° 的相位裕量
4. 大於 8 dB 的增益邊距

設計相位滯後控制器,讓我們按照預置過程的步驟。

1. 取得需要誤差的增益  $K_P$  等於 20, 對應於  $K_P = 5$ 。
2. 具有此增益的非補償系統開環的轉移功能由:

$$T(s) = \frac{20(0.125s + 1)}{s(0.1s + 1)(0.2s + 1)}$$

該系統的博德圖由圖 5.37 給出。

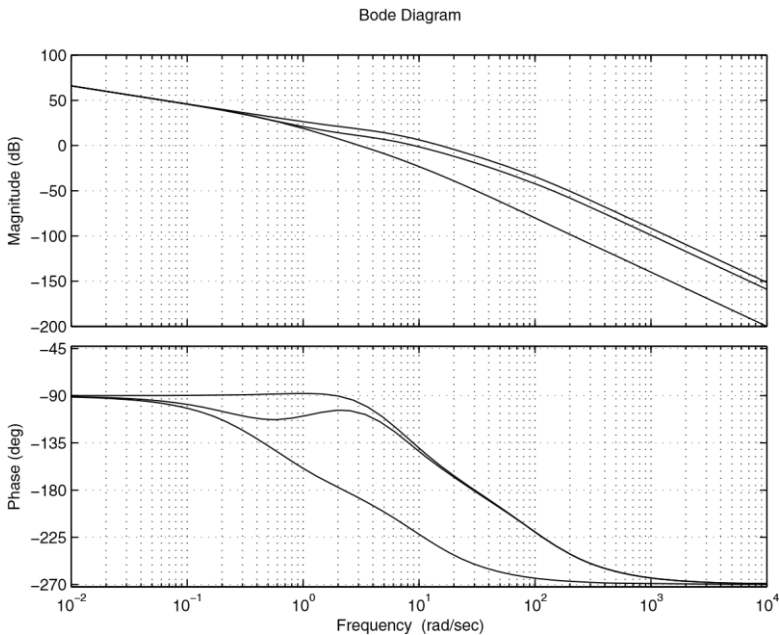


圖5.37  $T(s)$  的博德圖

使用此比例控制器,系統具有:

$$[ \phantom{G} ] = 32 \circ 7^\circ$$

$$[G] = db$$

3. 為此,可以按照上述步驟進行階段引線控制器的設計。請注意,要獲得所需的相位裕量,相位控制器必須攜帶  $45^\circ - 32^\circ = 13^\circ$  的 phase。使用此,我們有:

$$\frac{1}{a_1} = \frac{1 + \sin(12.3)}{1 - \sin(12.3)} = 1.5414$$

使用  $1_1$  的值,我們得到:

$$-20 \log \sqrt{a_1} = -1.8791$$

現在,如果我們參考圖5.37,震級將具有  $+1.8791$  頻率  $w_m = 11.4$

rd/s. 這意味著:

$$T_1 = \frac{1}{w_m a_1} = 0.0707$$

給相位引線控制器的傳輸功能:

$$0.4231s = 1 \quad C(s) \mid$$

$$0.0707s = 1$$

帶有控制器的系統開環傳輸功能由以下人員提供:

$$T(s) = 20 \frac{a_1 T_1 s = 1}{s(0.2s + 1)(0.01s + 1)(TT_1s + 1)} \quad 4.$$

使用相位引線控制器補償的系統具有:

$$[ \phantom{G} ] = 10 \circ 9624^\circ$$

$$[G] = db$$

要獲得等於  $45^\circ$  的相位裕量,如果我們向圖 5.37 報告,我們以  $w_m = 10$  rd/s 的頻率出現此值。此外,在此頻率下,幅度等於  $1.76$  db。使用這個,我們得到參數  $2_2$  的相位滯後控制器:

$$a_2 = 10^{\frac{1.76}{20}} = 0.8166$$

$T_2$  選擇 選擇 使用以下選項:

$$T_2 = \frac{10}{2 \cdot 6542 \cdot 9.07 \times 0.4154} = 0.1026 \text{ s}$$

給出了 *phase* 引線控制器的傳輸功能：

$$\begin{aligned} 1. \quad 0.1026s &= 1 \text{ C}(s) \\ 2. \quad 6542s &= 1 \end{aligned}$$

5. 補償系統的開環傳輸功能由以下方式給出：

$$T(s) = \frac{20}{(a_1 T_1 s + 1)(a_2 T_2 s + 1)(0.125s + 1)} \cdot \frac{1}{s(0.2s + 1)(0.1s + 1)(T T_1 s + 1)(T T_2 s + 1)}$$

此傳輸函數的 *Bode* 圖如圖 5.37 所示，我們從中得到：

$$[ ] = 44 \cdot 1^\circ$$

$$[G] = db$$

補償系統的閉環傳輸功能

$$\pm 3s^3 + \pm 2s^2 = 11s = \pm 0$$

$$F(s) = kK_P \frac{b_5 s^5 + b_4 s^4 + b_3 + b_2 s + b_1 s + b_0}{s}$$

與  $\pm 3 = 0 \cdot 125 a_1 a_2 T_1 T_2$ ,  $= 0.125 (1 a_1 T_1 = 2 T_2) = 1 a_2 T_1 T_2$ ,  $= 1 = 0 \cdot 125 = 1 T_1 = 2 T_2$  和  $+0 = 1$ ;  $b_5 = 0 \cdot 02 T_1 T_2$ ,  $b_4 = 0.3 T_1 T_2 + 0 \cdot 02 (T T_1 + T_2)$ ,  $b_3 = 0 \cdot 02 + T_1 T_2 + 0 \cdot 3 (T T_1 + T_2) = 0 \cdot 125 k K_P a_1 a_2 T_1 T_2$ ,  $b_2 = 0 \cdot 3 = T_1 + T_2 = k K_P (0) \cdot 125 (1 a_1 T_1 = 2 T_2) = 1 a_2 T_1 T_2$ ,  $b_1 = 1 = 2 k K_P (0) \cdot 125 = 1 T_1 = 2 T_2$  與  $b_0 = k K_P$

## 5.6 案例研究

本節的目標是使用開發的方法為我們的直流電機套件設計第二個 *erent* 控制器，並向讀者展示事物在實踐中是如何應用的。結果表明，該系統模型由：

$$G(s) = \frac{K_m}{s(s + 1)}$$

其中  $K_m = 48 \cdot 5$  是增益和  $\pm m = 0 \cdot 060 \text{ s}$  是時間常數。

我們的目標是使用三種方法設計比例控制器、比例和積分控制器、比例控制器和導數控制器、比例控制器、整數和導數控制器、相位引線控制器、相

位滯後控制器和相位引線滯後控制器,並在我們的直流電機套件上實時實現它們。

關於規格,我們不會修復它們,但在每個控制器的設計過程中,我們將嘗試獲得可能 offer each 控制器的最佳規格。

5.6.1 比例控制器

讓我們首先考慮比例控制器的設計。假定此控制器具有以下傳輸功能:

$$C(s) = K_P$$

其中  $K_P$  是要確定的增益。

對於經驗性 methods,很明顯,時域方法將不適用,因為系統的傳輸函數在原點處有一個極點,並且永遠不會提供週期性振盪的步進回應。

要計算控制器的增益,我們注意到我們必須將量級從圖 5.38 向上移動 27.27 db,這給出的增益等於:

$$K_P = 10^{\frac{27.27}{20}} = 22.9087$$

控制器的增益由以下人員提供:

$$K_P = \frac{K_P}{K_m} = \frac{22.9087}{48.5} = 0.4723$$



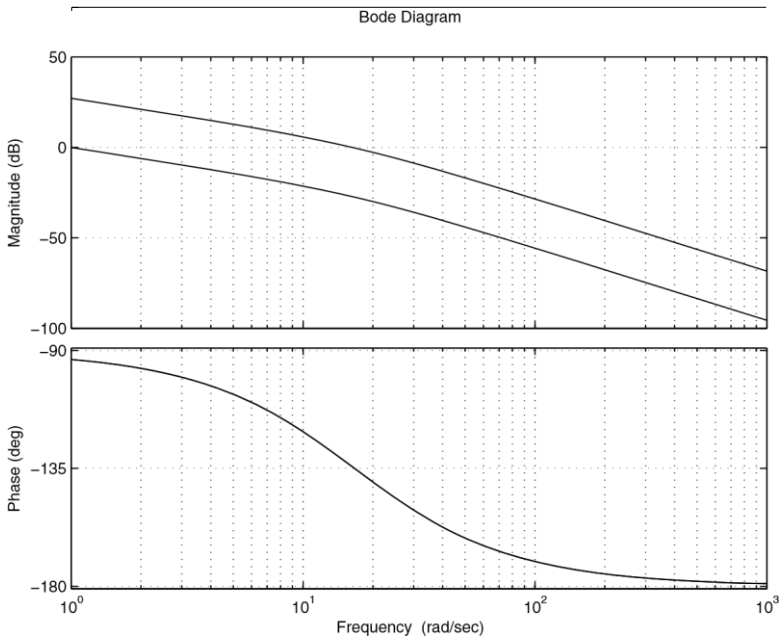


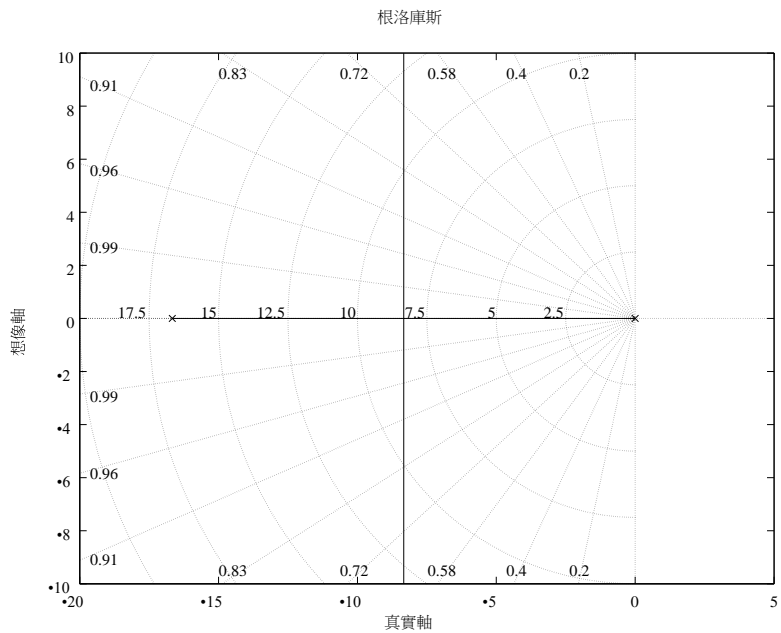
圖 5.38  $T(s)$  ( $m K s = 1$ ) 的博德圖,  $\frac{K}{s(\tau m K s + 1)}$ , with  $K = 1, K = K = K = K = K_m K_P$

我們可以檢查,通過這個增益,閉環系統具有接近 $45^\circ$ 的相位裕差,增益裕量等於無窮大。這回應了一般規範。

對於根位點方法,我們知道比例控制器無法調整根位點的形狀,我們唯一能做的就是為控制器選擇適當的增益以獲得最佳性能。圖5.39給出了系統的根位點。從這個數字與增益 $K = 8.35$  我們得到一個阻尼比  $\zeta$ 合格到  $0.707$  和複雜極點為 $1.2 = -8.33 \times 8.35j$ 。這給出了一個穩定時間在5 % 等於 $0.3601 s$ 。在這種情況下,控制器的增益是:

$$K_P = \frac{K}{K_m} = \frac{8.35}{48.5} = 0.1722$$

使用Bode方法的比例控制器的設計將給出與經驗方法相同的結果。需要注意的是,該方法(經驗法和博德法和根位點法)給予二等增益。與兩個控制器一起踩著的階梯在圖



中繪製。這兩種方法(經驗方法和波德)為控制器的增益提供高值,這對應於較小的阻尼比,因此是一個重要的過衝。

作為對這些美的的比較研究,我們有Tab.5.4的結果。在所有情況下,步驟輸入的錯誤等於零。

圖 5.39  $T(s)$ 的根位元點 =  $s^{*m} \underset{s=1}{1}$

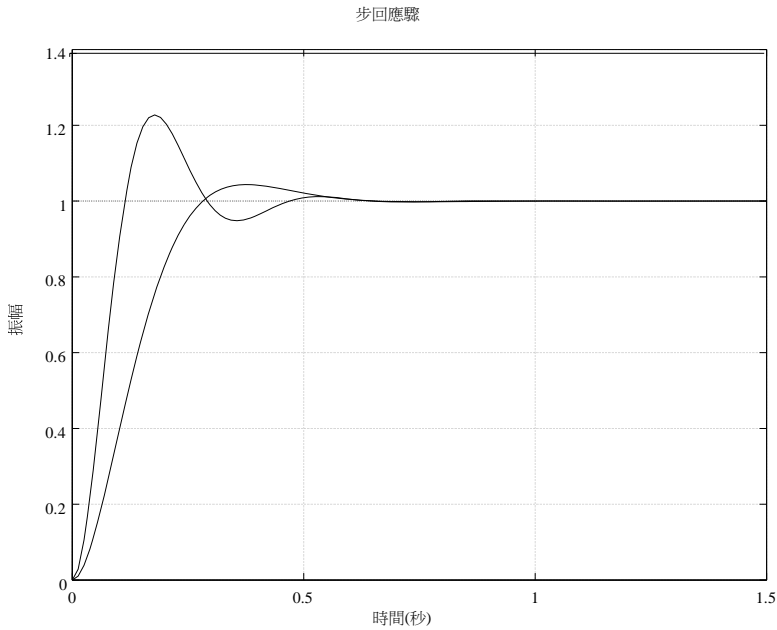
表5.4 P控制器設計比較研究

方法	$K_P$	$t_s$	過頭	$\Delta\varphi$	$\bullet G$
實證	0.4723	0.3 s	23 %	45.6°	$\infty$
根位點	0.1722	0.3 s	4 %	65.5°	$\infty$
博 德	0.4723	0.3 s	23 %	45.6°	

$\infty$

5.6.2 比例和積分控制器

現在,讓我們重點介紹 PI  
控制器的設計,使用之前的方法為我們的直流電機套件提供最佳性能。對於



比例控制器,不能使用時域經驗法來設計PI控制器。雖然可以使用frequency方法。在這種情況下,我們不能使用我們的程式很重要,因為我們不能取消原點上的桿,但將零點放在 +2處將提供良好的性能。使用此,我們得到:

$$K_P = 0.0497, \quad \text{與} K_I = 0 \text{ 之前的計算相同}.$$

補償系統的開環傳輸函數的波德圖如圖5.41所示。

**Fig. 5.40** Step response of  $F(s) = \frac{K_P}{\tau m s^2 + K_P s + K_I}$

使用此控制器,我們得到的相位裕量等於 45°,但增益裕量接近零。

**備註** **5.6.1** 請務必注意此處用於設計 PI  
控制器的方法是啟發式方法,我建議克服前一過程的問題。

如果我們將零點放在+3,則給出佔支配極的增益為  $\frac{1}{1.2} = 0.833$ 。由此,我們得出結論:  $K_I = K_P Z = 1.4165$ 。博德方法將給出與齊格勒-尼科爾斯方法相同的結果,我們不再重複計算。

PI 控制器的閉環傳輸功能由以下人員提供:

$$F(s) = \frac{K_m K_{PS} = K_m K_I}{s^2 + K_m K_{PS} = K_m K_I} \quad \text{mm/s}^3$$

圖 5.43

說明瞭使用此控制器進行步進輸入的系統的行為。可以看出,這兩種方法給出的兩個控制器幾乎相同,步驟回應也幾乎相同。the 頻率方法的沉降時間高於根位點方法獲得的建立時間。

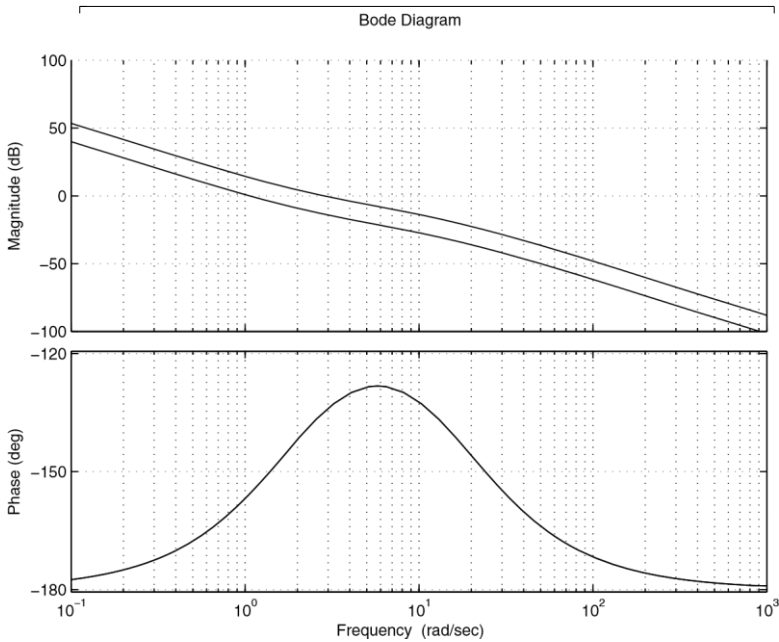


圖 5.41  $T(s)$  的 Bode plot of  $\frac{K}{s(s+1)}$  的博德圖 (\* $m=5, s=1$ ), 與  $K=1, K=K_p$

### 5.6.3 比例和衍生控制器

PD 控制器不能由任何建議的齊格勒-尼科爾斯方法設計。我們唯一可用於此控制器的方法是根位點方法和 Bode 方法。讓我們首先用第一種方法設計這個控制器。對於此控制器,我們可以通過極/零取消或將零放在系統的極點右側。第一種情況很簡單,給出第一個順序,而第二個案例給出一個有趣的案例。請務必注意,此 case 中的阻尼比將接近

1。這並不意味著不存在由於零的存在而過衝。我們將設計兩個案例。

$$\frac{-16}{0.915}$$

讓零位於該位置-30,放置在系統桿的左側。第一種情況給出佔主導地位的極點  $s_{1,2} = \pm 14.2j$  對應於增益  $K_p = 0.915$ 。這給了收益  $K_D = 48.5 = 0.0189$ 。

第二個增益是  $K_p = K_D Z = 0.0189 \times 30 = 0.5660$ 。



第二種情況 case 給出了佔主導地位的極點 $s_{1,2} = -43 \pm j15$ ，對應於增益 $K_P = 4 \times 19$ 。這給了增益 $K_D = 4 \times \frac{48 \pm 19}{5} = 0.0864$ 。第二個增益是 $K_P = K_D z = 0.0864 \times 30 \times 2.5918$ 。如圖5.45所示，這種情況至少將在類比中提供良好的性能。

對於 PD 控制器的設計，讓我們假設我們希望確保等於 0 的單位斜坡輸入出現穩定狀態誤差。008。這對應於增益 $K_P = 125$ 。

$T(s) = s ( \pm m K = s P = 1 )$  的博德圖 ——  $s(r^m \frac{K}{s+1})$  在圖 5.44 表示。震級

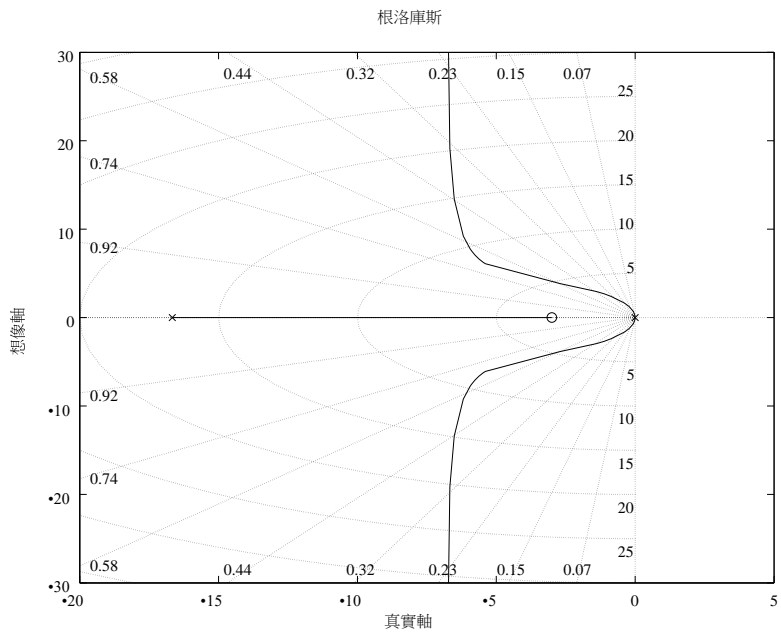
圖 5.42  $T(s)$ 的根位點=  $2 \frac{0.25s-1}{s} (m_m s=1)$

在頻率  $w_m = 144 \text{ rad/s}$ 時等於 -20db。此頻率的相位等於 +173°對應於等於 7 ° 的相位裕量°，並且它遠離所需的相位裕量。

參數\_D 由以下因素確定：

$$*_D = \frac{10}{200} = 0.05$$

PD 控制器的參數由以下人員給出：



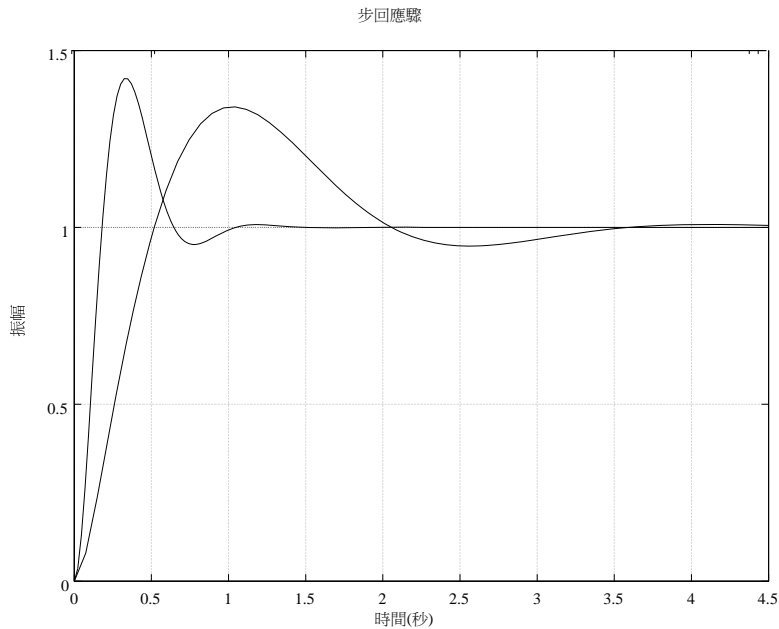
$$K_P = \frac{125}{K_m} = 2 \circ 5773$$
$$K_D = K_P \omega_D = 2 \circ 5773 \times 0.05 = 0 \circ 1.289$$

補償系統的相位裕量幾乎等於90°。使用PD  
控制器的閉環傳輸功能由以下人員提供:

$$F(s) = \frac{K_m K_D s + K_m K_P}{(1 + K_m K_D)s + K_m K_P} m s^2 +$$

圖5.45說明瞭使用此控制器進行步進輸入的系統的行為。可以看出,這兩種方法給出了兩個控制器,它們都是二等控制器,步驟回應也是二ff等方法。頻率methods的建立時間高於根位點方法獲得的建立時間。

圖 5.43 F(s)步驟, 兩個控制器用於兩種設計方法



5.6.4 比例積分和導數控制器

齊格勒-尼科爾斯提出的啟發式方法都不能使用d 來設計 PID 控制器。在本小節的其餘部分中,我們重點介紹使用根位點和 Bode 方法的此控制器的設計。我們以前建議的程式不能在這裡使用,我們必須使用另一個啟發式方法來治療這種詞干。

對於根位點方法,因為系統只有一個極不等於零。將零放在系統兩極之間的情況很有趣,因為它可以給出較短的建立時間。

如果我們將控制器的兩個零分別放在 +13 和 +15 上,則在這種情況下,系統的根位點由圖 5.46 表示

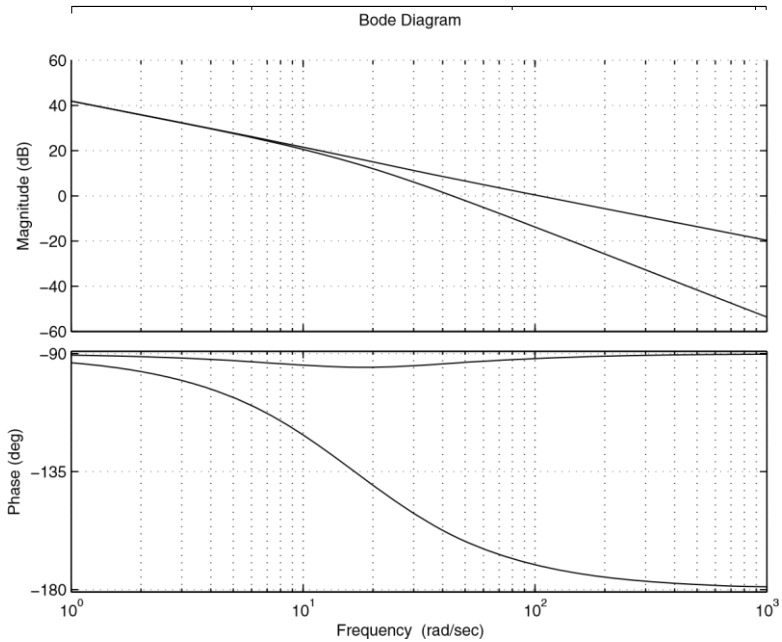
從根位點,我們看到,增益 $K+p = 1 \cdot 43$ ,佔主導地位的極點是:

$$s_{1,2} = -11.4 \pm 11.5j$$

如果我們參考用於設計和控制器表達式的過程,我們有:

$$\begin{aligned} a_1 &= 13 + a_2 \\ &= 15 \end{aligned}$$



圖5.44  $T(s)$  的博德圖(補償和非補償系統)

從中,我們有:

$$K_D \left[ \frac{1.43}{K_m} \right] = 0.0295$$

$$K_P \left[ \frac{K_D(a_1 + a_2)}{260} \right] = 0.0295(13 \times 15) = 0.08$$

$$K_I \left[ K_D a_1 a_2 \right] = 5.7525$$

對於使用

Boode

方法的

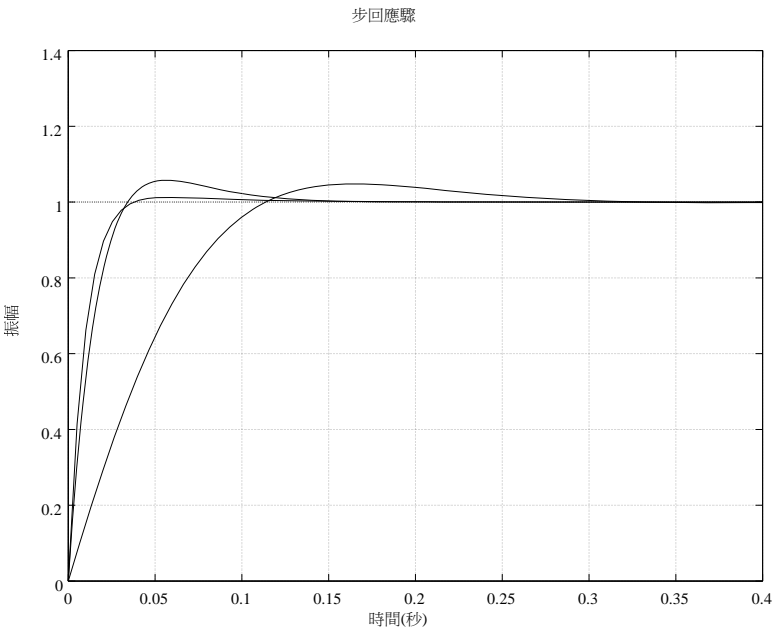
PID

設計,我們將使用與根位點方法相同的想法來放置控制器的零。此外,我們希望對等於

0.01

的單位斜坡出現穩定狀態錯誤。要得到這樣的錯誤,為此需要獲得一個增益 equal 到  $K_p = 100$ 。

現在,如果我們將控制器的兩個零分別放在  $-12$  和  $+15$ ,即:



$$\begin{aligned} & \frac{1}{15} \\ [n] &= \frac{1}{15} = 0.0667 \\ & \frac{1}{12} \\ [v] &= \frac{1}{12} = 0.0833 \end{aligned}$$

圖 5.45  $F(s)$ 步驟,兩個控制器用於兩種設計方法

使用這些資料,我們得到:

$$\begin{aligned} K & \\ \tau_i &= \frac{K}{K_P} = 48.5 = 0.4850 \\ & \frac{\tau_n + \tau_v}{100} \\ K_P & \left[ \frac{0.0667 + 0.0833}{0.3093 * i} \quad \frac{1}{0.4.850} \right] = \\ K_I & \left[ \frac{1}{\tau_n \tau_v} \right] = 2.0619 * i 0.4.850 \\ K_D & \left[ \frac{1}{\tau_i} \quad \frac{0.0667 \times 0.0833}{0.4.850} \right] = 0.0115 \end{aligned}$$

補償系統的博德圖在圖5.47上表示。



從這個數位中,我們得出結論,相位邊距等於 $48^\circ$ 。  
補償系統的閉環傳輸功能由以下方式給出:

$$F(s) = \frac{K(K_D s^2 + K_P s + K_I)}{s^2 + (1 + K_m K_{DD})s + K_k K_{PS} = K_m K_I}$$

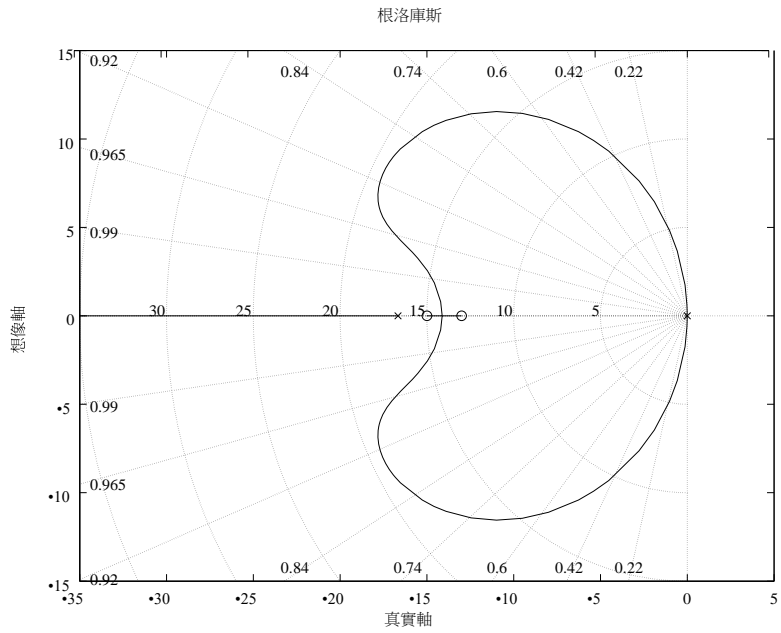
圖 5.48 說明瞭兩個控制器的步進回應

5.6.5 相位控制器

首先,必須指出,該控制器不能用經驗方法進行設計。另外兩種方法對於此

圖 5.46  $T(s)$ 的根位點 =  $s_2( \frac{1}{T_2} s + 1 )$ ,  $\frac{1}{T_2} s + 1$

troller。首先,讓我們重點介紹使用根位點法的相位引線控制器的設計。請務必注意,使用比例控制器的最佳沉降時間為 5% 左右。36  
s.有了相位控制器,我們這次想即興。



讓具有正虛部分的所需極點佔主導地位 $s_d = -11.3 \pm 11.3j$  對應於等於 0 的建立時間。2655 s 和

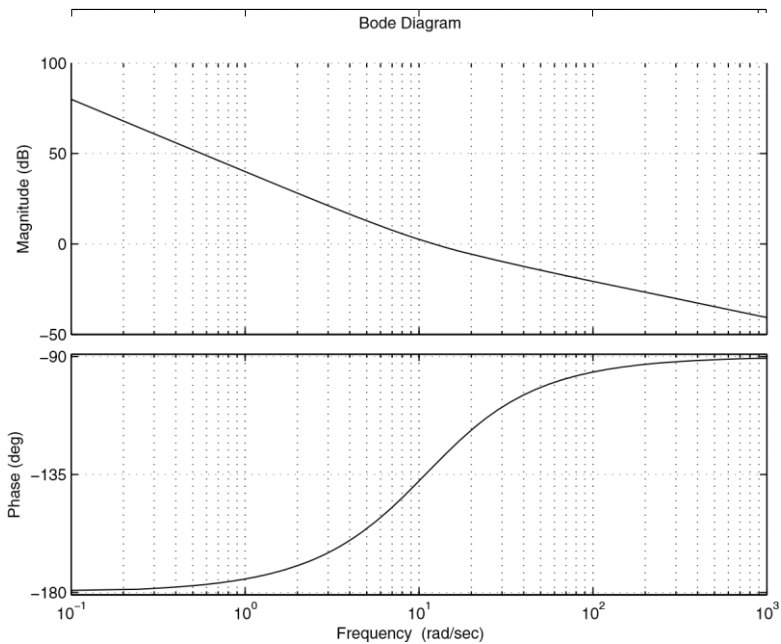
過沖等於 5%。沒有控制器的系統階段由:

$$\arg \frac{48.5/0 \cdot 06}{s_d(ss_d = 16) \cdot 6667} = 0 = 90 \times 64 \cdot 9830 = -153 \cdot 9931$$

相位引線控制器必須增加相位與 $180 \times 153 \cdot 9931 = 26 \cdot 0069$  這意味著:

$$[\ ] = 26 \cdot 0069$$

如果我們將零點放在 -15,這意味著  $\angle = 72 \cdot 17^\circ$  與 -20 的極點給出  $52^\circ \cdot 89^\circ$ .這貢獻了 $19 \cdot 27^\circ$  由控制器和接近所需的控制器。



**Fig. 5.47** Bode plot of  $T(s) = \frac{100(\frac{1}{15}s+1)(\frac{1}{15}s+1)}{s^2(\tau ms+1)}$

從中,我們有:

$$\frac{1}{\text{---}} = 20 \text{ } T$$
$$\frac{1}{\text{---}} = 15$$

在

這給出 $T = 0.05$  與  $\text{---} = 1.3333$ .

圖 5.49 中介紹了帶相位引線控制器的系統根位點

給可用的增益為  $K_P = 10.8$ ,它給增益 $K_P$  |

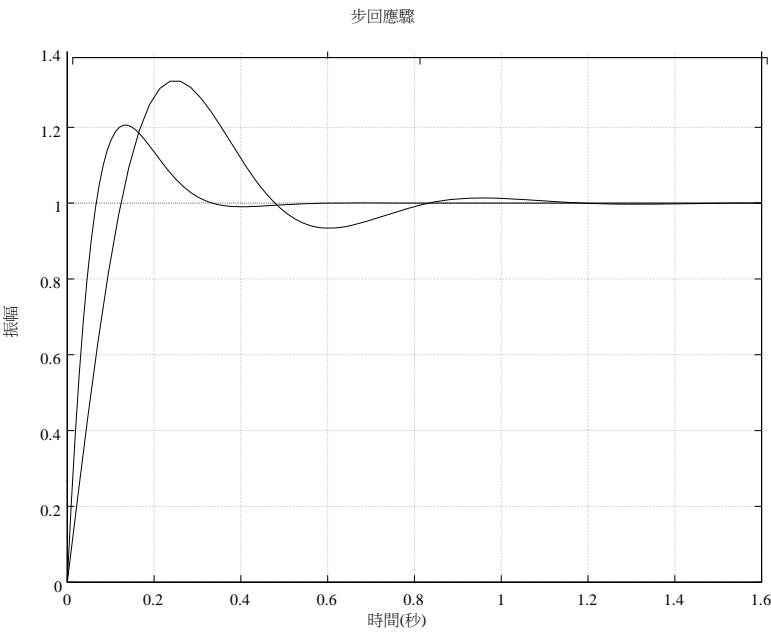
0.2227 用於相位引線控制器。

控制器的閉環傳輸功能由以下人員提供:

$$F(s) | \frac{K_m K_P (AT = (1))}{T_m s^3 + (m + T)s^2 + (1 + aTK_m K_P)s + K_m K_P \tau}$$

圖5.51說明瞭系統使用此控制器的步進回應的行為。

使用 Bode 方法,我們設計了一個控制器,該控制器提供以下規範:



1. 穩定系統
2. 單位斜坡的穩定狀態誤差小於 0.01

圖 5.48  $F(s)$ 與兩個控制器的步進回應

3. 相位裕量大於  $40^\circ$
4. 增益邊距大於 8 db

使用錯誤規範,需要增益 $K_p$ 等於 100。這給了收益

$K_p = 2.0619$  用於相位引線控制器。圖5.50中說明瞭帶有此 ga

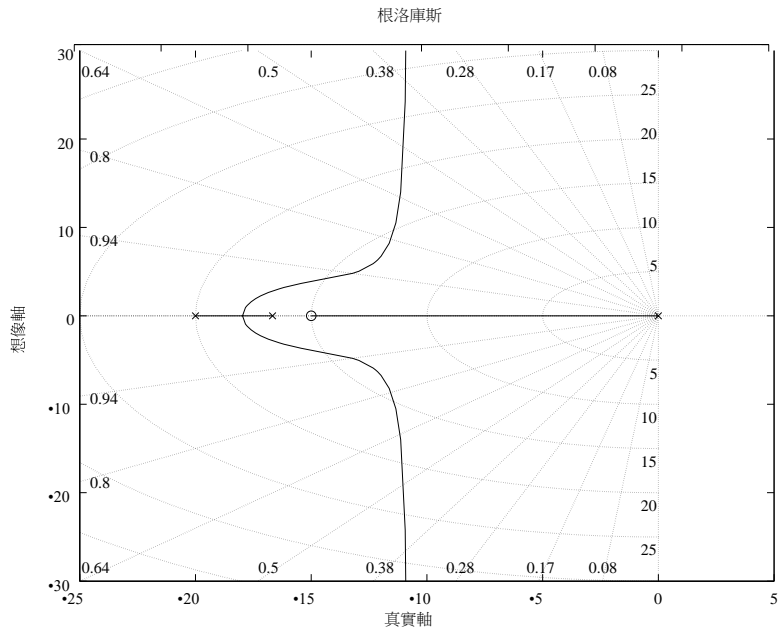
的系統開環傳輸的博德圖。從這個數字,我們有:

$$\Delta\varphi = 23.1^\circ$$

[G]

對於相位引線控制器的設計通知,此控制器應攜帶  $45^\circ + 23.1^\circ = 22.9^\circ$ ,  
給出:

$$\frac{1}{\sin(22.9^\circ)} = 2.740$$



$1 = \zeta(22) \cdot 9)$

使用此值,量級將在  $-20\log(\sqrt{a}) = -3$ . 頻率為  $w_m = 48$ 時獲取值5679 。 .9 /s 。 這意味著:

$$T = \frac{1}{w_m a} = 0.0136\sqrt{}$$

圖 5.49  $T(s)$ 的 $s$ 根位點=  $S(=msaT=1)(=+Ts1 =1)$

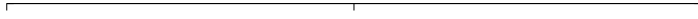
然後,通過以下傳輸功能給出相位引線控制器:

$$C_1(s) \mid \frac{aT = 1}{Ts = 1}$$

使用此控制器,補償系統具有:

$$[ ] = 41 \cdot 8^\circ$$
$$[G]$$

圖 5.51  
說明瞭使用此控制器進行步進輸入的系統的行為。可以看出,這兩種方法給出的兩個控制器幾乎相同,步驟回應也幾乎相同。



### 5.6.6 相位滯後控制器

相位引線控制器的情況,經驗方法不能說明在階段滯後控制器的設計。在這裏,我們將使用另外兩種方法設計此控制器。對於根位點技術,我們將假定我們想要他遵循規範:

1. 穩定系統
2. 等於 0.01 的單位斜坡輸入的穩定狀態錯誤



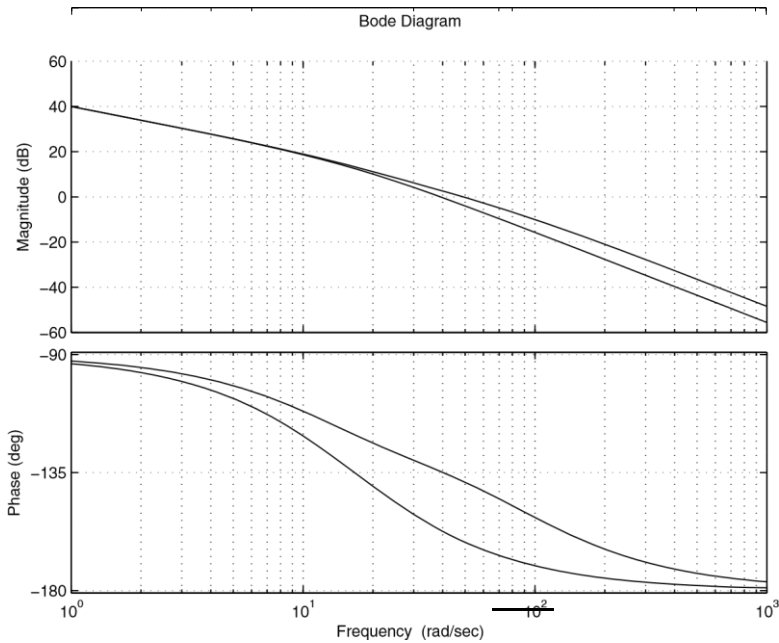


圖 5.50  $T(s)$  的博德圖( $=100$  ms=1)

3. 過沖約 5 %

4. 以 5% 等於 0 的設定時間。36 s

使用沉降和過衝規範,我們得出結論,佔主導地位的極<sub>1,2</sub> =  $-8.33 \times 8.35j$ 和從系統的根位點,我們得到的增益  $K_1$ ,給這些極是  $K_1 = 8.3.5$

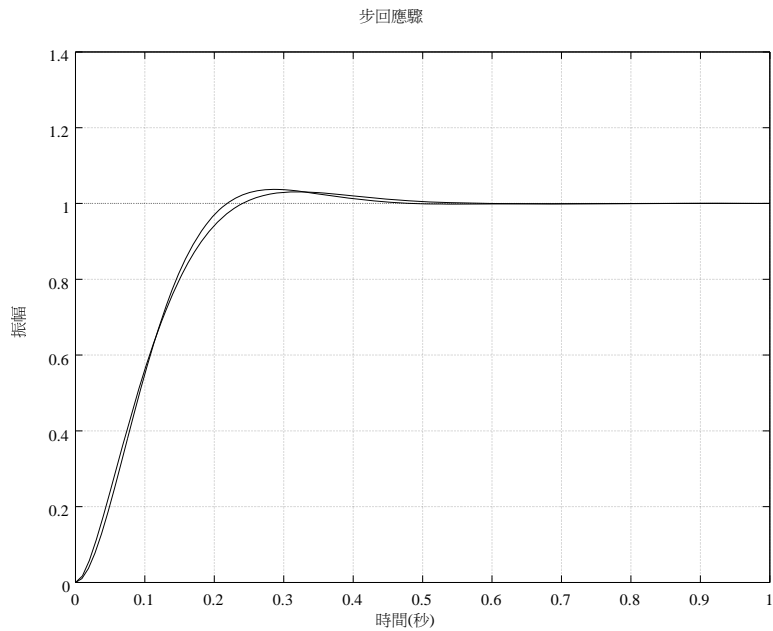
現在使用穩態規範,我們得出結論, $K$

<sub>2</sub>等於100。從這兩個增益的值中,我們得到的參數,一個控制器:

$$a = \frac{K_1}{0.0835 K_2 100} = 8.35 \times$$

還必須注意, $a = -p_z$ 其中  $p$  和  $z$  分別是控制器的極點和零。現在,如果我們將零點放在  $+1.5$ ,我們得到:

$$p = az = 0.1.253$$



並且因為 $p = \frac{1}{T}$ 我們得到:  $T = 7 \cdot 9808$ .

對於控制器增益,它由:

$$K_P = \frac{100}{48.5} = 2 \cdot 0619$$

圖 5.51  $F(s)$ 步驟, 兩個控制器用於兩種設計方法

最後,控制器的傳輸功能由:

$$C(s) = K_P \frac{aT = 1}{Ts = 1}, < 1 \ a$$

使用 **Bode** 方法,我們設計了一個控制器,該控制器提供以下規範:

- 1. 穩定系統
- 2. 單位斜坡的穩定狀態誤差小於 0.01
- 3. 相位裕量大於  $40^\circ$
- 4. 增益邊距大於 8 db

使用錯誤規範,需要增益 $K=p$ 等於 100。這給了收益



$K_P = 2 \cdot 0619$   
 用於相位引線滯後控制器。圖5.50說明瞭具有此增益的系統開環傳輸的博德圖。從這個數字,我們有:

$$[ ] = 23 \cdot 1^\circ$$

$$[G]$$

圖 5.52 說明了使用此控制器的系統開環傳輸。系統在頻率  $w_m = 16$  下,其相位裕量等於  $45^\circ \cdot 9 /s$ 。

圖5.52  $T(s)$ 的博德圖( $m=100, s=1$ )

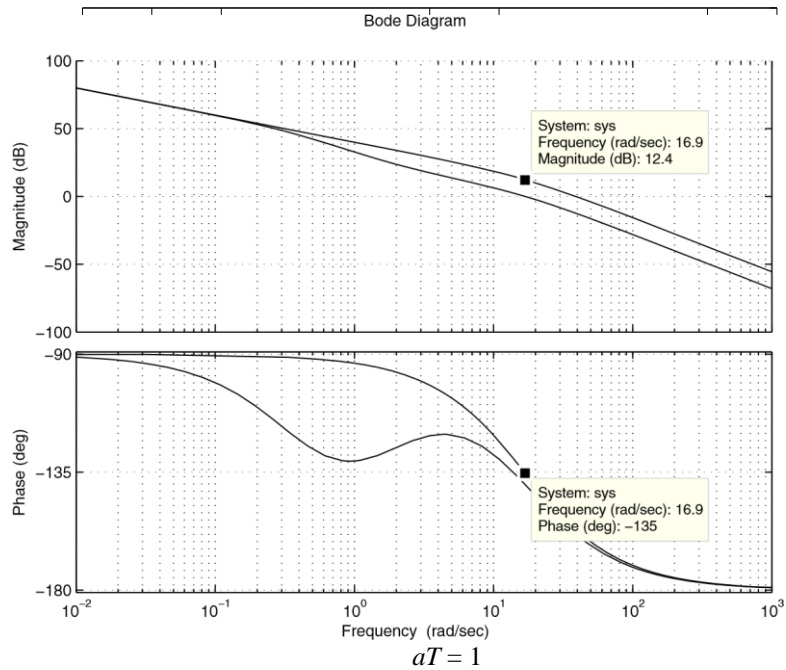
對於相位滯後控制器的設計,請注意,在  $w_m = 16 \cdot 9 /s$ ,震級等於  $12 \cdot rd4 db$ .因此,

$$a = 10^{\frac{-12 \cdot 4}{20}} = 0 \cdot 2 \cdot 399$$

參數  $T$  由以下指定:

$$T = \frac{10}{2.4667} = 4 \cdot 054$$

控制器相位延遲由以下傳輸  $f$  解調給出:



$$C_2(s) \mid \frac{Ts = 1}{}$$

現在結合兩個控制器,開環傳輸功能由:

$$T(s) \mid \frac{59.1716s = 100}{s(0.1480s^2 + 2.5267s + 1)}$$

此傳輸函數的博德圖表示於 5.52。規格如下:

$$\begin{aligned} &[ = 40 \circ 3^\circ \\ &[G] \end{aligned}$$

這是可接受的。

圖

5.53

說明瞭使用此控制器進行步進輸入的系統的行為。可以看出,這兩種方法給出的兩個控制器幾乎相同,步驟回應也幾乎相同。

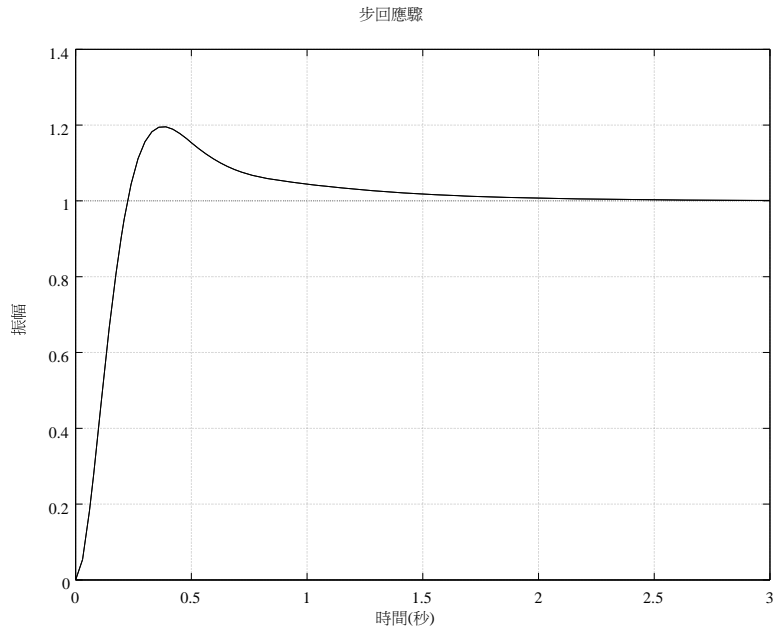


圖 5.53  $F(s)$ 步驟, 兩個控制器用於兩種設計方法

5.6.7 相位引線延遲控制器

對於此控制器,我們只能使用根位和  
方法來設計它。讓我們首先開始使用根-  
locus方法設計控制器。請務必注意,比例控制器在 5 % 的最佳沉降時間約為 0.36

$s$ 。有了相位控制器,我們希望這次改進。讓具有正虛部分的所需極點佔主導地位  
 $s_d = -11.5 \pm 11.6j$  對應於等於 0 的安定時間。27 s 和過衝等於 5%。沒有控制器的系統階段由:

$48.5/0.06$

$$\arg \frac{1}{s_d(ss_d + 16)} = 0 = 90 \times 65 \div 9917 = 155 \div 9917$$

$$s_d(ss_d + 16) \div 6667)$$

相位引線控制器必須增加相位與  $180 \times 155 \div 9917 = 24 \div 0083$  這意味著:

$$[ ] = 24 \div 0083$$

如果我們將零點放在  $-20$ , 這意味著  $\angle = 53 \div 7676^\circ$  和  $-30$  的極點給出  $52$  角  $\div 89^\circ$ . 這貢獻了  $21 \div 6788^\circ$  由控制器和接近所需的控制器。從中, 我們有:

$$\frac{1}{T_1} = 30$$

$$\frac{1}{a_1 T_1} = 20$$

這給出了  $T_1 = 0 \div 0333$  和  $a_1 = 1 \div 5$ .

對於使用根位點技術的相位延遲控制器設計, 我們將假定我們需要以下規範:

1. 穩定系統
2. 等於  $0.01$  的單位斜坡輸入的穩定狀態錯誤
3. 過沖約  $5\%$
4. 以  $5\%$  等於  $0$  的設定時間  $\div 27 s$

使用沉降和過衝規範, 我們得出結論, 佔主導地位的極是  $1, 2 = -11 \div 5 \times 11 \div 5j$  和從系統的根位點, 我們得到的增益  $K_1$ , 給這些極是  $K_1 = 12.5$

現在使用穩態規範, 我們得出結論,  $K_2$  等於  $100$ 。從這兩個增益的值中, 我們得到的參數是  $a$  控制器的:

$$a_2 = \frac{K_1}{K_2} \frac{12.5}{100} = 0.125$$

同樣重要的是要注意,  $2 = -p_z$  其中  $p$  和  $z$  分別是控制器的極點和零。現在, 如果我們將零點放在  $+0 \div 1$ , 我們得到:

$$p = 2z = 0 \div 0125$$

並且因為  $p = r^{\frac{1}{2}}$  我們得到:  $T_2 = 80$ 。

對於控制器增益,它由:

$$K_P = \frac{100}{48.5} = 2.0619$$

最後,控制器的傳輸功能由:

$$C(s) = K_P \frac{(I_1 T_1 s + 1)(2a T_{22} s + 1)}{(T T_1 s + 1)(T T_2 s + 1)} \quad 1 > a_1, a_2 < 1$$

使用 Bode 方法,我們設計了一個控制器,該控制器提供以下規範:

### 1. 穩定系統

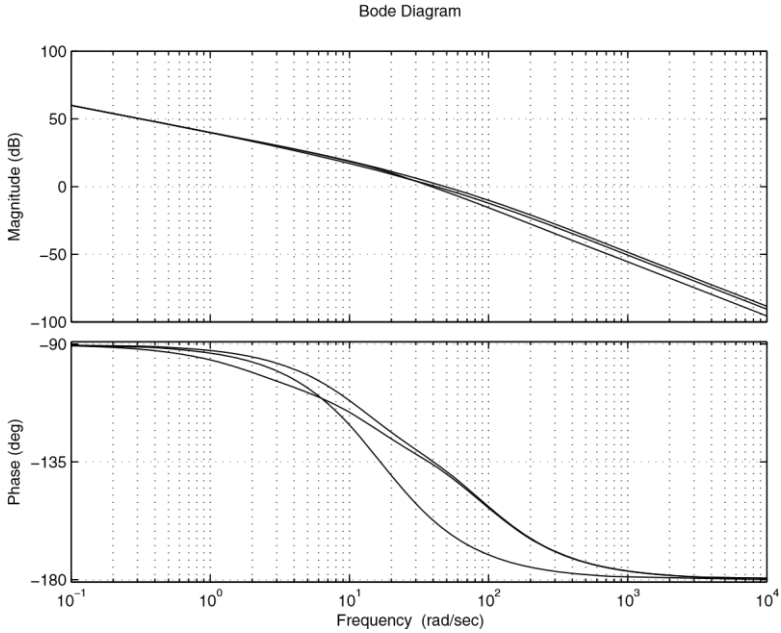


圖 5.54  $T(s)$  的根位點 (0) 的根位點 ——  $s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2$  與  $K = 1$ ,  $K = K_k K_P$

2. 單位斜坡的穩定狀態誤差小於 0.01
3. 相位裕量大於 40°
4. 增益邊距大於 8 db

使用錯誤規範,需要增益 $K_P$ 等於 100。這給了收益

$K_P$  = 2 \cdot 0619  
用於相位引線滯後控制器。圖5.55說明瞭具有此增益的系統開環傳輸的博德圖。從這個數字,我們有:

$$[ ] = 23 \circ 1^\circ$$
$$[G]$$

對設計相位控制器的通知,此控制器should帶來 $45^\circ - 23 \circ 1^\circ = 22 \circ 9^\circ$ , 給出:

$$a_1 = \frac{1 + \sin(22.9)}{1 - \sin(22.9)} = 2.2740$$

$= -20\log(\sqrt{a_1}) = -3.$

使用此值,量級將在頻率為  $w_m$  =  $48$ 時獲取值 $.5679 \circ 9 /s$ 。這意味著:

$$T_1 = \frac{1}{w_m a_1} = 0.0136\sqrt{}$$

$w_m \quad a_1$   
Bode Diagram

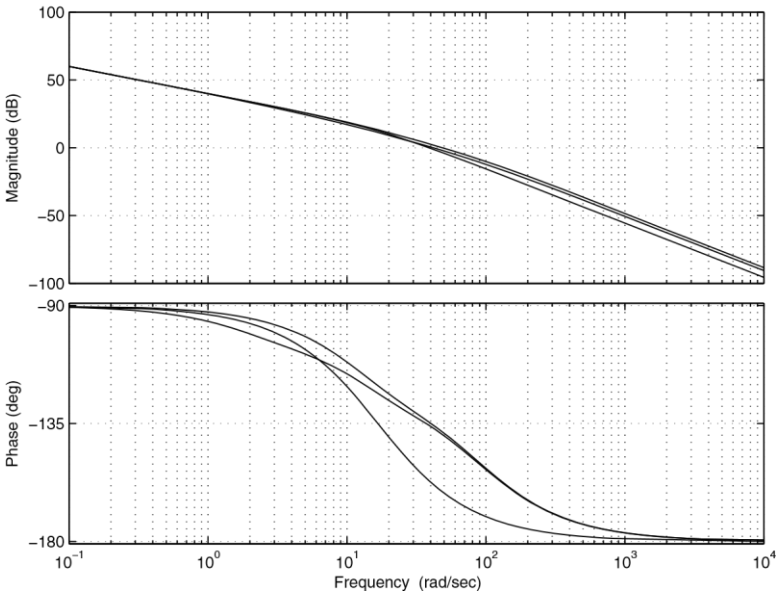


圖 5.55  $T(s)$  s K 2 Bode plot of  $\frac{K(s)}{K(s)}$  (0) 的博德圖(\* $m \frac{5s}{s} = 1$ ), 與  $K = 1, K = K = K k_K K_P$

然後,通過以下傳輸功能給出相位引線控制器:

$$a_1 T_1 s = 1$$



$$C_1(s) = \frac{1}{T_1 s + 1}$$

使用此控制器,補償系統具有:

$$[ ] = 41^\circ \text{ } 8^\circ$$

$$[G]$$

圖中說明瞭使用此控制器的系統開環傳輸。

5.55. 系統在頻率  $w_m$  時,相位裕差等於  $45^\circ =$

41.3 //s.

對於相位滯後控制器的設計,請注意,在  $w_m = 41 \cdot 3 \text{ rd/s}$ ,放大它等於  $2 \cdot 13 \text{ db}$ .因此,

$$a_2 = 10^{\frac{20 \cdot 20 \cdot 13}{20}} = 0 \cdot 7825$$

參數  $T_2$  由以下指定:

$$T_2 = \frac{10}{a_2 w_m} = 0 \cdot 3094$$

控制器相位延遲由以下傳輸功能給出:

$$C_2(s) = \frac{1}{T_2 s + 1}$$

現在結合兩個控制器,開環傳輸功能由:

$$T(s) = \frac{0.7467s^2 + 27 \cdot 2969s + 100}{s(0 \cdot 0003s^3 + 0 \cdot 02830s^2 + 0 \cdot 3830s)}$$

此傳輸函數的博德圖表示於 5.55。規格如下:

$$[ ] = 43^\circ \text{ } 3^\circ$$

$$[G]$$

這是可接受的。

具有此控制器的系統閉環傳輸功能由以下功能給出:

$$F(s) = \frac{K_m K_P a_1 a_2 T_1 T_2 s^2 (a_1 T_1 + T_2) s + 1}{s^3 + b_3 s^2 + b_2 s + b_1} \quad b_4 s + b_0$$

與  $b_4 = m T_1 T_m (2, \quad b_3 = m(T_1 + T_2) + T_1 \quad T_2, \quad b_2 = m(T_1 + T_2 + K_k K_P a_1 a_2 T_1 T_2, \quad b_1 = 1 + K_k K_P (I T_1 + T_2))$  和  $b_0 = K_k K_P$ .

圖

5.56

說明瞭使用此控制器進行步進輸入的系統的行為。可以看出,這兩種方法給出的兩個控制器幾乎相同,步驟回應也幾乎相同。

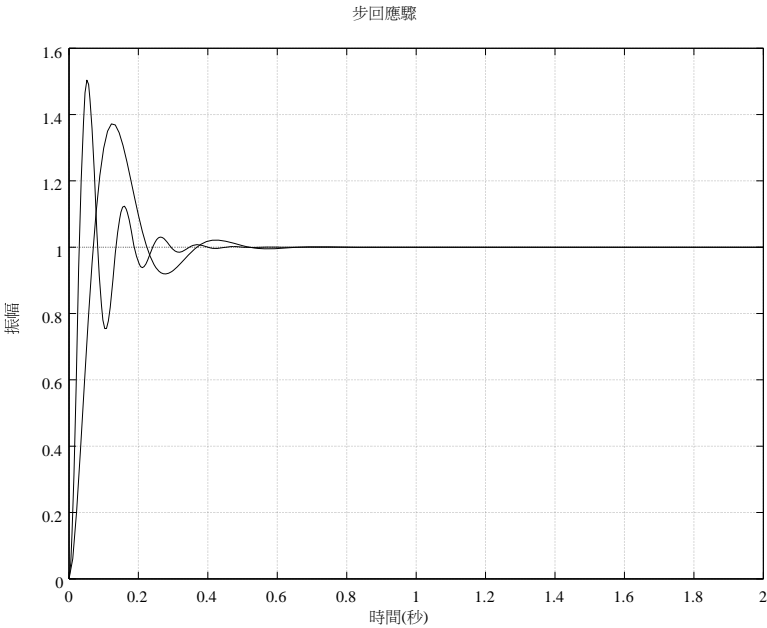


圖 5.56  $F(s)$  步驟, 兩個控制器用於兩種設計方法

**備註5.6.2** 從本節,以及前兩個部分,我們可以得出結論,為給定的系統,相位引線滯後控制器無法獲得通過phase引線控制器的乘法和相位滯後控制器傳輸功能單獨設計。

ff在本案例研究中,我們可以像在實現部分一樣完成我們在此案例研究中開發的 di fferent 演算法的實現。Tab. 5.5 給出了在每個控制器中程式設計的 different difference 方程。為了得到這些方程,我們使用了梯形架構,並通過 T 表示採樣週期 $T_s$ 。

**表 5.5** di fference控制器的除位方程ff:直流馬達套件

控制器	演演算法
P	$u(k) = k_{PE}(k)$
Pi	$u(k) \text{ be } k = u(k-1)_s = a(k) = (k = 1) a = KP = K = \frac{K2T}{T_s}, b = KP = KP = \frac{K2T_s}{T_s}$
Pd	$u(k) = uu(kD_s = 1) = _D ae(k) = (k = 1) a = KP = \frac{2TK_s}{T_s}, b = KP = \frac{2TK_{SD}}{T_s}$
Pid	$u(k) \text{ be } _s, u(k = 1)_s = ae_D(k) = (k + 1) = _D ce(k = 2)I_{S_a} a = KP = \frac{K2T}{T_s} = 2T_s, b = KI T_s = \frac{4TK_s}{T_s}, c = \overline{K} = 22T + \frac{2TK_s}{T_s} = KP$
導致	$u(k) = _s a_0 u(k = 1) = _s \underline{\underline{是}}(k) = ce(k = _s 1)$ $a = \frac{0}{T T_s} = \frac{22TT}{T_s}, b = KP T T_s = 22a T T, c = \overline{K P T T_s} = 22a T T$
滯後	$u(k) = _s a_0 u(k = 1) = _s \underline{\underline{是}}(k) = ce(k = _s 1)$ $a = \frac{0}{T T_s} = \frac{22_s T T_s}{T_s}, b = KP T T_s = 22a T T, c = KP T T_s = 22a T T$
鉛-拉格	$u(k) = ce_{00} u(k = 1) = bu(k = 2) = (k) = de(k = 1) = fe(k = 2)$ $a_0 = (T \frac{-2T_1(T_s+2T_2)+(T_s+2T_1)(T_s-2a_1T_1)(T_s+2T_2)}{(T_s+2T_1)(T_s+2T_2)^2T_2}), B = ((T_{ssss}+22T T_{11})(T_{ssss}+22T T_{22})),$ $c = + \frac{(T_s+2T_1)(T_s+2T_2)}{(T_s-2a_1T_1)(T_s-2a_2T_2)} (KP (+TT T_s T d = \overline{K_P}) T_{1s} 22T_s - 2a_2) 22T a_2 f = \overline{K_P})$ $\frac{(T_s+2T_1)(T_s+2T_2)}{(T_s-2a_1T_1)(T_s-2a_2T_2)} T T_{ss} + 2 + 2a + 2a_2 T (2T_2 T_1 T_1 T_{ss} a_1 T_s - T T_1) ((), ()), ()(= 2 a 1 T 1 1)(T s = 2 a 2 T 2 ), d = K P (T s = 2 a 1 T 1)(T s = 2 s a 2 T T 2 1 ))(T T s = 2 2 T a 2 1 ) T 1)(T s = 2 2 T 2 1 ))(T s = 2 A 2 T 2 ), f = K P_{2+s}$

## 5.7 結論

實用系統在設計時一般需要控制器的設計,以提高此類系統的性能。這些表演給出了一個對瞬時和瞬時制度的想法。大多數情況下,過沖、沉降時間、穩態 error 被認為是控制器的設計。本章介紹經典控制器的設計,如比例、積分和衍生動作。使用實證方法、根-洛庫斯技術和博德繪圖技術的過程通過數值示例進行支撐和說明。

## 5.8 問題

1. 在這個問題中,我們考慮控制一顆小型衛星。此動態系統的數學模型由:

$$G(s) = \frac{\Theta(s)}{U(s)} = \frac{k}{s^2}$$

其中  $\alpha(s)$  是要控制的角度,  $U(s)$  是應用於衛星的力,  $k = 2$  是衛星的增益,取決於系統的許多參數。 ) is th 使用本章中開發的三種技術來設計控制器,使系統性能最佳,穩定系統。

2. 請考慮以下動態系統:

$$G(s) = \frac{4}{s(0.1s + 1)(s - 1)}$$

確定本章中開發的適當技術,以設計提供最佳性能和穩定系統的控制控制器。

3. 請考慮以下動態系統:

$$G(s) = \frac{4}{s(0.2s + 1)^2}$$

確定本章中開發的適當技術,以設計提供最佳性能和穩定系統的控制控制器。

4. 請考慮以下動態系統:

$$G(s) = \frac{5}{s(0.1s + 1)(0.2s + 1)}$$

設計一個確保以下效能的控制器:

- (a) 穩定系統

- (b) 等於 0.1 的單位斜坡的穩態誤差
- (c) 穩定時間在 5% 小於 1 s
- (d) 過沖小於 5 %

5. 動態系統由以下動態描述:

$$G(s) = \frac{10}{(s+1)(s+5)(s+10)}$$

使用齊格勒-

尼科爾斯方法設計可以為該系統設計的二等控制器,並比較其性能  
現在使用根位點和Bode方法設計控制器,為this系統提供良好的性能。對  
這些控制器進行比較研究。

5.8. 問題

6. 考慮具有以下動態的動態系統:

$$G(s) = \frac{5(s+2)}{(s+1)(s+5)(s+10)} s(s+10)$$

確定本章中開發的適當技術,以設計提供最佳性能和穩定系統的控制控制  
器。

7. 動態系統由以下傳輸函數描述:

$$G(s) = \frac{0.4(0.2s+1)}{(0.1s+1)(0.4s+1)(0.5s+1)(0.8s+1)}$$

確定本章中開發的適當技術,以設計提供最佳性能和穩定系統的控制控制  
器。