# 自動控制題庫

原著　美國教育協會
譯著　劉康立・王　醴

曉園出版社
世界圖書出版公司

# 自動控制題庫

原著　美國教育協會
譯著　劉康立・王　醴

曉園出版社
世界圖书出版公司
北京・广州・上海・西安

# 自动控制题库

美国教育协会 著
刘康立、王[illegible] 译

*

晓园出版社
世界图书出版公司北京公司重印
北京朝阳门内大街137号
北京通州印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行　各地新华书店经售

*

1993年6月第一版　开本：850×1168 1/32
1993年6月第一次印刷　印张：19.75
印数：0001—[illegible]　字数：48万字
ISBN 7-5062-[illegible]22-1/TP·1
定价：15.40元（W$_B$9303/24）

# 前　言

由於自動控制本身範圍既廣，牽涉又多，學生們在接觸此科目時，常會發現無從下手以一窺其廟堂之美。誠然許多教科書都在不斷的改進之中，但限於篇幅或為顧全全書之一貫，常不得不割捨掉一些作者認為多餘，但讀者卻視為關節之緊要部分。美國研究與教育委員會便曾針對此問題做過研究，發現自動控制教學中普遍的存在下列幾個問題：

(1) 當學生面對問題時，無法做系統的分析，按步就班的解決問題。這是由於學生很難將課本中龐雜之原理與定律融會貫通的使用。

(2) 課本中的原理由專家寫來顯得抽象而在應用時易使學生因符號之複雜而產生迷惑甚而誤解。並且在教科書中常無法提及原理的各種變化與應用。

(3) 課本中之例題通常不是太簡單就是太簡略。太簡單的例題無法使學生留下印象並且對潛能之激發毫無用處。而太簡略的例題，又使得學生有沒頭沒尾的感覺，答案也不知是如何算出來的，並且需花費時間做銜接的工作，對整體的概念少有助益。

有些課本中所附的圖也顯得不足。許多問題用圖形來表示，既易明瞭，又能留下深刻之印象。

(4) 學生們自己找題目來做或做老師所出的作業時，常會忽略掉一些技巧而這些技巧是教科書中不可能提到的。學生們要領會到這些技巧可能要經過一再的嘗試與錯誤才能得到，所以往往做一個題目要花上數小時，這是很不經濟的。

當委員會發現以上的問題後，便集衆人之智慧完成了本書，使本書具有下列幾點特色：

(1) 本書涵蓋了所有自動控制應有之範圍。

(2) 本書中之題目都是最常被老師們用來做為作業或考題的。

(3) 每個題目都附有詳細之解說或圖形，以節省學生的時間。

(4) 題目依其主題編列，當需要查閱某些主題時，可由目錄輕易地找到，並經由題目對此主題有充分的了解。

原書堂堂一千零一拾二頁，題目多達九百題，編者選擇其中適合本地讀者需要的題目加以編譯，使得讀者更能把握時間，有效地利用本書。希望藉由此書使讀者們對自動控制的了解更進一層，並且對任何自動控制的題目

都能得心應手，運算自如。

最後要感謝曉園出版社多位同仁的協助使本書得以完成。書中如有任何遺漏或謬誤，請不吝指教，不勝感激。

劉康立
王　醴　編譯

1986年6月

# 如何使用本書

1．充分學習與了解某一主題

(1) 先由教科書上對某一主題做一全盤的了解並熟悉其原理。

(2) 由目錄找出主題所在。

(3) 翻至主題所在，並研習其題目，題目是按照其難易複雜程度而排列的。

重複練習這些題目會使得你對此主題與其牽涉之原理有更深一層的了解與認識。

2．尋找特定的問題

要找尋某一特定的問題時，你可以查閱索引，索引中之題號可引導你到問題所在。

3．準備考試

(1) 找出考試所包含之主題。

(2) 由目錄找出主題所在。

(3) 反覆練習各個主題下之題目。

如此，你便能具備相當不錯的應考能力。

# 目　錄

# 第一章

# 模　　型

## 方塊圖

**1-1**　一個系統的方塊圖如圖 1 所示。試由圖 2 及圖 3 之形式來表示該系統。

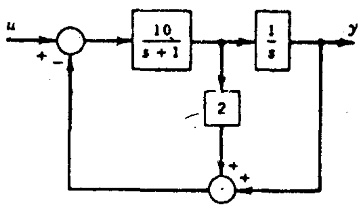



圖 1

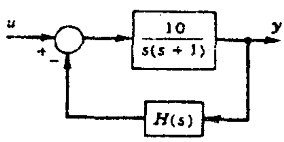



圖 2

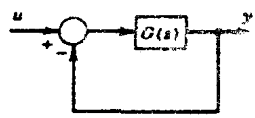



圖 3

**解**：取圖 1 之合成點為 x。由這點，得知

$$x = u - \left(2 \cdot \frac{10}{s+1} x + \frac{10}{s(s+1)} x\right)$$

或

$$x\left[1 + \frac{20}{s+1} + \frac{10}{s(s+1)}\right] = u$$

解 x，可得

$$x = \frac{s(s+1)}{s^2 + 21s + 10} u$$

由圖形及上式，可得

$$y = \frac{10}{s(s+1)} x = \frac{10u}{s^2 + 21s + 10}$$

由圖 2 及圖 3 所示之系統，須求出 y 和 u 間之關係如下

$$y = \frac{10u}{s^2 + 21s + 10}$$

在圖 2 中，由合成點 x 可得

$$x = u - \frac{10x}{s(s+1)} H$$

$$y = \frac{10x}{s(s+1)}$$

合併此二式，求得

$$y = \frac{10u}{s^2 + s + 10H}$$

與 (*) 作比較，得知

$$H(s) = 2s + 1.$$

在圖 3 中有

$$y = \frac{G(s)}{1+G(s)} u \quad .$$

此式等於 (*) 式，得知

$$\frac{G}{1+G} = \frac{10}{s^2 + 21s + 10}$$

因此

$$G(s) = \frac{10}{s(s+21)}$$

**1-2** 圖 1 所示為一個回授控制系統。
求該系統以圖 2 所示之 $G_{eq}(s)$ 及 $H_{eq}(s)$。

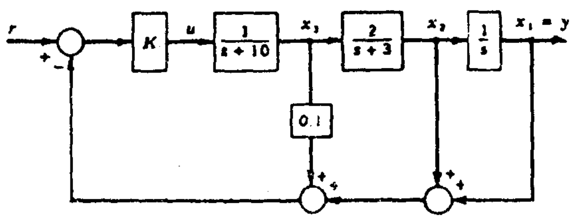



圖 1

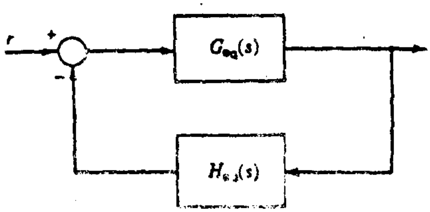



圖 2

解：由圖 1 中，可以求得該系統之回授為

$$H(s) = 0.1\, x_3 + x_2 + x_1$$

及

$$x_3 = \frac{s+3}{2} x_2$$

$$x_2 = s x_1$$

代入回授之等式中

$$H(s) = \left(0.1\,\frac{s+3}{2}\,s + s + 1\right) x_1 = \frac{0.1s^2 + 2.3s + 2}{2} x_1$$

由於 $y = x_1$，因此回授轉移函數爲

$$H_{eq}(s) = \frac{0.1s^2 + 2.3s + 2}{2}$$

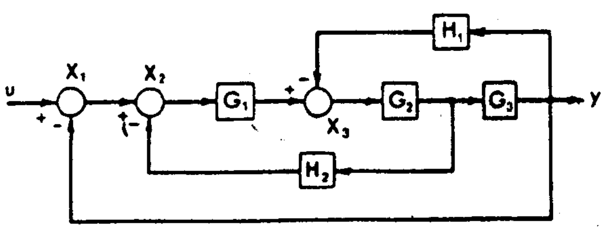
由方塊圖（圖 1），可得順向增益爲

$$G_{eq}(s) = \frac{2K}{(s+10)(s+3)s}$$

**1-3** 如下所示之系統，試求 u 與 y 之間的關係，也就是將

$$\frac{y(s)}{u(s)}$$

表示成爲 $H_1$，$H_2$，$G_1$，$G_2$ 及 $G_3$ 之函數。




**解**：從圖上可以得到下面的式子

$$x_1 = u - y \tag{1}$$

$$x_2 = x_1 - G_2 H_2 x_3 \tag{2}$$

$$x_3 = G_1 x_2 - H_1 y \tag{3}$$

$$y = G_2 G_3 x_3 \tag{4}$$

由(3)式與(4)式，可算出 $x_2$

$$x_2 = \frac{x_3 + H_1 y}{G_1} = \frac{1 + G_2 G_3 H_1}{G_1 G_2 G_3} y \tag{5}$$

將(5)式代入(2)式，可得

$$x_1 = x_2 + G_2 H_2 x_3 = \left(\frac{1 + G_2 G_3 H_1}{G_1 G_2 G_3} + \frac{H_2}{G_3}\right) y$$

$$= \left(\frac{1 + G_2 G_3 H_1 + G_1 G_2 H_2}{G_1 G_2 G_3}\right) y \tag{6}$$

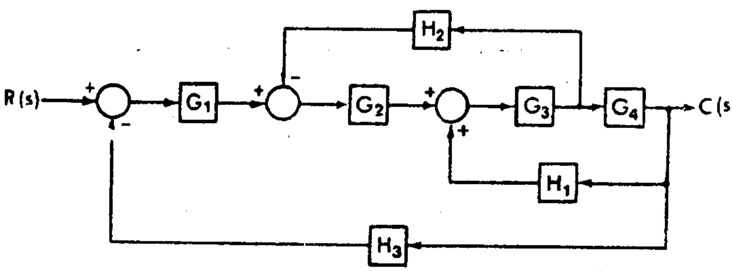
將(6)式代入(1)式

$$\left(\frac{1+G_2G_3H_1+G_1G_2H_2}{G_1G_2G_3}\right)y = u - y \tag{7}$$

因此

$$\frac{y}{u}=\frac{G_1G_2G_3}{1+G_1G_2H_2+G_2G_3H_1+G_1G_2G_3} \tag{8}$$

**1-4　試將一個多重迴路回授控制系統之方塊圖化簡爲單一方塊圖。**

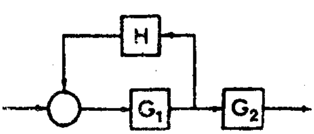



解：爲了簡化方塊圖，可以使用下面的規則：

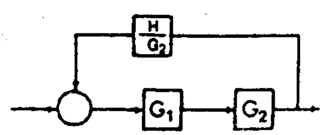
(1)　串接的方塊將它們乘在一起。


變　爲


(2)　連接線可以跳過方塊移動，但增益值須予以調整。

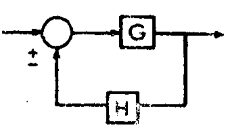



變　爲

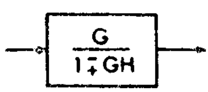



順向增益及迴路並沒有改變。

(3)　回授之迴路可以替換爲

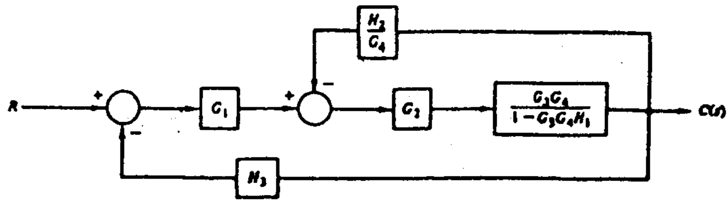



變　爲




注意正負符號之改變。

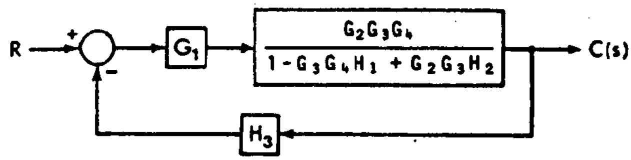
利用第 2 條規則，將 $H_2$ 移到 $G_4$ 方塊的後面。利用第 3 條規則，可將 $G_3G_4H_1$ 之迴路消除掉。一個等效的圖形可以跟著畫出來。




消去迴路

$$\frac{H_2}{G_4}$$

可得

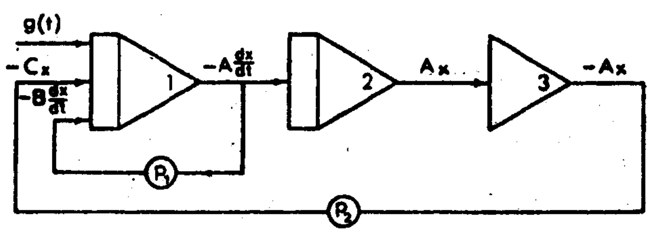



最後，化簡串聯的方塊（第 1 條規則）及消去迴路 $H_3$，得知

$$R \longrightarrow \boxed{\frac{G_1G_2G_3G_4}{1-G_3G_4H_1+G_2G_3H_2+G_1G_2G_3G_4H_3}} \longrightarrow C$$

**1-5**　試畫出類比計算機之圖形，以求方程式：

$$A\frac{d^2x}{dt^2}+B\frac{dx}{dt}+Cx=g(t).$$




**解**：最高階之導數爲：

$$A\frac{d^2x}{dt^2}=g(t)-B\frac{dx}{dt}-Cx$$

由於等式右側有三項，因此三個輸入連接到積分器：$g(t)$，$-B\dfrac{dx}{dt}$，

$-Cx$。積分器的輸出爲 $-A\dfrac{dx}{dt}$。這個值輸入到 2 號積分器，它的輸出爲

Ax，如圖上所表示的。

2 號積分器的輸出即爲所要的解。注意 g(t) 是來自外界的訊號源。

**1-6** 一個與電有關的網路由電阻與電容所構成，如圖 1 所示。圖 2 是該網路之方塊圖。試求所有已表示出來的轉移函數 $G_1$，……，$G_6$ 並將圖 2 之方塊圖化簡爲圖 3 所示之圖形。

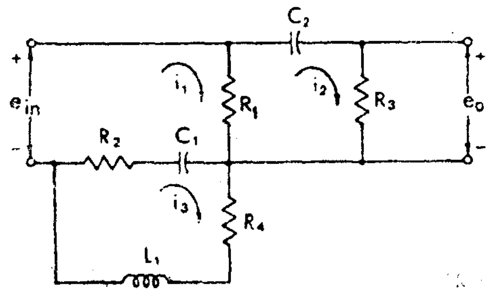



圖 1

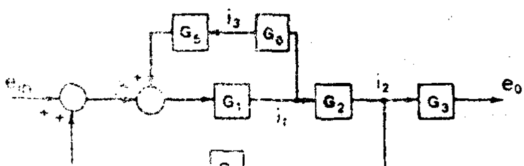



圖 2

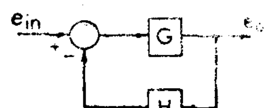



圖 3

**解**：圖 1 所示之電路，其KVL迴路方程式以矩陣之形式表示爲：

$$\begin{bmatrix} (R_1+R_2+\frac{1}{C_1S}) & -R_1 & -(R_2+\frac{1}{C_1S}) \\ -R_1 & (R_1+R_3+\frac{1}{C_2S}) & 0 \\ -(R_2+\frac{1}{C_1S}) & 0 & (R_2+R_4+\frac{1}{C_1S}+L_1S) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{in} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

以及

$$e_O = R_3 i_2$$

從圖 2 中，可以得到下面的方程式：

$$\begin{bmatrix} 0 & G_4 & G_1G_5 \\ G_2 & 0 & 0 \\ G_6 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G_1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \overline{e_{in}} = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix}$$

以及 $e_o = G_3 i_2$，因此 $G_3 = R_3$

將矩陣作乘法運算，並比較矩陣之元素，得知

$$\frac{i_2}{i_1} = G_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_3 + \frac{1}{C_2 S}} = \frac{R_1 C_2 S}{C_2 S (R_1 + R_3) + 1}$$

$$\frac{i_3}{i_1} = G_6 = \frac{R_2 + \frac{1}{C_1 S}}{R_2 + R_4 + \frac{1}{C_1 S} + L_1 S} = \frac{R_2 C_1 S + 1}{C_1 S (R_2 + R_4 + L_1 S) + 1}$$

$$i_1 = G_4 i_2 + G_1 G_5 i_3 + G_1 e_{in}$$

$$= \frac{1}{R_1 + R_2 + \frac{1}{C_1 S}} \left[ R_1 i_2 + (R_2 + \frac{1}{C_1 S}) i_3 + e_{in} \right]$$

令上面方程式之係數相等

$$G_4 = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + \frac{1}{C_1 S}} = \frac{R_1 C_1 S}{C_1 S (R_1 + R_2) + 1}$$

$$G_1 G_5 = \frac{R_2 + \frac{1}{C_1 S}}{R_1 + R_2 + \frac{1}{C_1 S}} = \frac{R_2 C_1 S + 1}{C_1 S (R_1 + R_2) + 1}$$

$$G_1 = \frac{1}{R_1 + R_2 + \frac{1}{C_1 S}} = \frac{C_1 S}{(R_1 + R_2) C_1 S + 1}$$

因此

$$G_5 = \frac{R_2 C_1 S + 1}{C_1 S}$$

將圖 2 所示之迴路移轉，可發現

$$G = G_1 G_2 G_3$$

$$H = -\frac{G_6G_5}{G_2G_3} - \frac{G_4}{G_3}$$

**1-7** 試設計一個類比計算機，以實現其轉移函數爲

$$G(s) = \frac{E_2(s)}{E_1(s)} = \frac{1 + Ks}{1 + \alpha Ks}$$

之結構。

**解：**將轉移函數重寫如下：

$$(1 + \alpha Ks)E_2(s) = (1 + Ks)E_1(s)$$

利用反拉普拉斯轉換，可產生

$$e_2 + \alpha K\dot{e}_2 = e_1 + K\dot{e}_1$$

表示式$D \equiv \frac{d}{dt}$

因此 $e_2 + \alpha KDe_2 = e_1 + KDe_1$

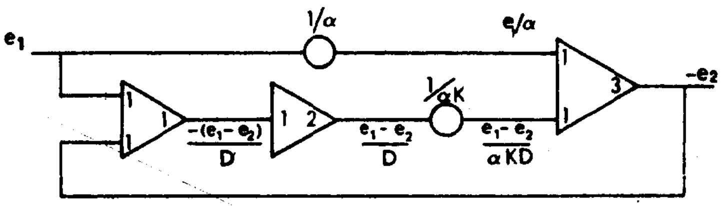
或

$$\alpha KDe_2 = e_1 + KDe - e_2$$

積分之後，得到

$$e_2 = \frac{e_1}{\alpha} + \frac{e_1 - e_2}{\alpha KD}$$

D是一個運算子，而非變數。因而求得了下面的計算機結構圖。




**1-8** 試畫出系統之方塊圖，使該系統能遵循下面這組元件之方程式動作：

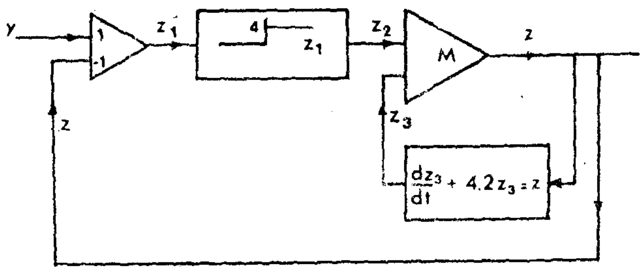
$$y = z + z_1$$

$$z_2 = \begin{cases} 0 & z_1 \leq 0 \\ 4 & z_1 > 0 \end{cases}$$

$$z = z_2 z_3$$

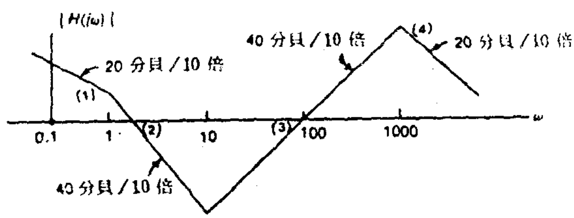
$$z = \frac{dz_3}{dt} + 4.2\, z_3$$

**解：**該系統之方塊圖如下所繪。




## 轉移函數

**1-9** 從下圖中，試求出轉移函數，以說明其效率響應。




**解：**用曲線(1)，(2)，(3)，(4)來表示各段區間。對(1)而言，該區 $0.1 \leq \omega \leq 1$，曲線斜率爲 $-20$ 分貝/10 倍，曲線可用 $\frac{1}{s}$ 來描述。由於這條曲線在 $\omega = 1$ 並未和 $\omega$ 軸相交，因此必含有一個增益常數 K。於是得知曲線(1)爲 $\frac{K}{s}$。對(2)來說，$1 \leq \omega \leq 10$，斜率變化至 $-40$ 分貝/10 倍，因此 $\frac{1}{s+1}$ 爲其因子。由(3)來看，$10 \geq \omega \leq 1000$，斜率爲 $+40$ 分貝/10 倍，$(s+10)^4$ 爲所求的因數。曲線(4)爲 $1000 \leq \omega$，斜率 $-20$ 分貝/10 倍，其因子爲

$\frac{1}{(s+1000)^3}$。

求得之轉移函數爲