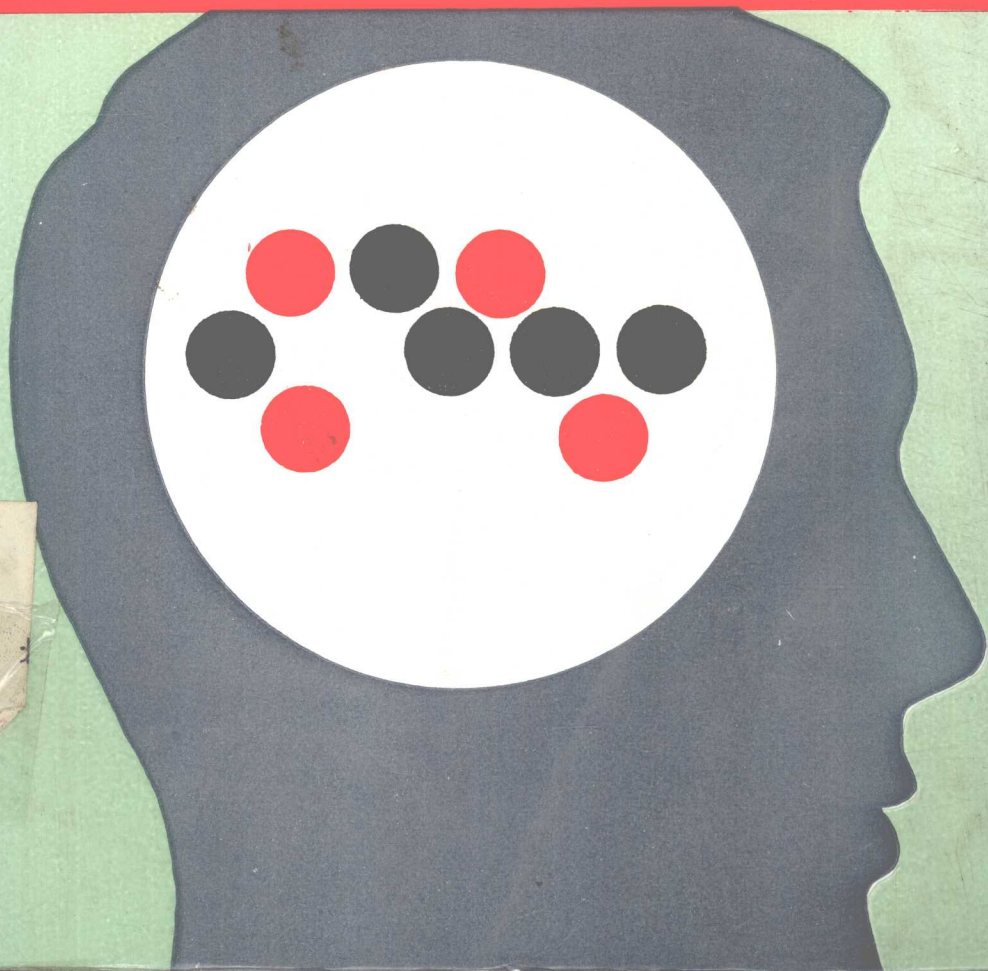


自動控制

楊維楨 著

科學技術叢書 / 三民書局印行



自 動 控 制

楊 維 楨 著

學歷：東京工業大學工業碩士

台灣大學工學博士

美國加州柏克萊大學研究員

經歷：台灣電力公司工程師

現職：台灣大學電機系教授

三 民 書 局 印 行

教育部教科圖書發售審定執照

茲據三民書局呈送稿經編

定合於五年制中學之用其有效期

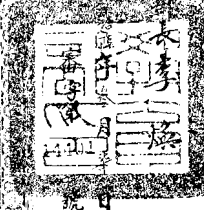
限三年自奉給證年九月

日起至奉給證年九月日止

合行發給執照

奉給三民書局收執

中華民國



◎自動控制

作者 楊維楨

發行人 劉振強

出版者 三民書局股份有限公司

印刷所 三民書局股份有限公司

地址／臺北市重慶南路一段六十一號

郵撥／〇〇〇九九八一五號

初版 中華民國七十六年二月

基本定價 陸元

行政院新聞局登記證局版登業字第〇二〇〇號

版權所有・翻印必究

序

我國為了發展科技，提昇工業水準，近幾年來將生產自動化列為重點發展科技項目，曾成立工業自動化技術服務團，分訪各工廠展開並推廣自動化技術。

自動控制係達成自動化的方法，其系統觀念亦可應用於管理科學分野；因此成為電機、化工、機械等工程方面必備的知識，並被列為大專理工科系的重要科目之一。

本書係依據民國七十二年教育部公佈之五專及二專電機工程科課程標準編定，並適合一般青年學子自修參考自動控制之用。

目前坊間出現之自動控制的中英文書籍為數不少，其中以採用 B. C. Kuo 的 Automatic Control Systems 一書者較多。

本書亦多參考該書但補充新資料及應用實例以適合部定標準。然因見識有限，若有疏誤敬請方家指正。

編者曾在臺大電機系任教控制系統多年，然平時懶於動筆，本書承三民書局劉董事長多方鼓勵，內子王惠美協助，始能完成，謹此致謝。

楊 維 楨

民國七十五年三月

自動控制 目次

第一章 緒 論	1
1-1 系統與控制系統的定義	1
1-2 自動控制系統的構成	4
1-3 自動控制系統的分類	9
1-4 線性系統與非線性系統	16
1-5 自動控制系統之應用範圍	18
1-6 自動控制的發展與其展望	19
第一章 提 要	23
習 題 一	24
第二章 自動控制組件簡介	27
2-1 機械系統的數學模式	27
2-2 轉換器	33
2-3 直流伺服馬達	46
2-4 二相感應馬達	49
2-5 步進馬達	51
2-6 油壓伺服閥	53
2-7 放大器	58
2-8 微處理器	65

2 自 動 控 制

第二章 提 要	66
習 題 二	68
第三章 自動控制之應用	73
3-1 回授控制之系統	73
3-2 伺服機構	75
3-3 自動調整	77
3-4 程序控制	84
第三章 提 要	89
習 題 三	90
第四章 控制系統之數學技術	91
4-1 緒 言	91
4-2 複變數及 s 平面	91
4-3 線性微分方程式	94
4-4 二階線性微分方程式之解法	95
4-5 拉氏變換式	97
4-6 拉氏變換演算公式	98
4-7 拉氏變換的性質	99
4-8 利用部份分式求反拉氏變換	107
4-9 以拉氏變換解微分方程式	111
第四章 提 要——拉氏變換常用表	113
習 題 四	114
第五章 控制系統之表示法	117

5-1 緒 言	117
5-2 轉移函數	117
5-3 方塊圖	119
5-4 信號流線圖	127
5-5 回授效果	132
第五章 提 要	135
習 題 五	136
第六章 時間響應分析	141
6-1 緒 言	141
6-2 回授控制系統暫態分析之典型測試輸入信號	141
6-3 回授控制系統之時域性能特性	143
6-4 回授控制系統之穩態響應	149
6-5 回授控制系統之暫態響應	155
6-6 簡介系統穩定度之分析	158
第六章 提 要	173
習 題 六	174
第七章 根軌跡法	179
7-1 緒 言	179
7-2 根軌跡之定義	180
7-3 根軌跡的構成技術	182
7-4 根軌跡的畫法及重要特性	185
7-5 根軌跡描繪實例——構成程序步驟	213
7-6 根軌跡的應用	217

第七章 提 要	233
---------	-----

習 題 七	235
-------	-----

第八章 頻率響應分析 239

8-1 緒 言	239
---------	-----

8-2 頻率響應特性的定義	242
---------------	-----

8-3 頻率響應與時間響應的比較	243
------------------	-----

8-4 包德圖	244
---------	-----

8-5 極座標圖	259
----------	-----

8-6 幅量—相位圖	267
------------	-----

8-7 頻率響應系統穩定度的分析	270
------------------	-----

8-8 尼可圖	303
---------	-----

第八章 提 要	316
---------	-----

習 題 八	318
-------	-----

第九章 控制系統的設計 325

9-1 緒 言	325
---------	-----

9-2 各種控制器設計法簡介	331
----------------	-----

9-3 回授補償	351
----------	-----

9-4 PID 控制器	354
-------------	-----

9-5 微電腦控制器簡介	356
--------------	-----

9-6 整體控制系統性能評估	359
----------------	-----

9-7 計算機控制系統	362
-------------	-----

第九章 提 要	369
---------	-----

習 題 九	370
-------	-----

第十章 控制系統模擬 375

10-1 緒 言..... 375

10-2 以數位計算機做系統模擬..... 376

10-3 以類比計算機做系統模擬..... 382

10-4 混合式系統模擬..... 393

第十章 提 要..... 395

習 題 十..... 396

附 錄

表 A1 z 轉換表 399

表 A2 z 轉換定理 400

參考書..... 401

名詞索引 403

第一章 緒 論

1-1 系統與控制系統的定義

人類在日常生活中創造及使用很多機械或器具。例如人利用飛機飛行太空，利用汽車代替步行，利用瓦斯暖爐；也利用機器設備在工廠中生產物品。

此時爲了使飛機朝向目的地，駕駛員必須操作方向舵和昇降舵，以保持適當高度及適當速度；同樣爲了使汽車以適當速度行駛，司機需要操動踩板，調整引擎輸出；暖爐的火力則藉瓦斯栓加以調節，至於工廠，則由生產管理部門，制定排程表，而求全體人員和設備保持適應目標的有秩序的行動。

由上可知，爲了使機械、設備或工廠發揮它的功能，我們常需要加以適當的操作，使它保持符合目標的狀態，或使它產生所需的狀態變化；像這樣，加適當的操作於一個對象，造成滿足目標的狀態或狀態變化，稱爲控制（control）。

當人在操作設備時，人、調節用器具和機器設備便形成了所謂控制系統（control system）。

所謂系統（system）指由兩個或兩個以上元件組成，這些元件是彼此間有一定的約束關係（或行動規則），並爲達成共同的目標而行動的集合體。

2 自動控制

控制系統通常由受控對象 (controlled system) 和控制者 (controller) 兩者構成。如果控制者爲人時，稱其方式爲手動控制 (manual control); 若控制者主體爲裝置時，稱之爲自動控制 (automatic control)。

控制系統的基本原理如圖 1-1 所示。我們的目的是藉激勵信號透過控制系統元件使控制變數達到我們的期望值。控制變數即爲系統的輸出 (output)，而激勵信號即爲輸入 (input)。

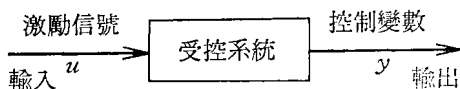


圖 1-1 控制系統原理

圖 1-2 所示爲一個脫水機的方塊圖。依照經驗，我們將希望衣服乾的程度來定脫水時間。脫水後衣服實際乾的程度代表此系統的輸出。倘因衣服太多或其他因素使得脫水後衣服乾的程度（實際輸出）與我們期望乾的程度有所不同，脫水機並不能自動調整脫水時間。像這樣一個輸出量無法影響輸入量的系統，我們稱爲開環控制系統 (open loop control system)。

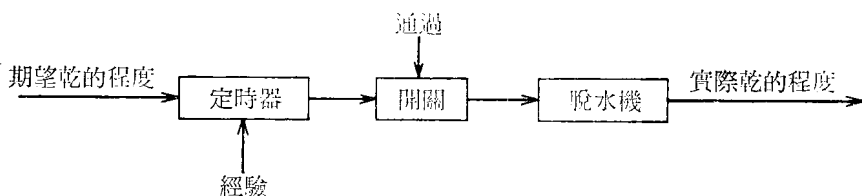


圖 1-2 脫水機的方塊圖

射擊是開環控制系統的另一個例子，其圖形如圖 1-3 所示，期望的結果是將子彈命中靶心。我們將步槍對準靶心後扣板機，一旦子彈離開槍膛它就沿彈道前進，如果突然遇到強風將它的方向吹偏了，我們也無法矯正。由以上兩個例子我們可以看出開環控制的缺點是無法矯正由干擾或其他因素所引起的誤差。

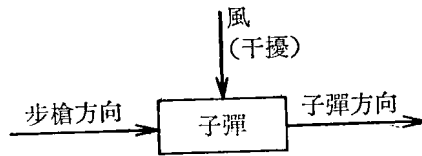


圖 1-3 子彈控制系統

在開環控制系統中我們無法控制的很精確的原因是我們沒有將輸出回授至輸入端。如果要控制的更精確，我們必須將輸出信號回授至輸入端，然後將它與參考輸入比較。參考輸入與輸出之差異稱為誤差。倘若誤差不為零，則產生一個與誤差大小成正比例的激勵信號來矯正誤差。一個控制系統有著一個或多於一個的回授路徑，我們就稱為回授控制系統（feedback control system）或閉環控制系統（closed loop control system），圖 1-4 所示，即為一回授系統的簡單方塊圖。

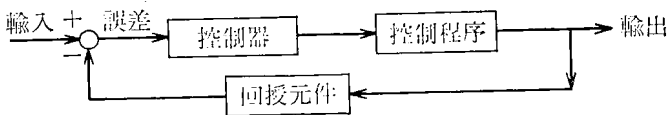


圖 1-4 回授系統的方塊圖

圖 1-5 為一室內溫度調節系統。參考輸入為室內希望保持之溫度（例如 20°C ）。我們先將欲保持的溫度固定於控制器上，如果室溫（輸出）低於 20°C ，則自動調溫計會量出室內溫度（輸出）和期待

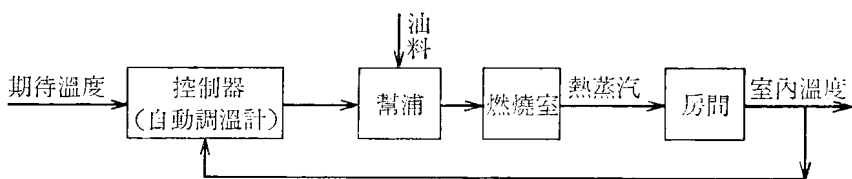


圖 1-5 室內溫度控制系統

溫度 (20°C) 的差異，此差異會產生激勵信號帶動幫浦將油料打入燃燒室以產生熱空氣送至室內使室溫升高，一直到室內溫度與期待溫度相等（差異為零），幫浦才停止打油，也就沒有熱氣可以再使室溫升高。倘若突然有客人來訪或其他因素使室內溫度低於 20°C ，自動調溫計又測出誤差，此誤差又產生信號帶動幫浦使室內溫度升高至 20°C 。像這樣一個輸出（室溫）可以回授和參考輸入作比較以產生控制信號的系統即為閉環系統。

1-2 自動控制系統的構成

圖 1-6 表示火爐溫度的自動控制系統。爐溫度由熱電偶被檢視而

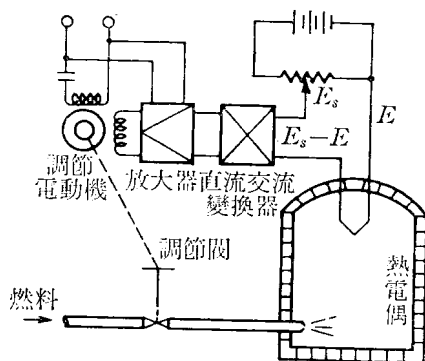


圖 1-6 爐溫度控制

變換為熱電勢 E 。所希望之溫度因欲與此熱電勢比較而藉由電池和分壓器(potentiometer)被變換為電壓 E_s 。此兩直流電壓之差 ($E_s - E$) 由直流交流變換器而變換為交流電壓再由放大器放大。設爐溫低於所希望溫度即 $E_s - E$ 為正值，使操作電動機朝向開啓調節閥增加燃料供應量之方向旋轉。此轉動一直持續到 $E_s - E = 0$ 止。其次當爐溫高於所需溫度， $E_s - E$ 為負值時電動機即反向，關閉閥門方向旋轉。設將圖 1-6 化成容易畫出方塊線圖情形即得圖 1-7，由圖上可知熱電

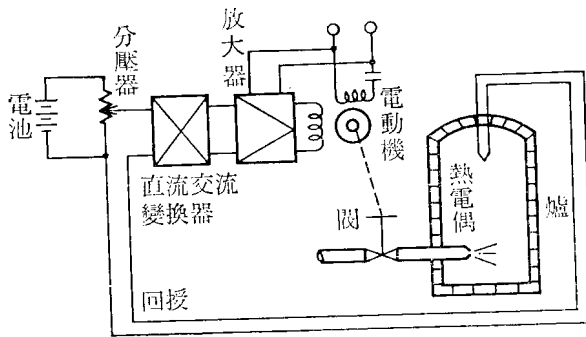


圖 1-7 爐溫度控制的回授

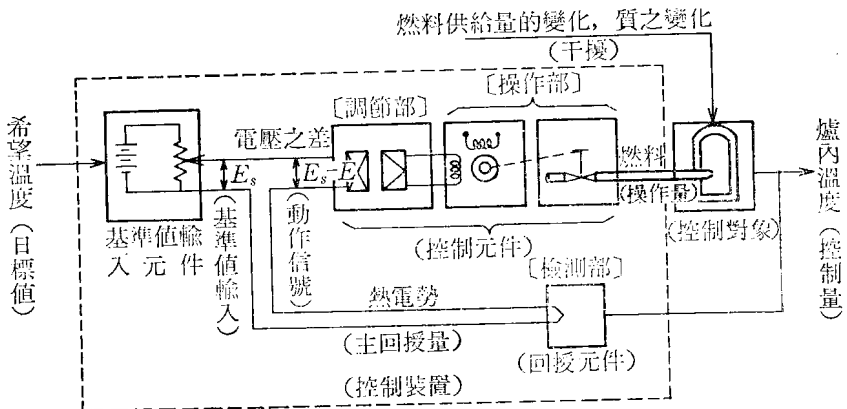


圖 1-8 爐溫控制的方塊圖

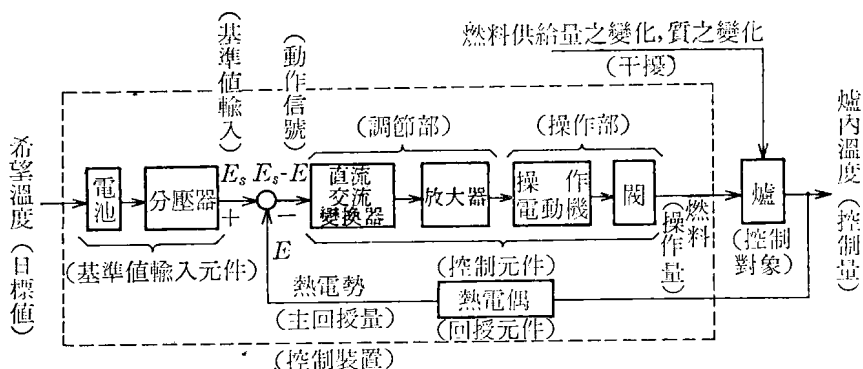


圖 1-9 爐溫控制的方塊圖

勢便是被用於回授的信號，將此圖畫成更接近方塊圖者便是圖 1-8。

圖 1-9 為完全的方塊圖。

在圖 1-8 取了 E_s 與 E 的差，在圖 1-9 中以 $+$ ， $-$ 符號表示此情形。像這樣，在方塊圖中求兩個信號之和或差的部分稱為相加點 (summing point)

圖中對應具體的名稱，在括弧內另外註明的是自動控制專用之術語。將小括弧內名稱更細分者是大括弧內名稱。利用這些術語表示自動控制系統的一般構成者為圖 1-10 與圖 1-11。

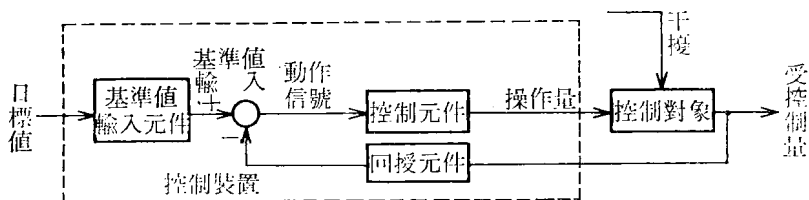


圖 1-10 自動控制系統的一般構成(-)

茲簡單說明術語如下：

目標值 (command): 即所希望控制量的值。上例中如所要求之

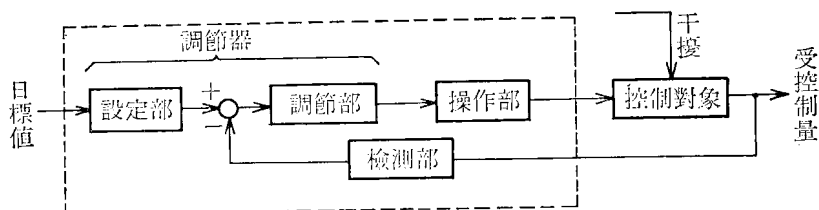


圖 1-11 自動控制系統的一般構成(二)

爐的溫度為 $600 [^{\circ}\text{C}]$ 即目標值便是 $600 [^{\circ}\text{C}]$ ，如目標值為固定的時候，亦稱設定值 (set point)。

基準輸入 (reference input): 乃使控制系統動作之基準輸入信號，為了和主反饋量比較，將目標值以基準輸入元件變換成與主反饋量同性質之量者。

動作信號 (actuating signal): 乃基準信號與被反饋信號之差即成為發生控制系統之控制動作原因的信號，亦稱偏差 (deviation)。嚴密地說動作信號與偏差之定義不同。偏差可說是目標值與控制量之差。前例中因目標值、控制量均為溫度，故偏差之單位亦為溫度 ($^{\circ}\text{C}$)。但動作信號係基準值輸入與主回授量之差，故為基準值輸入之電壓 E_s 與熱電偶熱電勢 E 之差 ($E_s - E$)；單位為伏特。但動作信號亦有與偏差完全一致之場合。例如在電壓之自動調整時，將控制量直接反饋，此時基準值輸入當然與目標值相等。

操作量 (manipulated variable): 為調節控制量而加於控制對象之量。

控制量 (controlled variable): 控制對象的量，被測定及控制者。

主回授量 (primary feedback): 為與基準值輸入比較而由控制量維持一定關係回授之信號。

干擾 (disturbance): 對控制量會引起變化者中, 基準值輸入以外的信號。

上例中相當於燃料之供給量或質的變化, 爐之周圍溫度之變化, 被加熱物體之變化, 爐之開閉等成爲妨害保持爐溫於目標值的原因者。

控制對象 (controlled system): 使產生控制量之部分。有時指部分裝置, 有時指全體; 例如船的針路之自動控制中船全體爲控制對象。

控制裝置 (controller): 爲使控制量與目標值一致, 面對控制對象加以操作之裝置, 亦稱調節器。

基準值輸入元件 (reference input element): 將目標值變換爲基準值 (參考值) 之元件, 亦稱設定部。

控制元件 (control element): 將動作信號變換爲操作量的元件。

回授元件 (feedback element): 將控制量變換爲主反饋量之元件。

檢測部 (detecting means primary element): 檢出控制量, 使能與基準值輸入比較的部分。如將控制裝置視作人之器官則檢測部相當於人的感覺器官; 通常輸出能量很小。

調節部 (controlling means): 由基準值輸入與檢測部輸出的差 (動作信號) 而向操作部送出信號之部分, 此部分相當於人的頭腦, 形成控制裝置的中心, 能基於檢測值及目標值下適正的判斷。

操作部 (final control element): 將調節部送來之信號化成操作量而向控制對象動作之部分。此部分相當於人之手脚, 輸出能量較大。