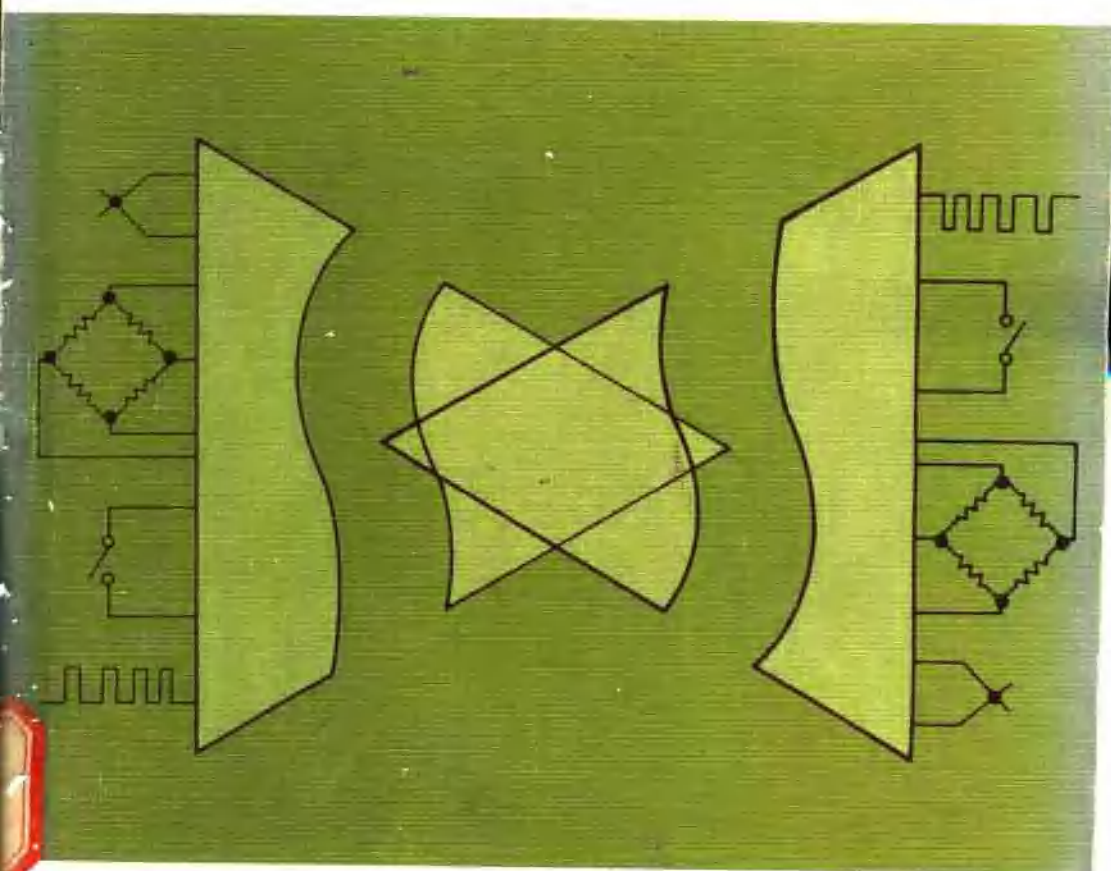


工業電子學

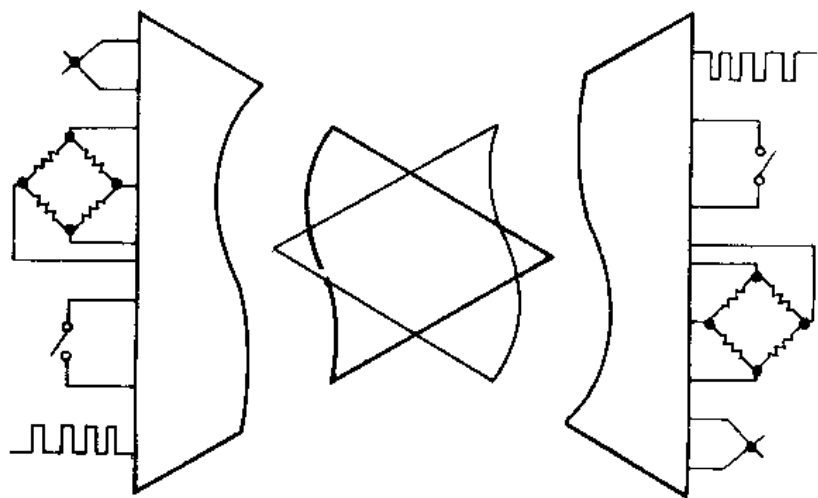
王慶賢 編著



全華科技圖書公司印行

工業電子學

王慶賢 編著



全華科技圖書公司印行



全華圖書

法律顧問：陳培豪律師

工業電子學

王慶賢 編著

出版者 全華科技圖書股份有限公司

地址 / 台北市薩江路76巷20 2號2樓

電話 / 5071347 總機

郵政帳號 / 0100836-1 號

發行人 陳 本 源

印刷者 華 彩 色 印 刷 廠

門市部 全友書局(黎明文化大樓七樓)

地址 / 台北市重慶南路一段49號7樓

電話 / 3612532 • 3612534

定 價 新臺幣 190 元

七版 / 77年2月

行政院新聞局核准登記證局版台業字第〇二二三號

版權所有 翻印必究

圖書編號 047409

我們的宗旨：

**推展科技新知
帶動工業升級**

**為學校教科書
推陳出新**

感謝您選購全華圖書
希望本書能滿足您求知的慾望

「圖書之可貴，在其量也在其質」，量指圖書內容充實，質指資料新穎夠水準，我們本著這個原則，竭心盡力地為國家科學中文化努力，貢獻給您這一本金是精華的“全華圖書”

為保護您的眼睛，本公司特別
採用不反光的米色印書紙。

序

「工業電子」在工業設備和生產程序操作控制上之地位相當重要，尤其隨著電子科技的進步，使得生產程序與產品的精確度、可靠度、複製率等均大為提高，因此電子技術在工業應用上將更為迫切需要。

本書並不需高深數學基礎，但需具備基本的電路理論、電子學知識與數位電路基礎，適於一般技術人員及高工學生研讀時能勝任愉快。

由於工業電子學的領域擴張太快，以致沒有一本教材可以全部囊括。本書主要內容為(1)描述並討論各種工業電子元件——包括轉換器與閘流體等之構造、特性及其應用；(2)陳述一些控制方法與工業上實際的控制系統電路。俾使讀者瞭解元件與電路應如何配合才能構成實用之控制系統。

本書之取材，參酌國內外最新資料，內容新穎，觀念清晰，經編者謹慎編寫而成，雖經悉心核校，遺漏或錯誤之處在所難免，尚祈先進不吝指正，則不勝銘感。

王慶賢 識於台中

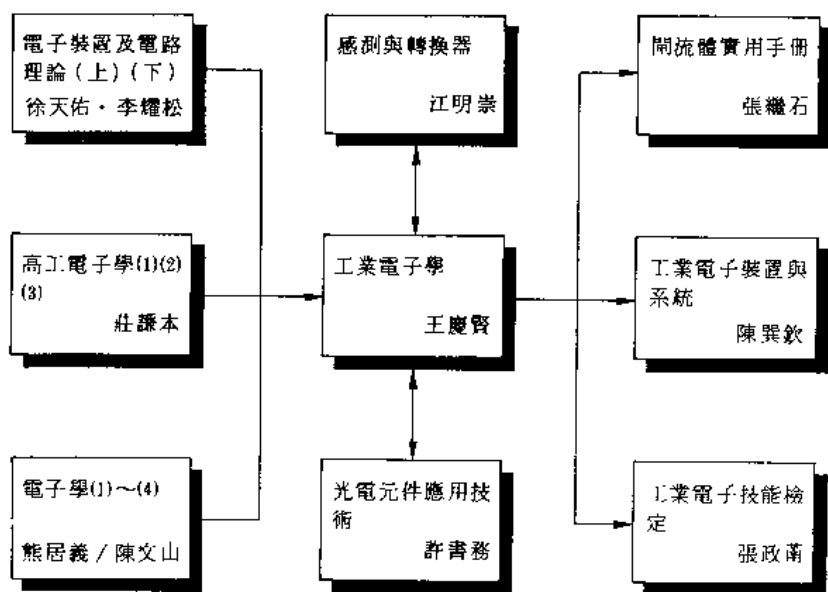
編輯部序

「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所將提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，且循序漸進。

現在，我們將這本「工業電子學」呈獻給您，使您能對工業電子的基本觀念及應用範疇有一明晰的了解，近年來國內工業電子技術隨著高漲的倡導自動化與資訊工業的呼聲而有顯著的進步，然而有關基本工業電子學的書籍却嫌老舊，不夠完整。本書將能以其新穎的內容及豐富的資料補足此種缺憾。在本書中，以目前工業上常用之元件和系統來說明各種不同之控制電路，讀者只須具備基礎的邏輯電路及電子學知識即可瞭解工業上各種轉換元件之原理及各種自動控制電路之應用。本書最適合高工學生及電子技術人員授課、參考之用。

同時，為了使您能有系統且循序漸進研習有關工業電子系列叢書，我們將全華公司一整套工業電子系統叢書按深淺順序以流程圖方式列之於後，只要您按照順序詳加研讀，除了減少您摸索時間外，更可使您具備有工業電子系統方面完整的知識，希望您能善加利用。有關以下各書內容如您需要更進一步資料時，歡迎來函聯繫，我們將可給您滿意的答覆。

流 程 圖



目 錄

第一章 概 論	1
1-1 工業電子之涵義.....	1
1-2 控制信號.....	2
1-3 系統控制.....	5
1-4 轉換器.....	9
1-5 繼電器與電磁開關.....	9
1-6 功率元件與最後修正元件.....	13
習 題.....	27
第二章 轉換器	29
2-1 電位計.....	29
2-2 應變計.....	35
2-3 線性可變差動變壓器 (LVDT)	41
2-4 壓力轉換器.....	45
2-5 熱耦合器.....	48
2-6 熱敏電阻和電阻性溫度檢出器 (RTD)	52

2-7 光敏元件.....	59
2-8 PH計.....	86
2-9 轉速計.....	87
2-10 濕度計.....	90
習題.....	94

第三章 基本閘流體電路..... 97

3-1 SCR	97
3-2 TRIAC.....	120
3-3 UJT	125
3-4 PUT	150
3-5 DIAC	161
3-6 SSS	165
3-7 SUS	170
3-8 SBS	174
3-9 SAS	177
3-10 ATS	178
3-11 GTO	179
3-12 LASCR	186
3-13 SCS	194
3-14 LASCS	200
3-15 蕭克力二極體.....	202
習題.....	204

第四章 控制方法概述.....209

4-1 定時與延遲開關.....	209
4-2 相移控制器.....	223
4-3 零電壓開關.....	257
4-4 比例式控制.....	271

4-5 程序控制.....	274
習 題.....	307
第五章 應用電路.....	311
5-1 靜態開關電路.....	312
5-2 調光電路.....	314
5-3 溫度控制電路.....	319
5-4 比例式壓力控制系統.....	325
5-5 以熱耦合器為輸入之比例加重定之溫度控制電路.....	330
5-6 板條張力控制器.....	337
5-7 板條回捲器之邊緣對齊自動控制系統.....	341
5-8 自動稱重系統.....	344
5-9 滲碳爐之二氧化碳控制器.....	351
5-10 纖維濡濕處理之相對濕度控制.....	360
5-11 倉庫濕度控制.....	364
5-12 輸送帶／分類系統之順序控制.....	367
5-13 馬達速率控制系統.....	374
5-14 液位控制電路.....	378
5-15 其他應用電路.....	380
習 題.....	392
附錄一 矽控元件的特性資料.....	395
附錄二 半導體電阻器.....	409
附錄三 穩壓用二極體 & 積體電路規格表.....	416
附錄四 發光二極體規格表.....	417

概 論

1-1 工業電子之涵義

在工程技術領域中，凡是藉著電子裝置來達到人們所預定計劃之運動過程，都是工業電子所討論的範圍。簡單的說，工業電子學就是應用在工業技術的電子工程科學。由於近代工業的驚人發展，配合其他經濟和社會結構及交通運輸的進步，已使工業進入大量生產的進度以配合膨脹的市場需求，爲了應付競爭及顧客的消費心理，貨物生產就必須精打細算，另一方面，由於工資昂貴，技術人員難求，因此必須尋求新技術，使產品能量多、質美、價廉，爲解決這一問題，電子學在許多方面可助其一臂之力，電子裝置使產品規格精密穩固，更保護了操作人員和設備的安全，在工作站間成品或物料的傳送採用自動化，可由電腦來執执行程序控制，在此自動系統裡，幾乎不用人即可完成生產，除此之外，諸如加熱、熔接、切割、……等也常借重電子技術，雖然電子技術有時比較昂貴些，但卻有準確、體積小壽命長…等優點，有時甚至只有電子技術才能勝任，例如製造半導體裝置之設備，通常需由電子裝備在特殊控制環境下才能製造出來，這是傳統工具無法辦到的。

當然，解決控制問題也並非只有電子技術一途，其他尚有純電學的、

機械的、氣動的、液體的等方法可資運用，但因電子信號最容易被傳送、可靠性高、體積小、速度快、平均壽命長、容易複製或模擬、維護容易等等優點，因此電子技術就成為近代工業廣泛使用的工具。

1-2 控制信號

在工業電子學上所應用的各種電路中，控制信號按波形分為正弦波、方波、脈波、鋸齒波等基本波形。信號在應用前，通常都利用特定方法先予以放大或波形修正，由於控制信號在電路中很重要，所以瞭解各種信號的特性是必需的。

1. 正弦波

正弦波是最常用信號之一，電力公司所供應的交流電即屬正弦波。

$$y = Y \sin \omega t \quad (1-1)$$

式(1-1)即為正弦波標準式，其波形如圖 1-1 所示，工業上所應的正弦波信號，其頻率範圍很廣，如音頻信號 (audio signal)， $L-C$ 振盪器之射頻信號 (radio frequency signal) 等。

2. 方波

方波和正弦波不同處，即正弦波為單頻率信號，而方波則是由一個基本波 (fundamental) 加上無限個奇次諧波組成的，如圖 1-2(a) 所示，其數學式為

$$v = \frac{4}{\pi} V_m \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3 \omega t + \frac{1}{5} \sin 5 \omega t + \dots \right) + \frac{1}{n} \sin n \omega t \quad (1-2)$$

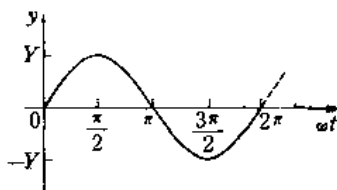


圖 1-1 正弦波

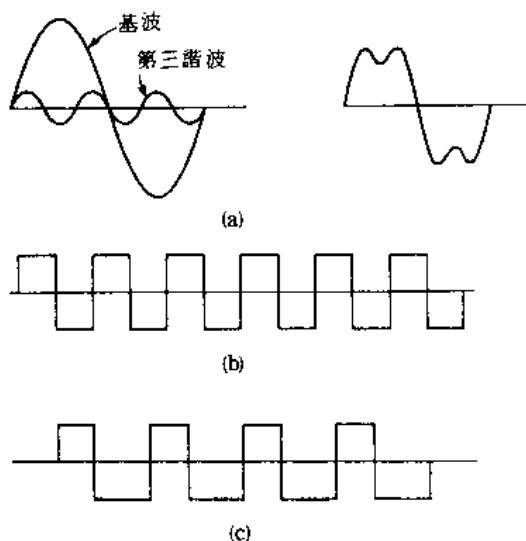


圖 1-2 (a)方波的合成；(b)對稱方波；(c)不對稱方波

由於方波具有許多奇次諧波，因此方波通過各種電路時，必須保持所含的諧波成份，否則波形會造成失真（**distortion**），例如通過放大電路時，由輸出可看出該放大器的頻率響應。理想的對稱方波如圖 1-2(b)所示其上升時間與下降時間均為零，上升時間與下降時間之定義如圖 1-3所示。而圖 1-2(c)為不對稱方波，又稱為矩形波，通常方波應用在計數器電路或開關電路中。

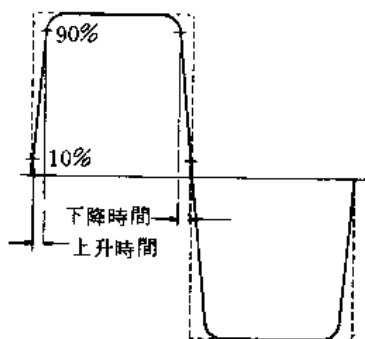


圖 1-3 方波的上升時間與下降時間

3. 脈波

脈波為一突然上升或下降的波形，多呈單極性，即直流波形，但亦可為交流波形，如圖 1-4 所示。脈波在許多情況下只是無規則地偶而發生或重複出現，其時間並無固定規律，因此在鑑別脈波時，我們只需注意脈波波幅、波寬、重複週期。在控制電路，我們希望用週期性脈波來達到預期的目標；任何屬於週期性的脈波，都可用傅立葉級數（fourier series）來描述，即

$$f(t) = A_0 + A_1 \sin(\omega t + \theta_1) + A_2 \sin(2\omega t + \theta_2) + A_3 \sin(3\omega t + \theta_3) + \dots \quad (1-3)$$

此處 $f(t)$ 為一時間函數表示的週期性脈波。

A_0 為直流通數項。

A_1 為基本波的峯值。

A_2 、 A_3 …… 為各次諧波的峯值。

θ_1 為基本波的相位角。

θ_2 、 θ_3 …… 為各次諧波的相位角。

ω 為基本波的角頻率。

在分析非正弦波時，就是計算表示該波形的傅立葉級數中的各項，如

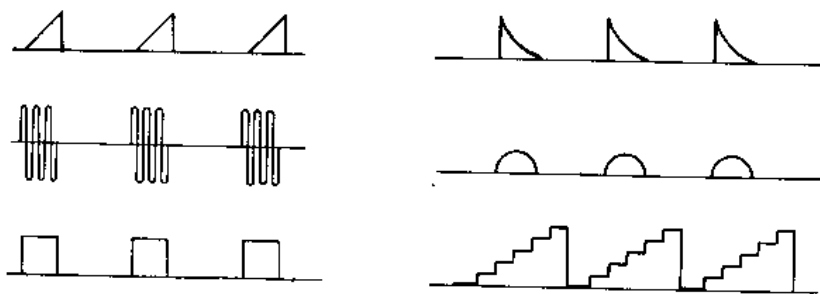


圖 1-4 各種脈波波形



圖 1-5 週期性的矩形正向脈波

表示方波電壓時，傅立葉級數即如式(1-2)所示。

週期性脈波的工作週期(duty cycle)如圖1-5所示定義為

$$\text{工作週期} = \frac{\text{脈波寬}}{\text{週 期}} = \frac{t_p}{T} \times 100\% \quad (1-4)$$

方波可視為脈波的一個特例，其工作週期為50%。在工業電子中，脈波常被用來做觸發信號。

4. 鋸齒波

圖1-6為一鋸齒波圖形，因其形狀如鋸齒而得名，通常應用在示波器或電視之掃描電路，也常用在數位儀表之比較電路中。

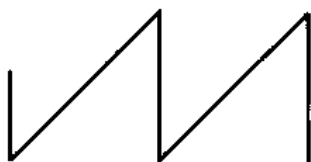


圖 1-6 鋸齒波

5. 信號失真

在工業電子上，信號失真的影響相當重要，在設計電子裝備時，常需把某些電路可能產生的失真降到最小，如放大器做方波或脈波放大時，因這些波形均含有無限高頻的諧波成份，而必須用頻率響應為無限大之放大器才能使這些波形不失真，實際上放大器因極際電容，內阻等因素之影響會造成放大器之頻寬限制，而使這些信號失真，但頻寬愈高的放大器其失真愈小。在另一方面，有時却故意把失真介入以獲得某種預期效果。例如整流電路將輸入波形(交流信號)轉換成直流波形，微分電路把方波轉換成脈波，積分電路將方波轉換成三角波等，使得其在控制上因能互相轉換而可靈活應用。

1-3 系統控制

假設一位操作員用手動的活門為一個遠方的汽油桶加油，這個人就成為這初級活門的控制系統(這是浪費寶貴人力的例子，馬達可代替其地位)。如果操作員無法去瞭解桶內的情形，當汽油達到某一指定高度時，他根

本無法停止加油。上述情況為理論性的，因它不能了解他的目的，這是一個開迴路系統（open loop system），就如同一位將軍發號施令指揮大軍作戰，却得不到前線的消息。

為了成功地完成工作，當操作員在某一適當時機要關掉活門時，他必要想辦法瞭解該動作的後果；正如那位將軍必須派遣一名傳令兵去打探消息並向他回報，而用控制的專有名詞來說，這位傳令兵就像一部感測裝置（sensing device）或轉換器（transducer）。明顯地，人力報告像水位這類的基本情況，又是另一種人力浪費情形，而由不貴的計量器（gauges）即可更適宜地做這項工作，而且也更便宜。為得到這些訊息，封閉了做決定和執行的迴路，它對於成功的執行計劃中的工作是必要的，因此我們就有一閉迴路系統（closed loop systems），而在工業上和生物學上的處理，你將發現閉迴路原理佔了絕大部份，在本書以後所討論的控制電路，你也將發現幾乎都是閉迴路系統。

現在讓我們把上述操作員考慮成一控制系統，並研究其各項功能之協調。參考圖 1-7，假定有一視覺位準計量器，以眼睛當作轉換器，去估計實際的位準。而在他腦海裡，把眼睛所獲得的訊息與心理所期望的參考位準做比較，大腦的功用就如一比較器（comparator）或誤差偵測器（error detector），在實際和期望的位準間加以比較後，就決定必要的動作向肌肉發出適當的誤差信號，於是肌肉受到激勵（肌肉即當作功率放大器），而手臂就像致動器（actuator）或伺服機去執行打開或關掉活門的動作。

把圖 1-7 的圖解重畫成圖 1-8 即為常用的控制系統方塊圖，該圖表示出一個閉迴路系統的所有要素；若減少查察裝置，（則參考位準及比較器就變成不需要了），就成了用途有限的開迴路系統了。

剛才所討論的閉迴路系統是很簡單的一種，若要更複雜的，不妨分析像汽車駕駛那種屬於人工系統（human system）的行為；他要控制兩個主要的量—速率和方向，但這些量却涉及許多應變數，像路面狀況和擁塞程度、能見度、氣候和環境因素，其他駕駛者的行為、障礙物和十字路口，以及一些天曉得會何時發生意外的情況。駕駛人也必須考慮到自己引擎

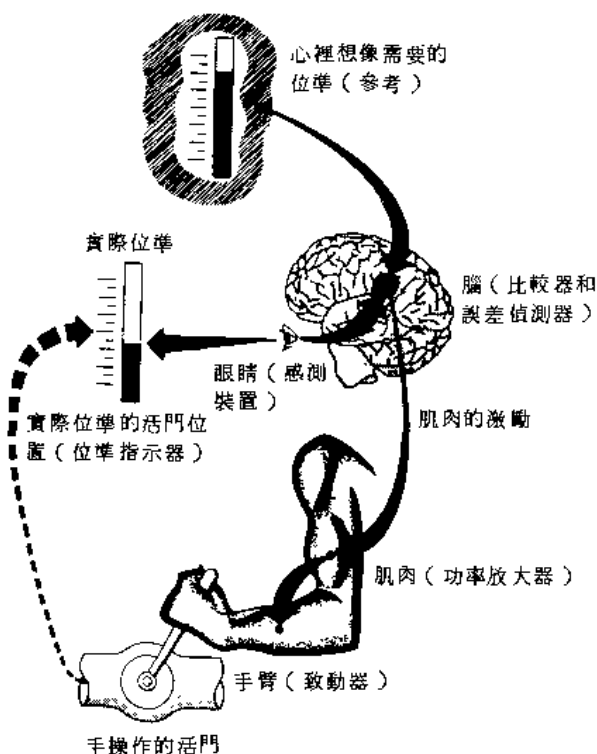


圖 1-7 操作員被當作一個控制系統；實際的控制系統必須重複這些步驟

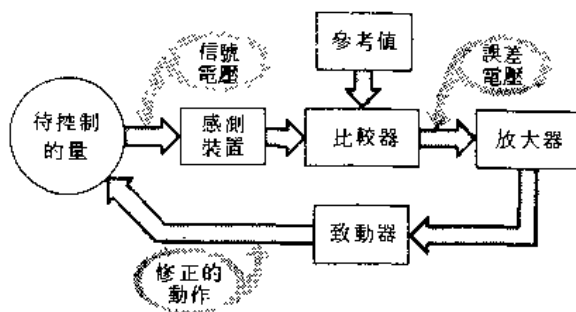


圖 1-8 閉迴路控制系統中主要元件間的相互關係