大專用書

系統分析

—流程圖法則—

王　　師　編著
徐延樹　校訂

中央圖書出版社出版

系統分析

—流程圖法則—

定價新臺幣陸拾元整

本出版社經內政部核准登記，登記證為內版臺業字第〇五四三號

著作者：王　　師
校訂者：徐　延　樹
發行人：林　左　高
台北市重慶南路一段一四一號
出版者：中央圖書出版社
台北市重慶南路一段一四一號
發行所：中央圖書供應社
台北市重慶南路一段一四一號
電話：三三一五七二六
三七一九八九三
郵政劃撥帳戶：九一一四號
印刷所：聯和影印廠有限公司
台北市西園路二段二六四巷三九號

中華民國六十四年八月修訂版

編號：2046

系 統 分 析

—流程圖法則—

著作者　王　師
校訂者　徐延樹

中央圖書出版社印行

系統分析

—流程圖法則—

定價新臺幣陸拾元整

本出版社經內政部核准登記，登記證為內版臺業字第〇五四三號

著作者：王　師

校訂者：徐延樹

發行人：林左高
台北市重慶南路一段一四一號

出版者：中央圖書出版社
台北市重慶南路一段一四一號

發行所：中央圖書供應社
台北市重慶南路一段一四一號
電　話：三三一五七二六
三七一九八九三
郵政劃撥帳戶：九一一四號

印刷所：聯和影印廠有限公司
台北市西園路二段二九四巷三九號

中華民國六十四年八月修訂版

編號：2046

陳　序

王　師先生撰寫「系統分析」一書，具有以下五大特色：

一、本書對系統分析之法則：方塊圖法則，拓樸圖形法則與流程圖法則，詳爲舉例，作深入之比較研究，俾體認流程圖法則爲最直接而簡易之法則。

二、全書以流程圖的觀念與法則來貫穿，形成一套嶄新的分析體系。

三、本書對系統結構，數學結構與流程圖結構彼此之間的關係，闡述詳明。

四、在系統直接用流程圖造型法中，除基於因果關係的系統，用單元流程圖銜接外；作者尋求出基於電壓、電流關係的網路，亦有其直接用流程圖造型的法則。

五、本書文字淺顯流暢，闡述觀念最爲清晰，并舉應用實例甚多，是一本具有高度可讀性與實用性的好書，可供自修；可作爲電子專科之敎本；亦可作爲大專學校電子系科相關課程如網路學、電子電路、微波學、工業電子與控制系統等課程之補充教材。

省立台北工業專科學校電子科主任陳雲潮　識。

中華民國六十一年六月。

自 序

訊號流程圖，或簡稱爲流程圖，是一套嶄新而強有力的分析系統問題之方法。其應用範圍甚廣，可適用於各種科學與工程的系統分析。本書闡述的範疇，僅包括流程圖應用於電子系統分析方面。

系統問題的表示法有：(1) 數學方程式（包括代數方程式及微分方程式）；(2) 方塊圖；(3) 拓樸圖及 (4) 流程圖。由舉例比較得知，以流程圖法最爲直接而簡明。

關於流程圖法則的應用，本書舉例尤爲詳明，期使讀者易學易懂，倍感興趣，達到學以致用之目的。

系統問題用流程圖造型法有間接及直接兩類。間接造型法是先將系統問題表示爲因果關係式，再由因果關係式表示爲流程圖。直接造型法是將系統問題直接用單元流程圖銜接表示之。關於僅含獨立電源之網路，本書特歸納出直接造型之法則。更有進者，流程圖可將系統問題直接模擬成爲類比計算機與數字計算機之運算程式，特稱之爲狀態圖，既便於吾人去求解，更便於計算機去分析。

本書精選習題頗多，并經過審愼的設計與安排，兼顧觀念與法則，趣味與實用，循序漸近；尤具有啓發思考，顯示解題步驟，培養運算技巧之作用。若干習題附有答案，以便核對。若干較難習題附有提示，以引導求解門徑。若干註有星號 *之習題，亦可供課堂分析之用。

最後，希望諸先進及讀者不吝指正本書錯誤之處，藉謀改進是幸。

著者謹識

中華民國61年6月於省立台北工專電子科

系統分析

— 流程圖法則 —

目　錄

第一章　緒論

第一節　概述

若干相關的事物，或元素，組合發生作用，成爲一個整體，達成預期的目的，稱爲**系統**(System)。一般來說，一種組織或制度，一套程序或方法，一個機械裝置，甚至人的身體，以及人與機器或環境的聯合作用與相互影響，都可看成一個系統。**系統分析**(System Analysis)是爲了達成系統的目標，就效果等的觀點，詳加比較考察，求了解其部份及整體的性質，或對原有系統提出改進的方法。

系統分析的重要性有以下幾點：

(一) 對一系統的特定輸入，用分析法決定其**響應**(Response)，往往較用實驗法爲容易而經濟。

(二) 尚在構想階段的系統，欲決定其**可行性**(Feasibility)，必須使用分析法。

(三) 一個系統的限制條件或安全因數，須藉系統分析來決定。

(四) 系統分析成爲系統設計的一個重要部份。

關於系統分析，C. E. Shanon 於 1942 年在其一篇研究報告(見參考資料 1)中，首創**訊號流程圖**(Signal Flow Graph)，或簡稱流程圖(Flow Graph) 的觀念，并包括**環路定則**(Loop Rule)，其與現在的**類比計算機**(Analog Computer) 流程圖觀念，非常近似。

Samuel J. Mason 從 1952 年到 1956 年的期間，發表三篇論文(見參考資料 2，3，4)，建立并證明一個完整的簡化流程圖的

法則，稱爲 **Mason 增益公式** ，又稱爲**互不相連環路定則**（Mason's Gain Formula, or Nontouching Loop Rule ）。對於複雜的電子系統（ Electronic System ）問題，獲致一簡單的求解方式 。

流程圖的設計原始僅應用於電子系統，現在已大爲擴展其用途，舉凡一切自然科學與工程的系統問題分析，均可廣爲應用 。例如機械系統，電子與機械組成的控制系統，空氣動力系統，化工系統，甚至生物系統等，均可用流程圖來分析，僅須採用其特定的**變數**（ Variables ）與**係數**（ Coefficients ），遵循其特定的原理與定律而已。

更有進者，如行政三聯制的**計劃－執行－考核**（ Plan-Do-See），參謀作業提供決策的方法，生產系統之財務計劃分析，估計飛彈戰力之思考程序，以及資源分配之合理化程序等，基本上均是流程圖觀念的運用 。

流程圖的觀念在社會科學與自然科學中各自獨立發展，彼此之間幷沒有什麼淵源關係 。這可以說是人類在殊途同歸的情況下，所獲致的普遍性觀念之一 。

社會科學問題不同於自然科學問題者，前者常有許多不太確定的因素，必須經過多次嘗試與錯誤的過程，要很多人合作，逐步累積改善，以獲致最佳結果；而後者有確切之定律可循 。關於一般性系統分析觀念，可查閱參考資料 5 ，6 ，7 。

本書所論及流程圖之應用，着重於電子系統方面 。

電子系統是由處理**訊號**（ Signal ）之**網路**（ Networks ）組合而成 。訊號可能是電壓或電流 。但若**能量轉換器**（ Energg Transducer ） 成爲系統之一部份時，訊號一詞也表示其他物理變數 。

網路與系統之區別，不決定於結構之複雜程度，而決定於觀點 。**網路觀點**着重於**節點電壓**（ Node Voltage ），與支路或**網目電流**（ Branch or Mesh Current ） ； 而**系統觀點**着重於**轉移函數**（ Transfer function ） 或 **輸入輸出**（ Input-output ）之關係或**因果關係**（ Cause-effect Relationship ） 。

流程圖的種類頗多，有Coates，Desoer，Chow，Cassignal，Chan-Bapna及Chan-Mei 諸氏的流程圖，都是根據Mason流程圖的法則演變出來的，各具有某些特殊性，不若Mason 流程圖之具有一般性與實用價值。例如，Coates 流程圖是表示下列聯立方程式之關係：

$$\sum_{j=1}^{N} a_{ij}\, y_j = 0 \,,\ (\ i=1\,,2\,,3\,,\cdots\cdots,N\ ) \qquad (1)$$

對網路系統而言，(1) 式是 Kirchhoff 的**網目電流方程式**或**節點電壓方程式**的型態，故 Coates 流程圖是爲了適合這一型態而設計。雖然Mason 流程圖對一般系統僅能表示具有因果關係型態之方程式；對網路系統僅能表示**節點電壓與支路電流之方程式**；而不能直接表示以上聯立方程式之型態，但由以上聯立方程式改寫爲因果關係式，或直接由網路系統寫出因果關係式，皆極容易。上式中設 $n=3$，則得

$$\begin{cases} a_{11}y_1 + a_{12}y_2 + a_{13}y_3 = 0 \\ a_{21}y_1 + a_{22}y_2 + a_{23}y_3 = 0 \\ a_{31}y_1 + a_{32}y_2 + a_{33}y_3 = 0 \end{cases} \qquad (2)$$

將 (2) 式改寫爲因果關係式爲：

$$\begin{cases} y_1 = -\dfrac{a_{12}}{a_{11}}\,y_2 - \dfrac{a_{13}}{a_{11}}\,y_3 \\[2ex] y_2 = -\dfrac{a_{21}}{a_{22}}\,y_1 - \dfrac{a_{23}}{a_{22}}\,y_3 \\[2ex] y_3 = -\dfrac{a_{31}}{a_{33}}\,y_1 - \dfrac{a_{32}}{a_{33}}\,y_2 \end{cases} \qquad (3)$$

(3) 式內，等號右邊各變數稱爲**因**，**或輸入**，**或激發**（Excitation），等號左邊之變數稱爲**果**，**或輸出**，**或響應**。又例如，Chan-Mai 流程圖是表示以下型態之聯立方程式：

$$\sum_{j=1}^{N} a_{ij} x_j = b_i \ , \ (i = 1 , 2 , 3 , \cdots\cdots , N) \qquad (4)$$

將(4)式改寫成因果關係式後，仍可用Mason流程圖來表示。故Mason 流程圖及增益公式對系統問題求解是最有效的一般性法則，惟最有效的一般性法則，才是最有價值的法則。

系統內一切變數的關係都包含在流程圖裡，猶如一切電磁關係都包含在 Maxwell電磁方程式裡，故Mason 流程圖法則對系統問題求解之具有權威性，直可比擬於 Maxwell方程式對電磁問題求解一樣。本文此後所提及之流程圖均指Mason流程圖而言。

將人的思想和觀念轉換成為語文，再轉換成為方程式(數學的語言)，再轉換成為圖形，再轉換成為電子計算機的程式語言(機械的語言)，此種程序主要是為了容易分析和解決系統問題。在過程中形轉換，上承數學語言，下接機械語言，可見其地位的重要性。就變數相互關係之作用而言，千言萬語的描述，往往不及數學式的表精確；許多數學方程式的堆砌，却又往往不及一個圖形的表達清晰

圖形的表達可能有多種，截至目前，雖用得最多的是**方塊圖**(Block Diagram)，但運用起來，流程圖比較方塊圖要簡易得，原因不僅是流程圖只含小圓圈及箭頭兩個符號(小圓圈表示變數訊號，箭頭所指的方向表示訊號或能量之流動方向)，畫起來比較事；而且流程圖建立了一個整體的法則，運用此法則再經由觀察，很容易將複雜的流程圖予以簡化。方塊圖之簡化則不然，須有賴於用許多零碎的定則。

淺顯言之，流程圖就是系統的抽象畫。所謂抽象畫是透過形象去其糟粕，而保留其精華。就理論而言，抽象畫應該是最美妙的畫因為它被去掉了不太重要的部份，而保存了重要的精華，如果拿它與實體比照，當然會顯得面目全非。如某國畫大師於參觀抽象畫展後評語：“不像畫，不像話”，因為他所看到的只是幾根奇怪的線條

或幾堆不順眼的顏色。但客觀來說，其非不在於抽象畫的本身，而在於以傳統的觀點去看抽象畫。

第二節 系統之方塊圖表示及其簡化

在研討系統新的圖示法以前，讓我們先來回顧一下傳統的方塊圖。方塊圖的基本型式如圖1。

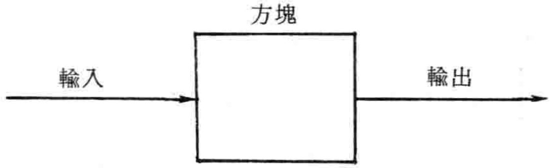
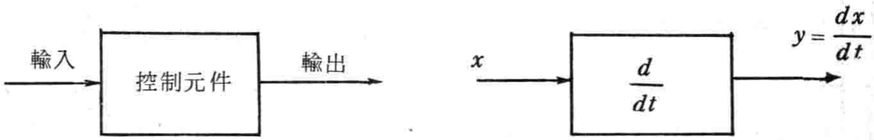


圖1 基本方塊圖

圖1中箭頭方向表示訊號流動的方向，方塊表示系統的結構。在方塊內通常標示名稱，增益（ Gain ）或運算記號等，如圖2。



(*a*) 圖2 方塊內之標示 (*b*)

系統的方塊圖通常由四種符號構成，即(1)方塊；(2)合併點(Summing Points)；(3)分開點(Takeoff Points)；(4)箭頭，如圖3。

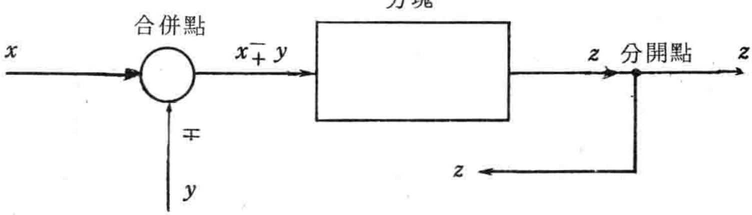
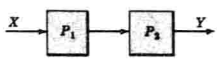
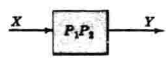
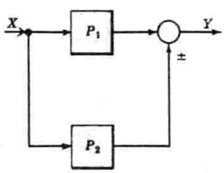
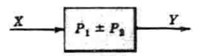
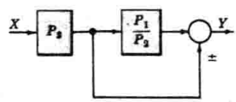
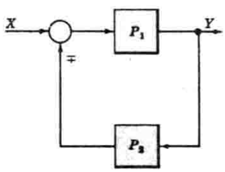
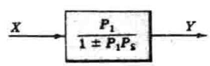
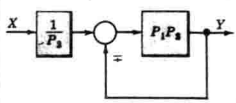
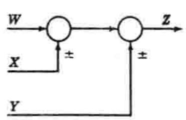
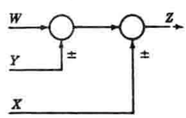
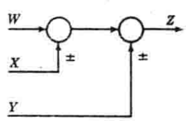
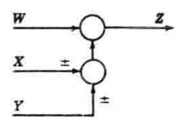
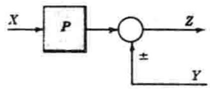
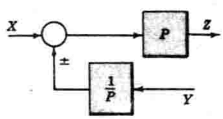


圖3 構成方塊圖的符號

將複雜系統的方塊圖簡化，就是要簡化成爲如圖1所示之基本方塊圖。複雜系統方塊圖的簡化，須運用表1的轉換定則。

表1　方塊圖的轉換定則

轉　換		方程式	方塊圖	等效方塊圖
1	將串聯方塊合併	$Y \quad (P_1P_2)X$		
2	將并聯方塊合併	$Y = P_1X \pm P_2X$		
3	將一方塊從一條順向路徑內移去	$Y = P_1X \pm P_2X$		
4	消去回授環路	$Y = P_1(X \mp P_2Y)$		
5	將一方塊從一條回授環路內移去	$Y = P_1(X \mp P_2Y)$		
6a	將合併點移動位置	$Z = W \pm X \pm Y$		
6b	將合併點移動位置	$Z = W \pm X \pm Y$		
7	將合併點移至方塊的輸入端	$Z = PX \pm Y$		

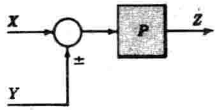
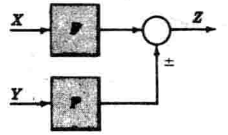
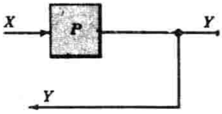
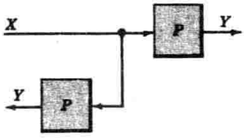
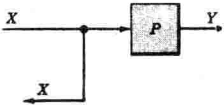
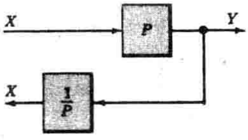
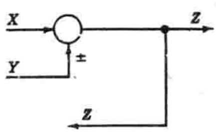
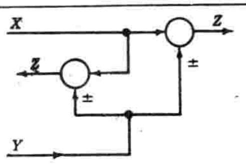
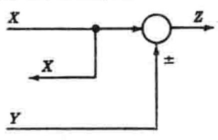
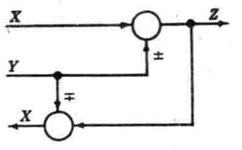
8	將合併點移至方塊的輸出端	$Z = P[X \pm Y]$		
9	將分開點移至方塊的輸入端	$Y = PX$		
10	將分開點移至方塊的輸出端	$Y = PX$		
11	將分開點移至合併點的輸入端	$Z = X \pm Y$		
12	將分開點移至合併點的輸出端	$Z = X \pm Y$		

表 1 中，P 表示任何轉移函數或增益（Gain）。W，X，Y 及 Z 表示任何 **S域**（S-domain）或**頻域**（Frequency-domain）之訊號。各方塊圖之轉換等效，須滿足於表 1 中所列之相關方程式。

茲舉例說明方塊圖轉換定則之應用。

例 1　將圖 4 之控制系統方塊圖，化簡成為基本方塊圖的型式。圖中 R 表示輸入之參考訊號（Reference Signal），C 表示受控制之輸出訊號（Controlled Signal），各 G 表示增益，各 H 表示回授轉移函數（Feedback Transfer Function）。

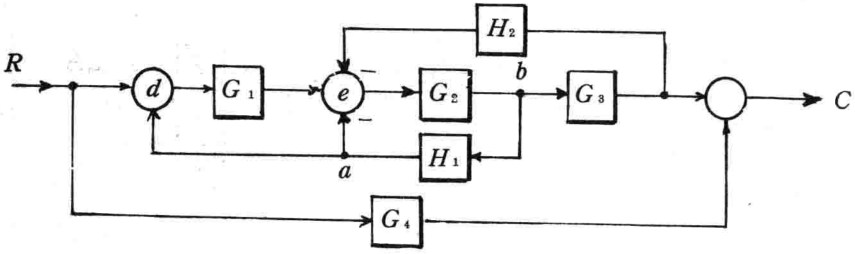
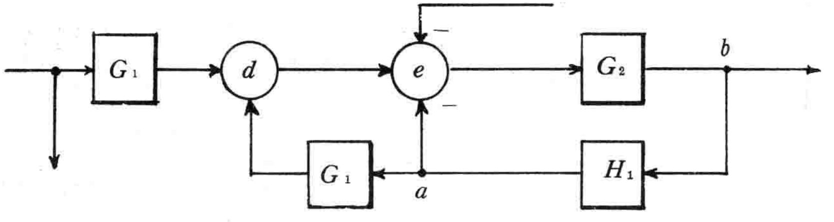
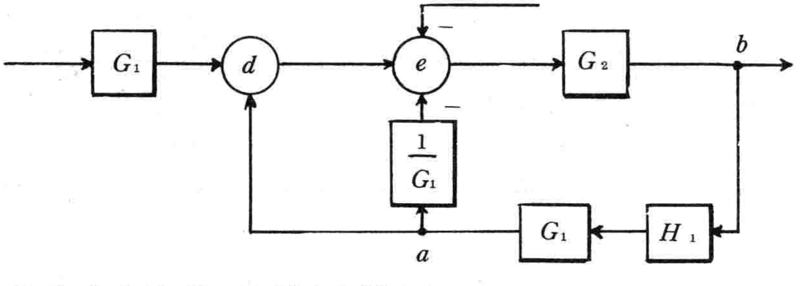


圖 4　一個控制系統的方塊圖

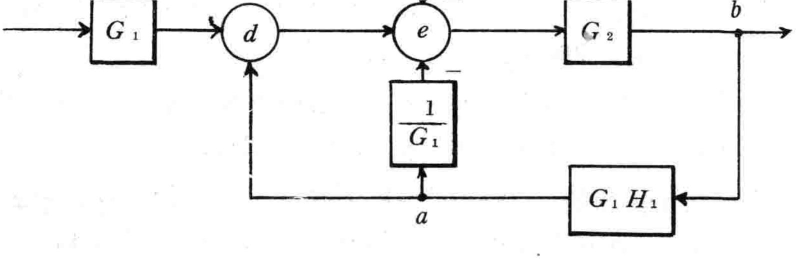
解：首先，將合併點 d 移至方塊 G_1 之輸出端（定則 8）：



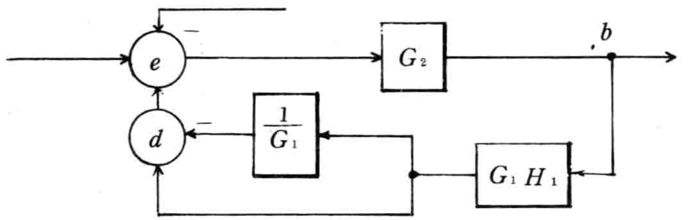
其次，將分開點 a 移至方塊 G_1 的輸出端（定則 10）：



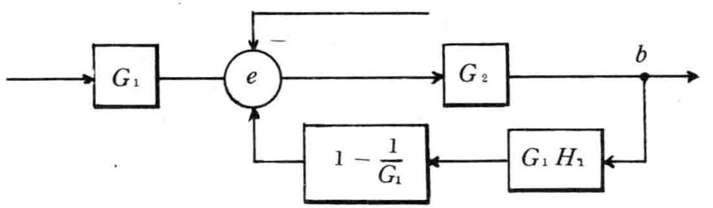
將方塊 G_1 與方塊 H_1 合併（定則 1）：



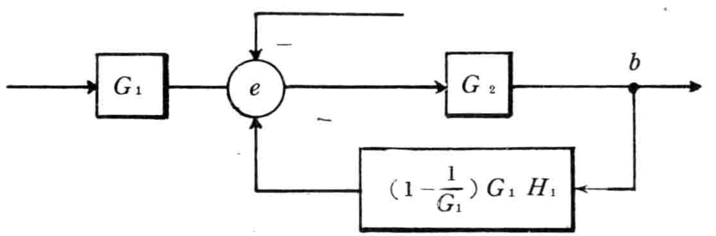
將合併點 d 移動位置（定則 6 b）：



將上圖下方之兩并聯路徑合併（定則 2），無方塊之支路，其增益爲 1：



將上圖之下方兩個方塊合併（定則 1）：



消去上圖內之回授環路（定則 4），系統方塊圖變爲：