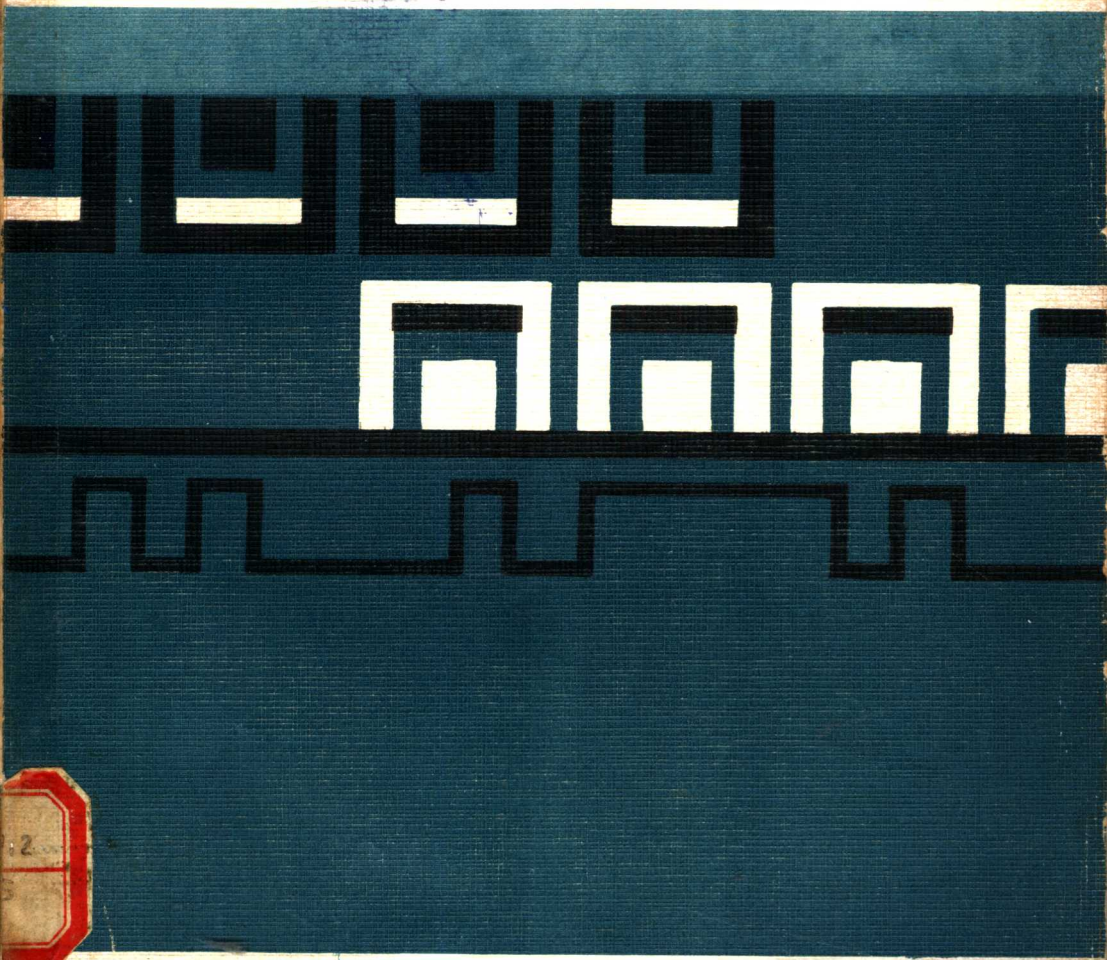


# 實用數位積體電路

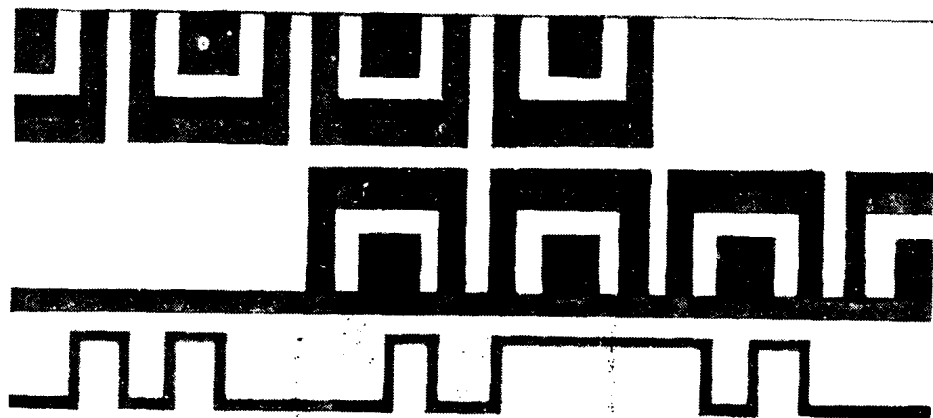
楊清景 彭秋杞 編譯



全華科技圖書公司印行

# 實用數位積體電路

楊清景 彭秋杞 編譯



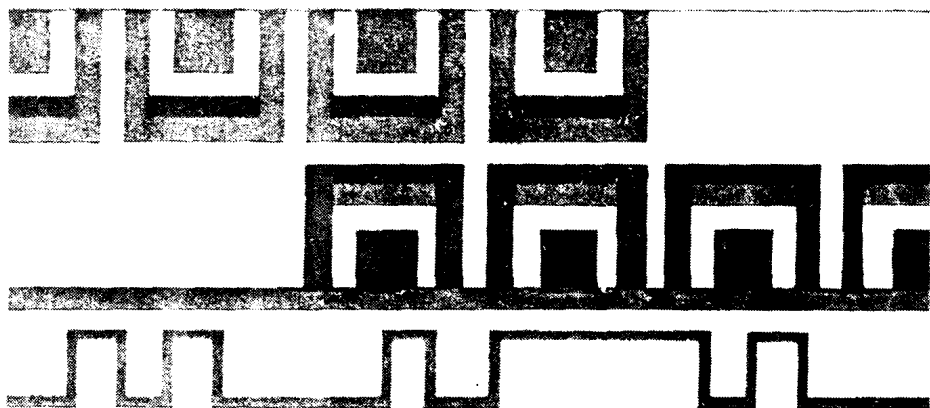


全華圖書 版權所有 翻印必究  
局版台業字第0223 號

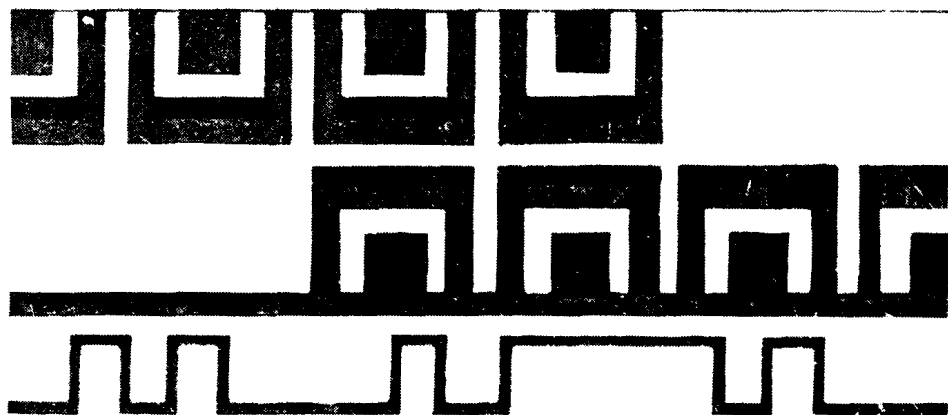
# 實用數位積體電路

楊清景 彭秋杞 編譯

出版者 全華科技圖書公司  
北市建國北路85巷9號一樓  
電話：5 8 1 - 1 3 0 0  
郵撥：1 0 0 8 3 6  
發行者 蕭而鄭  
印刷者 永輝彩藝印製廠  
定 價 新臺幣 3 5 0 元整  
初 版 中華民國66年2月



全華科技圖書公司印行



謝謝您選購全華圖書！

希望本書能滿足您求知的慾望！

如果本書有缺頁、倒序、污損等情形，讓我們致歉！

並請您將原書退回，我們將儘速給您補換，謝謝！

別於第二章與第三章中逐一探討。第四章介紹資料與資料通訊，特別對於計算機資料系統有較詳盡的解說。第五章述及積體電路的製造方法，並藉由參數及工作特性比較六種最常見且最主要的邏輯族。第六章起，開始以分析為著眼，研討各種型式之位移記錄器與計數器，並比較其間之優劣點。對於解碼器、編碼器、數碼轉換器、多工器、解多工器及比較器等亦有所說明。各種型式之加法、減法、乘法、除法電路，及其算術運算程序，於第七章中皆有詳盡的闡述。第八章藉由多種工作特性比較不同型式之記憶器，並特加探討只讀記憶器與隨意出入記憶器之記憶器的結構及用途。附錄A討論各種型式之數目系統及其相互之間的轉換，並研討如何利用補數之加法執行減法運算。附錄B介紹兩種數據通信數碼，即美國資訊交換標準碼(ASCII)與擴展化之二進碼十進數交換碼(EBCDIC)。附錄C闡述布氏代數之定義與假設及其陳述式，並探討藉由卡氏圖簡化布氏方程式之法則。

譯者才疏學淺，雖力求完美臻善，仍不免遺漏舛誤，尚祈學者先進不吝指正賜教，甚幸！

楊清景 彭秋杞

謹識於民國六十五年十月

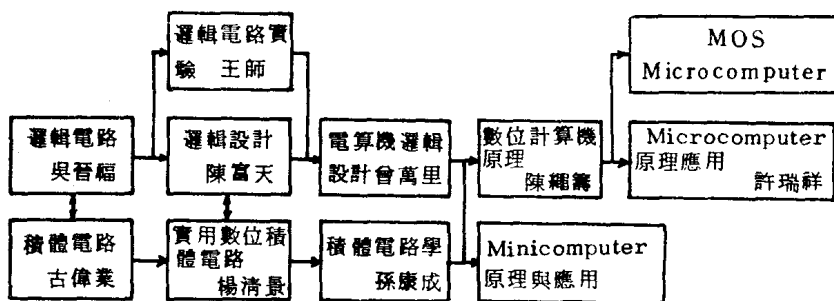
1441644/07

## 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「實用數位積體電路」呈獻給您，使您能經由本書了解到數位積體電路的基本原理與應用。本書之目的即在使讀者經由對數位電路的了解而認識到電子計算機的原理、構造及用途，做為以後相關課程的基礎；本書將最實用、最接近讀者的概念與用途，以口語化的體裁加以分層解說，並列舉實例以增加學習的興趣；適合稍具電子學基礎而對數位電路有興趣的各階層人士使用。

同時，為了使您能有系統且循序漸進研習有關數位電子系統叢書，我們將全華公司一整套數位電子系列叢書以流程圖方式列之於後，只要您按照順序詳加研讀，除可減少您摸索時間外，並可使您具備有數位電子方面完整的知識，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，歡迎來函連繫，我們將可給您滿意的答覆。





## 數位邏輯特性簡介

### 1-1 何謂數位邏輯

若欲瞭解數位邏輯，可針對以下兩方面加以研討：其一為邏輯選擇步驟（Decision-making process），此乃許多數位電子裝置；諸如：電子計算機、電子計算器、數位時鐘等的理論基礎。其二為組合成此等電子裝置的電子電路（Electronic circuits）。就其關係而言，選擇功能為數位邏輯之目的，而電子電路則為達成此目的之工具。

事實上，人類自古以來便已不斷地運用數位邏輯概念作為選擇之依據，只是本身並未察覺出來罷了。例如吾人解數學問題時，通常運用已瞭解的事實作為依據，必要時更藉由最新獲得的資料，或已往得到的知識來更改所決定的事情。因此，倘若將情感作用與直覺作用暫且不計，則人類腦海裏所具有的功能，猶如數位邏輯電路一般。

能完成上述功能（例如邏輯運算與邏輯選擇等）的電子電路，稱為數位電子電路；而研討這方面電路的理論，則稱為數位電子學（Digital electronics）。目前尚有一種具有顯著不同功能的電子電路，而使用在其他類型的電子裝置諸如：收音機、電視機、以及示波器等之中。至於此種

## 2 實用數位積體電路

型式之電子電路，則種為類比（Analog）電子電路。同樣的，研討這方面電路的理論，稱之為類比電子學（Analog electronics）。以下諸節中，吾人將詳細研討數位電子學與類比電子學之間的差異。

由於人類早已運用所謂數位邏輯觀念，所以即使吾人到目前為止，僅知道少得可憐的電子學知識，仍然足可直接地研討數位電子學，且不致於遭遇到甚大的困擾。不過，務須先有個體認，人類係藉著說話、寫字或某種動作來表示執行選擇的方式，然而數位電子學領域之中，却是藉由一些訊號來表示做何種選擇？因此，必需要瞭解這些訊號的特性與邏輯電路中之主要工作法則，以便作為數位邏輯工作之基本知識。故顯然毋需枉費寶貴的時光，用來研討個別的電路元件，諸如：電晶體、電阻器、以及電容器等之電路理論。

曾經有人這麼說過：數位邏輯係藉由哲學邏輯及數學邏輯所導引出來的。就實際情形而論，哲學邏輯及數學邏輯的確均與數位邏輯有所關聯，並且皆用來研究人類腦海裏的思維運行的程序。然而事實上，此二者均非數位邏輯之基礎；但是倘若能夠明瞭哲學邏輯及數學邏輯與數位邏輯之間的關係，將更有助於研析數位邏輯理論。此刻也許有些人會產生疑問的



圖 1-1 現代化的數位計算機

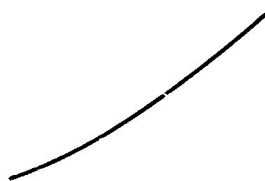
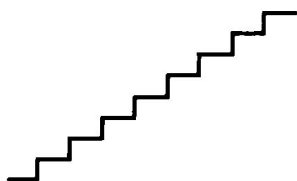
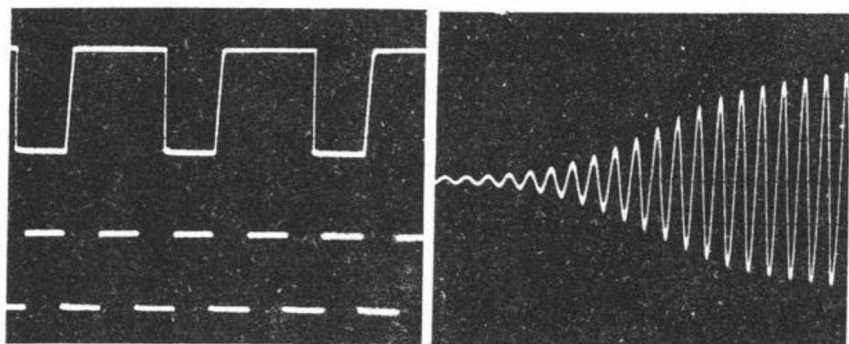
念頭；那麼數位邏輯電路的根源究竟為何？答案應該是電話網路中之繼電器電路，方為正確的。在計算機問世以前，電話網路體系中，採用數位邏輯原理已有一段相當長久的時間。

## 1-2 數位與類比之定義

現在我們將分別探討數位與類比邏輯的涵義並比較之。通常應用於電子學領域中，數位邏輯與類比邏輯顯然分別代表兩種絕然不同的作用，前者意味著突變的增量或減量；然而後者却是意味着連續不斷的變化量。以下將列舉一具體例子說明之。

設有一較大的房間內，裝飾著許許多多的電燈泡。並且假設所有電燈泡之亮熄皆由一總開關所控制，而就開關線路結構的情形而論，至少足可產生兩種絕然迥異的狀況：即一為假若總開關上僅有幾個獨立的控制開關，而且每個開關控制一組電燈泡之亮熄。則當此等開關逐一開啓（ON）時，房間內之亮度顯然將藉由分立步階式（Distinct step）的型態逐漸地增大。並且在所有的開關皆開啓時，房間內之亮度將達到最大的程度；另一種狀況，假若每個電燈泡之亮熄皆由其個別的開關所控制；因此，如果將每個開關逐一地開啓時，將使得房間內之亮度，藉由連續變化的型態逐漸地增大，彷彿所有電燈泡之亮熄皆係由單一的減光開關（Dimmer switch）所控制，而令此開關自關閉（off）位置，逐漸地轉向完全開啓（full on）位置。綜觀上述即可明瞭，其一狀況之燈光亮度乃是以步階式的型態增大；然而另一種狀況之燈光亮度却是以連續變化的型態逐漸增大。

一般而言，電子學領域裏，通常係採用電壓或者電流數值作為測量參數。因此，基於上述的例子便可明白，類比電子裝置中，其電壓與電流數值乃是以連續變化的型態逐漸地增大或減小；然而，數位電子裝置中，其電壓與電流數值之變化却是以步階式的型態而突變，亦即自一特定值驟然地變動至另一特定值。因而，數位電壓表上之電壓數值，一般均係以突變方式變動其數值，將藉由分立的數字燈光表示其數值。



(a)數位方式（突變地）變化之波形

(b)類比方式（逐漸地）變化之波形

圖 1-2 數位與類比之波形

### 1-3 抉擇元件與記憶元件

爲了更徹底瞭解數位邏輯之功能究竟爲何？現在我們將藉着人類腦海裏所具有的一些特殊功能作爲例子以探討之：例如假定知道某件事情係爲真實，則經由腦海裏的選擇步驟顯然亦可判定其他一些事情是否亦爲真實？倘若知道某種情況能夠存在，如是，必也可判定其他一些情況是否亦能夠存在？以下將列舉一常見的具體實例以便說明：倘若吾人駕駛車輛欲通過交叉路口之時，却發覺交叉路口的交通號誌突然亮起紅燈，則下意識地立即準備煞車；等到綠燈亮起之後，再繼續前進。實際上，此等步驟可採用電子電路以完成之。通常，將此種類型之電子電路稱爲選擇元件（Decision-making element）。一般而言，此種元件係接收各含有某特定電壓數

值（通常命之為邏輯位準）的兩個輸入資訊，而產生一輸出資訊。由此可知，此種元件完全依據兩個輸入資訊之狀態，執行其選擇功能。

緊接著探討另一個問題，在人類腦海裏亦具備有此種能力——能夠記憶許許多多的事情以作為往後執行選擇之依據。列舉兩個具體例子以說明之：其一，倘若有此雅興欲與他人對奕象棋時，吾人首先必需懂得象棋規則，方不致於南轅北轍而貽笑大方。其二，倘若一幼童腦海裏有著把手放置在火爐上必然將遭致灼傷後果的深刻印象，相信爾後就曉得盡量避免將手緊靠火爐以防萬一。事實上，目前已經出現一種類型之電子電路，可達成人類腦海裏所具有的此等記憶功能，一般將之命名為記憶元件（Memory element）。通常，此種記憶元件皆應用於數位電子學領域之中。就其功能而言，此種元件將永遠牢記過去所接收的邏輯位準資訊，而當接獲一指令時，即將依據指令使所需要的資訊呈現出來，或者依據指令將所記憶的資訊消除掉，以便準備用來儲存新的資訊。

至此為止，相信諸位對於選擇元件與記憶元件，均能有個概略地認識。通常，僅需要將許許多多的選擇元件與記憶元件，依據其電路設計組合成一完整的電路，即足可用以儲存數量相當可觀的資訊，並且幾乎在百萬分之一秒的極短暫時間內，即足以完成非常複雜的選擇步驟。縱然此等電路包含著相當繁雜的邏輯元件，但若將之系統化及簡單化之後，則可很明顯地看出：事實上，此等電路僅由兩種基本邏輯元件所構成的，也就是方才所提及的選擇元件與記憶元件。第二章裏，將詳加探討選擇元件，並且利用它來組合成電路；在第三章裏，則將詳加分析記憶元件，以及其所組成的電路。

## 1-4 數位邏輯之二進制特性

研討數位邏輯電路時，相信諸位定可發覺，不論電路之繁簡為何？其中終究僅有兩種電壓位準存在，如圖 1-2 所示。然而由圖 1-2 中可知，類比電路與之比較却具有顯著的差異：即使是在同一時間之間隔，也可能有許多種不同數值的電壓存在。數位邏輯電路體系中，通常係將這兩種電壓位準分別定之為邏輯 1 與邏輯 0 位準（或狀態），或者定義為真實與虛

偽，抑或採用其他類似的方法命名之。研析至此，顯而易知何以數位邏輯具有二進制（Binary）特性？

由於數位邏輯具有這種二進制特性，因而可先將所有的資料諸如：數目字、英文字母等資料均編碼成僅具有兩個邏輯狀態的資訊，然後再輸入至電路中，以便執行選擇作用與記憶作用。研討數位邏輯電路之際，勢必需要瞭解如何將一資料編碼成二進制型態的資訊，以及如何將之解碼回原來的資料。

也許有些人會產生疑惑：何以數位邏輯電路體系中，一般皆採用僅具有兩種狀態的資訊？此乃是基於如此之電路較易組合而成，並且倘若將資料編碼成二進制型態的資訊，顯然要比其他編碼法更為方便，更為有用。相信研討以下之數目系統後，諸位定能概略地明瞭其究竟。

## 1-5 數目系統

通常吾人皆以十進制數目系統來計數數目，也就是採用 0 至 9，這十個基數來計數數目（因此，顯而易知，十進制數目系統為自 0、1、2……至 9 共十個不同的基本狀態或數位）。倘若欲計數高於 9 之數目時，僅需要將兩個或兩個以上的基數合併起來即可。因此，僅利用這十個基數，即足以計數至 10、100、1000，甚至更大的數目。然而，吾人亦經常使用其他的數目系統。例如，英制測量長度單位，1 英尺為 12 英吋，也已經覺得習以為常，但某些場合則另採用其他的數目系統諸如：八進制數目系統、二進制數目系統等，則未嘗不可。

1 英尺為 12 英吋的長度單位系統，亦即十二進制數目系統。十二進制數目系統之中，通常係以 0, 1, …… 9, A, B 共十二個基數來計數數目，倘若欲計數高於 12 之數目時，僅需要將兩個或更多的基數合併起來即可。而八進制數目系統之中，則採用 0, 1, 2, …… 7 共八個基數來計數數目。至於二進制數目系統亦然，只不過因為它僅具有 0 與 1 兩個基數，故需要合併更多的基數方足以代表較大的數目。以下所表示即為二進制數目系統中表示數目的一種慣用法。

$$0000=0$$

$$0001=1$$

$$0010=2$$

$$0011=3$$

$$0100=4$$

$$0101=5$$

事實上，數目系統型式甚多，但若欲探討究竟那一種型式之數目系統最具實用性與自然性，將可發覺：除了人類的十隻手指與腳指姑且不談外，似乎沒有幾樣事情與十的倍數發生關係。然而，成變成對出現的情況却比比皆是，而且事實上倘若採用二進制數目系統時，則可輕而易舉地表達互成對立關係的概念，譬如：真實 (True) 與虛偽 (False)；是 (Yes) 與非 (No)，開啓 (On) 與關閉 (Off) 等。諸位如果想要更深一層地瞭解數目系統，請參閱附錄 A。

## 1-6 數位邏輯發展史

談到這裏，也許有些人將會問起：數位邏輯在科學與電子學領域之中，所扮演的角色究竟為何？爲了探討這個問題，現在讓我們針對數位邏輯的歷史、目前的動態、以及今後的展望，做個通盤的分析與研討。

電子學領域裏，數位邏輯係爲一門相當新的學問。真空管甚至早期的電子裝置，早在本世紀初期即已問世，然而直到 1940 年代後期，第一部現代化的計算機推出之前，數位邏輯猶未發展成獨立的一門學問。

最初時期，由於所有的邏輯元件，諸如：選擇元件與記憶元件等，皆需要採用複雜的真空管電路組合而成，使得整個電路之體積相當龐大，並且其造價更是貴得驚人。因而使得數位電子學早期的進展相當緩慢。直至 1950 年代，電晶體與其他半導體相繼地問世，取代了真空管的地位，使得整個電路之體積大大地縮小，因此數位電子學之進展方略有改善。遺憾的事，其造價依然是相當高昂。致使 1950 年代以及 1960 年代前半期這段時間之內，數位邏輯之使用範圍，仍然是局限於計算機以及軍事武器系統中之一些較進步的電子電路中。

由此可知，當時數位電子學之進展猶遲滯不前。直至 1960 年代後半期，積體電路研究發展成功之後，使得數位電子學之進展方能夠有重大的突破。因爲採用積體電路之製造方法，在小於 2.5 公分見方之空間內足可

## 8 實用數位積體電路

製造出一完整的邏輯元件（約略為四至八個真空管組合成的真空管等效電路）。故積體電路非常適用於數位邏輯體系之中。並且，由於積體電路之產量大大地提高，顯而易知其造價勢必將大幅度地降低。如此，使得設計工程師及產品製造廠商均對它非常感興趣。此種景象出現後，發展數位邏輯在電子學領域裏已經是不可或缺了。

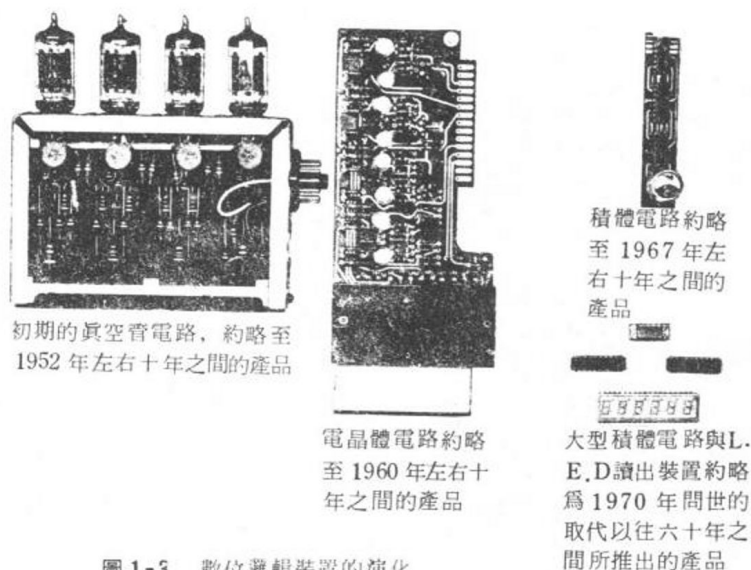
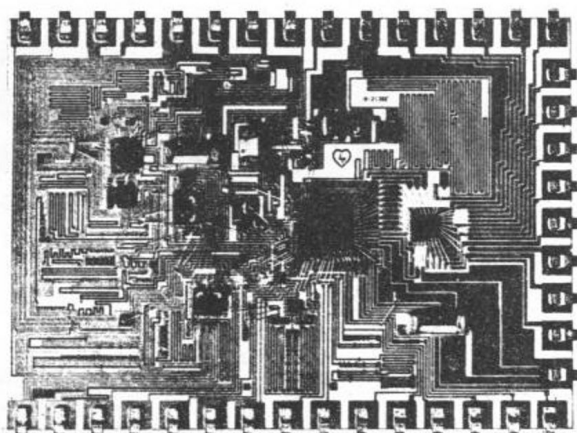


圖 1-3 數位邏輯裝置的演化

由於數位積體電路之神速進展，已經產生了以下雙重效應。其一為，採用數位積體電路所組合成的數位邏輯裝置，不論其體積或者其造價，均已徹底地大幅度降低（計算機即為一顯著的具體實例）；另一為，目前數位邏輯電路皆已完全地採用積體電路製造方法來製造，而將往常那些適用於類比電路的製造方法完全廢棄不用。縱然是如此，不過目前依然有部份類比電子裝置（諸如家庭用收音機及電視機等），仍舊無法藉由數位邏輯電路取代之。因而，必需要另外研究新的製造方法，方足以改善這些裝置。

通常，係將所有的數位邏輯裝置依據其用途劃分成以下三類而加以探討之。其一：主要裝置，顧名思義佔有最重要的份量，一般即為計算機本體；其二：外圍裝置，一般即為輸送資訊至計算機的裝置，或者從計算機那

兒獲取資訊的裝置；其三：其他的裝置，諸如：測試裝置與測量裝置以及家庭用裝置等。縱然是如此分類，不過後面兩個種類著實難以區分。此乃是由於計算機之進展極其神速，且猶在不斷地發展中，使得其體積一天天地縮小，且其用途更是一天天地增大，因此，經常將外圍裝置與測試裝置合併在一塊，這就是難以區分的緣由。舉例說明：許多家庭用產品（比方袖珍型手持式計算器），功效如同計算機一般；與計算機相關連的測試裝置，統稱之為外圍裝置。概括而論，計算機問世以來已不斷地推陳出新，對於數位邏輯之進展，顯然已有相當大的貢獻（至今，同樣的技術似乎更適用於其他所有裝置的邏輯電路之中）。



於一個陶質基片上，附置若干個積體電路以及一些適切的分立電路元件，如此，即足可組合成萬用電表內處理資訊的所有電路。由於其體積甚小，因而足以將之置於萬用電表頂端之內，如圖所示。

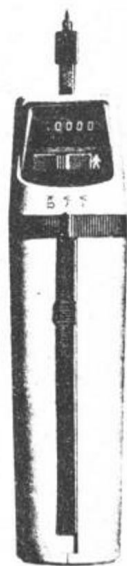


圖 1-4 藉由微縮混合電路所製造出來的袖珍型手持式數位萬用表

數位邏輯，正如人類所發明的其他事物一般，亦有一定的演化程序。最初，即所謂生長階段（Creative growth stage）。緊接著為成熟階段（Maturity stage），最後就是所謂的衰退階段（Decline）。目前，數位邏輯仍不斷地在發展與改進之中，並且已經成為日常生活中所不可或缺的，因而吾人可下個結論為：數位邏輯如今正處於生長階段中之飛躍蓬勃時期。且由於數位積體電路（其中特別是記憶元件部份），發展極其神速，

## 10 實用數位積體電路

使得某些產品在還沒有完全地發展成功並大量製造銷售之前，已經有過時之感。本書中僅將數位邏輯之基本原理及其主要用途加以探討與分析，並不準備將數位邏輯之沿革自始至終通盤地研討。

於今，也許人們對於積體電路將來的展望，寄予莫大之期望，然就實際而論，今後積體電路似乎應該針對下列兩個方針研究發展：

1. 更加地縮小所佔據的空間，使得相當龐大系統之電路，能夠製造於單一的積體電路之內。
2. 更加地改進各種邏輯電路元件，尤其是期望能夠將記憶元件與選擇元件做更有效的利用，以便提高整個電子裝置之作業能力。