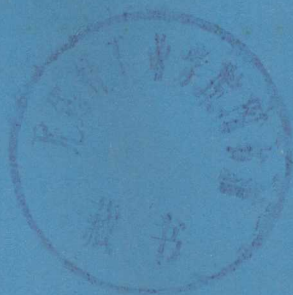


科學圖書大庫

# 數位技術自修課程

譯者 周興國



徐氏基金會出版

无锡轻工业学院

0393954

科學圖書大庫

# 數位技術自修課程

譯者 周興國

江南大学图书馆



91546011



徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

# 科學圖書大庫

版權所有



不許翻印

中華民國六十八年元月十日初版

## 數位技術自修課程

基本定價 7.70

譯者 周興國 台灣電力公司工程師

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 財團法人 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686號  
發行者 財團法人 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 1 5 7 9 5 號

承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話 9719739



## 譯 序

電子學的範疇極廣，而且其技術之進步日新月異，尤其在數位電子技術方面，更是一日千里，從簡易的邏輯閘到今日工業革命的微處理機（Microprocessor），使電子技術在現代科技中大放異彩。數位電子技術用途幾乎無所不及——從通訊、遙測系統（Telemetry system）、測試儀器、到工業控制及日用電子設備——因為數位系統而更加精確、穩定、便捷。數位計算機的運用使得自動化的控制與資料處理更趨完美，微處理機的發展更是科學技術的精華，縮短了人與計算機間的距離。它們使得電子學的止境無遠弗屆。

在這個知識爆炸的時代，我們總希望能跟上時代，從書籍中尋索知識。電子技術分為二類：類比（Analog）與數位（Digital）技術。本書介紹數位電子，這是運用最廣，而學習並不很困難的技術。從二進位0與1的布爾代數觀念、加上積體電路的運用以及基本的數位計算機、程式計劃的知識、到微處理機的介紹，本書淺顯却深刻的有詳細的說明，譯者在翻譯之間自覺也有所助益，相信讀者循序按步就班地進行每一章的內容，嘗試回答每節後的習題、定能加深記憶與了解，本書中有二十餘項線路實驗，原書是附有電子套件（Kit）的整套自修課程，但這些零件在國內很容易購得、價格也不貴，若讀者有興趣、可自行裝組、依實驗步驟進行實驗，不但能加深對數位技術的印象、更可在實驗過程中學習到設計邏輯線路的經驗，相信對有志在電子方面自修的讀者們、本書能提供理想的學習程序、使人更上一層樓。

譯者於公餘之時，倉促譯成此書，恐有所疏忽、祈各方賢達先進指正是幸。

譯者 於民國六十八年四月

# 課程宗旨及大綱

## 課程宗旨

本書使讀者熟悉這些技能及知識：

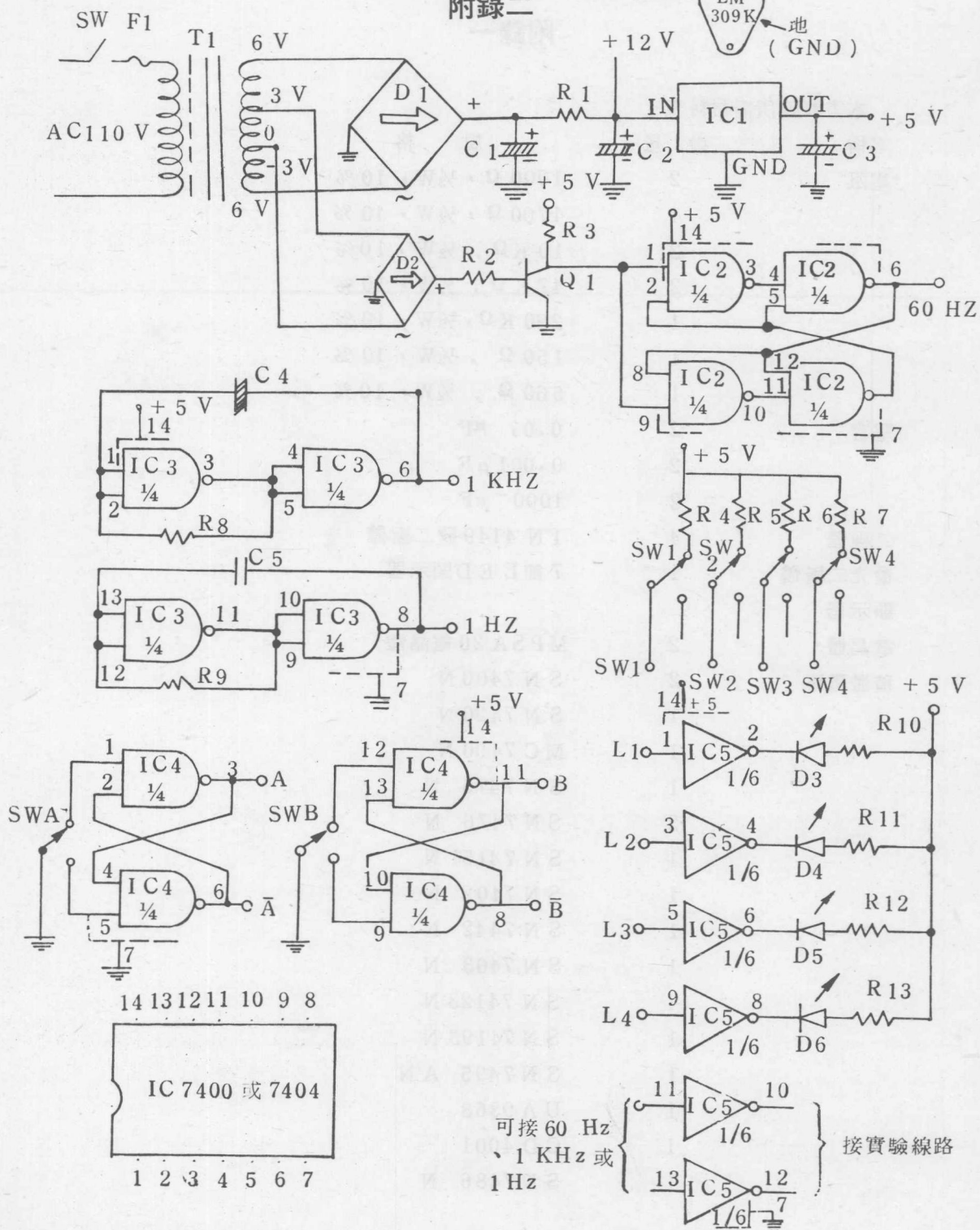
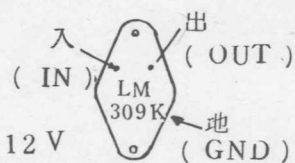
1. 研討在電子設備中使用數位技術的優點與利益。
2. 說出數位技術在電子方面的主要用途。
3. 將二進位及十進位數系互換，並辨認出最常用的二進碼。
4. 說明數位線路所使用的主要元件，及其作業情形。
5. 說明數位邏輯開路的作業。
6. 辨認出數位裝置中較常使用的積體電路族系，並討論其作業、特色、性能。
7. 使用布爾代數 ( Boolean Algebra ) 表示邏輯作業，並在設計時將邏輯線路簡化。
8. 解釋正反器的作業。
9. 討論二進位及二進碼十進數 ( B C D ) 計數器、位移暫存器及其他順序 ( sequential ) 邏輯線路。
10. 說出最常用的組合 ( Combinational ) 邏輯線路，及其作業。
11. 針對指定的用途，依照所選擇積體電路的定義及觀念來設計組合與順序邏輯電路。
12. 討論數位計數器在計時與計頻方面的作業及應用。
13. 解釋數位計算機的組成及作業情形。
14. 討論微處理機，解釋其作業，並例舉其用途。

## 附錄一

本書實驗所需材料表

| 名稱           | 數 量 | 規 格                                     |
|--------------|-----|-----------------------------------------|
| 電阻           | 2   | 1000 $\Omega$ , $\frac{1}{2}$ W , 10 %  |
|              | 4   | 4700 $\Omega$ , $\frac{1}{2}$ W , 10 %  |
|              | 2   | 10 K $\Omega$ , $\frac{1}{2}$ W , 10 %  |
|              | 2   | 47 K $\Omega$ , $\frac{1}{2}$ W , 10 %  |
|              | 1   | 220 K $\Omega$ , $\frac{1}{2}$ W , 10 % |
|              | 1   | 150 $\Omega$ , $\frac{1}{2}$ W , 10 %   |
|              | 1   | 560 $\Omega$ , $\frac{1}{2}$ W , 10 %   |
| 電容           | 2   | 0.01 $\mu$ F                            |
|              | 2   | 0.001 $\mu$ F                           |
|              | 2   | 1000 $\mu$ F                            |
| 二極體          | 4   | 1 N 4149 矽二極體                           |
| 發光二極體<br>顯示器 | 1   | 7 節 L E D 顯示器                           |
| 電晶體          | 2   | MPSA 20 電晶體                             |
| 積體電路         | 2   | S N 7400 N                              |
|              | 1   | S N 7420 N                              |
|              | 1   | MC 7490 N                               |
|              | 1   | S N 7475 N                              |
|              | 2   | S N 7476 N                              |
|              | 1   | S N 74151 N                             |
|              | 1   | S N 7402 N                              |
|              | 1   | S N 7442 N                              |
|              | 1   | S N 7403 N                              |
|              | 1   | S N 74123 N                             |
|              | 1   | S N 74193 N                             |
|              | 1   | S N 7495 A N                            |
|              | 1   | U A 9368                                |
|              | 1   | C D 4001                                |
|              | 1   | S N 7486 N                              |

# 附錄二





## 數位設計實驗器線路

- 1——萬用印刷電路板，可裝積體電路 IC 者，安裝所有數位設計實驗器線路零件。
- 1——粗板 ( Breadboard )，又稱免焊萬用電路板，供每個實驗插裝實驗零件之用。
- 1——變壓器 T1，初級 110 伏、次級有 6 V、3 V、0 V、3 V、6 V 抽頭者。
- 1——SW。電源開關。
- 1——F1。1 A 保險絲。
- 6——SWA，SWB，SW1~SW4。單刀雙投開關。
- 2——D1，D2。橋式整流器。
- 4——D3~D6。發光二極體。
- 1——IC1。LM 309 K，五伏特、750 毫安之穩壓器。
- 3——IC2~IC4。SN 7400。
- 1——IC5~SN 7404。
- 1——Q1。A2SC 538 ZR 電晶體。
- 1——C1。1000  $\mu$ F，50 V 電容。
- 1——C2。100  $\mu$ F，16 V 電容。
- 1——C3。10  $\mu$ F，6 V 電容。
- 1——C4。1  $\mu$ F，6 V。電容。
- 1——C5。1000  $\mu$ F，6 V。
- 1——R1，100 歐姆， $\frac{1}{2}$  瓦電阻。
- 1——R2，4.7 仟歐， $\frac{1}{2}$  瓦電阻。
- 5——R3~R7。2.2 仟歐， $\frac{1}{2}$  瓦電阻。
- 6——R8~R13。330 歐姆， $\frac{1}{2}$  瓦電阻。

本設計實驗器是譯者自行設計，讀者可依圖安裝。材料方面很容易購得，粗板價格較貴，因此把實驗器零件裝焊在印刷線路板上，以節省材料費，當然也可把實驗器的零件裝置於粗板上，視實驗所需零件多寡而定。讀者可配合實驗項目，裝組所需要的線路。\* IC5 的第 11 或 13 腳可接至振盪器 ( 60 HZ、1 KHZ 或 1 HZ ) 的輸出，以作緩衝器之用，再把第 10 或 12 腳接至實驗線路上。



# 目 錄

## 譯 序

## 課程宗旨及大綱

## 數位設計實驗器綫路

## 第一章 數位技術導論

|            |    |
|------------|----|
| 導 論        | 1  |
| 本章宗旨       | 1  |
| 本章活動指導     | 2  |
| 1-1 數位技術   | 2  |
| 1-2 二進位數系  | 12 |
| 1-3 二進位碼   | 18 |
| 1-4 資料表示方式 | 24 |
| 摘 要        | 28 |
| 測 驗        | 30 |
| 答 案        | 33 |

## 第二章 數位線路使用之半導體裝置

|                   |    |
|-------------------|----|
| 導 論               | 35 |
| 本章宗旨              | 35 |
| 本章活動指導            | 35 |
| 2-1 有計劃的複習電晶體作業   | 36 |
| 2-2 雙極電晶體開關       | 46 |
| 2-3 設計一個飽和開關邏輯反相器 | 53 |
| 實驗 1 雙極電晶體開關      | 59 |
| 2-4 MOS場效電晶體      | 62 |
| 本章摘要              | 66 |

|     |    |
|-----|----|
| 測 驗 | 68 |
| 答 案 | 70 |

## 第三章 數位邏輯線路

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 導 論             | 71  |
| 本章宗旨            | 71  |
| 本章活動指導          | 72  |
| 3-1 邏輯線路形式      | 72  |
| 3-2 反相器         | 74  |
| 實驗 2 邏輯反相器      | 77  |
| 3-3 決定邏輯元件      | 81  |
| 實驗 3 二極體邏輯閘     | 89  |
| 3-4 “反及”閘、“反或”閘 | 93  |
| 3-5 實際邏輯線路      | 98  |
| 實驗 4 電晶體邏輯閘     | 102 |
| 測 驗             | 104 |
| 答 案             | 108 |

## 第四章 數位積體電路

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 導 論             | 111 |
| 本章宗旨            | 111 |
| 本章活動指導          | 112 |
| 4-1 邏輯線路特色      | 112 |
| 4-2 積體電路        | 117 |
| 4-3 電晶體電晶體邏輯    | 122 |
| 實驗 5 TTL邏輯閘     | 131 |
| 4-4 射極耦合邏輯      | 134 |
| 4-5 金屬氧化半導體積體電路 | 137 |
| 實驗 6 CMOS邏輯閘    | 143 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 4-6 針對特定應用選擇數位積體<br>電路..... | 147 |
| 測 驗.....                    | 150 |
| 答 案.....                    | 153 |

## 第五章 布爾代數

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 導 論.....                    | 154 |
| 本章宗旨.....                   | 154 |
| 本章活動指導.....                 | 154 |
| 5-1 布爾等式與數位邏輯線路之<br>關聯..... | 155 |
| 5-2 真值表.....                | 162 |
| 5-3 布爾定則.....               | 170 |
| 5-4 簡化邏輯表示方式.....           | 183 |
| 5-5 使用“反及”、“反或”開<br>.....   | 188 |
| 實驗 7 使用“反及”與“反或”開<br>.....  | 194 |
| 實驗 8 “接或”連結.....            | 200 |
| 測 驗.....                    | 204 |
| 答 案.....                    | 206 |

## 第六章 正反器與暫存器

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 導 論.....             | 209 |
| 本章宗旨.....            | 209 |
| 本章活動指導.....          | 210 |
| 6-1 正反器.....         | 210 |
| 實驗 9 設置—復置正反器.....   | 222 |
| 6-2 D型正反器與暫存器.....   | 225 |
| 實驗 10 D型正反器與暫存器..... | 233 |
| 6-3 J K正反器.....      | 237 |
| 實驗 11 J K正反器.....    | 247 |
| 測 驗.....             | 251 |
| 答 案.....             | 254 |

## 第七章 順序邏輯線路：計數器、 位移暫存器、時鐘

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 導 論.....            | 256 |
| 本章宗旨.....           | 256 |
| 本章活動指導.....         | 257 |
| 7-1 計數器.....        | 257 |
| 實驗 12 二進位計數器.....   | 271 |
| 實驗 13 B C D計數器..... | 282 |
| 實驗 14 計數器應用.....    | 289 |
| 7-2 位移暫存器.....      | 292 |
| 實驗 15 位移暫存器.....    | 297 |
| 實驗 16 位移暫存器應用.....  | 308 |
| 7-3 時鐘與單擊.....      | 318 |
| 實驗 17 時鐘與單擊.....    | 328 |
| 測 驗.....            | 332 |
| 答 案.....            | 336 |

## 第八章 組合邏輯線路

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 導 論.....                      | 338 |
| 本章宗旨.....                     | 338 |
| 本章活動指導.....                   | 339 |
| 8-1 譯碼器.....                  | 339 |
| 實驗 18 譯碼器.....                | 348 |
| 8-2 編碼器.....                  | 352 |
| 實驗 19 7 節譯碼器—驅動器與顯<br>示器..... | 355 |
| 8-3 多元調節器.....                | 360 |
| 實驗 20 多元調節器.....              | 367 |
| 8-4 多元解調器.....                | 373 |
| 8-5 互斥或.....                  | 375 |
| 實驗 21 互斥或.....                | 385 |
| 8-6 換碼器.....                  | 389 |
| 實驗 22 互斥或之應用.....             | 392 |

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 8-7 單讀記憶體.....    | 399 |
| 8-8 可訂程式邏輯行列..... | 411 |
| 測驗.....           | 414 |
| 答案.....           | 418 |

## 第九章 數位設計

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 導 論.....            | 420 |
| 本章宗旨.....           | 420 |
| 本章活動指導.....         | 421 |
| 9-1 設計準則.....       | 421 |
| 9-2 組合邏輯線路設計.....   | 423 |
| 實驗 23 設計組合線路.....   | 459 |
| 9-3 順序邏輯線路設計.....   | 469 |
| 實驗 24 設計順序邏輯線路..... | 489 |

|          |     |
|----------|-----|
| 測 驗..... | 494 |
| 答 案..... | 495 |

## 第十章 數位應用

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 導 論.....             | 500 |
| 本章宗旨.....            | 500 |
| 本章活動指導.....          | 501 |
| 10-1 數位測試裝備：計頻器..... | 501 |
| 10-2 數位計算機.....      | 523 |
| 測 驗.....             | 566 |
| 答 案.....             | 568 |

## 總測驗

|          |     |
|----------|-----|
| 答案紙..... | 580 |
|----------|-----|

# 第一章 數位技術導論

## 導 論

本章將對主題作概略性的鳥瞰，並介紹基本數位技術的觀念。說明數位技術是什麼？如何使用它？為何使用數位技術？並將介紹所有數位系統中最基本的語言——二進位數、碼，以及數位技術如何應用在硬體中。

本章提供一種建立數位技術知識所需要的背景與基礎。此基礎配合數位技術的觀念，使它能與電子領域完全結合在一起。讀者依照本書所陳述之資料，將對數位技術之需要與使用能瞭解透澈。

數位技術使用範圍廣泛，幾乎能想到的電子裝備都少不了它。事實上任何電子領域都用到它。由於有了它，使得電子方法跨了一大步，更使應用電子裝備的能力達到驚人的地步。並具有更進一步進展的潛力。作為一個電子工程師、技術員、或電子業餘愛好者，了解數位技術能使您更上一層樓。本課程能使讀者確實了解數位方式，並指導讀者如何使用之。

瀏覽下節“本章宗旨”所列將學習之項目。然後依照本章活動指導所指示，執行完成本章課程所需之每一步驟。記下完成每一步驟所花的時間於“完成時間”欄內。

## 本章宗旨

讀者完成本章之後，將具有下列知識及能力：

1. 對指定之物理變數，組件、裝置、其他項目，能分類為類比的或數位的性質。
2. 能說出數位技術勝於類比方式的優點五項以上。
3. 能列出使用數位技術的電子裝備五種以上。
4. 能說明影響數位技術發展的重要因素。
5. 能將任何十進位數轉換成相等的二進位數。
6. 能將任何二進位數轉換成相等的十進位數。
7. 能將任何十進位數轉換成相等的二進碼十進數（BCD）。
8. 能將任何二進碼十進數轉換成相等的十進位數。
9. 對於一系列普通的數字碼，能讀出它們是純二進位、BCD、格瑞（Gray）、過三（excess 3）、美國資訊交換標準碼。
10. 能列出代表二進位資料的兩種主要數位硬體。



11. 能列出二進位資料用串列與並列傳輸方式的優、缺點。

## 本章活動指導

- ☐ 研讀 1-1 節“數位技術”
- ☐ 回答複習測驗 1-6 題
- ☐ 研讀 1-2 節“二進位數系”
- ☐ 回答複習測驗 7-13 題
- ☐ 研讀 1-3 節“二進位碼”
- ☐ 回答複習測驗 14-21 題
- ☐ 研讀 1-4 節“資料表示方式”節
- ☐ 回答複習測驗 22-27 題
- ☐ 研讀本章摘要
- ☐ 回答本章測驗

完成時間

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 1-1 數位技術

電子信號、技術 (Technique) 有兩種基本形態：類比 (Analog) 與數位 (Digital)。類比信號是我們相當熟悉的一類信號為變化平滑或連續的交、直流電壓、電流。它不會突然變化或以步進方式改變，可存在於廣泛的變化或形式中。圖 1-1 為幾種類比信號。

圖 1-1 A 為最普通形式的類比信號——正弦波，例如無線電及音頻皆是正弦波，固定的直流電壓亦是類比信號。圖 1-1 B 為一恆正 (Constant positive) 的直流電壓，另一類型是變化的直流電壓或電流。圖 1-1 C 中為一變化的負直流電壓——任何隨意連續變化的電壓波形也歸屬於類比。圖 1-1 D 只是這種信號無窮變化中之一種。處理這些類比信號之電子線路稱為線性 (Linear) 線路。

數位信號本質上為一連串脈波或反復改變的電壓位準，依分段步進 (Discrete step) 或增值 (Increment) 而變化。數位信號通常為電壓脈波、在二位固定位準間切換 (Switch)。圖 1-2 為數位信號的幾種形態。請注意這些信號如何在兩個明顯電壓位準間切換。圖 1-2 A 中，兩個電壓為 0 (地位) 與 +5 伏特。圖 1-2 B，電位為 0 (地位) 與 -6 伏特。圖 1-2 C 中信號切換於 +3 與 -3 伏特位準之間。這種兩個位準、開路——閉路 (off-on) 或上下之快速切換特性是所有數位信號的基礎。處理這種數位信號的電子線路稱為數位、邏輯或脈波線路。

### 1-1-1 類比與數位裝置、技術之對比

現在我們用相當熟悉的裝置及知識術語來對類比與數位方式下更深一層的定義。例如，電燈泡可用作類比或數位裝置，依其使用方式而定。我們可在電燈泡所容許之最大電流額定值以內，設定任意的位準。連續變更通過的電流、燈泡亮度也隨之改變。這樣用燈泡，它就

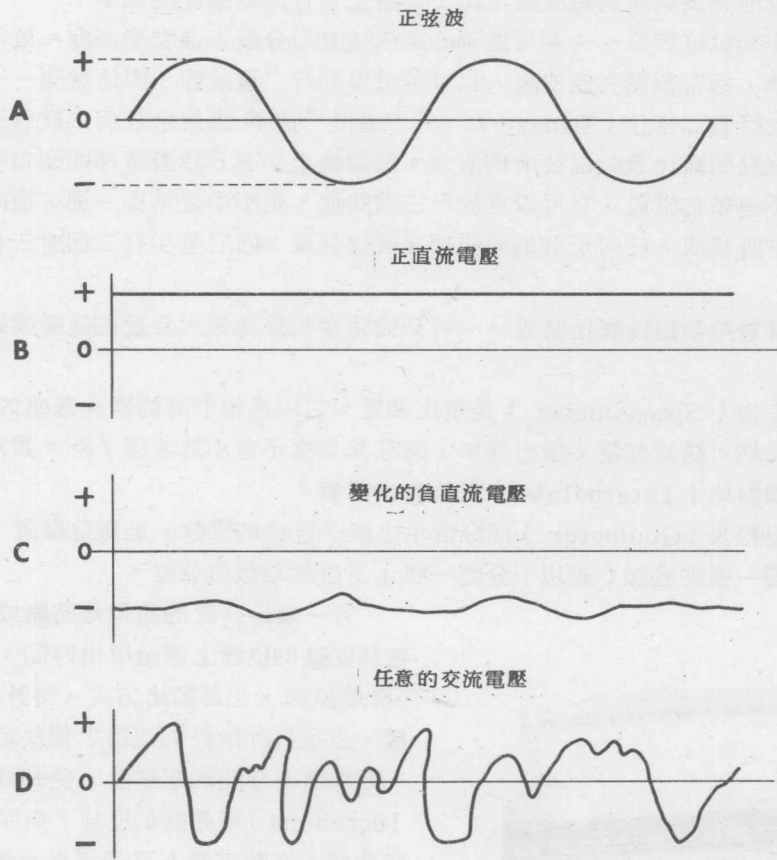


圖 1-1 類比信號形態

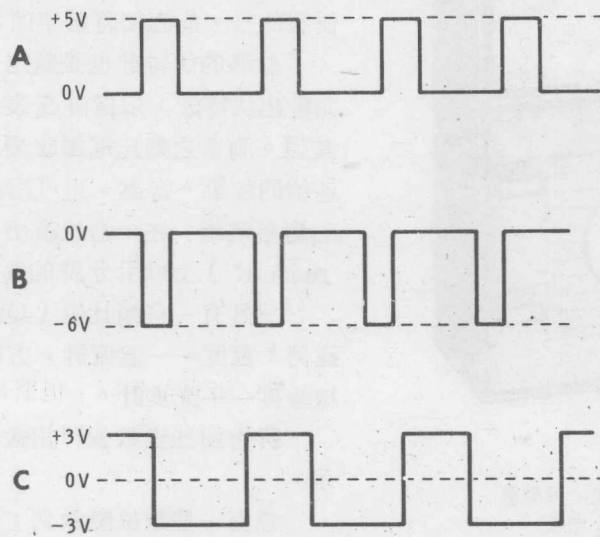


圖 1-2 數位信號的形態

是類比裝置。燈泡亮度與通過電流成正比，實際上它有無數個亮度位準。

燈泡也可作為數位裝置——利用通過的電流使其以分斷步進改變亮度。最常用方式是給它二個亮度位準，通常為點亮或熄滅，也就是這燈泡有二種狀態。因這種開——關特性，所以我們可以稱此燈為二進位（Binary）。“二進位”這術語指示任何二狀態裝置或信號。

再舉些例來說明類比及數位技術的觀念。電視機上V H F頻道選擇開關當然是數位的，因它只能採取不連續的位置，它可設定於十三種狀態、頻率中之單獨一種，這兩種組合由13個位置及U H F所構成。任何形式的開關都是數位裝置，因它至少有二個或二個以上不連續的位置。

電視機的音量控制鈕為類比裝置——可以從完全無聲至最大音量的範圍間連續地改變音量。

車上的速率表 (Speedometer) 是類比裝置。它以連續平滑的變化基準的每小時哩數來顯示車速。我們可從刻度盤上讀出速率，通常其刻度不會小於 5 哩 / 時。要決定刻度間的正確速率，必須對比 (Interpolate) 或猜測出其值。

速率表的里程表 (Odometer) 部份指示出車子行經的哩數，是數位裝置。因里程表記錄哩數是以一哩一哩來增加 (或以十分之一哩)，自然是數位裝置。

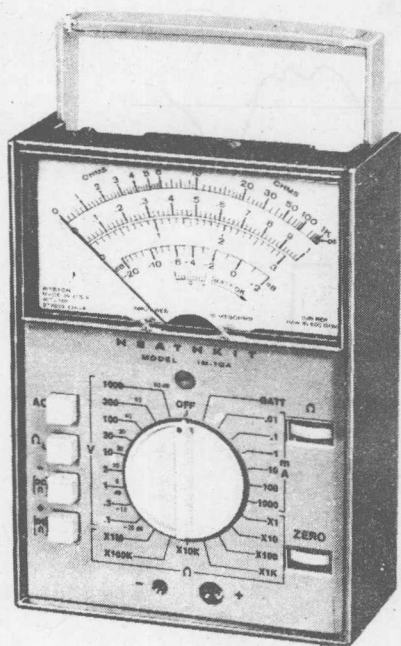
另一類比裝置的典型是時鐘或手錶。指針在刻度盤的位置上連續指出時間。秒針連續、平滑地掠過，正是類比方式，時針分針也是一樣。必須估計指針的位置才能決定正確的時間。所能讀出時間的準確性，受到刻度盤增值（Increment）精確度的限制。數字鐘能克服這項問題。在數字鐘上可直接從十進位顯示器上讀出時、分、秒。不但其準確度增大，而且更便利的是，能直接將數字顯示出來。

標準的伏特計也是類比裝置。它能讀出或測量出伏特數，以指針在表上刻度的位置指出其值。測量之類比電壓改變時，指針也平滑、連續的移動。當然，也可用數位伏特計，此儀表測量電壓，在十進位讀出器（Decimal readout）上顯示分段的數字。

另外有一些類比量 (Quantities) 及裝置例：溫度——溫度計，方向——指南針，光線強度——光度計。

所有這些變數皆可用數位讀出器察看及顯示。

還有一些數位變數例：錢、心波率（heart pulse rate）。



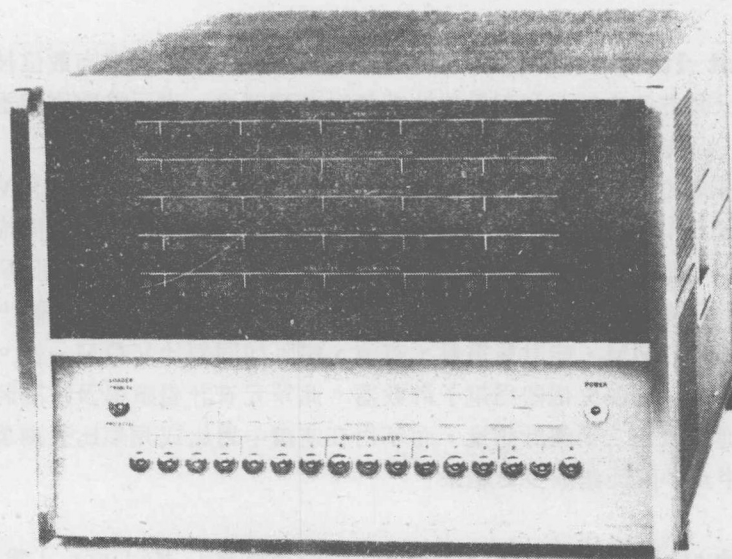
類比三用電表，可測量  
電壓、電流、電阻



典型的數位三用電表

### 1-1-2 數位技術的用處

也許今日數位技術應用最多之處就在計算機之內。數位計算機已實際應用於所有的商業、工業範疇中。它是用途極大的機器，可節省大量的人力，並使人類的能力大大的擴充。



典型的迷你計算機



近年來數位計算機在性能方面很有進展，但更小巧、更便宜，而且使用容易。如此，其應用範圍更加廣泛。小巧、低廉、却非常有能力的迷你計算機（Mini computer）使數位及計算機技術幾乎與人人有關。也可以很容易、很快速地將迷你計算機設計成一個系統，即能替代古老的控制、計算、自動之裝備、線路。

進步的半導體技術已使計算機簡化成單一元件（Component）——就是我們所熟知的微處理機（Microprocessor）——此裝置是在一片小型積體電路包裝上擁有完整的數位計算機。微處理機在許多應用上可代替迷你計算機，且常常可代替傳統的邏輯線路。像所有的數位計算機一樣，微處理機必須訂程式來執行特定作業。

但並非數位技術僅用於計算機方面。在所有可想像到的電子領域中，幾乎都已使用到數位方式。下列舉些實例：

**通訊（Communications）** 代替用有線或無線的類比方式傳遞情報，現在許多資料已用數位形式來傳送。脈波式信號較容易作業，且能隔離通信系統中常見的問題及雜音。數位計算機利用數位技術藉著電話線，很容易相互傳遞情報。

**遙測系統（Telemetry system）** 將測量資料從遙遠位置傳輸的系統廣泛使用數位技術。例如，在無人的人造衛星中，使用感知器（Sensor）來監視各種環境狀況，有如溫度、光、放射線等。感知器對於測量有所反應而產生類比電壓，經由無線電調變載波，利用傳統類比方式傳回地面。然而，事實已證明把類比變數轉換成數位信號，可使傳輸之準確與可靠度提高。今日，在衛星與飛彈的遙測系統中皆利用數位技術。

**測試儀器（Test Instruments）** 很顯然，測試與計量裝置已趨向數位技術的使用。除了直接十進位顯示很方便之外，利用數位技術能增加精確度，也可將數位儀器與計算機共界（Interface），而能自動監視、控制、測量、記錄資料。

最常見電子測試儀器類比伏特計，已漸漸被更複雜的數位伏特計DVM所替代。DVM與類比計數部份工作情形相同。DVM也測量電壓，所不同的是不用錶面指針的形式，而以直接讀出器顯示十進位數目將讀數提供給觀測者。這樣的儀器價格通常比類比伏特計高，而在使用與讀取時却極為便利。尤為重要的是，在計量電壓時它精確度更高。DVM再加以改善成為數位三用表DMM，能計量電壓、電流、電阻如同類比VOM一樣。

另一種廣泛應用之數位儀器為電子計數器。此單元在計量頻率及時間時限上應用很廣。數位技術用十進位讀出之精確計測量，而不用在連續中對比或用類比表刻度來取得讀數。因此產生在測量中更準確而錯誤少之結果。

**工業控制（Industrial Controls）** 製造工廠或精煉機（Refiner）需要準確控制的複雜作業時，數位技術的應用就更廣泛了。這些系統使用感應器監視作業的各種狀態，並將這些感應器的輸出產生信號，以控制影響程序的各種作業。