設計與應用科技

中四至中六

[學與教資源]

簡易版

選修單元四

電子

支援設計與應用科技(中四至中六)課程

資源系列

香港特別行政區政府教育局

課程發展處科技教育組

序言

簡易版學與教資源由榮休科技科目主任林志立先生根據職業訓練局高峰進修學院於 2009 年製作的學與教資源編輯而成。

教師在使用此學與教資源前，請先參閱「教育局中四至中六設計與應用科技 - 學與教資源：使用指引」。

如對本學與教資源有任何意見及建議，請致函：

香港九龍塘沙福道19號西座 W101室
教育局課程發展處科技教育組
總課程發展主任 (科技教育)

本學習資源版權，除在鳴謝頁所列舉的圖片外，全屬於香港特別行政區政府教育局擁有。

教育局歡迎學校等教育團體使用本學習資源的內容作非牟利的教學用途。任何情況下使用本學習資源，需作出鳴謝，教育局保留本學習資源版權。

未經本局事先允許，不能以任何形式使用其中教材作出版或其他用途，否則教育局將保留一切追究的權利。

© 版權所有 2019

目 錄

第一章 – 電子信號，裝置及電路

1.1 電流、電位差、電阻及變換器 3

1.2 電子零件與電路 5

1.3 歐姆定律及其應用 9

1.4 數碼及模擬信號 15

1.5 邏輯電路 17

第二章 – 模擬及數碼電子

2.1 系統電子學 21

2.2 運算放大器 22

2.3 鎖存電路 27

2.4 記憶體及計數器 29

第三章 – 集成電路，微控制器與界面技術

3.1 集成電路的種類 33

3.2 可編程系統 36

3.3 微控制器的基本原理 38

第四章 – 電子學於現代社會的演進

4.1 電子產品微型化 44

4.2 會聚科技的影響 46

4.3 新興科技的影響 48

第一章 – 電子信號，裝置及電路

1.1 電流、電位差、電阻及變換器

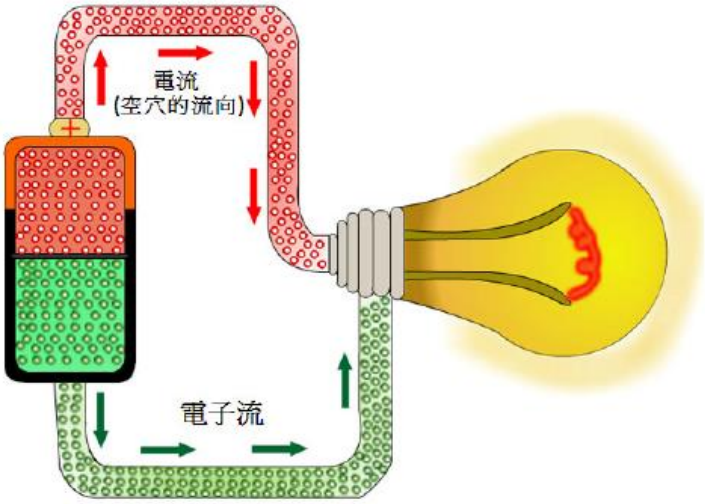
1.1.1 電流

物質是由原子所組成的。所有原子都擁有正電荷和負電荷(電子)。

電荷的流動稱為電流(electric current)，它的方向代表正電荷流動的方向。

電流量(簡稱電流)常用符號 I 來表示，它的單位是安培(符號 A)。

較小的電流單位是毫安（mA = 0.001 A）和微安（μA = 0.000 001 A）。



1.1.2 電位差

電源(power supply)會提供電能並在電路中產生電流。

電源具有電動勢，可以在電路中產生電位差(亦稱為電勢差)。

電流會由電路中的高電位地方流向低電位地方。

電動勢和電位差統稱為電壓，單位是伏特(volt)，符號是 V。

1.1.3 電阻

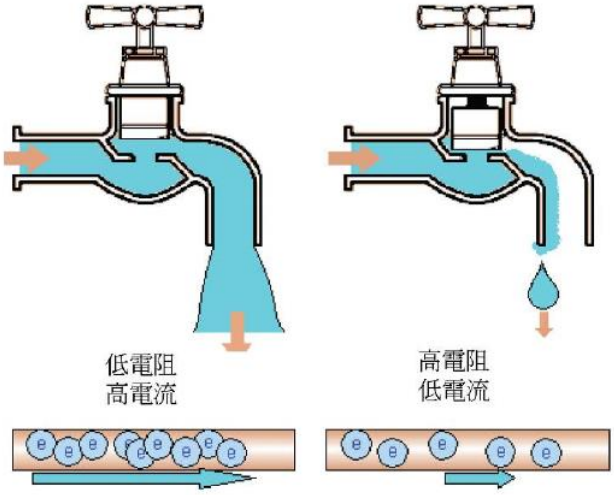
電阻是指物體阻礙電流流通的特性，電阻越低，電流便會越大。

導體的電阻(resistance) R 相等於導體兩端的電勢差 V 與流過導體的電流 I 的比例

$$R = \frac{V}{I}$$

電阻的單位是歐姆(ohm)，符號是Ω。

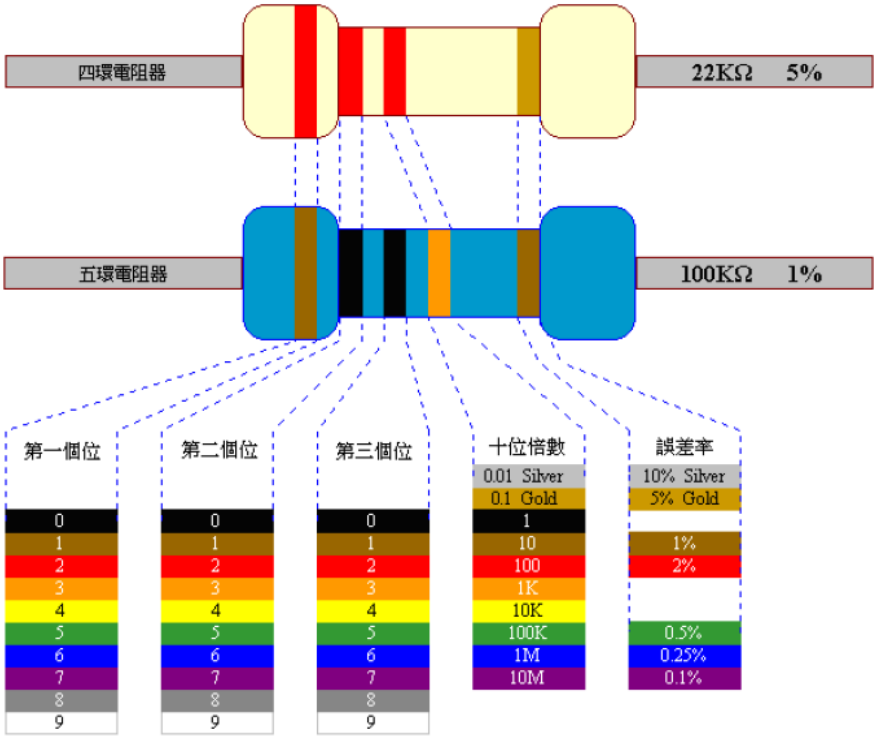
如果導體的電阻是 1Ω，即表示 1 V 的電勢差會在導體中產生 1 A 的電流。



電阻器是設有特定電阻的電路元件，市面上有許多不同種類。

軸向引線電阻器是一種較常用的電阻器，一般以表面的顏色環來標示電阻值。

- 前兩環分別代表第一個位和第二個位的數值
- 第三環有助判斷頭兩個位數字的增值倍數
- 第四環是製造商的誤差率，這表明了電阻器製造時的精確度



1.1.4 電能變換器

電能變換器可以把電能由一種形式變換為另一種形式。
電能變換的例子：高電壓變為低電壓、交流電變為直流電、改變交流電頻率等。
變壓器是變換器的例子，它可以改變交流電的電壓。
手提電腦的充電器亦是一種電能變換器，它把高壓交流電(市電)變換成低壓直流電。

圖 1 手提電腦充電器的電能變換資料

1.2 電子零件與電路

1.2.1 簡單電路

簡單電路一般包含三個部分：

1. 可提供電荷或電壓的來源，如電池。
2. 容許電荷流動的路徑，如銅導線。
3. 具功能的電元件或電子零件，如燈泡。

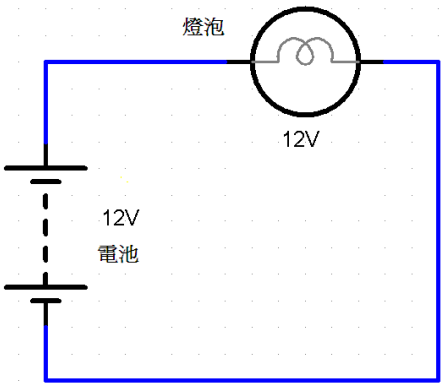
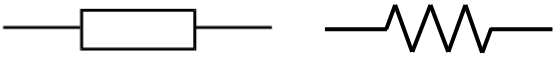


圖 2 簡單電路

1.2.2 電元件及電子零件

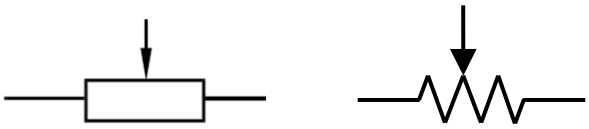
(a) 電阻器

電阻器提供適量電阻，常用來限制電路中的流通電流量。
電阻器有許多種類，如定值電阻器等。
一些定值電值器會用彩色編碼來標示它的電阻大小。



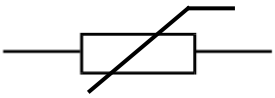
(b) 電位器

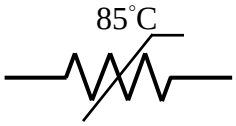
電位器是具有三個接頭的可變電阻器，可用作分壓器。
在聲頻控制裝置中，電位器常用來調節聲音。



(c) 熱敏電阻器

熱敏電阻器的電阻會根據溫度而改變(如增加)。
可用來測量溫度，如中央處理器(CPU)的溫度監測系統。



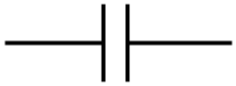


(d) 光敏電阻器

隨著光的強度增加，**光敏電阻器**的電阻值就會減少。
常用於自動開/關路燈。

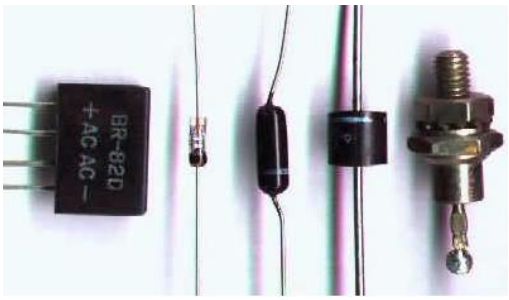
(e) 電容器

電容器可以儲存電荷和電能。
閃光燈利用電容器來把大量電能在一瞬量變成光能。
除儲電外，電容器還有多種用途。



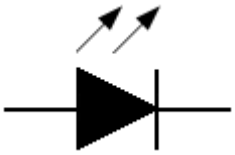
(f) 二極管

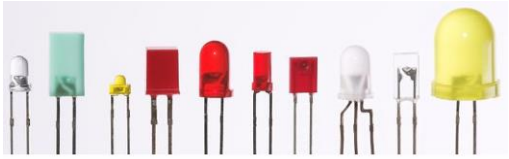
二極管只容許單方向的電流則流通，反方向則不能通電。



(g) 發光二極管 (LED)

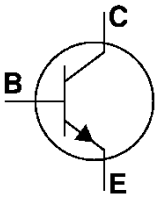
發光二極管是一種特殊的二極管，它通電時會光亮。

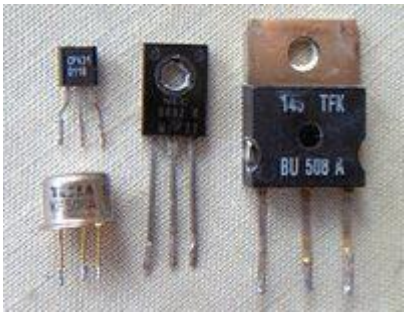




(h) 晶體管

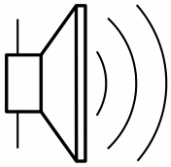
晶體管是半導體電子元件，可用作放大器或電動開關等。





(i) 揚聲器

揚聲器把電流(信號)轉換成聲音。



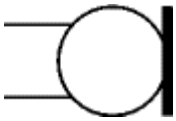
(j) 蜂鳴器

蜂鳴器以壓電 (pizeo-electric) 製造，由電壓驅動而發聲。

(k) 微音器

微音器(亦稱麥克風)把聲音轉換成電流(信號)。

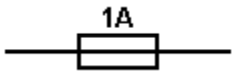
它是一種常用的聲音輸入設置，如電話。



(l) 保險絲

當電流超過指定量值時，保險絲會被高熱熔斷而令電路不再接通。

常用於電器或電力系統中，以防止過量電流通過。

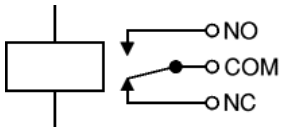


(m) 開關

開關用來接合或斷開電路，以控制電路的操作，如電燈的開關。

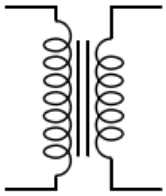
(n) 繼電器

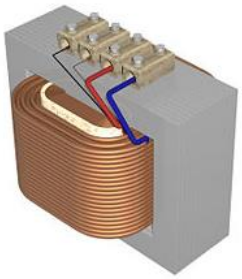
繼電器是一個電動操作開關，以便用較小電流來操作需要大電流的系統。
例如，把一個 12 伏的電池電路連接到線圈，便可以控制一個 220 伏交流電源電路。



(o) 變壓器

變壓器可以用來把交流電升壓或降壓，它一般由兩個金屬線繞組及鐵心組成。
初級繞組指的是輸入的一方，次級繞組則指輸出的一方。





1.3 歐姆定律與應用

1.3.1 歐姆定律

歐姆定律(Ohm's law)：當導體的電阻 R 是常數時，電位差 V 與流過電流量 I 成正比。

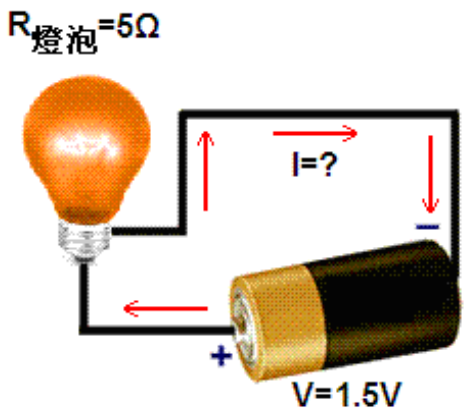
$$\boxed{V = I \times R}$$

由此可知：

$$\boxed{I = \frac{V}{R} \quad , \quad R = \frac{V}{I}}$$

符合歐姆定律的導體稱為歐姆導體(ohmic conductor)，金屬和碳便是典型例子。
歐姆定律只適用電阻不變的簡單電阻。
操作中的電動機會產生反電動勢，所以歐姆定律並不適用於具有電動機的電器。

1.3.2 簡單應用例子



$$V = 1.5V$$
$$R = 5\Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1.5V}{5\Omega} = 0.3A$$

1.3.3 串聯電路

串聯電路中所有電元件都端對端地連接著，如圖中的電阻器 R_1，R_2 的和 R_3。
在串聯電路中，各電元件(如電阻)的電流都相同，而電壓(電位差)與電阻值成正比。

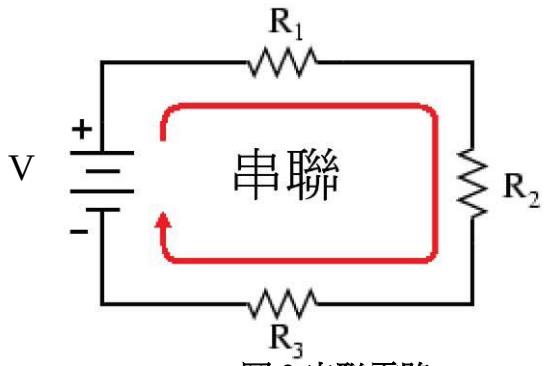


圖 3 串聯電路

串聯電阻器的總電阻值等於所有電阻值的總和，即 $R_T = R_1 + R_2 + R_3$。

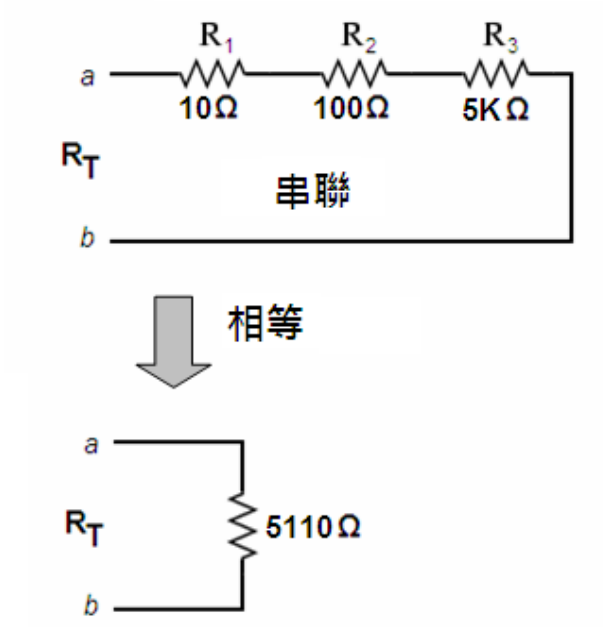
流過各電阻的電流 $I = V/R_T$

R_1 的電位差 $V_1 = I \times R_1$

R_2 的電位差 $V_2 = I \times R_2$

R_3 的電位差 $V_3 = I \times R_3$

$V = V_1 + V_2 + V_3$



$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$
$$R_T = 10\ \Omega + 100\ \Omega + 5K\Omega$$
$$R_T = 5{,}110\ \Omega$$

註：$1K\Omega = 1{,}000\ \Omega$

圖 4 串聯電阻和等效電阻

一般來說，串聯越多電阻器，總電阻值就越大。

$$\boxed{R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \ldots + R_N}$$

1.3.4 並聯電路

並聯電路中各電元件的兩端都直接接駁到電源，如下圖中的電阻器 R_1，R_2 以及 R_3。在並聯電路中，各電元件(如電阻)的電位差都相同，而電流與電阻值成反比。

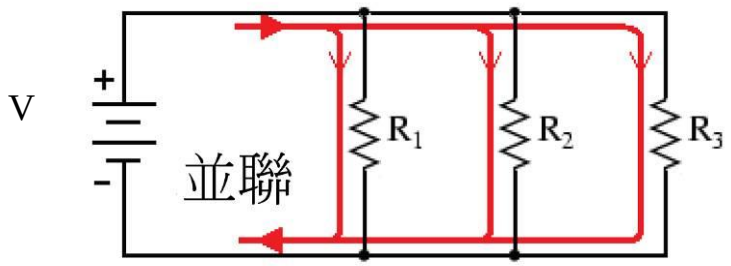


圖 5 並聯電阻

並聯電阻器的總電阻值的倒數等於所有電阻值的倒數總和 : $1/R_T = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$。

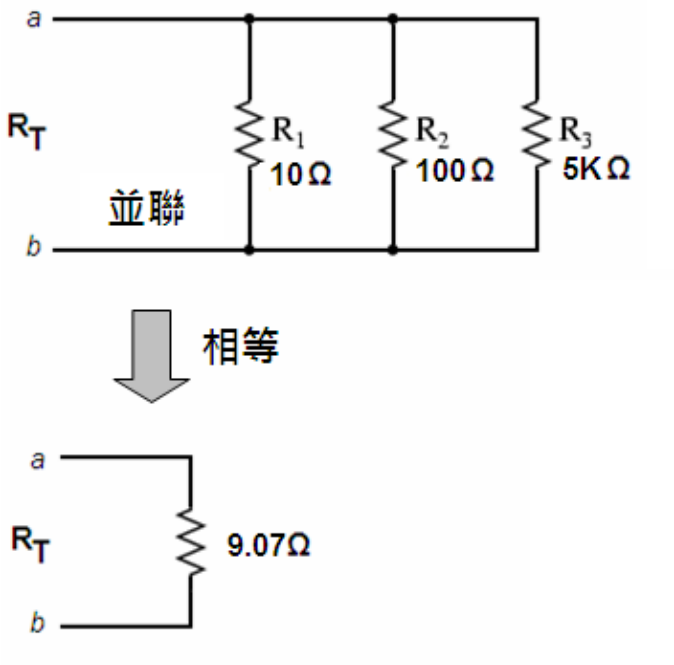
各電阻的電位差 $V = V_1 = V_2 = V_3$

通過 R_1 的電流 $I_1 = V / R_1$

通過 R_2 的電流 $I_2 = V / R_2$

通過 R_3 的電流 $I_3 = V / R_3$

通過電源的電流 $I = I_1 + I_2 + I_3$



$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{10\,\Omega} + \frac{1}{100\,\Omega} + \frac{1}{5K\,\Omega}$$

$$R_T = 9.07\,\Omega$$

圖 6 並聯電阻和等效電阻

一般來說，並聯越多電阻器，總電阻值就越小。

$$\boxed{\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \ldots + \frac{1}{R_N}}$$

1.3.5 分壓器

分壓器由兩個或以上的串聯電阻組成，如圖所示。

通過各電阻的電流相同，而電壓(電位差)則與電阻值成正比。

電阻器的電阻值越大，能夠獲得的電壓越多

$$\boxed{V_{R1} = V_{Battery} \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad \text{or} \quad V_{R2} = V_{Battery} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}}$$

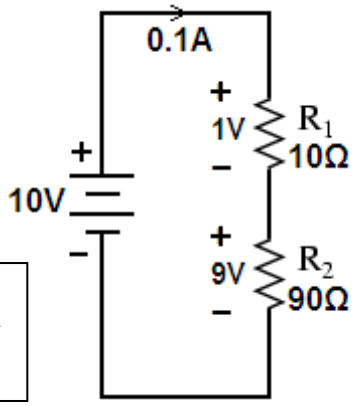
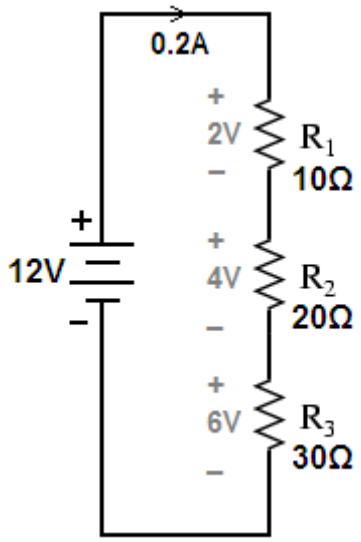


圖 7 分壓器電路

只要改變電阻值大小的比例，便可以改變電阻器的電壓比例。

三個電阻的分壓器例子 :



$$V_{R1} = 12V \times \frac{10\Omega}{10\Omega + 20\Omega + 30\Omega}$$

$$V_{R1} = \underline{\underline{2V}}$$

$$V_{R2} = 12V \times \frac{20\Omega}{10\Omega + 20\Omega + 30\Omega}$$

$$V_{R2} = \underline{\underline{4V}}$$

$$V_{R3} = 12V \times \frac{30\Omega}{10\Omega + 20\Omega + 30\Omega}$$

$$V_{R3} = \underline{\underline{6V}}$$

電位器是一種常用的分壓儀器，可以用手動控制來改變電阻的比例，從而改變電壓。

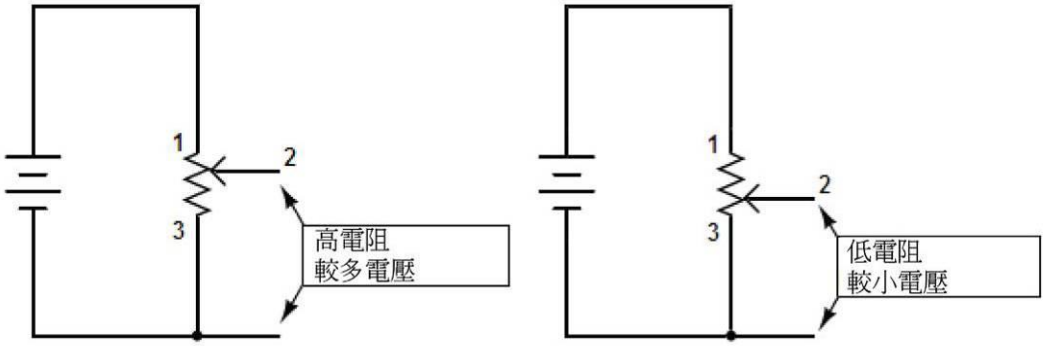


圖 8 電位器電路

1.3.6 電功率

電功率 P 是指每單位時間 t 內所供應或消耗的電能 E。

$$P = \frac{E}{t}$$

電元件的電功率 P 亦可以電壓 V 和電流 I 來表示 :

$$P = IV$$

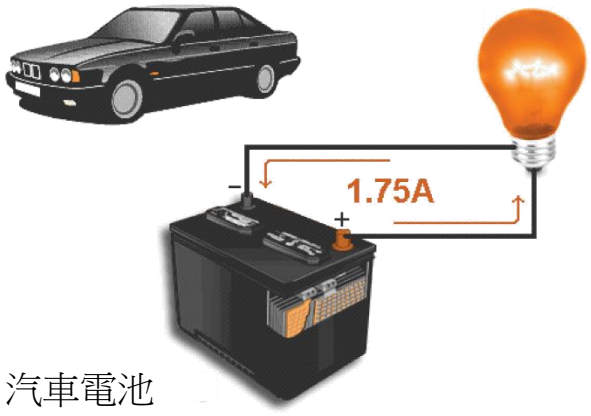
電功率的單位是「瓦特」(Watt)，單位符號是 W。

1 W 相等於 1 s (秒)內提供或消耗 1 J (焦耳)的電能，即 1 W = 1 J s^{-1}。

對於歐姆導體，可知 V = IR，所以電功率可以表示為 :

$$P = \frac{V^2}{R} \quad 或 \quad P = I^2 R$$

在下圖中，汽車電池的電壓為 12 伏特，電燈的電流為 1.75 安培。



12 V 汽車電池

(a) 燈泡的功率是多少?

$$P = V \times I$$

$$P = 12V \times 1.75A$$

$$P = \underline{\underline{21W}}$$

(b) 估計燈泡操作時的電阻。

應用歐姆定律，可知電功率 $P = \frac{V^2}{R}$

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{12^2}{21} = \underline{\underline{6.857\Omega}}$$

1.3.7 交流電與直流電

直流電的電流只會流向單一方向。交流電的流動會不停地改變流動的方向。

電子訊號可以用直流電或交流電來傳送。

交流電容易使用變壓器來升降電壓，但一些電子系統只可以使用穩定電壓的直流電操作。

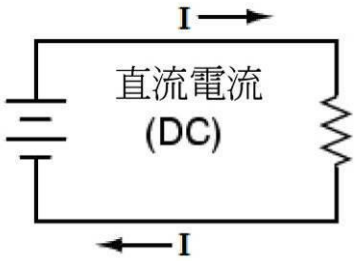


圖 9 直流電

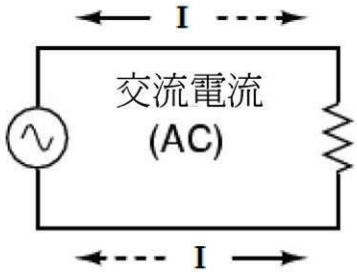
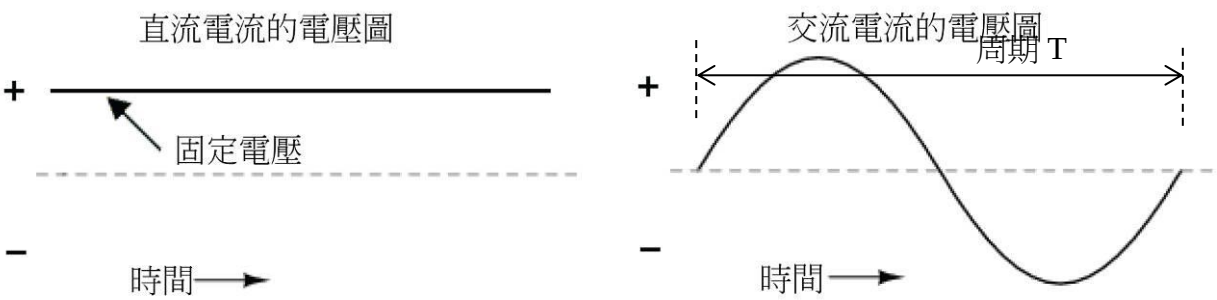


圖 10 交流電

乾電池可以提供較低和穩定電壓的直流電。



家居電源(市電)則提供較高電壓和穩定頻率的交流電。

由交流電發電機所產生的交流電一般為正弦波形，它的最大值稱為峰值(peak value)。

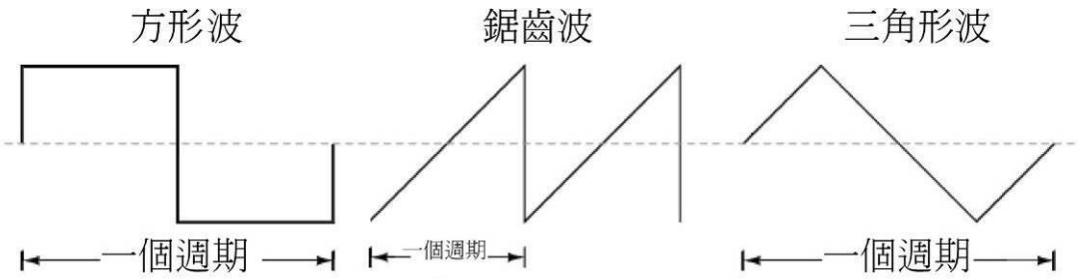
交流電一個循環所需要的時間稱為它的週期(period) T ，單位是秒(符號 s)。

它的頻率(frequency) f 可以表示為 :

$$f = \frac{1}{T}$$

頻率的單位是赫茲(符號 Hz)。

除正弦波外，交流電還可以有多種不同的波形，如方形波，鋸齒波，三角形波等。

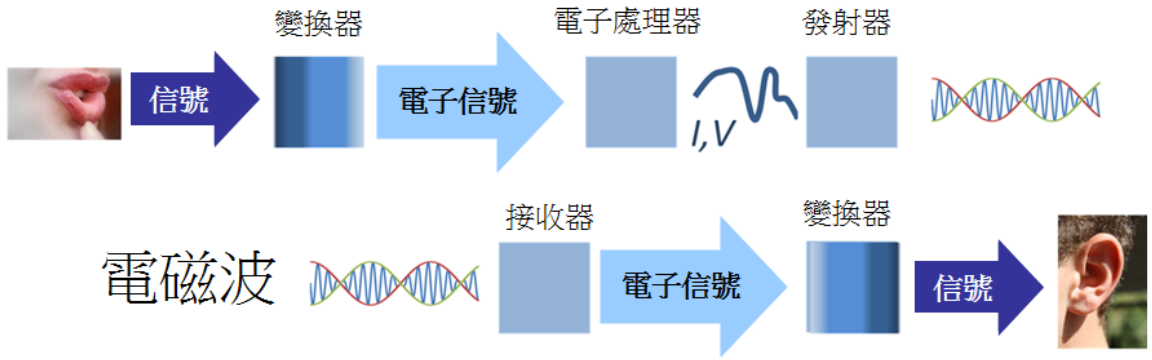


$$\text{頻率 (Hz)} = \frac{1}{\text{週期 (秒)}}$$

1.4 數碼與模擬信號

信號是一種可變的量(函數)，用來傳遞某些現象或屬性的信息。

電子信號是利用電子方法來傳遞信號，典型的發出和接收過程如下圖所示。

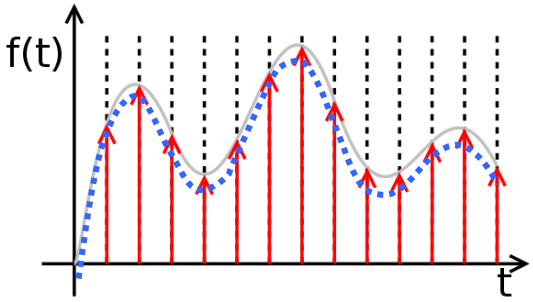


電子信號一般可分為模擬信號和數碼信號兩種。

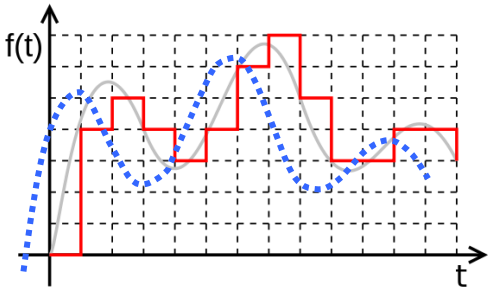
模擬信號是利用可連續不斷改變的量來傳遞的信號，例如用電壓代表聲音的壓力波形。

模擬信號的優點是能較全面地和準備地儲存信息。

不過，模擬信號經由電流或電磁波傳送時往往會有損耗，信號被還原時的質素會下降。



模擬信號



數碼信號

數碼信號是利用一些不連續的量來傳遞的信號，例如只用高(1)和低電壓(0)的邏輯信號。

數碼信號經由電流或電磁波傳送時也會有損耗，但信號被還原時較不受影響。

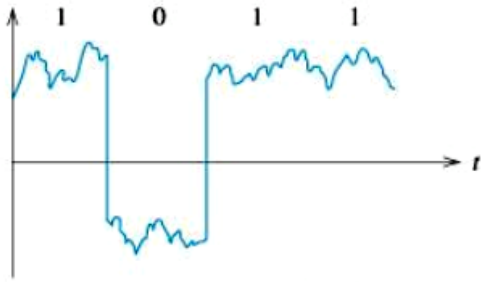


圖 11 : 損耗的數碼信號也可被正確地辨認

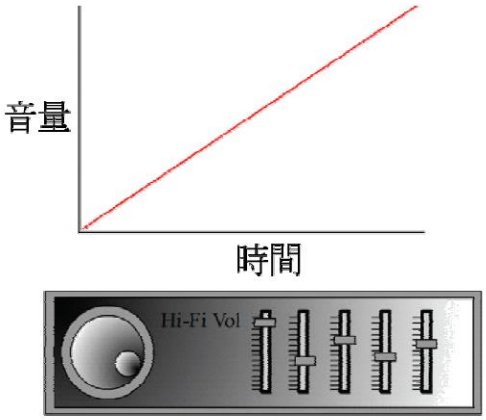
不過，假如數碼信號採用的不連續量太少，與真正信息可能會有明顯差距。

隨著科技發展，現時的數碼信號已十分精確，所以漸成為電子信號的主流。

模擬信號的例子

模擬信號多用於傳統的電子設備，如音響系統裡的揚聲器、光暗控制器。

在音響系統裡的揚聲器內，當音量被調高，聲量便會不斷緩慢及穩定地變大。

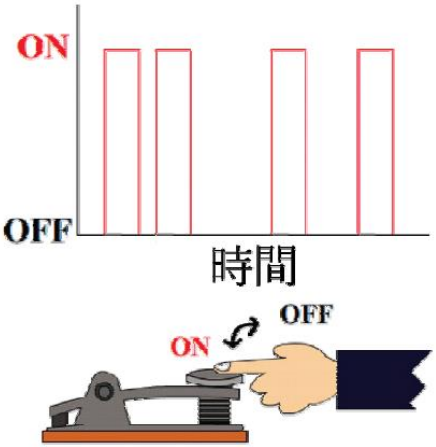


數碼信號的例子

現代化的電子產品都依靠數碼信號，如電腦和手提電話。

摩斯電碼是很好的數碼信號例子，它主要由一系列的點(•)、劃(—)和停頓等信號組成。

摩斯電碼可以用電報機發出，並用 ON 來代表點(•)和劃(—)，OFF 代表停頓。



1.5 邏輯電路

現時許多新科技產品(如手提電話)都採用了微處理器、記憶體和數碼技術。

雖然微處理器的功能強大，但它們的邏輯電路主要都是由基本的邏輯門組成。

1.5.1 邏輯門

邏輯門(logic gate)是進行基本邏輯運算的元件，例如:「非」門、「或」門、「與」門等。

邏輯門只處理二進制(binary)信號，例如高電壓或低電壓、導電或不導電等。

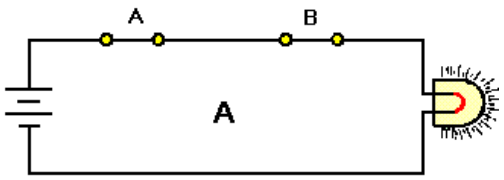
這些二進制信號可以用 1(真)或 0(假)兩種邏輯值來表示。

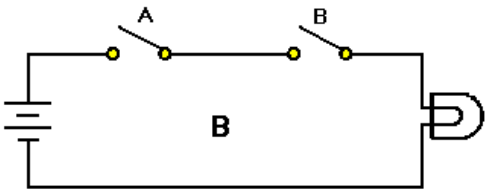
邏輯門按基本邏輯來改變邏輯值，如「非」非門會把輸入邏輯值 1 為相反的 0；反之亦言。

下圖的的簡單電路展示「與」門的運作，圖中有兩個串聯的開關。

要燈亮起 (A 情況) (輸出為 1)，這兩個開關便得同時關閉(輸入為 1)。

任何一個開關被打開(輸入為 0)，將會導致斷路，燈都不會亮起來(輸出為 0)。

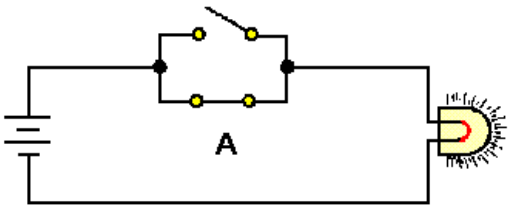


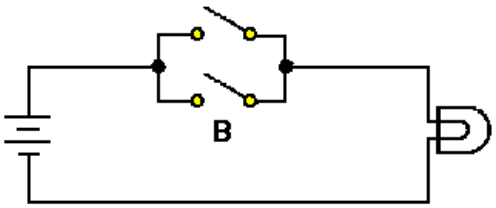


下圖的簡單電路展示「或」門，兩個開關裝置以並聯接著。

如果其中一個或兩個開關都關閉 (A 情況) (輸入為 1)，燈便會亮起(輸出為 1)。

只有兩個開關都打開 (B 情況) (輸入為 0)，燈才不會亮起(輸出為 0)。





多個邏輯門可以組合成邏輯電路，以處理較複雜的邏輯運算工作。

1.5.2 真值表

邏輯門的輸入信號和輸出信號的關係可以用真值表(truth table)來表示。

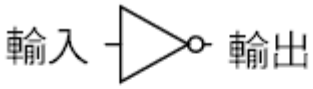
真值表可以有一或多個輸入信號，它們的所有組合會有系統地列在左邊，而按邏輯處理後的相應輸出信號則會列在右邊。

輸入信號 *A*	輸出信號 *F*
1	0
0	1

真值表例子(非門)

1.5.3 邏輯門的符號和真值表

(a)「非」門：

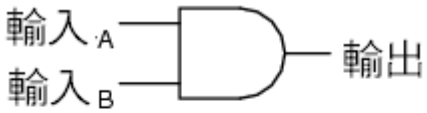


輸入	輸出
0	1
1	0

「非」門(NOT gate)亦可稱為反相器。
輸出信號正是和輸入信號相反。

(b)「與」門：

「與」門(AND gate)有兩個輸入信號 A 和 B。
當所有的輸入都是《高》(1)時，輸出才會是《高》(1)。
如果有任何《低》(0)的輸入，輸出都會是低。



A	B	輸出
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

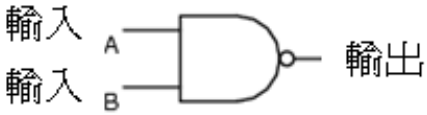
(c)「或」門：

「或」門有兩個輸入信號 A 和 B。
只要有任何一個輸入是《高》(1) ，輸出都會是《高》(1) 。
只有所有的輸入都是《低》(0)，輸出才會是《低》(0)。

A	B	輸入
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

(d)「與非」門：

「與非」門(NAND gate)的真值表是和「與」門相反的。



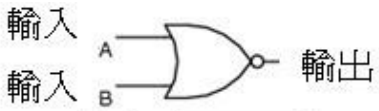
A	B	輸出
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

「與非」門可以由一個「與」門和「非」門（反相器）串聯而成的。

(e)「或非」門：

「或非」門(NOR gate)的真值表是和「或」門相反的。

「或非」門可以由「或」門和「非」門（反相器）串聯而成。



A	B	輸出
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

(f)「異或」門：

「異或」門是一種特殊的「或」門。

只有當其中一個輸入為《高》(1)高時，輸出才會是《高》(1)。

A	B	輸出
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

1.5.4 布爾表達式

複雜的邏輯電路會由多個邏輯門組成，可以用布爾表達式來清楚地顯示它們的關係。

假設 A 和 B 代輸入，F 代表輸出，各種邏輯門的布爾表達式：

非門： $F=\overline{A}$ (頂上的橫線代表非的關係)

緩衝區門： $F=A$

「與」門： $F=A\cdot B=AB$ (符號 · 一般會被省略)

「或」門： $F=A+B$

「與非」門： $F=\overline{A\cdot B}=\overline{AB}$

「或非」門： $F=\overline{A+B}$

「異或」門： $F=A\cdot\overline{B}+\overline{A}\cdot B=A\overline{B}+\overline{A}B$

布爾表達式可以使用布爾代數規則來簡化。

常用的布爾代數規則：

1. $A + \overline{A} = 1$
2. $A + A = A$
3. $A + 0 = A$
4. $A + 1 = 1$
5. $A \cdot \overline{A} = 0$
6. $A \cdot A = A$
7. $A \cdot 0 = 0$
8. $A \cdot 1 = A$
9. $A \cdot (B + \overline{B}) = A$
10. $A + A \cdot B = A \cdot (1 + B) = A$
11. $\overline{A} + A \cdot B = \overline{A} + B$
12. $A \cdot (A + B) = A$
13. $A + \overline{A} \cdot B = A + B$
14. $A \cdot B + \overline{B} \cdot C + A \cdot C = A \cdot B + \overline{B} \cdot C$
15. $\overline{A + B} = \overline{A} \cdot \overline{B}$
16. $\overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B}$

例子 1：簡化 F = B (A + C) + C

解答： F = AB + BC + C

F = AB + C (1 + B)

F = AB + C

例子 2：簡化 F = (A + B) BC + A

解答： F = ABC + BC + A

F = A (1 + BC) + BC

F = A + BC

例子 3：簡化 $F = B[(A + \overline{B})(B + C)]$

解答： $F = B[AB + AC + B\overline{B} + \overline{B}C]$

$F = AB + ABC + \overline{B}BC$

$F = AB + ABC$

$F = AB(1 + C)$

$F = \underline{\underline{AB}}$

第二章 – 模擬及數碼電子

2.1 系統電子學

控制系統(control system)可用來指引、命令或規律化各種程序、工具和機器。

控制系統可分為兩大類：開環式系統(open-loop system)和閉環式系統(closed-loop system)。

開環式系統

下圖顯示一個開環式控制系統的示意圖。

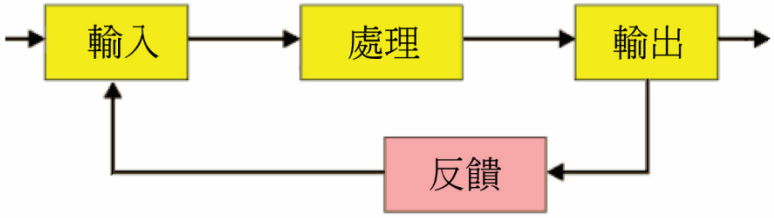
開環式控制系統

當輸入的訊號指示控制元件作出反應，便會獲得輸出的結果。

例子 : 簡單的烤麵飽爐(俗稱多士爐)。

閉環式系統

下圖顯示一個閉環式控制系統的示意圖。



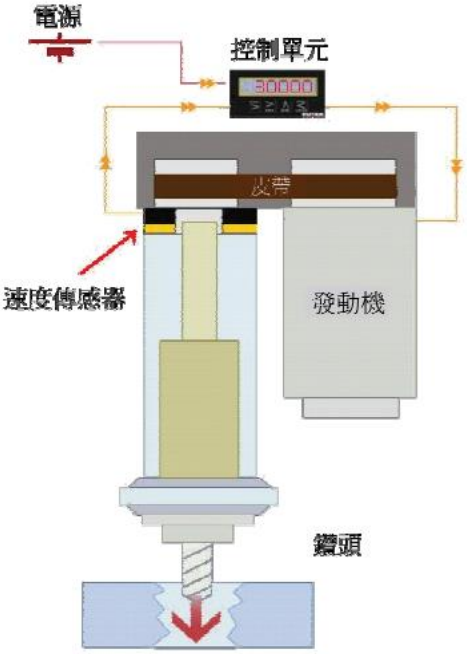
閉環式控制系統

輸出訊號會通過反饋(或回輸)途徑再傳送到輸入，以影響新的輸出。

適當的反饋可以控制操作和增加輸出的準確性。

閉環式控制系統例子 : 一個可控速度的鑽孔機在沉重的負荷下保持鑽孔速度。

- 傳感器裝置用來檢測鑽頭的速度。
- 如果鑽頭速度與預設的不同，控制單元會調整電源，令鑽頭加速或減速。



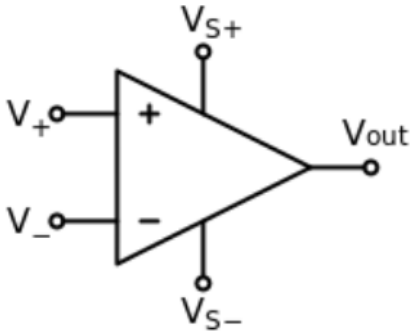
設計電路時應考慮有關控制系統的各項因素：

1. 輸入方法
2. 輸出方法
3. 處理方法和程序
4. 是否有反饋？
5. 如有反饋，應如何設定標準和檢測方法。

2.2 運算放大器

運算放大器可在電路中擴大微弱的電流，常用在電器產品的電路中，如收音機等。

下圖顯示運算放大器的電路符號：



V_+：非反相輸入端（non-inverting input）

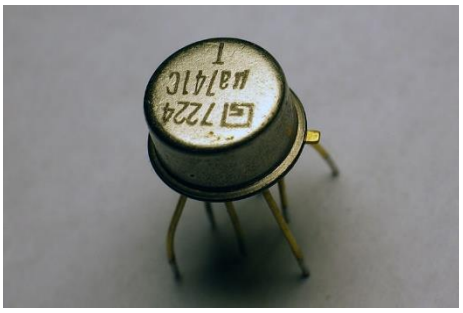
V_-：反相輸入端（inverting input）

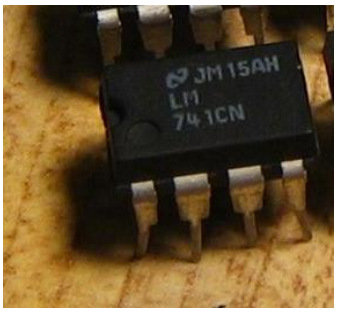
V_{out}：輸出端（output）

V_{S+}：正電源端

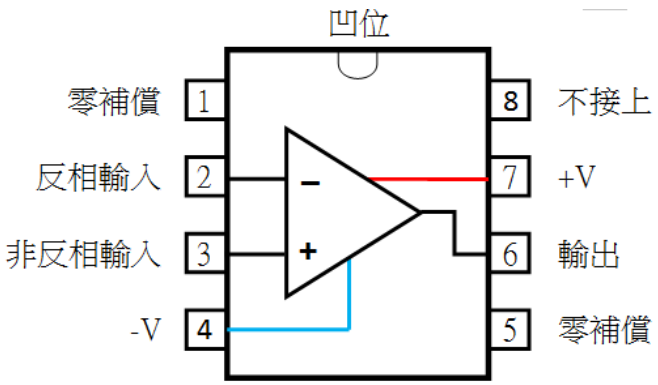
V_{S-}：負電源端

例子：741 型號的運算放大器（使用雙列直插封裝(DIP-8)的元件）





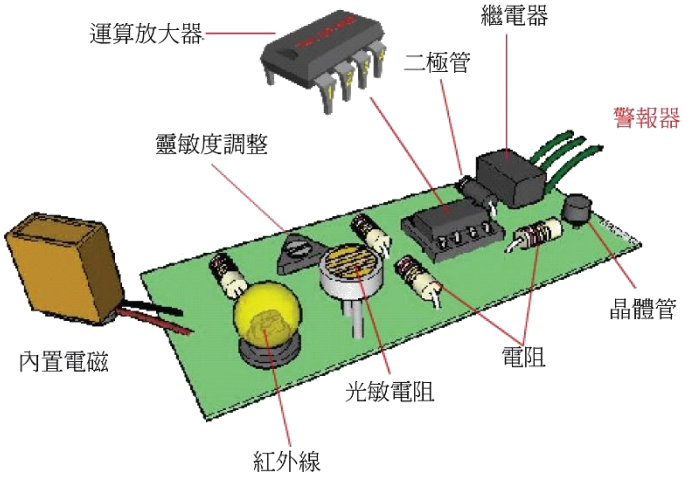
下圖顯示 741 型號的運算放大器的接駁位置，留意以上端的凹位為準。



理想運算放大器的特徵：

1. 無限電壓增益
2. 無限輸入抗阻
3. 零輸出抗阻
4. 無限頻寬
5. 零輸入補償電壓
6. 設置反饋數量的控制網絡（例如：電阻值）

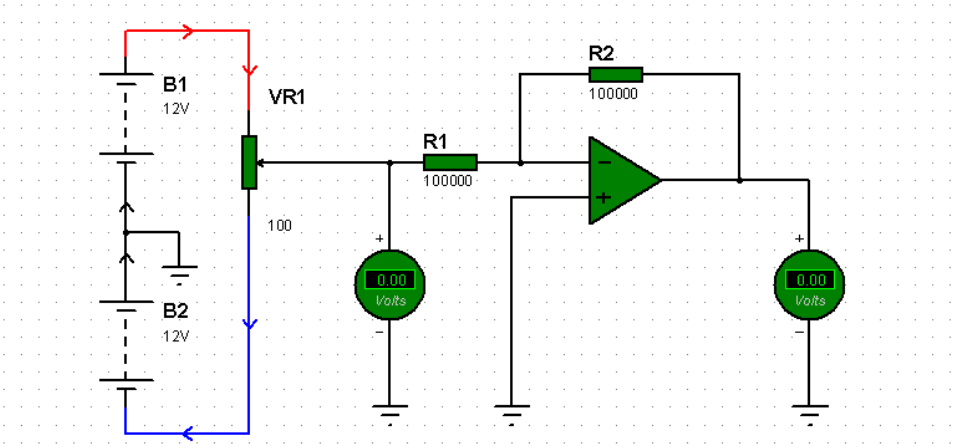
例子 : 警報電路中的光感應器檢測裝置，運算放大器把信號放大來觸發繼電器



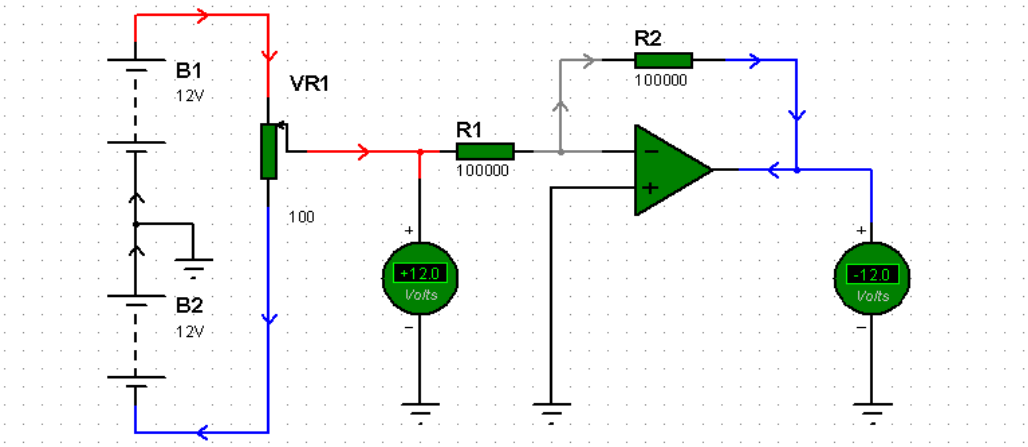
將運算放大器的反相輸入端 (V_-)與輸出端(V_{out})連接起來，就成為常用的閉迴路放大器

下圖顯示了閉迴路放大器的基本操作電路，R2是反饋電阻值，R1是輸入電壓。

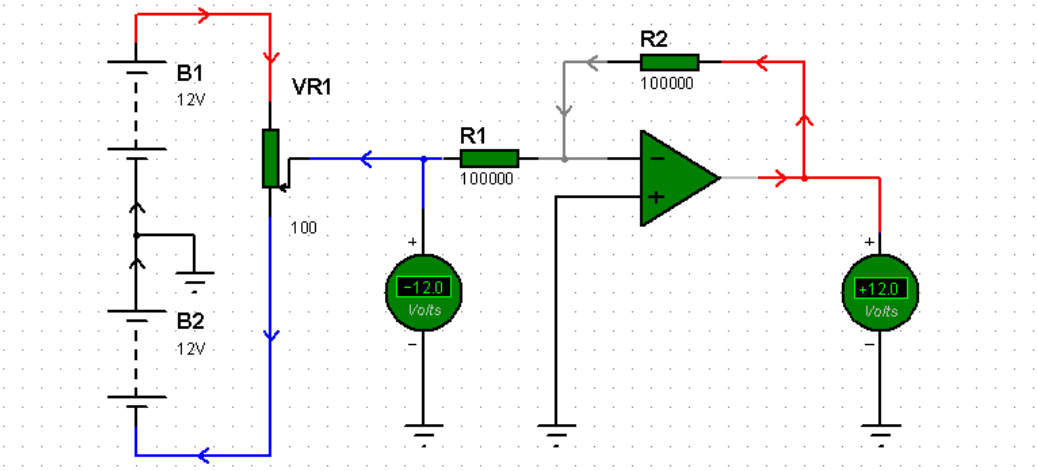
(a) 兩電池組B1和B2之間接地(0 V)，令可變電阻VR1在中央時，接駁端電壓為0 V。



(b) 當可變電阻 VR1增加時，接駁端電壓會上升。



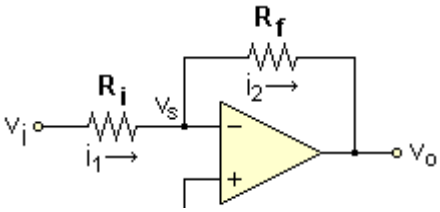
(c) 當可變電阻 VR1減少時，接駁端電壓會下降(至負值)。



2.2.1 反相放大器

閉迴路放大器可分為反相放大器和非反相放大器兩種。

下圖示反相放大器的基本電路，R_f是反饋電阻值，R_i是輸入電壓：



$$V_{out} = -V_{R_f} = -I \cdot R_f = -\frac{V_{in}}{R_{in}} \cdot R_f = -\frac{R_f}{R_{in}} \cdot V_{in}$$

閉環增益 $\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_{in}}$

反相放大器的閉環增益等於反饋電阻值(R_f) 和輸入電阻值(R_i) 的比例。

只要閉環增益遠小於開環增益，這傳遞函數便準確地描述了輸出信號。

考慮到電流多變的方向，傳遞函數如下：

$$i_1 = \frac{V_i - V_s}{R_i} \text{ and } i_2 = \frac{V_s - V_o}{R_f}$$

非反相輸入（+）是直接連接到地面的，然後 $V_s = V- = 0$ V，因此：

$$i_1 = \frac{V_i}{R_i} \text{ and } i_2 = -\frac{V_o}{R_f}$$

由於之前定義的無限輸入阻抗，沒有電流流動到任何輸入，因此：

$$i_1 = i_2$$

結果，反相放大器的傳遞函數是：

$$V_o = -V_i \frac{R_f}{R_i}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_f}{R_i}$$

然後 $A = -\frac{R_f}{R_i}$，其中 A 是增益

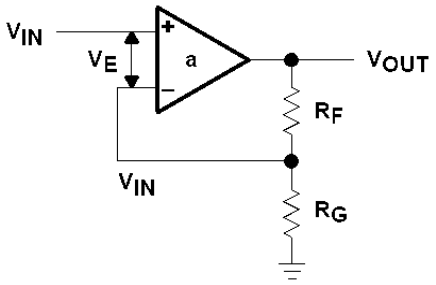
2.2.2 非反相放大器

非反相運算放大器的輸入信號與非反相輸入相連接，因此其輸入源視為無限阻抗。

因為 V_E 等於零，所以沒有任何輸入補償電壓。

分壓器的規則是使用 "V_{OUT}" 作為分壓器的輸入，並以 "V_{IN}" 作為分壓器的輸出。

由於沒有電流可以流入任何運算放大器導線，所以允許使用分壓器規則。



$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \left(\frac{R_F + R_G}{R_G}\right)$$

$$V_{OUT} = V_{IN}\left(1 + \frac{R_F}{R_G}\right)$$

當 $V_{OUT} = 1$，電路便成為一個統一增益緩衝器。

R_G 通常會被刪除以獲得相同的結果。

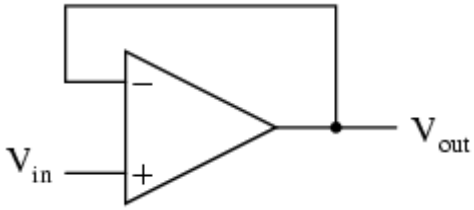
當電路省去 R_F 時，有些運算放大器會自我破壞，所以 R_F 會用於許多緩衝設計。

當 R_F 算入緩衝電路，其功能是在電壓太大時保護反相輸入。

在電流反饋放大器的設計中，R_F 永遠不能從電路中被省去，因為 R_F 決定了電流反饋放大器的穩定性。

2.2.3 負反饋

如下圖所示，如果連接運算放大器的輸出到它的反相輸入（-），並用電壓信號加諸非反相輸入（+），輸出電壓會緊緊跟隨該輸入電壓。



隨著 V_{in} 的增加，V_{out} 將根據微分增益而增加。

當 V_{out} 增加，輸出電壓反饋到反相輸入，以減少輸入中的電壓差動，令輸出下降。

負反饋形成一個自我穩定的系統，讓運算放大器可以在其線性模式運作。

負反饋非常有用，就能夠準確地設定增益、比率，和其他重要參數。

在沒有反饋的運算放大器電路中，輸出電壓會飽和，其結果就是一個比較器。

2.2.4 正反饋

當使用正反饋而引致閉合電路增益大於 1 時，會成為振盪器而提供變化的輸出信號。

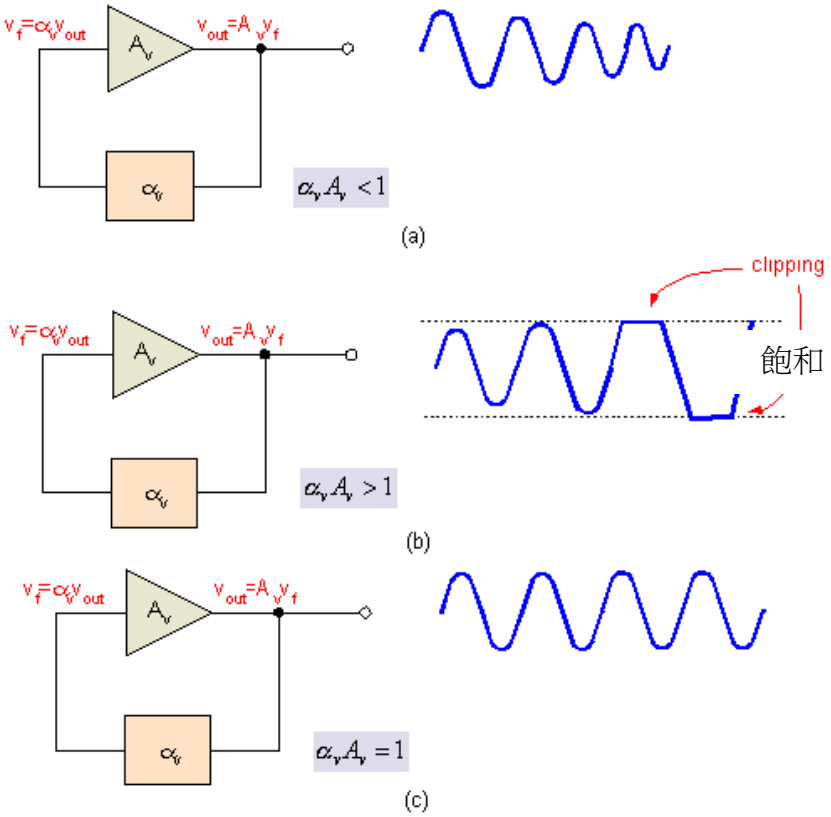
假如輸出信號為正弦波，便會變為正弦波振盪器。

假如輸出電壓驟升至某水平然後急降到另一水平，一般而言，它是脈衝或矩形波振盪器。

假如增益小於 1，震動會於數週期後逐漸消失。

而假如增益大於 1，振盪器會使它自己達至飽和並切斷，而這是受供應電壓所控制的。

當 Vf 是反饋電壓，Av 是增電壓，而 αf 是反饋衰減。結果如下。



2.3 鎖存電路

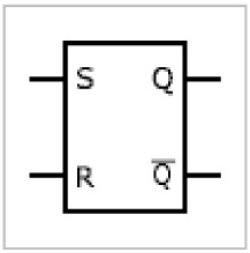
觸發器(亦稱為閂)是一個數據存儲系統，作用是存儲邏輯系統的資料。

一個觸發器可以存儲一個位元的信息。

基本的觸發器共有數種類型，其中包括 S-R 觸發器和 D 型觸發器。

下圖顯示 S-R 觸發器的操作操作模式和符號 :

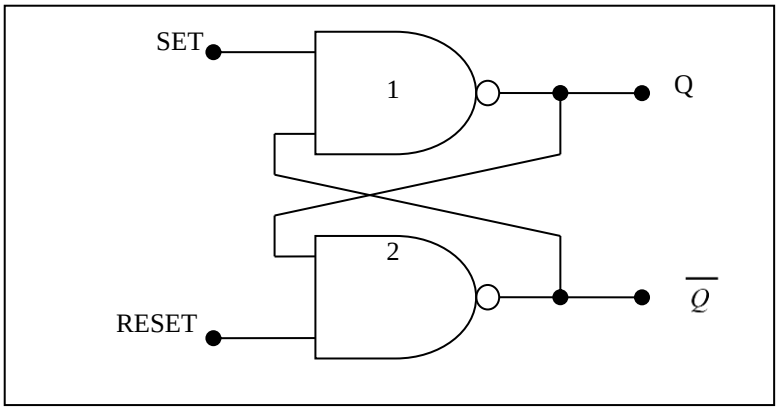
SR型閂鎖操作		
S	R	行動
0	0	限制組合
0	1	Q=0
1	0	Q=1
1	1	保持狀態



SR型閂鎖的符號

S-R 觸發器可以由兩個「與非」門(或兩個「或非」門) 組成，如下圖所示。

由「與非」門組成的觸發器電路稱作「與非」門觸發器。



「與非」門觸發器有設定(SET)和重設(RESET)兩種輸入，輸出則分為 Q 和 $\overline{Q}$ 。

「或非」門觸發器都是同樣的配置，但使用的是「或非」門而不是「與非」門。

「與非」門觸發器的操作模式有四種不同的輸入組合：

1. 設定 = 0，重設 = 0

這情況嘗試在同一時間設定和清除觸發器，產生出 $Q=\overline{Q}=1$ 。

如果輸入同時返回 1，產生的狀況是不可預測的，因此不應使用這種輸入方式。

2. 設定= 0，重設 = 1

這將導致輸出到 $Q = 1$ 的狀態，而即使在設定後來回到 1，Q 仍將繼續保持。

這就是「設定」觸發器。

3. 設定= 1，重設 = 0

這將會產生 $Q = 0$ 的狀態，即使重設後來回到 1，輸出仍會保持不變。

這就是「清除」或「重置」觸發器。

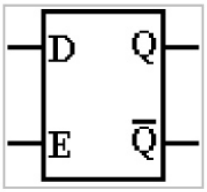
4. 設定 = 1，重設 = 1

這種情況是正常的靜止狀態，而且不影響輸出狀態。

在這輸入情況，Q 和 $\overline{Q}$ 輸出將會保持在之前的任何狀態。

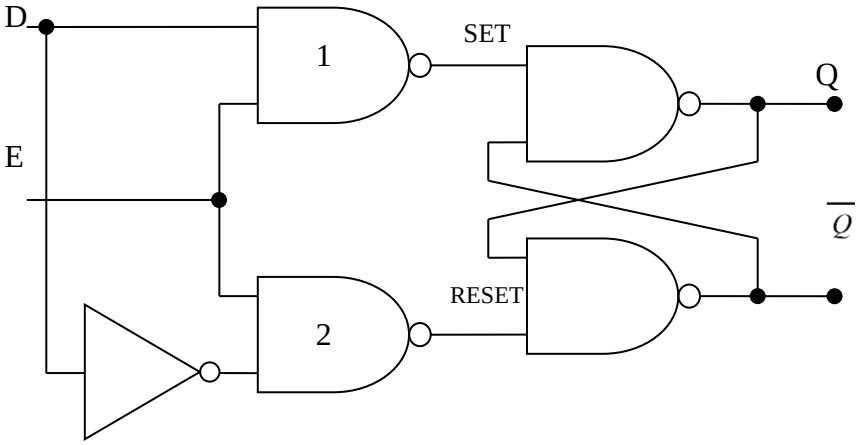
下圖顯示D型觸發器的操作操作模式和符號：

D型閂鎖真值表			
E/C	D	Q_{next}	註解
0	X	Q_{prev}	不變
1	0	0	重設
1	1	1	設定



D型閂鎖的符號

D型觸發器可以由「與非」觸發器、「非」門非和兩個「與非」門組成，如下圖所示。



D 型觸發器的「與非」門1和2的各一個輸入共同接駁在一起，稱為「賦能」輸入(E)。

E 輸入並不限制Q 和$\overline{Q}$輸出，只發生在它的過渡之中。

D 型觸發器的操作：

1. 當E輸入= 1

D 輸入會在「與非」觸發器的設定或重設輸入產生一個0，以致Q和D達致同一水平。

如果當E輸入 = 1 時，D改變，Q也會完全地跟著改變。

換句話說，當E輸入 = 1，Q 輸出將完全和D一樣(觸發器是透明的)。

2. 當 E 輸入 = 0 時

需避免 D 輸入影響到「與非」觸發器，因為雙方的導閘輸出都會保持為 1。

因此，Q 和$\overline{Q}$輸出將留在 E 輸入變 0 前的水平。

換句話說，在 E 輸入= 0 時，即使 D 改變，輸出仍會被鎖定到目前的水平。

2.4 記憶體及計數器

2.4.1 記憶體

記憶體在數碼系統中是非常重要的，它可以讓程式和數據得以儲存。

記憶體有兩種基本的類型：唯讀記憶體(ROM)和隨機存取記憶體(RAM)

(a) 唯讀記憶體 (ROM)：

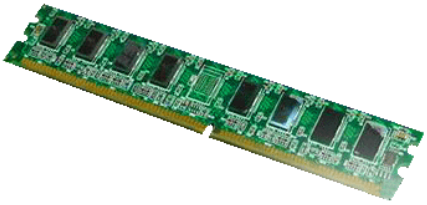
唯讀記憶體(Read Only Memory，簡稱 ROM) 錄製數據後只能讀取，不能被刪除。

唯讀記憶體不易消失，不論電腦開啟或關閉，它都會把內容記住。

大多數數碼裝置都附有唯讀記憶體來存儲重要資料，例如啟動電腦的程式。

例子 : 打印機使用的字體往往都存儲在它的唯讀記憶體內。

唯讀記憶體



隨機存取記憶體

(b) 隨機存取記憶體

隨機存取記憶體(Random Accessory Memory，簡稱 RAM)可把資料寫到任何一個位置(無須跟次序)，然後再讀取、刪除或重寫。

不過，沒有電源供應時，RAM 的數據將會自動消失。

隨機存取記憶體通常是電腦的主要存儲器，存儲活躍的資料，例如數據和程式。

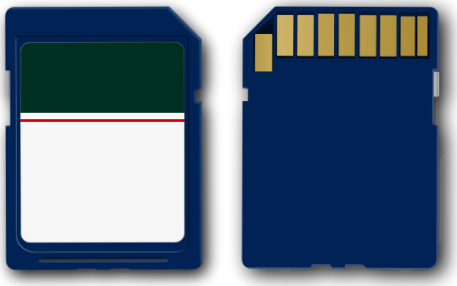
常見的隨機存取記憶體有：靜態內存(SRAM)和動態隨機存儲器(DRAM)。

(c) 快閃記憶體

快閃記憶體(Flash Meomry) 主要用於記憶卡。

它可以用電來編寫和刪除資料，但不易消失。

記憶卡的應用實例包括手提電腦、數碼相機等。



2.4.2 計數器

在邏輯電路中，計數器是存儲特定事件發生次數的裝置。

最常見的類型是有時鐘信號輸線和多輸出的順序數字邏輯電路。

輸出的值通常會用二進制數字表示。

每個施加到時鐘輸入的脈衝都會使計數器增加或是減少。

計數器電路通常由多個觸發器聯連接而成。

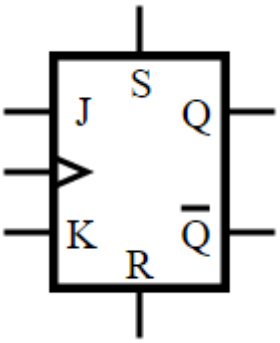
計數器在數字電路中使用非常廣泛，現常會製成集成電路芯片。

漣波計數器(亦稱非同步計數器)是一種簡單的計數器，它的符號如下圖所示。

漣波計數器應用一個 D 型觸發器，可存儲一位數，從而由 0 計數到 1。

如果這個輸出再接到 D 型觸發器作為時鐘信號，就產生了兩位計數器。

JK 觸發器的符號如下圖所示，它可以用來組成十進制計數器(如 4017)。



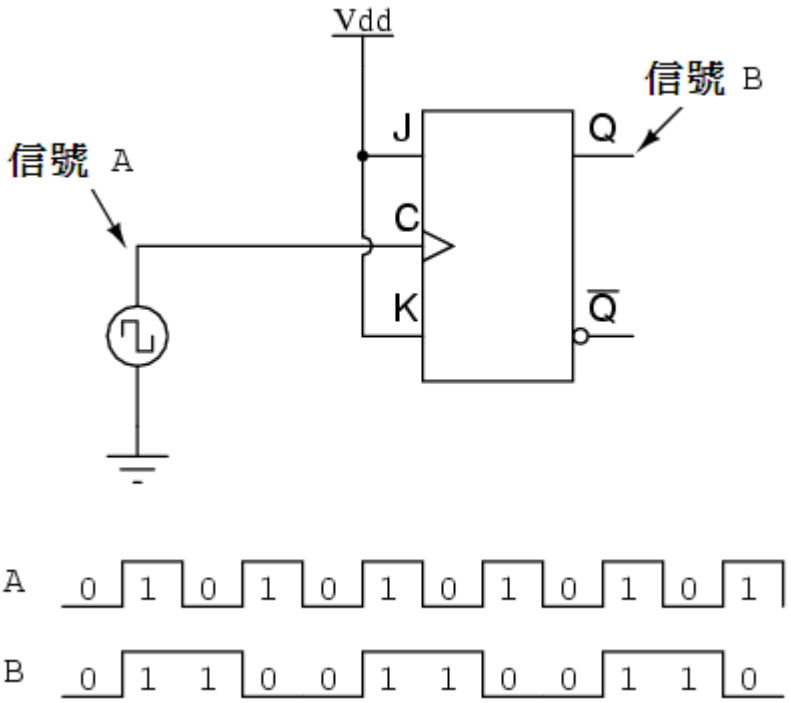
JK 觸發器設有兩個輸入，其輸出的值由以下的算式來決定。

$$Q_{next} = \overline{K}Q + J\overline{Q}$$

JK 觸發器的操作模式如下表所示 :

狀態轉移表				激發表				
J	K	動作	Q_{next}	Q	Q_{next}	動作	J	K
0	0	保持	Q	0	0	不變	0	X
0	1	重置	0	0	1	設置	1	X
1	0	設置	1	1	0	重置	X	1
1	1	反轉	$\overline{Q}$	1	1	不變	X	0

當 J 和 K 的輸入都是 1(並有時鐘脈衝命令)時，J-K 觸發器會「觸發」其輸出狀態。



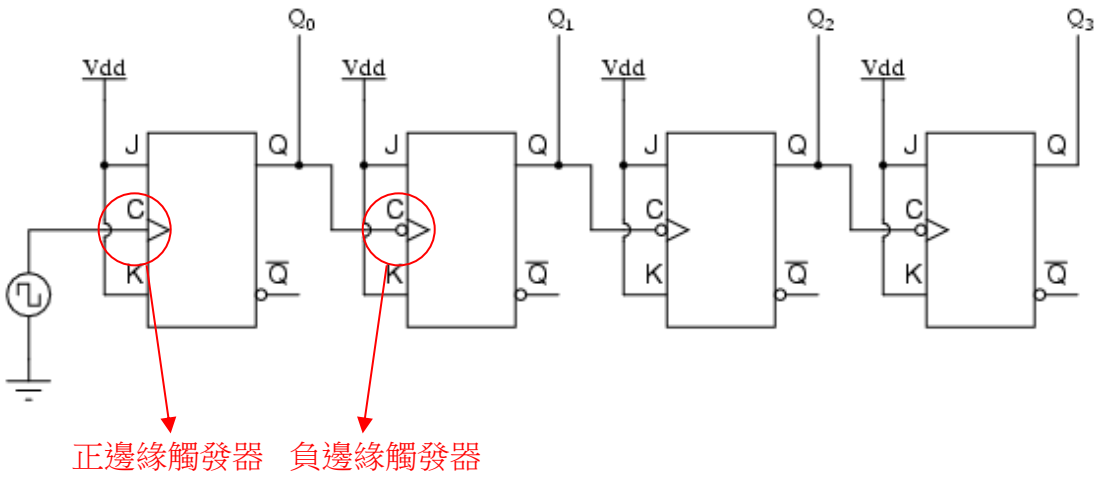
當先前位元由 1 轉化為 0 時，每個繼後位元都成功觸發。

每個觸發器的 Q 輸出會作為最後各自的二進制位及以 4 元位計算。

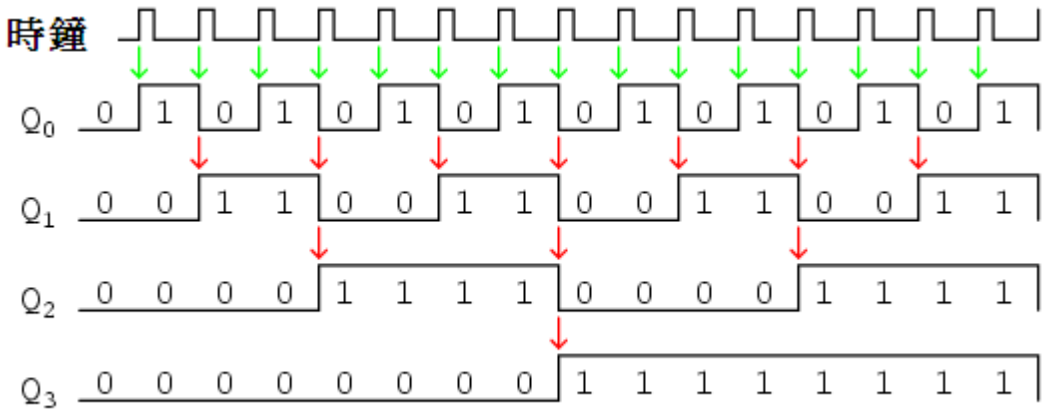
如果使用觸發器負邊緣觸發，可以簡單地把每個觸發器的時鐘輸入連接到之前的 Q 輸出。

因而當之前的位元從 1 更改為 0，信號會「紀錄」下一個觸發器來觸發下一個位元。

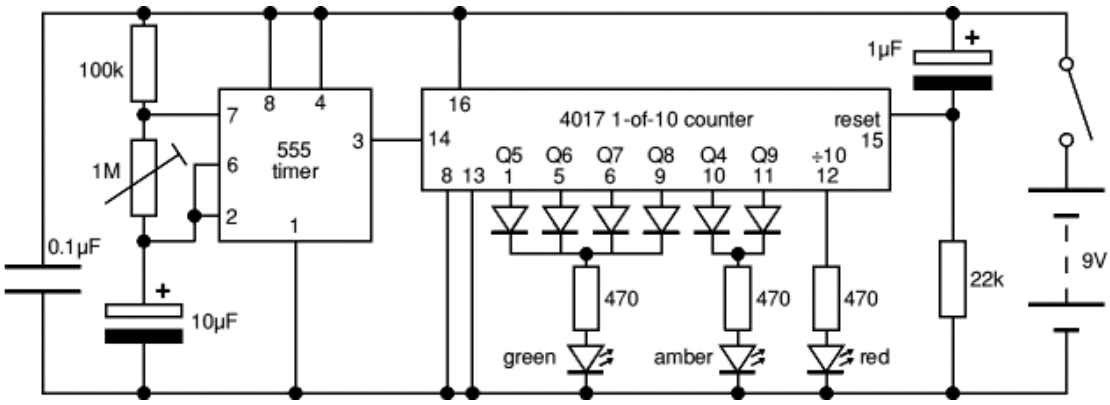
假設一個計數器結合了四幾個 J-K 觸發器組成，它們均處於「觸發」模式。



當一個從振盪器的重複脈衝信號源進行「紀錄」時，這個電路將產生下面的輸出波形：



下圖顯示一個共有10個輸出（Q0到Q9）的計數器(4017)的電路圖。



當被時鐘信號觸發，計數器才會操作。

隨著收到時鐘脈衝，每個輸出會輪流變高。

第三章 – 集成電路，微控制器及界面技術

3.1 集成電路的種類

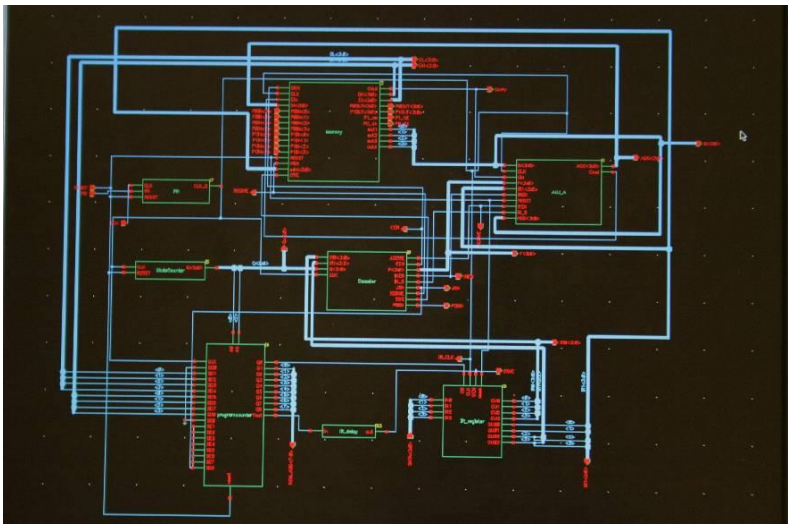
3.1.1 集成電路的發明

在集成電路 (IC) 未被發明之前，電子元件和產品的尺寸會相對地較大型

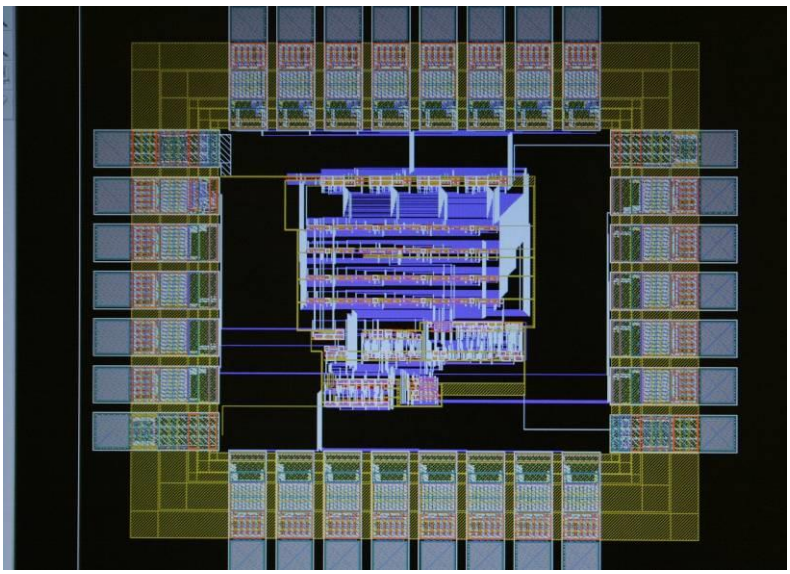
工程師一直致力於縮小電子電路的尺寸，使產品更方便攜帶。

在 1958 年，工程師成功將整個電路(如晶體管、電線等)縮小在矽片中，成為集成電路。

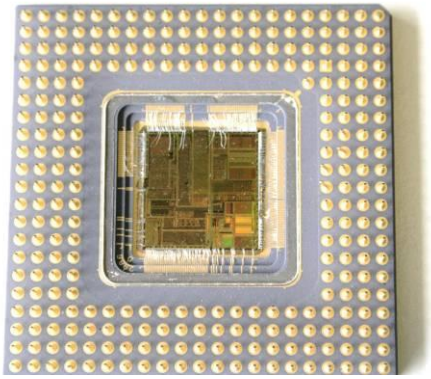
現時，可以用電腦來把電路圖放於集成電路上，如下圖所示。



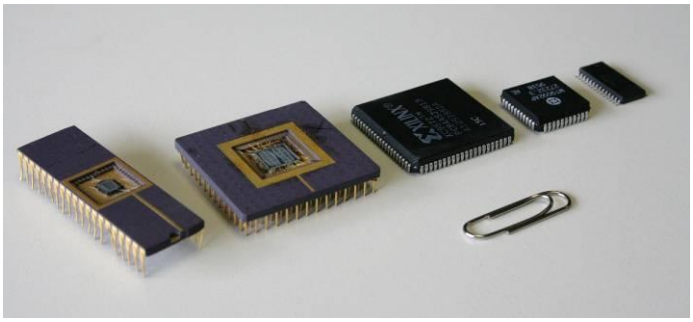
電腦能以平面格式來表示如金屬、氧化物或半導電體層在集成電路上的設計及舖排：



集成電路經測試後，晶片和晶圓會被加於封裝基層，然後以精細的鋁(或金)線焊接到封裝：



集成電路是安裝於晶片上的一個完整電路



不同包裝外貌的集成電路

3.1.2 不同種類的集成電路

集成電路一般可以按下列條件而分類：

(a) 功能

(b) 複雜性(組件數量)

(c) 封裝

(d) 信號處理

(1) 以功能分類集成電路

不同功能的電路可以製成集成電路：

- **邏輯門**

  「與」門 (例如 7408 是四二輸入端「與」門)；

  「或」門 (例如 7432 是四二輸入端「或」門)；

  「非與」門 (例如 7400 是四二輸入端「非與」門)。

  (詳閱第 1 章的邏輯門)。

- **運算放大器**

  例如，741 是一般用途的運算放大器集成電路家族。

  (詳閱第 2 章的運算放大器)。

- **計時器**

  幫助記錄時間的電路，555 是其中一款計時的集成電路。

  555計時集成電路可提供不同記錄時間的模式來運作：

  - 單穩態模式：555 作一次性的運作，即短時間內一次過存在的脈衝
  - 自由運轉模式：555 作振盪器運作，以週期性顯示時間
  - 雙穩態模式：555 以兩種穩態模式的其中一種來運作

- **模擬開關**

  如繼電器般操作，但用的是晶體管而非活動部件(例如 4016 是四分雙向開關)。跟繼電器相比，它允許更小的電流通過而且不提供電分隔。

  (詳閱第一章)

- **記憶體**

  可作儲存資料，如隨機存取記憶體(RAM) 及唯讀記憶體(ROM)。

  (詳閱第 2.4 節)

- **微控制器**

  包含微型化的電腦，例子包括8051, PIC及自動化程式管理。

  (將於3.3 節作更深入的探討)

(2) 以複雜性分類集成電路

每晶片上電子組件數量作衡量單位，是用作分類集成電路的指標之一。

下表綜合了不同程度的整合。

集成電路複雜性的分類

種類	代表	每晶片上電子組件數量	例子
SSI	小規模集成	≤ 100	邏輯門
MSI	中規模集成	100 to 3,000	計算器
LSI	大規模集成	3,000 to 100,000	模數轉換，數模轉換
VLSI	甚大規模集成	100,000 to 1,000,000	微控制器
ULSI	超大規模集成	> 1 百萬	微處理器，雙核心微處理器

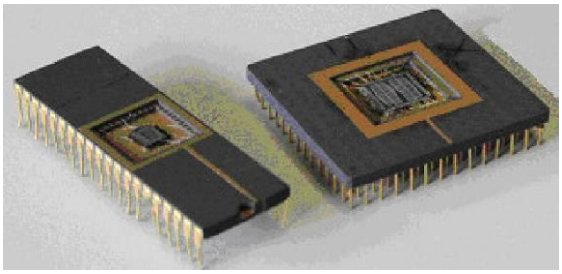
表 : 集成電路複雜性的分類

(3) 以封裝分類集成電路

封裝可以避免晶圓受到外力(或濕氣)破壞，亦可以避免晶片被化學物質腐蝕。

常見的兩款集成電路封裝是「通孔」和「表面裝配」封裝。

(a) 通孔封裝



通孔封裝的例子

通孔(through-hole)封裝上的針插入印刷電路板上的鑽孔，然後焊接到另一面的墊。

插入鑽孔及墊焊接可提供更強的機械結合。

不過，額外的鑽孔會增加生產成本，同時亦會減少信號描跡的打槽面積。

(b) 表面裝配封裝

表面裝配封裝的例子

表面裝配(Surface-mount)封裝能製造出高電路密度的印刷電路板，因為：

1. 通常比它對應的通孔封裝細小
2. 能直接加在印刷電路板表面的墊，節省了鑽孔的空間及工序
3. 可裝配在印刷電路板的任何一面(因為無須鑽孔)

現時，許多電子產品都採用表面裝配封裝的集成電路。

(4) 以信號處理分類集成電路

集成電路可以根據它們處理的信號種類被分為：模擬(線性)及數碼。

(a) 模擬集成電路

所連續的可變輸出是輸入信號程度的線性函數

計算放大器及感應器是兩種常見的模擬集成電路。(詳閱第 2 章)

(b) 數碼集成電路

一般只有兩個狀態，即低(0)或高(1)。

邏輯門、觸發器、記憶體及微控制器都是常見的數碼集成電路。(詳閱第 2 章)

3.2 可編程系統

可編程系統可以利用可編程邏輯裝置來建構。

可編程邏輯裝置（Programmable Logic Device，簡稱 PLD）是可編程的數碼集成電路。

一般集成電路的內置電路不能改變，但 PLD 可在出廠後才規劃，有些甚至可再次變更。

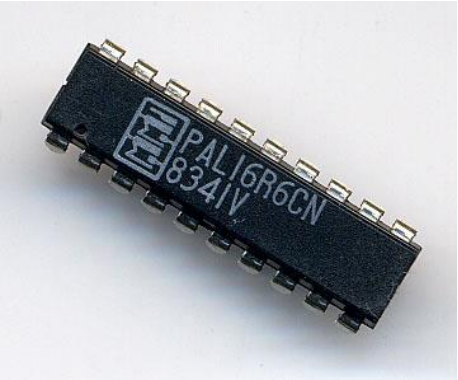
3.2.1 可編程邏輯器件

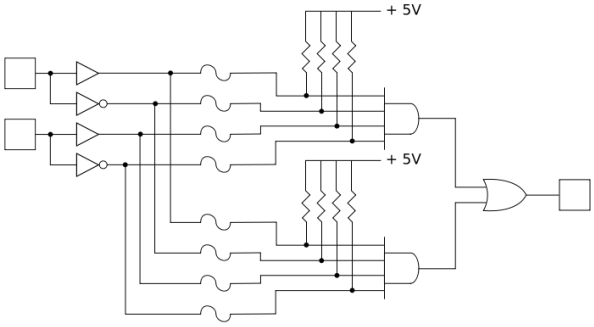
(a) 可編程陣列邏輯 (PAL)

可編程陣列邏輯（Programmable Array Logic，簡稱 PAL）是早期的可編程邏輯裝置。

PAL 有不同型號和輸入、輸出埠數目，例如：20 針的 PAL 有 10 個輸入埠和 8 個輸出埠。

PAL 只能進行一次的程式燒錄，不能再有第二次。





簡化的可編程邏輯器件電路 e

PAL可分成二個部分：程式邏輯平面(Programmable logic plane)和輸出邏輯(Output logic)

(b) 通用陣列邏輯 (GAL)

通用陣列邏輯（Generic Array Logic, 簡稱GAL）是以 PAL 為基礎而發展的 PLD。

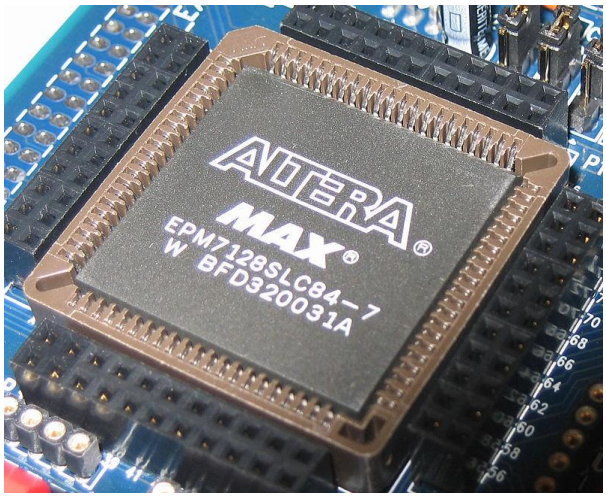
GAL 是可以進行多次程式燒錄和清除，特別適用試製階段（prototyping stage）。

此外 GAL 也可以用 PAL 的燒錄器來進行燒錄及再燒錄，雖然現在已經有可線上燒錄

PAL 和 GAL 適合使用約數百個邏輯門所構成的小型電路。

(c) 複雜可編程邏輯裝置 (CPLD)

複雜可編程邏輯裝置（Complex Programmable Logic Device, 簡稱CPLD）適用於大型電路。



有2500個連接埠的CPLD

一顆CPLD內等於包含了數顆的PAL ，它們之間的連接也可以進行編程的規劃和燒錄。

CPLD 可適用於需要數千個甚至數十萬個邏輯門的大型電路。

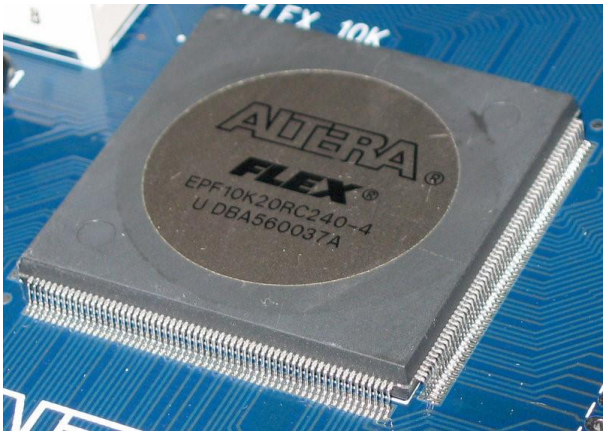
CLPD 可能有多至數百隻接腳，可能需特別的方法來進行編程的規劃和燒錄。

(d) 場式可編程門陣列 (FPGA)

場式可編程門陣列(Field Programmable Gate Array，FPGA)採用門陣列(Gate Array)技術。

FPGA 運用網格(Grid)式的邏輯門，可以在出廠後才進行組態配置的程式性規劃。

FPGA 也可以在焊接後再進行程式燒錄、變更的工作，某種程度與大型的 CPLD 相似。



內有20,000個Cell（邏輯晶格）可供組態配置

(e) 微控制器

有些微控制器內除了一些固定性功效的電路外，其他部分的電路則可編程來變其功效。

微控制器的詳情將在下一節（第 3.3 節）中提及。

3.2.2 PLD 的編程語言

PLD 大多利用「邏輯編譯器」（logic compiler）的電腦軟件來編寫程式。

編譯原始程式碼要用特定硬體描述語言（hardware description language, HDL）。

硬體描述語言的例子有：ABEL、AHDL、Confluence、CUPL、HDCaml、JHDL、Lava、Lola、MyHDL、PALASM、RHDL 等，

3.3 微控制器的基本原理

3.3.1 使用微控制器

微控制器（microcontroller 或 microchip）把中央處理器、記憶體、輸入埠、輸出埠和定時/計數器等元件集成在一塊集成電路晶片上，常用於各種電子產品中。

應用了微控制器的日常電子產品的例子

與微處理器(應用在個人電腦)相比，微控制器強調自主供應（不用外接硬件）和節約成本。

例如：只要一個微處理器顆加上驅動電路就可以控制馬達運轉，無須使用電腦控制。

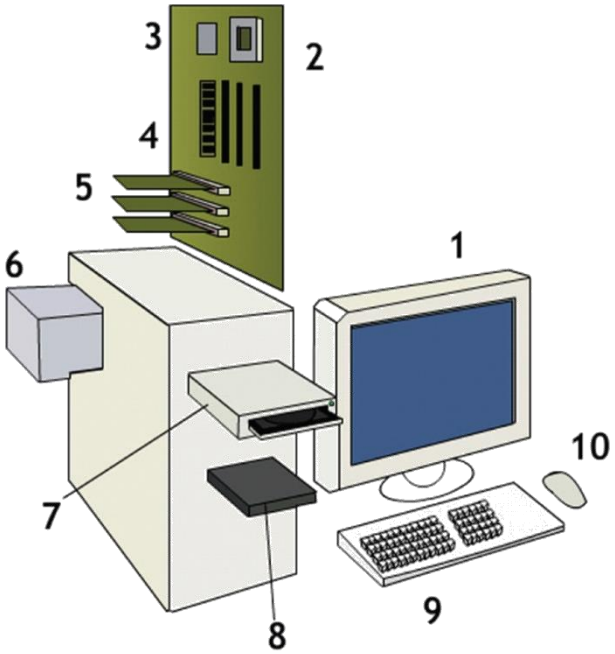
微控制器的優點是細小和容易內置，但記憶體容量少和輸入輸出接口簡單，功能亦較低。

80 針腳的微控制器

8051 微控制器

3.3.2 微控制器系統及個人電腦的相似部分

下圖顯示一般電腦的基本架構



1. 熒幕屏
2. 主機板
3. 中央處理器
4. 隨機存取記憶體
5. 擴展卡
6. 電源
7. 光盤驅動器
8. 硬盤
9. 鍵盤
10. 滑鼠

微控制器是一個單一晶片的電腦，具有一般電腦的基本架構，包括：

(a) 中央處理器

- 由兩部分組成，控制單元(CU)和算術及邏輯運算單元 (ALU)
- 控制單元執行儲存在主記憶體內的程式，並以順序的方式執行程式中的指令
- 算術及邏輯運算單元則執行程式中所需要的算術和邏輯操作

(b) 主記憶體

- 用於存儲程式和數據的高速半導體記憶體
- 它有兩個主要類型，唯讀記憶體 (ROM) 和 (RAM)
- 唯讀記憶體僅儲存永久不變的程式和數據
- 隨機存取記憶體是作短暫儲存程式及在程式執行中可變的數據

(c) 次級記憶體(如硬盤)

- 可用來儲存大量程式和數據
- 必須先複製數據至主記憶體才可讓中央處理器存取及處理

(d) 輸入/輸出單元：

- 包含需要的接口電路，使輸入/輸出設備能妥善與電腦及週邊裝置溝通
- 輸入設備包括有鍵盤、圖像掃描器、滑鼠等
- 輸出設備包括有打印機、繪圖器、顯示器等

3.3.3 電腦系統的信息傳輸

電腦各個部分之間是透過一套稱為匯流排(Bus)的通信子系統來傳達信息的。

電腦匯流排可分為三組的信號：

(a) 數據匯流排(Data Bus)

使數據在單元之間傳送的一組線路

由於數據可以流入或流出中央處理器，所以信號是雙向的

(b) 位址匯流排（Address Bus）

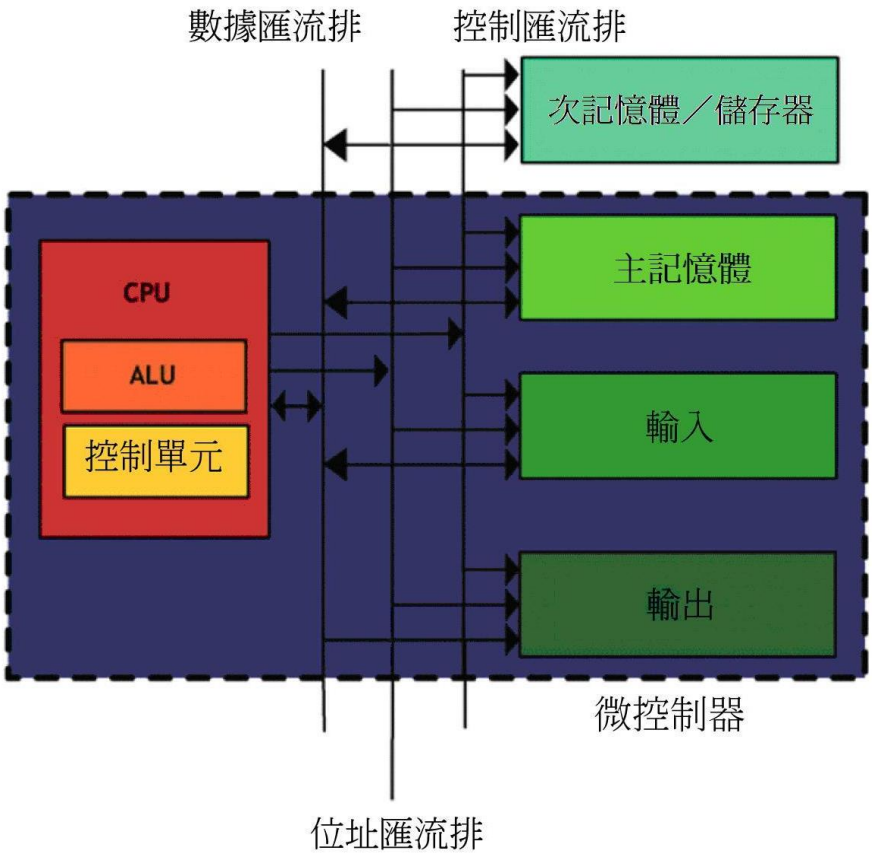
送出二進制代碼 (位址)，以確定用作內存的位置的一組線路

由於地址只能由中央處理器發布，所以信號是單向的。

(c) 控制匯流排（Control Bus）

傳送中央處理器發出的指令和裝置所回應的狀態信號。

每種類型的裝置都有各自的一套特定信號。



微控制器的重要組成部分

3.3.4 微控制器編程

(a) 指令和編程

電腦程式（Computer Program）是指一組用來指示電腦(或數碼裝置)每一步動作的指令。

程式通常用某種程式設計語言編寫，運行於某種特訂的電腦系統上。

微控制器需要使用一些特別的指令(instruction)來操作，但這些指令不易理解和編寫。

一些微控制器可以使用編譯器(compiler)把高階電腦語言編寫的程式轉換為適用的指令。

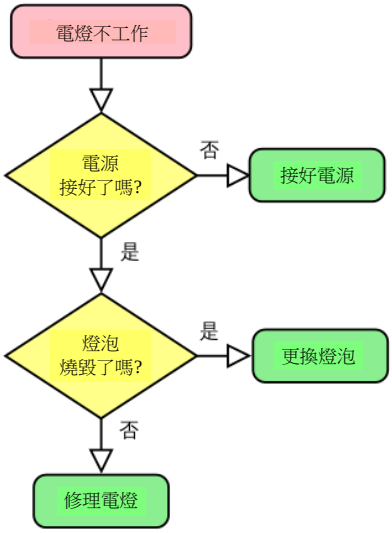
例子：8051 微控制器可使用有多種語言編譯器，如 C，C++，BASIC，Pascal 等。

(個別微控制的指令和語言編譯器的詳情請參閱有關的使用手冊)

編寫程式前應先考慮清楚有關的過程、算法和流程，可以使用流程圖和偽代碼輔助。

(b) 流程圖

流程圖利用一系列圖形來清楚地表示作業的過程、算法和流程。



(c) 偽代碼

偽代碼（pseudocode）是一種利用較易明白的語句來描述算法的方法。

目的是將整個算法運行過程的結構用接近自然語言的形式描述出來。

它未必是一種現實存在的編程語言，但會採相似的語法和格式，以便稍後轉換。

它可能綜合使用多種編程語言的語法、保留字，甚至會用到自然語言，例子如下：

偽代碼	PBASIC

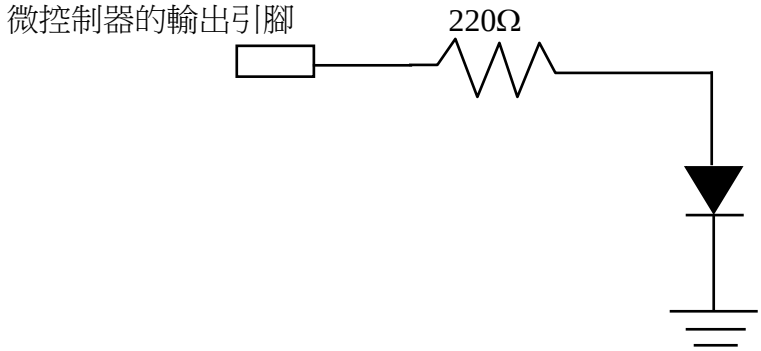
循環
　　檢查引腳是高或低
　　假如引腳狀態為高
　　執行某些指令
　　假如終結
循環 終結
	DO
	　　IF (IN x = 1) THEN
	　　Do something
	　　ENDIF
	LOOP

3.3.5 簡單介面

以下是一些微控制器應用簡單介面電路的例子。

例子 1：發光二極管的開與關 (數碼輸出)

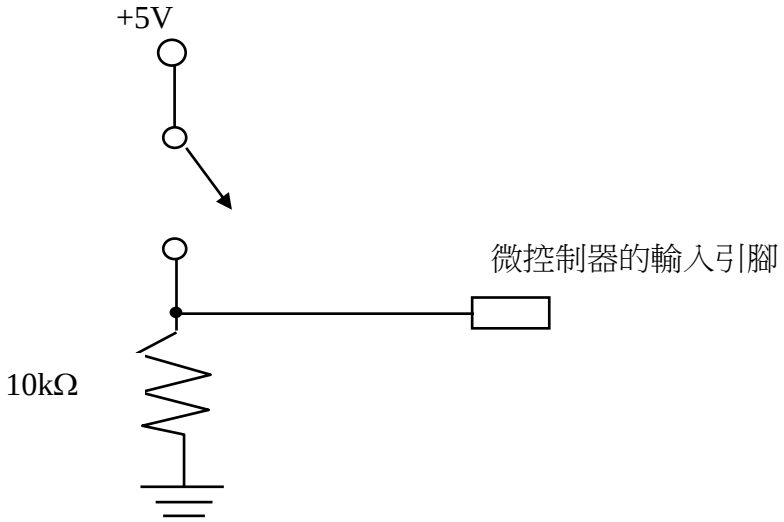
在下圖顯示的數字輸出電路中，微控制器採用了輸出引腳來設定發光二極管的開與關：



根據不同應用情況的需要，可以附加合適的信息，以決定二極管的開及關狀態。
例如，在一個交通燈系統中附設停止的信號，令紅燈處於開啟狀態。
前進的信號則令綠燈處開啟狀態，讓行人可依照交通燈信號來停步及前進。

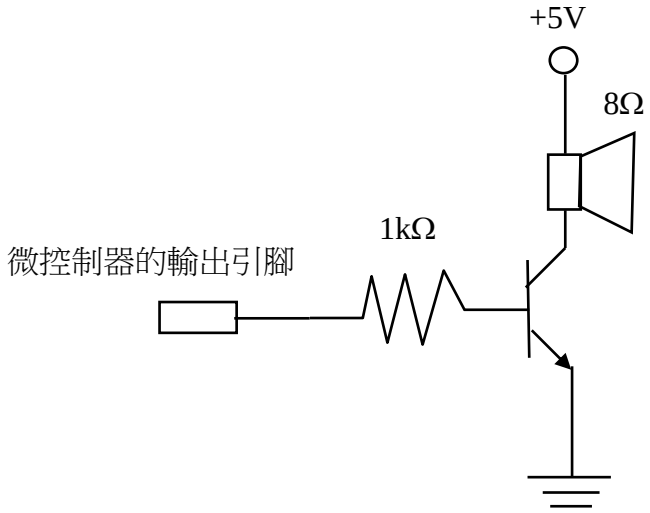
例子 2：感應按鈕的開或關

微控制器需要三個輸入：電源開啟的一方、微控制器另一邊的開關及接地連接。
如下圖所示，當開關開啟時，微控制器的輸入為 0 V (接地)。
如果開關關閉，微控制器的輸入為+5 V (即高或 1 的邏輯值)。



例子 3：連接擴音器

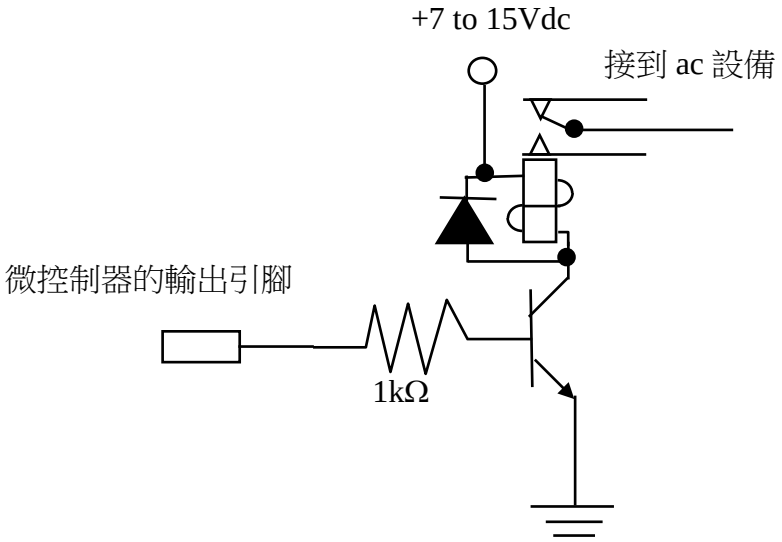
擴音器需要的電流比一個典型的微控制器所供應的電流更大。
可以使用晶體管來把微控制器的電流信號擴大，令足夠大的電流可操作擴音器。
(詳細參見第 1 章。)



連接擴音器到微控制器

例子 4：連接繼電器

一些以交流電源(如市電)運作的設備(如燈泡，電門鎖等)不能直接利用微控制器來操作。
可以把晶體管和繼電器連接到到微控制器系統上來解決有關困難。



連接繼電器到微控制器

當微控制器時輸出小電流時，該電流會通過晶體管，然後再流入接地。
該電流會操作晶體管，從而引致大電流從電源(7 至 15 伏特)通過繼電器和晶體管到接地。
當足夠大的電流流過繼電器時，它會閉合並使交流電設備正常操作。
(詳細參見第 1 章的繼電器。)

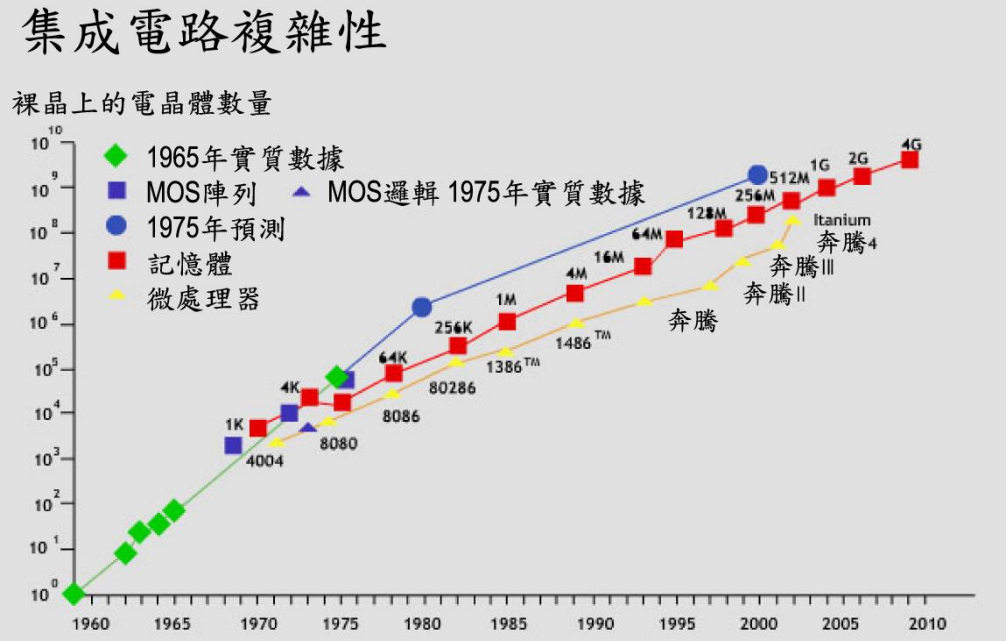
第四章 – 電子於現代社會的演進

4.1 電子產品微型化

微型化的趨勢在電子產品方面已出現多時，如：流動電話、電腦和攝錄機等。
在可預見的將來，微型化的趨勢相信將會持續下去。
集成電路設計技術的提升及封裝技術的創新是電子產品微型化的關鍵。

4.1.1 集成電路設計技術的提升

摩爾定律 : 集成電路上的晶體管數量會每 18 至 24 個月增加一倍。
下圖顯示不同年份放置在晶片的組件數量：



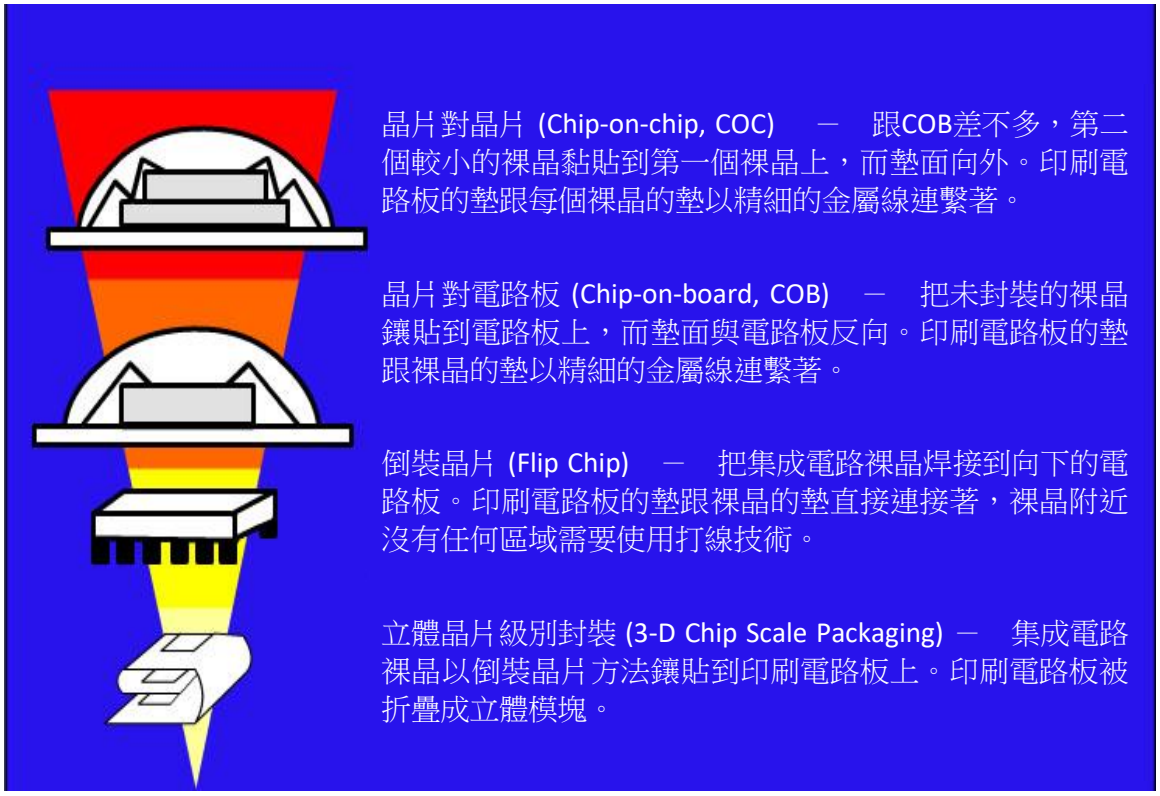
集成電路的生產量性

越來越多的晶體管放置在同一個集成電路內，可導致三個可能的現象：
(a) 電子產品的微型化
(b) 相同的晶片功能，但更強的能力
(c) 集合更多功能的集成電路

4.1.2 製造技術的提升

封裝技術的創新也有助於電子產品微型化的趨勢，包括表面裝配封裝。

下圖顯示晶片的微型化過程：



微型化過程

4.1.2 微型電子產品

許多新開發的治療和保健輔助工具都適當地利用微型電子設備的優點，以下是兩個例子。

(a) 人工視覺

以透過在眼睛內植入一片小半導體晶片，造成人造視網膜。

當光線射入晶片，便會在視神經產生電刺激，使視力可恢復至一定程度。

(b) 助聽器

新式微型電子助聽器分為兩部分，分別裝在耳朵背後及內部。

耳朵背後的助聽器可檢收聲音，並以電線傳送到耳內的助聽器。

聲音令耳內的助聽器產生電刺激，並直接傳到聽覺神經，使聽覺恢復至一定程度。

4.2 會聚科技的影響

4.2.1 會聚是甚麼？

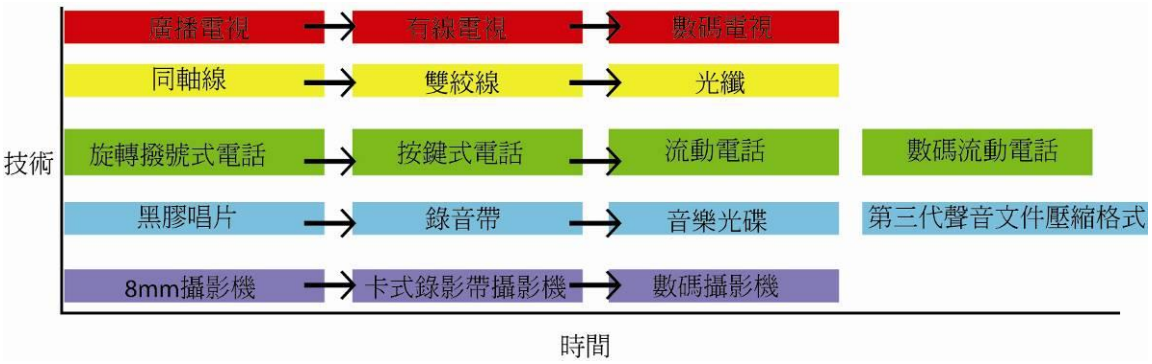
會聚就是把兩個或以上過往獨立的產品，結合起來，作出創新，以產生更大的價值。

4.2.2 不同類型的會聚

會聚可按產品的性質而分成不同類型，包括媒體，連通性和設備。

(1) 媒體會聚

各類信息會以不同的媒體(如文字、圖像等)表達和不同的設備(如紙張、畫布等)處理。隨著技術的進步，各類型的信息(如音樂)由模擬轉換成數碼(如 0 和 1 的二進制) 模式。下列圖表顯示了產品從模擬領域轉換到數字領域的歷史：

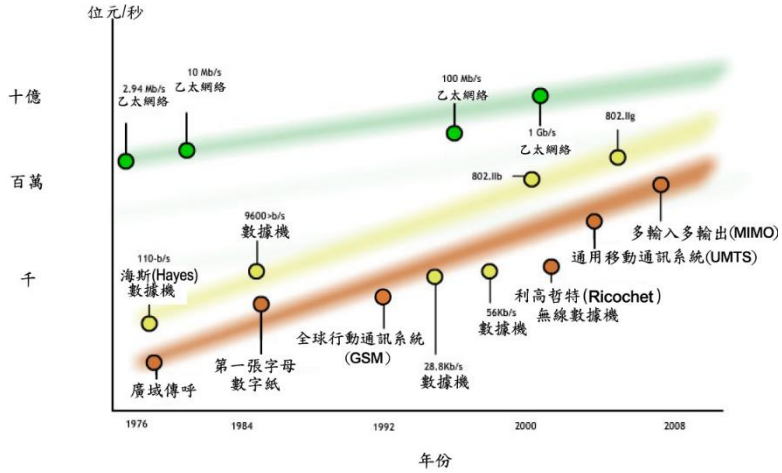


數碼化被認為是會聚的根本，它統一了各類型信息(如:文字、音樂、圖片、電影等)，令它們可以同樣的設備、技術、網絡傳送和讀取。

(2) 連通會聚

(i) 連通性增長

在電信世界內的各種技術均以類似於摩爾定律的模式來增長，如網絡速度。



連通性增長

(ii) 普世連通

網絡越來越快和普及，人類差不多在每一個地方都使用網絡(有線或無線)。
流動網絡已幾乎覆蓋大城市的每個角落，發達國家的六成家庭已連接到互聯網。

隨著網絡日益普及，現在的產品設計都設有連通性(從網絡遊戲至在線音樂商店)。

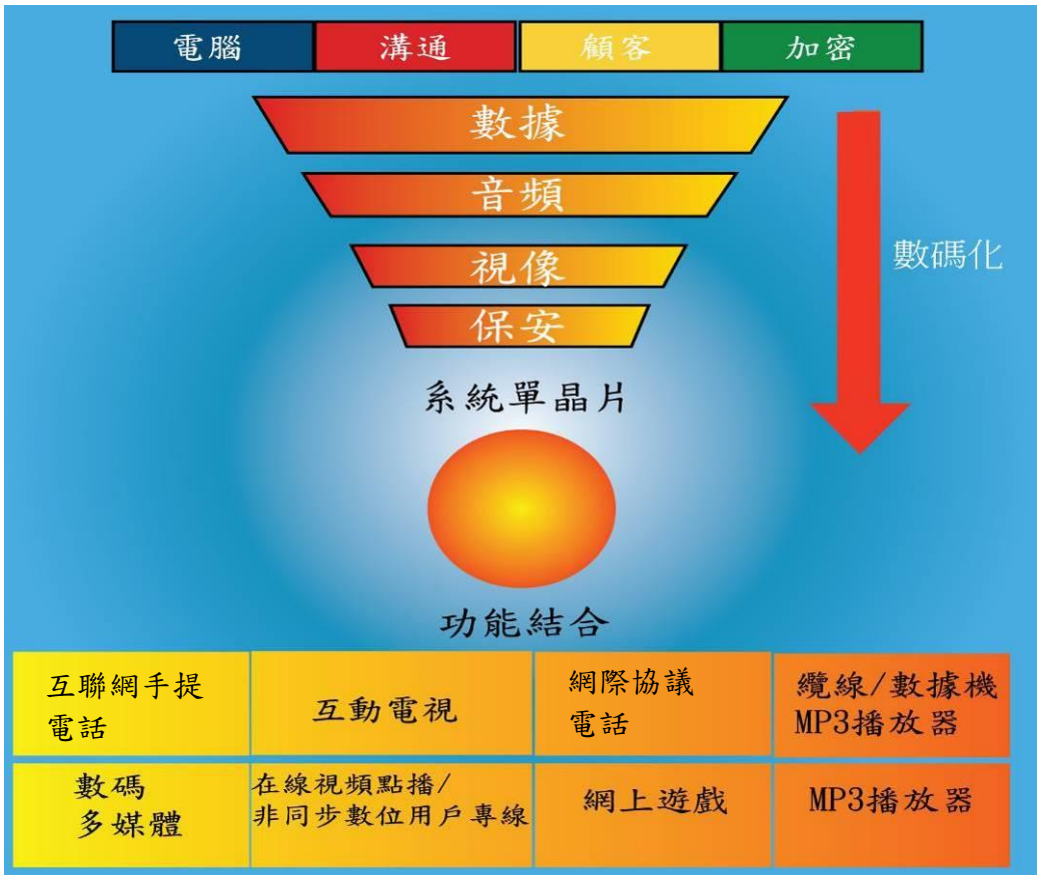
會聚性連通 (寬頻或無線)的電子產品(如健康監測器)比沒有連通設備產品具有更大價值。

(3) 設備會聚

當一個設備的功能越強，更容易令更多的功能會聚到它身上，如流動電活。

設備會聚令不同市場的公司互相競爭，例如：手機及數碼相機、音樂播放器等。

消費者可選擇單功能的專門設備和多功能的一般設備。



4.3 新興科技的影響

4.3.1 新興科技

新與科技是指各種正在發展而有極大潛力改變現狀和未來的科技，以下是一些例子。

(a) 無線射頻識別

無線射頻識別技術是利用無線電信號來自動識別物件。

無線射頻識別閱讀器可在數米內或視線之外讀取物件上的電子裝置(標籤)。

標籤可分為兩大類型 : 主動標籤和被動標籤。

主動標籤利用集成電路儲存和處理信息，再通過天線進行接收和發送射頻信號。

被動標籤可以低成本地直接打印到在物件上(沒有晶片)，然後由識別閱讀器讀取。

無線射頻識別技術的應用範圍可以非常廣泛，例如：

- 庫存追蹤和管理、供應鏈管理
- 圖書館管理員、票務代理人或保健專業人士等的資產追蹤
- 控制建築物和網絡的進出
- 非接觸式付款

(b) 近場通信

近場通信技術建基於無線射頻識別的無線雙向通信技術。

它可以令設備能夠在少於 10 厘米左右的距離快速地交換信息。

它還可以與現有的無線射頻識別設施及非接觸式智能設施 (如智能卡) 溝通。

它也可以在不採用電池組的設備上工作 (如智能海報)。

近場通信主要為流動電話而設，應用範圍包括：流動售票、流動付款、電子鑰匙等。

(c) 智能塵埃

智能塵埃是一個微型電子設備，內含傳感器(如檢測溫度)、微控制器和無線通信裝置。

輕盈的智能塵埃可以被散播到空氣中，收集和送出需要的數據(如位置和溫度)。

智能塵埃可以有許多應用，包括 :

- 應用在體感遊戲中，例如：佩戴在手指上，虛擬彈奏鋼琴，並播出琴音。
- 散佈在廣泛地區，即時發送災害警告，例如 : 水浸和地震。
- 追蹤指定目標，例如：軍事上用作追蹤敵方的軍車，醫療上追蹤腦退化病人等。
- 顯示環境資料，例如：大量分佈在辦公室，以檢測不同位置的溫度和光暗度等。