

# 基礎物理實驗(三)

參考書：

1. 實驗物理方法，呂助增 鄭伯昆合著 聯經出版社(民79年)
2. Experimental Physics, R.A. Dunlap, Oxford University Press(1988)

# 實驗內容

1. 直流與交流訊號
2. 輸入與輸出阻抗
3. 二極體的特性
4. 運算大器的使用方法(一)
5. 運算大器的使用方法(二)
6. 應用電路介紹
7. 臨界現象
8. 受迫阻尼振盪
9. 電子荷質比
10. 熱輻射

# Outline

1. 數據處理
2. 被動電子元件
3. 電路理論
4. 主動電子元件
5. 運算放大器
6. 應用線路
7. LRC 電路與阻尼振盪
8. 偵測器
9. 雜訊屏蔽

# 1. 數據處理

# 誤差

人爲誤差

儀表誤差

物理本質性實驗值變動：noise。

“真值”：巨觀物理量的平均值。採用系綜平均或時間平均。

量測造成的干擾

# 精密度(Precision)和準確度(Accuracy)

準確度:

量測值和真值的符合程度。

精密度

量測本身的正確性，或再現性。

隨機誤差：有限次量測造成的精密度誤差。

系統誤差：無窮次量測結果和真值的差異。

# 平均值與標準差

母分佈(parent population)

平均值  $\bar{x}_N = \frac{\sum_i x_i}{N} \quad \mu = \lim_{N \rightarrow \infty} \bar{x}_N$

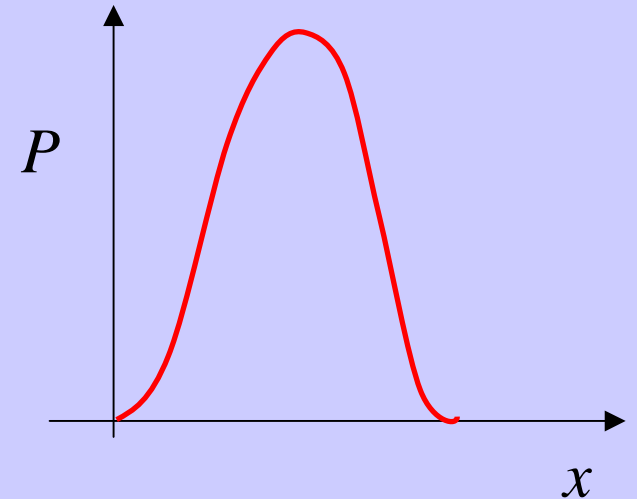
標準差

估計量測平均值和真值間的誤差。

$$\sigma^2 = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\sum_i (x_i - \mu)^2}{N}$$

取樣偏差  $S$

$$S^2 = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x}_N)^2}{N-1}$$



取樣變動量  $S^2$

# 誤差的推衍

$$x = x(U_1, U_2, \dots, U_m)$$

如果 $U$ 變數的變動是獨立的

$$\sigma_x^2 = \sum_j \sigma_j^2 \left( \frac{\partial x}{\partial U_j} \right)^2$$

測量值的誤差

$U$ 變數的誤差



# 常見之母分佈

二項分佈:

$$P = \frac{N!}{x!(N-x)!} p^x (1-p)^{N-x}$$

$$\mu = Np \quad \sigma^2 = Np(1-p)$$

**Poisson**分佈:

$$\begin{aligned} N &\rightarrow \infty \\ p &\rightarrow 0 \end{aligned} \quad P = \frac{\mu^x}{x!} e^{-\mu}$$
$$\sigma^2 = \mu$$

**Gaussian**分佈:

$$P = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$$

# 真值的估計與誤差

對Gaussian分佈，取樣平均是真值的最佳估計值

$$\mu' = \frac{\sum_i x_i}{N}$$

誤差估計：

$$\sigma_{\mu'}^2 = \sum_i \sigma_i^2 \left( \frac{\partial \mu'}{\partial x_i} \right)^2 = \frac{1}{N^2} \sum_i \sigma_i^2 = \frac{\sigma^2}{N}$$

可用取樣偏差來代替

$$\sigma_{\mu'}^2 = \frac{S^2}{N}$$

若每次實驗的精準度不同，則需要加權平均

$$\mu' = \frac{\sum_i x_i / \sigma_i}{\sum_i 1 / \sigma_i}$$

誤差為

$$\sigma_{\mu'}^2 = \frac{1}{\sum_i 1 / \sigma_i^2}$$

# 最小平方法

給定 $N$ 組實驗值： $x_i, y_i$

$y = f(x)$  加上未定參數  $\alpha_j$

實驗值和理論值的距離平方最小  $\chi^2 = \sum_i (y_i - f(x_i))^2 / \sigma_i^2$

最佳的參數選擇滿足  $\frac{\partial \chi^2}{\partial \alpha_j} = 0$

例如linear regression

## 2. 被動電子元件

# 直流與交流電路

**Skin depth** 交流電流僅能深入導體的深度

$$\delta = c / \sqrt{2\pi\mu\omega\sigma}$$

例如：銅  $\delta=0.85\text{cm}@60\text{Hz}$ ,  $7.1 \times 10^{-3}\text{ mm}@10^8\text{Hz}$

高頻訊號僅經由空氣或導體表面傳遞。

例如經由波導管(wave guide)來傳遞

真空阻抗(intrinsic impedance) :  $\left| \frac{E}{H} \right| = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi(\Omega)$

傳輸線的阻抗 :  $\sqrt{\frac{l}{c}}$

H/m

F/m

# 電力傳輸

電力輸送時提高電壓是爲了減少輸送途中的電力損失。交流電可以很容易利用變壓器來升壓或是降壓，所以世界各國大都運用交流電來輸送電力

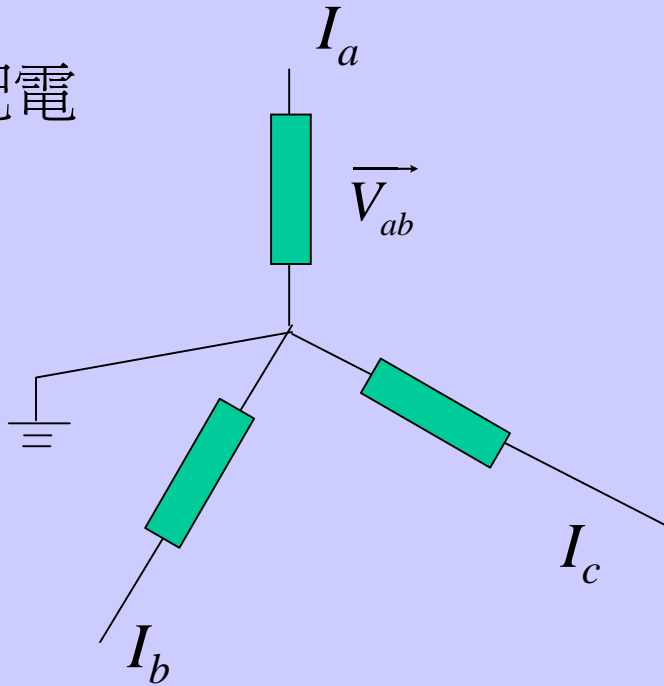
我國配電的方式爲交流配電，無直流配電系統。交流配電方式以相別分類有：單相式、二相式及三相式；以導線數分類則有單相二線式、單相三線式、二相三線式、二相四線式與二相五線式、三相三線式、三相四線式等。

火線與地線(中性線)：我們慣用的兩孔插座，兩個插孔的大小是不一樣的，較大的插孔是用來連結地線的。

# 電力的配置

110/208V

Y形配電

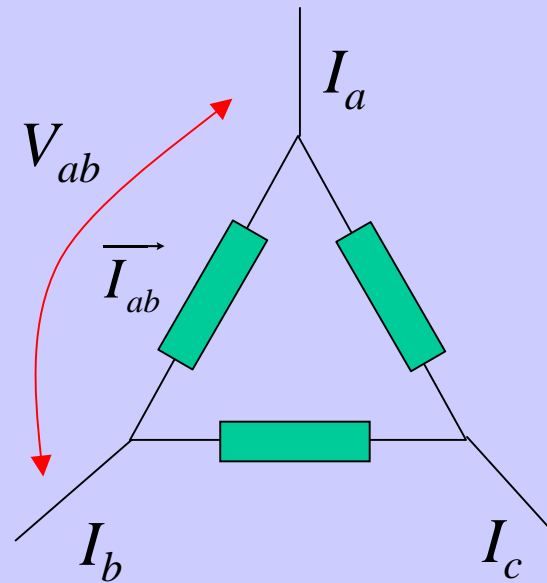


$$V_a = |\vec{V}_{ab} + \vec{V}_{ac}| = \sqrt{3} |\vec{V}_{ab}|$$

相位差120度

電廠輸出

Δ形配電

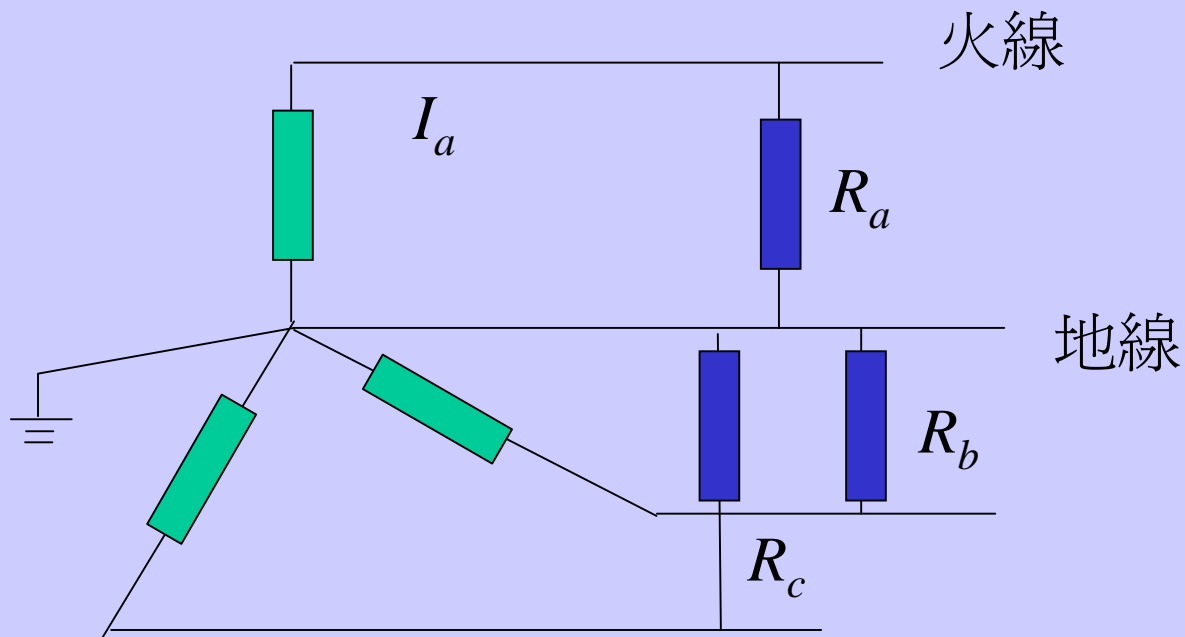


$$I_a = |\vec{I}_{ab} + \vec{I}_{ac}| = \sqrt{3} |\vec{I}_{ab}|$$

變電所負載

# 電阻式負載

如燈具，加熱器



平衡的負載使得地線電流幾乎為零



# 電抗式負載

如馬達

電流和電壓不是同相位

例：三相馬達相位差為 $\theta$

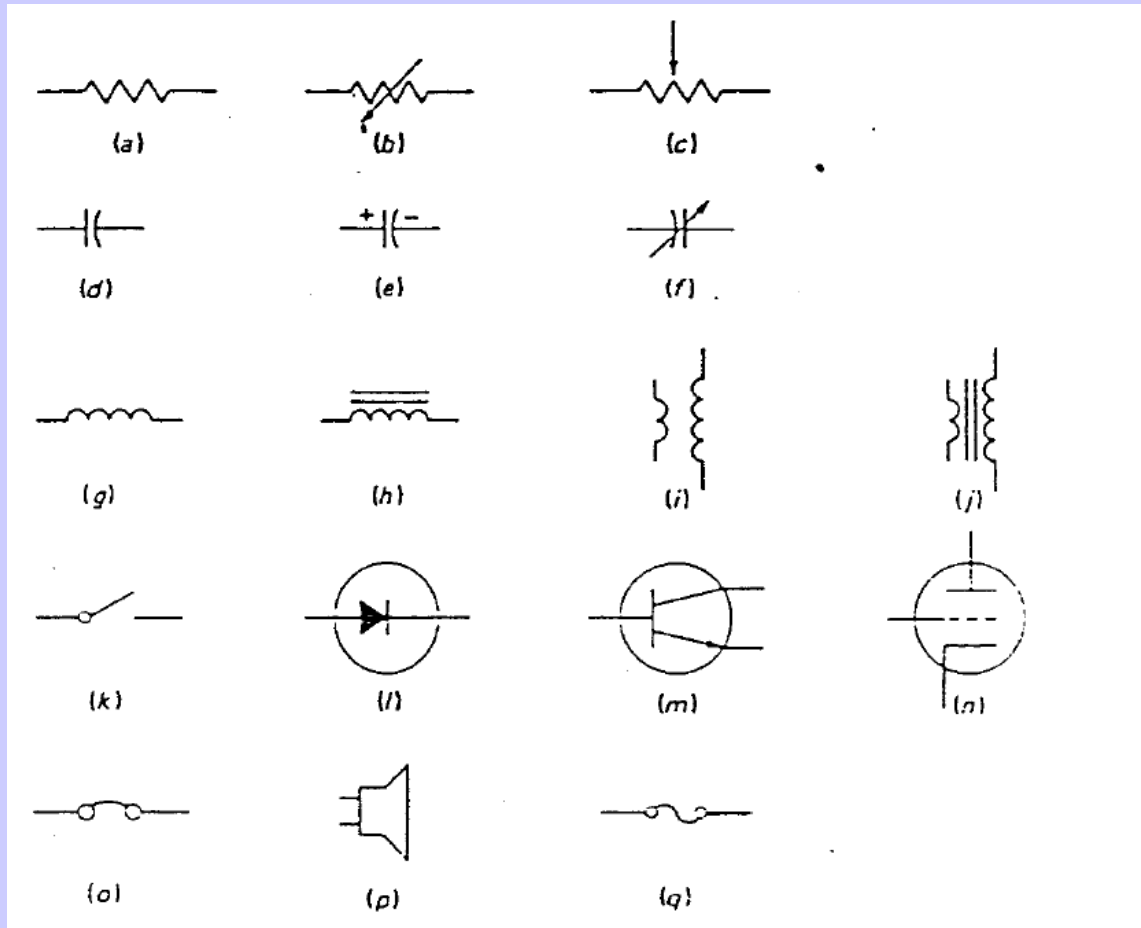
$$P = 3E_a I_a \cos \theta = \sqrt{3} E_{ab} I_a \cos \theta = \sqrt{3} EI \cos \theta$$

若 $\theta$ 大，實功率小，傳輸線上的電流焦耳熱耗損比例高

⇒ 馬達空轉時，耗損很高。

解決方法：在線路上並聯電容器可以減少相位差

# 電子零件符號



- (a) 電阻
- (b) 可變電阻
- (c) 電位計
- (d) 電容
- (e) 極性電容
- (f) 可變電容
- (g) 電感
- (h) 鐵心電感
- (i) 變壓器
- (j) 鐵心變壓器
- (k) 開關
- (l) 二極體
- (m) 電晶體
- (n) 三極真空管
- (o) 耳機
- (p) 揚聲器
- (q) 保險絲

# 電阻條碼

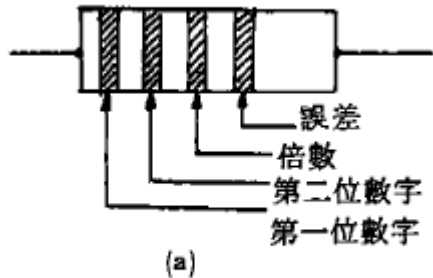
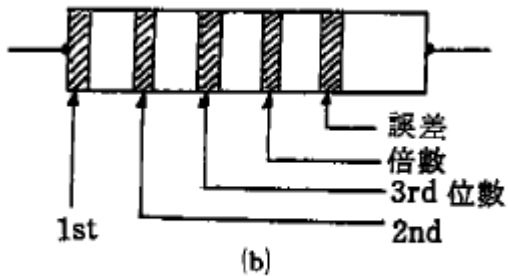


圖 3-6 (a) 浸碳及(b)



金屬膜電阻之顏色標幟

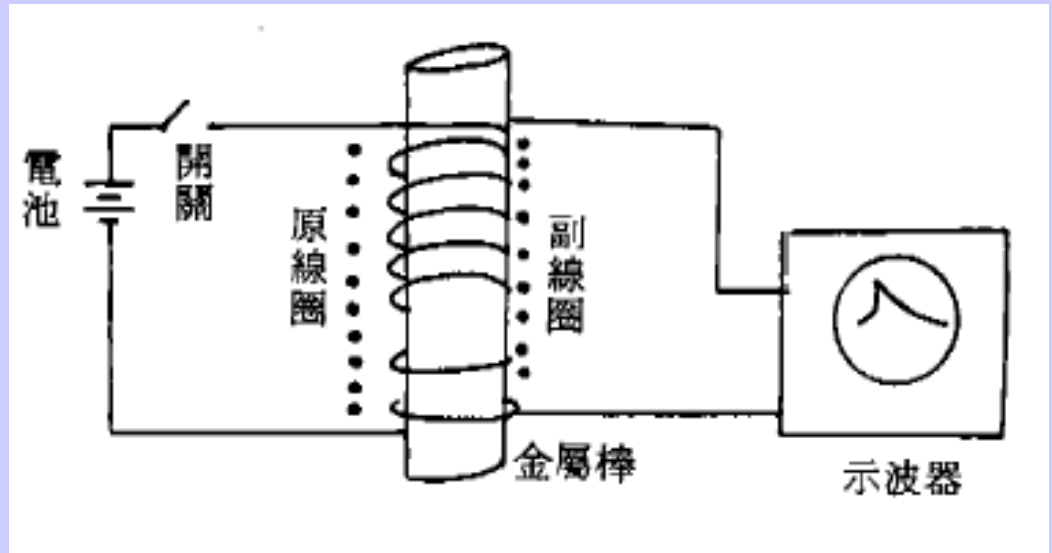
顏色	數字	倍數	碳阻之 容忍誤差	金屬膜之 容忍誤差
黑色	0	$10^0$	20%	0
褐色	1	$10^1$	1%	1%
紅色	2	$10^2$	2%	2%
橙色	3	$10^3$	3%	
黃色	4	$10^4$		
綠色	5	$10^5$	5%	0.5%
藍色	6	$10^6$	6%	0.25%
紫色	7	$10^7$	12.5%	0.1%
灰色	8	$10^{-2}$	30%	0.05%
白色	9	$10^{-1}$		
銀色		$10^{-2}$	10%	10%
金色		$10^{-1}$		

使用上需注意瓦特數和耐壓數

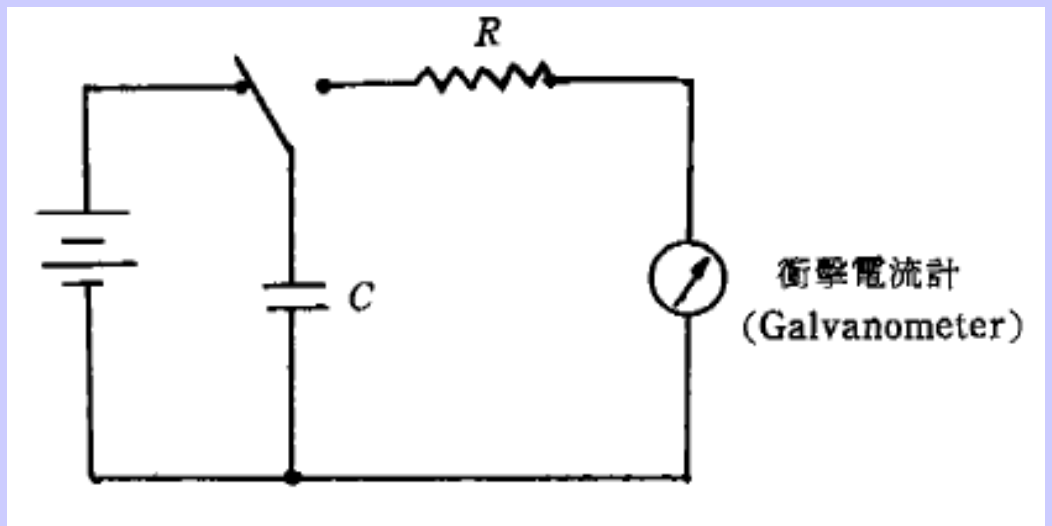
# 低電阻的測量

## 電流衰退法

(例如超導電阻  
的量測)

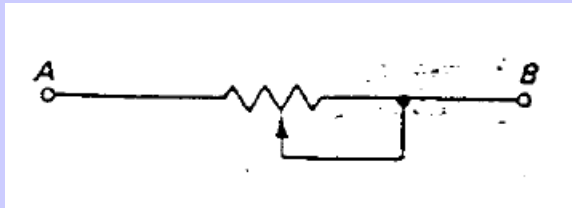


## RC電路充放電法

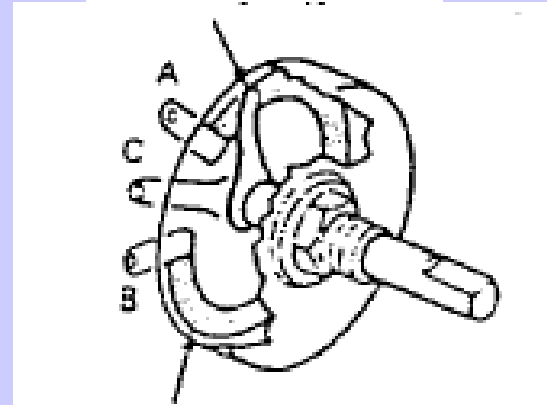
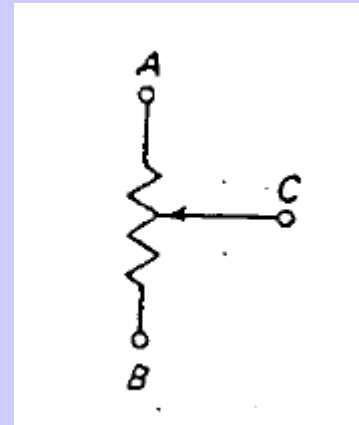


# 可變電阻

變阻器(rheostat)



電位計(potential meter)



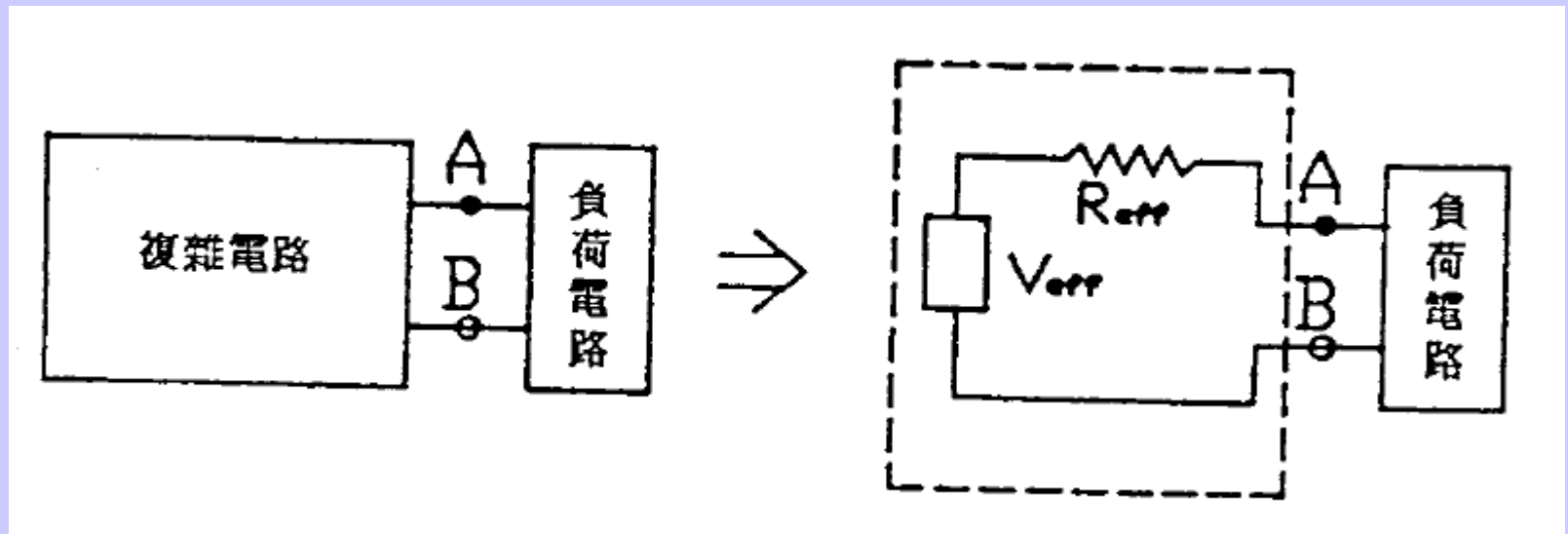
# 電容

使用上需注意耐壓數及極性(電解質電容)

多倍數變壓器：應用電路

# 3. 電路理論

# 戴維寧(Thevenin)等效電路

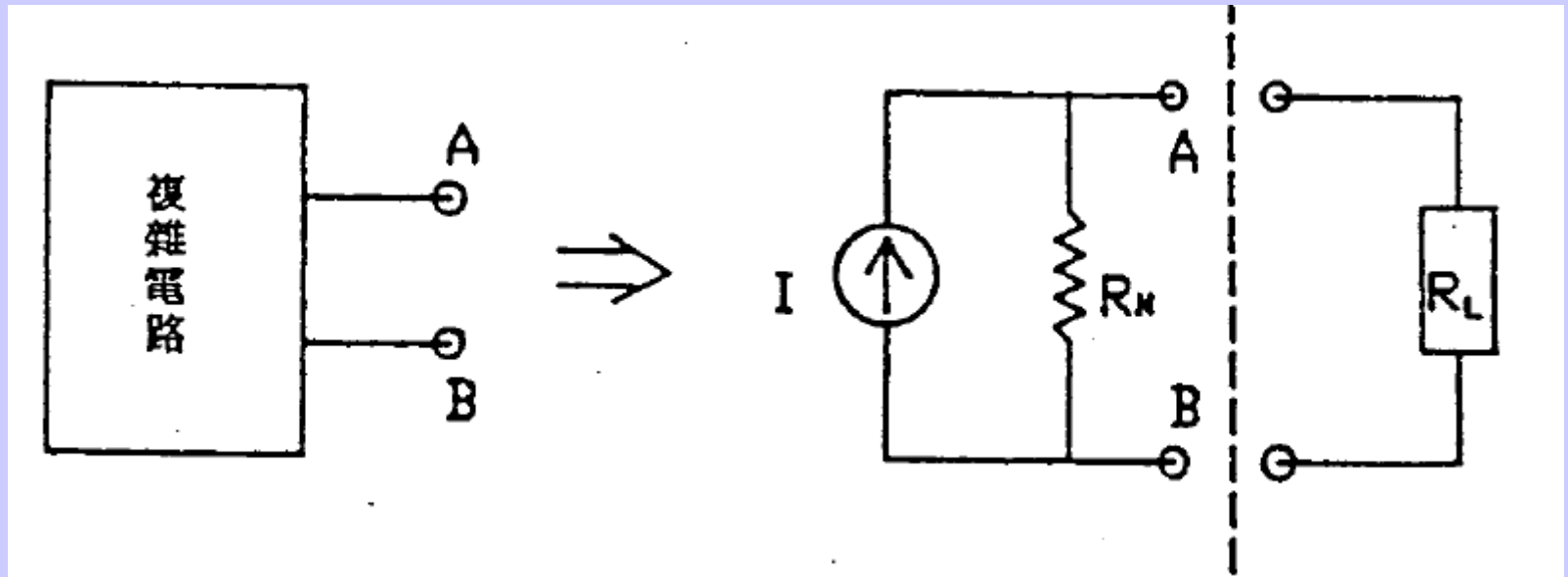


求 $R$ 的方法：將電路中的源都關掉，由外界看到的電阻值

求 $V$ 的方法：改變負載使得電流為零，此時的  $V_{AB}$



# 諾頓(Norton)等效電路



求 $R$ 的方法：將電路中的源都關掉，由外界看到的電阻值  
求 $I$ 的方法：將 $AB$ 短路使得電壓 $V_{AB}$ 為零，此時的電流大小

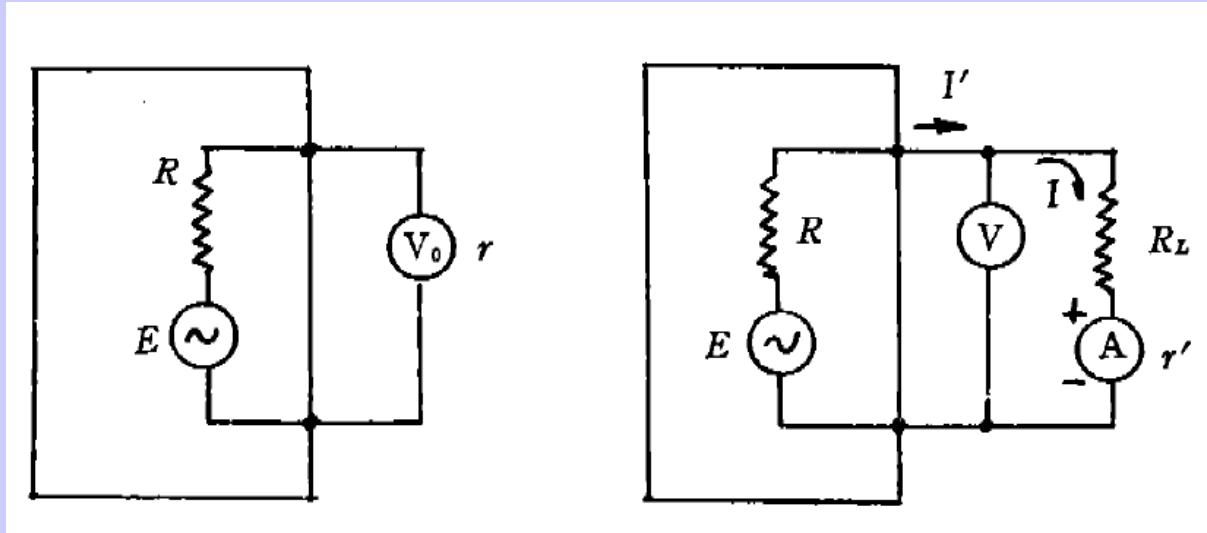
# 輸入輸出阻抗

簡易輸出阻抗量測：

無負載電壓-負載電壓

---

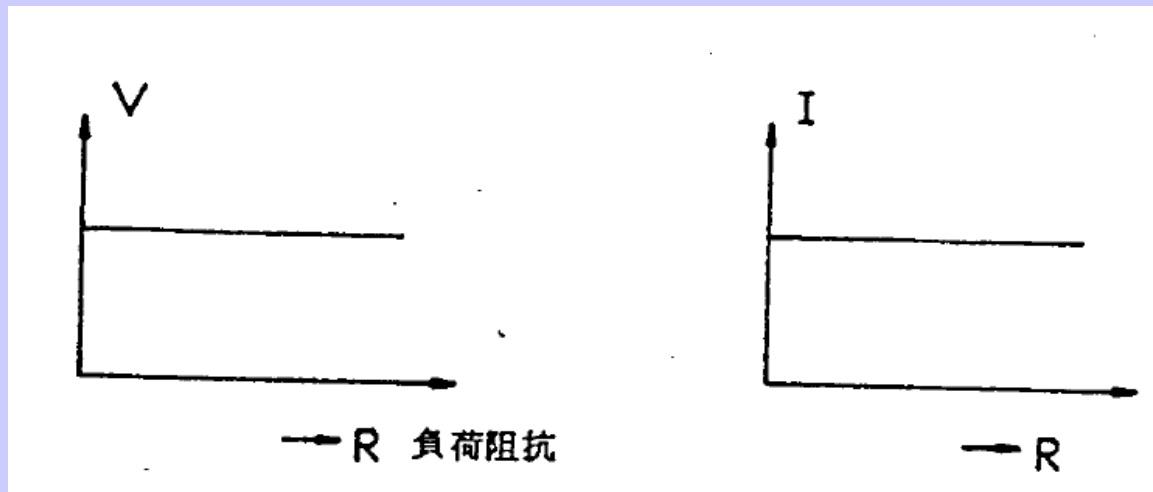
有負載電流



# 負載效應

輸出或輸入電壓（或電流）是負載電阻或訊號源之輸出電阻的函數。

## 電源特性



恆壓源

$$R_{\text{load}} \gg R$$

恆流源

$$R_{\text{load}} \ll R$$

# 線性疊加原理

若線路中有多個源，考慮各獨立源所造成的 $I_i$ 和 $V_i$

則整體所造成的 $I$ 和 $V$ 為 $I_i$ 和 $V_i$ 的疊加

# 交流電路

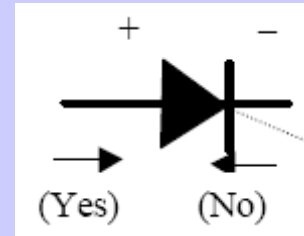
參考孫允武老師講義

## 4. 主動電子元件

# 二極體(diode)

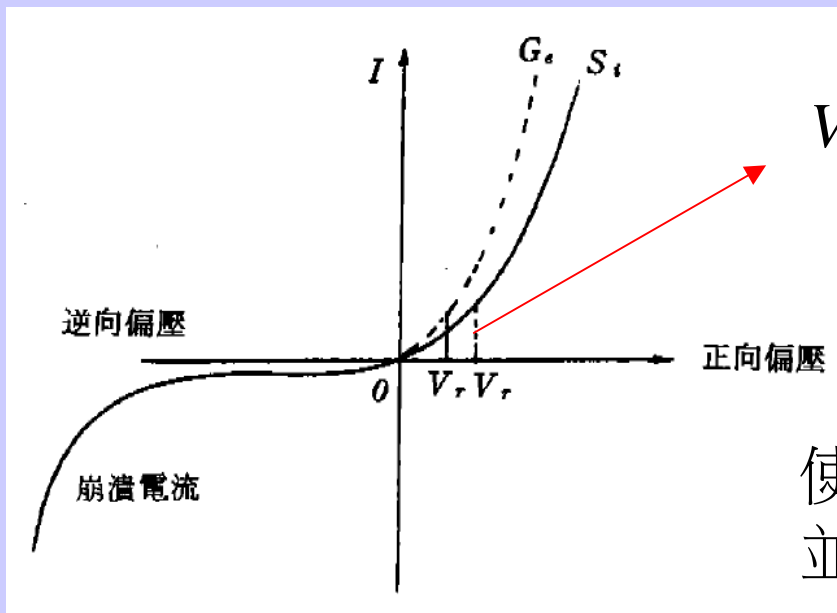
電流的單行道。

有pn接面及金半接面(Schottky)



$$I = I_0 \left[ \exp(qV / k_B T) - 1 \right]$$

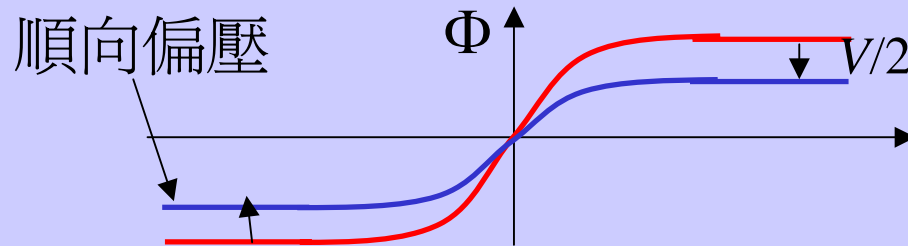
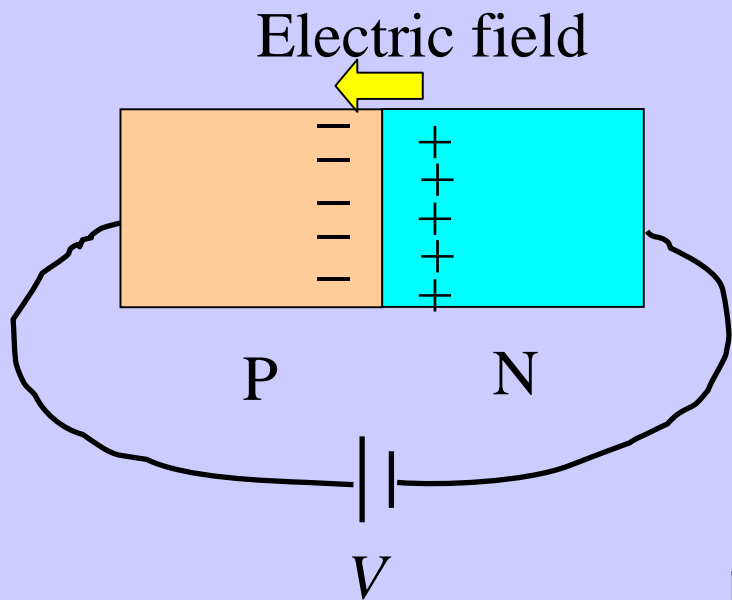
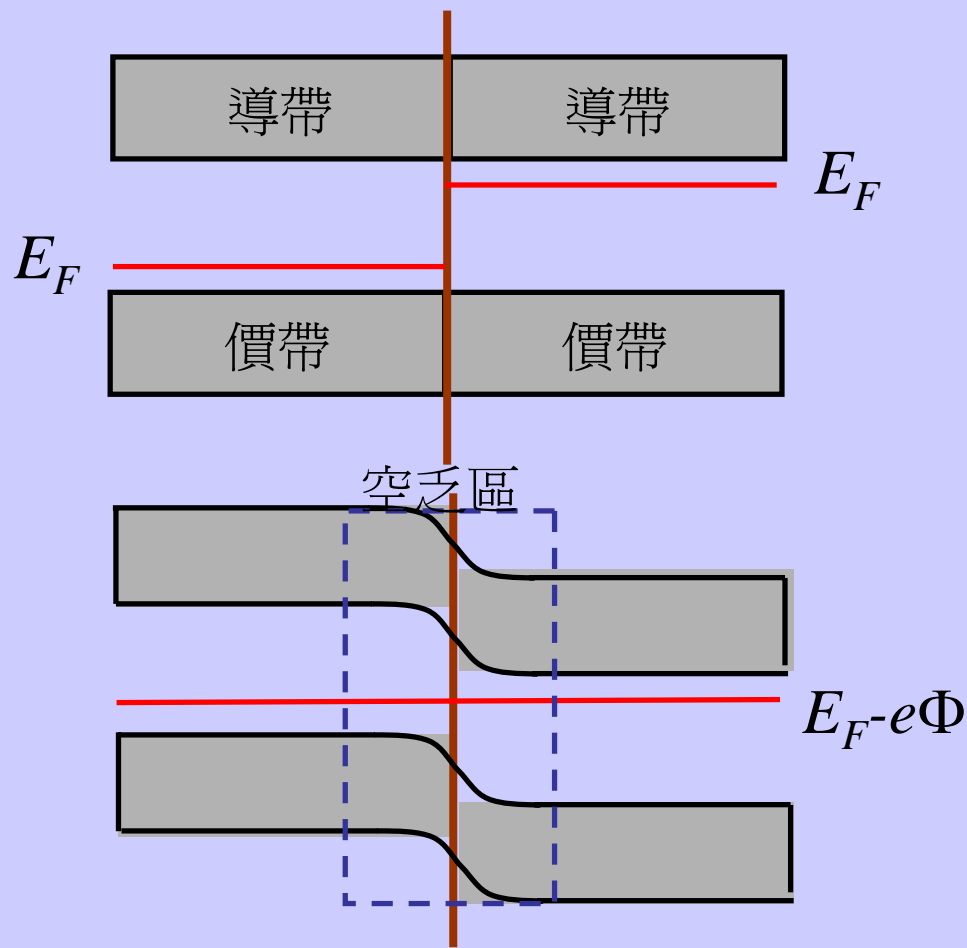
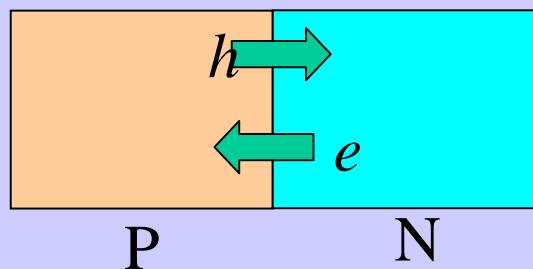
$I_0$ : 逆向飽和電流      $q$ : 電子電荷



$V_r$ : 臨界電壓 : Si 0.6V, Ge 0.3V

使用上要注意耐壓數和耐流數  
並注意不可使其崩潰

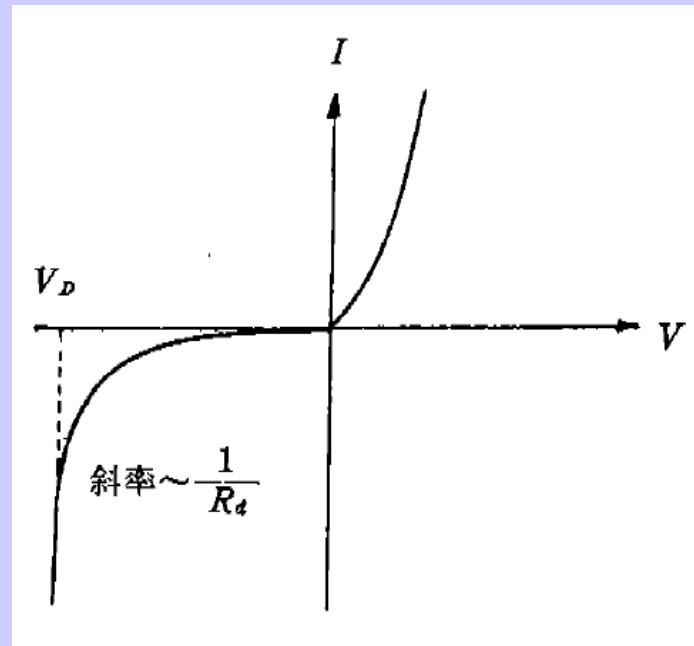
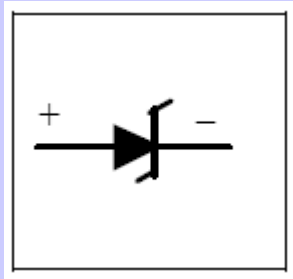
# PN 接面原理



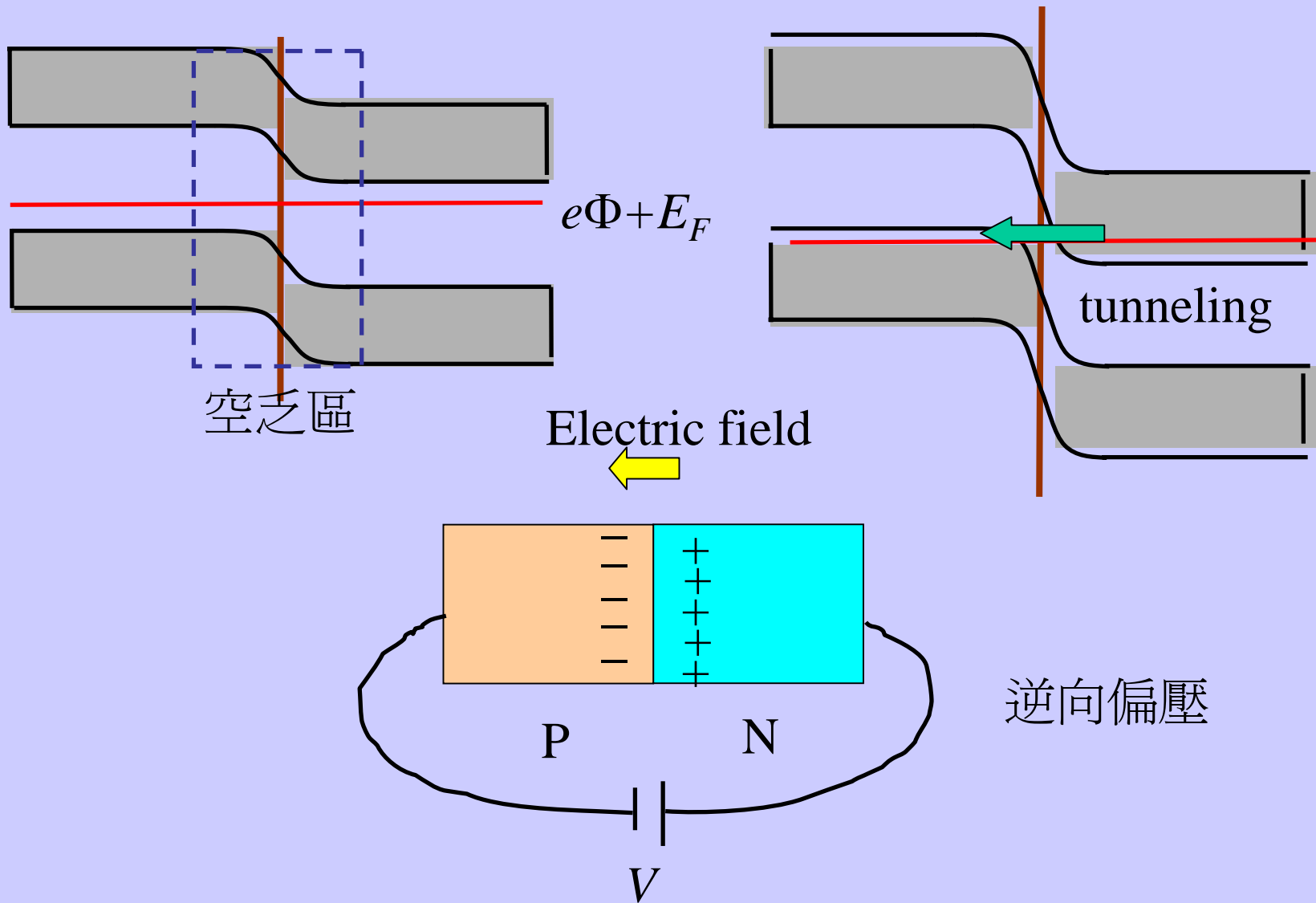


# Zener 二極體

崩潰電壓： $V_D$ 。崩潰後可恢復，除非功率過大。



# Zener tunneling



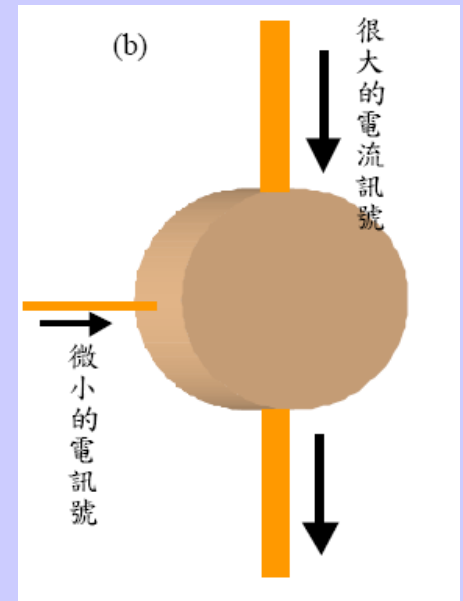
# 電晶體(transistor)

主要功能是做電流的開關。分成兩大型態：

雙極性接面電晶體(**bipolar junction transistor, BJT**)

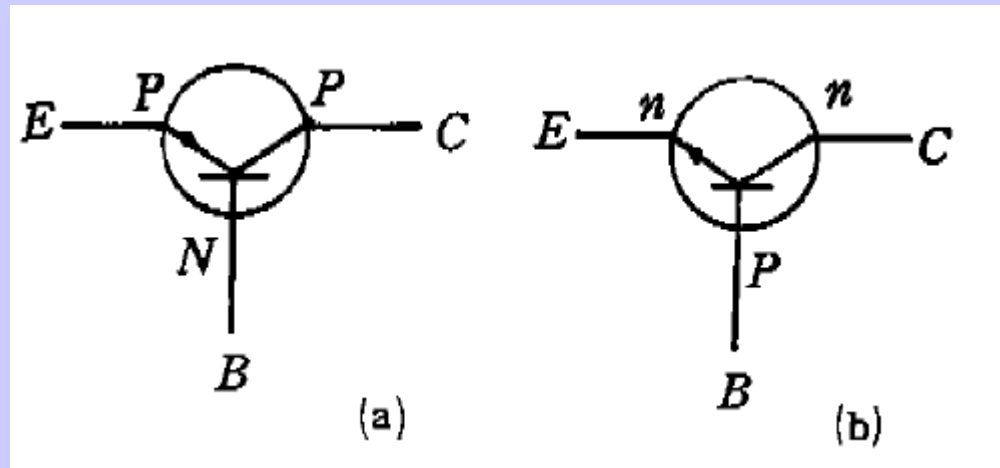
場效電晶體 (**field effect transistor, FET**)

電晶體的發明：1947由John Bardeen  
Walter Brattain, 和William Shockley發明  
三人同獲1957年Nobel prize



# BJT

有PNP和NPN兩種



E：射極，B：基極，C：集極

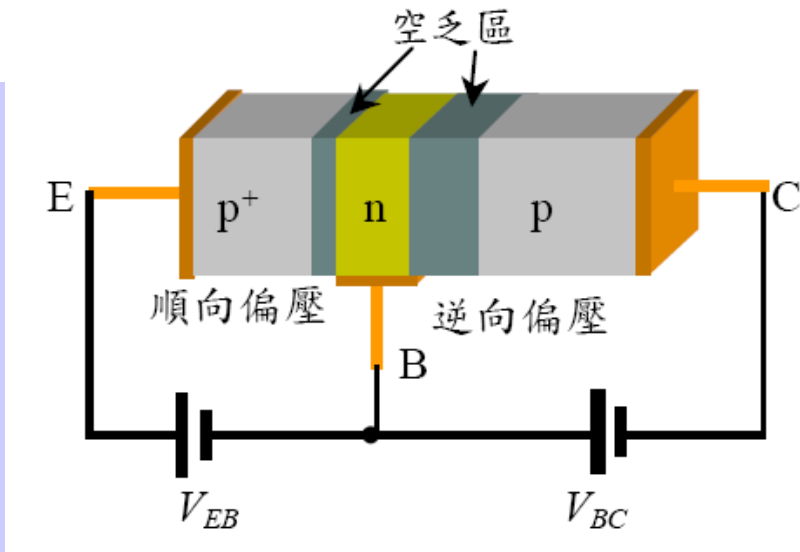
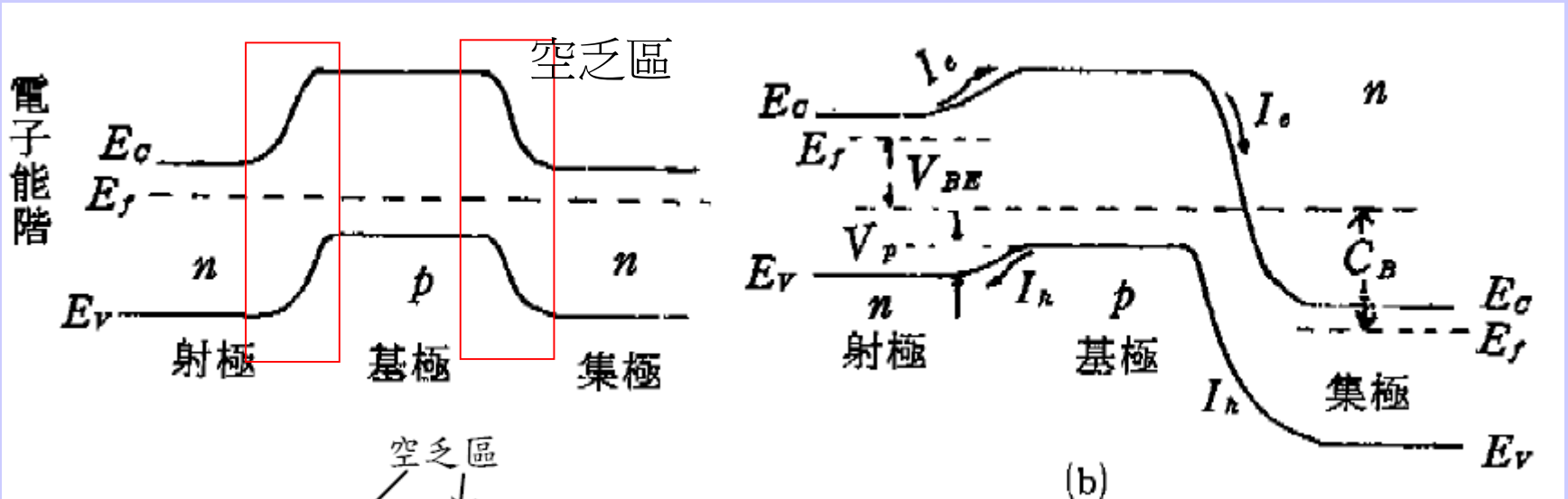
射極的載子濃度很高  
集極的載子濃度最低



提高電晶體效率， $I_C$  接近  $I_E$

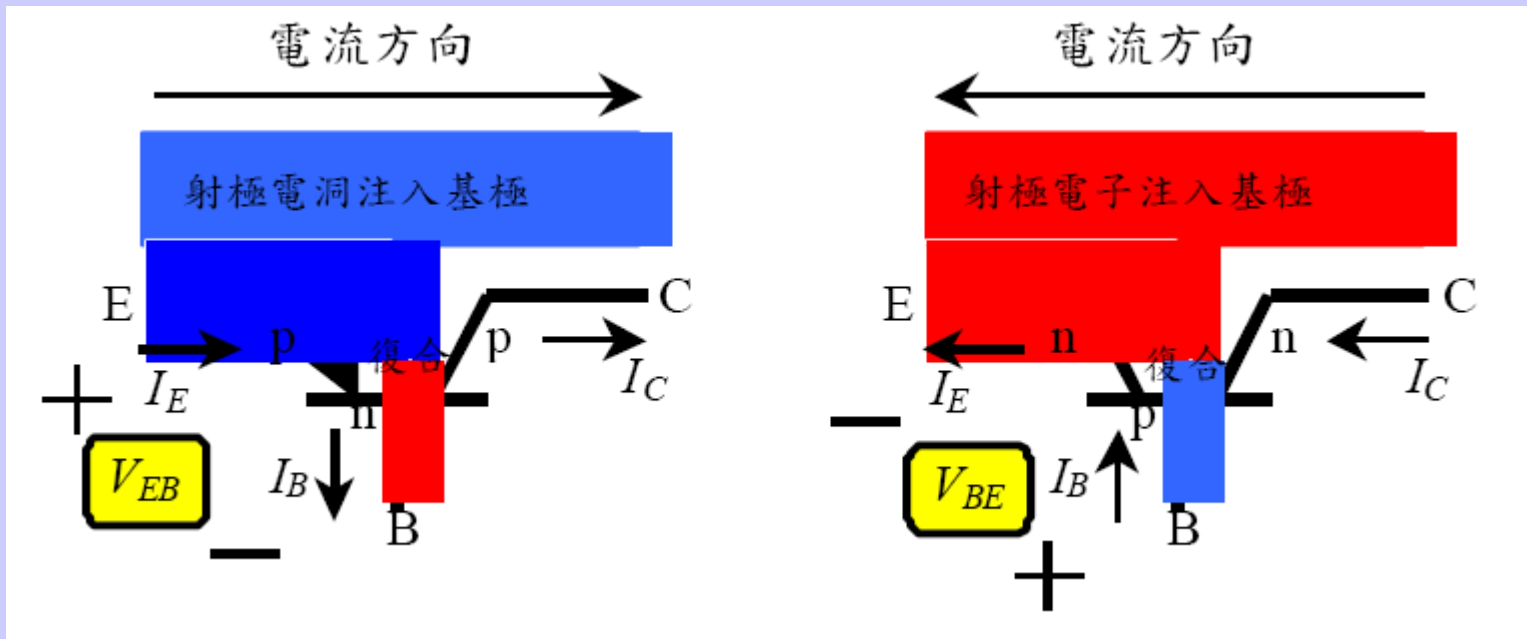
# 順向活性偏壓

NPN電晶體的電子電洞能階



PNP電晶體與空乏區

# 順向活性區的操作



電晶體的效益可以由在順向活性區時，射極電流中有多少比例可以到達集極看出，這個比例稱做 $\alpha$ ，通常在0.9以上。

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} < 1$$

# 電流增益

共基極電流增益

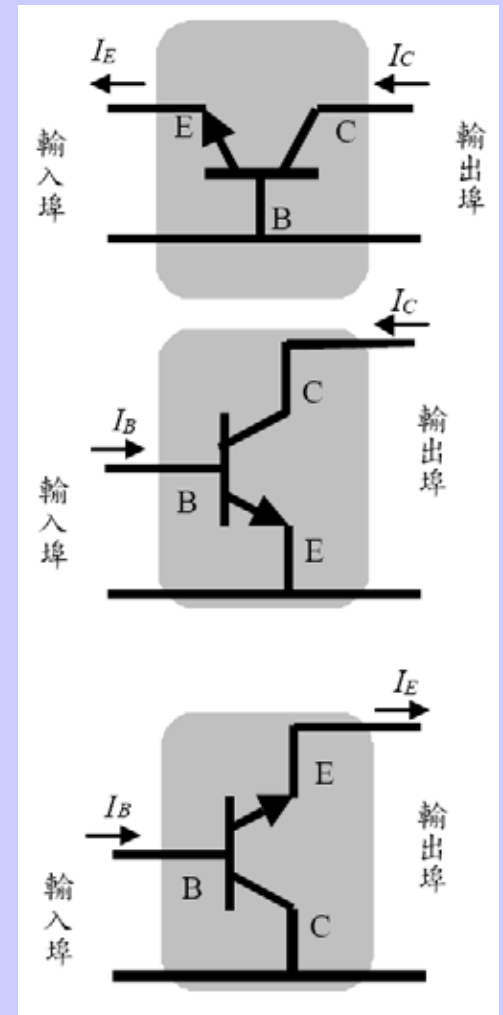
$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$$

共射極電流增益

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

共集極電流增益

$$I_E = (1 + \beta)I_B$$



# 共射極特性曲線

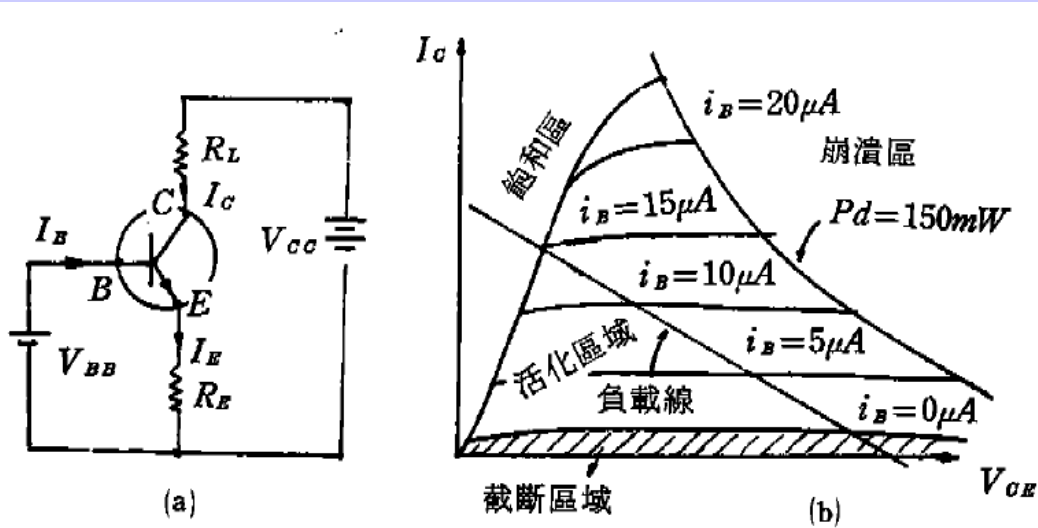


圖 5-4 (a) NPN 電晶體共射極之偏壓線路及(b)輸出特性曲線

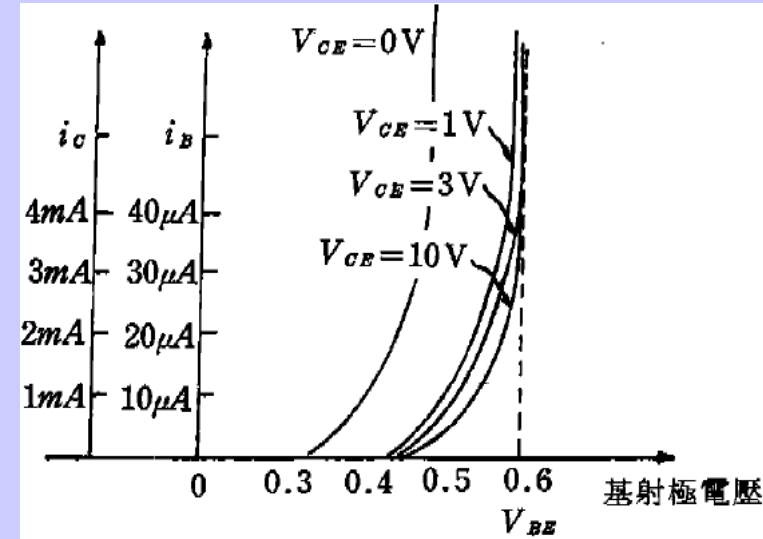


圖 5-5 電晶體之輸入特性曲線

負載線：固定  $V_{CC}$  及電阻  $R_L$  和  $R_E$

$\beta=100$  pn 順向偏壓

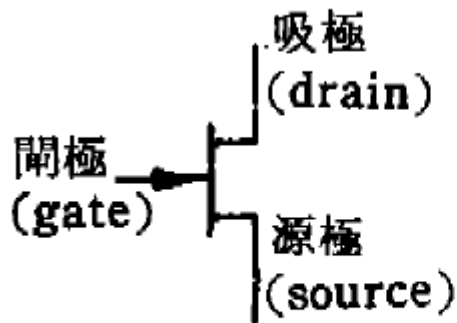


# FET

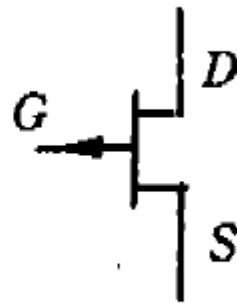
優點：低雜訊，高輸入阻抗

缺點：電容大，速度慢

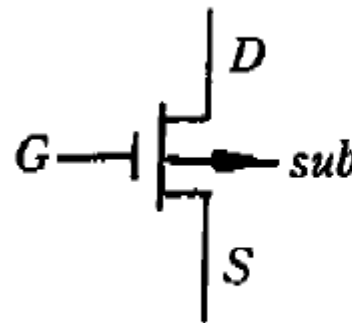
種類有接面場效電晶體(JFET)，金氧接面場效電晶體(MOSFET)等



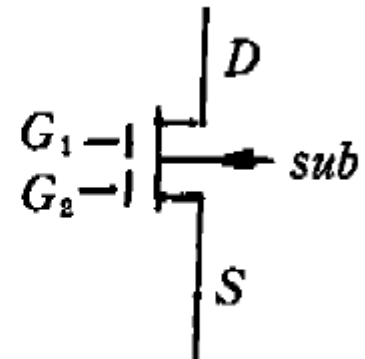
*n*-JFET



*p*-JFET



*p*-MOSFET



雙閘 *n*-MOSFET

# FET特性曲線

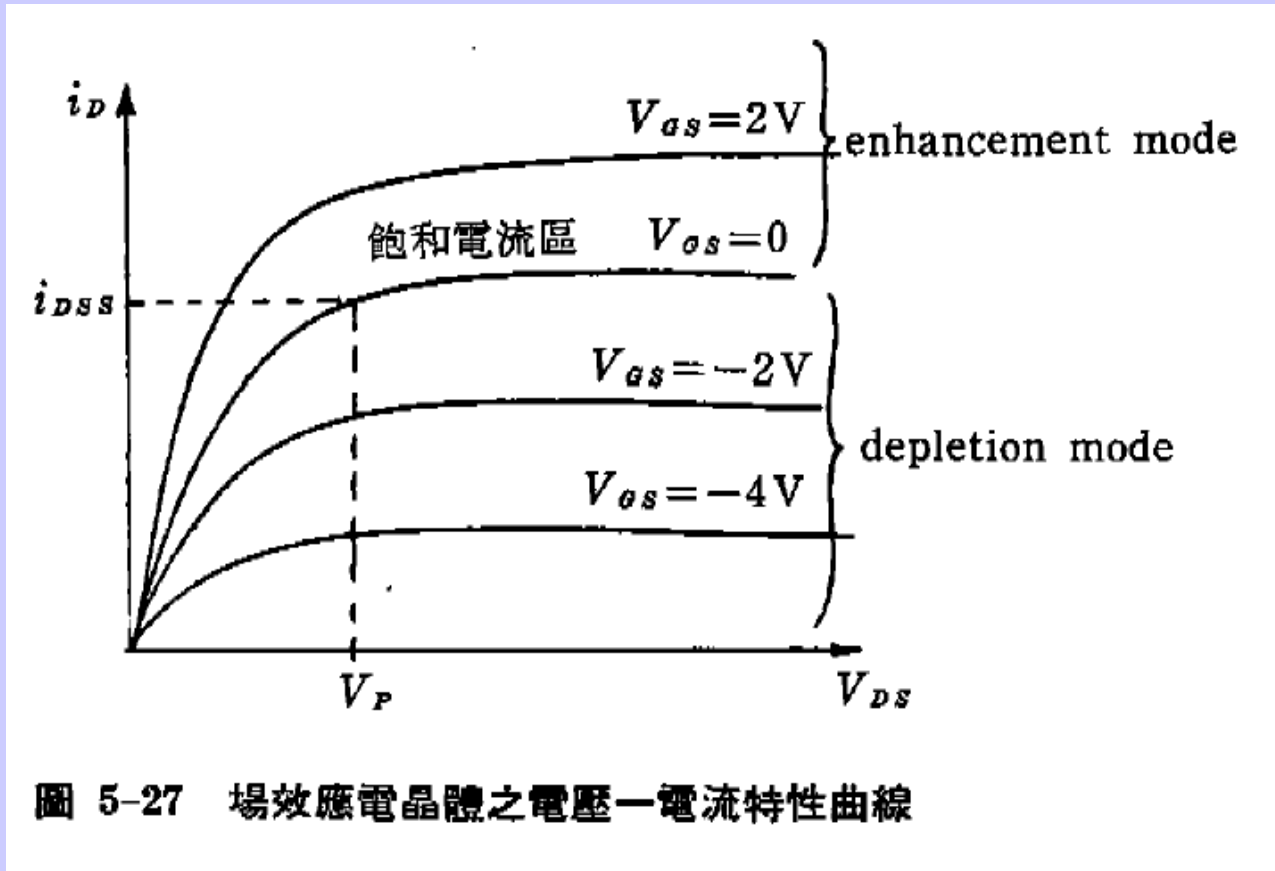


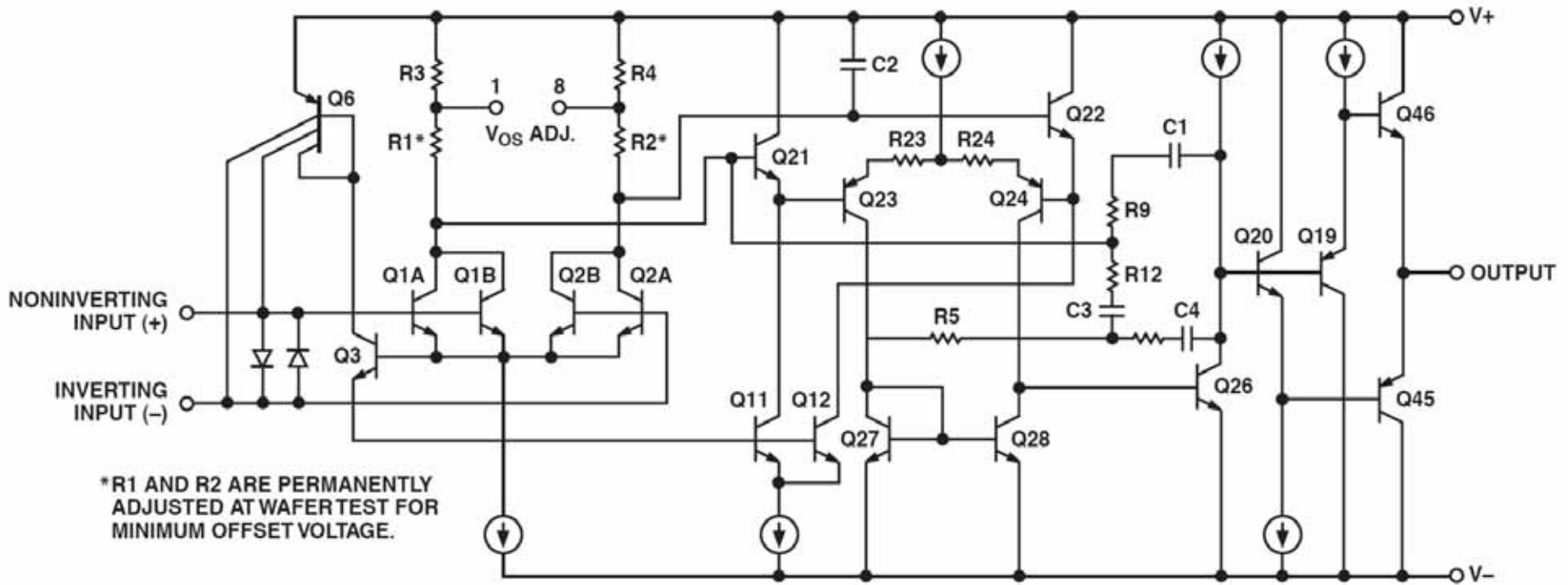
圖 5-27 場效應電晶體之電壓—電流特性曲線

Pinch-off voltage:  $V_P$

以n型為例：太負的源極電壓透過閘極而產生導電通道的縮減，電流因而飽和

# 5. 運算放大器

## SIMPLIFIED SCHEMATIC



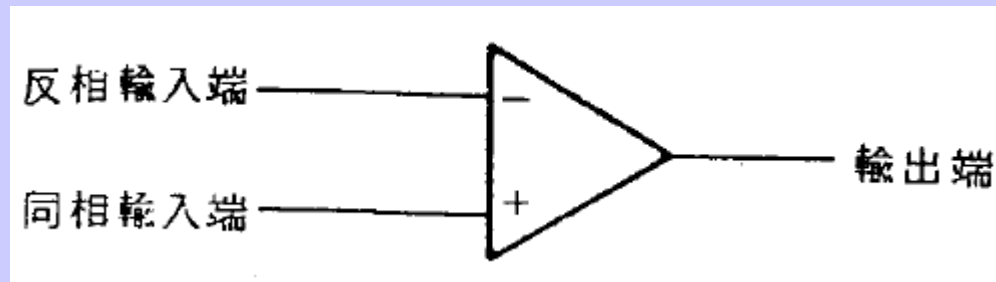
Analog Devices OP27

# 運算放大器(OP-amp)的特性

輸入阻抗超大： $10^7 \sim 10^{13} \Omega$

開路增益超大： $10^5$

輸出阻抗超低



可做類比線路的計算

# 理想的OP

輸入阻抗無限大

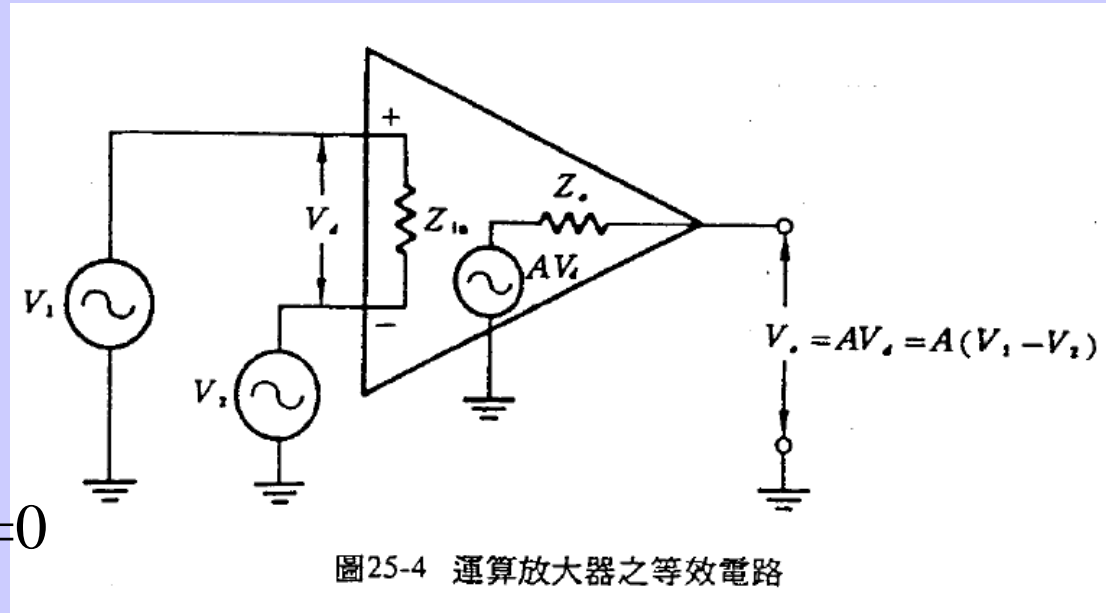
開路增益無限大

輸出阻抗為零

無偏差電壓  $V_1 = V_2$  時  $V_o = 0$

頻寬無窮大

CMRR(Common mode rejection ratio)=無窮大

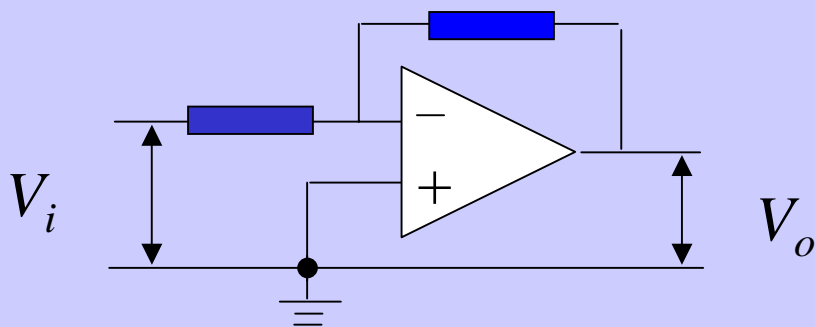


# 虛接地

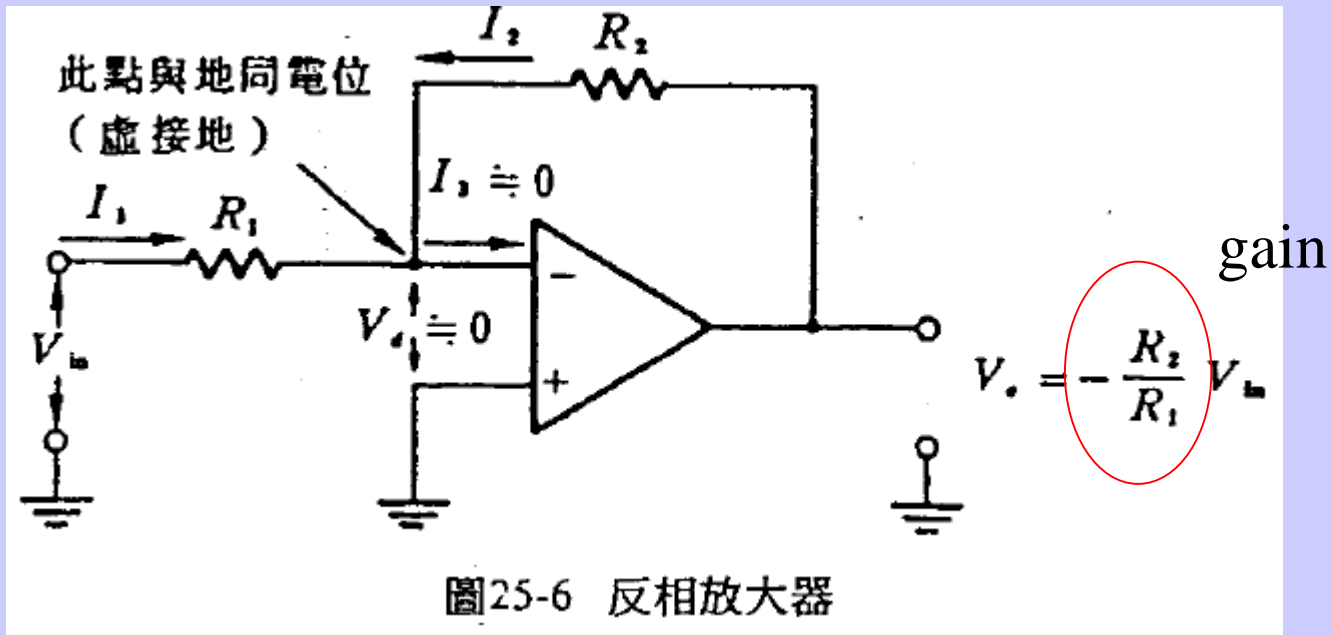
由於增益為無窮大，因此當OP有放大作用時(輸出端和反向輸入端有負回受)，輸入端電壓幾乎為零。同相和反相輸入端電位相同，可視為短路。

此時同相輸入端接地，則反向輸入端也可視為接地。稱為虛接地。

因為輸入阻抗無窮大，因此輸入端不吸收電流。



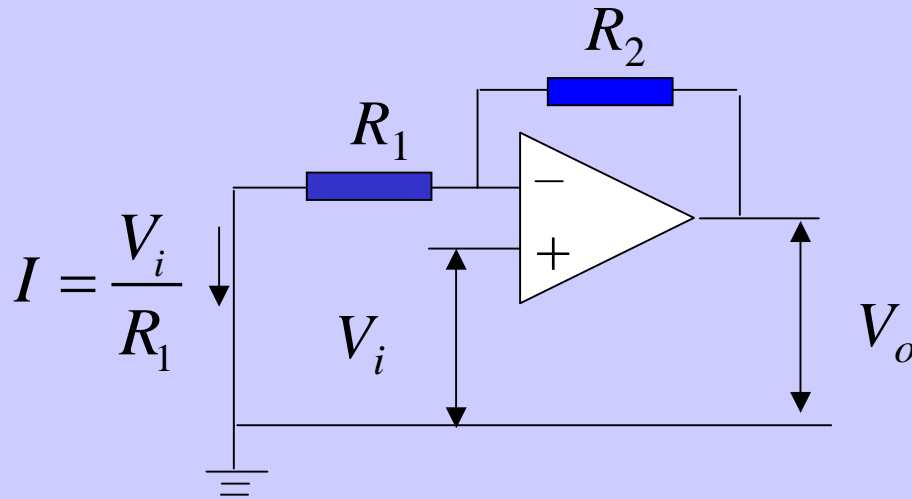
# 應用電路：反相放大器



當 $R_1=R_2$ 時，稱為反相器。



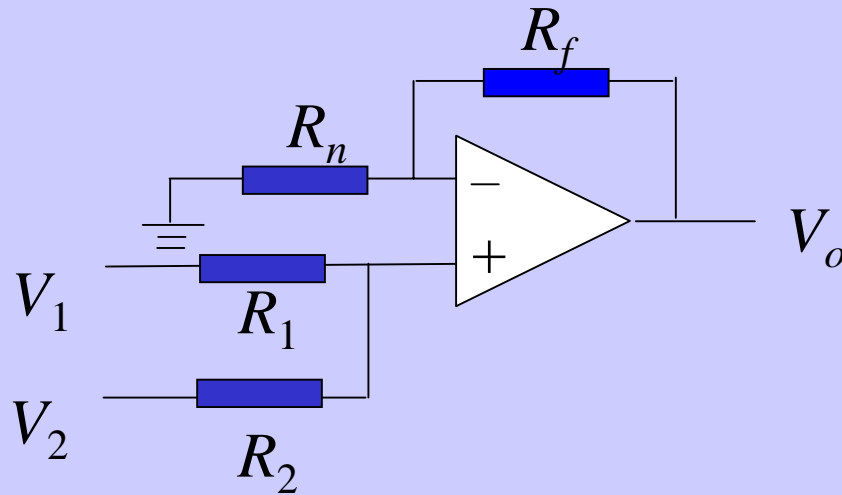
# 應用電路：同相放大器



$$V_o = I(R_1 + R_2) = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_i$$

當 $R_1$ =無窮大(斷路) $R_2=0$ (短路)時， $V_o=V_i$ 。  
稱做電壓隨耦器(follower)  
其輸入阻抗非常大，輸出阻抗非常小。

# 電壓和放大器

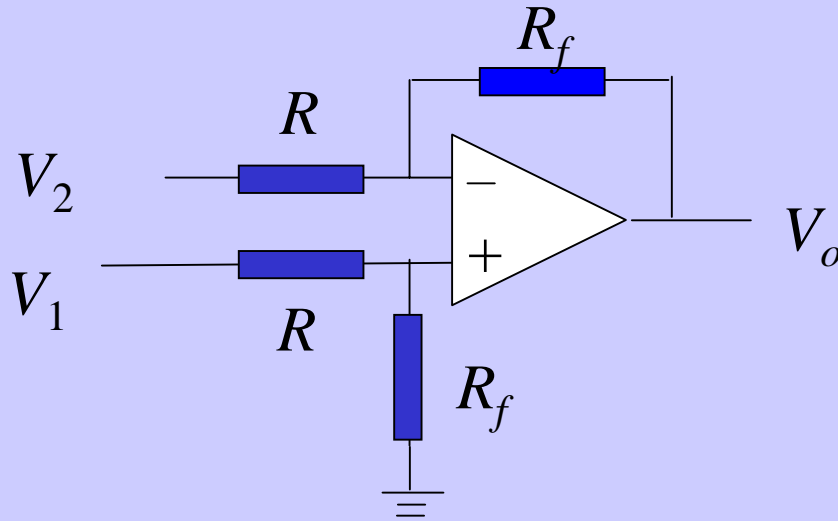


同相輸入端電壓：
$$V_+ = \frac{R_2 V_1 + R_1 V_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_o = \frac{R_n + R_f}{R_n} V_+ = \frac{R_n + R_f}{R_n} \frac{R_2 V_1 + R_1 V_2}{R_1 + R_2}$$

當  $R_1 = R_2$   $R_n = R_f$  時， $V_o = V_1 + V_2$  稱為加法器。

# 差動放大器



$$\frac{V_2 - V_-}{R} = \frac{V_2 - V_O}{R_f + R}$$

同相輸入端電壓：
$$V_+ = \frac{R_f}{R + R_f} V_1 = V_-$$

$$V_O = -\frac{R_f}{R} V_2 + \frac{R + R_f}{R} V_- = \frac{R_f}{R} (V_1 - V_2)$$

輸出只和差值有關，和 $(V_1 + V_2)$ 無關。一般而言，真實的OP仍會吸收電流，造成輸出和 $(V_1 + V_2)$ 有關。也就是CMRR值不是無窮大。

# 積分器與微分器

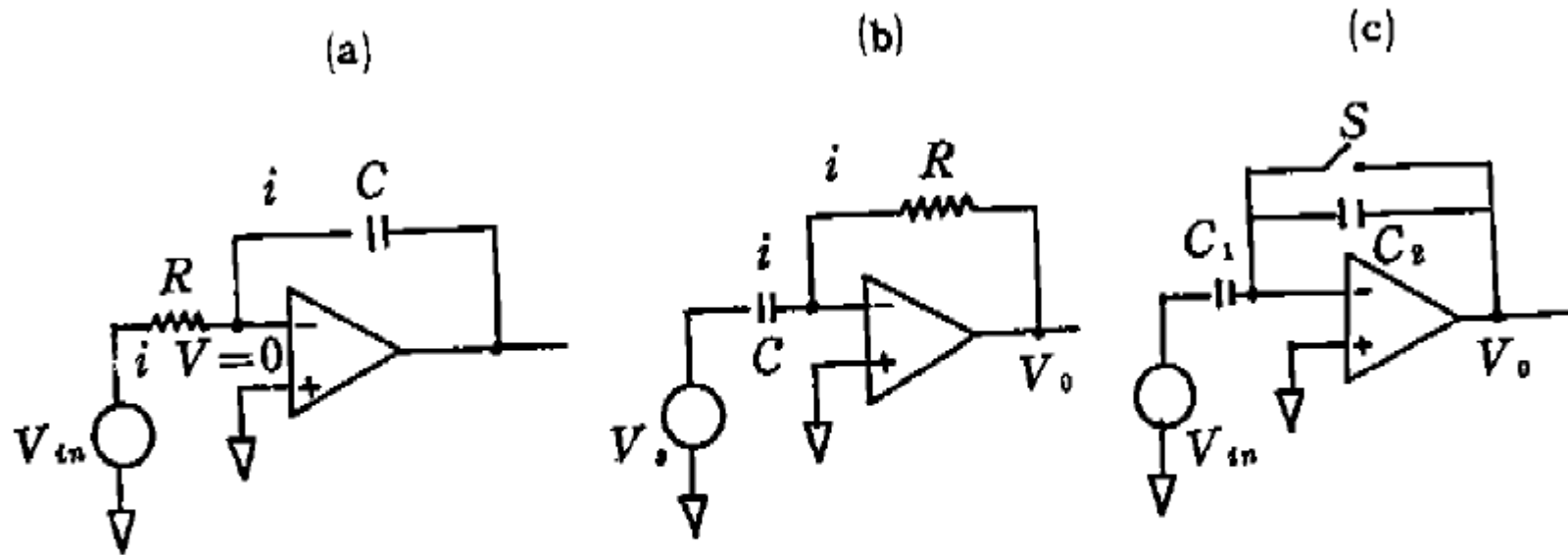


圖 6-13 (a)積分器(b)微分器(c)電荷耦合放大器

# 濾波器

高通(high pass)

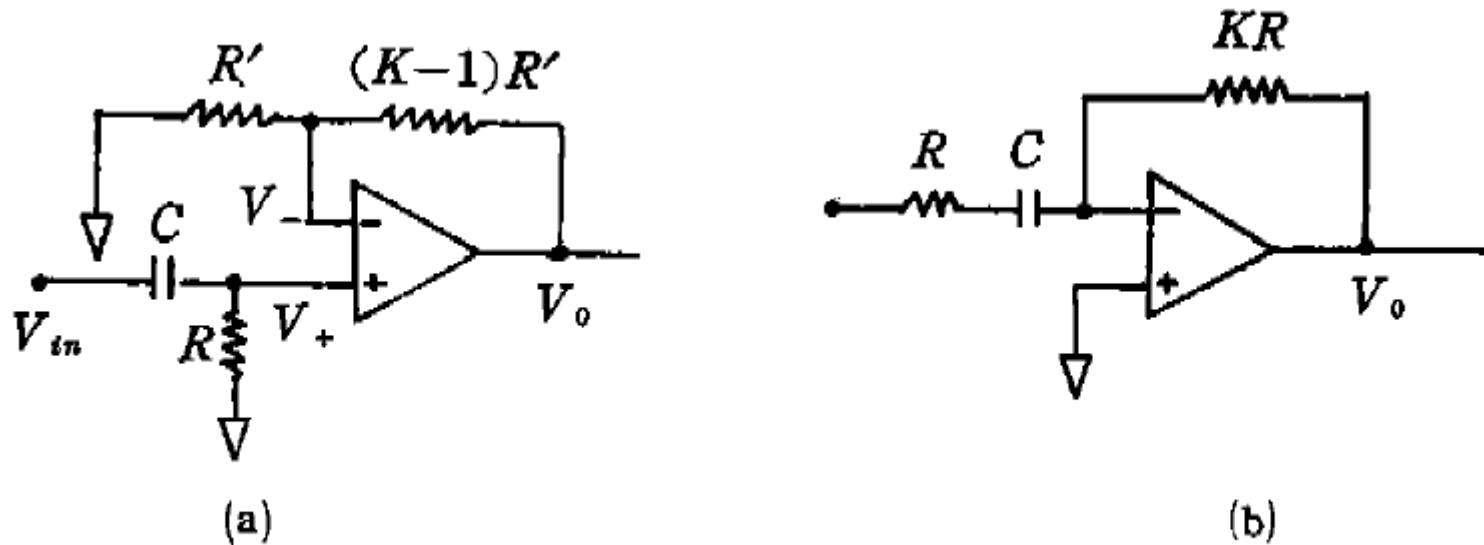
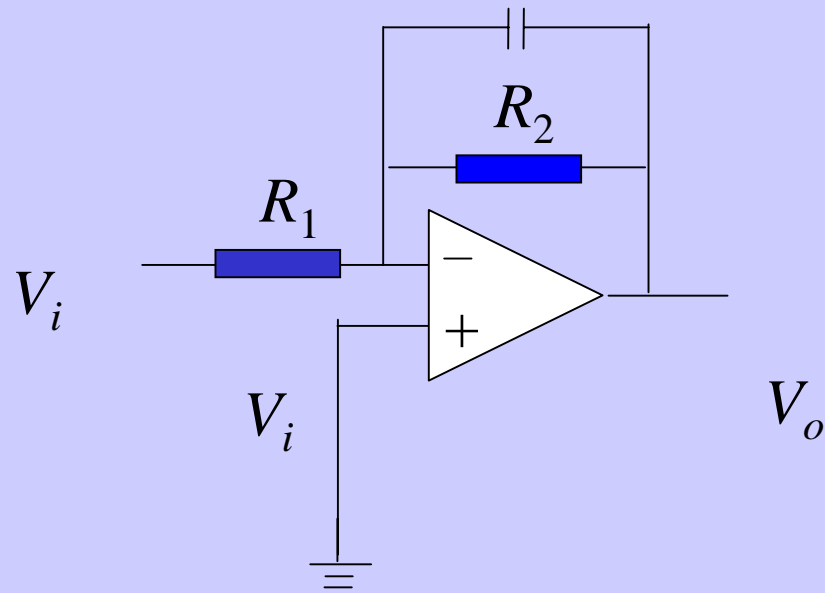


圖 6-18 高通濾波器(a)非反向及(b)反向輸出

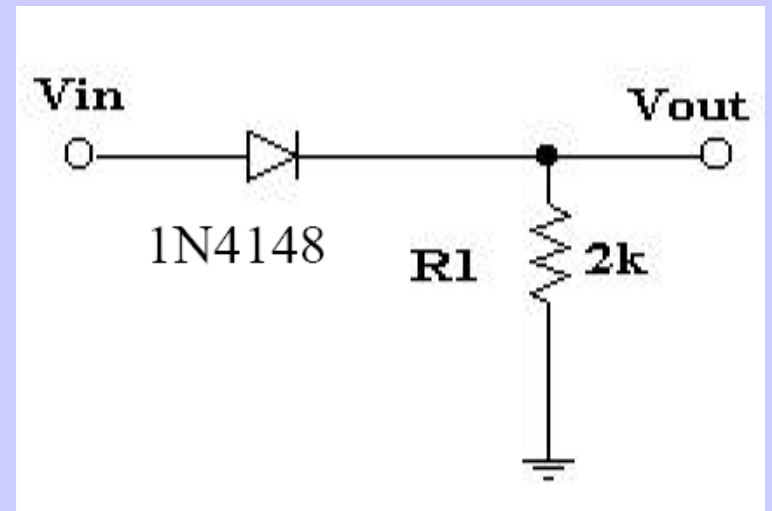
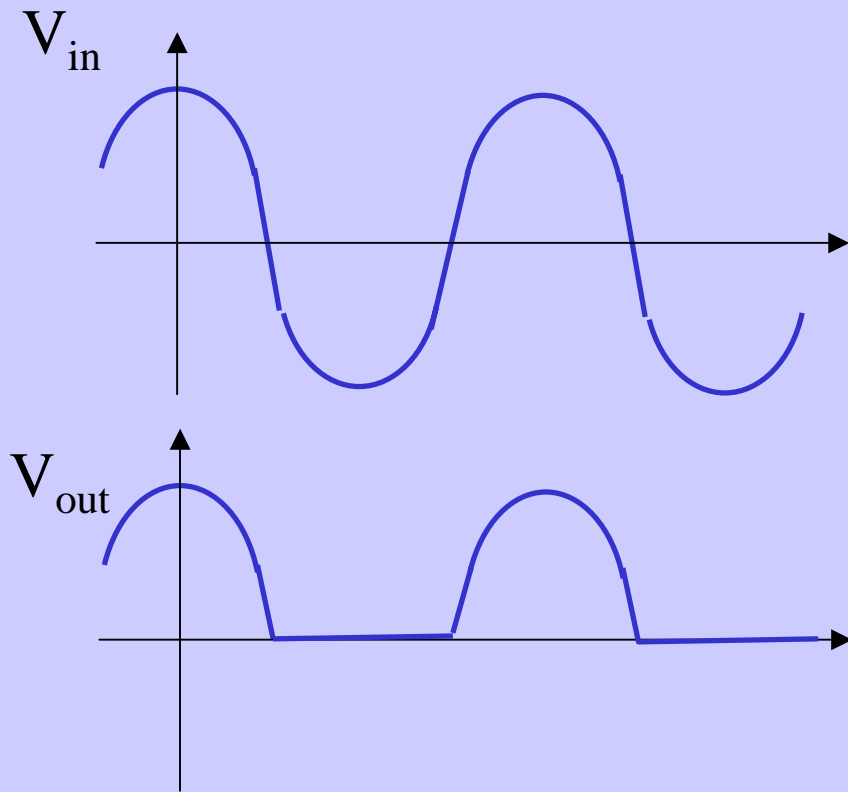
# 濾波器

低通(low pass)



## 6. 應用線路

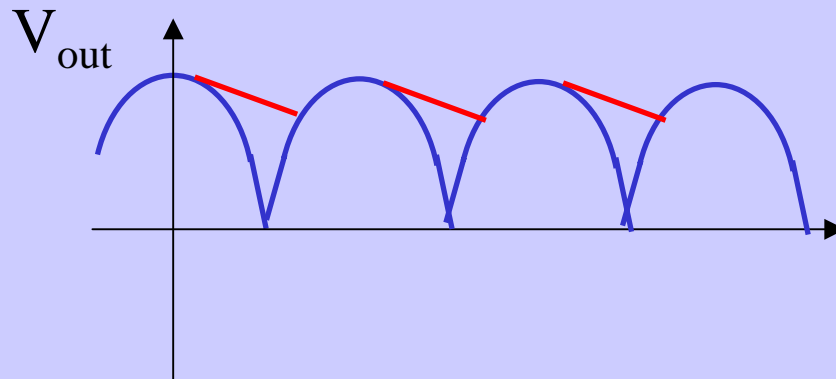
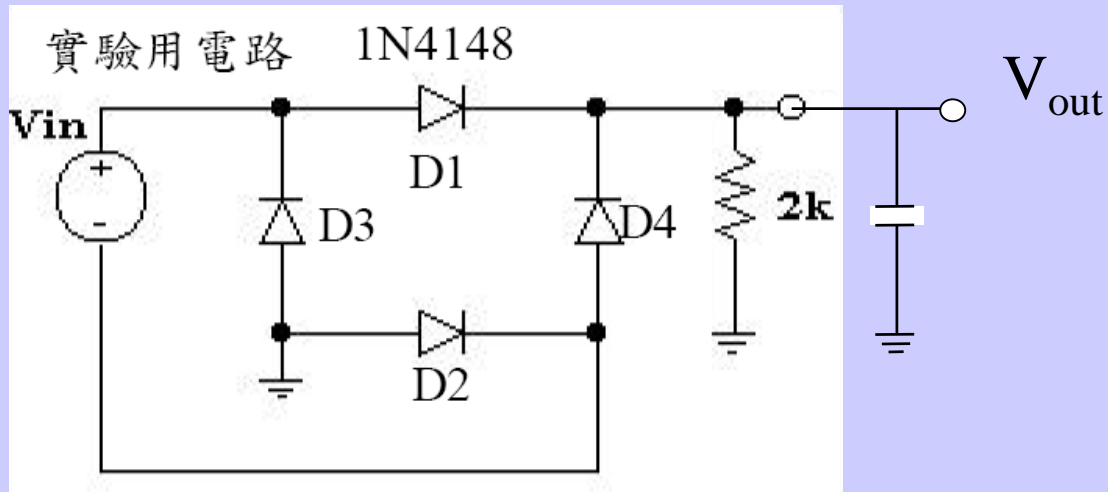
# 半波整流器



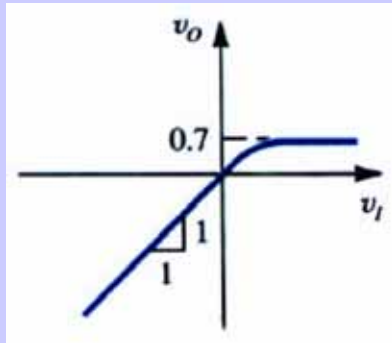
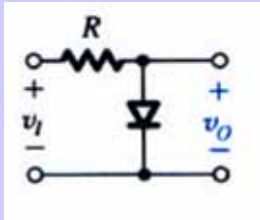


# 全波整流器

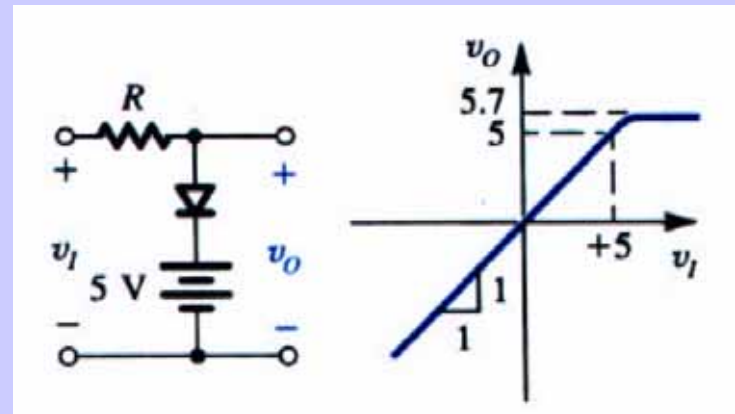
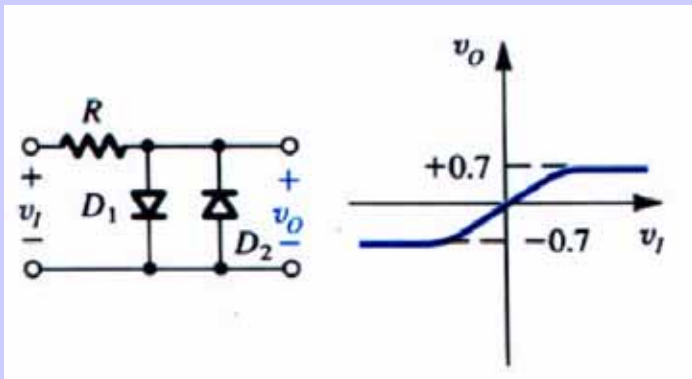
交流訊號源必須為floating



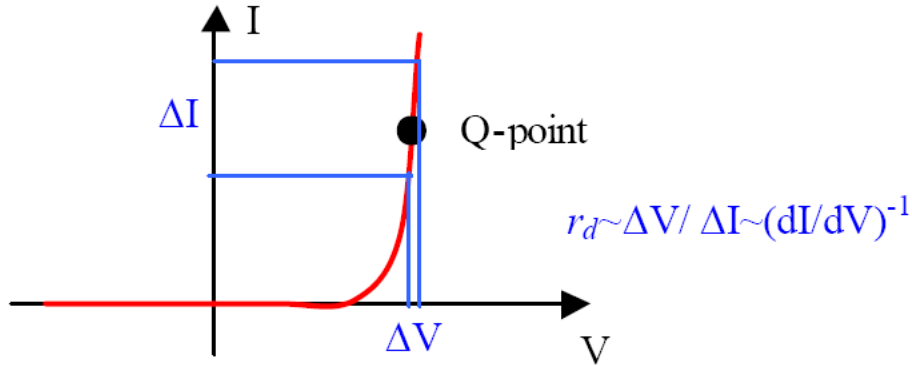
# 電壓限制電路



二極體的臨界電壓= 0.7V

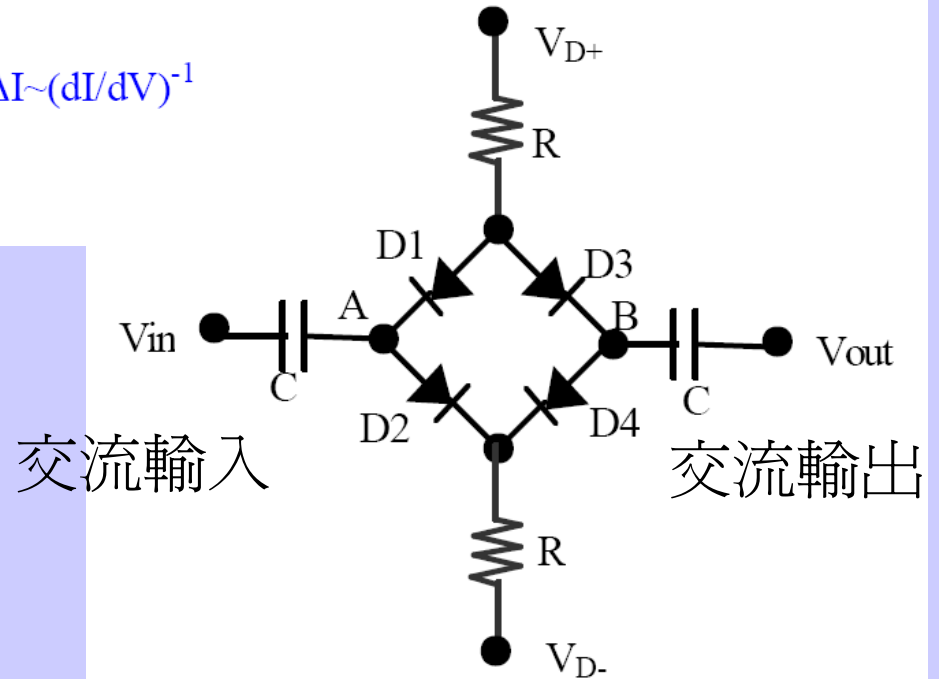


# 二極體開關



對小訊號而言，電阻變化非常大(微分電阻)

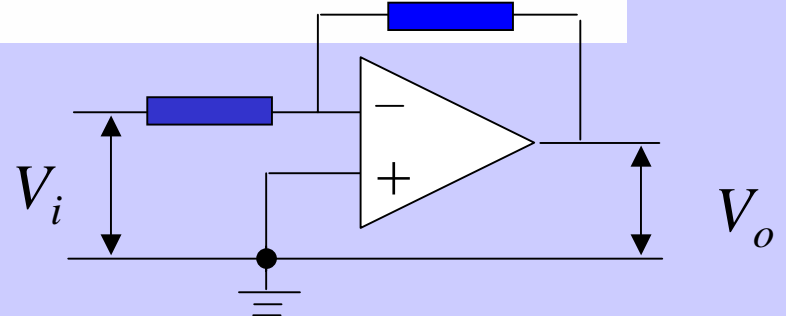
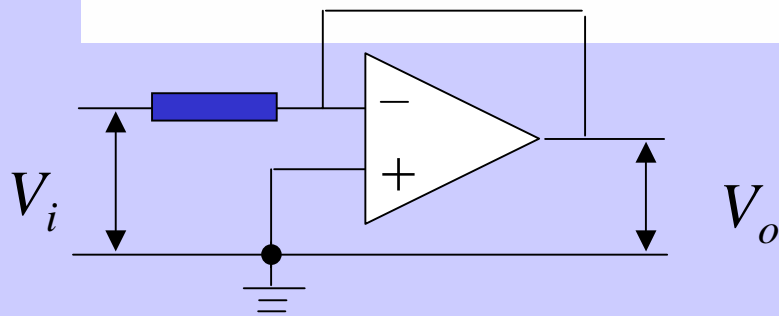
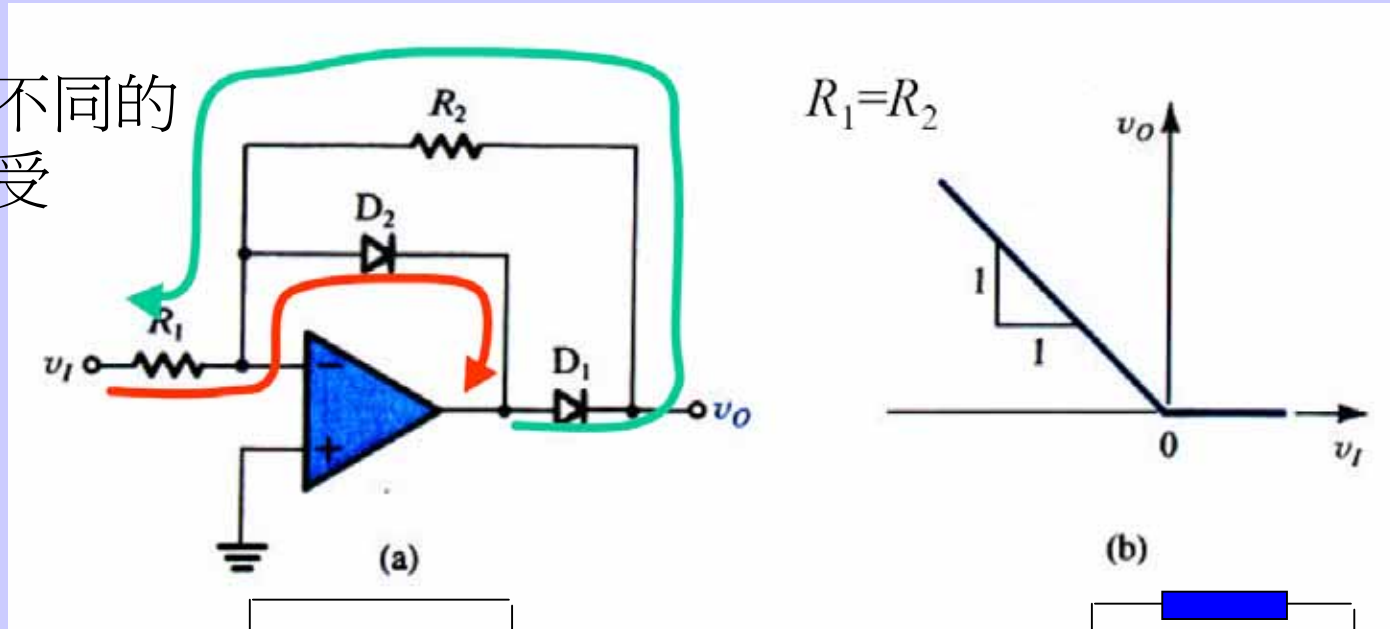
DC控制電壓



# 精密整流器

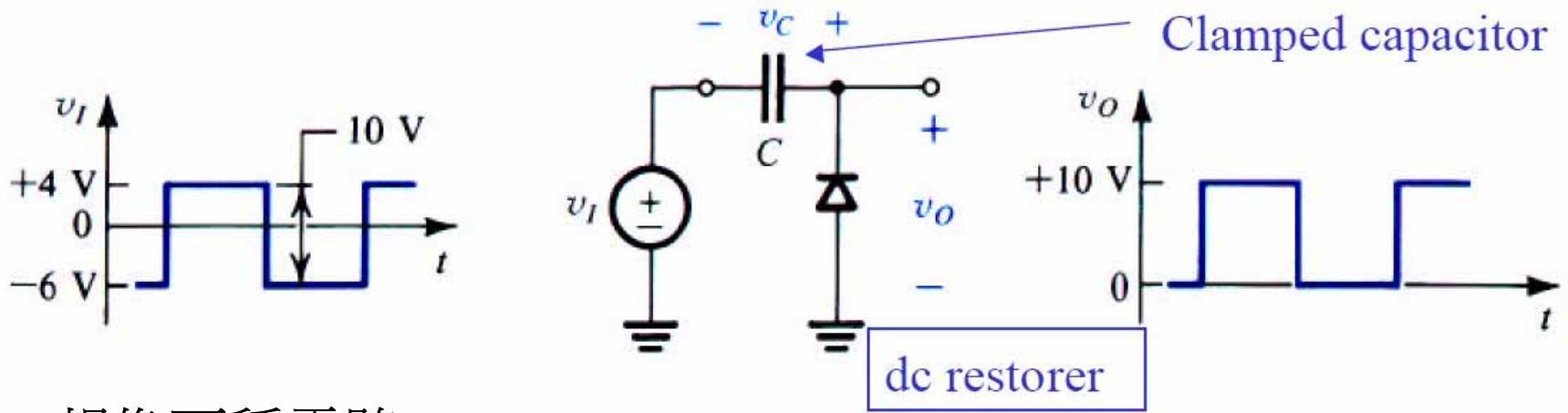
去除二極體的臨界電壓= 0.7V產生的問題

兩種不同的  
負回受

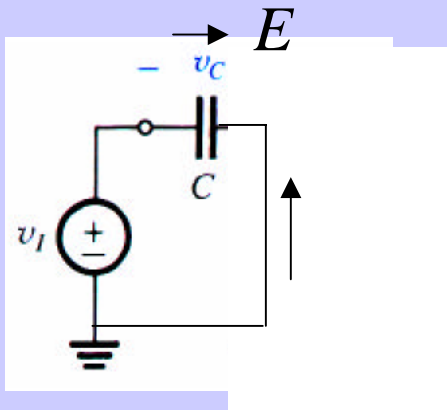


# Clamping Circuits

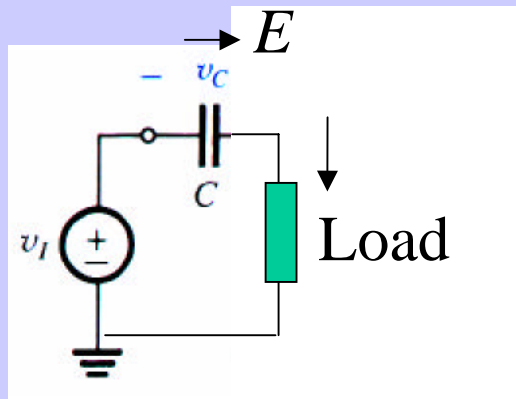
利用二極體與電容接成一個讓電容保持某固定電壓的電路。



想像兩種電路



電容器充電



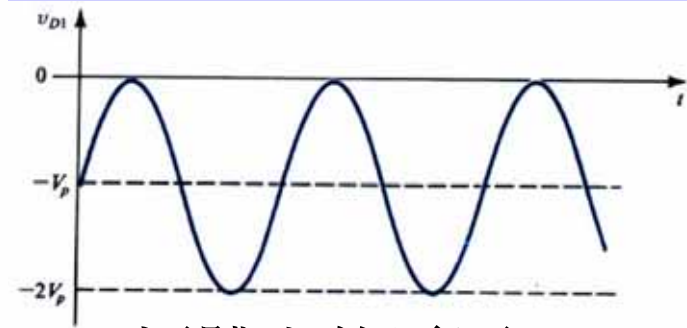
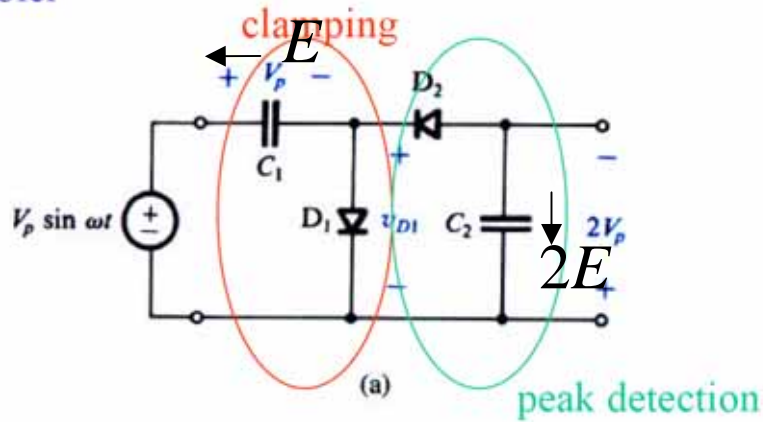
電容器作為電壓源

$$RC > f^{-1}$$

電容器可以幾乎保持  
定電壓

# 電壓倍增器

倍壓器



二極體上的電壓(clamping)

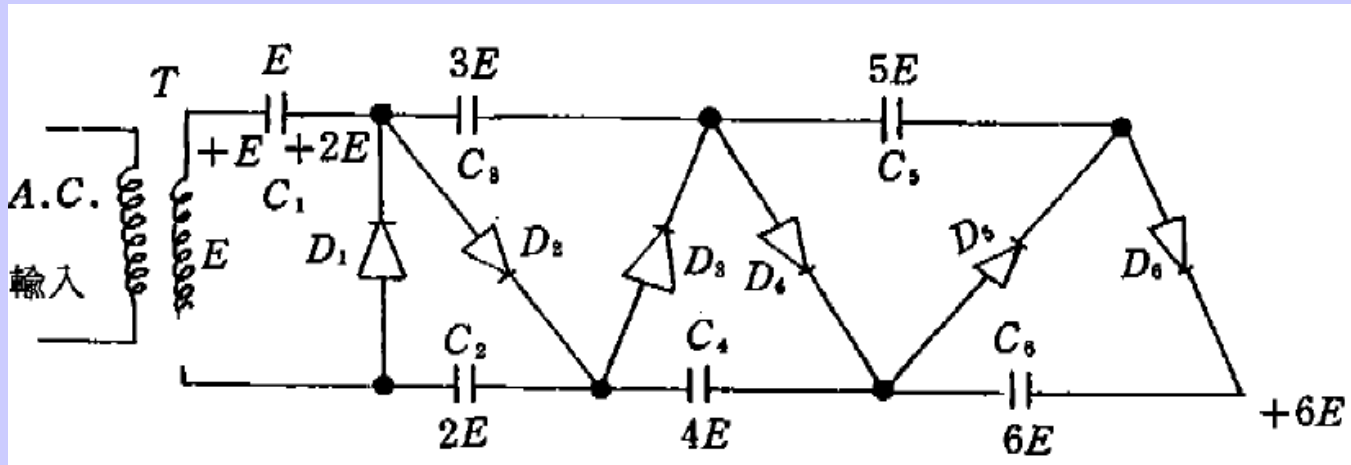


圖 3-11 多段式倍壓整流器

## 7. LRC 電路與阻尼振盪

# 運動方程式

具有阻力的簡諧振子

$$F = m\ddot{x} = -kx - b\dot{x}$$

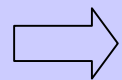
恢復力

與速度成正比的阻力

$$\ddot{x} + 2\gamma\dot{x} + \omega_0^2 x$$

$$\gamma = \frac{b}{2m}$$

線性微分方程式，解的形式為  $Ae^{\lambda t}$



$$\lambda^2 + 2\gamma\lambda + \omega_0^2 = 0$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$\lambda = -\gamma \pm \sqrt{\gamma^2 - \omega_0^2}$$



1. 當  $\gamma^2 - \omega_0^2 > 0$   $\lambda$  爲負實數

$$x(t) = A_1 e^{-|\lambda_1|t} + A_2 e^{-|\lambda_2|t} \quad \text{隨時間作指數衰減}$$

稱爲過阻尼(over-damped)

2. 當  $\gamma^2 - \omega_0^2 = 0$   $\lambda$  兩解相同，爲負實數  $-\gamma$

$$x(t) = A e^{-\gamma t} \quad \text{隨時間作指數衰減，衰減率爲 } \gamma$$

稱爲臨界阻尼(critical-damped)

3. 當  $\gamma^2 - \omega_0^2 < 0$   $\lambda$ 為共軛複數

$$\lambda = -\gamma \pm i\omega \quad \sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2} = \omega$$

$$x(t) = e^{-\gamma t} \left( C_1 e^{i\omega t} + C_2 e^{-i\omega t} \right)$$

$$x(t) = A_0 e^{-\gamma t} \cos(\omega t + \theta)$$

振幅成指數衰減的週期運動

稱為欠阻尼(under-damped)

⇒ 最後能量趨近於零，被阻尼消耗掉

# 有外力的阻尼振盪

假設有一週期性外力  $F_0 \cos \omega t$

$$F = m\ddot{x} = -kx - b\dot{x} + F_0 \cos \omega t$$

$$\ddot{x} + 2\gamma\dot{x} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \cos \omega t$$

假設我們尋求穩定時間解，解的形式是一時間週期函數

$$x = \text{Re}[Ae^{i\omega t}]$$

$$\ddot{x} + 2\gamma\dot{x} + \omega_0^2 x = \text{Re}\left[\frac{F_0}{m} e^{i\omega t}\right]$$

$$\Rightarrow A = \frac{F_0}{m(-\omega^2 + 2i\gamma\omega + \omega_0^2)}$$

$$x = \frac{F_0/m}{\sqrt{(\omega^2 - \omega_0^2)^2 + 4\gamma^2\omega^2}} \operatorname{Re} \left[ e^{i(\omega t + \phi)} \right]$$

$$\tan \phi = -\frac{2\gamma\omega}{\omega^2 - \omega_0^2} \quad \phi \text{ 是外力和振動位移量之相位差}$$

振幅爲

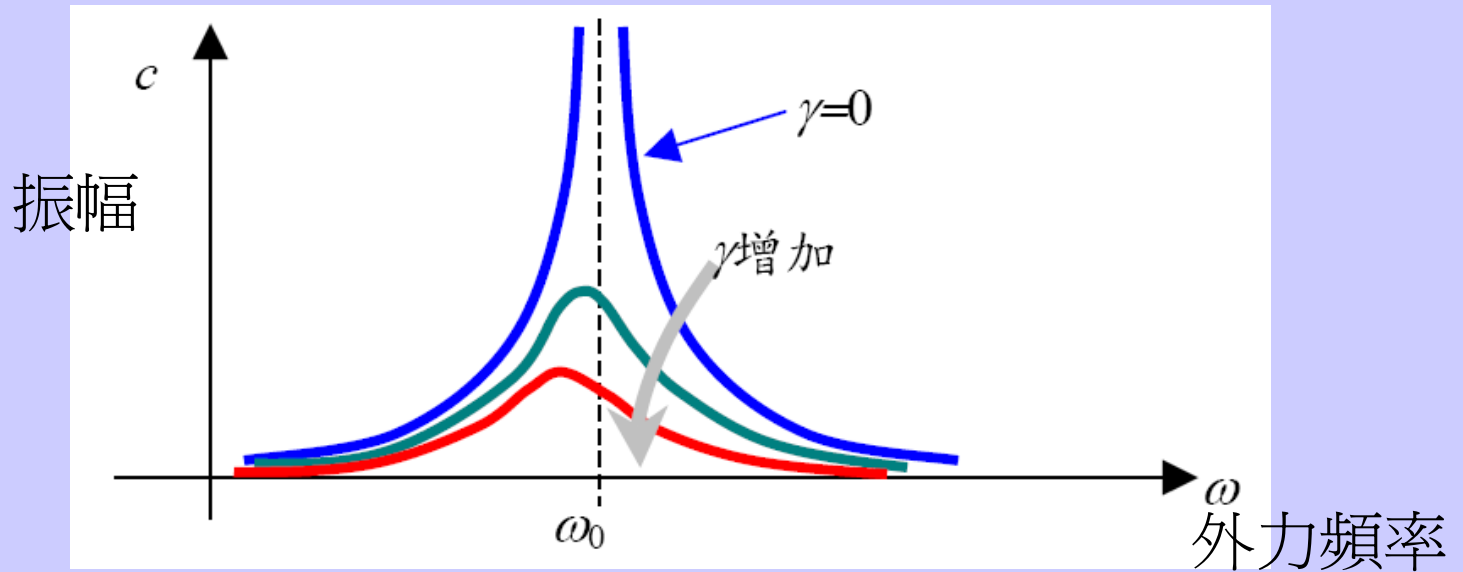
$$\begin{aligned} \frac{F_0/m}{\sqrt{(\omega^2 - \omega_0^2)^2 + 4\gamma^2\omega^2}} &= \frac{F_0/m}{\sqrt{\omega^4 + 2(2\gamma^2 - \omega_0^2)\omega^2 + \omega_0^4}} \\ &= \frac{F_0/m}{\sqrt{(\omega^2 - \omega_0^2 + 2\gamma^2)^2 + 4\gamma^2(\omega_0^2 - \gamma^2)}} \end{aligned}$$

當  $\omega_M = \sqrt{\omega_0^2 - 2\gamma^2}$  時 振幅最大爲  $\frac{F_0/m}{2\gamma\sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}}$

注意此時的條件:  $\omega_0^2 > 2\gamma^2$  也就是欠阻尼時

過阻尼時，可能不會得到穩定時間解  $x = \operatorname{Re}[Ae^{i\omega t}]$  的形式。

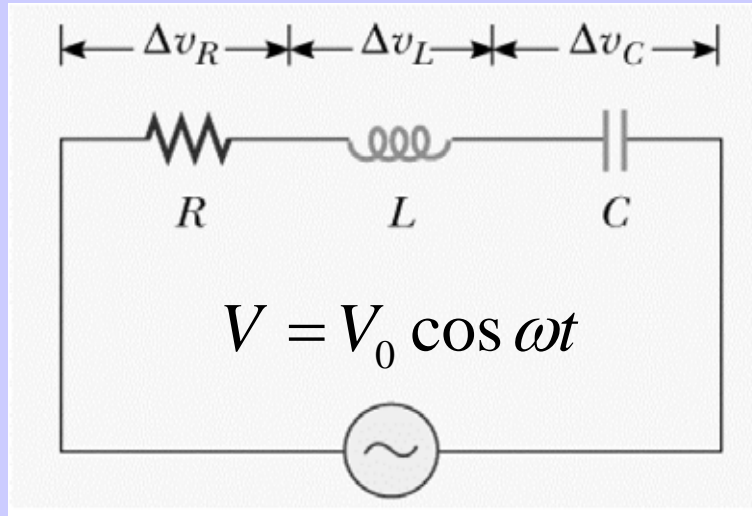
# 響應曲線



改變不同阻尼，可以得到響應的曲線

增加阻尼時，振幅變小，共振頻率降低

# LRC 電路



串聯阻抗為

$$Z = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}$$
$$= R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

當  $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  時，阻抗最小為  $R$ ，電流最大，稱為共振

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{V_0}{R + jX} = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + X^2}} e^{-j\phi} \quad \tan \phi = \frac{X}{R}$$

$\phi$  是電壓和電流的之相位差

# 功率消耗

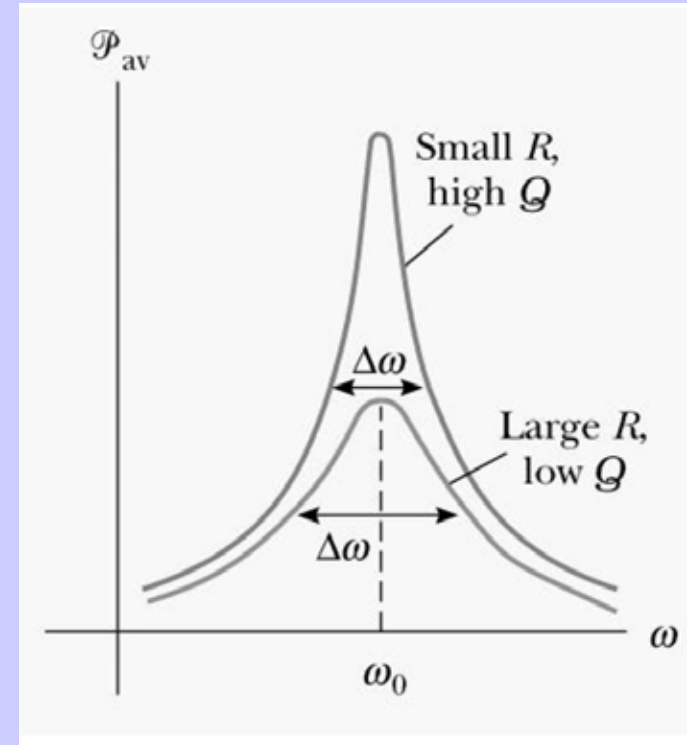
$$P_{\text{av}} = |I_{\text{rms}}| |V_{\text{rms}}| \cos \phi = \frac{R |V_{\text{rms}}|^2}{R^2 + X^2}$$
$$= \frac{R \omega^2 V_{\text{rms}}^2}{R^2 \omega^2 + L^2 (\omega^2 - \omega_0^2)^2}$$

品質因子：Q-factor  $Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} = \frac{\omega_0}{R/L}$

物理意義為

$2\pi$  平均儲存在系統的能量

平均每週期消耗在系統的能量



# 與阻尼振盪的比較

$$L\ddot{Q} + R\dot{Q} + \frac{Q}{C} = V_0 \cos \omega t$$

$$m\ddot{x} + kx + b\dot{x} = F_0 \cos \omega t$$

Charge	$Q \leftrightarrow x$	Displacement
Current	$I \leftrightarrow v_x$	Velocity
Potential difference	$\Delta V \leftrightarrow F_x$	Force
Resistance	$R \leftrightarrow b$	Viscous damping coefficient
Capacitance	$C \leftrightarrow 1/k$	( $k$ = spring constant)
Inductance	$L \leftrightarrow m$	Mass
Current = time derivative of charge	$I = \frac{dQ}{dt} \leftrightarrow v_x = \frac{dx}{dt}$	Velocity = time derivative of position
Rate of change of current = second time derivative of charge	$\frac{dI}{dt} = \frac{d^2Q}{dt^2} \leftrightarrow a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$	Acceleration = second time derivative of position
Energy in inductor	$U_L = \frac{1}{2}LI^2 \leftrightarrow K = \frac{1}{2}mv^2$	Kinetic energy of moving mass
Energy in capacitor	$U_C = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} \leftrightarrow U = \frac{1}{2}kx^2$	Potential energy stored in a spring
Rate of energy loss due to resistance	$I^2R \leftrightarrow bv^2$	Rate of energy loss due to friction



## 8. 偵測器

# 溫度的量測

熱電偶

熱敏電阻

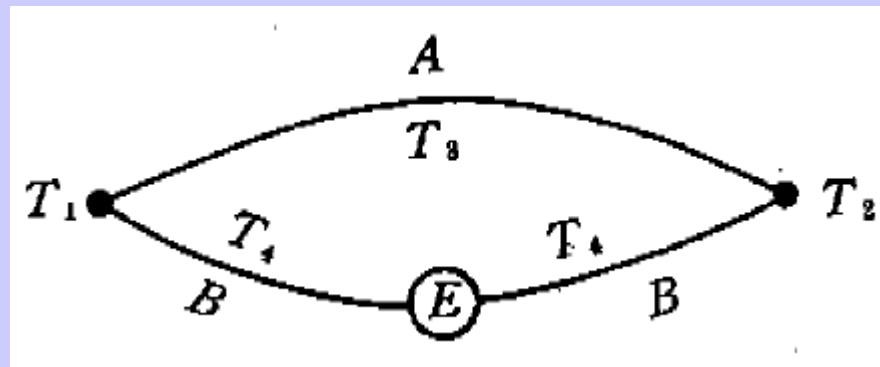
電阻變化，利用電橋來測量

熱敏二極體

PN接面的電壓

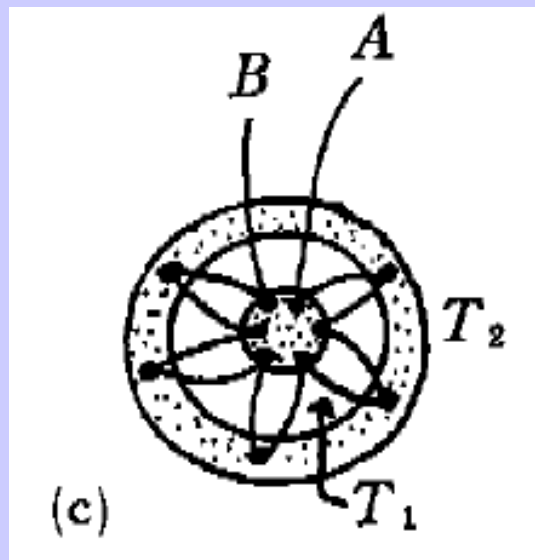
# 熱電偶(thermo couple)

利用Seebeck效應(thermopower熱電)。回路產生電動勢與接點的溫度有關。



# 熱偶堆(thermopile)

將許多熱電偶串聯，可增加訊號強度。通常用於紅外光強度的量測。



# 磁場的量測

Hall磁場計 利用Hall效應量測

SQUID 量子元件，可量測到一個磁通量子的磁通量變化  $2.1 \times 10^{-7}$  (G cm<sup>2</sup>)

核磁共振儀 核磁矩的Zeeman分裂，以光譜學方式測量吸收波長的改變

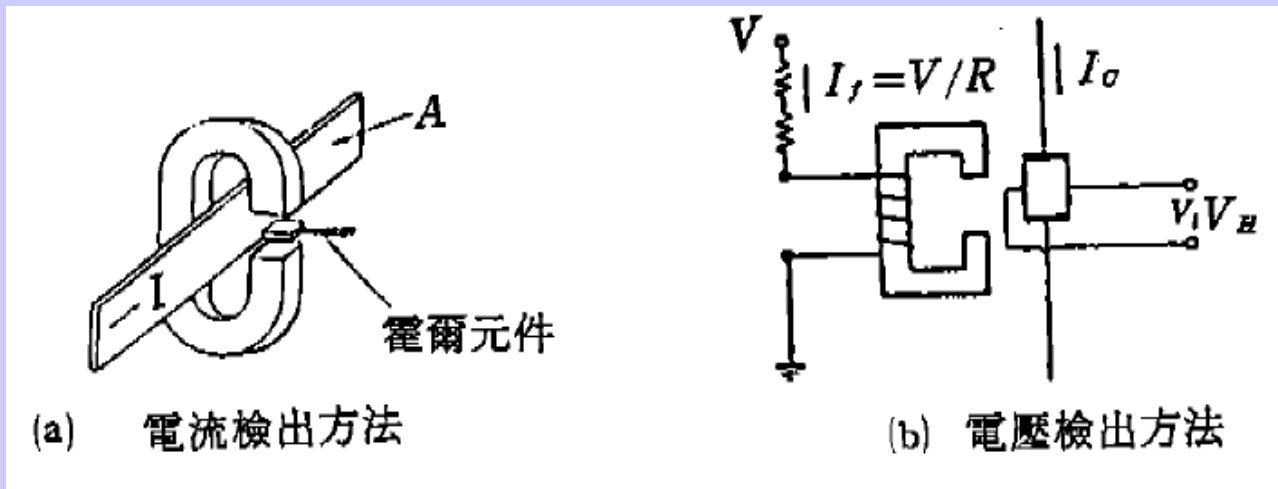
# Hall 元件

利用Hall效應，常用的元件材料有InSb和GaAs

Hall電阻：

$$R_H \equiv \frac{E_y}{j_x B} = -\frac{1}{nec} \quad (\text{C.G.S 單位})$$

利用Hall元件量測電流與電壓：



## 9. 雜訊屏蔽

# 雜訊干擾的因素

線路與電子元件等內部的電子雜訊：如Johnson-Nyquist noise  
1/f noise, shot noise等

外界訊號的線路感應：如閃電，大氣靜電，電力，無線電波等

耦合方式：

電場耦合 振盪源

磁場耦合 大電流通過之導線

靜電耦合(capacitance) 金屬板與背景之壓降

共通耦合(common impedance)

線路有共同接地源，而接地線阻抗不為零

消除雜訊的作法 接地 屏蔽 濾波



# 接地

安全，提供標準參考電位

原則：

避免兩個電子回路使用相同的接地，以免其中一個產生之接地電流對另外回路產生壓降。

避免形成接地回路ground loop，造成磁場貫穿回路時產生感應電流

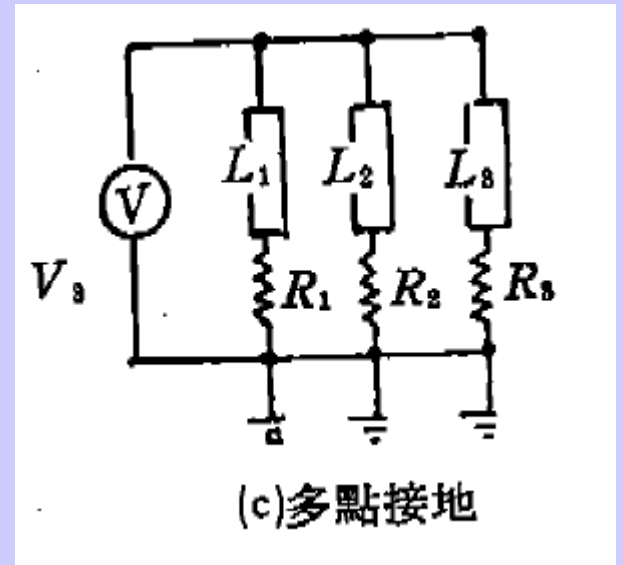
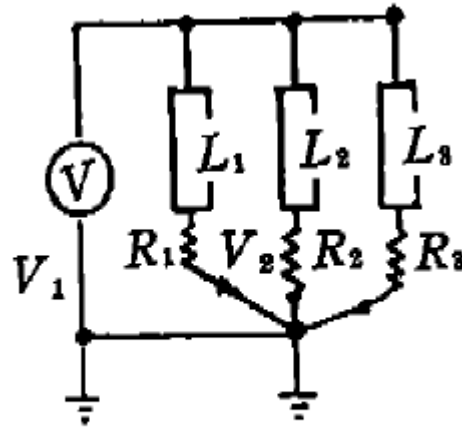
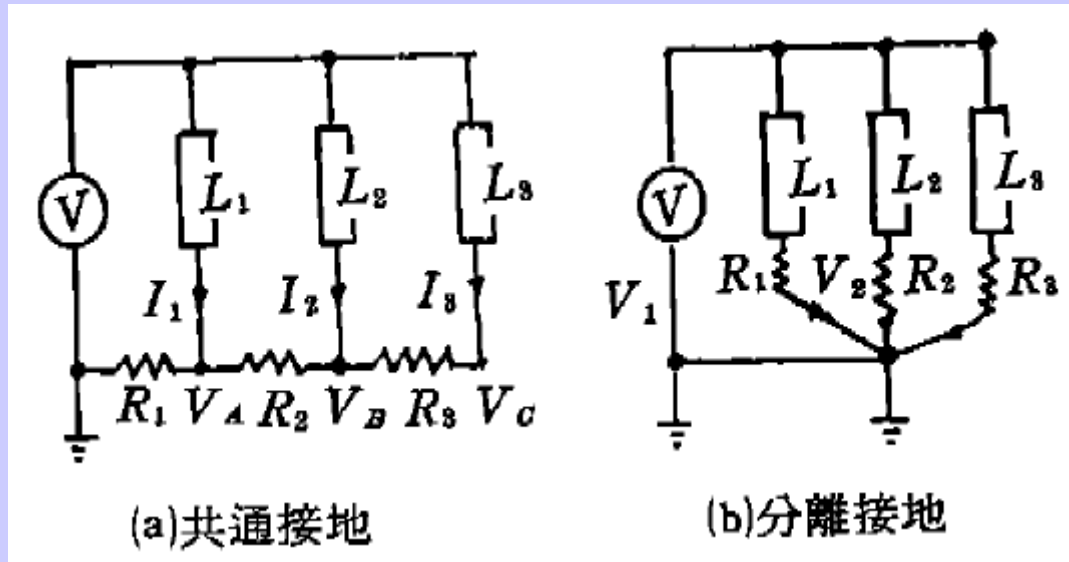
接地的作法：

以銅條打入地中兩公尺，周圍灌鹽水

大電流和訊號的接地應分別為之，數位訊號接地應注意降低電感

# 接地的方法

導線均有電阻及電感值，而電感阻抗對頻率成正比。



分離接地法優於共通接地

在高頻線路上，最好使用多點接地。線長小於 $1/20$ 波長。

若有高低頻，高低壓同時並存之線路，最好個別接地。

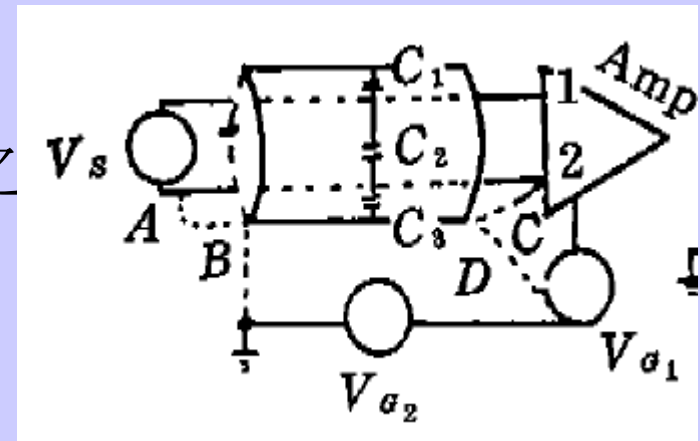
# Ground loop

兩線路連結時，例如信號源和放大器，最好僅有一方接地。

隔離線外殼之接地，僅能一端接地，避免形成loop。

若放大器接地，信號源未接地。則隔離線的外殼應接到放大器之共通端子。(C接法)

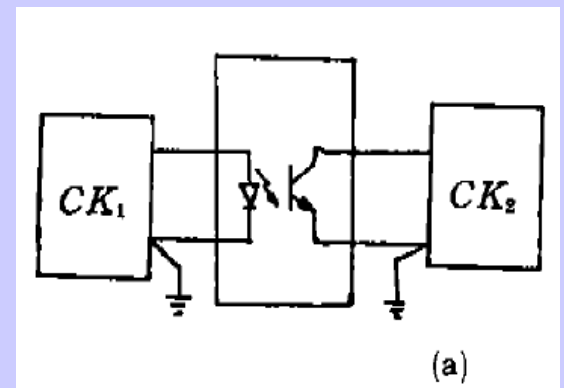
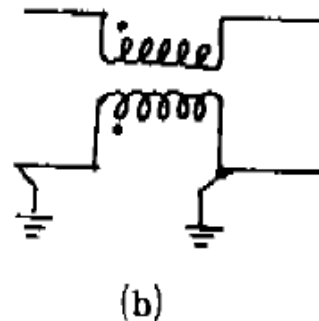
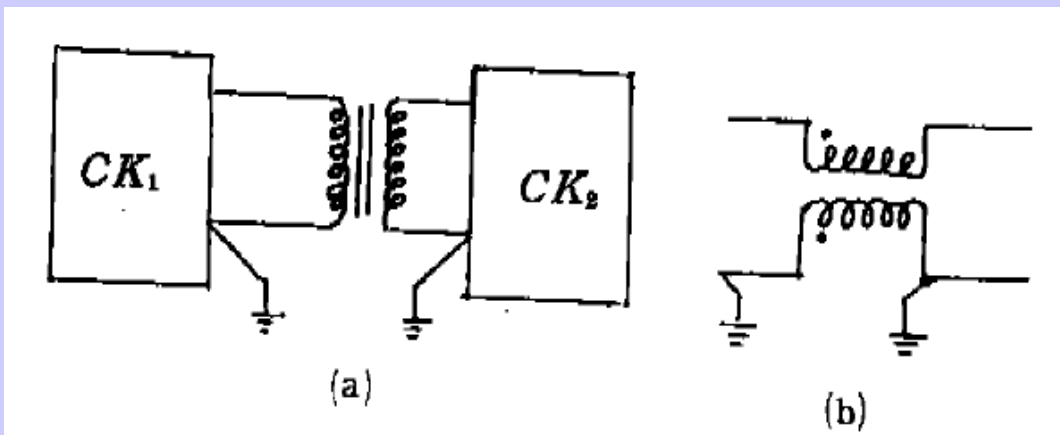
若信號源接地，放大器未接地。則隔離線的外殼應接到信號源之共通接地。



# Isolation

若信號源與放大器都接地，則需要將兩者隔絕，來切斷 ground loop

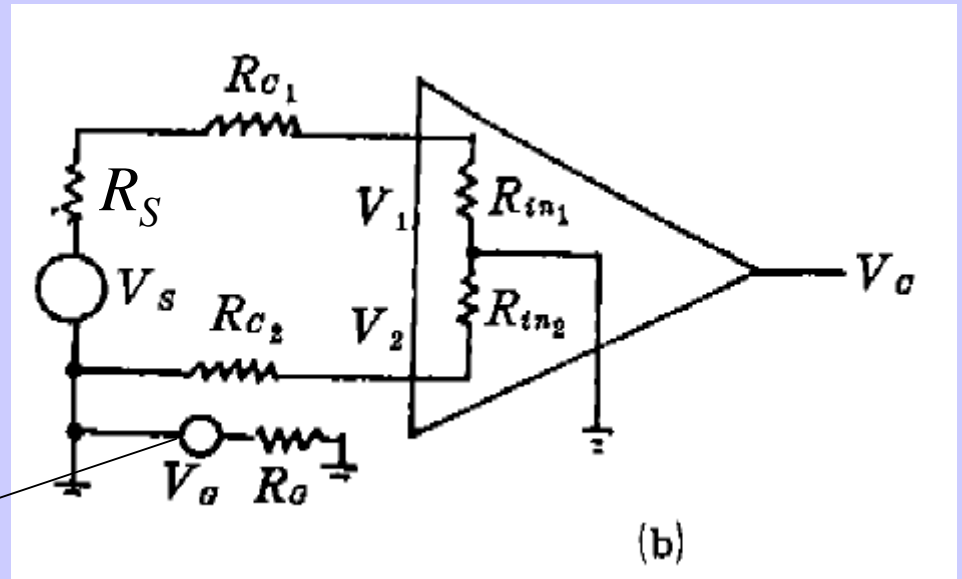
1. 交流訊號可用隔離變壓器
2. 直流訊號可用中和變壓器濾掉高頻部分。
3. 光耦合器常使用在數位線路上



# 差動放大器

可減少共態雜訊

當CMRR很高時，B近於零



雜訊之影響：

$$V' = A \left( \frac{R_{in1}}{R_{in1} + R_{C1} + R_S} - \frac{R_{in2}}{R_{in2} + R_{C2}} \right) \approx 0$$

# Shielding

電容耦合

解決方法：以金屬殼屏蔽並接地。

電感耦合：兩回路之間存在之互感

解決方法：分開兩回路

回路上使用絞線(twist pair)

回路角度成90度

使用同軸線，減少磁場環路的面積。

# 高導電高導磁材料

高頻電磁波

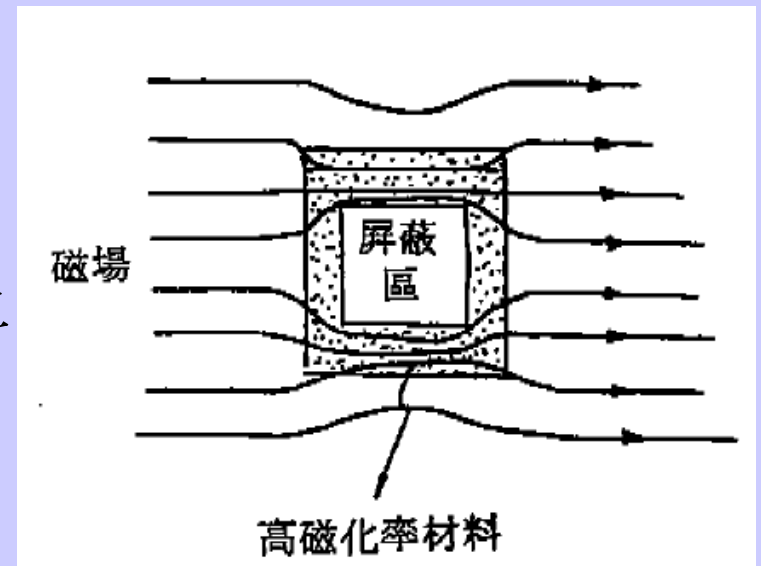
高導電低導磁材料具較高反射率

銅，鋁，鐵

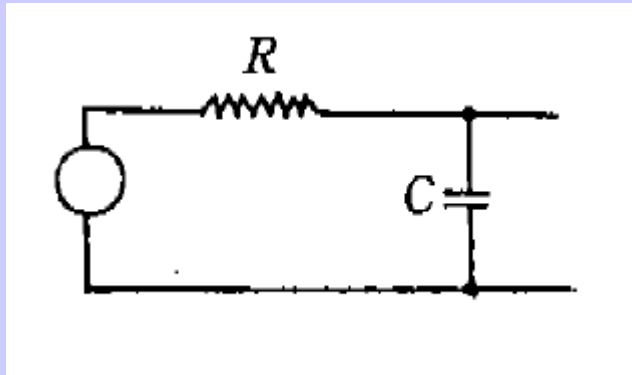
低頻磁場

高導磁材料

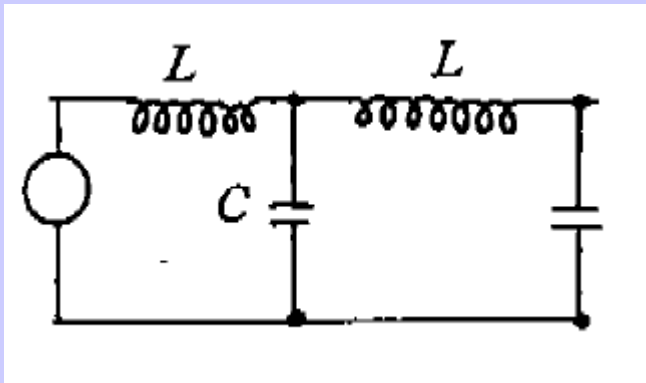
同時具有高導電及高導磁兩層材料  
其屏蔽效果最佳



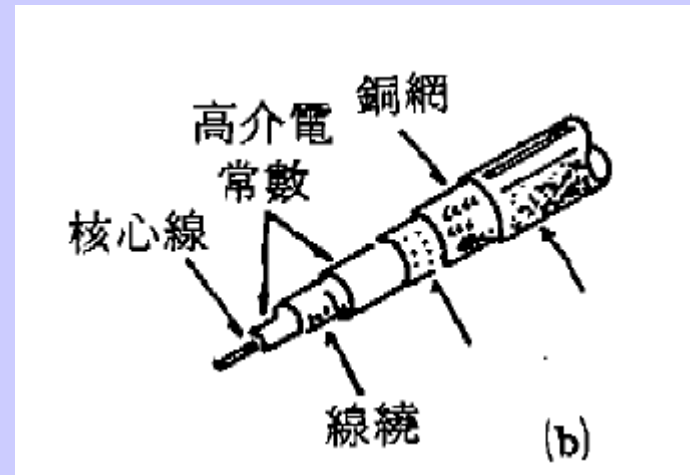
# Filtering



低通積分器

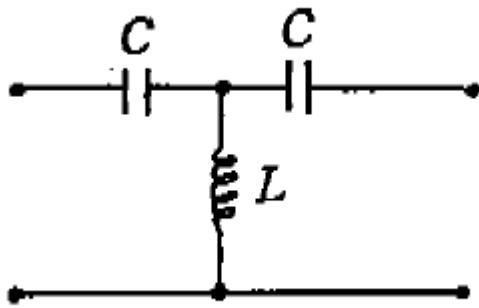


$\pi$ -filter

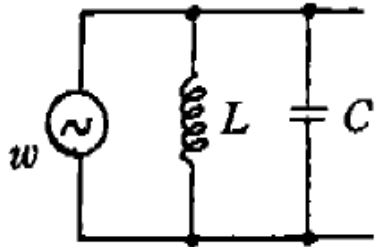


高頻濾波同軸線

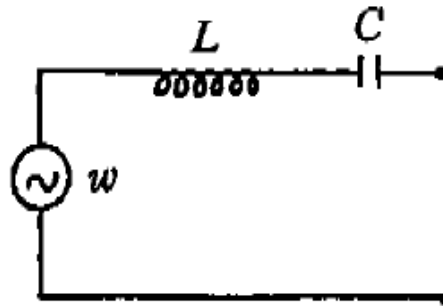




High pass

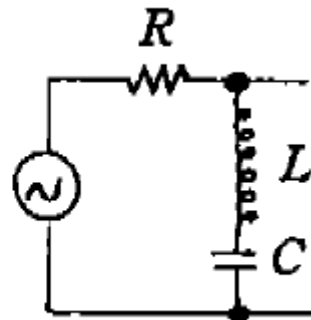
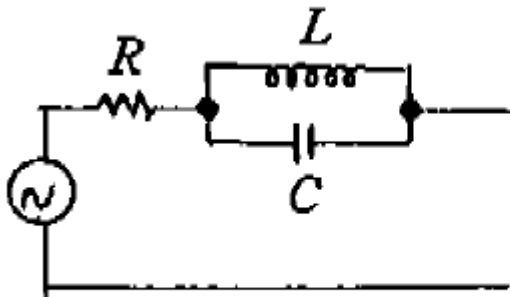


(a)



(b)

band pass



band reject