

3.4 雙極性電晶體

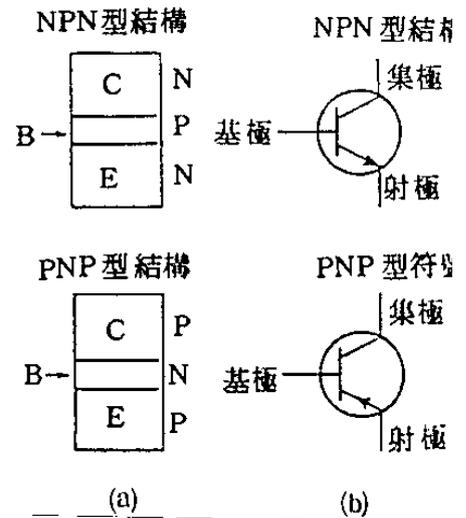
電晶體是一種固態裝置元件，它具有体积小、效率高、壽命長及速度快等優點。近年來技術的進步，已有大量的耐高壓、能承受大功率的晶体被製造出來，因此電晶體在功率上，一直扮演著重要的角色。

3-4-1 電晶體的結構

電晶體的結構很像二極體，不過比二極體多出了一個接合面。如圖3-15(a)所示，將二層N型半導體，中間夾以一層很薄的P型半導體，即成NPN型電晶體；或將二層P型半導體，中間夾以一層很薄的N型半導體，即成PNP型電晶體。

將電晶體的三層晶片都分別列出接線成為電極，中間一片稱為基極(base,B)，另兩極分別稱為射極(emitter,E)及集極(collector,C)。

射極能發射多數載體，基極可控制流向集極之多數載體的數量。集極則能收集射極發射的多數載體，如圖3-15(b)所示，為電晶體的符號，射極之箭頭向外的為NPN型；射極之箭頭向內的為PNP型。

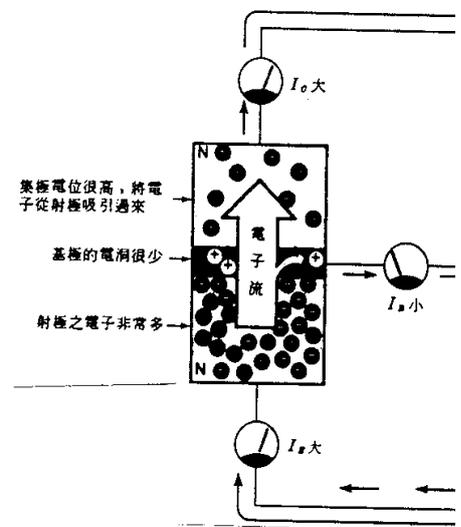


[圖 3-15]電晶體的結構與符號

3-4-2 電晶體的操作

電晶體要正常工作，必須加以適當的電壓，這就叫做偏壓，通常在基極與射極間(B-E間)順向偏壓，集極與基極間(C-B間)施以逆向偏壓，現以NPN型電晶體來說明其工作原理。

如圖3-16所示，在NPN型電晶體中，射極的多數載體是電子。在B極和E極之間施加順向偏壓時，因E極摻入五價雜質的量很大，故有大量的電子進入B極。而B極很薄，且摻入三價雜質的量不多，僅有為數不多的自由電洞，所以從E極進入B極的電子要找到一個電洞來結合，形成B極電流(I_B)，C極是N型區，但在C極與B極間所加的電壓 V_{CB} 為正電壓。就C極與E極來看，偏壓是串聯的關係。因此，E極發射的電子，除了與B極中的電洞相結合而形成 I_B 者外，均被C極的強力電場所吸引而成為大量的C極電流 I_C 。



[圖 3-16]NPN 型電晶體電子流

將電子與電洞的作用互換，則PNP型電晶體與NPN型電晶體的工作原理完全相同。同時我由此知道流入電晶體的電流等於流出電晶體的電流，即

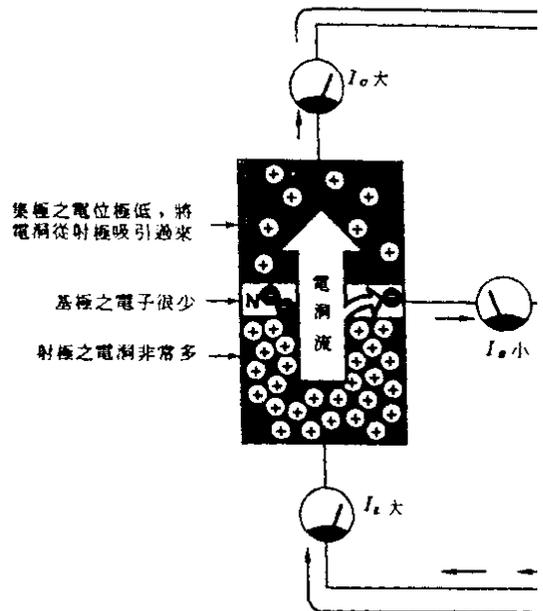
$$I_E = I_B + I_C \quad (3-1)$$

假如B極與E極間不加順向偏壓，雖然C極與E極間加了偏壓，仍然沒有射極電流 I_E 和集極電流。因為B極和E極間不加順向偏壓時，E極不能發射電子(即沒有B極電流 I_B)，那麼C極對E極電場，亦無法收集電子，以形成C極電流 I_C 了。

總之， I_B 愈大表示E極發射的電子愈多，則 I_C 也愈大； I_B 愈小，則E極發射的電子愈少，則 I_C 也愈小。所以， I_C 之大小是受 I_B 所控制的。

在PNP型電晶体中，其主要載體為電洞，如圖3-17所示，所以其所施加之偏壓與NPN型者完全相反。NPN型電晶体比PNP型電晶体使用的較多，那是因為電子的活性比電洞來得大，穿過晶体結構的速度比較快，即NPN型電晶体的速度比較快，在高頻電路中優於PNP型電晶体。另一個原因是大家習慣於把負極接地，而NPN型電晶体電路一般也都是以負極接地方式呈現。

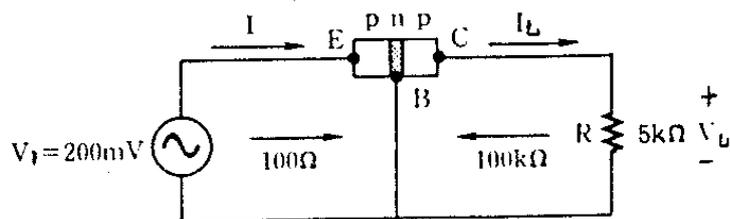
儘管NPN型電晶体與PNP型電晶体的極性不同，但我們經常可在同一個電路中，發現同時使用NPN型電晶体與PNP型電晶体，因為如能兩種可式電晶体配合使用，可使線路設計得更為優越。



[圖 3-17] PNP 型電晶体電流

3-4-3 電晶體的放大原理

現在我們利用圖3-18的電路來說明共基極組態放大的原理。直流偏壓未繪於其上，因為受限於對交流的響應。



[圖 3-18] 共基極組態中電壓放大的基本原理

對於共基極組態而言，一個電晶体的E極與B極之間的輸入電阻典型值是在 $20\Omega \sim 200\Omega$ 之間

電阻則可自 $100\text{K}\Omega$ 到 $1000\text{K}\Omega$ 。這些電阻的差別是因為E、B極的順向偏壓界面與B、C極的向偏壓界面所引起的。若輸入電阻選取 100Ω 的平均值，則

$$I = \frac{200 \times 10^{-3}}{100} = 2\text{mA}$$

如果我們假設 β (α 的典型值在0.90到0.998之間，稱為電流放大率或電流增益)，則

$$I_c = I_b \left(\alpha = \frac{\text{輸出電流}}{\text{輸入電流}} = \frac{I_c}{I_b} \right)$$

$$I_L = I = 2\text{mA}$$

$$\text{同時 } V_L = I_L R = (2 \times 10^{-3})(5 \times 10^3) = 10\text{V}$$

電壓的放大率就是

$$A_v = \frac{V_L}{V_i} = \frac{10}{200 \times 10^{-3}} = 50$$

共基極組態的電壓放大率，其典型值可自20~100，電流放大率則一定小於1，如果欲求其率增益，則功率增益=電流增益 \times 電壓增益，即 $A_p = \beta A_v$ 。

這種基本的放大作用是將電流 I 自一個低電阻電路轉送到一個高電阻電路而得來的。轉換(transfer)與電阻器(resistor)這二個英文字合起來就產生了電晶体(transistor)這個英文名字。

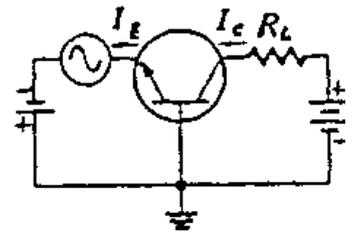
3.4.4 電晶體的基本放大電路及其特性

電晶体三個端點接線中任何一端為共用(Common)，其他兩端為輸入與輸出，可產生三種基本的放大電路型態：(1)共同基極(又稱為共基極，簡稱為CB)、(2)共同射極(又稱為共射極，簡稱為CE)、(3)共同集極(又稱為共集極，簡稱為CC)。

所謂的共用或接地，是指該極為輸入與輸出信號的共同基準點。茲分述如下：

1. 共基極(基極接地式)(CB組態)：

如圖3-19所示，為CB式基本電路，將輸入信號送到E極與B極之間，輸出信號由C極與B極間取出，當輸入信號為正半週時，EB間之順向偏壓被減低，所以輸入電流 I_E 減小，輸出電流 I_C 也隨之變小，使流經負載電阻 R_L 兩端的壓降減低，因C極電壓等 V_{CC} 減去 R_L 之壓降，故C極電壓上升。當輸入信號為負半週時，則E極對B極的順向電壓增大，輸出電流隨之變大，使輸出負載電阻 R_L 之壓降變大，而C極電壓減少。



[圖 3-19]共基極電路(CB式)

由上面分析可知：CB式電路，輸入信號與輸出信號的相位關係為同相，即輸入信號電壓為正半週時，輸出信號電壓仍為正半週；輸入信號電壓為負半週時，輸出信號電壓亦為負半週。

基極接地式之輸出電流 I_C 與輸入電流 I_E 間之比值，是為基極接地式電路的電流增益通常以 α 表示之。即

$$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} \quad \Delta V_{CB} = 0 \dots\dots\dots(3-2)$$

因 $I_E = I_C + I_B$ ，所以 α 值恒小於1，通常約為0.95~0.99左右。但由於輸入電路射極與基極間為順向偏壓，電阻很低；而輸出電路集極與基極間為逆向偏壓，電阻很高，故在電阻特性轉換的結果，電壓增益 A_V 仍然很高。

$$A_V = \frac{\Delta V_{CB}}{\Delta V_{EB}} = \frac{\Delta I_C \times R_L}{\Delta I_E \times R_I} = \alpha \times \frac{R_L}{R_I} \dots\dots\dots(3-3)$$

ΔV_{CB} ：輸出電壓變動值 ΔV_{EB} ：輸入電壓變動值

R_L ：負載電阻 R_I ：輸入電阻

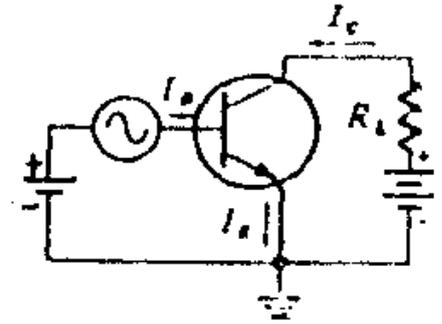
[例3-1]如圖3-19所示共基極電路，若 $\alpha=0.98$ ，輸入電阻為 100Ω ， $R_L=100K\Omega$ ，則該電路之電壓增益為多少？

[解]：

2.共射極(射極接地式)(CE組態)：

如圖3-20所示，為射極接地式基本電路，將輸入信號加到基極與射極之間，而輸出信號從集極與射極間獲得。當輸入信號電壓為正半週時，則射極與基極間的順向偏壓增加，基極電流 I_B 及集極電流 I_C 也上升，使負載電阻 R_L 上的

壓降增加，而集極的正電位變小；當輸入信號電壓為負半週時，則射極與基極間的順向偏壓減少，基極電流 I_B 及集極電流 I_C 均減小，使負載電阻 R_L 上的壓降減小，而集極的正電位變大。由此可知，共射極式放大電路之輸入信號與輸出信號之相位差為 180° （即相反或稱為反相）。



[圖 3-20]射極接地電路

在射極接地電路中，集極到射極電壓 V_{CE} 固定下，基極電流的小量變化與對應集極化的比值，通常稱為共射極電路的順向電流傳輸比，以 $\hat{\alpha}$ 表示，也有用 h_{fe} 表示者，

$$\beta_{ac} = h_{fe} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \sim V_{CE}=0 \quad \dots\dots\dots(3-4)$$

由於 $I_E = I_C + I_B$ ，而以 $\frac{I_C}{I_E}$ ， $\hat{\alpha} = \frac{I_C}{I_E}$ ，則

$$\frac{I_C}{I_E} = \frac{I_C}{I_C + I_B} = \frac{\frac{I_C}{I_B}}{\frac{I_C}{I_B} + 1} \quad \therefore \alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} \text{ 或 } \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad \dots\dots\dots(3-6)$$

因為電晶体之射極與集極間有一漏電流存在，故當 $I_B=0$ 時， I_C 並不一定為零。此漏電流以 I_{CEO} 表示。矽電晶体之 I_{CEO} 約為 $2 \mu A$ ，鍺電晶体之 I_{CEO} 約為 $200 \mu A$ 。

在共射極電路中，當 I_E 為零時，集極電流只有集-基間逆向漏電流 I_{CBO} 而已，故如考慮電流時，則

$$I_C = \beta I_B + I_{CBO} \implies \hat{\alpha} I_C = \beta(I_C + I_B) + I_{CBO} \implies \hat{\alpha} I_C - \beta I_C = \beta I_B + I_{CBO}$$

$$I_C = \frac{\alpha I_B}{1 - \alpha} + \frac{I_{CBO}}{1 - \alpha} \text{ 而 } \frac{\beta}{1 + \beta}, \beta(1 + \hat{\alpha}) = \hat{\alpha} - \beta \hat{\alpha}(1 - \beta)$$

$$\therefore \frac{1}{1 - \alpha} = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\beta}{\frac{\beta}{1 + \beta}} = 1 + \beta \text{ 故 } I_C = \hat{\alpha} I_B + (1 + \hat{\alpha}) I_{CBO} \quad \dots\dots\dots(3-7)$$

$$\text{當 } I_B=0 \text{ 時, } I_C=(1+\hat{\alpha})I_{CBO} \cdot I_{CEO}=(1+\hat{\alpha})I_{CBO} \dots\dots\dots(3-8)$$

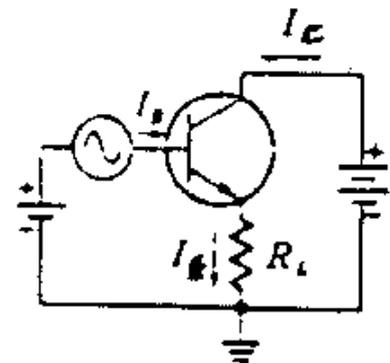
[例3-2]某共射極式電路之工作特性如下： $V_{CE}=6V$ ， $I_C=5mA$ ， $I_B=50\mu A$ ， $I_{CBO}=2 \times 10^{-7} A$ ，試求(1) $\hat{\alpha}$ 值；(2) I_{CEO} 。

[解]：

射極接地式放大電路之輸入阻抗約為 $1k\Omega$ ，輸出阻抗大約為 $50k\Omega$ ，其功率增益、電流增益、電壓增益均大，故為最主要、最常使用的電路型態。

3.共集極(集極接地式)(CC組態)：

如圖3-21所示，為集極接地式基本電路，信號電壓由基極加入而由射極取出，集極則為輸入與輸出的共同基準。這種電路因輸入電路為基極與集極，兩間加逆向偏壓，故輸入阻抗極高，而輸出阻抗很低。主要應用於阻抗匹配電路。因其輸出在射極，也稱為射極隨耦器。



共集式電路之輸出電流為 I_E ，輸入電流為 I_B ，其電流增益為：

$$A_i = \frac{I_E}{I_B} = \frac{I_C + I_B}{I_B} = \beta + 1 \dots\dots\dots(3-9)$$

[圖 3-21]集極接地電路

電流增益雖然很大，但是流過射極時有100%的電流負回授存在，所以電壓增益恒小於1；且輸入信號電壓與輸出信號電壓是同相的。

表3-1 電晶體三種接地方式的特性摘要

	共 基 極	共 集 極	共 射 極
基本電路			
功率增益	有	有	有(最高)
電壓增益	有	無(小於1)	有
電流增益	無(小於1)	有	有
輸入阻抗	最低(~50Ω)	最高(~300kΩ)	中(~1kΩ)
輸出阻抗	最高(~1MΩ)	最低(~300Ω)	中(~50kΩ)
輸出入相位	同 相	同 相	反 相
應用特長	常用在射頻電路， 頻率特性良好	常用在阻抗匹配， 頻率特性良好	使用最多的形式， 頻率特性較差

表3-2 電晶體三種基本組態的特性比較

	CE組態	CB組態	CC組態
電流增益	高(\hat{a})	低(≈ 1)	高($\hat{a}+1$)
電壓增益	高	高	低(≈ 1)
功率增益	高	中等	低($\approx \hat{a}C$)
輸入阻抗	中等	低	高
輸出阻抗	中等	高	低
相位關係	反相180°	同相	同相
功用	因功率增益最大， 故應用較為廣泛	用於極高頻放大和 振盪	用作阻抗匹配

電流增益 A_I : CC>CE>CB

電壓增益 A_V : CB>CE>CC

功率增益 A_P : CE>CB>CC

輸入阻抗 R_I : CC>CE>CB

輸出阻抗 R_O : CB>CE>CC

3.4.5 電晶體的最大額定值

電晶體的最大額定值係指在安全的原則下，經過實驗所測得的最大額定值，在一般使用不可超過此額定值，否則將損壞電晶體或失去原來的工作性能。

電晶體之特性表內的最大額定值，通常以周圍溫度為25℃為準，包括下列數項：

1. 最大集極電壓：

當射極開路時，集極與基極間所施加的最大逆向偏壓以 V_{CBO} 表示，逆向電壓增大超過此耐壓限度時， I_{CBO} 會急速上升而破壞。

2. 最大射極電壓：

表示集極開路時，射極與基極間可加之反向的最大耐壓，以 V_{EBO} 表示之。

3. 最大集極電流：

當射極和基極間施加順向偏壓時，流過集極而不使電晶體效率惡化的最大電流，以 I_{cm} 表示之。

4. 最大集極損(消耗)：

係表示在周圍溫度為25℃時，電晶體在無訊號下最大容許功率損(消耗)值，以 P_{cm} 表示之。

5. 最大接合面容許溫度：

在正常工作下，電晶體部損失功率會造成接合面溫度上升，溫度太高時，會使接合面因太大電過而破壞，而此不破壞接合面的最高溫度，即稱為最大接合面容許溫度，以 T_j 表示之。

通常矽電晶體的 T_j 為125℃ 200℃，鍺電晶體為65℃ 100℃左右。

3.4.6 電晶體的識別與編號

電晶體的編號方法很多，美國多以其註冊的秩序來編號。這些編號是由電子裝置工程協所定。在這系統下，是由數字、字母、數字等三項所構成，第一項數字表示PN接合面的數量，1是僅有一個接合面的二極體；2是三極式的電晶體；3是四極式裝置或開流體。第二項字母通常為N。第三項數字為其註冊號碼，有的電晶體在註冊號碼後還加有A、B等字母，那是表示該註冊號碼同特性之改良。

美國編號方法只能看出其PN接合面的數量，而不能看出其他特性。而歐洲與日本的編號就比較系統化，今分述如下：

1. 歐洲電晶體的編號

構成順序：字母、字母、數字。

例如 B C 108

第一項 第二項 第三項

(1)第一項字母表示製造材料

A 鍺質材料 C 金屬氧化物材料

B 矽質材料 D 輻射檢波器用材料

(2)第二項字母表示用途

A 小功率二極體 F 小功率高頻用 L 大功率高頻用

C 小功率低頻用 G 其他 S 小功率開關用

D 大功率低頻用 H 電場探測器 U 大功率開關用

E 隧道(透納)二極體 K 霍爾效應發生器 Y 大功率二極體

Z 穩壓(齊納)二極體

(3)第三項數字表示註冊號數

上述BC108為矽質小功率低頻用電晶體，其註冊號序為108號。

2.日本電晶體的編號

依據JIS所制定的命名法，其編號順序為：數字、字母、字母、數字。

例如 2 S C 458

第一項 第二項 第三項 第四項

1. 第一項數字表示類別

0 光電晶體、光二極體 2 電晶體、FET、SCR、UJT等三極的零件

1 二極體 3 具有四極的零件

2. 第二項字母 S 表示半導體

3. 第三項字母表示極性及用途

A 高頻用PNP型電晶體 B 低頻用PNP型電晶體

C 高頻用NPN型電晶體 D 低頻用NPN型電晶體

F P閘矽控整流器(SCR) G N閘矽控整流器

H 單接合電晶體 J P通道場效電晶體(P-channel FET)

K N通道場效電晶體(N-channel FET) M 交流矽控整流器(TRIAC)

4. 第四項數字表示註冊順序號碼

有的電晶體在註冊順序號碼後面還加一個字母(A、B、C ..)。其意義同美國編如：電晶體之編號為2SC458A，則該電晶體為高頻用NPN型，註冊序號為458型之改

3.4.7 電晶體的測量法(使用三用電表)

電晶體之材質為矽質或鍺質、極性、接腳及 β 值等，均可應用三用電表量測判斷。

用三用電表量測矽質或鍺質的方法，和二極體的判別法相同。其餘極性、接腳及 β 值等之量測方法分述如下：

1. 以三用電表判斷電晶體是PNP或NPN型

1. 將三用電表範圍調整開關旋至R \times K或R \times 0位置上。
2. 測試棒任意量測電晶體的兩個接腳，使三用電表指示低電阻值。此時這兩接腳中，必有一腳為基極(B極)。
3. 移動任一測試棒，假設紅棒移到剛才空的接腳，若三用電表仍然指示低電阻值，則測試棒沒動的那接腳，即黑棒的接腳為B，如果測試棒移到剛才空著的接腳時，三用電表指示高電阻值，則表示測試棒移開的那接腳為B。
4. 如圖3-22(a)所示，黑棒不動，移動紅棒至其他兩極，三用電表均指示低電阻值。此時黑棒接基極B，黑棒係接三用電表的內部電池正電壓端，故為P。於是可判斷此電晶體為NPN型電晶體。
5. 如圖3-22(b)所示如果紅棒不動，移動黑棒至其他兩極三用電表均指示低電阻值，則紅棒接B，故此電晶體為PNP型電晶體。
6. 以三用電表測試電晶體之B、E及C、B時，與測二極體相同，均應為單向導電。如果有同時指示高電阻值或低電阻值時，則可判斷此電晶體壞了。
7. 如圖3-22(c)所示，無論測試棒如調換，三用電表均指示高阻值，此時測試棒所接的兩極為電晶體的C、E。C、E間為低電阻值時表示該電晶體已壞了。

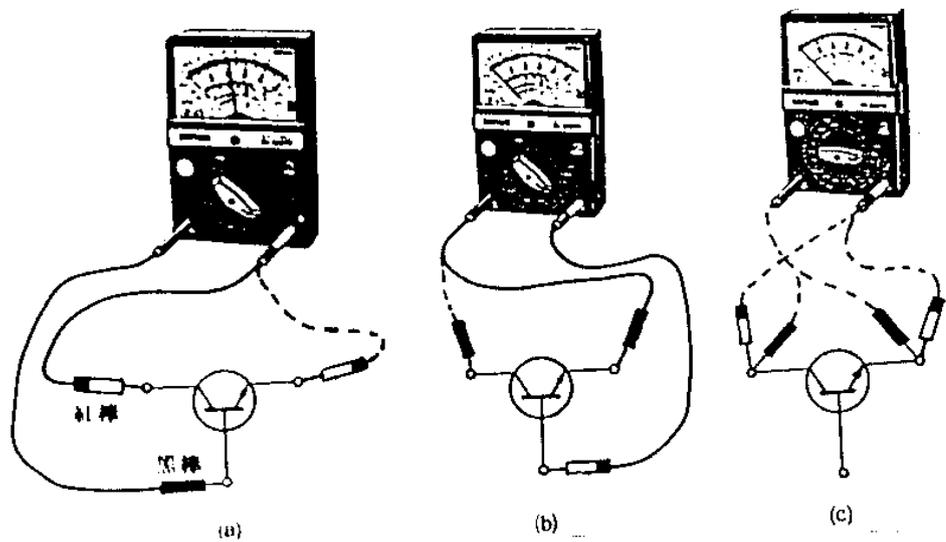
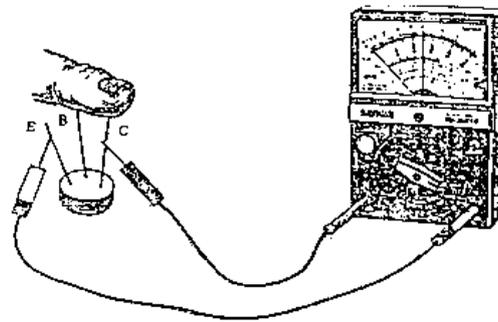


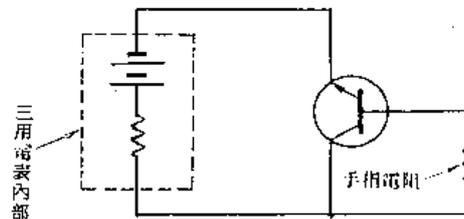
圖 3-22 三用電表量測電晶體

2. 以三用電表判斷電晶體的C、B、E腳

1. 首先由上述方法判斷出電晶體之基極B及其極性為NPN或PNP。
2. 分別假定B以外的兩腳一為C，另一為E。
3. 以NPN電晶體為例，三用電表轉至R \times K，把黑棒(正電壓)接在假定的C，而紅棒(負電壓)接在假定的E。如圖3-23(a)所示，用左手手指同時碰著B與C(不可讓C、B短路)，等效電路如圖3-23(b)所示。此時指針會向右偏轉，記取其偏轉量。若將手指放開，指針又回至原位。



(a) 測試方法

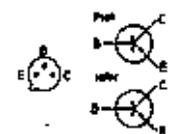
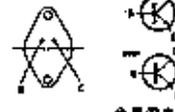
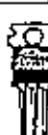
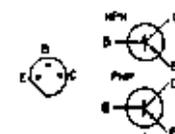
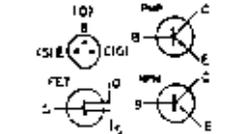


(b) 等效電路

[圖 3-23] NPN 電晶體之測試

4. 將前述假設定之C、E腳對調，即原來假設為C者改為E，原來假設E者改為C。再依程序(3)之方法量測一次。
5. 比較兩次假設所記取之指針偏轉量，偏轉量大者之假設為正確。
6. 表3-3為常見電晶體之外形及接腳圖。

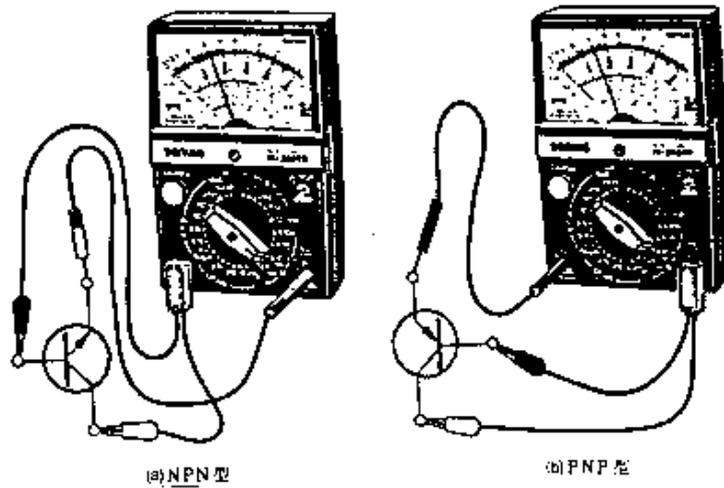
表 3-3 常見電晶體之外形及接腳圖

分類外型	接腳圖特點	分類外型	接腳圖特點
TO-18型 金屬殼主要 是面裝電晶 體，用作小 功率放大管	 管身上三角 形所指的標 號為接腳	TO-5 金屬外殼， 專作小功率 放大管	 
	東芝 G.E.  有括號者為 FET 之接腳	TO-66 中功率管金 屬殼電晶體 的代表，發 買雜貨均可 使用	 表接脚 外形類同  金屬殼大功 率電晶體只 有兩柱接脚
小功率 電晶體 各種家 的外形不 同，接脚 線亦各異	日立：  三洋：  有括號者為 FET 之接腳 東芝、日立、C.E. 三洋、松下、 TAXAS 各廠的 外型不同，在不 平的一面從插脚 處至右方，分 別為 E、C、B 三個接脚。FAIR- CHILD 的產品 與 TO-18 型相同 ，MOTOROLA 亦 相同，中間接脚 系統。	TO-3 大功率管金 屬殼電晶體 的代表，發 買雜貨均可 使用	 電晶體與 TO-66 相同
		其接脚與 TO-18 型 相同	 各廠的接脚 可能不同， 要特別注意 接脚與空 殼連接
出廠時每 種各 不同外型	有括號者為 MOTOROLA 之接脚  E B C E B C E B C	TO-18 出廠時每 種各 不同外型	 
TO-18 出廠時每 種各 不同外型	 		

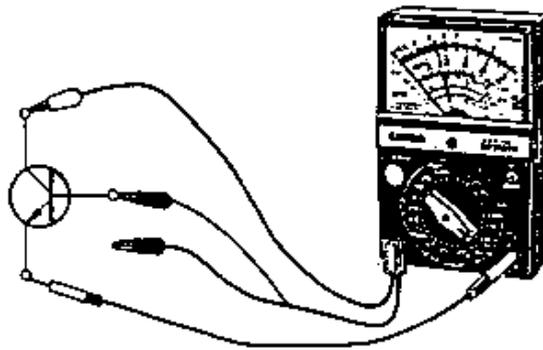
3. 以三用電表判斷電晶體的 β 值

近年來我國與日製三用電表，如303、360、370等各型均附有電晶體測試棒，可用來直接測量電晶體的 β 值，並可依測量數據判斷電晶體之好壞，其用法如下：

1. 將三用電表轉至 $R \times 10(h_{fe})$ 檔，並作0 Ω 調整。
2. 測量NPN型電晶體時，將電晶體測試棒插於三用電表的N(-)插孔，然後把紅色夾子夾在電晶體的C極，黑色夾子夾在B極。另一測試棒插於P(+)插孔，並連接在E極。如圖3-24(a)所示。
3. 測量PNP型電晶體時，則電晶體測試棒插於三用電表的P(+)插孔，另一測試棒插於N(-)插孔。E、B、C的接法與NPN型者相同，如圖3-24(b)所示。



【圖 3-24】電晶體 β 值之測試



【圖 3-25】電晶體好壞之測試

4. 電晶體的 β 值直接由標有 I_C/I_B 或 h_{FE} 之刻度讀取即可。
5. 如圖3-25所示，把夾在B極的夾子拿開，此時之指示值為 $\hat{\alpha}$ 。則 $\hat{\alpha}$ 愈大愈好，但如果 $\hat{\alpha} \leq 0$ 或 $\hat{\alpha} = \hat{\alpha}_c$ ，以及 $\hat{\alpha} > 80$ ，則該電晶體為不良品。

3.4.8 電晶體的特性曲線

電晶體有多種特性曲線，其中最重要的當推集極曲線，如圖3-26所示，為一NPN型電晶體的集極曲線，縱座標表示集極電流，單位為毫安(mA)。橫座標表示集極對射極電壓(V_{CE})，單位為伏特(V)。圖3-27所示為求集極曲線的線路圖，作為項曲線時，是把基極電流 I_B 固定，而調整 V_{CE} 值，並把對應的 I_C 值記錄下來，連接各點成為一條曲線，而後調整可變電阻，把 I_B 的值改變而固定，再調整 V_{CE} 的大小，記錄對應 I_C 之值，就可畫出另一曲線了。

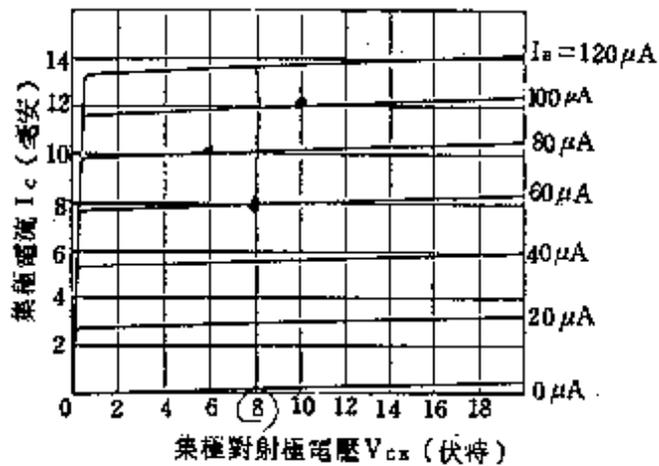


圖 3-26] NPN 型電晶體的集極特性曲線圖

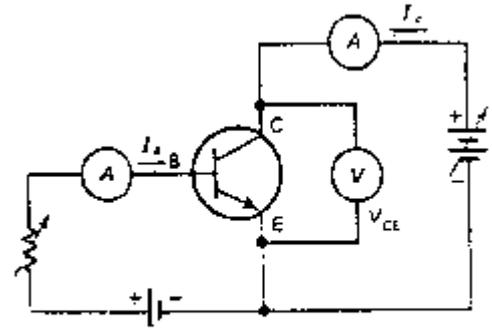


圖 3-27] 電晶體特性測試電路各

從圖3-26中，即可發現電晶體的一些特性，值得注意的是由圖中曲線可知，集極對射極壓 V_{CE} 的大小，對集極電流 I_C 的影響很小，而對 I_C 大小影響最大的是基極電流 I_B 。

由圖3-26中，已經有充份資料來求得電晶體的 β 值了。例如我們要求得 $V_{CE}=8V$ ， $I_C=8mA$ 時的 β 值時，先找出 I_B 的值是 $60\mu A$ (微安)，就可求出 β 值。

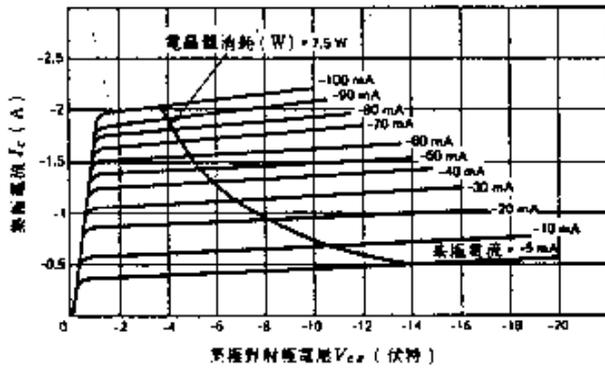
$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{8mA}{60\mu A} = \frac{8 \times 10^{-3}}{60 \times 10^{-6}} = 133$$

當 $V_{CE}=16V$ ， $I_C=14mA$ ，此時 $I_B=120\mu A$ ，故 β 值為

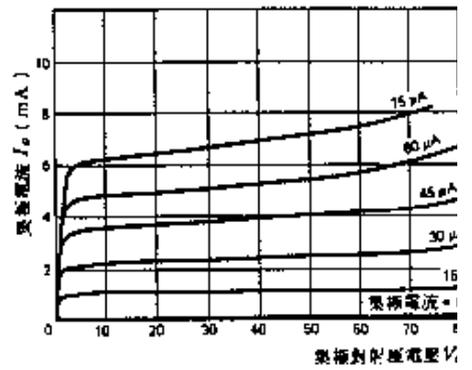
$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{14mA}{120\mu A} = \frac{14 \times 10^{-3}}{120 \times 10^{-6}} = 117$$

由以上計算顯示出，不僅電晶體之間的 β 值不同，即使同一個電晶體，當 V_{CE} 及 I_C 不同時， β 值也會改變，甚至於還會受到溫度的影響。

集極曲線也可以顯示一個電晶體的安全操作區域。如圖3-28所示，在集極曲線中加上一條恒定功率曲線，假若一個電晶體的最大集極消耗為此恒定功率，那麼在此曲線的左邊是安全操作區，其操作點如在曲線的右邊，就有破壞的危險了。所以使用電晶體時，只要不讓操作點超過曲線右邊，就安全了。



[圖 3-28] 恒定功率曲線



[圖 3-29] 集極崩潰

假如把集極曲線延伸到高壓範圍時，就可顯示出集極崩潰的情形了。如圖3-29所示，當集極電壓加得很高時，它便開始控制 I_C 的大小了。

此時電晶體已改變原來的特性了。所以通常電晶體不使用在接近最大集極額定電壓。從圖中可以看出，集極崩潰電壓並不像二極體只有一個固定點，而是隨著基極電流 I_B 之不同而改變。 I_B 愈大時，其崩潰電壓愈低。