

教育部審定
五年制工業專科學校適用

電子實習

三民書局印行 / 周錦惠著

電 子 實 習

(三)

周 錦 惠 著

學歷：台北工專電機工程科畢業

經歷：台北工專電機工程科教授

兼實習組主任

三 民 書 局 印 行

編 輯 大 意

- 一、本書係遵照教育部六十五年所頒佈，五年制工業專科學校電子科電子實習課程標準，編輯而成。除供五年制工專電子工程科教學之用外，並可供電子從業人員參考。
- 二、本書共分十三冊，前七冊為數位系統組及應用電子組所必需共同修習之課程，第一冊包括手工工具及電子儀器等實習，適於第二學年上學期用。第二冊包括二極體之測量及線路之應用等實習，適於第二學年下學期用。第三冊包括電晶體特性測量放大電路及場效電晶體特性測量、偏壓電路等實習，適於第三學年上學期用。第四冊包括場效電晶體放大電路及源極電路等實習，適於第三學年下學期用。第五冊包括脈波電路及線性積體電路等實習，適於第四學年上學期用。第六冊為電子零件檢驗實習，第七冊為數位系統原理實習，此兩冊適於第四學年下學期用；第五學年因兩組性質之不同，課程內容亦不同，第八冊包括各種大型積體電路及數位儀器之實習製作，適於數位系統組，第五學年上學期用。第九冊為電視機電路之調整實習，第十冊為音響器材實習，此兩冊適於應用電子組第五學年上學期用。第十一冊包括微算機程式及小型系統之設計等實習，適於數位系統組第五學年下學期用。第十二冊包括各種工程規格之試驗及電視機之測試、檢修等實習，第十三冊包括閘流體之特性實驗，及其基本電路、應用電路等實習，此兩冊適於應用電子組第五學年下學期用。
- 三、本書第一冊中共有三十項實習，為配合教學時數，茲將其分為下列十三個單元，每週教授一單元，以供教師參考：
實習一～四，實習五～六，實習七～九，實習十～十三，實習十四～十六，實習十七，實習十八，實習十九～二十，實習二十一～二十三，實習二十四～二十五，實習二十六～二十七，實習二十八～二十九，實習三十等十三個單元。
- 四、本書各實習皆儘量選用價廉且普遍之器材來完成之，故得以有限之經濟來達成優良之教學效果。

2 電 子 實 習

- 五、本書各實習皆列有問題及研討，俾使讀者加以研討，以祈達到融會貫通。
- 六、本書內容之選擇及編排，除根據編者教學經驗及參考國內外之最新書刊外，並得郭廷偉先生之謄稿、繪圖而得以完成，謹致謝忱。
- 七、本書係利用課餘之際，於倉促中編輯而成，疏漏之處在所難免，敬盼諸先進及讀者隨時惠予指正，俾再版時得以訂正。

編者謹識

電子實習(三)目錄

實習一	電晶體之測試及判別	1
實習二	共基極放大器	9
實習三	共射極放大器	17
實習四	共集極放大器	27
實習五	電晶體h參數之測量	31
實習六	達靈頓放大電路實驗	43
實習七	電晶體偏壓電路	49
實習八	溫度變化對電晶體之影響	63
實習九	單級電晶體的頻率響應	69
實習十	直流——交流變換器	77
實習十一	串級電阻——電容耦合放大器	87
實習十二	串級變壓器耦合放大	91
實習十三	串級電晶體放大器之頻率響應	95
實習十四	金屬氧化物場效電晶體特性	101
實習十五	接合場效電晶體特性	117

實習一 電晶體之測試及判別

〔目 的〕

1. 瞭解電晶體之結構。
2. 瞭解如何判別電晶體之好壞。
3. 瞭解如何判別電晶體為 PNP 或 NPN 。
4. 熟識如何找出電晶體之各電極（基極、射極和集極）。

〔器 材〕

1. 三用電表兩只。
2. 尖嘴鉗一只。
3. 電晶體若干（CS9012, CS9013等）。

〔原理說明〕

電晶體是由 P 型及 N 型物質成長(*growing*)、混成合金(*alloying*)或擴散(*diffusing*)而成。 PNP 電晶體是將一 N 型物質夾於兩塊 P 型物質中間而成，如圖 1-1 所示。圖中，右側之 P 型物質

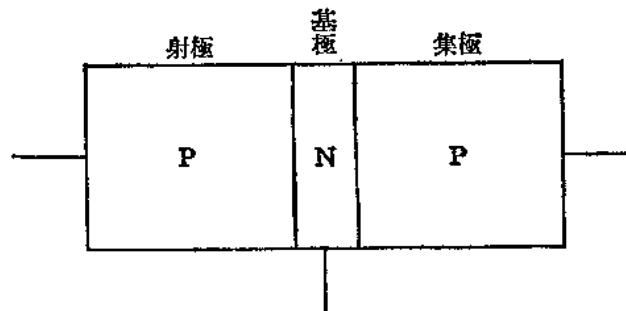


圖 1-1 PNP 型電晶體

稱為集極 (Collector)，簡寫為 C 或 c ；中間之 N 型物質稱為基極 (Base)，簡寫為 B 或 b ；左側之 P 型物質稱為射極 (Emitter)，簡寫為 E 或 e 。

若將一 P 型物質夾於兩塊 N 型物質中間則成 NPN 電晶體，如圖 1-2 所示。此與 PNP 電晶體結構恰相反，故其工作狀況和偏壓供給之極性亦不同。

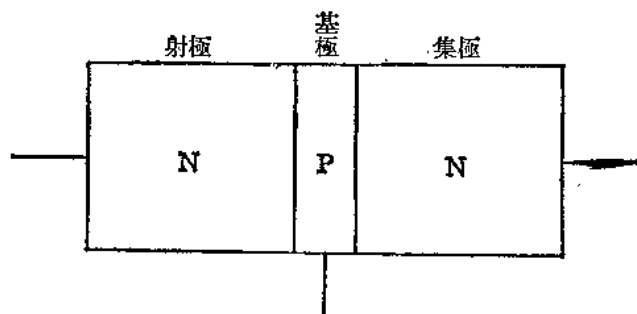


圖 1-2 NPN 型電晶體

由上述知，一只三極電晶體恰似兩只背靠背之二極體。而其在線路上之符號表示法如圖 1-3 所示，箭頭繪於射極而非集極，箭頭方向如二極體之三角形，指示傳統電流較易流通之方向，亦即由 P 至 N 型物質。如圖 1-3(a) 中，左邊之 PN 二極體傳統電流導電係由射極至基極較易；故在線路圖中，箭頭方向由射極指向基極。同理，圖 1-3(b) 中，傳統電流較易由基極流至射極，故箭頭方向由基極指向射極。

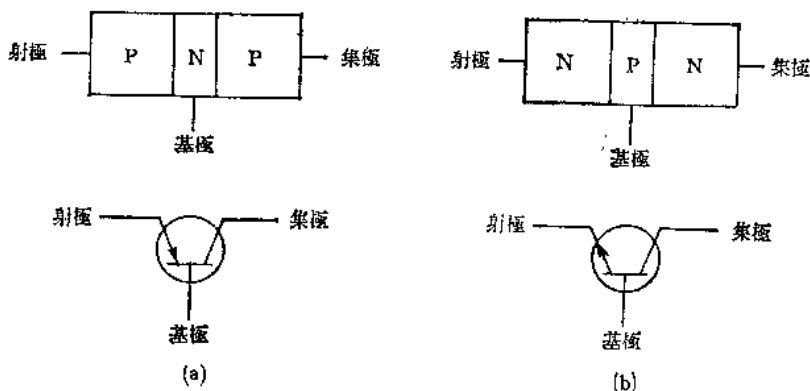


圖 1-3 電晶體之表示符號

若加電壓於電晶體，如圖 1-4 所示，射極及集極二極體均為反偏壓（為方便之故，且稱由射極和基極所形成之二極體為射極二極體；而由集極和基極所形成之二極體為集極二極體。），因為電池迫使傳統電流朝箭頭之反方向流通，故而僅有極小之逆向電流於二極體中流動。

若將上圖之兩電池極性反接，如圖 1-5 所示，則兩二極體（射極二極體和集極二極體）皆為順向偏壓，故有大量電流流動。

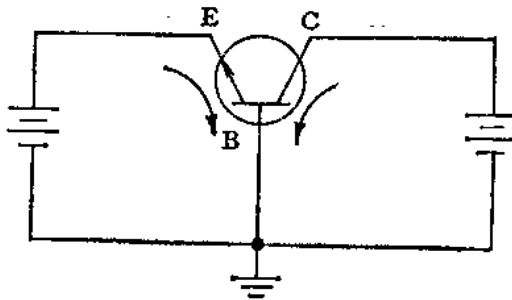


圖 1-4 逆向偏壓之NPN型電晶體

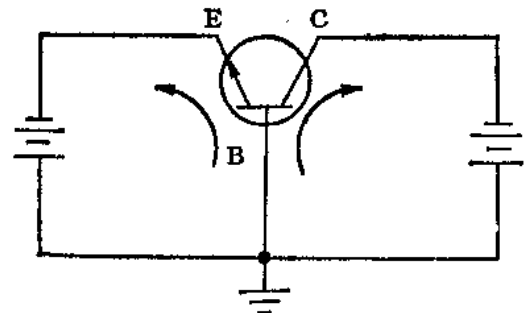


圖 1-5 順向偏壓之NPN型電晶體

圖1-4和1-5中，不論此兩二極體線路同時中斷或同時接通，並無異於使用二分離之PN二極體替代之結果；但若於射極二極體加順向偏壓，集極二極體加逆向偏壓，如圖 1-6 所示，則有大量之射極電流和近乎相等之大量集極電流產生，此現象即使集極二極體反偏壓，可得大量集極電流而非少量集極電流，故使電晶體成為重要之裝置。

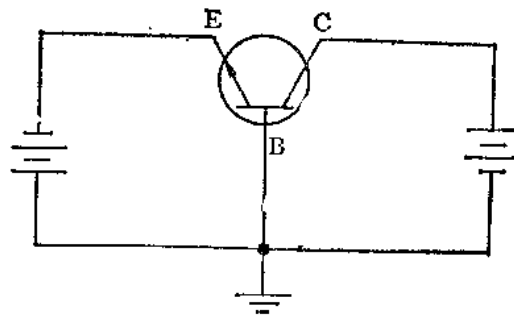
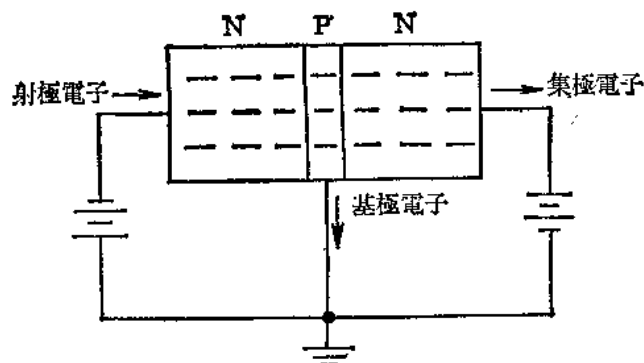


圖 1-6 適當偏壓之電晶體

上圖中，因 N 型射極區域有多餘之自由電子，又射極二極體為順向偏壓，故自由電子向右移動而進入基極區域，但基極區域很薄並略被摻雜，以致於大多數自由電子並不再結合，而擴散進入集極——基極空乏區域，掠過接頭到達集極區域，又為集極電壓供給正端所吸引，故產生大量集極電流。如圖 1-7 所示。

圖 1-7 適當偏壓之 NPN 型電晶體

〔程序及記錄〕

一、判斷電晶體的好壞

1. 將三用電表選擇開關置於 $R \times 100$ 位置。
2. 將三用電表歸零。
3. 測試棒之正負端分別與電晶體之射極(E)，及基極(B)觸接，如圖 1-8 所示。此時正向電阻

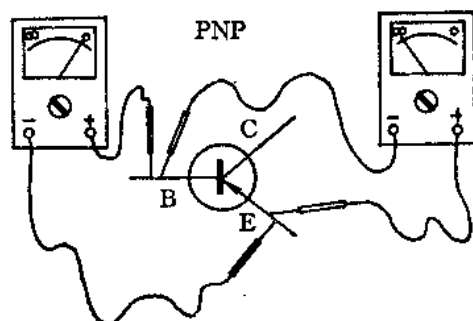


圖 1-8 電晶體好壞之判別

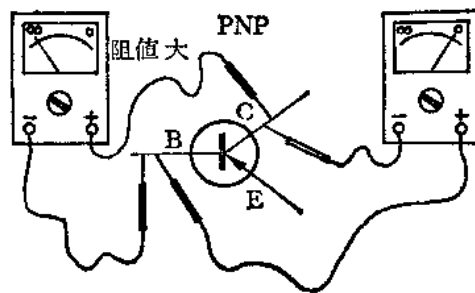


圖 1-9 電晶體好壞之判別

值約為 $2\sim 5\Omega$ ；反向電阻值幾近無限大。

4. 測試棒之正負端改接於電晶體之集極(C)和基極，如圖 1-9 所示。此刻之正向電阻值約為 $2\sim 5\Omega$ ；反向電阻值為無限大。則此一電晶體即為良好之電晶體；否則即為不良品。

測低功率電晶體時：

1. 將三用電表選擇開關置於 $R \times 100$ 之位置。

2. 將三用電表歸零。

3. 測試棒之兩線端分別與電晶體之射極、基極觸接，如圖 1-10 所示。此刻若電表所指示之正向電阻值近於 1500Ω ，反向電阻值幾近無限大，則此一電晶體屬良品；否則即為不良品。

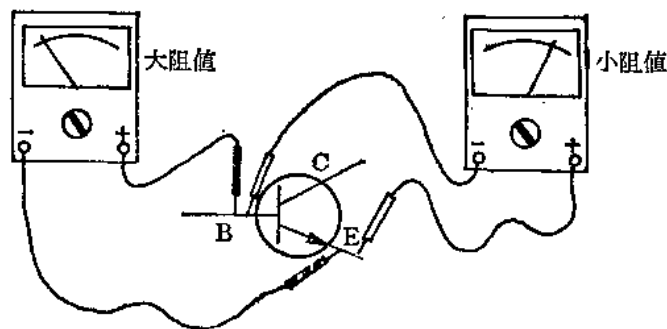


圖 1-10 電晶體好壞之判別

電晶體漏電測試

1. 將三用電表選擇開關置於 $R \times 100$ 之位置。

2. 將三用電表歸零。

3. 兩測試棒分別接於射極和集極，如圖 1-11 所示。

4. 觀察電表指數，若電阻值低於正常值(附註中所示)，即示此一電晶體為漏電或局部短路，故不能使用。

※註：①通常用於射頻放大之電晶體，其正常之電阻值；正向的為 $50K\Omega$ ，反向幾近無限大。

②用於中頻放大之電晶體，其正常之電阻值與用於射頻者相近。

③用於低頻放大之電晶體，其正常之電阻值；正向約為 $20K\Omega$ ，反向幾近無限大。

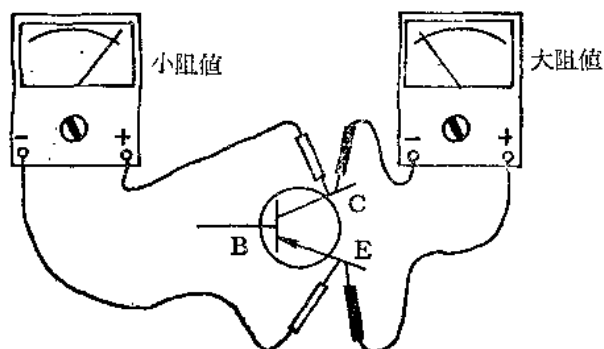


圖 1-11 電晶體漏電測試

二、電晶體PNP或NPN之判別

1. 將三用電表之選擇開關置於 $R \times 100$ 或 $R \times 1000$ 之位置。
2. 將兩測試棒分別接於待測電晶體之任意兩接腳。若此刻，三用電表之指針為低電阻值時，則此兩接腳中必有一為基極。
3. 將紅測試棒移至第三接腳（程序2中未與測試棒連接之接腳）。若電表指針仍為低阻，則黑測試棒所觸接之接腳即為基極；但若測試棒移至第三腳時，電表指示大阻抗值，則測試棒移離之接腳即為基極。
4. 如圖1-12所示，黑測試棒接基極，紅測試棒接於其他兩極，此刻若指針所示之電阻值很

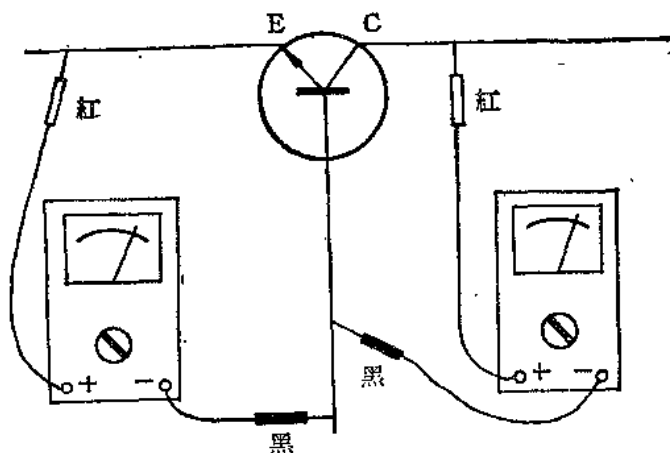


圖 1-12 電晶體極性之判別

低，則電晶體為 *NPN* 電晶體（黑棒接電池正壓，故為 *P*，即基極為 *P*）；反之，電表指示高電阻值時，電晶體為 *PNP* 電晶體。

5. 如圖1-13所示，紅測試棒接於基極，黑測試棒接於其他兩極，此刻若指針所示之電阻值很高，則電晶體為 *NPN* 電晶體；反之，電表指示低電阻值時，電晶體為 *PNP* 電晶體。

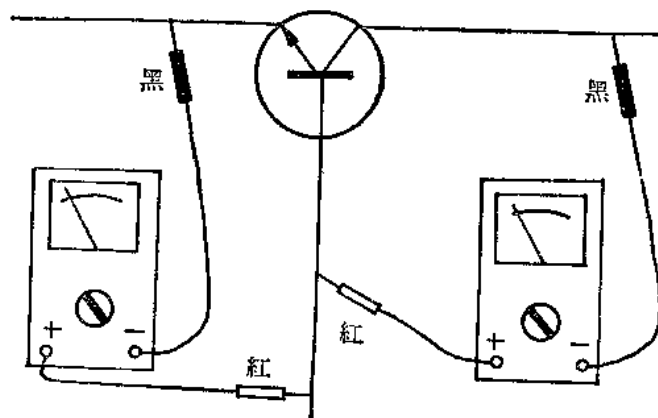


圖 1-13 電晶體極性之判別

三、電晶體 *C*、*B*、*E* 之判別

1. 找出電晶體之基極並判別其極性為 *PNP* 或 *NPN*。
2. 假設基極外之任意一接腳為集極，餘者為射極。
3. 將三用電表選擇開關置於 $R \times 1000$ 之位置（以 *PNP* 電晶體為例）。
4. 如圖1-14(a)所示，黑測試棒接於設定之射極，紅測試棒接於設定之集極，再將一只 $100K\Omega$ 之電阻接於基極與集極之間（或以手指將此兩極捏住）。若假設正確，則三用電表所指示之電阻值甚低；而假設錯誤時，如圖1-14(b)所示，三用電表指示高電阻值。

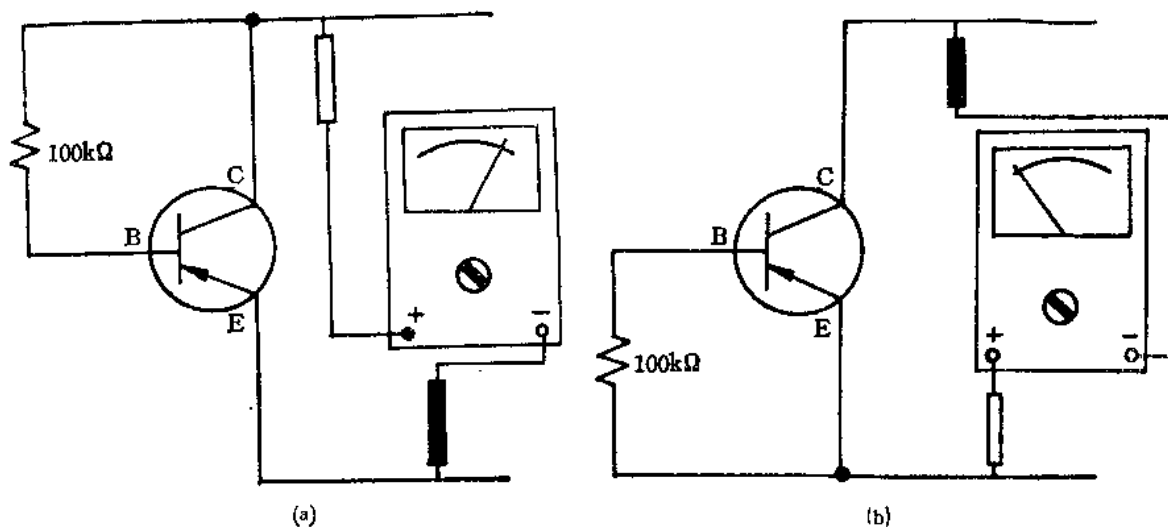


圖 1-14 電晶體電極之判別

〔問題及研討〕

1. 簡述電晶體好壞之判別法。
2. 如何判別電晶體為 *PNP* 或 *NPN* ? 試簡述之。
3. 如何判別電晶體之各電極 ? 試簡述之。
4. 試述電晶體之基極及射極間於何種情況下方能導電 ?
5. 於電晶體之集極與基極間加一逆向偏壓時, 有何現象發生 ?
6. 欲測試電晶體時, 是否應將其與其他電路隔離 ?

實習二 共基極放大器

〔目 的〕

1. 熟識共基極電晶體放大電路。
2. 瞭解電流增益、電壓增益及功率增益之測試與計算。
3. 明瞭共基極放大器之工作情形。

〔器 材〕

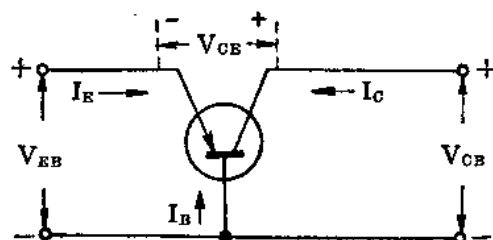
1. 音頻信號產生器一部。
2. 電阻器 $10K\Omega$ 、 $47K\Omega$ 、 $22K\Omega$ 、 $3.3K\Omega$ 各一只， 220Ω 兩只。
3. 電容器 $10\mu f$ 、 $100\mu f$ 各一只。
4. 變阻器 $50K\Omega$ 、 $10K\Omega$ 各一只。
5. 示波器一部。
6. VTVM一只。
7. CS9013或其他特性相似之電晶體一只。

〔原理說明〕

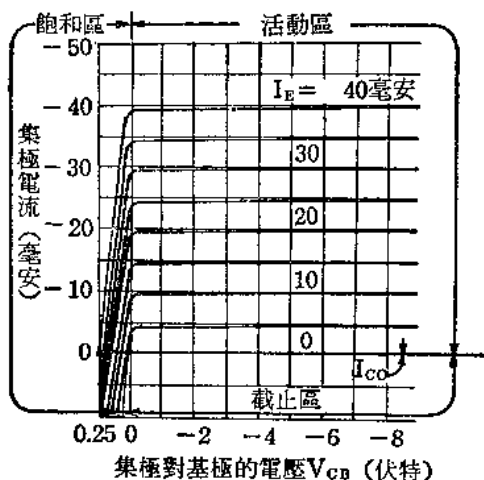
電晶體放大電路以接地形式區分的話，可分為三種型式。基極接地或稱共基極 (Common Base—CB)；射極接地或稱共射極 (Common Emitter—CE)及集極接地或稱共集極 (Common Collector—CC)。

如圖2-1(a)所示為共基極放大電路，輸入訊號加於射極——基極，輸出從集極——基極取出，基極為輸入與輸出共用。圖2-1(b)所示的為具代表性的 $p-n-p$ 鎢電晶體輸出特性線或稱集極靜止特性曲線 (output or collector static characteristics)。這曲線是以射極電流 I_E 為參數的集極電流 I_C 對集極和基極之間的位降 V_{CB} 的曲線。圖2-1(c)所示的是以集極對基極的電壓 V_{CB} 為參數

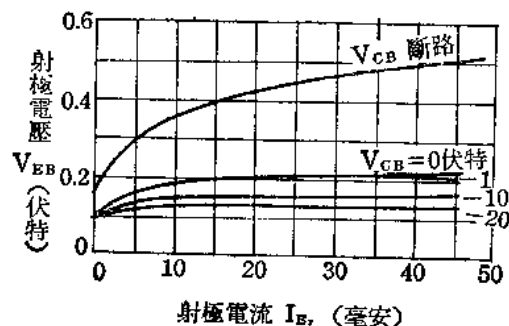
而畫的射極與基極間之電位 V_{EB} 對射極電流 I_E 的曲線，這一曲線稱為輸入或射極靜止特性曲線 (input or emitter static characteristics)。



(a)



(b) 一個代表性的 $p-n-p$ 電晶體的共基極輸出特性線。



(c) 一個代表性的 $p-n-p$ 銻接頭電晶體的共基極輸入特性曲線。

圖 2-1 (a)共基極放大電路(b)共基極輸出特性曲線(c)共基極輸入特性曲線

當集極電壓的大小增加的時候，二極體輸出接頭的空間電荷寬度就隨之增加。這一作用使有效基極的寬度減小，這個現象就稱為歐萊效應 (Early effect)。由於有效基極寬度的減小，使基極內電荷梯度 (gradient) 提高，於是使射極電流增大。

圖 2-1(c) 的輸入特性曲線代表在不同的集極電壓下，射極與基極變極體的前向特性。在這曲線中要注意的是有切入 (cut-in) 或抵補 (offset) 電壓 V_i 的存在。在此值以下，射極電流甚小。一般而言，銻質電晶體的 V_i 約為 0.1 伏，而矽質約為 0.5 伏。當 V_{EB} 保持定值時，根據歐萊效應，

增加集極電壓的大小能提高射極電流，所以當 $|V_{ce}|$ 變大時，曲線向下移。

圖 2-1(b) 所示的輸出特性曲線，集極反向偏壓 V_{ce} 的極性習慣上沿橫軸向右畫，即使極性是負的也一樣。在集極二極體是反偏，而射極接頭是順偏的區域稱為活動區 (active region)。在此區域內，曲線是線性的，輸出電流 I_c 與輸入電流 I_e 之關係為

$$I_c = -\alpha I_e + I_{co} \quad (2-1)$$

其中 I_{co} 為反向飽和電流。 α 代表集極電流的增量和射極電流由零至 I_e 變量之比的負數，稱為共基極電晶體大信號電流放大率 (large-signal current gain)，即

$$\alpha = -\frac{I_c - I_{co}}{I_e} \quad (2-2)$$

普通電晶體都是工作在活動區域中。縱軸在 $V_{ce}=0$ 以左， $I_e=0$ 特性曲線以上的區域稱為飽和區 (saturation region)。在這一區內，射極二極體和集極二極體都是順偏的，而曲線為非線性，造成信號的失真，電晶體很少工作在此一區域。 $I_e=0$ 的特性曲線，並不和電壓軸重疊，此時 $I_c = I_{co}$ ，但因 I_{co} 只有幾個奈安或微安，所以中間距離很小很難在圖上示出。在 $I_e=0$ 曲線右下方區域稱為截止區 (cutoff region)，其間射極和集極二極體均被反偏。

圖 2-2 所示為共基極之等效電路，將於後面實習中說明。其輸入電阻比共射極及共集極低；其輸出電阻則較高，電流增益值在 1 以下。

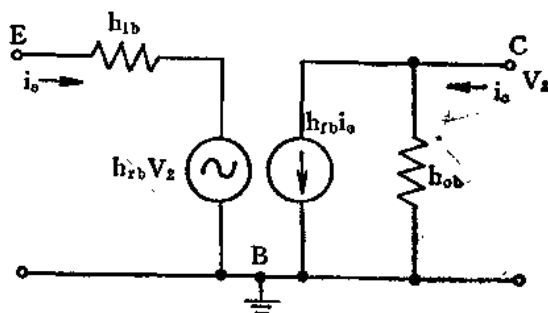


圖 2-2 等效併合模型

共基極連接了內部電阻為 R_e 的信號源及負載電阻 R_L 時的各種特性，則如下所示，導出的方法留於後面 h 參數實習中討論。