

582
U52

半导体收音机

的设计与制作

聞 張 俊 編 著

人 民 郵 電 出 版 社

內 容 提 要

本書內容包括晶体管的基本原理，晶体管(半導體管)收音機(無再生直接放大式、再生式和超外差式)各級，如檢波、再生檢波、低頻電壓放大、功率放大以及變頻器(或混頻器)等的線路及其設計。

書中除介紹線路原理、設計計算外，還介紹了具體裝配過程中一些注意事項和調整手續。

半導體收音機的設計與制作

編著者：于 聞 張 俊

出版者：人 民 郵 電 出 版 社

北京東四六條13號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇四八號)

印刷者：北 京 市 印 刷 一 廠

發行者：新 華 書 店

開本 787×1092 1/32

1959年9月北京第一版

印張3 4/32 頁數50 插頁1

1959年9月北京第一次印刷

印刷字數74,000字

印數1-15,300冊

統一書號：15045·總1075-無292

定價：(9)0.35元

序

晶体管（或叫半导体管）这个电子器件是大家很熟悉的。它比电子管有很多优点，因此虽然从發明以来仅十几年，但是，已经有極大的發展，并且广泛地应用于各方面。其中最普遍的是用来裝收音机。自从我国大躍进以来，各方面都有飞躍的發展，晶体管的制造也有很大的进展。晶体管在国内已經开始生产了，并且在1958年已經出現了使用国产晶体管及全部国产器材裝成的半导体管收音机。我們不久将会广泛地使用国产晶体管来裝制小巧玲瓏的收音机了。因此，关于怎样使用晶体管以及怎样設計和裝配晶体管广播收音机是迫切需要的知識了。

本書是根据作者初步掌握的一些知識与經驗加以整理而成，只能提供一些入門知識与具体資料。

書中内容包括晶体管基本原理，晶体管基本綫路，半导体管收音机的各級綫路原理和設計方法，以及調試和裝配等問題。各部分都从基本原理講起，直到具体設計方法和实例，以期理論和实践相結合，使得具有初步無綫电知識的同志就能閱讀，并且可以据此而設計和裝配簡單的半导体管收音机。

由于作者学識淺薄，經驗不多，書中如果有缺点或錯誤，請予以指正。

作者

目 录

一、晶体管的基本物理性質	1
二、晶体管綫路的基本原理和特性	7
三、晶体管收音机的整机設計	19
四、天綫和輸入电路的計算	23
五、变频器、混頻器与振盪器	34
六、中頻放大器的設計	41
七、檢波器	51
八、低頻放大器的設計	57
九、功率放大器	65
十、晶体管收音机的装配与調試	77

一 晶体管的基本物理性質

1-1 半导体和P-N 結

目前世界各国制造晶体管所用的原材料都是鍺或硅，其中用鍺制造的晶体管最多，近几年来硅二極管和硅三極管也已經在大量制造。

鍺和硅的电性能处在导体与絕緣体之間。一般导体的电阻率在室溫下是 10^{-5} — 10^{-6} 欧姆-厘米，而絕緣体的电导率在室溫下是 10^{10} — 10^{15} 欧姆-厘米，鍺的电导率在室溫下大約是 50 欧姆-厘米；硅的电导率在室溫下大約是 63600 欧姆-厘米。因此，我們可以看出鍺和硅是处在导体和絕緣体之間的一种物質，所以我們叫它們是“半导体”。

一塊理想的純鍺是不会像导体那样有良好的导电性能的。大家都曉得在导体的內部有自由电子，当在导体兩端施加电压时，导体內部的自由电子就会沿着电場的方向向正極移动，因此在导体內部就有电流产生。而一塊理想的純鍺的內部沒有自由电子存在，所以尽管在它的兩端施加电压，只要在沒有超过它的击穿电压以前也不会产生电流的。

在鍺制的晶体管中是有电流按一定方向流过的，那末怎样才能使上述的鍺具有导电性能呢。下面就讓我們来看一下怎样使鍺导电。

首先讓我們設想一下，如果在一塊鍺中加一些电子进去，这些外加电子在鍺的內部不受任何約束，必可以自由地無秩序地走来走去。这时我們再在这塊鍺的兩端施加电压，这些不受約束的外加电子，就会像导体中的自由电子一样，沿着电場方

向移动，因此这块锗中就会有电流产生。

讀者会問：“这些外加电子是怎样加进锗中去的呢？”要解决这个问题，讓我們再进一步設想一下，如果在一块純锗中加进一些其他元素去（这外加元素叫“杂质”），如加一些砷或銻进去，使得这块含有杂质的锗内部能有多余的电子在那里自由移动，这时候再在这块锗上加电压，不就能有电流产生嗎？是的，我們加电子的方法就是这样。一块含有砷或銻杂质的锗，它的导电基本上依靠电子。为了区别另一种导电方式，我們把加进杂质后产生多余电子的锗叫“N 型锗”，意思是锗中有多余的負电。

現在讓我們再来看一下，如果我們在純锗中所加的杂质不是使锗有多余电子，而是使锗的内部某些分子結構中缺少电子（这些杂质一般是銻或硼），在这缺少电子的分子上就会空下一个位置，我們把这空下来的位置叫“空穴”，这个空穴是不稳定的，它有从鄰近的完整的分子中夺取电子以充实自己的空穴的傾向。这样在被夺去电子的分子中就又造成一个新的空穴，这新的空穴也同样要向另一完整分子夺取电子，这样連續下去一直在那里互相夺取电子以补充自己。我們把这种现象可以看做是空穴在那里移动。因为空穴是缺电子，故可以看成帶有正电荷的，所以我們又可以看做是正电荷在那里移动。这时候再把电压加到这块锗的兩端，空穴就会沿着电场方向向負極移动。因此在这块含有空穴的锗中也会有电流产生。我們把这种由空穴导电的锗叫“P 型锗”意思是锗中有多余的正电。

以上我們所討論的 N 型锗和 P 型锗才是真正用来制造晶体管的原材料。下面就讓我們再进一步研究一下晶体二極管的基本工作原理。

如果我們把一块 N 型锗和一块 P 型锗紧紧地連在一起，

如圖1-1(a)所示，我們把這兩塊鎢的交接處叫“P-N 結”。

現在讓我們看一下 P-N 結的作用。當如圖 1-1(b)所示，將一電池加到這兩塊鎢上，正極接 N 型鎢，而負極接 P 型鎢，則 N 型區域內的多余電子向 P-N 結的右方移動，而在 P 型區域內的空穴則向 P-N 結的左方移動，此時電流在 P-N 結上無法流通，所以在外電路中也沒有電流產生。當然嚴格來講，在這反向電壓工作下，不是完全沒有電流通過的，如恰好在 P-N 結上 N 型區域有少量電子同 P 型區域的空穴相复合便產生電流，可是這電流是在反向電壓作用下產生的，所以數值很小，我們把它叫“反向電流”。

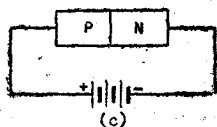
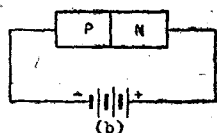
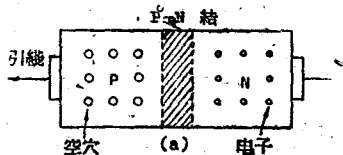


圖 1-1

另外再讓我們來看一下圖 1-1(c)所示的電池接法，就是將上述電池反一個方向接上，這時 P 型區域內的空穴就會在電場的作用下向右方移動，並移向 P-N 結，而 N 型區域內的電子也會向左方移向 P-N 結，這時 P-N 結上大量的空穴與電子通過，故此時 P-N 結上有大量的電流流過。因此在外電路上也有電流通過。這電流我們叫“正向電流”。

由上述兩個現象我們可以看出，P-N 結具有良好的整流作用，在正向電壓作用下，P-N 結對電流沒有阻擋作用，而在反向電壓作用下，P-N 結具有很大的電阻值。P-N 結的工作原理就是一般面結合型晶體二極管的基本工作原理。

1-2 晶体三极管的基本工作原理

剛剛我們討論了晶体二極管的基本原理，現在讓我們來看一下晶体三極管是怎樣工作的。如果我們把兩塊 P 型鍺和一塊 N 型鍺如圖 1-2 那樣安排，并讓它們緊連為一體，再在三塊鍺上各引一根接線，這樣就做成了一個晶体三極管。這三根引線是

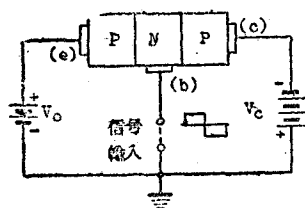


圖 1-2

用來作電路連接用的，我們分別把它們叫做“發射極(e)”、“基極(b)”與“集電極(c)”。這時我們可以看出，在這樣的安排下，會有兩個像第 I 節我們所討論的 P-N 結出現，我們分別把它們叫做“發射結”和“集電結”。

現在我們進一步看看這兩個結的作用。如圖 1-2 所示，我們在發射結上加一個正電壓(V_e)，在集電結上加一個負電壓(V_c)($V_c > V_e$)，基極作信號輸入極。

首先讓我們研究一下基極沒有信號電壓的情況，這時在左方的 P 型鍺中的空穴在發射極的正電壓作用下，通過發射結流向當中的 N 型鍺中，并在集電極負電壓作用下，這些空穴大部分又流向集電極，當然也有一部分流向基極，因 $V_c > V_e$ ，大部分空穴要流向集電極。而在集電極區域（右方）的空穴由于集電極電壓對於集電結來說是反向的，故在這區域的空穴無法通過集電結。當然在當中的 N 型區域中的多余電子也會通過發射結流向發射極，不過這部分電子流比起上述空穴流來，在一般 P-N-P 晶体管中要小得多。因此我們可以很明顯地看出，在 P-N-P 晶体管中導電的主要是空穴，也就是說在 P-N-P 晶体管中主要是空穴導電。

其次我們來看一下，如果將一方形波信號加在基極上（假設沒有過渡現象），那末在信號的正半週時，基極處在正電位，這時就會相對地減低加在發射結上的電壓，而相反的又提高了加在集電結上的電壓。這時由發射極流向集電極的空穴電流就相應地增大，而流向基極的電流則相應地減小。

而當基極信號轉為負半週時，一切就會與上述情況相反。所以流向集電極的電流就相應地減小。

由上述兩種情況我們可以看出，當基極上加上信號電壓後，集電極上的電流就會相應地隨信號電壓變化。在上述情況下，集電極電流要比基極電流大很多倍，我們設集電極電流為 i_c ，基極電流為 i_b ，並令 i_c 與 i_b 的比值為 α_{cb} ，得

$$i_c/i_b = \alpha_{cb} \quad (1-1)$$

我們把這個比值叫做集電極到基極的短路電流放大系數。

在基極加信號的同時，也會引起發射極的電流變化。為更完善的表明晶體管的各電極的變化關係，我們引進另一個參數：

$$\alpha_{ce} = i_c/i_e \quad (1-2)$$

我們把這個比值叫做集電極到發射極的短路電流放大系數，一般的晶體管 $\alpha_{cb} \gg 1$ ，有的可達100以上，而 α_{ce} 則小於1。

由上述分析可以看出，在晶體管里的放大作用是電流放大，這恰好與電子管中的電壓放大相對應。另外因為晶體管的輸出阻抗比輸入阻抗大很多，所以它還起着功率放大的作用，這是晶體管的主要放大作用。再有一點值得注意的是，在基極上的輸入信號電流與集電極上的輸出電流之間恰有 180° 的相位差，這一點是與電子管的柵極輸入信號電壓與板極輸出電壓相差 180° 相符合的。

除上述 P-N-P 型晶體管外，還有一種 N-P-N 型晶體管，它是用兩塊 N 型鍺與一塊 P 型鍺結合在一起做成的。在 N-P-N

型晶体管中导电的主要是电子，这恰好与 P-N-P 型晶体管相反。因此在 N-P-N 型晶体管工作时所加直流电压也与 P-N-P 型晶体管的相反，但分析方法却相同。

1-3 几种主要晶体三极管

上面我們談的是一般面結合型晶体管的簡單情况。在制造过程中，采取不同的方法可以制出各种类型的晶体管，下面我們就把几种常見的晶体管向讀者做一簡單介紹。

(一)合金結晶体三极管：这是在一薄鍺晶体片兩面分別熔进一些金屬雜質，使構成两个整流結，这就成为一个晶体三极管。这种晶体管的使用頻率一般在几兆週左右，功率增益最大可到 40 分貝。

(二)生長結晶体三极管：这是在制造鍺晶体时适当地加进一些雜質，并改变其加雜質的区域以便得到 P-N-P 或 N-P-N 晶体三极管。这种三极管使用頻率在 20 兆週左右，功率增益約 40 分貝。

(三)扩散法晶体三极管：这种晶体三极管是將一塊鍺晶体表面在真空中扩散进去一層雜質。这种晶体管的使用頻率可达几十兆週。这是目前最有發展前途的一种高频晶体管，其最大功率增益为 30 分貝。

(四)点接触型晶体管：这是用一塊 N 型或 P 型鍺做基極，而在这塊鍺上接触两个針来做發射極和集電極，便成为晶体三极管。这种三极管与上述的面結合型晶体管在特性上不同之点是它的 α_{ce} 可大于 1，而前面我們講过在面結合型晶体管中 α_{ce} 最大只是近于 1。另外它的雜音要比面結合型晶体管大。再有就是在适当的選擇工作点时，它有显著的負阻效应，故用它来做負阻振盪或触發电路比較方便。它的使用頻率一般在 10 兆

週以下。最大功率增益為 30 分貝。

(五)除以上幾種最常見的晶體管外還有表面位壘晶體管，場效應晶體管，晶體四極管等等，這裡不一一詳述。

二 晶體管綫路的基本原理和特性

2-1 晶體管的特性

晶體管在電路圖中的表示符號如圖 2-1 所示，(a)是 PNP 型晶體管，(b)是 NPN 型晶體管，兩者之間的區別是發射極的箭頭向內的是 PNP 型晶體管，而發射極箭頭向外的是 NPN 型晶體管。圖中的 e 、 b 及 c 如前面所述分別表示發射極、基極和集電極。

讀者在電子管手冊中常常可以查到一些表征電子管性能的參數與曲綫。晶體管也應用一些參數與曲綫來表征它的性能。下面分別介紹幾種常用的參數及典型特性曲綫。

常用的低頻晶體管參數有兩部分：

(一)基本參數：

其中有典型工作點的參數：在集電極電壓(V_c)集電極電流(I_c)時的發射極到集電極的短路電流放大系數(α_{ce})；輸出端短路的輸入阻抗(h_{11})；輸入端開路的輸出阻抗(h_{22})及反向電壓放大系數(h_{12})。此外還有集電極的反向電流(I_{co})及截止頻率(f_a)。

上列參數的意義和用途將在後面詳細敘述，這裡只說明集電極反向電流(I_{co})及截止頻率(f_a)。

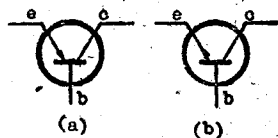


圖 2-1 晶體管的電路符號 (a) PNP 晶體管 (b) NPN 晶體管

集电极反向电流(I_{co})是当发射极开路时,在集电极到基极间加电压时的集电极电流,一般晶体管的 $I_{co} \leq 10$ 微安。

截止频率(f_a)是在此频率下工作时晶体管的电流放大系

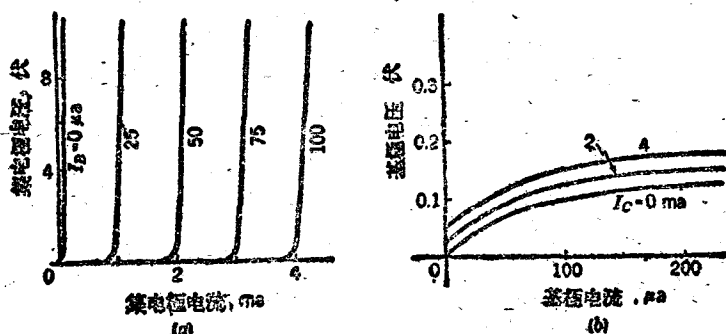


图 2-2

数比在低频时的电流放大系数低 0.707 倍 (即低 3 分贝), 这个频率就叫截止频率, 它指出使用晶体管的频率界限, 读者使用晶体管时要注意它的数值。

(二)最大工作特性:

最大工作特性给出晶体管的使用极限, 计有最大集电极电压, 电流及耗散功率 (在一定温度下, 一般给出 20°C 时的集电极耗散功率), 使用晶体管时须特别注意这最大工作情况, 因为当晶体管的实际工作情况超过最大工作情况时, 晶体管就会损坏。

除上述低频晶体管参数外, 在高频晶体管中还给出集电极电容(C_c)及基极电阻(r_b)等, 因为在高频运用下, 这两个数值的影响很大 (参看后面的等效电路), 故在高频晶体管中一定要给出这两个参数。此外有的还给出晶体管的最高振荡频率(f_{max})等。

以上这些参数只是给出了晶体管的一般应用数据，在其他一些应用中（如脉冲电路等），尚有补充数据。

在晶体管的电路设计中，除应用上述参数外，常还须要一些特性曲线，下面我们列举一二以做读者参考。

圖 2-2 所示是共發射極線路的四組特性曲线，圖 2-2(a) 所示是輸出特性曲线，即 $V_c - I_c$ 的关系曲线用 I_b 作参变数，它用在晶体管放大器輸出电路的设计中。圖 2-2(b) 是輸入特性曲线，即 $V_b - I_b$ 的关系曲线，用 I_c 作参变数，它用在晶体管放大器輸入电路的设计中。

2-2 晶体管放大器的基本电路

晶体管在电路中的连接方法和电子管很相似，大家都晓得，在电子管电路里有陰極接地、柵極接地和板極接地（陰極輸出）三种接法，如圖 2-3 的 (a)(b)(c) 所示。在晶体管电路中也相应的有三种接法，如圖 2-3(d)(e)(f) 所示。圖 2-3(d) 是發射極接地的连接法，輸入端用基極和發射極作端子，輸出端用集電極和發射極作端子，由此可知發射極是輸入及輸出所共用，故發射極接地的接法也叫

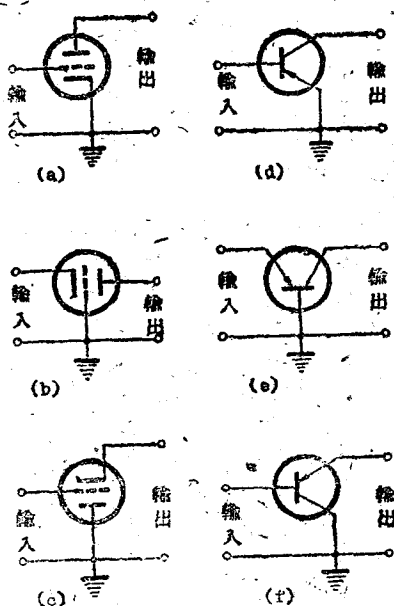


圖 2-3

“共發射極”接法。圖 2-3(e)是基極接地的接法，也叫“共基極”接法。圖 2-3(f)是集電極接地的接法，也叫“共集電極”接法，下面我們就分別介紹這三種接法的特点。

共基極接法：它的綫路如圖 2-4 所示， E 是輸入信號電源， R_g 是信號電源的內阻， Z_L 是負荷電阻， V_e 是發射極直流電壓。圖 2-4(a)表示 PNP 型晶體管的直流電源接法，圖 2-4(b)表示 NPN 型晶體管的直流電源接法， V_c 是集電極直流電壓。

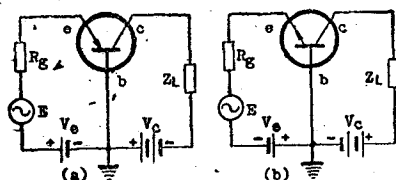


圖 2-4

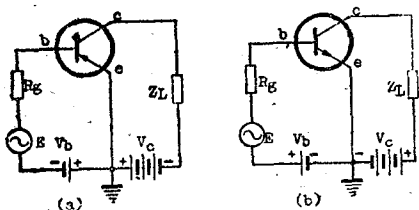


圖 2-5

共基極綫路中輸入及輸出電流的數值差不多一樣大，而輸入及輸出電阻却相差很多。一般輸入電阻約為 35 歐，而輸出電阻約為 100—2000 千歐。因此在輸入端的發射極電流變化所引起的集電極的電流變化儘管有同樣大小，但在輸出端却可得到被放大的信號功率。

另外我們還可以利用它這兩端電阻相差很大的

特点，來做阻抗變換器，使低阻抗與高阻抗相配匹。

此外共基極電路的穩定性較強，故一般電路多採用它。還有一點應當指出的是它的輸入信號與輸出信號之間的相位相同。這與前面分析晶體管工作原理時所用的共發射極綫路不同。

共發射極綫路：它的綫路如圖 2-5 所示，由圖可知發射極是輸出及輸入共用的電極，輸入信號電源(E)接在基極同發射極之間，負載(Z_L)接在集電極同發射極之間。圖 2-5(a)(b)分

別表示 PNP 晶体管与 NPN 晶体管的电源極性。

这种綫路的短路电流放大系数比 1 大得很多，可达 100 以上，也就是說輸入端的电流有少許变化，在輸出端就会引起較大的电流变化，原因是基極电流比集電極与發射極的电流小得多。在这种綫路里恰恰是把这个电流小的電極（基極）当做輸入電極，所以輸入电流很小，而輸出电流很大。

这种接法的輸入及輸出阻抗不像共基極綫路那样相差非常大，但輸入阻抗仍小于輸出阻抗，一般輸入阻抗約 1 仟欧，輸出阻抗在 40—100 仟欧範圍內。

由于輸入及輸出之間的电流及阻抗有很大差别，故用这綫路除能得到很大的电压放大外，还能得到很大的功率放大。这种接法的功率放大量比共基極綫路的要大很多倍，这是共發射極綫路比共基極綫路优越的地方，也是晶体管放大器多用共發射極綫路的原因。

但是在这种綫路中，由于集電極到基極的电容較大以及晶体管本身內部是連通的，使得这种綫路的稳定性沒有共基極的綫路好。

另外，这种綫路的特点是它的輸入信号电流和輸出信号电流之間有 180° 的相位差。这一点是和电子管的輸入及輸出电压之間相差 180° 的情形相符合的。

共集電極綫路：它的綫路如圖 2-6 所示，直流供电的接法与共發射極綫路的接法相同，但其負荷接在發射極到地之間，而集電極則短路到地。由圖可看出，这种綫路与电子管綫路中的陰極輸出綫路很相似。

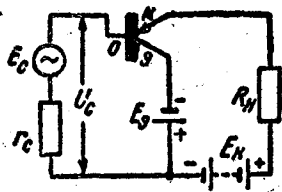


圖 2-6

这种电路的电流放大倍数与共发射极线路的相差不很多，而电压放大倍数则小于 1，并且功率放大倍数比前两种线路的小很多。

虽然这个线路比前两种线路有上述缺点，但它的优点是输入阻抗较大，而输出阻抗很小，因此我们可以利用这一特点作阻抗变换器。例如一高阻抗电路要与低阻抗电路相连，中间就可接入这样一个线路。

这种线路的另一特点，就是在一定条件下，不但可以放大由基极输入（发射极输出）的信号，还能放大由发射极输入（由基极输出）的信号，也就是放大作用可以逆向。

2-3 晶体管的等效线路

如所周知，在电子管线路里，为了便于分析，通常将电子管化为一等效线路。图 2-7(a) 是一个共阴极线路，(b) 就是它的低频等效线路， V_g 是信号输入电压， R_g 是栅漏电阻， R_p 是板极内阻， S 是电子管的跨导， V_p 是板极输出电压， I_p 是板极电流。从这等效电路中，我们可以很清楚地看出，电子管的输出端对输入端毫无影响，因为输入和输出电路除电子管放大

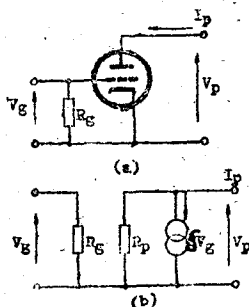


图 2-7

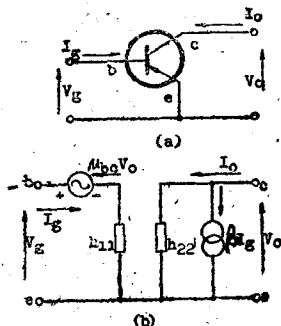


图 2-8

作用外是完全無關的。

但是在晶体管則不然，除由晶体管將輸入信号放大外，因晶体管本身內部聯通，使得在輸出端的信号也會對輸入端有所影响，在圖2-8(b)中表示了晶体管共發射極的低頻等效綫路， V_g 是輸入信号电压， I_g 是輸入电流， V_o 是輸出电压， I_o 是輸出电流， β 是短路电流放大系数（这系数的意义前面已經講过，在这圖中 β 是由基極到集電極的短路电流放大系数），这里要說明一下 μ_{bc} 、 h_{11} 及 h_{22} 的意义：

μ_{bc} 是晶体管反向电压放大系数，它是在輸入端开路即 $I_g=0$ 时，在輸出端加信号，这时得到的 V_o/V_g 的值，也就是 $\mu_{bc}=(V_o/V_g)_{I_g=0}$ 。一般合金型晶体管它的 μ_{bc} 在 575×10^{-6} 左右。

h_{11} 是在輸出端短路（即 $V_o=0$ ）时的輸入阻抗，一般 $h_{11}=1000$ 欧左右。

h_{22} 是在輸入端开路时（即 $I_g=0$ ）的輸出导納，一般 $h_{22}=25 \times 10^{-6}$ 姆欧。

介紹了等效电路之后，再回到原題上来，那就是由等效电路可以看出，晶体管輸出端對輸入端有影响。很明显，在等效电路的輸入端有了 $\mu_{bc}V_o$ 这个电压發生器。

另外我們也可以將圖2-7(b)的电子管等效綫路与圖2-8(b)的晶体管等效綫路对比一下。我們發現，除 $\mu_{bc}V_o$ 这个电压發生器以外，其他都完全相似，只要把 R_g 換成 h_{11} ，把 $1/R_p$ 換成 h_{22} ，把 S 換成 β ，把 V_g 換成 i_g 并加上一個 $\mu_{bc}V_o$ 。就可以把电子管等效綫路換成晶体管等效綫路。

同样，在高频时晶体管等效綫路也和电子管等效綫路相似。圖2-9就是兩者的等效电路。圖2-9(a)是电子管共陰極等效电路，这时我們可以看出除 C_{ek} 与 C_{pg} 外，完全和低频的