



业余晶体管 收音机制作

苏联B.Г.鲁格芬著

朱 邦 俊 译

人民邮电出版社

无线电丛书

业余晶体管收音机制作

苏联 B. Γ. 魯格芬著

朱 邦 俊 譯

人民邮电出版社

譯者的話

这本书介紹了十多种制作难易程度不同的晶体管收音机，有最简单的0-V-2式收音机、帶高放的直接放大式收音机、来复式收音机及超外差收音机；也有台式收音机及袖珍式收音机等。

为了使初接触晶体管的讀者能更好地掌握晶体管收音机的制作，在开始时介紹了一些有关晶体管及其电路的基本知識。

这本书除分析所介紹的电路原理及調整方法外，对各种主要零件的数据，以及制作方法也作了必要的叙述。最后还介紹了若干在业余条件下的晶体管簡單測試仪器及方法。

• 由于苏联有很多长波广播电台，故本书原文中很多电路是按接收长波电台而設計的。但我国的广播电台多工作于中波波段，为了适合我国讀者的需要譯者在若干地方加了一些譯者註，使收音机能接收中波电台，并在书末补附常用国产品晶体管特性表。

原 序

接收和放大設備的設計和裝配，在業余無線電愛好者的創造性活動中，始終佔據重要的地位。

晶體管的出現，在業余無線電愛好者的活動中，开辟了新的、誘人的方向。與電子管相比，晶體管更省電，壽命更長。晶體管的尺寸比電子管的尺寸小得多，並且可以用低壓電源供電。所有這些都為裝置省電而體積小的設備，提供了莫大的方便。

在這本小冊子中，介紹了制作難易程度不同的各種自制晶體管收音機和放大器的電路。這些電路每一個業余無線電愛好者都能獨立地裝配。

晶體管工作時其中所發生的許多物理過程，跟電子管中有所不同。由於這一原因，以前只接觸過電子管的業余無線電愛好者因為沒有掌握新的放大器件的特殊性能，就會產生一些困難。為了便於業余無線電愛好者進行裝配工作，本書的第一章講述晶體管的工作原理、電的特性以及其使用方法。

在本書的後三章中，介紹了自制低頻放大器和收音機的具體結構。所講的材料是按由簡單到複雜的次序排列的，這樣就便於閱讀和裝置晶體管收音機和放大器。

B. 魯格芬

目 录

譯者的話

原 序

第一章 晶体管三极管——放大元件	1
1. 晶体三极管的构造	1
2. 晶体三极管——放大元件	9
3. 保証晶体三极管安全的一些謹慎措施	14
4. 晶体三极管的型号	15
5. 晶体三极管工作状态的建立方法	16
第二章 最簡單的晶体三极管裝置	20
6. 有低頻放大器的检波式收音机	20
7. 高放式收音机	24
8. 低頻放大器	31
第三章 台式来复收音机和超外差收音机	38
9. 来复式直接放大收音机	38
10. 超外差收音机	46
第四章 袖珍收音机	57
11. 来复式袖珍收音机	59
12. 携带式超外差收音机	67
附录：几种国产晶体三极管及二极管特性表	75

第一章 晶体三极管——放大元件

1. 晶体三极管的构造

目前有两种基本类型的晶体三极管——点接触式晶体三极管和面接合式晶体三极管。点接触式晶体三极管用得少得多，因为它有一些固有的缺点：放大状态的工作不稳定；可靠性比面接合式晶体三极管差和机械强度低。几乎在所有的工作状态下，点接触式晶体三极管都可以用适当的面接合式晶体三极管顺利地来代替。因此本书所介绍的所有电路都是用面接合式晶体三极管装成的。

今后本书中提到的“晶体三极管”一无例外，都是指面接合式晶体三极管。

晶体三极管最流行的结构之一，是一片从锗晶上切下的矩形薄片，在它的两个宽面上熔入两粒金属钨，作为电极。在锗片（称为晶体三极管的基极）和熔入锗片的两个钨电极（叫做发射极和集电极）上接出导电的引线。引线的名称与所接电极的名称相同（图1, a）。

整个结构装在密封的金属外

壳或陶瓷外壳内。为了保证较好的热传导，晶体管的其中一个电极，通常是与外壳作机械连接的①。晶体和其余两个电极间

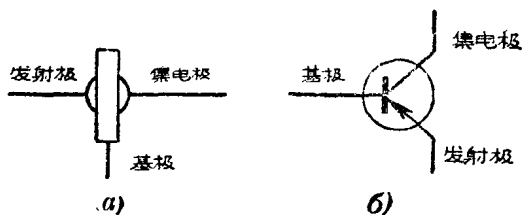


图 1 合金式晶体三极管
a—结构简图；b—电路符号

的分界面，称为发射结和集电结。晶体管的每一个结的性能，都和普通的晶体二极管一样，即当加在其上的外界电压为某一

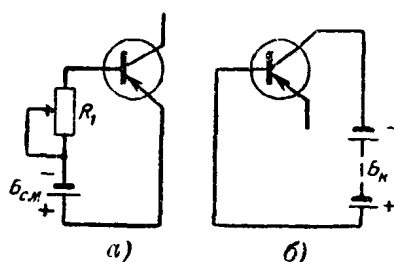


图 2 $p-n-p$ 晶体三极管的外电源的接法
a—发射结电源的接法；b—集电结电源的接法

极性时导电(正向)，而当外界电压为相反极性时(反向)不导电。苏联制造两种导电性的晶体三极管： $p-n-p$ 晶体三极管和 $n-p-n$ 晶体三极管。两者的主要区别在于它的两个结对基极来说的正向和反向，恰

好相反。当外电压的负极接基极，正极接晶体三极管其余两个结时，对 $p-n-p$ 晶体三极管的两个结来说是正向(图 2, a)。当电压的正极接基极，负极接其余两个结时，对 $n-p-n$ 晶体三极管的每一个结都是导电方向。 $n-p-n$ 晶体三极管的主要特性和 $p-n-p$ 晶体三极管的特性差不多，因此今后除特别声明外，在所有的情况下都是指 $p-n-p$ 晶体三极管。

两个结都是晶体二极管的这一特性，可以用来检验晶体三极管的好坏。晶体三极管的每一个结的正向电阻和反向电阻，可用欧姆表测量。如果晶体三极管良好，那末两个结的正向电阻约为 30—50 欧，而反向电阻为 500—2000 千欧。当测得的数值与上述的差得很远时，便认为晶体三极管是坏的。

测量晶体三极管发射结和集电结的正向和反向电阻时，使用欧姆表内的电池电压不应超过 3 伏，且内阻要足够大。在测

- ④ 目前，另一些结构的晶体三极管(扩散式晶体三极管、表面阻挡层晶体三极管)也获得广泛的应用，它们无论在制造工艺上，无论在工作参数上都与合金式晶体三极管有所不同。但是不同结构的晶体三极管，它的外部电气性能十分相似。

量晶体三极管的正、反向电阻时,流过晶体三极管結的电流的大小,在任何情况下,都不应超过 5—10 毫安。否則,晶体三极管就可能损坏。

虽然晶体三极管的每一个結的性能分别象一个普通的晶体二极管,但是认为晶体三极管就是两个二极管的简单合并,那就錯了。

原因是不論两个晶体二极管接成怎样的电路,其中每一个二极管的电流都只与加在它上面的电压的大小和极性有关,而与另一个二极管的电的状态无关。但是晶体三极管的集电結电流則直接与流过发射結的电流大小有关。晶体三极管的工作原理就是以这一性能为基础的。

为了說明晶体三极管內电流的分配規律,让我们来看一下图 2 所示的、典型的电源連接电路。在图 2,б 所示的电路,电池 E_K 反向地接至晶体三极管的集电結。这时,晶体三极管的集电极电流极小。这是因为集电結的反向电阻很大。在图 2,а 所示的电路中,电池 E_{CM} 正向地接至晶体三极管的发射結。在这一情况下,发射結电流主要决定于可变电阻 R_1 所接入的那一部分的大小。这是因为发射結的正向电阻十分小。这两种电源接法是晶体三极管电路的典型接法。这就是說集电极电压总为负极性,而发射极电压为正极性。

在图 3 上繪出了晶体三极管的实际連接电路。电路中两个电压同时接到晶体三极管。虽然在这个电路中,集电极电压也是反向地接至晶体三极管,但是它的集电极电流却比图 2,б 电路中的集电极电流大得多。因为它的大小跟发射极电流的大

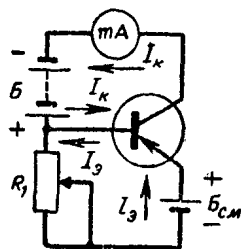


图 3 晶体三极管各电极之间的电流分配图

小有关。改变可变电阻 R_1 滑臂的位置，可以控制晶体三极管集电极电流的大小。

在电子管中，通常是靠第一栅极电压来控制屏极电流的，而晶体三极管的集电极电流则由发射结电流来控制。这时，对面接合式晶体三极管来说，其集电极电流总稍小于发射极控制电流。因此晶体三极管的电流放大系数等于

$$\alpha = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_E},$$

它小于 1 (符号 Δ 表示在它后面的量值的微小变化)。

各种型号的苏联产品晶体三极管的电流放大系数 α ，都是在 0.9 到 0.99 的范围内。

从上列公式中可以看出：晶体三极管的集电极和发射极电流之间，具有一定的关系，但是它们的数值是不同的。发射极电流和集电极电流数量上的差别比较小，同时它们的差值便是晶体三极管另一极——基极的实际电流。

将图 3 所示电路中的电流分配加以分析后，我们便不难相信：晶体三极管基极引线电流等于发射极电流和集电极电流之差。因此，

$$I_G = I_E - I_K.$$

然而，因为集电极电流 I_K 是发射极电流的一部分，即

$$I_K = \alpha I_E,$$

所以

$$I_G = (1 - \alpha) I_E,$$

或

$$I_G = \frac{1 - \alpha}{\alpha} I_K.$$

从以上最后两个表示式中可以看出：晶体三极管的基极电流比发射极电流和集电极电流小，是它们的几十分之一。例如，当 $\alpha = 0.9$ 时，基极电流 $I_G = 0.1 I_K$ ，而当 $\alpha = 0.99$ 时，基极电流 $I_G = 0.01 I_K$ 。这个性能使我们可以利用晶体三极管来放大电

流（無論是直流，還是交流）。事實上，由於晶体三极管的所有三個電極的電流間，存在着相互一定的關係，當我們用某種方法改變晶体三极管基極電流的大小時，我們就會看到：這時，晶体三极管集電極電流的變化要大幾十倍。

分數因子 $\frac{\alpha}{1-\alpha}$ 稱為共發射極電路①中晶体三极管的電流放大係數，以希臘字母 β 表示。它表示晶体三极管集電極電流的變化是使它發生變化的基極電流變化的若干倍。

$$\beta = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_G}.$$

接在電路中的晶体三极管的電流放大係數 β 愈大，則晶体三极管電路的放大性能愈高。確定某一具體晶体三极管的電流放大係數 β 的大小的簡單的、且一般業余無線電愛好者能做到的方法，將在下面第 8 頁上加以介紹。

利用放大器件的靜態特性曲線族，就能正確地裝置各種放大電路和選擇它們的工作狀態。毫無疑問，搞過電子管的業余無線電愛好者都十分熟悉電子管的特性曲線族，象屏極——柵極特性曲線族和屏極特性曲線族。借助於這些特性曲線族，就能足夠精確地確定所裝的機件的所有零件的參數，以保證預定的工作狀態。對晶体三极管也可以繪出類似的特性曲線。但是，由於各晶体三极管的參數上下差別很大，對一個晶体三極

① 晶体管放大电路和电子管放大电路一样，根据电路中放大器件的那一个电极对欲放大的输入电压和取出的输出电压来说是公共的，而有极其不同的性能。输入电压源（信号源）和负载电阻（放大后的电压在其上取出），都有两个端子。因为晶体管三极管有三个工作电极，所以很明显的，在任何接法的电路中，晶体管三极管的其中一个电极对信号源和负载来说，将是公共的（信号源对被放大的信号来说呈短路）。由此就有共发射极电路，共基极电路和共集电极电路之称。

管繪出的特性曲綫不能用来計算另一个晶体三极管的工作状态。然而，为了良好地装配电路，必须具备一些晶体三极管的特性曲綫的基本性质的知識。

按共发射极电路接成的晶体三极管的集电极特性曲綫族，是最典型的特性曲綫族。它以一族曲綫表示在不同基极电流时，集电极电流跟集电极电压（集电极和发射极之間的电压）的关系。

图 4 示出某一 $\Pi 6 B$ 型晶体三极管的实际集电极静态特性

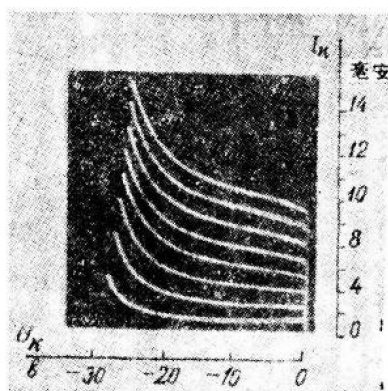


图 4 $\Pi 6 B$ 型晶体三极管的实际
集电极静态特性曲綫族

曲綫族。它是从示波器的荧光屏上摄下来的。曲綫的纵轴标出集电极电流的数值，而横轴标出集电极和发射极之間的电压。由下往上数，第一条特性曲綫相应于基极电流 I_b 等于零；第二条相应于 $I_b = 30$ 微安；而第三条相应于 $I_b = 60$ 微安。

从图 4 中可以看出：当基极电流的数值固定不变时，晶体三极管的集电极电流几乎与集电极和发射极之間的电压无关。这个性能由于以下两个原因而十分有用。第一个原因是，晶体三极管可以接在电源电压十分低（不超过 1—2 伏）的电路中。第二个原因是給晶体三极管接上一个电阻比較大的負載时，就能使电路获得很大的电压放大系数。

晶体三极管的集电极电流与发射极和集电极之間的电压的依从关系很小的这一現象，是造成晶体三极管和电子管中的五

极管的特性曲线以及其它一些性能相似的原因。

当集电极和发射极间的电压接近 30 伏时，小功率晶体三极管(П 6、П 13)的特性曲线便急剧朝上弯曲。这是由于晶体三极管中开始出现电击穿现象。因此，应该这样来设计晶体三极管电路，使得在任一瞬时，集电极电压都不超过某一对晶体三极管来说危险的数值。

根据特性曲线族，可以求出晶体三极管的电流放大系数 β 。确定 β 值的图解法，示于图 5。在特性曲线族的水平轴上，标出相应于所选定的工作电压的一点。由此点作平行于集电极电流轴（即纵坐标）的直线，使此直线与两根相邻的特性曲线相交。此两曲线应选择在给定的集电极电流的上下两边。由垂直线与此两条特性曲线的两交点，作两根水平直线，直到与纵坐标轴相交。这两交点间的一段纵坐标所相应的电流值就是基极电流由下面一条特性曲线增大到上面一条特性曲线时所引起的集电极电流的变化。电流放大系数 β 的数值既等于集电极电流增量与相应于相邻两条特性曲线的基极电流之差的比值。那么对于图 5 所示的情况，

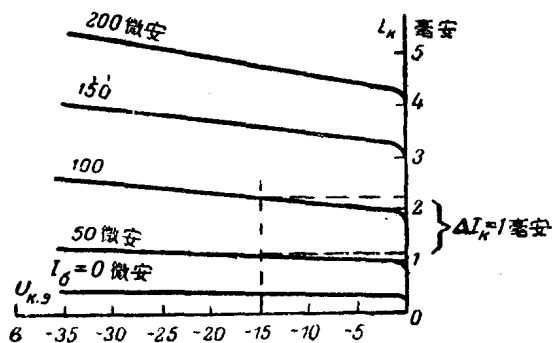


图 5 确定系数 β 的图解法

$$\beta = \frac{\Delta I_K}{I_{62} - I_{61}} = \frac{1000}{100 - 50} = 20.$$

对于业余无线电爱好者来说，确定系数 β 的简单而能做到的方法（虽然不是很精确的实验方法）如下。

装配一个如图 6 所示的电路。用手电筒的电池作为电路的

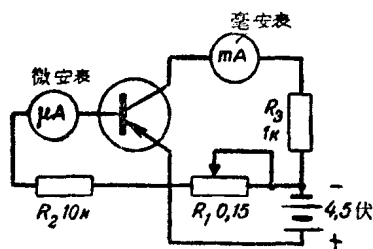


图 6 测量系数 β 的电路

电源。如果采用某种其它的电源，那末应该确实知道它的电压不超过 5 伏。在集电极和基极电路中，接入图中所示数值的电阻，限制晶体管的电流，以免损坏晶体管。集电极电路中的毫安表的刻度，应便于读出 1 到 2 毫安的电流，而晶体管基极电路中的微安表应能保证测量 100—200 微安的电流。

电路装好后，必须查明在旋转可变电阻 R_1 的旋钮时，晶体管集电极电流的大小是否改变，也就是检查晶体管是不是好的。然后将可变电阻的旋钮旋到这样的位置，使得集电极电流的大小等于 1 毫安，并测量相应于这一状态的基极电流的大小。此后，改变可变电阻滑臂的位置，使得集电极的电流变成等于 2 毫安，再重新测量基极电流。系数 β 的数值按下列公式计算

$$\beta = \frac{I_{K2} - I_{K1}}{I_{62} - I_{61}} = \frac{1000}{I_{62} - I_{61}}.$$

式中 I_{K2} 和 I_{K1} ——在测量的过程中调到的两个集电极电流（2 毫安和 1 毫安）。它们的差等于 1 毫安，或 1000 微安，而 I_{62} 和 I_{61} 是两次量得的基极电流的数值。

良好的晶体三极管的 β 值，应在 10 到 100 之間。知道了 β 值，如果需要的話，可以按下式計算系数 α

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} .$$

應該注意：当发射极电流(和集电极电流)改变时，每一个晶体三极管的 β 值也改变。这一改变的近似特性如图 7 所示。从图中可以看出：集电极电流的值在 1 到 3 毫安的范围內时，小功率晶体三极管的系数 β 最大。当集电极电流小于 1 毫安时，系数 β 便急剧下降。

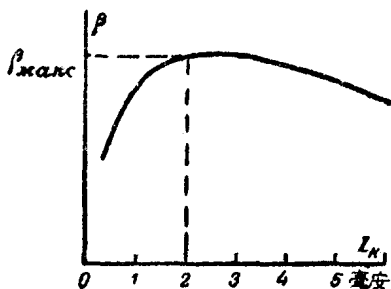


图 7 系数 β 和集电极电流的关系曲线

降。因此，在大多数的放大电路中，晶体三极管的直流工作状态应选择得使集电极电流不小于 1 毫安。

2. 晶体三极管—放大元件

让我们来研究一下图 8, a 所示的共基极电路的工作。很明显，当沒有輸入信号时，这个电路中的晶体三极管是不导电的，因为电路中没有偏流电源。

如果在电路的輸入端上接上正弦形交流电压源，那么在晶体三极管的集电极电路中便出現脉动电流。它的形状如图 8, b 所示。集电极电流脉冲的振幅，稍小于流过发射結的輸入电流的振幅。因此共基极电路中的晶体三极管的电流放大系数 α 小于 1。由于晶体三极管的发射結只让一个极性的輸入电流通过，因此輸出电流的波形便失真。在輸入电压的負半周作用在

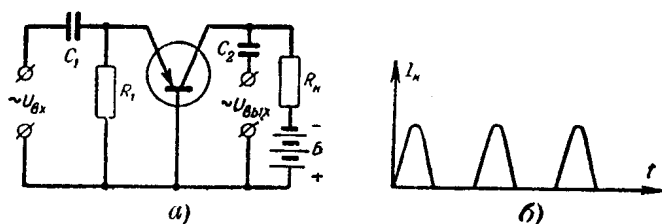


图 8 没有偏流的共基极晶体管放大器
a—放大器的电路；b—输出电压的波形

晶体三极管上的那段时间内，发射极不导电，于是集电极电路中便没有电流。当输入电压为正半周时，便出现发射结电流（波形为正弦波的正半周），同时在集电极电路里也出现波形和输入电流一样的电流。显而易见，这种波形失真（失去了负半周）在放大工作中是不允许的。

然而，当在电路中接入直流偏流源（图9,a）时，这个缺点就很容易消除。有了偏流电源，就使晶体三极管的集电极电路中具有恒定不变的电流成分。它跟电路输入端上是否有信号电压无关。交变信号电压的出现，就造成下列的情形：它的正半周使发射结电流增大，而负半周则使发射结电流减小。因此，晶体三极管集电极电流也随着增大和减小（图9,b）。

如果偏流的大小选得等于输入电流的振幅值，那么在个别

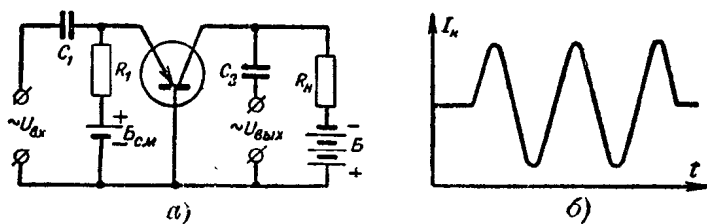


图 9 共基极放大器的实际电路

瞬时，晶体三极管几乎截止，然而集电极电流的波形将毫无失真地重复输入信号的波形。当输入信号增大，输入电流的振幅超过直流偏流值时，便由于输入电流截止而开始出现单向限幅现象。这时，集电极电流的波形就象电路中没有偏流一样而产生失真了。

因此，为了无失真地放大信号，在晶体三极管放大电路中必须有偏流，且它的值应大于信号的最大可能振幅值。为了保证发射极电流直流分量的通路，晶体三极管的发射极，必须用电阻（图 9, a 电路中的 R_1 ），或者输入变压器的线圈与电源的正极相接。

如果在晶体三极管的集电极电路中接入电阻，那么当集电极电流变化时，在这个电阻上便产生交流电压，它的波形与输入信号的波形相同。这时，虽然负载中的电流（集电极电流）小于输入电流，但是负载电阻中的信号功率可以大大超过输入信号的功率。这是因为按共基极电路装成的放大级的输入电阻十分小——只有 30—50 欧（小功率晶体管），而负载电阻则比较大——达 10—15 千欧。

大家知道，交流功率决定于流过电阻的电流的平方乘这个电阻的阻值，也就是

$$P = I^2 R.$$

因此，输入功率

$$P_{\text{вх}} = I_{\text{в}}^2 R_{\text{вх}},$$

而输出功率

$$P_{\text{вых}} = I_{\text{к}}^2 R_{\text{н}}.$$

式中 $R_{\text{вх}}$ 是电路的输入电阻；

$R_{\text{н}}$ 是负载电阻。

电路的功率放大系数决定于输出功率与输入功率之比

$$K_p = \frac{P_{\text{BHX}}}{P_{\text{BX}}}$$

因此，共基极电路的功率放大系数

$$K_p = \frac{I_{\text{E}}^2 R_{\text{H}}}{I_{\text{B}}^2 R_{\text{BX}}} \approx \alpha^2 \frac{R_{\text{H}}}{R_{\text{BX}}} \text{①}$$

因为功率放大系数等于电流放大系数和电压放大系数的乘积，即

$$K_p = K_u K_i,$$

而共基极电路的电流放大系数等于 α ，所以电压放大系数

$$K_u = \frac{K_p}{\alpha} = \alpha \frac{R_{\text{H}}}{R_{\text{BX}}} \text{①}$$

从上列两个近似公式中可以看到：共基极电路的负载电阻愈大，那末它的放大系数也就愈大。但是这一论断只有当负载电阻小于某一极限值（对该型号晶体三极管来说）时才正确。

下列的事实是很典型的：两个或几个按共基极电路装成的晶体三极管电路在级间用阻—容耦合连接起来，并不能使放大系数增大。原因是：当这样连接时，每前一级的负载阻抗就是下一级的输入阻抗，因为输出、入阻抗相等，所以电路的放大系数小于1。因此，当必须装置按共基极电路接成的晶体三极管多级放大器时，相邻两级的输入阻抗和输出阻抗必须用变压器加以匹配。

在共发射极电路中，为了没有失真地放大信号，也必须要有直流偏流。就某些性能来说，共发射极电路（图10）优于共基极电路。正如已经指出的，共发射极电路能放大电流。它的电流放大系数 β 一般可达100。这种电路的功率放大系数

① 这是近似公式，因为它没有考虑到 α 是随负载电阻 R_{H} 的大小而变的。事实上， R_{H} 增大，就会使 α 的大小比 $R_{\text{H}}=0$ 时量得的数值小一些。