

216923



业余晶体管收音机制作

苏联B. T. 鲁格芬著

朱邦俊译

人民邮电出版社



业余晶体管收音机制作

苏联 B. Г. 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O-V-2式收音机、带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，在業餘無線電愛好者的創造性活動中，始終占據重要的地位。

晶體管的出現，在業餘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。這些電路每一個業餘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餘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。為了便於業餘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体結構。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

译者的话

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. 保证晶体三极管安全的一些谨慎措施	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 最简单的晶体三极管装置	20
6. 有低频放大器的检波式收音机	20
7. 高放式收音机	24
8. 低频放大器	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钼，作为电极。在锗片（称为晶体三极管的基极）和熔入锗片的两个钼电极（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

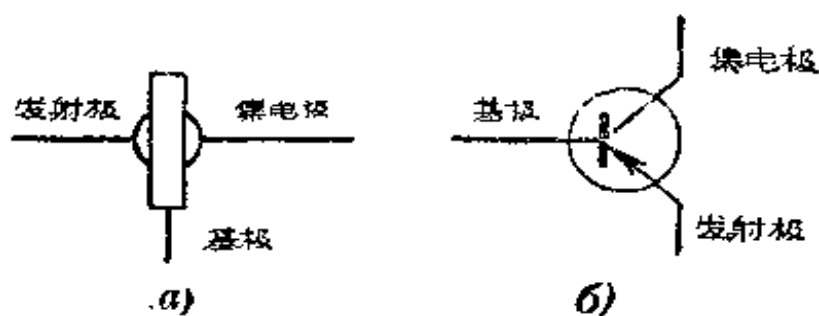


图 1 合金式晶体三极管
a—结构图；b—电路符号

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

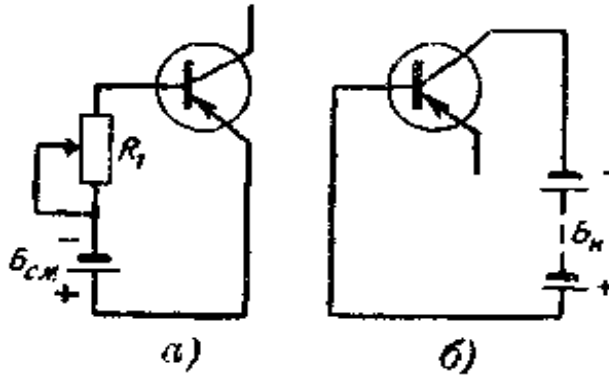


图 2 $p-n-p$ 晶体三极管的外电源的接法
a—发射结电源的接法；b—集电结电源的接法

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，所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

① 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,流过晶体三极管结的电流的大小,在任何情况下,都不应超过 5—10 毫安。否则,晶体三极管就可能损坏。

虽然晶体三极管的每一个结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,那就错了。

原因是不论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结电流则直接与流过发射结的电流大小有关。晶体三极管的工作原理就是以这一性能为基础的。

为了说明晶体三极管内电流的分配规律,让我们来看一下图 2 所示的,典型的电源连接电路。在图 2,б 所示的电路,电池 B_K 反向地接至晶体三极管的集电结。这时,晶体三极管的集电极电流极小。这是因为集电结的反向电阻很大。在图 2,а 所示的电路中,电池 B_{CM} 正向地接至晶体三极管的发射结。在这一情况下,发射结电流主要决定于可变电阻 R_1 所接入的那一部分的大小。这是因为发射结的正向电阻十分小。这两种电源接法是晶体三极管电路的典型接法。这就是说集电极电压总为负极性,而发射极电压为正极性。

在图 3 上绘出了晶体三极管的实际连接电路。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

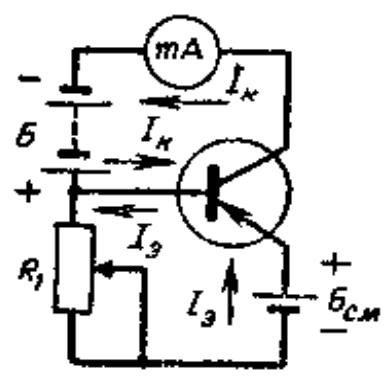


图 3 晶体三极管各电极之间的电流分配图

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，还是交流）。事实上，由于晶体三极管的所有三个电极的电流間，存在着相互一定的关系，当我们用某种方法改变晶体三极管基极电流的大小时，我們就会看到：这时，晶体三极管集电极电流的变化要大几十倍。

分数因子 $\frac{\alpha}{1-\alpha}$ 称为共发射极电路^①中晶体三极管的电流放大系数，以希腊字母 β 表示。它表示晶体三极管集电极电流的变化是使它发生变化的基极电流变化的若干倍。

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

接在电路中的晶体三极管的电流放大系数 β 愈大，則晶体三极管电路的放大性能愈高。确定某一具体晶体三极管的电流放大系数 β 的大小的简单的、且一般业余无线电爱好者能做到的方法，将在下面第8頁上加以介紹。

利用放大器件的静态特性曲綫族，就能正确地装置各种放大电路和选择它們的工作状态。毫无疑问，搞过电子管的业余无线电爱好者都十分熟悉电子管的特性曲綫族，象屏极——栅极特性曲綫族和屏极特性曲綫族。借助于这些特性曲綫族，就能足够精确地确定所装的机件的所有零件的参数，以保証預定的工作状态。对晶体三极管也可以繪出类似的特性曲綫。但是，由于各晶体三极管的参数上下差別很大，对一个晶体三极

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輸入电压和取出的輸出电压来说是公共的，而有极其不同的性能。輸入电压源（信号源）和負載电阻（放大后的电压在其上取出），都有两个端子。因为晶体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，晶体三极管的其中一个电极对信号源和負載来说，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（集电极和发射极之间的电压）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

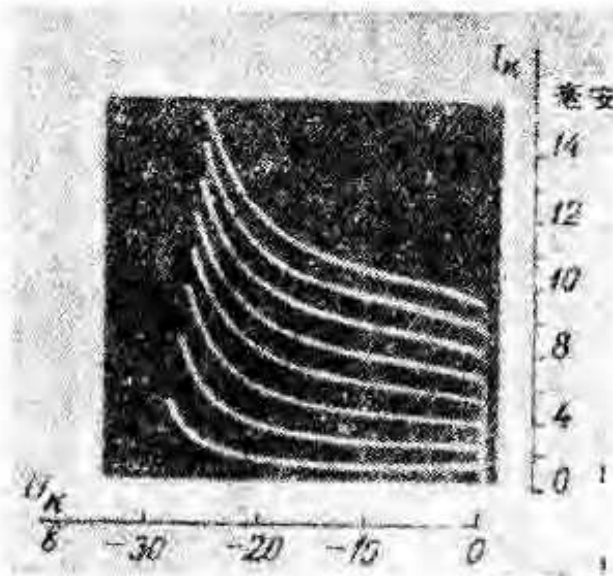


图 4 $\Pi 6 B$ 型晶体三极管的实际集电极静态特性曲綫族

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间的电压。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间的电压无关。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较大的負載时，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间的电压的依从关系很小的这一现象，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，

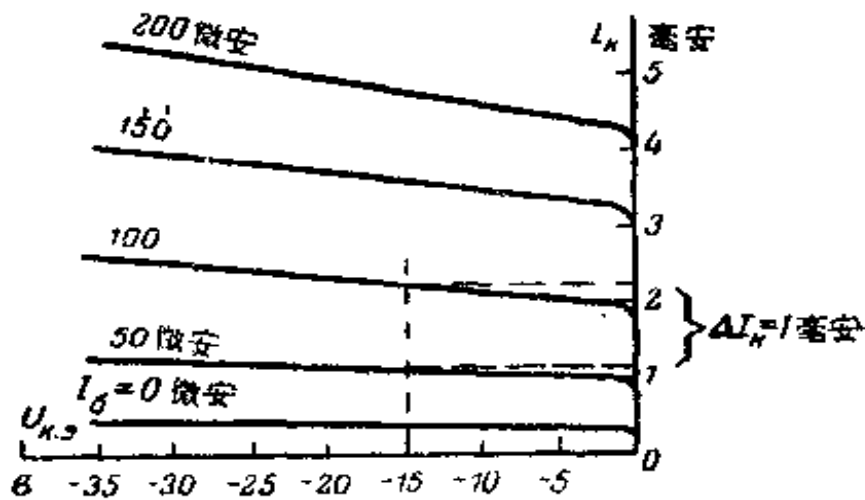


图 5 确定系数 β 的图解法

$$\beta = \frac{\Delta I_{\kappa}}{I_{\text{б}2} - I_{\text{б}1}} = \frac{1000}{100 - 50} = 20.$$

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，以免损坏晶体三极管。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，而晶体三极管基极电路中的微安表应能保证测量 100—200 微安的电流。

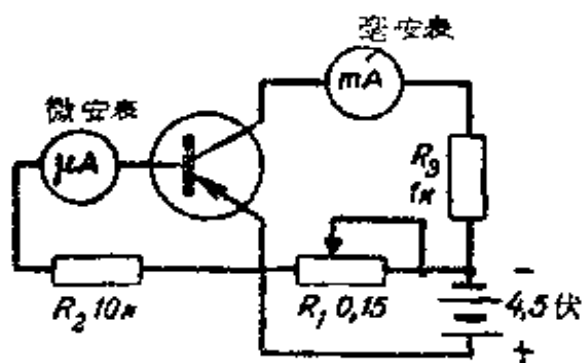


图 6 测量系数 β 的电路

电路装好后，必须查明在旋转可变电阻 R_1 的旋钮时，晶体三极管集电极电流的大小是否改变，也就是检查晶体三极管是不是好的。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

$$\beta = \frac{I_{\kappa 2} - I_{\kappa 1}}{I_{\text{б}2} - I_{\text{б}1}} = \frac{1000}{I_{\text{б}2} - I_{\text{б}1}}.$$

式中 $I_{\kappa 2}$ 和 $I_{\kappa 1}$ ——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 $I_{\text{б}2}$ 和 $I_{\text{б}1}$ 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。

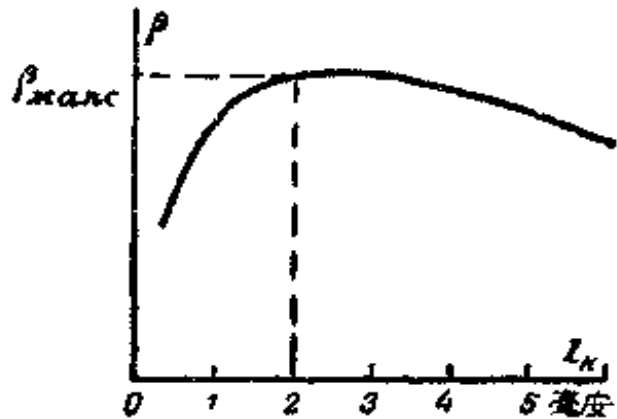


图 7 系数 β 和集电极电流的关系曲线

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现脉动电流。它的形状如图 8, b 所示。集电极电流脉冲的振幅，稍小于流过发射结的輸入电流的振幅。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结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

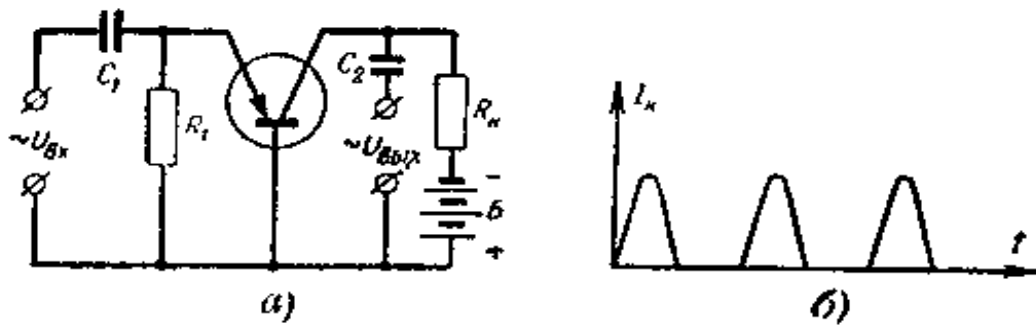


图 8 没有偏流的共基极晶体管放大器
a—放大器的电路；b—输出电压的波形

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

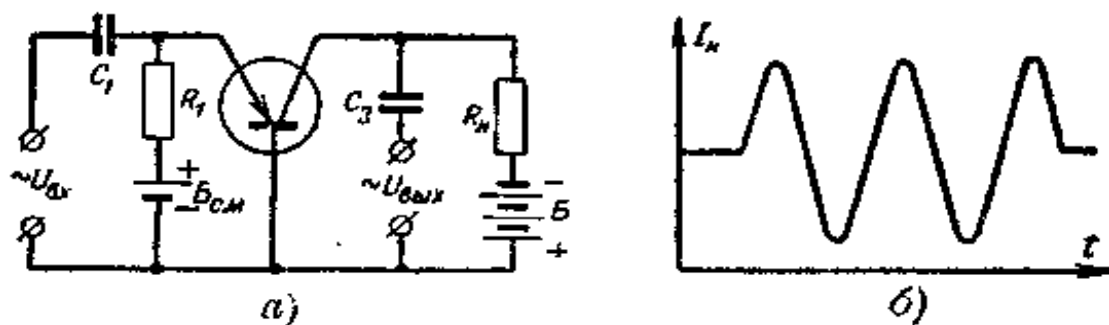


图 9 共基极放大器的实际电路

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沒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_E ），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

$$P_{\text{BX}} = I_{\text{B}}^2 R_{\text{BX}},$$

而输出功率

$$P_{\text{BYX}} = I_{\text{K}}^2 R_{\text{H}}.$$

式中 R_{BX} 是电路的输入电阻；

R_{H} 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

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

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

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

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。

$$K_p = \frac{I_n^2 R_H}{I_n^2 R_{BX}} \approx \beta^2 \frac{R_H}{R_{BX}} \text{ ①}$$

很明显，共发射极电路的放大性能比共基极电路要高。不错，这个电路的输入电阻比共基极电路的大，它的数值约为400—600欧（而不是30—50欧）。因此，功率放大并不是 β^2 倍，而是接近 β 倍。共发射极电路的电压放大系数

$$K_u \approx \beta \frac{R_H}{R_{BX}} \text{ ①}$$

与共基极多级放大级不同，阻—容耦合的共发射极多级放大级，可以一个接一个地连接起来。因为这时每一级的负载电阻等于它的输入电阻，所以放大级的电压放大系数实际上等于 β 。当各级用变压器匹配时，其中每一级的放大便增大很多。

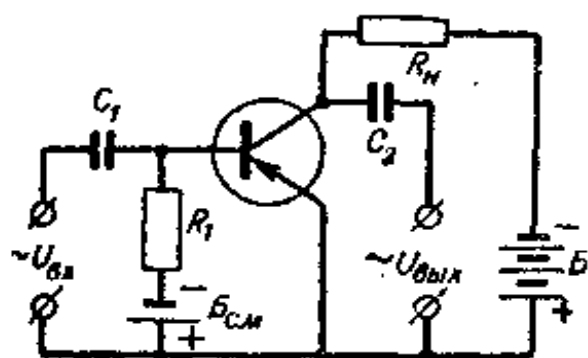


图 10 共发射极放大器的电路

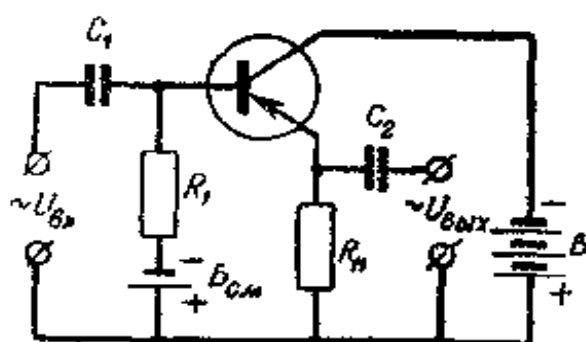


图 11 共集电极放大器电路

应该指出，与共基极电路相比，共发射极电路也有一系列的缺点。例如，首先有：非线性失真大；放大系数强烈地随晶体管三极管的参数而变化；放大的上界频低。

除了上述两种电路以外，在实践中为了保证多级放大器的输入电阻大，往往使用晶体管三极管的第三种连接方案（图11），

① 这是近似公式，因为它没有考虑到 β 是随 R_H 的大小而变的。事实上，当 R_H 增大时，电流放大系数 β 便减小。

即所謂发射极輸出器（与电子管装成的阴极輸出器相类似），或共集电极电路。在这种电路中，負載电阻接在晶体三极管的发射极电路中，而信号加在它的基极上。

发射极輸出器的电压放大系数小于1，因此它只用作輸入电阻較大而輸出电阻小的中間級。发射极輸出器的輸出电阻的数值，几乎与負載电阻无关，总共才几十欧。发射极輸出器的輸入电阻，主要决定于負載电阻的大小，并且可以按下列近似公式計算：

$$R_{\text{BX}} = \beta R_{\text{H}}.$$

3. 保証晶体三极管安全的一些謹慎措施

晶体三极管是一种机械强度高和寿命长的器件，但是它也很娇嫩，甚至对在装配和調整电路时可能产生的短時間过载也受不了。因此，对待晶体管應該非常小心，不能忽視保証晶体三极管完好的一些謹慎措施。

首先應該記住：把晶体三极管焊在电路中时，不允許将晶体三极管烧得太热。因此，晶体三极管的引綫应在离它的外壳不近于1厘米处进行焊接，同时用镊子或尖嘴鉗将被焊接的引綫夹住，以利于散热。

在接入晶体三极管时应將电路中的电源切断。

晶体三极管电路的电源电压超过所用的晶体三极管型号的最大允許电压时就会把它击穿。将相反极性的电源接至晶体三极管电路，即使時間很短，也是危险的。

当电路工作时，应避免基极和集电极引綫間短路。

晶体三极管集电极上的耗散功率，不应超过最大允許耗散功率。

在調整使用变压器負載的放大級时，應該特別小心，因为

变压器线圈的直流电阻很小，不能阻止因电路的某些錯誤而引起的集电极电流的增大，而集电极电流的增大对于晶体管來說是很危险的。

当用可变电阻来选择晶体三极管的工作状态时，应该和可变电阻串联一个固定电阻，它的阻值根据晶体管的最大允許电流来决定。

4. 晶体三极管的型号

晶体三极管是一种比較新的放大器件，正不断地在改进。因此，目前有許多型号的晶体三极管，它們的用途相同，且特性也大体上相似，是不足为奇的。它們的主要区别在于：較新的晶体三极管的某些参数具有較高的指标。但是，当业余无线电爱好者沒有新型号的晶体三极管时，也滿可以用老型号的晶体三极管，只要它的頻率特性和輸出功率能滿足預定的要求。

因此，本书的讀者应自己判断作者在每一具体情况下使用某种型号的晶体三极管的建議。例如，如果在某一电路中建議使用 П 13 型晶体三极管，那么在电路中完全可以使用其它型号的晶体三极管，譬如 П 1 Б。各种型号的晶体三极管是否能換用，应根据它們的主要参数：放大临界頻率、电流和电压的最大值、集电极的允許耗散功率来判断。

晶体三极管的型号表征晶体三极管的主要特性（如 П 6），每一型号中又分为几类（如 П 6 А、П 6 В、П 6 Б……等）。老的办法是用俄文字母来标志各类的，而新的办法是用数字来标志的。同一型的各类晶体三极管，它們在放大系数、噪声性能方面有所不同，而在頻率特性方面則差別不大，晶体三极管按它們的放大系数分类并不是很严格的。因为在具体測量时可能发现前面几类（俄文字母靠前的或数字小的，如 П 6 А）中的晶

体三极管的电流放大系数比后面几类（俄文字母靠后的或数字大的，如 П 6 Б）的大。

5. 晶体三极管工作状态的建立方法

正象以前所指出的，为了没有失真地放大信号，在晶体三极管电路中应该使集电极电流的直流分量有一定的数值。

建立起始电流的电路有好几种方案。其中最简单的电路示于图12。图中偏流源是一个公用的电池。

这种电路的缺点之一，是由于各晶体管的参数上下参差很大，不能事先肯定电阻 R_1 的阻值，以保证晶体三极管预定的工作状态。因此，对于每一个具体的晶体三极管，这个电路中电阻 R_1 的阻值，都应该用毫安表检查它的集电极电流来选定。

这个电路的第二个缺点，是集电极电流对周围环境温度的

依从关系很大。当周围温度升高时，晶体三极管的温度也升高，它的集电极电流急剧增大，这样就可能使集电极产生热击穿。

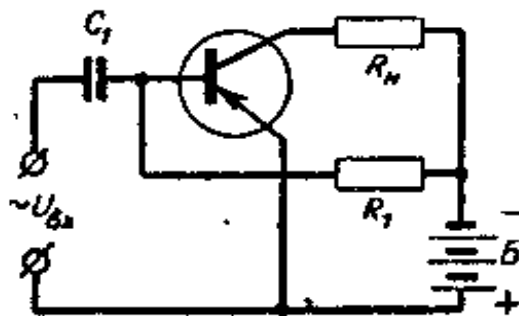


图 12 建立晶体三极管工作状态的最简单的电路

因此，只有在最简单的一小型的设备中才采用上述电路，因为在这种设备中主要的是要简单。

主要的是要简单。

减小晶体三极管集电极电流由温度造成的自发增长的一种方法，是减小接在基极和电源正极之间的电阻的阻值（对于 $n-p-n$ 型导电性的晶体管来说，是接在基极和电源负极之间的电阻）。

图13所示电路就使用这种方法。在这个电路中，晶体三极管

的基极通过电阻很小的变压器线圈和偏电池接至电源的正极。

在这个电路中，集电极电流的温度稳定性远高于前一种电路。此外，所需的工作状态这里不必检查集电极电流就能建立。当更换这一电路中的晶体三极管时，即使是换上不同型号的晶体三极管，集电极电流的大小也几乎不变。

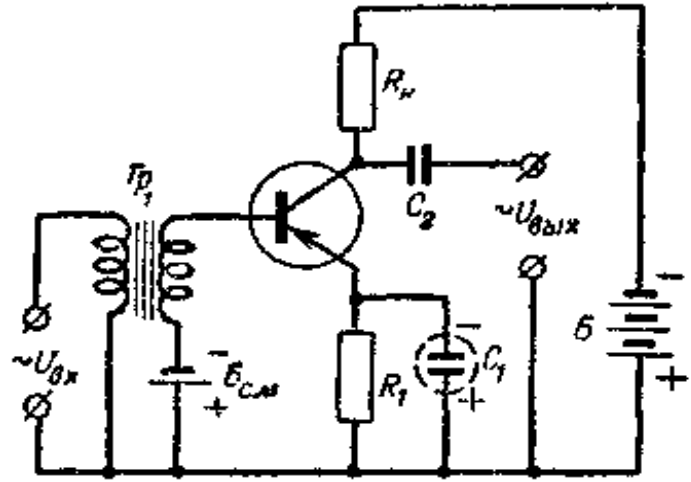


图 13 使用单独的偏流源的建立工作状态的电路

这种电路的缺点是必须有独立的偏流电源。但是，如果主要电源是由几个电池串联成的，那么不用专门的电池也行，可用总电池中的一个电池作为偏流电池，如图14所示。

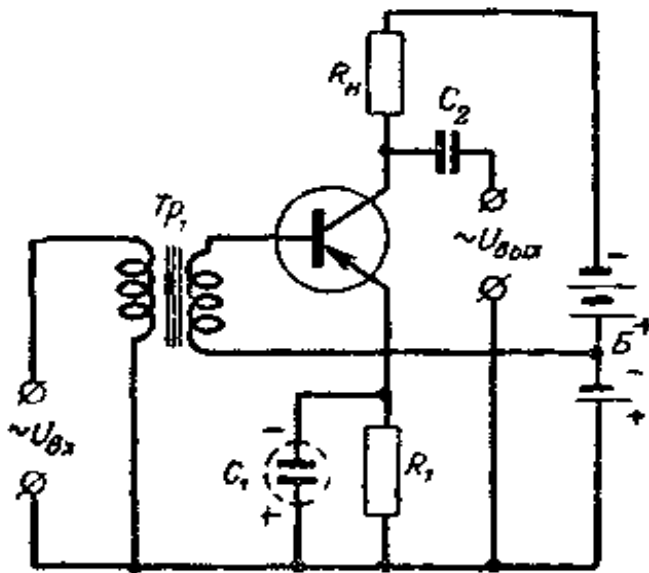


图 14 利用总电源的一部分来建立晶体三极管的偏流

决定集电极电流的大小的发射极电路中的电阻 R_1 ，必须并联一个大容量的电容器。否则，电路的电压放大系数就会因有电流负反馈而急剧减小（由于同一

原因，在电子管电路中，接在电子管阴极电路中的自动栅偏电阻上，并联着电容器）。旁路电容器的容量（单位为微法）决

原因，在电子管电路中，接在电子管阴极电路中的自动栅偏电阻上，并联着电容器）。旁路电容器的容量（单位为微法）决

定于被电路所放大的信号的最低频率（单位为赫），大体上可按式：

$$C_1 > \frac{2.5(10)^3}{f_H}$$

来计算。

所需的电流用调节电阻 R_1 来获得，电阻 R_1 的阻值由下列的一些考虑来确定。

因为晶体三极管的基极电流以及它的直流输入电阻比较小，所以基极和发射极之间的电压降通常只有 0.1—0.2 伏。因此，由于发射极电流流过电阻 R_1 而在其上产生的电压降，几乎等于偏电池的电压。

因此，当偏电池的电压 E_{CM} 等于 1.5 伏时，如果要使接在电路中的晶体三极管的集电极电流等于 1 毫安，那么根据公式

$$R_1 = \alpha \frac{E_{CM}}{I_K} = 0.95 \frac{1.5}{1} = 1.4 \text{ 千欧。}$$

电阻 R_1 的阻值应选择在 1.3—1.5 欧的范围内。

使用各自独立的偏电池的电路，在变压器输入的放大器中以及在共基极的放大器中最容易实现，因为在这两种放大器中，

晶体三极管的基极不是直接接至偏电池，就是通过电阻很小的变压器线圈接至偏电池，这样就能获得工作状态的良好温度稳定。

在共发射极的、阻容耦合放大器电路中，不得不与偏电池串联一

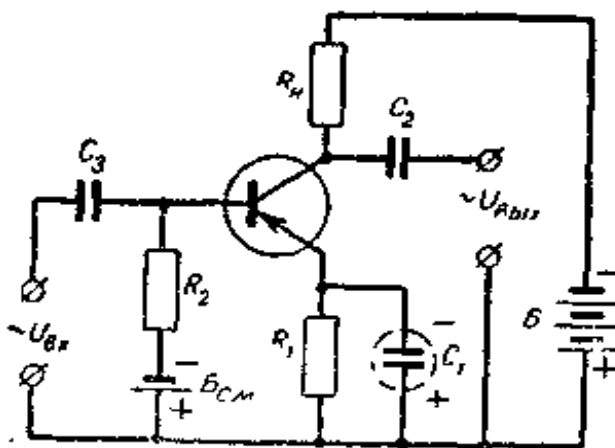


图 15 使用独立偏电池的共发射极电路

个額外的电阻 R_2 (图 15), 它使工作状态的稳定性变坏。如果没有电阻 R_2 , 輸入信号源就被偏电池的内阻所旁路。

单独的偏电流源, 可以用接至公共电源的电阻分压器来代替。这种电路 (图 16)

在实践工作中用得最多。因为它在很大程度上保留了使用独立偏电池的优点, 同时又是由一个电池来供电的。

为了计算图 16 所示的电路, 必须给定偏压 U_{cm} 的大小 (它是在电源电压的 $\frac{1}{5}$ 到 $\frac{1}{8}$ 的范围

内) 和分压器电流的大小 (因为这个电流愈大, 晶体三极管工作状态的稳定性愈高)。从省电的角度来考虑, 分压器的电流不应该选择得太大。通常分压器的电流是选择在 $(0.2 \rightarrow 0.5) I_K$ 的范围內。

偏压 U_{cm} 和分压器电流 $I_{дел}$ 给定后, 电路中各电阻的阻值可以按下式公式计算:

$$R_1 = \frac{\alpha U_{cm}}{I_K};$$

$$R_2 = \frac{U_{cm}}{I_{дел}};$$

$$R_3 = \frac{E - U_{cm}}{I_{дел} + \frac{I_K}{\beta}}.$$

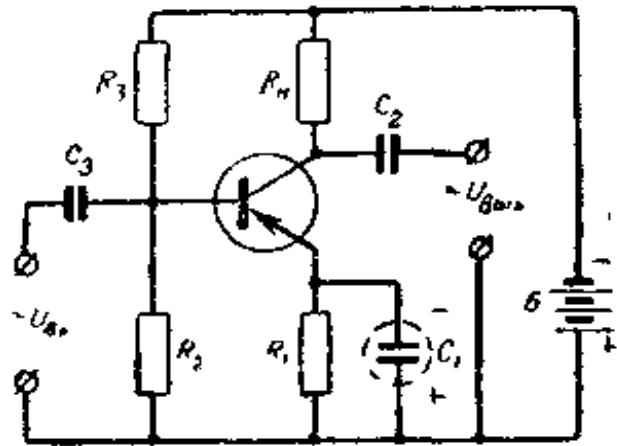


图 16 共极电路中有电阻分压器且有直流负反馈的电路

第二章 最简单的晶体三极管装置

6. 有低频放大器的检波式收音机

有一级或几级阻容耦合低频放大级的检波式收音机，安装和調整起来最为简单。因此，要掌握各种晶体三极管电路，就应该从装这种收音机入手。

的确，这种收音机的灵敏度是比较低的，但是它还是能保证用扬声器来收听本地的广播电台，用耳机也能收听在300—500公里以内的大功率电台。

和其它的广播收音机一样，它也应该有由电感线圈和电容器构成的谐振槽路。如果收音机打算收听一个或几个完全确定的电台，那么这种收音机的谐振槽路，除了固定电感线圈以外，应该分别有一个或几个可依次接通的、容量经选定的固定电容器。如果要装一架可以匀滑地調諧到任一个电台的收音机，那么谐振槽路电容器应该是可变电容器。

收音机另外一个必不可少的元件是检波器。在这种收音机中，既可以用点接触式锗二极管作二极管检波，也可以用晶体三极管检波。这时晶体三极管还放大检波后所获得的低频电压。

这两种检波方案，以第一种较好。因为当收音机的晶体三极管数量相同时，二极管检波的收音机的总放大系数较大。这是因为晶体三极管工作在检波状态时，集电极电流很小。正象以前讲过的，集电极电流小就使晶体管的电流放大系数减小。

在图17和18上示出两个最简单的晶体管收音机的电路，它们只是检波的方法不同。

图17所示电路的收音机，它的谐振槽路的电感线圈 L_1 可

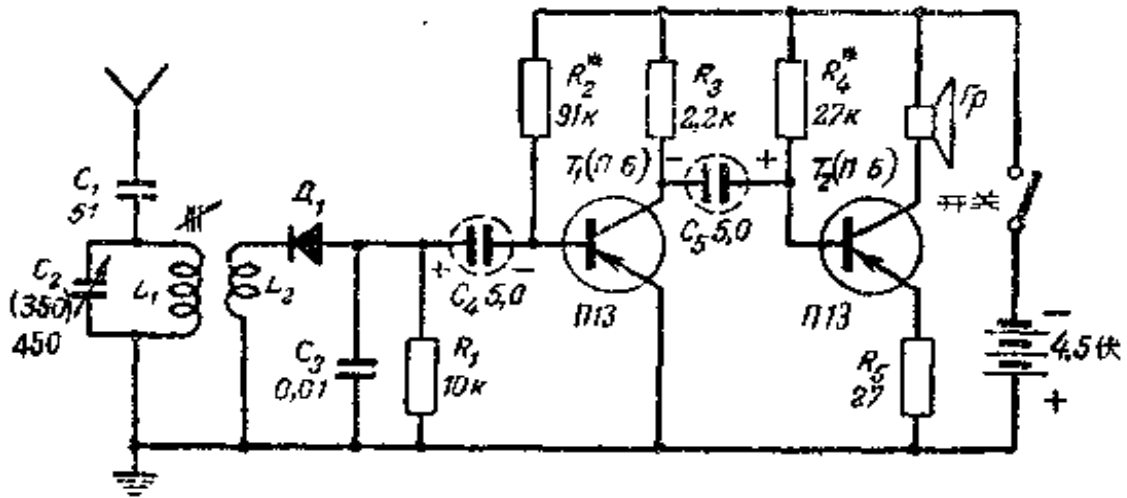


图 17 使用二极管检波器和二个晶体二极管作低频放大器的检波式收音机的电路

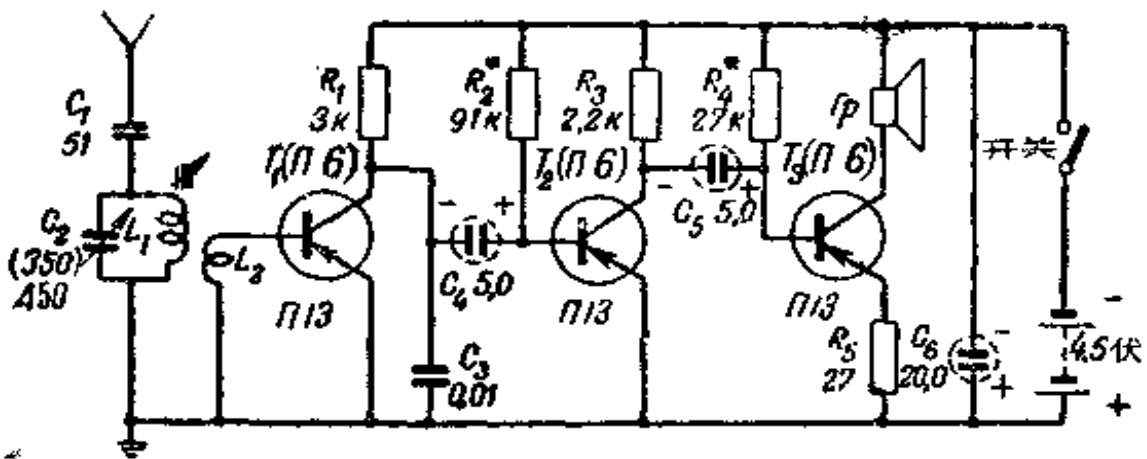


图 18 使用晶体三极管检波器的收音机的电路

以繞在有羰基鉄做成的圓柱形磁心的綫圈架上，也可以繞在 CB-2a 或 CB-3a 磁心上。(收中波时用直径为 10 毫米，长度为 140 到 170 毫米的 M4 型鉄淦氧天綫棒上，用 7—13 股漆包綫繞 45—50 圈，每股的直径为 0.1 毫米。这是指可变电容器用 350 微微法时的情况；如果用 210 微微法的可变电容器，那么綫圈要加至 70 圈左右。使用长度較短的鉄淦氧天綫棒时，振盪槽路的电感綫圈 L_1 的圈数应适当增加。反之，則应减少。——譯者註)

勻滑調諧的收音機中的繞圈，它的電感量決定于波段的高頻、電容器的最大電容量以及電路的布線電容。如果收音機打算收聽長波波段(150—415千赫)的電台，電容器的最小容量為15—30 微微法時的情況。那末電感量應在2—3 毫亨之間。用直徑為0.15—0.2 毫米的漆包線，在有羰基鐵微調磁心的圓柱形繞圈架上，繞450—500 圈，就能得到這樣的電感量。繞圈的結構簡圖繪于圖19。它的繞圈架可用任何絕緣材料制成。繞圈可用亂迭繞法繞制。

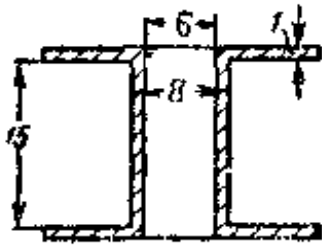


圖 19 輸入振盪槽路的繞圈架的構造

使用CB-2a 或CB-3a 型鐵心的繞圈，繞圈圈數應少一些(200—250 圈)。繞圈的導線直徑應選擇得使全部繞圈能繞在鐵心的繞圈架上。

磁性天線繞圈圈數的精確配准是在最後調整收音機時移動羰基鐵心來進行的。(如果用磁性天線，可將繞圈 L_1 的圈數逐圈增加或減小來完成。當可變電容器的動片全部旋入定片時，如果仍收不到低頻側的電台，則應增加 L_1 的圈數。如果動片全部旋出定片時尚收不到高頻側的電台，這說明 L_1 圈數太多，應適當減少。——譯者註)

繞圈 L_2 用來使諧振槽路與檢波器的低輸入阻抗匹配。它繞在同一繞圈架或磁性天線棒上，圈數比繞圈 L_1 的圈數少，約是它的 $1/5$ 到 $1/6$ 。

檢波級中採用晶體二極管 Δ_1 ($\Delta\Gamma-\Pi 1$ 至 $\Delta\Gamma-\Pi 8$ 或 $\Delta 1$ 至 $\Delta 9$)。電阻 R_1 作為檢波器的直流負載。電容器 C_0 是高頻旁路電容器。

第一個低頻放大級接成共發射極電路。保證無失真放大的晶體三極管 T_1 的集電極起始電流，用選擇電阻 R_2 的阻值的

办法来調定。这个晶体三极管的集电极电流应该等于 0.8 到 1 毫安。这时，晶体三极管集电极上的电压等于电源电压的一半（因为 R_3 等于 2.2 K ，1 毫安的电流流过 R_3 时产生 2.2 伏的电压降，故集电极上的电压约为 $4.5 - 2.2 = 2.3$ 伏）。晶体三极管 T_1 与输出级用电容器 C_5 耦合。由于下一级的输入电阻很小，所以耦合电容器的容量必须很大。

第二个低频放大级，即末级，也接成共发射极电路，以保证放大系数大。末级的工作状态用电阻 R_4 来調定。扬声器 L_p 是末级的负载。晶体三极管 T_2 的集电极电流調到使扬声器线圈上的电压降等于 2 伏。如果扬声器的直流电阻不小于 200 欧，那么就能調到 2 伏。如果扬声器的直流电阻小于 200 欧，那么晶体三极管 T_2 的工作状态根据集电极电流的大小来检查，它应该等于 5—7 毫安。

这架收音机可以用直流电阻为 600—2000 欧的耳机，或者舌簧喇叭。舌簧喇叭的输入阻抗一般较大，效率也较高。采用电动式喇叭而不用专门的输出变压器是不行的，因为它的音圈阻抗很小。

由于电源电压很低，电容器可以用耐压低的。电阻可用瓦数小（ $1/4$ — $1/8$ 瓦）的任何型电阻。

全部零件可以安排在面积为 50×150 毫米、厚 2—4 毫米的胶纸板、夹布胶木板或其它的绝缘板上。各零件最好焊牢在一段用直径为 1—1.5 毫米的铜导线截成的插棒上。为了将插棒插在板上，在板上应该钻一个同样直径的小孔。在把插棒插入以前，应该把它的中部稍加錘扁，使得它紧紧地嵌在绝缘板的小孔中。电路的各零件最好焊在绝缘板的一面，而接线焊在另一面。（也可以用小洋钉钉在绝缘板上，穿出绝缘板的小洋钉可剪去，只留一小段，以便焊接。——译者註）

收音机應該从末級裝起。首先应把它的集电极电流調到所需的数值。当末級正常工作时，在揚声器中應該听到特殊的噪声——輕微的噝噝声。

放大器的第一級象輸出級那样調整（用选择基极电路中的电阻 R_2 的阻值的办法來調整）。將放大器的第一級接到末級以后，揚声器中的噪声應該增大。

將調整好的放大器接至接有天綫、检波器和地綫的輸入槽路。收到某一广播电台以后，应改变綫圈 L_2 的圈数，直至使收音机的音量增大。如果电台不能全部都收到的話，应移动 L_1 的位置或加減 L_1 的圈数，以增減 L_1 的电感。

使用晶体三极管检波器的收音机的电路，示于图18。它跟上面所介紹的收音机只是检波級不同，在調整电路时不必調节检波級的工作状态。

7. 高放式收音机

检波收音机的灵敏度很低。想用加装低頻放大級的办法來提高灵敏度，是达不到預期的結果的，因为多級低頻放大器的輸出端会有很大的噪声。

只有在检波級以前將收到的信号加以放大，才能有效地提高灵敏度，因为当二极管检波器輸入端上的高頻信号电压不小于10—50毫伏时，二极管检波器才能令人滿意地工作。

由于这一原因，通常都裝制高放式收音机，它除了有检波器和低頻放大器以外，还有一級或二級高頻放大級。

晶体三极管高頻放大器有許多不同的电路，但是它們全都可以分成两种基本的类型：調諧放大器和不調諧放大器。調諧放大器以調諧在被放大信号的頻率上的振盪槽路为負載。不調諧高頻放大器的負載可以是电阻，或者使用高頻鉄心（羰基鉄

或鉄氧体、阿克西費尔等)做成的高頻变压器。

調諧放大器的放大性能比不調諧放大器的高，但是因为每級中应有調諧机构，所以它在业余无綫电爱好者的多波段收音机中的应用就受到限制。因此，常見的是使用不調諧高頻放大器的高放式收音机。

在图20上示出調整簡單的台式晶体三极管高放式收音机的电路。这架收音机可用揚声器收听远地长波波段的电台。为了收听中波电台，其中不但要轉換輸入槽路，而且还要轉換高頻放大器，这点未必方便。

这架收音机包括两个高頻放大級，一个二极管检波器和兩級低頻放大器。低頻放大器直接接高阻耳机或舌簧喇叭。为了可靠地收听远地电台，收音机应接室外天綫和地綫。收音机的电源是用三节手电筒电池串联成4.5伏。需要时，可在收音机的电路中接入功率較大的低頻放大器，輸出端接电动喇叭(这种放大器的电路示于图23)。

收音机的輸入槽路的制作完全和检波式收音机(图17)的相同。綫圈 L_2 的圈数只有綫圈 L_1 的 $1/10 - 1/20$ 。

在高頻放大級中，最好使用截止頻率高于1兆赫的高頻晶体三极管。截止頻率为465千赫的晶体三极管也能滿意地工作。(如果用来收听中波，則要使用截止頻率高于10—20兆赫的高頻晶体三极管——譯者注)

接在晶体三极管 T_1 集电极电路中的变压器 Tp_1 ，用炭基鉄鉄心或阿克西費尔(鉄氧体的一种)环做成。变压器初級綫圈的电感，应在10—15毫亨的范围内。电感太大会和晶体管的輸出电容一起形成一个諧振頻率处于低頻段的振盪槽路，而我們却希望变压器依靠寄生諧振而在頻段的上限附近将放大級的放大提高。

在CB-2a或CB-3a^①型炭基鉄鉄心上繞制变压器时，它的初級綫圈应用直径为0.1—0.12毫米的漆包綫繞300—350圈。与下級耦合的綫圈（次級綫圈）用同样的漆包綫繞50—70圈。

变压器的鉄心可用外径从7毫米到20毫米的鉄氧体环，或者屏蔽型阿克西費尔磁心（OB-12和OB-20）。从用于业余无线电爱好者收音机的高频电路中的观点来看，鉄氧体心的导磁率的最佳值为400—600。导磁率高的鉄心（1000—2000）的損耗大，导磁率随溫度和磁化直流的变化很大。

鉄氧体心的变压器 T_{p1} ，它的初級綫圈应繞100圈到250圈，其具体值視鉄心的尺寸和导磁率的大小而定（如果收听中波則需减少到100—150圈左右——譯者註）。在任何情況下，次級綫圈的圈数总比初級綫圈少，是它的1/8到1/10（在收听中波时可适当增加至 $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{5}$ 左右——譯者註）。初級和次級綫圈都用直径为0.1—0.12毫米的漆包綫繞成。

接在晶体三极管 T_2 的集电极电路中的变压器 T_{p2} 的繞法，和变压器 T_{p1} 的繞法相同，只是它的次級綫圈的圈数應該是初級綫圈的1/2。

检波器可用任何点接触式鍺二极管。

兩級低頻放大器的电路与图17所示的相同。

收音机可以装在尺寸为100×150毫米的絕緣板上。为了将零件装牢在絕緣板上，板上应装上足够数量的、用銅导綫做成的特制焊片或插棒。槽路綫圈的鉄心以及高频变压器的鉄心，如果是屏蔽式的话，可用万能胶胶在絕緣板上。

环形鉄心用絕緣圓板和穿过鉄心孔的螺釘装固在絕緣板

^① CB-2a及CB-3a磁心为一种匣式屏蔽型磁心，其外径为23毫米，外环内径为18.5毫米，内环外径为10毫米，高为5.5毫米；CB-3a除高为8.5毫米外，其它尺寸与CB-2a差不多。——譯者注。

上。在环形铁心上绕线圈时，应使用铁丝做成的绕线梭。绕线梭的简图和装固环形铁心的方法，示于图21。

为了避免收音机自激，高频级的两个高频变压器和槽路线圈，相互应放得开一些（不近于3—5厘米）。

调整收音机时，通常应从低频级调起。

两个高频级应先调第二级，再调第一级，即将输入槽路先接至第二级的输入端，等到已肯定第二级工作良好后，再将输入槽路接至第一级的输入端。

不调谐高频放大器调节起来很简单，实质上仅是将晶体三极管集电极电流调节到所需的大小（1毫安），和选择输入调谐槽路与第一个高频放大级之间的耦合线圈 L_2 的圈数，以及变压器 TP_1 次级线圈的圈数。增加耦合线圈 L_2 的圈数能提高收音机的灵敏度，但却使它的选择性变坏。因此，必须选定一个无论从灵敏度来看还是从选择性来看都是最好的圈数。晶体三极管 T_1 的集电极电流用改变电阻 R_1 的阻值的办法来调定。晶体三极管 T_2 的集电极电流则用改变电阻 R_4 的阻值来调定。

当高频放大级产生自激时，应试将高频变压器的初级线圈或次级线圈的两端对调一下。如果这样做不起作用，那么应减

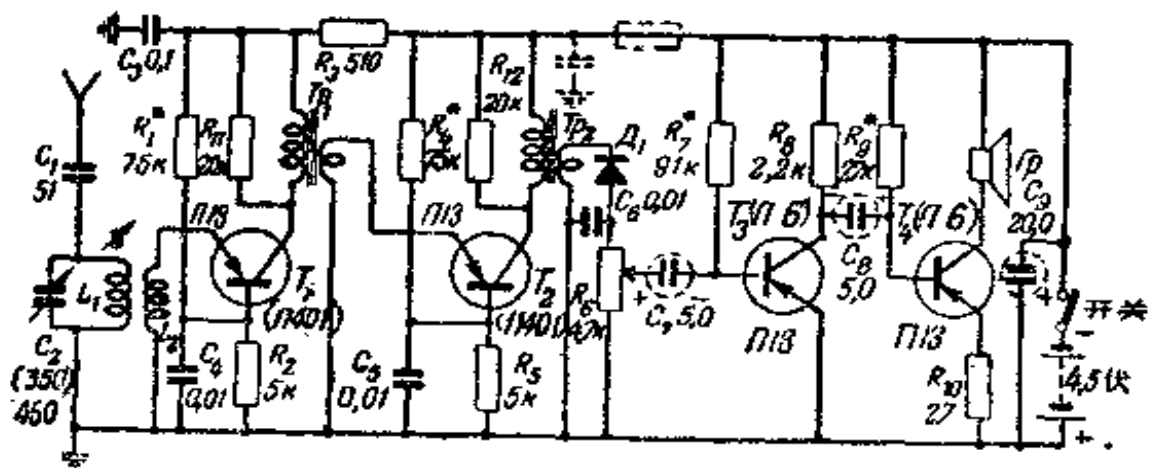


图 20 高放式收音机的电路图

小与变压器初級繞圈并联的电阻的阻值，或者在电源电路中加接一个滤波器。此滤波器是由100欧的电阻和0.05微法的电容器組成的（图20上用虛綫繪出）。

装配得正确的收音机，等各晶体三极管調到所需的工作状态后，馬上就能工作。在揚声器良好的情况下，收音机有足够的音量，沒有失真，且噪声小。收音机的灵敏度約为1000微伏。

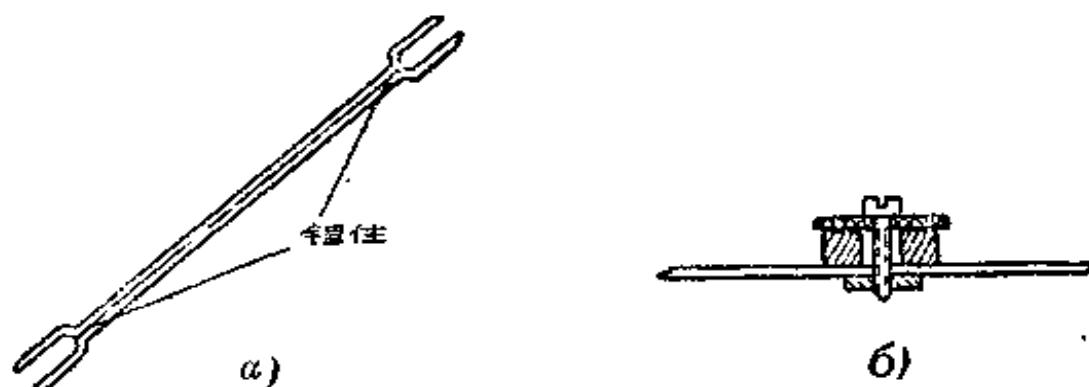


图 21 环形鉄心繞綫用的繞綫梭的簡图(a)和将环形鉄心裝在絕緣板上的方法(b)

使用双速可变电容器，可以做成比上述收音机更优良的高放式收音机。这种收音机的电路示于图22。它跟上面的收音机的主要区别在于：第一个高频放大級的負載是諧振槽路，它用双速可变电容器的其中一速与輸入槽路同时調諧。由于电路中有第二个可調諧的諧振槽路，因此改善了收音机的选择性，并提高了它的灵敏度。

图22所示电路与前一种电路相比，稍为复杂一些，因为它加装了几个使晶体三极管的工作状态稳定的元件。但是，这种电路調整起来所化的時間却較少，并且比較簡單。因为在有使工作状态稳定的元件的晶体三极管电路中，所需的集电极电流的大小是自动調好的，不需要額外的調节。

收音机是为收听长波波段而設計的。它的灵敏度等于500微伏（归算到天綫輸入端）。电源可用电压为4.5—9伏的任何

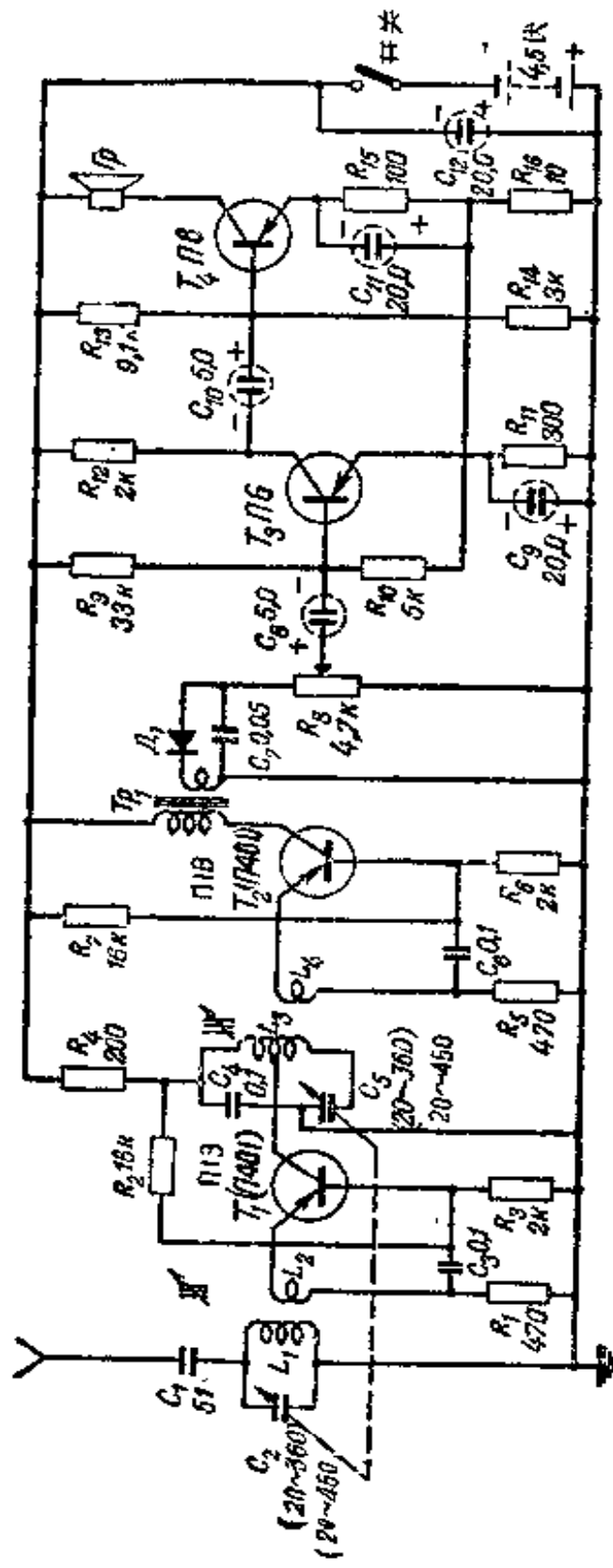


图 22 双调谐槽路直接放大式收音机的电路图

电池。当电源电压为 4.5 伏时，消耗的电流等于 10 毫安。提高电源电压并不能使收音机的工作有所改善，只有在使用直流电阻大（大于 1 千欧）的喇叭时才能改善。当收音机用手电筒电池供电时，每天收听 1.5—2 小时，电池足以使用两个月。

收音机的两个槽路的电感线圈绕在 CB-2 a^①或 CB-3a 匝型屏蔽铁心上，分别用直径为 0.15—0.2 毫米的漆包线绕 250 圈左右（收听中波台时用 150—200 圈左右——译者注）。高频级的槽路线圈在 100 圈处做一个抽头（收听中波时可在 80 圈处抽头——译者注）。线圈的始端接电源，抽头接晶体三极管的集电极，终端接可变电容器的定片。两个线圈的耦合线圈 L_2 及 L_4 可用任何直径的导线绕 15 圈，只要铁心上绕得下便行。

第二个高频放大级的变压器的做法，跟前一种收音机的相同。

收音机从后面几级调起。低频放大器的放大能力用普通的电唱机来检查，这时将电唱机唱头接至放大器的输入端即可。

收音机高频部分的调整主要是使两个槽路的统调。由于布线寄生电容的数值不同，即使调谐电容器的动片位置相同，两个槽路的谐振频率仍会不同。此外，在输入槽路中接有天线圈电容，而在高频放大器的槽路中则接有晶体三极管集电极的电容。

槽路的统调应该根据收音机调谐在波段中波长最长的电台上时的音量来进行，这时改变第二个槽路的线圈的微调铁心的位置，使音量最大。

此后，将收音机调谐在波段中波长最短的、且能清晰听到的电台上，把一个容量很小的电容器并联在调谐电容器的其中

^① CB-1 a 匝形磁心的尺寸如下：外环外径—12.3 毫米；外环内径—10 毫米；内环外径为 6 毫米；高为 5.5 毫米——译者注。

一連上（究竟并联在那一連上，視实际情况而定），它的容量則用凑試的方法來确定。这个电容器的容量通常不超过20—30微微法。因此接上这个电容器后对槽路在波段的长波部分的調諧影响不大。

当两个槽路和高頻变压器 T_{p1} 的位置放得不当时，收音机可能自激。是否出現自激可以根据两个高頻級的直流工作状态的变化来确定。为此，与电阻 R_5 并联一个直流电压表。記住它的讀数后，用镊子或一段导綫将接在晶体三极管 T_2 集电极电路中的变压器的初級綫圈短路。如果这时电压表的讀数改变，那就是說这級在振盪。

第一級也用同样的方法检查。如果振盪，应将槽路的耦合綫圈的两头对調一下。如果这样不起作用，那末應該試用50—75千欧的电阻并联在高頻級的槽路上。万一結果不能令人滿意，則必須改变槽路的相互位置，并在晶体三极管的电源电路中加装去耦滤波器。

調整得好的收音机既极省电、簡單，又有完全令人滿意的电气性能。需要时，用以后讲的任一种低頻放大器来代替低頻部分，可以提高它的輸出功率。

8. 低頻放大器

下面列出复杂程度和輸出功率均不相同的三个低頻放大器的电路图。

其中第一个低頻放大器的电路示于图 23。它是用 $\Pi 1$ 、 $\Pi 6$ 或 $\Pi 13$ 型小功率晶体三极管做成的。它的輸出功率为 0.2—0.25瓦。放大器用电压为 9 到 15 伏的任何电源供电。第一种供电方案是将 4 个手电筒电池串联。

放大器在最大功率状态下消耗的电流为 30—35 毫安。放大

器的輸出是为音圈电阻为5—8欧的电动喇叭设计的。放大器的输入阻抗为3—4千欧。输出标称功率时的灵敏度等于5毫伏。

放大器有两个前置放大级和一个推挽输出级。两个前置放大级是用接成共发射极电路的晶体三极管 T_1 和 T_2 做成的，推挽输出级工作在 B 类状态，它用接成共基极电路的晶体三极管 T_3 和 T_4 装成。放大器有很深的负回授，它改善了放大器的频率特性，并提高了输入阻抗。

所选用的输出级电路能保证使非线性失真很小，并且使放大器更省电。因为在这种情况下，晶体三极管 T_3 和 T_4 可以在集电极静态电流为1—2毫安下工作。

变压器 Tp_1 是用 III-8 硅钢片迭成的铁心做成的，铁心的迭厚为 8 毫米。变压器的初级线圈用直径为 0.12 毫米的耐久漆包线绕 2000 圈。次级线圈是由两段组成的，每段用直径为 0.25 毫米的耐久漆包线绕 100 圈。（ Tp_1 可以使用华北无线电器材厂出品的 XJBO-10 型推挽输入变压器——译者注）。变压器 Tp_2 是用同样的铁心装成的。它的初级线圈有两段，每段用

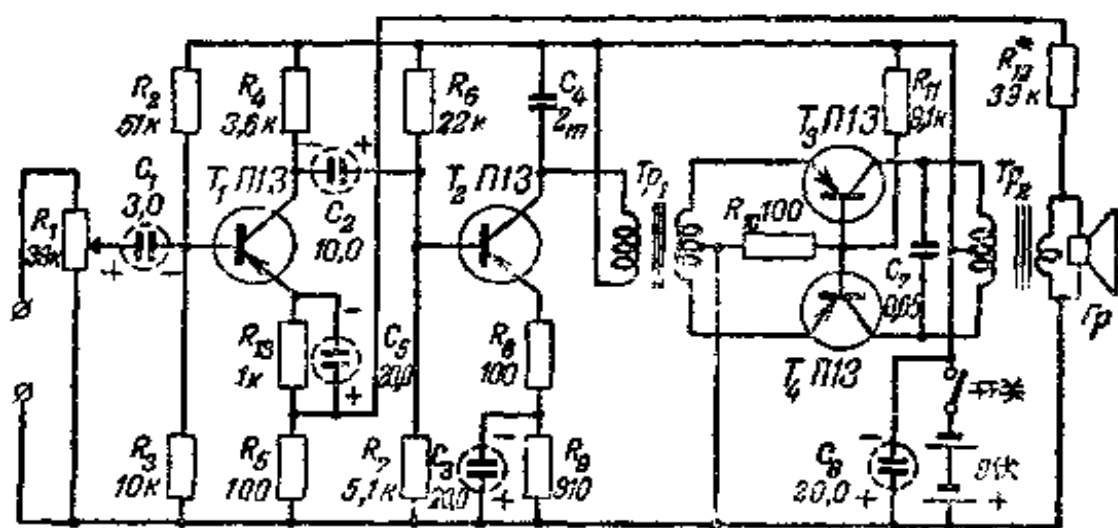


图 23 输出功率为 0.2 瓦的低频放大器的电路图

直径为 0.14 毫米的耐久漆包线绕 640 圈。次级线圈用直径为 0.35 毫米的耐久漆包线绕 175 圈。(TP₂ 可使用华北无线电器材厂生产的 XCBO-10 型推挽输出变压器——译者注)。

第一级和第二级的工作状态可以根据第一个晶体三极管集电极上的电压和第二个晶体三极管发射极上的电压来检查。第一个晶体三极管集电极上的电压应约为 4.5 伏，而第二个晶体三极管发射极上的电压等于 1.5 伏。电压的大小都是对电源正极来说的。所有的晶体三极管在装入电路以前，都应先检查它们的工作能力。

当放大器的灵敏度不需要很高时，可以不用第一级。这时，输入信号应由可变电阻 R_1 的滑臂加到电容器 C_2 的左极片。放大器的灵敏度，这时便降低到 50—100 毫伏。

第二个低频放大器的电路如图 24 所示，当负载为 5 欧时，输出功率为 1.2—1.5 瓦。它的输入阻抗等于 20—30 千欧。相应于正常功率的灵敏度为 50 毫伏，放大器用六节串联的手电

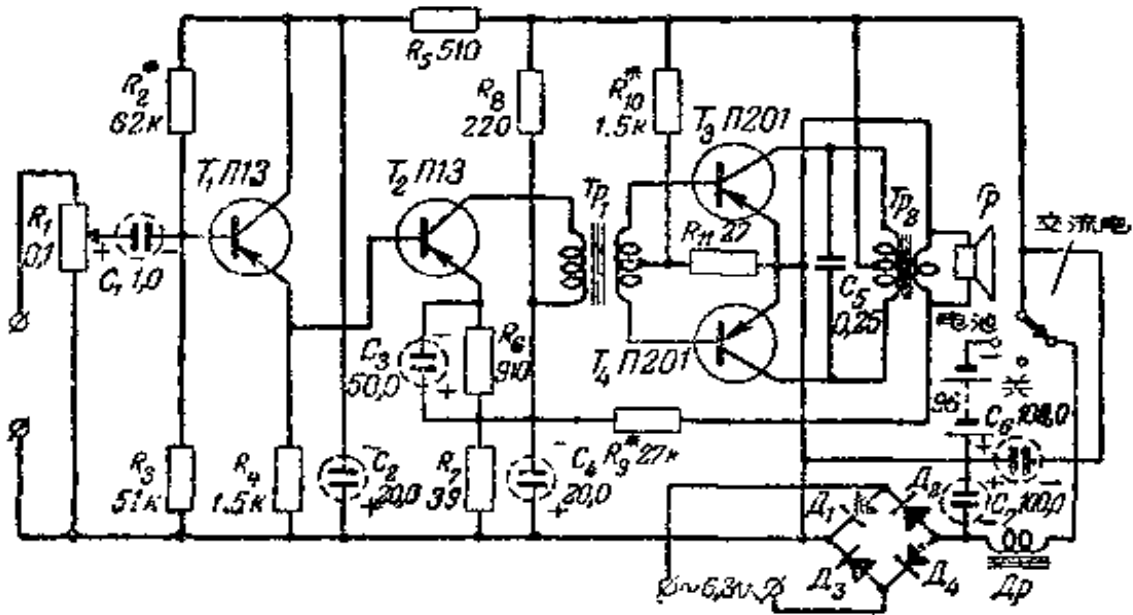


图 24 输出功率 1 瓦的低频放大器电路

筒電池供电，或者用整流器供电。整流器的輸入交流电压为 6.3 伏，是由任何电子管收音机的电源变压器的灯絲繞組上取得的。

放大器的第一級接成共集电极电路(发射极輸出器)。放大器的第一級这样連接时，它的輸入阻抗比較大。第二級直接接第一級的負載(不用隔直流电容器)，这样就改善了放大器总的頻率特性。推挽輸出級是用两个 $\Pi 8 A$ 型或两个 $\Pi 201$ 型晶体三极管装成的。每个晶体三极管的静态电流为 10—15 毫安。放大器在最大功率状态下所消耗的电流，等于 250 毫安。

輸出变压器 Tp_2 是用 $\text{III}-10 \times 10$ 或 $\text{III}-12 \times 12$ 的硅鋼片鉄心做成的。它的初級繞圈有两段，每段用直径为 0.3—0.35 毫米的耐久漆包綫繞 300 圈。次級繞圈用直径为 0.6 毫米的耐久漆包綫繞 130 圈。繞变压器时，它的每一个繞圈应占据繞圈架容积的一半。首先应繞次級繞圈。

变压器 Tp_1 用 $\text{III}-8 \times 8$ 或 $\text{III}-10 \times 10$ 鉄心做成。它的初級繞圈用直径为 0.12 毫米的耐久漆包綫繞 2000 圈，而次級繞圈繞成两段，每段用直径为 0.15 毫米的耐久漆包綫繞 125 圈。

整流电桥的四个二极管，都是面接合型的，可用 $\text{II}\Gamma\text{-II}22$ 至 $\text{II}\Gamma\text{-II}27$ 型号的。扼流圈繞在任何用硅鋼片迭成的鉄心上。鉄心的截面积应不小于 1.5 平方厘米。装配鉄心时，必須在磁路中留一个宽度为 0.1—0.15 毫米的空气隙。扼流圈用直径为 0.35 毫米的耐久漆包綫把繞圈架繞滿为止。

放大器的調整可归結为检查它的各个晶体三极管的工作状态。晶体三极管 T_1 和 T_2 发射极上的电压，应等于 3 伏。

應該注意回授电路是否接得正确。因为只有当变压器 Tp_2 輸出繞圈的某一端接地时，才能实现为改善放大器总的特性所需的負回授。如果把輸出繞圈的两端对調一下，那么这时回授

便成正回授，电路便会自激。

在图 25 上示出 10 瓦的低频放大器的电路图，它可以用作扩大机，挂 20—30 只喇叭，每只喇叭的功率为 0.25—0.5 瓦。当输入阻抗为 20—30 千欧时，它的灵敏度为 10—20 毫伏。

放大器使用 П 1、П 6 或 П 13 等型号的四只晶体三极管和两只 П 201 A 型晶体三极管。放大器用市电整流器供电。整流后的电源电压为 12 伏，而从整流器取用的电流等于 1 安。

放大器的第一级是按共集电极电路装成的，这样能保证放大器的输入阻抗较高。第一级的集电极电流等于 2 毫安。为了减小放大器的噪声电平，在放大器的第一级中，最好使用噪声小的晶体三极管 (П 1 Д、П 6 Д、П 13 Б)。

第二级接成共发射极电路。它和第一级直接耦合 (不用隔直流电容器)。发射极输出器负载上输出的直流电压，同时也是第二个晶体三极管的偏压 (晶体三极管 T_2 的电流等于 3 毫安)。接在晶体三极管 T_2 的集电极电路中的变压器 T_{p1} ，是用 III-10 × 10 铁心做成的。变压器 T_{p1} 的初级线圈用直径为 0.12 毫米的耐久漆包线绕 3000 圈，而次级线圈用直径为 0.2 毫米的耐久漆包线绕成两段，每段 500 圈。

放大器的末前级接成共发射极推挽电路。为了改善直线性，它的晶体三极管在 A 类状态下工作，集电极电流为 5—7 毫安。

集电极电流的上述数值，是用电阻 R_9 调定的。末前级的输出功率 (约 100 毫瓦) 完全足以推动末级。接在末前级中的两个晶体三极管应选用相同 β 的。

变压器 T_{p2} 用 III-10 × 10 硅钢片铁心做成。它的初级线圈有两段，每段用直径为 0.15 毫米的耐久漆包线绕 800 圈。次级线圈也是绕成两段，每段用直径为 0.35 毫米的耐久漆包线绕 100 圈。

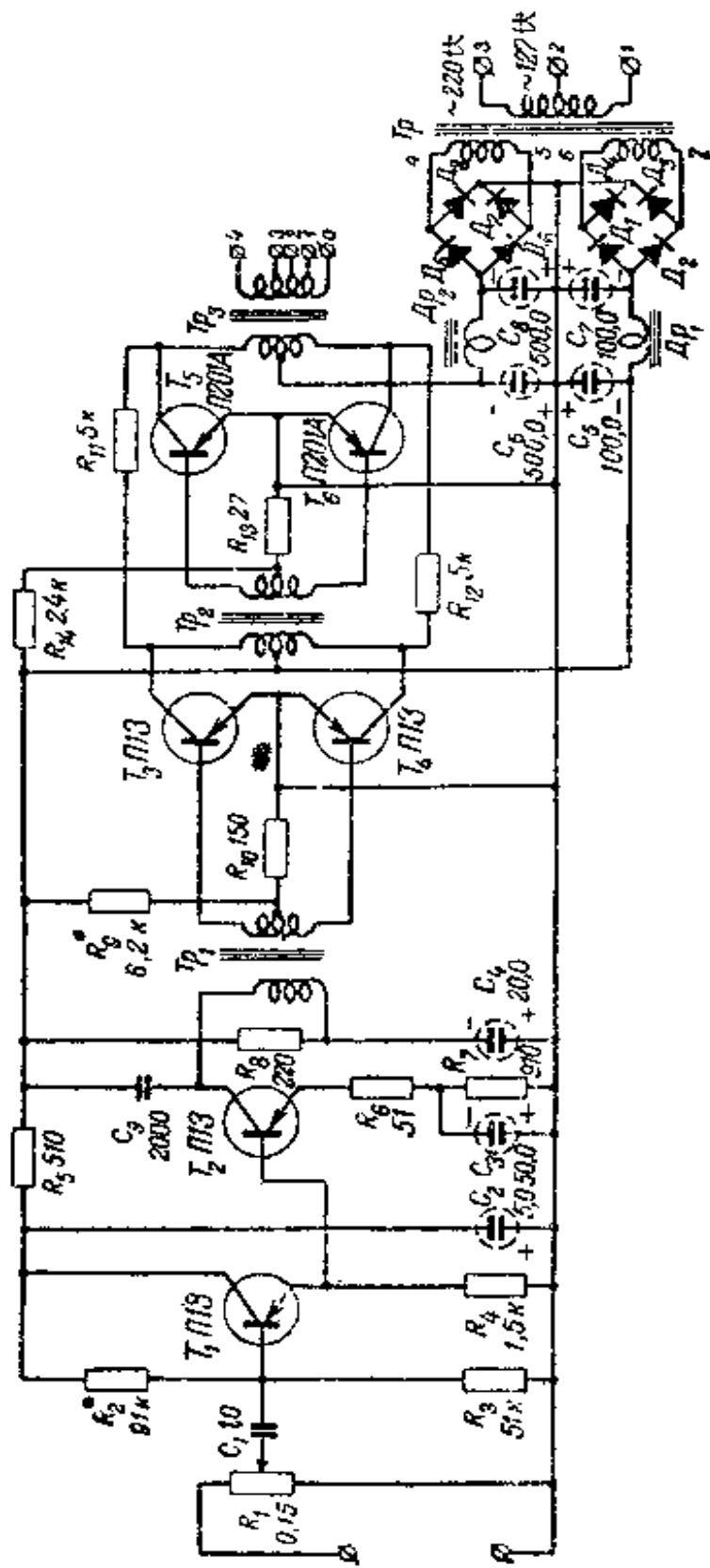


图 25 10瓦的低频放大器电路

輸出級用功率較大的晶体三极管 (П 201 A 型) 也接成推挽电路。晶体三极管在接近 *B* 类的状态下工作。当沒有輸入信号时, 輸出級耗用电源的电流为 15—20 毫安。因此, 电路极为省电。

輸出变压器 Tp_3 用 III-12×14 的鉄心或用导磁体的截面积为 3—4 平方厘米的任何其它鉄心做成。初級綫圈繞成两段, 每段用直径为 0.6 毫米的耐久漆包綫繞 120 圈。次級綫圈有几个抽头, 以便接不同的負載阻抗。引綫 0—1 之間用直径为 0.8 毫米的耐久漆包綫繞 45 圈, 供接 1 欧的喇叭。引綫 1—2 之間用直径为 0.5 毫米的耐久漆包綫繞 55 圈。引綫 0—2 之間 (100 圈) 接 5 欧的喇叭。引綫 2—3 之間用直径为 0.35 毫米的耐久漆包綫繞 140 圈, 而在引綫 3—4 之間用直径为 0.29 毫米的耐久漆包綫繞 240 圈。

正常工作电压为 15 伏的有綫广播喇叭接 0—3 两端, 而正常工作电压为 30 伏的有綫广播喇叭則接 0—4 两端。

电源变压器 Tp 是用 III-20×30 鉄心或导磁体截面积为 6—8 平方厘米的任何其它鉄心做成的。变压器的初級綫圈用直径为 0.15 的漆包綫繞 1500 圈, 在 850 圈处做一抽头 (以便接 127 伏的市电)。次級綫圈有两个。次級綫圈 4—5 用直径为 1 毫米的耐久漆包綫繞 80 圈, 而次級綫圈 6—7 則用直径为 0.5 毫米的耐久漆包綫繞 60 圈。

放大器的电源部分有两个輸出电压几乎相等的整流器。这是因为当整流器的負載电流很大时, 整流后的电压的滤平十分困难。因此, 对电源电压中的交流成分最为敏感, 且耗用的电流很小的放大器前置級, 由单独的整流器供电, 使它有好的滤波特性。

滤波器的扼流圈 Lp_1 用直径为 0.2 毫米的耐久漆包綫繞在由 III-12×24 的硅鋼片迭成的鉄心上, 直到繞滿为止。扼流圈

Δp_2 用直径为 1 毫米的耐久漆包线绕在由 III-20 × 20 硅钢片迭成的铁心上，也是绕满为止。

二极管 Δ_1 、 Δ_2 、 Δ_3 、 Δ_4 可用 $\Delta\Gamma$ -II 21 至 $\Delta\Gamma$ -II 24 各型号的。在大功率整流器中，或者用 $\Delta 302$ 型锗二极管，或者用中等整流电流（1.2 安）的 ABC-60-39 型硒片。

为了保证输出级大功率晶体三极管外壳的散热，每一个大功率晶体三极管应该装在面积为 50—70 平方厘米、厚度为 3—5 毫米的经绝缘的铜板上。

电路的调整在于用电阻 R_2 调定晶体三极管 T_1 的工作状态，用电阻 R_9 调好 T_3 、 T_4 的工作状态，以及选择回授电阻 R_{11} 和 R_{12} 的最佳值。放大器的工作质量，应接上规定阻抗的喇叭来评定。

第三章 台式来复收音机和超外差收音机

9. 来复式直接放大收音机

上面所介绍的几种高放式收音机的电路，在许多业余无线电爱好者看来，都有重大的缺点：其中所用的晶体三极管的数量较多。但是，还是有办法在保留它的主要质量特性的情况下减少高放式收音机中晶体三极管的数量。这种方法是二次利用晶体三极管来进行放大为基础的。晶体三极管利用二次的想法在于信号通过几级放大器后，重新回到这个放大器的输入端，受到第二次放大。

十分明显，信号被同一电路再放大一次，只有在信号再次放大前，其频率已有显著改变时才有可能。在来复式收音机里，能满足这个条件。因为当信号作第一次放大时，是直接

載頻上進行的，而當信號作第二次放大時，是在音頻上進行的。這種收音機工作良好的必要條件是仔細地濾除檢波器輸出端的剩餘高頻信號。

接成全波檢波電路的檢波級，能最好地滿足這一條件。在全波檢波時，檢波後的高頻分量的頻率加倍，而在檢波器的輸出端則沒有它的基頻。在來復式收音機中，這兩個特性特別寶貴。因為檢波器輸出端上的剩餘載波的頻率增高一倍，這樣就便於濾出低頻信號，而回到收音機輸入端的基頻信號電平的減小則減小了自激的危險。在收音機中裝用全波檢波器並不使收音機的電路複雜多少，但是卻具有上列的一些優點，所以是十分合算的。

圖 26 所示的兩個晶體三極管的來復式收音機，它的電特性與圖 20 所示的四級高放式收音機相同。這兩架收音機的主要零件（高頻放大級的變壓器，輸入槽路和喇叭）是完全相同

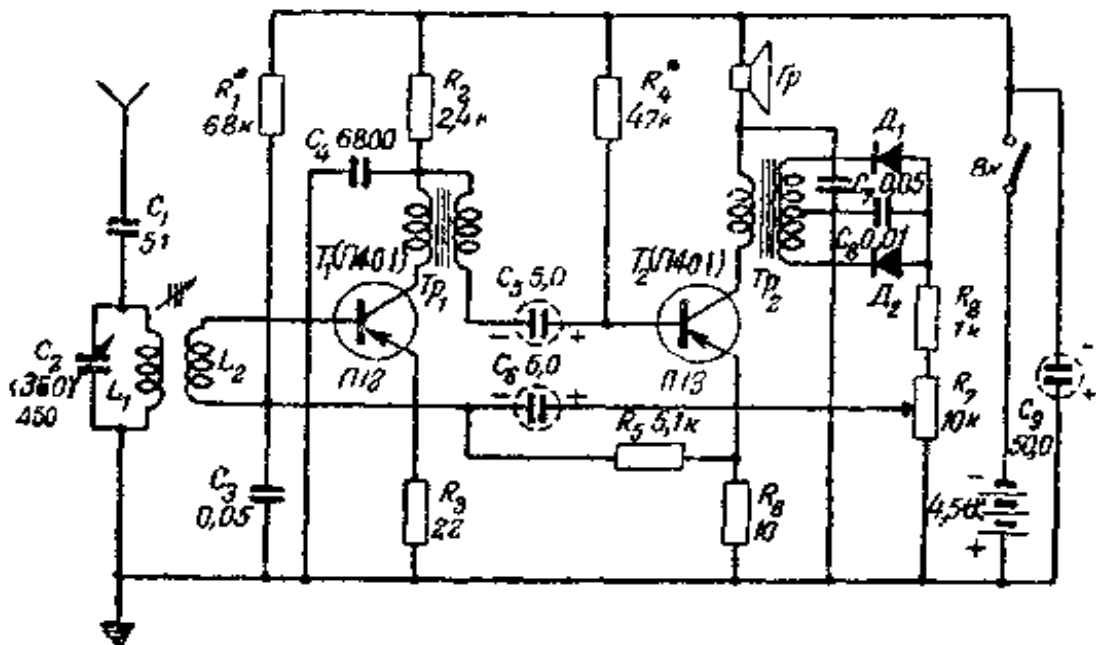


圖 26 簡單來復式收音機的電路圖
(括號內的数据及型号為收聽中波時的情況——譯者)

的。只是第二个高频变压器与检波器耦合的线圈，它的圈数要增加一倍，且有中心抽头。

收音机的工作原理如下。

收音机输入槽路上取出的高频信号，通过耦合线圈 L_2 加到第一个晶体三极管的输入端，被它放大后，由高频变压器 T_{P1} 的次级线圈加到第二个晶体三极管的基极。信号经第二个晶体三极管放大后，加以检波，并通过 Π 形低频滤波器重新以音频电压的形式加到第一级的输入端。

对于检波后的信号来说，第一级是阻容耦合低频放大器，它以纯电阻 R_2 为负载。从这个电阻上取下的低频信号经 C_6 加在第二个晶体三极管的基极上。第二个晶体三极管的集电极电路中接有喇叭。为了使不同频率的信号通过各自的负载，电阻 R_2 和喇叭用电容器 C_4 和 C_7 旁路。

在调整电路时，用改变电阻 R_1 的阻值的办法将晶体三极管 T_1 的电流调到这样的数值（1 毫安左右），使晶体三极管集电极上的电压等于电池电压的一半。晶体三极管 T_2 的电流用选择电阻 R_4 的阻值的办法，调到 2 毫安到 5 毫安。

此后，试验收音机的低频放大能力。为此，将电阻 R_8 烫下，而将电唱头的输出跨接在可变电阻 R_7 上。晶体管的工作状态的最后调定，是根据使音量最大和失真最小来进行的。此后，将电阻 R_8 重新焊上，根据收听电台的情况将输入槽路调到预定的波段。万一收音机在高频上自激，则两个变压器的初级线圈应并联 15—20 千欧的电阻。

在介绍高放式收音机的制作时所讲的一些考虑，可以作为来复式收音机的零件安排和布线方面的指导。

电路如图 27 所示的，用三个晶体三极管的来复式收音机是比较成功的方案。它的灵敏度较高，自激的可能较少。

它与前一种收音机的主要差别在于：最前面的两个晶体三极管在放大高频信号时按共基极电路工作，而在放大低频信号时，则按共发射极电路工作。这样就能更好地利用晶体三极管的频率特性，并便于收音机高频电路和低频电路的退耦。这架收音机的又一特点是：第一高频放大器是谐振式负载，而功率放大级使用变压器负载。

由于这种来复式收音机的电性能较好、简单、省电，因此向农村业余无线电爱好者推荐装置这种收音机。

收音机用来收听长波电台，其中晶体三极管 T_1 和 T_2 用低频晶体三极管，如 П 1 Б-П 1 Г、П 6 Б-П 6 Г 或 П 13、П 14。

（如收听中波电台时要用 П 401~403、ZK 306~309——译者）晶体三极管 T_3 用（П 1 Б-П 1 Г，П 6 Б-П 6 Г 或 П 13、П 14）。它的灵敏度不低于 500 微伏。输出功率为 40—50 毫瓦。收音机的音量能保证面积为 15—18 平方米的房间内清楚地听到。当电源电压为 4.5 伏时，耗用的电流约为 18 毫安。收音机的电源可用三节串联的手电筒电池。

收音机最好是装在输出功率为 0.1—0.25 瓦的有线广播的喇叭箱内。收音机使用带输出变压器的喇叭。这时，机械工作量就大为减小，并且收音机的外形也漂亮了。

所收听的电台的信号按下列的次序通过收音机的各级。借助于可变电容器 C_2 的一速调谐的输入槽路上所选出的信号，通过耦合线圈 L_2 加到第一个晶体三极管的发射极。这时，第一个晶体三极管是作共基极高频放大器。基极靠电容器 C_4 接地。用双速电容器的第二速 C_5 调谐的谐振槽路，作为放大器的负载。信号由谐振槽路通过耦合线圈 L_4 ，加到第二个晶体三极管的发射极，它也是接成共基极电路。它的负载是高频变压器 Tr_1 。 Tr_1 的次级线圈接全波检波器。音频电压由检波器的输出端重又加

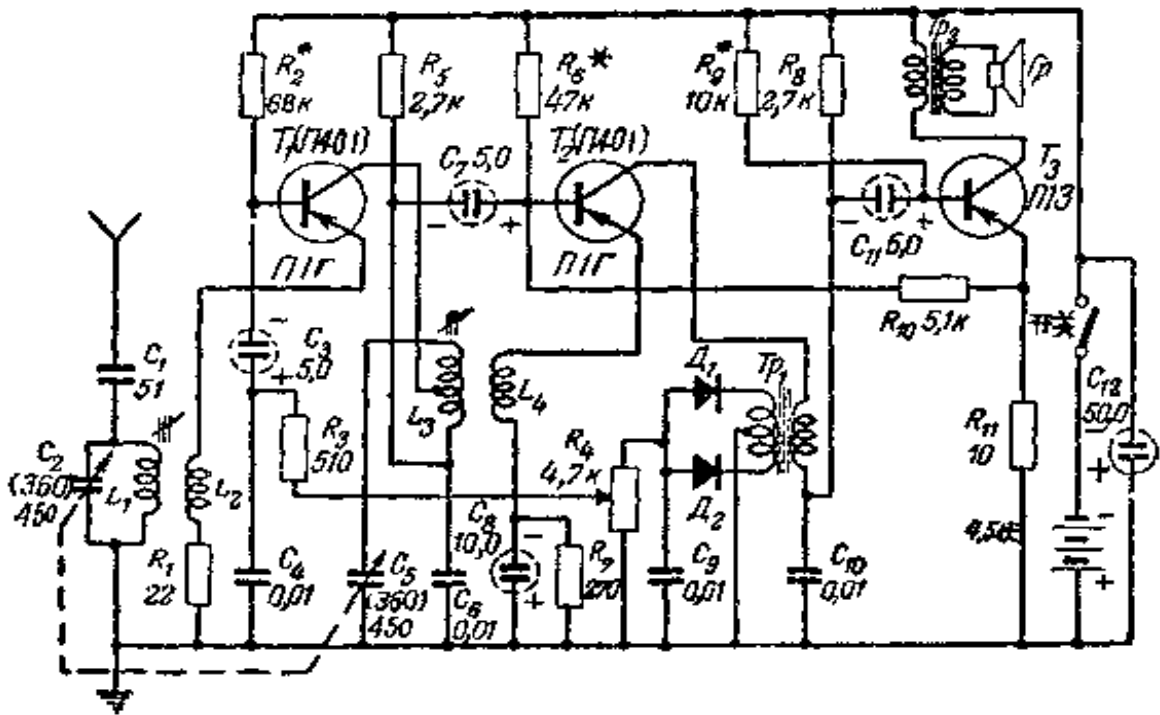


图 27 双调谐回路来红式收音机
(括号内的型号是在收听中被时所用——译者注)

到第一个晶体三极管。但是现在是加到它的基极。在这个晶体三极管的集电极电路中，与谐振槽路串联着电阻 R_5 ，它是晶体三极管的低频（音频）负载。这样一来，第一级在放大高频的同时，还起共发射极低频放大器的作用。被第一级放大后的低频信号，通过电容器 C_7 ，加到第二个晶体三极管的基极上，它也起低频放大器的作用。音频电压由低频放大器的负载电阻 R_8 ，加到用晶体三极管 T_3 装成的末级。在晶体三极管 T_3 的集电极电路中，接有输出变压器 TP_2 。

收音机的布线以及它的零件的安排，应根据所用的喇叭箱的构造特点来进行。为了不损坏喇叭箱的外形，布线板最好用鱼胶或万能胶粘在箱壁上。但为了便于调整收音机以及以后的修理或改装，布线板本身并不直接粘在喇叭箱上，而是将槽板粘在喇叭箱上。装在单独的绝缘板上的、调整好的收音机部件

就插在槽板的槽中。

图 28 示出收音机安装结构的一种可能方案。所有的零件可以用焊片或金属插棒装固在绝缘板上。

输入槽路的电感线圈 L_1 绕在 CB-2a 或 CB-3a 上（如果收听中波可用 10×140 毫米的磁性天线棒上——译者注）。它用直径为 0.15 毫米的漆包线绕 250 圈

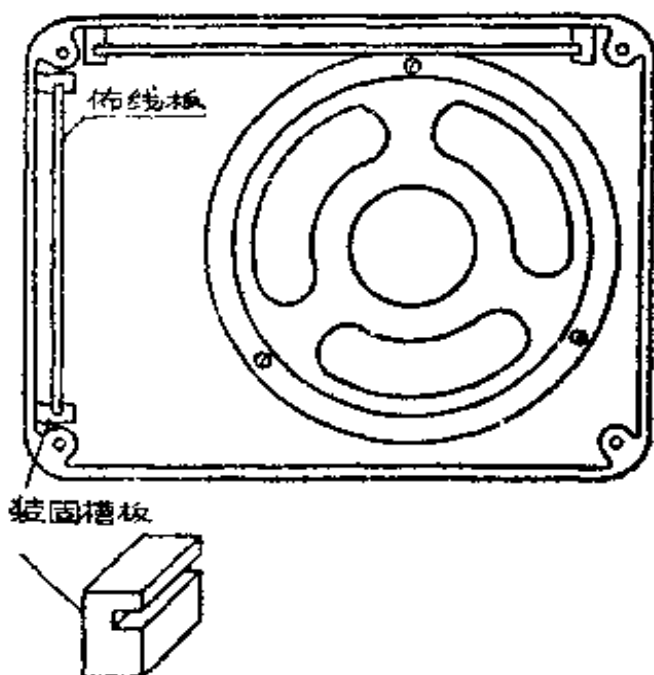


图 28 将安装板固定于收音机机壳上的情况

（如收听中波只绕 40—50 圈即可——译者注）。用同样的漆包线绕在磁性天线棒上的耦合线圈共绕 5—15 圈（如果收听中波电台，应减至 3—5 圈——译者注），绕在 L_1 的旁边。耦合线圈的圈数及位置在调整收音机时可稍加改变，以获得最佳耦合值。

电感线圈 L_2 绕在环形或矩形铁氧体心上，圈数与图 20 的 Tp_1 同。但是要在 100 圈处做一个抽头（如收听中波，应在 70 圈处抽头）。这个线圈应这样接入电路，使晶体三极管集电极和电阻 R_5 之间接 100 圈（收听中波时则在 70 圈处——译者注）的两端。这样就保证放大器具有所需大小的负载阻抗。当槽路全部接入晶体三极管的集电极电路中时，槽路的质量因数便变坏，放大级自激的危险性增大，而当信号电平很高时还会因限幅而产生非线性失真。耦合线圈 L_4 有 15 匝。槽路与下级的耦合必须如此弱，是因为共基极晶体三极管电路的输出阻抗极大而输入阻抗十分低的缘故。

高频变压器 Tp_1 接在第二个晶体三极管的集电极电路中，它也绕在匣形铁氧体心上。因为它的初级线圈的电感应为 10—15 毫亨（这相当于 500—550 圈），而且还要绕一个有中心抽头的 200 圈的次级线圈，所以应该用直径 0.08—0.1 毫米的细漆包线绕制。

这个变压器也可以绕在直径不小于 7 毫米的环形铁氧体上。变压器最好用导磁率不超过 400 的阿尔西费尔铁氧体制成。当使用 E 形阿克西费尔铁心时，变压器的初级线圈应绕 100—150 圈，而次级线圈绕 50 到 75 圈，做一个中心抽头。如果变压器是用导磁率为 200 到 400 的环状阿克西费尔铁心做成的，那么它的初级线圈绕 200 圈，而次级线圈绕 100 圈，做一个中心抽头。当铁心的导磁率大时，圈数应相应地减少。

（在收听中波电台时初级绕 50—70 圈，次级绕 200 圈左右，中心抽头——译者注）

输出变压器 Tp_2 的铁心可以用电子管收音机的输出变压器的铁心（铁心的中心柱的截面积应为 0.5—1 平方厘米）。初级线圈应以直径为 0.12 毫米的漆包线绕 1000 圈。如果喇叭的音圈阻抗为 4—6 欧，那么次级线圈用直径为 0.5 毫米的漆包线绕 200 圈。如果喇叭的音圈阻抗与上述数值相差很远，那么次级线圈的圈数应按下式计算：

$$\omega_2 = \omega_1 \sqrt{\frac{R_{rp}}{150}}$$

式中 ω_2 ——变压器次级线圈的圈数；

ω_1 ——变压器初级线圈的圈数；

R_{rp} ——喇叭的音圈阻抗，欧。

（输出变压器也可以用华北无线电器材厂的 E 30M 5 铁涂氧体作为铁心，初级用 0.17 毫米的漆包线绕 1000 圈。当用 3.5

欧的喇叭时，次级用 0.44 毫米漆包线绕 120 圈。如果喇叭是 8 欧的，那末次级圈数应增加为 150 圈——译者注）

当喇叭的电阻在 150 到 400 欧之间时，就不需要变压器了，喇叭可以直接接在晶体三极管的集电极电路中。

收音机应从输出级着手，逐级装配和调整。准备使用的晶体三极管用欧姆表来检查它的好坏。最好用第一章中所推荐的方法，测定它的电流放大系数 β 。应该从手头所有的晶体三极管中，选用放大最大的晶体三极管。收音机的开头两级中应该用高频管。在检查晶体三极管时，应该注意使它的发射极—集电极电流在基极电路开路时不超过 0.5 毫安。

输出级的调整是用改变电阻 R_0 的阻值的办法来调节晶体三极管的集电极电流。这个电流应等于 10—15 毫安。读者不必为特性表上注明 П1、П6 和 П13 等型号的晶体三极管的最大允许电流为 10 毫安而感到为难。因为收音机的电源电压十分低（4.5 伏），所以集电极电流可以允许增加一点而不会缩短晶体三极管的寿命。在所推荐的工作状态下，晶体三极管集电极的耗散功率不超过 70 毫瓦，几乎比允许的最大耗散功率小一半。当将电唱机的唱头（通过隔直流电容器）接至调整好的输出级时，收音机的喇叭的发音虽不太响，但是能无失真地放音。

第二个晶体三极管的集电极电流应该等于 1 毫安。集电极电流的大小可以根据负载电阻 R_0 上的电压降来检查。晶体三极管的发射极和集电极之间的电压应该大致等于电源电压的一半。此级工作状态是用改变电阻 R_0 的阻值来调定的。

晶体三极管 T_1 的工作状态用类似的方法调定。它的集电极电流的大小应约等于 1 毫安。

此后，应检查所有 3 级一起放大低频电压的工作情形。为此，将电容器 C_2 的下端跟检波器电路烫开，而在其中加上任

一电压很小的音频信号，例如唱头的输出信号。假使电路良好，那么这时在喇叭中应发出响亮的、没有失真的声音。

确信收音机的低频部分工作正常后，恢复来复电路，并着手调整两个高频级。

如果来复电路接通后，把天线断开，收音机发出某种噪声似的声音，那就是说，收音机的其中几级发生自激。寄生振荡可以用将槽路耦合线圈的两端对调一下，将阻值为50—75千欧的电阻并联在槽路和高频变压器 T_{p_1} 初级上，增加低频滤波器的电容器 C_4 和 C_9 的电容量等方法来消除。消除寄生振荡后，接上天线时应该能接收收听波段中的大功率电台（如果用磁性天线，则不接上外部天线一般也能收到本地大电台——译者注）。

为了提高收音机的灵敏度和选择性，必须使它的两个谐振槽路统调，因为它们的谐振频率可能相差很远。两个谐振槽路的统调方法，在介绍图22所示电路时已经讲过了。

10. 超外差收音机

在很宽的波段内工作的直接放大式收音机，当所收听的频率改变时，它的各谐振放大级应该与输入槽路同时重调。一系列的技术困难就在于此。首先，依靠增加高频放大器的级数来提高灵敏度的，就不得不有若干均匀调谐振荡槽路的频率的同调元件。其次是用各振荡槽路的一个元件（电容或电感）在很宽的范围内改变槽路的调谐频率，会使谐振电阻和槽路的通频带大大改变，从而使收音机在收听的波段内的灵敏度、选择性和通频带有显著的变化。第三，工作在高频放大电路中的所有的晶体三极管，它们的放大截止频率应该超过接收的最高频率。

超外差收音机在这方面较为优良，它能消除上面列举的所

有缺点或其中的部分缺点。超外差接收的原理在于：将收到的信号变换成新的频率，所谓中频。对于任一个所接收的电台的波长来说，中频都相同，信号的主要放大都是在中频上进行的。

在超外差收音机中，所收听的电台的信号用可调谐的谐振槽路选出，并和收音机中专用的振荡器（本机振荡器）产生的电压一起送至所谓混频器（变频器）。在混频器中形成一个新的频率，它等于加在其上的两个交变电压的频率之差。当旋转双连电容器的转轴时，本机振荡器频率的变化规律是这样的：使得本机振荡器的频率和所接收的信号的频率之差，在收音机的整个波段内，保持不变。差频（中频）电压仍保留已调制的输入信号的包络的形状。

因为在调谐收音机时，变频后的信号的频率不变，所以它能用固定调谐的谐振放大器来放大。于是，收音机的选择性、通频带和灵敏度便在收音机的整个波段内保持不变。

中频的大小可以选择得使较容易得到的晶体三极管，它的截止频率比用作高放时可低得多。

晶体三极管收音机中频放大级的级数，主要决定于它的灵敏度。实际上，为了保证晶体三极管收音机的灵敏度相当于3级电子管收音机的灵敏度（300微伏），在其中使用两级中频放大级和一个晶体管混频器，或使用三级中频放大级和一个二极管混频器就够了。

晶体管中频放大级的负载既可以是单调谐槽路，也可以是中频带通滤波器。滤波器是由用电感或电容耦合的两个槽路组成的。用单调谐槽路做成的中频电路，它的通频带中的频率特性稍差，对邻道信号的衰减较小，但是在同样的增益下，它的尺寸却比使用双槽路带通滤波器的中频电路小得多，并且调整

起来也比较简单。因此在制作简单的超外差收音机中，宜用单槽路中频放大器。在制作高级收音机时，应该使用中频双槽路带通滤波器。

应该注意：由于晶体三极管放大级的输入阻抗很低，在其中使用电子管收音机中所用的典型的中频变压器就有困难，因为这些中频变压器或要经过重大的改装，或要使收音机增加晶体三极管的数目。因此，制作使用自制带通滤波的收音机，要比使用典型的中频变压器的收音机来得简单。

图 29 是台式业余超外差收音机的电路。收音机的中波波段是 520 千赫到 1500 千赫，用双连可变电容器来选择电台。收音机用室外天线收听时的灵敏度，不低于 300 微伏。选择性（以频率与所接收的信号相差 10 千赫的两个相邻电台的信号削弱情形来表示）等于 25 分贝。按衰减 6 分贝（电压减小一半）计算的、中频电路的通频带为 10 千赫。收音机总的通频带为 150—4500 千赫。输出功率为 50—80 毫瓦。

收音机的混频器和本机振荡器中使用 П401—П407 型晶体三极管，其它几级用 П6B(П13)。收音机的中频为 110 千赫。中频电路包括两个槽路（其间用外电容耦合）的双槽路带通滤波器和一个谐振槽路。输出级使用推挽电路。收音机的电源是三节手电筒电池。在最大功率状态下耗用的电流等于 25—30 毫安。一组电池可连续工作 200—300 小时，这相当于收音机可正常工作 2—3 个月。

本收音机设计得可用电压为 120—220 伏的市电供电。用市电供电时，由于电源电压增大到 9 伏，所以输出功率提高到 200—250 毫瓦。

收音机可装在有线广播的喇叭箱中，喇叭使用正常功率为 0.25 瓦的电动喇叭，也可以使用任何额定功率在一瓦以下的

喇叭。輸入槽路的綫圈 L_1 用直径为 0.15 毫米的多股漆包綫或紗包綫直接繞在长 170, 直径 10 毫米的鉄氧体天綫棒上。收中波时共繞 60—70 圈。 L_1 的电感約为 0.17 毫亨。 L_2 繞 140 圈。在收长波电台时将 L_1 、 L_2 串联起来。輸入槽路和混頻級（晶体三极管 T_2 ）用耦合綫圈 L_3 耦合， L_3 用直径为 0.15 毫米的漆包綫繞 5—10 圈。耦合綫圈最好繞在比天綫棒直径稍大一些的紙管上，这样在調整收音机时可以移动耦合綫圈的位置，使与混頻器达到最佳耦合。

收音机的本机振盪器装成共发射极电路。本机振盪槽路和晶体三极管 T_1 的集电极电路用变压器耦合。本机振盪器的頻率比接收的信号頻率高 110 千赫。本机振盪器的振盪槽路的电感綫圈的鉄心应采用适合于中波波段工作的。

中波段的本机振盪槽路綫圈 L_4 繞在高頻磁心上，用直径为 0.15 毫米的漆包綫在 CB-a 型磁心上繞 60 圈，在第 10 圈处做一抽头（綫圈的始端接地）。它的电感的大小为 150 微亨。本机振盪槽路的耦合綫圈用直径为 0.15 毫米的漆包綫繞 30 圈。长波段用的 L_5 用直径为 0.1 毫米漆包綫在同样磁心上繞 240 圈，40 圈处抽头，其电感量为 1.55 毫亨。 L_7 繞 100 圈。

中頻放大器接成共发射极电路。在混頻器 (T_2) 的集电极电路 and 第一中頻放大級 (T_3) 之間接有外电容耦合的双槽路带通滤波器。带通滤波器磁心用 CB-2a 或 CB-3a 型。

本收音机中，晶体三极管集电极电路中的槽路使用自耦变压器連接。这样就能使放大器与負載达到阻抗匹配，并且减小了槽路中由于变压器引起的电容。变压系数选择得使接入晶体三极管集电极电路中的阻抗为 5—7 千欧。

綫圈 L_8 、 L_{11} 和 L_{14} 用直径为 0.12—0.15 毫米的漆包綫繞 250 圈，在第 100 圈处做一抽头。在集电极电路中接入 100 圈

的一段。綫圈 L_9 和 L_{12} 用直径为 0.12 毫米的漆包綫繞 250 圈。每一个綫圈的电感为 2.8 毫亨。耦合綫圈 L_{10} 和 L_{13} 各繞 30 圈，而 L_{15} 用直径为 0.1 毫米的漆包綫繞 100 圈。

为了使中頻变压器获得所需的通頻带（衰减 2 分貝时的通頻带为 10 千赫），在它們的槽路上都并联一个电阻。結果，槽路的有效品质因数 Q 为 22—27。槽路間的耦合值选择得超过临界耦合值，也就是使每一个带通滤波器的頻率特性曲綫在中頻上的凹陷等于滤波器在通带边界上的衰减。接在末級中頻放大級集电极电路中的单調諧槽路的諧振特性，补偿了两个带通滤波器总的頻率特性曲綫的凹陷。两个槽路之間所需的耦合值，用选择适当电容量的电容器 C_5 和 C_{18} 来实现。

輸出变压器 Tp_2 使用改装后的电子管收音机的輸出变压器。把原有的綫圈拆掉，重新繞制。初級綫圈(1—2)用直径为 0.15 毫米的耐久漆包綫繞 1300 圈，中心做一抽头，而次級綫圈(3—4)用直径为 0.35 毫米的耐久漆包綫繞 180 圈。次級綫圈先繞。

变压器 Tp_1 可以用同样的鉄心或尺寸較小的鉄心做成。它的初級綫圈的电感应为 5—10 亨。这相当于在 III-8×8 硅鋼片鉄心上用直径为 0.12 毫米的耐久漆包綫繞 2000—2500 圈。次級綫圈用直径为 0.12 毫米的耐久漆包綫繞制，每段的圈数是初級綫圈圈数的 $\frac{1}{6}$ 。

电源变压器 Tp_3 使用 III-12×24 鉄心。变压器的初級綫圈用直径为 0.12 毫米的漆包綫繞 3200 圈，在 1800 圈处做一个抽头，而次級綫圈用直径为 0.35 毫米的漆包綫繞 200 圈。

整流二极管使用 ДГ-И21—ДГ-И27 型面接合型二极管。

收音机的零件装在用厚 3—4 毫米的胶紙板或夹布胶木絕緣板上，絕緣板沿喇叭箱箱壁安装。絕緣板插在槽板內，而槽

板用魚胶或其他胶直接粘在喇叭箱的内壁上。

在絕緣板上钻一些小孔,小孔中插入用直径为1—1.5毫米的、刮去絕緣的銅导綫做成的插棒。小零件(电阻、电容器)就焊在这些插棒上。

大零件(碳基鉄鉄心等)用螺栓装固在絕緣板上。中頻变压器的两个槽路装在金属屏蔽罩内。調諧双速电容器装在收音机机箱底上。鉄淦氧天綫棒用两个絕緣支架装在絕緣板上,支架上钻一个直径等于天綫棒直径的孔。天綫棒的两端插在这两个孔内,此后将支架粘在布綫絕緣板上。不能用金属装固零件,因为这样会降低輸入槽路的品质因数。

混頻器和本机振盪器电路的零件装在相应晶体管的旁边。为了便于装干电池,在絕緣布綫板上装两个接触弹簧,以便很容易用干电池来代替,交流整流电源而不必重新焊接。

收音机的調整从調整輸出級的工作状态开始。用选择电阻 R_{20} 使輸出級两个晶体三极管的总集电集电流等于5毫安左右。正象上面所指出的,必須使共发射极推挽級的靜态电流不等于零。因为在沒有偏置的B类工作状态下,推挽級将引入很大的非綫性失真。

所有其余各級的工作状态,都是自动調整的,不必另行調整。

两个中頻放大級是根据整个中頻电路的合成頻率特性的形状来調节。調节的方法是这样的。将放在測量直流电压档上的高内阻电压表接至檢波器的輸出端(与电阻 R_{13} 并联)。将电容器 C_{17} 与綫圈 L_{12} 相連的两端烫开,把标准信号发生器或自制信号发生器的輸出端接至綫圈 L_{12} 。这时,綫圈 L_{12} 和 L_{13} 用作匹配变压器。信号发生器的頻率应相当于中頻电路通頻带的中点(110千赫)。移动电感綫圈的微調鉄心,将 $L_{14}C_{22}$ 振

邊槽路調到諧振。电压表作为調諧指示器。槽路精确調諧时，电压表的指針偏轉最大。因为槽路的品质因数不大，所以它的諧振曲綫沒有很明显的峰。因此，为了更精細的調諧，应将中頻級的激励頻率（信号发生器的頻率）朝两面改变 5 千赫（对正常值 110 千赫来說），并将槽路調諧得使于信号发生器在两对称失調点时电压表的讀数相等。

此后，以同样的步驟調諧第二中頻变压器的两个槽路。为了使两槽路之間的强耦合不致影响每一槽路分別进行精确調諧，在調諧时应将耦合电容器 C_{18} 的电容量减小为 $1/3$ 到 $1/5$ 。在調整第二个中頻滤波器时，将綫圈 L_9 与电容器 C_6 断开，信号发生器与 L_9 并联。第二个中頻滤波器調好后，調节第一个中頻滤波器。为此，将信号发生器接至临时繞在鉄氧体天綫棒上的 2—3 圈导綫組成的天綫綫圈上。在每个滤波器調好后，将在調諧时改过的电路加以恢复。信号发生器輸出端上的电平应使任一个中頻放大級都不致发生过荷限幅現象。否則，調諧工作就进行得不正确。

應該注意：由于接在同一晶体三极管基极电路和集电极电路中的槽路間的强耦合，集电极槽路的諧振頻率在調諧基极槽路时会有一些改变。由于这一原因，晶体三极管收音机中頻电路最好不是根据与检波器的負載并联的直流电压表的讀数来調諧，而用直接接至被調諧的槽路的高內阻交流电压表来調諧。

中頻电路調諧好以后，进行輸入槽路和本机振盪器槽路的統調。这时，內調制的标准信号发生器通过电容量为 20—30 微微法的电容器接至收音机的天綫接綫柱。信号发生器的頻率調到 1 兆赫到 1.1 兆赫。旋轉双連可变电容器的旋鈕，使本机振盪器調到能接收信号发生器的信号。

此后，微調本机振盪器槽路的电感，同时旋轉可变电容器

的旋鈕，使音量最大。然后，将电容器的动片轉至电容量最大的位置（动片全部旋入定片），改变跟踪电容器 C_9 及 C_{11} 的电容量，同时微調信号发生器的频率，重新使收听的音量最大。这时，信号发生器的频率应在510—530千赫的范围内。

以后，将动片全部旋出定片，用旋轉微調电容器 C_8 及 C_7 的动片的办法进行調諧。如果最后調好后发现收音机的波段越出了預定的界限（520—1500千赫），那么应该重新調过。如果波段偏高，那么应将綫圈 L_1 的电感增大，然后再調一次。如果波段偏低，那么綫圈 L_1 的电感应减小。

如果业余无线电爱好者沒有專門的測量用信号发生器，那么輸入和本机振盪器槽路可以根据波段三点上的电台的信号来調諧。在統調槽路时，应防止虛假地調諧在鏡頻上。为此，必須証实：在收音机調諧的每一点上，本机振盪器的频率高于被接收的信号频率。

为了便于調諧中頻电路，业余无线电爱好者可以自己做一个晶体三极管測試振盪器。它的电路如图30所示。轉換开关在

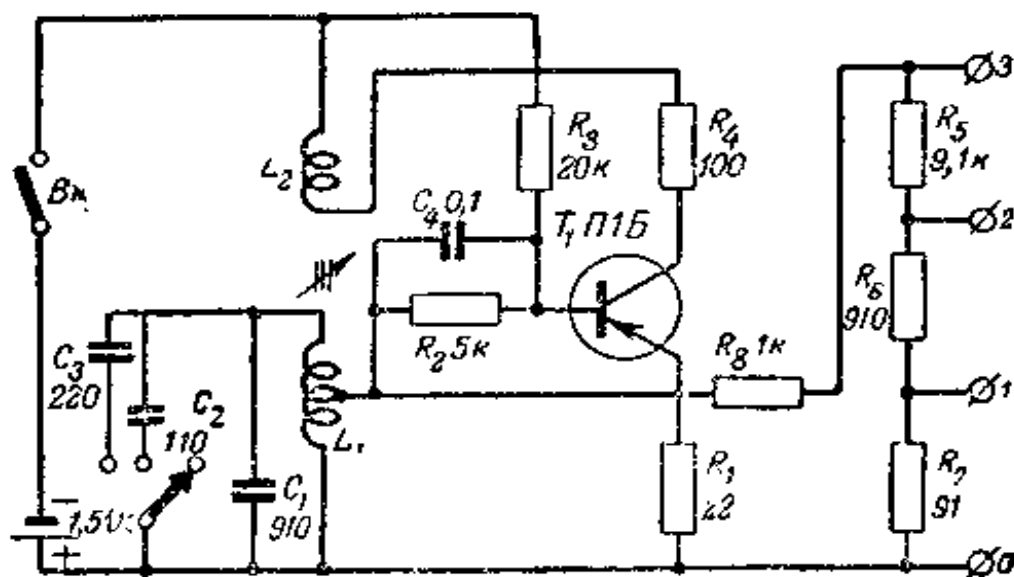


图 30 用以調諧中頻槽路的信号振盪器电路

中間位置時，振盪器的頻率等於 110 千赫，而在兩端的位置上分別為 105 和 115 千赫。振盪器的電源使用電壓為 1.5 伏的干電池。振盪器的最大輸出電壓為 0.1 伏。它的輸出端有一個分壓器，依靠分壓器可以分檔減小輸出電壓。

振盪器裝在一塊不大的絕緣板上，晶體管可使用 П1、П6 或 П13 型的。振盪器的兩個繞圈繞在 СБ-2а 型鐵心上。其中第一個繞圈 L_1 用直徑為 0.15 毫米的漆包線繞 200 圈，在 30 圈處做一個抽頭。繞圈 L_2 用同樣的導線繞 100 圈。繞圈 L_1 接得使它的 30 圈的一段接在輸出端 0 和 3 之間。如果裝好的電路不振盪，那麼必需把繞圈 L_2 的兩頭對調一下。

圖 31 上示出另一架超外差收音機的電路，它調整起來比較簡單，但電氣特性稍差（靈敏度較低，選擇性較壞）。

這一電路與前一電路的主要區別在於：其中中頻電路使用串聯單槽路。大家知道，與電抗元件（ L 和 C ）串聯的有功電阻愈小，則串聯槽路的品質因數愈大，因而它的諧振電流也愈大。因此，所有的中頻放大級都接成共基極電路，因為在這種電路中，與槽路串聯的晶體三極管的輸入電阻最小，是在 30—50 歐的範圍內。使用串聯槽路的每個中頻放大級的電壓放大系數，約等於槽路的品質因數。

中頻槽路繞圈 L_8 和 L_9 繞在 СБ-2а 型鐵心上，用直徑為 0.12 毫米的耐久漆包線繞 350 圈，中心有一抽頭。收音機所有其餘的零件與前一種收音機相同。

為了保證收音機中頻電路的所需通頻帶，它的兩個中頻槽路的調諧頻率應對通頻帶的中心頻率朝兩面錯開 3—4 千赫。這時，以檢波器為負載的槽路精確地調諧在 110 千赫的頻率上，而前面兩個槽路分別調諧在 113 和 107 千赫上。

使用串聯槽路的收音機的調整和調諧的步驟，與前一種收

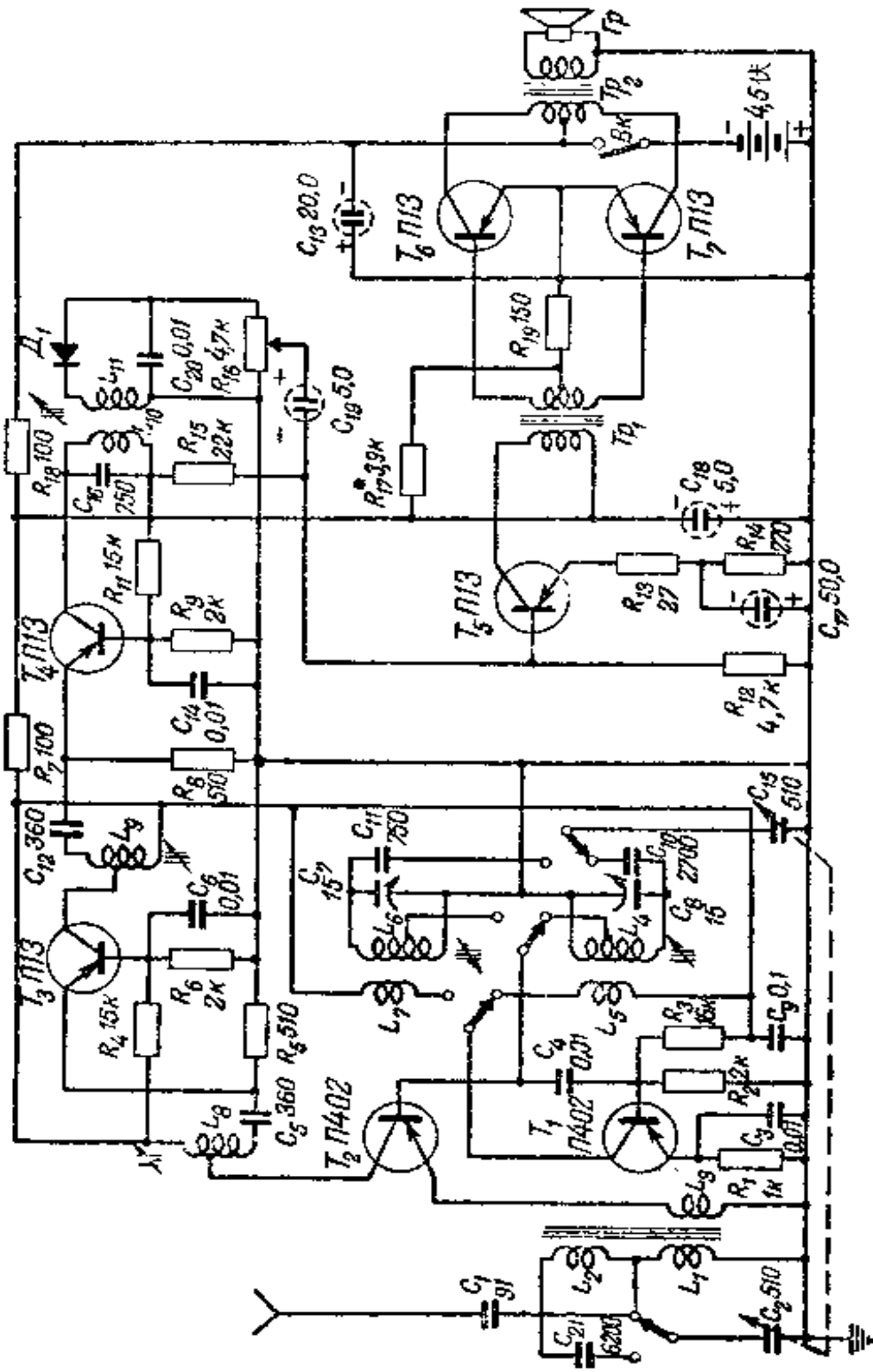


图 31 中频变压器使用串联单槽路的超外差收音机的电路

音机的相同。

第四章 袖珍收音机

只有在发明了晶体三极管以后，在业余条件下制作小型袖珍收音机才有实际可能。但是，制作在电气特性方面能满足最起码的要求的真正小型收音机，即使有了晶体三极管，仍旧是一件相当复杂的工作。假使没有晶体三极管，那简直是不可能的。要顺利地解决这个问题，有了良好的技术资料和指导还是不够的，还需要机敏和灵巧的两手。

制作小型收音机的困难是很难找到现成的小型喇叭和可变电容器，有时都不得不自制。在小型收音机中使用有效高度很小的机内磁性天线，就对收音机的灵敏度提出一个相当严格的要求。灵敏度与电路的复杂程度有直接关系，因此跟收音机的体积也直接有关。收音机电路的放大系数大，是收音机产生自激的其中一个原因。装得很紧凑，以便最大限度地利用空间，会增加自激的危险。以上这些复杂而矛盾的问题，不解决的话就不能制成良好的袖珍收音机。

选用怎样的电路好呢？哪一种电路能最全面地满足对这种收音机提出的所有要求呢？对于这个问题是不能肯定地回答的。然而，在每一具体情况下，倒是能指出收音机电路的最佳方案的。

为了便于选择电路，让我们来比较两种最常用的收音机——来复式和超外差式收音机的特性。

来复式袖珍收音机的电路比较简单，所用的晶体三极管和其它零件的数量不多，并且使用单联可变电容器。使用来复式电路的收音机的缺点，是灵敏度不高，选择性差和由于此种电

路本身很可能发生自激而使调整复杂。这是因为在直接放大电路中，信号的主要放大是在输入天綫槽路的調諧頻率上进行的。在小型收音机中，天綫的位置跟高频放大器的負載槽路和高频变压器靠得很近，使高频放大器的槽路和高频变压器与天綫槽路存在着耦合，而它們又工作于同一頻率。所以自激的可能性十分大。

在超外差式收音机中，信号的主要放大是在中頻上实现的，而中頻跟天綫槽路的調諧頻率离得很远。这就减少了自激的危险。超外差式收音机的灵敏度比来复式收音机高，选择性也比来复式的好得多。但是，对于袖珍收音机来说，选择性不很重要，因为袖珍收音机照例是收听2—3个本地电台，而它們的頻率总相差很多。

与来复式收音机相比，超外差式收音机用的晶体三极管和其它零件的数量較多。制作連續調諧的超外差式收音机，必須使用双連可变电容器。

在最后选定收音机的电路以前，應該先张罗零件和部件。收音机的这些零件，象喇叭、可变电容器和电源，在頗大的程度上确定了今后的收音机的电路。

如果业余无綫电爱好者手头有小型双連調諧电容器或者制做这种电容器并不感觉复杂，且有质量优良的小型电动喇叭，那么在这种情形下，應該选用超外差电路，因为它能更好地发挥上述两种零件的可贵性能。

如果收音机中打算使用耳机，由于耳机的頻率特性不寬，那么选择用电气特性特別好的复杂电路就沒有意思了。因为这些特性最后还是被耳机所破坏。在这一情况下，最好选用制作起来比較简单的来复式收音机电路。

11. 来复式袖珍收音机

在图 32 和图 33 上，繪出了来复式收音机的两种电路。这两个电路只是輸入槽路的調諧方法和輸出級的构造不同，其余是相同的。

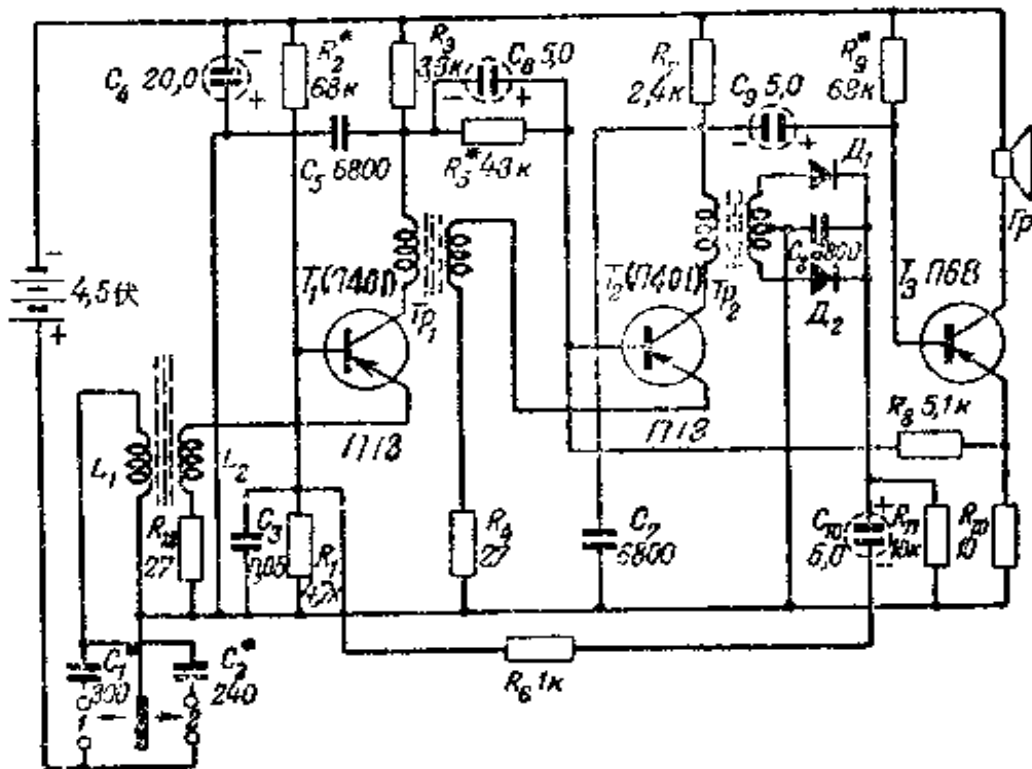


图 32 固定調諧的來复式袖珍收音机的电路图

第一种电路比較簡單。它的輸入槽路用換接电容器的办法調諧到两个本地电台，而輸出級是将高阻喇叭直接接在集电极电路中构成的。

第二种电路的天綫槽路中使用单速可变电容器和輸出級用推挽电路。

两种收音机电路都能保証用喇叭收听30—50公里以內的本地广播电台。

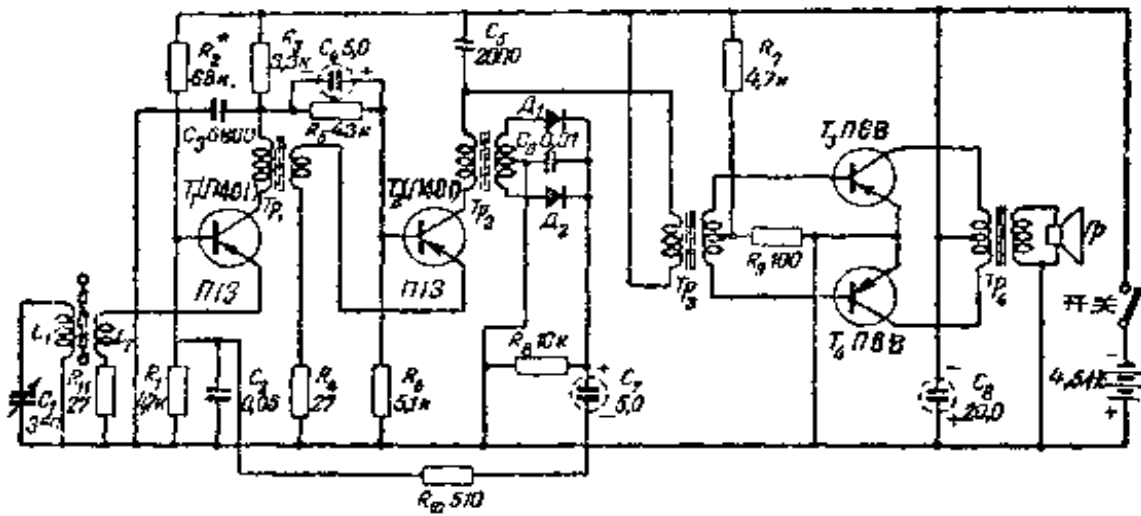


图 33 連續調諧的來復式袖珍收音機的電路圖

兩種電路的工作原理，與以前所介紹的來復式收音機的相同。前面兩級同時作高頻和低頻（音頻）放大器，而末級工作在音頻信號功率放大狀態。

收音機天線槽路的繞圈用直徑為 0.15—0.2 毫米的漆包線繞在鐵氧體天線棒上，一圈挨一圈，繞成一層。鐵氧體棒可以是圓形截面的，或矩形截面的，面積不下於 0.5 平方厘米。它的長度決定於收音機外殼的長度，但不應短於 7—8 厘米。繞圈自離鐵氧體棒的一端約 40—50 毫米處繞起。

繞圈 L_1 的圈數與鐵氧體棒的導磁率以及它的長度有關。棒愈短，繞圈的圈數應該愈多，以獲得預定的電感。電感的數值不必很准，因為天線槽路是用選擇電容器的電容量的辦法來調諧的。（當收聽中波，且使用直徑為 10 毫米、長 140 毫米的 M4 型鐵氧體天線棒時， L_1 用 7 股 40 號漆包線繞 40—50 圈。——譯者註）

耦合繞圈 L_2 的圈數比天線槽路繞圈 L_1 的圈數少，是它的 1/15。 L_2 不應直接繞在鐵氧體棒上，而繞在一個紙管上，

它的截面形状与鉄氧体棒的截面形状一致而直径稍大。使紙管能毫无困难地沿着鉄氧体棒軸綫移动。天綫槽路与高频放大器的最佳耦合值，就是用移动 L_2 来选定的。

高频放大器的高频变压器 $T\rho_1$ 繞在内直径为7—10毫米的鉄氧体环上。鉄心材料的导磁率最好不超过600—1000。也可以使用其他形状的鉄氧体鉄心，例如匣形的和III形的。

高频变压器 $T\rho_1$ 的初級綫圈用直径为0.1—0.2毫米的耐久漆包綫繞150—250圈（如收听中波，可減至100—20圈左右——譯者註）。这个綫圈的电感应为10—20微亨（收听中波时可减小——譯者註）。变压器的次級綫圈的圈数，是初級綫圈的1/10，用同样的导綫繞制。

高频变压器 $T\rho_2$ 具有类似的结构，只是次級綫圈不同，它的圈数是初級綫圈的一半，且有一个中心抽头。

全波检波器的两个二极管 Δ_1 和 Δ_2 ，是点接触式的， $\Delta\Gamma$ - $\Delta 1$ — $\Delta\Gamma$ - $\Delta 8$ 、 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 6B$ 或 $\Delta 9$ 型都可用。收音机的所有零件，应该尽可能选用小型零件。可以使用任何型号的电话机用的受話器（最好用直流电阻为100—200欧的）作为喇叭。也可以使用自制的小型喇叭。

在所有情况下，所使用的喇叭都希望有紙盆，它可以自己制作（紙盆能改善受話器在低频范围内的频率特性）。为了制作紙盆，必須用金属或耐热塑料做一个模具（图34, a）。这一工作只能在旋床上做。在制就的模具上面盖上几层鋁箔，构成容器壁，再将熔化后的錫或鉛灌进模具。这样就制成了冲头。为了使冲头可以很輕易地从模具中取出，在灌注前，在模具的錐形表面上稍稍抹上一点机油，它能减小模具和冲头材料間的粘台。

紙盆按下列步驟制作。

用过滤紙（也可以用普通的吸墨水紙）剪一个直径等于模具外径的圓。这个圓紙片在热水中浸 10—15 分钟，此后在浸湿的状态下把它放在模具中，用手指輕压使它变形，而呈截錐形。

不應該沿着紙面拉紙，因为这时紙会弄破的。應該沿垂直于紙面的方向压，使它成所需的形状。当整个紙面与模具貼合后，應該展平其上的皺紋。此后剩下的一点不平伏，應該用小錘或用某一其它的金属工具輕敲来弄平。这时必須防止弄破紙。

这项工作结束后，将冲头放入模具，再加压力（用重 60—100 公斤的物体压住）。應該注意，在加压力时，冲头不要对模具作旋轉运动。压力应均匀地分散在冲头的表面上。

模具加压半小时后，去掉压力，将紙盆放在露天凉干。紙盆凉干后，它的中央部分（从第一个皺褶起到錐頂）用溶化在二氯乙烷中的有机玻璃浸透。溶液应是液状的。紙盆应浸几次，直到紙盆获得所需的硬度。皺褶不浸溶液。

沒有上述溶液时，可以用万能胶，但效果較差。

紙盆浸过溶液，再次凉干后，重新放在模具中，盖上冲头，用木槌在冲头上輕敲施压。这样能使皺褶做得較好。

将紙盆的截錐平頂用万能胶粘在受話器的膜片上。如果由于受話器的結構特点紙盆不能直接粘在耳机的膜片上，那么在膜片上应焊一个鋼針，而紙盆則粘在鋼針上。这时，紙盆錐体的截去部分应做成硬底。为此，在截去部分的两面貼上两块厚 0.5—0.7 毫米的浸过胶水的硬紙板圓片。在硬紙板圓片中心钻一个孔，直径为 0.15—0.2 毫米的鋼針就插在孔內。

鋼針与受話器膜片的接合处，用 БФ-2 万能胶胶住，使得膜片所造成的振动的传播方向与鋼針的軸綫相合。喇叭最后装

好后，再将鋼針粘在紙盆上。用 ДЭМШ 型受話器裝成的喇叭的結構簡圖，繪于圖 34, б。

收音機的電源可以用三個串聯的手電筒電池，或者三個從一般電子管收音機用屏電源疊層電池中拆出的小電池。使用第一種電池時，收音機足以工作 50—80 小時，而用第二種電池時，可工作 20—30 小時。

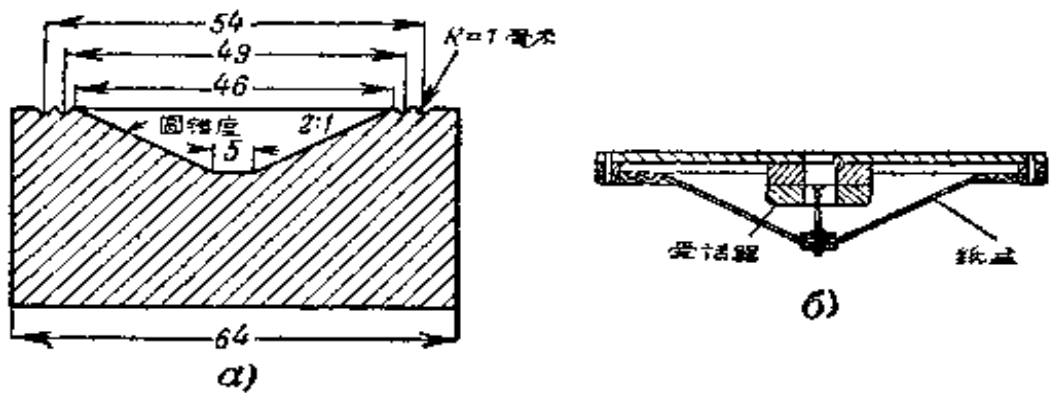


圖 34 用 ДЭМШ 型受話器製做喇叭的方法
а-模壓紙盆用的模具的簡圖；б-喇叭的裝配簡圖

電路的調整從調整晶體管 T_2 的工作狀態着手。當喇叭的直流電阻為 150—500 歐時，應選擇電阻 R_9 使晶體管 T_2 的集電極電流為 3—4 毫安。當喇叭的電阻很大時，集電極電流應減小到使喇叭阻抗上的電壓降為電源電壓的 0.3—0.5。

如果在收音機中打算裝電動式喇叭，它的音圈電阻小於 150 歐，那麼喇叭應通過降壓變壓器接入晶體管的集電極電路，初級圈數 ω_1 和次級圈數 ω_2 之比由下式決定。

$$\omega_2 = \omega_1 \sqrt{\frac{R_{cp}}{200}}$$

式中 R_{cp} —喇叭的直流電阻（歐）。

降壓變壓器可以用中柱截面積為 0.25—0.5 平方厘米的 E 形坡莫合金或變壓器鋼做成。初級繞圈的電感應為 1—2 亨。

初級和次級繞圈的導線的直徑，根據鐵心的尺寸來選擇，使得其中每一個繞圈占變壓器繞圈架容積的一半。

因為晶體三極管 T_1 和 T_2 之間通過電阻 R_5 而有直流耦合，所以第二個晶體三極管的電流就與第一個晶體三極管集電極上的電壓的大小有關。於是首先應調整第一級的工作狀態，然後再調第二級的工作狀態。晶體三極管 T_1 的集電極電流應調到 0.8—1 毫安。這時，集電極和發射極之間的電壓等於 2—2.5 伏。

第一級和第二級之間所以加入直流耦合是由於下述的幾個原因。業餘無線電愛好者能弄到的所有適用於小型收音機的電源，都有很大的內阻，這就可能引起各級間的寄生正回授。如果晶體三極管 T_2 基極的偏流是用一般的方法提供的（即由公共的電池提供），那麼晶體三極管 T_2 和 T_3 便通過電源內阻形成有正回授的多諧振盪器。當各種情況湊得不好時，這個多諧振盪器就會自激，產生重復頻率很低（10—20 赫）的脈沖。這一振盪表現為喇叭紙盆的超低頻節奏振動，且不能用通常的方法，例如用加裝去耦濾波器的辦法來消除。因為振盪頻率很低，去耦濾波器的電容器的電容量應十分大。

在圖 32 和圖 33 的電路中，由於在第一級中相位轉過 180° ，所以級間回授由正回授變成了負回授。這樣就消除了收音機超低頻自激的可能。

第一級的工作狀態調好後，接着用選擇電阻 R_5 的阻值的方法來調節第二個晶體三極管 T_2 的電流。晶體三極管 T_2 的集電極電流應為 0.8—1 毫安。

所有的晶體三極管的工作狀態都調好後，收音機的三級低頻放大器應能正常地工作。為了確信是正常工作的，可將電唱機的唱頭通過電解電容器接至電路。進行這一檢查時，來復電路（也就是 C_{10} ）應該斷開。

收音机高频部分的调整归结为选择天线槽路的电容器（的容量）。使天线槽路的调谐频率等于所选择的电台的频率。

由于收音机中采用全波检波器，所以通过来复耦合电路产生自激的可能性就很小。因此，万一产生了高频寄生振荡，那末原因应该首先从零件（如 Tp_1 及 Tp_2 ）对磁性天线的位置不当来寻找。

为了使收音机的调整过程方便起见，收音机的电路可以先装在一块尺寸比较大的绝缘板上。这样就能自如地接触到收音机的所有零件。这种结构的电路能正常地工作后，再着手最后把它装得紧凑。

可以利用适当尺寸的现成的塑料盒或雪茄菸盒（不是金属的），作为收音机的机壳。这种机壳的外形一般总比自制的更好些。机壳的内部尺寸，决定于收音机最大的一些零件的体积（喇叭、电池和磁性天线棒）。因此，应该在收音机的总尺寸最后明确后再选择或制作机壳。

第二个来复式收音机的电路（图 33）与前一种电路（图 32）的差别不大。由于其中使用可变电容器，所以能连续均匀地改变调谐频率，这是为使收音机在不同的城市中都能工作所必需的。

可以将 KIK-3 型陶瓷微调电容器稍加改装后，作为调谐电容器 C_1 。改装的手续在于减小电容器转子部分的陶瓷圆片的厚度。为此，将电容器拆开，用细砂纸或磨剃刀的磨刀石将它的陶瓷圆片（涂成红色）的内表面磨掉一些。做这项工作时，应该注意被磨的表面保持平面。陶瓷圆片厚度的减小，就使电容器的最大容量增大。磨得好的电容器的容量的变化范围可从 30—40 微微法到 300—350 微微法。

在收音机机壳顶盖的内表面上，旋一个直径等于电容器直

径的孔。电容器的定片就嵌胶在这个孔内，使得动片凸出在收音机顶盖的表面上。

收音机的天线和高频变压器 Tp_1 和 Tp_2 ，完全和前一种收音机的相同。

变压器 Tp_3 用 III-4 或 III-5 型硅钢片铁心做成，初级线圈用直径为 0.07—0.08 毫米的漆包线绕 2000 圈，次级线圈用直径为 0.1 毫米的耐久漆包线绕 1000 圈，做一个中心抽头。

输出变压器 Tp_4 用 III-5 型硅钢片或坡莫合金铁心装成。变压器的初级线圈 ω_1 用直径为 0.07 毫米的耐久漆包线绕 1600 圈，做一个中心抽头。次级线圈的圈数 ω_2 与喇叭的电阻有关，可按下列式：

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{2} \sqrt{\frac{R_{rp}}{450}}$$

求出。

次级线圈的导线的直径选择得使次级线圈占线圈架容积的一半。次级线圈先绕在线圈架上。

推挽输出级的两个晶体三极管应该是同一型号的，并且最好具有同样的电流放大系数 β （测量电流放大系数 β 的方法在第一章中已经讲过了）。

在调整电路时，两个输出晶体三极管的总集电极电流，在静态下用改变电阻 R_7 的阻值的办法，调到 2—3 毫安。在调整输出级的工作状态时，应该检查二个晶体三极管集电极电流是否相等。如果这两个电流差得很多（超过 30%），那么其中一个晶体管应该换掉。

其余的晶体三极管的工作状态的调整，跟前一收音机的相同。

12. 携带式超外差收音机

图 35 是携带式超外差收音机的电路图，它的灵敏度较高，输出功率为 80—100 毫瓦。

最好是在有高质量的电动喇叭时才装这种收音机，因为高质量的电动喇叭能充分发挥出复杂电路的优点。

0.25 ГЛ-1 型特制电动喇叭最适用于这一目的，它的直径为 70 毫米，高 34 毫米，重 70 克。它的额定功率为 0.25 瓦，频率范围为 300—3000 赫。这种喇叭的音圈阻抗，在 1000 赫的频率上等于 8 欧。

0.5 ГЛ-11 型喇叭在电气特性方面较好一些，但体积较大，它的直径为 105 毫米，重量为 150 克，额定功率为 0.5 瓦，频率范围为 150—7000 赫。当频率为 1000 赫时，喇叭的音圈阻抗等于 5 欧。

收音机中可以使用任何型号的、尺寸小的电动喇叭。

收音机的电源可以用任何直流电压为 4.5—6 伏的小型电源。其中一种供电方案是用三节串联的 $\Phi BC-0.25$ 型电池（可用 5 号电池——译者注）。如果机壳的尺寸够大的话，可以用 $KBC-0.7$ 或 $KBC-0.45$ 号电池（手电筒的 2 号电池或 3 号电池也可用——译者注）。在最大功率状态下，收音机消耗的电流为 25—30 毫安。当电源电压降低到 2.5—3 伏时，收音机仍能工作。因此，收音机用一组电池工作的持续时间远远超过按电池额定容量计算的持续时间。

收音机有机内磁性天线，但是也可以用机外天线收音。用机外天线收音时，收音机的灵敏度提高，大约为 250—400 微伏。由于收音机的中频等于 110 千赫，所以除了本机振荡级以外，其中所有各级都可以用 П1、П5、П6、П13 型号的低

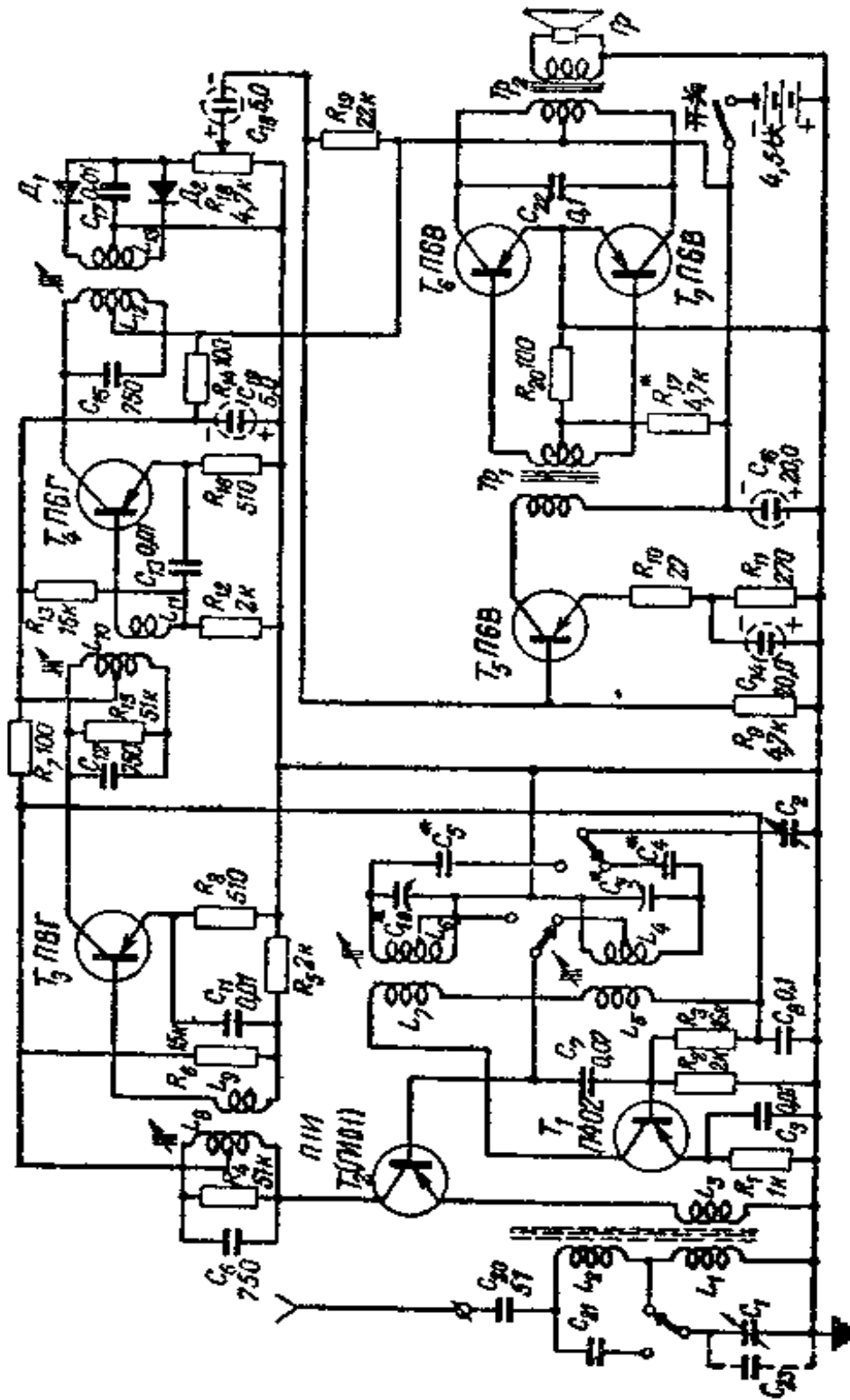


图 35 便携式超外差收音机电路

頻晶体三极管。

本机振盪級中应使用扩散型高频晶体三极管 (П 401—П 403)。良好的截止頻率較低的晶体三极管,如 П 1 И、П 6 Д、П 6 Г,有时也能用。某些型号的晶体管是否适用于这一目的,可把它接在本机振盪器电路中来試驗。如果在整个中波波段内都能保持振盪,那么被試驗的晶体三极管以后可以用在收音机中。

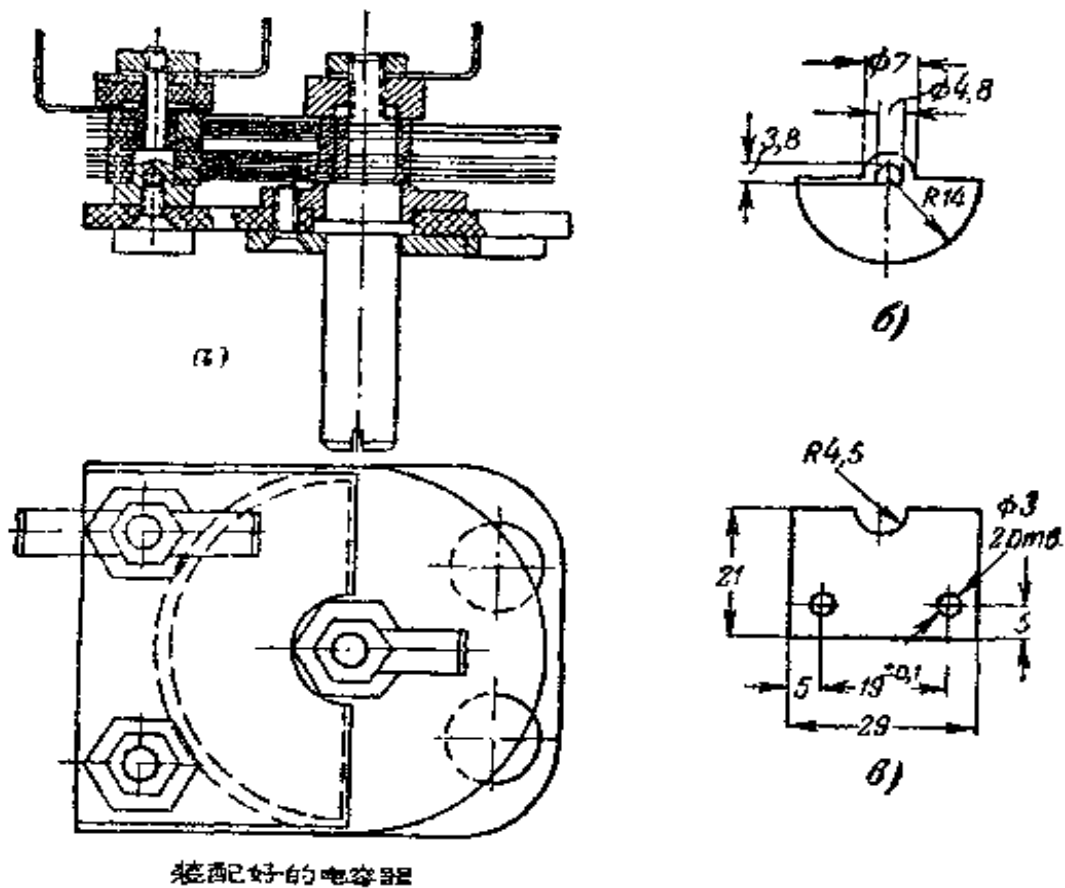
收音机的天綫槽路和本机振盪槽路,用双連空气可变电容器或双連固体介质电容器来調諧。沒有現成的小型可变电容器时,也可以自制。如果在极片之間使用固体介质片作为絕緣,那么电容器的制作就大为方便。

电容器的极片用有弹性的金属薄片(最好是厚度为 0.2—0.25 毫米的磷銅片)剪成图 36 所示的形状。

在裝配电容器时,在电容器的各极片之間垫以厚度为 0.5—0.6 毫米的、直径不大的金属垫圈。各极片之間依靠这些垫圈保持所需的距离。用聚苯乙烯塑料片、聚苯乙烯片或其它絕緣薄片做成的小圓片,作为介质垫片,垫片的数目等于电容器定片和动片之和。

为了使一組定片分隔成两段,在定子的装固支架上套上絕緣套管。此外,在两段的相邻极片之間垫入厚度为 1.5—2 毫米的垫圈,代替金属垫圈。为了将电路接至定片,每段中的其中一个金属装固垫圈用同样厚度的垫圈来代替。收音机的公共汇流条用軟导綫与电容器的动片相接,軟导綫的长度应使电容器的动片能在 180° 的范围内旋轉。为了避免擰断导綫,电容器动片的旋轉角度是受限制的。

收音机具有可調諧的輸入槽路、本机振盪器、混頻器、兩級使用单槽路負載的中頻放大級、全波檢波器、低頻前置放大器和推挽輸出級。



装配好的电容器
图 36 使用固体介质的自制双速可变电容器的结构图
a—装配好的电容器；b—动片；c—定片

输入槽路的电感线圈绕在长 8—16 毫米的 Φ -600 型^① 磁性天线棒上。

应该指出：在介绍小型业余收音机的高频部分时，推荐输入槽路和本机振荡槽路元件的具体数值是毫无意义的。因为这两个槽路的任一元件数值直接与可变电容器最大和最小电容量有关。在可变电容器是自己制作的情况下，它的参数可能与推荐的参数相差甚多。

因此，下面列出了一些简化后的计算公式，根据公式可以

^① 可用国产 M4 型 10×140 毫米的磁性天线棒。——译者註

由手头有的調諧电容器的最小和最大电容量的具体数值，算出槽路綫圈的电感和跟踪电容器的电容量。

当調諧电容器的最小电容量 $C_{\text{мин}} = 15$ 微微法，最大电容量 $C_{\text{макс}} = 500$ 微微法，磁性天綫棒的长度为 160 毫米时，波段为 150—415 和 520—1500 千赫的收音机的計算实例如下。

輸入槽路的参数可按如下的步驟确定：

1. 求可变电容器的頻率复盖系数：

$$K_c = \sqrt{\frac{C_{\text{макс}} + 50}{C_{\text{мин}} + 50}} = \sqrt{\frac{500 + 50}{15 + 50}} = 2.92。$$

2. 計算波段复盖系数：

中波：
$$K_{\text{п.ср}} = \frac{f_{\text{макс}}}{f_{\text{мин}}} = \frac{1500}{520} = 2.89。$$

长波：
$$K_{\text{п.дл}} = \frac{415}{150} = 2.76。$$

如果进行上列兩項計算后，发现一个波段或两个波段的复盖系数大于电容器的复盖系数，那么应将上下限頻率靠近，使波段复盖系数等于或稍小于电容器复盖系数 K_c ，从而压缩这个波段。

3. 求出复盖系数較大的那个波段的輸入槽路的电感：

$$L_{\text{д}} = \frac{2.53(10)^4 (K_{\text{п.ср}}^2 - 1)}{C_{\text{мин}}'' f_{\text{макс}}^2 (K_c^2 - 1)} = \frac{2.53(10)^4 (2.89^2 - 1)}{65 (1.5)^2 (2.92^2 - 1)} = 170 \text{ 微亨。}$$

在这一公式中， $C_{\text{мин}}'' = C_{\text{мин}} + 50$ ，而 $f_{\text{макс}}$ 是波段的最高頻率，单位为兆赫。

4. 計算电容器 C_{23} 的电容量：

$$C_{23} = C_{\text{мин}}'' \frac{K_c^2 - K_{\text{п.ср}}^2}{K_{\text{п.ср}}^2 - 1} = 65 \frac{2.92^2 - 2.89^2}{2.89^2 - 1} = 1.4 \text{ 微微法。}$$

这样的电容量是可以忽略不計的，但考虑到計算是近似

的，可以用微調電容器作為這一電容。

5. 如果第二個波段的復蓋係數等於第一個波段的復蓋係數，那麼第二個波段的輸入槽路的電感也可按上列的公式來求。否則用下式來計算電感：

$$L_{1+2} = \frac{2.53 (10)^4}{(C_{\text{МНН}}'' + C_{23}) f_{\text{ДЛ.МВК}}^2} = \frac{2.53 (10)^4}{(65 + 1.4) 0.415^2} = 2220$$

微亨 ≈ 2.2 毫亨。

6. 因為在目前的情況下，輸入槽路的两段綫圈繞在同一磁性天綫上，所以波段復蓋係數較小的那個波段中的電容器的復蓋係數，不能用一般的方法（與槽路綫圈并聯一個電容器）來減小。因此，用接入一個串聯電容器 C_{21} 的辦法來減小復蓋係數。 C_{21} 的電容量可用下列的方法計算。

求所需的槽路最大電容量：

$$C_{\text{к.МВК}} = \frac{2.53(10)^4}{L_{1+2} f_{\text{ДЛ.МВН}}^2} = \frac{2.53(10)^4}{2220 (0.15)^2} = 506 \text{ 微微法。}$$

然後計算串聯接入的電容器 C_{21} 的電容量：

$$\begin{aligned} C_{21} &= \frac{(C_{\text{МВК}} + C_{23} + 50) C_{\text{к.МВК}}}{C_{\text{МВК}} + C_{23} + 50 - C_{\text{к.МВК}}} \\ &= \frac{(500 + 1.4 + 50) 506}{500 + 1.4 + 50 - 506} = 6200 \text{ 微微法。} \end{aligned}$$

如果兩個波段的復蓋係數相同，那麼就不需要串聯的電容器 C_{21} 。

綫圈 L_1 用直徑為 0.15 毫米的多股耐久漆包綫在磁性天綫棒上繞成單層，離棒的一端 10 毫米。為了減小綫圈的固有電容，在綫圈和磁性天綫棒間墊 2—3 層紙，且將綫圈繞成分段式的。每段繞 15—20 圈，各段間離開 3—5 毫米。綫圈 L_2 用跟 L_1 相同的導綫，相同的繞向繞成。在綫圈 L_1 和 L_2 之間應該空出長 15 毫米的一段。耦合綫圈 L_3 套在 L_2 的一

段上，应能沿着它自在地移动。线圈 L_3 的圈数是线圈 L_1 的圈数的 $\frac{1}{2}$ 。虽然在转换波段时耦合线圈的圈数不变，但是因为两个线圈在空间上的相互位置不同，槽路与混频器的耦合值几乎保持不变。

在上面的具体例子中，线圈 L_1 、 L_2 和 L_3 的圈数分别等于 50、150 和 10 圈。

本机振荡槽路的元件的数值，可按下列的简化公式计算。计算时应注意：只有在 $f_{cp} = 110$ 千赫以及波段的平均频率接近

$$f'_{cp} = \frac{f_{\text{макс}} + f_{\text{мин}}}{2} = 1000 \text{ 千赫 (中波时)}$$

和

$$f'_{дл} = \frac{f_{\text{макс}} + f_{\text{мин}}}{2} = 282 \text{ 千赫 (长波时)}$$

的情况下，这些公式才足够精确。

本机振荡线圈的电感按下列两式来求：

$$L_4 = 0.85 L_1 = 0.85(170) = 145 \text{ 微亨；}$$

$$L_6 = 0.58 L_{1+2} = 0.58(2.2) = 1.28 \text{ 毫亨。}$$

线圈 L_4 用直径为 0.15 毫米的耐久漆包线绕在外直径为 7 毫米的圆筒形绝缘线圈架上。线圈的长度为 7 毫米。线圈可用蜂房式或乱叠绕法来绕。为了使线圈不致松动，线圈用万能胶胶住。在线圈架内插入羰基铁或铁氧体微调磁心。线圈不应该直接绕在磁心上，因为这时本机振荡器输出电压的波形就会产生很大的失真。线圈 L_4 绕 70 圈，在十圈处做一个抽头。线圈应这样接入电路，使它的抽头和电源正极之间为 10 圈。耦合线圈 L_5 用直径为 0.15 毫米的耐久漆包线绕成，它的圈数是线圈 L_4 的一半。

线圈 L_6 用直径为 0.1 毫米的耐久漆包线在中频变压器的

羰基鉄鉄心上繞 240 圈。在 25 圈处做一个抽头。这个綫圈如此接入电路，使抽头和电源的正极之間为 25 圈。耦合綫圈 L_7 用直径为 0.1 毫米的耐久漆包綫繞在同一鉄心上，繞在 L_6 的里面，共 80 圈。在調整本机振盪器的电路时，应注意綫圈 L_6 和 L_7 的两端是否接得正确。因为仅当耦合綫圈的两端接对时本机振盪器才能工作。

墊整电容器及微調电容器的电容量按下列的公式来求：

$$C_4 = 4.7 C_{к. макс} = 4.7(550) = 2600 \text{ 微微法};$$

$$C_5 = 1.35 C_{к. макс} = 1.35(550) = 750 \text{ 微微法};$$

$$C_9 = 0.0075 C_{к. макс} = 4.1 \text{ 微微法};$$

$$C_{10} = 0.025 C_{к. макс} = 13.7 \text{ 微微法}。$$

在上列公式中， $C_{к. макс} = C_{ макс} + 50 = 550$ 微微法。

由于电容器 C_9 和 C_{10} 的电容量很小，它們可以使用一般的微調电容器。

收音机中的所有中頻变压器都是单槽路的。这样就能大大縮小体积。为了这个目的，中頻槽路的电感綫圈，最好繞在导磁率大的小型磁心上。外直径为 10—12 毫米的、导磁率为 400—600 的鉄氧体环形磁心，最为合适。大家知道，与任何其它磁心相比，环形磁心的杂散电感最小。这样就能使中頻变压器相互靠得很近，而不致使收音机自激。在沒有这样的磁心时，中頻槽路的綫圈可以繞在羰基鉄或鉄氧体匣形磁心上（如 СБ-1 a 或 СБ-2 a 型）自制时，如果綫圈繞在 СБ-1 a 型羰基鉄鉄心上，那么 L_8 、 L_{10} 和 L_{12} 繞 370 圈，在 180 圈处做一个抽头， L_9 和 L_{11} 各繞 40 圈，而 L_{13} 繞 180 圈，做一个中心抽头。所有这些綫圈都是用直径为 0.1 毫米的耐久漆包綫繞成的。为了获得所需的通頻带，第一和第二槽路的諧振頻率应各比 110 千赫高或低 3 千赫。第三个槽路精确地調諧在 110 千赫上。除此之外，

为了展寬通頻带，头两个槽路分别并联上电阻 R_4 和 R_{15} 。

收音机的两个低頻变压器都是用硅鋼片或坡莫合金片做成的 III 5—III 6 型鉄心装成的，迭厚为 9 毫米。变压器 Tp_1 的初級綫圈用直径为 0.08—0.1 毫米的耐久漆包綫繞 2000 圈；而次級綫圈用同样的导綫繞 2×500 圈。

变压器 Tp_2 的初級綫圈用直径为 0.1 毫米的耐久漆包綫繞 1800 圈，在中心做一个抽头。当喇叭的阻抗为 4—8 欧时，次級綫圈用直径为 0.2 毫米的耐久漆包綫繞 200 圈。

收音机的調諧和調整根据本书第 52 頁和第 53 頁所讲的方法来进行。

附录：几种国产晶体三极管及二极管特性表
低頻晶体管 176

型号	集电极反向电流 (微安)	输出导納 h_{22} (微姆)	电流放大系数 $h_{21}(\alpha)$	电压反馈系数 h_{12}	功率放大系数 (分贝)	截止頻率 (兆赫)	集电极最大消耗功率 (毫瓦)
П 6 А	≤ 30	≤ 3.3	≥ 0.9	$\leq 5 \times 10^{-4}$	≥ 30	≥ 0.1	150
П 6 Б	≤ 15	≤ 2	0.9—0.94	$\leq 0.6 \times 10^{-3}$	≥ 34	≥ 0.465	150
П 6 В	≤ 15	≤ 2	≥ 0.94	$\leq 0.6 \times 10^{-3}$	≥ 34	≥ 0.465	150
П 6 Г	≤ 15	≤ 3.3	≥ 0.97	$\leq 0.6 \times 10^{-3}$	≥ 37	≥ 1.0	150
П 6 Д	≤ 15	≤ 2	≥ 0.9	$\leq 0.6 \times 10^{-3}$	≥ 34	≥ 0.465	150

高頻晶体管 П 401—403 А

型号	集电极反向电流 (微安)	输出导納 h_{22} (微姆)	电流放大系数 $h_{21}(\alpha)$	截止頻率 (兆赫)	集电极消耗功率 (毫瓦)
П 401	≤ 10	≤ 5	≥ 0.94	≥ 30	50
П 402	≤ 5	≤ 5	≥ 0.94	≥ 60	50
П 403	≤ 5	≤ 5	0.94—0.97	≥ 120	50
П 403 А	≤ 5	≤ 5	≥ 0.97	≥ 120	50

面結型晶体二极管

型号	$U_{正}$ (伏)	$U_{反}$ (伏)	使用极限值					
			+20°C		+50°C		+70°C	
			+20°C	+20°C	I (毫安)	U (伏)	I (毫安)	U (伏)
Д7А	≤ 0.5	≥ 50	300	50	300	35	210	25
Д7Б	≤ 0.5	≥ 100	300	100	300	60	210	35
Д7В	≤ 0.5	≥ 150	300	150	300	90	210	50
Д7Г	≤ 0.5	≥ 200	300	200	300	125	210	65
Д7Д	≤ 0.5	≥ 300	300	300	300	190	210	90
Д7Е	≤ 0.5	≥ 350	300	350	300	220	210	110
Д7Ж	≤ 0.5	≥ 400	300	400	300	250	210	130

$U_{正}$ — 正向电流等于 300 毫安时的电压降, $U_{反}$ — 反向电流不超过 0.3 毫安时所能加的反向电压。

I — 单相半波整流电路的允许整流电流; U — 单相半波整流电路的允许反向电压。

点接触型晶体二极管

型号	$I_{正}$ (毫安)		$U_{反}$ (伏)	$U_{穿}$ (伏)	使用极限值				$I_{整}$ (毫安)	使用频率 (兆赫)
	+20°C	-60°C			反向电压峰值 (伏)					
					+20°C	+40°C	+50°C	+70°C		
Д1А	≥ 2.5	≥ 0.8	≥ 10	≥ 40	20			20	16	150
Д1Б	≥ 1.0	≥ 0.3	≥ 25	≥ 45	30			30	16	
Д1В	≥ 7.5	≥ 1.5	≥ 25	≥ 45	30			30	25	
Д1Г	≥ 5.0	≥ 1.2	≥ 50	≥ 75	50			45	16	
Д1Д	≥ 2.5	≥ 0.8	≥ 75	≥ 110	75			55	16	
Д1Е	≥ 1.0	≥ 0.3	≥ 100	≥ 150	100			65	12	
Д1Ж	≥ 5.0	≥ 1.2	≥ 100	≥ 150	100			70	12	
Д2А	≥ 50		≥ 7	≥ 15	10			7	50	
Д2Б	5—10		≥ 10	≥ 45	30			21	16	

續表

型 号	$I_{正}$ (毫安)		$U_{反}$ (伏)	$U_{穿}$ (伏)	使 用 极 限 值				$I_{整}$ (毫安)	使用 效率 (兆赫)
	+20°C	-60°C			反向电压峰值 (伏)					
			+20°C	+20°C	+40°C	+50°C	+70°C			
Д 2 В	≥9		≥30	≥60	40			28	25	150
Д 2 Г	2—5.5		≥50	≥100	75			40	16	
Д 2 Д	4.5—10		≥50	≥100	75			40	16	
Д 2 Е	4.5—10		≥100	≥150	100			53	16	
Д 2 Ж	2—10		≥150	≥200	150			80	8	
Д 2 И	2—5.5		≥100	≥150	100			53	16	
Д 9 А	≥10	≥6	≥10		10	10	10	10	25	40
Д 9 Б	≥90	≥50	≥10		10	10	10	10	40	
Д 9 В	≥10	≥6	≥30		30	30	25	20	20	
Д 9 Г	≥30	≥15	≥30		30	30	25	20	30	
Д 9 Д	≥60	≥35	≥30		30	30	25	20	30	
Д 9 Е	≥30	≥15	≥50		50	50	40	30	20	
Д 9 Ж	≥10	≥6	≥100		100	90	70	45	15	

註： $I_{正}$ —加 + 1 伏电压时的正向电流；

$U_{反}$ —反向电流不超过 250 微安时允许的反向电压；

$U_{穿}$ —反向击穿电压峰值；

$I_{整}$ —单相半波整流电路平均整流电流值。