



国产半导体收音机

(第一集)

赵传珠 陈文节 编著

人民邮电出版社

国 产 半 导 体 收 音 机

(第 一 集)

赵 传 珠 陈 文 节 編 著

人 民 邮 电 出 版 社

內 容 提 要

本书中汇编了 40 种国产半导体收音机的资料，除了介绍每种收音机的电路图、电路特点及一般性能外，还列出主要元件的数据。

另外，为了使读者能更好地了解各种型式的半导体收音机电路，并简明地介绍了有关半导体收音机的一些基础电路以及半导体收音机的一般调试知识。

本书的读者对象是广大的无线电爱好者和从事收音机修理工作的专业人员。

国产半导体收音机(第一集)

編著者: 赵 传 珠 陈 文 节
出版者: 人 民 邮 电 出 版 社
北京东四 6 条 19 号
(北京市书刊出版业营业许可证出字第〇四八号)
印刷者: 北 京 邮 票 厂
发行者: 新 华 书 店 北 京 发 行 所
經售者: 各 地 新 华 书 店

开本 787×1092 1/16 1965 年 12 月北京第一版
印张 5 12/16 页数 46 1965 年 12 月北京第一次印刷
印刷字数 146,000 字 印数 1—210,300 册

統一书号: 15045·总1524—无443

定价: (科 4) 0.65 元

前 言

半导体三极管的出现，是无綫电电子技术领域中的一件大事。由于它具有体积小、重量轻、耗电省、寿命长、机械强度高优点，因而給无綫电电子设备也带来了体积小、高可靠性、高稳定性、省电等特点，引起了人們的重视。在短短的十余年内，发展极其迅速，在很多方面它已代替或将要代替电子管的地位。

我国近几年来，首先在收音机方面，广泛地使用了半导体管，生产的各种半导体收音机，深受广大人民群众欢迎。

本书汇集了国产半导体收音机线路四十余种。汇编本书的目的在于：

(1) 普及无綫电基础知识，向初学无綫电者介绍半导体收音机的基本原理，提高对实际电路的分析能力。

(2) 为无綫电业余爱好者选取半导体收音机电路，制作半导体收音机提供方便，以利业余无綫电活动的开展。

(3) 为各地收音机修理部门提供方便。

由于国产半导体收音机的设计制造历时很短，目前都在不断的改进和提高，故有些型号的收音机由于出厂时间不同，在电路、元件甚至结构方面可能有些出入。另外，必须指出的是本书中所介绍的各机的一般性能，系参考各厂家提供的资料及对样机实测的数据而提供的，故与一般产品说明书中的数据可能不完全相同。其次由于编者水平所限，难免有不当之处，敬请读者批评指正。

編 者

1965年6月

目 录

前 言

第一章 半导体收音机概述	1
1-1 半导体收音机的特点	1
1-2 半导体收音机的分类	1
第二章 高放式半导体收音机	2
2-1 高放式半导体收音机一般介绍	2
2-2 再生电路	3
2-3 检波电路	5
2-4 来复式电路	7
2-5 双调谐输入电路	8
2-6 直流偏置电路	9
第三章 超外差式半导体收音机	13
3-1 超外差式半导体收音机一般介绍	13
3-2 输入电路	13
3-3 变频器与混频器	15
3-4 中频放大器	19
3-5 低频前置放大器	20
3-6 末级功率放大器	21
第四章 半导体收音机的附加电路	26
4-1 温度补偿电路	26
4-2 自动增益控制及其二次调节电路	27
4-3 频率微调电路	28
4-4 音调控制电路	29
第五章 半导体收音机的安装、 调试与使用	31
5-1 半导体收音机的安装	31
5-2 半导体收音机的调试	32
5-3 半导体收音机的使用	33
第六章 国产半导体收音机介绍	34
6-1 636 型单管半导体收音机	34
6-2 牡丹 2401 型半导体收音机	34
6-3 梅花鹿 JB 163 A 型半导体收音机	35
6-4 海棠 TR2-1 型半导体收音机	36
6-5 牡丹 3401 型半导体收音机	36
6-6 珠江 SB3-1 型半导体收音机	37
6-7 飞乐 2P1-2 型半导体收音机	38

6-8 宝石 4B2 型半导体收音机	39
6-9 沈阳 1V2-4 型半导体收音机	40
6-10 长城 6310-1 型半导体收音机	41
6-11 长城 J3-1 型半导体收音机	42
6-12 梅花鹿 JB-363 A JB-464 型半导体 收音机	43
6-13 东湖 B-31 型半导体收音机	45
6-14 羚羊 310-1 型半导体收音机	46
6-15 黄山 63-3 A 型半导体收音机	47
6-16 英雄 63-3 型半导体收音机	48
6-17 百灵 4-62-1 型半导体收音机	48
6-18 长城 644 型半导体收音机	49
6-19 海河 BS-401 型半导体收音机	50
6-20 天鹅 402 型半导体收音机	51
6-21 海棠 TR-4 B TR-401 型半导体收音机	52
6-22 红星 402 型半导体收音机	53
6-23 黄河 J 5-S1 型半导体收音机	54
6-24 沈阳 J-51 A 型半导体收音机	56
6-25 松花江 601 型半导体收音机	57
6-26 松花江 601 A 型半导体收音机	58
6-27 飞乐 2 J 1 型半导体收音机	59
6-28 凯歌 4 B 1 型半导体收音机	61
6-29 凯歌 4 B 3 型半导体收音机	62
6-30 羚羊 LY-46 型半导体收音机	63
6-31 美多 27 A 型半导体收音机	64
6-32 熊猫 B 701 型半导体收音机	66
6-33 熊猫 B 702 型半导体收音机	67
6-34 羚羊 LY-37 型半导体收音机	68
6-35 沈阳 J 71-A 型半导体收音机	70
6-36 百灵 7-63-1 型半导体收音机	71
6-37 美多 28 A 型半导体收音机	72
6-38 牡丹 8402 型半导体收音机	74
6-39 飞乐 2 J 3 型半导体收音机	76
6-40 海河 BS-801 型半导体收音机	78

附录 国产半导体管介绍	81
--------------------------	----

第一章 半导体收音机概述

1-1 半导体收音机的特点

半导体收音机是广播接收设备一个新的大门类。由于半导体管较电子管有很多独特的优点,所以用半导体管安装而成的半导体收音机,也比电子管收音机有很多优越之处。这里略加对比介绍。

体积小重量轻

由于半导体管体积很小,又无丝极,所以毋需丝极供电电路,效率高。同时半导体收音机都采用干电池作电源,故又省掉了笨重的交流电源变压器,所以相应地机内产生之热量亦非常小,有条件把元件安排得很紧凑。如果再采用小型或超小型的元件,则使整机有可能做得很小。目前我国生产的超外差袖珍式半导体收音机,体积只有普通六灯电子管收音机的几十分之一,重量亦如此。对于体积大、重量重、维修使用费昂贵的干电池直流收音机来说,更是难以比拟。

使用方便安全

众所周知,半导体管具有在很低电压上工作的能力,所以在半导体收音机中一般都采用6V或9V干电池作电源。又由于它效率高,故电流也不大,这样不仅十分省电,且易于携带,可作为移动收听,特别适于广大农、林、牧、渔地区劳动人民的使用,以及边防部队、地质、新闻工作者的使用。这对发展和普及广播收听工具有着重要的意义。

使用寿命长,机械强度高

半导体管目前额定寿命为5000小时以上,比起电子管500—1000小时的寿命已大大的提高了。但实际上半导体管的寿命远远不只5000小时,而是更长。一般用上几年甚至几十年是不成问题的(国际上半导体管的最长寿命有已达1000万小时的)。

半导体收音机与电子管收音机在接收设备的电路原理上,几乎没有什么区别,仅在具体的电路中和结构安装上有所差异。

在具体电路上两者的区别,主要是由于半导体管与电子管二者本身的不同。如半导体管参数对温度的敏感性和内部回授特性以及所消耗的信号电源功率等。因此半导体收音机的设计与中短波电子管收音机的设计有所不同,而与超高频电子管收音机的设计有许多类似的地方。

在安装结构上,为了使整机体积做得比较小,重量轻,半导体收音机常常采用印刷电路,采用小型元件(如小型介质双连可变电容器和小型中频变压器、电位器、变压器、扬声器及阻容元件等)。另外,采用机内的磁性天线来代替外接天线,使便于携带。短波段除了装有磁性天线以外,还往往装有可伸缩的拉杆天线。同时为了提高收音机的放大系数,在超外差式半导体机中常常比一般电子管收音机多加一级中放级(二级中放),这对大信号直线性检波也是有好处的。

1-2 半导体收音机的分类

半导体收音机和电子管收音机一样,从电路程式上来分,有高放式和超外差式两种。从外形来分,有台式、便携式和袖珍式三种。从波段来看,有单波段和多波段之分。同时在调制方式来看也分调幅和调频两大类,其中还有调幅调频两用的机器。

高放式半导体收音机的特点是简单易做。一般由一至四只半导体三极管和一至二只半导体二极管即可装成。对检波前的高频信号只进行放大,而无频率的变化。检波后的音频信号,经过低频放大后送至扬声器而获得欲收听的电台播音,或检波后的音频信号直接送至扬声器。为了充份发挥半导体管的作用,尽可能少用管子,又想获得比较满意的收听效果,一般都采用高频再生及来复的线路。所以这种收音机也

就称为高放再生来复式半导体收音机。有人为了强调再生的特点,常称为再生式收音机。这种简易型半导体收音机适于大中城市及其郊区使用。若在离电台较远的地区使用时,最好加外接天线,以提高收听效果。

超外差式半导体收音机的主要特点为:通过变频而得出一个固定的中频(465 KHz)信号,然后再进行固定中频放大,从而大大地提高了收音机的灵敏度和选择性。这种程式的线路由于用管子数较多,增益大,所以有条件增加一些附加线路。如温度补偿电路、负回授电路、自动增益控制电路及其二次调节电路等。因而也就有可能把收音机的全部性能做得更好,使用更为满意,尤其适于边远地区或山区使用。

这种程式的线路一般要用六个以上的半导体三极管,少数的简单外差式收音机,也有用

三至五个半导体三极管的。

台式、便携式、袖珍式半导体收音机明显的区别是外形。台式机器体积较大,在5000 cm^3 以上,适于家庭收听用。便携式机器体积一般在1000—5000 cm^3 之间,有背带或手提把,携带方便,故适于移动收听用。袖珍式机器,体积只有1000 cm^3 以下,目前我国生产的袖珍式机器仅有香烟盒大小,以后还可以做得更小些,携带更方便,放在衣袋里即可收听。

我国对调幅半导体收音机所规定的频段:中波为535—1605千赫(KHz);具有一个短波段的常为4.5—12兆赫(MHz)或4—12兆赫,具有两个短波段的为3.9—18兆赫,具有三个短波段的为2.3—23兆赫;对调频半导体收音机,其波段规定为88—108兆赫。

第二章 高放式半导体收音机

2-1 高放式半导体收音机

一般介绍

工作原理

图2-1为一典型的四管高放式半导体收音机的线路。下面谈谈它的工作原理。由天线中获得的高频信号经天线回路 $L_1C_1C_2$ 的选择,并通过 L_1 与 L_2 的耦合进入高频放大管 3AG11 的基极 b 进行高频放大。该级放大增益约10分贝。放大后的高频信号,其一小部分由半可变电容器 C_8 再返回到输入回路(通常叫正回授或再生),增强原输入的高频信号,产生再生增益,达到提高灵敏度和选择性的目的。另一主要高频信号部分,通过 C_5 到两个二极管 2AP1 上进行倍压检波。检波后的信号有低频分

量、直流分量以及残余的高频分量三部分。其高频分量被电容器 C_4 所旁路,直流分量通过电位器 R_1 产生电压降,作为偏压的一部分来控制 3AG11 的工作点,其低频分量再通过 L_2 返回到 3AG11 的基极 b 利用 3AG11 再进行低频放大。放大后的低频信号,顺利地通过高频扼流圈 Q_{g2} ,经变压器 B_1 耦合至 3AX1 的基极 b 进行第二次低频放大,并再经变压器 B_2 的耦合,至末级进行推挽功率放大。最后经输出变压器 B_3 推动扬声器发音。

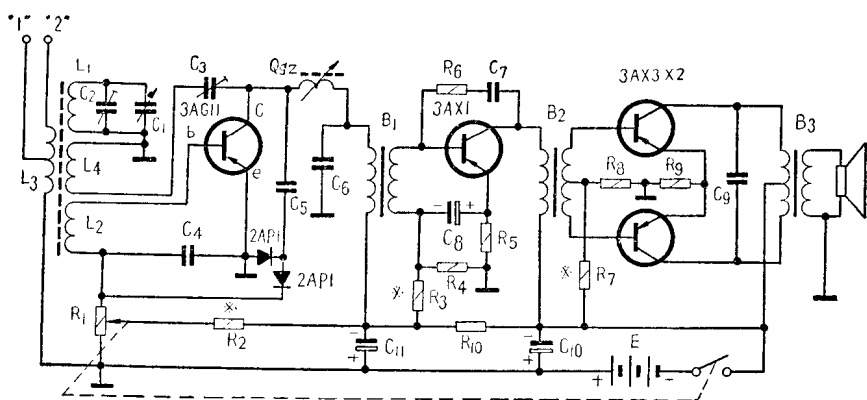


图 2-1

线路特点和各元件的作用

为了使收音机获得较好的性能指标,本机采用了高频再生来复低放倍压检波线路。末级采用了推挽功率放大,以获得较大的音量,减小了失真。为了实现更好的阻抗匹配,各级采用变压器耦合电路。

本机还带有抽头的外接天线线圈 L_3 ,当接收远地电台或功率较小的电台时,则需加外接天线。当接天线“1”时选择性较好,当接天线“2”时灵敏度较高。

低放级还采用了由 C_7 、 R_6 串联组成的电流负回授电路,不仅减小了收音机的失真度,而且也改善了收音机的频率特性。

C_{11} 、 C_{10} 、 R_{10} 为 Π 型滤波电路,有效的防止因电池用旧,内阻的逐渐增大,致使各级发生耦合所产生的啸叫现象。 C_6 、 C_9 是高频旁路电容,相对地提升了低音,使音色柔和丰满。 C_8 的作用为使低频信号畅通无阻,即 B_1 次级所获得的低频信号几乎全部交连到末前级的输入端,

避免低频信号在 R_3 、 R_4 并联电阻及 R_5 电阻上的降压。为此, C_8 要尽量选得容量大些,一般为 $25\mu F$ 以上。 R_2 、 R_3 、 R_7 分别为半导体管的偏压调整电阻,通过偏流大小的控制,选择合适的工作点。 R_8 、 R_4 、 R_5 分别为末级和末前级的基极分压电阻。 R_9 为稳定电阻,通过电流负回授来稳定半导体管的工作点,其阻值愈大稳定作用愈显著。

四种不同电路的简单比较

在高放式半导体收音机中,有无再生和来复,对整机性能影响是很显著的。由实验可知(详见表一):来复对整机的主要指标影响最大,再生次之。这是因为在无再生的情况时,扼流圈的高频回授影响仍然存在。也就是说,实际上是有再生的。同时也可看出,来复电路对整机的信号杂音比 S/N 有很大影响,即杂音增大。总的说来,再生来复是提高了整机的性能,信号杂音比仍然符合要求。

表 1

整 机 线 路 程 式	灵 敏 度 mV/M			失 真 度 (%)	杂音电平 (mV)	信 杂 比 (db)
	600 KHz	900 KHz	1500KHz			
有再生和来复	1.30	1.00	0.85	10.7	11	21.4
无再生有来复	10.0	11.5	18.0	8.5	11	21.4
有再生无来复	22.5	34.0	51.0	—	2	36.2
无再生无来复	97.0	97.0	71	—	1.4	29.3

由于高放式半导体收音机线路简单,制作容易,造价低廉,所以目前仍有相当数量的机器生产。这种线路也是初学无线电爱好者所喜爱的程式。

2-2 再生电路

再生原理

图 2-2 所示是高放式收音机中常用的再生电路。

高频信号经过 L_1 、 L_2 的耦合使输入端获得一个高频信号电压 E_1 ,此信号经过 3 AG 11 管

放大为 E_2 ,则高频电压增益为 $K_V = \frac{E_2}{E_1}$ 。若将 E_2 之一部分 E'_2 通过 C_2 到 L_3 ,并由 L_3 耦合至 L_2 ,那末在输入电路中就会增加一个高频信号电压 ΔE ,使 E_1 变为 $E_1 \pm \Delta E$ 。如果线圈 L_3 与 L_1 、 L_2 同方向绕制,则返回的高频信号 ΔE 与原来输入高频信号 E_1 的相位相同。即 ΔE 为正的。不难看出 $(E_1 + \Delta E)$ 经过放大后则变为 E_3 。显然 E_3 大于 E_2 ,而 $K'_V = \frac{E_3}{E_1}$ 也大于 K_V ,从而使输出的高频信号电压加大,增益提高。这种将某一信号进行放大,再将放大后的信号一部分,返回到输入端加大输入信号,以致得

到更大的输出信号强度的原理,即为再生原理。再生的强弱由半可变电容 C_3 的容量大小来控制。若 L_3 与 L_1 、 L_2 的绕制方向相反,则返回的高频信号与原输入信号相位相反,即 ΔE 为负的。这样就使输入信号减弱,而起不到再生的作用。

再生的作用原理,实际上是使输入电路的回路有效电阻减小, Q 值加大,从而使灵敏度和选择性提高。再生的强弱,直接影响灵敏度的高低和选择性^①的好坏。在一定范围内随着再生的增强,灵敏度和选择性也随着提高,当灵敏度和选择性达到最佳点时,此时的再生称为临界再生。当超过临界再生,返回的高频信号 ΔE 与 E_1 相等时,即使没有外来信号,本级仍可工作,由此变成自激振荡器。这将破坏正常收音工作,例如在扬声器中听到哨叫的声音。这就破坏了收音机的正常工作,这是我们所不希望的。

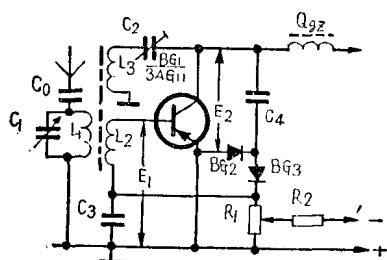


图 2-2

几种不同的再生电路

再生电路,总的来说可以分为三种。一种是通过电容耦合,送至电感线圈 L_3 中去。 L_3 可以是一单独的线圈,亦可从 L_1 中抽头,如图 2-3 和图 2-4 的 C_2 、 L_3 所示。另一种是通过高频扼流圈 ZL 耦合,或串以电感线圈,或采用高频变压器,由初级耦合到次级,然后再送到输入端实现再生,如图 2-3 的 Q_{gz} 、 L_4 图 2-4 的 Q_{gz} 所示。有些收音机同时采用上述几种线路获得混合再生电路,如图 2-3、2-4 所示。

采用上述第一种再生电路的高放式半导体收音机,其灵敏度在整个波段范围内是不均匀的,往往频率高端的灵敏度较高,而频率低端灵敏度较低,在 1000—1500 KHz 间可以做到

3 mV/M。甚至在 1500 KHz 附近高达 1 mV/M 左右,而在 600 KHz 附近一般只为 12 mV/M 左右。显然,整个波段内灵敏度相差很悬殊。其原因主要是由再生电路中的电容所造成的,频率愈高,它的容抗愈小,回授量就愈大,频率愈低则相反。这就造成波段内灵敏度不均匀。为改变这一弊病,可增加电感性回授支路,如图 2-3、2-4 所示,使得低频端回授量增强,以提高低端灵敏度,致使整个波段内灵敏度基本上一致。从理论分析和实验结果都证明了这一点。

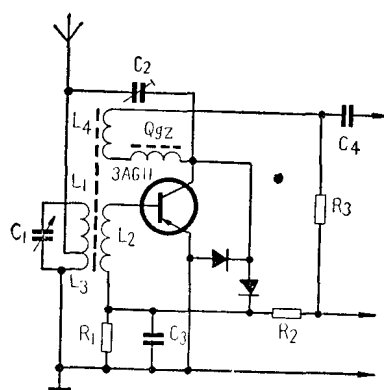


图 2-3

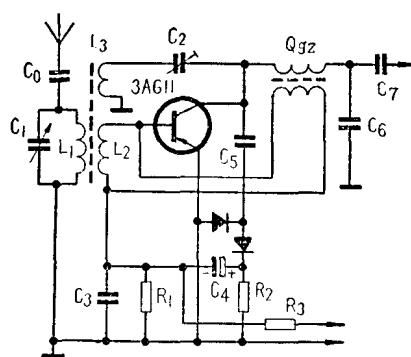


图 2-4

这里顺便指出,图 2-3 中所示的外接天线,是采用自耦变压器式的耦合方式,从再生抽头处引出。这种方式比单独的电容耦合或电感耦合为好,不仅提高了灵敏度而且兼顾了选择性。

注① 只能提高附近频率的选择性,而不能提高远频选择性。

2-3 检波电路

检波器是收音机中不可缺少的主要组成部分。收音机接收到的高频信号频率是很高的，因此不能直接利用它推动耳机或扬声器。在超外差收音机中，虽然经过变频把高频信号变成了中频信号，但是中频频率仍然具有高频的性质，要推动扬声器还必需进行变换。也就是要把中频的调制信号检出来。在收音机中完成这个任务的部分称为“检波器”。图 2-5 所示是检波器输入信号与输出信号的波形。其中输出电压 U_{sz} 的波形和输入电压 U_{sr} 的振幅变化（或称包络曲线）是一致的。

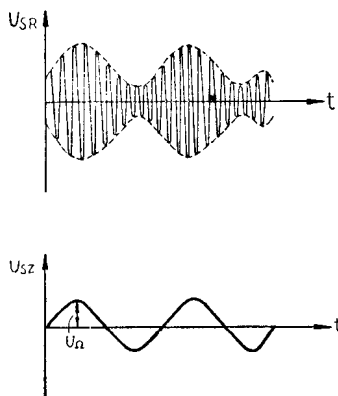


图 2-5

任何一个检波器电路，必须包括三个主要组成部分：第一是高频信号输入电路，在超外差收音机中，它就是最末一级中频放大器的输出回路；第二是非线性元件，

在半导体收音机中通常用半导体二极管，也有用半导体三极管的；第三是负载，它一般多是由电阻与电容的并（或串）联电路组成的。负载的作用，一方面要使高频信号旁路，起到高频滤波器的作用，另一方面要使低频（或直流）电流产生电压降，作为检波器的输出电压。

半导体收音机的检波器有二极管检波器和三极管检波器。有时为了提高检波效率采用两只半导体二极管检波，即组成倍压检波器。

半导体二极管检波器

我们知道半导体二极管具有单方向导电的性能。从它的特性曲线图 2-6 中可以看出，加上正向电压后，半导体二极管即允许有电流通过。正向电压越高，电流越大。当加上反向电压时，

通过的电流很小，比起正向电流来可以忽略不计。

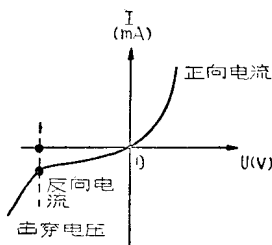


图 2-6

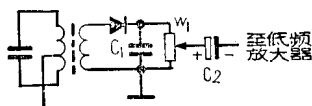
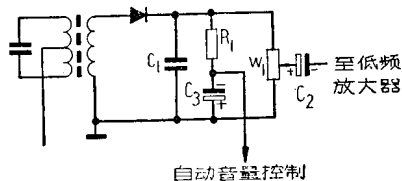


图 2-7

分外，尚有一部分直流成分，故用 C_2 予以阻挡，避免直流成分加到音频放大器的输入端， C_2 通常为 $10-30 \mu f$ 。



自动音量控制

图 2-8

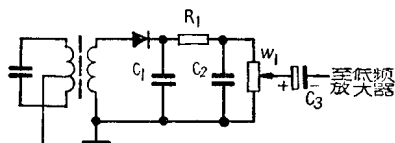


图 2-9

图 2-8 所示的检波器与图 2-7 所不同的地方在于负载为电阻 R_1 与电位器 W_1 （兼音量控制）， C_3 为自动增益滤波电容器，滤除音频交流成分。

在超外差式电路中，为了减少交流负荷及直流负荷的差别（它会引起检波失真）及中频反馈，二极管检波器电路中常加有阻容滤波器如图 2-9 中的 C_1 、 R_1 、 C_2 ，这时 R_1 可用 $200-1 K\Omega$ ， C_1 、 C_2 用 $0.005-0.02 \mu f$ 。

半导体二极管检波器的特点是线路简单，检波特性的直线性好，因此可以在较宽范围的

电平上工作,即可工作在大信号检波或小信号检波,但其缺点是电压传输系数低,即检波效率低。一般信号经过二极管检波以后,输出功率与输入功率要差 15—25 分贝。

检波器用的二极管要选用正向电流大而反向电流小的二极管,即正反向电阻相差悬殊的二极管。

半导体三极管检波器

我们知道,电子管三极管检波器有两种不同的电路,即屏极检波和栅极检波。栅极检波是利用栅流和栅压的非线性关系来完成的,即输入端的非线性关系完成的;屏极检波则利用屏流和栅压间的非线性关系,即正向转移的非线性关系来完成的。栅极检波应该工作在输入特性的非线性部分,而屏极检波则应工作在转移特性的非线性部分,所以两种检波器的工作点也不相同。

半导体三极管检波器则没有这种明显的区别,这是因为半导体三极管的输出电流和输入电流都受同一势垒的控制。输入电流与输入电压是指数关系,输出电流和输入电流是线性关系,因此输出电流和输入电压也是指数关系。所以检波作用可以视为是借输入特性来完成的,然后经过三极管把直流成分和音频成分加以放大。另外也可以认为检波作用是借转移特性来完成的。

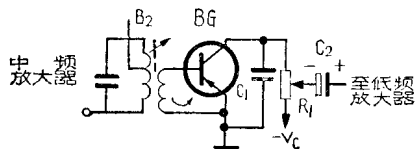


图 2-10

图 2-10 所示,就是半导体三极管共发射极检波器线路,中频调幅信号经中频变压器 B_2 耦合到检波器输入端。在这输入电路中,由于三极管输入特性只能允许单方向电流流通,因此对输入中频调幅信号电流进行了整流,所以在输入电路中产生了直流电流分量、音频电流分量和低频电流分量。这些成分的电流都经由半导体三极管放大,并加在输出端。在集电

极电路中,中频和其他高频成分都被 C_1 旁路掉,而直流分量和音频分量则流经 R_1 并产生电压降,再由 C_2 将直流成分挡住并把音频成分耦合到低频放大器。

半导体三极管检波器特点是电压传输系数高,(检波效率高)约有 10—20 分贝的增益,直流输出电流大,因而自动增益控制作用较好,但缺点是检波特性的直线性较差,而且三极管的成本较二极管高,所以只有在少数的简易收音机中采用。

倍压检波器

图 2-11(a) 所示就是倍压检波器,其简化电路如图 2-11(b) 所示。设高放再生后送至被

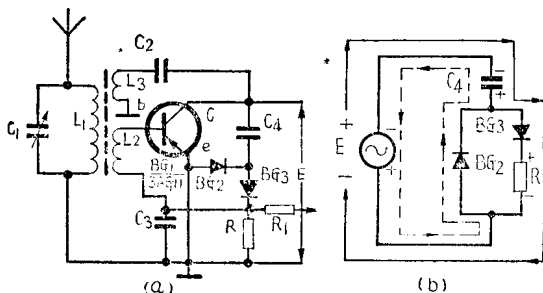


图 2-11

检波的高频信号电压为 E , 当高频信号为负半周时,则信号按虚线方向经过 BG_2 二极管流动,对 C_4 进行充电,在电容 C_4 上得到下正上负电压;而当高频信号为正半周时,电流将按实线方向经电容 C_4 、 BG_3 和负载 R 的回路进行。这时 C_4 可看成与电源 E 相串联的电源,且从图上可看出,这两电源的极性是顺向的,结果,作用在 BG_3 及 R 上的电压将差不多为 $2E$,即为电源电压的二倍。这就是“倍压检波”这一名词的来源。

但必须指出,一般来说倍压检波或全波检波并不能象一般所理解的那样,使效率提高一倍。这是由于这里的电源能付出的能量是固定的,故其实是不能如倍压整流电路中那样真得到二倍电压的。实际上 BG_2 是作为检波电路的直流通路,使 C_4 有放电的可能,故也可用高扼圈或电阻代替。

在这里也顺便指出,检波后的电压除了有

用的低频信号之外，还有直流分量，其量值大小与外来高频信号的强弱成正比。直流分量在负载 R 上的电压降为上正下负，它被送入 3 AG 11 的基极 b 与原固定偏压极性相反，故起了抵消原偏压的作用。负载 R 上的直流电压愈大，抵消偏压的作用亦愈大，致使基极电流减小得愈多，增益下降得也就愈显著。反之亦然。所以它还起着自动音量调节的作用。同时由于二极管的正向电阻是负温度而变化的，犹如热敏电阻的性质，只不过没有热敏电阻那样变化显著，所以对集电极电流随温度之变化而变化有一定的补偿作用。不过在一般情况下，由于偏流电阻 R_1 很大（一般在几十千欧至几百千欧），故二极管温度系数对 3 AG 11 的集电极电流的影响要比 3 AG 11 本身的温度系数影响大得多，故一般这种电路的工作随温度的影响较大。另外选用二极管时，要注意正反向电阻分别对应相等或接近，否则会影响倍压检波的效果。由于倍压检波器具有上述特点，所以在高放式半导体收音机中非常乐于采用，尤其是二、三管机更是如此。

2-4 来复式电路

在半导体收音机中，我们常常看到：一个高频信号经过高频放大，被检波后获得的低频信号又回复到前面高频放大级的基极，再进行低频放大。这种利用一只半导体管同时进行高频（或中频）放大和低频放大的电路，就是所谓来复电路。它的最大优点是充分发挥半导体管的作用，使一只管起到了差不多等于两只管的作用。

图 2-12(a) (b) 分别为高放式、超外差式收音机中常见的来复电路。加了来复后约可使灵敏度提高 10—30 倍，若同时加再生则可提高灵敏度 80—90 倍。因此在简易型半导体收音机中具有很大的实际意义。加了来复后杂音会增加些，但仍能满足简易收音机的指标。

在这种电路中的高放管 BG1 既有高频放大、再生，又有低频放大。看起来很复杂，容易混淆不清，其实不然。高、低频信号是各自有其归向，互不相干。高频信号只能向 C_8 、

C_5 的方向走，而不会通过高频扼流圈 Q_{g2} ；低频信号则只能走高频扼流圈 Q_{g2} ，而不会通过 C_8 、 C_5 。这是因为高扼圈的电抗为： $Z_L = 2\pi f L$ ，对高频呈现很大的阻抗，可视为开路，对低频则呈现很小的阻抗，可视为短路。电容器的容抗为 $Z_C = \frac{1}{2\pi f C}$ 对高频可视作短路，反之对低频可视作开路。这样就保证了来复电路的顺利工作。

在此顺便提出，在电子管来复式收音机中存在着穿越现象，即使音量控制调到最小音量时仍然有音频电压输出，特别是采用遥截止式电子管，这种现象尤为严重，同时还会产生寄生振荡。而在半导体来复式收音机中，由于输入和输出阻抗较低，信号电压较小，所以一般不会发生穿越现象和寄生振荡。

从图 2-12(a) 中不难看出，高频放大及低频放大增益是由电位器 W 来控制的，电位器 W 接在 BG1 的基极电路，一方面作检波负载，另一方面又作为音量控制。它不仅控制高频放大增益，而且也控制着低频放大增益。当电位器顺时针转动时，动臂靠近 BG1 的基极，使基极偏压增大，则输出也大，反之音量减小。从而达到控制高放和低放增益的目的，显然也控制了再生的强弱。

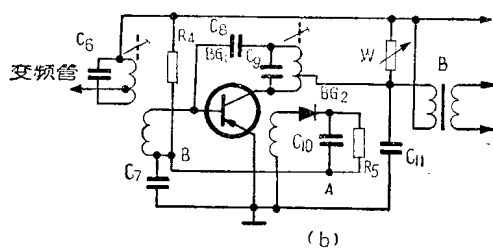
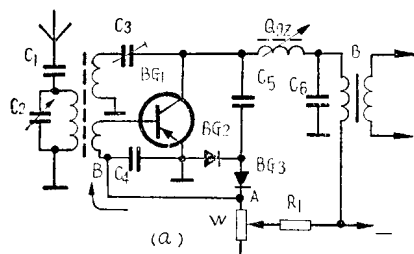


图 2-12

2-5 双調諧輸入电路

图 2-13 和图 2-14 为采用双调谐输入电路

的簡易型高放式半导体收音机綫路。这种綫路有其独特之处，有必要在此作一介紹。

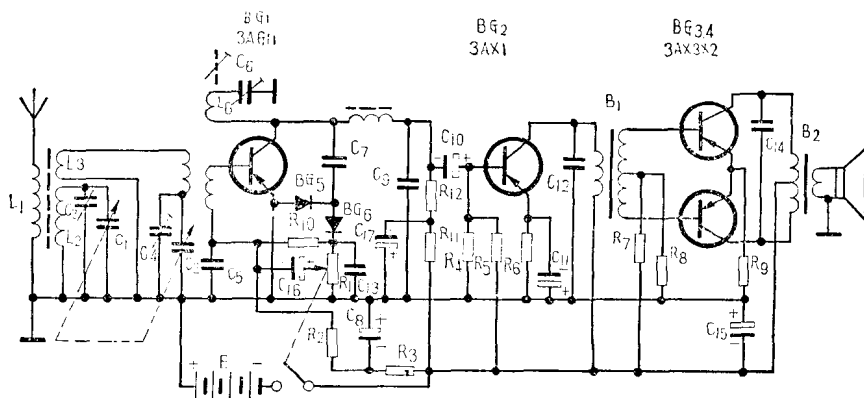


图 2-13

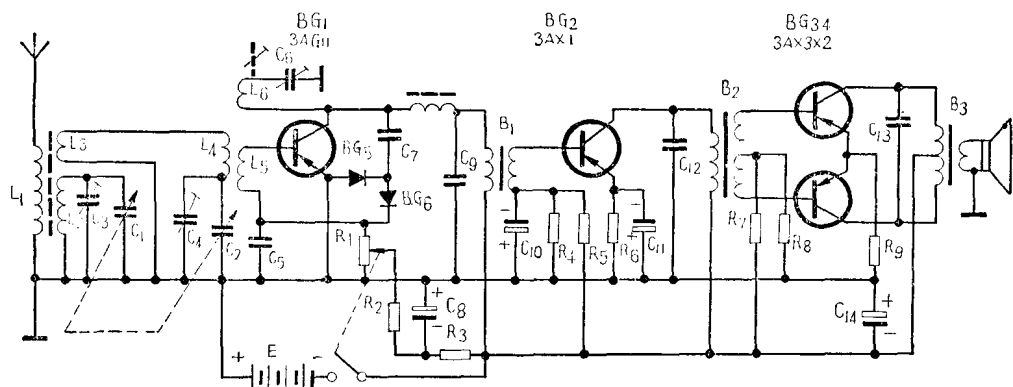


图 2-14

工作原理

来自天线的高频信号，经过两次调谐回路，即选择性双调谐输入电路的调谐。高频信号经过高频管 3AG11 的放大，一部分高频信号进行倍压检波，然后再返回 3AG11 进行来复低放；另一部分高频信号，经过 L_6 、 C_6 再生回路，回到第二调谐回路产生再生。3AG11 的集电极回路负载有变压器式的（图 2-14 所示），有阻容式的（图 2-13 所示）两种。来复低放后的低频信号，经过变压器耦合（或阻容耦合），送至 3AX1 进行低频放大，送至 3AX3 进行功率放大，最后推动扬声器。

工作状态

高放級 3 AG 11 与低放級 3 AX 1, 工作在小电流状态, 集电极电流約 1—3 毫安左右。在三管机中末級 3 AX 3 为甲类功率放大, 工作在大电流状态, 集电极电流約 10—20 毫安左右。在四管机中, 末級 3 AX 3 × 2 为推挽甲乙类或乙类功率放大, 静态工作电流为 2—5 毫安左右, 它可以获得比三管机大一倍的输出功率。

电路特点

由于采用双調諧輸入电路，能改善选择性并不同时不使灵敏度及通頻帶降低太多，所以远

波道选择性和近波道选择性都较好，特别是远波道的抗干扰性，尤为突出。大家知道，再生电路只对邻近波道选择性有帮助，当偏调 ± 20 KHz以后，则作用不大，因而单调谐回路的远波道选择性较差。而双调谐回路则弥补了这一缺点。由测试结果证明，双调谐输入电路和单调谐输入电路相比，若在偏调 ± 10 KHz处是相同的，则偏调 ± 40 KHz双回路的选择性可提高约10分贝，在偏调 ± 80 KHz处可提高约15分贝左右。这对大城市中、电台密集和沿海电台干扰严重的地区，有其重要的使用价值。试听结果也证明了这是单调谐回路所不可比拟的。实验比较曲线如图2-15所示。

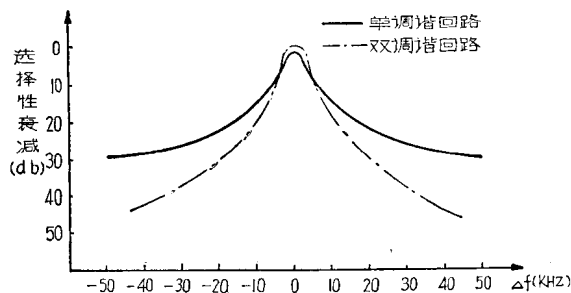


图 2-15

有的三级间全部采用音频变压器作为级间耦合及输出负载，通过控制3AG11基电极的电流来控制其增益，达到音量控制的目的，如图2-14所示。由于采用变压器耦合，所以匹配较好，增益较高，唯频率特性较差。由于采用控制其工作点，因此在强信号时3AG11的集电极电流很小，约零点几毫安，故对3AG11有一定的保护作用。但是失真的程度与音量控制器的位置有很大关系，当音量开得很小时由于集电极电流大小，会引起很大失真。另一方面由于音量控制也兼作再生控制，当周围环境温度及元件参数变化引起收音机哨叫时，只要将电位器稍稍旋小，即可保证正常收听。

另外，有的收音机在3AG11级采用阻容耦合放大，其后各级采用变压器耦合，用电位器来控制检波器输出的低频信号电压。如图2-13所示。阻容耦合电路可以获得较好的频率特性，同时结构简单，制作经济。控制电路是通过控制检波输出电压来控制其音量，因而

充分利用了高放级的放大作用，有足够大的信号被送入检波器。这在很大程度上避免了小信号检波失真，而且由来复式电路中控制了低频信号的幅度，故比变压器耦合控制3AG11集电极电流的方法，能承受更大的场强。即使很强的高频信号，甚至在高频饱和的情况下，非线性失真系数仍能保持在较小的数值。

这种电路是固定再生的。正是如此，它在大信号时的选择性，也就显得更为优越。当然，这种电路还有不足之处，如大信号时音量控制不够均匀，增益比用变压器耦合时低等。

总之，双调谐输入电路式的半导体收音机，由于其调谐回路多，因而性能也比较理想。虽然装制调试比较复杂，成本稍高，但由于能得到较好的性能，故在三、四管高放式收音机中采用仍是合算的。

2-6 直流偏置电路

在半导体放大器中，半导体管的工作点系由基极偏流来确定的。

众所周知，半导体管受温度影响很大，其参数随温度和工作点而变。即使同一型号的半导体管参数也不均匀一致。这将使其工作点变动莫测，特别是发射极电流为零时（发射极开路）的集电极电流 I_{co} （又称集电极饱和电流），它与温度成指数关系地增长。因而必须要求偏压系统的设计力求正确，否则无法保证放大器正常的工作。

偏压调整电阻的阻值是极不一致的，它可以从几K Ω 到几百K Ω ，设计中不能作出精确的规定，只能在实际调整过程中具体确定。

半导体放大器常用的直流偏置电路有：固定偏流式，电压反馈式，电流反馈式，电阻分压器式，混合反馈式等数种。本节就各种偏置电路作简单的介绍。

固定偏流式偏置电路

图2-16所示为固定偏流偏置电路。基极偏流 I_B 系由集电极的给能电源 E_C 通过 R_B 而得到的。因基极偏流通常只有几十微安，而基极和发射极间之电阻又很小，所以 R_B 一般约

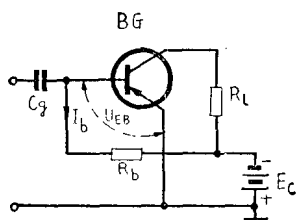


图 2-16

为几百 $K\Omega$, 故

$$I_B = \frac{E_C - U_{EB}}{R_B} \approx \frac{E_C}{R_B}$$

式中 U_{EB} 为发射极与基极间之顺向电压, 它较 E_C 小很多, 可以忽略。 R_B 为偏压调整电阻。由上式不难看出, 当 R_B 调整确定后, I_B 也就被固定。因 I_B 是固定的, 所以这种方式叫作固定偏流式。

这种偏置电路的特点是温度稳定性很差, 温度的变化致使工作点漂移。

稳定性可由稳定系数 S 的大小来表示。所谓稳定系数 S , 即是 I_{c0} 的微小变化 (ΔI_{c0}) 与由于 I_{c0} 的微小变化所引起集电极电流 I_c 之变化 (ΔI_c) 的比, 其数学表示式为: $S = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_{c0}}$ 。 S 愈小, 则稳定性愈好。此种偏置电路的稳定系数 $S = 1 + \beta$ 。因此电流放大系数 β 愈大的半导体管的稳定性愈差。这不仅会引起工作点的漂移, 致使放大器失真增大, 影响正常工作, 而且严重时还会导致半导体管损坏。这种偏置电路一般仅适用于集电极电流较小的场合, 如高、中频放大器和前置低频放大器中。

电压反馈式偏置电路

图 2-17 所示为电压反馈式偏置电路。偏

流电阻直接接在集电极和基极之间。在这一电路中得到相当程度的直流负反馈, 因而稳定了放大器的工作点。由于环境温度变化或更换半

导体管会使半导体管之

特性变化。当集电极电流 I_c 增大时, 此时集电极电压必然下降, 而基极偏流亦随之下降。则:

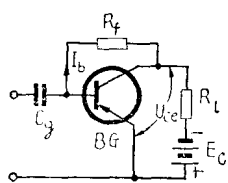


图 2-17

$$E_C - I_C R_L = U_{CE}$$

$$U_{CE} = I_B R_F + U_{BE} \approx I_B R_F$$

式中 U_{BE} 为基极与发射极间之电压。因为 U_{BE} 一般很小可以忽略, 故近似地可视为:

$$I_B = \frac{U_{CE}}{R_F} = \frac{E_C - I_C R_L}{R_F}$$

从上式中可以看出, 当 I_C 增加时, U_{CE} 下降, I_B 也下降, 从而使集电极电流 I_C 不能增至很大, 起到了自动调节的作用。此种电路集电极负载电阻 R_L 不宜选得过小, 否则就起不到自动调节的作用。

这电路的稳定系数 S 为:

$$S = \frac{1 + \beta}{1 + \frac{\beta R_L}{R_F + R_L}} \leq 1 + \beta$$

显然电压反馈式的稳定系数较固定偏流式要小, 也就是对温度稳定性好。但当 R_L 等于零时或很小时 (例如采用变压器耦合放大器), 这一电路的稳定系数和固定偏流式是完全一样的, 均为 $(1 + \beta)$ 。

电流反馈式偏置电路

图 2-18 所示为电流反馈式偏置电路。 R_e 两端的电压降基本上与集电极电压成正比, 而 R_F 两端电压降是等于给能电源电压与 R_e 两端电压降之差, 所以当 I_c 增大时, I_b 有减小趋势, 这相当于电流负反馈, 从而稳定了工作点。若忽略 U_{be} 则:

$$I_b (R_e + R_F) = E_C - I_c R_e$$

基极电流 I_b 为:

$$I_b = \frac{E_C - I_c R_e}{R_e + R_F}$$

在这一电路中, 若提高稳定系数, 必须提

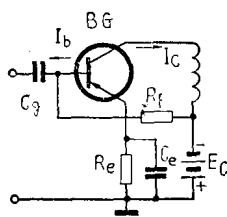


图 2-18

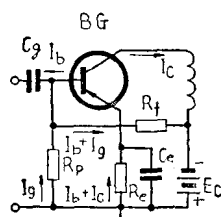


图 2-19

高 R_e 的阻值, 但不能过大。否则 R_E 愈大, 半导体管集电极和发射极上的有效电压愈低, 影响增益, 或者要维持一定的集电极和发射极间之电压 U_{ce} , 势必要将电源电压增高, 这均不适宜。图中 C_e 为交流旁路电容, 以防止交流信号的负反馈。这种电路之稳定系数为:

$$S = \frac{(1+\beta)(R_e + R_f)}{(1+\beta)R_e + R_f}$$

这种电路对变压器耦合放大器, 仍具有稳定作用。所以常被采用。

为了在固定的电源电压 E_c 下不需要太大的 R_e 尚能保证一定的稳定系数, 我们常常采用图 2-19 所示电路。

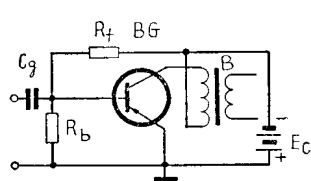


图 2-20

这一电路比图 2-18 的电路多一个 R_p , 它与 R_e 的共同作用使电路的温度稳定性增高。它的阻

值愈小, 愈能提高温度稳定作用。但 R_p 太小时将从电源电路取得过多的能量, 这也是不经济的。此种电路的稳定系数为:

$$S = \frac{(1+\beta)(R_e R_p + R_e R_f + R_f R_p)}{(1+\beta)(R_e R_p + R_e R_f) + R_f R_p}$$

电阻分压器式偏置电路

图 2-20 所示为电阻分压器式偏置电路。这种电路既没有电压负反馈, 亦没有电流负反馈, 而是利用 R_b 并联于基极与发射极间, 从而相对地减小了半导体管输入电阻变化的影响。但由于一般 R_b 比输入电阻大很多, 故作用不显著。 R_b 的值不宜过小。否则会导致消耗电源太多, 以及使半导体管的等效交流输入阻抗降低, 这也是不利的。这种电路与固定偏流式偏置电路差不多, 其稳定系数 S 为 $(1+\beta)$ 。

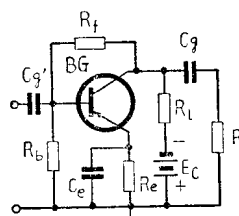
混合反馈式偏置电路

图 2-17 所示的电压反馈式偏置电路的特点是简单, 与固定偏流偏置电路所用的元件一样, 然而该电路的设计灵活性差, R_f 之阻值

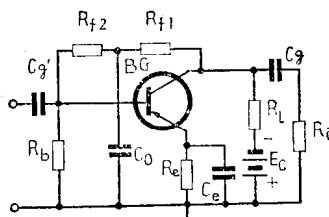
只能根据工作点 I_B 的数值来确定, 因此我们就没有可能来选择稳定系数。

图 2-19 所示电流反馈式偏置电路的特点是设计灵活性比较大, 但所需要之元件较多, 而且耗电亦较多。此外该电路对于低直流负载电阻的电路, 例如功率放大器及变压器耦合放大器, 是适宜的。但是对于直流负载电阻较高的电路, 例如阻容耦合放大器, 就不适宜, 效果不大, 需要采用电压反馈的方法。

采用综合两种反馈的方法就可以做到, 既可保证有一定的稳定系数, 又可以使基极偏流工作在一定的数值上。图 2-21(a) 所示为混合反馈式偏置电路。图中 R_i 为下一级之输入电阻。 C_g 为隔直流电容器。这种电路与图 2-19 电路的不同之处在于将 R_f 接到 R_L 的上端, 而不是接在 R_L 的下端。因而该电路既有电压反



(a)



(b)

图 2-21

馈的作用, 又有电流反馈的作用。实际上保证稳定系数的主要还是依靠电压反馈。发射极串联电阻 R_e 的主要作用是靠它供给一个反向基极偏流, 用以调整偏流之大小。这种电路虽然具有很多优点, 但是这种稳定方法只适于小信号放大器, 或者说只适用于集电极静态特性曲线的线性区域。某些非线性应用, 例如乙类放大器, 就需要特殊的偏置电路。

这种电路有时为避免或减少有用交流信号的负反馈, 常在 R_f 上抽头 (采用两电阻串联), 接一电容器 C_0 , 如图 2-21(b) 所示。但 R_{f1} 、 R_{f2} 之阻值要选择恰当。若 R_{f1} 过小时, 则集电极有用信号将经过 C_0 旁路; 若 R_{f2} 过小时, 则放大器增益降低过多, 具体阻值可由

实际調試中确定。

偏置电路調整电阻的确定

众所周知, 半导体管参数的一致性較差, 因而偏置电路的調整电阻亦是不尽一致, 阻值差异較大。现以 3 AG 11、3 AX 1、3 AX 3 半导体管为例作一介紹。

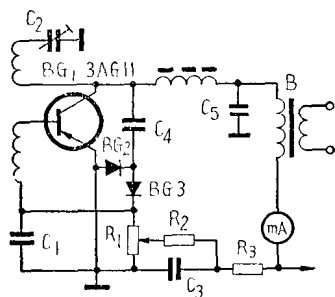


图 2-22

我們按图 2-22 所示的綫路, 对 3 AG 11 管进行試驗。为了获得預定的工作点, 对各个

半导体管需要配上不同阻值的調整电阻。由实验可知, 当 3 AG 11 集电极静止电流在 2—3.5 mA 之間变化时, 对整机主要性能指标影响較小。此电流不仅与 β 有关, 而且与其他参数 (如 I_{co} 等) 都有关系。在电源为 5.8 伏时, 則 $R_1=50\text{ K}\Omega$, $R_2=30-68\text{ K}\Omega$, $R_3=11\text{ K}\Omega$ 。变压器的初級直流电阻約为 30Ω 左右。試驗还証明: 将 R_3 选得比 R_2 小些, 且将 R_3 固定, 改变 R_2 来实现預定的工作点較为好些。

我們按图 2-23 所示的綫路, 对 3 AX 1 管进行試驗。由于 3 AX 1 管发射极电路中串有电阻 R_3 , 因而有一定的稳定作用。由試驗可知: 3 AX 1 管集电极电流在 $2.5 \pm 0.5\text{ mA}$ 的范围内变化时, 对整机的主要性能指标影响較小。图中选用电源电压 5.8 伏左右, $R_1 \approx 1\text{ K}\Omega$, $R_2 \approx 6.2\text{ K}\Omega$, $R_3 \approx 240\Omega$ 。3 AX 1 管一般用于末前級或前置級, 系工作在小电流状态下, I_c 随 β (或 α) 变化較为規律, 所以工作較稳定, 調整电阻 R_2 变动范围較小。

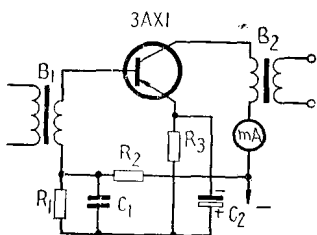


图 2-23

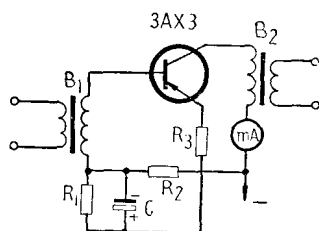


图 2-24

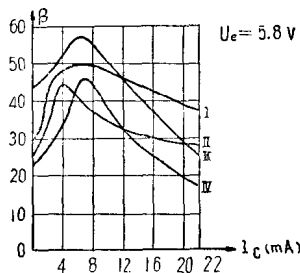


图 2-25

我們按图 2-24 所示的綫路, 对 3 AX 3 管进行試驗。由試驗可知: 3 AX 3 管集电极静止电流在 $18 \pm 2\text{ mA}$ 范围内变化时, 对整机性能指标影响較小。电源电压在 5.8 伏时, $R_1=160-330\Omega$, $R_2=2.7\text{ K}\Omega$, $R_3=3\Omega$, 該管系处于大电流工作状态, 其 $I_c-\beta$ 曲綫与小电流工作状态不同, 变化是很不規律的, 如图 2-25 所示。图中四条曲綫为四只不同参数的 3 AX 3 管試驗所繪出。因此为了获得預定的工作点, 勢必要求 R_1 阻值調整有較大的范围。从图

2-25 中还可看出, 最大輸出与最大 β 的工作点是差得比較多的。从图中知道, 在 I_c 为 4—6 mA 間 β 最大, 但輸出功率却較小; 而当 I_c 增大时 (輸出功率也可以增大) β 反而下降。

总之, 偏置电路的調整电阻的选用, 在大批生产中一般是将半导体管按 β 、 I_c 等主要参数分成若干組, 然后再配以不同阻值的电阻。这个工作往往需要通过反复多次的試驗, 才能获得較正确的工作点。