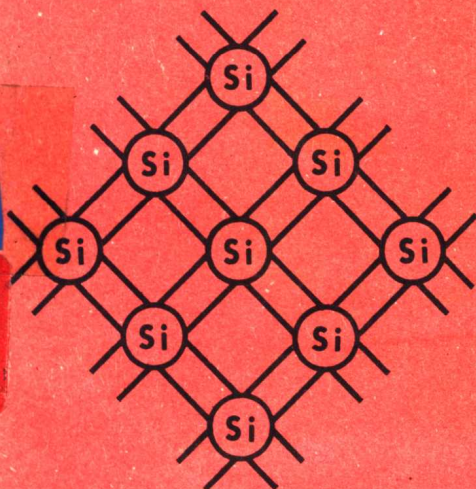


无线电爱好者丛书

硅管收音机设计

周志彬 编著



无线电爱好者丛书

硅管收音机设计

周志彬 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书叙述硅晶体管收音机的设计,包括整机、天线输入回路及变频级、中频放大级、检波级、低频放大级的设计及设计实例。在叙述收音机的设计时,着重介绍了硅管在收音机中的应用,以及设计硅晶体管收音机时,必须解决的技术问题及其解决方法。

本书供具有一定制作经验的广大业余无线电爱好者学习用,也可供从事无线电工作的工人、技术人员参考。

无线电爱好者丛书 硅管收音机设计

周志彬 编著

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

山西新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

*

开本: 787×1092 1/32 1981年4月第一版

印张: 5 8/32 页数: 84 1981年4月山西第一次印刷

字数: 117千字 印数: 1—150,000册

统一书号: 15045·总2501—无6147

定价: 0.39元

前 言

由于我国硅资源比较丰富，硅管的品种和规格相当多，价格也便宜，因此设计人员前几年都在探索应用 3 DG 系列的硅管代替锗管用于收音机线路。自 1969 年开始，有的收音机工厂，以 3 DG 和 3 DK 系列的硅晶体管代替 3 AG 系列的锗晶体管在收音机的变频级、中频放大级、低频放大级里应用。实践证明，在线路设计和生产工艺上采取一定的措施后，收音机用硅管要比用锗管优越。在同类收音机中，用硅管的线路比用锗管的线路简单、稳定性好，产品成本也较低。因此近年来硅、锗管混合线路的收音机品种增多，生产的工厂亦逐渐扩大。

本文在叙述收音机的设计时，着重介绍硅管在收音机里的应用，以及设计硅管收音机时必须解决的技术问题及其解决的方法。在叙述上，力求浅显易懂。本书供具有一定制作经验的业余无线电爱好者学习用，而对从事无线电工作的工人和技术人员也有参考价值。限于作者水平，本书不妥和错误之处，请批评指正。

作者 1980 年 8 月

丛 书 前 言

电子科学技术是一门发展迅速、应用广泛的现代科学技术。电子技术水准是现代化的重要标志。为了尽快地普及电子科学技术知识，中国电子学会和出版部门约请有关专家、学者组成编委会，组织编写三套有不同特点的、较系统的普及丛书。

本丛书是《无线电爱好者丛书》。由人民邮电出版社出版，其余两套是《电子应用技术丛书》，由科学普及出版社出版；《电子学基础知识丛书》，由科学出版社出版。

本丛书密切结合实际讲述各种无线电元器件和常用电子电路的原理及应用；介绍各种家用电子设备（如收音机、扩音机、录音机、电视机、小型电子计算器及常用测试仪器等）的原理、制作、使用和修理；提供无线电爱好者所需的资料、手册等。每本书介绍一项实用无线电技术，使读者可以通过自己动手逐步掌握电子技术的一些基本知识。本丛书的对象是广大青少年和各行各业的无线电爱好者。

我们希望广大电子科学技术工作者和无线电爱好者，对这套丛书的编辑出版提出意见，给以帮助，以便共同努力，为普及电子科学技术知识，为实现我国四个现代化作出贡献。

中国电子学会科学普及读物
编辑委员会

主编：孟昭英

编委：毕德显 吴朔平 叶培大 任 朗
杜连跃 吴鸿适 童志鹏 陶 棣
顾德仁 王守觉 甘本祓 张恩虬
何国伟 周炯槃 邱绪环 陈芳允
秦诒纯 王玉珠 周锡龄

目 录

前言

一、硅晶体管特点及其在收音机中的应用	1
1. 收音机采用硅、锗晶体管的比较	1
2. 硅、锗管电路的稳定问题	4
3. 硅管放大电路的稳压措施	8
4. 收音机选用硅晶体管的要求	11
5. 全硅管收音机	12
二、收音机的整机设计	14
1. 整机设计方案的确定	14
2. 总增益的确定及增益的分配	17
三、天线输入回路及变频级的设计	20
1. 天线输入回路	20
2. 变频级	30
3. 输入回路和振荡回路设计	38
4. 变频级的附加电路	44
四、中频放大级	47
1. 并联谐振回路特性	47
2. 中频放大管的等效电路及增益	53
3. 中频放大器电路的通频带和选择性	55
4. 中频放大级增益及 LC 回路的损耗	58
5. 单调谐中放电路的中频变压器的计算	64
6. 双调谐中放电路	67

7. 自动增益控制	69
五、检波级	74
六、低频信号放大级	77
1. 晶体管低频等效电路	77
2. 晶体管 h 参数等效电路	78
3. 晶体管放大器四端网络	80
4. 低频放大器的耦合	82
5. 低频放大器电路的负反馈	97
七、功率放大级	108
1. 甲类功率放大器	108
2. 乙类推挽功率放大器	111
3. 无输出变压器功率放大器	127
八、收音机设计计算实例	133
1. 天线和振荡回路	133
2. 中频变压器计算	139
3. 整机增益计算	141
4. 核算象频衰减和中频衰减	143
九、附录	146
附录 1. 风雷牌 601-B 型晶体管收音机	146
附录 2. 风雷牌 B74 型中短波晶体管收音机	148
附录 3. 晶体管调幅广播收音机电声性能主要参数 分类	151
附录 4. 国产干电池型号规格	152
附录 5. 倍数与分贝、奈培换算表	154

一、硅晶体管特点及其在收音机中的应用

在分析收音机各种电路之前，我们首先分析一下硅晶体管的特点，及在收音机电路中采用硅管时必须采取的措施。

1. 收音机采用硅、锗晶体管的比较

硅管与锗管由于制造工艺不同，所用的材料不同，它们的技术参数有很大差别。

下面我们比较一下收音机里常用的几种晶体管的主要参数。

硅高频小功率管：

参 数	测 试 条 件	3 DG 4	3 DG 6	3 DG 12
$I_{cbo}(\mu A)$	$V_{cb}=10 V$	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 1
$I_{ceo}(\mu A)$	$V_{ce}=10 V$	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 10
$f_T(MHz)$	$V_{ce}=10 V$ $I_c=10 mA$ $f=30 MHz$	≥ 200	≥ 100	≥ 100
$C_{ob}(PF)$	$V_{cb}=10 V$ $I_c=0$ $f=5 MHz$	≤ 5	≤ 4	≤ 15
$V_{bce}(V)$	$I_c=10 mA$ $I_b=1 mA$		≤ 1.1	
$V_{bce}(V)$	$I_c=300 mA$ $I_b=30 mA$			≤ 1.2

$V_{ce0} (V)$	$I_c \approx 300 \text{ mA}$			
	$I_b = 30 \text{ mA}$			≤ 0.8
$P_{cm} (mW)$		300	100	700
$I_{cm} (mA)$		30	20	300
$h_{ie} (k\Omega)$	$V_{ce} = 6V$	≥ 0.7	≥ 0.7	≥ 1
	$I_e = 1mA$			
	$f = 1 \text{ KHz}$			

锗高频小功率管:

参 数	测 试 条 件	3 AG 1	3 AG 11
$I_{cbo} (\mu A)$	$V_{cb} = 6V$	≤ 10	≤ 10
$C_{ob} (PF)$	$V_{cb} = 6V$	≤ 8	≤ 15
	$I_e = 0$		
	$f = 5MHz$		
$r'_{bb} (\Omega)$	$V_{cb} = 6V$	≤ 70	≤ 200
	$I_c = 1mA$		
	$f = 5MHz$		
$f_T (MHz)$	$V_{ce} = 6V$	> 20	> 20
	$I_c = 1mA$		
	$f = 10MHz$		
$h_{ie} (k\Omega)$	$V_{ce} = 6V$	≥ 0.05	≥ 0.05
	$I_e = 1mA$		
	$f = 1KHz$		

锗低频小功率管:

参 数	测 试 条 件	3 AX 22	3 AX 31
$I_{cbo} (\mu A)$	$V_{cb} = 10V$	≤ 12	≤ 20
$I_{ceo} (\mu A)$	$V_{ce} = 6V$	≤ 300	≤ 1000
$V_{bes} (V)$	$V_{ce} = 1V$	≤ 0.45	
	$I_e = 50mA$		

$V_{ceo}(V)$	$I_c = 125mA$	≤ 0.65
	$I_c = 60mA$	≤ 0.35
$P_{cm}(mW)$	125	125
$I_{cm}(mA)$	100	125
$h_{ie}(K\Omega)$	$V_{ce} = 6V$	≥ 0.4
	$I_e = 1mA$	≥ 0.4
	$f = 1KHz$	

应用的符号说明:

I_{ceo} ——集电极-发射极反向电流

I_{cbo} ——集电极-基极反向电流

V_{be} —— $b-e$ 极饱和压降

V_{ce} —— $c-e$ 极饱和压降

C_{ob} ——集电极电容

r'_{be} ——基极扩散电阻

f_T ——特征频率

h_{ie} ——输入电阻

I_{cm} ——集电极最大允许电流

P_{cm} ——集电极最大耗散功率

在全锗管收音机里多用两种晶体三极管，一是高频小功率锗管，通常用 3 AG 系列作变频、中频放大器。二是低频小功率锗管，通常用 3 AX 系列作低频和功率放大器。

在硅、锗管混合收音机里也多用两种晶体三极管，一是高频小功率硅管，通常用 3 DG 系列作变频、中频放大器和低频前置及低频激励放大器。二是低频小功率锗管，用 3 AX 系列，作末级功率放大器。

在全硅管收音机里，单用一种高频小功率硅管，通常用 3 DG 系列作变频、中频和低频放大器，而末级功率放大器选用 3 DG 系列里集电极耗散功率稍大些的管子，如 3 DG 12 等。

总之，收音机常用的晶体管不外乎是硅 NPN 小功率管和锗 PNP 小功率管两类*。从两者主要参数对照，我们可以得出以下几点结论：

(1) 硅管的 I_{ceo} 和 I_{cbo} 都很小，这是硅管比锗管要优越的一个地方。

(2) 硅管的 V_{ces} 比锗管大，因此当电源电压降低时，硅晶体管很容易进入截止区及饱和区，且电源电压的变动，对硅管的工作点影响较大。这是硅管比锗管要差的一个方面。

(3) 硅管的极间电容比锗管小，在收音机的中频回路应用时，硅管可以省掉中和电容；锗管由于极间电容较大，用于收音机的中频回路时必须采用中和方法来克服晶体管内部的反馈所引起的自激现象。

(4) 硅管比锗管有较大的输入阻抗，对改进选择性要比锗管有利。当硅管选作检波之后的前置低频放大器时，由于输入阻抗高，检波器的负载小，这对于提高检波效率有益。

总之，我们在收音机电路中采用硅管，不仅是因为我国硅的资源丰富和生产成本低的缘故，而主要是硅管的某些电气参数在很多方面比锗管优越。至于硅管的不足之处，可以采取必要措施加以解决。

2. 硅、锗管电路的稳定问题

工作点的稳定与否，是设计晶体管电路的重要问题。我们在设计某一放大电路时，都是按 20°C 或 25°C 时的参数进行设计的。而收音机的实际使用环境温度是 0°C — 40°C 。在这种情况下，要保证收音机仍能正常工作，就必须在电路里采取适当措施，及选用符合电路要求的晶体管。

* 在采用 OTL 电路时个别也用锗 NPN (3BX 系列) 或硅 PNP (3DX 系列)。

我们知道，晶体管随温度而变化的参数，主要是 I_{cbo} 、 V_{be} 和 β ，而且三者随温度变化所起的作用不是相等的，而往往是其中之一起主导作用。对硅管来说， V_{be} 是主要的；锗管 I_{cbo} 是主要的。 β 随温度的变化相对来说要比前两者小，每当温度升高一度， β 均增大 $(0.5 \sim 1)\%$ 。

下面就温度改变时对 I_{cbo} 和 V_{be} 的影响进行分析。

(1) 温度对集电极——基极反向电流 I_{cbo} 的影响

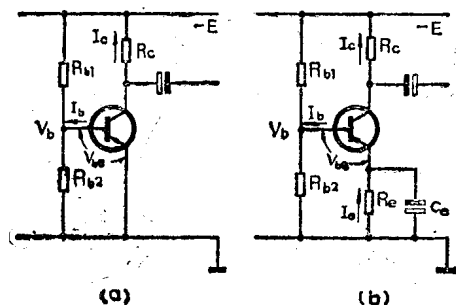


图 1-1 锗管共发射极电路

以图 1-1(a) 锗管共发射极电路为例，其集电极电流：

$$\begin{aligned} I_c &= \beta I_b + (1 + \beta) I_{cbo} \\ &= \beta I_b + I_{ceo} \end{aligned}$$

式中 I_{cbo} 对温度十分敏感，当温度从 20°C 变到 $t^\circ\text{C}$ 时， I_{cbo} 的变化如下：

$$\text{锗管：} I_{cbo}(t^\circ\text{C}) = I_{cbo}(20^\circ\text{C}) \times 2^{\left(\frac{t^\circ - 20^\circ}{10^\circ}\right)};$$

$$\text{硅管：} I_{cbo}(t^\circ\text{C}) = I_{cbo}(20^\circ\text{C}) \times 3^{\left(\frac{t^\circ - 20^\circ}{10^\circ}\right)}.$$

每当温度增加 10°C 时，硅管的 I_{cbo} 大约增加三倍，锗管的 I_{cbo} 大约增加二倍； I_{ceo} 随温度的变化将是 I_{cbo} 的 $(1 + \beta)$ 倍，所以 I_c 也随温度产生急剧变化。

I_c 随温度升高而增大的现象如果从管子的输出特性看，就是随温度上升而特性曲线簇向上移，如图 1-2 所示。其中 (a) 是正常温度的特性曲线；(b) 是温度升高后的特性曲线。

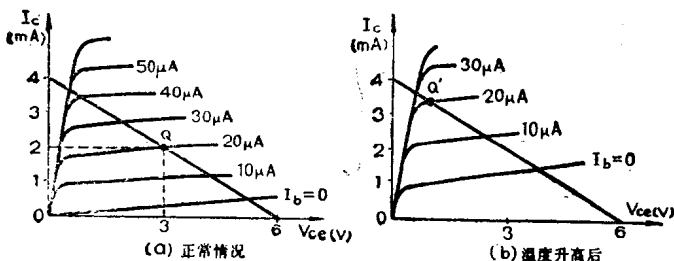


图 1-2 输出特性曲线

在图 1-1(a) 所示的偏置电路中，电阻 R_{b1} 和 R_{b2} 组成一个分压器，用来供给基极一个固定的电压 V_b ，温度对它的影响很小，可以忽略。但是，如果电路的静态工作点设计在如图 1-2(a) 的 Q 处，当温度升高后，工作点将移至图 1-2(b) 的 Q' 处。很显然，这样的电路的温度稳定性是很差的。

倘若将图 1-1(a) 所示的电路里接入 R_e 之后，即变成图 1-1(b) 所示那样，电路的稳定性就能改善。

当接入 R_e 以后，对直流电路来说，在温度变化时好比是装置了工作点自动控制器，它起自动控制作用。而交流信号可以通过旁路电容 C_e 流通不受 R_e 的影响。这时， I_c 的稳定过程如下：

$$\begin{array}{l} \text{温度 } T_i \uparrow \rightarrow I_{cbo} \uparrow \rightarrow I_{ceo} \uparrow \rightarrow I_c \uparrow \rightarrow I_e \uparrow \\ I_c \downarrow \leftarrow I_b \downarrow \leftarrow I_e R_e \uparrow \leftarrow \end{array}$$

必须指出，硅管的集电极——基极反向电流 I_{cbo} 的绝对数值比锗管要小很多。例如，在 25°C 时，锗管 3AG1 $I_{cbo} \leq 10 \mu\text{A}$ ，3AX22 $I_{cbo} \leq 12 \mu\text{A}$ ；而硅管在同样温度下，3DG6A

的 $I_{cbo} \leq 0.1 \mu A$, 3DG6B 的 $I_{cbo} \leq 0.01 \mu A$ 。可见在放大器中, 温度对 I_{cbo} 的影响, 在用锗管的放大电路里是主要的; 用硅管的放大电路里不是主要的。就这一点来说硅管比锗管要优越一些。

(2) 温度对基极——发射极电压 V_{be} 的影响

在不同的环境温度下, 晶体管的基极——发射极电压 V_{be} 也不同, 图 1-3 为硅高频小功率管和锗低频小功率管, 在 I_e 为某一常数时, V_{be} 与温度 T_i 的关系曲线。

由图可见, V_{be} 的变化规律是随温度升高而减小, 在 I_e 不变的条件下, 锗管和硅管的 V_{be} 随温度的变化率均约为 $-(2-2.5) \text{ mV}/^\circ\text{C}$ 。

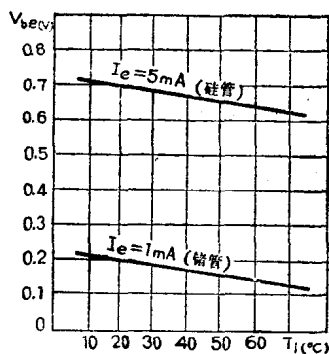


图 1-3 $V_{be}-T_i$ 关系曲线

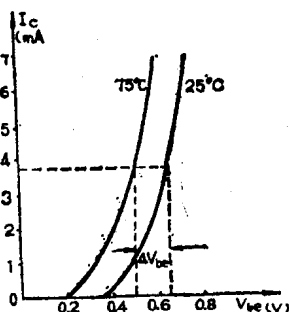


图 1-4 3DG4 输入特性

当温度升高时, 以硅管 3DG4 为例, 它的输入特性曲线将向左移动, 如图 1-4 所示。在 I_c 为常数时, 温度升高, V_{be} 将降低。我们从图 1-1(a) 可看出, V_{be} 降低后, I_b 将增加, 引起 I_c 增加。

由于 V_{be} 随温度的变化而引起 I_b 的变化, 使硅管电路显得不稳定。对硅管共发射极电路来说采取图 1-5 的简单偏置电路

反而稳定些。

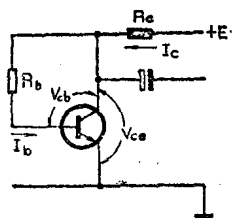


图 1-5 硅管共发射电路

由图可知：

$$I_b = \frac{V_{cb}}{R_b} = \frac{V_{ce} - V_{be}}{R_b} \approx \frac{V_{ce}}{R_b}$$

很显然，基极电流 I_b 取决于集电极电压 V_{ce} 和电阻 R_b ， V_{ce} 是随 I_c 的变化而变化。当温度上升引起 I_c 增大时， I_c 在 R_c 上的压降也增大，使得

V_{ce} 减小。由于 V_{ce} 的减小， V_{cb} 也减小， I_b 跟着减小，最后导致 I_c 不会增加很多。促使 I_c 稳定的变化过程如下：

$$\begin{aligned} \text{温度 } T \uparrow &\rightarrow I_c \uparrow \rightarrow V_{Rc} \uparrow \rightarrow V_{ce} \downarrow \\ &\quad \quad \quad I_c \downarrow \leftarrow I_b \downarrow \leftarrow V_{Rb} \downarrow \leftarrow \end{aligned}$$

在图 1-5 的电路里再接入 R_e 后，如前所述，同样可以提高工作点的稳定性。

由此可见，硅管电路采用图 1-5 的偏置电路并加接 R_e 之后，对稳定工作点是有效的。这种电路虽有稳定作用，但也带来了负反馈作用。

3. 硅管放大电路的稳压措施

由于 NPN 硅晶体管的正向饱和压降 V_{be} 比 PNP 锗晶体管将近大一倍，在其它条件相同情况下，其上偏置电阻就较锗管小。因此它的工作点受电源电压的影响要比锗管大。为使硅管放大电路正常工作，对电源电压的要求比较严格。特别是使用干电池作电源的收音机电路，当使用一个阶段，电池端电压稍降低时，硅管放大电路 I_c 就急剧下降。如果不采取措施便不能工作。例如，当电压从 6 V 降到 5.4 V 以下，硅管收音机

就不能正常工作了。但我们要求收音机在电源电压降低到标称值的 0.67 倍时(约 4 V)，仍能工作。而锗管由于 V_{be} 小，所以全锗管收音机就可以满足这个要求。

但是，只要我们在硅管收音机电路里增添一个简单的稳压电路之后，这个要求也就可以满足。

稳压电路由电阻 R_d 和两只硅二极管 d_1 和 d_2 串联组成，如图 1-6 的虚线框内。这里，由 D 点引出的电压基本上不随电源电压变化。所以放大电路的偏置电压均从 D 点引出。

下面我们来看一下这种稳压电路的作用。

作用之一：

以硅二极管(2 GP 6)为例，其正向伏安特性如图 1-7 所

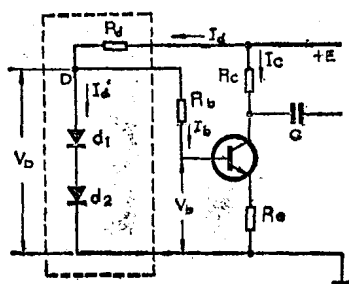


图 1-6 稳压偏置电路

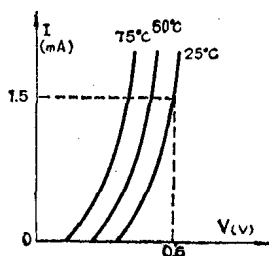


图 1-7 2 GP 6 正向伏安特性

示。当电流大于 1.5 mA 时，硅二极管的正向电压接近恒定不变，一般正向电压(所谓恒定不变时的电压)为 0.6 V 左右。由于 2 GP 6 具有这种特性，因此硅管收音机电路全都采用两只 2 GP 6 串联起来的办法，取得 1.2 V 左右的稳定电压，作为偏置电路电源。

2 GP 6 正向电流的选择原则：(参看图 1-6)

(1) $I_d \gg$ 各级 I_b 总和。