
高频课程设计

实践指导书

——接收机

电子信息与电气技术实验中心

2015年2月

第一部分 进程安排

本次设计时间为1周，共5天。具体时间安排如下：

序号	内容安排	天数
1	布置实践任务 （指导老师分配任务，讲解整个设计的整体要求。）	0.5
2	查资料、定方案 （学生根据课题要求查找相关资料，完成初步设计方案。）	0.5
3	方案评估 （学生分组讨论设计方案，并对方案进行答辩，并确定最终设计方案。）	0.5
4	采购 （学生根据确定的设计方案，自己采购电子元器件。）	0.5
5	制板 （学生利用 Protel 绘制原理图、PCB 图，并转印制作电路板。）	0.5
6	调试及功能改进 （学生焊接电路板并进行系统调试。时间允许条件下，学生可进行发挥设计，对系统功能进行扩展。）	1
7	实践总结 （学生完成设计报告，指导老师对学生设计产品、报告进行评估定级）	1

第二部分 设计内容

一、设计课题

调频（或调幅）接收机设计

二、实践目的

无线电发射与接收设备是高频电子线路的综合应用，是现代化通信系统、广播与电视系统、无线安全防范系统、无线遥控和遥测系统、雷达系统、电子对抗系统、无线电制导系统等，必不可少的设备。本次设计要达到以下目的：

1. 进一步认识射频发射与接收系统；
2. 掌握调频（或调幅）无线电接收机的设计；
3. 学习无线电通信系统的设计与调试。

三、设计要求

1. 接收机采用 FM、AM 或者其它的调制方式；
2. 若采用 FM 调制方式，要求接收频率覆盖范围在 $88 - 108 \text{ MHz}$ ；
3. 若采用 AM 调制方式，接收频率为中波段或 30 MHz 左右；
4. 为了加深对调制系统的认识，建议采用分立元件设计；（采用集成电路的设计方法建议作为备选方案；）
5. 发射信号由设计发射机部分的同学提供。

四、相关知识

（一）RF 不同频段的应用

中波调幅（AM）收音机—从 535 kHz 到 1.7 MHz

短波调幅（AM）收音机—从 5.9 MHz 到 26.1 MHz

民用波段（CB）收音机—从 26.96 MHz 到 27.41 MHz

电视台波段—2 频道到 6 频道频率范围是 54 MHz 到 88 MHz

调频（FM）收音机—从 88 MHz 到 108 MHz

电视台波段—7 频道到 13 频道频率范围是 174 MHz 到 220 MHz

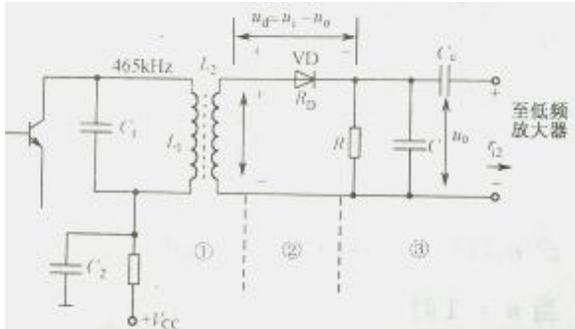
车库门禁、无线报警系统等，频率大概在 40 MHz

注：频率范围的规定随着不同的地区而变化。

（二）AM 解调

- 1、普通调幅波解调

(1) 二极管包络检波



(2) 乘法器同步检波

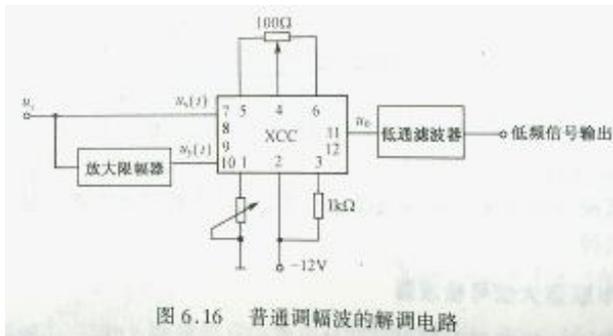


图 6.16 普通调幅波的解调电路

2、抑制载波的 AM 的解调



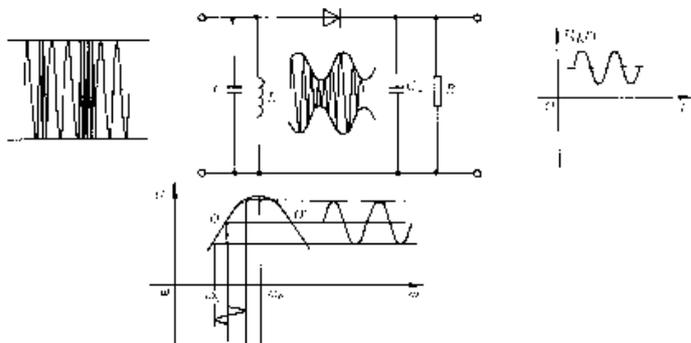
图 6.18 DSB 同步检波原理图

说明：导频. 若无导频, 则接收端需产生载波.

(三) FM 解调

1. 原理

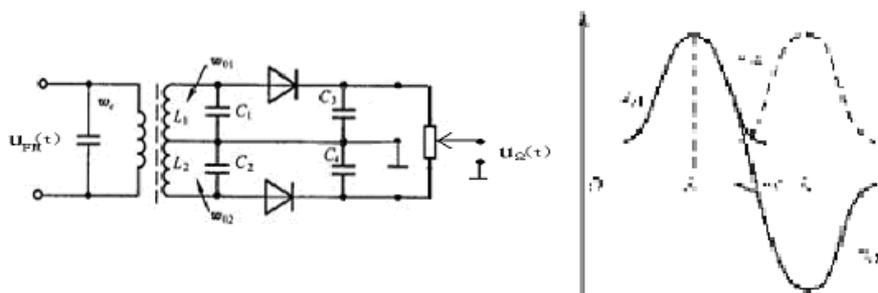
对调频波的检波必须先将频率的变化, 转变成与音频调制信号相应的幅度变化, 见下图。或者变成占空系数不同的脉冲系列, 再经过幅度检波或脉冲的整流, 才能检出音频信号。



2. 斜率鉴频器

利用并联 LC 回路幅频特性的倾斜部分将调频波转换成调幅调频波。最简单的斜率鉴频器由失谐单谐振回路和晶体二极管包络检波器组成, 该电路的线性范围与灵敏度都是不理想的。

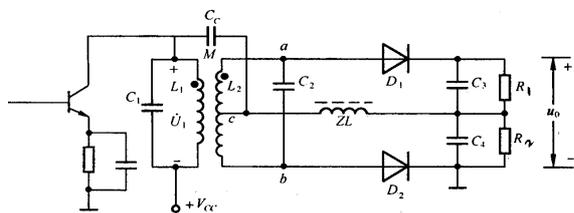
在要求较高的情况下, 广泛应用双失谐回路斜率鉴频器, 如图。



3. 相位鉴频器

$$f \rightarrow \varphi(f) \rightarrow A(\varphi) \rightarrow \text{幅度检波}$$

相位鉴频器是利用耦合电路的相频特性来实现将调频波转换为调幅调频波的, 它是将调频信号的频率变化转换为两个电压之间的相位变化, 再将这相位变化转换为对应的幅度变化, 然后利用幅度检波器检出幅度的变化。这样, 幅度的变化就反映了频率的变化。



上下两包络检波器的输入电压分别为

$$\dot{U}_{i1} = \dot{U}_1 + \frac{1}{2}\dot{U}_2$$

注：根据 D_1, D_2 导通方向列方程.

$$\dot{U}_{i2} = \dot{U}_1 - \frac{1}{2}\dot{U}_2$$

而 $\dot{U}_\Omega = \dot{U}_{o1} - \dot{U}_{o2} = K \cdot (\dot{U}_{i1} - \dot{U}_{i2})$

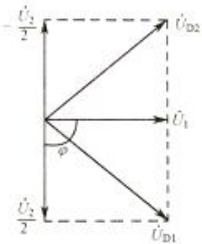
K 为检波器的电压传输系数.

可以推导：

$$\frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{\eta}{\sqrt{1+\xi^2}} \cdot e^{j\left(-\frac{\pi}{2} - \arctan\xi\right)}$$

$$\therefore \varphi = -\frac{\pi}{2} - \arctan\xi \approx -\frac{\pi}{2} - \xi = -\frac{\pi}{2} - 2Q\frac{\Delta f}{f_c} = -\frac{\pi}{2} - 2Q\frac{f-f_c}{f_c}$$

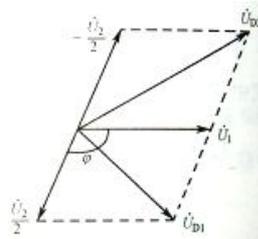
(1) 以 \dot{U}_1 为参考向量 $f = f_c$ 时, $\xi = 0$, \dot{U}_2 滞后于 \dot{U}_1 90° .



注：一般 $|\dot{U}_1| > \left|\frac{1}{2}\dot{U}_2\right| \therefore \varphi$ 很小, 认为此时 $\dot{U}_{i1} = \dot{U}_{i2}$, 则

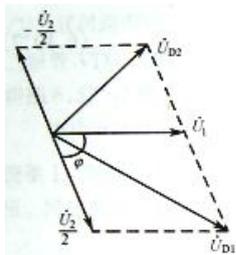
$$\dot{U}_\Omega = k(\dot{U}_{i1} - \dot{U}_{i2}) = 0$$

(2) 当 $\Delta f > 0$, 即 $f > f_c$ 时, $\xi > 0$, \dot{U}_2 滞后于 \dot{U}_1 大于 90° .



$$\dot{U}_\Omega = k(\dot{U}_{i1} - \dot{U}_{i2}) < 0$$

(3) 当 $\Delta f < 0$, 即 $f < f_c$ 时, $\xi < 0$, \dot{U}_2 滞后于 \dot{U}_1 小于 90° .



$$\dot{U}_\Omega = k(\dot{U}_{i1} - \dot{U}_{i2}) > 0$$

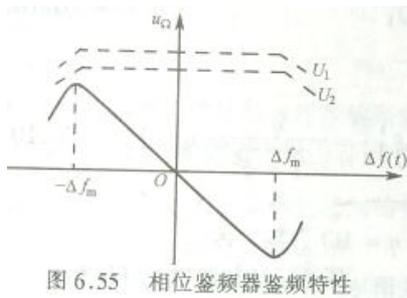


图 6.55 相位鉴频器鉴频特性

4. 限幅器

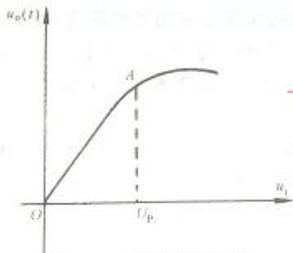


图 6.70 限幅特性曲线

(1) 晶体二极管限幅器

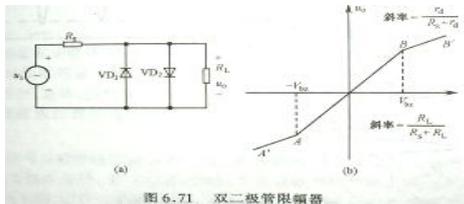


图 6.71 双二极管限幅器

(2) 晶体三极管限幅器

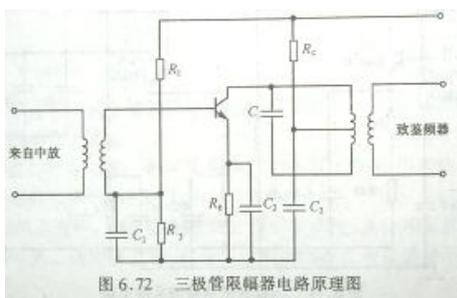
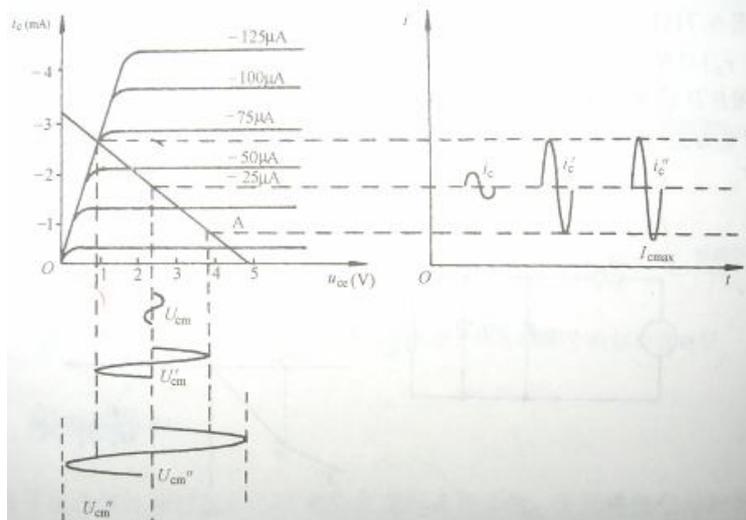
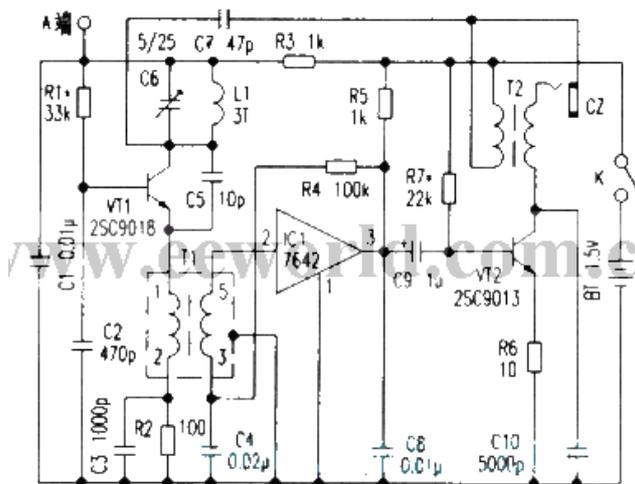


图 6.72 三极管限幅器电路原理图



5. 设计实例

【例 1】



电路原理图如图所示。由超再生调频接收、FM-AM 变换部分、调幅检波及低放电路组成。调频波的超再生接收，实际上就是将调频波转换成调幅波，同时对调幅波进行包络检波以得到低频信号。图中的三极管 VT1 及外围元件组成典型的超再生调频接收电路，并将调频波信号转换成调幅信号以及进行包络检波输出音频信号。如果直接从 R3 端取出包络检波后的音频信号进行放大，得到的音频噪声比较大，但使接收机的选择性变差。

因此，这里采用从 VT1 的发射极通过串联回路中的高频扼流圈上感应到的调幅信号再进行高频放大、检波输出音频信号的方法，以克服上述不足。当 VT1 工作时，在高频

扼流圈上会形成一个被调节目调制的调幅信号。这个信号通过互感器 T1 耦合到调幅专用接收微型 IC1 7642 上进行调幅波的解调。

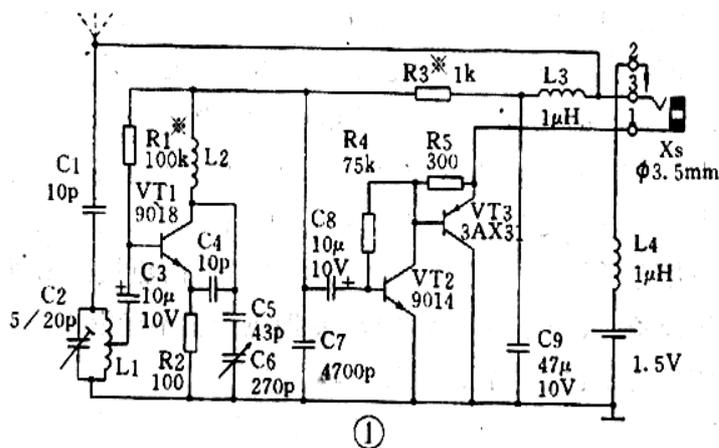
这块集成电路包含了一级高阻输入、三级高频放大及检波输出的全过程，而且增益大于 70dB。检波输出的音频信号由电容 C9 耦合到三极管 VT2 进行低频放大，通过耳机插座 CZ 输出到负载(耳机)收听广播节目。高频扼流圈 T2 作用是防止高频信号与电池及其他部分形成回路而被衰减，但对音频信号却无阻碍作用。

电容 C6 为小型瓷介微调电容，焊接时要求把动片接在图中的 A 端，目的是减小调台时人体感应对调谐回路的影响。高频电感 L1 采用 $\Phi 1.0\text{mm}$ 的漆包线在 $\Phi 5.0\text{mm}$ 的圆棒上绕 3 圈脱胎而成。高频扼流互感器 T1 选用从旧机中拆下的 AM-IFT 微型中周绕制，把原来绕制在“工”字形磁心上的漆包线拆下，再用 $\Phi 0.07\text{mm}$ 的高强度漆包线重绕，初级高频扼流部分绕约 50 圈，次级感应部分绕约 150 圈后加上调节磁帽及外屏蔽即可。高频扼流圈 T2 选用双孔磁环，用 $\Phi 0.2\text{mm}$ 的漆包线在各孔中各绕 10 圈制成。

先通过调节 R1 把 VT1 的集电极电流调为 0.3mA—0.5mA，调节电阻 R7 使 VT2 的集电极电流约为 2mA。此时用耳机便可收听到“丝丝”流水响声(电噪声)，通过调节 C6 的电容量来收听调频台的广播节目。细调 L1 匝距和 T1 的磁帽，使音质音量最好。

【例 2】

收音机电路见下图。它的新颖之处在于前级晶体管 VT1 以不同于超再生式及超外的方式进行工作，同时具有混频、本振、锁相环同步检波及低频放大 4 种功能。L1、C2 组成 Q 值较低的 FM 频段(87MHz—108MHz)宽带输入回路，中心频率 98MHz。L2、C5、C6 组成本振调谐回路，本振频率为输入接收频率接收频率及本振信号的二次谐波，混频后输出的中频信号落在音频范围内。由于 VT1 的输出电导是集电极电流的函数，所以它一身具有控制本振频率的功能。



VT1 作为本机振荡器时，接成共基极电路，由于 L1、C2 对本振频率失谐，所以 VT1 的基极等效接地。

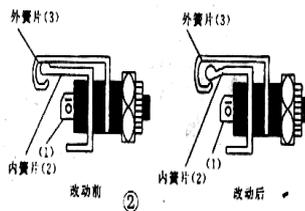
VT1 作为混频器时，则为共发射极电路。

VT1 作为同频检波器时，也是共基极电路，这是因为 C3 取值很大，对音频信号容抗很小，可认为 VT1 的基极交流接地。此时音频（即混频后所得的中频）信号的放大倍数约为 $R3/R2$ 。C7 为高频旁路电路，用于将检波后的载频成分旁路。VT1 的本振频率在一定范围内受控于输入信号频率，这是因为当本振信号的二次谐波接近于一个调频电台的发射频率时，VT1 的集电极电流中将有二者混频后输出的音频成分，使 VR1 的输出电导随之改变，使本振频率也发生变化，即本振频率与外来信号同步，与锁相接收的原理完全类似，具有 AFC 功能。

此接收电路的灵敏度可与超再生式电路媲美，却没有超再生噪声。由于本振频率与输入信号频率的差值很大，因此 FM 段的本振辐射较小。

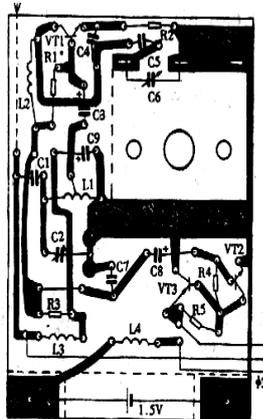
当旋转 C6 调谐到调频电台时，在 R3 上产生的音频信号加幅度可达数十毫伏，与被接信号的强弱基本无关。此音频信号经 C8 耦全至 VT2、VT3 组成的简单低频放大器，将信号放大并驱动低阻抗耳机（ 8Ω ）发声。耳机的长引线在这里巧妙充当了接收天线，以提高接收灵敏度。L3、L4 为高频扼流圈，它以音频信号早畅通无阻，却阻止高频信号流通，防止耳机线接收的调频广播信号被电流及 C9 旁路。C9 为电源滤波电容，避免电路产生低频自激。

为了进一步提高接收灵敏度，也可如图 1 虚线所示，焊上一段 2M 长的软线作天线。制作时，C6 采用 7/270PF 的小型密封双联可变电容器（如 CMB-202），只使用其中的一联。VT1 选用 $f_T \leq 800\text{MHz}$ 超高频管 9018， $\beta > 80$ 。VT2 选用高放大倍数的三极管 9014。VT3 选用小功率锗管 3AX31，漏电要小。L1 用 $\phi 0.5\text{mm}$ 漆包线在 $\phi 4\text{mm}$ 钻头上音绕 5 匝（匝距为 1mm）后脱胎成空心线圈，有中心抽头，L2 用 $\phi 0.5\text{mm}$ 漆包线在 $\phi 4\text{mm}$ 钻头上间绕 15 匝（匝距也为 1mm）后脱胎成空心线圈。L3、L4 可购市售色码电感。电阻均使用 1/8W 四色环碳膜电阻。电解电容器的耐压大于 6V 即可。其它无极性电容均使用小型瓷片电容。电源使用 1 节 5# 电池。耳机插座可按图 2 将内簧片向内弯一点，以便耳机插头时收音机通电，拨出时收音机断电，兼起电源开关的作用。



整机安装在图 3 所示的 66*50mm 单片印制电路板上。高度较为简单，插入耳机后收音机通电，旋转 C6 应能收到调频电台的收音，此时微调 R1 使声音音纯真响亮。然后微调 L2（拉开或压缩音距）使电台的位置与刻度盘基本相符。再微调 L1 使高、低端电路的灵敏度均匀，如觉得声音过响，可适当适当调整 R3 使音量合适。调整完毕，可给 L1、L2 封蜡，防止受震动后电感量发生变化。最后，给本机配上一个用彩色有机玻璃制成的外壳。

本机的灵敏度，在上海地区，不另接天线，仅用耳机引线充当接收天线，即可满意地收听上海电台及东方电台的全部调频广播。接收时，背景宁静，根本没有超再生式收音机的“沙沙”噪声，可与带降噪电路中档收音机媲美。



五、调频（或调幅）接收电路

请参考相关资料。

六、设计报告

要求：

1. 给出设计课题题目、实践目的、设计原理、设计内容和要求；
2. 查阅相关资料，对系统的发展背景、应用场合在序言中进行阐述。
3. 给出系统设计方案、电路原理图、各个电子元器件的型号、参数；
4. 画出接收电路中，一些关键节点的信号波形；
5. 系统调试方法，设计过程遇到的问题、思考及解决方法；
6. 系统的功能扩展实现情况；
7. 心得体会；

七、参考资料

- [1] 高吉祥，高频电子线路，电子工业出版社，2005.1
- [2] 谢嘉奎，高频电子线路，高等教育出版社，2001.3
- [3] 张肃文，高频电子线路，高等教育出版社，1999.8
- [4] www.cndzz.com

附录：

1、高频信号放大器可以采用 9018 三极管。由于 9018 的工作噪声较大，若要得到较好的效果，可以将 9018 改用 C3358 或 C3355 低噪管。

2、常用发射三极管资料

型号	功率	增益	电压	频率	工作状态	封装	123 脚
2N3375	10W	5dB	28V	400MHz	FM/AM/SSB	T0-60	
2N3553	2,5W	10dB	28V	175MHz	FM/AM	T0-39 C B E	
2N3632	20W	7dB	28V	175MHz	FM	T0-60	
2N3866	5W	10dB	28V	400MHz	WINTransceiver	T0-39 C B E	
2N3924	4W	6dB	13,6V	175MHz	WINTransceiver	T0-39	
2N4427	2W	10dB	12V	175MHz	WINTransceiver	T0-39	
2N5108	1W	5dB	24V	1200MHz	WINTransceiver	T0-39	
2N5109	3,5W	11dB	15V	200MHz	WINTransceiver	T0-39	
2N5421	3W	9dB	13,5V	175MHz	WINTransceiver	T0-39	
2N5913	2W	7dB	12,5V	175MHz	WINTransceiver	T0-39	
2N5943	1W	8dB	15V	400MHz	FM	T0-39	
2SC730	0,8W	10dB	13,5V	175MHz	FM	T0-39 C B E	

批注 [c1]: 以下不用打印。

2SC1096 10W 60MHz FM TO-220
2SC1173 10W 100MHz FM/AM/SSB TO-220
2SC1306 16W 30MHz FM/AM/SSB TO-220 B C E
2SC1307 16W 12dB 12V 30MHz FM/AM/SSB TO-220 B C E
2SC1590 5W 10dB 12, 5V 136-174MHz FM TO-220 B E C
2SC1591 14W 7, 5dB 12, 5V 136-174MHz FM TO-220 B E C
2SC1678 5W 30MHz WINTransceiver TO-220 B C E
2SC1728 8W 80MHz WINTransceiver TO-202 E B C
2SC1729 14W 10dB 13, 5V 175MHz FM T-31E
2SC1909 10W 14, 5dB 13, 5V 50MHz FM/AM/SSB TO-220 B C E
2SC1944 13W 11, 1dB 12V 30MHz WINTransceiver TO-220 B C E
2SC1945 16W 14, 5dB 12V 30MHz FM/AM/SSB TO-220 B E C
2SC1946 25W 6, 7dB 13, 5V 175MHz FM T-31E
2SC1946A 30W 10dB 13, 5V 175MHz FM T-31E
2SC1947 3W 10dB 13, 5V 175MHz FM TO-39 C B E
2SC1957 1, 8W 17dB 12V 30MHz WINTransceiver TO-126 E C B
2SC1966 3W 7, 8dB 13, 5V 470MHz FM T-31E
2SC1967 7W 6, 7dB 13, 5V 470MHz FM T-31E
2SC1968 14W 3, 7dB 13, 5V 470MHz FM T-31E
2SC1968A 14W 5, 4dB 13, 5V 470MHz FM T-31E
2SC1969 18W 12dB 12V 30MHz FM/AM/SSB TO-220 B C E
2SC1970 1, 5W 10dB 13, 5V 175MHz WINTransceiver TO-220 B E C
2SC1971 7W 10dB 13, 5V 175MHz WINTransceiver TO-220 B E C
2SC1972 14W 10dB 13, 5V 175MHz WINTransceiver TO-220 B E C
2SC1973 1W 50MHz WINTransceiver TO-92L B C E
2SC1974 13W 10dB 13, 5V 30MHz WINTransceiver TO-220 B C E
2SC1975 4W 10dB 13, 5V 30MHz WINTransceiver TO-220 B C E
2SC2028 1, 8W 30MHz WINTransceiver TO-126 E C B
2SC2029 6W 30MHz WINTransceiver TO-220 B C E
2SC2036A 1, 4W WINTransceiver TO-202 B C E
2SC2050 10W 12dB 13, 5V 30MHz FM/AM/SSB TO-220 B C E
2SC2053 0, 2W 15, 7dB 12V 175MHz FM/AM TO-92L B C E
2SC2055 0, 25W 15, 3dB 12V 175MHz FM/AM TO-92L B C E
2SC2056 1, 5W 9dB 12V 175MHz FM TO-39 C B E
2SC2075 4W 13, 5V 27MHz WINTransceiver TO-220 B C E
2SC2078 4W 13dB 12V 100MHz FM/AM TO-220 B C E
2SC2086 0, 45W 13dB 12V 175MHz FM/AM TO-92L B C E
2SC2092 4W 13dB 12V 100MHz FM/AM/SSB TO-220 B C E
2SC2094 15W 8, 8dB 13, 5V 175MHz FM/AM/SSB T-31E
2SC2166 6W 13, 8dB 12V 30MHz FM/AM/SSB TO-220 B C E
2SC2207 16W WINTransceiver TO-220 B C E
2SC2237 6W 13, 8dB 13, 5V 175MHz FM T-31E
2SC2312 18, 5W 27MHz FM/AM/SSB TO-220 B C E
2SC2314 1, 8W 17dB 12V 180MHz FM/AM TO-126 E C B

2SC2509 13W 14dB 30MHz WINTransceiver TO-220 B C E
2SC2527 60W WINTransceiver TO-220
2SC2538 0,6W 10dB 12V 175MHz FM/AM TO-92L B C E
2SC2539 14W 14,5dB 13,5V 175MHz FM T-31E
2SC2660 30W 30MHz WINTransceiver TO-220
2SC2695 23W 1,9dB 13,5V 520MHz FM T-31E
2SC3001 6W 13dB 7,2V 175MHz FM T-31E
2SC3017 1W 11dB 13,5V 175MHz FM TO-39 C B E
2SC3018 3W 13dB 7,2V 175MHz FM T-31E
2SC3020 3W 10dB 12,5V 520MHz FM T-31E
2SC3021 7W 7,7dB 12,5V 520MHz FM T-31E
2SC3022 18W 4,8dB 12,5V 520MHz FM T-31E
2SC3103 2,8W 6,7dB 7,2V 520MHz FM T-31E
2SC3104 6W 4,8dB 7,2V 520MHz FM T-31E
2SC3133 13W 14dB 12V 1,5-30MHz FM/AM/SSB TO-220 B E C
2SC3297 15W 100MHz WINTransceiver TO-220
2SC3299 20W WINTransceiver TO-220
2SC3668 1W 100MHz WINTransceiver
2SC3807 15W 260MHz WINTransceiver TO-126
2SC4137 4W 400MHz WINTransceiver TO-126
2SC4693 FM/AM TO-92L B C E
KTC1006 1W 100MHz FM/AM TO-92L E C B
KTC1969 16W 12dB 12V 100MHz FM/AM TO-220 B C E
KTC2078 4W 11dB 12V 100MHz FM/AM TO-220 B C E
MRF161 5W 13,5dB 12,5V 225-500MHz FM/AM TO-220 B E C
MRF162 15W 13,5dB 12,5V 225-500MHz FM/AM TO-220 B E C
MRF163 25W 12dB 12,5V 225-500MHz FM/AM TO-220 B E C
MRF237 4W 12dB 18V 175MHz WINTransceiver TO-39
MRF260 5W 10dB 12,5V 136-174MHz FM TO-220 B E C
MRF261 10W 5,2dB 12,5V 136-174MHz FM TO-220 B E C
MRF262 14W 7,5dB 12,5V 136-174MHz FM TO-220 B E C
MRF264 30W 5,2dB 12,5V 136-174MHz WINTransceiver TO-220 B E C
MRF340 8W 13dB 28V 70MHz WINTransceiver TO-220 B E C
MRF342 24W 11dB 28V 70MHz WINTransceiver TO-220 B E C
MRF344 60W 6dB 28V 70MHz WINTransceiver TO-220
MRF454 80W 12dB 12,5V 1,5-30MHz FM/AM/SSB
MRF455 60W 13dB 12,5V 1,5-30MHz FM/AM/SSB
MRF475 12W 10dB 13,5V 1,5-30MHz FM/AM/SSB TO-220 B C E
MRF476 3W 15dB 13,5V 1,5-30MHz FM/AM/SSB TO-220 B C E
MRF477 40W 15dB 13,5V 1,5-30MHz FM/AM/SSB TO-220 B E C
MRF479 15W 10dB 13,5V 1,5-30MHz FM/AM/SSB TO-220
MRF485 15W 10dB 28V 1,5-30MHz WINTransceiver TO-220
MRF486 40W 15dB 28V 1,5-30MHz WINTransceiver TO-220
MRF496 40W 15dB 13,5V 1,5-30MHz WINTransceiver TO-220

MRF497 60W 10dB 13,5V 27-50MHz WINTransceiver T0-220 B E C
MRF517 0,75W 10dB 20V 1000MHz WINTransceiver T0-39
MRF607 1,75W 11,5dB 16V 175MHz WINTransceiver T0-39
MRF660 7W 5,4dB 12,5V 400-512MHz WINTransceiver T0-220
MS1226 30W 18dB 28V 30MHz FM/AM/SSB
MS1227 20W 15dB 12,5V 30MHz FM/AM/SSB