

业余无线电 通信技术

陈夏生 陈景峰



福建科学技术出版社

前 言

本书根据国内外有关的业余无线电通信的技术规范和有关资料，以及作者多年从事业余无线电通信工作和教学经验编写而成。本书力求用较通俗易懂的语言，深入浅出地叙述了业余无线电通信的电路原理、整机分析、设备配置、器件选择、安装调试和维修方法，以及业余无线电通信的基本知识与操作要领。在阐述无线电通信理论的基础上，紧紧结合实际电路，为业余无线电爱好者动手自制业余无线电通信设备和架设业余电台，提供了许多实用电路参数和元器件型号。

利用无线电波在空间中的传播，以传送声音、文字、图像或其他信息的各种通信方式总称为无线电通信。随着科学技术的迅速发展，无线电通信已经进入人类生活和工作的各个领域。广播、电视、蜂窝移动电话（全球通和“大哥大”）、无线寻呼（BP机）等，全都离不开无线电通信技术。

业余无线电通信是无线电通信的一支重要组成部分。根据国际电信联盟（ITU）的规定，业余无线电通信属于“业余业务”，即提供业余无线电爱好者进行自我训练、相互通信和技术研究的无线电通信业务。

业余无线电通信的历史和无线电发展的时间一样长久。1901年，马可尼在加拿大的纽芬兰（Newfoundland），用汽球和风筝架设接收天线，同时在英国西南角的宝塞（Poldhu），用强力发射电台，每天在约定的时间，发送“S”字符的国际莫尔斯电码三个小时。终于在同年12月12日，从嘈杂噪音中，抄收到来自2500公里外的“嘀、嘀、嘀”电码声。这是有史以来第一次人类越洋无线电通信，揭开了无线电通信的新纪元。这一消息轰动了全球，激发了广大无线电爱好者的浓厚兴趣，推动了无线电通信技术的蓬勃发展。1923年，法国和美国业余电台使用100米波长的无线电信号，实现了短波横越大西洋的通信，这是无线电发展史上的最重要的成就之一，为全球短波通信奠定了基础。国际电信联盟和各国政府，为了维护业余无线电爱好者的利益，1925年，在巴黎成立了“国际业余无线电联盟”，简称“IARU”。

我国业余无线电通信活动始于1930年初，据资料记载：建国前夕全国有业余电台数百个。1982年，经国务院批准，业余电台开始恢复，同年2月10日，我国第一个集体业余电台BYIPK开台。经过10多年的努力，全国已建立80多个集体业余电台。除集体业余电台（呼号冠字BY）以外，还有特设业余电台（BT）、个人业余电台（BA、BD、BG）、台湾省业余电台（BV）以及短波业余收听台

(SWL)。

当前,业余无线电通信有以下几种方式:等幅波电报(CW);话音通信〔AM(调幅)、SSB(单边带)、FM(调频)〕;数据通信〔RTTY(无线电电传打字电报)、AMTOR(直接印字无线电电报)、Packet radio(包封通信)〕;图像通信〔FAX(无线电传真)、ATV(业余电视)、SSTV(慢扫描电视)〕以及空间通信〔AMSAT(业余卫星)、EME(月面反射)〕等。

为了促进我国业余无线电通信事业的发展,共同提高业余无线电通信的技术水平,作者根据国内外有关的业余无线电通信的技术规范和技术资料,以及自己多年来从事业余电台的工作和教学经验,特意编写本书。全书力求用较通俗易懂的语言,深入浅出地叙述业余无线电通信的电路原理、整机分析、器件选择、电路设计、安装调试和维修方法,以及业余电台的基本知识与操作要领。在阐述无线电通信理论的基础上,紧紧结合实际电路,为业余无线电爱好者动手自制业余无线电通信设备和架设业余电台,提供了许多实用的电路参数和元器件型号。

本书编写过程中,在绘图、收集和整理资料方面,得到林幼梅、江荔仙、陈芳、陈景林、陈景湖等同志的协助。在此一并表示致谢。

由于本书知识面跨度大,加之时间仓促,因此书中错误和不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

陈夏生

1997年1月

目 录

第一章 模拟电子电路

- 1.1 电子和空穴导电 1
- 1.2 半导体二极管电路 2
- 1.3 晶体管电路 23
- 1.4 场效应管 (FET) 41
- 1.5 集成电路 55

第二章 真空电子管工作原理

- 2.1 电子的热发射 67
- 2.2 阴极 67
- 2.3 板极电流 68
- 2.4 整流 68
- 2.5 真空电子管放大器 68
- 2.6 微波管 80

第三章 数字电路

- 3.1 二进制数、二进制码和二进制逻辑 83
- 3.2 组合逻辑电路 84
- 3.3 时序逻辑电路 87
- 3.4 数字集成电路 96
- 3.5 数字电路接口 102
- 3.6 光耦合器 108
- 3.7 外部设备接口 110
- 3.8 数字和模拟信号的变换接口 114
- 3.9 模拟和数字电路混合的集成块 117
- 3.10 存储部件 118
- 3.11 数字计算机 122

第四章 调制和解调

- 4.1 带宽 130
- 4.2 调制方式 131
- 4.3 业余无线电常用调制方式 132

第五章 无线电频率振荡器和合成器

- 5.1 晶体振荡器 144
- 5.2 频率微调石英晶体振荡器 146

5.3	开关二极管石英晶体振荡器	148
5.4	频率可变石英晶体振荡器 (VXO)	148
5.5	频率可变振荡器 (VFO)	149
5.6	稳定性措施	151
5.7	电性能稳定性	152
5.8	频率可变振荡器的负载隔离	154
5.9	频率可变振荡器的信号纯度与噪声	155
5.10	高频频率合成器.....	157
5.11	高频 (HF) 通信系统的频率合成器	162
第六章 无线电发射原理		
6.1	发射机基础	167
6.2	晶体二极管作开关的石英晶体振荡器	170
6.3	频率可变振荡器的频率稳定措施	171
6.4	频率可变振荡器的频率显示	171
6.5	倍频器	172
6.6	甚高频 (VHF) 发射机的倍频振荡器	174
6.7	发射混频器	174
6.8	高电平发射混频器	176
6.9	输出滤波器	177
6.10	激励器电路.....	182
6.11	发射机的级间耦合.....	184
6.12	级间耦合网络元件计算.....	186
6.13	宽带传输变压器.....	190
第七章 无线电接收原理		
7.1	接收机的主要性能指标	193
7.2	高频调谐接收机	196
7.3	直接变换接收机	196
7.4	超外差接收机	199
第八章 无线电高频收发两用机		
8.1	电路原理	226
8.2	希思 HW-101 型高频收发两用机	227
8.3	两用机发射接收转换	230
8.4	高频收发两用机性能	232
8.5	TS-940S 高频收发两用机电路原理	239
8.6	收发两用机发展趋向	242
第九章 高频功率放大器		
9.1	放大器工作状态	246

9.2	阻抗匹配	247
9.3	振荡回路	249
9.4	振荡回路的Q值	249
9.5	振荡回路的效率	250
9.6	电路匹配	251
9.7	变压器	256
9.8	输出滤波器	258
9.9	发射器件(电子管)参数	259
9.10	晶体管参数	261
9.11	无源元件参数	261
9.12	高频扼流圈	263
9.13	隔直电容器	263
9.14	电子管、晶体管直流工作电压	264
9.15	功率放大器设计	267
9.16	放大器稳定性	275
第十章 传输线		
10.1	传输线及其等效电路	280
10.2	传输线与天线的匹配	283
10.3	平衡—不平衡变换器	288
10.4	共扼匹配和特性阻抗 Z_0 匹配	294
10.5	传输线的特性	296
第十一章 天线		
11.1	天线的极化	304
11.2	天线的阻抗	304
11.3	天线的电流和电压分布	304
11.4	天线导体的尺寸	305
11.5	半波对称振子天线	305
11.6	长线天线	313
11.7	由激励单元构成的定向天线	316
11.8	垂直天线	319
11.9	八木和正方形定向天线	327
第十二章 故障维修		
12.1	安全工作规则	334
12.2	检测仪器	334
12.3	故障的寻找与排除	338
12.4	故障检测	353
第十三章 业余无线电通信		

13.1 业余电台报务通信.....	357
13.2 业余电台的语音通信.....	365
13.3 我国业余电台的频率划分和管理.....	367
附录 电路图符号说明.....	369

第一章 模拟电子电路

以导电性能对物质分类，有导体、半导体和绝缘体。半导体的电导率处于导体和绝缘体之间。

物质的电导率与其内部的自由电子数目成比例。单晶锗和硅都含有极少量的自由电子。当它们被掺入五价电子的砷或锑元素杂质时，自由电子将增加，导电性能变好。当掺入三价电子的铝、镓或铟元素杂质时，将产生空穴，使电导率增大。靠自由电子导电的半导体称为N型半导体，因空穴导电的半导体称为P型半导体。

1.1 电子和空穴导电

采用半导体工艺，把N型和P型半导体结合在一起，将形成PN结，如图1.1.1(A)所示。在P区有很多空穴，用正号表示；在N区有很多自由电子，用负号表示。当PN结加上正向电压时，即电池的正极接到P型半导体，负极接到N型半导体，在P区的空穴将通过PN结到达电池的负极，在N区的自由电子将经过PN结流到电池的正极，这时PN结和电路有电流流动，这个电流称为PN结的正向电流，PN结处于导通状态，如图1.1.1(B)所示。反之，当PN结加上反向电压时，从图1.1.1(C)知道，自由电子和空穴分别被电池的正极和负极所吸引而离开PN结，这时PN结没有电流流动，处于截止状态。然而，在制造单晶半导体和PN结的过程中，N型半导体总会被掺入少量的三价杂质，因此总有少量的空穴；同理，P型半导体也会被掺入五价杂质，存在少量的自由电子。由于这些少量空穴和电子，使PN结会出现反向电流，不过这种反向电流是很小的。

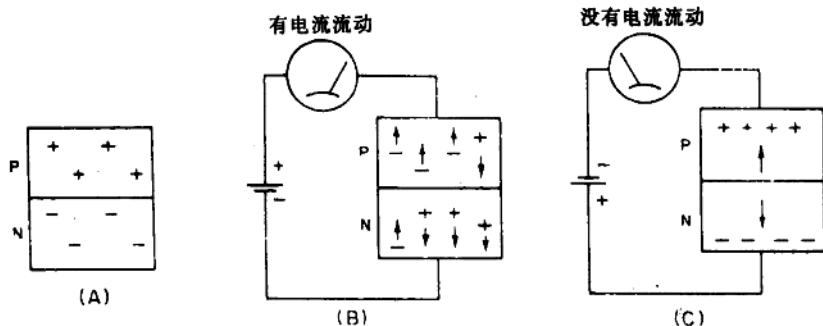


图 1.1.1 PN 结

PN 结是 P 型和 N 型半导体两部分连结在一起形成的，这种结构相当于一个电容。为了提高工作频率，应当减小 PN 结的面积，使等效电容变小。

1.2 半导体二极管电路

在现代电子设备设计中, 已用半导体二极管代替真空电子二极管, 因为它有许多优点: 不消耗灯丝功率; 体积小; 在低电平下工作时, 基本不发热; 在微波区域工作时, 性能优于真空电子二极管。

以单晶硅或单晶锗制成的半导体二极管可分为二类: 一类是面接触型; 另一类是点接触型, 它们的结构如图 1.2.1 所示。前者的应用范围很广, 从直流到微波。后者主要用在高频电路和脉冲数字电路。点接触型二极管的结电容小于 1pF , 面接触型的结电容约为几个 pF 。

1.2.1 硒二极管

在 1965 年以前, 整流器常用硒二极管构成, 其正向压降较高, 反向漏电流较大。这种整流器的缺点是: 耗电多; 散热片体积大; 在烧毁时, 会放出有毒气体。目前, 已用硅二极管代替。

1.2.2 锗二极管

锗二极管的伏安特性曲线如图 1.2.2 所示。当它加上较小的正向电压时, 将产生较大的正向电流; 而加上较大的反向电压时, 反向电流却很小。这说明锗二极管的正向电阻很小, 一般在 200Ω 以下; 而反向电阻很大, 一般在几 $\text{k}\Omega$ 至几 $\text{M}\Omega$ 的范围。

1.2.3 普通硅二极管

硅二极管采用面接触结构, 它的特性曲线和图 1.2.2 的相似。硅二极管的正向导通电压 (约为 0.7V) 比锗二极管的 (约为 0.3V) 大些。

在高频电路和直流电路中工作时, 硅二极管的工作性能十分稳定可靠。因此, 目前大部分情况, 都使用硅二极管。

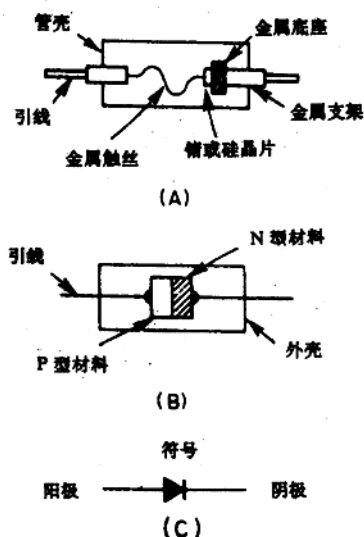


图 1.2.1 半导体二极管结构

(A) 点接触型, (B) 面接触型, (C) 符号

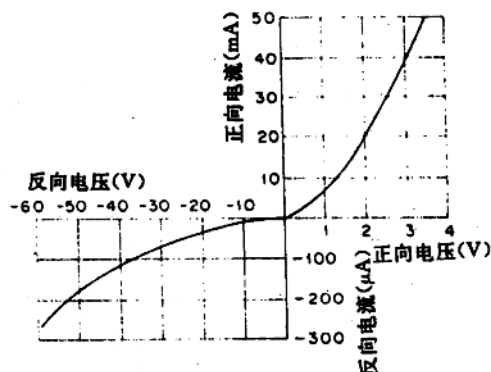


图 1.2.2 点接触型锗二极管的伏安特性

硅二极管的最高反向工作电压（峰值）一般超过 1000V，通过的电流可达 100A 以上。在使用时，考虑到安全起见，安装在设备中的二极管所承受的反向电压和正向电流，不能超过生产厂家的规定指标。同时，根据厂家的规定，二极管要配上一定尺寸的散热器，使 PN 结温度低于规定值。典型的二极管，其正向电压、电流和结温度的关系可用下式表达：

$$I_f = I_s (e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$$

其中： q 是电子的基本电荷量，等于 1.602×10^{-19} 库； T 是绝对温度，单位是 K，例如在室温为 25℃ 时， $T = 273 + 25 = 298\text{K}$ ； k 是玻耳兹曼常数，等于 $1.38 \times 10^{-23}\text{J/K}$ ； I_s 是一个与外加电压无关的系数，通常称为反向饱和电流。

1.2.4 开关二极管

在电子线路中，已用开关二极管或晶体管代替机械开关或继电器。

图 1.2.3 (A) 的 D1 是 1N914 高频开关二极管，在电路中作为并联开关，当 +12V 直流电压通过 R1 加在 D1 上时，D1 饱和导通，把 C1 并联到 LC 并联谐振回路。在这里，要求 R1 的阻值不少于 2200Ω，使流过 PN 结的直流电流不超过 $I_{\max} = 12\text{V}/2200\Omega = 5.45 \times 10^{-3}\text{A}$ 。

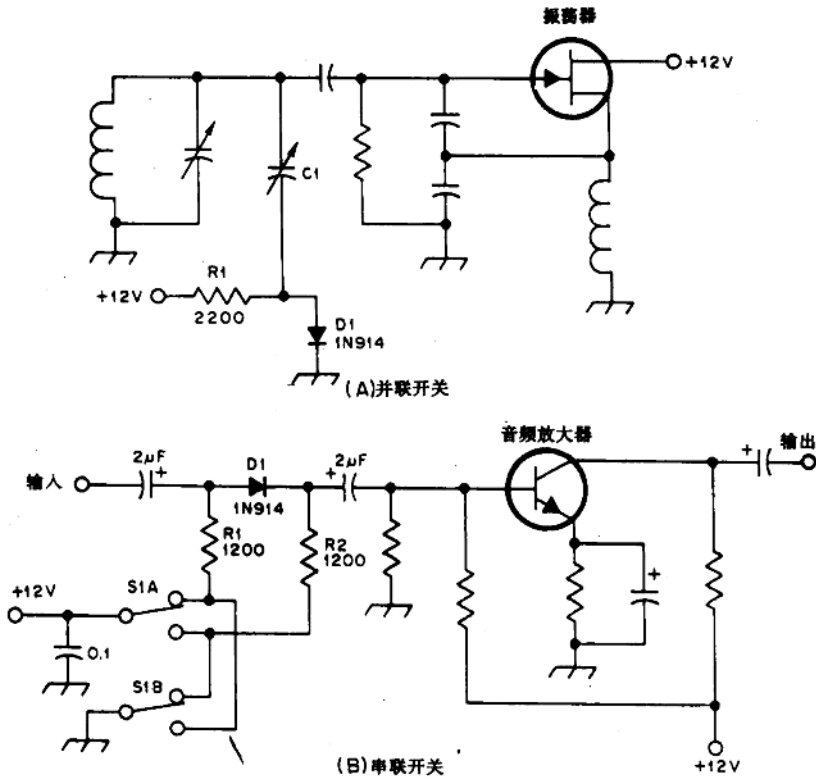


图 1.2.3 硅开关二极管

在图 1.2.3 (B) 中，D1 作为串联开关，被插入音频信号通路，当开关 S1 置于“通”的位置时，+12V 的直流电压通过 R1、D1、R2 到“地”。1N914 二极管进入饱和导通状态，相

当于机械开关闭合，因此音频信号通过D1输入音频放大器。当开关S1处于“断”的位置时，+12V直流电压降落在R2、D1、R1到“地”。D1得到反向电压，处于截止状态，相当于机械开关断开。这时，音频信号不能到达音频放大器。同理，在高频电路中，也可以采用二极管作串联开关，控制信号的“通”或“断”。

当电路用机械开关控制信号的“通”或“断”时，电路必须有较长的信号通路导线，然而，以开关二极管代替机械开关，就可以取消这些导线，避免电路受到干扰。二极管的“通”或“断”，人们可以利用直流电压进行远距离控制。在电路中，选用开关二极管时，应根据控制二极管的“通”或“断”的频率，选择二极管的恢复时间（开关速率），当控制频率愈高时，要求开关速率愈大。控制音频信号的“通”或“断”，一般可用普通的硅二极管。

1.2.5 门二极管

二极管串联在直流电源和设备之间，只允许直流电单向流动，二极管的功能相当于一个门。其例子如图1.2.4(A)所示。当直流电源极性接对时，直流电通过D1，流向发射设备；当电源极性接反时，D1截止，直流电压全部加在D1上，发射设备不能获得直流电源电压，使发射设备得到保护。在这种电路中，虽然发射设备得到了保护，但直流电源需要增加0.7V电压。如果没有二极管保护电路，直流电源电压可以采用13.6V，然而采用了保护电路，二极管需要0.7V正向电压才能导通，因此直流电压要从13.6V提高到14.3V。在设计这种保护电路时，应该注意门二极管D1提供的直流电流应满足发射设备的要求，否则，二极管将会过热烧毁。

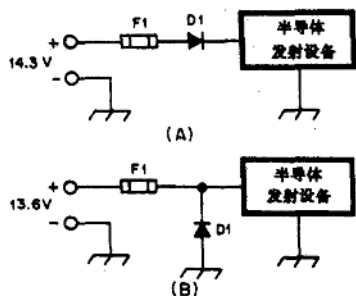


图 1.2.4 二极管作为门来保护发射设备

为了保护的目的，功率门二极管D1也可以与发射设备并联，接法如图1.2.4(B)所示。如果某种原因，接错直流电源极性，D1将流过大大电流，熔断器F1烧毁，保护了发射设备。这种保护方法与(A)电路比较，主要优点是电源与发射设备之间没有电压降。

1.2.6 基准电压二极管

本章后面将会讨论齐纳二极管，它是一种稳压元件，经常用它取得基准电压。有时，人们也利用普通面接触型硅二极管的正向导电特性，取得基准电压，当电路中，需要基准电压愈高，所串联的二极管数目也愈多。这种例子可见图1.2.5。在图(A)中，D1建立0.7V的固定基准电压，使晶体管的发射结得到0.7V的正向偏压。在这里，二极管D1相当于稳压元件，R1是防止二极管通过的电流超过额定值。在图(B)中，晶体管的发射极回路插入D1和D2两个二极管，建立1.4V的基准电压，当继电器驱动放大器的输入直流电压变为零时，晶体管迅速处于截止状态，继电器线圈电流及时消失。在继电器线圈上并联二极管D3的目的是，当晶体管截止时，集电极电流转变为零，继电器线圈会产生很大的感生电动势脉冲，如果没有D3，则这个脉冲电压将可能把晶体管击穿。有了D3二极管，脉冲电压被箝位在0.7V，使脉冲的能量消耗在继电器线圈内，保护了晶体管。

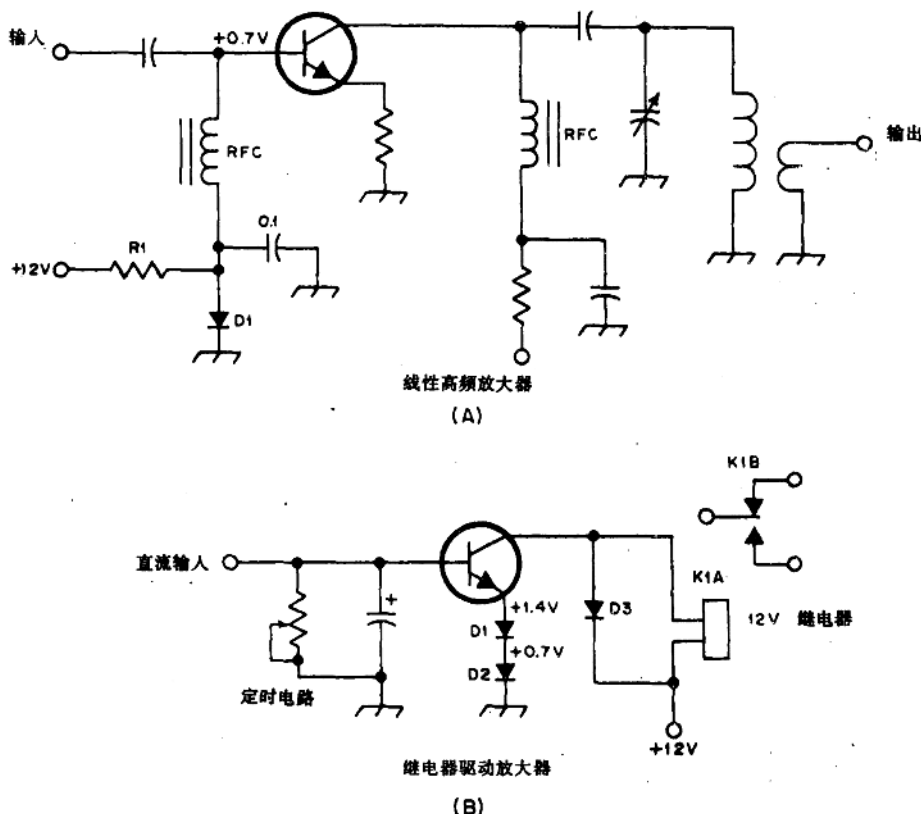


图 1.2.5 普通面接触型硅二极管在电路中建立基准电压

1.2.7 可变电容普通硅二极管

本章后面部分会专门讨论可变电容二极管，即变容二极管，又称调谐二极管。这里，先讨论一下 1N914 普通硅二极管作为变容二极管。在图 1.2.6 中，频率可变振荡器 (VFO) 用两个 1N914 二极管 D1 和 D2 反向对接构成调谐回路，调节电位器 R1，D1 和 D2 的结电容也随着改变，频率可变振荡器 (VFO) 的工作频率也相应发生变化。当二极管的反向偏压小时，结电容增大；反之，结电容减小。在这个电路里，调节 R1，结电容值的变化范围为 5pF~15pF。

在调谐回路中，要求普通二极管具有高 Q 值和极好的高频特性。一般情况，环境温度变化，普通硅二极管的结电容也随之变化。它与机械可变电容比较，其稳定性比较差，因此，在移动通信设备中，不宜使用普通硅二极管组成调谐回路。

1.2.8 限幅和箝位二极管

应用二极管的正向导通特性，可以构成二极管箝位电路和限幅器。在图 1.2.5 (B) 中，已经提到 D3 起到箝位作用。为了消除噪音，人们通常在音频电路中增设音频限幅器和音频压缩电路。图 1.2.7 举例了二极管对小信号箝位和限幅的两个典型电路。

在图 1.2.7 (A) 中，D1 的功能是对场效应管的栅偏压进行箝位，使正弦波的正半周被限

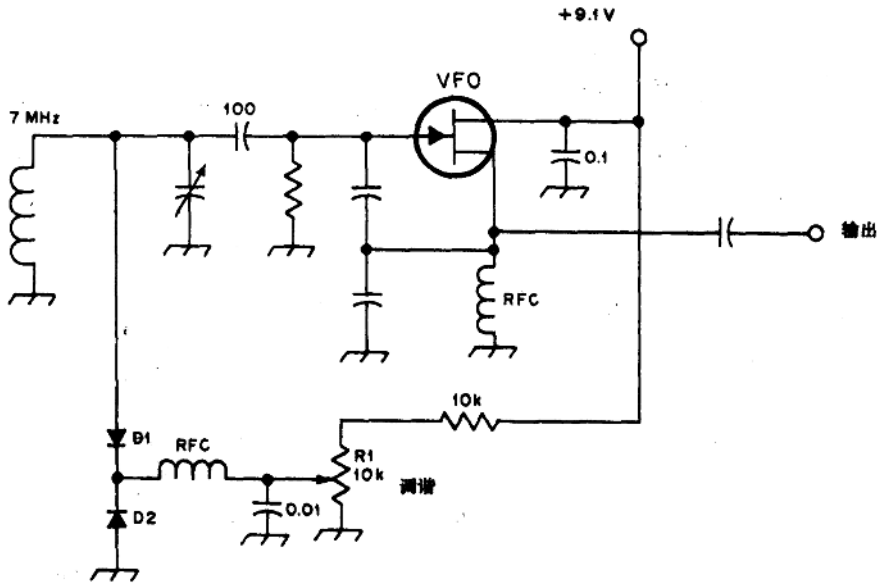


图 1.2.6 两个 1N914 二极管 D1 和 D2 构成频率可变振荡器的调谐回路

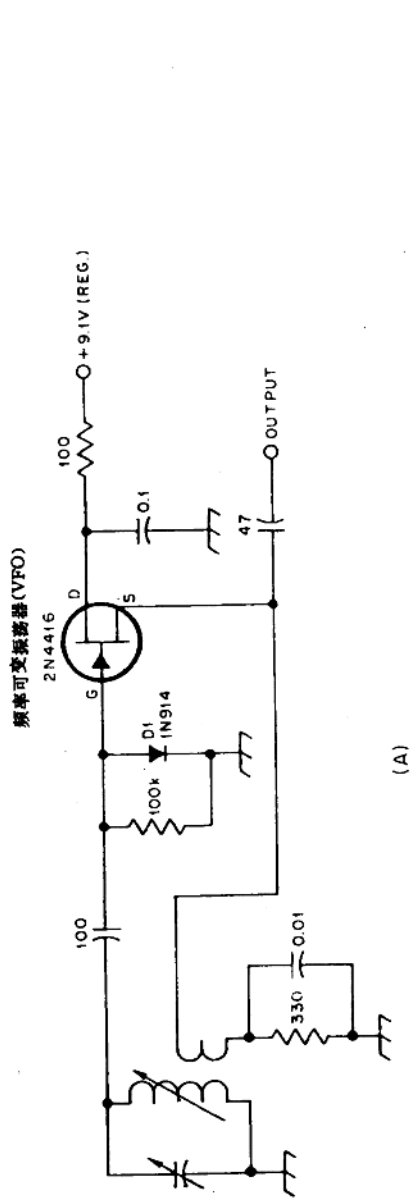
制在 0.7V 左右。在这里，D1 具有二个作用：一方面稳定了栅偏压；另一方面限制了场效应管在正半周工作期间的跨导。这些作用：限制了场效应管的结电容的变化；提高了振荡器的频率稳定度；大大减少了谐波电流的产生。

图 1.2.7 (B) 的线路展示了限幅器的一对二极管 D1 和 D2 背对背的连接方式。当音频放大器输出的信号通过它时，正弦波的正负峰值受到限幅。若限幅器使用锗二极管 (1N34A 两个)，则音频的幅度被限制在 0.3V。如果改用硅二极管 (两个 1N914)，则限幅值约为 0.7V。R1 用来控制限幅电平。音频正弦波经过限幅，波形将发生畸变，因此限幅器后面还要安装 RC 或 LC 音频滤波器。经过滤除谐波，使音频正弦波得到复原。

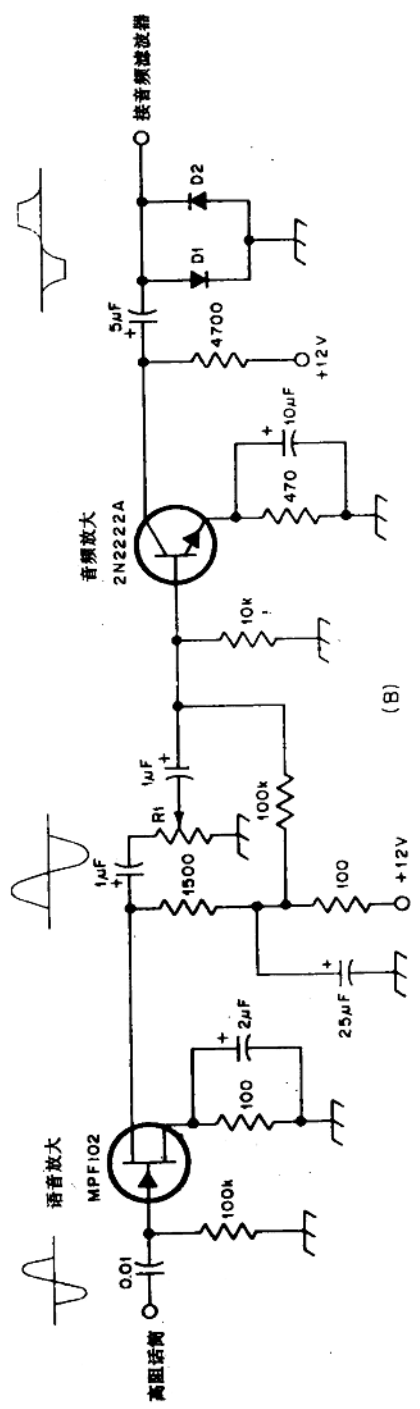
1.2.9 倍频二极管

在电路中，为了减少使用有源器件 (如，真空管和晶体管)，通常采用小信号二极管设计倍频器。二极管倍频器的主要缺点是信号损耗比有源倍频器大。在图 1.2.8 中，画出二种倍频器电路。图 (A) 的二极管倍频器可以获得奇数或偶数的倍频信号，然而效率低，因此，在大多数情况中，这种倍频电路后面都需要加放大器。L1 和 C1 谐振回路必须调谐在所需要的输出信号频率上。

在图 1.2.8 (B) 中展示的是另一种二极管二倍频器，它的功能类似全波整流电路，经过它的变换，输出信号频率增加一倍。从输入端到 D1 和 D2 的阴极输出端，这部分电路的损耗约为 40dB，为了减少倍频电路的损耗，在 L1 和 C1 谐振回路后面还要接上一个调谐放大器，因此整个倍频器的损耗约为 8dB。T1 环形三绕组宽带变压器的磁心采用直径为 1.27cm (0.5 英寸) 的铁氧体磁环 (导磁率为 125)。在三个绕组中，每个绕组的线圈为 10 匝左右。



(A)



(B)

图 1.2.7 二极管的钳位和限幅作用

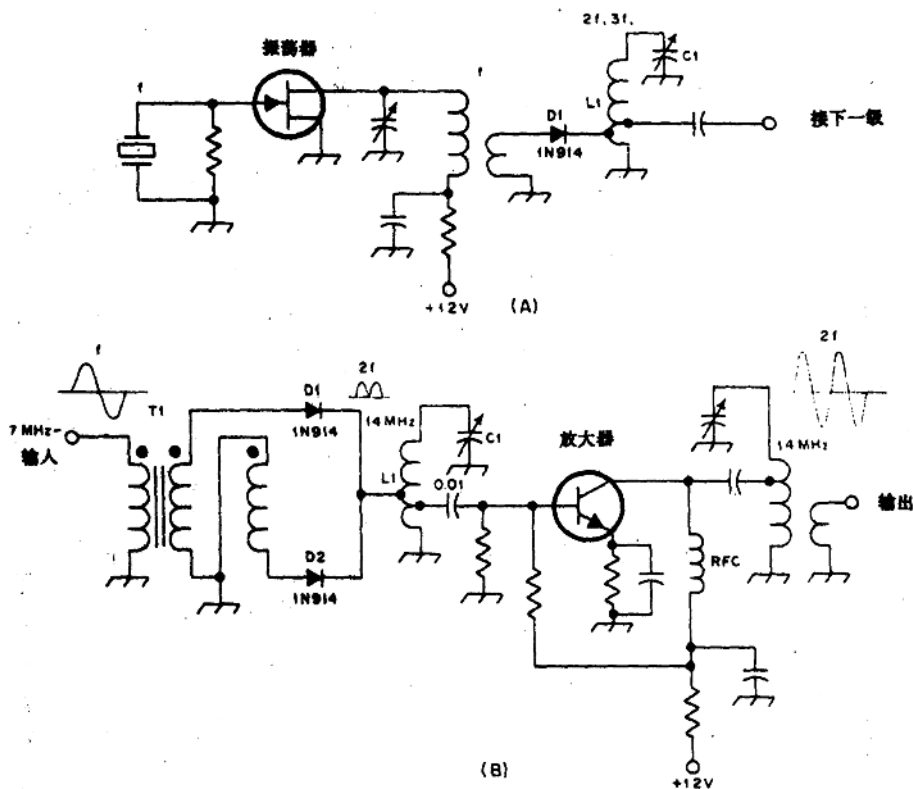


图 1.2.8 二极管倍频器

1.2.10 检波和混频二极管

用二极管构成检波器和混频器，具有三个特点：一是工作频率高，二是电路简单，三是信号处理能力强。设计检波器和混频器电路时，必须注意阻抗匹配问题。由于检波或混频过程，信号变换所产生的能量损耗约为 7dB，因此设计这些电路时，要选择好前一级放大器和本级检波器或混频器的噪声系数。

二极管检波器和混频器的重要优点是频带宽、动态范围大。对设计人员来说，一般喜欢使用热载流子二极管，然而，电路必须做好阻抗匹配。使用 1N914 型开关二极管也能够获得很好的效果。

图 1.2.9 画出了三种二极管检波器：(A) 是调幅检波器；(B) 是两个二极管的乘积检波器，其中 R1 和两个旁路电容起到滤除中频信号的作用，使电位器得到音频信号；(C) 是四个二极管的乘积检波器，T1 是三绕组宽频带变压器，其输入特性阻抗为 50Ω。为了使 (B) 和 (C) 两检波器的工作性能最好，要求拍频振荡器的注入信号电压峰-峰值必须在 8V~10V 之间。

典型二极管混频器电路如图 1.2.10 所示。当不考虑信号频率时，二极管乘积检波器也就

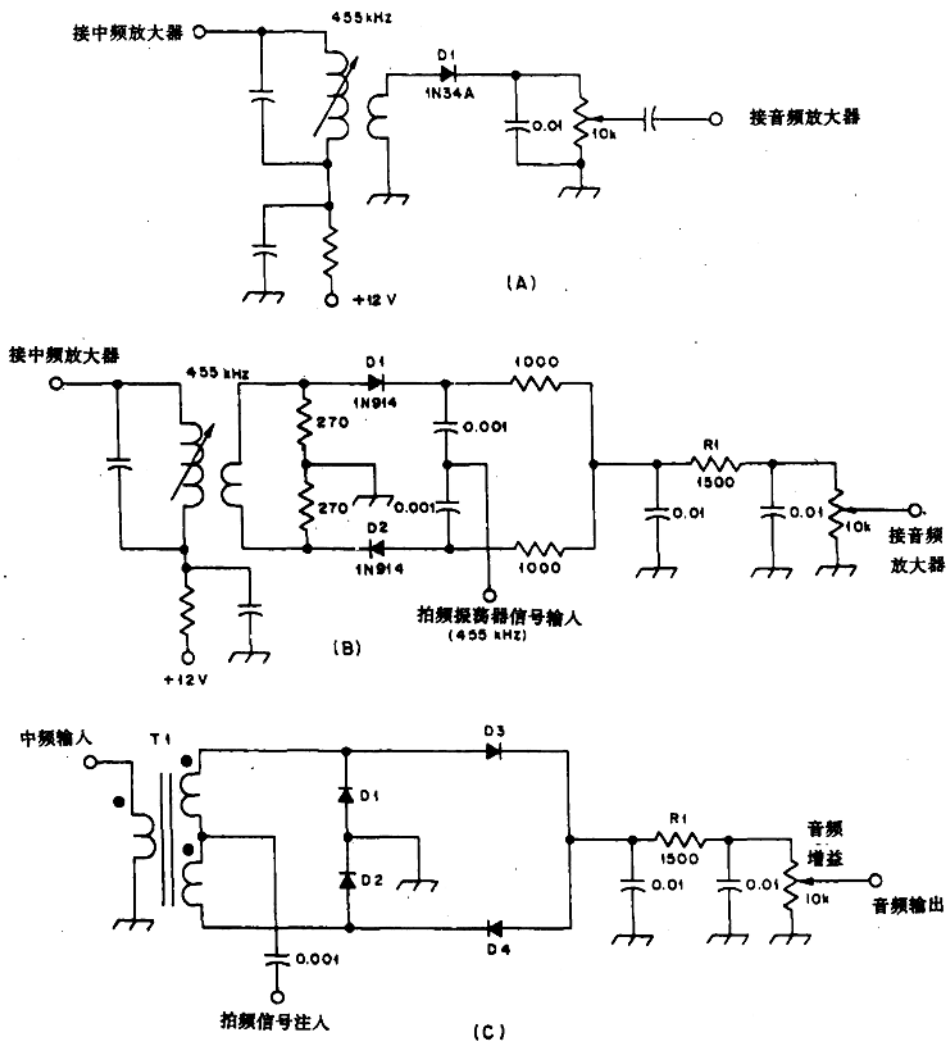


图 1.2.9 二极管检波器

是混频器。在图 1.2.10 中，(A) 和 (B) 称为平衡调制器，(C) 称为单平衡混频器，(D) 称为双平衡混频器。这四个电路中，二极管可以用热载流子二极管，也可以用 1N914 型开关硅二极管。

在图 1.2.10 (C) 和 (D) 中，为了平衡的目的，使用了 C1 和 C2 可调电容，这些电容也可以使用在 (A) 和 (B) 电路中。四个电路输出信号的大小决定于输入高频信号的能量。三绕组环形磁心变压器具有宽频带特性。

1.2.11 热载流子二极管

热载流子二极管 (HCD) 是半导体领域近年来发展出来的新产品，是一种金属-半导体多

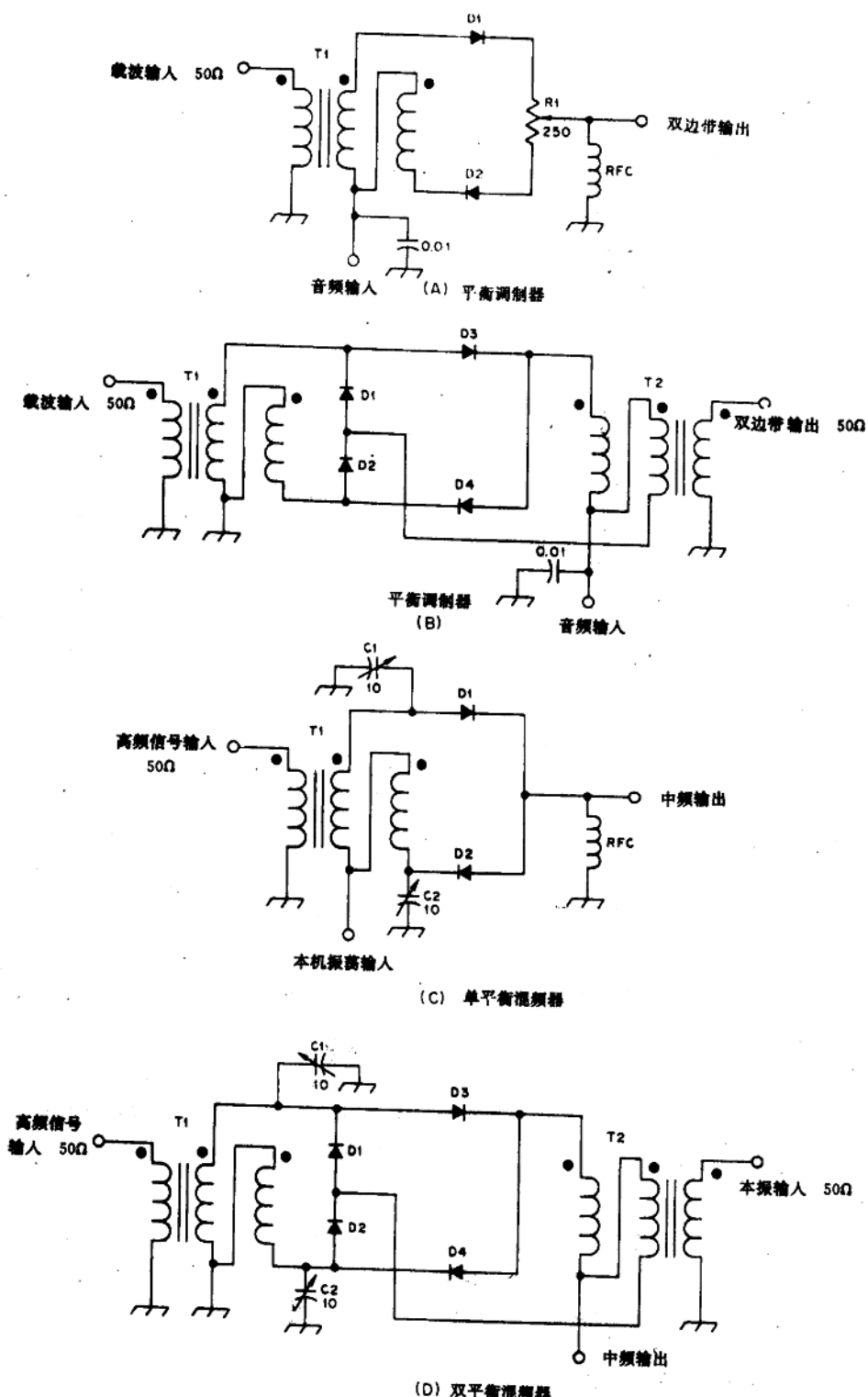


图 1.2.10 (A) 和 (B) 是平衡调制器；(C) 和 (D) 是平衡混频器