



实用模拟电路

原理与设计速成

何书森 陈晶 何华斌

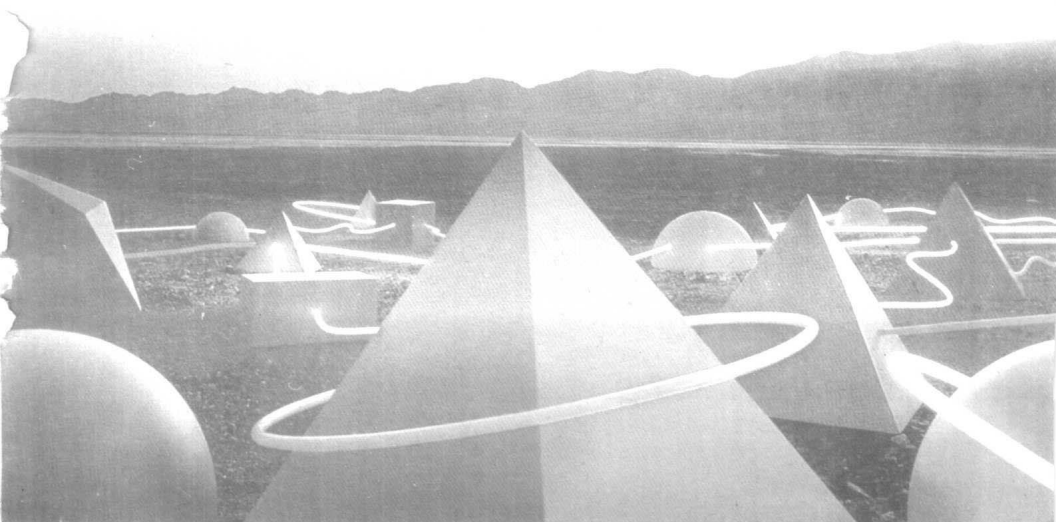
福建科学技术出版社



实用模拟电路

原理与设计速成

何书森 陈晶 何华斌
福建科学技术出版社



图书在版编目(CIP)数据

实用模拟电路原理与设计速成/何书森,陈晶,何华
斌编著. —福州:福建科学技术出版社,2002. 6
ISBN 7-5335-1960-4

I. 实… II. ①何…②陈…③何 III. ①模拟
电路—电路理论②模拟电路—电路设计 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 014697 号

书 名	实用模拟电路原理与设计速成
作 者	何书森 陈晶 何华斌
出版发行	福建科学技术出版社(福州市东水路 76 号,邮编 350001)
经 销	各地新华书店
排 版	福建科学技术出版社排版室
印 刷	三明地质印刷厂
开 本	850 毫米×1168 毫米 1/32
印 张	9.5
插 页	2
字 数	230 千字
版 次	2002 年 6 月第 1 版
印 次	2002 年 6 月第 1 次印刷
印 数	1—4 000
书 号	ISBN 7-5335-1960-4/TN·259
定 价	17.00 元

书中如有印装质量问题,可直接向本社调换

前 言

随着科学技术的迅速发展，电子技术的应用越来越普遍，目前已广泛渗透到各个领域的各行各业。因此，掌握一定的电子技术与应用技能，不仅是广大业余爱好者、各行各业工程技术工作者乃至技术工人的愿望，甚至成为他们从业中或多或少所必须具备的能力。一般的教科书追求理论描述的详尽与完美，本书则本着快速掌握、即学即用和实用易学的宗旨，采取理论从略、应用从详的原则，在简要说明了模拟电路的基本知识和基本理论之后，着重介绍一些实用的器件及设计方法，并列举了一些应用实例。

本书主要叙述模拟电路的一般原理及一些通用型模拟集成电路的应用，也介绍了部分特殊模拟集成电路的应用。本书的前四章主要介绍最基本的半导体器件、低频小信号交流放大电路、功率放大电路以及运算放大器的基本电路及分析方法，但在内容处理和叙述方法上采取了一些有别于其他书籍的做法，即着重于实用设计方法的讨论并列举了一些实例，力求思路更适于应用型初学者。第五章介绍在测控领域被广泛应用的仪用放大器，它是运算放大器应用的深入，内容较深，适合于已具有一定电子技术知识的测控领域工作者。第六章介绍在电子设备中被广泛应用的稳压集成电路。第七章介绍小信号谐振放大电路，在一般的电子技术基础读物中未收入这部分内容。第八章介绍一些诸如锁相环、双音多频编解码等特殊集成电路，并通过举例说明它们的基本应用方法。本书各章均配有具体应用例子，有助于提高读者的应用能力。

与本书同系列的还有《实用数字电路原理与设计速成》(该书获 2001 年华东地区科技出版社优秀科技图书二等奖)、《实用遥控电路原理与设计速成》等。

本书可适应不同层次的读者,既可作为初学者的读物,也可作为已经具备一些电子技术基础的电子爱好者进一步学习的资料,还可供各类理工科学生以及从事电子技术应用的技术人员作为参考或资料。

限于笔者水平和时间,书中疏漏乃至错误恐所难免,敬请广大读者批评指正。

编者著

2002 年 1 月

目 录

第一章 基本半导体器件 (1)

第一节 PN 结与半导体二极管 (1)

一、半导体的导电特性 (1)

二、PN 结的形成及其导电特征 (2)

三、半导体二极管 (3)

四、用万用表测量半导体二极管 (7)

五、半导体二极管的基本应用 (8)

六、特殊二极管 (16)

第二节 半导体三极管 (20)

一、结构与特性 (20)

二、用万用表测量半导体三极管 (26)

三、共发射极接法的输入输出特性 (29)

四、电流放大系数 β 的测量 (32)

五、半导体三极管替换使用原则 (33)

第二章 基本交流放大电路 (35)

第一节 共发射极交流放大电路 (35)

一、基本电路组成 (35)

二、静态工作点的选择 (37)

第二节 放大器的动态工作过程与性能参数 (38)

一、动态工作过程	(38)
二、非线性失真	(40)
三、主要性能参数	(41)
第三节 克服温度影响的措施	(46)
一、温度对放大器性能的影响	(46)
二、减小温度影响的典型电路	(47)
第四节 多级阻容耦合放大器	(52)
一、多级放大器的级间耦合方式	(52)
二、多级阻容耦合放大器的设计	(53)
三、放大倍数的分贝表示法	(55)
第五节 放大电路中的负反馈	(56)
一、反馈的类型	(57)
二、反馈类型的实用判别方法	(57)
三、负反馈对放大器性能的影响	(63)
第六节 射极输出电路	(64)
一、静态工作点的计算	(64)
二、主要性能参数的计算	(64)
三、主要用途	(65)
第七节 多级放大电路应用	(67)
一、简易助听器电路	(67)
二、水塔抽水自动控制电路	(68)
三、漏电保护电路	(70)

第三章 功率放大电路..... (73)

第一节 功能与特点	(73)
第二节 变压器耦合推挽功率放大电路	(74)
第三节 互补对称功率放大电路	(77)

一、OTL 互补对称功率放大电路	(77)
二、OCL 互补对称功率放大电路	(83)
三、实用互补对称功率放大电路	(84)
第四节 集成功率放大电路	(87)
一、D2006 集成音频功放应用电路	(87)
二、TDA2003 集成功放应用电路	(93)
三、LM386 集成功放应用电路	(93)
第五节 功率管的散热问题	(94)

第四章 集成运算放大电路

第一节 基本组成与性能指标	(95)
一、基本组成	(95)
二、封装与引脚	(96)
三、主要性能指标	(98)
第二节 基本分析方法	(101)
一、主要特点	(101)
二、分析集成运放的基本法则	(101)
三、典型基本运算放大电路	(103)
第三节 通用型集成运算放大器应用	(110)
一、在测量方面的应用	(110)
二、在信号处理方面的应用	(114)
三、应用实例	(146)
四、单电源应用	(148)
第四节 集成运放应用中应注意的问题	(149)
一、运算放大器的选择	(149)
二、无源元件的选择	(151)
三、消振和调零	(154)

四、保护措施.....	(157)
五、抑制干扰与噪声.....	(158)
六、误差.....	(163)
七、调试中应注意的问题.....	(164)
第五章 仪用放大器	(166)
第一节 常用仪用放大器.....	(167)
一、通用型仪用放大器.....	(167)
二、增益可编程仪用放大器.....	(172)
三、单电源差分仪用放大器.....	(175)
四、斩波自稳零仪用放大器.....	(177)
第二节 使用注意事项.....	(182)
第三节 应用举例.....	(185)
一、重量测量电路.....	(185)
二、热电偶温度精密测量电路.....	(186)
第六章 集成稳压器件及集成稳压电源	(191)
第一节 WB724 输出可调集成稳压器	(192)
一、过流保护应用.....	(193)
二、扩大电流应用.....	(194)
第二节 W723/LM723 输出可调集成稳压器	(196)
一、基本应用.....	(196)
二、扩大输出电流应用.....	(198)
第三节 W611、W616 高精度集成稳压器	(198)
一、W611 正输出集成稳压器	(199)
二、W616 负输出集成稳压器	(201)
三、正负双路稳压输出电路.....	(203)

第四节 W7800、W7900 系列三端固定输出集成稳压器 …	(203)
---------------------------------	-------

一、W7800 系列三端固定正输出集成稳压器 ……	(204)
---------------------------	-------

二、W7900 系列三端固定负输出集成稳压器 ……	(210)
---------------------------	-------

三、正负对称输出稳压电路……………	(211)
-------------------	-------

第五节 W117 系列、W137 系列三端可调输出集成稳压器 ……………	(212)
---	-------

第六节 开关型稳压电源……………	(216)
------------------	-------

第七章 小信号谐振放大器 …………… (221)

第一节 谐振电路……………	(223)
---------------	-------

第二节 分散选频小信号谐振放大器……………	(225)
-----------------------	-------

第三节 集中选频小信号谐振放大器……………	(228)
-----------------------	-------

第四节 应用举例……………	(231)
---------------	-------

一、超声波测距电路……………	(231)
----------------	-------

二、收音机电路……………	(236)
--------------	-------

三、电容感应式防盗报警电路……………	(240)
--------------------	-------

第八章 特殊功能器件 …………… (244)

第一节 有效值测量单片集成电路……………	(244)
----------------------	-------

一、交流电压(有效值)测量电路……………	(245)
----------------------	-------

二、便携式分贝表……………	(247)
---------------	-------

第二节 双音多频集成电路……………	(249)
-------------------	-------

一、电话拨号应用……………	(249)
---------------	-------

二、数据传输应用……………	(255)
---------------	-------

三、MT8880 应用……………	(260)
------------------	-------

第三节 锁相环(PLL)集成电路……………	(270)
-----------------------	-------

一、基本组成.....	(270)
二、560 系列	(271)
三、CD4046	(273)
四、应用举例.....	(276)
附录一 常用三极管特性参数	(284)
附录二 常用二极管特性参数	(292)
附录三 部分集成电路功能引脚	(295)

第一章 基本半导体器件

第一节 PN 结与半导体二极管

一、半导体的导电特性

1. 本征半导体

所谓半导体，是指导电能力介于导体和绝缘体之间的那些物质，例如硅、锗、硒以及许多金属氧化物和硫化物。但它们中能够被用于制作半导体器件的却只有一部分，这些半导体的特点是：在不同的条件下导电能力有很大的不同。例如，有些半导体对温度的反应特别敏感，温度变化时其导电能力会有很大变化，利用这种特性我们可以制作热敏元件用于温度自动检测；某些半导体受光照时导电能力会有很大变化（增强），利用这种特性我们可以制作光敏元件用于光检测。

使用最多的半导体材料是硅和锗。取自于自然界的硅或锗，必须经过一系列的加工才能形成可被应用的半导体器件。加工的第一步是设法将它们提纯，形成纯净的、原子结构排列整齐的晶体，称为单晶体或本征半导体。

本征半导体仅具有微弱的导电能力，当在其两端加上外电压时，由电子电流和空穴电流共同构成微弱的电流，由于参与形成电流的电子与空穴数目相同，故通常称之为“电子-空穴对”。“电子-空穴对”是本征半导体的“载流子”（运载电流的粒子）。

2. P 型半导体和 N 型半导体

半导体硅或锗有一种重要特性，即若在本征硅或本征锗中掺入少量的其他元素(称为杂质)，则会使它们的导电能力大大增强。在得到了本征半导体之后，还要继续加工才能得到可供使用的半导体器件，加工的步骤就是掺入杂质(简称掺杂)。

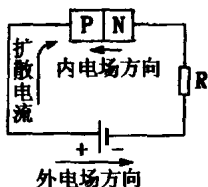
掺杂可分为两类。一类是在本征硅或本征锗中掺入化合价高一价的元素，例如磷元素(硅、锗的化合价为 4 价，其原子结构的最外层轨道上有 4 个电子；磷元素的化合价为 5 价，其原子结构的最外层轨道上有 5 个电子)，则形成了 N 型半导体。N 型半导体有较强的导电能力，其中参与运载电荷的粒子主要是自由电子，称之为多数载流子，其次是少量的空穴，称之为少数载流子。由于多数载流子是电子，因此 N 型半导体又称为电子型半导体。另一类是在本征硅或本征锗中掺入化合价低一价的元素，例如硼，则形成了 P 型半导体。P 型半导体也有较强的导电能力，其多数载流子是空穴，而电子成为少数载流子，因此也称为空穴型半导体。

二、PN 结的形成及其导电特征

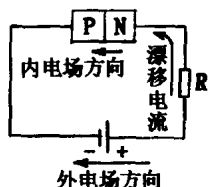
将一块 P 型半导体和一块 N 型半导体紧靠在一起，在两者的交界面会出现一种称为“扩散”的现象，其实质是多数载流子的运动。扩散运动的结果使两块半导体的交界处生成一个电荷区，从而形成一个内在的电场，称为内电场。内电场会阻碍扩散的进一步进行，同时形成一种称为“漂移”的现象。漂移是由少数载流子的运动形成的，它与扩散相矛盾，因此扩散现象只能局限于交界处的部分区域，电荷区也只在交界处的有限范围内，该电荷区即 PN 结。当然，在实际制作过程中，并不是简单地将一块 P 型半导体和一块 N 型半导体紧靠在一起就能形成 PN 结，而是在同一半导体基片上，采用不同的手段同时制成一个 P 区和一个 N 区，

从而使两区的交界处生成一个 PN 结。

PN 结具有单向导电性,这是 PN 结最重要的特性。如图 1-1 (a) 所示,PN 结的 P 区一端接外电源的正极, N 区一端接负极,这种接法称为 PN 结加正向电压或



(a) PN 结接正向电压



(b) PN 结接反向电压

图 1-1 PN 结接电源的情况

称 PN 结正向偏置 (简称正偏)。由图 (a) 可知,外部电场的方向与内部电场的方向相反,使内电场强度削弱,这使原本已达到平衡的扩散与漂移这一对矛盾体失去平衡,由多数载流子形成的扩散运动增强,形成了较大的扩散电流 (称正向电流),正向电流的大小取决于外加电压的大小以及回路内的电阻 R ,这种状况称为 PN 结正向导通。

如图 1-1 (b) 所示,PN 结的 P 区一端接外电源的负极, N 区一端接正极,称 PN 结加反向电压或 PN 结反向偏置 (简称反偏)。由图 (b) 可知,外部电场的方向与内部电场的方向相同,这使内部电场进一步加强,使扩散运动受到更进一步的阻碍,而漂移运动增强。但由于漂移运动是由少数载流子形成的,少数载流子数目之少,使回路里仅能产生极微小的反向漂移电流 (称为反向饱和电流),这种状况称为 PN 结反向截止。

三、半导体二极管

1. 基本结构

将 PN 结用外壳封装,并从 P 区和 N 区分别引出一根引脚,就成为半导体二极管。二极管封装壳体一般有玻璃外壳、塑料外壳和金属外壳 3 种,大功率二极管为获得良好的散热条件,一般

采用金属外壳封装，而小功率二极管通常采用玻璃或塑料封装。

半导体二极管若根据材料的不同来分类，可分为锗二极管和硅二极管，锗二极管具有较小的导通管压降和较大的反向漏电流，硅二极管则反之；若根据结构方式的不同来分类，可分为点接触型和面接触型，面接触型可以通过较大电流，常用于低频整流等目的，而点接触型只能通过较小电流，但因其结电容小，因而高频性能较好。

半导体二极管的规定符号如图 1-2 所示，二极管的正极（又称阳极）与 PN 结的 P 区对应，负极（又称阴极）与 PN 结的 N 区对应。在画电路图

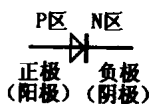


图 1-2 半导体二极管的符号

2. 伏安特性

所谓“伏”指的是电压，“安”指的是电流，二极管的伏安特性是指二极管两端的电压与流过二极管的电流之间的对应关系，这种关系可以用函数关系式表示，也可以用表格表示，还可以用坐标平面上的曲线来表示。二极管的伏安特性一般使用曲线表示法，具有直观、清晰的特点。

图 1-3 为典型硅二极管的伏安特性曲线，横坐标 U_D 表示二极管两端的电压，纵坐标 I_D 表示流过二极管的电流。该曲线具有以下特点：

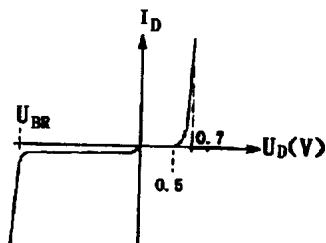


图 1-3 半导体二极管的伏安特性曲线

(1) 死区。图 1-3 第一象限内的曲线是二极管的正向伏安特性曲线，该段曲线大致可以分为两部分，即死区和正向导通区。图中 U_D 约

小于 0.5V 的部分，特点是纵坐标值 $I_D = 0$ ，表明虽在二极管两端加了正向电压，但二极管却并未导通，所以这部分称为“死区”，

该图中 0.5V 这个值为二极管的死区电压或称“阈电压”。锗二极管的阈电压大约为 0.1V 。

(2) 正向导通区。从 0.5V 处起，曲线开始向上弯曲，并随着 U_D 的微小增加，电流 I_D 很快地增大，曲线几乎平行于纵坐标。该区是二极管的正向导通区，二极管导通后，其两端的电压大约固定为 0.7V 左右，且基本不随流过二极管的电流的改变而改变，该电压称为二极管的导通管压降。锗二极管的导通管压降大约为 0.2V 左右。

(3) 反向截止区。图 1-3 第三象限内的曲线为二极管的反向伏安特性曲线，大致也可以分为两部分，即反向截止区和反向击穿区。平行且十分靠近横坐标的那部分，尽管横坐标值由小增大，但纵坐标值始终极小（硅管大约在几微安以内，锗管在几十微安以内），表明流过二极管的反向电流不随加在其两端反向电压的增加而增加，这部分称为二极管的反向截止区。

(4) 反向击穿区。当横坐标值（即二极管两端的反向电压）升高到一定值（记为 U_{BR} ）时，曲线发生转折，猛然掉头向下，流过二极管的反向电流剧增，而二极管两端的反向电压不再增加，这部分称反向击穿区， U_{BR} 称反向击穿电压，该电压值通常在几十伏至几千伏。普通二极管不允许工作在击穿区，一旦被击穿就可能造成永久性的损坏，这时二极管就不再具有单向导电性，而与一根导体没有什么区别。

3. 主要参数

了解元器件的参数是正确选用元件并保证其能够在电路中长期可靠工作的基本条件。半导体二极管有许多项参数，对于低频电路中的普通应用，其最主要的参数有以下两项：

(1) 最大整流电流 I_F ：指二极管长期运行所允许通过的最大正向平均电流，由 PN 结的面积以及散热条件所决定，使用中若超

过该值,二极管可能会因PN结过热而损坏,所以该参数是二极管使用时的电流定额。

(2)最高反向工作电压 U_{RM} :该参数是二极管使用时的电压额定值,指二极管使用时保证不被击穿所允许加在其两端的最高反向电压。注意,该参数不是图1-3中的反向击穿电压 U_{BR} ,一般规定最高反向工作电压为反向击穿电压的一半。

4. 国产半导体二极管的命名方式

国家标准(GB249-74)规定,国产半导体器件的型号由五部分组成。第一部分用阿拉伯数字表示器件电极的数目:2——二极管,3——三极管;第二部分用汉语拼音字母表示器件的材料和极性:A——N型锗材料,B——P型锗材料,C——N型硅材料,D——P型硅材料;第三部分用汉语拼音字母表示器件的类型用途:P——普通管,V——微波管,W——稳压管,C——参量管,Z——整流管,L——整流堆,S——隧道管,N——阻尼管,U——光电器件,K——开关管;第四部分用数字表示序号,也可以理解为参数的分档;第五部分是汉语拼音字母,表示规格,也可以理解为是对同一类型元件参数的进一步细分。

5. 二极管的选用原则

(1)极限参数应大于器件在实际使用中可能遇到的值,例如最大整流电流、最高反向电压、最高工作频率、最高结温等,并应留有一定余量。

(2)选用反向电流小的管子。

(3)硅管具有反向耐压高、反向电流小、耐温性能好等特点,应作为首先考虑的对象。

(4)要求阈电压小、正向导通管压降小时,应选用锗材料管。

(5)导通电流较大时宜选用面接触型管,而工作频率较高时宜选用点接触型管。