



电子爱好者必读开悟书

从零开始学 模拟电路

刘建清 主编 陶柏良 范军龙 编著

电路
+
元器件

原理 特性 识图 应用 检测 仿真



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

从零开始学 模拟电路

刘建清 主编 陶柏良 范军龙 编著

电路
+
元器件

RFID

人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

从零开始学模拟电路 / 刘建清主编 ; 陶柏良, 范军龙编著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2019.9
ISBN 978-7-115-51311-3

I. ①从… II. ①刘… ②陶… ③范… III. ①模拟电路—基本知识 IV. ①TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第094203号

内 容 提 要

这是一本专门为模拟电路初学者“量身定做”的“傻瓜型”教材,本书采用新颖的讲解形式,深入浅出地介绍了模拟电路的相关知识,主要包括二极管电路、三极管放大电路、场效应管放大电路、功率放大电路、集成放大电路、电源电路、正弦波振荡电路和高频电路等。最后,结合仿真软件,对书中的重点内容进行了实验和验证。

全书语言通俗、重点突出、图文结合,具有较强的针对性和实用性。本书适合电子初学者、无线电爱好者阅读,也可作为中等职业院校、中等技术学校相关专业的教材。



- ◆ 主 编 刘建清
编 著 陶柏良 范军龙
责任编辑 黄汉兵
责任印制 彭志环
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
固安县铭成印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 15.25 2019年9月第1版
字数: 340千字 2019年9月河北第1次印刷

定价: 59.00 元

读者服务热线: (010)81055493 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广登字 20170147号

模拟电路是是一门重要的基础平台课程，尽管数字化是当今技术的重点，但模拟电路仍具有不可替代的作用。模拟电路内容庞杂，概念性强，分析方法多，初学者倍感入门难。为了帮助读者学好这门基础课，我们组织编写了这本入门读物。

本书写作的出发点是不讲过深的理论知识，不涉及高等数学方面的公式，力求做到理论和应用相结合，循序渐进、由浅入深、通俗实用，以指导初学者快速入门、步步提高、逐渐精通，使初学者能够在较短的时间内学好这门课程。

按照由浅入深、循序渐进的写作宗旨，本书主要介绍了如下内容：二极管电路、三极管放大电路、场效应管放大电路、功率放大电路、集成运算放大电路、电源电路、正弦波振荡电路和高频电路。最后，结合仿真软件，对书中的重点内容进行了实验和验证。

本书具有较强的针对性和实用性，内容新颖、资料翔实、通俗易懂，同时，考虑到初学者使用方便，对基本概念和电路均做了分类和总结。

参加本书编写工作的还有宗军宁、刘水潺、宗艳丽等同志。由于编著者水平有限，书中疏漏之处难免，诚恳希望各位同行、读者批评指正。

编者

2019年4月

我们处在一个知识爆发的新时代，新产品、新技术层出不穷，电子技术发展更是日新月异。当你对妙趣横生的电子世界产生兴趣时，首先会想到的是找一套适合自己学习的电子方面的图书来阅读，“从零开始学电子”丛书正是为了满足零起点入门的电子爱好者学习需要而写的，全套丛书共有如下6册。

《从零开始学电工电路》

《从零开始学电动机、变频器和 PLC》

《从零开始学电子元器件识别与检测》

《从零开始学模拟电路》

《从零开始学数字电路》

《从零开始学 51 单片机 C 语言》

和其他电子技术类图书相比，本丛书具有以下特点。

内容全面，体系完备。本丛书给出了电子爱好者学习电子技术的全方位解决方案，既有初学者必须掌握的电工电路、模拟电路、数字电路等基础理论，又有电子元器件检测、电动机维修等操作性较强的内容，还有变频器、PLC、51 单片机、C 语言等软硬件结合方面的综合知识。

内容翔实，覆盖面广。学好本丛书内容，读者不但能轻松读懂有关电子科普类的杂志，稍加实践，还能成为本行业的行家里手。

通俗易懂，重点突出。传统的图书和教材在介绍电路基础和模拟电路等内容时，大都借助于高等数学这一工具进行分析，电子爱好者自学电子技术时，必须先学高等数学，再学电路基础，门槛很高，大多数电子爱好者因此失去了学习的热情和兴趣。为此，本丛书在编写时，完全考虑到了初学者的需要，既不讲难懂的理论，也不涉及高等数学方面的公式，尽可能地把复杂的理论通俗化，将烦琐的公式简易化，再辅以简明的分析、典型的实例。这构成了本丛书的一大亮点。

实例典型，实践性强。本丛书最大限度地强调了实践性，书中给出的例子大多经过了验证，可以实现，并且具有代表性。本丛书中的单片机实例均提供有源程序，并给出实验方法，以便读者学习和使用。

内容新颖，风格活泼。本丛书所介绍的都是电子爱好者最为关心并且在业界获得普遍认同的内容。丛书的每一本都各有侧重，又互相补充，论述时疏密结合，重点突出，不拘一格。对于重点、难点和容易混淆的知识，书中还用专用标识进行了标注和提示。

把握新知，结合实际。电子技术发展日新月异，为了适应时代的发展，本丛书还对电子技术的新知识进行了详细的介绍；丛书涉及的应用实例都是编著者开发经验的提炼和总结，相信一定会给读者带来很大的帮助。在讲述电路基础、模拟和数字电子技术时，书中还专门安排了软件仿真实验，实验过程非常接近实际操作的效果。仿真软件不但提供了丰富的分立

元件、集成电路等，还提供了丰富的调试测量工具：电压表、电流表、示波器、指示器、分析仪等。仿真软件是一个全开放性的仿真实验平台，给读者提供了一个完备的综合性“实验室”，可以在任意组合的实验环境中搭建实验。电子爱好者通过实验，将学习变得生动有趣，加深对电路理论知识的认识，一步一步地走向电子制作和电路设计的殿堂。

总之，对于需要学习电子技术的电子爱好者而言，“从零开始学电子”丛书不失为一个良好的选择。该丛书一定能给您耳目一新的感觉，当您认真阅读后将发现，无论是您所读的书，还是读完书的您，都有所不同。

第 1 章 二极管，用处多.....1

- 1.1 “五问” 半导体1
 - 1.1.1 什么是导体、绝缘体和
半导体.....1
 - 1.1.2 什么是半导体的热敏、光敏和
掺杂特性.....2
 - 1.1.3 什么是 N 型和 P 型半导体.....2
 - 1.1.4 什么是 PN 结2
 - 1.1.5 什么是 PN 结的单向导电性.....3
- 1.2 二极管功能.....3
 - 1.2.1 普通二极管3
 - 1.2.2 稳压二极管9

第 2 章 用三极管放大信号.....13

- 2.1 何谓三极管.....13
 - 2.1.1 半导体三极管的结构.....13
 - 2.1.2 三极管的工作电压.....14
 - 2.1.3 三极管的电流分配关系.....15
 - 2.1.4 三极管的输入输出特性
曲线.....16
 - 2.1.5 晶体三极管的主要技术
参数.....19
- 2.2 共发射极放大电路.....21
 - 2.2.1 放大电路的技术指标.....21
 - 2.2.2 共发射极放大电路简明
分析.....24
 - 2.2.3 工作点的稳定.....26
- 2.3 共集电极和共基极放大电路.....28
 - 2.3.1 共集电极放大电路简明分析.....28
 - 2.3.2 共基极放大电路简明分析.....29
- 2.4 多级放大电路.....30
 - 2.4.1 多级放大电路概述.....30

- 2.4.2 阻容耦合多级放大电路简明
分析.....30
- 2.4.3 变压器耦合多级放大电路
简明分析.....31
- 2.4.4 直接耦合多级放大电路简明
分析.....32
- 2.4.5 放大电路的频率响应.....35
- 2.5 放大电路的正反馈与负反馈.....37
 - 2.5.1 反馈电路简明分析.....37
 - 2.5.2 负反馈对放大电路的影响.....40
 - 2.5.3 负反馈放大电路的自激及
校正.....42
 - 2.5.4 放大电路综合分析.....44

第 3 章 用场效应管放大信号.....46

- 3.1 场效应管简介.....46
 - 3.1.1 场效应管概述.....46
 - 3.1.2 结型场效应管.....47
 - 3.1.3 绝缘栅场效应管.....48
 - 3.1.4 场效应管的主要参数.....52
 - 3.1.5 场效应管与晶体三极管的
区别.....53
- 3.2 场效应管放大电路.....54
 - 3.2.1 共源极放大器.....54
 - 3.2.2 共漏极放大电路（源极输
出器）.....56

第 4 章 集成电路.....57

- 4.1 集成电路基本知识.....57
 - 4.1.1 集成电路的分类及特点.....57
 - 4.1.2 集成运放的基本组成.....59
- 4.2 集成运放及其应用.....66

4.2.1	基本运放电路	66
4.2.2	集成运放的应用	72
4.2.3	集成运放使用中应注意的几个问题	79

第5章 信号功率的提升 81

5.1	功率放大电路概述	81
5.1.1	甲类、乙类、甲乙类和丙类功率放大器	81
5.1.2	最大输出功率和效率	83
5.1.3	定阻式和定压式输出	83
5.2	常见功率放大电路	84
5.2.1	OTL 功率放大电路	84
5.2.2	OCL 功率放大电路	87
5.2.3	BTL 功率放大电路	89

第6章 丰富多彩的正弦波振荡电路 93

6.1	电磁振荡	93
6.1.1	电磁振荡的产生	93
6.1.2	振荡过程	94
6.1.3	电磁振荡的周期和频率	95
6.1.4	无阻尼振荡和阻尼振荡	95
6.1.5	LC 串联谐振	96
6.1.6	LC 并联谐振	98
6.2	正弦波振荡电路组成和工作过程	99
6.2.1	正弦波振荡电路的组成	99
6.2.2	产生正弦波振荡的条件	100
6.2.3	振荡电路的工作过程	100
6.3	正弦波振荡电路分析	100
6.3.1	电感三点式正弦波振荡器	100
6.3.2	电容三点式振荡电路	103
6.3.3	石英晶体振荡电路	106
6.3.4	RC 正弦波振荡器	111
6.3.5	变压器耦合正弦波振荡器	115

第7章 身边的无线电 117

7.1	无线电基本知识	117
7.1.1	无线电常用概念	117
7.1.2	无线电通信系统的组成	121

7.1.3	调幅与解调 (检波)	125
7.1.4	调频与解调 (鉴频)	130
7.1.5	射频调制器介绍	135

7.2 高频放大电路 137

7.2.1	高频放大电路概述	137
7.2.2	非调谐高频放大电路	145
7.2.3	调谐高频放大电路	147
7.2.4	高频功率放大器	156

7.3 自动频率控制和频率合成技术 160

7.3.1	自动频率控制技术	160
7.3.2	频率合成技术	162

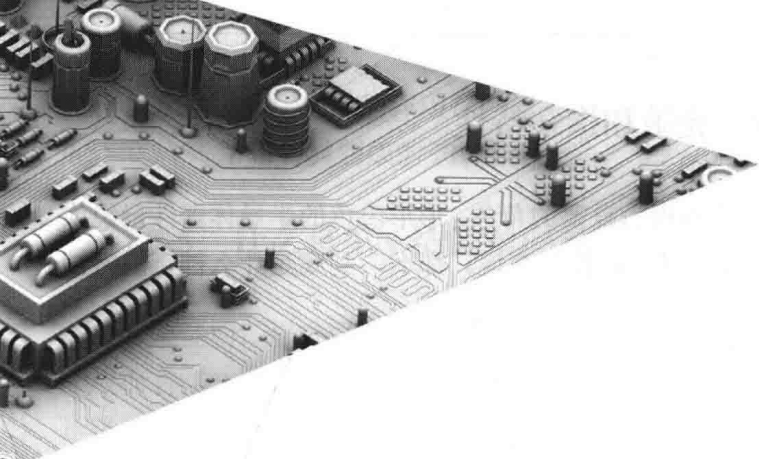
第8章 电源电路知多少 165

8.1	简单的直流稳压电源	165
8.1.1	简单的直流稳压电源概述	165
8.1.2	整流电路	166
8.1.3	滤波电路	177
8.1.4	硅稳压管稳压电路	182
8.1.5	串联型稳压电路	182
8.1.6	集成稳压器稳压电路	186
8.2	开关电源	187
8.2.1	开关电源的特点	187
8.2.2	开关电源的分类	188
8.2.3	串联型开关电源基本组成及工作原理	191
8.2.4	并联型开关电源基本组成及工作原理	192
8.2.5	开关电源的进展	194
8.3	逆变电源和 LED 驱动电源	197
8.3.1	逆变电源	197
8.3.2	LED 驱动电源	201
8.4	交流稳压电源和 UPS	205
8.4.1	交流稳压电源	205
8.4.2	UPS 简介	208

第9章 模拟电路的检测及示波器简介 211

9.1	模拟电路的检测	211
-----	---------	-----

9.1.1	模拟电路的检测技巧	211	10.1.4	二极管整流滤波电路 仿真	221
9.1.2	模拟电路的检测方法	214	10.1.5	三极管和场效应管基本 特性仿真	224
9.2	示波器简介	217	10.1.6	三极管放大电路仿真	225
第 10 章	模拟电路仿真软件	218	10.1.7	场效应管放大电路 仿真	228
10.1	Edison 仿真软件的使用	218	10.1.8	有源滤波电路仿真	229
10.1.1	Edison 简介	218	10.2	Multisim 仿真软件的使用	232
10.1.2	Edison 的基本操作	219			
10.1.3	电路图编辑器	220			



第1章

二极管，用处多

半导体器件具有体积小、质量轻、寿命长、工作可靠等优点，在电子技术领域中得到了广泛的应用。半导体器件种类很多，如二极管、三极管、场效应管、可控硅等，本章只介绍最简单的半导体器件——二极管，并对二极管常见电路进行系统的分析。

| 1.1 “五问” 半导体 |

1.1.1 什么是导体、绝缘体和半导体

自然界中的各种物质，根据其导电能力的差别，可以分为导体、绝缘体和半导体三大类。容易导电的物体叫作导体，铜、银、铝、石墨以及酸、碱、盐的水溶液等都是导体。相应地，不容易导电的物体叫作绝缘体，橡胶、玻璃、陶瓷、塑料、云母、油等都是绝缘体。电线的芯线是用金属做的，因为金属是导体，容易导电；电线的芯线外面包上一层绝缘体——橡胶或塑料，能够防止漏电。

导体和绝缘体之间没有绝对的界限，绝缘体并非绝对不导电，只是它的电阻率很大。在室温下，金属导体的电阻率一般为 $10^{-8} \sim 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ ，绝缘体的电阻率一般为 $10^8 \sim 10^{18} \Omega \cdot \text{m}$ ，长为 1m、横截面面积为 $1 \times 10^{-4} \text{m}^2$ 的一段绝缘体，两端加 1V 电压，通过的电流为 $10^{-14} \sim 10^{-4} \text{A}$ 。可见通过电流的数值是多么微小了。

有些材料的导电性能介于导体和绝缘体之间，而且电阻不随温度的增加而增加，反而随温度的增加而减小，这种材料称为半导体。半导体的电阻率为 $10^{-5} \sim 10^6 \Omega \cdot \text{m}$ 。

单纯从导电性能来看，半导体既不能很好地传导电流，又不能可靠地隔绝电流，所以它在电工和电子技术领域中曾长期受到冷遇。直到 1948 年晶体管的出现，人们才发现半导体的许多奇妙而可贵的特性，也正是半导体器件的应用引发了电子学领域的第二次革命。

在电子器件中，常用的半导体材料包括：元素半导体，如硅（Si）、锗（Ge）等；化合物半导体，如砷化镓（GaAs）等；掺杂或制成其他化合物半导体材料，如硼（B）、磷（P）、镓（In）和锑（Sb）等。

1.1.2 什么是半导体的热敏、光敏和掺杂特性

“半导体”在现代电子技术领域中扮演着极为重要的角色，形形色色的半导体器件已经成为电子设备的心脏，无线电爱好者每天和半导体器件打交道。那么，到底是什么神奇的特性让半导体发挥如此大的作用呢？

半导体的奇妙特性主要有以下几个方面。

1. 热敏特性

半导体的电阻率随温度变化会发生明显的改变。例如纯锗，温度每升高 10°C ，它的电阻率就要减小到原来的 $1/2$ 。温度的细微变化，能从半导体电阻率的明显变化上反映出来。利用半导体的热敏特性，可以制作感温元器件——热敏电阻，用于温度测量和控制系统中。值得注意的是，各种半导体器件因存在着热敏特性，在环境温度变化时影响其工作的稳定性。

2. 光敏特性

半导体的电阻率对光的变化十分敏感。有光照时，电阻率很小；无光照时，电阻率很大。例如，常用的硫化镉光敏电阻，在没有光照时，电阻高达几兆欧姆；受到光照时，电阻可下降到几十千欧姆。利用半导体的光敏特性，制作出多种类型的光电器件，如光电二极管、光电三极管及硅光电池等，广泛应用在自动控制和无线电技术中。

3. 掺杂特性

在纯净的半导体（本征半导体）中，掺入极微量的杂质元素，就会使它的电阻率发生极大的变化。例如，在纯硅中掺入百万分之一的硼元素，其电阻率就会从 $2140\Omega \cdot \text{m}$ 减小到 $0.004\Omega \cdot \text{m}$ ，也就是硅的导电能力提高了 50 多万倍。人们正是通过掺入某些特定的杂质元素，人为地控制半导体的导电能力，制造不同类型的半导体器件。现在，大多数半导体器件是用掺有特定杂质的半导体材料制成的。

1.1.3 什么是 N 型和 P 型半导体

在本征半导体如硅（Si）、锗（Ge）中掺入微量的五价元素，如砷、锑、磷等，可形成 N 型半导体。这种半导体主要靠电子导电，因而也称为电子型半导体。

在本征半导体如硅（Si）、锗（Ge）中掺入微量的三价元素，如镓、硼或铝等，可形成 P 型半导体。这种半导体主要靠空穴导电，因而也称为空穴型半导体。

1.1.4 什么是 PN 结

把 P 型半导体和 N 型半导体结合在一起，在 P 区、N 区交界面的薄层区，一边带正电荷，一边带负电荷，这个薄层区称作 PN 结。

由于 PN 结两边是带正电和带负电的薄层区，因此，在它的交界面就形成一个电位差，

电位差越高，阻止扩散的作用也就越大。理论与实验证明，用硅材料制成的 PN 结电位差为 $0.5\sim 0.7\text{V}$ ，用锗材料制成的 PN 结电位差为 $0.2\sim 0.3\text{V}$ 。

1.1.5 什么是 PN 结的单向导电性

实验证明，当 PN 结加正向电压时，回路中将产生一个较大的电流，PN 结处于导通状态。一般而言，PN 结电压降：硅材料为 $0.5\sim 0.7\text{V}$ ，锗材料为 $0.2\sim 0.3\text{V}$ ，我们称该电压降为正向压降，这时回路中的电流为正向电流。为了防止回路中电流过大，在电路中一般需接入一个限流电阻 R 。

当 PN 结加反向电压时，回路中的反向电流非常小，几乎等于零，PN 结处于截止状态。也就是说，PN 结具有单向导电性。但是，PN 结所加的反向电压不能加得太大，当反向电压增大到某一数值，PN 结将被击穿，这时所对应的外加电压叫作反向击穿电压。

| 1.2 二极管功能 |

1.2.1 普通二极管

大多电路板中都可以看到二极管的身影。如图 1-1 所示，圈内的元器件为二极管。二极管在电路中起着重要的作用，它是诞生最早的半导体器件之一，其应用非常广泛。

1. 二极管的结构

半导体二极管由一个 PN 结加两个引线电极组成，如图 1-2 (a) 所示。从 P 型区引出线为二极管的正极，从 N 型区引出线为二极管的负极。图 1-2 (b) 为二极管在电路图中的代表符号。

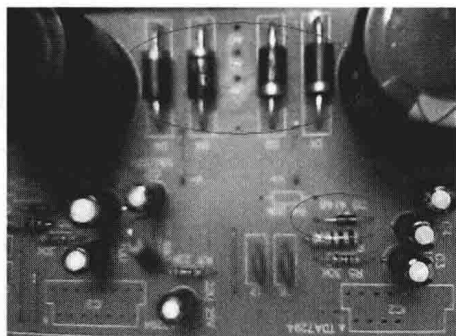
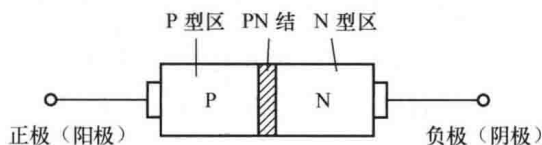


图1-1 电路板上的二极管



(a) 二极管的 PN 结



(b) 二极管的电路符号

图1-2 二极管的PN结及电路符号

2. 二极管的类型

二极管种类有很多，按照所用的半导体材料，可分为锗二极管（Ge 管）和硅二极管（Si 管）。二极管的 PN 结由锗材料组成的，称为锗二极管；PN 结由硅材料组成的，称为硅二极

管。根据其不同用途，可分为检波二极管、整流二极管、稳压二极管、开关二极管等。按照管芯结构，又可分为点接触型二极管和面接触型二极管。点接触型二极管是用一根很细的金属丝（触丝）压在光洁的半导体晶片表面，通脉冲电流，使触丝一端与晶片牢固地烧结在一起，形成一个“PN 结”。由于是点接触，该类二极管只允许通过较小的电流（不超过几十毫安），适用于高频小电流电路，如收音机的检波等。面接触型二极管的 PN 结面积较大，允许通过较大的电流（几安到几十安），主要用于把交流电转换成直流电的整流电路中。图 1-3 为点接触型和面接触型二极管结构示意图。

3. 二极管的伏安特性

二极管最重要的特性就是单向导电性。它可以用加在二极管两端的电压和流经二极管电流的关系（简称伏安特性）来说明。

图 1-4 所示为硅二极管伏安特性曲线，横轴表示二极管两端的电压，纵轴表示流经二极管的电流，图中的曲线可分为以下三个部分。

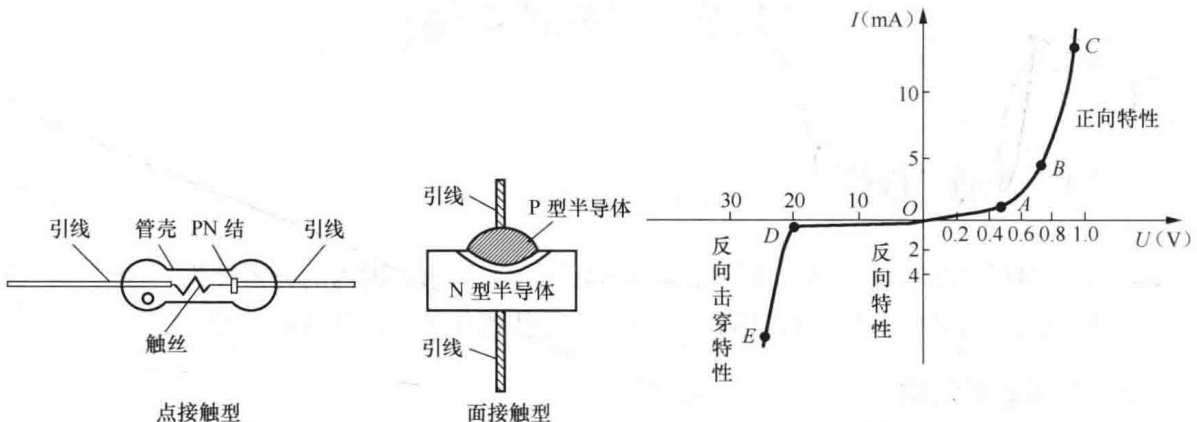


图1-3 点接触型和面接触型二极管结构示意图

图1-4 硅二极管伏安特性曲线

(1) 正向特性

二极管两端加正向电压就产生正向电流，正向电流只有在正向电压大于 0.5V（对于锗二极管为 0.2V）时才产生，超过 0.5V 以后只要电压稍稍升高一点就会引起电流急剧增加。通常情况下，硅二极管正向电压不会超过 0.7V，锗二极管正向电压不会超过 0.3V。由正向特性曲线还可以看到：曲线 AB 之间是弯曲的，我们称它为非线性区；BC 之间的曲线较直，我们称它为线性区。

(2) 反向特性

当二极管加反向电压时，反向电流很小，而且当反向电压超过零点几伏以后，反向电流不再随反向电压的增大而增大，即达到了饱和，这个电流称为反向饱和电流，一般用符号 I_s 表示。OD 段为二极管的反向特性曲线。

(3) 反向击穿特性

当二极管反向电压增加到某一数值时，反向电流急剧增加，如图 1-4 中 DE 段所示。若反向电流增加到某一数值，二极管将发生热击穿，热击穿的发生意味着二极管永久性损坏，只要注意控制反向电流的数值，不使其过大，则当反向电压降低时，二极管的性能可能恢复正常。

从二极管的反向击穿特性区可以看出, 在反向击穿区, 电压基本是稳定的, 而电流变化却很大, 即具有稳压特性, 这时只要有效地防止二极管发生热击穿, 二极管的危险区就成为稳压管的工作区, 稳压管就是依据这一理论制造出来的。

4. 二极管的主要参数

用来表示二极管的性能好坏和适用范围的技术指标, 称为二极管的参数, 不同类型的二极管有不同的特性参数。对初学者而言, 必须了解以下几个主要参数。

(1) 最大整流电流 I_F

最大整流电流是指二极管长期连续工作时允许通过的最大正向电流值。因为电流通过二极管时会使管芯发热, 温度上升, 温度超过容许限度 (硅管为 150°C 左右, 锗管为 90°C 左右) 时, 就会使管芯过热而损坏。所以, 二极管使用时不要超过最大整流电流值。例如, 常用的 IN4001—IN4007 型锗二极管的最大整流电流为 1A。

(2) 最高反向工作电压 U_R

加在二极管两端的反向电压达到一定值时, 会将二极管击穿, 失去单向导电能力。为了保证二极管的使用安全, 我们规定了最高反向工作电压值。例如, IN4001 型锗二极管最高反向工作电压为 50V, IN4007 型锗二极管最高反向工作电压为 1000V。

(3) 反向电流 I_R

反向电流是指二极管在规定的温度和最高反向电压作用下, 流过二极管的电流。反向电流越小, 二极管的单向导电性能越好。值得注意的是, 反向电流与温度有着密切的关系, 温度大约每升高 10°C , 反向电流增大一倍。

(4) 最大整流电流下的正向电压降 U_F

当正向电流流过二极管时, 二极管两端就会产生正向压降, 在一定的正向电流下, 二极管的正向压降越小越好。在通常情况下, 锗二极管的正向压降不超过 0.3V, 硅二极管的正向压降不超过 0.7V。测试时, 如果二极管的正向压降超过了规定的数值, 二极管就不合格。

(5) 最高工作频率 f_M

由于 PN 结存在结电容和扩散电容, 二极管最高工作频率受到限制。因此, 各型号的二极管都规定了最高工作频率, 在选用或更换二极管时, 要使二极管的最高工作频率高于实际使用的工作频率。

重点提示: 二极管的 PN 结, 即 P 型和 N 型两块半导体之间构成一个电容量很小的电容, 叫作极间电容 (如图 1-5 所示)。由于电容的容抗 ($X_C = \frac{1}{2\pi fC}$) 随频率的增高而减小。所以,

PN 结工作于高频时, 高频信号容易被极间电容反馈而影响 PN 结的工作。但在直流或低频下工作时, 极间电容对直流和低频的阻抗很大, 故一般不会影响 PN 结的工作性能。PN 结的面积越大, 极间电容量越大, 影响也越大, 这就是面接触型二极管 (如整流二极管) 不能用于高频工作的原因。

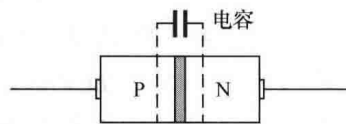


图1-5 二极管的极间电容

5. 普通二极管基本应用电路

(1) 二极管整流电路

整流电路的作用是将交流电转换成直流电，整流电路的种类很多，这里以图 1-6 所示的半波整流电路（设输入信号电压 u_i 远大于二极管的导通电压）为例进行介绍。

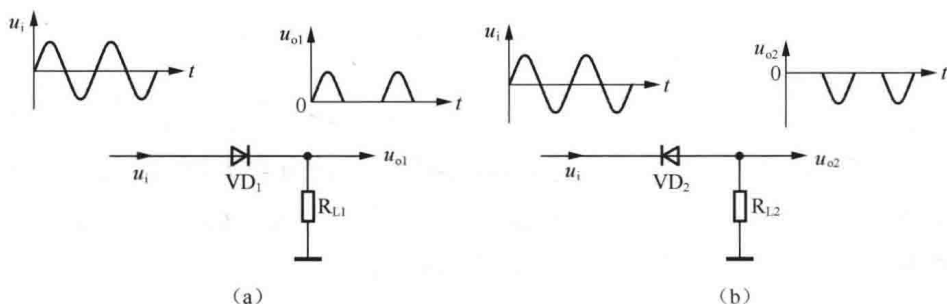


图1-6 二极管半波整流电路

电路中， VD_1 、 VD_2 是二极管，由于用于整流，因此称为整流二极管。 R_{L1} 、 R_{L2} 是整流电路的负载电阻，在实用电路中这一负载不一定是电阻，而是某一个电子电路，这里为了分析电路方便就用一个电阻来代替整流电路的负载。 u_i 是整流电路的输入电压，这是一个正弦交流电压； u_{o1} 是正半周整流输出电压； u_{o2} 是负半周整流输出电压，它们都是单向脉动性的直流电压。

对于图 1-6 (a) 所示电路，在输入信号 u_i 为正半周期间，由于 u_i 远大于 VD_1 的导通电压，这样正半周交流电压通过 VD_1 加到负载 R_{L1} ；在 u_i 负半周期间，加到 VD_1 正极上的电压为负，使 VD_1 截止，这样 VD_1 不能导通，负载 R_{L1} 上没有输出电压。在一个周期内，只有交流电压的正半周能够加到负载 R_{L1} ，因此，这一半波整流电路只能输出正半周的单向脉动性直流电压 u_{o1} 。

对于图 1-6 (b) 所示电路，在输入信号 u_i 为负半周期间，由于加到 VD_2 的负极上的电压为负，这样 VD_2 可以导通，使负半周交流电压通过 VD_2 加到负载 R_{L2} ；在 u_i 正半周期间，由于加到 VD_2 负极上的电压为正，使 VD_2 截止，这样 VD_2 不能导通，负载 R_{L2} 上没有输出电压。在一个周期内，只有交流电压的负半周能够加到负载 R_{L2} ，因此，这一半波整流电路只能输出负半周的单向脉动性直流电压 u_{o2} 。

(2) 二极管串联限幅电路

限幅就是完成削去波形某一部分的电路，利用它对脉冲的波形进行变换或整形。

在限幅电路中，当二极管位于电路的串联臂时，便构成了串联限幅电路。串联限幅电路分为下限幅电路和上限幅电路，如图 1-7 所示。

串联限幅电路类似于前面介绍的整流电路，设二极管管压降为 $0.6V$ 。对于图 1-7 (a)，当输入电压 u_i 大于 $0.6V$ 时，二极管 VD 导通；当输入电压 u_i 小于 $0.6V$ 时，二极管 VD 截止。因此，输出端 u_o 只能得到 $0.6V$ 以上的信号波形。对于图 1-7 (b)、(c)、(d)，读者可自行分析。

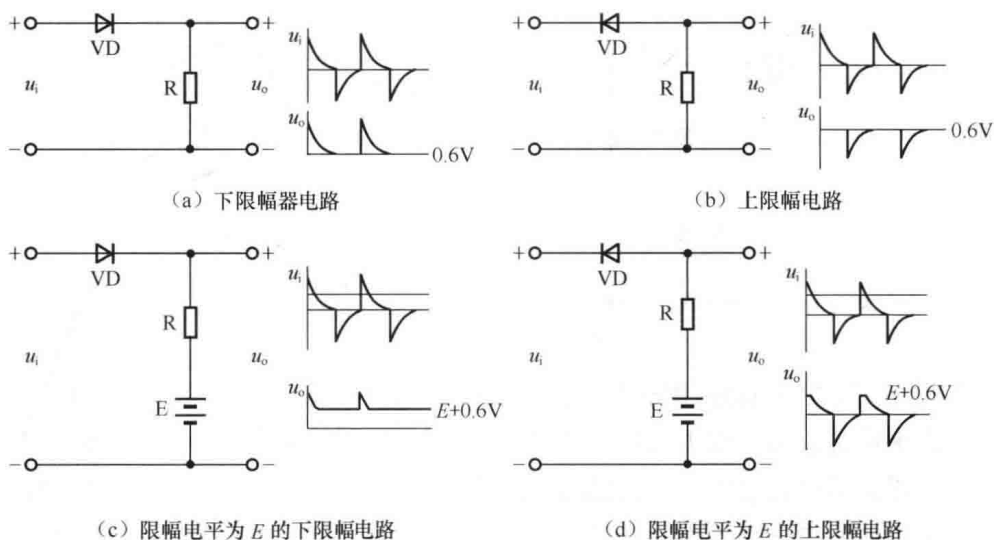


图1-7 串联限幅电路

(3) 二极管并联限幅电路

当二极管位于电路的并联臂时, 便构成了并联限幅电路。并联限幅电路也分为下限幅电路和上限幅电路, 如图 1-8 所示。

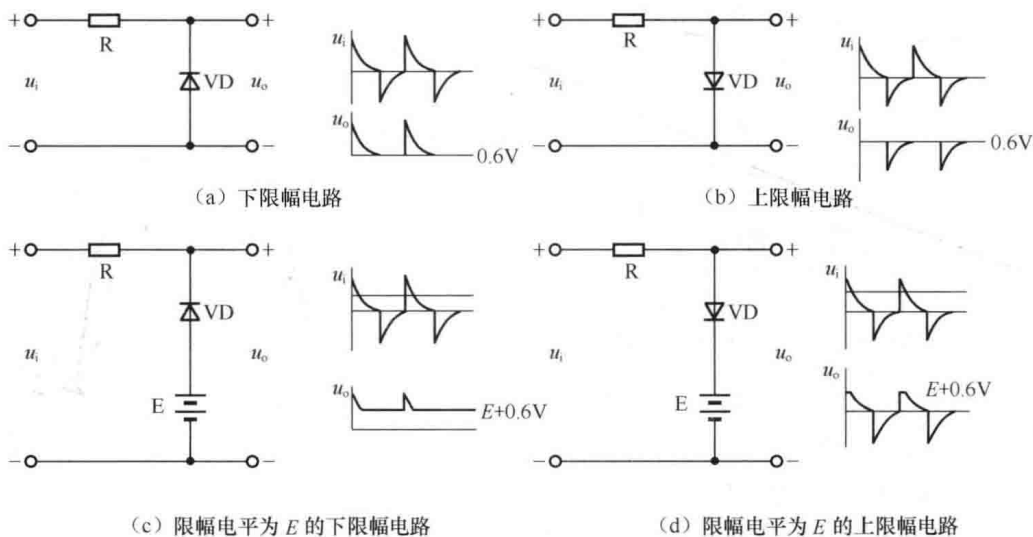


图1-8 并联限幅电路

从图 1-8 可以看出, 并联限幅电路中的二极管与电阻位置与前面介绍的串联限幅电路颠倒了一下, 设二极管管压降为 0.6V 。对于图 1-8 (a), 当输入电压 u_i 大于 0.6V 时, 二极管 VD 截止, 此时输出端 u_o 与输入端波形相同; 当输入电压 u_i 小于 0.6V 时, 二极管 VD 导通, 输出端 u_o 无输出。可见, 输出端 u_o 只能得到 0.6V 以上的信号波形。对于图 1-8 (b)、(c)、(d), 读者可自行分析。

(4) 二极管双限幅电路

双限幅电路顾名思义可以对输入波形上下进行限幅。图 1-9 为并联双限幅电路。

设二极管 VD 管压降为 0.6V , 限幅电平 $E_1 > E_2$, 当输入信号 u_i 的幅度大于 $E_1 + 0.6\text{V}$ 时, 二极管 VD₁ 导通, 使输出端输出的信号 u_o 被限定在 $E_1 + 0.6\text{V}$ 以下; 当输入信号 u_i 的幅度小于 $E_2 + 0.6\text{V}$ 时, 二极管 VD₂ 导通, 使输出端输出的信号 u_o 被限定在 $E_2 + 0.6\text{V}$ 以上, 达到了双限幅的目的。

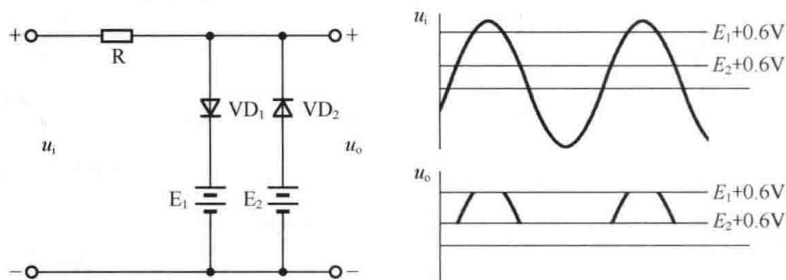


图1-9 并联双限幅电路

重点提示：当双限幅电路应用于感性元器件的电路时，其可起到保护的作用。图 1-10 为音频功放电路常用的二极管双限幅保护电路，可有效地保护功放集成电路不致因过压损坏。

由于扬声器为感性元器件，在关机时，扬声器线圈将产生较高的反峰脉冲，如果不加以限制，很容易将功放块击穿，为此，在音频功放块的输出端外接了 VD_1 、 VD_2 两个二极管，在输出端电压超过 $+V_{CC}$ 时， VD_1 导通，在输出电压低于 $-V_{CC}$ 时， VD_2 导通，达到了双限幅保护的目的。

(5) 二极管隔离电路

下面以图 1-11 为例，说明二极管的隔离作用。设输入电压为 $U_1=5V$ 、 $U_2=3V$ 、 $U_3=2V$ ，三只二极管均为锗管，管压降为 $0.3V$ 。

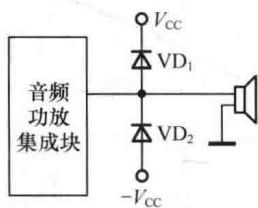


图1-10 音频功放常用的二极管双限幅保护电路

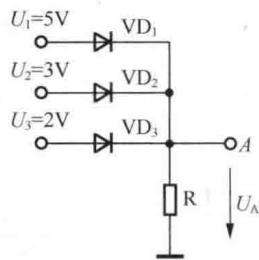


图1-11 二极管的隔离作用

从图 1-11 可以看出，三只二极管的负极是连在一起的，在电路中其负极电位应该是相同的，因此，三只二极管中正极电位最高的二极管先导通，显然 VD_1 先导通， VD_1 导通后，A 点电位钳位在 $4.7V$ ($5V-0.3V$) 上。

由于 A 点电位为 $4.7V$ ，高于二极管 VD_2 、 VD_3 的正极电位，所以 VD_2 、 VD_3 均截止。由于二极管截止后，其反向电阻很大，这样，可将输入端 U_2 、 U_3 与输出端 U_o 隔离起来，所以 VD_2 、 VD_3 在这里起隔离作用。

(6) 二极管开关电路

二极管在正向电压作用下，电阻很小，处于导通状态，相当于一个接通的开关；在反向电压作用下，电阻很大，处于截止状态，如同一个断开的开关。利用二极管的开关特性，我们可以组成各种逻辑电路。

图 1-12 是最简单的硅二极管开关电路。设输入电压为 U_i ，其低电平 $U_L=-2V$ ，高电平 $U_H=3V$ 。

当 $U_i=U_L=-2V$ 时，二极管反偏，VD 处在反向截止区，如同一个断开了的开关，输出电压为 $0V$ 。