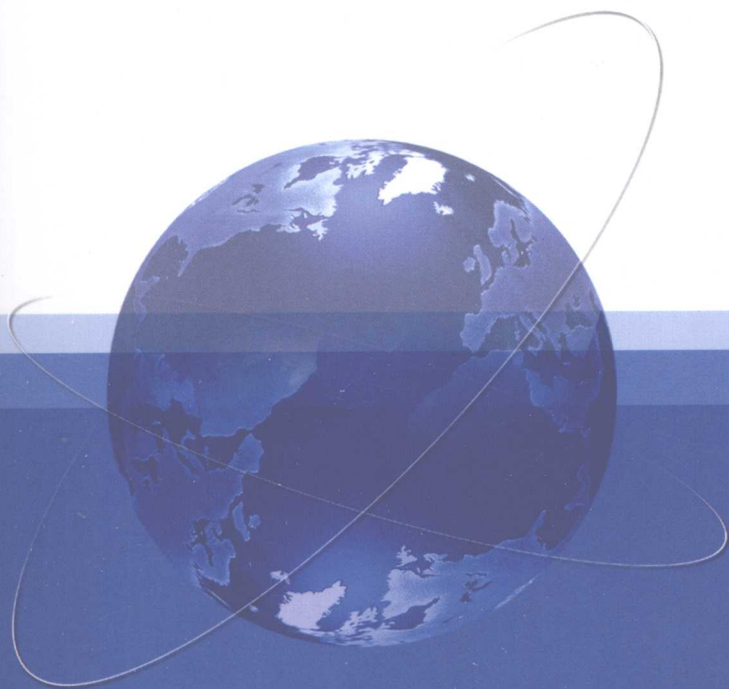




21世纪高职高专规划教材

(电工电子类)

模拟电子技术



赵建武 茆有柏 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高职高专规划教材
(电工电子类)

模 拟 电 子 技 术

主 编	赵建武	茆有柏	
副主编	樊明龙	刘淑英	
参 编	肖志峰	张翼翔	赵丽娜
	丛 振	于申申	
主 审	高东梅		



机 械 工 业 出 版 社

本书是根据教育部有关文件精神,由中国机械工业教育协会和机械工业出版社组织全国 80 多所高等院校合作编写的高职高专规划教材之一。内容包括半导体二极管及整流滤波电路、半导体三极管及其基本放大电路、场效应晶体管及其基本放大电路、反馈放大电路、功率放大电路、典型差分放大电路、集成运算放大器的应用、正弦波振荡电路和电源电路等。

本书从实际出发、由浅入深、删繁就简,注意把握好基础知识与新知识的衔接、理论与实践的衔接、课程教学与生产实践的衔接。

本书可作为高职高专电类专业基础课教材,也适合作为高等学校、应用本科及成人教育电类专业基础课教材。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术:电工电子类/赵建武,茆有柏主编. —北京:机械工业出版社, 2007.2

21 世纪高职高专规划教材

ISBN 978-7-111-20900-3

I. 模… II. ①赵…②茆… III. 模拟电路-电子技术-高等学校:技术学校-教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 022251 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:余茂祚

责任编辑:余茂祚 版式设计:冉晓华 责任校对:程俊巧

封面设计:饶薇 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2007 年 4 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·9.25 印张·225 千字

0 001—4 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-20900-3

定价:15.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 68354423

封面无防伪标均为盗版

21 世纪高职高专规划教材

编委会名单

编委会主任 王文斌

编委会副主任 (按姓氏笔画为序)

王建明	王明耀	王胜利	王寅仓	王锡铭	刘 义
刘晶磷	刘锡奇	杜建根	李向东	李兴旺	李居参
李麟书	杨国祥	余党军	张建华	茆有柏	秦建华
唐汝元	谈向群	符宁平	蒋国良	薛世山	储克森

编委会委员 (按姓氏笔画为序, 黑体字为常务编委)

王若明	田建敏	成运花	曲昭仲	朱 强	刘 莹
刘学应	许 展	严安云	李连邨	李学锋	李选芒
李超群	杨 飒	杨群祥	杨翠明	吴 锐	何志祥
何宝文	余元冠	沈国良	张 波	张 锋	张福臣
陈月波	陈向平	陈江伟	武友德	林 钢	周国良
宗序炎	赵建武	恽达明	俞庆生	晏初宏	倪依纯
徐炳亭	徐铮颖	韩学军	崔 平	崔景茂	焦 斌

总策划 余茂祚

前 言

本书是根据教育部有关文件精神,由中国机械工业教育协会和机械工业出版社组织全国80多所高等院校合作编写的高职高专规划教材之一。

当今世界,知识经济方兴未艾,科学技术日新月异,电子技术飞速发展,新知识、新器件、新工艺、新技术广泛应用,因此对劳动者的知识技能要求进一步提高。这就需要高等职业教育培养大量的高技能人才,以适应新型工业化道路的需求、符合先进生产力的发展。

本教材编写充分采用了参编学校各位教师先进的教学经验和教学改革成果,充分体现了21世纪对高等职业教育培养知识经济时代的高技能人才的要求。本书在内容安排上,贯彻从实际出发、由浅入深、删繁就简的原则。充分考虑模电子技术作为电类专业基础课程的特点,注意把握好基础知识与新知识的衔接、理论与实践的衔接、课程教学与生产实践的衔接。适当降低理论知识的深度和难度,深入浅出地阐述基本概念、基本原理和应用知识,力求适合高职高专院校、教学的特点和需要。

本书共分9章。分别介绍了半导体二极管及整流滤波电路、半导体三极管及其基本放大电路、场效应晶体管及其基本放大电路、反馈放大电路、功率放大电路、典型差分放大电路、集成运算放大器的应用、正弦波振荡电路、电源电路。

本书由辽宁省农业经济学校赵建武和太原理工大学长治学院茆有柏任主编;扬州工业职业技术学院樊明龙和大连职业技术学院刘淑英任副主编;参加编写的有西安理工大学技术学院肖志峰、山西机电职业技术学院张翼翔、渤海大学赵丽娜、辽东学院丛振、辽宁省农业经济学校于申申。其中,第1章由赵建武和赵丽娜编写,第2章由樊明龙编写,第3章由肖志峰编写,第4章由赵建武和于申申编写,第5章由张翼翔编写,第6章由丛振编写,第7、9章由刘淑英编写,第8章由茆有柏编写。

本书由高东梅主审。本书在编写过程中得到了编者所在单位领导和老师的大力支持,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

21 世纪高职高专规划教材目录(机、电、建筑类)

高等数学(理工科用) (第2版)	微机原理与接口技术	仪表	管理信息系统
高等数学学习指导书 (理工科用)(第2版)	机电一体化系统设计	传感器与检测技术	电工与电子实验
计算机应用基础 (第2版)	控制工程基础	制冷原理与设备	专业英语(电类用)
应用文写作	机械设备控制技术	制冷与空调装置自动控 制技术	物流技术基础
经济法概论	金属切削机床	电视机原理与维修	物流仓储与配送
法律基础	机械制造工艺与夹具	自动控制原理与系统	物流管理
法律基础概论	冷冲模设计及制造	电路与模拟电子技术	物流运输管理与实务
C 语言程序设计	塑料模设计及制造	低频电子线路	
	模具 CAD/CAM	电路分析基础	建筑制图
	汽车构造	常用电子元器件	建筑制图习题集
工程制图(机械类用) (第2版)	汽车电器与电子设备	单片机原理及接口技术 案例教程	建筑力学(第2版)
工程制图习题集(机械 类用)(第2版)	公路运输与安全	多媒体技术及其应用	建筑材料
计算机辅助绘图—— AutoCAD 2005 中文版	汽车检测与维修	操作系统	建筑工程测量
公差配合与测量技术	汽车营销学	数据结构	钢筋混凝土结构及砌 体结构
工程力学	工程制图(非机械类用)	软件工程	房屋建筑学
金属工艺学	工程制图习题集(非机 械类用)	微型计算机维护技术	土力学及地基基础
机械设计基础	离散数学	汇编语言程序设计	建筑设备
工业产品造型设计	电路基础	VB6.0 程序设计	建筑给排水
液压与气压传动	单片机原理与应用	VB6.0 程序设计实训教 程	建筑电气
电工与电子基础	电机与电气控制	Java 程序设计	建筑施工
电工电子技术(非电 类专业用)	电力拖动与控制	C++ 程序设计	建筑工程概预算
机械制造技术	可编程序控制器及其应 用(三菱机型)	Delphi 程序设计	房屋维修与预算
机械制造基础	可编程序控制器及其应 用(欧姆龙机型)	计算机网络技术	建筑装饰装饰材料
数控技术	工厂供电	网络应用技术	建筑装饰装饰构造
专业英语(机械类用)	微机原理与应用	网络数据库技术	建筑装饰装饰设计
金工实习	模拟电子技术	网络操作系统	楼宇智能化技术
数控机床及其使用维修	数字电子技术	网络安全技术	钢结构
数控加工工艺及编程	数字逻辑电路	网络营销	多层框架结构
机电控制技术	办公自动化技术	网络综合布线	建筑施工组织
计算机辅助设计与制造	现代检测技术与仪器	网络工程实训教程	房地产开发与经营
		计算机图形学实用教程	工程造价案例分析
		动画设计与制作	土木工程实训指导
			土木工程基础实验教程

目 录

前言

第1章 半导体二极管及整流

滤波电路 1

1.1 半导体的基本知识 1

1.2 半导体二极管 3

1.3 二极管整流电路 7

1.4 二极管滤波电路 9

本章小结 11

复习思考题 12

试验 桥式整流滤波电路 14

第2章 半导体三极管及其基本

放大电路 16

2.1 半导体三极管 16

2.2 三极管放大电路 20

2.3 放大电路的分析方法 21

2.4 放大电路工作点的稳定 25

2.5 共集电极和共基极放大

电路 28

2.6 多级放大电路 30

本章小结 34

复习思考题 34

试验 基本放大电路 35

第3章 场效应晶体管及其基本

放大电路 38

3.1 场效应晶体管 38

3.2 场效应晶体管放大电路 44

本章小结 47

复习思考题 47

第4章 反馈放大电路 49

4.1 反馈的基本概念与分类 49

4.2 负反馈对放大电路性能的影响 51

4.3 负反馈放大电路分析 53

本章小结 56

复习思考题 57

试验 负反馈放大电路 58

第5章 功率放大电路 61

5.1 功率放大电路的特点与类型 61

5.2 乙类双电源互补对称功率放大电路 (OCL 电路) 63

5.3 甲乙类功率放大电路 64

本章小结 69

复习思考题 69

试验 OTL 功率放大电路 70

第6章 典型差分放大电路 73

6.1 典型差分放大电路分析 73

6.2 集成运算放大器基础 81

6.3 具有恒流源的差分放大电路 88

本章小结 92

复习思考题 92

第7章 集成运算放大器的应用 95

7.1 理想运算放大器的条件和特点 95

7.2 基本运算电路 96

7.3 信号处理电路 103

本章小结 109

复习思考题 110

试验 集成运算放大器的应用 113

第8章 正弦波振荡电路 115

8.1 正弦波振荡电路的基本知识 115

8.2 集成函数发生器 8038 简介 122

8.3 波形变换电路 124

本章小结 126

复习思考题	126	本章小结	134
第9章 电源电路	128	复习思考题	135
9.1 线性稳压电路	128	试验 整流、滤波、稳压电路	137
9.2 开关电源电路	133	参考文献	139

第 1 章 半导体二极管及整流滤波电路

1.1 半导体的基本知识

1.1.1 半导体材料

根据物体导电能力（电阻率）的不同，来划分导体、绝缘体和半导体。导电性能介于导体与绝缘体之间的物质叫做半导体。在电子器件中，常用的半导体材料有硅（Si）、锗（Ge）和砷化镓（GaAs）等。现代多数电子器件都是由半导体材料制造的。

半导体具有掺杂性、热敏性和光敏性等特性。

- (1) 掺杂性。在纯净半导体中，加入微量的杂质，其导电能力会急剧增强。
- (2) 热敏性。半导体在外界温度变化时，其导电能力将会有显著变化。
- (3) 光敏性。半导体受到外界光照时，其导电能力将会有显著变化。

1.1.2 本征半导体

1. 本征半导体 本征半导体是指化学成分纯净的半导体。它在物理结构上呈单晶体形态。

在电子器件中，常用的半导体材料是硅和锗。半导体具有晶体结构，它们的原子形成有序排列，邻近原子之间由共价键联结，其晶体结构如图 1-1 所示。共价键中的 2 个电子被紧紧束缚在共价键中，称为束缚电子，常温下束缚电子很难脱离共价键成为自由电子，因此本征半导体中的自由电子很少，所以本征半导体的导电能力很弱。图中 1-1 表示的是晶体的二维结构，实际上半导体晶体结构是三维的。

2. 两种载流子

(1) 自由电子。在室温下，本征半导体共价键中的价电子获得足够的能量，挣脱共价键的束缚，成为自由电子—带负电载流子，如图 1-2 所示。半导体产生的自由电子使其导电能力增强。

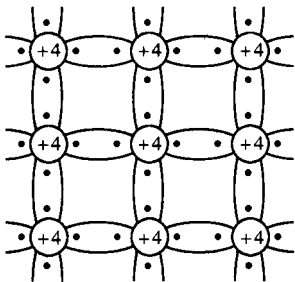


图 1-1 半导体晶体结构

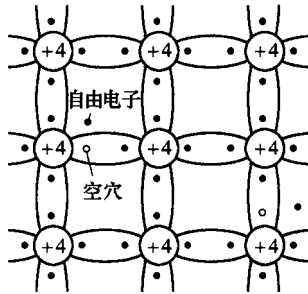


图 1-2 自由电子与空穴

(2) 空穴。挣脱共价键束缚的电子留下的空位，叫做空穴—带正电载流子。图 1-2 所示由于共价键出现了空穴，在外加电场或其他的作用下，邻近价电子就可填补到这个空位上，

而在这个电子原来的位置上又留下新的空位，以后其他电子可转移到这个新的空位。这样就形成共价键中出现一定的电荷迁移。空穴的移动方向和电子移动的方向是相反的。半导体产生的空穴使其导电能力增强。

3. 本征激发 在晶体中产生电子-空穴对的现象称为本征激发。

1.1.3 P型半导体和N型半导体（杂质半导体）

在本征半导体中掺入某些微量元素作为杂质，可使半导体的导电性发生显著变化。掺入的杂质主要是三价或五价元素。掺入杂质的本征半导体称为杂质半导体。

1. N型半导体 因五价杂质原子中只有4个价电子能与周围4个半导体原子中的价电子形成共价键，而多余的1个价电子因无共价键束缚而很容易形成自由电子。如图1-3所示，在N型半导体中自由电子是多数载流子，它主要由杂质原子提供；空穴是少数载流子，由本征激发形成。提供自由电子的五价杂质原子因带正电荷而成为正离子，因此五价杂质原子也称为施主杂质。

2. P型半导体 因三价杂质原子在与硅原子形成共价键时，缺少1个价电子而在共价键中留下1个空穴。如图1-4所示，在P型半导体中空穴是多数载流子，它主要由掺杂形成；自由电子是少数载流子，由本征激发形成。空穴很容易俘获电子，使杂质原子成为负离子。三价杂质因而也称为受主杂质。

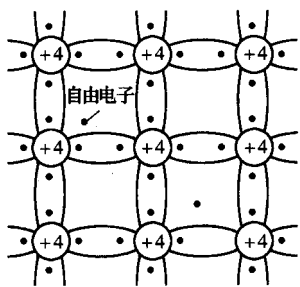


图 1-3 N型半导体

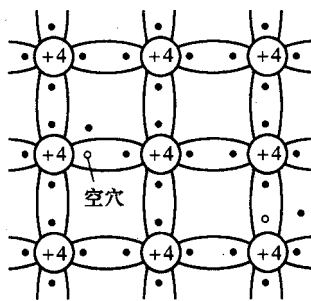


图 1-4 P型半导体

1.1.4 PN结形成及单向导电性

1. PN结的形成 采用一定的工艺，使P型半导体和N型半导体结合，在其交界处就出现了电子和空穴的浓度差别。电子要从N型区（简称N区）向P型区（简称P区）扩散，空穴要从P区向N区扩散（见图1-5），它们扩散的结果就使P区一边失去空穴，留下了带负电的杂质离子，N区一边失去电子，留下了带正电的杂质离子。这些不能移动的带电粒子在P区和N区交界面附近形成了一个很薄的空间电荷区——PN结，如图1-6所示。扩散越强，空间电荷区越宽。在出现了空间电荷区以后，由于正负电荷之间的相互作用，在空间电荷区就形成了一个内电场，其方向是从带正电的N区指向带负电的P区。显然，这个电场的方向与载流子扩散运动的方向相反，它是阻止扩散的。当阻止扩散运动能力和扩散运动相等时，PN结处于动态平衡状态。

2. PN结的单向导电性 当外加电压使PN结的P区的电位高于N区的电位时，称为加正向电压，简称正偏，如图1-7所示；当外加电压使PN结的P区的电位低于N区的电位，称为加反向电压，简称反偏，如图1-8所示。

(1) PN 结加正向电压。在正向电压的作用下 (见图 1-7), PN 结的平衡状态被打破, P 区中的多数载流子空穴和 N 区中的多数载流子电子都要向 PN 结移动, 结果使 PN 结变窄, PN 结的内电场减弱。这时, 正向的 PN 结表现为一个很小的电阻。当外加电压 V_F 稍有变化 (如 0.1V), 便能引起电流的显著变化, 正偏 PN 结导电。

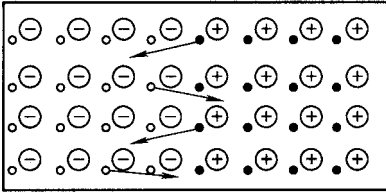


图 1-5 电子、空穴扩散

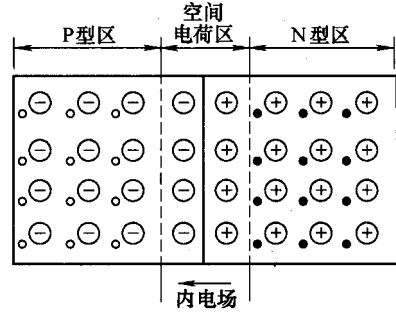


图 1-6 空间电荷区——PN 结

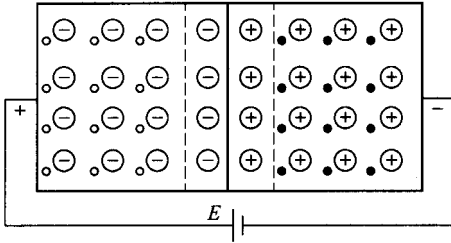


图 1-7 PN 结加正向电压

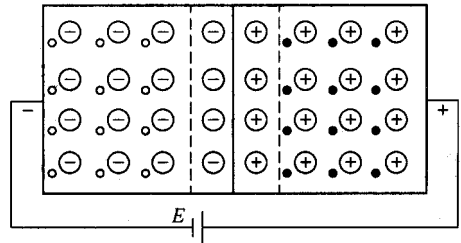


图 1-8 PN 结加反向电压

(2) PN 结加反向电压。在反向电压的作用下 (见图 1-8), P 区中的空穴和 N 区中的电子都将进一步离开 PN 结, 使 PN 结加宽, PN 结的内电场加强。PN 结在反向偏置时, PN 结呈现一个很大的电阻, 可认为它基本是不导电的。

结论: 当 PN 结加正向电压时, 呈现低电阻, 具有较大的正向电流; 当 PN 结加反向电压时, 呈现高电阻, 具有很小的反向电流。PN 结具有单向导电性。

1.2 半导体二极管

1.2.1 二极管的结构

在 PN 结上加上引线和封装, 就成为一个二极管。二极管的结构外形如图 1-9 所示。

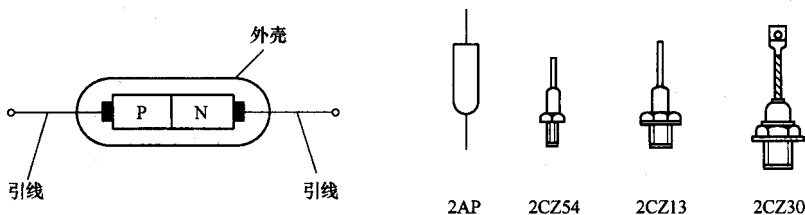


图 1-9 二极管的结构外形

二极管在电路中的文字符号如图 1-10 所示。

二极管的类型：

(1) 按材料分类。可分为硅二极管、锗二极管和砷化镓二极管等。

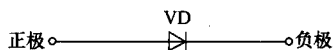


图 1-10 二极管文字符号

(2) 按结构分类。根据 PN 结面积大小不同，可分为点接触型二极管和面接触型二极管。

(3) 按用途分类。可分为整流二极管、稳压二极管、开关二极管、发光二极管和光电二极管等。

(4) 按功率分类。可分为大功率二极管、中功率二极管及小功率二极管等。

1.2.2 二极管的伏安特性

半导体二极管的核心是 PN 结，它的特性就是 PN 结的特性——单向导电性。在电子技术中用伏安特性曲线来形象地描述二极管的单向导电性，如图 1-11 所示。

1. 正向特性

(1) 死区。二极管两端加正向电压时，就产生正向电流，当正向电压较小时，正向电流极小（几乎为零），这一部分称为死区，相应的 A (A') 点的电压称为死区电压或门槛电压（也称阈值电压），硅管约为 0.5V，锗管约为 0.1V，如图 1-11 中 OA (OA') 段。

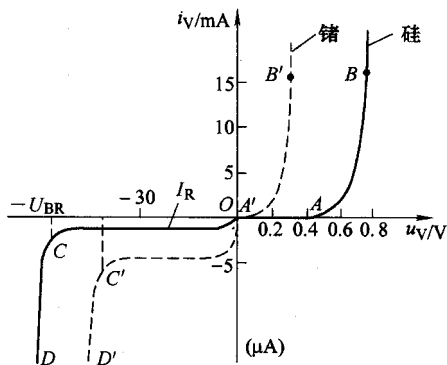


图 1-11 二极管伏安特性曲线

(2) 正向导通区。当正向电压超过门槛电压时，正向电流就会急剧增大，二极管呈现很小的电阻，处于导通状态。这时硅管的正向导通电压降为 0.6~0.7V，锗管为 0.2~0.3V，如图 1-11 中 AB (A'B') 段。二极管正向导通时，要特别注意它的正向电流不能超过最大值，否则将烧坏 PN 结。

2. 反向特性

(1) 反向饱和区。二极管两端加上反向电压时，在开始很大范围内，二极管相当于电阻值很大的电阻，反向电流很小，且不随反向电压而变化。此时的电流称之为反向饱和电流 I_R ，见图 1-11 中的 OC (OC') 段。

(2) 反向击穿区。二极管反向电压加到一定数值时，反向电流急剧增大，这种现象称为反向击穿。此时对应的电压称为反向击穿电压，用 U_{BR} 表示，如图 1-11 中 CD (C'D') 段。

3. 温度对特性的影响 由于二极管的核心是一个 PN 结，它的导电性能与温度有关，温度升高时二极管正向特性曲线向左移动，正向压降减小；反向特性曲线向下移动，反向电流增大。

1.2.3 二极管的主要参数

1. 最大整流电流 I_F 最大整流电流额定工作电流，是二极管在正常工作时允许通过的最大正向平均电流。型号不同的二极管的最大整流电流差异是相当大的。在实际电路中，若工作电流超过了 I_F ，则二极管容易发热而损坏。

2. 最大反向工作电压 U_{RM} 最大反向工作电压额定工作电压，是为了保护二极管不被击穿而规定的最高反向电压。在实际电路中，最大反向电压为反向击穿电压的 1/3~1/2。

3. 反向饱和电流 I_R 反向饱和电流又称反向漏电流, 它是指二极管未进入击穿区的反向电流。一般来说, 反向饱和电流越小则二极管的导电性能越好。反向饱和电流受温度的影响很大。

4. 最高工作频率 f_M 二极管的 PN 结存在结电容, 当工作频率较高时, 结电容充放电将加剧, 从而影响二极管的单向导电性。 f_M 是保证二极管正常工作的最高工作频率。

1.2.4 特殊二极管

前面主要讨论了普通二极管, 另外还有一些特殊用途的二极管, 如稳压二极管、发光二极管、光敏二极管和变容二极管等, 现介绍如下:

1. 稳压二极管

(1) 稳压二极管的工作特性。稳压二极管简称稳压管, 其特性曲线和符号如图 1-12 所示。

(2) 稳压二极管的主要参数

1) 稳定电压 U_Z 。稳定电压 U_Z 又称反向击穿电压。

2) 稳定电流 I_Z 。稳定电流 I_Z 是指稳压管工作至稳压状态时流过的电流。当稳压管稳定电流小于最小稳定电流 I_{Zmin} 时, 没有稳压作用; 当稳压管稳定电流大于最大稳定电流 I_{Zmax} 时, 稳压管因过电流而损坏。

3) 最大耗散功率 P_{ZM} 和最大工作电流 I_{ZM} 。

4) 动态电阻 r_Z 。

5) 电压温度系数 C_{TV} 。

2. 发光二极管 发光二极管与普通二极管一样, 也是由 PN 结构成的, 同样具有单向导电性, 但在正向导通时能发光, 所以它是一种把电能转换成光能的半导体器件, 其电路符号如图 1-13 所示。

(1) 普通发光二极管。普通发光二极管工作在正偏状态。检测发光二极管时, 一般用万用表 $R \times 10k(\Omega)$ 档, 方法和普通二极管一样。普通发光二极管的正向电阻一般为 $15k\Omega$ 左右, 反向电阻为无穷大。

(2) 红外线发光二极管。红外线发光二极管工作在正偏状态。用万用表 $R \times 1k(\Omega)$ 档检测, 若正向电阻在 $30k\Omega$ 左右, 反向为无穷大, 则表明正常, 否则红外线发光二极管性能变差或损坏。

(3) 激光二极管。判断激光二极管好坏的方法是通过测试激光二极管的正、反向电阻, 若正向电阻为 $20 \sim 30k\Omega$ 、反向电阻为无穷大, 则说明正常, 否则激光二极管老化或损坏。

3. 光敏二极管 光敏二极管电路符号如图 1-14 所示。光敏二极管工作在反偏状态, 它的管壳上有一个玻璃窗口, 以便接受光照。光敏二极管的检测方法和普通二极管一样, 通常

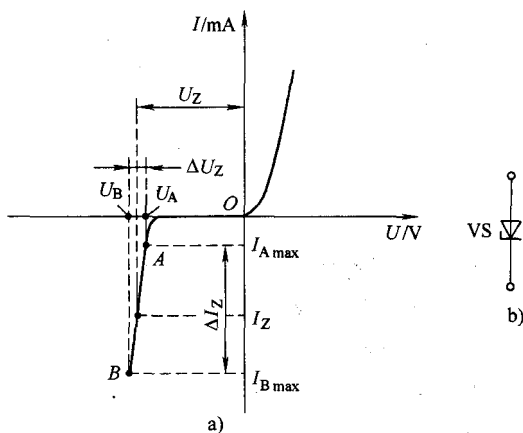


图 1-12 稳压二极管的特性曲线和符号

a) 伏安特性曲线 b) 符号

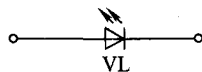


图 1-13 发光二极管电路符号

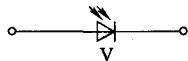


图 1-14 光敏二极管电路符号

正向电阻为几千欧, 反向电阻为无穷大, 否则光敏二极管质量变差或损坏。当光敏二极管受到光线照射时, 其反向电阻显著变化, 正向电阻不变。

1.2.5 半导体器件型号命名方法

半导体器件的型号由 5 个部分组成 (见图 1-15), 其含义如下:

(1) 第 1 部分。用数字表示半导体器件有效电极数目。2 代表二极管、3 代表三极管。

(2) 第 2 部分。用汉语拼音字母表示半导体器件的材料和极性。表示二极管时, A 代表 N 型锗材料、B 代表 P 型锗材料、C 代表 N 型硅材料、D 代表 P 型硅材料。

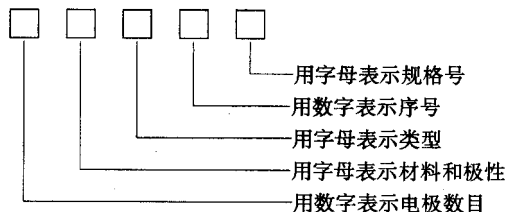


图 1-15 半导体器件的型号组成

(3) 第 3 部分。用汉语拼音字母表示半导体器件类型。P 代表普通管、W 代表稳压管、Z 代表整流管、G 代表高频小功率管 ($f > 3\text{MHz}$, $P_c < 1\text{W}$)、D 代表低频大功率管 ($f < 3\text{MHz}$, $P_c > 1\text{W}$)、A 代表高频大功率管 ($f > 3\text{MHz}$, $P_c > 1\text{W}$)。

(4) 第 4 部分。用数字表示序号。

(5) 第 5 部分。用汉语拼音字母表示规格号。例如: 3DG18 表示 NPN 型硅材料高频三极管。

1.2.6 二极管的简易检测

1. 普通二极管的简易检测

(1) 极性的判别。将万用表置于 $R \times 100\Omega$ 档或 $R \times 1\text{k}\Omega$ 档, 2 个表笔分别接二极管的 2 个电极, 测出 1 个结果后, 对调 2 个表笔, 再测出 1 个结果。2 次测量的结果中, 有 1 次测量出的电阻较大 (为反向电阻), 1 次测量出的电阻较小 (为正向电阻)。在电阻较小的 1 次测量中, 黑表笔接的是二极管的正极, 红表笔接的是二极管的负极。

(2) 导电性能的检测。通常锗材料二极管的正向电阻为 $1\text{k}\Omega$ 左右, 反向电阻为 300Ω 左右。硅材料二极管的正向电阻为 $5\text{k}\Omega$ 左右, 反向电阻为无穷大。正向电阻越小越好, 反向电阻越大越好。正、反向电阻相差越悬殊, 说明二极管的单向导电特性越好。

(3) 好坏的判断。若测得二极管的正、反向电阻均接近 0 或较小, 则说明该二极管内部已击穿短路或漏电损坏; 若测得二极管的正、反向电阻均为无穷大, 则说明该二极管已开路损坏。

2. 稳压二极管的检测

(1) 正、负电极的判别。从外形上看, 金属封装稳压二极管管体的正极一端为平面形, 负极一端为半圆面形。塑封稳压二极管管体上印有彩色标记的一端为负极, 另一端为正极。对标志不清楚的稳压二极管, 也可以用万用表判别其极性, 测量的方法与普通二极管相同, 即将万用表置于 $R \times 1\text{k}\Omega$ 档, 用 2 个表笔分别接稳压二极管的 2 个电极, 测出 1 个结果后, 再对调 2 个表笔进行测量。在 2 次测量结果中, 电阻较小那 1 次, 黑表笔接的是稳压二极管的正极, 红表笔接的是稳压二极管的负极。

(2) 好坏的判断。若测得稳压二极管的正、反向电阻均很小或均为无穷大, 则说明该二极管已击穿或开路损坏; 若测量稳压二极管的稳定电压忽高忽低, 则说明该二极管的工作电压稳定性不好。

3. 整流桥堆的检测

(1) 极性的判别。在大多数的整流桥堆上均标注有“+”、“-”、“~”符号（其中“+”为整流后输出电压的正极，“-”为输出电压的负极，“~”为交流电压输入端），很容易确定出各电极。

(2) 好坏的判断。检测时，可通过分别测量“+”极与2个“~”极、“-”极与2个“~”极之间各整流二极管的正、反向电阻（与普通二极管的测量方法相同）是否正常，即可判断该全桥是否已损坏。若测得全桥内各二极管的正、反向电阻均为0或无穷大，则可判断该二极管已击穿或开路损坏。

1.3 二极管整流电路

在电子电路中常将工频交流电转换为脉动较小的直流电，一般要经过4个步骤完成（见图1-16）。

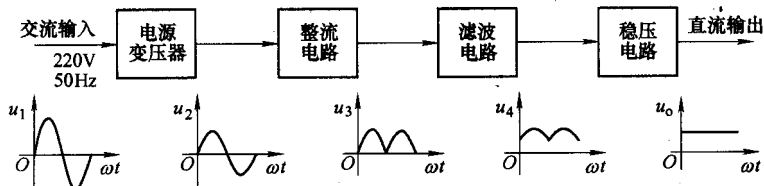


图 1-16 电路整流过程

- (1) 电源变压器。将交流电网电压 u_1 变为合适的交流电压 u_2 。
- (2) 整流电路。将交流电压 u_2 变为脉动的直流电压 u_3 。
- (3) 滤波电路。将脉动直流电压 u_3 转变为平滑的直流电压 u_4 。
- (4) 稳压电路。清除电网波动及负载变化的影响，保持输出电压 u_o 的稳定。

1.3.1 单相半波整流电路

为分析简单起见，把二极管当作理想器件处理，即二极管的正向导通电阻为零，反向电阻为无穷大。

单相半波整流电路是最基本的将交流转换为直流的电路，其电路如图1-17所示。

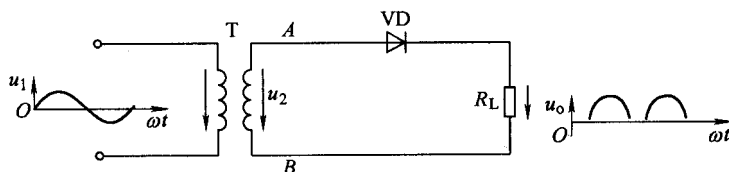


图 1-17 单相半波整流电路

单相半波整流电路由电源变压器 T、整流二极管 VD 和用电负载 R_L 构成。图中 u_1 是 220V 的市电电压, u_2 是变压器二次电压, u_o 是脉动的直流输出电压。

(1) 整流原理。当 u_2 为正半周内时, 设 A 端为正、B 端为负, 二极管 VD 加正向电压而导通。电流由 A 端 $\rightarrow$ VD $\rightarrow R_L \rightarrow$ B 端自上而下流过 R_L , 在 R_L 的两端取得上正下负的电压 u_o 。(忽略二极管的正向压降)。在此期间负载 R_L 的电压 $u_o = u_2$; 当 u_2 为负半周内时, 则 A 端为负, B 端为正, 二极管 V 加反向电压而截止。若忽略二极管的反向漏电流, 则在此期间无电流通过负载 R_L , 负载 R_L 的电压 $u_o = 0$ 。

由此得出结论: 在输入电压 u_2 变化的 1 个周期内, 二极管类似 1 个开关, 当 u_2 为正半周内时, 二极管导通, 在此期间负载 R_L 导电; 当 u_2 为负半周内时, 二极管截止, 在此期间负载 R_L 不导电。在负载 R_L 上得到如图 1-17 所示的方向不变、大小变化的直流电压 u_o 。

在该整流电路中, 输入电压为单相正弦波, 负载 R_L 上得到的只有正弦波的半个波形, 故称之为单相半波整流电路。

(2) 负载上的直流电压和电流

1) 负载上的直流电压。负载上的直流电压的大小是变化的, 其平均值 U_o 为

$$U_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_o d(\omega t) = \frac{\sqrt{2}U_2}{\pi} = 0.45U_2 \quad (1-1)$$

式中 U_2 ——变压器二次电压的有效值。

2) 负载上的直流电流。由欧姆定律推得负载上的直流电流 I_L 为

$$I_L = 0.45U_2 / R_L \quad (1-2)$$

(3) 半波整流电路变压器的选择。变压器的二次电压 $U_2 = 0.45U_L$, 变压器的功率应大于负载的功率。

(4) 半波整流电路二极管的选择。二极管的额定电压 U_M 要大于变压器二次电压的有效值 U_2 , 额定电流要大于负载上的直流电流 I_L 。

(5) 单相半波整流电路的优点和缺点。优点是电路简单, 所用元器件少; 缺点是输出的电压波动性大, 效率很低, 只适用于对于直流电要求较低的场合。

1.3.2 单相桥式整流电路

单相桥式整流电路是在电工电子仪器中应用较广泛的电路, 其电路如图 1-18 所示。

单相桥式半波整流电路由电源变压器 T、4 只整流二极管 $VD_1 \sim VD_4$ 组成的整流电桥及负载电阻 R_L 构成。图中 u_1 为 220V 的市电电压, u_2 为变压器二次电压, u_o 是脉动的直流输出电压。

(1) 整流原理。当 u_2 为正半周时, 设 A 端为正, B 端为负, 二极管 VD_1 与 VD_3 加正向电压而导通, 二极管 VD_2 与 VD_4 加反向电压而截止, 电流由 A 端 $\rightarrow VD_1 \rightarrow R_L \rightarrow VD_3 \rightarrow$ B 端自上而下流过 R_L , 在 R_L 的两端取得上正下负的电压 u_o , 在负载电阻 R_L 上得到正弦波的正半周。若忽略二极管的正向压降, 则其输出电压波形如图 1-19a 所示; u_2 为负半周时, 则 B 端为正、A 端为负, 二极管 VD_2 与 VD_4 加正向电压而导通, 二极管 VD_1 与 VD_3 加反向电压而截止, 电流由 B 端 $\rightarrow VD_4 \rightarrow R_L \rightarrow VD_2 \rightarrow$ A

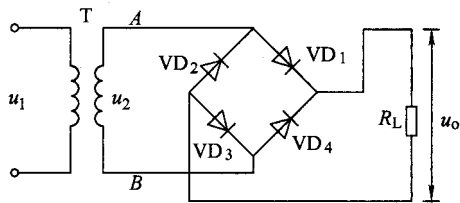


图 1-18 单相桥式整流电路

端自上而下流过 R_L , 在 R_L 的两端取得上正下负的电压 u_o , 在负载电阻 R_L 上得到正弦波的负半周。若忽略二极管的正向压降, 则其输出电压波形如图 1-19b 所示。

变压器二次电压 u_2 在负载电阻上正负半周经合成后, 得到同一方向的单向脉动电压, 单相桥式整流电路的波形如图 1-20 所示。

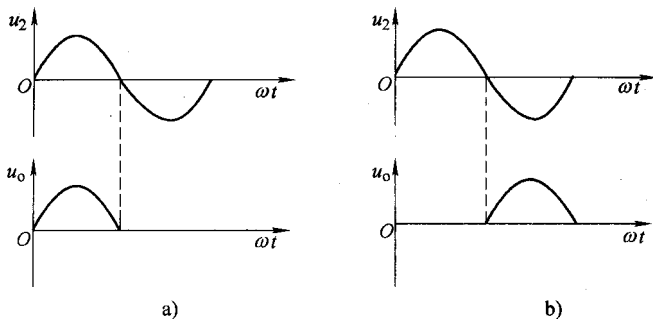


图 1-19 单相桥式整流电路输出电压波形

a) u_2 为正半周 b) u_2 为负半周

(2) 负载上的直流电压和电流

1) 负载上的直流电压。负载上的直流电压的大小是变化的, 其平均值 U_o 为

$$U_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_o d(\omega t) = 0.9 U_2 \quad (1-3)$$

式中 U_2 ——变压器二次电压的有效值。

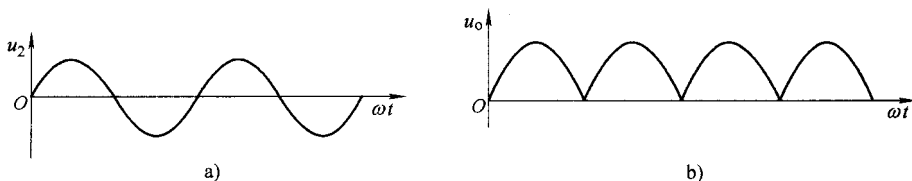


图 1-20 单相桥式整流电路的波形图

a) 变压器次级电压波形图 b) 合成后的单向脉动电压波形图

2) 负载上的直流电流。由欧姆定律推得负载上的直流电流 I_L 为

$$I_L = 0.9 U_2 / R_L \quad (1-4)$$

(3) 桥式整流电路变压器的选择。变压器的二次电压 $U_2 = U_o / 0.9$, 变压器的功率应大于负载的功率。

(4) 桥式整流电路二极管的选择。二极管的额定电压 U_M 要大于 $\sqrt{2} U_2$, 额定电流要大于负载电流 I_L 。

注意: 桥式整流电路二极管的极性不允许接错。

1.4 二极管滤波电路

整流电路输出的是脉动的直流电, 其中含有较大的交流成分, 在电子设备中不能直接将其作为电源使用, 需要将脉动直流电中的交流成分滤除掉, 在电子技术中这个过程称作滤波。在电路中电容器与电感器都是储能元件, 合适地设置电路, 当电路电压升高时, 储能元件把能量储存起来, 当电路电压降低时, 储能元件把能量释放出来, 从而达到使电压平稳的目的。滤波电路通常都是由电容器和电感器等元件组成的, 常见的滤波电路有电容滤波电路、电感滤波电路及由电容器和电感器等元件构成的复式滤波电路。