

★ 服务热线: 400-615-1233
★ 配套精品教学资料包
★ www.huatengedu.com.cn



MONI DIANZI JISHU JICHU

模拟电子技术基础



策划编辑: 马子涵
责任编辑: 马子涵
封面设计: 黄燕美



定价: 42.00元

模拟电子技术基础

主编 黄立奎

北京邮电大学出版社



高等职业教育电子信息系列精品教材

▶ “互联网+”创新型教材



MONI DIANZI JISHU JICHU

模拟电子技术基础

主编 黄立奎



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

高等职业教育电子信息系列精品教材

“互联网+”创新型教材



MONI DIANZI JISHU JICHU

模拟电子技术基础

主 编 黄立奎
副主编 曹晶莹 周春梅 孙新奎
贾 强 魏淑倩
参 编 龚振华 李俊杰



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书共6个项目,内容包括直流稳压电源、三极管音频放大电路的设计与制作、集成运算放大器、反馈电路及振荡电路、集成运算放大器的应用、功率放大器的设计与制作。

本书可作为高等职业学校电子信息等专业的教材,也可供相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础 / 黄立奎主编. -- 北京:北京邮电大学出版社, 2021.11(2023.6重印)

ISBN 978-7-5635-6563-4

I. ①模… II. ①黄… III. ①模拟电路—电子技术—高等职业教育—教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2021)第237343号

策划编辑:马子涵 责任编辑:马子涵 封面设计:黄燕美

出版发行:北京邮电大学出版社

社 址:北京市海淀区西土城路10号

邮政编码:100876

发 行 部:电话:010-62282185 传真:010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销:各地新华书店

印 刷:大厂回族自治县聚鑫印刷有限责任公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:12 插页1

字 数:292 千字

版 次:2021年11月第1版

印 次:2023年6月第2次印刷

ISBN 978-7-5635-6563-4

定 价:42.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

服务电话:400-615-1233

“模拟电子技术基础”是高等职业学校电子信息等专业的一门实用性很强的专业基础技能训练课程。本书对模拟电子技术的基本概念和基本分析方法进行了阐述,力争在保证掌握必要的基本理论知识和基本技能的基础上,坚持高职教学“以应用为目的,以必需、够用为度,掌握概念,强化应用”的原则,培养学生的实际应用能力。

年轻这一代,尤其是学生,是祖国未来建设者和接班人。作为教育工作者,要培养年轻人爱国,民族复兴的意识。党的二十大报告擘画了全面建成社会主义现代化强国的宏伟蓝图和实践路径,为党和国家的各项事业指明了前进方向。新时代的高校肩负着为实现第二个百年奋斗目标,以中国式现代化全面推进中华民族伟大复兴培育中坚力量的重要任务。将党的二十大精神有机融入教材思政,是引领思政课程建设、锻造人才底色的关键。

本书立足实际、适应新形势,内容求新、求全,语言通俗易懂,理论性、实用性强,并注意突出以下几点。

(1)针对初学者普遍感到模拟电子技术课程较难入门的情况,在叙述上配以图、表来说明问题,尽量避免大量的理论分析和烦琐的公式推导,力求浅显易懂,易于理解和掌握。对一些重要的性能指标和特性侧重于介绍其内在含义。

(2)注重实用性。本书加入了二极管、三极管等器件的识别、测试及其在实际应用中的注意事项等常识性知识,同时加入了实际工程中会用到的估算和检测方法、选用器件的经验技巧等,便于学生学习借鉴,提高操作技能。

(3)本书采用项目引领、任务驱动的模式编写,内容结构循序渐进,注重对基本电路进行分析和应用,并通过大量例题或应用电路对相应的知识点进行讲解,在有足够基本知识的铺垫下,分析介绍集成运算放大器在模拟信号的处理、转换和产生等方面的应用。本书对直流稳压电源做了较为详细的介绍,可促进学生整体学习模拟电子技术知识,学会在实际应用中正确选择合适的电路,为今后的专业学习和工作奠定基础。

(4)侧重集成电路的应用,渗透新知识、新技术。对集成运算放大器、三端集成稳压器等,淡化其内部电路结构的分析,注重从功能上介绍器件如何合理选择和正确使用。对开关电源等较新技术也做了适当的介绍,以拓展学生的知识面。

(5)每个项目后面配有适量有针对性的习题,便于学生巩固所学知识。同时,加强实践环节,结合各部分理论知识,尽量淡化教学设备对实验的影响,注重对学生实际动手能力的培养。

本书对模拟电子技术课程的知识体系进行了整合和重构,在教学内容选取上保证了电子信息类专业所需的最基本、最主要的知识,尽量避免内容之间存在不必要的交叉和重叠,淡化学科体系,提高课堂教学效率。

本书共6个教学项目,17个教学任务,参考学时为64学时,具体学时建议分配见下表。

项 目	任 务	学 时	合 计
项目一 直流稳压电源	二极管的识别与检测	2	12
	二极管的钳位作用及半波整流的检测	4	
	稳压二极管和发光二极管的应用与检测	2	
	分析直流稳压电源	4	
项目二 三极管音频放大电路的设计与制作	三极管的识别与检测	4	16
	认知场效应管	4	
	基本放大电路	6	
	认识差分放大电路	2	
项目三 集成运算放大器	两级放大电路的检测	4	12
	集成运放的测试	8	
项目四 反馈电路及振荡电路	负反馈放大电路的检测	2	6
	RC 正弦波发生器的检测	4	
项目五 集成运算放大器的应用	电压跟随器的检测	4	12
	积分电路——方波信号转变为三角波信号	4	
	集成运放的非线性应用	4	
项目六 功率放大器的设计与制作	OTL 功率放大器的测试	4	6
	集成功率放大器的测试	2	
总计		64	

本书由天津电子信息职业技术学院黄立奎任主编,天津电子信息职业技术学院曹晶莹、天津滨海职业学院周春梅、天津电子信息职业技术学院孙新奎、天津现代职业技术学院贾强、天津电子信息职业技术学院魏淑倩任副主编,天津轻工职业技术学院龚振华和天津电子信息职业技术学院李俊杰参与编写。具体编写分工如下:项目一和项目六由黄立奎编写,项目二和项目三由孙新奎和贾强编写,项目四由周春梅编写,项目五和实训由曹晶莹和魏淑倩编写,思政课堂由龚振华和魏淑倩编写,李俊杰等人参与了电路图的绘制。全书由黄立奎统稿。

电子技术发展迅速,限于编者的教学经验和学术水平,书中难免存在疏漏和不妥之处,敬请广大读者提出宝贵意见,以便再版时修订。

编 者

CONTENTS

目 录

项目一

直流稳压电源

1

任务一 二极管的识别与检测 2

知识学习 2

一、半导体的特性 2

二、本征半导体和杂质半导体 3

三、PN 结及其特性 5

四、二极管的结构及其特性 7

五、二极管的主要参数 8

六、二极管的型号与检测 9

任务实施 10

任务考评 11

任务二 二极管的钳位作用及半波整流的检测 11

知识学习 11

一、整流电路 11

二、限幅电路 13

三、开关电路 13

任务实施 13

任务考评 14

任务三 稳压二极管和发光二极管的应用与检测 15

知识学习 15

一、稳压二极管 15

二、发光二极管 16

三、光电二极管 17

四、变容二极管 17

任务实施 17

任务考评 18

任务四 分析直流稳压电源 18

知识学习 18

一、单相整流电路 19

二、滤波电路 23

三、稳压电路 27



四、三端集成稳压器及其应用	30
任务实施	32
任务考评	33
思政课堂	33
习 题	34

项目二

三极管音频放大电路的设计与制作	37
------------------------------	-----------

任务一 三极管的识别与检测	38
知识学习	38
一、三极管的结构及分类	38
二、三极管的放大作用	39
三、三极管的特性曲线	40
四、三极管的主要参数	41
五、三极管的检测及判断	42
任务实施	44
任务考评	44
任务二 认知场效应管	45
知识学习	45
一、场效应管的分类和基本结构	45
二、场效应管的工作原理	47
任务实施	50
任务考评	50
任务三 基本放大电路	51
知识学习	51
一、放大电路的概念	51
二、基本共发射极放大电路	52
三、放大电路的等效电路及其分析	55
四、分压式偏置放大电路	61
五、射极输出器	64
六、共基极放大电路	65
任务实施	67
任务考评	68
任务四 认识差分放大电路	69
知识学习	69
一、差分放大电路的基本概念	69
二、基本差分放大电路	70
任务实施	71
任务考评	72
思政课堂	72
习 题	73



项目三	集成运算放大器	76
任务一	两级放大电路的检测	76
知识学习		76
一、模拟集成电路概述		76
二、多级放大电路		79
任务实施		81
任务考评		83
任务二	集成运放的测试	83
知识学习		83
一、集成运算放大器及其主要参数		83
二、专用集成运放及使用		88
三、集成运放小结		90
任务实施		90
任务考评		91
思政课堂		91
习 题		92
项目四	反馈电路及振荡电路	94
任务一	负反馈放大电路的检测	95
知识学习		95
一、反馈的基本概念和负反馈的分类		95
二、负反馈对放大电路性能的影响		103
三、深度负反馈条件下放大倍数的计算		107
任务实施		109
任务考评		110
任务二	RC 正弦波发生器的检测	110
知识学习		110
一、正反馈振荡条件及振荡电路的组成		110
二、RC 桥式振荡电路		112
三、LC 振荡电路		113
四、集成运放的非正弦波发生器		118
任务实施		120
任务考评		120
思政课堂		121
习 题		122
项目五	集成运算放大器的应用	125
任务一	电压跟随器的检测	126
知识学习		126



一、运算放大器的传输特性	126
二、基本运算电路	127
任务实施	129
任务考评	130
任务二 积分电路——方波信号转变为三角波信号	130
知识学习	130
一、积分和微分电路	130
二、模拟乘法器及应用	132
任务实施	136
任务考评	136
任务三 集成运放的非线性应用	136
知识学习	136
一、单限比较器	137
二、迟滞比较器	137
任务实施	138
任务考评	139
思政课堂	139
习 题	140

项目六

功率放大器的设计与制作

145

任务一 OTL 功率放大器的测试	145
知识学习	146
一、功率放大电路的特点及分类	146
二、互补对称功率放大电路	148
任务实施	153
任务考评	154
任务二 集成功率放大器的测试	154
知识学习	155
一、集成功率放大器	155
二、功率放大电路中存在的问题	156
任务实施	157
任务考评	158
思政课堂	158
习 题	159

实 训

162

参考文献

186



项目一

直流稳压电源

知识目标

- (1) 掌握半导体的特点及二极管的特性。
- (2) 掌握几种特殊二极管的功能及使用常识。
- (3) 掌握直流稳压电源的组成。
- (4) 掌握整流稳压电路的工作原理,能进行简单的工程计算。

技能目标

- (1) 能够识别与检测二极管。
- (2) 能够分析二极管的钳位作用并进行半波整流的检测。
- (3) 学会稳压二极管和发光二极管的检测方法,能够组装和测试整流电路。
- (4) 掌握直流稳压电源的制作方法,能用示波器观察变压器的次级波形、整流后的波形及滤波后的波形。

项目分析

直流电源一般由交流电源、变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路等几部分组成。变压器将常规的交流电压变换成所需要的交流电压;整流电路将交流电压变换成单方向脉动的直流电压;滤波电路将单方向脉动的直流电中所含的大部分交流成分滤掉,得到较平滑的直流电;稳压电路用来消除由于电网电压波动、负载改变对其产生的影响,从而使输出电压稳定。设计一个桥式整流电容滤波电路,用 220 V、50 Hz 交流电源供电,要求输出直流电压 $U_o = 45$ V,负载电流 $I_o = 200$ mA。

分析 (1) 采用图 1-1 所示电路。

(2) 整流二极管的选择。

$$I_D = 0.5 I_o = 0.5 \times 200 = 100 \text{ mA}$$
$$U_o = 1.2 U_2$$

所以

$$U_2 = \frac{U_o}{1.2} = \frac{45}{1.2} = 37.5 \text{ V}$$

每个二极管承受的最大反向电压 $U_{\text{BRM}} = \sqrt{2} U_2 \approx 1.4 \times 37.5 = 52.5 \text{ V}$ 。

根据 I_D 和 U_{BRM} 进行选管。可选用整流二极管 2CP31B(最大整流电流为 250 mA,最大反向工作电压为 100 V)。

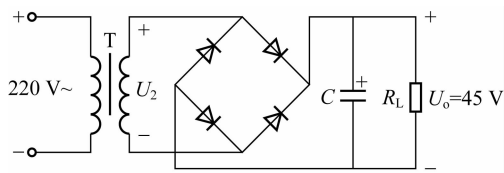


图 1-1 桥式整流电容滤波电路

(3) 滤波电容 C 的确定。一般应使放电时间常数 $R_L C$ 大于电容 C 充电周期的 $3 \sim 5$ 倍。对桥式整流来说, 电容 C 的充电周期等于交流电网周期的一半, 即

$$R_L C \gg \frac{(3 \sim 5) T}{2}$$

取

$$R_L C = \frac{4T}{2} = 2T$$

其中

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0.02 \text{ s}$$

所以

$$C = 2 \times \frac{0.02}{225} = 178 \mu\text{F}$$

$$C = 200 \mu\text{F} / 50 \text{ V}$$

桥式整流电容滤波电路的输出电压无须调节, 但其局限性也很明显, 即输出电压不能调节; 而且如果交流电源电压和负载电流变化的范围较大, 稳压效果就较差。因此, 一般需要加入稳压管、集成三端稳压器才能为电源使用。

任务一



二极管的识别与检测



任务描述

自然界的各种物质按导电能力可分为导体、绝缘体和半导体三类。金属(如银、铜、铝等)是良好的导体, 由于其内部存在可自由移动的带电粒子而导电。绝缘体(如塑料、橡胶、陶瓷等)由于其内部几乎没有带电粒子, 即使外加很高的电压也无电流通过。导电能力介于导体和绝缘体之间的是半导体。二极管实际上就是一个 PN 结, 它的特性就是 PN 结的特性, 即单向导电性。性能良好的二极管, 其正向电阻小, 反向电阻大。根据这一特性, 如何采用万用表测量二极管的正向电阻和反向电阻? 怎样判断二极管的好坏与极性?



知识学习

一、半导体的特性

一般来说, 半导体的导电能力并不强, 但半导体所特有的性质使其在不同条件下的导电能力有很大差别。

1. 热敏性

当半导体的温度升高时, 它的导电性能会增强, 这种特性称为热敏性。利用半导体的热



敏性可制成热敏元件,如热敏电阻。

2. 光敏性

当半导体受到光的照射时,半导体中的自由电子和空穴就会增多,导电性能会随光照的增强而增强,这种特性称为光敏性。利用半导体的光敏性可制成光敏元件,如光敏电阻、光敏二极管等。

3. 掺杂性

当有目的地向纯净的半导体中掺入微量三价或五价元素时,其导电能力可增加几十乃至几百万倍。例如,在纯硅中掺入百万分之一的硼后,硅的电阻率就从约 $2\,000\ \Omega \cdot \text{m}$ 减小到 $0.000\,4\ \Omega \cdot \text{m}$ 左右。这种特性称为掺杂性,利用掺杂性可以制成晶体二极管、晶体三极管、场效应管等半导体器件。

二、本征半导体和杂质半导体

1. 本征半导体

将硅、锗等半导体材料提纯后形成的完全纯净、具有晶体结构的半导体称为本征半导体。半导体与导体、绝缘体截然不同的导电特性是由它的内部结构和导电机理所决定的,下面介绍本征半导体的内部结构。

硅和锗都是四价元素,在其最外层电子轨道上有 4 个电子,称为价电子。在本征半导体的晶体结构中,每一个原子与相邻的 4 个原子结合,每一个原子的 1 个价电子与另一个原子的 1 个价电子组成 1 个电子对,这对价电子是每两个相邻原子共有的,它们把相邻的原子结合在一起,构成共价键结构。

本征半导体在温度为 $0\ \text{K}(-273.15\ ^\circ\text{C})$ 时,每一个原子的外围电子都被共价键所束缚,不能自由移动。这样,本征半导体中虽然有大量的价电子,但没有自由电子,此时半导体不导电。

当外界条件改变,如温度升高或受光照时,由于半导体共价键中的价电子不像绝缘体中那样被束缚得很紧,价电子从外界获得一定的能量,少数价电子受到激发会摆脱共价键的束缚而成为自由电子;同时在共价键相应的位置上留下一个空位,这个空位称为空穴,如图 1-2 所示。自由电子和空穴总是成对出现,所以称它们为电子空穴对。由于热或光照的作用,本征半导体中产生电子空穴对的现象称为本征激发,又称为热激发。在本征半导体中,自由电子和空穴的数量总是相等的。

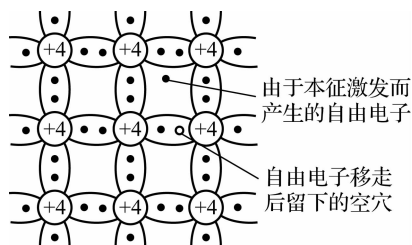


图 1-2 本征激发产生电子空穴对示意图

由于共价键出现了空穴,在外加电场或其他能源的作用下,半导体中将出现两部分电流:一部分是自由电子做定向运动形成的电子电流;另一部分是仍被束缚的价电子,填补到邻近的空位上,而在原来的位置上留下新的空位,以后其他邻近的价电子又递补到这个新的空位上,形成了一部分电流。如图 1-3 所示,为了区别于自由电子的运动,把这种价电子递补空穴的运动称为空穴运动。空穴运动的方向和自由电子运动的方向相反,所带电荷与自

由电子的数量相等,符号相反。空穴可以视为一种带正电荷的载流子,空穴运动相当于正电荷运动,它形成的电流与电子电流的方向相同,如图 1-4 所示。

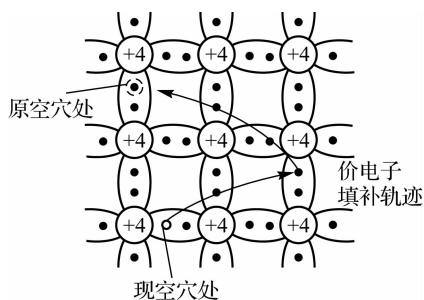


图 1-3 电子与空穴的运动

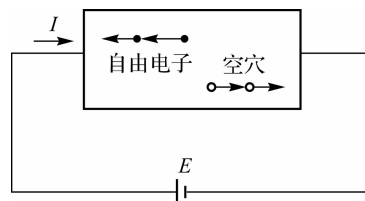


图 1-4 两种载流子在电场中的运动

因此,在半导体中存在着带负电的自由电子和带正电的空穴两种载流子,而金属导体中只有自由电子一种载流子,这是半导体和金属导体在导电机理上的本质区别。

本征半导体中的自由电子和空穴总是成对出现,同时又不断复合,在一定温度下达到动态平衡,载流子维持一定数目。载流子的浓度影响本征半导体的导电能力。温度越高,载流子数量越多,其导电能力也就越强。所以,温度是影响半导体器件性能的一个重要的外部因素。

2. 杂质半导体

本征半导体中虽然有自由电子和空穴两种载流子,但由于数量极少,其导电能力仍然很低。如果在其中掺入微量的杂质,所形成的杂质半导体的导电性能将大大增强。掺入的杂质主要是三价或五价元素,根据掺入的杂质不同,杂质半导体可以分为 N 型和 P 型两大类。

1) N 型半导体

在本征半导体硅(或锗)中掺入五价的杂质元素(如磷),就可以得到 N 型半导体。由于掺入本征半导体硅中的磷原子数比硅原子数少得多,因此整个晶体结构基本不变,仅在某些位置上,磷原子取代原晶体结构中的硅原子,与周围 4 个硅原子中的价电子形成共价键。磷原子的最外层有 5 个价电子,而磷原子参加共价键只需 4 个价电子,多余的价电子因无共价键束缚而很容易摆脱磷原子核的束缚,成为自由电子。五价杂质原子因提供自由电子而成为不可移动的正离子,如图 1-5 所示,于是 N 型半导体中的自由电子数目大量增加,自由电子成为半导体的主要导电粒子,故此类半导体也称为电子型半导体。

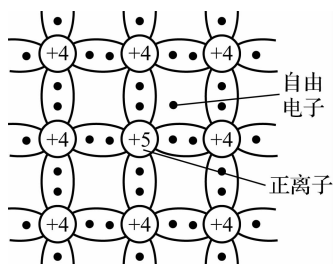


图 1-5 N 型半导体

2) P 型半导体

在本征半导体硅(或锗)中掺入三价杂质元素(如硼),就可以得到 P 型半导体。掺入硼元素后,硼原子在取代原晶体结构中的硅原子后,与周围 4 个硅原子中的价电子形成共价

键。由于硼原子中只有 3 个价电子，共价键中将因缺少 1 个价电子而形成 1 个空穴。当相邻原子中的价电子受到热激发或其他激发获得能量时，很有可能填补上这个空穴，而在相应位置出现新的空穴。空穴很容易俘获电子，使杂质原子成为不可移动的负离子，如图 1-6 所示。每个硼原子都能提供 1 个空穴，于是半导体中的空穴数目将大量增加。空穴成为主要的导电粒子，故此类半导体也称为空穴型半导体。

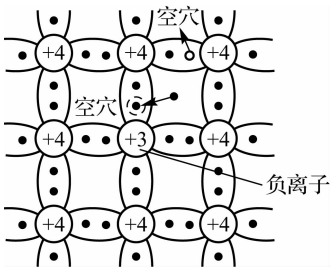


图 1-6 P 型半导体

在 N 型半导体中，由于掺杂自由电子浓度远大于空穴浓度，自由电子成为多数载流子，简称多子；空穴成为少数载流子，简称少子。而在 P 型半导体中，由于掺杂空穴浓度远大于自由电子浓度，空穴成为多数载流子，自由电子成为少数载流子。在杂质半导体中，多子由于掺杂而产生，而少子由热激发而形成。

由于杂质的掺入，杂质半导体内部的载流子数目远远大于本征半导体，所以杂质半导体的导电能力比本征半导体有了极大的增强。但是，不论是 N 型半导体还是 P 型半导体，虽然都有一种载流子占多数，导电能力增强，但整个晶体仍然是不带电的。在本征半导体中掺入杂质的目的不是单纯提高半导体的导电能力，而是通过控制掺杂量制造出合乎要求的半导体材料，从而用来生产半导体器件。

三、PN 结及其特性

虽然杂质半导体的导电能力大大增强，但是并不能直接用来制造半导体器件。通常是在一块 N 型(P 型)半导体的局部再掺入浓度较大的三价(五价)杂质，使其变为 P 型(N 型)半导体，这样就在 P 型半导体和 N 型半导体的交界面形成 PN 结。PN 结是构成二极管、三极管等半导体器件的基础。

1. PN 结的形成

通过一定的掺杂工艺，在一块完整晶片的两边分别形成 P 型和 N 型半导体，P 型半导体中有大量的空穴和极少的自由电子，而在 N 型半导体中有极少的空穴和大量的自由电子。由于两边载流子浓度的差别，在 P 型和 N 型半导体交界面的附近，P 区中的空穴将扩散到 N 区，P 区一侧因失去空穴留下不能移动的带负电的三价杂质离子；同时，N 区的自由电子要向 P 区扩散，N 区一侧因失去自由电子而留下不能移动的带正电的五价杂质离子。这样，在交界面附近形成一个带异性电荷的离子层，称为空间电荷区，即 PN 结。扩散的结果是空间电荷区变宽。空间电荷区会产生内电场，其方向是从 N 区指向 P 区。内电场阻碍了多数载流子的扩散运动。随着内电场的加强，多数载流子的扩散运动逐步减弱，直至停止，使交界面形成一个稳定、特殊的薄层。在空间电荷区内的多数载流子扩散到对方并被复合掉(或者说消耗尽)，因此空间电荷区又称为耗尽层。

内电场对多数载流子的扩散运动起阻碍作用,对少数载流子起到推动作用,使它们越过空间电荷区,进入对方。少数载流子在内电场作用下有规则的运动称为漂移运动。内电场越强,漂移运动越强,而漂移运动使空间电荷区变薄。扩散和漂移这一对相反的运动最终达到动态平衡,此时空间电荷区的宽度基本稳定下来,PN 结处于相对稳定的状态,如图 1-7 所示。

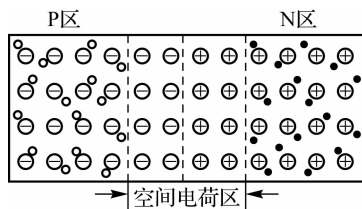


图 1-7 达到动态平衡的 PN 结

2. PN 结的单向导电性

在 PN 结两端外加电压,如果外加电压使 PN 结中 P 区的电位高于 N 区的电位,称为加正向电压,也称 PN 结正向偏置(简称正偏);反之,外加电压使 PN 结中 N 区的电位高于 P 区的电位,称为加反向电压,也称 PN 结反向偏置(简称反偏)。由于 PN 结特殊的内部结构,PN 结在外加电压时具有单向导电性,这也是 PN 结构成的半导体器件的主要工作原理。

1)PN 结正向偏置

在 PN 结两端加正向电压,如图 1-8 所示。外加电压产生的外电场的方向与 PN 结所产生的内电场的方向相反,破坏了扩散与漂移运动的平衡。在外电场作用下,P 区的空穴进入空间电荷区抵消一部分负离子,同时 N 区的自由电子进入空间电荷区抵消一部分正离子,于是空间电荷区变窄,内电场被削弱,多数载流子的扩散运动增强,形成较大的扩散电流,即由 P 区流向 N 区的正向电流。PN 结呈现低阻态,即 PN 结处于正向导通状态。

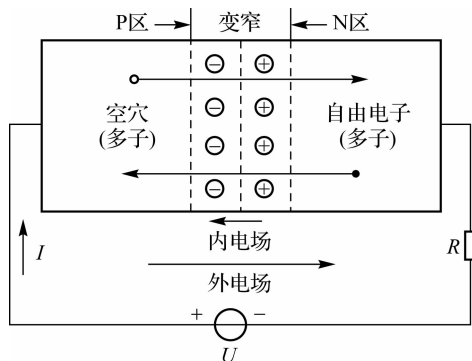


图 1-8 PN 结加正向电压时导通

2)PN 结反向偏置

在 PN 结上加反向电压,如图 1-9 所示。此时外电场与内电场的方向一致,扩散运动与漂移运动的平衡同样被破坏。外电场驱使空间电荷区两侧的空穴和自由电子移走,于是空间电荷区变宽,内电场增强,抑制多数载流子的扩散运动,同时加强少数载流子的漂移运动,形成由 N 区流向 P 区的反向电流。少数载流子数量很少,因此反向电流不大,PN 结的反向电阻很高,即 PN 结处于截止状态。反向电流由少数载流子形成,而它又是由于热激发产生的,因而 PN 结的反向电流受温度影响很大。



视频
PN 结的单向
导电性

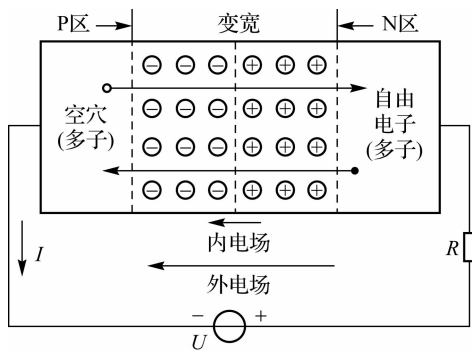


图 1-9 PN 结加反向电压时截止

根据上述分析,正向偏置时,PN 结处于正向导通状态,其正向电阻较小,正向电流较大;反向偏置时,PN 结处于反向截止状态,其反向电阻较大,反向电流很小。这就是 PN 结所具有的单向导电性,它是 PN 结构成半导体器件的基础。

四、二极管的结构及其特性

1. 二极管的结构、符号及外形

在 PN 结的 P 型和 N 型半导体加上相应的电极引线,并用管壳封装,就成为半导体二极管(简称二极管),其外形如图 1-10(a)所示。二极管可以根据不同方式分类:按材料分为硅二极管、锗二极管和砷化镓二极管等,按结构工艺特点分为点接触型和面接触型二极管,按用途分为整流、稳压、开关、发光、光电、变容、阻尼等二极管,按封装形式分为塑封及金属封二极管等,按功率分为大功率、中功率及小功率二极管。

二极管的基本结构和电路符号如图 1-10(b)和图 1-10(c)所示。P 区对应的电极称为阳极(或正极),N 区对应的电极称为阴极(或负极)。二极管电路符号中的三角形实际上是一个箭头,箭头背向相连的电极为阳极,记为“+”,箭头指向相连的电极为阴极,记为“-”。二极管的文字符号通常为字母 VD。

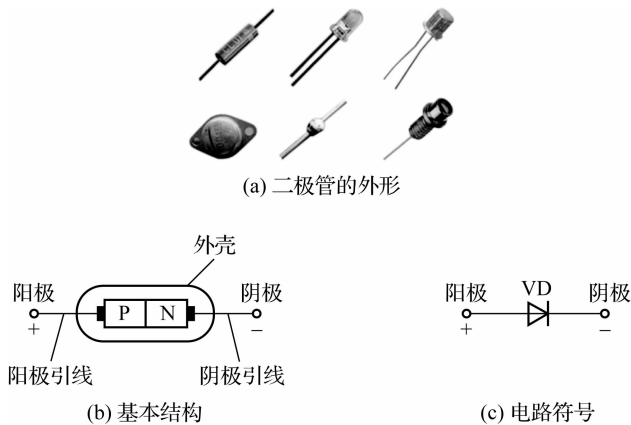


图 1-10 半导体二极管

2. 二极管的特性

二极管实际上是一个 PN 结,它的特性就是 PN 结的特性,即单向导电性。常利用伏安



视频
二极管的结构

特性曲线来形象地描述二极管的单向导电性。以电压为横坐标,电流为纵坐标,用作图法把电压、电流的对应值用平滑的曲线连接起来,就构成二极管的伏安特性曲线,如图 1-11 所示。图中虚线为锗管的伏安特性,实线为硅管的伏安特性。

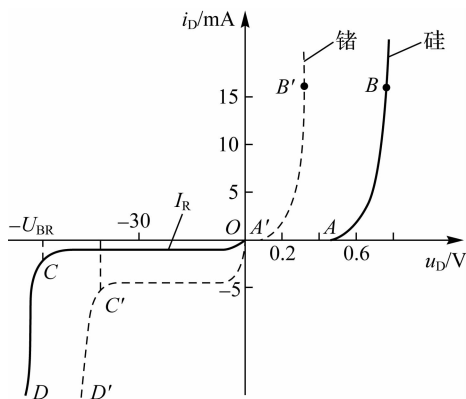


图 1-11 二极管的伏安特性曲线

1) 正向特性

二极管两端加正向电压时,产生正向电流。当正向电压较小时,外电场还不足以克服内电场对载流子扩散运动的阻力,正向电流极小,几乎为零,这一部分称为死区,如图 1-11 中 $OA(OA')$ 段,相应的 $A(A')$ 点的电压称为死区电压(也称阈值电压)。硅管的死区电压约为 0.5 V,锗管的死区电压约为 0.1 V。

当外加正向电压大于死区电压时,正向电流急剧增大,二极管呈现很小电阻而处于导通状态。硅管的正向导通压降为 0.6~0.7 V,锗管的正向导通压降为 0.2~0.3 V,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

二极管两端加上反向电压时,在开始很大范围内,二极管相当于非常大的电阻,反向电流在一定电压范围内保持常数,不随反向电压而变化,如图 1-11 中 $OC(OC')$ 段。此时的电流称为反向饱和电流 I_R 。

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。

普通二极管被击穿后,由于反向电流很大,一般会造成“热击穿”,不能恢复原来的性能,也就失去了单向导电性。

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。

4) 理想二极管

理想二极管的特性如图 1-12(a)所示,考虑导通电压的二极管的特性如图 1-12(b)所示。

五、二极管的主要参数

1. 最大整流电流 I_{FM}

最大整流电流是指二极管长期使用时,允许流过二极管的最大正向平均电流。当电流超过 I_{FM} 时,PN 结将过热而使二极管损坏。



视频
二极管的伏安特性



视频
二极管的动态特性



视频
二极管的电流方程



视频
二极管的工作原理

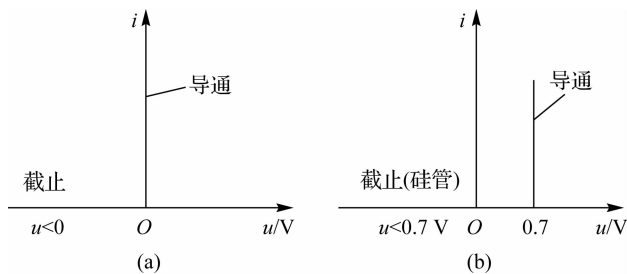


图 1-12 二极管特性两种近似画法

2. 反向工作峰值电压 U_{RM}

反向工作峰值电压是指保证二极管不被击穿时其所能承受的最高反向电压。为了确保二极管工作安全,晶体管手册中给出的反向工作峰值电压一般是反向击穿电压的一半或三分之二,实际应用时要注意二极管所承受的反向电压不应超过 U_{RM} 。

3. 反向峰值电流 I_{RM}

反向峰值电流是指在室温下二极管加最高反向电压时的反向电流。其值越大,说明管子的单向导电性越差。反向电流是由价电子获得热能挣脱共价键的束缚而产生的,因此受温度的影响较大,温度越高,反向电流越大。

4. 最高工作频率 f_F

它是指二极管正常工作时的上限频率。由于 PN 结存在着结电容,当电流(或电压)的变化频率超过此值时,PN 结的单向导电性将会变差。

六、二极管的型号与检测

1. 二极管的型号

不同二极管可以从它的形状和外观区别,某些二极管的材料和极性可以从它的型号和外观上直接进行辨别。生产厂家通常会在二极管外壳上用特定标记表示极性。最明确的方法是在外壳上画二极管符号,箭头指向一端为阴极;螺栓式二极管带螺纹的一端是阴极,这是一种工作电流很大的二极管;有的二极管上画有色环,带色环的一端为阴极。

国家标准规定,国产半导体器件的型号由 5 部分组成,如图 1-13 所示。

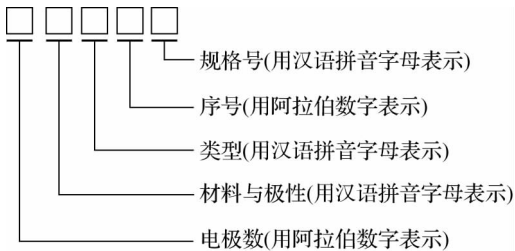


图 1-13 晶体管型号组成及其意义

第一部分:用阿拉伯数字表示器件的电极数,“2”表示二极管,“3”表示三极管。

第二部分:用汉语拼音字母表示管子的材料与极性,“A”表示 N 型锗管,“B”表示 P 型锗管,“C”表示 N 型硅管,“D”表示 P 型硅管。

第三部分:用汉语拼音字母表示管子的类型,“P”表示普通管,“Z”表示整流管,“K”表示

开关管,“W”表示稳压管。

第四部分:用阿拉伯数字表示序号,序号不同的二极管的特性不同。

第五部分:用汉语拼音字母表示规格号,序号相同、规格号不同的二极管特性差别不大,只是某个或某几个参数有所不同。

2. 二极管的检测

二极管具有单向导电性,即性能良好的二极管,其正向电阻小,反向电阻大。利用这一特性,用万用表测量二极管的正向电阻和反向电阻就可以判断其好坏与极性。测试过程中,要注意弄清所用万用表的两个表笔所对应电池的电压极性。

若使用指针万用表,则黑表笔接的是表内电池的正极(插入“-”孔中),红表笔接的是负极(插入“+”孔中),如图 1-14 所示。测量时,把指针万用表的转换开关置于 $R \times 10$ 、 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡,测量二极管的正向、反向电阻。小电阻为正向电阻,此时黑表笔连接的是二极管的阳极,性能良好的二极管一般在几十到几百欧。大电阻为反向电阻,一般在几百千欧以上,此时黑表笔连接的是二极管的阴极。

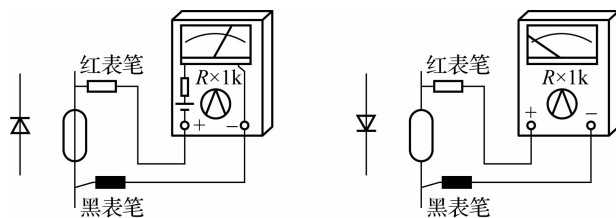


图 1-14 指针式万用表测试二极管示意图

二极管的材料和质量好坏也可由正向、反向电阻进行判断。若测得二极管的正向、反向电阻均较小或接近零,则说明二极管内部已击穿短路或漏电损坏;若测得二极管的正向、反向电阻值均为无穷大,则说明该二极管已开路损坏。通常希望正向电阻越小越好,反向电阻越大越好,正向、反向电阻值相差越悬殊,说明二极管的单向导电特性越好。

若使用数字万用表,则红表笔(插入 V/Ω 孔)是正极,黑表笔(插入 COM 孔)是负极。数字万用表不能用电阻挡来测量二极管,而要用二极管挡。



任务实施

1. 实施目的

- (1)熟悉二极管的外形和结构。
- (2)熟悉二极管引脚的判别方法。
- (3)会查阅半导体手册,熟悉常用二极管的类别、型号及主要参数。
- (4)掌握用万用表判别二极管好坏的方法。

2. 实施设备和器件

不同规格和类型的二极管若干,指针万用表,数字万用表,半导体手册。

3. 实施步骤

- (1)准备若干不同型号的二极管,识别二极管的外形和结构。
- (2)识别二极管的引脚。
- (3)用指针万用表检测二极管,在表 1-1 中记录测得的正向电阻和反向电阻,并判断二

极管的好坏。

表 1-1 用指针万用表检测二极管

二极管类型	正向电阻	反向电阻	备 注
硅二极管			
锗二极管			

(4)用数字万用表检测二极管,在表 1-2 中记录测得的正向电阻和反向电阻,并判断二极管的好坏。

表 1-2 用数字万用表检测二极管

二极管类型	正向电压	反向电压	备 注
硅二极管			
锗二极管			



任务考评

- (1)测试时,注意万用表的挡位要选对,避免选择错误导致的仪表损坏。
- (2)列出所测二极管的类别、型号、主要参数、测量数据及质量好坏。
- (3)记录测得的正向、反向电阻及万用表的型号、挡位。
- (4)自行拟定实训报告,完善内容,总结实训过程中遇到的问题及改进方法。

任务二



二极管的钳位作用及半波整流的检测



任务描述

由于二极管具有单向导电性,其应用范围很广,可以组成各种电路,包括整流电路、检波电路、限幅电路、元件保护电路,还可以在数字电路中用作开关元件等。钳位即限制电压的意思,在一些电路中,利用二极管的钳位作用,可以把元件两端的电压限制在一定范围内,从而起到保护元件、电路的作用。本任务重点讲解三种基本的二极管应用电路,在任务实施中理解二极管的钳位与整流作用。



知识学习

一、整流电路

利用二极管的单向导电性,可将交流电变换成直流电,起到整流作用。整流又分为半波、全波、桥式及倍压整流。下面以半波整流为例,说明二极管在整流电路中的应用。

单相半波整流电路如图 1-15 所示,其中 u_1 、 u_2 分别表示变压器的原边和副边交流电压,电源变压器 T 的作用是将电网的交流电压变换成整流电路所需的数值,它的原边和交流电网相连,VD 为整流二极管, R_L 为负载。

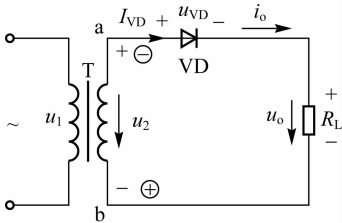


图 1-15 单相半波整流电路

设 $u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t$ V, 其中 U_2 为变压器副边电压有效值。在 $0 \sim \pi$ 内, 即在 u_2 的正半周内, 变压器副边电压是上端为正、下端为负, 二极管 VD 导通, 此时有电流流过负载, 并且和二极管上电流相等, 即 $i_o = i_{VD}$ 。忽略二极管上压降, 负载上输出电压 $u_o = u_2$, 波形与 u_2 相同。在 $\pi \sim 2\pi$ 内, 即在 u_2 负半周内, 变压器副边电压的上端为负, 下端为正, 二极管 VD 反向截止, 负载上无电流流过, 输出电压 $u_o = 0$, u_2 全部加在二极管 VD 上。

单相半波整流电路的电压、电流波形如图 1-16 所示。

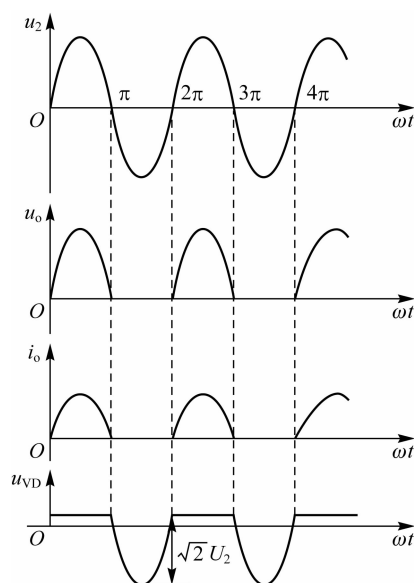


图 1-16 单相半波整流电路的电压、电流波形

单相半波整流电路不断重复上述过程, 则整流输出电压为

$$\begin{aligned} u_o &= \sqrt{2}U_2 \sin \omega t & (0 \leq \omega t \leq \pi) \\ u_o &= 0 & (\pi < \omega t \leq 2\pi) \end{aligned}$$

从上式得知, 此电路只有半个周期有波形, 另外半个周期无波形, 因此称其为半波整流电路。 u_o 的平均值为 $U_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_o d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2}U_2 \sin \omega t d(\omega t) = \frac{\sqrt{2}U_2}{\pi} \approx 0.45U_2$, 流经二极管的电流等于负载电流。

$$I_{VD} = I_o = \frac{U_o}{R_L} = 0.45 \frac{U_2}{R_L}$$

在二极管不导通期间, 二极管承受的最高反向电压 U_{RM} 就是变压器副边电压 u_2 的最大值, 即

$$U_{RM} = \sqrt{2}U_2$$

单相半波整流电路最简单, 但其明显缺点是纹波电压大。除此之外, 交流电源的半个周期未被利用, 变压器利用率和整流效率低, 输出平均电压较低。单相半波整流电路仅用在小电流且对电源要求不高的场合。

二、限幅电路

在电子电路中,为了降低信号的幅值以满足电路工作的需要,或为了保护某些器件不受大信号电压作用而损坏,常用限幅电路对各种信号进行处理,使信号在预置的范围内有选择地传输一部分。

由二极管组成的单向限幅电路如图 1-17(a)所示,其中 u_i 为正弦交流电压,其峰值为 5 V;直流电压 $U=3\text{ V}$; R 为限流电阻; u_o 为输出端电压。交流输入电压 u_i 和直流电压 U 同时作用于二极管上,当 u_i 的幅值高于 3 V 时,二极管导通, $u_o=3\text{ V}$;当 u_i 的幅值小于 3 V 时,二极管截止, $u_o=u_i$ 。其输入、输出电压波形如图 1-17(b)所示。

三、开关电路

利用二极管的单向导电性,当二极管正向导通时其端电压很小,可近似地看作零,即相当于开关闭合;反偏时,流过的电流很小,可近似地看作开路,即相当于开关断开。因此。二极管具有开关特性,在数字电路中得到广泛应用。

如图 1-18 所示开关电路,当 $u_{i1}=0\text{ V}$, $u_{i2}=5\text{ V}$, VD_1 正向偏置, $u_o=0\text{ V}$,此时 VD_2 的阴极电位为 5 V,阳极电位为 0 V,处于反向偏置,故 VD_2 截止。在输入电压 u_{i1} 、 u_{i2} 中,只要有一个为 0 V,则输出为 0 V,只有当两输入电压均为 5 V 时,输出才为 5 V,这种关系在数字电路中称为与逻辑。

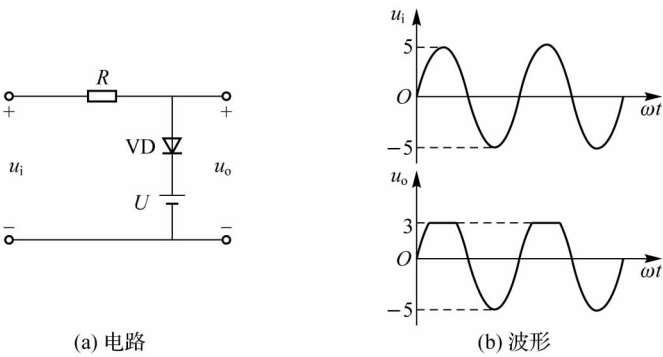


图 1-17 限幅电路及波形

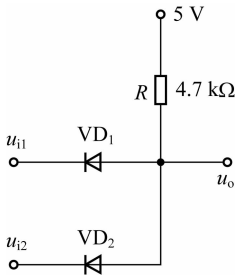


图 1-18 开关电路



任务实施

1. 实施目的

- (1)熟悉二极管的钳位和整流作用。
- (2)熟悉万用表、函数信号发生器等仪表的使用方法。

2. 实施设备和器件

不同规格和类型的二极管若干,电阻若干,万用表,函数信号发生器,示波器,直流稳压电源,连接导线。



3. 实施步骤

(1) 二极管钳位作用的检测。二极管钳位电路如图 1-19 所示, A 、 B 为信号输入端, F 为信号输出端。两个二极管哪个阳极电位高, 哪个就先导通。如果忽略二极管的正向压降, 由于两个输入端电位 A 端大于 B 端, 此时二极管 VD_B 反偏而截止。由于二极管 VD_A 的钳位作用, F 点的电位被钳制在 A 点电位上。 VD_A 和 VD_B 可选用 1N4007, 用万用表测量 F 点对地电压, 填入表 1-3 中。

(2) 二极管整流作用的检测。二极管半波整流电路如图 1-20 所示。 A 、 B 为信号输入端, 调节函数信号发生器发出一定频率的正弦信号, 并接入 A 、 B 端。用示波器观察并记录 A 、 B 端及电阻 R 两端信号的波形, 并检测相应的参数, 填入表 1-4 中。

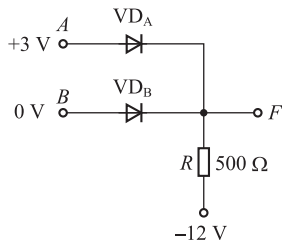


图 1-19 二极管钳位电路

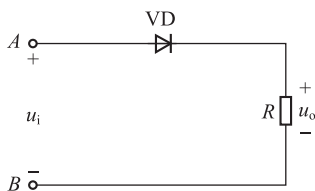


图 1-20 二极管半波整流电路

表 1-3 二极管钳位作用的检测

序 号	F 点对地电压	备 注
1		
2		
3		

表 1-4 二极管整流作用的检测

A 、 B 端的输入信号波形	电阻 R 两端的输出信号波形
频率: 幅值:	频率: 幅值:



任务考评

- (1) 电路装接时, 二极管的极性不能接错, 以免损坏元件甚至烧毁电路。
- (2) 图 1-19 所示电路中当二极管 VD_A 导通后, 二极管 VD_B 起什么作用?
- (3) 图 1-20 所示电路中, 用示波器观察 A 、 B 端的输入信号及电阻 R 两端的输出信号波形有何不同? 为什么?
- (4) 如果是全波整流, 电路如何接? 波形如何? 请画出电路和波形图。
- (5) 自行拟定实训报告, 完善内容, 总结实训过程中遇到的问题及改进方法。

任务三 稳压二极管和发光二极管的应用与检测

任务描述

稳压二极管和发光二极管是两种常用的特殊二极管。稳压二极管工作在反向击穿状态,其电流可在较大范围内变化,而其两端电压基本保持不变,起到稳定电压的作用。发光二极管可将电能转化为光能,由于掺杂元素的不同,发光二极管可以发出多种颜色的光,且价格低廉,广泛用于各种显示器件中。本任务介绍几种特殊二极管的结构与工作原理,在任务实施中检测稳压二极管和发光二极管。

知识学习

前面主要讨论了普通二极管,此外还有若干种特殊二极管,如稳压二极管、发光二极管、光电二极管和变容二极管等。

一、稳压二极管

稳压二极管又称齐纳二极管,简称稳压管,它是一种特殊工艺制造的面接触型二极管,在电路中与适当阻值的电阻配合后能起到稳压作用。稳压管的电路符号和伏安特性如图 1-21 所示。稳压管的图形符号与普通二极管相似,只是在表示阴极时用一个垂直的折线,体现了它被击穿后电流急剧增大的特点。

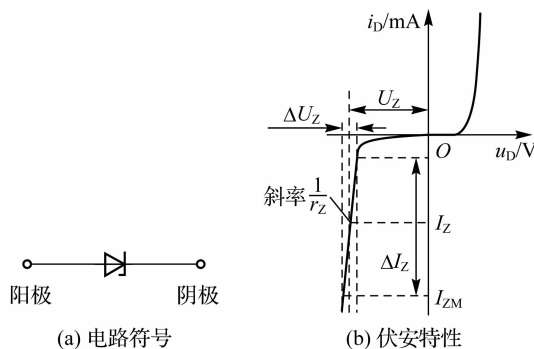


图 1-21 稳压管的电路符号和伏安特性

从伏安特性曲线可看出,稳压管和普通二极管的正向特性相同,不同的是反向击穿电压较低,且击穿特性陡峭,这说明反向电流在很大的范围内变化时,稳压管两端的电压变化很小。稳压管正是利用反向击穿时的稳压特性来实现稳压的。稳压管工作在反向击穿状态,当反向电压去掉后,稳压管恢复正常,不会损坏。而普通二极管不允许反向击穿,否则会造成损坏。

稳压管的主要参数如下。

1. 稳定工作电压 U_Z

稳定工作电压即稳压管正常工作时其两端的电压,即反向击穿电压。稳定工作电压与制造工艺、环境温度及工作电流有关,因此在手册中只能给出某一型号稳压管的稳压范围。

2. 稳定电流 I_Z 、最小稳定电流 I_{Zmin} 、最大稳定电流 I_{Zmax}

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

3. 动态电阻 r_Z

动态电阻是指稳压管进入稳压状态后,两端电压的变化量与相应的电流变化量的比值,即 $r_Z = \Delta U_Z / \Delta I_Z$ 。 r_Z 的大小反映了稳压管性能的优劣, r_Z 越小,曲线越陡,其稳压性能越好。

4. 最大允许耗散功率 P_{ZM}

最大允许耗散功率是管子不致发生热击穿的最大功率损耗,即 $P_{ZM} = U_Z I_{Zmax}$ 。

5. 电压温度系数

电压温度系数是表示稳压管温度稳定性的参数,它表示温度每升高 1°C 时稳定电压值的相对变化量,该系数越小,则稳压管的温度稳定性越好。

二、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,但其正向导通时能发光,这是自由电子与空穴直接复合而放出能量的结果。发光二极管工作在正偏状态,其电路符号如图 1-22 所示。由于构成材料、封装形式、外形不同,发光二极管的种类很多,如普通发光二极管、红外线发光二极管、激光二极管等。



图 1-22 发光二极管的电路符号

1. 普通发光二极管

普通发光二极管的长引脚是阳极,短引脚是阴极。普通发光二极管常作为显示器件,除单个使用外,也常制成七段式或矩阵式器件,工作电流一般为几毫安到十几毫安。

检测普通发光二极管,一般用万用表的 $R \times 10k$ 挡,方法与检测普通二极管一样。通常发光二极管的正向电阻在 $15\text{ k}\Omega$ 左右,反向电阻为无穷大。灵敏度高的发光二极管,在测量正向电阻时,可见管芯发光。

2. 红外线发光二极管

红外线发光二极管是一种能把电能直接转换成红外光能的发光器件。和普通二极管一样,长引脚为阳极,短引脚为阴极,常用于红外遥控发射器中。检测红外线发光二极管时,一般用万用表的 $R \times 1k$ 挡。若正向电阻在 $30\text{ k}\Omega$ 左右,反向电阻为无穷大,则表明正常,否则说明红外线发光二极管性能变差或损坏。

3. 激光二极管

激光二极管的物理结构是在发光二极管的结间安装一层具有光活性的半导体,其端面经过抛光后具有部分反射功能,因而形成一个光谐振腔。在正向偏置情况下,由结发射出光来并与光谐振腔相互作用,从而进一步激励从结上发射出单波长的光;同时,光在光谐振腔中产生振荡并被放大形成激光。激光二极管发射的主要是红外线,这与材料的物理性质有关,其主要应用于小功率光电设备中,如光盘驱动器和激光打印机的打印头等。

根据内部构造和原理,判断激光二极管好坏的方法是测试激光二极管的正向、反向电阻。若正向电阻为 $20 \sim 30\text{ k}\Omega$,反向电阻为无穷大,说明正常,否则说明激光二极管老化或损坏。

三、光电二极管

光电二极管是一种很常用的光电子器件,其电路符号如图 1-23 所示。其结构与普通二极管类似,区别是管壳上的一个玻璃窗口能接收外部的光照。光电二极管的 PN 结在反向偏置状态下运行,它的反向电流随光照强度的增加而增大,反向电流与光照度成正比。光电二极管广泛用于遥控接收器、激光头中。当制成大面积光电二极管时,其能将光能直接转换成电能,从而作为一种能源器件,即光电池。



图 1-23 光电二极管的电路符号

光电二极管的检测方法和普通二极管一样,通常其正向电阻为几千欧,反向电阻为无穷大,否则说明光电二极管质量变差或损坏。当受到光线照射时,光电二极管的反向电阻显著变化,正向电阻不变。

四、变容二极管

变容二极管是利用 PN 结的电容效应制成的半导体器件,其 PN 结电容会随反向电压的增加而减小,利用这种特性在电路中可把变容二极管当作可变电容使用。由于它无机械磨损且体积小,因而在高频技术中应用较多。变容二极管的电路符号如图 1-24 所示。

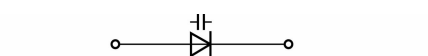


图 1-24 变容二极管的电路符号

任务实施

1. 实施目的

- (1)熟悉稳压二极管和发光二极管的性能和使用方法。
- (2)掌握稳压二极管和发光二极管的检测方法。
- (3)学习电子电路的焊接方法,提高实训综合应用能力。

2. 实施设备和器件

直流稳压电源,万用表,5.1 V 稳压二极管和红色发光二极管,不用型号的电阻若干。

3. 实施步骤

- (1)根据稳压二极管和发光二极管的型号,查阅手册,记录二极管的主要参数。
- (2)检测稳压二极管和发光二极管(方法同普通二极管),注意发光二极管的导通电压比普通二极管的导通电压高,将结果记录在表 1-5 中。

表 1-5 检测稳压二极管和发光二极管

二极管类型	正向导通电压	反向截止电压	备 注
稳压二极管			
发光二极管			

- (3)按图 1-25 绘制连接布线图,然后在多功能板上焊接电路。将直流稳压电源调到 12 V,接入焊接电路的输入端。发光二极管应发光,并用万用表测量相应电压,结果填入

表 1-6 中。

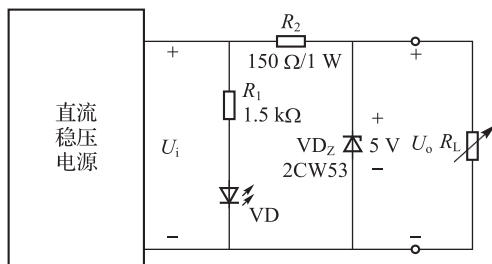


图 1-25 二极管半波整流电路

表 1-6 测量输出电压

测量参数	测量数值	备 注
直流稳压电源输出电压 U_i/V		
发光二极管两端电压 U_D/V		
输出电压 U_o/V		



任务考评

- (1) 电路装接时,稳压二极管、发光二极管的极性不能接错,以免损坏元件甚至烧毁电路。
- (2) 直流稳压电源接 220 V 时注意安全。
- (3) 整理测量数据,总结稳压电路及发光二极管电路的工作特点。
- (4) 自行拟定实训报告,完善内容,总结实训过程中遇到的问题及改进方法。

任务四



分析直流稳压电源



任务描述

直流稳压电源是电工实训室常用的设备,它能为负载提供稳定的直流电压,且输出电压不随交流供电电源的电压和负载电阻的变化而变化。直流稳压电源的电路组成较为复杂,主要包括整流电路、滤波电路和稳压电路等。本任务先介绍整流电路、滤波电路和稳压电路的种类和结构,再介绍集成稳压器的型号和应用,任务实施中对稳压管稳压实验电路进行搭接与检测。



知识学习

电源是一个系统的核心,为整个电路的正常工作提供能量,几乎所有电子设备都需要由电压稳定的直流电源供电。电池因为费用比较高,一般只用于低功耗的便携设备中,更多场合下使用的是直流稳压电源。这样,电子设备可以直接由交流电网供电,通过直流稳压电源把输入的交流电压变换成稳定的直流电压输出供设备使用。直流稳压电源一般由电源变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路 4 部分组成,其结构框图和各部分相关波形如图 1-26 所示。

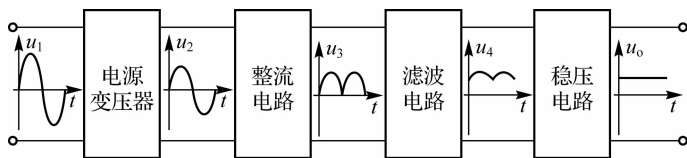


图 1-26 直流稳压电源的结构框图和各部分相关波形

电源变压器将交流电网 220 V 电压变换为所需要的交流电压,同时起到把电网与直流电源隔离的作用。整流电路将交流电压变换成单方向的脉动直流电压。由于这种电压还有较大的纹波,而纹波变化会影响后级电路的性能,因此需要通过滤波电路进一步减小其脉动成分,使输出电压波形变得平滑。经过整流和滤波后,交流电变为直流电,但其电压的稳定性很差,会随着电网电压的波动、负载和温度的变化而变化,所以还需要经过稳压电路,即使这些影响因素在一定范围内发生变化,也能通过稳压电路自动维持输出直流电压的稳定。

一、单相整流电路

整流电路的作用是将交流电压转变为单方向的脉动直流电压,二极管是构成整流电路的核心元件。常用的小功率(1 kW 以下)单相整流电路有半波整流、全波整流、桥式整流和倍压整流,下面主要对前三种整流电路进行详细分析。为方便分析,将二极管看成理想二极管,即二极管正向导通时电阻为零,反向截止时电阻为无穷大。

1. 单相半波整流电路

1) 工作原理

单相半波整流电路如图 1-27(a)所示,其由电源变压器 T_r 、整流二极管 VD 和负载 R_L 构成。当在电源变压器 T_r 原边接上 220 V、50 Hz 的交流电压 u_1 时,在副边会感应出整流电路要求的交流电压 u_2 ($u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t$)。当 u_2 处于正半周时,副边上正下负,二极管 VD 上所加电压为正向电压,二极管导通,负载 R_L 上有电流 i_o 流过。由于二极管为理想二极管,正向导通压降为 0,所以输出 $u_o = u_2$,也处于正半周;当 u_2 处于负半周时,副边上负下正,二极管上所加电压为反向电压,二极管截止,负载 R_L 上没有电流流过,输出 $u_o = 0$,此时二极管两端电压 $u_D = u_2$ 。各部分电压、电流波形如图 1-27(b)所示。

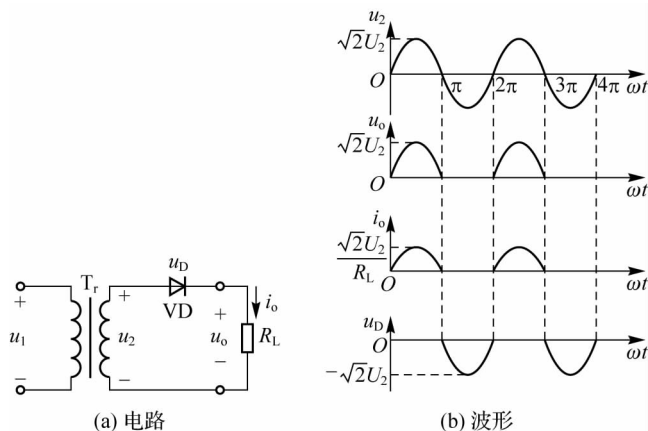


图 1-27 单相半波整流电路及其波形



视频
单相整流电路

这种整流电路利用二极管的单向导电性,只在交流电压的半个周期内才有电流流过负载,所以称为半波整流电路,在负载上得到的是大小波动、方向不变的脉动直流电压和电流。

2) 特点

(1)负载上输出的平均电压和电流。负载上输出的直流电压是整流电路输出电压的瞬时值 u_o 在一个周期内的平均值。根据上述分析,由于半波整流在一个周期内只有正半周导电,因此在负载上得到的输出平均电压为

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

式(1-1)表明,负载上得到的输出平均电压不到副边电压有效值的一半。

流过负载的平均电流为

$$I_o = 0.45 \frac{U_2}{R_L} \quad (1-2)$$

(2)整流二极管的电压和电流。二极管在正半周时导通, $u_D = 0$; 在负半周时截止, $u_D = u_2$, 此时,二极管两端承受的最大反向电压为 $U_{DM} = \sqrt{2}U_2$, 即为 u_2 在负半周时的峰值。

由于二极管 VD 与负载 R_L 串联,所以流过二极管的电流 i_D 就是负载电流 i_o ,因此流过二极管的平均电流与负载电流相等,即

$$I_D = I_o = 0.45 \frac{U_2}{R_L}$$

单相半波整流电路使用的元件少,结构简单,但二极管只有半个周期导通,而且输出电压波动大,整流效率很低,一般只用在输出电流较小、要求不高的场合。实际应用中大多采用全波整流电路和桥式整流电路。

2. 单相全波整流电路

1) 工作原理

单相全波整流电路由具有中心抽头的变压器 T_r ,两只二极管 VD_1 、 VD_2 和负载 R_L 构成,如图 1-29 所示。具有中心抽头的变压器 T_r 使得在副边抽头上下两个线圈输出的交流电压大小相等,因此全波整流电路相当于两个半波整流电路的组合,使两只二极管在正半周和负半周轮流导电,把正弦交流电的正、负半波都利用起来,从而在一个周期内负载上都有电压输出,提高了整流效率。其具体工作原理如下。

当副边上端输出正半周交流电压 u_2 时,下端输出为大小相等、处于负半周的交流电压,因此 VD_1 导通, VD_2 截止,输出回路如图 1-28(a)中虚线所示。负载上有电流由上而下流过,输出电压 $u_o = u_2$ 。

当副边上端输出负半周交流电压 u_2 时,下端输出为大小相等、处于正半周的交流电压,因此 VD_2 导通, VD_1 截止,输出回路如图 1-28(b)中虚线所示。负载上同样有电流由上而下流过,输出电压 $u_o = -u_2$ 。

因此,在正弦交流电的一个周期内,由于 VD_1 、 VD_2 轮流导通,在负载上总是存在一个方向相同的脉动电压,从而有效地利用了交流电的负半周,提高了整流效率。单相全波整流电路的波形如图 1-29 所示。

2) 特点

(1)负载上输出的平均电压和电流。由于在交流电的一个周期内正、负半周均导通,在负载上得到的输出平均电压为



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

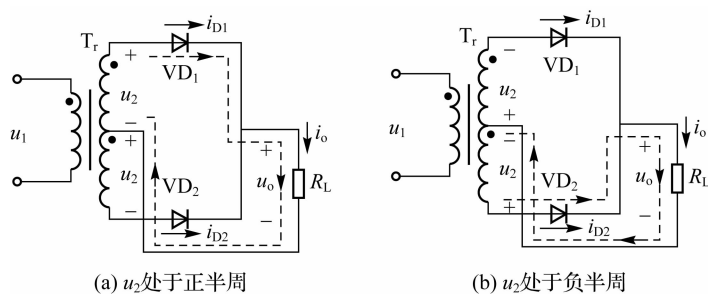


图 1-28 单相全波整流电路

负载上得到的输出电压是半波整流电路的 2 倍。流过负载的平均电流为

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = 0.9 \frac{U_2}{R_L} \quad (1-4)$$

(2) 整流二极管的电压和电流。二极管 VD_1 、 VD_2 轮流导通, 当其中一个二极管导通时, 另一个二极管截止, 此时截止二极管所承受的反向电压为 $2u_2$, 因此, 二极管两端承受的最大反向电压为 $U_{DM} = 2\sqrt{2}U_2$ 。显然, 全波整流电路的二极管的耐压值要比半波整流电路高 1 倍, 在选用整流二极管时, 要注意这个特点。

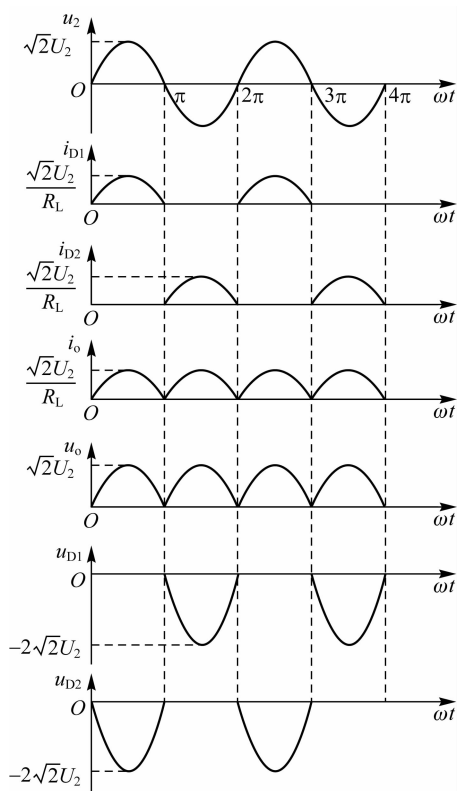


图 1-29 单相全波整流电路的波形