

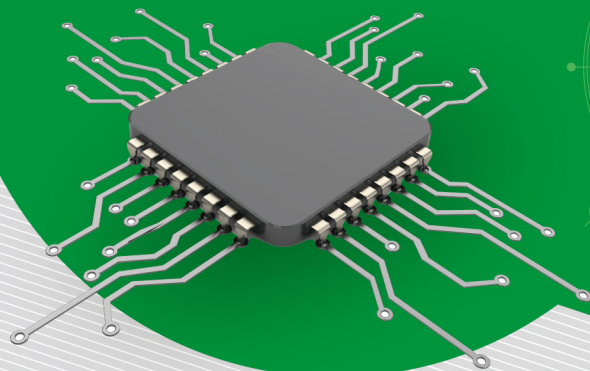
巍巍交大 百年书香
www.jiaodapress.com.cn
bookinfo@sjtu.edu.cn



策划编辑 张云鹏
责任编辑 胡思佳
封面设计 黄燕美

电子技术 基础与技能

DIANZI JISHU
JICHU YU JINENG



免费提供

★★★ 精品教学资料包

服务热线: 400-615-1233
www.huatengzy.com



扫描二维码
关注上海交通大学出版社
官方微信

ISBN 978-7-313-25652-2



9 787313 256522 >

定价: 36.00元



上海交通大学出版社

X-A

电子技术基础与技能 (电类专业通用)

主编 李燕

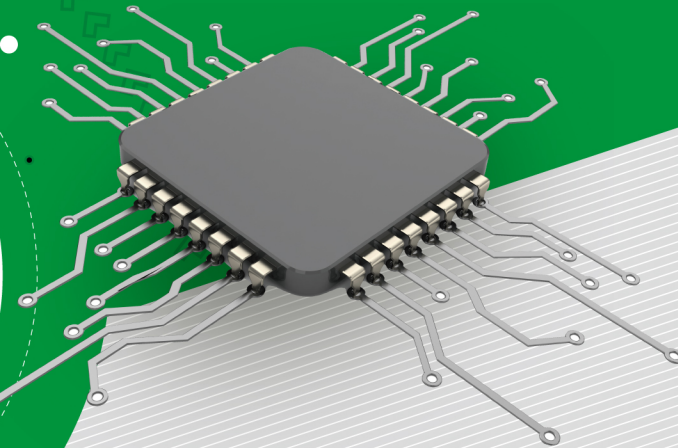


“十四五”职业教育国家规划教材

电子技术 基础与技能

(电类专业通用)

主编 李燕



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



“十四五”职业教育国家规划教材

电子技术 基础与技能

(电类专业通用)

主 编 李 燕
副主编 张家荃 冯卫宏



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书是“十四五”职业教育国家规划教材。本书共 8 个项目,内容包括整流、滤波电路的测试,集成稳压器与直流稳压电源,基本放大电路,音频功放电路,正弦波振荡电路,数字电路基础,基本数字器件的应用,脉冲波形的产生与变换。

本书可作为中等职业学校电气电力类和电子信息类相关专业的教材,也可供相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础与技能/李燕主编. — 上海:上海
交通大学出版社,2021.12(2023.8重印)

电类专业通用

ISBN 978-7-313-25652-2

I. ①电… II. ①李… III. ①电子技术—中等专业学
校—教材 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 227747 号

电子技术基础与技能

DIANZI JISHU JICHU YU JINENG

主 编:李 燕

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

印 制:三河市骏杰印刷有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

字 数:249 千字

版 次:2021 年 12 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-25652-2

定 价:36.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:13

印 次:2023 年 8 月第 3 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如您发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:0316-3662258



前言

Preface

“电子技术基础与技能”是中等职业学校电气电力类和电子信息类相关专业的一门重要技术基础课,它与后续核心课程有着密切的联系,是相关专业学生掌握电学基本知识和技能的一门必修课程。

为贯彻《国家职业教育改革实施方案》的精神,落实《中等职业学校电子技术基础与技能教学大纲》的要求,确保新一轮中等职业教育教学改革顺利进行,全面提高教育教学质量,保证高质量教材进课堂,我们组织编写了本书。

本书在编写过程中力求编出特色,编出质量,具有以下特点:

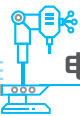
(1)编写模式新颖,教材体系体现中职特色。贯彻“以服务为宗旨,以就业为导向”的职业教育方针,打破“章、节”编写模式,建立“以项目教学为引导,任务教学为驱动,行动体系为框架”的教材体系。

(2)面向当代电子技术的最新发展动向,吸纳全新的知识、材料、技术和工艺,增加大量的拓展延伸和阅读材料,有助于增强教材的知识性和趣味性,同时体现分层教学的思想,以适应不同类型学生的需要。

(3)为培养学生良好的职业素养,在每个项目前加入思政教育内容,以工匠精神为引领,体现教材的时代性。

本书共包括8个教学项目,14个教学任务,具体参考学时如下表所示。

项目	课程内容	理论课时	实践性课时	合计
项目一	整流、滤波电路的测试	8	8	16
项目二	集成稳压器与直流稳压电源	4	8	12
项目三	基本放大电路	12	8	20



(续表)

项目	课程内容	理论课时	实践性课时	合计
项目四	音频功放电路	8	8	16
项目五	正弦波振荡电路	4	8	12
项目六	数字电路基础	24	20	44
项目七	基本数字器件的应用	24	24	48
项目八	脉冲波形的产生与变换	16	16	32
合计		100	100	200

本书由天津市经济贸易学校李燕任主编,天津市经济贸易学校张家荃、冯卫宏任副主编,天津市经济贸易学校刘玉林参与编写。其中,项目一、项目三由刘玉林编写,项目二由张家荃编写,项目四由冯卫宏编写,项目五至项目八由李燕编写。本书在编写过程中得到了天津电子信息职业技术学院机电系主任、全国行业职业教育教学指导委员会电子信息职业教育教学指导委员会委员刘松教授的指导,还得到了天津市经济贸易学校党委书记杨金祥的大力支持,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,本书难免存在需要改进之处,敬请读者批评指正。

编 者



目录

Contents

项目一	整流、滤波电路的测试	1
	任务一 整流电路的测试	2
	一、半导体二极管的特性与识别	2
	二、整流电路分析	13
	任务二 滤波电路的测试	22
	一、滤波电路	22
	二、稳压电路	26
项目二	集成稳压器与直流稳压电源	32
	任务 三端集成可调稳压器制作直流稳压电源	33
	一、集成稳压器	33
	二、集成稳压器组成稳压电路的原理	38
项目三	基本放大电路	47
	任务 三极管共发射极基本放大电路	48
	一、三极管的特性与识别	48
	二、放大电路分析	57
项目四	音频功放电路	68
	任务 音频功放电路的安装与调试	69
	一、差动放大电路	69
	二、互补对称电路	72
	三、集成电路与集成运算放大器	73
	四、集成运放的基本应用	75



项目五	正弦波振荡电路	83
	任务 正弦波振荡电路的安装与调试	84
	一、正弦波振荡电路	84
	二、RC 正弦波振荡电路	86
项目六	数字电路基础	92
	任务一 基本门电路的逻辑功能测试	93
	一、数字电路的基本概念及二进制数	93
	二、门电路	96
	任务二 三人表决器的制作	110
	一、组合逻辑电路的分析	110
	二、组合逻辑电路的设计	111
	任务三 四人抢答器的制作	121
	集成触发器	121
项目七	基本数字器件的应用	135
	任务一 数码管显示计数器的制作	136
	一、计数器	137
	二、寄存器	142
	任务二 编码器及其应用	151
	一、二进制编码器	151
	二、二十进制编码器	153
	三、二十进制优先编码器	153
	任务三 译码器及其应用	161
	一、二进制译码器	161
	二、二十进制译码器	163
	三、显示译码器	164
项目八	脉冲波形的产生与变换	173
	任务一 555 振荡器的制作	174
	一、脉冲电路概述	174
	二、单稳态触发器	175
	三、555 定时器	182



任务二 叮咚门铃电路的制作	191
一、施密特触发器	191
二、多谐振荡器	194
参考文献	200



项目 一

整流、滤波电路的测试

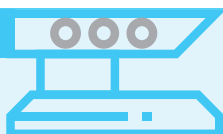
学习目标

- 能够正确连接和安装整流电路、电容滤波电路、电感滤波电路。
- 能够使用示波器观察波形,并测量输入电压和输出电压的量值关系。

技能目标

- 了解各个元器件的作用,能够正确检测元器件。
- 能够根据实验测得的整流波形分析整流电路的工作过程。
- 学会电容滤波电路的故障分析。

素质目标

- 通过实验锻炼动手能力。
 - 增强团队合作意识。
- 



4 m 长杆,26 年,56 000 步的零失误让人惊叹,是责任,是经验,更是他心里的“安全大于天”!

核电站代表着一个国家的高端制造业水平。乔素凯作为中国核燃料组件修复团队的领军人物,26 年来带领团队完成 20 多台核电机组、100 多次核燃料的装卸任务,实际操作零失误。2018 年初,历经 10 年研发的核燃料组件整体装备修复,更是成功打破了国外企业长时间的垄断局面。

思政要点:养成良好的职业道德修养和认真负责、踏实敬业的工作态度以及严谨细致的工作作风。

任务一

整流电路的测试



任务描述

熟悉单相半波整流电路和桥式整流电路的结构、工作原理,能正确检测元器件。



知识链接

一、半导体二极管的特性与识别

(一) 半导体基础知识

半导体电子器件具有质量小、体积小、耗电少、使用寿命长、工作可靠等突出优点,在现代工农业、科研和国防中获得了广泛的应用。半导体是指导电能力介于导体和绝缘体之间的材料。半导体材料的原子最外层都是 4 个电子,如硅(Si)、锗(Ge)等。在纯净的半导体中掺入某种微量杂质元素后,其导电能力会大幅度增加。例如,在纯净硅中掺入百万分之一的硼(B)元素,硅的电阻率就会从 $2 \times 10^3 \Omega \cdot \text{m}$ 减小到 $4 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{m}$ 左右。利用这种特性制成了各种不同用途的半导体器件,如二极管、三极管及晶闸管等。



半导体的特性

一般来说,半导体的导电能力不强,但是半导体所特有的性质使其在不同的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,其导电性能会增强,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,如热敏电阻等。

(2)光敏性。当半导体受到光照时,自由电子和空穴就会增多,其导电性能会随着光照的增强而增强,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。当向纯净的半导体中掺入微量的杂质元素后,半导体的导电能力可增强十几万乃至几百万倍,这种特性称为掺杂性。

1. 本征半导体

最常用的半导体材料是硅和锗。硅和锗的原子核最外层都有4个价电子。将硅、锗材料提纯并形成单晶体后,所有原子便基本上整齐排列,这种纯净半导体称为本征半导体。图1-1所示为晶体中硅原子的整齐排列方式。半导体一般都具有这种晶体结构,所以半导体也称为单晶体。

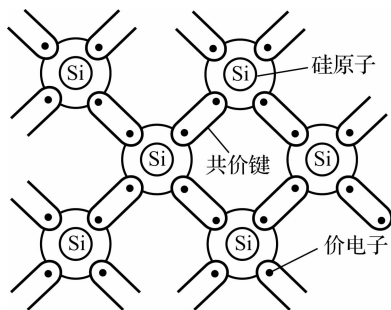


图 1-1 晶体中硅原子的整齐排列方式

在本征半导体中,当一个原子的一个价电子与另一个原子的一个价电子组成一个公用电子对时,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起来构成共价键结构。

在原子结构中,原子最外层8个电子处于稳定状态。在共价键结构中,显然也有8个电子处于较稳定状态,但在共价键结构中的电子不像绝缘体中的价电子被束缚得那样牢固,电子获得一定能量(如温度升高或光照)时,很可能挣脱原子核的束缚(电子受激发)成为自由电子。温度越高,晶体中产生自由电子的数目就越多。

在电子挣脱原子核的束缚成为自由电子后,共价键中就留下一个空位,称为空穴,而具有空穴的原子又可以吸引相邻原子的价电子,填补这个空穴。同时,失去价电子的相邻原子的共价键中又出现了一个空穴,它也可以由相邻原子中的价电子来



递补。如此继续下去,就好像自由电子和空穴都在运动,然而这种运动是杂乱无章的(见图 1-2)。在电场作用下,空穴和自由电子的运动方向相反:空穴向电源负极运动,相当于正电荷的运动而形成电流(空穴电流);而自由电子向电源正极运动也形成电流(电子电流)。这里自由电子和空穴统称为载流子。

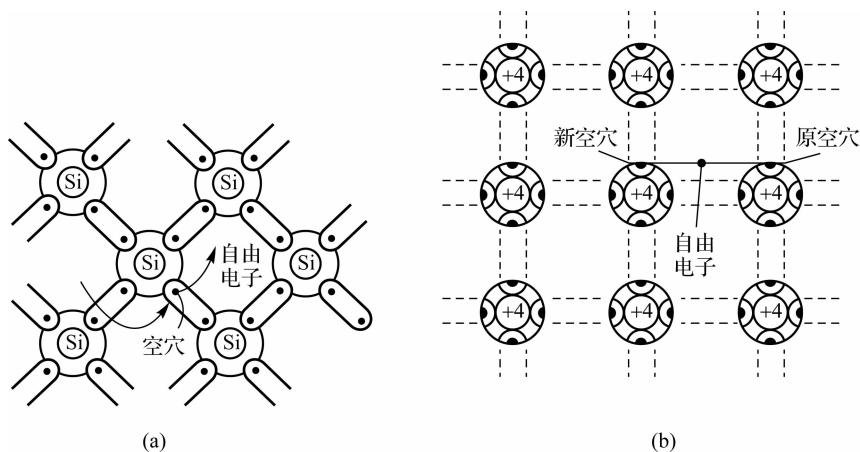


图 1-2 自由电子和空穴

(a) 自由电子和空穴的形成;(b) 自由电子和空穴导电

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,当载流子的产生和复合达到动态平衡时,半导体中的载流子(自由电子和空穴)便维持一定数目不变。温度越高,载流子数目越多,半导体的导电性就越好,所以温度对半导体器件的性能影响很大。

⦿ 小提示

当本征半导体两端加上外电压时,本征半导体中将出现两种电流,这就是其导电方式的最大特点,也是半导体与金属导体在导电原理上的本质差别。

2. N 型半导体和 P 型半导体

一般情况下,本征半导体的载流子数目很少,导电能力很差。如果在本征半导体中掺入微量的杂质元素,半导体(杂质半导体)的导电能力就会大大增强。根据掺入的杂质不同,杂质半导体可分为两大类,即 N 型半导体和 P 型半导体。

1) N 型半导体

N 型半导体是在硅(或锗)的晶体中掺入磷元素(或其他 5 价元素)而形成的。磷原子的最外层有 5 个价电子,由于掺入硅(或锗)晶体的磷原子数目比硅(或锗)原子的数目少得多,因此不会改变整个晶体的基本结构,只是某些位置上的硅(或锗)



原子被磷原子取代。磷原子参加共价键结构只需 4 个价电子,多余的那个电子很容易挣脱磷原子核的束缚而成为自由电子,如图 1-3 所示。

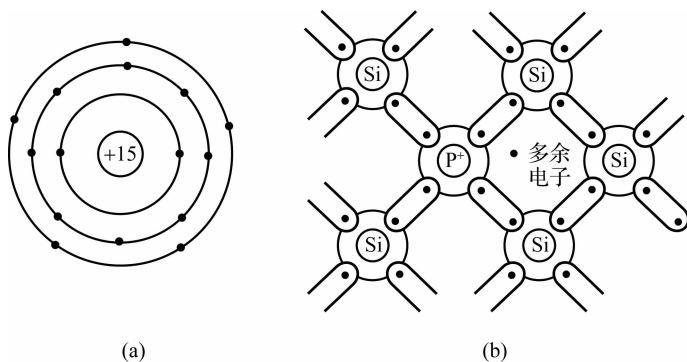


图 1-3 硅晶体中掺入磷元素形成 N 型半导体

(a) 磷的原子结构; (b) 硅晶体中掺入磷, 出现自由电子

掺入磷元素的半导体中的自由电子数目大大增多,因此这种半导体主要以自由电子导电为主,故 N 型半导体又称为电子半导体。在 N 型半导体中,载流子多为自由电子,而空穴则是少数载流子。

2) P 型半导体

P 型半导体是在硅(或锗)的晶体中掺入少量硼元素(或其他 3 价元素)而形成的。每个硼原子只有 3 个价电子,在构成共价键结构时,将缺少 1 个电子而产生 1 个空位(空穴)。当相邻原子中的价电子受到激发得到能量时,就有可能填补这个空穴,而在其相邻的原子中出现 1 个空穴,如图 1-4 所示。

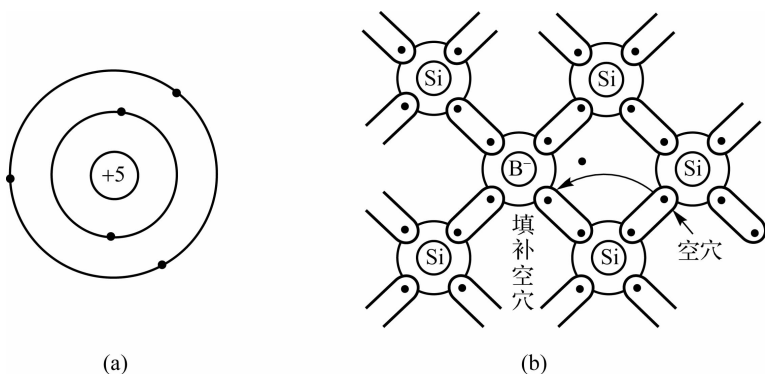


图 1-4 硅晶体中掺入硼元素形成 P 型半导体

(a) 硼的原子结构; (b) 硅晶体中掺入硼, 出现空穴

每个硼原子都能提供 1 个空穴,于是在半导体中就出现了大量空穴,因此这种半导体以空穴导电为主,称为 P 型半导体或空穴半导体。

在 P 型半导体中,载流子多为空穴,自由电子是少数载流子。



想一想

N 型半导体中的自由电子数多于空穴的数目,而 P 型半导体中的空穴数多于自由电子的数目,是否意味着 N 型半导体带负电而 P 型半导体带正电?

3. PN 结

半导体掺入杂质后形成的 P 型半导体和 N 型半导体,虽然导电能力大大增强,但一般并不能直接用来制造半导体器件。各种半导体器件的核心结构是将 P 型半导体和 N 型半导体通过一定的制作工艺形成的 PN 结,因此掌握 PN 结的基本原理十分重要。

1)PN 结的形成

当用特殊工艺把 P 型半导体和 N 型半导体结合在一起时,由于两种半导体中多数载流子的浓度相差很大,多数载流子将向对方发生扩散运动并复合,使交界面处自由电子、空穴成对消失,结果使交界面两侧留下了不能移动的正、负电荷,如图 1-5 所示。通常把这个区域称为空间电荷区,即 PN 结。

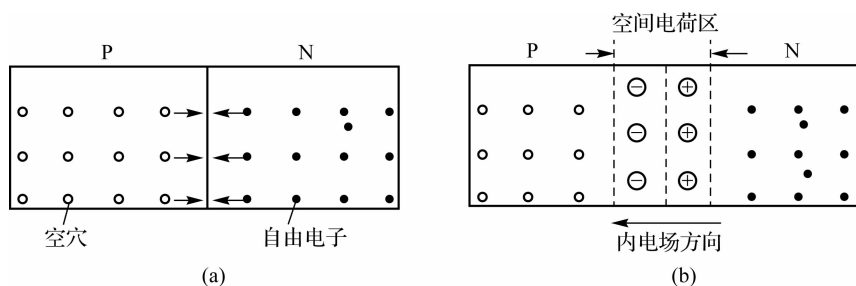


图 1-5 PN 结的形成

(a)扩散运动;(b)形成内电场

2)PN 结的单向导电性

PN 结在没有外加电压的情况下,当载流子的扩散运动与漂移运动达到动态平衡时,PN 结的宽度相对稳定。如果在 PN 结两端加上电压,则出现以下情况。

(1)PN 结加正向电压(正向偏置)。PN 结加正向电压,是指外电源的正极接 PN 结的 P 区,外电源的负极接 PN 结的 N 区,如图 1-6 所示。

此时,外电场方向和内电场方向相反,外电场将削弱内电场的作用,这就使得扩散运动和漂移运动的动态平衡被破坏。外电场将

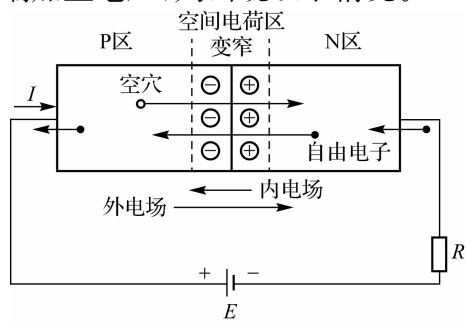


图 1-6 PN 结加正向电压



动画

PN 结的形成



驱使 P 区的空穴进入空间电荷区,同时使 N 区的自由电子进入空间电荷区,使空间电荷区变窄,从而使得多数载流子的扩散运动加强,形成较大的正向电流。电流的实际方向从 P 区流向 N 区,即空穴的运动方向。在一定的外加电压范围内,外电场越强,正向电流就越大,这时 PN 结呈现的电阻很低。

正向电流包括空穴电流和自由电子电流两部分。空穴电流实际上是价电子做定向运动产生的电流,所以空穴电流和自由电子电流的方向相同。外电源不断地向半导体提供电荷,使电流得以维持。

(2)PN 结加反向电压(反向偏置)。PN 结加反向电压,即外电源的正极接 PN 结的 N 区,负极接 P 区,如图 1-7 所示。

此时,外电场和内电场方向相同,在外电场的作用下靠近空间电荷区附近的空穴和自由电子被驱走,因而加宽了 PN 结,使内电场增强,多数载流子的扩散运动难以进行。并且内电场的增强,使得少数载流子的漂移运动加强,在电路中形成了反向电流。但由于载流子的数量很少,因此反向电流不大。此时 PN 结呈现的电阻很高。当温度一定时,少数载流子的数量基本恒定,所以反向电流在一定的外加电压范围内变化不大(称为反向饱和特性)。但是,当温度升高时,少数载流子数目增加,反向电流增大。所以,温度对反向电流的影响很大。

综上所述,在 PN 结上加正向电压时,PN 结电阻很小,正向电流很大(PN 结处于导通状态);加反向电压时,PN 结电阻很大,反向电流很小(PN 结处于截止状态)。可见,PN 结具有单向导电性。

练一练

试简述 PN 结的特性。

(二)二极管基础知识

1. 二极管的结构及其符号

二极管是最简单的半导体元件,具有单向导电性,电流只能从一个方向通过。它是由 P 型半导体材料和 N 型半导体材料组合而成的,二极管的外形、基本结构和



动画

PN 结正偏导

通特性

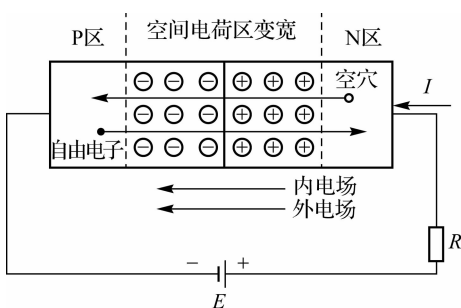


图 1-7 PN 结加反向电压



动画

PN 结反偏截止



电路符号如图 1-8 所示。P 型半导体一侧引出的线称为阳极,N 型半导体一侧引出的线称为阴极。二极管是含有一个 PN 结的半导体器件。

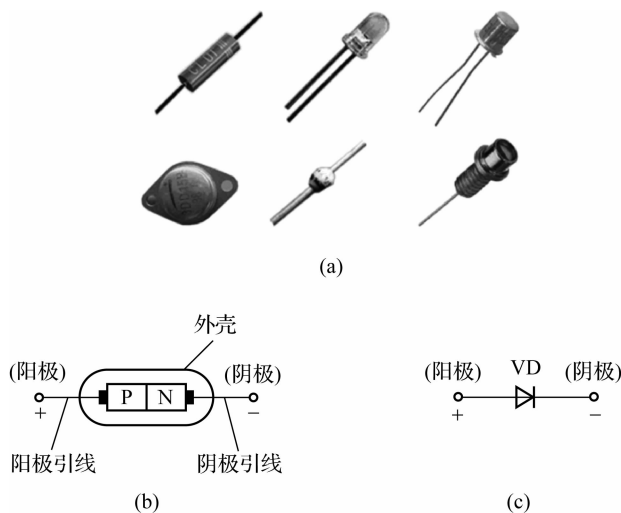


图 1-8 半导体二极管

(a)外形;(b)基本结构;(c)电路符号

2. 二极管的特性

二极管的特性是单向导电性,可以用加在二极管两端的电压和通过二极管的电流之间的关系,即二极管的伏安特性表示。图 1-9 所示为二极管的伏安特性曲线。

1) 正向特性

当二极管所加正向电压较小时,由于外加电压不足以克服 PN 结内电场对载流子运动的阻挡作用,二极管呈现的电阻较大,因此正向电流几乎为零。与这一部分相对应的电压称为死区电压(也称阈值电压)。

死区电压的大小与二极管的材料及温度等因素有关,一般硅二极管的死区电压约为 0.5 V,锗二极管的死区电压约为 0.1 V。

当正向电压大于死区电压时,二极管正向导通。导通后,随着正向电压的升高,正向电流急剧增大,电压与电流的关系基本为一指数曲线。

导通后二极管两端的正向电压称为正向压降,一般硅二极管的正向压降约为 0.7 V,锗二极管的正向压降约为 0.2 V。由图 1-9 可见,这

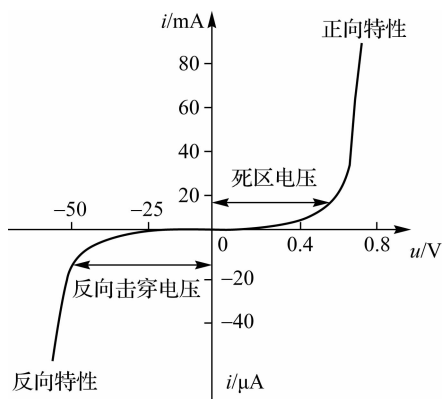


图 1-9 二极管的伏安特性曲线



动画

二极管的伏安特性



个电压比较稳定,几乎不随流过二极管电流的大小而变化。

2) 反向特性

当二极管加上反向电压时,PN 结的内电场加强,只有少数载流子在反向电压作用下通过 PN 结,形成很小的反向电流。反向电压增加,但不超过某一数值时,反向电流很小且基本不变,此时的反向电流称为反向饱和电流。反向电流是由少数载流子形成的,它会随温度升高而增大,实际应用中,此值越小越好。

当反向电压增大到某一值时(特性曲线中的对应电压称为反向击穿电压,不同二极管的反向击穿电压不同),反向电流急剧增大,此时二极管失去单向导电性,这种现象称为反向击穿(属于电击穿)。反向击穿后电流很大,电压又很高,因而消耗在二极管上的功率很大,容易使 PN 结发热而超过它的耗散功率,产生热击穿。

产生反向击穿的原因是:当外加反向电压过高时,在强电场的作用下,空穴和自由电子数量大大增多,使反向电流急剧增大,此时二极管失去单向导电性。

反向击穿可分为雪崩击穿和齐纳击穿,两者的物理过程不同。雪崩击穿常发生在掺杂浓度低、空间电荷区较厚的 PN 结上;齐纳击穿常发生在掺杂浓度高、空间电荷区较薄的 PN 结上。一般二极管中的电击穿大多属于雪崩击穿,齐纳击穿常出现在稳压管(齐纳二极管)中。

● 小提示

不同的材料、不同的结构和不同的工艺制成的二极管,其伏安特性有一定差别,但伏安特性曲线的形状基本相似,是非线性的。所以二极管是非线性元件。

3. 常用二极管

二极管按所用半导体材料的不同可分为硅二极管和锗二极管,根据用途不同又可分为普通二极管、整流二极管、稳压二极管、发光二极管、光电二极管等。下面介绍工业上常用的几种二极管。

1) 稳压二极管

稳压二极管(稳压管)是一种特殊的面接触型二极管,它与普通二极管一样,也有一个 PN 结,它在与适当数值的电阻串联后具有稳压作用。

稳压管的伏安特性与普通二极管相似,其差别是稳压管的反向击穿特性曲线比普通二极管陡,且工作在击穿区,即曲线 AB 段,如图 1-10 所示。当稳压管工作在反向击穿状态,工作电流 I_Z 在 $I_{Z\max}$ 和 $I_{Z\min}$ 之间变化时,其两端电压近似为常数。

普通二极管反向击穿后便损坏而不能使用,而稳压管却可以工作在反向击穿状



态下,以实现稳压目的。只要反向电流限制在一定范围内,反向击穿并不会造成稳压管损坏,即稳压管的反向击穿是可逆的。

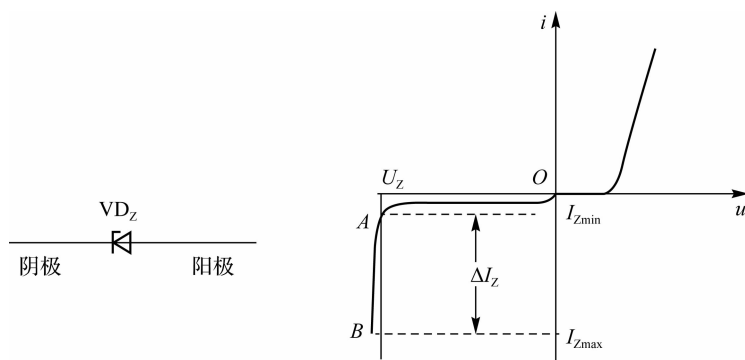


图 1-10 稳压管的符号及特性曲线

2) 发光二极管

发光二极管(LED)是包含 PN 结的显示元件,其实质是由 P 型半导体和 N 型半导体组成的一个 PN 结,如图 1-11 所示。

发光二极管的简单工作原理为:PN 结 N 侧和 P 侧的载流子分别为自由电子和空穴,如果加一正向偏压,复合区中的空穴就穿过 PN 结进入 N 型区,复合区中的自由电子也会越过 PN 结进入 P 型区。在 PN 结附近,多余的载流子会发生复合,在复合过程中发光二极管发光。

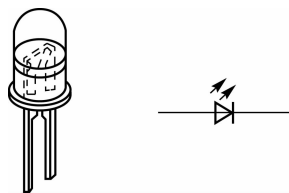


图 1-11 发光二极管及其符号

不同的半导体材料,发出的光的颜色是不同的。用砷化镓时,复合区发出的光是红色的,用磷化镓时则发出绿色光。

发光二极管在使用时,必须正向偏置,还应串接限流电阻,以使电流不超过极限工作电流。在使用时,发光二极管工作温度一般为 $20\sim 75\text{ }^{\circ}\text{C}$,不可安装在发热元件附近。

3) 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 1-12 所示。其结构与普通二极管类似,管壳上的一个玻璃窗口能接收外部的光照。PN 结



图 1-12 光电二极管的电路符号

在反向偏置状态下时光电二极管正常工作,它的反向电流随光照强度的增加而上升,反向电流与光照强度成正比。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,能将光能直接转换成电能而作为一种能源器件,即光



电池。

光电二极管的检测方法和普通二极管类似,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。

4)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,即 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 1-13 所示。

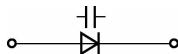


图 1-13 变容二极管的电路符号

4. 二极管的主要参数及型号

1)二极管的主要参数

二极管的参数是反映二极管电性能的质量指标,是正确选择和使用二极管的依据。在半导体器件手册或生产厂家的产品目录中,对各种型号的二极管均用表格列出其参数。二极管的主要参数有以下几个。

(1)最大整流电流。最大整流电流 I_{FM} 是指二极管长期工作时,允许通过二极管的最大正向电流的平均值。其大小与 PN 结的面积、材料及散热条件有关。当实际电流超过该值时,二极管会因过热而损坏。

(2)最高反向工作电压。最高反向工作电压 U_{RM} 是指保证二极管不被击穿所允许施加的最大反向电压。实际使用中,二极管反向电压不应超过此值,以防止反向击穿而损坏。

(3)反向电流。反向电流 I_R 指二极管加反向电压而未击穿时流过的电流。如果该值较大,则二极管不能正常使用。反向电流越小,二极管的单向导电性越好。

2)二极管的型号

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。二极管的种类繁多,国产半导体器件的型号通常由五部分组成,其型号组成及其意义如图 1-14 所示。如 2AP9D,“2”代表电极数

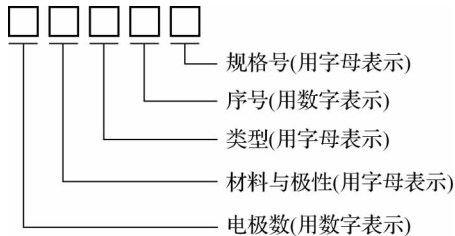


图 1-14 二极管型号组成及其意义



为2,“A”表示N型锗材料,“P”表示普通管,“9”表示序号,“D”表示规格号。

国产半导体器件型号组成部分的符号及意义如表1-1所示。

生产厂家通常都会在二极管外壳上用特定标记来表示正负极。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,其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。

表 1-1 国产半导体器件型号组成部分的符号及意义

第一部分		第二部分		第三部分				第四部分	第五部分
用数字表示器件电极数目		用汉语拼音字母表示器件材料和极性		用汉语拼音字母表示器件类型				用数字表示器件序号	用汉语拼音字母表示规格号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义		
2	二极管	A	N 型, 锗材料	P	普通管	D	低频大功率管		
		B	P 型, 锗材料	V	微波管		$f_n < 3 \text{ MHz}$		
		C	N 型, 硅材料	W	稳压管		$P_c \geq 1 \text{ W}$		
		D	P 型, 硅材料	C	参量管	A	高频大功率管		
3	三极管	A	PNP 型, 锗	Z	整流管		$f_n \geq 3 \text{ MHz}$		
		B	材料	L	整流堆		$P_c \geq 1 \text{ W}$		
		C	NPN 型, 锗	S	隧道管	T	半导体闸流管		
		D	材料	N	阻尼管		(可控整流器)		
		E	PNP 型, 硅	U	光电器件	Y	体效应管		
			材料	K	开关管	B	雪崩管		
			NPN 型, 硅	X	低频小功率管	J	阶跃恢复管		
			化合物材料		$f_n < 3 \text{ MHz}$	CS	场效应器件		
				G	$P_c < 1 \text{ W}$	BT	半导体特殊器件		
					高频小功率管	FH	PIN 器件		
					$f_n \geq 3 \text{ MHz}$	JG	复合管		
					$P_c < 1 \text{ W}$		PIN 型管		
							激光器件		

◎ 练一练

2CW 和 2AK 分别代表什么材料的哪种二极管?



实操训练

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,使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,要注意弄清万用表的两支表笔所对应表内电池的极性。

若使用的是指针式万用表,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 1-15 所示。测量时,把指针式万用表置于 $R \times 10$ 、 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡,测量二极管的正向、反向电阻。小阻值为正向电阻。此时,黑表笔连接的是二极管的阳极,性能良好的二极管的正向电阻一般为几十到几百欧姆。大阻值为反向电阻,一般在几百千欧以上,此时,黑表笔连接的是二极管的阴极。

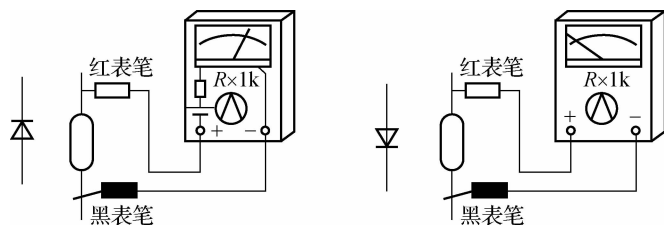


图 1-15 指针式万用表测试二极管示意图

二极管的材料和质量好坏也可从正向、反向电阻进行判断。若测得的二极管的正向、反向电阻均接近零或较小,则说明二极管内部已击穿短路或漏电损坏;若测得的二极管的正向、反向电阻均为无穷大,则说明该二极管已开路损坏。通常希望正向电阻尽量小,反向电阻尽量大,正向、反向电阻相差越悬殊,说明二极管的单向导电性越好。

若使用的是数字万用表,将红表笔插入 V/Ω 孔,将黑表笔插入 COM 孔中,选择适当量程即可进行测试。不能用数字万用表的电阻挡来测量二极管,而要用其二极管挡来测量。

由于二极管的伏安特性是非线性的,用万用表的不同电阻挡测量二极管的电阻时,会得出不同的电阻值。在实际使用时,流过二极管的电流会较大,因而二极管呈现电阻值会更小一些。

二、整流电路分析

将交流电变换为直流电的过程称为整流。利用二极管的单向导电性,可将交流



电转换成直流电,起到整流作用。根据所用交流电源的相数不同,整流电路可分为单相整流电路和三相整流电路等。一般的直流电源采用单相整流电路,较大容量的直流电源则采用三相整流电路。

(一)单相半波整流电路

半波整流是指交流输入电压信号只有在正半周期或负半周期时才有输出,即输出波形只是输入波形的一半。

只要在单相交流电路中串联一只整流二极管,利用它的单向导电性,使交流电压为正半周期时电路导通,负半周期时电路截止,就可以得到单一方向的直流电流,这个直流电流是半波脉动电流,电路如图 1-16(a)所示。

假定整流二极管是理想元件,即不计其死区电压、正向压降和反向电流,可以画出电路各部分的电流、电压波形如图 1-16(b)所示。

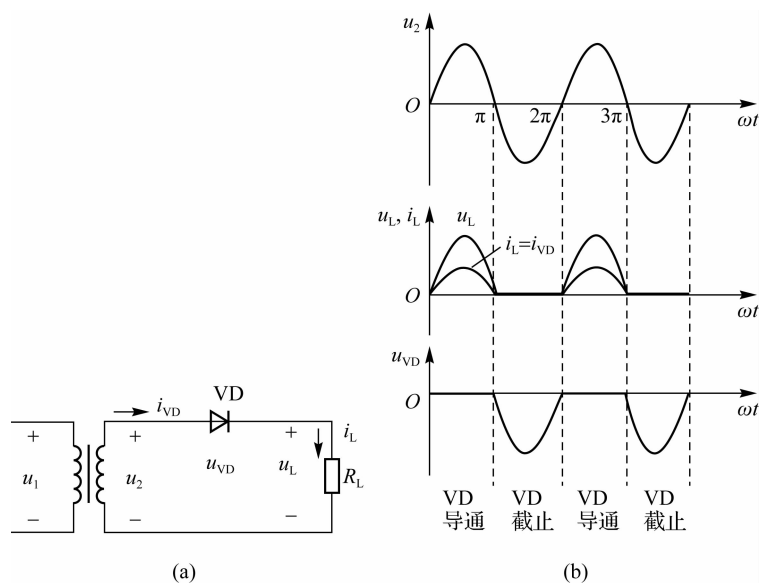


图 1-16 单相半波整流电路及波形

(a) 电路; (b) 波形

电源变压器也称为整流变压器。假设它的二次绕组输出电压有效值为 U_2 , 则有

$$u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t$$

负载两端的电压为半波脉动直流电压,其平均值为

$$U_L = \frac{\sqrt{2}}{\pi}U_2 \approx 0.45U_2 \quad (1-1)$$

负载中的电流是半波脉动直流电流,其平均值为

$$I_L = \frac{U_L}{R_L} = 0.45 \frac{U_2}{R_L} \tag{1-2}$$

整流二极管中的电流的平均值为

$$I_{VD} = I_L = 0.45 \frac{U_2}{R_L}$$

二极管在截止的半个周期承受反向电压,其最大值为

$$U_{DM} = \sqrt{2}U_2 \tag{1-3}$$

在选用整流二极管时,要注意二极管的两个参数:最大整流电流 I_{FM} 和最高反向工作电压 U_{RM} 。要求手册上提供的参数值要大于计算值,即有 $I_{FM} > I_L, U_{RM} > U_{DM}$ 。

常用整流二极管的参数如表 1-2 所示。

表 1-2 常用整流二极管的参数

型 号	最大整流电流 I_{FM}/A	正向压降/ $V(25\text{ }^{\circ}C)$	最高反向工作电压 U_{RM}/V
2CZ55A~M	1	≤ 0.8	A:25 B:50 C:100 D:200 E:300 F:400
2CZ56A~M	3	≤ 0.8	G:500 H:600 J:700 K:800 L:900 M:1 000
1N4001 1N4002 1N4003 1N4004 1N4005 1N4006 1N4007	1	≤ 1	50 100 200 400 600 800 1 000
1N5391 1N5392 1N5393 1N5394	1.5	≤ 1.4	50 100 200 300
1N5400 1N5401 1N5402 1N5403	3	≤ 0.95	50 100 200 300



● 小提示

单相半波整流电路使用的元件少,结构简单,但只有半个周期导电,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。

(二)单相桥式整流电路

1. 电路组成

单相桥式整流电路如图 1-17 所示,它由 4 只整流二极管接成电桥形式。其中两个共阴极组二极管的阴极接负载 R_L 的一端,为输出直流电的正极;两个共阳极组二极管的阳极接负载 R_L 的另一端,为输出直流电的负极。两个二极管阳极和阴极相连的端子接整流变压器的次级绕组。

当有一只二极管断开时,整流电路输出会减半;如果有一只二极管反接,则会引起短路,烧坏元器件。

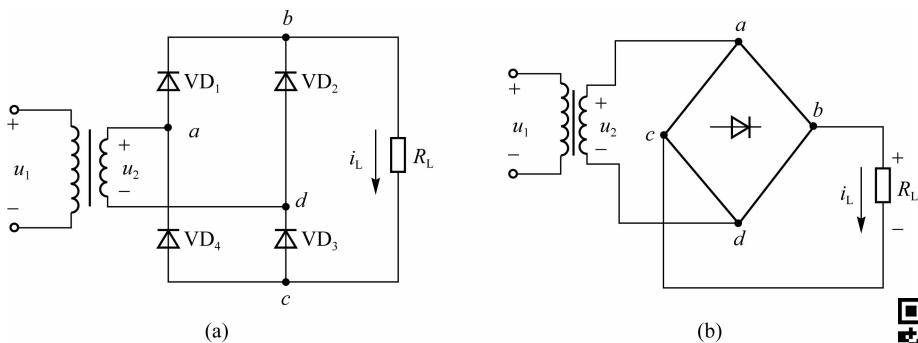


图 1-17 单相桥式整流电路

(a) 电路原理图; (b) 电路简化图

2. 工作原理

设整流变压器次级绕组电压为 $u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t$ 。

当 u_2 为正半周时, VD_1 、 VD_3 导通, VD_2 、 VD_4 截止, 电流经 VD_1 — R_L — VD_3 形成回路, R_L 上输出电压波形与 u_2 的正半周波形相同, 电流 i_L 从 b 流向 c 。

当 u_2 为负半周时, VD_2 、 VD_4 导通, VD_1 、 VD_3 截止, 电流经 VD_2 — R_L — VD_4 形成回路, R_L 上输出电压波形与 u_2 的负半周波形相反, 电流 i_L 仍从 b 流向 c 。所以无论 u_2 为正半周还是负半周, 流过 R_L 的电流方向都是一致的。

单相桥式整流电路的输出波形如图 1-18 所示。



动画

单相桥式整流
电路

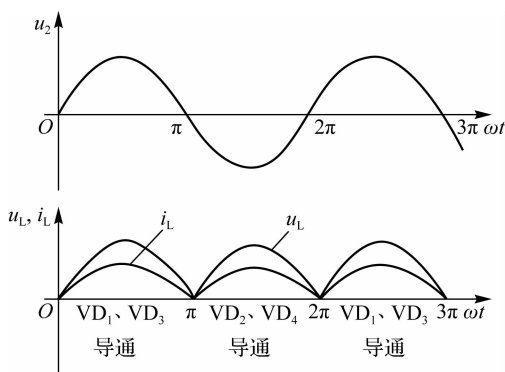


图 1-18 单相桥式整流电路的输出波形

3. 参数估算

单相桥式整流电路输出直流电压 U_L 为 u_2 在交流电压一个周期内的平均值。由图 1-18 可知

$$U_L = \frac{2}{\pi} \sqrt{2} U_2 \approx 0.9 U_2 \quad (1-4)$$

式中, U_2 为整流变压器次级绕组电压有效值。

负载上的直流电流 I_L 为

$$I_L = \frac{U_L}{R_L} = 0.9 \frac{U_2}{R_L} \quad (1-5)$$

由于每只二极管只在半个周期内导通, 因此流过每只二极管的平均整流电流为

$$I_{VD} = \frac{1}{2} I_L = 0.45 \frac{U_2}{R_L} \quad (1-6)$$

在单相桥式整流电路中, 二极管导通时压降几乎为零, 而二极管截止时, u_2 的峰值电压加在二极管两端, 即二极管截止时承受的最大反向电压为

$$U_{DM} = \sqrt{2} U_2 \quad (1-7)$$

例 1-1 在图 1-17 所示的单相桥式整流电路中, 若要求在负载上得到 24 V 直流电压、100 mA 直流电流, 求整流变压器次级绕组电压的有效值 U_2 , 并选出整流二极管。

解 由式(1-4)可得

$$U_2 = \frac{U_L}{0.9} = \frac{24}{0.9} \approx 26.7 \text{ V}$$

由式(1-6)、式(1-7)可得二极管的平均整流电流和最大反向工作电压分别为

$$I_{VD} = \frac{1}{2} I_L = \frac{1}{2} \times 100 \text{ mA} = 50 \text{ mA}$$



$$U_{DM} = \sqrt{2}U_2 \approx 37.8 \text{ V}$$

根据上述数据,查手册可选出最大整流电流为 100 mA、最高反向工作电压为 50 V 的整流二极管 2CZ52B。

目前,已广泛使用将 4 个硅二极管封装成一个整体的硅桥式整流器(整流桥)。这种整流桥有 4 个接线端,两端接交流电源(标有“~”符号),两端接负载(标有“+”和“-”端子)。“+”和“-”标志表示整流输出直流电压的极性,根据需要可在手册中选用不同型号及规格的整流桥。



任务准备

1. 实训器材

变压器、万用表、示波器、整流二极管 1N4007、1 kΩ 电阻器、导线、实验电路板、电烙铁等。

2. 知识拓展

整流器件常常采用整流桥堆,将桥式整流电路中的 4 个二极管用绝缘瓷、环氧树脂和外壳封装成一体成为一个器件,称为整流桥堆。整流桥堆具有体积小、可靠性高、使用方便等优点,广泛应用于各种电子电路或电气设备中,起到工频整流、高频整流和高压整流等作用,其外形如图 1-19 所示。

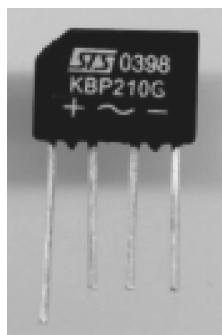


图 1-19 整流桥堆的外形



任务实施

1. 单相半波整流电路的测量

(1)识别与检测元器件,确保元器件完好无损。按照图 1-20 连接电路,在实验电路板上焊接各个元器件和连接线。

(2)检查实验电路连接无误后,接通工频正弦交流电源,作为整流电路的输入电压。

(3)将示波器的两个探头接入电路。打开示波器开关,并调节示波器的旋钮,观察示波器显示的波形,并进行记录。

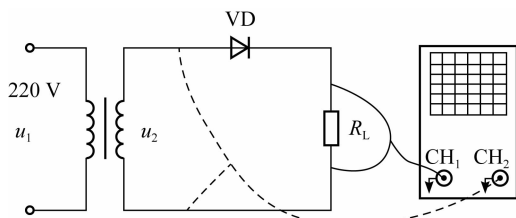


图 1-20 单相半波整流电路测量电路

(4)用万用表测量变压器二次绕组电压 u_2 和负载 R_L 两端的电压 u_L , 并进行记录。

2. 单相桥式整流电路的测量

(1)识别与检测元器件,确保元器件完好无损。按照图 1-21 连接电路,在实验电路板上焊接各个元器件和连接线。

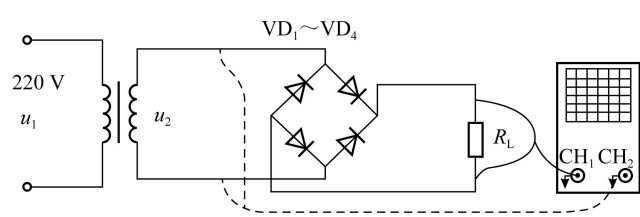


图 1-21 单相桥式整流电路测量电路

(2)其余测试步骤参见单相半波整流电路的测量。



实训报告

表 1-3 整流电路的测试实训报告

单相半波整流电路		单相桥式整流电路	
输入电压 u_2 /V		输入电压 u_2 /V	
负载电压 u_L /V		负载电压 u_L /V	
波形		波形	



任务评价

表 1-4 整流电路的测试任务评价表

班级		姓名		学号		评价		
项目	考核要求		配分	评分标准		自评 25%	互评 25%	教师评价 50%
元器件识别与检测	按要求对所有元器件进行识别与检测		10	(1)元器件识别错,每个扣1分 (2)元器件检测错,每个扣2分				



(续表)

班级	姓名	学号	评价			
项目	考核要求	配分	评分标准	自评 25%	互评 25%	教师评 价 50%
元器件成形、插装与排列	(1)元器件按工艺要求成形 (2)元器件插装符合插装工艺要求 (3)元器件排列整齐,标记方向一致,布局合理	15	(1)元器件成形不符合要求,每处扣 1 分 (2)插装位置、极性错误,每处扣 2 分 (3)元器件排列参差不齐,标记方向混乱,布局不合理,扣 3~10 分			
导线连接	(1)导线挺直、紧贴印制电路板 (2)板上的连接线成直线或直角,且不能相交	10	(1)导线弯曲、拱起,每处扣 2 分 (2)板上的连接线弯曲时不成直角,每处扣 2 分 (3)每处相交或在正面连线,扣 2 分			
焊接质量	(1)焊点均匀、光滑、一致,无毛刺、无假焊等现象 (2)焊点上引脚不能过长	15	(1)有搭锡、假焊、虚焊、漏焊、焊盘脱落、桥接等现象,每处扣 2 分 (2)出现毛刺、焊料过多、焊料过少、焊接点不光滑、引脚过长等现象,每处扣 2 分			
电路调试	(1)按要求对电路进行调试 (2)能正确测量出半波整流电路和桥式整流电路 u_2 和 u_L 的波形	20	(1)调试不当,扣 1~5 分 (2)不能正确测量电路波形,扣 5~10 分			

(续表)

班级		姓名		学号		评价		
项目	考核要求		配分	评分标准		自评 25%	互评 25%	教师评 价 50%
电路测试	正确使用万用表 测量各器件两端 电压		20	不会使用万用表测各器 件两端电压,扣 10~20 分				
安全文 明操作	(1)工作台上工具 摆放整齐 (2)严格遵守安全 操作规程		10	违反安全操作规程,酌情 扣3~10 分				
合计			100	得分				
总分								



能力检测

1. 选择题

- (1)在本征半导体中掺入微量 5 价元素形成的杂质半导体,其多数载流子是()。
- A. 空穴 B. 自由电子 C. 正离子 D. 负离子
- (2)PN 结加正向电压时,其正向电流是()。
- A. 多数载流子扩散而成的 B. 少数载流子扩散而成的
- C. 多数载流子漂移而成的 D. 少数载流子漂移而成的
- (3)在本征半导体中掺入微量 3 价元素形成的杂质半导体,其多数载流子是()。
- A. 正离子 B. 负离子 C. 自由电子 D. 空穴
- (4)稳压二极管是利用 PN 结的()工作的。
- A. 单向导电性 B. 反向击穿性 C. 电容特性 D. 电感特性
- (5)稳压二极管的正常工作状态是()。
- A. 导通状态 B. 截止状态 C. 反向击穿状态 D. 任意状态

2. 判断题

- (1)不管是 N 型半导体还是 P 型半导体,虽然它们都有一种载流子占多数,但是整个晶体仍然是不带电的。 ()
- (2)本征半导体中的自由电子和空穴总是成对出现、成对消失的。 ()



- (3) PN 结正向偏置时,其内、外电场方向一致。 ()
- (4) 二极管只要工作在反向击穿区,一定会被击穿。 ()
- (5) 一般地,硅二极管的死区电压小于锗二极管的死区电压。 ()

3. 简答题

(1) 简述整流电路的作用。为什么二极管能够作为整流器件应用在各种直流电路中?

(2) 因为桥式整流电路中有 4 只整流二极管,所以通过每个二极管的电流的平均值等于负载电流的 $1/4$ 。这种说法对吗? 为什么?

4. 计算题

在图 1-22 所示电路中,设二极管正向压降和反向电流均可以忽略,判断图中二极管是导通还是截止,并求出电压 U 。

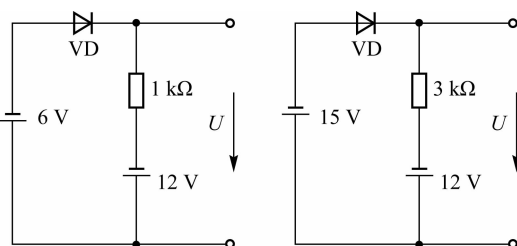


图 1-22 计算题图

任务二

滤波电路的测试



任务描述

掌握电容、电感滤波电路的特征、工作原理和电路测试方法。



知识链接

一、滤波电路

整流电路输出的脉动直流电还含有很大的交流成分,不能直接供给电气设备使用。为此,需要将交流成分尽可能滤掉,并且提高输出的直流成分,使输出电压接近理想的直流电压。用来完成这一任务的电路是滤波电路。一般利用电容、电感等电抗元件根据交、直流阻抗的不同来实现滤波。电容对直流开路,对交流阻抗小,所以把电容并联在负载两端;电感对直流阻抗小,对交流阻抗大,所以把电感与负载串联。这样经过滤波电路后,既可保留直流成分,又可降低交流成分,减小了电路的脉动系