

免费提供

精品教学资料包

服务热线: 400-615-1233
www.huatengzy.com

高等职业教育电子信息系列精品教材

高等职业教育电子信息系列精品教材

“互联网+”立体化教材

“互联网+”理念融入教材

二维码链接丰富的教学资源

微视频随时随地观看学习

DIANZI
JISHU

电子技术

电子
技
术

DIANZI
JISHU

电子技术

孙 梅 高立兵 主编

责任编辑: 高建华 高 宇

封面设计: 黄燕美

ISBN 978-7-5636-3779-9



02 >

9 787563 637799

定价: 49.80元



中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS



中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

高等职业教育电子信息系列精品教材
“互联网+”立体化教材

电子技术

主 编 孙 梅 高立兵

 中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

山东·青岛

图书在版编目(CIP)数据

电子技术/孙梅,高立兵主编. -- 青岛:中国石油
大学出版社,2014.1(2024.7重印)

ISBN 978-7-5636-3779-9

I. ①电… II. ①孙… ②高… III. ①电子技术—
高等职业教育—教材 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 017162 号

如有印装质量问题,请与中国石油大学出版社发行部联系。
服务电话:400-615-1233

书 名: 电子技术

DIANZI JISHU

主 编: 孙 梅 高立兵

责任编辑: 高建华 高 宇

封面设计: 黄燕美

出 版 者: 中国石油大学出版社

(地址:山东省青岛市黄岛区长江西路 66 号 邮编:266580)

网 址: <http://cbs.upc.edu.cn>

电子邮箱: uppbok@upc.edu.cn

排 版 者: 华腾教育排版中心

印 刷 者: 三河市骏杰印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 010-88433760)

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 18.75

字 数: 456 千字

版 印 次: 2014 年 1 月第 1 版 2024 年 7 月第 6 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5636-3779-9

定 价: 49.80 元

“电子技术”是电力工程类各专业的一门技术基础课,它是研究各种半导体器件的性能、电路及其应用的学科。为适应高职高专素质技能型人才培养的需要,我们本着“以就业为导向,以服务为宗旨”的高等职业教育的培养目标,基于知识够用、加强技术应用性、难度适中、利于理解和自学的原则编写了本教材。本教材突出了基本概念讲述,简化了数学推导过程,注重技术能力和工作过程适应能力的培养,旨在提高学生的职业素质和创新能力。

本教材共包括十一个项目,从内容方面分为模拟电子技术和数字电子技术两个部分,前者主要讨论线性电路,后者着重讨论脉冲数字电路。本教材各部分内容的学时安排如下表所示,授课时也可根据教学计划和培养目标做适当调整。

课程内容	学 时
项目一 直流稳压电源的制作	5
项目二 音频放大电路的制作	6
项目三 红外线报警器电路	5
项目四 信号发生器的制作	6
项目五 裁判表决器的电路设计与制作	6
项目六 抢答器电路的设计与制作	5
项目七 密码电子锁的设计与制作	5
项目八 数字钟的设计与制作	6
项目九 流水彩灯的设计与制作	6
项目十 温度报警电路的设计与制作	5
项目十一 可编程逻辑器件实现计数器	5
合 计	60

本教材由常德职业技术学院孙梅,甘肃有色冶金职业技术学院高立兵任主编,武昌职业学院任佑平,辽宁经济职业技术学院刘娜,陕西航天职工大学王红珠,石家庄工程职业学院田淑娟,河北软件职业技术学院陈淑春,绥化学院丁丽娜任副主编。具体编写分工如下:项目一由丁丽娜编写;项目二由任佑平编写;项目三由陈淑春编写;项目四、项目八和项目九由孙梅编写;项目五和项目六由高立兵编写;项目七由刘娜编写;项目十由田淑娟编写;项目十一由王红珠编写。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免存在疏漏和不足之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

目录

CONTENTS

项目一 直流稳压电源的制作 1

任务一 半导体及二极管 2

一、半导体基础知识 2

二、半导体二极管 7

三、特殊二极管 11

任务二 二极管基本电路 16

一、二极管整流电路 16

二、二极管滤波电路 20

三、二极管稳压电路 23

项目实施 27

一、电子元器件的检测与筛选 27

二、元器件和材料清单 30

三、电路的连接 30

四、电路的检测与调试 31

项目考核 32

思考与练习 33

项目二 音频放大电路的制作 37

任务一 三极管 40

一、三极管的特性 40

二、三极管的主要参数 45

任务二 基本放大电路 46

一、放大电路的基本知识 47

二、三种基本组态放大电路 51

任务三 差分放大电路 59

一、差分放大电路的组成及静态分析 59

二、差分放大电路的动态分析	60
任务四 反馈放大电路	63
一、反馈放大电路的组成及基本关系式	63
二、负反馈放大电路的基本类型	65
任务五 功率放大电路	69
一、功率放大电路的性能要求与分类	69
二、互补对称功率放大电路	69
项目实施	73
一、印制电路板的手工制作方法	73
二、元器件和材料清单	75
三、电路的实现	75
四、电路的调试	79
项目考核	79
思考与练习	80

项目三

红外线报警器电路 84

任务一 集成运算放大器	86
一、电路结构	86
二、集成运放的分类	88
三、集成运放的电压传输特性	89
四、集成运放的主要参数	89
任务二 集成运放的线性应用	90
一、反相比例运算电路	90
二、同相比例运算电路	91
三、减法运算电路	92
四、加法运算电路	92
五、积分运算电路	93
六、微分运算电路	94
七、对数运算电路	94
八、指数运算电路	95
任务三 集成运放的线性应用	95
一、过零比较器	96
二、单限比较器	96
三、滞回比较器(施密特触发器)	96
四、窗口比较器	98
项目实施	98
一、集成电路的识别与检测	98
二、元器件和材料清单	101
三、电路的实现	102
四、电路的调试	103
项目考核	103

思考与练习	104
-------------	-----

项目四 信号发生器的制作 108

任务一 正弦波振荡电路	110
一、正弦波振荡电路的基本概念	110
二、RC 正弦波振荡电路	112
三、LC 振荡电路	114
四、石英晶体振荡器	117
任务二 非正弦波振荡器	120
一、方波发生器	120
二、三角波发生器	121
三、锯齿波发生器	122
项目实施	123
一、电子元器件的检测与筛选	123
二、元器件和材料清单	124
三、电路的实现	124
四、电路的调试	125
项目考核	126
思考与练习	127

项目五 裁判表决器的电路设计与制作 130

任务一 数字集成电路的识别	131
一、数字电路概述	131
二、数字集成电路	133
任务二 门电路的逻辑功能	135
一、逻辑代数	135
二、逻辑运算	138
三、逻辑门电路与集成逻辑电路	140
任务三 逻辑函数的化简及其门电路的实现	147
一、逻辑函数的化简法	147
二、逻辑函数门电路的实现	151
任务四 组合逻辑电路的分析与设计	152
一、组合逻辑电路的分析	152
二、组合逻辑电路的设计	153
三、组合逻辑电路的竞争冒险	155
项目实施	158
一、项目目的	158
二、项目要求	158
三、项目步骤	158
四、注意事项	160

项目考核	160
思考与练习	161

项目六 抢答器电路的设计与制作 164

任务一 编码器的逻辑功能	165
一、编码器的工作原理	165
二、集成电路编码器	169
任务二 译码器的逻辑功能	171
一、二进制译码器	171
二、二十进制译码器	173
三、数字显示器	174
项目实施	176
一、项目目的	176
二、项目要求	176
三、项目步骤	176
四、注意事项	181
项目考核	181
思考与练习	182

项目七 密码电子锁的设计与制作 184

任务一 RS 触发器的逻辑功能	185
一、基本 RS 触发器	185
二、同步 RS 触发器	187
三、主从 RS 触发器	188
四、集成 RS 触发器	189
任务二 JK 触发器的逻辑功能	190
一、主从 JK 触发器	190
二、边沿 JK 触发器	191
任务三 D 触发器的逻辑功能	193
一、同步 D 触发器	193
二、边沿 D 触发器	194
项目实施	195
一、项目目的	195
二、项目要求	195
三、项目步骤	196
四、注意事项	197
项目考核	197
思考与练习	198

项目八 数字钟的设计与制作 201

任务一 时序逻辑电路	202
一、时序逻辑电路的结构及特点	202
二、时序逻辑电路的分析和设计	203
任务二 计数器及应用	208
一、计数器	208
二、集成计数器	214
三、用集成计数器构成 N 进制计数器	216
任务三 寄存器及应用	219
一、基本寄存器	220
二、移位寄存器	221
三、寄存器的应用	222
项目实施	225
一、项目目的	225
二、项目要求	225
三、项目步骤	225
四、注意事项	236
项目考核	236
思考与练习	237

项目九 流水彩灯的设计与制作 239

任务一 555 定时器的逻辑功能	240
一、555 定时器的电路结构与工作原理	240
二、单稳态触发器	242
三、多谐振荡器	243
四、施密特触发器	246
五、用 555 定时器构成的施密特触发器	246
任务二 555 定时器的简单应用	247
一、接近开关的设计	247
二、救护车警笛电路	248
项目实施	249
一、项目目的	249
二、项目要求	249
三、项目步骤	249
四、注意事项	253
项目考核	254
思考与练习	255

项目十 温度报警电路的设计与制作 257

任务一 D/A 转换器的逻辑功能	258
一、D/A 转换器的基本原理	258
二、倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	259
三、权电流型 D/A 转换器	260
四、D/A 转换器的主要技术指标	261
任务二 A/D 转换器的逻辑功能	261
一、A/D 转换器的基本原理	262
二、并行比较型 A/D 转换器	263
三、逐次比较型 A/D 转换器	265
四、双积分型 A/D 转换器	265
五、A/D 转换器的主要技术指标	266
项目实施	266
一、项目目的	266
二、项目要求	267
三、项目步骤	267
四、注意事项	270
项目考核	272
思考与练习	273

项目十一 可编程逻辑器件实现计数器 275

任务一 认识可编程逻辑器件	276
一、可编程逻辑器件的发展	276
二、可编程逻辑器件的分类和表示方法	276
任务二 可编程逻辑器件的工作原理	278
一、可编程只读存储器 PROM	278
二、可编程逻辑阵列 PLA	279
三、可编程阵列逻辑 PAL	280
四、通用阵列逻辑 GAL	281
五、现场可编程门阵列 FPGA	281
六、复杂可编程逻辑器件 CPLD	282
项目实施	282
一、项目目的	282
二、项目要求	283
三、项目步骤	283
四、注意事项	288
项目考核	288
思考与练习	289

参考文献	290
-------------------	-----

项目一

直流稳压电源的制作

知识目标

- ▶ 掌握二极管的外形和电路图形符号；
- ▶ 掌握二极管的相关特性参数；
- ▶ 了解整流电路的基本组成，理解其工作原理，能进行简单的工程计算；
- ▶ 熟悉电容滤波的基本形式，知道滤波电容参数的选用原则；
- ▶ 了解常用的几种特殊二极管的功能及使用常识。

技能目标

- ▶ 掌握直流电源的制作方法；
- ▶ 能看懂简易电源电路原理图；
- ▶ 可在万能电路板上设计安装线路；
- ▶ 可用万用表检测元器件；
- ▶ 会根据电路设计图安装电路；
- ▶ 检查后通电，并用万用表测输出电压值；
- ▶ 用示波器观察变压器次级波形、整流后的波形以及滤波后的波形。

项目分析

在工业或民用电子产品中，其控制电路通常采用直流电源供电。对于直流电源的获取，除了直接采用蓄电池、干电池或直流发电机外，还可以将电网的 380 V/220 V 交流电通过电路转换的方式转换成直流电来获取。

项目分析

简易直流稳压电源电路如图 1-1 所示，试分析其工作原理并制作该电路。

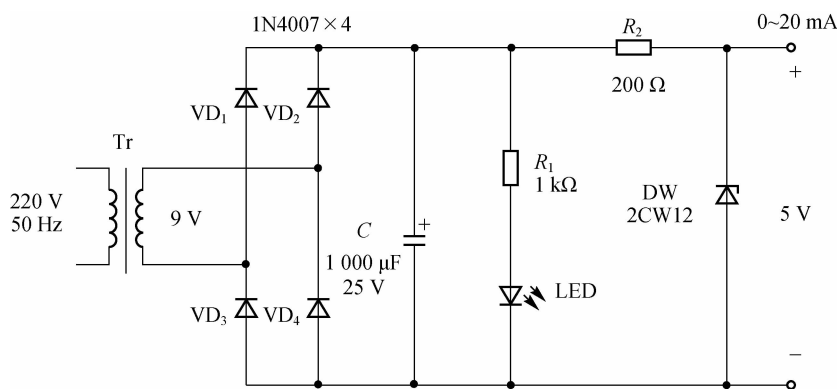


图 1-1 简易直流稳压电源电路

图 1-1 所示的直流稳压电源可用图 1-2 所示的方框图来表示。

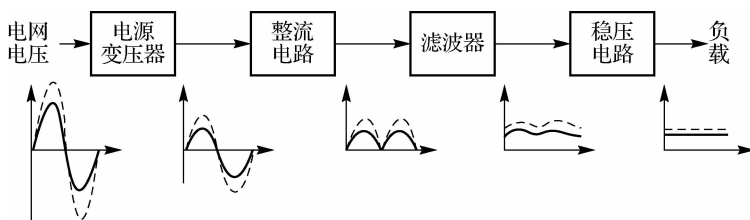


图 1-2 直流稳压电源的方框图

任务一 半导体及二极管

半导体元件是电子线路的核心元件,本任务在介绍半导体的基本知识后,重点介绍了半导体二极管的结构、特性和主要参数,为以后的学习奠定基础。

一、半导体基础知识

物质按导电性能可分为导体、绝缘体和半导体。容易传导电流的物质为导体。导体具有良好的导电特性,常温下其内部存在着大量的自由电子,它们在外电场的作用下做定向运动形成较大的电流,因而导体的电阻率很小,只有 $10^{-6} \sim 10^{-4} \Omega \cdot \text{m}$ 。金属一般为导体,如铜、铝、银等。能够可靠地隔绝电流的物质为绝缘体,绝缘体几乎不导电,如橡胶、陶瓷、塑料等。在这类材料中,几乎没有自由电子,即使受外电场作用也不会形成电流,所以,绝缘体的电阻率很大,一般在 $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上。半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间,而且其导电能力在外界其他因素的作用下会发生显著的变化。例如,在纯净的半导体(通常称为本征半导体)中掺入极其微量的杂质元素,则它的导电能力将大大增强,利用掺杂半导体可以制造出二极管、三极管、场效应管、晶闸管等半导体器件;温度的变化也会使半导体的导电率发生变化,利用这种热敏效应可以制作出热敏元件,但热敏效应也会使半导体器件的热稳定性下降;光照也可以改变半导体的导电率,利用这种光电效应可以制作出光电二

极管、光电三极管、光电耦合器和光电电池等。综上所述,半导体具有掺杂性、热敏性和光敏性三个特性。

(一)本征半导体

纯净的、不含其他杂质的半导体称为本征半导体。用于制造半导体器件的纯硅和纯锗都是晶体,其原子最外层轨道上有 4 个电子,这些电子称为价电子,它们同属于 4 价元素。在单晶体结构中,原子在空间形成排列整齐的点阵(称为晶格),价电子为相邻的原子所共有,形成图 1-3 所示的共价键结构,图中+4 代表 4 价元素原子核和内层电子所具有的净电荷。共价键中的价电子将受共价键的束缚。在室温或光照下,少数价电子可以获得足够的能量摆脱共价键的束缚成为自由电子,同时在共价键中留下一个空位,如图 1-3 所示。这种现象称为本征激发,这个空位称为空穴,可见本征激发产生的自由电子和空穴是成对的。原子失去价电子后带正电,可等效地看成是因为有了带正电的空穴。空穴很容易吸引邻近共价键中的价电子去填补,使空位发生转移,这种价电子填补空位的运动可以看成空穴在运动,但其运动方向与价电子运动方向相反。自由电子和空穴在运动中相遇时会重新结合而成对消失,这种现象称为复合。温度一定时,自由电子和空穴的产生与复合将达到动态平衡,这时自由电子和空穴的浓度一定。

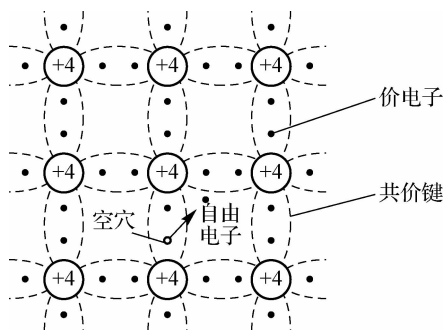


图 1-3 本征半导体结构图

在电场作用下,自由电子和空穴将做定向运动,这种运动称为漂移,所形成的电流称为漂移电流。自由电子又称电子载流子,空穴又称空穴载流子。因此,半导体中有自由电子和空穴两种载流子参与导电,分别形成电子电流和空穴电流。在常温下本征半导体载流子浓度很低,因此导电能力很弱。

(二)杂质半导体

掺入杂质的半导体称为杂质半导体,根据掺入杂质性质的不同,可以分为 N 型半导体和 P 型半导体。载流子以电子为主的半导体称为电子型半导体或 N 型半导体;载流子以空穴为主的半导体称为空穴型半导体或 P 型半导体。

1. N 型半导体

在本征半导体(4 价硅或锗的晶体)中掺入微量 5 价元素,如磷、锑、砷等,则原来晶格中的某些硅(锗)原子将被杂质原子代替,如图 1-4(a)所示,N 型半导体示意图如图 1-4(b)所示。由于杂质原子的最外层有 5 个价电子,因此它与周围 4 个硅(锗)原子组成共价键时,还多余 1 个电子。该电子不受共价键的束缚,而只受自身原子核的束缚,因此,只要得到较少

的能量就能成为自由电子,并留下带正电的杂质离子(不能参与导电)。由于杂质原子可以提供自由电子,故称为“施主原子”或“施主离子”。掺入多少杂质原子就能电离产生多少个自由电子,因此自由电子的浓度将大大增加。这时由本征激发产生的空穴被复合的机会增多,使空穴浓度反而减少。这种以电子导电为主的半导体称为N型(或电子型)半导体,其中自由电子为多数载流子(简称多子),空穴为少数载流子(简称少子)。

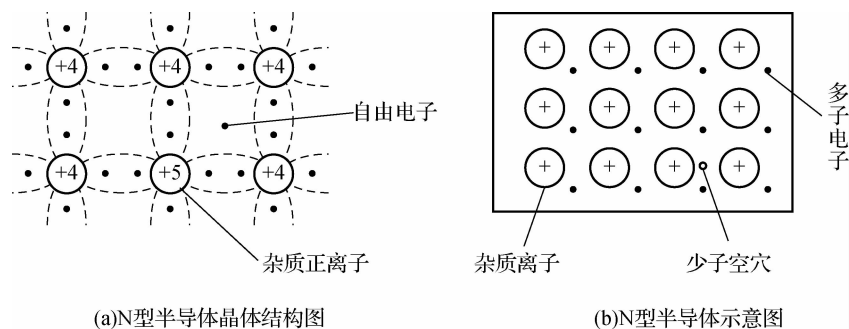


图 1-4 N 型半导体结构图

2. P 型半导体



动画

PN 结的单向导电性

在本征半导体中掺入少量的 3 价杂质元素,如硼、镓和铟等,就形成 P 型半导体,如图 1-5(a)所示,P 型半导体示意图如图 1-5(b)所示。杂质原子的 3 个价电子与周围的硅原子形成共价键时,出现一个空位,在室温下这些空位能吸引邻近的价电子来填充,使杂质原子变成带负电的离子。这种杂质因能够吸收电子被称为“受主原子”,这种掺杂使空穴的浓度大大增加。这种以空穴导电为主的半导体称为 P 型(或空穴型)半导体,其中空穴是多数载流子(简称多子),自由电子是少数载流子(简称少子)。

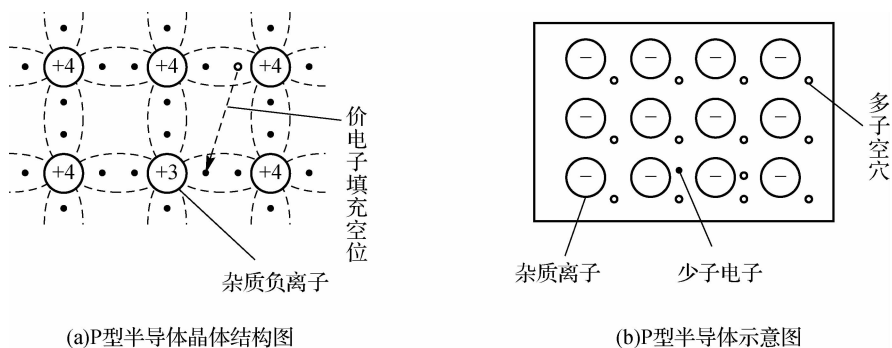


图 1-5 P 型半导体结构图

(三)PN 结

单纯的一块 P 型半导体或 N 型半导体,只能作为一个电阻元件。PN 结是构成二极管、三极管、晶闸管、集成电路等众多半导体器件的基础。

1. PN 结的形成

在一块完整的本征硅片上,用不同的掺杂工艺使其一边形成 N 型半导体,另一边形成 P 型半导体,在这两种杂质半导体的交界面附近就会形成一个具有特殊性质的薄层(正离子或

负离子的区域),这个特殊的薄层就是PN结。

由于P型半导体和N型半导体界面两侧的两种载流子浓度有很大差异,因此会产生载流子从高浓度区向低浓度区的运动,这种运动称为扩散,如图1-6(a)所示。P区中的多子空穴扩散到N区,与N区中的自由电子复合而消失;N区中的多子电子向P区扩散并与P区中的空穴复合而消失。结果使界面附近载流子浓度骤减,形成了由不能移动的杂质离子构成的空间电荷区,同时建立了内电场,内电场方向由N区指向P区,如图1-6(b)所示。

内电场有两个作用:一方面阻碍多子的扩散运动,另一方面促使两个区靠近界面处的少数产生漂移运动。起始时内电场较小,扩散运动较强,漂移运动较弱。随着扩散运动的进行,空间电荷区增宽,内电场增大,扩散运动逐渐困难,漂移运动逐渐加强。外部条件一定时,扩散运动和漂移运动最终达到动态平衡,即扩散过去多少载流子必然漂移过来同样多的同类载流子,因此扩散电流等于漂移电流,如图1-6(c)所示。这时空间电荷区的宽度一定,内电场一定,形成了所谓的PN结。PN结内电场的电位称为内建电位差,又称为接触电位,其电压一般为零点几伏,室温下硅材料PN结的内建电位差为 $0.5\sim 0.7\text{ V}$,锗材料PN结的内建电位差为 $0.2\sim 0.3\text{ V}$ 。

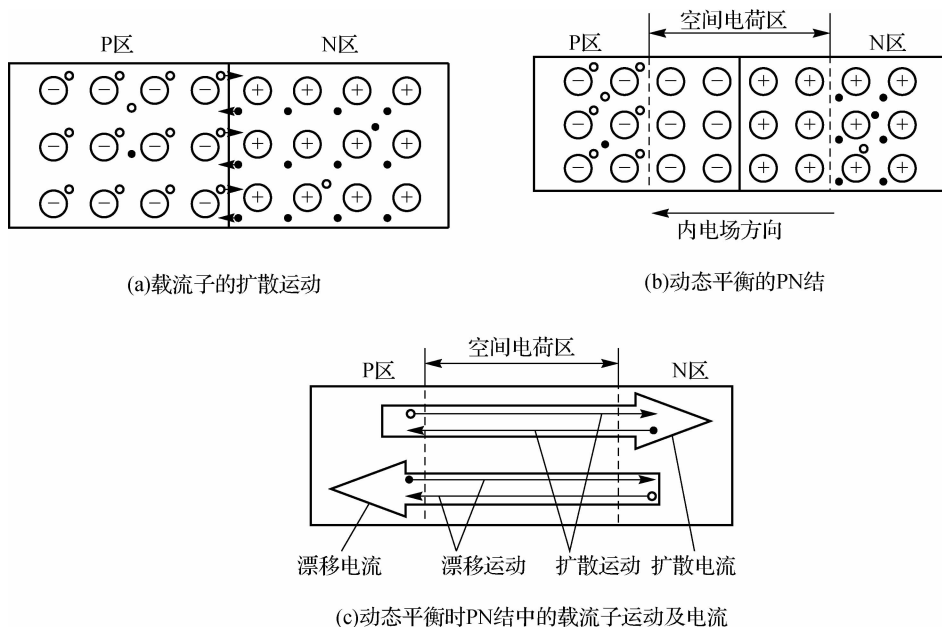


图 1-6 PN 结的形成

由于空间电荷区中载流子极少,几乎都被消耗殆尽了,所以空间电荷区又称为耗尽区。另外,从PN结内电场阻止多子继续扩散这个角度来说,空间电荷区也可称为阻挡层或势垒区。

综上所述,PN结中进行着两种载流子的运动,即多数载流子的扩散运动和少数载流子的漂移运动。

2. PN 结的单向导电性

在 PN 结外加不同方向的电压,就可以破坏原来的平衡,从而呈现出单向导电特性,加在 PN 结上的电压称为偏置电压。

1)PN 结正偏

假设在 PN 结上加一个正向电压,即电源的正极接 P 区,负极接 N 区,PN 结的这种接法称为正向接法或正向偏置(简称正偏),如图 1-7(a)所示。

采用正向接法时,外电场的方向与 PN 结中内电场的方向相反,因而削弱了内电场。此时,在外电场的作用下,P 区中的空穴向右移动,与空间电荷区内的一部分负离子中和;N 区中的电子向左移动,与空间电荷区内的一部分正离子中和。由于多子移向了耗尽层,使空间电荷区的宽度变窄,于是电位势垒也随之降低,这有利于多数载流子进行扩散运动,而不利少数载流子进行漂移运动。因此,回路中的扩散电流将大大超过漂移电流,最后形成一个较大的正向电流,其方向在 PN 结中是从 P 区流向 N 区。

正向偏置时,只要在 PN 结两端加上一定的正向电压(大于电位势垒),就可得到较大的正向电流。为了防止回路中电流过大,一般可接入一个电阻。

2)PN 结反偏

假设在 PN 结上加一个反向电压,即电源的正极接 N 区,而电源的负极接 P 区,这种接法称为反向接法或反向偏置(简称反偏),如图 1-7(b)所示。

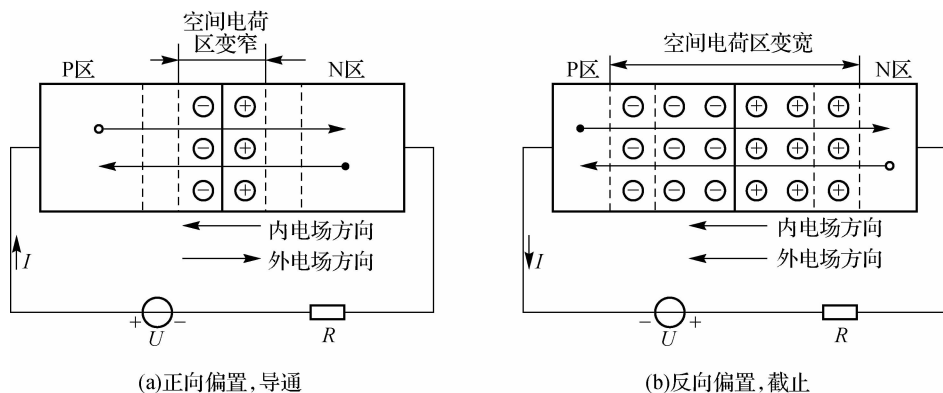


图 1-7 PN 结的单向导电性

采用反向接法时,外电场的方向与 PN 结中内电场的方向一致,因而增强了内电场的作用。此时,外电场使 P 区中的空穴和 N 区中的电子各自向着远离耗尽的方向移动,从而使空间电荷区变宽,同时电位势垒也随之增高,这不利于多数载流子进行扩散运动,而有利于少数载流子进行漂移运动。因此,漂移电流将超过扩散电流,于是在回路中形成一个基本上由少数载流子运动产生的反向电流,在 PN 结中从 N 区流向 P 区。因为少数载流子的浓度很低,所以反向电流的数值非常小。在一定温度下,当外加反向电压超过某个值后,反向电流将不再随着外加反向电压的增加而增大,这时称其为反向饱和电流,通常用符号 I_s 表示。正因为反向饱和电流是由少数载流子产生的,所以对温度十分敏感。随着温度的升高, I_s 将急剧增大。此时,PN 结呈现很大的电阻,称为截止。

综上所述,PN 结正偏时导通,呈现很小的电阻,形成较大的正向电流;反偏时截止,呈现

很大的电阻,反向电流近似为零。因此,PN 结具有单向导电特性。

3. PN 结的击穿特性

当加于 PN 结两端的反向电压增大到一定值时,PN 结的反向电流将随反向电压的增加而急剧增大,这种现象称为反向击穿。反向击穿后,只要反向电流和反向电压的乘积不超过 PN 结容许的耗散功率,PN 结一般不会损坏。若反向电压下降到击穿电压以下后,其性能可恢复到原有情况,则这种击穿是可逆的,称为电击穿;若反向击穿电流过大,则会导致 PN 结结温过高而烧坏,这种击穿是不可逆的,称为热击穿。PN 结的反向击穿有雪崩击穿和齐纳击穿两种机理。

二、半导体二极管

半导体二极管简称二极管,是电子线路中最常用的半导体器件,是一种非线性半导体器件。由于它具有单向导电特性,故广泛应用于整流、检波、限幅、开关、稳压等场合。

(一) 二极管的结构

半导体二极管是由一个 PN 结加上管壳封装而成的,从 P 端引出的一个电极称为阳极,从 N 端引出的另一个电极称为阴极。二极管的实物图、外形及符号如图 1-8 所示。电路符号中的箭头方向表示正向电流的流通方向。

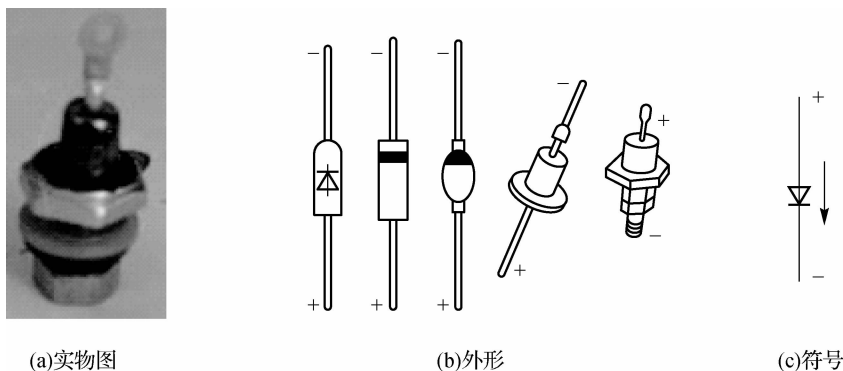


图 1-8 半导体二极管的实物、外形与符号

(二) 二极管的类型

半导体二极管的种类有很多,若按结构的不同来分,可分为点接触型二极管和面接触型二极管;若按应用场合的不同来分,可分为整流二极管、稳压二极管、检波二极管、限幅二极管、开关二极管和发光二极管等;若按功率的不同来分,可分为小功率二极管、中功率二极管和大功率二极管;若按制作材料的不同来分,可分为锗二极管和硅二极管等。

点接触型二极管是由一根很细的金属触丝(如 3 价元素铝)和一块 N 型半导体(如锗)的表面接触,然后在正方向通过很大的瞬时电流,使触丝和半导体牢固地熔接在一起,3 价金属与锗结合构成 PN 结,如图 1-9(a)所示。由于点接触型二极管金属丝很细,形成的 PN 结面积很小,所以它不能承受大的电流和高的反向电压,同时由于极间电容很小,所以这类管子适用于高频电路。例如,2AP1 是点接触型锗二极管,其最大整流电流为 16 mA,最高工作频率为 150 MHz,但最高反向工作电压只有 20 V。

面接触型或称面结型二极管的 PN 结是用合金法或扩散法制成的,其结构如图 1-9(b)所示。这种二极管的 PN 结面积大,可承受较大的电流,但极间电容较大,适用于低频电路,主要用于整流电路。例如,2CZ53C 为面接触型硅二极管,其最大整流电流为 300 mA,最高反向工作电压为 100 V,而最高工作频率只有 3 kHz。

图 1-9(c)所示是硅工艺平面型二极管的结构图,它是集成电路中常见的一种形式。当用于高频电路时,要求其 PN 结面积小;当用于大电流电路时,则要求其 PN 结面积大。

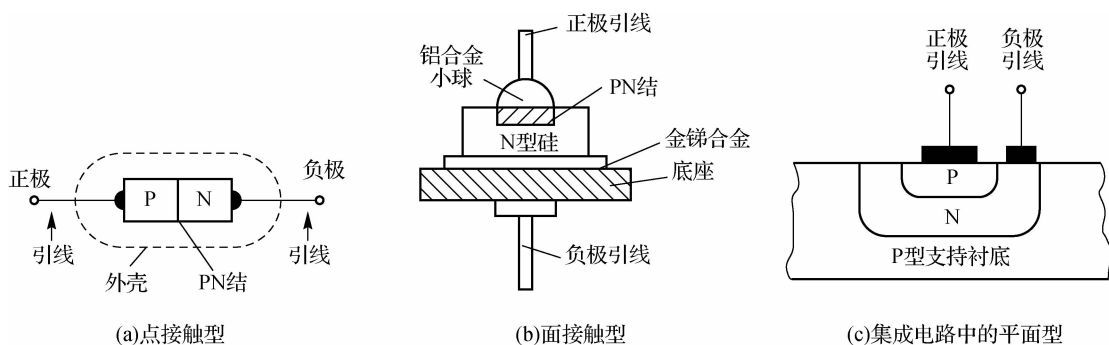


图 1-9 二极管的结构

(三)二极管的导电特性

二极管由一个 PN 结构成,因此,它同样具有单向导电特性。半导体二极管的导电特性可用其伏安特性来说明,所谓伏安特性是指流过二极管的电流与其两端电压之间的关系曲线。图 1-10 所示为伏安特性的实验电路,图 1-11 所示为半导体二极管的伏安特性曲线。

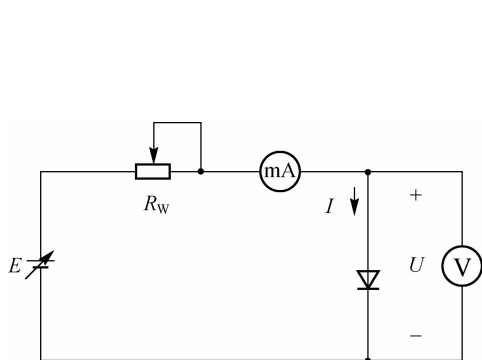


图 1-10 伏安特性实验电路

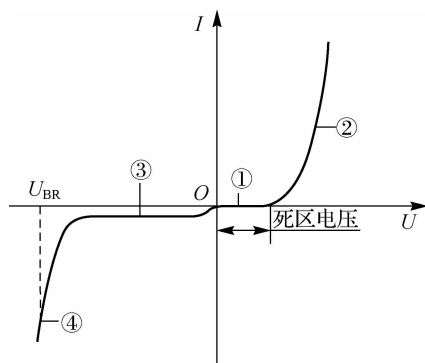


图 1-11 半导体二极管伏安特性

1. 正向特性

所谓正向特性是指二极管阳极接高电位、阴极接低电位时的伏安特性,这时二极管所加的电压称为正向电压。由图 1-11 看出,当二极管所加的正向电压较小时,流过二极管的电流几乎为零,这时二极管的工作状态称为截止状态。当正向电压超过某数值后,才有电流流过二极管,这一电压值称为死区电压。硅管的死区电压一般为 0.5 V,锗管则约为 0.1 V。图 1-11 中的①为死区。

当二极管的正向电压大于死区电压时,才有较大的电流流过二极管,这时的电流称为正向电流,二极管的工作状态称为导通状态(如图 1-11 中的②所示)。二极管导通时的正向电压,硅管约为 $0.6\sim 0.8\text{ V}$,锗管约为 $0.2\sim 0.3\text{ V}$ 。

2. 反向特性

所谓反向特性是指二极管阴极接高电位、阳极接低电位时的伏安特性,这时二极管所加的电压称为反向电压。由图 1-11 看出,当二极管加反向电压时,流过二极管的电流(反向电流)很小,几乎为零,因此二极管工作于截止状态(如图 1-11 中的③所示)。当反向电压达到一定数值时,反向电流突然增大,这时二极管处于反向击穿状态,对应的临界电压称为反向击穿电压 U_{BR} (如图 1-11 中的④所示),这时若没有采取适当的限流措施,则较大的反向电流会使管子过热而损坏,因此,通常不允许二极管工作在该状态。

通过以上分析不难得出结论:当二极管加正向电压(大于死区电压)时,二极管导通,有较大的正向电流流过二极管;当二极管加反向电压(小于反向击穿电压)时,二极管截止,流过二极管的反向电流基本为零。因此二极管具有单向导电的特性。

3. 温度特性

温度对二极管的特性有显著影响,如图 1-12 所示。温度升高,正向特性曲线向左移,反向特性曲线向下移。其规律是:在接近室温,同一电流下,温度每升高 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,正向电压减小 $2\sim 2.5\text{ mV}$;温度每升高 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$,反向电流增大大约 1 倍。

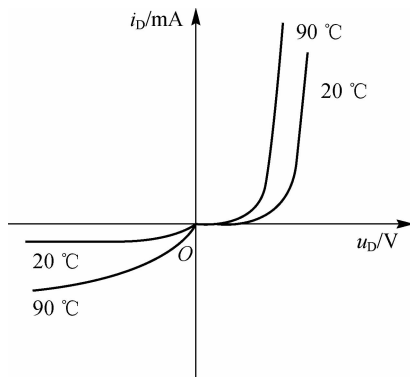


图 1-12 温度对二极管特性曲线的影响

(四)二极管的主要参数

1. 二极管的型号命名法

国家标准规定,国产半导体器件的型号由以下 5 部分组成。

第 1 部分:用阿拉伯数字表示器件的电极数目。“2”代表二极管,“3”代表三极管。

第 2 部分:用汉语拼音字母表示管子的材料。“A”为 N 型锗管,“B”为 P 型锗管,“C”为 N 型硅管,“D”为 P 型硅管。

第 3 部分:用汉语拼音字母表示管子的类型。“P”为普通管,“Z”为整流管,“K”为开关管,“W”为稳压管。

第 4 部分:用阿拉伯数字表示序号。序号不同的二极管其特性不同。

第5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。

例如,2AP1是N型锗材料制成的普通二极管,2CZ11D是N型硅材料制成的整流管。

目前,市面上更常见的是使用国外晶体管型号命名方法的二极管,如IN4001、IN4004、IN4148等,这类二极管采用的是美国电子工业协会对半导体器件的命名法,凡型号以“IN”开头的二极管都是美国制造或以美国专利在其他国家制造的产品,IN后面的数字表示该器件在美国电子工业协会登记的顺序号。

而从日本进口的彩色电视机中,二极管的型号则以“1S”开头,如1S1885,其中“1”表示二极管,“S”表示日本电子工业协会注册产品,最后的数字表示在日本电子工业协会登记的顺序号。登记顺序号的数字越大,表示产品越新。

2. 二极管的主要参数

描述器件的物理量称为器件的参数。它是器件特性的定量描述,也是选择器件的依据。各种器件的参数可由手册查得。为了正确合理地使用二极管,必须了解二极管的指标参数。在实际应用中最主要的参数如下。

1) 最大整流电流 I_F

最大整流电流通常称为额定工作电流,是指二极管在长期运行时,允许通过的最大正向平均电流。不同型号的二极管其最大整流电流差异很大,如果电路中实际工作电流超过了 I_F ,那么二极管过分发热就有可能烧坏PN结,使二极管永久损坏。此值取决于PN结的面积、材料和散热情况等。

2) 最大反向工作电压 U_{RM}

最大反向工作电压通常称为额定工作电压,它是为了保证二极管不至于反向击穿而规定的最高反向电压。工作时加在二极管两端的反向电压不得超过此值,否则二极管可能被击穿。为了确保二极管安全工作,一般手册中规定最大反向电压为反向击穿电压的 $1/3 \sim 1/2$ 。

3) 反向饱和电流 I_S

反向饱和电流又称反向漏电流,它指二极管未进入击穿区的反向电流,其值越小,则二极管的单向导电性越好。此外,由于反向电流是由少数载流子形成的,因此 I_S 值受温度的影响很大。温度增加,反向电流就会急剧增大。通常锗管PN结温度达到 90°C 以上,硅管PN结温度达到 150°C 以上时,就会因反向电流急剧增加而造成热击穿,所以使用二极管时要注意温度的影响。

4) 最高工作频率 f_M

二极管的PN结具有结电容,随着工作频率的升高结电容充放电将加剧影响PN结的单向导电特性,所以 f_M 是保证管子正常工作的最高频率。一般小电流二极管的 f_M 高达几百兆赫兹,而大电流的整流管仅几千赫兹。

5) 直流电阻 R_D

(1) 正向直流电阻。加到二极管两端的直流电压 U_D 与流过二极管的直流电流 I_D 之比称为二极管的直流电阻,用 R_D 表示,即

$$R_D = \frac{U_D}{I_D} \quad (1-1)$$

(2)反向直流电阻。二极管处于反向工作状态时,由于反向电流很小且几乎不变,所以反向直流电阻很大。加反向电压时, R_D 为几百千欧至几兆欧。

6)交流电阻 r_D

(1)正向交流电阻。二极管在工作点 Q 附近电压的微小变化量 Δu_D 与相应的电流微小变化量 Δi_D 之比称为二极管的交流电阻,用 r_D 表示,即

$$r_D = \frac{\Delta u_D}{\Delta i_D} \quad (1-2)$$

由于交流电阻反映了二极管在工作点 Q 附近电压、电流作微小变化时的等效电阻,因此又称为动态电阻或微变等效电阻。

$$r_D \approx \frac{U_T}{I_D} \approx \frac{26 \text{ mV}}{I_D (\text{mA})} \quad (1-3)$$

U_T 称为温度电压当量。式(1-3)说明,在温度一定时, r_D 的数值与直流工作点电流 I_D 有关,并且 I_D 越大, r_D 越小。正向交流电阻 r_D 约为几欧至几十欧。例如,在室温下, $U_T \approx 26 \text{ mV}$,若 $I_D = 5 \text{ mA}$,则 $r_D = 5.2 \Omega$,可见二极管的动态电阻是很小的。

(2)反向交流电阻。二极管处于反向工作状态时,由于反向电流很小且几乎不变,因此反向交流电阻很大。反向交流电阻 r_D 一般大于几十千欧。

为了计算在 Q 点附近电流或电压的变化量 Δi_D 或 Δu_D ,可根据交流电阻的概念画出二极管的小信号模型(也称微变等效电路),如图 1-13 所示。它表明,在 Q 点,动态时的二极管可用一交流电阻 r_D 来等效。

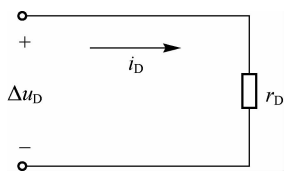


图 1-13 二极管小信号模型

三、特殊二极管

除了普通二极管外,还有一些二极管由于使用的材料和工艺特殊,从而具有特殊的功能和用途,这种二极管属于特殊二极管,如稳压二极管、发光二极管、光电二极管、光电耦合器、变容二极管等。

(一)稳压二极管

稳压二极管是一种特殊的面接触型硅二极管,由于它在电路中能起稳定电压的作用,故称为稳压二极管,简称稳压管。

1. 稳压二极管的特性及主要参数

1)伏安特性曲线

稳压二极管的符号及通过实验测得的伏安特性曲线分别如图 1-14(a)、图 1-14(b) 所示。

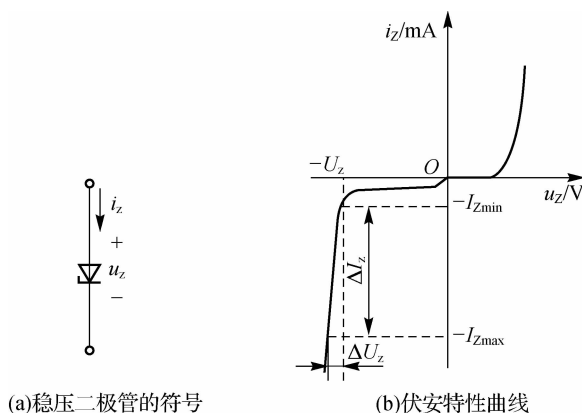


图 1-14 稳压二极管符号及伏安特性曲线

从伏安特性曲线看,稳压管的正向特性曲线和普通二极管相似;反向偏压时,开始一段和二极管一样,当反向电压增大到一定数值时,反向电流突然上升,这一特性称为反向击穿特性,曲线比普通二极管陡直。

值得注意的是,当反向电压增加到一定数值时,如增加到图 1-14(b)中所示的电压值 U_Z ,反向电流急剧上升。此后反向电压只要稍有增加,如增加一个 ΔU_Z ,反向电流就会增加很多,这种现象就是电击穿,电压 U_Z 称为击穿电压。由此可见,通过稳压二极管的电流在很大范围内变化时,如图 1-14(b)中从 I_{Zmin} 变化到 I_{Zmax} ,稳压二极管两端电压变化很小,仅为 ΔU_Z 。据此可以认为,二极管两端的电压基本保持不变。可见稳压二极管能稳定电压正是利用其反向击穿后电流剧变,而二极管两端的电压几乎不变的特性来实现的。

此外,由击穿转化为稳压,还有一个值得注意的条件,就是要适当限制通过稳压二极管的反向电流。否则过大的反向电流,如超过 I_{Zmax} ,将造成稳压二极管击穿后的永久性损坏(热击穿)。因此,在电路中应给稳压二极管串联适当阻值的限流电阻。

通过以上分析可知,稳压二极管若要实现稳压功能,则必须具备以下两个基本条件。

(1)稳压二极管两端需加上一个大于其击穿电压的反向电压。

(2)采取适当措施限制击穿后的反向电流值。例如,将稳压二极管与一个适当的电阻串联后,再反向接入电路中,使反向电流和功率损耗均不超过其允许值。

2) 稳压管的主要参数

(1)稳定电压 U_Z 。 U_Z 是指稳压管在正常工作状态下稳压管两端的电压值。由于制造上的原因,即使同种型号的稳压管,这个电压值也稍有差异,使用时要注意选择。例如,型号为 2CW11 的稳压管的稳定电压为 3.2~4.5 V,但就某一只稳压管而言, U_Z 应为确定值。

(2)稳定电流 I_Z 。 I_Z 指稳压管在稳定电压下的工作电流。稳压管的稳定电流有一定的允许变化范围。当工作电流低于 I_Z 时,稳压效果变差,甚至不能稳压,故常将 I_Z 记作 I_{Zmin} 。只要不超过稳压管的额定功率,电流愈大,稳压效果愈好,但要多消耗电能。

(3)最大耗散功率 P_{ZM} 。稳压管的稳定电压 U_Z 与最大稳定电流 I_{Zmax} 的乘积,称为稳压管的耗散功率。在使用中若超过这个数值,稳压管将被烧毁。

(4)动态电阻 r_Z 。 r_Z 指稳压管两端电压变化量和电流变化量之比,即

$$r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$$

它是衡量稳压性能好坏的指标,击穿区的特性越陡,则 r_Z 越小,稳压性能越好,一般 r_Z 值很小,约为几欧到几十欧。

(5)温度系数。通常稳压值大于 6 V 的稳压管具有正温度系数,即温度升高时,其稳压值略有上升。稳压值低于 6 V 的稳压管具有负温度系数,即温度升高时,其稳压值略有下降。稳压值为 6 V 的稳压管,其温度系数趋近于零。

由于硅管的热稳定性比锗管好,故一般采用硅材料制作稳压二极管。其型号有 2CW 和 2DW 两大类。

2. 二极管稳压电路

1) 电路结构

利用稳压二极管组成的稳压电路如图 1-15 所示,其中, U_1 为未经稳定的直流输入电压, R 为限流电阻, R_L 为负载电阻, U_O 为稳压电路的输出电压。

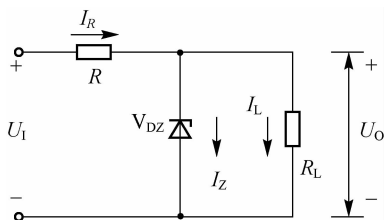


图 1-15 稳压二极管稳压电路

2) 稳压原理

当稳压二极管正常工作时,有下述关系式成立。

$$U_O = U_1 - I_R R = U_Z$$

$$I_R = I_Z + I_L$$

当电路的输入电压或负载的大小发生变化时,负载两端的电压因稳压管的存在而基本不变。

(1)负载不变,输入电压变化。若输入电压 U_1 升高,则必将引起输出电压 U_O 升高,而对于并联在负载两端的稳压管来说,其电压 U_Z 稍一增加,就会使流过稳压管的电流急剧增加,这将导致限流电阻 R 上的压降增加,从而使负载两端的输出电压下降。可见稳压管是利用其电流的剧烈变化,通过限流电阻将其转化为压降的变化来吸收输入电压 U_1 的变化,从而维持了输出电压 U_O 的稳定。相关分析如下。

$$U_1 \uparrow \rightarrow U_Z \uparrow \rightarrow I_Z \uparrow \rightarrow I_R \uparrow \rightarrow I_R R \uparrow \rightarrow U_O \text{ 不变}$$

(2)输入电压不变,负载变化。若负载电阻 R_L 减小,则会造成输出电流 I_O 和 I_R 的增大,引起输出电压 U_O 减小。此时将导致稳压管中电流 I_Z 急剧减小,限流电阻 R 上的压降也将减小,从而使输出电压 U_O 升高,维持了输出电压 U_O 的稳定。

$$R_L \downarrow \rightarrow U_Z \downarrow \rightarrow I_Z \downarrow \rightarrow I_R \downarrow \rightarrow I_R R \downarrow \rightarrow U_O \text{ 不变}$$

以上讨论表明,限流电阻不仅可以保护稳压管,还起着调整电压的作用。正是稳压管和限流电阻的相互配合,才完成了稳压的过程。

例 1-1 稳压电路如图 1-15 所示,已知稳压二极管的稳定电压 $U_Z = 8 \text{ V}$, $I_Z = 5 \text{ mA}$, $I_{ZM} = 30 \text{ mA}$,限流电阻 $R = 390 \Omega$,负载电阻 $R_L = 510 \Omega$,试求输入电压 $U_1 = 17 \text{ V}$ 时,输出电压 U_O

及电流 I_L 、 I_R 、 I_Z 的大小。

解 令稳压二极管开路,求得 R_L 上的压降 U'_O 为

$$U'_O = \frac{U_1 R_L}{R + R_L} = \frac{17 \times 510}{390 + 510} \text{ V} \approx 9.6 \text{ V}$$

因 $U'_O > U_Z$,稳压二极管接入电路后即可工作在反向击穿区,略去动态电阻 r_Z 的影响,稳压电路的输出电压 U_O 就等于稳压二极管的稳压电压 U_Z ,即

$$U_O = U_Z = 8 \text{ V}$$

由此不难求出各电流的大小分别为

$$I_L = \frac{U_O}{R_L} = \frac{8}{510} \text{ A} \approx 0.0157 \text{ A} = 15.7 \text{ mA}$$

$$I_R = \frac{U_1 - U_O}{R} = \frac{17 - 8}{390} \text{ A} \approx 0.0231 \text{ A} = 23.1 \text{ mA}$$

$$I_Z = I_R - I_L = (23.1 - 15.7) \text{ mA} = 7.4 \text{ mA}$$

可见, $I_{Z\min} < I_Z < I_{Z\max}$,稳压二极管处于正常稳压工作状态,上述计算结果是正确的。

3. 稳压管和限流电阻的选择

1) 稳压管的选择

选择稳压管主要从电路的输出电压值和负载电流的大小两方面进行考虑:稳压管稳压电压 U_Z 等于电路的输出电压 U_O ;稳压管稳压电流 I_Z 应大于电路负载电流 I_O 的 5 倍左右。满足这两个条件,再根据电路要求的稳压精度来选择稳压管。

2) 限流电阻的选择

限流电阻 R 在电路中起保护稳压管和调整电压的作用,要从两方面来考虑:一是阻值,二是额定功率。

由于稳压管的反向电流小于 $I_{Z\min}$ 时不稳压,大于 $I_{Z\max}$ 时会因超过额定功率而损坏,因此在稳压管电路中必须串联一个电阻来限制电流,从而保证稳压管正常工作,故称这个电阻为限流电阻。只有在 R 取值合适时,稳压管才能安全地工作在稳定状态。

(二) 发光二极管

发光二极管(light emitting diode, LED)是一种把电能转变成光能的半导体器件。发光二极管的实物图和符号如图 1-16 所示。它是由镓(Ga)、砷(As)、磷(P)等半导体材料制成的。由这些材料构成的 PN 结在外加正向电压时就会发光,光的颜色主要取决于制造所用的材料,如砷化镓发红光,磷化镓发绿光等。目前,市场上发光二极管的颜色主要有红、黄、绿、蓝、白 5 种,按外形可分为圆形、长方形等数种。

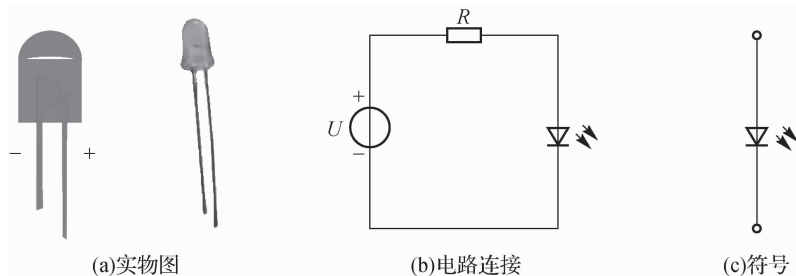


图 1-16 发光二极管

发光二极管的导通电压比普通二极管大,一般为 $1.2 \sim 2.5 \text{ V}$,而反向击穿电压一般比普通二极管低,在 5 V 左右。LED 是目前使用比较普遍的一种显示器件,就是由于它具有亮度高、电压低、体积小、可靠性高、寿命长、响应速度快、颜色鲜艳等一系列优点。

发光二极管主要用作显示器件,可单个使用,也可制成七段数字显示器以及矩阵式器件。近年来在数字仪器仪表、计算机显示、电子钟表上的应用愈来愈广,并且在高档家电、音响装置、大屏幕汉字、图形显示中发挥作用,其应用范围还在不断扩展,LED 各种驱动器集成电路芯片也在不断推出。发光二极管的另一个重要用途是将电信号变为光信号,通过光缆传输,然后用光电二极管接收并再现电信号,从而组成光电传输系统,应用于光纤通信和自动控制系统中。此外,发光二极管还可以与光电二极管一起构成光电耦合器件。

(三)光电二极管

光电二极管又称光敏二极管或远红外线接收管,是一种将光能与电能进行转换的器件,是将光信号转换为电信号的特殊二极管,其实物图、结构及符号如图 1-17 所示。光电二极管的结构与普通二极管一样,其基本结构也是一个 PN 结,但是它的 PN 结面积较大,同时管壳上开有一个嵌着玻璃的窗口,以便于光线射入。它是利用 PN 结在施加反向电压时,在光线照射下反向电阻由大变小的原理来工作的。也就是说,当没有光照射时反向电阻很大,反向电流很小(约 $0.1 \mu\text{A}$)。当有光照射时,反向电阻减小,反向电流增大,通过接在回路中的电阻 R_L 就可获得电压信号,从而实现了光电转换。硅光电二极管对红外光最为敏感,锗光电二极管对远红外光最为敏感,常用于光的测量和光电自动控制系统,如光纤通信中的光接收机、电视机和家庭音响的遥控接收装置等。大面积的光电二极管可用来作为能源,即光电池;线性光电器件通常称为光电耦,可以实现光与电的线性转换,在信号传送和图形图像处理领域有广泛的应用。

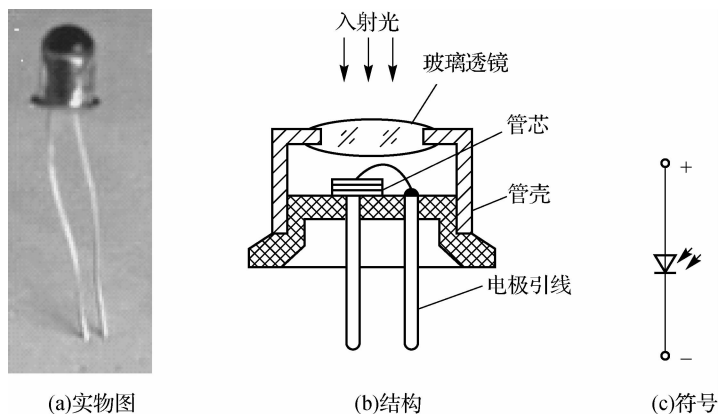


图 1-17 光电二极管

利用光电二极管制成光电传感器,可以把非电信号转变为电信号,以便控制其他电子器件。

(四)光电耦合器

将发光二极管和光电二极管组合起来即可构成光电耦合器,如图 1-18 所示。将输入的电信号加到发光二极管 V_1 的两端,使之发光,照射到光电二极管 V_2 上,这样就在器件的输出端产生与输入信号变化规律相同的电信号,从而实现了信号的光电耦合。将电信号从输入端传送到输出端时,由于两个二极管之间是电隔离的,因此光电耦合器是用光传输信号的

电隔离器件,常在计算机控制系统中用作接口电路。

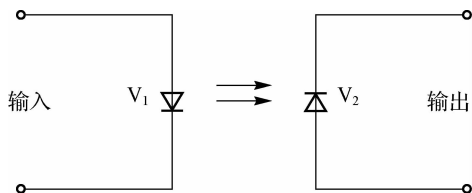


图 1-18 二极管型光电耦合器

(五)变容二极管

PN 结具有电容效应,当 PN 结反向偏置时它的反向电阻很大,近似开路,PN 结可构成理想的电容器件,且其容量随加于 PN 结两端反向电压的增加而减小。利用这种特性制成的二极管称为变容二极管,其电路符号及电容-电压特性曲线如图 1-19 所示。变容二极管广泛用于高频电子电路中,如用于谐振回路的电调谐、调频信号的产生等。

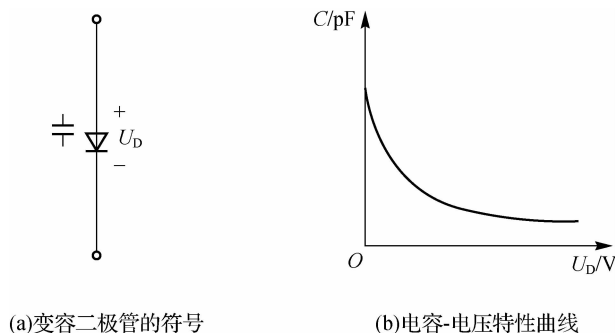


图 1-19 变容二极管

任务二 二极管基本电路

在电子技术中,二极管电路得到广泛的应用,本任务重点介绍几种基本的二极管电路,包括二极管整流电路、二极管滤波电路和二极管稳压电路。

一、二极管整流电路

由于电网系统供给的电能都是交流电,而电子设备需要稳定的直流电源供电才能正常工作,因此必须将交流电变换成直流电,这一过程称为整流。本任务主要介绍单相半波整流电路和单相桥式整流电路。

(一)单相半波整流电路

由于在一个周期内,二极管导电半个周期,负载只获得半个周期的电压,故称为半波整流。经半波整流后获得的是波动较大的脉动直流电。

1. 电路结构

单相半波整流电路由整流二极管、电源变压器和用电负载构成,如图 1-20(a)所示。T

为电源变压器, VD 为整流二极管, R_L 为负载电阻。

2. 工作原理

设变压器二次电压为

$$u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t \quad (1-4)$$

式中, U_2 为变压器二次电压有效值。

当 u_2 为正半周期 ($0 \leq \omega t \leq \pi$) 时, 假设变压器二次绕组的极性是上“+”下“-”, 则二极管 VD 承受正向电压导通, 流过二极管的电流同时流过负载电阻, 即如果忽略 VD 的管压降, 负载电阻上的电压 $u_o \approx u_2$ 。当 u_2 为负半周期 ($\pi \leq \omega t \leq 2\pi$) 时, 变压器副边绕组的极性变为上“-”下“+”, 二极管承受反向电压截止, $i_o \approx 0$, 因此输出电压 $u_o \approx 0$, 此时 u_2 全部加在二极管两端, 即二极管承受反向电压 $u_D \approx u_2$ 。第二个周期开始又重复上述过程。电路中电压和电流的波形如图 1-20(b) 所示, 由图可见, 负载上得到单方向的脉动电压。由于该电路只在 u_2 的正半周期有输出, 所以称为半波整流电路。

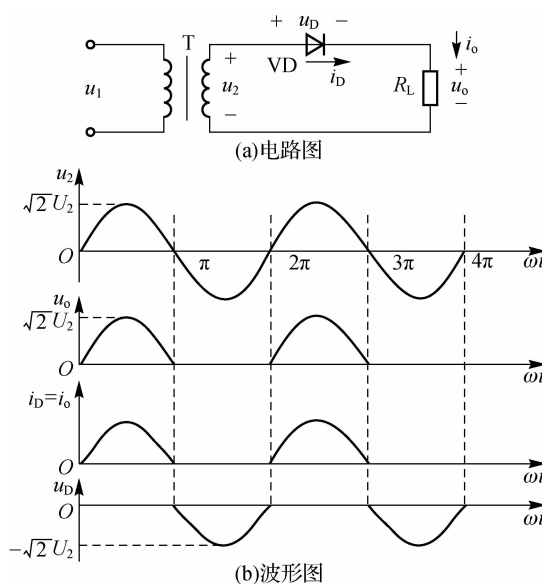


图 1-20 单相半波整流电路及其波形

可见, 变压器副边的正弦交流电压变换成了负载两端的单向脉动直流电压, 达到了整流的目的。

3. 参数计算

负载上获得的是脉动直流电压, 其大小用平均值 U_o 来衡量, 即

$$U_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d(\omega t) = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 \approx 0.45 U_2 \quad (1-5)$$

负载电流的平均值为

$$I_o = \frac{0.45}{R_L} U_2 \quad (1-6)$$

流过二极管的平均电流与负载电流相等, 故

$$I_{VD} = I_o = \frac{0.45}{R_L} U_2 \quad (1-7)$$

二极管反向截止时承受的最高反向电压等于变压器副边电压的最大值,所以

$$U_{RM} = \sqrt{2} U_2 \quad (1-8)$$

4. 特点

单相半波整流电路简单、元件少,但输出电流脉动很大,变压器利用率低。因此半波整流仅适用于要求不高的场合。

(二)单相桥式整流电路

为了克服半波整流的缺点,常采用桥式整流电路,如图 1-21(a)所示,图中 $VD_1 \sim VD_4$ 这 4 只整流二极管接成电桥形式,故称为桥式整流,其简化电路如图 1-21(b)所示。

1. 电路结构

单相桥式整流电路如图 1-21(a)所示。

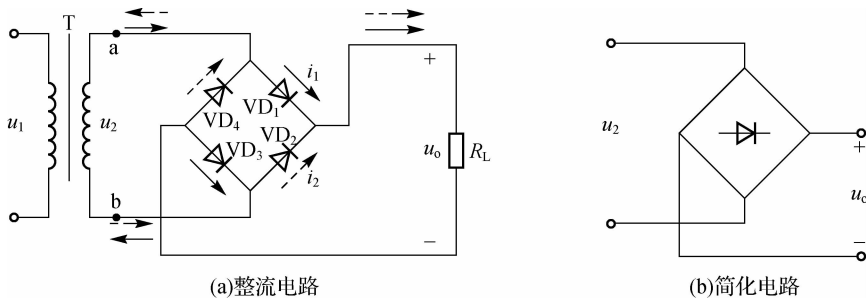


图 1-21 桥式整流电路

2. 工作原理

设变压器二次电压 $u_2 = \sqrt{2} U_2 \sin \omega t$, 波形如图 1-22(a) 所示。当 u_2 为正半周期时, 即 a 点为正, b 点为负时, VD_1 、 VD_3 承受正向电压而导通, 此时有电流流过 R_L , 电流路径为 a— VD_1 — R_L — VD_3 —b, 此时 VD_2 、 VD_4 因反偏而截止, 负载 R_L 上得到一个半波电压, 如图 1-22(b) 所示。若略去二极管的正向压降, 则 $u_o \approx u_2$ 。

当 u_2 为负半周期时, 即 a 点为负, b 点为正时, VD_1 、 VD_3 因反偏而截止, VD_2 、 VD_4 因正偏而导通, 此时有电流流过 R_L , 电流路径为 b— VD_2 — R_L — VD_4 —a。这时 R_L 上得到的半波电压如图 1-22(b) 所示, 若略去二极管的正向压降, $u_o \approx -u_2$, 由此可得输出电压波形, 它是单方向的脉动电压, 上述电路称为桥式整流电路。

3. 参数计算

负载的平均电压为

$$U_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sqrt{2} U_2 \sin \omega t = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} 2\sqrt{2} U_2 \sin \omega t d(\omega t) \approx 0.9 U_2 \quad (1-9)$$

负载的平均电流为

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = 0.9 \frac{U_2}{R_L} \quad (1-10)$$

在每个周期内, 两组二极管轮流导通, 各导电半个周期, 二极管电流如图 1-22(c) 所示,

所以每只二极管的平均电流应为负载电流的一半,即

$$I_{VD} = \frac{1}{2} I_o = \frac{1}{2} \frac{U_o}{R_L} = 0.45 \frac{U_2}{R_L} \quad (1-11)$$

在 u_2 的正半周期, VD_1 、 VD_3 导通时,可将它们看成短路,这样 VD_2 、 VD_4 就并联在 u_2 上,其承受的反向峰值电压为

$$U_{RM} = \sqrt{2} U_2 \quad (1-12)$$

二极管承受电压的波形如图 1-22(d)所示。

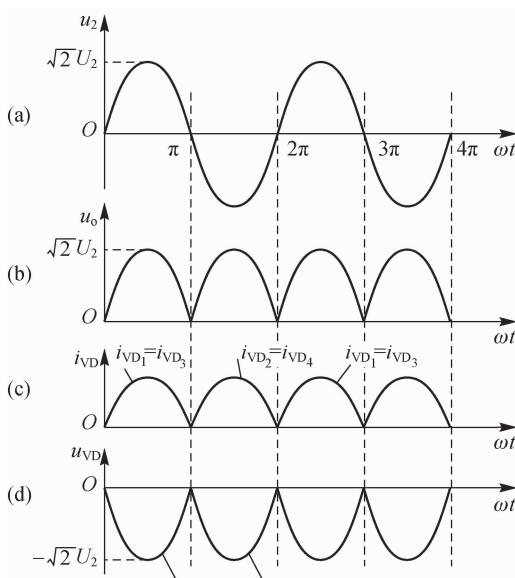
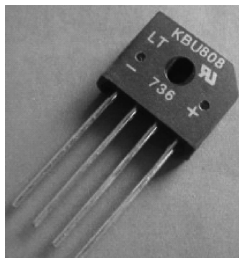


图 1-22 桥式整流电路电压、电流波形

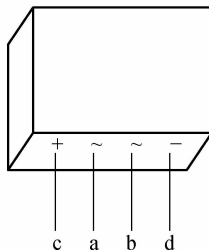
4. 特点

桥式整流电路比半波整流电路复杂,但输出电压脉动比半波整流小一半,变压器的利用率也较高,因此桥式整流电路得到了广泛应用。

将桥式整流电路的 4 只二极管制作在一起,封装成为一个器件就称为整流桥,其实物及外形分别如图 1-23(a)、图 1-23(b)所示。a、b 端接交流输入电压,c、d 端为直流输出端,c 端为正极性端,d 端为负极性端。



(a)实物图



(b)外形图

图 1-23 整流桥

二、二极管滤波电路

整流电路将交流电变为脉动直流电,但其中含有大量的交流成分(称为纹波电压)。为了获得平滑的直流电压,必须利用滤波器将交流成分滤掉。常用的滤波电路有电容滤波电路、电感滤波电路和复合式滤波电路等。

(一)电容滤波电路

下面以单相桥式整流电容滤波电路来说明电容滤波的原理。

1. 电路组成



动画
单相桥式整流
电容滤波电路

电路由单相桥式整流电路、大容量电容 C 和负载 R_L 组成,电路如图 1-24 所示。

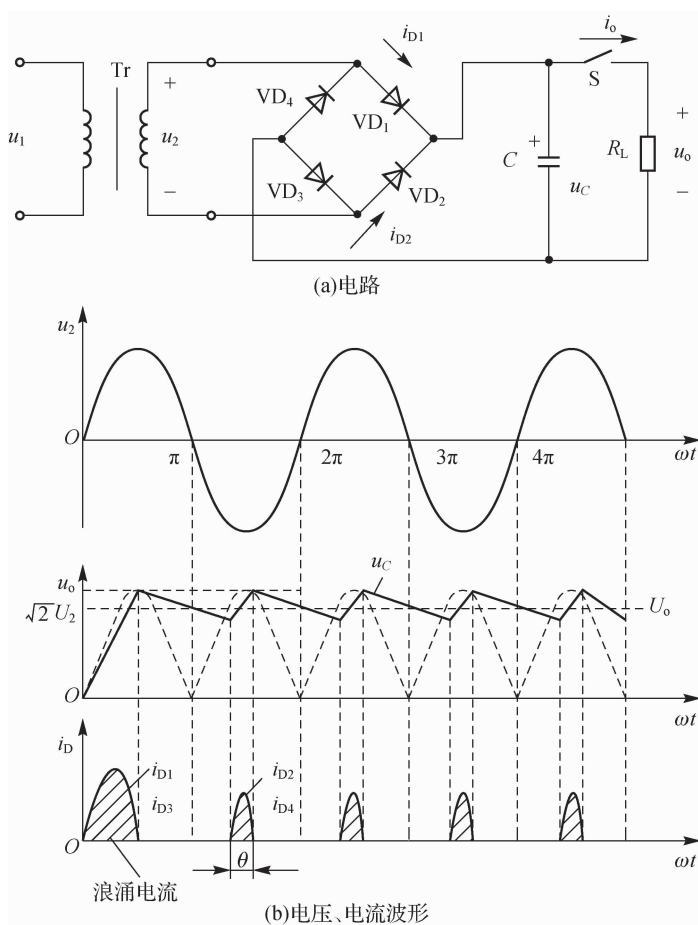


图 1-24 桥式整流电容滤波电路及其波形

2. 工作原理

1) 不接负载 R_L 的情况

图 1-24(a)所示的桥式整流电容滤波电路中,将开关 S 打开。

设电容上已充有一定电压 u_C ,当 u_2 为正半周期时,二极管 VD_1 和 VD_3 仅在 $u_2 > u_C$ 时才导通;同样,在 u_2 为负半周期时,仅当 $|u_2| > u_C$ 时,二极管 VD_2 和 VD_4 才导通;二极管在导

通期间, u_2 对电容充电。

无论 u_2 在正半周期还是负半周期, 当 $|u_2| < u_C$ 时, 由于 4 只二极管均受反向电压而处于截止状态, 所以电容 C 没有放电回路, 故 C 很快地充到 u_2 的峰值, 即 $u_o = u_C = \sqrt{2}U_2$, 并且保持不变。

2) 接负载 R_L 的情况

图 1-24(a) 所示的桥式整流电容滤波电路中, 将开关 S 闭合。电容 C 两端并上负载 R_L 后, 当在 u_2 正半周期或负半周期时, 只要 $|u_2| > u_C$, 则 VD_1 和 VD_3 与 VD_2 和 VD_4 轮流导通, u_2 不仅对负载 R_L 供电, 还对电容 C 充电。

当 $|u_2| < u_C$ 时, 同样, 4 只二极管均受反向电压而处于截止状态, 而电容 C 将向负载 R_L 放电, 以后重复上述充、放电过程, 便可得到如图 1-24(b) 所示的输出电压波形, 它近似锯齿波直流电压。

3) 特点

电容滤波电路虽然简单, 但输出直流电压的平滑程度与负载有关。当负载减小时, 时间常数 $R_L C$ 减小, 输出电压的纹波增大, 所以电容滤波不适用于负载变化较大的场合。电容滤波也不适用于负载电流较大的场合, 因为这时只有增大电容的容量才能取得好的滤波效果。但电容容量太大, 会使电容体积增大, 成本上升, 而且大的充电电流也容易引起二极管损坏。

3. 主要参数

1) 输出电压平均值 U_o

经过滤波后的输出电压平均值 U_o 得到了提高。工程上, 一般按下式估算 U_o 与 U_2 的关系。

$$U_o \approx 1.2U_2 \quad (1-13)$$

2) 二极管的选择

由于电容在开始充电瞬间的电流很大, 这时二极管流过较大的冲击尖峰电流, 所以在实际应用中有如下要求。

(1) 二极管的额定电流 $I_F \geq (2 \sim 3) \frac{U_L}{2R_L}$ 。

(2) 二极管的最高反向电压 $U_{RM} \geq \sqrt{2}U_2$ 。

3) 电容器的选择

负载上直流电压平均值及其平滑程度与放电时间常数 $\tau = R_L C$ 有关。 τ 越大, 放电越慢, 输出电压平均值越大, 波形越平滑。实际应用中一般取

$$\tau = R_L C = (3 \sim 5) \frac{T}{2} \quad (1-14)$$

式中, 交流电源的周期 $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50 \text{ Hz}} = 0.02 \text{ s}$ 。

电容的耐压为

$$U_C \geq \sqrt{2}U_2 \quad (1-15)$$

4. 整流变压器的选择

由负载 R_L 上的直流平均电压 U_o 与变压器的关系 $U_o \approx 1.2U_2$ 得出