



“十三五”职业教育规划教材
高职高专课程改革项目研究成果

电子技术 基础教程

借鉴国外职业教育的先进教学模式，顺应现代职业教育制度的改革趋势；以能力为主、应用为本作为职业教育导向的内容体系

基于岗位技能，面向操作过程的编写思路；应用类课程与国家职业认证挂钩

主 编 宋 锐 贾玉凤
副主编 谭本军 李晓锋 黄华飞
主 审 李和平



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

“十三五”职业教育规划教材
高职高专课程改革项目研究成果

电子技术基础教程

主 编 宋 锐 贾玉凤
副主编 谭本军 李晓锋 黄华飞
主 审 李和平

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书共分为九章, 主要内容包括模拟电子技术、数字电子技术及实验三部分, 是电子技术方面入门的基础教材。在模拟电子技术内容上, 重点突出集成运算放大器的外特性及其应用, 把半导体器件当作基础知识。在数字电子技术中, 把逻辑代数和分立元件的门电路当作基础知识介绍, 以突出中规模集成数字电路工作原理及应用。另外, 部分章节后面还附有相应的思考与练习题。

本书可作为高职高专院校、成人高校电子类、自动化类、电力类及相关专业的教材, 也可以供职业培训和工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术基础教程 / 宋锐, 贾玉凤主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2016. 8 (2017. 1 重印)

ISBN 978-7-5682-2997-5

I. ①电… II. ①宋… ②贾… 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 (2016) 第 202832 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

(010)82562903(教材售后服务热线)

(010)68948351(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 虎彩印艺股份有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 15

字 数 / 352 千字

版 次 / 2016 年 8 月第 1 版 2017 年 1 月第 2 次印刷

定 价 / 37.00 元

责任编辑 / 王艳丽

文案编辑 / 王艳丽

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前言

Preface

本书根据高职高专教育的特点,在编写过程中,力求在保证必要的基本理论的前提下,注重基本知识、基本分析方法和对学生基本技能的培养。尽量避免烦琐公式的推导,贯彻理论和实践相结合,以达到高职高专培养目标的要求。

本书是高职高专机电技术及应用、机电一体化、数控技术、化工机械、计算机、水电、制药、建筑、经济、管理等专业的电子技术基础课程教材,也可作为相关专业相应课程的培训教材,本书教学学时数约为 120 学时。

根据电子电路的特点及高等职业教育的任务,编写本书的指导思想如下:

1. 增强实用性。在编写过程中力求做到理论联系实际,学以致用。淡化公式推导,重在学会电子元器件、电子电路在实际中的应用和掌握基本分析工具、分析方法。元器件的介绍重在外部特性、引脚识别、使用注意事项等知识。

2. 力求语言通顺、文字浅显、图文并茂,便于学生学习、提高。

3. 强化学生动手学习,设置的八个实验,都是在常规实验室内可以顺利进行的实验,学生可以在每个章节结束后进行实验,锻炼动手能力。

本书内容分为模拟电子技术、数字电子技术及实验三部分。教材本着遵循教学规律,内容由易到难、由简到繁、循序渐进,篇幅尽量压缩、精简。在模拟电子技术内容上,重点突出集成运算放大器的外特性及其应用,把半导体器件当作基础知识。在数字电子技术中,把逻辑代数和分立元件的门电路当作基础知识介绍,以突出中规模集成数字电路及应用。为了帮助读者理解有关内容,在每章的开头都有教学目的,除第五章外结尾都有本章小结,在各章中均配有一定数量的例题和习题,使读者便于掌握基本电路的分析和计算方法,以培养学生分析问题和解决问题的能力。

全书共九章,前五章为模拟电子技术部分,第六章、第七章、第八章为数字电子技术部分,第九章为模数转换电路,最后有八个基本实验。

本书由张家界航空工业职业技术学院宋锐、济南职业学院贾玉凤担任主编,由张家界航空工业职业技术学院谭本军、李晓锋、黄华飞担任副主编,由娄底职业技术学院李和平教授主审。本书在编写过程中相关老师给予了很多宝贵意见,在此表示感谢。

电子技术是一门较为成熟的专业课程,本教材在诸多方面进行了创新。由于对各专业教学改革方向存在理解上的差异,加上水平有限,书中若有不妥之处,衷心地欢迎广大读者和同行批评指正。

编 者

目录

Contents

► 第一章 半导体器件	1
第一节 PN 结	1
第二节 半导体二极管	5
第三节 半导体三极管	10
第四节 场效应晶体管	15
第五节 晶体二极管、三极管的识别与简单测试	18
本章小结	21
习题	21
► 第二章 基本放大电路	24
第一节 基本放大电路的组成和电压放大原理	24
第二节 放大电路分析	28
第三节 放大器静态工作点的稳定	34
第四节 共集电极放大电路	38
第五节 多级放大电路	41
第六节 差分放大电路	42
第七节 功率放大电路	48
本章小结	51
习题	52
► 第三章 集成运算放大电路	56
第一节 集成运算放大电路基础知识	56
第二节 放大电路中的反馈	61
第三节 集成运算放大器的应用	65
本章小结	74
习题	74
► 第四章 直流稳压电源	77
第一节 整流电路	78

第二节 滤波电路	87
第三节 直流稳压电路	91
本章小结	95
习题	95
► 第五章 振荡电路	97
第一节 正弦波振荡电路	97
第二节 RC 振荡器	98
第三节 LC 振荡器	100
思考题与习题	103
► 第六章 数字逻辑电路基础	104
第一节 数字电路概述	104
第二节 数制	106
第三节 开关元件	110
第四节 基本逻辑门电路	111
第五节 逻辑代数	122
本章小结	135
习题	135
► 第七章 组合逻辑电路	139
第一节 组合逻辑电路的分析	139
第二节 组合逻辑电路的设计	141
第三节 加法器	143
第四节 编码器	145
第五节 译码器	148
本章小结	157
► 第八章 时序逻辑电路	162
第一节 时序逻辑电路的特点和分类	162
第二节 RS 触发器	163
第三节 时钟控制触发器	169
第四节 寄存器	175
第五节 计数器	179
第六节 应用举例	184
本章小结	187

习题	187
► 第九章 模拟信号与数字信号的相互转换	191
第一节 D/A 转换器	192
第二节 A/D 转换器	199
本章小结	209
习题	209
► 实验	211
实验一 晶体二极管、晶体三极管的识别与简单测试	211
实验二 低频小信号电压放大器	212
实验三 单相桥式整流电路	215
实验四 集成运放运算电路功能测试	217
实验五 门电路主要参数的测试	219
实验六 集成门电路逻辑功能的测试及应用	221
实验七 组合逻辑电路的设计	222
实验八 JK 触发器、D 触发器	223
► 参考文献	226

第一章

半导体器件

教学目的

1. 了解半导体的基本知识；
2. 了解常用半导体的基本结构和工作原理；
3. 熟悉常用半导体的特性和相关参数；
4. 熟悉半导体的主要应用。

第一节 PN 结

半导体器件是 20 世纪中期开始发展起来的，它具有体积小、质量轻、使用寿命长、可靠性高、输入功率小和功率转换效率高等优点，因而在现代电子技术中得到广泛的应用。半导体器件是构成电子电路的基础。半导体器件和电阻、电容、电感等器件连接起来，可以组成各种电子电路。顾名思义，半导体器件是由半导体材料制成的，要了解半导体器件就必须对半导体材料的特点有一定的了解。

一、半导体的基本特性

物质按导电能力的强弱可分三大类。一是导体，其导电能力特别强，例如铜、铝、银等金属材料；二是绝缘体，其导电能力非常弱，几乎可以看成不导电，例如塑料、橡胶、陶瓷等材料；三是半导体，其导电能力介于导体和绝缘体之间，常用的半导体材料是硅（Si）和锗（Ge）。

用半导体材料制作电子元器件，不是因为它的导电能力介于导体和绝缘体之间，而是由于其导电能力会随着温度的变化、光照或掺入杂质的多少发生显著的变化，这也是半导体不

同于导体的特殊性质。

(1) 热敏性

所谓热敏性，就是半导体的导电能力随着温度的升高而迅速增加。半导体的电阻率对温度的变化十分敏感。例如，纯净的锗从 20℃ 升高到 30℃ 时，它的电阻率几乎减小为原来的 1/2。而一般的金属导体的电阻率随温度的变化则较小，例如铜，当温度同样升高 10℃ 时，它的电阻率几乎不变。利用半导体这一特性，可以制造出各种不同用途的温控元件。

(2) 光敏性

半导体的导电能力随光照的变化有显著改变的特性叫作光敏性。一种硫化铜薄膜在暗处其电阻为几十兆欧姆，受光照后，电阻可以下降到几十千欧姆，只有原来的 1%。自动控制中用的光电二极管和光敏电阻，就是利用光敏特性制成的。而金属导体在阳光下或在暗处其电阻率一般没有什么变化。

(3) 杂敏性

所谓杂敏性，就是半导体的导电能力会因掺入适量杂质而发生很大的变化。在半导体硅中，只要掺入亿分之一的硼，电阻率就会下降到原来的几万分之一。因此，利用这一特性，可以制造出不同性能、不同用途的半导体器件。而金属导体即使掺入千分之一的杂质，其电阻率也几乎没有什么变化。

半导体之所以具有上述特性，根本原因在于其特殊的原子结构和导电机理。

1. 本征半导体

纯净晶体结构的半导体我们称之为本征半导体。常用的半导体材料有硅和锗。它们都是四价元素，原子结构的最外层轨道上有四个价电子，当把硅或锗制成晶体时，它们是靠共价键的作用而紧密联系在一起。

共价键中的一些价电子由于热运动获得一些能量，从而摆脱共价键的约束成为自由电子，同时在共价键上留下空位，我们称这些空位为空穴，它带正电。在外电场作用下，自由电子产生定向移动，形成电子电流；同时价电子也按一定的方向依次填补空穴，从而使空穴产生定向移动，形成空穴电流。

因此，在半导体晶体中存在两种载流子，即带负电荷的自由电子和带正电荷的空穴，它们是成对出现的。

2. 杂质半导体

本征半导体的电阻率比较大，载流子浓度又小，且对温度变化敏感，因此它的用途很有限。在本征半导体中，人为地掺入少量其他元素（称杂质），可以使半导体的导电性能发生显著的变化。利用这一特性，可以制成各种性能不同的半导体器件，这样使得它的用途大大增加。本征半导体掺入杂质后叫作杂质半导体。根据掺入杂质性质的不同，可分为两种：N 型半导体和 P 型半导体。

(1) N 型半导体

在本征半导体中，掺入 5 价元素，晶体中某些原子就会被杂质原子所代替，因为杂质原子最外层有 5 个价电子，它与周围原子形成共价键后，还多余一个自由电子，因此使其中的空穴的浓度远小于自由电子的浓度。

在 N 型半导体中自由电子是多数载流子，空穴是少数载流子。

(2) P 型半导体

在本征半导体中，掺入 3 价元素，晶体中的某些原子就会被杂质原子代替，但是杂质原子的最外层只有 3 个价电子，它与周围的原子形成共价键后，还多余一个空穴，因此使其中的空穴浓度远大于自由电子的浓度。在 P 型半导体中，自由电子是少数载流子，空穴是多数载流子。

二、PN 结

如果将一块半导体的一侧掺杂成为 P 型半导体，而另一侧掺杂成为 N 型半导体，则在二者的交界处将形成一个 PN 结。

1. PN 结的形成

在 P 型和 N 型半导体的交界面两侧，由于自由电子和空穴的浓度相差悬殊，所以 N 区中的多数载流子自由电子要向 P 区扩散，同时 P 区中的多数载流空穴也要向 N 区扩散，并且当电子和空穴相遇时，将发生复合消失。如图 1-1 所示。于是，在交界面两侧将分别形成不能移动的正、负离子区，正、负离子处于晶格位置而不能移动，所以称为空间电荷区（亦称为内电场区）。由于空间电荷区内的载流子数量极少，近似分析时可忽略不计，所以也称其为耗尽层。空间电荷区一侧带正电，另一侧带负电，所以形成了内电场 E_{in} ，其方向由 N 区指向 P 区。在内电场 E_{in} 的作用下，P 区和 N 区中的少子会向对方漂移，同时内电场将阻止多子向对方扩散，当扩散运动的多子数量与漂移运动的少子数量相等，两种运动达到动态平衡的时候，空间电荷区的宽度保持一定，PN 结就形成了。

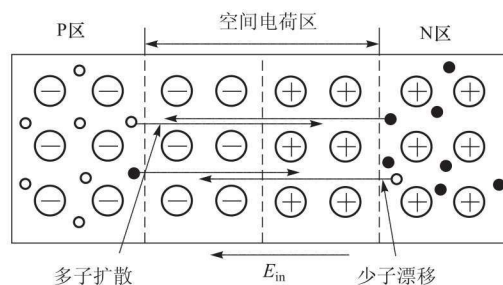


图 1-1 PN 结的形成

一般地，空间电荷区的宽度很薄，约为几微米到几十微米。由于空间电荷区内几乎没有载流子，其电阻率很高。

2. PN 结的单向导电性

在 PN 结的两端引出电极，P 区的一端称为阳极，N 区的一端称为阴极。在 PN 结的两端外加不同极性的电压时，PN 结表现出截然不同的导电性能，称为 PN 结的单向导电性。

(1) 外加正向电压时 PN 结处于导通状态

当外加电压使 PN 结的阳极电位高于阴极电位时，称 PN 结外加正向电压或 PN 结正向偏置（简称正偏），如图 1-2 所示。图中实心点代表电子，空心圈代表空穴。此时，外加电场 E_{out} 与内电场 E_{in} 的方向相反，其作用是增强扩散运动而削弱漂移运动。所以，外电场驱使 P 区的多子空穴进入空间电荷区抵消一部分负空间电荷，也使 N 区的多子电子进入空间

电荷区抵消一部分正空间电荷，其结果是使空间电荷区变窄，PN 结呈现低电阻（一般为几百欧姆）；同时由于扩散运动占主导，形成了较大的正向电流（mA 级），此时 PN 结导通，相当于开关的闭合状态。由于 PN 结导通时，其电位差只有零点几伏，且呈现低电阻，所以应该在其所在回路中串联一个限流电阻，以防止 PN 结因过流而损坏。

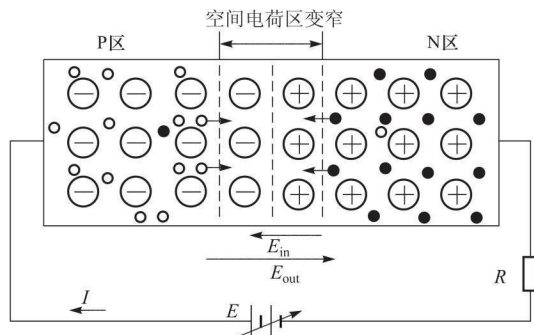


图 1-2 PN 结加正向偏置导通时的情况

(2) 外加反向电压时 PN 结处于截止状态

当外加电压使 PN 结的阳极电位低于阴极电位时，称 PN 结外加反向电压或 PN 结反向偏置（简称反偏），如图 1-3 所示。此时，外加电场 E_{out} 与内电场 E_{in} 的方向一致，并与内电场一起阻止扩散运动而促进漂移运动。其结果是使空间电荷区变宽。PN 结呈现高电阻（一般为几千欧姆到几百千欧姆）。同时由于漂移运动占主导，而少子由本征激发产生，数量极少，因而由少子形成的反向电流很小（ μA 级），近似分析时可忽略不计。此时 PN 结截止，相当于开关的断开状态。在一定温度下，当外加反向电压超过某个值（大约零点几伏）后，反向电流将不再随外加反向电压的增加而增大，所以称其为反向饱和电流 I_s 。

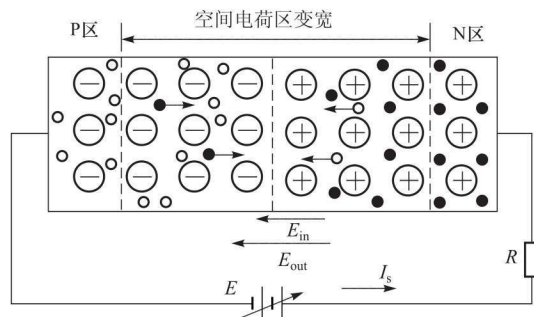


图 1-3 PN 结加反向偏置时截止

由上可知，PN 结正偏时，正向电阻很小，正向电流较大，呈导通状态；PN 结反偏时，反向电阻很大，反向电流非常小，呈截止状态。这就是 PN 结的单向导电性，它是一些二极管应用电路的基础。

需要指出的是，当反向电压超过一定数值后，反向电流将急剧增加，这种现象称为 PN 结的反向击穿，此时 PN 结的单向导电性被破坏。

第二节 半导体二极管

一、基本结构和表示符号

在一个 PN 结的两端加上电极引线并用外壳封装起来,就构成了半导体二极管。由 P 型半导体引出的电极,叫作正极(或阳极);由 N 型半导体引出的电极,叫作负极(或阴极)。通常用图 1-4 (c) 所示的符号表示。按照结构工艺的不同、二极管有点接触型和面接触型两类。它们的管芯结构和符号如图 1-4 (a)、(b) 所示。

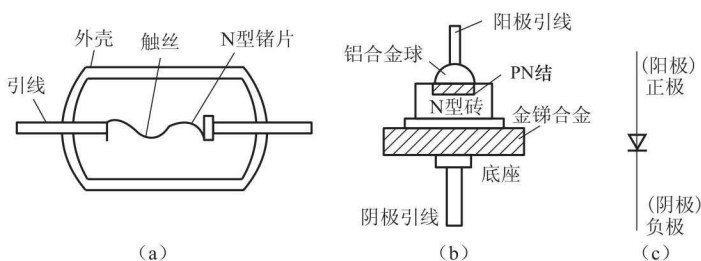


图 1-4 二极管的结构和符号

(a) 点接触型; (b) 面接触型; (c) 符号

点接触型二极管(一般为锗管)的 PN 结结面积很小(结电容小),工作频率高,适用于高频电路和开关电路;面接触型二极管(一般为硅管)的 PN 结结面积大(结电容大),工作频率较低,适用于大功率整流等低频电路中。

半导体二极管的种类和型号很多,我们用不同的符号来代表它们,例如 2AP9,其中“2”表示二极管,“A”表示采用 N 型锗材料为基片,“P”表示普通用途管(P 为汉语拼音字头),“9”为产品性能序号;又如 2CZ8,其中“C”表示由 N 型硅材料作为基片,“Z”表示整流管。

二、二极管的伏安特性

二极管既然是一个 PN 结,它必然具有单向导电性。其伏安特性曲线如图 1-5 所示。所谓伏安特性,就是指加到二极管两端的电压与流过二极管的电流的关系曲线。二极管的伏安特性曲线可分为正向特性和反向特性两部分。

1. 正向特性

当二极管加上很低的正向电压时,外电场还不能克服 PN 结内电场对多数载流子扩散运动所形成的阻力,故正向电流很小,二极管呈现很大的电阻。当正向电压超过一定数值即死区电压后,内电场被大大削弱,电流增长很快,二极管电阻变得很小。死区电压又称阈值电压,硅管的为 0.4~0.5 V,锗管的为 0.1~0.2 V。

二极管正向导通时,硅管的压降一般为 0.6~0.7 V,锗管的压降则为 0.2~0.3 V。

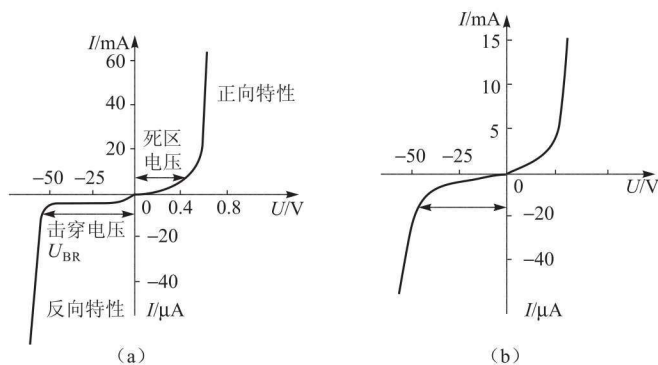


图 1-5 二极管的伏安特性曲线
(a) 2CP10 硅二极管; (b) 2AP 锗二极管

2. 反向特性

二极管加上反向电压时, 由于少数载流子的漂移运动, 因而形成很小的反向电流。反向电流有两个特性, 一是它随温度的上升增长很快; 二是在反向电压不超过某一数值时, 反向电流不随反向电压的改变而改变, 故这个电流称为反向饱和电流。

当外加反向电压过高时, 反向电流将突然增大, 二极管失去单向导电性, 这种现象称为电击穿。发生击穿的原因, 一种是处于强电场中的载流子获得足够大的能量碰撞晶格而将价电子碰撞出来, 产生电子空穴对, 新产生的载流子在电场作用下获得足够能量后又通过碰撞产生电子空穴对。如此形成连锁反应, 反向电流越来越大, 最后使得二极管反向击穿。另一种原因是强电场直接将共价键的价电子拉出来, 产生电子空穴对, 形成较大的反向电流。二极管被击穿后, 一般不能恢复原来的性能。产生击穿时加在二极管上的反向电压称为反向击穿电压 U_{BR} 。

有时为了讨论方便, 在一定条件下, 可以把二极管的伏安特性理想化, 即认为二极管的死区电压和导通电压都等于零, 同时认为反向饱和电流也为零。这样的二极管称为理想二极管。

三、主要参数

二极管的特性除用伏安特性曲线表示外, 还可用一些数据来说明, 这些数据就是二极管的参数。二极管各种参数都可从半导体器件手册中查出, 下面只介绍几个常用的主要参数。

1. 最大整流电流 I_F

最大整流电流是指二极管长时间使用时, 允许流过二极管的最大正向平均电流。当电流超过这个允许值时, 二极管会因过热而烧坏, 使用时务必注意。

2. 反向峰值电压 U_{RM}

它是保证二极管不被击穿而得出的反向峰值电压, 一般是反向击穿电压的一半或 $2/3$ 。

3. 反向峰值电流 I_{RM}

它是指在二极管上加反向峰值电压时的反向电流值。反向电流大, 说明单向导电性能差, 并且受温度的影响大。

四、二极管基本电路及其应用

二极管的应用范围很广，主要都是利用它的单向导电性。它可用于钳位、限幅、整流、开关、稳压、元件保护等，也可在脉冲与数字电路中作为开关元件等。

在进行电路分析时，一般可将二极管视为理想元件，即认为其正向电阻为零，正向导通时为短路特性，正向压降忽略不计；反向电阻为无穷大，反向截止时为开路特性，反向漏电流忽略不计。

1. 整流应用

利用二极管的单向导电性可以把大小和方向都变化的正弦交流电变为单向脉动的交流电，如图 1-6 所示。这种方法简单、经济，在日常生活及电子电路中经常采用。根据这个原理，还可以构成整流效果更好的单相全波、单相桥式等整流电路。

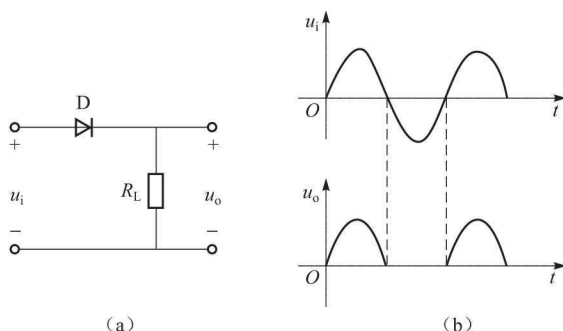


图 1-6 二极管的整流应用

(a) 二极管整流电路；(b) 输入与输出波形

2. 钳位应用

利用二极管单向导电性在电路中可以起到钳位的作用。

【例 1-1】在如图 1-7 所示的电路中，已知输入端 A 的电位为 $U_A = 3\text{ V}$ ，B 的电位 $U_B = 0\text{ V}$ ，通过电阻 R 连接 -12 V 电源，求输出端 F 的电位 U_F 。

解：因为 $U_A > U_B$ ，所以二极管 D_1 优先导通，设二极管为理想元件，则输出端 F 的电位为 $U_F = U_A = 3\text{ V}$ 。当 D_1 导通后， D_2 上加的是反向电压，因而 D_2 截止。

在这里，二极管 D_1 起钳位作用，把 F 端的电位钳位在 3 V ； D_2 起隔离作用，把输入端 B 和输出端 F 隔离开来。

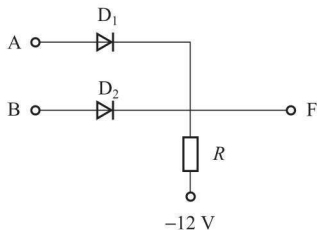


图 1-7 例 1-1 的电路

3. 限幅应用

利用二极管的单向导电性，将输入电压限定在要求的范围之内，叫作限幅。

【例 1-2】在如图 1-8 (a) 所示的电路中，已知输入电压 $u_i = 10\sin \omega t\text{ V}$ ，电源电动势 $E = 5\text{ V}$ ，二极管为理想元件，试画出输出电压 u_o 的波形。

解：根据二极管的单向导电特性可知，当 $u_i \leq 5\text{ V}$ 时，二极管 D 截止，相当于开路，

因电阻 R 中无电流流过, 故输出电压与输入电压相等, 即 $u_o = u_i$; 当 $u_i > 5 \text{ V}$ 时, 二极管 D 导通, 相当于短路, 故输出电压等于电源电动势, 即 $u_o = E = 5 \text{ V}$ 。所以, 在输出电压 u_o 的波形中, 5 V 以上的波形均被削去, 输出电压被限制在 5 V 以内, 波形如图 1-8 (b) 所示。在这里, 二极管起限幅作用。

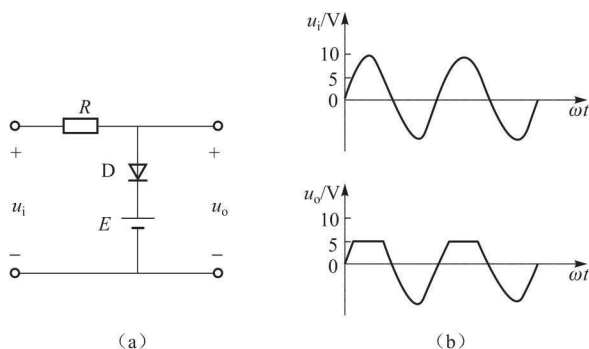


图 1-8 例 1-2 的图

(a) 电路; (b) 输入与输出电压波形

4. 稳压应用

在需要不高的稳定电压输出时, 可以利用几个二极管的正向压降串联来实现。

还有一种稳压二极管, 可以专门用来实现稳定电压输出。稳压二极管有不同的系列用以实现不同的稳定电压输出。

5. 开关应用

在数字电路中经常将半导体二极管作为开关元件来使用, 因为二极管具有单向导电性, 可以相当于一个受外加偏置电压控制的无触点开关。

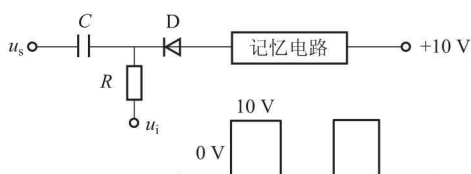


图 1-9 二极管的开关应用

如图 1-9 所示, 为监测发电机组工作的某种仪表的部分电路。其中 u_s 是需要定期通过二极管 D 加入记忆电路的信号, u_i 为控制信号。当控制信号 $u_i = 10 \text{ V}$ 时, D 的负极电位被抬高, 二极管截止, 相当于“开关断开”, u_s 不能通过 D ; 当 $u_i = 0 \text{ V}$ 时, D 正偏导通, u_s 可以通过 D 加入记忆电路, 此时二极管相当于“开关闭合”情况。

这样, 二极管 D 就在信号 u_i 的控制下, 实现了接通或关断 u_s 信号的作用。

6. 特殊二极管

除了上述普通二极管外, 还有一些特殊二极管, 如稳压二极管、发光二极管和光电二极管等, 下面对它们仅作简单的介绍。

(1) 稳压管

稳压管是一种特殊的硅二极管, 由于它在电路中与适当数值的电阻配合后能起稳定电压的作用, 故称为稳压管。稳压管的伏安特性曲线与普通二极管的类似, 如图 1-10 (a) 所示, 其差异是稳压管的反向特性曲线比较陡。如图 1-10 (b) 所示为稳压管的符号。稳压管正常工作于反向击穿区, 且在外加反向电压撤除后, 稳压管又恢复正常, 即它的反向击穿是可逆的。

从反向特性曲线上可以看出,当稳压管工作于反向击穿区时,电流虽然在很大范围内变化,但稳压管两端的电压变化很小,即它能起稳压的作用。如果稳压管的反向电流超过允许值,则它将会因过热而损坏。所以,与稳压管配合的电阻要适当,才能起稳压作用。

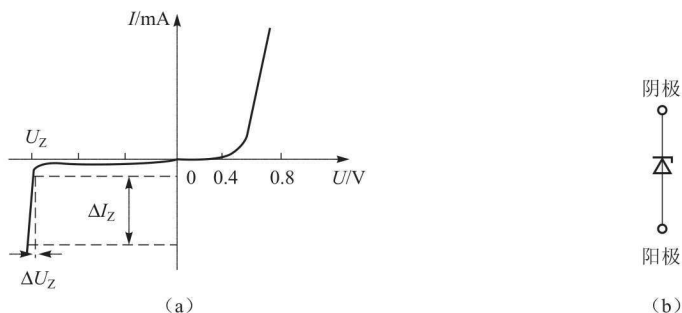


图 1-10 稳压管的伏安特性曲线与符号

(a) 伏安特性曲线; (b) 符号

稳压管的主要参数如下。

① 稳定电压 U_Z 。 U_Z 指稳压管的稳压值。由于制造工艺方面和其他的原因,稳压值也有一定的分散性。同一型号的稳压管稳压值可能略有不同。手册给出的都是在一定条件(工作电流、温度)下的数值。例如,2CW18 稳压管的稳压值为 10~12 V。

② 稳定电流 I_Z 。 I_Z 指稳压管工作电压等于稳定电压 U_Z 时的工作电流。稳压管的稳定电流只是一个作为依据的参考数值,设计选用时要根据具体情况(例如工作电流的变化范围)来考虑。但对每一种型号的稳压管都规定有一个最大稳定电流 I_{ZM} 。

③ 动态电阻 r_Z 。 r_Z 指稳压管两端电压的变化量与相应电流变化量的比值,即

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

稳压管的反向伏安特性曲线越陡,则动态电阻越小,稳压性能越好。

④ 最大允许耗散功率 P_{ZW} 。 P_{ZW} 指管子不致发生热击穿的最大功率损耗,即

$$P_{ZW} = U_Z I_{ZM}$$

稳压管在电路中的主要作用是稳压和限幅,也可和其他电路配合构成欠压或过压保护、报警环节等。

(2) 光电二极管

光电二极管也是一种特殊二极管。它的特点是:在电路中它一般处于反向工作状态,当没有光照射时,其反向电阻很大,PN 结流过的反向电流很小;当光线照射在 PN 结上时就会在 PN 结及其附近产生电子空穴对,电子和空穴在 PN 结的内电场作用下做定向运动,形成光电流。如果光照强度发生改变,电子空穴对的浓度也相应改变,光电流强度也随之改变。可见光电二极管能将光信号转变为电信号输出。

光电二极管可用来作为光控元件。当制成大面积的光电二极管时,能将光能直接转换为电能,可作为一种能源,因而称为光电池。目前正大量应用于太阳能热水器中。

光电二极管的管壳上有一个玻璃口,以便接收光照。光电二极管的伏安特性曲线及符号如图 1-11 所示。

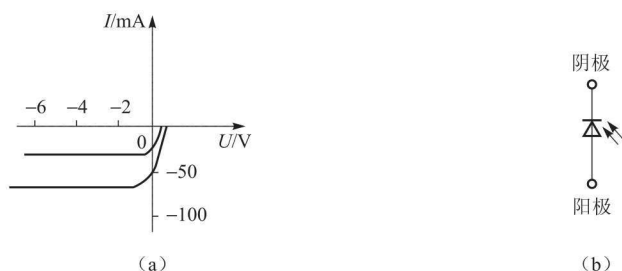


图 1-11 光电二极管的伏安特性曲线及符号

(a) 特性曲线; (b) 符号

(3) 发光二极管

发光二极管简称为 LED，其工作原理与光电二极管相反。由于它采用砷化镓、磷化镓等半导体材料制成，所以在通过正向电流时，由于电子与空穴的直接复合因而会发出光来。如图 1-12 所示为发光二极管的符号及其正向导通发光时的工作电路。

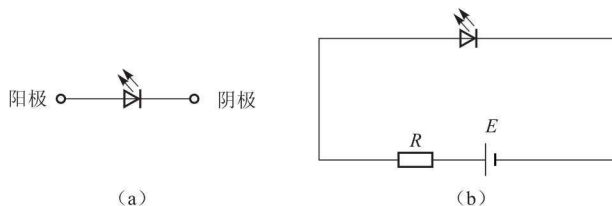


图 1-12 发光二极管的符号及其工作电路

(a) 符号; (b) 工作电路

当发光二极管正向偏置时，其发光亮度随注入的电流的增大而提高。为限制其工作电流，通常都要串接限流电阻 R 。由于发光二极管的工作电压低 ($1.5 \sim 3 \text{ V}$)、工作电流小 ($5 \sim 10 \text{ mA}$)，所以用发光二极管作为显示器件具有体积小、显示快和寿命长等优点。

第三节 半导体三极管

半导体三极管（也称晶体管）是电子电路的重要元件。它是通过一定的工艺，将两个 PN 结结合在一起的器件。由于两个 PN 结的相互影响，使半导体三极管呈现出不同于单个 PN 结的特性，且具有电流放大作用，从而使 PN 结的应用产生了质的飞跃。

一、三极管的基本结构、符号和分类

半导体三极管的种类很多，按照半导体材料的不同分有硅管、锗管；按功率分有小功率管、中功率管和大功率管；按照频率分有高频管和低频管；按照制造工艺分有合金管和平面管等。通常，按照结构的不同分为两种类型：NPN 型管和 PNP 型管。图 1-13 给出了 NPN 和 PNP 管的结构示意图和电路符号，符号中的箭头方向由 P 指向 N。

由图 1-13 可见，三极管有三个区，分别叫作发射区、基区和集电区。引出的三个电极