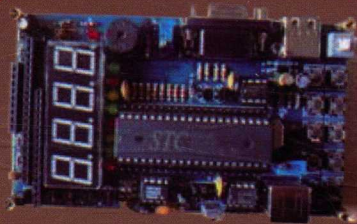
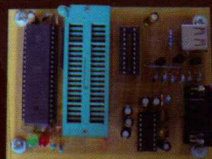
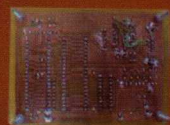
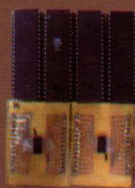




高职高专机电一体化专业规划教材

电子技术基础及应用

胡继胜 主 编
齐祥明 刘恒 副主编
杨林国 主 审



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

高职高专机电一体化专业规划教材

电子技术基础及应用

胡继胜 主 编
齐祥明 刘 恒 副主编
杨林国 主 审

電子工業出版社·

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

全书包括9个单元,内容涵盖模拟电子技术和数字电子技术的核心基础知识。本书收集的应用案例和训练项目多数被编者在教学实践中成功使用过,使用这些应用案例和训练项目,既能进行简单的实验教学,又能实施基于工作过程的项目教学;既可在传统的课堂实施教学,又可以在一体化的教室中开展教学,教师可根据专业要求和本校特点灵活取舍。

本书内容简明扼要、深入浅出、图文并茂,既可作为高职高专机电、电子、电气、计算机类专业教学用书,也可作为职业院校教师和从事电子技术的工程技术人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础及应用/胡继胜主编. —北京:电子工业出版社,2014.1

高职高专机电一体化专业规划教材

ISBN 978-7-121-22236-8

I. ①电… II. ①胡… III. ①电子技术-高等学校-教材 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 311918 号

策划编辑:朱怀永

责任编辑:朱怀永 特约编辑:王 纲

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

装 订:北京中新伟业印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:22.75 字数:582 千字

印 次:2014 年 1 月第 1 次印刷

印 数:3 000 册 定价:44.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

丛书序言

2006 年国家先后颁布了一系列加快振兴装备制造业的文件,明确指出必须加快产业结构调整,推动产业优化升级,加强技术创新,促进装备制造业持续稳定发展,为经济平稳较快发展做出贡献,使我们国家能够从世界制造大国成长为世界制造强国、创造强国。党的十八大又一次强调坚持走中国特色新型工业化、信息化道路,推动信息化和工业化深度融合,推动战略性新兴产业、先进制造业健康发展,加快传统产业转型升级。随着科技水平的迅猛发展,机电一体化技术的广泛应用大幅度地提高了产品的性能和质量,提高了制造技术水平,实现了生产方式的自动化、柔性化、集成化,增强了企业的竞争力,因此,机电一体化技术已经成为全面提升装备制造业、加快传统产业转型升级的重要抓手之一,机电一体化已是当今工业技术和产品发展的主要趋向,也是我国工业发展的必由之路。

随着国家对装备制造业的高度重视和巨大的传统产业技术升级需求,对机电一体化技术人才的需求将更加迫切,培养机电一体化高端技能型人才成为国家装备制造业有效高速发展的必要保障。但是,相关部门的调查现实,机电一体化技术专业面临着两种矛盾的局面:一方面社会需求量巨大而迫切,另外一方面职业院校培养的人才失业人数不断增大。这一现象说明,我们传统的机电一体化人才培养模式已经远远不能满足企业和社会需求,现实呼吁要加大力度对机电一体化技术专业人才培养能力结构和专业教学标准的研究,特别是要进一步探讨培养“高端技能型人才”的机电一体化技术人才职业教育模式,需要不断探索完善机电一体化技术专业建设、教学建设和教材建设。

正式基于以上的现状和实际需求,电子工业出版社在广泛调研的基础上,2012 年确立了“高职高专机电一体化专业工学结合课程改革研究”的课题,统一规划,系统设计,联合一批优秀的高职高专院校共同研究高职机电一体化专业的课程改革指导方案和教材建设工作。寄希望通过院校的交流,以及专业标准、教材及教学资源建设,促进国内高职高专机电一体化专业的快速发展,探索出培养“高端技能型人才”机电一体化技术人才的职业教育模式,提升人才培养的质量和水平。

该课题的成果包括《工学结合模式下的高职高专机电一体化专业建设指导方案》和专业课程系列教材。系列教材突破传统教材编写模式和体例,将专业性、职业性和学生学习指南以及学生职业生涯发展紧密结合。具有以下特点:

1. 统一规划、系统设计。在电子工业出版社统一协调下,由深圳职业技术学院等二十余所高职高专示范院校共同研讨构建了高职高专机电一体化专业课程体系框架及课程标准,较好地解决了课程之间的序化和课程知识点分配问题,保证了教材编写的系统性和内在关

联性。

2. 普适性与个性结合。教材内容选取在统一要求的课程体系和课程标准框架下考虑,特别是要突出机电一体化行业共性的知识,主要章节要具有普适性,满足当前行业企业的主要能力需求,对于具有区域特性的内容和知识可以作为拓展章节编写。

3. 强调教学过程与工作过程的紧密结合,突破传统学科体系教材的编写模式。专业课程教材采取基于工作过程的项目化教学模式和体例编写,教学项目的教学设计要突出职业性,突出将学习情境转化为生产情境,突出以学生为主体的自主学习。

4. 资源丰富,方便教学。在教材出版的同时为教师提供教学资源库,主要内容为:教学课件、习题答案、趣味阅读、课程标准、教学视频等,以便于教师教学参考。

为保证教材的产业特色、体现行业发展要求、对接职业标准和岗位要求、保证教材编写质量,本系列教材从宏观设计开发方案到微观研讨和确定具体教学项目(工作任务),都倾注了职业教育研究专家、职业院校领导和一线教学教师、企业技术专家和电子工业出版社各位编辑的心血,是高等职业教育教材为适应学科教育到职业教育、学科体系到能力体系两个转变进行的有益尝试。

本系列教材适用于高等职业院校、高等专科学校、成人高校及本科院校的二级职业技术学院机电一体化专业使用,也可作为上述院校电气自动化、机电设备等专业的教学用书。

本系列教材难免有不足之处,请各位专家、老师和广大读者不吝指正,希望本系列教材的出版能为我国高职高专机电类专业教育事业的发展和人才培养做出贡献。

“高职高专机电一体化专业工学结合课程改革研究”课题组

2013年6月

前 言

本书紧扣职业院校“以就业为导向”的办学方针，基于高等职业教育课程改革实践经验和成果编写而成。本书编写在内容上突出知识的系统性与知识的应用性，在目标上突出培养学生的专业能力和可持续发展能力。全书采用任务驱动的编写模式，对课程进行内容选取和序化，使教学内容具有很强的针对性和适用性。从教、学、做相结合的能力本位出发，将“教学做”融为一体，能够在“教”中体现任务驱动，在“学”中体现项目导向，在“做”中体现工学结合。在课程内容总量不减少的情况下，把教学内容融于实践任务中，把基础性的知识传授融于能力训练中。

本书的主要特点如下。

① 将原学科体系内容重构，做到两个重构。

● 将教材内容重构——考虑到高职学生的学习能力和高职教育应有的特点，力求将课程的系统性与应用性相结合。

● 将教材体系重构——全书编写以学习任务形式为主线，每个学习任务包括六大模块：学习目标、核心知识、应用案例、拓展知识、能力训练、练习与思考。

② 本书编写过程中参考了众多优秀教材，结合编者教学过程中的经验，对教材内容进行了序化整合，内容选择体现了典型性、实用性，力求突出基本理论，降低教学难度，重视实践技能，强调专业能力。

③ 应用案例和能力训练内容基本上可作为实际教学的载体，多数被编者在教学实践中成功使用过。

④ 由于电子技术内容太多，采取“有所为，有所不为”的编写策略。

⑤ 对于某些理论上是重点、实践上是难点、操作上是盲点（目前学校无此设备）的内容，采取 EDA 软件仿真操作。

本书由安徽职业技术学院胡继胜教授担任主编，齐祥明和刘恒担任副主编，胡继胜编写了第2、3、5、8、9单元和附录；安庆职业技术学院的齐祥明编写了第1、4单元；安徽职业技术学院的刘恒编写了第6、7单元。安徽职业技术学院杨林国担任本书主审。在编写过程中得到了电子工业出版社的大力支持，同时也参考了许多专家的论著，在此一并表示感谢。

由于时间仓促及编者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请广大读者批评指正，请将问题或意见发至邮箱 hjshjs166@163.com。

编 者

2013 年 8 月

目 录

单元1 半导体器件	1
任务1 二极管特性与应用	1
1.1 半导体的导电特性	1
1.2 晶体二极管	3
1.3 特殊二极管	4
1.4 二极管电路的简化模型及应用分析	7
任务2 三极管特性与应用	18
1.5 晶体三极管	18
1.6 光敏三极管	25
任务3 场效应管特性与应用	32
1.7 场效应管基础知识	32
1.8 绝缘栅场效应管的特性与参数	37
单元2 放大电路基础	43
任务1 三极管放大电路	43
2.1 共射基本放大电路研究	43
2.2 其他形式放大电路静态分析	52
2.3 放大电路的动态分析	56
任务2 放大电路中的负反馈	68
2.4 反馈基础知识	68
2.5 负反馈放大电路分析	71
2.6 多级放大电路简介	78
任务3 功率放大电路	84
2.7 功率放大电路简介	84
2.8 典型功放电路	85
2.9 集成功率放大器	93
单元3 集成运算放大器	100
3.1 集成运算放大器概述	100
3.2 集成运放线性应用	104
3.3 集成运算放大器的典型结构	113
3.4 精密测量电路	118
3.5 有源滤波器	119

单元4 信号产生电路	130
任务1 正弦波振荡电路	130
4.1 正弦波振荡电路概述	130
4.2 RC 正弦波振荡电路	132
4.3 LC 正弦波振荡器	135
4.4 石英晶体振荡器	144
4.5 集成函数发生器 8038	146
任务2 非正弦波信号产生电路	153
4.6 电压比较电路	153
4.7 非正弦波产生电路	157
4.8 比较器	162
单元5 直流电源	167
5.1 直流电源概述	167
5.2 整流电路	168
5.3 滤波电路	171
5.4 直流稳压电源	174
5.5 集成稳压电源	177
5.6 开关型稳压电源	181
单元6 逻辑门电路	194
任务1 逻辑电路基础	194
6.1 数字电路概述	194
6.2 逻辑代数	197
6.3 逻辑函数化简	205
任务2 集成逻辑门电路	215
6.4 集成逻辑门	216
6.5 特殊逻辑门电路	221
单元7 组合与时序逻辑电路	234
任务1 编码器与译码器	234
7.1 编码器	234
7.2 译码器	236
7.3 其他组合逻辑电路	242
任务2 集成触发器	249
7.4 触发器的组成与逻辑功能	250
7.5 维持阻塞 D 触发器与寄存器	258
任务3 集成计数器	268

7.6 集成计数器	269
7.7 任意进制计数器	273
7.8 时序逻辑电路分析与计数器的结构	277
单元 8 脉冲波形的产生与整形	285
8.1 脉冲信号概述	285
8.2 施密特触发器	286
8.3 多谐振荡器	290
8.4 单稳态触发器	292
8.5 555 集成定时器及其应用	295
8.6 脉冲波形产生电路工作原理分析	301
单元 9 模数与数模转换	312
9.1 D/A 转换器	312
9.2 A/D 转换器	316
9.3 其他类型 A/D 转换器的工作原理	324
附录 A 晶体管型号命名及含义	333
附录 B 半导体集成电路命名及含义	337
附录 C 集成逻辑门电路新、旧图形符号对照	342
附录 D 集成触发器新、旧图形符号对照	343
附录 E 部分集成电路引脚排列	344
参考文献	353

单元1 半导体器件

任务1 二极管特性与应用



学习目标

1. 知识目标

- (1) 了解半导体的基本知识,掌握PN结的单向导电性。
- (2) 掌握普通二极管伏安特性,熟悉其工作特点及主要参数。
- (3) 掌握稳压二极管、发光与光电二极管的作用并熟悉其工作特点。
- (4) 理解二极管理想模型、恒压降模型及其应用。

2. 能力目标

- (1) 学会二极管识别与检测的基本办法。
- (2) 能够对二极管的应用电路进行分析。
- (3) 掌握特殊二极管的功能与应用特点。



核心知识

1.1 半导体的导电特性

1.1.1 本征半导体的导电特性

在自然界中存在着许多不同的物质,按导电能力的不同,可分为导体、半导体和绝缘体三类。

导体通常指金属导体,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,如金属铜、铝等。

绝缘体几乎不导电,是因为其内部几乎没有自由电子,即使有外电场作用也不会形成电流,如橡胶、陶瓷、塑料等。

所谓半导体,就是导电能力介于导体和绝缘体之间的物质。这种导电特性是由它的内部结构和导电机理决定的。常用的半导体材料是硅和锗,纯净的半导体具有晶体结构,所以半导体也称晶体,纯净的半导体又叫做本征半导体。

一般来说,本征半导体相邻原子间存在稳固的共价键,导电能力并不强。但在不同条件下的导电能力却有很大差别。例如以下几种情况的导电特性。

有些半导体(如钴、锰、镍等的氧化物)对温度的反应特别灵敏,在温度升高的条件下,导电能力大大增强,这称为半导体材料的热敏性。利用这种特性可制成热敏电阻等敏感元件。

有些半导体(如镉、铅等的硫化物与硒化物)受到光照时,导电能力也大大增强,没有光照时导电能力像绝缘体一样,这称为半导体材料的光敏性。利用这种特性可制成光敏电阻、光电二极管、光电池等器件。

更重要的是,在本征半导体中掺入微量杂质元素后,其导电能力就可增加几十万乃至几百万倍,利用这种特性可以制成各种不同用途的半导体器件,如二极管、三极管、场效应管等。

本征半导体由于导电性差,温度稳定性差,所以,实际上很少用,只有掺杂后才实用。

1.1.2 杂质半导体与 PN 结

在硅、锗的本征半导体结晶中掺入千万分之一到百万分之一某种杂质元素后,半导体称为杂质半导体。其类型有空穴(P)型半导体和电子(N)型半导体。

1. P 型半导体

在硅本征半导体中掺入微量 3 价元素,例如硼或铟,相对于硅的 4 个价电子,硼或铟只有 3 个价电子,所以构成的共价键还缺少一个价电子,形成空穴。

P 型半导体的特点:空穴是多数载流子,自由电子是少数载流子。参与导电的主要是带正电的空穴,“P”表示正电的意思,取自英文 positive 的第一个字母,称为空穴型半导体,简称 P 型半导体。

2. N 型半导体

在硅本征半导体中掺入微量 5 价元素,例如磷或锑,相对于硅的 4 个价电子,磷或锑有 5 个价电子,所以构成的共价键还多余一个价电子成为自由电子。

N 型半导体的特点:自由电子是多数载流子,空穴是少数载流子。参与导电的主要是带负电的电子,“N”表示负电的意思,取自英文 negative 的第一个字母,称为电子半导体,简称 N 型半导体。

3. PN 结的形成

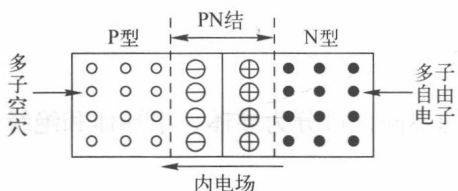


图 1-1 PN 结的示意图

在同一块硅片或锗片上进行掺杂工艺处理,使其一部分是 P 型半导体,另一部分是 N 型半导体,则在两部分的分界面处就会形成一个特殊的空间电荷区——PN 结,如图 1-1 所示。

由于两区载流子浓度不同,导致扩散运动使正负电荷在交界面处形成一个内电场,方向由 N 区指向 P 区。内电场阻碍多数载流子的扩散运动,所以又称阻挡层。内电场有利于少数载流子(P 区自由电子和 N 区空穴)向对方运动,这种在内电场作用下少数载流子有规则的运动称为漂移运动。漂移运动使电荷区变窄,扩散运动使电荷区变宽,当扩散运动和漂移运动达到平衡时,就形成了 PN 结。

1.1.3 PN 结的导电特性原理

1. 加正向电压导通

P 端接电源的正极, N 端接电源的负极,称之为 PN 结正向偏置。如果在电路中接入灯泡,如图 1-2 所示,此时灯泡会亮,说明通过 PN 结的电流较大,PN 结如同一个开关合上,呈现很小的电阻,称之为导通状态。

2. 加反向电压截止

P 端接电源的负极, N 端接电源的正极,称之为 PN 结反向偏置。如果在电路中接入灯泡,如图 1-3 所示,此时灯泡不亮,PN 结如同一个开关打开,呈现很大的电阻,称之为截止状态。当反向电压加大到一定程度,PN 结将发生击穿而损坏。

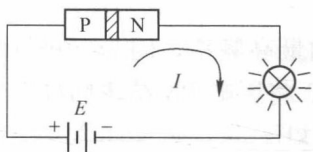


图 1-2 灯泡被点亮

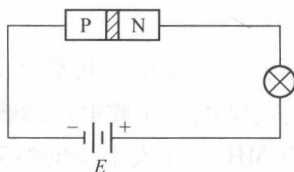


图 1-3 灯泡未被点亮

综上所述, PN 结正向偏置时呈导通状态, 正向电阻很小, 正向电流很大; PN 结反向偏置时呈截止状态, 反向电阻很大, 反向电流很小, 这就是 PN 结的单向导电性。

1.2 晶体二极管

1.2.1 二极管的伏安特性

二极管的伏安特性是指加在二极管两端电压和流过二极管的电流之间的关系, 用于定性描述这两者关系的曲线称为伏安特性曲线。图 1-4 所示是某硅二极管的伏安特性曲线。

1. 正向特性

外加正向电压较小时, 二极管不能导通, 流过二极管的正向电流十分微弱。曲线 OA 段称为不导通区或死区。一般硅管的死区电压约为 0.5V , 锗的死区电压约为 0.2V , 该电压值又称阈值电压。

当外加正向电压超过死区电压时, 正向电流开始增加, 进入正向导通区, 但此时电压与电流不成比例, 如 AB 段。随外加电压的增加正向电流迅速增加, 如 BC 段曲线陡直, 伏安关系近似线性, 处于充分导通状态。正向导通后, 硅管的压降约为 0.7V , 锗管约为 0.3V , 称为二极管的“正向压降”。

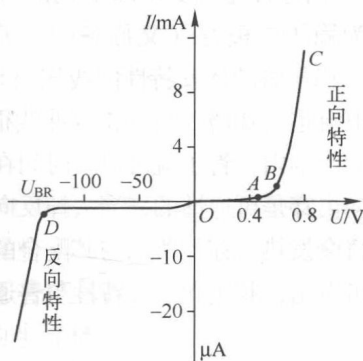


图 1-4 硅二极管伏安特性曲线

2. 反向特性

二极管承受反向电压时, 仅有很小的反向电流流过二极管, 称为反向饱和电流 (或漏电流), 此时二极管工作在反向截止区。如曲线 OD 段称为反向截止区。实际应用中, 反向电流越小说明二极管的反向电阻越大, 反向截止性能越好。一般硅二极管的反向饱和电流在几十微安以下, 锗二极管则达几百微安, 但温度升高, 反向电流将随之增加。

当反向电压增大到一定数值时 (图 1-4 中 D 点), 反向电流急剧加大, 进入反向击穿区, D 点对应的电压称为反向击穿电压。二极管被击穿后电流过大将使管子损坏, 因此除稳压管外, 二极管的反向电压不能超过击穿电压。反向击穿电压因材料和结构的不同差别较大, 如二极管 1N4001 的反向击穿电压只有 50V , 而 1N4007 却达到 1000V 。

1.2.2 二极管的主要参数

最大整流电流 I_{FM} : 二极管长期运行时允许通过的最大正向平均电流, 通常称为额定工作电流。如果实际工作电流超过该值, 则管子会发热而烧坏 PN 结, 使管子永久损坏。

最高反向工作电压 U_{RM} : 为了保证二极管不至于反向而规定的最高反向电压, 通常称为额定工作电压。通常取反向击穿电压的 $1/2 \sim 1/3$ 。

反向饱和电流 I_{R} : 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。通常硅管 PN 结温度达 150°C 以上, 锗管达 90°C 以上时, 会因反向电流急剧增

加而造成热击穿。

最高工作频率 f_M ：指保证二极管正常工作的最高频率。因为二极管的 PN 结具有结电容，随着频率的升高结电容充放电的影响将突出，将影响 PN 结单向导电性。一般小电流二极管的 f_M 高达几百 MHz，而大电流的整流管仅几 kHz。

1.3 特殊二极管

二极管的用途非常广泛，除普通二极管外，还有很多特殊二极管。如稳压二极管、发光二极管、光电二极管、光敏电阻等，现分别介绍如下。

1.3.1 稳压二极管

稳压二极管是由硅材料制成的面结合型晶体二极管，它利用 PN 结反向击穿时的电压基本上不随电流的变化而变化的特点，来达到稳压的目的，因为它能在电路中起稳压作用，故称为稳压二极管（又称齐纳二极管，简称稳压管）。

稳压管的伏安特性曲线如图 1-5 所示，当反向电压达到 V_Z 时，即使电压有一微小的增加，反向电流也会猛增（反向击穿曲线很陡直），这时二极管处于击穿状态，如果把击穿电流限制在一定的范围内，管子就可以长时间在反向击穿状态下稳定工作。稳压管与普通二极管不同之处是其反向击穿是可逆性的，当去掉反向电压稳压管又恢复正常，但如果反向电流超过允许范围，二极管将会发热击穿，所以与其配合的电阻往往起到限流的作用。稳压二极管正向工作时，从图 1-5 中可看出，其正向伏安特性与普通二极管一样，其工作情况也与普通二极管一样。

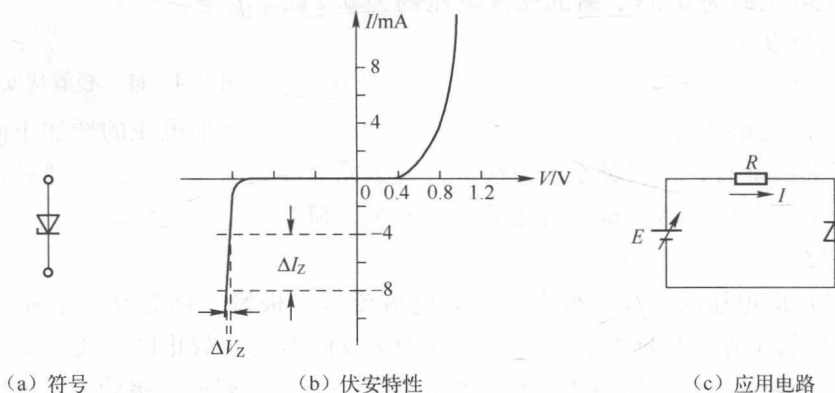


图 1-5 稳压二极管

1.3.2 发光二极管

发光二极管，简称为 LED (Light Emitting Diode)，是由镓 (Ga) 与砷 (As)、磷 (P) 的化合物制成的二极管，当电子与空穴复合时能辐射出可见光，因而可以用来制成发光二极管。发光二极管与普通二极管一样由一个 PN 结组成，也具有单向导电性，正向导通时能发出红、绿、黄、橙等单色光，反向截止时不发光，发光二极管具有体积小、反应快、光度强、寿命长等特点。广泛用于各种电子电路、家电、仪表等设备中，以及用于电源指示或数字显示。常用的是发红光、绿光或黄光的单色二极管，其实物图与电气符号如图 1-6 所示。

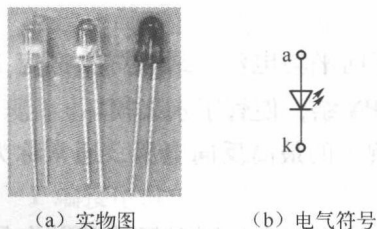


图 1-6 发光二极管

发光二极管工作时正向压降在 $1.4 \sim 3\text{V}$ 之间,一般几毫安电流就能使其正常发光。不同种类的发光二极管正向电压不同,同颜色的发光二极管正向电压也不一样,发光二极管反向击穿电压约为 5V 。当电流增加时亮度也会增加,但它们之间不是线性关系,当电流增加到一定值时,发光二极管的亮度变化不大,常用的 5mm 的发光二极管正向最大电流为 25mA ,如果电流超过发光二极管的最大正向电流就会将管子烧坏。

根据不同的属性,发光二极管的类型有如下几类。

按其使用材料可分为磷化镓 (GaP) 发光二极管、磷砷化镓 (GaAsP) 发光二极管、砷化镓 (GaAs) 发光二极管、磷铟砷化镓 (GaAsInP) 发光二极管和砷铝化镓 (GaAlAs) 发光二极管等多种。

按其封装结构及封装形式除可分为金属封装、陶瓷封装、塑料封装、树脂封装和无引线表面封装外,还可分为加色散射封装 (D)、无色散射封装 (W)、有色透明封装 (C) 和无色透明封装 (T)。

按其封装外形可分为圆形、方形、矩形、三角形和组合形等多种。

1.3.3 光电二极管

光信号在信号传输与存储等环节中应用越来越广泛,如计算机网络、 CD-ROM 、计算机导航等装置中均采用光电子系统。光电子系统的突出优点是抗干扰能力较强、传送信息量大、传输损耗小且工作可靠。光电二极管是光电子系统中用于光电转换的电子器件。

光电二极管和普通二极管一样,也是由一个 PN 结组成的半导体器件,也具有单方向导电特性。但是,在电路中不是用它作为整流元件,而是通过它把光信号转换成电信号。那么,它是怎样把光信号转换成电信号的呢?大家知道,普通二极管在反向电压作用时处于截止状态,只能流过微弱的反向电流,光电二极管在设计 and 制作时尽量使 PN 结的面积相对较大,以便接收入射光。光电二极管是在反向电压作用下工作的,没有光照时,反向电流极其微弱,叫暗电流;有光照时,反向电流迅速增大到几十微安,称为光电流。光的强度越大,反向电流也越大。光的变化引起光电二极管电流变化,这就可以把光信号转换成电信号,成为光电传感器件。图 1-7 分别为光电二极管的电气符号、实物图和输出特性曲线。

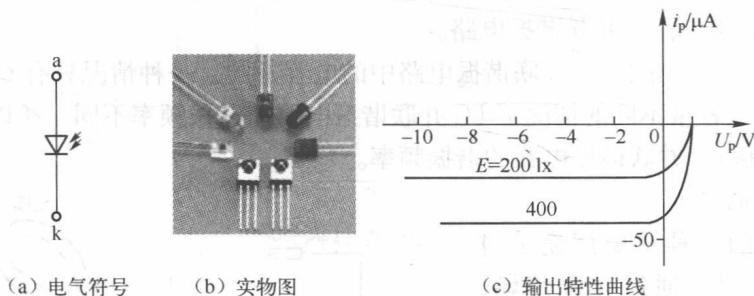


图 1-7 光电二极管

光电二极管的工作区域应在图 1-7 (c) 的第 3 象限与第 4 象限,当有光照射时,产生“光电流”,其大小与光照强度成正比。

1.3.4 光敏电阻

光敏电阻器 (photoresistor) 又叫光敏电阻,光敏电阻的材料主要是金属的硫化物、硒化物和碲化物等半导体。它是利用半导体的光电效应制成的一种电阻值随入射光的强弱而改

变的电阻器。在黑暗环境里, 它的电阻值很高, 当受到光照时, 半导体材料中电子-空穴对增加入射光强, 使其电阻率变小, 从而造成光敏电阻阻值下降。光照愈强, 阻值愈低。入射光消失后, 由光子激发产生的电子-空穴对将逐渐复合, 光敏电阻的阻值也就逐渐恢复原值。光敏电阻没有极性, 纯粹是一个电阻器件, 使用时既可加直流电压, 也可以加交流电压。图 1-8 是光敏电阻的结构图。

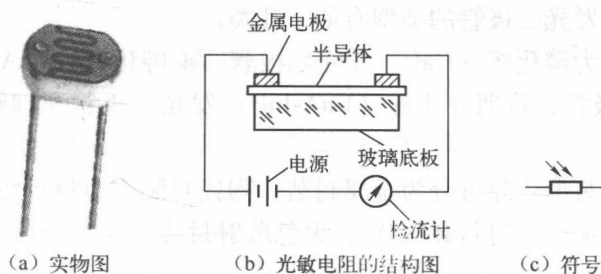


图 1-8 光敏电阻

应用案例

1. 二极管开关电路

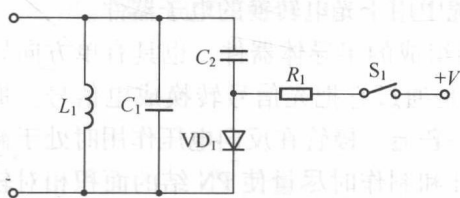


图 1-9 二极管开关特性应用

如图 1-9 所示是一种典型的二极管开关电路。电路中的 VD_1 为开关二极管, 电感 L_1 和电容 C_1 构成一个 LC 并联谐振电路。

(1) 开关 S_1 断开时, 直流电压 $+V$ 无法加到 VD_1 的正极, 这时 VD_1 截止, 其正极与负极之间的电阻很大, 相当于 VD_1 开路, 这样 C_2 不能接入电路,

L_1 只是与 C_1 并联构成 LC 并联谐振电路。

(2) 开关 S_1 接通时, 直流电压 $+V$ 通过 S_1 和 R_1 加到 VD_1 的正极, 使 VD_1 导通, 其正极与负极之间的电阻很小, 相当于 VD_1 的正极与负极之间接通, 这样 C_2 接入电路, 且与电容 C_1 并联, L_1 与 C_1 、 C_2 构成 LC 并联谐振电路。

上述两种状态下, 由于 LC 并联谐振电路中的电容不同, 一种情况只有 C_1 , 另一种情况 C_1 与 C_2 并联, 在电容量不同的情况下 LC 并联谐振电路的谐振频率不同。所以 VD_1 所在电路的真正作用是控制 LC 并联谐振电路的谐振频率。

2. 光电转换电路

发光二极管的一种重要用途是将电信号变为光信号, 通过光缆传输, 然后再用光电二极管接收, 再现电信号。图 1-10 为发光二极管发射电路通过光缆驱动光电二极管的电路。在发射端, 一个 $0 \sim 5V$ 的脉冲信号通过 500Ω 的电阻作用于发光二极管 LED, 这个驱动短路可使 LED 产生数字光信号, 并作用于光缆。由 LED 发出的光约有 20% 耦合到

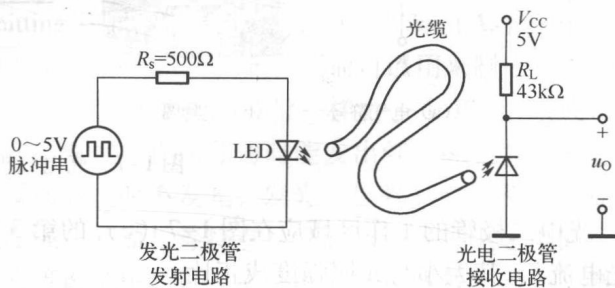


图 1-10 光电传输系统

光缆。在接收端,传送的光中约有 80% 耦合到光电二极管,在接收电路的输出端复原出 0 ~ 5V 电平的数字信号。

拓展知识

1.4 二极管电路的简化模型及应用分析

1.4.1 二极管简化模型

二极管简化模型有理想模型、恒压降模型、折线模型和小信号模型共四种,下面分别予以介绍。

1. 理想模型

理想模型是指二极管在正向偏置时管压降为 0V,而在反向偏置时,认为其电阻无穷大,电流为零。如图 1-11 (a) 所示是理想二极管的 $V-I$ 特性,其中虚线表示实际二极管的 $V-I$ 特性。在实际电路工作中,当电源电压远大于二极管压降时,利用此模型近似分析是可行的。图 1-11 (b) 表示的是二极管正向偏置时的电路模型,图 1-11 (c) 表示的是二极管反向偏置时的电路模型。

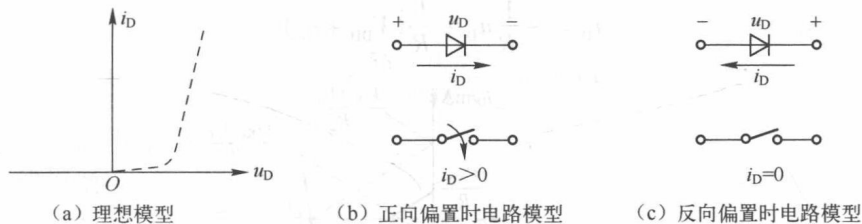


图 1-11 二极管的理想模型

2. 恒压降模型

恒压降模型是指二极管导通后,其管压降认为是恒定的,且不随电流而变化,典型值是 0.7V。不过,这只有当二极管的电流 i_D 近似等于或大于 1mA 时才正确,如图 1-12 所示。

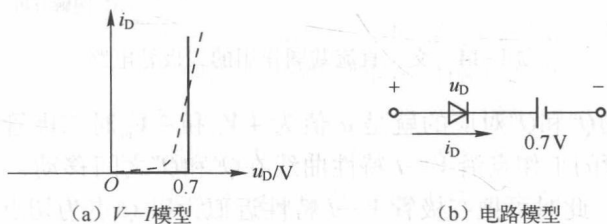


图 1-12 恒压降模型

3. 折线模型

折线模型认为二极管的管压降不是恒定的,而是随着通过二极管电流的增加而增加的。在模型中用一个电池和一个电阻串联模型来近似,如图 1-13 所示。这个电池电压大小等于二极管的阈值电压 V_{th} , 约为 0.5V (硅管)。电阻 r_D 的值由下列公式确定:

$$r_D = \frac{0.7V - 0.5V}{1mA} = 200\Omega$$

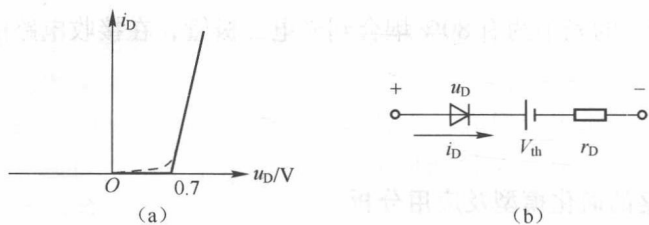


图 1-13 二极管的折线模型

折线模型适用于信号幅度不能远大于二极管压降的电路, 由于二极管的分散性, V_{th} 和 r_D 的值不是固定不变的。

4. 小信号模型

小信号模型是指交流电源与直流电源共同作用的电路, 分析如图 1-14 (a) 所示电路, 当 $u_s = 0$ 时, 二极管的管压降和电流大小对应于图 1-14 (b) 中的 Q 点的值。 Q 点称为静态工作点, 反映的是二极管工作在直流状态时的情况。当 $u_s = V_m \sin \omega t$ ($V_m \ll V_{DD}$), 电路的负载线为

$$i_D = -\frac{1}{R}u_D + \frac{1}{R}(V_{DD} + u_s)$$

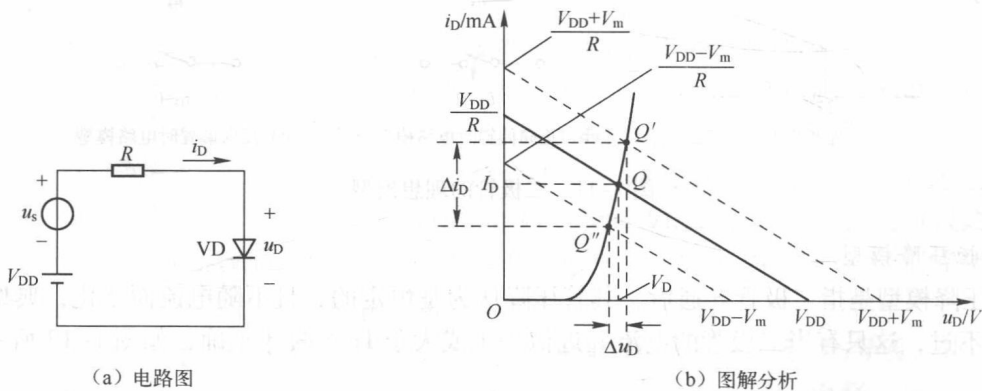


图 1-14 交、直流共同作用的二极管电路

图 1-14 (b) 中的 Q' 和 Q'' 对应的就是 u_s 值为 $+V_m$ 和 $-V_m$ 时二极管的工作点, 即在交流小信号作用下, 二极管的工作点沿 $V-I$ 特性曲线在 Q' 和 Q'' 之间移动, 二极管的电压和电流变化量为 Δu_D 和 Δi_D , 此时可把二极管 $V-I$ 特性近似为以 Q 点为切点的一条直线, 其斜率的倒数就是小信号模型的微变电阻 r_d , 小信号模型如图 1-15 所示。在 $T = 300K$ 时, 其大小为

$$r_d = \frac{26(\text{mV})}{I_D(\text{mA})}$$

式中 I_D 为静态工作点 Q 点对应的直流电流。该模型主要用于二极管正向偏置且二极管压降远大于 26mV 的条件下。

1.4.2 二极管电路应用分析

二极管应用范围广泛, 主要都是利用它的单向导电性。它可用于整流、钳位、限幅、检波、开关等电路中, 下面举例说明。