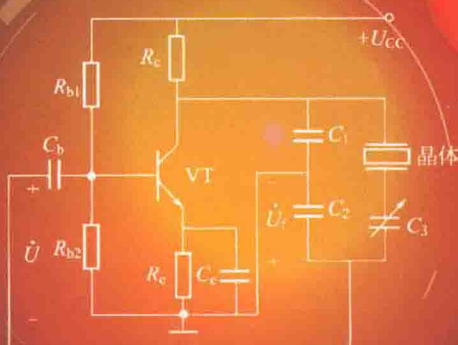


高职高专自动化类“十二五”规划教材

模拟电子技术

隆平 胡静 主编



化学工业出版社

高职高专自动化类“十二五”规划教材

模 拟 电 子 技 术

隆 平 胡 静 主 编
汤光华 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

全书由四部分组成。前三部分分别以“直流稳压电源、音频放大器、信号发生器的制作、参数测试与故障排除”三个项目为载体阐述了模拟电子技术的基础知识与模拟电子电路制作、测试等基本技能；第四部分“知识与技能拓展”，是针对模拟电子电路的设计与制作，对前面内容进行了系统归纳，并适当予以补充和拓展。前三个项目的每个任务实施后均附有小结和自测题；书末还有附录及部分习题参考答案。

本书可作为高等职业学校机械、电子类、IT类专业的教材，也可作为岗位培训和业余电子爱好者的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

模拟电子技术/隆平, 胡静主编. —北京: 化学工业出版社,
2012.1

高职高专自动化类“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-13071-6

I. 模… II. ①隆…②胡… III. 模拟电路-电子技术-高等
职业教育-教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 265304 号

责任编辑: 张建茹

文字编辑: 云 雷

责任校对: 周梦华

装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 12 字数 293 千字 2012 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

前 言

高职高专教材建设是高职院校教学改革的重要组成部分,2009年全国化工高职仪电类专业委员会组织会员学校对近百家自动化类企业进行了为期一年的广泛调研。2010年5月在杭州召开了全国化工高职自动化类规划教材研讨会。参会的高职院校一线教师和企业技术专家紧密围绕生产过程自动化技术、机电一体化技术、应用电子技术及电气自动化技术等自动化类专业人才培养方案展开研讨,并计划通过三年时间完成自动化类专业特色教材的编写工作。主编采用竞聘方式,由教育专家和行业专家组成的教材评审委员会于2011年1月在广西南宁确定出教材的主编及参编,众多企业技术人员参加了教材的编审工作。

本套教材以《国家中长期教育改革和发展规划纲要》及2006年教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》为编写依据。确定以“培养技能,重在应用”为编写原则,以实际项目为引领,突出教材的应用性、针对性和专业性,力求内容新颖,紧跟国内外工业自动化技术的最新发展,紧密跟踪国内外高职院校相关专业的教学改革。

本书遴选了三个典型又便于实施的项目,完全按照项目式教学模式设计,把大项目分解为若干个任务来完成,而每个任务的教学内容安排又完全采取行动体系框架下形成的“资讯—决策—计划—实施—检查—评价”串行结构,教材的整体框架形成“项目引领,任务驱动”的格局。此书既方便教师实施基于行动导向的教学方法,同时,“知识与技能拓展”部分内容更加充实了教材内容体系,也方便学生用于课后学习、训练及业余电子爱好者参考使用。

本书是理实一体化教材,三个项目的制作任务完成,可以刚好组成从信号源、稳压电源到音频放大输出的配套设备。项目1包含半导体基本知识的认知和二极管器件的熟悉与检测,整流、滤波、稳压电路的分析与计算,常用电子仪器的熟悉与使用,手工焊接操作与工艺的熟练,简单模拟电子电路图识图、分析,电子电路的组装制作工艺与测试、故障排除方法与步骤等内容;项目2包含了晶体三极管和场效应管的认知,基本放大电路的认识、分析与计算,音频放大器电路的分析及制作工艺、制作电路测试与故障排除方法等内容;项目3包含反馈电路与正弦振荡电路、集成运算放大电路的认知,信号发生器电路的分析、组装与调试工艺等内容。“知识与技能拓展”部分概括性地简述模拟电子电路图的识读、设计与制作的基本要求与方法,补充介绍了电子设备设计与制作的几个实例,丰富了教材内容。

本书由隆平、胡静主编,秦洪和何志杰参编。其中,胡静编写项目1【任务1.1】及项目2、附录1,秦洪编写项目1中【任务1.2】至【任务1.5】、附录2,何志杰编写“知识与技能拓展”部分,隆平编写项目3、附录3、4及负责全书的统稿。

本书由汤光华教授主审,他不但对书稿进行了认真的审阅,在教材编写过程中也予以了重要指导,提出了很多宝贵意见和提供了有价值的资料,在此深表感谢。

在本书的编写过程中,对所列参考文献作了一些借鉴,在本书出版之际,对参考文献的作者表示衷心感谢。

鉴于编者水平有限,且时间仓促,书中缺点和不足在所难免,敬请读者批评指正。

全国化工高职仪电专业委员会

2011年7月

目 录

项目 1 直流稳压电源的制作、参数测试与故障排除	1
【任务 1.1】 二极管器件的认知与检测	1
【小结】	10
【自测题】	10
【任务 1.2】 整流电路的认知	12
【小结】	16
【自测题】	17
【任务 1.3】 滤波电路的认知	18
【小结】	22
【自测题】	23
【任务 1.4】 稳压电路的认知	24
【小结】	33
【自测题】	33
【任务 1.5】 直流稳压电源的制作、参数测试与故障排除	35
【小结】	44
【思考与练习】	45
项目 2 音频放大器的制作、参数测试与故障排除	46
【任务 2.1】 三极管的认识与测试	46
【小结】	58
【自测题】	59
【任务 2.2】 基本放大电路的认知	60
【小结】	88
【自测题】	89
【任务 2.3】 音频放大器的制作、参数测试与故障排除	91
【小结】	95
【思考与练习】	96
项目 3 信号发生器的制作、参数测试与故障排除	97
【任务 3.1】 正弦波振荡电路的认识	98
【小结】	111
【自测题】	112
【任务 3.2】 集成运算放大器的认识与应用	114
【小结】	127
【自测题】	127
【任务 3.3】 信号发生器的制作、参数测试与故障排除	129

【小结】	135
【思考与练习】	136
知识技能拓展	138
一、模拟电子电路图的识读	138
二、模拟电子电路设计与制作的基本知识	144
三、电子设备设计与制作实例	163
附录	174
附录 1 模拟电子技术部分符号说明	174
附录 2 模拟电子技术图形符号说明	175
附录 3 国产半导体器件和半导体集成电路符号命名方法	176
附录 4 常用半导体器件的参数	178
部分习题参考答案	180
参考文献	183

项目 1 直流稳压电源的制作、 参数测试与故障排除

在各种电子设备和装置中，如自动控制系统、测量仪器和计算机等，都需要稳定的直流电压。

通过整流滤波电路所获得的直流电压往往是不稳定的，当电网电压波动或负载电流变化时，其输出电压也会随之改变。电子设备电源电压的不稳定，将会引起直流放大器的零点漂移；交流放大器的噪声增大；测量仪器的准确度下降等。因此，必须将整流滤波后的直流电压由稳压电路稳定后再提供给负载，使电子设备能正常工作。

【学习目标】

学生在教师的指导下完成项目一的学习任务以后，会识别和检测二极管，熟悉直流稳压电源的基本组成和工作原理，会制作简单的直流稳压电源，并能进行参数测试和故障排除。具体要求如下。

知识目标：熟悉二极管器件的符号、参数及主要应用范围；了解直流稳压电源的基本组成部分；熟悉整流和滤波电路的种类与工作原理；了解并联稳压电路、串联稳压电路和稳压集成电路的性能参数、功能与应用。

技能目标：会识读二极管参数、符号，并能检测二极管的极性；能对并联稳压电路、串联稳压电路和直流电源的整体电路进行分析；能根据原理图进行正确焊接，对装接的电路进行测试；能测试直流电源的特性参数，判断直流电源的质量，并能根据要求进行简单电源设计；会综合使用电子测量仪器，对直流稳压电源进行故障检修。同时训练对新资料的阅读能力、电子电路装接焊接技能、读图能力、故障检查能力和电子测量仪器综合使用能力。

态度目标：培养自主学习的习惯，具备根据需要查阅、搜索、获取新信息、新知识的能力；培养严谨细致的工作作风，具备对电子电路现象仔细观察、善于分析的习惯；培养团队合作精神，具备与人沟通和协调的能力；养成及时总结、汇报的习惯，具备一般文字组织和产品说明书的编写能力。

【任务 1.1】二极管器件的认知与检测

【任务描述】

给定学生 2AP9、2CZ12、1N4001 等不同型号二极管各一只，要求用万用表检测二极管正反向电阻的值，学会借助资料查阅二极管的型号及主要参数。

【任务分析】

要让学生完成此任务,首先要了解半导体的基本知识,PN结的形成及PN结的特性,掌握二极管的类型、典型二极管的应用、万用表的使用及二极管极性的判别。

【知识准备】

1.1.1 半导体的基础知识

导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。在自然界中属于半导体的物质很多,用来制造半导体器件的材料主要是硅(Si)、锗(Ge)和砷化镓(GaAs)等,其中硅的应用最广泛。

1.1.1.1 半导体的特性

(1) 热敏特性

当温度升高时,半导体的导电性会增强,温度越高,导电能力越强。利用这一特性可以制成热敏电阻。

(2) 光敏性

光照加强时,半导体的阻值显著下降,导电能力增强。利用这一特性可以制成光敏传感器、光电控制开关及火灾报警装置等。

(3) 掺杂性

在纯度很高的半导体中掺入微量的某种杂质元素,其导电性会显著增加。利用掺杂性可制成各种不同性能、不同用途的半导体器件,例如二极管、三极管、场效应管等。

如果在本征半导体(不含杂质的半导体)硅中掺入微量的三价元素硼(B),就形成P型半导体,P型半导体的空穴(带正电荷的载流子)浓度比电子浓度高,因此又叫空穴型半导体。P型半导体主要靠空穴导电,称空穴为多数载流子,而自由电子远少于空穴的数量,称自由电子为少数载流子。在本征半导体中掺入微量的五价元素磷(P)就形成N型半导体,N型半导体的电子浓度比空穴浓度高,因此又叫电子型半导体。N型半导体主要靠自由电子导电,称自由电子为多数载流子,而空穴数量远少于电子数量,称空穴为少数载流子。

注意:不论N型半导体还是P型半导体都是电中性,对外不显电性。

1.1.1.2 PN结的形成与特性

(1) PN结的形成

当P型半导体和N型半导体接触以后,由于交界两侧半导体类型不同,存在电子和空穴的浓度差。这样,P区的空穴向N区扩散,N区的电子向P区扩散,如图1-1(a)所示。由于扩散运动,在P区和N区的接触面就会产生正负离子层。N区失掉电子产生正离子,P区得到电子产生负离子。通常称这个正负离子层为PN结。如图1-1(b)所示。

在PN结的P区一侧带负电,N区一侧带正电。PN结便产生了内电场,内电场的方向从N区指向P区。内电场对扩散运动起到阻碍作用,电子和空穴的扩散运动随着内电场的加强而逐步减弱,直至停止。在界面处形成稳定的空间电荷区,如图1-1(b)所示。

(2) PN结的特性

① PN结的正向导通特性 给PN结加正向电压,即P区接正电源,N区接负电源,此时称PN结为正向偏置,如图1-2(a)所示。

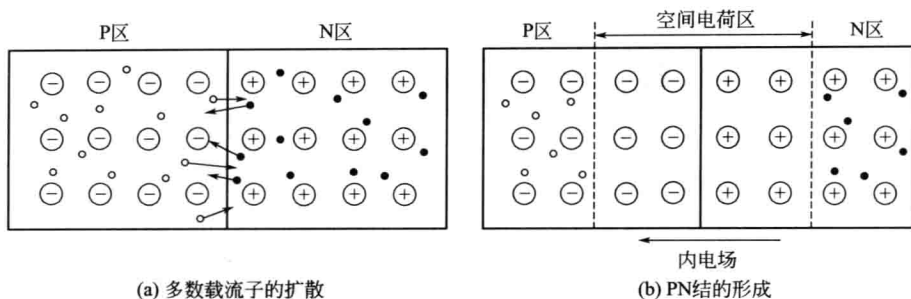


图 1-1 PN 结的形成

这时 PN 结外加电场与内电场方向相反, 当外电场大于内电场时, 外加电场抵消内电场, 使空间电荷区变窄, 有利于多数载流子运动, 形成正向电流。外加电场越强, 正向电流越大, 这意味着 PN 结的正向电阻变小。

② PN 结的反向截止特性 给 PN 结加反向电压, 即电源正极接 N 区, 负极接 P 区, 称 PN 结反向偏置, 如图 1-2(b) 所示。这时外加电场与内电场方向相同, 使内电场的作用增强, PN 结变厚, 多数载流子运动难于进行, 有助于少数载流子运动, 形成电流 I_R , 少数载流子很少, 所以电流很小, 接近于零, 即 PN 结反向电阻很大。

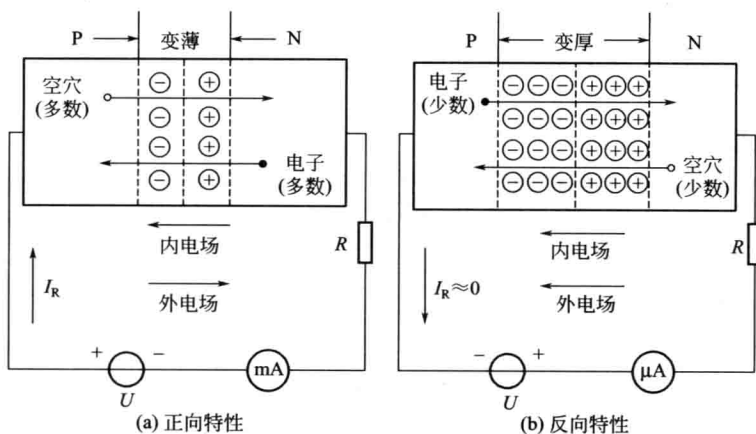


图 1-2 PN 结的导电特性

综上所述, PN 结具有单向导电性, 加正向电压时, PN 结电阻很小, 电流 I_R 较大, 是多数载流子的扩散运动形成的; 加反向电压时, PN 结电阻很大, 电流 I_R 很小, 是少数载流子运动形成的。

1.1.2 半导体二极管

1.1.2.1 二极管的结构和类型

将一个 PN 结加上相应的两根外引线, 然后用塑料、玻璃或铁皮等材料做外壳封装就成为最简单的二极管。其中, 正极从 P 区引出, 为阳极或 P 极; 负极从 N 区引出, 为阴极或 N 极。如图 1-3(a) 所示。二极管的符号如图 1-3(b) 所示, 其中三角箭头表示正向电流的方向, 正向电流从二极管的阳极流入, 阴极流出。

二极管有许多类型。按材料分, 二极管可分为锗管和硅管; 从工艺上分, 有点接触型和面接触型; 按用途分, 有整流管、检波二极管、稳压二极管、光电二极管和开关二

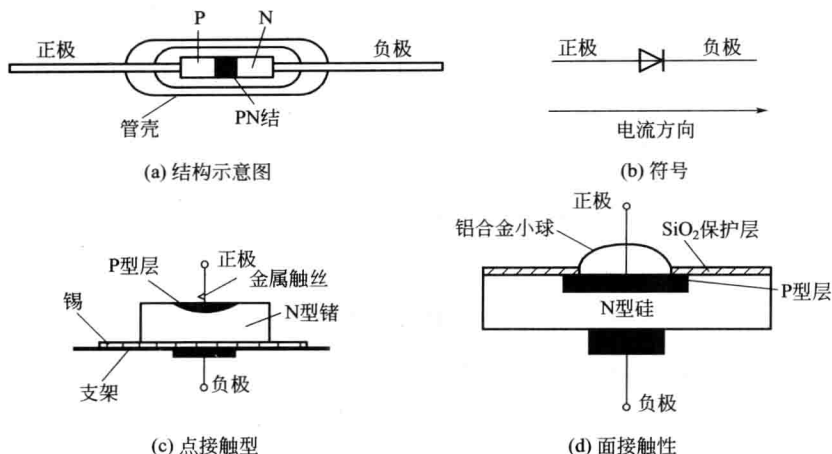


图 1-3 二极管的结构和符号

极管等。

(1) 点接触型二极管

如图 1-3(c) 所示。这是用一根含杂质元素的金属丝压在半导体晶片上，经特殊工艺、方法，使金属丝上的杂质掺入到晶体中，从而形成导电类型与原晶体相反的区域而构成的 PN 结。因而其结面积小，允许通过的电流小，但结电容小，工作频率高，适合用作高频检波器件。

(2) 面接触型二极管

如图 1-3(d) 所示。由于面接触型二极管的 PN 结接触面积较大，PN 结电容较大，一般适用于在较低的频率下工作；由于接触面积大，允许通过较大电流和具有较大功率容量，适用于作整流器件。

1.1.2.2 二极管的特性及参数

(1) 二极管伏安特性

① 正向特性 理论分析指出，半导体二极管电流 I 与端电压 U 之间的关系可表示为 $I = I_s(e^{\frac{U}{U_T}} - 1)$ ，此式称为理想二极管电流方程。式中， I_s 称为反向饱和电流， U_T 称为温度的电压当量，常温下 $U_T \approx 26\text{mV}$ 。实际的二极管伏安特性曲线如图 1-4 所示。图中，实线对应

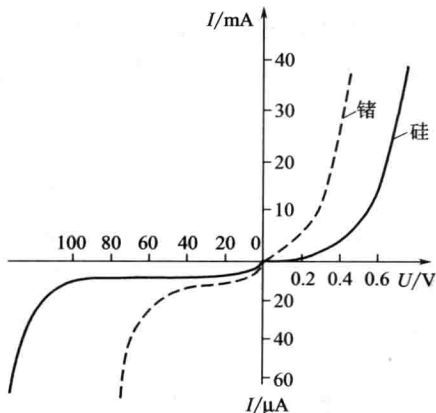


图 1-4 二极管伏安特性曲线

硅材料二极管，虚线对应锗材料二极管。

当二极管承受正向电压小于某一数值（称为死区电压）时，还不足以克服 PN 结内电场对多数载流子运动的阻挡作用，这一区段二极管正向电流很小，称为死区。死区电压的大小与二极管的材料有关，并受环境温度影响。通常，硅材料二极管的死区电压约为 0.5V ，锗材料二极管的死区电压约为 0.1V 。

当正向电压超过死区电压值时，外电场抵消了内电场，正向电流随外加电压的增加而明显增大，二极管正向电阻变得很小。当二极管完全导通后，

正向压降基本维持不变,称为二极管正向导通压降。管子正向导通后其管压降很小(硅管为 $0.6\sim 0.8\text{V}$,锗管为 $0.2\sim 0.3\text{V}$)。

② 反向特性 当二极管承受反向电压时,外电场与内电场方向一致,只有少数载流子的漂移运动,形成的反向电流极小。由于少数载流子的数目很少,即使增加反向电压,反向电流仍基本保持不变,故称此电流为反向饱和电流。所以,如果给二极管加反向电压,二极管将接近于截止状态,这时相当于断开的开关。

③ 反向击穿特性 当反向电压增大到某一数值时,反向电流将随反向电压的增加而急剧增大,这种现象称为二极管反向击穿。击穿时对应的电压称为反向击穿电压。普通二极管发生反向击穿后,造成二极管的永久性损坏,失去单向导电性。

(2) 二极管的主要参数

二极管参数是反映二极管性能质量的指标。必须根据二极管的参数来合理选用二极管。

① 最大整流电流 I_{FM} I_{FM} 是指二极管长期工作时允许通过的最大正向平均电流值,由PN结的面积和散热条件所决定,用 I_{FM} 表示。工作时,管子通过的电流不应超过这个数值,否则将导致管子过热而损坏。

② 最高反向工作电压 U_{RM} U_{RM} 是指二极管不击穿所允许加的最高反向电压。

超过此值二极管就有被反向击穿的危险。 U_{RM} 通常为反向击穿电压的 $1/2\sim 2/3$,以确保二极管安全工作。

③ 最大反向电流 I_{RM} I_{RM} 是指二极管在常温下承受最高反向工作电压 U_{RM} 时的反向漏电流,一般很小,但其受温度影响较大。当温度升高时, I_{RM} 显著增大。

④ 最高工作频率 f_{M} f_{M} 是指保持二极管单向导通性能时,外加电压允许的最高频率。二极管工作频率与PN结的极间电容大小有关,容量越小,工作频率越高。

二极管的参数很多,除上述参数外,还有结电容、正向压降等,实际应用时,可查阅半导体器件手册。

1.1.2.3 半导体二极管的应用

二极管是电子电路中最常用的半导体器件。利用其单向导电性及导通时正向压降很小的特点,可用来进行整流、检波、箝位、限幅、开关以及元件保护等各项工作。

(1) 整流

所谓整流,就是将交流电变为单方向脉动的直流电。利用二极管的单向导电性可组成单相、三相等各种形式的整流电路,然后再经过滤波、稳压,便可获得平稳的直流电。这些内容将在项目二详细介绍。

(2) 箝位

利用二极管正向导通时压降很小的特性,可组成箝位电路,如图1-5所示。

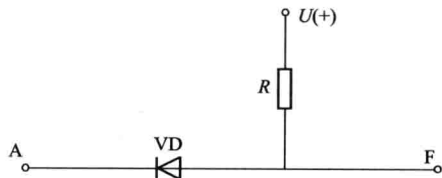


图1-5 二极管箝位电路

图中,若A点 $U_{\text{A}}=0$,二极管VD可正向导通,其压降很小,故F点的电位也被箝制在 0V 左右,即 $U_{\text{F}}\approx 0$ 。

(3) 限幅

利用二极管正向导通后其两端电压很小且基本不变的特性,可以构成各种限幅电路,使输出电压幅度限制在某一电压值以内。图1-6(a)为一正负对称限幅电路。

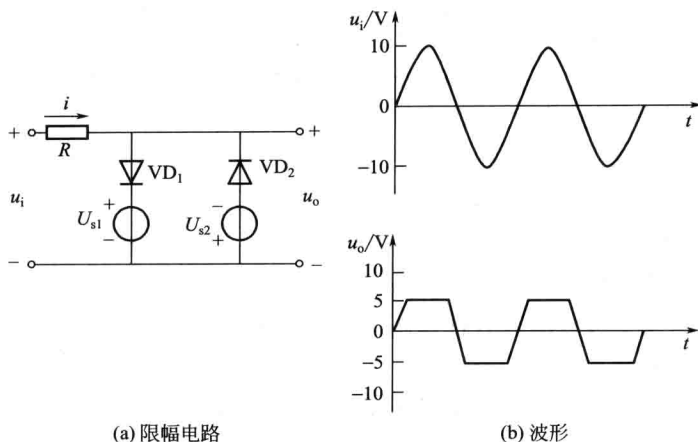


图 1-6 二极管限幅电路及波形

设输入电压 $u_i = 10\sin\omega t$ (V), $U_{s1} = U_{s2} = 5$ V。

当 $-U_{s2} < u_i < U_{s1}$ 时, VD_1 、 VD_2 都处于反向偏置而截止, 因此 $i = 0$, $u_o = u_i$ 。当 $u_i > U_{s1}$ 时, VD_1 处于正向偏置而导通, 使输出电压保持在 U_{s1} 。

当 $u_i < -U_{s2}$ 时, VD_2 处于正向偏置而导通, 输出电压保持在 $-U_{s2}$ 。由于输出电压 u_o 被限制在 $+U_{s1}$ 与 $-U_{s2}$ 之间, 即 $|u_o| \leq 5$ V, 好像将输入信号的高峰和低谷部分削掉一样, 因此这种电路又称为削波电路。输入、输出波形如图 1-6(b) 所示。

(4) 元件保护

在电子线路中, 常用二极管来保护其他元器件免受过高电压的损害, 如图 1-7 所示电路, L 和 R 是线圈的电感和电阻。

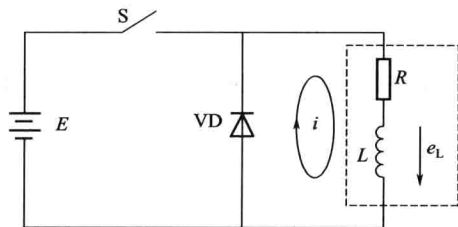
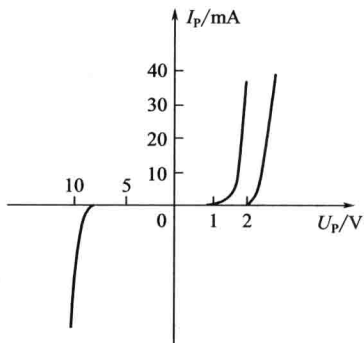


图 1-7 二极管保护电路



(a) 符号



(b) 伏安特性曲线

图 1-8 发光二极管符号和伏安特性曲线

在开关 S 接通时, 电源 E 给线圈供电, L 中有电流流过, 储存了磁场能量。在开关 S 由接通到断开的瞬时, 电流突然中断, L 中将产生一个高于电源电压很多倍的自感电动势 e_L , e_L 与 E 叠加作用在开关 S 的端子上, 在 S 的端子上产生电火花放电, 这将影响设备的正常工作, 使开关 S 寿命缩短。接入二极管 VD 后, e_L 通过二极管 VD 产生放电电流 i , 使 L 中储存的能量不经过开关 S 放掉, 从而保护了开关 S 。

除以上用途外, 还有许多特殊结构的二极管, 例如发光二极管、热敏二极管等。随

着半导体技术的发展,二极管应用范围越来越多,其中发光二极管是应用较多的一种二极管。

1.1.2.4 特殊二极管

(1) 发光二极管及其应用

① 发光二极管的符号及特性 发光二极管的符号如图 1-8(a) 所示。它是一种将电能直接转换成光能的半导体器件,由磷砷化镓 (GaAsP)、磷化镓 (GaP) 等半导体材料制成,简称 LED (Light Emitting Diode)。发光二极管和普通二极管相似,也由一个 PN 结组成。发光二极管在正向导通时,由于空穴和电子的复合而发出能量,发出一定波长的可见光。光的波长不同,颜色也不同。常见的 LED 有红、绿、黄等颜色。发光二极管的驱动电压低、工作电流小,具有很强的抗振动和抗冲击能力。由于发光二极管体积小、可靠性高、耗电省、寿命长,被广泛用于信号指示等电路中。

发光二极管的伏安特性如图 1-8(b) 所示。它和普通二极管的伏安特性相似,只是在开启电压和正向特性的上升速率上略有差异。当所施加正向电压未达到开启电压时,正向电流几乎为零,但电压一旦超过开启电压时,电流急剧上升。发光二极管的开启电压通常称作正向电压。例如 GaAsP 红色 LED 约为 1.7V,而 GaP 绿色的 LED 则约为 2.3V。几种常见的发光材料的主要参数如表 1-1 所示。LED 的反向击穿电压一般大于 5V,但为使器件长时间稳定而可靠的工作,安全使用电压选择在 5V 以下。

表 1-1 发光二极管的主要参数

颜色	波长/nm	基本材料	正向电压 (10mA 时)/V	光强(10mA 时,张角 $\pm 45^\circ$) /mcd	光功率/ μW
红外	900	GaAs	1.3~1.5		100~500
红	655	GaAsP	1.6~1.8	0.4~1	1~2
鲜红	635	GaAsP	2.0~2.2	2~4	5~10
黄	583	GaAsP	2.0~1.2	1~3	3~8
绿	565	GaP	2.2~2.4	0.5~3	1.5~8

② 发光二极管的应用

指示灯: 电源通断指示发光二极管作为电源通断指示电路,通常称为指示灯,在实际应用中给人提供很大的方便。发光二极管的供电电源既可以是直流的也可以是交流的,但必须注意的是,发光二极管是一种电流控制器件,应用中只要保证发光二极管的正向工作电流在所规定的范围之内,它就可以正常发光。具体的工作电流可查阅有关资料。

数码管: 数码管是电子技术中应用的主要显示器件,其就是用发光二极管经过一定的排列组成的,如图 1-9(a) 所示。

这是最常用的七段数码显示。要使它显示 0~9 的一系列数字只要点亮其内部相应的显示段即可。七段数码显示有共阳极 [图 1-9(b)] 和共阴极 [图 1-9(c)] 之分。数码管的驱动方式有直流驱动和脉冲驱动两种,应用中可任意选择。数码管应用十分广泛,可以说,凡是需要指示或读数的场合,都可采用数码管显示。

(2) 稳压二极管

硅稳压二极管简称稳压管,是一种能稳定电压的二极管,它与电阻配合具有稳定电压的特点。

① 稳压管的伏安特性 通过实验测得稳压管伏安特性曲线如图 1-10(a) 所示。

从特性曲线可以看到,稳压管正向偏压时,其特性和普通二极管一样;反向偏压时,开

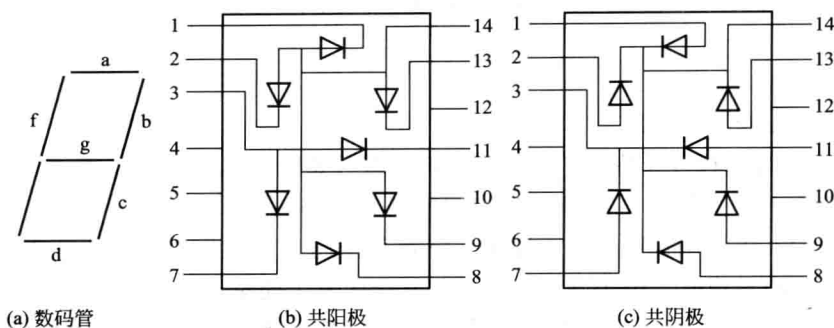


图 1-9 七段数码管内部结构图

始一段和二极管一样,当反向电压达到一定数值以后,反向电流突然上升,而且电流在一定范围内增长时,管两端电压只有少许增加,变化很小,具有稳压性能。这种“反向击穿”是可恢复的,只要外电路限流电阻保障电流在限定范围内,就不致引起热击穿而损坏稳压管。

稳压管的符号如图 1-10(b)。

② 稳压管的主要参数

稳定电压值 U_Z : 稳压管在正常工作时管子的端电压,一般为 $3 \sim 25\text{V}$,高的可达 200V 。

稳定电流 I_Z : 指稳压管工作至稳压状态时流过的电流。当稳压管稳定电流小于最小稳定电流 $I_{Z\min}$ 时,没有稳定作用;大于最大稳定电流 $I_{Z\max}$ 时,管子因过流而损坏。

动态电阻 r_Z : 稳压管端电压的变化量 ΔU_Z 与对应电流变化量 ΔI_Z 之比,即

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

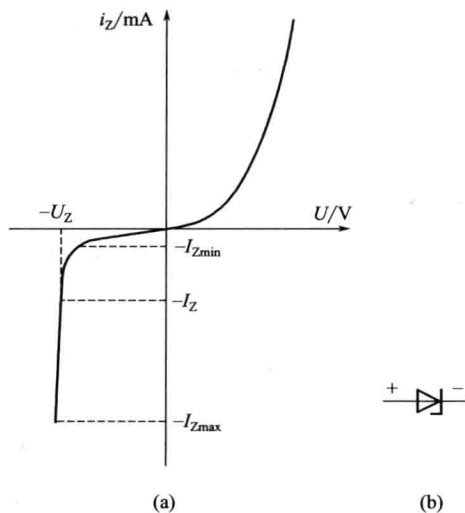


图 1-10 稳压二极管伏安特性及符号

稳压管额定功耗 P_{ZM} : 保证稳压管安全工作

所允许的最大功耗。其大小为 $P_{ZM} = I_{ZM} U_Z$ 。

③ 稳压二极管的应用 稳压二极管用来构成的稳压电路,如图 1-11 所示。

U_1 是不稳定的可变直流电压,希望得到稳定的电压 U_o ,故在两者之间加稳压电路。它由限流电阻 R 和稳压管 VZ 构成, R_L 是负载电阻。

训练 在图 1-12 中,已知稳压二极管的 $U_{VDZ} = 6.3\text{V}$,当 $U_1 = \pm 20\text{V}$, $R = 1\text{k}\Omega$ 时,求 U_o 。已知稳压二极管的正向导通压降 $U_F = 0.7\text{V}$ 。

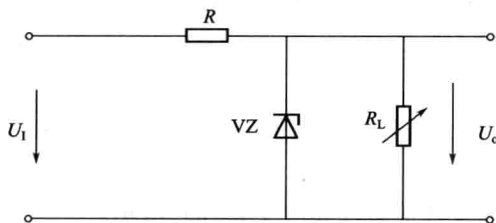


图 1-11 稳压管稳压电路

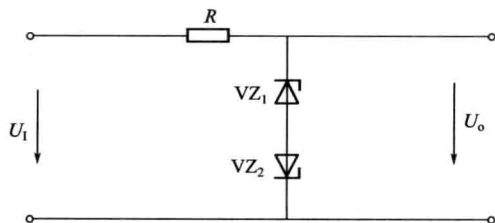


图 1-12 稳压管稳压电路

解答参考 当 $U_1 = +20\text{V}$, VZ_1 反向击穿稳压, $U_{VZ_1} = 6.3\text{V}$, VZ_2 正向导通, $U_{F2} = 0.7\text{V}$, 则 $U_o = +7\text{V}$; 同理, $U_1 = -20\text{V}$, $U_o = -7\text{V}$ 。

(3) 变容二极管

用于自动频率控制 (AFC) 和调谐用的小功率二极管称变容二极管。通过施加反向电压, 使其 PN 结的静电容量发生变化。因此, 被使用于自动频率控制、扫描振荡、调频和调谐等用途。

(4) 肖特基二极管

肖特基二极管是具有肖特基特性的“金属半导体结”的二极管。其正向起始电压较低。其金属层除银、铝材料外, 还可以采用金、钼、镍、钛、铂等材料。其半导体材料采用硅或砷化镓, 多为 N 型半导体。并且, MIS (金属—绝缘体—半导体) 肖特基二极管可以用来制作太阳能电池或发光二极管。

除上述的二极管外, 电子电路中用到的二极管还有开关二极管、光电二极管、隧道二极管、微波二极管、激光二极管等。

【任务实施】

学生分组查阅资料、测量下列表格中的数据, 分析测试数据, 得出结论或作出相关曲线, 做好报告。

(1) 查阅资料, 认识二极管的型号

如表 1-2。

表 1-2 二极管各部分的含义

型号	第一部分	第二部分	第三部分	第四部分
2AP9				
2CZ12				
1N4001				

(2) 判别二极管的极性

如表 1-3。

表 1-3 二极管极性判别测量表

电阻值/ Ω	$R \times 1\text{k}\Omega$		$R \times 100\Omega$		$R \times 10\Omega$		质量判别	
型号	正向	反向	正向	反向	正向	反向	正向	反向
2AP9								
2CZ12								
1N4001								

(3) 二极管性能的测定

按图 1-13 连线, 所选取的两个二极管分别为 1N4007 和 1N4733A, 将 1N4007 接入输出端, 将电源电压调制 2V 左右, 然后用电位器 RP_1 调节输出电压 u_D 为表 1-4 所示的值。

表 1-4 二极管的正向特性

u_D/V	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
i_D/A										

根据表 1-4 数据, 画出二极管正向特性曲线。

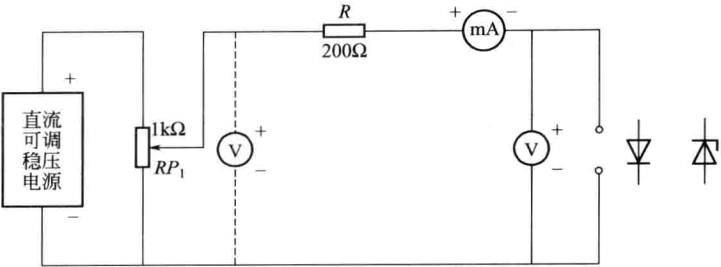


图 1-13 二极管性能测试电路

在图 1-13 中，以 1N4733A 接入输出端，测定其稳压特性（伏安特性）。将电源电压调至 6V，调节电位器 RP_1 ，按表 1-5 所示逐步加大电压，测定并记录稳压管工作电流。

表 1-5 稳压管伏安特性

U_2/V	1.0	2.0	3.0	4.0	4.5	4.8	5.0		
I_Z/mA								5	10

根据表 1-5 数据，画出稳压管伏安特性曲线，指出其工作区域。

【小结】

- ① 半导体有自由电子和空穴两种载流子参与导电。本征半导体的载流子由本征激发产生，电子和空穴成对出现，常温下，导电能力很弱。本征半导体中掺入五价元素杂质，则成为 N 型半导体，N 型半导体中电子是多子，空穴是少子。本征半导体中掺入三价元素杂质，则成为 P 型半导体，P 型半导体中空穴是多子，电子是少子。
- ② PN 结是构成半导体器件的核心，其主要特性是单向导电性。二极管由 PN 结构成。硅二极管的正向导通电压约为 0.6~0.8V，锗管约为 0.2~0.3V。
- ③ 普通二极管在大信号状态，可将二极管等效为理想二极管，即正偏时导通，电压降为零，相当于理想开关闭合；反偏时截止，电流为零，相当于理想开关断开。将这一特性称为二极管的开关特性。利用二极管的开关特性可构成开关电路、整流电路、限幅电路等。
- ④ 稳压二极管、发光二极管、光电二极管、变容二极管结构与普通二极管类似，均由 PN 结构成。但稳压二极管工作在反向击穿区，主要用途是稳压；发光与光电二极管是用以实现光电信号转换的半导体器件，它在信号处理、传输中获得广泛的应用；变容二极管在电路中作可变电容使用，广泛用于高频电路中。

【自测题】

1.1 填空题（每空 2 分，共 30 分）

- ① 半导体中有_____和_____两种载流子参与导电。
- ② 本征半导体中，若掺入微量的五价元素，则形成_____型半导体，其多数载流子是_____；若掺入微量的三价元素，则形成_____型半导体，其多数载流子是_____。
- ③ PN 结在_____时导通，_____时截止，这种特性称为_____性。
- ④ 硅二极管的死区电压为_____V，导通时的电压降为_____V；锗二极管的死

区电压为_____ V, 导通时的电压降为_____ V。

⑤ 半导体二极管进行代换时主要考虑的两个参数是_____和_____。

1.2 选择题 (每小题 4 分, 共 20 分)

① 杂质半导体中, 多数载流子的浓度主要取决于_____。

- a. 温度 b. 掺杂工艺 c. 掺杂浓度 d. 晶格缺陷

② 当温度升高时, 二极管的反向饱和电流将_____。

- a. 增大 b. 不变 c. 减小 d. 变为 0

③ 当二极管两端加上正向电压时_____。

- a. 超过死区电压才导通 b. 超过 0.2V 才导通
c. 一定导通 d. 均不正确

④ 用万用表 $R \times 1k\Omega$ 挡测量二极管, 若测出二极管正向电阻为 $1k\Omega$, 反向电阻为 $5k\Omega$, 则这只二极管的情况是_____。

- a. 内部已断路 b. 内部已短路 c. 没有坏但性能不好 d. 性能良好

⑤ 如果二极管的正、反向电阻都很大, 则该二极管 ()。

- a. 正常 b. 已被击穿 c. 内部断路 d. 没有坏但性能不好

1.3 选择题 (每小题 2 分, 共 10 分)

① N 型半导体内, 自由电子远多于空穴, 因此它带负电。()

② PN 结加上正向电压时, 空间电荷区变窄, 呈低阻态, 正向导通。()

③ 二极管的反向饱和电流越小, 说明其单向导电性越好。()

④ 二极管导通时, 电流从其阳极 (正极) 流出, 阴极 (负极) 流入。()

⑤ 稳压二极管用于稳压时必须接正向电压。()

1.4 电路如图 1-14 所示, 设二极管的导通电压 $U_{D(on)} = 0.7V$, 写出各电路的输出电压 U_o 值。(24 分)

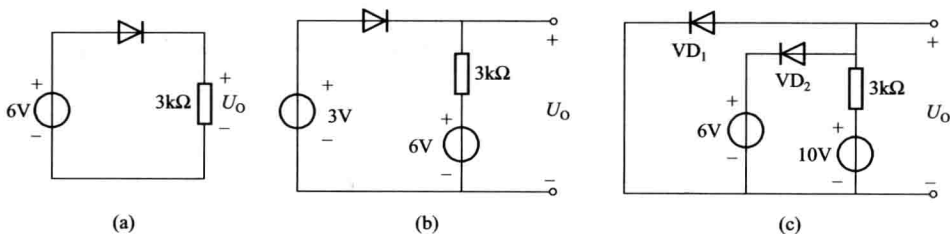


图 1-14 题 1.4 图

1.5 在图 1-15 所示电路中, 设 $u_i = (8\sin\omega t)V$, 且二极管具有理想特性, 当开关 S 闭合和断开时, 试对应画出 u_o 波形。(16 分)

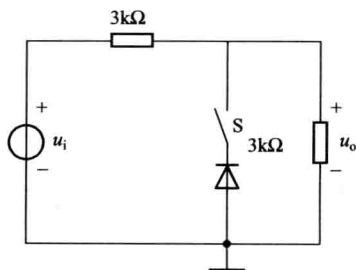


图 1-15 题 1.5 图