

电子技术 ——设计与制作

武玉升 高婷婷 主编



 中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电子技术

—设计与制作



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是根据高职高专培养高技能人才的培养目标,按照“项目导向、任务驱动”的教学改革思路来编写的。全书设计了九个教学项目,每个项目由若干个工作任务组成。各项目主要围绕模拟电路和数字电路两大内容展开,其中模拟电路主要包括的项目有:直流稳压电源的设计与制作、晶体管放大器的设计与制作、函数信号发生器的设计与制作、低频功率放大器的设计与制作;数字电路包括的主要项目有:三人表决器的设计与制作、智力竞赛抢答器的设计与制作、循环彩灯控制电路的设计与制作、数字钟的设计与制作。本书最后还安排了电子技术课程设计项目,用两个典型的设计项目,实现对模拟电路和数字电路的综合应用。每个项目在编写过程中,以完成工作任务为主线,链接相应的理论知识和技能实训,融“教、学、做”为一体。

本书内容难易适中、实用性强,可作为高职高专院校电类专业电子技术课程的教材,也可作为成人教育类电子技术课程的教材,还可供广大工程技术人员和电子技术爱好者学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术:设计与制作/武玉升,高婷婷主编. —北京:
中国电力出版社,2011.11
ISBN 978-7-5123-2291-2
I. ①电… II. ①武…②高… III. ①电子技术 IV. ①TN
中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第223096号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 http://www.cepp.sgcc.com.cn)

北京雁林吉兆印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012年2月第一版 2012年2月北京第一次印刷

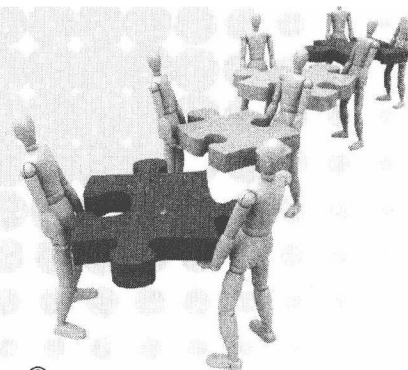
787毫米×1092毫米 16开本 12印张 264千字

印数0001—3000 定价22.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



根据教育部对于高等职业教育应“以服务为宗旨、以就业为导向、以能力为本位”的指导思想,结合高等职业教育发展特点及学生状况,我们深入开展了“项目导向、任务驱动”的教学模式,并根据在多年教学实践中积累的经验,编写了本书。在编写过程中,我们根据行业内企业专家对高职电类专业所涵盖的岗位群进行的工作任务和职业能力的分析,以高职电类专业共同具备的岗位职业能力为依据,遵循学生认知规律,紧密结合职业资格证书中对电子技能所作的要求,确定项目模块和课程内容。

本书将教学内容分为若干个相对独立的实训项目,每个项目由若干个任务组成。教学过程应充分发挥学生的主动性、积极性;在内容安排上,以应用为目的,注重实用性、先进性;尽量删繁就简,遵循由浅入深、循序渐进的认知规律,将基本知识的学习融合在实际实训项目中,重点放在器件的外部特性和使用上,使本书内容重点突出、概念清楚、实用性强,注重综合应用能力和基本技能的培养。

本书分为九个项目,其理论和实践内容主要围绕两大项目展开,即模拟电路项目和数字电路项目。其中模拟电路项目包括:直流稳压电源的设计与制作、晶体管放大器的设计与制作、函数信号发生器的设计与制作、低频功率放大器的设计与制作;数字电路项目包括:三人表决器的设计与制作、智力竞赛抢答器的设计与制作、循环彩灯控制电路的设计与制作、数字钟的设计与制作。本书最后还安排了电子技术课程设计项目,用两个典型的综合设计项目,实现对模拟电路和数字电路的综合应用。每个项目在编写过程中,以完成工作任务为主线,链接相应的理论知识和技能实训,融“教、学、做”为一体。

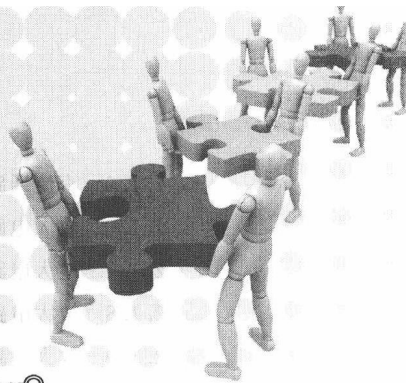
本书由青岛港湾职业技术学院武玉升和黄海学院高婷婷任主编,青岛港湾职业技术学院刘春霞、刘霞和黄海学院赵梅莲任副主编,参加本书编写的人员还有:青岛港湾职业技术学院武心庆、隋美娥、赵伟、张斌。其中高婷婷编写项目一,赵伟编写项目二和附录A,刘春霞编写项目三,赵梅莲编写项目四,刘霞编写项目五和附录C,张斌编写项目六,武玉升编写项目七、八,武心庆编写项目九,隋美娥编写附录B和附录D,并由武玉升负责总体策划及全书统稿。

青岛港湾职业技术学院许金海担任主审,许金海教授在百忙之中对全部书稿进行了详细的审阅,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢!

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免存在疏漏及错误之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2011年7月



前言

项目一 直流稳压电源的设计与制作	1
任务一 整体设计	1
任务二 整流电路设计	2
1.2.1 半导体的基本知识	2
1.2.2 半导体二极管	2
1.2.3 特殊二极管	4
1.2.4 二极管使用注意事项	6
1.2.5 二极管的判别	6
1.2.6 单相半波整流电路	7
1.2.7 单相桥式整流电路	8
任务三 滤波电路的设计	10
1.3.1 电容滤波电路	10
1.3.2 电感滤波电路	11
任务四 稳压电路的设计	12
1.4.1 硅稳压管稳压电路	12
1.4.2 三端固定输出集成稳压器	13
任务五 三端可调稳压电源的设计、安装与调试	15
1.5.1 电路原理图的设计	15
1.5.2 电路的安装、调试与检测	16
小结	16
练习题	17
 项目二 晶体管放大器的设计与制作	 19
任务一 共发射极放大器的设计	19
2.1.1 晶体三极管	19
2.1.2 放大的概念	24
2.1.3 三极管的三种连接方式	24
2.1.4 放大电路的组成	25

2.1.5	直流通路与交流通路	25
2.1.6	放大电路中电压、电流方向及符号的规定	26
2.1.7	放大电路工作状态的图解法分析	27
2.1.8	放大电路的偏置电路	30
2.1.9	放大电路的性能指标	33
2.1.10	放大电路的微变等效电路分析法	34
任务二 共集电极放大器的设计		36
任务三 多级放大器的设计与制作		39
2.3.1	多级放大电路的耦合方式	39
2.3.2	多级放大电路的性能指标	40
任务四 晶体管多级放大器的设计与制作		41
小结		41
练习题		42
 项目三 函数信号发生器的设计与制作		46
任务一 集成运放比例运算电路的设计		46
3.1.1	集成运算放大器	46
3.1.2	反馈放大电路	48
3.1.3	集成运放比例运算电路	52
任务二 集成运放加法、减法运算电路的设计		53
3.2.1	减法运算电路	53
3.2.2	反相加法运算电路	54
任务三 集成运放电压比较器的设计		54
任务四 RC 正弦波振荡器的设计与制作		55
3.4.1	自激振荡原理	55
3.4.2	RC 桥式正弦波振荡电路	57
任务五 矩形波发生器的设计与制作		59
任务六 三角波与锯齿波发生器的设计与制作		61
3.6.1	三角波产生电路	61
3.6.2	锯齿波产生电路	62
小结		63
练习题		63
 项目四 低频功率放大器的设计与制作		66
任务一 OCL 功率放大器的设计与制作		66
4.1.1	功率放大电路的基本知识	66
4.1.2	OCL 功率放大器的基本电路及工作原理	68

4.1.3 性能指标计算	69
4.1.4 交越失真及消除	71
任务二 OTL 功率放大器的设计与制作	72
4.2.1 单电源互补对称功率放大电路	72
4.2.2 实用的甲乙类单电源互补对称功率放大电路	73
任务三 集成功率放大器实用电路制作	75
4.3.1 LM386 集成功率放大器	75
4.3.2 TDA2030A 音频集成功率放大器	76
小结	77
练习题	78
项目五 三人表决器的设计与制作	81
任务一 用逻辑门电路实现三人表决器	81
5.1.1 数字电路概述	81
5.1.2 数制与编码	83
5.1.3 编码	87
5.1.4 逻辑代数与运算	88
5.1.5 逻辑函数的化简	93
5.1.6 组合逻辑电路	95
5.1.7 用逻辑门电路设计三人表决器	98
任务二 用 74LS138 译码器实现三人表决器	98
5.2.1 编码器	98
5.2.2 译码器	100
5.2.3 用 74LS138 译码器实现三人表决器	103
任务三 用 74LS151 数据选择器实现三人表决器	103
5.3.1 数据选择器	103
5.3.2 用 74LS151 数据选择器实现三人表决器	105
小结	105
练习题	106
项目六 智力竞赛抢答器的设计与制作	108
任务一 用逻辑门电路实现四路抢答器	108
6.1.1 显示电路	109
6.1.2 触发锁存电路	109
6.1.3 电路原理图	112
任务二 用 JK 触发器实现四路抢答器	113
6.2.1 同步触发器	113

6.2.2 边沿触发器	115
6.2.3 电路原理图	116
任务三 用八 D 锁存器 74LS373 实现八路抢答器	117
6.3.1 抢答开关电路	117
6.3.2 触发锁存电路	117
6.3.3 解锁电路	118
6.3.4 总体电路	119
小结	119
练习题	119
 项目七 循环彩灯控制电路的设计与制作	 121
任务一 用 555 定时器设计防盗报警器	121
7.1.1 555 定时器电路的结构及工作原理	121
7.1.2 555 定时器的应用	122
7.1.3 555 定时器组成的防盗报警器	126
任务二 用移位寄存器 74LS194 实现彩灯控制电路	126
7.2.1 时序逻辑电路概述	126
7.2.2 同步时序逻辑电路的分析方法	127
7.2.3 寄存器	129
7.2.4 循环彩灯控制电路设计	133
小结	134
练习题	135
 项目八 数字钟的设计与制作	 138
任务一 译码显示电路的设计与制作	138
8.1.1 显示器	138
8.1.2 译码器	139
任务二 计数器电路的设计与制作	140
8.2.1 二进制计数器	140
8.2.2 集成计数器介绍	143
8.2.3 用集成计数器构成 N 进制计数器	145
8.2.4 计数器电路设计	148
任务三 秒脉冲产生电路的设计与制作	149
任务四 校时电路的设计与制作	150
小结	152
练习题	152

项目九 电子技术课程设计	154
任务一 电子镇流器的制作	154
9.1.1 电子节能镇流器的工作原理	154
9.1.2 故障分析及排除方法	157
任务二 交通信号灯控制电路设计与制作	158
9.2.1 总体设计	159
9.2.2 电路设计	159
9.2.3 安装与调试	162
附录 A 电子电路仿真软件 EWB5.12 介绍	164
附录 B 常用国产半导体管主要参数	170
附录 C 常用集成电路引脚图	173
附录 D 晶闸管及其应用电路	176
参考文献	182

直流稳压电源的设计与制作

在电子设备和自控装置中，一般都需要稳定的直流电源，功率较小的直流电源大多数都是将交流电经过整流、滤波和稳压后获得。功率较大的直流电源大多采用晶闸管等半导体开关器件完成整流。

本项目要求利用 7805 和 7905 设计一个输出 $\pm 5\text{V}$ 、1A 的直流稳压电源，要求：输出电压稳定，最大输出电流为 1A，电路能带动一定的负载。

任务一 整体设计

直流稳压电源由电源变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路四部分组成。其原理方框图如图 1-1 所示。



图 1-1 直流稳压电源的原理方框图

图 1-1 中各个环节的功能如下：

(1) 电源变压器。电网提供的交流电一般为 220V（或 380V），而各种电子设备所需要直流电源的幅值却各不相同。因此需要将电网的交流电压变为符合整流需要的交流电压。

(2) 整流电路。它的作用是利用具有单向导电性能的二极管器件，将正、负交替的正弦交流电压整流为单方向的脉动电压。但是，这种单相脉动电压往往包含着很大的脉动成分。

(3) 滤波电路。它是由电容、电感等储能元件组成，作用是将脉动成分较大的直流电压中的交流成分滤掉，使电压波形变得更平滑。

(4) 稳压电路。经过整流滤波后的电压波形尽管较为平滑，但它受电网电压变化或负载变化的影响较大，稳压电路的主要作用是当电网电压波动、负载或温度变化时，维持输出直流电压稳定。在对直流电压的稳定程度要求不高的场合，也可以不要稳压环节。

任务二 整流电路设计

1.2.1 半导体的基本知识

自然界的物质按导电能力分为导体、半导体和绝缘体。半导体就是指导电能力介于导体和绝缘体之间的物质。如硅、锗、硒、砷化镓以及大多数金属氧化物和硫化物等。

半导体的导电能力受各种影响，主要特性有：

(1) 热敏性。有些半导体对温度的反应特别灵敏，当温度升高时，电阻率就会下降，导电能力要增强很多。例如，纯锗温度每升高 10°C 它的电阻率就会减少到原来的一半左右。利用这种特性就可以做成各种热敏元件。

(2) 光敏性。有些半导体受到光照时，它的导电能力变得很强，当无光照时，又变得像绝缘体那样不导电。例如，硫化镉在没有光照时，电阻高达几十兆欧；受到光照时，电阻可降到几十千欧。利用半导体的这种特性可以制成各种光电元件。

(3) 掺杂性。在纯净的半导体中掺入微量的某种杂质后，它的导电能力就可增加几十万甚至几百万倍。例如，在纯净的硅中掺入百万分之一的硼后，硅的电阻率从大约 $2 \times 10^3 \Omega \cdot \text{m}$ 减小到 $4 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{m}$ 。利用这种特性可以制成不同用途的半导体器件，如半导体二极管、三极管、场效应管和晶闸管等。

纯净的半导体（本征半导体）掺入微量元素后就成为杂质半导体，它的导电能力大大增强。根据掺入杂质的不同，杂质半导体主要分为 P 型半导体和 N 型半导体。P 型或 N 型半导体的导电能力虽然很强，但并不能直接用来制造半导体。

PN 结是构成各种半导体的基础。利用特殊的工艺把一块 P 型半导体和一块 N 型半导体连接到一起后，在它们的交界面就会形成 PN 结。PN 结具有单向导电的特性，即在 PN 结上加正向电压（P 接正极，N 接负极）时，PN 结电阻很低，正向电流很大，相当于一个导通的开关，这时 PN 结处于导通状态。反之，加反向电压（P 接负极，N 接正极）时，PN 结电阻很高，反向电流很低，忽略不计时相当于一个断开的开关，这时 PN 结处于截止状态。

1.2.2 半导体二极管

1. 二极管的结构和符号

将 PN 结加上相应的电极引线和管壳，就成为半导体二极管。图 1-2 (a) 所示为一些常见二极管的外形图，图 1-2 (b) 所示为二极管的图形符号，其中 P 区引出的电极叫阳极，从 N 区引出的电极叫阴极。按结构分，二极管有点接触型和面接触型两类。点接触型二极管的特点是 PN 结的面积小，因此管子中不允许通过较大的电流，但其高频性能好，适用于高频和小功率的工作。面接触二极管由于 PN 结的面积大，故允许流过较大的电流，但只能在较低频率下工作，可用于整流电路。根据材料的不同，二极管又分为硅二极管和锗二极管。

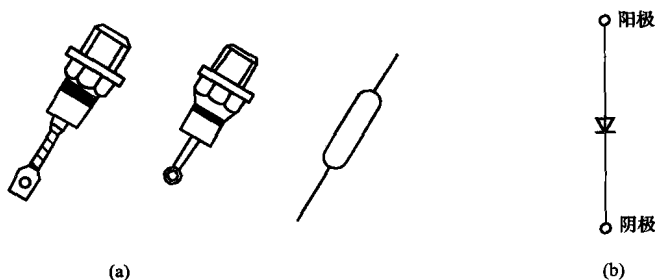


图 1-2 二极管的外形和符号

(a) 外形; (b) 符号

2. 二极管的伏安特性

二极管最主要的特性是单向导电性, 下面我们通过伏安特性曲线来说明。二极管两端的电压 U 与流过二极管中的电流 I 之间的关系, 称为二极管的伏安特性。如图 1-3 所示是硅二极管的伏安特性曲线。

(1) 正向特性。当外加正向电压很低时, 二极管的正向电流很小, 几乎为零。当正向电压超过一定数值后, 二极管中的电流增长很快, 这个定值称为死区电压 U_T , 其大小与材料及环境温度有关。通常, 硅管的死区电压约为 0.5V , 锗管的死区电压约为 0.2V 。管子导通后, 当正向电流在较大范围内变化时, 管子上的电压降却变化很小, 我们把这个电压称为管子的导通压降 U_F , 硅管约为 0.7V , 锗管约为 0.3V 。从伏安特性曲线来看, 硅二极管比锗二极管的要陡。

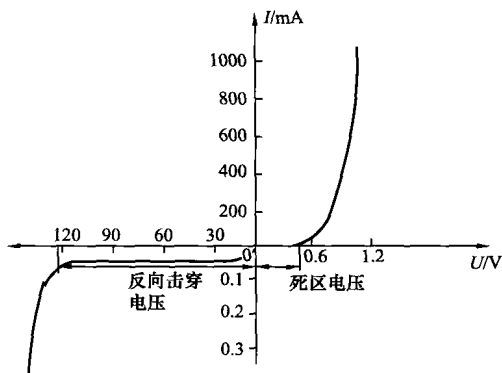


图 1-3 二极管的伏安特性

(2) 反向特性。在二极管上加反向电压时, 只有很小的反向电流流过二极管。它的反向电流有两个特点, 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范围时, 反向电流的大小基本不变, 而与反向电压的高低无关, 故通常称它为反向饱和电流。反向饱和电流是衡量二极管质量优劣的重要参数, 其值越小, 二极管的质量越好, 一般硅管的反向电流要比锗管的反向电流要小得多。当外加反向电压过高时, 超过 U_{BR} 以后, 反向电流将急剧增大, 这种现象称为反向击穿, U_{BR} 称为反向击穿电压。二极管击穿以后, 不再具有单向导电性。

必须说明一点, 发生击穿并不意味着二极管一定被损坏。实际上, 当反向击穿时, 只要控制反向电流的数值不过大而使二极管过热烧坏, 则当反向电压降低时, 二极管的性能就可以恢复正常。如果二极管的反向电压超过反向击穿电压后, 没有采取适当的限流措施, 二极管会因电流大、电压高、管子过热而造成永久性的损坏, 称为热击穿。

3. 二极管的主要参数

电子器件的参数是其特性的定量描述,也是实际工作中根据要求选用器件的主要依据。二极管的主要参数有以下几个:

(1) 最大整流电流 I_F 。指二极管长期运行时,允许通过管子的最大正向平均电流。 I_F 的数值是由二极管允许的温升所限定的。使用时,管子的平均电流不得超过此值,否则可能使二极管过热而损坏。

(2) 最高反向工作电压 U_{RM} 。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。为了留有余地,通常将击穿电压 U_{BR} 的一半定为 U_{RM} 。

(3) 反向电流 I_R 。指二极管未被击穿时反向电流值。 I_R 越小,说明二极管的单向导电性越好。 I_R 对温度敏感,使用时要注意环境温度不要太高。

1.2.3 特殊二极管

1. 稳压二极管

稳压管是一种特殊的面接触型半导体硅二极管,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,其伏安特性及符号如图 1-4 所示。稳压管工

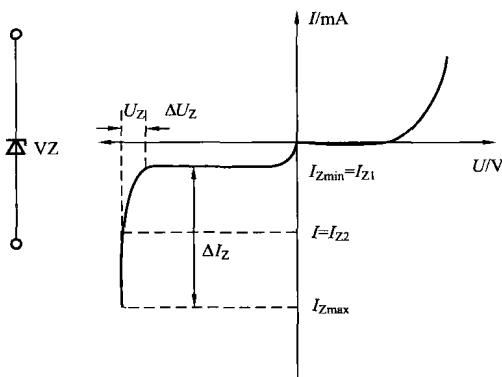


图 1-4 硅稳压管符号和伏安特性

作于反向击穿区。从反向特性上可以看出,反向电压在一定范围内变化时,反向电流很小。当反向电压增高到击穿电压时,反向电流突然剧增,稳压管反向击穿以后,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。利用这一特性,稳压管在电路中能起稳压作用。稳压管与一般二极管不一样,它的反向击穿是可逆的。当去掉反向电压之后,稳压管又恢复正常。但是,若反向电流超过允许范围,稳压管将会发生热击穿而损坏。

稳压管的主要参数有:

(1) 稳定电压 U_Z 。稳定电压是指稳压管在正常工作下管子两端的电压。元器件手册中所列的稳定电压都是在一定条件(工作电流、温度)下的数值,即使是同一型号稳压管,由于工艺方面或其他方面的原因,稳压值也有一定的分散性。

(2) 动态电阻 r_Z 。动态电阻是指稳压管工作在反向击穿稳压区时,端电压的变化量与相应电流变化量之比即 $r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$ 。稳压管的反向伏安特性曲线愈陡,则动态电阻愈小,稳压性能也就愈好。

(3) 稳定电流 I_Z 。稳压管的稳定电流值是一个参考数值,若工作电流低于 I_Z ,则管子的稳压性能变差。

(4) 最大允许耗散功率 P_{ZM} 。管子不致发生热击穿的最大功率损耗 $P_{ZM} = U_Z I_{Zmax}$ 。

稳压管的应用很广泛,常用来组成限幅电路,即限定输出电压的幅度。例如,在图 1-5 所示的电路中,稳压管的稳压值 $U_Z=7\text{V}$ 。

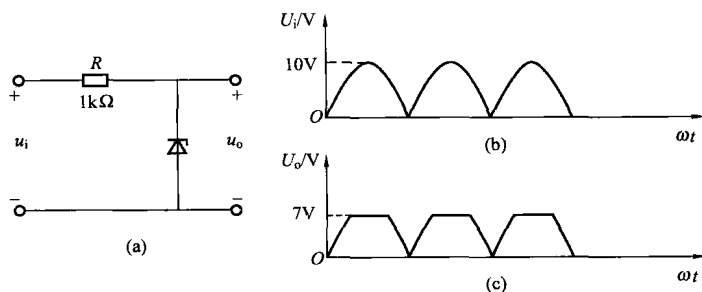


图 1-5 稳压管限幅电路

(a) 电路图; (b)、(c) 波形图

2. 发光二极管

发光二极管是一种将电能转换成光能的特殊二极管,简写成 LED,发光二极管正向偏置并达到一定电流时就会发光。通常工作电流 I_F 为 $10\sim 30\text{mA}$ 时,正向压降 U_F 大约为 $2\sim 3\text{V}$ 。发光二极管的发光颜色有红色、绿色、黄色等。通常管脚引线较长的为正极,较短的为负极。当管壳上有凸起的标志时,靠近标志的管脚为正极。发光二极管的外形和符号如图 1-6 所示。

使用发光二极管时也要串入限流电阻,避免流过的电流太大。改变其大小,还可改变发光的亮度。图 1-7 所示是常用的驱动电路。限流电阻 R 的计算公式为

$$R = \frac{U - U_F}{I_F} \quad (1-1)$$

式中 U_F ——LED 的正向电压,约为 2V ;

I_F ——正向工作电流,可从产品手册中查得。

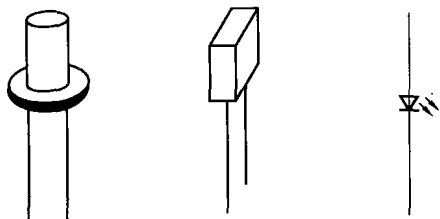


图 1-6 发光二极管的外形和符号

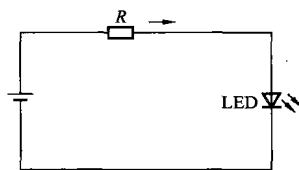


图 1-7 常用的驱动电路

目前有一种 BTV 系列的电压型发光二极管,它将限流电阻集成在管壳内,与发光二极管串联后引出两个电极,外观与普通发光二极管相同,使用更为方便。

发光二极管用途也很广泛,常用作微型计算机、音响设备、数控装置中的显示器。作为显示器件,它具有体积小、显示快、光度强、寿命长等优点,缺点是功率消耗较大。

1.2.4 二极管使用注意事项

二极管使用时注意事项如下:

(1) 加在二极管上的电压、电流、功率以及环境温度等都不应超过规范表所允许的极限值。

(2) 整流二极管不应直接串联或并联使用。需要串联时,每个二极管应并联一个均压电阻,其大小按 100V (峰值) $70\text{k}\Omega$ 左右计算。若需并联使用时每个二极管应串联 10Ω 左右的均流电阻,以免个别元件过载。

(3) 二极管在容性负载线路中工作时,额定整流电流值应降低 20% 使用。

(4) 二极管在三相线路中使用时,所加的交流电压须比相应的单相线路中低 20% 。

(5) 在焊接二极管时最好用 45W 以下的电烙铁进行,并用镊子夹住引线根部,以免烫坏管芯。

(6) 二极管的引线弯曲处一般应大于外壳端面 2.5mm ,以免引线折断或外壳断裂。

(7) 对于功率较大,需要附加散热器时,应按要求加装散热器并使之良好接触。

(8) 在安装时,二极管应尽量避免靠近发热元件。

1.2.5 二极管的判别

要了解一只二极管的类型、性能与参数,可用专门的测试仪器进行测试,但要粗略判断一只二极管的类型和管脚,可通过二极管的型号简单判别其类型,用万用表欧姆挡判断其管脚及质量好坏。

1. 二极管类型的判别

二极管的型号 2AP9 的名称含义如下:

2——二极管;

A——器件的材料 (A 为 N 型 Ge, B 为 P 型 Ge, C 为 N 型 Si, D 为 P 型 Ge);

P——器件的类型 (P 为普通管, Z 为整流管, K 为开关管);

9——同类器件的不同规格。

2. 二极管的简易测试

(1) 二极管正、负极判别。万用表欧姆挡的黑表笔表示为内置电源正极,红表笔为内置电源负极,等效电路如图 1-8 所示。将万用表选在 $R\times 100$ 或 $R\times 1\text{k}$ 挡,红、黑两表笔分别接二极管两管脚,如图 1-9 所示,可测得一个阻值,再将红、黑表笔对调,又测得另一阻值,如果两次测量的阻值为一大一小,则表明二极管是好的。在测得电阻值小的那一次中,与黑表笔相接的管脚为二极管的正极,二极管正向导通;在测得电阻值大的那一次中,与红表笔相接的管脚为二极管的正极,二极管反向截止。

(2) 二极管质量判定。正、反电阻差别越大,说明二极管单向导电性越好。如果正、反向电阻都很大,表明管子内部已断路;如果正、反向电阻都很小,表明管子失去了单向导电性内部已短路,不论是断路还是短路均表明二极管已损坏。一般正向电阻在几千欧以下,反向电阻在 $200\text{k}\Omega$ 以上为好。

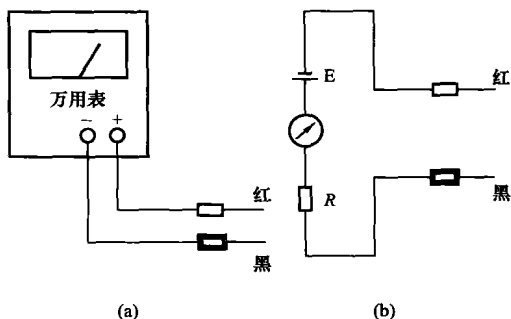


图 1-8 万用表及其欧姆挡内部等效电路

(a) 万用表；(b) 欧姆挡内部等效电路

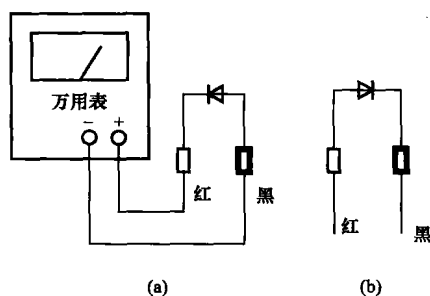


图 1-9 万用表测试二极管正负极

(a) 电阻小；(b) 电阻大

1.2.6 单相半波整流电路

1. 工作原理

单相半波整流电路如图 1-10 (a) 所示，图中 u_1 、 u_2 分别表示变压器的一次侧和二次侧交流电压， R_L 为负载电阻。变压器二次侧电压 u_2 、输出电压 u_O 、流过二极管的电流 i_D 和二极管两端电压 u_D ，如图 1-10 (b) 所示。

设 $u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t$ V，其中 U_2 为变压器二次侧电压有效值。在 $0 \sim \pi$ 时间内，即在 u_2 的正半周内，二极管因承受正向电压而导通，此时有电流流过负载，并且和流过二极管的电流相等，即 $i_O = i_D$ ，忽略二极管上的电压降则负载上的输出电压 $u_O = u_2$ ，其波形与 u_2 相同。

在 $\pi \sim 2\pi$ 时间内，即在 u_2 的负半周内，二极管因承受反向电压而截止，负载无电流流过，故负载电阻 R_L 上无电压，即输出电压 $u_O = 0$ ，此时 u_2 电压全部加在二极管上。

可见，在交流电源的一个周期内，只有半个周期内有电流流过负载，负载上得到的整流电压虽然是单方向的，但其大小是变化的，称为单向脉动电压，常用一个周期的平均值来说明它的大小。

2. 单相半波整流电路的指标

单相半波整流电路的输出电压为

$$u_O = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t \quad (V) \quad 0 \leq \omega t \leq \pi$$

$$u_O = 0 \quad \pi \leq \omega t \leq 2\pi$$

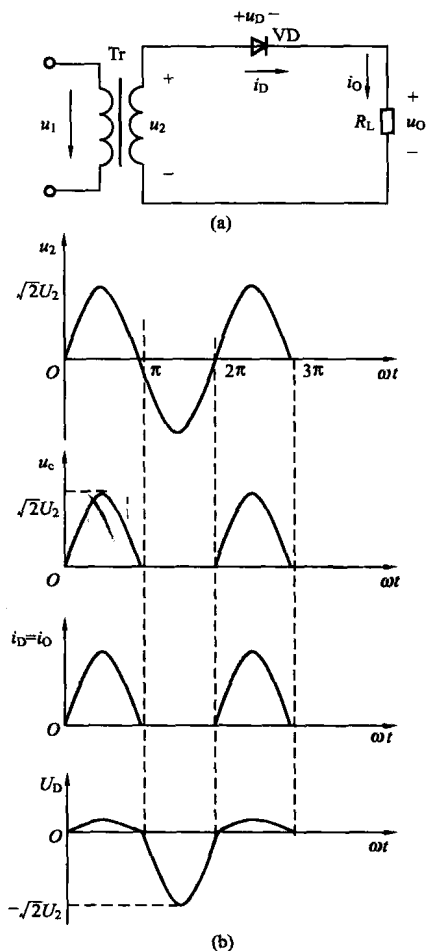


图 1-10 单相半波整流电路及波形

(a) 电路图；(b) 波形图

输出电压的平均值 U_O 为

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

流过二极管的平均电流 I_D 为

$$I_D = I_O = \frac{U_O}{R_E} = 0.45 \frac{U_2}{R_L} \quad (1-3)$$

在单相半波整流电路中, 流过二极管的平均电流等于负载平均电流, 二极管不导通时承受的最高反向电压 U_{RM} 就是变压器二次侧交流电压的最大值, 即

$$U_{RM} = \sqrt{2}U_2 \quad (1-4)$$

单相半波整流电路结构简单, 使用的元器件少, 但变压器的利用率和整流效率低, 输出电压脉动大, 因此单相半波整流电路只适合于小电流且对电源要求不高的场合。

1.2.7 单相桥式整流电路

1. 单相桥式整流电路的工作原理

桥式整流电路如图 1-11 所示, 将四只二极管接成电桥形式, 整流波形也是全波, 因此称为桥式全波整流电路, 简称桥式整流电路, 其波形如图 1-12 所示。

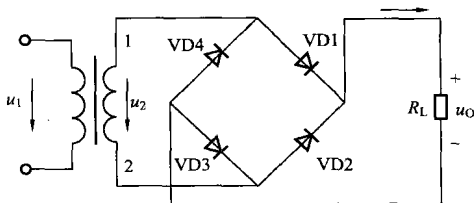


图 1-11 单相桥式整流电路

在 u_2 的正半周, 1 点为正、2 点为负。由于 VD1 的正极接到最高电位 1 点上, VD3 的负极接到最低电位 2 点上, 因此 VD1、VD3 因正偏而导通。电流路径是 $1 \rightarrow \text{VD1} \rightarrow R_L \rightarrow \text{VD3} \rightarrow 2$, 电流以自上而下的方向流过负载电阻 R_L 。此时, 由于 VD2 的正极接到最低电位上, VD4 的负极接到最高电位上, 因此 VD2、VD4 因反偏而截止。

在 u_2 的负半周, 1 点为负、2 点为正。VD2、VD4 正向导通, 而 VD1、VD3 反向截止。电流路径为: $2 \rightarrow \text{VD2} \rightarrow R_L \rightarrow \text{VD4} \rightarrow 1$, 电流也是自上而下地流过 R_L 。

2. 单相桥式整流电路的指标

单相桥式整流电路输出电压的平均值 U_O 为

$$U_O = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} u_O d(\omega t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2}U_2 \sin(\omega t) d(\omega t) \approx 0.9U_2 \quad (1-5)$$

显然, 四个二极管两两轮流导通, 无论是正半周还是负半周都有电流至上而下流过负载电阻, 从而使输出电压的直流成分提高, 脉动成分降低。桥式整流的 U_O 提高了, 脉动减小了。

流过每个二极管的电流平均值为负载平均电流的一半, 即

$$I_{D1} = I_{D2} = \frac{1}{2}I_O = \frac{1}{2} \times \frac{U_O}{R_L} \quad (1-6)$$

从图 1-11 可以看出, 当 VD1、VD3 导通时, 若忽略二极管的正向压降, 截止管 VD2 和 VD4 的负极电位就等于 1 点的高电位, 它们的正极电位就等于 2 点的低电位, 因