



例说

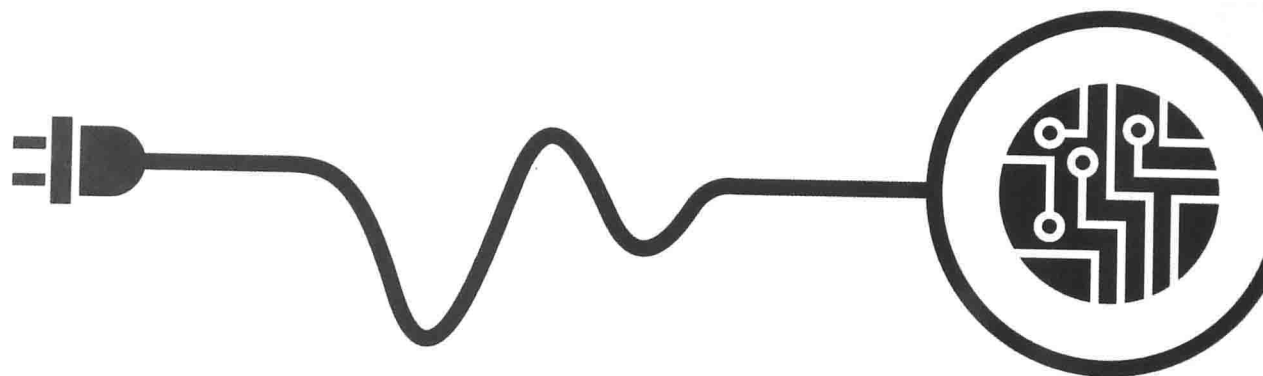
LISHUO
DIANZI JISHU

电子技术

武玉升 张 斌 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



LISHUO
DIANZI JISHU

例说电子技术

主 编 武玉升 张 斌
副主编 刘春霞 刘 霞
参 编 武心庆 隋美娥
编 审 郝 红



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、扩音器设计与制作;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、循环彩灯控制电路设计与制作、数字电子钟设计与制作。教材最后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,也可供广大工程技术人员学习和参考,还适合于电子技术爱好者自学使用。

图书在版编目(CIP)数据

例说电子技术/武玉升,张斌主编. —北京:中国电力出版社,2015.2

ISBN 978-7-5123-7006-7

I. ①例… II. ①武…②张… III. ①电子技术 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 309870 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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 2 月第一版 2015 年 2 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 11.25 印张 270 千字
印数 0001—3000 册 定价 28.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
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

前言

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，结合高等职业教育的发展特点及学生状况，我们深入开展了基于“项目导向、任务驱动”教学模式的教学改革，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。

本书以电子技术制作实例为基础，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，注重综合应用能力和基本技能的培养，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训项目中，将重点放在器件的外部特性和使用上，使教材重点突出、概念清楚、实用性强。

本书分为9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：直流稳压电源制作实例、晶体管放大器制作实例、函数信号发生器制作实例、扩音器制作实例；数字电路项目包括：三人表决器制作实例、智力竞赛抢答器制作实例、循环彩灯控制器制作实例、数字电子钟制作实例。教材最后安排了电子技术课程设计实例，用两个典型的综合设计项目，体现了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，都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张斌任主编，青岛港湾职业技术学院刘春霞、刘霞任副主编，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。其中武玉升编写项目一、四、七、八和附录A，张斌编写项目二、六，刘春霞编写项目三，刘霞编写项目五和附录C，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。

本书由青岛港湾职业技术学院郝红担任主审，郝红老师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，加之时间仓促，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

2015年1月

目 录

前言

项目一	直流稳压电源制作实例	1
	任务一 认识半导体二极管	1
	任务二 整流滤波电路制作实例	6
	任务三 稳压电路制作实例	12
	任务四 固定输出直流稳压电源制作实例	14
	任务五 可调输出直流稳压电源制作实例	16
	小结	17
	练习题	18
项目二	晶体管放大器制作实例	20
	任务一 认识半导体三极管	20
	任务二 共发射极放大器制作实例	27
	任务三 共集电极放大器制作实例	39
	小结	43
	练习题	43
项目三	函数信号发生器制作实例	47
	任务一 认识集成运算放大器	47
	任务二 集成运放信号运算放大电路制作实例	52
	任务三 集成运放电压比较器制作实例	55
	任务四 RC 正弦波振荡器制作实例	56
	小结	59
	练习题	60
项目四	扩音器制作实例	63
	任务一 OCL 功率放大器制作实例	63
	任务二 OTL 功率放大器制作实例	68
	任务三 扩音器制作实例	71
	小结	73
	练习题	73
项目五	三人表决器制作实例	76

任务一	用逻辑门电路制作表决器实例	76
任务二	用 74LS138 译码器制作表决器实例	94
任务三	用 74LS151 数据选择器制作表决器实例	98
小结	.....	100
练习题	.....	101
项目六	智力竞赛抢答器制作实例	103
任务一	用逻辑门电路制作抢答器实例	103
任务二	用 JK 触发器制作抢答器实例	107
任务三	用八 D 锁存器 74LS373 制作抢答器实例	111
小结	.....	113
练习题	.....	113
项目七	循环彩灯控制器制作实例	115
任务一	用 555 定时器制作防盗报警器实例	115
任务二	用移位寄存器 74LS194 制作彩灯控制电路实例	120
小结	.....	128
练习题	.....	128
项目八	数字电子钟制作实例	132
任务一	译码显示电路制作实例	132
任务二	计数器电路制作实例	134
任务三	秒脉冲产生电路制作实例	142
任务四	校时电路制作实例	143
任务五	用中规模数字集成电路制作数字电子钟实例	143
小结	.....	145
练习题	.....	145
项目九	电子技术课程设计实例	147
任务一	电子节能镇流器制作实例	147
任务二	交通信号灯控制器制作实例	151
附录 A	电子电路仿真软件 EWB5.12 介绍	155
附录 B	常用国产半导体管主要参数	161
附录 C	常用集成电路引脚图	164
附录 D	晶闸管及其应用电路	166
参考文献	.....	172



直流稳压电源制作实例

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、滤波和稳压后获得的。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。

项目要求：

利用三端集成稳压器制作一个固定输出为 15V 的直流稳压电源和一个输出可调的直流稳压电源，要求输出电压稳定，最大输出电流为 1A，且电路能带动一定的负载。

任务一 认识半导体二极管

如果我们打开个人台式电脑的主机箱、收音机等家用电器的后盖，就会看到各种各样的电子元器件安装在不同的电路板上，正是有了由这些电子元器件组成的各种功能电路，才能保证这些电子产品的正常工作。学习电子技术，首先应该学会对这些电子元器件进行选择、检测和质量判别。电子电路中主要包括以下元器件：电阻器、电容器、电感器，还有二极管、晶体管等。电阻器、电容器和电感器是在电工学中学习的常见电子元件，在本项目中，我们首先认识半导体二极管。

1.1.1 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因素的影响，其主要特性有：

(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，导电能力会增强很多。例如，纯锗温度每升高 10°C 它的电阻率就会下降到原来的一半左右。利用半导体的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，它的导电能力会变得很强，当无光照时，又会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做成各种光电元件。

(3) 掺杂性。在纯净的半导体中掺入微量的某种杂质后，它的导电能力就可以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 $2 \times 10^3 \Omega \cdot \text{m}$ 减少到 $4 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{m}$ 。利用半导体的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、场效应晶体管和晶闸管等。

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，它的导电能力将大大增强。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，但不能直接用来制造半导体器件。

PN 结是构成各种半导体器件的基础。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，N 接负）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，N 接正）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。

1.1.2 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 and 管壳，就成为半导体二极管。图 1-1(a) 为一些常见二极管的外形图。图 1-1(b) 为半导体二极管的基本结构图，其核心部分是由 P 型半导体和 N 型半导体结合而成的 PN 结，从 P 区和 N 区各引出一个电极，并在外面加管壳封装。图 1-1(c) 是二极管的图形符号，其中从 P 区引出的电极叫阳极（正极），从 N 区引出的电极叫阴极（负极），箭头的方向表示正向电流的方向，VD 是二极管的文字符号。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场合的工作。面接触二极管由于 PN 结结面积大，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。

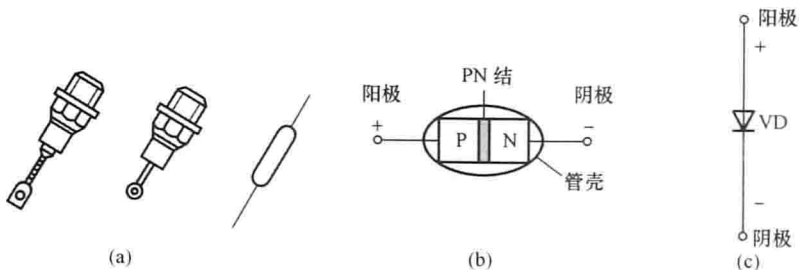


图 1-1 二极管的外形、结构和符号

(a) 外形；(b) 结构；(c) 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。图 1-2 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_{th} ，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。硅二极管的伏安特性曲线比锗二极管的要陡。

(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 ($I \approx -I_S$) 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,二极管的质量就越好,一般硅管的反向电流要比锗管的反向电流要小得多。

(3) 反向击穿特性。当外加反向电压过高,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。二极管击穿以后便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从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,二极管会因电流过大、电压过高、管子过热而造成永久性的损坏,称为热击穿。

3. 二极管的温度特性

二极管是对温度非常敏感的器件。随温度升高,二极管的正向压降减小,正向伏安特性曲线左移,即二极管的正向压降具有负的温度系数(约为 $-2\text{mV}/^\circ\text{C}$);温度升高,反向饱和电流会增大,反向伏安特性曲线下移,温度每升高 10°C ,反向电流大约增加一倍。

4. 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 。它是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_S 。它是指二极管未被击穿时的反向电流值。 I_S 越小,说明二极管的单向导电性越好。 I_S 对温度较敏感,使用时要注意使环境温度不要太高。

1.1.3 特殊二极管

1. 稳压二极管

稳压二极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到稳定电压的作用,故又称为稳压管,其伏安特性及符号如图 1-3 所示。稳压管工作于反向击穿区。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。当反向电压升高到击穿电压时,反向电流剧增,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到稳压作用。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,稳压管又恢复正常工作。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以下几个:

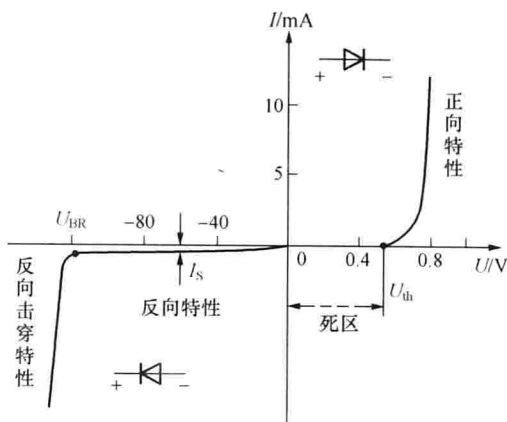


图 1-2 二极管的伏安特性曲线

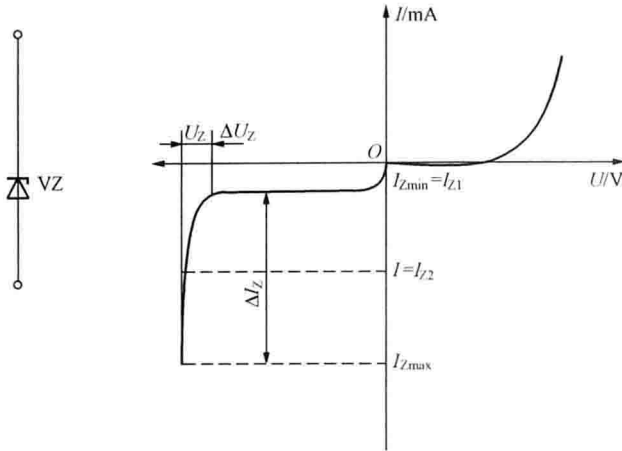


图 1-3 硅稳压管符号和伏安特性

(1) 稳定电压 U_Z 。它是稳压管在正常工作下管子两端的电压。手册中所列的都是在一定条件（工作电流、温度）下的数值，即使是同一型号稳压管，由于制作工艺和其他原因，其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越陡，则其动态电阻越小，稳压性能也就越好。

(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} 。它是指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。如图 1-4 所示的电路中，稳压管的稳压值 $U_Z = 7V$ 。

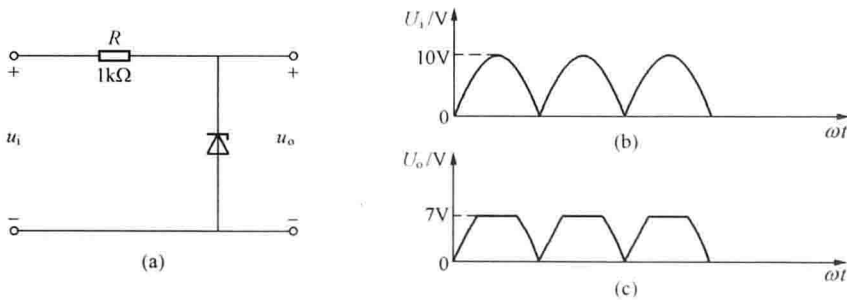


图 1-4 稳压管限幅电路

2. 发光二极管

发光二极管是一种能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 $10 \sim 30mA$ 时，正向压降 U_F 大约为 $2 \sim 3V$ 。发光二极管的发光颜色有红色、绿色、黄色等。通常其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 1-5 所示。

使用发光二极管时也要串入限流电阻，避免流过的电流过大。改变其大小，还可以改变发光的亮度。图 1-6 所示是常用的驱动电路。限流电阻 R 可按下式计算：

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

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。

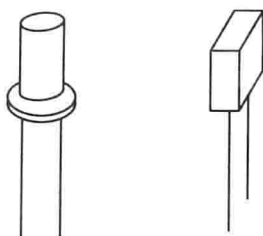


图 1-5 发光二极管的外形和符号

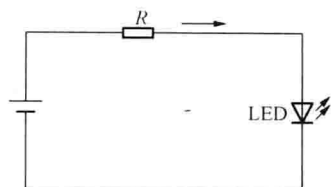


图 1-6 LED 的驱动电路

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，但使用更为方便。

发光二极管的用途也很广泛，常用作微型计算机、音响设备、数控装置中的显示器件。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。

1.1.4 二极管使用注意事项

二极管使用时的注意事项如下：

(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）70kΩ 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降低 20%。

(5) 在焊接二极管时最好用功率在 45W 以下的电烙铁进行焊接，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，防止引线折断或外壳断裂。

(7) 当功率较大，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。

1.1.5 二极管的判别

要了解一只二极管的类型、性能与参数，可以用专门的测试仪器进行测试，但如果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，用指针万用表欧姆挡判断其管脚及质量好坏，也可以用数字万用表的二极管测试挡测试二极管。

1. 二极管类型的判别

二极管的型号 2AP9 的名称含义如下：

2——代表二极管；

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

P——代表器件的类型（P 为普通管，Z 为整流管，K 为开关管）；

9——用数字代表同类器件的不同规格。

2. 用指针万用表测试二极管

(1) 二极管正、负极判别。指针万用表欧姆挡的黑表笔为内置电源正极，红表笔为内置

电源负极，等效电路如图 1-7 所示。将万用表选在 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡，红、黑两表笔分别接二极管的两管脚，如图 1-8 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，测试时二极管正向导通；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，测试时二极管反向截止。

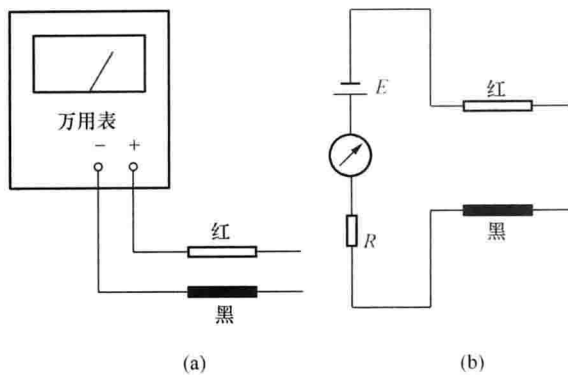


图 1-7 万用表及其欧姆挡内部等效电路
(a) 万用表；(b) 欧姆挡内部等效电路

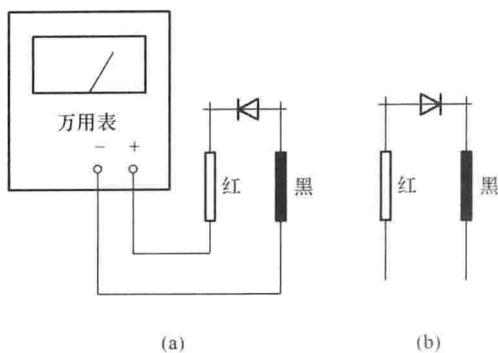


图 1-8 万用表测试二极管正负极
(a) 电阻小；(b) 电阻大

(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 $200k\Omega$ 以上为好。

3. 用数字万用表测试二极管

数字万用表红表笔为内置电源正极，黑表笔为内置电源负极。在测试二极管时，选用数字万用表上标有二极管符号的挡位。当 PN 结完好且正偏时，显示值为 PN 结两端的正向压降 (V)。反偏时，显示 |。

任务二 整流滤波电路制作实例

很多电子设备都需要稳定的直流稳压电源供电，直流稳压电源可以由直流发电机和各种电池提供，比较经济实用的办法是利用具有单向导电性的电子元件将使用广泛的工频正弦交流电转换为直流电。直流稳压电源还是一种当电网的电压波动或者负载改变的时候，能保持输出电压基本不变的电源电路。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，把正弦交流电转换为直流电的稳压电源的原理框图如图 1-9 所示。

图 1-9 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的直流电源的电压幅值却各不相同。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，将正负交替变化的正弦交流电压变换成单方向脉动的直流电压。但是，这种单向脉动电压往往包含着很大的脉动

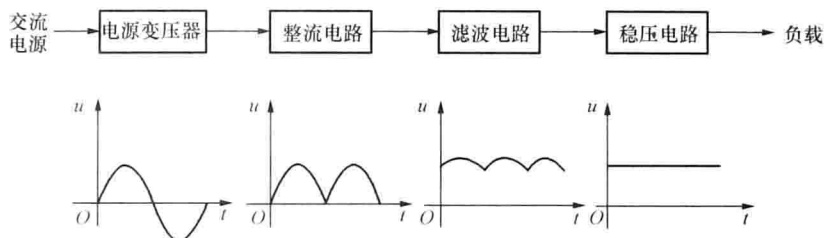


图 1-9 直流稳压电源的组成原理框图

成分。

(3) 滤波电路。它是由电容、电感等储能元件组成，它的作用是尽可能地将单向脉动直流电压中的脉动部分（交流分量）减小，使输出电压成为比较平滑的直流电压。

(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，维持输出直流电压的稳定。在对直流电压的稳定程度要求不高的场合，也可以不要稳压电路。

1.2.1 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的交流电压， 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 的波形图如图 1-10(b) 所示。

设 $u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t \text{V}$ ，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 $u_O = 0$ ，此时电压 u_2 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，通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

$$\begin{cases} u_O = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t \text{V}, & 0 \leq \omega t \leq \pi \\ u_O = 0, & \pi \leq \omega t \leq 2\pi \end{cases}$$

输出电压的平均值 U_O 为

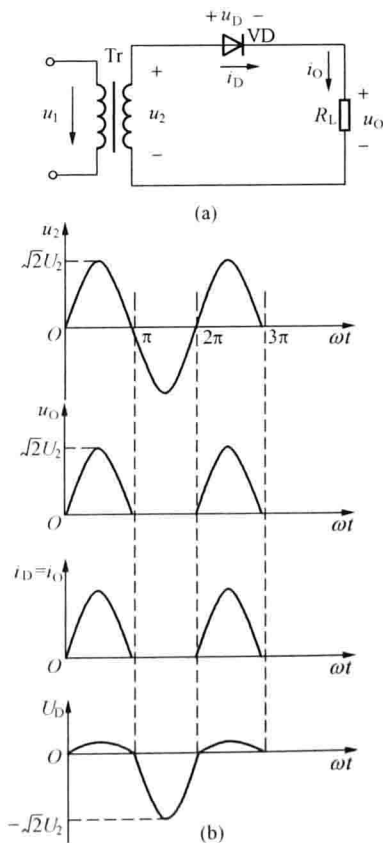


图 1-10 单相半波整流电路及波形
(a) 电路图；(b) 波形图

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

流过二极管的平均电流 I_D 为

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

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较低，输出电压脉动较大，所以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。

1.2.2 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，整流输出波形是全波，所以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。

在 u_2 的正半周，a 点为正、b 点为负。由于 VD1 的正极接到最高电位 a 点上，VD3 的负极接到最低电位 b 点上，所以 VD1、VD3 因正偏而导通。电流路径是 $a \rightarrow \text{VD1} \rightarrow R_L \rightarrow \text{VD3} \rightarrow b$ ，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，所以 VD2、VD4 因反偏而截止。

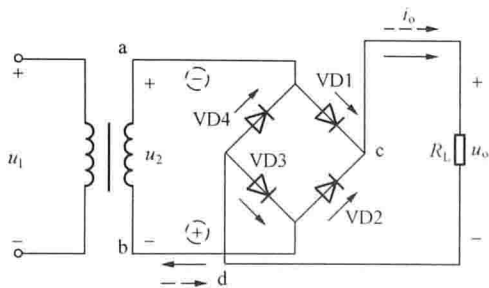


图 1-11 单相桥式整流电路

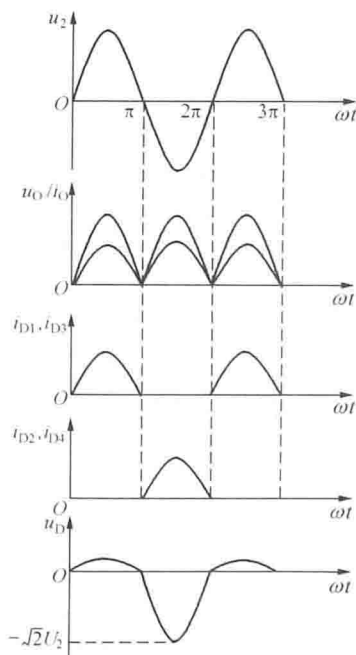


图 1-12 单相桥式整流波形图

在 u_2 的负半周，a 点为负、b 点为正。VD2、VD4 正向导通，而 VD1、VD3 反向截止。电流路径为： $b \rightarrow \text{VD2} \rightarrow R_L \rightarrow \text{VD4} \rightarrow a$ ，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，四个二极管两轮流导通，无论是正半周还是负半周都有电流自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。桥式整流使输出电压 U_O 增大了，

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：

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

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 a 点的高电位，它们的正极电位就等于 b 点的低电位，所以截止管所承受的最大反向电压就是 u_2 的幅值，即

$$U_{RM} = \sqrt{2} U_2 \quad (1-7)$$

【例 1-1】 有一单相桥式整流电路，要求输出直流电压为 110V，电流为 3A，应选择多大的整流元件？

解 根据桥式整流电路整流电压 U_O 与变压器二次侧电压 U_2 的关系： $U_O \approx 0.9U_2$ 得

$$U_2 = \frac{U_O}{0.9} = \frac{110}{0.9} \approx 122 \text{ (V)}$$

整流二极管截止时承受的最大反向电压 U_{RM} 为

$$U_{RM} = \sqrt{2} U_2 = \sqrt{2} \times 122 \approx 172.5 \text{ (V)}$$

通过二极管的平均电流为

$$I_D = \frac{1}{2} I_O = \frac{1}{2} \times 3 = 1.5 \text{ (A)}$$

因此，可选用二极管 2CZ12D，其最大整流电流为 3A，最大反向工作电压为 300V。

【例 1-2】 已知负载电阻 $R_L = 120\Omega$ ，负载电压 $U_O = 18\text{V}$ 。今采用单相桥式整流电路，单相交流电源电压为 220V。(1) 如何选用二极管？(2) 求整流变压器的变比及（视在）功率容量。

解

(1) 选择二极管：

$$1) \text{ 负载电流为 } I_O = \frac{U_O}{R_L} = \frac{18}{120} = 150 \text{ (mA)}$$

$$2) \text{ 每只二极管通过的平均电流为 } I_D = \frac{1}{2} I_O = \frac{1}{2} \times 150 = 75 \text{ (mA)}$$

$$3) \text{ 变压器二次侧电压的有效值为 } U_2 = \frac{U_O}{0.9} = \frac{18}{0.9} = 20 \text{ (V)}$$

考虑到变压器二次侧及管子上的压降，变压器的二次侧电压大约应高出 20%，即

$$U_2 = 20 \times 1.2 = 24 \text{ (V)}$$

于是

$$U_{RM} = \sqrt{2} U_2 = \sqrt{2} \times 24 \approx 34 \text{ (V)}$$

因此可选用 2CP11 二极管，其最大整流电流为 100mA，最高反向工作电压为 50V。

(2) 变压器的变比

$$k = \frac{220}{24}$$

变压器二次侧电流的有效值为

$$I_2 = \frac{I_O}{0.9} = \frac{150}{0.9} \approx 167 \text{ (mA)}$$

变压器的容量为

$$S = U_2 \times I_2 = 24 \times 0.167 \approx 4 \text{ (VA)}$$

1.2.3 电容滤波电路

由整流得到的输出电压，虽然是直流，但脉动较大，含有很大的交流成分，这在对电压要求比较高的仪器设备中会带来严重的不良影响。为此，在整流以后还需要用滤波电路将脉动的直流电变为比较平稳的直流电。常用的滤波电路有电容滤波电路、电感滤波电路、LC滤波电路和 π 型滤波电路。

电容滤波电路是最常见的，也是最简单的滤波电路，在整流电路的输出端（即负载电阻两端）并联一个电容即构成电容滤波电路，如图 1-13 所示。滤波电容容量较大，因此一般采用电解电容，在接线时要注意电解电容的正、负极。电容滤波电路利用电容的充、放电作用，使输出电压趋于平稳。

1. 电容滤波电路的工作原理

在如图 1-13 (a) 所示的桥式整流滤波电路中，假定起始电容电压 u_C （即 R_L 两端电压 u_O ）为零，且 u_2 从零开始，则 u_2 上升，VD1, VD3 导通，开始给电容充电。由于二极管导通，正向电阻很小，所以充电时间常数很小，电容电压上升速度很快，可完全跟上 u_2 的上升速度，所以随 u_2 一起上升，如图 1-13 (b) 中 OA 段所示。 u_2 从 A 点开始下降，电容 C 通过 R_L 开始放电，因为 R_L 较大，使放电常数 $R_L C$ 很大，故放电很慢，电容电压 u_C 下降速度比 u_2 慢，使输出电压 u_O 高于 u_2 ，四个整流管都反向截止。从 B 点所对应的时刻开始， u_2 大于 u_O ，又开始给电容充电，把在 AB 段时放掉的电荷补上， u_2 达到最大值后电容又开始放电。如此重复进行。

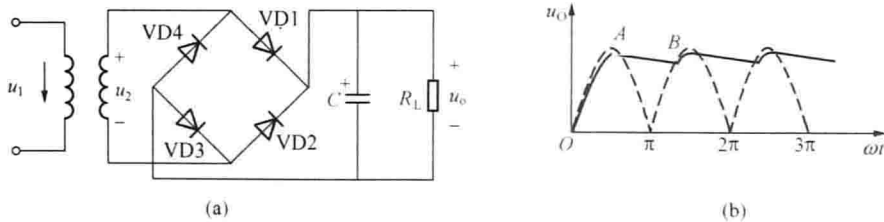


图 1-13 有滤波电容的桥式整流电路及波形图

由图可见，加滤波电容后的桥式整流电路输出电压波形变得比较平滑，这就是滤波电路的作用。

2. 加滤波电容后电路的特点

(1) 二极管导通角变小，而导通时的最大电流变大。二极管导通角就是在一个周期内，二极管导通时间所对应的角度。在未加滤波电容时，桥式整流电路中每只整流管的导通角为 180° ，而加滤波电容后导通角就变得小多了，并且电容越大，导通角越小。由于导通时间变短，在较短的时间内还要把放掉的电荷全部补上，所以电流很大，形成脉冲电流。因此，在有滤波电容的整流电路中，整流管的最大允许平均电流应为 I_D 的 2~3 倍。

(2) 电容滤波电路的外特性。所谓外特性是指输出电压与输出电流的关系，这是整流滤波电路的一项指标。电容滤波电路的外特性如图 1-14 所示。由图可知，该电路输出电压随输出电流的增大而下降很快。这种外特性我们称为软特性。因此，电容滤波只在负载电流不大或变化较小的场合比较适宜。

3. 加滤波电容后的参数计算

(1) 输出电压的计算。

$$U_O = (1.1 \sim 1.4)U_2 \quad (1-6)$$

额定情况下

$$U_O \approx 1.2U_2 \quad (1-7)$$

(2) 滤波电容容量的确定。

$$RC \geq (3 \sim 5) \frac{T}{2} \quad (1-8)$$

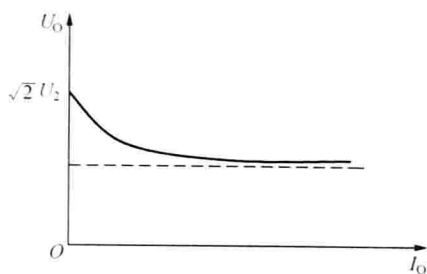


图 1-14 电容滤波电路的外特性

式中: T 为电源交流电压的周期。

(3) 电容耐压值的选定。由图 1-13 知, 加在电容上的最大电压为 $\sqrt{2}U_2$, 选定的电容耐压值应为 $(1.5 \sim 2) \sqrt{2}U_2$ 。

(4) 负载上的平均电流为

$$I_O = \frac{U_O}{R_L} = 1.2 \frac{U_2}{R_L}$$

(5) 整流管的平均电流为

$$I_D = \frac{1}{2} I_O = 0.6 \frac{U_2}{R_L}$$

(6) 整流管承受的最大反向电压为

$$U_{RM} = \sqrt{2}U_2$$

1.2.4 电感滤波电路

在大电流负载情况下, 由于负载电阻 R_L 很小, 若采用电容滤波电路, 则电容容量势必很大, 而且整流二极管的冲击电流也非常大, 这就使得整流管和电容器的选择变得很困难, 甚至不大可能, 在此情况下应当采用电感滤波。

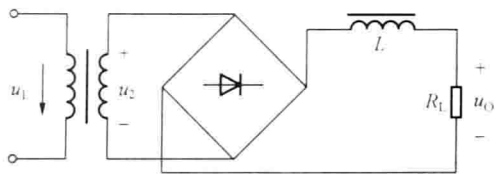


图 1-15 电感滤波电路

在桥式整流电路和负载电阻 R_L 之间串入一个铁心电感线圈 L , 如图 1-15 所示。由于电流变化时电感线圈中要产生自感电动势阻止电流变化, 因此当电流增加时, 电感线圈中自感电动势的方向就与电流方向相反, 限制了电流的增加, 同时将一部分电能转换为场能量; 当电流减小时, 自感电动势方向与电流方向相同, 阻止电流减小, 同时电感线圈放出储存的磁场能量, 使电流减小的速度变慢。因此通过负载的电流脉动受到抑制, 波形大为平滑。

电感滤波电路中, R_L 越小, L 越大, 滤波效果越好, 在电感滤波电路中, 负载电阻 R_L 上的输出电压为

$$U_O = 0.9U_2$$

通过负载电阻 R_L 的电流为

$$I_O = \frac{U_O}{R_L} = 0.45 \frac{U_2}{R_L}$$

二极管承受的反向峰值电压仍为 $\sqrt{2}U_2$ 。

以上说明, 负载电阻 R_L 上的电压、电流、以及二极管上承受的反向电压与电感大小无