



体育电化教学 应用电子技术

主 编 张家正

副主编 姜达维 石文娟



天津科学技术出版社

体育电化教学应用电子技术

主 编 张家正

副主编 姜达维 石文娟



天津科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

体育电化教学应用电子技术/张家正主编. —天津:天津科学技术出版社, 2005
ISBN 7-5308-4047-9

I. 体... II. 张... III. 电子技术-应用-体育-电化教学 IV. G807-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 123551 号

组 织 者:天津体育学院

责任编辑:王 绚

版式设计:雒桂芬 邱 芳

责任印制:张军利

天津科学技术出版社出版

出版人:胡振泰

天津市西康路 35 号 邮编 300051

电话(022)23332393(发行部) 23332390(市场部) 27217980(邮购部)

网址:www.tjkjbs.com.cn

新华书店经销

天津市蓟县宏图印务有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 15.5 字数 370 000

2005 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

定价:30.00 元

前 言

现代电子技术正在日新月异地飞速发展,而现有的适用于电化教学的教材仍然处于 20 世纪 80 年代初期的水平,早已不适合教学需要。在现有的类似教材中,以分立元件为基础的电路分析和设计占用很多学时,而这些知识已被微电子技术的集成电路内部电路设计所“包揽”。对于从事电化教学的教育技术专业的学员来说,需要的知识更多地集中于电子元器件的应用方面,包括各种电子元器件工作的基本原理、电学特性、使用注意事项,对电子设备维护、修理及性能改进等方面的知识。在这个前提下,延用现有教材不仅学时无法满足,也使教学内容过于偏颇。

为使学员在较少的学时下,掌握模拟电路、数字电路知识及单片机应用技术,本教材以晶体管工作原理为切入点,使学员对半导体电路中的主要元器件的工作原理及应用电路有基本的了解,继而依据半导体技术的发展,介绍模拟电路、数字电路及单片机应用方面的基础知识。在教材中,以常用半导体元器件的工作原理、电学参数、基本应用电路及设计等方面的基本知识作为引导内容,能够使学员尽快地进入集成电子元器件的认识与应用过程。

为防止所学理论与实践脱节、出现学不能致用现象,本教材利用近三分之一的学时完成电路实践教学,以加深学员对所学知识的理解及操作技能的培养。本教材中的每一部分中的理论部分都有相应的电路实践课,通过这些电路实践,使学员了解与所讲授理论对应的电路的测试、调试、维修及性能改进等相关知识,从而使他们对电路知识的了解有全面、系统的提高。

目 录

第一部分 模拟电路基础

第一章 晶体管及应用	(1)
第一节 半导体材料与 PN 结	(1)
第二节 晶体二极管与应用电路	(4)
第三节 稳压管与应用电路	(9)
第四节 直流稳压电源	(11)
第二章 晶体三极管及应用电路	(16)
第一节 晶体三极管的工作原理	(16)
第二节 晶体三极管共发射极放大电路	(21)
第三章 场效应晶体管及应用电路	(25)
第一节 结型场效应晶体管	(25)
第二节 绝缘栅型场效应管与应用电路	(31)
第四章 单向可控硅及应用电路	(37)
第一节 单向可控硅及应用电路	(37)
第二节 单结晶体管及应用电路	(43)
第五章 运算放大器工作原理	(51)
第一节 运算放大器	(51)
第二节 运算放大器的应用电路	(56)

第二部分 数字电路基础

第六章 数字量和模拟量	(62)
第一节 数字量和模拟量	(62)
第二节 二进制数字量	(65)



第七章 双极型数字电路	(68)
第一节 与、或、非门电路	(68)
第二节 TTL 数字门电路	(70)
第八章 CMOS 数字电路基础	(76)
第一节 CMOS 反相器	(76)
第二节 CMOS 与非门和或非门电路	(78)
第三节 CMOS 传输门和双向模拟开关	(80)
第四节 三态输出的 CMOS 门电路	(81)
第五节 CMOS 电路的正确使用	(83)
第九章 不同系列数字电路的接口电路	(85)
第一节 TTL 系列驱动 CMOS 系列电路	(85)
第二节 CMOS 系列驱动 TTL 系列电路	(86)
第十章 组合门电路	(88)
第一节 译码器	(88)
第二节 数据选择器	(95)
第三节 加法器	(96)
第四节 数值比较器	(98)
第五节 触发器	(99)
第六节 存储器	(106)

第三部分 数字电路单片机电路

第十一章 数字电路与单片机的硬件结构	(110)
第一节 数字电路与单片机的硬件结构	(110)
第二节 数字电路与单片机功能部件	(114)
第十二章 MCS-51 系列单片机的硬件结构	(117)
第一节 内部硬件结构简介	(117)
第二节 MCS-51 单片机的中央处理器	(118)
第十三章 MCS-51 系列单片机内部的功能块	(122)
第一节 芯片内的存储器功能块的结构与功能	(122)
第二节 输入/输出功能块的结构与功能	(128)



第三节	定时器与计数器功能块的结构与功能	(131)
第四节	串行通讯接口功能块的结构与功能	(136)
第五节	中断功能块的结构与功能	(137)
第六节	复位功能块的结构与功能	(143)
第十四章	MCS-51 系列单片机的指令系统	(146)
第一节	指令系统格式及分类	(146)
第二节	指令系统的寻址方式	(147)
第三节	MCS-51 中央处理器的指令系统	(149)
第十五章	89C × × 系列单片机的使用	(154)
第一节	89C × × 系列单片机引脚描述及总线结构	(154)
第二节	89C × × 构成的最小应用系统	(157)
第三节	89C × × 单片机功能扩展电路	(159)
第十六章	汇编程序与特殊功能块程序编写	(169)
第一节	汇编程序的编写	(169)
第二节	存储器的操作	(172)
第三节	定时/计数器的使用	(176)
第十七章	单片机输入输出端口扩展电路	(182)
第一节	82C55 并行输入、输出端口扩展电路	(182)
第二节	81C55 可编程并行/扩展接口	(189)
第十八章	单片机模拟和数字转换功能扩展电路	(195)
第一节	单片机模拟/数字(A/D)转换扩展电路	(195)
第二节	单片机数字/模拟(D/A)转换扩展电路	(196)

第四部分 电路板组装、调试实践

第十九章	电路板焊接组装技术	(202)
第一节	电烙铁	(203)
第二节	焊锡	(204)
第三节	助焊剂	(204)
第四节	元器件插装	(206)
第五节	手工焊接	(209)
第六节	其他焊接方式简介	(210)



第七节 焊点质量检查	(213)
第二十章 模拟电路组装调试实践	(215)
第一节 直流稳压电源的制作	(215)
第二节 音频放大电路的制作	(217)
第三节 测量放大器制作实验	(218)
第二十一章 数字电路基础实验	(221)
第一节 基本门电路功能	(221)
第二节 组合门电路组装与调试	(223)
第三节 光电计数器的制作	(225)
第二十二章 单片机应用实验	(227)
第一节 体育电动计时器应用电路设计与实验	(227)
第二节 单片机功能扩展电路实验	(231)
复习思考题	(234)

第一部分 模拟电路基础

第一部分的主要内容包括对现有类型的晶体管原理与应用电路的介绍,主要介绍半导体二极管、三极管、场效应管、单结晶体管和可控硅的工作原理与应用电路;对运算放大器应用电路的介绍,主要是比例放大器、差分放大器和比较器电路的介绍,以及对于模拟电路中的反馈电路类型与工作原理的介绍等。

第一章 晶体管及应用

本章主要介绍晶体二极管和晶体三极管元件的特性,并讨论晶体管电路中模拟信号的输入与输出关系及其基本电路的应用。

第一节 半导体材料与 PN 结

一、半导体材料

半导体器件一般是用硅(Si)和锗(Ge)材料制成的。就其导电能力,半导体的导电性能介于导体和绝缘体之间,同时,人们发现当外界的某些条件改变以后,其导电性能有时可以发生较大的变化,于是利用半导体材料的特性及导电机理,制成了各种电子器件。

典型的半导体材料硅和锗都属于四价元素,它们原子结构的最外层都有四个价电子,如图 1.1-1 所示。当半导体材料通过一定的工艺制成单晶体时,原子都有规律而整齐地排列着。图 1.1-2 为硅单晶结构的平面示意图。

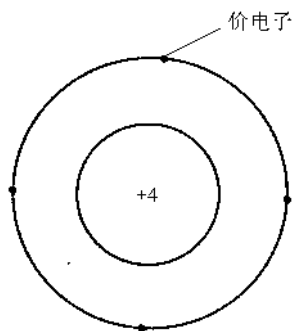


图 1.1-1

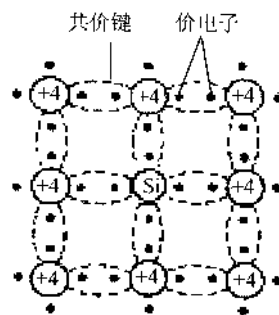


图 1.1-2

在半导体的晶体结构中,两个相邻原子的价电子形成电子对,称为共价键结构。共价键具



有较强的结合力,束缚着价电子,但是还不像中价电子所受的束缚力那样大,一旦获得能量(如温度、光照或辐射),某些价电子会挣脱原子核的束缚而成为自由电子,并留出空位,称为空穴。自由电子和空穴总是成对出现的,如图 1.1-3 所示,因此,半导体的导电能力受环境温度、光照、辐射等因素的影响很大,即半导体具有热敏特性和光敏特性。特别是,当纯净的半导体中掺入微量的某种杂质后,可显著提高它的导电能力,因此,在制作半导体器件时通常通过在半导体材料中掺入不同的杂质以控制半导体材料的导电性能。

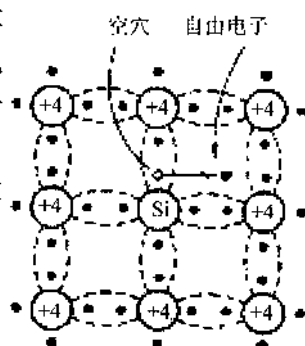


图 1.1-3

二、半导体材料与 PN 结

按掺入杂质类型的不同,可分为 N 型和 P 型两种类型的杂质半导体材料,它们是构成 PN 结的材料。下面介绍 N 型和 P 型两种半导体类型材料及导电特性。

(一)N 型半导体材料

在纯净的半导体材料硅内,掺入微量的五价元素磷(或砷等杂质)。虽然掺入半导体材料中的磷原子数量极微,不会改变硅单晶的共价键结构,但掺入的磷原子取代了某些位置上的硅原子,如图 1.1-4 所示。这样,每一个磷原子除了有四个价电子参加共价键外,还多出一个自由电子。这种由大量自由电子(电子载流子)参与导电的杂质半导体,称为电子型半导体或 N 型半导体。

(二)P 型半导体材料

在纯净的半导体硅内掺入微量的三价元素硼(或镓等),在组成共价键时,每一个硼原子会少一个电子而形成一个空穴,在一定条件下,邻近的价电子很容易填补,如图 1.1-5 所示,这种价电子填补空穴的运动,相当于带正电电荷的空穴朝相反方向运动一样,所以,在半导体中有大量空穴(空穴载流子)参与导电,故称为空穴型半导体或 P 型半导体。

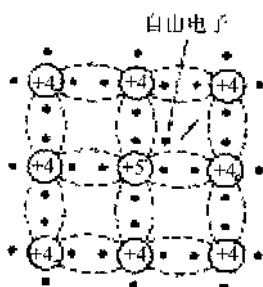


图 1.1-4

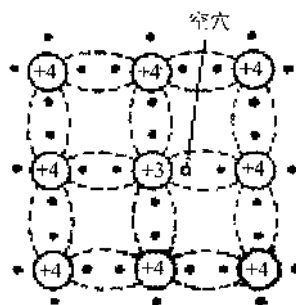


图 1.1-5

(三)PN 结的导电性能

1. PN 结的形成

由掺杂得到的 P 型或 N 型半导体材料,虽然导电能力得到了增强,但并不能直接用来制造半导体器件,通常需要在一定的生产工艺下,在一块半导体单晶片的一侧掺入三价元素的杂质,使其形成 P 型半导体材料,而在另一侧掺以五价元素的杂质,形成 N 型半导体材料,以构成 PN 结的结构后,才能用来制作半导体器件。



所谓 PN 结,实际是 P 型和 N 型半导体材料相接处的电学结构,半导体器件就是利用 PN 结的特殊的导电机理制成的。

在 PN 结中,P 型和 N 型材料的交界处,由于空穴和电子的浓度不同,可引起电子的扩散运动,即 N 区中的自由电子向 P 区扩散,P 区中空穴向 N 区扩散,如图 1.1-6 所示,使交界处 N 区一侧留下带正电的正离子,P 区一侧留下带负电的负离子,形成一个空间电荷区,又称内电场。这个内电场的方向由 N 区指向 P 区,如图 1.1-7 所示。

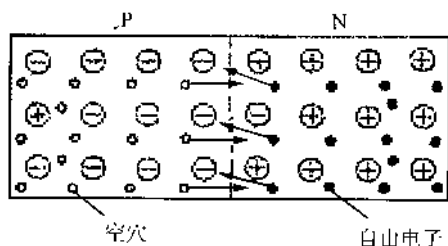


图 1.1-6

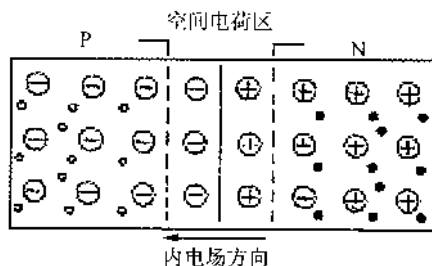


图 1.1-7

内电场形成的同时,也阻碍了电子扩散运动的进行。当由电子浓度差引起的扩散力与内电场产生的阻力平衡时,PN 结的电场宽度也相对地稳定下来。

应特别指出:由于半导体材料的热敏特性,使 P 型半导体中存在着极少量的电子,N 型半导体材料中存在着极少量的空穴。在内电场的作用下,这些极少量的导电粒子可以产生电子漂移,这种漂移是形成晶体管反向电流(饱和电流)的主要原因。

2. PN 结的导电特性

从理论角度讲,在 PN 结两端所加的电压的极性不同时,PN 结会表现出不同的导电特性。PN 结正、反向偏置所表现出的完全不同的电流属性,称为半导体材料的单向导电特性。

(1)PN 结的正向偏置 PN 结正向偏置时,所加的电压(外电场)如图 1.1-8 所示。这时,电源电压(外电场)与内电场方向相反,会削弱 PN 结的内电场,使其内的空间电荷区变窄,扩散运动增强,形成较大的扩散电流(正向电流) I ,在这种情况下 PN 结导通,其导通电阻很小。

(2)PN 结的反向偏置 如果给 PN 结外加反向偏置电压,如图 1.1-9 所示,外电场与 PN 结的内电场方向一致,使空间电荷区变宽,内电场增强,扩散运动难以进行,而只有极少量的反向电流。此时 PN 结的反向电阻很大。PN 结在这种偏置条件下,电流呈反向截止状态。

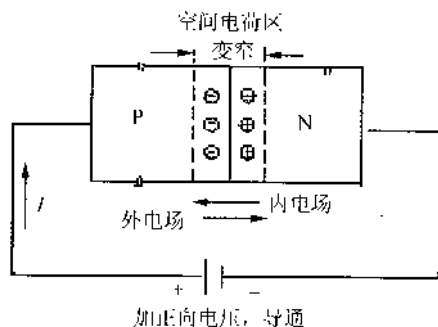


图 1.1-8

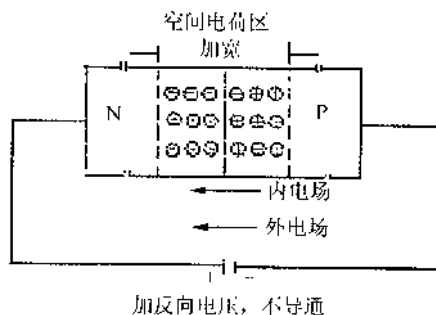


图 1.1-9



第二节 晶体二极管与应用电路

一、晶体二极管的结构与导电特性

PN 结电学结构的第一个典型应用就是制成半导体二极管。下面具体介绍基于 PN 结电学结构的半导体二极管的构造和它的导电特性。

(一) 晶体二极管的基本结构

晶体二极管是在 PN 结两侧引出金属电极和装上管壳而成,其示意图如图 1.1-10(a)(b)所示。P 区引出的电极为阳极,N 区引出的电极为阴极,其图形符号如图 1.1-10(c)所示。二极管有点接触和面接触两类。点接触型二极管的特点是 PN 结的面积小,允许通过的电流较小,但它的等效结电容小(PN 结具有电容效应),适用于高频和小电流工作;面接触型二极管的 PN 结面积大,允许通过的正向电流大,但它等效结电容也较大,所以一般用于低频整流电路。

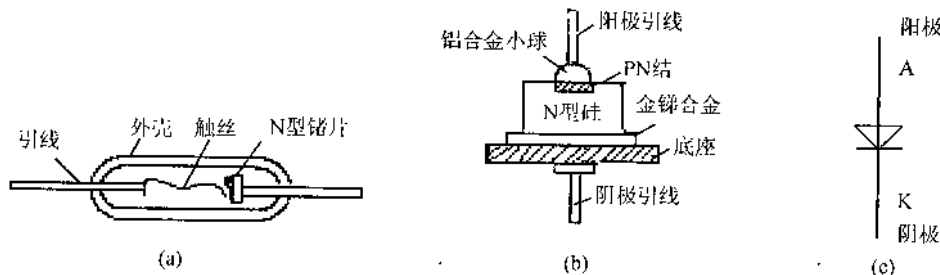


图 1.1-10

(二) 二极管的导电特性

基于 PN 结的单向导电特性制作的半导体二极管,具有一种有别于电阻电路的特殊的导电特性。它的特性一般用伏安特性予以表达,伏安特性是指它的工作电压与电流特性。

二极管的伏安特性是利用专门的测量线路或晶体管特性图示仪得到的,如图 1.1-11 所示,它描述了二极管在电路中的工作特性,可以反映出二极管的电流与端电压的关系。

由图 1.1-11 可见,二极管对正向偏置和反向偏置,具有截然不同的导电特性。正向偏置段中存在“死区”电压值(锗管为 0.2V 左右,硅管为 0.5V 左右),这个电压也称为阈值电压。它表明正向偏置电压较小时,不足以克服内电场对扩散运动的阻力,所以只有很小的正向电流,其值几乎为零;当正向偏置电压超过“死区”电压之后,由于内电场被大大削弱,因而正向电流随外加电压的增加而迅速上升,此时二极管呈导通状态。

在二极管上加反向偏压时,由于反向电阻很大,所以二极管的反向电流很小,且基本上不随反向电压的变化而变化,通常称为反向饱和电流。在一般应用条件下,二极管的反向电流越小,表明二极管的反向性能越好。

二极管的反向饱和电流随温度上升增长很快,当二极管的反向偏压过高时,反向电流会突然增大,从而发生二极管击穿现象。一般认为这个击穿现象是由外加电压的强电场破坏了半导体材料中的共价键结构造成的,故认为它是使二极管反向击穿的主要原因。

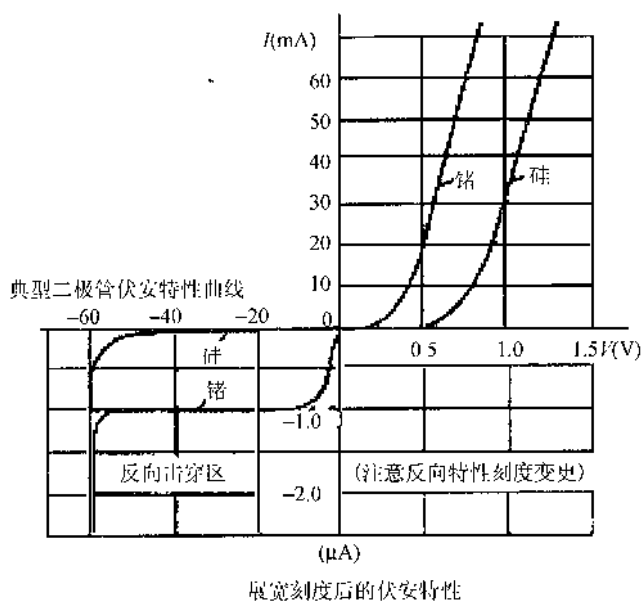


图 1.1-11

可以这样认为,同类型的二极管的正向导电特性是相同的,而反向特性是不同的。

二、二极管的主要电性能参数

二极管的主要电性能参数是对其各方面性能的定量描述,它是设计电路和选择器件的依据。下面介绍二极管的几种主要参数。

(一)最大整流电流 I_F

最大整流电流表示在规定的环境温度下,二极管长期使用时,允许通过的最大正向平均电流。如果超过此电流,二极管的 PN 结会因过热而损坏。这个参数一般用字母组合 I_F 表示。

(二)最高反向工作电压 U_{DRM}

最高反向工作电压是指允许加在二极管上的最高反向电压,在这个反向电压的作用下,只有极少量的导电粒子可漂移通过二极管的 PN 结。它是晶体管最大反向饱和电流的主要来源,也是允许加在二极管上的反向工作电压的峰值电压。

半导体器件手册上给出的最高反向工作电压,通常为反向击穿电压的一半,一般用字母组合 U_{DRM} 表示。

三、晶体二极管的基本应用电路

二极管在电路中的主要作用有整流、检波和混频等,以下只介绍它在交流电整流电路中的具体应用。

(一)晶体二极管的用途

晶体二极管最广泛的应用是交流电源的整流,使交流电能转换为电子设备及仪器中所需用的直流电源。交流电源的整流是将由交流电网的供电电压,经整流、滤波、稳压后生成稳定



的直流供电电压。所谓整流是利用二极管的单向导电性能,把交流电变成单相脉动直流电;所谓滤波是指滤除脉动直流电中的交流成分,以获得比较平滑的直流电;稳压是指将直流电压稳定于某一电压值。

典型的交流一直流转换电源,如图 1.1-12 所示。为了把交流电源电压变换为符合整流电路所需要的交流电压,并且使整流电路与交流电路实现电隔离,往往交流电路与整流电路之间安装一个变压器,然后再对交流电进行整流。交流电经过整流后,还需要滤波和稳压电路予以配合才能成为有应用价值的电源。下面以由变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路四个部分组成的直流稳压电源为例,介绍二极管在电路中的具体应用,即交流一直流转换电源的制作。

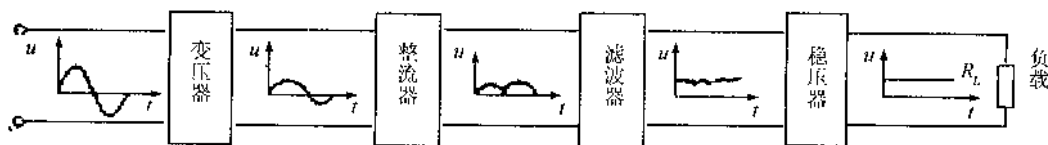


图 1.1-12 直流稳压电源的组成

(二) 交流电源的整流电路

将交流电转换为脉动直流电的电路为整流电路。整流电路一般有单相整流和全波整流两种类型电路。根据全波整流电路的组合形式的不同,可分为变压器换向式和桥式两个电路组合,下面具体介绍它们的工作原理。

1. 单相半波整流电路

晶体二极管半波整流如图 1.1-13 所示,整流电路的负载为一个电阻。图 1.1-14 显示出负载电阻两端的电压变化波形。图中, u_1 表示交流电网的电压, u_2 表示变压器次级的输出电压, R_L 为负载电阻。

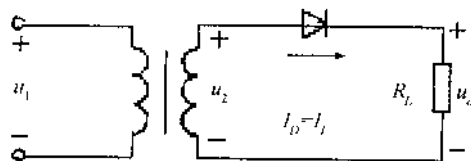


图 1.1-13 单相半波整流电路

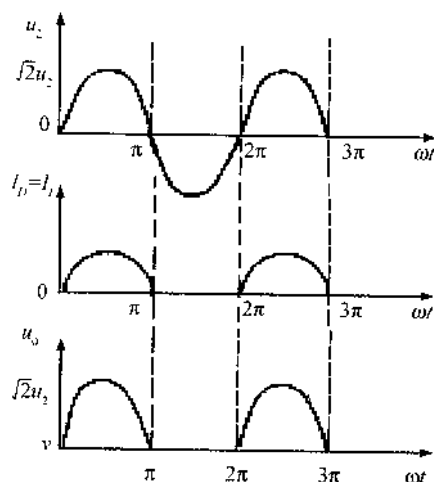


图 1.1-14 半波整流电路的电压输出波形

由于二极管的单向导电作用,电源电压在一个周期内,只有正半周时二极管才导通,假设变压器的输出电压为:

$$u_2 = \sqrt{2} u_2 \sin \omega t \quad 0 \leq \omega t \leq \pi$$



若忽略二极管的正向压降,则负载上的输出电压 u_o 为:

$$u_o = \sqrt{2} u_2 \sin \omega t \quad 0 \leq \omega t \leq \pi$$

由 u_o 的波形可知,这种整流电路仅利用了电源电压 u_2 的半个波,故称为半波整流电路。

这种单相脉动直流输出电压,常用一个交流电周期的平均值来表示它的大小,单相半波整流电压的平均值为:

$$u_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \sqrt{2} u_2 \sin \omega t d(\omega t) = \frac{\sqrt{2}}{\pi} u_2 = 0.45 u_2$$

流经二极管的输出电流等于负载电流的平均值,其值为:

$$I_D = I_L = 0.45 \frac{u_2}{R_L}$$

二极管截止时受到的最大反向电压为:

$$U_{DRM} = \sqrt{2} u_2$$

在上述条件下,晶体二极管半波整流电路,可以根据二极管的 I_F 和 U_{DRM} 选择合适的整流元件。

2. 单相全波整流电路

各种单相全波整流电路就其输出特性讲是相同的,但电路的构成形式可有不同。由于它们在实际应用中各有优缺点,以下对两个不同形式的单相全波整流电路予以介绍。

(1) 变压器换向式全波整流电路 变压器换向式全波整流电路,如图 1.1-15 所示。

两只整流二极管并联在电路中,利用二极管的单向导电性,当变压器次级线圈输出上半周波形时,二极管 D_1 导通, D_2 截止,电流由 $a \rightarrow D_1 \rightarrow R_L$; 当输出为下半周波形时,二极管 D_1 截止, D_2 导通,电流由 $b \rightarrow D_2 \rightarrow R_L$ 。即在电源电压的整个周期内, D_1 和 D_2 轮流导通,通过每只管子的电流和半波时一样,但整个周期内都有电流通过负载,因此输出电压和电流的平均值都比半波整流器增加一倍。这种变压器换向式整流电路为全波整流电路。

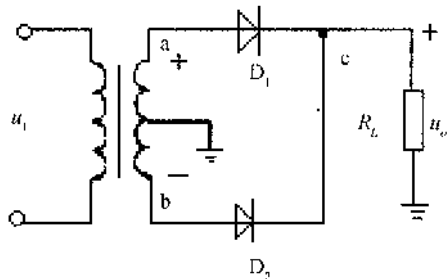


图 1.1-15 变压器换向式全波整流电路

(2) 桥式全波整流电路 桥式全波整流电路,如图 1.1-16 所示。

四只整流二极管接成电桥形式,当电源电压 u_2 为正半周时,变压器次级 a 端为正, b 端为负,二极管 D_1 、 D_3 导通, D_2 、 D_4 截止;电流由 $a \rightarrow D_1 \rightarrow R_L \rightarrow D_3 \rightarrow b$; 当电源电压为负半周时, b 端为正, a 端为负,二极管 D_1 、 D_3 截止, D_2 、 D_4 导通,电流由 $b \rightarrow D_2 \rightarrow R_L \rightarrow D_4 \rightarrow a$ 。

可见,在电源电压的整个周期内, D_1 、 D_3 和 D_2 、 D_4 两组管子轮流导通,但无论电源的正半周还是负半周都有电流通过负载,则输出电压和电流的平均值都比半波整流器增加一倍,但通过每只管子的电流和半波时一样。因此,桥式整流电路的输出电压的平均值 u_o 和负载电流的平均值分别为:

$$u_o = 2 \times 0.45 u_2 = 0.9 u_2$$

$$I_L = 0.9 \frac{u_2}{R_L}$$

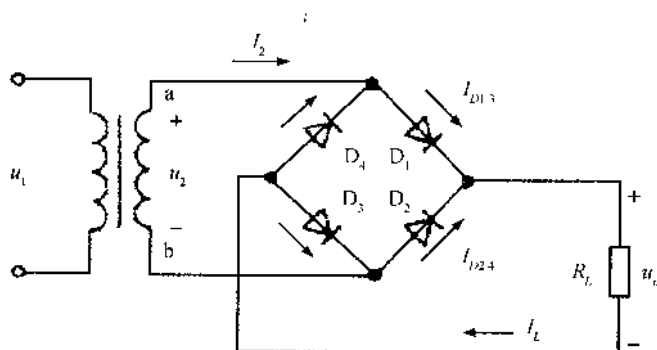


图 1.1-16 桥式全波整流电路

桥式整流电路工作时,在每个半波中有两个二极管串联导通,因此每个二极管中流过的平均电流只有负载电流的一半,即:

$$I_D = \frac{1}{2} I_L = 0.45 U_2 / R_L$$

由图 1.1-17 可以看出,截止管所承受的最大反向电压等于 u_2 的最大值,即:

$$U_{DRM} = \sqrt{2} u_2$$

基本与半波整流电路相同。

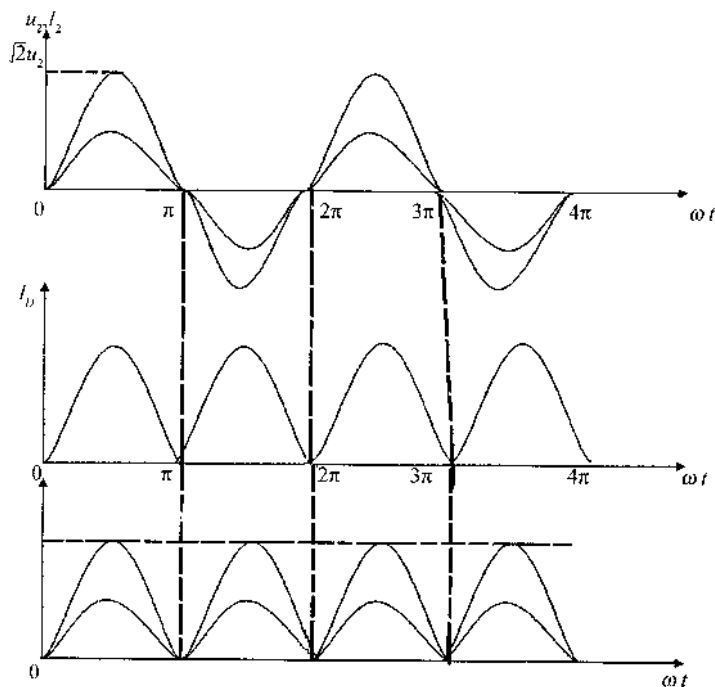


图 1.1-17 桥式全波整流电路输出电压的波形

由于桥式整流电路的优点较为显著,如相比于变压器换向式整流来说,由于是对一组线圈两端的电压整流,有效地减小了电源不平衡噪声,所以使用很普遍。近年来,市场上已有由四只整流二极管组合成的硅桥式整流器(硅桥堆)的成品出售,并得到广泛利用。它是应用半导体集成电路技术,将两只(半桥)或四只(全桥)二极管集成在同一硅片上,以代替四只整流二极



管,具有体积小、特性一致及使用方便的特点。

第三节 稳压管与应用电路

稳压管是利用特殊工艺制造的面接触型半导体硅二极管,它工作于二极管曲线的反向击穿电压区。

一、稳压二极管与它的电特性

图 1.1-18 为稳压管的电路符号,其中(a)为单稳压二极管,(b)为复合型稳压二极管,它有良好的温度稳定性。

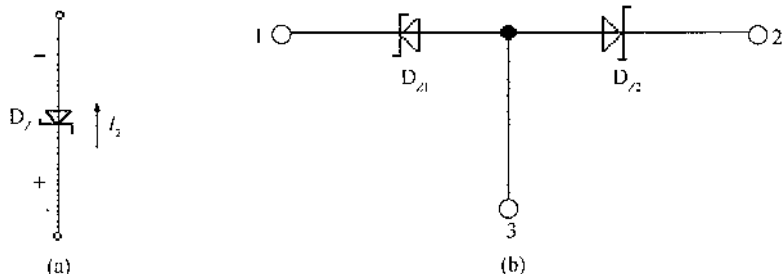


图 1.1-18 稳压二极管的电路符号

只要反向电流不超过允许范围,其击穿过程是可逆的,当去掉反向电压以后,稳压二极管仍能恢复到击穿前的状态,故它可以很稳定地工作于击穿区,而不会损坏。图 1.1-19 为晶体稳压二极管的输出特性曲线。

从图 1.1-19 可以看出,稳压二极管击穿后通过的反向电流虽然可以在较大范围内变化,但两端的电压基本保持不变,这就体现了它的稳压作用。

二、稳压二极管的主要电参数

在设计利用稳压二极管稳压的电路时,常涉及稳压二极管的稳压电压、稳压电流、动态电阻和最大耗散功率等参数。下面就其主要参数加以介绍。

(一) 稳压电压 U_Z

稳压二极管的稳压电压即反向击穿电压,手册中所列的都是在一定条件(工作电流、温度)下的数值,但由于制造工艺的分散性,即使是同一型号的稳压管,其 U_Z 值在同一条件下也不完全一样,有一定的误差范围。

(二) 稳压电流 I_Z

稳压电流 I_Z 指稳压管保持稳定电压时的工作电流。

(三) 动态电阻 r_Z

动态电阻是指反向击穿段的动态微变电阻,即:

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