

高职高专电气自动化技术专业规划教材

GAOZHI GAOZHUAN DIANQI ZIDONGHUA JISHU ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



模拟电子 技术基础

李 哲 牛永奎 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

高职高专电气自动化技术专业规划教材

GAOZHI GAOZHUAN DIANQI ZIDONGHUA JISHU ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



模拟电子 技术基础

主 编	李 哲	牛永奎
副主编	张晓峰	冷 芳
编 写	何东钢	于 军
主 审	朱传琴	



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



内 容 提 要

本书为高职高专电气自动化技术专业规划教材。

本书共分八章,主要包括半导体二极管及应用、半导体三极管及基本放大电路、场效应管及其放大电路、集成运算放大器的应用、放大电路中的负反馈及应用、信号发生电路、功率放大电路、直流稳压电源。为便于学习,各章配有典型例题和精选的练习题,并提供部分习题参考答案。本书以培养学生基本理论与应用能力为主线,突出集成电路及其应用,注重新知识的介绍,讲解通俗易懂,由浅入深。

本书主要作为高职高专电气自动化技术、电力系统自动化技术、机电一体化技术等相关专业教材,也可作为函授教材和工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础/李哲,牛永奎主编. —北京:中国电力出版社,2009

高职高专电气自动化技术专业规划教材

ISBN 978-7-5083-8874-8

I. 模… II. ①李…②牛… III. 模拟电路—电子技术—高等学校:技术学校—教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 082217 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 5 月第一版 2009 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12 印张 282 千字

定价 19.20 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

高职高专电气自动化技术专业规划教材

编 委 会

主 任 吕景泉

副主任 狄建雄 凌艺春 谭有广 周乐挺 郝汉琪

秘书长 李兆春

委 员 (按姓氏笔画排序)

丁学恭 马伯华 王 燕 王 薇 王永红

刘玉娟 刘玉梅 刘保录 孙成普 孙忠献

何 颖 何首贤 张 池 张永飞 张学亮

张跃东 李方园 陆锦军 陈 赵 姚永刚

姚庆文 郭 健 钱金法 常文平 韩 莉

前言

随着教学改革的不断深入,教学内容日趋丰富而学时数却大幅度减少。为了满足全国高等职业院校电气自动化技术专业的教学要求,加快我国应用型人才的培养步伐,中国电力出版社出版了电气自动化技术专业系列教材,本书即是该系列教材之一。通过本书的学习可使学生掌握模拟电子技术及应用的基本原理、基本知识、基本分析方法,同时为提高学生的专业技术水平、职业技术能力和实践应用能力,增强适应职业变化能力和继续深入学习其他课程打下一个坚实的基础。

本书是根据高职教育培养目标的需要,针对高职学生学习的特点,结合实际教学经验编写的,在内容选择方面注重以下特点:

(1) 确保基础。在内容编排上,保证模拟电子技术的基本内容够用适度,适合三年或两年高职高专课时不断压缩的实情。本书参考学时为70~80学时,任课教师可以根据实际学时选择教学内容或安排课外学习。

(2) 适应形式。为使教学内容适应电子技术飞速发展的新形式,在内容编排上,淡化了理论性较强的分立元件放大电路的教学,强化了集成电路的应用,如集成运放、集成稳压器、集成功率放大器等。

(3) 注重实践。增加了电子元件和集成电路的选用、识别、测试等内容的介绍,以增强学生的实践能力;每章安排一些具体实用电路分析,供学生们阅读电子电路图练习。实践教学可另安排26学时实验课、两周电子实训内容、一周模拟电子技术课程设计,以拓展学生的电子电路视野,培养理论联系实际的能力。

(4) 便于自学。为增强教材的适用性,本教材的许多内容都是在优秀教案、讲义的基础上编写的,书中每一章后面都安排小结和练习题,注重针对性、启发性和实用性,有利于增强分析问题、解决问题能力的培养。

本书由李哲、牛永奎副教授任主编,张晓峰、冷芳任副主编。其中:第一章,第二章的第一、二节,第八章由大连水产学院职业技术学院李哲编写;第三章由大连水产学院何东钢编写;第四章,第二章第三、四节由大连水产学院职业技术学院冷芳编写;第六、七章由黑龙江职业技术学院张晓峰编写;第五章由大连水产学院职业技术学院牛永奎编写;第二章第五~七节及习题由大连水产学院职业技术学院于军编写。李哲对全书进行了统稿和定稿工作。

本书由山东电力高等专科学校朱传琴教授担任主审,提出了许多宝贵的修改意见;东北财经大学信息工程学院王恩德教授、大连水产学院职业技术学院何首贤教授与葛廷友副教授在编写过程中,都提出许多宝贵意见。在此一并表示衷心的感谢。

尽管我们做出了辛勤的努力,但鉴于编者水平所限,书中的缺点和不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2009年2月

目 录

前言

第一章 半导体二极管及应用	1
第一节 半导体的基本知识	1
第二节 半导体二极管	4
第三节 单相半波整流	6
第四节 滤波电路	12
第五节 倍压整流电路	15
第六节 特殊二极管	16
第七节 二极管应用电路举例	19
本章小结	22
练习题一	22
第二章 半导体三极管及基本放大电路	26
第一节 半导体三极管	26
第二节 共发射极基本放大电路分析	32
第三节 基本放大电路的分析方法	34
第四节 分压式偏置稳定放大电路	41
第五节 放大电路的三种组态	46
第六节 多级放大电路及频率特性	50
第七节 三极管放大电路应用举例	55
本章小结	56
练习题二	57
第三章 场效应管及其放大电路	61
第一节 结型场效应管	61
第二节 绝缘栅型场效应管	65
第三节 场效应管基本放大电路	70
第四节 场效应管电路应用举例	74
本章小结	75
练习题三	76
第四章 集成运算放大器的应用	78
第一节 集成电路的基础知识	78
第二节 差分放大电路	80
第三节 模拟信号运算电路	87
第四节 集成运算放大电路的非线性应用	94

第五节 使用集成运算放大器应注意的问题	96
第六节 集成运放电路应用举例	99
本章小结	100
练习题四	101
第五章 放大电路中的负反馈及应用	103
第一节 反馈的基本概念	103
第二节 交流负反馈的四种类型分析	106
第三节 负反馈放大电路框图及放大倍数一般表达式	109
第四节 负反馈对放大电路性能的影响	111
* 第五节 负反馈放大电路的分析与计算	114
* 第六节 负反馈放大电路的自激振荡与消除方法	116
第七节 负反馈放大电路应用举例	117
本章小结	118
练习题五	119
第六章 信号发生电路	121
第一节 正弦波振荡电路的基本概念	121
第二节 RC 正弦波振荡电路	123
第三节 LC 正弦波振荡电路	125
第四节 非正弦信号发生电路	130
第五节 应用电路举例	133
本章小结	134
练习题六	134
第七章 功率放大电路	138
第一节 功率放大电路的特点	138
第二节 互补对称功率放大电路	140
第三节 集成功率放大器	146
第四节 功放管的安全使用	150
第五节 实际应用电路举例	152
本章小结	154
练习题七	154
第八章 直流稳压电源	157
第一节 直流稳压电源概述	157
第二节 硅稳压管并联稳压电路	158
第三节 串联型稳压电路	161
第四节 集成稳压电路	163
第五节 开关型稳压电源	166
第六节 直流稳压电源应用举例	168
本章小结	172
练习题八	172

附录 本书常用符号说明.....	175
部分习题答案.....	177
参考文献.....	179

第一章

半导体二极管及应用

基本要求

- (1) 理解半导体 PN 结的形成和特性。
- (2) 理解半导体二极管的伏安特性。
- (3) 了解半导体二极管的结构、特性和主要参数。
- (4) 理解二极管在单相半波、全波、桥式、倍压整流电路中的应用。
- (5) 理解电容滤波、电感滤波、复式滤波电路的工作原理。
- (6) 掌握整流电路输出电压估算和选用二极管的方法。
- (7) 了解稳压二极管、变容二极管、光电二极管、发光二极管的特性和图形符号，了解特殊二极管的基本使用方法。
- (8) 了解二极管在电子线路中的典型应用及分析方法。
- (9) 了解常用电子元件的选择原则。
- (10) 熟练掌握用万用表测量二极管的方法。

第一节 半导体的基本知识

自然界的各种物质根据其导电能力不同，可以分为导体、绝缘体和半导体。导电能力介于导体和绝缘体之间的物质叫做半导体。常用的半导体有硅、锗、硒、砷化镓以及大多数金属氧化物和硫化物等。

半导体器件以其体积小、质量轻、功耗低、寿命长、工作可靠等优点，在 20 世纪 80 年代得到了迅速发展，在各行各业得到了广泛的应用。

一、半导体的特性

(一) 本征半导体

纯净的不含任何杂质、具有完整晶体结构的半导体称为本征半导体。本征半导体的最外层电子除了受到本身原子核吸引外，还受到共价键的束缚，因而它的导电能力差。常用的本征半导体有硅和锗两种晶体。如果把多晶体“拉成”单晶体，使它的原子排列由杂乱无章状态变成有规律和整齐的状态，那么这种单晶体就可以制成晶体管（半导体管）和集成电路。

在室温条件下，单晶的半导体中存在一定数量的电子-空穴对，空穴和电子一样，也是一种载流子。在本征半导体中，自由电子的数量和空穴的数量是相等的。温度变化时，每形成一个自由电子，同时出现一个空穴，它们成对出现，这种现象称为本征激发。自由电子在运动过程中，又会和空穴重新结合而成对消失，这种与激发相反的过程称为复合。电子-空穴对的产生与复合，在一定温度下数目相等，呈现动态平衡。当温度升高后，电子-空穴对的数目相对增加，因此，本征半导体的导电能力随温度增加而显著增加。

半导体之所以得到广泛的应用，主要是因为半导体具有独特的导电特性。

（二）半导体导电特性

1. 掺杂特性

在纯净的半导体中掺入微量的杂质（指其他元素），它的导电能力会大大增强。例如在纯硅半导体中加入千分之一杂质，导电能力将增强几十万到几百万倍。利用掺杂特性，可以制造出半导体二极管、三极管、晶闸管、集成电路等电子器件。

2. 光敏特性

半导体导电能力对光照非常敏感，光照愈强，导电能力愈大。例如硫化镉在没有光照时，电阻高达几十兆欧，受到光照时，电阻可以降到几十千欧。利用半导体光敏特性，可制成各种光敏元件，如光敏电阻、光电二极管等电子元件。

3. 热敏特性

半导体对温度变化反应特别灵敏，温度升高时，多数半导体的电阻率下降。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。利用热敏特性可以制造出各种半导体热敏元件，如热敏电阻等。

二、杂质半导体

本征半导体的导电能力很差，如果在本征半导体中人为地掺入其他有用杂质，变成杂质半导体后，就会使其导电性能发生显著变化。

（一）N 型半导体

在本征半导体硅中，掺入少量 5 价元素形成 N 型半导体。这种半导体主要靠电子导电，所以称为电子型半导体，简称 N 型半导体。在 N 型半导体中，自由电子是多数载流子，而空穴则为少数载流子。在 N 型半导体中，多数载流子取决于掺入杂质的数量，少数载流子取决于热运动，即温度变化晶体中激发出电子-空穴对。

（二）P 型半导体

在本征硅半导体中，掺入微量的 3 价元素形成 P 型半导体。这种半导体主要靠空穴导电，所以称为空穴型半导体，简称 P 型半导体。在 P 型半导体中，空穴是多数载流子，而自由电子则为少数载流子，多数载流子也取决于掺入杂质的数量，少数载流子取决于热运动。

因此，当半导体两端加上外加电压时，半导体中将出现两种电流：一是自由电子做定向运动形成的电子电流；二是自由电子填补空穴形成的空穴电流。在半导体中同时存在着电子和空穴导电，这是半导体和金属导电原理上的本质差别。

在半导体中有两种载流子，即自由电子和空穴。这些载流子都是“自由”的，可以在外电场作用下做定向运动。如果从本征半导体引出两个电极并接上电源，此时带负电的自由电子指向电源正极做定向运动，形成电子电流；带正电的空穴将向电源负极做定向运动，形成空穴电流；而在外电路中的电流为电子电流和空穴电流之和。

三、PN 结的形成

通过一定的工艺使一块半导体的两边分别形成 P 型和 N 型半导体，在交接面处存在着空穴和自由电子的浓度差，于是 P 型区的空穴向 N 型区扩散，N 型区的自由电子向 P 型区扩散，如图 1-1 (a) 所示。扩散到对方的载流子成为少数载流子，并与对方的多数载流子复合，使自由电子和空穴同时消失。这样在交接面处留下不能移动的正负离子，组成空间电荷区形成内电场，也就是 PN 结，如图 1-1 (b) 所示。

内电场的方向由 N 区指向 P 区，它的作用一是阻碍多子的扩散，故也称空间电荷区为阻挡层；二是有助于少子的漂移运动，漂移是指在电场作用下少数载流子的定向运动。可以想象，在平衡状态下，电子从 N 区到 P 区的扩散电流必然等于它从 P 区到 N 区的漂移电流。同样，空穴的扩散电流和漂移电流也必然相等，达到动态平衡。这时，空间电荷区相对稳定，形成了平衡的 PN 结，如图 1-1 (b) 所示。

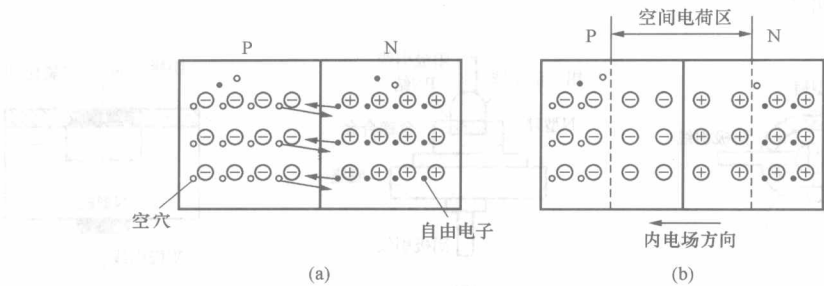


图 1-1 PN 结的形成
(a) 多数载流子的扩散；(b) 内电场的形成

四、PN 结的单向导电特性

(一) PN 结正向导通

当 PN 结外加正向电压时（简称正偏压），电源正极接 P，负极接 N，电路如图 1-2 所示。这时外电场与内电场方向相反，因而削弱了内电场，打破了 PN 结原来的平衡，使空间电荷区变窄，N 区的电子和 P 区的空穴都能顺利地通过 PN 结，形成较大的扩散电流。所以，外接正向电压使 PN 结处于导通状态，正向电阻很小，正向电流较大。

(二) PN 结反向截止

当 PN 结外加反向电压时（简称反偏压），电源正极接 N，负极接 P，如图 1-3 所示。这时外电场与内电场方向一致，因而增强了内电场，使内电场的阻挡作用增强，多数载流子的扩散难以进行，有利于少数载流子的漂移运动，形成 PN 结的反向漏电流。因为少子的浓度很低，反向电阻较大，反向电流很小，而且温度一定时基本不随反偏电压变化。

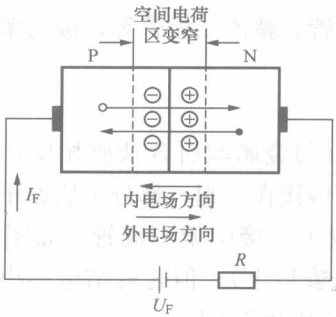


图 1-2 PN 结加正向电压

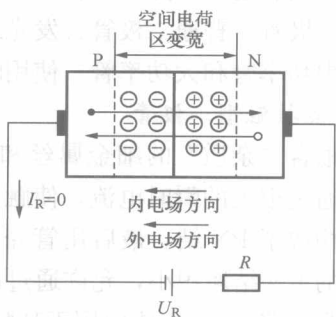


图 1-3 PN 结加反向电压

综上所述，在 PN 结两端加正向电压时，正向电流较大，PN 结处于导通状态；在 PN 结两端加反向电压时，反向电流微小，近似等于零，PN 结处于截止状态，即 PN 结具有单向导电的特性。

第二节 半导体二极管

在PN结两端各加上引线，引出两个电极，再封装于管壳之内，就构成了半导体二极管，也称晶体二极管。P型一端称为阳极或正极，N型一端称为阴极或负极。其结构、外形与符号如图1-4所示。

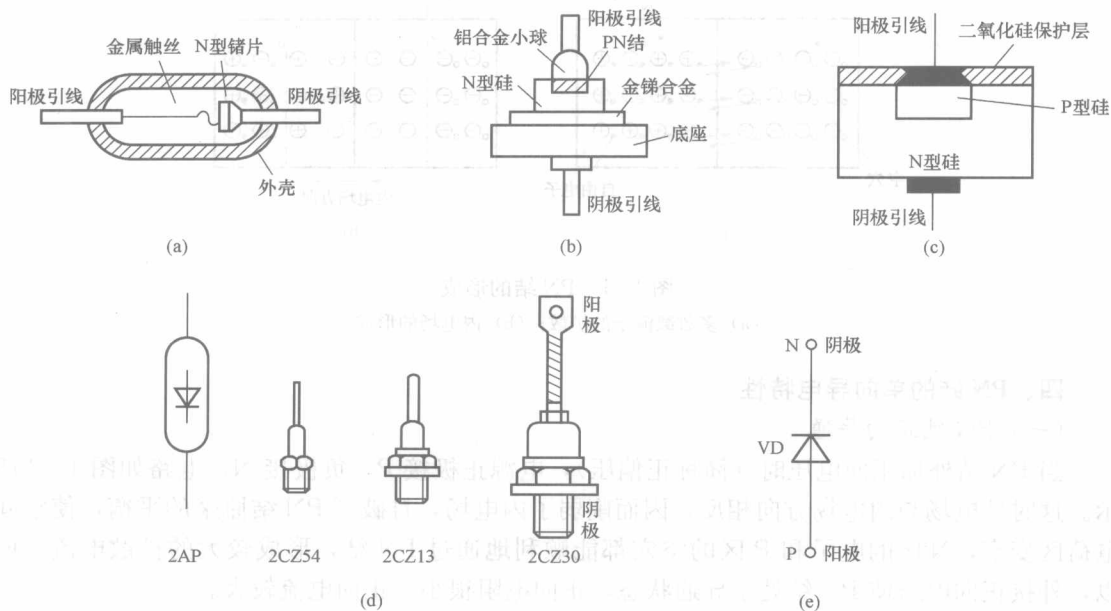


图1-4 不同结构的二极管外形及符号

(a) 点接触型；(b) 面接触型；(c) 平面型；(d) 外形图；(e) 表示符号

一、半导体二极管的类型

二极管按制造材料分有硅管和锗管，硅管工作温度比锗管高；按用途分，有开关型二极管、稳压二极管、普通二极管、发光二极管、光电二极管、整流二极管等；按功率分，有小功率管、中功率管和大功率管，使用时注意正确选择。

(一) 点接触型二极管

将一根含“杂质”的细金属丝和一块杂质半导体（与金属丝所含杂质相反）的表面接触，然后通过很大的瞬时电流，使触丝和半导体牢固地熔接在一起，部分杂质原子掺入到晶片上，就构成了PN结。最后用管壳密封起来，就形成了点接触型二极管。如图1-4(a)所示，它的PN结面积小，允许通过的电流小（几十毫安以下）；但它的结电容小，高频特性很好（几百兆赫），主要应用于高频检波、小功率整流和开关电路。

(二) 面接触型二极管

面接触型二极管PN结是用合金法或扩散法制成的，其结构如图1-4(b)所示，它的PN结面积大，允许通过的电流较大（几百毫安以上），其结电容也大，只能工作在较低频率场合（3MHz以下），主要应用于整流电路中。

(三) 平面型二极管

平面型二极管的结构如图 1-4 (c) 所示, 它是利用半导体扩散工艺形成的 PN 结, 结电容很小, 多应用于集成电路中。

几种常见的二极管的外形如图 1-4 (d) 所示, 二极管的电路符号如图 1-4 (e) 所示, 文字符号用 VD 表示。

二、半导体二极管的伏安特性

二极管的性能可以用伏安特性表示, 它是指二极管两端电压 U 和流过管子的电流 I 之间的关系, 二极管的伏安特性如图 1-5 所示。下面以硅管为例, 分析二极管的特性及温度影响。

(一) 正向特性

图 1-5 中曲线①部分为二极管的正向特性的起始部分, 由于外加正向电压较小, 外电场还不足以克服 PN 结内电场对多数载流子所造成的阻力, 因此这时的正向电流几乎为零, 二极管呈现很大的电阻。这个电流为零的范围称为“死区”, 相应的电压称为“死区电压”, 用 U_{th} 表示。锗管死区电压约为 0.1V, 硅管死区电压约为 0.5V。当正向电压超过死区电压后, 内电场被削弱, 电流增强很快, 正向电阻很小, 这时二极管处于导通状态。在有限流电阻情况下, 二极管的正向电压变化很小, 可以近似看作常数。锗管的正向压降为 0.2~0.3V, 硅管的正向压降为 0.6~0.7V。

当二极管所加正向电压大于死区电压时, 正向电流增加, 管子处于导通状态, 导通电流近似线性上升, 如图 1-5 中曲线②所示, 这时二极管呈现的电阻较小, 电流较大。

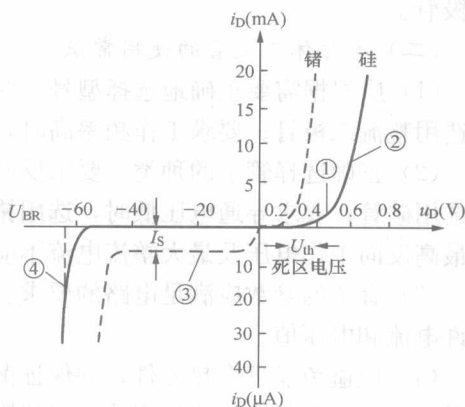


图 1-5 二极管的伏安特性曲线

(二) 反向特性

二极管的 PN 结在反向电压作用下, 呈现截止状态, 但还有少数载流子形成的反向电流, 如图 1-5 中锗管曲线③所示。少数载流子形成的反向电流很小, 在反向电压不超过某一范围时, 反向电流基本恒定, 故通常称之为反向饱和电流, 用 I_S 表示。反向电流很小, 正常情况下硅管约几微安以下, 工程估算时可以忽略不计, 可见二极管具有单向导电的特性。

(三) 反向击穿特性

如果使二极管反向电压继续增大, 超过反向击穿电压 U_{BR} 以后, 反向电流将急剧增大, 见图 1-5 中曲线④部分。这种现象称为反向击穿, 二极管击穿以后, 不再有单向导电特性, 一般二极管不允许工作在反向击穿区。

必须说明, 二极管的击穿并不意味着被损坏, 击穿有电击穿和热击穿两种情况。电击穿是可逆的, 在反向电压和反向电流的乘积不超过允许的耗散功率时, 降低反向电压后恢复正常。而热击穿是不可恢复的, 工作中要尽量避免。电击穿则可以被人们所利用, 如稳压二极管就是工作在反向击穿状态, 可以组成稳压电路。

(四) 温度对二极管特性的影响

二极管的导电性受温度影响较大, 伏安特性随温度变化而变化。通常温度每升高 1°C ,

硅和锗二极管导通时,正向压降 U_F 将减小 2.5mV 左右。

从反向特性看,二极管温度每升高 10°C ,反向电流 I_S 约增加一倍。当温度升高时,二极管的反向击穿电压 U_{BR} 也会有所下降。

三、半导体二极管的主要参数及使用常识

(一) 半导体二极管的主要参数

(1) 最大整流电流 I_{FM} : 是指二极管长期使用允许流过的最大正向平均电流。它由 PN 结的面积和散热条件决定。使用时注意不能大于这个数值,否则二极管会因过热而损坏。

(2) 最大反向工作电压 U_{RM} : 是指二极管使用时允许承受的最大反向电压。一般手册上给出的最大反向工作电压约为击穿电压的一半。

(3) 最大反向电流 I_{RM} : 是指二极管加最大反向工作电压时的反向电流。其值愈小,二极管单向导电性能愈好。温度对反向电流影响很大,使用时应加以注意,尤其是锗二极管。

(二) 半导体二极管的使用常识

(1) 应根据需要正确地选择型号。要求导通电流大时,选用平面型二极管;用于整流电路选用整流二极管;要求工作频率高时,选用点接触型二极管。

(2) 正确选择管子的种类。要求反向电流小、温度稳定性好、反向击穿电压高、耐高温时选用硅管;要求导通电压低时,选用锗管。硅管与锗管不能互相代用,替换上去的二极管其最高反向工作电压及最大整流电流不应小于被替换管。

(3) 管子的参数应满足电路的要求。为保证电路正常工作,切勿超过手册中规定的最大允许电流和电压值。

(4) 应避免靠近发热元件,并保证散热良好。工作在高频或脉冲电路的二极管引线,要尽量短,不能用长引线或把引线变成线圈来达到散热目的。

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

第三节 单相半波整流

利用二极管的单向导电性,把按照正弦变化的交流电变换成单向脉动的直流电的电路,称为整流电路。常用的整流电路分为单相整流和三相整流,常用的单相整流电路分为半波整流、全波整流、桥式整流及倍压整流电路等。

一、单相半波整流电路

(一) 电路组成及工作原理

图 1-6 (a) 所示为单相半波整流电路图,电路由电源变压器 T、整流二极管 VD 和负载电阻 R_L 组成。 u_2 为变压器二次侧电压, $u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t$ 。由于整流二极管具有单向导电特性,因此,当 u_2 为正半周时, a 端电位高于 b 端电位,整流二极管 VD 正向电压导通(忽略二极管正向导通压降);而当 u_2 为负半周时, b 端的电位高于 a 端,整流二极管 VD 反偏截止,因而在 u_2 的一个周期内,负载电阻 R_L 的电压波形如图 1-6 (b) 所示。由于流过负载的电流和加在负载两端的电压只有半个周期的正弦波,故称为半波整流。

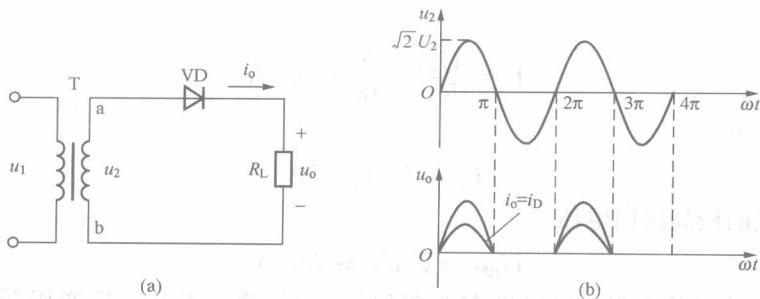


图 1-6 单相半波整流电路及波形图

(a) 电路图; (b) 波形图

(二) 输出电压与电流的计算

1. 负载上的输出直流电压和直流电流

输出直流电压是指一个周期内脉动电压的平均值, 可表示为

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

式 (1-1) 说明半波整流电路的直流分量是交流电压有效值的 0.45 倍。

流过负载 R_L 的直流电流 I_o 为

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} \approx 0.45 \frac{U_2}{R_L} \quad (1-2)$$

2. 整流二极管的选择

(1) 二极管正向平均电流 I_D 。由图 1-6 (b) 可知, 流过整流二极管的平均电流 I_D 与流过负载的电流相等, 即

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

(2) 二极管承受的最大反向电压 U_{RM} 。在半波整流电路中, 当二极管反向截止时, 电压 u_2 的负半周将全部加在二极管两端, 且为反向电压。因此, 这时二极管承受的反向峰值电压 U_{RM} 就是变压器二次侧电压的最大值, 即

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

所以, 选择半波整流电路中的整流二极管时, 应使管子的最大正向电流 I_{FM} 和最高反向峰值电压 U_{RM} 满足: $I_{FM} > I_o$, $U_{RM} > \sqrt{2}U_2$ 。

(三) 电路特点

单向半波整流电路的优点是电路结构简单、使用元件少; 缺点是输出电压脉动大、变压器半个周期不工作、利用率低, 变压器中有直流成分, 容易饱和。所以, 该电路只适用于输出电流小、允许脉动大、要求直流电压不高的场合。

【例 1-1】 有一个 18Ω 直流负载电阻, 需要用 9V 的直流电源供电, 采用单向半波整流电路。试计算变压器二次侧电压, 并选择整流二极管的型号规格。

解 变压器二次侧电压

$$U_2 = \frac{U_o}{0.45} = \frac{9}{0.45} = 20V$$

负载电流

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = \frac{9}{18} = 0.5\text{A}$$

二极管中电流

$$I_D = I_o = 0.5\text{A}$$

二极管承受的最高反向电压

$$U_{RM} = \sqrt{2}U_2 \approx 28.3\text{V}$$

选择变压器时应考虑到：二极管有 0.7V 的正向压降，因此可选变压器的二次侧电压为 21V。

选择二极管时应注意电压条件和电流条件都留有一定的裕量，查半导体手册可以选用 2CZ55B，其最大整流电流为 1A，最高反向工作电压为 50V。

二、单相全波整流电路

(一) 电路组成及工作原理

全波整流电路如图 1-7 所示，整流变压器二次侧具有中心抽头，可得到两组电压大小相等、极性相差 180° 的电压 u_{2a} 和 u_{2b} 。利用两个整流二极管轮流工作，可以得到全波波形。

设变压器二次侧电压 u_2 正半周瞬时极性上端 a 为正，下端 b 为负。二极管 VD1 正向偏压导通，VD2 反向偏压截止，电流通过 $a \rightarrow \text{VD1} \rightarrow R_L \rightarrow \text{O}$ 点，在 u_2 负半周瞬时极性上端 a 为负，下端 b 为正时，二极管 VD2 正向偏压导通，VD1 反向偏压截止，电流通过 $b \rightarrow \text{VD2} \rightarrow R_L \rightarrow \text{O}$ 点。

整流电路中两只二极管 VD1、VD2 轮流导通，各工作半个周期，负载上却得到一个全波整流波形输出，故称为全波整流电路，输出电流与电压波形如图 1-8 所示。

注意：全波整流电路的二极管极性不能接反，否则会造成短路过流而烧坏二极管。

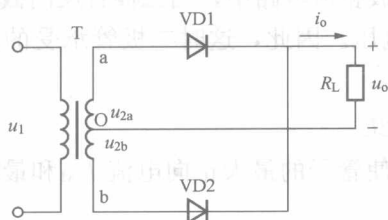


图 1-7 全波整流电路

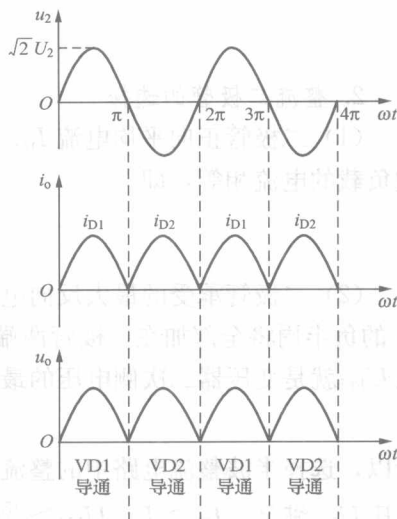


图 1-8 全波整流输出电压和电流波形

(二) 输出电压与电流的计算

从上面的分析可知，全波整流中负载所获得的直流电压比半波整流电路提高了一倍，即

$$U_o = 2 \times 0.45U_2 = 0.9U_2 \quad (1-5)$$

式 (1-5) 说明全波整流电路的直流分量是交流电压有效值的 0.9 倍。

流过负载 R_L 的直流电流 I_o 为

$$I_o = \frac{0.9U_2}{R_L} \quad (1-6)$$

1. 二极管正向平均电流 I_D

在全波整流电路中, 每只二极管只在半个周期内导通, 因此流经每只二极管的平均电流为负载电流 I_o 的一半, 即

$$I_D = \frac{1}{2} I_o = \frac{0.9U_2}{2R_L} = 0.45 \frac{U_2}{R_L} \quad (1-7)$$

2. 二极管承受的最大反向电压 U_{RM}

二极管所承受的最大反向电压可以看出比半波增大了一倍, 因为 VD1 导通时, 变压器的二次电压全部加在 VD2 上, 因此, VD2 所承受的最大反向峰值电压为两倍 u_2 的峰值, 即

$$U_{RM} = U_{2m} = 2\sqrt{2}U_2 \quad (1-8)$$

(三) 电路特点

单向全波整流电路的优点是: 输出电压、电流比半波提高一倍, 脉动成分比半波也下降许多。其缺点是: 二极管承受的反向电压较高; 变压器有中心抽头, 体积大, 利用率不高。

三、单相桥式整流电路

为了克服单向半波和全波整流电路的缺点, 采用图 1-9 (a) 所示的单相桥式整流电路。电路中由 4 个同型号的二极管接成电桥形式, 故称为桥式整流电路。

(一) 桥式整流电路工作原理

图 1-9 (a) 中, T 为整流变压器, 其作用是将电网上的交流电压 u_1 变为整流电路要求的交流电压 u_2 , R_L 是要求直流供电的负载电阻, VD1、VD2、VD3、VD4 是整流二极管, 为计算方便, 把二极管作为理想元件处理, 即认为它的正向导通电阻为零、反向截止电阻为无穷大。图 1-9 (b) 是桥式整流电路的简化画法, 其中二极管的方向代表直流电流 I_o 的方向。

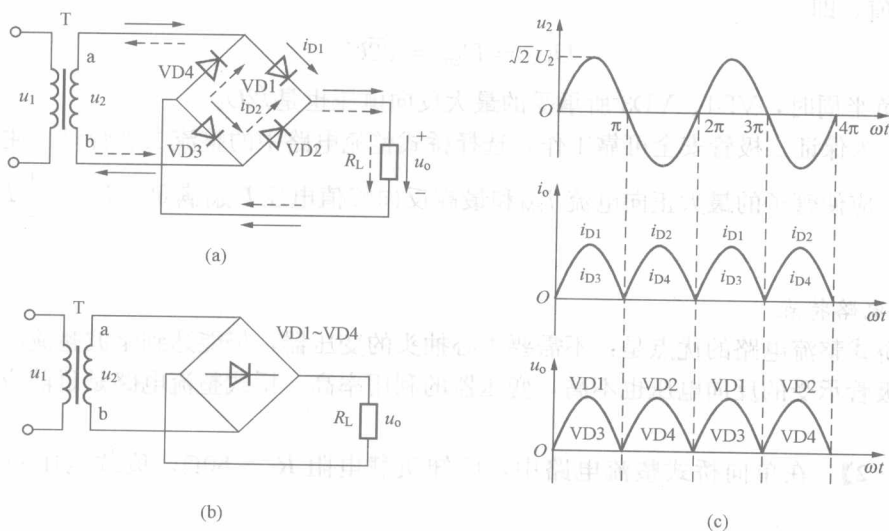


图 1-9 单相桥式整流电路及波形

(a) 桥式整流电路; (b) 简化画法; (c) 波形图

整流过程如下: 当 u_2 为正半周时, 即 a 端为正, b 端为负, 这时 VD1、VD3 承受正向电压导通, VD2、VD4 承受反向电压截止, 电流的流径是 $a \rightarrow \text{VD1} \rightarrow R_L \rightarrow \text{VD3} \rightarrow b$, 如