



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

电子技术基础

丁德渝 徐静 编



中国电力出版社

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



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

电子技术基础

丁德渝 徐 静 编
高安芹 主审



中国电力出版社

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

内 容 提 要

本书为全国电力职业教育规划教材。

本书包括模拟电子和数字电子技术两大部分，共分九章，第一～第四章为模拟电路，第五～第九章为数字电路。

模拟电路部分主要介绍半导体器件、放大电路基础、集成运算放大器及反馈、直流稳压电源。数字电路部分主要介绍常用逻辑门电路、逻辑代数基础、组合逻辑电路、触发器及时序逻辑电路和脉冲的产生与变换。模拟电路部分以基本概念、基本方法为主；数字电路部分以电路功能、应用和使用方法为主。部分选学内容在工程中应用很多，如果教学中没有选用，学生最好能自学，主要是了解电路的功能和应用。

本书可作为高职高专电力类少学时专业“电子技术基础”课程的教学用书，也可作为其他工程专科非电类专业教学或培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术基础/丁德渝，徐静编. —北京：中国电力出版社，2010.2

全国电力职业教育规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 9897 - 6

I. ①电… II. ①丁…②徐… III. ①电子技术—职业教育—教材 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 012076 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010年3月第一版 2010年3月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 9.25印张 221千字

定价 15.00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

前言

本书根据高职高专电力类非电气专业的教学要求及其教学特点编写，以实用为主，够用为度，突出能力培养。根据高职高专学校实际情况，充分考虑教师教学和学生自学的需求，力求文字简明、概念清晰、条理清楚、讲解到位、插图规范，使之易教易学。充分体现职业教育特色，作为公共基础课程教材力争与专业学习紧密结合，与学生的职业目标紧密结合，突出行业特色。本教材有如下特色：

(1) 书中选用了大量与专业有关的素材，旨在体现电子技术知识在电力行业的应用。

(2) 每章前有本章学习目标，章后有本章小结。使学生学习目标更明确，便于归纳总结和整理知识。

(3) 书中例题较多，而且解题思路、步骤清楚，便于学生学习。

(4) 书中的思考与练习题分为选择题和综合题两类，选择题可帮助学生建立电子技术的基本概念，答案的提示性使答题的难度降低。综合题难度不大，都是比较基础的题型。

(5) 在讲述基础理论时，以“必须、够用”为尺度；在讲述集成电路时，以电路功能和正确的使用方法为重点；对模拟和数字部分的基本电路定量分析较少，主要是从概念性、原理性、应用性、粗线条地进行介绍，以引出后续课程所需的概念为目的。

(6) 本书把实验融入了练习题中，学生在实验前和实验后能通过练习题更多地思考，避免机械地接线和测量数据。引导学生实验前设计实验步骤，对实验中可能看到的现象预先思考，还可作为讨论题引导学生通过讨论来完成，以增强学生的主观能动性，加强参与性。

书中标题左边带*的章节作为选学内容。选学内容其实在工程中应用也很广，但是课时有限，教师可以根据实际情况选择使用，学生可以自学。

本书第一～第四章由重庆电力高等专科学校丁德渝编写，第五～第九章由重庆电力高等专科学校徐静编写，全书由丁德渝统稿。本书由山东电力专科学校高安芹主审，提出了很多宝贵意见，在此表示衷心地感谢。

编 者

2010年2月

目 录

前言

绪论	1
第一章 半导体器件	3
第一节 半导体基础知识	3
第二节 半导体二极管	4
第三节 半导体三极管	9
* 第四节 绝缘栅型场效应管	17
本章小结	18
思考与练习题	18
第二章 放大电路基础	21
第一节 放大电路组成和基本原理	21
第二节 放大电路的分析方法	26
第三节 静态工作点的稳定性	31
第四节 共集电极放大电路和共基极放大电路	34
第五节 放大器的频率特性和多级放大电路	37
本章小结	40
思考与练习题	40
第三章 集成运算放大器及反馈	44
第一节 集成运算放大器	44
第二节 放大电路中的反馈	46
第三节 集成运算放大器的应用	49
本章小结	54
思考与练习题	55
第四章 直流稳压电源	59
第一节 单相整流电路	59
第二节 滤波电路	62
第三节 稳压电路	64
* 第四节 晶闸管可控整流电路	67
本章小结	72
思考与练习题	72
第五章 逻辑门电路	75
第一节 数字电路特点	75
第二节 基本逻辑及其门电路	76

第三节 集成门电路	80
本章小结	84
思考与练习题	85
第六章 逻辑代数基础	87
第一节 数制和码制	87
第二节 逻辑函数的表示方法及相互转换	89
第三节 逻辑代数的公式和运算规则	92
第四节 逻辑函数的化简和变换	93
本章小结	94
思考与练习题	94
第七章 组合逻辑电路	97
第一节 组合逻辑电路的分析和设计方法	97
第二节 常用的组合逻辑电路及其芯片	99
本章小结	105
思考与练习题	105
第八章 触发器及时序逻辑电路	109
第一节 基本RS触发器	109
第二节 常用触发器	111
第三节 寄存器	114
第四节 计数器	115
本章小结	121
思考与练习题	122
* 第九章 脉冲的产生与变换	125
第一节 集成 555 定时器	125
第二节 555 定时器的典型应用	126
第三节 数/模和模/数转换器	130
本章小结	132
思考与练习题	133
附录 A 国产半导体元件	135
附录 B 国产半导体集成电路	138
附录 C 集成运放 CF741 (μ A741) 内部电路	140
参考文献	141

绪 论

电子技术基础是一门研究基本电子器件、基本电子电路及其应用的科学。电子技术是工科类各专业必修的专业基础课。通过学习,学生可以提高分析问题、解决问题的能力,培养职业技能,为后续课程打好基础。

从第一只真空二极管问世到晶体管(半导体三极管)的发明,再到集成电路、超大规模集成电路的推出,电子技术迅速成为现代先进科学技术的一个重要组成部分,每一代新型电子器件的诞生和推广应用,都引起电子设备大规模地更新换代,每一次都带来工业的大革命。例如在通信方面,利用电子技术生产的现代化通信设备琳琅满目(如广播、电视的发送与接收设备,无线电话,卫星通信设备等)。在工业控制方面,采用电子技术制作的传感器、测量仪表、控制器和驱动装置使系统更加灵敏、准确,从而有效地提高了自动控制系统的

质量。

在电力行业,电厂的电气设备及系统、热工自动化设备等大量采用电子系统实现自动监测、自动控制和自动保护。例如,火电厂热工过程自动化主要包括自动检测、自动调节、顺序控制、自动保护等方面。图 0-1 是锅炉汽包水位控制装置框图,这是一个电子技术在热工过程自动化中的应用实例。其中,水位差压转换装置、差压变送器、控制器、执行器等均采用电子电路。 W 是给水流量, D 是蒸汽流量,这是决定水位的两个因素。取给定值等于正常值,控制器把测量的实际值与给定值进行比较后发出调整信号,让执行器推动控制阀做出调整。水位一旦偏离正常值,该装置就会自动调节,使水位回到正常值。

而图 0-1 中的变送器是热工自动控制设备的重要部分之一,其功能是采集并处理被控量。传感器输出的微弱电信号常用变送器转换成 $4\sim 20\text{mA}$ 的统一电流信号或 $0\sim 5\text{V}$ 的电压信号。图 0-2 是 DSTJ-3000 型智能差压、压力变送器组成框图,图中各单元由电子电路组成。此类的例子很多,可见,电子技术在电力行业中有着广泛的应用。

电子技术发展到今天,大规模、超大规模集成电路得到了广泛应用,采用大规模、超大规模集成工艺生产的微型计算机、单片机以前所未有的规模和速度应用于工农业生产、科学研究、办公自动化以及日常生活的各个领域。同时,大功率电子器件的研制也取得了突破性的进展,用大功率器件做成的驱动装置在自动化系统中有着广泛应用。可以说,工业革命离不开电子技术。

由于电子技术课程的性质和特点,学习过程中需注意以下几点。

(1) 抓住重点。电子器件和电子电路种类繁多,而且新器件、新电路不断产生,学习过程中必须抓住共性,把重点放在掌握基本概念、基本的分析方法上,对集成电路,以功能特性和正确的使用方法为重点。各章

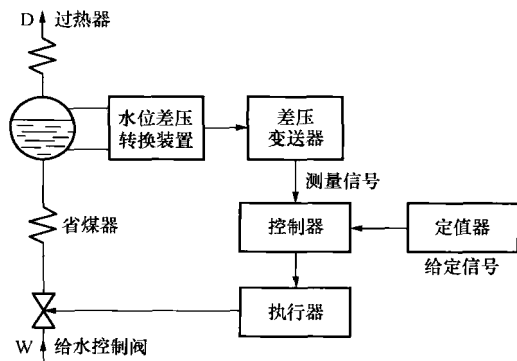


图 0-1 锅炉汽包水位控制装置框图

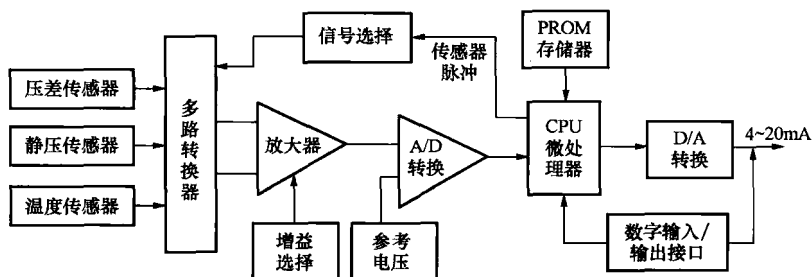


图 0-2 DSTJ-3000 型智能差压、压力变送器组成框图

中有很多电子系统应用实例，目的是介绍该章知识在电力行业的应用，让学生明确学习的必要性，不一定弄懂整个系统的工作情况。

(2) 重视实践。电子技术是实践性很强的课程，注意通过对实用电路的组装、测试和调整，培养理论联系实际，解决工程实际问题的能力，提高职业技能。

(3) 主动学习，培养自学能力。电子产品更新换代很快，需要自己不断地学习，所以学生应注意培养自己的自学能力。

(4) 归纳总结。把已学的知识及时进行归纳总结，理清思路。

半导体器件

半导体器件是电子技术的基础，是组成各种电子电路的核心元件，电子器件种类很多，新器件不断涌现，本章要介绍的半导体二极管、半导体三极管、绝缘栅型场效应管是最基础的器件，本章学习的电子器件的基础知识将为后续的学习打下坚实基础。

学习目标

- (1) 知道 PN 结特性。
- (2) 认识半导体二极管、半导体三极管和绝缘栅型场效应管的符号。
- (3) 知道半导体二极管、半导体三极管不同工作状态下的特点，知道其功能和应用。
- (4) 知道半导体二极管、半导体三极管的主要参数。
- (5) 能在电路中测试、判断半导体二极管和半导体三极管的工作状态及质量。

第一节 半导体基础知识

一、本征半导体

自然界中的各种物质，按导电能力可分为导体、绝缘体、半导体。导电能力介于导体和绝缘体之间的物质（如硅、锗、砷化镓以及金属氧化物和硫化物等）称为半导体。半导体之所以得到广泛应用，是因为其具有特殊的导电性能。

1. 热敏性

当环境温度变化时导体、绝缘体电阻率的变化很小，而半导体的电阻率会随温度的变化而显著变化。大约温度每升高 10°C ，半导体的电阻率就会减小到原来的一半。利用其热敏性可将其制成各种热敏电阻，常用于自动检测、自动控制电路中。

2. 光敏性

光照的强弱会使半导体导电性能发生显著变化。例如一块半导体材料硫化镉，在没有光照射时，电阻高达几十兆欧；受到光照射时，电阻可降到几十千欧，两者相差上千倍。利用光敏性可制成光电二极管、光电三极管及光敏电阻等，用于自动检测、自动控制电路中。

3. 杂敏性

在半导体材料中掺入微量的某种杂质元素，可以显著地改变其导电性能，这是半导体最突出的特性。利用杂敏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。

本征半导体是纯净的半导体，常用的半导体材料是单晶硅（Si）和单晶锗（Ge）等。半导体具有特殊的导电特性，根本原因在于其特殊的原子结构。原子核最外层的电子称为价电子，价电子的数目决定物质的导电性能。导电的电荷称为载流子，半导体中有两种载流子，分别是带正电荷的空穴和带负电荷的自由电子。常温下，本征半导体中载流子浓度很低，所以导电性能差。

二、杂质半导体

在本征半导体中掺入微量的杂质元素，会使半导体的导电性能发生显著变化。根据掺入杂质元素的不同，杂质半导体可分为 P 型半导体和 N 型半导体两大类。

在本征半导体硅（或锗）中掺入微量的 3 价元素（如硼、镉等），形成的杂质半导体称为 P 型半导体。

在本征半导体硅（或锗）中掺入微量的 5 价元素（如磷、砷、镓等），形成的杂质半导体称为 N 型半导体。

三、PN 结及其导电特性

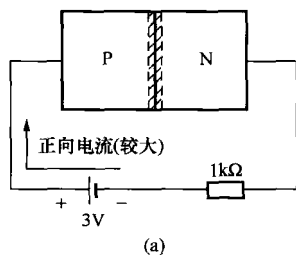
1. PN 结

采用特定的工艺，使 N 型和 P 型半导体结合，在 P 型和 N 型半导体的交界面附近会形成一个特殊的薄层，称其为 PN 结。PN 结内部载流子的运动决定了它特定的性质。PN 结是构成多种半导体器件的基础，各种半导体器件的性能跟 PN 结有着密切的关系。

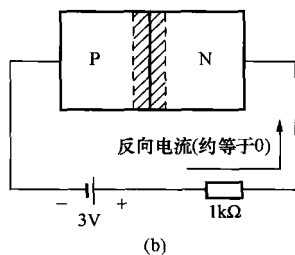
2. PN 结的单向导电特性

PN 结在不同的运用状态下表现的特性不同，了解这些特性是理解和使用晶体二极管、晶体三极管的重要依据。

(1) PN 结正向偏置时导通。给 PN 结加上正向电压（即正向连接或正向偏置，简称正偏），如图 1-1 (a) 所示，P 区接高电位端，N 区接低电位端，此时流过 PN 结的电流为正向电流。正向电流较大，且电流随外加电压的增大而增大，说明 PN 结正向导通，这时 PN 结对外呈现较小的电阻值。



(a)



(b)

图 1-1 PN 结的单向导电性

(a) PN 结正向偏置；(b) PN 结反向偏置

(2) PN 结反向偏置时截止。

给 PN 结加上反向电压（即反向偏置，简称反偏），如图 1-1 (b) 所示，P 区接低电位端，N 区接高电位端，此时流过 PN 结的电流叫反向电流。反向电流很小，约等于 0，说明 PN 结反向不导通，即 PN 结反向截止，这时 PN 结呈现很大的电阻。温度

和光照强度会影响反向电流的大小。

(3) PN 结两端有等效电容。PN 结表面有电荷积累，所以 PN 结有电容。

综上所述，PN 结正偏时，正向电流较大且随外加电压变化而变化，即 PN 结正向导通；PN 结反偏时，反向电流很小（约等于 0）即 PN 结反向截止，这就是 PN 结的单向导电性。

第二节 半导体二极管

一、半导体二极管结构与分类

1. 半导体二极管结构和符号

半导体二极管（以下简称二极管）是由一个 PN 结加电极引线和管壳构成的，两个电极分别为阳极和阴极。二极管的原理及电路符号示意图如图 1-2 所示，在图 1-2 (b) 所示电

路符号中,箭头指向为正向导通时电流方向。

2. 二极管分类

二极管根据制作材料可分为硅二极管、锗二极管和砷化镓二极管等。

按结构分为点接触型、面接触型和平面型二极管。按用途分为整流、稳压、开关、发光、光电、变容等二极管。按封装形式分为塑封及金属封等二极管。按功率分为大功率、中功率及小功率等二极管。半导体二极管的命名方法见表 A-1, 部分二极管型号及参数等见表 A-2~表 A-5, 更多资料可查阅半导体器件手册等工具书。

按用途分为整流、稳压、开关、发光、光电、变容等二极管。按封装形式分为塑封及金属封等二极管。按功率分为大功率、中功率及小功率等二极管。半导体二极管的命名方法见表 A-1, 部分二极管型号及参数等见表 A-2~表 A-5, 更多资料可查阅半导体器件手册等工具书。

二、半导体二极管的伏安特性

半导体二极管的核心是 PN 结, 它具有 PN 结的特性——单向导电性。伏安特性曲线可以直观、具体地描述其性能。伏安特性即二极管两端电压与通过二极管的电流之间的关系。二极管伏安特性曲线如图 1-3 所示, 由此图可见, 二极管的特性是非线性的。分区域来看, 呈现出一些不同的特点。

1. 正向特性

(1) 死区 (OA 段)。二极管加正向电压但正向电压较小, 此时, 正向电流极小 (几乎为 0), 这一部分区域称为死区, 相应的 A 点的电压称为死区电压或门槛电压 (也称阈值电压) $U_{D(th)}$, 此区域特点是电流约等于 0。硅管死区电压约为 0.5V, 锗管死区电压约为 0.1V。

(2) 正向导通区 (AB 段)。当二极管正向电压超过门槛电压 $U_{D(th)}$ 时, 正向电流就会随电压的增大而迅速增大, 二极管处于导通状态, 呈现很小的电阻, 在电路中相当于闭合的开关。一般, 二极管导通状态时两端电压变化不大, 硅管的正向导通压降为 0.6~0.8V, 锗管为 0.2~0.3V。工程上常取 PN 结正向导通时电压为常数, 硅管约 0.7V, 锗管约 0.3V。正向导通区的特点是电流较大且可变, 电压约为常数。

2. 反向特性

(1) 反向截止区 (OC 段)。二极管两端加上反向电压时, 开始的很大范围内, 反向电流很小 (约等于 0), 且不随反向电压变化而变化, 这时二极管的状态为截止。在电路中相当于开关“关断”, 此时的电流称为反向饱和电流 I_R , 它受温度影响很大。反向电流越小, 管子热稳定性越强。由图 1-3 可见, 锗管反向电流比硅管大, 所以, 硅管热稳定性比锗管强。

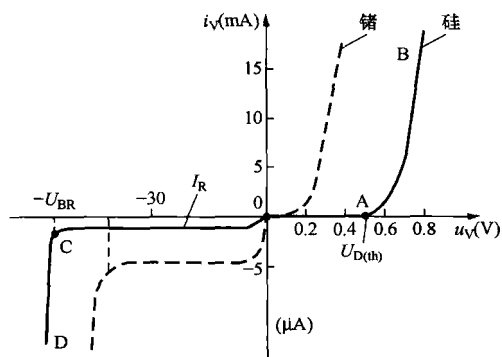


图 1-3 二极管伏安特性曲线

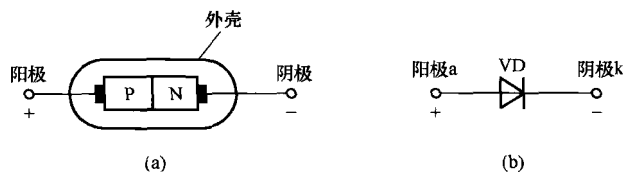


图 1-2 二极管的原理和电路符号示意图

(a) 二极管结构图; (b) 二极管符号表示

反向截止区的特点是电流约等于 0。

(2) 反向击穿区 (CD 段)。当反向电压增加到一定数值时, 反向电流急剧增大, 这种现象称为反向击穿。发生击穿所需的电压称为反向击穿电压 U_{BR} 。这时电流变化很大而电压变化很小, 表现出很好的稳压性。对反向击穿时的电流加以限制, 产生的电击穿是可以恢复的, 管子一般不会损坏。若对反向击穿后的电流不加以限制, PN 结会因过热而烧坏, 这种情况为热击穿。反向击穿区的特点是两端电压较稳定。

总之,从整体来看,二极管是非线性的,其分析方法常用图解法或近似计算法,近似计算法是根据不同区域的特点对二极管做相应的等效,从而进行电路计算,这是工程中常用的一种方法。所以分析二极管电路的关键是先确定其工作状态:①若二极管正向导通,则取两端的电压为常数(硅管约 0.7V,锗管约 0.3V);②若二极管在死区或反向截止,则取二极管电流约等于 0;③若二极管反向击穿,且有限流电阻使其不损坏,则取二极管两端电压为击穿电压。二极管一般工作在正向导通或反向截止状态,稳压时工作在反向击穿状态。

【例 1-1】 电路如图 1-4 所示,设图中二极管为 2AP8A,试求:各电路中二极管 VD 的端压 U_{VD} 、电阻的电压 U_R 和电流 I 。

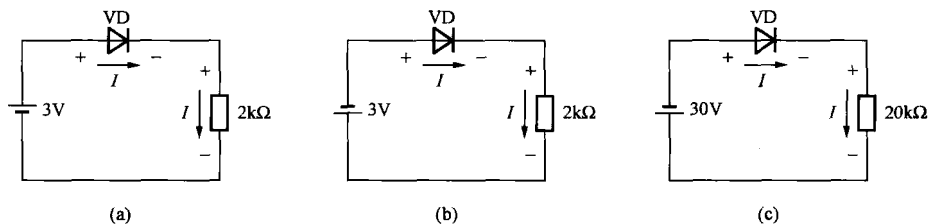


图 1-4 例 1-1 图

解 通过半导体器件手册查得,2AP8A 是锗管,允许的最大正向电流平均值为 35mA,反向击穿电压为 20V (反向击穿时稳定电流范围 200~800 μ A),截止时反向电流约为 0。

设二极管和电阻的电压极性和电流方向如图 1-4 所示,则

图 1-4 (a) 中,二极管正向导通,所以取 $U_{VD}=0.3$ V,则

$$U_R = 3 - 0.3 = 2.7 \text{ V}$$

$$I = \frac{2.7\text{V}}{2\text{k}\Omega} = 1.35 \text{ mA}$$

I 没有超过最大允许电流,二极管能安全、正常地工作。

图 1-4 (b) 中,二极管是反向截止状态,所以电流 $I \approx 0$, $U_R \approx 0$, $U_{VD} \approx -3$ V。

图 1-4 (c) 中,二极管是反向击穿状态,所以

$$U_{VD} = -20\text{V} \quad U_R = -(30 + U_{VD}) = -(30 - 20) = -10 \text{ V}$$

$$I = \frac{-10\text{V}}{20\text{k}\Omega} = -0.5\text{mA} = -500 \mu\text{A}$$

I 在稳定电流范围内,二极管能安全、正常地工作。

三、半导体二极管的主要参数

半导体二极管的主要参数是定量描述二极管性能的质量指标,实际应用中依据参数来合理、正确地选用二极管。半导体二极管的主要参数可由工具书(半导体器件手册等)查询,表 A-2~表 A-5 中列出了部分二极管的参数。

1. 最大整流电流 I_{FM}

最大整流电流是指管子正向导通的一段时间(正弦交流电一个周期)内,允许通过的最大正向平均电流。因为电流通过 PN 结时要引起管子发热,温度升高,电流太大,结温超过限度就会使 PN 结烧坏。所以实际电路中,应选最大整流电流大于管子实际电流平均值的二极管,并留有裕量,一般 1.5~2 倍以上。例如 2AP1 最大整流电流为 16mA,电路中的实际电流平均值应该小于 8~12mA。再如,电路中实际平均电流为 20mA,那么选择 2AP8 可满

足要求,其最大整流电流为 35mA,见表 A-3。

2. 反向击穿电压 U_{BR} 和最高反向工作电压 U_{RM}

反向击穿电压 U_{BR} 是指反向击穿时的电压值。击穿时,反向电流剧增,使二极管的单向导电性被破坏,甚至会因过热而烧坏。一般手册上给出的最高反向工作电压约为击穿电压的一半,以确保管子安全、可靠地工作在截止状态。例如,2AP1 最高反向工作电压规定为 20V,而反向击穿电压大于 40V。实际电路中,根据二极管实际反向电压值,选择最高反向工作电压大于实际反向电压的二极管。

3. 反向饱和电流 I_R

在室温下,二极管反向截止时的电流值称为反向饱和电流。温度升高时, I_R 增大,锗管温度比室温升高约 8°C 反向电流增大一倍,硅管温度比室温升高约 12°C 反向电流增大一倍。因此,反向饱和电流越小热稳定性越强,硅管热稳定性比锗管好。

4. 最高工作频率 f_M

由于 PN 结有电容效应,二极管的工作频率受到限制。

一般半导体器件手册中都给出不同型号管子的参数。在使用时,应特别注意不要超过最大整流电流和最高反向工作电压,否则管子容易被损坏。

四、特殊二极管

前面主要讨论了普通二极管,另外还有一些特殊用途的二极管,如稳压二极管、光电二极管、发光二极管和变容二极管等,这里简单介绍几种特殊用途的二极管。

1. 稳压二极管

(1) 稳压特性。稳压二极管伏安特性曲线、图形符号及其电路如图 1-5 所示,它的正向特性曲线与普通二极管相似,而反向击穿特性曲线很陡,反向击穿电压值比普通二极管小。在正常情况下稳压二极管工作在反向击穿区,由于反向击穿特性曲线很陡,反向电流在很大范围内变化时,端电压变化很小,因而具有稳压作用。如图 1-5 (a) 所示,当电流变化量 ΔI_{VS} 很大时,引起的电压变化量 ΔU_{VS} 却很小。只要反向电流不超过其最大稳定电流,就不会形成破坏性的热击穿,因此,在电路中应给稳压二极管串联一个阻值适当的限流电阻。

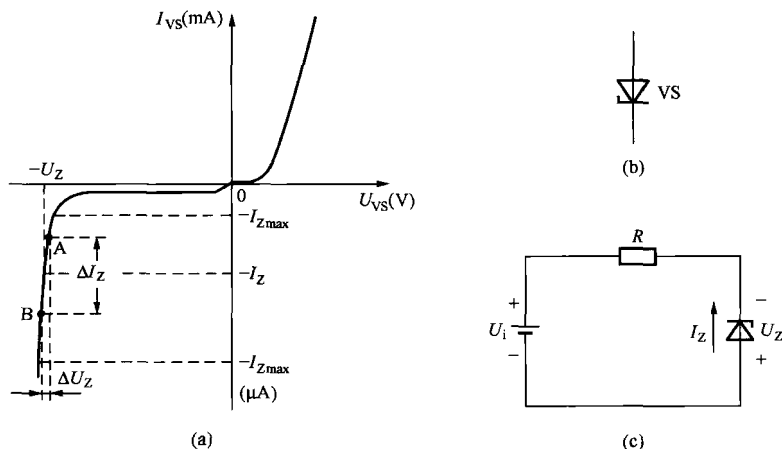


图 1-5 稳压二极管伏安特性曲线、图形符号及其电路

(a) 伏安特性曲线; (b) 图形符号; (c) 稳压二极管电路

(2) 基本参数。

1) 稳定电压 U_Z : 指在规定的测试电流下, 稳压二极管的反向电压如图 1-5 (a) 所示, 其值取决于稳压二极管的反向击穿电压值。

2) 稳定电流 I_Z : 指稳压二极管在稳压工作时的电流值, 如图 1-5 (a) 所示, 稳定电流是端电压为稳定电压时对应的电流值, 其范围为 $I_{Zmin} \sim I_{Zmax}$ 。

3) 最小稳定电流 I_{Zmin} : 指稳压二极管具有稳压作用的最小反向电流, 当反向工作电流小于此值时稳压二极管失去稳压作用。

4) 最大稳定电流 I_{Zmax} : 指稳压二极管长时间工作时允许通过的最大反向电流, 当反向工作电流大于此值时稳压二极管可能因热击穿而损坏。

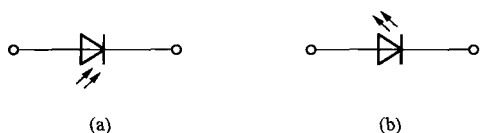
5) 最大耗散功率 P_M : 指管子工作时允许承受的最大功率, $P_M = I_{Zmax} U_Z$, 其值由稳压二极管允许的最高结温决定。

6) 动态电阻 r_Z : 稳压范围内 $r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$, 稳压二极管的反向击穿特性曲线越陡, 即动态电阻 r_Z 越小, 则稳压性能越好。

2. 光电二极管

光电二极管的结构与普通二极管的结构基本相同, 只是在它的 PN 结处, 通过管壳上的一个玻璃窗口能接收外部的光照。光电二极管的 PN 结在反向偏置状态下运行, 其反向电流随光照强度的增加而增大。光电二极管的主要特点是其反向电流与光照度成正比, 有足够的

光照才能形成较大电流。常用于自动检测和自动控制电路中, 完成光电转换。光电二极管图形符号如图 1-6 (a) 所示。



3. 发光二极管

发光二极管在正向导通时能发光, 图形符号如图 1-6 (b) 所示。发光二极管常用作显示

器件, 除单个使用外, 也常做成七段式或矩阵式显示器。

五、普通二极管的简易测试

对于普通小功率二极管, 将万用表置于 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡 ($R \times 1$ 挡电流太大, $R \times 10k$ 挡电压太高, 易损坏管子), 如图 1-7 所示测量二极管电阻, 万用表内部电源的正极对应黑表笔, 而红表笔对应内部电源的负极, 如图 1-7 (a) 所示。若测得电阻小, 说明二极管是正向连接, 此时黑表笔接的是二极管的阳极, 如图 1-7 (b) 所示; 若测得电阻大, 说

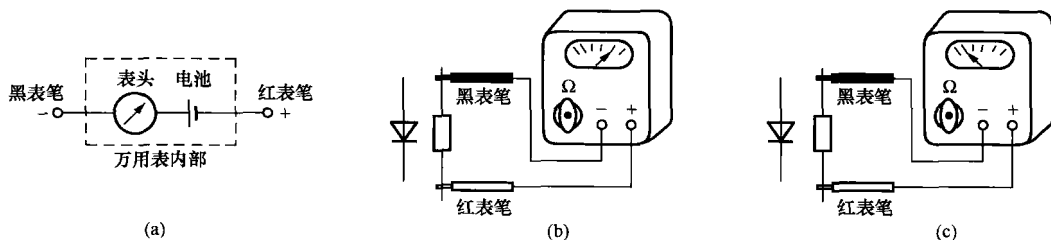


图 1-7 万用表简易测试二极管示意图

(a) 万用表表内电源极性示意图; (b) 正偏测得电阻小; (c) 反偏测得电阻大

明二极管为反向连接,此时黑表笔接的是二极管的阴极,如图 1-7 (c) 所示。如正反测电阻都很大,则可能二极管内部开路,如正反测电阻都约为 0,则可能二极管内部短路,均说明二极管坏了。正常情况下,应该正反接测得的电阻差异很大。

六、二极管的应用

二极管常用于开关、检波、整流、限幅、稳压等。图 1-8 所示是一个半导体器件的应用电路实例。

ZSLD 型电信号长行程执行机构是一种火电厂热工自动控制设备,其中,三断自锁装置的自锁控制电路主要由开关电路和控制继电器组成,其开关控制电路如图 1-8 所示。图中的 VD1、VD2、VD3 是二极管,VT1 是结型场效应管,VT2 是 PNP 三极管。当输入端接到断电信号时,继电器线圈 J 失电,使继电器触头做出相应的动作,切断电磁阀的电源,电源中断而自锁(自锁即保持)。图 1-8 中二极管 VD1 起限幅作用,其使 VT1 输入端 AB 间电压不超过 VD1 导通电压 0.7V。当开关电路工作正常时 VD2 截止,相当于 VD2 支路断开,不影响继电器工作;断电时,VD2 导通让继电器通过它迅速释放电磁能。通常,在感性负载的两端并联二极管为释放电磁能提供通路,称其为续流二极管。VD3 是稳压二极管,两端电压稳定。电路中的 VT1 和 VT2 是后面章节将要学习的基本器件。

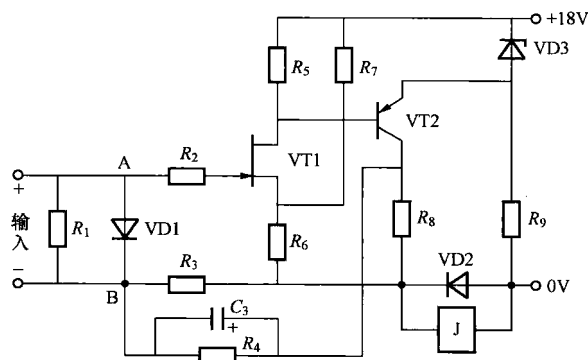


图 1-8 自锁控制中的开关控制电路

用,其使 VT1 输入端 AB 间电压不超过 VD1 导通电压 0.7V。当开关电路工作正常时 VD2 截止,相当于 VD2 支路断开,不影响继电器工作;断电时,VD2 导通让继电器通过它迅速释放电磁能。通常,在感性负载的两端并联二极管为释放电磁能提供通路,称其为续流二极管。VD3 是稳压二极管,两端电压稳定。电路中的 VT1 和 VT2 是后面章节将要学习的基本器件。

所有的电子设备都需要直流电源,在将交流电变成直流电的电路中,二极管组成的整流电路是其重要部分,其电路图可参见本书第四章。

第三节 半 导 体 三 极 管

半导体三极管有双极型和单极型,双极型半导体三极管称为晶体三极管或简称三极管、晶体管等(也称 BJT),双极型三极管工作时有空穴和自由电子两种载流子参与导电。而单极型半导体三极管又被称为场效应管(简称 FET),单极型三极管工作时只有一种载流子参与导电。

一、半导体三极管的结构与分类

1. 半导体三极管的结构及符号

三极管的结构示意如图 1-9 所示,三极管有两个 PN 结,三个电极,分别称为发射极 e、基极 b 和集电极 c。发射区和基区交界处的 PN 结叫发射结;基区和集电区交界处的 PN 结叫集电结。根据组成结构,三极管可被分为 NPN 型和 PNP 型两大类。三极管符号中的箭头方向表示发射结正向偏置时的电流方向。

为使三极管具有电流放大作用,其内部结构应满足以下条件:①发射区掺杂浓度最高;②基区很薄,掺杂浓度很低;③集电区比发射区体积大且掺杂少。

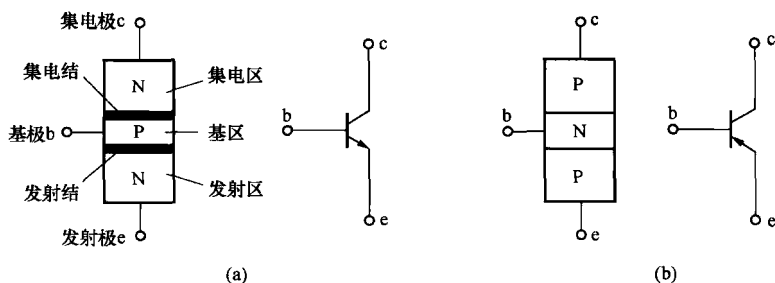


图 1-9 三极管的结构示意与图形符号

(a) NPN 型三极管结构示意及图形符号；(b) PNP 型三极管结构示意及图形符号

由此可见，三极管并非两个 PN 结的简单组合，不能用两个二极管来代替，在放大电路中也不可将发射极和集电极对调使用。

2. 半导体三极管的分类

半导体三极管的种类很多，按其导电类型分为 NPN 管和 PNP 管；按其制作材料分为硅管和锗管；按工作频率分为高频管和低频管；按功率大小分为大功率管、中功率管和小功率管；按封装形式分为塑封和金属封。三极管的型号有如 3AX31A、3DG12B、3CG14G、3DD15 等，型号及参数等可查阅表 A-1 及表 A-6 和表 A-7，或查阅半导体器件手册等工具书。常见的三极管外形图如图 1-10 所示。

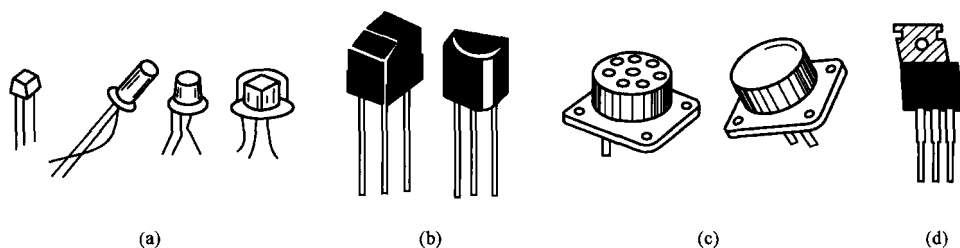


图 1-10 常见的三极管外形图

(a) 金属封小功率管；(b) 硅铜塑封管；(c) 低频大功率管（金属封）；(d) 塑封大功率管

二、半导体三极管的电流分配与放大作用

图 1-11 为三极管共射极放大电路的直流电源接法，该电路有输入和输出两个回路，发射极是输入和输出回路的公共端，所以为共发射极接法。比较图 1-11 (a) 和图 1-11 (b) 可见，两种不同类型的三极管所加电源电压的极性相反。

根据基尔霍夫节点电流定律，有

$$I_E = I_B + I_C \quad (1-1)$$

式 (1-1) 表示了三个电极电流之间的关系，即为三极管的电流分配关系。

通过实验发现： $I_C \gg I_B$ ，即输出回路的电流 (I_C) 比输入回路的电流 (I_B) 大得多，表明较小的输入电流能使电路获得了较大的输出电流，说明三极管有直流电流放大作用。而调节 R_B 可使各电流发生变化，实验证明变化量之间有 $\Delta I_E = \Delta I_C + \Delta I_B$ ，其中 $\Delta I_C \gg \Delta I_B$ ，即基极电流很小的变化能引起集电极电流较大的变化，说明三极管有交流电流放大作用。总之，三极管具有电流放大能力，三极管的放大特性是其内部载流子运动的结果。

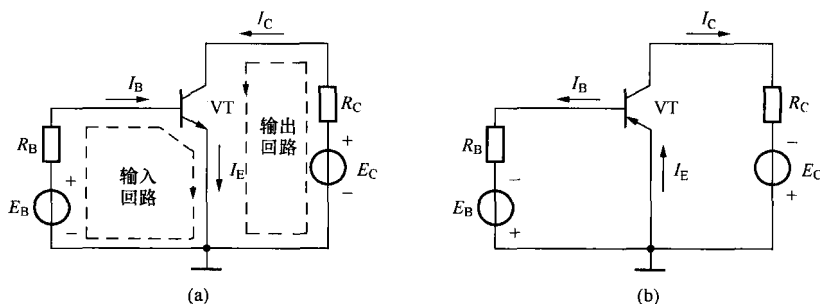


图 1-11 三极管共发射极放大电路的直流电源接法

(a) NPN 三极管共发射极放大电路; (b) PNP 三极管共发射极放大电路

三、半导体三极管的伏安特性曲线

半导体三极管伏安特性曲线是各电极间电压和电流之间的关系曲线。其测试电路如图 1-12 (a) 所示。三极管电路有输入和输出两个回路, 因此特性曲线分为输入特性曲线和输出特性曲线。

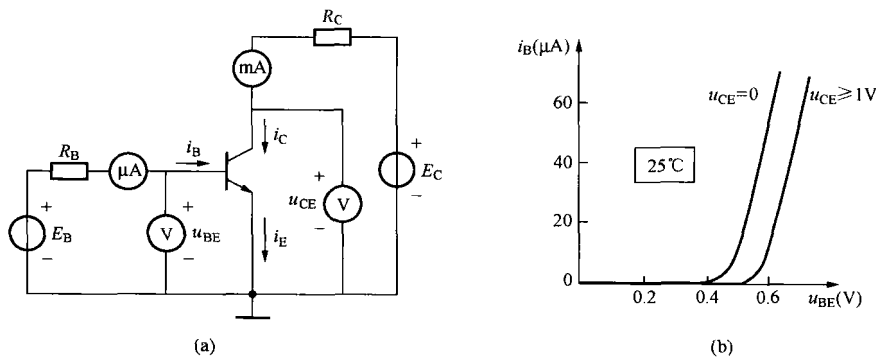


图 1-12 三极管特性测试电路和输入特性曲线

(a) 三极管特性测试电路; (b) 输入特性曲线

1. 输入特性曲线

当 u_{CE} 不变时, 输入回路中的电流 i_B 与电压 u_{BE} 之间的关系被称为输入特性, 用函数表达式表示为

$$i_B = f(u_{BE}) \Big|_{u_{CE}=\text{常数}} \quad (1-2)$$

三极管的输入特性曲线如图 1-12 (b) 所示。当 $u_{CE} = 0$ 时, 三极管的输入回路相当于两个 PN 结并联, 三极管的输入特性是正偏二极管的伏安特性。

当 $u_{CE} > 0$ 时, 输入特性曲线与 $u_{CE} = 0$ 时相比向右移动, 但当 $u_{CE} \geq 1V$ 以后, 不同 u_{CE} 值对应的各条输入特性曲线几乎重叠在一起。在实际应用中, 三极管的 u_{CE} 一般大于 $1V$, 因而 $u_{CE} \geq 1V$ 时的曲线更具有实际意义, 所以一般就只画 $u_{CE} \geq 1V$ 的一条曲线。由三极管的输入特性曲线可以看出: 三极管的输入特性是非线性的, 输入特性可分为死区和正向导通区, 正向导通时, 工程上常取 u_{BE} 为常数, 即发射结导通时, 硅管 $u_{BE} \approx 0.7V$, 锗管