



中等职业教育特色精品课程规划教材
中等职业教育课程改革项目研究成果

电子技术基础

dianzi jishu jichu

■ 主编 刘 辉

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21世纪中等职业教育特色精品课程规划教材
中等职业教育课程改革项目研究成果

电子技术基础

主 编 刘 辉
副主编 杨晓剑

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书有较为合理的理论深度,较宽的覆盖面,淡化功能的分析,强化功能的理解和应用。在把握理论深度上,确保基本理论,强化物理意义及应用,其主要体现在器件的选用,单元电路的应用;在综合应用方面,其覆盖更宽些;对集成电路,重点介绍符号、功能、应用,尽量不涉及内部电路的分析过程;对实际电路,阐述基本工作原理、基本分析方法,重点是强化应用中的实际问题及解决的思路 and 措施,以提高学生对集成电路功能的理解和灵活应用集成电路的能力,体现了职业技术教育的特色。

本书的特色主要体现在:

- (1) 器件方面:重点介绍符号、功能、应用,尽量不涉及内部的分析过程。
- (2) 电路方面:阐述基本的工作原理、基本分析方法、强化实际应用及解决实际问题的思路 and 措施。
- (3) 图表:充分利用图表这个形象的“语言”,提高学生读图表的能力,同时也提高了应用新器件的能力。

版权专用 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础/刘辉主编. —北京:北京理工大学出版
社, 2009. 9
ISBN 978 - 7 - 5640 - 2841 - 1

I. 电… II. 刘… III. 电子技术 - 专业学校 - 教材
IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 157643 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京通县华龙印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 10.5

字 数 / 269 千字

版 次 / 2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷

定 价 / 19.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 母长新

图书出现印装质量问题,本社负责调换

出版说明

中等职业教育是以培养具有较强实践能力,面向生产、面向服务和管理第一线职业岗位的实用型、技能型专门人才为目的的职业技术教育,是职业技术教育的初级阶段。目前,中等职业教育教学改革已经从专业建设、课程建设延伸到了教材建设层面。根据教育部关于要求发展中等职业技术教育,培养职业技术人才的大纲要求,北京理工大学出版社组织编写了《21世纪中等职业教育特色精品课程规划教材》。该系列教材是中等职业教育课程改革项目研究成果。坚持以能力为本位,以就业为导向,以服务学生职业生涯发展为目的的指导思想。主要从以下三个角度切入:

1. 从专业建设角度

该系列教材摒弃了传统普通高等教育和传统职业教育“学科性专业”的束缚,致力于中等职业教育“技术性专业”。主体内容由与一线技术工作相关联的岗位有关知识所构成,充分体现职业技术岗位的有效性、综合性和发展性,使得该系列教材不但追求学科上的完整性、系统性和逻辑性,而且突出知识的实用性、综合性,把就业岗位所需要的知识和实践能力的培养融于一炉。

2. 从课程建设角度

该系列教材规避了现有的中等职业教育教材内容上的“重理论轻实践”、“重原理轻案例”,教学方法上的“重传授轻参与”、“重课堂轻现场”,考核评价上的“重知识的记忆轻能力的掌握”、“重终结性的考试轻形成性考核”的倾向,力求在整体教材内容体系以及具体教学方法指导、练习与思考等栏目中融入足够的实训内容,加强实践性教学环节,注重案例教学和能力的培养,使职业能力的提升贯穿于教学的全过程。

3. 从人才培养模式角度

该系列教材为了切合中等职业教育人才培养的产学结合、工学交替培养模式,注重有学就有练、学完就能练、边学边练的同步教学,吸纳新技术引用、生产案例等情景来激活课堂。同时,为了结合学生将来因为岗位或职业的变动而需要不断学习的实际,注重对新知识、新工艺、新方法、新标准引入,在培养学生创造能力和自我学习能力的培养基础上,力争实现学生毕业与就业上岗的零距离。

为了贯彻和落实上述指导思想,在本系列教材的内容编写上,我们坚持以下一些原则:

1. 适应性原则

在进行广泛的社会调查基础上,根据当今国家的政策法规、经济体制、产业结

构、技术进步和管理水平对人才的结构需求来确定教材内容。依靠专业自身基础条件和发展的可行性,以相关行业和区域经济状况为依托,特别强调面向岗位群体的指向性,淡化行业界限、看重市场选择的用人趋势,保证学生的岗位适应能力得到训练,使其有较强的择业能力,从而使教材有活力、有质量。

2. 特色性原则

在调整原有专业内容和设置专业新兴内容时,注意保留和优化原有的、至今仍适应社会需求的内容,但随着社会发展和科技进步,及时充实和重点落实与专业相关的新内容。“特色”主要是体现为“人无我有”,“人有我精”或“众有我新”,科学预测人才需求远景和人才培养的周期性,以适当超前性专业技术来引领教材的时代性。结合一些一线工作的实际需要和一些地方用人单位的区域资源优势、支柱产业及其发展方向,参考发达地区的发展历程,力争做到专业课内容的成熟期与人才需求的高峰期相一致。

3. 宽口径性原则

拓宽教材基础是提高专业适应性的重要保证之一。市场体制下的人才结构变化加快,科技迅猛发展引起技术手段不断更新,用人机制的改革使人才转岗频繁,由此要求大部分专门人才应是“复合型”的。具体课程内容应是当宽则宽,当窄则窄。在紧扣本专业课程内容基础上延伸或派生出一些适应需求的与其他专业课相关的综合技能。既满足了社会需求又充分锻炼学生的综合能力,挖掘了其潜力。

4. 稳定性和灵活性原则

中职职业教育的专业课程都有其内核的稳定性,这种内核主要是体现在其基本理论,基础知识等方面。通过稳定性形成专业课程教材的专业性特点,但同时以灵活的手段结合目标教学和任务教学的形式,设置与生产实践相切合的项目,推进教材教学与实际工作岗位对接。

为了更好地落实本教材的指导思想和编写原则,教材的编写者都是既有一定的教学经验、懂得教学规律,又有较强实践技能的专家,他们分别是:相关学科领域的专家;中等职业教育科研带头人;教学一线的高级教师。同时邀请众多行业协会合作参与编写,将理论性与实践性高度统一,打造精品教材。另外,还聘请生产一线的技术专家来审读修订稿件,以确保教材的实用性、先进性、技术性。

总之,该系列教材是所有参与编写者辛勤劳作和不懈努力的成果,希望本系列教材能为职业教育的提高和发展作出贡献。

北京理工大学出版社

前言



电子技术是一门发展迅速、实践性很强的技术基础课程。为了适应现代电子技术飞速发展的需要,更好地培养21世纪的应用型人才,编者根据中等职业技术教育的特点,开拓教材编写的新思路、新模式,本着确保基础、精选内容、利于教学、联系实际、适度够用、引导创新,以培养学生综合工作能力为出发点进行编写。本书有较为合理的理论深度,较宽的覆盖面,淡化功能的分析,强化功能的理解和应用。在把握理论深度上,确保基本理论,强化物理意义及应用,其主要体现在器件的选用,单元电路的应用;在综合应用方面,其覆盖更宽些;对集成电路,重点介绍符号、功能、应用,尽量不涉及内部电路的分析过程;对实际电路,阐述基本工作原理、基本分析方法,重点是强化应用中的实际问题及解决的思路 and 措施,以提高学生对集成电路功能的理解和灵活应用集成电路的能力,体现了职业技术教育的特色。

本书的特色主要体现在:

- (1) 器件方面:重点介绍符号、功能、应用,尽量不涉及内部的分析过程。
- (2) 电路方面:阐述基本的工作原理、基本分析方法、强化实际应用及解决实际问题的思路 and 措施。
- (3) 图表:充分利用图表这个形象的“语言”,提高学生读图表的能力,同时也提高了应用新器件的能力。

本书的编写得到了各参编院校领导的大力支持和相关专业教师的积极配合,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,难免会有错误和不足之处,殷切地期望广大读者给予批评和指正。

编者

目 录

第一章 放大电路基础知识	1
第一节 半导体二极管	1
第二节 半导体三极管	6
第三节 基本放大电路及放大电路的分析方法	14
第四节 放大电路静态工作点的稳定	20
第五节 共集电极放大电路及多级放大电路	22
第二章 负反馈放大器	27
第一节 反馈的基本知识	27
第二节 反馈的类型及判断	29
第三节 负反馈对放大器性能的影响	35
第三章 正弦波振荡电路	39
第一节 正弦波振荡器基础知识	39
第二节 几种典型正弦波振荡电路	41
第四章 直流稳压电源	50
第一节 二极管整流电路	50
第二节 电容滤波电路	53
第三节 稳压电路	58

第五章 集成运算放大电路	64
第一节 直接耦合放大电路和差动放大电路	64
第二节 集成运算放大电路	67
第三节 基本运算放大电路	71
第四节 集成运算放大电路的应用	73
第六章 数字电路基础	79
第一节 数制及其代码	79
第二节 门 电 路	81
第三节 逻辑代数的基本定律	88
第四节 逻辑电路图、逻辑表达式与真值表之间的互换	90
第七章 组合逻辑电路	94
第一节 组合逻辑电路的分析与设计	94
第二节 常用组合电路	97
第八章 时序逻辑电路	110
第一节 几种常见的触发器	110
第二节 寄 存 器	116
第三节 计 数 器	121
第九章 数字电路在脉冲电路中的应用	131
第一节 脉冲的基本概念	131
第二节 施密特电路	135
第三节 单稳态电路	138
第四节 多谐振荡器	143
第五节 555 时基电路及应用	146
第十章 数模和模数转换	152
第一节 D/A 转换器 (DAC)	152
第二节 A/D 转换器 (ADC)	156

放大电路基础知识



本章概述

本章首先介绍了半导体的基本知识,然后介绍了常用的半导体二极管、晶体管和场效应管的基本结构、工作原理、特性曲线及主要参数,最后介绍晶体管低频放大电路的基本工作原理、性能指标及基本分析方法。本章所涉及的基本概念、基本电路、基本分析方法是电子线路分析的基本知识,是学习的重点。



教学目标

1. 掌握半导体二极管的类型及相关特性。
2. 熟悉半导体三极管电流放大条件和相关特性。
3. 掌握基本放大电路及放大电路的分析方法。
4. 了解放大电路静态工作点的稳定措施。
5. 了解共集电极放大电路和多极放大电路相关知识。

* * * * *

第一节 半导体二极管

一、半导体及 PN 结

1. 半导体

导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。纯净的、具有晶体结构的半导体称为本征半导体。常用的半导体材料主要有硅、锗、硒和一些氧化物、硫化物等。半导体的导电能力受外界影响很大,主要表现在以下几方面。

(1) 光敏性 半导体的导电能力随光照的不同而不同,当光照加强时,其导电能力增强。利用这种特性可以制成各种光敏器件,如光电管、光电池等。

(2) 掺杂特性 如果在纯净的半导体中掺入微量的某些有用杂质,其导电能力将大大增加,可以增加几十万倍甚至几百万倍。利用这种特性可制成半导体二极管、晶体管、场效应管及晶闸管等很多不同用途的半导体器件。

(3) 热敏性 半导体的导电能力对温度很敏感。当环境温度升高时,其导电能力增强。

利用这种特性可以制成各种热敏器件，如热敏电阻等，可用来检测温度的变化以及对电路进行控制等。

本征半导体掺入微量元素后就成为杂质半导体。由于掺入的杂质不同，杂质半导体可分为 N 型半导体和 P 型半导体。N 型半导体参与导电的多数载流子为带负电的“自由电子”，P 型半导体参与导电的多数载流子为带正电的“空穴”。

2. PN 结

在一块纯净的本征半导体中，通过不同的掺杂工艺，使其一边成为 N 型半导体，另一边成为 P 型半导体，那么就会在这两种半导体的交界处形成 PN 结，如图 1-1 所示。PN 结是构成各种半导体器件的基础。

PN 结具有单向导电性。当 P 区接电源正极、N 区接电源负极时，PN 结处于正向偏置。这时，PN 结呈现很小的正向电阻，有较大的正向电流，处于导通状态，如图 1-2 (a) 所示。

当 P 区接电源负极，N 区接电源正极时，PN 结处于反向偏置。这时，PN 结呈现很大的反向电阻，有很小的反向电流，处于截止状态，如图 1-2 (b) 所示。所以，PN 结正偏时导通，PN 结反偏时截止，这就是 PN 结的单向导电性。

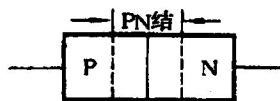


图 1-1 PN 结的内部结构示意图

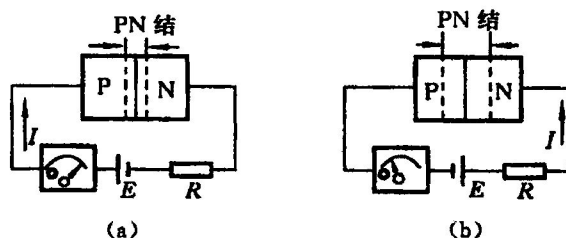


图 1-2 PN 结的单向导电性

(a) 加正向电压时导通；(b) 加反向电压时截止

二、二极管的类型

半导体二极管也叫做晶体二极管，简称二极管。它是由一个 PN 结加上电极和引线用管壳封装而成的。按照制造二极管的材料不同，二极管可分为硅二极管和锗二极管；按照结构形式不同，二极管可分为点接触型二极管和面接触型二极管两类。

1. 点接触型二极管

点接触型二极管的结构如图 1-3 (a) 所示。其特点是 PN 结的面积小，因而结电容小，适用于高频（几百兆赫兹）工作，但不能通过很大的电流，常用于高频检波、脉冲电路和小电流整流。

2. 面接触型二极管

面接触型二极管的结构如图 1-3 (b) 所示。其特点是 PN 结的面积大，因而允许通过较大的正向电流，但其结电容也大，只能在较低频率下工作。二极管的符号如图 1-3 (c) 所示。

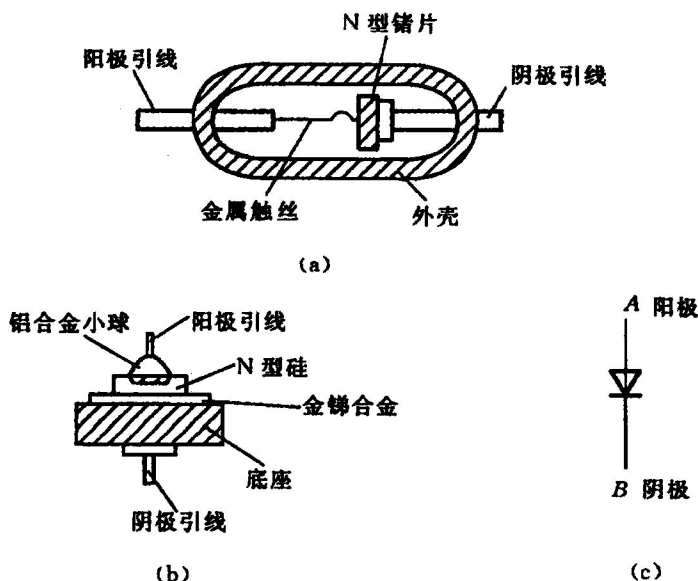


图 1-3 二极管的结构及符号
(a) 点接触型二极管的结构; (b) 面接触型二极管的结构; (c) 符号

三、二极管的开关特性

在数字电路中,二极管和三极管大多工作于开关状态。它们在脉冲信号的作用下,时而导通,时而截止,相当于开关的“接通”和“断开”。

二极管的主要特性是单向导电性。当二极管两端加的正向电压大于一定值时,二极管就导通,如同一个闭合的开关。当二极管加反向电压(或零偏压)时,二极管截止,如同一个断开的开关。

二极管在电路中具有开关作用。但是,它不是一个理想的开关。图 1-4 (a) 所示是二极管电路,其输入电压波形如图 1-4 (b) 所示,输入电压为 $+U_F$ 时,VD 导通,有正向电流 I_F 流过。在 t_1 时刻,输入电压由 $+U_F$ 跳变到 $-U_F$,在理想情况下,VD 应立刻截止,只有很小的反向饱和电流 I_R ,电流 i_D 的波形如图 1-4 (c) 所示,两种状态的转换应不需要时间。但实际情况是,在 t_1 时刻,VD 并不会立即截止,而是仍然导通,还在 t_1 时刻产生一个很大的反向电流,只有经过 t_{re} 时间后,二极管才恢复截止状态。电流 i_D 的实际波形如图 1-4 (d) 所示。时间 t_{re} 称为反向恢复时间, t_{re} 一般为纳秒数量级,它是开关二极管特有的参数,用来衡量开关速度的快慢。 t_{re} 越小,开关速度越快,允许工作信号的频率越高。

例 1-1 电路如图 1-5 (a) 所示,输入电压的波形如图 1-5 (b) 所示,设二极管为理想二极管,试绘出输出电压 u_o 的波形。

解 当理想二极管加正向电压时,二极管导通,其两端呈现的电阻为 0;加反向电压时,二极管截止,其两端呈现的电阻为 ∞ ,所以当 $u_i > 5V$ 时,二极管导通, $u_o = u_i$; 当 $u_i < 5V$ 时,二极管截止, $u_o = 5V$ 。 u_o 的波形如图 1-5 (c) 所示。该电路利用二极管的开关作用,把输入电压 $u_i < 5V$ 的部分掩盖了,所以此电路称为削波电路,也称为下限限幅电路。如果

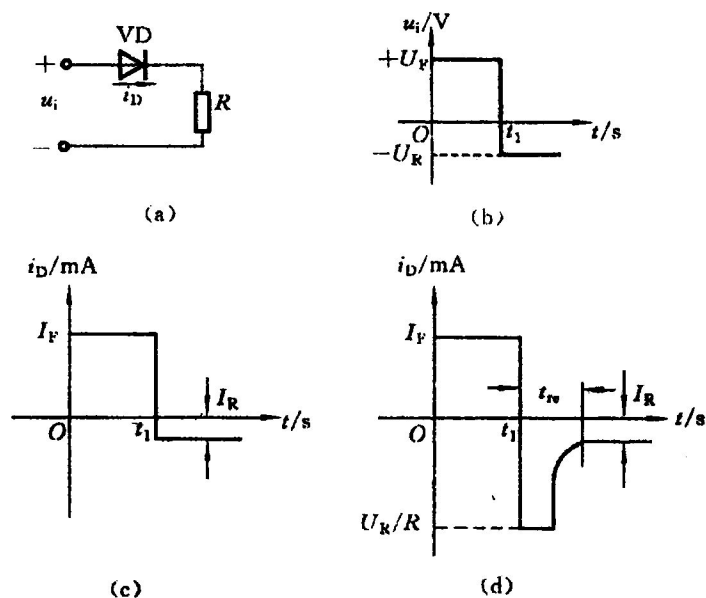


图 1-4 二极管作为开关时的反向恢复时间

(a) 电路图; (b) 输入电压波形;

(c) 电流 i_D 的波形; (d) 电流 i_D 实际波形

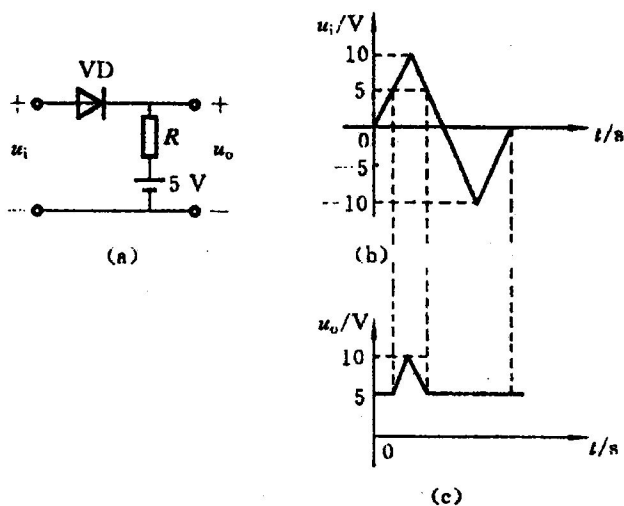


图 1-5 例 1-1 的电路图和电压波形

(a) 电路图; (b) 输入电压波形; (c) 输出电压波形

改变二极管的连接极性, 还可以构成上限限幅电路。

四、二极管的伏安特性

半导体二极管本质上就是一个 PN 结, 因此它具有单向导电性, 这一特性可用伏安特性表示。所谓二极管的伏安特性曲线, 就是指加在二极管两端的电压 U 与流过二极管的电流 I 之间的关系曲线。图 1-6 所示为一只二极管的实际特性曲线。

1. 击穿特性

在图 1-6 中, 当二极管的反向电压增大到一定数值后, 其反向电流会突然增大, 这种现象称为反向击穿。发生击穿时的电压称为反向击穿电压, 用 U_{BR} 表示。二极管的击穿现象有电击穿与热击穿之分。发生了电击穿, 如果将反向电压降至击穿电压以下, 二极管仍能正常工作; 发生了热击穿, 二极管则会烧坏。在实际使用中, 一般不允许二极管工作在击穿状态, 但利用电击穿现象可以制成稳压二极管。

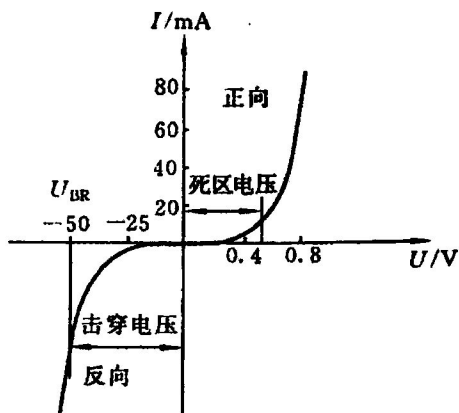


图 1-6 二极管的伏安特性曲线

2. 正向特征

在二极管两端加以正向电压, 就会产生正向电流。但是, 当起始电压很低时, 正向电流很小, 几乎为零, 管子呈高阻状态, 这段区域称为死区。正向电压增大, 使二极管导通的临界电压称为死区电压 (又称门坎电压)。在常温下, 硅管的死区电压一般约为 0.5 V, 而锗管则约为 0.2 V。当二极管两端的电压大于死区电压后, 管子开始导通, 正向电流随着电压增加而迅速增大, 管子呈低阻状态。从图 1-6 所示的特性可以看出, 这时二极管的正向电流在相当大的范围内变化, 而二极管两端的电压变化不大 (近似为恒压特性), 小功率硅管为 0.6 ~ 0.8 V, 锗管为 0.2 ~ 0.3 V。

3. 反向特性

在二极管两端加以反向电压, 由于 PN 结的反向电阻很高, 因而反向电压在一定范围内变化时, 反向电流非常小, 且基本不随反向电压的变化而变化, 这个电流称为反向饱和电流 (正常情况下可忽略不计)。此时管子处于截止状态。

反向饱和电流是二极管的一个重要参数, 反向饱和电流愈大, 说明管子的单向导电性能愈差。硅二极管的反向饱和电流比锗二极管小, 一般为纳安 (nA) 数量级; 锗二极管的反向饱和电流为微安数量级。另外, 反向饱和电流随温度的上升而急剧增长, 通常, 温度每增加 10℃, 其值约增加一倍。

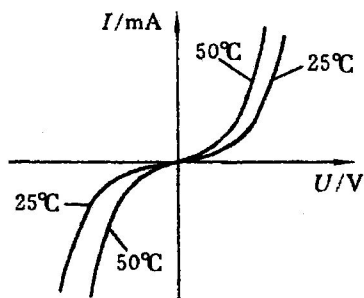


图 1-7 温度对二极管特性的影响

4. 温度对特性的影响

由于半导体的导电性能与温度有关, 所以二极管对温度很敏感, 温度升高时, 二极管正向特性曲线向左移动, 反向特性曲线向右移动。如图 1-7 所示, 变化的规律是:

在室温附近, 温度每升高 1°C , 正向电压减小 $2 \sim 2.5 \text{ mV}$, 即温度系数约为 $-2.5 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$; 温度每升高 10°C , 反向电流约增大一倍, 击穿电压也下降较多。

五、二极管的主要参数

二极管的参数是表征二极管的性能及其适用范围的数据, 是选择和使用二极管的重要参考依据。二极管的主要参数有以下几个。

1. 最大整流电流 I_F

最大整流电流 I_F 是指二极管长期运行时, 允许通过二极管的最大正向平均电流。在使用二极管时不能超过此值, 否则将使二极管过热而损坏。

2. 最大反向工作电压 U_{RM}

最大反向工作电压 U_{RM} 是指二极管工作时两端所允许加的最大反向电压。为保证二极管安全工作、不被击穿, 通常 U_{RM} 约为反向击穿电压 U_R 的一半。

3. 反向电流 I_R

反向电流 I_R 是指二极管加最高反向工作电压时的反向电流。反向电流越小, 管子的单向导电性能越好。常温下, 硅管的反向电流一般只有几微安; 锗管的反向电流较大, 一般在几十至几百微安之间。反向电流受温度影响较大, 温度越高, 其值越大, 故硅管的温度稳定性比锗管的好。

4. 最高工作频率 f_M

由于 PN 结存在结电容, 它的存在限制了二极管的工作频率, 因此如果通过二极管的信号频率超过管子的最高工作频率 f_M , 则结电容的容抗变小, 高频电流将直接从结电容上通过, 管子的单向导电性变差。

第二节 半导体三极管

一、三极管的结构及符号

与二极管相比, 三极管是由两个 PN 结构成的, 其基本特性是具有电流放大作用。三极管按其结构不同, 分为 NPN 型和 PNP 型两种。相应的结构示意图及电路符号如图 1-8 所示。

三极管的内部结构分为发射区、基区和集电区, 相应引出的电极分别为发射极 e、基极 b 和集电极 c。发射区和基区之间的 PN 结称为发射结, 集电区和基区之间的 PN 结称为集电结。在电路符号中, 发射极的箭头方向表示三极管在正常工作时发射极电流的实际方向。

在制作三极管时, 其内部的结构特点是:

- 发射区掺杂浓度高;
- 基区很薄, 且掺杂浓度低;
- 集电结面积大于发射结面积。

以上特点是三极管实现放大作用的内部条件。

另外, 三极管按其所用半导体材料不同, 分为硅管和锗管; 按用途不同, 分为放大管、开关管和功率管; 按工作频率不同, 分为低频管和高频管; 按耗散功率大小不同, 分为小功

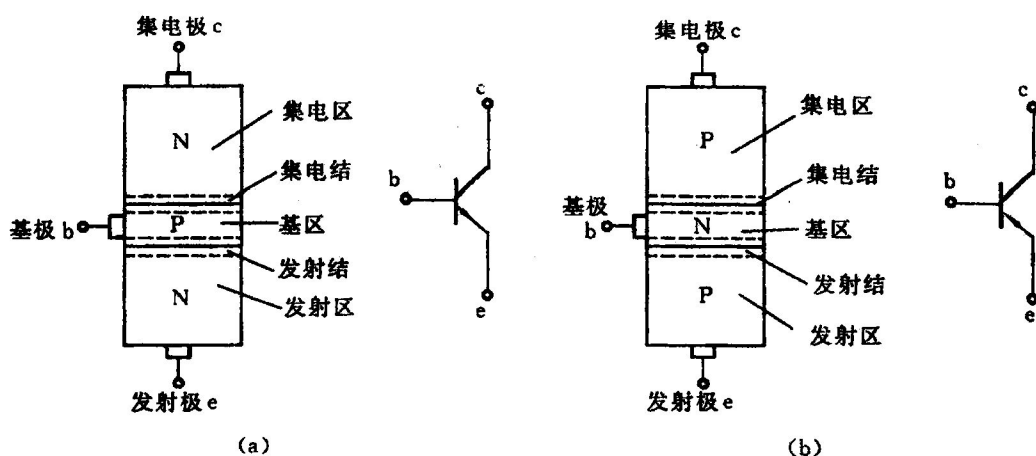


图 1-8 三极管的结构及符号
(a) NPN 型; (b) PNP 型

率管和大功率管等。一般硅管多为 NPN 型，锗管多为 PNP 型。

二、三极管的放大条件

三极管要实现电流放大除要满足内部条件外，还应满足外部偏置条件，即发射结正偏，集电结反偏，如图 1-9 所示。

若用三极管的三个电极电位的高低来判断三极管是否处于放大状态，对于 NPN 管，发射结正偏时 $U_B > U_E$ ，集电结反偏时 $U_C > U_B$ ，则各电极电位之间的关系是 $U_C > U_B > U_E$ ；对于 PNP 管，发射结正偏时 $U_B < U_E$ ，集电结反偏时 $U_C < U_B$ ，则各电极之间的关系是 $U_C < U_B < U_E$ 。

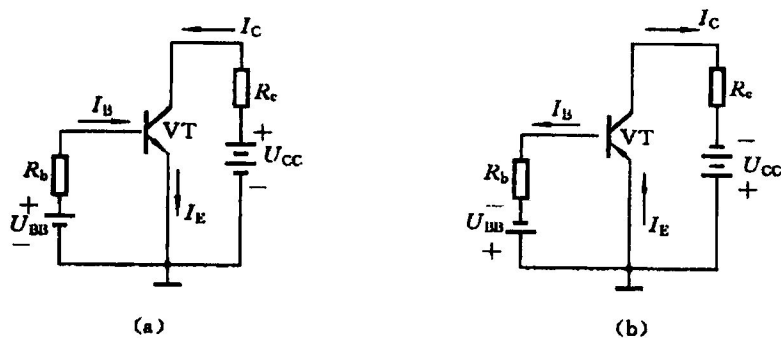


图 1-9 三极管放大的外部偏置条件
(a) NPN 管; (b) PNP 管



放大作用的实质

由上述实验结果可知, 当 I_B 有微小变化时, 能引起 I_C 较大的变化, 这种现象称为三极管的电流放大作用。电流放大作用的实质是通过改变基极电流 I_B 的大小来达到控制 I_C 的目的, 而不是真正把微小电流放大了, 因此三极管也称为电流控制型器件。

三、电流分配关系

NPN 管的放大实验电路如图 1-10 所示。电路中三极管的偏置满足发射结正偏、集电结反偏的条件。

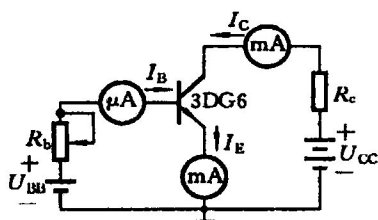


图 1-10 三极管电流放大的实验电路

调节基极偏置电阻 R_b , 改变 I_B 的大小, 得出相应的 I_C 和 I_E 的数据, 见表 1-1。

由表 1-1 可得出如下结论。

(1) 三极管的基极电流 I_B 、集电极电流 I_C 和发射极电流 I_E 之间符合基尔霍夫定律, 即

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

同时, $I_B \ll I_C$, 所以 $I_E \approx I_C$ 。

表 1-1 电流放大实验数据

I_B/mA	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
I_C/mA	<0.001	0.70	1.50	2.30	3.10	3.95
I_E/mA	<0.001	0.72	1.54	2.36	3.18	4.05

(2) 晶体管具有电流放大作用 从表 1-1 可看出, I_C 与 I_B 的比值近似为常数。通常, $\bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B}$ 称为共射极直流电流放大系数, 所以有

$$I_C = \bar{\beta} \times I_B \quad (1-2)$$

$$I_E = (1 + \bar{\beta}) I_B \quad (1-3)$$

由表 1-1 中的数据可知:

当 $I_B = 0.02 \text{ mA}$ 时, $I_C = 0.70 \text{ mA}$, 则 $\bar{\beta} = 0.70/0.02 = 35$ 。

当 $\Delta I_B = 0.04 - 0.02 = 0.02 \text{ (mA)}$, 相应地 $\Delta I_C = 1.50 - 0.70 = 0.80 \text{ (mA)}$ 时, $\Delta I_C / \Delta I_B = 40$ 。

通常, $\beta = \Delta I_c / \Delta I_b$ 称为共射极交流电流放大系数。

由上面可知, $\beta \approx \bar{\beta}$ 。为了表示方便, 以后不加区分, 统一用 β 表示。

四、三极管的开关特性

三极管有三种工作状态: 截止状态、放大状态、饱和状态。

在放大电路中, 三极管作为放大元件, 主要工作在放大区。在数字电路中, 三极管作为开关元件, 主要工作在截止状态或饱和状态, 并在截止状态和饱和状态之间经过短促的放大状态进行快速转换和过渡。三极管的这种工作状态称为开关状态。图 1-11 所示为三极管共发射极电路。

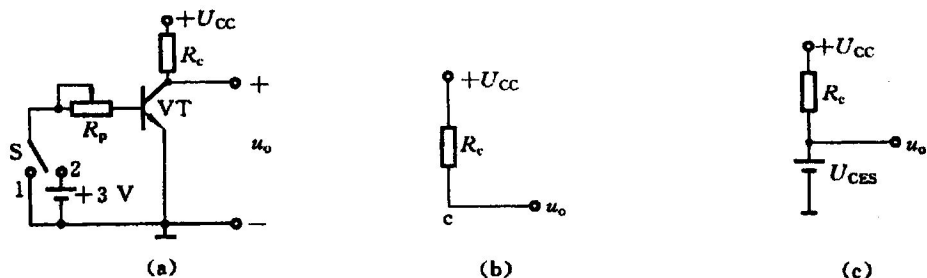


图 1-11 三极管的开关电路

(a) 三极管共发射极电路; (b) 开关 S 接位置 1 时的等效电路; (c) 开关 S 接位置 2 时的等效电路

(1) 截止状态 当开关 S 接位置 1 时, 三极管发射结电压 $U_{BE} < U_T$ (即三极管的门坎电压, $U_T = 0.5 \text{ V}$), $U_B \approx 0 \text{ V}$, $U_C \approx 0 \text{ V}$, $U_{CE} \approx U_{CC}$, 相当于开关断开状态, 等效电路如图 1-11 (b) 所示。

(2) 饱和状态 当开关 S 接位置 2 时, 三极管发射结正偏, $U_{BE} = 0.7 \text{ V}$ 。这时, $I_B > 0$, 当 $I_B \geq I_{BS}$ 时, 三极管饱和, $U_{CE} = U_{CES} \approx 0.3 \text{ V}$, c、e 极之间等效电阻很小, 近似于短路, 此时, c、e 极相当于开关闭合状态, 等效电路如图 1-11 (c) 所示。

$$I_{BS} = \frac{I_{CE}}{\beta} \quad (1-4)$$

$$I_{CE} = \frac{U_{CC} - U_{CES}}{R_c} \approx \frac{U_{CC}}{R_c} \quad (1-5)$$

由此可见, 三极管具有开关作用, 截止时相当于开关断开, 饱和时相当于开关闭合。

五、三极管的特性曲线

三极管的各电极电压和各电极电流之间的关系曲线称为三极管的伏安特性曲线。三极管放大交流信号时有共发射极、共集电极和共基极三种接法。下面介绍常用的 NPN 管共射电路的特性曲线。其测试电路如图 1-12 所示。

1. 输入特性曲线

图 1-12 所示电路为三极管共射特性曲线测试电路。当集电极和发射极之间的电压 U_{CE} 一定时, 基极和发射极之间的电压 U_{BE} 与基极电流 I_B 之间的关系曲线称为输入特性曲线, 如图 1-13 所示, 即, $I_B = f(U_{BE}) \mid_{U_{CE}=\text{常数}}$ 。