



建设行业技能型紧缺人才培养培训工程系列教材
高等职业教育规划教材

电子技术基本知识 及技能

李文 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



建设行业技能型紧缺人才培养培训工程系列教材
高等职业教育规划教材

电子技术基本知识与技能

主 编 李 文
副主编 张 丹 王少华
参 编 高岳民 陈罗湘 贺梅梅
主 审 姚胜兴



机械工业出版社

本书共分14个单元,内容包括电子技术基本知识和电子技术基本操作技能两大模块。模块1介绍了半导体元器件的结构与特性,基本放大电路、集成运算放大器、正弦波振荡电路、直流稳压电源、逻辑门电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、ADC与DAC、存储器和可编程逻辑部件的组成、原理、功能及应用;模块2介绍了常用电子仪器的使用方法及注意事项,电子元器件的识别与检测,电子电路图的识读,电子元器件的组装与调试技术。本书充分体现了课程改革的精神,内容取材合理,注重应用,实用性强。

本书可作为楼宇智能化专业及其他相关专业的教材,也可作为从事与电子技术有关工作的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基本知识与技能/李文主编. —北京:机械工业出版社, 2006. 6

(建设行业技能型紧缺人才培养培训工程系列教材)

高等职业教育规划教材

ISBN 7-111-19338-5

I. 电... II. 李... III. 电子技术—高等学校: 技术学校—教学参考资料 IV. TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第063116号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:李俊玲 覃密道 责任编辑:覃密道

版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉

封面设计:张静 责任印制:李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2006年8月第1版第1次印刷

184mm×260mm·15.5印张·381千字

0 001—4 000册

定价:23.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

编辑热线电话(010)68354423

封面无防伪标均为盗版

出版说明

2004年10月,教育部、建设部发布了《关于实施职业院校建设行业技能型紧缺人才培养培训工程的通知》,并组织制定了《高等职业教育建设行业技能型紧缺人才培养培训指导方案》(以下简称《指导方案》),对建筑(市政)工程技术、建筑装饰工程技术、建筑设备工程技术和楼宇智能化工程技术四个专业的培养目标与规格、教学与训练项目、实验实习设备条件等提出了具体要求。

为了配合《指导方案》的实施,我社专门组织召开了研讨会,对指导方案进行了认真讨论,在此基础上,结合各院校教学实际,组织了部分承担建设行业技能型紧缺人才培养培训任务的职业院校和合作企业的人员联合编写了“建设行业技能型紧缺人才培养培训工程系列教材”。本系列教材包括建筑工程技术、建筑装饰工程技术、建筑设备工程技术、楼宇智能化工程技术四个专业,将分期分批出版。

由于“技能型紧缺人才培养培训工程”是一个新生事物,各院校在实施过程中也在不断摸索、总结、调整,我们会密切关注各院校的 implementation 情况,及时收集反馈信息,并不断补充、修订、完善本系列教材,也恳请各用书院校及时将使用本系列教材的意见和建议反馈给我们,以使本系列教材日臻完善。

机械工业出版社

前 言

“电子技术”是一门重要的技术基础课，该课程的任务是培养学生具有工程技术人员必备的分析电子电路的能力、选择和使用电子元器件的能力、安装及调试电子电路的能力。

本书在编写时，为了体现教学改革和课程改革的精神，在内容组合上作了较大的调整，主要表现在：

(1) 课程内容的综合性强。本书将过去的模拟电子技术、数字电子技术、电子实习等几门课程的内容进行了有机的结合，形成了一个较完整的体系，为教学组织和学生的学习提供了方便。

(2) 本书的内容体现了职业教育的特点。理论知识以必需、够用为度，突出实践性和实用性，并精选一些工程上的实际应用电路作为例子，注重对学生实践应用能力的培养。为了提高学生的实际动手能力，每个单元均增加了能力训练项目。所选能力训练项目侧重于基本技能的训练，同时注意综合性、工程性，以达到工程应用能力的培养。

(3) 注重反映电子技术的新知识、新产品、新技术。为了适应数字电子技术，特别是数字集成器件的飞速发展，尽可能多地介绍常用器件和最新器件及应用实例。在内容选择上注意了与计算机的密切联系，适当地增加了与计算机课程衔接的内容，为读者学习计算机开阔思路打下基础。

全书共分14个单元，按60学时讲授，并配以2周课程设计。每个单元前均有单元概述和学习目标，单元末有单元小结、复习思考题，便于读者自学和复习。

本书由湖南城建职业技术学院李文担任主编。具体编写分工为：模块1中的单元1、2、5由长沙大学张丹编写，单元3、4由湖南城建职业技术学院贺梅编写，单元6、7、8、9、10由湖南城建职业技术学院李文编写，模块2中的单元11、12由湘潭职业技术学院陈罗湘编写，单元13、14由湖南生物与机电工程职业技术学院高岳民与王少华合编。本书在编写过程中，湖南城建职业技术学院孙巍在图、表处理方面给予了帮助。

本书由湖南工学院的姚胜兴任主审，主审认真审阅了全书，并提出了许多宝贵意见和建议。参与本教材大纲编写与审定的还有湖南城建职业技术学院谢



社初、吴云祥、左宗泽、于昆伦、周友初及湖南工学院的姚胜兴，在此一并向他们表示诚挚的感谢！

本书在编写过程中，得到了湖南城建职业技术学院、湘潭职业技术学院、湖南生物与机电工程职业技术学院、机械工业出版社等单位领导的关心和大力支持，谨在此表示衷心的感谢！

在本书编写过程中参考了大量的资料和书刊，并引用了部分资料，除在参考文献中列出外，在此谨向这些书刊资料的作者表示衷心的感谢！

由于编写者水平有限和时间仓促，书中难免有错漏之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

模块 1 电子技术基本知识	1
单元 1 半导体器件	1
课题 1 半导体的导电特性	1
课题 2 二极管	3
课题 3 三极管	5
课题 4 场效应晶体管	9
课题 5 稳压管	10
能力训练 二极管、三极管的识别与检测	11
单元小结	11
复习思考题	12
单元 2 基本放大电路	13
课题 1 共发射极基本放大电路	13
课题 2 射极输出器	21
课题 3 负反馈放大电路	22
课题 4 多级放大电路	27
课题 5 差动放大电路	29
课题 6 功率放大电路	31
能力训练 基本共射放大电路的组装与调试	32
单元小结	33
复习思考题	33
单元 3 集成运算放大器及其应用	35
课题 1 集成运算放大器简介	35
课题 2 集成运算放大器的典型电路	38
课题 3 集成运算放大器线性应用	39
课题 4 集成运算放大器非线性应用	41
能力训练 集成运算放大器的线性应用	44
单元小结	44

复习思考题	45
单元 4 正弦波振荡电路	46
课题 1 正弦波振荡电路的基本概念	46
课题 2 RC 振荡电路	48
课题 3 LC 振荡电路	48
课题 4 石英晶体振荡电路	50
能力训练 RC 正弦波振荡电路的组装与调试	53
单元小结	53
复习思考题	54
单元 5 直流稳压电源	55
课题 1 单相整流电路	55
课题 2 滤波电路	58
课题 3 稳压电路	60
课题 4 集成稳压电源	62
能力训练 直流稳压电源的连接及故障检测	64
单元小结	65
复习思考题	65
单元 6 逻辑门电路	66
课题 1 数字电路概述	66
课题 2 分立元件门电路	68
课题 3 集成门电路	72
能力训练 制作简单的抢答器	77
单元小结	78
复习思考题	79
单元 7 组合逻辑电路	81
课题 1 逻辑代数的基本知识	81
课题 2 组合逻辑电路的分析和设计方法	86
课题 3 编码器	89
课题 4 译码器	91
能力训练 编/译码及数码显示	95
单元小结	96
复习思考题	97
单元 8 时序逻辑电路	99
课题 1 触发器	99

课题 2 寄存器	103
课题 3 计数器	106
课题 4 定时器	111
能力训练 1 由触发器构成的抢答器	114
能力训练 2 数据寄存与传输	115
能力训练 3 计数显示器	117
单元小结	118
复习思考题	119
单元 9 数/模转换与模/数转换	121
课题 1 D/A 转换器	121
课题 2 A/D 转换器	124
能力训练 加法计数器 D/A 转换显示实验	127
单元小结	128
复习思考题	128
单元 10 存储器和可编程逻辑部件	129
课题 1 存储器	129
课题 2 可编程逻辑器件	133
课题 3 应用电路实例	134
能力训练 EPROM 的固化与擦除	140
单元小结	141
复习思考题	141
模块 2 电子技术基本操作技能	143
单元 11 常用电子仪器仪表的使用	143
课题 1 万用表的使用	143
课题 2 信号发生器的使用	146
课题 3 电子电压表的使用	148
课题 4 示波器的使用	150
课题 5 通用数字 IC 测试仪的使用	153
能力训练 常用电子仪器的使用	156
单元小结	159
复习思考题	159
单元 12 电子元器件的识别与检测	160
课题 1 电子元器件手册	160
课题 2 电阻器、电容器、电感器的识别与检测	160

课题3 半导体分立器件的识别与检测	164
课题4 半导体集成电路的识别与检测	168
能力训练 集成电路的检测	172
单元小结	172
复习思考题	173
单元13 电子电路图的识读	174
课题1 电子电路图的识读方法	174
课题2 模拟电子电路的识读	176
课题3 数字电子电路的识读	179
能力训练1 电视机整机电路的示例分析	181
能力训练2 电子数字钟的识读	183
单元小结	187
复习思考题	188
单元14 电子元器件的组装及调试	189
课题1 电子电路的抗干扰措施	189
课题2 焊接与组装技术	193
课题3 调试工艺技术	200
课题4 常用模拟电路的组装与调试	201
课题5 常用数字电路的组装与调试	204
能力训练1 数字钟的组装与调试	212
能力训练2 双向超温报警器(数字电路)	213
能力训练3 实用摩托车无线防盗报警器(模拟电路)	214
能力训练4 电视机彩色显像管的调试	216
能力训练5 电话机的组装与调试	225
单元小结	235
复习思考题	235
参考文献	237

模块1 电子技术基本知识

单元1 半导体器件

【单元概述】

本单元首先简要介绍半导体的基本知识和PN结的形成；其次介绍常用的几种半导体器件；重点讨论晶体二极管、三极管的特性和主要参数。

【学习目标】

- (1) 了解PN结的形成，二极管、三极管、稳压管及场效应晶体管的结构。
- (2) 理解自由电子与空穴、正偏与反偏等基本概念；PN结、二极管、三极管、稳压管及场效应晶体管的特性和主要参数。
- (3) 掌握二极管、三极管的特性及判别二极管、三极管的管极、管型与性能的方法。

课题1 半导体的导电特性

1.1.1 本征半导体

自然界中所有的物质，按照它们的导电特性，可分为导体、绝缘体和半导体三种。半导体的导电性能介于导体与绝缘体之间。通常把没有杂质、结构完整的半导体称为本征半导体。目前用来制造半导体器件的材料有锗、硅、砷等，它们在结构形式上都是晶体，而在导电性能上都是半导体。在电子学中，硅(Si)和锗(Ge)是两种主要的半导体材料，所以，常以它们为例说明半导体的导电原理。硅和锗位于元素周期表的第四列，都是四价元素，每个原子最外层的四个价电子分别与相邻原子中的一个价电子组成所谓电子对，这种结构方式称为共价键结构，如图1-1所示。由原子理论可知，每个硅单晶的共价键平面图原子的最外层有八个电子属于比较稳定的状态，所以价电子被束缚在原子周围，不易自由移动。因此在常温下，本征半导体中自由电子的浓度很低，导电能力也就很弱。

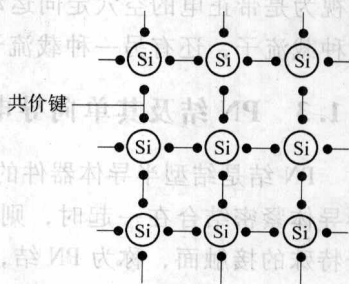


图1-1 硅单晶的共价键平面图

1.1.2 掺杂半导体

为了增强半导体的导电能力，在本征半导体中可人为掺入微量的其他元素，使之成为掺杂半导体。按照掺入杂质的不同，可获得 N 型和 P 型掺杂半导体，这两种半导体是制造各种半导体器件的基础材料。

1. N 型半导体

本征半导体中掺入了微量五价元素如磷(P)、砷(As)、锑(Sb)等时，其平面模型如图 1-2a 所示。以掺入磷为例，磷原子的价电子与相邻的硅原子的价电子组成四对共价键，多余一个电子，它不受共价键束缚，获得较小的能量便容易挣脱原子核的束缚而成为自由电子。可见掺杂后的半导体提高了自由电子的浓度，其导电能力大大增强。这种杂质半导体主要靠电子导电，故称为电子型半导体，简称 N 型半导体。

2. P 型半导体

本征半导体中掺入了微量三价元素如硼(B)、镓(Ga)、铟(In)等时，其平面模型如图 1-2b 所示。以掺入硼为例，硼原子的价电子与相邻的硅原子的价电子只能组成三对共价键，便自然形成一个空位，称为“空穴”，它很容易由相邻的原子中的价电子来填补，从而在相邻的原子上又产生一个新的空穴，形成移动的空穴。显然，掺杂后每个硼原子都能提供一个空穴，从而使掺杂半导体的空穴浓度大大提高。这种掺杂半导体主要靠空穴导电，故称为空穴型半导体，简称 P 型半导体。

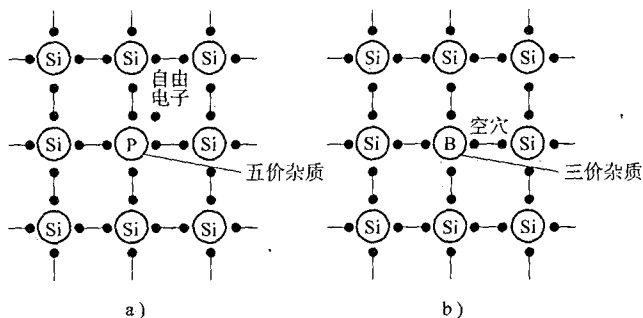


图 1-2 掺杂半导体平面模型
a) N 型半导体 b) P 型半导体

必须指出，在外电场作用下，半导体中不仅有自由电子定向运动形成的电子电流，还有空穴定向运动形成的空穴电流。它们的区别是电子电流是带负电的电子定向运动，而空穴电流视为是带正电的空穴定向运动，两者的运动方向相反。所以，在半导体中不仅有自由电子这种载流子，还有另一种载流子——空穴，这是半导体导电的一个基本特征。

1.1.3 PN 结及其单向导电性

PN 结是结型半导体器件的基本组成部分。当经过特殊工艺加工，将 P 型半导体和 N 型半导体紧密结合在一起时，则在两种半导体的交界处就会形成一个特殊的接触面，称为 PN 结，如图 1-3 所示。根据 P 型区和 N 型区有效掺杂浓度的不同，相应形成不同的 PN 结，便可制造出各种不同特点的二极管和其他半导体器件，因此必须了解 PN 结的特性。通过实验可以证实 PN 结具有单向导电特性。

若在 PN 结上加以正向电压，即 P 区接电源正极，N 区接电源负极，称 PN 结处于正向偏置状态。此时信号灯亮，说明电路中正

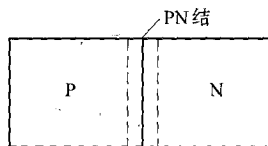


图 1-3 PN 结的结构示意图

向电流较大, PN 结为正向导通状态, 呈低阻性, 相当于开关闭合, 如图 1-4a 所示。而当在 PN 结上加以反向电压, 即 N 区接电源正极, P 区接电源负极 (PN 结处于反向偏置状态) 时信号灯灭, 说明电路中反向电流约等于零, PN 结处于反向截止状态, 呈高阻性, 相当于开关断开, 如图 1-4b 所示。必须指出, 在 PN 结处于反向偏置的情况下, 由于半导体的导电性质所决定, 反向电电流 (又称反向饱和电流) 并不等于零。但在常温下, 由于反向电流很小, 一般可以忽略不计。

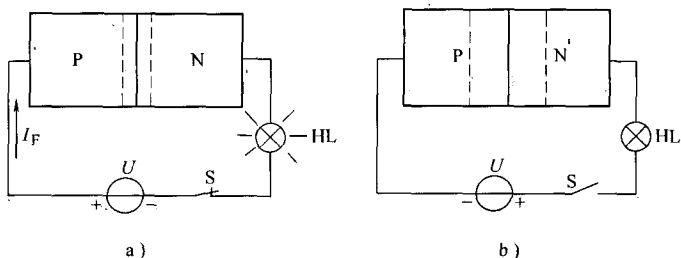


图 1-4 PN 结的单向导电性

a) 加正向电压导通 b) 加反向电压截止

由此可见, PN 结处于正向偏置时导通, 而处于反向偏置时截止, 这一特性就称为 PN 结的单向导电性。

课题2 二极管

1.2.1 二极管的结构和分类

半导体二极管 (VD) 就是由一个 PN 结并从它的 P 区和 N 区各引出一个电极, 用管壳封装而成的。常见的几种二极管的外形如图 1-5 所示。二极管的内部结构及符号如图 1-6 所示。

二极管的种类很多, 一般可分为以下几类。

按半导体材料分类主要有硅和锗两种二极管。硅管的优点是反向电流小、允许工作温度高、击穿电压高及热稳定性好, 缺点是小信号检波的灵敏度低、线性度差。一般用于整流和逻辑应用等电路中。锗管的优缺点正好与硅管相反, 多用于检波、高频等电路中。

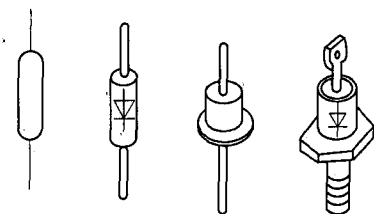


图 1-5 常见二极管的外形图

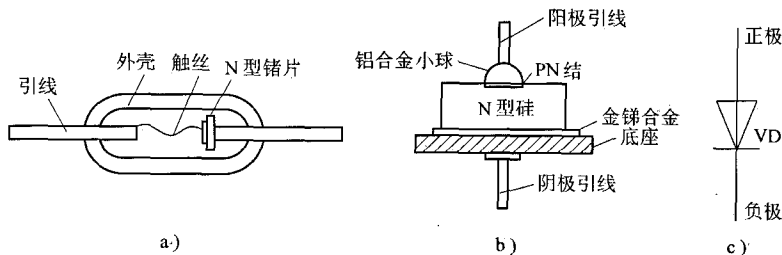


图 1-6 二极管的内部结构及符号

a) 点接触型 b) 面接触型 c) 符号

按结构形式分类主要有点接触型和面接触型两种二极管。点接触型是由一根金属丝和半

导体晶片接触构成 PN 结, 所以 PN 结面积小, 不能通过大电流, 但结间电容小, 工作频率高, 因此它适用于小功率整流、高频检波等电路; 而面接触型的 PN 结面积大, 故结电阻小允许通过的电流大, 但结间电容大, 工作频率低, 所以它适用于低频大功率整流电路。

按用途分类可分为整流二极管、信号二极管和特殊用途二极管等。

1.2.2 二极管的伏安特性

普通二极管最重要的特性就是单向导电性, 这可通过二极管的端电压与通过的电流之间的关系曲线得到进一步的认识。这条关系曲线叫做伏安特性曲线, 如图 1-7 所示。二极管的伏安特性具体反映在正向特性、反向特性及击穿特性三个方面。

(1) 正向特性 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, 近似为零, 如图 1-7 中的 OA 段所示, 管子呈高阻状态。这段区域称为死区, A 点电压称为死区电压, 在常温下硅管的死区电压约为 0.5V, 锗管约为 0.2V。当二极管两端的电压超过死区电压后, 管子开始导通, 正向电流随端电压的增高而迅速增大, 管子呈低阻状态。从图 1-7 中 B 点以后的特性可以看出, 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却不大 (即近似为恒压特性), 小功率硅管约为 0.7V, 锗管约为 0.3V。上述经验数据通常作为小功率二极管正向工作时两端直流电压的估算值。

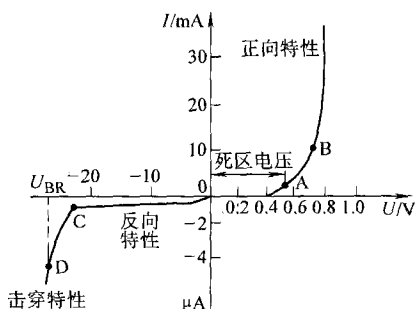


图 1-7 二极管的典型伏安特性

(2) 反向特性 在二极管两端加以反向电压时, 由于 PN 结的反向电阻很高, 所以反向电压在一定范围内变化, 反向电流非常小, 且基本不随反向电压而变化, 如图 1-7 中 OC 段所示, 故称这个电流为反向饱和电流 (正常情况下可忽略不计), 此时管子处于截止状态。反向电流是二极管的一个重要参数。反向电流愈大, 说明管子的单向导电性能愈差。一般来讲, 硅管的反向电流约为 $1\mu\text{A}$ 到几十 μA , 锗管约为几十至几百 μA 。另外, 反向电流随温度的上升而急剧增长, 通常, 温度每增加 10°C , 其值约增加一倍。

(3) 击穿特性 在图 1-7 中, 当过 C 点继续增大反向电压时, 反向电流在 D 点处突然上升, 这种现象称为反向击穿。发生击穿时的电压 U_{BR} 称为反向击穿电压。各类二极管的反向击穿电压大小不同, 通常为几十到几百伏, 甚至高达数千伏。

1.2.3 二极管的主要参数

为了适应各种不同用途的要求, 参数与型号不同的二极管很多。以整流二极管为例, 其主要参数有以下三个:

(1) 最大整流电流 I_F 指二极管长期运行时, 允许通过的最大正向平均电流值。它主要由 PN 结的面积和散热条件决定。

(2) 最高反向工作电压 U_{RM} 指二极管长期运行时, 允许承受的最高反向电压。为了保证管子安全运行, 一般最高反向工作电压约为击穿电压的一半。

(3) 最大反向电流 I_{RM} 指在二极管上加最高反向工作电压时的反向电流值。反向电流

大,表明管子的单向导电性能差,且受温度的影响大。

除以上参数外,还有二极管的最高工作频率、正向管压降、极间电容、散热器规格等。

必须强调,上述各参数都与温度有关。所以只有在规定的散热条件下,才能保证二极管在长期运行中各参数稳定,管子能正常工作。因此,查阅手册选择二极管时,要考虑实际应用中的温度影响,对参数作必要的修正。

课题 3 三 极 管

1.3.1 三极管的结构

三极管由两个 PN 结构成,采用金属或塑料管壳封装。常见外形如图 1-8 所示。不论是硅管还是锗管,都可以通过掺杂的方法制成这 NPN 型管和 PNP 型管两种形式。由其内部结构可知,它们都有三个区域:发射区、集电区和基区。分别引出三根电极引线为发射极、集电极和基极。基区与发射区之间的 PN 结叫发射结,基区与集电区之间的 PN 结叫集电结。

三极管的内部结构和符号如图 1-9 所示,两种型号三极管的图形符号的不同就在于发射极上箭头的标向,箭头表示直流电的实际方向。由于其结构形式不同,所以其外接电源极性也正好相反,但基本放大原理是相同的。

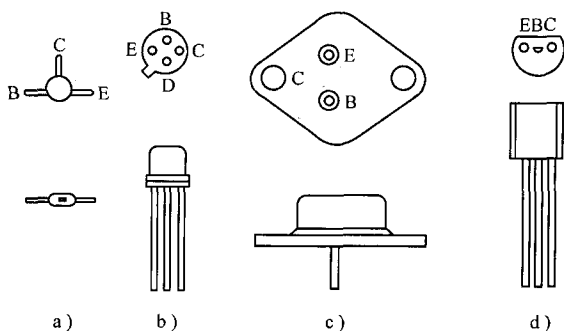


图 1-8 常见三极管的外形

a) 超小型管 b) 小功率管
c) 大功率管 d) 塑封管

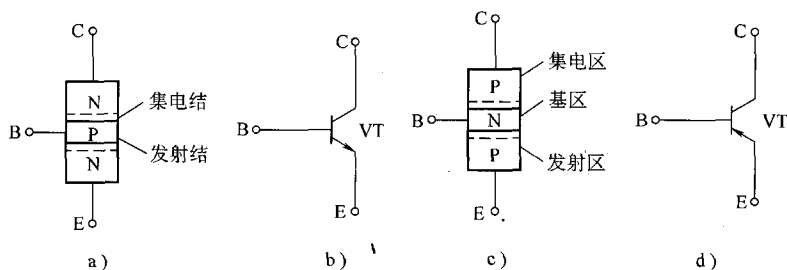


图 1-9 三极管的结构及符号

a) NPN 型管的内部结构 b) NPN 型管的图形和文字符号
c) PNP 型管的内部结构 d) PNP 型管的图形和文字符号

1.3.2 三极管的放大原理

以 NPN 型管为例,按如图 1-10 所示的线路进行测量实验,测量结果如表 1-1 所示,分析表明:

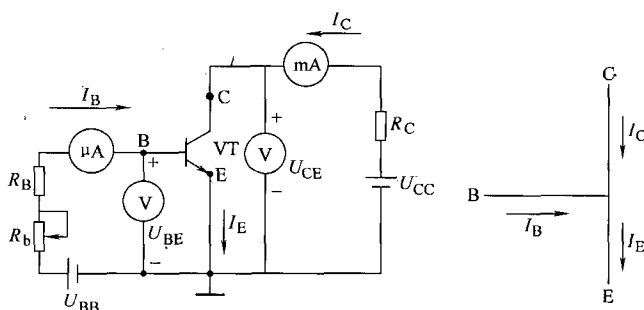


图 1-10 三极管的放大实验电路和三极管的电流分配关系

表 1-1 3DG201 三极管的电流分配关系

测量次数	1	2	3	4	5
基极电流 I_B/mA	0	20	40	60	80
集电极电流 I_C/mA	<0.001	0.75	1.50	2.30	3.00
发射极电流 I_E/mA	<0.001	0.77	1.54	2.36	3.08

1) 各级电流之间的分配关系符合基尔霍夫电流定理。将三极管视为一广义节点, 则有

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

且因 $I_C \gg I_B$, 故

$$I_E \approx I_C \quad (1-2)$$

2) 基极电流的微小变化将引起集电极电流作较大的变化, 即所谓三极管的电流放大作用指的是电能的控制和转换作用, 也就是指微小的基极电流对较大的集电极电流的控制作用。通常用电流放大系数来表示三极管的电流放大能力。

直流放大系数(又称静态放大系数)为集电极直流电流 I_C 与基极直流电流 I_B 的比值, 用 $\bar{\beta}$ 表示, 即

$$\bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B} \quad (1-3)$$

$$I_C = \bar{\beta} I_B \quad (1-4)$$

交流放大系数(又称动态放大系数)为集电极电流的变化量 ΔI_C 与基极电流变化量 ΔI_B 的比值, 用 β 表示, 即

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad (1-5)$$

在实际工程应用中, 由于 $\bar{\beta}$ 和 β 的值较为接近, 常以交流放大系数代替, 它又称为电流放大系数。将 β 代入式(1-1), 于是得

$$I_E = I_B + I_C = (1 + \beta) I_B \approx \beta I_B \quad (1-6)$$

必须指出, 三极管的 β 值与所在的工作区域和温度的变化有关, 但在放大区域正常的工作情况下, 可视为一个常数。

3) 三极管之所以能起电流放大作用, 首先是它的内部结构条件所决定的, 其次是外部条件成立, 即外电源必须使它的发射结处于正向偏置, 集电结处于反向偏置。

4) 当基极电流 $I_B = 0$ 时, I_C 很微小, 这时集电极电流称为集电极—发射极间的反向饱和电流, 又叫穿透电流, 用 I_{CE0} 表示, 它是衡量三极管质量的一个重要参数。

1.3.3 三极管的特性曲线

1. 输入特性曲线 ($I_B = f(U_{BE}) \mid U_{CE} = \text{常数 } C$)

输入特性曲线反映的是集电极电压为一定值时, 基极电流与基极电压之间的关系, 如图 1-11a 所示。

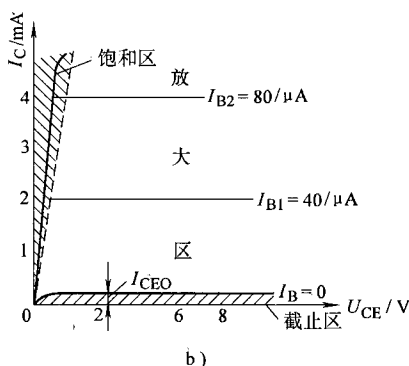
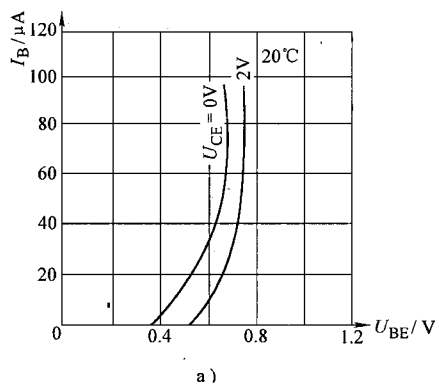


图 1-11 三极管的输入输出特性曲线

a) 输入特性曲线 b) 输出特性曲线

2. 输出特性曲线 ($I_C = f(U_{CE}) \mid I_B = \text{常数 } C$)

根据输出特性曲线, 可将三极管的工作状态划分为三个工作区域, 如图 1-11b 所示。

(1) 截止区 当 $I_B = 0$ 时, I_C 很小, 这个电流称为穿透电流 I_{CE0} , 几乎可以忽略不计。此时三极管处于截止状态。故 $I_B = 0$ 这条曲线以下的区域为截止区。此时, 集电极—发射极间呈现高电阻, 相当于开路。三极管处于截止状态的条件为 $U_B \leq U_E$ 和 $U_B < U_C$, 所以工作在截止区的特点是发射结与集电结均处于反向偏置。

必须指出, 实际上发射结电压小于死区电压时, 管子就进入了截止区。在工程应用中, 为了使三极管可靠截止, 常常在发射结上加以反向电压。

(2) 饱和区 特性曲线上各膝点(或称临界饱和点)的连接线为临界饱和线, 其左侧区域为饱和区。在实际的三极管放大电路中, 通常集电极回路都接有一定的电阻 R_C , 电源 U_{CC} 一般为定值。如果增大 I_B , 则 $I_C = \beta I_B$ 也就增大, $U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C$ 必定减小; 若 I_B 增大, 使 U_{CE} 下降到等于 U_{BE} 时, 管子便进入了临界饱和状态; 若 U_{CE} 下降到小于 U_{BE} 时, 再增大 I_B , 则 I_C 基本上不变, 管子便失去了电流放大作用, 即 $I_C \neq \beta I_B$, 管子就进入了饱和状态。这是因为

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C \quad (1-7)$$

于是得

$$I_C = \frac{U_{CC} - U_{CE}}{R_C} \quad (1-8)$$

由于三极管的饱和压降(用 U_{CES} 表示)很低, 一般硅管约为 0.3V, 锗管约为 0.1V, 故可忽略不计。所以饱和电流