

全国职业教育计算机类系列教材

计算机电路基础

主 编 王雁华

参 编 (按姓氏笔画排序)

李 茁 刘海燕 梁瑞秋

彭学勤 董晓慧

东南大学出版社

内 容 提 要

本书针对计算机专业、信息技术专业等相关专业学习硬件知识方面的要求,有机地融合了模拟电子技术及数字电子技术等课程所包含的内容。本课程的任务是让学生掌握最基本的模拟电子线路和数字电路的基本知识,为进一步学习计算机硬件课程打下良好的基础。建议授课学时为 90 学时。

本书共分九章:第 1 章:半导体器件的基本知识;第 2 章:基本放大电路;第 3 章:几种常用的放大电路;第 4 章:集成运算放大器;第 5 章:数制与编码;第 6 章:逻辑代数与逻辑函数的化简;第 7 章:组合逻辑电路;第 8 章:时序逻辑电路;第 9 章:数据信息的采集与处理。

本书可作为职业院校计算机、信息技术类专业的教材,也可供相关专业的自学者参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机电路基础/王雁华主编. —南京:东南大学出版社,2005. 1

ISBN 7-81089-822-1

I. 计... II. 王... III. 电子计算机—电子电路—教材 IV. TP331

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 110920 号

东南大学出版社出版发行
(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销

印刷厂印刷

开本:787mm×1 092mm 1/16 印张:14 字数:343 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

印数:1—4 000 册 定价:22.00 元

(凡有印装质量问题,可直接向发行部调换。电话:025—83795801)

前 言

计算机电路是一门综合性课程,它依据精炼内容、避免重复、减少课程门类的原则,针对计算机、信息技术等相关专业学习硬件知识方面的要求,有机地融合了模拟电子技术及数字电子技术等课程所包含的内容。本课程的任务是:让学生学习最基本的模拟电子电路知识,学习和掌握数字电路的基础知识,为进一步学习计算机硬件课程打下良好的基础。建议授课学时为 90 学时。

本书是为中等职业学校计算机、信息技术类相关专业编写的教材,也可供自学者参考。在编写过程中努力贯彻以下原则:

(1) 内容精选,基本理论以“够用”为度。在联系实际,要求是基本理论的自然延续、有机结合。适当安排选学内容,以符号“*”为标志。

(2) 依据职业教育的特点,体现以能力为本位的职业教育特色。各章都列出明确的知识目标和技能目标。

(3) 在结构上强调逻辑线索简明、清晰、合理。在叙述上力图做到深入浅出、通俗易懂,物理概念明晰,内容科学严谨。贯彻少而精、启发式,培养学生独立思考、富于联想、触类旁通的发散思维能力原则。

(4) 注重教学内容的直观性和形象化,教材配有电子元件的实物图和功能电路的实物连接图,图文并茂,对学生理解概念、熟悉实际的电子电路、培养实际能力等方面有较大的帮助。

(5) 加强对学生的实践能力和应用能力的培养,减少验证性实验,增强电路组装调试等有利于提高技能的实验,以充分体现中等职业教育的特色。

本书共分九章:第 1 章:半导体器件的基本知识;第 2 章:基本放大电路;第 3 章:几种常用的放大电路;第 4 章:集成运算放大器;第 5 章:数制与编码;第 6 章:逻辑代数与逻辑函数的化简;第 7 章:组合逻辑电路;第 8 章:时序逻辑电路;第 9 章:数据信息的采集与处理。

本书由黑龙江信息技术职业学院王雁华主编,河南信息工程学校彭学勤、山西省电子工业学校董晓慧、本溪市电子工业学校梁瑞秋、黑龙江信息技术职业学院李茁、本溪市电子工业学校刘海燕参编。其中第 1、3、4 章由王雁华编写,第 2 章由李茁编写,第 5 章由梁瑞秋编写,第 6 章由董晓慧编写,第 7 章由刘海燕编写,第 8、9 章由彭学勤编写。王雁华负责对全书进行统稿。

本书由南京信息职业技术学院郑应光副教授主审,他认真负责地对全书进行了审阅,提出了许多宝贵的意见,在此表示衷心的感谢!

本书在编写过程中得到有关学校的领导和教师的大力支持,在此表示感谢。由于编者水平所限,书中不当之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2005 年 1 月

出版说明

全国职业教育计算机专业建设研讨会于2004年7月18日在湖北三峡职业技术学院召开,来自上海、江苏、山西、辽宁、贵州、黑龙江等40多位职业技术学院的代表参加了会议。

在本次会议上,与会专家学者对目前职业教育的现状进行了深刻地分析,特别对计算机专业建设提出了独到的见解。他们一致认为:计算机专业建设要与教学改革相结合,以市场需求为导向,以教材建设为基础。因此,会议决定为配合计算机专业建设,编写一套适合职业教育的计算机系列教材,要求突出职业特点,有创新思想,以“考证”为切入点,加强实践环节。

根据各校计算机专业建设和课程设置情况,本次会议由全国职业教育计算机类教材建设委员会秘书长孔繁华组织各院校计算机专业教师确定了首批教材建设的选题,以后还将随着专业建设的深入及计算机技术的发展,逐步形成一套完善的、切合实际的计算机职业教育系列教材。

全国职业教育电子信息类教材编委会总要求:坚决贯彻职业教育的要求,即基础适度够用、加强实践环节、突出职能教育,把握职业教育电子信息类专业课程建设的特点;立足当前学生现状,面向用人单位(市场),打破条条框框,少一些理论,多一些技能教育;采取逆向思维的方式编写,即从市场需要什么技能来决定学生需要什么知识结构,并由此决定编写什么教材。

全国职业教育电子信息类教材编委会会员单位:

南京信息职业技术学院

本溪电子工业学校

扬州电子信息学校

河南信息工程学校

大连电子工业学校

黑龙江信息技术职业学院

本溪财贸学校

山西工程职业技术学院

四川省电子工业学校

锦州铁路运输学校

内蒙古电子信息职业技术学院

江苏海事职业技术学院

黑龙江农业经济职业学院

南通纺织职业技术学院

湖北三峡职业技术学院

长沙市电子工业学校

山西综合职业技术学院

北京信息职业技术学院

福建省电子工业学校

山西省邮电学校

新疆机械电子职业技术学院

山东信息职业技术学院

哈尔滨机电工程学校

上海机电工业学校

贵州省电子工业学校

南京交通职业技术学院

扬州职业大学

南通航运职业技术学院

全国职业教育电子信息类教材编委会

2005年1月

1 半导体器件的基本知识

★ 本章要求

一、理论知识目标

- ◎ 了解半导体的导电特性及其特点。
- ◎ 熟悉二极管的主要特性和参数。
- ◎ 了解三极管的结构,掌握三极管的电流分配关系及放大原理。
- ◎ 了解场效应管的基本工作原理、转移特性曲线、输出特性曲线及主要参数。

二、实训技能目标

- ◎ 会使用万用表检测二极管的质量并能判断它的好坏。
- ◎ 会查阅半导体器件手册,能按要求选用三极管。
- ◎ 会判断三极管的管脚及检测其质量好坏。
- ◎ 了解常用的场效应管的外形和引脚排列。

1.1 半导体的基础知识

1.1.1 半导体的概念及其特性

1) 半导体的概念

物质按导电能力的强弱可分为导体、绝缘体和半导体三大类。导电能力很强的物质称为导体,如铜、铝等金属;导电能力很弱的物质称为绝缘体,如橡胶、塑料等;导电能力介于导体和绝缘体之间,其电阻率从 $10^{-5} \sim 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ 范围内变化的物质称为半导体,而硅(Si)、锗(Ge)是最常见的用于制造各种半导体器件的半导体材料。

2) 半导体的特性

半导体之所以得到广泛的应用,是因为其具有以下三个特性:

(1) 掺杂特性 在纯净的半导体(通常称为本征半导体)中掺入微量的杂质元素,则它的导电能力将大大增强,这种特性称为半导体的掺杂特性。利用掺杂半导体可以制造出半导体二极管、半导体三极管、场效应管、和晶闸管等半导体器件。

(2) 热敏特性 温度升高,半导体的导电能力大大增强,称其为热敏特性。例如硅在 200°C 时的导电能力比室温时增加了几千倍。利用半导体的热敏特性,可以制造出热敏电阻及其他热敏器件。

(3) 光敏特性 当半导体受光照射时,其导电能力增强;光照越强,导电能力越强。利用半导体的光敏特性,可以制成光敏元件,如光敏电阻、光电二极管、光电三极管等。

1.1.2 本征半导体与本征激发

半导体具有上述独特性能和它本身的导电原理有关。

1) 本征半导体

将天然的半导体材料经过去除无用杂质并制成单晶后,形成的纯净的半导体,称其为本征半导体。

2) 本征半导体的晶体结构

常用的半导体材料硅、锗都是四价元素,其最外层轨道上有四个价电子,而且极易与相邻原子的价电子形成共价键,见图 1-1。在共价键束缚下,其最外层价电子不能挣脱束缚而成为自由电子,在绝对温度为 $0\text{ K}(-273.15^{\circ}\text{C})$ 时,价电子不能自由移动,此时半导体不能导电。

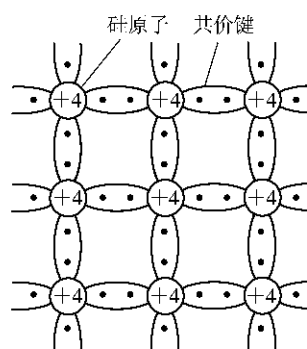


图 1-1 硅单晶中的共价键结构

3) 本征激发

在本征半导体中,最外层的价电子从外界获取能量(如温度升高、光照等),挣脱共价键的束缚成为自由电子,同时原位上留下一个“空穴”。这一现象称为本征激发。

本征激发使半导体中产生“自由电子-空穴”对,自由电子带负电荷,空穴带正电荷,自由电子与空穴统称为载流子,在外电场的作用下形成电流。在常温下,由于本征激发产生的自由电子与空穴数目很少,载流子浓度很低,所以导电能力很弱。因此,不能直接用其制成半导体器件。

小知识

半导体为什么具有奇妙的导电特性

半导体受热或光照时,部分价电子获得足够能量,挣脱共价键束缚成为自由电子,自由电子逸出的空位形成空穴。自由电子带负电,空穴带正电,它们在外电场作用下作定向运动而形成电流。由于温度升高和光照加强,有更多的价电子成为自由电子,同时产生等同数目的空穴,半导体的导电能力增强,这就是半导体具有热敏特性和光敏特性的原因。

1.1.3 P 型半导体和 N 型半导体

通过扩散工艺,在本征半导体中掺入少量合适的杂质元素,我们称之为“杂质半导体”。虽然所掺杂质的数量不过是沧海一粟,但它却可使半导体的导电能力成百万倍地增加。根据掺入杂质元素的不同,可形成 N 型(也叫“电子型”)半导体和 P 型(也叫“空穴型”)半导体。

1) N 型半导体

在硅的本征半导体中,掺入微量的五价元素(磷或砷),就形成了 N 型半导体。由于磷原子最外层的 5 个价电子中有 4 个与相邻硅原子组成共价键,另外 1 个多余的价电子不能构成共价键,这个价电子获得能量挣脱磷原子核的束缚成为自由电子。

N 型半导体的特点:在 N 型半导体中,自由电子数量多,成为多数载流子,空穴数量少,成为少数载流子,参与导电的主要是带负电的自由电子。“N”取自英文 negative(负的)的第一个字母。N 型半导体又称为电子型半导体。

2) P 型半导体

在硅的本征半导体中,掺入微量的三价元素(镉),就形成了P型半导体。镉原子只有3个价电子,同硅原子4个价电子形成共价键时就缺少1个价电子。这一缺少价电子之处就形成了一个空穴。

P型半导体的特点:空穴数量多,成为多数载流子,自由电子数量少,成为少数载流子,参与导电的主要是带正电的多数载流子空穴。“P”取自英文 positive(正的)的第一个字母。P型半导体又称为空穴型半导体。

复习思考题

1. 半导体具有哪些主要特性?
2. 什么是N型半导体?什么是P型半导体?
3. P型半导体本身是带正电还是电中性的?

1.2 半导体二极管

1.2.1 二极管的结构与电路符号

图1-2所示是用于电子产品中的各种不同外形的二极管实物图。

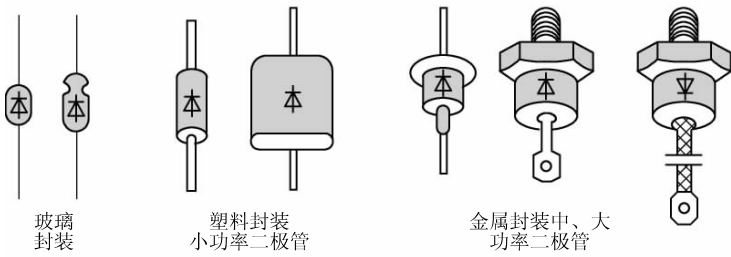


图1-2 二极管实物图

半导体二极管基本结构如图1-3(a)所示。采用掺杂工艺,在硅或锗晶体的一边形成P型半导体区域,另一边形成N型半导体区域,在P型与N型半导体的交界面处形成一个具有特殊导电性的薄层,称为PN结,从P区引出的电极为正极,从N区引出的电极为负极。二极管通常利用塑料、玻璃或金属材料作为外壳,根据其标记区分正负极。二极管的电路符号如图1-3(b)所示,箭头所指方向是电流流通的方向,通常用字母V代表二极管。

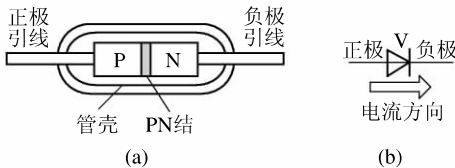


图1-3 二极管结构与符号

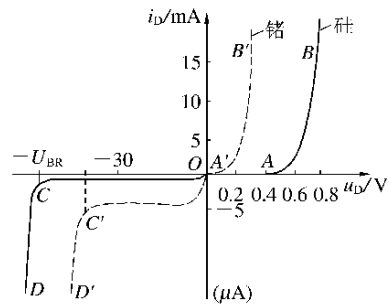


图1-4 二极管的伏安特性曲线

1.2.2 二极管的导电特性

二极管导电的特性用伏安特性曲线表示。如图 1-4 所示,它反映了二极管流过的电流与外加电压的关系,利用半导体管特性图示仪能十分方便地测出二极管的正、反向伏安特性曲线。

1) 正向特性

正向特性指曲线右侧部分,具有两个主要特点:

(1) 外加正向电压 u_D 较小时,二极管呈现的电阻较大,正向电流 i_D 几乎为 0,如曲线 $OA(OA')$ 段称为不导通区或死区。一般硅二极管的死区电压约为 0.5 V,锗二极管的死区电压约为 0.2 V。

(2) 当正向电压 u_D 超过死区电压时,PN 结内电场被抵消,二极管呈现的电阻很小,正向电流 i_D 随电压的增加而增长很快,二极管正向导通,电压与电流的关系近似于线性, $AB(A'B')$ 段称为导通区,导通后二极管两端的电压称为导通压降(管压降)。一般硅二极管的导通电压为 0.7 V,锗二极管为 0.3 V。

2) 反向特性

反向特性指曲线左侧部分,主要特点为:

(1) 当二极管两端加相反的电压时,使 PN 结内电场增强,此时二极管呈现很大的电阻,仅有很小的反向电流 I_R 。如曲线 OC 段称为反向截止区,此时的电流 I_R 称为反向饱和电流或反向漏电流,反向饱和电流越小,二极管的性能越好。一般硅二极管的反向饱和电流在几十微安以下,锗二极管的反向饱和则达到几百微安,大功率二极管的反向饱和电流会更大。

(2) 反向击穿区。当反向电压增大到超过某一个值时(如图中 C 点),反向电流急剧增加,这种现象称为反向击穿。曲线 CD 段称为反向击穿区, C 点对应的电压称为反向击穿电压 U_{BR} ,击穿后会使得二极管损坏,普通二极管不允许工作在击穿区,即二极管的反向电压不允许超过反向击穿电压 U_{BR} 。

3) 二极管的主要参数及选用方法

(1) 最大整流电流 I_{FM} 是指二极管在长期工作时所允许通过的最大正向平均电流。在选取二极管时,应使其通过的实际工作电流小于此值,否则会烧坏二极管。

(2) 最大反向电压 U_{RM} 是指二极管在工作时所允许承受的最高反向电压。为保证二极管安全可靠地工作,通常取值为反向击穿电压的一半。

(3) 最大反向电流 I_{RM} 是指二极管在室温(27°C)下,外加最高反向电压 U_{RM} 时产生的反向电流。 I_{RM} 值越小,二极管的单向导电特性越好。硅二极管的反向电流取值一般小于 $1\ \mu\text{A}$,锗二极管的反向电流一般为几微安到几百微安。

(4) 最高工作频率 f_M 是指二极管工作时所允许通过信号的最高频率,使用时不能超过此值,否则其单向导电特性将会变差。

工程应用

(1) 在实际应用中,通常利用半导体管特性图示仪观察二极管的特性曲线,以便了解不同型号二极管的工作特性,获取相关参数:死区电压、正向管压降、反向饱和电流和反向击穿电

压。观察二极管的特性曲线,能准确判断二极管的优劣。

(2) 硅、锗二极管虽然特性曲线相似,但其特性有一定的差异。锗二极管死区电压较小,通常用于高频小信号的检波电路,以提高检波灵敏度;硅二极管反向饱和电流较小,在电源整流及电工设备中常常使用硅二极管。

1.2.3 二极管器件手册的使用

二极管的类型非常多,从半导体器件手册中可以查找常用二极管的技术参数和使用资料,根据这些参数正确使用二极管。一般半导体器件手册包括以下基本内容:器件型号、主要参数、用途、器件外形等。表 1-1 列出了几种典型二极管技术参数。

表 1-1 几种典型二极管技术参数

型号	最大整流电流 I_{FM}/mA	最大反向电压 U_{RM}/V	反向饱和电流 I_{RM}/mA	最高工作频率 f_M/MHz	主要用途
2AP1	16	20		150	检波
2CK84	100	≥ 30	≤ 1	-	开关
2CP31	250	25	≤ 0.3	-	整流
2CZ11D	1000	300	≤ 0.6	-	整流

二极管型号

按照国家标准 GB 249—74 的规定,国产二极管的型号由五部分组成:

第一部分数字,“2”表示二极管。

第二部分用拼音字母表示二极管的材料,其中“A”为 N 型锗材料,“B”为 P 型锗材料,“C”为 N 型硅材料,“D”为 P 型硅材料。

第三部分用拼音字母表示二极管的类型,其中“P”为普通管,“Z”为整流管,“K”为开关管,“W”为稳压管。

第四部分用数字表示器件的序号,序号不同其特性不同。

第五部分用拼音字母表示规格,序号相同、规格不同的二极管特性差别较小,只是某个或几个参数有所不同。

目前市面上最常见的国外二极管如 1N4001、1N4004、1N4148 等,这类二极管采用的是美国电子工业协会半导体器件的命名方法,凡型号以“1N”开头的二极管都是美国制造的或以美国专利在其他国家制造的产品,1N 后面的数字表示该器件在美国电子工业协会登记的顺序号。

而从日本进口的电子产品中,二极管的型号则是以“1S”开头,如 1S1885,第一部分“1”表示二极管,第二部分“S”表示日本电子工业协会注册产品,第三部分的数字表示在日本电子协会注册登记的顺序号。

1.2.4 稳压二极管

稳压二极管是一种工作在反向击穿区,并且当反向电压撤除后其性能仍能恢复正常的特殊二极管。它的电气符号和典型的伏安特性如图 1-5 所示。

由图 1-5 可知,稳压管的正向特性曲线与普通二极管相似。在反向特性曲线上,当反向

电压较小时,其反向电流很小,如曲线 OA 段;而当反向电压加大到某一数值时,反向电流急剧增大,稳压管被反向击穿。进入击穿区后, ΔI_Z 变化大而 ΔU_Z 变化很小,如曲线 CD 段。也就是说,在击穿区当反向电流大范围变化时,反向电压几乎不变,故进入击穿区的反向电压值也就是稳压管的稳压值。当然,这种击穿不能是破坏性的,如果反向电流太大,稳压管会因过热而烧坏。为此,使用稳压管时必须串接一个合适的限流电阻,以保证稳压管工作在可逆的电击穿状态而不致产生热击穿。

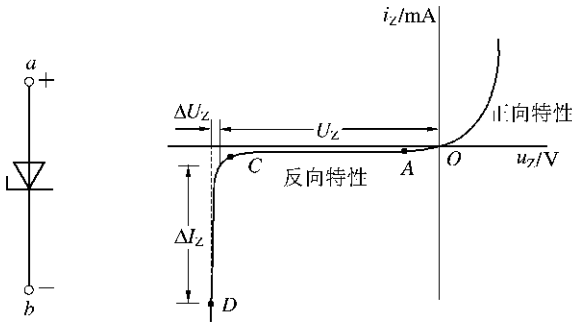


图 1-5 稳压管的电气符号与伏安特性曲线

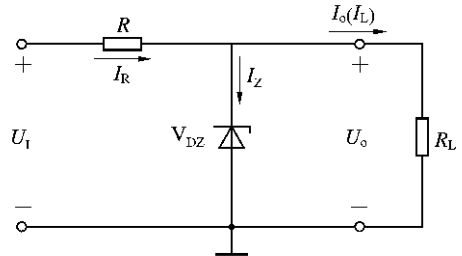


图 1-6 简单的稳压电路

稳压管在直流稳压电源中有着广泛应用。图 1-6 所示就是一个简单的由稳压管组成的稳压电路。图中, R 是限流电阻, R_L 为负载, V_{DZ} 是稳压管,它必须反向连接。显然有 $I_R = I_Z + I_L$ 。

现假定负载不变,而输入电压变化。若 U_1 增加,它会引起输出电压 U_o 略微增加,但 U_o 的增加也就是稳压管的工作电压增加,即 I_Z 也增加。由于 $I_R = I_Z + I_L$,因而流过限流电阻 R 的电流也增加,结果在 R 上的压降随之增加,使输出电压下降,保证输出电压基本稳定。反之,若 U_1 减小,其稳压过程与前述相反,也能保证输出电压基本稳定。

假定输入电压不变,而负载变化。若 R_L 下降,它会使得 I_L 增加,由于 $I_R = I_Z + I_L$, R 上的压降随之增加,使输出电压下降,但 U_o 的下降会同时使 I_Z 也下降,当然也就使 R 上流过的电流连同在它上面的压降也跟着下降,结果就使输出电压有所回升,即保证输出电压基本稳定。反之,若 R_L 上升,结果亦然。

稳压管的参数主要有:

(1) 稳定电压 U_Z 是指稳压管在正常工作时管子的两端电压。低的为 3 V ,高的可达 300 V ,一般在 $3\sim 25\text{ V}$ 。

(2) 稳压电流 I_Z 是指稳压管正常工作时(即保持稳定电压 U_Z 时)的参考电流。手册上给出的稳定电流通常是指开始稳压时对应的最小稳定电流;对应额定功耗时的电流称为最大稳定电流。实际工作电流应取最小稳定电流和最大稳定电流之间的某个值。

(3) 最大耗散功率 P_{ZM} 最大耗散功率也叫“额定功耗”,是指稳压管不至于产生过热损坏时的最大功率损耗值。它等于稳定电压与最大稳定电流的乘积。

(4) 动态电阻 R_Z 稳压管端电压的变化量 ΔU_Z 与对应的电流变化量 ΔI_Z 之比叫稳压管的动态电阻。它反映稳压管的稳压性能, R_Z 越小,稳压效果越好。一般在几欧~几十欧之间。

(5) 稳定电压的温度系数 是指稳压管的稳定电压 U_Z 随工作温度变化影响的系数。一般 U_Z 低于 4 V 的稳压管具有负温度系数, U_Z 高于 7 V 的稳压管具有正温度系数,而 U_Z 在 $4\sim 7\text{ V}$ 之间时,温度系数最小。

(1) 利用半导体管特性图示仪可对二极管质量进行较准确的观测,但由于其价格昂贵,因此,在一般情况下多用万用表来检测二极管的好坏及正负极的判别。

(2) 利用万用表检测二极管,将电阻挡调到 $R \times 100$ 或 $R \times 1 \text{ k}\Omega$ 挡,此时,万用表的红表笔接表内电池的负极,黑表笔接表内电池的正极。将万用表红、黑表笔分别接二极管两端,若测得电阻较小(十几千欧以下),再将红、黑表笔对调进行检测,而测得的电阻较大(几百千欧),说明二极管具有单向导电性,若两次阻值相差越大,二极管的质量越好。测得阻值小的那次黑表笔接的是二极管的正极。如果测得二极管正、反向电阻都很小,甚至为零,表示管子内部已短路;如果测得二极管的正、反电阻都很大,则表示管子内部已开路。

复习思考题

1. 画出二极管的电路符号,并说明二极管的主要特性。
2. 说出二极管伏安特性的物理意义。
3. 选用二极管主要考虑哪些参数?并说明参数的含义。
4. 硅、锗二极管有哪些区别?各适用于哪些场合?
5. 有一只二极管,测得其正向电阻为 $470 \text{ k}\Omega$,反向电阻为 $520 \text{ k}\Omega$,该二极管能使用吗?为什么?

1.3 半导体三极管

1.3.1 三极管的结构与电路符号

1) 外形

半导体三极管简称“三极管”,通常又称为“晶体三极管”或“BJT”,它有三个管脚,图 1-7 是常用三极管的封装外形。

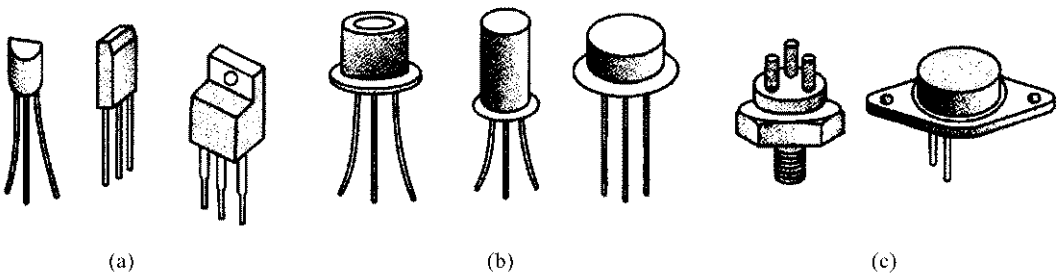


图 1-7 几种三极管的封装外形

2) 结构与电路符号

三极管是由两个 PN 结组成的三层半导体,按两个 PN 结组合方式不同,可分为 NPN 型和 PNP 型两类,其结构与电路符号如图 1-8 所示,文字符号用字母“V”表示。

三极管内部结构分为发射区,基区和集电区,引出三个电极分别为发射极 e、基极 b 和集电极 c。发射区与基区间的 PN 结称为发射结,集电区与基区间的 PN 结称为集电结。

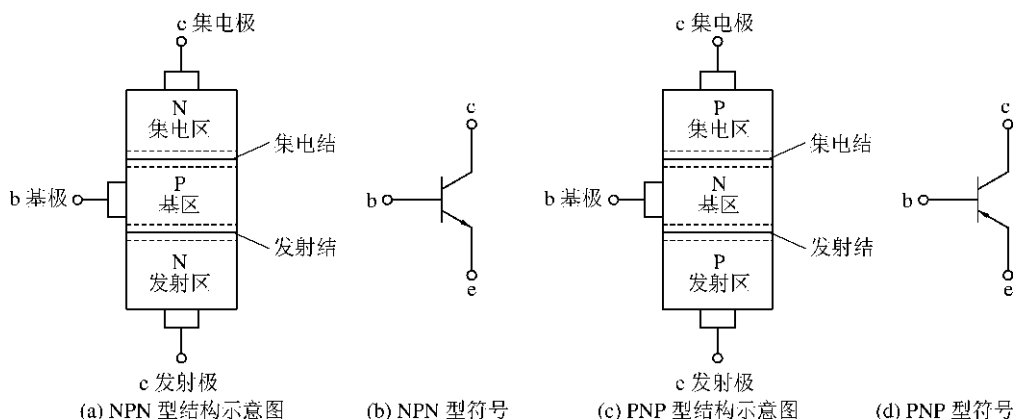


图 1-8 三极管的结构与符号

1.3.2 三极管的分类和连接方式

1) 三极管的分类

三极管的分类很多,通常按以下方法进行分类:

(1) 依据半导体材料不同,可以分为硅管和锗管。硅管工作稳定,受温度影响较小,因此在自动控制设备中通常选用硅管。

(2) 按三极管内部基本结构不同,可以分为 NPN 型和 PNP 型两类。目前我国生产的硅管多为 NPN 型,锗管多为 PNP 型。

(3) 按工作频率不同,可以分为高频管(工作频率不低于 3 MHz)和低频管(工作频率在 3 MHz 以下)。

(4) 根据功率不同,可以分为小功率管(耗散功率小于 1 W)和大功率管(耗散功率不低于 1 W)。

(5) 按用途不同,可以分为普通放大三极管和开关三极管等。

2) 三极管的连接方式

三极管的基本功能就是对微小信号起到放大作用。三极管在放大电路中有三种连接方式(或称为三种组态),即共基极、共发射极和共集电极,如图 1-9 所示。

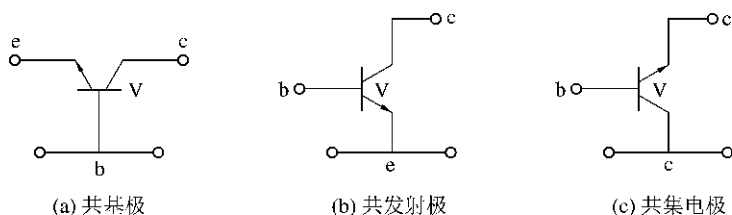


图 1-9 三极管在放大电路中的三种连接方式

上面提到的三种接法中,无论是哪种接法,其基本原则是使发射结正向偏置,集电结反向偏置。

1.3.3 三极管的电流分配与放大作用

半导体三极管发射极电流 I_E 、基极电流 I_B 和集电极电流 I_C 之间存在如下关系:

$$I_E = I_B + I_C \text{ 且 } I_C \gg I_B \quad (1-1)$$

这表明三极管各个极的电流之间不但有确定的关系,而且只要从基极输入较小的控制电

流 I_B , 就能从集电极获得较大的输出电流 I_C , 即三极管具有电流放大能力, 是一种电流控制器件。我们把 I_C 与 I_B 之比称为共发射极直流电流放大系数 $\bar{\beta}$ 。实验证明, I_B 的微小变化就会引起 I_C 的很大变化, 将 I_C 、 I_B 的变化量即 ΔI_C 与 ΔI_B 之比称为交流电流放大系数 β , 即

$$\bar{\beta} = I_C / I_B, \text{ 而 } \beta = \Delta I_C / \Delta I_B \quad (1-2)$$

虽然 $\bar{\beta}$ 与 β 含义不同, 但因两者数值相差不大, 故通常不作严格区分。

综上所述:

(1) 三极管之所以能放大输入信号, 其外部条件是发射结必须正向偏置, 集电结必须反向偏置。

(2) 放大作用实质上是用一个微小的电流变化 ΔI_B 去控制较大的电流变化 ΔI_C 。

(3) PNP 型管与 NPN 型管的工作原理相同, 只是在电路连接时, 要注意电压极性和电流流向的不同, 如图 1-10 所示。

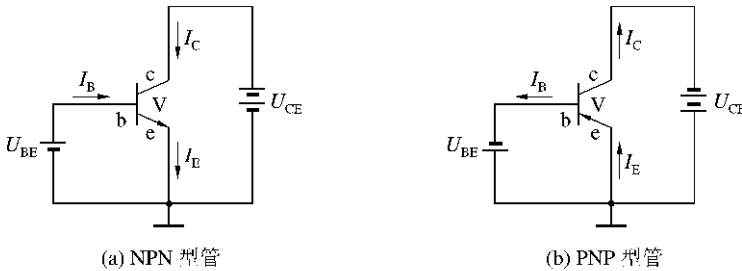


图 1-10 两种半导体管电路接法的区别

1.3.4 三极管的特性曲线

三极管的特性曲线是用来描述各极电流和各极间电压关系的曲线, 有输入特性曲线和输出特性曲线两组, 一般共发射极接法时的特性曲线最为常用。

1) 输入特性曲线

输入特性曲线是表示当输出电压 U_{CE} 为定值时, 三极管输入回路电压和电流关系的特性曲线, 即 I_B 与 U_{BE} 之间的关系曲线, 如图 1-11 所示。当输入电压 U_{BE} 较小时, 基极电流 I_B 很小, 通常近似为零。当 U_{BE} 大于死区电压 U_T (硅管约为 0.5 V, 锗管约为 0.2 V) 时, 电流 I_B 开始升高。三极管正常导通时, 硅管 U_{BE} 约为 0.7 V, 锗管约为 0.3 V, 此时, U_{BE} 称为三极管发射结正向电压。三极管的输入特性曲线为一族曲线。

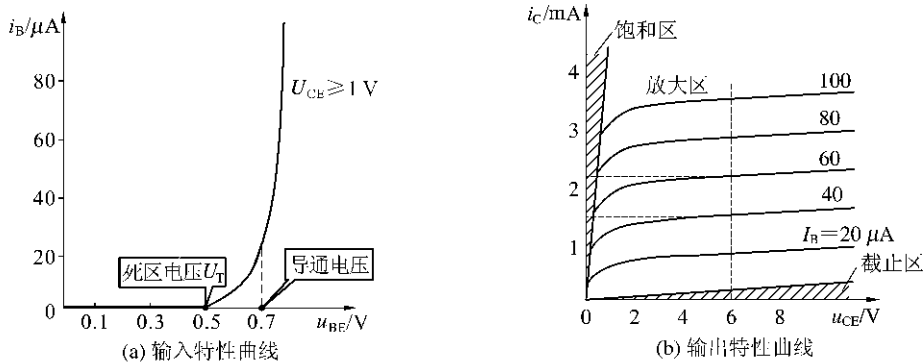


图 1-11 三极管输入、输出特性曲线

2) 输出特性曲线

输出特性曲线是指当基极电流 I_B 为某一定值时,集电极电流 I_C 与集电极电压 U_{CE} 之间的关系曲线。如图 1-11(b)所示,输出特性曲线可分为三个区,即截止区、放大区和饱和区。

(1) 截止区 它对应 $I_B=0$ 以下的区域。在该区域内,三极管处于截止状态,此时三极管集电结与发射结均外加反向电压。此时三极管集电结处于反向偏置状态,发射结处于反向偏置或零偏置状态。据此,可判断三极管是否为截止状态。三极管截止时,相当于三极管内部各极开路。在 $I_B=0$ 时,有很小的电流 I_C 即为穿透电流 I_{CEO} ,一般可以忽略不计,认为 $I_C=0$ 。

(2) 饱和区 当 U_{CE} 减小到 $U_{CE}<U_{BE}$ 时,三极管的集电结和发射结均处于正向偏置状态,此时 I_C 已不再受 I_B 的控制。三极管饱和时的 U_{CE} 值称为饱和压降,用 U_{CES} 表示(小功率硅管 U_{CES} 均为 0.3 V,锗管约为 0.1 V),此时三极管的集电极和发射极相当于开关闭合。

(3) 放大区 指三极管发射结正向偏置,集电结反向偏置时的工作区域。其主要特点是 I_C 受 I_B 控制,具有电流放大作用。其另一特点是具有恒流特性,当 I_B 为定值时, I_C 不随 U_{CE} 的变化而变化,即 I_C 基本保持恒定。

综上所述:三极管工作在饱和区和截止区时,具有开关特性,可应用于脉冲数字电路中;三极管工作在放大区时,可应用于模拟电路中起放大作用。所以三极管具有开关、放大两种功能。

1.3.5 三极管的主要参数

三极管的参数有三类:直流参数、交流参数和极限参数,这些参数从不同侧面反映管子的各种特性,是选用器件时的重要依据。

1) 直流参数

(1) 共发射极直流电流放大系数 $\bar{\beta}$ 用于表征 I_C 与 I_B 的分配比例。

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

$$\bar{\beta} \approx I_C / I_B \quad (I_C \gg I_{CEO} \text{ 时}) \quad (1-4)$$

(2) 集电极-基极反向饱和电流 I_{CBO} 是指三极管发射极开路时,流过集电结的反向漏电流。通常锗管的 I_{CBO} 为微安数量级,而硅管更小。 I_{CBO} 随温度的上升而增大, I_{CBO} 大的三极管工作的稳定性较差。

(3) 集电极-发射极反向饱和电流 I_{CEO} 是指基极开路时,集电极与发射极间的穿透电流。

$I_{CEO} = (1 + \bar{\beta}) I_{CBO}$,同一型号的三极管, I_{CEO} 越小,性能越稳定。

2) 交流参数

交流参数是反映三极管交流特性的主要指标。

交流电流放大系数 β ,通常也写为 h_{ie} ,定义式为

$$\beta = \Delta i_C / \Delta i_B \quad (1-5)$$

β 表征三极管对交流信号的放大能力。

3) 极限参数

极限参数是指为使半导体管安全工作而对它的电压、电流和功率损耗所作的限制。

(1) 集电极最大允许电流 I_{CM} 若三极管的 I_C 值超过 I_{CM} 时,其 β 值将下降到正常值的 2/3 以下。

(2) 集电极最大允许耗散功率 P_{CM} 它是三极管的最大允许平均功率,是 I_C 和 U_{CE} 的乘

积所允许的最大值,超过此值时三极管会因过热而损坏。

(3) 集电极-发射极反向击穿电压 $U_{(BR)CEO}$ 它是基极开路时,加在集电极和发射极之间的最大允许电压,若 U_{CE} 超过 $U_{(BR)CEO}$,三极管子因电击穿而损坏。

1.3.6 三极管器件手册的使用

三极管的类型非常多,从半导体管手册可以查找到三极管的型号、主要用途、主要参数和器件外形等内容,这些技术资料是正确使用三极管的依据。表 1-2 为几种典型三极管的主要参数。

表 1-2 几种典型半导体三极管的主要参数

类别	型号	直流参数			交流参数		极限参数		
		I_{CBO} / μA	I_{CEO} / μA	h_{FE}	f_T /MHz	C_{ob} /pF	I_{CM} /mA	P_{CM} /mW	$U_{(BR)CEO}$ /V
低频小功率管	3AX51A	≤ 12	≤ 500	10~150	-	-	100	100	12
	3BX81A	≤ 30	$\leq 1\ 000$	40~270	-	-	200	200	10
	3CX200B	≤ 0.5	≤ 1	55~400	-	-	300	300	18
高频小功率管	3AG54A	≤ 5	≤ 300	30~200	≥ 30	≤ 5	30	100	15
	3CG100B	≤ 0.1	≤ 0.1	≥ 25	≥ 100	≤ 4.5	30	100	-
	3DG120A	≤ 0.01	≤ 0.01	≥ 30	≥ 150	≤ 6	700	500	≥ 30
开关管	3DK1A	-	≤ 5	30~200	≥ 200	-	30	100	≥ 15
	3DK22B	-	≤ 0.5	25~180	≥ 100	-	-	150	≥ 20
	3DK3A	≤ 5	≤ 10	≥ 20	≥ 150	≤ 10	600	500	≥ 10
大功率管	3AD30A	≤ 500	-	12~100	-	-	4 A	20 W	12
	3DD15A	$\leq 1\text{ mA}$	$\leq 2\text{ mA}$	≥ 20	-	-	5 A	50 W	≥ 60
高耐压管	BUX47A	-	150	-	-	-	15 A	120 W	450
	BUX48A	-	200	-	-	-	36 A	175 W	450

国产三极管的型号由五部分组成。

第一部分是数字“3”,表示三极管。

第二部分是用拼音字母表示三极管的材料和极性,其中“A”表示 PNP 型锗材料,“B”表示 NPN 型锗材料,“C”表示 NPN 型硅材料,“D”表示 NPN 型硅材料。

第三部分是用拼音字母表示三极管的类型,其中“X”表示低频小功率管,“G”表示高频小功率管,“D”表示低频大功率管,“A”表示高频大功率管。

第四部分用数字表示器件的序号,序号不同的三极管其特性不同。

第五部分用拼音字母表示器件的规格号,序号不同、规格号不同的三极管特性差别不大,只是某个或某几个参数有所不同。

例如 3AG54A,前三部分“3AG”表示是 PNP 型锗材料高频小功率三极管,第四部分的“54”和第五部分的“A”分别是序号和规格号。

目前使用的进口三极管常以“2N”或“2S”为开头。开头的“2”表示有两个 PN 结的元件,三极管属于这一类型。“N”表示该器件在美国电子工业协会注册登记,“S”则表示该器件在日本电子工业协会注册产品。

三极管工作状态的判断

(1) 通过测量电路板上三极管各引脚对地的电压可以判断出三极管的工作状态。对于 NPN 管,若测得 $U_C > U_B > U_E$, 则该三极管处于放大状态;对于 PNP 管, $U_C < U_B < U_E$ 时为放大状态。

(2) 若测得集电极对地电压接近于电源电压 U_{CC} , 则该三极管处于截止状态。

(3) 若测得集电极对地电压 U_{CC} 接近于零(硅管小于 0.7 V, 锗管小于 0.3 V), 则表明该三极管处于饱和状态。

小知识

三极管管脚的判别

判别管脚与管型时按以下办法进行:

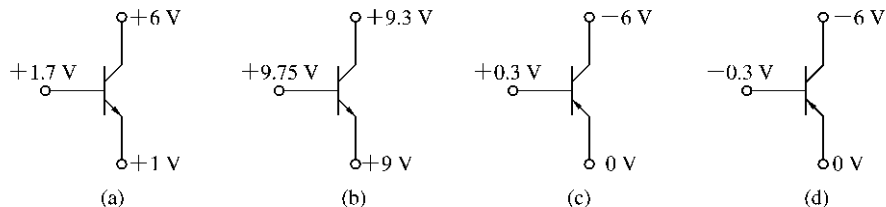
判别时可把三极管看成是两个背靠背的 PN 结, 按照判别二极管极性的方法可以判断出一极为公共正极或公共负极, 即为基极 b。具体的测试方法是: 万用表置于 $R \times 100$ 或 $R \times 1 k$ 挡, 然后任意假定一个电极是 b 极, 并用黑表笔与假定的 b 极相接, 用红表笔分别与另外两个电极相接。如果两次测得的电阻值均很小, 即为 PN 结正向电阻, 则黑表笔所接的就是 b 极, 且管子为 NPN 型; 如果两次测得的电阻值一大一小, 则表明假设的电极不是真正的 b 极, 需要将黑表笔所接的管脚调换一下, 再按上述方法测试。若为 PNP 型管则应用红表笔与假定的“b 极”相接, 用黑表笔接另外两个电极。两次测得的电阻值均很小时, 红表笔所接为 b 极, 且可确定为 PNP 型管。

当 b 极确定后, 可接着判别发射极 e 和集电极 c。若是 NPN 型管, 可将万用表的黑表笔和红表笔分别接触两个待定的电极, 然后用手指捏紧黑表笔和 b 极(不能将两极短路, 即相当接一电阻), 观察表针摆动幅度。然后将黑、红表笔对调, 按上述方法重测一次。比较两次表针摆动幅度, 摆动幅度较大的一次黑表笔所接管脚为 c 极, 红表笔所接为 e 极。

若为 PNP 型管, 上述方法中将黑、红表笔对换即可。

复习思考题

1. 三极管的主要特性是什么? 放大的实质是什么?
2. 三极管三个极所流过的电流哪个最大? 哪个最小? 哪两个相接近?
3. 测得某电路中几个三极管的各极电位如题图 1-1 所示, 试判断各管子的工作状态。



题图 1-1

4. 某三极管的①脚流出电流为 3 mA, ②脚流进电流为 2.95 mA, ③脚流进电流为 0.05 mA, 判断各管脚名称, 并指出管型。

* 1.4 场效应管(FET)

场效应管是一种电压控制型器件, 是利用输入电压产生电场效应来控制输出电流, 它具有输入阻抗高、噪声低、热稳定性好、耗电省等优点, 目前, 已被广泛应用于各种电子电路中。

场效应管的型号是在 3DJ、3DO、CS 等后加序号和规格号表示, 它的外形与半导体三极管相似, 如图 1-12 所示。场效应管按其结构的不同分为结型和绝缘栅型两种, 其中绝缘栅型由于制造工艺简单, 便于实现集成化, 因此应用更为广泛。

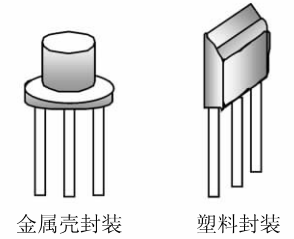


图 1-12 场效应管的外形

1.4.1 绝缘栅场效应管

1) 结构

绝缘栅场效应管分为增强型和耗尽型两类, 每类又有 P 沟道和 N 沟道两种。图 1-13(a) 所示为 N 沟道增强型绝缘栅场效应管结构示意图, 它是用一块杂质浓度较低的 P 型硅片作为衬底, 在上面扩散两个高浓度的 N 型区(图中 N^+ 区), 各用金属线引出电极, 分别称为源极 S 和漏极 D, 在硅片表面生成一层薄薄的绝缘层(SiO_2), 绝缘层上再制作一层铝金属膜作为栅极 G, 场效应管的 S、G、D 极对应半导体三极管的 e、b、c 极。图 1-13(b) 为电路符号, D 极与 S 极之间是三段断续线, 表示为增强型; 若是连续线表示为耗尽型。B 为衬底引线, 一般与源极 S 相连, 箭头向内表示为 N 沟道, 反之为 P 沟道。

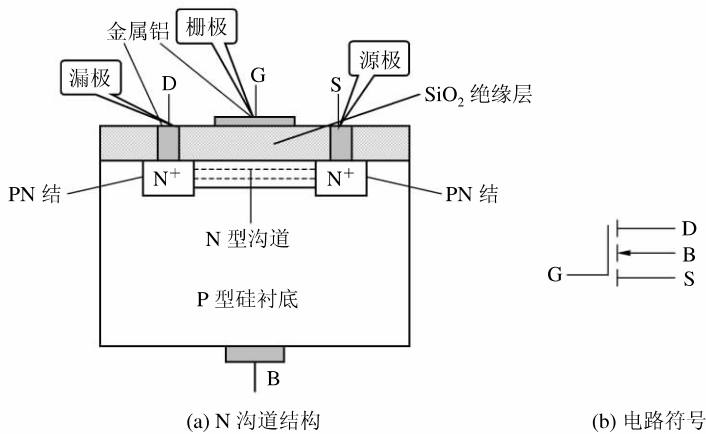


图 1-13 N 沟道增强型绝缘栅场效应管

因为栅极与其他电极及硅片之间是绝缘的, 所以称为绝缘栅场效应管。又由于它是由金属-氧化物-半导体(Metal-Oxide-Semiconductor)所组成, 取其英文名词的第一个字母, 故称为 MOS 场效应管。

如果在制作场效应管时采用 N 型硅作衬底, 漏极、源极为 P^+ 型, 则导电沟道为 P 型, 其结构和对应的符号如图 1-14(a)、(b) 所示。