

中华人民共和国海船船员适任考试培训教材

信息技术与通信导航系统

 中国海事服务中心组织编写



中华人民共和国海事局审定



大连海事大学出版社
Dalian Maritime University Press

人民交通出版社
China Communications Press

■ 中华人民共和国海船船员适任考试培训教材

信息技术与 通信导航系统

 中国海事服务中心组织编写

 中华人民共和国海事局审定

 大连海事大学出版社

 人民交通出版社

© 中国海事服务中心 2012

图书在版编目(CIP)数据

信息技术与通信导航系统 / 刘彤, 柳邦声, 李建民主编. —大连: 大连海事大学出版社;
北京: 人民交通出版社, 2012. 9

中华人民共和国海船船员适任考试培训教材. 电子电气专业

ISBN 978-7-5632-2779-2

I. ①信… II. ①刘… ②柳… ③李… III. ①航海通信—通信系统—职业培训—教材
②航海导航—导航系统—职业培训—教材 IV. ①U675.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 220110 号

大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌海路1号 邮编:116026 电话:0411-84728394 传真:0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连住友彩色印刷有限公司印装

大连海事大学出版社发行

2012年9月第1版

2012年9月第1次印刷

幅面尺寸:185 mm × 260 mm

印张:22.5

字数:570千

印数:1~3000册

责任编辑:苏炳魁 刘禹

版式设计:海大

封面设计:王艳

责任校对:阮琳涵

ISBN 978-7-5632-2779-2 定价:68.00元

编委会成员

编委会主任 陈爱平

编委会常务副主任 郑和平

编委会副主任 郭洁平 李恩洪 侯景华

编委 韩杰祥 朱可欣 梁天才 王玉洋

陈国忠 梁军 郑乃龙 王长青

韩光显 葛同林 黄燕品 刘克坚

温宇钦



前 言

《中华人民共和国海船船员适任考试和发证规则》(简称 11 规则)已于 2012 年 3 月 1 日起生效,新的《中华人民共和国海船船员适任考试大纲》也将于 2012 年 7 月 1 日开始实施。为了更好地指导帮助船员进行适任考试前的培训,进一步提高船员适任水平,在交通运输部海事局领导下,中国海事服务中心组织全国有丰富教学、培训经验和航海实际经验的专家共同编写了与《中华人民共和国海船船员适任考试大纲》相适应的培训教材。本教材编写依据 STCW 公约马尼拉修正案,采用图文并茂的形式,改变了长期以来以文字为主的教材编写方式。本教材的创新模式对今后的船员适任培训具有重要的指导意义。

本套教材知识点紧扣考试大纲,具有权威、准确、系统、实用的特点,重点突出船员适任考前培训和航海实践需掌握的知识,旨在培养船员具备在实践中应用知识的能力,并可作为工具书帮助船员上船工作使用。

本套教材由航海英语、船舶操纵与避碰、航海学、船舶结构与货运、船舶管理(驾驶)、(高级)值班水手业务、高级值班水手英语,轮机英语、船舶动力装置、主推进动力装置、船舶辅机、船舶电气与自动化、船舶管理(轮机)、(高级)值班机工业务、高级值班机工英语,电子电气员英语、船舶电气、船舶机舱自动化、信息技术与通信导航系统、船舶管理(电子电气)、电子技工业务、电子技工英语组成。

本套教材在编写、出版工作中,得到了各直属海事局、航海院校、海员培训机构、航运企业以及人民交通出版社、大连海事大学出版社等单位的关心和大力支持,特致谢意。

中国海事服务中心
2012 年 3 月



编者的话

《信息技术与通信导航系统》根据中华人民共和国海事局制定的《中华人民共和国海船船员电子电气员适任考试大纲》编写,满足 STCW 公约马尼拉修正案的要求,适用于 750 kW 及以上船舶电子电气员适任证书考试、评估培训使用,也可作为海事大专院校的教学用书。

本教材共分四章。第一章电子技术基础,介绍模拟电子技术和数字电子技术基础知识。第二章为计算机及局域网,介绍船舶工业计算机硬件、软件及船舶局域网基础知识。第三章为船舶导航系统,介绍现代船舶导航系统的配置、基本原理和维护保养知识。第四章为船舶通信系统,介绍现代船舶通信系统的配置、基本原理和维护保养知识。

本教材涵盖了国家海事局船员适任考试、评估大纲中《信息技术与通信导航系统》科目的所有知识点,反映了船舶通信导航技术和信息技术的最新发展,兼顾了信息技术和通信导航系统知识体系的系统性和完整性,注重理论在航海实践中的应用,能有效地帮助和指导电子电气学员学习、掌握信息技术与通信导航系统理论基础,提高实践能力。

本书由大连海事大学刘彤、青岛远洋船员职业学院柳邦声和大连海事大学李建民共同主编。参编作者有大连海事大学薛征宇、李啸、董华、陈铎、但高勇、全东群、张国强,青岛远洋船员职业学院丁方平、张颖、马玉丽,以及交通运输部通信中心刘红梅。本书由大连海事大学牛小兵、袁安存和李彦军主审,中国海事服务中心朱耀辉参加了主要审定工作。

青岛远洋船员职业学院高兴斌对于教材提出了许多宝贵意见和建议,交通运输部通信中心刘红梅提供许多资料,大连海事大学杨晓、余枫、张斌、高宗江、陈海力在教材统稿过程中做了很多具体工作,在此一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,时间仓促,虽竭尽全力,但差错与不足在所难免,竭诚希望同行专家和广大读者批评指正。

编者

2012年4月



目 录

第一章 电子技术基础.....	1
第一节 模拟电子技术.....	1
第二节 数字电子技术	38
第二章 计算机及局域网	76
第一节 计算机硬件应用基础	76
第二节 计算机操作系统	93
第三节 工业计算机基本结构与特点.....	100
第四节 不间断电源基本原理和使用维护.....	101
第五节 船舶计算机网络.....	105
第三章 船舶导航系统.....	144
第一节 综合驾驶台系统.....	144
第二节 船舶导航雷达.....	155
第三节 船载 GPS 卫星导航仪	188
第四节 自动识别系统.....	197
第五节 船用陀螺罗经.....	214
第六节 船用测深仪.....	244
第七节 船用计程仪.....	251
第八节 船载航行数据记录仪.....	255
第四章 船舶通信系统.....	264
第一节 无线电基础知识.....	264
第二节 船舶通信概述.....	269
第三节 GMDSS 概述	273
第四节 Inmarsat 通信系统	280
第五节 MF/HF 组合电台	290
第六节 船用 VHF 通信设备	312



第七节	NAVTEX 与气象传真机·····	317
第八节	卫星 EPIRB 与 SART ·····	324
第九节	船舶通信天线·····	332
第十节	GMDSS 备用电源 ·····	339
第十一节	船舶内部通信系统·····	341
参考文献·····		347



第一章

电子技术基础

第一节 模拟电子技术

一、半导体元器件

(一) 半导体二极管

1. PN 结与单相导电性

半导体二极管由 1 个 PN 结加上相应的电阻引线以及管壳构成,具有单向导电性。PN 结是由 P 型和 N 型半导体通过一定的方式结合而成的,多采用 4 价元素的硅和锗作原料。

如果在硅或者锗的晶体中掺入 5 价元素(比如磷),则称为电子半导体或者 N 型半导体。如果在硅或者锗的晶体中掺入 3 价元素(比如硼),则称为空穴半导体或者 P 型半导体。PN 结很薄,大约仅有数十微米。其单向导电性,只有在外加电压时才能显现出来。PN 结加正向电压时,电阻值很小,PN 结导通;加反向电压时,电阻值很大,PN 结截止,这就是它的单向导电性。

2. 半导体二极管伏安特性

加在二极管上的电压和流经二极管间的电流之间的关系称为二极管的伏安特性,又称外特性。图 1-1 为某硅二极管和锗二极管的伏安特性曲线,当二极管承受正向电压小于某一数值时还不足以克服 PN 结内电场对多数载流子运动的阻挡作用,这一区段二极管正向电流很小,接近于 0,称为死区。死区电压的大小与二极管的材料有关,并受环境温度影响。通常,锗管为 0.1~0.3 V;硅管为 0.5~0.8 V。当二极管的正向端电压超过死区电压时,外电场抵消了内电场,正向电流随外加电压的增加而明显增大,二极管正向电阻变得很小。当二极管完全导通后,正向压降基本维持不变,称为二极管正向导通压降。一般硅管的正向导通压降为 0.7 V;锗管为 0.2 V。其中,正向电流不能无限制地增大,因为电流过大,PN 结会严重发热,以致烧

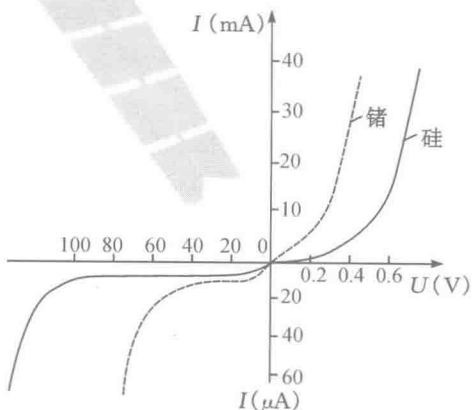


图 1-1 二极管的伏安特性曲线



毁管子。

当二极管承受反向电压时,外电场与内电场方向一致,只有少数载流子的漂移运动,即有很小的反向电流流过二极管,形成的漏电流极小,一般硅管的漏电流为几微安以下,锗管漏电流较大,为几十到几百微安。只要外加反向电压,在一定范围内反向电流基本上维持不变,与反向电压的数值没有关系,这时二极管反向截止。当反向电压增大到某一数值时,反向电流将随反向电压的增加而急剧增大,这种现象称为二极管反向击穿。击穿时,对应的电压称为反向击穿电压。普通二极管发生反向击穿后,造成二极管的永久性损坏,失去单向导电性。

3. 半导体二极管主要参数

(1)最大整流电流:是指管子长期运行时,允许通过的最大正向平均电流。由于电流通过PN结要引起管子发热,电流如果很大,发热量超过一定限度,就会将PN结烧毁。常用的1N4007型二极管的最大整流电流是1 A。

(2)反向击穿电压:是指管子反向击穿时的电压值。击穿时,反向电流剧增,单向导电性遭到破坏,甚至因过热而烧毁。电气手册上给出的最高反向工作电压大约为击穿电压的一半,以保障二极管的安全运行。例如规定1N4001型二极管的最高反向工作电压为50 V,而反向击穿电压实际上大于100 V。

(3)反向电流:指管子未击穿时的反向电流,这个值越小,管子的单向导电性越好。反向电流受温度影响比较大,温度增高,其会明显增大,大约温度每升高10℃,反向电流增大一倍。例如2AP1型锗二极管,在25℃时反向电流若为250 μA,温度升高到35℃,反向电流将上升到500 μA,依此类推,在75℃时,它的反向电流已达8 mA,不仅失去了单方向导电特性,还会使管子过热而损坏。又如2CP10型硅二极管,25℃时,反向电流仅为5 μA,温度升高到75℃时,反向电流也不过160 μA。故在高温下硅二极管比锗二极管具有较好的稳定性。因而在实际使用的时候要考虑到温度的影响。

(4)极间电容:PN结存在扩散电容和势垒电容。极间电容是反映二极管中PN结电容效应的参数,它是扩散电容和势垒电容之和。在高频或开关状态运用时,必须考虑它的影响。

(5)反向恢复时间:由于二极管中PN结电容效应的存在,当二极管外加电压,极性翻转时,其工作状态不能在瞬间完全随之变化。特别是外加电压从正向偏置变成反向偏置时,二极管中电流由正向变成反向,但其翻转后的瞬间有较大的反向电流,经过一定时间后反向电流才会变得很小。二极管由正向导通到反向截止的时间称为反向恢复时间。反向恢复时间越短,工作频率越高。

(6)正向压降:是指二极管正向导通后的压降。一般情况下,硅管的正向压降为0.7 V左右,锗管的正向压降为0.2 V左右,电力二极管的正向压降高一些,在2 V左右。

此外,很多厂商对于二极管的参数还有比较细致的划分,比如平均反向电压、典型结电容、工作环境温度等。这些参数是正确使用二极管的依据,一般半导体器件手册中或者生产厂商都会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,否则容易损坏管子。

4. 半导体二极管常见分类及一些特殊功能二极管

二极管(Diode)可以按照多种方式来对它进行分类,无论哪种方式,二极管的代表符号都可以用图1-2来表示。按照所用的半导体材料,可分为锗二极管(Ge管)和硅二极管(Si管)。目前硅管的应用更加普遍。

按照二极管结构的不同,大致可分为点接触型二极管和面接触型二极管两类。面接触型



二极管的PN结面积大,可承受较大的电流,但极间电容也大,这类器件适用于整流,不适用于高频电路中。点接触型二极管的PN结面积很小,所以极间电容也小,适用于高频电路和数字电路,但是这种类型的二极管不能承受高的反向电压和大的电流。

除了普通二极管外,还有若干种特殊二极管。如齐纳二极管(又称稳压管)、变容二极管、肖特基势垒二极管、光电子器件(包括光电二极管、发光二极管和激光二极管)等。

齐纳二极管又称稳压二极管,简称稳压管,是一种用特殊工艺制造的面结型硅半导体二极管,其代表符号如图1-3(a)所示。这种管子的杂质浓度比较高,空间电荷区内的电荷密度也大,因而该区域很窄,容易形成强电场。当反向电压加到某一定值时,反向电流急增,产生反向击穿,反向击穿电压就是稳压管的稳定电压。稳压管工作于反向击穿区,在此区间,电流虽然在很大范围内变化,但稳压管两端电压变化很小。稳压管与一般二极管不同,稳压管是可逆反向击穿,当反向电压去掉后,稳压管仍能回复;普通二极管是不可逆反向击穿,二极管一旦被反向击穿,管子即被损坏。所以一般二极管不能作稳压管使用。

稳压管的主要参数是:

(1) 稳定电压,指反向工作电流迅速增大时所对应的电压值,也就是稳压管的反向击穿电压。

(2) 稳定电流,指稳压管在稳压范围内的最小电流。

(3) 最大稳定电流,指稳压管在工作时允许通过的最大电流。

(4) 最大耗散功率,指稳定电压和最大稳定电流的乘积,这是由管子允许温升决定的参数。

(5) 动态电阻,在工作区域内,稳压管端电压变化量与相应的电流变化量的比值。稳压管的动态电阻与工作电流有关,一般工作电流越大,动态电阻越小,稳压管的性能越好。

稳压管在电路中与适当参数的电阻配合后能起到稳定电压的作用,在直流稳压电源中获得广泛的应用。图1-3(b)表示稳压电路, V_i 为待稳定的直流电源电压,一般是由整流滤波电路提供; R 为限流电阻,它的作用是使电路有一个合适的工作状态,并限定电路的工作电流;负载 R_L 与稳压管两端并联,因而成为并联式稳压电路。

使用稳压管的注意事项:

(1) 根据需要,参照稳压管的主要参数,选择适当的管子。

(2) 为了起稳压作用,稳压管必须工作在反向电压下,稳压管两端电压极性不能接错。

(3) 一般稳压管不能并联使用,因为稳压值的微小差别将引起并联工作的稳压电流分配不均,通过大电流的管子可能会因为过载而损坏。

(4) 稳压管必须串联一个适当的限流电阻后,再接入电源。

变容二极管是结电容随反向电压增加而减小效应比较显著的二极管。对于一般的半导体二极管,总希望尽量减小结电容。对于变容二极管,却是要利用结电容,图1-4(a)是它的符号。不同型号的管子,电容最大值不同,一般在 $5 \sim 300 \text{ pF}$ 之间。目前,变容二极管的电容最

A 阳极
K 阴极

图 1-2 二极管的代表符号

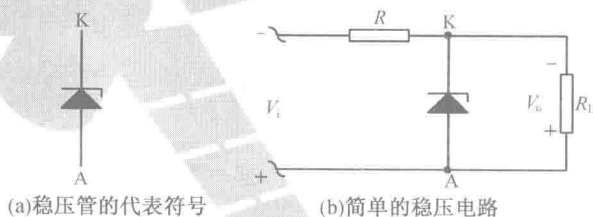


图 1-3 稳压管的符号及其简单的电路



大值与最小值之比(变容比)可达 20 以上。变容二极管的应用已相当广泛,特别是在高频技术中。例如,彩色电视机普遍采用的电子调谐器,就是通过控制直流电压来改变二极管的结电容量,从而改变谐振频率,实现频道选择的。

肖特基势垒二极管(Schottky Barrier Diode,简称 SBD)是利用金属(如铝、金、钼、镍和钛等)与 N 型半导体接触,在交界面形成势垒的二极管。因此,肖特基势垒二极管也称为金属-半导体结二极管或表面势垒二极管。图 1-4(b)是肖特基势垒二极管的符号,阳极连接金属,阴极连接 N 型半导体。它与一般二极管的差别是:第一,由于制作原理不同,肖特基势垒二极管的电容效应非常小,工作速度快,特别适合应用于高频或者开关状态;第二,由于肖特基势垒二极管的耗尽区只存在于 N 型半导体一侧,相对较薄,所以它的正向导通门坎电压和正向压降都比 PN 结二极管低(大约 0.2 V)。但是,由于肖特基势垒二极管的耗尽区较薄,故反向击穿电压比较低,大多不高于 60 V,而且反向漏电流比 PN 结二极管大。



图 1-4 变容二极管和肖特基势垒二极管

半导体二极管和三极管电路广泛的应用于模拟和数字电子技术中,但是目前光信号在信号传输及其存储等环节的应用越来越广泛,像计算机网络、CD-ROM、船舶的导航装置中,有的采用现代化的光电子系统。光电子系统的突出优点是抗干扰能力强、传输信息量大、传输损耗小、工作可靠,但是光电子系统中光信号的操作与调制比较复杂。光信号和电信号的接口需要一些特殊的光电子器件,其主要有光电二极管、发光二极管和激光二极管。光电二极管的结构与 PN 结二极管类似,但在它的 PN 结处,通过管壳上的一个玻璃窗口能接收外部的光照。这种器件的 PN 结在反向偏置下运行,它的反向电流随光照强度的增强而上升。图 1-5(a)是光电二极管的符号,光电二极管可用来测量光,是将光信号转换为电信号的常用器件。

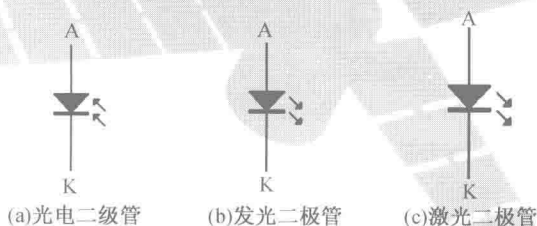


图 1-5 二极管的光电子器件

发光二极管通常用砷化镓、磷化镓等制成。这种管子通过电流时将发出光来,这是电子与空穴直接复合而放出能量的结果,图 1-5(b)是发光二极管的符号。发光二极管常用来作为显示器件,除单个使用外,也常做成七段式或矩阵式器件,很多大型显示屏都是由矩阵式发光二极管构成的。发光二极管的另一个重要用途是将电信号转变为光信号,通过光缆传输,而后用光电二极管接收,最后转变成电信号。

激光二极管可以产生相干的单色光信号,但是它所发射的主要是红外线,这与所使用的半导体材料的物理性质有关,图 1-5(c)是激光二极管的符号。激光二极管在小功率光电设备中得到广泛的应用,比如计算机上的光盘驱动器、激光打印机的打印头等。

5. 半导体二极管检测

我们可以使用万用表测试二极管性能的好坏。测试前先把万用表的转换开关扳到欧姆挡



的 $R \times 1 k$ 挡位(注意不要使用 $R \times 1$ 挡,以免电流过大烧坏二极管),再将两根表笔短路,进行欧姆调零。这里需要说明的是,下述方法使用的万用表都是黑表笔接万用表内电池的正极,红表笔接负极。

(1)极性判断:用万用表笔接触二极管两电极,如果测得的是正向电阻(阻值小),则万用表红笔所接触的是管子的负极,黑笔接触的是管子的正极;如果测得的是反向电阻(电阻大),则万用表笔所接触的是管子的正极,黑表笔接触的是管子的负极。

(2)检测二极管的好坏

①正向特性测试:把万用表的黑表笔(表内正极)搭触二极管的正极,红表笔(表内负极)搭触二极管的负极。若表针不摆到 0 值而是停在标度盘的中间,这时的阻值就是二极管的正向电阻,一般正向电阻越小越好。若正向电阻为 0 值,说明管芯短路损坏,若正向电阻接近无穷大值,说明管芯断路。短路和断路的管子都不能使用。

②反向特性测试:把万用表的红表笔搭触二极管的正极,黑表笔搭触二极管的负极,若表针指在无穷大值或接近无穷大值,管子就是合格的。

(二)双极结型三极管

双极结型三极管(Bipolar Junction Transistor,简称BJT)是一种三端器件,内部含有两个离得很近的背靠背排列的PN结(发射结和集电结)。两个PN结上加不同极性、不同大小的偏置电压时,半导体三极管呈现不同的特性和功能。BJT是放大电路最重要的组成之一。BJT因其有自由电子和空穴两种极性的载流子参与导电而得名。它的种类很多,按照所用的半导体材料分,有硅管和锗管;按照工作频率分,有低频率管和高频率管;按照功率分,有大、中、小功率管等。在本教材以后章节中所出现的三极管指的都是BJT。

1. 三极管基本结构简介

三极管的结构示意图如图1-6(a)、(c)所示,在一个硅(或锗)片上生成三个杂质半导体区域,1个P区(或N区)夹在2个N区(或P区)中间。因此,三极管有两种类型:NPN型和PNP型。从3个杂质区域各自引出一个电极,分别叫发射极e、集电极c、基极b,它们对应的杂质区域分别称为发射区、集电区和基区。三极管结构上的特点是:基区很薄(几十微米),而且掺杂浓度很低,其作用是控制由发射区运动到集电区的载流子;发射区和集电区是同类型的杂质半导体,但是前者比后者掺杂浓度高很多,而集电区的面积比发射区面积大,因此它们不是电对称的。发射区的作用是发射多数载流子,PNP型的发射区发射空穴载流子,NPN型的发射区发射电子载流子。集电区的作用是收集由发射区来的载流子,为了便于收集和散热,要求集电结面积较大。3个杂质半导体区域之间形成两个PN结,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1-6(b)、(d)分别是NPN型和PNP型三极管的符号,其中发射极上的箭头表示发射结正偏电压时,发射极电流的实际方向。

三极管的三个电极一般有3根引出线,但也有2根或者4根引出线的。2根引出线的是将外壳作为其中的一极,一般为大功率管;4根引出线中除三个电极外,另一根由外壳引出,一般为高频管,作屏蔽用。

我们在这里主要讨论NPN型BJT及其电路,但结论对PNP型同样适用,只不过两者所需电源电压的极性相反,产生的电流方向相反。

2. 三极管放大原理和特性曲线

三极管的电流放大作用就是利用电子在基区的扩散与复合这一矛盾,使扩散大大超过复合。换句话说,如果基极电流做微量变化时,可以控制集电极电流出现很大的变化,这就是三

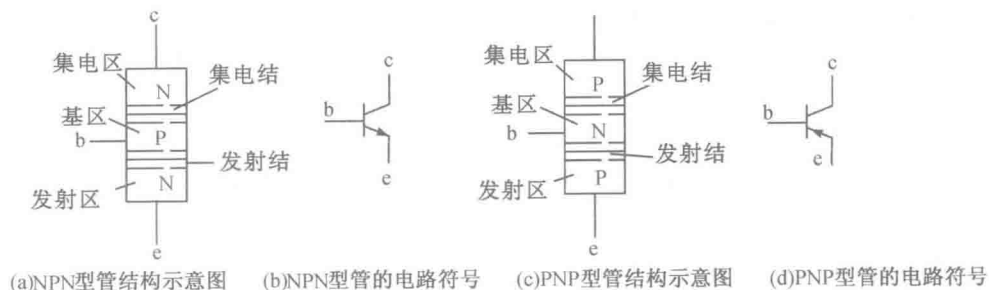


图 1-6 三极管的符号及电路示意图

极管的放大作用。需要强调的一个概念是,所谓放大作用,并不是一个小电流或者电压经过三极管电路就可以“变成”大电流或者大电压输出,而是通过调节小电流或者小电压信号来控制大电流或者大电压信号。

需要说明的是,三极管有三个电极,在放大电路中可有三种连接方式:共基极、共发射极(简称共射极)和共集电极,即分别把基极、发射极、集电极作为输入和输出端口的共同端,如图 1-7 所示。无论是哪种连接方式,要使三极管有放大作用,都必须保证发射结正偏、集电结反偏,而其内部载流子的传输过程相同。

三极管的伏安特性曲线能直观地描述各极间电压与各极间电流之间的关系。如图 1-7 显示,无论是哪种连接方式,都可以把三极管视为一个二端口网络,其中一个端口是输入回路,另一个端口是输出回路。要完整地描述三极管的伏安特性,必须选用两组表示不同端变量(即输入电压、输入电流、输出电压和输出电流)之间关系的特性曲线。工程上最常用的是三极管的输入特性和输出特性曲线,一般采用实验方法逐点描绘出来或用专用的晶体管伏安特性图仪直接在荧屏上显示出来。

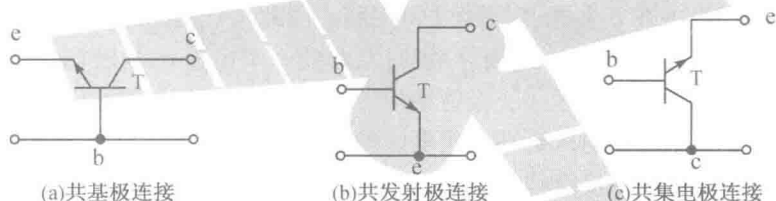


图 1-7 三极管的三种连接方式

三极管的伏安特性能全面地反映出各电极电压与流过电流之间的关系,其中最常用的是输入特性和输出特性曲线。根据特性曲线,可以判断管子质量的好坏,还可以在特性曲线上作图,对管子性能进行较全面地分析。由于三极管在不同组态时具有不同的端电压和电流,因此,它们的伏安特性曲线也就各不相同。共集与共射组态的特性曲线类似,所以这里着重讨论共射极连接时的伏安特性曲线。三极管共射极接法见图 1-8(a),其输入特性和输出特性分别见图 1-8(b)、(c)。输入特性曲线是集-射极电压 v_{CE} 为常数时,输入电路中基极电流与基射极电压 v_{BE} 之间的关系曲线。由图 1-8(b)可见,当 $v_{CE} \geq 1\text{ V}$ 时,输入特性曲线基本上是重合的,它与二极管的正向伏安特性一样,也有一段死区。硅管的死区电压约为 0.4 V ,锗管的死区电压不超过 0.2 V 。

三极管的输出特性是指当基极电流 i_B 为常数时,输出电路中集电极电流 i_C 与集-射极电压 v_{CE} 之间的关系曲线。在不同的 i_B 下,可得出不同的输出特性曲线,所以三极管的输出特性

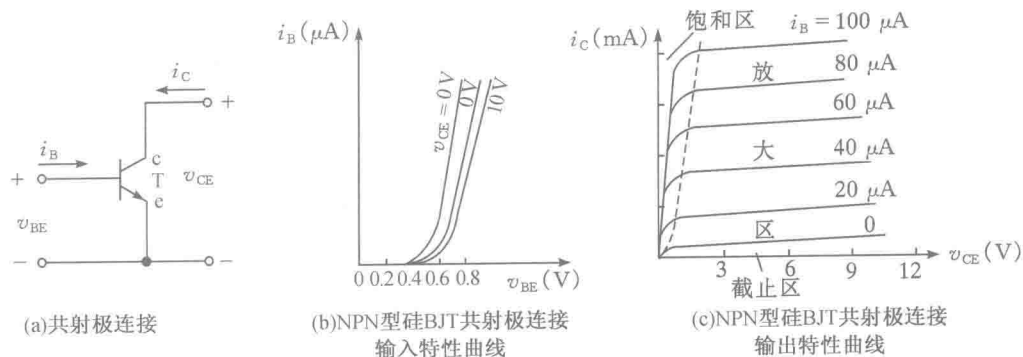


图 1-8 三极管放大原理及其特性曲线

曲线是一组曲线,见图 1-8(c)。当 i_B 一定时, v_{CE} 约大于 1 V 以后, 尽管继续增加, 但 i_C 不再有明显增加, 因此它具有恒流特性。

通常把三极管的输出特性分为 3 个工作区:

(1) 放大区, 输出特性曲线接近于水平部分的是放大区, 也称为线性区。三极管工作在放大区, i_C 受 i_B 控制并与 i_B 成比例关系。

(2) 截止区, $i_B = 0$ 的曲线以下的区域称为截止区。 $i_B = 0$ 时, $i_C = i_{CE0}$ (集电极与发射极之间的饱和电流, 通常称为穿透电流), 对 NPN 硅管而言, 当 $v_{BE} < 0.5$ V 时, 已开始截止, 但为了可靠地截止, 常使 $v_{BE} \leq 0$ 。

(3) 饱和区, 三极管的发射结和集电结均处于正向偏置的区域, 当 $v_{CE} \leq v_{BE}$ 时, 集电结处于正向偏置, 三极管工作于饱和状态。

3. 三极管主要参数

三极管的参数可用来表征管子性能的优劣和适用范围, 是合理选择和正确使用三极管的依据。这里只介绍我们在近似分析中常用的参数。

(1) 电流放大系数

电流放大系数分为直流电流放大系数 $\alpha = i_C / i_B$ 与交流电流放大系数 $\beta = \Delta i_C / \Delta i_B$, 其含义不同, 但是在三极管输出特性曲线比较平坦 (恒流特性较好), 而且各条曲线间距离相等的条件下, 可以认为 $\alpha \approx \beta$, 故可混用。实际使用时, 经常使用这个近似关系进行估算。由于制造工艺和原材料的分散性, 即使是同一型号的管子, β 值也有相当大的差别, 通常在 20 ~ 100 之间。 β 值太小, 电流放大作用不明显, 但稳定性好; β 值太大, 管子性能受温度影响大, 工作不稳定, 因此一般取 $\beta = 30 \sim 80$ 为宜。

(2) 极间反向电流

① 集电极 - 基极反向饱和电流 i_{CB0} 的大小, 标志着集电结的质量 (即单向导电性的优劣), 其值越小越好。一般 i_{CB0} 的值很小, 小功率锗管的 i_{CB0} 约为 $10 \mu A$, 而硅管的 i_{CB0} 约为 $1 \mu A$ 。但是 i_{CB0} 随温度的上升而增大, 所以在温度变化范围大的工作环境应选用硅管。

② 集电极 - 发射极反向饱和电流 i_{CEO} 是基极开路时, 由集电区穿过基区流向发射区的反向饱和电流。根据三极管电流分配规律: $i_{CEO} = (1 + \beta) i_{CB0}$, i_{CEO} 和 i_{CB0} 都是衡量三极管质量的重要参数。由于 i_{CEO} 比 i_{CB0} 大得多, 测量起来较容易, 因此测量三极管时, 常把 i_{CEO} 作为判断管子质量的重要依据, 小功率锗管的 i_{CEO} 值在几十微安至几百微安, 硅管在几微安以下。 i_{CEO} 与 β 一样, 也随温度的上升而增大, 所以 i_{CEO} 比 i_{CB0} 随温度的变化更大。 i_{CEO} 大的管子性能不稳定。



(3) 极限参数

① 集电极最大允许电流 i_{CM}

当集电极电流 i_C 超过一定值时,三极管的参数开始发生变化,特别是电流放大系数 β ,将下降。一般规定 β 值下降到原来数值的 1/2 (或 1/3) 时的集电极电流,称作集电极最大允许电流,用 i_{CM} 表示。使用三极管时, i_C 超过 i_{CM} 不一定损坏管子,但可能以降低 β 值为代价。

② 集电极最大允许耗散功率 P_{CM}

三极管内的两个 PN 结上都会有消耗功率,其大小分别等于流过电流与结上电压降的乘积。一般情况下,集电结上的电压降远大于发射结上的电压降,因此与发射结相比,集电结上耗散的功率 P_C 要大得多。这个功率将使集电结发热、 i_C (mA) 结温上升。当结温超过最高工作温度(硅管为 150 °C, 锗管为 70 °C) 时,三极管性能下降,甚至会被烧坏。为此, P_C ($\approx i_C v_{CE}$) 值将受到限制,不得超过最大允许耗散功率 P_{CM} 值。 P_{CM} 的大小与允许的最高结温、环境温度及管子的散热方式有关。由给定的 P_{CM} 值(对于确定型号的三极管, P_{CM} 是一个确定的值),可以在三极管的输出特性曲线中画出允许的最大功率损耗线,如图 1-9 所示,线上各点均满足 $i_C v_{CE} = P_{CM}$ 的条件。

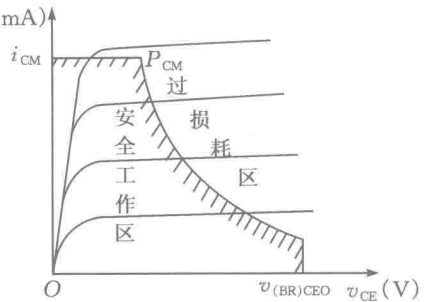


图 1-9 三极管的功率极限损耗线

③ 反向击穿电压

当三极管内的两个 PN 结上所承受的反向电压超过规定值时,就会发生击穿,其原理和二极管类似,但三极管的反向击穿电压不仅与管子自身特性有关,而且还取决于外部电路的接法。 $v_{(BR)EBO}$ 是指集电极开路时,集电极 - 发射极间的反向击穿电压。在正常放大状态时,发射结是正偏的;而在某些场合,例如工作在大信号或者开关状态时,发射结上就有可能出现较大的反向电压,所以要考虑发射结反向击穿电压的大小。小功率管的 $v_{(BR)EBO}$ 一般为几伏。 $v_{(BR)CBO}$ 是指发射极开路时集电极 - 基极间的反向击穿电压,它取决于集电结的雪崩击穿电压,其数值较高,通常为几十伏,有些管子可达几百伏。 $v_{(BR)CEO}$ 是指基极开路时集电极 - 发射极间的反向击穿电压。这个电压的大小与三极管的穿透电流 i_{CEO} 直接相关,当管子的 v_{CE} 增加,使 i_{CEO} 明显增大时,导致集电结出现雪崩击穿。在实际电路中,三极管的发射极 - 基极间常接有电阻 R_b , 这时,集电极 - 发射极间的反向击穿电压用 $v_{(BR)CER}$ 表示。 $R_b = 0$ 时的反向击穿电压用 $v_{(BR)CES}$ 表示。集电极的上述几种反向击穿电压的大小与相应的反向电流或者穿透电流的大小有关,它们的对应关系为

$$i_{CEO} > i_{CER} > i_{CES} > i_{CBO}$$

$$v_{(BR)CEO} < v_{(BR)CER} < v_{(BR)CES} < v_{(BR)CBO}$$

为了使三极管能安全工作,在应用中必须使它的集电极工作电流小于 i_{CM} , 集电极 - 发射极间电压小于 $v_{(BR)CEO}$, 集电极耗散功率小于 P_{CM} , 即上述三个极限参数决定了三极管的安全工作区,如图 1-9 所示。另外,发射极 - 基极间反向电压要小于 $v_{(BR)CBO}$ 。

(4) 温度对三极管参数及特性的影响

随着温度的升高,三极管的主要参数也受到影响, i_{CEO} 、 i_{CBO} 、电流放大系数 β 、 $v_{(BR)CEO}$ 、 $v_{(BR)CBO}$ 都随之提高。

温度对与三极管输入特性曲线的影响,在基极电流相同的条件下,温度每升高 1 °C, v_{BE} 将减小 2 ~ 2.5 mV; 而对于输出特性的影响在于随着温度的升高,三极管的 i_{CEO} 、 i_{CBO} 、电流放大系



数 β 都将增大,结果将导致三极管的输出特性曲线上移,而且各条曲线间的距离加大。

4. 三极管万用表识别方法及其使用注意事项

(1) 使用万用表识别三极管管脚和管型

①基极和管型的判定:由于基极到发射极和集电极分别为两个PN结,因此可以根据PN结单向导电性原理来判定基极和管型。将万用表置于 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡,用一只表笔接在假定的基极上,另一只表笔先后接另外两个管脚。如果两次测得的阻值都较大或都较小,则将表笔调换,重复上述测量,与上次得到阻值恰好相反,即都较小或者都较大,这时假定的基极管脚就是实际的基极。如果两个测得的结果一个阻值大,一个阻值小,说明假设的基极错了,需要假定另外一个管脚为基极,重复上述测量,最多假定3次,就可以找到真正的基极。

找到真正的基极后,如果测得的阻值都较小,这时看看基极上的表笔是万用表内接正电源的表笔(正表笔)还是万用表内接负电源的表笔(负表笔)。如果是正表笔,则此管为NPN型三极管;如果是负表笔,则为PNP型三极管。

②发射极与集电极的判定:可以通过测量穿透电流的方法来确定。先把两表笔接至集电极和发射极两端,基极(上述方法已经确定)开路,测量集电极和发射极间的电阻,然后把表笔对调,再测集电极和发射极的电阻,最后比较两次测量结果。对于NPN型管,万用表内接负电源的表笔接的管脚为发射极,另一管脚则为集电极;对于PNP型管,正好相反。

③三极管性能好坏的判别:可以通过测量穿透电流的方法来确定。先把两表笔接至集电极和发射极两端,基极开路,测量集电极和发射极间的电阻。阻值应该在几千欧以上,若阻值太小,说明管子质量不好,穿透电流太大,若阻值接近于零,说明管子已经被击穿。

④三极管电流放大系数 β 的估计方法:对于PNP型管,用正表笔接发射极,负表笔接集电极;对于NPN型管,则相反。用手捏住基极(集电极和基极不能相碰),表针摆动幅度越大,说明电流放大系数 β 越大。

(2) 三极管使用注意事项

①半导体三极管种类很多,使用时电极必须接正确,并要在定额范围内使用。

②焊接三极管的管脚时,温度不宜过高(用功率小的电烙铁),焊接时间不宜过久。管脚需要弯曲时,其弯曲点离外壳不应小于5mm,以免齐根折断。

③三极管接入电路时,应先接通基极,在发射极和集电极间有偏压时,不得先断开基极电路。

④大功率三极管应该有良好的散热装置。

⑤用万用表检测三极管时,一般只能用 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡。若放在 $R \times 1$ 挡,则通过管子电流过大,可能把管子烧毁,若放在 $R \times 10k$ 挡,则因表内有较高电压,管子可能会被击穿。

(三) 场效应管

1. 场效应管的分类及电气符号

场效应管(Field Effect Transistor,简称FET)主要有两种类型:结型场效应管(Junction FET—JFET)和金属-氧化物半导体场效应管(Metal-Oxide Semiconductor FET,简称MOSFET)。由于MOSFET制造工艺的成熟使它的体积可以做得很小,因而可以制造出高密度的超大规模集成电路(VLSI)和大容量的可编程器件或存储器。结型FET中的结可以是一个普通的PN结,构成通常所说的JFET,也可以是一个肖特基(Schottky)势垒栅结,构成一个金属-半导体场效应管,即MESFET(Metal-Semiconductor FET)。MESFET可用在高速或高频电路中,如微波放大电路。