



高职高专规划教材

电子技术基础

贾 达 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

高职高专规划教材

电子技术基础

贾 达 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书内容主要有:半导体器件基础、放大电路、放大电路中的反馈、正弦波振荡电路、直流电源、逻辑代数基础、门电路及组合逻辑电路、触发器及时序逻辑电路、脉冲波形的产生与整形、数模和模数转换等十章。本书可作为高职高专工科类“电子技术基础”课程的教材,也可作为相关专业或工种职工技能鉴定及培训的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础/贾达主编.

北京:石油工业出版社,2008.5

(高职高专规划教材)

ISBN 978-7-5021-6523-9

I. 电…

II. 贾…

III. 电子技术-高等学校:技术学校-教材

IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 033826 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www. petropub. cn

总 机:(010)64262233 发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2008 年 6 月第 1 版 2008 年 6 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:10.75

字数:274 千字

定价:16.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

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,编者根据高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,其覆盖面更宽些;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。

参加本书编写的有:兰州石化职业技术学院贾达(第一章、第十章);大庆职业学院朱秀兰(第三章、第六章);渤海石油职业学院王宝峰(第二章),杨朝辰、孟海军(第九章);天津石油职业技术学院樊秀娟(第四章);河北石油职业技术学院张素玲(第五章),张宝玉(第七章);克拉玛依职业技术学院叶晓燕(第八章)。贾达任主编,朱秀兰、张宝玉任副主编。

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,本书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

2008 年 1 月

目 录

第一章 半导体器件基础	(1)
第一节 半导体二极管	(1)
第二节 半导体三极管	(5)
第三节 场效应管	(10)
第四节 晶闸管简介	(12)
习题	(14)
第二章 放大电路	(16)
第一节 共射极放大电路	(16)
第二节 共集电极放大电路	(24)
第三节 集成运算放大器	(27)
第四节 集成运算放大器的线性应用	(29)
第五节 集成运算放大器的非线性应用	(33)
习题	(36)
第三章 放大电路中的反馈	(38)
第一节 反馈的基本概念	(38)
第二节 反馈的分类和判断	(39)
第三节 负反馈对放大电路性能的影响	(43)
第四节 深度负反馈放大电路的计算	(44)
习题	(47)
第四章 正弦波振荡电路	(52)
第一节 正弦波振荡器	(52)
第二节 典型正弦波振荡电路的分析	(53)
习题	(61)
第五章 直流电源	(63)
第一节 整流滤波电路	(63)
第二节 集成稳压器	(71)
第三节 开关电源简介	(74)
习题	(78)
第六章 逻辑代数基础	(80)
第一节 数制的转换及常用编码	(80)
第二节 逻辑代数的运算	(83)
第三节 逻辑代数的公式和基本定理	(85)
第四节 逻辑函数及其表示方法	(87)

第五节 逻辑函数的化简	(90)
习题	(94)
第七章 门电路及组合逻辑电路	(97)
第一节 分立元件门电路	(97)
第二节 集成门电路	(101)
第三节 组合逻辑电路的分析与设计	(111)
第四节 常用组合电路	(113)
习题	(123)
第八章 触发器及时序逻辑电路	(126)
第一节 触发器	(126)
第二节 时序逻辑电路	(133)
习题	(142)
第九章 脉冲波形的产生与整形	(144)
第一节 555 定时器	(144)
第二节 555 定时器的应用	(145)
第三节 CMOS 多谐波发生器	(151)
习题	(154)
第十章 数模和模数转换	(156)
第一节 D/A 转换器(DAC)	(156)
第二节 A/D 转换器(ADC)	(160)
习题	(163)
参考文献	(165)

第一章 半导体器件基础

半导体器件在电子学领域得到了极为广泛的应用。在此基础上发展起来的集成电路技术,使电子技术的发展跨入了微电子时代,并且成为当代信息技术的重要组成部分。

本章主要内容:二极管、三极管、场效应管外特性及参数、晶闸管简介。

第一节 半导体二极管

一、二极管基本原理

1. 半导体的基本特性

常用的半导体材料有硅(Si)、锗(Ge)、砷化镓等。

半导体之所以引起人们的关注,并在电子技术中得到广泛应用,其原因在于半导体的导电能力会随温度、光照、或掺入一定的杂质而发生明显的变化。半导体最为突出的特点是,掺入杂质可以改变半导体的导电能力,这就是近代电子学利用半导体材料制造各种半导体器件和集成电路的基本依据。

掺入杂质的半导体称为杂质半导体。人们通过掺入不同种类和数量的杂质元素,来控制半导体的导电性能,根据掺入的杂质不同,可分为N型半导体和P型半导体两类。

在硅(或锗)晶体中掺入五价元素(如磷、砷、锑等)后,这种半导体称为N型半导体。

在硅(或锗)晶体内掺入少量三价元素(如硼、铝、镓等)后,这种半导体称为P型半导体。

2. PN结的单向导电性

若在一块本征半导体中掺进不同的杂质,使一部分为P型,另一部分为N型,那么在P型与N型交界处就会产生一个特殊的区域,这个区域称为PN结,PN结是构成众多半导体器件的基础,PN结具有单向导电性。

1) 外加正向电压(PN结正偏)

当P区接电源正端,N区接电源负端时,此时PN结呈现的正向电阻很小,称为“正向导通”。

2) 外加反向电压(PN结反偏)

当P区接电源负端,N区接电源正端时,形成很小的反向饱和电流。此时PN结呈现的反向电阻很大,称为“反向截止”。

特别指出,当环境温度升高时,PN结的反向饱和电流将增大。这是造成半导体器件工作时不稳定的重要因素,在实际应用中必须加以考虑。

3. 二极管基本原理

半导体二极管(又称晶体二极管)种类很多,二极管内部是一个PN结,所以半导体二极管具有单向导电性,这是所有类型二极管的共性,根据这一点,可以利用数字万用表的“二极管挡”对二极管进行简单的测试,正向测量时电阻较小,一般在 600Ω 左右,而反向测量时电阻很大,这时数字万用表只有最高位显示1,其他位不显示,表示超量程。

根据半导体材料的不同,二极管可分为硅管、锗管等;根据用途不同,又可分为整流二极管、稳压二极管、检波二极管、开关二极管等;根据工作频率不同,又可分为低频二极管、高频二极管。

二、整流二极管



整流二极管的符号如图1-1所示,它有两个电极,A为正极或称为阳极,K为负极或称为阴极。

图1-1 整流二极管的符号

1. 整流伏安特性

为了正确使用二极管,必须熟悉它的伏安特性(即电压—电流特性)。实际整流二极管的伏安特性如图1-2所示,特性曲线可分成以下三个部分分别进行讨论。

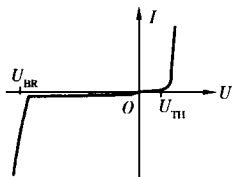


图1-2 整流二极管的伏安特性

1) 正向特性

正向特性,当正向电压超过某一数值 U_{TH} 后,才有明显的正向电流,该电压称为死区电压。在室温下,硅管的 U_{TH} 约为0.5V,锗管约为0.1V。正向导通后,特性很陡,其正向电压基本不变,硅管的压降约为0.6~0.8V,锗管约为0.1~0.3V。

2) 反向特性

反向特性,当反向电压在一定范围内变化时,反向电流极小(小功率硅管常为几十微安),且基本上不变(呈饱和特性),二极管处于截止状态。反向电流越小,二极管的反向截止性能越好。

3) 反向击穿

当反向电压增加到一定数值时,反向电流突然增加,二极管失去了单向导电性,而被“反向击穿”,此时所加的反向电压 U_{BR} 称为“反向击穿电压”。反向击穿电压的大小与二极管的材料和结构有关,一般在几十伏以上,有的甚至可达几千伏。

2. 主要参数

1) 最大整流电流 I_F

最大整流电流是指二极管长期运行时允许通过的最大正向平均电流,使用时应注意,实际通过二极管的平均电流不能超过此值,否则将导致二极管过热损坏。

2) 最高反向工作电压 U_{RM}

最高反向工作电压是指二极管在使用时所允许加的反向电压的峰值。超过 U_{RM} 二极管就有被反向击穿的危险。手册中所给的最高反向工作电压比反向击穿电压要小一些。

常用1N系列整流二极管主要参数见表1-1。

表 1-1 1N 系列整流二极管主要参数

型号	最高反向工作电压/V	额定整流电流/A	最大正向压降/V	反向电流/ μA
1N4001	50	1	≤ 1	≤ 10
1N4004	400			
1N4007	1000			
1N5395	400	1.5	≤ 1	
1N5399	1000			
1N5405	500	3	≤ 1.2	
1N5408	1000			

此外,还有些参数,如最高工作频率、反向电流、极间电容等,在半导体器件手册中均可查到。

3. 典型应用

整流二极管的典型应用是将交流转换成直流——整流,详见本书第五章。

三、稳压二极管

稳压二极管简称稳压管,正常使用时,工作在反向击穿状态。

1. 稳压二极管的符号和特性

稳压二极管的符号及伏安特性如图 1-3 所示。稳压管的正向特性与普通二极管相同,但在反向击穿区具有更陡峭的特性曲线,电流变化很大而反向击穿电压却几乎不变(有较强的电流吞吐能力),因此稳压管具有稳压作用。只要在外电路上采取限流措施,限制稳压管的功耗,稳压管就不会损坏,当外加电压撤除后,稳压管仍可恢复其单向导电性。

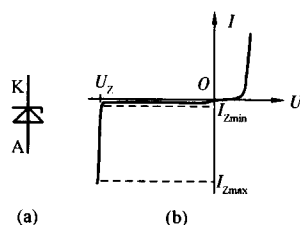


图 1-3 稳压二极管的符号及伏安特性
(a) 符号; (b) 伏安特性

2. 稳压管的主要参数

1) 稳定电压 U_Z

U_Z 是指稳压管正常工作时,稳压管两端的反向击穿电压,如图 1-3(b)所示。

2) 最大稳定电流 $I_{Z\max}$

$I_{Z\max}$ 是指稳压管的最大允许工作电流,如图 1-3(b)所示,若超过此电流,稳压管可能会因过热而损坏。

3) 最大耗散功率 $P_{Z\max}$

$P_{Z\max}$ 是指稳压管工作时,不因过热而损坏的最大允许功率。手册上给出的 $P_{Z\max}$ 值比 $U_Z I_{Z\max}$ 要小一些。

4) 动态电阻 r_Z

r_Z 定义为稳压管的电压变化量与电流变化量之比,即

$$r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z} \quad (1-1)$$

r_Z 值越小,说明稳压管的稳压性能越好。

常用 1N59 系列稳压管主要参数见表 1-2。

表 1-2 1N59 系列稳压管主要参数

型号	稳压值	动态电阻		最大工作电流	最大耗散功率
	U_Z/V	r_Z/Ω	I_Z/mA^*	I_{Zmax}/mA	P_{Zmax}/W
1N5913B	3.3	10.0	113	432	1.5
1N5914B	3.6	9.0	104	396	1.5
1N5915B	3.9	7.5	96	366	1.5
1N5913B	4.3	6.0	87	332	1.5
1N5917B	4.7	5.0	79	363	1.5
1N5918B	5.1	4.0	73	282	1.5
1N5919B	5.6	2.0	66	255	1.5

* I_Z 表示 r_Z 的测试条件,即: r_Z 是在 I_Z 条件下测得的。

3. 典型应用

稳压管具有稳压功能,因此常用于提供基准电压或用于电源设备中。由稳压管组成的稳压电路如图 1-4 所示,注意稳压管必须是加反向电压(K 正、A 负),要求输入直流电压 $U_1 > U_Z$,确保稳压管工作在稳压状态。由于负载电阻 R_L 与稳压管并联,所以输出电压 $U_0 = U_Z$ 。其稳压过程简述如下:

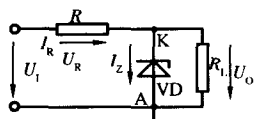


图 1-4 稳压电路

假如由于输入直流电压 $U_1 \uparrow$,或负载电阻 $R_L \uparrow$,都会使输出电压 $U_0 \uparrow$,而这个电压又加到稳压管上,使稳压管中的电流 $I_Z \uparrow$,进而使限流电阻中的电流(总电流) $I_R \uparrow$ 、电压 $U_R \uparrow$,最终使输出电压 $U_0 \downarrow$ 。 $U_1 \uparrow$ 的调节过程为:

$$U_1 \uparrow \xrightarrow{R_L \text{ 上的分压}} U_0 \uparrow \longrightarrow I_Z \uparrow \longrightarrow I_R \uparrow \xrightarrow{U_R = I_R R} U_R \uparrow \xrightarrow{U_0 = U_1 - U_R} U_0 \downarrow$$

值得注意,上述过程的输出电压是“稳中有升”的,不可能一点也不增大,正是输出电压略有上升,使稳压管中的电流迅速上升,才能进行输出电压的调节。

综上所述,稳压的实质是:利用使稳压管有很强的电流吞吐能力,及时调节了限流电阻上的压降。由此可见限流电阻在这个电路中的重要作用。

四、发光二极管

发光二极管(LED),通常由砷化镓、磷化镓等半导体材料制成。按其发光类型可分为可见光发光二极管、红外发光二极管和激光发光二极管。发光二极管的符号如图 1-5 所示。

当发光二极管正偏(A 正、K 负)时,发光二极管导通并发光,其发光的颜色取决于半导体材料。常见的发光颜色有:红、绿、黄、橙、蓝、白等,主要用于家用电器、电子仪器、电子仪表中作指示用,红外发光二极管常用于家用电器、电子仪器的遥控器,激光发光二极管常用于测量距离等。



图 1-5 发光二极管的符号

发光二极管的主要参数可分为光参数和电参数两类。

电参数与普通二极管基本相同,不过其正向导通时的电压较高,一般在 1.5 ~ 4V 范围内,具体数值与发光颜色有关。光参数有发光强度、颜色(即发光波长)等。

发光二极管作为显示器件使用时,具有体积小、光度强、寿命长等优点。

五、光敏二极管

光敏二极管又称为光电二极管,它的管壳上有一个玻璃窗口,以便光线射入,光敏二极管符号和特性如图 1-6 所示。

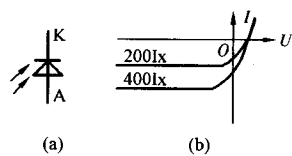


图 1-6 光敏二极管
符号和特性
(a)符号;(b)特性曲线

光敏二极管正常时应加反向电压,即工作在特性曲线的第Ⅲ象限,光线照度越强,反向电流就越大,通常用来检测光(可见光)的强弱,或用于接收红外光遥控信号。

由特性曲线可以看到,当外加电压为 0(即短路光敏二极管)时,也有电流,所以又称其为光电二极管,即实现了光电转换,如果接上负载,即可获得一定能量的电能(工作在特性曲线的第Ⅳ象限),利用这以现象可以制作光电池。

六、变容二极管

变容二极管利用了二极管内部的 PN 结电容随反向电压明显变化的特性,其符号如图 1-7 所示,正常工作时应加反向电压,常用于高频振荡器的调谐回路,如电视机的高频调谐器(俗称高频头)。



图 1-7 变容二极管的符号

七、快恢复二极管

快恢复二极管的符号和普通整流二极管一样,它具有正向电压很小,最高反向工作电压高,可达几千伏,由截止恢复(转换)到导通的速度很快,只需几百纳秒。它广泛应用于高速开关电路,如开关电源、续流电路等。

第二节 半导体三极管

半导体三极管又称晶体三极管,简称晶体管或三极管,又称为双极型三极管(简称 BJT)。它是由两个靠得很近、相互影响的 PN 结构成,具有电流放大作用,是组成放大电路的主要元件。

一、三极管的分类

三极管种类很多,按照工作频率不同,可分为高频管、低频管等;按照功率不同,可分为大功率管、中功率管、小功率管等;按照材料分,有硅管、锗管等。常见封装形式有金属封装、塑料封装等。

根据内部结构不同,三极管可分为 NPN 型和 PNP 型两种,图 1-8 是三极管的符号。三极管有三个电极,分别为集电极 C、基极 B 和发射极 E;基极和发射极之间的 PN 结叫发射结,集电极和基极之间的 PN 结叫集电结。

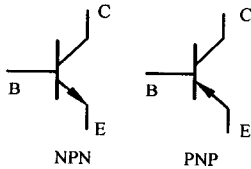


图 1-8 三极管的符号

利用数字万用表的“二极管挡”对三极管的两个 PN 结进行简单的测试,测量方法和二极管相同,由于 C、E 之间有两个“背靠背”的 PN 结,所以 C、E 的正、反向电阻都很大。

三极管放大必须具备的外部条件是:发射结正偏,集电结反偏,提供偏置电压的电路叫偏置电路,NPN、PNP 的偏置电路如图 1-9 所示。

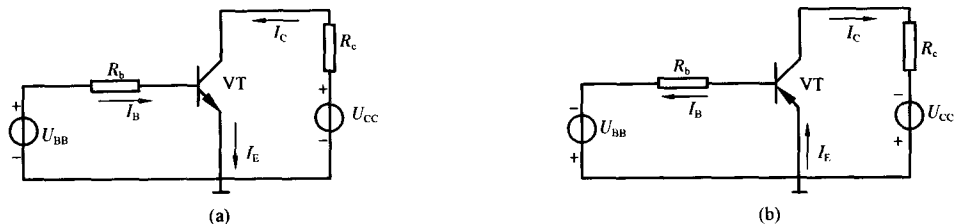


图 1-9 三极管的偏置
(a) NPN 三极管的偏置; (b) PNP 三极管的偏置

“发射结正偏,集电结反偏”具体到 NPN 三极管就是: $U_C > U_B > U_E$; PNP 三极管就是: $U_C < U_B < U_E$ 。

二、三极管的特性曲线

三极管外部各极电流和电压的关系曲线,称为三极管的特性曲线。特性曲线全面反映了各极电流与电压之间的关系,它是分析和计算三极管电路的依据之一。

对于三极管不同的连接方式,有不同的特性曲线,下面讨论最常用的共射极接法的输入特性和输出特性曲线。

1. 输入特性曲线

当三极管的集电极和发射极之间的电压 U_{CE} 为某一定值时,基极电流 I_B 与发射结电压 U_{BE}

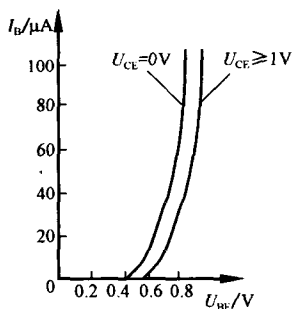


图 1-10 输入特性曲线

之间的关系,称为三极管的输入特性,通常可利用晶体管特性测试仪测出。图 1-10 是硅 NPN 型三极管的输入特性曲线。

当 $U_{CE} = 0V$ (集电极与发射极短路) 时,输入特性与二极管正向伏安特性相似。当 U_{CE} 增大时,曲线将向右移,实际上,当 U_{CE} 增大到一定值 (例如 $2V$) 以后,曲线变化不大,几乎重叠在一起。

由图 1-10 可以看出,三极管的输入特性曲线与二极管的正向特性相似,也有一段死区电压,硅管约为 $0.5V$,锗管约为 $0.1 \sim 0.2V$ 。在正常工作时,硅管的发射结电压约为 $0.6 \sim 0.7V$,锗管约为 $0.2 \sim 0.3V$ (PNP 型管均取负值)。

2. 输出特性

当三极管的基极电流 I_B 为某一定值时,集电极电压 U_{CE} 和集电极电流 I_C 之间的关系,称为三极管的输出特性。对应于 I_B 的每一个确定值均有一条输出特性曲线,如图 1-11 所示。

从图中观察三极管的工作状态可分为三个区域,现分别讨论如下。

1) 截止区

$I_B \leq 0$ 的区域称为截止区,这时 $I_C \approx 0$ 。为了使三极管截止,常在发射结上加反向电压,这样三极管截止时,发射结和集电结均反偏。

2) 放大区

在图 1-11 中曲线平坦区域, I_B 的微小变化引起 I_C 很大的变化,且 I_C 的变化基本上与 U_{CE}

无关, I_C 只受 I_B 控制——电流控制电流源, 因此把这一区域称为放大区。三极管工作在放大区时, 发射结正偏, 集电结反偏。

3) 饱和区

曲线靠近纵轴的区域是饱和区。此时发射结与集电结均处于正向偏置。这时的 I_C 已不再随 I_B 增大而增大, 即不受 I_B 的控制, 三极管失去了电流放大作用。饱和时, 集电极与发射极之间的压降称为饱和压降 U_{CES} , 其值很小。

当三极管工作在饱和区时, 如略去 U_{CES} , 集电极与发射极之间可以认为近似“短路”, 如同一个闭合的开关; 当三极管工作在截止区时, 如略去很小的 I_C , 集电极与发射极之间可以认为近似“开路”, 如同一个断开的开关。因此, 三极管工作在饱和区、截止区时, 通常称三极管工作在“开关”状态。

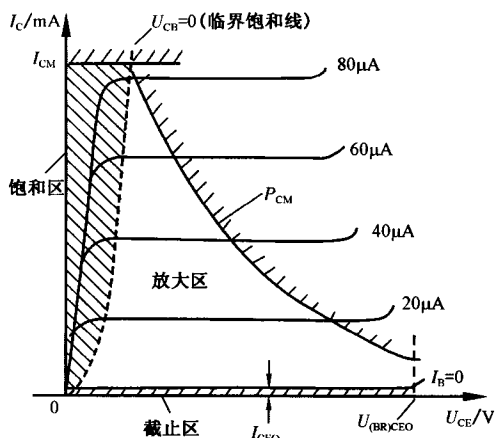


图 1-11 输出特性曲线

三、三极管的主要参数及其温度影响

1. 三极管的主要参数

1) 共射极直流电流放大系数 $\bar{\beta}$

三极管在共射极接法时, 集电极的直流电流 I_C 与基极直流电流 I_B 的比值, 就定义为三极管的共射极电流放大系数 $\bar{\beta}$ (或 h_{FE})。

$$\bar{\beta} = h_{FE} = \frac{I_C}{I_B} \quad (1-2)$$

2) 共射极交流电流放大系数 β

当有信号输入时, 三极管处于动态工作状态, 此时 I_B 、 I_C 将发生变化。当集电极电压 U_{CE} 一定时, 集电极电流的变化量与基极电流变化量的比值, 称为交流电流放大系数, 用 β 或 h_{fe} 表示。

$$\beta = h_{fe} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad (1-3)$$

在三极管正常工作时, $\bar{\beta} \approx \beta$, 因此, 可利用这种近似关系进行计算。

3) 极间反向电流

(1) I_{CBO} 指发射极开路时, 集电极—基极间的反向饱和电流。

(2) I_{CEO} 指基极开路时, 集电极—发射极之间的穿透电流, 且有

$$I_{CEO} = (1 + \beta) I_{CBO} \quad (1-4)$$

选用三极管时, 一般希望极间反向电流越小越好, 以减少温度的影响, 硅管的反向电流比锗管小 2~3 个数量级, 所以在要求较高的场合常选用硅管。

4) 极限参数

(1) 集电极最大允许电流 I_{CM} 。当 I_C 超过某一数值后, β 值将明显下降, 此时 I_C 的值即为集电极最大允许电流 I_{CM} 。

(2) 集电极最大允许耗散功率 P_{CM} 。 P_{CM} 与三极管的工作温度和散热条件有关, 三极管不能超温使用。在使用中集电极的平均功耗不得超过 P_{CM} 。

(3) 反向击穿电压。集电极开路时, 发射结的反向击穿电压为 $U_{(BR)EBO}$; 发射极开路时, 集电结的反向击穿电压为 $U_{(BR)CBO}$; 基极开路时, 集—射极之间的反向击穿电压为 $U_{(BR)CEO}$ 。

通常, 三极管的 $U_{(BR)EBO}$ 较小, 只有几伏, 有的甚至不到 1V, $U_{(BR)CBO}$ 是集电结所允许加的最高反向电压, 一般为几十伏, 有的可达几百伏甚至上千伏; $U_{(BR)CEO}$ 一般为几伏至上千伏。

为了保证三极管能安全、可靠地工作, 其有关电压、电流值不能超出极限参数, 否则将极易导致三极管的损坏或性能的劣化。图 1-11 中表示出了由 I_{CM} 、 $U_{(BR)CEO}$ 及 P_{CM} 限定的范围, 也就是三极管的安全工作区。

2. 温度对三极管参数的影响

温度对三极管参数 β 、 I_{CBO} 、 U_{BE} 有较大影响。

(1) 温度每升高 1°C , β 值增大 0.5% ~ 1%。

(2) 温度每升高 10°C , I_{CBO} 约增加 1 倍。

(3) 温度每升高 1°C , $|U_{BE}|$ 下降(负的温度系数)约 2 ~ 2.5mV。

常用半导体三极管的参数见表 1-3。

表 1-3 常用半导体三极管的参数

参数 型号	材料与极性	集电极最大耗散功率 P_{CM}/mW	集电极最大电流 I_{CM}/mA	集—射反向击穿电压 $U_{(BR)CEO}/\text{V}$	共射电流放大系数 β
3DG100A 3DG100B 3DG100C 3DG100D	Si - NPN	100	20	≥ 20 ≥ 30 ≥ 20 ≥ 30	≥ 30
C9011	Si - NPN	400	300	50	54 ~ 198
C9012	Si - PNP	625	-500	-40	64 ~ 202
C9013	Si - NPN	625	500	40	64 ~ 202
C9015	Si - PNP	450	-100	-50	60 ~ 1000
C9018	Si - NPN	400	50	30	64 ~ 202
C8050	Si - NPN	1000	1500	40	64 ~ 202
C8550	Si - PNP	1000	-1500	-40	64 ~ 202

四、复合管

为了提高电流增益(一般到 1000 以上), 将两个或两个以上的三极管连接起来, 电流逐级放大, 组合成一个等效的管子, 并封装在一起称为复合管, 又称达林顿管, 常用的达林顿管有: TIP122(NPN)、TIP112(PNP)等。复合管也可以由分立的三极管适当地连接而成, 几种接法及其等效管如图 1-12 所示。

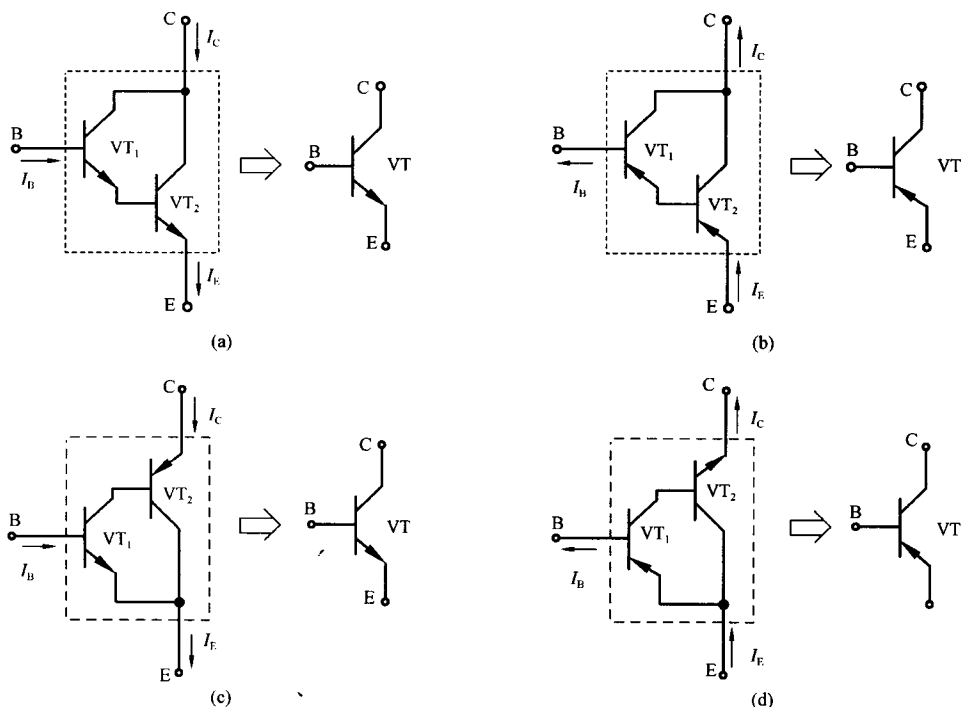


图 1-12 复合管的接法及等效管

(a)、(c)等效为 NPN 管；(b)、(d)等效为 PNP 管

复合管的电流放大系数近似等于构成它的两只三极管的电流放大系数的乘积,即

$$\beta \approx \beta_1 \beta_2 \quad (1-5)$$

复合管多用于要求输出电流大,而驱动电流又较小的场合,将多个达林顿管封装在一起,称为达林顿阵列,如 ULN2803 内部有 8 个达林顿管,所有发射极接在一起(共发射极),它一般工作在开关状态(饱和、截止)。ULN2803 的符号及输出(集电极)的内部结构如图 1-13 所示。

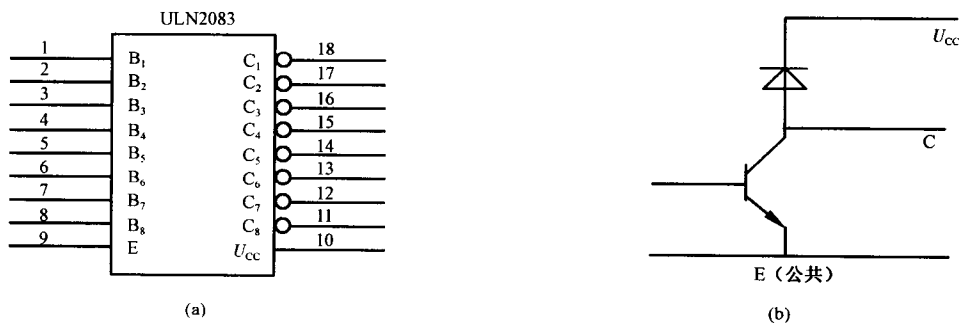


图 1-13 ULN2803 的符号及输出的内部结构

(a) ULN2803 的符号；(b) 输出的内部结构

每一个集电极到电源(U_{CC})都接有一个二极管,接感性负载起“续流”作用,以保护达林顿管,防止达林顿管由饱和到截止时,感性负载产生的反电势造成击穿,如接电阻性负载,电源(U_{CC})端子可以不接(悬空)。

五、光电三极管及光电耦合器

1. 光电三极管

光电三极管,又称为光敏三极管,其符号如图 1-14(a)所示,它是一个光(可见光或红外光)控电流源,它比光电二极管的灵敏度高得多。

2. 光电耦合器

图 1-14(b)是由发光二极管和光电三极管(也有达林顿管结构)封装在一起构成的光电耦合器(简称光耦),也是一个电流控制的电流源,它先是通过发光二极管将电流转换成光(一般是红外光),再由光电三极管转换成电流,发光二极管和光电三极管的信号(即电流)是通过光来耦合的——光电耦合器,有光电隔离作用,光电耦合隔离的隔离电压可达 2500~5000V。它广泛用于智能数字控制系统的接口电路。

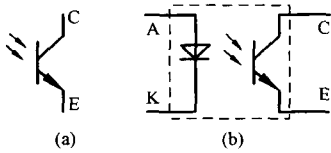


图 1-14 光电三极管及
光电耦合器
(a)光电三极管;(b)光电耦合器

常用达林顿管输出的光电耦合器的参数见表 1-4。

表 1-4 常用达林顿管输出的光电耦合器的参数

型号	内含光耦组数	电流传输系数		管压降/V		工作电压/V	隔离电压/V
		最小值	I_F^*/mA	最大值	I_C^*/mA		
TLP571	1	1000	1	1.2	100	35	2500
TLP627	1	1000	1	1.2	100	300	5000
TLP627-2	2						
TLP627-3	3						
TLP627-4	4						

参数说明:

内含光耦组数:内部有几组光电耦合器。

电流传输系数:光电三极管 I_C 与发光二极管 I_F 的比值(用百分数表示), I_F^* 是电流传输系数的测试条件。

管压降:光电三极管 C—E 之间的电压降, I_C^* 是管压降的测试条件,使用时不得超过管压降的最大值,否则光电三极管会因功耗过大而烧坏。

工作电压:光电三极管 C—E 之间的最高电压。

隔离电压:光电三极管与发光二极管的隔离电压。

第三节 场效应管

场效应管是一种电压控制型半导体器件。这种器件具有输入电阻高(10MΩ 以上)、噪声低、热稳定好、抗辐射能力强等优点,在近代微电子学中得到了广泛应用。场效应管分为结型场效应管和绝缘栅场效应管两大类,其中绝缘栅场效应管应用更广泛。本节只介绍绝缘栅场效应管。

一、绝缘栅场效应管分类

绝缘栅场效应管是一种金属—氧化物—半导体结构的场效应管(MOSFET),简称MOS管。

绝缘栅场效应管根据导电沟道的类型分为N沟道(N型半导体)和P沟道(P型半导体)两类,根据有无原始沟道又分为增强型和耗尽型。各种绝缘栅场效应管的符号如图1-15所示。由图可以看出,外部有三个电极,分别为栅极G、源极S和漏极D,绝缘栅场效应管,底衬B在内部已与源极S相连,栅极与源极和漏极是绝缘的,与源极和漏极之间的沟道也是绝缘的。因此,它的输入电阻(栅极与源极之间)高达 $10^9\Omega$ 以上。



图1-15 绝缘栅场效应管的符号

(a)增强型P沟道MOS(PMOS);(b)耗尽型P沟道MOS(PMOS);
(c)增强型N沟道MOS(NMOS);(d)耗尽型N沟道MOS(NMOS)

二、绝缘栅场效应管的特性曲线

增强型NMOS管的典型特性曲线如图1-16所示。

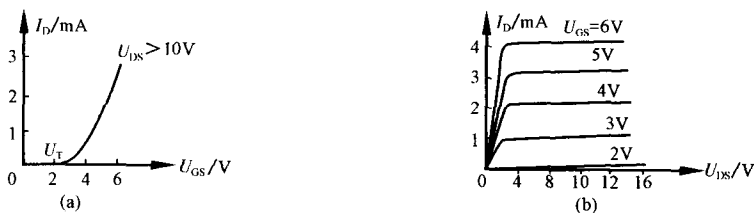


图1-16 增强型NMOS管的典型特性曲线

(a)转移特性曲线;(b)输出特性曲线

1. 转移特性曲线

绝缘栅场效应管没有栅极电流,所以没有输入特性曲线。转移特性曲线是指在一定的 U_{DS} 下, U_{GS} 对 I_D 的控制特性。转移特性如图1-16(a)所示,当 U_{GS} 逐渐增大到刚刚有 I_D (形成导电沟道)时,所对应值称为开启电压,用 U_T 表示,随着 U_{GS} 的增大, I_D 也随之增大。由此可见,场效应管是通过栅—源极电压的变化来控制漏极电流的变化,这就是场效应管放大作用的实质——电压控制电流源。

2. 输出特性曲线

输出特性是指在 U_{GS} 一定时, I_D 与 U_{DS} 之间的关系,如图1-16(b)所示,由图可以看出,特性曲线可分为三个区域:

1) 可变电阻区

在靠近 I_D 轴(即当 U_{DS} 较小时)时,当 U_{GS} 增大时,曲线呈上升趋势,管子的漏—源极之间可等效为一个电阻,此电阻的大小随 U_{GS} 而变,故称为可变电阻区。