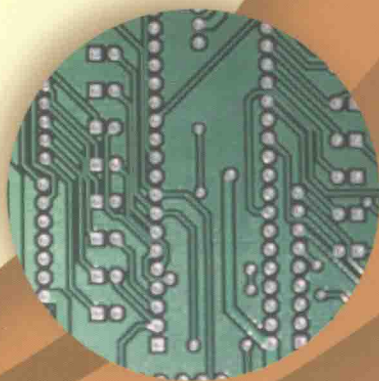




高等职业教育“十二五”规划教材
电气自动化技术专业系列

电子技术基础学习指导

● 主 编 于 斌 李会聪 常翠宁
副主编 李新勤 王秀丽 张卫平 王 开



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

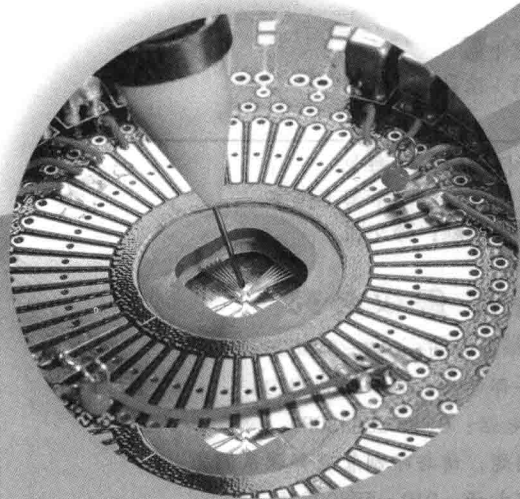


高等职业教育“十二五”规划教材
电气自动化技术专业系列

电子技术基础学习指导

● 主 编 于 斌 李会聪 常翠宁
副主编 李新勤 王秀丽 张卫平 王 开
参 编 王香文 邵 玫 叶杰辉 廖 勇

常州大学图书馆
藏书章



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术基础学习指导 / 于斌, 李会聪, 常翠宁主编.
—北京: 北京师范大学出版社, 2011.7
(高等职业教育“十二五”规划教材)
ISBN 978-7-303-13020-7

I. ①电… II. ①于…②李…③常… III. ①电子技术
—高等教育—自学参考资料 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 112023 号

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn
北京新街口外大街 19 号
邮政编码: 100875

印 刷: 北京外文印刷厂
经 销: 全国新华书店
开 本: 184mm×260mm
印 张: 15
字 数: 310 千字
版 次: 2011 年 7 月第 1 版
印 次: 2011 年 7 月第 1 次印刷
定 价: 28.00 元

策划编辑: 庞海龙 责任编辑: 庞海龙
美术编辑: 高 霞 装帧设计: 弓禾碧工作室
责任校对: 李 菡 责任印制: 孙文凯

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010-58800697

北京读者服务部电话: 010-58808104

外埠邮购电话: 010-58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010-58800825

出版说明

为贯彻落实教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高〔2006〕16号)文件精神,“十二五”期间,北京师范大学出版社将组织出版高等职业教育“十二五”系列规划教材。在组织教材编写的过程中,我们始终坚持科学发展观,紧紧围绕高等职业教育的培养目标,从满足社会发展对高素质劳动者和技能型人才的需求出发,坚持以就业为导向,以能力为本位,以学生为中心,以工作过程为导向的课程改革与教材建设理念,着力打造反映教学改革最新精神的职业教育教材。为此,我们邀请了全国职业教育的专家、有关高职院校的骨干教师,共同编写了本套系列规划教材。

经过众多专家、老师的努力,本套教材在教材体系、内容组织、图文表现等各方面都有所创新与发展,形成了鲜明的编写风格:

1. 目标驱动。关注的焦点放在通过任务的完成所获得的成果上面。通过成果的获得,激发学生学习的兴趣,激励学生勇于探索,不断进步。
2. 任务引领。每个项目分为若干个子任务,在任务的完成中学习相关知识、技能,实现学生的全面发展。
3. 学生为本。教材的设计以学生为中心,在教材组织的各个环节突出学生的主体地位,引导学生明确应该怎么做、做到什么程度。
4. 图文并茂。考虑到高等职业学院学生的心理和生理特点,本套教材尽量采用图形化、表格化和步骤化的呈现方式,便于学生学习。
5. 立体化开发。在组织教材编写的过程中,配套研发与教材相应的电子教案、课件、实训指导材料等助教、助学资源库,以便教师授课和学生学习使用。

当然,任何事物的发展都有一个过程,职业教育的改革与发展也有一个过程,同样,我们组织出版的本套系列规划教材也需要在教学实践的过程中不断完善,因此,衷心希望各位读者能提出宝贵的意见和建议,并积极参与到我们进一步的教材研发中来,共同为我国的高等职业教育教学改革和教材建设作出贡献。

北京师范大学出版社职教分社

前 言

本教材按照教育部“电子技术基础”课程教学基本要求以及《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》精神，本着促进教学，提高教学质量和教学效率的原则，结合高等职业技术学校教学的实际情况，由多年从事教学工作的富有经验的教师编写而成。

本教材提出了《电子技术基础》课程学习的基本要求，提炼了基本概念，对重点、难点进行了罗列，并对典型问题进行了透彻细致的分析，做到了有概念，有重点，有步骤，有分析。最后还精选了填空题、选择题、判断题和分析题等不同的题型以供读者练习，做到学练结合，以对各章节的基本概念、重点和难点的掌握起到积极的辅助作用，尤其适合当前短时大流量摄取知识的需求。

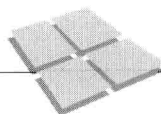
本书由广州民航职业技术学院于斌、海南大学网络与教育技术中心李会聪、新疆大学常翠宁任主编；于斌、常翠宁负责第1章、第2章、第9章、第16章的具体编写工作；海南大学网络与教育技术中心李会聪老师参与了第3~8章的编写工作；广州民航职业技术学院李新勤和王秀丽、广东省南方高级技工学校张卫平和廖勇、广州铁路职业技术学院邵玫、阳江职业技术学院叶杰辉、茂名职业技术学院王开参与第10~15章的编写并提出宝贵建议；全书由于斌老师统稿。

由于编写时间紧迫，加之经验有限，书中不妥之处在所难免，真诚希望广大读者给予批评指正。

目 录

第 1 编 模拟电子技术基础

第 1 章 半导体器件	(3)
1.1 基本要求	(3)
1.2 基本理论	(3)
1.3 典型题举例	(10)
1.4 习题	(13)
第 2 章 基本放大电路	(19)
2.1 基本要求	(19)
2.2 重点难点分析	(19)
2.3 典型题举例	(26)
2.4 习题	(34)
第 3 章 集成运算放大器	(39)
3.1 基本要求	(39)
3.2 重点难点分析	(39)
3.3 典型题举例	(44)
3.4 习题	(47)
第 4 章 功率放大电路	(52)
4.1 基本要求	(52)
4.2 基本理论	(52)
4.3 典型题举例	(57)
4.4 习题	(60)
第 5 章 反馈放大电路	(66)
5.1 基本要求	(66)
5.2 基本理论	(66)
5.3 典型题举例	(71)
5.4 习题	(75)
第 6 章 运算放大器的应用	(82)
6.1 基本要求	(82)
6.2 重点难点分析	(82)
6.3 典型题举例	(86)



6.4 习题	(90)
第7章 波形发生电路	(95)
7.1 基本要求	(95)
7.2 重点难点分析	(95)
7.3 典型题举例	(96)
7.4 习题	(98)
第8章 直流电源	(102)
8.1 基本要求	(102)
8.2 重点难点分析	(102)
8.3 典型题举例	(105)
8.4 习题	(107)

第2编 数字电子技术基础

第9章 数字逻辑电路基础	(113)
9.1 基本要求	(113)
9.2 重点难点分析	(113)
9.3 典型题举例	(118)
9.4 习题	(123)
第10章 门电路	(129)
10.1 基本要求	(129)
10.2 重点难点分析	(129)
10.3 典型题举例	(132)
10.4 习题	(136)
第11章 组合逻辑电路	(140)
11.1 基本要求	(140)
11.2 重点难点分析	(140)
11.3 典型题举例	(144)
11.4 习题	(151)
第12章 触发器	(156)
12.1 基本要求	(156)
12.2 重点难点分析	(156)
12.3 典型题举例	(158)
12.4 习题	(160)
第13章 时序逻辑电路	(164)
13.1 基本要求	(164)
13.2 重点难点分析	(164)
13.3 典型题举例	(168)
13.4 习题	(173)

第 14 章 半导体存储器和可编程逻辑器件	(177)
14.1 基本要求	(177)
14.2 重点难点分析	(177)
14.3 典型题举例	(179)
14.4 习题	(182)
第 15 章 脉冲波形的产生与变换	(184)
15.1 基本要求	(184)
15.2 重点难点分析	(184)
15.3 典型题举例	(187)
15.4 习题	(188)
第 16 章 数/模与模/数转换	(192)
16.1 基本要求	(192)
16.2 重点难点分析	(192)
16.3 典型题举例	(195)
16.4 习题	(196)
习题答案	(199)
参考文献	(229)

第 1 编

模拟电子技术基础

第 1 章 半导体器件

半导体器件种类很多,用途各异,是组成各种电子电路的基础,是现代电子技术的重要组成部分。学习半导体器件的目的是为了正确使用和选择器件。因此,我们应着重于了解和掌握器件的外特性,即器件的电流和各极电压的关系及其主要参数。

1.1 基本要求

- (1) 了解本征半导体、杂质半导体,熟悉 PN 结的特性。
- (2) 掌握二极管的单向导电性、伏安特性、主要参数及使用方法,熟悉特殊二极管。
- (3) 掌握三极管的放大作用、输入、输出特性及主要参数。
- (4) 了解选用器件的原则。

1.2 基本理论

1.2.1 半导体的基本知识

1. 本征半导体、杂质半导体与 PN 结

导电能力介于导体和绝缘体之间的一类物质称为半导体。

纯净的具有晶体结构的半导体称为本征半导体。常用的半导体材料锗和硅均是四价元素。

在本征半导体中掺入不同的杂质就形成杂质半导体,可将其分为 N 型半导体(掺入少量的五价元素)和 P 型半导体(掺入三价元素)。

控制掺入杂质的多少就可有效地改变其导电性,从而实现导电性能的可控性。半导体中有两种载流子:自由电子与空穴。载流子有两种有序的运动:因浓度差而产生的运动称为扩散运动,因电位差而产生的运动称为漂移运动。将两种杂质半导体制作在同一个硅片(或锗片)上,在它们的交界面处,上述两种运动达到动态平衡,从而形成 PN 结。PN 结是半导体二极管和其他有源器件的重要环节。

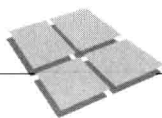
2. PN 结的单向导电特性

当 PN 结外加正向电压(正向偏置)时,PN 结处于导通状态,其正向电流随正向电压增大而增大;加反向电压(反向偏置)时,PN 结处于截止状态,其反向电流是一个很小的值,基本不随外加电压变化,这就是 PN 结的单向导电性。

3. PN 结的击穿特性

当 PN 结外加反向电压超过某一值后,反向电流急剧增加,这种现象称为反向击穿。

击穿时管子不一定损坏,只要电路中加有一定的串联电阻,其电流不要太大,不超过最大功率损耗,管子就不会因过热而烧坏,当反向电压数值降低时,PN 结的单向



导电特性可以恢复正常。

4. PN 结的电容效应

PN 结的两端电压变化时,引起 PN 结内电荷变化,此即为 PN 结的电容效应。

PN 结的电容有两种:势垒电容和扩散电容。

PN 结电压变化,阻挡层厚度也发生变化,从而引起阻挡层内电荷变化。此种电容称为势垒电容 C_b 。

PN 结正向运用时,多数载流子在扩散过程中引起电荷积累,正向电压变化,其积累的电荷也变化,此种电容称为扩散电容 C_d 。

PN 结的结电容用 C_j 表示。一般情况下,PN 结加正向电压时, $C_j \approx C_d$; 加反向电压时 $C_j \approx C_b$ 。PN 结电容均随外加电压变化而变化。

1.2.2 半导体二极管

1. 二极管的结构

二极管就是利用一个 PN 结加上外壳,引出两个电极而制成的。二极管按其结构的不同可分为点接触型和面接触型两类。

2. 二极管的伏安特性

二极管具有 PN 结的全部特性。重点要掌握二极管的伏安特性,即表示加到二极管两端的电压和流过二极管的电流之间的关系曲线,如图 1.1 所示,它是二极管单向导电性的定量描述:

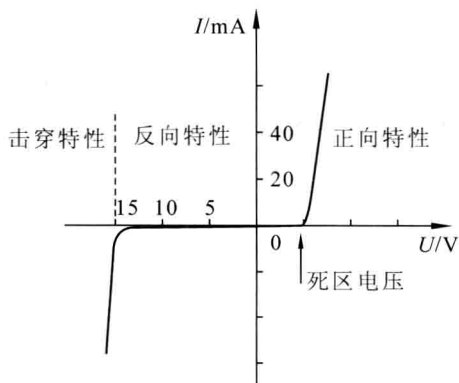


图 1.1 二极管的伏安特性

(1) 正向特性

当正向电压小于死区电压时,二极管截止。死区电压:硅管约为 0.5 V,锗管约为 0.1 V。

当二极管正向导通后,其管压降:硅管约为 0.6~0.8 V,锗管约为 0.2~0.3 V。

(2) 反向特性

如果反向电压小于击穿电压,二极管处于截止状态,反向电流约为零。

(3) 反向击穿特性

若反向电压大于击穿电压,二极管被反向击穿,反向电流剧增。

3. 二极管的参数

二极管的参数是选用管子的依据。主要参数有:最大整流电流 I_F 和最高反向工作

电压 U_R 。

另外还有反向电流 I_R 和最高工作频率 f_M 等参数。

4. 二极管的应用

二极管的应用基础, 就是其单向导电特性, 所以分析二极管应用电路时, 关键是判断二极管的导通与截止状态。

5. 特殊二极管

特殊二极管与普通二极管一样, 具有单向导电性。利用 PN 结击穿时的特性可制成稳压二极管; 利用发光材料可制成发光二极管; 利用 PN 结的光敏性可制成光电二极管。

1.2.3 半导体三极管

半导体三极管又称为晶体三极管, 是双极型器件(英文缩写为 BJT), 这是因为在这一类三极管中参与导电的有两种极性的载流子(即自由电子和空穴)。三极管是电流控制器件, 是组成各种电子线路的核心。

1. 三极管的结构及类型

三极管分 NPN 和 PNP 两大类, 它们的区别是: 形成电流的载流子不同, 外加电压极性相反, 各极电流方向相反。

无论是 NPN 型还是 PNP 型的三极管, 内部均包含三个区: 发射区、基区和集电区, 并相应地引出三个电极: 发射极、基极和集电极, 同时, 在三个区的两两交界处, 形成两个 PN 结, 分别称为发射结和集电结。

2. 三极管的放大作用

1) 三极管的重要作用是具有电流放大作用。

2) 三极管实现放大作用的内部条件是: 发射区掺杂浓度很高; 基区很薄, 且掺杂浓度很低。

3) 实现放大作用的外部条件是: 发射结正向偏置, 集电结反向偏置。对 NPN 管, 应满足 $U_E < U_B < U_C$; 对 PNP 管, 应满足 $U_E > U_B > U_C$ 。

4) 放大原理: 由于发射结正向偏置, 且发射区掺杂浓度很高, 因而发射区的多数载流子大量扩散(形成发射极电流 I_E)注入至基区, 又由于集电结反向偏置, 故注入至基区的载流子在基区形成浓度差, 所以注入的载流子在基区扩散至集电结, 被电场拉至集电区形成集电极电流 I_C 。由于基区很薄, 因此注入的载流子在基区复合(形成基极电流 I_B)得较少, 绝大多数均被集电结收集。

5) 电流分配关系如下:

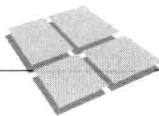
$$\begin{aligned} I_E &= I_C + I_B \\ I_C &= \alpha I_E + I_{CBO} \\ I_C &= \beta I_B + I_{CEO} \\ I_{CEO} &= (1 + \beta) I_{CBO} \end{aligned}$$

式中, I_{CBO} ——集电极—基极反向饱和电流;

I_{CEO} —— $I_B = 0$ 时, c、e 极之间的穿透电流;

α ——共基极电流放大系数;

β ——共发射极电流放大系数。



α 、 β 的定义为

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

注意 α 、 β 有如下两种定义。

一种是直流电流之比，称为直流放大系数，即

$$\bar{\alpha} = \frac{\text{直流集电极电流}}{\text{直流发射极电流}} = \frac{I_C}{I_E}$$

$$\bar{\beta} = \frac{\text{直流集电极电流}}{\text{直流基极电流}} = \frac{I_C}{I_B}$$

另一种是变化量(交流)之比，称为交流放大系数，即

$$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$$

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

显然交、直流放大系数其含义是不同的。由于一般情况下， $\alpha \approx \bar{\alpha}$ ， $\beta \approx \bar{\beta}$ ，因此常常不区分 α 与 $\bar{\alpha}$ ， β 与 $\bar{\beta}$ 。

3. 三极管特性曲线

三极管的特性曲线与三极管的接法有关，我们主要讲述用得最多的共发射极的特性。

(1) 输入特性

$$I_B = f(U_{BE}) \Big|_{U_{CE}=C} \quad (C \text{ 表示常数})$$

它与 PN 结的正向特性相似，由于三极管的两个 PN 结互相影响，因此输出电压 U_{CE} 对输入特性有影响，且 $U_{CE} > 1 \text{ V}$ 时输入特性基本重合。一般输入特性用 $U_{CE} = 0 \text{ V}$ 和 $U_{CE} \geq 1 \text{ V}$ 两条特性曲线表示。

(2) 输出特性

$$I_C = f(U_{CE}) \Big|_{I_B=C}$$

输出特性可分为三个区域，如图 1.2 所示。

1) 截止区。 $I_B \leq 0$ 的区域称为截止区，此时集电极电流 I_C 近似为零，所以三极管没有放大作用。管子的集电极电压就等于电源电压，两个结均反向偏置。

2) 饱和区。在靠近纵坐标的附近，此区 $U_{CE} \uparrow \rightarrow I_C \uparrow$ ，此时 $I_C = \beta I_B$ 关系不成立， I_C 不随 I_B 而变化，而是由外电路确定，三极管失去放大作用。 $U_{CE} \approx 0.3 \text{ V}$ ，两个结均处于正向偏置。

3) 放大区。此区 $I_C = \beta I_B$ ， I_C 基本不随 U_{CE} 变化而变化，即特性曲线的平坦部分，可利用此特性组成恒流源。此时发射结正向偏置，集电结反向偏置。

4. 三极管的主要参数

(1) 电流放大系数 α 或 β 主要表征管子的放大能力。一般二者关系为

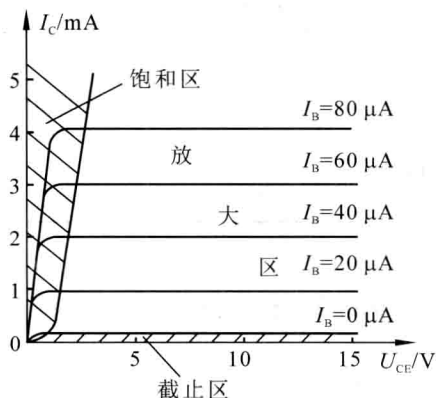


图 1.2 NPN 管输出特性曲线

$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

(2) 极间反向电流

I_{CBO} ——集电极—基极反向饱和电流。

I_{CEO} ——穿透电流，与 I_{CBO} 的关系为

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

它们是由少数载流子形成的，与温度有关。 I_{CEO} 和 I_{CBO} 都是衡量三极管质量的重要参数，由于 I_{CEO} 比 I_{CBO} 大得多，测量起来比较容易，所以我们平时测量三极管时，常常把测量 I_{CEO} 作为判断管子质量的重要依据。

(3) 极限参数

I_{CM} ——集电极最大允许电流。

P_{CM} ——集电极最大允许功率损耗。

BU_{CBO} 、 BU_{CEO} 、 BU_{EBO} ——三极管的反向击穿电压。

I_{CM} 、 P_{CM} 、 BU_{CEO} 共同确定三极管的安全工作区。

参数与温度的关系：

$$T(\text{温度}) \uparrow \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \beta \uparrow \\ I_{CBO} \uparrow, I_{CEO} \uparrow \uparrow \\ U_{BE} \downarrow \end{array} \right\} \rightarrow I_C \uparrow$$

1.2.4 场效应管

场效应管也是一种半导体器件，它是一种电压控制器件，它利用输入电压来控制输出电流的大小。由于场效应管只有一种极性的载流子(多数载流子)参与导电，所以又称其为单极型三极管。

1. 场效应管的分类

场效应管的分类如表 1.1 所示。

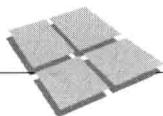


表 1.1 场效应管分类

场 效 应 管					
结型场效应管 JFET		绝缘栅型场效应管 MOSFET			
N 沟道	P 沟道	增强型管		耗尽型管	
		N 沟道	P 沟道	N 沟道	P 沟道

2. 结型场效应管

结型场效应管的工作基理仍是 PN 结。此时 PN 结必须是反向偏置。其工作过程如下：

改变栅源电压 U_{GS} 的大小→改变 PN 结阻挡层的宽窄→改变载流子通道(沟道)的宽窄→改变通道电阻的大小→从而控制漏极电流 i_D 的大小。

由于结型场效应管的工作基理仍是 PN 结，虽然反向运用时其电流较小，但仍影响输入电阻的进一步提高。

3. 绝缘栅型场效应管

该类场效应管是控制栅极与场效应管衬底间有一层绝缘层，故栅极电流 $i_G=0$ 。所以其输入电阻可进一步提高，可达 $10^{14}\Omega$ 。

该类管子的工作原理是通过改变感生沟道电荷的数量来改变沟道的导电能力，从而控制漏极电流的大小。其工作过程如下(对增强型场效应管而言)：

在控制栅与衬底间加一电场，在该电场的作用下，作为衬底的半导体中的少数载流子被吸引至控制栅的下方，多数载流子被排斥至衬底的下方，当栅极与衬底间的电场到达某一程度时，在控制栅的下方形成了一个反型层(如 N 沟道增强型管，其衬底为 P 型硅材料，所谓反型层即指在 P 型半导体中形成一个以电子为主的 N 型区域)，它就是源极和漏极间多数载流子的通道(沟道)。对应此时的栅源电压 U_{GS} 称为开启电压 U_T 。此时，改变 U_{GS} 就改变了控制栅与衬底的电场，从而改变了载流子的沟道，达到控制漏极电流 i_D 的目的。

耗尽型场效应管与增强型场效应管的不同之处在于，耗尽型场效应管是在没有外加栅极电压时，就已存在导电沟道；而增强型场效应管只是在外加栅极电压超过一定值时，才会出现导电沟道。其控制漏极电流的过程是一样的。

4. 管子的特性与参数

(1)管子的特性

反映场效应管性能的特性曲线是转移特性和输出特性。

1)转移特性曲线反映了栅源电压对漏极电流的控制能力，即

$$i_D = f(u_{GS}) \Big|_{u_{DS}} = \text{常数}$$

①对于结型 N 沟道有

$$U_p \leq u_{GS} \leq 0$$

式中， U_p ——夹断电压，其定义是 $i_D=0$ 时的栅源电压。 $U_{GS}=0$ 时对应的电流为漏极饱和电流 I_{DSS} 。

②对增强型 N 沟道有

$$u_{GS} \geq U_T > 0$$

式中, U_T ——开启电压。

③对耗尽型 N 沟道有

$$U_{GS} \geq U_P$$

它们的转移特性曲线如图 1.3 所示。

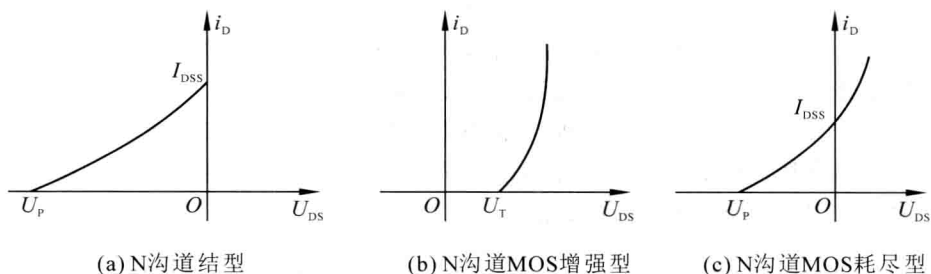


图 1.3 N 沟道场效应管的转移特性

2) 输出特性曲线反映了当栅源电压一定时, 漏极电流 i_D 与漏源电压 u_{GD} 间的关系曲线。场效应管的输出特性可分为三个区域: ①可变电阻区, 工作在该区时改变 U_{GS} 即改变了漏极与源极间的电阻, 通常作为压控电阻使用; ②夹断区, 该区即截止区; ③恒流区, 即为放大区, 当场效应管作为放大器时, 应工作在该区。

N 沟道场效应管的输出特性曲线, 不管是结型、耗尽型还是增强型, 其形状基本一样, 主要通过 U_{GS} 的范围来判断是何种场效应管。对于 P 沟道的管子, 其电流和电压的方向与 N 沟道的相反。

(2) 场效应管的参数

①直流参数: 饱和漏极电流 I_{DSS} ; 夹断电压 U_P ; 开启电压 U_T ; 直流输入电阻 R_{GS} 。

②交流参数: 低频跨导 g_m , 它反映了栅源电压 u_{GS} 对漏极电流 i_D 的控制能力, 是反映管子放大能力的参数。定义为

$$g_m = \left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{GS}} \right|_{U_{DS}=\text{常数}}$$

g_m 单位是 mA/V(mS) 。

③极限参数: 漏极最大允许耗散功率 P_{Dm} ; 漏-源间击穿电压 U_{DS} ; 栅-源间击穿电压 U_{GS} 。

(3) 场效应管的特点

场效应管与三极管相比, 具有如下特点: 场效应管是电压控制器件, 通过 u_{GS} 来控制 i_D ; 输入电流为零, 故输入电阻比较高; 场效应管是多数载流子导电, 故噪声小, 受辐射影响小, 热稳定性好; 场效应管的制造工艺简单, 有利于大规模集成, 故可提高集成度。