

电子线路与数字逻辑 解题方法指导

任骏原 杨孝安 李 弋 编著

东北大学出版社

电子线路与数字逻辑 解题方法指导

编 著 任骏原 杨孝安 李 弋
刘长江 祁国权 吴恒玉

东北大学出版社
· 沈 阳 ·

图书在版编目(CIP)数据

电子线路与数字逻辑解题方法指导/任骏原等编著. —沈阳:东北大学出版社,1996.11
ISBN 7-81054-112-9

I. 电…

II. 任…

III. ①电子线路-计算-解题-指导 ②数字电路-计算-解题-指导

IV. TV702-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 20773 号

©东北大学出版社出版

(沈阳·南湖 110006)

北宁市印刷厂印刷

东北大学出版社发行

1996年11月第1版

1996年11月第1次印刷

开本:787×1092毫米 1/16

印张:15.75

字数:468千字

印数:1~4000册

定价:19.80元

序 言

《电子线路与数字逻辑》是电气、电子、计算机及应用专业的一门重要的技术基础课程。通过该课程的学习,可以使学生获得电子技术和数字逻辑方面的基础知识、基本理论和基本技能。在本课程的学习中,解题方法起着特殊的重要作用。解题是巩固基本知识、深入理解基本概念的关键环节。通过解题方法的训练,可以培养学生的综合分析能力,提高理论联系实际的水平。由于本课程涉及器件的类型多、提出问题的角度广、又有从工程实际考虑的近似计算等诸多因素,因而解题成为学习中遇到的一大难题。编著这本解题方法指导目的在于为学习电子线路与数字逻辑的读者提供一些解题方面的帮助与指导,强化解题能力的训练,并为读者系统复习本课程起到提纲挈领的作用。

本书按章分类,每章均包括:

(1) 内容要点及理解说明。采用分析、归纳、比较和图表等方式对各章主要内容进行总结、概括,并且特别注意从解题角度来阐明问题,相当于一个详细的复习提纲。

(2) 解题方法指导及例题。归纳了各章主要类型的问题及解题方法。希望读者通过选例分析能够举一反三,触类旁通。当然我们提供的仅是对问题的概略分析和具体的解题思路,属一家之见,难成范典。因为一些特定问题的解法常常因人而异,所谓仁者见仁,智者见智。我们希望这些分析能使读者略涉技苑,拓宽思维,以便逐步提高分析问题解决问题的能力。当然,解题分析是审题后思考、解题步骤的构思,寓成于心,在题解中往往不必写出。

参加本书编写工作的有:任骏原(序言、第六章)、杨孝安(附录、八、十一章)、李弋(第二、五章)、刘长江(第九章)、祁国权(第三、四章),吴恒玉(第一、七、十章)。由任骏原负责全书的组织、修改和定稿。

本书适用于电气、电子、计算机及应用专业的大中专学生使用。

限于作者水平,全书疏漏难免,欢迎读者批评指正。

作 者

1995年12月

目 录

序 言

第一章 半导体二极管和三极管	1
一、内容要点及理解说明	1
1-1 半导体基础知识	1
1-2 几种半导体器件的特点、特性描述方法、参数及工作状态分析	2
二、解题方法指导及例题	6
2-1 由 PN 结某一温度下的反向饱和电流求另一温度下的反向饱和电流	6
2-2 已知反向饱和电流和外压电压求 PN 结中的电流	7
2-3 求串、并联组合稳压二极管的稳定电压	7
2-4 由二极管的伏安特性曲线求参数	8
2-5 含二极管、稳压二极管电路的分析	8
2-6 由电极电位判别三极管的电极及确定导电类型和所用的半导体材料	10
2-7 由三极管的伏安特性曲线求参数	11
2-8 用 β 判断三极管具有电流放大能力的条件	12
2-9 三极管放大原理	12
2-10 含三极管电路的分析	13
2-11 图解法求解 MOS 管电路的工作点	15
第二章 数字逻辑基础	17
一、内容要点及理解说明	17
1-1 数制与码制	17
1-2 逻辑代数中的基本运算、常运算、基本公式、常用公式及重要规则	18
1-3 逻辑函数常用的表示方法	20
1-4 逻辑函数的两种化简方法	22
1-5 具有约束的逻辑函数的化简	22
1-6 两种逻辑体制	22
二、解题方法指导及例题	23
2-1 数制与码制	23
2-2 确定函数值与变量取值组合的对应关系	26
2-3 逻辑等式的证明	27
2-4 求函数的标准与或式(最小项之和表达式)	30

2-5	求函数的反函数	32
2-6	求函数的对偶式	33
2-7	用公式法化简函数	34
2-8	用卡诺图法化简函数	35
2-9	函数的逻辑图	39
第三章 集成逻辑门		41
一、内容要点及理解说明		41
1-1	TTL 与非门	41
1-2	TTL 门电路的其他类型	43
1-3	MOS 逻辑门	44
1-4	门电路多余输入端的处理	45
二、解题方法指导及例题		45
2-1	门电路的输入、输出高低电平及逻辑值的确定	45
2-2	门电路多余输入端的处理	48
2-3	已知门电路的输入波形画输出波形	50
2-4	由输出特性求电路参数、带负载能力	53
2-5	用 OC 门实现线与逻辑	55
2-6	MOS 门电路管子工作状态判断及逻辑功能分析	56
第四章 组合逻辑电路		59
一、内容要点及理解说明		59
1-1	组合逻辑电路的特点	59
1-2	组合逻辑电路研究的主要内容	59
1-3	常用典型组合逻辑电路	59
1-4	组合逻辑电路的竞争冒险	61
二、解题方法指导及例题		61
2-1	组合逻辑电路分析	61
2-2	组合逻辑电路设计	66
2-3	组合逻辑电路竞争冒险的检查及消除	80
第五章 触发器		82
一、内容要点及理解说明		82
1-1	触发器的基本性质	82
1-2	触发器的结构、触发方式及动作特点	82
1-3	触发器的逻辑功能	82
1-4	触发器逻辑功能的转换	84
二、解题方法指导及例题		84
2-1	基本 RS 触发器、简单结构的时钟触发器逻辑功能分析	84

2-2	附加转换逻辑的触发器逻辑功能分析	85
2-3	触发器基本特性的应用	87
2-4	已知触发器的输入波形画输出波形	87
2-5	不同逻辑功能触发器之间的转换	93
第六章	时序逻辑电路	95
一、	内容要点及理解说明	95
1-1	时序逻辑电路的特点	95
1-2	时序逻辑电路分类	95
1-3	时序电路逻辑功能的表示方法	95
1-4	时序逻辑电路研究的主要内容	96
1-5	若干常用时序逻辑电路	96
二、	解题方法指导及例题	100
2-1	同步时序逻辑电路分析	100
2-2	异步时序逻辑电路分析	110
2-3	由中规模集成时序器件构成的时序逻辑电路分析	115
2-4	时序逻辑电路的设计	123
第七章	脉冲电路	140
一、	内容要点及理解说明	140
1-1	555 定时器的电路组成及功能分析	140
1-2	555 定时器构成的脉冲产生与整形电路	141
1-3	集成门构成的脉冲产生与整形电路	141
二、	解题方法指导及例题	144
2-1	施密特触发器的分析及画输出电压波形	144
2-2	单稳态触发器的原理分析、技术指标计算、求解电路参数及画电压波形	147
2-3	多谐振荡器的原理分析、技术指标计算及求解电路参数	150
第八章	半导体存储器	153
一、	内容要点及理解说明	153
1-1	半导体存储器的类型、特点及工作原理	153
1-2	存储器中一些概念和数量关系	155
1-3	RAM 的容量扩展	155
1-4	ROM, PLA 存储内容的表示方法	156
二、	解题方法指导及例题	157
2-1	存储器有关概念及数量关系分析	157
2-2	RAM 容量的扩展	159
2-3	用 ROM 实现逻辑函数	162
2-4	用 PLA 实现逻辑函数	167

第九章 放大电路	170
一、内容要点及理解说明	170
1-1 放大电路的基本概念	170
1-2 放大电路的分析方法	171
1-3 多级放大电路	174
1-4 放大电路的频率特性	174
1-5 差动放大器	175
1-6 负反馈放大器	176
1-7 由运放组成的信号运算和处理电路	177
二、解题方法指导及例题	180
2-1 检查放大电路有无放大作用	180
2-2 已知单级放大电路及三极管特性曲线, 求放大电路的静态工作点、最大不失真输出电压幅度	183
2-3 由输出电压幅度最大的要求, 确定放大电路的静态工作点及偏置电阻	184
2-4 放大电路非线性失真类型的判别及消除方法	184
2-5 已知放大电路及参数, 求静态工作点 Q 、电压放大倍数 A_v 、输入电阻 r_i 、输出电阻 r_o	185
2-6 已知多级放大电路及参数, 求各级的静态工作点、输入电阻、输出电阻、电压放大倍数	187
2-7 已知差动放大电路及参数, 求静态工作点及动态指标	189
2-8 反馈类型和极性的判别	193
2-9 负反馈对放大器性能的影响	195
2-10 根据对电路性能的要求引入适当形式的负反馈	196
2-11 深度负反馈条件下电压放大倍数的近似计算	197
2-12 已知由运放构成的运算电路, 确定其输出电压与输入电压之间的运算关系	200
2-13 已知输出与输入信号的运算关系, 设计运算电路	206
2-14 非线性运用的运放电路分析	208
第十章 直流稳压电源	210
一、内容要点及理解说明	210
1-1 整流电路	210
1-2 电容滤波电路	210
1-3 串联型稳压电路	211
1-4 三端集成稳压电路	212
二、解题方法指导及例题	212
2-1 整流滤波电路工作时各种现象的分析	212
2-2 整流滤波电路的计算	213

2-3 串联稳压电路工作过程分析及输出电压的计算	214
2-4 三端集成稳压电路的应用	217
第十一章 数—模及模—数转换	219
一、内容要点及理解说明	219
1-1 数—模转换器 (DAC)	219
1-2 模—数转换器 (ADC)	219
二、解题方法指导及例题	221
2-1 数—模转换电路输出电压 U_0 、分辨率、数字量位数 n 的计算	221
2-2 ADC 电路的时钟频率、数字量位数、输入电压最小变化量、完 成一次转换时间的计算	225
2-3 ADC 工作过程分析	226
附录 电路的基本概念、基本定律和分析方法	227
一、电路及模型的概念	227
二、电路中的基本物理量	227
三、电路分析的基本依据	229
四、构成电路的主要理想元件	230
五、基尔霍夫定律	231
六、电阻电路等效变换及化简的基本规律和公式	233
七、电阻串联电路的分压关系及电路并联电路的分流关系	235
八、线性电路的几个定理	236
参考文献	239

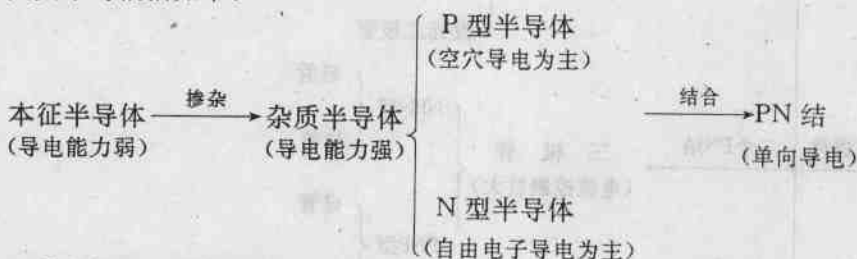
第一章 半导体二极管和三极管

一、内容要点及理解说明

1-1 半导体基础知识

1. 本征半导体、杂质半导体及 PN 结

其关系可概括如下：



2. 基本概念、数量关系

- (1) 半导体的导电方式——两种载流子 $\left\{ \begin{array}{l} \text{自由电子 (带负电)} \\ \text{空穴 (带正电)} \end{array} \right.$
- (2) 本征半导体的特点——导电能力弱

在本征激发条件下，仅少数价电子获得足够能量形成电子空穴对，即自由电子和空穴这两种载流子在数量上是相等的且数量很少。

- (3) 杂质半导体的特点——导电能力强

两种杂质半导体 $\left\{ \begin{array}{l} \text{N 型半导体} \left\{ \begin{array}{l} \text{自由电子数} = \text{本征激发产生数} + \text{掺杂产生数}, \text{为多数载流子。} \\ \text{空穴数} = \text{本征激发产生数}, \text{为少数载流子。} \end{array} \right. \\ \text{P 型半导体} \left\{ \begin{array}{l} \text{空穴数} = \text{本征激发产生数} + \text{掺杂产生数}, \text{为多数载流子。} \\ \text{自由电子数} = \text{本征激发产生数}, \text{为少数载流子。} \end{array} \right. \end{array} \right.$

两种数量不等的载流子 $\left\{ \begin{array}{l} \text{多数载流子} \text{——主要是掺杂形成。} \\ \text{少数载流子} \text{——本征激发形成。} \end{array} \right.$

杂质半导体呈电中性——任一空间内的正负电荷数目相等。

- (4) PN 结的特点——单向导电

① PN 结的形成过程

P 区和 N 区载流子的浓度不同 $\rightarrow$ 多子扩散 $\rightarrow$ 形成空间电荷区及内电场 $\rightarrow$ 阻止多子扩散且产生少子漂移，当

扩散 $\xrightleftharpoons{\text{动态平衡}}$ 漂移

时，在 P、N 交界处形成稳定的空间电荷区即 PN 结。

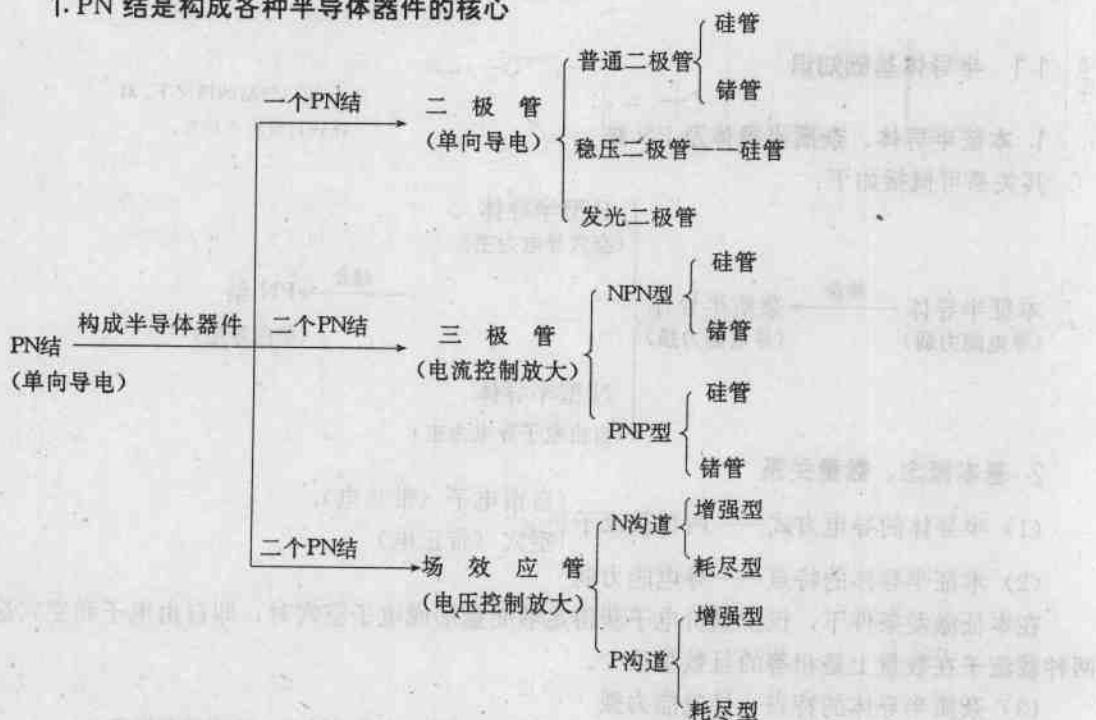
动态平衡时，扩散和漂移运动的规模相同，扩散电流和漂移电流的大小相等，但方向相反，相互抵消，因而 PN 结中的电流为零。

② PN 结的单向导电原理

外加正压：削弱内电场，空间电荷区变窄，扩散 $>$ 漂移， I 大（多子），PN 结导通。
 外加反压：增强内电场，空间电荷区变宽，扩散 $<$ 漂移， $I=I_s\approx 0$ （少子），PN 结截止。
 注意点：反向饱和电流 I_s 是少数载流子形成的，不随外加电压变化，但与温度有关。

1-2 几种半导体器件的特点、特性描述方法、参数及工作状态分析

1. PN 结是构成各种半导体器件的核心



2. 普通二极管

(1) 特点——单向导电

(2) 伏安特性的几种描述方法

① 伏安特性方程 $I = I_s(e^{\frac{V}{V_T}} - 1)$

当 $V > 0$ ，且 $V \gg V_T$ 时， $I \approx I_s e^{\frac{V}{V_T}}$ ，正向导通；

当 $V < 0$ ，且 $|V| \gg V_T$ 时， $I \approx -I_s \approx 0$ ，反向截止。

注意点：伏安特性方程只表示二极管导通和截止的情况，不能表示击穿后的情况，并且是理想 PN 结的伏安关系。在常温下， $V_T = 26\text{mV}$ 。

② 伏安特性曲线

硅二极管和锗二极管的性能有异，其伏安特性曲线及性能比较见表 1-1。

表 1-1

	正向压降 V_D	死区电压 V_r	反向饱和电流 I_s	
硅二极管	0.7V	0.5V	小	
锗二极管	0.2V	0.1V	大	

③伏安特性的近似表示及等效电路

二极管虽然是最简单的电子器件,但其应用极为广泛。为使对含二极管电路的分析过程简单,往往将二极管的特性进行近似表示,伏安特性的近似表示、等效电路及适用场合见表 1-2。

表 1-2

	伏安特性	等效电路	适用场合
理想二极管			在正向压降 V_D 、反向饱和电流 I_S 可以忽略的情况下,对电路进行分析或估算。
固定压降			在反向饱和电流 I_S 可以忽略的情况下,对电路进行分析或估算。

(3) 二极管的开关特性

①二极管作为开关元件,关键是单向导电性。

导通条件 $V > \begin{cases} V_D \text{ (实际情况)} \\ 0V \text{ (理想情况)} \end{cases}$ 截止条件 $V < \begin{cases} V_R \text{ (实际情况)} \\ 0V \text{ (理想情况)} \end{cases}$

二极管导通、截止两种开关工作状态的等效电路如表 1-2 所示。

②二极管的开关状态转换过程需要一定的时间

一般用反向恢复时间 t_{rr} 来衡量开关速度。在开关电路中,要求 t_{rr} 越小越好。

(4) 二极管的主要参数

二极管的参数反映其电气性能,是选择使用二极管的依据。二极管的参数主要是针对单向导电性提出来的:

正向——最大平均整流电流 I_F ;

反向——最高反向工作电压 $V_R (=1/2V_B)$ 。

(5) 电容效应

PN 结在外加电压作用下,表现出电容效应,工作频率越高越明显。

扩散电容 C_D ——在载流子扩散过程中,PN 结两侧的存贮电荷随外加电压变化引起的。

势垒电容 C_B ——空间电荷区随外加电压变化引起的电容效应。

3. 特殊二极管

(1) 稳压二极管

稳压二极管是利用反向击穿特性稳定电压的特殊二极管,它的反向击穿区曲线陡直,电流作较大变化时两端电压基本不变。重要的参数是稳压值 V_Z ,不同稳压二极管其 V_Z 值不同。

有稳压作用时的工作状态——反向击穿状态,在电路中采用反向接法,并且必须接有限流电阻,使其功耗不超过额定值。

(2) 发光二极管

发光二极管采用特殊的半导体材料制造 PN 结,外加正向电压时,进行扩散运动的两种载流子复合时,放出能量,发出一定波长的光。

发光二极管的死区电压较一般二极管大，发光时须外加大于死区的正向电压，且要串入限流电阻。

4. 三极管

(1) 特点——电流放大

(2) 放大原理

利用载流子在基区的扩散（形成集电极电流）大大超过复合（形成基极电流），产生放大作用。在线性区 I_C 和 I_B 的比例基本一定，可以通过改变 I_B 的大小达到控制 I_C 的目的。放大的实质是电流控制，因此三极管是电流控制器件。只有接入集电极电阻 R_C ，才能将电流放大作用转化为电压放大作用。

三极管既有多数载流子又有少数载流子参与导电，属于“双极型”器件。但NPN型和PNP型三极管形成电流的多数载流子、少数载流子的性质不同，它们外加电压的极性相反。

(3) 电流分配关系

$$I_C = \beta I_B + I_{CEO}$$

$$I_E = I_C + I_B$$

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

其中 $I_{CEO} = (1 + \beta) I_{CBO}$ 称为穿透电流， I_{CBO} 称为反向饱和电流。

(4) 输出特性曲线及主要参数

三极管的主要参数可在输出特性曲线上反映，如图 1-1 所示。由 I_{CM} 、 P_{CM} 、 BV_{CEO} 共同确定正常放大区，由 β 反映该区的放大能力。

(5) 三极管截止、放大、饱和三种工作状态的条件及特点如表 1-3 所示。

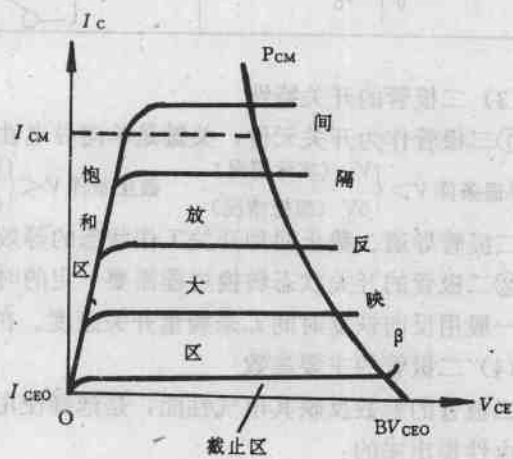


图 1-1

表 1-3

	工作状态	截止	放大	饱和
工作条件	偏置情况	射结反偏，集结反偏 NPN 管 $V_B < V_E$, $V_C > V_B$ PNP 管 $V_B > V_E$, $V_C < V_B$	射结正偏，集结反偏 NPN 管 $V_B > V_E$, $V_C > V_B$ PNP 管 $V_B < V_E$, $V_C < V_B$	射结正偏，集结正偏 NPN 管 $V_B > V_E$, $V_C < V_B$ PNP 管 $V_B < V_E$, $V_C > V_B$
	基极电流	$I_B \approx 0$	$0 < I_B < I_{BS}$	$I_B \geq I_{BS} = I_{CS} / \beta$
	集电极电流	$I_C \approx 0$	$I_C \approx \beta I_B$	$I_C = I_{CS} = (V_{CC} - V_{CES}) / R_C$
工作特点	射结电压	$V_{BE} < \begin{cases} 0.5V \text{ (硅管)} \\ 0.1V \text{ (锗管)} \end{cases}$	$V_{BE} = \begin{cases} 0.7V \text{ (硅管)} \\ 0.2V \text{ (锗管)} \end{cases}$	$V_{BE} = \begin{cases} 0.7V \text{ (硅管)} \\ 0.2V \text{ (锗管)} \end{cases}$
	管压降	$V_{CE} \approx V_{CC}$	$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C$	$V_{CE} = V_{CES} = 0.3V$
	C-E 间等效电阻	很大 (开关断开)	可变	很小 (开关闭合)

(6) 三极管的开关特性

三极管工作在饱和状态（等效开关闭合）、截止状态（等效开关断开）可作为开关元件。

①三极管作为开关元件的条件

控制三极管的基极电压或电流以控制三极管饱和或截止。

饱和状态——射结正偏、集电结正偏且基极电流足够大， $I_B \geq I_{BS} = I_{CS}/\beta$ ， I_B 越大，饱和越深。饱和时基极电流是关键。

截止状态——射结反偏或正偏压小于死区电压、集电结反偏，射结偏压 $V_{BE} < V_r$ ， V_{BE} 越小，截止越可靠。截止时基极电压是关键。

②三极管开关转换过程需要经历一定的时间

开启时间 $t_{on} = t_d + t_r$ ，为三极管从截止到饱和所需要的时间；

关断时间 $t_{off} = t_s + t_f$ ，为三极管从饱和到截止所需要的时间。

三极管的开关时间，用来衡量饱和与截止两种状态转换的速度。

5. 绝缘栅场效应管

(1) 基本特点

①电压（电场）控制电流。

$$\Delta V_{GS} \xrightarrow{g_m} \Delta I_D$$

②栅极电流 $I_G = 0$ ，输入电阻高。

③仅有一种载流子（多数载流子）参与导电，属于“单极型”器件，温度稳定性好。

④源极 s、漏极 d 可以互换。

(2) 主要类型

$$\text{绝缘栅场效应管 (MOSFET)} \left\{ \begin{array}{l} \text{按工作方式分} \left\{ \begin{array}{l} \text{增强型} \\ \text{耗尽型} \end{array} \right. \\ \text{按沟道类型分} \left\{ \begin{array}{l} \text{NMOS (N 沟道)} \\ \text{PMOS (P 沟道)} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

(3) 工作原理

$$V_{DS} \text{ 的极性取决于导电沟道的类型} \left\{ \begin{array}{l} \text{N 沟道} \rightarrow V_{DS} > 0 \text{ (与 NPN 管类似)} \\ \text{P 沟道} \rightarrow V_{DS} < 0 \text{ (与 PNP 管类似)} \end{array} \right.$$

$$V_{GS} \text{ 取决于导电沟道类型和工作方式} \left\{ \begin{array}{l} \text{增强型} \left\{ \begin{array}{l} \text{N 沟道: } V_{GS} \geq V_T \\ \text{P 沟道: } V_{GS} < V_T \end{array} \right. \\ \text{耗尽型: } V_{GS} \geq 0 \text{ 或 } V_{GS} \leq 0 \end{array} \right. \quad (V_T \text{ 为开启电压})$$

利用栅极、源极之间电压 V_{GS} 改变导电沟道（反型层）的宽度，实现对漏极电流 I_D 的控制。

(4) 伏安特性曲线

增强型 NMOS 管的转移特性曲线如图 1-2 所示，输出特性（即漏极特性）曲线如图 1-3 所示。

转移特性曲线反映栅极电压 V_{GS} 对漏极电流 I_D 的控制作用，当 $V_{GS} < V_T$ 时 $I_D = 0$ ，当 $V_{GS} \geq V_T$ 时 $I_D > 0$ 。

输出特性曲线反映 V_{DS} 对 I_D 的影响及 V_{GS} 对 I_D 的控制作用，曲线范围分三个区：

非饱和区、饱和区和截止区。放大电路在饱和区工作；开关电路在非饱和区、截止区工作。

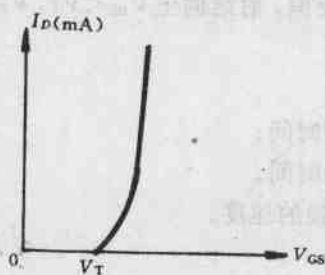


图 1-2

两种特性曲线的联系:

两种特性曲线不仅都与 V_{GS} 有关, 而且都以 I_D 为纵坐标, 所以, 如果已知输出特性曲线, 则可画出某个 V_{DS} 下的转移特性曲线。

(5) 导通和截止条件

控制场效应管的栅极和源极之间的电压 V_{GS} , 可使管子工作在导通和截止的开关状态, 对于增强型 MOS 管:

导通条件为 $|V_{GS}| \geq |V_T|$

截止条件为 $|V_{GS}| < |V_T|$

导通后的特点是, 漏极 d、源极 s 之间的电阻很小; 截止后的特点是漏极 d、源极 s 之间的电阻非常大。

(6) 使用注意事项

栅极 g 不能开路; 衬底 b 一般接到电路的最低电位点 (N 沟道) 或最高电位点 (P 沟道)。

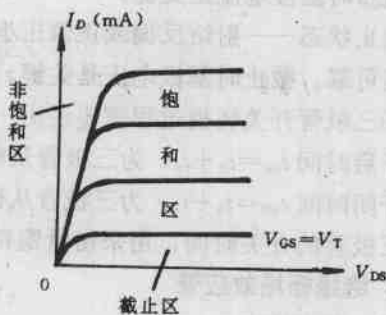


图 1-3

二、解题方法指导及例题

2-1 由 PN 结某一温度下的反向饱和电流求另一温度下的反向饱和电流

解题思路 将温度每升高 10°C , 反向饱和电流增加一倍的规律, 表示成数学式:

$$I_S(T) = I_S(T_0) \times 2^{\frac{T-T_0}{10}}$$

式中, I_S 表示反向饱和电流, T_0 表示起始温度, T 表示现时温度。

须注意, 上式的递增是按等比级数进行的, 而不是等差级数。

例 1 一个二极管的反向饱和电流在 25°C 时是 $10\mu\text{A}$, 设温度每增加 10°C , 反向电流增加一倍, 问在 60°C 时, 该二极管的反向饱和电流是多少?

解: 根据式 $I_S(T) = I_S(T_0) \times 2^{\frac{T-T_0}{10}}$, 用 $T_0 = 25^\circ\text{C}$, $T = 60^\circ\text{C}$, $I_S(T_0) = 10\mu\text{A}$ 代入, 得

$$I_S(T) = 10 \times 2^{\frac{60-25}{10}} = 113\mu\text{A}$$

2-2 已知反向饱和电流和外加电压求 PN 结中的电流

解题思路 已知 I_S 和外加电压 V 求电流 I , 属于理想 PN 结伏安关系求解问题。将给定的 I_S 、 V 代入 PN 结伏安方程式 $I = I_S(e^{\frac{V}{V_T}} - 1)$ 进行计算即可。

须注意: V 、 V_T 的单位要一致, 室温时 $V_T = 26\text{mV}$; I_S 很小, 一般直接给定的单位是 μA , 为便于书写计算结果, 将其变成 mA 单位。

例 2 已知室温时 PN 结的反向饱和电流 $I_S = 10\mu\text{A}$, 试分别计算正向电压为 0.1V , 0.2V , 0.3V 和 0.4V 时的正向电流为多少?

解: 将 $V_T = 26\text{mV}$ 、 $I_S = 10\mu\text{A} = 0.01\text{mA}$ 及 $V = 100\text{mV}$, 200mV , 300mV , 400mV 代入 $I = I_S(e^{\frac{V}{V_T}} - 1)$ 式中计算, 可得下表如示的结果:

V (V)	0.1	0.2	0.3	0.4
I (mA)	0.458	21.9	1025	8×10^3

2-3 求串、并联组合稳压二极管的稳定电压

解题思路 抓住凡是具有电流较大变化时端电压基本不变的元件都有稳压作用这一关键, 可知稳压二极管的正向伏安特性也有稳压作用, 只不过稳压值较低, 为 0.7V (稳压管一般为硅管), 而且稳压性能差些。

例 3 两个稳压二极管的稳压值分别为 $V_{Z1} = 6\text{V}$ 、 $V_{Z2} = 8\text{V}$, 试问将两个管子串联和并联, 可得到几种稳压值?

解: 两个管子串、并联的正、反向接法进行组合共有八种情况, 可得六种稳压值, 如图 1-4 所示。

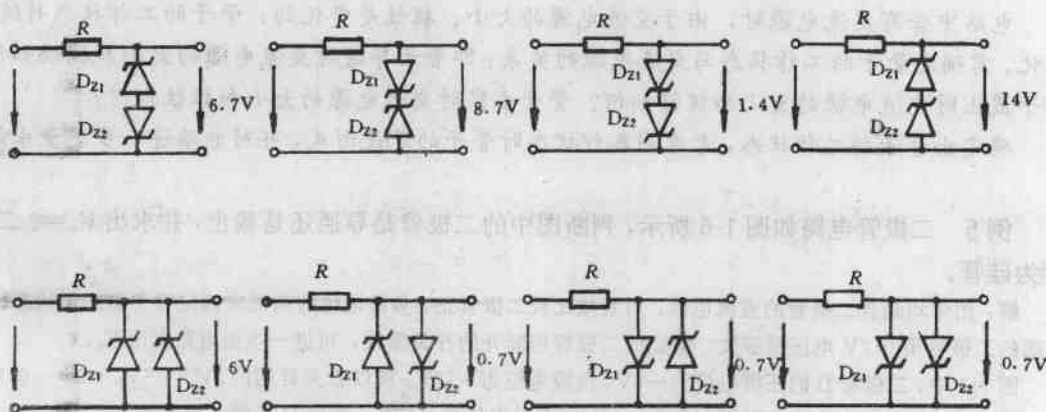


图 1-4

2-4 由二极管的伏安特性曲线求参数

解题思路 由参数的定义求解。在伏安特性曲线的正向特性部分, 电流开始不为零时的电压为 V_r ; 在伏安特性曲线的反向特性部分, 与横轴平行的一段曲线所对应的电流为 I_s , 电流开始剧增时的电压为 V_B 。

例 4 某二极管的伏安特性曲线如图 1-5 所示, 求该二极管的反向击穿电压 V_B =? 死区电压 V_r =? 并说明是硅材料还是锗材料制成的。

解: 由参数的定义及给定的伏安特性曲线有:
 $V_B=50V$, $V_r=0.5V$, 是由硅材料制成的。

注意: $V_B=50V$ 不要写成 $V_B=-50V$, 因 V_B 是反向击穿电压, “反向”已表明了电压的极性。

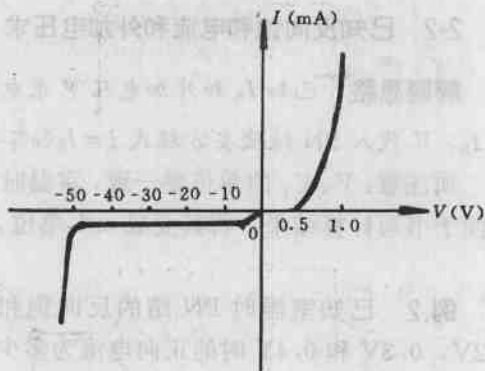


图 1-5

2-5 含二极管、稳压二极管电路的分析

解题思路 分析含有二极管、稳压二极管的电路, 关键是确定二极管、稳压二极管的工作状态, 并且要注意工作状态不仅与外加电压极性有关, 还与数值的大小有关。

导通状态——管子正极电位高于管子负极电位 (加正偏压), 且两端的电位差大于 V_D 。

截止状态——管子正极电位高于负极电位 (加正偏压), 但两端电位差小于 V_r , 或者管子正极电位低于负极电位 (加反偏压) 且电位差的数值小于击穿电压。

击穿状态——管子的正极电位低于负极电位 (加反偏压) 且电位差的数值大于击穿电压。

不给出击穿电压时, 认为击穿电压足够大, 管子反偏时截止; 稳压管的稳压值 V_Z 为击穿电压。

对于直流电路, 可直接通过比较管子正、负极电位的高低来判断管子的工作状态。

电路中含有交流电源时, 由于交流电源的大小、极性是变化的, 管子的工作状态将随之变化。需确定管子的工作状态与交流电源的关系: 即管子导通时交流电源的大小和极性如何? 管子截止时交流电源的大小和极性如何? 管子击穿时交流电源的大小和极性如何?

确定出管子的工作状态, 考虑到各种状态时管子的等效形式, 可对电路进一步定量求解。

例 5 二极管电路如图 1-6 所示, 判断图中的二极管是导通还是截止, 并求出 V_o =? 二极管为硅管。

解: 图中均是含二极管的直流电路, 可直接比较二极管正、负极电位的高低来确定管子的工作状态。将导通的二极管用 $0.7V$ 电压源等效、截止的二极管用断开的开关等效, 可进一步由电路求出 V_o 。

图 (a) 中, 二极管 D 的正极电位为 $-6V$, 负极电位为 $-12V$, 所以 D 是导通的, $V_o = -V_D - 6 = -6.7V$ 。

图 (b) 中, 二极管 D 的正极电位为 $-15V$, 负极电位为 $-12V$, 所以 D 是截止的, $V_o = -12V$ 。

图 (c) 中, 二极管 D_1 的正极电位为 $0V$, 负极电位为 $-12V$, D_2 的正极电位为 $-15V$, 负极电位为 $-12V$, 所以 D_1 正偏导通、 D_2 反偏截止, $V_o = -0.7V$ 。

图 (d) 中, 二极管 D_1 的正极电位为 $12V$, 负极电位为 $0V$, D_2 的正极电位为 $12V$, 负极电位为 $-3V$, 初