



21 世纪高职高专系列教材
21SHIJIGAOZHIGAOZHUANXILIEJIAOCAI

数字电子技术基础

SHU ZI DIAN ZI JI SHU JI CHU



张裕民 编著

西北工业大学出版社

数字电子技术基础

张裕民 编著

西北工业大学出版社

【内容简介】 本教材讲述的主要内容包括:逻辑门电路,逻辑代数基础,组合逻辑电路的分析与设计,各种触发器,时序逻辑电路的分析与设计,脉冲信号的产生与整形电路,存储与可编程逻辑器件,数/模和模/数转换器。

本书是成人高等教育教材,也可作为普通高等院校电子类、电气类、检测仪器类和自动控制类专业的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础/张裕民编著. —西安:西北工业大学出版社,2003.12
(21世纪高职高专系列教材)
ISBN 7-5612-1708-0

I. 数… II. 张… III. 数字电子—电子技术—高等学校:技术学校—教材
IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 100937 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路127号,邮编 710072

电 话:(029) 8493844, 8491147(兼传真)

网 址: www.nwpup.com

印 刷 者:陕西省兴平市印刷厂

开 本: 787mm×960mm 1/16

印 张: 18

字 数: 321千字

版 次: 2003年12月第1版 2003年12月第1次印刷

印 数: 1~5000册

定 价: 23.00 元

前 言

本教材主要是为了适应成人高等教育的需要而编写的,该书也可作为普通高等学校的教材。在编写过程中力求便于学生自学,因此,尽力做到精选内容,叙述简明,突出基本原理和方法,多举典型例题,以帮助学生巩固和加深对基本内容的理解和掌握,同时还能培养和训练学生分析问题和解决问题的能力。

本教材讲述的主要内容包括:逻辑门电路,逻辑代数基础,组合逻辑电路的分析与设计,各种触发器,时序逻辑电路的分析与设计,脉冲信号的产生与整形电路,存储与可编程逻辑器件,数/模和模/数转换器。在各章之后还选编了一定数量和难度适中的练习题,书后配有答案以供参考。

本教材对集成电路内部不做重点仔细分析,而着重其外特性和应用。

为了提高教学质量,加强实践性教学环节,在教学中应当配合有一定数量的教学实验。

本教材可作为高等学校电子类、电气类、检测仪器类和自控类等专业的数字电子技术基础课的教材或参考书使用。

由于编者水平有限,缺点和不足之处,诚恳希望读者批评指正。

编 者

2003 年 5 月

目 录

绪论	1
第一章 逻辑门电路	6
1.1 二极管的开关特性	6
1.1.1 静态特性	6
1.1.2 动态特性	7
1.2 三极管的开关特性	8
1.2.1 三极管的饱和与截止工作状态	8
1.2.2 三极管的开关时间	10
1.3 基本逻辑门电路	11
1.3.1 与门电路	11
1.3.2 或门电路	13
1.3.3 非门电路	14
1.3.4 TTL 反相器(非门)	15
1.4 复合门电路	16
1.4.1 TTL 与非门	16
1.4.2 或非门、与或非门、异或门和同或门	22
1.4.3 集电极开路与非门(OC 门)	23
1.4.4 三态输出门电路	25
1.4.5 发射极耦合门电路(ECL)	26
1.5 MOS 逻辑门电路	29
1.5.1 NMOS 反相器	29
1.5.2 NMOS 门电路	30
1.5.3 CMOS 门电路	31
1.5.4 CMOS 传输门(双向开关)	33
小结	34
习题一	35

第二章 逻辑代数基础	39
2.1 逻辑代数的基本定理和规则.....	39
2.1.1 逻辑代数的公理.....	39
2.1.2 基本定理(定律).....	39
2.1.3 三个重要规则(定理).....	41
2.1.4 异或逻辑及其运算规律.....	43
2.2 逻辑函数的表示法.....	44
2.2.1 真值表表示法.....	44
2.2.2 函数式表示法.....	44
2.2.3 逻辑图表示法.....	48
2.3 逻辑函数的化简.....	48
2.3.1 逻辑函数的公式化简法(代数化简法).....	48
2.3.2 逻辑函数的卡诺图化简法(几何化简法).....	49
2.3.3 其他类型的最简表达式.....	56
2.4 具有约束条件的逻辑函数.....	58
2.4.1 约束的概念和约束条件.....	58
2.4.2 具有约束条件的逻辑函数的化简.....	59
小结	60
习题二	61
第三章 组合逻辑电路	63
3.1 组合逻辑电路分析.....	63
3.1.1 组合逻辑电路的分析方法.....	63
3.1.2 组合逻辑电路的分析举例.....	63
3.2 编码器.....	65
3.2.1 键控 8421BCD 码编码器	65
3.2.2 8421BCD 码优先编码器	66
3.3 译码器.....	66
3.3.1 介绍几种译码器.....	67
3.3.2 七段数码显示、译码和驱动电路	70
3.4 数值比较器.....	75
3.5 奇偶产生器与检测器.....	77
3.6 算术运算电路.....	79
3.6.1 半加器和全加器.....	79

3.6.2	多位加法器	81
3.6.3	减法运算	82
3.7	数据选择器和数据分配器	84
3.7.1	数据选择器	84
3.7.2	数据分配器	87
3.8	组合逻辑电路的设计	89
3.8.1	组合逻辑电路设计的一般步骤	89
3.8.2	组合逻辑电路设计举例	89
3.9	组合逻辑电路的竞争冒险现象	95
3.9.1	冒险现象及判别方法	95
3.9.2	消除冒险现象的方法	98
小结		100
习题三		100
第四章	触发器	107
4.1	RS 触发器	107
4.1.1	基本 RS 触发器	107
4.1.2	同步 RS 触发器	109
4.2	JK 触发器	112
4.2.1	主从 JK 触发器	112
4.2.2	集成边沿触发的 JK 触发器	114
4.3	边沿触发 D 触发器和 D 锁存器	116
4.3.1	边沿触发 D 触发器	116
4.3.2	D 锁存器	118
4.4	CMOS 触发器	119
小结		120
习题四		120
第五章	时序逻辑电路	125
5.1	时序逻辑电路的分析方法	125
5.1.1	时序逻辑电路分析的一般步骤	125
5.1.2	时序逻辑电路的分析举例	125
5.2	寄存器	129
5.2.1	并行输入并行输出寄存器	129
5.2.2	移位寄存器	130

5.3 计数器	132
5.3.1 二进制计数器	133
5.3.2 十进制计数器	136
5.3.3 介绍几种中规模集成电路计数器	138
5.3.4 移位寄存器型计数器	147
5.4 顺序脉冲发生器	151
5.5 时序逻辑电路的设计	155
5.5.1 设计时序逻辑电路的原则和一般步骤	155
5.5.2 同步时序逻辑电路设计举例	156
5.5.3 异步时序逻辑电路设计举例	169
小结	171
习题五	171
第六章 脉冲信号的产生与整形电路	178
6.1 单稳态触发器	178
6.1.1 微分型单稳态触发器	178
6.1.2 积分型单稳态触发器	180
6.1.3 集成单稳态触发器	182
6.1.4 单稳态触发器的应用举例	184
6.2 多谐振荡器	186
6.2.1 自激多谐振荡器	186
6.2.2 带有 RC 延迟电路的环形振荡器	188
6.2.3 石英晶体多谐振荡器	189
6.3 施密特触发器	190
6.3.1 施密特触发器的电路和工作原理	190
6.3.2 施密特触发器的应用举例	193
6.4 555 定时器及其应用	196
6.4.1 555 定时器的电路	196
6.4.2 555 定时器的应用举例	198
小结	201
习题六	201
第七章 存储器和可编程器件	204
7.1 随机存取存储器(RAM)	204
7.1.1 静态六管存储单元	204

7.1.2 随机存储器(RAM)	205
7.1.3 存储容量的扩展	206
7.2 只读存储器(ROM)	208
7.2.1 固定只读存储器(掩模 ROM)	208
7.2.2 可编程的只读存储器(PROM)	211
7.2.3 可擦除的可编程存储器(EPROM)	212
7.3 可编程逻辑器件	213
7.3.1 概述	213
7.3.2 可编程阵列逻辑(PAL)	215
7.3.3 通用阵列逻辑(GAL)	221
7.3.4 现场可编程门阵列(FPGA)	229
7.3.5 PLD 的编程	231
7.3.6 在系统可编程逻辑器件(ISP - PLD)	233
小结	233
习题七	234
第八章 数/模和模/数转换	237
8.1 D/A 转换器	237
8.1.1 T 形电阻网络型和权电流型 D/A 转换器	237
8.1.2 D/A 转换器中的电子开关	239
8.1.3 D/A 转换器的输出方式	239
8.1.4 集成 D/A 转换器举例	241
8.1.5 D/A 转换器的主要技术参数	242
8.2 A/D 转换器	243
8.2.1 A/D 转换的一般步骤和采样定理	243
8.2.2 直接 A/D 转换器	246
8.2.3 间接 A/D 转换器	249
8.2.4 A/D 转换器的主要技术参数	252
小结	252
习题八	253
习题参考答案	255
参考文献	277

绪 论

一、数字电路的特点

1. 模拟电路和数字电路

电信号可分为4种:模拟信号、数字信号、调制信号及开关信号。前3种信号在数值上可以互相转换。

模拟信号——在时间上和数值上是连续的信号,如表示压力、温度等物理量的信号。

数字信号——用某种编码表示的数值或其他特定的含义,在时间上和数值上是离散的信号。

模拟量一旦数字化就必然变成离散量了。如仪表指针的指示,温度计汞柱的指示等,给出的均属模拟量,一旦读出具体的数值就是离散的数字量了。

调制信号——以高频振荡为载波,设法使载波的振幅、频率或相位的变化与所需要的信号发生相应的联系,这种信号叫调制信号。它分为调幅、调频和调相3种,广泛地应用于通信、广播、电视、导航等方面。

开关信号——也叫做状态信号,它不表示数量的大小,只表示状态,如电气状态(接通或断开)、运动状态(运动或停止)、设备状态(正常或故障)、报警状态等。

模拟电路是处理模拟信号的电路,如放大、振荡、滤波、模拟信号的运算与处理等。

数字电路是处理数字信号的电路,如传送、存储、变换、算术运算和逻辑运算等。数字电路广泛应用于计算机、通信、工程控制、测量仪器、信号处理和图像显示等方面。

2. 数字电路的特点

(1) 在数字电路中,二极管和三极管主要是工作在开关状态,即导通或截止状态。

(2) 数字单元电路(即门电路、触发器等)结构简单,便于集成化,对电子元件的精度要求不高,只要电路能可靠地区分高、低电平即可,但整体电路的精度可达到很高。

(3) 数字电路所研究的问题是输入和输出的高、低电平间的逻辑关系。

(4) 数字电路的理论基础和数学工具是逻辑代数。

(5) 分析和设计数字电路是利用真值表、卡诺图、逻辑函数、特性方程、状态方程、状态转换图和时序图等来进行的。

(6) 数字电路的功能是完成数字信号的传送、存储、图像显示、算术运算和逻辑运算。

二、计数体制

1. 十进制数

十进制数是以“10”为计数基数的计数体制。在十进制数中表示数值的共有 10 个数码,即 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,另外还有一个小数点“.”,计数的规律是逢十进一。如十进制数

$$(484.8)_{10} = 4 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 4 \times 10^0 + 8 \times 10^{-1}$$

数码所在的位置不同所代表的数值也不同,把 10^n 称为十进制数码所在位置的“权数”,(简称“权”),指数 n 可以为正、负整数或零。小数点左移一位,所表示的数值是原来的 $\frac{1}{10}$,小数点右移一位,所表示的数值就是原来的 10 倍。数的下标“10”表示该数是十进制数。

2. 二进制数

二进制数是以“2”为计数基数的计数体制,在二进制数中表示数值的只有两个数码,即 0 和 1,计数规律是逢二进一,小数点左移一位,所表示的数值是原来的 $\frac{1}{2}$ 倍,小数点右移一位,其数值是原来的 2 倍,数的下标“2”表示该数是二进制数。如:

$$\begin{aligned}(111.01)_2 &= (1 \times 2^2 + 1 \times 2 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2})_{10} = \\ &= (4 + 2 + 1 + 0 + 0.25)_{10} = (7.25)_{10}\end{aligned}$$

3. 十六进制数

十六进制数是以“16”为计数基数的计数体制。在十六进制数中表示数值的有 16 个数码,即 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F。它们与十进制数和二进制数的对应关系如表 1 所示。数的下标“16”是表示该数是十六进制数。如:

$$(2A.C)_{16} = (2 \times 16^1 + 10 \times 10^0 + 12 \times 16^{-1})_{10} = (42.75)_{10}$$

16^n 是十六进制数码所在位置的“权”。计数规律是逢十六进一,小数点左移一位所表示的数值是原来的 $\frac{1}{16}$,小数点右移一位,其数值是原来的 16 倍。

表 1 几种计数制之间的对应关系

十进制数	二进制数	十六进制数	十进制数	二进制数	十六进制数
0	0 0 0 0	0	8	1 0 0 0	8
1	0 0 0 1	1	9	1 0 0 1	9
2	0 0 1 0	2	10	1 0 1 0	A
3	0 0 1 1	3	11	1 0 1 1	B
4	0 1 0 0	4	12	1 1 0 0	C
5	0 1 0 1	5	13	1 1 0 1	D
6	0 1 1 0	6	14	1 1 1 0	E
7	0 1 1 1	7	15	1 1 1 1	F

三、各种计数制之间的转换

转换的方法有 3 种：即多项式替代法、基数乘除法和数码直接代换法。

1. 多项式替代法

即利用“权”展开。

例如，将二进制数转换成十进制数：

$$(1010.1111)_2 = (1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} + 1 \times 2^{-4})_{10} = (10.9375)_{10}$$

2. 基数乘除法

例如，将十进制数 $(22.85)_{10}$ 转换成二进制数时，整数部分与小数部分要分别转换。

整数部分除 2 取余：

$$\begin{array}{ccccccc}
 0 & \xleftarrow{\div 2} & 1 & \xleftarrow{\div 2} & 2 & \xleftarrow{\div 2} & 5 & \xleftarrow{\div 2} & 11 & \xleftarrow{\div 2} & 22 \\
 & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & \\
 & 1 & & 0 & & 1 & & 1 & & 0 & \cdots \cdots \text{余数}
 \end{array}$$

高位低位

一直除到商等于 0 为止，余数就是整数部分转换成的二进制数。

小数部分乘 2 取整：

$$\begin{array}{ccccccc}
 0.85 & \xrightarrow{\times 2} & 0.7 & \xrightarrow{\times 2} & 0.4 & \xrightarrow{\times 2} & 0.8 & \xrightarrow{\times 2} & 0.6 & \xrightarrow{\times 2} & 0.2 & \xrightarrow{\times 2} & 0.4 \\
 & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & \\
 & 1 & & 1 & & 0 & & 1 & & 1 & & 0 & \cdots \cdots \text{整数}
 \end{array}$$

高位低位

小数部分乘 2 取整,取出的整数部分就是十进制数的小数部分转换成的二进制数。有时取不尽,可根据精度要求取到一定位数,最末一位可四舍五入。即被舍去的那位是“1”时,就要进上来,结果为:

$$(22.85)_{10} \approx (10110.11011)_2$$

3. 数码直接代换法

十六进制数与二进制数相互转换时用此法比较简单,就是直接利用一位十六进制数与四位二进制数的对应关系。

例如:将十六进制数 $(70A5.B)_{16}$ 转换成二进制数

$$(70A.5B)_{16} = \begin{array}{cccc} 0111 & 0000 & 1010 & 0101 & 1011 \\ \hline 7 & 0 & A & 5 & B \end{array}_2$$

例如,将二进制数 $(1010110.110101)_2$ 转换成十六进制数。转换时取整数部分由低位向高位每四位分一组,最高位一组不足四位时可在最高位前补“0”。取小数部分由高位向低位每四位分一组,最低位一组不足四位时可在最低位之后补“0”,每一组便可利用一位十六进制数来表示。

$$(1010110.110101)_2 = (0101 \ 0110.1101 \ 0100)_2 = (56.D4)_{16}$$

四、二进制计数的特点

(1) 二进制计数只有两个数码,在工程上易于表示,使用方便可靠。

(2) 运算简便。两个一位十进制数相加(或相减)共有多少种呢?一位十进制数的值可能是从 0 到 9 十个数中的任何一个,两个一位数相加的形式可能是 10 个数中任两个数的组合,即 C_{10}^2 ,还要考虑自己加自己的情况,因此两个一位十进制数相加(或相减)共有:

$$[C_{10}^2 + (\text{自己} + \text{自己})] = \frac{10 \times 9}{2 \times 1} + 10 = 55 \text{ 种}$$

两个一位二进制数相加(或相减)共有多少种呢?分析方法同前,即

$$[C_2^2 + (\text{自己} + \text{自己})] = 3 \text{ 种}$$

同理,两个一位十进制数相乘,有 55 种,两个一位二进制数相乘,有 3 种。种类越少,运算越简便,在电路中越容易实现。

(3) 用物理状态表示二进制数最节省设备。在计算机中数的表示是用物理状态来实现的,如电压的高低等。若表示相同的数值,只有采用二进制数时所用的物理状态最少,因而也就是最节省设备。如将从 $(000)_{10}$ 到 $(999)_{10}$ 这 1 000 个数用相应的物理状态表示出来,这三位数中每一位都可能出现从 0 到 9 这 10 个数码中的任何一个,因此表示这 1 000 个数要用 30 个物理状态。而用二进制数表示为 1 000 个数是 $(0000000000)_2$ 到 $(1111100111)_2$ 共 10 位,每位只能是两个数码中的一个,因此,只需 20 个物理状态即可表示,状态越少,

用的设备越少。

(4) 便于使用逻辑代数。逻辑代数为分析和设计二进制系统和计算机提供了有效的工具。

(5) 二进制计数的缺点是人们不太习惯,这个缺点是可以得到改善的。如输入计算机时用十进制数输入,而在机器内部则转成二进制数进行运算、操作,输出或打印时,又可转成十进制数。

五、介绍几种 BCD 码

用四位二进制数的数码 0 和 1 来表示十进制数,都叫做“BCD”码。

1. 8421BCD 码

用四位二进制数表示十进制数中 0~9 的 10 个数时,这四位二进制数码的“权”符合 8421 的规律,这种编码叫 8421BCD 码。

例如

$$\begin{array}{ccc}
 \text{百位} & \text{十位} & \text{个数} \\
 (9\ 3\ 5)_{10} = (1\ 0\ 0\ 1 & 0\ 0\ 1\ 1 & 0\ 1\ 0\ 1)_{8421\text{BCD}} \\
 \vdots & \vdots & \vdots \\
 \text{权数} & (8\ 4\ 2\ 1) \times 10^2 & (8\ 4\ 2\ 1) \times 10^1 & (8\ 4\ 2\ 1) \times 10^0 \\
 (427.6)_{10} = (0100\ 0010\ 0111.0110)_{8421\text{BCD}}
 \end{array}$$

2. 其他 BCD 码

在表 2 中列出了几种 BCD 码,其中有权码 4 种,无权码 2 种。

表 2 十进制数与几种 BCD 码之间的对应关系

十进制数	加 权 码				无 权 码	
	8421 码	2421 码	5421 码	84-2-1 码	余 3 码	循环码
0	0000	0000	0000	0000	0011	0010
1	0001	0001	0001	0111	0100	0110
2	0010	0010	0010	0110	0101	0111
3	0011	0011	0011	0101	0110	0101
4	0100	0100	0100	0100	0111	0100
5	0101	1011	0101	1011	1000	1100
6	0110	1100	0110	1010	1001	1101
7	0111	1101	0111	1001	1010	1111
8	1000	1110	1011	1000	1011	1110
9	1001	1111	1100	1111	1100	1010

第一章 逻辑门电路

门电路是数字电路中最基本的单元电路。门电路的输入量与输出量满足一定的逻辑关系,按其逻辑功能来分,有与门电路、或门电路、与非门电路、或非门电路……。用门电路可以组成各种复杂的逻辑电路,用以实现任何所要求的逻辑功能。本章着重介绍集成 TTL 门电路、NMOS 门电路和 CMOS 门电路,主要要掌握这些门电路的特点、外部特性和逻辑功能,对其内部电路也要做一些了解,以有助于合理地选择和正确地使用。

1.1 二极管的开关特性

脉冲数字电路中的二、三极管和场效应管基本上都工作在开关状态,即饱和导通和截止状态。因此必须了解它们在开关状态下工作的特点,同时还要研究它们在“开”与“关”这两种状态转换过程中所出现的问题。

理想开关的条件是:接通时,开关电阻等于零,即在开关上无压降;断开时,开关电阻等于无穷大,即没有电流流过开关。常见的开关有闸刀式、按钮式、拉线式等。这些机械开关近于理想开关,但属于机械触点式,其惯性大,体积大,重量大,功耗大,有时产生颤动和火花,易损坏,寿命短,速度很低,每分钟在几千次以内。用晶体管做开关就能克服机械开关的缺点,虽然不是理想开关,但是能满足数字电路的要求。

二极管电路如图 1.1.1(a)所示,二极管的特性如图 1.1.1(b)所示, u_D 为二极管两端的电压。

1.1.1 静态特性

输入电压 u_1 的波形如图 1.1.1(c) 的上图所示,正向电压值为 U_1 ,反向电压值为 $-U_2$,在不考虑动态变化过程的条件下,其正向导通电流为

$$I_1 = \frac{U_1 - U_D}{R_L}$$

式中 U_D 为二极管导通时的正向压降(硅管 $U_D \approx 0.7\text{ V}$,锗管 $U_D \approx 0.2\text{ V}$),当输入电压 u_1 为反向电压 $-U_2$ 时,流过二极管和 R_L 中的电流为 $-I_s$,与输入 u_1 相对应的电流波形如图 1.1.1(c) 中的下图粗实线所示。由以上分析可见,二极管开关不是理想开关,正向导通时有压降 U_D ,反向截止时有反向饱和电流 I_s 。

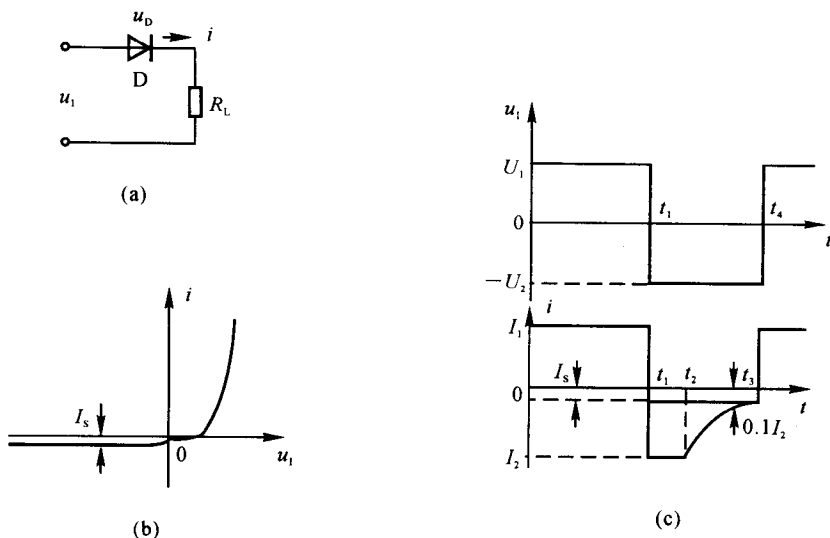


图 1.1.1 二极管开关特性

(a) 电路；(b) 二极管的伏安特性；(c) 二极管的动态特性

1.1.2 动态特性

1. 二极管从正向导通到反向截止的动态过程

如图 1.1.1(c) 所示,在 $t = t_1$ 时,输入电压 u_i 由 $+U_1$ 突变到 $-U_2$,而二极管不能立刻截止,因为二极管有电容效应(PN 结的势垒电容和扩散电容),电容两端的电压不能突变,也就是存在电容充放电的渐变过程。在输入电压突变的瞬间,二极管仍维持突变前的压降值 U_D 和极性,这瞬间的反向电流为

$$I_2 = -\frac{U_2 + U_D}{R_L}$$

当 $t = t_2$ 时存储电荷基本消散,反向电流开始下降。当 $t = t_3$ 时,反向电流降到 $0.1I_2$ 。

$t_s = t_2 - t_1$ 叫存储时间。这是消散存储电荷的时间,体现了扩散电容效应。

$t_t = t_3 - t_2$ 叫下降时间。这段时间势垒区变宽的过程,体现了势垒电容效应。

$t_{re} = t_s + t_t$ 叫反向恢复时间。

二极管作开关是利用它的单向导电特性,当外加电压频率较高,输入的反向电压保持的时间小于 t_{re} 时,二极管就失去了单向导电的特性,也就不能作开关了。

t_{re} 的大小不仅取决于二极管的结构,而且也与工作情况有关。结面积大,则 t_{re} 大;正向导通电流大,存储电荷多, t_{re} 也大。反向电压大时存储电荷消散得快, t_{re} 减小。通常开关管的 t_{re} 都在 ns(纳秒)级,如开关管 2CK 型的 $t_{re} \leq 5 \text{ ns}$ 。

2. 二极管从反向截止到正向导通

当输入电压 u_i 由 $-U_2$ 突变到 $+U_1$ 时,首先要使 PN 结的势垒区变窄,而后还要建立一定的扩散电荷的浓度分布,这都需要有个过程。不过这个过程是由多数载流子迅速地扩散运动来完成的,因此,时间非常短促,可以忽略不计,故在图 1.1.1(c) 中未表示出来。

1.2 三极管的开关特性

1.2.1 三极管的饱和与截止工作状态

三极管电路及图解分析如图 1.2.1(a), (b) 所示。

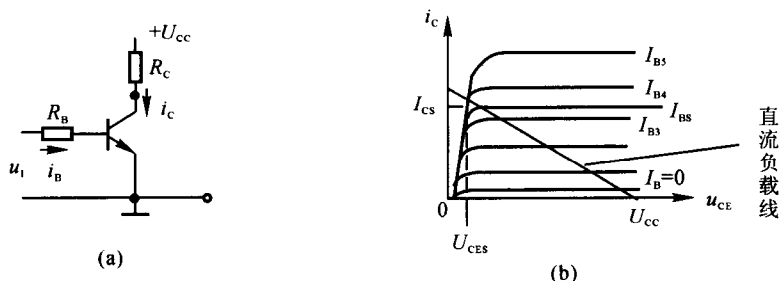


图 1.2.1 三极管的工作状态

(a) 电路; (b) 工作状态图解

三极管是一种电流放大元件,如以 i_B 为输入电流, i_C 为输出电流,如图 1.2.1(a) 所示,则两者的关系满足

$$i_C = \beta i_B + I_{CEO} \approx \beta i_B$$

式中 β 为电流放大系数,三极管的输出特性如图 1.2.1(b) 所示。从图 1.2.1(a) 中可得出管压降 u_{CE} 为

$$u_{CE} = U_{CC} - i_C R_C$$

式中 U_{CC} 和 R_C 是固定的常数, u_{CE} 与 i_C 的关系是一条直线,反映在三极管的输出特性图中就是一条直流负载线,如图 1.2.1(b) 所示。

1. 饱和工作状态

从图 1.2.1(b) 所示的直流负载线上可以看出,随着基极电流 i_B 的增加,