

# 《数字电路》教案

## 序言

### 1. 课程性质

《数字电子技术基础》课程是电气信息类专业具入门性质的重要的专业基础课。

### 2. 课程目标

获得适应信息时代的数字电子技术方面的基本理论、基本知识和基本技能。培养分析和解决实际问题的能力，为以后深入学习数字电子技术及其相关学科和专业打好以下两方面的基础：

- 1、正确分析、设计数字电路，特别是集成电路的基础；
- 2、为进一步学习设计专用集成电路(ASIC)的基础。

### 3. 课程研究内容

数字信号传输、变换、产生等。内容涉及相关器件、功能电路及系统。

- |    |                   |
|----|-------------------|
| 硬件 | 处理数字信号的电子电路及其逻辑功能 |
|    | 数字电路的分析方法         |
|    | 数字电路的设计方法         |
|    | 各种典型器件在电子系统中的应用   |

软件 系统分析、设计的软件工具——ABEL、VHDL、  
VerlogHDL、EDA 工具软件 QuartusII等

#### 4.课程特点与学习方法

##### (1)课程特点

a、发展快 b、应用广 c、工程实践性强

摩尔定律:集成度按 10 倍/6 年的速度发展。

##### (2)学习方法

打好基础、关注发展、主动更新、注重实践

a、掌握基本概念、基本电路和基本分析、设计方法

b、能独立的应用所学的知识去分析和解决数字电路的实际  
问题的能力。

#### 5.主要教材及参考书

阎石主编《数字电子技术基础.》第四版高等教育出版社

蔡惟铮主编《基础电子技术》《集成电子技术》高等教育出版社

郑家龙、王小海主编《集成电子技术基础教程》高等教育出版社

电子工程手册编委会等编. 中外集成电路简明速查手册-TTL

CMOS . 电子工业出版社

王金明,杨吉斌编.《数字系统设计与 VerliogHDL 》电子工业出

出版社

罗杰、谭力编.《数字 ASIC 设计》讲义

## 第一章 数字逻辑基础

### 1.1 数字电路与数字信号

#### 1.1.1 数字技术的发展及其应用

60~70 代- IC 技术迅速发展: SSI、MSI、LSI、VLSI。10 万个晶体管/片。

80 年代后- ULSI, 10 亿个晶体管/片、ASIC 制作技术成熟

90 年代后- 97 年一片集成电路上有 40 亿个晶体管。

目前-- 芯片内部的布线细微到亚微米(0.13~0.09  $\mu\text{m}$ ) 量级, 微处理器的时钟频率高达 3GHz (109Hz)

将来- 高分子材料或生物材料制成密度更高、三维结构电路

发展特点: 以电子器件的发展为基础

电子管时代

晶体管时代

半导体集成电路

电路设计方法伴随器件变化从传统走向现代

a) 传统的设计方法:

采用自下而上的设计方法; 由人工组装,经反复调试、验证、修改完成。所用的元器件较多, 电路可靠性差,设计周期长。

b) 现代的设计方法:

现代 EDA 技术实现硬件设计软件化。采用从上到下设计方法, 电路设计、分析、仿真、修订全通过计算机完成。

EDA (Electronics Design Automation) 技术

EDA 技术以计算机为基本工具、借助于软件设计平台, 自动完成数字系统的仿真、逻辑综合、布局布线等工作。最后下载到芯片, 实现系统功能。使硬件设计软件化。

1、设计:

在计算机上利用软件平台进行设计

设计方法: 原理图设计、VerilogHDL 语言设计、状态机设计

2、仿真 3、下载 4、验证结果

1.1.2 数字集成电路的分类及特点

1、数字集成电路的分类

根据电路的结构特点及其对输入信号的响应规则的不同,

—数字电路可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路。

从电路的形式不同，

—数字电路可分为集成电路和分立电路

从器件不同

—数字电路可分为 TTL 和 CMOS 电路

从集成度不同

—数字集成电路可分为小规模、中规模、大规模、超大规模和甚大规模五类。

集成度:每一芯片所包含的门个数

表 1.1.1

## 2、数字集成电路的特点

- 1) 电路简单,便于大规模集成,批量生产
- 2) 可靠性、稳定性和精度高,抗干扰能力强
- 3) 体积小,通用性好,成本低.
- 4) 具可编程性,可实现硬件设计软件化
- 5) 高速度 低功耗
- 6) 加密性好

## 3、数字电路的分析、设计与测试

## (1) 数字电路的分析方法

数字电路分析:根据电路确定电路输出与输入之间逻辑关系。

分析工具: 逻辑代数。

电路逻辑功能主要用真值表、功能表、逻辑表达式和波形图。

## (2) 数字电路的设计方法

数字电路的设计:从给定的逻辑功能要求出发, 选择适当的逻辑器件, 设计出符合要求的逻辑电路。

设计方式:分为传统的设计方式和基于 EDA 软件的设计方式。

### 1. 1. 3 数字信号与数字信号

#### 1. 模拟信号



--时间和数值均连续变化的电信号,  
如正弦波、三角波等

#### 2、数字信号 --在时间上和数值上均是离散的信号。





数字电路和模拟电路：工作信号，研究的对象不同，

分析、设计方法以及所用的数学工具也相应不同

### 3、模拟信号的数字表示

由于数字信号便于存储、分析和传输，通常都将模拟信号转换为数字信号。

## 模数转换实现

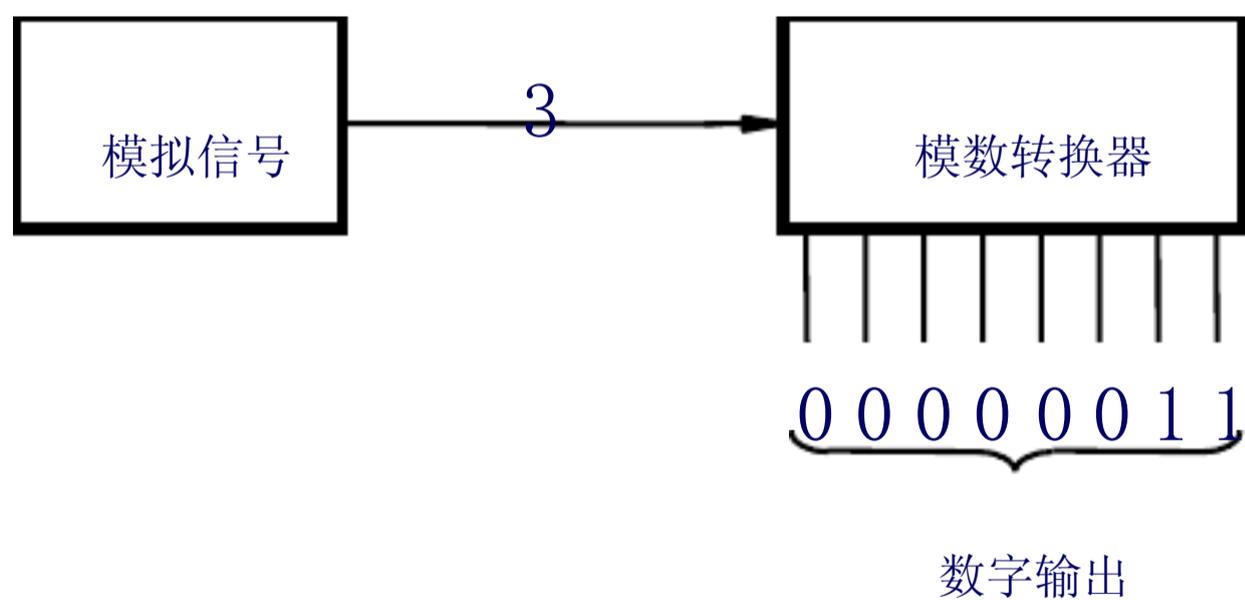


图 1.1.1

### 1.1.4 数字信号的描述方法

#### 1、二值数字逻辑和逻辑电平

二值数字逻辑:0、1 数码--表示数量时称二进制数

--表示事物状态时称二值逻辑

表示方式

a 、在电路中用低、高电平表示 0、1 两种逻辑状态

逻辑电平与电压值的关系（正逻辑）

表 1.1.2

2、数字波形----是信号逻辑电平对时间的图形表示.

图 1.1.2

(1)数字波形的两种类型: \*非归零型\*归零型

图 1.1.3

(2)周期性和非周期性

图 1.1.4

例 1.1.1 例 1.1.2

(3)实际脉冲波形及主要参数

图 1.1.5

周期 (T) ---- 表示两个相邻脉冲之间的时间间隔

脉冲宽度 ( $t_w$ ) ---- 脉冲幅值的 50% 的两个时间所跨越的

时间

占空比  $Q$  -----表示脉冲宽度占整个周期的百分比

上升时间  $t_r$  和下降时间  $t_f$  -从脉冲幅值的 10% 到 90% 上升

下降所经历的时间( 典型值  $n_s$  )

(4)时序图---表明各个数字信号时序关系的多重波形图。

由于各信号的路径不同，这些信号之间不可能严格保持同步关系。为了保证可靠工作，各信号之间通常允许一定的时差，但这些时差必须限定在规定范围内，各个信号的时序关系用时序图表达。

图 1.1.7

## 1.2 数制

数制:多位数码中的每一位数的构成及低位向高位进位的规则

### 1.2.1 十进制

数码:0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, ,7, 8,逢9+进一”

4587.29=4 10<sup>3</sup>+5 10<sup>2</sup>+8 10<sup>1</sup>+7 10<sup>0</sup>+2 10<sup>-1</sup>+9 10<sup>-2</sup>

一般表达式:  $(N)_D = \sum_{i=0}^n K_i 10^i$

各位的权都是 10 的幂。

任意进制数的一般表达式为:  $(N)_r = \sum_{i=0}^n K_i r^i$

## 1.2.2 二进制

表示方法 数码:0、1, “逢二进一”。

例如:  $1+1=10=1 \times 2_1 + 0 \times 2_0$

二进制数的一般表达式为:  $(N)_B = \sum_{i=0}^{K-1} K_i 2^i$

各位的权都是 2 的幂。

## 2、二进制的优点

- (1) 易于电路表达--0、1 两个值, 可以用管子的导通或截止, 灯泡的亮或灭、继电器触点的闭合或断开来表示。
- (2) 二进制数字装置所用元件少, 电路简单、可靠。
- (3) 基本运算规则简单, 运算操作方便。

## 3、二进制数波形表示 图 1.2.1

## 4、二进制数据的传输

(1) 二进制数据的串行传输图 1.2.2

(2) 二进制数据的并行传输: 将一组二进制数据所有位同时传送。传送速率快, 但数据线较多, 而且发送和接收设备较复杂。

## 图 1.2.3

## 1.2.3 二-十进制之间的转换

## 1)、十进制数转换成二进制数： 整数部分 小数部分

## a. 整数的转换：

“辗转相除”法：将十进制数连续不断地除以 2，直至商为零，所得余数由低位到高位排列，即为所求二进制数

例 1.2.2    例 1.2.3

## b. 小数的转换：

对于二进制的小数部分可写成

$$(N)_D = b_1 \cdot 2^{-1} + b_2 \cdot 2^{-2} + \dots + b_{(n-1)} \cdot 2^{-(n-1)} + b_n \cdot 2^{-n}$$

将上式两边分别乘以 2，得

$$2(N)_D = b_1 \cdot 2^0 + b_2 \cdot 2^{-1} + \dots + b_{(n-1)} \cdot 2^{-(n-2)} + b_n \cdot 2^{-(n-1)}$$

由此可见，将十进制小数乘以 2，所得乘积的整数即为  $b_1$

不难推知，将十进制小数每次除去上次所得积中的整数再乘以 2，直到满足误差要求进行“四舍五入”为止，就可完成由十进制小数转换成二进制小数。

例 将十进制小数  $(0.39)_D$  转换成二进制数，要求精度达到 0.1%

$$0.39_D = 0.0110001111_B$$

## 1.2.4 十六进制和八进制

### 1. 十六进制

数码:0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F,

“逢十六进一”。各位的权均为 16 的幂。

例如:  $(A6.C)_H = 10 \cdot 16^1 + 6 \cdot 16^0 + 12 \cdot 16^{-1}$

一般表达式:  $(N)_H = \sum_{i=m}^{n-1} a_i \cdot 16^i$

### 2. 二进制和十六进制之间的转换

二进制转换成十六进制:

因为 16 进制的基数  $16=2^4$ , 所以, 可将四位二进制数表示

一位 16 进制数, 即 0000 ~ 1111 表示 0-F。

例  $(1110)_B = (78AE)_H$

十六进制转换成二进制:

将每位 16 进制数展开成四位二进制数, 排列顺序不变即可。

例  $(BEEF)_H = (1011\ 1110\ 1110\ 1111)_B$

### 3. 八进制

数码:0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, “逢八进一”。各位的权都是 8 的幂。

八进制就是以 8 为基数的计数体制。

$$(N)_8 = \sum_{i=m}^{n-1} a_i \cdot 8^i$$

## 一般表达式

### 4、二-八进制之间的转换

- 因为八进制的基数  $8=2^3$ ，所以，可将三位二进制数表示一位八进制数，即  $000 \sim 111$  表示  $0 \sim 7$

转换时，由小数点开始，整数部分自右向左，小数部分自左向右，三位一组，不够三位的添零补齐，则每三位二进制数表示一位八进制数。

例  $(10110.011)_B = (26.3)_D$

将每位八进制数展开成三位二进制数，排列顺序不变即可。

例  $(752.1)_D = (111\ 101\ 010.001)_B$

### 5.十六进制的优点：

- 1、) 与二进制之间的转换容易；
- 2、) 计数容量较其它进制都大。假如同样采用四位数码，

二进制最多可计至  $(1111)_B = (15)_D$

八进制可计至  $(7777)_D = (2800)_D$ ；

十进制可计至  $(9999)_D$ ；

十六进制可计至  $(FFFF)_H = (65535)_D$ ，即 64K。其容量

最大。

3、) 书写简洁。

### 1.3 二进制的算术运算

#### 1.3.1 无符号数算术运算

##### 1、二进制加法

无符号二进制的加法规则： $0+0=0$ ， $0+1=1$ ， $1+1=10$

例 1.3.1

##### 2. 二进制减法

无符号二进制数的减法规则：

$0-0=0$ ， $1-1=0$ ， $1-0=1$ ， $0-1=11$

例 1.3.2 计算两个二进制数 1010 和 0101 的差。

##### 3、乘法和除法

例 1.3.3 计算两个二进制数 1010 和 0101 的积。

例 1.3.4 计算两个二进制数 1010 和 111 之商。

#### 1.3.2 带符号二进制的减法运算

有符号的二进制数表示：

二进制数的最高位表示符号位，且用 0 表示正数，用 1 表示负数。其余部分用原码的形式表示数值位。

$$(+11)D = (0\ 1011) B$$

$$(-11)D = (1\ 1011) B$$

### 1. 二进制数的补码表示

补码或反码的最高位为符号位，正数为 0，负数为 1。

当二进制数为正数时，其补码、反码与原码相同。

当二进制数为负数时，将原码的数值位逐位求反，然

后在最低位加 1 得到补码。

### 2. 二进制补码的减法运算

减法运算的原理:减去一个正数相当于加上一个负数

$A - B = A + (-B)$ ，对  $(-B)$  求补码，然后进行加法运算。

例 1.3.7 试用 4 位二进制补码计算  $5 - 2$

### 3. 溢出

例 1.3.8 试用 4 位二进制补码计算  $5+7$ 。

解决溢出的办法:进行位扩展.

### 4. 溢出的判别

$\begin{array}{r} 4 \\ ) 3 \\ \hline 7 \end{array}$	$\begin{array}{r} 0\ 1\ 0\ 0 \\ \hline 0\ 0\ 1\ 1\ 1 \end{array}$	$\begin{array}{r} 5 \\ ) 3 \\ \hline 8 \end{array}$	$\begin{array}{r} 1\ 0\ 1\ 1 \\ \hline 1\ 1\ 0\ 1 \\ \hline 1\ 1\ 0\ 0\ 0 \end{array}$
$\begin{array}{r} 2 \\ ) 6 \\ \hline 8 \end{array}$	$\begin{array}{r} 0\ 0\ 1\ 0 \\ \hline 0\ 1\ 1\ 0 \\ \hline 0\ 1\ 0\ 0\ 0 \end{array}$	$\begin{array}{r} 3 \\ ) 6 \\ \hline 9 \end{array}$	$\begin{array}{r} 1\ 1\ 0\ 1 \\ \hline 1\ 0\ 1\ 0 \\ \hline 1\ 0\ 1\ 1\ 1 \end{array}$

当方框中的进位位与和数的符号位（即 b3 位）相同时，则运算结果是错误的，产生溢出。

## 1.4 二进制代码

码制:编制代码所要遵循的规则

二进制代码的位数(n),与需要编码的事件（或信息）的个数

(N)之间应满足以下关系： $2^{n-1} \leq N \leq 2^n$

### 1.4.1 二—十进制码（数值编码）(BCD 码 Binary Code Decimal )

用 4 位二进制数来表示一位十进制数中的 0~9 十个数码。

从 4 位二进制数 16 种代码中,选择 10 种来表示 0~9 个数码的方案有很多种。每种方案产生一种 BCD 码。

表 1.4.1 几种常见的 BCD 码

#### (2) 各种编码的特点

有权码：编码与所表示的十进制数之间的转算容易

如(10010000) 8421BCD=(90) D

余3码的特点:当两个十进制的和是10时,相应的二进制正好是16,于是可自动产生进位信号,而不需修正.0和9,1和8,……6和4的余3码互为反码,这对在求对于10的补码很方便。

余3码循环码：相邻的两个代码之间仅一位的状态不同。

按余3码循环码组成计数器时,每次转换过程只有一个触发器翻转,译码时不会发生竞争一冒险现象。

### (3) 求BCD 代码表示的十进制数

对于有权BCD 码,可以根据位权展开求得所代表的十进制数。

例如： $[0111]_{8421BCD} = (7)_{10}$

$(1101)_{2421BCD} = (7)_{10}$

### (4) 用BCD 代码表示十进制数

对于一个多位的十进制数,需要有与十进制位数相同的几组BCD 代码来表示。例如：

$$\begin{array}{rcccccccc}
 463.5 & & \underline{0100} & \underline{0110} & \underline{0011} & . & \underline{0101} & & \\
 & 10 & & & & & & & \\
 & & 4 & 6 & 3 & & 5 & & 8421BCD \\
 \\
 863.2 & & \underline{1110} & \underline{1100} & \underline{0011} & . & \underline{0010} & & \\
 & 10 & & & & & & & \\
 & & 8 & 6 & 3 & & 2 & & 2421BCD
 \end{array}$$

### 1.4.2 格雷码

格雷码是一种无权码

- 编码特点是：任何两个相邻代码之间仅有一位不同。
- 该特点常用于模拟量的转换。当模拟量发生微小变化，格雷码仅仅改变一位，这与其它码同时改变 2 位或更多的情况相比，更加可靠,且容易检错。

表 1.4.2

### 1.4.3 ASCII 码(字符编码)

- ASCII 码即美国标准信息交换码。
- 它共有 128 个代码，可以表示大、小写英文字母、十进制数、标点符号、运算符号、控制符号等，普遍用于计算机的键盘指令输入和数据等。

### 1.5 二值逻辑变量与基本逻辑运算

逻辑运算：当 0 和 1 表示逻辑状态时，两个二进制数码按

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/846052200202011003>