

# 第 1 章 数字电路基础

## 一、教学要求

- (1) 掌握数字电路的基本概念。
- (1) 掌握二进制数、十进制数及其相互转换；了解 BCD 码、反射码。
- (2) 掌握基本逻辑运算，逻辑函数的表示方法。

重点：二进制与十进制数的相互转化，BCD 码，逻辑代数的运算，逻辑代数的化简。

难点：逻辑函数的化简。

## 二、内容提要与分析

1. 在数字电路中常用的是二进制数。将十进制数转换成二进制整数，采用除二取余倒记法。这种方法是用 2 去除十进制整数第一次得到的余数即为该进制数的最低位系数，再继续除 2 取余数，直到商等于 0 为止，最后得到的余数为最高位。

将二进制数转换为等值的十进制数的方法，就是求其各位加权系数之和，即把每一位系数乘上该位的权，然后把每一位所得的积相加，即可得到相对应的十进制数。

用四位二进制码来表示一位十进制数称为二—十进制编码，简称 BCD 码。BCD8421 码是最常用的一种编码方式，格雷码（又称反射码）有时也会用到。

# 第 2 章 逻辑代数

## 一、教学要求

- (1) 掌握逻辑代数中的基本公式。
- (2) 掌握逻辑函数的公式化简法。
- (3) 理解逻辑函数的卡诺图化简法。

## 二、内容提要与分析

1. 数字电路主要研究各部分单元电路之间的逻辑关系以及电路自身输出与输入之间的逻辑关系。

逻辑代数是用以描述逻辑关系，反映逻辑变量运算规律的数学。逻辑变量是用

来表示逻辑关系的二值量。它的取值只有 0 和 1 两种，它们代表逻辑状态而不是数量。基本的逻辑关系有与、或、非逻辑三种。实际的逻辑问题往往比与、或、非复杂得多，不过它们都可以用与、或、非的组合来实现。最常见的复合逻辑运算有与非、或非、与或非、异或、同或等。

2. 若干个逻辑变量由与、或、非三种基本逻辑运算组成复杂的运算形式，这就是逻辑函数。逻辑函数通常有四种方式，即真值表、逻辑表达式、卡诺图以及逻辑图，它们之间可以相互转换。

3. 逻辑代数中有许多基本定律和公式，这是进行逻辑函数化简的依据，它既有与普通代数相同之处，又有不同之处，必须加以区别。

4. 化简逻辑函数的目的是为了消去与或表达式中多余的乘积项和每个乘积项中多余的因子，以得到逻辑函数式的最简形式。逻辑函数的化简方法有公式法和卡诺图法。公式化简法适用于任何复杂的逻辑函数，特别是变量多的逻辑函数的化简，它需要熟练地掌握逻辑代数的常用公式，并且要有一定的技巧。卡诺图化简法则比较直观、简便，也容易掌握。但是，当变量增多时，显得复杂，所以一般多用于五变量以下逻辑函数的化简。

## 第 3 章 逻辑门电路

### 一、教学要求

(1) 掌握与门、或门、非门的逻辑功能。

(2) 理解 TTL 门电路：与或非门、同或门、异或门、OC 门与三态门的功能及典型应用。

(3) 理解 CMOS 电路：CMOS 反相器的工作原理及外特性、CMOS 门电路、CMOS 传输器和模拟开关。

(4) 了解 TTL 与 CMOS 门电路及其使用常识。

重点：基本逻辑门的逻辑功能、逻辑表达式及符号。

难点：逻辑门的工作原理及接口电路

### 二、内容提要与分析

1. 分立元件逻辑门电路是组成单元逻辑门的原始形式，目前已被集成电路所取代。但通过介绍分立元件逻辑门，引入用门电路实现逻辑运算的概念。

2. 在双极型数字集成电路中，TTL 电路应用最为广泛。因为它的工作速度快，

带负载能力和抗干扰能力强，输出幅度也较大。TTL 门电路的基本形式是与非门，另外还有与门、或门、非门、与或非门、同或门、异或门等多种具有其它功能的门电路。在学习这些集成电路时应将重点放在它们的外部特性上。外部特性包含两个内容，一是输出与输入之间的逻辑关系，即所谓逻辑功能；另一个是外部特性，主要是电压传输特性。传输特性一般分为三个区：截止区、转折区、饱和区。根据传输特性可以得到：输出高电平  $U_{OH}$ 、输出低电平  $U_{OL}$ 、开门电平  $U_{ON}$ 、关门电平  $U_{OFF}$  及门限电平  $U_{TH}$ 。

3. OC 门电路是将原 TTL 门电路的输出级三极管集电极开路，并取消集电极负载电阻。使用时为保证 OC 门正常工作，必须在集成门电路的输出端新接一个集电极负载电阻。几个 OC 门电路并联在一起，只要外接一个负载电阻即可，它能够实现线与功能。

4. 三态门又称 3S 门或 TSL 门，它有三种输出状态，分别是：高电平、低电平、高阻态。其中，高阻状态下，输出端相当于开路。利用三态门，可以做到在同一条传输线上分时传递几个门电路信号。

5. MOS 集成电路是数字集成电路的一个重要系列，它具有功耗低、抗干扰性能好、制造工艺简单，易于大规模集成等优点，是目前应用最广泛的一种集成电路。MOS 集成电路可分为 NMOS、PMOS、CMOS 集成电路。其中 CMOS 集成电路的功耗小，工作速度快，应用尤为广泛。

6. TTL 集成电路对电源要求较高，电源电压应满足  $5 \pm 0.5V$ 。TTL 电路中，与门、与非门的多余输入端可以悬空，也可以将多余输入端直接或通过一定阻值的电阻接  $+V_{CC}$ ；或门、或非门的多余输入端应接地或并联使用。

7. CMOS 集成电路的电源范围较宽，可达  $3 \sim 18V$ 。多余的输入端根据逻辑功能或接高电平，或接低电平，以防感应静电而受干扰或损坏器件。

8. 接口问题是逻辑器件在应用中必然存在的问题，妥善解决不同电路的接口问题，以保证逻辑电路的正确使用。

## 第 4 章 组合逻辑电路

### 一、教学要求

(1) 理解组合逻辑电路的特点和分析方法。

(2) 了解译码器和数字显示器电路：3—8 线译码器、二—十进制译码器、常用数字显示器件及其工作原理，数字显示译码器的构成。

(3) 了解数据分配器和数据选择器。

(4) 了解二—十进制编码器。

重点：组合电路的分析方法，常见的组合逻辑电路。

难点：常见组合逻辑电路的工作原理。

## 二、内容提要与分析

1. 根据逻辑功能的不同，可以把数字电路分成两大类，一类叫组合逻辑电路（简称组合电路），另一类叫时序逻辑电路（简称时序电路）。

2. 在组合逻辑电路中任意时刻的输出仅仅取决于该时刻的输入，与电路原来的状态无关。这就是组合逻辑电路在逻辑功能上的共同特点。

3. 组合逻辑电路的分析，就是根据给定的逻辑电路，分析出电路的逻辑功能。通常采用分析步骤如图 17.1 所示。

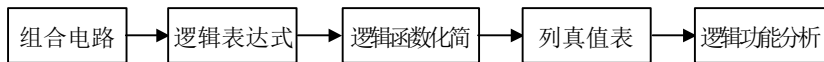


图 17.1 组合逻辑电路分析步骤

4. 组合逻辑电路的设计，就是根据给定的功能要求，得到实现该功能的最简单的组合逻辑电路。设计组合逻辑电路的步骤如图 17.2 所示。

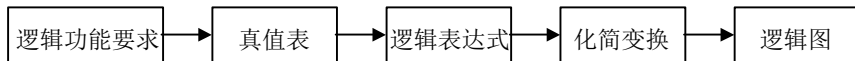


图 17.2 组合逻辑电路的设计步骤

5. 常见的组合逻辑电路有编码器、译码器、数据选择器与分配器、加法器、数值比较器等。

6. 在数字电路中，经常要把输入的各种信号（例如将十进制数、文字、符号等转换成若干位二进制码，这种转换过程称为编码，能够完成编码的组合逻辑电路称为编码器。常见的有二进制编码、二—十进制编码器（BCD 编码器）和优先编码器等。

7. 译码是编码的逆过程，其功能是把某种代码“翻译”成一个相应的输出信号，例如把编码器产生的二进制码复原为原来的十进制数。按照功能不同，译码器可分为通用译码器和显示译码器两大类。

8. 在数字系统中，要将多路数据进行远距离传送时，为了减少传输线的数目，往往是多个数据通道共用一个传输总线来传送信息。能够实现把多个数据通道的信息有选择地传送到共同传输总线上的电路称为数据选择器，它是一个多输入、单输出的组合逻辑电路。数据分配器与数据选择器的功能正相反，它能够实现把共同传输线上的信息有选择地传送到不同的输出端。

# 第 5 章 集成触发器

## 一、教学要求

触发器是时序逻辑电路的基础，只有掌握了触发器的逻辑功能，才能对时序逻辑电路进行正确的分析。本章的教学要求是：

- (1) 掌握基本 R-S 触发器的电路组成、工作原理。
- (2) 掌握同步 R-S 触发器的电路组成、工作原理。
- (3) 掌握 R-S 触发器、J-K 触发器、D 触发器、T 触发器、T'触发器的逻辑功能。
- (4) 理解边沿集成触发器的触发方式、工作波形及特性参数；\*掌握触发器功能转换。

重点：R-S 触发器、J-K 触发器、D 触发器、T 触发器、T'触发器的逻辑功能。

难点：R-S 触发器、J-K 触发器、D 触发器的工作原理。

## 二、内容提要与分析

1. 触发器是一种具有记忆功能的基本逻辑单元，它有 0 状态和 1 状态两个稳定状态。在不同的输入情况下，它可以被置成 0 状态，也可以被置成 1 状态，或者从一个状态转换到另一个状态。输入信号消失后，它能保持原状态不变。

2. 双稳态触发器有两个稳定状态：0 状态或 1 状态，它是构成 RS 触发器、JK 触发器、D 触发器、T 触发器和 T'触发器的基础。

3. 基本 RS 触发器是触发器中电路结构最简单、最基本的一种，是构成其它各种触发器中的最基本的组成部分。逻辑符号中， $\bar{S}_D$  和  $\bar{R}_D$  是两个输入端，其中  $\bar{S}_D$  称为置 1 端（或称置位端）， $\bar{R}_D$  称为置 0 端（或称复位端），字母上面的“非号”表示低电平有效。当没有输入信号时， $\bar{S}_D$  和  $\bar{R}_D$  均保持高电平“1”。

基本 RS 触发器有两个稳定状态：0 态和 1 态。由两个输出端电平的高低来表示， $Q=0$ 、 $\bar{Q}=1$  表示 0 状态； $Q=1$ 、 $\bar{Q}=0$  表示 1 态。

4. 在实用上，常要求触发器能在控制信号的作用下同步工作，所谓同步就是指触发器状态的改变与时钟脉冲 CP 波形同步，也就是只有在控制端出现脉冲信号时，触发器才动作，至于触发器输出什么状态，仍由 R、S 端的高、低电平来决定。这种带有控制端的基本 RS 触发器称为同步 RS 触发器。

当时钟脉冲 CP=0 时，同步触发器保持原状态不变；只有 CP=1 时，触发器才能

根据 R、S 的状态而变化。同步 RS 触发器是用高电平置 1 或置 0 的，没有信号输入时，R、S 端应为低电平。

5. 为了提高触发器的可靠性，增强抗干扰能力，常常用到边沿触发器。常用到的边沿触发器有边沿 D 触发器和边沿 JK 触发器。

D 触发器是一种应用十分广泛而且又非常方便的触发器，它仅有一个输入控制端，一个时钟脉冲输入端，它的输出状态仅取决于 CP 上升沿或下降沿时 D 的状态。

JK 触发器是一种功能最强的触发器，它具有置 0、置 1、翻转和保持不变的功能。

将 JK 触发器的输入端 J、K 连接在一起，作为输入端 T，这就构成了 T 触发器。

## 第 6 章 时序逻辑电路

### 一、教学要求

时序逻辑电路是数字电路的重要部分。本章的教学要求是：

(1) 理解时序逻辑电路的特点及分类。

(2) 了解数码寄存器、移位寄存器、中规模集成移位寄存器。

(3) 理解二进制计数器的逻辑功能（同步、异步、加法、减法），异步二进制计数器的连接，十进制计数器；了解常用的中规模集成计数器的功能及应用，了解移位型计数器。

重点：常见时序电路的功能及应用。

难点：时序逻辑电路的工作原理。

### 二、内容提要与分析

1. 时序电路的特点是：电路的输出状态不仅与同一时刻的输入状态有关，而且与电路的原有状态有关。时序电路的组成除有组合逻辑电路外，还包含有存储记忆电路。常见的存储电路是由触发器构成。

2. 时序电路可分为同步时序电路和异步时序电路。同步时序电路存储电路的各触发器都受到同一时钟脉冲控制，所有触发器的状态变化均在同一时刻发生。异步时序电路的各触发器没有统一的时钟脉冲或没有时钟脉冲，各触发器状态变化不发生在同一时刻。

3. 寄存器是具有存储数码或信息功能的逻辑电路。凡是具有记忆功能的触发器都能寄存数码。寄存器可分为数码寄存器和移位寄存器两类，其中数码寄存器采用并行输入——并行输出的方式存储数码，但没有数码移位功能。移位寄存器的特点

是不仅能存放由数码组成的数据，而且还能将数码的进行移位（左移、右移或双向移位）。移位寄存器可实现串入——并出，或并入——串出等功能。

4. 能够对输入脉冲的个数进行计数的电路称为计数器。计数器的种类繁多。如果按计数器中的触发器是否同步翻转分类，可以把计数器分为同步式和异步式。如果按计数过程中数字的增减分类，又可以把计数器分为加法计数器、减法计数器和可逆计数器。如果按计数器中数字的编码方式分类，还可以分为二进制计数器、二——十进制计数器、循环码计数器。

## 第 7 章 脉冲波形的产生与变换

### 一、教学要求

脉冲信号发生器及变换电路是电子电路不可缺少的内容，本章重点介绍了几种典型的脉冲信号产生及变换电路，具体教学要求：

- (1) 了解电脉冲的基本概念及主要参数。
- (2) 理解微分电路、积分电路、脉冲分压器的基本原理。
- (3) 掌握施密特电路的工作原理及应用。
- (4) 掌握单稳态电路的工作原理及应用。
- (5) 掌握多谐振荡电路的工作原理及应用。

(6) 掌握锯齿波电压发生器：锯齿波电压参数、简单锯齿波电压发生器；了解密勒积分电路的工作原理。

- (7) 了解 555 时基电路的应用。

重点：施密特电路、单稳态电路、多弦振荡器、555 的工作特点及应用。脉冲的主要参数，构成微分、积分的条件及变换波形，三极管的开关特性。

难点：施密特电路、单稳态电路、多弦振荡器、555 的工作原理。

### 二、内容提要与分析

1. 脉冲信号是指持续时间极短的电压或电流信号，常见的脉冲波形有：矩形波，锯齿波，尖脉冲，阶梯波等，最常用的是矩形脉冲波。我们必须了解脉冲信号的主要参数，如脉冲幅度  $U_m$ 、脉冲上升沿  $f_r$ 、脉冲下降沿  $t_f$ 、脉冲宽度  $t_w$  及脉冲周期  $T$  的含义。

2. 电阻  $R$  和电容  $C$  构成简单的  $RC$  电路，常见的  $RC$  电路有  $RC$  微分电路， $RC$  积分电路， $RC$  脉冲分压器。由于电容  $C$  是储能元件，电容器两端电压不能突变。所以  $RC$  电路存在过渡过程。

过渡过程的快慢，由电路的时间常数  $\tau$  来决定， $\tau=RC$ ， $R$  是电路中与元件  $C$  相串联的等效电阻。 $\tau$  小过渡过程快；反之， $\tau$  大则过渡过程慢。从理论上讲，只有电路经过  $t \rightarrow \infty$  的时间才能达到稳定状态，但在工程实际中，一般认为经过  $t=(3-5)\tau$  时间，电路就能进入稳定状态，过渡过程即可结束。

3.  $RC$  微分电路和  $RC$  积分电路是脉冲电路中常用的变换脉冲波形状的电路。

$RC$  微分电路的输出信号从电阻两端取出，在电路时间常数  $\tau$  远远小于输入的矩形波脉冲宽度  $t_w$ ，即  $\tau \ll t_w$  时，能把矩形波变换成正负尖脉冲。通常当  $\tau \leq \frac{1}{5}t_w$  时，就认为满足微分电路条件。

$RC$  积分电路的输出信号取自电容  $C$  两端，在电路时间常数  $\tau$  远大于输入的矩形脉冲宽度  $t_w$ ，即  $\tau \gg t_w$  时，将输入的矩形脉冲变换成三角波。通常当  $\tau \geq 3t_w$  时，就认为满足积分电路条件。

在脉冲电路中经常使用脉冲分压器将脉冲信号分压后送到下一级，为了使输出的信号不产生失真，应合理选择加速电容的容量。

4. 施密特触发器是脉冲波形变换中经常使用的一种电路。它在性能上有如下特点：

(1) 电路有两个稳定状态，因此它是一个双稳态电路；

(2) 输入信号从低电平上升时，与输入信号从高电平下降时电路状态转换对应的输入电平不同，即存在滞回特性。

(3) 在电路状态转换时，通过电路内部的正反馈过程使输出电压波形的边沿变得很陡。

利用上述特点不仅能将边沿变化缓慢的信号波形整形为边沿陡峭的矩形波，而且可将叠加在矩形脉冲高、低电平上的噪声有效地清除。

5. 单稳态触发器的工作特性具有如下的显著特点：

(1) 它有稳态和暂稳态两个不同的工作状态；

(2) 在外界触发脉冲作用下，它能从稳态转到暂稳态，在暂稳态维持一段时间以后，再自动返回稳态；

(3) 暂稳态维持时间的长短取决于电路本身的参数，与触发脉冲的宽度和幅度无关。

由于具备这些特点，单稳态触发器被广泛用于脉冲整形、延时（产生滞后于触发脉冲的输出脉冲）以及定时（产生固定时间宽度的脉冲信号）等。

6. 多谐振荡器是一种自激振荡器，在接通电源以后，不需要外加触发信号，便能自动地产生矩形脉冲。由于矩形脉冲中含有丰富的谐波成份，所以习惯上又把矩



形波振荡器叫做多谐振荡器。

4. 锯齿波有锯齿波电压和锯齿波电流，前者主要用于静电偏转示波器中，后者主要用于磁偏转显像系统中。按其线性的变化方向，可分为正向锯齿波和负向锯齿波。

电压锯齿波的主要参数有扫描期  $t_w$ ，回扫期  $t_R$ ，休止期  $t_0$ 、重复周期  $T$ 、扫描幅度  $U_m$  等。

锯齿波电压发生器是利用电容的充放电来产生锯齿波电压的。简单锯齿波电路，由于充电电流不能恒定，波形的线性较差，只有在扫描时间  $t_w$  远小于电容的充电时间常数时，才具有较好的线性，但这将使电源利用率降低。

改善锯齿波线性的关键在于以恒定电流向电容充电，通常采用“恒流元件”和“补偿电势”两种方法，由前者得到恒流源锯齿波电压发生器，由自举式或电容负反馈式密勒积分电路锯齿波发生器。

5. 555 定时器是一种多用途的数字—模拟混合电路，利用它能极方便地构成施密特触发器、单稳态触发器和多谐振荡器。

555 电路状态翻转与否，在于两个比较器的  $\overline{TR}$  和  $TH$  的输入电平的高低。其功能表见下表。

555 定时器功能表

阈值电压 TH	触发输入 $\overline{TR}$	复位 $\overline{R}_D$	放电管 V	输出 OUT
×	×	0	导通	0
$>2/3V_{DD}$	$>1/3V_{DD}$	1	导通	0
$<2/3V_{DD}$	$>1/3V_{DD}$	1	原态	不变
$<2/3V_{DD}$	$<1/3V_{DD}$	1	关断	1

## 第 8 章 数模与模数转换器

### 一、教学要求

- (1) 掌握 DAC 和 ADC 的定义及应用；
- (2) 了解 DAC 的分类及主要参数；
- (3) 了解 R—2R 倒 T 形电阻网络 DAC 的结构和基本原理；
- (4) 了解集成 D/A 转换器 CDA7524 及应用。

重点：DAC 的基本原理；

难点：R—2R 倒 T 形电阻网络电阻实现数字量到模拟量的转换。

### 三、内容提要与分析

#### 1. 分辨率

分辨率是指 D/A 转换器模拟输出所能产生的最小电压变化量与满刻度输出电压之比。对于一个 n 位的 D/A 转换器，分辨率可表示为

$$\text{分辨率} = \frac{U_{\text{LSB}}}{U_{\text{FSR}}} = \frac{1}{2^n - 1}$$

分辨率与 D/A 转换器的位数有关，位数越多，能够分辨的最小输出电压变化量就越小。

#### 2. 转换精度

转换精度是指 D/A 转换器实际输出的模拟电压与理论输出模拟电压的最大误差。通常要求 D/A 转换器的误差小于  $U_{\text{LSB}}/2$ 。

#### 3. 转换时间

转换时间是指 D/A 转换器在输入数字信号开始转换，到输出的模拟电压达到稳定值所需的时间。转换时间越小，工作速度就越高。

#### 4. 集成 D/A 转换器 CDA7524 及应用

CDA7524 是 CMOS 8 位并行 D/A 转换器。电源电压  $V_{\text{DD}}$  可在 +5~+15 V 之间选择。具有电阻网络和电子模拟开关及数据锁存器，还有片选控制和数据输入控制端，便于和微处理器进行接口的 D/A 转换器，多用于微机控制系统中。