脉冲与数字电路

MAICHONGYUSHUZIDIANLU

曾国泰 陈立万 编著

重庆出版社

重庆出版社

脉冲与数字电路

曾国泰　陈立万　编著

图书在版编目(CIP)数据

脉冲与数字电路/曾国泰编著.—重庆:重庆出版社,2001.1
ISBN 7-5366-5129-5

Ⅰ.脉... Ⅱ.曾... Ⅲ.脉冲电路:数字电路-高等学校-教材 Ⅳ.TN78

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第58619号

脉冲与数字电路
曾国泰 陈立万 编著

责任编辑 张镇海
特约编辑 栾季生
封面设计 江 东
技术设计 张 进

重庆出版社出版、发行
(重庆长江二路205号)
新 华 书 店 经 销
四川外语学院印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 20.75
字数 505千 插页 2
2001年1月第1版
2001年1月第1版第1次印刷
印数:1～3000

ISBN 7-5366-5129-5/TN·15
定价:28.00元

内 容 提 要

本书按照高等工业学校“电子技术基础教学大纲”和高等工业学校电子技术课程教学指导小组于1993年修订的“电子技术基础课程教学基本要求”编写的。

全书共九章，主要内容有：数制与编码、逻辑代数及其简化、逻辑门电路、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、脉冲单元电路、大规模集成电路、模/数转换器与数/模转换器等。

本书可作为高等学校工科通信、电子、自动化类专业的技术基础课教材，也可供专科学校选用，还可供有关工程技术人员作为学习脉冲数字技术的参考书。

编 者 的 话

本书是根据高等工业学校“电子技术基础教学大纲”和高等工业学校电子技术课程教学指导小组于 1993 年修订的“电子技术基础课程教学基本要求”编写的。

本书以数字集成电路贯穿全篇。由于数字集成电路的飞速发展，新知识层出不穷，考虑到该门课程的讲授学时数有限，因此将脉冲数字电路的分立元件部分全部删掉，主要讨论由大、中、小规模集成器件组成的数字电路或数字系统，所研究讨论的内容包括两部分内容：一是讨论数字集成电路的工作原理和电气特性；二是分析和设计由基本集成单元器件组成的逻辑关系比较复杂的数字电路。在数字电路的设计部分，主要讨论以中规模集成器件作为基本器件来讨论的设计方法，但注意到了利用大规模集成器件作为基本器件的设计，即大规模集成电路的应用。在脉冲单元电路部分，除保留二极管限幅器和二极管钳位器外，全部讨论的是由集成门组成的脉冲单元电路。在第八章大规模集成电路中还重点讨论了在数字系统设计中越来越得到普遍应用的 PAL 电路和 GAL 电路的基础知识。

在编写时，力求使基本概念明确清晰，深入浅出，重点突出，努力贯彻教材要少而精和理论联系实际的精神。在每章末均附有一定数量的习题，帮助学生加深对课程内容的理解，而且部分习题具有一定的深度，以使学生在深入掌握课程内容的基础上扩展知识。

本课程内容讲授学时约 80 学时，其中部分内容可放入实验环节完成（例如门电路的参数），或作为学生的自学内容（例如逻辑函数的系统简化法及第九章的 D/A 转换器等）。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和不妥之处，殷切希望读者批评指正。

编 者

2000 年 12 月

目　　录

绪　论

在近代电子工程中，按照所处理的信号形式，将电路分为两大类：模拟电路及数字电路。模拟电路处理的是模拟信号；数字电路处理的是数字信号。

所谓模拟信号是指模拟真实世界物理量的信号形式，例如模拟话音或者图象各点的亮度变化以及模拟温度或压力变化等信号，都是模拟信号。其特点是，它们在时间上都是连续地变化，数值上可取一定范围内的任意值。这就意味着对模拟信号必须进行测量。

所谓脉冲信号是指一种持续时间极短的电压或电流信号。常见的尖脉冲、矩形波、梯形波、锯齿波等都属于脉冲信号。就广义而言，凡按非正弦规律变化的电压或电流信号，都可以称为脉冲信号。

脉冲信号也是一种模拟信号，处理脉冲信号的模拟电路称为脉冲电路。所谓脉冲信号的处理是指脉冲波形的产生、变换与整形。脉冲电路有分立元件电路，由电阻、电容、电感、晶体管或者场效应管组成，也可以由集成门电路和电容组成。分析的重点是电路的过渡过程，即电容器的充电过程和放电过程，这是与模拟线性电路的不同之处。

所谓数字信号，是指在时间上和数值上都是离散的(不连续的)信号，它们的变化总是发生在一系列离散的瞬间，而数值大小和每次的增减变化都是某一个最小单位的整数倍。例如，人口统计或汽车产量统计等结果都是数字信号。工作于数字信号下的电路称为数字电路。

在数字电路中，电压或者电流一般只有两个状态：高电平或者低电平，有电流或者无电流。这样的两个状态可以用逻辑 1 和逻辑 0 来表示。数字信号通常是时间上或者空间上用 0 和 1 的符号序列来表示的。数字电路输入与输出的 0、1 符号序列间的逻辑关系便是数字电路的逻辑功能。所以，讨论数字电路则是讨论实现各种逻辑关系的电路。数字电路由逻辑门、触发器、计数器和寄存器等逻辑部件组成。

从以上叙述中不难看出，脉冲电路与数字电路是两门不同的学科，其分析方法也各不相同。由于历史原因，在多数高等学校中作为一门课程来设置。

脉冲与数字电子技术早已广泛应用于电视、雷达、通信、电子计算机、自动控制、电子测量仪表、核物理及航天技术等各个领域。例如，在通信系统中应用数字电子技术的数字通信系统，不仅比模拟通信系统抗干扰能力强，保密性好，而且还能应用电子计算机进行信息处理和控制，形成以计算机为中心的自动交换通信网；在测量仪表中，数字测量仪表不仅比模

拟测量仪表测量精度高，测试功能强，而且还容易实现测试的自动化和智能化。随着集成电路技术的发展，特别是大规模和超大规模集成器件的发展，使得各种电子系统的可靠性大大提高，设备的体积大大缩小，各种功能特别是自动化和智能化程度大大提高。所以，“脉冲与数字电路”是电子工程各专业的主要技术基础课程之一。

必须指出的是，数字电路的发展趋势异常迅猛，如以片－位机为中心的数字处理系统，以接口设计为主的逻辑设计、计算机辅助设计，以及数字电路的故障检测与诊断。多值逻辑与模糊逻辑的数字电路也在不断地进行探索中。

第一章 数制与编码

在数字电路中，经常要遇到计数问题。日常生活中，人们习惯于用十进制数，而在数字系统中多采用二进制数。有时还需采用八进制数和十六进制数。

一、十进制数

按照“逢十进一”计数方法的计数体制称为十进制数。

十进制数具有十个数码0、1、2、3、…、9。各个数码处于十进制数的不同位数时，所代表的数值是不同的。例如，244的数值是$2\times10^2+4\times10^1+4\times10^0$，其中最高位的数码“2”代表数值200，第二位数码“4”代表数值40，最低位数码“4”代表数值4。所以，所谓十进制数就是以10为基数的计数体制。

表达式　　$(244)_{10}=2\times10^2+4\times10^1+4\times10^0$

称为写成按照位权的展开式。

按照位权展开式的一般式为

$$(N)_{10}=\sum_{i=-m}^{n-1}a_i\times10^i \tag{1-1}$$

式中，a_i为十进制数的数码，n为整数部分的位数，m表示小数部分的位数。

二、二进制数

按照“逢二进一”计数方法的计数体制称为二进制数。二进制数具有二个数码0、1。各个数码处于二进制数的不同位数时，所代表的数值是不同的。显然，二进制数就是以2为基数的计数体制。任何一个二进制数也可以写成按照位权的展开式，例如

$$\begin{aligned}(1101011.011)_2 &= 1\times2^6+1\times2^5+0\times2^4+1\times2^3+0\times2^2+1\times2^1\\ &\quad+1\times2^0+0\times2^{-1}+1\times2^{-2}+1\times2^{-3}\end{aligned}$$

其一般式为

$$(N)_2=\sum_{i=-m}^{n-1}a_i\times2^i \tag{1-2}$$

式中，a_i 为二进制数的数码，n 为整数部分的位数，m 表示小数部分的位数。

三、R 进制数

按照“逢 R 进一”计数方法的计数体制称为 R 进制数。R 进制数具有 R 个数码 0、1、2、…、$R-1$。各个数码处于 R 进制数的不同位数时，所代表的数值是不同的。显然，R 进制数就是以 R 为基数的计数体制。任何一个 R 进制数也可以写成按照位权的展开式

$$(N)_R = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times R^i \tag{1-3}$$

式中，a_i 为 R 进制数的数码，n 为整数部分的位数，m 表示小数部分的位数。

在式(1-3)中，令 $R=8$ 就得到八进制数，即“逢八进一”计数体制称为八进制数，它的数码为 0、1、2、…、7，基数为 8。它的按照位权的展开式为

$$(N)_8 = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 8^i \tag{1-4}$$

式中，a_i 为八进制数的数码，n 为整数部分的位数，m 表示小数部分的位数。

若在式(1-3)中令 $R=16$ 就得到十六进制数，即“逢十六进一”计数方法的计数体制称为十六进制数，它的数码为 0、1、2、…、9、A、B、C、D、E、F(注：用 A、B、C、D、E、F 分别表示 10、11、12、13、14、15)。它的按照位权的展开式为

$$(N)_{16} = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 16^i \tag{1-5}$$

式中，a_i 为十六进制数的数码，16 为十六进制数的基数，n 为整数部分的位数，m 表示小数部分的位数。

四、不同计数制间的转换

二进制、八进制、十进制及十六进制数是现代数字系统中常用的 4 种计数制。由于转换原理十分简单，我们用若干例子来一一说明。

1. 将 R 进制数转换成十进制数

若将 R 进制数转换为等值的十进制数，只需将 R 进制数按位权展开，再按十进制运算规则运算即可得到十进制数。

例 1-1 将二进制数 $(N)_2=(101101.011)_2$ 转换成十进制数 $(N)_{10}$。

解

(1) 二次幂相加法。按位权展开式展开后有

$$\begin{aligned}(N)_2 &= 1\times2^5+0\times2^4+1\times2^3+1\times2^2+0\times2^1+1\times2^0+0\times2^{-1}+1\times2^{-2}+1\times2^{-3}\\ &= 32+8+4+1+0.25+0.125\\ &= (45.375)_{10}\end{aligned}$$

(2) 若二进制数的位数较多时计算起来较麻烦，此时对于二进制数整数的转换可以采用倍乘相加法。其方法为：高一位数码 ×2 加下一位数码，再乘 2 加下一位数码，……，直到最低位。例如

$$\begin{aligned}(N)_2 &= (101101)_2\\ &= \{\{[(1\times2+0)\times2+1]\times2+1\}\times2+0\}\times2+1\end{aligned}$$

$$= (11 \times 2) \times 2 + 1$$
$$= (45)_{10}$$

例 1-2 将八进制数$(N)_8 = (125.04)_8$转换成十进制数$(N)_{10}$。

解

$$(N)_8 = 1 \times 8^2 + 2 \times 8^1 + 5 \times 8^0 + 0 \times 8^{-1} + 4 \times 8^{-2}$$
$$= 64 + 16 + 5 + 0.0625$$
$$= (85.0625)_{10}$$

例 1-3 将十六进制数$(N)_{16} = (2F.6C)_{16}$转换成十进制数$(N)_{10}$。

解

$$(N)_{16} = 2 \times 16^1 + 15 \times 16^0 + 6 \times 16^{-1} + 12 \times 16^{-2}$$
$$= 32 + 15 + 0.375 + 0.046875$$
$$= (47.421875)_{10}$$

2. 将十进制数转换为 R 进制数

将十进制数转换为 R 进制数可将十进制数的整数部分和小数部分分别进行转换，然后将它们合并起来。

例 1-4 将十进制数$(N)_{10} = (25.375)_{10}$转换成二进制数$(N)_2$。

解

对整数部分用辗转除 2 取余法。

$$\begin{array}{ccccccccccccc} 0 & \xleftarrow{\div 2} & 1 & \xleftarrow{\div 2} & 3 & \xleftarrow{\div 2} & 6 & \xleftarrow{\div 2} & 12 & \xleftarrow{\div 2} & 25 & & \\ & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \\ (MSB) & & 1 & & 1 & & 0 & & 0 & & 1 & & (LSB) \end{array}$$

所以 $(N)_2 = (25)_{10} = (11001)_2$

对小数部分用辗转乘 2 取整法。

$$\begin{array}{ccccccccc} & 0.375 & \xrightarrow{\times 2} & 0.75 & \xrightarrow{\times 2} & 0.5 & \xrightarrow{\times 2} & 0 & \\ & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & & \\ \text{负的低位} & 0 & & 1 & & 1 & & & \text{负的高位} \end{array}$$

所以 $(N)_2 = (0.375)_{10} = (0.011)_2$

故 $(N)_{10} = (25.375)_{10}$转换为二进制数$(N)_2 = (11001.011)_2$。

例 1-5 将十进制数$(N)_{10} = (0.39)_{10}$转换成二进制数$(N)_2$，要求转换精度达到0.1%。

解

由于转换精度要求达到0.1%，即$2^{-10} = \dfrac{1}{2^{10}} = \dfrac{1}{1024}$，故取小数点后 10 位。转换过程如下：

$$\begin{array}{ccccccccccccccccccccc} 0.39 & \xrightarrow{\times 2} & 0.78 & \xrightarrow{\times 2} & 0.56 & \xrightarrow{\times 2} & 0.12 & \xrightarrow{\times 2} & 0.24 & \xrightarrow{\times 2} & 0.48 & \xrightarrow{\times 2} & 0.96 & \xrightarrow{\times 2} & 0.92 & \xrightarrow{\times 2} & 0.84 & \xrightarrow{\times 2} & 0.68 & \xrightarrow{\times 2} & 0.36 \\ & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & \\ & 0 & & 1 & & 1 & & 0 & & 0 & & 0 & & 1 & & 1 & & 1 & & 1 & \end{array}$$

所以 $(N)_2 = (0.0110001111)_2$

例 1-6 将十进制数$(N)_{10} = (47.39)_{10}$转换成八进制数,要求转换精度达到 0.1%。

解

整数部分

$$\begin{array}{cc} & \div 8 \\ 5 & \leftarrow 47 \\ \downarrow & \downarrow \\ 5 & 7 \end{array}$$

小数部分

由于 $8^{-3} = \frac{1}{512}$, $8^{-4} = \frac{1}{4096}$,故取小数点后 4 位。

$$\begin{array}{ccccccccc} 0.39 & \xrightarrow{\times 8} & 0.12 & \xrightarrow{\times 8} & 0.96 & \xrightarrow{\times 8} & 0.68 & \xrightarrow{\times 8} & 0.44 \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \\ 3 & & 0 & & 7 & & 5 & & \end{array}$$

所以 $(N)_8 = (57.3075)_8$

例 1-7 将十进制数$(N)_{10} = (47.39)_{10}$转换成十六进制数$(N)_{16}$,要求转换精度达到 0.1%。

解

整数部分

$$\begin{array}{cc} & \div 16 \\ 2 & \leftarrow 47 \\ \downarrow & \downarrow \\ 2 & F \end{array}$$

小数部分

由于 $16^{-2} = \frac{1}{256}$, $16^{-3} = \frac{1}{4096}$,故取小数点后 3 位。

$$\begin{array}{ccccccc} 0.39 & \xrightarrow{\times 16} & 0.24 & \xrightarrow{\times 16} & 0.84 & \xrightarrow{\times 16} & 0.44 \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \\ 6 & & 3 & & D & & \end{array}$$

所以 $(N)_{16} = (2F.63D)_{16}$

显然,十进制数转换成八进制数或十六进制数,也可以先转换成二进制数后再转换成八进制数或十六进制数。

3. 基数 R 为 2^k 的各进制数间的相互转换

由于3位二进制数可以组成1位八进制数,4位二进制数可以组成1位十六进制数,所以它们之间的相互转换十分容易,现举例如下。

例 1-8 将二进制数$(N)_2 = (110101001001.10011)_2$转换成八进制数$(N)_8$和十六进制数$(N)_{16}$。

解

八进制数:从小数点开始分别向左和向右,每 3 位一组写出相应的八进制数,就可写出$(N)_8$。

即 $(N)_8 = (6511.46)_8$

十六进制数：从小数点开始分别向左和向右，每 4 位一组写出相应的十六进制数，就可得到$(N)_{16}$。

即 $$(N)_{16}=(D49.98)_{16}$$

例 1-9 将十六进制数$(N)_{16}=(76.EB)_{16}$转换成八进制数$(N)_8$和二进制数$(N)_2$。

解

二进制数：将数$(76.EB)_{16}$中的每一位由 4 位二进制数表示，就可得到二进制数$(N)_2$。

$(N)_2=(01110110.11101011)_2$

$\quad=(1110110.11101011)_2$

八进制数：将二进制数$(N)_2$由小数点开始分别向左和向右，每 3 位一组写出相应的八进制数就可得到$(N)_8$。

即 $$(N)_8=(166.726)_8$$

五、原码、反码和补码

用原码、反码和补码表示正、负二进制数，在计算技术中有着广泛的应用。

在二进制数中，数值位的绝对值为

$$\sum_{i=-m}^{n-1} b_i \times 2^i \tag{1-6}$$

在数值位前加一符号位，用 b_n 表示。故一个正负二进制数可以用原码、反码和补码表示，其位数为$(1+n+m)$位。

规定：负数用 1 表示，正数用 0 表示。对于二进制数负数的原码、反码和补码分别为

原码：符号位 + 绝对值(数值位)；

反码：符号位 + 反码(由数值位每位取反获得)；

补码：符号位 + 补码(由反码末位加 1 获得)。

同时规定：二进制数的正数的原码、反码和补码相同。

例 1-10 试写出二进制数$(-101011.011)_2$的原码、反码和补码的表示。

解

原码：$(1,101011.011)_{原}$

反码：$(1,010100.100)_{反}$

补码：$(1,010100.101)_{补}$

对于二进制数运算，用原码进行乘、除法运算比较简单；用补码进行加、减法运算比较简单。反码是为求补码的中间过程。

例 1-11 试计算$(25)_{10}-(13)_{10}=(?)_{10}$

解

因为 $$(25)_{10}-(13)_{10}=(25)_{10}+(-13)_{10}$$

而$(25)_{10}=(11001)_2\longrightarrow(0,11001)_{原}=(0,11001)_{补}$

$(-13)_{10}=(-1101)_2\longrightarrow(1,01101)_{原}$

$\longrightarrow(1,10010)_{反}\longrightarrow(1,10011)_{补}$

所以

$$\begin{array}{lr} & 0,11001 \\ & +)\,1,10011 \\ \hline 溢出 & \boxed{1}\ 0,01100 \end{array}$$