

国内贸易部部编中等专业学校教材

脉冲与数字电路

(修订本)

● 蒋正柏 尚 勇 主编



中国商业出版社

国内贸易部部编中等专业学校教材

脉冲与数字电路

(修订本)

蒋正柏 尚 勇 主编

中国商业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

脉冲与数字电路/蒋正柏, 尚勇主编. - 2 版 (修订本).
北京: 中国商业出版社, 1999, 6
ISBN 7-5044-3157-5

I. 脉… II. ①蒋… ②尚… III. ①脉冲电路②数字电路
IV. TN78

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 13311 号

责任编辑: 陈李苓
特约编辑: 陈伟民

中国商业出版社出版发行
(100053 北京广安门内报国寺1号)
新华书店总店北京发行所经销
北京星月印刷厂印刷

*
850×1168 毫米 32 开 11.75 印张 303 千字
1999 年 6 月第 2 版 2000 年 1 月第 3 次印刷
定价: 15.00 元

(如有印装质量问题可更换)

编审说明

为适应建立社会主义市场经济新体制的要求，我部于1994年颁发了财经管理类5个专业和理工类7个专业教学计划。1996年初印发了以上12个专业的教学大纲，《脉冲与数字电路》一书是根据新编《计算机及应用》和《家用电器》专业教学计划和教学大纲的要求，结合我国科技进步和财税、金融等体制改革的情况重新编写的。经审定，现予出版。本书是国内贸易部系统中等专业学校必用教材，也可供职业中专、职工中专、电视中专等选用，还可以作为业务岗位培训和广大企业职工的自学读物。

全书共分十章。主要讲述脉冲波形的产生和变换电路，逻辑代数，集成TTL“与非”门电路，组合逻辑电路和时序逻辑电路的分析和简单设计方法，模/数转换与数/模转换电路。本书重点突出，结合实际应用，深入浅出地对脉冲与数字电路的基本概念、基本原理及基本分析方法，进行了比较细致的介绍。

本书由安徽省合肥粮食学校蒋正柏老师担任主编；安徽省邮电学校的尚勇老师、辽宁省粮食学校吴建军老师和杜文洁老师参加了编写工作，其中尚勇老师编写了第五章和第八章，吴建军老师编写了第二章、第三章和第九章，杜文洁老师编写了第一章和第十章，蒋正柏老师编写了第四章、第六章和第七章，并由蒋正柏老师负责总纂。

本书由河北省商业学校李彦更教师担任主审。

由于编写时间仓促，编者水平有限，书中难免有疏漏之处，敬请广大读者不吝赐教，以便于修订，使之日臻完善。

国内贸易部教育司

1996年8月

修 订 说 明

本书这次修订，除对原书中的错误给予纠正，还对本书的结构做了较大的调整。把原书的第一章 RC 电路和第二章晶体管开关特性合并成一章内容，删除了分立元件的脉冲电路，着重介绍集成逻辑门构成的脉冲电路，增加了 555 集成定时器、可编程逻辑器件等新内容。本书注重实际应用，对一些常用的集成芯片的工作原理和应用都作了较详细的介绍，使本书更适应于教学的需要。

本书文字通俗易懂，每一章节都配有大量的习题，供读者练习。

本书由安徽省合肥粮食学校蒋正柏老师和安徽省邮电学校尚勇老师进行修编，其中蒋正柏老师修编了第一章、第二章、第五章、第八章和第九章的内容，尚勇老师修编了第三章、第四章、第六章和第七章的内容。

由于编写时间仓促，编者水平有限，书中难免有疏漏之处，敬请广大读者不吝赐教，以便于进一步修订，使之日臻完善。

计算机及应用专业教材编委会

1998 年 12 月

目 录

第一章 脉冲与数字电路基本概念	(1)
第一节 脉冲波形的描述.....	(1)
第二节 RC 电路	(3)
第三节 晶体管的开关特性	(10)
第四节 二极管开关特性的应用	(20)
第五节 三极管反相器	(25)
习题一	(33)
第二章 逻辑门电路	(41)
第一节 三种基本逻辑关系	(41)
第二节 分立元件门电路	(44)
第三节 TTL “与非” 门电路	(50)
第四节 集成门电路的其他类型	(58)
第五节 高速逻辑门电路	(65)
第六节 MOS 集成逻辑门电路	(72)
第七节 集成逻辑门电路使用注意事项	(82)
习题二	(86)
第三章 逻辑函数	(93)
第一节 数制和 BCD 编码.....	(93)
第二节 逻辑代数的基本公式及规则.....	(101)
第三节 逻辑函数的代数化简.....	(105)
第四节 逻辑函数的卡诺图化简.....	(112)
习题三.....	(123)
第四章 组合逻辑电路	(125)
第一节 组合逻辑电路的分析.....	(126)

第二节	组合逻辑电路的设计	(129)
第三节	常见组合逻辑电路及应用	(139)
第四节	基本运算电路	(166)
第五节	奇偶校验电路	(170)
习题四		(176)
第五章	集成触发器	(181)
第一节	基本 RS 触发器	(181)
第二节	时钟 RS 触发器	(186)
第三节	主从触发器	(190)
第四节	边沿触发器	(199)
第五节	CMOS 触发器	(205)
第六节	常用集成触发器简介及应用	(208)
第七节	触发器逻辑功能的转换	(212)
习题五		(216)
第六章	时序逻辑电路	(224)
第一节	概述	(224)
第二节	时序逻辑电路的分析	(227)
第三节	计数器	(234)
第四节	寄存器	(254)
第五节	逻辑电路的应用举例	(264)
习题六		(268)
第七章	存储器与可编程逻辑阵列	(273)
第一节	随机存储器 (RAM)	(274)
第二节	存储器 (ROM)	(286)
第三节	可编程逻辑器件	(293)
习题七		(301)
第八章	集成逻辑门在脉冲电路中的应用	(303)
第一节	多谐振荡器	(303)
第二节	单稳态触发器	(307)

第三节	用“与非”门组成的施密特触发器·····	(311)
第四节	集成定时器·····	(318)
习题八	·····	(327)
第九章	数/模转换与模/数转换·····	(331)
第一节	数/模与模/数转换的基本概念·····	(332)
第二节	数/模转换器 ·····	(336)
第三节	模/数转换器 (ADC) ·····	(350)
习题九	·····	(364)

第一章 脉冲与数字电路基本概念

第一节 脉冲波形的描述

一、脉冲信号与数字信号的基本概念

在模拟电路中，我们介绍的信号是连续地、不间断地变化的电压和电流信号，它通常用来模拟各种物理量的变化关系，如：声音、图像、温度、压力等等。而在脉冲电路中，信号的变化在时间轴上是短暂的、具有一定时间间隔的，这个时间间隔可以与电路的过渡过程相比拟，这种不连续的信号叫做脉冲信号。就广义来说，凡按非正弦规律变化的电压或电流都可称作脉冲信号。

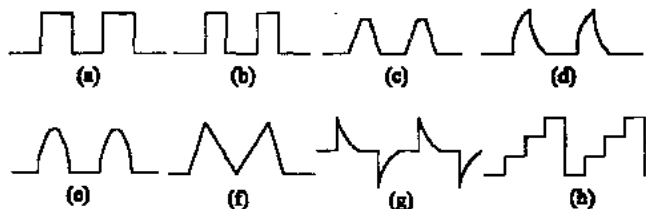
数字信号也可以看成是一种脉冲信号，从某种意义上说，它又不完全等同于脉冲信号，数字信号在时间上和数值上也是离散的、不连续的。最简单的数字信号只有两种取值，用数值“1”表示有信号，用数值“0”表示无信号。所以数字信号实际上就是由0和1代码组成的矩形脉冲。

数字信号和脉冲信号的根本区别在于：数字信号只关心它的有无，而对它的形状和大小不讨论，脉冲信号不仅要讨论它的有无，而且还要讨论它的形状、大小、波形的产生、变换等等，这种研究方式类似于模拟信号，因此有时又可以吧对脉冲信号的研究归纳于模拟信号的研究。

二、几种常见的脉冲波形

脉冲波形的形状多种多样，准确地描述一个脉冲波形要比描述正弦波形所需要的参数多得多。常见的脉冲波形有方波、矩形

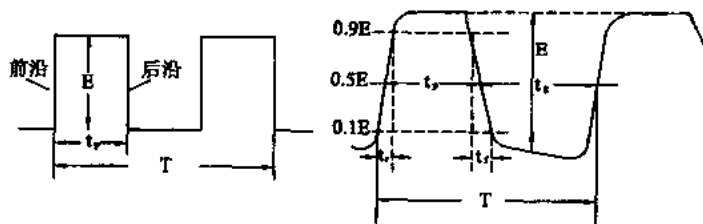
波、梯形波、锯齿波、钟形波、三角波、尖峰波、阶梯波等，如图 1.1.1 所示。



(a) 方波 (b) 矩形波 (c) 梯形波 (d) 锯齿波
(e) 钟形波 (f) 三角波 (g) 尖峰波 (h) 阶梯波

图 1.1.1 几种常见的脉冲波形

图 1.1.2 (a) 给出的是一个理想方波波形，它的描述过程比较简单，只要用三个参数就可以完整地表示出波形的特性，即：脉冲幅度、周期频率和脉冲宽度。



(a) 理想方波波形

(b) 实际方波波形

图 1.1.2 方波参数描述

实际的方波波形和理想的方波波形之间较大的区别，这是由于形成方波波形电路本身存在着电容充放电的过渡过程，以及晶体管内部存在着电荷存储效应，使得波形在变化过程中，它的上升和下降都需经历一定的时间，因此它的描述过程相对要复杂得多。图 1.1.2 (b) 是一个实际方波的波形图。

在脉冲波形的描述过程中，还存在着正负脉冲之分。所谓正脉冲是指脉冲的峰值大于它的起始值，而负脉冲是指脉冲的峰值小于它的起始值，如图 1.1.3 所示。

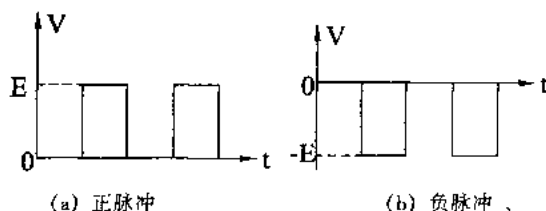


图 1.1.3 正负脉冲波形

三、脉冲波形的主要参数

对于一个脉冲波形的描述，通常用参数的形式来表示，下面我们实际方波为例，来讨论各参数的意义。如图 1.1.2 (b) 所示。

1. 脉冲幅值 E ：脉冲从起始到峰值之间的变化量称为脉冲幅值。

2. 脉冲前沿：用来描述脉冲开始变化时的暂态过程。

3. 脉冲后沿：用来描述脉冲结束时的暂态过程。

4. 脉冲上升时间 t_r ：通常指脉冲由 $0.1E$ 上升至 $0.9E$ 所需的时间， t_r 愈短，脉冲上升得愈快。

5. 脉冲下降时间 t_f ：通常指脉冲由 $0.9E$ 下降至 $0.1E$ 所需的时间， t_f 愈短，脉冲下降得愈快。

6. 脉冲宽度 t_p ：指脉冲前后沿 $0.5E$ 两点间的时间间隔，又称脉冲持续期。

7. 脉冲间隔 t_g ：指前一个脉冲后沿 $0.5E$ 处，到后一个脉冲前沿的 $0.5E$ 处的时间间隔，又称脉冲休止期。

8. 脉冲周期 T ：对于周期性重复脉冲，前后两个相邻脉冲的间隔时间。

9. 脉冲频率 f ：单位时间内脉冲信号重复出现的次数称为脉冲频率，其倒数为脉冲周期。

第二节 RC 电路

利用简单 RC 电路，可以对脉冲波形进行变换。常见的波形

变换电路有：微分电路、积分电路、RC 脉冲分压器等。在分析脉冲波形变换电路之前，我们先复习一下电容器的充放电原理。

一、RC 电路充放电原理

1. 电容器的充电

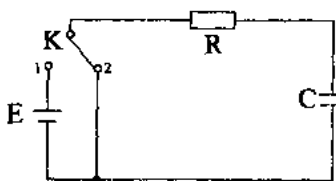


图 1.2.1 电容充放电电路

图 1.2.1 是一个简单的 RC 串联电路，电路接通前，电容上的电荷为零，它的压降亦为零。当把开关 K 从“2”的位置转换到“1”的位置，电源 E 开始对电容充电，电容上的电压随着充电过程的进行逐渐上升。

充电刚开始时，电容两端电压 $V_C(0) = 0$ ，电容在电路中相当于短路，充电电流 $i_C(0) = E/R$ 为最大，电阻上的电压 $V_R(0) = E$ ；充电结束，电容上的电压 $V_C(\infty) = E$ ，充电电流 $i_C(\infty) = 0$ ，电路相当于断路，电阻上的电压 $V_R(\infty) = 0$ 。由此可见，电容在整个充电过程中，电路的状态是在不断变化的。图 1.2.2 (a) 是电容充电过程中的电压变化曲线。

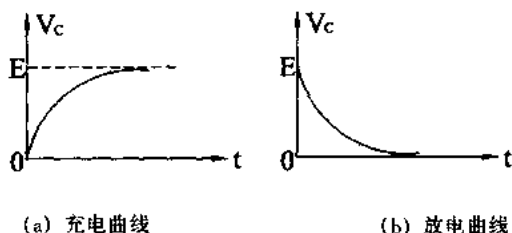


图 1.2.2 RC 电路充放电曲线

2. 电容器的放电

电容器充电完毕，如果把开关 K 从“1”的位置转换到“2”的位置，电容将通过电阻 R 放电，电容上的电压 V_C 慢慢下降，直到为零止。放电结束，放电电流 i 和电阻上的电压 V_R 亦都降

为零，电路恢复到原态。图 1.2.2 (b) 是电容放电过程中的电压变化曲线。

3. 充放电的基本规律

RC 电路在充电刚开始的一瞬间， $V_C(0)$ 、 $V_R(0)$ 、和 $i(0)$ 分别是电容、电阻电压和电流的初始值。而 $V_C(\infty)$ 、 $V_R(\infty)$ 和 $i(\infty)$ 则是电容放电结束时电容、电阻电压和电流的终止值。

充放电电路的时间常数 $\tau = RC$ ，它表示了电容器充、放电过程的长短。 τ 的单位是微秒。实际上电容器经过 $3 \sim 5\tau$ 的充放电时间，就可认为充放电过程结束。

我们把电路中的初始值、终值和时间常数 τ 称作为 RC 电路的三要素。由此三要素可以得出简单 RC 串联电路在充放电中电容、电阻和电流的表达式。即：

$$V_C(t) = V_C(\infty) + [V_C(0) - V_C(\infty)] e^{-t/\tau} \quad (1-1)$$

$$V_R(t) = V_R(\infty) + [V_R(0) - V_R(\infty)] e^{-t/\tau} \quad (1-2)$$

$$i(t) = i(\infty) + [i(0) - i(\infty)] e^{-t/\tau} \quad (1-3)$$

由此可得 RC 过渡过程的一般表达式：

$$X(t) = X(\infty) + [X(0) - X(\infty)] e^{-t/\tau} \quad (1-4)$$

[例 1] 电路如图 1.2.3 (a) 所示，在 $t=0$ 瞬间，开关由“2”拨到“1”时，求输出电压 $V_C(t)$ 的表达式，并画出其波形图。

解：当 $t=0$ 时，电容上压降为零，所以： $V_C(0) = 0$ (V)
当 $t \rightarrow \infty$ 时，电容上已经充满电了，此时压降为：

$$V_C(\infty) = \frac{E \times R_2}{R_1 + R_2} = 5 \text{ (V)}$$

时间常数 τ 可由下列关系求得：

$$\tau = (R_1 // R_2) C = 0.5 \text{ (}\mu\text{S)}$$

根据过渡过程的三要素，把上面关系代入式 (1-1) 中可

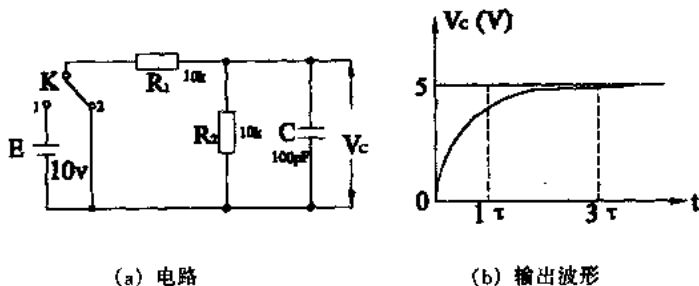


图 1.2.3 电路及波形

得：

$$V_C = 5 (1 - e^{-t/0.5}) \text{ (V)}$$

用三要素求解简单 RC 电路时，应遵循以下原则：

(1) 在求初始值时，应考虑电容上的电压不能跃变，这样未充电的电容可视为短路，有初始值的电容电路，可用恒压源 $V_C(0)$ 来代替。

(2) 在求电路稳态值时，应将电容视为开路。

(3) 求时间常数时，将电源用其内阻代替，然后将其与电路中的电阻合并，乘以电容，即得 RC 电路的时间常数。

二、RC 微分电路

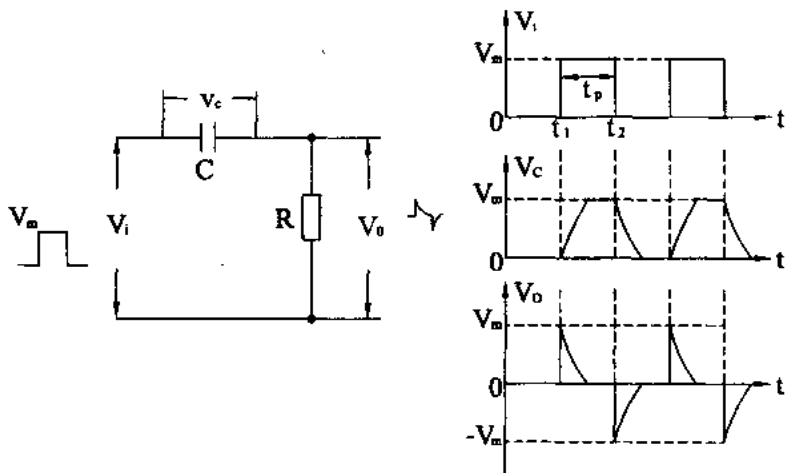
1. 电路组成及特点

该电路是由基本的 RC 电路构成，如图 1.2.4 (a) 所示。输出电压 V_o 取自电阻两端，电路中的时间常数满足于 $RC \ll t_p$ ，当输入一理想方波，在它的输出端将得到正负相间的尖脉冲。图 1.2.4 (b) 给出了电路的输入、输出波形。

2. 工作原理

由图 1.2.4 (b) 可见，在 $t = t_1$ 时，输入电压 V_i 由 0 突变为 V_m ，在这一瞬间，由于电容上的电压不能产生跃变，此时电容相当于短路， $V_C = 0V$ ，输入电压 V_i 全部降在电阻 R 上，则输出电压产生一个正跳变，即为 V_m 值。随后 ($t > t_1$)，电容上电压按指数规律快速上升，输出电压随之按指数规律相应地下降。

当时间经过大约 3τ 时, 电容上的电荷基本充满, 电压接近稳态值 V_m , 而输出电压 V_o 相应地下降为零。RC 的值愈小, 上述过程进行得愈快, 输出的正脉冲亦愈窄。



(a) 微分电路

(b) 波形图

图 1.2.4 RC 微分电路及波形图

$t = t_2$ 时, 输入电压 V_i 由 V_m 向下跳变到 0, 即 $V_i = 0$, 这相当于 RC 电路突然被短路, 电容开始放电, 同样电容电压不能突变, 电容两端的电压全部加到电阻 R 上, 此时电容的正端恰好接地, 则 $V_o = -V_m$, 接着 ($t > t_2$), 电容沿 RC 回路放电, 其端电压按指数规律减小, 输出电压按指数规律上升。同样经过 3τ 时间, 放电完毕, 故输出端得到一个负的尖脉冲。

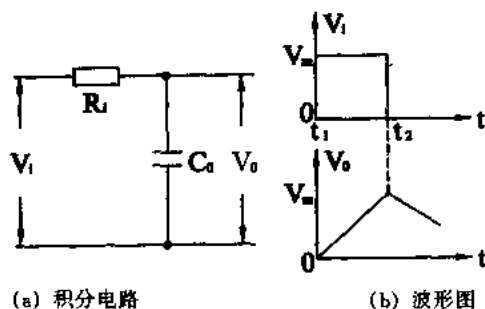
对于时间常数 τ 来说, 只要比方波脉冲宽度 t_p 小, 约为 $1/5 \sim 1/10 t_p$, RC 电路就将输入方波变换为尖脉冲。

综上所述, 微分电路可以把输入的方波脉冲变换为输出的正负相间的尖脉冲。

三、RC 积分电路

1. 电路组成及特点

积分电路也是由基本的 RC 电路组成，如图 1.2.5 (a) 所示。它的输出电压 V_o 取自于电容两端，电路中的时间常数 $RC \gg t_p$ ，当输入一方波时，在它的输出端将得到一锯齿波。图 1.2.5 (b) 给出了电路的输入、输出波形。



(a) 积分电路

(b) 波形图

2. 工作原理

图 1.2.5 RC 积分电路及波形图

在 $t = t_1$ 时，输入电压 V_i 由 0 突变到 V_m ，由于电容两端电压不能产生跃变，此时电容两端电压为 0。当 $t > t_1$ 时，电容开始充电， V_o 将按指数规律逐渐上升，但由于时间常数 τ 很大， V_o 上升的速度缓慢。

在 $t = t_2$ 时，电容上已充得一定的电荷，电压尚未达到输入电压值， V_i 已经从 V_m 跳回到 0，此时电容开始放电，输出电压 V_o 将按指数规律下降，放电速度同样也是缓慢的。

由此可见，积分电路把输入的方波变换成输出的锯齿波。积分电路的时间常数 τ 约为输入脉冲宽度的 $5 \sim 10 t_p$ 。

四、RC 脉冲分压器

在脉冲信号的传输过程中，不能简单地用电阻分压关系来实现，这是因为脉冲信号的变化是阶跃的，而电阻电路中总是存在着一定的寄生电容，将使传输的脉冲信号产生失真。为了保证脉冲信号不失真地传输，常采用脉冲分压器作传输电路，下面就

RC 脉冲分压器作一讨论。

1. 寄生电容 C_o 对脉冲波形的影响

在电阻分压电路中，当脉冲信号经过时，输出的脉冲信号将产生失真。这是因为分压器的输出端存在着导线分布电容或其他寄生电容，此电容的作用相当于并联在电阻分压器的输出端，用 C_o 表示之，如图 1.2.5 所示虚线连接的电容。

当输入端输入阶跃信号时，输出信号电压受寄生电容的影响，不能产生跃变，使阶跃信号的波形出现失真，如图 1.2.5 中 V_o 波形所示。因此，必须设法克服寄生电容的影响，使得脉冲分压器不仅能起分压作用，而且又能保证输出脉冲波形与输入脉冲波形形状相同，不产生波形失真。

2. RC 脉冲分压器的工作原理

图 1.2.6 所示是 RC 脉冲分压器电路，它是在电阻 R_1 上并联了一个补偿电容 C_1 ，用 C_1 来补偿寄生电容 C_o 对电路的影响。其工作原理如下：

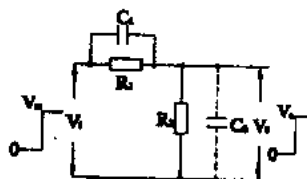
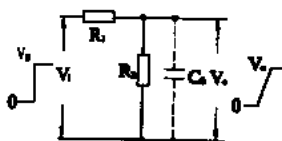


图 1.2.5 寄生电容对输出波形的影响 图 1.2.6 脉冲分压器

设输入信号 V_i 为正跳变脉冲电压，它由零突跳到 V_m 的瞬间，电压 V_m 使电路内产生一个很大的充电电流，这个充电电流给电容 C_1 和 C_o 充电，而流过电阻 R_1 和 R_2 的电流却很小， R_1 和 R_2 可视为开路。此时电路相当于一个电容分压器，按电容分压规律，瞬间输出电压 V_o 为：

$$V_o = \frac{C_1 V_m}{C_1 + C_o}$$

当输入正脉冲进入平顶阶段后，电容器充电结束，不再有充