

● 高等职业学校教材

电子技术基础

(数字部分)

王忠庆 主编

王忠庆 陈江红 编



高等教育出版社

高等职业学校教材

电子技术基础

(数字部分)

王忠庆 主编

王忠庆 陈江红 编

高等教育出版社

内容提要

本书是根据国家教育部最新制定的《高职、高专教育数字电子技术基础课程教学基本要求》，结合多年教学改革与实践的基础进行编写的。

本书着重物理概念和基本原理的阐述，避免繁琐的理论推导。在文字上，力求通俗易懂，便于自学。在内容上删减了陈旧的、冗余的内容，减少内部电路分析，理论联系实际，突出工程应用；增加中、大规模集成电路内容并适当介绍可编程逻辑器件 PLD。

全书共八章，包括数字逻辑基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与整形、A/D 及 D/A 转换器、大规模集成电路等内容，并有与内容配合的思考题和习题。

本书可作为全国招收初中五年制高职和中等专业学校工科电工类专业的教材，也可供相近专业的师生和工业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础. 数字部分/王忠庆主编. —北京:
高等教育出版社, 2002 重印
ISBN 7-04-009278-6

I. 电… II. ①王… III. ①电子技术-高等学校:
技术学校-教材②数字电路-电子技术-高等学校:
技术学校-教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 26509 号

电子技术基础 (数字部分)

王忠庆 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街55号

邮政编码 100009

传 真 010-64014048

购书热线 010-64054588

免费咨询 800-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 河北新华印刷一厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 18

字 数 430 000

版 次 2001年8月第1版

印 次 2002年9月第2次印刷

定 价 15.50元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

本书根据国家教育部最新制定的《高职、高专教育数字电子技术基础课程教学基本要求》，结合多年教学改革与实践的基础上进行编写的。在编写过程中充分体现培养第一线应用型技术人才的特点，体现工程意识、创新能力和全面素质培养的要求。在保证基本要求的前提下，注意到把一些最新的、比较先进的内容充实到教材中去，既体现教育规格之所需，又能满足后续课程之需要，即以“必须、够用”为度。

本书力求做到深入浅出，循序渐进。为了便于学生自学，在介绍每章内容时尽量讲清思路和分析方法，以启发学生的思维，力图加强基本理论、基本知识和基本技能的培养。根据初中毕业生的特点，着重物理概念和基本原理的阐述，避免繁琐的数学推导。考虑到电子技术的发展，新的电子产品问世，加强 SSI、MSI、LSI 及 PLD 等集成器件的介绍及应用。介绍这些集成电路时，强调集成组件的外特性和正确使用方法，而对内部结构仅作简单的定性介绍。

另外，本书全部采用《电气图用图形符号——二进制逻辑单元》国家标准 GB4728.12-85 规定。本书附录一中对《电气图用图形符号——二进制逻辑单元》(GB4728.12-85)作简单的介绍。本书为便于教学，在用中、大规模集成器件组成的应用电路中，采用了示意性的框图来表示这些器件。这种框图不属于标准的逻辑图形符号。

考虑到有的学校在安排教学计划时有时先上数字电路，后上模拟电路的要求，这次修订时适当加强二极管、三极管、场效应管等基本内容。这样无论是否学过模拟电子技术基础，都可选用这本书作为“数字电子技术基础”课程的教材。

本书由南京工业职业技术学院王忠庆编写前言、第一、二、三、六、七、八章及附录等内容，由福建高级工业专门学校陈江红编写第四、五两章。本书由王忠庆任主编并负责全书的统稿工作。

本书由成都航空职业技术学院唐程山副教授任主审，他仔细审阅全部书稿，并提出许多有价值的建议，还写出详细的书面意见。在编写过程中，还得到高等教育出版社职教部刘素馨副编审的具体指导和帮助。编者在此致以衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，希望使用本书的师生和读者批评指正。

编者

2000.7

目 录

第一章 数字电路基础知识	(1)	开关特性	(39)
1.1 概述	(1)	2.1.1 二极管的开关特性	(40)
1.1.1 数字信号与模拟信号	(1)	2.1.2 三极管的开关特性	(43)
1.1.2 数字电路的特点及应用	(1)	2.1.3 绝缘栅场效应管及其开关特性	(47)
1.1.3 常见脉冲波形及参数	(3)	2.2 基本门电路的逻辑功能	(52)
1.2 RC 电路的应用	(4)	2.2.1 分立元件门电路	(52)
1.2.1 微分电路	(4)	2.2.2 复合门电路	(55)
1.2.2 积分电路	(5)	2.3 TTL 集成反相器	(57)
1.2.3 脉冲分压器	(6)	2.3.1 TTL 集成反相器的工作原理	(57)
1.3 数制及码制	(7)	2.3.2 TTL 集成反相器的电气特性	(58)
1.3.1 数制	(7)	2.4 其它类型的 TTL 门电路	(63)
1.3.2 不同进制数之间的相互转换	(9)	2.4.1 TTL 与非门电路	(63)
1.3.3 二-十进制(BCD)码	(10)	2.4.2 集电极开路门电路(OC 门)	(64)
1.4 逻辑代数的基本运算	(12)	2.4.3 三态输出门电路(TSL 门)	(66)
1.4.1 逻辑函数和逻辑变量	(12)	2.4.4 异或门	(68)
1.4.2 逻辑函数三种基本运算	(12)	2.5 TTL 门电路的发展	(69)
1.4.3 几种常用的复合逻辑函数	(13)	2.5.1 74H 系列	(69)
1.5 逻辑函数及其表示方法	(14)	2.5.2 74S 系列	(69)
1.5.1 逻辑函数	(14)	2.5.3 74LS 系列	(71)
1.5.2 逻辑函数的表示方法	(15)	2.5.4 74AS 和 74ALS 系列	(71)
1.6 逻辑代数公式和运算规则	(16)	2.6 MOS 门电路	(72)
1.6.1 逻辑函数的相等	(16)	2.6.1 NMOS 反相器	(72)
1.6.2 逻辑代数公式	(17)	2.6.2 CMOS 反相器	(72)
1.6.3 逻辑代数三项基本运算规则	(18)	2.6.3 CMOS 逻辑门	(75)
1.6.4 逻辑代数的常用公式	(19)	2.6.4 CMOS 传输门和双向模拟开关	(77)
1.7 逻辑函数的化简法	(20)	2.7 TTL 门电路和 MOS 门电路的使用	(78)
1.7.1 逻辑函数化简的目的	(20)	2.7.1 接口电路	(78)
1.7.2 逻辑函数的标准表达式	(20)	2.7.2 TTL 电路使用知识	(80)
1.7.3 公式化简法	(22)	2.7.3 MOS 电路使用知识	(80)
1.7.4 逻辑函数的最小项	(23)	本章小结	(81)
1.7.5 卡诺图化简法	(25)	思考题和习题	(82)
1.7.6 具有无关项的逻辑函数的化简	(31)	第三章 组合逻辑电路	(89)
本章小结	(33)	3.1 概述	(89)
思考题和习题	(34)	3.2 组合逻辑电路的分析与设计	(89)
第二章 逻辑门电路	(39)	3.2.1 组合逻辑电路的分析	(89)
2.1 半导体二极管、三极管和场效应管的		3.2.2 组合逻辑电路的设计	(91)

3.3 编码器	(93)	4.7 触发器逻辑功能的转换	(150)
3.3.1 二进制编码器	(93)	4.7.1 JK 型转换为 D、T、T' 型	(150)
3.3.2 二 - 十进制数编码器	(95)	4.7.2 D 型转换为 JK、T、T' 型	(150)
3.3.3 优先编码器	(96)	4.8 各类触发器逻辑功能和触发方式	
3.4 译码器	(99)	比较表	(151)
3.4.1 变量译码器	(100)	本章小结	(152)
3.4.2 码制变换译码器——4 线 - 10		思考题和习题	(153)
线译码器	(104)	第五章 时序逻辑电路	(158)
3.4.3 数字译码显示系统	(106)	5.1 概述	(158)
3.5 加法器	(115)	5.1.1 时序逻辑电路的特点与结构	(158)
3.5.1 半加器	(115)	5.1.2 时序逻辑电路的基本分析方	
3.5.2 全加器	(116)	法	(158)
3.5.3 多位二进制加法器	(117)	5.2 寄存器	(160)
3.6 数据选择器和数据分配器	(118)	5.2.1 数码寄存器	(160)
3.6.1 数据选择器	(118)	5.2.2 移位寄存器	(161)
3.6.2 数据分配器	(125)	5.2.3 中规模集成移位寄存器简介	(164)
3.7 数值比较器	(127)	5.2.4 寄存器的应用	(166)
3.7.1 1 位数值比较器	(127)	5.3 计数器	(167)
3.7.2 多位数值比较器	(127)	5.3.1 二进制计数器	(167)
3.7.3 数值比较器的使用	(129)	5.3.2 十进制计数器	(174)
本章小结	(130)	5.3.3 移位寄存器型计数器	(180)
思考题和习题	(130)	5.4 集成计数器及其应用	(183)
第四章 集成触发器	(135)	5.4.1 4 位二进制可预置同步计数器	
4.1 概述	(135)	74LS161 功能及应用	(183)
4.2 基本 RS 触发器	(135)	5.4.2 二 - 五 - 十进制计数器 74LS290	
4.2.1 用与非门组成的基本 RS 触		功能及应用	(188)
发器	(135)	5.4.3 顺序脉冲发生器	(191)
4.3 同步 RS 触发器	(137)	本章小结	(192)
4.4 触发器逻辑功能的描述	(139)	思考题和习题	(192)
4.4.1 RS 触发器	(139)	第六章 脉冲波形的产生与整形	(195)
4.4.2 D 触发器	(140)	6.1 555 集成定时器	(195)
4.4.3 JK 触发器	(141)	6.1.1 CC7555 集成定时器电路结构	(195)
4.4.4 T 触发器	(142)	6.1.2 CC7555 定时器的逻辑功能	(196)
4.4.5 T' 触发器	(142)	6.2 施密特触发器	(197)
4.5 主从触发器	(143)	6.2.1 用 555 定时器构成施密特触	
4.5.1 主从触发器的组成及工作		发器	(197)
原理	(143)	6.2.2 CMOS 门组成的施密特触发	
4.5.2 主从 JK 触发器	(144)	器	(198)
4.6 边沿触发器	(146)	6.2.3 集成施密特触发器	(199)
4.6.1 集成上升沿触发 D 触发器	(146)	6.2.4 施密特触发器的应用举例	(199)
4.6.2 集成负边沿触发 JK 触发器	(148)	6.3 单稳态触发器	(200)
4.6.3 CMOS 边沿触发 D 触发器	(149)		

6.3.1 用 555 定时器构成的单稳态触发器	(200)	思考题和习题	(235)
6.3.2 用集成门电路构成的单稳态触发器	(201)	第八章 大规模集成电路简介	(238)
6.3.3 集成单稳态触发器	(203)	8.1 只读存储器	(238)
6.3.4 单稳态触发器的应用	(205)	8.1.1 ROM 的结构	(239)
6.4 多谐振荡器	(207)	8.1.2 ROM 的工作原理	(239)
6.4.1 用 555 定时器组成多谐振荡器	(207)	8.1.3 ROM 的寻址	(240)
6.4.2 由集成门组成的多谐振荡器	(208)	8.1.4 可编程只读存储器	(241)
本章小结	(212)	8.2 随机存储器 RAM	(246)
思考题和习题	(212)	8.2.1 RAM 的结构和工作原理	(246)
第七章 A/D、D/A 转换	(217)	8.2.2 静态存储单元	(247)
7.1 D/A 转换器	(217)	8.3 可编程逻辑器件 PLD	(249)
7.1.1 权电阻网络 D/A 转换器	(218)	8.3.1 概述	(249)
7.1.2 倒 T 型电阻网络 D/A 转换器	(219)	8.3.2 可编程逻辑阵列 PLA	(250)
7.1.3 D/A 转换器中的模拟开关	(221)	8.3.3 可编程阵列逻辑 PAL	(251)
7.1.4 D/A 转换器的主要技术参数	(222)	8.3.4 通用阵列逻辑 GAL	(251)
7.1.5 集成 D/A 转换器简介	(222)	本章小结	(256)
7.2 A/D 转换器	(225)	思考题和习题	(256)
7.2.1 A/D 转换器工作原理	(225)	附录一 数字集成电路应用实例	(258)
7.2.2 逐次渐近型 A/D 转换器	(227)	附录二 电气图用图形符号——二进制逻辑单元国家标准 GB4728.12—85 简介	(265)
7.2.3 双积分型 A/D 转换器	(229)	附录三 常用逻辑门逻辑符号对照表	(273)
7.2.4 A/D 转换器的主要技术指标	(232)	附录四 常用集成 TTL 芯片引脚图	(274)
7.2.5 集成 A/D 转换器	(233)	参考文献	(277)
本章小结	(234)		

第一章 数字电路基础知识

1.1 概述

1.1.1 数字信号与模拟信号

电子电路中有两种不同类型的信号:模拟信号和数字信号。

模拟信号是指那些在时间和数值上都是连续变化的电信号。例如,模拟语言的音频信号、热电偶上得到的模拟温度的电压信号等,如图 1.1(a)所示。因为不论是语音信号或是被测温度都不可能产生突变,即模拟语音和温度变化的电压信号在时间和数值上都是连续变化的。数字信号则是一种离散信号,它在时间上和幅值上都是离散的。也就是说,它们的变化在时间上是不连续的,只发生在一系列离散的时间上。而数值的大小和每次的增减变化都是某一数量单位的整数倍。最常用的数字信号是用电压的高、低分别代表两个离散数值1和0,如图 1-1(b)所示。图中, U_1 称为高电平; U_2 称为低电平。

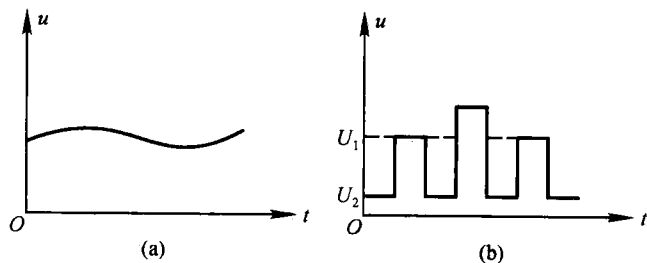


图 1-1 模拟信号和数字信号

(a) 模拟信号 (b) 数字信号

1.1.2 数字电路的特点及应用

一、数字电路的特点

电子电路可分为两大类:一类是处理模拟信号的电路,称为模拟电路;另一类是处理数字信号的电路,称为数字电路。这两种电路有许多共同之处,但也有明显的区别。模拟电路中工作的信号在时间和数值上都是连续变化的,而在数字电路中工作的信号则是在时间和数值上都是离散的。在模拟电路中,研究的主要问题是怎样不失真地放大模拟信号,而数字电路中研究的主要问题,则是电路的输入和输出状态之间的逻辑关系,即电路的逻辑功能。又如,在模拟电路中三极管通常工作在放大状态,研究方法经常利用图解法和微变等效电路法等对电路进行静态和动态的分析,其主要电路单元是放大器;而在数字电路中,电路稳定时三极管一般都工作在截止区或饱和区,研究方法是利用逻辑代数,描述电路逻辑功能的主要方法是真值表、逻辑函数表达式

等,而主要单元电路则是逻辑门和触发器。

数字电路有如下特点:

1. 数字电路中数字信号是用二值量来表示的,每一位数只有0和1两种状态,因此,凡具有两个稳定状态的元件都可用作基本单元电路,故基本单元电路结构简单。

2. 由于数字电路采用二进制,所以能够应用逻辑代数这一工具进行研究。使数字电路除了能够对信号进行算术运算外,还具有一定的逻辑推演和逻辑判断等“逻辑思维”能力。

3. 由于数字电路结构简单,又允许元件参数有较大的离散性,因此便于集成化。而集成电路又具有使用方便、可靠性高、价格低等优点。因此,数字电路得到愈来愈广泛的应用。

二、数字电路的应用

由于数字电路的一系列特点,使它在通信、自动控制、测量仪器等各个科学技术领域中得到广泛应用。当代最杰出的科技成果——计算机,就是它最典型的应用例子。

现以数字频率计的原理框图来说明数字电路的应用及包含的基本内容。

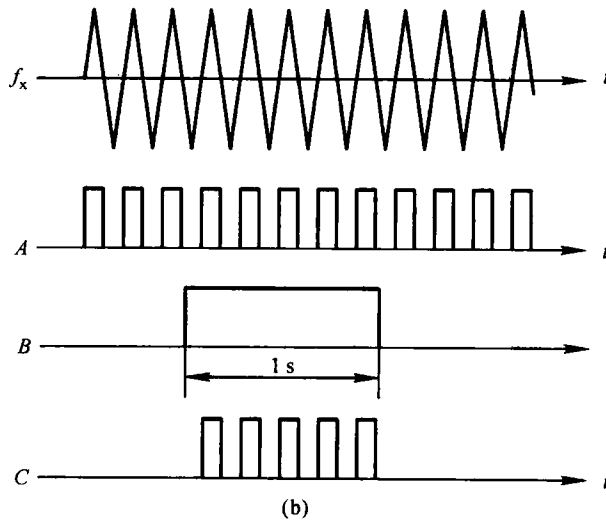
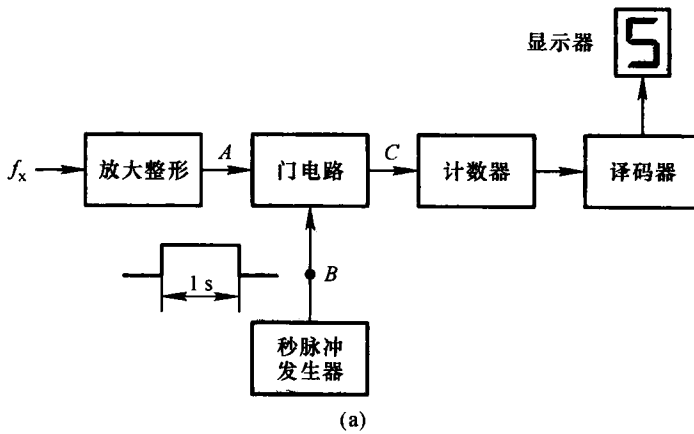


图 1-2 数字频率计框图及波形

(a) 数字频率计原理框图 (b) f_x 、A、B、C 各点波形

图 1-2(a)所示为数字频率计的原理框图,图 1-2(b)为 f_x 、A、B、C 点的波形。

数字频率计用来测量周期信号的频率。如图 1-2 所示,设被测信号频率 f_x 为正弦波,首先经过放大和整形电路,将被测信号变换为与 f_x 频率相同的矩形脉冲信号,然后送入门电路。门电路有两个输入端 A、B,用 B 端信号控制 A 端输入信号。现 B 端为由秒信号发生器产生的宽度为 1 s 的秒脉冲信号,即此信号将门电路开通 1 s 时间,在这段时间内,输入脉冲才能通过门电路进入计数器。计数器是累计信号脉冲个数的装置,现在所累计的脉冲个数即为被测信号在 1 s 内通过的脉冲个数。最后由译码器、显示器将频率直接显示出来。

由上述简单例子中可以看到,数字电路包含的内容是十分广泛的。它包括信号的放大与整形、脉冲的产生与控制以及计数、译码、显示等典型的数字单元电路。

1.1.3 常见脉冲波形及参数

一、常见脉冲波形

“脉冲”是指脉动和短促的意思。我们所讨论的脉冲是指在短暂的时间内作用于电路的电压或电流,即电压脉冲或电流脉冲。实际上,一切具有突变部分的周期性或非周期性的电压或电流波形都称为脉冲。所以,从广义来说,我们把各种非正弦电压或电流信号统称为脉冲信号。

常见的脉冲信号波形,如图 1-3 所示。

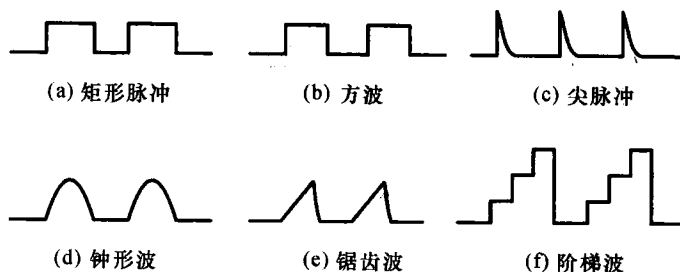


图 1-3 常见的脉冲信号波形

二、矩形脉冲波形参数

非理想的矩形脉冲波形是一种最常见的脉冲信号,如图 1-4 所示。以电压波形为例,描述这种脉冲信号的主要参数有如下几种:

(1) 脉冲幅度 U_m : 脉冲电压的最大变化幅度。

(2) 脉冲宽度 t_w : 脉冲波形前后沿 $0.5 U_m$ 处的时间间隔。

(3) 上升时间 t_r : 脉冲前沿从 $0.1 U_m$ 上升到 $0.9 U_m$ 所需要的时间。

(4) 下降时间 t_f : 脉冲后沿从 $0.9 U_m$ 下降到 $0.1 U_m$ 所需要的时间。

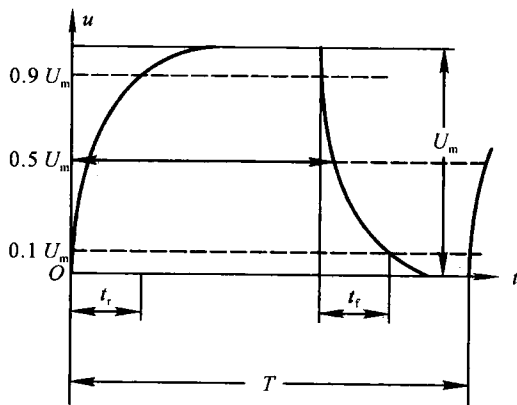


图 1-4 矩形脉冲波形参数

(5) 脉冲周期 T : 在周期性连续脉冲中, 两个相邻脉冲间的时间间隔。有时用频率 $f = 1/T$ 表示单位时间内脉冲变化的次数。

(6) 占空比 q : 指脉冲宽度 t_w 与脉冲周期 T 的比值。

1.2 RC 电路的应用

1.2.1 微分电路

一、电路

微分电路是 RC 串联电路, 输入电压加在串联 RC 电路两端, 输出电压取自电阻 R 两端, 见图 1-5(a) 所示。

构成微分电路的条件是, 电路的时间常数 $\tau = RC$ 要比输入矩形脉冲宽度 t_w 小得多, 即 $RC \ll t_w$ 。

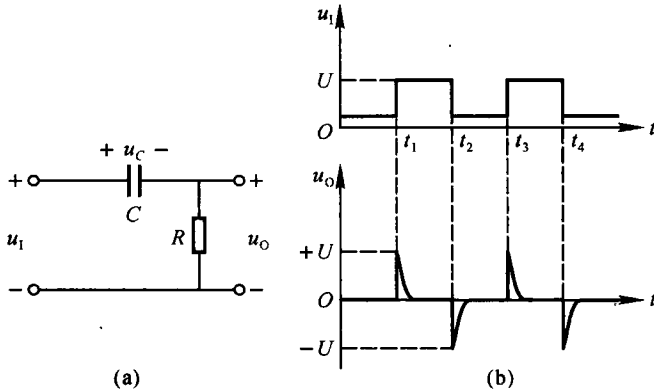


图 1-5 微分电路
(a) 电路图 (b) 波形图

二、工作原理

当 $t < t_1$ 时, $u_1 = 0, u_o = 0$;

当 $t = t_1$ 瞬间, u_1 由 0 跳变为 U , 因为电容器两端电压不能突变, 仍保持跳变前数值, 即 $u_c = 0$, 输入电压全部加在电阻 R 上, 使输出电压也由 u_o 跳变为 U 。

在 $t_1 < t < t_2$ 期间, 电容 C 充电, 由于 $RC \ll t_w$, 所以电容两端电压 u_c 很快到达峰值 U , 输出电压 $u_o = u_1 - u_c = 0$ V, 在输出端形成一个正尖脉冲。

在 $t = t_2$ 瞬间, u_1 跳回到 0, 电容两端电压不能突变, 仍为 U , $u_o = u_1 - u_c = -U$, 即 u_o 由 0 下跳为 $-U$ 。

当 $t_2 < t < t_3$ 期间, 电容 C 放电, 由于 $RC \ll t_w$, 所以 u_c 很快放电到 0, 输出电压 $u_o = u_1 - u_c = 0$, 在输出端形成一个负尖脉冲。

在 $t = t_3$ 时, 电路重复上述过程。输入、输出波形如图 1-5(b) 所示。

由输出波形图可知,微分电路是一种波形变换电路。它可以将输入的矩形脉冲,变换为正负相间的尖脉冲。

微分电路的输出电压 $u_o = u_R = i_C R$, 而 $u_C = C \frac{du_I}{dt}$, 当 τ 很小时, $u_C \approx u_I$, 所以, $u_o = RC \frac{du_I}{dt}$, 即输出电压近似与输入电压的微分成正比, 故称为微分电路。

1.2.2 积分电路

一、电路

积分电路也是 RC 串联电路, 输入电压也是加在 RC 串联电路两端, 只是输出电压取自电容器 C 两端, 而且时间常数 $\tau = RC$ 要远大于脉冲的宽度 t_w , 即 $RC \gg t_w$ 。

电路如图 1-6(a) 所示。

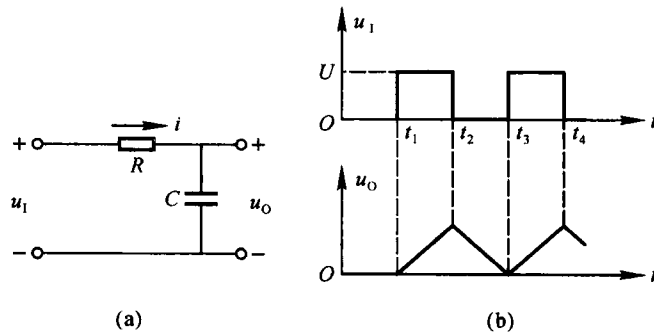


图 1-6 积分电路
(a) 电路图 (b) 波形图

二、工作原理

当 $t < t_1$, $u_1 = 0$, $u_o = u_C = 0$;

当 $t = t_1$ 瞬间, u_1 上跳到 U , 由于电容器两端电压不能突变仍维持 $u_C = 0$ 。

在 $t_1 < t < t_2$ 期间, u_1 不变, 电容电压按指数规律充电, 因 $\tau \gg t_w$, 所以在此期间, $u_o = u_C$, 近似按直线增长。

当 $t = t_2$, u_1 下跳到 0, 但是, 由于电容器两端电压不能突变, 所以 $u_o = \frac{u_1}{RC} t_w$ 。

在 $t_2 < t < t_3$ 期间, $u_1 = 0$, 电容经电阻 R 放电。随着 t 的增加, u_C 按指数规律逐渐趋于零。

输出波形见图 1-6(b) 所示。由图可见, 积分电路也是一种波形变换电路, 它可将矩形波变换成锯齿波或三角波。

电容两端电压与回路电流有如下关系。

$$u_o(t) = \frac{1}{C} \int_{t_1}^{t_2} i(t) dt$$

由于 $\tau \gg t_w$, 电容上充电电压 u_C 不大, 输入电压绝大部分降落在电阻上, 则

$$i(t) = u_1(t)/R$$

$$\text{所以 } u_o(t) = \frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_2} u_1(t) dt$$

即电路的输出电压 $u_o(t)$ 与输入电压 $u_1(t)$ 的积分成正比, 因此称为积分电路。

1.2.3 脉冲分压器

一、电路组成

脉冲信号有时要经过电阻分压输出到下一级, 但由于电路有分布电容和后续电路输入电容存在, 分压电路的输出波形将会产生失真, 如图 1-7(a) 所示。

为了改善输出波形的边沿, 可在 R_1 上并联一个电容 C_j , 它能使输出电压 u_o 的边沿变化加快, 故称加速电容, 如图 1-7(b) 所示。

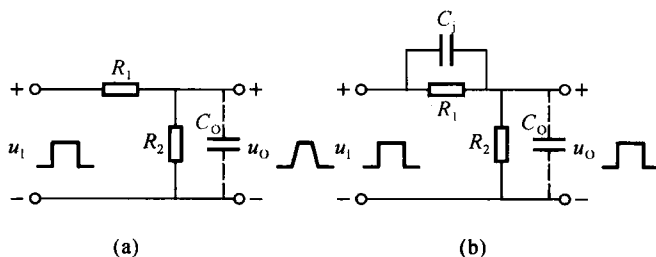


图 1-7 脉冲分压电路

二、工作原理

当 u_1 从 0 跳变到 u_1 的瞬间, 当 C_j 、 C_o 的容抗很小, 而电阻 R_1 、 R_2 的阻值相对很大时, 则电阻相当于开路, 这时输出电压的大小主要取决于 C_j 、 C_o 的分压作用, 即

$$u_o(0^+) = \frac{C_j}{C_j + C_o} u_1$$

式中, $u_o(0^+)$ 为输出电压起始值;

$\frac{C_j}{C_j + C_o}$ 为电容分压系数。

在稳态时, 电容相当于开路, 输出电压的大小取决于 R_1 、 R_2 的分压比, 即

$$u_o(\infty) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_1$$

式中, $u_o(\infty)$ 为输出电压终了值;

$\frac{R_2}{R_1 + R_2}$ 为电阻分压系数。

若加速电容 C_j 取值合适, 则输出电压波形的起始值 $u_o(0^+)$ 与终了值 $u_o(\infty)$ 应相等。即

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{C_j}{C_j + C_o}$$

经简化, 得

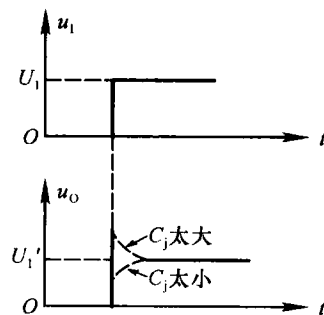


图 1-8 C_j 不同时的输出波形

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{C_j}{C_0}$$

$$\text{或 } C_j = C_0 \frac{R_2}{R_1}$$

因此,在 C_0 、 R_1 、 R_2 已知情况下,按上式选择 C_j ,可以极大地改善电阻分压电路的输出波形。 C_j 太大或太小都会引起输出波形的畸变,如图 1-8 所示。

1.3 数制及码制

1.3.1 数制

表示数值大小的各种计数方法称为计数体制,简称数制。

一、十进制数

十进制数是人们十分熟悉的计数体制。它用 0~9 十个数字符号,按照一定的规律排列起来表示数值大小。例如,1999 这个数可写成:

$$1999 = 1 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 9 \times 10^1 + 9 \times 10^0$$

从这个十进制数的表达式中,可以看出十进制的特点:

(1) 每一位数是 0~9 十个数字符号中的一个。

(2) 每一个数字符号在不同的数位代表的数值不同,即使同一数字符号在不同的数位代表的数值也不同。各数位 1 所表示的值称为该位的权,它是 10 的幂。

(3) 十进制计数规律是“逢十进一”。因此,十进制数右边第一位为个位,记作 10^0 ;第二位为十位,记作 10^1 ;第三,四,……, n 位依此类推记作 $10^2, 10^3, \dots, 10^{n-1}$ 。

所以对于十进制数的任意一个 n 位的正整数都可以用下式表示:

$$\begin{aligned} [N]_{10} &= a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \dots + a_1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0 \\ &= \sum_{i=0}^{n-1} a_i \times 10^i \end{aligned}$$

式中, a_i 为第 i 位的系数,它为 0~9 十个数字符号中的某一个数; 10^i 为第 i 位的权; $[N]_{10}$ 中下标 10 表示 N 是十进制数。

二、二进制数

二进制是在数字电路中应用最广泛的计数体制。它只有 0 和 1 两个符号。在数字电路中实现起来比较容易,只要能区分两种状态的元件即可实现,如三极管的饱和和截止,灯泡的亮与暗,开关的接通与断开等等。

二进制数采用两个数字符号,所以计数的基数为 2。各位数的权是 2 的幂,它的计数规律是“逢二进一”。

N 位二进制整数 $[N]_2$ 的表达式为

$$[N]_2 = a_{n-1} \times 2^{n-1} + a_{n-2} \times 2^{n-2} + \dots + a_1 \times 2^1 + a_0 \times 2^0 = \sum_{i=0}^{n-1} a_i \times 2^i$$

式中, $[N]_2$ 表示二进制数; a_i 为第 i 位的系数,只能取 0 和 1 的任一个; 2^i 为第 i 位的权。

[例 1-1] 一个二进制数 $[N]_2 = 10101000$, 试求对应的十进制数。

$$\begin{aligned}\text{解: } [N]_2 &= [10101000]_2 \\ &= [1 \times 2^7 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^3]_{10} \\ &= [128 + 32 + 8]_{10} \\ &= [168]_{10}\end{aligned}$$

$$\text{即: } [10101000]_2 = [168]_{10}$$

由上例可见, 十进制数 $[168]_{10}$, 用了 8 位二进制数 $[10101000]$ 表示。如果十进制数数值再大些, 位数就更多, 这既不便于书写, 也易于出错。因此, 在数字电路中, 也经常采用八进制和十六进制。

三、八进制

在八进制数中, 有 0~7 个数字符号, 计数基数为 8, 计数规律是“逢八进一”, 各位数的权是 8 的幂。 n 位八进制整数表达式为

$$\begin{aligned}[N]_8 &= a_{n-1} \times 8^{n-1} + a_{n-2} \times 8^{n-2} + \cdots + a_1 \times 8^1 + a_0 \times 8^0 \\ &= \sum_{i=0}^{n-1} a_i \times 8^i\end{aligned}$$

[例 1-2] 求八进制数 $[N]_8 = [250]_8$ 所对应的十进制数。

$$\begin{aligned}\text{解: } [N]_8 &= [250]_8 \\ &= [2 \times 8^2 + 5 \times 8^1 + 0 \times 8^0]_{10} \\ &= [128 + 40]_{10} \\ &= [168]_{10}\end{aligned}$$

$$\text{即: } [250]_8 = [168]_{10}$$

四、十六进制

在十六进制数中, 计数基数为 16, 有十六个数字符号: 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F。计数规律是“逢十六进一”。各位数的权是 16 的幂, n 位十六进制数表达式为

$$\begin{aligned}[N]_{16} &= a_{n-1} \times 16^{n-1} + a_{n-2} \times 16^{n-2} + \cdots + a_1 \times 16^1 + a_0 \times 16^0 \\ &= \sum_{i=0}^{n-1} a_i \times 16^i\end{aligned}$$

[例 1-3] 求十六进制数 $[N]_{16} = [A8]_{16}$ 所对应的十进制数。

$$\begin{aligned}\text{解: } [N]_{16} &= [A8]_{16} \\ &= [10 \times 16^1 + 8 \times 16^0]_{10} \\ &= [160 + 8]_{10} \\ &= [168]_{10}\end{aligned}$$

$$\text{即 } [A8]_{16} = [168]_{10}$$

从例 1-1、例 1-2、例 1-3 可以看出, 用八进制和十六进制表示同一个数值, 要比二进制简单得多。因此, 书写计算机程序时, 广泛使用八进制和十六进制。

表 1-1 为几种常用数制对照表。

表 1-1 几种常用数值对照表

十进制	二进制								八进制	十六进制
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
2	0	0	0	0	0	0	1	0	2	2
3	0	0	0	0	0	0	1	1	3	3
4	0	0	0	0	0	1	0	0	4	4
5	0	0	0	0	0	1	0	1	5	5
6	0	0	0	0	0	1	1	0	6	6
7	0	0	0	0	0	1	1	1	7	7
8	0	0	0	0	1	0	0	0	10	8
9	0	0	0	0	1	0	0	1	11	9
10	0	0	0	0	1	0	1	0	12	A
11	0	0	0	0	1	0	1	1	13	B
12	0	0	0	0	1	1	0	0	14	C
13	0	0	0	0	1	1	0	1	15	D
14	0	0	0	0	1	1	1	0	16	E
15	0	0	0	0	1	1	1	1	17	F
16	0	0	0	1	0	0	0	0	20	10
32	0	0	1	0	0	0	0	0	40	20
64	0	1	0	0	0	0	0	0	100	40
100	0	1	1	0	0	1	0	0	144	64
127	0	1	1	1	1	1	1	1	177	7F
255	1	1	1	1	1	1	1	1	377	FF

1.3.2 不同进制数之间的相互转换

一、二进制、八进制、十六进制数转换成十进制数

由例 1-1、例 1-2、例 1-3 可知,只要将二进制、八进制、十六进制数按各位权展开,并把各位的加权系数相加,即得相应的十进制数。

二、十进制数转换成二进制数

将十进制数转换成二进制数可以采用除 2 取余法,步骤如下:

第一步:把给出的十进制数除以 2,余数为 0 或 1 就是二进制数最低位 a_0 。

第二步:把第一步得到的商再除以 2,余数即为 a_1 。

第三步及以后各步:继续相除、记下余数,直到商为 0,最后余数即为二进制数最高位。

[例 1-4] 将十进制数 $[168]_{10}$ 转换成二进制数。

解:

$$\begin{array}{r}
 2 \overline{) 168} \text{ ————— } 0 \\
 2 \overline{) 84} \text{ ————— } 0 \\
 2 \overline{) 42} \text{ ————— } 0 \\
 2 \overline{) 21} \text{ ————— } 1 \\
 2 \overline{) 10} \text{ ————— } 0 \\
 2 \overline{) 5} \text{ ————— } 1 \\
 2 \overline{) 2} \text{ ————— } 0 \\
 2 \overline{) 1} \text{ ————— } 1 \\
 0
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \text{即: } a_0 = 0 \text{ ——— 最低位} \\
 a_1 = 0 \\
 a_2 = 0 \\
 a_3 = 1 \\
 a_4 = 0 \\
 a_5 = 1 \\
 a_6 = 0 \\
 a_7 = 1 \text{ ——— 最高位}
 \end{array}$$

$$\text{即: } [168]_{10} = [a_7 a_6 a_5 a_4 a_3 a_2 a_1 a_0]_2 = [10101000]_2$$

三、二进制与八进制、十六进制的相互转换

1. 二进制与八进制之间的相互转换

因为三位二进制数正好表示 0~7 八个数字, 所以一个二进制数转换成八进制数时, 只要从最低位开始, 每三位分为一组, 每组都对应转换为一位八进制数。若最后不足三位时, 可在前面加 0, 然后按原来的顺序排列就得到八进制数。

[例 1-5] 试将二进制数 $[10101000]_2$ 转换成八进制数。

$$\begin{array}{ccc} \text{解:} & \mathbf{010} & \mathbf{101} & \mathbf{000} \\ & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ & 2 & 5 & 0 \end{array}$$

$$\text{即: } [10101000]_2 = [250]_8$$

反之, 如果八进制数转换成二进制数, 只要将每位八进制数写成对应的三位二进制数, 按原来的顺序排列起来即可。

[例 1-6] 试将八进制数 $[250]_8$ 转换为二进制数。

$$\begin{array}{ccc} \text{解:} & \mathbf{2} & \mathbf{5} & \mathbf{0} \\ & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ & \mathbf{010} & \mathbf{101} & \mathbf{000} \end{array}$$

$$\text{即: } [250]_8 = [10101000]_2$$

2. 二进制数与十六进制数之间的相互转换

因为四位二进制数正好可以表示 0~F 十六个数字, 所以转换时可以从最低位开始, 每四位二进制数分为一组, 每组对应转换为一位十六进制数。最后不足四位时可在前面加 0, 然后按原来顺序排列就可得到十六进制数。

[例 1-7] 试将二进制数 $[10101000]_2$ 转换成十六进制数。

$$\begin{array}{ccc} \text{解:} & \mathbf{1010} & \mathbf{1000} \\ & \downarrow & \downarrow \\ & \mathbf{A} & \mathbf{8} \end{array}$$

$$\text{即: } [10101000]_2 = [A8]_{16}$$

反之, 十六进制数转换成二进制数, 可将十六进制的每一位, 用对应的四位二进制数来表示。

[例 1-8] 试将十六进制数 $[A8]_{16}$ 转换成二进制数。

$$\begin{array}{ccc} \text{解:} & \mathbf{A} & \mathbf{8} \\ & \downarrow & \downarrow \\ & \mathbf{1010} & \mathbf{1000} \end{array}$$

$$\text{即: } [A8]_{16} = [10101000]_2$$

1.3.3 二-十进制(BCD)码

BCD 码是用一组四位二进制码来表示一位十进制数的编码方法。四位二进制码有十六种组合, 从中任取十种组合代表 0~9 十个数。因此四位二进制码可编制出很多种 BCD 码。