

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS



数字电路与逻辑设计

(脉冲与数字电路 第三版)

SHUZIDIANLU YU LUOJISHEJI

曹汉房 主编

华中理工大学出版社

数字电路与逻辑设计

(脉冲与数字电路(第三版))

曹汉房 主编

华中理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字电路与逻辑设计(脉冲与数字电路(第三版))/曹汉房 主编.-3版
武汉:华中理工大学出版社, 1999年6月

ISBN 7-5609-1966-9

I. 数…

II. 曹…

III. 数字电路-逻辑设计-高等学校-教材

IV. TN78—79

数字电路与逻辑设计

脉冲与数字电路(第三版)

曹汉房 主编

责任编辑:黄以铭

封面设计:刘 卉

责任校对:蔡晓璐

监 印:张正林

出版发行:华中理工大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87542624

经销:新华书店湖北发行所

录排:华中理工大学出版社照排室

印刷:湖北省新华印刷厂

开本:787×1092 1/16

印张:19.25

字数:432 000

版次:1999年6月第3版

印次:2000年2月第10次印刷

印数:38 001—42 000

ISBN 7-5609-1966-9/TN·51

定价:21.80元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行科调换)

TP331
21-3

418653

内 容 提 要

本书系统地阐述了逻辑电路的基础理论——布尔代数及其数学工具;重点讨论逻辑电路的设计方法和分析方法;详细介绍了通用性强的几类中、大规模集成器件,并结合实例介绍了它们在各领域中的应用;对新型功能部件 PLD 和系统级芯片 FPGA 及其开发技术也进行了较完整的介绍。

全书共九章,主要内容有:逻辑函数、集成逻辑门、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、存储器和可编程逻辑器件、FPGA 技术、脉冲单元电路、模数及数模转换技术等。各章均附有内容提要、小结和习题。

本书可作为理工院校电子类、通信类、自控类等有关专业的技术基础课教材,也可供高等工程专科学校选用,还可供有关专业工程技术人员参考。

JS422/56

第三版前言

本书第二版出版至今已有六年了,在这六年中,数字技术已有飞速发展,其突出的特点是新的中、大规模集成器件层出不穷,并且在工作速度和功耗等技术指标上获得大幅度的提高,因此,中、大规模集成器件的应用领域迅速扩展;另一方面,可编程逻辑器件和 FPGA 技术正在异军突起,其应用领域和市场占有率逐年激增。本书此次修订就是考虑到数字技术飞速发展的现实,同时兼顾到原国家教委颁发的“脉冲与数字电路课程基本要求”和广大读者反馈意见而进行编写的。

第三版与第二版比较,在内容方面有较大调整,具体表现在以下三方面:

第一,提高课程起点。以中、大规模集成电路为起点,以逻辑电路的模块化设计为主线来组织教材的基本内容。为此,扩充了中、大规模集成电路内容;补充了一些近年来出现的功能更完善和性能更优越的新器件;增加 CMOS 器件的比例;增加中、大规模集成电路在数字技术中的应用实例。

第二,从发展趋势看,新型功能部件 PLD 和超大规模系统级芯片 FPGA 将是逻辑电路与数字系统设计的发展方向,它们的开发应用必将有力地推动数字设备向小型化、低功耗、高可靠性和开发周期短的趋势发展。所以,第三版增加了可编程逻辑器件(第六章)和 FPGA 技术(第七章)等新内容。

第三,对一些源于 60 年代旨在减少逻辑门使用数量的繁琐的设计步骤进行删除或简化,如状态分配、触发器选型、文字填表法(统一卡诺图法)、符号置换分析法等;对一些已过时的器件或实用性不大的逻辑电路和陈旧技术予以删除,如删除了采用熔丝技术的 PROM、面向工厂的掩模 PLA 技术、PMOS 器件、异步时序电路的设计方法以及分立元件构成的脉冲单元电路等;简化器件内部结构和内部特性分析,注重器件外部特性分析、正确的使用方法以及功能扩展的技巧。

在课程体系上也作了局部调整,将大规模集成器件存储器和 PLD 合并为第六章;新增加的超大规模集成电路(FPGA 技术)列为第七章;在第三章和第五章中,结合介绍逻辑电路的设计方法,介绍各类中规模集成器件。

此外,第三版中还编入了作者在教学与科研中的部分研究成果。如乘积卡诺图法及其应用;逻辑电路设计中“灵活设计法”的应用;数字调相信号波形存储法及其应用;数字技术在石油井测试、数字通信和图像处理等领域中的应用实例以及使用 GAL 和 FPGA 等新型器件必须注意的技术问题等。

本教材的参考学时为 80 学时,使用院校可依据自己的教学要求灵活安排教学内容。我们提供两种方案可供参考。方案之一是依据章节次序从 1.1→6.2 顺序讲授,然后讲授第八、九两章(以上是“脉冲与数字电路课程基本要求”内容,参考学时为 60 学时),其余内容可作为选修课或新技术讲座内容;方案之二是按本书章节顺序讲授。其中加“*”号部分为选学内容。为便于教学,章首有内容提要,章末有小结和习题。

由于本教材内,脉冲电路的内容很少,且该内容可安排在其他课程内介绍,所以第三版书名改为《数字电路与逻辑设计》,这样能更确切地反映教材的主要内容。

本书由华中理工大学电信系曹汉房主编。其中第9章由屈万里、曹汉房合编；第1章由曹汉房、刘寿文合编；第8章由曹汉房、李凤英合编。其余各章由曹汉房执笔。

本书(第一版和第二版)出版发行以来,我们收到一些使用本教材的兄弟院校及广大读者的宝贵意见,这些有益的意见将涉猎于第三版之中。同时,借此次修订机会,我们对华南理工大学、武汉水利电力大学、华中师范大学、上海大学、南昌大学、汕头大学、武汉交通科技大学、合肥工业大学、东北工学院、华东交通大学、合肥联合大学、暨南大学、江门大学、山东农业大学、西安第二炮兵工程学院、郑州信息工程学院、江汉石油学院、武汉空军雷达学院、江西渝州电子工业学院、武汉江汉大学和广大读者的支持和帮助致以衷心感谢。我们恳请使用第三版的兄弟院校和广大读者予以批评指正。

作者

1998年10月于武昌

再版前言

本书是作者 1984 年编写的《脉冲与数字电路》的修订版本,新版本保留初版书的基本内容,同时也努力保持深入浅出、理论联系实际、着重阐述物理概念和分析逻辑关系、便于自学等特色。本书根据教委课程指导委员会 1987 年颁发的“脉冲与数字电路”课程基本要求和广大读者意见,对全书编写体系和内容作了较大调整。在体系方面,以数字电路内容为线索,在系统地介绍数字电路之后,再介绍脉冲单元电路,最后再介绍数模及模数转换技术;在内容方面,大幅度地减少脉冲电路的篇幅,并且删除分立元件构成的脉冲电路内容,重点介绍集成脉冲电路;扩充了 MSI 组件和 LSI 集成片的内容;增加了用中、大规模集成电路设计实用数字系统等内容;重新精选组合电路和时序电路分析的实例以及各章例题。此外,作者将近年来在教学与科研方面的部分研究心得也编入新版本,如多输出函数简化方法(乘积卡诺图法)、逻辑电路设计中“灵活设计法”的应用、数字通信帧同步系统的设计、码位交织系统的设计、高速高精度 ADC 以及 E²PROM、可变长度移位寄存器等。

本书由华中理工大学信息工程系曹汉房主编。其中第一章由刘寿文执笔,第二章由屈万里执笔,绪论、第三、四、五、六章和 § 1.6 由曹汉房执笔,第七章由李凤英执笔,第八章由刘寿文、屈万里执笔。最后由曹汉房统审定稿。

加 * 部分为选学内容。为了便于自学,章首增加了内容提要,章末增加了小结,各章均附有思考题和习题。书末列出了参考文献及部分习题参考答案。

本书初版自 1985 年问世以来,承蒙华中理工大学、华南理工大学、西安第二炮兵技术学院、郑州信息学院、武汉水利电力学院、江西大学、暨南大学、江汉石油学院、江门大学、武汉华中师范大学、东北工学院、武汉水运工程学院、合肥科技大学等院校作为教材使用,提出了许多宝贵意见,这些有益的意见将反映在新版本之中,借此次再版机会,对兄弟院校及广大读者的支持和帮助致以衷心感谢。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中一定有不少错误,恳请读者批评指正。

作者

1988 年 4 月

前 言

本书是作者近年来在我院无线电系教学讲义的基础上,根据教育部颁发的《脉冲与数字电路》教学大纲,并参考 1984 年 12 月全国工科电工编委会电子线路组厦门会议对本课程大纲讨论的修改意见,作了修改和补充而写成的。

本书在内容上是这样安排的:第一篇脉冲电路,首先介绍双极型和单极型晶体管开关特性,然后讨论典型的脉冲波形变换与产生电路(如钳位器、限幅器、锯齿波扫描电路和张弛振荡电路等)的工作原理和分析方法,同时也介绍一些简单的工程设计方法。对于种类繁多的变形电路和系统的设计方法,只选编有代表性的一部分。本篇的第二、三章的内容,使用者可以在实验课或专题讲座中讲授,这不会影响教学的系统性和连续性。第二篇数字电路,首先介绍逻辑函数,其中对设计数字电路的重要工具——卡诺图的构成和应用作了详细讨论;然后介绍集成逻辑门,紧接着介绍组合电路,并结合我国生产的中、小规模集成电路讨论组合电路的分析与设计方法,例如二进制运算电路、译码电路、数字显示电路、MSI 多路选择器、MSI 多路分配器和分析 MSI 全加器、MSI 比较器、MSI 算术逻辑单元等的设计方法。然后介绍集成触发器,紧接着介绍时序电路,先讨论时序电路的系统设计方法,然后结合国产 MSI 时序部件(如 MSI 异步计数器、MSI 同步计数器、MSI 寄存器和 MSI 移位寄存器等)讨论功能扩展方法。在中、小规模集成电路之后介绍大规模集成电路,主要介绍 RAM、ROM、PLA 可编程逻辑阵列等,并重点讨论它们在数字系统设计中的应用及其功能扩展方法,对新型大规模集成电路,如 I^2L 电路(基极注入逻辑)和 CCD(电荷耦合器件)也作了一般介绍。这样,可使读者对小、中和大规模集成电路构成的数字电路(系统)有比较完整的了解。最后一章讨论接口电路 A/D 与 D/A 转换,主要介绍几种常用的、典型的 A/D 与 D/A 转换方法。

本书由无线电工程系曹汉房主编。第一、二、三章由李凤英编写,第四、十章由刘寿文编写,第五、七章由张文凤编写,第六、八、九章和绪论由曹汉房编写。石秀芳参加了各章习题选编。

加 * 部分为选学内容,为了便于读者自学,章末附有思考题和习题,书末列出参考文献和部分习题参考答案。

本教材讲义经西安第二炮兵技术学院、武汉雷达学院、武汉江汉大学等兄弟院校试用,提出了许多宝贵意见,近几年在我系进修本课程的兄弟院校教师和使用本教材讲义的其他同志也提出许多修改意见,在此一并致谢。

张肃文教授对本书编写给予了全面指导,编者在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中一定有不少缺点与错误,恳请读者批评指正。

作者

1984 年 5 月

目 录

绪论	(1)
第 1 章 逻辑函数	(6)
1.1 逻辑代数	(6)
1.1.1 基本逻辑运算	(6)
1.1.2 逻辑函数的基本定理	(7)
1.1.3 逻辑函数的基本运算规则	(8)
1.2 逻辑函数的标准型	(9)
1.2.1 逻辑函数的两种标准形式	(9)
1.2.2 将逻辑函数变换为标准型	(11)
1.3 几种常用的复合逻辑及其逻辑门	(12)
1.3.1 三种基本逻辑门	(12)
1.3.2 常用的复合逻辑及其逻辑门	(13)
1.3.3 正逻辑与负逻辑	(15)
1.4 逻辑函数的简化	(15)
1.4.1 逻辑代数简化法	(15)
1.4.2 卡诺图简化法	(17)
1.5 卡诺图的其他应用	(23)
习题	(25)
第 2 章 集成逻辑门	(28)
2.1 晶体二极管和三极管的开关特性	(28)
2.1.1 晶体二极管的开关特性	(28)
2.1.2 晶体三极管的开关特性	(30)
2.2 TTL 逻辑门	(32)
2.2.1 浅饱和型 TTL 与非门	(32)
2.2.2 TTL 与非门的性能指标	(34)
2.2.3 其他 TTL 与非门	(37)
2.2.4 集电极开路与非门(OC 门)	(38)
2.2.5 三态 TTL 与非门(TSL)	(41)
2.3 射极耦合逻辑门(ECL)	(42)
2.3.1 ECL 反相器	(42)
2.3.2 ECL 或/或非门	(43)
2.4 MOS 逻辑门	(44)
2.4.1 MOS 管	(44)
2.4.2 MOS 管的静态特性	(45)

2.4.3	N MOS 逻辑门	(48)
2.4.4	C MOS 逻辑门	(49)
2.5	集成逻辑门使用中的几个问题	(52)
	习题	(54)
第3章	组合逻辑电路	(58)
3.1	组合逻辑电路的设计	(58)
3.1.1	提供原、反变量输入条件下的组合电路的设计	(59)
3.1.2	在提供原变量输入条件下的组合电路的设计	(60)
3.1.3	多端输出组合电路的设计	(61)
3.2	组合逻辑电路的分析	(63)
3.3	编码与编码器	(64)
3.3.1	编码	(64)
3.3.2	编码器	(67)
3.4	译码与译码器	(71)
3.4.1	译码器的设计	(71)
3.4.2	中规模集成通用译码器	(72)
3.4.3	码制转换译码器	(76)
3.4.4	中规模集成数字显示译码器	(77)
3.5	二进制运算电路	(79)
3.5.1	半加器	(79)
3.5.2	全加器	(80)
3.5.3	中规模集成 4 位加法器	(81)
3.5.4	数值比较器	(84)
3.6	数据选择器	(87)
3.6.1	数据选择器的类型及主要性能	(87)
3.6.2	用数据选择器实现逻辑函数	(91)
3.6.3	数据选择器的应用	(93)
3.7	数据分配器	(95)
3.8	奇偶产生器/检验器	(96)
3.8.1	奇偶产生器/检验器的设计	(96)
3.8.2	中规模集成奇偶产生器/检验器	(97)
3.9	组合逻辑电路中的冒险现象	(98)
3.9.1	组合电路中的竞争与冒险	(98)
3.9.2	逻辑冒险的检查和消除	(99)
3.9.3	功能冒险的消除	(101)
	习题	(102)
第4章	集成触发器	(106)
4.1	RS 触发器	(106)

4.1.1	基本 RS 触发器	(106)
4.1.2	时钟 RS 触发器	(107)
4.1.3	主从 RS 触发器	(110)
4.2	主从 JK 触发器	(111)
4.3	维持阻塞型 D 触发器	(113)
4.4	T 和 T' 触发器	(115)
4.4.1	T 触发器	(115)
4.4.2	T' 触发器	(115)
4.5	边沿型触发器	(116)
4.6	C MOS 触发器	(117)
4.6.1	C MOS D 触发器	(117)
4.6.2	C MOS JK 触发器	(118)
4.7	集成触发器使用中的几个问题	(119)
4.7.1	集成触发器的选用	(119)
4.7.2	激励表的应用	(119)
4.7.3	触发器类型转换	(119)
4.7.4	如何画工作波形	(120)
	习题	(121)

第 5 章	时序逻辑电路	(125)
5.1	时序逻辑电路概述	(125)
5.2	同步时序电路的设计	(126)
5.2.1	同步时序电路的设计方法	(126)
5.2.2	拟定原始状态表或状态图	(127)
5.2.3	状态简化	(130)
5.2.4	状态分配	(133)
5.2.5	确定激励函数和输出函数	(134)
5.2.6	设计举例	(136)
5.3	同步时序电路的分析	(138)
5.4	寄存器和锁存器	(142)
5.4.1	寄存器	(142)
5.4.2	锁存器	(145)
5.5	移位寄存器	(146)
5.5.1	移位寄存器的设计	(146)
5.5.2	中规模集成移位寄存器	(147)
5.6	计数器	(150)
5.6.1	计数器的功能和分类	(150)
5.6.2	同步计数器	(151)
5.6.3	异步计数器	(161)
5.6.4	中规模集成计数器	(165)

5.7 序列信号发生器	(170)
习题	(174)
第6章 存储器和可编程逻辑器件	(180)
6.1 随机存储器(RAM)	(180)
6.1.1 动态 MOS 反相器	(181)
6.1.2 RAM 的基本结构	(182)
6.1.3 RAM 的典型产品介绍	(184)
6.1.4 RAM 的容量扩展	(187)
6.2 只读存储器(ROM)	(188)
6.2.1 只读存储器(ROM)	(188)
6.2.2 可擦可编程只读存储器(EP ROM)	(190)
6.2.3 电可编程序只读存储器(E ² P ROM)	(192)
6.2.4 ROM 的应用	(193)
6.3 可编程逻辑器件的结构和分类	(195)
6.3.1 PLD 器件表示方法	(195)
6.3.2 PLD 的基本结构	(195)
6.3.3 PLD 的分类	(197)
6.3.4 可编程逻辑器件的优点	(197)
6.4 可编程通用阵列逻辑(GAL)	(198)
6.4.1 GAL 器件的基本结构	(198)
6.4.2 输出逻辑宏单元(OLMC)的组态结构	(203)
6.4.3 编程应用中的几个技术问题	(205)
6.5 可编程逻辑阵列(PLA)	(207)
6.5.1 PLA 的工作原理	(207)
6.5.2 用户可编程逻辑阵列 FPLA	(209)
习题	(212)
第7章 FPGA 技术	(214)
7.1 FPGA 技术概述	(214)
7.1.1 FPGA 的分类	(214)
7.1.2 FPGA 的性能指标	(217)
7.1.3 FPGA 的简化表示方法	(218)
7.1.4 FPGA 的优点	(219)
7.2 FPGA 的电路结构	(219)
7.2.1 LCA 型 FPGA 的电路结构	(219)
7.2.2 CLB 逻辑单元	(220)
7.2.3 I/O 单元	(222)
7.2.4 配置存储器	(224)
7.2.5 其他辅助电路	(225)

7.3	FPGA 的连接方法	(226)
7.3.1	通用连接方式	(226)
7.3.2	直接连接方式	(227)
7.3.3	长线连接方式	(227)
7.4	FPGA 的编程和加载方法	(228)
7.4.1	编程数据的数据结构	(228)
7.4.2	编程数据的加载方法	(229)
7.5	FPGA 的开发系统	(236)
7.5.1	开发系统的组成	(236)
7.5.2	设计流程	(237)
	习题	(238)
第 8 章	脉冲单元电路	(240)
8.1	限幅器和钳位器	(240)
8.1.1	二极管限幅器	(240)
8.1.2	二极管钳位器	(241)
8.2	集成门构成的脉冲单元电路	(244)
8.2.1	集成门构成的施密特触发器	(244)
8.2.2	集成门构成的单稳态触发器	(247)
8.2.3	集成门构成的自激多谐振荡器	(251)
8.3	集成运算放大器构成的脉冲单元电路	(253)
8.3.1	集成运算放大器的传输特性	(253)
8.3.2	集成运放构成的施密特触发器	(254)
8.3.3	集成运放构成的单稳态触发器	(255)
8.3.4	集成运放构成的自激多谐振荡器	(256)
	习题	(258)
第 9 章	模数及数模转换技术	(262)
9.1	模数及数模转换技术概述	(262)
9.2	数模转换器	(263)
9.2.1	数模转换器的基本原理	(263)
9.2.2	电压型数模转换器	(264)
9.2.3	电流型数模转换器	(267)
9.2.4	中规模集成数模转换器	(268)
9.2.5	数模转换器的性能指标	(271)
9.3	模数转换器	(272)
9.3.1	模数转换的基本原理	(272)
9.3.2	直接转换型模数转换器	(274)
9.3.3	模数转换器的性能指标	(280)
9.4	集成模数转换器	(280)

习题.....	(283)
附录一 数字集成电路型号命名规则.....	(285)
附录二 常用逻辑单元图形符号对照表.....	(288)
参考文献.....	(295)

绪 论

(一) 数字技术发展史

数字技术是研究数字电路和它在各种学科领域应用的一门科学,它的发展大致可分为五个阶段。

数字技术早在 19 世纪末就开始获得工程应用,电报通信就是一个简单的二值数字系统。本世纪 30 年代,电话逐渐普及,在众多电话机中依靠人工方法来选取你所需要的对象已经不可能了,所以,促使拨号式自动电话交换系统的诞生。该系统在数字技术中首次引进了信息存储的新功能。特别需要指出的是在该系统的研究中,英国数学家乔治·布尔(George Boole)早在 1847 年就创立了布尔代数理论获得工程应用,并在随后的实践中丰富和发展了布尔代数,逐渐形成了近代开关理论;继电-触点网络理论(Relay-Contact Network Theory),在这个理论基础上建立了一套对于数字逻辑电路的分析方法和设计方法,为以后数字技术的发展奠定了理论基础。

进入 40 年代,许多军事科学的研究迫切需要进行快速的大量计算,例如,火箭的飞行轨迹和自动控制等,这就要求计算工作自动化,因此,1946 年世界上出现了第一台采用电子管为基本元件的电子计算机(名为 ENIAC)。但是由于电子管在性能指标上存在许多缺陷,因此,在晶体管出现以前,采用电子管为基本器件的一些数字设备只是在自动电话交换系统、数字通信和专用计算机少数学科领域获得应用,这是数字技术发展的初期阶段。

从 60 年代开始,数字技术中广泛采用晶体管代替电子管作为基本器件。由于晶体管具有体积小、功耗低、工作速度高和工作寿命长等优点,使数字设备缩小了体积、降低了功耗、提高了工作速度和可靠性,因而,为数字技术的推广应用创造了条件。在计算机、数字通信、测量仪表和自动控制等学科领域中都开始应用数字技术。这可称为数字技术发展的第二阶段。

从 60 年代末至 70 年代中期是数字技术发展的第三阶段。这一时期在数字技术中广泛采用集成电路作为基本器件。集成电路可以把成千上万的晶体管、电阻、电容等元件以及它们的连线都制作在一个面积很小的芯片上,它的应用使数字设备的体积缩小、功耗降低和可靠性大幅度提高,特别是集成电路的价格随着生产工艺技术的进步而愈来愈低廉。因此,数字技术开始进入国民经济的各行各业中去,在数字雷达、卫星电视、自动控制、遥控、遥测、医学等学科领域都获得应用。

70 年代中期至 80 年代中期,由于微电子学和集成电路生产工艺的发展,集成电路在集成度和工作速度等性能指标上取得突破性进展。大规模和超大规模集成电路的生产技术已经非常成熟。一块芯片上可以集成几百万、甚至上千万个元件。因而出现了将一台计算机都集成在一块芯片上的微型计算机。它的出现标志着数字技术发展进入了第四阶段,这是数字技术全面迅猛发展的一个阶段,不仅在计算机、通信、雷达、卫星电视、测量仪表、宇航、医学及生物工程等学科领域获得普遍应用,而且应用到人们日常生活中的各个方面,如交通自动控制、程控电话全电子交换系统、可视电话、家庭炊具自动控制等。

从 80 年代中期开始,超大规模的专用集成电路 ASIC(Application Specific Integrated

Circuit)的制作技术已趋成熟。厂商可以代客户将他们设计的十分庞大的数字系统制作在一块芯片上,客户所需要的系统级芯片便得到了;与此同时,各种用户可编程逻辑器件,例如,可编程阵列逻辑 PAL(Programmable Array Logic),可编程通用阵列逻辑 GAL(Generic Array Logic),现场可编程门阵列 FPGA(Field Programmable Gate Array)等等。它们在集成规模上有配套的系列产品,用户可将自己设计的数字系统通过编制一定的程序(通常称为软件),将程序输入这些可编程逻辑器件便得到自己所需的芯片。这些专用的和通用的系统级芯片的应用不但进一步提高了设备的性能,而且将数字系统的设计、安装和调试融为一体,并且都是在计算机上来完成,这就彻底更新了数字设备传统的研制方法,大大缩短了设备的研制周期和降低了设备成本,使之成为当今数字技术发展的主要方向。

通过对数字技术发展史的简要回顾,我们已经可以得出结论:在人类迈向信息社会的进程中,数字技术将起到关键性的作用。

(二) 脉冲信号与数字信号

在自然界中存在着许多物理量,其中有一些物理量,如温度、湿度、压力、速度等,它们在时间上和数值上都具有连续变化的特点,在一定范围内可以取任意实数值,通常称这种连续变化的物理量为模拟量。表示模拟量的电信号称为模拟信号。模拟信号分为两类:一是正弦信号,二是脉冲信号。广义的来说,凡不具有连续变化形状的信号,都可以通称为脉冲信号。如方波、矩形波、尖脉冲、锯齿波、钟形脉冲以及梯形波等等。完成脉冲信号产生、传输、变换和处理的电路称为脉冲电路。还有一类物理量在时间和数值上是离散的,它们的大小以及每次的增减变化都是某个最小单位的整数倍。例如产量,若最小单位为吨,则产量是指在一些离散时刻完成产品有多少吨,显然它只能以吨为单位增加或减少。这一类物理量称为数字量。表示数字量的电信号称为数字信号,完成数字信号产生、传输和处理的电路就称为数字电路。

在数字电路中最常采用的只有 0、1 两种数值所组成的数字信号,这种二值数字信号又称为二进制信号。这类信号中的数值 1 或 0 可以用电平的高或低来表示;也可以用脉冲的有或无来表示。如图 0.1 所示。

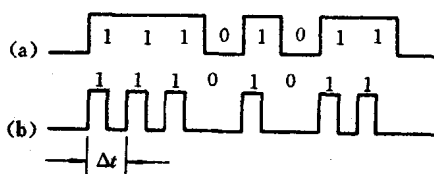


图 0.1 数字信号

图中每个 1 和 0 的持续时间为 Δt ,称为一位(1 bit),或者称为一拍。图(b)所示数字信号波形是以有脉冲代表 1,无脉冲代表 0,称为脉冲型数字信号或归 0 型数字信号;图(a)是以高电平代表 1,低电平代表 0,称为电平型数字信号或不归 0 型数字信号。

(三) 数制与数制转换

按进位规则进行计数称为进位计数制,简称数制。在日常生活中最广泛使用的是十进制,其他还有十二进制(一打),六十进制(时钟)等;在数字电路和计算机中广泛使用的是二进制,

八进制和十六进制。因此,经常需要在两种不同数制之间进行转换,这就是数制转换。

1. 数的表示方法

数的表示方法有两种:位置记数法和按位权展开法。例如,十进制数 345,大家马上便读出“三百四十五”,这说法是位置记数法,每个数码在十进制数中处在不同数位时,它所代表的数值不同,3 在百位上,4 在十位上,5 在个位上。所以,100、10、1 称为十进制数的位权值,十进制数的各个数位的位权值是 10 的幂。345 按位权展开,即可表示为

$$(345)_{10} = 3 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 5 \times 10^0$$

式中,下角标 10 表示十进制。

对于一个有 n 位整数、 m 位小数的十进制数可以表示为

$$\begin{aligned}(N)_{10} &= a_{n-1} \cdots a_0 a_{-1} \cdots a_{-m} \\ &= a_{n-1} \times 10^{n-1} + \cdots + a_0 \times 10^0 + a_{-1} \times 10^{-1} + \cdots + a_{-m} \times 10^{-m} \\ &= \sum_{i=n-1}^{-m} a_i \times 10^i\end{aligned}\quad (0.1)$$

式中, a_i —— i 位数码,它可以是十进制数码 0~9 中的任意一个; 10^i —— i 位的位权值;

n 和 m ——正整数。

在一种数制中采用的数码个数称为基数,所以,十进制数的基数为 10。

在二进制数中,只有 0 和 1 两个数码,所以,基数是 2,各个数位的位权值是 2 的幂。任意一个二进制数按位权展开可表示为

$$\begin{aligned}(N)_2 &= a_{n-1} \cdots a_0 a_{-1} \cdots a_{-m} \\ &= a_{n-1} \times 2^{n-1} + \cdots + a_0 \times 2^0 + a_{-1} \times 2^{-1} + \cdots + a_{-m} \times 2^{-m} \\ &= \sum_{i=n-1}^{-m} a_i \times 2^i\end{aligned}\quad (0.2)$$

式中, a_i ——数码 0 或 1; 2^i —— i 位数码的位权值; n 和 m ——正整数。

上述表示方法可以推广到任意进制 R ,在 R 进制中,有 R 个数码,基数为 R ,其各位数码的位权值是 R 的幂。因此,按位权展开法可以将任意一个 R 进制数表示为

$$\begin{aligned}(N)_R &= a_{n-1} \cdots a_0 a_{-1} \cdots a_{-m} \\ &= a_{n-1} \times R^{n-1} + \cdots + a_0 \times R^0 + a_{-1} \times R^{-1} + \cdots + a_{-m} \times R^{-m} \\ &= \sum_{i=n-1}^{-m} a_i \times R^i\end{aligned}\quad (0.3)$$

式中, a_i —— R 个数码中的任意一个; R^i —— i 位数码的位权值; n 和 m ——正整数。

2. 数制转换

(1) 二进制转换为十进制

法则:将被转换的二进制数按权相加。

例 0.1.1 将 $(11011.101)_2$ 转换为十进制数。

$$\begin{aligned}\text{解} \quad (11011.101)_2 &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} \\ &\quad + 1 \times 2^{-2} = (27.625)_{10}\end{aligned}$$

上述法则可以推广应用到任意进制 R 至十进制的转换。

例 0.1.2 将八进制数 $(345.67)_8$ 转换为十进制数。

$$\text{解} \quad (345.67)_8 = 3 \times 8^2 + 4 \times 8^1 + 5 \times 8^0 + 6 \times 8^{-1} + 7 \times 8^{-2} = (229.859)_{10}$$

(2) 十进制转换为二进制