

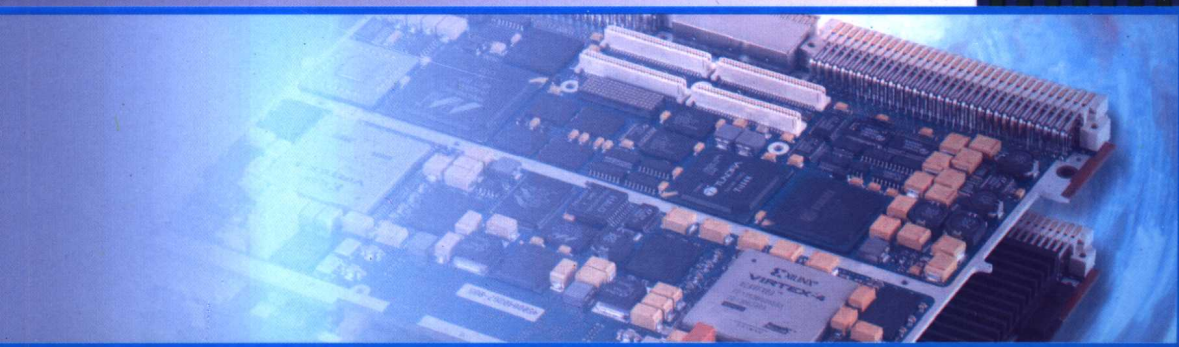


全国高职高专教育“十一五”规划教材

数字电子技术

■ 林春方 主编

■ 李斯伟 崔维群 副主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



教育部推荐教材 高等学校计算机专业系列教材

数字电子技术

主 编 阎石 姜新
副主编 姜新 姜新 姜新



清华大学出版社

全国高职高专教育“十一五”规划教材

数字电子技术

林春方 主编

李斯伟 崔维群 副主编

高等教育出版社

内容简介

本书紧密结合高职高专教育特点,适应社会实际需要,突出应用性、针对性,加强实践能力的培养。在内容上,以应用为目的,以“必需”和“够用”为度,以讲清概念、强化应用为重点,深入浅出地阐述了数字集成电路的基本工作原理和逻辑功能,突出了中、大规模集成电路的应用。

本书主要包括:数字电路基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、脉冲信号的产生及波形变换、数/模转换器和模/数转换器以及大规模集成电路、数字电路实训等,并介绍了 EWB 仿真软件在数字电路中的应用。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校、民办高校及本科院校举办的二级职业技术学院电子信息类、通信类及相关专业的教学用书,也适用于五年制高职和中职相关专业,并可作为社会从业人士的业务参考书及培训用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

数字电子技术 / 林春方主编. —北京: 高等教育出版社, 2007. 6

ISBN 978 - 7 - 04 - 021715 - 5

I. 数… II. 林… III. 数字电路 - 电子技术 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 062054 号

策划编辑 刘 洋 责任编辑 刘 洋 封面设计 王凌波 责任绘图 朱 静
版式设计 张 岚 责任校对 王效珍 责任印制 毛斯璐

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 国防工业出版社印刷厂

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 19
字 数 460 000

购书热线 010 - 58581118
免费咨询 800 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2007 年 6 月第 1 版
印 次 2007 年 6 月第 1 次印刷
定 价 23.90 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

物料号 21715 - 00

— 前 言

随着数字电子技术的发展,新器件、新知识、新工艺在数字电子技术方面得到广泛的应用。结合职业教育的特点,本教材编写力求面向发展,更新教学观念和內容,在保证基本概念、基本原理和基本分析及设计方法的前提下,简化集成电路的内部结构和工作原理的讲述,减少小规模集成电路的内容,尽可能多地介绍新型大规模集成电路及其应用。

本书紧密结合高职高专教育特点,适应社会实际需要,突出应用性、针对性,加强实践能力的培养。在内容上,以能力培养为主线,以应用为目的,突出思路与方法的阐述。通过本书的学习,使学生能够掌握简单数字电子系统的设计、开发与应用。在章节安排上,根据学生应具备的设计、开发与应用能力,从学生认知规律出发,由浅入深地介绍数字电路的一些基本知识、电路的基本工作原理以及电路分析与设计的基本方法,以“必需”和“够用”为度,以讲清概念、强化应用为重点,突出中、大规模集成电路的应用。

本书主要内容有:第1章数字电路基础,介绍数制与码制的概念、逻辑代数的基本规则及逻辑函数的化简方法;第2章逻辑门电路,介绍常用集成门电路的外部特性及基本逻辑功能;第3章组合逻辑电路,介绍组合逻辑电路的设计与分析方法,常见的组合逻辑电路的逻辑功能、工作原理与应用;第4章集成触发器,介绍典型触发器的逻辑功能、动作特点以及集成触发器的外部特性;第5章时序逻辑电路,介绍常用的时序逻辑电路(寄存器、计数器、移位寄存器等)的分析方法、工作原理及应用;第6章脉冲信号的产生及波形变换,介绍集成555定时器的电路结构、基本原理及其典型应用;第7章数/模转换器和模/数转换器,介绍数/模转换器和模/数转换器的基本原理、主要技术指标以及几种常见集成芯片的主要性能参数、使用方法;第8章大规模集成电路,介绍半导体存储器(ROM和RAM)的逻辑功能、使用方法以及典型的PLD器件(PLA、PAL、GAL、CPLD和FPGA)的特点、工作原理及PLD器件的设计等;第9章数字电子系统的设计与开发,介绍数字电子系统开发的基本方法和基本步骤;第10章仿真实验与综合实训,介绍利用EWB平台进行数字电路仿真实验与实训的基本方法和实验实训的具体实例等。

本书由林春方担任主编,并编写了第1、2、6、7章;李斯伟编写了第4、5、8章;崔维群编写了第9章;方庆山编写了第3、10章。本书由山东理工大学张存山教授审阅,张教授提出了宝贵的意见,在此表示衷心的感谢;在编写过程中,得到了安徽电子信息职业技术学院的领导 and 老师们的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者
2007.6

目 录

第1章 数字电路基础	1	2.2.1 CMOS反相器	40
1.1 数字电路概述	2	2.2.2 CMOS与非门	40
1.1.1 数字电路的发展与应用	2	2.2.3 CMOS或非门	40
1.1.2 数字信号与模拟信号	5	2.2.4 CMOS传输门和三态门	41
1.1.3 数字电路的特点	5	2.3 集成逻辑门使用注意事项 ...	42
1.1.4 数字电路的分类	6	2.3.1 CMOS与TTL之间的接口	
1.1.5 数字电路的学习方法	7	电路	42
1.2 数制和编码	7	2.3.2 TTL和CMOS门电路驱动其它	
1.2.1 数制	7	负载	43
1.2.2 数制之间的相互转换	9	2.3.3 集成逻辑门电路使用注意	
1.2.3 编码	12	事项	44
1.3 逻辑代数基础	14	本章小结	44
1.3.1 逻辑变量和基本逻辑运算	14	习题	45
1.3.2 基本公式和定理	16	第3章 组合逻辑电路	47
1.3.3 逻辑函数的表示方法	18	3.1 概述	48
1.4 逻辑函数的化简	19	3.2 组合逻辑电路的分析与	
1.4.1 公式化简法	20	设计	48
1.4.2 卡诺图化简法	21	3.2.1 组合逻辑电路的分析方法	48
本章小结	27	3.2.2 组合逻辑电路的设计	50
习题	27	3.3 常用组合逻辑部件	53
第2章 逻辑门电路	29	3.3.1 编码器	53
2.1 TTL集成与非门电路	30	3.3.2 译码器	55
2.1.1 分立元件门电路	30	3.3.3 加法器	60
2.1.2 TTL集成与非门工作原理	33	3.3.4 数值比较器	62
2.1.3 TTL集成与非门的外特性与		3.3.5 数据选择器和数据分配器	64
参数	34	3.4 MSI组合逻辑部件应用	66
2.1.4 TTL与非门的改进电路	37	3.4.1 用译码器实现组合逻辑函数 ...	66
2.1.5 TTL门电路的其它类型	37	3.4.2 用数据选择器实现组合逻辑	
2.2 CMOS门电路	39	函数	67

3.4.3 MSI 加法器应用举例	68	习题	96
3.5 组合逻辑电路中的竞争冒险	69	第5章 时序逻辑电路	101
3.5.1 竞争冒险及其产生原因	69	5.1 时序逻辑电路的概念	102
3.5.2 竞争冒险的判断方法	69	5.1.1 时序逻辑电路的特点与分类	102
3.5.3 消除竞争冒险的方法	70	5.1.2 对时序逻辑电路功能的描述	103
本章小结	71	5.2 时序逻辑电路的分析	103
习题	71	5.2.1 时序逻辑电路的分析方法	103
第4章 集成触发器	74	5.2.2 时序逻辑电路分析举例	104
4.1 概述	74	5.3 寄存器	107
4.2 基本 RS 触发器	75	5.3.1 数码寄存器	107
4.2.1 电路构成	75	5.3.2 移位寄存器及应用	108
4.2.2 工作原理及动作特点	76	5.4 计数器	113
4.2.3 触发器逻辑功能的描述	76	5.4.1 异步计数器	114
4.2.4 基市 RS 触发器的应用——开关去抖	78	5.4.2 同步计数器	118
4.3 同步触发器	80	5.4.3 集成同步计数器	122
4.3.1 同步 RS 触发器	80	5.4.4 任意进制计数器的构成方法	123
4.3.2 同步触发器存在的空翻现象	82	5.5 序列信号发生器	126
4.4 主从触发器	83	5.5.1 反馈移位型序列信号发生器	127
4.4.1 主从 RS 触发器	83	5.5.2 计数型序列信号发生器	129
4.4.2 主从 JK 触发器	85	5.6 时序逻辑电路的设计	130
4.4.3 主从 JK 触发器的一次翻转问题	86	5.6.1 同步时序逻辑电路的设计方法	130
4.4.4 T 触发器和 T' 触发器	87	5.6.2 同步时序逻辑电路设计举例	131
4.5 边沿触发器	88	5.7 计数器的实际应用	137
4.5.1 维持阻塞 D 触发器	88	5.7.1 计数法测量脉冲信号的频率	137
4.5.2 CMOS 边沿触发器	89	5.7.2 计数法测量脉冲信号的宽度(或周期)	138
4.5.3 利用传输延迟实现的边沿触发器	90	5.7.3 数字频率计	138
4.5.4 集成触发器	92	本章小结	142
4.6 触发器之间的相互转换	93	习题	143
4.6.1 JK 触发器转换为 D、T 触发器	94	第6章 脉冲信号的产生及波形	
4.6.2 D 触发器转换为 JK 触发器	94		
4.6.3 D 触发器转换为 T 触发器	95		
本章小结	95		

变换	148	第 8 章 大规模集成电路	186
6.1 集成 555 定时器	148	8.1 概述	186
6.1.1 集成 555 定时器的电路 结构	149	8.2 半导体存储器基础	188
6.1.2 集成 555 定时器的工作 原理	150	8.2.1 半导体存储器的分类	188
6.2 集成 555 定时器的基本应用 电路	150	8.2.2 半导体存储器的主要技术 指标	188
6.2.1 施密特触发器	150	8.2.3 半导体存储器的结构	189
6.2.2 单稳态触发器	152	8.3 只读存储器 (ROM)	190
6.2.3 多谐振荡器	153	8.3.1 掩模 ROM	190
6.3 集成 555 定时器的应用	154	8.3.2 可编程 ROM (PROM)	191
6.3.1 施密特触发器的应用	154	8.3.3 EPROM	191
6.3.2 单稳态触发器的应用	155	8.3.4 E ² PROM	193
6.3.3 多谐振荡器的应用	156	8.3.5 闪速存储器 (Flash Memory) ...	193
本章小结	158	8.3.6 用 ROM 实现组合逻辑电路 ...	194
习题	158	8.4 随机存储器 (RAM)	197
第 7 章 数/模转换器和模/数转 换器	160	8.4.1 RAM 的结构及工作原理	197
7.1 概述	161	8.4.2 静态 RAM 的基本存储电路 ...	197
7.2 数/模转换器 (DAC)	161	8.4.3 动态 RAM 的基本存储电路 ...	198
7.2.1 数/模转换器的基本工作 原理	161	8.4.4 存储器容量的扩展	199
7.2.2 权电阻网络 DAC	162	8.5 存储器应用——存储器 编址	200
7.2.3 T 形电阻网络 DAC	163	8.6 可编程逻辑器件	204
7.2.4 倒 T 形电阻网络 DAC	165	8.6.1 概述	204
7.2.5 DAC 的主要技术指标	166	8.6.2 可编程逻辑阵列 (PLA)	205
7.2.6 集成 DAC 简介	167	8.6.3 可编程阵列逻辑 (PAL)	208
7.3 模/数转换器 (ADC)	171	8.6.4 通用阵列逻辑 (GAL)	209
7.3.1 ADC 的基本工作原理	171	8.6.5 复杂可编程逻辑器件 (CPLD) ...	212
7.3.2 并行比较型 ADC	173	8.6.6 现场可编程门阵列 (FPGA) ...	214
7.3.3 逐次逼近型 ADC	175	8.7 可编程逻辑器件的设计	220
7.3.4 双积分型 ADC	177	8.7.1 CPLD/FPGA 器件的设计 流程	220
7.3.5 ADC 的主要技术指标	179	8.7.2 VHDL 硬件描述语言基础	222
7.3.6 集成 ADC 简介	180	8.7.3 VHDL 编程举例	233
本章小结	184	8.7.4 可编程逻辑器件的开发环境 简介	237
习题	184	本章小结	238
		习题	238

第9章 数字电子系统的设计与开发	242
9.1 数字电子系统设计的一般方法和步骤	242
9.1.1 数字电子系统的组成	242
9.1.2 数字电子系统的类型	243
9.1.3 数字电子系统设计的基本步骤	244
9.1.4 数字电子系统的设计方法	246
9.2 数字电子系统的调试	249
9.2.1 电子电路调试的一般方法	249
9.2.2 数字电路调试中的特殊问题	250
9.2.3 数字电路调试举例	250
9.2.4 数字电路的故障诊断与排除	253
9.3 数字系统设计实例——数字电子钟的设计	256
本章小结	261
第10章 仿真实验与综合实训	262
10.1 EWB 软件简介	263
10.1.1 EWB 软件操作界面	263
10.1.2 EWB 基本操作方法	265
10.2 数字电路仿真实验	266
10.2.1 常用门电路逻辑功能的测试	266
10.2.2 组合逻辑电路分析	267
10.2.3 译码器逻辑功能的测试	269
10.2.4 用数据选择器实现组合逻辑电路	271
10.2.5 触发器逻辑功能的测试与转换	273
10.2.6 同步4位二进制加法计数器	275
10.2.7 异步8421BCD码计数器	277
10.2.8 顺序脉冲发生器	278
10.2.9 集成计数器构成 N 进制计数器	280
10.2.10 555定时器的应用	282
10.2.11 模/数(A/D)转换与数/模(D/A)转换	284
10.3 综合实训——声光显示竞赛抢答器	286
本章小结	289
习题	289
附录一 常用逻辑门电路新旧符号对照表	291
附录二 常用CMOS数字集成电路 ...	292
附录三 常用TTL及74HC系列的CMOS数字集成电路	293
参考文献	294

1

第1章 数字电路基础



学习要求

- ◆ 了解数字电路的基本特点
- ◆ 掌握数制与码制的概念及其相互转换
- ◆ 掌握逻辑代数的基本规则及逻辑函数的化简方法



知识点

- ◆ 数字信号与模拟信号
- ◆ 数制及其相互转换
- ◆ 常用几种编码
- ◆ 三种基本逻辑关系
- ◆ 逻辑代数的基本公式和定理
- ◆ 逻辑函数的表示方式
- ◆ 公式法化简逻辑函数
- ◆ 逻辑函数的最小项
- ◆ 卡诺图的性质与卡诺图
- ◆ 卡诺图法化简逻辑函数
- ◆ 具有约束项的逻辑函数的化简



重点和难点

- ◆ 数制与码制的概念及其相互转换
- ◆ 逻辑函数的三种基本逻辑关系
- ◆ 逻辑代数的基本公式和定理
- ◆ 逻辑函数的公式法化简与卡诺图法化简

随着集成技术的发展,特别是大规模和超大规模集成器件的发展,使得各种数字系统的体积越来越小,可靠性越来越高,成本越来越低廉,自动化和智能化程度越来越高,因此数字电子技术的应用领域越来越广。现已广泛应用于雷达、通信、电视、自动控制、电子计算机、电子测量仪器以及航天、交通、国防、工农业等多个领域。

本章首先介绍数字电路的基本应用及其基本特点,然后以十进制数为基础,介绍了数字系统中常用的二进制数、八进制数和十六进制数,以及不同数制之间的相互转换,还介绍了常用的几种编码方式,最后介绍了分析和设计数字电路的重要数学工具——逻辑代数的基本公式和定理以及逻辑函数的两种化简方法:公式法化简和卡诺图法化简。

1.1 数字电路概述

1.1.1 数字电路的发展与应用

现在数字集成电路产品已完全取代了早期分立元件组成的数字电路。数字电路产品的种类愈来愈多,其分类方法也有多种。若按用途来分,可分成通用型的 IC(中、小规模 IC)产品、微处理产品和面向特定用途的 IC 产品三大类。若按逻辑功能来分,可以分成组合逻辑电路,如各种门电路和编、译码器;时序逻辑电路,如各种触发器、计数器和寄存器等。若按电路结构来分,可分成 TTL 型和 CMOS 型两大类。CMOS 型数字集成电路比 TTL 型具有更多的优点,前者的工作电源电压范围宽、静态功耗低、抗干扰能力强、输入阻抗高、成本低,所以在电子钟表、电子计算器等仪表设备中均用了这种电路。

与模拟电路一样,数字电路经历了由电子管、半导体分立器件到集成电路等几个阶段。但数字集成电路比模拟集成电路的发展更快,使数字集成电路的性能产生了质的飞跃。逻辑门是一种重要的逻辑单元电路,TTL 逻辑门电路问世较早,其工艺经过不断改进,至今已成为主要的基本逻辑器件之一。随着 MOS 工艺特别是 CMOS 工艺的发展,TTL 的主导地位有被 CMOS 器件所取代的趋势。近年来,可编程逻辑器件(PLD)特别是现场可编程门阵列(FPGA)的飞速进步,使数字电子技术开创了新局面,不仅规模大,而且将硬件与软件相结合,使器件的功能更加完善,使用也更加灵活。

数字电路在日常生活中的应用很多,尤其是计算机技术的发展,使数字电路的应用越来越普遍,它已经被广泛应用于工业、农业、通信、医疗、家用电子等各个领域,如工农业生产中用到的数控机床、气体检测、家用冰箱空调的温度控制、通信用的数字手机以及正在发展中的网络通信、数字化电视等。数字电路在实际中的应用一般不是独立的数字电路部分,往往要辅助以其它的电路和器件来组成一个完整的数字系统。数字系统通常由输入接口、输出接口、数据处理和控制器构成。输入接口和输出接口的主要任务是将模拟量转换为数字量,或将数字量转换为模拟量,处理器的主要作用是控制系统内部各部件的工作,使它们按照一定的程序操作。通常以是否有控制器作为区分功能部件和数字系统的标志,凡是包含控制器且能够按顺序进行操作的系统,无论规模大小,一律称为数字系统。

数字电路的典型应用是用于计算机系统,如我们所熟悉的个人微型计算机中的许多部件均是由“数字电路”这个基本单元构成。图 1-1 所示是微型计算机中的显卡,即专门处理图像信息的电路板,通过计算机中的 ISA 总线接口,它直接可以插入使用。

显卡基本功能是向电脑输出图像,显卡完成这一任务需要三大部件:显示芯片、显示内存、RAMDAC(随机存储数字/模拟转换器),而这三大部件均由数字电路为基础而组成。显示芯片主要控制显卡的工作过程,显存用来存放要显示的内容。在电脑运行时,CPU 和显示芯片不断地

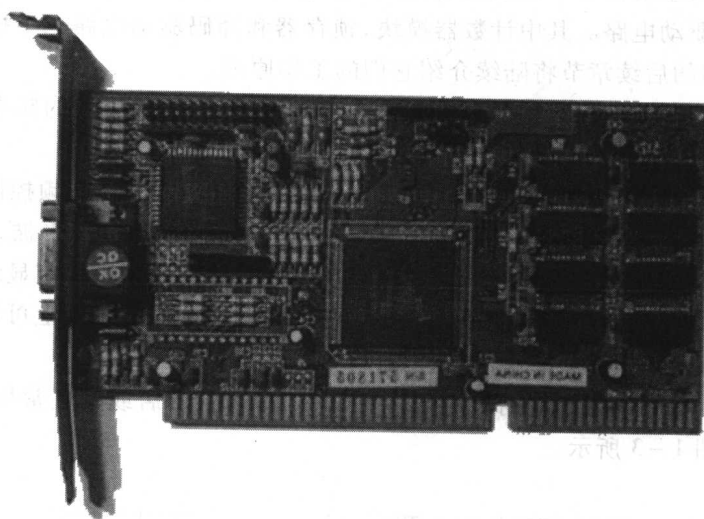


图 1-1 微型计算机中的显卡

把数据写入显存中,显存中的数据与显示器屏幕上的像素一一对应,数据的格式由当前使用的显示模式决定。因为显存中储存的是数字信号数据,而 CRT 显示器是在模拟状态下工作,因此,RAMDAC 把显存中的数据转换成 RGB(红绿蓝)模拟信号,输出到显示器,使显示器屏幕显示出画面,显存中的数据不断被改写,显示器屏幕上的内容就随之刷新。

数字电路还广泛应用于各种电子仪器仪表中,图 1-2 是一种典型的数字频率计及其原理框图

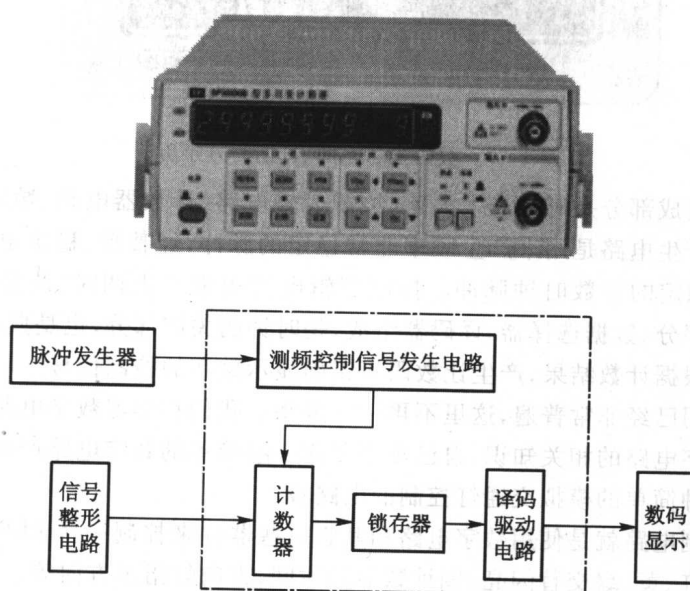


图 1-2 数字频率计及其原理框图

图。数字频率计一般主要由 5 个模块组成,分别是:脉冲发生器、测频控制信号发生器、计数模块电路、锁存器、译码驱动电路。其中计数器模块、锁存器和译码驱动电路三个模块是最常用的数字处理电路,在本书的后续章节将陆续介绍它们的工作原理。

数字频率计的原理是对输入信号(正弦信号、脉冲信号、三角信号)的频率进行一定的处理后,以十进制的方式显示在数码管上。

数字频率计工作时,由脉冲发生器提供的 1 Hz 的输入信号,经过测频控制信号发生器进行信号变换,产生计数信号。被测信号通过信号整形电路产生同频率的矩形波,送入计数器,计数器对输入的矩形波进行计数,将计数结果送入锁存器中,保证系统可以稳定显示数据。显示译码驱动电路将二进制表示的计数结果转换成相应的能够在七段数码显示管上可以显示的十进制结果。因此,在数码显示管上可以直接看到计数结果。

在日常生活中,数字电路的应用也随处可见。例如车站、酒店或家庭常用的数码显示时间、日期的万年历,如图 1-3 所示。



图 1-3 数码显示时间、日期的万年历

万年历的基本组成部分是时基产生电路、控制逻辑电路、计数器电路、数码显示控制电路和显示数码管。时基产生电路是用来产生频率非常稳定的脉冲,经整形、稳定电路后,产生一个频率为 1 Hz 的、非常稳定的计数时钟脉冲。控制逻辑电路用来产生调时、调分信号及位选信号。计数器电路由计数部分、数据选择器、译码器组成,是时钟的关键部分,也是典型的数字电路。数码显示控制电路是根据计数结果,产生让数码管正确显示数字的控制信号。

数字电路的应用已经非常普遍,这里不再一一列举。我们在学习数字电路的过程中,也可以利用我们所学的数字电路的相关知识,自己动手制作一些简单的数字电路产品。图 1-4 是利用数字电路制作的一种简单的模拟交通灯控制的电路板。

模拟交通灯控制电路就是使用数字电路和其它一些器件来控制一些 LED 和数码管,模拟真实交通灯的功能。红、黄、绿交替闪亮,倒计时显示时间,方向灯指示方向等。其中所用到的组合逻辑电路、计数器电路和数码显示电路,将在后续的课程中介绍。

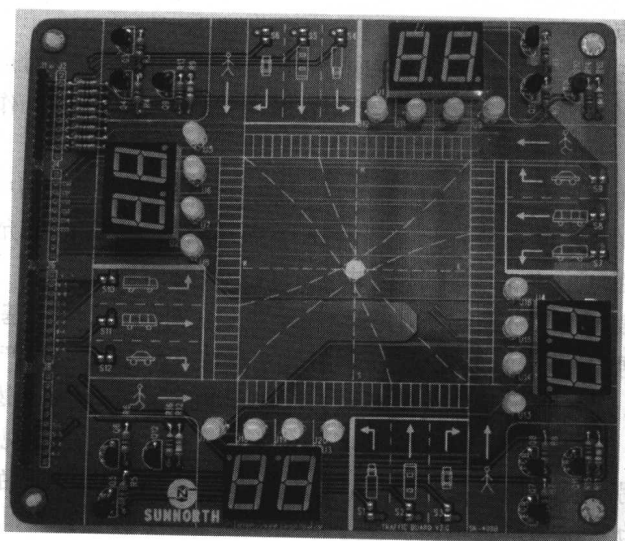


图 1-4 一种模拟交通灯控制的电路板

1.1.2 数字信号与模拟信号

现代电子线路所处理的信号大致可分为两大类:一类为模拟信号,一类为数字信号。处理模拟信号的电路称为模拟电路,处理数字信号的电路称为数字电路。

所谓模拟信号是指时间上和数值上都是连续的信号,可以在一定范围内任意取值。例如,工业控制系统中常见的几大参数:温度、压力、流量、速度等。处理这类信号时,考虑的是电路的放大倍数、频率响应、非线性失真等问题,着重分析波形的形状、幅度和频率如何变化。

所谓数字信号是指时间上和数值上都是离散的信号,也就是说,数字信号在时间上是不连续的,总是发生在一系列离散的瞬间,在数值上则是量化了的,只能按有限多个增量或阶梯取值。例如,工厂生产流水线上产品数量的统计,当传送带上一个又一个产品经过某计数器时,其结果只能在一系列离散的瞬间(或时刻)有产品(时间上的离散性),而且产品的个数也只能是一个单位一个单位的增加(幅度上的离散性)。数字信号所表现的形式是一系列由高、低电平组成的脉冲波,即信号总在高电平和低电平之间来回变化。处理这类信号时,考虑的是要能正确区分出信号的高、低电平,并正确反映电路的输出、输入之间的关系,至于高、低电平值精确为多少则无关紧要,分析的重点是电路的逻辑功能,基本分析工具是逻辑代数。

1.1.3 数字电路的特点

数字电路处理的数字信号一般用二进制表示,每位二进制只有0和1两个基本数字代码,可用0和1来表示两个相对的状态,如脉冲的有、无或电平的高、低。例如,若用1表示高电平,则0就表示低电平;若用0表示高电平,则1就表示低电平。0和1在这里只表示两种对立的状态,没有数值上的大小,这是数字电子技术中首先要建立的重要概念:状态的概念。具体用器件来实现就是利用二极管、三极管等元器件的开关特性,如二极管、三极管完全导通表示一种状态,完全截止表示相对立的另一种状态。数字电路在电路结构、研究内容、分析方法等诸多方面都和模拟电

路不同,它具有如下特点:

1. 数字电路中的三极管通常工作在饱和或截止状态,即开关状态,对应于两种对立的状态,用0和1来表示。在实际工作时,对元件的参数要求不太严格,只要能工作于饱和或截止状态,从而能正确地区分出高、低电平即可。

2. 由于数字电路传递、加工和处理的是0、1二值信号,在实际电路中可用高、低电平表示,高、低电平都有一个允许的变化范围,只有当外来干扰相当强烈,超出了允许高、低电平的范围内,才有可能改变元件的工作状态,所以数字电路的抗干扰能力较强。

3. 数字电路中只要有两种不同的状态分别表示0和1即可,所以其基本单元电路结构比较简单,对元器件的精度要求不高。因此,数字电路便于集成化和系列化生产。

4. 在数字电路中,人们重点研究的是电路的输入和输出状态之间的逻辑关系,从而进一步分析电路的逻辑功能。数字电路的研究内容可以分为两大类:一类是对现有的电路分析其逻辑功能,叫作逻辑分析;另一类是根据实际需求,通过分析,设计出满足要求的逻辑电路,称为逻辑设计。因此数字电路也常称为逻辑电路。

1.1.4 数字电路的分类

按照不同的分类方法,数字电路有不同的类别,常见的有以下几种分类方式:

1. 按电路组成结构分有分立元件和集成电路两类。实际应用中以集成电路为主,根据集成度不同,集成电路又可分为小规模SSI(Small Scale Integrating)、中规模MSI(Medium Scale Integrating)、大规模LSI(Large Scale Integrating)和超大规模VLSI(Very Large Scale Integrating)集成电路。

所谓集成度是指每一芯片所包含的晶体管的个数,表1-1列出了五类数字集成电路的分类依据。由表可以看出,存储器是基本数字部件之一,集成度很高。利用存储器可以记忆或存储二值数字1或0,存储的数字信息可以取出来分析或直接利用。例如,打印机可从计算机的存储器里取出信息并打印在纸上。

表 1-1 数字电路的分类

分类	晶体管的个数	典型集成电路
小规模	最多 10 个	逻辑门电路
中规模	10 ~ 100	计数器、加法器
大规模	100 ~ 1000	小型存储器、门阵列
超大规模	1000 ~ 10^6	大型存储器、微处理器
甚大规模	10^6 以上	可编程逻辑器件、多功能集成电路

2. 按电路所用基本器件的种类可以把数字电路分为双极型和单极型电路。双极型电路如晶体管-晶体管逻辑门TTL(Transistor Transistor Logic)、射极耦合逻辑门ECL(Emitter Coupled Logic)、高阈值逻辑门HTL(High Threshold Logic)和集成注入逻辑门I²L(Integrated Injection Logic)等。单极型电路,目前应用最为广泛的是金属-氧化物半导体场效晶体管逻辑电路,简称MOS(Metal Oxide Semiconductor)集成电路,可分为NMOS、PMOS和CMOS集成电路等。

3. 按电路的结构和逻辑功能可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路。组合逻辑电路的输出状态只取决于当前各输入状态的组合,与先前的状态无关,即无记忆性;时序逻辑电路的输出不仅和当前的输入状态有关,而且还与系统的前一状态有关,即具有记忆性。

1.1.5 数字电路的学习方法

数字电路所需的先修课程是电路分析基础和模拟电路,后续课程是微机原理、微型计算机、接口技术等。数字电路在研究的对象和方法上都跟模拟电路有很大的不同,表1-2把它们做了一个简单的对比。

表1-2 模拟电路与数字电路的比较

内 容	模 拟 电 路	数 字 电 路
工作信号	模拟信号	数字信号
管子工作状态	放大	饱和导通或截止
研究对象	放大性能	逻辑功能
基本单元电路	放大器	逻辑门、触发器
分析工具	图解法、微变等效电路法	真值表、卡诺图、逻辑表达式、状态转换图、布尔代数

显然,模拟电路和数字电路的差异是很大的,初学者应当在学习方法上做一些改变,以适应数字电路的特点,才能取得良好的效果。

1. 在数字电路中,所有的变量都归结为0和1两个对立的状态。通常,我们只需关心信号的有或无、电平的高或低、开关的通或断等,而不必理会某个变量的详细数值。比如电平幅值的微小变化就可能毫无意义。

2. 数字电路的研究方法以逻辑代数(又称布尔代数)作为数学基础。它主要研究输入输出变量之间的逻辑关系,并建立了一套逻辑函数运算及化简的方法。布尔代数又称双值代数,由于其变量取值只有0和1两种可能,比之模拟电路,数字电路中没有复杂的计算问题。

3. 由于数字集成电路技术的高度发展,数字电路更鲜明地体现了管路合一的特点。初学者应充分注意这一特点。一般来说,学习电路结构不是我们的目的,目的是掌握电路功能。

1.2 数制和编码

数制是计数进位制的简称。用数字表示数量大小时,仅用一位数码往往不够用,经常要采用多位数码。通常把多位数码中每一位的构成方法以及从低位到高位进位的规则称为数制。本节从人们熟悉的十进制开始,分析、推导各种不同进位制及各种进位制之间的相互转换,并介绍几种常用编码。

1.2.1 数制

1. 十进制

十进制是人们在日常生活和工作中最熟悉、应用最广泛的计数方式。在十进制数中,每一位

有0、1、2、3、4、5、6、7、8、9十个不同的数码,通常把这些数码的个数称基数,所以十进制数的基数为10。在运算中遵循“逢十进一,借一当十”的规则。

相同的数码处于不同的位置,具有不同的值,称为权值。例如,十进制数156.324,从小数点开始,左起第1位(个位)的权为 10^0 ,第2位(十位)的权为 10^1 ……而从小数点起向右,则第1位(十分位)的权为 10^{-1} ,第2位(百分位)的权为 10^{-2} ……因此156.324可写成

$$156.324 = 1 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 6 \times 10^0 + 3 \times 10^{-1} + 2 \times 10^{-2} + 4 \times 10^{-3}$$

任意一个十进制数都可以表示为权的展开式,设该十进制数包含 n 位整数和 m 位小数,则

$$\begin{aligned} (D)_{10} &= a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + a_1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0 \\ &\quad + a_{-1} \times 10^{-1} + a_{-2} \times 10^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 10^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i \end{aligned} \quad (1-1)$$

其中, a_i 为第 i 位的系数。

若用 N 代替式(1-1)中的10,类推可以得到 N 进制数展开式的一般形式

$$(D)_N = \sum a_i \times N^i \quad (1-2)$$

N 称为计数的基数; a_i 为第 i 位的系数; N^i 称为第 i 位的权。

2. 二进制

在数字电路中,常用的数制是二进制,二进制数的数码为0和1,基数为2,在运算中遵循“逢二进一,借一当二”的规则。同十进制数一样,二进制数的每个数码处在不同的位置代表的数值不同,第 i 位的权就是2的 i 次幂,即 2^i 。根据式(1-2),任何一个二进制数的按权展开式为

$$(D)_2 = \sum a_i \times 2^i \quad (1-3)$$

例如

$$(110.01)_2 = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

二进制与十进制相比,其优点是:

(1) 二进制数只有0和1两个数码,在电路中很容易用两个状态来表示,因此电路结构简单,工作可靠。

(2) 二进制的基本运算规则与十进制相似,但要简单得多。其运算规则为二进制加法规则

$$0 + 0 = 0; 1 + 0 = 0 + 1 = 1; 1 + 1 = 10$$

二进制减法规则

$$0 - 0 = 0; 1 - 0 = 1; 1 - 1 = 0; 10 - 1 = 1$$