



21世纪电气信息学科立体化系列教材

数字电子技术

(第二版)

● 主编 余新平



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

21 世纪电气信息学科立体化系列教材

数字电子技术

(第二版)

主编 余新平



华中科技大学出版社
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术(第二版)/余新平 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2009年8月
ISBN 978-7-5609-3949-0

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 020505 号

数字电子技术(第二版)

余新平 主编

策划编辑:王红梅

责任编辑:王红梅

责任校对:刘 竣

封面设计:秦 茹

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉众欣图文激光照排

印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:787mm×960mm 1/16

印张:20.5 插页:2

字数:480 000

版次:2009年8月第2版

印次:2011年2月第6次印刷

定价:31.80元

ISBN 978-7-5609-3949-0/TN·107

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内容简介

本书是根据“教育部高等学校电子信息科学与工程类基础课程教学指导分委员会”制定的“数字电子技术基础”课程教学基本要求编写的。全书共 11 章,主要内容有:数制与编码、逻辑门、逻辑代数基础、组合逻辑电路、触发器、寄存器与计数器、时序逻辑电路的分析与设计、存储器与可编程逻辑器件、D/A 转换器和 A/D 转换器、脉冲波形的产生与整形电路、数字集成电路简介。

本书内容丰富,深入浅出,突出工程应用,便于自学。书中提供的 400 多张图、表,700 多道自测练习、例题和习题,能加深学生对所学知识的理解与运用。

本书可作为高等学校电气、电子信息类和部分非电类专业的本科生教材,也可作为高职高专的教材及有关工程技术人员的参考书。

第一版前言

当今正处于一个学习的时代,知识的不断膨胀和更新,给学习者带来了巨大的压力。为学习者提供一本深入浅出、适于自学的教材,是作者多年来一直追求的目标。一本合适的教材,除了在内容方面符合规定的教学要求外,更要立足于读者的基础和需求,按照科学的认知规律,引导读者循序渐进地学习新的知识。

基于上述目的,作者根据多年从事教学工作的经验与体会,参考了大量的国外教材,并吸收了它们的写作风格编写了本书。与目前国内同类教材相比,本书在章节编排顺序及编写内容两个方面做了一些新的尝试,希望能对读者的学习有所帮助。

本书以现代电子技术的发展为背景,全面地介绍了数字电路的基本分析和设计方法。全书共分 11 章,第 1 章介绍各种数制及其相互转换、常用的二进制编码;第 2 章介绍各种集成逻辑门的功能及外部特性,不涉及逻辑门的内部电路分析,便于学生理解;第 3 章介绍逻辑代数的基础知识,以及逻辑函数的化简方法;第 4 章介绍组合逻辑电路的分析和设计方法,并分节讨论各种常用中规模组合逻辑器件及其应用;第 5、6、7 章以触发器、寄存器和计数器为主线介绍时序逻辑电路,并讨论典型时序逻辑电路的分析与设计方法;第 8 章介绍各种存储器,包括目前流行的快闪存储器,以及 PAL、GAL 等可编程器件的应用;第 9、10 章简要介绍 D/A 转换器和 A/D 转换器、多谐振荡器、单稳态触发器和施密特触发器的基础知识及实际应用;第 11 章简单介绍 TTL 和 CMOS 集成电路的内部电路结构和工作原理,该章不影响前面所有内容的学习。限于篇幅,本书没有介绍利用 EDA 工具软件对数字电路进行仿真、分析和设计等内容,这部分内容以及本书的电子教案、自测练习和习题的全部解答均放在与本书配套发行的光盘中,供读者参考。

本书由长江大学余新平主编,负责制定编写提纲及全书的修改和统稿工作,同时编写第 6、10 章;湖北工业大学刘歆编写第 1、2、11 章;武汉工程大学戴丽萍编写第 4、9 章;武汉科技大学张彦编写第 3、7 章;中南民族大学吴桂华编写第 5、8 章;全书由湖

北工业大学张小华担任主审。

在本书的编写过程中,得到了长江大学教务处和电子信息学院的大力支持。长江大学罗炎林、张明波和邹学玉对本书的编写提出过不少建设性建议,华中科技大学出版社王红梅对本书进行了认真修改。在此,向他们表示衷心的感谢!

在本书的编写过程中,作者参考了国内外的大量专著、教材和文献,在此谨向有关著作者致以衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免有错误与不妥之处,恳请读者批评指正。

21 世纪电气信息学科立体化系列教材编委会

《数字电子技术》编写组

2007 年 1 月

第二版前言

本书自 2007 年 3 月出版以来,得到了广大读者的关注和厚爱。连续 3 次印刷,发行量达到 12000 册。为了更好地服务读者,在本书的使用过程中,作者广泛收集了各方面的建议和意见,在上一版的基础上,进行了修改和增删。主要做了以下几方面的工作。

- (1)对原书中出现的一些错误及不妥之处进行了修正;
- (2)第 1 章中增加了 1.5 节“带符号二进制数的加减运算”的内容;
- (3)改写了第 2 章中的 2.3 节和 2.4 节,加强了 OC 逻辑门、三态逻辑门和 TTL 与 CMOS 门电路的接口等内容;
- (4)改写了第 4 章中 4.6.5 节的内容;
- (5)考虑到当前 CPLD/FPGA 可编程器件的大量应用,重新编写了第 8 章中的 8.8 节,用较大篇幅介绍了 CPLD/FPGA 可编程器件在数字电路中的两个应用实例。读者可参照实例,一步一步地进行设计和实践,即可快速入门。
- (6)重新整理和增删了各章的例题、自测练习和习题;
- (7)对书中的插图进行了规范和美化。
- (8)与本书相关的电子教案、自测练习和习题解答均放在华中科技大学出版社教学资源网上(社网→教学服务→课件下载→课件列表中查找),网址为 <http://www.hustp.com>,方便读者下载。

本版各章节的修订工作主要由余新平负责,参加人员还有原编者刘歆、戴丽萍、吴桂华、张彦等。在修订过程中,得到了湖北省教学名师罗炎林教授的帮助与指导,得到了华中科技大学出版社的大力支持,在此一并表示衷心的感谢!

由于我们的水平有限,书中还会有不足之处,恳请使用本教材的师生和专家多提宝贵意见,以便不断提高本书的编写质量。

21 世纪电气信息学科立体化系列教材编委会

《数字电子技术》编写组

2009 年 2 月



1	数制与编码	(1)
1.1	数字电路基础知识	(1)
1.1.1	模拟信号与数字信号	(1)
1.1.2	数字电路的特点	(3)
1.2	数制	(4)
1.2.1	十进制数	(5)
1.2.2	二进制数	(6)
1.2.3	八进制数	(8)
1.2.4	十六进制数	(9)
1.3	数制转换	(10)
1.3.1	二进制数与八进制数的相互转换	(10)
1.3.2	二进制数与十六进制数的相互转换	(11)
1.3.3	十进制数与任意进制数的相互转换	(13)
1.4	二进制编码	(16)
1.4.1	加权二进制码	(16)
1.4.2	不加权的二进制码	(18)
1.4.3	字母数字码	(19)
1.4.4	补码	(20)
1.5	带符号二进制数的加减运算	(23)
1.5.1	加法运算	(23)
1.5.2	减法运算	(24)
	本章小结	(25)
	习题一	(26)
2	逻辑门	(29)
2.1	基本逻辑门	(29)
2.1.1	与门	(29)
2.1.2	或门	(31)

2.1.3 非门	(32)
2.2 复合逻辑门	(33)
2.2.1 与非门	(34)
2.2.2 或非门	(34)
2.2.3 异或门	(35)
2.2.4 同或门	(36)
2.3 其他逻辑门	(37)
2.3.1 集电极开路逻辑门	(37)
2.3.2 集电极开路逻辑门的应用	(38)
2.3.3 三态逻辑门	(39)
2.4 集成电路逻辑门	(40)
2.4.1 概述	(41)
2.4.2 TTL 集成电路逻辑门	(42)
2.4.3 CMOS 集成电路逻辑门	(43)
2.4.4 集成门电路的性能参数	(44)
2.4.5 TTL 与 CMOS 门电路的接口*	(47)
本章小结	(49)
习题二	(50)
3 逻辑代数基础	(53)
3.1 概述	(53)
3.1.1 逻辑函数的基本概念	(53)
3.1.2 逻辑函数的表示方法	(53)
3.2 逻辑代数的运算规则	(54)
3.2.1 逻辑代数的基本定律	(55)
3.2.2 逻辑代数的基本公式	(55)
3.2.3 摩根定理	(55)
3.2.4 逻辑代数的规则	(56)
3.3 逻辑函数的代数化简法	(58)
3.3.1 并项化简法	(58)
3.3.2 吸收化简法	(58)
3.3.3 配项化简法	(59)
3.3.4 消去冗余项法	(59)
3.4 逻辑函数的标准形式	(60)
3.4.1 最小项与最大项	(61)
3.4.2 标准与或表达式	(62)
3.4.3 标准或与表达式	(62)

3.4.4	两种标准形式的相互转换	(63)
3.4.5	逻辑函数表达式与真值表的相互转换	(63)
3.5	逻辑函数的卡诺图化简法	(64)
3.5.1	卡诺图	(65)
3.5.2	与或表达式的卡诺图表示	(65)
3.5.3	与或表达式的卡诺图化简	(66)
3.5.4	或与表达式的卡诺图化简	(68)
3.5.5	含无关项逻辑函数的卡诺图化简	(69)
3.5.6	多输出逻辑函数的化简	(70)
	本章小结	(71)
	习题三	(72)
4	组合逻辑电路	(75)
4.1	组合逻辑电路的分析	(75)
4.1.1	组合逻辑电路的定义	(75)
4.1.2	组合逻辑电路的分析步骤	(75)
4.1.3	组合逻辑电路的分析举例	(76)
4.2	组合逻辑电路的设计	(78)
4.2.1	组合逻辑电路的一般设计步骤	(78)
4.2.2	组合逻辑电路的设计举例	(79)
4.3	编码器	(84)
4.3.1	编码器的概念	(84)
4.3.2	二进制编码器	(84)
4.3.3	二十进制编码器	(86)
4.3.4	编码器应用举例	(88)
4.4	译码器	(91)
4.4.1	译码器的概念	(91)
4.4.2	二进制译码器	(91)
4.4.3	二十进制译码器	(93)
4.4.4	用译码器实现逻辑函数	(94)
4.4.5	显示译码器	(95)
4.4.6	译码器应用举例	(97)
4.5	数据选择器与数据分配器	(99)
4.5.1	数据选择器	(99)
4.5.2	用数据选择器实现逻辑函数	(102)
4.5.3	数据分配器	(103)
4.5.4	数据选择器应用举例	(104)

4.6 加法器	(106)
4.6.1 半加器	(106)
4.6.2 全加器	(106)
4.6.3 多位加法器	(107)
4.6.4 加法器应用举例	(108)
4.6.5 加法器构成减法运算电路	(109)
4.7 比较器	(111)
4.7.1 1 位数值比较器	(111)
4.7.2 集成数值比较器	(111)
4.7.3 集成数值比较器应用举例	(112)
4.8 码组转换电路	(113)
4.8.1 BCD 码之间的相互转换	(113)
4.8.2 BCD 码与二进制码之间的相互转换	(114)
4.8.3 格雷码与二进制码之间的相互转换	(115)
4.9 组合逻辑电路的竞争与冒险	(116)
4.9.1 冒险现象的识别	(116)
4.9.2 消除冒险现象的方法	(117)
本章小结	(118)
习题四	(119)
5 触发器	(125)
5.1 RS 触发器	(125)
5.1.1 基本 RS 触发器	(125)
5.1.2 钟控 RS 触发器	(127)
5.1.3 RS 触发器应用举例	(128)
5.2 D 触发器	(130)
5.2.1 电平触发 D 触发器	(130)
5.2.2 边沿触发 D 触发器	(131)
5.3 JK 触发器	(133)
5.3.1 主从 JK 触发器	(133)
5.3.2 边沿 JK 触发器	(136)
5.4 不同类型触发器的相互转换	(140)
5.4.1 概述	(140)
5.4.2 D 触发器转换为 JK、T 和 T' 触发器	(140)
5.4.3 JK 触发器转换为 D 触发器	(141)
本章小结	(142)
习题五	(142)

6 寄存器与计数器	(145)
6.1 寄存器与移位寄存器	(145)
6.1.1 寄存器	(145)
6.1.2 移位寄存器	(146)
6.1.3 移位寄存器应用举例	(150)
6.2 异步 N 进制计数器	(152)
6.2.1 异步 n 位二进制计数器	(152)
6.2.2 异步非二进制计数器	(154)
6.3 同步 N 进制计数器	(156)
6.3.1 同步 n 位二进制计数器	(156)
6.3.2 同步非二进制计数器	(158)
6.4 集成计数器	(160)
6.4.1 集成同步二进制计数器	(161)
6.4.2 集成同步非二进制计数器	(164)
6.4.3 集成异步二进制计数器	(166)
6.4.4 集成异步非二进制计数器	(167)
6.4.5 集成计数器的扩展	(170)
6.4.6 集成计数器应用举例	(173)
本章小结	(175)
习题六	(176)
7 时序逻辑电路的分析与设计	(179)
7.1 概述	(179)
7.1.1 时序逻辑电路的定义	(179)
7.1.2 时序逻辑电路的结构	(179)
7.1.3 时序逻辑电路的分类	(180)
7.2 时序逻辑电路的分析	(181)
7.2.1 时序逻辑电路的分析步骤	(181)
7.2.2 同步时序逻辑电路分析举例	(182)
7.2.3 异步时序逻辑电路分析举例	(185)
7.3 同步时序逻辑电路的设计	(187)
7.3.1 同步时序逻辑电路的基本设计步骤	(188)
7.3.2 同步时序逻辑电路设计举例	(190)
本章小结	(193)
习题七	(193)
8 存储器与可编程逻辑器件	(197)
8.1 存储器概述	(197)

8.1.1 存储器分类	(197)
8.1.2 存储器的相关概念	(198)
8.1.3 存储器的性能指标	(199)
8.2 RAM	(200)
8.2.1 RAM 分类与结构	(200)
8.2.2 SRAM	(201)
8.2.3 DRAM	(203)
8.3 ROM	(205)
8.3.1 ROM 分类与结构	(205)
8.3.2 掩膜 ROM	(206)
8.3.3 可编程 ROM	(207)
8.3.4 可编程 ROM 的应用	(211)
8.4 快闪存储器	(214)
8.4.1 快闪存储器的电路结构	(214)
8.4.2 闪存与其他存储器的比较	(215)
8.5 存储器的扩展	(217)
8.5.1 存储器的位扩展法	(217)
8.5.2 存储器的字扩展法	(217)
8.6 可编程阵列逻辑	(219)
8.6.1 PAL 的电路结构	(221)
8.6.2 PAL 器件举例	(223)
8.6.3 PAL 器件的应用举例	(223)
8.7 通用阵列逻辑	(228)
8.7.1 GAL 的性能特点	(228)
8.7.2 GAL 的电路结构	(228)
8.7.3 OLMC	(230)
8.7.4 GAL 器件的编程与开发	(233)
8.8 CPLD、FPGA 和在系统编程技术	(235)
8.8.1 数字可编程器件的发展概况	(235)
8.8.2 数字可编程器件的编程语言	(236)
8.8.3 数字可编程器件的应用实例	(236)
本章小结	(249)
习题八	(250)
9 D/A 转换器和 A/D 转换器	(253)
9.1 概述	(253)
9.2 D/A 转换器	(254)

9.2.1	D/A 转换器的电路结构	(254)
9.2.2	二进制权电阻网络 D/A 转换器	(255)
9.2.3	倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	(257)
9.2.4	D/A 转换器的主要技术参数	(258)
9.2.5	集成 D/A 转换器及应用举例	(259)
9.3	A/D 转换器	(261)
9.3.1	A/D 转换的一般步骤	(261)
9.3.2	A/D 转换器的种类	(263)
9.3.3	A/D 转换器的主要技术参数	(264)
9.3.4	集成 A/D 转换器及应用举例	(264)
	本章小结	(266)
	习题九	(267)
10	脉冲波形的产生与整形电路	(271)
10.1	概述	(271)
10.2	多谐振荡器	(272)
10.2.1	门电路构成的多谐振荡器	(272)
10.2.2	采用石英晶体的多谐振荡器	(274)
10.3	单稳态触发器	(276)
10.3.1	门电路构成的单稳态触发器	(276)
10.3.2	集成单稳态触发器	(277)
10.3.3	单稳态触发器的应用	(279)
10.4	施密特触发器	(280)
10.4.1	概述	(281)
10.4.2	施密特触发器的应用	(281)
10.5	555 定时器及其应用	(283)
10.5.1	电路组成及工作原理	(284)
10.5.2	555 定时器构成施密特触发器	(285)
10.5.3	555 定时器构成单稳态触发器	(286)
10.5.4	555 定时器构成多谐振荡器	(286)
	本章小结	(288)
	习题十	(289)
11	数字集成电路简介	(291)
11.1	TTL 门电路	(291)
11.1.1	TTL 与非门电路	(291)
11.1.2	TTL 或非门电路	(295)
11.1.3	TTL 与或非门电路	(295)

11.1.4 集电极开路门电路与三态门电路	(296)
11.1.5 肖特基 TTL 与非门电路	(300)
11.2 CMOS 门电路	(301)
11.2.1 概述	(301)
11.2.2 CMOS 非门电路	(302)
11.2.3 CMOS 与非门电路	(303)
11.2.4 CMOS 或非门电路	(303)
11.2.5 CMOS 门电路的构成规则	(304)
11.3 数字集成电路的使用	(306)
本章小结	(308)
习题十一	(308)
附录 专业词汇汉英对照	(311)
参考文献	(314)

1

数制与编码

本章首先介绍模拟信号、数字信号及其之间的区别,以及数字电路的特点;接着从常用的十进计数制开始,讨论一般的进位计数规则和各种不同数制之间的转换方法,重点讨论二进计数制的基本特点及其在计算机中的表示形式;最后介绍十进制数的二进制编码表示:加权码、非加权码及字符代码。

1.1 数字电路基础知识

本节将学习

- 🔗 模拟信号与数字信号的概念及区别
- 🔗 数字电路的特点

1.1.1 模拟信号与数字信号

在近代电子工程中,按照所处理的信号形式,通常将电路分为模拟电路和数字电路两大类。模拟电路处理的是模拟信号,数字电路处理的是数字信号。在电子应用中,可测量的信号分为模拟信号和数字信号。

1. 模拟信号

模拟信号是指时间上和幅度上均为连续取值的物理量。在自然环境下,大多数物理信号都是模拟量。温度是一个模拟量,因为它的取值是连续的,在一天的某个时间段内,温度的变化不是从一个值跳变到另一个值,而是在一定的范围内连续变化。例如,温度不会在一瞬间从 30°C 跳变到 31°C ,而是经历了 $30\sim 31^{\circ}\text{C}$ 之间的所有值。图 1-1 表示了气象台记录夏季某一天的温度在不同时间的变化情况,这是一条光滑、连续的曲线。其中,纵坐标为温度值,横坐标为时间。

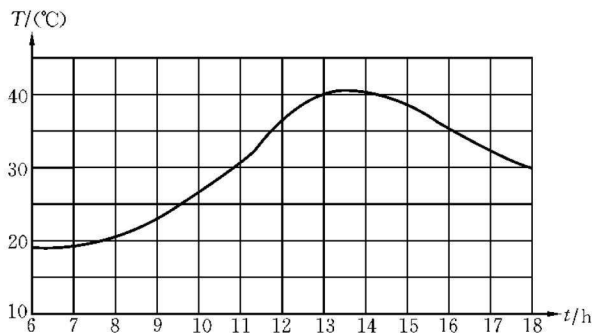


图 1-1 夏季某一天的温度变化曲线

模拟信号的另一个实例是速度。汽车行驶时,计数器上显示车速,单位是千米每小时(km/h)。如果从 50 km/h 加速到 60 km/h,车速不会从 50 km/h 马上跳变到 60 km/h,而是经历了两者之间所有的速度值,最终到达 60 km/h。也就是说,速度总是连续变化的,因此也是模拟量。其他模拟量的实例还有声波、压力、距离、时间等,大多数自然现象都是模拟量。

2. 数字信号

数字信号是指时间上和幅度上均为离散取值的物理量。尽管自然界中大多数物理量是模拟的,但仍可以用数字形式来表示。例如图 1-1 所示的温度变化曲线,不考虑温度变化的连续性,只考虑时间轴上整点的温度值,这实际上是对温度曲线的特定点处进行采样,如图 1-2 所示。但应注意的是,它还不是数字信号,只有将各采样值用数字代码表示后才为数字信号。

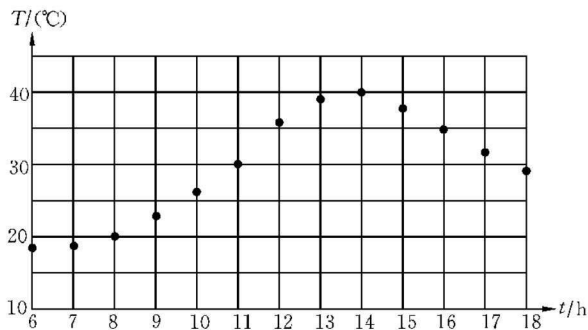


图 1-2 对图 1-1 中模拟量的采样(采样间隔为 1 h)

数字信号可能是二值、三值或多值信号。但目前数字电路中只涉及二值信号,即用 0、1 表示的数字信号,如图 1-3 所示。这里的 0 和 1 没有大小之分,只表示逻辑关系,即逻辑 0 和逻辑 1,因而称为二值数字逻辑或简称数字逻辑。图 1-3 所示的波形为数字波形,是逻辑电平随时间变化的曲线。当电压值在高电平和低电平之间变化时,就产生了数字