



全国高等农林院校“十一五”规划教材

数字电子技术

李伟凯 主编

 中国农业出版社

全国高等农林院校“十一五”规划教材

数字电子技术

李伟凯 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

数字电子技术 / 李伟凯主编. —北京: 中国农业出版社,
2008. 1

全国高等农林院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-109-11991-8

I. 数… II. 李… 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 193669 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

责任编辑 郭元建 李兴旺

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月北京第 1 次印刷

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 17

字数: 295 千字

定价: 24.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

“数字电子技术”是高等学校工科电类各专业的一门重要技术基础课，它既是培养大学生学习现代电子技术理论和实践知识的入门性课程，也是从理论体系比较严谨的基础课向工程性比较强的专业课转换的一门过渡性的课程。该课程的特点是理论性很强，工程实践性也很强。

全书共分 8 章，主要内容包括数字电路基础知识、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲单元电路、数模与模数转换器、大规模集成电路等。本书的特点是知识新颖、内容精练、通俗易懂；既注重基本概念和基本原理分析，又力求突出理论与实践的结合，具有较强的实用性。本书按照精选常规内容、注重实际应用的原则，合理地控制了教材的深度和广度，每章末附有小结和习题。

本教材可作为高等农业院校电气类、电子类、自动化类和其他相近专业本科生的教材，同时也可作为从事电子工程的工程师提供有益的参考资料。

编写人员名单

主 编 李伟凯

副主编 吉海彦 姜新通

参 编 韩 静 房俊龙 姜凤利

主 审 祁广云

前 言

随着现代电子技术的飞速发展，新技术、新器件不断出现，尤其是微型计算机和微处理器、大规模集成电路的广泛应用，使得数字电子技术在现代科学技术领域中占有越来越重要的地位，可以说数字电子技术是当前发展最快的学科之一。

本书是在农业部根据农业学科发展需要，及中国农业出版社组织全国高等农业院校进行农业教材建设的基础上，进行编写的全国高等农林院校“十一五”规划教材，是由黑龙江八一农垦大学、中国农业大学、东北农业大学和沈阳农业大学四所高等农业院校的教师联合编写的。本书由李伟凯教授任主编并负责全书的统稿工作，吉海彦和姜新通分别任副主编。其中：第5章时序逻辑电路的第1节、第7章脉冲单元电路的第1、2节由李伟凯编写；第3章组合逻辑电路、第6章数模与数模转换器由吉海彦编写；第1章数字电路基础知识、第2章逻辑门电路、第7章脉冲单元电路的第3、4节，第8章大规模集成电路的第1、2节由姜新通编写；第4章触发器、第5章时序逻辑电路的第2、3、4节由韩静编写；第8章大规模集成电路的第3节由房俊龙编写，第1节由姜凤利编写。硕士研究生朱春艳、李薇参加了本书的部分录入和绘图工作。

本书由黑龙江八一农垦大学祁广云老师主审，提出了许多宝贵的意见，编者在此表示诚挚的谢意，同时对给予本书编写工作大力支持和帮助的各方人士及参考文献的各位作者一并致谢。由于编者水平有限，在此真诚地希望广大教师和读者对本教材提出宝贵意见。

编 者

2007年11月

目 录

前言

第 1 章 数字电路基础知识	1
1.1 数字电路的特点	1
1.2 数制与编码	2
1.2.1 数制间的转换	3
1.2.2 二进制编码	6
1.2.3 基本逻辑运算	8
1.3 数字电路的学习方法	12
本章小结	13
习题	13
第 2 章 逻辑门电路	15
2.1 晶体管的开关特性	15
2.1.1 二极管的开关特性	16
2.1.2 三极管的开关特性	18
2.2 基本逻辑门电路	21
2.2.1 二极管与门和或门电路	21
2.2.2 三极管的非门电路	23
2.2.3 DTL 与非门电路	24
2.3 TTL 逻辑门电路	25
2.3.1 标准 TTL 逻辑门电路	25
2.3.2 TTL 与非门的特性与技术参数	28
2.3.3 其他类型的 TTL 门电路	33
2.4 MOS 逻辑门电路	37
2.4.1 CMOS 逻辑门电路	38
2.4.2 集成逻辑门电路的应用	41
本章小结	44
习题	45

第3章 组合逻辑电路	48
3.1 逻辑代数	49
3.1.1 逻辑代数的基本定律和恒等式	49
3.1.2 逻辑代数的基本规则	51
3.1.3 逻辑函数的代数变换与化简	52
3.2 逻辑函数的卡诺图化简法	54
3.2.1 最小项的定义及其性质	54
3.2.2 逻辑函数的最小项表达式	55
3.2.3 用卡诺图表示和化简逻辑函数	55
3.3 组合逻辑电路的分析与设计	60
3.3.1 组合逻辑电路的分析	60
3.3.2 组合逻辑电路的设计	61
3.4 组合逻辑电路中的竞争冒险	63
3.4.1 产生竞争冒险的原因	63
3.4.2 消除竞争冒险的方法	63
3.5 编码器	65
3.5.1 编码器的定义与功能	65
3.5.2 集成电路编码器	66
3.6 译码器/数据分配器	70
3.6.1 译码器的定义及功能	70
3.6.2 集成电路译码器	71
3.6.3 数据分配器	78
3.7 数据选择器	79
3.7.1 数据选择器的定义与功能	79
3.7.2 集成电路数据选择器	80
3.8 数值比较器	84
3.8.1 数值比较器的定义与功能	84
3.8.2 集成数值比较器 CC14585	85
3.9 算术运算电路	87
3.9.1 半加器和全加器	87
3.9.2 多位数加法器	89
3.9.3 减法运算	91

本章小结	92
习题	93
第 4 章 触发器	97
4.1 触发器的性质与分类	97
4.1.1 触发器的基本性质	97
4.1.2 触发器的分类	98
4.2 RS 触发器	98
4.2.1 基本 RS 触发器	98
4.2.2 同步 RS 触发器	101
4.2.3 主从 RS 触发器	103
4.2.4 集成 RS 触发器	105
4.3 JK 触发器	106
4.3.1 主从 JK 触发器	106
4.3.2 边沿 JK 触发器	108
4.3.3 集成 JK 触发器	110
4.4 D 触发器	111
4.4.1 同步 D 触发器	111
4.4.2 主从 D 触发器	112
4.4.3 维持—阻塞边沿 D 触发器	113
4.4.4 集成 D 触发器	114
4.5 触发器的功能描述	115
4.5.1 RS 触发器	115
4.5.2 JK 触发器	116
4.5.3 D 触发器	116
4.5.4 T 触发器	117
4.5.5 T' 触发器	118
4.5.6 触发器类型的转换	118
4.6 触发器的脉冲工作特性及主要参数	119
4.6.1 触发器的脉冲工作特性	119
4.6.2 集成触发器的参数	120
本章小结	121
习题	122

第 5 章 时序逻辑电路	128
5.1 时序逻辑电路的结构与类型	128
5.1.1 时序电路框图	128
5.1.2 状态转换表、状态转换图和时序图	129
5.1.3 Mealy 型电路	130
5.1.4 Moore 型电路	131
5.2 时序逻辑电路的分析方法	132
5.2.1 分析时序逻辑电路的一般步骤	132
5.2.2 同步时序逻辑电路的分析举例	133
5.2.3 异步时序逻辑电路的分析举例	137
5.3 同步时序逻辑电路的设计方法	139
5.3.1 设计时序逻辑电路的原则和步骤	139
5.3.2 状态化简	140
5.3.3 同步时序逻辑电路设计举例	145
5.4 常用时序逻辑功能器件	150
5.4.1 计数器	150
5.4.2 寄存器和移位寄存器	168
5.4.3 移位寄存器型计数器	172
本章小结	173
习题	174
第 6 章 数模与模数转换器	179
6.1 D/A 转换器	180
6.1.1 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	180
6.1.2 权电流型 D/A 转换器	181
6.1.3 D/A 转换器的输出方式	182
6.1.4 D/A 转换器的主要技术指标	184
6.1.5 集成 D/A 转换器及其应用	186
6.2 A/D 转换器	189
6.2.1 A/D 转换的一般工作过程	189
6.2.2 并联比较型 A/D 转换器	192
6.2.3 逐次比较型 A/D 转换器	193
6.2.4 双积分型 A/D 转换器	194

6.2.5 A/D转换器的主要技术指标	196
6.2.6 集成 A/D 转换器及其应用	197
本章小结	200
习题	201
第 7 章 脉冲单元电路	204
7.1 集成多谐振荡器	204
7.1.1 门电路组成的多谐振荡器	204
7.1.2 带有 RC 延时电路的环形振荡器	206
7.1.3 石英晶体振荡器	208
7.2 单稳态触发器	209
7.2.1 门电路组成的微分型单稳态触发器	210
7.2.2 集成单稳态触发器	212
7.2.3 单稳态触发器的应用	215
7.3 施密特触发器	215
7.3.1 门电路组成的施密特触发器	216
7.3.2 集成施密特触发器	217
7.3.3 施密特触发器的应用	218
7.4 集成定时器	219
7.4.1 555 定时器	220
7.4.2 定时器的应用举例	221
本章小结	226
习题	227
第 8 章 大规模集成电路	230
8.1 概述	230
8.1.1 半导体存储器概述	230
8.1.2 可编程器件概述	231
8.2 半导体存储器	232
8.2.1 随机存取存储器 (RAM)	232
8.2.2 只读存储器 (ROM)	235
8.2.3 存储器容量的扩展	240
8.3 可编程器件	242
8.3.1 可编程逻辑器件 (PLD)	242

8.3.2 可编程阵列逻辑器件 (PAL)	245
8.3.3 可编程通用阵列逻辑器件 (GAL)	246
8.3.4 可编程逻辑器件的编程过程	252
本章小结	252
习题	253
附录 美国信息交换标准代码 (ASCII 码) 表	254
主要参考文献	255

第 1 章 数字电路基础知识

本章重点内容:

- 数字电路及其特点;
- 数制及编码, 重点介绍数制之间的转换和基本的逻辑运算;
- 数字电路的学习方法。

自第二次世界大战以来, 自然科学的任一分支对现代世界的发展所作的贡献都比不上电子学。电子学促进了计算机、通讯、家用电器、工业自动化、测试和测量、卫星系统以及医疗器械等领域的重大发展。电子工业目前已经超过汽车工业和石油工业, 成为全球最大的单一工业, 电子系统的年销售额已超过 2 万亿美元。

当前, 电子工业发展的重要趋势之一是逐渐地实现从模拟电子技术向数字电子技术的转移。最新统计结果表明, 如今电子系统中平均 90% 的电路是数字的, 只有 10% 的电路是模拟的。21 世纪社会已进入信息时代, 数字电路作为电子学的基础课程必将以更高的速度前进。

1.1 数字电路的特点

模拟电路处理和传输的是模拟信号, 该信号在时间和幅值上均为连续的。其时间上连续指的是任意时刻有一个相对的值, 而数值上连续则可以是在一定范围内的任意值。例如电压、电流、温度、声音等。模拟信号的优点是可以精确的值表示事物。缺点表现为难以度量、容易受噪声的干扰, 且难以保存。真实的世界是模拟的。

数字电路处理和传输的是数字信号, 该信号在时间和幅值上均为离散的信号, 在电路中常表现为突变的电压或电流。其时间上离散意思是只在某些时刻有定义, 而数值上离散意味着变量只能是有限集合的一个值, 典型的数字信号如图 1-1 所示。数字电路中分别用低电平和高电平来表示逻辑 0 和逻辑 1, 它和二进制数中的 0 和 1 正好对应。因此, 数字系统中常用二进制数 0 和 1 来表示数据。

电子系统中一般均含有模拟和数字两种电路。模拟电路是系统中必需的组

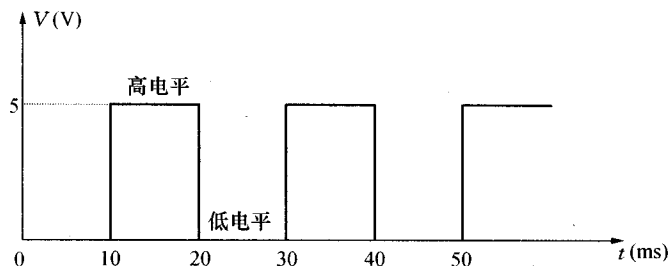


图 1-1 典型的数字信号

成部分, 但为了储存、分析或传输信号, 数字电路具有更大的优越性。

与模拟电路相比, 数字电路的特点主要有:

① 数字电路的基本工作信号是用 1 和 0 表示的二进制的数字信号, 反映在电路上就是高电平和低电平。

② 数字电路中, 器件常处于开关工作状态, 即饱和或截止状态, 抗干扰能力强、精度高; 而模拟电路的器件则经常工作在放大状态。

③ 数字电路研究的对象是电路的输入与输出的逻辑关系, 即逻辑功能。而模拟电路研究的对象是电路对输入信号的放大和变换功能。

④ 数字电路的基本单元电路是逻辑门和触发器; 而模拟电路的基本单元是放大器。

⑤ 数字电路通用性强、结构简单, 且容易制造, 便于集成及系列化生产。

⑥ 数字电路具有“逻辑思维”能力, 能对输入的数字信号进行各种算术运算和逻辑运算、逻辑判断, 故又被称为数字逻辑电路。

按电路结构, 数字电路可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两类。前者电路的输出信号只与当时的输入信号有关, 与电路原来的状态无关; 后者电路的输出信号不仅与当时的输入信号有关, 而且还与电路原来的状态有关。

1.2 数制与编码

在日常生活中, 最常用的进制是十进制。当我们看到 189 时, 便读作一百八十九。这是因为这里的百位数是 1, 十位数是 8, 个位数是 9。这种按每个数字在不同“位”来表示数值大小的方法, 叫做按位定值的计数制。用数学式可表示为

$$189 = 1 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 9 \times 10^0$$

这里, 10 称为十进制的“基”数, 10^0 、 10^1 、 10^2 、... 叫做十进制各位的“权”数。1、8、9 叫做基为 10 的“系数”。基数为 10 的计数制我们称之为十进制计数制, 简称十进制。

日常生活中我们除了使用十进制外,还会经常遇到其他进制,如十二进制(月份)、二十四进制(小时)、六十进制(分、秒),等等。只要改变基、权和系数,便可获得任一计数制的通用表示方法

$$N = (d_{n-1}d_{n-2}\cdots d_1d_0 \cdot d_{-1}d_{-2}\cdots d_{-m})_r$$

$$\text{即 } N = d_{n-1}r^{n-1} + d_{n-2}r^{n-2} + \cdots + d_1r^1 + d_0r^0 + d_{-1}r^{-1} + \cdots + d_{-m}r^{-m} \cdots$$

其中, r 为基, m 、 n 为正整数,分别代表整数位和小数位的位数。如 $(4223.56)_{10} = 4 \times 10^3 + 2 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1} + 6 \times 10^{-2}$ 。

一般来说,基数为 r 的计数制,它的系数由 0、1、2、 $\cdots$ 、 $r-1$ 共 r 个数字组成,每当计数到 r 时,需向高位进位,这就是“逢 r 进一”。若 $r=10$,就是“逢十进一”的十进制计数制。

数字系统(如数字计算机)采用物理元件的状态来表示计数制中系数的值,并用物理元件的位置来对应计数制中的权。由于至今绝大多数物理元件只有两种状态,被称作二值元件,因此,数字系统中的数通常采用二进制表示。为了表示方便,有时也采用八进制和十六进制来计值。其中在十六进制中,十进制的 10、11、12、13、14、15 分别用字母 A、B、C、D、E、F 来表示。为了区分不同的进制数,可分别用字母 B、O、D、H 来区分二、八、十、十六进制数(如 101B 表示二进制数,101D 表示十进制数,101H 表示十六进制数)。表 1-1 列出了十进制数的 0~15 与二、八、十六进制数间的关系。

表 1-1 十进制、二进制、八进制、十六进制对照表

十进制	二进制	八进制	十六进制	十进制	二进制	八进制	十六进制
0	0000	0	0	8	1000	10	8
1	0001	1	1	9	1001	11	9
2	0010	2	2	10	1010	12	A
3	0011	3	3	11	1011	13	B
4	0100	4	4	12	1100	14	C
5	0101	5	5	13	1101	15	D
6	0110	6	6	14	1110	16	E
7	0111	7	7	15	1111	17	F

1.2.1 数制间的转换

1. 十进制转换为二、八、十六进制

十进制数转换成二进制数、八进制数和十六进制数的方法都相同。转换时,整数部分和小数部分分别进行转换。

十进制整数转换成其他进制整数,通常采用“除基取余法”。

所谓除基取余法,就是将已知十进制数反复除以转换进制的基数 r ,第一次除后的商作为下次的被除数,余数作为相应的进制位。第一次相除得到的余数是该进制数的低位 (K_0),最后一次余数是该进制数的高位 (K_{n-1})。从低位到高位逐次进行,直到商为零,则 $K_{n-1}K_{n-2}\cdots K_1K_0$ 即为所求转换后的数。

【例 1-1】 将 $(75)_D$ 转换成二进制、八进制和十六进制数。

计算过程如下:

2 $\overline{) 75}$1	8 $\overline{) 75}$3	16 $\overline{) 75}$11
2 $\overline{) 37}$1	8 $\overline{) 9}$1	16 $\overline{) 4}$4
2 $\overline{) 18}$0	8 $\overline{) 1}$1	
2 $\overline{) 9}$1	0	0
2 $\overline{) 4}$0		
2 $\overline{) 2}$0		
2 $\overline{) 1}$1		
0		

所以 $(75)_D = (1001011)_B = (113)_O = (4B)_H$

十进制小数转换成其他进制小数,通常采用“乘基取整法”。

所谓乘基取整法,就是将已知十进制小数反复乘以转换进制的基数 r ,每次乘 r 后,所得乘积有整数部分和小数部分,整数部分作为相应的进制位(第一次乘 r 所得的整数部分为 K_{-1}),小数部分继续乘 r 。从高位向低位依次进行,直到其满足精度要求或乘 r 后小数部分为零时停止。最后一次乘 r 所得的整数部分为 K_{-m} ,则所得的小数为 $0.K_{-1}K_{-2}\cdots K_{-m}$ 。

【例 1-2】 将 $(0.6531)_D$ 转换成二进制、八进制、十六进制小数。

计算过程如下:

0.6531	0.6531	0.6531
$\times 2$1	$\times 8$5	$\times 16$10
$\hline 0.3062$	$\hline 0.2248$	$\hline 0.4496$
$\times 2$0	$\times 8$1	$\times 16$7
$\hline 0.6124$	$\hline 0.7984$	$\hline 0.1936$
$\times 2$1	$\times 8$6	$\times 16$3
$\hline 0.2248$	$\hline 0.3872$	$\hline 0.0976$
$\times 2$0	$\times 8$3	$\times 16$1
$\hline 0.4496$	$\hline 0.0976$	$\hline 0.5616$
$\times 2$0	$\times 8$0	$\times 16$8
$\hline 0.8992$	$\hline 0.7808$	$\hline 0.9856$
$\times 2$1	$\times 8$6	$\times 16$15
$\hline 0.7984$	$\hline 0.2464$	$\hline 0.7696$

如果取6位小数能满足精度要求,则得

$$\begin{aligned}(0.6531)_D &\approx (0.K_{-1}K_{-2}K_{-3}K_{-4}K_{-5}K_{-6}) = (0.101001)_B \\ &= (0.516306)_O = (0.A7318F)_H\end{aligned}$$

可见,十进制小数不一定能转换成完全等值的其他进制小数。遇到这种情况时,根据精度要求,取近似值。

【例1-3】 将 $(75.6531)_D$ 转换为二进制数。

因为

$$\begin{aligned}(75)_D &= (1001011)_B \\ (0.6531)_D &\approx (0.101001)_B \\ (75.6531)_D &\approx (1001011.101001)_B\end{aligned}$$

所以

2. 其他进制转换成十进制

其他进制数转换成十进制数用按位定值的方法进行。

【例1-4】 将 $(11001.1001)_B$ 转换为十进制数。

$$\begin{aligned}(11001.1001)_B &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} \\ &\quad + 0 \times 2^{-2} + 0 \times 2^{-3} + 1 \times 2^{-4} \\ &= 16 + 8 + 1 + 0.5 + 0.0625 \\ &= (25.5625)_D\end{aligned}$$

【例1-5】 将 $(123)_O$ 转换为十进制数。

$$(123)_O = 1 \times 8^2 + 2 \times 8^1 + 3 \times 8^0 = (83)_D$$

【例1-6】 将 $(1A2D)_H$ 转换为十进制数。

$$(1A2D)_H = 1 \times 16^3 + 10 \times 16^2 + 2 \times 16^1 + 13 \times 16^0 = (6701)_D$$

3. 二进制转换为八、十六进制

二进制数转换成八进制数依据 $2^3=8$, 将二进制数整数部分从低位到高位, 每3位对应1位八进制数(见表1-1), 不足3位时在前面补0; 小数部分则从最高位开始, 每3位对应1位八进制数, 不足3位时在后面补0。

二进制数转换成十六进制数依据 $2^4=16$, 将二进制数整数部分从低位到高位, 每4位对应1位十六进制数(见表1-1), 不足4位时在前面补0; 小数部分则从最高位开始, 每4位对应1位十六进制数, 不足4位时在后面补0。

【例1-7】 把 $(1101001)_B$ 转换成八进制数。

因为

$$\begin{array}{ccc} (001 & 101 & 001)_B \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ (1 & 5 & 1)_O \end{array}$$

所以

$$(1101001)_B = (151)_O$$