

内 容 简 介

这是一本集大成式的数字电子技术入门与应用的图书。本书从数字电子技术的实际应用出发,提纲挈领、通俗、全面、详细地讲解了数字电子技术的基础知识,各种基本单元电路以及数字电路在各方面的应用。本书除可作为数字电子技术的自学教材外,也可作为数字电子电路的应用手册使用。

本书附赠光盘中还包括 200 多页将近 4000 个型号数字集成电路的代换资料,以及 200 多张数字电子技术应用与制作的电路图。

本书可供家电维修人员、工矿企业的技术人员、技工、农村电工、无线电爱好者阅读,也可作为中专、中技的教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术从入门到精通/刘建清编著. —北京:
国防工业出版社,2006.1
(家电维修从入门到精通丛书/刘午平主编)
ISBN 7-118-04200-5
I. 数... II. 刘... III. 数字电路—电子技术—基
本知识 IV. TN79
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 116924 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

新艺印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 20½ 506 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—5000 册 定价:32.00 元(含光盘)

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

丛书前言

随着我国科学技术的发展和人民生活水平的迅速提高,各种各样的现代家用电器已经普及到千家万户,与此同时对于家用电器的维修问题也提出了更高的要求。现在,家电维修已经成为一个行业,有越来越多的新手和大批的无线电爱好者正在加入到这一行业中。为此,我们组织编写了这套丛书,以期向希望从事家电维修工作的读者提供一套实用的家电维修自学和培训教材。

“丛书”的写作宗旨是力求通俗易懂、实用好用,指导初学者快速入门、步步提高、逐渐精通,成为家电维修的行家里手。“丛书”在写作时,既考虑了初学者的“入门”,又照顾了一般维修人员的“提高”,还兼顾了中等层次维修人员的“精通”,因此,指导性和实用性成为“丛书”的两大特征。

现在图书市场上有关家电维修的书籍也已经不少,但本套丛书还是有很多与众不同的新想法和特点:

理论与实践紧密结合是这套丛书的第一大特点。对维修人员来说,不讲理论的维修是提高不了的,但关键是所讲的理论知识要能看得懂、用得上。因此,本丛书在介绍理论知识时特别注重和实践相结合,突出与修理实践密切相关的电路分析和介绍,不讲过深、过繁以及与实践联系不紧密的理论知识。

注重方法和思路、注重技巧与操作是这套丛书的第二大特点。家电维修是一件操作性和技巧性比较强的工作,很多修理方法和技巧是在传统教科书中所学不到的。丛书的作者都是家电维修的行家里手,他们既有比较扎实的理论基础,又有丰富的维修实践经验,在丛书的各个分册中介绍了很多非常实用的检修方法和检修技巧,其中有不少是作者经多年实践总结出来的“看家本领”。

图文并茂、好读易用是本丛书的第三大特点。丛书在写作风格上力求轻松、易懂。为了让读者方便、快捷地抓住书中的重点和要点,尽快获取自己所需要的信息,书中特意安排了提示图标。读者根据这些图标的提示去阅读,可大大提高阅读效率,使所花费的阅读时间减到最少,而对重点、难点了解得更快、更全。

本丛书由国防工业出版社总编辑杨星豪总策划,由家电维修行业知名专家、中国电子学会高级会员刘午平任主编。在丛书的组织和编写过程中,还得到了消费电子领域的专家学者和家电维修界各方面专家的大力支持和指导,其中包括:国家广播电视产品质量检测中心安永成教授,北京牡丹电子集团吴建中高级工程师,北京兆维电子集团闫双耀高级工程师,《家电维修》杂志杨来英副主编,北京市技术交流站宋友山高级工程师,家用电子产品维修专业高级讲师李士宽,北京索尼特约维修站主任王强技师、王立纯技师,北京东芝特约维修站主任聂阳技师、贾平生技师,北京夏普特约维修站主任刘洪弟技师,北京飞利浦特约维修站张旭东技师,北京长虹康佳特约维修站谢永成技师等,在此表示感谢。

我们衷心希望这套丛书能对从事家电维修的人员有所帮助,更希望业内专家、学者以及广大的读者朋友对这套丛书提出宝贵意见和建议。

丛书编者

前 言

随着微电子技术的飞跃发展,我们已经进入了一个以数字化电子产品为特征的数字化时代。电子计算机、数字化通信产品、数字化音响、数字化电视以及其他形形色色的数字化产品开始进入我们的日常生活之中,因此,掌握数字电路的基础知识、了解数字集成电路的应用,对于一名电子技术的爱好者是十分必要的。本书正是为了适应这种需要而编写的。

本书写作的出发点是不讲过深的理论知识,力求做到理论和应用相结合,循序渐进、由浅入深、通俗实用,以指导初学者快速入门、步步提高、逐渐精通,使初学者能够在较短的时间内学好和用好这门课程。

本书在写作时,既考虑了初学者的入门,简要介绍了数字电路基础等方面的知识,又兼顾了中等水平人员的提高和精通,详细分析了组合逻辑电路、时序逻辑电路等基本电路,最后对数字电路的应用进行了分类介绍。因此,指导性和系统性是本书的两大特征。

按照由浅入深、循序渐进的写作宗旨,本书分为入门篇、提高篇及精通篇。

“入门篇”:本篇重点分析了数字电路基础、逻辑门电路和组合逻辑电路。主要包括各种数制与编码、逻辑代数、门电路、编码器、译码器、数据选择器、分配器、模拟开关、基本运算电路和数值比较器等电路。

“提高篇”:本篇首先介绍了常见的双稳态触发器,然后详细分析了寄存器和计数器等常用时序逻辑电路,最后阐述了脉冲产生及整形电路。

“精通篇”:本篇主要包括存储器和微控制器、数模转换和模数转换电路、数字语音和遥控电路以及数字电路综合应用技术四个方面的内容。

为了适应现代数字电子技术发展的需要,本书在保证基本概念、基本原理和基本方法的前提下,大量删除了分立元件的内容,突出了数字集成电路的特点和应用的介绍。因此,本书不但内容新颖、通俗易懂,而且具有一定的趣味性和启发性。特别适合电子爱好者作为入门性指导教材和学习参考书。

本书附赠光盘中包括两部分内容:第一部分为数字集成电路代换资料,包括 200 多页将近 4000 个型号数字集成电路的代换资料;第二部分为 200 多张数字电子技术应用与制作方面的电路图。读者可以通过计算机浏览或打印光盘中的资料。

参加本书编写工作的还有刘为国、王春生、孙保书、李风伟等同志。由于编著者水平有限,疏漏之处在所难免,诚恳希望各位同行、读者批评指正。

编 著 者

目 录

入门篇

第一章 数字电路基础知识	2
第一节 数字电路概述	2
一、模拟信号和模拟电路	2
二、数字信号和数字电路	3
三、数字电路的分类	6
四、数字系统	6
第二节 数制与编码	7
一、数制	7
二、数制的转换	8
三、二进制的算术运算	10
四、编码	11
第三节 模拟信号的数字化	14
一、模拟信号的数字化表示	14
二、数字化的优点	14
第四节 二进制码的传输与存取	15
一、二进制码的传输	15
二、二进制数的存取	17
第五节 逻辑代数简介	17
一、基本概念	18
二、三种基本逻辑运算	18
三、复合逻辑运算	20
四、逻辑运算定理	22
第二章 逻辑门电路	25
第一节 门电路常用概念	25
第二节 晶体管开关电路	26
一、二极管开关电路	26
二、三极管开关电路	28
三、MOS 场效应管开关电路	32
第三节 分立元件门电路	34
一、二极管门电路	35

二、三极管门电路	37
三、MOS 管门电路	38
第四节 集成门电路	39
一、TTL 集成门电路	39
二、CMOS 集成门电路	46
三、数字集成电路的种类	50
四、数字集成电路使用中的问题	52
五、典型逻辑集成门介绍	56
第三章 组合逻辑电路	63
第一节 组合逻辑电路的分析	63
一、组合逻辑电路的分析方法	63
二、组合逻辑电路的基本设计方法	64
第二节 编码器	66
一、二进制编码器	66
二、二进制—十进制编码器	68
三、优先编码器	69
四、实用编码集成电路	71
第三节 译码器	73
一、二进制—八进制译码器	74
二、二进制—十进制译码器	77
三、二进制—十六进制译码器	79
四、显示译码器	81
第四节 数据选择器、分配器和模拟开关	98
一、数据选择器	98
二、数据分配器	100
三、模拟开关	100
第五节 基本算术运算电路和数值比较器	103
一、基本算术运算电路	103
二、数值比较器	105

提高篇

第四章 双稳态触发器	110
第一节 双稳态触发器概述	110
一、双稳态触发器的结构	110
二、双稳态触发器的特点	110
三、双稳态触发器的分类	111
第二节 基本 RS 触发器	111
一、与非门基本 RS 触发器	111

二、由或非门构成的基本 RS 触发器	114
三、分立元件组成的双稳态电路	114
四、集成基本 RS 触发器	115
五、基本 RS 触发器的应用	117
第三节 同步触发器	118
一、同步 RS 触发器	118
二、同步 D 触发器	119
第四节 主从 JK 触发器	121
一、电路结构	121
二、工作原理	121
三、特性表和特性方程	123
四、具有直接复位和直接置位功能的主从 JK 触发器	124
五、集成主从 JK 触发器	124
六、主要特点	125
第五节 边沿触发器	125
一、边沿 JK 触发器	126
二、边沿 D 触发器	128
第六节 T 型和 T' 型触发器	130
一、T 型触发器	130
二、T' 型触发器	131
第七节 触发器的转换	131
一、JK 触发器转换为 D、T 和 T' 触发器	132
二、D 触发器转换为 JK、T 和 T' 触发器	132
第五章 时序逻辑电路	134
第一节 时序逻辑电路概述	134
一、时序电路的特点	134
二、时序电路的分类	134
第二节 寄存器	136
一、寄存器的特点和分类	136
二、基本寄存器	137
三、移位寄存器	142
第三节 计数器	146
一、计数器的分类	146
二、二进制计数器	147
三、十进制计数器	156
四、N 进制计数器	160
第六章 脉冲波形的产生与整形	168
第一节 多谐振荡器	168
一、由分立元件组成的多谐振荡器	168
二、由 RC 和门电路组成的多谐振荡器	169

三、由石英晶体和门电路组成的多谐振荡器	170
第二节 单稳态触发器	171
一、由分立元件组成的单稳态触发器	171
二、由门电路组成的单稳态电路	173
三、集成单稳态电路	175
四、单稳态触发器的应用	179
第三节 施密特触发器	180
一、由 TTL 门组成的施密特触发器	181
二、集成施密特触发器	182
三、施密特触发器的应用	184
第四节 555 定时器及其应用	186
一、555 定时器工作原理	186
二、双定时器 556	187
三、555 定时器的应用	187

精 通 篇

第七章 存储器和微控制器	194
第一节 半导体存储器	194
一、半导体存储器简介	194
二、只读存储器(ROM)	195
三、随机存储器(RAM)	202
第二节 微控制器	205
一、微控制器的分类	206
二、微控制器硬件基本结构	206
三、微控制器的软件系统	210
四、微控制器工作过程	210
五、微控制器芯片简介	211
六、微控制器的应用	216
第三节 I ² C 总线介绍	217
一、I ² C 总线的基本电路结构	217
二、I ² C 总线接口电路	218
三、I ² C 总线系统的功能	218
四、I ² C 总线数据的传输	218
五、I ² C 总线系统的核心电路	220
六、主控微控制器对小信号处理电路的控制过程	223
第八章 数模和模数转换电路	225
第一节 概述	225
第二节 数模转换电路(DAC)	225

一、D/A 转换器的工作原理	226
二、D/A 转换器的主要技术指标	227
三、集成 D/A 转换器介绍	228
第三节 模数转换电路(ADC)	232
一、A/D 转换的过程	232
二、A/D 转换器的种类	235
三、集成 A/D 转换器介绍	237
四、A/D 转换器的技术指标	247
第九章 数字语音电路和遥控电路	248
第一节 数字语音电路	248
一、语音的数字化处理	248
二、常用语音集成电路的种类	250
三、语音集成电路及其应用	251
第二节 数字遥控电路	260
一、遥控电路的种类	260
二、遥控电路概述	262
三、遥控专用编码和解码电路	264
四、编码/解码电路与系统安全	277
五、遥控电路应用举例	279
第十章 数字集成电路综合应用	286
第一节 计数/分频、脉冲发生器和定时电路	286
一、计数/分频电路	286
二、脉冲发生器	288
三、定时电路	290
第二节 灯光、门铃和报警控制电路	295
一、灯光控制电路	295
二、门铃控制电路	299
三、报警控制电路	301
第三节 其他应用电路	302
一、密码锁电路	302
二、测量仪表电路	303
三、其他电路	306
附录	309
附录 A 74 系列通用数字集成电路功能速查表	309
附录 B 常用 4XXX 系列标准数字电路功能速查表	311
参考文献	315

入门篇



本篇主要介绍了数字电路的一些基础知识,着重讨论了数制与编码、逻辑代数、常见门电路和组合逻辑电路。掌握这些内容,对于深入理解和分析数字电路具有重要的指导意义。

图例说明:为了读者方便、快捷地从书中获取所需要的信息,书中特意安排了下面这些图标,根据这些图标的指示去阅读,可使读者花费的时间减到最少,对于重点、难点了解得更快、更全。



重点提示 这个图标所示内容比较重要,认真阅读并充分理解这些内容,能快速地掌握数字电路的一些基础知识和知识要点。



难点释疑 这个图标标注的是具有代表性的疑难问题,以及容易产生错误或混淆不清的概念,认真阅读这些内容,能澄清模糊概念、领会重要概念的实质,以开拓思路。

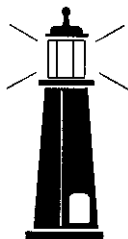


方法技巧 这个图标所示内容是电路分析中的方法和技巧。仔细体会、灵活运用,可增强读者分析问题、解决问题的能力。



阅读材料 这个图标标注的是拓展和辅助性的材料,仔细阅读这些内容,不但可拓宽知识面,而且对理解电路原理具有一定的指导意义。

第一章 数字电路基础知识



本章
导读

数字电路的产生和发展是电子技术发展的重要标志,它在现代电子技术中占有十分重要的地位。随着数字电路和计算机技术的发展,数字电路的应用越来越普遍,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、温度控制、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。随着数字电路的发展,其应用将会越来越广泛,将会深入到生活的每一个角落。

本章主要讲述的内容是数字电路的一些基础知识,如数字信号与模拟信号,数字电路的分类,数制与编码、数字信号的存储与传输等。它们是数字电路的基础。

第一节 数字电路概述

一、模拟信号和模拟电路

1. 模拟信号

在自然界存在着许多物理量,它们在时间上和数值上是连续的,这类物理量称为模拟量。用来表示模拟量的信号称为模拟信号。常见的正弦波、三角波、调幅波、阻尼振荡波等都是模拟信号。图 1-1 给出了几种常见的模拟信号。其中图(a)为正弦波,图(b)为三角波,图(c)为调幅波,图(d)为阻尼振荡波,图(e)为指数衰减波。由图可见,虽然几种模拟信号的形状各不相同,但它们的共同特点是信号的幅值大小随时间作连续变化。

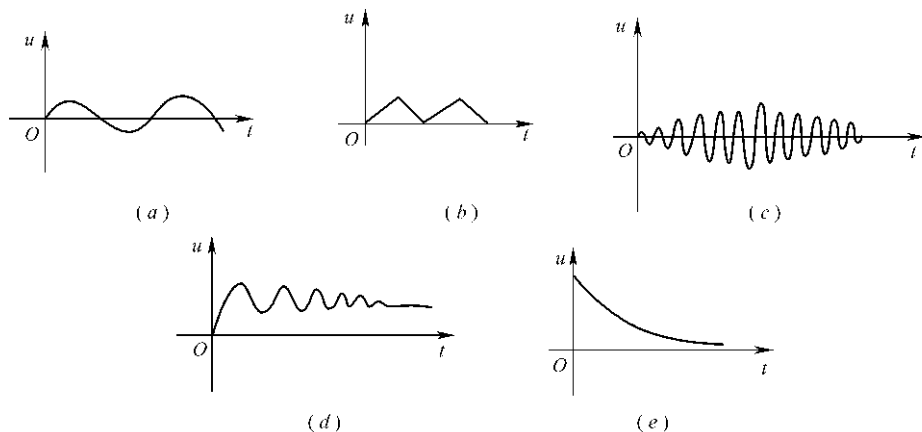


图 1-1 模拟信号

(a) 正弦波; (b) 三角波; (c) 调幅波; (d) 阻尼振荡波; (e) 指数衰减波。



实际上,自然界的许多物理量均为模拟量,例如:速度、压力、温度、声音、重量、位置等。在工程上,为便于分析,常用传感器将模拟量转换为电流、电压等电学量。我们在这里所讲的模拟信号一般指模拟电信号。

模拟信号的基本参数包括幅度、频率、周期等。按模拟信号的信号频率可分为低频信号、高频信号、微波信号;按信号的周期性可分为周期性信号和非周期性信号等;按用途可分为工频信号、射频信号、视频信号等。

2. 模拟电路

用以传递、加工和处理模拟信号的电路称为模拟电路。模拟电路必须满足以下要求。

(1) 由于模拟信号的幅度大小直接代表着信号本身的特性,所以在对模拟信号进行放大的过程中要进行线性放大,也就是要求模拟电路中的放大器工作在线性状态。如果输入放大器的信号动态范围较大,必须要有足够大的动态范围的放大器来放大这一大幅度信号,这就对模拟放大器提出了很高的电路硬件要求。

(2) 电路中的干扰信号绝大多数也是模拟“信号”,干扰信号与模拟信号有着相似的特性,这就使得模拟信号在放大、处理过程中更容易受它干扰,而且一旦受其干扰就很难再将它们分开,这就对模拟电路提出了很高的抗干扰技术要求,使模拟电路的制作难度增大,电路成本增加。

(3) 由于模拟信号的连续特性,在对这种信号进行比较复杂的处理时,不能破坏模拟信号的特性,因此使得模拟电路变得十分复杂。

(4) 对不同的模拟信号进行不同目的的处理时,必须有一套与之对应的模拟电路与之配套,这使得模拟电路变得庞大而复杂。所以,模拟电路不便对信号进行“深层次”的复杂处理。

二、数字信号和数字电路

1. 数字信号

(1) 数字信号的概念

在自然界存在许多物理量,它们在时间和数值上均是离散的,也就是说,它们的变化在时间上是不连续的,总是发生在一系列离散的瞬间。这类物理量称为数字量,用来表示数字量的信号称为数字信号。

数字信号通常用数字波形表示,数字波形是逻辑电平与时间的关系。当某波形仅有两个离散值时,可以称为脉冲波形。此时,数字波形与脉冲波形的关系是统一的,区别是表达方式不同,前者用逻辑电平表示,后者用电压值表示。数字信号分为周期性和非周期性两种,如图 1-2 表示这两类数字波形,其中图(a)为周期性数字波形,图(b)为非周期性数字波形。

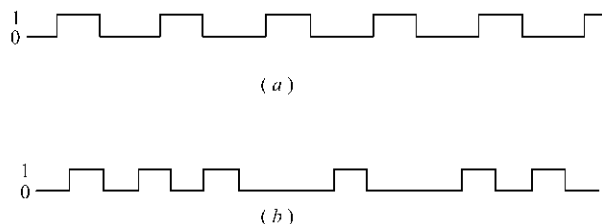


图 1-2 周期性和非周期性数字波形
(a) 周期性数字波形; (b) 非周期性数字波形。



(2) 非理想数字波形

在实际的系统中,数字波形不能立即上升和下降,要经历一段时间,如图 1-3 所示。

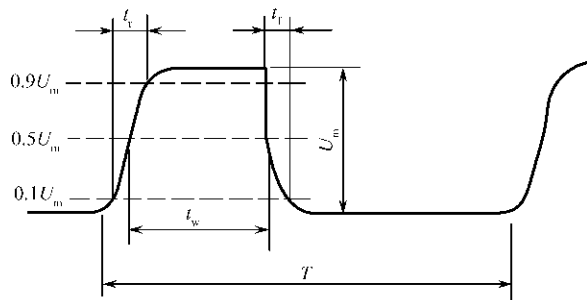


图 1-3 非理想数字波形

对于非理想数字波形(矩形脉冲),常用以下指标来定量描述其特性。

脉冲周期 T ——周期性重复的脉冲序列中,两个相邻脉冲间的时间间隔。有时也用频率 $f=1/T$ 表示单位时间内脉冲重复的次数。

脉冲幅度 U_m ——脉冲电压的最大变化幅度。

脉冲宽度 t_w ——从脉冲前沿上升到 $0.5U_m$ 处开始,到脉冲后沿下降到 $0.5U_m$ 为止的一段时间。

上升时间 t_r ——脉冲前沿从 $0.1U_m$ 上升到 $0.9U_m$ 所需要的时间。

下降时间 t_f ——脉冲后沿从 $0.9U_m$ 下降到 $0.1U_m$ 所需要的时间。



重点提示 数字信号上升时间和下降时间的典型值约为几个纳秒,视不同类型的器件和电路而异。

占空比——脉冲宽度 t_w 占整个周期 T 的百分数,称为脉冲占空比,占空比一般用 q 表示,其表达式为

$$q = \frac{t_w}{T} \times 100\%$$

利用这些指标,就可以把一个非理想数字波形的基本特性大体上表示清楚了。对于理想数字波形,其上升时间 t_r 和下降时间 t_f 则均为零。

(3) 二值数字逻辑和逻辑电平

数字信号在时间上和数值上均是离散的,常用数字 0 和 1 表示,这里 0 和 1 不是十进制中的数字,而是逻辑 0 和逻辑 1,因而称之为二值数字逻辑或简称数字逻辑。

二值数字逻辑的产生,是基于客观世界的许多事物可以用彼此相关又互相对立的两种状态来描述,例如,是与非、真与假、开与关、低与高,等等。而且在电路上,可用电子器件的开关特性来实现,由此形成离散信号电压或数字电压。这些数字电压通常用逻辑电平来表示。应当注意:逻辑电平不是物理量。逻辑电平与电压值关系如表 1-1 所列。

(4) 时序图

表明相互时间关系的多重数字波形图称为时序图。时序图中的波形常称为时序信号。图 1-4 为一典型的时序图。图中 CP 为时钟脉冲信号,它是数字系统中的时间参考信号,一般是由石英晶体振荡器产生,波形为对称波形。地址线、片选(信号)写入信号等都是计算机原理中常见的时序信号。在数字集成电路中,常见的存储器以及微处理器等均须附有时序图,以便于数字系统的分析、应用和设计。



表 1-1 逻辑电平与电压值的关系

电压	二值逻辑	电平
+5V	1	H(高电平)
0V	0	L(低电平)

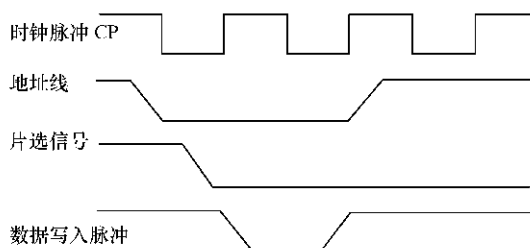


图 1-4 时序图

2. 数字电路

数字电路就是用于传递、加工和处理数字信号的电路。电路中的电子器件,如二极管、三极管、场效应管处于开关状态,时而导通,时而截止。广义地说,数字电路也是一种脉冲电路,如果数字信号幅度在“有”和“无”两种状态间快速转换时,电路将输出一系列矩形脉冲。

与模拟电路一样,数字电路经历了由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。数字电路与模拟电路相比有很大的不同,数字电路主要是对数字信号进行逻辑运算和数字处理,这些运算和处理有时是相当复杂的,但主要通过软件来处理(进行各种逻辑处理和数字运算)。数字电路具有以下一些特点。

(1) 数字信号采用二值信息——高电平和低电平,只有两种取值,所以数字电路在结构、工作状态、研究内容、分析方法等各方面都与模拟电路完全不同。

(2) 数字电路中的晶体管只工作在饱和与截止两种状态(放大区只是过渡状态),即工作于“开关”状态。这些状态的外部表现是电流的有、无,电压的高、低,因此,有和无、高和低的两种对立状态可以与电路中的二值信息分别对应,二值信息通常记为“1”和“0”。

(3) 数字电路是由几种最基本的单元电路组成的,这些基本单元电路对元件的精度要求不高,允许有较大的误差范围。因为数字信号只需“1”和“0”两种状态就可以了,因而组成数字电路的单元结构比较简单,具有便于集成化和系列化生产、工作准确可靠、成本低廉、使用方便等优点。

(4) 对于数字电路,人们研究的主要问题是输入信号的状态(0或1)和输出信号的状态(0或1)之间的逻辑关系,以反映电路的逻辑功能。因而在数字电路中,不能采用模拟电路的分析方法,例如,微变等效电路法等就不适用了。这里的主要分析工具是逻辑代数,表达电路的功能主要用真值表、逻辑表达式及波形图等。

一般来说,数字电路的研究内容一般可以归为两类:一类是分析已有电路的逻辑功能,称为逻辑分析;另一类是根据逻辑功能的要求设计出满足该逻辑功能的电路,称为逻辑设计。

(5) 数字电路能够对数字信号进行各种逻辑运算和算术运算。所谓逻辑运算,就是按照逻辑规则进行逻辑推理和逻辑判断。正因为数字电路不仅具有运算能力,还具有逻辑思维与判断能力,人们才能制造出各种数控装置、智能仪表以及电子计算机等现代化的科技产品,并使它们得到十分广泛的应用。

数字电路与模拟电路的比较如表 1-2 所列。



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

三、数字电路的分类

数字电路可按以下几种方法进行分类。

1. 按电路类型分类

数字电路按照电路类型可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两大类。

组合逻辑电路：输出只与当时的输出有关，如编码器、加减法器、比较器、数据选择器等。

时序逻辑电路：输出不仅与当时的输入有关，还与电路的原来状态有关，如触发器、计数器、寄存器等。

2. 按集成度分类

数字电路按集成度来分，可分为小规模、中规模、大规模、超大规模和甚大规模等五类。所谓集成度是指每一芯片所包含的晶体管的个数，表 1-3 列出了几类数字集成电路的分类依据。

表 1-3 数字集成电路按集成度分类

分 类	集 成 度	典型集成电路
小规模(SSD)	(1~10)门/片 或(10~100)元件/片	逻辑门电路
中规模(MSD)	(10~100)门/片 或(100~1000)元件/片	译码器、编码器、选择器、计数器、寄存器、转换电路、算术运算部件等
大规模(LSD)	大于 100 门/片 或 1000 元件/片	微控制器、存储器、门阵列
超大规模(VLSI)	1000 门/片 或 10 万元件/片以上	大型存储器、微处理器、可编程逻辑器件、多功能集成电路

3. 按电路所用器件的不同分类

数字电路按照电路所用器件的不同，可分为双极型(晶体三极管型)和单极型(场效应管型)两大类。其中双极型电路常用的类型又有标准型 TTL、高速型 TTL(H-TTL)、低功耗型 TTL(L-TTL)、肖特基型 TTL(S-TTL)、低功耗肖特基型 TTL(LS-TTL)等；单极型电路又有 JFET、NMOS、PMOS、CMOS 等。

四、数字系统

数字系统的构成如图 1-5 所示。

数字系统通常由输入接口、输出接口、数据处理器和控制器构成。输入接口的主要任务是将模拟量转换为数字量；输出接口的主要任务是将数字量转换为模拟量；处理器和控制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。一个数字系统通常由多片数字集成电路和多个分立元件构成。

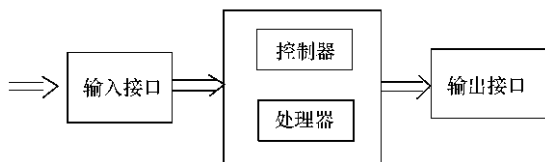


图 1-5 数字系统

第二节 数制与编码

一、数制

数字电路经常遇到计数问题,人们在日常生活中,习惯于用十进制,而在数字系统中,例如在计算机中,多采用二进制,有时也采用八进制或十六进制。

数制所使用的数码的个数为基,数制的每一位所具有的值称为权。

1. 十进制(D)

十进制是以 10 为基数的计数体制,即它所使用的代码为 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,共有 10 个。十进制的权是以 10 为底的幂,如 $10=1\times 10^1+0\times 10^0$ 。每个十进制数都可以用位权值表示,其中:个位的位权为 10^0 ,十位的位权为 10^1 ,百位的位权为 10^2 ,依此类推。

例如: $402.8=4\times 10^2+0\times 10^1+2\times 10^0+8\times 10^{-1}$

从数字电路的角度来看,采用十进制是不方便的,因为构成数字电路的基本思路是把电路的状态与数码对应起来,而十进制的 10 个数码,必须有 10 个不同的而且能严格区分的电路状态与之对应起来,这样将在技术上带来许多困难,而且不经济,因而在数字电路中一般不直接采用十进制,而采用二进制。

2. 二进制(B)

二进制是以 2 为基数的计数体制。二进制与十进制的区别在于数码的个数和进位规律不同。二进制是用两个数码 0 和 1 表示,而且是“逢二进一”,即 $1+1=10$ (读为“壹零”),注意:这里的“10”与十进制数的“10”是完全不同的,它不代表“十”,右边的“0”表示 0 个 2^0 ,左边的“1”表示 1 个 2^1 ,即 $10=1\times 2^1+0\times 2^0$,可见,二进制的权是以 2 为底的幂。

二进制的数字装置简单可靠,应用元件少;二进制只有两个数码 0 和 1,因此,它的每一位都可用任何具有两个不同稳定状态的元件来表示,如晶体管的饱和和截止,继电器触点的闭合和断开,灯泡的亮和不亮等。只要规定一种状态表示 1,另一种状态表示 0,就可以表示二进制数。这样,数码的存储、分析和传输,就可以用最简单而可靠的方式进行。另外,二进制的基本运算规则简单,运算操作也比较方便。

但是,二进制也有一些缺点。比如,用二进制表示一个数时,位数多,使用起来不方便也不习惯。因此在运算时,原始数据多用人们习惯的十进制,在送入计算机时,就必须将十进制数据转换成数字系统能接受的二进制数,而运算结束后再将二进制数转换为十进制数,表示最终结果。

3. 八进制(O)和十六进制(H)

由于使用二进制位数很多,不便于书写和记忆,因此在数字计算机的资料中常采用十六进制数或八进制数来表示二进制数。上述十进制和二进制的表示法可以推广到十六进制和



八进制。例如,八进制数采用 8 个数码,而且“逢八进一”。这种数制中有 8 个不同的数字:0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 它是以 8 为基数的计数体制。十六进制数采用 16 个数码,而且“逢十六进一”。这种数制中有 16 个不同的数字:0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A(对应于十进制数中的 10), B(11), C(12), D(13), E(14), F(15)。它是以 16 为基数的计数体制。

为便于记忆和理解,表 1-4 对二进制、八进制、十进制和十六进制进行了对照和比较。

表 1-4 二进制、八进制、十进制和十六进制对照比较情况

常用进制	英文表示符号	数码符号	进位规律	进位基数
二进制	B	0, 1	逢二进一	2
八进制	O	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	逢八进一	8
十进制	D	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	逢十进一	10
十六进制	H	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F	逢十六进一	16

二、数制的转换

1. 其他进制转换为十进制

其他进制转换为十进制的方法是,将其他进制按权位展开,然后各项相加,就得到相应的十进制数。

例 1 将二进制数 $(11011.101)_2$ 转换成十进制数。

$$\begin{aligned} \text{解: } (11011.101)_2 &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= 16 + 8 + 0 + 2 + 1 + 0.5 + 0 + 0.125 \\ &= (27.625)_{10} \end{aligned}$$

例 2 将八进制数 $(136.524)_8$ 转换成十进制数。

$$\begin{aligned} \text{解: } (136.524)_8 &= 1 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 6 \times 8^0 + 5 \times 8^{-1} + 2 \times 8^{-2} + 4 \times 8^{-3} \\ &= 64 + 24 + 6 + 0.625 + 0.03125 + 0.0078125 \\ &= (94.6640625)_{10} \end{aligned}$$

例 3 将十六进制数 $(FF)_{16}$ 转换为十进制数。

$$\text{解: } (FF)_{16} = 15 \times 16^1 + 15 \times 16^0 = 240 + 15 = (255)_{10}$$

例 4 将十六进制数 $(13DF.B8)_{16} [= (13DF.B8)_H]$ 转换成十进制数。

$$\begin{aligned} \text{解: } (13DF.B8)_{16} &= 1 \times 16^3 + 3 \times 16^2 + 13 \times 16^1 + 15 \times 16^0 + 11 \times 16^{-1} + 8 \times 16^{-2} \\ &= 4096 + 768 + 208 + 15 + 0.6875 + 0.03125 \\ &= (5087.71875)_{10} \end{aligned}$$

2. 将十进制转换成其他进制

十进制转换成其他进制时,需分两部分进行,即整数部分和小数部分。

(1) 整数部分(基数除法)

把要转换的十进制数除以新的进制的基数,把余数作为新进制的最低位;

把上一次得的商再除以新的进制基数,把余数作为新进制的次低位;

继续上一步,直到最后的商为零,这时的余数就是新进制的最高位。

(2) 小数部分(基数乘法)

把要转换数的小数部分乘以新进制的基数,把得到的整数部分作为新进制小数部分的最高位;



把上一步得的小数部分再乘以新进制的基数,把整数部分作为新进制小数部分的次高位;继续上一步,直到小数部分变成零为止,或者达到预定的要求也可以。

例 5 把十进制数 $(25)_{10}$ 转换成二进制数。

解:由于二进制基数为 2,所以逐次除以 2 取其余数(0 或 1):

$$\begin{array}{r}
 2 \overline{) 25} \\
 2 \overline{) 12} \quad \cdots\cdots \text{余 } 1 \\
 2 \overline{) 6} \quad \cdots\cdots \text{余 } 0 \\
 2 \overline{) 3} \quad \cdots\cdots \text{余 } 0 \\
 2 \overline{) 1} \quad \cdots\cdots \text{余 } 1 \\
 0 \quad \cdots\cdots \text{余 } 1
 \end{array}$$

所以, $(25)_{10} = (11001)_2$, 即 $25D = 11001B$ 。

例 6 把十进制数 $173D$ 转换成二进制数。

解:由于二进制基数为 2,所以逐次除以 2 取其余数(0 或 1):

$$\begin{array}{r}
 2 \overline{) 173} \\
 2 \overline{) 86} \quad \cdots\cdots \text{余 } 1 \\
 2 \overline{) 43} \quad \cdots\cdots \text{余 } 0 \\
 2 \overline{) 21} \quad \cdots\cdots \text{余 } 1 \\
 2 \overline{) 10} \quad \cdots\cdots \text{余 } 1 \\
 2 \overline{) 5} \quad \cdots\cdots \text{余 } 0 \\
 2 \overline{) 2} \quad \cdots\cdots \text{余 } 1 \\
 2 \overline{) 1} \quad \cdots\cdots \text{余 } 0 \\
 0 \quad \cdots\cdots \text{余 } 1
 \end{array}$$

所以, $(173)_{10} = (10101101)_2$ 。

例 7 将十进制数 $(25)_{10}$ 转换成八进制数。

解:由于基数为 8,逐次除以 8 取余数:

$$\begin{array}{r}
 8 \overline{) 25} \\
 8 \overline{) 3} \quad \cdots\cdots \text{余 } 1 \\
 0 \quad \cdots\cdots \text{余 } 3
 \end{array}$$

所以, $(25)_{10} = (31)_8$ 。

例 8 将十进制 $(255)_{10}$ 转换为十六进制数。

解:由于基数为 16,逐次除以 16 取余数:

$$\begin{array}{r}
 16 \overline{) 255} \\
 16 \overline{) 15} \quad \cdots\cdots \text{余 } 15(F) \\
 0 \quad \cdots\cdots \text{余 } 15(F)
 \end{array}$$

所以, $(255)_{10} = (FF)_{16}$ 。

例 9 将十进制小数 $(0.375)_{10}$ 转换成二进制数。