

数字逻辑概论

【内容提要】

本章将探究为什么要学习数字电子技术、数字电路中的数值表达,以及计算机是如何进行运算和处理信息(数值、文字、符号、图形、声音和图像信号)等数字电路基础知识。主要内容有:数字信号的概念和数字电路的分类及特点,数字电路与模拟电路的比较,常用数制、码制以及各种数制间的转换。

【本章目标】

- (1) 了解数字信号与模拟信号的区别、数字电路的特点及分类。
- (2) 掌握数字电路中 1 和 0 的含义,掌握二进制、八进制、十进制、十六进制数及其转换。
- (3) 理解 8421 码、2421 码、余 3 码及格雷码等。

1.1 概述

当今世界,科学技术的发展日新月异,人类社会进入了一个前所未有的数字化、信息化的时代,计算机的应用已经普及到寻常百姓家。信息数字化,使得广播及通信变得多频道化、双向化和多媒体化。目前广泛应用的 DVD、因特网、电子邮件、微博及微信等,无不在改变人们的工作方式、学习方式及生活方式。有人说,世界已进入数字经济时代,一切信息都将数字化。所有这些都是与数字电子技术密不可分的。数字电子技术是现代工程技术的重要组成部分,是信息技术的基础,与国民经济和社会生活的关系日益密切。计算机网络、广播、雷达、通信、电视及音像传媒、自动控制、医疗、电子测量仪表、核物理、航天等无一不与数字电子技术密切相关并因此获得了巨大的技术进步。例如,在通信系统中,应用数字电子技术的数字通信系统,不仅比模拟通信系统的抗干扰能力强、保密性好,而且还能应用计算机进行数字处理和控制,形成以计算机为中心的自动交换通信网;在测量仪表中,数字测量仪表不仅比模拟测量仪表精度高、测试功能强,而且还易实现测试的自动化和智能化。随着集成电路技术(尤其是大规模和超大规模集成器件)的发展,各种电子系统可靠性大大提高,全世界正在经历一场数字化信息革命——即进入用数字 0 和 1 编码的信息时代。

1.1.1 模拟信号和数字信号

1. 模拟信号

自然界广泛存在的物理量都是模拟量,如温度、压力、位移、声音等。这类物理量的变化

在时间上和数值上都是连续的。表示模拟量的信号叫作模拟信号,处理和传输模拟信号的电路叫作模拟电路。温度是一个模拟量,因为它的取值是连续的,而且在连续变化过程中的任何一个取值都有具体的物理意义,即表示一个相应的温度。在一天中的某个时间段内,温度的变化不是从一个值跳变到另一个值,而是在值域范围内连续变化。例如,温度不会在一瞬间从 20°C 跳变到 30°C ,而是经历了从 20°C 到 30°C 之间的所有值。图 1-1 所示为气象台记录的某城市夏季一天内的气温曲线。其中,纵轴为温度值,横轴为一天的时间值。

随着计算机的广泛应用,绝大多数电子系统都已经采用计算机来对信号进行处理。由于计算机无法直接处理模拟信号,所以需将模拟信号转换为数字信号。

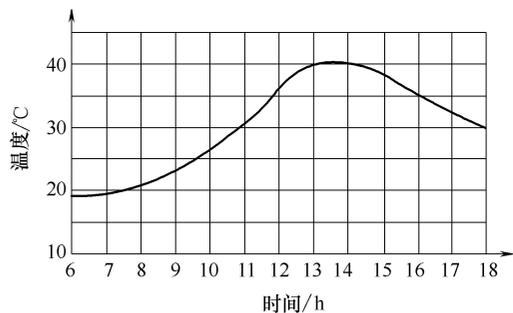


图 1-1 夏季某一天的温度变化曲线

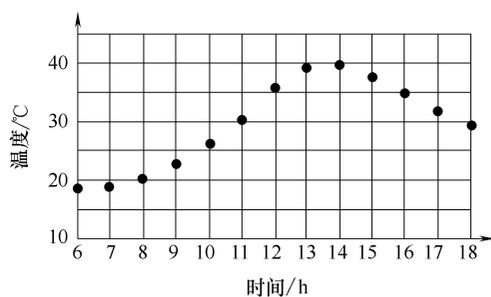


图 1-2 对图 1-1 中温度的取样(间隔为 1h)

2. 数字信号

图 1-2 所示为一天内每隔 1h 取样测量到的离散气温点图。由此可见,这类物理量的变化在时间上和数量上都是离散的,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。而且,它们数值的大小和每次的增减变化都是某一个最小数量单位的整数倍,而小于这个最小数量单位的数值没有任何物理意义。我们把这一类物理量称为数字量,把表示数字量的信号称为数字信号,并把工作在数字信号下的电子电路称为数字电路。例如,用一个电子电路记录信号灯闪亮的次数,信号灯每闪亮一次,就给电子电路一个信号,记作 1;不闪亮时,不给电子电路信号,记作 0。可见,电路工作信号的变化非 0 即 1,即发生在离散信号的瞬间。又如电子表的秒信号、生产流水线上记录零件个数的计数信号、交通信号灯控制电路、智力竞赛抢答电路、计算机键盘输入电路中的信号,都是数字信号。不考虑温度的连续变化,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进行取样。如果取样点足够多,量化单位足够小,数字信号可以较真实地反映模拟信号。从一般的模拟信号到数字信号,要经过取样、保持、量化、编码,最终一个连续的模拟信号波形就变成了—串离散的、只有高低电平之分的“0101…”变化的数字信号。如何实现模拟信号向数字信号的转化(数字化)是我们将要研究的数字电路问题。

下面举例说明。传统电话线传输的是声音信号,计算机处理的是数字信号。利用传统的电话线即采用模拟传送线路的通信方式进行信息传递(EP 上网)是过去许多家庭使用的一种方式。如图 1-3 所示,此种方式只能在 1 条通道上传递信息,因此用计算机进行数据传递时,还要通过 MODEM 与传统的电话线路的模拟传送通路相连接,将模拟信号转换为数字信号。

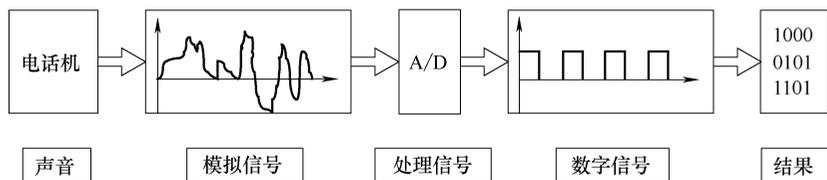


图 1-3 模拟信号与数字信号之间的转换

1.1.2 数字电路的特点及优点

随着计算机技术和数字技术的发展,现代电子设备已经实现从单纯用模拟电路到大范围地转变为数字电路。目前,大多只在模拟信号采集、微弱信号放大、高频大功率输出等局部电路采用模拟电路,其余部分广泛采用数字电子技术及数字电路。其广泛应用的主要原因是廉价集成电路的发展,以及显示、存储和计算机技术的应用。数字电路是数字电子技术的核心,是计算机和数字通信的硬件基础。与模拟电路相比,数字电路具有以下特点及优点。

1. 数字电路的特点

(1) 数字电路研究的是数字电路输入信号与输出信号间的因果关系,也称逻辑关系或逻辑功能。

(2) 由于数字电路的输入信号和输出信号都只有两种状态,所以工作在数字电路中的半导体二极管一般工作在开(导通)或关(截止)状态,对于半导体三极管,则不是工作在饱和状态就是工作在截止状态(而模拟电路中这类器件经常工作在放大状态),这两种状态的外部表现正是开关的通断、电流的有无、电压的高低。这种开与关、有与无、高与低、通与断、亮与灭、是与否、真与伪相对应的两种逻辑状态分别用逻辑 1 和逻辑 0 两个数码来表示(这里的 1 和 0 不是数值)。这种只有两种对立逻辑状态的逻辑关系称为二值逻辑,可以进行逻辑运算。数字电路能够对数字信号进行各种逻辑运算和算术运算,因此在数控装置、智能仪表以及计算机等方面得到了广泛应用。

(3) 数字电路的主要任务是进行逻辑分析和设计,运用的数学工具是逻辑代数,所以数字电路又叫逻辑电路。数字电路的研究可以分为两种:一种是对已有电路分析其逻辑功能,叫作逻辑分析;另一种是按逻辑功能要求设计出满足逻辑功能的电路,称为逻辑设计。而模拟电路研究的主要是对输入信号的放大和变换的电路。

(4) 数字电路的基本单元是逻辑门和触发器,而模拟电路的基本单元是放大器。

(5) 数字电路表达电路功能的方法主要有真值表、逻辑函数式、波形图、卡诺图及状态转换图(状态图)等,而模拟电路采用的分析方法是图解法和微变等效电路法。

数字电路和模拟电路的主要区别见表 1-1。

2. 数字电路的优点

(1) 数字电路实现简单,易于设计。以二进制为基础的数字逻辑电路,基本单元电路比较简单,只要能够可靠地区分 0 和 1 两种状态就可以正常工作,主要分析设计工具是逻辑代

表 1-1 数字电路和模拟电路的主要区别

类别	数字电路	模拟电路
电路功能(研究问题)	输入信号与输出信号间的逻辑关系	如何不失真地进行模拟信号的放大
工作信号	数字信号(在时间上和数量上都离散)	模拟信号(在时间上和数量上都连续)
管子的作用及工作区域	开关,工作在饱和区或截止区	放大,工作在放大区
研究对象	逻辑功能	放大性能
基本单元电路	逻辑门、触发器	放大器
主要分析工具	真值表、逻辑函数式、卡诺图、波形图、状态图	图解法和微变等效电路法

数,不需要复杂的数学知识,电路元器件的精度要求不高,允许有较大的误差,制作时工艺要求相对低。因此,电路的分析和设计相对较容易。特别是采用计算机辅助设计工具以后,数字电路的设计时间要远远小于模拟电路的设计时间。

(2) 数字电路稳定性好,抗干扰能力强,精度高。数字电路主要是用高电平 1 和低电平 0 来表示信号的有和无,而高电平和低电平为一定的范围值(如 TTL 系列的高电平为 3~5V),并不是一个固定值,只需要能区分信号两种截然不同的状态,不必精确地测量信号的大小,允许在一定范围内波动,从而大大提高了数字电路工作的可靠性,信号易辨别,不像模拟电路那样容易受噪声的干扰,噪声容限大。数字电路通过增加数字信号的位数就可以提高精度,它可以通过整形很方便地去除叠加于传输信号上的噪声与干扰,可以利用差错控制技术对传输信号进行查错和纠错,而模拟电路易受温度、电源电压、元器件老化及其他因素的影响。

(3) 数字信号更便于存储、加密、压缩、传输和再现。数字信息可以利用某种媒介,如磁带、磁盘、光盘等进行长时期的存储、携带和交换,可以方便地进行加密处理,保密性好,信息资源不易被窃取。

(4) 数字电路集成度高、产品系列多、通用性强、成本低。集成度高、体积小、速度快、功耗低是数字电路突出的优点之一。电路的设计、维修、维护灵活方便,随着集成电路技术的高速发展,数字逻辑电路的集成度越来越高,从元件级、器件级、部件级、板卡级上升到系统级。电路的设计组成只需采用一些标准的集成电路模块单元连接而成。对于非标准的特殊电路还可以使用可编程逻辑阵列电路,通过编程的方法实现任意的逻辑功能。数字电路能够制造成系列化、标准化的数字部件,并以此构成各种各样的数字系统,产品系列多、通用性强、容易制造且成本低廉。

(5) 便于计算机处理,实现智能化。只有数字电路才能直接与计算机连接,容易实现算术和逻辑运算功能,实现自动化、智能化控制。

1.1.3 数字电路的发展与应用

数字电子技术产生于 20 世纪 30 年代,是在通信技术(电报、电话)中首先引入二进制的信息存储技术。在 1847 年由英国科学家乔治·布尔(George Boole)创立布尔代数,形成开关代数,有一套完整的数字逻辑电路的分析和设计方法,并在电子电路中得到应用。

数字电子技术是一门应用学科,数字电路的发展与应用可分为 5 个阶段。

初级阶段:20 世纪 40 年代以电子管(真空管)作为基本器件,在电子计算机中得到应

用,另外在电话交换和数字通信方面也有应用。

第二阶段:1947年晶体管的出现,使得数字电子技术有一个飞跃发展,除了在计算机、通信领域应用外,在其他(如测量)领域也得到了应用。

第三阶段:20世纪50年代末期集成电路的出现,使得数字电子技术有了更广泛的应用,如在医疗、雷达、卫星等领域。

第四阶段:20世纪70年代中期到80年代中期,微电子技术的发展使得数字电子技术得到迅猛的发展,产生了大规模和超大规模的集成数字芯片,应用在各行各业和我们的日常生活中。

第五阶段:20世纪80年代中期以后,产生了一些专用和通用的集成芯片,以及一些可编程的数字芯片,并且制作技术日益成熟。数字电路的设计模块化和可编程的特点,提高了设备的性能、适用性,并降低了成本。越来越大的设计、越来越短的推向市场的时间、越来越低的价格、多层次的设计表述、大量使用复用技术、大量使用计算机辅助设计工具(EDA技术)是数字电路今后发展的趋势。

随着微电子技术及集成电路(IC)工艺技术的迅猛发展,数字电路在计算机、通信系统、仪器仪表、数控技术、家电等领域都得到了广泛应用。电子电路数字化是当今电子技术的发展趋势。对数字电路的分析与设计,成为电子工程技术人员必备的专业基础知识。

1.1.4 数字电路的分类

1. 按组成结构分类

按组成结构,数字电路可分为分立电路和集成电路两大类。分立电路是指将电阻、电感、电容、变压器、开关等分立元器件用导线在电路板上逐个连接起来的电路,从外观上可以看到一个一个的电子元件。当你打开一台高清晰度的液晶电视机的后盖,或当你拆开一部功能齐全的手机或笔记本电脑时,你所看到的电路板已经不再是密密麻麻的分立元件,而是排列整齐的一个个IC(集成)芯片,有的芯片集成了几十个电子元件,有的集成了几十万电子元件(例如:奔腾IV CPU就集成了38万个之多的电子元件)。集成电路是用特殊的半导体制作工艺将许多微小的电子元件及连接导线制作在同一块半导体晶片上而成为一个不可分割的整体电路(集成芯片),从外观上看不到任何元件,只能看到一个一个的引脚。通常把一个芯片封装后含有等效元件的个数定义为集成度。随着微电子技术和数字IC芯片集成度的不断提高,在不久的将来,量子器件和以分子(原子)为基础的纳米电子学将成为集成电路技术领域研究的热点。集成电路技术和其他新技术相结合,将形成新的技术增长点,智能计算机、光子计算机、生物芯片等将会出现在人们的现实生活中。

2. 按集成度分类

按照传统的集成度划分方法,数字集成电路可划分为小规模集成电路(Small Scale Integration, SSI)、中规模集成电路(Medium Scale Integration, MSI)、大规模集成电路(Large Scale Integration, LSI)、超大规模集成电路(Very Large Scale Integration, VLSI)、特大规模集成电路(Ultra Large Scale Integration, ULSI)、巨大规模集成电路(Great Large Scale Integration, GLSI),见表1-2。不过,国际上最近出现了一种模糊了小规模集成电路与中规模集成电路之间的分类界限的集成电路,将它们统称为普通规模集成电路;同时也有