

21世纪高职高专电子信息类规划教材

# 数字电子技术项目教程

(项目式)



赠 电子课件等

朱祥贤◎主编

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



21世纪高职高专电子信息类规划教材

# 数字电子技术项目教程

(项目式)

主 编 朱祥贤

参 编 杨 永 张家欣 华大龙

蔡 楠 罗时书 张洪明



机械工业出版社

本书是根据高职高专的培养目标,结合高职高专教学改革的要求,本着“工学结合、项目引导、任务驱动、教学做一体化”的原则而编写的。

本书以项目为单元,以应用为主线,将理论知识融入到实践项目中。全书共有8个项目,包括三人表决器电路、抢答器电路、数码显示电路、计数分频电路、触摸式防盗报警电路、温度检测电路、数字钟电路等的设计与装调以及用FPGA实现计数器等。通过项目任务的完成,提高学生对数字电子技术的理解,使之能综合运用所学知识完成小型数字系统应用电路的设计制作,包括查阅资料、确定电路设计方案、计算与选择元器件参数、安装与调试电路,能使用相关仪器进行指标测试和编写实训报告。

本书力求体现项目课程的特色与设计思想,以项目任务为出发点,激发学习兴趣。项目内容选取力求具有典型性和可操作性。本书可作为高职高专电子信息大类各专业的教材,也可作为相关专业学生的自学参考书和培训教材。

为方便教学,本书配有免费电子课件、习题解答等,凡选用本书作为授课教材的学校,均可来电或邮件索取,咨询电话:010—88379564或邮箱:[cmpqu@163.com](mailto:cmpqu@163.com)。

### 图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术项目教程:项目式/朱祥贤主编. —北京:机械工业出版社,2010.2

21世纪高职高专电子信息类规划教材

ISBN 978-7-111-29673-7

I. 数… II. 朱… 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(2010)第017568号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:曲世海 责任编辑:曲世海

责任校对:张晓蓉 责任印制:李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2010年2月第1版第1次印刷

184mm×260mm·14.5印张·1插页·354千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-29673-7

定价:25.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

本书是根据高职高专的培养目标,结合高职高专教学改革和课程改革的要求。本着“工学结合、项目引导、任务驱动、教学做一体化”的原则而编写的。

众所周知,数字化和集成化是现代IT技术的两大基石。数字电子技术作为电子信息类专业的一门重要专业基础课,主要使学生获得数字电子技术方面的基本知识、基本理论和基本技能,为深入学习相关专业课程和应用打下基础。本书以项目为单元,以应用为主线,将理论知识融入到每一个实践中,通过不同的项目和实例来引导学生,将数字电子技术的基础知识、基本理论融入其中。本书共有8个项目,每个项目有要求、目标、电路原理和实现过程,也有相关知识、思考与练习,强调职业技能的训练,注重职业能力的培养。通过项目的设计、制作、调试和故障排除等,提高学生对数字电子技术的理解和应用能力,锻炼学生综合运用所学知识完成小型系统和应用电路的设计、制作任务,包括查阅资料、确定电路设计方案、计算与选择元器件参数、安装与调试电路、使用相关仪器、测试指标和编写实训报告等能力。考虑到大规模集成电路及CPLD等应用已经相当广泛,书中同样也将其作为一个项目介绍。考虑到软件仿真的直观性和在实训之前对电路要有一定的了解,多数实训内容在实际设计之前都采用Multisim进行了仿真练习。一方面节省费用,另一方面也可以让学生通过学习,掌握先进软件的使用。Multisim软件自带元器件库、电路编辑器、测试仪器等,可以随心所欲地构造电路,虚拟仿真和演示电路的工作原理和动态工作过程,先进实用。

本书力求体现项目课程的特色与设计思想。项目内容选取力求具有典型性和可操作性,以项目任务为出发点,激发学生的学习兴趣。在教学安排上,紧密围绕项目开展,创设教学情境,尽量做到教学做一体化。充分利用多媒体、电子仿真软件和实际电路组织教学。每个项目实践内容的时间安排可根据项目内容大小确定,设计与调试时建议四节课连上。教学评价可根据教学过程采取项目评价与总体评价相结合,理论知识考核与实践操作考核相结合的形式,注重操作能力。

本书按照高职高专人才培养目标编写,可作为电子信息类专业数字电子技术的教材,也可作为相关专业学生的自学参考书和培训教材。本书的电子课件、思考与练习、教学资源等可在<http://210.29.224.35/ec3.0/C124/Index.htm>网上下载。

本书由朱祥贤副教授主编,杨永、张家欣、华大龙、蔡楠、罗时书和张洪明参编。杨永编写了项目6,张家欣编写了项目1中的专题3、任务1和项目5,华大龙编写了项目8和各项目中的仿真内容及附录A,蔡楠编写了项目3,罗时书编写了项目4,张洪明编写了项目7,朱祥贤编写其余部分并负责全书的统稿。本书在编写过程中得到了俞宁副院长的关心和支持,也得到了华山、蒋永传、谌梅英等老师的协助,在此表示衷心感谢。

为方便教学,本书配有免费电子课件、习题解答等,凡选用本书作为授课教材的学校,均可来电或邮件索取,咨询电话:010—88379564或邮箱:[cmpqu@163.com](mailto:cmpqu@163.com)。

本书中某些元器件符号及电路图采用的是 Multisim 软件中的标准, 与国家标准不符, 具体对应关系请查阅有关资料, 特提请读者注意。

由于时间仓促, 加之编者水平所限, 书中难免有错误和不当之处, 恳请各位读者批评指正。

编者

（此处为极淡化的文字，内容难以辨识，疑似为编者或出版信息）

# 目 录

## 前言

绪论 ..... 1

项目 1 三人表决器电路设计与装调 ..... 5

  专题 1 数制与码制 ..... 5

    1.1.1 数制 ..... 6

    1.1.2 码制 ..... 8

  专题 2 逻辑函数 ..... 9

    1.2.1 常用逻辑关系 ..... 10

    1.2.2 逻辑代数的基本公式  
    与定律 ..... 12

    1.2.3 逻辑代数的基本规则 ..... 14

    1.2.4 逻辑函数的表示方法 ..... 15

    1.2.5 逻辑函数表示方法  
    之间的转换 ..... 19

    1.2.6 逻辑函数的化简 ..... 21

  专题 3 逻辑门电路 ..... 25

    1.3.1 晶体管开关特性 ..... 25

    1.3.2 二极管门电路 ..... 27

    1.3.3 TTL 与非门 ..... 27

    1.3.4 CMOS 门电路 ..... 31

    1.3.5 TTL 与 CMOS 接口电路 ..... 34

  任务 三人表决器电路的  
  设计与调试 ..... 35

    1.4.1 集成电路的识别与检测 ..... 35

    1.4.2 电路连接 ..... 37

    1.4.3 调试与检修 ..... 37

  思考与练习 ..... 38

项目 2 抢答器电路设计与装调 ..... 40

  专题 1 RS 触发器 ..... 40

    2.1.1 基本 RS 触发器 ..... 41

    2.1.2 同步 RS 触发器 ..... 42

    2.1.3 触发器功能表示方法 ..... 43

  专题 2 JK、D、T、T' 触发器 ..... 44

    2.2.1 JK 触发器 ..... 45

    2.2.2 D、T、T' 触发器 ..... 48

    2.2.3 触发器使用注意事项 ..... 49

  任务 1 抢答器电路的仿真 ..... 50

  任务 2 抢答器电路的设计与调试 ..... 52

    2.4.1 电路功能介绍 ..... 53

    2.4.2 电路连接与调试 ..... 53

  思考与练习 ..... 55

项目 3 数码显示电路设计与装调 ..... 57

  专题 1 组合逻辑电路 ..... 57

    3.1.1 组合逻辑电路的概念 ..... 58

    3.1.2 组合逻辑电路的分析方法 ..... 58

    3.1.3 组合逻辑电路的设计方法 ..... 59

    3.1.4 加法器 ..... 62

  专题 2 编码器 ..... 65

    3.2.1 二进制编码器 ..... 65

    3.2.2 优先编码器 ..... 66

  专题 3 译码器 ..... 70

    3.3.1 二进制译码器 ..... 70

    3.3.2 二-十进制译码器 ..... 72

    3.3.3 显示译码器 ..... 74

  专题 4 数据选择器与分配器 ..... 76

    3.4.1 数据选择器 ..... 76

    3.4.2 数据分配器 ..... 78

  任务 1 数码显示电路的仿真 ..... 79

  任务 2 译码与显示器应用电路的  
  设计与调试 ..... 82

    3.6.1 设备与元器件 ..... 82

    3.6.2 项目电路 ..... 82

    3.6.3 项目设计步骤与要求 ..... 83

    3.6.4 项目扩展测试训练 ..... 83

  思考与练习 ..... 86

项目 4 计数分频电路设计与装调 ..... 88

  专题 1 二进制计数器 ..... 88

    4.1.1 时序逻辑电路分析方法 ..... 89

    4.1.2 异步二进制计数器 ..... 90

    4.1.3 同步二进制计数器 ..... 92

  专题 2 十进制计数器 ..... 94

  专题 3 任意进制计数器 ..... 97

    4.3.1 7490 异步集成计数器 ..... 97

    4.3.2 74161 同步集成计数器 ..... 100

专题4 寄存器和移位寄存器 .....	102	6.2.4 典型芯片 DAC0832 介绍 .....	146
4.4.1 寄存器 .....	103	专题3 知识拓展部分 .....	147
4.4.2 移位寄存器 .....	103	6.3.1 温度传感器介绍 .....	147
任务1 二十四进制计数器的 仿真与测试 .....	106	6.3.2 温度传感器分类 .....	148
任务2 二十四进制计数器的 设计与调试 .....	108	6.3.3 传感器市场前景 .....	150
4.6.1 电路功能介绍 .....	109	思考与练习 .....	151
4.6.2 电路连接与调试 .....	109	项目7 数字钟电路设计与装调 .....	152
思考与练习 .....	111	任务1 时钟源 .....	152
项目5 触摸式防盗报警电路 设计与装调 .....	114	7.1.1 用555集成定时器构成 时钟源 .....	153
专题1 555电路 .....	114	7.1.2 用石英晶体振荡器构成 时钟源 .....	153
5.1.1 555电路简介 .....	114	任务2 计数及译码驱动电路 .....	155
5.1.2 555电路结构及其 工作原理 .....	115	7.2.1 秒计数器和分计数器的 设计 .....	156
专题2 施密特触发器、单稳态触发器和 多谐振荡器电路 .....	116	7.2.2 时计数器的设计 .....	158
5.2.1 555电路构成施密特 触发器 .....	116	7.2.3 译码电路(含驱动) 的设计 .....	158
5.2.2 555电路构成单稳态 触发器 .....	118	任务3 校时电路 .....	160
5.2.3 555电路构成多谐振荡器 .....	119	7.3.1 用单刀双掷开关实现校时 .....	160
任务1 触摸式防盗报警电路的 仿真 .....	121	7.3.2 用门电路实现校时 .....	161
任务2 触摸式防盗报警电路的 设计与调试 .....	122	任务4 整点报时电路 .....	161
5.4.1 电路连接 .....	122	任务5 功能器件的装配和检修 .....	162
5.4.2 装调与检修 .....	123	7.5.1 功能器件之间的连接 .....	162
思考与练习 .....	124	7.5.2 数字钟的装配 .....	163
项目6 温度检测电路设计与装调 .....	126	7.5.3 故障分析 .....	164
专题1 A/D转换 .....	126	思考与练习 .....	166
6.1.1 温度检测电路 .....	126	项目8 用FPGA实现计数器 .....	167
6.1.2 A/D转换器 .....	128	专题1 存储器 .....	167
6.1.3 A/D转换 Multisim 仿真实例 .....	136	8.1.1 只读存储器 .....	168
6.1.4 典型芯片 ADC0832 介绍 .....	137	8.1.2 随机存取存储器 .....	170
专题2 D/A转换 .....	138	专题2 可编程逻辑器件 .....	172
6.2.1 DAC0832 D/A转换器的 应用 .....	138	8.2.1 可编程阵列逻辑 .....	173
6.2.2 D/A转换器 .....	143	8.2.2 通用阵列逻辑 .....	174
6.2.3 D/A转换 Multisim 仿真 实例 .....	145	8.2.3 复杂可编程逻辑器件 .....	176
		8.2.4 现场可编程门阵列 .....	177
		任务 计数器的设计 .....	178
		8.3.1 MAX + PLUS II 的原理图 输入 .....	178
		8.3.2 项目编译 .....	180
		8.3.3 项目校验 .....	181
		8.3.4 器件编程/配置 .....	183
		思考与练习 .....	187

---

附录 .....	188	功能、名称及型号 .....	211
附录 A Multisim 介绍 .....	188	附录 E 常用 CMOS 数字集成电路逻辑	
附录 B 二进制逻辑单元图形符号简介		功能、名称及型号 .....	213
(GB/T 4728. 12—2008) .....	207	附录 F 常用数字集成电路引脚	
附录 C 中国半导体集成电路型号		排列图 .....	215
命名方法 .....	210	附录 G 数字钟整体电路图 .....	(见书后插页)
附录 D 常用 TTL 数字集成电路逻辑		参考文献 .....	222



# 绪 论

人们常说,我们已经生活在信息化时代。信息技术已经渗透到人类社会生活的各个领域,互联网、移动通信、数字高清电视、DVD、数码摄像机、数码照相机以及激光照排等无时无刻不在改变着人们的生活。

## 1. 模拟信号与数字信号

自然界中绝大多数物理量的变化是平滑、连续的,例如温度、湿度、压力、速度、声音、水流量等,这些物理量通过传感器变成电信号后,其电信号的数值相对于时间的变化过程也是平滑、连续的,这种在时间上连续、数值上也连续的物理量(电信号)通常称作模拟信号,如图0-1所示。用以产生、传递、加工和处理模拟信号的电路称为模拟电路,例如音频放大电路。

而另一类物理量的变化在时间上和数值上都是不连续的,总是发生在一些离散的瞬间,而且每次变化时数量大小的改变都是某个最小数量单位的整数倍,这一类物理量被称作数字量,把表示数字量的信号称作数字信号,如图0-2所示。能产生、传递、加工和处理数字信号的电路称为数字电路,例如计算机中的存储器电路。

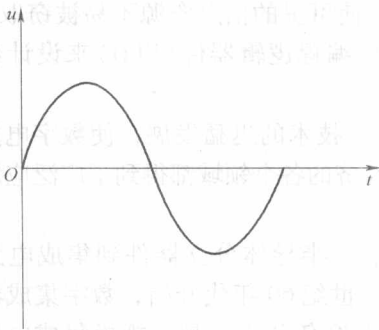


图0-1 模拟信号

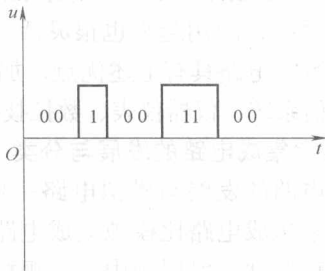


图0-2 数字信号

因为在数字电路和模拟电路中所研究的问题和使用的分析方法、设计方法都不相同,所以将电子技术基础的内容分为数字电路和模拟电路两部分来讲解。

## 2. 数字电路的特点

数字信号在时间上和数值上均是离散的,在数字电路中普遍采用数字0和1来表示数字信号,这里,0和1不是十进制中的数字而是逻辑0和逻辑1。因而称为二值数字逻辑。在数字电路中,用1和0分别表示高、低电平。用1表示高电平,0表示低电平,称为正逻辑;用0表示高电平,1表示低电平,称为负逻辑。只要能正确无误地区分出高、低电平,则允许高、低电平有一定的变化范围,这就大大降低了对电路参数精度的要求。

表0-1列出了在正逻辑体系下,逻辑电平与数字电压值之间的对应关系。

在数字电路中,常用二进制数来量化连续变化的模拟信号,这样便于存储、分析或传输。

表 0-1 逻辑电平与数字电压值之间的对应关系

电压/V	二值数字逻辑	电 平
5	1	H(高电平)
0	0	L(低电平)

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而又互相对立的两种状态来表示的,例如真与假、正与反、开与关、高与低等。在数字电路中可用电子器件的开关特性来实现,电路中的半导体器件,如二极管、晶体管等,它们可以处于开关状态,时而导通,时而截止。数字电路具有以下一些特点:

(1) 采用二进制数 在数字电路中,一般都采用二进制计数体制,因为晶体管具有导通和截止两种稳定状态,可用二进制数的两个数码来表示,这样组成的基本单元电路结构简单,对电路中各元器件参数的精度要求不高,并允许有较大的分散性,只要能正确区分两种截然不同的状态即可。

(2) 抗干扰能力强、精度高 由于数字电路传递、加工和处理的都是二值逻辑电平,这样不易受到外界的干扰,因而电路的抗干扰能力较强。数字电路还可以用增加二进制数的位数来提高电路的运算精度。

(3) 便于长期存储、使用方便 二值数字信号具有便于长期存储的特点,使大量的信息资源得以妥善保存,并且容易调出,使用方便。

(4) 保密性好 在数字电路中可以进行保密处理,使可贵的信息资源不易被窃取。

(5) 通用性强 可以采用标准的数字逻辑器件和可编程逻辑器件(PLD)来设计各种各样的数字系统,应用起来也很灵活。

由于数字电路具有上述优点,加之集成电路(IC)工艺技术的迅猛发展,使数字电路在计算机、通信系统、仪器仪表、数控技术、家电以及国民经济的各个领域都得到了广泛应用。

### 3. 数字集成电路的发展与分类

数字电路的发展与模拟电路一样,经历了由电子管、半导体分立器件到集成电路的过程。但数字集成电路比模拟集成电路发展得更快。从20世纪60年代开始,数字集成器件从小规模逻辑器件,发展到中、大规模逻辑器件。20世纪70年代末,超大规模集成电路——微处理器的出现,使数字集成电路的性能产生了质的飞跃。

目前,数字集成器件所用的材料以半导体硅为主,在高速数字集成电路中,也使用化合物半导体材料,例如砷化镓(GaAs)等。

从集成度来说,数字集成电路可分为小规模(SSI)、中规模(MSI)、大规模(LSI)、超大规模(VLSI)和特大规模(ULSI)等五类。所谓集成度,是指每一块数字IC芯片所包含晶体管的个数。表0-2列出了五类数字集成电路的规模和分类依据。

表 0-2 五类数字集成电路的规模和分类依据

分类	晶体管的个数	典型的数字集成电路	分类	晶体管的个数	典型的数字集成电路
小规模	最多10个	逻辑门电路	超大规模	1000~10 <sup>6</sup> 个	大型存储器、微处理器
中规模	10~100个	计数器、全加器、译码器	特大规模	10 <sup>6</sup> 个以上	可编程逻辑器件、多功能集成电路
大规模	100~1000个	小型存储器、门阵列			

近十多年来, PLD 特别是现场可编程门阵列(FPGA)的飞速发展, 为数字电子技术的发展开创了新局面。这些数字集成器件不仅规模大, 而且将硬件与软件相结合, 使数字集成电路的功能更加趋于完善, 使用起来也更加灵活。

根据电路的输出信号与输入信号之间的关系, 数字电路又可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两大类。组合逻辑电路的输出信号仅仅和当时的输入信号有直接关系, 而时序逻辑电路的输出信号不仅和当时的输入信号有关, 而且与输入信号发生前的电路状态有关。两者常常结合起来使用, 可以实现控制、操作和运算数字系统的信息。

从用途上, 可以把数字集成电路分为专用型和通用型两大类。专用型数字集成电路是为某种特定用途而专门设计、制造的, 一般很难用在其它的情况。因为一种新型集成电路的研制费用很高, 研制周期也比较长, 所以通常只有在用量较大的情况下, 才采用这种专用集成电路。

通用型数字集成电路又有两种类型: 一种是逻辑功能固定的标准化、系列化产品; 另一种是可编程逻辑器件(Programmable Logic Device, PLD)。前一种类型的集成电路中, 每一种器件的内部结构和功能在制造时已经固化, 不能改变。目前常见的中、小规模数字集成电路大多属于这一种。利用这些产品可以组成更为复杂的数字系统, 但是当系统复杂以后, 电路的体积将很庞大, 而且由于器件间的连线很多, 降低了电路的可靠性。因此, 希望能找到一种既具有像专用集成电路那样体积小、可靠性高、能满足各种专门用途, 同时又可以作为电子产品生产的集成电路, 于是可编程逻辑器件便应运而生。

PLD 的内部包含了大量的基本逻辑单元电路, 通过写入编程数据, 可以将这些单元连接成所需要的逻辑电路。因此, 它的产品是通用型的, 而它所实现的逻辑功能则由用户根据自己的需要通过编程来设定。20 世纪 90 年代 PLD 得到了迅速的发展和普及, 目前在一片高密度 PLD 中可以集成数十万个基本逻辑单元, 足够连接成一个相当复杂的数字电路, 形成所谓“片上系统”。

#### 4. EDA 技术的发展和應用

电子设计自动化(Electronic Design Automation, EDA)是将计算机技术应用于电子电路设计过程而产生的一门新技术。它广泛地应用于电路结构设计和运行状态的仿真、集成电路板图的设计、印制电路板的设计以及可编程逻辑器件的编程设计等所有设计环节当中。

由于电子电路的复杂程度日益增加, 产品更新的周期日益缩短, 所以对设计工作的质量、速度和成本的要求也越来越高。因此, 必须在所有的设计环节中使用计算机辅助设计(CAD)的手段, 全面实现设计自动化。经过多年的不懈努力, 技术人员先后成功研制出了多种高性能的 EDA 软件和专门用于描述电子电路的计算机编程语言——硬件描述语言(Hardware Description Language, HDL)。利用这些软件可以在计算机上进行电子电路的结构设计、电路参数的选择和优化、电路布局和布线的设计、电路性能的分析 and 测试以及运行状态的模拟等。例如, 由 NI 公司推出的 Multisim 不仅具有丰富的元器件库和对电路进行仿真、分析的软件, 而且还提供了全套的虚拟电子仪器、仪表。设计者可以方便地从元器件库中挑选合适的元器件组成所需要的电路, 并且能形象地对电路运行状态仿真和测试。再如 Altium 公司(Protel 软件的原厂商)推出了最新高端版本 Altium Designer, 它完全是一体化电子产品开发系统的一个新版本, 将设计流程、集成化 PCB 设计、可编程器件(如 FPGA)设计和基于处理器设计的嵌入式软件开发功能整合在一起, 是一种同时进行 PCB 和 FPGA 设计以及嵌

入式设计的解决方案, 具有将设计方案从概念转变为最终成品所需的全部功能。还有许多著名的软件公司也都推出了自己的 EDA 软件产品, 而且在致力于不断增强和完善这些 EDA 软件的功能。目前得到广泛应用的硬件描述语言主要为 VHDL 和 Verilog HDL 两种, 它们都已经被 IEEE 认定为标准的硬件描述语言。

进入 20 世纪 90 年代以后, PLD 的应用迅速扩大。PLD 生产厂商在开发 PLD 的同时, 也与软件公司联手研制了相应的编程软件。因此, PLD 的广泛应用也促进了 EDA 技术的普及。今天, EDA 技术已经成为所有从事和电子技术有关工作的工程技术人员必须掌握的一门技术。

EDA 技术已经成为所有从事和电子技术有关工作的工程技术人员必须掌握的一门技术。

EDA 技术已经成为所有从事和电子技术有关工作的工程技术人员必须掌握的一门技术。

EDA 技术已经成为所有从事和电子技术有关工作的工程技术人员必须掌握的一门技术。

EDA 技术已经成为所有从事和电子技术有关工作的工程技术人员必须掌握的一门技术。

EDA 技术已经成为所有从事和电子技术有关工作的工程技术人员必须掌握的一门技术。

EDA 技术已经成为所有从事和电子技术有关工作的工程技术人员必须掌握的一门技术。

EDA 技术已经成为所有从事和电子技术有关工作的工程技术人员必须掌握的一门技术。

EDA 技术已经成为所有从事和电子技术有关工作的工程技术人员必须掌握的一门技术。

## 项目 1 三人表决器电路设计与装调

**引言** 门电路是能够实现某一逻辑功能的电路，是数字电路的基本单元。按照逻辑功能，门电路可分为与门、或门、非门、与非门、或非门、与或非门、异或门和同或门等。根据电路中使用的半导体器件不同，门电路又可以分为 TTL 门电路和 CMOS 门电路。本项目介绍了数字电路中常用的数制与码制，逻辑函数，逻辑门电路的电路结构、工作原理、逻辑功能和外部特性，以及 TTL 和 CMOS 电路的使用方法等。

### 项目要求：

在理解各种逻辑关系、掌握门电路的逻辑功能和外部特性的基础上，应用相关集成门电路完成三人表决器电路的设计与装调。

### 项目目标：

- 熟悉逻辑函数的表示方法与化简方法；
- 理解晶体管开关特性；
- 了解 TTL 门电路的内部结构和工作原理；
- 掌握 TTL 各种门电路的基本使用方法；
- 了解 TTL 电路和 CMOS 电路的接口；
- 掌握逻辑门电路的应用。

### 项目介绍：

本项目为三人表决器电路，用来判断三个输入信号的组合情况，其输出结果与输入中的多数情况一致。本项目通过三人表决器电路的设计帮助同学们掌握数字电路中的逻辑关系、逻辑运算和门电路的电气特性，并学会简单数字电路的设计与功能验证，为实际应用门电路相关器件打下必要的基础。

## 专题 1 数制与码制

### 专题要求：

作为数字电路的基础，数制与码制的概念在整个数字系统中起着非常重要的作用，要学会在实际应用中运用数制与码制。

### 专题目标：

- 了解数的进制概念，掌握二进制、八进制、十六进制、十进制的表示方法；
- 掌握二进制与十进制、八进制、十六进制的相互转换；
- 了解码制的概念，掌握几种常见的码制表示方法，并能熟练运用。

在日常生活中，人们习惯用十进制，而数字系统中多采用二进制，但二进制有时表示起来不太方便，位数太多，所以也经常采用十六进制和八进制。本专题将介绍几种常见的数制表示方法、相互间的转换法和几种常见的码制。

### 1.1.1 数制

#### 1. 十进制

十进制是人们十分熟悉的计数体制，有0~9十个数字符号，它是逢十进位，各位的权是10的幂。例如，2315这个数可以写成

$$2315 = 2 \times 10^3 + 3 \times 10^2 + 1 \times 10^1 + 5 \times 10^0$$

式中， $10^0$ 为右边第1位，即个位的权； $10^1$ 为右边第2位，即十位的权； $10^2$ 为右边第3位，即百位的权； $10^3$ 为右边第4位，即千位的权。每位对应的数字称为该位的系数，数的值等于各位的系数与权的乘积之和，如上式中的2315这个数就是由每位数的系数，即2、3、1、5与对应位的权 $10^3$ 、 $10^2$ 、 $10^1$ 、 $10^0$ 的乘积之和。将上述关系写成一般形式，则任意一个十进制数 $(N)_{10}$ 均可记作

$$(N)_{10} = \sum k_i \times 10^i \quad (1-1)$$

式中， $k_i$ 称为第*i*位的系数； $(N)_{10}$ 中下标10表示*N*是十进制数，也可以用字母“D”来表示，例如 $(56)_D$ 就表示十进制的56，即 $(56)_{10}$ 。

#### 2. 二进制

二进制数中只有0和1两个数字符号，它是逢二进位，各位的权是2的幂。例如

$$(100101)_2 = 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

式中， $2^0$ 、 $2^1$ 、 $2^2$ 、 $2^3$ 、 $2^4$ 、 $2^5$ 分别为各位的权。*n*位二进制正整数 $(N)_2$ 的表达式可以写成

$$(N)_2 = \sum k_i \times 2^i \quad (1-2)$$

二进制也可以用字母“B”表示，例如 $(1011)_B = (1011)_2$ 。

#### 3. 八进制和十六进制

(1) 八进制 八进制中有0~7八个数字符号，它是逢八进位，各位的权是8的幂。例如

$$(1207)_8 = 1 \times 8^3 + 2 \times 8^2 + 0 \times 8^1 + 7 \times 8^0$$

式中， $8^0$ 、 $8^1$ 、 $8^2$ 、 $8^3$ 分别为各位的权。*n*位八进制正整数 $(N)_8$ 的表达式可以写成：

$$(N)_8 = \sum k_i \times 8^i \quad (1-3)$$

八进制也可以用字母“Q”表示，例如 $(1204)_Q = (1204)_8$ 。

(2) 十六进制 十六进制有0~9、A、B、C、D、E、F十六个数字符号，其中10~15分别用A~F表示，它是逢十六进位，各位的权是16的幂。例如

$$(2C7F)_{16} = 2 \times 16^3 + 12 \times 16^2 + 7 \times 16^1 + 15 \times 16^0$$

式中， $16^0$ 、 $16^1$ 、 $16^2$ 、 $16^3$ 分别为各位的权。*n*位十六进制正整数 $(N)_{16}$ 的表达式可以写成：

$$(N)_{16} = \sum k_i \times 16^i \quad (1-4)$$

十六进制也可以用字母“H”表示，例如 $(34AF)_H = (34AF)_{16}$ 。

#### 4. 不同数制之间的转换

(1) 任意进制转换成十进制 通过前面的介绍，分别按式(1-2)、式(1-3)、式(1-4)展开，就是二进制、八进制、十六进制转换成十进制的结果。例如

$$(10011)_2 = (1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0)_{10} = (19)_{10}$$

$$(236)_8 = (2 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 6 \times 8^0)_{10} = (158)_{10}$$

$$(17E)_{16} = (1 \times 16^2 + 7 \times 16^1 + 14 \times 16^0)_{10} = (382)_{10}$$

(2) 十进制转换成二进制 十进制转换成二进制的方法中整数转换和小数转换不同。

将十进制整数转换成二进制数的方法是：连续除以2，直到商为0，每次所得的余数从后向前排列即为转换后的二进制数整数部分，这种方法简称“除2取余法”。按此方法，可用竖式除法表示出上述转换过程。例如，将 $(302)_{10}$ 转换成二进制的竖式为

$$\begin{array}{r}
 2 \overline{) 302} \quad \cdots \cdots \quad \text{余 } 0 \quad \text{最低位} \\
 \underline{2 \overline{) 151}} \quad \cdots \cdots \quad \text{余 } 1 \quad \uparrow \\
 \underline{2 \overline{) 75}} \quad \cdots \cdots \quad \text{余 } 1 \\
 \underline{2 \overline{) 37}} \quad \cdots \cdots \quad \text{余 } 1 \\
 \underline{2 \overline{) 18}} \quad \cdots \cdots \quad \text{余 } 0 \\
 \underline{2 \overline{) 9}} \quad \cdots \cdots \quad \text{余 } 1 \\
 \underline{2 \overline{) 4}} \quad \cdots \cdots \quad \text{余 } 0 \\
 \underline{2 \overline{) 2}} \quad \cdots \cdots \quad \text{余 } 0 \\
 \underline{2 \overline{) 1}} \quad \cdots \cdots \quad \text{余 } 1 \quad \text{最高位} \\
 \hline
 0
 \end{array}$$

$$\text{即 } (302)_{10} = (100101110)_2$$

值得注意的是，最先除得的余数是最低位，而最后除得的余数为最高位。

小数部分的转换方法是：连续乘以2，一直到小数部分为0（有些小数部分不能使乘2结果为零，转换时可根据实际需要确定保留的小数位），每次所得的整数部分从前向后排列即为转换后的二进制数小数部分，这种方法简称“乘2取整法”。例如，将 $(0.6875)_{10}$ 转换为二进制为

$$\begin{array}{r}
 0.6875 \\
 \times 2 \\
 \hline
 1.3750 \quad \cdots \cdots \quad \text{整数部分为 } 1 \quad \text{最高位} \\
 0.3750 \\
 \times 2 \\
 \hline
 0.7500 \quad \cdots \cdots \quad \text{整数部分为 } 0 \\
 0.7500 \\
 \times 2 \\
 \hline
 1.5000 \quad \cdots \cdots \quad \text{整数部分为 } 1 \\
 0.5000 \\
 \times 2 \\
 \hline
 1.0000 \quad \cdots \cdots \quad \text{整数部分为 } 1 \quad \text{最低位}
 \end{array}$$

$$\text{即 } (0.6875)_{10} = (0.1011)_2$$

(3) 二进制与八进制、十六进制之间的相互转换

1) 二进制与八进制之间的相互转换。因为八进制的基数 $8 = 2^3$ ，所以3位二进制数构成1位八进制数。当要将二进制整数转换成八进制数时，只要从最低位开始，按3位分组，不满3位者在前面加0，每组以其对应八进制数字代替，再按原来顺序排列即为等值的八进制数。

例如，将 $(11110100010)_2$ 转换成八进制为

$$\begin{array}{cccc}
 011 & 110 & 100 & 010 \\
 \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\
 3 & 6 & 4 & 2
 \end{array}$$

$$\text{即 } (11110100010)_2 = (3642)_8$$

**注意：**3位分组时，必须从最低位开始。

反之，如果要将八进制正整数转换成二进制数，只需将每位八进制数写成对应的3位二进制数，再按原来的顺序排列就行了。



例如, 将 $(473)_8$ 转换为二进制为

$$\begin{array}{ccc} & 4 & 7 & 3 \\ & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ & 100 & 111 & 011 \end{array}$$

即 $(473)_8 = (100111011)_2$

2) 二进制与十六进制之间的相互转换。因为十六进制的基数 $16 = 2^4$ , 所以4位二进制数构成1位十六进制数, 从最低位开始, 每4位二进制数一组, 对应进行转换, 不满4位者在前面加0, 具体方法与前面介绍的八进制的转换相同。

例如, 将 $(10110100111100)_2$ 转换成十六进制为

$$\begin{array}{cccc} 0010 & 1101 & 0011 & 1100 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 2 & D & 3 & C \end{array}$$

即 $(10110100111100)_2 = (2D3C)_{16}$

反之, 如果要将十六进制正整数转换成二进制数, 只需将每位十六进制数写成对应的4位二进制数, 再按原来的顺序排列就行了。

例如, 将 $(3AF6)_{16}$ 转换成二进制为

$$\begin{array}{cccc} & 3 & A & F & 6 \\ & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ & 0011 & 1010 & 1111 & 0110 \end{array}$$

即 $(3AF6)_{16} = (11101011110110)_2$

### 1.1.2 码制

在数字系统中, 由0和1组成的二进制数不仅可以表示数值的大小, 还可以用来表示特定的信息。用二进制数来表示一些具有特定含义信息的方法称为编码, 用不同表示形式可以得到多种不同的编码, 这就是码制。例如, 用4位二进制数表示1位十进制数, 称为二十进制代码。常用的编码有二-十进制BCD码、格雷码和ASCII码等。

#### 1. 二-十进制代码

用4位二进制数组成一组代码, 可用来表示0~9十个数字。4位二进制代码有 $2^4 = 16$ 种状态组成, 从中取出十种组合表示0~9十个数字可以有多种方式, 因此十进制代码有多种。几种常用的十进制代码见表1-1。

表1-1 几种常用的十进制代码

十进制数	代码种类	8421BCD码	2421码	5211码	余3码(无权码)
0		0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 1 1
1		0 0 0 1	0 0 0 1	0 0 0 1	0 1 0 0
2		0 0 1 0	0 0 1 0	0 1 0 0	0 1 0 1
3		0 0 1 1	0 0 1 1	0 1 0 1	0 1 1 0
4		0 1 0 0	0 1 0 0	0 1 1 1	0 1 1 1
5		0 1 0 1	1 0 1 1	1 0 0 0	1 0 0 0
6		0 1 1 0	1 1 0 0	1 0 0 1	1 0 0 1
7		0 1 1 1	1 1 0 1	1 1 0 0	1 0 1 0
8		1 0 0 0	1 1 1 0	1 1 0 1	1 0 1 1
9		1 0 0 1	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1
权		8 4 2 1	2 4 2 1	5 2 1 1	



最常用的是8421BCD码,将十进制数的每一位用一个4位二进制数来表示,这个4位二进制数每一位的权从高位到低位分别是8、4、2、1,由此规则构成的码称为8421BCD码。

例如

$$(37)_{10} = (00110111)_{8421BCD}$$

对于2421码和5211码而言,若将每个代码也看做是4位二进制数,不过自左而右每位的1分别代表2、4、2、1和5、2、1、1,则与每个代码等值的十进制数恰好就是它表示的十进制数。其中,2421码中0和9的代码、1和8的代码、2和7的代码、3和6的代码、4和5的代码均互为反码(即代码中每一位0和1的状态正好相反)。

余3码是一套无权码,即每一位的1没有固定的权相对应。如果仍将每个代码视为4位二进制数,且自左而右每位的1分别为8、4、2和1,则等值的十进制数比它所表示的十进制数多3,故称余3码。

## 2. 格雷码

格雷码又称循环码,这是在检测和控制系统中常用的一种代码。它的特点是:相邻两个代码之间仅有一位不同,其余各位均相同。计数电路按格雷码计数时,每次状态仅仅变化一位代码,减少了出错的可能性。格雷码属于无权码,它有多种代码形式,其中最常用的一种是循环码。4位格雷码的编码见表1-2。

表1-2 4位格雷码的编码

十进制数	循环码	十进制数	循环码
0	0 0 0 0	15	1 0 0 0
1	0 0 0 1	14	1 0 0 1
2	0 0 1 1	13	1 0 1 1
3	0 0 1 0	12	1 0 1 0
4	0 1 1 0	11	1 1 1 0
5	0 1 1 1	10	1 1 1 1
6	0 1 0 1	9	1 1 0 1
7	0 1 0 0	8	1 1 0 0

想一想:

1. 十进制转换为八进制或者十六进制的方法是什么?
2.  $n$  位二进制数的最大值相当于十进制数的多少?
3. 在一次运动会中有460名选手参加比赛,若分别用二进制、八进制、十六进制数进行编码,则各需要几位数?
4. 总结本专题所介绍各种码制的特点,并自行查阅资料,了解常用的还有其它哪些码制形式?

## 专题2 逻辑函数

专题要求:

学会运用逻辑代数分析问题,分析数字电路中的逻辑关系。

专题目标: