

面向
全国大学生
电子设计竞赛
系列教材

21世纪高等学校
电子信息类
专业核心课程
工程型规划教材

数字电子技术

黄淑珍 主编
祝再兴 姜亚萍 副主编
宋法伟 参编



清华大学出版社

面向全国大学生电子设计竞赛系列教材

21 世纪高等学校电子信息类专业核心课程工程型规划教材

数字电子技术

主 编 黄淑珍

副主编 祝再兴 姜亚萍

参 编 宋法伟

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书本着“必需、够用”的原则,基于 CDIO(Conceive、Design、Implement、Operate,构思、设计、实现、运行)的项目化教学模式而编写。全书包括简单三人表决器设计、LED 显示译码器设计、四人抢答器设计、二十四进制电子数字钟设计、报警器设计、数字温度计设计、简易交通灯控制逻辑电路设计、简易数字频率计设计和数字密码锁设计九个项目。每个项目都分为项目内容、必备知识、项目实施、扩充知识 4 部分内容。

本书内容精练、实用性和针对性强,可作为高等专科和职业院校电子信息类专业学生参加电子设计竞赛、技能大赛以及应用型电子工程技术人才培养的培训教材,也可以作为高职高专和二、三类本科电子信息等专业学生的“数字电子技术”教材,还可以作为电子设计与制作者的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/黄淑珍主编.--北京:清华大学出版社,2015

21 世纪高等学校电子信息类专业核心课程工程型规划教材

ISBN 978-7-302-37061-1

I. ①数… II. ①黄… III. ①数字电路—电子技术—高等学校—教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 143015 号

责任编辑:梁颖 薛阳

封面设计:傅瑞学

责任校对:李建庄

责任印制:沈露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62775954

印 装 者:三河市中晟雅豪印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:13.75

字 数:337 千字

版 次:2015 年 3 月第 1 版

印 次:2015 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1~2500

定 价:29.00 元

产品编号:056322-01

编 委 会

主 任：张有志，山东大学信息科学与工程学院教授

山东凯文科技职业学院信息学院院长

全国大学生电子设计竞赛山东赛区专家组成员

曾独立获得国家级二等优秀教学成果奖，享受国务院政府特殊津贴

副主任：张平慧，原山东大学本科教学评估中心副主任，研究员

全国大学生电子设计竞赛山东赛区组委会秘书长

姜 威，山东大学信息科学与工程学院教授

全国大学生电子设计竞赛专家组成员，山东赛区专家组组长

黄 争，美国德州仪器(TI)公司中国大学计划部工程师

全国大学生电子设计竞赛山东赛区专家组成员

委 员(按姓氏字母顺序排序)：陈春艳、韩晓敏、黄淑珍、黄争、姜威、李凤鸣、王晓红、

张平慧、张有志、郑煊

序 言



全国大学生电子设计竞赛是由教育部发起,教育部高等教育司和信息产业部人事教育司组织的,面向全国各类、各层次大学生的学科竞赛,是在大学生中开展最广泛的赛事之一。竞赛的组织运行模式遵循“政府主办、专家主导、学生主体、社会参与”16 字方针。截至目前,全国大学生电子设计竞赛已经有 20 年的历史。20 年来,全国大学生电子设计竞赛在促进我国高等学校电子信息、自动化和计算机等类专业和相关课程内容的改革,加强大学生创新能力、动手能力和协作精神的培养,提高学生的业务素质,以及针对实际问题进行分析解决的综合能力等方面发挥了重要作用,也为优秀人才的脱颖而出创造了良好条件,因而全国大学生电子设计竞赛备受社会关注。各高校也都非常重视,除了在日常课程的日常教学中加大训练力度外,还在选拔参赛队员前后组织相关辅导和强化训练。近年来,参加全国大学生电子设计竞赛的高职高专院校学生逐年增多,亟需适合这类学生的竞赛培训教材。

另外,目前全国每年都有大批大学毕业生毕业后找不到工作,而大批用人单位却苦于招不到理想的人才。其中原因是多方面的,但大学教育与社会需求严重脱节是非常重要的原因之一。为此,各高校都在积极进行教学内容和教学方法等方面的改革,以尽快适应行业发展和社会对人才的需求,因此,迫切需要一批适用于应用型工程技术人才培养的教材。

为满足高等职业院校和高等专科院校学生电子设计竞赛培训和应用型电子工程技术人才培养的需要,2012 年,全国大学生电子设计竞赛山东赛区组委会组织了一批有多年指导电子设计竞赛经验的老师,编写了适合高职高专学生的《全国大学生电子设计竞赛培训教程》。2013 年,在总结前期教材编写出版经验的基础上,组委会又组织编写了这套既可用于全国大学生电子设计竞赛,也可用于电子信息类专业电子产品设计与制作核心能力培养的工程型系列教材,以期推动大学生电子设计竞赛和高等学校电子信息类专业的教学改革和教材建设。

该系列教材由清华大学出版社出版,被列为“21 世纪高等学校电子信息类专业核心课程工程型规划教材”和“面向全国大学生电子设计竞赛系列教材”,具体包括《模拟电子技术》、《数字电子技术》、《微控制器技术——MSP430 单片机应用技术》、《传感器应用技

术》、《电子产品制作技术》和《FPGA/CPLD 应用技术》。

鉴于目前各高校对参加电子设计竞赛学生的培训多半是在完成计划内课程教学的基础上再补充一些与竞赛有关的内容,并进行适当的强化训练,该系列教材的定位是首先满足课堂教学,同时兼顾电子设计竞赛培训的需求。如果学生学完这套丛书的内容,参加电子设计竞赛前只需要再强化实践技能的训练即可;如果学校教学计划中没有安排这套教材中的全部课程(如“传感器应用技术”、“电子产品制作技术”和“FPGA/CPLD 应用技术”等并不是所有学校都开设),竞赛培训时就要补充有关内容。

该系列教材的适用对象是高职高专和应用型本科电子信息类专业的学生,因此,没有列选“嵌入式系统”和“DSP 技术”。虽说这两门课程也是电子设计竞赛和电子产品设计与制作所必需的课程,但由于其难度较大,高职高专学生学习起来比较困难,所以这套丛书中没有包括这两门课程的教材。

该系列教材体现了基于 CDIO 的项目化教学的工程教育理念。目前,为了使高等教育特别是高等工程教育很好地适应社会需求,各高校都在积极进行人才培养模式方面的探索。但由于各学校学生的基础、教师水平、教学经费投入和教学条件都有很大差异,其他学校成功的做法,拿到自己学校就不一定行得通。纵观国内外高等学校成功的教学改革经验,我们认为基于 CDIO(构思、设计、实现、运行)的项目化教学模式对二、三类本科和高职高专的工程类专业具有一定的借鉴价值。因为它提倡基于 CDIO 的理念,以项目为主线组织教学内容和教学活动,把“学科导向”变为“项目导向”,把“学以致用考”变为“学以致用用”,把强调学科知识的完备性与系统性变为注重项目训练的系统性与完整性;让学生在项目的过程中学习必要的专业基础知识,基础知识以“必需、够用”为度;加强学生学习能力的培养,注重培养学生应用所学知识解决实际问题的能力,指导学生循序渐进地完成好一个个精选的、适合于多数学生的工程项目,使学生在项目的过程中提高项目构思、设计、实现、运行的能力,然后再运用这种能力去解决新的工程实际问题,从而提高适应工作环境和技术的发展变化的能力。这种教学模式体现在本科与高职、学校与学校之间的差异关键在于如何选好符合学生实际的项目。基于这种考虑,我们在这套教材的编写过程中尽量体现这种理念。

该系列教材打破了传统的理论体系,采用基于 CDIO 工程教育理念的项目化教学模式,将每门课程的核心内容融入一个个项目中,根据项目的需要,按照项目内容、必备知识、项目实施和扩充知识的架构对传统教材内容进行了重组,把每个项目的实施过程归纳为“构思、设计、实现、运行”4 个步骤,以加强对学生进行工程项目实施能力的培养。所选项目的难度科学合理,一般难度、中等难度、较高难度的项目各占一定比例。每部教材都编入了一两个有代表性的综合项目,所选综合项目覆盖了本课程的主要内容,而教材中的其他项目基本上就是这些综合项目的子模块(子项目)。

该系列教材兼顾了高职高专学生电子设计竞赛和电子设计与制作核心能力培养的需要,以工程应用为重点,尽量淡化基础理论的难度,基础知识以“必需、够用”为原则;结合电子产品设计与制作的工程实际,突出重点与主流技术,如《数字电子技术》、《模拟电子技术》和《电子产品制作技术》突出历年电子设计竞赛中常用的电路模块和技术,《微处理器技术》以竞赛赞助商 TI 公司的 430 系列单片机为主,《FPGA/CPLD 应用技术》选用业内著名商家 Altera 公司提供的主流芯片和开发系统等。

在该系列教材编写过程中聘请了行业企业的工程技术人员参与,每部教材的编者中至少有一位是来自行业企业的一线工程技术人员。行业企业一线工程技术人员有着丰富的工程实践经验,他们最清楚相关专业中哪些课程是最有用的,传统教材中哪些内容是工作中必需的,哪些是可有可无的,哪些是很少用到甚至是没有用的。聘请行业企业工程技术人员参与教材编写,使教材的编写得到了更多先进技术的支持,获得了更多来源于工程实际的案例资源。他们把自己丰富的工程实践经验引入教材,使教材内容更具有新意,更贴近行业企业的实际应用。

该系列教材的主编、副主编和其他作者均有丰富的教学和工程实践经验,多数作者还具有指导大学生电子设计竞赛的经历,有的作者指导的学生代表队还获得过全国奖。他们有着强烈的责任意识、质量意识和创新意识,对教材编写过程中每个细节的工作都精益求精,使教材的质量达到了较高水平。

该系列教材编写过程中得到了德州仪器(TI)公司和 Altera 公司的大力支持,公司提供了许多宝贵的资料供在教材编写时选用。教材的编写中还参考了部分兄弟院校教师和学生作品,由于这些作品有的还没有正式发表,因而无法在参考文献中一一列出,在此一并表示感谢。

张有志

2014 年 3 月于济南

前 言



目前,为了使高等教育,特别是高等工程教育很好地适应社会需求,基于 CDIO (Conceive、Design、Implement、Operate,构思、设计、实现、运行)的项目化教学模式对二、三类本科和高职高专的工程类专业具有一定的借鉴价值。基于 CDIO 的理念,本书以九个项目为主线组织“数字电子技术”的教学过程,把“学科导向”变为“项目导向”,把“学以致考”变为“学以致用”,把强调学科知识的完备性与系统性变为注重项目训练的系统性与完整性;让学生在项目的过程中学习必要的专业基础知识,基础知识以“必需、够用”为度;加强学生学习能力的培养,注重培养学生应用所学知识解决实际问题的能力,指导学生循序渐进地完成好一个个精选的、适合于多数学生的工程项目,使学生在项目的过程中提高项目构思、设计、实现、运行的能力,然后再运用这种能力去解决新的工程实际问题,从而提高学生适应工作环境和技术的发展变化的能力。另外,本书还引入了本行业有丰富实践经验的工程技术人员的工程实践经验,使教材更贴近行业企业的实际应用。

本书的每个项目都贯穿 CDIO 思想,适合高职高专学生电子设计竞赛和电子设计与制作专业方向人才培养的需要,所选项目合理。本书共包含九个项目,即简单三人表决器设计、LED 显示译码器设计、四人抢答器设计、二十四进制电子数字钟设计、报警器设计、数字温度计设计、简易交通灯控制逻辑电路设计、简易数字频率计设计和数字密码锁的设计。前 6 个项目是基础项目,后 3 个项目是综合项目。

本书由山东凯文科技职业学院讲师黄淑珍任主编,山东特殊教育职业学院讲师祝再兴和天津天狮学院讲师姜亚萍任副主编,山东邮电工程有限公司工程师宋法伟参编。

黄淑珍编写本书项目 1、项目 2、项目 4 和项目 7 以及附录部分,祝再兴编写项目 3、项目 5 和项目 6,姜亚萍编写项目 8 和项目 9,宋法伟在项目元器件的选择、项目调试中做了大量工作,全书由黄淑珍统稿。

山东大学张有志教授、张平慧教授以及 TI(Texas Instruments,德州仪器)公司的王沁工程师为本书的完成提供了大量支持、帮助,在此表示感谢。

由于我们能力和水平有限,加之时间仓促,书中难免有错漏和不当之处,恳请读者批评指正。

编者
2015 年 1 月

项目 1 简单三人表决器设计	1
1.1 项目内容	1
1.1.1 项目简介	1
1.1.2 项目要求	1
1.1.3 项目目标	1
1.2 必备知识	2
1.2.1 数制与编码	2
1.2.2 逻辑代数基础知识	7
1.2.3 逻辑门电路	15
1.3 项目实施	23
1.3.1 构思——简单表决器的设计方案	23
1.3.2 设计——简单表决器的电路设计与仿真	24
1.3.3 实现——简单表决器的组装与调试	26
1.3.4 运行——简单表决器的测试与性能分析	27
1.4 扩充知识	27
1.4.1 集成电路的使用	27
1.4.2 面包板的使用	28
项目小结	29
课后练习	29
项目 2 LED 显示译码器设计	31
2.1 项目内容	31
2.1.1 项目简介	31
2.1.2 项目要求	31
2.1.3 项目目标	31
2.2 必备知识	32
2.2.1 组合逻辑电路分析和设计	32

2.2.2	编码器	34
2.2.3	译码器	38
2.2.4	数据选择器	42
2.2.5	加法器	45
2.2.6	数值比较器	47
2.3	项目实施	48
2.3.1	构思——LED 显示译码器的设计方案	48
2.3.2	设计——LED 显示译码器的电路设计与仿真	49
2.3.3	实现——LED 显示译码器的组装与调试	49
2.3.4	运行——LED 显示译码器的测试与性能分析	51
2.4	扩充知识	51
2.4.1	LED 数码管的检测	51
2.4.2	数据分配器	52
	项目小结	53
	课后练习	53
项目 3	四路抢答器设计	55
3.1	项目内容	55
3.1.1	项目简介	55
3.1.2	项目要求	55
3.1.3	项目目标	55
3.2	必备知识	56
3.2.1	RS 触发器	56
3.2.2	JK 触发器	62
3.2.3	D 触发器	65
3.2.4	T 和 T' 触发器	68
3.3	项目实施(含仿真)	69
3.3.1	构思——抢答器的设计方案	69
3.3.2	设计——抢答器电路的设计与仿真	70
3.3.3	实现——抢答器的组装与调试	74
3.3.4	运行——抢答器的测试与性能分析	74
3.4	扩充知识	75
3.4.1	集成触发器的选型	75

3.4.2 集成触发器的检测	75
3.4.3 锁存器	76
项目小结	76
课后练习	76
项目 4 二十四进制电子数字钟设计	77
4.1 项目内容	77
4.1.1 项目简介	77
4.1.2 项目要求	77
4.1.3 项目目标	77
4.2 必备知识	77
4.2.1 寄存器	77
4.2.2 计数器	81
4.2.3 任意进制计数器	90
4.3 项目实施	93
4.3.1 构思——二十四进制电子数字钟的设计方案	93
4.3.2 设计——二十四进制电子数字钟的电路设计与仿真	94
4.3.3 实现——二十四进制电子数字钟的组装与调试	95
4.3.4 运行——二十四进制电子数字钟的测试与性能分析	96
4.4 扩充知识	96
4.4.1 存储器	96
4.4.2 数字钟	97
项目小结	98
课后练习	98
项目 5 报警器设计	100
5.1 项目内容	100
5.1.1 项目简介	100
5.1.2 项目要求	100
5.1.3 项目目标	100
5.2 必备知识	101
5.2.1 555 电路原理	101
5.2.2 施密特触发器	103
5.2.3 单稳态触发器	107

5.2.4 多谐振荡器	111
5.3 项目实施	115
5.3.1 构思——报警器的设计方案	115
5.3.2 设计——报警器的设计与仿真	116
5.3.3 实现——报警器的组装与调试	117
5.3.4 运行——报警器的测试与性能分析	118
5.4 扩充知识	118
5.4.1 555 定时器内部结构图(前面已讲授)	118
5.4.2 遥控器的工作原理	118
项目小结	119
课后练习	119
项目 6 数字温度计设计	120
6.1 项目内容	120
6.1.1 项目简介	120
6.1.2 项目要求	120
6.1.3 项目目标	120
6.2 必备知识	120
6.2.1 A/D 转换	121
6.2.2 D/A 转换	132
6.3 项目实施	139
6.3.1 构思——数字温度计的设计方案	139
6.3.2 设计——数字温度计的设计与仿真	140
6.3.3 实现——数字温度计的组装与调试	144
6.3.4 运行——数字温度计的测试与性能	144
6.4 扩充知识	145
6.4.1 温度检测	145
6.4.2 传感器	145
项目小结	147
课后练习	148
项目 7 简易交通灯控制逻辑电路设计	149
7.1 项目内容	149
7.1.1 项目简介	149

7.1.2 项目要求	149
7.1.3 项目目标	149
7.2 项目实施	150
7.2.1 构思——简易数字钟的设计方案	150
7.2.2 设计——简易数字钟的电路设计与仿真	151
7.2.3 实现——交通灯控制逻辑电路的组装与调试	159
7.2.4 运行——交通灯控制逻辑电路的测试与性能分析	160
7.3 扩充知识	161
项目小结	161
课后练习	161
项目 8 简易数字频率计的设计	163
8.1 项目内容	163
8.1.1 项目简介	163
8.1.2 项目要求	163
8.1.3 项目目标	163
8.2 项目实施	164
8.2.1 构思——数字频率计的设计方案	164
8.2.2 设计——数字频率计的电路设计与仿真	165
8.2.3 实现——数字频率计的组装与调试	172
8.2.4 运行——数字频率计的测试与性能分析	176
8.3 扩充知识	177
8.3.1 普通信号发生器	177
8.3.2 电路仿真简介	178
项目小结	178
课后练习	179
项目 9 数字密码锁设计	180
9.1 项目内容	180
9.1.1 项目简介	180
9.1.2 项目要求	180
9.1.3 项目目标	180
9.2 项目实施	181
9.2.1 构思——数字密码锁的设计方案	181

9.2.2 设计——数字密码锁的电路设计	181
9.2.3 实现——数字密码锁的组装与调试	186
9.2.4 运行——数字密码锁的测试与性能分析	189
9.3 扩充知识	190
9.3.1 扬声器	190
9.3.2 达林顿管	190
项目小结	191
课后练习	191
附录 A 常用逻辑符号对照表	193
附录 B 74 系列芯片-名字对照	194
附录 C 4000 系列芯片-名字对照	199
参考文献	201

项目 1 简单三人表决器设计

1.1 项目内容

1.1.1 项目简介

现在社会已经进入数字时代,而数字电子技术是数字时代的基础,经过近三十年的发展,数字电子技术已经进入我们生活的各个领域,极大地方便了我们的生活。数字电子设备功能比较复杂,其内部通常是由数量不定的电路组成。这些电路人们称为逻辑门电路,它们具有逻辑运算功能。

简单三人表决器是一个比较简单的数字电路,它所包含的门电路的数量较少。通过这个项目的训练,可以帮助同学们掌握数字电路中的逻辑关系、逻辑运算和常用门电路的基本特性。通过项目的设计与运行,为后续项目打好基础。

1.1.2 项目要求

掌握常用的逻辑关系、基本门电路的功能以及逻辑函数的化简,理解门电路的外部特性,应用所学知识设计一个简单的三人表决器。

1.1.3 项目目标

- (1) 熟练掌握数制的相互转换及几种常用的编码方法。
- (2) 熟练掌握常用逻辑代数的基本公式及运算法则。
- (3) 掌握逻辑函数的表示方法及各种方法间的相互转换。
- (4) 了解和熟悉门电路的类型,熟练掌握常用门电路的逻辑功能、符号、特性及使用方法。

1.2 必备知识

1.2.1 数制与编码

1. 数制

数制就是表示数值大小的各种计数方法。在生产实践中,人们较常采用的计数方法是十进制。在数字系统中,应用比较多的是二进制,但是二进制的位数较多,容易出错,所以也经常采用八进制和十六进制。

1) 十进制

在十进制中,采用 10 个数字符号,即 0,1,2,3,⋯,9。这些数字符号称为数码,计数的基数是 10,低位和相邻高位之间的进位原则是“逢 10 进 1”。

例: $(159.63)_{10} = (1 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 9 \times 10^0 + 6 \times 10^{-1} + 3 \times 10^{-2})_{10}$

式中,注脚 10 表示十进制,也可用字母 D 表示,通常情况下省略不写。1、5、9、6、3 是数码,也称为系数。10 的幂称为各数码的权。

所以任意一个十进制数 N 均可展开为

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

m ——小数部分的位数,为整数;

n ——整数部分的位数,为整数;

k_i ——第 i 位的系数,它是 0~9 中的任何一个;

10——计数基数;

10^i ——第 i 位的权。

2) 二进制

在数字电路中应用最广泛的是二进制。在二进制数中,每一位仅有 0 和 1 两个可能的数码,计数基数为 2,各位的权是 2 的幂,低位和相邻高位之间的进位原则是“逢 2 进 1”,故称为二进制。

任何一个二进制数 N 均可展开为

$$(N)_2 = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i \times 2^i \quad (1-2)$$

其计算结果为所表示的十进制数的大小。

例:

$$(1101.01)_2 = (1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2})_{10} = (13.25)_{10}$$

上式中的下脚注 2 和 10 分别表示括号里的是二进制和十进制数。也可以用字母 B

和D代替2和10。

3) 八进制

八进制中有0~7八个数码,计数基数为8,各位的权是8的幂,低位和相邻高位之间的进位原则是“逢8进1”。

任何一个八进制数 N 均可展开为

$$(N)_8 = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i \times 8^i \quad (1-3)$$

其计算结果为所表示的十进制数的大小。

例:

$$(263.4)_8 = (2 \times 8^2 + 6 \times 8^1 + 3 \times 8^0 + 4 \times 8^{-1})_{10} = (179.5)_{10}$$

上式中的下脚注8表示括号里的是八进制数,也可以用字母O代替。

4) 十六进制

十六进制中有0~9、A、B、C、D、E、F十六个数码,其中A~F分别代表10~15。计数基数为16,各位的权是16的幂,低位和相邻高位之间的进位原则是“逢16进1”。

任何一个十六进制数 N 均可展开为

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

其计算结果为所表示的十进制数的大小。

例:

$$(2BE.4)_{16} = (2 \times 16^2 + 11 \times 16^1 + 14 \times 16^0 + 4 \times 16^{-1})_{10} = (702.25)_{10}$$

上式中的下脚注16表示括号里的是十六进制数,也可以用字母H代替。

2. 数制转换

1) 其他进制转换为十进制

其他进制数转换为十进制数,只需将该数按式(1-2)、式(1-3)、式(1-4)展开,计算结果即为相应的十进制数。

2) 十进制转换为二进制

即把十进制数转换为等值的二进制数,需将十进制数的整数部分和小数部分分别进行转换,最后将转换结果相加即可。

(1) 整数部分的转换。

采用“除2取余”法,也就是将十进制数的整数部分连续除以2,并依次记下余数,直到商为0止,然后将所得余数从后向前排列,即为转换后的二进制数。

例如,将十进制数57转换为二进制数。