

数字电子电路 分析与应用

ShuZi DianZi DianLu
FenXi Yu YingYong

主编◎黎小桃 余秋香
主审◎林知秋

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

数字电子电路分析与应用

主 编 黎小桃 余秋香
主 审 林知秋

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书内容包括逻辑笔电路的制作与调试、数码显示电路的制作与调试、抢答器电路的制作与调试、报警器的制作与调试、数字电子钟的制作与调试、数字电压表的制作与调试等6个学习情境。

本书内容充分体现任务驱动的教学特点,通过任务导入、知识链接、任务实施、任务总结与评价等步骤完成任务的教学。每个学习情境均用Proteus进行仿真实现,教、学、做一体化,充分调动学生学习的积极性,使学生具备综合运用所学知识和技能完成小型实用数字电子电路的设计、安装与调试的能力。

本书可作为高等院校电类各专业的教学和实验用书,也可供相关工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

数字电子电路分析与应用/黎小桃,余秋香主编. —北京:北京理工大学出版社, 2014. 1

ISBN 978 - 7 - 5640 - 8707 - 4

I. ①数… II. ①黎… ②余… III. ①数字电路 - 电路分析 - 高等学校 - 教材
IV. ①TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第311558号



出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京地质印刷厂

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/16.5

字 数/380千字

版 次/2014年1月第1版 2014年1月第1次印刷

定 价/38.00元

责任编辑/陈莉华

文案编辑/陈莉华

责任校对/周瑞红

责任印制/马振武

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

Foreword 前言

本书是围绕高等院校的办学特色,依据行业企业需求与岗位能力要求,按照“校企合作,学习情境引导,任务驱动,教、学、做一体化”的原则而编写的。本书可作为高等院校电类各专业的教学用书,也可供相关工程技术人员参考。

“数字电子电路分析与应用”课程是电类专业的一门核心课程,具有发展迅速、理论性强和实践性教学要求高的特点。经过几年的课程改革探索与实践,本课程采用基于典型工作任务的项目教学法,实施工作任务驱动,将专业理论知识贯穿于实践任务中,注重创新能力培养,强化实践能力训练,精心培育高素质技术技能人才。

本书将项目课程的特色贯穿始终,注重内容设置的实用性、可行性、科学性和实践性,遵循学生的认知规律,让学生“做中学”和“学中做”,教、学、做一体化,充分调动学习的主动性,激发学习热情。本书以任务为载体选择教学内容和技能训练,通过“任务导入、知识链接、任务实施、任务总结与评价”等步骤完成任务的教学。每个任务后增加了知识拓展和习题练习,用于巩固知识、开阔视野,提高分析与解决实际问题的能力。

全书共有6个学习情境,包括逻辑笔电路的制作与调试、数码显示电路的制作与调试、抢答器电路的制作与调试、报警器的制作与调试、数字电子钟的制作与调试、数字电压表的制作与调试等。每个任务都用 Proteus 进行仿真实现。

本书中电路图的元件符号和文字符号均采用国家标准。

本书由黎小桃、余秋香担任主编,廖斌、吴金华和王令剑参加了编写,全书由主编修改定稿。本书由林知秋教授担任主审,广州风标电子科技有限公司匡载华高级工程师对本书的编写工作进行了指导,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

学习情境一 逻辑笔电路的制作与调试	1
任务1 门电路基本知识	1
任务导入	1
知识链接	2
一、数制及其转换	2
二、编码	5
三、基本逻辑门电路	6
四、集成门电路	9
五、CMOS 门电路	12
六、集成门电路的使用	14
任务实施	15
集成门电路逻辑功能的测试与应用	15
任务总结	18
知识拓展	19
集成门电路使用中应注意的问题	19
习题训练	20
任务2 逻辑笔电路的设计与仿真	22
任务导入	22
知识链接	22
逻辑笔电路的工作原理	22
任务实施	24
逻辑笔电路的仿真	24
任务总结	28
知识拓展	28
Proteus 软件功能介绍	28
习题训练	31
任务3 逻辑笔电路的制作与调试	31
任务导入	31
知识链接	31
元器件检测	31
任务实施	31
一、逻辑笔电路组装	31

二、逻辑笔电路调试	32
三、逻辑笔电路的故障排除	32
任务总结	32
【学习情境评价】	33
知识拓展	34
发光二极管	34
习题训练	35
 学习情境二 数码显示电路的制作与调试	36
任务1 组合逻辑电路	36
任务导入	36
知识链接	36
一、逻辑代数	36
二、公式法化简逻辑函数	37
三、卡诺图法化简逻辑函数	38
四、组合逻辑电路的概述	41
五、加法器与比较器	44
六、编码器	46
七、译码器	49
八、数据分配器	51
九、数据选择器	52
任务实施	54
组合逻辑电路的设计与制作	54
任务总结	56
知识拓展	57
竞争与冒险	57
习题训练	58
任务2 数码显示电路的设计与仿真	60
任务导入	60
知识链接	60
数码显示电路的工作原理	60
任务实施	62
数码显示电路的设计与仿真	62
任务总结	63
知识拓展	64
几种常用的 LED 数码显示驱动器	64
习题训练	64
任务3 数码显示电路的制作与调试	65
任务导入	65

知识链接	65
元器件检测	65
任务实施	67
一、数码显示电路的组装	67
二、数码显示电路的调试	68
三、数码显示电路的故障排除	68
任务总结	69
【学习情境评价】	69
知识拓展	70
LCD 液晶显示器	70
习题训练	71
 学习情境三 抢答器电路的制作与调试	 73
任务1 触发器	73
任务导入	73
知识链接	73
一、触发器概述	73
二、RS 触发器	74
三、JK 触发器	78
四、D 触发器	81
五、T 触发器和 T' 触发器	83
六、钟控触发器的触发方式	84
任务实施	85
一、集成触发器的功能测试	85
二、触发器功能转化	87
三、集成触发器电路的应用	88
任务总结	90
知识拓展	90
常用触发器的逻辑符号	90
习题训练	91
任务2 抢答器电路的设计与仿真	92
任务导入	92
知识链接	92
一、抢答器概述	92
二、抢答器电路的组成部分	93
三、抢答器电路的工作原理	93
任务实施	93
电路仿真	93
任务总结	95

目 录

知识拓展	95
八路数字抢答器的设计	95
习题训练	98
任务3 抢答器电路的制作与调试	99
任务导入	99
知识链接	99
抢答器电路的故障排除	99
任务实施	99
一、任务分析	99
二、电路装配与测试	99
任务总结	100
【学习情境评价】	101
知识拓展	102
密码锁电路	102
习题训练	106
学习情境四 报警器的制作与调试	107
任务1 555 定时器及其应用	107
任务导入	107
知识链接	107
一、555 定时器电路	107
二、单稳态触发器	110
三、多谐振荡器	111
四、施密特触发器	113
任务实施	115
施密特触发器及其应用	115
任务总结	117
知识拓展	118
NE555 电路的应用	118
习题训练	121
任务2 报警器电路的设计与仿真	121
任务导入	121
知识链接	121
一、报警器概述	121
二、报警器电路的组成部分	121
三、报警器电路的工作原理	122
任务实施	123
一、报警器电路的设计	123
二、报警器电路的仿真	124

任务总结	124
知识拓展	125
单稳态触发器的应用	125
习题训练	125
任务3 报警器电路的制作与调试	126
任务导入	126
知识链接	126
一、报警器电路板的制作	126
二、报警器电路的故障排除	126
任务实施	127
一、任务分析	127
二、电路装配与测试	127
任务总结	128
【学习情境评价】	128
知识拓展	130
基于 555 温度报警器设计	130
习题训练	132
学习情境五 数字电子钟的制作与调试	133
任务1 计数器的分析与应用	133
任务导入	133
知识链接	134
一、时序逻辑电路的概述	134
二、时序逻辑电路的分析	135
三、计数器	137
四、寄存器	150
任务实施	154
一、二进制计数器的制作	154
二、十进制计数器的制作	155
任务总结	157
知识拓展	157
寄存器的应用	157
习题训练	160
任务2 数字电子钟电路的设计与仿真	162
任务导入	162
知识链接	163
一、数字电子钟概述	163
二、数字电子钟电路的组成部分	163
三、数字电子钟电路的工作原理	166

任务实施	171
数字电子钟电路的仿真	171
任务总结	171
知识拓展	173
时序逻辑设计的基本方法	173
习题训练	175
任务3 数字电子钟电路的制作与调试	175
任务导入	175
知识链接	175
一、数字电子钟电路的制作	175
二、数字电子钟电路的故障排除	177
任务实施	178
一、任务分析	178
二、电路装配与测试	179
任务总结	181
【学习情境评价】	181
知识拓展	182
音乐教室控制台的电路设计	182
习题训练	186
 学习情境六 数字电压表的制作与调试	188
任务1 A/D 转换器和 D/A 转换器的分析与应用	188
任务导入	188
知识链接	189
一、概述	189
二、A/D 转换器的构成	189
三、常用的集成 ADC 的应用	199
四、D/A 转换器的构成	202
五、常用的集成 DAC 的应用	207
任务实施	210
一、A/D 转换器的功能测试	210
二、D/A 转换器的功能测试	211
任务总结	213
知识拓展	214
低电压、低功耗高速流水线结构 A/D 转换器	214
习题训练	215
任务2 数字电压表电路的设计与仿真	217
任务导入	217
知识链接	217

一、数字电压表的特点与指标参数	217
二、数字电压表电路的组成部分	219
三、数字电压表电路的工作原理	224
任务实施	228
一、数字电压表电路的设计	228
二、数字电压表电路的仿真	233
任务总结	234
知识拓展	234
多量程万用表的制作	234
习题训练	236
任务3 数字电压表电路的制作与调试	236
任务导入	236
知识链接	237
一、数字电压表电路的制作	237
二、数字电压表电路的故障排除	241
任务实施	243
一、设计分析	243
二、电路装配与调试	244
任务总结	245
【学习情境评价】	246
知识拓展	247
数字电压表的使用	247
习题训练	249
参考文献	250

学习情境一

逻辑笔电路的制作与调试



情境描述

维修仪器时,经常需要对电路板的逻辑电路的输出状态进行判断,以便了解电路的工作情况和故障所在,以往一般都是用万用表来测量,此种方法在管脚多时非常不方便,而且万用表无法测出电路的高阻状态。逻辑笔则可快速测量出电路中有故障的芯片,本学习情境将要设计和制作一个简易的逻辑笔。本学习情境共包括三个任务,分别是门电路基本知识、逻辑笔电路的设计与仿真、逻辑笔电路的制作与调试。



学习目标

通过本情境的学习,要求:

- (1)具有数制和数制转换的基本知识,掌握 BCD 码的编码规律。
- (2)具备基本逻辑门、复合逻辑门的基本知识,能应用逻辑门电路进行简单电路的设计,熟悉集成逻辑门的参数。
- (3)能设计与制作简易逻辑笔电路。
- (4)能测试简易逻辑笔电路。
- (5)熟悉逻辑电路的故障排除方法,能根据故障现象,利用逻辑笔来找出故障点,排除故障。



学习情境内容

任务1 门电路基本知识



任务导入

数字信号是指在时间和幅值上都不连续,并取一定离散数值的信号。用数字信号进行传输、处理的电子电路称为数字电路。模拟信号通过模/数转换器,变成数字信号,就可用数字电路进行传输、处理。

在数字电路中,用于传递、加工和处理的信号是数字信号,这类信号在时间上和幅度上都是不连续变化的,即数字信号幅度的取值是离散的,也就是说,这类信号只是在某些特定时间内出现,例如计算机中传送的数据信号。

与模拟电路相比,数字电路具有以下显著的优点:

- (1)结构简单,便于集成化、系列化生产,成本低廉,使用方便。
- (2)抗干扰性强,可靠性高,精度高。
- (3)处理功能强,不仅可以实现数值运算,还可以实现逻辑运算和判断。
- (4)数字信号更易于存储、加密、压缩、传输和再现。

本任务主要介绍数制和数制转换、编码、基本逻辑门电路以及集成门电路等知识。



一、数制及其转换

数制是计数进位制的简称。日常生活中，人们最熟悉的是十进制，但是十进制并非唯一的计数方法，如一天等于二十四小时，一年等于十二个月。

1. 十进制

十进制数有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 这十个数码，通常把数制中所有的数码个数称为基数。十进制的基数为 10。它是逢十进位。

任意一个 N 位十进制的数可以展开为：

$$\begin{aligned}(N)_{10} &= K_{n-1} \times 10^{n-1} + K_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + K_0 \times 10^0 + K_{-1} \times 10^{-1} + \cdots + K_{-m} \times 10^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} K_i \times 10^i\end{aligned}\quad (1-1)$$

式(1-1)为十进制数的展开式。其中， i 表示位数， n 为整数位数， m 为小数位数， m 和 n 为正整数； K_i 表示第 i 位的数字，它可以是 0~9 十个数码中的任何一个； 10^i 表示以基数 10 为底的 i 次幂，我们称为第 i 位的权。

例如，2315.1 这个数可以写成：

$$(2315.1)_{10} = 2 \times 10^3 + 3 \times 10^2 + 1 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 1 \times 10^{-1}$$

2. 二进制

二进制数中只有 0 和 1 两个数码，它是逢二进位，各位的权是 2 的幂。

任意一个 N 位二进制数可以展开为：

$$(N)_2 = K_{n-1} \times 2^{n-1} + K_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + K_0 \times 2^0 + K_{-1} \times 2^{-1} + \cdots + K_{-m} \times 2^{-m}\quad (1-2)$$

例如，二进制数 10011.01 的展开式为：

$$\begin{aligned}(10011.01)_2 &= 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= (16 + 0 + 0 + 2 + 1 + 0 + 0.25)_{10} \\ &= (19.25)_{10}\end{aligned}$$

3. 八进制

八进制中只有 0~7 八个数码，它逢八进位，各位的权是 8 的幂。

任意一个 N 位八进制数可以展开为：

$$\begin{aligned}(N)_8 &= K_{n-1} \times 8^{n-1} + K_{n-2} \times 8^{n-2} + \cdots + K_0 \times 8^0 + K_{-1} \times 8^{-1} + \cdots + K_{-m} \times 8^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} K_i \times 8^i\end{aligned}\quad (1-3)$$

例如，八进制数 207.2 的展开式为：

$$\begin{aligned}(207.2)_8 &= 2 \times 8^2 + 0 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 2 \times 8^{-1} \\ &= (128 + 0 + 7 + 0.25)_{10} \\ &= (135.25)_{10}\end{aligned}$$

4. 十六进制

十六进制有 0~9、A、B、C、D、E、F 十六个数码，其中 10~15 分别用 A~F 表示，

逢十六进位，各位的权是 16 的幂。

任意一个 N 位十六进制数可以展开为：

$$\begin{aligned}(N)_{16} &= K_{n-1} \times 16^{n-1} + K_{n-2} \times 16^{n-2} + \cdots + K_0 \times 16^0 + K_{-1} \times 16^{-1} + \cdots + K_{-m} \times 16^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} K_i \times 16^i\end{aligned}\quad (1-4)$$

例如，十六进制数 12A.8 的展开式为：

$$\begin{aligned}(12A.8)_{16} &= 1 \times 16^2 + 2 \times 16^1 + 10 \times 16^0 + 8 \times 16^{-1} \\ &= (256 + 32 + 10 + 0.5)_{10} \\ &= (298.5)_{10}\end{aligned}$$

十六进制可以用字母“H”来表示。表 1.1 给出了一组各种进位制数间的对应关系。

表 1.1 各种进位制数间的对应关系

十进制	二进制	八进制	十六进制
0	0000	00	0
1	0001	01	1
2	0010	02	2
3	0011	03	3
4	0100	04	4
5	0101	05	5
6	0110	06	6
7	0111	07	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F

5. 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，分别按公式展开，就是二进制、八进制、十六进制转化成十进制的结果。例如：

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

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

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

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”。小数部分的转换方法为“乘 2 取整法”。

【例 1.1】将 $(302)_{10}$ 转换成二进制数。

【解】

2	302		
2	151	余数为：0= K_0	低位
2	75	余数为：1= K_1	
2	37	余数为：1= K_2	
2	18	余数为：1= K_3	
2	9	余数为：0= K_4	
2	4	余数为：1= K_5	
2	2	余数为：0= K_6	
2	1	余数为：0= K_7	
	0	余数为：1= K_8	高位

故二进制为 100101110，得 $(302)_{10} = (100101110)_2$

值得注意的是，最新除得的余数是最低位，而最后得到的余数为最高位。

3) 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

011	110	100	010
↓	↓	↓	↓
3	6	4	2

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 $(473)_8$ 转换成二进制为：

4	7	3
↓	↓	↓
100	111	011

即 $(473)_8 = (100111011)_2$ 。

4) 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:

0010	1101	0011	1100
↓	↓	↓	↓
2	D	3	C

即 $(10110100111100)_2 = (2D3C)_{16}$ 。

反之, 将 $(3AF6)_{16}$ 转换成二进制为:

3	A	F	6
↓	↓	↓	↓
0011	1010	1111	0110

即 $(3AF6)_{16} = (11101011110110)_2$ 。

二、编码

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。表 1.2 列出了几种常用的 BCD 码。

表 1.2 几种常用的 BCD 码

十进制	8421 码	2421 (A) 码	2421 (B) 码	5421 码	余 3 码	格雷码
0	0000	0000	0000	0000	0011	0000
1	0001	0001	0001	0001	0100	0001
2	0010	0010	0010	0010	0101	0011
3	0011	0011	0011	0011	0110	0010
4	0100	0100	0100	0100	0111	0110
5	0101	0101	1011	1000	1000	0111
6	0110	0110	1100	1001	1001	0101
7	0111	0111	1101	1010	1010	0100
8	1000	1110	1110	1011	1011	1100
9	1001	1111	1111	1100	1100	1101
权	8421	2421	2421	5421	无权	无权

1. 二-十进制代码

用四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, 从中抽出十种组合表示 0~9 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有 8421BCD 码、2421 码、5211 码、余 3 码(无权码)。最常用的是 8421BCD 码, 将十进制数的每一位用一个二进制数来表示, 这个 4 位的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，若将每个代码看做是 4 位二进制数，不过从左向右每位的 1 表示 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 中的 0 和 9 码，1 和 8 码，2 和 7 码，3 和 6 码，4 和 5 的代码均互为反码（即代码的每一位 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，且自左向右每位的 1 分别为 8、4、2、1，则等值的十进制数比它所表示的十进制数多 3，所以称余 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的一种常用代码。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，他有多种代码形式，其中最常用的一种是循环码。

三、基本逻辑门电路

数字电路中的“逻辑”是指数字电路的输入信号与输出信号之间存在一定的因果关系，即存在逻辑关系。

1. 基本逻辑运算

数字电路中最基本的逻辑关系有三种：与逻辑、或逻辑和非逻辑，它们可以由相应的逻辑电路实现。

1) 与逻辑（逻辑乘）

只有决定某一事件的所有条件全部具备，这一事件才能发生，这种因果关系称为与逻辑。

在图 1.1(A) 所示的电路中，只有当开关 A 与 B 都闭合时灯 Y 才亮，否则灯就不亮。假设以“1”表示开关闭合或灯亮；以“0”表示开关断开或灯灭，则可得表 1.3，这种用逻辑变量的可能出现的取值组合判断相应结果的表格称为真值表。

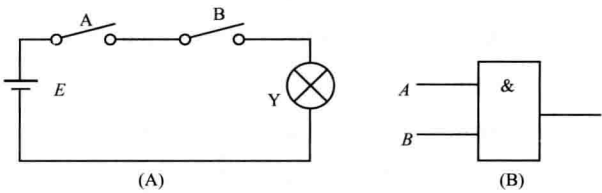


图 1.1 与逻辑电路与逻辑符号
(A) 与逻辑电路；(B) 与逻辑符号

表 1.3 与逻辑真值表

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1