

高等职业教育电子技术技能培养规划教材

Gaodeng Zhiye Jiaoyu Dianzi Jishu Jineng Peiyang Guihua Jiaocai

数字电子技术

孙余凯 郭亚红 主编



Digital Electronic Technology

降低理论难度，内容通俗易懂

引入任务教学，激发学习兴趣

提供设计项目，培养工作技能



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

高等职业教育电子技术技能培养规划教材
Gaodeng Zhiye Jiaoyu Dianzi Jishu Jineng Peiyang Guihua Jiaocai

数字电子技术

孙余凯 郭亚红 主编



Digital Electronic
Technology

人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术 / 孙余凯, 郭亚红主编. -- 北京 :
人民邮电出版社, 2010.10
高等职业教育电子技术技能培养规划教材
ISBN 978-7-115-23219-9

I. ①数… II. ①孙… ②郭… III. ①数字电路—电
子技术—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第146715号

内 容 提 要

本书采用单元模块的方式安排全书内容, 每个单元包括任务导入、相关知识及相关技能, 引导学生在实践中培养动手能力, 在操作中消化理解相关理论知识, 使学生由表及里、由浅入深、循序渐进地学会应用电子技术必备的基本知识。

本书详细介绍常用数字电路基础知识, 重点讲解了组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲信号产生和变换电路、D/A 转换与 A/D 转换电路的组成、原理及应用。

本书可作为高职高专院校电子类专业的教材, 还可供电子产品开发及生产技术人员和广大电子爱好者学习参考。

高等职业教育电子技术技能培养规划教材

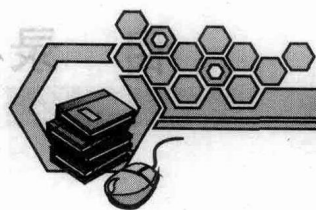
数字电子技术

-
- ◆ 主 编 孙余凯 郭亚红
责任编辑 赵慧君
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市海波印务有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 13 2010 年 10 月第 1 版
字数: 329 千字 2010 年 10 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-23219-9

定价: 26.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154



本书是参照高等职业技术教育电子信息类专业的实际要求编写而成的。在编写过程中,力图把内容的重点放在培养分析问题和解决问题的能力上,其目的就是要使学生具有会看、会分析、会检测、会动手安装调试的技能。

1. 会看

所谓会看,就是能看懂典型数字电子设备的电路原理图,了解各部分的组成及其工作原理。因此,本书加强了基本概念和各种类型的基本数字单元电路的介绍,并在相关技能环节中对每一种数字电路原理图专门进行了识图指导,通过对各种数字电子电路图的识读,引导学生逐渐学会识读数字电子电路图的技能,为看懂更加复杂的数字电子电路图打下良好的基础。

2. 会分析

所谓会分析,就是对基本数字单元电路的工作性能会进行定性的分析或定量的分析和估算。为此,本书加强了基本原理和基本分析方法的介绍。

3. 会检测与会动手组装调试

这是本书的重点,其目的是使读者会选用有关的元器件,会安装最简单的数字电子装置。为此,在每一单元专设了一节进行专门的介绍,并对安装方面的问题进行了指导,以培养实际动手能力,使学生对数字器件的组装和调试方法有一个初步的较全面的了解,为今后安装调试更加复杂的数字电子设备打下良好的基础。

4. 培养实际动手能力

本书最大的特点是基本理论与实际动手能力相结合,是按照企业对高技能人才需要的特点编写而成的。书中将高等职业技术教育数字电子技术课程内容与电子技术行业技能培训大纲相结合,其目的就是为了培养既有学历,又有专业技能的复合型人才,对提高毕业生岗位技能及就业竞争力都具有重要意义。

本书由孙余凯、漯河职业技术学院郭亚红主编,孙余凯、项绮明、吴永平统稿。其中,郭亚红编写了第2单元、第3单元,吴永平编写了第6单元。参加本书编写的人员还有刘忠德、王国太、项宏宇、常乃英、孙余明、刘忠梅、陈芳、项天任、王华君、陈帆、周志平等。

本书在编写过程中,参考了大量的国内外有关数字电子技术方面的期刊、书籍及资料,在这里谨向有关单位和作者一并致谢。同时对给予我们支持和帮助的有关专家深表谢意。

限于编者水平,书中难免存在不足之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2010年7月

第 1 单元 数字电路基础知识 1

第一部分 任务导入 1

第二部分 相关知识 2

1.1 数字电路概述 2

1.1.1 什么是数字电路 3

1.1.2 数字电路的优点 3

1.1.3 数字电路与脉冲电路的
异同 3

1.1.4 数字电路的类型 4

1.2 计数体制 4

1.2.1 十进位计数制 4

1.2.2 二进位计数制 5

1.2.3 常用进位计数制之间的
对应关系 61.2.4 二进制数转换为
十进制数 71.2.5 十进制数转换为
二进制数 7

1.3 码制 8

1.3.1 8421 码 8

1.3.2 2421 码 9

1.3.3 余 3 码 10

1.3.4 码制说明 10

1.4 逻辑代数基础 10

1.4.1 三种基本逻辑关系 11

1.4.2 复合逻辑 11

1.4.3 逻辑代数基本定律 11

1.4.4 逻辑代数的常用公式 12

1.4.5 逻辑代数的 3 个基本
法则 12

1.4.6 逻辑函数标准表达式 13

1.5 逻辑函数的化简 16

1.5.1 公式化简法 16

1.5.2 卡诺图化简法 17

1.6 数字逻辑门电路 21

1.6.1 逻辑状态的表示方法 21

1.6.2 与门电路 22

1.6.3 或门电路 23

1.6.4 非门电路 24

1.6.5 复合逻辑门电路 25

1.6.6 常用集成 CMOS 门电路
功能及应用说明 26

1.6.7 门电路的性能指标 28

第三部分 相关技能 29

1.7 数字 TTL 门电路使用常识 29

1.8 数字 CMOS 门电路使用常识 31

1.9 数字逻辑门集成电路的检测 33

1.10 读识与安装触摸 LED 追逐
电路 361.11 读识与安装音乐电子门铃
电路 37

习题 38

第 2 单元 组合逻辑电路 40

第一部分 任务导入 40

第二部分 相关知识 42

2.1 组合逻辑电路的特点与组成 42

2.1.1 组合逻辑电路的特点 42

2.1.2 组合逻辑电路的组成 42

2.2 组合逻辑电路的分析方法 43

2.2.1 组合逻辑电路分析
方法与步骤 432.2.2 组合逻辑电路分析
实例 43

2.3 组合逻辑电路的设计方法 45



2.3.1 组合逻辑电路的设计 方法与步骤.....45	触发器..... 74
2.3.2 组合逻辑电路的设计 方法实例.....46	3.2.2 或非门式基本 RS 触发器..... 76
2.4 常用加法器.....47	3.3 同步触发器..... 77
2.4.1 半加器.....47	3.3.1 同步触发器的同步信号... 77
2.4.2 全加器.....48	3.3.2 同步 RS 触发器..... 77
2.5 编码器.....49	3.3.3 同步 D 触发器..... 80
2.5.1 编码器的基本概念..... 50	3.3.4 同步 JK 触发器..... 82
2.5.2 二十进制编码器电路..... 50	3.3.5 T 触发器..... 84
2.5.3 编码器设计实例..... 51	3.3.6 T' 触发器..... 84
2.6 译码器..... 53	3.4 边沿触发器..... 85
2.6.1 译码器基本概念..... 53	3.4.1 边沿触发器的逻辑符号... 85
2.6.2 常见数码显示器..... 54	3.4.2 边沿触发器的工作原理... 85
2.6.3 二十进制译码器..... 55	3.5 主从触发器..... 88
2.6.4 七段字形译码器..... 56	3.5.1 主从 RS 触发器..... 88
2.7 数据选择器与数据分配器..... 57	3.5.2 主从 JK 触发器..... 90
2.7.1 数据选择器..... 57	3.6 触发器的转换..... 91
2.7.2 数据分配器..... 59	3.6.1 D 触发器转换为 RS 触发器的方法..... 91
2.8 组合逻辑电路的竞争冒险 现象..... 61	3.6.2 D 触发器转换为 JK 触发器的方法..... 92
2.8.1 竞争冒险产生的原因..... 61	3.6.3 D 触发器转换为 T 触发器的方法..... 92
2.8.2 竞争冒险的判断方法..... 62	3.6.4 D 触发器转换为 T' 触发器的方法..... 93
2.8.3 竞争冒险的消除方法..... 64	3.6.5 JK 触发器转换为 RS 触发器的方法..... 93
第三部分 相关技能..... 65	3.6.6 JK 触发器转换为 D 触发器的方法..... 93
2.9 读识与安装逻辑电平检测 显示电路..... 65	3.6.7 JK 触发器转换为 T 触发器的方法..... 94
2.10 读识与安装调压、调功控制 电路..... 66	3.6.8 JK 触发器转换为 T' 触发器的方法..... 94
习题..... 69	3.6.9 需要说明的问题..... 94
第 3 单元 触发器..... 71	3.6.10 常用集成电路 CMOS 触发器的功能及应用 说明..... 94
第一部分 任务导入..... 71	第三部分 相关技能..... 96
第二部分 相关知识..... 72	3.7 数字触发器电路使用常识..... 96
3.1 触发器的特点及类型..... 72	
3.1.1 触发器的特点..... 73	
3.1.2 触发器的类型..... 73	
3.2 基本 RS 触发器..... 73	
3.2.1 与非门式基本 RS	



3.8 基本 RS 数字触发器的检测 方法.....	96	4.4.7 二进制同步减法 计数器.....	118
3.9 基本数字 JK 触发器功能检测	97	4.4.8 同步二进制计数器的 级间连接方式	118
3.10 基本数字 D 触发器功能 检测.....	98	4.5 异步计数器	119
3.11 读识与安装计时电路.....	99	4.5.1 异步计数器逻辑功能 分析方法	119
3.12 读识与安装可调光电路.....	100	4.5.2 三位异步二进制加法 计数器.....	121
习题	101	4.5.3 异步四位二进制加法 计数器.....	123
第 4 单元 时序逻辑电路	103	4.5.4 异步四位二进制减法 计数器.....	125
第一部分 任务导入	103	4.6 数字计数/脉冲分配器 4017 集成电路	127
第二部分 相关知识	105	4.6.1 计数器 4017 电路特点	127
4.1 时序逻辑电路的组成及特点	105	4.6.2 计数器 4017 电路类型	128
4.1.1 时序逻辑电路的组成	105	4.6.3 计数器 4017 电路的 同类产品	128
4.1.2 时序逻辑电路的类型	105	4.6.4 数字计数器 4017 的 封装与引脚功能	128
4.1.3 时序逻辑电路的特点	106	4.6.5 数字计数器 4017 的 主要参数	129
4.2 寄存器	106	4.6.6 数字计数器 4017 电路的 应用说明	129
4.2.1 基本寄存器	106	4.6.7 数字计数器 4017 构成的 倒计时电路	130
4.2.2 普通移位寄存器	107	4.6.8 数字计数器 4017 构成的 十七进制计数电路	130
4.3 数字计数器基本知识	109	4.6.9 数字计数器 4017 构成的 0 ~ 999 计数电路	132
4.3.1 计数器的工作特点	109	4.6.10 数字计数器 4017B 构成的 24 分频计数电路	133
4.3.2 计数电路的类型	110	4.6.11 数字计数器 4017 构成的 采用 RS 触发器同步的 60 分频计数电路	135
4.3.3 计数器逻辑功能表示 方法	111	4.6.12 数字计数器 4017 构成的 60 分频计数电路	136
4.3.4 计数时序的基本概念	111	4.6.13 数字计数器 4017 构成的	
4.3.5 计数器的构成	112		
4.4 同步计数器	112		
4.4.1 同步计数器逻辑功能 分析方法	112		
4.4.2 一位二进制同步 计数器	115		
4.4.3 二位二进制同步加法 计数器	115		
4.4.4 三位二进制同步加法 计数器	116		
4.4.5 四位二进制同步加法 计数器	117		
4.4.6 2^n 进制同步加法 计数器	118		



1~9 计数电路·····	137	5.4.2 集成电路与非门式多谐 振荡电路·····	160
4.6.14 数字计数器 4017 构成的 0~6 计数显示电路·····	138	5.4.3 集成电路非门式多谐 振荡电路·····	160
第三部分 相关技能 ·····	140	5.4.4 集成电路或非门式多谐 振荡电路·····	161
4.7 数字计数器电路使用常识·····	140	5.4.5 石英晶体多谐振荡 电路·····	161
4.8 计数器 4017 质量的检测·····	141	5.5 时基集成电路·····	162
4.9 读识与安装可调时间定时 插座·····	143	5.5.1 TTL 型 555 集成电路 内电路方框图·····	162
4.10 读识与安装多路报警电路·····	143	5.5.2 CMOS 型 555 集成电路 内电路方框图·····	163
4.11 读识与安装模拟声产生 电路·····	144	5.5.3 555/556 时基集成 电路的类型·····	163
习题 ·····	145	5.5.4 时基电路的封装·····	165
第 5 单元 脉冲信号产生和变换 电路 ·····	147	5.5.5 时基电路引脚功能·····	165
第一部分 任务导入 ·····	147	5.5.6 时基电路单稳工作 方式·····	166
第二部分 相关知识 ·····	148	5.5.7 时基电路双稳工作 方式·····	167
5.1 数字电路常用的脉冲信号·····	148	5.5.8 时基电路无稳工作 方式·····	169
5.1.1 数字电路常用脉冲 信号的类型·····	149	5.5.9 时基电路压控振荡器·····	170
5.1.2 矩形脉冲信号主要 参数说明·····	149	5.6 数字计数器 4017 构成的波形 产生电路·····	171
5.1.3 脉冲信号的获取方法·····	150	5.6.1 数字计数器 4017 构成的 50Hz 方波发生电路·····	171
5.2 单稳态触发器·····	150	5.6.2 数字计数器 4017 构成的 随机脉冲信号源产生 电路·····	173
5.2.1 分立元件微分型单稳 电路·····	151	5.6.3 数字计数器 4017 构成的 1kHz 波形产生电路·····	174
5.2.2 集成块微分型单稳 电路·····	151	第三部分 相关技能 ·····	175
5.2.3 单稳态触发器的应用·····	153	5.7 读识脉冲电路图指导·····	175
5.3 双稳态触发器·····	154	5.8 时基集成电路使用常识·····	175
5.3.1 分立元器件集-基耦合 双稳电路·····	154	5.9 时基集成电路的检测方法·····	179
5.3.2 集成电路施密特 触发器·····	155	5.10 读识与安装土壤缺水告知 电路·····	180
5.3.3 集成施密特触发器的 应用·····	156		
5.4 多谐振荡电路·····	158		
5.4.1 分立元器件集-基耦合 无稳态振荡电路·····	158		



5.11 读识与安装双闪灯电路.....	181	指标	188
习题.....	182	6.3 A/D 转换器.....	189
第 6 单元 D/A 转换与 A/D 转换	184	6.3.1 A/D 转换原理方框图	189
第一部分 任务导入.....	184	6.3.2 A/D 转换基理	189
第二部分 相关知识.....	186	6.3.3 逐次逼近型 A/D 转换器 工作原理.....	192
6.1 D/A 转换与 A/D 转换基本 知识.....	186	6.3.4 双积分型 A/D 转换器 工作原理.....	193
6.1.1 D/A 转换与 A/D 转换 方框图	186	6.3.5 A/D 转换器主要性能 指标	194
6.1.2 D/A 转换与 A/D 转换 基理.....	186	第三部分 相关技能	195
6.2 D/A 转换器	187	6.4 D/A 转换集成电路使用常识	195
6.2.1 D/A 转换工作原理 方框图	187	6.5 A/D 转换集成电路使用常识	196
6.2.2 D/A 转换器的工作 原理.....	187	6.6 读识与安装数字显示温度 自动检测控制电路	196
6.2.3 D/A 转换器主要性能		6.7 读识与安装数字万用表 A/D 转换电路.....	197
		习题.....	199

第1单元

数字电路基础知识

第一部分 任务导入

数字电路是电子技术的另一大类,广泛应用于各个领域的各种电子电路之中。图 1-1 所示为由数字集成块构成的触摸 LED 追逐电路。该电路主要是由数字门 (如 IC1) 与数字计数器 (如 IC2) 共同构成的。

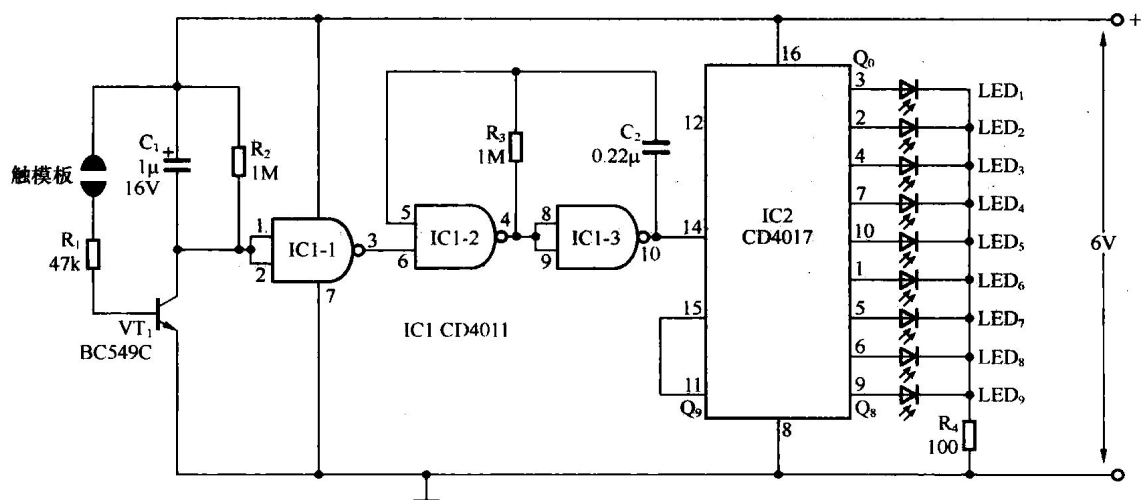


图 1-1 数字集成块构成的触摸 LED 追逐电路



图 1-2 所示为由数字集成块构成的音乐电子门铃电路。该电路也是由数字门 (IC1) 与数字计数器 (IC2) 共同构成的。

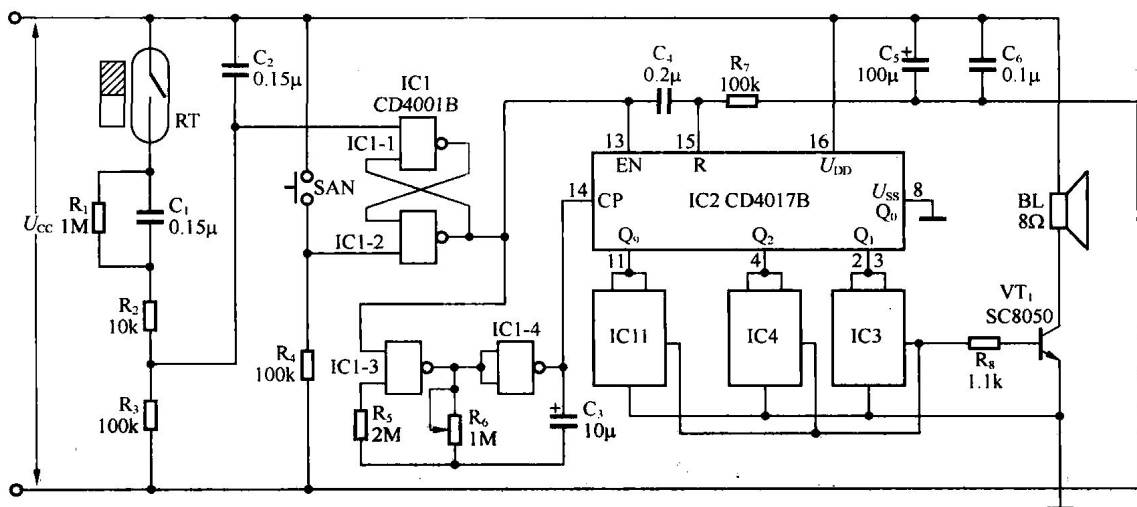


图 1-2 数字集成块构成的音乐电子门铃电路

除了以上两种实际应用外, 数字电路还广泛应用于自动控制与调节系统、自动检测系统的放大组件、组合仪表以及其他各种电子、电气等设备中。

在数字系统中, 逻辑代数是分析、设计数字电路的工具; 数字门电路是构成数字电路的基本逻辑单元, 也是电子工程技术人员必须要掌握的重要基础知识之一。只有了解和熟悉逻辑代数的各种基本公式、基本规则, 了解和熟悉数字门电路的功能和特性, 才能在实际数字电子电路中正确选择和合理使用它们, 才能设计出实用、可靠、功能完善和经济指标好的数字电路。对于已经设计出来的数字电路图, 只有对各种数字门电路的作用、电路图形符号、特点比较熟悉才能读懂它。

本单元的学习任务如下。

- ① 对于常用逻辑代数的基本公式及基本规则应熟练掌握。
- ② 对于描述逻辑函数常用的逻辑表达式、逻辑函数真值表、逻辑图、卡诺图等, 应能初步掌握它们的描述方法, 熟悉它们之间相互转换的方法。
- ③ 了解和熟悉各种数字门电路的类型, 对于常用数字门电路的逻辑功能、电路图形符号、特性应能熟练掌握, 以便于正确选择和合理使用它们。

本单元的学习中, 对于各种逻辑公式重在理解, 但应注意与普通代数式加以区别。对于数字电路中常用的数字门电路的内部结构并不需要去记忆, 重点要放在理解这些数字门电路的逻辑功能原理、性能特点, 掌握这些数字门电路的结构和连接方式。

第二部分 相关知识

1.1 数字电路概述

数字电路是处理数字信号并能完成数值运算的电路。在电子计算机、电动机、通信设备、自



动控制、雷达、家用电器、日用电子小产品、汽车电子等许多领域得到了广泛的应用。

1.1.1 什么是数字电路

电信号通常分为模拟信号和数字信号两类,模拟信号是连续变化的,而数字信号是断续变化(即离散)的。处理加工数字信号的电路称为数字电路。

1. 数字电路的特点

数字信号目前常取二值信息,它用两个有一定数值范围的高、低电平来表示,也可用两个不同状态的逻辑符号如“1”或“H”和“0”或“L”来表示。典型的数字信号波形是具有一定幅度的矩形波,当它作用在某些电子电路上时,其半导体器件就会在截止与导通(或饱和)状态下工作,这和模拟信号作用于电路时器件工作在线性放大状态相比有根本的不同。

2. 数字电路的组成

数字电路组成的一般框图如图 1-3 所示,其数据输入与输出的信号以及控制与操作的变量都是数字信号。

图 1-3 中含有对数字信号进行传送、逻辑运算、控制、计数、寄存、显示以及信号的产生、整形、变换等不同功能的数字部件。

在数字电路中,电压或电流通常只有两个状态:高电平或低电平,有电流或无电流。数字信号通常是以时间上或空间上的 0、1 符号序列来表示。数字电路输入与输出的 0、1 符号序列间的逻辑关系就是数字电路的逻辑功能。因此,数字电路也可以认为是实现各种逻辑关系的电路。

数字电路通常由逻辑门、触发器、计数器及寄存器等逻辑部件构成,可以用来对数字信号进行传送、逻辑运算、控制、计数、寄存、显示以及信号的产生、整形、变换等。

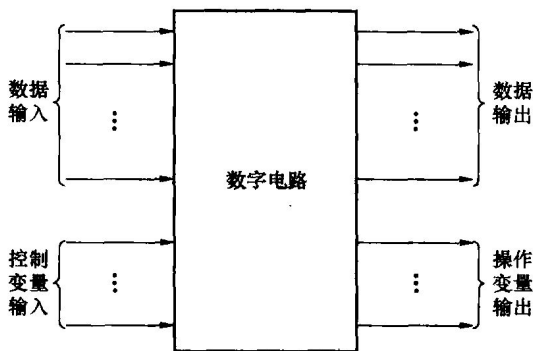


图 1-3 数字电路组成的一般方框图

1.1.2 数字电路的优点

数字电路的优点很多,归纳起来主要有以下几方面。

- ① 数字电路结构简单,器件容易制造、便于集成、系列化生产且成本低廉,使用方便。
- ② 由数字电路组成的数字系统,工作准确、稳定可靠、精度高、信息容量大、运算速度快。
- ③ 数字电路不仅能完成数值运算,还可以进行逻辑运算与判断,在控制系统中这是不可少的,因此又把数字电路称作“数字逻辑电路”。

1.1.3 数字电路与脉冲电路的异同

脉冲信号是短促的断续作用的电压或电流信号,图 1-4 所示为常见的脉冲信号波形。除正弦波和它的合成信号外,其他形式的信号都属于脉冲信号。在这个意义上,数字电路也是一种脉冲电路。但一般脉冲电路主要是研究脉冲波形的产生、放大、变换、整形和传输,而数字电路则重



点研究电路输入与输出变量之间的逻辑关系, 以及如何用各种基本逻辑单元来实现具有逻辑和数值运算功能的电路。

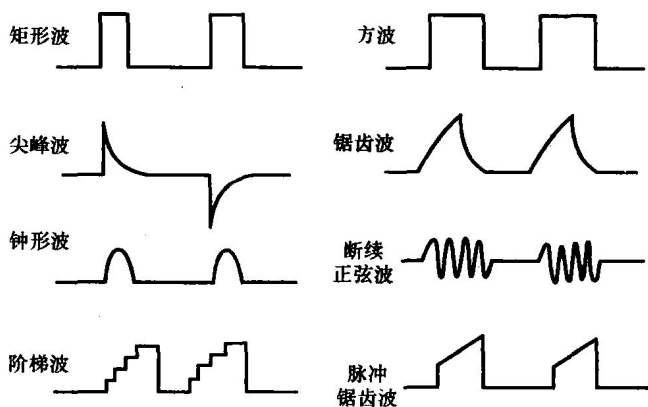


图 1-4 常见的脉冲信号波形示意图

1.1.4 数字电路的类型

数字电路根据分类方式的不同, 通常有以下几种分类方法。

1. 按电路组成结构分类

数字电路按其电路的组成结构分类, 可分为分立组件和集成电路两类。其中集成电路按集成度 (在一块硅片上包含的逻辑门电路或组件的数量) 分为小规模集成 (SSI)、中规模集成 (MSI)、大规模集成 (LSI) 和超大规模集成 (VLSI) 电路。

2. 按所用器件分类

数字电路按电路所用器件分类, 可分为双极型 (如 DTL、TTL、ECL、IIL、HTL) 和单极型 (如 NMOS、PMOS、CMOS) 电路。

3. 按逻辑功能分类

数字电路按其逻辑功能分类, 可分为组合逻辑电路和时序电路两大类。

思考与问题

(1) 模拟信号是_____的电信号, 数字信号是指_____的_____的电信号。(填空)

(2) 不连续变化的阶跃信号通常称为_____。

a. 模拟信号 b. 数字信号 c. 既可能为模拟信号, 又可能是数字信号

1.2 计数体制

计数体制即计数的方法。在生产实践中, 人们习惯各种计数方法, 如二进制、十进制、十六进制等, 但平时最常用的是十进制数, 而在数字电路中经常使用的是二进制和十六进制。

1.2.1 十进制计数制

十进制计数制即十进制, 是人们最熟悉的一种进位计数制。十进制计数制是目前国际上通用



的计数制。

1. 十进制数的数码

十进位计数制简称十进制数,采用10个数字符号,即0,1,2,3,⋯,9。这些数字符号称为数码(或数字)。任何一个十进制数均由这10个数码来表示。

2. 十进制数的计数原则

十进制数的计数原则是:逢10进1,借1当10。

例如,十进制数3743.3由5位数字组成,小数点左边有4位,右边有1位。这个数实际上是由以下多项式缩写而成的,即

$$3743.3 = 3 \times 10^3 + 7 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 3 \times 10^{-1}$$

依此类推,任何一个 n 位整数、 m 位小数的十进制数 $(N)_{10}$ 均可记为

$$(N)_{10} = (a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + a_1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0 + a_{-1} \times 10^{-1} + \cdots + a_{-m} \times 10^{-m})$$

其值为

$$(N)_D = (N)_{10} = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i \quad (1-2-1)$$

式中, a_i 为十进制数中第 i 位的值,它可以是0~9中的任何一个;

10^i 为第 i 位的权(也称为位权),10为进位的基数,也就是基本计数符号的个数;

n, m 均为正整数, n 代表整数位数, m 代表小数位数;

$(N)_{10}$ 的下标10表示十进制,也可以用D表示。

1.2.2 二进制计数制

在现代数字系统中,应用较多的是二进制计数制,简称二进制数。

1. 二进制数的数码

在二进制计数中,每个数字只能有两个不同的取值,即“0”和“1”。任何一个二进制数均由这两个数码来表示。

2. 二进制数的计数原则

二进制数的计数原则是:逢2进1,借1当2。

一个二进制数也可以用类似十进制数按权展开的方法展开。例如, $(1110.11)_2$ 可以写成

$$(1110.11)_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

依此类推,任何一个 n 位整数、 m 位小数的二进制数 $(N)_2$ 均可记为

$$(N)_2 = b_{n-1} \times 2^{n-1} + b_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + b_1 \times 2^1 + b_0 \times 2^0 + b_{-1} \times 2^{-1} + \cdots + b_{-m} \times 2^{-m}$$

$$\text{其值为 } (N)_B = (N)_2 = \sum_{i=-m}^{n-1} b_i \times 2^i \quad (1-2-2)$$

式中, b_i 为二进制数中第 i 位的值,可以是0或1;

2^i 为第 i 位的权(也称为位权),2为进位的基数;

n, m 均为正整数, n 代表整数位数, m 代表小数位数;

$(N)_2$ 的下标2表示二进制数,也可以用B表示。

3. 二进制数运算规则

在二进制数中仅有0、1两个数码,相应的运算规则也比较简单。表1-1所示为二进制数的运



算规则。

表 1-1

二进制数的运算规则

加 法	减 法	乘 法
$0+0=0$	$0-0=0$	$0 \times 0=0$
$1+0=0+1=1$	$1-0=0-1=1$ (借 1 当 2)	$1 \times 0=0 \times 1=0$
$1+1=10$ (向高位进位)	$1-1=0$	$1 \times 1=1$

1.2.3 常用进位计数制之间的对应关系

一个数从一种进位计数制表示法转换成另一种进位计数制表示法，称为数制转换。

二进制数、八进制数、十六进制数及十进制数是现代数字系统中常用的 4 种数制。这几种进位计数制之间的对应关系如表 1-2 所示。

表 1-2

常用进位计数制之间的对应关系

十 进 制 数	二 进 制 数	八 进 制 数	十六进制数
0	0	0	0
1	1	1	1
2	10	2	2
3	11	3	3
4	100	4	4
5	101	5	5
6	110	6	6
7	111	7	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
16	10000	20	10
17	10001	21	11
18	10010	22	12
19	10011	23	13
20	10100	24	14
32	100000	40	20
50	110010	62	32
60	111100	74	3C
64	1000000	100	40
100	1100100	144	64
255	1111111	377	FF
1000	1111101000	1750	3E8

注：A、B、C、D、E、F 代表十六进制的 10、11、12、13、14、15 数



1.2.4 二进制数转换为十进制数

二进制数转换为十进制数的方法,是利用式(1-2-2)将二进制数按权展开,然后将所有各项的数值按十进制数相加即得。

例 1-1 把二进制数 $(101101.01)_B$ 转换成十进制数 $(N)_D$ 。

解:按权展开后计算得

$$(101101.01)_B = 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = (45.25)_D$$

1.2.5 十进制数转换为二进制数

十进制数转换为二进制数时,需要将十进制数的整数部分和小数部分分别进行转换,最后再将转换结果相加即可得到完整的转换结果。

1. 整数部分的转换

整数部分的转换采用除以 2 取余法,也就是将十进制整数逐次除以 2,并依次记下余数,一直除到商为零时结束,就得到等值的二进制数。

例 1-2 将 $(47)_D$ 转换成等值的二进制数。

解:

	余数	读数方向
2 47		
2 23	1	低位
2 11	1	
2 5	1	
2 2	1	
2 1	0	
0	1	高位

由此可得 $(47)_D = (101111)_B$ 。

2. 小数部分的转换

小数部分的转换采用乘以 2 取整法,也就是将十进制数的小数逐次乘以 2 (每次只将小数部分乘以 2) 并依次记下整数,然后把全部整数按次序排列起来,即可得到等值的二进制数。

例 1-3 将 $(0.39)_D$ 转换为等值的二进制数小数。

解:按照乘以 2 取整法进行转换,即

整数部分		读数方向
0.39 × 2 = 0.78	(取出整数部分 0, 小数部分继续乘以 2)	高位 ↓ 低位
0.78 × 2 = 1.56	(取出整数部分 1, 小数部分继续乘以 2)	
0.56 × 2 = 1.12	(取出整数部分 1, 小数部分继续乘以 2)	
0.12 × 2 = 0.24	(取出整数部分 0, 小数部分继续乘以 2)	
.....		



由此即得 $(0.39)_D = (0.0110)_B$, 误差 $\leq 2^{-3}$ 。如果精度要求较高, 如 10 位, 则上述乘以 2 的过程一直继续下去, 直到达到所需 10 位数为止。

3. 需要说明的问题

对于一个既有整数部分又有小数部分的十进制数转换成二进制数时, 则要将其整数部分采用除以 2 取余法转换成二进制数的整数, 将其小数部分采用乘以 2 取整法转换成二进制数的小数, 然后将二进制数的整数部分和小数部分合并即可得到等值的二进制数。

二进制数转换为十进制数时, 可以完整地进行转换; 但十进制数转换为二进制数时, 有时不能完全转换, 只能达到一定的精度。

例 1-4 将 $(47.39)_D$ 转换为等值的二进制数。

解: $(47.39)_D$ 包含整数部分和小数部分, 分别采用除以 2 取余法和乘以 2 取整法对整数和小数部分进行转换。根据上面的转换结果, 可以得到

$$(47.39)_D = 47 + 0.39 = 101111 + 0.0110 = (101111.011)_B$$

思考与问题

(1) $(10110101)_B$ 代表的十进制数为_____。

a. 181 b. 191 c. 171 d. 201

(2) $(47)_D$ 的二进制数为_____。

a. 110111 b. 111011 c. 111001 d. 101101 e. 101111 f. 101011

(3) 用 10 的幂的形式写出数 $(11538)_D$ 。

1.3 码制

数码除了可以表示量的大小之外, 有时还可以用来表示不同的事物, 也就是不同的数码可以表示不同的事物。当用数码为代号来表示不同的事物时, 称其为代码。不同的代码都有一定的规则, 通常将这些规则称为码制。

人们较熟悉的是十进制代码, 而数字系统中是以二进制代码为处理对象的, 进而就产生了一种利用四位二进制数表示一位十进制数的计数方式, 将这种表示十进制数的四位二进制代码称为二-十进制代码 (Binary Coded Decimal), 简称为 BCD 码。常见的 BCD 码有以下几种。

1.3.1 8421 码

8421 码是最基本最常用的 BCD 码, 是一种有权码或加权码。其权值由高到低分别为 $8(2^3)$, $4(2^2)$, $2(2^1)$, $1(2^0)$ 。假设 8421 码为 $a_3a_2a_1a_0$, 则一位十进制数 $(N)_D$ 可表示为

$$(N)_D = 8a_3 + 4a_2 + 2a_1 + 1a_0$$

必须说明的是, 在 8421 码中不允许出现 1010 ~ 1111 六种编码, 因为在十进制数中没有单个的数字符号与它们对应。

任何一个十进制数要写成 8421 码, 只要把该十进制数的各位数字分别转换成对应的 8421 码即可。

表 1-3 所示为各种有权、无权码与十进制数的对应关系。