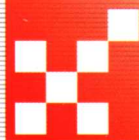




普通高等教育“十一五”国家级规划教材



数字电子 技术基础

- 主 编 李庆常
- 副主编 王美玲

第3版



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

免费
电子课件

TN431.2/43=3

2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数字电子技术基础

第 3 版

主 编 李庆常
副主编 王美玲
参 编 行小帅 姜 钧
 金 锋
主 审 赵金声 张玉璞

机械工业出版社

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书第2版荣获全国普通高等学校优秀教材二等奖。

本书内容以当前科学研究工作需求为背景,精选内容,推陈出新;强调三基本(基本概念、基本原理、基本方法),弱化繁琐的理论推导,突出理论联系实际的工程特点,每章章末都增加了本章知识的综合应用以及EDA仿真内容,最后一章增加了数字系统的设计。

本书内容主要包括逻辑代数及其化简、门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与整形、半导体存储器与可编程逻辑器件、A/D转换与D/A转换以及数字系统的设计,共10章。同时附有Multisim2001的使用和硬件描述语言VHDL的简介。

本书适用于高等工科院校信息专业及相关专业的学生,同时也可供电子技术方面的工程技术人员学习参考。

本书配有电子课件,欢迎选用本书做教材的老师索取。

索取邮箱: Edmond Yan@sina. com

Edmond Yan@hotmail. com

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础/李庆常主编. —3版. —北京:机械工业出版社, 2008.1

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-04154-2

I. 数… II. 李… III. 数字电路 - 电子技术 - 高等学校 - 教材
IV. TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第172359号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:贡克勤 责任校对:申春香

封面设计:张静 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷

2008年3月第3版第1次印刷

184mm×260mm·17.75印张·437千字

标准书号:ISBN 978-7-111-04154-2

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379727

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是在《数字电子技术》第2版的基础上，参照教育部组织编写的《数字电子技术基础基本要求》（修订稿）的精神，重新组织编写的。随着当代电子技术的飞速发展，数字电子产品广泛进入人们的生活当中，数字电子技术在科技领域的应用更是比比皆是。而计算机的普及，更使得数字电子技术成为当代大学生必修的技术基础课程。

鉴于以上情况以及数字电子技术的新进展，本书第3版在保持原书“少而精”等特色的基础上，进行重新编写，提出了如下思路：以当前科学研究工作需求为背景，精选内容，推陈出新；强调三基本（基本概念、基本原理、基本方法），弱化繁琐的理论推导，突出理论联系实际的工程特点。具体做法如下：

1. 为了便于读者从理论联系实际的角度更好地把握整体内容，调整第1章。在此引入数字系统、故障检测等综述内容，并借鉴国外教材的理念，结合生活中熟悉的实例引出各章内容。

2. 精选内容，推陈出新。例如，对半导体物理、器件内部结构及原理等问题，力求做到深入浅出，既简练又严密。按此思路，去掉了二极管、晶体管等半导体器件内部机理的介绍，对于门电路和触发器的学习强调其逻辑功能、外特性及应用等，弱化其繁杂的内部结构的分析。为适应新技术的发展和工程实际的要求，适当增加新内容、新方法的介绍。例如，增加硬件描述语言 VHDL 及 EDA 仿真等方面内容，并通过实例说明。

3. 加强基础，突出实践应用。在强调三基本的同时，强调对学生动手能力的培养。每章章末增加该部分的工程应用实例，并在最后一章增加数字系统设计，介绍数字系统的设计方法，给出设计范例。

4. 章末增加小结，并对习题进行了必要的修改和补充，以方便读者学习。

5. 成套的体系化、立体化教材。结合多年来对本教材的使用经验和不同院校教师的教学经验，同步编制与其相配套的电子版多媒体课件，并与王远主编的《模拟电子技术基础第3版》教材相配套，构成一套体系化教材。本套教材在教学计划安排上既可先学模拟电子电路后学数字电子电路，也能满足先学数字电子电路后学模拟电子电路的要求。

参加本版编写工作的有北京理工大学王美玲（第1、8、9章）及附录A和附录B、山西师范大学行小帅（第2、3章）、北京机械工业学院姜钧（第4、7章）、北京理工大学金锋（第5、6章）、北京理工大学李庆常（第10章），并由李庆常担任主编，负责全书的组织、修改和定稿工作。王美玲为副主编，协助主编工作。

IV

本书由北京理工大学赵金声教授、张玉璞教授主审，在此表示衷心的感谢。本书的修订工作得到了机械工业出版社以及使用本教材的许多高校的老师们的的大力支持和帮助，编者在此也一并致以谢意。

限于编者的水平，此次修订的教材一定还存在许多不完善的地方，诚请各位老师和读者给予批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 数字电路概述	1
1.1 数字信号与模拟信号	1
1.2 数字信号的表示方法	2
1.3 数字电路的基本功能及其应用	4
1.4 电路测试和故障排除	6
1.4.1 电路测试及故障排除的仪器设备	6
1.4.2 故障排除	7
1.5 数字电路 EDA 仿真分析与设计	8
本章小结	9
第 2 章 逻辑代数及其化简	11
2.1 计数制与编码	11
2.1.1 常用计数制及其转换	11
2.1.2 编码	13
2.2 逻辑代数基础	13
2.2.1 逻辑代数的基本运算和复合运算	14
2.2.2 逻辑代数的基本公式和常用公式	16
2.2.3 逻辑代数的基本规则	17
2.3 逻辑函数常用的描述方法及相互间的转换	18
2.3.1 逻辑函数常用的描述方法	18
2.3.2 不同描述方法之间的转换	19
2.3.3 逻辑函数的建立及其描述方法	25
2.4 逻辑函数的简化	26
2.4.1 逻辑函数的最简形式	26
2.4.2 逻辑函数的公式化简	26
2.4.3 逻辑函数的卡诺图化简	27
2.5 具有无关项逻辑函数的化简	29
2.6 用 Multisim 2001 进行逻辑函数的化简与变换	30
本章小结	32
习题	32

第 3 章 集成逻辑门电路	35
3.1 概述	35
3.2 半导体二极管门电路	35
3.2.1 正逻辑与负逻辑	35
3.2.2 半导体二极管的开关特性	36
3.2.3 二极管与门电路	38
3.2.4 二极管或门电路	38
3.3 TTL 集成门电路	39
3.3.1 双极型晶体管的开关特性	39
3.3.2 TTL 与非门的电路结构和工作原理	42
3.3.3 TTL 与非门的静态特征	46
3.3.4 TTL 与非门的动态特性	50
3.3.5 集电极开路门和三态门	51
3.4 CMOS 门电路	56
3.4.1 MOS 管的开关特性	56
3.4.2 CMOS 反相器的电路结构及工作原理	57
3.4.3 CMOS 反相器的传输特性	57
3.4.4 CMOS 与非门及或非门	60
3.4.5 CMOS 传输门和双向模拟开关	61
3.4.6 CMOS 漏极开路门	62
3.4.7 CMOS 三态门	62
3.4.8 CMOS 门电路的构成规律与使用时的注意事项	64
3.5 各类逻辑门的性能比较	65
3.5.1 集成逻辑门系列简介	65
3.5.2 TTL 逻辑电路与 CMOS 逻辑电路比较	66
3.5.3 数字集成电路的品种类型	67
本章小结	67
习题	67
第 4 章 组合逻辑电路	73
4.1 概述	73
4.2 组合逻辑电路的分析	73
4.2.1 组合电路分析的一般步骤	73
4.2.2 常用组合电路及其分析	74
4.3 组合逻辑电路的设计	79
4.3.1 概述	79
4.3.2 用 SSI 设计组合电路	79
4.3.3 常用组合电路及其设计	80
4.3.4 用 MSI 实现组合电路的设计	88
4.4 组合逻辑电路中的竞争和冒险	92
4.4.1 竞争和冒险产生的原因	92

4.4.2 逻辑冒险及其消除方法	92
4.4.3 功能冒险及其抑制措施	93
4.5 组合电路的系统应用	94
4.6 用 Multisim2001 设计和分析组合电路	95
本章小结	97
习题	98
第 5 章 触发器	101
5.1 概述	101
5.2 触发器的结构与工作原理	101
5.2.1 基本 RS 触发器	101
5.2.2 同步触发器	103
5.2.3 主从触发器	106
5.2.4 边沿触发器	109
5.3 触发器的工作特性	112
5.3.1 触发器的脉冲工作特性	112
5.3.2 触发器的主要参数	112
5.4 触发器的逻辑功能及相互转换	113
5.4.1 T/T' 触发器	113
5.4.2 由 D 触发器转换为其他逻辑功能的触发器	114
5.4.3 由 JK 触发器转换为其他逻辑功能的触发器	115
5.5 触发器应用举例	115
5.6 用 Multisim2001 分析 JK 触发器	116
本章小结	118
习题	118
第 6 章 时序逻辑电路	124
6.1 概述	124
6.2 时序逻辑电路的分析方法	125
6.2.1 同步时序逻辑电路分析方法	125
6.2.2 异步时序逻辑电路分析方法	127
6.3 常用中规模时序逻辑电路及其应用	128
6.3.1 寄存器和移位寄存器	128
6.3.2 计数器	132
6.3.3 顺序脉冲发生器	151
6.3.4 序列脉冲发生器	152
6.4 时序逻辑电路的设计	154
6.4.1 同步时序逻辑电路的设计	154
6.4.2 异步时序逻辑电路的设计	159
6.5 综合应用	162
6.6 用 Multisim 2001 分析时序逻辑电路	164
本章小结	167

习题	167
第 7 章 脉冲波形的产生与整形	175
7.1 概述	175
7.2 矩形脉冲的产生	175
7.3 集成 555 定时器	176
7.3.1 电路结构	176
7.3.2 工作原理	177
7.4 应用电路实例	177
7.4.1 施密特触发器	177
7.4.2 单稳态触发器	179
7.4.3 多谐振荡器	181
7.5 脉冲产生与整形电路的系统应用	185
7.6 用 Multisim 2001 设计、分析脉冲发生电路	185
本章小结	187
习题	188
第 8 章 半导体存储器和可编程逻辑器件	190
8.1 概述	190
8.2 半导体存储器	190
8.2.1 存储器的主要技术指标	191
8.2.2 随机存取存储器	191
8.2.3 只读存储器	195
8.2.4 存储器扩展	199
8.2.5 综合应用	201
8.3 可编程逻辑器件	202
8.3.1 低密度 PLD	202
8.3.2 高密度 PLD	205
8.3.3 PLD 设计流程	209
本章小结	209
习题	210
第 9 章 A/D 转换与 D/A 转换	211
9.1 概述	211
9.2 D/A 转换	211
9.2.1 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	211
9.2.2 集成 D/A 转换器 5G7520	214
9.2.3 D/A 转换器的主要技术参数	216
9.2.4 常用 D/A 转换器及其参数	217
9.3 A/D 转换器	217
9.3.1 A/D 转换的一般步骤	217
9.3.2 A/D 转换器的分类	219

9.3.3	逐次渐近型 A/D 转换器	219
9.3.4	双积分型 A/D 转换器	221
9.3.5	集成 A/D 转换器	223
9.3.6	A/D 转换器的主要技术参数	224
9.3.7	常用 A/D 转换器及其参数	225
9.4	D/A 转换器和 A/D 转换器的综合应用	226
9.5	用 Multisim 2001 分析 D/A 转换器	227
	本章小结	228
	习题	228
第 10 章	数字系统的设计	231
10.1	数字系统概述	231
10.1.1	数字系统的组成	231
10.1.2	数字系统的研制过程	231
10.2	数字系统设计的一般方法	232
10.2.1	课题分析	232
10.2.2	方案论证	232
10.2.3	方案实现	233
10.2.4	系统仿真	233
10.2.5	样机研制	234
10.3	数字系统设计举例	235
10.3.1	数字波形合成器的设计	235
10.3.2	浮点频率计的设计	245
	习题	254
	附录	255
附录 A	Multisim 2001 使用简介	255
A.1	Multisim2001 使用概述	255
A.2	Multisim2001 对元器件的管理	259
A.3	Multisim2001 电路输入及仿真	260
附录 B	VHDL 简介	263
B.1	VHDL 概述	263
B.2	VHDL 的实体	264
B.3	VHDL 的结构体	266
B.4	VHDL 语言要素	269
B.5	VHDL 顺序语句	270
B.6	VHDL 并行语句	271
B.7	VHDL 子程序	271
B.8	VHDL 库和程序包	272
参考文献		273

第 1 章 数字电路概述

电子技术是 20 世纪发展最迅速、应用最广泛的技术，它已使人们的日常生活发生了根本的变革。

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。近 40 多年来，数字电子技术取得了令人瞩目的发展。在我们的日常生活中有很多数字电子产品，如计算机、数码相机/摄像机、手机、DVD、MP3/MP4 以及数字电视等。因此，分析和设计数字电路已成为现代工程设计不可缺少的部分。

1.1 数字信号与模拟信号

在电子电路中，产生、传递、加工和处理的信号可以被分为模拟信号和数字信号两大类。

模拟信号在时间和数值上都是连续的，即对应于任意时间均有确定的电流或电压值，并且其幅值是连续的，如正弦波信号就是典型的模拟信号。自然界中有很多信号是模拟信号，如气温、气压、时间、距离以及声音等信号。如果某天最低气温是 15°C ，最高气温是 25°C ，则一天的气温变化将是连续的，其曲线如图 1-1 所示，因此表示气温的信号是模拟信号。

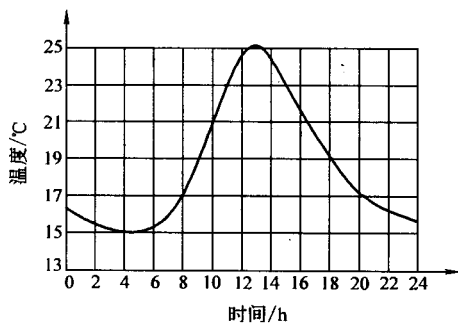


图 1-1 气温-模拟量曲线图

处理模拟信号的电路称为模拟电路。

与模拟信号不同，数字信号在时间和数值上是离散的，或者说不连续的，且其数值的变化都是某个最小量值的整数倍，如每个班级同学的人数，从数量上来说就是不连续的，并且人数总是一个一个地增加或减少。

处理数字信号的电路称为数字电路。

在自然界中，存在大量的模拟信号和数字信号以及模拟系统和数字系统，并且这些系统并非独立，而是相互渗透的，因此在进行信号处理时需要将两者通过接口电路进行转换。例如，当将图 1-1 所示的气温变化曲线存储到计算机时，需要将此模拟信号通过 A/D 转换器 (Analog-Digital Converter, ADC) 转换成数字信号，则可得到图 1-2 所示的数字信号。当将图 1-2 所示的数字信号进行显示或用于控制时，

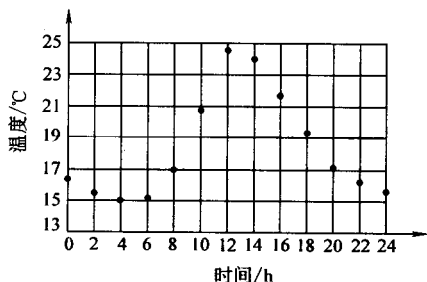


图 1-2 气温-数字量存储数值图

则往往需要将其通过 D/A 转换器 (Digital-Analog Converter, DAC) 转换成模拟信号。

数字电路与模拟电路相比较, 具有以下特点:

1. 一般采用二进制, 易实现, 易复制

在数字电路中, 一般采用二进制, 因此, 凡具有两个稳定状态的器件, 均可用来表示一位二进制数的两个数码, 故其基本单元电路简单, 对电路中各元器件参数的精度要求不高, 只要能区别出两种状态即可。对于给定输入的数字量, 类似的电路可以得到完全一致的输出结果, 而模拟电路输出值还受温度、电源电压、元器件老化及其他因素的影响。

2. 抗干扰能力强, 精度高

由于数字电路处理的信号是二值信息, 不易受外界的干扰, 因此抗干扰能力强; 另外, 有些数字电路还可通过增加二进制数的位数来改变电路的运算精度。如第 9 章的接口电路中, 8 位 DAC 的分辨率为 $1/(2^8 - 1)$, 而 10 位 DAC 的分辨率则为 $1/(2^{10} - 1)$ 。

3. 可编程性强

现在人们对计算机及其编程都非常熟悉, 计算机就是数字电路应用的典型代表。随着现代科技的发展, 可编程逻辑器件 (Programmable Logic Device, PLD) 因其编程灵活性及高度集成化而得到了广泛应用。

4. 便于长期存储, 使用方便

数字信号便于长期存储, 使大量的信息资源得以妥善保存, 并且使用方便。如 CD、DVD、USB 存储介质及硬盘等都采用数字信号存储方式。

5. 保密性好

在数字电路中可以进行软件或硬件加密处理, 使一些重要的信息资源不易被窃取。

由于数字电路具有上述诸多特点, 加之微电子技术的迅猛发展, 使数字电子技术在计算机、通信、数字仪表、数控技术、家用电器以及国民经济等各个领域, 都得到了越来越广泛的应用。

1.2 数字信号的表示方法

数字信号的表示采用二值逻辑。

1. 二值逻辑

在数字电路中, 既可以用 0 和 1 组成二进制数, 表示数量的大小, 也可以用其表示一个事物的两种不同的逻辑状态, 这是两种完全不同的使用方式, 注意严格区别。当表示数量时, 二进制数可以进行数值运算, 常称为算术运算; 当表示逻辑状态时, 如: 是与否、真与伪、有与无、开与关、高与低、通与断、亮与灭等, 这里的 0 和 1 不是数值, 而是逻辑 0 和逻辑 1。这种只有两种对立逻辑状态的逻辑关系称为二值逻辑。用 0 和 1 表示逻辑关系时, 二进制数可以进行逻辑运算。

2. 逻辑电平

在数字电路中, 由逻辑 1 和逻辑 0 的组合来表示数据和其他信息, 用电平的高低来表示逻辑 1 和逻辑 0。因此, 逻辑电平是指电路中表示逻辑 1 和逻辑 0 的高电平和低电平。

如何用高低两种逻辑电平代表逻辑 1 和逻辑 0 两种逻辑状态呢? 一般都采用高电平表示逻辑 1, 低电平表示逻辑 0, 这种表示方法被称为正逻辑, 详细定义参见第 3 章。

在使用高低电平代表逻辑 1 和逻辑 0 时, 究竟多高的电平为高电平, 多低的电平为低电

平, 不同工艺的数字集成电路具有不同的逻辑电平标准。当电源电压为 5V 时, 数字集成电路的两大类 TTL (Transistor-Transistor-Logic) 和 CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) 电路对应的逻辑电平标准如表 1-1 所示。

表 1-1 数字电路的逻辑电平标准

电路类型	输入电平/V		输出电平/V	
	低电平 V_{IL}	高电平 V_{IH}	低电平 V_{OL}	高电平 V_{OH}
TTL	0 ~ 0.8	2.0 ~ 5	0 ~ 0.4	2.4 ~ 5
CMOS	0 ~ 1.5	3.6 ~ 5	0 ~ 0.5	4.4 ~ 5

表 1-1 表明, 不同工艺的数字电路具有不同的逻辑电平标准, 当输入信号符合高/低电平要求时, 信号被识别, 否则信号将不会被识别。

因此, 在设计系统时, 要特别注意各器件之间的连接对逻辑电平的要求。如果因为电平标准不同而使器件之间不能直接连接时, 则必须使用专用的连接器件, 以实现器件之间的电平匹配。目前, 随着低功耗电子产品应用的推广, 现代电子系统技术中产生了低电压逻辑电平, 1.8V 和 3.3V 等低电平供电的器件越来越多, 而多年来逻辑电路的主导标准 TTL 和 CMOS 门电路信号一般为 5V, 从而出现了在一个系统内部输入和输出逻辑电平互不兼容的问题, 此时可以采用专用器件完成电平转换, 例如, 74LVC245 电平转换芯片采用 3.3V 供电, 能允许 5V 和 3.3V 两种电平的输入信号, 而其输出为 3.3V 电平, 可以和 3.3V 器件直接接口, 因此采用 74LVC245 可以实现 5V 电平到 3.3V 电平的转换。

3. 波形图

数字变量除了用高电平/低电平、逻辑 1/逻辑 0 来表示之外, 还可以采用一种更直观的表达方法, 即波形图表示。由于数字信号采用二值逻辑, 其波形图一般只有高电平和低电平两种状态, 如图 1-3 所示。

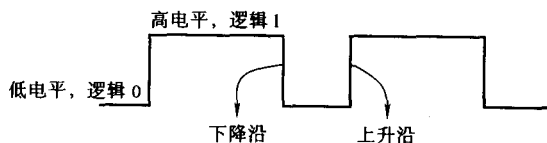


图 1-3 二值逻辑的波形图

如果将数字电路的输入信号和输出信号的关系按时间顺序依次排列起来, 就得到了其波形图, 又称为时序图。在逻辑分析仪和 EDA 仿真软件中, 经常以这种波形图的形式给出分析结果。此外, 实验时也经常以波形图方式通过示波器来观察输出与输入之间关系, 以检验实际逻辑电路的功能是否正确。图 1-4 即为第 3 章学习的反相器的波形图, 其中 A 为输入变量, F 为输出变量。由图 1-4 可知, 在画电路的波形图时, 应特别注意输出与输入之间的对应关系。

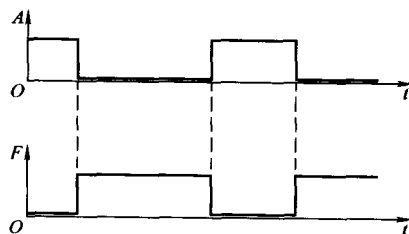


图 1-4 反相器输出与输入对应波形图

图 1-4 所示的波形为理想脉冲波形, 而实际脉冲波形一般如图 1-5 所示。

理想的脉冲波形的上升沿和下降沿都很陡峭, 也就是说波形的上升时间和下降时间为 0, 实际工程或实验测试时, 示波器上观测到的波形一般如图 1-5 所示。如果上升时间和下

降时间太长的话,会使得器件出现误动作,此时可采用第7章脉冲波形的产生与整形中的整形电路对电路进行整形,使其波形接近于理想波形。



图 1-5 实际波形

1.3 数字电路的基本功能及其应用

数字电路是数字电子信息系统不可缺少的组成部分。图 1-6 所示为典型的电子信息系统组成框图。

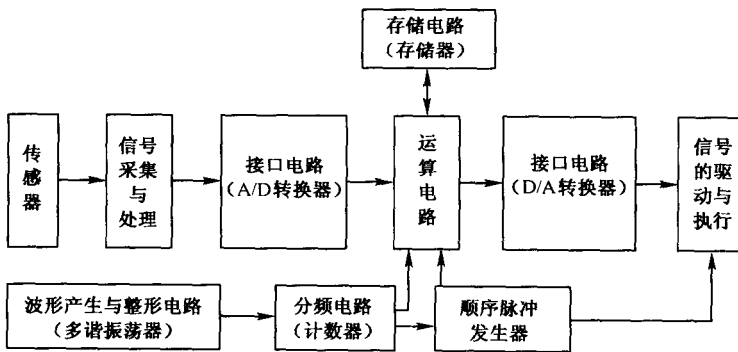


图 1-6 电子信息系统组成框图

电路各部分功能如下所述:

1. 信号采集与处理

信号采集与处理电路完成对传感器的信号采集,并根据实际需要对其进行隔离、放大、滤波、运算、转换等处理。一般而言,该电路为模拟电路,在模拟电子技术中有其描述。

2. 接口电路——A/D 转换器和 D/A 转换器

对于多数系统而言,传感器输出的信号为模拟信号,为将其输入数字系统进行处理则需进行 A/D 转换。而系统完成信息处理之后,需要输出控制及驱动信号给执行机构,此时可能需进行 D/A 转换。A/D 转换可将模拟信号转换为数字信号,D/A 转换可实现数字信号到模拟信号的转换。接口电路 A/D 转换及 D/A 转换将在本书第 9 章中介绍。

3. 运算电路

运算电路可完成信息的算术运算和逻辑运算,这部分内容在第 4 章组合逻辑电路中介绍。

4. 存储电路——存储器

数字系统需要对大量的数据进行存储,由于计算机处理的数据量越来越大、速度越来越快,使得存储器的容量也越来越大、存取速度也越来越快。存储器在第 8 章中介绍。

对存储器中的数据进行访问时,需要对其地址进行译码,即通过地址译码器寻址到相应的单元。译码器内容将在第 4 章中介绍,如果需要对信息进行显示,也可在该章了解到七段译码器及数码显示等内容。

5. 波形的产生与整形电路——多谐振荡器

CPU 及很多数字电路正常工作时，需要时钟信号，该信号可通过多谐振荡器获得，该部分将在第 7 章波形的产生与整形电路中介绍。

6. 分频电路——计数器

系统通过多谐振荡器产生了基准时钟以后，不同器件需要的时钟频率可能有所不同，此时可通过分频电路——计数器获得所需要的其他脉冲信号，分频器的设计与分析在第 6 章时序逻辑电路中介绍。

7. 顺序脉冲发生器

系统各组成部分需要按照事先规定的顺序协调工作，顺序脉冲发生器便可产生此种信号以完成对各部分的控制。此部分内容在第 6 章中介绍。

8. 信号的驱动与执行

系统输出的控制信号经过功率放大后，驱动执行机构完成控制功能。功放电路在模拟电子技术中有说明。

应该指出的是，随着计算机技术的迅猛发展，许多数字系统都直接采用计算机等的 CPU 作为中心处理单元，因此图 1-6 中的运算电路、波形产生与整形电路、分频电路及顺序脉冲发生器均可由 CPU 来完成。数字电子系统可选用通用计算机作为其中心处理单元，也可选用单片机、数字信号处理器（Digital Signal Processor, DSP）及基于某总线的专用 CPU 如 PC104、ETX 等。这部分内容属于计算机基础范畴。

图 1-6 所示电子系统是模拟-数字混合系统，信号的采集与处理、信号的驱动及执行一般由模拟电路组成，A/D 转换和 D/A 转换为模拟电路和数字电路的接口电路，而其余部分为数字电路，除信号的采集、处理、驱动及执行的模拟电路外，其他各部分都将在本书找到其设计和分析说明。

图 1-7 为某空调显示控制电路框图，是以上介绍的电子系统的典型应用实例。从图中我们可以对应找到以上各组成部分。

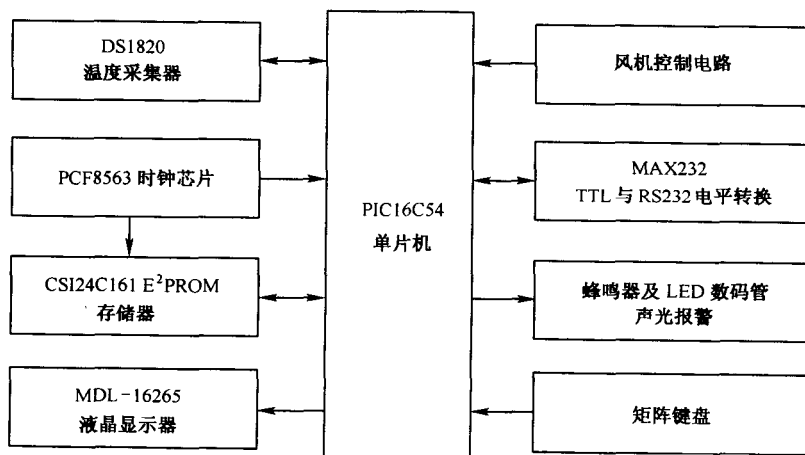


图 1-7 某空调显示控制电路框图

1.4 电路测试和故障排除

故障排除是指系统地隔离、辨识及定位电路和系统故障的技术。在进行故障排除时，需对电路进行测试，并进行故障诊断。故障诊断是一种了解和掌握设备在使用过程中的状态的技术，以确定其整体或局部是否正常，早期发现故障及其原因将能预报故障发展趋势。在诊断过程中，必须利用被诊断对象表现出来的各种有用信息，经过适当的处理和分析，做出正确的诊断结论。

电路的测试可以用图 1-8 所示的组成框图来描述。



1.4.1 电路测试及故障排除的仪器设备

图 1-8 电路测试组成框图

在数字电路的故障排除和测试中经常使

用的仪器设备有：万用表、示波器、逻辑分析仪、逻辑笔和信号发生器等。

万用表是一种多用途、多量程的便携式仪表，它集电压表、电流表和欧姆表于一体，可以进行交、直流电压和电流以及电阻等多种电量的测量，有的万用表还可以测量晶体管的主要参数及电容器的电容量等。万用表具有用途多、量程广、使用方便等优点，是电子测量中最常用的工具。常见的万用表有指针式模拟万用表和数字万用表。指针式模拟万用表测量值由表头指针读数，数字式万用表的测量值由液晶显示屏直接以数字的形式显示，读取方便。

示波器是电子测量中一种常用的仪器，它是观察波形的窗口，可让设计人员或维修人员将人眼看不到的信号变化转换成可直接观察的波形，并显示在荧光屏上，以便人们进行电路观察、分析和测量。示波器一般分为模拟示波器和数字示波器两大类，模拟示波器主要由示波管、垂直偏转系统、水平偏转系统、高低压电源等部分及一些辅助环节组成。数字示波器采用微处理器完成控制和数据处理，使其具有超前触发、组合触发、毛刺捕捉、波形处理、复制输出、长时间波形存储等模拟示波器所不具备的功能，目前其带宽已超过 1GHz，在许多方面都超过模拟示波器的性能。但数字示波器也有其缺点，如取样转换影响取样速率、带宽取决于取样率、灵敏度没有模拟式的好等问题。

逻辑分析仪是一种类似于示波器的波形测试设备，它可以监测硬件电路工作时的逻辑电平（高或低），存储后采用图形的方式直观地表达出来，便于用户检测、分析电路设计中的错误。逻辑分析仪是电路测试中不可缺少的设备，通过它可以迅速地定位错误，解决问题，达到事半功倍的效果。

逻辑笔是一种方便的手持式数字电路测试工具。它可检测到电路的高电平、低电平、单脉冲、连续脉冲以及开路等逻辑信息，并进行提示，其体积小、使用灵活、携带方便。在许多情况下，与采用示波器、万用表查寻故障相比，逻辑笔则显得更简便有效。多数逻辑笔能够捕捉示波器不易观察的窄脉冲信号及速度较高的暂态信号，能判断单脉冲的有无及其个数的多少。

信号发生器又称为函数发生器，是一种应用非常广泛的电子设备，常作为电子测量系统中的信号源。信号发生器提供正弦波、方波、三角波等多种信号波形，其输出信号频率范围一般为 0.005Hz ~ 50MHz。

1.4.2 故障排除

要成功地排除故障，首先必须了解电路的工作原理，并能辨识出错误现象。比如说要判定某逻辑门是否工作正常，则需知道对于给定输入信号其对应的输出信号应该是什么。

1. 故障排除的方法

(1) 直接观察法 直接观察法是指不使用仪器，通过直接观察电路及其元器件来寻找和分析故障。

直接观察法包括断电观察和加电观察两种方法。断电观察是指检查元器件有无损坏、引脚有无接错、电路布局布线是否正确等。加电观察则是查看电路有无发烫、冒烟、发出焦味、打火、开路及短路等现象。

(2) 参数测试法 该方法借助于仪器，测试电路或元器件的参数，通过理论分析找出故障原因。

(3) 信号跟踪法 该方法是在电路输入端接入合适信号，通过示波器，按信号的流向，从前级向后级逐级观察信号波形变化情况，以判定故障。

(4) 部件替换法 元器件替换法将电路中可能存在故障的元器件采用正常元器件进行更换，观察故障是否排除。

(5) 断路法 使用断路法时，首先断开可能存在故障的电路，然后观察剩余电路是否正常，以此缩小故障范围，加快排除速度。

(6) 短路法 该方法采用临时短接部分电路，将信号跳过部分可能存在故障的电路，观察结果是否正确，以缩小故障范围。

故障排除的方法很多，应通过实践来灵活应用。

2. 信号跟踪法故障排除的一般步骤

当电路出现故障时，通过直接观察等简易操作方法未能定位故障时，则需加入测试信号，通过信号跟踪法来定位故障。其步骤一般包括以下几个方面：

1) 故障排除前的准备工作。在任何故障排除前，首先应检查电源和地是否连接正确，是否存在电源和地的短路现象，这一点对保障电路元器件的完好性非常重要，同时也应保证测试仪器与被测电路的共地性。

2) 根据故障现象判定故障可能发生的部位。

3) 从故障部位的输入开始，一个一个芯片地进行分析。

对于每个芯片，对应其输入信号，采用逻辑笔、示波器或逻辑分析仪，测试其输出信号，并与理论输出结果相比较，判定芯片的完好性。

如果初步判定芯片出现损坏，则将该芯片脱离整个电路，单独进行测试。令芯片使能引脚有效，加入已知逻辑电平或逻辑脉冲，测试芯片是否正常工作，若结论为否，则可能芯片内部故障，更换芯片。比如测试反相器时，在确认电源连接正确的情况下，将输入引脚接入高电平，若输出不为低电平，则说明芯片可能损坏。

4) 如果所测试芯片正常，则测试下一个芯片，直至故障排除。

故障诊断与排除可以反映一个人的实践经验和工程设计能力，同时也反映一个人的理论基础水平。因此若要快速定位及排除故障，首先应掌握相关理论知识，同时也要加强实践动手锻炼。