

全国大学生电子设计竞赛培训教程第3分册

数字系统与 自动控制系统设计

高吉祥 谢明华 主 编
王 彦 副主编
傅丰林 主 审



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

全国大学生电子设计竞赛培训教程第3分册



数字系统与 自动控制系统设计

高吉祥 谢明华 主 编◎

王 彦 副主编◎

李月华 熊跃军 编◎

傅丰楠 主 审◎



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是全国大学生电子设计竞赛培训教程的第3分册,是针对全国大学生电子设计竞赛的特点和需求编写的。全书共4章,内容包括数字系统设计、自动控制系统设计、智能小车设计、智能飞行器设计。书中收集整理了历届电子设计竞赛中关于数字系统与自动控制系统设计方面的试题23道,每道试题均有任务与要求、题目分析、方案论证与比较、理论分析与参数计算、软/硬件设计、测试方法、测试结果及结果分析。内容丰富多彩,叙述简明,概念清晰,工程性和实用性强。

本书可作为高等学校电子信息类、电气类、自动化类和计算机类专业学生参加电子设计竞赛的培训教材,也可作为课程设计、毕业设计的参考用书,还可作为电子工程师的参考书等。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

全国大学生电子设计竞赛培训教程.第3分册,数字系统与自动控制系统设计/高吉祥,谢明华主编.
北京:电子工业出版社,2019.5

ISBN 978-7-121-29499-0

I. ①全… II. ①高… ②谢… III. ①数字系统—系统设计—高等学校—教材②自动控制系统—系统设计—高等学校—教材 IV. ①TN702

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第037823号

责任编辑:谭海平 特约编辑:陈晓莉

印 刷:天津千鹤文化传播有限公司

装 订:天津千鹤文化传播有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:20.5 字数:524.8千字

版 次:2019年5月第1版

印 次:2019年5月第1次印刷

定 价:59.80元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010)88254535, wylj@phei.com.cn。



前言

全国大学生电子设计竞赛是由教育部高等教育司、工业和信息化部人事教育司共同主办的，面向全国高等学校本科、专科学生的一项群众性科技活动，目的在于推动普通高等学校在教学中培养大学生的创新意识、协作精神和理论联系实际的能力，加强学生工程实践能力的训练和培养；鼓励广大学生踊跃参加课外科技活动，把主要精力吸引到学习和能力培养上来，促进高等学校学生形成良好的学习风气；同时，也为优秀人才脱颖而出创造条件。

全国大学生电子设计竞赛自 1994 年至今已成功举办 13 届，深受全国大学生的欢迎和喜爱，参赛学校、参赛队和参赛学生的数量逐年增加。对参赛学生而言，通过参加电子设计竞赛和赛前系列培训，获得了电子综合设计能力，巩固了所学知识，培养了用所学理论指导实践，团结一致，协同作战的综合素质；通过参加竞赛，参赛学生可以发现学习过程中的不足，找到努力的方向，为毕业后从事专业技术工作打下更好的基础，为将来就业做好准备。对指导老师而言，电子设计竞赛是新、奇、特设计思路的充分展示，更是对各高等学校电子技术教学、科研水平的检验，通过参加竞赛，可以找到教学中的不足之处。对各高等学校而言，全国大学生电子设计竞赛现已成为学校评估不可缺少的项目之一，这种全国大赛是提高学校整体教学水平、改进教学的一种好方法。

全国大学生电子设计竞赛只在单数年份举办。然而，近年来，许多地区、省、市在双数年份也单独举办地区性或省内电子设计竞赛，许多学校甚至每年举办多次电子设计竞赛，目的在于通过这类电子设计大赛，让更多的学生受益。

全国大学生电子设计竞赛组委会为组织好这项赛事，于 2005 年编写了《全国大学生电子设计竞赛获奖作品选编（2005）》。我们在组委会的支持下，从 2007 年开始至今，编写了“全国大学生电子设计竞赛培训教程”（共 14 册），深受参赛学生和指导教师的欢迎与喜爱。

据不完全统计，培训教程出版发行后，已被数百所高校采用为全国大学生电子设计竞赛及各类电子设计竞赛培训的主要教材或参考教材。读者纷纷来信、来电表示，这套教材写得很成功、很实用，同时也提出了许多宝贵的意见。因此，从 2017 年开始，我们对培训教程进行了整编。新编写的 5 本培训教程包括《基本技能训练与综合测评》《模拟电子线路与电源设计》《数字系统与自动控制系统设计》《高频电子线路与通信系统设计》《电子仪器仪表与测量系统设计》。

《数字系统与自动控制系统设计》是新编系列教材的第 3 分册，是在前几版的基础上修订而成的，增加了 2013 年、2015 年和 2017 年的竞赛内容，删除了 2000 年以前的部分内容。全书共 4 章，第 1 章主要介绍数字系统的基本概念、设计方法、描述方法、安装和调试，以及数字化语音存储与回放系统（1999 年）、数据采集与传输系统设计（2001 年）。第 2 章主要介

绍自动控制系统设计基础, 以及水温控制系统设计 (1997 年)、液体点滴速度监控装置 (2003 年)、悬挂运动控制系统 (2005 年)、基于自由摆的平板控制系统 (2011 年)、简易旋转倒立摆控制装置 (2013 年)、风力摆控制系统 (2015 年)、模拟路灯控制系统 (2009 年)、帆板控制系统 (2011 年)、电磁控制运动装置 (2013 年)、小球滚动控制系统 (2015 年) 和滚球控制系统 (2017 年)、管道内钢珠运动测量装置 (2017 年)。第 3 章主要介绍自动往返小车 (2001 年)、简单智能电动车 (2003 年)、电动车跷跷板 (2007 年)、声音引导系统 (2009 年)、智能小车 (2011 年) 和自动泊车系统 (2017 年)。第 4 章主要介绍四旋翼自主飞行器 (2013 年)、多旋翼自主飞行器 (2015 年) 和四旋翼自主飞行器探测跟踪系统 (2017 年)。列举的每道试题均设有任务与要求、题目分析、方案论证与比较、理论分析与参数计算、软/硬件设计、测试方法、测试结果及结果分析, 内容丰富多彩。

参加本书编写工作的有高吉祥、谢明华、王彦、李月华、熊跃军等。高吉祥、谢明华担任主编, 王彦担任副主编, 李月华、熊跃军等人参加了部分章节的编写。西安电子科技大学傅丰林教授在百忙之中对本书进行了主审。长沙学院电子信息与电气工程学院院长刘光灿为本书的立项和组织做了大量工作。南华大学王彦教授、湖南科技大学吴新开教授为本书的编写提供了大量优秀作品和论文资料。北京理工大学罗伟雄教授、武汉大学赵茂泰教授等人为本书编写出谋划策, 并对本书的修订提出了宝贵意见。在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促, 本书难免存在疏漏和不足, 欢迎广大读者和同行批评指正。

编者

目 录

第 1 章	数字系统设计	001
1.1	数字系统设计基础	001
1.1.1	数字系统的基本概念	001
1.1.2	数字系统的设计方法	002
1.1.3	数字系统设计的描述方法	003
1.1.4	数字系统的安装与调测	008
1.1.5	国产半导体集成电路型号命名法	011
1.2	数字化语音存储与回放系统	
	[1999 年全国大学生电子设计竞赛 (E 题)]	013
1.2.1	任务与要求	013
1.2.2	题目分析	014
1.2.3	方案论证	014
1.2.4	硬件设计	022
1.2.5	软件设计	024
1.2.6	测试结果及结果分析	025
1.3	数据采集与传输系统设计	
	[2001 年全国大学生电子设计竞赛 (E 题)]	027
1.3.1	任务与要求	027
1.3.2	题目分析	028
1.3.3	方案论证	029
1.3.4	硬件设计	037
1.3.5	软件设计	040
1.3.6	测试结果及结果分析	041
第 2 章	自动控制系统设计	044
2.1	自动控制系统设计基础	044
2.1.1	自动控制系统概述	044
2.1.2	传感器及其应用电路	044
2.1.3	电机与驱动电路	065



2.1.4	继电器电路	078
2.2	水温控制系统设计	
	[1997年全国大学生电子设计竞赛(C题)]	081
2.2.1	任务与要求	081
2.2.2	题目分析	081
2.2.3	方案论证	082
2.2.4	硬件设计	084
2.2.5	软件设计	088
2.2.6	测试结果及结果分析	090
2.3	液体点滴速度监控装置	
	[2003年全国大学生电子设计竞赛(F题)]	091
2.3.1	任务与要求	091
2.3.2	题目分析	093
2.3.3	方案论证	093
2.3.4	硬件设计	095
2.3.5	软件设计	098
2.3.6	测速结果及结果分析	101
2.4	悬挂运动控制系统	
	[2005年全国大学生电子设计竞赛(E题)]	101
2.4.1	任务与要求	101
2.4.2	题目分析	103
2.4.3	方案论证	103
2.4.4	硬件设计	106
2.4.5	软件设计	108
2.4.6	测试结果及结果分析	115
2.5	基于自由摆的平板控制系统	
	[2011年全国大学生电子设计竞赛(B题)]	117
2.5.1	任务与要求	117
2.5.2	题目分析	120
2.5.3	系统方案	121
2.5.4	系统理论分析与参数计算	122
2.5.5	电路与程序设计	124
2.5.6	测试方案及测试结果	127
2.6	简易旋转倒立摆控制装置	
	[2013年全国大学生电子设计竞赛(C题)]	129
2.6.1	任务与要求	129
2.6.2	题目分析	131
2.6.3	系统方案	132
2.6.4	理论分析与计算	134

2.6.5	电路与程序设计	136
2.6.6	测试方案与测试结果	137
2.7	风力摆控制系统	
	[2015年全国大学生电子设计竞赛(B题)]	139
2.7.1	任务与要求	139
2.7.2	题目分析	142
2.7.3	方案论证	142
2.7.4	测控方法	144
2.7.5	系统设计	146
2.7.6	系统测试	149
2.8	模拟路灯控制系统	
	[2009年全国大学生电子设计竞赛(I题)(高职高专组)]	151
2.8.1	任务与要求	151
2.8.2	题目分析	152
2.8.3	模拟路灯控制系统(I)	154
2.8.4	模拟路灯控制系统(II)	158
2.9	帆板控制系统	
	[2011年全国大学生电子设计竞赛(F题)]	162
2.9.1	任务与要求	162
2.9.2	题目分析	163
2.9.3	方案论证	164
2.9.4	硬件设计	165
2.9.5	软件设计	170
2.9.6	测试结果及结果分析	176
2.10	电磁控制运动装置	
	[2013年全国大学生电子设计竞赛(高职高专组)]	178
2.10.1	任务与要求	178
2.10.2	题目分析	180
2.10.3	方案论证	180
2.10.4	理论分析与计算	183
2.10.5	程序设计	184
2.10.6	测试结果及结果分析	185
2.11	小球滚动控制系统	
	[2015年全国大学生电子设计竞赛(J题)(高职高专组)]	186
2.11.1	任务与要求	186
2.11.2	题目分析	188
2.11.3	方案论证	188
2.11.4	测控方法	190
2.11.5	系统设计	190



2.11.6	系统测试	196
2.12	滚球控制系统	
	[2017年全国大学生电子设计竞赛(B题)]	197
2.12.1	任务与要求	197
2.12.2	题目分析	199
2.12.3	系统方案	200
2.12.4	理论分析与计算	201
2.12.5	电路与程序设计	202
2.12.6	测试结果	206
2.13	管道内钢珠运动测量装置	
	[2017年全国大学生电子设计竞赛(M题)(高职高专组)]	208
2.13.1	任务与要求	208
2.13.2	题目分析	209
2.13.3	省级优秀设计作品案例	211
第3章	智能小车设计	216
3.1	自动往返小车	
	[2001年全国大学生电子设计竞赛(C题)]	216
3.1.1	任务与要求	216
3.1.2	题目分析	217
3.1.3	方案论证	218
3.1.4	硬件设计	218
3.1.5	软件设计	219
3.1.6	测试结果及结果分析	219
3.2	简易智能电动车	
	[2003年全国大学生电子设计竞赛(E题)]	220
3.2.1	任务与要求	220
3.2.2	题目分析	221
3.2.3	方案论证	222
3.2.4	硬件设计	224
3.2.5	软件设计	228
3.2.6	测试结果及结果分析	229
3.3	电动车跷跷板	
	[2007年全国大学生电子设计竞赛(F题)]	230
3.3.1	任务与要求	230
3.3.2	题目分析	232
3.3.3	系统方案	233
3.3.4	理论分析与参数计算	238
3.3.5	程序设计	239



3.4	声音引导系统	
	[2009年全国大学生电子设计竞赛(B题)]	241
3.4.1	任务与要求	241
3.4.2	题目分析	246
3.4.3	利用测量时差法被动定位的声音引导系统	251
3.4.4	利用测距定位法的声音引导系统	255
3.4.5	采用渐近法的声音引导系统	261
3.5	智能小车	
	[2011年全国大学生电子设计竞赛(C题)]	263
3.5.1	任务与要求	263
3.5.2	题目分析	265
3.5.3	系统方案论证与比较	265
3.5.4	理论分析与参数计算	267
3.5.5	电路与程序设计	268
3.5.6	系统测试	272
3.5.7	设计总结	274
3.6	自动泊车系统	
	[2017年全国大学生电子设计竞赛(L题)高职高专题]	274
3.6.1	任务与要求	274
3.6.2	题目分析	276
3.6.3	系统方案	278
3.6.4	理论分析与计算	279
3.6.5	电路与程序设计	280
3.6.6	测试方案与测试结果	282
第4章	智能飞行器设计	283
4.1	四旋翼自主飞行器	
	[2013年全国大学生电子设计竞赛(B题)]	283
4.1.1	任务与要求	283
4.1.2	题目分析	285
4.1.3	系统方案	287
4.1.4	系统设计与论证	287
4.1.5	电路与程序设计	289
4.1.6	测试方案与测试结果	294
4.2	多旋翼自主飞行器	
	[2015年全国电子设计竞赛(C题)]	296
4.2.1	任务与要求	296
4.2.2	题目分析	299
4.2.3	系统方案	300



4.2.4	系统设计与论证	302
4.2.5	电路与程序设计	303
4.2.6	测试方案与测试结果	305
4.3	四旋翼自主飞行器探测跟踪系统	
	[2017年全国大学生电子设计竞赛(C题)]	306
4.3.1	任务与要求	306
4.3.2	题目分析	309
4.3.3	飞行控制器设计案例	310
参考文献		318

第①章

数字系统设计

1.1 数字系统设计基础

数字系统是指交互式的、以离散形式表示的,具有信息存储、传输、处理能力的逻辑子系统的集合物,即由若干数字电路和逻辑部件构成的能够处理或传送数字信息的设备。有无控制器是区别功能部件数字单元电路和数字系统的标志,凡是有控制器且能按照一定程序进行数据处理的系统,不论其规模大小,均称为数字系统;否则,只能是功能部件或数字系统中的子系统。全国大学生电子设计竞赛数字电子技术方面的命题中,一般都含有控制部分,所以其要求的设计题目均为数字系统。下面讨论数字系统的基本概念及其基本描述等问题。

1.1.1 数字系统的基本概念

数字系统涉及许多领域,如机械、化学、热学、电学等工程技术领域,但数字系统的核心问题仍然是逻辑设计问题,逻辑设计最终完成系统所期望的信息处理、信息传输和信息存储等任务。数字系统通常分为三部分:输入/输出接口、数据处理器和控制器。图 1.1.1 所示为一个简单的数字系统结构框图,其中输入/输出接口是将物理量转化为数字量或将数字量转化为物理量的功能部件。

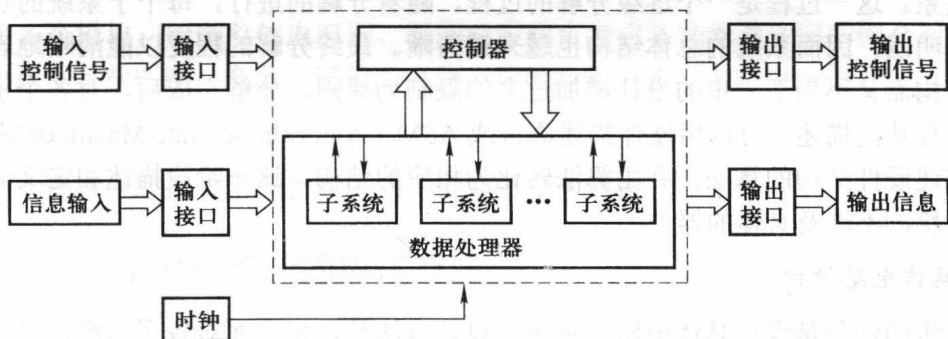


图 1.1.1 数字系统结构框图

数据处理器主要完成数据的采集、存储、运算和传输工作。数据处理子系统主要由存储器、运算器、数据选择器等功能电路组成。数据处理器与外界进行数据交换,在控制器发出的控制信号作用下,进行数据的存储和运算等操作。



控制器是执行数字系统算法的核心，具有记忆功能，因此控制器为时序系统。控制器的输入信号是外部控制信号和由数据处理器送来的条件信号，控制器按照数字系统设计方案的算法流程，在时钟信号的控制下进行状态转换，同时产生与状态和条件信号对应的输出信号。

将数字系统划分为数据处理器和控制器来进行设计只是一种手段，而不是目的。这样做可以更好地帮助设计者有层次地理解和处理问题，进而获得清晰、完整、正确的电路图。因此，数字系统的划分应当遵循自然、易于理解的原则。

1.1.2 数字系统的设计方法

1. 自顶向下设计法

自顶向下设计法从整个系统的功能出发，按一定原则把系统分为若干子系统，然而把每个子系统分为若干功能模块，再把每个模块分为若干较小的模块……直至分成许多基本模块。

根据自顶向下设计法，数字系统的设计过程大致分为三步：

- ① 确定初步方案，进行系统设计和描述。
- ② 系统划分，进行子系统功能描述。
- ③ 逻辑描述，完成具体设计。

1) 系统设计描述

拿到一个数字系统的课题后，首先要明确课题的任务、要求、原理和使用环境，了解外部输入信号特性、输出信号特性，系统需要完成的逻辑功能、技术指标等，然后确定初步方案。这部分的描述方法有框图、定时图（时序图）和逻辑流程图。

2) 系统划分

系统划分为控制器和受控电路两部分，受控电路采用各种模块即子系统实现。这一步的任务是根据上一步确定的系统功能，决定使用哪些子系统，并确定这些子系统与控制器之间的关系。这一过程是一个逐级分解的过程，随着分解的进行，每个子系统的功能越来越专一和明确，因而系统的总体结构也越来越清晰。最终分解的程度以能清晰地表示系统的总体结构而又不为下一步的设计增加过多的限制为原则。分解完成后，对各个子系统及控制器进行功能描述，可以用硬件描述语言或 ASM (Algorithmic State Machine) 图等手段定义和描述硬件结构的算法，并由算法转化为相应的结构。这一阶段描述和定义的是抽象的逻辑模块，不涉及具体的器件。

3) 具体电路设计

这一步的任务是设计具体电路。传统的设计方法是，将上面对各子系统的描述转换成逻辑电路或基本逻辑组件，选择具体器件（如各种标准的 SSI、MSI、LSI 或 GAL 等）来实现受控电路。控制器是时序逻辑电路，其实现方法如下：采用时序机，借助 ASM 图或 MDS 图 (Memonic Document State Diagram) 写出激励函数，进行逻辑化简，求出控制函数方程，然后合理选择具体的器件。

对于现代数字系统，可以采用 EDA 工具，选择 PLD 器件来实现电路设计。这时可以



将上面的描述直接转换为 EDA 工具使用的硬件描述语言, 送入计算机, 由 EDA 完成逻辑描述、逻辑综合和仿真等工作, 进而完成电路设计。

自顶向下的设计过程并不是一个线性过程, 在下一级的定义和描述中往往会发现上一级的定义和描述中的缺陷或错误, 因此必须对上一级的定义和描述加以修正, 使其更真实地反映系统的要求和客观的可能性。整个设计过程是一个反复修改和补充的过程, 是设计人员使自己的设计目标日臻完善的过程。

2. 试凑设计法

试凑设计法(试凑法)是指采用试探的方法按照给定的功能要求, 选择若干模块(功能部件)来拼凑一个数字系统。试凑法主要凭借设计者对逻辑设计的熟练技巧和经验来构思方案、划分模块、选择器件和拼接电路。试凑法适用于小型数字系统的设计, 对于复杂的数字系统, 这种设计方法不再适用。

试凑并不是盲目的, 通常要按下述步骤进行。

1) 分析系统设计要求, 确定系统总体方案

消化设计任务书, 明确系统功能, 如数据的输入/输出方式、系统需要完成的处理任务等。拟定算法, 即选定实现系统功能所遵循的原理和方法。

2) 划分逻辑单元, 确定初始结构, 建立总体逻辑图

逻辑单元划分可采用由粗到细的方法, 先将系统分为处理器和控制器, 再按处理任务或控制功能逐一划分。逻辑单元的大小要适当, 要以功能比较单一、易于实现且便于进行方案比较为原则。

3) 电路实现

将上面划分的逻辑单元进一步分解成若干相对独立的模块(功能部件), 以便直接选用标准 SSI、MSI、LSI 器件来实现。器件的选择应尽量选用 MSI 和 LSI, 以便提高电路的可靠性, 简化电路设计。

4) 绘制电路图

连接各个模块, 绘制总体电路图。画图时应综合考虑各功能块之间的配合问题, 如时序上的协调、负载匹配、竞争与冒险的消除、初始状态设置、电路启动等。

5) 安装调试

器件的选择应尽量选用 MSI 和 LSI, 以便于安装调试。

1.1.3 数字系统设计的描述方法

在用自顶向下设计法进行数字系统设计的过程中, 在不同的设计阶段采用适当的描述手段, 正确地定义和描述设计目标的功能与性能, 是设计工作正确实施的依据。常用的描述工具有框图、定时图、逻辑流程图和 MDS 图。



1. 框图

框图用于描述数字系统的模型，是系统设计阶段最常用的重要手段。框图可以详细描述数字系统的总体结构，并作为详细设计的基础。框图不涉及过多的技术细节，直观易懂，因此具有以下优点：

- (1) 大大提高了系统结构的清晰度和易理解程度。
- (2) 为采用层次化系统设计提供了技术实施路线。
- (3) 使设计者易于对整个系统的结构进行构思和组合。
- (4) 便于发现和补充系统可能存在的错误与不足。
- (5) 易于进行方案比较，以达到总体优化目的。
- (6) 可作为设计人员和用户之间交流的手段与基础。

框图中的每个方框定义了一个信息处理、存储或传送的子系统，在方框内用文字、表达式、通用符号或图形来表示该子系统的名称或主要功能。方框之间采用带箭头的直线相连，表示各个子系统之间数据流或控制流的信息通道，箭头指示了信息传送的方向。

框图的设计是一个自顶向下、逐步细化的层次化设计过程。同一种数字系统可以有不同的结构。在总体结构设计（用框图表示）中，任何优化设计考虑产生的效率，要比逻辑电路设计过程中优化设计产生的效益大得多，特别是采用 EDA 设计工具进行设计时，许多逻辑化简、优化工作都可用 EDA 来完成，而总体结构的设计是任何工具都不能替代的，它是数字系统设计过程中最具创造性的工作之一。

一般来说，总体结构设计框图需要有一份完整的系统说明书。在系统说明书中，不仅需要给出表示各个子系统的框图，而且需要给出每个子系统功能的详细描述。

2. 定时图

定时图又称时序图或时间关系图，它用来定时地描述系统各模块之间、模块内部各功能组件之间以及组件内部各门电路或触发器之间，输入信号、输出信号和控制信号的对应时序关系及特征（即这些信号是电平还是脉冲，是同步信号还是异步信号等）。

定时图的描述也是一个逐步深入并细化的过程，即由描述系统输入/输出信号之间的定时关系的简单定时图开始，随着系统设计的不断深入，定时图也不断地反映新出现的系统内部信号的定时关系，直到最终得到一个完整的定时图。定时图精确地定义了系统的功能，在系统调试时，借助 EDA 工具，建立系统的模拟仿真波形，以判定系统中可能存在的错误；或在硬件调试和运行时，通过逻辑分析仪或示波器对系统中重要结点处的信号进行观测，以判定系统中可能存在的错误。

3. 逻辑流程图

逻辑流程图简称流程图，它是描述数字系统功能的常用方法之一，是用特定的几何图形（如矩形、菱形、椭圆等）、指向线和简练的文字说明来描述数字系统的基本工作过程。逻辑流程图的描述对象是控制单元，它以系统时钟来驱动整个流程，与软件设计中的流程图十分相似。

1) 基本符号

逻辑流程图一般用矩形状态框、菱形条件判别框和椭圆形条件输出框三种基本符号表示,如图 1.1.2 所示。

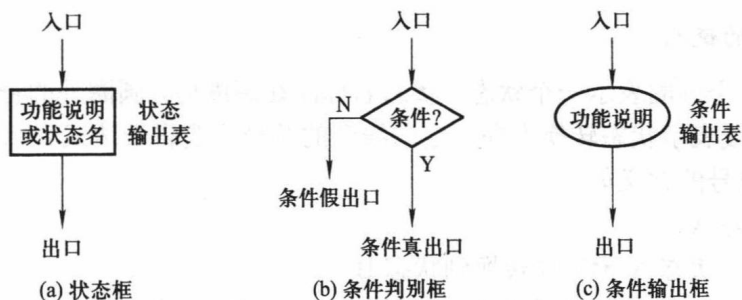


图 1.1.2 逻辑流程图的基本符号

(1) 状态框表示系统必须具备的状态;条件判别框和条件输出框不表示系统状态,而只表示某个状态框在不同输入条件下的分支出口及条件输出(即在某个状态下输出量是输入量的函数)。一个状态和若干判别框,或者再加上条件输出框,组成一个状态单元。

(2) 逻辑流程图的描述过程是一个逐步深入并细化的过程。先从简单的逻辑流程图开始,逐步细化,直至最终得到详细的逻辑流程图。在这一过程中,如果各个输出信号都已明确,那么可将各个输出信号的变化情况标注在详细的逻辑流程图上。

(3) 如果在某个状态下,输出与输入无关,即为摩尔型输出,那么该输出可标注在状态框旁的状态表中,用箭头 \uparrow 表示信号有效,用箭头 \downarrow 表示信号无效,这里不考虑该信号是高有效还是低有效,如图 1.1.3 所示。

图中 $Z_1 \uparrow$ 表示进入状态 A, 输出 Z_1 有效; $Z_2 \downarrow$ 表示进入状态 A, 输出 Z_2 无效; $Z_3 \uparrow \downarrow$ 表示进入状态 A, 输出 Z_3 有效, 退出状态 A 后, 输出 Z_3 无效。通常仅标注进入或退出该状态时需要改变的输出, 不受影响的输出不必注出, 这样可使图形更加简明。

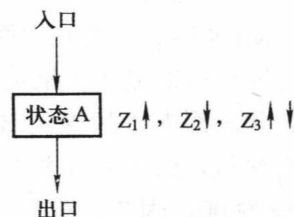


图 1.1.3 状态输出表

2) 逻辑流程图的应用

逻辑流程图可以描述整个数字系统对信息的处理过程,以及控制单元所提供的控制步骤,它既便于设计者发现和改正信息处理过程中的错误与不足,又是后续电路设计的依据。

3) 从状态图得到逻辑流程图

状态图以单个状态为单位,从一个状态到另一个状态的转换是在一系列条件发生后完成的,同时产生系统的输出。在逻辑流程图中,一个状态框和若干条件判别框及条件输出框组成一个状态单元。因此,状态图上的一个状态及输出对应逻辑流程图中的一个状态单元。如果一个状态的输出与输入有关,那么逻辑流程图中对应的状态单元必定包括条件输出框;反之,为无条件输出框。



4. MDS 图

MDS 图是设计数字系统控制器的一种简洁方法。MDS 图类似于状态转换图，可以很容易地由描述数字系统的详细流程图转换而来。

1) MDS 图的说明

MDS 图用一个圆圈表示一个状态，状态名标注在圆圈内，圆圈外的符号或逻辑表达式表示输出，定向线表示状态转换方向，定向线旁的符号或逻辑表达式表示转换条件。

MDS 图中符号的含义如下。

Ⓐ：表示状态 A。

Ⓐ→Ⓑ：表示状态 A 无条件转换到状态 B。

Ⓐ^x→Ⓑ：表示状态 A 在满足条件 x 时转换到状态 B。x 表示输入条件，它可以是一个字母（即一个输入变量），也可以是一个乘积项，还可以是一个复杂的布尔表达式。

ⒶZ↑：表示进入状态 A 时，Z 变为有效。如果 Z 的有效电平是 H，那么可以表示为 ⒶZ = H↑。

ⒶZ↓：表示进入状态 A 时，Z 变为无效。如果 Z 的有效电平是 H，那么可以表示为 ⒶZ = H↓。

ⒶZ↑↓：表示进入状态 A 时 Z 变为有效，退出状态 A 时 Z 变为无效。如果 Z 的有效电平是 H，那么可以表示为 ⒶZ = H↑↓。

ⒶZ↑↓ = A·x：表示如果满足条件 x，那么进入 A 时 Z 有效，退出 A 时 Z 无效。

Ⓐ^x：x 是一个异步输入变量，Ⓐ^x 表示 A 在异步输入作用下退出 A 状态。

MDS 图和一般状态图的不同之处在于输入/输出变量的表示方法。在 MDS 图中，标注在定向线旁的输入变量是用简化项表示的。例如，如图 1.1.4 所示，当输入 $x_2x_1 = 00$ 和 11 时，状态都由 A 转换到 B，因此在 MDS 图中从 A 到 B 的定向线旁标注一个 x_1 。对于输出 Z_2Z_1 来说，在状态 A 到状态 B 时， Z_2Z_1 由 10 变为 11 ，而由状态 B 到状态 C 时， Z_2Z_1 又由 11 变为 00 ，因此，对于 Z_1 来说，它只有进入状态 B 时才有效，退出状态 B 无效，这样，就在 MDS 图中状态 B 的外侧标为 $Z_1↑↓$ 。对于输出 Z_2 来说，进入状态 A 有效，只有进入状态 C 才无效，因此在状态 A 外标注 $Z_2↑$ ，在状态 C 外标注 $Z_2↓$ 。

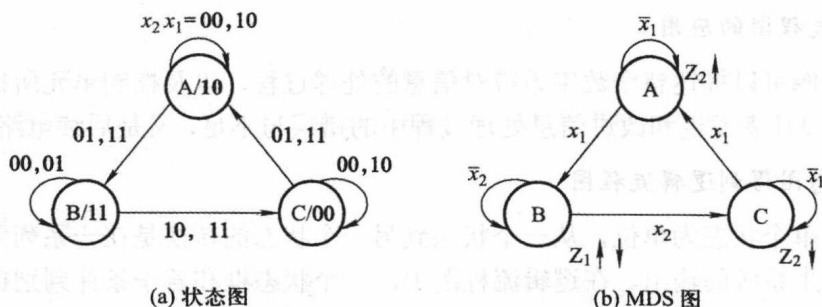


图 1.1.4 状态图和 MDS 图

2) 由逻辑流程图导出 MDS 图

用逻辑流程图描述数字系统的工作原理并规定控制器的功能后，就能从流程图导出与之相应的 MDS 图，使 MDS 图成为描述数字系统的工具。下面讨论二者之间的关系及转换