

机械电子学

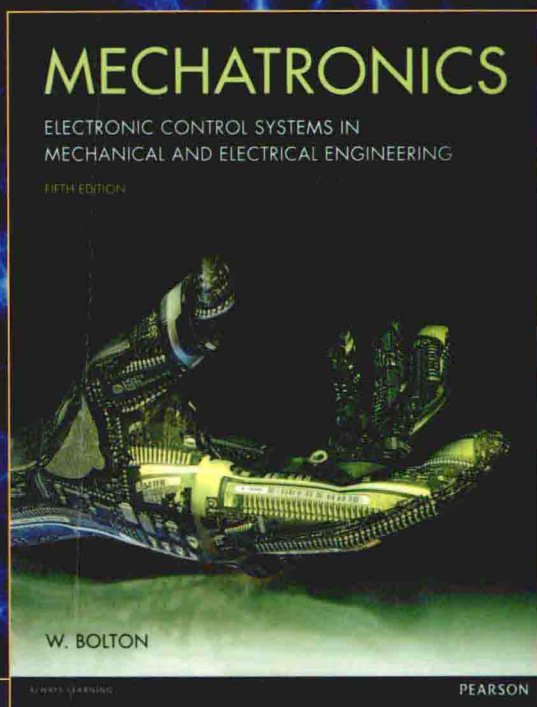
机械和电气工程中的电子控制系统
(原书第5版)

[英] William Bolton 著
付庄 等译

Mechatronics

*Electronic Control Systems
in Mechanical and Electrical
Engineering*

(Fifth Edition)



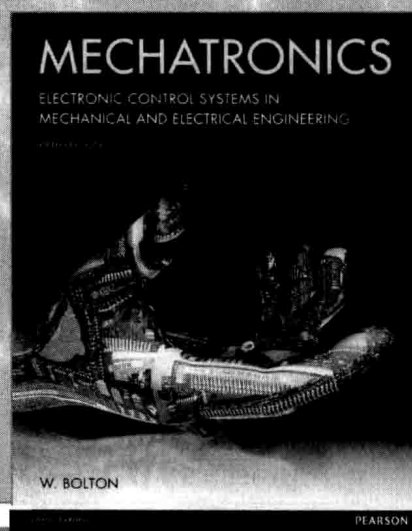
机械电子学

机械和电气工程中的电子控制系统

(原书第5版)

[英] William Bolton 著
付庄 等译

Mechatronics
Electronic Control Systems in Mechanical and Electrical Engineering
(Fifth Edition)



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

机械电子学: 机械和电气工程中的电子控制系统 (原书第 5 版) / (英) 博尔顿 (Bolton, W.) 著; 付庄等译. —北京: 机械工业出版社, 2014.2

书名原文: Mechatronics: Electronic Control Systems in Mechanical and Electrical Engineering, Fifth Edition

ISBN 978-7-111-45375-8

I. 机… II. ①博… ②付… III. 机电一体化 IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 035672 号

本书版权登记号: 图字: 01-2012-8338

Authorized translation from the English language edition, entitled Mechatronics: Electronic Control Systems in Mechanical and Electrical Engineering, Fifth Edition, 9780273742869 by William Bolton, published by Pearson Education, Inc., Copyright © 2012.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

Chinese Simplified language edition published by Pearson Education Asia Ltd., and China Machine Press Copyright © 2014.

本书中文简体字版由 Pearson Education (培生教育出版集团) 授权机械工业出版社在中华人民共和国境内 (不包括中国台湾地区和香港、澳门特别行政区) 独家出版发行。未经出版者书面许可, 不得以任何方式抄袭、复制或节录本书中的任何部分。

本书封底贴有 Pearson Education (培生教育出版集团) 激光防伪标签, 无标签者不得销售。

这是一本为工科学子写的教科书, 可以作为机械电子学领域的综合性教材。本书详尽地论述了传感器与信号调理、数字信号、数字逻辑、数据显示、气动和液压驱动系统、机械驱动系统、电气驱动系统、系统模型、系统的动态响应、系统传递函数、频率响应、闭环控制系统、人工智能、微处理器、汇编语言、C 语言、输入输出系统、PLC、通信系统、故障检测、机电系统设计案例等方面的相关知识。

本书内容丰富, 实用性强, 不但可作为高等院校机械、电气、控制工程等专业本科生和研究生教材, 也可作为广大工程技术人员的参考书。



出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 盛思源

责任校对: 董纪丽

印刷: 北京瑞德印刷有限公司

版次: 2014 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 185mm × 260mm 1/16

印张: 31.75

书号: ISBN 978-7-111-45375-8

定价: 99.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

译者序

本书是 William Bolton 先生编写的机械电子学国际通用教材，内容涵盖传感器与信号调理、数字信号、数字逻辑、数据显示、气动和液压驱动系统、机械驱动系统、电气驱动系统、系统模型、系统的动态响应、系统传递函数、频率响应、闭环控制系统、人工智能、微处理器、汇编语言、C 语言、输入/输出系统、PLC、通信系统、故障检测和机电系统设计案例等，是一本多学科交叉融合的综合性教材。该教材理论讲解深入浅出，体系结构完整，机械电子结合充分，习题丰富，一直被国外各大学采用，获得了非常好的评价。

通过翻译引进该教材，可借鉴国外机械电子教学的先进经验，有利于推动国内大学机械电子课程教学与国外大学的接轨，进而推动我国本科生和研究生课程的国际化建设。

本书不但可以作为高等院校的机械、电气、控制工程等工科专业本科生和研究生的教材，也可作为广大工程技术人员的参考书。

本书第 3~5 章、第 9~12 章、第 14 章、第 16~19 章、第 21 章、第 23 章和索引由付庄翻译，第 1 章由付庄、管恩广翻译，第 2 章由付庄、蔡雄风翻译，第 6 章由闫维新、宋阳翻译，第 7 章由郑望望翻译，第 8 章由邓文昊翻译，第 13 章由汤智诚翻译，第 15 章由刘基昊翻译，第 20 章由钱欢翻译，第 22 章由翟嘉心翻译，第 24 章由刘文红翻译。附录 A 由周航飞翻译，附录 B 和附录 C 由杨淞翻译，附录 D 和附录 F 由刘文红翻译，附录 E 由薛美风翻译，附录 G 由魏振红翻译。

译者在机电教学、机器人研究之余完成了本书的翻译，并用尽可能通俗易懂的语言把复杂问题说清楚。第 2 章、第 4 章、第 7 章、第 13 章、第 17 章、第 18 章、第 20 章和附录由付庄初校，第 3 章由魏振红初校，第 5 章由盛致愉初校，第 6 章由邓文昊初校，第 7 章由赵言正、付庄初校，第 8 章由克媛初校，第 9 章由俞港初校，第 10 章由周航飞初校，第 1、11、14、16、23 章由管恩广初校，第 12 章由詹世涛初校，第 15 章由曹峰初校，第 19 章由李爽初校，第 24 章由郑望望初校。付庄进行了全书的总审校，编写了原书的勘误表，并修正了书中的错误和疏漏之处。本书的翻译还得到了上海交通大学“机电一体化系统设计”研究生公共基础课建设“985 工程”项目的支持和许多老师、同学的帮助，并参考了相关的资料，在此对这些资料的作者以及相关的老师和同学表示衷心的感谢。

由于译者水平有限，本书错译漏译等不足之处在所难免，敬请读者批评指正。如读者能从中略有收获，译者将深感万幸。

译者

2013 年 12 月

前 言

机械电子学（或称机电一体化，mechatronics）一词最早由日本工程师于1969年提出。机械电子学是将机械结构学和电子学结合而成的一门新学科。到了今天，这个词有了更为广泛的含义，一般可以认为是一种新的解决工程技术问题的思想。这种思想具体表现为在产品的设计制造和加工过程中，将机械工程、电子技术及计算机智能控制的有效并行集成。通过应用这种思想，很多原本由机械结构实现具体功能的产品都可以由包含微控制器的产品替代。而这种可替代性将使生产过程更具灵活性，重复设计和重复编程更为简单，进而可以让系统具有自动化数据收集及报告的能力。

机械电子学理论要求工程技术人员在解决工程时要有运用多学科、综合方法的能力。因此，工程技术人员不能仅限于掌握一个领域的技术知识，还需要有能力运用多学科知识并将它们联系起来。这就需要更多的特殊技巧。本书在介绍机械电子学的基本背景之外，还给出了上文所提到的特殊技巧的关联方法。

为了满足国家高等教育对技术人员的毕业认证要求，本书的第1版囊括了商业与技术委员会（BTEC）关于机械电子学的单元。同时本书的编写还包含介绍了许多机械电子学方面的特殊要求，如应用机械电子学方法解决问题时，需要注意的设计、生产和维护方面的问题。本书在英国及美国被广泛应用于本科生和研究生教学。结合英国和美国用书教师的反馈信息，我们对本书第2版的内容进行了扩充和加深，使得本书不但对原有的读者具有参考意义，更适合作为本科生教材使用。本书的第3版简化了其中的部分解释内容，对微控制器及其编程给出了更详细的讨论，增加了对机电一体化系统模型的介绍，并且，就关键内容在附录中给出了索引。第4版对本书的内容及文字表达形式进行了全面的调整，包括重组了部分章节；将更多材料添加到附录，以避免扰乱行文的流畅性；引入了诸如人工智能等新内容；给出了更多的实例分析；简化了不必要的章节。同时，在每一章添加了学习目的及关键点目录。第5版基本保持了原有的结构，只是通过和本书读者的交流，对书中的一些内容进行了相应的增删。具体包括对第1章引言进行了改进，对第2、3、5、6、8、9、10、15、21、22章进行了内容扩充。另外增加了一个新的关于电路分析的附录。这是为了学生可以更方便地理解交流和直流电路的分析方法。

本书的主要目的是帮助技术人员和在校生全面地理解机械电子学内容。本书可以在以下几方面帮助读者：

- 掌握对于理解 and 设计机电一体化系统所必需的机械工程、电子学和计算机科学方面的知识技巧。
- 掌握机械电子学中多学科知识的交叉应用。
- 学习设计机电一体化系统。

本书的每一章都包含：本章目的、本章小结、详尽的实例说明及习题。习题的答案可以在本书的结尾部分找到。第24章中的研究和系统设计作业的提示也在本书的结尾给出。

本书的结构为：

- 第1章是关于机械电子学的通识介绍。
- 第2~6章主要介绍传感器方面的知识及信号调理。
- 第7~9章介绍驱动器。
- 第10~16章介绍系统模型方面的内容。
- 第17~23章介绍微处理器系统。
- 第24章总结设计机电一体化系统时需要注意的问题。

首先，感谢书中涉及仪器的生产制造商提供的出版方面的支持。同时，感谢那些来自英国、加拿大和美国的审稿人。感谢他们对本书的认真评阅并提出了很多中肯的改进意见。

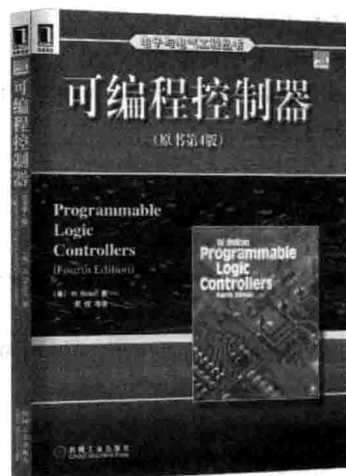
W. Bolton

推荐阅读



微机电系统基础 (原书第2版)

作者: Chang Liu 译者: 黄庆安 ISBN: 978-7-111-40657-0 定价: 69.00元



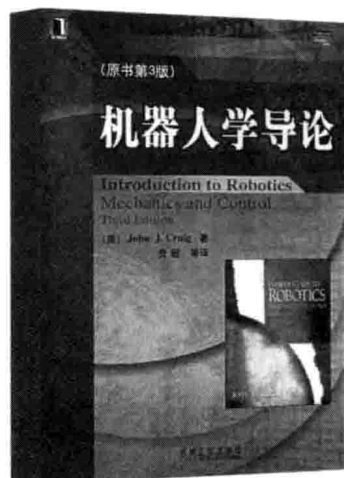
可编程控制器 (原书第4版)

作者: W. Bolton 译者: 周悦等 ISBN: 978-7-111-30118-9 定价: 36.00元



电气工程基础与应用

作者: S. A. Reza Zekavat 译者: 熊兰等 ISBN: 978-7-111-44910-2 定价: 89.00元



机器人学导论 (原书第3版)

作者: John J. Craig 译者: 负超等 ISBN: 978-7-111-18681-8 定价: 42.00元

目 录

译者序
前 言

第一部分 概述

第 1 章 机械电子学导论	1
1.1 什么是机械电子学	1
1.1.1 机电一体化系统实例	1
1.1.2 嵌入式系统	2
1.2 设计流程	2
1.3 系统	4
1.3.1 系统建模	4
1.3.2 连接系统	5
1.4 测量系统	5
1.5 控制系统	6
1.5.1 反馈	6
1.5.2 开环与闭环系统	7
1.5.3 闭环系统的基本单元	8
1.5.4 模拟和数字控制系统	11
1.5.5 顺序控制器	14
1.6 可编程逻辑控制器	15
1.7 机电一体化系统的例子	16
1.7.1 数字摄像机与自动对焦	16
1.7.2 发动机管理系统	17
1.7.3 MEMS 和汽车安全气囊	18
本章小结	18
习题	19

第二部分 传感器与信号调理

第 2 章 传感器和变送器	21
2.1 传感器和变送器	21
2.2 性能术语	22
2.3 位移、位置和接近	25
2.3.1 电位器传感器	25

2.3.2 应变片	26
2.3.3 电容元件	27
2.3.4 差动变压器	29
2.3.5 涡流式接近传感器	30
2.3.6 电感式接近开关	30
2.3.7 光学编码器	30
2.3.8 气动传感器	32
2.3.9 接近开关	32
2.3.10 霍尔效应传感器	33
2.4 速度和运动	34
2.4.1 增量式编码器	34
2.4.2 测速发电机	34
2.4.3 热释电传感器	35
2.5 力	36
2.6 流体压力	36
2.6.1 压电传感器	38
2.6.2 触觉传感器	39
2.7 液体流动	39
2.7.1 孔板	39
2.7.2 涡轮流量计	40
2.8 液位	40
2.8.1 浮块	40
2.8.2 压差	40
2.9 温度	40
2.9.1 双金属片	41
2.9.2 电阻温度检测器	41
2.9.3 热敏电阻	41
2.9.4 热敏二极管和晶体管	42
2.9.5 热电偶	42
2.10 光敏传感器	44
2.11 传感器的选择	45
2.12 通过开关输入数据	45
2.12.1 消抖	46
2.12.2 键盘	47
本章小结	47

习题	47	第 5 章 数字逻辑	82
第 3 章 信号调理	50	5.1 数字逻辑	82
3.1 信号调理	50	5.2 逻辑门	82
3.2 运算放大器	51	5.2.1 AND 门	82
3.2.1 反相放大器	51	5.2.2 OR 门	83
3.2.2 同相放大器	52	5.2.3 NOT 门	84
3.2.3 加法放大器	52	5.2.4 NAND 门	84
3.2.4 积分和微分放大器	53	5.2.5 NOR 门	85
3.2.5 差分放大器	54	5.2.6 XOR 门	85
3.2.6 对数放大器	56	5.2.7 逻辑门的组合	86
3.2.7 比较器	57	5.2.8 逻辑系列与集成电路	87
3.2.8 实际放大器	58	5.3 逻辑门的应用	88
3.3 保护	59	5.3.1 校验位发生器	88
3.4 滤波	60	5.3.2 数字比较器	88
3.5 惠斯通电桥	61	5.3.3 编码器	89
3.5.1 温度补偿	62	5.3.4 译码器	89
3.5.2 热电偶补偿	64	5.4 时序逻辑	93
3.6 脉冲调制	64	5.4.1 触发器	93
3.7 与信号相关的问题	65	5.4.2 同步系统	94
3.7.1 接地	65	5.4.3 JK 触发器	95
3.7.2 电磁干扰	66	5.4.4 D 触发器	96
3.8 功率输送	67	5.4.5 寄存器	97
本章小结	67	5.4.6 555 定时器	97
习题	68	本章小结	98
第 4 章 数字信号	69	习题	98
4.1 数字信号	69	第 6 章 数据显示系统	100
4.2 模拟信号和数字信号	69	6.1 显示方式	100
4.2.1 采样定理	71	6.2 数据显示元件	101
4.2.2 数模转换	71	6.2.1 模拟仪表和数字仪表	101
4.3 数模转换器和模数转换器	71	6.2.2 模拟图记录仪	101
4.3.1 DAC	71	6.2.3 阴极射线示波器	101
4.3.2 ADC	73	6.2.4 视觉显示单元	102
4.3.3 采样和保持放大器	76	6.2.5 打印机	103
4.4 多路复用器	77	6.3 磁记录	104
4.4.1 数字多路复用器	77	6.3.1 磁记录码	105
4.4.2 时分多路复用	78	6.3.2 磁盘	107
4.5 数据采集	78	6.4 光学记录	107
4.5.1 数据精度	79	6.5 显示器	108
4.5.2 错误检测的奇偶校验方法	79	6.5.1 发光二极管	109
4.6 数字信号处理	80	6.5.2 液晶显示器	110
本章小结	81	6.6 数据采集系统	111
习题	81	6.6.1 计算机与插件板	111

6.6.2 数据记录器	113	8.5 齿轮	145
6.7 测量系统	114	8.5.1 齿轮系	146
6.7.1 用于检测提起重量的称重传 感器	114	8.5.2 转动和平动的转换	147
6.7.2 温度警报系统	115	8.6 棘轮和棘爪	147
6.7.3 滑轮的角度位置	115	8.7 带传动和链传动	147
6.7.4 温度测量的二进制输出	116	8.7.1 带的类型	148
6.8 测试和校准	116	8.7.2 链传动	149
本章小结	118	8.8 轴承	149
习题	118	8.8.1 滑动径向轴承	149
第三部分 驱动		8.8.2 球轴承和滚柱轴承	150
第7章 气动与液压驱动系统		8.8.3 轴承的选择	151
7.1 驱动系统		本章小结	151
7.2 气动与液压系统		习题	151
7.2.1 液压系统		第9章 电气驱动系统	
7.2.2 气动系统		9.1 电气系统	
7.2.3 阀		9.2 机械开关	
7.3 方向控制阀		9.3 固态开关	
7.3.1 阀的符号		9.3.1 二极管	
7.3.2 先导阀		9.3.2 晶闸管和三端双向可控硅 元件	
7.3.3 单向阀		9.3.3 双极型晶体管	
7.4 压力控制阀		9.3.4 MOSFET	
7.5 缸体		9.4 螺线管	
7.6 伺服和比例控制阀		9.5 直流电动机	
7.7 过程控制阀		9.5.1 有刷直流电动机	
7.7.1 阀体和阀芯		9.5.2 含励磁线圈的有刷直流 电动机	
7.7.2 控制阀的尺寸计算		9.5.3 有刷直流电动机的控制	
7.7.3 流体控制系统举例		9.5.4 无刷永磁直流电动机	
7.8 旋转驱动器		9.6 交流电动机	
本章小结		9.7 步进电动机	
习题		9.7.1 步进电动机技术参数	
第8章 机械驱动系统		9.7.2 步进电动机控制	
8.1 机械系统		9.7.3 步进电动机的选择	
8.2 运动类型		9.8 电动机选择	
8.2.1 自由度和约束		9.8.1 惯量匹配	
8.2.2 负载		9.8.2 转矩要求	
8.3 运动链		9.8.3 功率要求	
8.3.1 四杆链		本章小结	
8.3.2 滑块曲柄机构		习题	
8.4 凸轮			

第四部分 系统模型

第 10 章 基本系统模型	177
10.1 数学模型	177
10.2 机械系统模块	178
10.2.1 转动系统	179
10.2.2 构建一个机械系统	180
10.3 电气系统模块	183
10.3.1 构建电气系统模型	184
10.3.2 电气和机械系统的比较	186
10.4 流体系统模块	186
10.5 热系统模块	192
本章小结	194
习题	194
第 11 章 工程系统模型	197
11.1 工程系统	197
11.2 转动-平动系统	197
11.3 机电一体化系统	198
11.3.1 电位器	198
11.3.2 直流电动机	198
11.4 线性度	200
11.5 液压机械系统	202
本章小结	204
习题	204
第 12 章 系统的动态响应	205
12.1 动态系统建模	205
12.2 术语	205
12.2.1 自然响应与受迫响应	205
12.2.2 瞬态与稳态响应	206
12.2.3 输入的形式	206
12.3 一阶系统	207
12.3.1 自然响应	207
12.3.2 受迫输入响应	208
12.3.3 一阶系统的例子	209
12.3.4 时间常量	210
12.4 二阶系统	211
12.4.1 自然响应	212
12.4.2 有受迫输入时的响应	214
12.4.3 二阶系统的例子	215
12.5 二阶系统的性能指标	216
12.6 系统辨识	218

本章小结	218
习题	219
第 13 章 系统传递函数	222
13.1 传递函数	222
13.2 一阶系统	224
13.2.1 具有阶跃输入的一阶系统	224
13.2.2 一阶系统的例子	224
13.3 二阶系统	226
13.3.1 具有阶跃输入的二阶系统	226
13.3.2 二阶系统的例子	227
13.4 串联的系统	227
13.5 带反馈环的系统	228
13.6 极点位置对瞬态响应的影响	229
13.6.1 s 平面	230
13.6.2 校正	230
本章小结	231
习题	231
第 14 章 频率响应	233
14.1 正弦输入	233
14.2 相量	233
14.3 频率响应	235
14.3.1 一阶系统的频率响应	235
14.3.2 二阶系统的频率响应	237
14.4 伯德图	237
14.4.1 $G(s) = K$ 的伯德图	237
14.4.2 $G(s) = 1/s$ 的伯德图	238
14.4.3 一阶系统的伯德图	238
14.4.4 二阶系统的伯德图	239
14.4.5 建立伯德图	239
14.4.6 系统辨识	242
14.5 性能指标	244
14.6 稳定性	244
本章小结	245
习题	245
第 15 章 闭环控制器	247
15.1 连续与离散控制过程	247
15.2 术语	248
15.2.1 滞后	248
15.2.2 稳态误差	248
15.2.3 控制模式	249
15.3 两步控制模式	250
15.4 比例模式	251

15.4.1 电子比例控制器	251	17.3 微控制器	278
15.4.2 系统响应	252	17.3.1 摩托罗拉 M68HC11	279
15.5 微分控制	252	17.3.2 Intel 8051	283
15.6 积分控制	253	17.3.3 Microchip™ 微控制器	285
15.7 PID 控制器	255	17.3.4 选择微控制器	290
15.8 数字控制器	256	17.4 应用	291
15.8.1 控制模式的实现	256	17.4.1 温度测量系统	291
15.8.2 采样速率	257	17.4.2 家用洗衣机	292
15.8.3 计算机控制系统	257	17.5 编程	292
15.9 控制系统性能	257	本章小结	294
15.10 控制器校正	258	习题	294
15.10.1 阶跃响应法	258	第 18 章 汇编语言	296
15.10.2 临界比例度法	259	18.1 语言	296
15.11 速度控制	259	18.2 指令集	296
15.12 自适应控制	260	18.2.1 寻址	299
15.12.1 变增益控制	261	18.2.2 数据转移	300
15.12.2 自校正	261	18.3 汇编语言程序	301
15.12.3 模型参考自适应系统	262	18.4 子程序	306
本章小结	262	18.5 查找表	308
习题	262	18.6 嵌入式系统	311
第 16 章 人工智能	264	本章小结	313
16.1 什么是人工智能	264	习题	314
16.2 感知和识别	264	第 19 章 C 语言	315
16.2.1 识别	264	19.1 为什么选择 C 语言	315
16.2.2 神经网络	265	19.2 程序结构	315
16.3 推理	265	19.2.1 主要特征	315
16.3.1 推理机理	265	19.2.2 一个 C 程序的示例	319
16.3.2 基于规则的推理	266	19.3 分支和循环	319
16.4 学习	267	19.4 数组	322
本章小结	268	19.5 指针	323
习题	268	19.5.1 指针的算术运算	323
		19.5.2 指针和数组	324
		19.6 程序开发	324
		19.7 程序的示例	325
		19.7.1 电动机的启动与关闭	325
		19.7.2 读 ADC 通道	325
		本章小结	326
		习题	327
		第 20 章 输入/输出系统	328
		20.1 接口	328
		20.2 输入/输出寻址	328
第五部分 微处理器系统			
第 17 章 微处理器	269		
17.1 控制	269		
17.2 微处理器系统	269		
17.2.1 总线	269		
17.2.2 微处理器	271		
17.2.3 存储器	273		
17.2.4 输入/输出	275		
17.2.5 系统示例	276		

20.3 接口要求	330	本章小结	364
20.3.1 缓冲器	331	习题	364
20.3.2 握手	331	第22章 通信系统	367
20.3.3 轮询和中断	332	22.1 数字通信	367
20.3.4 串行接口	335	22.2 集中式、分层式与分布式 控制	367
20.4 外设接口适配器	335	22.2.1 并行与串行数据传输	368
20.4.1 PIA 初始化	337	22.2.2 串行数据通信方式	368
20.4.2 通过 PIA 连接中断信号	338	22.3 网络	369
20.4.3 与 PIA 接口的例子	339	22.3.1 网络访问控制	370
20.5 串行通信接口	339	22.3.2 宽带与基带	370
20.6 接口的示例	342	22.4 协议	370
20.6.1 通过译码器控制七段数码管 ..	342	22.5 开放系统互联通信模型	371
20.6.2 模拟接口	344	22.6 串行通信接口	373
本章小结	345	22.6.1 RS-232	373
习题	345	22.6.2 20mA 电流环	375
第21章 可编程逻辑控制器	346	22.6.3 I ² C 总线	375
21.1 简介	346	22.6.4 CAN 总线	376
21.2 PLC 基本结构	346	22.6.5 USB	377
21.2.1 输入/输出	346	22.6.6 火线	378
21.2.2 输入程序	348	22.7 并行通信接口	378
21.2.3 PLC 的形式	348	22.8 无线协议	381
21.3 输入/输出处理	349	本章小结	381
21.3.1 持续更新	349	习题	382
21.3.2 大规模输入/输出复制	349	第23章 故障检测	383
21.3.3 I/O 地址	349	23.1 故障检测技术	383
21.4 梯形图编程	349	23.2 看门狗定时器	384
21.5 指令列表	352	23.3 奇偶校验与误码检测	384
21.5.1 指令列表和逻辑函数	353	23.4 常见的硬件故障	386
21.5.2 指令列表和分支程序	353	23.4.1 传感器	386
21.6 自锁和内部继电器	354	23.4.2 开关和继电器	386
21.7 顺序控制	356	23.4.3 电动机	386
21.8 定时器与计数器	357	23.4.4 液压和气动系统	386
21.8.1 定时器	357	23.5 微处理器系统	386
21.8.2 计数器	358	23.5.1 故障检测技术	387
21.9 移位寄存器	359	23.5.2 系统故障定位方法	389
21.10 主控指令和跳转指令控制	360	23.5.3 自测试系统	389
21.11 数据处理	361	23.6 仿真和模拟	389
21.11.1 数据移动	362	23.7 PLC 系统	390
21.11.2 数据比较	362	23.7.1 程序测试	390
21.11.3 算术运算	362	23.7.2 输入/输出测试	391
21.11.4 代码转换	363	23.7.3 PLC 作为系统的监视器	391
21.12 模拟输入/输出	363		

本章小结	392
习题	393

第六部分 总结

第 24 章 机电一体化系统	395
24.1 机电设计	395
24.1.1 定时开关	395
24.1.2 刮水器运动	398
24.1.3 浴室秤	401
24.2 案例研究	404
24.2.1 取放机器人	404
24.2.2 停车栏杆系统	407
24.2.3 数码相机	408
24.2.4 汽车发动机管理	411
24.2.5 条形码阅读器	413

24.2.6 硬盘驱动器	414
本章小结	415
习题	416

第七部分 附录

附录 A 拉普拉斯变换	417
附录 B 数字系统	424
附录 C 布尔代数	429
附录 D 指令集	437
附录 E C 库函数	441
附录 F MATLAB 和 SIMULINK	444
附录 G 电路分析	449
进一步的参考信息	456
习题参考答案	458
索引	472

第一部分 概 述

第 1 章 机械电子学导论

本章目的

通过本章的学习，读者将能够：

- 解释什么是机械电子学，以及领会它与工程设计的关系。
- 解释什么是系统，以及区分测量系统组成部分的意义。
- 描述开环系统和闭环系统中的各种表达形式及组成部分。
- 分析系统模型的需求，预测系统行为。

1.1 什么是机械电子学

机械电子学（或称机电一体化，mechatronics）一词最早由日本工程师于 1969 年提出。机械电子学是将机械结构学和电子学结合而成的一门新学科。到了今天这个词有了更为广泛的含义，一般可以认为是一种新的解决工程技术问题的思想。这种思想具体表现为在产品的设计制造和加工过程中，将机械工程、电子技术及计算机智能控制有效并行集成。通过应用这种思想，很多原本由机械结构实现具体功能的产品都可以由包含微控制器的产品替代。而这种可替代性将使得生产过程具有更好的灵活性，重复设计和重复编程更为简单，进而可以让系统具有自动数据收集和报告的能力。

机电一体化系统并不是简单地将电子系统和机械系统结合而得到的。而且机电一体化系统比简单的控制系统复杂很多。机电一体化系统在设计过程中遵循统一的设计方法。这种方法将机械、电子和控制系统完整地集成在一起。这种集成化的、多学科交叉的方法被广泛应用于各种工程设计领域，诸如汽车设计、机器人制造、机械工具加工、清洗设备设计、摄像设备设计等。如果需要设计更加廉价、更加可靠、灵活性更高的系统，那么设计在初始阶段就需要对机械工程、电气工程、电子学、控制方面的内容进行集成。在处理多学科交叉集成问题时，机械电子学使用统筹方法，而不是将各个部分分开按照序列的方式来设计，例如，先设计机械系统再设计电气部分及微处理器部分。因此，机械电子学是一种集成化的工程设计方法，具有独特的设计理念。

机械电子学将多个技术领域融合在一起。如图 1-1 所示，这些领域包括传感器、测量系统、驱动和执行系统、微处理器系统，以及与这些系统相关的控制及行为分析。这一点就是对本书内容本质上的一个概括。本章是机械电子学的引论，同时介绍一些基本概念，并给出其他章节的组织框架。具体的技术内容细节将在后面的章节逐一介绍。

1.1.1 机电一体化系统实例

我们以现代的自动对焦、自动曝光照相机为例。在使用这种照相机的時候，你需要做的只是将它对准要拍摄的物体，然后按下按钮，就可以完成照相了。照相机本身可以自动调节焦距使被照物体位于焦距上，还可以自动调节光圈和快门速度以取得正确的曝光。使用者不需要手

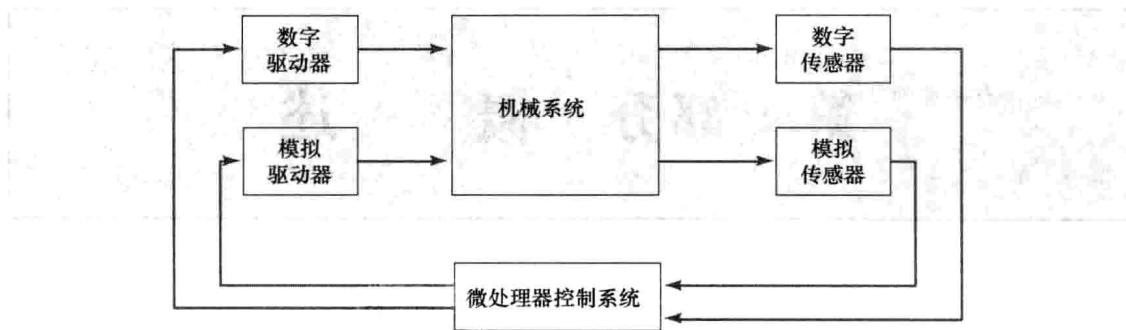


图 1-1 机电一体化系统的基本组成

动调节焦距、光圈和快门速度。再以卡车上使用的智能悬挂系统为例。这种悬挂系统可以在搭载不均匀负载的时候保持车身平衡；可以在转弯、路况较差情况下，保证驾驶平稳。再以自动化生产线为例。这样的一条生产线可以包含很多的生产过程。这些生产过程按照正确的顺序被自动执行，同时这些过程的每一个输出状态都会自动输出给需要的地方。可以说，自动照相机、卡车的悬挂系统和自动化生产线都是机械工程、电气工程及控制系统相互结合的完美实例。

1.1.2 嵌入式系统

嵌入式系统是通过将微处理器嵌入到我们的设计而形成的系统。在机械电子学领域，我们广泛地关注这种系统。微处理器在本质上可以被认为是逻辑门和存储单元的集合。但是，这些逻辑门和存储单元并不是分别作为个体由导线相互连接。微控制器主要通过软件的编写来实现不同的逻辑功能。作为一个逻辑门表示意义的说明，我们可能需要在输入 A 和输入 B 都有信号的时候得到一个输出信号。这可以通过一个“与”逻辑门来实现。而一个“或”逻辑门则可以保证只要输入 A 和输入 B 有一个通道上有信号，就可以输出一个信号。因此，微处理器的主要功能是观察输入通道的开关状态，依据内部的程序处理观察到的结果，并控制输出通道的开关。关于微处理器的更多细节将在第 17 章介绍。

对于应用于控制系统的微处理器，它需要额外的芯片来提供存储数据的空间及与外界交换信号的接口。**微控制器**就是一种将微处理器功能及上述额外芯片功能集成在一起的微处理器。

嵌入式系统是基于微处理器的系统。这种系统具备一系列的功能，但是这些功能不能像计算机一样可以由最终的使用者通过编程来改变。因此，在使用嵌入式系统的时候，使用者无法通过增加或者替换软件的方式来改变系统的功能。

举一个在控制系统中使用微控制器的例子。例如，在清洗设备中安装了微控制器控制系统，那么这台清洗设备就可以自动实现控制洗涤循环、抽送水、电动机和水温。在现代汽车工业中，微控制系统主要用来控制防抱死系统及发动机管理系统。除此之外，还有很多其他应用嵌入式系统的例子，包括自动对焦、自动曝光照相机、便携式摄像机、手机、DVD 播放器、电子读卡器、复印机、打印机、扫描仪、电视机和空调。

1.2 设计流程

任何系统的设计流程都可以分为以下几个阶段。

1. 需求

设计过程的开始就是分析消费者或者客户的需求。一般情况下，我们通过对潜在客户的市场调查来预测需求。

2. 问题分析

设计的第一个阶段是找出问题的本质,也就是分析问题。这是一个十分重要的阶段。因为如果问题没有被准确地定义,那么设计将变得非常耗时而且得出的设计通常难以满足需求。

3. 创建规格说明文档

在对问题进行分析后就可以开始准备规格说明文档了。准备工作包括陈述问题、介绍选择解决方法时要考虑的约束条件以及判定设计质量的标准。在陈述问题的时候,所有在设计中需要实现的功能及系统特性都要准确地描述出来。因此,规格说明文档一般包含质量、尺寸、所需动作的类型及范围、精度、输入/输出部分的要求、接口、电源要求、工作环境、相关标准及测试代码等。

4. 形成可能的解决方案

这一阶段通常被认为是一个概念性设计阶段。为了得到问题解决的大体轮廓,我们分析系统必须具备的功能并尽量多地给出实现这些功能所必需的细节条件,诸如近似尺寸、形状、材料和花费。同时,我们也要找出之前类似问题的解决方法。什么事情都从零做起是不必要的。

5. 选择合适的解决方案

我们评估所有可能的解决方案,并选出最优的解决方案。评估通常是指对系统进行重新建模,然后通过仿真预测系统对输入的响应。

6. 完成细节设计

在这一阶段,将完成所有选定方案的细节设计。为了实现设计细节方面的最优,有时候需要生产一些原型机或者实物模型来进行设计试验。

7. 工程绘图

在设计选定后,具体的设计就要以工程图、电气连接图等方式表现出来。这样就完成了一个设计流程。

设计过程的各个阶段并不是简单地按照先后顺序一个一个执行。设计者经常需要回到前面的阶段进行更深入的思考。当我们处在形成可能的解决方案的阶段时,就经常需要回到之前的问题分析阶段进行重新思考。

1.2.1 传统的机械电子学设计

工程设计是一个复杂的过程,需要交叉使用多种技巧及多学科的知识。在传统的设计过程中,机械部分由机械工程师设计,控制系统由控制工程师设计。这称为顺序设计方式。然而,机械电子学的基本方法是在设计过程中将机械工程、电子学、计算机技术及控制工程这些学科以统筹的方法整合在一起考虑。机械电子学方法的内在统筹性主要依靠系统建模、模型系统对输入响应的仿真和真实系统对真实输入的响应结果分析。

为了说明如何将多学科的方法应用于问题的解决方案设计,我们以磅秤的设计作为一个分析实例。设计磅秤一般只需要考虑如下几个过程:弹簧的压缩形变,一种可以将这种形变转化为轴的转动的机械结构,轴带动指针在刻度盘上的移动。还有一个需要考虑的问题是,磅秤的测量结果不能因被测试者站在磅秤的不同位置而发生改变。但是,如果我们以超出纯粹的机械设计领域的角度来看这个问题,那么我们还可以考虑其他的一些可能性。比如,我们可以用应力测试仪替换原有的弹簧,还可以通过使用微处理器将测试仪输出的重量读数显示在LED电子屏幕上。这样设计出来的磅秤在结构上更为简单,减少了运动部件的使用。原有由机械结构实现的复杂功能都转为由软件来实现。

下面再举一个更复杂的实例。传统的家用中央加热系统的温控设计使用的是一种闭环双金属温度控制系统。由于双金属条的弯曲度会随着温度的变化而发生改变,所以可以用于控制加