

数学工具

电气
和
电子器件

数字
技术

Technology
实川技术
变换器

机电一体化

——原理·概念·应用

〔英〕Nitaigour Premchand Mahalik 著

双凯 张婉妹 姜珊 译

智能控制

通信

和控制

集成

数学工具

电气
和
电子器件

数字
技术

变换器

信号
调理电路



科学出版社
www.sciencep.com

机械装置

设备

TH-39
446
12

机电一体化

原理·概念·应用

〔英〕Nitaigour Premchand Mahalik 著

双凯 张婉妹 姜 珊 译

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化:原理·概念·应用 / (英) Nitaigour Premchand Mahalik 著;

双凯等译. —北京:科学出版社, 2008

ISBN 978-7-03-023449-1

I. 机… II. ①N… ②双… III. 机电一体化—技术—教材 W. TH-39

中国图书馆书号(CIP)数据 094437号

责任编辑: 陈青 陈青 陈青 陈青

封面设计: 陈青 陈青 陈青 陈青

制作: 陈青 陈青 陈青 陈青

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社

北京 100071

100071

<http://www.sciencep.com>

陈青 陈青 陈青 陈青

陈青 陈青 陈青 陈青

2008年1月第1版 2008年1月第1次印刷

科学出版社

北京 100071

(北京) 100071

图字: 01-2007-5607 号

内 容 简 介

随着计算机技术的迅猛发展和广泛应用,机电一体化技术获得前所未有的发展,成为一门综合计算机与信息技术、自动控制技术、传感检测技术、伺服传动技术和机械技术等交叉的系统技术,应用范围愈来愈广泛。本书开篇介绍了机电一体化的基本概念,然后重点论述了用于机电系统设计的元件,各类常用的变化器及传感器的操作原理,并且对开环、闭环、智能化和反馈控制系统及诊断方法进行了讲解。

本书可作为高等院校机电一体化专业的教学参考书或教材,也可供从事机电一体化行业的工程技术人员阅读使用。

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化:原理·概念·应用/(英)Nitaigour Premchand Mahalik 著;
双凯等译. —北京:科学出版社,2008

ISBN 978-7-03-022449-1

I. 机… II. ①N… ②双… III. 机电一体化-技术 IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 099427 号

责任编辑:赵方青 杨 凯 / 责任制作:魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:竣 佳

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 9 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2008 年 9 月第一次印刷 印张: 37 3/4

印数: 1—4000 字数: 727 000

定 价: 68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

致谢

我非常感谢为本书提出诸多宝贵意见的书评作者,他们是 BITS 的 Himanshu Sharma 教授, Pilani 及 Lala Lajpat Rai 工程技术学院的 Vikas Chawla 先生。他们在繁忙的日程中抽时间阅读本书,并提出了宝贵的修改建议。我也非常感谢给予我鼓励的编辑 Vibha Mahajan 女士和 K. Srinivas 先生。同时,我还把我最深的感谢献给我的学生们,他们在我的教学和与我的交流中给我很多反馈意见。

另外,我想继续表达我极深的感谢之情,献给让机电一体化的种子深深扎根于我大脑的英国 De Montfort 大学机械电子研究组的组长 Philip Ronald Moore 教授。我也想把诚挚的谢意致以本书整个创作的各个阶段提出很多宝贵意见的韩国光州科学技术学院微制造实验室负责人 S K Lee 教授。

而且,我想感谢美国英特尔公司、美国安德克公司、美国佩里库协同微系统公司、布尔勒大学工程学院为本书提供了(直接或间接)材料、数据、问题等。

最后,我要感谢我的妻子(Ellyy)和两个儿子(Likun, Pikun),他们牺牲自己的宝贵时间为我做了很多辅助性工作,并认为这一切都很值得。

关于作者

Nitaigour Premchand Mahalik 博士于 1989 年在布尔勒大学工程学院获得电子及通信工程学士学位,于 1993 年 12 月获得该校电子系统及通信工程专业工程硕士学位。1998 年 6 月,他在英国 De Montfort 大学获得博士学位,并在 2002 年 6 月在韩国光州科学技术学院从事博士后研究。1990 年,Mahalik 博士进入 Biju Patnaik 科技大学的布尔勒大学工程学院任教,成为电子和电信工程系的讲师。1994 年,他晋升为高级讲师。目前,他仍然在该学院担任助理教授并被额外委派做考务管理工作。

Nitaigour Premchand Mahalik 获得了印度政府颁发的享有声望的国家海外留学奖学金,赴海外开展机电一体化领域的博士研究工作。并且他也获得了由韩国政府颁发的Brain Korea-21研究院基金,在 Kwangju 科学技术研究院的机电系继续他“实时智能分布式机械控制系统”领域博士后研究。

2001 年,他应邀担任俄罗斯莫斯科国立科技大学的访问教授。最近,Mahalik 博士已编撰完成著作《现场总线技术:实时分布式控制的工业网络标准》。他已发表了国际水平的学术论文 40 多篇。

他是很多专业机构的成员和准成员,这些机构包括 ISTE(I),MMF(UK),MMF(I),MISA(USA)等。他还是“美国核能协会”及加拿大“国际科技发展协会”国际期刊的审稿人。

前言

世界各地科技教育和研究都在向多学科方向发展。由于现在的工程学性质是扩张而不是分散的,在这种意义上,目前的情况与前段时间是不同的,全球技术教育课程与传统方式相比已成为逆向结构。其主要原因是目前的技术设计是高度复杂和跨学科的、涉及多方面工程知识基础的协同整合的。本书涵盖了交叉学科协同作用的各个方面。

机电一体化涵盖的范围广泛。它完美地结合了机械、电子、电气、软件工程、信息系统、通信、控制和人工智能。在全世界范围内,机电一体化是面向工科专业的大学本科(学士)和研究生(硕士)程度的学生开设的课程。在许多大学,几乎所有的工程学科都会把机电一体化列为一门主要课程(作者曾访问过许多国家的大学,仔细研究过他们的教学大纲)。

在未来,机电一体化极有可能在所有工程学科的课程中拥有一席之地,正如近年来电子学基础在工程专业课程中占据的地位。如果所有的工科学生都有机会学习这门重要的学科,那对其专业学习将会很有帮助。本书可以作为工科学士和硕士的教学用书,尤其适用于电气、电子、机械及制造工程学科。广大研究人员也能够从本书中找到很多有用的提示和启发。

长期以来,为了迎合教学研究的迫切需求,将多种不同的理论、原理、技术、方法和标准进行综合而形成了一些新学科。举例来说,在纵览了接近于机械电子系统定义的结构概念后,就能更好地理解先进设备的背景知识,理解其主要的辅助系统的功能和操作。学士和硕士应该掌握实用的专业技能的原理和技术。知识可以被动地获得,这是事实。但是,学生要通过对重要课程的积极学习掌握理论知识和技能,这也是本书想要达到的目标。作者通过对书中要点知识的阐述,讲解了本课程的基本内容。本书内容范围广泛、全面,深入浅出,将能帮助读者循序渐进地掌握知识要点并逐步理解执行机构的概念。

鉴于机电一体化学习的重要性,它的概念、定义、原理都在第1章中加以阐明。由于机电一体化的技术涵盖的知识面广,书中逻辑鲜明、深入浅出的阐述,能让读者尽快掌握基本知识。同时书中对于机电一体化领域的问题也有简要的讨论。

第2章包括了机电一体化研究所需的数学工具和基础理论。除了对基础研究

的定义和说明外,对工具和基础理论的实用性和适用性等也进行了描述和集中分析。具体而言,本章阐明了傅里叶级数、傅里叶变换和小波变换的意义。先进的离散时间信号处理方法,如离散傅里叶变换(DFT)、快速傅里叶变换(FFT)也都在这一章中给予了介绍。用控制示意图说明了微分方程和差分方程的区别。本章还讨论了拉普拉斯变换和Z变换,这些方法主要是用于求解系统问题的重要数学工具。

在第3章及第4章描述了用于机电系统设计应用的不同类型的基本元件。它们包括:半导体,基本的电子元件,电气关系,电路元件,电路分析,数字技术的基本内容,数字化理论如布尔代数,逻辑功能如“与”、“或”和“非”,数字技术的组成单元,如逻辑门、触发器、寄存器、计数器和多路选择器。

第5章着重介绍的是各类常用的变换器和传感器操作原理。特别对在机械电子系统或产品中常见的变换器作了概要说明。智能传感器的概念在接下来各章的某些地方也有解释。本章还介绍了用于测量电气及电子参数的设备。

第6章对在机械电子系统中相关内容进行了介绍。许多信号在中间点需要一定数量的信号调理或信号处理。如:整流、放大、滤波、模数转换(ADC)、数模转换(DAC)、隔离、多路复用等就是一些信号调理功能。

第7章讨论了各类开发并使用至今的常用的工业执行器,如基于机电、气动、智能材料的执行器等。在以后的章节里,还从机电一体化的角度解释了智能执行器的概念。

在机械电子系统的设计中,机械装置发挥了非常重要的作用。机器系统内的机械装置通过使用称之为机械部件的基本构建模块实现。这些机械部件是皮带、皮带轮、齿轮、轴承、链条及链轮、凸轮和随动机、棘轮和棘爪、曲柄齿轮等。对这些机械部件的基本原理作了详细的讲述。

第8章对与控制系统相关内容进行了介绍。精密复杂而灵活的控制不断地改变着自动化系统。在过去,大多数工业控制系统是投入产出比接近一比一的继电器或基于可编程逻辑的控制。为了在系统设计中改善通信、控制能力,使之执行简便、高效、可靠性高和安全性好,微处理器和(或)基于微控制器的控制执行器出现了。微处理器和基于微控制器的控制系统,由于其多用途、多功能性和高度集成化,不仅在机电系统,也在其他许多工业应用(如过程控制、SCADA、家用电器等)中,应用得越来越普遍。

第9、10和11章主要讨论的是传递函数的定义和其效用、频率响应曲线及其应用。工程系统的特点是通过建模和分析来研究。这就需要对系统识别和研究系统的响应、传递函数、频率响应。在书中依次清晰地介绍了建模的作用、定义、技术和方法。系统的输入输出的关系是由常微分方程和状态空间模型即模型方程确定的。建好的模型为了解、研究和使用系统建立了基础。而且通过研究系统响应可以了解条件变化下和预期的系统的特性。在输入端加入诸如阶跃、斜变和正弦信

号这样的测试信号,可以研究一阶和二阶系统的瞬态和稳态响应。控制系统以频率响应函数为特点。频率响应是指在确定的带宽和抗干扰的条件下估算系统的性能。

第 12 章涉及开环、闭环、智能化和反馈控制系统和诊断方法的介绍。控制原理如 PI、PID 控制等也会在本章中讨论。此外,关注了数字化控制实现的相对优点和缺点。本章还介绍了软计算技术的概念。这些基本知识引导我们理解人工智能的基本概念。

第 13 章对包括一个操作系统(OS)的计算工作台进行了定义和描述,介绍了软件工程和方法的用途,并适时介绍了硬件和软件的集成参数,如模块化、可伸缩性、可扩性、灵活性、互操作性、互换性和开放系统。许多面向应用的设计和实施方式、原则,如面向对象的方法、客户机—服务器架构(修正案)、分布式控制系统(DCS)等。由于计算机平台、软件工具和系统这些开发平台,在系统设计的每个方面都起到十分重要的作用。使用硬件和软件工具、工作台(平台)和技巧可以建造、设计、监测、控制和模拟机电一体化系统。因此,能使读者对诸如软件如何与真正的目标机械电子平台接口问题有更深入的认识。

在第 14 章中引入了“基于组件设计”的一个新概念,用于多学科系统的设计。它采用了所涉及学科中所有的观念、方法、工具和技术。验证是一个对系统的性能评估的过程。第 14 章描述了验证方法以及执行原则。故障检测与分离(FDI)以及诊断和预测(DAP)是验证研究中两个主要的研究议题。

在第 15 和 16 章讨论了实现系统需求的控制可采用的方法、工具、技术和平台。这两章将理论研究和实际操作联系起来。这些章节包括了机械电子系统的很多实例,是对第 1 章的相关技术细节的适当扩充。介绍中所涉及的问题包含整合微控制器、先进技术、电脑、工作台及相关测量系统的设计、开发、控制、数据采集、演示、模拟、分析和验证。着重说明了集中式与分布式的相关优点和缺点,以及监控和数据采集(远程监视和控制)的方法。更多的关于实时系统、响应时间、生产能力、事件、过渡性、一致、协调、同步以及很多与控制相关的有用参数在这里得到了明确解释。

可以断言,这本书为传统的机电系统提供了先进设计和控制方法的基本知识。机械电子系统本质上是电控机械系统,它将输入和(或)输出设备(如传感器和执行器)一体化,并且采用了先进的控制方法和技术实现灵活控制。通过将软件、硬件、工具、方法和实际应用平台进行整合,可把现有的知识应用于系统的实现。

为了进一步的改进,欢迎读者给予反馈。

目录

第 1 章 绪 论	1
1.1 背 景	3
1.2 各学科的概要	3
1.3 起 源	5
1.4 机电一体化的发展	5
1.4.1 初级的机电一体化	6
1.4.2 中级的机电一体化	6
1.4.3 第三层次的机电一体化	6
1.4.4 第四层次的机电一体化	6
1.5 机电一体化综述	7
1.6 制造过程简介	8
1.7 设 计	10
1.8 本书的范围	11
1.8.1 信号分析和工程工具	12
1.8.2 电气元件和电子器件	13
1.8.3 数字技术	13
1.8.4 变换器	14
1.8.5 信号调理电路	14
1.8.6 执行器	16
1.8.7 机械结构	17
1.8.8 微处理器和微控制器	17
1.8.9 建模、系统描述和系统响应	19
1.8.10 反馈控制	20
1.8.11 智能控制	21
1.8.12 诊 断	21
1.8.13 开发工具和概念	22

1.8.14	控制结构和集成	22
第 2 章	信号理论和工程工具	27
2.1	引 言	29
2.2	背 景	29
2.3	信号的术语	33
2.3.1	随机信号与确定性信号	33
2.3.2	平稳信号与非平稳信号	33
2.3.3	周期信号与非周期信号	33
2.3.4	模拟信号与离散信号	34
2.4	信号的分析与处理	35
2.5	信号的多域表达	35
2.6	周期性模拟信号的分析与表示	37
2.6.1	信号的频域表示	39
2.7	非周期模拟信号的分析与表示	40
2.7.1	频域表示	40
2.8	离散傅里叶变换和快速傅里叶变换	43
2.9	信号的时频域分析	44
2.10	微分方程	46
2.11	拉普拉斯变换	47
2.12	差分方程	53
2.13	Z 变换	54
2.14	变换方法的总结	58
2.15	信号的功率和能量	59
2.16	调制和解调	59
第 3 章	电气元件和电子器件	67
3.1	引 言	69
3.2	电气元件的基础	69
3.2.1	电 阻	69
3.2.2	电 感	72
3.2.3	电 容	73
3.2.4	电抗和阻抗	74

151	3.3 电子器件基础	76
151	3.3.1 半导体材料	77
151	3.3.2 结型二极管	79
151	3.3.3 双极性三极管	82
151	3.3.4 结型场效应晶体管	86
151	3.3.5 金属氧化物半导体场效应晶体管	87
151	3.3.6 单结晶体管	88
151	3.3.7 可控硅整流器	88
151	3.3.8 双向可控硅开关元件	89
151	3.3.9 集成电路	89
151	3.3.10 运算放大器	90
	3.3.11 网络电缆	91
217	第4章 数字技术基础	99
717	4.1 引言	101
841	4.2 数制	101
841	4.3 二进制数制的范围和权重	102
841	4.4 二进制数的权	103
911	4.5 数制转换	103
921	4.6 八进制和十六进制	105
981	4.7 BCD 编码的数制	107
101	4.8 格雷码	108
101	4.9 二进制算术的算法	110
101	4.9.1 二进制加法	110
101	4.9.2 二进制减法	111
101	4.9.3 二进制乘法	112
101	4.9.4 有符号的二进制数	112
101	4.10 布尔代数	112
101	4.11 逻辑状态	113
101	4.12 逻辑函数	114
101	4.13 其他种类的逻辑门电路	115
101	4.14 通用的门电路	118
101	4.15 异或门电路	118
101	4.16 组合逻辑电路和时序逻辑电路	120

4.17	触发器	121
4.17.1	SR 触发器	121
4.17.2	D 触发器	123
4.17.3	JK 触发器	124
4.17.4	寄存器	124
4.17.5	计数器	126
4.17.6	多路选择器	127
4.18	布尔表达式的最简形式	127
4.19	卡诺图	130
4.20	TTL 门电路与 CMOS 门电路	135
4.21	存储器	136
第 5 章 变换器和传感器 145		
5.1	背景介绍	147
5.2	变换器和传感器之间的差别	147
5.3	变换器类型	148
5.4	转换原理	148
5.5	光电变换器	148
5.5.1	光电发射变换器	149
5.5.2	光电导变换器	150
5.5.3	光伏式变换器	150
5.6	热敏电阻	151
5.7	感热器件	153
5.8	热电偶	153
5.9	感应变换器	155
5.10	电容变换器	158
5.11	热电变换器	159
5.12	压电式变换器	159
5.13	霍耳效应变换器	161
5.14	电离变换器	162
5.15	发光二极管	163
5.16	光编码器	164
5.16.1	增量式编码器	164
5.16.2	绝对式编码器	165

5.17	双金属片	168
5.18	波登管	168
5.19	应变计	169
5.20	测压元件	170
5.21	弹性膜片	171
5.22	机械式开关	172
5.23	流量变换器	172
5.24	光纤变换器	173
第 6 章	信号调理的理论、电路与系统	179
6.1	简介	181
6.2	分压器	181
6.3	整流	182
6.4	稳压二极管	184
6.5	限幅和箝位电路	185
6.6	放大器	186
6.6.1	运算放大器电路	187
6.6.2	其他滤波电路	191
6.7	隔离器(单位增益放大器)	192
6.8	仪表放大器	193
6.9	电桥电路	194
6.10	比较器	195
6.10.1	过零检测器	197
6.11	振荡器	197
6.12	555 定时器	201
6.13	采样与保持	204
6.14	时钟	205
6.15	模-数转换	206
6.15.1	数-模转换	208
6.15.2	基于计数器的模-数转换器	211
6.15.3	逐次逼近型模-数转换器	213
6.16	检流计、电流表和电压表	214
6.17	阴极射线示波器	215

第 7 章 执行器和机械装置	223
7.1 简介	225
7.2 执行器类型和应用领域	226
7.3 机电执行器	226
7.4 直流电动机	227
7.4.1 有刷式直流电动机	230
7.4.2 无刷式	231
7.4.3 无芯式	231
7.5 交流电动机	232
7.5.1 感应电动机	232
7.5.2 同步电动机	232
7.5.3 步进电机	233
7.6 液压执行器	236
7.6.1 气动执行器	236
7.6.2 阀门	238
7.6.3 水力执行器	239
7.6.4 比较	240
7.7 压电执行器	240
7.7.1 实例	241
7.7.2 压电电动机	242
7.8 磁致伸缩执行器	242
7.9 记忆金属执行器	243
7.10 离子交换聚合物金属复合材料	243
7.11 化学执行器	243
7.12 机械装置	243
7.13 轴承	244
7.13.1 滑动轴承	244
7.13.2 轴颈轴承	244
7.13.3 滚动轴承	245
7.13.4 磁性轴承	248
7.13.5 分子轴承	249
7.14 皮带、链条	249
7.15 滑 轮	249
7.16 齿 轮	251

885	7.16.1 齿轮传动比	253
885	7.17 齿条和小齿轮	254
885	7.18 棘轮、棘爪和曲柄	255
085	7.19 滑块和曲柄	255
505	7.20 凸轮和随动件	256
505	7.20.1 凸轮的形状	258
505	7.20.2 随动件的形状	258
505	7.21 链条和链轮	259
505	7.22 间歇传动轮	260
505	7.23 四连杆机构	260
205	第 8 章 微处理器和微控制器	269
805	8.1 简介	271
505	8.2 一个基于微处理器的数字控制实例	272
505	8.3 控制系统的基本元素	274
805	8.4 通过自检来决定下一步做什么	274
805	8.5 微处理器结构	275
805	8.6 专有名词	275
505	8.6.1 CPU	275
505	8.6.2 存储器和地址	276
505	8.6.3 I/O 和外设	277
505	8.6.4 ALU	277
000	8.6.5 指令和程序	277
000	8.6.6 汇编器	278
001	8.6.7 数据	278
001	8.6.8 操作数、助记符和操作码	279
505	8.6.9 寄存器	279
	8.6.10 取指周期	282
505	8.6.11 写周期	283
511	8.6.12 状态	283
511	8.6.13 总线	284
511	8.6.14 指令译码器或微码引擎	284
511	8.6.15 中断	285
511	8.6.16 堆栈和堆栈指针(SP)	286

8.7	指令类型	288
8.8	寻址方式	288
8.9	现在你所了解的内容	288
8.10	Intel 8085A 微处理器	289
8.11	微控制器	292
8.11.1	微处理器和微控制器之间的区别	292
8.12	控制领域的一般性需求及其在微控制器中的实现	294
8.12.1	数学运算	294
8.12.2	实时操作和任务切换	294
8.12.3	通信	295
8.12.4	采样速率	295
8.13	分类	296
8.14	Intel 8XC196KC/KD 微控制器	296
8.14.1	核心单元	297
8.14.2	微码引擎	297
8.14.3	队列	298
8.14.4	寄存器文件	298
8.14.5	RALU	298
8.14.6	存储总线	299
8.14.7	存储器控制器	299
8.14.8	中断控制器和外设处理服务器	299
8.14.9	I/O 端口	299
8.14.10	看门狗定时器	300
8.14.11	A/D 转换器	300
8.14.12	脉宽调制器	301
8.14.13	数据类型和寻址方式	301
8.15	可编程逻辑控制器(PLC)	302
第 9 章	建模	309
9.1	引言	311
9.2	系统	311
9.3	建模	312
9.4	机械系统	313
9.4.1	弹簧	313

9.4.2	阻尼元件	315
9.4.3	质量-惯性元件	315
9.5	电气系统	316
9.6	流体系统	317
9.6.1	惯量	317
9.6.2	流阻	318
9.6.3	流容	318
9.7	热系统	319
9.7.1	热容	319
9.7.2	热阻	319
9.8	工程系统	320
9.9	含有弹簧、阻尼器和质量块的平动机械系统	321
9.10	由弹簧、阻尼器和质量块组成的转动系统	322
9.11	电动机建模	323
9.11.1	速度控制	325
9.12	填充流体的容器建模	326
9.13	气动执行器建模	326
第 10 章	系统响应	333
10.1	引言	335
10.2	输入-输出方程和系统描述	335
10.2.1	输出响应	336
10.2.2	多输入多输出系统	337
10.2.3	线性和非线性系统	337
10.2.4	时变系统	338
10.3	瞬态、滞后和延时响应	338
10.4	瞬态响应特性	339
10.5	测试信号	340
10.6	一阶系统的输出响应	341
10.6.1	自由响应(零激励)	341
10.6.2	阶跃信号输入	341
10.6.3	斜坡激励	343
10.6.4	正弦激励	343
10.7	二阶系统的输出响应	345