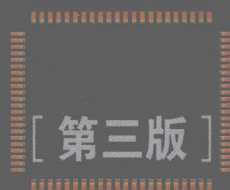


国外高等教育经典教科书

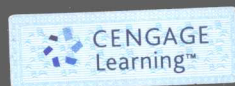


现代控制技术

组件与系统



Modern Control Technology
Components and Systems (3rd Edition)



[美] Christopher T. Kilian 著
岳云涛 杜明芳 赵慧娟 商丹
高永清 马 丽 肖丽平 译



中国轻工业出版社

国 外 高 等 教 育 经 典 教 科 书

现代控制技术 [第三版]

组件与系统

Modern Control Technology

Components and Systems 3rd Edition

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

现代控制技术: 组件与系统: 第3版/(美) 基利安(Kilian, C.T.) 著; 岳涛等译. —北京: 中国轻工业出版社, 2010.3

书名原文: Modern Control Technology components and systems third edition

国外高等教育经典教科书

ISBN 978-7-5019-7453-5

I. ①现… II. ①基…②岳… III. ①自动控制系统-高等学校-教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 236458 号

Christopher T. Kilian

Modern Control Technology components and systems third edition

ISBN: 1-4018-5806-6

Copyright © 2006 by Delmar, a part of Cengage Learning.

Original edition published by Cengage Learning. All Rights reserved.
本书原版由圣智学习出版公司出版。版权所有, 盗印必究。

China Light Industry Press is authorized by Cengage Learning to publish and distribute exclusively this simplified Chinese edition. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only (excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan). Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

本书中文简体字翻译版由圣智学习出版公司授权中国轻工业出版社独家出版发行。此版本仅限在中华人民共和国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区及中国台湾)销售。未经授权的本书出口将被视为违反版权法的行为。未经出版者预先书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Cengage Learning Asia Pte. Ltd.

5 Shenton Way, #01-01 UIC Building, Singapore 068808

本书封面贴有 Cengage Learning 防伪标签, 无标签者不得销售。

责任编辑: 张晓媛 责任终审: 简延荣 封面设计: 锋尚设计
版式设计: 王培燕 责任校对: 燕 杰 责任监印: 张 可

出版发行: 中国轻工业出版社(北京东长安街6号, 邮编: 100740)

印 刷: 北京京都六环印刷厂

经 销: 各地新华书店

版 次: 2010年3月第1版第1次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 33

字 数: 633千字

书 号: ISBN 978-7-5019-7453-5 定价: 59.80元

著作权合同登记 图字: 01-2007-5264

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

70946J1X101ZYW

出版者的话

控制技术的应用已经深入到生产生活的各个领域，从工厂大型生产线，到汽车电子装置，再到居室内的空调系统，几乎处处都有控制应用的身影，这使人们享受到了科技带来的种种便利，同时更彰显了控制在科学和社会发展中的重要地位。

不得不说，社会的高速发展，需要越来越多的年轻人跨入这个行业，细心钻研，并创造出更多的价值。但是，控制理论是一门对基础知识，尤其是数学知识要求很高的学科，而将高深的控制理论转化为实际的生产力，又是一项复杂的工程。这种难度成为工程人员进入这个领域的门槛。那么如何使大家更容易地跨过这道门槛呢？本书就是大家的有力助手。这也是我们引进这本书的初衷。

本书没有高深的理论，而是专注于控制技术的实际应用，帮助读者解决眼前的问题。应用大量的图表，朴实的语言描述控制系统的组件和控制方法。本书引用当前技术领域中的实际例子，清晰地阐述了各个组件的工作原理，以及它们是如何在一起工作的。书中有大量的例子和习题，语言精炼，重点突出，没有复杂的原理、公式，而是采用最简单的方法解决实际工程中最常见的问题，让读者可以直接解决实际问题。

本书可以作为高等院校自动控制及相关专业的教材，还可作为相关专业的教师、研究人员及工程技术人员参考用书。本书也非常适合作为工具书。

本书保留了原书的英制单位，并在相应位置标出了英制单位与公制单位的换算方式。既保留图书的原汁原味，也不影响读者的阅读。

我们始终将出版优秀的图书作为使命，将实际实用作为出版图书的方针。希望本书的出版能够为广大读者带来帮助，我们也将一如既往地为广大读者奉献更优秀的图书。同时，希望能与更多优秀的作者携手共同出版优质图书。出版社联系方式：zhang_xiaoyuan@163.com

译者序

这是一本为工科类学生编写的有关控制系统的教材，它可以应用于工业控制、工业电子、控制系统或机电系统等课程，全书通过丰富的实例，生动形象、深入浅出地介绍了现代自控系统和工业电子的基本理论，使学生易于理解和接受。

本书内容丰富，知识覆盖较广，主要涵盖了（1）机电组件，如：传感器、电动机、驱动电路；（2）机械和电子间的接口电路；（3）齿轮、弹力、摩擦力和惯性等一些机械概念；（4）结合一些概念的基本反馈控制理论。

一个典型的工业控制系统应该包括传感器、电动机、电缆、开关和机械部件，所有这些可以通过电子控制单元来控制。本书呈现给读者这样一个流程，或多或少地通过工业控制结合每章附加一些基础部分，然后在最后部分（第 11 和 12 章）通过讨论控制单元和控制策略，将这些零散的部分结合起来，尽力均衡处理重要部分和特殊部分的比例，因此读者可以恰当地关联课程，彻底地理解控制系统的整体内容。

我们长期从事实践教学充分体会到一本好的教材对建设一门课程的关键所在，本书的翻译出版，将对我国现代控制系统课程的课程体系、课程内容和教学方法的改革发挥重要作用。

本书第 1、2、7、8、9 章由岳云涛副教授译，第 4、11 章由杜明芳译，第 6 章 1~4 节由马丽译，第 6 章 5~9 节由肖丽平译，第 5、10 章由赵慧娟译，第 3、12 章由商丹译，附录 A、B、C、D 由高永清译，岳云涛对全书进行了审校，感谢赵果、牛玉丽、李军、王东辉、李琳、卜建新、邹焱飏、周晓阳、梁莉、张铁、林琦、张安全、李建光、孙海霞等老师对此书原作的评估和出版建议。

由于译者水平有限，难免有错误与不当之处，敬请读者批评指正。

岳云涛
2009-6-15

前 言

预期使用与水平

《现代控制技术：组件与系统》（第三版）可应用于企业的技术培训中，它还适用于如下专业的课程，如工业控制、工业电子、控制系统、机电系统。

学习本书前，至少应掌握基本交直流电路。如果还掌握了如下知识，将更为有利。包括固态电路和运算电路、基本数字电路、微处理器、物理知识（尽管这些都会本书中讲解）。

本书的难度属于中等。只要求具有代数相关的数学知识，而不要求积分和拉普拉斯变换的使用。大多数情况下，如果讨论的主题超过了我们所要求的知识水平，本书会引入实际应用中的实例来讲解这个主题所涉及的基本概念。

目标和方法

许多技术专业的学生往往仅学习一门控制和电机接口的课程。而本课程将覆盖：（1）机电部件，如传感器，电动机，驱动电路；（2）机械和电子间的接口电路；（3）部分机械领域的知识，如齿轮、弹簧、摩擦和惯性；（4）基本反馈控制理论，它们将上面所有的概念结合在一起。

本书覆盖了下面的主题：每章都阐释了实际工业控制系统的一个方面。

- 第1章介绍了工业控制系统的基本概念
- 第2章介绍了数字微控制器和微控制器，包括ADC、DAC和串行接口
- 第3章包含基本运算电路和仪器放大器，以及实际接口问题，如电流环、屏蔽、接地和接地环、电线型号和电缆种类
- 第4章包括开关、继电器、功率晶体管、SCR、双向可控硅、触发器装置
- 第5章介绍一些基本机械概念，如弹簧、惯性、能量和齿轮
- 第6章包括所有主要类型的传感器，如温度、压力和位置传感器等
- 第7，8，9章包括直流电动机，步进电动机和交流电动机
- 第10章包括各种类型的传动装置，如电力线性传动装置、液压传动装置和气压传动装置

- 第 11 章提出了控制策略，从简单的双位开关系统，到比例控制，再到 PID 控制系统，这章也讨论了模糊逻辑控制器
 - 第 12 章介绍继电器逻辑、可编程逻辑控制器、和运动控制器
-

如何使用本书

本书的章节是按逻辑安排的，可以直接按章节顺序学习。然而，有些内容可以简化，甚至跳过。如果读者在前期课程中曾经学过代数字概念，微处理器控制，运算放大器，开关，继电器和半导体，那么可以略过或者压缩这方面的学习（第 2、3、4 章）。为了适应学时，也可以适当调整直流、步进、交流电动机的内容（第 7、8、9 章）。因为通常会有专门的课程讲解电动机。关于反馈控制原则（第 11 章）的内容，必须讲解，至少应该介绍 PID 控制的概念，而第 11 章中的其他主题，如果有必要，可以忽略。最后，一定要留下时间讲解第 12 章的这 3 节内容——继电器逻辑、可编程逻辑控制器、运动控制器。

特点

典型的工业控制系统通常会包括传感器、电动机、电线、开关和机械部件，而所有的这些器件都将由电子控制装置控制。本书使读者置于工业控制系统的“旅途”中，每一章都会为这个系统增加一个功能部件，最后（第 11、12 章），所有的部件将通过控制装置和控制方法结合在一起。作者尽力均衡处理各个重要的主题和特征，使读者可以更容易抓住重点。

- 事实上，所有的现代控制器都是数字的。这是本书的编写理念（尽管我们在书中也讨论了模拟控制器）。第 2 章介绍了数字控制器，并贯穿于整本书。

- 书中的材料并不是严格的数字计算，但是却利用实践中的计算方法得到实用的答案。许多例子同时采用英制单位和公制单位。

- 讨论了相关的机械概念（摩擦、杠杆、弹簧、齿轮等），还有基本的物理概念，如运动和惯性、热传递、压力，提供了现代工业控制系统的全面概况。

- 为了提高文章的可读性，作者使用了一种轻松、口语式的书写风格，并用图片标识重点概念。

本版次的新增内容

新版本的书检查了第二版书的正确性、清晰性和连贯性，因为技术发展迅速，许多在第二版中提到的器件，制造商已经不再生产了，所以选择了新的。许多图表重新制作使它们更清晰。除此之外，还增加了许多新的主题：

- 数字“面板安装”控制器
 - 绝缘栅极晶体管 (IGBT)
 - 差动齿轮
 - 关于商业光电传感器的一些补充材料，包括对射的、反射的、漫反射接近模式和聚光型接近模式
 - 超声波接近传感器
 - 超声波流量传感器
 - 最新的交流变频电动机驱动
 - 有关 PID 控制的扩充讨论
 - 串级控制
 - 对工厂网络内容进行补充，包括 AS-I 传感器网络
-

补充说明

1. *Instructor's Guide* 提供所有习题的答案
 2. 在线帮助包含音频和数据文件的下载，网址：<http://www.electronictech.com>
-

关于作者

从我记事起，我就对机器人很感兴趣。在 15 岁的时候，我制作了一个机器人，其大脑包含 50 个继电器，它可以通过一系列的指令而动作。后来，我在（美国）加利福尼亚大学洛杉矶分校主修工程专业，学习了电子、机械和控制理论的课程。从我在亚利桑那州大学技术系教授数字控制时，就开始编写本书了。原本想写成有关数字控制的薄本。经过后来几年（我返回马里兰州），这个项目的内容扩大了，成为关于工业电子和控制方面综合文章，在我的课堂上成为“视野扩展”性的材料。

感 谢

感谢两位 West Publishing 的编辑 Tom Tucker 和 Chris Conty，他们和我一同致力于本书的工作。Tom 鼓励我开始写这本书，并帮助使书成稿；Chris 以他的鼓励和敏锐的洞察力帮助本书的实现。我还要感谢 Delmar 的女儿 Dawn，她在第三版修订中给予我帮助。

感谢复审成员给予的建议和评论。第三次复审的成员为：

Earl Godt II
Spoon River Community College
Canton, IL
Donald Sletten
High Tech Institute
Phoenix, AZ
Dr. Recayi Pecan
University of Northern Iowa
Cedar Falls, IA

Robert Stevens
Mesabi Range College
Eveleth, MN
Richard Day
Columbia Gorge Community College
The Dalles, OR

Chris Kilian

目 录

第1章 控制系统概述	1
1.1 控制系统	1
1.1.1 概述和背景	1
1.1.2 开环控制系统	3
1.1.3 闭环控制系统	4
1.1.4 传递函数	5
1.2 模拟和数字控制器	8
1.3 控制系统的分类	9
1.3.1 过程控制	9
1.3.2 运动控制	13
第2章 基于微处理器控制的介绍	18
2.1 微处理器系统硬件概述	19
2.2 微处理器工作原理	22
2.3 微处理器控制器的接口连接	23
2.3.1 并行接口	23
2.3.2 串行接口	29
2.4 控制器的编程	32
2.5 基于微处理器的控制器	33
2.5.1 单片机(微控制器)	33
2.5.2 单板计算机	35
2.5.3 数字“面板安装”控制器面板	36
2.5.4 可编程逻辑控制器	36
2.5.5 PC机在控制系统中的应用	36
第3章 运算放大器和信号调节	41
3.1 运算放大器	42
3.1.1 简介	42
3.1.2 电压跟随器	46

2 现代控制技术

3.1.3 反相放大器	49
3.1.4 同相放大器	50
3.1.5 加法器	52
3.1.6 差分放大器和仪器放大器	54
3.1.7 积分器和微分器	57
3.1.8 分贝 (db)	59
3.1.9 有源滤波器	61
3.1.10 比较器	63
3.2 专用接口电路	65
3.2.1 电流环 (电压-电流转换器)	66
3.2.2 模拟开关电路	68
3.2.3 采样保持电路	70
3.3 信号传输	71
3.3.1 接大地和接地环路	71
3.3.2 隔离电路	73
3.3.3 屏蔽	75
3.3.4 屏蔽接地需要考虑的事项	76
3.3.5 实际配线需要考虑的事项	77
第4章 开关、继电器及功率控制半导体器件	85
4.1 开关	85
4.1.1 拨动开关	85
4.1.2 按钮式开关	87
4.1.3 其他开关类型	88
4.2 继电器	91
4.2.1 机电继电器	91
4.2.2 固态继电器	94
4.3 功率晶体管	95
4.3.1 双极型晶体管	95
4.3.2 场效应管	102
4.3.3 绝缘栅双极型晶体管	104
4.4 可控硅整流器	106
4.5 双向晶闸管	111
4.5.1 延迟和导通周期的计算	114
4.6 触发器件	115
4.6.1 单结晶体管	115
4.6.2 可编程单结晶体管	115
4.6.3 二端交流开关元件	116

第5章 机械系统	121
5.1 机械零部件的力学性能	122
5.1.1 总论	122
5.1.2 摩擦	122
5.1.3 弹簧	125
5.1.4 质量和惯性	127
5.1.5 线性运动系统的基本运动方程	129
5.1.6 旋转运动系统的基本运动公式	132
5.1.7 杠杆	134
5.2 能量	137
5.2.1 能量转换	137
5.2.2 热传导	139
5.3 整个机械系统的响应	141
5.3.1 欠阻尼、临界阻尼和过阻尼机械系统	141
5.3.2 机械共振	143
5.4 齿轮	146
5.4.1 直齿轮	146
5.4.2 使用齿轮传动改变转速	148
5.4.3 使用齿轮传递功率	152
5.4.4 长距离轮系	154
5.4.5 蜗轮蜗杆传动	154
5.4.6 谐波齿轮传动	155
5.4.7 差速齿轮系	156
5.5 离合器和制动器	156
5.5.1 离合器	156
5.5.2 制动器	157
5.6 其他动力传递技术	159
5.6.1 带传动	159
5.6.2 滚子链	162
第6章 传感器	167
6.1 位置传感器	168
6.1.1 电位计	168
6.1.2 光学旋转编码器	176
6.1.3 线性可变差动变压器	182
6.2 角速度传感器	184
6.2.1 采用位置传感器获得速度	184
6.2.2 转速表	186

6.3 接近式传感器	189
6.3.1 限位开关	189
6.3.2 光学接近传感器	190
6.3.3 商用光电传感器	191
6.3.4 超声波接近传感器	194
6.3.5 电感式接近传感器	195
6.3.6 霍尔效应接近传感器	196
6.4 负荷和力传感器	198
6.4.1 粘贴丝式应变器	198
6.4.2 半导体压力传感器	202
6.4.3 其他力传感器	203
6.5 压力传感器	204
6.5.1 波登管	205
6.5.2 膜盒	205
6.5.3 半导体压力传感器	206
6.6 温度传感器	207
6.6.1 双金属温度传感器	207
6.6.2 热电偶	207
6.6.3 热电阻检测器	211
6.6.4 热敏电阻	211
6.6.5 集成温度传感器	212
6.7 流量传感器	215
6.7.1 压力型流量传感器	215
6.7.2 涡流流量传感器	217
6.7.3 超声波流量计	217
6.7.4 电磁流量计	218
6.8 液位传感器	219
6.8.1 离散液位检测器	219
6.8.2 连续液位检测器	219
6.9 视频传感器及系统	221
6.9.1 工业用视频传感器系统	224
 第7章 直流电动机	 230
7.1 工作原理	230
7.2 绕线式直流电动机	234
7.2.1 串励电动机	235
7.2.2 并励电动机	237
7.2.3 复励电动机	238

7.3 永磁电动机	239
7.3.1 转矩与转速的关系	240
7.3.2 电动机的电路模型(可选)	244
7.4 直流电动机控制电路	245
7.4.1 直流电动机控制的模拟驱动	246
7.4.2 永磁电动机的双向旋转	248
7.4.3 直流电动机的脉宽调制	251
7.4.4 PWM 控制电路	253
7.4.5 大型电动机的直流电机控制	255
7.4.6 直流电动机制动	258
7.5 小型直流电动机的综合应用	259
7.6 无电刷直流电动机	261
第8章 步进电动机	267
8.1 永磁式步进电动机	268
8.1.1 负载对步进电机的影响	268
8.1.2 工作模式	270
8.1.3 永磁式步进电动机的励磁模式	272
8.1.4 四相(单极)步进电动机	274
8.1.5 有效的永磁步进电动机	277
8.2 变磁阻式步进电动机	277
8.3 混合式步进电动机	278
8.4 步进电动机的控制电路	280
8.4.1 控制两相步进电动机	281
8.4.2 控制四相步进电动机	282
8.4.3 微步步进	284
8.4.4 高步进速率情况下改进转矩	284
8.5 步进电动机的应用:磁盘驱动头的定位	287
第9章 交流电动机	292
9.1 交流电源	293
9.1.1 背景	293
9.1.2 单相交流电	293
9.1.3 三相交流电	295
9.1.4 电气安全	296
9.1.5 接地故障断路器	298
9.2 感应电动机	299

6 现代控制技术

9.2.1 工作原理	299
9.2.2 单相电动机	304
9.2.3 三相电动机	306
9.2.4 裂相控制电动机	307
9.2.5 交流伺服电动机	308
9.3 同步电动机	309
9.3.1 工作原理	309
9.3.2 功率因数校正和同步电动机	310
9.3.3 小型同步电动机	310
9.4 通用电动机	311
9.5 交流电动机控制	312
9.5.1 启停控制	312
9.5.2 微动	314
9.5.3 降压启动	315
9.5.4 电动机的变速控制	316
9.5.5 变频 (V/Hz) 驱动	316
9.5.6 矢量驱动	318
第 10 章 执行机构: 电动、液压和气动执行机构	322
10.1 电动线性执行机构	323
10.1.1 丝杠线性执行机构	323
10.1.2 螺线管	325
10.1.3 直线电机	327
10.2 液压系统	330
10.2.1 液压的基本原理	331
10.2.2 液压泵	333
10.2.3 液压执行元件	334
10.2.4 压力控制阀	336
10.2.5 蓄能器	337
10.2.6 方向控制阀	338
10.3 气压系统	340
10.3.1 压缩机、干燥器和储气罐	341
10.3.2 调压阀	342
10.3.3 气动控制阀	343
10.3.4 气动执行机构	343
10.4 流量控制阀	345
第 11 章 反馈控制原理	349

11.1	性能指标	351
11.2	开关控制器	352
11.2.1	双位控制	352
11.2.2	三位控制	353
11.3	比例控制	354
11.3.1	稳态误差问题	357
11.3.2	重力问题	359
11.3.3	偏差	361
11.3.4	模拟比例控制器	362
11.4	积分控制	363
11.5	微分控制	366
11.6	比例+积分+微分控制	368
11.6.1	模拟 PID 控制器	369
11.6.2	数字 PID 控制器	371
11.6.3	稳定性	372
11.6.4	PID 控制器整定	376
11.6.5	采样率	380
11.6.6	自整定	381
11.7	串级控制	381
11.8	PIP 控制器	382
11.9	模糊逻辑控制器	384
11.9.1	介绍	384
11.9.2	单输入系统的例子	386
11.9.3	双输入系统的例子	388
11.9.4	结束语	390
第 12 章	继电器逻辑、可编程逻辑控制器和运动控制器	396
12.1	继电器逻辑控制	397
12.1.1	继电器逻辑	397
12.1.2	梯形图	398
12.1.3	定时器、计数器和序列发生器	401
12.2	可编程逻辑控制器	404
12.2.1	简介	404
12.2.2	PLC 设置步骤	408
12.2.3	PLC 的运行过程	408
12.3	PLC 的编程	411
12.3.1	梯形图编程	411

8 现代控制技术

12.3.2 其他 PLC 编程语言	424
12.4 PLC 和网络	425
12.5 运动控制器	429
附录 A J 型热电偶表格（华氏和摄氏温度）	436
附录 B APS 开始学习指南和 RS Logix 500	439
附录 C 术语表	459
附录 D 奇数练习题的答案	484