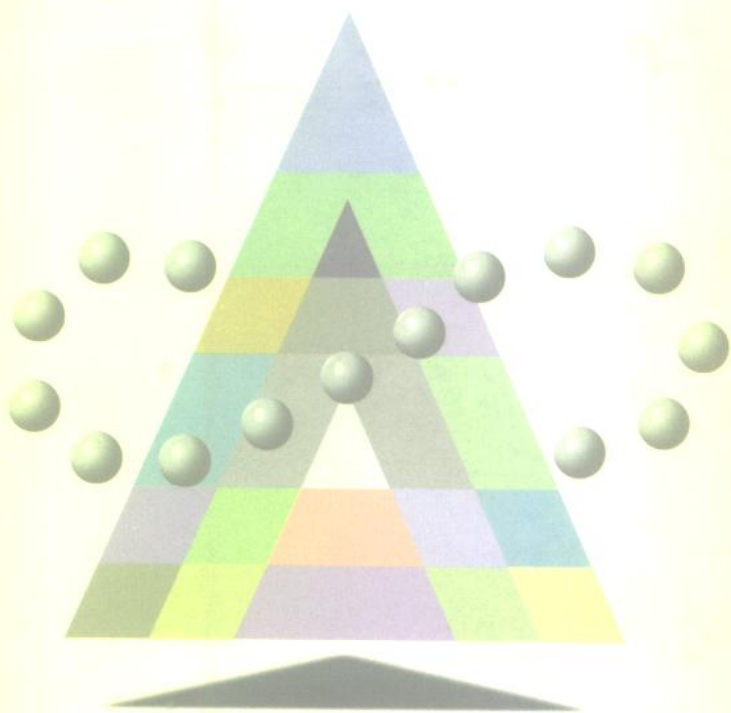


机械控制入门

〔日〕 雨宫好文 主编 末松良一 著



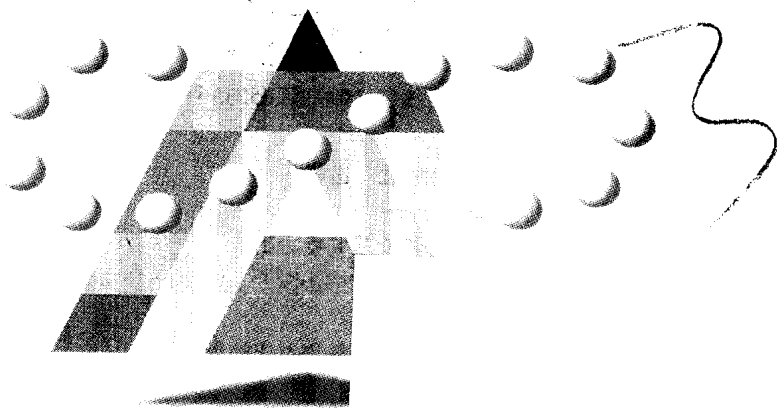
科学出版社 OHM社

4-37
188

图解 机电一体化入门系列

机械控制入门

[日] 雨宫好文 主编 末松良一 著
王献平 高 航 译 柳洪义 校



科学出版社 OHM 社

2000 北京

nirizu: Kikai Seigyo Nyuumon
iya
natsu
shikazu Suematsu
Ltd.
edition is co-published by Ohmsha, Ltd. and Science Press.

reserved.

日文版权属于科学出版社和 OHM 社所共有

圖解メカトロニクス入門シリーズ

機械制御入門

末松良一 オーム社 1995 第1版第6刷

图书在版编目(CIP)数据

机械控制入门/(日)末松良一著;王献平,高航译.

北京:科学出版社,2000

ISBN 7-03-007999-X

I. 机… II. ①末… ②王… ③高… III. 机械工程-控制系统

IV. TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 65233 号

科学出版社 OHM 社 出版

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717

北京东方科龙电脑图文制作有限公司 制作

中国科学院印刷厂 印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

2000 年 1 月第 一 版 开本: 889 × 1194 1/32

2000 年 1 月第一次印刷 印张: 4 3/4

印数: 1—5 000 字数: 123 000

定 价: 15.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈北燕〉)

目 录

第 1 章 机械与控制

1.1 自动控制工程学与机械控制	11
1.2 机械控制与机械的进步	15
1.3 机械工程技术人员和控制工程学	19

第 2 章 机械控制系统的基本组成

2.1 控制系统信号的传递	21
2.1.1 具有单向信号的控制系统	21
2.1.2 具有反馈信号的控制系统	23
2.1.3 前馈控制与反馈控制	25
2.2 控制装置的结构要素	26
2.2.1 微型电子计算机	27
2.2.2 传感器	29
2.2.3 传动装置	31

第 3 章 机械控制的关键词 8 选

3.1 控制系统的数学描述	35
3.2 传递函数	39
3.3 特征方程/特征根	41
3.4 根轨迹法	43
3.5 状态变量/状态方程	46
3.6 可控制性/可观测性	51

3.7 状态反馈	54
3.8 矩阵特征值/极点配置法	56

第4章 雷达天线速度/位置的控制

4.1 天线控制系统的构成	61
4.1.1 组成环节的单元	62
4.1.2 系统的数学模型	63
4.1.3 方框图和传递函数	63
4.2 控制指标	65
4.3 速度控制系统的设计	67
4.4 天线位置控制系统的设计	72
4.4.1 仅有位置反馈	72
4.4.2 (位置+速度)的反馈	73
4.4.3 方框图和特征方程	74
4.4.4 随系数 α 变化的根轨迹	76
4.4.5 用仿真法确认性能指标	79
4.5 问题与解答	80

第5章 倒立振子/台车系统的控制

5.1 数学模型的线性化	85
5.2 状态方程和输出方程	88
5.3 可控制性和可观测性的判断	89
5.4 状态反馈	92
5.5 根据极点配置法确定反馈系数	94
5.5.1 系统参数和系统特征根	94
5.5.2 极点配置法原理	95
5.5.3 特征根和反馈系数的确定	96
5.6 仿真结果的分析	98
5.6.1 初始状态振子角度倾斜时的时间响应	99

5.6.2 初始状态台车偏移基准位置时的时间 响应	100
5.6.3 用极点配置法求得的三种反馈系数的 时间响应	101
5.7 问题与解答	103

第 6 章 倒立振子控制系统的制作

6.1 倒立振子/台车系统的实验模型	109
6.1.1 在水平轨道上运行的单轨式台车	109
6.1.2 可调整转动惯量的倒立振子	111
6.1.3 电机通过钢丝驱动的台车	111
6.1.4 回转式编码器的读取精度	111
6.1.5 DC 电动机的规格和驱动方法	111
6.2 控制装置的结构	113
6.3 实验模型的控制分析	114
6.4 微型计算机程序	119
6.5 倒立振子/台车的控制实验	121
6.5.1 实验顺序	122
6.5.2 实验控制参数的修正	122
6.5.3 控制系统的特性评价	123

第 7 章 机器人柔性手臂的控制

7.1 柔性手臂对机器人的必要性	127
7.2 柔性手臂的实验模型	129
7.3 状态方程的建立	130
7.3.1 集中参数模型	130
7.3.2 系统参数和变量的定义	131
7.3.3 数学模型	132
7.3.4 状态方程	133

10 目 录

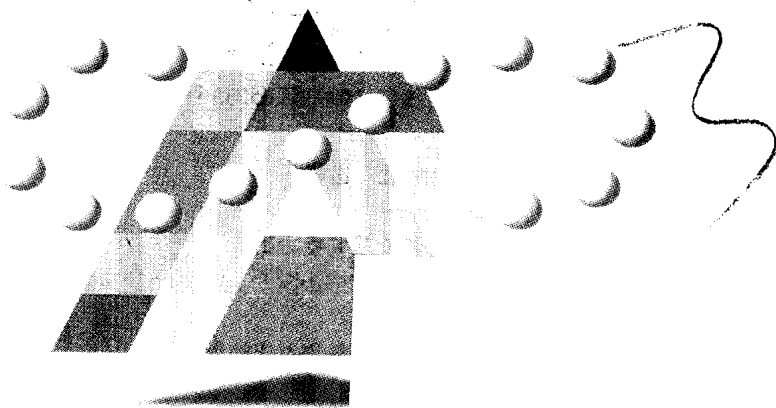
7.4	系统的特性分析	135
7.4.1	实验参数	135
7.4.2	比例变换	136
7.4.3	系统矩阵的特征值和手臂的振型	137
7.4.4	可控制性和可观测性	140
7.5	用极点配置法进行设计和仿真	141
7.5.1	依极点配置法确定反馈系数	141
7.5.2	利用仿真确认控制效果	142
7.6	控制系统的实现	144
7.6.1	输出的检测方法	144
7.6.2	DC 电动机的驱动方法	145
7.6.3	微型计算机处理的内容	146
7.6.4	实验结果	147
7.7	总结	148
参考文献		149
附录		151

4-37
188

图解 机电一体化入门系列

机械控制入门

[日] 雨宫好文 主编 末松良一 著
王献平 高 航 译 柳洪义 校



科学出版社 OHM 社

2000 北京

nirizu: Kikai Seigyo Nyuumon

iya

natsu

shikazu Suematsu

Ltd.

edition is co-published by Ohmsha, Ltd. and Science Press.

reserved.

日文版权属于科学出版社和 OHM 社所共有

圖解メカトロニクス入門シリーズ

機械制御入門

末松良一 オーム社 1995 第1版第6刷

图书在版编目(CIP)数据

机械控制入门/(日)末松良一著;王献平,高航译.

北京:科学出版社,2000

ISBN 7-03-007999-X

I. 机… II. ①末… ②王… ③高… III. 机械工程-控制系统

IV. TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 65233 号

科学出版社 OHM 社 出版

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717

北京东方科龙电脑图文制作有限公司 制作

中国科学院印刷厂 印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

2000 年 1 月第 一 版 开本: 889 × 1194 1/32

2000 年 1 月第一次印刷 印张: 4 3/4

印数: 1—5 000 字数: 123 000

定 价: 15.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈北燕〉)

主 编 的 话

机电一体化一词目前已得到普遍使用,而在五年前情况并非如此。那时候,为使机械工程技术人員能够尽快适应机电一体化时代,掌握机电一体化知识,向读者推出了下列六种图书

- (1)传感器入门
- (2)控制用电机入门
- (3)接口电路入门
- (4)控制用微机入门
- (5)电子机械控制入门
- (6)机器人控制入门

上述六种图书出版后,得到了广大读者的好评,至今读者已达七万多人。这期间,许多读者提出了两个愿望即希望学习上述丛书中涉及的基础知识以及阅读更高层次的机电一体化丛书。所以从1986年到1987年的一年时间里,又出版了下列五册,补充到系列书中

- (7)机电一体化电工学入门
- (8)机电一体化电子学入门
- (9)信号处理入门
- (10)数字控制入门
- (11)CAD/CAM/CAE入门

丛书上述各册中与控制工程学相关的书有(5)、(6)和(10)三册。我们惊喜地发现大多数读者通过阅读这套丛书,提高了知识水平,从而希望阅读能简单地讲解现代控制理论的书籍。基于此,经与本系列丛书第4册极具笔力的作者末松先生磋商,请其主笔写作了本书。本书采取了兼顾经典控制理论相关知识的同时,以身边的例子来具体说明现代控制理论的标准设计方法,希望大家

4 主编的话

能够满意。

顺便借此表达我的一个请求：诸位读者若有与机电一体化相关的选题，务请写信给我，以实现我满足广大读者需求此类书的心愿。

雨宫好文

前 言

机械和控制有史以来就密切相关。随着控制技术的进步,能够代替人类工作,提供对人有益信息的机械也在飞速发展着。而且,现今性能高、价格低的微机控制技术已几乎渗透到所有行业的机械设备中。随着微型计算机的发展,更高、更新的控制技术已在机械设备上得到了实际应用。不久的将来,可以说控制技术的好坏将决定机械产品的价值。

但是,尽管控制技术的重要性越来越大,控制理论或控制技术的掌握对学生和一般的机械工程技术人员来说仍旧很难。这是因为在控制工程学的教育中,作为必要的工具,一直过分强调所用数学的严谨性,并花费很多时间用于说明各种控制的分析方法,而在理论结果对实际机械控制系统的设计能起到什么作用的说明方面所花费的时间则很少。

应用在实际控制系统的控制理论其实并不深奥。现在应用的理论几乎都是初级的基础知识。本书对控制理论的说明尽量限制在必要的最小限度内,而把重点放在如何将理论应用到实际的机械控制系统的设计和该理论怎样起作用的说明方面。在传统的控制工程学教科书或参考书中,已有大量的篇幅解说各种控制理论方法,因而在本书中,对这些方法的说明仅以关键词的方式归纳成一章,而把更多的篇幅用于尽量多举一些机械控制系统的实例。对基础理论如何应用于实际机械控制系统的设计中这一问题,尽量采用通俗易懂的说明。

本书共分7章。第1章说明了机械与控制工程学之间的密切关系和什么是机械控制。第2章以身边的实例解说了机械控制系统的基本构成,同时简要说明了组成控制装置的要素。第3章通过8个关键词的形式解说经严格选择的古典控制理论和现代控

6 前 言

制理论的基本内容。从第4章到第7章,通过对机械控制系统实例的讲解,使读者全面理解基本的控制理论在机械系统的设计中的作用。在第4章中,对运用古典控制理论为设计手段的有代表性的实例——雷达天线速度与位置的控制进行了讲解。在第5章和第6章中,以倒立振子/台车系统的控制为题材,对现代控制理论的标准设计方法进行了讲解,同时对控制系统的制作及其运行结果也做了具体的说明。最后,在第7章中,对灵活的机器人手臂的振动控制进行了讲解,并指出其基本方针——控制的观点会对将来的机械设计有很大的影响。

对于不擅长数学的笔者来说,现在回想起来仅存在记忆中所谓很难理解的控制工程学讲义,实际上其基本控制理论并非是难以理解的。能够使读者易于理解对实际控制系统的设计非常有益的控制理论知识,是写作本书的宗旨。若本书能够起到抛砖引玉的作用,将深感荣幸。

最后,对本书从策划到审校始终给予指导的名古屋大学名誉教授(现金泽工业大学教授)雨宫好文先生、对精心绘制各章节插图的筒井佳子女士以及在本书出版过程中曾经给予帮助的欧姆社(OHMSHA)各位致以深深的谢意。

末松良一

目 录

第 1 章 机械与控制

1.1 自动控制工程学与机械控制	11
1.2 机械控制与机械的进步	15
1.3 机械工程技术人员和控制工程学	19

第 2 章 机械控制系统的基本组成

2.1 控制系统信号的传递	21
2.1.1 具有单向信号的控制系统	21
2.1.2 具有反馈信号的控制系统	23
2.1.3 前馈控制与反馈控制	25
2.2 控制装置的结构要素	26
2.2.1 微型电子计算机	27
2.2.2 传感器	29
2.2.3 传动装置	31

第 3 章 机械控制的关键词 8 选

3.1 控制系统的数学描述	35
3.2 传递函数	39
3.3 特征方程/特征根	41
3.4 根轨迹法	43
3.5 状态变量/状态方程	46
3.6 可控制性/可观测性	51

3.7 状态反馈	54
3.8 矩阵特征值/极点配置法	56

第4章 雷达天线速度/位置的控制

4.1 天线控制系统的构成	61
4.1.1 组成环节的单元	62
4.1.2 系统的数学模型	63
4.1.3 方框图和传递函数	63
4.2 控制指标	65
4.3 速度控制系统的设计	67
4.4 天线位置控制系统的设计	72
4.4.1 仅有位置反馈	72
4.4.2 (位置+速度)的反馈	73
4.4.3 方框图和特征方程	74
4.4.4 随系数 α 变化的根轨迹	76
4.4.5 用仿真法确认性能指标	79
4.5 问题与解答	80

第5章 倒立振子/台车系统的控制

5.1 数学模型的线性化	85
5.2 状态方程和输出方程	88
5.3 可控制性和可观测性的判断	89
5.4 状态反馈	92
5.5 根据极点配置法确定反馈系数	94
5.5.1 系统参数和系统特征根	94
5.5.2 极点配置法原理	95
5.5.3 特征根和反馈系数的确定	96
5.6 仿真结果的分析	98
5.6.1 初始状态振子角度倾斜时的时间响应	99

5.6.2 初始状态台车偏移基准位置时的时间 响应	100
5.6.3 用极点配置法求得的三种反馈系数的 时间响应	101
5.7 问题与解答	103

第 6 章 倒立振子控制系统的制作

6.1 倒立振子/台车系统的实验模型	109
6.1.1 在水平轨道上运行的单轨式台车	109
6.1.2 可调整转动惯量的倒立振子	111
6.1.3 电机通过钢丝驱动的台车	111
6.1.4 回转式编码器的读取精度	111
6.1.5 DC 电动机的规格和驱动方法	111
6.2 控制装置的结构	113
6.3 实验模型的控制分析	114
6.4 微型计算机程序	119
6.5 倒立振子/台车的控制实验	121
6.5.1 实验顺序	122
6.5.2 实验控制参数的修正	122
6.5.3 控制系统的特性评价	123

第 7 章 机器人柔性手臂的控制

7.1 柔性手臂对机器人的必要性	127
7.2 柔性手臂的实验模型	129
7.3 状态方程的建立	130
7.3.1 集中参数模型	130
7.3.2 系统参数和变量的定义	131
7.3.3 数学模型	132
7.3.4 状态方程	133

10 目 录

7.4 系统的特性分析	135
7.4.1 实验参数	135
7.4.2 比例变换	136
7.4.3 系统矩阵的特征值和手臂的振型	137
7.4.4 可控制性和可观测性	140
7.5 用极点配置法进行设计和仿真	141
7.5.1 依极点配置法确定反馈系数	141
7.5.2 利用仿真确认控制效果	142
7.6 控制系统的实现	144
7.6.1 输出的检测方法	144
7.6.2 DC 电动机的驱动方法	145
7.6.3 微型计算机处理的内容	146
7.6.4 实验结果	147
7.7 总结	148
参考文献	149
附录	151