

国外名校最新教材精选

Sigurd Skogestad, Ian Postlethwaite

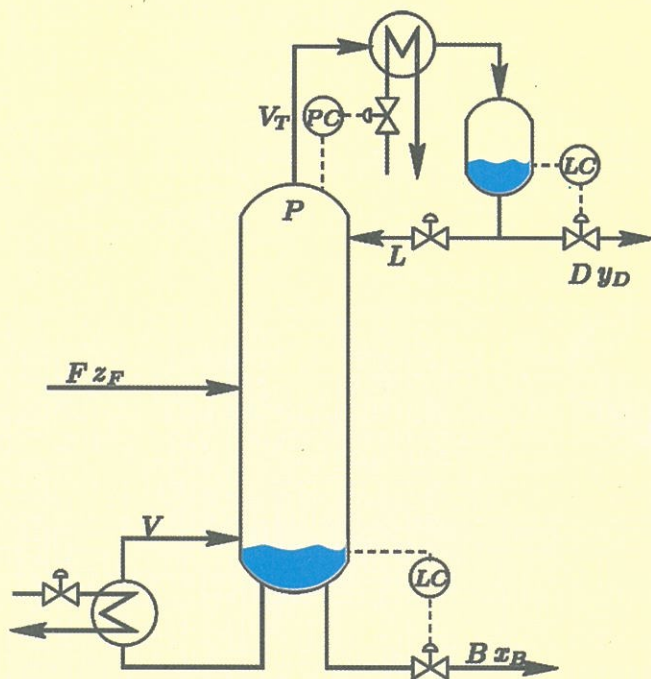
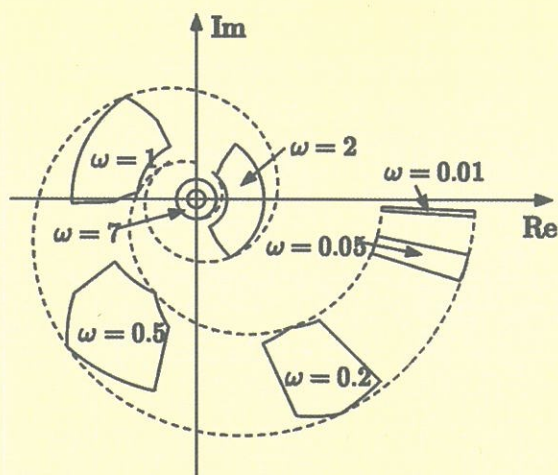
多变量反馈控制分析与设计

Multivariable Feedback Control: Analysis and Design


[挪] 西格德·斯科格斯特德 著
[英] 伊恩·波斯尔思韦特

(第2版)

韩崇昭 张爱民 刘晓风 等译



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

 国外名校最新教材精选

Multivariable Feedback Control: Analysis and Design
(Second Edition)

多 变 量 反 馈 控 制

——分析与设计

(第2版)

[挪] 西格德·斯科格斯特德 著
[英] 伊恩·波斯尔思韦特

Sigurd Skogestad
Norwegian University of Science and Technology
Trondheim, Norway

Ian Postlethwaite
University of Leicester, UK

韩崇昭 张爱民 刘晓风 等译



西安交通大学出版社
Xi'an Jiaotong University Press

Multivariable Feedback Control: Analysis and Design, Second Edition

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, scanning or otherwise, except under the terms of the Copyright, Designs and Patents Act 1988 or under the terms of a licence issued by the Copyright Licensing Agency Ltd, 90 Tottenham Court Road, London W1T 4LP, UK, without the permission in writing of the Publisher. Requests to the Publisher should be addressed to the Permissions Department, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, or emailed to permreq@wiley.co.uk, or faxed to (+44)1243 770620.

All Rights Reserved. Authorised translation from the English language edition published by John Wiley & Sons Limited. Responsibility for the accuracy of the translation rests solely with Xian Jiaotong University Press and is not the responsibility of John Wiley & Sons Limited. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyright holder, John Wiley & Sons Limited.

陕西省版权局著作权合同登记号:25-2007-003

图书在版编目(CIP)数据

多变量反馈控制—分析与设计(第2版)/(挪)斯科格斯特德
(Skogestad, S), (英)波斯尔思韦特(Postlethwaite, I)著;韩崇昭
张爱民,刘晓风译. —西安:西安交通大学出版社,2011.12
书名原文:Multivariable Feedback Control: Analysis and Design
ISBN 978-7-5605-3971-3

I. ①多… II. ①斯… ②波… ③韩… ④张… ⑤刘…
III. ①多变量控制;反馈控制 IV. ①TP271

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 143449 号

书 名 多变量反馈控制——分析与设计(第2版)
著 者 (挪)西格德·斯科格斯特德 (英)伊恩·波斯尔思韦特
译 者 韩崇昭 张爱民 刘晓风 等

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路10号 邮政编码710049)

网 址 <http://ligong.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315 82669096(总编办)

传 真 (029)82669097
印 刷 西安交通大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 32.5 字数 728千字
版次印次 2011年12月第1版 2011年12月第1次印刷
印 数 0001~3000
书 号 ISBN 978-7-5605-3971-3/TP·552
定 价 78.00元

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82665380

读者信箱:banquan1809@126.com

版权所有 侵权必究

mitted in any form
erwise, except un-
a licence issued by
, UK, without the
sed to the Permis-
ster, West Sussex
3 770620.

shed by John Wiley
Xi'an Jiaotong Uni-
f this book may be
der, John Wiley &

译者序言

呈现在读者面前的这本《多变量反馈控制——分析与设计》(第2版),是近年来国际上所出版的同类书籍中难得的一本非常实用的好书。正如作者在“前言”中所说,本书讨论的是实际的反馈控制,而不是一般的系统理论。

自动控制界长期以来困惑于理论与工程实际需求的严重脱节。一方面每年有大量的控制理论文献发表,而这些理论很难得到工程实践的验证,难免步入理论上的空谈;另一方面,实际工程中遇到的种种技术难题却很难找到理论成果的强有力支持,因而很多工程应用带有一定的盲目性。这种怪圈对于控制学科的发展是致命的,在国际范围内形成控制学科理论严重脱离工程实际的强烈印象,有些国家的科学研究基金甚至对控制理论的研究做出了某些限制。

该书最具吸引力之处,正是从工程的观点深入分析多变量反馈控制问题,并不拘泥于控制理论的现成结论,而是根据实际问题衍生出新的概念,并采用新的方法解决这些问题。书中大量列举蒸馏过程控制、飞机发动机控制系统设计等实际工程问题,采用新的理论方法进行设计或控制系统实现,得到非常好的结果。该书另一个特点是,把传统方法和现代理论成果的密切结合,许多分析都是基于经典频域法、奇异值分解和 μ 分析等。书中还给出了许多实用的计算机可执行程序,可用于一类控制问题的设计或实现。本书关于经典反馈控制、多变量控制,以及线性系统理论给出了具有独到见解的介绍,而重点给出输入-输出能控性的

(在式(2.93)中令 $\tau_1 = \tau, \tau_2 = 0$)。这些取值是按照阶跃参考输入得出的,但对于直接进入对象输出端的阶跃扰动同样有效。然而对于那些近似于积分,同时 τ 值又大的过程,比方说 $\tau \geq 8\theta$, 进入对象输入端的阶跃扰动会像斜坡那样作用到输出。为了抵消这种作用,可以通过减小 τ_I 来调整(增加)积分作用。然而,为了避免不期望的闭环振荡, τ_I 不能减少的太小, Skogestad (2003)推荐用于式(2.94)对象模型的 SIMC PI 设置如下:

$$K_c = \frac{1}{k} \frac{\tau}{\tau_c + \theta}, \tau_I = \min(\tau, 4(\tau_c + \theta)) \quad (2.95)$$

对于 PI 控制,在式(2.86)给出的理想公式与式(2.87)给出的串联公式之间并无差别。在过程控制应用中,多数对象稳定并且有简单的过阻尼响应,很少用到微分作用(PID 控制)。这是因为微分作用对性能的改善太小,以至于不值得增加复杂性,以及增加对测量噪声的灵敏度。然而二阶“主导”过程是一个例外,

$$G(s) = k \frac{e^{-\theta s}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)} \quad (2.96)$$

粗略地讲,这里“主导”是指 $\tau_2 > \theta$ 。在式(2.92)中已经就这种模型推导了串联的 PID 参数。但是,为了改善系统对扰动的积分性能,需要调整这个积分过程的积分时间。这样对式(2.96)的对象模型,具有式(2.87)的串联 PID 控制器的推荐的 SIMC 参数如下:

$$\tilde{K}_c = \frac{1}{k} \frac{\tau_1}{\tau_c + \theta}, \tilde{\tau}_I = \min(\tau_1, 4(\tau_c + \theta)), \tilde{\tau}_D = \tau_2 \quad (2.97)$$

对应的具有理想形式的 PID 控制器的参数可由式(2.88)得到,但要稍微复杂一些。

除了影响控制器增益(和近似积分过程的积分时间)的个别整定参数 τ_c 以外,式(2.95)与式(2.97)的参数设置可直接由模型得出。整定参数 τ_c 的选择要在输出性能(期望 τ_c 小一些),鲁棒性以及所需输入的大小(期望 τ_c 大一些)之间进行折衷。为了实现鲁棒和“快速”的控制, Skogestad (2003)推荐 $\tau_c = \theta$, 这样对式(2.96)的模型,就得到灵敏度峰值 $M_s \approx 1.7$, 增益裕量 $GM \approx 3$, 穿越频率 $\omega_c = 0.5/\theta$ 。

模型简化与有效延迟。为了推导出形如式(2.94)或者式(2.96)的模型,其中 θ 是有效延迟, Skogestad (2003)提供了一些模型简化的简单解析规则。其基本方法是引入近似 $e^{-\theta s} \approx 1 - \theta s$ (用延迟来近似右半平面零点)和 $e^{-\theta s} \approx 1/(1 + \theta s)$ (用延迟来近似滞后)。用延迟来近似滞后是消极的做法,就控制而言,延迟比同等幅值的滞后更糟。鉴于此,在近似最大的滞后时, Skogestad(2003)推荐使用简单的对分法则:

- 对分法则。要消去的最大的滞后(在分母上)时间常数被等量分配给有效地延迟环节和被保留的最小的时间常数。

为了说明上述法则,假设原来的模型如下:

$$G_0(s) = \frac{\prod_j (-T_{j0}^{\text{inv}} s + 1)}{\prod_i (\tau_{i0} s + 1)} e^{-\theta_0 s} \quad (2.98)$$

这里滞后 τ_{i0} 按它们的幅值大小排序, $T_{j0}^{\text{inv}} = 1/z_{j0} > 0$ 则表示与位于 RHP 零点 $s = z_{j0}$ 相对应的逆向响应(负的分母)时间常数。这样,按照对分法则,要得到一个一阶模型 $G(s) = e^{-\theta s}/(\tau_1 s + 1)$ (对于 PI 控制),取

(2.87)

把式(2.87)给出
换公式如下:

(2.88)

因为 τ_D 非零,式
个滤波器,或者对
为 0.1。大多数情
,通常不对参考信
制器的典型实际实

(2.89)

(2.86)的理想 PID

(2.90)

然而,对于 $\xi > 1$ 的

(2.91)

2.87)比较,串联 PID

(2.92)

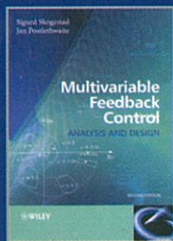
(2.93)

t. Skogestad (2003)根
“大概是世界上最好的
过程进行近似,即

(2.94)

出 $K_c = \frac{1}{k} \frac{\tau}{\tau_c + \theta}$ 与 $\tau_I = \tau$

- signal 信号 2.2.5
 state space 状态空间 7.3
 structured 结构化 7.2
 time-varying 时变 8.13.1
 unmodelled 未建模 7.2, 7.4.6
 unstable plant 不稳定对象 7.3
 unstructured 非结构化 7.2, 8.2.3
 weight 权函数 7.4.3
 Undershoot 下冲 5.7.1
 Unitary matrix 酉阵 A.3
 Unstable hidden mode 不稳定隐模式 4.3
 Unstable mode 不稳定模式 4.4.1
 Unstable plant 不稳定对象 5.8
 frequency response 频率响应 2.1
 PI control PI控制 2.4.1, 2.4.3
 , *see also* RHP-pole, *see also* Stabilizable, *see also*
 Stabilizing controller 见 RHP 极点, 可镇定, 镇定
 控制器
 V
 Valve position control 阀门位置控制 10.5.4
 Vector norm 向量范数 A.5.1
 Euclidean norm Euclidean 范数 A.5.1
 Matlab Matlab 软件 A.5.5
 max norm 最大范数 A.5.1
 ρ -norm ρ 范数 A.5.1
 W
 Waterbed effect 水床效应 5.2.3
 Weight selection 权函数选择 2.8.2, 8.12.2
 \mathcal{H}_∞ loop shaping \mathcal{H}_∞ 回路整形 8.4.2, 13.3.3
 mixed sensitivity 混合灵敏度 13.2.3
 mixed sensitivity(S/KS) 混合灵敏度(S/KS)
 3.5.7
 performance 性能 2.8.2, 8.12.2
 weighted sensitivity 加权灵敏度 2.8.2
 generalized plant 广义对象 3.8.5
 MIMO system MIMO 系统 3.3.5
 RHP-zero RHP 零点 5.3, 5.7.3, 6.2.2
 typical specification 典型指标 2.8.2
 weighted sensitivity integral 加权灵敏度积分
 5.2.3
 white noise 白噪声 9.2.1
 Wiener-Hopf design Wiener-Hopf 设计 9.3.6
 Y
 YALMIP YALMIP 软件 12.5
 Youla parameterization Youla 参数化 4.8
 Z
 Zero 零点 4.5~4.6
 decoupling zero 解耦零点 4.6
 effect of feedback 反馈的效果 4.6
 from state-space realization 从状态空间实现
 4.5.1
 from transfer function 从传递函数 4.5.2
 input blocking 输入阻塞 4.6
 invariant zero 不变零点 4.6
 non-square system 非方阵系统 4.5.2, 4.6
 pinned 牵制零点 4.6
 , *see also* RHP-zero 见 RHP 零点
 Zero direction 零点方向 4.5.3
 Ziegler-Nichols tuning rule Ziegler-Nichols 整定法
 则 2.4.1



关注鲁棒控制技术的应用与实践

本科高年级学生及研究生用书

《多变量反馈控制——分析与设计》(第2版)以严谨易读的方式介绍了鲁棒多变量控制系统的分析和设计,本书并没有把重点放在一般性的系统理论上,而是着重讲述实用的反馈控制,力求使读者能够深刻了解反馈控制的优势和不足。

第2版吸收了本领域的最新发展,进行了全面的修订和更新:

- 使用全新的一章介绍线性矩阵不等式(LMIs)的使用,这是第2版的特色;
- 给出关于RHP极点和RHP零点对系统产生的基本性能限制的研究成果;
- 介绍有关自寻优控制和被控变量选择的最新资料;
- 提供PID控制的简单IMC调整规则;
- 涵盖了一些附加材料,包括不稳定对象、反馈放大器、下增益裕量以及把积分作用引入LQG控制的清晰策略;
- 列举了大量应用实例、习题和具体案例,其中频繁使用了Matlab和新型鲁棒控制工具箱。

本书可作为本科高年级学生和研究生多变量控制课程的教材;对于想了解多变量控制及其局限性,以及如何在实际中使用多变量控制的工程师来说,该书也是一个极宝贵的工具;而有关控制结构设计的分析方法和资料在新兴的系统生物学领域也将是非常有用的。

第1版的评论

“该书在控制器设计方面提出了大量的深刻见解和使用技巧,这使工业控制工程师受益匪浅。它既可以作为参考书使用,也是一本很好的教材。”

——美国《应用力学评论》

“总之,这本书不仅可以作为本科生和研究生在多变量控制技术方面的基础教材,还可作为控制工程师的宝贵信息来源。”

——美国《国际自适应控制与信号处理杂志》

作者简介

西格德·斯科格斯特德(Sigurd Skogestad) 1987年于美国加州理工学院获得博士学位,之后担任挪威科技大学(NTNU)化工系教授。从1999年起开始担任该系主任。Sigurd Skogestad教授发表了150多篇期刊论文和著作。他目前的研究兴趣主要为:将反馈作为工具用来减少不确定性(包括鲁棒控制);改变系统的动态行为(包括稳定性);一般情况下使系统具有更好的行为(包括自寻优控制)。

伊恩·波斯尔思韦特(Ian Postlethwaite) 1978年获剑桥大学博士学位,现为英国莱斯特(Leicester)大学教授,英国皇家工程院(RAE)院士;Ian Postlethwaite教授还是IEEE, IEE以及测量与控制学会的会士,已发表300多篇期刊论文并合作出版了3本研究生教材。他目前的研究兴趣主要为:控制的基本原理及如何使其应用于开发实际的设计。

Copies of this book sold without a Wiley sticker on the cover are unauthorized and illegal.



WILEY
wiley.com

策划编辑/赵丽平
责任编辑/李颖
封面设计/阎亮

上架建议:控制/自动化

ISBN 978-7-5605-3971-3



9 787560 539713 >

定价: 78.00元