

学校编码: 10384

分类号_____ 密级_____

学 号: 23220141153373

UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

含有不稳定极点过程的鲁棒 IMC-PID 控制器
设计

Robust IMC-PID Controller design with Unstable Pole Process

夏怡晨

指导教师姓名: 黄春庆 教授

专 业 名 称: 控制工程

论文提交日期: 2017 年 月

论文答辩时间: 2017 年 月

学位授予日期: 2017 年 月

答辩委员会主席:

评 阅 人:

2017 年 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

随着工业的发展,在实际工业过程控制系统中,有很多工业系统的过程模型存在不稳定环节如不稳定极点。由于这些不稳定环节的存在,系统的稳定性会受到强烈影响,其动态性能和鲁棒性能同时也会受到影响,针对含有不稳定环节过程模型的控制器设计方法及其参数整定成为目前迫切的控制技术。

针对一阶不稳定加时延过程模型(FOUPDT)和二阶不稳定加时延过程模型(SOUPDT),本文采用双闭环回路的设计方法。内环采用PID控制器中的比例控制器对系统过程模型和标称模型进行镇定,外环进行IMC-PID控制器的设计。在参数整定过程中,将参数整定问题转化为在约束条件下的最优化问题,同时考虑系统动态性能和鲁棒性能,将系统动态性能指标IAE作为目标函数,鲁棒性能指标最大灵敏度函数 M_s 作为约束条件。对内模PID(IMC-PID)控制器待整定参数 λ 进行优化,从而得到相应PID三个参数。针对含有不稳定极点过程的鲁棒性分析,本文在考虑系统存在模型误差即模型失配的情形下,通过将镇定后的过程模型转换为标准闭环控制模型结构,再通过劳斯判据可以分别求出过程模型的三个参数比例增益、时间常数和时延常数存在误差条件下系统保持鲁棒稳定的条件。最后通过实例仿真与其他学者的方法对比验证了本文设计的控制器及其参数整定的有效性和优越性。

关键词: 时延不稳定过程; 内模控制(IMC); 镇定; 时延近似; 鲁棒性

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Abstract

With the development of industry, in the actual industrial process control system, there are many industrial systems of the process model which there are unstable poles. Due to the existence of these unstable zeros or poles, the stability of the system will be strongly affected, its dynamic performance and robust performance will also be affected. The controller design method and its parameter setting for the unstable process model are becoming more important control technology.

Aiming at the first order unstable time delay process model (FOUPDT) and the second order unstable time delay process model (SOUPDT), this paper adopts the design method of double closed loop. The inner loop uses the proportional controller in the PID controller to stabilize the system process model and the nominal model. The IMC-PID controller is designed for the outer loop. In the process of parameter setting, the system dynamic performance index IAE is used as the objective function and the maximum sensitivity function of the robustness index M_s as the constraint condition. Through the above parameter setting step, the dynamic performance and robustness of the system can be taken into account at the same time. Through the above operation the internal model controller set parameter λ can be set out, then we can get the corresponding PID parameters of the three parameters to complete the controller parameter tuning. And then consider the existence of model error model that is the case of mismatch. In this paper, the post-stabilized process model is transformed into a standard closed-loop control model structure. Then, through the Rouse criterion, we can find the condition of the three parameters of the process model, the time constant and the delay constant to make system maintains the condition of robust stability. Finally, the effectiveness and superiority of the controller designed in this paper are verified by comparison with other scholars.

Key Words: Time delay process; Internal model control(IMC); stabilization; Delay approximation; Robustness

目录

摘要.....	I
Abstract.....	III
第一章 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.2 国内外研究现状综述	2
1.3 论文主要工作及论文结构	5
第二章 相关理论知识	7
2.1 本文研究的过程模型描述	7
2.2 PID 控制.....	8
2.2.1 PID 控制结构	8
2.2.2 PID 控制器的参数整定	9
2.3 内模 PID 控制及其参数整定	10
2.3.1 内模控制.....	10
2.3.2 IMC-PID 控制器参数整定	14
2.4 系统性能指标及鲁棒性能指标	18
2.4.1 系统性能指标.....	18
2.4.2 鲁棒性能指标.....	20
2.5 本章小结	20
第三章 含有不稳定极点系统的 IMC-PID 控制器设计	21
3.1 时延环节的处理方法	21
3.1.1 时延的处理方法.....	21
3.1.2 本文时延近似方法的选取.....	22
3.2 不稳定环节的处理	23
3.3 内模控制器的设计及参数整定	24
3.3.1 系统结构框图.....	24

3.3.2 控制器的设计.....	25
3.3.3 内模控制器参数的整定.....	28
3.4 仿真	32
3.4.1 实例 1.....	32
3.4.2 实例 2.....	33
3.4.3 实例 3.....	34
3.5 本章小结	35
第四章 含有不稳定极点系统的鲁棒性分析.....	40
4.1 鲁棒性问题综述	41
4.2 鲁棒性能指标和一般性能指标的折中	42
4.3 针对 FOUPTD 的鲁棒性问题分析.....	44
4.4 仿真	49
4.4.1 实例 1.....	49
4.4.2 实例 2.....	50
4.5 本章小结	50
第五章 总结与展望	51
5.1 全文总结	55
5.2 工作展望	56
参考文献	57
致谢.....	65

Contents

Abstract in Chinese	I
Abstract in English	III
Chapter 1 Introduction	1
1.1 The background of research	1
1.2 Review	2
1.3 Core Contribution of the Dissertation and Its Structure	5
Chapter 2 Preliminaries	7
2.1 The process model described in this paper describes	7
2.2 PID Control	8
2.2.1 PID control structure	8
2.2.2 PID controller parameter setting	9
2.3 Internal Model PID Control and Its Parameter Tuning	10
2.3.1 Internal Model control	10
2.3.2 IMC-PID controller parameter setting	14
2.4 System performance index and robust performance index	18
2.4.1 System performance index	18
2.4.2 Robust index	20
2.5 Chapter summary	20
Chapter 3 Design of IMC-PID Controller with Unstable Pole System	21
3.1 The processing of the delay	21
3.1.1 The processing of the delay	21
3.1.2 The method of delay approximation in this paper	22
3.2 The handling of unstable poles	23

3.3 Design and Parameter Setting of Internal Model Controller	24
3.3.1 System block diagram.....	24
3.3.2 Controller design.....	25
3.3.3 Setting of Internal Model Controller Parameters.....	28
3.4 Simulation.....	32
3.4.1 Example 1	32
3.4.2 Example 2	33
3.4.3 Example 3	34
3.5 Chapter summary	35
Chapter 4 Robustness Analysis of Systems with Unstable Pole	40
4.1 A Summary of Robustness.....	41
4.2 The compromise of robust index and the performance index	42
4.3 Robustness Analysis of FOUPDT	44
4.4 Simulation.....	49
4.4.1 Example 1	49
4.4.2 Example 2	50
4.5 Chapter summary	50
Chapter 5 Conclusion and Prospect.....	51
5.1 Conclusion	55
5.2 Prospect.....	56
Bibliography	57
Acknowledgements	65

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第一章 绪论

1.1 研究背景与意义

近些年来,自动控制理论得到大量发展,其理论研究成果也越来越多的成功应用到工程实践中。从传统的经典控制理论到现代控制理论,大量的理论思想被学者们提出来,这不仅丰富了控制理论的理论部分,也使现实生活中的工程实践得到了很大的提高。在这些理论中,PID 控制理论无疑是各学者们研究的基础理论,现在的许多理论都是在经典 PID 控制理论上发展而来的。在过程控制中,95%的控制依然采用的 PID 控制。PID 控制器具有结构简单的优点,因此在实际工业实践应用中,PID 控制器得到了大量运用。PID 控制策略的重点在于其控制器三个参数的整定,而在现场经验丰富的工程师们一般依靠经验调整 PID 控制器的参数。但是随着对工艺和产品要求的提高,这样的控制策略已经不能满足当前工业的需求。针对这类现象,许多学者在 PID 控制理论的基础上提出了更先进的控制策略,比如基于传统 PID 控制的 Z-N 参数整定方法,与 PID 控制策略结合的内模 PID 控制法等。

带有时延系统的过程控制模型在现实应用中成为一大难题,在很多工业领域都会出现这种问题,比如化工领域,冶金领域、造纸工业系统等^[1-2]。由于这类系统中时延环节的存在,会对系统的性能产生较坏影响,比如使系统的调节时间变长,超调量增大甚至使系统变成发散。并且在这样一类的系统中常常还会伴随有不稳定过程的环节,这些问题的出现使得曾经经典的传统控制理论不能解决这类问题,更不能使得系统具有良好的稳定性和性能^[3-5]。对含有不稳定环节的系统控制难度加大,尤其在系统的过程模型是高阶的情况下更是如此,这类系统往往没有平衡状态甚至是震荡发散状态。如若系统没有平衡态,那么该系统的抗负载扰动能力较差,使得系统的输出产生较大干扰并且最终不会收敛维持到新的平衡状态,严重的甚至使得系统呈现发散状态。经过大量学者的研究,这类系统通常可以通过数学建模的方法将原始复杂的工业系统模型转化为带有时延的稳定或者带有时延的不稳定过程模型。如化工应用中的常见恒温连续搅拌器模型模型 (Isothermal CSTR)^[6]、流化床反应器模型 (Fluidized bed reactor) ^[7]、二聚反应

器模型 (Dimerization reactor)^[8]、自催化连续搅拌器模型 (Autocatalytic CSTR)^[9]等。以上模型均含有一个或一个以上的不稳定极点或者不稳定零点, 学者们通过数学建模方法将这些复杂的系统转换为带时延的一阶或者二阶不稳定过程模型 (FOUPDT 或者 SOUPDT 模型)。将复杂的系统用数学建模的方法简化后, 可以采用双闭环的方法来对控制器进行设计, 内环镇定不稳定过程模型和不确定标称模型, 外环进行内模控制器的设计。

在对含有时延的过程模型研究时, 学者们通常关注三个指标。一是系统的设定值跟踪能力即伺服响应能力; 二是所控系统受到外在干扰条件下系统维持稳定及快速回到稳定状态的能力; 三是系统本身存在不确定性或者系统出现失配时系统保持稳定的能力及维持动态性能的能力。

因此本文是主要是针对 FOUPDT 和 SOUPDT 模型设计一种新的满足系统性能指标和鲁棒性指标的 IMC-PID 控制器和控制器参数整定方法, 这种方法解决了含有不稳定过程模型的控制器设计及其参数整定的问题, 能使 IMC-PID 控制器更好的应用到工程实践生产中, 具有现实应用意义。

1.2 国内外研究现状综述

带有时延的过程一直因为其工程意义而备受各学者们的关注, 国内外的大量学者在这方面做了大量的研究, 其中成果也非常丰富, 并成功的将他们的理论应用到工程应用中使得系统性能变得更好。在上世纪五十年代前, PID 作为最简单的控制算法被提出来, 这几十年来大量学者在它的基础上又提出了许多更先进的控制算法, 如智能 PID 控制、模糊 PID 控制等、史密斯预估控制 (Smith 预估控制)、内模控制 (IMC 控制)、鲁棒 PID 控制和二次优化控制等。这些算法结合 PID 控制算法的优点并对其进行改良从而得到了这些更优良的算法。

PID 控制作为五十年代前应用最广泛的控制策略, 被成功的应用到工业各个行业中。PID 控制策略只需整定增益、积分时间常数、微分时间常数, 因此相对于其他复杂的控制算法, PID 控制的优点尽显。PID 控制器还具有拥有较好鲁棒性、参数较易调节等优点。在许多行业领域的过程控制研究中, 如化学化工、采矿业、食品工业、汽车制造、航空航天等, PID 控制策略已经作为一种标准控制策略使用。对应不同的工业环境, 工程师只要设置不同的 PID 控制器三个参数

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库