

《自动化基础知识丛书》

自寻最优控制

戴绪愚 编著



科学出版社

科学出版社

75.8226
913
1

自动化基础知识丛书

自寻最优控制

戴绪愚 编著



科学出版社

1986

8610884

Dt78/2

内 容 简 介

本书是一本较实用的自动化中级科普读物,它介绍了自寻最优控制的原理及其工业应用。对于要求某项指标达到最优的生产过程来说,自寻最优控制是一种极为有效的方法。它是模拟人工操作,通过测量、判断去自动寻找生产过程的最优工作状态的一种方法。它不仅避免了建立数学模型的困难,而且对系统中不确定因素引起的对象特性的漂移具有自适应的能力。本书通过实例,深入浅出地介绍了自寻最优控制的基本概念、原理、特点、实现方法及其工业应用。

本书适合于具有中等文化程度以上的自动化工作者和大专院校理工科师生阅读。

自动化基础知识丛书

自 寻 最 优 控 制

戴绪愚 编著

责任编辑 姚平录

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

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

*

1986年10月第一版 开本:787×1092 1/32

1986年10月第一次印刷 印张:5 1/8

印数:0001—4,300 字数:111,000

统一书号:15031·750

本社书号:4348·15—8

定价: 0.96 元

前 言

本书是中国自动化学会和科学出版社计划编辑出版的《自动化基础知识丛书》之一。

这套丛书编辑出版的目的,是希望在自动化的实际应用和理论研究之间搭起“桥梁”,向广大读者提供自动化科学技术基础知识和新的信息,有三方面的意图。

1. 向从事自动化实际应用工作的读者,提供必要的理论方法和数学基础,如:控制理论、系统仿真、系统辨识及微分方程、线性代数……等。

2. 向从事自动化理论研究工作的读者,提供有关实际仪表、装置和系统的工程知识,如:检测仪表、调节器、随动系统、自寻最优控制……等。

3. 向广大对自动化有兴趣的读者,提供自动化科学技术的基本知识和发展动向的信息,如:微电脑、机器人、大系统理论、智能控制系统……等。

近四十年来,自动化科学技术日新月异,在广度和深度上都有重大进展。一方面,从单机自动化、机组自动化向车间、工厂、公司的综合自动化发展;从工程技术领域向社会经济、环境生态领域发展;从小系统的过程控制的局部最优化,向大系统的管理决策的全局最优化发展……;另一方面,从常规的自

动检测、调节与控制,向人工智能、模式识别、机器人、智能控制系统发展……等。

自动化是实现工业、农业、国防和科学技术现代化的先进手段,是实现优质、高产、低消耗、保安全的有效方法。也是现代化社会中科学技术发达、人民生活水平提高的显著标志。自动化在国民经济各部门、社会生活各方面的广泛应用,将人们从繁重的体力和脑力劳动中,从危险的、有害的工作环境中解放出来,大大扩展了人类认识自然、改造自然的能力。为迅速发展社会生产力,改善人民生活条件作出巨大贡献。因此,自动化是现代的“催化剂”,也是现代化的“显影液”。没有自动化,就没有现代化。

我们期望,《自动化基础知识丛书》的编辑出版,能为广大读者提供一个有用的自动化科学技术知识库,为我国的现代化建设服务。

《自动化基础知识丛书》编委会

作 者 前 言

在生产过程自动控制中,有的生产过程要求某项指标达到最优,例如产量最高、成本最低、消耗最小等等。但这个最优指标不是固定的,而是随工况的变化而变化的,在这种情况下,若采用普通定值控制系统便不能达到预期的结果。目前实现最优控制的方法有两种,一种方法是首先把获得的生产过程中最优指标的有关参数的相互关系,用数学模型描述出来,然后利用电子计算机对各可控参数进行测量、计算、调整,使控制指标达到最优。这种方法会遇到建立数学模型和某些扰动因素无法测量与不可控的困难。另一种方法就是本书所介绍的自动寻找最优工作点的控制方法,简称自寻最优控制。它与前者不同,不要求建立被控对象的数学模型,可直接利用被控对象的极大值、极小值特性或其他非线性特性,用改变输入参数以试探其对控制指标的影响的方法,逐步地搜索到最优工作点。并且,由于各种不确定因素使对象特性产生漂移时,它能自动搜索使控制指标重新达到在新的工况下的最优状态,因此对不可控扰动具有自适应的能力。

机械工业部北京机械工业自动化研究所于1969年根据自寻最优控制的原理,研制成了一种极值调节器,把它用于高炉热风炉燃烧过程的自寻最优控制,实现了合理燃烧,取得了节约煤气、降低焦比、提高风温、延长炉龄等效益;1982年河

北省科学院自动化所按上述极值调节器原理研制了用 CMOS 集成电路组成的 ZJT-1 型极值调节器,用于邢台钢铁厂热风炉,仅节约煤气一项,每台热风炉一年可节约费用达 5.5 万元。这表明自寻最优控制是一项具有发展前景的适用技术,因此,作者深感有向广大读者推荐这一自动化技术的必要。

本书拟用通俗的文字向读者介绍自寻最优控制技术。全书共分八章:第一章介绍自寻最优控制的基本概念;第二章通过几个例子说明采用自寻最优控制的必要性;第三章着重介绍自寻最优控制的工作原理、特点和应用的必要条件;第四章描述了实现自寻最优控制的方法;第五章分析了动力学现象的影响;第六章介绍了自寻最优控制的工业应用;第七章叙述了一种已经获得工业应用的自寻最优控制器;第八章列举了几个工业应用的具体例子和应用效果;最后一部分为结束语。本书力图深入浅出、图文并茂,以帮助读者开阔思路。希望读者读完本书后,不仅能获得对自寻最优控制及其系统工作原理的认识和了解,而且能知道在生产实践中怎样应用这些原理。

本书在编写过程中得到了涂序彦、陈振宇、朱宣信、易允文、宋绍先等同志的热心帮助,谨此致谢。

戴绪愚

目 录

前言

作者前言

第一章 基本概念	1
第二章 几个例子	7
一、如何实现合理燃烧	7
二、自磨机的最优控制	9
三、蒸汽锅炉	14
四、内燃机	15
五、飞机飞行	16
第三章 原理、特点和应用条件	18
一、自寻最优控制的工作原理	19
二、自寻最优控制的特点	23
三、应用自寻最优控制的必要条件	25
第四章 实现方法	27
一、微商判断法	28
1. 工作原理	28
2. 搜索损失和搜索范围	32
3. 干扰的影响	35
二、相位判断法	36
1. 工作原理	36
2. 系统结构	40
3. 干扰的影响	44

三、极值记忆法	45
1.工作原理	45
2.系统结构	46
3.干扰的影响	49
四、步进搜索法	49
1.工作原理	50
2.系统结构	52
3.搜索损失与步长	55
4.多变量的自寻最优控制	57
第五章 动力学现象的影响	60
一、被控对象的微分方程	60
二、动力学现象的影响	62
三、稳定运转的设计	70
第六章 自寻最优控制的工业应用——实现热风炉的合理燃烧	73
一、热风炉及其对燃烧过程的要求	74
1.热风炉的结构及其工艺流程	74
2.热风炉对燃烧过程的要求	76
二、热风炉燃烧过程的几种控制方案的比较	77
三、热风炉燃烧过程的自寻最优控制	80
1.热风炉燃烧过程的极值特性	80
2.控制规律	82
3.控制系统	84
四、应用效果	88
第七章 自寻最优控制器	92
一、基本原理	92
1.控制器的功能	92
2.控制器总框图	93
二、各部件工作原理	98

1. 时钟脉冲发生器	98
2. 控制部件	100
3. 运算部件	109
4. 输出部件及其控制电路	115
5. 停步控制	118
6. 炉顶限温控制	123
第八章 自寻最优控制在其他方面的应用举例	130
一、锅炉燃烧的自寻最优控制	130
1. 锅炉效率静态特性	131
2. 控制系统原理	134
3. 经济效果分析	140
二、钢球磨煤机的自寻最优控制	140
1. 钢球磨煤机的运行特性	141
2. 钢球磨煤机自寻最优控制系统工作原理	144
3. 经济效益	149
结束语	151
参考文献	152

第一章 基本概念

控制是指某个主体使其他对象按照一定的目的来动作的行为。所谓“其他对象”可以是一种过程,也可以是一部机器,再大则可以是生产系统,一般将这些称为被控对象。所谓“某个主体”从根本来说是人。在自动控制中,凡非手动控制均为自动控制,它是模仿或代替人的部分工作的设备,一般将它叫做控制装置。而所谓“动作”,一般来说是指“其他对象”的“状态”的变化。

常用的自动控制方法有两种,即反馈控制和顺序控制。

反馈控制是按偏差进行控制的,即不断把控制对象的实际结果与目标值进行比较,控制的结果使其差值尽可能减小。反馈控制系统,主要由相当于人的眼睛部分的测量环节、相当于人的大脑部分的控制环节和相当于人的手足的执行机构与被控对象组成。反馈控制的特征与本质就在于使控制对象的状态经常与目标值保持一致。比如发动机转速的控制,不管负荷如何变化,始终不偏离所规定的目标值,就是这种控制的实例。

还有一种控制,并不把控制结果与控制目标相比较,而是按事先编排好的顺序或条件,依次进行控制。如自动洗衣机,自动售货机,机械加工中的自动、半自动车床,上下料装置,模

8610884

• 1 •

压机的开模与合模,生产自动线,机械手等均采用了此种控制方法。顺序控制装置最初用齿轮等机械装置,继电器等电器装置,由于晶体管、集成电路的应用,出现了各种专用和通用逻辑控制装置、数控装置、较高级的还采用小型机、微处理机等。

以上分别介绍了常用的反馈控制和顺序控制。在实际的自动化系统中,这两种方法往往可混合使用,以便充分发挥各自的作用。

随着现代化生产和科学技术的发展,又出现了计算机控制。生产过程采用计算机控制的主要目的是使被控对象或系统处于“人们所预期”的“最优工作状态”,从而使生产中的各种技术经济指标得到相当的改善。

上述各种控制方法都有一个基本前提,假定已经知道了被控对象的特性,即数学模型,如传递函数或状态方程。设计者的任务是以所了解到的关于被控对象的特性和控制要求,进行系统设计,选择必要的调节规律,研制实现所期望调节规律的调节器和控制单元,组成自动控制系统。

电子计算机要代替人完成过程控制,也需要在它进行工作之前,由设计者赋与它关于生产过程的数学模型、控制规律及相应的程序,并为它安装好象“人眼”那样能随时报告现场数据的检测仪表以及对生产过程进行干预的控制执行机构。也就是说,在计算机工作之前,从事自动化工作的人员需要根据对象的数学模型,用控制理论的方法,研究过程控制的规律和全套工艺理论,并安装好检测仪表和执行机构。

总之,控制系统的设计者都依赖于被控对象的数学模型。若设计新的控制系统,关于被控对象的知识是根据试验模型或者对其他类似系统的了解得来的;若改造老系统,则是根据被控对象过去积累的技术资料或经验数据而进行的。即使我们的模型试验做得十分理想,对过去积累的技术数据和内在联系有非常深刻的认识,也还会发生下面几种情况,使我们不可能获得精确的控制。

(1) 原来假定的被控对象在制造过程中常常会发生微小的差异。例如:火箭模型的性能是由在风洞中进行的实验来测定的,然而,真正的火箭机翼的性能就不会完全相同,所以火箭的空气动力学特性实际上和实验结果有些不同。

(2) 任何一个系统都会在使用的时间过程中发生变化,这些变化可能是由于磨损和疲劳而使系统逐渐损坏,也可能是由于系统所处的周围环境有所改变的缘故造成的。例如:在燃烧过程中燃料热值的变化,往往是随机的,会使燃烧条件偏离最优状态,而这种情况又难于事先预测,是属于不确定的因素。

(3) 在通过实验研究生产过程的数学模型时,大家都有共同的体会,即观测值总要受到实验误差的影响,尤其在大型的生产装置上进行实验时更是如此。影响观测值的因素很多,且无法一一由实验人员控制,它与实验室的实验有着根本的差别。在实验室里具有很优越的条件,实验人员可以使所有自变量完全控制在要求之内,可以要求实验原料纯净,测量仪器准确,实验条件(如温度、湿度、压力等等)控制严格,因而

可使实验误差尽可能地减小,从而使实验结果比较容易判断。但是对工业现场来讲,实验人员是难以对所有变量实行控制的,例如要测定原油分馏时的模型,所处理的原油(原料)成分通常不能保持一成不变;它的一个个十几米乃至几十米高的分馏塔,生产中经常受到自然环境的影响,如炎热的中午和凉爽的半夜相比,气温就有相当大的差别;再加上一般工业生产所用测量仪表的精度也有一定的限制,如热电偶或热电阻大多数的测量误差就为千分之五,这些情况都说明了工业实验总是不可避免地伴随着误差,而且在实际生产装置上进行研究,往往要求尽可能不影响或少影响生产的正常运行,因此就有必要在自变量变化较小的范围内进行实验。以上这些情况都阻碍了我们获得精确的数学模型的可能性。

为了解决这个问题,最初曾采用过预编程序的控制系统。在这类控制系统中,可首先根据各种可能出现的环境条件,相应地设计出许多组能使系统性能符合要求的补偿参数的组合;然后设计好参数调整的控制程序,此程序能根据所检测到的环境条件,引入相应的一组参数值,以补偿由于环境变化而引起的系统参数的变化,使系统在不同环境下都能满意地工作。这种补偿参数的调整是建立在预先掌握到被控对象的参数随环境而变动的情况基础上的,而且调整工作是以开环方式进行的。用这样的办法来解决由于环境变动所引起的系统性能降低的问题,曾经非常成功,例如:在飞机的自动驾驶仪中就采用了这种程序控制方案,随着飞行高度或飞行速度的变动,根据有关环境的直接测量信息,相应地改变自动驾驶仪

的调节参数,以补偿飞机参数相应的变化。预编程序的控制
系统相对来说比较简单,但它有缺点,为了建立合适的参数调
节量与环境变动之间的相应关系,首先必须进行十分完整的
试验,如果在几种环境条件的变动下必须调节同一参数的话,
则这一工作就会进一步复杂化;其次,这样一种固定的补偿办
法只能在运行条件的一个有限的范围内适用,倘若在某个大
范围内要求系统具有较好的性能,这时就不得不采取折衷方
案,从而放弃具有最优性能的参数组合;更为主要的是往往存
在这样的情况,就是没有可能对所有环境条件进行独立的检
测,或者进行这种工作是不现实的,例如:飞机在结冰的气候
条件下飞行,在机翼和机身上面冰层的堆积和融化会使飞机
的外形有一些变化,但冰块的堆积方式是一个无法预先精确
测定的变量,所以由于冰块的影响,飞机的空气动力学特性会
发生相当大的变化,而这种变化方式是无法预料到的。所有
这些变化都使飞机的性能降低,也就是说每公升汽油所能飞
行的公里数会减少。在设计过程中,我们曾确定发动机的功
率、转速、以及飞机的飞行情况应当如何配合起来才会使汽油
消耗最小,其目的在于使飞机能在最优状态下飞行,以尽量少
消耗燃料,但是由于结冰的作用,原先关于飞机性能的了解和
实际情况不相符合,因而达不到原先设计的最优运行条件。

为了让设计的自动控制系统能够使被控对象随时都处在
最优的工作状态,或接近最优工作状态,因此设想把本来是由
设计人员事先应当设法掌握与了解的被控对象的性质与特征
的这一任务,在控制系统运行的过程中,由控制系统本身来完

成。根据这一设想,在进行控制系统设计时,就不需要有关被控对象的确切知识。在这里,是采用在运行过程中“不断测量”和“不断理解”的方法,由系统本身去摸清当时系统运行的条件,作出正确的决策。这样一来,设备制造和运行过程中产生的与原设计的不一致,以及种种事先无法估计到的变化所引起被控对象特性的漂移,都能在系统运行过程中,通过不断测量察觉出来,由系统本身根据运行条件的变化不断地修正控制作用,使得被控对象运行在最优工作状态。这种自动寻找最优工作运转点的自动控制系统,称为“自寻最优点”的控制系统,简称“自寻最优控制”。

自寻最优控制在美国是由椎柏 (Draper)、李耀滋 (Y. T. Li) 和拉宁 (Laning) 提出的,舒尔 (Shull) 曾经讨论过这种原理在操纵飞机方面的应用。在苏联卡扎切维奇 (Казакевич) 于 1943 年曾研究过自寻最优控制系统并成功地做过工业试验。中国科学院自动化研究所曾在 1963 年开展过这方面的工作。机械工业部北京机械工业自动化研究所与武汉钢铁公司合作曾在 1970 年研制成功了一种适合于热风炉燃烧过程实现自寻最优控制的极值调节器,并在武钢高炉热风炉获得了工业应用的实效。

第二章 几个例子

前面我们谈到,为了要成功地设计一个控制系统,不论是常规的反馈控制系统,还是最优的控制系统,必须具备一个基本的前提:这就是事先要知道被控对象所具有的性质和特征,同时也要掌握这些性质和特征随环境等因素变化的情况。实际生产中有许多被控对象的特性在运行过程中会发生变化,有时甚至会发生某种不可能预测的大幅度的变化,使常规的控制系统在这里无能为力。下面我们将列举几个这样的例子。

一、如何实现合理燃烧

许多生产过程都要用到加热过程,例如:钢锭轧制前的加热,汽轮机所需要的蒸汽是由水加热后获得的,这些热能都是将燃料在加热炉内燃烧产生的。炉子的燃烧特性——燃烧消耗的空气量与炉内的温度,可用图 2-1 所示的象山峰般的曲线表示出来,这些曲线的形状不一定相同,但有一个共同处是在某一点时达到最大,数学上称之为极值,这种特性简称为极值特性。

当燃料流量为 Q_A 时,有一个相应的最优空气流量 Q_1 ,此