

文章编号: 1006-4729(2008)02-0132-04

基于继电器反馈的 PID 自整定控制技术进展

潘 帅^{1,2}, 杨 平²

(1. 上海大学 机电工程与自动化学院, 上海 200092

2 上海电力学院 电力与自动化工程学院, 上海 200090)

摘 要: 常规的 PID 参数整定都是由人工完成的, 因而存在着人工整定自身所不能克服的缺点, 基于继电器反馈的 PID 参数自整定技术有效地克服了人工整定的缺陷. 在对继电器反馈自整定技术阐述的基础上, 指出了今后的发展趋势和研究方向.

关键词: 自整定; 继电器反馈; PID 控制

中图分类号: TP273 文献标识码: A

The Development of PID Self tuning Control Technology Based on Relay Feedback

PAN Shuai², YANG Ping

(1 School of Mechatronics of Engineering and Automation Shanghai University Shanghai 200092 China

2 School of Electric Power and Automation Engineering Shanghai University of Electric Power Shanghai 200090 China)

Abstract The artificial tuning of general PID parameter depends more on experience than on science. The self tuning technology based on relay feedback effectively solves the problem of artificial tuning. This paper makes a description about the relay feedback self tuning technology and points out the development trend in the future.

Key words self tuning; relay feedback; PID control

传统的 PID 控制技术由于算法简单、鲁棒性好、可靠性高等优点, 在现今的工业控制中仍然占据主导地位. PID 控制参数整定一直是人们研究的课题之一. 但传统的 PID 控制器的整定方法往往技巧多于科学, 其整定参数的选择取决于多种因素. 为了提高 PID 整定参数的准确性, PID 控制自整定技术便应运而生^[1,2].

国外 PID 控制的整定技术在理论研究和商品化程度上, 均一直处于领先地位. 国内的研究是在国外研究基础上发展起来的, 例如: 上海交大王萍

的基于偏移相角的新型辨识算法^[3]; 浙江大学曹刚的基于幅值最优化的二自由度 PID 参数自整定^[4], 以及何芝强的基于任意相角裕度和基于曲线拟合的新方法^[5]. 在实际应用方面, 中石化总公司发展部委托大庆石化总厂和中国科技大学合作开发工程化的 PID 自整定软件包 Atloop^[6].

然而在产品制造领域, 国内厂家自主研发的 PID 产品少之又少, 而且性能不高. 主要原因有两个: 一是由于商业上保密的原因, 国外许多关键技术数据都没有公开发表, 致使自整定理论及实践

收稿日期: 2008-01-22

作者简介: 潘帅 (1983-), 男, 在读硕士研究生, 浙江舟山人, 研究方向为 PID 参数自整定. E-mail: panshua168@sjna.com

方法在国内还处在理论分析、仿真实验阶段;二是自整定控制器是集微处理计算机、新型精密电子元器件,以及高密度的工艺制作技术为一体的自动化仪表,国内在这些方面与国外同类技术差距甚远^[7]。

1 一种公认的 PID参数自整定方法

自 Ziegler和 Nichols提出 PD参数整定方法起,有许多技术已经被用于 PID控制器的手动和自动整定.根据发展阶段来划分,可分为常规 PD参数整定方法及智能 PD参数整定方法^[8];按照被控对象的数量来划分,可分为单变量 PID参数整定方法及多变量 PID参数整定方法;按控制量的组合形式来划分,可分为线性 PD参数整定方法及非线性 PD参数整定方法.目前在工程应用中常规的 PID整定方法有如下 10种:ZN经验公式法;ZN临界比例度法;改进的 ZN法;SIF最优整定法;特征面积法;继电自整定法;Cohen-Conn整定法;内模 PID整定法;二自由度 PID控制;非线性 PD控制。

在目前众多的 PD参数自整定技术中,在实际工业过程中应用较好的公认的有两种方法:一是基于模式识别的参数自整定方法(基于规则法);二是基于继电反馈的参数自整定方法(基于模型法)。本文专门讨论继电反馈的参数自整定方法。

1.1 继电反馈自整定方法

1984年著名的自动控制学者 Aström提出了在继电反馈下观测被控过程的极限环振荡,然后计算出 PD调节器参数的方法^[9,10],其过程的基本性质可由极限环的特征确定。

继电反馈控制系统的结构如图 1所示。

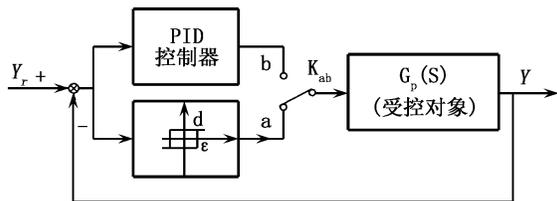


图 1 继电自整定结构示意图

在控制系统中设置了两种模式——测试模式和调节模式.在测试模式下,由一个继电环节来测

试系统的振荡频率和幅值,进而获得系统的频域信息或近似的模型结构;在调节模式下,由获得的系统信息根据选定的控制策略得到控制器的参数,如果系统的测试条件发生变化,则需要重新回到测试模式进行测试,待测试完毕后再回到调节模式^[11]。

在继电反馈控制下,被控对象只要在高频具有至少 $-\pi$ 的相位滞后就可产生临界振荡,从而获得临界点的频率特性,并由此得到系统临界频率点的信息,然后应用 ZN整定规则来进行控制器的设计.这种方法的主要优点表现在以下 3个方面。

(1)测试过程不需要任何信号发生设备,系统所产生的振荡完全是非线性系统的内部特征,所要记录和存储的数据仅仅是过程的输出数据。

(2)整定过程是在闭环中进行的,当系统受到干扰时,系统仍然运行在工作点附近,这样,既不影响系统的正常运行,又可以克服系统非线性对参数整定的影响,因此,这种控制器可以适用于高度非线性的对象。

(3)不同于其他的自整定方法,这项技术仅需要很少的先验知识,一般只需要了解以下两点:一是过程输出的最大允许范围(用来调整继电环节的幅值使输出限制在此范围内);二是过程的结构特征,如自衡与非自衡等。

由于具备上述优点,继电反馈自整定方法成为目前自整定技术中的主流方法^[12]。

1.2 继电反馈自整定技术的发展

为了更好地对系统进行控制,就必须获得更多的与系统有关的信息.在受控过程的信息提取上有如下两个方面的改进。

1.2.1 多点频率特性的获取

经常采用的一类方法是引入带有滞环的继电环节,通过调整滞环宽度,就可以使其与被控对象有不同的交点,从而得到复平面第 3象限的所有频率点.利用带有滞环的继电特性还可以克服测量噪音的影响。

另一类方法是在被控对象前面串联一个滞后环节或超前环节,以达到改善继电反馈自整定技术的目的.这样,被控对象就被人为地滞后或超前了一定的相位,由此可得到复平面其他象限点的频率信息。

Bi Qiang等人提出了由一个标准的继电器和一个寄生继电器组成继电环节以获得多点频率特性的改进方法.但是在这一方法中,寄生继电器的幅值不能随意选择,要求它足够大,以充分激励被控过程,同时要求它足够小,使寄生继电器不能过多地改变主继电器的振荡周期.

Han等人提出了通过阶跃测试获得输入、输出暂态信号,再进行FFT变换以获得过程频率响应的多点频率特性的方法.Wang等人对此又进行了改进,即在继电反馈测试条件下对输入、输出的暂态信号进行FFT变换,以辨识从零点到临界频率点的多点频率特性^[13-14].这种方法虽然能辨识出多点的频率特性,但是计算量相当大.Su等人提出的基于一个高阶线性时不变系统的方法,是通过理论证明推导出被控对象在继电信号作用下各点频率特性的方法.该算法对扰动和测量噪音都具有很强的鲁棒性,但它比以前的方法更复杂,计算量更大.

1.2.2 简单模型的辨识方法

实际工业过程中的被控对象非常复杂,往往具有非线性和时变不确定性,因而建立精确的数学模型是非常困难的,也是不现实的.因此,常采用低阶加纯滞后的模型结构来近似高阶过程对象的方法.1987年,LuYben首先提出了将继电实验用于模型辨识.随后,许多学者对这一新思想进行了深入的研究.Lundh提出了通过计算局部频率响应值的斜率来估计模型阶次的方法,如果某个频段的斜率很大,则在这个频段将用一个高阶的模型来建模,并提出对于一个实际的过程对象,用一个3阶加纯滞后环节就足以达到近似.这种方法虽然能辨识出模型的阶次,但不能精确获取其他参数,且只适用于有重极点的模型,因此这种方法常用于某些控制器的初始化设计.王亚刚根据Friman提出的双通道继电反馈结构辨识出了一个2阶加纯滞后模型(SOPDT),但是该方法是通过两个继电实验进行的,且都使用描述函数法来近似,因此,辨识出的结果不是很精确.Aheron和Mah提出了一种新的基于继电反馈的辨识方法,并能辨识出不稳定对象的模型参数.

由这个方法辨识出的模型结果虽然精确,但需要求解非线性方程组,这不仅非常复杂,而且需要选择合适的初值,否则,方程组将不能收敛到真值.此外,求解增益时需要输入输出曲线与实轴

围成的面积进行测量,这很容易造成测量的不精确^[15].

2 继电反馈自整定方法的研究趋向

利用继电反馈方法不仅可以对过程对象进行辨识,从而得到更为精确的控制参数,而且在被控对象参数改变较大的情况下,可以实现自动切换和重新整定,表现出极强的自适应性.这是常规PD控制器不可能具有的.因此,从目前PD自整定技术的研究和应用现状来看,以下4个方面将是今后研究的热点^[16]:

(1)对不满足于产生极限环条件的对象进行研究,并使它们在一些不确定性的干扰和存在测量噪音的情况下,仍能通过继电反馈获取更为精确的过程信息;

(2)以继电自整定策略为理论基石,综合考虑设定值跟踪、负载扰动抑制、快速响应、消除测量噪音、鲁棒性等因素,使整个系统的性能指标更好;

(3)对不稳定的时滞对象或被控过程存在较大干扰情况下的控制器设计进行深入研究,使其在设定值跟踪、抗干扰和鲁棒性方面的性能进一步提高,并达到使用最小量的过程信息,以及采用较简单的操作方式就能设计出令人满意的控制器的目的;

(4)突破传统PD结构的限制,设计包括非线性PD在内的一些新的PD形式,使PID系统性能指标得到全面提高.

3 结束语

继电反馈自整定技术除了上述的多点频率特性的获取和简单模型的辨识方法外,在PID自整定计算方法上改进的还有KAPPA-TAO法、增益和相位裕量法等.今后的研究热点可能主要集中在以下4个方面:一是通过继电反馈获取更为精确的过程信息;二是综合考虑设定值跟踪、负载扰动抑制等系统性能;三是针对不稳定的时滞对象加大干扰被控过程的力度;四是使变形PID结构进一步完善^[17-18].

PD参数自整定技术的优化对生产过程的安全,以及经济、高效运行有着十分重要的意义.因此,非常有必要继续研究和开发PD参数自整定技术.这对于控制理论的研究和应用技术的开发,

都将产生明显的效益^[19]。

参考文献:

- [1] 杨智, 朱海锋, 黄以华. PD控制器设计与参数整定方法综述[J]. 化工自动化及仪表, 2005 32(5): 1-7.
- [2] 叶岚. 基于继电反馈的 PD控制器的参数整定[D]. 上海: 上海交通大学自动化系, 2007.
- [3] 王萍. 新型继电辨识自整定控制器的研究与设计[D]. 上海: 上海交通大学自动化系, 2007.
- [4] 曹刚. PD控制器参数整定方法及其应用研究[D]. 杭州: 浙江大学信息科学与工程学院, 2004.
- [5] 何芝强. PD控制器参数整定方法及其应用研究[D]. 杭州: 浙江大学信息科学与工程学院, 2005.
- [6] 杨彬彦, 孙德敏. Adcop PID自整定软件包的开发及应用[J]. 化工自动化及仪表, 1995 22(5): 17-22.
- [7] 杨智. 工业自整定 PID调节器关键设计技术综述[J]. 化工自动化及仪表 2000 27(2): 5-10.
- [8] 王伟, 张晶涛, 柴天佑. PD参数先进整定方法综述[J]. 自动化学报, 2000 26(5): 347-355.
- [9] Hang C C, Aström K J, Wang Q G. Relay feedback auto-tuning of process controllers a tutorial review[J]. Journal of Process Control 2002 (12): 143-162.
- [10] Aström K J, Hägglund T, Wallenborg A. Automatic tuning of digital controllers with applications to HVAC plants[J]. Automatica 1993 29(5): 1333-1343.
- [11] 庄轶群. 基于继电反馈的 PD自整定软件包开发及相关算法研究[D]. 沈阳: 东北大学信息科学与工程学院, 2005.
- [12] 杨智. 自整定 PID调节器设计方法[J]. 甘肃工业大学学报, 1998 24(1): 77-82.
- [13] Wang Q G, Hang C C, Bi Q. Process frequency response estimation from relay feedback[J]. Control Eng Practice 1997 5(9): 1293-1302.
- [14] Wang Q G, Hang C C, Bi Q. A frequency domain controller design method[J]. Trans IChemE 1997 (75): 64-72.
- [15] Ma M D, Zhu X J. A simple auto-tuner in frequency domain[J]. Computers and Chemical Engineering 2006 30: 581-586.
- [16] 何宏源, 徐进学, 金妮. PID继电自整定技术的发展综述[J]. 沈阳工业大学学报, 2005 27(4): 409-413.
- [17] 周玉国, 周玉学, 孙启权. 继电整定算法的仿真研究[J]. 自动化技术与应用 2001 (1): 26-28.
- [18] 薛珊. 智能自整定 PID控制器的研究[D]. 长春: 长春理工大学, 2004.
- [19] 孙婷. 参数自整定 PID控制算法应用研究[D]. 成都: 西华大学, 2007.
- [30] Giral R, Martínez L. Switched capacitor interleaved dual boost regulator with sliding mode control[J]. // Conf Rec, IEEE PowerElectr 1998, 1523-1528.
- [31] Fo B J C, Moreira A F. Analysis of switching frequency reduction methods applied to sliding mode controlled DC/DC converters[J]. // IEEE APEC Rec, Boston 1992 403-410.
- [32] Banerjee S, Ott E, Yonke J A, et al. Anomalous bifurcation in DC/DC converters: in piecewise smooth maps[J]. // Power Electronics Specialist's Conf. Rec, IEEE, 1997 1337-1344.
- [33] 任碧莹, 余健明, 同向前. 混合式自调整模糊控制在 DC/DC变换器中的应用[J]. 电力电子技术, 2001 35(6): 23-25.
- [34] Djordjević A, Ursanu Q, Lucanu M, et al. A hybrid PIDFUZZY controller for DC/DC converters[J]. International Symposium SCS 2003 (1): 97-100.

(上接第 131 页)

Seattle, 1995, 2055-2058.