

模糊 PID 控制器在柔性振动系统中的应用

周营俊, 吴明晖

上海电力大学自动化工程学院 上海

【摘要】根据对柔性结构的控制方式,可以把分为主动式和被动式柔性振动控制。这些技术都不依靠外界能量的供应,以吸热来达到减振效果。传统 PID 控制器具有结构简洁、工作稳定、可靠性好等优点,已广泛应用于精确的数学控制系统。当存在多变量、非线性和滞后时,传统 PID 控制器很难达到理想的效果。由于技术水平的提高,使得控制技术日益受到人们的重视,各种新型的模糊控制器应运而生。然而,单一的模糊控制方法存在着控制效果较弱,且控制的精确性无法满足设计需要等缺陷。传统 PID 控制结合自适应模糊控制可以很好地解决这些问题,通过将由操作系统所发生的差错和纠错率反馈给模糊控制器,动态调整 PID 控制器的比例、积分和微分参数,使得整个系统处于最优的工作环境。最后在 Simulink 搭建模糊控制器并实现较好的控制效果。

【关键词】传统 PID 控制; 模糊控制; 自适应模糊 PID 控制器; Simulink 建模

Application of fuzzy PID controller in flexible vibration system

Yingjun Zhou, Minghui Wu

School of Automation Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai

【Abstract】 According to the control mode of flexible structure, it can be divided into active and passive flexible vibration control. These technologies do not rely on the supply of external energy to absorb heat to achieve vibration damping. Traditional PID controllers have the advantages of simple structure, stable work and good reliability, and have been widely used in accurate mathematical control systems. When there is multivariation, nonlinearity, and hysteresis, it is difficult for traditional PID controllers to achieve the desired results. Due to the improvement of technical level, control technology has received more and more attention, and various new types of fuzzy controllers have emerged. However, a single fuzzy control method has the disadvantages of weak control effect and control accuracy that cannot meet the design needs. Traditional PID control combined with adaptive fuzzy control can solve these problems well, by feeding back the error and error correction rate of the operating system to the fuzzy controller, and dynamically adjusting the proportion, integration and differential parameters of the PID controller, so that the whole system is in the optimal working environment. Finally, a fuzzy controller is built in Simulink to achieve a better control effect.

【Keywords】 Traditional PID control; fuzzy control; Adaptive fuzzy PID controller; Simulink modeling

柔性结构的非线性分布参数具有很大的复杂性,因此目前对其进行的振动控制仍是以无源方式进行,但目前尚无一种行之有效的有源控制。由于受到工业控制中诸多因素的制约,绝大多数的柔性结构体系仍停留在理论上,只能在各种不同的软体上进行模拟试验,并将其与控制方法相联系,以求出其正确性。为便于对柔性结构体系进行动态检测和观测,并对其进行有效地检验。

本文以弹性构件的动态特性为基础,利用有限差分方法对其进行建模分析,利用该方法对柔性构件进行动态分析,从而实现对挠性构件的动态特性进行动态分析,进而实现对挠性构件的动态特性的仿真;对挠性建筑的振动进行监控,然后通过安卓系统的控制器对其进行分析和显示,最终将其反馈给仿真的柔性结构部件进行控制。

1 模糊控制技术

1.1 模糊控制的定义

模糊控制是一种基于模糊逻辑描述的过程控制算法。通过运用模糊数学的方法来模仿人类大脑的思考模式, 通过对模糊的特征进行辨识与判定, 并对其进行准确的控制力, 从而实现对受控目标的控制。通过对该方法参量的确定, 可以通过波特图和 NEXTER 曲线进行精确的计算。在诸如微粒响应、气象预测等复杂的系统中, 要想得到一个精确、合理的数学模式是非常困难的。在传动系统的变速向量控制中, 它的数学建模是可以用来实现的, 但是它具有多个变量、非线性的特点, 难以特别准确地进行参数分析。

1.2 模糊控制的优点

与常规控制方法相比, 模糊控制具有以下优点:

(1) 模糊控制不要求任何数学建模, 而是根据操作员的体验式控制。这是一种行之有效的方法。

(2) 采用分立运算获得了控制查询表格, 以改善实时、快速的特点。

(3) 该控制机理与人类对过程的视觉化和思想逻辑相一致。这是一种智能的模拟, 是一种智能的操作。

1.3 PID 参数对柔性振动系统控制性能的影响

(1) 比例系数 K_p 对柔性振动系统性能的影响增大了比例因子, 使得柔性振动系统工作更为敏感, 振动响应速度加快。 K_p 值偏高, 系统振荡次数会增多, 导致调节时间延长。 K_p 值过低, 导致了该体系的响应速度缓慢。 K_p 可以通过执行机构和传感器的特征来控制物体。若 K_p 标记不能被适当地选取, 物体的位置会逐渐偏离到目的位置。

(2) 积分时间常数 K_I 对柔性振动系统性能的影响

微量 K_I (强积累量) 会影响系统的稳定性, 但能有效地排除稳态偏差, 改善控制的准确性。若 K_I 过大, 积分作用太弱, 则不能减少余差, 振动达不到控制效果。

(3) 微分时间常数 K_D 对柔性振动系统性能的影响

微分时间 K_D 的增加可以改善系统的动态特性, 如减少超调量, 缩短调节时间等。微分环节的加入, 可以在误差出现或变化瞬间, 按偏差变化的趋向进行控制, 引进一个早期的修正方式有助于增加系统

的稳定性。但 K_D 值偏大或偏小都会适得其反, 另外微分作用有可能会放大系统的噪声, 降低系统的抗干扰能力。

1.4 PID 控制器的选择与 PID 参数整定

(1) PID 控制器的选择

对于柔性振动控制系统在开始使用 PID 控制器前, 利用 PID 控制的选用基础合理的配置控制器的参数。一般是建立在表 1 原则基础上进行合理选择。

表 1 PID 控制类型选定原则

被控参数	控制器	备注
温度/成分	PID	
流量/压力	PI	*K
液位/料位	P	

*K: 当工业对象具有较大的滞后时, 可引入微分作用; 但如果测量噪声较大, 则应先对测量信号进行一阶或平均滤波。

(2) PID 控制器参数的整定

PID 调节器的参数调整是整个控制方案的关键。PID 控制器是根据控制系统特性来决定比例系数、时间和差动时间的。

PID 控制器的参数整定有多种方法。主要有两类:

一是采用了理论计算的方式。该方法以系统的数学模式为基础, 利用理论上的运算来决定控制参数。此计算结果无法用于实际应用, 需根据实际情况加以修正和修正。

二是项目布置方式, 该方案以现场实际情况为基础, 通过实验对其进行控制, 其操作简便, 便于操作, 已在实际中推广。PID 控制器的参数整定方法, 临界比例法, 响应曲线法, 衰减法等。三种控制方式均有其独特之处, 其共性在于先经过试验, 再依据工程经验公式来修正控制系统的各项指标。但是, 不管是什么方式, 在实践中都必须对其进行适当的调节和改进。常用的方法是临界比率。

2 柔性振动控制系统仿真

利用 Matlab 软件对系统进行了动态仿真, 并通过动态仿真软件对弹性输送皮带的位移进行了动态检测, 并将该模型的控制值反馈到 Matlab 仿真分析公式中。在高速运行时, 弹性输送皮带会随着加速度的增大而旋转, 而常规的线性加速器会因为加速度不连续而造成性能受损和机械损失, 所以大部分

控制都是用 S 型减速器来完成。文中提出了一种新的 S 型加速度加减速模式，该模式把加速度曲线从七个阶段缩短到五个阶段，从而可以方便地在实践中达到这样的 S 型曲线加减速模式。

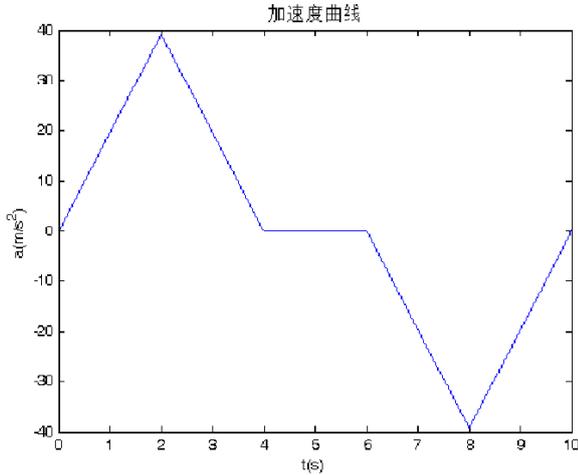


图 1 五个阶段加速度曲线图

上图中选取的最大加速度值 $J=4g$ ($g=9.8m/s^2$ 为重力加速度)，其所示的加速分布可以由以下的连续函数来表达：

$$a(t) = \begin{cases} 0.5Jt & 0 \leq t < 2 \\ 2J - 0.5Jt & 2 \leq t < 4 \\ 0 & 4 \leq t < 6 \\ 3J - 0.5Jt & 6 \leq t < 8 \\ 0.5Jt - 5J & 8 \leq t < 10 \end{cases} \quad (2-1)$$

对公式 (2-1) 中的加速度连续函数积分可以得到速度的表达式为：

$$v(t) = \begin{cases} 0 & t = 0 \\ 0 + \int_0^t 0.5Jtdt = \frac{1}{4}Jt^2 & 0 < t < 2 \\ J & t = 2 \\ J + \int_2^t (2J - 0.5Jt)dt = 2Jt - 0.25Jt^2 - 2J & 2 < t < 4 \\ 2J & 4 \leq t \leq 6 \\ 2J + \int_6^t (3J - 0.5Jt)dt = 3Jt - 0.25Jt^2 - 7J & 6 < t < 8 \\ J & t = 8 \\ J + \int_8^t (0.5Jt - 5J)dt = 0.25Jt^2 - 5Jt + 25J & 8 < t \leq 10 \end{cases} \quad (2-2)$$

公式 (2-2) 中的连续函数转换为离散型并在 Matlab 中仿真即可得到 S 形速度曲线图如图 2 所示，左侧最大的绘制区域是用于柔性输送机的实时振动仿真，整个粗糙的全曲线是在一定时间内任意位置的挠性输送机的振动位移，0 的横向坐标是挠性输送机的静止末端，它的位移总是为 0，而在横

向轴 100 的位移处则是挠性输送机的边缘末端。结果表明，弹性输送带受到其较大的加速度效应，使其发生强烈的振动，其位移幅度的指标等级为 10^4 ，数值为 $7.23 \times 10^4 m$ 。

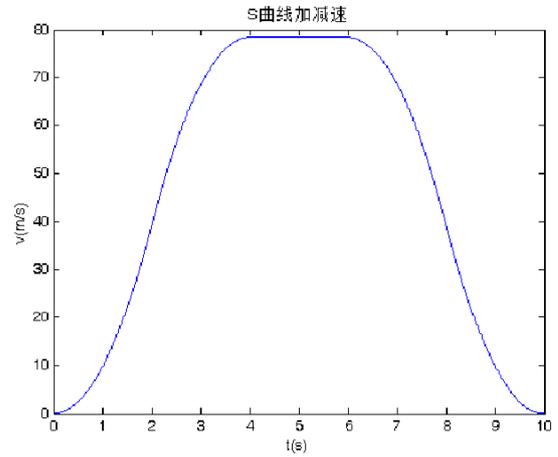


图 2 S 形速度曲线

3 模糊 PID 控制系统的 MATLAB 仿真

3.1 模糊控制器的 SIMULINK 建模

MATLAB 所开发的 Simulink 是一套用于模拟、模拟和解析的动态系统 (Simulink)。该软件具有很好的性能，易于操作，能够支持连续、离散和双向两个方面的分析。Simulink 包括了多个子类库，其中的各个子类库都包括了多种的函数。这些函数模块可以被用来进行系统的直接仿真。仿真动力学结果可通过示波器直观显示。

(1) 负荷模糊系统仿真

Simulink 可以与 Fuzzy 逻辑工具包相组合。在 MATLAB 中建立 .m 脚本文件，命名为 graduate2。在矩阵=readfis 的基础上，实现了 Fuzzy 和 Simulink 模块的接口。

(2) 创建模糊子系统

在 MATLAB 中，输入“Simulink”来建立 Simulink 模拟的新模式。在 Simulink 软件库中，选取“Fuzzy Locket”和“Fuzzy Logistic”的 Simulink Simulink 模拟系统。Fuzzy 系数 $KE=0.01$ 、 $K1=0.5$ 、 $K2=0.01$ 。下面的模型建立和封装成子系统。见图 3。

3.2 PID 部分的 SIMULINK 建模

首先，输入 simulink 并在 matlab 的提示中开始 simulink。因为在 matlab 的 PID 控制器中，PID 控制器可以被直接设定为单独的 Simulink (R20

20a)、KP、KI、KD。设计了五进一出的 PID 控制系统。见图 4。

3.3 模糊 PID 控制器的 SIMULINK 建模

对各个部件进行 Simulink 模拟。基于 PID 控制理论, 对新包装的 FPID 控制进行了仿真。为了设置初始的参数, 可以在 Simulink 中的“常数模块”以及“和模块”中的“通用、用法、块”进行设置。

针对被控对象将 PID 控制器 KP=20、PID 控制器 KD=3.7、KI=1.35 设定为“常模”, 向传统 PID 控制器的输出输入增加 PID 参数, 并将 PID 参数加入到 PID 控制器的“汇”中 通过“范围”的方式对 PID 控制器进行实时观测。根据以上的需求, 建立的模型如图 5。

3.4 利用子系统对控制系统进行 SIMULINK 建模

模

首先将每个部件组成一个子系统, 然后将其与受控物体相结合, 设置单元的负反馈环路, 从而构成一个闭合的系统。文中, 选择单位阶跃信号为系统输入; 被控对象为:

$$G(s) = \frac{2}{s^2 + 3s + 1}$$

控制系统分三个支路进行输出^[13]:

- (1) 步进信号作为系统的输出
- (2) 模糊 PID 控制系统输出
- (3) 传统 PID 控制系统输出

该 PID 控制器采用相同的示波器来实现 PID 控制器和输出、输入的 PID 控制器, 以实现对该 PID 控制器的控制。

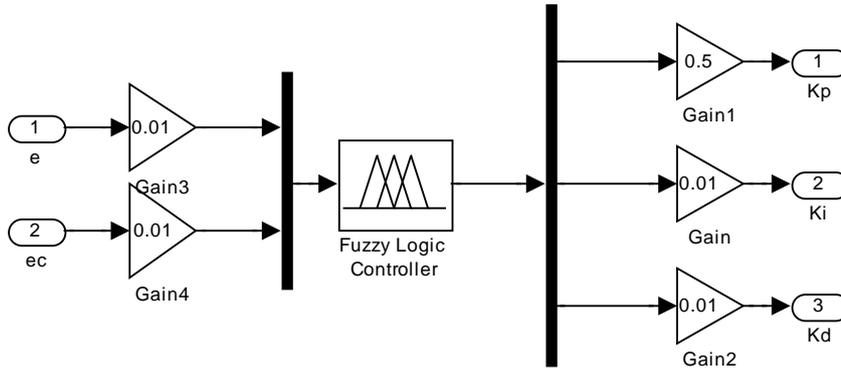


图 3 模糊控制器

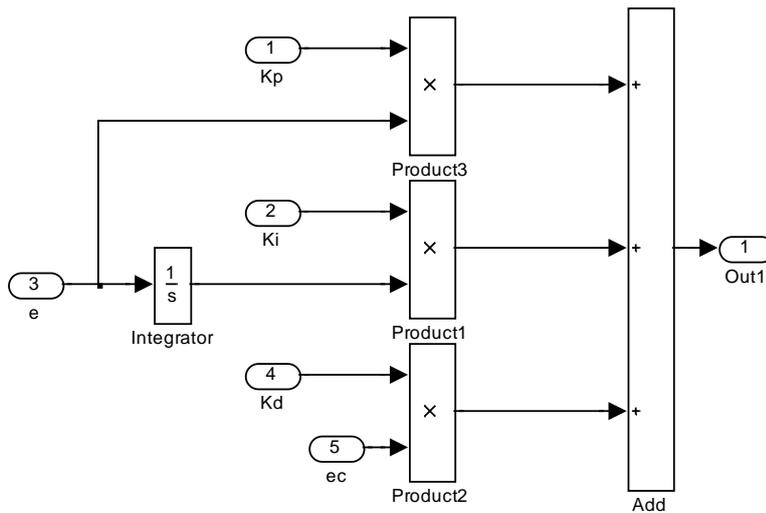


图 4 五输入 PID 控制器

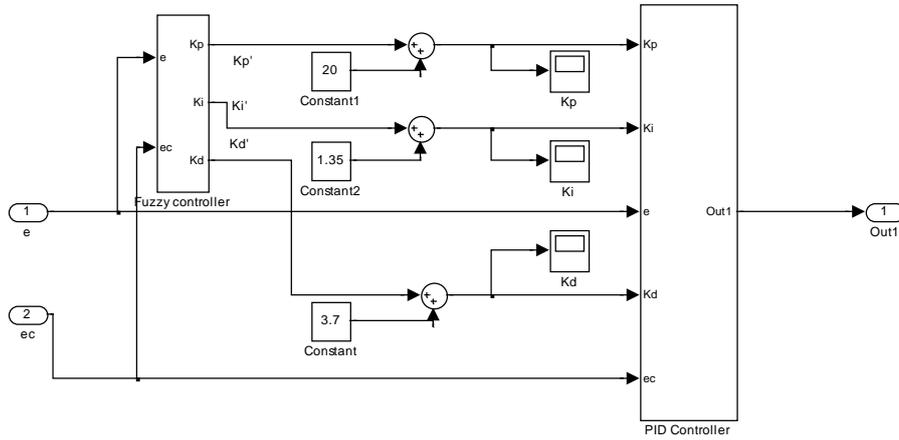


图 5 模糊 PID 控制器

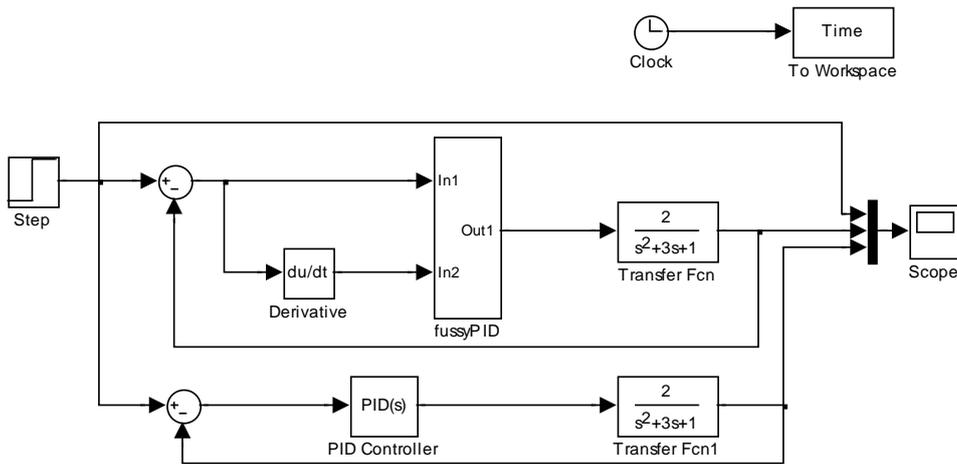


图 6 控制系统 SIMULINK 模型

3.5 控制系统的 SIMULINK 仿真研究

首先将"graduate2. m"文件加到 MATLAB 中，然后点击“F5”，此处工作区包括表示 Fuzzy 规则的“matrix”的矩阵， MATLAB 的指令条中显示：

```
matrix =
    name: 'graduate1'
    type: 'mamdani'
    andMethod: 'min'
    orMethod: 'max'
    defuzzMethod: 'centroid'
    impMethod: 'min'
    aggMethod: 'max'
    input: [1x2 struct]
```

```
output: [1x3 struct]
rule: [1x49 struct]
```

在 Simulink 模式下,用 FIS 格式的 FIS-FIS 或 FIS 格式: 将 FIS 的参数设定为: 矩阵。

保存上面的模型文件。文件名是: new.mdl。

Simulink 模式转换为全部的控制,在此我们使用预设的模拟参数。单击带有“滑鼠”的“开始模拟”键。一刹那,“叮”一声,开启“范围”,显示了在图 7 中显示的系统的波形。黄色线表示(单元阶梯)的输入;绿色表示了传统 PID 控制的输出;在此基础上,提出了一种基于 PID 的模糊控制策略。

通过对该模型的图像,对其进行了暂态特性的研究,见图 3。相对于常规 PID 控制,该 PID 控制

系统能在较小的调整速度下实现更平滑的稳态。并且, PID 模糊控制系统中的过载 (0.16%) 很少, 大约为传统 PID 控制的 $1/33^{[14]}$ 。

在该模糊控制单元中, 还可以看到该模糊控制器的瞬时输出, 也就是, 如在附图 8、9、10 中所表示的 ΔKP 、 ΔKI 、 ΔKD 改变的处理。

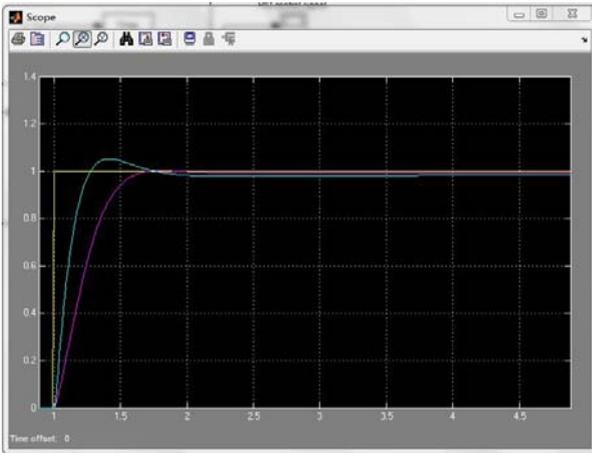


图 7 控制系统的输出波形

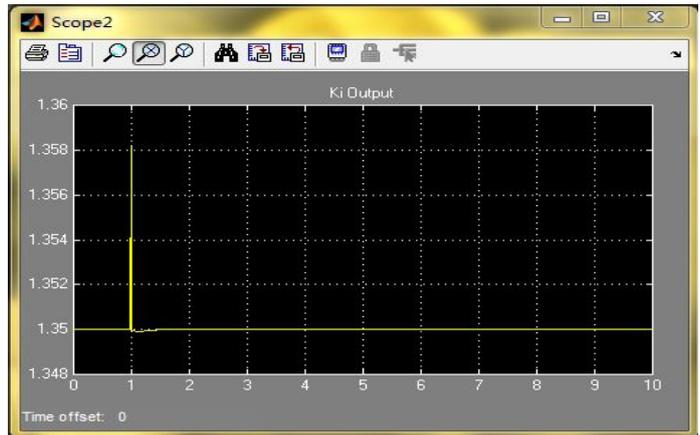


图 8 KI 的暂态特性图

表 2 两种控制器性能对比分析

性能指标 \ 控制器	过渡过程	超调量	调节时间	上升时间	振荡次数
模糊 PID 控制器	严格单调	0.16%	0.733s	0.717s	0 次
传统 PID 控制器	衰减振荡	5.23%	5.478s	0.272s	1 次

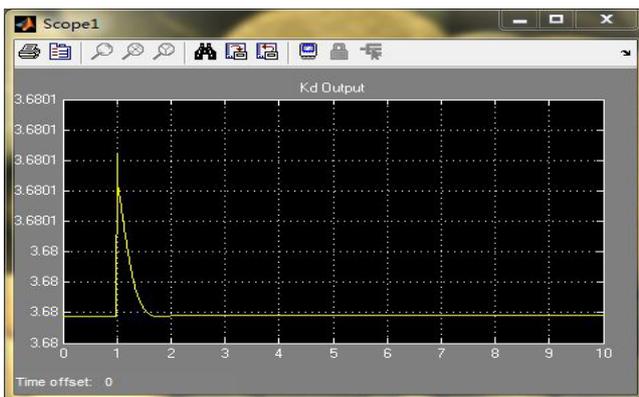


图 9 KD 的暂态特性图

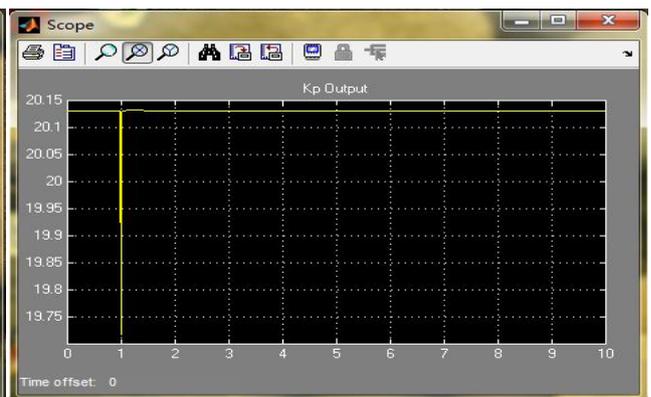


图 10 KP 的暂态特性图

结果表明, 当控制系统再次处于收敛性时, 其控制系统会出现短期的起伏。快速的反应, 快速的反应, 高的稳定性。

综合以上结论, 该模糊 PID 控制方法取得了较好的控制效果, 该模糊控制方法切实可行, 能较好地达到该方案的设计需求。

4 结束语

目前, 由于科技水平的提高, 对刚性结构的需

求日益增加, 但由于其脆弱性和不稳定性已难以满足工程需要, 因此在航空航天、机械制造、海底资源开采等领域具有广泛的发展潜力。本论文以柔性传动器 (即柔性传动器和柔性机械手) 为研究对象, 从柔性传动器和柔性机械手两个典型的柔性传动器出发, 对挠性传动系统的大、柔性机构的控制问题进行了较为系统的研究。

在模糊 PID 控制器相关理论的基础上, 运用了

模糊 PID 控制的基本思想。然后, 详细介绍了模糊控制器的组成、模糊推理和模糊化等几个主要问题。通过对相关数据和实验数据的对比, 对不同类型的模糊因素和不同的因素进行了比较, 从而使其能够更好地反映出输入和输出的关系。通过建模与仿真的研究, 实现了较好的控制效果。

参考文献

- [1] 周易、王晓宇、高杨、张钊源. 模糊 PID 控制器在试车台进气系统中的应用[C]. 第十七届中国航空测控技术年会, 2020.
- [2] None. 遗传算法优化模糊 PID 控制器在智能液压伺服控制系统中的应用[J]. 小学语文教学, 2019(1):72-73.
- [3] 马驰骋, 罗亚军, 张希农,等. 基于模糊 PID 控制器的变质量-柔性梁结构振动主动控制[J]. 振动与冲击, 2018, 37(23):8.
- [4] 王延年, 张豪, 耿琅环,等. 遗传算法优化模糊 PID 控制器在智能液压伺服控制系统中的应用[J]. 国外电子测量技术, 2018, 37(12):4.
- [5] 张占立, 郑肖莉, 王恒迪,等. 模糊自适应 PID 控制器在材料低周疲劳试验机中的应用[J]. 轴承, 2019(2):6.
- [6] 孔祥煜. 模糊 PID 控制器在定高无人机中的应用[J]. 自动化与仪器仪表, 2019(6):3.
- [7] 王鹤, 李喜林. 模糊 PID 控制器在辊道窑温度控制中的应用分析[J]. 2018.
- [8] 马驰骋, 罗亚军, 张希农,等. 基于模糊 PID 控制器的变质量-柔性梁结构振动主动控制简[J]. 振动与冲击, 2018.
- [9] 高宇轩, 陈东华, 李梦洁. 模糊 PID 在柔性手指控制系统中的应用[J]. 机电元件, 2021.
- [10] 蒋伟, 刘纲, 王涛,等. 基于自适应伸缩因子的变论域模糊 PID 振动控制方法[J]. 2021.
- [11] 刘晔, 徐赞, 亢旭辉,等. 基于 PLC 和模糊 PID 的温度控制系统的设计[J]. 2021.
- [12] 马驰骋, 罗亚军, 张希农,等. 基于模糊 PID 控制器的变质量-柔性梁结构振动主动控制[J]. 振动与冲击, 2018, 037(023):197-203,240.
- [13] 曹阳, 缪子繁, 王健. 模糊 PID 在永磁同步电机驱动的无阀液压系统中的应用[J]. 机床与液压, 2019(9).
- [14] 张德强, 李楠, 李煜. 基于 PID 及模糊控制的气囊翻转应用技术研究[J]. 2022(10).
- [15] 秦会敏, 秦健南, 叶权圣,等. 基于模糊 PID 控制器的硫熏中和器的应用研究[J]. 甘蔗糖业, 2019(1):7.

收稿日期: 2022 年 9 月 16 日

出刊日期: 2022 年 11 月 25 日

引用本文: 周营俊, 吴明晖, 模糊 PID 控制器在柔性振动系统中的应用[J]. 电气工程与自动化, 2022, 1(4): 1-7

DOI: 10.12208/j.jeea.20220039

检索信息: RCCSE 权威核心学术期刊数据库、中国知网 (CNKI Scholar)、万方数据 (WANFANG DATA)、Google Scholar 等数据库收录期刊

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS