

# 三相异步电机的模糊自适应 PID 控制系统<sup>①</sup>

宋绍楼, 丁永峰, 范永锋

(辽宁工程技术大学 电气与控制工程学院, 葫芦岛 125105)

**摘 要:** 在传统 PID 控制系统的基础上, 针对电机起动存在超调、动态稳定慢及精度低等问题, 基于三相异步电机调速系统采用 PID 控制技术与模糊控制相结合的模糊自适应 PID 控制法, 对其进行系统研究并与传统 PID 控制系统进行比较。然后在电机起动到稳态的情况下进行仿真, 仿真结果表明, 相比单独使用 PID 控制器, 采用模糊自适应 PID 控制系统的调速系统控制性能更好。

**关键词:** 异步电机; 模糊控制; 自适应 PID; 仿真

## Fuzzy Adaptive PID Control for Three-Phase Asynchronous Motor System

SONG Shao-Lou, DING Yong-Feng, FAN Yong-Feng

(College of Electrical and Control Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

**Abstract:** Based on the traditional PID control system, direct at motor starting problem like overshoot, dynamic stability slower and low accuracy, adopted PID control technology combining with the fuzzy control system named fuzzy adaptive PID control for three-phase asynchronous motor speed control system, and then carry on the system research and compare with the traditional PID control system. conduct of simulation at the time that motor from starting to steady state, the simulation results show that compared with the PID control system independent, the fuzzy adaptive PID control system of performance is better.

**Key words:** asynchronous motor; fuzzy control; adaptive PID; simulation

PID 控制是最早发展起来的应用经典控制理论控制策略之一, 因其算法简单、可靠性高, 而被广泛应用于工业过程控制, 尤其适用于可建立精确数学模型的确定性控制系统。但是, 常规 PID 控制是一种线性控制通常需要依靠准确的数学模型, 通过实践经验, 确定参数  $K_p$ 、 $K_i$  和  $K_d$  来达到对系统的控制。从控制角度看, 三相异步电机是一个多变量、强耦合、非线性的高阶时变系统, 它需要在异步电机定子电流解耦过程中进行一个近似的降阶解耦的过程。在实际控制过程中也经常会遇到滞后、时变、随机干扰, 尤其是 PID 参数的整定问题, 因为一旦参数整定计算好后, 它在整个控制过程中都是固定不变的, 有的无法获得精确数学模型等非线性的复杂系统, 因此, 常规 PID 控制便不能达到理想的控制效果。而模糊控制却不依

赖于工业对象模型, 它不是用数值变量, 而是用语言变量来描述系统特征, 并依据系统的动态信息和模糊控制规则进行推理以获得合适的控制量, 具有较强的鲁棒性, 不足之处是其控制精度相对较低。为此, 本文将模糊控制和 PID 控制有机地结合起来, 构造一类新型的智能控制器, 即模糊 PID 复合型控制系统<sup>[1-4]</sup>。它能扬长避短, 既具有模糊控制技术灵活而适应性强的优点, 又具有 PID 控制技术精度高的特点, 拓展了传统的控制。

### 1 模糊自适应PID控制器原理

模糊自适应 PID 控制器以误差  $e$  和误差变化率  $ec$  作为输入, 任务是找出与其与 PID 的三个参数之间的模糊关系, 在运行中不断检测  $e$  和  $ec$ , 根据确定的模糊

<sup>①</sup> 收稿时间:2011-11-01;收到修改稿时间:2011-11-29

控制规则来对  $K_p$ 、 $K_i$  和  $K_d$  三个参数进行在线调整<sup>[5]</sup>。该控制器可以满足不同时刻的  $e$  和  $ec$  对 PID 参数自整定的要求。图 1 所示是其原理的结构框图。

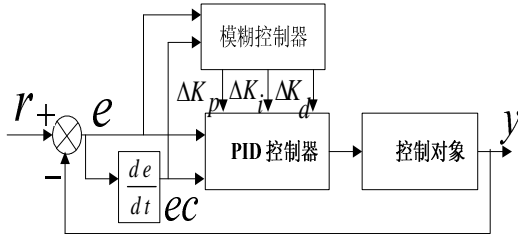


图 1 模糊自适应 PID 控制器原理框图

整定 PID 控制器的表达式为：

$$\begin{cases} K_p(k) = K_p(k-1) + \gamma_p \Delta K_p \\ K_i(k) = K_i(k-1) + \gamma_i \Delta K_i \\ K_d(k) = K_d(k-1) + \gamma_d \Delta K_d \end{cases} \quad (1)$$

式中， $\gamma_p$ 、 $\gamma_i$ 、 $\gamma_d$  为校正速度。由整定公式可以看出，下一步的控制器参数可以由当前的控制器参数与模糊推理得出的控制器参数增量的加权和构成。

## 2 模糊自适应PID控制器设计

PID 控制系统的关键是 PID 参数整定，传统方法是在获取对象数学模型的基础上，根据某一整定原则来确定参数。但在实际应用中，许多被控过程机理复杂，其数学模型具有高度非线性、时变不确定性以及滞后等特点。此外，噪声、负载扰动等随机干扰的影响也使得过程参数甚至模型结构均会发生缓慢变化，所以应用传统的 PID 控制无法达到理想的控制效果<sup>[6]</sup>。利用模糊控制与 PID 控制技术有机地结合起来，构造一类新型的智能控制系统，即模糊自适应 PID 型控制系统，它既具有模糊控制的灵活而适应性强的优点，又具有 PID 控制精度高的特点。

本文转速调节器采用模糊自适应 PID 控制器，以常规 PID 控制为基础，系统首先计算被控量的误差  $e$  和误差变化率  $ec$  作为二维模糊控制器的输入变量，然后通过模糊化、模糊控制规则推理、解模糊得到  $K_p$ 、 $K_i$  和  $K_d$  的修正量，在控制过程中在线实时整定常规 PID 各参数。

根据本文控制系统的实际需要，对偏差  $e$ 、偏差变化率  $ec$  和系数修正量  $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_i$ 、 $\Delta K_d$  的模糊子集及其量化论域定义：

$e$ 、 $ec$  和  $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_i$ 、 $\Delta K_d$  的模糊子集为：{NB(负

大)，NM(负中)，NS(负小)，ZO(零)，PS(正小)，PM(正中)，PB(正大)}； $e$  和  $ec$  的论域为：{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3}； $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_i$ 、 $\Delta K_d$  的论域为：{-1, -0.66, -0.33, 0, 0.33, 0.66, 1}。设定模糊语言变量  $e$ 、 $ec$ 、 $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_i$ 、 $\Delta K_d$  相对应的模糊论域均为 [-3, +3]，则相应的量化因子为 0.05, 0.1，比例因子为 1, 2, 0.2。常用的隶属度函数有三角型、梯形、高斯型等。本文选择三角型隶属度函数，如图 2 所示。

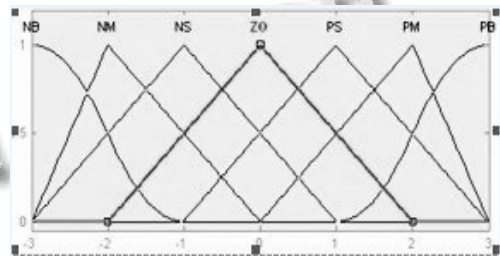


图 2  $e$ 、 $ec$ 、 $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_i$ 、 $\Delta K_d$  的隶属函数曲线

模糊控制规则设计的核心内容是模糊控制规则表，是设计人员长期的操作和以往的经验总结得出的，模糊控制规则表对模糊控制规则的描述比较清晰直观<sup>[7]</sup>。针对三相异步电机运行过程中定义  $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_i$ 、 $\Delta K_d$  三个参数输入和输出量的模糊控制规则表如表 1、表 2 和表 3 所示。

表 1  $\Delta K_p$  模糊控制规则表

e\ec	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZO	NS
NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NS
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZE	NS	NS	NM	NM
PM	PS	ZO	NS	NM	NM	NM	NB
PB	ZO	ZO	NM	NM	NM	NB	NB

表 2  $\Delta K_i$  模糊控制规则表

e\ec	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	ZO
NM	NB	NB	NM	NS	NS	ZO	ZO
NS	NB	NM	NS	NS	ZO	PS	PS
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
PS	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PB
PM	ZO	ZO	PS	PS	PM	PB	PB
PB	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB	PB

表 3  $\Delta K_d$  模糊控制规则表

e\ec	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PS	NS	NB	NB	NB	NM	PS
NM	PS	NS	NB	NM	NM	NS	ZO
NS	ZO	NS	NM	NM	NS	NS	ZO
ZO	ZO	NS	NS	NS	NS	NS	ZO
PS	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
PM	PB	NS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

模糊自适应 PID 的控制算法:

模糊自适应 PID 控制器三个参数  $K_p$ 、 $K_i$  和  $K_d$  的表达式为:

$$\begin{cases} K_p(k) = K_p'(k-1) + \gamma_p \Delta K_p \\ K_i(k) = K_i'(k-1) + \gamma_i \Delta K_i \\ K_d(k) = K_d'(k-1) + \gamma_d \Delta K_d \end{cases} \quad (2)$$

其中  $K_p'$ 、 $K_i'$ 、 $K_d'$  为预整定值。

则模糊自适应 PID 控制器的输出控制  $T_{ct}$  可用下式来描述:

$$T_{ct}(n) = K_p \times e(n) + K_i \times \sum_{i=1}^n e(i) + K_d \times [e(n) - e(n-1)] \quad (3)$$

其中  $e(n)$ 、 $e(n-1)$  分别为此时此刻的误差和前一时刻的误差<sup>[8]</sup>。

### 3 系统仿真分析

为了验证模糊自适应 PID 控制三相异步电机方式的可行性,在 Matlab/Simulink 环境下对起动系统进行仿真实验。之后对三相异步电机传统 PID 控制与模糊自适应 PID 控制的起动过程进行了实验对比,结果如图 3、4、5、6 所示,分别为三相异步电机起动到稳态过程的电流波形和转矩波形,仿真中异步电机的主要参数为:额定功率 110KW,额定电压 660V,额定频率 50Hz,定子电阻 0.217,转子电阻 0.329,定子电感 0.105mH,转子电感 0.317mH,定转子互感 11.616mH,极对数为 2,转动惯量为 3.4Kg\*m<sup>2</sup>。

图 3 和图 4 分别是三相异步电机在传统 PID 控制下起动运行的定子电流和转矩仿真波形,其中定子电流的最大值约为 365A,起动时间约为 8.2 秒;图 5 和图 6 分别是三相异步电机在模糊自适应 PID 控制下起动运行的定子电流和转矩仿真波形,其中定子电流的最大值约为 360A,起动时间约为 7.5 秒。通过对比可

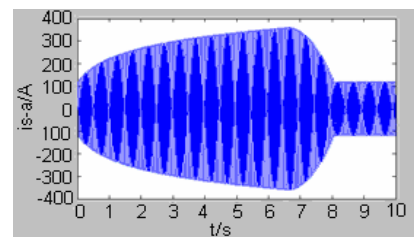


图 3 传统 PID 控制定子电流的仿真波形

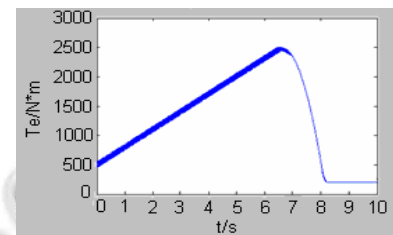


图 4 传统 PID 控制转矩的仿真波形

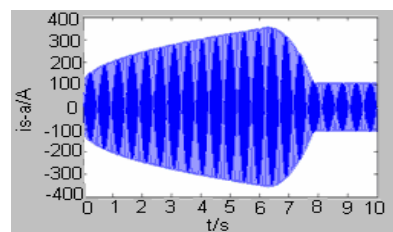


图 5 模糊自适应 PID 控制定子电流的仿真波形

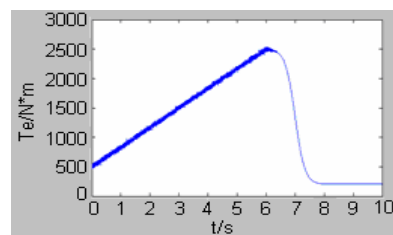


图 6 模糊自适应 PID 控制转矩的仿真波形

以看出,与传统 PID 控制相比,采用模糊自适应 PID 控制下的异步电机电流得到了较大改善,最大电流从原来的 365A 左右下降到 360A 左右,有效地减小了起动电流,从而降低起动电流对电机及其电网的影响;转矩也同样得到了明显的改善,使得转矩随时间线性上升,更好地保护了拖动系统;最重要的是采用新的控制后电机控制系统的起动效率很大程度提高了,起动时间由原来的 8 秒多缩短到了 7.5 秒左右,成功提高了系统控制精度和起动性能。此外,由于模糊自适应 PID 控制技术本质上就是在 PID 原有参数的基础上进行参数在线自整定,所以对外界干扰具有较强的鲁棒性和自适应性。综上可得,采用模糊自适应 PID 控制具有更好的控制效果。

## 4 结论

模糊控制技术和PID控制技术在工业生产中的应用越来越多,但是各有自己的缺陷。本文通过实验分析表明,如果改常规PID控制为模糊自适应PID控制方式,则能够明显改善其动态性能,不仅减小了起动电流,缩短了起动时间,而且具有了更强的鲁棒性和自适应性从而可以更快地重新趋于稳定,提高了控制精度和起动性能。

### 参考文献

- 1 储岳中,陶永华.基于MATLAB的自适应模糊PID控制系统计算机仿真.安徽工业大学学报(自然科学版),2004,(1).
- 2 杨瑜,庄圣贤.异步电机的模糊PID矢量控制.电子元器件应用,2010,(10).
- 3 Astrom KJ, HagglundT. PIDcontrollers:theory, design and tuning. 2nd Edition. Research Triangle Park, North Carolina: Instrument Society of America. 1995.
- 4 Lu CH, Xu YW, Yang WM. Permanent magnet linear synchronous motor feed system for fuzzy PID control. Journal of Electrotechnics, 2007,22(9):59-63.
- 5 张化光,何希勤.模糊自适应控制理论及其应用.北京:北京航空航天大学出版社,2002.
- 6 陈志伟,杨向宇,申辉阳.无刷双馈电机专家自适应PID控制仿真研究.华南理工大学学报(自然科学版),2003(12):37-41.
- 7 杨白厚,杨超.模糊控制在工业中的应用阴.电气自动化. 2005,89:17-21.
- 8 陶永华.新型PID控制及其应用.北京:机械工业出版社,2002.
- 9 张泾周,杨伟静,张安祥.模糊自适应PID控制的研究及应用仿真.计算机仿真,2009,(9).
- 10 刘金昆.先进PID控制及其MATLAB仿真.北京:电子工业出版社,2003.

(上接第207页)

### 参考文献

- 1 Hu L, Evans D. Using directional antenna to prevent wormhole attacks. Network and Distributed System Security Symposium. 2004. 131-141.
- 2 周启明,何勇.DV-Hop 中虫洞攻击的仿真及其抵御方法.计算机工程与应用,2010,46(14):88-90.
- 3 Buttyan L, Dora L, Vajda I. Statistical Wormhole Detection in Sensor networks. Second European Workshop on Security and Privacy in AdHoc and Sensor networks (ESAS2005). Visegrad, Hungary, July13-14, 2005.
- 4 程海青,王华,王芳,等.无线传感器网络节点定位中一种检测欺骗攻击的方法.太原理工大学学报,2011,42(5):510-513.
- 5 王晟.无线传感器网络节点定位于覆盖控制理论及技术研究.武汉理工大学,2006.
- 6 石为人,贾传江,梁焕焕.一种改进的无线传感器网络 DV-Hop 定位算法.传感技术学报,2011,24(1):83-87.
- 7 肖美华.无线传感器网络节点定位关键技术研究.南昌航空大学,2010.
- 8 杨姣,王东.基于 RTT 的统计分析方法检测与防御虫洞攻击.计算机系统应用,2011,20(6):65-68.
- 9 朱彤,唐俊国.无线传感器网络安全定位和位置检测.计算机工程与应用,2008,44(21):57-63.
- 10 刘方圆,严斌宇,张永齐,等.无线传感器网络的信任模型研究.计算机测量与控制,2011,19(5):1232-1235.