

变参数PID控制器设计

朱建公,张俊俊

(西南科技大学 制造科学与工程学院,四川 绵阳 621000)

摘要:提出了一种变参数PID控制器,它是由一个传统的PID控制外环和一个参数调节内环组成的一种双环分级式结构,能依据系统工况变化实时调节PID参数,克服系统非线性影响,使系统在每一工况点均处于相对最优。仿真结果表明它与传统的PID系统相比具有更好的动态品质和系统的稳定性。

关键词:变参数;PID;模糊控制

中图分类号:TP273⁺.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-274 X (2003)04-0397-04

PID控制器广泛应用于工业控制的各个领域,它具有简单、稳定性好、可靠性高、实时性强等特点。其控制性能取决于参数 K_P, K_I, K_D 的整定。传统的PID控制算法在被控系统具有明显的非线性或负载发生变化时,固定参数的PID就不能适应系统的动态变化,其动态稳定性能难以对系统实现较优调节,而影响系统控制质量。针对传统PID控制器存在的上述问题,本文提出一种模糊变参数PID控制器。3个参数 K_P, K_I, K_D 能依据系统工况的变化实时进行自动调节,使系统在每一工况点均处于相对最优,从而改善系统的调节性能,保证控制质量。

一般的PID调节和模糊控制相结合^[2,3]。在控制级采用传统的PID调节器,整定的 K_P, K_I, K_D 参数,在一定工况条件下基本上可以保证系统的正常运行。在监控级采用模糊变参数PID控制,它可依据系统的实际运行情况,按照模糊规则对PID参数进行实时修正,从而进一步提高系统的控制性能。

PID控制器数学模型表达式为^[4]

$$U(K) = K_P e(K) + K_I T_s \sum_{i=1}^K e(i) + \frac{K_D}{T_s} \Delta e(K),$$

其中: $U(K)$ 是系统控制信号; $e(K)$ 是系统参考值和系统实际输出之间的偏差; $\Delta e(K) = e(K) - e(k-1)$; T_s 为控制器采样周期。

1 变参数PID控制器的构成及原理

该控制系统由一个传统的PID控制外环和一个参数调节内环组成的分级结构^[1],如图1所示。

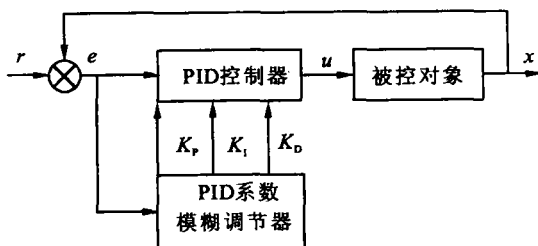


图1 PID工作系统控制

Fig. 1 System control of variable parameter PID

模糊变参数PID控制系统的工作原理,是利用

2 模糊控制规则

变参数PID控制器是一种基于模糊控制规则的控制方法。参数的模糊调节原理如图1所示,系统先采用PID参数整定的方法确定一组 K_P, K_I, K_D 的基本参数值,然后依据系统的实际运行情况按系统偏差 $e(K)$ 的大小,由模糊控制规则对上述PID控制器的参数进行修正,实现参数的在线调整,而参数调整的关键是如何根据系统的控制指标要求来决定PID参数的修正算法和参数的修正量。根据PID参数的控制知识可初步确定出 K_P, K_D 的取值范围为: K_P 在 $0.32K_0$ 到 $0.6K_0$ 之间, K_D 在 $0.08K_0T_0$ 到 $0.15K_0T_0$ 。

收稿日期:2002-07-19

基金项目:四川省重点科技攻关资助项目(01GY051-08)

作者简介:朱建公(1963-),男,陕西富平人,西南科技大学副教授。从事机电控制和流体控制研究。

之间, K_u, T_u 分别是对象处于临界振荡状态时的比例增益和振荡周期。

PID 参数的修正系数为

$$K_p' = \frac{K_p - K_{p \min}}{K_{p \max} - K_{p \min}},$$

$$K_D' = \frac{K_D - K_{D \min}}{K_{D \max} - K_{D \min}},$$

而在系统实时控制时取

$$K_p = (K_{p \max} - K_{p \min})K_p' + K_{p \min},$$

$$K_D = (K_{D \max} - K_{D \min})K_D' + K_{D \min},$$

$$K_I = \frac{K_p}{\partial K_D}.$$

由上述各式可知, 只要求得修正系数 K_p', K_D' 和 ∂ 就可获得动态的 3 个参数 K_p, K_I, K_D , 并实时参与系统的调节。而 K_p', K_D', ∂ 则是由一组模糊控制规则所决定的。

1) 如图 2 所示, $e(K), \Delta e(K)$ 的隶属函数的顶点可根据 $e(K)$ 在控制性能中重要性而定, 图 2 中的模糊控制子集隶属函数相互重叠, 反映了系统平滑性和稳定性对控制的基本要求。

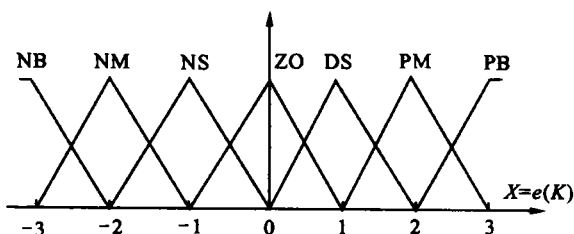


图 2 $e(K)$ 或 $\Delta e(K)$ 的隶属函数

Fig. 2 Membership function of $e(K)$ or $\Delta e(K)$

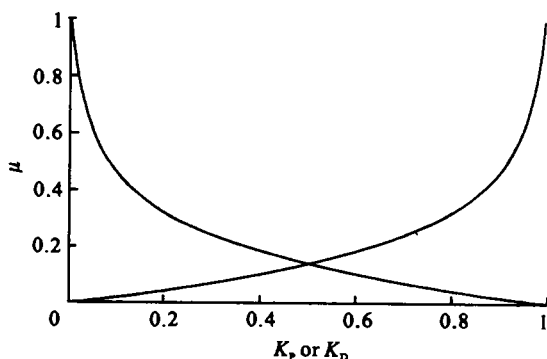


图 3 K_p 或 K_D 的隶属函数

Fig. 3 Membership function of K_p or K_D

2) K_p', K_D' 采用下面给出的非线性隶属函数, 这样能更准确地反映控制系统的实际情况, 提高控制系统的控制精度。

$$\mu_a = \text{abs}(\ln x / 5), \mu_b = \text{abs}(\ln(1 - x) / 5),$$

式中 $0 < x < 1$ 。

3) 对于 PID 调节器的积分环节, 可通过改变 ∂

系数达到改变积分作用的强弱, 根据著名的 Ziegler-Nichols 整定 PID 参数法, 一般取 $\partial = 4$, 所以系数 ∂ 的隶属函数如图 4 所示。

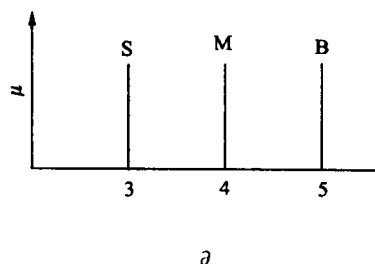


图 4 系数 ∂ 的隶属函数

Fig. 4 Membership function of ∂

4) 变参数 PID 控制器设计的核心, 是系统对其响应特征进行在线识别和判断, 判断被控量的现状和变化趋势, 建立合适的模糊控制调整规则。其可谓是控制经验、控制技术知识的公式化, 采用产生式表达方式 if(系统的状态 A) then(参数的整定模式 B), 对 PID 控制参数 K_p, K_I, K_D 进行在线修正^[5]。以克服系统非线性因素对系统控制性能的影响。

在这里按照系统阶跃响应过程特点来总结控制规则如下^[4,6]。

在响应的起始点处偏差 $e(K)$ 很大且为正, 而 $\Delta e(K)$ 几乎等于零。为了得到快速的系统响应, 必须加大被控对象的操作量。此时的控制规则可写成

If $e(K)$ is PB and $\Delta e(K)$ is ZO,

Then K_p' is Big, K_D' is small and ∂ is small.

在输出响应第一次到达希望值时, 为了减小系统响应的超调量, 必须最大的减小操作量, 因此, 控制规则可写成

If $e(K)$ is ZO, and $\Delta e(K)$ is NB,

Then K_p' is small, K_D' is Big and ∂ is Big.

在响应到达峰值时, 控制规则可写成

If $e(K)$ is NB and $\Delta e(K)$ is ZO,

Then K_p' is Big, K_D' is small and ∂ is small.

在输出响应又一次回到希望值时, 控制规则可写成

If $e(K)$ is ZO and $\Delta e(K)$ is PB,

Then K_p' is small, K_D' is Big and ∂ is Big.

以此类推, 我们就可以得到一组模糊推理规则, 用来在线修正 K_p', K_D', ∂ 。

第 i 条模糊控制规则, 由条件模糊集合成的隶属度为

$$\mu_i = \min\{\mu_{A_i}(e(k)), \mu_{B_i}(\Delta e(K))\},$$

$$\text{则有 } K_p' = \frac{\sum_{i=1}^m \mu_i K_{Pi}'}{\sum_{i=1}^m \mu_i},$$

$$K_D' = \frac{\sum_{i=1}^m \mu_i K_{Di}'}{\sum_{i=1}^m \mu_i},$$

$$\partial = \frac{\sum_{i=1}^m \mu_i \partial_i}{\sum_{i=1}^m \mu_i}.$$

由此可得 K_p', K_D', ∂ 模糊控制表 1。

表 1 K_p', K_D', ∂ 模糊控制表
Tab. 1 Fuzzy table of K_p', K_D', ∂

e	Δe																				
	-3			-2			-1			0			1			2			3		
	K_p'	K_D'	∂	K_p'	K_D'	∂	K_p'	K_D'	∂	K_p'	K_D'	∂	K_p'	K_D'	∂	K_p'	K_D'	∂	K_p'	K_D'	∂
-3	0.68	0.50	2.48	0.87	0.32	2.31	0.87	0.15	2.10	0.87	0.15	2.10	0.87	0.15	2.10	0.87	0.32	2.31	0.68	0.50	2.48
-2	0.32	0.87	3.25	0.68	0.68	2.80	0.87	0.32	2.31	0.87	0.15	2.10	0.87	0.32	2.31	0.87	0.68	2.80	0.32	0.87	3.25
-1	0.15	0.87	3.90	0.32	0.87	3.30	0.68	0.68	2.80	0.87	0.50	2.48	0.68	0.68	2.80	0.32	0.87	3.30	0.15	0.87	3.90
0	0.15	0.87	4.48	0.15	0.87	3.50	0.50	0.87	3.00	0.87	0.87	3.00	0.50	0.87	3.00	0.15	0.87	3.50	0.15	0.87	4.48
1	0.15	0.87	3.90	0.32	0.87	3.30	0.68	0.68	2.80	0.87	0.50	2.48	0.68	0.68	2.80	0.32	0.87	3.30	0.15	0.87	3.90
2	0.32	0.87	3.25	0.68	0.68	2.80	0.87	0.32	2.31	0.87	0.15	2.10	0.87	0.32	2.31	0.87	0.68	2.80	0.32	0.87	3.25
3	0.68	0.50	2.48	0.87	0.32	2.31	0.87	0.15	2.10	0.87	0.15	2.10	0.87	0.15	2.10	0.87	0.32	2.31	0.68	0.50	2.48

实时控制时,首先计算 e 和 Δe ,并量化为 $[-3, 3]$ 范围内的整数,然后查 fuzzy 控制表,得到修正系数 K_p', K_D' 和 ∂ ,就可获得系统实时控制时的 PID 参数 K_p, K_I, K_D 。由于系统采用查表方式进行调整,运算简单迅速,可以很方便地实现在线调节 PID 控制器的参数,使之适应控制对象的变化,从而满足实时控制的要求。

3 系统仿真

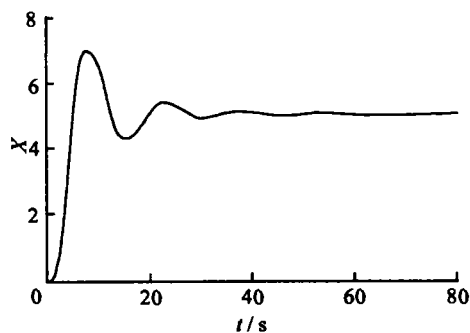
当固定式 PID 的 3 个参数分别取 $K_P = 2, K_I =$

$0.01, K_D = 20$,系统的惯性时间常数为 4 s 时。控制对象数学模型为

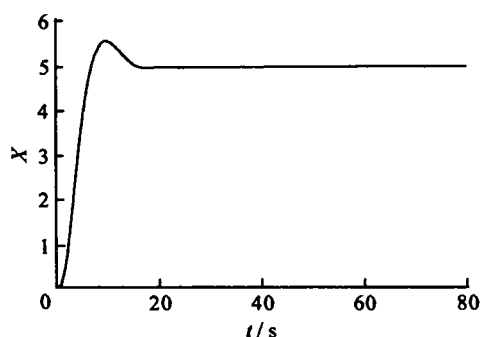
$$\frac{1 - T_w s}{(1 + 0.5 T_w s)(T_a s + b)},$$

式中 b 为负载力矩对转速的传递系数。

对此系统进行仿真,得仿真曲线如图 5 所示。图 5(a) 为固定式 PID 系统的仿真曲线,图 5(b) 为变参数 PID 系统的仿真曲线。由图 5 可见,变参数 PID 系统与固定 PID 系统相比,不仅改善了系统的动态性能,而且还提高了系统的静态性能指标。



(a)



(b)

图 5 仿真曲线

Fig. 5 Simulation curve

4 结论

1) 变参数 PID 控制器实现简单,鲁棒性好。能

根据被控系统的工作状态,实时调整 PID 系数,克服系统非线性不利影响。它适合于某些常规控制方法难以实现且控制效果欠佳的情况。

2) 采用这种双环分级式 PID 调节方法,不仅可

以克服系统工况变化和非线性的严重影响,充分发挥模糊变参数 PID 调节的优点,获得满意的动态过程控制,而且也保证了系统的稳定性。

参考文献:

- [1] 黄家栋. 变结构模糊控制算法在电力系统频率控制中的应用[J]. 电力系统及自动化学报, 1997, 9(1): 8-13.
[2] 欧阳威泰. 一种变结构模糊逻辑控制器设计[J]. 电气传动自动化, 1997, 19(2): 32-35.

- [3] 郭刚, 朱建坤. 模糊和 PID 结合的控制器设计方法[J]. 仪表技术与传感器, 1997, (3): 43-47.
[4] 赵震宇, 徐用懋. 模糊理论和神经网络的基础与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1996.
[5] 于旭亮. 一种自调整 PID 调节器的应用[J]. 炼油化工自动化, 1997, (6): 23-26.
[6] 李友善. 模糊控制理论在工业过程控制中的应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1993.

(编辑 曹大刚)

Design of variable parameter PID controller

ZHU Jian-gong, ZHANG Jun-jun

(School of Manufacturing Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621000, China)

Abstract: Variable parameter PID controller is a dual ring with layered structure, which consists of an outside ring of traditional PID control and an inside ring of parameter governing. It can adjust PID parameter to make it updated according to working systems and overcome the effects resulting from the no linearity of systems. It can make the conditions relatively best. It is indicated by simulation results that variable parameter PID has better dynamic behaviors and stability of system than traditional PID.

Key words: variable parameter; PID; fuzzy control

(上接第 396 页)

参考文献:

- [1] MASUDA Y, AKIYAMA T, KITAOKA M, *et al.* Development of New Ferrite Material for Deflection Yoke Core[J]. SID 98 Digest, 1998, 343-346.
[2] 北京大学物理系. 铁磁学[M]. 北京: 科学出版社, 1976. 220-222.

- [3] 张锡纯. 电子示波器及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997. 268-282.
[4] 戴京营. 电源铁氧体中的磁滞损耗和涡流损耗研究[J]. 磁性材料及器件, 1994, 25(2): 12-15.
[5] VONSOVSKII S V. Magnetism[M]. New York: John Wiley & Sons, 1974.

(编辑 曹大刚)

Research and application of hysteresis loss characteristics of ferrite material

LIU Zhi-cun

(College of Physics and Information Technology, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: The hysteresis loss characteristics of the ferrite material used in deflection yoke rings were studied. The principle and method of hysteresis loop measurement have been introduced. An empirical formula describing the dependence of the power of hysteresis loss on frequency, magnetic flux density and temperature was derived. The influence of the eddy current on the hysteresis loop was also discussed. The results show that under the deflection condition, the hysteresis loss dominates the total loss of the yoke ring.

Key words: ferrite material; hysteresis loss; deflection yoke ring