

基于自适应遗传算法的异步电机 矢量控制参数优化与仿真

冯杏辉, 方建安*, 许红磊, 吴瑞岩
(东华大学 信息科学与技术学院, 上海 201620)

摘要: 自动控制领域中 PID 参数的整定是一个极其重要的问题。为解决工程人员凭经验对异步电机控制器参数整定难寻到最优解的问题, 将速度误差积分型作为目标函数, 采用惩罚措施, 利用自适应遗传算法对异步电机速度控制器的参数进行优化、仿真, 并与利用常规 PID 参数整定获得的速度曲线相对比, 实验结果表明, 用自适应遗传算法优化的参数, 可以提高系统的控制精度、动态性能。

关键词: 异步电动机; 矢量控制; 自适应遗传算法

中图分类号: TH39; TP273+.2; TM343

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)11-0103-03

Optimization and simulation of asynchronous motor vector control parameter based on adapted genetic algorithm

FENG Xing-hui, FANG Jian-an, XV Hong-lei, WU Rui-yan
(School of Information Science & Technology, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: PID parameters tuning is an extremely important issue in the control field. According to the engineer's experience, it is always very hard to find the optimal solution of asynchronous machine speed controller's parameter. In order to solve the problem, punitive measures and adapted genetic algorithm were applied to optimize the asynchronous machine speed controller's parameter and then it was simulated using rate error integral as the objective function. By comparing with the speed curve that use conventional PID parameter, the experimental results show that the optimized parameters can improve the control precision and dynamic performance.

Key words: asynchronous motor; vector control; adapted genetic algorithm

0 引 言

PID 控制是自动控制发展历程中生命力最顽强、历史最悠久、应用最广泛的控制方式, 它具有结构简单、容易实现等优点。但是传统 PID 控制主要用于线性系统, 而且它的参数整定主要依赖于工程人员的经验并通过试探的方法来获得, 这往往使得整定出来的参数可能不是最优解。而交流传动是个非线性、多变量、强耦合的系统, 随着控制要求的不断提高, 利用常

规 PID 整定的参数很难满足生产的要求。遗传算法^[1] (Genetic Algorithms, GA) 对参数的优化可以不依赖于被控对象的模型, 人们在其运用中根据此算法的特点以及不足做出了一些改进。

本研究通过调整交叉和变异概率来改进遗传算法, 利用自适应遗传算法寻求全局最优解。

1 电机矢量控制系统

在电机的调速控制系统中, 矢量控制是应用最为

广泛的一种控制方法。其基本思想就是模拟直流电机调速方法进行交流控制,本着磁通和功率不变的原则进行正交变换,得到与直流电机转矩形式相似的异步电机解耦转矩表达式。本研究采用的是速度外环、转矩内环的控制方式,速度控制器的参数变化对整个系统的性能非常重要。而对它的参数整定多采用传统经验式的方法,难以实现高性能的控制效果。自适应遗传算法参数整定可以寻得全局最优解,实现高性能的控制。

2 自适应遗传算法

遗传算法中交叉概率 P_c 和变异概率 P_m 的选择是影响遗传算法行为和性能的关键,直接影响算法的收敛性^[2]。 P_c 过大则遗传模式被破坏的可能性越大,优良个体很快就会被破坏,如果过小,则搜索缓慢。 P_m 过大,遗传算法则成了纯粹的随机搜索,过小则不易产生新的个体。因此必须对 P_c 和 P_m 进行调整,使得高于平均适应度的个体采取较小的交叉和变异概率以保证不会收敛于局部最优解,而对于低于平均适应度的个体采用较高的交叉和变异概率以保证搜索速度。

$$P_c = \begin{cases} P_{c1} - \frac{(P_{c1} - P_{c2})(f' - f_{avg})}{f_{max} - f_{avg}} & f' \geq f_{avg} \\ P_{c1} & f' < f_{avg} \end{cases} \quad (1)$$

$$P_m = \begin{cases} P_{m1} - \frac{(P_{m1} - P_{m2})(f - f_{avg})}{f_{max} - f_{avg}} & f \geq f_{avg} \\ P_{m1} & f < f_{avg} \end{cases} \quad (2)$$

式中 $P_{c1} = 0.9, P_{c2} = 0.6, P_{m1} = 0.1, P_{m2} = 0.01P_m$; f_{max} —群体中最大适应度值; f_{avg} —每代中的平均适应度值; f' —要交叉的两个个体中适应度交大的适应度值; f —要变异的个体适应度值。

3 自适应遗传算法对速度控制器参数优化

为使系统响应时间比较短,并尽可能地减小误差,本研究选用 PI 控制器,转速调节器 ASR 为 $K_p + K_i/s$ 。转速环框图如图 1 所示^[3]。

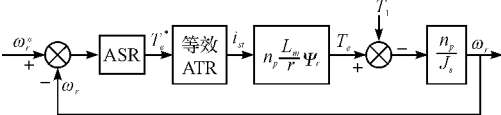


图 1 转速环框图

3.1 参数编码与解码以及初始化

参数编码方法有很多种,本研究采用简单、易于计算的二进制编码。在 $[0, 63]$ 中随机产生长度为 44 位的二进制染色体,每 22 位代表一个数值。已编码的二进制与实际值之间的转换有如下关系:

$$x_i = x_{min} + \frac{\sum_{i=0}^{n-1} 2^i a_i}{2^n - 1} (x_{max} - x_{min}) \quad (3)$$

式中 a_i —二进制第 i 位的值; n —二进制的长度。

3.2 个体适应度评价

个体适应度评价就是确定适应度函数来计算种群中每个个体适应度的优劣。为了获取满意的过度过程动态特性,采用误差绝对值时间积分性能指标作为参数优化的最小目标函数。为防止控制量过大,在目标函数中加入输入的平方项。

$$J = \int_0^{\infty} (W_1 \cdot |e(t)| + W_2 \cdot u^2(t)) dt \quad (4)$$

为避免超调,本研究采用了惩罚功能,即一旦产生超调,将超调量作为最优指标的一项,此时最优指标为:

$$\begin{aligned} &\text{if } ey(t) < 0 \\ &J = \int_0^{\infty} (W_1 \cdot |e(t)| + W_2 \cdot u^2(t) + W_3 |ey(t)|) dt \end{aligned} \quad (5)$$

适应度函数选为目标函数的倒数,即 $f = \frac{1}{J}$ 。

3.3 遗传算子

本研究采用轮盘赌的方法来选择父体。根据式(1)、式(2)调整交叉和变异概率,并进行交叉和变异操作。由式(1)和式(2)产生的自适应算子 P_c 和 P_m ,对远离最优值的个体采用较大的值,以提高搜索速度;对接近最优值的个体采用较小的 P_c 和 P_m ,保证不收敛于局部最优解。

3.4 参数寻优

利用新产生的个体代替原速度控制器的参数,并对之进行误差采样、评估。如果代数超过 100,则停止,将最优参数代入速度控制器中,否则转向 3.3 节所述。

4 Matlab 仿真及结果分析

本研究利用上述遗传算法对速度控制器参数进行

优化,经过优化得到最优解为: $K_p=10,K_i=0.067$ 。

在 Simulink/SimPowerSystems/Machines 中有众多型号的电机,本研究采用国际单位制的异步电机。选用电机参数额定功率 $P_n=3\ 730\ \text{W}$,额定线电压 $U=380\ \text{V}$,额定频率 $f_n=50\ \text{Hz}$,转动惯量 $J=0.8\ \text{kg}\cdot\text{m}^2$,摩擦系数 $F=0.1\ \text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}$,极对数 $P=2$,定子电阻 $R_s=0.087\ \Omega$,转子电阻 $R_r=0.228\ \Omega$,定子漏感 $L_{ls}=0.8\text{e}^{-3}\ \text{H}$,转子漏感 $L_{lr}=0.8\text{e}^{-3}\ \text{H}$,互感 $L_m=34.7\text{e}^{-3}\ \text{H}$ 。异步电机矢量控制仿真模型如图 2 所示^[4-10]。

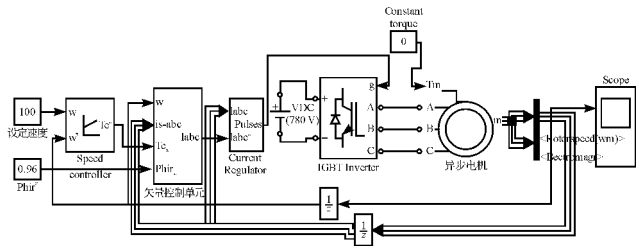


图 2 矢量控制的仿真模型

为说明自适应遗传算法优化参数的有效性,通过利用常规 PID 整定的速度控制器参数和经过自适应遗传算法优化后的速度控制器参数进行仿真结果比较。其速度响应曲线分别如图 3 和图 4 所示。

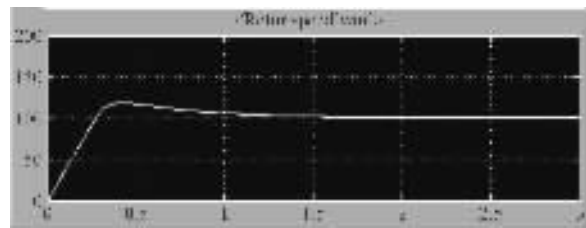


图 3 常规 PID 参数整定的速度曲线

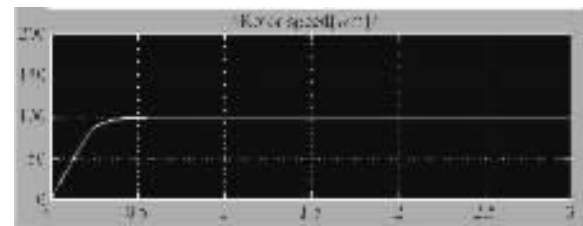


图 4 自适应遗传算法参数优化后的速度曲线

5 结束语

用自适应遗传算法对参数优化可以不依赖于工程人员的经验,方法简单,而且可以找到最优解。本研究通过调整交叉和变异概率来改进遗传算法,利用自适应算法寻求全局最优解。从图 3 和图 4 的对比结果可以看出,自适应遗传算法参数优化后可以实现无超调,响应速度明显加快,有很好的控制效果。因而自适应遗传算法是 PID 参数优化的有效方法。

参考文献 (References) :

[1] 李敏强,寇纪淞,林 丹,等. 遗传算法的基本理论与应用 [M]. 北京:科学出版社,2004.

[2] 王小平,曹立明. 遗传算法—理论、应用与软件实现 [M]. 西安:西安交通大学出版社,2002.

[3] 周 晖,沈 华,高 明. 基于遗传算法的矢量控制系统 [J]. 电机与控制应用,2006,33(11):6-9.

[4] 潘晓晟,郝世勇. Matlab 电机仿真精华 50 例 [M]. 北京:电子工业出版社,2007.

[5] 赵 亮,付兴武,徐广明. 基于遗传算法的 PID 控制及其 Matlab 仿真 [J]. 微计算机信息,2004,20(5):19-20.

[6] TSENGA T L, LIANGB W Y, HUANGC C C. Applying genetic algorithm for the development of the components-based embedded system [J]. **Computer Standards & Interfaces**, 2005,27(6):621-635.

[7] MONDAL S K, PINTO J O P, BOSE B K. A neural network based space vector PWM controller for a three voltage-fed inverter induction motor drive [J]. **IEEE Transactions on Industry Applications**,2002,38(3):660-669.

[8] ZIJL A. Asynchronous Motor Control [D]. Department of Electrical Engineering, Eindhoven University of Technology, 1997.

[9] 朱 明,陈觉晓. 交流异步电机数学模型的研究 [J]. 微特电机,1999,27(1):6-11.

[10] 余秋实,王秋晓. 异步电机 SVPWM 矢量控制系统仿真 [J]. 机电工程,2010,27(1):76-79.

[编辑:柴福莉]