

文章编号: 1673-3193(2011)05-0583-05

# 基于遗传算法的异步电机 调速系统 PID 参数优化

段小丽<sup>1</sup>, 任一峰<sup>1</sup>, 赵 敏<sup>2</sup>

(1. 中北大学 信息与通信工程学院, 山西 太原 030051; 2. 北京茨服测控技术研究所, 北京 101101)

**摘 要:** 在对异步电机矢量控制系统分析的基础上, 给出了参数优化设计的数学模型, 采用了一种改进的遗传算法, 并利用 Matlab 软件对 PID 参数进行了优化设计, 得到了满意的优化参数. 讨论了遗传算法的一些关键技术, 如改进的二进制编码方法, 基于惩罚项的适应度的计算, 遗传算子的构造等. 提出了用遗传算法优化异步电机调速系统 PID 参数的方法, 并进行了仿真研究. 仿真结果表明: 遗传算法整定的 PID 参数用于异步电机的调速系统中, 使系统的超调量减少了 16.7%, 取得了较好的控制效果, 同时也验证了遗传算法解决参数优化问题的可行性和优越性.

**关键词:** 异步电机; 矢量控制; 遗传算法; PID

**中图分类号:** TP13; TM352

**文献标识码:** A

**doi:** 10.3969/j.issn.1673-3193.2011.05.011

## Application of Genetic Algorithms in PID Parameters Optimization for Asynchronous Motor Speed Regulation System

DUAN Xiao-li<sup>1</sup>, REN Yi-feng<sup>1</sup>, ZHAO Min<sup>2</sup>

(1. School of Information and Communication Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. Academy of Beijing Servo Technology, Beijing 101101, China)

**Abstract:** Based on the vector control system of asynchronous motor, mathematic model of optimal design was provided. An improved genetic algorithm (GA) was adopted to implement the optimization of parameters of PID, which satisfied the design requirement by using Matlab software. Some key problems on GA were discussed, such as an improved binary encoding method, calculation of fitness based on penalty function, construction of genetic operators, and the criteria for heredity termination, etc. The vector control system of optimization PID parameters based on genetic algorithms optimization was proposed for speed control of the asynchronous motor. The simulation result showed that the overshoot of asynchronous motor decreased by 16.7% percent by using the PID parameters of GA optimization. It verified the feasibility and superiority of genetic algorithm in parameters optimization.

**Key words:** asynchronous motor; vector control; genetic algorithms; PID

## 0 引 言

矢量控制是目前交流电动机的先进控制方式, 20 世纪 70 年代初创立的磁场定向矢量控制方法是异

\* 收稿日期: 2010-08-29

作者简介: 段小丽(1982-), 女, 硕士. 主要从事控制系统理论及应用研究.

步电机控制理论上的突破. 通过坐标变换的方式, 实现了异步电机磁链和转矩的解耦, 使异步电机获得等效于直流电机的控制性能. 由于电机在运行过程中参数的变化及磁饱和的影响, 使实际的矢量控制系统很难达到理想的控制目标. 按工程设计方法确定 PID 的参数费时费力, 而且不是最优解. 采用遗传算法(Genetic Algorithms, GA)进行 PID 参数整定与优化, 是一种寻求全局最优且与初始条件无关的优化方法, 且能够综合考虑复杂的控制要求和约束条件, 能明显改善矢量控制系统的控制性能.

1 转子磁场定向矢量控制原理

1.1 异步电机转子磁场定向时的基本方程

按照异步电动机的实际物理模型所建立的动态数学模型是一个高阶、非线性、强耦合的系统. 直接分析和计算这样的方程组是十分不便的, 人们研究了不同的简化分析方法, 矢量变换法便是其中的一种. 矢量变换法的目的是模仿直流电机的控制机理, 来对异步电动机进行控制.

如果规定  $M$ - $T$  坐标系的  $M$  轴就是沿着转子磁链  $\psi_r$  的方向, 则  $M$ - $T$  坐标系就沿转子磁场定向, 异步电机在按转子磁场定向在  $M$ - $T$  坐标系上的数学模型由电压方程、磁链方程、转矩方程和运动方程组成. 此时异步电机的基本方程式如式 (1) 所示<sup>[1]</sup>.

电压方程为

$$\begin{bmatrix} u_{m1} \\ u_{t1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 + L_s P & -\omega_1 L_s & L_m P & -\omega_1 L_m \\ \omega_1 L_s & R_1 + L_s P & \omega_1 L_m & L_m P \\ L_m P & 0 & R_2 + L_r P & 0 \\ \omega_s L_m & 0 & \omega_s L_r & R_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{m1} \\ i_{t1} \\ i_{m2} \\ i_{t2} \end{bmatrix}. \tag{1}$$

由于  $M$  轴与转子磁链  $\psi_r$  的方向一致, 故  $\psi_r$  只有  $M$  轴分量, 即  $\psi_{m2} = \psi_r$ ; 而转子磁链的  $T$  轴分量为零, 即  $\psi_{t2} = 0$ . 于是, 磁链方程为

$$\begin{bmatrix} \psi_{m1} \\ \psi_{t1} \\ \psi_{m2} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & 0 & L_m & 0 \\ 0 & L_s & 0 & L_m \\ L_m & 0 & L_r & 0 \\ 0 & L_m & 0 & L_r \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{m1} \\ i_{t1} \\ i_{m2} \\ i_{t2} \end{bmatrix}. \tag{2}$$

经运算后得到的基本方程式如:

转矩方程为

$$T_e = P_n \frac{L_m}{L_r} i_{t1} \psi_{m2}. \tag{3}$$

这就说明, 选择转子磁链的空间矢量方向为  $M$  轴方向进行定向, 并控制  $\psi_{m2}$  的幅值不变, 可实现磁场电流分量与转矩电流分量之间的解耦. 这样控制转子转矩电流  $i_{t1}$  就能达到控制  $T$  的目的.

运动方程为

$$T_e - T_1 = \frac{J}{n_p} \frac{d\omega}{dt}. \tag{4}$$

转子磁场定向矢量控制的基本方程式为

$$T_e = P_n \frac{L_m}{L_r} i_{t1} \psi_{m2}, \omega_s = \frac{L_m}{T_r \psi_r} i_{t1}, \psi_r = \frac{L_m}{T_r P + 1} i_{m1}. \tag{5}$$

式中:  $T_r$  为转子励磁时间常数;  $\psi_r$  为转子总磁链;  $T_e$  为电磁转矩;  $T_1$  为负载转矩;  $n_p$  为电机极对数;  $J$  为机组的转动惯量;  $\omega_s$  为电机转差角频率;  $\omega_s = \omega_1 - \omega_r$ ,  $\omega_1$  为定子旋转磁场的速度;  $\omega_r$  为转子角速度.

1.2 系统的构成

本文采用带转矩内环的转速、磁链闭环矢量控制调速系统, 原理框图如图 1 所示<sup>[2-3]</sup>. 该调速系统通

在 GA 中初始种群的个体是随机产生的, 本文通过 Ziegler-Nichols 整定法获得  $k_p, k_i$  和  $k_d$  的初始数值, 并以该结果为中心向左右两边扩展, 形成了一个范围缩小了的种群搜索空间.

2.2.4 适应度函数设计

控制器的设计目标为：确定合适的控制器参数  $k_p, k_i$  和  $k_d$ ，使得系统满足以下要求：系统的调节时间、超调量、ITAE(时间乘以误差绝对值积分性能指标)、控制能量及抗扰动等性能指标较优。

作为遗传算法与控制系统结合的纽带，适应度函数评估是选择操作的依据，指导着算法按控制目标的要求不断进化。本文为了获取满意的过渡过程动态特性，采用 ITAE(时间乘绝对误差积分)指标作为参数选择的最小目标函数。为了防止控制能量过大，在目标函数中加入控制输入的平方项；为了防止过长的调节时间，在目标函数中加入调节时间项。

此时目标函数的形式为

$$J = \int_0^\infty (w_1 |e(t)| + w_2 u^2(t))dt + w_3 t_u,$$

式中： $e(t)$  为系统误差； $u(t)$  为控制器输出； $t_u$  为上升时间； $w_1, w_2, w_3$  为权值。

为了避免超调，采用了惩罚功能，即一旦产生超调，就将超调量作为最优指标的一项，此时的最优指标为

$$\text{if } ey(t) < 0,$$

$$J = \int_0^\infty (w_1 |e(t)| + w_2 u^2(t)dt + w_4 |ey(t)|)dt + w_3 t_u,$$

式中： $w_3$  为权值，且  $w_4 \gg w_1$ ， $ey(t) = y(t) - y(t-1)$ ， $y(t)$  为被控对象输出<sup>[5]</sup>。

2.2.5 GA 的操作

GA 包括 3 个基本操作：复制、交叉和变异。

首先利用按比例适应度分配方法来计算个体选择概率，将当前群体中适应度最高的个体结构完整地复制到下一代群体中，其他的个体再按与其适应度值成正比的概率进行复制。交叉是遗传算法获取新优良个体最重要的手段。交叉概率为  $P_c$ ，从复制后的成员里以  $P_c$  的概率选取字符串组成匹配池，而对匹配池的成员随机匹配，交叉的位置也是随机确定的。以概率  $P_m$  进行变异。

3 仿真试验

根据异步电机矢量控制系统仿真结构图，在 MATLAB 中编写遗传算法整定 PID 参数的  $m$  文件，进行遗传算法仿真试验。

试验过程中，异步电动机的参数为：电机极对数为 2，定子电阻为  $2.7 \Omega$ ，转子电阻为  $2.23 \Omega$ ，定子、转子的电感均等于  $0.3562 \text{ H}$ ，定子与转子之间的互感为  $0.3425 \text{ H}$ ，转动惯量为  $0.00825 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ，转速设定值  $\omega_{\text{ref}} = 500 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ ，仿真时间为  $0.5 \text{ s}$ 。使用的样本个数为  $n = 30$ ，交叉概率  $P_c = 0.90$ ，变异概率  $P_m = 0.033$ 。将初始种群范围分别限定为  $k_p$  的取值范围  $[0, 20]$ ， $k_d, k_i$  的取值范围为  $[0, 1]$ 。

在 MATLAB 中运行基于 GA 的 PID 参数寻优程序，采样时间为  $1 \text{ ms}$ 。经过 100 代进化，目标函数  $L = 33.7888$ 。 $L$  的优化过程如图 3 所示。

优化后的  $k_p = 17.0479$ ， $k_i = 0.1994$ ， $k_d = 0.0091$ 。

图 4 和图 5 分别是传统的 PID 调节器所构成的系统转子转速曲线和 GA 寻优后的 PID 调节器所构成的系统转子转速曲线。

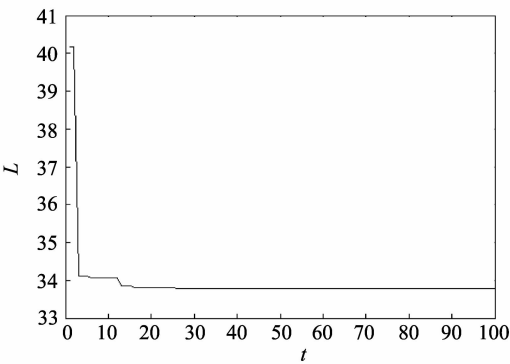


图 3 目标函数值  $L$  的优化过程  
Fig. 3 Optimization process of objective function  $L$

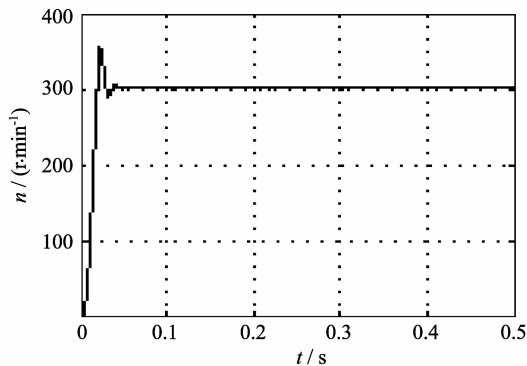


图 4 传统 PID 控制电机转速曲线

Fig. 4 Speed curve under tradition PID control

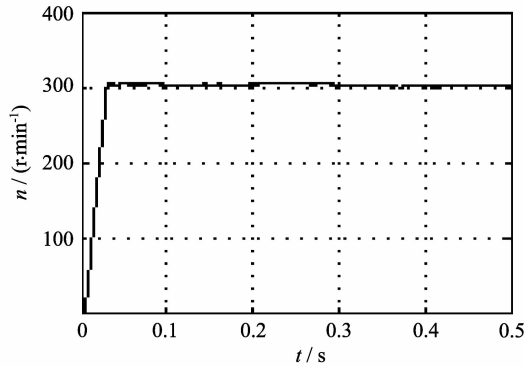


图 5 遗传算法优化 PID 参数后的转速线

Fig. 5 Speed curve under GA optimization PID control

## 4 结 论

本文把遗传算法应用于异步电机调速系统的 PID 控制器参数的优化,得到了优化后的 PID 参数,目标函数值  $L$  的优化过程和速度响应曲线.从仿真结果可以看出,图 4 异步电机的调节时间为 0.04 s,图 5 的调节时间为 0.02 s;图 4 的超调量为 16.7%,图 5 的超调量为 1%.表明控制效果有了明显地改善.这也说明了原理和计算过程并不复杂的遗传算法是一种具有实用价值的 PID 参数整定方法.此外,根据电机以及其他被控对象的不同性质,可以对遗传算法提出有针对性的设计和改进办法,最终满足控制系统在动、静态特性方面的实际要求.

## 参考文献:

- [1] 丁辉,胡协和.交流异步电动机调速系统控制策略综述[J].浙江大学学报(工学版),2011,45(1):50-58.  
Ding Hui, Hu Xiehe. Review of AC asynchronous motor speed control strategy[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2011, 45(1): 50-58. (in Chinese)
- [2] 汪万伟.基于直接功率控制的双 PWM 变频调速系统[J].华南理工大学学报(自然科学版),2011,39(3):67-72.  
Wang Wanwei. Dual-PWM frequency-variable speed regulation system based on direct power control[J]. Journal of South China University of Technology(Natural Science Edition), 2011, 39(3): 67-72. (in Chinese)
- [3] 李辉,郑海起,潘宏侠.基于 EMD 的电机瞬时转速和转矩测量[J].中北大学学报(自然科学版),2006,27(6):491-494.  
Li Hui, Zheng Haiqi, Pan Hongxia. Measurement of transient rotation speed and torque of electric motor based on empirical mode decomposition[J]. Journal of North University of China(Natural Science Edition), 2006, 27(6): 491-494. (in Chinese)
- [4] 孙真和,张静,徐林.模糊自适应 PID 在磁悬浮系统中的仿真研究[J].中北大学学报(自然科学版),2010,31(5):459-462.  
Sun Zhenhe, Zhang Jing, Xu Lin. Simulation of fuzzy adaptive PID control for magnetic levitation system[J]. Journal of North University of China(Natural Science Edition), 2010, 31(5): 459-462. (in Chinese)
- [5] 陈坚.交流电机数学模型及调速系统[M].北京:国防工业出版社,1989:35-41.
- [6] 修杰,夏长亮.基于遗传算法的开关磁阻电机自适应模糊控制[J].电工技术学报,2007,11(4):89-95.  
Xiu Jie, Xia Changliang. GA-based adaptive fuzzy logic controller for switched reluctance motor[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2007, 11(4): 89-95. (in Chinese)
- [7] 乔维德.基于模糊自适应 PI 控制的开关磁阻电机直接转矩控制[J].江苏电器,2008(8):20-24.  
Qiao Weide. Study on switched reluctance motors direct torque control based on adaptive fuzzy proportional integral controller[J]. Jiangsu Electrical Apparatus, 2008(8): 20-24. (in Chinese)
- [8] Krobling R A, Rey J P. Design of optimal disturbance rejection PID controllers using genetic algorithms[J]. IEEE Trans on Evolution Computation, 2003, 5(1): 78-82.
- [9] 刘金琨.先进 PID 控制及其 Matlab 仿真[M].北京:电子工业出版社,2003:220-223.