

基于模糊 PI 控制的三相异步电机 Simulink 建模与仿真

朱智勇, 余世明*, 施金培
(浙江工业大学 信息工程学院, 浙江 杭州 310023)

摘要: 为了设计一个高性能的三相异步电机矢量变频调速控制系统, 且考虑到要用于三相异步电机驱动的隔膜计量泵控制系统, 采用了模糊 PI 调节器。利用 Matlab/Simulink 仿真软件对该控制系统进行了建模, 在模糊 PI 调节器中设定合理的控制规则并选取合适的 P 值与 I 值。运行后所得的仿真结果显示, 输出的转速、电流等波形曲线符合理论要求, 整个加速过程时间短, 且无超调现象。研究表明, 采用模糊 PI 控制的三相异步电机矢量控制系统具有良好的启动、加速和调速性能。

关键词: 三相异步电机; 隔膜计量泵; PID; 模糊 PI 控制

中图分类号: TH323; TP273

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)01-0053-05

Modeling and simulation on Simulink for three-phase asynchronous motor based on fuzzy-PI control

ZHU Zhi-yong, YU Shi-ming, SHI Jin-pei

(Information Engineering College, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: In order to design a better control system, the fuzzy PI regulator was adopted, which could improve the performance of a three-phase asynchronous motor vector frequency conversion control system for the diaphragm metering pump. The simulation model for the control system was created by using Matlab/Simulink. In the fuzzy PI regulator, the control rules were set reasonable and the P value and I value were chosen suitable. The experimental results show that the outputs curve of speed and current accord with theory. There is no overshoot phenomenon in the whole acceleration process, and the time it costs is very short. So the three-phase asynchronous motor vector control system with fuzzy-PI control has excellent performances of starting, accelerating and speed regulation.

Key words: three-phase asynchronous motor; diaphragm metering pumps; PID; fuzzy-PI control

0 引言

随着生产的发展和生活质量的不断提高, 计量泵广泛应用于水处理、化工、造纸等行业, 其中隔膜计量泵作为计量泵的分支, 具有泄漏少、可靠性高等优点, 深受广大客户青睐。但是随着科技的发展, 带来的不仅仅是拓宽了计量泵的市场, 同时也对计量泵在生产工艺流程控制中的可控性和精度等提出了更高的要求。因此, 有必要利用现代工业生产中先进的控制理

论与技术, 来增强隔膜计量泵抗扰动性和自适应能力。

本研究提到的隔膜计量泵的主体驱动装置是一个三相异步电机, 因此其控制系统就是对三相异步电机的控制。由于计量泵是一个时滞、非线性的复杂系统, 传统的 PID 等算法显然不能适应这种系统, 本研究在分析隔膜计量泵原理的基础上选择合适的控制技术。

1 隔膜计量泵工作原理

隔膜计量泵运行原理图如图 1 所示。

收稿日期: 2011-08-18

作者简介: 朱智勇(1987-), 男, 浙江温州人, 主要从事控制理论与控制工程方面的研究. E-mail: zhuzhiyong0925@126.com

通信联系人: 余世明, 男, 教授, 硕士生导师. E-mail: ysm@zjut.edu.cn

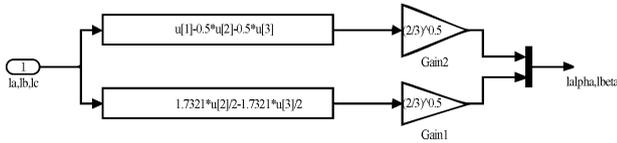


图 4 Clarke 变换构建原理

转坐标系下,其变换矩阵如下:

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (2)$$

其搭建原理图如图 5 所示。

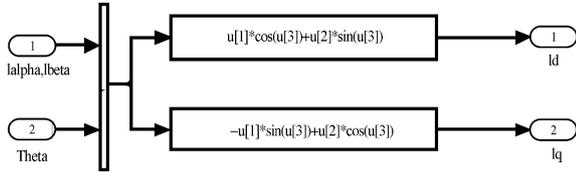


图 5 Park 变换构建原理

3.3 磁通估计器模块

转子磁链幅值 ψ 计算公式:

$$\psi = \frac{L_m i_d}{1 + \tau_r s} \quad (\tau_r = L_r / R_r) \quad (3)$$

转子磁链角 θ 通过转速与转差角频率之和的积分进行计算,即:

$$\theta = \int (n_p \omega + \omega_{sl}) dt \quad (4)$$

式中: $n_p \omega$ — 电气转速可直接测量, ω_{sl} — 转差频率。

其公式如下:

$$\omega_{sl} = \frac{L_m i_q}{\tau_r \psi} \quad (5)$$

其搭建原理图如图 6 所示。

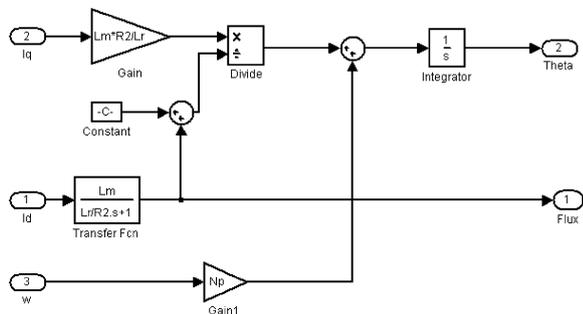


图 6 磁通估计器构建原理

3.4 转速调节模块

该模块根据参考转速和实际转速的误差运用模糊 PI 进行调节。其中,模糊控制器以转速误差和误差变化作为输入量,通过设定的模糊规则来进行调节,达到控制转矩 T_e^* 的目的。其搭建原理图如图 7 所示。

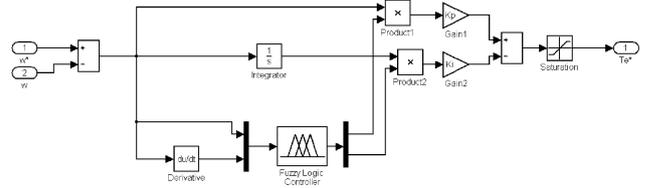


图 7 转速调节构建原理

3.5 磁通调节模块

该模块根据参考磁链和实际磁链的误差运用模糊 PI 进行调节。其中,模糊控制器以磁链误差和误差变化作为输入量,通过设定的模糊规则来进行调节,达到控制电流分量 i_{sd}^* 的目的。其搭建原理图如图 8 所示。

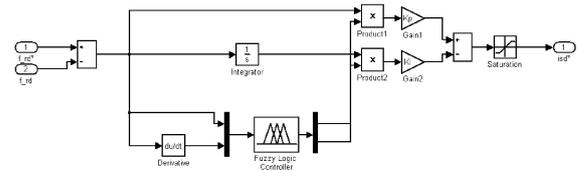


图 8 磁通调节构建原理

3.6 转矩调节模块

转矩电流计算公式:

$$i_{sq}^* = \frac{L_r T_e^*}{n_p L_m \psi^*} \quad (6)$$

其搭建原理图如图 9 所示。

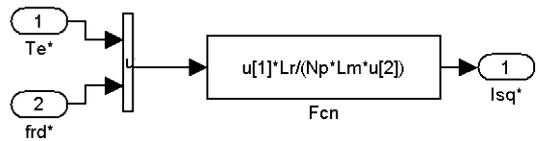


图 9 转矩调节构建原理

3.7 Park 反变换模块

该模块将两相旋转坐标系的电流分量变换到两相静止坐标系下,其变换矩阵如下:

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} \quad (7)$$

其搭建原理图如图 10 所示。

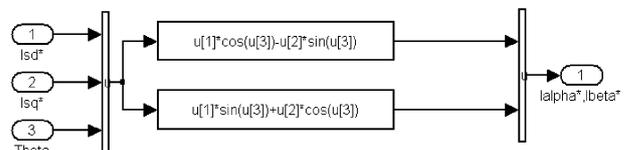


图 10 Park 反变换构建原理

3.8 Clarke 反变换模块

该模块将两相静止坐标系的电流分量变换到三相定子静止坐标系下,其变换矩阵如下:

$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (8)$$

其搭建原理图如图 11 所示。

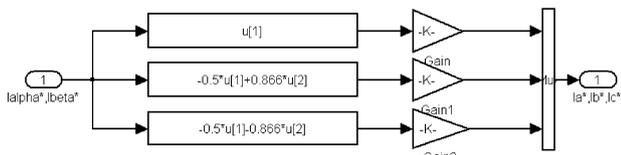


图 11 Clarke 反变换构建原理

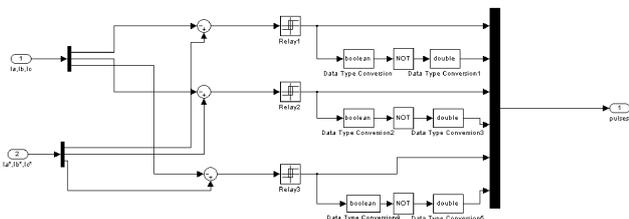
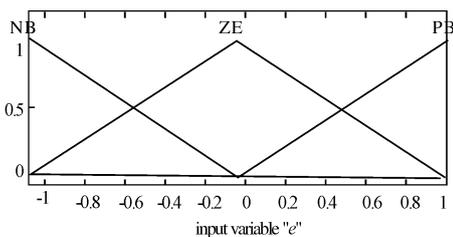


图 12 电流控制器构建原理



(a) 误差 e

3.9 电流控制器模块

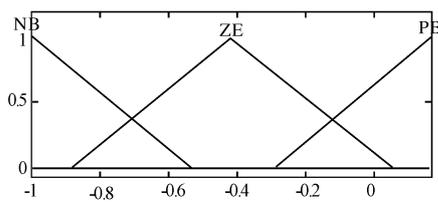
该模块实现异步电机三相电流的滞环跟踪控制,其输出为 6 路 PWM 控制信号。其搭建原理图如图 12 所示。

4 模糊控制器的设计

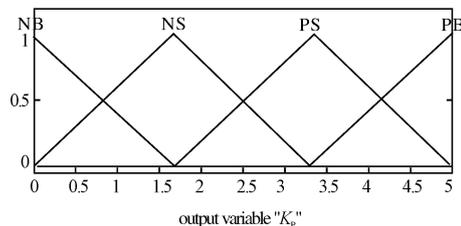
在图 7 和图 8 中的“Fuzzy Logic Controller”就是本研究设计的模糊控制器,它针对电机速度和磁通的偏差 e 和偏差变化 de/dt ,按照模糊规则进行调整,将模糊量经过反模糊化处理后输出 K_p 和 K_i ,从而进行调速控制^[4-12]。其输入变量误差 e 和误差变化 de/dt 、输出变量 K_p 和 K_i 的隶属度函数如图 13 所示。

该模糊控制器的模糊规则如下:

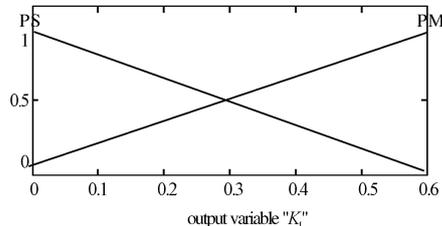
- (1) if (e is PB) and (de/dt is ZE) then (K_p is PB) (K_i is PS) (1);
- (2) if (e is ZE) and (de/dt is NB) then (K_p is NS) (K_i is PS) (1);
- (3) if (e is NB) and (de/dt is ZE) then (K_p is NB) (K_i is PS) (1);
- (4) if (e is ZE) and (de/dt is PB) then (K_p is PS) (K_i is PM) (1)。



(b) 误差变化 de/dt



(c) K_p



(d) K_i

图 13 模糊控制器的隶属度函数

5 仿真结果

在本仿真实验中,异步电机参数设定如下所示:额定功率 $P_n = 550$ W,额定电压 $V_n = 220$ V,极对数 $n_p = 2$,定子电阻 $R_s = 4.2500$,转子电阻 $R_r = 3.2394$,

定子电感 $L_s = 0.6636$ H,转子电感 $L_r = 0.6708$ H,互感 $L_m = 0.6500$ H,转子惯量 $J = 0.02$ kg·m²,粘滞阻力系数 $B = 0$ 。将模糊 PI 控制中的参数设定如下: $K_p = 3, K_i = 0.5$;同时设定参考转速 $\omega^* = 50$,参考磁链 $\psi^* = 0.95$,点击“运行”,产生的 6 路 PWM 波形、三

相电流波形、转速波形和转矩波形如图 14 所示。

模糊 PI 控制的 Simulink 仿真结果图如图 14 所示,从中可以看出,相电流在电机启动加速过程中其峰值较大,约为电机额定工作电流的 2~3 倍,在最初的瞬态加速过程(时间为 0 s~0.04 s)中,转矩加速增大,在这一过程中,电机速度随转矩增大而加快增大。随后在 0.04 s~0.06 s 时间内,电机输出转矩达到最大,这时转矩近似恒定,相应地电机转速也以近似恒定的加速度增大。当电机转速达到稳定值,即在 0.06 s 后,转矩跳变为零,之后相电流达到稳态。整个加速过程无超调现象,最终稳定输出的转速与设定的参考转速值一致。

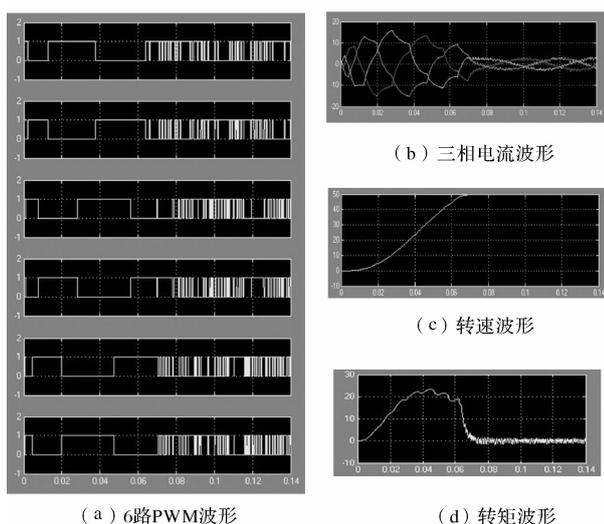


图 14 Simulink 仿真运行结果(模糊 PI 控制)

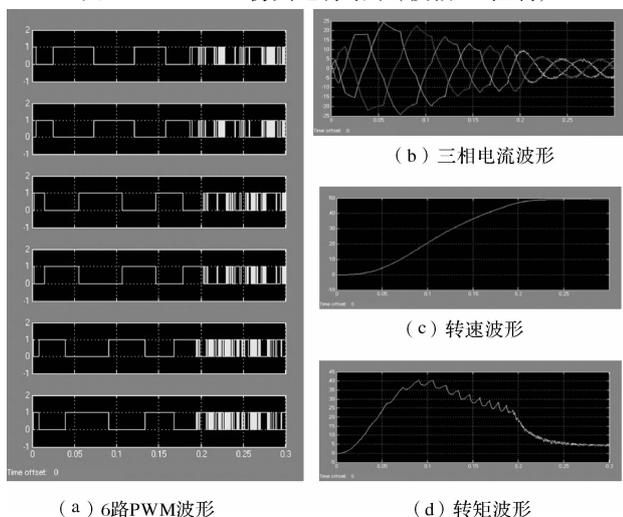


图 15 Simulink 仿真运行结果(普通 PI 控制)

普通 PI 控制的仿真结果图如图 15 所示,其转速达到稳态所需时间为 0.24 s,约为模糊 PI 控制达到稳态时间的 4 倍,结果表明采用模糊 PI 控制的三相异步电机矢量控制系统具有更好的启动、加速和调速性能。

6 结束语

本研究利用 Matlab/Simulink 来建立基于模糊 PI 控制的三相异步电机调速模型,不仅简单快捷,其调试过程也能增进理解异步电机的运行原理,为实际中控制三相异步电机打下了良好的基础。同时,该模型逼近实际电机参数,在该模型上调试所设计的模糊控制规则以及 PID 的参数,可以作为实际应用中的电机控制的参考,或者直接运用到实际应用中去,能节省大量的调试时间和精力。

参考文献(References):

- [1] 何胜君. 计量泵及影响其计量因素的分析[J]. 合成技术与分析, 1994, 9(1): 52-55.
- [2] MANN G K I, HU Bao-gang, GOSINE R G. Analysis of direct action fuzzy PID controller structures[J]. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Part B, Cybernetics**, 1999, 29(3): 371-388.
- [3] 尚敬, 胡基士. 基于 MATLAB 的异步电动机矢量控制系统的仿真[J]. 电力机车技术, 2002, 25(4): 31-33.
- [4] JUANG Y T, CHANG Y T, HUANG C P. Design of fuzzy PID controllers using modified triangular membership functions[J]. **Information Sciences**, 2008, 178(5): 1325-1333.
- [5] 茅硕, 何永勇. Fuzzy-PID 设计及控制性能分析[J]. 中国惯性技术学报, 2006, 14(2): 60-68.
- [6] 刘俊, 庄圣贤. 三相异步电机矢量控制的研究[J]. 电气开关, 2010, 48(2): 26-30.
- [7] 李静, 程小华. 基于模糊 PI 控制的抽油机用永磁同步电机直接转矩控制系统[J]. 防爆电机, 2011, 46(1): 19-22.
- [8] 颜晓河. 全电动式注塑机计量位置控制电机的选择[J]. 轻工机械, 2010(4): 103-104.
- [9] 沈凯明, 王玉芬, 常兴. 电机测试系统的 PLC 控制[J]. 轻工机械, 2010(4): 76-79.
- [10] SANCHEZ E N, BECERRA H M, VELEZ C M. Combining fuzzy, PID and regulation control for an autonomous mini-helicopter[J]. **Information Sciences**, 2007, 177(10): 1999-2022.
- [11] QUDDUS M A, NOLAND R B, OCHIENG W Y. High accuracy fuzzy logic based map matching algorithm for road transport[J]. **Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations**, 2006, 10(3): 103-115.
- [12] 奚国华, 张艳存, 胡卫华, 等. 基于模糊 DSVM 控制策略的异步电机直接转矩控制[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2008, 39(1): 166-171.

[编辑:张翔]