

文章编号: 1008-0562(2003)01-0092-03

异步电动机自适应矢量控制系统的一种仿真方法

郭 瑞, 魏延华, 任志玲

(辽宁工程技术大学 电气工程系, 辽宁 阜新 123000)

摘 要: 针对异步电动机矢量控制系统在电动机参数变化时性能下降的问题, 提出了一种拥有转子磁链自适应观测器的矢量控制方案, 设计出转子磁链自适应观测器, 构成转速与磁链闭环的矢量控制系统. 利用 SIMULINK 仿真工具建立了仿真模型, 并对系统进行了仿真研究. 分析结果可知, 这种转子磁链自适应观测器的设计方法是有效的.

关键词: 异步电动机; 矢量控制; 磁链自适应观测器; 仿真

中图分类号: TP 202

文献标识码: A

Simulating method of adaptive vector control asynchronous motor system GUO Rui, WEI Yan-hua, REN Zhi-ling

(Department of Electrical Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: To solve the problem of performance degradation due to parameter variations in the vector control of an asynchronous motor, this paper presents a new method of designing adaptive rotor flux observer for vector control system. The adaptive rotor flux observers has been designed by using the parameter adaptive algorithm with a strict positive real error model, and the vector control closed-loop system of speed and flux has been constituted by using the observer. Simulation research of the system is done by constructing simulation model of the adaptive system using SIMULINK simulation tool, the effectiveness of the design method of rotor flux observer is verified by the results of the simulation.

Key words: asynchronous motor; vector control; flux adaptive observer; simulation

1 矢量控制原理

三相异步电动机定子电流通过坐标变换可以等效为旋转坐标系下的直流电流 i_{m1} 和 i_{t1} , 使交流机可以当成直流机来控制, 其等效关系的结构如图 1 所示. 图中, A、B、C 三相电压为输入, 转速 ω 为输出, 从整体看是一台异步电动机; 从内部看, 输入 A、B、C 三相电压经过 3/2 变换和同步旋转变换, 变成了一台以 i_{m1} 、 i_{t1} 为输入以 ω 为输出的直流电机. 这就是矢量控制的原理.

2 转子磁链自适应观测器设计

自适应控制所需解决的问题是, 当被控对象参数发生大范围变化时, 控制器如何自动的改变其参数, 使控制系统的性能维持不变. 由于电动

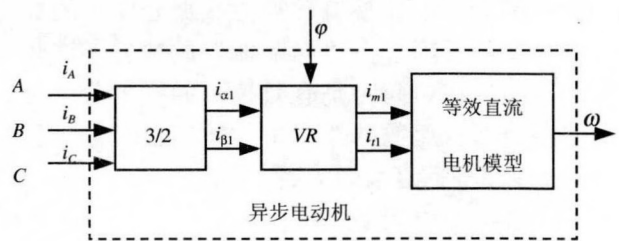


图 1 坐标变换结构图

Fig.1 the structural block of coordinate variation

机磁链不直接可测, 在矢量控制系统中, 需要使用磁链观测器来观测磁链. 由于磁链观测器工作在反馈通道, 如果磁链的观测值大于实际值, 将导致电动机的弱磁运行; 反之, 将导致电动机的过励磁运行. 因而解决电动机参数变化问题是必

要的。对于自适应矢量控制系统, 所要解决的问题主要是系统对电动机参数的敏感性问题, 即主要解决磁链自适应观测器的设计方法, 得到准确的自适应算法。通过对三相异步电动机数学模型的研究, 运用异步电动机的磁链方程式、电压方程式、输出转矩方程式, 利用坐标变换的方法, 可以得到转子坐标下三相异步电动机的状态方程描述如下:

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_{d1} \\ \dot{i}_{q1} \\ \dot{\psi}_{d2}^r \\ \dot{\psi}_{q2}^r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(1/\sigma L_1)(R_1 + R_2) & \omega_r & (1/\sigma L_1)(1/T_2) & (1/\sigma L_1)\omega_r \\ -\omega_r & -(1/\sigma L_1)(R_1 + R_2) & -(1/\sigma L_1)\omega_r & (1/\sigma L_1)(1/T_2) \\ L_m(1/T_2) & 0 & -1/T_2 & 0 \\ 0 & L_m(1/T_2) & 0 & -1/T_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{d1}^r \\ i_{q1}^r \\ \psi_{d2}^r \\ \psi_{q2}^r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1/\sigma L_1 & 0 \\ 0 & 1/\sigma L_1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{d1}^r \\ u_{q1}^r \end{bmatrix} \quad (1)$$

通过推导, 可以得到自适应算法的误差模型如下:

$$\left. \begin{aligned} \dot{e}_{id} &= -\lambda e_{id} + \phi_{11}(t)i_{d1}^r + \frac{1}{\sigma L_1}\phi_{13}(t)\psi_{d2}^r + \frac{1}{\sigma L_1}a_{13}^*e_{wd2} + \frac{\omega_r}{\sigma L_1}e_{wq2} \\ \dot{e}_{wd2} &= (s+a)\phi_{31}(t)i_{d1f}^r + (s+a)\phi_{33}(t)\psi_{d2f}^r + a_{33}^*e_{wd2} \\ \dot{e}_{wq2} &= (s+a)\phi_{42}(t)i_{q1f}^r + (s+a)\phi_{44}(t)\psi_{q2f}^r + a_{44}^*e_{wq2} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

画出误差模型图如图 2 所示, 根据误差模型得到辅助模型式和参数调整律式如式 (3)、(4) 所示, (3)、(4) 两式所示的辅助模型和参数调整律, 组成了式 (1) 所示异步电动机的转子磁链自适应观测器的算法。根据这两式可以建立系统的仿真模型。

$$\left. \begin{aligned} \hat{i}_{d1}^r &= a_{11}(t)i_{d1}^r + \omega_r i_{q1}^r + \frac{1}{\sigma L_1}a_{13}(t)\psi_{d2}^r \\ &+ \frac{1}{\sigma L_1}(\omega_r \psi_{q2}^r + u_{d1}^r) - \lambda(\hat{i}_{d1}^r - i_{d1}^r) \\ \hat{\psi}_{d2}^r &= a_{31}(t)i_{d1}^r + a_{33}(t)\psi_{d2}^r \\ \hat{\psi}_{q2}^r &= a_{42}(t)i_{q1}^r - \gamma_2 \operatorname{sgn}(\omega_r)(i_{q1f}^r)^2(\hat{i}_{d1}^r - i_{d1}^r) \\ &+ a_{44}(t)\psi_{q2}^r - \gamma_3 \operatorname{sgn}(\omega_r)(\psi_{q2f}^r)^2(\hat{i}_{d1}^r - i_{d1}^r) \\ i_{q1f}^r &= \frac{1}{s+a}i_{q1}^r \\ \psi_{q2f}^r &= \frac{1}{s+a}\psi_{q2}^r \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{a}_{11}(t) &= -\gamma_1 i_{d1}^r (\hat{i}_{d1}^r - i_{d1}^r) \\ \dot{a}_{42}(t) &= -\gamma_2 \operatorname{sgn}(\omega_r) i_{q1f}^r (\hat{i}_{d1}^r - i_{d1}^r) \\ \dot{a}_{44}(t) &= -\gamma_3 \operatorname{sgn}(\omega_r) \psi_{q2f}^r (\hat{i}_{d1}^r - i_{d1}^r) \\ a_{13}(t) &= -\frac{1}{T_f s + 1} a_{44}(t) \\ a_{31}(t) &= \frac{1}{T_f s + 1} a_{42}(t) \\ a_{33}(t) &= -a_{13}(t) \\ (\gamma_i > 0, i = 1, 2, 3; T_f > 0) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

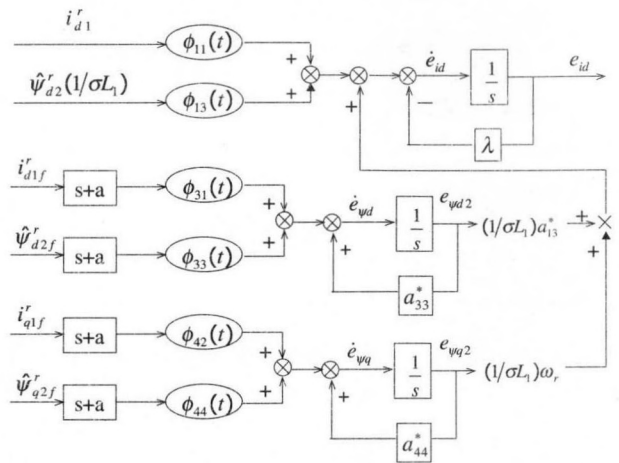


图 2 误差模型
Fig.2 error model

3 矢量控制系统的仿真研究

用式 (3)、(4) 所示的辅助模型和参数调整律组成的转子磁链自适应观测模型可以构成相应的矢量控制系统。当将转子磁链自适应观测器的输出用于异步电动机的磁场定向控制时, 观测器和电动机控制系统就形成一个相互作用的整体。此时, 电动机的定子电压、电流和转速与观测器的输出通过矢量控制测略相关联, 使自适应观测器在闭环条件下运行。从而使异步电动机的参数未知和发生未知变化时, 矢量控制系统的性能维持不变。系统仿真采用控制界最流行的控制系统仿真语言 MATLAB, 根据自适应观测器的算法式 (3) 和 (4), 可以得到转子磁链自适应观测器的 SIMULINK 运算模型, 如图 3 所示。将其应用于矢量控制系统中, 再按照矢量控制的构成原理, 可以绘出转矩与磁链双闭环的异步电动机自适应矢量控制系统的 SIMULINK 仿真模型图, 由于图

形太大，在此无法附上。利用异步电动机自适应矢量控制系统的模型，对图中各个环节和子系统设置不同的参数，可以对系统进行各种参数条件下的仿真研究。通过在各种参数条件下的仿真分析，得到转矩、转速与磁通的各种仿真波形。图 4 是恒速驱动时转速与转矩的仿真波形 ($T_L=5\text{N}\cdot\text{m}$)。从仿真结果可以看出，系统具有较好的起动特性和平稳性。

4 结 论

本文主要围绕以下问题进行理论研究：

- (1) 阐述了矢量控制的基本原理，分析了异

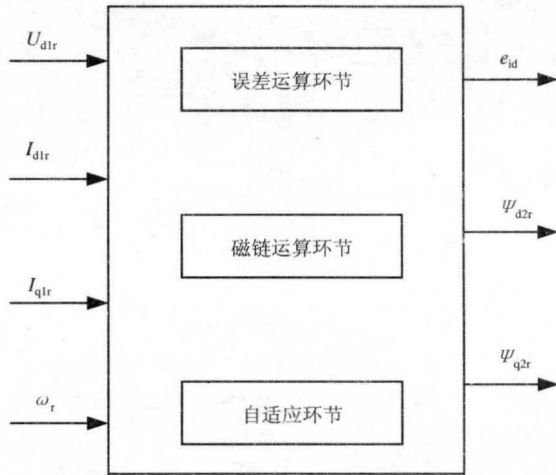


图 3 转子磁链自适应观测器的 SIMULINK 实现
Fig.3 the SIMULINK model of the adaptive rotor flux

步电动机的状态方程描述和转速为常值时的传递函数；

- (2) 运用在正实误差模型下得到的参数自适应调整律，提出了转子磁链自适应观测器的设计方法；

- (3) 在上述理论研究的基础之上，在电动机转子参数合理假设条件下，得到了一种拥有转子磁链自适应观测器的矢量控制系统；

- (4) 使用控制界常用仿真软件 MATLAB 中的仿真工具 SIMULINK 建立了上述复杂控制系统的仿真模型，从而使仿真过程简单化，仿真结果证实了系统的稳定性和可行性。

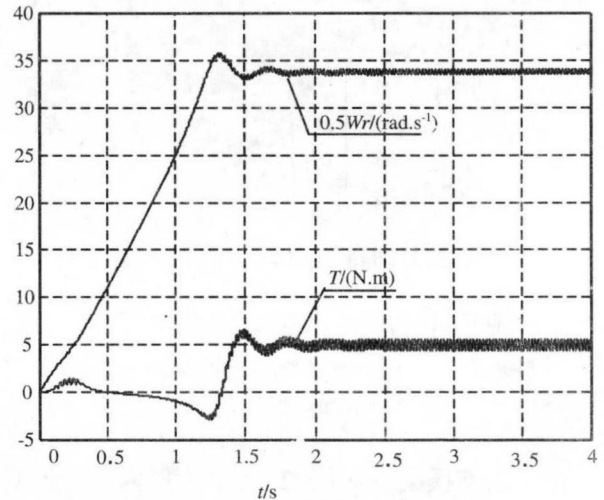


图 4 $T_L=5\text{ N}\cdot\text{m}$ 时的转矩与转速波形
Fig.4 the wave of torque and speed when T_L is $5\text{ N}\cdot\text{m}$

参考文献：

[1] 薛定宇.控制系统计算机辅助设计—MATLAB 语言及应用[M].北京：清华大学出版社，1996.
 [2] 陈伯时.电力拖动自动控制系统[M].北京：机械工业出版社，1992.
 [3] 夏超英.交直流传动系统的自适应控制[M].北京：机械工业出版社，1998