

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.04.016

# MRAS 的无速度传感器矢量控制系统

王庆贤, 李文祥

(兰州交通大学自动化与电气工程学院, 兰州 730070)

**摘要:** 为了实现矢量控制系统中异步电动机转速的闭环控制和磁场定向, 对基于模型参考自适应系统(model reference adaptive system, MRAS)的无速度传感器矢量控制系统进行研究。从异步电机端测量得到的电压和电流来估算电机转速, 在异步电动机无速度传感器矢量控制算法中, 采用电流模型和电压模型进行磁链估算, 基于MRAS方法构建异步电动机转子转速辨识模型, 并在Matlab/Simulink中建立了异步电动机无速度传感器矢量控制仿真系统。仿真结果表明: 该系统具有良好的动静态特性和稳定性。

**关键词:** 无速度传感器; 矢量控制; 模型参考自适应系统; 仿真

**中图分类号:** TP273 **文献标志码:** A

## Speed-Less Sensor Vector Control System Based on MRAS

Wang Qingxian, Li Wenxiang

(School of Automation & Electrical Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** Speed-less sensor vector control system based on model reference adaptive system (MRAS) is studied to implement the closed-loop control of speed and field oriented control of induction motor in vector control system. Use voltage and current from asynchronous motor terminal estimate motor rotation speed. In asynchronous motor speed-less sensor vector control algorithm, use current model and voltage model to carry out magnetism linkage estimation, establish asynchronous motor rotor rotation speed diagnosis model based on MRAS method, then construct asynchronous motor speed-less sensor vector control simulation system in Matlab/Simulink. The simulation results show that this system has high dynamic and static performance and stability.

**Key words:** speed-less sensor; vector control; MRAS; simulation

### 0 引言

矢量控制系统现已广泛应用于交流电机高性能传动领域。为了在矢量控制系统中实现转速的闭环控制和磁场定向, 必须进行电动机的转速检测, 其检测的精度将直接影响磁场定向的准确性。无速度传感器的交流调速既减少了设备, 又避免了检测本身可能带来的误差。从电动机数学模型可以看出, 电动机转速可以通过估算得到, 因此无速度传感器的矢量控制系统成为交流调速的重要研究内容<sup>[1]</sup>。而模型参考自适应系统(model reference adaptive system, MRAS)就是一个时变的非线性系统, 其稳定性问题是系统固有的也是首要解决的问题<sup>[2]</sup>。因此, 笔者采用MRAS来估算电动机转速。

### 1 异步电机转子磁链的估算

在按转子磁场定向的异步电机无速度传感器矢量控制系统中, 需要知道转子磁场的大小和位置, 但由于受到工程和技术条件的限制而难于实现对电动机磁场的直接检测, 所以一般采用计算的方法,

即采用磁链模型进行观测。对转子磁链进行观测的模型包括电流模型和电压模型。

#### 1.1 转子磁链观测的电流模型

异步电动机在两相静止坐标系上的电压方程式为

$$\begin{bmatrix} U_{s\alpha} \\ U_{s\beta} \\ U_{r\alpha} \\ U_{r\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + L_s P & 0 & L_m P & 0 \\ 0 & R_s + L_s P & 0 & L_m P \\ L_m P & \omega_r L_m & R_r + L_r P & \omega_r L_r \\ -\omega_r L_m & L_m P & -\omega_r L_r & R_r + L_r P \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \\ i_{r\alpha} \\ i_{r\beta} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中:  $U_{s\alpha}$ 、 $U_{s\beta}$  为两相静止坐标系上定子绕组电压;  $U_{r\alpha}$ 、 $U_{r\beta}$  为两相静止坐标系上转子绕组电压;  $i_{s\alpha}$ 、 $i_{s\beta}$  为两相静止坐标系上定子绕组电流;  $i_{r\alpha}$ 、 $i_{r\beta}$  为两相静止坐标系上转子绕组电流;  $\omega_r$ : 转子角速度;  $R_s$ 、 $R_r$  为定、转子绕组电阻;  $L_s$ 、 $L_r$  为定、转子绕组自感;  $L_m$  为两相坐标系上同轴定、转子绕组间的互感;  $P$  为微分算子。

经过相关推导可得在两相静止坐标系上的转子磁链电流模型方程为:

收稿日期: 2011-10-01; 修回日期: 2011-10-26

作者简介: 王庆贤(1955—), 男, 甘肃人, 高级工程师, 副教授, 从事高频开关电源、控制系统高级仿真及现代交流传动技术研究。

$$\psi_{r\alpha} = \frac{1}{T_r p + 1} (L_m i_{r\alpha} - \omega T_r \psi_{r\beta}) \quad (2)$$

$$\psi_{r\beta} = \frac{1}{T_r p + 1} (L_m i_{r\beta} - \omega T_r \psi_{r\alpha}) \quad (3)$$

式中： $T_r$  为转子电磁时间常数， $T_r=L_m/R_r$ 。

转子磁链在两相旋转坐标系上的电流模型方程为

$$\psi_r = \frac{L_m}{T_r p + 1} i_{sm} \quad (4)$$

### 1.2 转子磁链观测的电压模型

经过相关推导，异步电动机在两相静止坐标系上的转子磁链电压模型方程为

$$\psi_{r\alpha} = \frac{L_r}{L_m} \left[ \int (U_{s\alpha} - R_s i_{s\alpha}) dt - \sigma L_s i_{s\alpha} \right] \quad (5)$$

$$\psi_{r\beta} = \frac{L_r}{L_m} \left[ \int (U_{s\beta} - R_s i_{s\beta}) dt - \sigma L_s i_{s\beta} \right] \quad (6)$$

式中： $\sigma$  为漏磁系数， $\sigma=1-L_m^2/L_s L_r$ 。

## 2 MRAS 理论及基于转子磁链模型的 MRAS 转速估计

### 2.1 MRAS 理论

MRAS 的基本原理为：对于 1 个可建立数学模型并且参数或变量不完全可测量的系统，可利用参考模型和可调模型的输出误差，设计 1 个可以改变系统中某一或某些参数的自适应机构，通过参数或变量调节动作来改变可调模型的输出值，使得参考模型和可调模型的输出误差为零<sup>[3]</sup>。

### 2.2 基于转子磁链模型的 MRAS 转速估算

可看到：转子磁链电压模型方程中不含转速变量，而转子磁链电流模型方程中含有转速变量，故用转子磁链的电压模型作为参考模型，电流模型作为可调模型，并利用这 2 个模型输出量的误差构成自适应律，从而计算出电动机转速<sup>[4]</sup>。

根据波波夫超稳定性理论求解稳态误差，设计出的自适应律为：

$$\hat{\omega}_r = K_p \varepsilon_\omega + \int_0^t K_i \varepsilon_\omega d\tau \quad (7)$$

式中： $K_p$ 、 $K_i$  为比例、积分系数； $\tau$  为积分误差；

$\varepsilon_\omega$  为转子磁链误差， $\varepsilon_\omega = \hat{\psi}_{r\alpha} \psi_{r\beta} - \hat{\psi}_{r\beta} \psi_{r\alpha}$ 。

根据该方法，MRAS 速度辨识系统框图如图 1。图 1 中的自适应机构是个 PI 调节器，选择了比

例积分作为自适应规律。因为它是根据波波夫超稳定性理论推导出来的，所以在这一自适应规律的作用下，MRAS 一定是个渐进稳定的反馈系统。

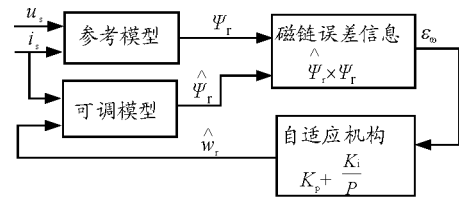


图 1 基于转子磁链模型的 MRAS 转速辨识框图

根据上述分析研究，可得基于 MRAS 的异步电动机无速度传感器矢量控制系统框图，如图 2。

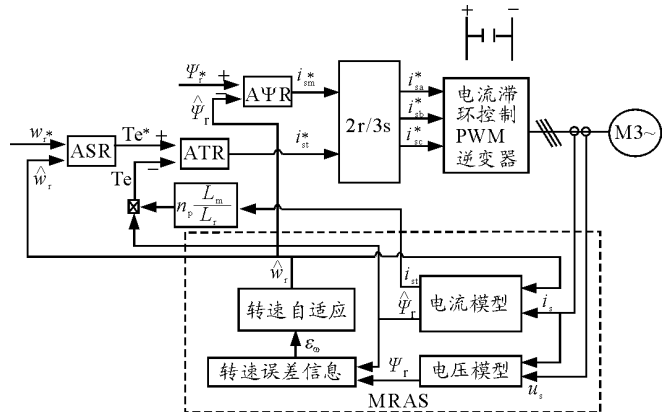


图 2 基于 MRAS 的异步电动机无速度传感器矢量控制系统框图

## 3 仿真研究

### 3.1 仿真模型的建立

在 Matlab/Simulink 中建立基于 MRAS 的异步电动机无速度传感器矢量控制系统仿真模型如图 3，主要包括三相笼型异步电动机模块<sup>[5]</sup>、转速估算模块、触发脉冲产生模块、转速调节器模块 ASR、磁链调节器模块 APsiR 及转矩调节器模块 ATR 等。

### 3.2 仿真结果分析

异步电动机的参数为：额定功率  $P_N=2.2$  kW，额定电压  $U_N=380$  V，额定频率  $f_N=50$  Hz，额定转速  $n_N=1400$  r/min，磁极对数  $P=2$ ，定子自感  $L_s=0.002$  H，转子自感  $L_r=0.002$  H，互感  $L_m=0.069$  H，定子电阻  $R_s=0.435$   $\Omega$ ，转子电阻  $R_r=0.816$   $\Omega$ 。

仿真参数设置：电动机空载起动，给定转速为 1200 r/min，当  $t=0.55$  s 时，电动机加载使负载转矩  $T_L=50$  N·m。