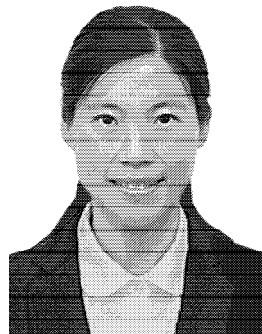


无速度传感器异步电机控制 在无锡地铁的应用

钮海彦

(无锡地铁集团有限公司, 江苏 无锡 214171)



作者简介: 钮海彦(1971-), 女, 高级工程师, 从事地铁车辆技术管理工作。

摘 要: 针对无速度传感器控制在地铁中的应用问题, 详细介绍了基于模型参考自适应的无速度传感器控制算法, 同时采用定子电阻辨识的方法提升了极低速工况下的速度辨识的精度, 满足了地铁大转矩启动的要求。通过地面试验和装车试验充分证明了该算法能实现全工况下的速度辨识, 完全满足地铁各种工况的运行要求, 在无锡地铁1号上的长时间载客运营表明了控制系统的可靠性。

关键词: 异步电机; 无速度传感器; 无锡地铁; 定子电阻辨识; 速度辨识

中图分类号: U231; TM343 文献标识码: A 文章编号: 1000-128X(2014)06-0067-04

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2014.06.018

Application of Asynchronous Motor Speed Sensorless Control in Wuxi Metro

NIU Haiyan

(Wuxi Metro Group Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu 214171, China)

Abstract: Aim to metro application, without speed sensor control algorithm based on model reference adaptive system (MRAS) was introduced in detail, and the methods of the stator resistance identification to improve the accuracy of speed estimation in very low-speed region was proposed to meet metro large torque startup requirement. The control algorithm was validated that could implement full-condition speed estimation by ground and on-board test, and completely satisfied all requirements of metro applications. Its successfully application in Wuxi metro line-1 also showed that the system was reliable.

Keywords: asynchronous motor; without speed sensor; Wuxi metro; stator resistance identification; speed identification

0 引言

目前轨道交通领域成熟且最为广泛应用的牵引传动模式为电压型交直交逆变器驱动异步电动机的控制方式, 在控制策略上一般采用矢量控制或直接转矩控制算法^[1]。

为实现高精度闭环控制, 需安装速度传感器以实时反馈当前转子信息, 但轨道交通用速度传感器齿数较少, 限制了牵引系统在低速区的控制精度。尽管轨道交通牵引用速度传感器针对恶劣环境下工作进行了特殊设计, 但由于速度传感器与牵引电机合为一体, 导致其工作环境温升超过100℃, 并且由于路轨的平整度以及车辆运行中的机械振动使其承受很大的机械应

力, 故障率相对较高^[2]。尤其是随着牵引系统其他电气设备技术的不断进步, 速度编码器可靠性对系统性能进一步提升的制约日益凸显。

此外, 采用无速度传感器控制, 牵引电机体积可进一步减小, 同时省掉了连接电缆的费用, 在提高系统可靠性的同时可有效降低成本, 是轨道交通牵引控制发展的必然趋势。目前, 国外主要牵引传动设备供应商如德国西门子、日本三菱等公司已对无速度传感器控制技术进行了深入研究, 在许多项目中批量应用无传感器控制技术。

本文对南车株洲电力机车研究所有限公司自主研发的无速度传感器控制系统进行详细的介绍, 并结合该系统在无锡地铁1号线上的实际应用证明了该系统的可靠性和稳定性。

1 异步电机等效电路及数学模型

异步电机 T 型等效电流模型如图 1 所示, 其基本数学模型如式 (1) 所示。

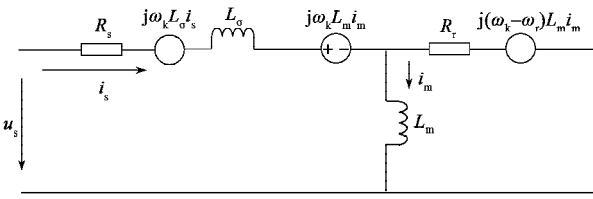


图 1 异步电机 T 型等效电路图

$$\begin{bmatrix} u_{\alpha 1} \\ u_{\beta 1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + L_s p & 0 & \frac{L_m}{L_r} p & 0 \\ 0 & R_s + L_s p & 0 & \frac{L_m}{L_r} p \\ -\frac{L_m}{T_2} & 0 & \frac{1}{T_2} + p & \omega \\ 0 & -\frac{L_m}{T_2} & -\omega & \frac{1}{T_2} + p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{\alpha 1} \\ i_{\beta 1} \\ \psi_{\alpha 2} \\ \psi_{\beta 2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: R_s ——定子电阻; $i_{\alpha 1}, i_{\beta 1}$ ——定子电流分量; ω ——转子电角速度; u ——定子电压; $\psi_{\alpha 2}, \psi_{\beta 2}$ ——转子磁链分量; L_s, L_r, L_m ——定子电感, 转子电感, 互感; T_2 ——转子时间常数; p ——微分算子。

转子磁链观测器的电压模型:

$$\left. \begin{aligned} \psi_{r\alpha}^* &= \frac{L_r}{L_m} \int [u_{s\alpha} - (R_s + L_s p) i_{s\alpha}] dt \\ \psi_{r\beta}^* &= \frac{L_r}{L_m} \int [u_{s\beta} - (R_s + L_s p) i_{s\beta}] dt \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

转子磁链观测器的电流模型:

$$\left. \begin{aligned} \psi_{r\alpha} &= \frac{L_m}{T_r} i_{s\alpha} - \frac{\psi_{r\alpha}^*}{T_r} - \omega \psi_{r\beta} \\ \psi_{r\beta} &= \frac{L_m}{T_r} i_{s\beta} - \frac{\psi_{r\beta}^*}{T_r} + \omega \psi_{r\alpha} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

采用的速度辨识自适应率算法:

$$\Delta\omega = \psi_r \times \psi_r^* + k(\psi_r \cdot \psi_r^*) \quad (4)$$

式中: $u_{s\alpha}, u_{s\beta}$ 为定子电压分量; $i_{s\alpha}, i_{s\beta}$ 为定子电流分量; $\psi_r^*, \psi_{r\alpha}^*, \psi_{r\beta}^*$ 为电压模型的转子磁链及转子磁链分量; $\psi_r, \psi_{r\alpha}, \psi_{r\beta}$ 为电流模型的转子磁链及转子磁链分量; T_r 为转子侧时间常数; $\Delta\omega$ 为速度差; k 为调节器参数。

调节参数 k 根据不同工况进行具体设计, 以保证在不同工况下速度辨识算法的收敛性以及快速跟踪性。

速度辨识系统原理框图如图 2 所示。

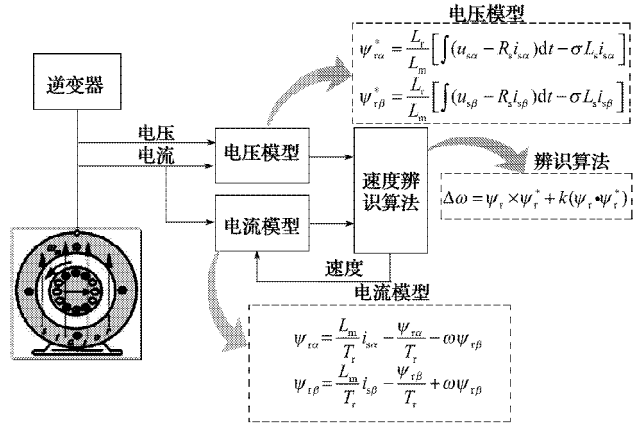


图 2 速度辨识系统原理图

传统电压模型易受信号直流偏置以及信号噪声的影响, 并且在低速工况下易受定子电阻误差的影响。针对此不足采用文献[3]中提出的方法加以解决, 其基本框图如图 3 所示。

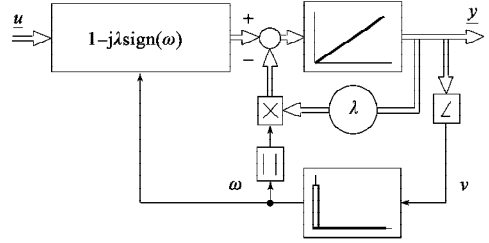


图 3 积分改进框图

2 极低速控制性能提升

极低速下(零速)的速度辨识是制约无速度传感器控制在轨道交通领域应用的瓶颈之一。轨道交通领域, 需要实现零速满手柄启动, 若采用普通工业领域常用的开环启动方式, 则无法满足系统的力矩输出特性和快速动态响应特性。低速下的速度辨识精度主要由定子电阻误差决定。

在极低速工况下, 电机电压较小, 因电机温度变化导致的定子电阻压降误差占总电压比重很大, 且负载越大(定子电流越大), 参数变化导致的定子电阻压降误差所占比重也越大, 因此大转矩启动的地铁车辆牵引系统, 需要进行定子电阻的在线辨识, 消除温升引起的参数变化对速度辨识的影响[4-5]。图 4 是 $\bar{R}_s = 1.25R_s$ 时的仿真, 可见, 转速越低, 定子电阻偏差对速度辨识的影响越大。

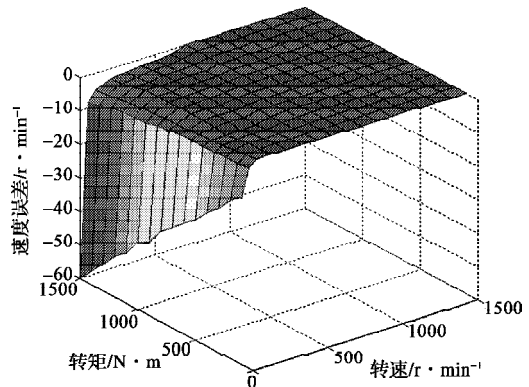


图 4 定子电阻对速度辨识影响