

基于 DSP 的无速度传感器控制系统研究

谭晓堃, 赵金宪

(黑龙江科技学院 电气与信息工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150027)

摘要: 为了实现快速准确地观测电机转速, 在直接转矩控制系统的基础上, 采用了基于电机转子磁链的 MRAS 速度辨识方法对系统进行速度估计, 并通过 DSP 实现无速度传感器的直接转矩控制。利用 Matlab 对系统进行仿真分析, 仿真结果表明, 该方案的设计方法正确可行。

关键词: 直接转矩控制; 速度估计; DSP; 无速度传感器

中图分类号: TP212

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)01-0065-02

Study of speed-sensorless direct torque control system based on DSP

Tan Xiaokun, Zhao Jinxian

(College of Electric and Information Engineering, Heilongjiang Institute of Science and Technology, Harbin 150027, China)

Abstract: In order to accurately observe the motor speed, this article based on the motor rotor flux of MRAS speed identification method for system speed estimation in DTC, and through DSP to achieve DTC without speed sensor. Using MATLAB to simulate system analysis, the simulation results show that the design method is correct and feasible.

Key words: DTC; speed estimation; DSP; speed sensorless

直接转矩控制技术由德国 M. Depenbrock 教授于 1985 年首次提出以其新颖的控制思想, 简洁的系统结构和优良的动静态性能已广泛应用于交流传动系统^[1]。通过转矩误差和磁链误差选取电压空间矢量, 优化控制电压型逆变器的开关状态, 方法简单并易于实现。

无速度传感器技术的发展始于传统带速度传感器控制系统, 它利用检测到的定子电压、电流等计算出与速度有关的量并进行速度估计, 从而取代速度传感器。无速度传感器技术不需要检测硬件, 提高了系统的可靠性, 并降低系统的成本, 因此最近几年无速度传感器技术一直是研究热点。

1 直接转矩控制(DTC)原理

根据电机转矩公式: $T_e = K_m |\bar{\psi}_s| |\bar{\psi}_r| \sin \theta_s$, 实际运行中转子磁链 $|\bar{\psi}_r|$ 的幅值主要由负载决定, 可以通过改变磁通角 θ_s 来改变转矩大小^[2]。由于转子磁链的转动速度保持不变, 因此可以调节定子磁链 $|\bar{\psi}_s|$ 的瞬时转动速度, 改变磁通角的大小, 从而实现电机转矩的控制。

2 无速度传感器系统的设计

目前研究无速度传感器电机转速的辨识方法有很多, 如模型参考自适应法(MRAS)、自适应速度观测器

法, 扩展卡尔曼滤波法及神经网络方法等。通过比较发现, 模型参考自适应速度辨识法比较适合直接转矩控制系统, 所以本文采用该方法进行速度辨识。

由电机数学模型可知, 电机转速与转子磁链的电压模型无关, 而与转子磁链的电流模型有关, 所以参考模型选择转子磁链电压模型, 而可调模型选择转子磁链电流模型^[3]。

辨识对象:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{\gamma\alpha} \\ \varphi_{\gamma\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1/\tau_\gamma & -\omega_\gamma \\ \omega_\gamma & -1/\tau_\gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_{\gamma\alpha} \\ \varphi_{\gamma\beta} \end{bmatrix} + \frac{L_m}{\tau_\gamma} \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, ψ_r 为转子磁链, $\varphi_{\gamma\alpha}$ 、 $\varphi_{\gamma\beta}$ 为转子磁链在 α 、 β 轴上的分量, $i_{s\alpha}$ 、 $i_{s\beta}$ 为定子电流在 α 、 β 轴上的分量, $\tau_\gamma = \frac{L_r}{R_r}$ 。

并联可调模型:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \hat{\varphi}_{\gamma\alpha} \\ \hat{\varphi}_{\gamma\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1/\tau_\gamma & -\hat{\omega}_\gamma \\ \hat{\omega}_\gamma & -1/\tau_\gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\varphi}_{\gamma\alpha} \\ \hat{\varphi}_{\gamma\beta} \end{bmatrix} + \frac{L_m}{\tau_\gamma} \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中式(2)中的转速 ω_γ 为需要辨识的量, 其他参数为不变量。

定义广义状态误差:

$$e = \psi_r - \hat{\psi}_r \quad (3)$$

技术与方法 Technique and Method

根据 Popov 超稳定性定理，可以推导出转速 $\hat{\omega}_r$ 的自适应律^[4]：

$$\hat{\omega}_r = \int_0^1 k_1 (\varphi_{\gamma\beta} \hat{\varphi}_{\gamma\alpha} - \varphi_{\gamma\alpha} \hat{\varphi}_{\gamma\beta}) d\tau + k_2 (\varphi_{\gamma\beta} \hat{\varphi}_{\gamma\alpha} - \varphi_{\gamma\alpha} \hat{\varphi}_{\gamma\beta}) + \hat{\omega}_r(0) \quad (4)$$

式中 $\hat{\varphi}_{\gamma\alpha}$ 、 $\hat{\varphi}_{\gamma\beta}$ 由转子磁链的电流模型即式(2)获得， $\varphi_{\gamma\alpha}$ 、 $\varphi_{\gamma\beta}$ 由转子磁链的电压模型获得，公式如下：

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \varphi_{\gamma\alpha} = \frac{L_r}{L_m} (U_{sc} - R_s i_{sc}) - L_\sigma \frac{d}{dt} i_{sc} \\ \frac{d}{dt} \varphi_{\gamma\beta} = \frac{L_r}{L_m} (U_{sb} - R_s i_{sb}) - L_\sigma \frac{d}{dt} i_{sb} \end{cases} \quad (5)$$

3 系统实现

系统的硬件设计部分采用 TMS320LF240 来实现智能速度控制，系统由主电路、控制电路、驱动隔离电路和保护电路等组成。主电路采用交-直-交的间接变频装置；逆变部分采用 IPM 功率模块来控制驱动电路；控制回路包括 DSP、LED 显示电路、键盘接口电路、电流检测电路、电压检测电路、电动机转速和位置检测电路等。为了防止加电瞬间冲击、过流、过压等故障损坏整流模块和 IPM 模块，系统在主电路设置了充、放电电阻和泄能回路。

系统软件部分由主程序和中断程序组成，主程序主要负责 DSP 初始化、速度环运算及故障诊断工作；中断程序主要负责 A/D 转换、电机转速辨识、转矩计算、磁链的幅值计算和位置判断等。

4 仿真结果分析

利用 Matlab/Simulink 对无速度传感器的直接转矩控制系统建立仿真模型，并对该模型进行仿真实验。如图 1

所示。实验电机参数为： $U_N=380\text{ V}$ ， $I_N=45.5\text{ A}$ ，定子磁链幅值 $|\bar{\psi}_s|=0.95\text{ Wb}$ ， $R_r=0.55\ \Omega$ ， $L_r=0.01\ 969\text{ H}$ ， $L_m=0.01\ 890\text{ H}$ ，电机极对数为 2，转速 $\omega_r = \begin{cases} 1\ 200\text{ rpm}(0\sim 0.15\text{ s}) \\ 400\text{ rpm}(0.15\sim 0.3\text{ s}) \end{cases}$ ，负载转矩 $T_L = \begin{cases} 50\text{ Nm}(0\sim 0.2\text{ s}) \\ 30\text{ Nm}(0.2\sim 0.3\text{ s}) \end{cases}$ 。仿真得到的定子磁链响应曲线、转速误差、输出转矩如图 2~图 4 所示。

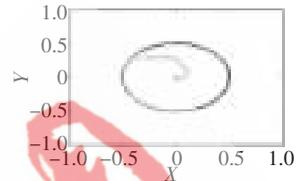


图 2 定子磁链响应曲线



图 3 转速误差

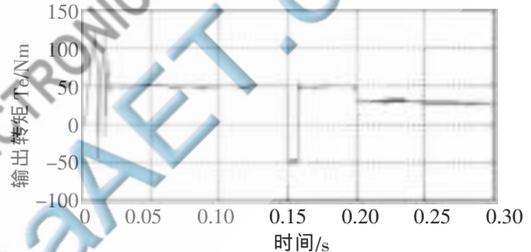


图 4 直接转矩控制系统的输出转矩

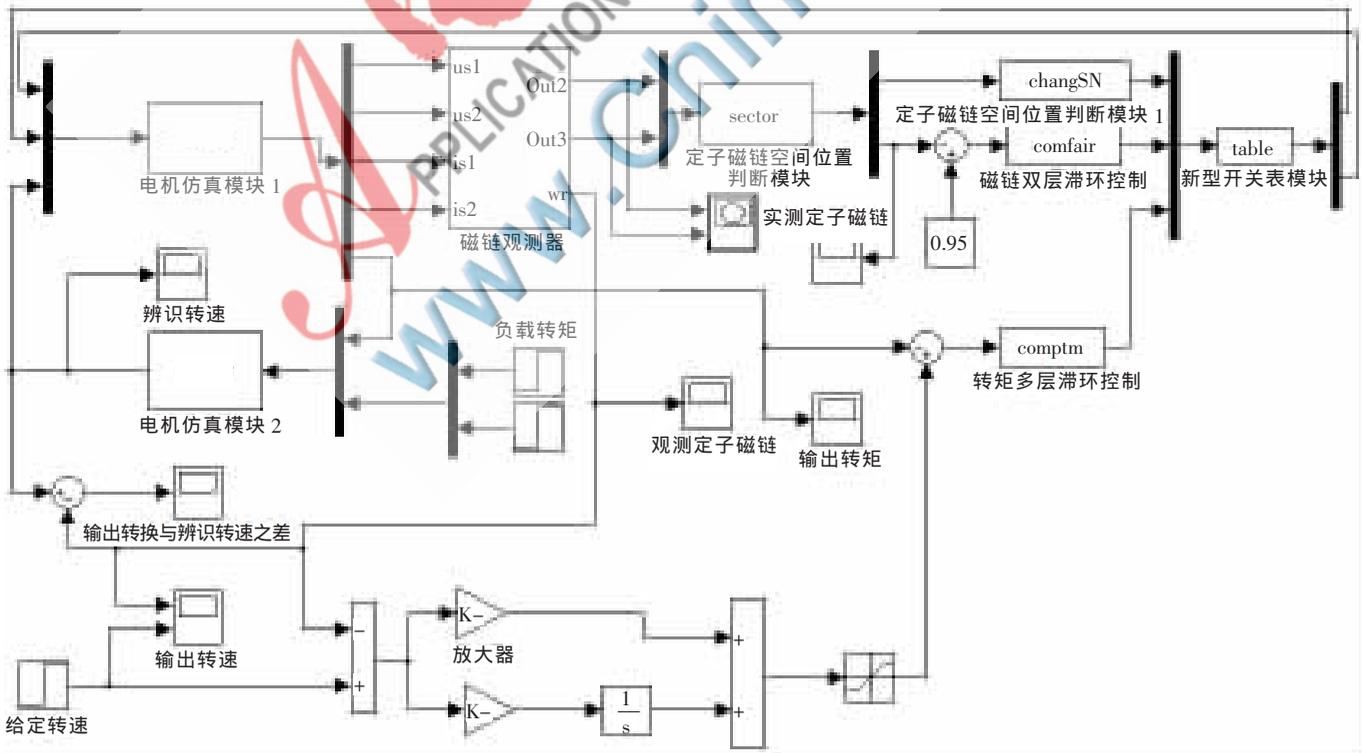


图 1 无速度传感器直接转矩控制系统的仿真模型结构图

通过结果可以看出,采用模型参考自适应速度辨识法的直接转矩控制定子磁链观测精度高,输出转速比较稳定,转矩启动速度快且脉动小,在额定转速和较大负载输出时转速误差较小,辨识速度能够很好地跟踪电机实际输出转速。

本文在直接转矩控制系统的基础上,对系统进行了无速度传感器技术的研究,采用了基于电机转子磁链的MRAS速度辨识方法对系统进行速度估计,并通过DSP实现无速度传感器的直接转矩控制。从仿真结果可以看出,该系统具有较好的性能,且具有较大的实用性。

参考文献

[1] 王成元,夏加宽,等.电机现代控制技术[M].北京:机械

工业出版社,2007.

[2] VAS P. Sensorless vector and direct torque control[M]. New York: Oxford University Press,1998.

[3] 姬志艳,李永东,司保军,等.无速度传感器异步电动机直接转矩控制系统的研究[J].电工技术学报,1997(8).

[4] 毛明平,陶生桂,袁登科,等.基于Matlab的无速度传感器直接转矩控制策略比较[J].同济大学学报,2002(11).

(收稿日期:2012-10-19)

作者简介:

谭晓堃,女,1986年生,硕士研究生,主要研究方向:智能控制与智能自动化。

电子技术应用网
APPLICATION OF ELECTRONIC TECHNIQUE
www.ChinaAET.com