

DOI:10.3969/j.issn.1003-0972.2017.02.023

刮板输送机变频驱动控制策略研究

王旭启^{1*}, 杜振华²

(1.中国矿业大学(北京)机电与信息工程学院,北京 100083;

2.中兴通讯股份有限公司西安研究中心,陕西 西安 710014)

摘要:针对传统直接转矩控制系统的不足,提出了一种基于空间矢量脉宽调制(Space Vector Pulse Width Modulation, SVPWM)的直接转矩控制方法,并将其应用在刮板输送机变频驱动中.研究了刮板输送机传动系统的构成和负载特性,对直接转矩控制技术的基础理论进行了分析,对其低速转矩脉冲大的原因进行了详细的研究,构建了基于SVPWM的直接转矩控制系统模型,利用Simulink对此模型进行了仿真.仿真结果表明,采用SVPWM技术能够弥补直接转矩控制系统下低速转矩脉冲大的缺陷.

关键词:变频驱动;刮板输送机;空间矢量脉宽调制;直接转矩控制

中图分类号: TD528.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-0972(2017)02-0283-04

Control Strategy of Variable Frequency Drive for Scraper Conveyor

WANG Xuqi^{1*}, DU Zhenhua²

(1.School of Mechanical Electronic and Information Technology,

China University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083,China;

2.Xi'an Research Center of ZTE, Xi'an 710014,China)

Abstract: To solve the problems in traditional direct torque control system, a direct torque control method based on Space Vector Pulse Width Modulation(SVPWM) was proposed and was applied to variable frequency driver of the scraper conveyor. The structure and load characteristics of scraper conveyor driver system were studied. The basic theory of direct torque control was described. The reasons of its low speed torque pulse were studied in details. The model of direct torque control system based on SVPWM was built, and the model was simulated by Simulink. The simulation results showed that the SVPWM technology could make up the defects of low speed torque pulse in the direct torque control system.

Key words: variable frequency driver; scraper conveyor; SVPWM; direct torque control

0 引言

刮板输送机是现代化综采工作面成套设备的核心设备之一,它的作用主要有运煤、作为液压支架的推移支点以及作为采煤机的运行轨道等.基于现代综采设备的需要,刮板输送机采用变频驱动方式,目前变频控制理论技术包括矢量控制、V/F控制和直接转矩控制.

矢量控制可以使交流变频调试具有良好的动态性能,但其在处理异步电动机非线性问题时,具有计算量大、受转子参数影响大和坐标变换烦琐等缺点,限制了矢量控制的推广应用^[1].V/F控制具

有负载波动对速度影响小、变频控制与对象参数无关等优点,但其不具备转矩控制功能,电动机的输出转矩随着频率的降低而下降,达不到工作要求^[2].直接转矩控制可以弥补矢量控制应用的缺陷,它可以直接对转矩进行控制,效果明显,但其具有低速脉冲大的缺陷^[3].

本文首先对刮板输送机的负载特性进行了阐述,同时分析了直接转矩控制技术的基础理论,然后深入研究了传统直接转矩控制系统下低速转矩脉冲大的原因,提出一种基于空间矢量脉宽调制(Space Vector Pulse Width Modulation, SVPWM)的直接转矩控制方法,并将其应用在刮板输

收稿日期:2016-08-12;修订日期:2017-02-09; *通信联系人, E-mail: tbp150405032@student.cumtb.edu.cn

基金项目:国家自然科学基金项目(51674269)

作者简介:王旭启(1976—),男,陕西西安人,副教授,博士,主要从事模式识别、计算机网络研究.

送机变频驱动中,在此基础上构建了基于 SVPWM 的直接转矩控制系统模型,并使用 Simulink 仿真工具对所建立的模型进行了仿真实验。

1 刮板输送机变频驱动系统

大功率刮板输送机的传动系统构成如图 1 所示,主要由电机、液力耦合器、减速器、刮板链和链轮轴等构成^[4],刮板链作为刮板输送机的牵引装置安装在承载槽的槽面,刮板输送机的工作过程是由电机经液力耦合器和减速器将功率传递给链轮轴系统,再由该系统带动封闭的刮板链条在承载槽中进行循环运转,从而完成运、卸煤炭的工作。

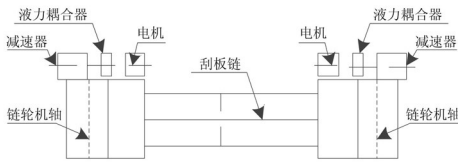


图 1 刮板输送机驱动系统的构成

Fig. 1 The structure of drive system of scraper conveyor

刮板输送机采用变频驱动不仅可以使刮板输送机在实际运行中根据运煤量来调节运行速度,实现节能,而且可以实现电气软启动控制,具有良好的调速性能。

2 直接转矩控制的原理和缺陷

刮板输送机从负载特性看属于恒转矩负载类型,但其又与普通的恒转矩负载不同,这是因为它自身结构的差异和所处的工作环境造成的,因此,选择何种控制技术对刮板输送机变频驱动来说就显得十分重要。刮板输送机在启动时需要较大的转矩,而且它是在低速状态下运行的,其对转矩的反应灵敏度是非常高的,所以刮板输送机变频驱动的控制技术采用直接转矩控制技术。

直接转矩控制技术^[5]的本质是将电动机和逆变器视作一体,从而实现电动机运行性能和逆变器的控制模式相统一。具体地,当对称三相正弦电压通入到异步电动机,并作用于电动机的对称三相定子绕组时,会在电动机的气隙中产生一个具有恒定旋转速度、恒定幅值的磁通,电动机运行于定子磁链下并处于理想的运行状态,此时,输入的三相正弦电压控制定子磁链,并影响着电动机的运行。三相逆变器输出电压给电动机,而输入电压的质量是由三相逆变器所使用的电力电子器件的切换模式

所决定的,所以输入电压的好坏决定电动机的运行性能。因此,建立磁链和逆变器切换模式之间的关系,选择合适的逆变器切换模式可使电动机获得一个近似圆形的磁场,电动机就能理想运行。

直接转矩控制理论有很多优点,例如计算简便、参数鲁棒性好、动态响应快以及控制结构相对简单等。但也有许多不完善的地方,主要表现在其低速时转矩脉冲大,逆变器同一相上、下两桥臂的开关器件同时导通而引起直流侧电源短路,产生较大的互锁延时,并产生了死区效应,而死区效应积累的误差使得逆变器输出电压失真,进而导致电流失真,加剧脉冲和系统不稳定的问题^[6]。

3 基于 SVPWM 的直接转矩控制系统

SVPWM 控制技术的原理是当对称三相正弦电压通入到电动机,并作用于电动机的对称三相定子绕组时,将定子理想磁链圆作为参考标准,适当地切换三相逆变器不同开关模式,以此产生 PWM 波,根据生成的实际磁链矢量来追踪其准确磁链圆,来达到对电动机转速精准控制的目的^[7,8]。

3.1 基于 SVPWM 的直接转矩控制原理

在基于 SVPWM 的直接转矩控制系统中,使用 SVPWM 模块代替磁链、转矩滞环比较器以及电压空间矢量的开关表。在 SVPWM 模块下,逆变器输出的电压矢量使电动机的磁链趋近于圆形,旋转转矩平稳、谐波输出量小、便于控制和计算以及直流电压利用率高。

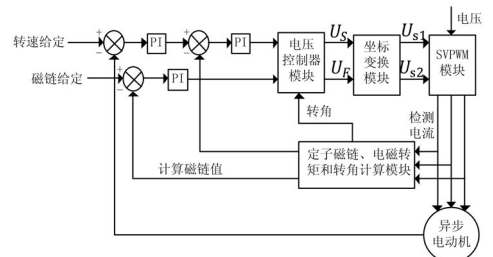


图 2 基于 SVPWM 的直接转矩控制原理图

Fig. 2 Principle diagram of direct torque control based on SVPWM

基于 SVPWM 的直接转矩控制原理如图 2 所示,其控制过程为转速给定和磁链给定信号经 PI 调节后加至电压控制模块,然后得到定子电压参考分量 U_s 和 U_F ,经坐标变换模块后得到 U_{s1} 和 U_{s2} , U_{s1} 和 U_{s2} 经过 SVPWM 模块实现对逆变器开关的控制,以此实现对直接转矩的控制。其中电压控制器模块起到实时检测转速、磁链和转矩误差额的作用。

用,经PI调节后得到定子电压参考分量 U_s 和 U_F ; 坐标变换模块的坐标变换公式为:

$$\begin{cases} U_{s1} = U_s \cos \theta - U_F \sin \theta, \\ U_{s2} = U_s \sin \theta - U_F \cos \theta. \end{cases} \quad (1)$$

3.2 仿真实验与分析

采用 Simulink 仿真方法对基于 SVPWM 的直接转矩控制系统进行辅助设计和优化设计,对高性能的变频调速系统具有工程实用价值.刮板输送机所使用的 YBS-90 型电动机的参数为:额定功率为 90 kW,额定电压为 1140 V,额定电流为 57.3 A,额定转速为 1475 r/min,变频驱动功率为 110 kW.在反 S 形速度曲线下重载起动,起动时间为 3

~5 s,电动机所需的最大转矩为

$$T_{\max} \approx \frac{9550P}{n_e} \quad (\text{N} \cdot \text{m}), \quad (2)$$

式(2)中: P 为变频驱动功率, n_e 为电动机的额定转速.

由此,根据式(2)可以得到 $T_{\max} \approx 9550 \times 110/1475 \approx 712(\text{N} \cdot \text{m})$.在基于 SVPWM 的直接转矩控制系统中对刮板输送机恒转矩负载进行仿真,仿真时间设定为 10 s,对电动机进行满载起动,经过大约 3 s 的起动时间,电动机的转速最终稳定在 1475 r/min,得到转矩波形、转速波形、磁链矢量波形和 A 相电流波形的仿真图如图 3 所示.

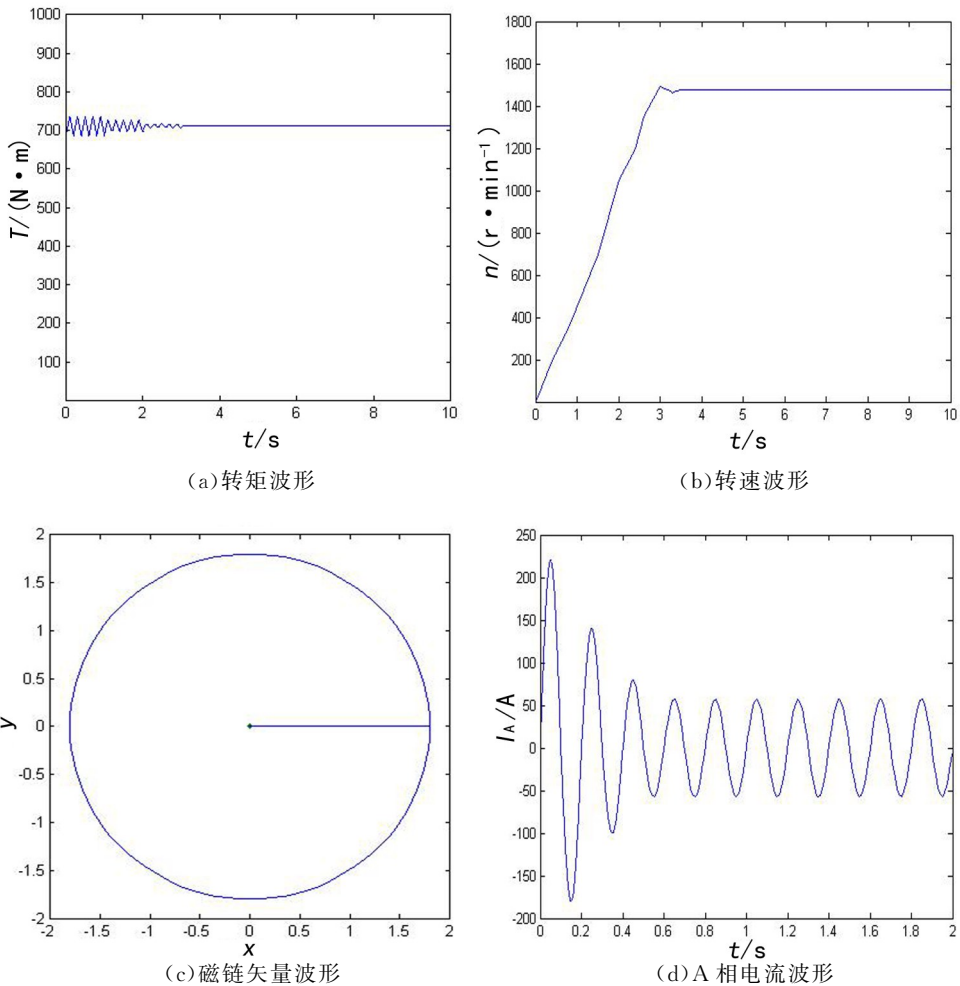


图 3 刮板输送机恒转矩负载仿真波形

Fig. 3 Constant torque load simulation waveform of scraper conveyor

从图 3(a)转矩波形中可以看出,电动机在启动过程中转矩上下波动,但波动的范围上下不超过 $25 \text{ N} \cdot \text{m}$;图 3(b)的转速波形中,电动机在启动的过程中不够光滑,达到稳定所用的时间略长;图 3(c)的磁链矢量波形趋近于圆形;图 3(d)中 A 相电

流波形在电动机启动有瞬间的冲击电流并很快回落到正常.这充分说明采用 SVPWM 技术可以很好地弥补直接转矩控制系统下低速转矩脉冲大的缺陷,应用到刮板输送机变频驱动中是有效的、可行的.

4 结论

在刮板输送机变频驱动系统中,采用了基于SVPWM的直接转矩控制方法,使用Simulink进行了仿真实验.通过实验结果可以得出该方法在保持直接转矩控制快速的转矩动态响应的基础上,使

系统具有快速、准确的速度跟踪能力,具有良好的动态性能,验证了该控制方法的有效性和可行性.以往的理论研究具有低转速转矩脉冲大的问题,该方法有效地抑制了转矩脉动,使系统具有更强的抗干扰性能,并对高性能的变频调速系统具有工程实用价值.

参考文献:

- [1] GADOUE S M, GIAOURIS D, FINCH J W. Artificial intelligence-based speed control of DTC induction motor drives-A comparative study[J]. *Electric Power Systems Research*, 2009, 79(1):210-219.
- [2] 李小凡. 刮板输送机变频驱动控制系统的研究[D]. 太原:太原理工大学, 2013.
LI Xiaofan. The scraper conveyor variable frequency drive control system[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2013.
- [3] 邹超. 基于DSP的异步电动机直接转矩控制的研究[D]. 大连:大连海事大学, 2016.
ZOU Chao. The research on direct torque control of asynchronous motor based on DSP[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2016.
- [4] 高小强, 杜福银, 蔡爱国. 变频驱动刮板输送机负载特性及调速的智能控制策略研究[J]. *矿山机械*, 2011, 39(11): 12-16.
GAO Xiaoqiang, DU Fuyin, CAI Aiguo. Study on load characteristic and intelligent speed control strategy of VFD scraper conveyor[J]. *Mining & Processing Equipment*, 2011, 39(11):12-16.
- [5] 卢秉娟, 姬宣德, 葛运旺. 一种改进的异步电动机直接转矩控制方法[J]. *工矿自动化*, 2014, 40(8):49-53.
LU Bingjuan, JI Xuande, GE Yunwang. An improved method of direct torque control of induction motor[J]. *Industry and Mine Automation*, 2014, 40(8):49-53.
- [6] 戴彦. 电动汽车永磁同步电机直接转矩控制策略研究[J]. *机械设计与制造*, 2016 (4):102-106.
DAI Yan. A direct torque control strategy for permanent magnet synchronous motor drive used in electric vehicle[J]. *Machinery Design & Manufacture*, 2016 (4):102-106.
- [7] 李聪, 王大卫, 黄真, 等. 基于SVPWM的单相电机变频调速系统研究[J]. *科学技术与工程*, 2013, 13 (3):600-605.
LI Cong, WANG Dawei, HUANG Zhen, et al. Study on frequency control of single-phase motor speed system based on SVPWM[J]. *Science Technology and Engineering*, 2013, 13 (3):600-605.
- [8] 李瑞琴, 郑先成, 白勇. 基于Saber的SVPWM逆变器控制仿真[J]. *现代电子技术*, 2011, 34(16):203-206.
LI Ruiqin, ZHENG Xiancheng, BAI Yong. Simulation of SVPWM inverter control based on saber[J]. *Modern Electronics Technique*, 2011, 34(16):203-206.

责任编辑:任长江