

文章编号:1003-6199(2008)04-0040-04

基于三电平逆变器的直接转矩控制研究

姚哲之, 易灵芝, 彭寒梅, 符溪

(湘潭大学 信息工程学院, 湖南 湘潭 411105)

摘要:研究异步电动机直接转矩控制调速系统的基本组成和工作原理, 提出三电平逆变器的直接转矩控制的方案。直接转矩控制系统采用结构简单, 受参数影响小的 $u-i$ 模型作为磁链观测模型, 提高了定子磁链观测的精确度。通过 MATLAB/SIMULINK 构建仿真模型, 结果表明 DTC 系统具有动态响应速度快、精度高、易于实现等特点, 仿真实验验证在该模型下的三电平逆变器直接转矩控制有良好动静性能。

关键词:三电平; 异步电机; 直接转矩控制; 仿真

中图分类号: TM464

文献标识码: A

Study Based on the Three-level Inverter for DTC

YAO Zhe-zhi, YI Ling-zhi, PENG Han-mei, FU Xi

(College of Information Engineering, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China)

Abstract: This paper studies the basic structure and the working principle of the DTC system of asynchronous motor, proposes three-level inverter direct torque control programmers. A model of simple structure and less impact of parameters is used in direct torque control system, which improve the precision of the stator flux observer. Through MATLAB/SIMULINK, a simulation model was built, the results show that the DTC system offers a faster response speed, a higher precision, an easier realization, and so on. The good static and dynamic condition characteristic of the three-level inverter direct torque control is confirmed by simulation.

Key words: Three-level; asynchronous motor; direct torque control; simulation

1 引言

异步电机直接转矩控制技术是继矢量控制技术之后, 迅速发展起来的一种新型的交流调速传动的控制技术。

直接转矩控制的思路是基于定子磁链和电机转矩两者的变化趋势连同定子磁链所处的扇区信号对电压型逆变器可能提供的电压空间矢量进行择优选取, 而三电平逆变器可以输出的有效电压矢量有 19 种, 远多于二电平逆变器(8 种), 所以如何能够把三电平逆变器与直接转矩控制技术结合起来, 如何从中选择出合适的电压矢量, 既能够充分发挥三电平逆变器的输出能力, 又能够将直接转矩控制技术的特点充分发挥出来是交流传动领域一

项比较有应用前途的技术。本文将对三电平逆变器直接转矩控制的基本原理进行分析, 并在 MATLAB 仿真平台上, 通过 SIMULINK 构建系统仿真模型, 对三电平逆变器的控制方法进行研究。

2 三电平直接转矩控制原理

2.1 直接转矩控制系统的基本原理

基于三电平逆变器的直接转矩控制系统结构如图 1 所示, 它包括转矩控制环节和磁链控制环节等, 通过内环磁链滞环控制, 结合外环转矩滞环控制, 选择出合适的电压空间矢量来调节异步电动机的定子磁链, 并通过定子磁链的前进或停止来控制转矩, 使它加速跟踪给定信号, 同时通过对定子磁链形状的控制来选择合适的开关状态, 产生合适的

收稿日期: 2008-09-10

基金项目: 湖南省自然科学基金(08JJ6029); 湖南省学位与研究生教育项目(06A09, 06IND6)

作者简介: 姚哲之(1985-), 男, 湖南湘阴人, 硕士研究生, 研究方向: 电力电子与电力传动(E-mail: yaozhezhi333@yahoo.com.cn); 易灵芝(1966-), 女, 湖南宁乡人, 教授, 研究方向: 交流调速与电力电子装置、电力系统通信。

信号,控制开关器件的导通和关断,实现变频调速。

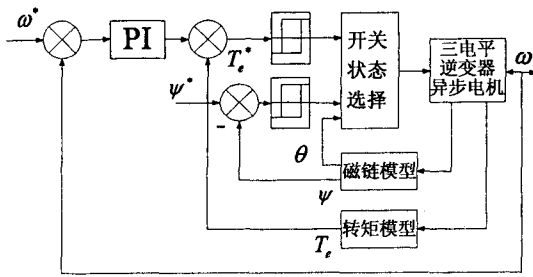


图 1 基于三电平逆变器的直接转矩控制系统框图

2.2 三电平空间矢量及逆变器拓扑结构

二极管中点钳位型三电平逆变器的拓扑结构如图 2 所示,中点钳位型三电平逆变器的每相桥臂能够输出 P(正)、O(零)、N(负)三种状态,可以得到 27 个不同的输出状态,即 27 种电压空间矢量,其分布图如图 3 所示。其中共有 19 种不同的空间电压矢量:3 个零矢量、12 个小矢量、6 个中矢量、6 个大矢量,矢量分配见表 1。在三电平逆变器电路中,无论相电平还是线电平跳变都应限制在直流母线电压的一半以内。为避免开关器件的串联使用,每相开关的动作只能跳变一个电平,即从 N 到 O、O 到 P、P 到 N,或者反之。由于三电平逆变器的矢量数为 27,远大于二电平逆变器的矢量数 8,因此适量选择范围大得多,能够更好地逼近正弦磁通,使电机获得更好的性能。

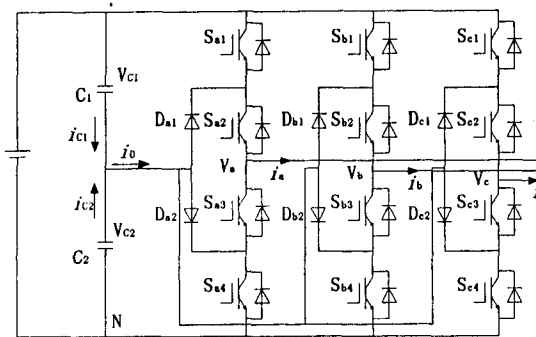


图 2 三电平逆变器的拓扑结构

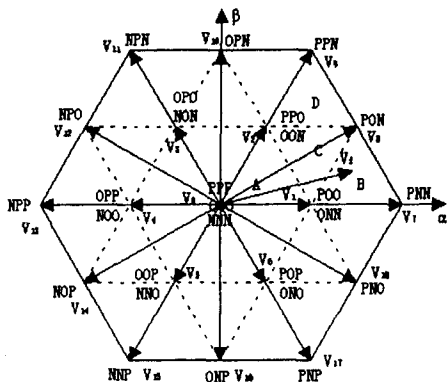


图 3 三电平空间矢量图

表 1 空间电压矢量分类

矢量类型	空间电压矢量
长矢量	PNN, PPN, NPN, NPP, NNP, PNP
中矢量	PON, OPN, NPO, NOP, ONP, PNO
短矢量	POO, ONN, PPO, OON, OPO, NON OPP, NOO, OOP, NNO, POP, ONO
零矢量	PPP, OOO, NNN

2.3 转矩与磁链调节器

和两电平逆变器一样,三电平逆变器的电压空间矢量的选择仍然要满足直接转矩控制系统对定子磁链和电磁转矩的要求。异步电动机的磁链观测模型主要有 3 种模型,即 $u-i$ (电压-电流)模型、 $i-n$ (电流-转速)模型、 $u-n$ (电压-转速)模型 3 种,由于用 $u-i$ 模型来确定异步电动机的定子磁链的方法有一个优点,就是在计算过程中唯一所需要了解的电动机参数是易于确定的定子电阻 R_s 。式(1)中的定子电压 u_s 和定子电流 i_s 同样也是易于确定的物理量,它们能以足够的精度被检测出来,模型结构简单,本仿真采用这种磁链观测模型,结构见图 4。 $u-i$ 磁链模型可以表示为:

$$\psi_s(t) = \int (u_s(t) - i_s(t)R_s) dt \quad (1)$$

若忽略定子电阻压降的影响,则

$$\psi_s(t) \approx \int u_s(t) dt \quad (2)$$

根据定子电流、定子磁链,电磁转矩观测器模型可表示为

$$T_e = \frac{3}{2} p_n (\psi_{sa} I_{s\beta} - \psi_{s\beta} I_{sa}) \quad (3)$$

定子磁链的幅值和角位置分别为:

$$|\psi_s| = \sqrt{\psi_{sa}^2 + \psi_{s\beta}^2} \quad (4)$$

$$\theta = \arctan(\psi_{sa} / \psi_{s\beta}) \quad (5)$$

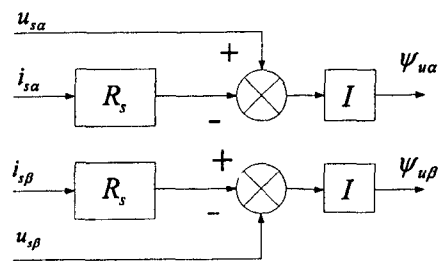


图 4 异步电动机定子磁链观测模型(u-i模型)

磁链调节器的结构实际上也是施密特触发器,对磁链幅值进行两点式调节,容差宽度为 $\pm \epsilon_\psi$,它是定子磁链幅值对于给定值所允许的波动宽度如图 5,转矩调节的任务是实现直接对转矩的控制,使定子磁链空间矢量在旋转的过程中,其幅值保持在以给定值为基

准,以 $\pm \epsilon_m$ 为容差限的范围内波动。转矩调节器采用施密特触发器,其容差为 $\pm \epsilon_m$,如图6。

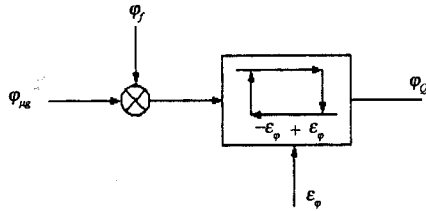


图5 磁链调节器模型

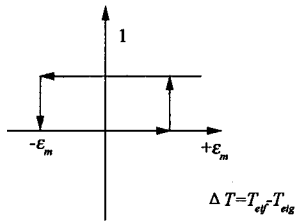


图6 转矩调节器模型

3 系统仿真

由式(1)(2)(4)(5)得如图7所示的定子磁链控制模型,磁链控制采用两点式控制,将通过式(4)计算出的磁链幅值与参考值相比较,即可得到定子磁链滞环调节信号。

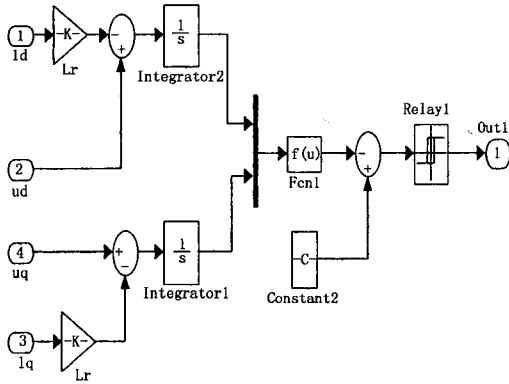


图7 定子磁链控制仿真模型

由式(3)可得如图8所示的电机转矩控制模型,转矩滞环调节采用三点式转矩调节器,转矩参考值 T_e^* 由参考转速 W^* 与实际转速 W 的偏差经过PI调节后得到,然后与 T_e 进行比较,就可以得到转矩滞环调节信号。

磁链幅值区域判定与逆变器开关状态选择函数模块主要采用S函数,通过S函数实现扇区的判断和电压矢量的选择,并向逆变器输入开关信号,见图9。

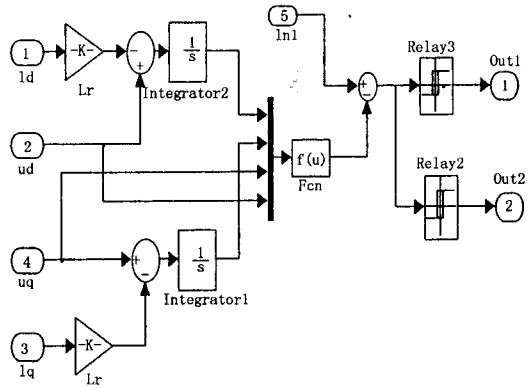


图8 电机转矩控制仿真模型

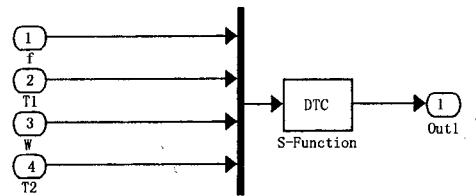


图9 磁链区域判定与开关状态选择模型

通过构建的子模型,得到定子磁链调节信号、转矩调节信号、以及定子磁链位置信号,依据直接转矩理论中的定子电压矢量作用原理,可以得到控制逆变器的控制信号,依据各个子模型和三电平逆变器的开关信号,在MATLAB/SIMULINK仿真平台上,搭建了基于三电平逆变器的异步电动机直接转矩控制系统的仿真模型,见图10。

4 仿真结果与分析

在MATLAB/SIMULINK软件仿真平台上,采用上述控制策略对三基于三电平逆变器的直接转矩控制系统仿真模型进行仿真实验。仿真所用的异步电动机参数如下:额定功率为2.2KW,额定电压为380V,额定转速为1000r/min,极对数2,转动惯量为0.08,定子电阻为0.4452,转子电阻为0.8252,定子电感为2.5mH,转子电感为2.5mH,定转子互感为65.87mH,频率为工频50Hz,取摩擦系数为0。仿真实验所用给定量如下:给定直流电压为2个200V,给定磁链容差为0.002WB,给定磁通为0.2772WB,给定转矩容差为0.2N·M和0.4N·M。图11为MATLAB仿真结果,图11(1)是三相定子磁链电流波形,图11(2)是电机转矩波形,图11(3)是给定转速为1000 r/min时的转速波形,图11(4)是定子电机磁链波形,图11(5)是给定转矩突变时的转矩波形。

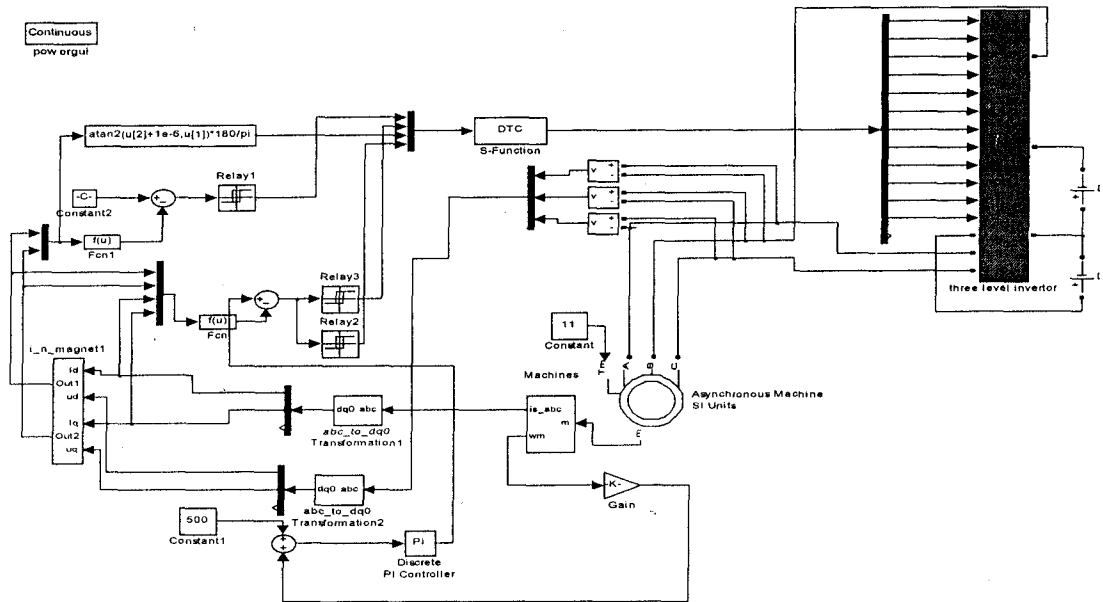


图 10 基于三电平逆变器的直接转矩控制系统仿真模型

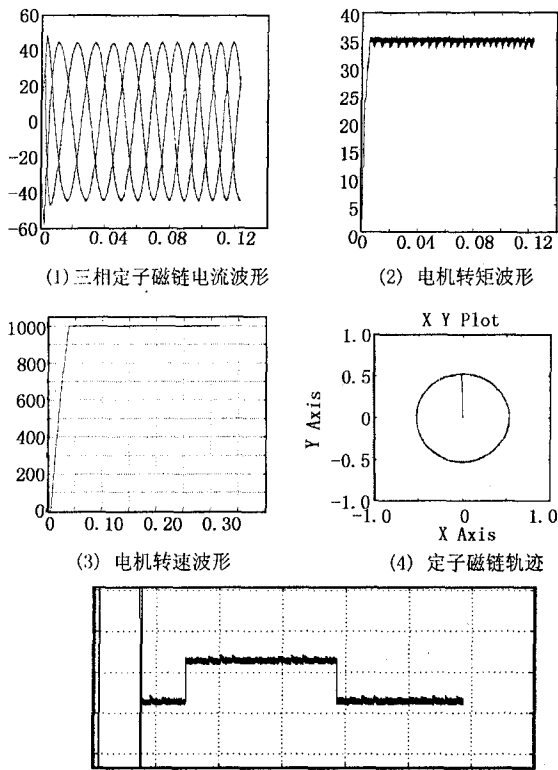


图 11 系统仿真波形图

从图 11(1)可以明显的看到定子电流波形近似于正弦波。在启动时,异步电动机的启动电流比较大,但随着电机转速的提高,电流的幅值逐渐减小,并随着转速一起达到稳定状态。由图 11(4)仿真结果可知在磁链达到给定值后,由于磁链滞环的作用,近似圆形的定子磁链在设定的磁链给定值上下波动,使定子磁链幅值始终保持在一一定的偏差范围内,圆形轨迹的半径为 1.5WB,形成圆形磁链轨迹。总之,从仿真结果来看,采用本文中所设计的

控制策略进行的直接转矩仿真,所得到的系统的动静态特性都很优良,与理论分析的结果基本吻合。

5 结论

通过仿真对所提出的三电平直接转矩控制算法进行了验证。从仿真结果来看,采用本文中所设计的控制策略进行的基于三电平逆变器的异步电机直接转矩控制仿真,所得到的系统具有优良的动静态特性。

参考文献

- [1] 李夙. 异步电动机直接转矩控制[M]. 北京:机械工业出版社, 1999. 27-32.
- [2] 唐广迪, 梅柏杉, 朱建林, 易灵芝. 一种新型直接转矩控制方法的仿真研究[J]. 湘潭大学自然科学学报. 2003, 25(2): 95-98.
- [3] 朱建林, 陈才学, 易灵芝, 郭有贵, 谭平安. 基于矩阵变换器的异步电机直接转矩控制[J]. 电气传动. 2007 37(8): 20-25.
- [4] Udayar Senthil. Hybrid space vector pulse width modulation based direct torque controlled induction motor drive[J]. IEEE 34th Annual Conference 2003, 3(4): 15-19.
- [5] 庄朝晖, 熊有伦. 一种简单的三电平逆变器 PWM 控制算法[J]. 电工技术学报. 2001, 16(2): 47-48.
- [6] WANG Gen-ping, YI Ling-zhi, ZOU Xiao, HE Su feng, LI Ming. The Design of Constant Frequency Hysteresis Current Controller with Voltage Space Vector in PV grid-connected Inverter[C]. The 6th International Conference on Electromagnetic Field Problems and Applications. IEEE ICEF 2008: 26-28 April 2008. Chongqing, China.
- [7] 何素芬, 易灵芝, 邹晓, 谢高生. 应用于风力发电的基于神经网络的 SVPWM 逆变器[C]. CTATEE '07: 549-554.
- [8] 邓文浪, 杨欣荣, 朱建林, 易灵芝. 18 开关双级矩阵变换器的空间矢量调制策略及其仿真研究[J]. 中国机电工程学报. 2005, 25(15): 84-90.
- [9] 李志勇, 朱建林, 易灵芝, 丁伟, 谭平安. 空间矢量调制的矩阵变换器仿真模型的研究[J]. 中国机电工程学报. 2003, 23(2): 80-88.