

# 三电平逆变器 SVPWM 调速控制系统的研究

袁晓青

(国投新集能源股份有限公司 新集二矿, 安徽 淮南 232181)

摘要:为了研究三电平逆变器在高压大容量电机变频调速中的应用,详细分析了三电平逆变器的开关模型和拓扑结构,得到了在三电平逆变器供电下异步电机调速系统的数学模型,提出了一种以空间矢量脉宽调制实现对逆变桥控制的方法。仿真表明,该方法可以有效地实现三电平空间矢量控制,实现高性能异步电机调速控制。

关键词:空间矢量脉宽调制;三电平逆变器;变频调速

中图分类号:TM464

文献标识码:A

文章编号:1008-8725(2008)11-0027-03

## Study on the Three-level SVPWM Inverter Controlled Speed-regulation System

YUAN Xiao-qing

(Xinji No.2 Coal Mine, State-own Xinji Energy Co.Ltd, Huainan 232181, China)

Abstract: In order to study three-level inverters using in high voltage, high power motors drive applications, the switch model and topological were analyzed in detail, the mathematic model of the asynchronous motor was presented, then a method that SVPWM control convert bridge was proposed. The simulation results indicate that the method can effectively realize three-level SVPWM control and high performance speed-regulation of asynchronous motor.

Key words: space vector pulse-width modulation(SVPWM); three-level inverters; frequency control

### 0 前言

多电平变换器相对传统的两电平变换器具有很多优势,其最重要的应用领域之一就是高压大容量电机的变频调速,因为采用这种调速技术后,可以实现节约大量能源、提高生产效率的目的。二极管中点箝位型 NPC(Neutral Point Clamped)结构是出现较早、应用场合较多的一种多电平拓扑结构,本研究就讨论针对这种拓扑结构的三电平逆变器。

### 1 拓扑结构和开关模型

三电平 NPC 逆变器电路的基本拓扑结构,如图 1 所示。

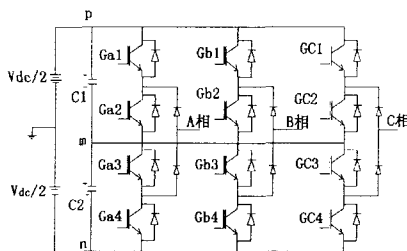


图 1 电平 NPC 逆变电路基本拓扑

电路有三相,每相由 4 个 IGBT、4 个续流二极管和 2 个箝位二极管组成,每相可看作 1 个桥臂。本研究着重讨论其开关模型。

开关模型是一种变拓扑的模型,忽略了器件的导通时间、导通损耗和压降等次要因素,把器件看作一个理想开关,开关的关断可控,这样可以大大简化

系统仿真的运算量,一般用于小系统的仿真中。在一般情况下,一个桥臂只有 3 种输出状态,因此可能将桥臂简化为单刀三掷开关,从而得到逆变器电路的开关模型,如图 2 所示。

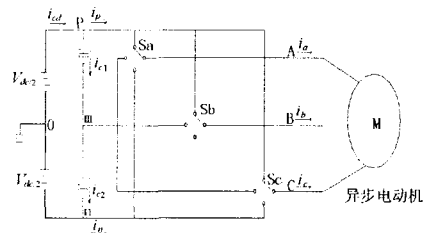


图 2 三电平 NPC 逆变电路开关模型

由图 2 可知,当开关  $T_{ij}$  连接点  $p$  和  $a$  时,  $V_{ao} = V_{po}$ 。同理可得,  $P$  与  $b$  或者与  $c$  相连接时,  $V_{ao} = V_{mo}$  或者  $V_{no}$ 。故可定义变量  $T_{ij}$  代表各桥臂的拓扑状态(即开关的通/断状态)。当节点  $i$  与  $j$  相连时,  $T_{ij} = 0$ ; 否则  $T_{ij} = 1$ 。其中  $i$  为  $a, b, c$  其中之一,  $j$  为  $p, m, n$  之一。这样各个节点的电压之间关系就可以表达如式(1):

$$\begin{bmatrix} I_{ao} \\ I_{bo} \\ I_{co} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{ap} & T_{am} & T_{an} \\ T_{bp} & T_{bm} & T_{bn} \\ T_{cp} & T_{cm} & T_{cn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

可以定义开关函数矩阵  $T = \begin{bmatrix} T_{ap} & T_{am} & T_{an} \\ T_{bp} & T_{bm} & T_{bn} \\ T_{cp} & T_{cm} & T_{cn} \end{bmatrix}$

收稿日期:2008-07-09;修订日期:2008-09-01

作者简介:袁晓青(1973-),男,湖南邵阳人,助理工程师,现在国投新集能源股份有限公司新集二矿从事煤矿机电技术工作。

则式(1)可表示为:

$$[V_{ao} \ V_{bo} \ V_{co}]^T = T[V_{po} \ V_{no} \ V_{no}]^T \quad (2)$$

## 2 异步电动机数学模型

逆变器和异步电动机作为一个整体来建立数学模型。基于以下3点假设:

- (1)电机定、转子三相绕组完全对称;
- (2)忽略磁饱和、涡流和铁芯损耗;
- (3)无齿槽效应,每相气隙在空间呈正弦分布。

可得到静止坐标系下的异步电动机动态方程如下:

$$\begin{bmatrix} v_{so} \\ v_{sp} \\ v_{ro} \\ v_{rp} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{so} \\ i_{sp} \\ i_{ro} \\ i_{rp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_s & 0 & L_m p & 0 \\ 0 & R_s + L_s R & 0 & L_m p \\ L_m p & \omega L_m & R_r + L_r p & \omega L_r \\ -\omega L_m & L_m p & -\omega L_r & R_r + L_r p \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$A = \begin{bmatrix} -\lambda R_s L_r & \omega \lambda L_m^2 & \lambda R_r L_m & \omega \lambda L_r L_m & \lambda \frac{\sqrt{6} L_r A_m}{3} \\ -\omega \lambda L_m^2 & -\lambda R_s L_r & -\omega \lambda L_r L_m & \lambda R_r L_m & \lambda \frac{\sqrt{2} L_r (A_m + 2B_m)}{3} \\ \lambda R_s L_m & -\omega \lambda L_s L_m & \lambda R_r L_s & \omega \lambda L_r L_s & \lambda \frac{\sqrt{6} L_r A_m}{3} \\ -\omega \lambda L_s L_m^2 & -\lambda R_s L_m & -\omega \lambda L_r L_s & \lambda R_r L_s & \lambda \frac{\sqrt{2} L_r (A_m + 2B_m)}{3} \\ -\frac{2T_{am} - T_b}{2\sqrt{6}C_1} & -\frac{2T_{cm}}{2\sqrt{2}C_1} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$BU = \lambda V_{dc} \begin{bmatrix} \frac{L_r (A_p - A_n)}{\sqrt{6}} \\ \frac{L_r}{3} \left[ \frac{A_p - a_n}{\sqrt{2}} + \sqrt{2} (B_p - B_n) \right] \\ -\frac{L_m}{\sqrt{6}} (A_p - A_n) \\ -\frac{L_r}{3} \left[ \frac{A_p - a_n}{\sqrt{2}} + \sqrt{2} (B_p - B_n) \right] \end{bmatrix}$$

$C_1 = C_2$  为上下桥臂电容。

$$A_n = T_{an} - \frac{1}{2} T_{bn} - \frac{1}{2} T_{cn}$$

$$A_p = T_{bn} - \frac{1}{2} T_{cn} - \frac{1}{2} T_{an}$$

$$B_n = T_{bp} - \frac{1}{2} T_{cp} - \frac{1}{2} T_{ap}$$

单独列出异步电动机的运动方程,如式(5)

$$\frac{J}{P} P\omega = T_v - T_L \quad (5)$$

式中  $J$ ——转动惯量;

$P$ ——极对数;

$T_L$ ——负载转矩。

## 3 MATLAB/SIMULINK 控制系统仿真

本研究采用的控制系统框图,如图3所示。

式中  $p$ ——微分算子;

$R_s$ ——定子电阻;

$L_s$ ——定子自感;

$R_r$ ——转子电阻;

$L_r$ ——转子自感;

$L_m$ ——定转子自感;

$\omega$ ——转子转速;

$\alpha, \beta, i$ ——定子和转子电压、电流的轴分量。

进一步可得三电平逆变器供电异步电动机系统数学模型,如式(4):

$$pX = AX + BU \quad (4)$$

其中式  $X = (i_{sa} \ i_{s\beta} \ i_{ra} \ i_{r\beta})^T$

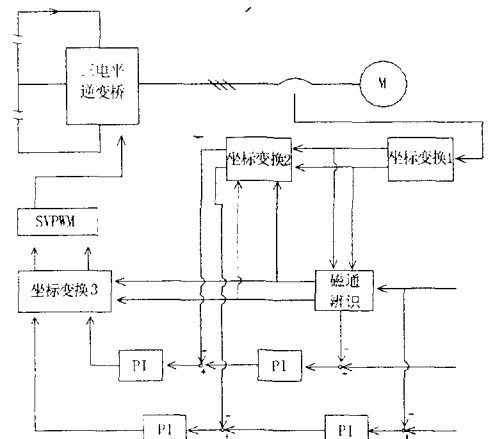


图3 系统控制框图

根据图3,针对一个基于三电平逆变器的异步电动机搭建 MATLAB/SIMULINK 仿真模型,三电平整流桥将交流电源变为直流电后作为三电平逆变器的输入,交流电源输入采用 three-phase/660V/30MVA/60Hz。采用 DC Regulator 模块控制整流输出电压。异步电机型号:3HP-250V/60Hz,基本参数: $R_s = 0.435 \Omega$ ,  $R_r = 0.816 \Omega$ ,  $L_m = 0.06931 \text{ H}$ ,  $L_s = 0.002 \text{ H}$ ,  $J = 0.089 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ ,  $P = 2$ 。负载转矩取为  $20 \text{ N}\cdot\text{m}$ 。仿真步长  $1e-4 \text{ s}$ ,仿真时间为  $1 \text{ s}$ ,算法采用 odel (stiff/NDF)法。

# 基于工业以太网的综合自动化系统的建立与应用

赵洪刚<sup>1</sup>, 孙彦良<sup>1</sup>, 刘增宝<sup>1</sup>, 钱建生<sup>2</sup>, 张永晓<sup>2</sup>

(1. 兖矿集团 东滩煤矿, 山东 邹城 273500; 2. 中国矿业大学, 江苏 徐州 221008)

**摘 要:**介绍了东滩煤矿工业以太环网的平台拓扑结构、数据中心的建设, 阐述矿井上下生产监控子系统的集成接入方法, 分析了基于矿井工业以太网的综合自动化系统对矿井安全生产的重大意义。

**关键词:**工业以太网; 综合自动化; 建立; 应用

中图分类号: TD63

文献标识码: A

文章编号: 1008-8725(2008)11-0029-03

## Establishment and Application of Integrated Automation System on Industry Ethernet

ZHAO Hong-gang<sup>1</sup>, SUN Yan-liang<sup>1</sup>, LIU Zeng-bao<sup>1</sup>,  
QIAN Jian-sheng<sup>2</sup>, ZHANG Yong-xiao<sup>2</sup>

(1. Dongtan Coal Mine of Yanzhou Mining Industry Group, Zoucheng 273500, China; 2. China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

**Abstract:** This paper introduces the platform topology of Ethernet about Dongtan coal mine Industry. It gives the integrated access method of production monitoring system above or below the mine and analysis the significance of the establishment and application of integrated automation system to production safety in mine.

**Key words:** industry ethernet; Integrated automation; establishment; application

### 0 前言

东滩煤矿是兖州煤业股份有限公司支柱矿井, 于 1979 年开始兴建, 1989 年建成投产, 原设计矿井生产能力为年产 400 万 t, 经过不断的技术改造, 目前矿井实际生产能力已经达到 800 万 t。主要固定设备由国外引进, 技术和装备属世界一流, 矿井采煤

综合机械化程度高, 矿井生产系统综合自动化水平较高。为进一步提高矿井综合自动化水平, 东滩矿正在分步实施矿井综合自动化建设。

东滩煤矿综合自动化建设目标是建成矿井工业以太网, 并以此作为矿井信息化平台, 实现东滩煤矿矿井生产过程综合自动化, 实现数据采集自动化、业务信息集成化、信息管理网络化, 建成安全生产调度

### 4 仿真结果和分析

仿真结果, 如图 4(a)、图 4(b)所示。

经检测, 定子电流和转速的瞬态响应较为迅速, 波形也较为平滑。稳态时, 定子电流接近于正弦波, 输出电压的跳变率比较低, 输出电压的谐波较小, 进入稳态后, 电机的转矩脉动较小, 且较为平稳。

### 5 结束语

本研究的仿真结果表明, 该调速控制系统动态响应比较快, 电机转速和转矩脉动都较小, 而且很快就能达到稳定状态, 输出电压和电流的谐波都较小, 证明了采用三电平 NPC 逆变器 SVPWM 控制方法可以实现高性能的异步电机调速控制。

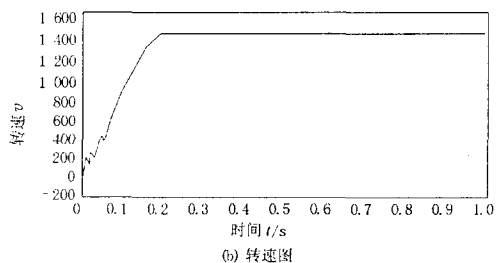
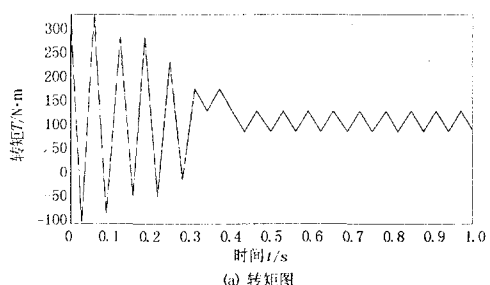


图 4 仿真结果

收稿日期: 2008-06-23; 修订日期: 2008-09-01

作者简介: 赵洪刚(1965-), 男, 山东肥城人, 高级工程师, 工程硕士, 现任兖矿集团东滩煤矿机电矿长。