

文章编号:1671-251X(2011)02-0094-04

## 基于 TMS320LF2407A 的节能型变频调速系统 在电牵引采煤机上的实现

吕晓

(天地上海采掘装备科技股份有限公司电气研究所, 上海 201401)

**摘要:**针对现有大功率电牵引采煤机能耗高的问题,提出了一种基于 TMS320F2407A 的“双逆变器—双电动机”节能型变频调速系统的设计方案,介绍了该系统的组成,分析了系统的工作原理,给出了系统的节能计算公式。该系统以交流异步电动机作为模拟负载,双逆变器在直流母线侧采用并联接线方式,应用 DSP 实时控制和跟踪随动系统,实现了电牵引采煤机电机状态的改变,整个系统为能量的回馈提供了输送路径。Matlab 仿真结果证明该系统原理正确,节能效果显著。

**关键词:**电牵引采煤机;双逆变器—双电动机;变频调速;能量回馈;Matlab 仿真;节能

**中图分类号:**TD421      **文献标识码:**B

Implementation of Energy-saved Frequency Conversion Speed Regulation System in  
Electrical Haulage Shearer Based on TMS320LF2407A

LÜ Xiao

(Electrical Institute of World Shanghai Mining Equipment Technology Co., Ltd.,  
Shanghai 201401, China)

**Abstract:**In view of the problem of high energy consumption of existing high-power electrical haulage shearers, the paper proposed a design scheme of energy-saved frequency conversion speed regulation system based on TMS320LF2407A with dual inverters-dual motors and introduced components of the system. It analyzed working principle and gave energy-saved computational formula of the system as well. The system takes AC asynchronous motor as simulation load, dual inverters were connected in parallel at DC bus side, uses DSP to real-timely control and track servo system, and realizes change of motor state of electrical haulage shearer. The system provided delivery loop of energy feedback too. The simulation result of Matlab proved that principle of the system is correct and energy-saved effect is remarkable.

**收稿日期:**2010-10-11

**作者简介:**吕晓(1983-),男,江苏徐州人,助理工程师,硕士,2010年毕业于辽宁工程技术大学,现主要从事变频调速技术的研究工作。E-mail:qinzhang2002@163.com

的办事效率,为常村煤矿内部市场化运作提供了强有力的支持。整个过程衔接紧密,杜绝了运输过程中的延误、丢失,减少了事故的发生;车辆查找快速,定位准确;统计完善,准确及时;最大限度地为人、车、路的合理搭配提供了有利的依据。

**参考文献:**

[1] 郭海军.双向人员定位系统关键技术研究与应用

[C]//第四届全国煤炭工业生产一线青年技术创新文集.北京:煤炭工业出版社,2009.

[2] 梁军,段丽华,汪玉凤,等.矿井机车定位跟踪系统探讨[J].煤矿机电,2008(4):57-58.

[3] 李文宏,骆科学,张修华,等.基于 ZigBee 的智能矿井机车运输监控系统的研究[J].煤炭工程,2010(5):118-121.

**Key words:** electrical haulage shearer, dual inverters-dual motors, frequency conversion speed regulation, energy feedback, Matlab simulation, energy-saved

### 0 引言

由于大功率采煤机的广泛使用,对采煤机牵引系统的节能性提出了更高的要求。目前,很多大功率采煤机的牵引电动机处于发电状态时,回馈的能量没有得到充分利用,而是完全消耗在与之连接的制动电阻上。为此,笔者设计了一种基于TMS320LF2407A的节能型变频调速系统。该系统采用双交流异步电动机同轴连接的方法进行能量转移,其中一台电动机处于电动运行状态,拖动另一台电动机转动使其处于发电状态,发出的电能通过PWM整流器变换成直流电压并入直流母线,供给电动运行状态电动机的逆变器,实验系统的功耗就是各部件的损耗,由此组成了具有显著节能效果的互馈系统<sup>[1]</sup>。在对大型电动机的性能进行测试时,该系统的节能效果尤为明显。

### 1 系统组成

基于TMS320LF2407A的节能型变频调速系统主要由主电路(整流逆变电路)、控制电路、保护电路、LSI驱动电路等4个部分组成,如图1所示。

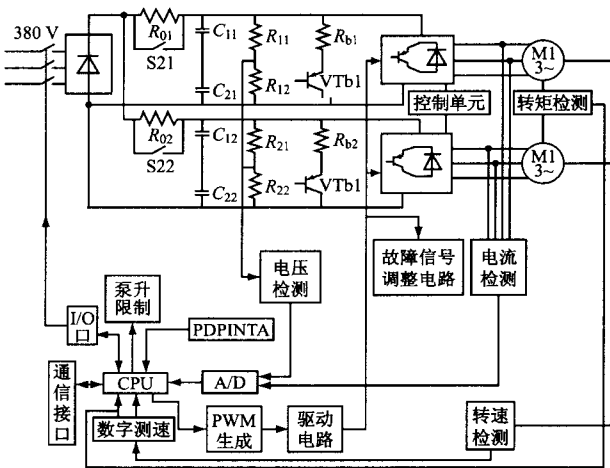


图1 基于TMS320LF2407A的节能型变频调速系统结构

该系统的整流环节采用三相桥式不可控整流模块,逆变电路采用三菱公司生产的智能功率模块(IPM)PM25RSB-120作为功率器件,中间直流环节利用2个并联的大电容滤波。系统控制电路主要包括2个部分,即TMS320LF2407A核心电路CPU和基于核心电路的外部扩展电路。核心电路负责整个系统的控制和具体的算法实现功能。保护电路主

要完成电压、电流、速度、转矩信号的检测,数据显示以及TMS320LF2407A与上位机通信等功能,并对IPM发出的各种故障信号进行综合处理,形成总的故障信号送入TMS320LF2407A的PDPINTA故障中断入口。LSI驱动电路即是IGBT放大电路,将其CPU输出的信号通过转换、放大处理来驱动IGBT的开通或关断。上位机部分采用C语言编写通信界面,主要负责转速(频率)和磁通的给定和调速系统故障显示等功能。

系统主电路采用典型的交一直一交电压型变频器,其频差原理如图2所示。

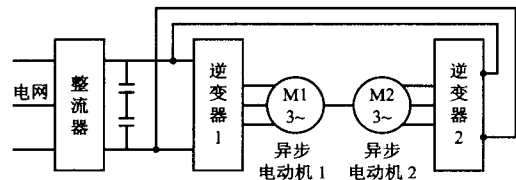


图2 系统主电路频差原理

### 2 系统原理分析

基于TMS320LF2407A的节能型变频调速系统主要是通过变频调速对无链电牵引采煤机进行速度控制,牵引系统的工作原理是通过主芯片给2个逆变器输出不同频率的交流电压来分别控制驱动轴的2台异步电动机,通过改变2台电动机控制频率差值来控制电动机负载大小和运行状态,若设2台电动机M1、M2的控制频率分别为 $f_1$ 、 $f_2$ 且不相等,即存在频差 $\Delta f$ ,则2台电动机一台工作在电动状态,另一台工作在发电状态<sup>[2]</sup>。

根据异步电动机变频调速转速公式:

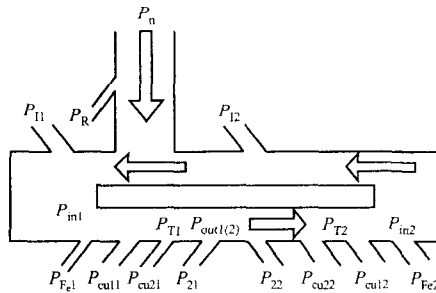
$$n = 60f(1 - s)/P_n \quad (1)$$

$$n_0 = 60f/P_n \quad (2)$$

式中: $n$ 为电动机转速<sup>[3]</sup>; $n_0$ 为电动机额定转速; $P_n$ 为电动机极对数; $s$ 为转差率。

若 $f_1 \neq f_2$ ,即2台电动机的空载转速不相等,由于2台电动机在机械上采用了同轴连接的方式,决定了在稳态时2台电动机的转速和转矩都相等,则2台电动机必定有一台工作在电动状态,另一台工作在发电状态。变频器的整流桥为不可控二极管,再生能量不能回馈到电网,但2台变频器在直流母线侧采用了并联的接线方式,从而为发电机的再生能量提供了回馈路径。再生能量经过逆变桥部

分的6个续流二极管整流后回馈到直流母线侧,与整流桥整流的电网能量相加为电动机供电。2个逆变桥直流母线侧采用并联方式,因而2台逆变器用一个整流桥,减少了开关损耗<sup>[4-5]</sup>。系统能量流程如图3所示。



$P_n$ —电网输入功率; $P_R, P_{11}, P_{12}$ —整流桥、逆变桥的开关损耗功率; $P_{m1}, P_{T1}$ — $M_1$  的输入电功率和电磁功率; $P_{m2}, P_{T2}, P_{out(2)}$ — $M_2$  的输入电功率、电磁功率、输出机械功率; $P_{Fe1}, P_{cu11}, P_{cu12}, P_{T1}$ — $M_1$  的铁损、定子铜损、转子铜损和机械与附加损耗之和; $P_{Fe2}, P_{cu21}, P_{cu22}, P_{T2}$ — $M_2$  的铁损、定子铜损、转子铜损、机械与附加损耗之和

图3 系统能量流程

由图3可知,变频器的总损耗为

$$P_c = P_R + P_{11} + P_{12} \quad (3)$$

2台电动机的能量损耗之和为

$$P_m = P_{in1} - P_{in2} \quad (4)$$

且有

$$P_n = P_c + P_m \quad (5)$$

即电网的能量只用来克服变频器及电动机能量损耗,通常  $P_c$  与  $P_n$  均很小,只需从电网吸收很少的能量就可完成实验任务。

### 3 系统节能计算

基于 TMS320LF2407A 的节能型变频调速系统与传统的交流调速系统相比,其优点是节能。为计算它的具体节能指标,将其与传统的变频调速系统进行实验比较。

传统的电动机测试系统结构原理如图4所示。

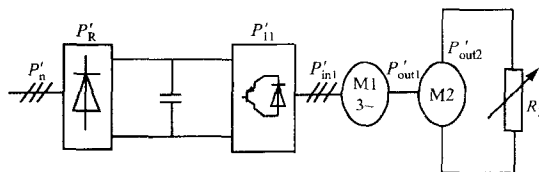


图4 传统的电动机测试系统结构

其中直流电动机 M2 是作为交流电动机 M1 的负载,当 M1 运行在电动状态时, M2 处于发电状态,发出的电能消耗在电阻  $R_2$  中。该系统与本文的双机节能型系统相比较少了一台逆变器的开关损耗,但多了 M2 的励磁损耗,后者一般要大于前者。

比较的前提是2种系统输入电动机 M1 的电功率相等,即  $P_{in1} = P'_{in1}$ ,然后比较2种系统完成同样实验功能从电网吸收的能量  $P_n$  和  $P'_n$ 。

定义节能率为  $r$ ,且

$$r = (P'_n - P_n) / P'_n = 1 - P_n / P'_n = 1 - P_n / (P'_{in1} + P'_R + P'_{11}) \quad (6)$$

由式(4)~式(6)得

$$P_n = P_c + P_m = P_R + P_{11} + P_{12} + P_{in1} - P_{in2} \quad (7)$$

在  $P_{in1} = P'_{in1}$  时,可认为  $P_R = P'_R, P_{11} = P'_{11}$ 。忽略  $P_2$ ,则有

$$P_R + P_{11} = P'_R + P'_{11} = P_n + P_{in2} - P_{in2} \quad (8)$$

将式(7)代入式(6)得

$$r = 1 - P_n / (P'_{in1} + P_n + P_{in2} - P'_{in1}) = 1 - P_n / (P_n + P_{in2}) \quad (9)$$

由式(9)得知,  $r$  只与电网输入功率  $P_n$  及 M2 的回馈功率有关,而与 M1、M2 的功率损耗无关。

由式(5)可看出,基于 TMS320LF2407A 的节能型变频调速系统相对于传统的交流调速系统,其节能率主要跟电网输入功率和 M2 的输入电功率有关。M2 的输入功率越大,节能率越大;反之亦然。

### 4 验证仿真

根据图1所示的基于 TMS320LF2407A 的节能型变频调速系统结构,使用 Matlab 中的 Simulink 工具箱建立电动机仿真模型,如图5所示。

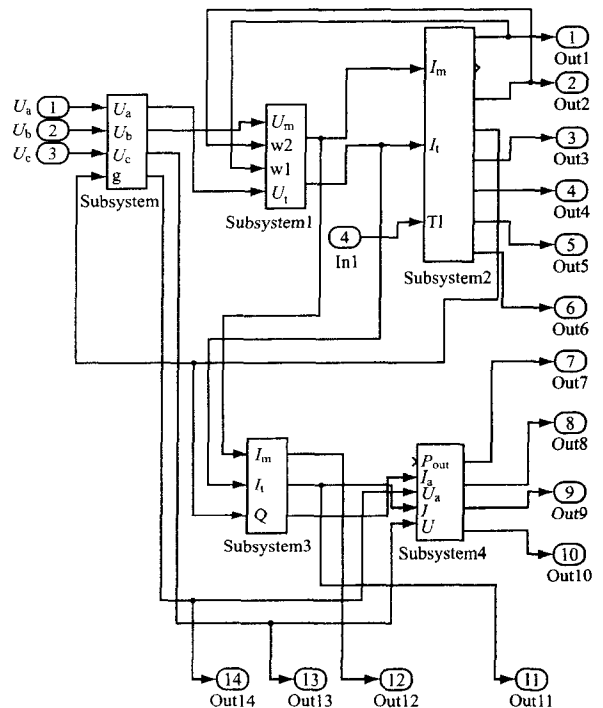


图5 系统 Simulink 仿真模型

所选电动机为3 kW的4极Y系列的三相异步电动机,电动机参数: $P=3\text{ kW}$ ,  $p_n=2$ ,  $n_N=1\ 420\text{ r/min}$ ,  $T_{em}=21.45\text{ N}\cdot\text{m}$ ,  $R_1=1.898\ \Omega$ ,  $R_2=1.45\ \Omega$ ,  $L_1=196\text{ mH}$ ,  $L_2=196\text{ mH}$ ,  $L_m=187\text{ mH}$ ,  $J=0.0067\text{ kg/m}^2$ ,  $I_N=6.8\text{ A}$ 。

系统输入为三相正弦电源,在 $\Delta f=3\text{ Hz}$ 、 $\Delta f=1.5\text{ Hz}$ 下,根据式(6),可计算出系统在完成不同功能时对应每个频差的节能率,如表1所示。

表1 系统节能率

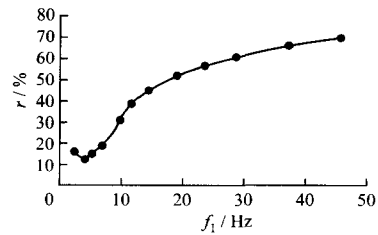
$\Delta f=3\text{ Hz}$			$\Delta f=1.5\text{ Hz}$		
$f_1/\text{Hz}$	$f_2/\text{Hz}$	$\gamma/\%$	$f_1/\text{Hz}$	$f_2/\text{Hz}$	$\gamma/\%$
3.5	0.5	16.9	2.0	0.5	24.3
5.0	2.0	13.2	4.0	2.5	22.3
6.5	3.5	16.1	6.0	4.5	29.3
8.0	5.0	18.3	8.0	6.5	34.9
11.0	8.0	33.8	10.0	8.5	44.5
16.0	13.0	49.3	14.0	12.5	54.8
21.0	18.0	57.9	19.0	17.5	62.9
26.0	23.0	62.5	24.0	22.5	67.9
31.0	28.0	66.7	29.0	27.5	70.1
36.0	33.0	69.7	34.0	32.5	71.5

根据表1中的数值,用Matlab仿真得到节能率曲线,如图6所示。

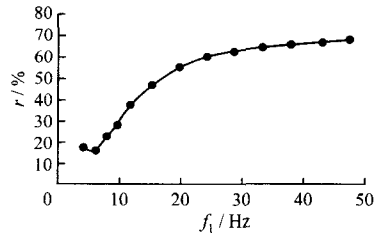
图6(a)、图6(b)分别为测试 $\Delta f=3\text{ Hz}$ 、 $\Delta f=1.5\text{ Hz}$ 时的节能率曲线。从图6可看出,系统在低频段的节能率较低,在中至高频段的节能率较高,最小节能率为13.2%,最大节能率为75.1%,平均节能率分别为47.8%、54.2%。

## 5 结语

基于TMS320LF2407A的节能型变频调速系统是交流调速实验系统的一种新方法,在节能方式上具有创新点,并成功地使“双逆变器—双电动机”新颖能量互馈更好地应用于采煤机电牵引上,使得



(a)  $\Delta f=3\text{ Hz}$



(b)  $\Delta f=1.5\text{ Hz}$

图6 系统节能率曲线

变频调速电牵引采煤机具有牵引力大、可控性好、控制功率小、电压升级方便、能量消耗低等特点。该系统以交流异步电动机作为模拟负载,2台逆变器在直流母线侧采用并联接线方式,系统结构比较新颖;应用DSP可以实时控制和跟踪随动系统,实现电动机状态的改变。整个系统为能量的回馈提供了输送路径,再生能量得到充分利用,节能性好。

## 参考文献:

- [1] CHEN Zhengshi. Modified SCR Phasecontrolled Microprocessor [M]. Beijing: International Academic Publishers, 1994: 706-710.
- [2] 彭继慎,王辉俊,宋绍楼. 基于差频理论的双电动机传动系统研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(15): 150-154.
- [3] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统[M]. 3版. 北京:机械工业出版社, 2003: 40-42, 100-111, 145-214.
- [4] 王志勇. 频差控制节能型交流变频调速系统的研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2000.
- [5] 张德林. 异步牵引电机互馈试验系统的研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2005.

## 新型选煤双层振动分级筛技术获国家实用新型专利

2010年12月,山东新汶矿业集团新阳能源公司煤矿新型选煤双层振动分级筛技术获国家实用新型专利。

该技术将煤矿选煤双层振动分级筛的上下层筛面均分为筛孔不等的上下两段,其中上层的上段筛面由圆钢按一定等距间隙排列而成;上层的下段筛面由圆钢按一定等距间隙排列成条状筛面,在筛条与筛箱下横梁上连接325 mm圆管

割出弧形板,用作特大块特料的导向板;下层的上段筛面由高碳钢制成80 mm方形网络筛面,下层的下段筛面由圆钢按40 mm等距间隙排列成条状筛面。由于上下两层均分为筛孔不等的上下两段,最终将矿井毛煤筛选为3种粒径的产品,而且在筛分过程中不产生堵塞现象。

(周峰,武秀丽)