

机电与自动化

矿井提升机三电平 IGCT 变频调速驱动系统

祝龙记, 过希文

(安徽理工大学 电气与信息工程学院, 安徽 淮南 232001)

摘要: 矿井提升机新一代调速控制系统大多采用 ACS6000SD 交-直-交变频器驱动大功率同步电动机。以实际控制系统为平台, 分析了三电平 IGCT 变流器-同步电动机系统的组成及工作原理, 并用配套调试工具软件 Drive Window 对系统进行了测试, 结果表明其速度曲线和转矩脉动完全满足矿井提升机的技术要求。

关键词: IGCT; 三电平; 变流器; 矿井提升机

中图分类号: TD633

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2008)05-0063-04

Three electrical level IGCT frequency converted speed control driving system of mine hoist

ZHU Long-ji, GUO Xi-wen

(School of Electric and Information Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: The new generation speed control system of the mine hoist is mostly to adopt the ACS6000SD AC-DC-AC frequency converter to drive the high power synchron motor. Taking the actual control system as the platform, the paper analyzed the composition and working principle of the three electric level IGCT converter and synchron motor system. A measurement test of the system was conducted with the test tools software Drive Window. The results showed that the speed curves and torque ripple could completely meet the technical requirements of mine hoist.

Key words: IGCT; three electric level; converter; mine hoist

1 概述

我国煤炭行业新建矿井正向大型化高产高效矿井发展, 主井提升系统作为煤炭生产的关键环节, 直接影响着矿井的产量和效益。煤矿主井提升能力越来越大, 提升系统的安全可靠性要求也越来越高。大功率同步电机变频调速系统不仅具有直流传动的调速性能, 还具备电机结构简单、运行维护方便、单机容量不受限制、调速范围宽等特点, 对于大容量低速运转的矿井提升系统是一种十分理想的传动方式。淮南矿业集团多个矿井主井提升机电力传动方案均采用 ACS6000SD 交-直-交变频器, 带 4 000 kW 同步电动机驱动系统。ACS6000SD 是基于直接转矩控制 (DTC) 技术的新一代交-直-交电压型中压变频器, 功率范围从 3 MW 到 27 MW。其主要特点有^[1]:

1) 采用功率集成门极晶闸管 IGCT (Integrated

Gate Commutated Thyristor) 作为主开关器件。IGCT 综合了高频开关、高阻断电压和低导通损耗等特性, 因此提供了效率更高、可靠性更好的变流器。

2) DTC 平台在兆瓦级的传动产品中提供了最高级别的转矩和速度的性能。与传统的 PWM 控制和矢量控制方式相比, 它的反应时间更快, 并且提供了最优的过程控制, 精确的电机控制性能, 最小的转矩扰动和电机磨损。其转矩控制性能更好。

3) 系统对电网的污染非常小。同步电机和整流器的功率因数都为 1, 减少了对变压器的功率需求, 仅需要采用交-交变频器时的 50%。采用 ACS6000SD 的提升机系统产生的谐波很小, 低于 25 次的谐波都可以清除, 不需要另加谐波滤波器及无功补偿装置。

4) 大功率开关器件 IGCT 具有快速的开关特性, 因此在直流回路不再需要像交-交变频器那样的直流断路器。

2 ACS6000SD同步机调速系统配置

ACS6000SD驱动控制系统包含有2个拓扑结构完全相同的三电平IGCT变流器,一个作为PWM整流器(ARU),另一个作为PWM逆变器(NU)。其结构如图1所示,按柜体模块组成,共有如下柜体单元:

有源整流单元(ARU):6-脉波自换流电压型整流器;

逆变单元(NU):6-脉波自换流电压型逆变器;

电容单元(CBU):直流母线上的储能电容,过滤和平滑DC母线上的直流电压;

控制单元(COU):对ACS6000内部进行控制和外部进行通信的部分;

水冷单元(WCU):系统的水冷散热单元;

输入滤波单元(IFU):用于ARU的谐波滤波器,根据供电网络要求配置;

电压限幅单元(VLU):动态直流电压限幅电路;

励磁单元(EXU):6-脉波晶闸管桥式整流,其输出为同步电动机的励磁绕组供电。

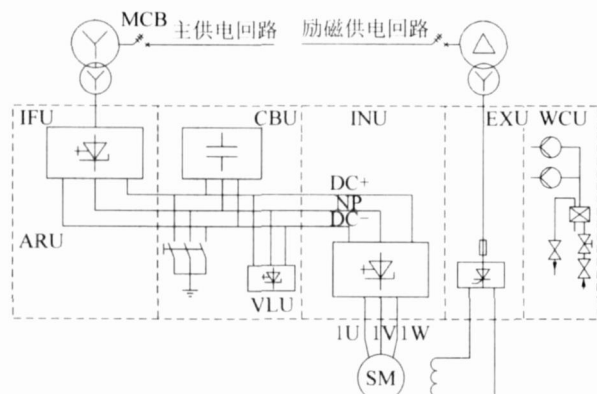


图1 ACS6000SD系统结构

系统模块根据现场实际情况进行组配。同步电动机为ACS6000配套电机,主要参数如下^[2]:

凸极数量	16
额定输出功率/kW	4 000
额定转矩/(kN·m)	700
允许最大转矩比例/%	160
额定速度/(r·min) ⁻¹	54.5
额定频率/Hz	7.27
额定定子电压/V	3 150
额定定子电流/A	768
额定转矩时的励磁电流/A	DC 329
额定转矩时的励磁电压/V	DC 226
额定功率因数	1.0

附件:装配定位编码器、增量式编码盘、接地碳刷

2.1 ARU三电平整流单元

ARU整流单元采用IGCT技术的自换流6-脉波、3-电平、电压型PWM整流器。集成门极换流晶闸管IGCT是专为中压变频器开发的功率半导体开关器件,基于成熟的GTO技术开发的IGCT,使变频器的设计从根本上降低了复杂程度,提高了效率和可靠性。IGCT集IGBT的高速开关特性和GTO的高阻断电压和低导通损耗特性于一体^[3]。

ARU将变压器的二次侧交流电压整流为直流电压,整流输出电压为直流4 840 V,常用的二极管整流输出的直流电压为交流输入电压的1.35倍,交流输入电压为3 160 V,则二极管整流输出电压为4 266 V。在直流母线处有储能电容单元CBU, CBU中的大电容用来存储能量,用于保证直流回路的电压恒定。根据电动机的运行模式(电动、制动),ARU分别从电网获取能量或向电网注入能量来实现能量的双向流动。

功率因数控制:ARU整流器采用矢量控制策略,通过选择适当ARU脉冲触发模式,使变压器电流与线电压具有相同的相位,从而使系统的功率因数为1。变压器是感性负载,要使功率因数为1,就要对其进行补偿,使其总体呈阻性负载,因此ACS6000系统在直流侧增加了CBU电容柜,以容性负载的超前特性来抵消感性负载的滞后,这就要求能量能经过ARU进行流动,而ACS6000系统也具备了让ARU反向逆变的功能,使ARU实现反向逆变功能是由ARU的控制板AMC3来控制的。

公共直流母线:所有的整流模块和逆变模块都连接在公共直流母线上。ACS6000的三电平逆变器是基于电压型的,因此整流器和逆变器都与同一直流电容组相连,可以将多个逆变器和整流器连接至同一公共直流回路。ACS6000可以组成多台电机或大电机供电。其优点是:ACS6000的模块化设计理念是建立在公共直流母线原理基础上的,仅用两种规格的逆变模块(7或9 MVA),就可以实现功率范围在3~27 MVA的任何电机或电机组供电。

多传动配置,同步电机和异步电机各种组合都是允许的,可以降低系统元器件数量和占地面积。通过将多台电机集成到一台变频器的方式,某一台电机制动时产生的能量可传递到连接在公共直流母线上的其他逆变器,而无需整流器负担。

2.2 NU 三电平逆变单元

三电平逆变单元将 ARU 整流出的直流电压转变为频率可调的交流电压以驱动电机。逆变单元允许四象限运行。单元的电路拓扑结构与 ARU 整流单元相同, 也是自换流、6-脉波和 3-电压型逆变器, NU 逆变器采用的控制策略为基于三电平的直接转矩控制。

NU 和 ARU 一样, 其直流侧连接到直流回路的电容上, 因此整个系统是对称的。每个 ARU 和 NU 都具有 3 组相序模块, 每组相序模块是由 4 块 IGCT、6 个二极管、1 个钳位电路组成 (IGCT 关断时正向电流 i , 必须迅速归零, 防止 di/dt 过大, 因此利用钳位电路来吸收 IGCT 关断时的能量)。每组相序模块都有一个专用的供电模块门极供电单元 (GUSP)。NT 板是 ARU 和 NU 的接口通信板, 整流器和逆变器之间的联络都是由 NT 板控制的, 但 NT 板并不是主控板, 真正的主控板是 COU 柜体内的 AMC3 板, ARU 和 NU 各有一块独立的 AMC3 主控板。也就是说 AMC3 板是整流和逆变的控制者, 而 NT 板仅仅是 AMC3 板的命令的执行机构, 通信连接由光纤实现。

ARU 和 NU 柜内还有以下电路板: 快速短路检测 (FSCD) IGCT 回路是否发生短路。电压电流测量接口板 (CVM I), 高压分配板 (HVD) 测量出直流电压, 测量出的信号和来自交流电流互感器的信号, 在电压电流测量接口板 (CVM I) 上被转换成数字信号, 并通过光纤传输到接口板 (NT)。

NU 和 ARU 唯一的不同点: ARU 有 2 个 ASE 抗饱和设备, 而 NU 则无, ASE 抗饱和设备的作用是当 ARU 的 3 相交流进线不平衡时, 会产生直流分量, 为了防止此直流分量进入变压器, 使变压器发生饱和、过热, 所以增加 ASE 设备用于吸收直流分量。

2.3 CBU 电容储能单元

CBU 单元的作用是过滤和平滑 DC 母线上的直流电压, 储存逆变器反馈回来的直流电能。CBU 单元的主要组成有如下部分:

1) 充电回路: 由一个辅助升压变压器 (输入侧为多抽头 380, 415, 460, 500, 575, 690 V, 输出为 3 900 V/0.9 A) 和一个二极管整流电路组成。作用是在 ARU 开始工作之前对直流回路进行充电,

使直流回路中的直流电压稳定在 4 200 V 左右, 整个充电过程需要时间大约为 40 s。如不对直流回路进行预充电, ARU 开始工作时会产生一个很大的浪涌电流, 对 CBU 内的电容产生冲击破坏, 同时对 ARU 单元内的元器件构成威胁。

2) 电容组: 是 CBU 的主要部分, 它直接连接在直流侧的正极 (DC +) 与中性点 (NP)、中性点与负极 (DC -) 之间。ACS6000 系统的直流侧电容的数量取决于系统容量的要求, 例如配置 6 个电容可以达到 9 MVA 的系统容量, 每个电容的容量为 1.6 mF (2 700 V/260 A), 冷却方式为水冷。

3) 接地开关: 通过接地开关来放掉电容内蓄存的直流高压, 防止伤人, 起到安全保护的作用。接地开关位于接地位置时 ACS6000 系统不能工作, 位于断开位置时, 因有柜门联锁装置, 此时不能打开柜门。

4) 放电部分: 如果系统有电压限制单元 VLU, 则不需要再加放电部分。VLU 柜相当于放电电阻, 作用是当高压断电以后, 把直流母线上的电压放出, 因为直流母线有高压直流电, 当打开柜门时极易发生触电事故。放电方法采用斩波制动放电, 即周期性的开关斩波用 IGCT, 让串联电阻消耗掉电容上剩余的直流电能。

2.4 EXU 同步电机励磁单元

EXU 同步机励磁系统是一个标准的三相晶闸管整流桥, 直流输出带有自动过电压保护。EXU 单元的供电由三相整流变压器 (400 ~ 690 V) 供电, 采用励磁电流的 PD 闭环控制, 能使同步电动机的输出功率因数等于 1。晶闸管的触发角由励磁控制板 CCB 来进行计算, CCB 板发出触发命令到门极驱动板 GRB。为了电气隔离, 在晶闸管和控制硬件之间加入了脉冲变压器。

测量板 MU I 通过测量励磁电流和励磁电压, 送入励磁控制板 CCB, 为励磁电流 PD 算法和功率因数控制提供反馈信号。触发脉冲的同步, 由三相同步变压器的三相同步电压来完成。

3 ACS6000SD 的调试维修软件

为了方便对 ACS6000SD 传动系统的调试及维护, 专门配置了调试工具软件 Drive Window。PC 机通过 PCMCIA 卡 (PCMCIA 插槽或者配置了 PCI/PCMCIA 适配器的 PCI 插槽), 通过光纤适配器,

由光纤连接到 ACS6000SD 的控制与通信单元柜 COU 内。Drive Window 是一款装备了光纤通信的 Windows 应用软件, 主要用于调试和维护 ABB 公司系列驱动器。Drive Window 不但能为调试人员提供强大的工具功能, 而且还使远程连接成为可能。

通过 Drive Window 调试软件可以设置提升机传动系统的参数, 观测系统的工作状态和信号, 以文件形式备份系统的参数文件, 一旦系统参数遭受破坏, 可即时上传恢复, 参数设置界面如图 2 所示; Drive Window 还可以用远程方式来实现 ACS6000SD 的控制操作 (开始、停止、单步运行等); 系统的工作参数 (电压、电流、转速等) 可以实时监视, 能及时绘制出记录下的趋势曲线; 当系统发生故障时, 故障记录器可以记录和显示故障类型、故障时间等信息。图 3 是故障记录器的界面。

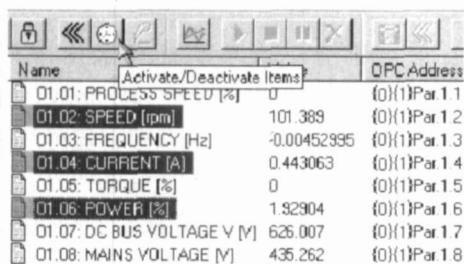


图 2 DriveWindow 参数设置界面

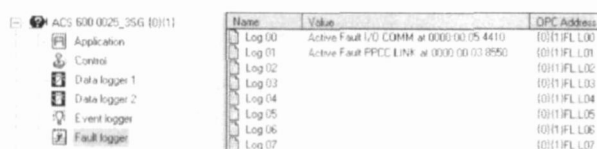


图 3 故障记录界面

在 ACS6000SD 的基础上, 利用 Drive Window 对提升机电控系统进行了测试。图 4 为设定频率为 5 Hz 时三电平逆变器输出的给同步电动机的定子电压的三相波形, 输出约为 3 170 V。图 5 为实测的一个提升周期内的电动机转速图, 从 0 ~ 50 s 时

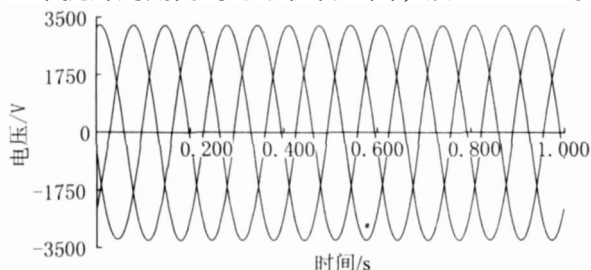


图 4 逆变器输出的三相电压波形

间段为加速启动阶段, 50 ~ 77 s 为等速运行段, 从 77 s 开始减速, 减速曲线基本实现了提升运行速度曲线 S 化, 速度曲线完全满足矿井提升机的要求。图 6 为带 30% 额定负荷时的同步电动机电磁转矩曲线, 虽然此时逆变器的输出频率只有 5 Hz, 但转矩的脉动很小, 基本维持在一条水平线上, 完全满足了矿井提升机的力矩脉动要求。

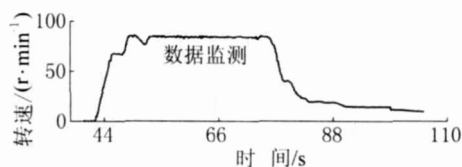


图 5 一个提升周期内的电机速度

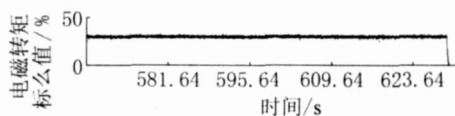


图 6 同步电动机电磁转矩 (为额定转矩的 30%)

4 结 语

作为矿井新一代交 - 直 - 交变频调速系统, 由三电平 IGCT 变流器 - 同步电动机系统来驱动矿井提升机, 具有无需滤波器来抑制谐波、无需功率补偿、无需直流断路器、变压器功率小、动力线路截面积减小、设备占地面积小等优点。通过现场的调试和使用表明, ACS6000SD 提升驱动系统的提升效率明显高于同类型设备, 能耗大幅度下降。对于大容量低速运转的矿井提升系统是一种理想的传动方式。

参考文献:

- [1] ACS6000 中压变频器操作和维护手册 [M]. 瑞士: ABB 瑞士大学培训中心 ATPS 出版, 2003.
- [2] 祝龙记, 过希文. 大功率同步电机直接转矩控制系统 [J]. 电力电子技术, 2006 (6).
- [3] 王成胜, 李崇坚, 李耀华, 等. 7.5 MVA 大功率三电平 IGCT 交 - 直 - 交变频器 [J]. 电工技术学报, 2007 (8).

作者简介: 祝龙记 (1964 -), 男, 安徽安庆人, 博士, 教授。长期从事电气自动化、电力电子技术的研究工作。Tel: 0554 - 6668093, E-mail: ljzhu@aust.edu.cn

收稿日期: 2008 - 02 - 01; 责任编辑: 王宗禹