

ACS6000传动系统在宽厚板轧机应用中直流过电压问题的浅析

湖南华菱湘潭钢铁有限公司宽厚板厂3 800 mm轧机选用了ABB的ACS6000中压变频传动系统，提供了交—直—交三电平电压型的变频传动技术。介绍了该传动系统的配置及组成，从功能原理、控制模式等方面结合现场数据对整流侧和逆变侧的直流过电压问题进行了分析，针对系统功能和硬件问题导致的直流过电压故障采取了相应的措施。

周运华/湖南华菱湘潭钢铁有限公司宽厚板厂



周运华/工程师

0 引言

宽厚板厂3 800 mm双机架轧机的机械部分由德国SMS—DEMAG设计，电控部分选用ABB和SMS—DEMAG的控制系统，主传动系统选用ABB公司的ACS6000中压变频器，采用三电平IGCT的DTC交—直—交变频技术，电动机为20极的带刷同步交流电动机，随主体工程一起于2005年投产使用，一直维持高作业率运行十多年，总体运行平稳，但直流过电压问题时有发生。

1 系统配置及组成

根据宽厚板厂轧机的工艺要求及特点选用两套ACS6000单传动系统，型号为ACS6209—A12—2S9—1V2—C26—C26—W3，满足在负载不断变化以及电动和制动模式切换频繁的情况下，能够快速而准确地进行转矩和速度控制，其整流侧ARU和逆变侧INU是两个容量为9 MV·A的功率柜，直流母线单元包括两个CBU电容柜，以及励磁单元柜EXU、电压限幅单元柜VLU、接线柜TEU、控制柜COU和水冷单元柜WCU。配套两台电

压比为35 000 V/3 160 V、容量为9 200 kV·A的变压器，12脉波，移相角30°，一次采用星形串联联结，二次为曲边三角形联结。主电动机选用芬兰ABB制造的两台7 500 kW双YY同步电动机，转速为60/140 r/min，额定电压为3 000 V，极数为20极，均具备200%的60 s、225%的20 s的过载能力，系统组成如图1所示。

2 整流侧直流过电压分析及控制

2.1 ARU控制

有源整流单元ARU是将电网交流电整流为直流电，并给直流电容充电，它是四象限运行的自换相、6脉冲整流器，主要功能是将直流链路电压保持在期望的水平，控制原理是以有功功率分量为主要控制变量，无功功率分量控制为零的矢量控制，ARU的电压模式并不符合正弦波，因此电压包含谐波成分，为使谐波成分降至最低，采用优化的脉冲模式，优化的脉冲模式存储在查询表内，控制器根据系统的状态选择正确的模式，如图2所示。ARU上级变压器的一次侧连到供电电网，ARU电压叠加模式规定了变压器的二次电压，变压器一次侧和二次侧的电压差作用于变压器的漏抗并决定变压器的电流，ARU单元通过改变相角和变压器二次电压幅值来控制电流，依照某种叠加模式将三相输出连接至DC（+）、DC（中性点）和DC（-）。

2.2 ARU直流过电压

通过在现场对故障时的曲线进行分

关键词/Keywords

ARU ·
INU ·
直流过电压 ·
转矩限制器 ·
负载角 ·

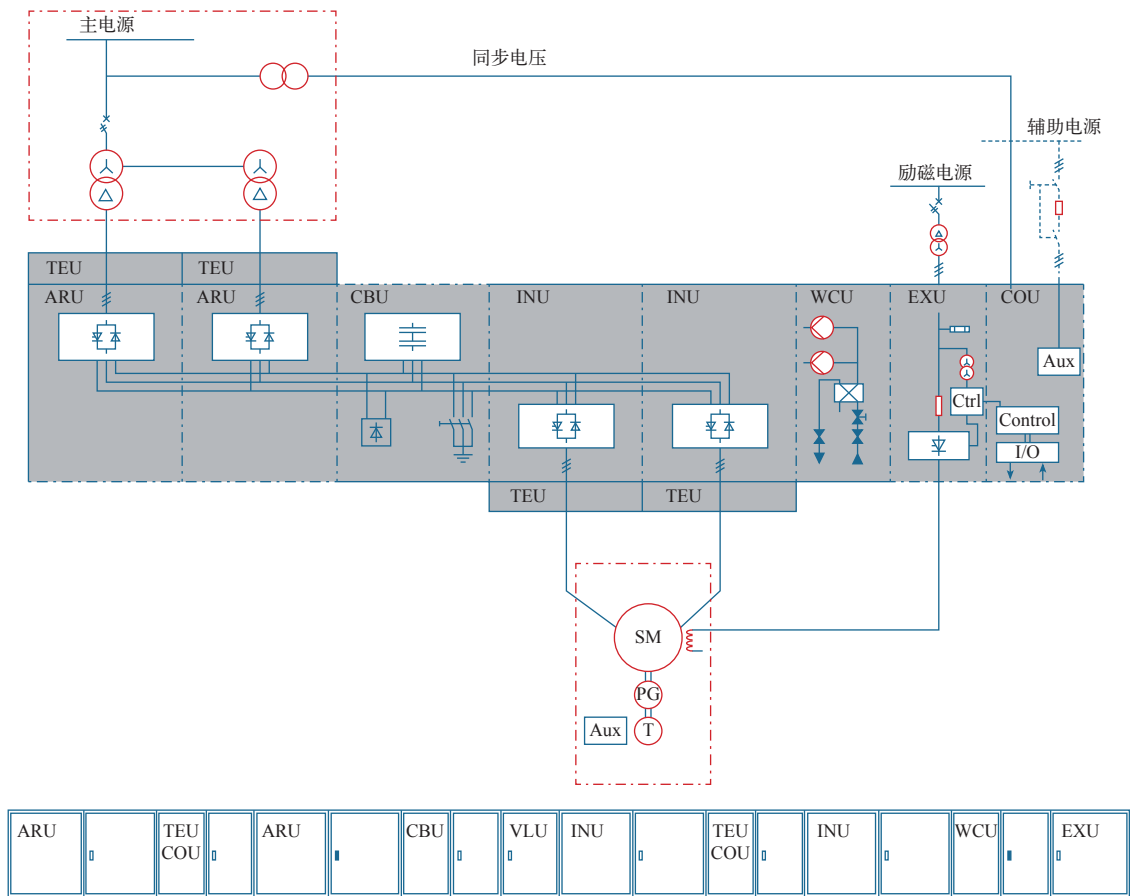


图1 单传动系统简图

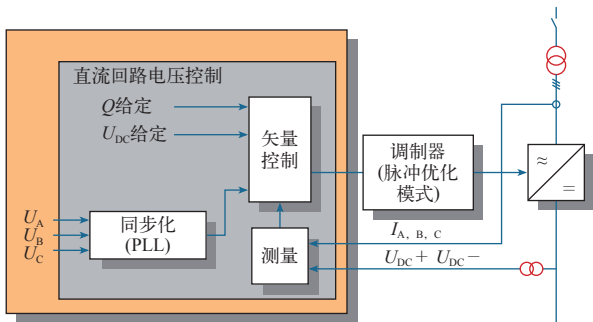


图2 有源整流单元ARU控制方框图

析，发现有变压器饱和现象的发生。当变压器饱和时就会出现电流的畸变，如图3所示。从图3上看会出现电流的毛刺或尖峰，这会导致整流单元的过电流甚至会造成IGCT的损坏，同时由于电流畸变导致传动直流母线侧的NP电压也会产生调制载波，从而在系统重载时产生直流过电压故障。

针对变压器出现饱和的问题，可以根据需要设定ASE板的PID参数，如根据5倍频、7倍频和9

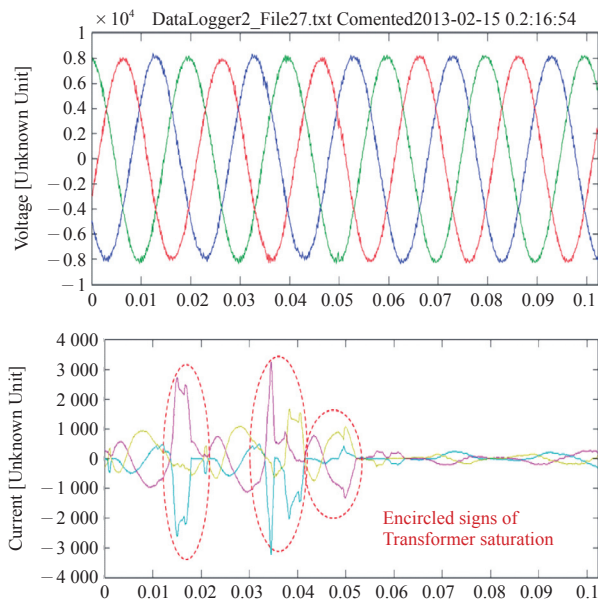


图3 变压器电压及电流监控

倍频设定为不同的值，从而实现ASE板的实时快速调节和参数的整定，以有效地防止变压器饱和和

象的发生,减少直流过电压发生的概率。另外,通过调节功率微分 dP/dt 的前馈功能及功率的比例前馈功能,使直流电压对ARU反馈调节功能的依赖性大大下降,也可以有效地减少直流过电压跳闸的次数。

3 逆变侧直流过电压分析及控制

3.1 INU控制

逆变单元INU将直流电压转变为交流电压驱动电动机,允许四象限运行,是自换流、六脉波和三电平电压型逆变器。逆变器的导通与关断由电动机的核心变量磁通和转矩直接控制,即直接转矩控制DTC,控制框图如图4所示。控制系统每25 μs 将测量的电动机电流值和直流回路电压值输入到一个自适应的电动机模型中,并准确地计算出电动机的转矩和磁通,磁通和转矩比较器将实际值与计算的给定值进行比较,根据磁滞控制器的输出决定最优的开关位置。

3.2 转矩限制器

ACS6000传动系统的转矩限制器分为静态限

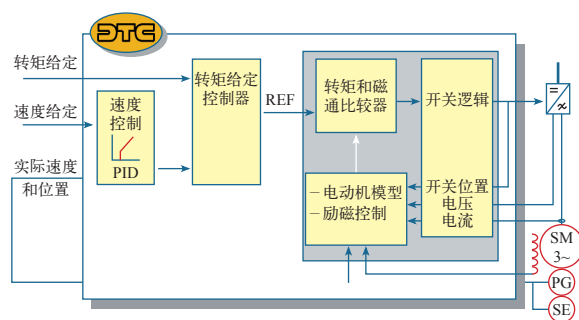


图4 DTC方框图

制器和动态限制器,图5显示的静态转矩限制器最终输出最大使用转矩和最小使用转矩,与逆变单元最大电流、电动机最大电流及限制器积分时间等有关。

图6为动态转矩限制器,最终的转矩给定在满足静态转矩限制的条件下,还需要再检测是否存在过电压、欠电压或过频率限制,如果有则选择对应限制信号的转矩给定。

3.3 实际输出转矩

图7反映了电动机实际速度和实际最大输出能力的关系,在电动机额定转速60 r/min以下,其

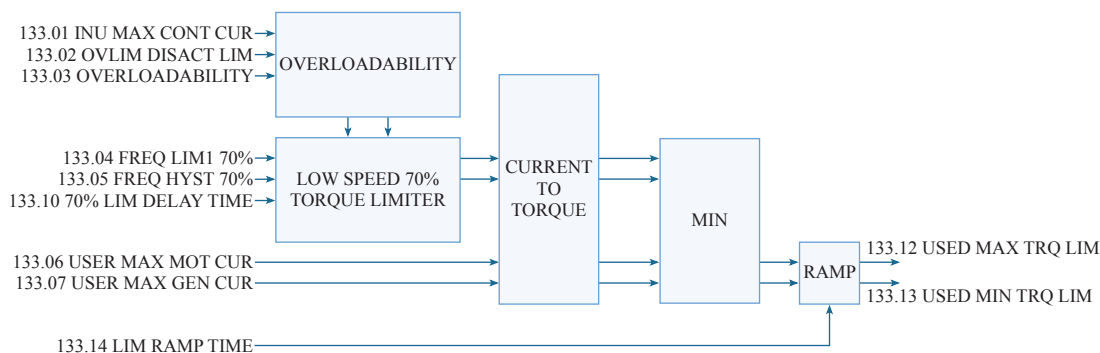


图5 静态转矩限制

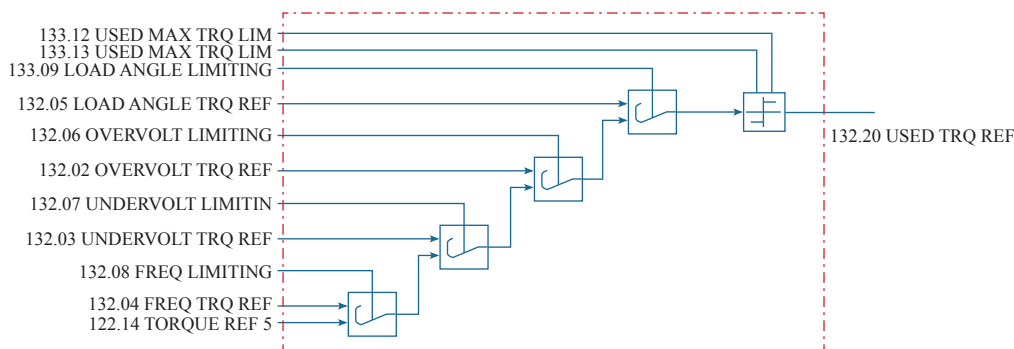


图6 动态转矩限制器

最大能力为2.24倍的额定转矩的输出,设计值为2.25倍,电动机在最高转速140 r/min时,测得的电动机最大实际输出转矩为额定转矩的94%,设计值为96.48%,在这两点上的实测值和设计值是吻合的。

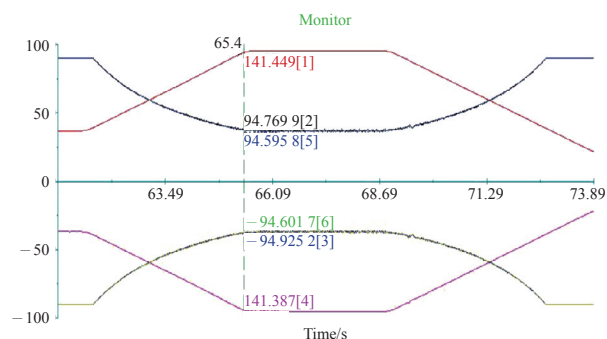


图7 实际速度和实际最大输出能力的关系

3.4 电压阶跃测试

分别对上电动机和下电动机进行了电压调节测试,针对超调现象,适当对PI值进行了优化, $\Delta 100\text{ V}$ 电压阶跃响应测试如图8所示。

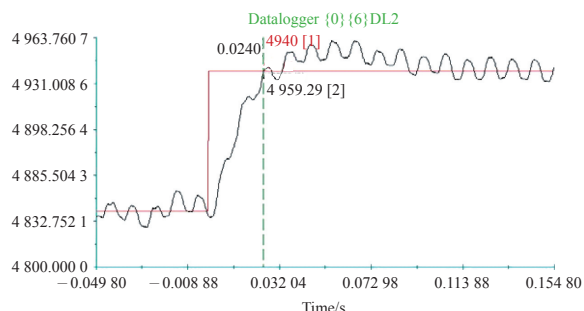


图8 电压阶跃响应测试

对PI参数进行调整后,直流电压控制动态响应速度提高, $\Delta 100\text{ V}$ 电压阶跃测试中,0~100%上升时间由0.031 s减至0.024 8 s,计算10%~90%的上升时间为20 ms左右,达到了电压调节速率的最高上限。

3.5 直流过电压跳闸

结合跳闸时的数据分析可以看出,直流侧电压跳闸时的电动机实际速度为114 r/min,电动机处于弱磁状态,实际负载转矩108%,跳闸电压超过DC 5 800 V,此时电动机的负载角已达 84° ,负载角限制从0变为1,如图9所示。传动参数里实际负

载角的限幅为 89° ,如果负载角的Delta值设为 5° ,那么 89° 时电动机对应实际输出转矩的能力为零;电动机的负载角在 84° 时,电动机对应的输出转矩能力为100%,因此电动机的能力被限制了,所以传动产生负载角限制,随着电动机减速,直流侧电压瞬间升高,过电压跳闸。

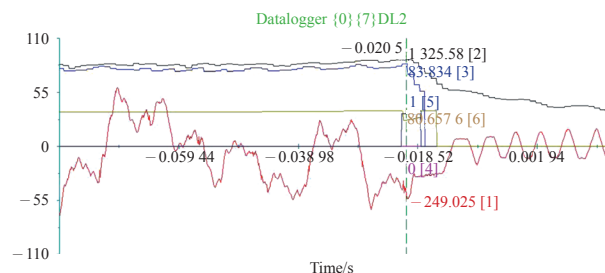


图9 跳闸波形记录

根据电动机设计参数和调速原理,结合二级模型的工厂数据和计算数据收集了大量的数据,验证实际负载是否超过了二级模型的计算和电动机的实际能力,发现偶尔有些钢板的实际负载超过二级模型计算值,且非常接近电动机极限能力,如图10所示。

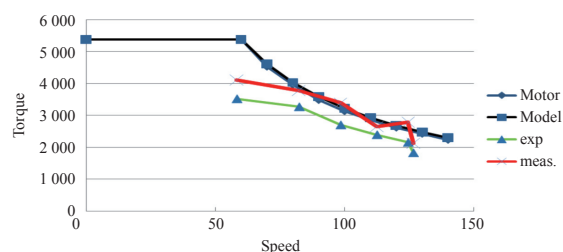


图10 电动机负载验证

针对上述情况,一要调整二级模型的设定参数,在电动机的弱磁阶段,二级数学模型计算的压下量应该给电动机的实际输出能力留出充分的裕量;二要调整转矩限幅的下降量,加快直流电压回馈的速度,保证在负载角限制时限幅不产生直流过电压故障。

4 硬件问题导致的直流过电压

4.1 LD-GRB模块问题

安装在主电动机上的编码器,测量角度后的线号接入LD-GRB模块进行数据转换,通过光

纤送入AMC主控板。由于LD-GRB模块工作不稳定,在主电动机高速重载时,信号偶尔存在不稳定的现象,导致电动机模型计算负载角发生突变,产生负载角限制,发生直流过电压故障。

4.2 二极管问题

电压限幅单元VLU用于转矩要求准确度很高的动态应用场合,内部由电阻、IGCT、二极管和吸收电路组成,在现场曾出现过二极管损坏导致的直流过电压故障。

4.3 HVD电路板问题

ACS6000传动在所有ARU整流单元和INU逆变单元柜里都安装了HVD高压检测板,接入DC(+)、DC(中性点)和DC(-)三个信号,输出信号至电流电压检测板。在现场使用过程中,HVD高压检测板曾出现塑料外壳发黑、内部电阻阻值变化的情况,引起直流电压检测不准

确,导致直流过电压故障,在改用升级型号后问题得以解决。

5 结束语

介绍了湘钢宽厚板厂ACS6000传动系统整流侧和逆变侧控制原理、控制模式以及软件逻辑等技术,并进行了转矩输出能力测试、电压阶跃测试,结合现场数据和功能原理分析了直流过电压故障的几个原因,同时针对不同的现象采取了对应的控制措施,使直流过电压跳闸次数由原来的每月3~4次到现在的不再发生,直流过电压的问题解决后,ACS6000传动系统运行稳定,每月可减少停机时间80 min,并增加300 t的产量,在当前市场行情下取得了年创效约300多万元的经济效益。

(收稿日期:2017-02-10) EA

(上接第96页)

增强抗负载扰动能力。利用实验平台进行验证,结果表明所述方案在保证网侧单位功率因数的同时可以有效缩短负载扰动调节时间,提高系统动态性能和抗负载扰动能力等。因此,本文所述滑模PR控制策略具有良好的应用价值。

参考文献

- [1] 帅定新,谢运祥,等.三相PWM整流器混合非线性控制研究[J].中国电机工程学报,2009,29(12):30-35.
- [2] 朱鹏程,黄文新.电网不平衡时PWM整流器新型直接功率控制策略研究[J].电气应用,2015,34(16):24-27.
- [3] 汪万伟,万四维.PWM变流器滑模变结构直接功率控制策略研究[J].电力电子技术,2015,49(5):9-11.
- [4] 孟建辉,石新春,等.基于PR控制的光伏并网电流优化控制[J].电力自动化设备,2014,34(2):42-47.
- [5] Hui Ma, Xie Yunxiang, Sun Biaoguang, et al.

Modeling and direct power control method of Vienna rectifiers using the sliding mode control approach [J]. Journal of Power Electronics, 2015, 15 (1) : 190-201.

- [6] 马辉,谢运祥.基于滑模变结构的Vienna整流器新型双闭环控制策略研究[J].电工技术学报,2015,30(12):143-151.
- [7] 陈瑶,金新民,童亦斌.基于滑模控制的三相PWM整流器系统仿真[J].系统仿真学报,2007,19(8):1849-1852.
- [8] Hui Ma, Xie Yunxiang, et al. Improved direct power control for Vienna-type rectifiers based on sliding mode control [J]. IET Power Electronics, 2016, 9 (3) : 427-434.
- [9] 孙强,王莎莎,等.采用比例谐振调节器的三相VSC控制系统稳定性研究[J].高电压技术,2016,42(10):3147-3155.
- [10] 李子欣,李耀华,等.PWM整流器在静止坐标系下的准直接功率控制[J].中国电机工程学报,2010,30(9):47-54.

(收稿日期:2018-03-12) EA