

大型高炉鼓风机同步电动机软启动及其控制技术

Synchronous Electromotor Soft Starting and Its Control Techniques of the Large Scale Blast Furnace Fan

鞍钢设备处 李 刚

鞍钢电气公司 由其元 宋良珍

Li Gang You Qiyuan Song Liangzhen

摘 要: 本文论述了交—直—交流型变频器用于超大型同步电动机软启动的情况, 变频软启动的原理、结构及其控制。

关键词: 同步电动机 交—直—交变频器 软起动器

Abstract: The paper discusses the situation of AC to DC to AC current source inverter application in the super sized synchronous electromotor soft starting, and the principle, structure and control technique of the frequency variable soft starting.

Key words: Synchronous electromotor AC-DC-AC inverter Soft-starter

[中图分类号] TM573

[文献标识码] B

文章编号 1561-0330(2005)10-0066-04

1 引言

大型高炉炼铁鼓风机采用超大型同步电动机传动取代透平传动, 已成为当今世界炼铁装备发展的趋势。这得益于电力电子技术及微电子技术、计算机技术的发展, 成功地利用交—直—交变频器。解决了超大型同步电动机的软启动问题, 平滑启动功率只需电动机功率的25%左右, 从而避免了同步机异步启动时对电网难以承受的冲击。平滑的启动过程经过200s左右将加速到准同步速度即95%额定转速 n_e , 然后并入电网, 拉入同步运行。

2003年5月鞍钢第一台电动鼓风机顺利并网运行, 为新1#高炉送风。风机的驱动电动机为超大型同步电动机, 其额定功率为4.2MW, 电机启动采用变频器软启动, 控制系统采用SIMADYN D计算机控制系统。SIMADYN D是西门子变频器的核心技术。新1#高炉鼓风机同步电动机与启动变频器是一拖一的方式, 而最近将投入运行的新2#、3#高炉是采用一拖二的方式。即一台变频器可以拖动两台同步电动机分时启动。鞍钢引进的这套西门子

变频器软启动装置是西门子公司新的版本, 其硬件及其软件技术水平较国内其它钢铁企业引进的同类的设备有较大的提高。

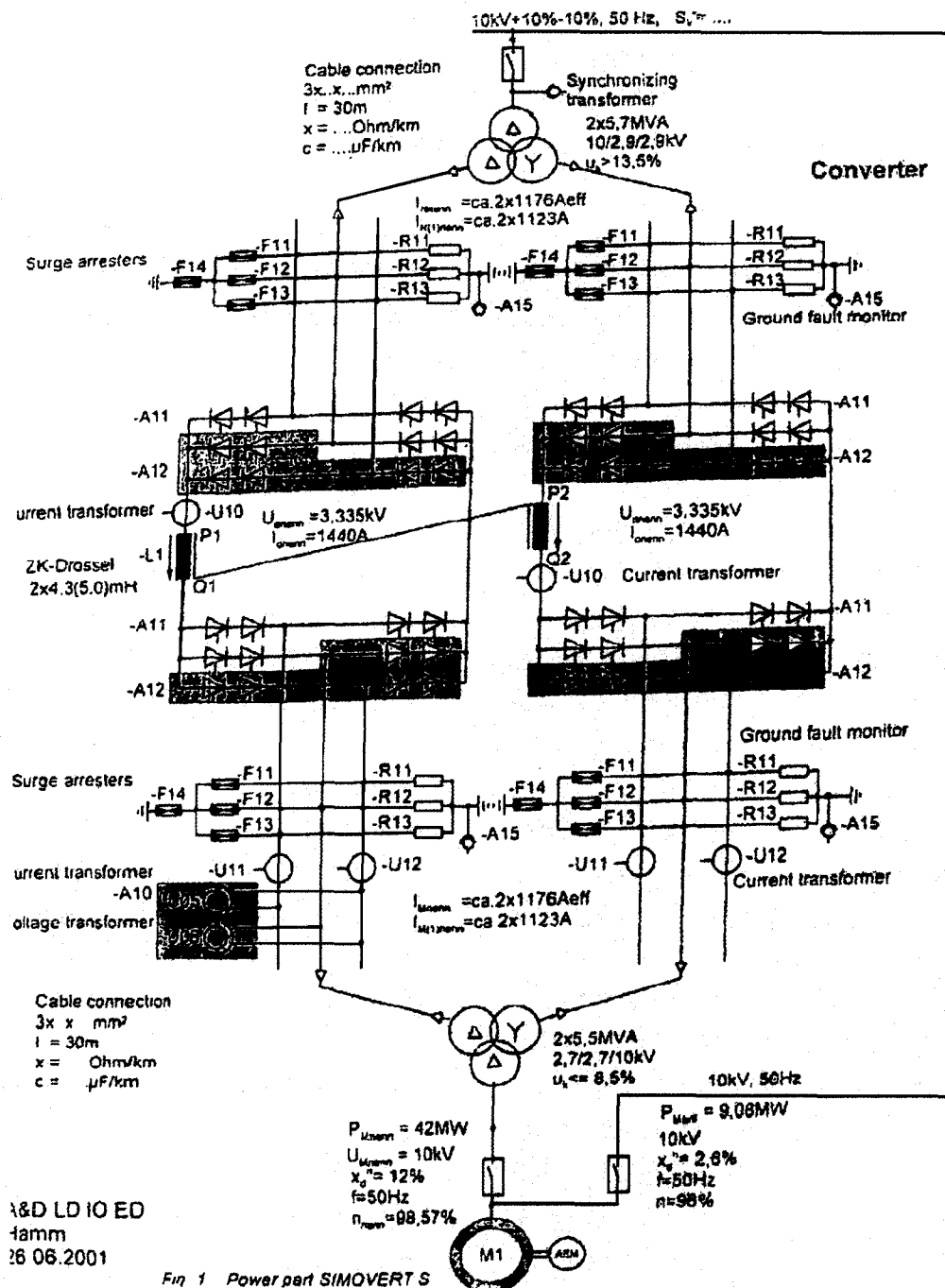
学习和掌握这些相关的技术对生产维护和今后的发展有着极其重要的现实意义。

2 变频器的技术数据及其组成

用于超大型同步电动机软启动的交—直—交流型变频器原理图如附图所示。

2.1 主要技术数据

- (1) 额定电压: $2 \times 2.9\text{kV}$, 3相
电压波动范围: $+10\% \sim -10\%$;
- (2) 额定频率: $50\text{Hz} \pm 2\%$;
- (3) 直流环节功率: $2 \times 4.8\text{MW}$;
- (4) 频率控制范围: 1:10;
- (5) 正常运行环境温度: $+5^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$;
- (6) 正常环境温度情况下, 可连续3次启动, 第4次间隔60min。



附图 用于超大型同步电动机软起动的交—直—交电流型变频器原理图

2.2 变频器及其功率部分

主要包括：

- (1) 进线侧的整流器和电机侧的逆变器，使用的都是6QC7全控三相桥；
- (2) 变频器的整流侧与逆变侧都无熔断器；
- (3) 晶闸管用光纤间接触发，每个晶闸管都有反馈信号；
- (4) 逆变器侧装有LEM的电子互感器(在各频率范围内都有高精度的直流电流互感器)；

(5) 直流环节的电抗器具有足够大的电感量，用以降低电流的纹波和限制电流变化率；

(6) 在变频器的进线和出线端都装有过电压限制器；

(7) 启动变频变压器，为与电网电压和电机电压有一个优化的匹配，需在变频器的输入与输出端配置变频变压器，其中：

降压变压器(进线侧)，树脂浇注干式三绕组变压器，11400kVA，10.0kV/2×2.9kV，50Hz， $U_k \leq 13.5\%$ ；

升压变压器(电机侧)，树脂浇注干式三绕组变压

器, 11400kVA, $2 \times 2.9\text{kV}/10.0\text{kV}$, 50Hz, $U_k=8.5\%$ 。

系统的控制器使用的SIMADYN D 控制系统, 该系统是一个全数字化可自由配置带多微机系统, 专门用于系统的计算和快速的开闭环控制。

3 同步电动机软启动原理

同步电动机软启动原理是采用交-直-交变频技术。变频设备为电流型, 即在直流环节有一个较大电感的直流电抗器, 既有滤波功能又能当逆变侧发生短路故障时, 由于电抗器的存在, 电流不会发生突变, 而电流调节器会迅速响应, 使整流电路的晶闸管触发角后移, 电流将被限制在安全范围内。

由于电源采用三相桥式整流电路, 逆变器输出电流的谐波成份很大, 会引起电机额外的发热和转矩的脉动。另外变频装置还会产生较大的共模电压, 进而影响电机的绝缘。为解决上面问题, 该系统采用12脉冲整流技术。

在软启动过程中, 还采用了直流脉动技术。同步电动机的转子中由于外加励磁电流, 在转子转动时电机定子中将产生感应电势, 当这个电势反向作用于逆变侧的晶闸管时, 晶闸管会关断, 利用这个电势就可实现逆变晶闸管的自然换相。但是在当电机转速很低时(例如 $5\%n_e$ 以下), 电机的定子电势很低, 不能使晶闸管关断实现自然换相。为了解决这个问题, 采用了直流脉动技术。也就是说电动机启动初期, 电机转速低于 $5\%n_e$ 期间, 当逆变器的晶闸管需要换相时, 设法使逆变器的电流降低到零, 使逆变器的晶闸管暂时全部关断, 然后将根据触发的顺序给应导通的晶闸管加上脉冲。恢复直流电流时, 电流将按触发的顺序流经新导通的晶闸管, 从而实现从一相到另一相的换相。由于逆变器晶闸管顺序导通, 直流电流顺序地流过电动机定子的相应绕组, 并产生合成磁场, 这样绕组电流不断的变化必将在电机中产生一个旋转磁场, 带动转子旋转, 转子旋转的速度由逆变器的触发周期确定, 当电机转速达到 $5\%n_e$ 以上时, 电机定子产生的电势足够大时, 逆变器的晶闸管采用自然换相, 这样电机转子产生的启动转矩将使电机继续不断地提高转速, 一直到 $95\%n_e$ 时, 电机将并网拉入同步(符合并网条件时)。变频器退出系统, 从而实现同步电机的软启动。

采用软启动技术, 必须在电机空载下启动并网。所需功率只有9000kW左右, 远远小于异步启动和额定功率(42000kW), 所以对电网冲击很小。

在消化有关资料中得知: 如果在同步切换瞬间, 由于电网压降原因造成电机失步而切换失败, 变频器有能力在任何转速情况下, 再次“抓住”电机, 使之加速到同步, 直至切换成功。

在正常运行期间, 如果励磁存在, 由于短时过载或10kV电压丢失, 造成电机失步超200ms, 变频器将从励磁控制器得到信号而第自动再启动, 并有能力在任何转速情况下“抓住”电机转子使之加速并同步直至切换到电网。

以上两点对高炉安全连续的送风是十分内必要的。

4 软起动器的控制

4.1 软启动控制原理及过程

软启动SIMADYN D 数字控制系统应用矢量原理, 并通过系统的开环和闭环控制来实现对软启动过程的控制, 采用矢量控制方式的目的, 主要是为了提高变频器的动态性能。根据交流电动机的动态数学模型, 利用坐标变换的手段, 将交流电动机的定子电流分解成磁场分量(电流)和转矩分量(电流), 并分别加以控制, 即模仿自然解耦的直流电动机的控制方式, 即对磁场分量和转矩分量分别控制, 以获得类似于直流电机调速的动态性能。

在矢量控制方式中, 磁场电流实际值和转矩电流实际值可以根据测定的电机定子电压、和电流的实际值经变换计算求得。磁场电流和转矩电流的实际值与之相应的设定值进行比较和调节。

开环控制包括: 电机速度 $\leq 5\%$ 额定转速时控制; 开、合短路器的控制; 压力、温度、各种保护连锁之间的逻辑控制。

闭环控制包括: 电流控制与速度控制; 系统的设计成带电流闭环控制的速度环控制, 即双闭环系统; 通过控制电源侧的整流器, 电机流过相应的电流, 以获得保持电机转矩所需的力矩。

电机定子通过逆变器流入方波电流。电机转子中通过磁场电流, 由于转子的旋转, 产生空间变化的磁场, 在电机定子中产生感应电势。在低转速时, 励磁电流保持不变, 定子电压只与转速成正比。为了确定定子电流的顺序(逆变器晶闸管触发的顺序), 定子电压被测量(绝对值、相角), 然后产生逆变器的触发脉冲, 逆变器自然换相, 换相电压由同步机提供。在 $0\sim 5\%$ 额定转速时, 电机电压很低, 不能实现自然换相, 为保证逆变器可靠的换相, 采用直流脉动技术。周期地将直流环节电流降低到

零,逆变器晶闸管按设定值周期地触发,带动转子旋转。当电机电压较高时,就可以实现自然换相。逆变器的晶闸管从一相到另外一相的触发信号由同步电压获得。同步电机电压过零点被测量,并作为电机侧逆变器的触发信号。这样也保证了电机侧逆变器的晶闸管触发永远与电机电压同步,以使同步机始终保持同步。当电机的实际速度小于设定的速度时,速度检测器将输出信号到电流控制器,电流控制器改变整流器晶闸管的触发角,增大输出直流电流,电机转矩增加,电机速度增加,直到电机的电磁力矩与负荷力矩平衡。当电机转速达到准同步转速时给同步器信号,同步器开始进行检测,比较、当满足同步条件时,由同步器发出指令合上断路器,同步电机并网,软启动器退出,完成软启动过程。

软启动开闭环控制都在SIMADYN D控制系统实现。全部控制功能文件安装在八个处理器中,每个处理器执行特定任务的功能包,功能包的功能用参数和STRUC G图来定义。

4.2 功能包

SIMADYN D系统中还包括建立处理器与外围设备通讯@—FP功能包。

(1) 模块SE21.2:处理器PS16与电机侧晶闸管的接口模块,用来测量实际值与检测值及晶闸管的状态;

(2) 模块SE48.1:处理器PM16与电源侧晶闸管的接口模块,用来测量实际值以及晶闸管的状态;

(3) 模块SA60:同步模块,用来测量电机电压,经计算产生脉冲的同步信号;

(4) 模块SAV22:触发模块,通过光纤与晶闸管连接(实现控制设备与高压设备隔离),给晶闸管触发信号,同时用光信号可对晶闸管状态进行监视;

(5) P1(PM16):完成速度的闭环控制和相应相序控制;

(6) P2、P3(PG16):进行电源侧的晶闸管的闭环控制;

(7) P4(PS16):进行电机侧晶闸管的控制;

(8) P5、P6(PM16)完成启动过程的诊断;

(9) P7、P8(PM16):进行可控硅的状态诊断;

(10) CS7:通讯模块;

(11) EM11:模拟、数字量混合输入输出;

(12) EA12:模拟量输出。

(13) TS12:触发模块。

4.3 电机启动过程的顺序控制

(1) 检测主机与辅机设备开机条件;

(2) 由DCS发出开机命令给S7-300(电机运行PLC);

(3) S7-300发启动命令给SIMADYN D;

(4) SIMADYN D合启动升降变压器断路器;

(5) 检测断路器已合上;

(6) 开闭环控制;

(7) 加励磁;

(8) 检查励磁是否正常;;

(9) 发启动的触发脉冲信号;

(10) 电源侧晶闸管加触发脉冲;

(11) 电机侧晶闸管加触发脉冲;

(12) 同步器检测同步;

(13) 同步后,由同步器发出入网命令。

5 励磁系统

电动鼓风机的同步电动机采用它励的无刷励磁,励磁电源取自380V低压工作电源,经低压变频器变为可调的交流电源输入到励磁的电机定子中,励磁机转子与同步电机转子同轴,转子绕组经二级管与同步机转子励磁绕组相连接,为转绕组提供直流励磁电流。

励磁电流的控制,在软启动期间由SIMADYN D系统控制,并网后由S7-300控制,在启动期间,应保持较大的励磁电流,目的是使电机不失步,同时在电机定子中产生较大的电压,以便能正确测量电机转速,从而完成软启动的闭环控制。并网后,励磁的控制有三种方式:恒励磁电流控制、恒电机电压控制、恒功率因数控制。为保证电机不失步,在正常运行时,电机励磁也应采用恒功率因数控制。

6 结束语

自投产以来,高炉鼓风机都是一次启动成功并连续运转,整个启动过程与正常运转时一样,电机电磁噪声与振动都很小,另外系统的监控功能齐全,人机界面友好,增强了系统的可靠性。自投产以来,从未发生因电机控制系统故障而影响生产的情况。

参考文献

(略)

作者简介

李刚(1966-)男 电气工程师 现任鞍钢设备处工程科电气工程师,多年从事企业技改工程电气设备供应,管理。