

高压直流控制保护系统的设计与实现

田 杰

(南瑞继保电气有限公司,江苏 南京 211100)

摘要: 在介绍 MACH2 直流控制保护系统的总体结构的基础上,给出了 SCADA 系统、交流站控系统、直流极控系统、直流保护系统的设计和实现方案。详细介绍了直流极控系统,包括其基本控制策略、基于电流过零信号的阀触发的监视和控制功能、无功功率控制、系统监视和切换功能。该方案已在我国葛洲坝—上海直流输电控制保护系统改造中应用,并取得了很好的效果。

关键词: HVDC; 直流输电; 直流控制保护系统

中图分类号: TM 77

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2005)09-0010-05

0 引言

直流控制保护系统是直流输电的“大脑”,是直流输电系统安全、可靠、稳定运行的保障。其关键技术主要包括软硬件平台技术、直流控制保护系统设计、阀触发控制、直流保护。ABB, SIEMENS, ALSTOM 等作为国际上少数几家能够完整进行直流输电系统设计制造的公司,把直流控制保护系统作为直流输电的核心,投入了大量的资金和人力,不断进行开发和产品升级换代。ABB 公司现在提供的 MACH2 直流控制保护系统是在 20 世纪 90 年代初开始开发,1995 年左右开发完成的,我国刚投入运行的龙政直流和三广直流采用的就是这套系统;SIEMENS 公司提供的直流控制保护系统被我国南方电网的天广直流和在建的贵广直流中所采用。据悉,ABB 已着手开发更新一代的直流控制保护系统,SIEMENS 已经推出新的直流控制保护系统 Win-TDC。

按照国家发改委的部署,2001 年 10 月起,南瑞继保开始接受 ABB 公司直流控制保护系统技术转让,目前已经具备了独立进行硬件设备设计制造和软件开发的能力,可以独立提供工程化的直流控制保护系统。本文主要介绍了 MACH2 直流控制保护系统的总体结构,SCADA 系统、交流站控系统、直流极控系统、直流保护系统的设计和实现方案,该方案已应用在我国葛洲坝—上海直流输电控制保护系统改造中^[1-6]①,并取得了很好的效果。

1 直流控制保护系统的总体结构

直流控制保护系统基本按面向物理或逻辑对象的原则进行功能配置,不同对象的功能之间尽可能的交换信息,某一对象异常不影响其他对象功能的正确运行。系统分为站层和设备层两大层次。系统总体结构如图 1 所示。站层主要包括 SCADA 和远

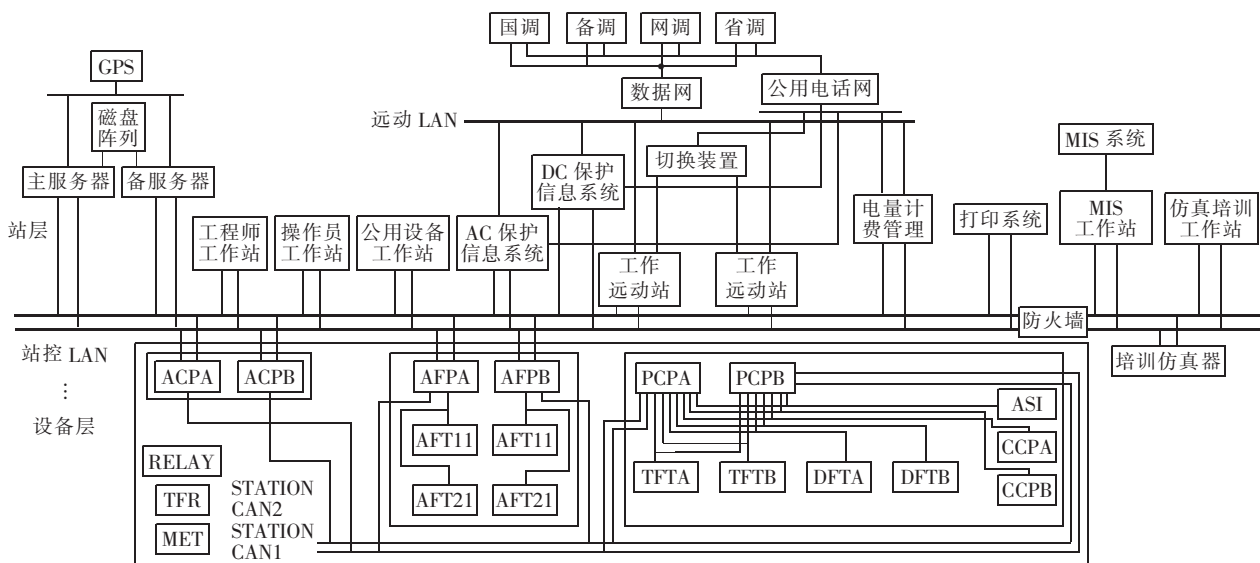


图1 直流控制保护系统结构图

Fig.1 The structure of DC control and protection system

动通信系统及站级 CAN 网。设备层设备按照功能可分为交流站控系统、直流极控系统、直流保护系统。

2 SCADA 系统

高压直流控制保护系统中 SCADA 系统的软硬件,包括对换流站交流开关场(含换流变及备用间隔)、直流开关场、换流站控制楼、阀厅、通信系统、直流线路、换流站辅助系统等监视控制以及与远方调度中心和其他监视场所的通信接口等。

换流站 SCADA 系统的作用是用于监视控制高压直流传输系统以及换流站交流系统的运行控制、数据采集和数据处理。

SCADA 系统是一个模块化、分布化的全面的计算机网络系统,层次结构清晰。它由过程监视单元、过程控制单元、图形操作工作站和主计算机系统组成。所有过程监视与运行的工作站、主计算机通过局域网(LAN)连接,具有信息共享、资源优化使用和功能分布的网络性能。SCADA 系统结构采用开放化设计,将来如有需要便于系统升级和增加新的功能。SCADA 系统必须要保证其高可靠性,重要的子系统、设备和网络、通道都采用冗余体系结构,保证在单通道或单硬件故障下不引起系统故障。

3 交流站控系统

站控系统分为交流站控和直流站控。交流站控系统主要完成交流场、交流滤波器和电容器的监视与控制。其主要功能归纳如下:

- a. 整个换流站范围内的数据采集及信息处理、上送运行人员控制系统;
- b. 全站范围内的开关、刀闸和地刀的操作控制;
- c. 联锁;

- d. 同期;
- e. 交流站控系统内部及辅助系统的事件生成和上传至运行人员控制系统;
- f. 在线谐波监视;
- g. 对辅助系统的监控接口(包括站用电系统的控制、监视,以及对其他辅助系统的监视功能);
- h. 对一次测量装置的接口功能。

以下是交流站控系统的配置原则。

a. 采用分散式结构,按面向物理对象的原则进行各站控制子系统的配置,不同子系统之间尽可能少的交换信息,某一对象异常不影响其他对象功能的正常运行。配置子系统时充分考虑各子系统的负载均衡,避免某一子系统任务过重,造成运行异常。

b. 采用分布式 I/O 系统,I/O 采用按对象设计的原则,即关闭某一对象相关 I/O 的电源不影响系统及其他对象的运行。

c. 采用标准总线 CAN 和 TDM。通信介质采用光纤,提高系统抗干扰能力。CAN 总线用于信号量及控制命令的传输,TDM 总线用于电压和电流信号的传输。

为了保证系统的高可用性,即不因单一故障影响系统正常运行,交流站控系统的主要系统设计为冗余的。冗余的主要方法是双重化,冗余的范围从输入/输出回路到 SCADA,LAN。

4 直流极控系统

4.1 概述

极控系统是整个换流站控制系统的核心,极控系统的控制性能直接决定直流系统的各种响应特性以及功率/电流稳定性。

极控系统功能概要如图 2 所示。

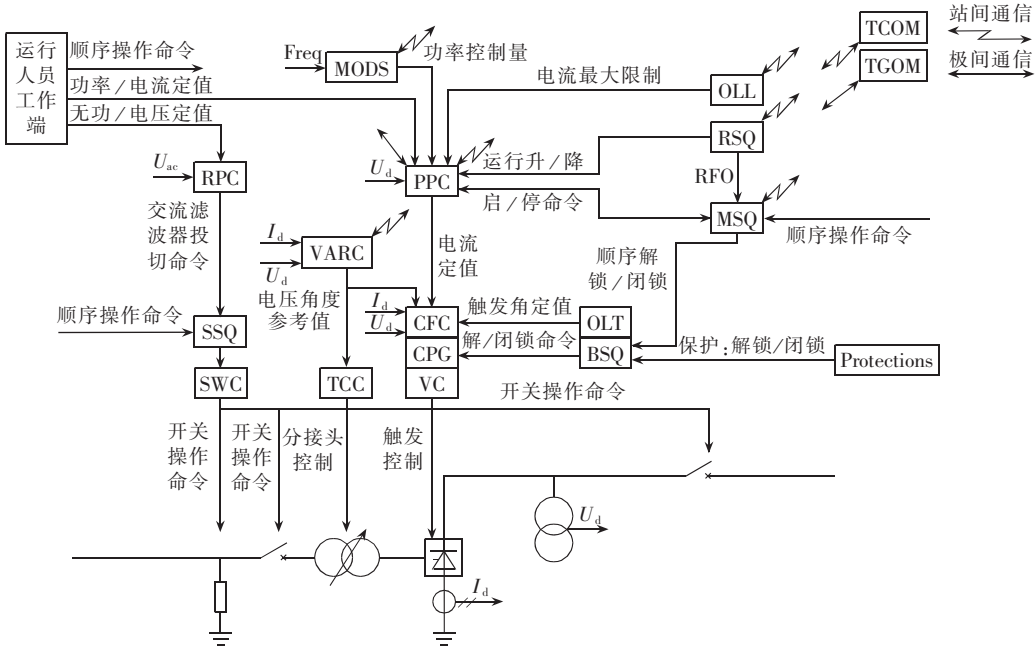


图 2 高压直流控制系统功能框图

Fig.2 Functional diagram of HVDC control system

控制功能模块包括:极功率控制/电流控制(PPC);过负荷限制(OLL);直流功率调制(MODS);换流器触发控制(CFC);控制脉冲发生单元(CPG);无功功率控制(RPC);开关顺序控制(SSQ);模式顺序控制(MSQ);准备顺序控制(RSQ);电压角度参考值计算(VARC);换流变压器分接头控制(TCC);线路开路试验控制(OLT);站间通信(TCOM)。

运行人员设定功率定值和各种直流功率调制后,功率定值经 PPC 单元计算得到电流定值,电流定值再送到 CFC 单元计算得到相应的触发角,CPG 单元产生触发脉冲送到阀控制(VC),CFC 还确保触发脉冲在允许限制范围内。

4.2 基本控制策略

直流系统的基本控制策略,根据控制对象或取直流电流、或取直流电压、或取换流器的电流关断时刻,分别形成了定电流调节、定电压调节、逆变侧定熄弧角调节三种不同的控制策略。

正常工况下,整流侧通过电流速调节器保持直流电流恒定;逆变侧通过定熄弧角调节器或定电压调节器维持直流电压恒定。调节器的选择和实现方法不仅确定了直流系统的稳态工作点,即稳态运行参数,并且确定了直流系统在稳态、小扰动和动态过程中的行为,是影响直流控制保护系统性能的重要方面。

不同的供货商根据交流系统的强弱程度及对直流控制保护系统的要求和研究成果,根据不同换流器及其他直流主设备应力设计以及控制保护系统本身的性能,对基本控制策略的选择和调节器类型、参数的配合均有自己的设计。对于龙政直流工程,ABB 选择定电流/定熄弧角控制作为稳态下整流侧/逆变侧的基本控制模式。在葛南工程改造中,采用定电压和预测型定熄弧角相结合的控制策略作为逆变侧的基本控制模式,并对控制性能进行了改进,确保不出现危害设备的过应力。

当直流电流从一个阀换相到另一个阀时,在同一换相群的 3 个阀中有 2 个阀会同时导通较短的时间,这段时间就是换相时间。因为晶闸管为半控元件,在这段换相时间内,即将退出导通的阀必须承受一定的反向电压,使得载流子反向恢复后,才能安全关断。这段从换相结束到换相电压过零点的剩余的电压-时间区域为逆变侧的换相裕度。

逆变侧采用预测型定熄弧角控制,为了减小换相失败的可能,控制系统需检测和计算当前时刻所对应的逆变侧的换相裕度,该换相裕度不能低于设定值。

现场试验和运行情况表明,该控制策略能够有效防止逆变侧由于交流电压扰动等原因造成的换相失败。逆变侧采用设计的定电压和预测型定熄弧角相结合的控制策略,在直流电流小于额定值时,由于

定电压控制器输出的触发信号提前于图 3 中按照预测型定熄弧角控制的触发时刻,因此逆变侧控制模式自动转为定电压控制,维持直流电压的恒定;当直流电流的定值大于额定直流电流时,逆变侧自动转为定熄弧角控制器起作用;对应额定直流电流稳态工作点,逆变侧定电压控制器和定熄弧角控制器的输出相同。采用了定电压和预测型定熄弧角相结合的控制策略作为逆变侧的基本控制模式,具有较高的电压调节精度,直流电压、电流波动较小,具有较好的稳态性能。当逆变侧运行在定熄弧角时,在低频下具有负阻特性。逆变侧的负阻特性不利于直流系统的稳定。通过采用逆变侧定熄弧角控制(A_{max} 控制)对逆变端的特性进行修正,使得它在暂态情况下具有正斜率,有利于提高直流系统的稳定性。

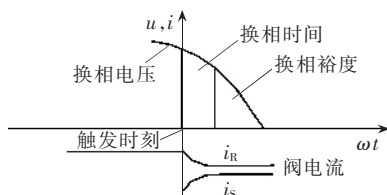


图 3 逆变侧预测型定熄弧角控制

Fig.3 The predicting fixed-extinction angle control at converter side

通过调整定电压调节器、预测型定熄弧角控制器的响应特性,并与直流电流控制器及直流功率控制器的响应特性相配合,使得当逆变器处于定电压及定熄弧角控制之下时,直流系统具有更好的动态性能。与定电压和定熄弧角控制的快速调节相配合,逆变侧分接头采用维持换流变压器阀侧空载直流电压 U_{d0} 恒定方式对换流变压器分接头进行控制,减少了分接头的频繁调节,降低了设备的应力。

4.3 基于 EOC 信号的阀触发的监视和控制功能

ABB 公司换流阀控制上采用控制脉冲回报信号(FP),用于控制系统判断晶闸管阀触发状态;SIEMENS 公司换流阀控制上采用阀电流过零信号 EOC (Extinction Of Current),用于控制系统实时测量熄弧角。在葛南改造直流工程(采用 BBC-SIEMENS 联合设计的换流阀)中设计了利用 EOC 信号进行触发控制和旁通对(BPP)选择的控制策略,并实现了阀触发异常的监视和紧急跳闸功能(VMP)。

基于 EOC 信号的阀触发异常的监视和控制功能,使得极控制系统与 SIEMENS 技术的换流阀和 ABB 技术的换流阀都能够正确接口,实现相应换流器的控制和监视功能,如图 4 所示。

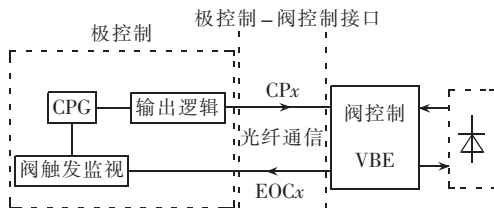


图 4 阀触发和控制接口

Fig.4 Interface between PCP and valve control

CPG 的主要目的是发出 120°电角度的控制脉冲,并将它们分送到阀基电子设备(VBE),实现对换流器的控制。CPG 还完成换流器闭锁和解锁控制。在投旁通对闭锁时,CPG 负责选择正确的旁通对加以点火。

在控制脉冲发生和监视(FPGA)逻辑中,对每一个阀都要进行误触发和丢失点火脉冲的检查,其信号将保持到下一个周期检查时才被更新。对误触发和丢失点火脉冲的检查是基于从 VBE 得到的换流阀的 EOC 信号。

4.4 无功控制

无功功率控制是整个直流极控系统中一个重要的功能模块,作用是根据当前直流系统运行状况和滤波器组的可用状况自动完成对滤波器组的投/切控制,控制与换流站相连的交流系统性能,其包括以下功能:

- a. 根据换流站与交流系统的无功交换量、交流系统电压等决定投/切滤波器组;
- b. 根据滤波器组的状态,对可投/切的滤波器组进行优先级排序,决定投/切哪一类型的滤波器组,以及该类型中的哪一组滤波器。

图 5 所示为直流极控系统无功功率控制的功能概况图。

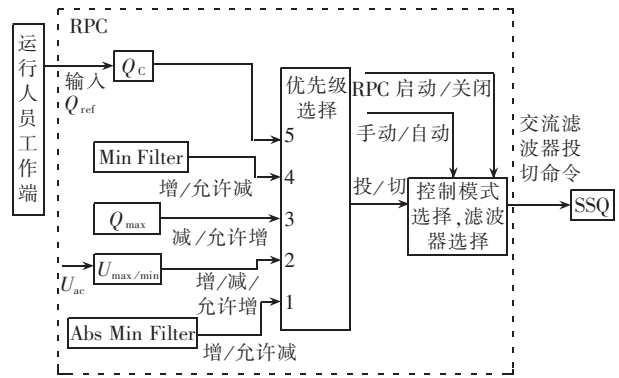


图 5 无功功率控制功能概况图
Fig.5 Reactive power control

为了满足以上要求,无功功率控制具有以下各项功能,并按各优先级决定滤波器的投切。

- a. Abs Min Filter:绝对最小滤波器控制,为了防止滤波设备过负荷所需投入的滤波器组。正常运行时,该条件必须满足。
- b. U_{max} :最高/最低电压限制,监视交流母线的稳态电压,避免稳态过电压引起保护动作。
- c. Q_{max} :最大无功交换限制,根据当前运行状况,限制投入滤波器组的数量,限制稳态过电压。
- d. Min Filter:最小滤波器容量要求,为满足滤除谐波的要求需投入的最少滤波器组。
- e. Q_c :无功交换控制,控制换流站和交流系统的无功交换量为设定的参考值。

如上设计的无功控制策略全面考虑了与交流系统的交换无功、滤除谐波的需求,交流电压限制、滤波器组容量的限制等诸多方面的控制目标,层次清楚,功能完善。

4.5 系统监视和切换

为了达到直流工程所要求的可用率及可靠性指标,直流输电控制系统全都采用多重化设计。直流极控系统为完全冗余的双重化系统,该部分的双重化系统之间可以在故障状态下进行自动系统切换或由运行人员进行手动系统切换。系统切换遵循如下原则:在任何时候运行的有效系统应是双重化系统中较为完好的那一重系统。

极控系统对控制设备故障等级定义分为轻微故障、严重故障和紧急故障。其中,轻微故障是指不会对正常功率输送产生危害的故障,因此轻微故障不会引起任何控制功能的不可用;发生严重故障的系统在另一系统可用(处于 Active 或 Standby 状态)的情况下应退出运行,若另一系统不可用(不是处在 Active 或 Standby 状态),则该系统还可以继续维持直流系统的运行;发生紧急故障的系统将无法继续控制直流系统的正常运行。当两个系统处于相同故障等级的情况下,系统不发生切换。

5 直流保护系统

5.1 直流系统保护的特点

直流系统保护有以下特点。

- a. 保护完全双重化配置:1 套直流保护可完成所有的保护功能,2 套直流保护完成完全双重化保护配置。每套保护自身采取措施保证单一元件损坏本套保护不误动,保证安全性;2 套保护同时运行,任意 1 套动作可出口,保证可靠性。
- b. 每套保护的防误不依赖于其他套保护,使设备之间关系简单,易维护。
- c. 每套保护采取的单一元件损坏防误动的措施。
- d. 每套保护为双输入、双采样、双总线传输、双处理器进行保护运算。

直流保护装置原理如图 6 所示。

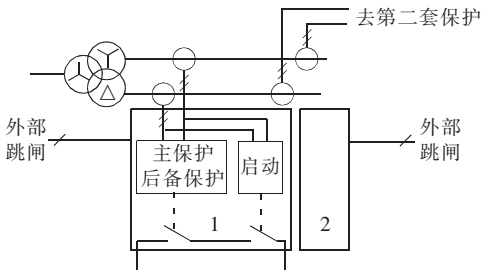


图 6 直流保护装置结构图
Fig.6 Structure of DC protector

具体实现如图 7 所示。

