

±500 kV 葛南与荆沪同塔双回直流系统特性仿真研究

刘臣宾, 卢宇, 邵震霞, 李林, 柏传军, 刘海彬
(南京南瑞继保电气有限公司, 江苏南京 211100)

摘要:文中以探究同塔架设的两回直流系统之间的相互影响特性为出发点,借助实际控制保护系统与实时数字仿真工具 RTDS 构成的闭环仿真系统对葛南与荆沪同塔双回直流输电工程的各种运行工况与故障进行了详细的仿真研究。进一步研究了相对于常规单回架设方式,直流系统采用同塔双回架设方式对各回自身暂态特性的影响情况,并针对同塔双回架设的方式可能出现的几种特殊故障进行了特征研究。仿真结果和研究结论对同塔双回直流输电工程控制与保护系统的功能设计和参数整定提供了有效而可靠的依据。

关键词:直流输电;同塔双回;RTDS;仿真研究

中图分类号:TM726

文献标志码:A

文章编号:1009-0665(2011)04-0001-04

相对于传统的单回架设直流输电线路,采用双回直流输电线路同杆并架技术,可以有效节约线路走廊资源、提高通道输送能力、降低建设成本^[1]。由于同塔架设的双回直流共4个极导线之间存在着静电耦合及电磁耦合,因此会产生一定的相互影响,反过来也有可能影响各回直流本身的特性。然而,相对于应用广泛、研究深入的交流同杆并架技术^[2,3],目前关注于直流同塔双回架设方式的研究还比较少^[4]。

±500 kV 荆沪直流输电系统和技改后的±500 kV 葛南直流输电系统将是国内首个采用同塔双回模式的直流输电工程,同塔双回架设的直流输电线路全长共 907 km。本文以此实际的同塔双回直流输电工程为仿真对象,使用实时仿真工具 RTDS 与实际直流控制保护系统构造的闭环仿真系统,对±500 kV 同塔双回直流系统进行了详细的仿真研究。仿真研究的目的在于弄清同塔双回直流系统的主要特性,以仿真结论指导直流控制保护系统功能设计与参数整定。

1 仿真系统与建模

1.1 仿真系统基本结构

仿真系统采用基于电磁暂态数字仿真原理的 RTDS 仿真器模拟直流输电系统一次设备;直流控制保护系统则采用南瑞继保直流控制保护设备。实际外部控制保护系统与 RTDS 数字仿真器共同构成一个闭环的仿真系统。系统结构与连接方式见图 1。RTDS 与外部控制保护系统之间的接口信号包括脉冲输入量、模拟输出量、数字输入量和输出量^[5]。

1.2 实时仿真系统建模

±500 kV 葛南与荆沪同塔双回直流系统结构如图 2 所示。

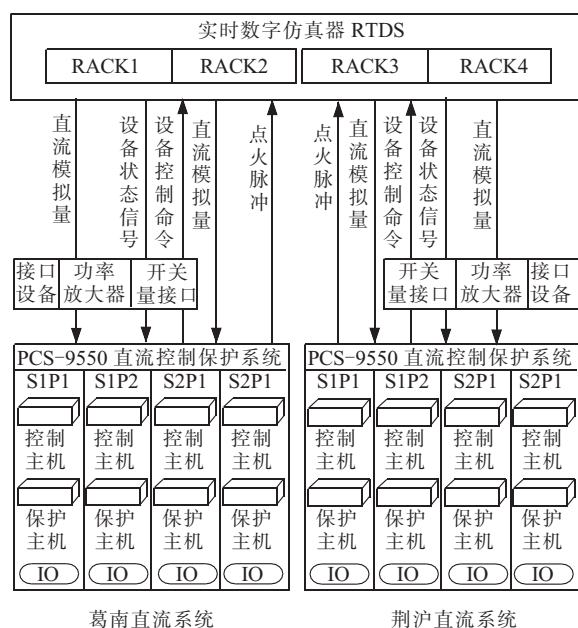


图1 基于RTDS的仿真系统结构

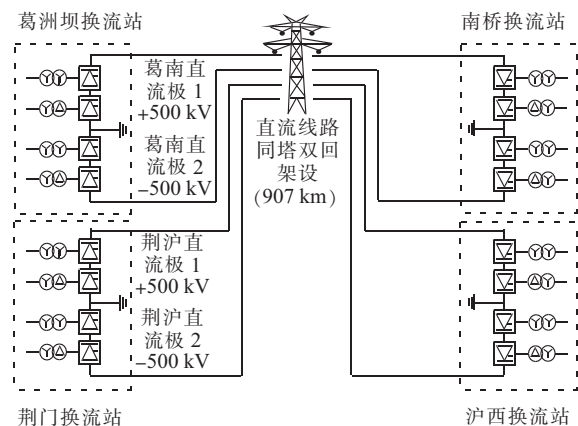


图2 ±500 kV 葛南与荆沪同塔双回直流系统结构

同塔架设的两回直流线路的排列方式:同一回直流系统的正负两极导线布置在杆塔的同一侧,极性分别采取上负下正和上正下负。

2 同塔双回直流输电系统仿真研究

对于同塔架设的双回直流系统,两回线路之间存在着静电耦合及电磁耦合。在稳态工况下,两回直流间相互影响甚微,因此研究的重点放在直流启动、停运、指令扰动以及交直流故障等情况下,考察同塔架设的双回直流系统间的相互影响以及这种架线方式对直流系统自身特性的影响。

2.1 直流正常启动/停运

仿真研究了一回直流稳态运行、另一回直流正常双极启动以及双极停运的各种情况。系列仿真结果表明:一回直流系统的正常启动和停运过程对同塔双回架设的另一回直流系统产生的扰动非常微小,可以忽略不计。

2.2 电流/功率阶跃

在同塔双回研究中,用阶跃响应试验来定量的评估实际系统运行时由于系统扰动导致一回直流电流/功率扰动后对另一回直流中产生的影响情况。

仿真研究分别对荆沪、葛南直流正极、负极进行了电流阶跃和功率阶跃试验,观察了同塔双回架设的各非扰动极在阶跃过程中的响应特性。此外,本项仿真研究还对比了同塔架设方式与单回架设方式下直流系统阶跃响应的差异。

系列仿真结果表明:

(1) 当同塔双回直流系统中的其中一极由于某种扰动发生电流/功率跃变时,会对同塔架设的另一极以及另一回直流产生一定的扰动,且对另一回直流扰动大小与对本回另一极的扰动大小相当。

(2) 经过同塔双回改造后的直流系统,如果直流线路等值电阻值不变,控制系统的阶跃特性保持与改造前单回架设时基本一致。

2.3 直流紧急停运

由于从额定直流功率直接紧急停运对系统扰动最大,仿真研究以此为对象,详细仿真了荆沪和葛南直流正极、负极以及双极紧急停运过程。

系列仿真结果表明:

(1) 当同塔双回直流系统中的一回或一极紧急闭锁时,会对同塔架设的另一回直流产生一定的扰动。闭锁前系统输送功率越大,扰动越大。

(2) 单极闭锁时,闭锁极对另一回直流双极的扰动大小与对本回另一极的扰动大小相当。

(3) 如果双极同时紧急停运,由于同时刻闭锁的正负极在另一回直流系统中的扰动存在反向的叠加效应,因此双极紧急停运对另一回的扰动不会大于单极紧急停运对另一回的扰动。

(4) 由于正向的叠加效应,同塔架设的4个极

中,同极性的2个极同时紧急停运对另2个健全极的影响最甚。

2.4 与直流系统相连的交流系统故障

研究时分别对整流站和逆变站的交流母线单相、两相和三相接地故障进行了详细的仿真,重点比较了同塔双回架设与独立架设2种方式下,直流系统在故障恢复特性方面的异同。

系列仿真结果表明,在同等系统条件下,采用同塔双回架设方式与采用独立架设方式的直流系统在交流系统故障后的恢复特性基本一致,即同塔架设方式对直流系统在交流系统故障后的恢复特性没有明显的影响。

2.5 直流系统 100 Hz 保护

在交流系统发生不对称故障时,直流电流中会出现 100 Hz 分量。直流系统配置 100 Hz 保护来作为交流系统的后备保护^[6]。

仿真研究以交流侧单相接地故障为典型故障,首先研究了整流侧和逆变侧分别发生 500 ms 单相接地故障时,采用同塔架设和独立架设方式对故障系统 100 Hz 分量的影响。在额定功率下,荆沪直流整流站交流母线发生 500 ms 单相金属性接地故障时,同塔架设与独立架设方式,单极直流电流 100 Hz 分量的对比如图 3 所示。

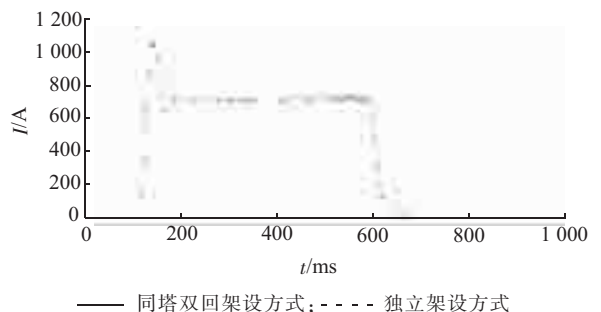


图 3 直流电流 100 Hz 分量对比

仿真结果表明:对于故障回直流的 100 Hz 分量,同塔架设与独立架设方式没有明显区别,因此在整定同塔双回直流系统的保护定值时完全可以参照常规直流的原则。

仿真结果还表明:

(1) 同塔双回架设的两回直流线路间感应的 100 Hz 分量水平平均小于目前工程设定的 100 Hz 保护的定值,即该 100 Hz 保护的定值可以躲过同塔架设方式带来的感应分量。

(2) 同塔双回的 4 个换流站中任意 1 个发生交流系统故障,非故障回直流中的 100 Hz 分量等于纯感应分量与自身 100 Hz 分量的之和。这是由于同塔双回架设的 2 个换流站距离较近,并且存在比较紧密的交流系统联系,因此发生在同一区域内另一换

流站的交流故障同样会导致本换流母线电压的畸变,从而在直流系统中产生 100 Hz 分量。

2.6 直流系统 50 Hz 保护

当换流阀发生丢失脉冲等触发异常的故障时,直流电流中会产生较大的 50 Hz 电流分量,并且直流线路对该分量具有放大作用。显然,这种交变的基频分量会通过同塔架设的直流线路相互感应,从而影响非故障回直流。本文详细仿真研究了整流和逆变侧丢脉冲故障时,同塔架设的各极直流线路上的 50 Hz 分量的特性,并比照了同塔架设与独立架设方式对 50 Hz 保护的影响。荆沪直流整流极 1 的 Y 桥 6 号阀丢脉冲 500 ms 故障时,同塔双回与常规单回架设方式下,极 1 直流电流中 50 Hz 分量的波形对比如图 4 所示。

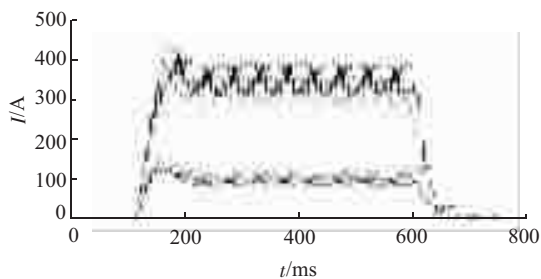


图 4 直流电流 50 Hz 分量对比

仿真结果表明:

(1) 同塔双回架设方式会助增直流线路对 50 Hz 分量的放大效应。因此对于 50 Hz 保护考虑两侧切换定值的配合。在较大 50 Hz 电流情况下切换段动作时间可以加长,同时 50 Hz 保护不建议采用反时限方式实现。

(2) 故障极 50 Hz 分量在同塔双回架设的其他 3 个极中感应的大小基本相当。同塔双回直流系统的 50 Hz 保护定值的动作门槛的整定时完全可以参照常规直流的原则。

2.7 直流线路故障

直流线路行波保护和电压突变量保护是直流线路故障的主保护,主要依靠检测直流电压变化率 dU/dt 和直流电压。仿真研究重点考察了同塔双回架设方式在直流线路故障时的对电压变化率 dU/dt 的影响情况。荆沪直流极 1 线路中点处发生 800 ms 金属性接地故障时,同塔架设与独立架设方式,故障极直流电压变化率 dU/dt 波形对比如图 5 所示。

仿真结果表明:同塔双回直流线路单极接地故障的特性与常规单极架设方式基本一致,因此,直流线路保护可以参考常规直流系统来配置和整定。

2.8 直流碰线故障

对于同塔双回架设的直流系统,两回直流输电线路的正负极分别布置在杆塔的两侧,从而就存在

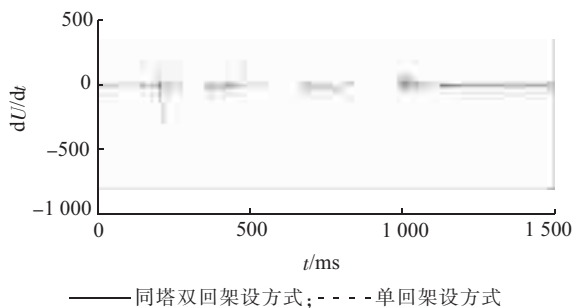
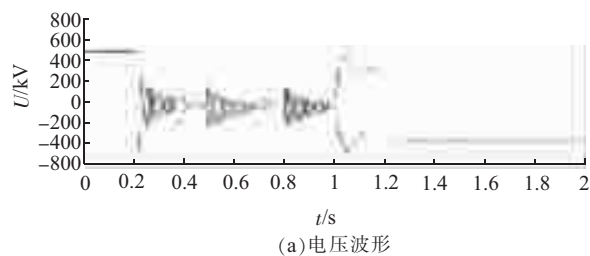
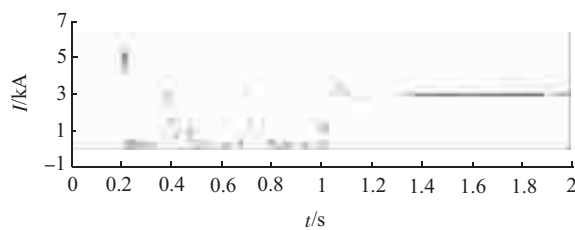


图 5 直流电压变化率 dU/dt 波形对比

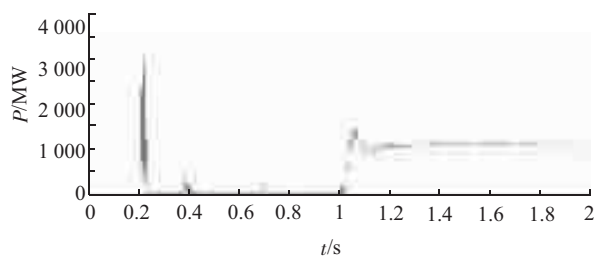
正负极碰线的可能性,这是需要研究的特殊情况。荆沪直流极 1 与极 2 线路碰线 800 ms 时两极中直流电压、电流和功率的波形如图 6 所示。故障时两极功率同时失去,保护 2 次重启线路不成功第 3 次降压重启。



(a) 电压波形



(b) 电流波形



(c) 功率波形

图 6 直流电压及电流和功率的波形

系列仿真结果表明:常规直流线路保护能保护同塔双回直流碰线故障情况。但是,相比与单极线路故障,直流碰线故障可能引起一回直流双极功率同时失去,从而增加该回直流换流站交流过电压的严重程度。

实际上,直流碰线故障又分为两极碰线和两极接地 2 种情况。对这 2 种故障的仿真结果表明:两者的暂态过程相同,故现工程配置的保护无法将两者区分开,但能正确保护。

与常规独立架设的直流系统不同,当遇到雷击

时,同塔架设的同极性极可能同时故障,这是同塔双回直流系统直流线路的另一种特殊故障。仿真研究了同塔双回直流同极性的两极碰线以及同时接地故障的情况,结果表明:

(1) 2个同极性直流极的电压大小相差不大,在发生碰线故障时电压变化较小,由于故障点有电流流过,电流将在两回直流间重新分布,但是两站的和电流保持不变,整体功率基本不变,故障必须依靠直流线路纵差保护动作后切除。

(2) 两回直流同极性极同时发生接地故障与单回直流发生接地故障的系统响应相同,故每回直流将通过直流线路保护重启来消除故障。

3 结束语

采用实际控制保护系统与实时数字仿真器RTDS搭建了闭环的仿真系统,模拟了 ± 500 kV葛南直流和 ± 500 kV荆沪直流同塔双回直流输电系统。通过大量仿真试验研究,最终确定同塔双回直流系统在暂态过程中的相互影响有以下主要特征:

(1) 一回直流的某一极发生扰动或故障,对另一回直流两个极的扰动大小与其对本回另一极的扰动大小相当。

(2) 扰动极或故障极的响应特性由扰动与故障本身决定,不受同塔双回架设方式的影响。

(3) 交、直流故障时,同塔双回线路间的相互影响不会导致保护误动作。

(4) 同回直流正负极碰线、两回直流同极性直流极碰线2种特殊故障均可通过已有的直流线路故障来保护。

基于全部仿真分析结果,在同塔双回直流控制保护系统功能设计与参数整定时有如下依据:

(1) 在线路参数相同的前提下,同塔双回直流控制系统参数可以参照常规直流来设定,其系统的响应特性和故障后的恢复特性均能够满足技术上的要求。

(2) 常规直流的保护配置和保护原理能够满足同塔双回直流的安全性要求。主要通过合理策略避免双回直流发生碰线故障时同时闭锁。

参考文献:

- [1] 潘靖,易辉,陈柏超.我国紧凑型与同塔双回输电现状与展望[J].高电压技术,2005,31(9):25-27.
- [2] 胡丹晖,涂彩琪,蒋伟,等.500 kV同杆并架线路感应电压和电流的计算分析[J].高电压技术,2008,34(9):1927-1931.
- [3] 傅中,张必全.500 kV同杆并架线路感应电压和电流的仿真与研究[J].电力建设,2007(7):31-33.
- [4] 石岩,王庆,聂定珍,等. ± 500 kV直流输电工程同杆并架技术的综合研究[J].电网技术,2006,30(11):1-6.
- [5] 龙英,马玉龙,曾南超,等.RTDS应用于直流控制保护系统的仿真试验[J].高电压技术,2005,31(8):56-58.
- [6] 周红阳,余江,黄佳胤,等.南方电网直流100 Hz保护的改进措施[J].电力自动化设备,2007,27(12):96-100.

作者简介:

刘臣宾(1965-),男,江苏南京人,高级工程师,从事电力系统自动化设备研究工作;

卢宇(1979-),男,湖北荆州人,工程师,从事直流输电控制保护系统的研究与开发工作;

邵震霞(1976-),女,浙江舟山人,高级工程师,从事直流输电控制保护系统的研究与开发工作;

李林(1980-),男,安徽太和人,工程师,从事直流输电控制保护系统的研究与开发工作;

柏传军(1981-),男,江苏淮安人,工程师,从事实时数字仿真系统和电磁暂态仿真系统的研究与应用工作;

刘海彬(1978-),男,四川隆昌人,高级工程师,从事直流输电控制保护系统的研究与开发工作。

Simulation and Analysis of the Genan and Jinghu ± 500 kV Double Circuit HVDC Power System

LIU Chen-bin, LU Yu, SHAO Zhen-xia, LI Lin, BAI Chuan-jun, LIU Hai-bin

(Nari-Relays Electric Power Co.,Ltd., Nanjing 211100, China)

Abstract: In order to explore the interaction characteristics of double circuit on same tower, based on the closed-loop simulation system consisting of the actual control and protection system and real time digital system (RTDS), many kinds of operation conditions and faults of the Genan and Jinghu ± 500 kV double circuit HVDC power system are analyzed. Compared with the conventional single transmission line, the influences of the double circuit HVDC system to their own transient characteristics are studied, and some possible faults are also analyzed. Simulation results and conclusions can provide effective and reliable basis for the functions design and parameter setting of double circuit HVDC power system.

Key words: HVDC; double circuit on same tower; real time digital system (RTDS); simulation and analysis