

电气二次反事故数字仿真系统的研究

提出了一种基于电磁暂态仿真软件(EMTP)应用于电气二次反事故研究的新方案。利用发电机和电网一次系统设备参数建立准确的仿真模型,模拟电力系统在各种工况下由于电气二次系统的异常运行状态引发电网安全事故的情形。根据仿真结果结合运行实际制定专项反事故措施,克服了以往依靠电力系统的现场实测方法和电网安全事故总结进行反事故措施拟定的局限性。基于EMTP的电气二次反事故数字仿真系统的应用结果表明,其挖掘出了电网实际运行二次设备中潜在的安全风险和隐患,以二次设备健康运行状态在电网安全稳定运行,为电气二次反事故研究提供重要的理论基础和技术支撑。

徐 剑 宋福海/国网福建省电力有限公司调度控制中心 吕庭钦/国网福州供电公司

近些年国外发生的大停电事故多数起源于严重故障或连锁反应故障的冲击,并且历次事故的扩大都与继电保护和安全稳定控制装置不合理配置或者存在薄弱环节以及专业技术管理缺乏全局协调机制有着直接的因果关系^[1-3]。而今,社会对供电安全可靠性的要求越来越高,因此发展先进可靠的继电保护和稳定控制技术,升级并优化配置电网自动化设备显得日趋重要。

目前电网继电保护设备配置方案主要依靠专业技术规程和定值整定经验积累,但是在电网运行方式发生变化时,常规方式下的配置模式并非能够最大限度地满足继电保护“四性”要求,为此,有些电力专家提出了电网继电保护设备配置的动态识别和在线整定的研究课题^[4,5],旨在让保护功能实现最优状态;同时,随着现代电网运行管理水平和电气设备可靠性的提高,基层专业技术人员和运维人员处理电网事故的机会

很少,难以积累丰富的实践经验,亟需一套满足事先作好充分反事故预案准备和反事故技术技能培训的计算分析及仿真试验系统。

因此,提升继电保护专业技术管理水平和层阶并作好电网“三道防线”建设避免发生大面积停电安全事故,深入研究和制定电气二次反事故措施并强化电网运维检修人员安全作业意识,协助专业技术人员提升分析和判断电网事故的能力及准确度,研究电气二次反事故数字仿真系统是一条非常有效的捷径。

数字仿真系统结构

电气二次反事故数字仿真系统将作为试验研究对象的电力系统分成两个部分:①数字子系统。利用发电机和电网一次系统设备参数建立准确的数学仿真模型。②模拟子系统。对电网一次系统设备进行保护和控制的电网自动化设备。

数字子系统嵌入电力系统电磁暂态仿真程序EMTP的内核,在仿真设备中根据电网状态和规模进行预先设置采样点数的高速时间离散数值计算和接收执行模拟子系统数字开关反馈量,为保证计算速度实时性和准确性常规设置24点周波采样率;模拟子系统按照满足仿真实验需要的电网规模配置相应数字化继电保护和安全自动设备,减少了模拟信号和数字信号之间相互转换的模拟元件,缩短了数字子系统与模拟子系统之间的信号转换延时,相应提高了数字仿真系



徐 剑/高级工程师

关键词/Keywords

继电保护·
电磁暂态·
数字仿真·
反事故研究·

统的实时性，并且将自动化设备动作情况实时反馈给数字子系统。

数字仿真设备中的数字子系统是根据电网设备元件建立的数学模型，各节点信息利用24点周波采用率的离散数据表达，而模拟子系统中运行的是符合IEC 61850-9-2标准的80点周波采样率数字量^[6-8]，两个子系统之间无法建立起“直采直跳”的高速同步串行通道，数字子系统通过接口前向通道将电网节点潮流信息传输给模拟子系统，同时通过接口后向通道将模拟子系统开关模拟反馈量实时传递给数字子系统。因此，接口的前后兼容性设计成为数字仿真的关键部件，包含中间高速通信设备、高速数据格式转换设备和开关量模数转换设备三个部分。利用插值算法原理技术实现数据由数字子系统向模拟子系统方向高速转换构成接口的前向通道^[9-11]，将模拟开关量转换成数字开关量的转换设备和高速通信设备共同组成接口的后向通道。图1为数字仿真系统结构。

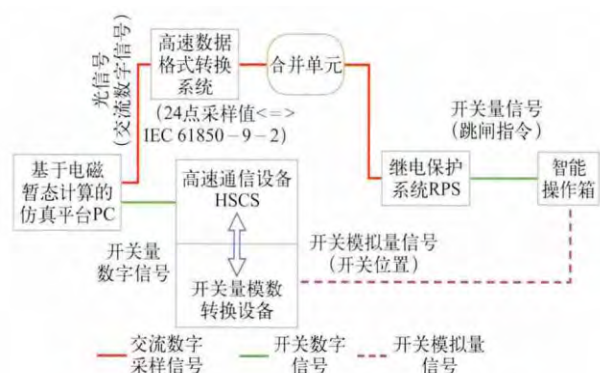


图1 数字仿真系统结构

实验仿真系统模型与仿真分析

1. 实验仿真系统建模和设计参数

实验仿真系统建模和设计参数以电网实际构架和实测参数为例，电网一次系统主要包含两座500 kV智能变电站，其一次主接线采用3/2接线，站间由双回500 kV输电线路联系，N站侧为单串“线线串”结构，作为系统电源侧在双回线路发生故障时配合M站侧保护动作；M站侧为两串“线变串”结构，两台500 kV联络变压器中性点均为直接

接地，220 kV侧为有源负荷侧，35 kV侧为调节本站母线电压的电容器和电抗器组合。正常运行方式下N站侧电源节点出力 $S_1=S_2=13\ 369\text{ MV}\cdot\text{A}$ ，M站侧电源节点出力 $S_3=S_4=4\ 000\text{ MV}\cdot\text{A}$ 。电气二次反事故仿真模型如图2所示。

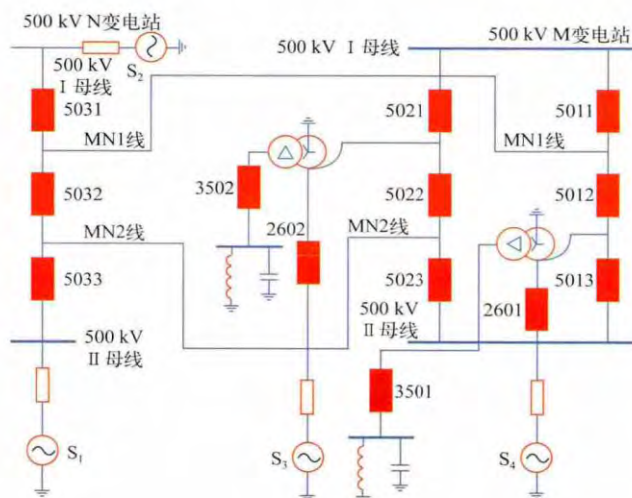


图2 电力系统反事故仿真模型

仿真模型中各元件试验参数如下表所示。

表 试验参数

输电线路参数					
参数/ (Ω/km)		参数/ (μF/km)			
R_i	0.020	C_i	0.012 995		
R_0	0.171 7	C_0	0.009 150		
X_1	0.280 0	CTM (N站侧)		4 000/1	
X_0	0.640 7	CTM (M站侧)		3 200/1	
联络变压器参数					
参数/MV·A		参数 (pu)		参数/kV	
S_H	1 000	Z_{H-L}	0.60%	V_H	525
S_M	1 000	Z_{H-M}	0.20%	V_M	230
S_L	1 000	Z_{M-L}	0.45%	V_L	36
CT_H	3 200/1	CT_M	3 200/1	CT_L	4 000/1

2. 事故预演过程

2013年11月27日10:00:00，M站侧1#联络变压器35 kV侧发生BC相间短路故障，经过600 ms延时，1#联络变压器2套RCS-978保护低压侧过电流 t_1 延时时段动作跳开高压侧5013断路器、中压侧2601断路器以及低压侧3501断路器；延时200 ms，5012断路器失灵保护动作，三跳5011断路器；延时

140 ms, 500 kV MN1线(M站侧)第一套远方跳闸就地判别装置“二取一有判据”逻辑动作跳开5031、5032断路器。2013年11月27日10:00:05, 500 kV MN2线发生A相雷击瞬时性故障, 两侧第二套装置电流差动保护动作, 且N站侧双套保护快速距离动作, 全线速动单跳A相断路器, 但M站侧双套保护快速距离未动作; 延时700 ms, N站5033断路器保护重合闸出口, M站侧5023断路器保护重合闸出口, 两侧先重断路器重合成功, 延时300 ms, M站侧5022断路器保护重合闸出口, 后重断路器重合成功。

3. 仿真计算波形

对图2所建立电力系统反事故仿真模型中系统故障1和系统故障2分别进行仿真计算, 用0时刻替代系统第一次故障发生时的绝对时间作为描述事故过程相对时间的起点, 系统第一次故障起动前采集100 ms波形, 如图3所示, 可以发现在整个故障期间B、C相电流相位相反的现象。

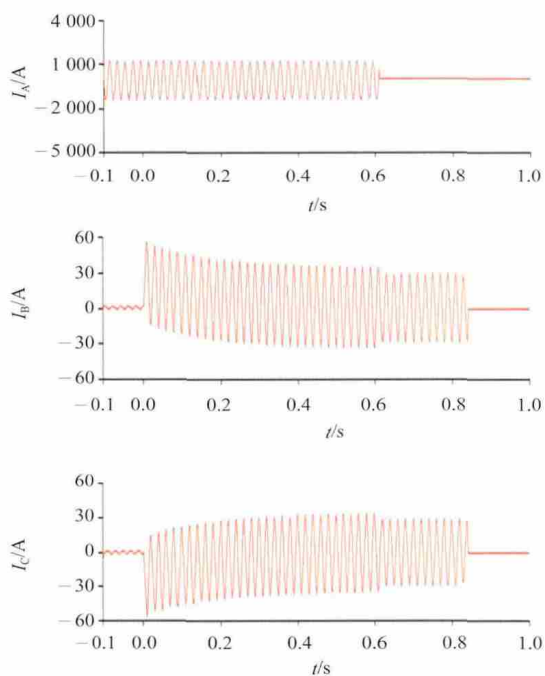


图3 1[#]联络变压器低压侧三相电流

1[#]联络变压器低压侧仿真波形如图4所示, 从该波形图中可以看出, 在5012断路器失灵保护动作切除为故障点1提供短路电流电源前大约200 ms内, 作为接地系统侧的C相电流相位与A、B相电

流相位相反, 且幅值为A、B相电流幅值两倍, 该结论亦可从Ynd11接线联络变压器在d侧BC相间短路时短路点边界条件推导得出, 本文不详作介绍。

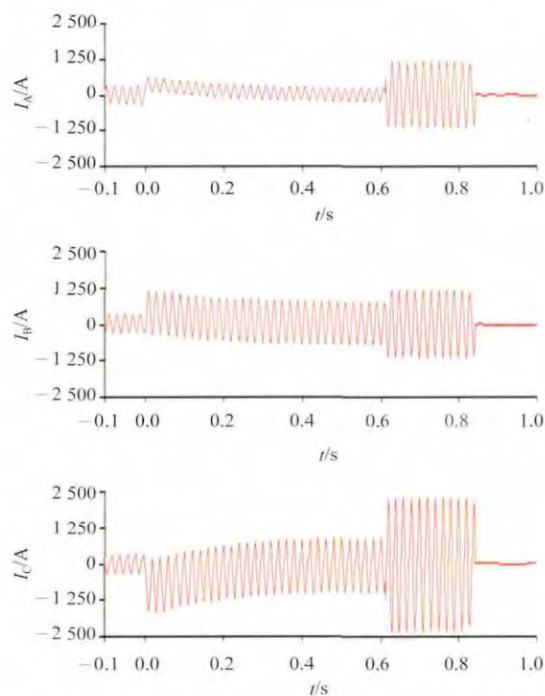


图4 1[#]联络变压器高压侧5012断路器三相电流

在绝对时刻为5 s时, 系统发生第二次瞬时性短路故障, 5023断路器先重合上时M站侧500 kV II段母线处于空载状态, 待后合断路器5022延时1 s重合上时恢复2[#]联络变压器供电, 如图5所示。

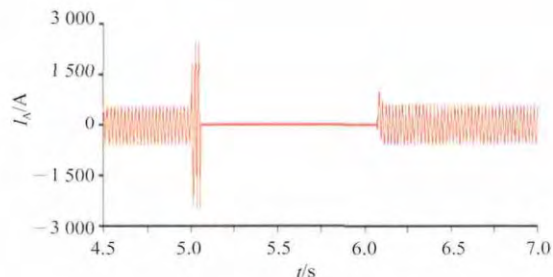


图5 M站侧MN2线A相电流

4. 事故分析

首先, 1[#]联络变压器第二套保护低压侧过电流 t_1 延时段动作跳三侧断路器。经检查装置内整定值, 发现 t_1 时限跳闸矩阵被错误整定为“跳各侧”, 所以在0.6 s时即跳各侧断路器并起动高压

侧开关失灵，正确定值为“跳低压侧”；还发现该套保护装置“跳5012开关第二组”出口压板未可靠投入，导致5012开关未能在第一时间切除故障。

其次，由图3可得出如下结论，在低压侧3501断路器跳开后故障电流仍然存在，说明第一故障点发生在断路器和套管电流互感器之间，且BC相电流相位相反，判断为BC相间短路故障。

再次，500 kV MN1线（M站侧）仅第一套远方跳闸就地判别装置动作，原因为第二套远方跳闸就地判别装置PT空开跳闸，引起“TV断线”闭锁了第二套远方跳闸就地判别装置“低有功功率”判据。

最后，第二次故障发生后线路重合闸成功，说明为瞬时性接地故障，故障相录波图如图5所示，第一套主保护未动作经查证为光纤通道异常闭锁了主保护功能；M站侧双套保护快速距离未动作说明故障发生在N站侧出口位置处。

本次事故预演案例充分阐述了继电保护异常运行状态引起设备拒动导致电网一次设备越级跳闸扩大停电范围的情形。

结束语

在主网架结构薄弱情形下，保证二次继电保护和安全自动装置的健康运行状态至关重要，务必做好电气二次反事故仿真研究、分析以及培训工作，通过电气二次反事故数字仿真系统计算准确模拟运行电网状态并挖掘出系统中存在的薄弱环节，为事故预想和预案提供可信依据，对于防止大面积停电事故的发生显得十分重要。

参考文献

[1] 王梅义. 大电网事故分析与技术应用 [M]. 北

京：中国电力出版社，2008.

[2] 王涛，王兴武，顾学平，等. 基于概率及结构重要度的电力系统事故链模型与仿真 [J]. 电力自动化设备，2013，33（7）：51-56.

[3] 杨明玉，田浩. 基于继电保护隐性故障的电力系统连锁故障分析 [J]. 电力系统保护与控制，2010，38（9）：1-5.

[4] 王增平，刘国平，仇向东，等. 继电保护定值在线整定功能的实现 [J]. 电力系统保护与控制，2012，40（1）：127-130.

[5] 段惠明，何飞跃，李志宏，等. 基于EMS和故障信息系统的在线定值管理系统构想 [J]. 电力系统自动化，2006，30（10）：97-99.

[6] 李国杰，张丹，邓清闯，等. 基于IEC 61850-9-2 LE的子站一致性测试系统的设计与实现 [J]. 电力系统保护与控制，2010，38（6）：115-118.

[7] 赵应兵，周水斌，马朝阳. 基于IEC 61850-9-2的电子式互感器合并单元的研制 [J]. 电力系统保护与控制，2010，38（6）：104-106，110.

[8] 夏梁，梅军，郑建勇，等. 基于IEC 61850-9-2的电子式互感器合并单元设计 [J]. 电力自动化设备，2011，31（11）：135-138.

[9] 周斌，鲁国刚，黄国方，等. 基于线性Lagrange插值法的变电站IED采样值接口方法 [J]. 电力系统自动化，2007，31（3）：86-90.

[10] 徐广辉，李友军，王文龙，等. 数字化变电站IED采样数据同步插值的设计 [J]. 电力系统自动化，2009，33（4）：49-52.

[11] 向珉江，高厚磊，安艳秋，等. 一种提高数据同步准确度的自适应插值算法 [J]. 电力系统自动化，2012，36（8）：77-81.

（收稿日期：2014-05-14） EA

.....

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告