

南方电网交直流保护的数字式波形回放系统研究

周红阳, 黄佳胤, 余江

(中国南方电网电力调度通信中心, 广东 广州, 510620)

Research of Digital Wave Replay System for AC and DC Protection Relays in China Southern Power Grid (CSG)

ZHOU Hong-yang, HUANG Jia-yin, YU Jiang

(CSG Power Dispatching & Communication Center, Guangzhou, Guangdong 510623, China)

Abstract: Wave replay is one of the important methods to verify the performance of protection relay. Traditional analogue replay can only see when and which protection is released or started, and has no way to test internal parameter. Digital replay system based on GAOZHAO(GGI) HVDC project, is presented in this paper. By digital simulation model of protection, which has the same logic as really relays, it is easy to test both the total performance and internal logic of protection relays. Comparison between analogue replay and digital replay is carried out in this paper.

Key words: replay, HVDC protection, digital simulation model

摘要: 波形回放是验证保护装置动作行为的重要方法之一, 而传统意义上的波形回放只能观察直流保护装置的最终动作行为, 无法观测其中间结果。为此提出了数字式波形回放系统的概念, 对比分析了传统的模拟式回放系统和数字式回放系统, 并以高肇直流工程为例建立了与实际保护装置内部逻辑相同的保护数字式仿真模型, 分析保护的动作为及逻辑的正确性。

关键词: 波形回放; 直流保护; 数字仿真模型

在分析保护装置的性能时常利用电力系统动态模拟装置模拟故障, 对继电保护进行校验, 或者用

波形回放设备把故障期间记录的真实的电压电流数字量转化为模拟量并输入到真实的保护继电器中观察它的动作行为。无论哪种方法都需要特定的硬件设备, 只能观察保护装置的最终动作行为, 无法观测其中间结果, 给分析保护逻辑的正确性带来了一定的难度, 而且只适用于已有的保护装置。因此, 很有必要改进保护装置的分析手段。

对于直流保护而言, 这种传统的分析手段局限性更加突出。直流保护的动作为和交/直流系统的运行工况及极控装置的动作为密切相关, 不可能通过动态模拟装置模拟故障, 只可能通过波形回放设备将录波数据输入到实际的直流保护装置中观察其动作为。由于直流保护的所有保护功能都集中在一套保护装置中, 这种传统意义上的波形回放系统要求波形回放设备具有足够的模拟量输出通道。

1 波形回放系统比较

根据实现方式的不同, 波形回放系统可分为模拟式和数字式两种。

1.1 模拟式波形回放系统

模拟式波形回放系统采用实际的保护装置作为回放工具, 根据保护装置的动作为分析保护动作为是否正确。

模拟式波形回放系统由波形产生系统、功率放大器 and 实际保护装置 3 个主要部分构成。波形产生系统的主要作用是产生保护装置所需要的电压和电流量, 可以为数字仿真系统的计算结果、现场故障录波或者波形发生器的输出等。功率放大器的主要

作用是将波形产生系统输出的电压和电流放大, 满足实际保护装置的要求。如果实际保护装置可以接收小信号量或者是数字量, 就可以不需要功率放大器, 将波形发生系统和实际保护装置直接相联。当波形产生系统为动态模拟系统时, 保护装置也可以不借助于功率放大器, 直接和动模系统相连。

模拟式波形回放虽然能最真实地再现故障发生期间保护现场装置的动作行为, 但所需要的硬件费用很高, 需要占用一定的实验场地, 实验人员需要专门的培训, 而且系统通用性较差, 要分析不同厂家的保护装置的动作为必须购买各厂家的保护装置。而且, 要在模拟式波形回放系统中查看保护装置的中间计算结果, 必须借助于专门的调试分析软件, 还有可能涉及到保护装置内部软件的修改。保护装置自带的录波往往也要消耗一定的 CPU 资源, 因此, 保护装置自带录波的录拨量会受到限制。

1.2 数字式波形回放系统

数字式波形回放系统以实际保护装置的数字仿真模型作为回放工具, 分析保护动作行为是否正确。

数字式波形回放系统由波形产生系统、保护仿真模型和结果输出 3 个主要部分组成, 如图 2 所示。波形产生系统的主要作用是产生保护装置所需要的电压和电流, 可以为仿真系统的计算结果、现场录波或者波形发生器的输出等。在数字式波形回放系统中用数字式保护仿真模型取代了模拟式波形回放系统中的实际保护装置, 这也是两种波形回放系统的最大差别。

和模拟式波形回放系统相比, 数字式波形回放系统不需要新增任何硬件设备, 具有投资小、占地少、使用灵活方便的特点, 只需要建立相应的模型就可以分析不同厂家保护装置的动作为, 而且可以很灵活地根据分析需要输出有关的模拟量或数字量, 分析直流保护内部逻辑的流程。

2 数字式波形回放系统的结构及主要特点

2.1 数字式波形回放系统的主要组成部分

直流保护的数字式波形回放系统主要分为录波读取功能模型、直流保护模型和输出显示模型等几部分, 具体的结构如图 1 所示。

基于 PSCAD/EMTDC 仿真软件的直流保护的数字式波形回放系统的基本工作原理是使用 PSCAD/EMTDC 仿真软件的文件读取功能读取直

流录波, 并将各录波通道的数据信息输入直流保护模型, 实现对直流录波的回放。

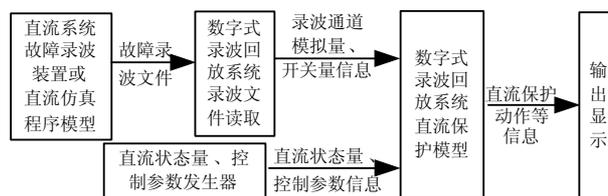


图 1 直流保护的数字式波形回放系统结构示意图

Fig.1 Diagram of Digital Replay System of HVDC Protection

其中, 直流保护模型是直流保护的数字式波形回放系统的最重要环节, 直接关系到整个系统的正确性, 需要结合实际软件逻辑建立相应的模型。本文所建立的直流保护仿真模型分为 5 个子模块, 分别为换流器保护模块、直流线路保护模块、接地极保护模块、直流母线保护模块及极控保护模块。每个子模块都有自己的输入和输出环节。

直流保护的逻辑与直流的运行状态有密切关系, 不同的运行方式下保护采用不同的动作判据和出口方式, 因此需要特定的直流状态量、控制参数发生器模型定义当时的直流工况。直流状态量、控制参数发生器模型可以提供直流保护所需完整的直流控制系统信息, 与录波读取功能模型一起构成了直流保护模型的输入。这是直流保护的数字式波形回放系统与交流保护的数字式波形回放系统的最大差异。

2.2 数字式波形回放系统的主要特点

基于 PSCAD/EMTDC 仿真软件平台上建立的直流保护数字式波形回放系统有以下几个主要特点:

(1) 能非常方便的对各种直流故障和直流保护动作录波进行回放。

直流保护的数字式波形回放系统是纯数字式的系统, 不需要连接实际保护装置, 完全不需要进行外部接线, 各录波数据的读取和输入保护装置只需要在软件模型上进行连接和设置即可。

直流保护与直流控制系统的关系密切, 直流保护需要从控制系统输入多个状态量及控制参数, 而实际直流故障录波中控制系统的状态量和控制参数并不完整。进行直流录波回放的时候, 需要给直流保护增加一些状态量和控制参数输入, 常规录波回放装置实现这些比较困难, 对于直流保护的数字式

波形回放系统而言却是十分简单。

(2) 能根据需要监测直流保护逻辑各个环节。

直流保护的数字式波形回放系统可以通过在直流保护逻辑中需要的环节增加示波器模型来实现对直流保护的监测, 这些示波器模型只是仿真模型, 不需要实际设备和接线, 完全可以在直流保护逻辑的所有环节都加装示波器。通过对直流保护逻辑环节的监测, 可以更深入的分析直流故障和直流保护动作行为。

(3) 能方便的调整直流保护参数和定值。

数字式波形回放系统中的直流保护模型是纯数字式模型, 要调整直流保护定值甚至是保护参数或逻辑都十分方便。在回放测试过程中, 可以调整直流保护定值、参数, 来研究直流保护在直流故障情况下的动作特性, 分析直流保护定值、参数、逻辑是否合理, 并进一步优化。

(4) 兼容性好, 应用面很广。

直流保护的数字式波形回放系统的原理决定了它具有非常强大的兼容性, 能够回放所有类型故障录波器的录波和大部分仿真程序的录波。目前, 本套数字式波形回放系统已经实现了对天广直流录波、贵广直流录波、EMTDC 直流仿真模型录波和 RTDS 直流仿真模型录波的回放。

直流保护的数字式波形回放系统还能对不同厂家生产的直流系统(如 ABB、ALSTOM)录波进行回放, 可以对比直流保护在不同的控制系统作用下的动作行为。

(5) 可单独对直流保护中某个功能进行回放。

当只需要对直流保护某一功能进行分析或录波数据不全时, 可以单独对直流保护某一功能进行回放。实现这一功能只要对直流保护的数字式波形回放系统模型的读取模块和保护模块进行修改即可。

3 数字式波形回放系统的应用

3.1 数字式波形回放系统的校验

所建立的高肇直流工程的数字式波形回放系统基于 PSCAD/EMTDC 平台, 可以顺利读取 EMTDC 软件以及 RTDS 的输出数据文件, 直流线路电压、电流波形与现场录波完全一致, 保护动作信号与保护实际动作情况一致, 校验重点集中在对线路录波文件的回放。

以 2005 年 8 月 13 日 20:50, 贵广直流极一发

生直流线路瞬时性故障为例。故障前贵广直流双极运行、直流电压 ± 500 kV、直流功率 2 200 MW。直流线路故障后, 线路两侧行波保护、低电压保护动作, 直流再启动成功。直流线路电压、电流波形与现场录波完全一致, 保护动作信号与当时的保护实际动作情况一致。

3.2 数字式波形回放系统的应用实例

直流保护数字式波形回放系统中的直流保护模型包含各种直流保护的详细逻辑, 可以很容易的对直流保护各个环节进行输出, 这极大的方便了直流保护各个环节进行输出, 这极大的方便了直流保护动作行为分析。下面将以直流线路行波保护在直流线路金属性接地故障和高阻接地故障情况下的动作分析为例进行说明。

直流线路行波保护是直流线路故障的主要保护, 包含三个判据, 分别为直流线路电压变化率判据 ($dU/dr > \text{定值}$)、直流线路电压变化量判据 ($U > \text{定值}$) 和直流线路电流变化量判据 ($I > \text{定值}$), 当三个判据都为“1”时, 行波保护才出口。其逻辑如图 2 所示。

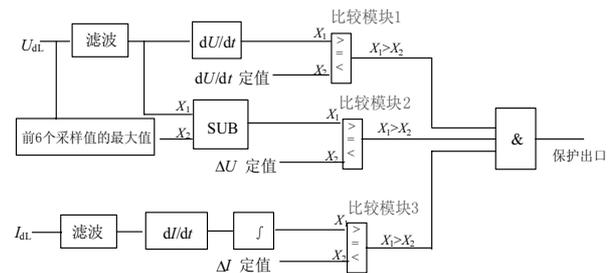


图 2 直流线路行波保护逻辑图

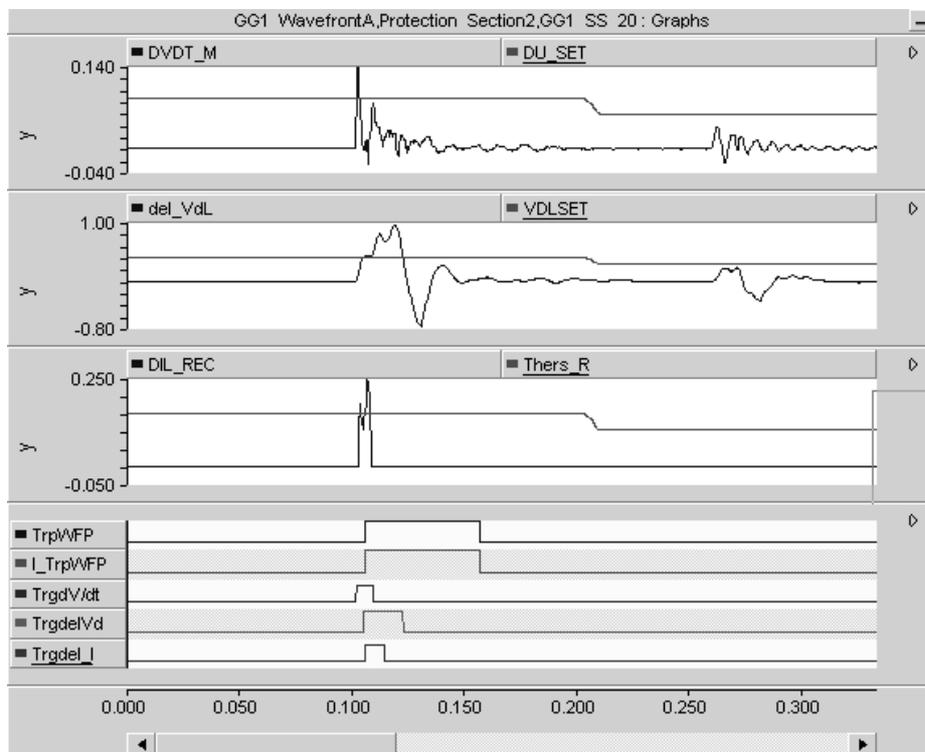
Fig.2 Logic of Wave Front Travelling Protection

3.2.1 模拟直流线路金属性接地故障

直流双极运行, 输送额定功率。直流线路中点发生金属接地故障时直流线路电压、直流线路电流及电压变化率波形及各判据的波形如图 3 所示, 可以很清楚的看到, 电压变化率、电压变化量和电流变化量的幅值迅速增大并超过定值, 行波保护正确动作。

3.2.2 模拟直流线路带过渡电阻接地故障

直流双极运行, 输送额定功率。直流线路中点发生带 100Ω 过渡电阻时的接地故障时直流线路电压、直流线路电流及电压变化率波形及各判据的波形如图 4 所示。可以很清楚的看到, 故障发生时电压变化率、电压变化量和电流变化量的幅值都明显增大, 但只有电压变化率超过定值, 而电压变化量和电流变化量都未超过定值, 行波保护没有动作。



注: DVDT_M 为电压变化率, DU_SET 为电压变化率定值, del_VdL 为电压变化量, VDLSET 为电压变化量定值, DIL_REC 为电流变化量, Thers_R 为电流变化量定值, TrpWFP 为行波保护出口。

图 3 直流线路故障行波保护的响应波形 (金属接地)

Fig.3 Response of Wave Front Travelling Protection during DC Line Fault without Resistor

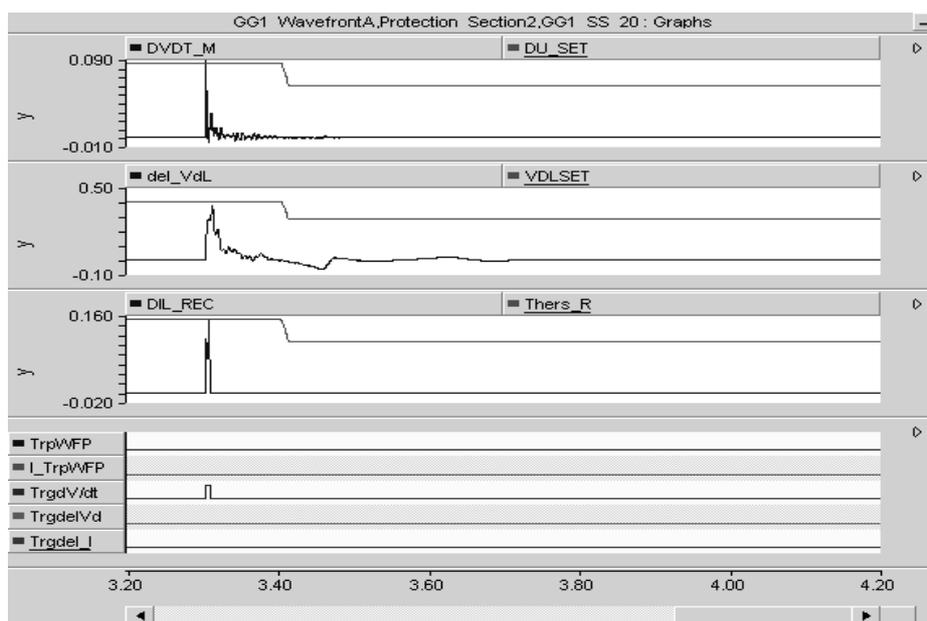


图 4 直流线路故障行波保护的响应波形 (带过渡电阻)

Fig.4 Response of Wave Front Travelling Protection during DC Line Fault with Resistor

(下转第 26 页)