

利用 RTDS 测试精确故障定位系统

龙志君,付丰年,刘靖,龚庆武,刘韬文,陈允平

(武汉大学电气工程学院,湖北 武汉 430072)

摘要: 针对高压输电线路精确故障定位装置的测试问题,利用 RTDS 仿真一个 220kV 的系统,在其线路上设置各种特征故障,以测试高压输电线路精确故障定位装置的性能,并结合高精度测量仪器分析其误差。

关键词: 精确故障定位; 输电线路参数测试; GPS; RTDS

中图分类号: TM773

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2002)04-0029-03

1 引言

目前高压架空输电线路故障定位主要有两种方法:阻抗法和行波法。

行波法用于架空线路的故障定位时,由于波速受地质的影响,以及电压、电流互感器传变误差等原因,波头检测不易,难以在中短线路上实现高精度的定位结果。

本装置采用多端信号并借助于 GPS 信号进行同步采样和微分方程算法,它具有以下特点:微分方程所表达的信息比较丰富,工频分量、各次谐波以及衰减的直流分量都是故障定位的有用信息,可以保证较高的定位精度;装置廉价、简便,并能与现有的故障录波装置结合,改善录波装置的性能。

对于故障定位装置的性能测试问题,根据线路的各种故障,包括雷击闪络、断线、碰线、高阻接地、污闪等复杂故障,通常的动模试验难以模拟高压线路上的故障情况,不能对定位装置进行功能测试。若将装置直接装上电网,由短路事故对它进行考验,短期内难以有明确的运行结果。

电力系统实时数字仿真系统(以下简称为 RTDS)是我校最近引进的一套大型试验设备。本文利用 RTDS 模拟电网及输电线路的各种故障,结合其它高精度测量仪器,对本精确定位装置进行了实时试验,获得了较好的效果。

2 RTDS 系统简介

RTDS 由加拿大曼尼托巴 HVDC 研究中心开发,RTDS 技术公司制造,是一种专门用于实时研究电力系统电磁暂态的仿真器。尽管 RTDS 采用与 EMTP 仿真程序相同的算法,但由于其很强的硬件计算能力,它进行系统研究时速度要快得多。另外,RTDS 仿真系统表示的系统特性包括了一个很大的频率范围(从直流到 4kHz),在此频率范围内,RTDS 仿真系

统是全面分析电力系统各种问题的理想工具。RTDS 硬件基于 DSP(数字信号处理器)和并行计算,其计算速度可达到实时输出的目的。RTDS 的基本组成部分分为 RACK,多个 RACK 之间通过总线相连,RACK 的数量视仿真系统的规模而定,目前已有 26 个 RACK 相连的系统运行(韩国)。每个 RACK 包括 18 个 TPC 卡(或 12 个 3PC 卡,DSP 总数与 18 个 TPC 相同,速度更快,功能更强),每个 TPC 卡含有两个 DSP,一个或多个 DSP 可仿真一个电力系统的基本元件,如母线、线路、开关、电压互感器(TV)、电流互感器(TA)、发电机、励磁系统等。RTDS 通过这些基本元件构成系统。被构成的系统运行于其上层工作站的 PSCAD(电力系统计算机辅助设计)软件。PSCAD 是 RTDS 专用的图形界面,可供用户完成构成系统、运行监控、分析结果工作。RTDS 的核心软件为 EMTDC 软件,该软件是可以进行直流研究的电磁暂态计算程序。RTDS 通过以太网与工作站相连。在工作站上,可以通过 PSCAD 对 RTDS 完成各种操作。

3 研究模型及接线

在 RTDS 中,输电线路有两种模型:行波模型和模型。行波模型基于分布参数且与频率相关,适用于长线;模型基于集中参数,应用于较短的线路。在行波模型的输入中,有两种方式:输入几何参数,即线路的杆塔和线路的设计数据(如塔高、线径、分裂数等);或者输入实测(或计算)参数,如每公里的电阻、电抗等。

行波的基本性质有传播常数 γ 决定,对于高压架空输电线 $G=0, R \ll L$, 故

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \approx \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + j\omega \sqrt{LC} = \alpha + j\beta$$

式中,实部 α 表示行波振幅衰减的特性,称为

行波的衰减常数;虚部 表示行波相位变化的特性,称为行波的相位常数。

行波的相位相差 2 的两点间距离称为波长 ,

$$= \frac{2}{\phi} = \frac{2}{\phi \sqrt{LC}} = \frac{1}{f \sqrt{LC}}$$

行波的传播速度记为 ,

$$= f = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

对于架空输电线路,相位速度接近于光速。当 $f = 50\text{Hz}$ 时, 6000km 。电缆线路的相位常数较架空输电线路大,传播常数一般只有光速的 1/4 左右。

为测试装置的性能,建立的故障线路模型为一个 220kV 的系统(图 1 中所示为单相示意图)如图 1 所示,线路参数以及线路上的 TV、TA、高抗等元件,均输入实际的结构参数。

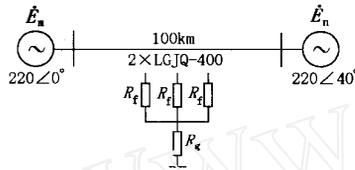


图 1 故障线路模型单相图

仿真模型的参数:

线路长度:100km; 线路的正序阻抗: $Z_1 = 7.8 + j35$; 线路的零序阻抗: $Z_0 = 12 + j110$; TV 变比:220kV/ 100V; TA 变比:1200A/ 5A。

故障类型包括单相短路、相间短路、相间短路接地、三相短路等。故障时的接地电阻由 0.1 到 100 设置了几个阻值。

4 RTDS 测试精确故障定位装置的总体框图

RTDS 最重要的特性是它能维持实时条件下的连续运行。也就是说,它能足够快地求解电力系统的方程并连续地产生输出,这些输出真实地代表了实际网络的状态。由于计算结果的实时性,所以仿真系统能直接连到电力系统控制和保护设备上进行闭环试验。这种试验方法可在多种故障条件下对设备进行测试,其中许多测试条件是无法用其它办法或不允许在实际系统中实现的。RTDS 仿真系统可用来做保护系统的闭环试验并且大大优于其它试验方法,还能校验保护设备的性能及设置。放大器常被接入回路以使继电保护能用其在运行中所使用的工作电压和电流来测试。

测试时,使用工作站上的 PSCAD 建立 220 kV 输电线路的故障模型,在电路上不同点设置各种故障,

通过 RACK 将数字量变为模拟量,再通过 Omicron 公司的放大器输出故障时线路两端的三相电压、三相电流。故障定位装置采入这些电气量,经过运算处理分析输电线路上的故障情况,得到定位结果。这样就构成了一个实时的、数模混合的测试系统。测试系统的总体框图如图 2 所示:

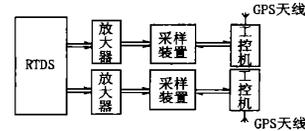


图 2 测试系统总体框图

5 测试内容

a) 校验定位系统采样装置的精度

RTDS 的 RACK 输出精度可达 0.1 级,奥地利 omicron 公司的放大器的精度可达 0.07 级,因此整体精度保证在 0.1 级左右,可以利用 RTDS 来校准定位系统的采样装置。

b) 输电线路参数实时在线测量

在电力系统的实际运行中,输电线路的参数受天气、系统运行方式等因素的影响会有所变化,其参数的准确分析与在线精确测量对于电力系统潮流分析、继电保护的整定等具有重要意义,本装置实现了输电线路参数的实时在线测量。利用 RTDS 来测试这个功能非常方便。试验结果证明本装置的输电线路参数在线测量很精确。

c) 故障定位试验

对于各种故障类型,不同的故障点以及不同的短路时刻测试装置的定位性能。

6 试验结果

a) 校验定位系统采样装置的精度结果

经校正后,采样装置的误差可控制在千分之五以内。

b) 输电线路参数实时在线测量结果

本文中仿真的输电线路长度为 100km,仿真模型所设定的线路参数为:

$$Z_1 = 7.8 + j35, Z_0 = 12 + j110$$

本装置所测得的输电线路参数为:

$$Z_1 = 7.64 + j35.06, Z_0 = 11.87 + j110.18$$

由上可知,利用本故障定位装置可以实现输电线路参数的实时在线测量,且具有较高的精度。

c) 故障定位试验结果

表1列出了故障定位试验的结果:

表1 故障定位试验结果

| 故障类型 | 故障电阻 | | 定位结果 (km) | | | | | |
|--------|-----------------------|-----------------------|-----------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | R_f (Ω) | R_g (Ω) | 10km 处 | | 40km 处 | | 90km 处 | |
| | | | 定位结果 | 误差 | 定位结果 | 误差 | 定位结果 | 误差 |
| 单相接地 | 0 | 0 | 9.97 | -0.03 | 39.94 | -0.06 | 89.98 | -0.02 |
| | 0 | 50 | 9.92 | -0.08 | 39.93 | -0.07 | 89.95 | -0.05 |
| | 0 | 100 | 9.98 | -0.02 | 39.94 | -0.06 | 89.92 | -0.08 |
| 两相短路 | 0 | | 9.89 | -0.11 | 39.94 | -0.06 | 90.06 | 0.06 |
| | 2.5 | | 10.02 | 0.02 | 39.96 | -0.04 | 90.03 | 0.03 |
| | 5 | | 9.90 | -0.10 | 40.03 | 0.03 | 90.04 | 0.04 |
| 两相短路接地 | 0 | 0 | 9.89 | -0.11 | 40.05 | 0.05 | 90.06 | 0.06 |
| | 3 | 50 | 10.01 | 0.01 | 40.02 | 0.02 | 90.03 | 0.03 |
| | 9 | 100 | 9.90 | -0.10 | 39.96 | -0.04 | 90.02 | 0.02 |
| 三相短路 | 9 | 50 | 9.90 | -0.10 | 39.96 | -0.04 | 90.03 | 0.03 |

由表1可知,本精确定位装置具有很高的定位精度。

7 结论

对于故障定位装置的性能测试问题,根据线路的各种故障,包括雷击闪络、断线、碰线、高阻接地、

污闪等复杂故障,通常的动模试验难以模拟高压线路上的故障情况,不能对定位装置进行功能测试。若将装置直接装上电网,由短路事故对它进行考验,短期内难以有明确的运行结果。

本文实现了利用 RTDS 来测试精确故障定位系统的性能,得到了很好的结果。RTDS 可用来做电力系统的闭环试验,与传统的仿真手段如动模试验相比有明显的优势,如它可以灵活改变系统的模型及参数,控制故障时刻等,可以完成许多电力系统试验,是一种很好的测试方法。

参考文献:

- [1] Qingwu Gong, Yunping Chen, chengxue Zhang, zhimei Wang. A Study of the Accurate Fault Location System for Transmission Line Using Multi Terminal Signals. Proceedings of IEEE PES Winter Meeting 2000, singapore.
- [2] Dommel H W,李永庄,等译. 电力系统电磁暂态计算理论. 水利电力出版社,1991.

收稿日期: 2001-09-13

作者简介: 龙志君(1977-),男,硕士研究生,主要从事电力系统继电保护及自动装置的研究; 付丰年(1978-),男,硕士研究生,主要从事电力系统继电保护及自动装置的研究; 刘靖(1979-),女,硕士研究生,主要从事电力系统继电保护及自动装置的研究。

Testing of accurate fault location system using RTDS

LONG Zhi-jun, FU Feng-nian, LIU Jin, GONG Qing-wu, LIU Tao-wen, CHENG Yun-ping
(Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: A 220 kV power system has been simulated with the help of RTDS. All the kinds of transmission line faults have been set to test the performance of accurate fault location system. And the error are analyzed with high-precision measuring instruments.

Keywords: accurate fault location; measurement of transmission line parameter; GPS; RTDS

(上接第14页)

作者简介: 宋小舟(1969-),男,工程师,主要从事继电保

护研究工作; 王东(1973-),男,助工,从事继电保护研究工作; 沈辉(1969-),男,工程师,主要从事继电保护运行工作。

Feasibility analysis on zero-sequence current differential principle applied in busbar protection

SONG Xiao-zhou¹, WANG Dong¹, SHEN Hui², ZHENG Ke³

(1. Xuchang Relay Research Institute, Xuchang 461000, China; 2. Shangqiu Electric Power Bureau, Shangqiu 476000, China; 3. Zhumadian Electric Power Bureau, Zhumadian 463000, China)

Abstract: Zero-sequence current differential protection, as the protection based on complete fault component, has higher sensitivity during in-zone fault. Using it in busbar protection presents a new way to solve the problem of busbar protection.

Keywords: zero-sequence current differential protection; CT saturation