

一起配电室全停事故的 ATP-ETMP 仿真分析

2015 年 5 月某变电站一路电缆出线因外力破坏造成接地短路故障，该路出线及同一变电站下某重要用户（双电源用户）的两路出线同时掉闸（零序保护动作），造成该重要用户配电室全停事故。使用电磁暂态仿真软件（Alternative Transients Program, ATP）搭建模型，对该配电室全停事故进行仿真分析，再现故障的发生发展过程，并结合故障录波和一次设备的解体分析，对故障过程进行全面分析，给出结论及措施建议。

许冲冲 赵雪骞 谷君 吕立平/国网北京电力科学研究院

0 引言

随着对电能质量和用户供电可靠性的要求不断提高，配网暂态仿真成为重要的研究课题之一。使用各种暂态仿真软件，建立配网内变压器、避雷器、架空或电缆等设备模型，进行暂态或瞬态过电压的计算等，是进行配网故障分析的有力工具。

电磁暂态分析程序（Electromagnetic Transients Program, EMTP）是当前使用最为广泛的电磁暂态仿真分析工具之一，可用于电力系统或电子回路计算，进行电力系统各种暂态过程模拟。ATP-EMTP 为 ETMP 的免费版本之一，包括丰富的数学模型，应用非常广泛^[1]。

本文在 ATP-ETMP 搭建故障配电室及相连的变电站出线的暂态模型，考虑保护装置的动作情况，对故障进行全过程分析。

1 故障过程

1.1 系统运行方式

110 kV 变电站内 10 kV 系统为小

电阻接地方式。站内共 4 台主变压器，其中 2[#]主变压器通过 202A 开关和 202B 开关分别带母线 4A[#]和 4B[#]（10 kV），202A 开关和 202B 开关闭合，231 临时开闭站运行于 4A[#]母线，244 某用户线路一运行于 4B[#]母线；3[#]主变压器通过 203A 开关和 203B 开关分别带母线（10 kV）5A[#]和 5B[#]，203A 开关和 203B 开关闭合，234、245、256 和 263 母联开关在断开位置，274 某用户线路二运行于 5A[#]母线。用户配电室内 201 开关、202 开关在合入位置，245 开关在断开位置，245 开关自投运行。

1.2 故障发生

2015 年 5 月 24 日 16:17，该变电站内某用户线路一 244 开关、某用户线路二 274 开关和临时开闭站线路 231 开关同时跳闸，均为零序保护动作跳闸，造成该用户配电室内两路电源全停。经运维人员检查线路确定故障起始原因临时开闭站电缆遭施工外力破坏，发生 C 相接地故障；用户两路电源供电线路未发现异常。系统接线图如图 1 所示。

1.3 故障分析

故障后对用户配电室内 245 真空断路器及开关柜进行耐压试验、绝缘电阻试验和机械特性试验：在断路器断开状态下，测量得 245 开关 A 相真空断路器的耐压试验不合格，加压 1.7 kV 后产生击穿电流，电压无法继续升高，绝缘电阻约为 2 MΩ；其他试验结果无异常。

变电站内 4[#]和 5[#]母线故障录波波如图 2 和图 3 所示。



许冲冲/工程师

关键词/Keywords

ATP-EMTP ·
配网 ·
故障分析 ·

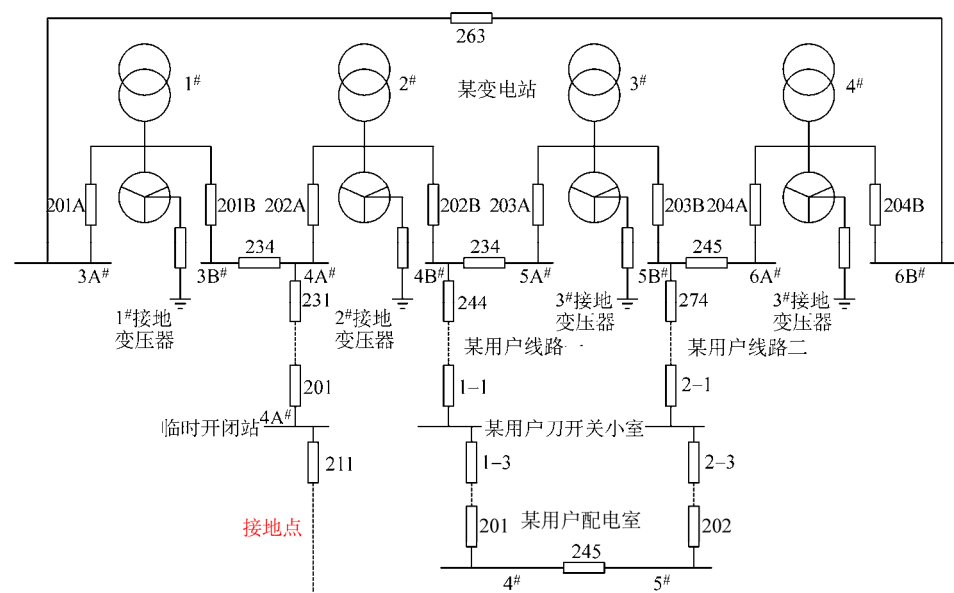


图 1 系统接线图



图 2 10 kV 4A# 母线和 202A 开关故障录波图

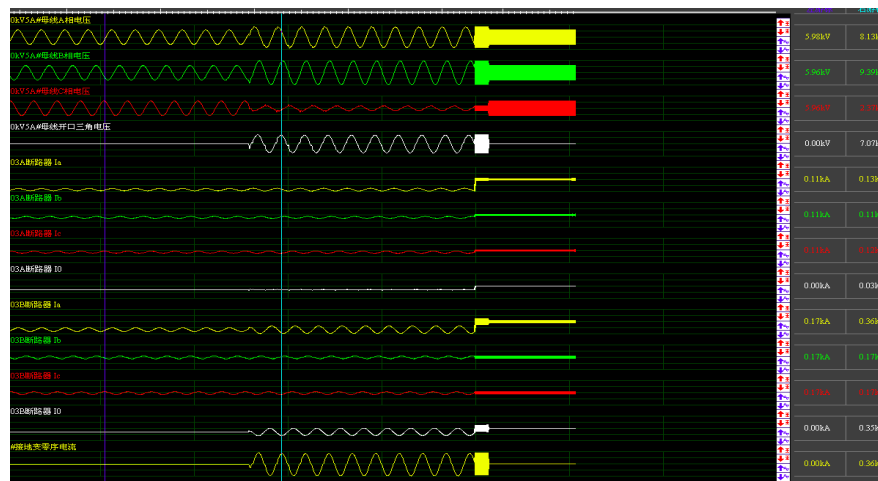


图 3 10 kV 5A# 母线、203A 开关故障录波

在临时开闭站线路路发生 C 相接地故障时，变电站内 4[#]（4A[#]和 4B[#]）A 相相对地电压升高至 8.2 kV，用户配电室内 245 母联开关 A 相动静出头之间产生电位差 2.5 kV；而用户配电室内 245 开关质量存在问题造成事故范围扩大，A 相被击穿，用户线路一和用户线路二均检测到零序电流且超过保护定值，用户配电室两路电源全停。

临时开闭站电缆线路因外力破坏造成 C 相接地，是故障产生的直接原因；用户配电室内 245 开关质量存在问题，耐压不合格，造成用户配电室全停，是引起故障范围扩大的主要原因。

2 ATP-ETMP 仿真分析

利用 ATP-EMTP 软件，搭建包括变电站主变、接地变压器、母联开关、架空及电缆线路等关键设备的暂态模型，对故障的发生发展过程进行再现分析。

2.1 模型搭建

用户配电室内 245 开关采用压控开关模型；Z 型接地变压器采用饱和变压器模型；主变压器采用理想变压器模型；架空/电缆线路采用

bergeron 模型，对整个故障过程进行模拟^[2]。

2.2 仿真结果及分析

基于上述原则搭建故障区域的暂态模型，并进行仿真计算。计算结果证实了根据故障录波和电气试验得到的结论。

小电阻接地系统中，单相接地故障产生的零序电流大部分由故障点经故障线路流向电源，非故障线路的零序电流相对很小。零序电流的大小与故障位置、负荷量和过渡电阻有很大的关系：故障点离电源越远，零序电流越小；零序电流随着负荷量的减少而减小；过渡电阻越大，零序电流越小。比如故障点靠近负荷侧，此时过渡电阻阻值较大，故障点电流有效值在几安到几十安之间^[3-4]。

具体到本次故障，临时开闭站线路发生永久性 C 相接地故障，故障相电压降低，非故障相电压升高，导致用户配电室内 245 开关 A 相被击穿，形成第二条零序电流通路，即配电室内 A 相零序电流通过 245 开关流向 3[#]接地变压器，造成用户线路一和用户线路二零序过电流保护跳闸，故障区域扩大。零序电流分布图如图 4 所示。

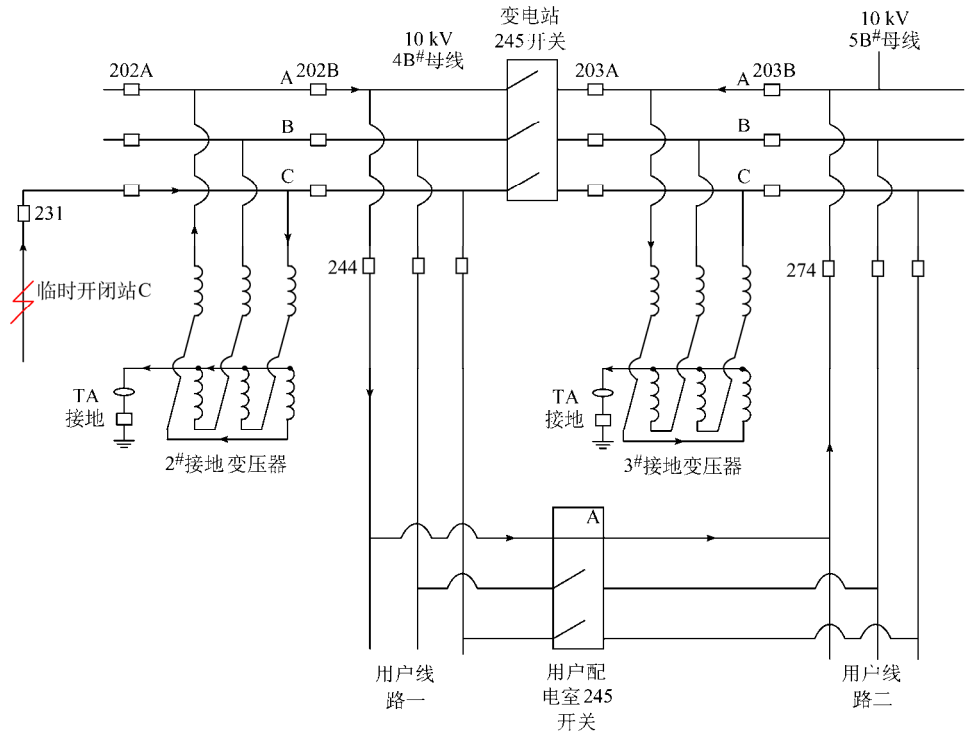


图 4 零序电流分布图

（下转第 277 页）

齐，从现场安装运行来看，点多面广，并且不同的地区，不同的运行环境要求不尽相同，这就需要专业部门对终端产品加强检测，严把入网质量关。

其次，目前配电终端设备台账管理还有待进一步完善，本次缺陷终端早在 2013 年就已经被确认为家族性缺陷，但是由于终端台账没有及时建档管理，导致终端安装地点查找困难，从而延误了终端的处缺进度。

3.2 自愈功能的投退原则

DA 的故障区间判定原则，自愈功能的投退原则尚没有统一的发文规定，还需进一步深入开展电缆网投入自愈逻辑的可行性研究，完善 DA 相关管理制度，提高电缆网故障处置效率。继续推进直配电线路分布式智能自愈建设试点工作，积累相关技术和运行管理方面的经验^[4]。

4 结束语

DA 的主要意义：当配电网发生故障时，迅速查出故障区段，快速隔离故障区段，及时恢复

非故障区域客户供电，因此缩短了对客户的停电时间，减少了停电面积，提高供电可靠性。但是，由于技术和管理两方面的原因，DA 还没有将其作用发挥到淋漓尽致。

参考文献

[1] 林功平. 配电网馈线自动化解决方案的技术策略[J]. 电力系统自动化, 2001, 25 (7): 52-55.
[2] 徐丙垠. 配电自动化远方终端技术[J]. 电力系统自动化, 1999, 23 (5): 41-44.
[3] 陆勇, 海涛. 电压型馈线自动化系统[J]. 电网技术, 1999, 23 (7): 31-33.
[4] 陈堂, 赵祖康, 陈星莺, 等. 配电系统及其自动化[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.

作者简介

刘漫雨 (1986-), 女, 硕士, 助理工程师, 主要从事配电自动化工作。

(收稿日期: 2015-12-10) EA
(编辑: 杨帆)

(上接第 268 页)

3 结束语

通过在 ATP-EMTP 仿真软件中搭建暂态模型，再现故障过程，与分析录波波形和电气试验结果相互印证，是进行故障分析得重要手段之一。应加强配电设备的质量管理，避免发生类似事故。

参考文献

[1] Dommel H W. 电力系统电磁暂态计算理论[M]. 李永庄, 译. 北京: 水利电力出版社, 1991.
[2] 李建华. 10 kV 小电阻接地系统断线接地故障仿真

计算[J]. 上海电力, 2006 (1): 61-63.

[3] 周陶宏. 小电阻接地系统断线状况分析[J]. 供用电, 2008, 25 (2): 30-33.
[4] 许慈航. 中压配电网中性点采用小电阻接地的应用[J]. 安装, 2007, 4 (4): 34-35.

作者简介

许冲冲 (1986-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事配电自动化相关技术研究工作。

(收稿日期: 2015-12-10) EA
(编辑: 杨帆)