

高压开关柜中 TEV 信号仿真分析

邵菲¹ 魏力强² 吴昊³ 茹满辉⁴

(1. 沈阳电力勘测设计院 辽宁 沈阳 110003;

2. 国网河北省电力公司电力科学研究院 河北 石家庄 050021;

3. 国网辽宁省电力有限公司经济技术研究院 辽宁 沈阳 110006;

4. 国网辽宁省电力有限公司 辽宁 沈阳 110006)

摘要: 高压开关柜在电力系统中具有重要的地位,但是运行经验表明,局部放电是其绝缘出现损坏的征兆,所以对局部放电进行检测是必要的。局部放电会导致暂态对地电压的产生,据此可对局部放电源进行检测。为掌握瞬态对地电压(TEV)信号的特点,通过有限差分法进行了仿真分析,为现场应用提供了理论依据。

关键词: 开关柜;局部放电;TEV;仿真

Abstract: High-voltage switch cabinet has an important position in power system, but the operation experiences show that the partial discharge is a sign of its insulation damage, so the partial discharge test is necessary. Partial discharge can lead to the transient voltage, so this method can be used to detect the power supply of partial discharge. In order to master the characteristics of transient earth voltage (TEV) signals, the simulation analysis is carried out by the finite difference method, which provides a guiding significance for field application.

Key words: switch cabinet; partial discharge; transient earth voltage (TEV); simulation

中图分类号: TM864 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2014)02-0068-04

0 引言

当高压开关柜发生局部放电时,放电电量先聚集在与放电点相邻的接地金属部分,形成电磁波并向各个方向传播,对于内部放电,放电电量聚集在接地屏蔽的内表面,因此如果屏蔽层是连续时无法在外部检测到放电信号。但实际上,屏蔽层通常在绝缘部位、垫圈连接处、电缆绝缘终端等部位出现破损而导致不连续,这样高频电磁信号就会传输到设备外层。放电产生的电磁波通过金属箱体的接缝处或气体绝缘开关的衬垫传播出去,同时产生一个暂态电压,通过设备的金属箱体外表面而传到地下,这就是“暂态对地电压”,简称 TEV^[1-4]。

电气设备内部的放电主要有表面放电、内部放电、高压电极的尖端放电、电晕放电等。在放电过程中,由局部放电脉冲产生几千赫到几十兆赫是电磁波,同时在设备金属封闭壳体上产生一个瞬时对地电压(transient earth voltage, TEV),该信号可以通过特制的电容耦合探测器进行捕捉(测量方法见图

1),从而获得局部放电的幅值(dB)和脉冲频率。

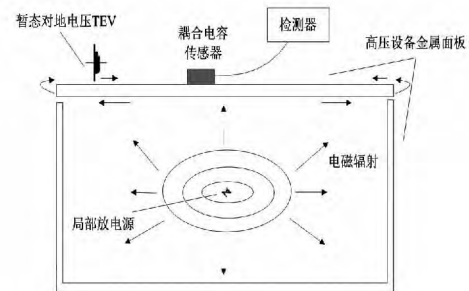


图 1 TEV 检测原理示意图

传统检测方法是测量高压电气设备的放电视在电荷,以 pC 表示放电强度,TEV 则采用对数来表示放电强度。传统的检测方法仅仅对反映放电时的电压变化有比较明显效果,而脉冲实际经过的路径对测量结果没有影响,故传统检测法用于放电点定位难以实现。经过理论研究发现, dB 与 pC 间关系的影响因素多种多样,并且难以量化,因此该方法主要用于横向比较某组检测设备中各设备的实际运行情况,以确定检修设备的优先顺序;该方法也可以对单个设备在时间上进行跟踪测量,找出其放电活动的变化,从而掌握设备的损伤情况。尽管未知因素很

多,然而该方法通过检测放电点附近的脉冲信号,也能灵敏地反应出放电活动的绝对强度^[5-7]。

利用 TEV 测量法在设备外壳上检测局部放电产生的瞬时地电压信号,可在设备运行时对其内部的局部放电情况进行检测,具有较好的抗干扰能力,适用于 10~35 kV 空气绝缘开关柜、充气式 C-GIS 的电缆仓等空气绝缘设备。

1 TEV 信号的产生机理

一般来说,高压电气设备发生局部放电时,电压脉冲在金属壳的内表面传播,最终从接头、盖板等的缝隙处传出,然后沿着金属壳外表传向大地,放电脉冲可以通过电容性探测器检测到。基于暂态地电压原理的局部放电在线检测和定位技术,通过在被检设备的接地金属外壳安装单只电容耦合式探测器即可实现局部放电的幅值和脉冲频率等参数测量工作^[8-9]。

目前,局部放电检测方法常以脉冲电流法的视在放电量来表征局部放电活动的严重程度,然而该方法仅限于应用在电力设备局部放电的离线检测,存在很大的局限性。经过多年的现场应用表明,对于开关柜局部放电的检测,TEV 检测法效果更为理想些。

2 开关柜表面 TEV 仿真建模

2.1 建立物理模型

首先通过 XFDTD 软件来进行物理建模,图 2 所示为高压开关柜 1:1 仿真模型,此开关柜的大小为 850×500×1 600 mm,在高度 1 300 mm 处划分为两个室。开关柜结构密封,在开关柜柜门处,设置 2 mm 的缝隙,以模拟实际开关柜的情况,设置开关柜的材料为钢,划分网格单元的尺寸为 10×10×10 mm。网格划分情况见图 3。

2.2 仿真参数设置

局部放电源可以用高斯脉冲线电流源模拟,线电流相当于多个元电流的串联。高斯脉冲信号的时域形式为

$$I(t) = I_0 \exp\left(-\frac{4\pi(t-t_0)^2}{\tau^2}\right) \quad (1)$$

其中, π 为常数,决定了高斯脉冲的宽度; I_0 为脉冲

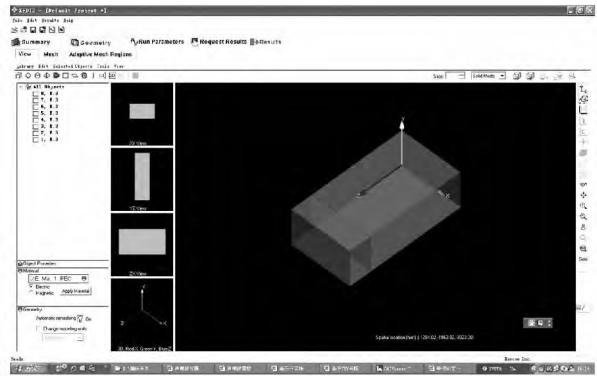


图 2 高压开关柜 TEV 仿真模型

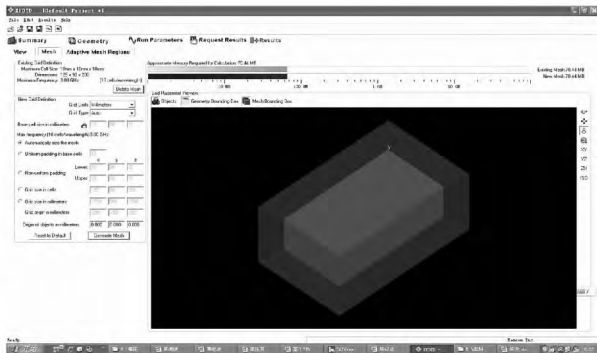


图 3 高压开关柜仿真模型网格划分

峰值,在 $t = t_0$ 时刻,脉冲峰值出现。这里线电流长度设置为 1 cm,线电流源中心施加高斯电流脉冲激励,幅值 1 A,脉冲宽度 1 ns。注入线电流源中心处的高斯电流脉冲后,电流脉冲的放电量可由脉冲波形在 t_1 、 t_2 时间段内的积分确定

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} i(t) dt \quad (2)$$

XFDTD 仿真模型:仿真计算中所用最高频率设置为 3 GHz,利用

$$L_{\max} = \frac{c}{10 \times f} \quad (3)$$

其中 L_{\max} 为最大元胞的尺寸; c 为光速 3×10^8 m/s; f 为激励最高频率,因此 $L_{\max} = 1$ cm/cell。一个完整的元胞尺寸(网格尺寸)为 $1 \times 1 \times 1$ cm,仿真域尺寸为 $125 \times 90 \times 200$ cell,吸收边界条件。采用 Berenger 完全匹配层 PML。PML 是一种特殊的介质层,该层的波阻抗与相邻介质波阻抗完全匹配,因而入射波将无反射地穿过分界面而进入 PML 层。并且由于 PML 为有耗介质,进入 PML 层的透射波将迅速衰减,所以有限几层的 PML 介质能对入射波起到很好的吸收效果。

表 1 激励源脉宽不同时的 TEV 幅值

脉冲宽度 /ns	0.5	1	5	10	15	20
TEV 幅值 /mV	4.119 7	0.657 2	0.007 7	0.003 2	0.002 1	0.001 5

3 仿真结果分析

3.1 激励源脉宽的影响

将激励源设置在开关柜正中,点(425,250,800)处。检测点设置在点(0,250,800)处。激励源幅值为 1 A 根据局部放电的特点,选择脉冲宽度分别为 0.5 ns、1 ns、5 ns、10 ns、15 ns、20 ns。所测得的结果如表 1 所示。

激励源脉冲宽度不同时 TEV 波形如图 4 所示,不同脉冲宽度激励源所对应的 TEV 电压波形如图 5 所示。

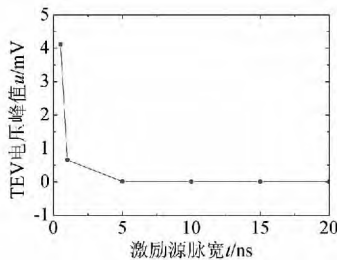


图 4 激励源脉宽对 TEV 幅值的影响

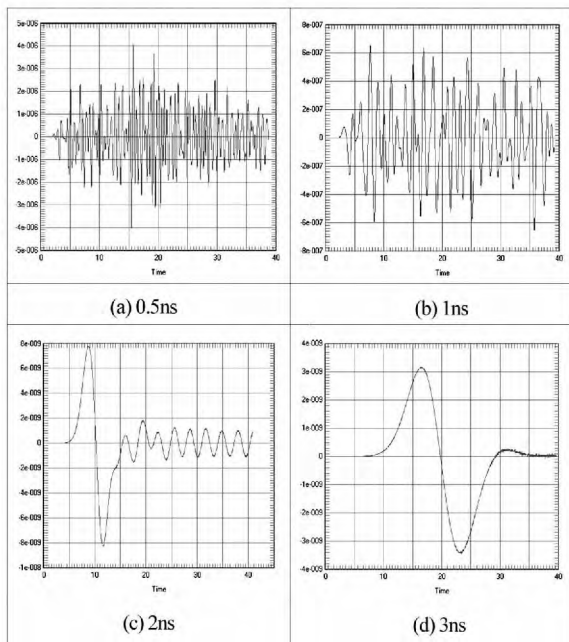


图 5 激励宽度不同时的 TEV 波形

由表 1、图 4 和图 5 可以看出,检测点 TEV 的强度随激励源脉冲宽度的增加而迅速减小,脉冲宽

度越窄,检测到的 TEV 信号越强,亦即放电过程越快,则 TEV 检测法检测能力越强。

3.2 激励源幅值的影响

现继续将激励源设置在点(424,240,790)处,检测点设置在(0,240,790)处,激励源脉冲宽度保持为 5 ns 不变,幅值分别为 1 A、2 A、3 A 和 4 A。

激励源幅值不同时 TEV 波形如图 6 所示。

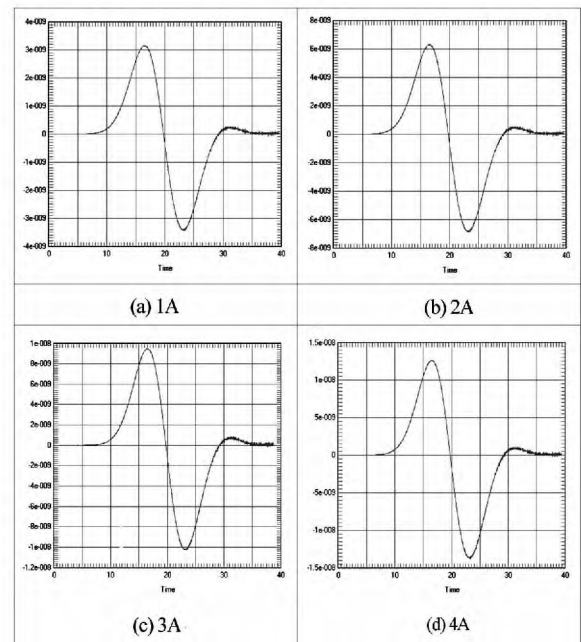


图 6 激励源幅值不同时的 TEV 波形

TEV 幅值与激励源幅值的关系如图 7 所示。

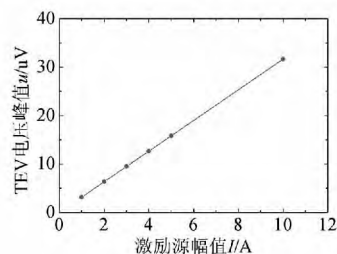


图 7 激励源幅值与 TEV 幅值的关系

由表 1、图 6 和图 7 可以看出,检测点处 TEV 电压波形的强度正比于激励源脉冲电流的幅值;激励源脉冲幅值越高,检测到的 TEV 越强。也就是说,TEV 检测法对于放电越激烈的局部放电,其检测能力越强。

4 结 论

主要对高压开关柜局部放电引起的 TEV 信号特点进行了仿真分析,取得如下结论。

1) 检测点 TEV 信号的强度随激励源脉冲宽度的增加而迅速减小;脉冲宽度越窄,检测到的 TEV 越强,亦即放电过程越快,则 TEV 检测法检测能力越强。

2) 激励源脉冲幅值越高,检测到的 TEV 越强,亦即放电强度越激烈,则 TEV 检测法检测能力越强。

参考文献

[1] LEIJON M, MING L, HOFF P. SF₆ Gas Pressure Influence on Acoustical Signals Generated by Partial Discharges in GIS[C]//7th ISH Conference, 1991: 75.

[2] 邵涛,周文俊,朱宜飞,等.特高频法检测 GIS 局部放电的试验研究[J].高电压技术,2001,27(3):15-16.

(上接第 55 页)

[4] 刘振亚.特高压交流输电系统过电压与绝缘配合[M].北京:中国电力出版社,2008.

[5] GB/Z 24842-2009,1 000kV 特高压交流输变电工程过电压和绝缘配合[S].

[6] 陈水明,王威,于化鹏,等.计及工频电压的特高压变电站雷电入侵过电压分析[J].高电压技术,2010,36(8):1852-1857.

[7] 周远翔,李震宇,梁曦东,等.工频电压对输电线路雷击跳闸率的影响[J].高电压技术,2007,33(9):61-65.

[8] 刘渝根,刘纬.500 kV 变电站雷电侵入波研究[J].重庆大学学报:自然科学版,2000(03):17-19.

[9] 张永记,司马文霞,张志劲.防雷分析中杆塔模型的研究现状[J].高电压技术,2006,32(7):93-97.

[10] 袁兆祥,李琥,项玲.杆塔模型对特高压变电站反击波过电压的影响[J].高电压技术,2008,34(5):867-872.

[11] Yamada T, Mochizuki A, Sawada J, et al. Experimental Evaluation of a UHV Tower Model for Lightning

[3] 黎大健,梁基重. GIS 中典型缺陷局部放电的超声波检测[J].高压电器,2009,45(1):72-75.

[4] 岳桂芳.局部放电产生原因及分析[J].机械工程与自动化,2005,(4):105-107.

[5] 宋泉,崔景春,袁大陆.2004 年高压开关设备运行统计分析[J].电力设备,2006,7(2):10-14.

[6] 刘云鹏,王会斌,王娟.高压开关柜局部放电 UHF 在线检测系统的研究[J].高压电器,2009,45(1):15-17.

[7] 关永刚,钱家骊.射频法在高压开关柜局放检测中的应用研究[J].高压电器,2001,37(5):1-3.

[8] 王娟.基于 UHF 的高压开关柜局部放电在线监测的研究[D].保定:华北电力大学,2007.

[9] KYRKJEEIDE A S S, LARSEN V. Acoustic Insulation Analyzer for Periodic Condition Assessment of Gas Insulated Substations[C]//Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: 919-924.

作者简介:

邵菲(1982),从事配电工程设计等方面研究工作。

(收稿日期:2013-11-12)

Surge Analysis[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1995, 10(1): 393-402.

[12] Rizk F A M. Modeling of Transmission Line Exposure to Direct Lightning Strokes [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1990, 5(4): 1983-1997.

[13] GU D, ZHOU P, DAI M, et al. Comparison and Analyses on Over-voltage and Insulation Coordination of UHV AC Transmission System Between China and Japan [J]. High Voltage Engineering, 2009(6): 003.

[14] Takami J, Okabe S. Characteristics of Direct Lightning Strokes to Phase Conductors of UHV Transmission Lines [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2007, 22(1): 537-546.

作者简介:

梁玲(1988),硕士研究生,主要研究方向为电力系统过电压;

肖先勇(1968),教授,从事电力系统方面的科研和教学工作,研究方向为电能质量及其控制、过电压与电磁暂态。

(收稿日期:2013-11-15)