

# 10 kV 系统 TV 高压保险频繁熔断事故的分析与仿真

董家读<sup>1</sup>, 黄庆<sup>2</sup>, 何跃<sup>3</sup>, 张红涛<sup>1</sup>

(1. 西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031; 2. 绵阳电业局, 四川 绵阳 621000;

3. 四川省电子技术研究中心, 四川 成都 610031)

**摘要:** 在中性点不接地系统中, 经常发生电磁式电压互感器 (TV) 高压保险熔断现象, 严重影响了电力系统的安全性, 以往把 TV 高压保险熔断的原因归结为铁磁谐振, 通过对一起 TV 高压保险熔断事故的分析, 得出 TV 保险熔断的根本原因是故障恢复时电容放电引起的低频振荡电流, 在 Matlab/Simulink 上的仿真结果验证了理论分析的正确性。

**关键词:** 电压互感器; 高压保险熔断; 铁磁谐振; 低频振荡电流

**Abstract:** In non-ground neutral system, high-voltage fuse breaking of electromagnetic voltage transformer (TV) often takes place which may severely influence the security and reliability of the power system. In the past, the reason for high-voltage fuse breaking of TV comes down to the ferrimagnetic resonance, but through analyzing a fuse breaking case, it is found that the real reason for high-voltage fuse breaking of TV is the low-frequency oscillation current when the failure recovers. The simulation results validate the correctness of theory analysis on Matlab/Simulink.

**Key words:** voltage transformer (TV); high-voltage fuse breaking; ferrimagnetic resonance; low-frequency oscillation current

**中图分类号:** TM764 **文献标志码:** B **文章编号:** 1003-6954(2009)05-0083-03

在中压配电网中, 为了提高系统可靠性, 中性点一般采取不接地的方式。为了监视三相对地电压, 变电站母线上接有接线的 TV。在正常情况下, TV 励磁绕组感抗远远大于对地电容, TV 三相基本平衡, 中性点位移电压很小, 系统不会发生谐振。但单相接地故障消失或断路器非同期合闸等情况可引发 TV 饱和, 使 TV 励磁感抗大大降低, 在系统电感电容的配合下从而产生铁磁谐振。铁磁谐振产生的过电压和过电流将会引起 TV 损坏和停电事故, 不仅影响供电可靠性, 而且造成设备的损坏, 严重威胁电网的安全稳定运行<sup>[1,2]</sup>。在某些配电网中, 单相接地消失后并不引起设备损坏, 而是经常引起 TV 高压保险的熔断, 这不仅影响电费的计量, 而且容易造成工作人员的误判。

长期以来, 人们把 TV 保险熔断的原因归结为铁磁谐振引起的过电流。然而, 现场的运行实践表明, 各种消谐措施对这种故障基本不起作用, 这使人们对这一故障原因的解释产生了怀疑。经过进一步的研究, 人们逐渐认识到, 当系统的对地电容达到一定的数值后, 单相接地消失后并不产生铁磁谐振, 对地电容通过 TV 高压绕组放电产生的低频振荡电流才是保险熔断的根本原因<sup>[3]</sup>。

分析了一起 TV 高压保险熔断的原因, 通过理论分析计算得出故障的初步原因, 然后建立了系统的数学模型, 仿真验证了理论分析的正确性。

## 1 事故概述

2008 年 8 月 6 日, 西南某 110 kV 变电站 10 kV 1 号母线 TV 在雷雨天气后出现 TV 高压保险两相熔断。历年来, 此站经常出现 TV 高压保险熔断事故。

该 10 kV 1 号母线安装了 3 支全绝缘单相 TV, 型号为 JDZX-10/25/30/100VA, 由大连北方互感器厂生产, 二次开口三角侧安装 WXZ196 型微机消谐装置, 于 2001 年 12 月投运。

系统故障时的电路如图 1 所示。

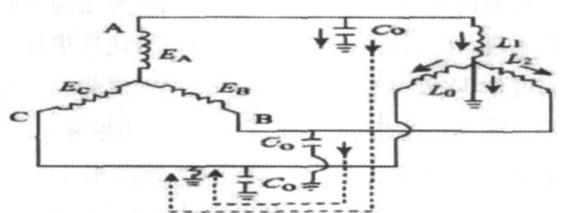


图 1 系统故障时的电路图

## 2 故障原因分析

### 2.1 TV 高压保险熔断的原因不是铁磁谐振

根据 Peterson 谐振分布原理,电力系统中发生谐振的频率与基频时系统对地电容的容抗  $X_c$  和互感器的感抗的  $X_L$  比值有直接关系<sup>[4~6]</sup>,即

1) 当比值为 0.01~0.08 时,发生分频谐振,表现为:过电压倍数较低,一般不超过相电压的 2.5 倍,二相电压表的指示数值同时升高,而且有周期性的摆动,线电压指示数正常。

2) 当比值为 0.08~0.8 时,发生基频谐振,表现为:三相电压两相高、一相低,线电压正常;产生很大的过电流,有时甚至会烧毁电压互感器;过电压倍数在 3.2 倍相电压以内,伴有接地动作或告警,即虚假接地现象。

3) 当比值为 0.8~3.0 时,发生高频谐振,表现为:过电压倍数较高;三相电压同时升高,最大值达相电压的 4~5 倍,线电压基本正常且稳定;谐振时过电流较小。

4) 当比值在上述范围以外时,不发生谐振。

根据对同类型 TV 的励磁阻抗测量实验,在线电压下故障 TV 的励磁阻抗为  $X_L = 2.96 \text{ M}\Omega$ ,该母线上共有 2 台 TV,则  $X_{Le} = 1.48 \text{ M}\Omega$ 。该系统大量使用电缆,架空线并不多,故忽略架空线的对地电容,电缆的对地电容取为  $3.01 \times 10^{-7} \text{ F/km}$ ,则该系统的对地电容为  $6.18 \text{ }\mu\text{F}$ 。因此,系统对地容抗为

$$X_{c0} = \frac{1}{314 \times 6.18 \times 10^{-6}} = 5.15 \times 10^{-4} \text{ M}\Omega \quad (1)$$

则系统的容抗与感抗之比为

$$k = X_{c0} / X_{Le} = 3.48 \times 10^{-4} < 0.01 \quad (2)$$

从式(2)可以看出,基频时系统对地电容的容抗与励磁绕组感抗之比不在铁磁谐振的范围之内,由此可判断引起 TV 高压保险熔断的原因并不是铁磁谐振。

### 2.2 TV 高压保险熔断的原因是低频振荡电流

随着配电网的发展,架空线路逐渐被电缆代替。运行发现,在这种网络中,较少发生 TV 烧坏事故,但经常发生 TV 高压保险熔断。经过反复观测和分析,得出当线路对地电容达到一定值后,故障恢复后的电容放电冲击电流是 TV 高压保险熔断的根本原因。下面从系统三相对地电容在接地过程中的充放电过程来分析产生这一现象的原因。

在不接地系统中,  $Y_0$  接线的 TV 是系统三相对地的唯一金属通道。系统正常运行时,系统对地电容所带的总电荷为零。系统单相接地有两个过渡过程。一是接地时,二是接地消失时。当一相接地时,另两相的相电压升高为线电压,它们的对地电容上便冲上了和线电压对应的电荷,电荷以接地点为通路在导线和大地间流动,TV 高压绕组不会产生涌流。当接地消失时,情况就不同了。此时,非故障相的电压恢复为相电压,其对地电容上多余的电荷要流入大地,而原来接地通路已被切除,则此时电荷只有通过 TV 高压绕组流入大地。如果系统对地电容大,自由电荷多,在流入大地的过程中就要引起铁芯的饱和,在工频电源的作用下将会出现很大的冲击电流,造成熔断器熔断。

因此,TV 高压保险熔断的主要原因不是铁磁谐振,而是故障恢复时电容放电引起的冲击电流。

## 3 仿真分析

### 3.1 故障原因仿真

为了验证上述理论分析的正确性,在 Simulink 上建立了仿真模型。仿真中使 A 相单相接地,此时流过 C 相 TV 高压绕组的电流如图 2 所示。在上述实验的基础上,通过在故障后短接 TV 开口三角绕组来模拟消谐器,此时 C 相 TV 高压绕组的电流如图 3 所示。

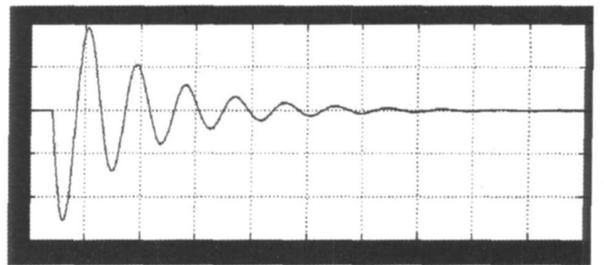


图 2 C 相 TV 高压绕组电流波形

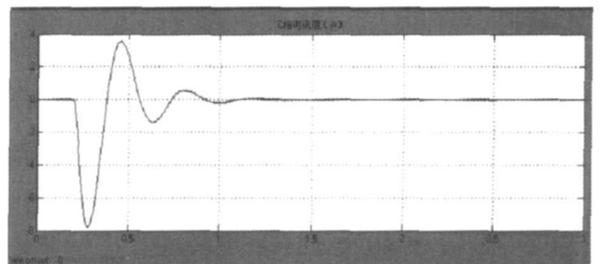


图 3 加装消谐器后 C 相高压绕组电流波形

从图 2 可以看出,流过 C 相 TV 高压绕组的电流

最高达十几安,而与 JDZJ 型电压互感器配套使用的 RN2 型保险的额定电流是 0.5 A,实际流过的电流远大于其额定值,如此高的电流必然会引起保险熔断。从图中还可以看出,此电流的频率很低,约 3 Hz 左右,故称为低频振荡电流。

从图 3 可以看出,安装消谐器后流过 TV 的电流并没有降到熔断器的额定值以下,这就是为什么现场安装了消谐器但仍然事故频发的原因。同时,这也充分说明了保险熔断的原因并不是铁磁谐振,从而验证了上述理论分析的正确性。

### 3.2 抑制措施仿真

对于 TV 高压保险熔断的防治,根本方法是减小故障恢复后的电容放电造成的冲击电流,为此可从两个方面考虑<sup>[7]</sup>。一是系统中性点经电阻或消弧线圈接地,二是改变 TV 的接线方式,常用的包括 4TV 接线方式和 TV 中性点经电阻接地。由于改变系统中性点的接地方式是一项系统工程,虽然它可以抑制 TV 高压保险的熔断,但它有可能引发新的问题而使改进措施变的得不偿失,因此,重点考虑第二种方式。当采用 4TV 接线和 TV 中性点经 10 kΩ 电阻接地后 TV 高压绕组的电流如图 4 和图 5 所示。

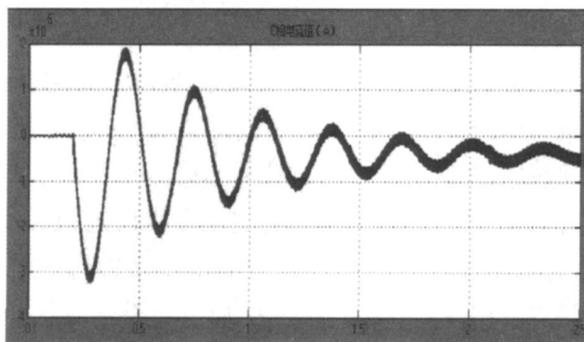


图 4 采用 4TV 接线方式后的电流

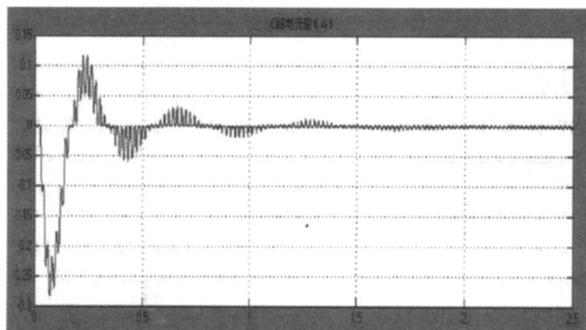


图 5 TV 中性点经电阻接地后的电流

从上图可以看出,当采用以上 2 种方法后,流过 TV 高压绕组的电流均小于熔断器的额定电流,显然

熔断器不会再熔断,从而证明了上述方法的有效性。同时,上述方法对铁磁谐振也有一定的抑制作用。需要指出的是,不管采用那种方式,一定要先进行技术经济比较,综合考虑各种因素,通过系统的调查研究和分析计算,提出完整的技术改造方案,然后循序渐进,以保证配电网的安全运行,提高供电可靠性。

## 4 结 论

分析了一起 TV 高压保险熔断的原因,并在 Matlab/Simulink 上建立了系统的仿真模型,仿真验证了理论分析的正确性,并给出了抑制措施。随着配电网的发展,TV 高压保险熔断的事故越来越多,以往把事故原因归结为铁磁谐振是不正确的,只有走出这个误区才能防止此类事故不再发生,从而提高配电网的安全性。

### 参考文献

- [1] 方瑜. 配电网过电压 [M]. 北京:水利电力出版社, 1994.
- [2] 陈慈萱. 过电压保护原理与运行技术 [M]. 北京:中国电力出版社, 2002.
- [3] 温新康. 10~35 kV 中性点不接地系统中防止 TV 高压熔断器熔断的方法 [J]. 高压电器, 2002, 38(2): 52-53.
- [4] 孙增杰,王铁强,王海棠. 电力系统铁磁谐振分析综述 [J]. 电力设备, 2007, 8(12): 62-64.
- [5] 黄文韬. 一例电磁式电压互感器“虚幻接地”现象的原因分析 [J]. 继电器, 2004, 32(24): 66-68.
- [6] 卢国伟,罗凯. 中性点不接地系统的铁磁谐振 [J]. 湖北电力, 2008, 31(1): 30-32.
- [7] 葛栋,鲁铁成,王平. 配电网铁磁谐振消谐机理仿真计算研究 [J]. 高电压技术, 2003, 29(11): 15-17.

### 作者简介:

董家读 (1985-), 男, 硕士, 主要从事配电网自动化方面的研究工作;

黄庆 (1969-), 男, 工程师, 主要从事电力系统的运行工作。

(收稿日期: 2009-06-10)