

35 kV 电容式电压互感器一次熔断器异常熔断原因的试验研究

吴旭涛¹, 艾绍贵², 李小燕³, 李勇¹

(1. 宁夏电力科学研究院, 宁夏 银川 750011; 2. 宁夏电力公司, 宁夏 银川 750001;

3. 桂林电力电容器有限责任公司, 广西 桂林 541004)

摘要: 运行于 35 kV 系统的电容式电压互感器, 在系统的一些操作过程中经常发生一次熔断器的异常熔断。试验结果表明, 系统操作过程中, 电容式电压互感器的电压发生急剧变化, 由线性电容、线性电感及非线性电感构成的 LC 电路在过渡过程中, 产生了幅值和频率较高的冲击电流, 电流热效应的累积是造成一次熔断器熔断的根本原因。通过选用较高额定电流的熔断器, 可降低电容式电压互感器一次熔断器异常熔断的发生概率。

关键词: 电容式电压互感器; 一次熔断器; 异常熔断

中图分类号: TM451+.2

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)06-0102-04

The Test Study on Abnormal Fusing of the Primary Fuse for 35 kV Capacitor Voltage Transformer

WU Xu-tao¹, AI Shao-gui², LI Xiao-yan³, LI Yong¹

(1. Ningxia Electric Power Research Institute, Yinchuan 750011, China; 2. Ningxia Electric Power Corporation, Yinchuan

750001, China; 3. Guilin Power Capacitor Co., Ltd., Guilin 541004, China)

Abstract: The capacitor voltage transformer, operated in 35 kV system, often appears abnormal fuse of primary fuse during some system operating process. The test results show that in the process of the system operation, the voltage of the capacitor voltage transformer rapidly changes. During transient process, the LC circuit, consisted of linear capacitor, linear inductance and nonlinear inductance, produces the impulse current with higher amplitude and frequency, as well as the accumulation of the current thermal effect, leads primary fuse fusing. Through choosing higher rated current fuse, the abnormal fusing happening probability of the primary fuse can be reduced. According to the characteristic of the capacitor voltage transformer and the selecting principle of the capacitor voltage transformer fuse, cancel the primary fuse for 35 kV capacitor voltage transformer is reasonable.

Key words: capacitor voltage transformer; primary fuse; abnormal fusing

0 引言

在 35 kV 系统中, 为了防止电磁式电压互感器铁磁谐振的发生, 一些重要变电站选用了电容式电压互感器(简称 CVT)。然而运行经验表明, 在一些操作过程中, CVT 一次熔断器经常发生异常熔断现象。某 330 kV 变电站在 CVT 的投入过程中, 35 kV 并联电抗器、站用变压器的投切操作过程中, CVT 一次熔断器频繁发生熔断现象。起初, 怀疑 CVT 一次熔断器的异常熔断与系统谐波有关, 但经过对该变电站 35 kV 系统的连续监测发现, 其电压、电流的

谐波很小, 不可能导致 CVT 一次熔断器的熔断。为此, 在该变电站 35 kV 系统进行了相关的试验, 以分析导致 CVT 一次熔断器异常熔断的原因。

1 现场试验

1.1 试验简介

试验在该变电站 35 kV 母进行, 其系统接线见图 1。试验中, 通过合分 31 隔离开关投切 CVT, 或通过合分 311 断路器投切 35 kV 并联电抗器。在合分设备过程中, 利用 8861 暂态参数测试仪分别采集三相 CVT 一次侧入地电流, 二次绕组电压。试验接线见图 2。

收稿日期: 2009-07-05

作者简介: 吴旭涛(1971), 男, 高级工程师, 从事电力系统绝缘技术监督、变压器类设备技术研究及专业管理工作。

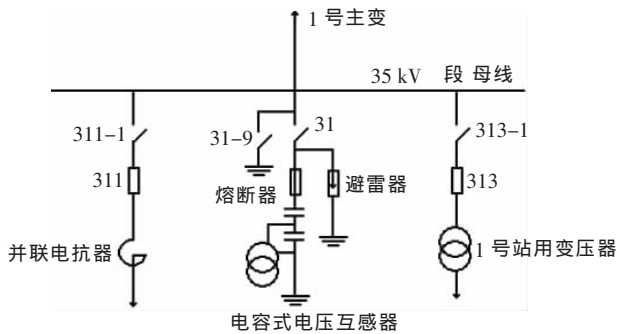


图1 试验所在变电站 35 kV 母系统接线图

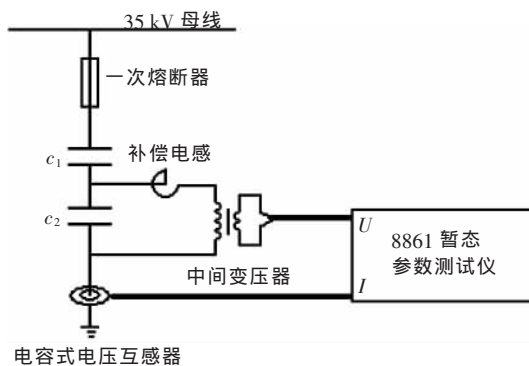


图2 试验接线示意图

该变电站 35 kV 的 CVT 一次熔断器运行中,一

般选用额定电流为 0.5 A 的熔断件。试验中,为了防止熔断器频繁熔断,特选用 1 A 熔断件。

1.2 试验结果

试验中,每次设备操作,各相 CVT 最高过电压倍数、电流最大值及其时间、频率特性见表 1。表 1 中, U_A 、 U_B 、 U_C 分别为 A、B、C 三相的最高过电压倍数,其基准值为设备操作后各相稳态电压值; I_A 、 I_B 、 I_C 为 CVT 三相电流最大值。其中,序号 1 操作过程的测试,暂态参数测试仪设置为每 200 μs 采集一点,电压量程为 100 V,电流量程为 10 A;序号 6 操作过程的测试,暂态参数测试仪设置为每 200 μs 采集一点,电压量程为 100 V,电流量程为 50 A;其余操作过程的测试,暂态参数测试仪设置为每 1 μs 采集一点,电压量程为 100 V,电流量程按电流测试单元的最大量程设置为 50 A。由于设置的测试精度较低,致使序号 1 和序号 6 操作的测试未能获取高频信号。试验结果中,暂态最高电压、稳态电压、电流最大值及其时间、频率特性等参数均为 8861 暂态参数测试仪的 HIOKI 9335 Wave Processor 软件分析计算结果。因测试中电流量程偏小,造成软件分析所得超量程的电流值偏低低于实际值。

表 1 操作过程中 CVT 的电压及电流

| 序号 | 操作设备 | U_A | U_B | U_C | I_A/A | I_B/A | I_C/A | 备注 |
|----|-----------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|--|
| 1 | 合 31 隔离开关 | 1.11 | 1.18 | 1.11 | 6.18 | 8.83 | 20.4 | 电流在 3 个工频周波内间歇性出现,每次电流持续时间小于 400 μs |
| 2 | 合 31 隔离开关 | 1.08 | 1.07 | 1.03 | 103.5 | 102.7 | 102.6 | 电流在 4~5 个工频周波内间歇性出现,频率在 200~333 kHz 之间 |
| 3 | 分 311 断路器 | 1.07 | 1.04 | 1.10 | 9.80 | 5.75 | 3.35 | 电流持续时间约为 4.8 ms,频率约为 3 kHz |
| 4 | 合 31 隔离开关 | 1.12 | 1.15 | 1.08 | 102.7 | 102.7 | 102.6 | 电流在 6 个工频周波内间歇性出现,频率在 250~500 kHz 之间 |
| 5 | 合 311 断路器 | / | 1.07 | 1.03 | 26.5 | 102.1 | 73.4 | 电流间歇性出现两次,第一次持续时间约为 400 μs ,频率约为 7.5 kHz;第二次持续时间约为 110 μs ,频率约为 9.09 kHz |
| 6 | 合 31 隔离开关 | 1.03 | 1.16 | 1.07 | 3.15 | 6.05 | 5.40 | 电流在 5 个工频周波内间歇性出现,每次电流持续时间约为 2 ms |
| 7 | 合 31 隔离开关 | 1.05 | 1.13 | 1.12 | 64.3 | 98.5 | 52.1 | 电流在 4 个工频周波内以单个脉冲波形间歇性出现,波长约为 74 μs |
| 8 | 合 31 隔离开关 | 1.19 | 1.13 | 1.32 | 81.5 | 102.1 | 61.0 | 电流在 5 个工频周波内间歇性出现,频率在 250~500 kHz 之间 |

试验记录的典型波形见图 3~6。图中横坐标为记录时间长度,除图 5 的单位为 s 外,其余的单位均为 ms。纵坐标记录了实时电压或电流值,记录电压值时,纵坐标的量程为 ± 100 V,记录电流值时,纵坐标的量程为 ± 50 A。

图 3 是表 1 中序号 2 合 31 隔离开关时所记录的 CVT 二次绕组电压和一次入地电流,其中,图 3(a)、(b)、(e) 记录了三相电压波形;图 3(f)、(c)、(d) 记录了三相电流波形。图 4 是表 1 中序号 4 合 31 隔离开关,B 相 CVT 投入后 5.490 ms 至 5.674 ms 间,长度为 184 μs 的对一次入地的电流波形片段。图 5 是表 1 中序号 3 分 311 断路器,切除并联电抗器过程中所记录的 B 相 CVT 二次绕组电压和一次入地电流。图 6 是表 1 中序号 5 合 311 断路器,投入并联电抗器过程中所记录的 B 相 CVT 二次绕组电压和

一次入地电流。

2 试验结果分析

2.1 操作过程中的过电压

无论是在投入 CVT 还是投切电抗器的过程中,系统均出现了过电压。见表 1。52.2% 的操作过程中过电压倍数不大于 1.1 倍;30.4% 的操作过程中过电压倍数介于 1.1 和 1.15 倍之间;13.0% 的操作过程中过电压倍数介于 1.16 和 1.19 倍之间;4.3% 的操作过程中过电压倍数大于 1.2 倍,即仅有一次操作过程,过电压倍数达到了 1.32 倍。根据记录的波形,操作过程中的过电压是电容电感元件构成的电路在外施电压变化时的正常过渡过程所致。同时过电压持续时间很短,不超过 6 个周波。按照要求,对于中性点非有效接地系统,允许在发生单相接地后继续

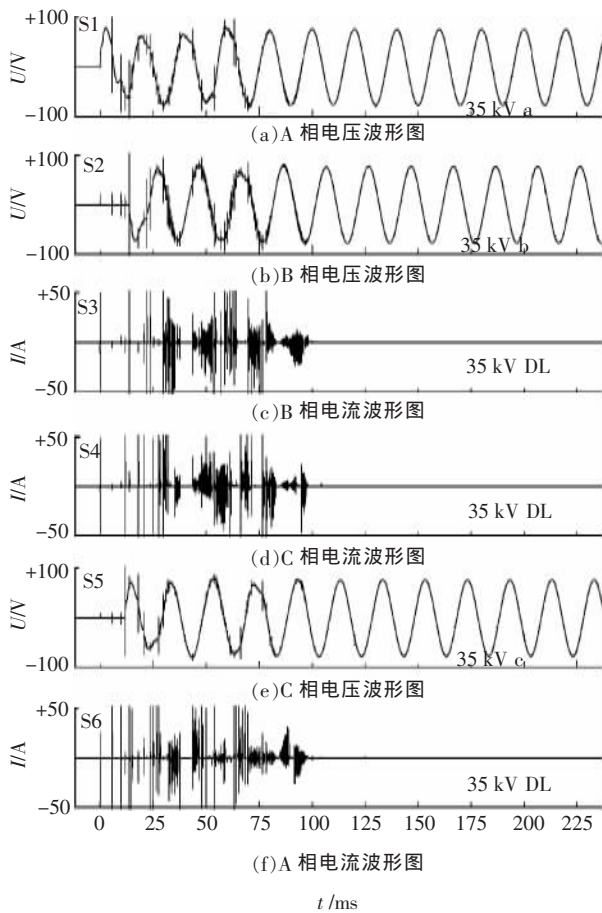


图3 CVT投入过程中三相电压和电流波形图

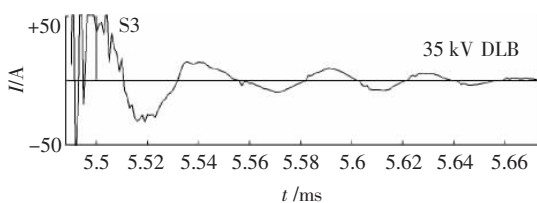


图4 CVT投入过程中电流波形片段

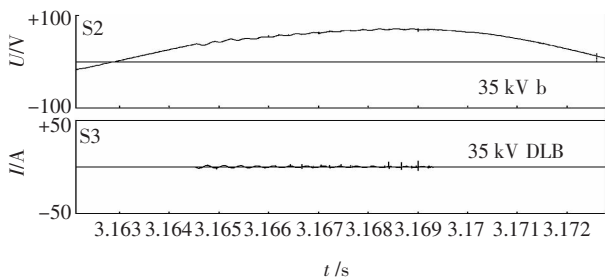


图5 电抗器切除过程中CVT的电压和电流变化

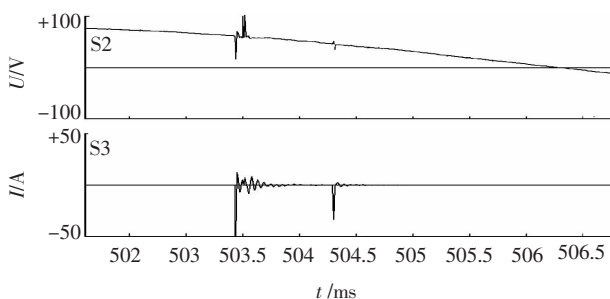


图6 电抗器投入过程中CVT的电压和电流变化

运行 2 h 以上, 即当相电压升至正常运行电压的 1.732 倍后, 互感器至少还应继续运行 2 h 以上。因此过电压并非是导致 CVT 一次熔断器熔断的原因。

2.2 操作过程中 CVT 的一次电流

在 CVT 和电抗器的投入过程中, CVT 的一次侧间歇性地出现了幅值和频率较高的电流, 见表 1 及图 3~6。该电流的特性与单纯投入电容器时出现的合闸涌流存在极大的差异。不计及两次测试精度设置偏低的操作, 则在其余 18 相次操作中, 有 8 相次电流幅值超过了 100 A, 其出现概率为 44.4%; 而 12 相次的 CVT 投入过程中, 有 7 相次电流幅值超过了 100 A, 出现概率达到了 58.3%。

CVT 由电容单元和电磁单元经过串并联构成, 其中电磁单元包括补偿电感和中间变压器。将中间变压器的二次侧阻抗折算到一次侧, 可得到 CVT 的等值电路, 见图 7^[1]。图 7 中, X_c 为等值电容 (C_1+C_2) 的电抗; X_{T1} 、 X'_{T2} 为中压变压器一、二次绕组的漏抗 (折算到一次侧); R_1 为中压变压器一次绕组和补偿电抗器绕组直流电阻及电容分压器损耗等值电阻之和; R'_2 为中压变压器二次绕组的直流电阻 (折算到一次侧); Z_m 为中压变压器的励磁阻抗, X_k 为补偿电抗器的电抗。为了防止暂态或谐振过程中出现的过电压导致补偿电抗器因过电压作用发生损坏, 补偿电抗器并接有保护间隙。其中 X_k 的取值近似等于 X_c , Z_m 正常运行条件下可以按无穷大进行考虑, 但在电压突变时的过渡过程中应予以考虑。

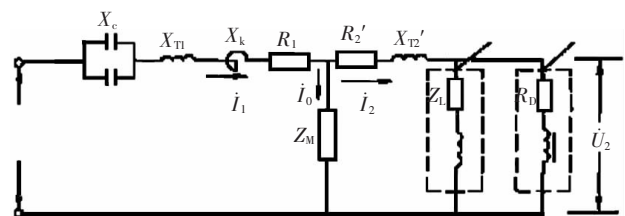


图7 CVT的等值电路图

当 CVT 一次电压发生突变时, 由电容和电感构成的回路发生电磁振荡。由于补偿电抗器的电流不能突变, 在暂态过程中会产生较高电压, 导致并接在补偿电抗器两端的保护间隙反复动作, 加之中间变压器非线性励磁电感在建立磁通的过程中, 电感始终在发生变化, 使 CVT 一次电流呈间歇性出现的特点。实际电路中, 电阻的存在可对电磁振荡起到阻尼作用, 使 CVT 各元件上的电压、电流达到稳定。

3 一次熔断器异常熔断的原因及防止措施

3.1 一次熔断器异常熔断的原因分析

作为熔断器的主要元件, 熔断件工作时串联在

电路中,在正常工作情况下,通过熔断件的电流不应使熔断件中的熔体熔断,当系统中出现过载或回路短路时,熔体将因过热而自行熔断。熔体的发热与 i^2t 成正比,其中 i 为流过熔体的电流, t 为作用时间。保护CVT用熔断器的额定电流为0.5 A,1.9倍的额定电流下,应在8 h内熔断^[2];0.1 s内的动作时间约为15倍额定电流。1.9倍的额定电流应为0.95 A,15倍的额定电流应为7.5 A。在操作过程中,CVT一次侧的电流超过100 A的概率很大,该电流虽然为间歇性存在,但持续时间短,可不考虑熔断器的散热作用。在此过程中,熔体的热量积累见公式(1)

$$W = \sum ki^2t \quad (1)$$

式(1)中, i 为每次出现的电流值; t 为每次电流的作用时间; k 为与电阻有关的系数。

显然,系统操作过程中,CVT一次侧间歇性流过的电流产生的热量积累,可能会造成熔断件过热而熔断。即使一次系统操作,热量积累不致使熔体熔断,但会使熔体发生损伤,当再次进行系统操作时,熔体就有可能发生熔断。因此,系统操作过程中,CVT一次侧电压的变化所产生的涌流是造成一次熔断器异常熔断的主要原因。系统操作所产生的能量较低,因此熔断器熔断后,熔体残骸依然完整可见,与高能量下熔断后熔体完全消失存在很大的区别。

3.2 防止35 kV CVT一次熔断器异常熔断的措施

根据文[3]标准的要求,对于无故障自动跳闸的中性点非有效接地系统,当系统额定电压因数升高到额定电压的1.2倍时,CVT应保证连续工作,即与CVT串联的熔断器应保证能连续正常运行。同时,当系统发生某种事故时,CVT输入端受到额定电压因数的影响而升高到额定电压的1.9倍,这时与CVT串联接入的熔断器,其熔断件应保证在8 h内熔断,使被保护的电压互感器与系统电源隔离^[2]。而按照文[4]第2部分的要求,保护电压互感器的熔断器主要用来作为隔离装置,将故障的电压互感器从电力系统中隔离出来。熔断器不能确保电压互感器本身不被损坏,这些熔断器的选择只限于它能承受电压互感器的励磁冲击电流。目前,保护电压互感器用熔断器的熔断件,其最小额定电流的水平只能达到0.5 A,实测表明,CVT的一次侧额定电流不到1 mA,1.9倍的CVT额定电流也不会超过10 mA。CVT在1.9倍额定电压作用下,熔断器根本不能熔断,也就实现不了使被保护的电压互感器与系统电源立即隔离的作用。同时选择0.5 A熔断件,却无法承受系统操作过程中CVT一次侧涌电流的作

用。因此,CVT一次熔断器选择0.5 A熔断件不仅没有意义,反而因频繁熔断而影响系统的正常运行,见图7。当CVT二次绕组发生短路时, Z_m 接近于0, X_c 和 X_k 将发生串联谐振,在电容和补偿电感上将产生较高的谐振电压,虽然在补偿电感两端并联保护器件,同时CVT也安装有谐振阻尼装置,但当补偿电感保护器件和谐振阻尼装置均失去作用时,会造成CVT的严重事故。由于谐振时电压急剧增长,回路电流也会显著增长。如CVT串联有熔断器,有可能会发生熔断,到保护作用。按照目前熔断件的制造水平,建议选择额定电流为1~3 A熔断件。

CVT投入过程中,一次侧出现的涌流较大,选择额定电流为1~3 A熔断器,按目前的熔断器制造水平,并不能保证熔断器不会发生异常熔断。如此次试验所在的变电站,在试验后,为35 kV CVT的一次熔断器选用了额定电流为3 A的熔断件,在系统操作中,一次熔断器异常熔断的概率大为下降,但依然发生过一次熔断器异常熔断的现象。按照文[4]的规定,(电压互感器用)熔断器的选择只限于它能承受电压互感器的励磁冲击电流,同时该标准关于电压互感器熔断器的选用原则也主要针对电磁式电压互感器,目前尚无标准对电容式电压互感器熔断器选择作出明确的规定。不同于电磁式电压互感器,CVT一次侧出现过载电流的机会很少,而补偿电感保护器件和谐振阻尼装置同时失去作用的概率也极小,但操作过程中出现大幅值涌流的概率却很大,容易造成一次熔断器的异常熔断。因此,对于35 kV CVT可以考虑取消熔断器保护。

4 结论

(1)35 kV CVT一次熔断器异常熔断,主要是系统操作过程中冲击涌流在熔体上产生热量积累所致。

(2)35 kV CVT一次熔断器选用额定电流1~3 A的熔断件,能够降低熔断器异常熔断的发生概率。

(3)根据CVT特点及电压互感器用熔断器的选用原则,对35 kV CVT,可考虑取消熔断器保护。

参考文献

- [1] 凌子恕.高压互感器技术手册[K].北京:中国电力出版社,2005.
- [2] 王季梅.高压交流熔断器及其应用[M].北京:机械工业出版社,2006.
- [3] GB/T4703-2007 电容式电压互感器[S].北京:中国标准出版社,2007.
- [4] GB 15166.2-1994 交流高压熔断器限流式熔断器[S].北京:中国标准出版社,2007.