

CVT 一次隔离开关操作对变压器过励磁保护影响的研究

周春雨¹, 刘 振², 余 芳², 郭 洁²

(1. 西北电力设计院, 陕西 西安 710032; 2. 西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049)

摘要: 电容式电压互感器(CVT Capacitor Voltage Transformer)含有电容和非线性电感元件,当一次隔离开关操作时可能引起二次电压异常,影响变电站继电保护装置的正常运行,甚至引起主变过励磁保护误动作。运用 ATP 建立 CVT 及其所运行的变电站的等值电路模型,仿真计算一次侧隔离开关操作过程中 CVT 二次电压情况。比较影响二次侧电压的主要因素,分析在 CVT 一次侧隔离开关操作过程中主变过励磁保护误动作的原因。正常操作不会引起主变过励磁保护误动作。

关键词: 电容式电压互感器; 二次电压; 铁磁谐振; 过励磁保护

中图分类号: TM451

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)05-0112-04

Influence of CVT Primary-Side Isolator Operation on Over-Excitation Protection of Transformer

ZHOU Chun-yu¹, LIU Zhen², YU Fang², GUO Jie²

(1. Northwest Electric Power Design Institute, Xi'an 710032, China; 2. School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Capacitor voltage transformer (CVT) contains capacitors and nonlinear inductances, so primary-side isolator operation may cause abnormal secondary voltage to influences normal operation of relay devices in substation, or even to lead misoperations of over-excitation protection for main transformers. This paper establishes equivalent circuits models of CVT and the substation via ATP, and simulates CVT secondary voltage as primary-side isolator operates for determining the main factors which impact the amplitude of secondary voltage, and determining the reasons for misoperating over-excitation protection of main transformers. The result shows that misoperation of over-excitation protection for main transformers will not happen in normal operation.

Key words: capacitor voltage transformer(CVT); secondary voltage; ferro-resonance; over-excitation protection

0 引言

目前,作为电力系统电能计量、继电保护及载波通信的主要设备 330 kV 电容式电压互感器(以下简称 CVT)在西北地区电力系统中得到了广泛使用。由于 CVT 本身结构中含有饱和电感和电容储能元件,其一次隔离开关操作时的暂态性能会对变电站继电保护正确动作产生影响,进而影响电力系统的正常安全运行。例如,2000 年铜川 330 kV 桃曲变电站值班员操作 330 kV II 母 CVT 一次隔离开关撤运时,开断 330 kV II 母 C 相 CVT 一次刀闸隔离开关后,1 号主变微机过励磁保护动作,跳开变压器三侧开关。1 号主变退出运行。事故发生前变电站内一次

和二次设备都正常运行。2005 年铜川 330 kV 金锁变电站也发生了类似事故。笔者主要研究操作 330 kV CVT 一次隔离开关过程中其二次电压情况,并分析其对主变过励磁保护动作的影响。

1 CVT 一次刀闸操作暂态仿真

由于 CVT 回路中存在带铁心的变压器,当系统操作出现较大幅值的过电压时,会导致 CVT 中的中间变压器铁心饱和,铁心饱和后,其激磁支路相当于非线性电感,在此作用下 CVT 正常的一次和二次之间的线性关系遭到破坏。二次电压中激发出了不同频率的谐波分量并出现波形畸变,二次电压已经不能正确反映电压,互感器处于失稳状态^[1]。这种情况很可能导致系统继电保护误动作。电磁暂态计算程

收稿日期:2009-05-26; 修回日期:2009-08-05

作者简介:周春雨(1984),男,硕士研究生,主要研究方向是电力系统过电压及其防护。

序(以下简称 EMTP)是研究电力系统暂态性能的重要工具。笔者使用可视化版本 ATP 软件对操作 CVT 一次隔离开关过程中的暂态过程进行仿真计算。

由于该 330 kV 变电站所采用的 CVT 一次隔离开关是分级操作,在操作过程中各相的操作会有比较大的时间差,仿真计算时只操作一相 CVT,其他两相 CVT 一次不动作。

1.1 CVT 一次刀闸分闸操作

开断 CVT 一次隔离开关的瞬时对于母线电压的相位是随机的。对于已经确定的变电站设备和 CVT,开断 CVT 一次隔离开关操作过电压操作的主要影响因素是分闸时电压相位^[2]。

图 1 是在 A、B 两相 CVT 正常运行,母线 C 相电压相位为 0° 、 45° 和 90° 时开断 C 相 CVT 一次隔离开关时二次电压波形图。图 2 是在 A、B 两相 CVT 撤出运行时,C 相 CVT 一次隔离开关在母线电压相位为 90° 开断时二次电压波形图。从仿真计算结果可以看出,在变电站正常运行时,开断 CVT 一次隔离开关操作过程中,二次电压振荡减小到零。开断时,母线电压相位对二次电压的影响非常微小,可忽略。

CVT 一次隔离开关在开断过程中重燃现象是有可能发生的。考虑一次隔离开关开断过程中发生

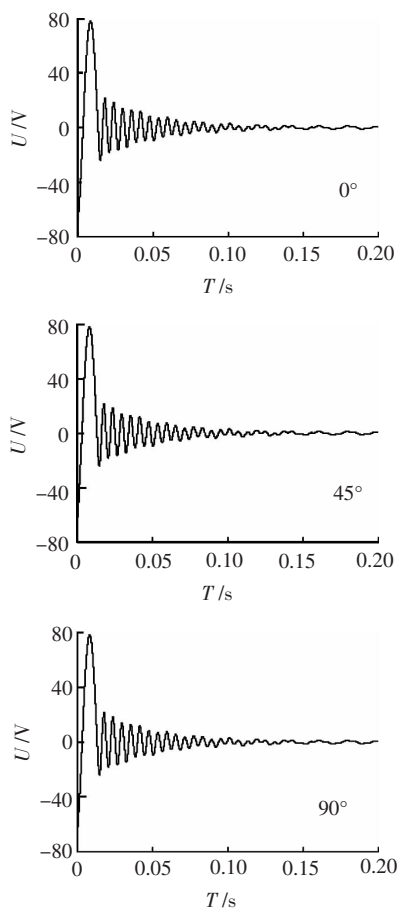


图 1 0° 、 45° 和 90° 拉开 C 相 CVT 一次隔离开关时二次电压波形图

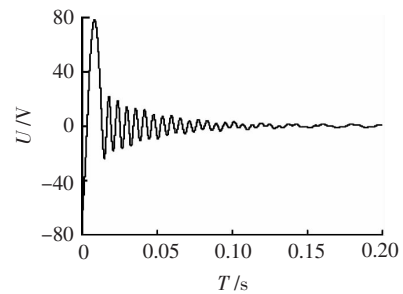


图 2 A、B 两相停运 C 相二次电压波形图

一次重燃的情况,二次绕组电压波形见图 3。从波形图可以看出,如果在开断 CVT 一次隔离开关过程中一次隔离开关处发生重燃,二次电压将出现严重的过电压,最高幅值达到正常值的 7.4 倍,随后振荡消失。

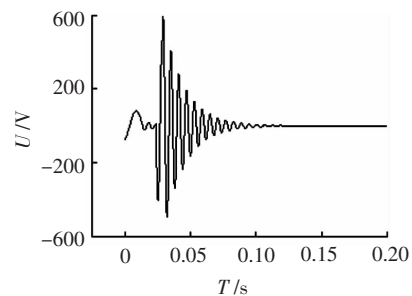


图 3 一次隔离开关发生重燃二次电压波形图

1.2 CVT 一次隔离开关合闸操作

考虑系统中其他参数不变的情况下,在电压相角为 0° 、 45° 和 90° 时,分别仿真计算 CVT 一次隔离开关合闸时二次电压的情况,其二次电压波形见图 4。从仿真计算结果可以看出,在电压相角为 0° 时合闸,CVT 二次电压波形发生了微小的畸变,但是二次电压幅值比较低,持续 4 个周波消失。 60° 时已经开始畸变,持续时间只有 4 个周波。在 90° 合闸时,波形畸变最为严重,幅值达到了正常值的 1.5 倍,但持续时间也只有 5 个周波。

1.3 影响 CVT 暂态性能的因素

对于一定规格的 CVT 产品,其电容 C 的大小是一定的,影响其暂态性能的因素主要有阻尼器参数和电压互感器的铁心磁密。

1.3.1 阻尼参数的影响

速饱和阻尼器主要包括速饱和电抗器和阻尼电阻。速饱和电抗器的作用在于,当发生谐振时,速饱和电抗器饱和,电抗值下降,此时将与其串联的电阻接通,达到了阻尼谐振的作用。阻尼电阻值的选取将直接影响阻尼的效果^[3]。CVT 阻尼电阻的大小要与电抗器在过电压工频加分次谐波作用下的电抗值相

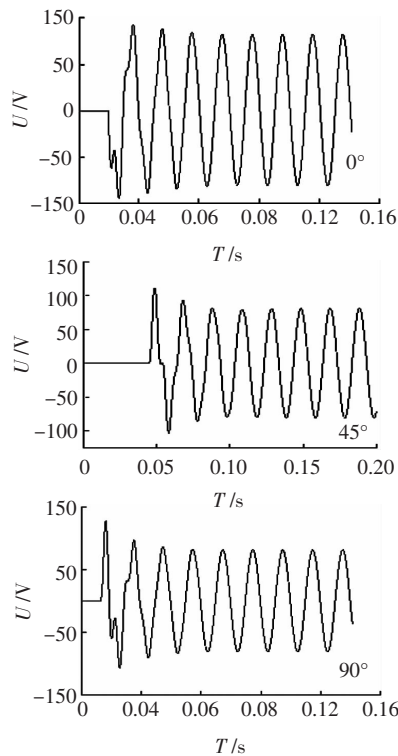


图4 0°、45°和90°时C相CVT一次隔离开关合闸二次电压波形

匹配,以使在同样过电压下产生的阻尼功率达到最大值。同时阻尼器电路的电流也应该大于电抗器铁心达到饱和的最小电流,否则需要调整电抗器的设计,阻尼电阻的选择应该在一个特定的范围之内^[4,5]。根据计算,研究的330kV CVT所使用的阻尼电阻应小于 $19.06\ \Omega$ ^[5]。在1.2部分330kV CVT的阻尼电阻值为 $8.1\ \Omega$ 。现将阻尼电阻值改为 $2\ \Omega$ 和 $20\ \Omega$ 进行仿真计算。仿真计算后二次电压波形见图5。从图5可以看出,当阻尼电阻取值比较小时,CVT发生了持续的铁磁谐振,二次电压波形发生了比较大的畸

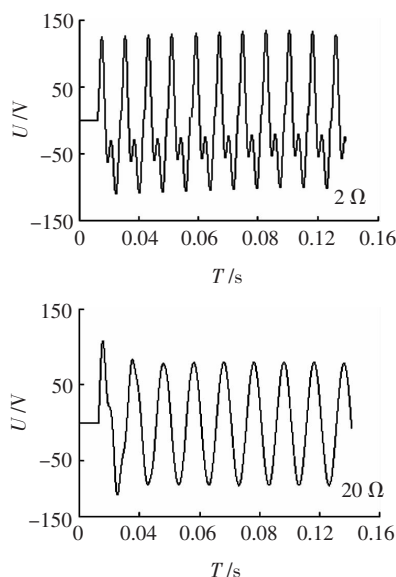


图5 阻尼电阻为2 Ω和20 Ω时二次电压波形图

变,电压幅值达到了额定值的1.55倍;当阻尼电阻增加到 $20\ \Omega$ 时,阻尼的效果明显改善,谐振在4个周波内消除。在合理范围内,取较大的阻尼电阻有利于谐振的抑制。

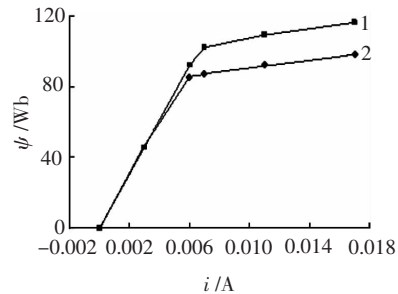


图6 中间变压器磁化曲线图

1.3.2 电压互感器铁心磁密对铁磁谐振的影响

1.2部分仿真计算时CVT电压互感器磁密比较低,其磁密曲线见图6中曲线1。现在选取磁密较高铁心来仿真计算。其磁密曲线见图6中曲线2。

从图7可以看出,当铁心磁密较大时,CVT在一次刀闸合闸时发生了铁磁谐振,二次电压波形发生了很严重的畸变,电压最大幅值达到额定值的3.36倍,但由于速饱和阻尼器的作用,谐振在6个周波内消失。

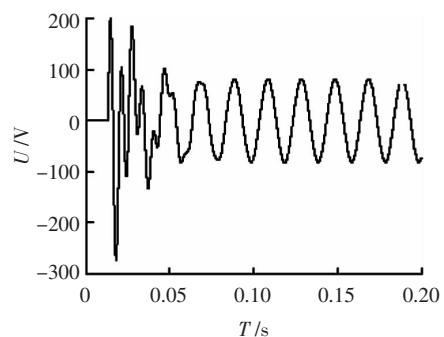


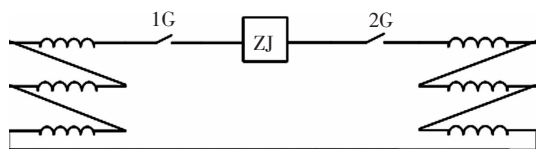
图7 铁心磁密较高的谐振图

根据以上仿真计算结果,CVT一次隔离开关合闸操作过程中会有铁磁谐振现象产生,但是在速饱和阻尼器作用下谐振现象很快消失,电压幅值和持续时间都达不到主变过励磁保护动作的门坎值,不会导致主变过励磁保护动作。

2 CVT二次绕组感应电压分析

变电站停运某母线或CVT时,必须先将I母、II母的CVT并列运行,以防运行保护装置失压,之后再行倒闸操作。在倒闸过程中,各相CVT一次隔离开关操作也有严格顺序。在撤运某母线CVT时,必须先开断带有辅助接点的一次隔离开关,使两个

母线 CVT 开口三角绕组断开,避免两个开口三角绕组的并联。而在投运 CVT 时,也要严格按照操作顺序操作,避免开口三角绕组在一次隔离开关操作过程中并联。开口三角绕组并联原理见图 8。



ZJ——中控屏的并列继电器 1G/2G——一次刀闸一相辅助接点。

图 8 开口三角绕组并联原理

如果操作顺序不正确,致使操作过程中的两个开口三角绕组并联,将导致一个开口三角上产生不平衡电压,叠加到另一个开口三角绕组上,再通过耦合导致二次绕组电压发生变化。如果 II 母一相 CVT 撤运或两相 CVT 撤运,那么开口三角绕组将有 100 V 的电压。又由于并联后的两个开口三角绕组的 6 个 CVT 剩余绕组串联,I 母、II 母开口三角绕组各分得 50 V 电压,每相 CVT 剩余绕组将分得 50/3 V 电压。50/3 V 的电压将通过电压互感器传递使 I 母 CVT 二次绕组上产生一定的电压,并叠加到 I 母各相运行电压上。CVT 的二次与三次的变比为 $(100/\sqrt{3})/100=0.577$,则 50/3 V 耦合到二次绕组上的电压为 9.62 V 左右。以下对两种情况进行分析。

情况 1: 变电站中 I 母 CVT 正常运行,进行 II 母 CVT 投入运行操作,II 母 A 相 CVT 一次隔离开关带有辅助接点。假设首先合上 II 母 A 相 CVT 一次刀闸,此时在 II 母 CVT 的开口三角绕组上产生 100 V 的电压。由于 I 母开口三角绕组此时与 II 母开口三角绕组串联,I 母各相 CVT 剩余绕组叠加了 50/3 V 的电压。此时 I 母各相 CVT 二次绕组电压向量图见图 9。经过计算可知 $U_{a1}'=9.62\text{ V}$, $U_{a1}=57.7\text{ V}$,所以 $U_{a1}'=U_{a1}+U_{a1}'=57.7+9.62=67.32\text{ V}$,达到了额定值的 1.17 倍。同样在 I 母 CVT 正常运行时,撤运 II

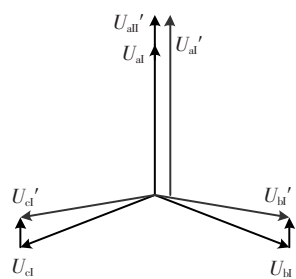


图 9 CVT 二次绕组感应电压向量图

U_{a1}, U_{b1}, U_{c1} ——正常情况下 CVT 剩余绕组电压

$U_{a1}', U_{b1}', U_{c1}'$ ——叠加后 CVT 剩余绕组电压

$U_{a1}''-U_{b1}''-U_{c1}''$ ——母 CVT 开口三角绕组电压感应给二次绕组电压

母 CVT 时,如果首先撤运了 B 相和 C 相 CVT,只留下 A 相运行,也会发生同样的问题。

情况 2: 变电站中 I 母 CVT 正常运行,进行 II 母 CVT 撤出运行操作,II 母 A 相 CVT 一次隔离开关不带辅助接点。假设首先开断 II 母 A 相 CVT 一次隔离开关,此时在 II 母 CVT 的开口三角绕组上产生 100 V 的电压,I 母各相 CVT 电压向量见图 10。I 母 B 相和 C 相 CVT 二次电压升高到 63.1 V 左右,为额定电压的 1.09 倍,而 I 母 A 相 CVT 二次电压则减小到 48.1 V。在投运 II 母 CVT 的过程也会有同样的情况发生。

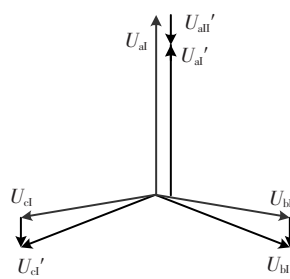


图 10 CVT 二次绕组感应电压向量图

根据以上分析和变电站提供的事故记录,330 kV 桃曲变电站和 330 kV 金锁变电站的主变过励磁保护误动作应该属于上述情况。操作人员在撤运桃曲 330 kV II 母 CVT 时,操作顺序错误,首先拉开 C 相 CVT 一次隔离开关,接着开断 A 相 CVT 一次隔离开关,而带有辅助接点的 B 相 CVT 一次隔离开关最后才开断,导致 I 母和 II 母开口三角绕组的并联没有断开。I 母 B 相 CVT 二次电压升高到 72.1 V,达到了主变过励磁保护的動作门坎值,保护动作。金锁变电站事故是发生在投运线路 CVT 过程中,操作人员操作顺序错误,首先合上了带有辅助接点的一次隔离开关,致使金韩线 A 相 CVT 二次电压升高,达到主变过励磁保护的動作门坎值,保护动作。

3 结论

仿真计算结果表明,CVT 一次隔离开关合闸过程中会有一定的铁磁谐振发生,导致二次侧电压波形发生畸变,幅值升高。但由于电压幅值升过的幅度很小,并且持续的时间也很短,达不到主变过励磁保护动作的门坎值,主变过励磁保护不会动作。如果操作人员在 CVT 投运或撤运过程中操作顺序错误,致使两个母线 CVT 的开口三角绕组并联,那么一个开口三角绕组的不平衡电压将平均分配到六个

(下转第 118 页)

(30年),同时其成本非常昂贵,这是阻碍电子式电流互感器产业化的另外一个关键因素。所以,目前高压侧的供能方法一般是采取复合供能的方式:一次电流较大时,采用CT供电方式;一次电流较小时,采用激光供能方式。这种方法可以尽量降低大功率激光器工作的时间,延长其寿命。但是,也存在两个问题:线路检修后合闸时,CT供能需要有一个较长的建立时间,此时只能依靠激光供能,但如果此时激光器失效,将直接导致互感器不能正常工作,所以,一般要求采用两个激光器:一用一备,但这进一步加大了成本。CT和激光器的切换控制,必须有一个合理的控制策略,不能出现供能的“真空”,即一个切换了,另外一个还没有开始供能,所以需要实现两种方式切换的预判。并且,CT供能方式还需要考虑系统短路时,一次短路电流的冲击可能造成CT的损坏。这些因素的存在将直接导致供能系统比较复杂,可靠性降低。

4 可靠性设计

如前所述,电子式互感器具有明显优于传统互感器的诸多特点,但由于电子式互感器包含了传感技术、电子技术、高电压技术、光电子技术、计算机网络技术等多学科交叉领域的知识体系,其整体技术难度较大。电子式互感器最终能否全面替代传统互感器,取决于其长期运行的可靠性。电子式互感器可靠性设计包含以下主要内容。

4.1 冗余设计

冗余设计是提高设备可靠性的常用方法。在电子式电流互感器中,构成保护通道的空芯线圈、A/D转换器都必须采用双重化的冗余设计。

4.2 自检功能设计

对于关键器件,例如:电源模块、A/D变换器等

必须具有基本的自检功能。

4.3 电磁兼容设计

采用CT供电或CT复合型供电的电子式互感器,需要采取保护措施,使得一次短路时的大电流冲击不会对供能CT构成损坏。同时,还必须考虑一次短路电流对低功率铁芯线圈后续取样电路的冲击及较大的 di/dt 对空芯线圈后续保护通道电子电路的冲击。

4.4 安全性设计

由于采用了大功率激光器供能,必须采取保护措施,以防大功率激光在运行维护中可能对运行维护人员造成的伤害。推荐的方法:在大功率激光器正常工作时,一旦检测到电源模块掉电,立刻停止激光器的工作,以防供能光纤回路出现问题危及人员安全。

5 结论

电子式互感器是目前被广泛关注的新型电力设备,而其中关键技术的精细研究是直接关系到电子式互感器最终能否达到电力系统高安全性、稳定性、可靠性要求的重要因素。

参考文献:

- [1] 曾庆禹.电力系统数字光电量测系统的应用及效益分析[J].电网技术,2001,25(5):6-9.
- [2] KOJOVIC LJUBOMIR.Rogowski Coils Suit Relay Protection and Measurement of Power Systems[J].IEEE Computer Applications in Power,1997,10(3):47-52.
- [3] CHEN Qing,LI Hong-bin,ZHANG Ming-ming,et al.Design and Characteristics of Two Rogowski Coils Based on Printed Circuit Board [J].IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement,2006,55(3):939-943.
- [4] 张明明,刘延冰.一种新型的有源光纤电流互感器[J].中国仪器仪表,1998(2):15-16.

(上接第115页)

CVT剩余绕组上,并耦合到CVT二次绕组上与原有的电压叠加。电压最高的一相CVT二次绕组电压将达到正常值的1.17倍,加之是手动分级操作时间比较长,达到了主变过励磁保护的動作门坎值,保护发生误动作。

为了避免此类事故的发生操作人员应严格按照操作次序操作CVT一次隔离开关。相关单位也可以对有关设备进行改进。如:改变主变过励磁保护的動作判据,当母线CVT和线路CVT的二次电压同时升高时,再判定主变过励磁,启动主变过励磁保护动作。如果只有线路或母线CVT二次电压升高,则不

认为主变过励磁,闭锁主变过励磁保护。

参考文献:

- [1] 陈乔夫,李湘生.互感器电抗器的理论与计算[M].武汉:华中理工大学出版社,1992.
- [2] 穆淑云.电容式电压互感器暂态性能的仿真计算[J].电力电容器,2001(1):8-13.
- [3] 王德忠,王季梅.电容式电压互感器速饱和阻尼器的研究[J].电工技术学报,2000,15(1):41-46.
- [4] 刘爱民.CVT中阻尼器的研究[J].电力电容器,2006(5):39,40.
- [5] 郭晓东.电力互感器产品选型、设计、技术参数与设备运行检修及事故防范处理技术手册[M].北京:中国知识出版社,2005.