

降低励磁涌流不良影响措施

陈忠^{1,2}

(1. 中国南方电网超高压输电公司检修试验中心, 广东 广州 510160; 2. 华南理工大学, 广东 广州 510160)

摘要: 主要论述了影响变压器励磁涌流的因素, 以及励磁涌流对变压器三个方面的不良影响, 并针对性地提出了四个降低励磁涌流不良影响的措施, 其中改善变压器的铁心结构、相关充电保护增加滤波功能和测控装置增加变压器合闸初相角捕捉功能作者的主要建议。

关键词: 变压器; 励磁涌流; 过电压; 滤波; 捕捉

The way of lowering the bad influence of the magnetic inrush current

CHEN Zhong^{1,2}

(1. Maintenance & Test Center of EHV Power Transmission Company of CSG, Guangzhou 510160, China;
2. South China University of Technology, Guangzhou 510160, China)

Abstract: The paper mostly analyses the influence factors of the magnetic inrush current of the transformer and three aspects bad influence of the magnetic inrush current on the transformer. It puts forward four measures of lowering the bad influence of the encourage magnetic current. Among them, polishing up the structure of transformer's core-tank, in the refresh protection adding the function of filter wave, and in the measure and control equipment adding the function of voltage angle catching that close to the transformer are the author's primary suggestions.

Key words: transformer; magnetic inrush current; over voltage; filter; wave catch

中图分类号: TM772 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2009)23-0170-02

0 引言

变压器做为电力系统最重要的设备之一, 它的运行状况及运行寿命备受大家所关注。影响变压器的运行状况及运行寿命的主要有以下因素: 1) 流经变压器的系统短路电流; 2) 操作过电压或雷击过电压; 3) 变压器在高温环境重载运行累积的热效应; 4) 变压器本身绝缘材料的老化; 5) 空载投入变压器时的励磁涌流等等。前两个因素危害变压器是最直接、最严重的, 甚至一次短路或过电压就可能损坏变压器, 随着电网规模的不断快速增大, 变压器的抗短路能力及绝缘强度这两项重要指标受到的考验越来越严峻, 这取决于变压器制造工艺、运行维护及检测维修等方面水平。除此之外, 后三个因素也对变压器的运行寿命有重要影响, 虽然这些因素难以一次破坏一台变压器, 但这些因素出现在正常运行过程中, 频度较高, 累积效应不容忽视。譬如励磁涌流对变压器有怎样的损害, 如何降低涌流对变压器的损害等问题也逐渐被关注, 本文就是主要针对这些问题进行讨论。

1 影响励磁涌流的主要因素

空载投入三相变压器, 不可避免地产生励磁涌

流, 它的大小、性质取决于以下主要因素: 1) 合闸时电压的初相角; 2) 变压器铁芯的剩磁; 3) 变压器的内部结构; 4) 变压器的容量; 5) 合闸回路的电阻值。

合闸时电压初相角为 0° 或 180° 时, 产生的励磁涌流最大, 初相角为 90° 或 -90° 时, 产生的励磁涌流最小, 但电网三相对称电压加至三相变压器时, 非常难以在合闸瞬间三相都为 90° 或 -90° 。

变压器铁芯的剩磁越大, 对励磁涌流的影响就越大。如果剩磁与合闸时电压产生的磁通极性相同, 就会较大助增励磁涌流, 因为一般变压器铁芯的最大工作磁通密度 B_m 占饱和磁通密度 B_s 的 70% 以上^[1], 而最大剩磁的磁通密度 B_r 也可能达到饱和磁通密度 B_s 的 65% 左右^[1], 合闸后第一个电压过零点的总磁通密度 $B_z = B_m + K(B_r + B_0)$ (B_0 为合闸电压产生的磁通, K 为铁芯磁通密度衰减系数), B_z 就可能远大于 B_s , 产生的励磁涌流就可能很大。如果剩磁与合闸时电压产生的磁通极性相反, 就会较大削弱励磁涌流。

合闸回路的电阻值越大, 励磁涌流的时间常数 ($\tau = L/R$) 就越小, 产生励磁涌流的峰值就较小, 并且衰减的速度就较快^[5]。一般变压器的容量越大, 铁芯磁通密度的工作点越高, 产生的励磁涌流就可能越大。此外, 变压器内部结构对励磁涌流也有较

大影响,如受压线圈与铁芯之间的面积越大,产生的励磁涌流就越小^[4]。

2 励磁涌流的影响

励磁涌流的不良影响主要有:1)峰值较大且含有大量高次谐波的励磁涌流造成铁芯很大的振动,危及铁芯相关部件的机械强度,并且造成很大的噪音^[3];2)励磁涌流较大时很容易使继电保护跳闸,而突然断开如此大的涌流会造成变压器内部过电压;3)空投变压器产生的涌流流过上级或并列运行变压器,容易使它们的继电保护误动。

铁芯的振动主要是铁芯反复励磁引起的,铁芯在50 Hz励磁时,磁性钢片伸缩的基频是100 Hz^[1],而励磁涌流峰值很大,并且含有大量的二次谐波(100 Hz),这就很容易造成电磁频率和铁芯伸缩机械频率共振,进一步加剧铁芯的振动,空投变压器时总会听到一声激响正是励磁涌流造成铁芯激烈振动的体现。因为铁芯夹得越紧,励致伸缩造成的噪音量就会越大,所以为了降低正常运行时的噪音,铁芯的夹紧力厂家一般不会设计很大^[1],而励磁涌流造成激烈振动就容易危及铁芯的机械强度,并且这种效应会长期累积,虽然难以直接破坏变压器的结构,但是它至少造成变压器结构一定的缺陷为故障破坏变压器提供了条件。

现在变压器的差动保护都有励磁涌流闭锁措施,最常用的有二次谐波闭锁、间断角闭锁及波形不对称闭锁等,这些措施都是针对励磁涌流的特征设计的,但它的整定值都不可能考虑极限的励磁涌流,因为变压器发生故障时的电流也含有一定以上措施考虑的特征,并且空投变压器时也可能发生故障,这种故障电流和励磁涌流同时存在的情况就更加难以区分,所以优先考虑故障时能跳闸的差动保护不可能完成避开励磁涌流不跳闸。此外,新设备启动时使用某断路器的充电保护的灵敏度一般很高,必须保证出现任何故障都能快速切除,所以充电保护的电流定值较小且延时较短,因此,如果空投变压器时的励磁涌流较严重,就难以避免充电保护跳闸。现场空投变压器时充电保护跳闸的情况司空见惯,甚至反复几次跳闸后,不得不提高充电保护整定值来避开涌流,这种降低保护灵敏度的做法无疑使新投设备及系统都承担更大的风险。数值较大的励磁涌流使继电保护跳闸最大的危害是容易在变压器内部造成过电压破坏其绝缘。变压器是一个大电感值的元件,突然断开数值很大的励磁涌流,电感储存的巨大磁能虽然以较快的速度衰减^[2],但相当部分必然转变为电场能,也就在变压器绕组对地电容和杂间电容中产生高电压^[6]。过电压的倍数与磁效率系数(即有效转化为电场能的系数)、等效电容、绕组匝数、铁芯面积、断开时的电流和电压数值、断路器的性能等直接相关,当接近于电压

0°时合闸而接近于电压90°时断开,产生的过电压倍数是最大的,可能超过电网中的操作过电压,严重考验变压器的绝缘强度。

空投变压器产生的励磁涌流,必然流过上级或并列运行变压器,励磁涌流含有很高的直流分量,这很容易使运行变压器与空投变压器直接连接侧的电流互感器铁芯饱和而出现较大传变误差,而励磁涌流的直流分量经过运行变压器后衰减很大,流经其他侧电流互感器的直流分量很小,其传变误差受到的影响也很小,因此,运行变压器的差动保护很容易产生较大差流而误动,造成运行变压器甩负荷,甚至危及电力系统的稳定性。励磁涌流使上级或并列运行变压器的差动保护误动在国内电力系统是有实例为证的。

综上所述,空投变压器时励磁涌流的不良影响难以忽略,应该采取一定措施加以抑制,或减低其不良影响。

3 减低励磁涌流不良影响措施

第一,励磁涌流的大小及其不良影响都与变压器的内部结构紧密相关,因此厂家在制造变压器时,除了满足其他技术经济指标之外,应在变压器内部结构适当采取降低励磁涌流及其不良影响的措施。主要方面如下:1)尽量使用剩磁较小的铁芯材料及铁芯制造工艺;2)适当降低铁芯磁通密度的工作点或加大铁芯面积;3)铁芯夹紧力应考虑受励磁涌流冲击的足够裕度;4)加大绕组匝间及对地的绝缘强度等。

第二,在工程设计时应考虑以下方面:1)在各侧配置参数匹配及特性较好的避雷器保护变压器的主绝缘;2)配置性能较好断路器,防止断开励磁涌流时断口电弧重燃,造成多次过电压冲击^[2],容量大的变压器高压侧考虑配置带预合过渡电阻的断路器,抑制励磁涌流的幅值;3)配置有较好励磁涌流闭锁性能的变压器差动保护等;4)变压器各侧使用励磁特性较好的电流互感器。

第三,新设备启动时,充电保护应具有滤波功能,把电流的直流分量及和二次及以上的谐波滤掉,只计算工频分量,这样既可以使充电保护有较高的灵敏度,又可以避免涌流使充电保护跳闸造成变压器内部过电压。

第四,断路器测控装置应增加变压器的合闸初相角捕捉功能。如果不对断路器的控制方式做相应的改变,三相系统不可能三相都捕捉到电压的初相角为90°或-90°,但假如一相捕捉到电压的初相角为90°或-90°,出现最大励磁涌流相电压的初相角为-150°、150°、30°或-30°,对于三相系统来说是比较理想的,这可以做为空投变压器电压相角捕捉的目标。最理想的合闸初相角捕捉办法是把断路

(下转第175页 continued on page 175)

我们将事故电动机 F650 的速断保护调整为: $I_{OP1}=8 \times I_e$, $t_{OP1}=0$ s; $I_{OP2}=14 \times I_e$; $t_{OP2}=0$ s。试验室模拟测试正确无误, 现场多次开机正常, 第三套速断保护方案获得成功。随后对该配电室另外 3 台电动机的速断保护也按照此方案进行了修改, 也实现了顺利开机。历时两年多的实践证明, 该方案能够安全躲过 6 kV 高压电动机的起动电流, 由于两级短路保护均设置为无时限动作方式, 故对于电动机起动及运行阶段所发生的各类相间短路故障均能做出快速反应, 具有无可比拟的优越性。

推而广之, 对于具有内部逻辑编程功能的电动机继电保护装置, 其速断保护均可采用上述思路来实现。对于经常重载起动的机泵或风机类负荷, 因其起动电流的非周期分量持续时间有所延长, 我们可以将起动第二阶段的延时器的动作延时时间适当放长, 以躲过其影响。对于带软起动器等间接起动的电动机, 应另行考虑。

4 结束语

本文结合一起由于继电保护装置“误整定”而

导致的“误动作”事故为实例, 从其产生的起因、特点及解决措施等方面进行了深入的分析和探讨, 发掘出了一套切实可行的短路保护方案, 值得大力推广应用。鉴于继电保护整定工作的复杂性, 文章难以一一详述, 但就其一些共性的现象, 希望能为同行们提供一点借鉴和参考。

参考文献

- [1] 任元会, 卞铠生, 姚家炜, 等. 工业与民用配电设计手册(第三版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [2] 许晓峰. 电动机与拖动[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [3] 王正茂, 阎治安, 崔新艺, 等. 电机学(第一版)[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2000.

收稿日期: 2008-12-04; 修回日期: 2009-08-28

作者简介:

王玉锋(1969-), 男, 工程师, 主要从事工厂电气试验、继电保护计算工作;

杜光明(1981-), 男, 助理工程师, 主要从事工厂电气试验、继电保护调试工作。E-mail: dgming11@petrochina.com.cn

(上接第 171 页 continued from page 171)

器 A、B、C 相的合闸命令顺序错开 6.67 ms (相当于 120°), 只捕捉 A 相电压的初相角为 90° 或 -90° , 对于 220 kV 及以上的变压器来说, 这种办法是可行的, 因为其高压侧断路器都是分相操作的, 但是二次方面要做相应的变动。实现办法有两种: 一是由测控装置捕捉到 A 相电压的初相角为 90° 或 -90° 后, 直接输出 3 个间隔 6.67 ms 的合闸命令, 分别驱动断路器三相合闸回路, 其操作箱也需要增加三个合闸继电器; 另一种是测控装置只增加电压捕捉功能, 三相间隔时间由操作箱增加固定延时元件来实现, 但操作箱用 RC 元件实现 6.67 ms 延时较难做到准确, 第一种办法可靠性较高。如果要进一步做到完美, 到底是应该捕捉 A 相电压初相角为 90° 或 -90° ? 这理论上应该决定于变压器的剩磁, 它与上次变压器分闸时 A 相电压的极性直接相关, 只要在上次分闸时电压的反极性合闸, 剩磁一般都能起到抑制励磁涌流的作用, 这样就可以较大降低励磁涌流的幅值, 因此, 捕捉功能较好的测控装置还应具备分闸电压极性的记忆功能。

4 结论

空投变压器出现励磁涌流是不可避免的, 如果不加以限制, 它的影响是不容忽视的。如果使用以

上所述的措施, 励磁涌流的幅值应可以限制至较低的水平, 并且可以降低励磁涌流的不良影响, 延长变压器的运行寿命。

参考文献

- [1] 谢疏城, 等. 电力变压器手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [2] 钱家骊, 等. 高压开关开合电容电流和小电感电流[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [3] 阮瑞琪. “阶梯叠”铁芯变压器降低空载损耗和噪声的探讨[J]. 变压器, 1998, (2): 13-16.
RUAN Rui-qi. Probe of Trabsfomer Type of “Ladder Fold up” Magnet Core Be Lowered Idle Load Wear and Noise[J]. Transformer, 1998, (2): 13-16.
- [4] 变压器制造技术丛书编委会. 变压器铁芯制造工艺[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [5] 王丽. 电路基础及仿真[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [6] 吴根志. 高电压工程基础[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.

收稿日期: 2008-12-11; 修回日期: 2009-04-15

作者简介:

陈忠(1975-), 男, 工程师, 工程硕士, 长期从事电力系统电气试验及继电保护调试工作。E-mail: chenzhong111@126.com