

高压多绕组电压互感器二次负荷配置优化与改造工程实施

李斌¹, 黄奇峰², 杨世海²

(1.江苏省电力公司, 江苏南京 210024; 2.江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏南京 211103)

摘要: 阐述高压多绕组电压互感器二次负荷选配的目的和重要性, 剖析其误差受各绕组二次负荷影响的机理, 并进行试验验证。用理论分析指导工程改造实施, 降低了互感器实际运行误差, 保障安全生产和贸易结算公平。

关键词: 高压多绕组电压互感器; 二次负荷; 配置优化; 误差

中图分类号: TM933.4

文献标志码: A

文章编号: 1009-0665(2012)05-0005-04

电网中 110 kV 及以上电压等级的高压电压互感器一般具有多个二次绕组, 根据工程实际需要用于计量、测量、保护、控制等多种用途, 其二次负荷的合理选配关系电压互感器的安全运行和准确计量。综合考虑计量绕组和其他绕组的二次负荷合理配置, 方可使电压互感器的计量实际运行误差达到最优, 对于重要关口计量点尤应如此。

1 多绕组电压互感器二次负荷对计量误差的影响机理分析

由于电压互感器各绕组公用一个铁心, 公共磁路相同, 因此各绕组之间相互影响较显著, 不仅应考虑计量绕组二次负荷配置, 还应同时考虑其他绕组二次负荷的合理配置。电流互感器则因各绕组均具有独立铁心, 各绕组之间不共磁路, 所以相互影响较小。

文中重点考虑两个基本二次绕组即计量和保护绕组同时带负荷运行时误差特性受二次负荷变化的影响。

1.1 高压互感器误差产生原理建模

根据电磁学基本原理, 电压互感器可以视为变压器二次开路情况下的特殊处理, 其原理建模可借鉴变压器, 如图 1 所示。一次绕组产生激磁电流 I_m , 激磁电流在磁路中建立激磁磁势, 一方面产生主磁通 Φ_m , 交链整个铁心, 穿过一次和二次绕组产生主磁通感应电势, 另一方面产生部分漏磁通, 只有一次绕组交链, 即 $\Phi_{1\sigma}$, 而二次绕组除被主磁通 Φ_m 交链外, 同样产生二次漏磁通 $\Phi_{2\sigma}$, 按电磁学惯例, 规定各相量正方向如图中箭头所示。

等效电路如图 2 所示。图中: $X_{1\sigma}$ 为一次绕组漏抗; R_1 为一次绕组内阻; $X_{2\sigma}$ 为二次绕组漏抗; R_2 为二次绕组内阻; Y_2 为二次所带负荷的导纳。

设一次绕组、二次绕组的匝数分别为 N_1, N_2 , 激磁电流为 I_m , 当电压互感器二次绕组带负荷运行

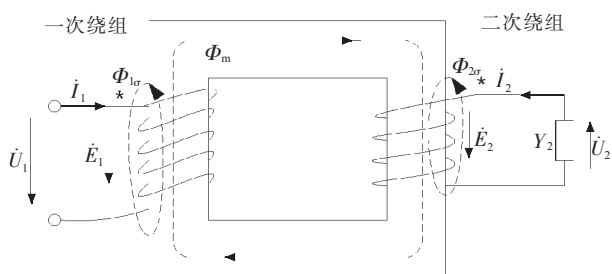


图1 电压互感器电磁感应原理图

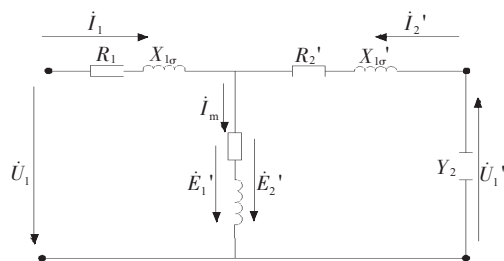


图2 电压互感器等效电路图

时, 除激磁磁势 $I_m N_2$ 外, 一次绕组、二次绕组分别产生初级电流磁势 $I_1 N_1$ 和次级电流磁势 $I_2 N_2$, 根据安培环路定律有:

$$I_m N_2 = I_1 N_1 + I_2 N_2 \quad (1)$$

将各级绕组电流归算到一次侧有:

$$I_m = I_1 + I_2' \quad (2)$$

其中, I_2' 为二次侧绕组归算到一次侧后的电流, 该式为 3 个绕组的电路建立了联系。

各绕组电路关系表达式为:

$$I_2 = Y_2 U_2 \quad (3)$$

$$U_1 = -E_1 + I_1 (R_1 + jX_{1\sigma}) \quad (4)$$

$$U_2' = E_2' - I_2' (R_2 + jX_{2\sigma}) \quad (5)$$

由主磁通即公共磁通感应出的一、二次绕组电势归算到一次绕组后相等, 即:

$$E_1 = E_2' \quad (6)$$

设 $Z_1=R_1+jX_{1\sigma}$, $Z_2'=R_2'+jX_{2\sigma}'$, 将式(2)、(5)、(6)代入(4)有:

$$\begin{aligned}\dot{U}_1 &= -\dot{U}_2' - I_2'(R_2' + jX_{2\sigma}') + \dot{I}_1(R_1 + jX_{1\sigma}) \\ &= -\dot{U}_2' - I_2'Z_2' + (\dot{I}_m - \dot{I}_2')Z_1 \\ &= -\dot{U}_2' + \dot{I}_m Z_1 - \dot{I}_2'(Z_1 + Z_2') \\ &= -\dot{U}_2' + \Delta\dot{U}_m + \Delta\dot{U}_2\end{aligned}\quad (7)$$

1.2 计量绕组二次负荷对计量误差的影响

电压互感器的复数形式的误差公式为:

$$\Delta\dot{U} = -\frac{\dot{U}_2' + \dot{U}_1}{\dot{U}_1} \quad (8)$$

将式(6)代入式(7)有:

$$\Delta\dot{U} = -\frac{\dot{I}_m Z_1 - \dot{I}_2'(Z_1 + Z_2')}{\dot{U}_1} = -\frac{\Delta\dot{U}_m + \Delta\dot{U}_2}{\dot{U}_1} \quad (9)$$

为了便于定性分析各绕组二次负荷对计量误差的影响,根据式(4)、(5)、(6)和(7)作相量图,如图3所示。

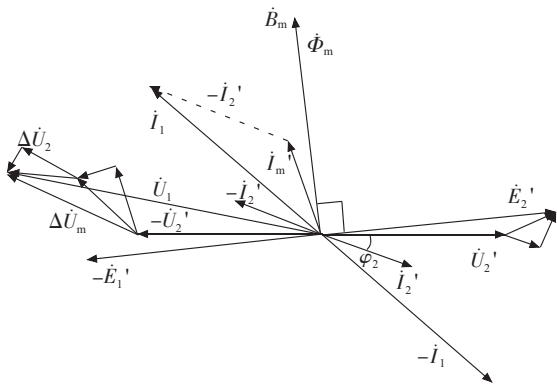


图3 电压互感器运行时的相量图

由式(3)知,计量绕组二次负荷越小即 Y_2 越小,则 I_2/U_2 越小,从而 I_2/U_1 越小, $\Delta U_2/U_1$ 越小, $|\Delta U|$ 也越小,从图3看出,比值差向正方向偏移。相反,计量绕组二次负荷越大即 Y_2 越大,则 $|\Delta U|$ 也越大,比值差向负方向偏移。

经实测绘出的电压互感器比值差随计量二次绕组所带实际负荷变化的曲线如图4所示。当电压互感器比值差大于0,即曲线位于第I象限区域时,会导致多计电量,当曲线位于第IV象限区域时,将会少计电量。不经补偿时,电压互感器比值差总为负值,即曲线 C_1 。为优化误差特性,对电压互感器进行补偿,使误差曲线向正方向平移,获得曲线 C_2 ,二次负荷取得合适时,误差将趋向于0。

但当额定二次负荷选择过大时,无论如何补偿和优化,在空载和额定二次负荷时,电压互感器误差绝对值均将较大。如果计量绕组所带的二次负荷极轻,将会电压互感器导致实际运行时误差特性变差

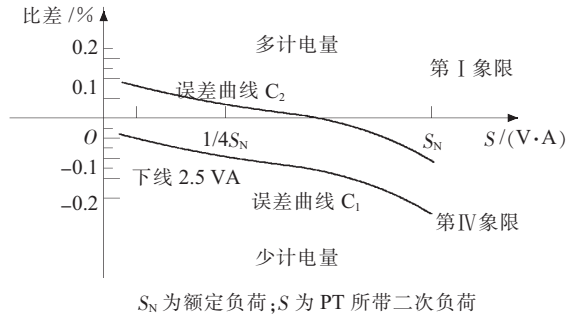


图4 电压互感器比值差随二次负荷变化趋势

甚至超过规程规定的误差限^[1]。这就是必须控制二次负荷的原因。

1.3 保护绕组二次负荷对计量误差影响的试验验证

为验证以上理论分析的正确性,选择1组3只110 kV电压互感器做被试品,二次有计量绕组、保护绕组和剩余绕组。单独考虑计量绕组二次绕组时电压互感器比值误差将随计量绕组二次负荷增大而向负方向变化,这已为各类文献所证实^[2]。为了验证保护绕组二次负荷对计量绕组的影响,令计量绕组实际所带二次负荷保持不变,保护绕组二次负荷逐渐改变,记录误差的变化情况,如表1所示。

表1 保护绕组实际二次负荷对计量绕组误差的影响试验数据

$S_{1实}/(V \cdot A)$	$S_{2实}/(V \cdot A)$	$F_1/\%$	$\delta_1/(%)$
30	50	-0.020	+2.57
30	100	-0.034	+2.77
30	150	-0.072	+3.71
30	200	-0.110	+4.63
30	250	-0.147	+5.57

表1中 $S_{1实}$ 为试验时计量绕组实际带的二次负荷,也是计量绕组的额定负荷; $S_{2实}$ 为试验时保护绕组实际所带的二次负荷,从小到大变化,观察计量绕组误差变化趋势。可见,当计量绕组二次负荷保持不变时,随着保护绕组二次负荷的增大,计量绕组比值差同样向负方向明显偏移。因此计量绕组或保护绕组额定二次负荷选配不当,均将使得电压互感器的实际运行误差特性较差,设计的最佳误差特性点得不到应用。

2 多绕组电压互感器二次负荷的合理选配

目前电子式电能表、智能电能表逐渐普及,首先,就单只电能表而言,相较于感应式电能表,电子式电能表和智能电能表的二次负荷大大减轻,且电子式电能表和智能电能表均带有辅助电源,更进一步降低了二次负荷;其次,为了计量某计量点流过的正反向有无功,往往需要安装4块感应式电能表分

别计量,电子式电能表和智能电能表则只需安装1块即可兼具正反向有功、四象限无功计量功能;再次,因计量管理的需要,要求计量回路独立,因此计量回路只有电能表,没有其他二次设备。以上3点原因造成当前计量二次回路负荷普遍较轻,二次负荷选配的要求与传统的设计思路相比已有了较大变化。

就保护绕组而言,采用现代微机型保护替代传统电磁式继电保护装置后,电压互感器保护绕组二次负荷同样大大降低,因此对已经采用微机型继电保护的厂站而言,保护绕组额定二次负荷的选择宜根据实际计算情况合理降低,与计量绕组额定二次负荷选择相配合,使电压互感器获得最佳计量误差特性。

线路型电压互感器仅为对应出线提供计量和保护二次电压,二次负荷配置只需满足该线路二次设备所需的容量即可。母线型电压互感器可能需要同时给几条出线的计量和保护装置提供二次电压,因此其绕组二次负荷可适当增大。

《国家电网公司输变电工程通用设计 110 kV~750 kV 变电站分册》^[3]指出,计量绕组宜不超过 50 V·A,保护绕组二次负荷推荐采用 75 V·A。部分省份质监部门为此拟定了地方标准^[4],进一步对计量电压互感器二次负荷进行规范,要求在采用电子式电能表的情况下,母线电压互感器计量绕组二次负荷不高于 30 V·A,线路电压互感器计量绕组二次负荷不高于30 V·A。这个选配标准有助于改善电压互感器的运行误差特性。

3 电压互感器二次负荷合理选配的工程改造与实施效果

文中的理论分析结论已用于指导高压计量用电压互感器新建或改造相关的工程实践项目。项目组首先对某电力公司辖区内投运3年以上的I类关口计量点所属420只高压多绕组电压互感器进行额定二次负荷调研和实际二次负荷测试。

计量绕组额定二次负荷 S_N 分布区间如下表2所示。从表2统计数据可见,投运3年以上的I类关口计量点高压电压互感器的计量绕组额定二次负荷配置普遍过大,30 V·A 以上者占98%以上。而该电力公司已全部普及电子式电能表,因此推测电压互感器额定二次负荷配置过大。为进一步验证二次负荷配置的合理性,运用二次负荷测试仪对420只样本电压互感器的计量二次负荷进行在线实际测试,并将每只电压互感器实测二次负荷与额定二次负荷进行对比,见表3和表4。

表2 样本电压互感器额定二次负荷值区间分布

额定二次负荷值区间	PT 数量 / 只	比例 / %
$0 < S_N \leq 10$	0	0
$10 < S_N \leq 30$	3	1.10
$30 < S_N \leq 50$	15	3.80
$50 < S_N \leq 100$	126	29.00
$100 < S_N \leq 200$	264	63.10
> 200	12	3.10

注: S_N 单位为 V·A。

表3 样本电压互感器实测二次负荷值区间分布

实测二次负荷值区间	PT 数量 / 只	比例 / %
$0 < S_{\text{实}} \leq 5$	321	76.43
$5 < S_{\text{实}} \leq 10$	54	12.86
$10 < S_{\text{实}} \leq 20$	33	7.86
$20 < S_{\text{实}} \leq 30$	9	2.14
> 30	3	0.71

从表3可见,样本电压互感器的实测二次负荷在30 V·A 以内者占99%以上。经调查,实测二次负荷大于30 V·A 的3只电压互感器投运年限在20年以上,所用电能表为感应式电能表,保护装置为传统电磁式,均属即将淘汰的设备,因此二次负荷较大。所有采用电子式电能表的回路二次负荷均未超过30 V·A。

表4 样本电压互感器实测二次负荷相对额定值比例分布统计

实测二次负荷相对额定值	PT 数量 / 只	比例 / %
$S_{\text{实}}/S_N \leq 5\%$	346	82.40
$5\% < S_{\text{实}}/S_N \leq 25\%$	69	16.40
$25\% < S_{\text{实}}/S_N \leq 50\%$	4	1.00
$50\% < S_{\text{实}}/S_N \leq 75\%$	1	0.24
$S_{\text{实}}/S_N > 75\%$	0	0

从表4可见,98%以上的样本电压互感器实测二次负荷小于额定二次负荷的1/4,不符合DL/T 448—2000^[5]规定的运行管理要求。

为了改善电压互感器实际运行误差特性,减小计量综合误差,项目组应用文中理论分析成果对该电力公司辖区内电压互感器进行更换改造,根据二次负荷的实测情况合理选配计量绕组和保护绕组的二次负荷,以保障计量准确公平。改造完成后,所有计量点均使用0.2 S级电子式电能表,母线型电压互感器的计量绕组额定二次负荷按30 V·A配置,线路型电压互感器的计量绕组额定二次负荷按10 V·A配置,从而使得电压互感器计量绕组实际二次

负荷分布在额定二次负荷的 25% 至 100% 之间, 满足了规程要求。同时, 考虑到保护绕组二次负荷配置对计量绕组的互感影响, 除极少量采用电磁式继电保护装置的线路外, 保护绕组额定二次负荷均按 75 V·A 配置^[3]。

改造完成后, 对电压互感器各检测点的误差进行测试, 并计算分析。与改造前相比, 实际二次负荷下平均合成误差降低了 0.167%, 提高了电压互感器计量准确性。

4 结束语

根据电压互感器的工作原理和线圈互感原理分析计量、保护不同二次绕组之间的误差影响机理, 合理选配高压多绕组电压互感器各绕组的额定二次负荷, 结合准确度等级的选择控制, 能够有效控制电压

互感器实际运行误差, 保障关口结算公平和互感器安全运行。

参考文献:

- [1] JJG1021—2007, 电力互感器[S].
- [2] 赵修民. 电压互感器[M]. 太原: 山西教育科学出版社, 1990.
- [3] 刘振亚. 国家电网公司输变电工程通用设计 110 kV~750 kV 变电站分册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2011.
- [4] DB32/991—2007, 电能计量装置配置规范[S].
- [5] DL/T 448—2000, 电能计量装置技术管理规程[S].

作者简介:

- 李 斌(1963), 女, 四川泸州人, 高级工程师, 主要从事行政管理工作;
- 黄奇峰(1968), 男, 江苏东台人, 高级工程师, 主要从事计量管理工作;
- 杨世海(1976), 男, 安徽淮北人, 高级工程师, 主要从事计量检测与管理工作。

The Second Load Configuration Optimization of Multiple-Winding High Voltage TV and Renovation Project Executing

LI Bin¹, HUANG Qi-feng², YANG Shi-hai²

(1. Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China;

2. Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: Represent the purpose and importance of Multiple-Winding High Voltage TV's Second Load Configuration Optimization. Analyze the principle how second loads of various windings affect the error of TV and tests were done to verify it. Guide renovation project executing by theory analyses. The actual error of TV on line is reduced. Safety in production and equity of commercial transaction is assured.

Key words: Multiple-winding high Voltage TV; second load; configuration optimization; error

页岩气是怎么产生的?

天然气是现今世界上极为重要的能源和化工产品的原料之一, 它是古生物的遗骸长期沉积地下, 经过各种地质作用慢慢转化而成的一种气态碳氢化合物, 生成的气体不断地运移到一个封闭的储藏空间中, 越积越多, 等达到一定规模时就成了可供开采的天然气藏。然而, 并不是所有的天然气都储藏在固定的封闭空间里。有一些比较特殊的天然气, 当它生成之后便吸附在产生这种气体的岩石周围, 或呈游离状态藏在岩石的裂隙中间。页岩气就属于这样一类。

当我们在山区行走的时候, 在山体裸露的地方就经常会看到一层层像棉被一样叠加起来的岩石, 这就是沉积岩, 因为成层性就是沉积岩最典型的特征。沉积岩一般形成于地表和地表以下不太深的地方, 仅占地壳岩石总体积的 5%, 但由于它在陆地表面和海洋盆地中广泛分布, 所以它占据了地表面积的 75%, 在我国大陆沉积岩的覆盖面积则达到了 77.3%。沉积岩的形成是在有丰富的水、氧、二氧化碳和生物参加的情况下完成的, 因此它的矿物组合成分比较简单, 粘土矿物、盐类矿物以及煤、石油等有机物质都是沉积岩所特有的。而且, 沉积岩中颗粒之间总是有孔隙的存在, 这就给油、气等资源以储藏空间。

如果仔细观察, 就可能进一步地发现, 有些山体裸露岩石的层理极薄, 厚度仅为几毫米甚至 1 mm 左右, 叠加起来就像书页一样, 用锤子敲打的话很容易分裂成薄片, 这就是沉积岩中最丰富的一类岩石: 页岩。

页岩气形成于页岩当中, 按照我国学者张金川的观点, 页岩气的形成是天然气生成之后没有远距离运移, 而在该页岩层内就近聚集、滞留的结果。当聚集达到现有技术水平能够开采的规模时, 就形成了页岩气资源。

摘自《国家电力信息网》