

变压器制造和调试需关注的一个现象 ——虚幻单相接地

陈旭平

(广东电网公司汕头澄海供电局, 广东汕头 515800)

摘要:介绍了2例空载运行变压器中性点对地电压的异常现象,分析了造成该现象的原因:对地电容不平衡造成中性点位移、3次谐波电压的存在加剧了中性点位移的程度,两者的共同作用产生了空载时“单相接地”假象。这一异常不是变压器本身存在故障所引起,而属于一种过渡状态。提出消除这一异常现象的方法,为变压器的设计、生产、运行人员提出一些建议。

关键词:变压器;空载;对地电容;谐波电压

0 引言

在110KV变压器的交接试验中,会遇到各项电气试验合格,但变压器空载(本文“空载”指变压器二次绕组不接母线或只接一小段末端开路母线的状态)时三相电压不平衡,PT开口三角处出现一定数值的电压,甚至引起接地保护动作,发出音响信号;在10KV配电变压器新投运空载运行时,有时会发现三相电压、单相电压正常而各相对地电压不平衡、中性点出现几十伏以上对地电压,甚至中性点出现单相电压而其中某相电压为0伏、类似变压器单接地故障,有时又确好低压系统存在单相接地情况,这容易使制造或调试人员误判断为变压器本体单相接地故障所引起,产生混淆。下面将就这些现

象进行分析。

1 事故案例

1.1 案例1

2005年9月110KV樟林2#主变10KV侧改造,主变做交接试验发现有以下情况:

待解决问题1:空载运行变压器10KV侧相电压不平衡,开口三角产生零序电压;带负荷后电压平衡,开口三角电压为0。

1.2 案例2

某住宅区安装2合同型号、容量的美式变电站,低压侧由电缆VV22-4×240mm²各长90米引至低压配电屏。

型号	联结级别	额定电压	生产日期	投运日期	编号	生产厂家
SFZ8-20000/110	Y _n d ₁₁	(110 ± 8 × 1.25%) 10.5	1998.12	2000.02	S981222	衡阳变压器厂
测 试 (KV)						
情况一:空载,带10KV母线段至变低开关侧刀闸。			V _A 5.7	V _B 6.0	V _C 6.2	V _Δ 8V
情况二:负载,带一条以上10KV线路或电容。			V _A 5.8	V _B 5.8	V _C 5.8	V _Δ 0V

型号	联结级别	额定电压	生产日期	投运日期	编号	生产厂家
ZGSB11-Z-630/10	Y _v N ₀	(10 ± 2 × 2.5%) / 400	2008.03	2008.05	18049822	广州##公司
测 试 (单相对地电压地: 伏)						
情况一: 空载, 变压器低压侧负荷开关断开。(低压侧线电压、相电压正常)	V_{a-E}	V_{b-E}	V_{c-E}	V_{0-E}		
	150	220	300	90		
情况二: 空载, 低压负荷开关合上, 带90米低压电缆运行, 配电屏负荷开关断开。(低压侧线电压、相电压正常)	V_{a-E}	V_{b-E}	V_{c-E}	V_{0-E}		
	400	400	0	220		
情况三: 负载, 合低压屏负荷开关, 带负荷运行。(低压侧线电压、相电压正常)	V_{a-E}	V_{b-E}	V_{c-E}	V_{0-E}		
	230	230	230	0		

待解问题2：“情况一”中变压器低压侧线电压、相电压正常，中性点出现90V对地电压；

待解问题3：“情况二”中变压器低压侧线电压、相电压正常，C相产生“全接地”现象；

待解问题4：“情况三”中变压器带上负荷后，线电压、相电压平衡，中性点对地电压为0V，正常，无异常现象。

2 分析

2.1 变压器绕组对地电容与中性点位移

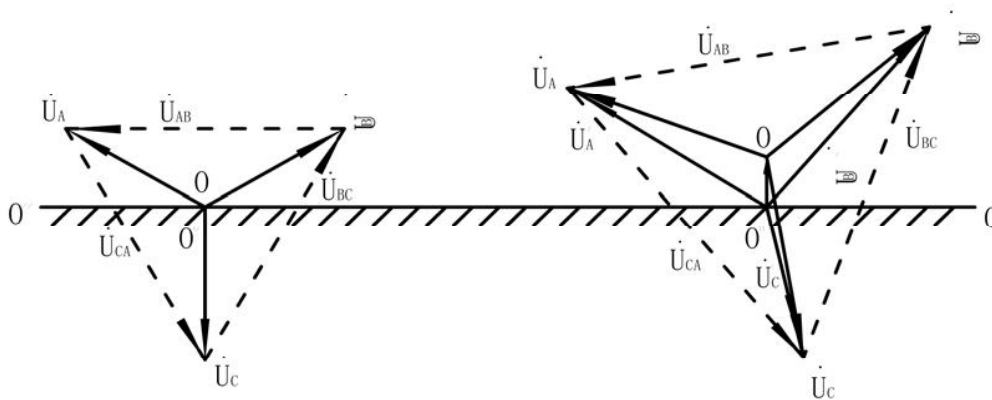
在例1的主变低压侧10KV系统和例2配变的400V系统均为中性点不接地方式。

在通常情况下，变压器每相绕组（或含引出线）经过完整换位，三相对地电容相等，都为 C_0 ；则各相对地电容电流对称且平衡（大小相等，相位相差 120° ），三相电容电流相量和为0，地中没有电容电流通过，中性点对地电压 V_{0-E} 。

如果对地电容电流不对称，则 $0'$ 、 $0''$ 之间出现电压 $U_{0'0''}$ ，亦即电源中性点 0 与地电位 $0''$ 电位不相等，也就是通常所说的“中性点位移”，如图

这也就解答了例1、例2中的“待解问题1、2”，也即变压器空载运行时其三相电压不平衡、中性点出现电压的问题。

但即使“中性点位移”情况的存在，也不能很好解释例2中“情况二”的空载运行时的单相全接地现象，下面也将继续对这一异常情况进行分析。



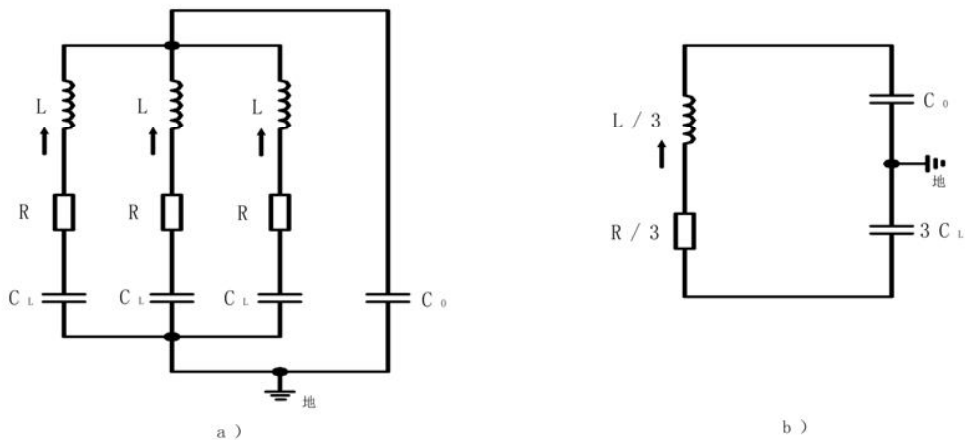
图一 (a) 三相对称, 对地电容相同相量图 图一 (b) 中性点 0 与地电位 $0''$ 间相量图

2.2 变压器的YY联结方式与三次谐波电压

变压器在正常磁通密度下会产生三次谐波电压，对于 YY_{N0} 变压器，两侧中性点均绝缘，三次谐波电流不能流通，所以磁通和感应电压将含有较大的三次谐波分量。磁通波形会出现平缓的峰顶，感应电压波形则具有尖峰值，励磁电流波形是正弦波。

将Y形接法绕组等效为如下图电路：

图二（a）中：



图二：中性点不接地的三相电路中L、R、C的三次谐波分布

可将图二a)简化为图二b)表示。

由于铁芯的磁导率变化会使变压器绕组产生三次谐波电压，这一电压加在等效电感 $L/3$ 、 C_n 和等效 $3C_L$ 串联的电路，通过测量可得： $3C_L \ll C_n$ ， C_n 无穷小。根据串联电容的电压与它们的电容成反比定理，变压器绕组所产生的三次谐波电压几乎全部出现在变压器中性点和地之间形成的电容上。

有研究资料表明：“在额定磁通密度下，磁通波形含三次谐波分量，其幅值近似等于基波的20%；总的感应电压波形将具有三次谐波分量，其幅值近似等于基波60%。”

这就是说，“幅值近似等于基波60%”，在数值上则体现约为130V，加上上面分析的由于对地电容不平衡而引起的常见的最高电压中性点出现的90V对地电压数值，那么两者叠加，中性点可能出现：

$130V+90V=220V$ ，这个“220V”与通常所见的单相电压数值“220V”相同，这里需要阐明的是这仅仅是数值的巧合，不能等同于单相接地时所造成的中性点电压升高的现象，须加明确区分，不然将造成误判断。

对于上面例2中的“情况2”，因中性点电压在

R—每相绕组电阻；L—每相绕组电感；

C_L --为绕组（或含部分末端开路引出线）对地电容；

C_0 --为中性点的对地电容。

图中表示，变压器每相绕组由电感、电阻、及对地电容串联组成，三相间形成并联电路。每相绕组包括一个铁芯柱，且各具有一定的对地电容，三相并联电路又与地和变压器中性点间的电容相串联。

数值上与变压器低压侧的相电压相同，又因为c相电压为0、其余两相上升为线电压400V，这就给人一种“C相全接地”的判断，但是事实上，低压侧的对地绝缘电阻为2500MΩ，这与“c相全接地”的判断不符合。

因此通过上面分析可以认为：由于对地电容的不平衡造成的中性点位移、叠加由于变压器磁导率变化产生的三次谐波电压，两者的共同作用造成空载运行变压器中性点0点相位严重向c点偏移，如图一（b），接近中性点0与c相位互换，从而造成0点出现220V对地电压，同时c相电压为0，a、b两相上升为线电压现象。

3 分析小结

（1）变压器中性点位移或出现单相电压这一异常现象的发现有一定的偶然性。如果投运时只测量低压侧的线电压和相电压，两者数值都能平衡，则问题没有发现；但对于用户有特殊要求的，如需在空载变压器中性点引出与地之间接上防盗报警装置的，当电位位移较为严重时，则会发出报警信号，问题得以发现，用户产生变压器存在异常的疑

惑；有时用户低压线路存在单相接地的，中性点出现单相电压，而恰好变压器又存在中性点位移现象又较为严重，容易将问题归结于变压器异常，造成误判断，而真正的单相接地故障易被忽略从而使问题得不到解决，异常现象不能有效消除。

(2) 该异常现象的产生又具有一定的不确定性。上面“例2”就是一个很好例子，同设计同制造同容量同型式同投运的2台美式变，但只发现其中一台有异常，另外一台则完全平衡正常。

(3) 该异常现象的变压器在本地区供电范围内的发生率约为1%。

4 处理

(1) 新投运变压器（主变或配变）空载运行时出现中性点电压的，甚至中性点出现单相电压的，在排除故障原因且其它电气试验合格情况下，可带上一定低压负荷（线路），若中性点位移得以消除，可证实为上面分析原因，可正常投入运行。若异常现象仍不能消除，则应从电源电压的对称性方面或变压器的电路和磁路方面分析原因（例如曾经有生产厂家采用三相五柱铁芯和YY联结方式绕组等错误方式）。

(2) 运行中应严格分清变压器中性点位移出现的“单相接地”假象和低压系统单相接地故障的区别，若两者同时存在则应分别分析对待，先排除变压器自身的接地故障（可用对地绝缘电阻测量加以排除），再查找低压系统的单相接地点。避免把把问题分析集中在变压器上，费时费力又不能彻底解决问题，影响正常运行。

(2) 带负荷运行的变压器中性点出现对地异常电压的，则应重点考虑低压系统的三相不平衡或是否存在对地绝缘下降引起的接地故障。

5 结论

(1) 对地电容的不平衡所造成的中性点位移、叠加由于变压器磁导率变化产生的三次谐波电压，两者的共同作用造成空载运行变压器中性点0

点相位严重向c点偏移，从而造成变压器单相接地的误判断，在实践中应加以明确区分。

(2) 不是所有对地电容的不平衡和3次谐波电压的存在都会引起变压器空载时的“单相接地”现象，这取决于两者的大小和方向，可能互相抵消也可能互相叠加，现象也就可能不明显—各项电压基本正常，或是出现极端情况—中性点出现相对地电压。

(3) 制造厂家在变压器中性点位移方面应引起注意并加以控制：一是尽量消除三相绕组对地电容的不平衡；二是增加变压器绝缘的电气强度以抑制三次谐波电压分量。

6 后记

2010年12月，本局又有一台S11-M-315配电变压器，广州**公司生产，由汕头**安装公司承装，因投运时存在该空载单相“虚幻接地”现象，被安装单位误判断为变压器出厂存在单相接地缺陷而返厂家维修，生产厂家找不出故障点，分析不出具体原因而不能给出合理解释的情况，造成了一系列延误，既造成不良影响又影响工期。至2012年10月，又发现有多台同类型疑问变压器。

这一“虚幻单相接地”的异常现象，需引起变压器制造厂家的高度关注，并在制造中加以重视或消除；运行及调试人员也应正确掌握消除方法，防止误判断。

参考文献：

- [1] 《变压器实用技术大全》（英）马丁 J. 希思科特（Heathcote, M. J.）著；王晓莺等译。北京：机械工业出版社，2004.3
- [2] 《变电所运行调试及故障处理》孙方汉主编。沈阳：辽宁科学技术出版社，2002.5

作者简介：

陈旭平（1973），男，电气工程师、试验高级技师、安全专责，从事安全管理、高压试验、过电压防护及防雷技术应用研究，yes-ping@163.com