

一例电磁式电压互感器“虚幻接地”现象的原因分析

黄文韬

(广州增城供电分公司,广东 增城 511300)

摘要: 结合实际运行中出现的一例电磁式电压互感器“虚幻接地”现象,从理论上对其产生的原因(工频位移过电压)进行详细的分析,并对工频位移过电压可能产生的其他情况进行了讲解,以及介绍了判断的方法,最后提出了一些在运行操作中可以采取的限制工频位移过电压的措施。可以帮助指导和处理实际的变电运行工作。

关键词: 电压互感器; 虚幻接地; 中性点; 过电压

中图分类号: TM451 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2004)24-0066-03

0 前言

电磁式电压互感器在 220 kV 及以下的电网中普遍使用,由于其低压侧的负载很小,接近于空载状态,在分析时可用其励磁电感来取代。在正常工作时互感器的励磁电感是很大的,当回路受到“激发”(电压和电流的突然增大)后,励磁电流会因饱和而突然减小,由此引起过电压。在中性点不接地的 6 ~ 35 kV 电力系统中,由于电压互感器饱和而产生内部过电压事故最为频繁,它严重地影响供电安全,应当引起特别重视。本文对实际运行中出现的一例电磁式电压互感器“虚幻接地”现象从理论上分析其产生的原因,可以加深电力同行对电力系统操作过电压的认识和了解。

1 运行实例

2003 年 11 月 28 日,广州增城供电分公司 110 kV 白石变电站第二期改造工程结束,对 #2 主变及 #2 高压室进行启动送电工作。当对主变充电操作完毕后,准备对 10 kV 段母线及 #2 电压互感器充电,由于母线和电压互感器均为新设备,为避免用电压互感器隔离刀闸对电压互感器充电,采用先合隔离刀闸,再用主变对母线和电压互感器进行充电的方法进行。当合上 #2 主变变低 502 开关后, #2 主变保护装置发“10 kV 母线接地”信号,测量电压互感器二次电压为 $U_A = 108 \text{ V}$ 、 $U_B = 14 \text{ V}$ 、 $U_C = 115 \text{ V}$,从表面现象看符合母线接地的规律。接着,测量母线一次电压,亦跟二次电压值的规律吻合,于是怀疑一次设备存在绝缘降低情况,停电重新对一次设备进行耐压试验,试验结果一切正常。之后,拉开电压互感器隔离刀闸后再送电,测量一次电压值正常,最终判

断问题出在电压互感器上。

2 原因分析

上述例子所出现的现象叫做“虚幻接地”现象,是由于当时的 10 kV 系统中出现工频位移过电压而造成的,并非系统中出现了接地故障,这种现象通常发生在中性点不接地系统中。在变电站 10 kV 母线上接有电压互感器,并且其一次绕组接成星形,中性点直接接地。其等值电路如图 1 所示,其中 E_A 、 E_B 、 E_C 为三相对称的电源电动势, L_A 、 L_B 、 L_C 为电压互感器各相激磁电感, C_0 为各相导线及母线等的对地电容。令 C_0 与各相激磁电感并联后的导纳分别为 Y_A 、 Y_B 、 Y_C ,正常运行时,三相参数对称,即 $L_A = L_B = L_C$, $Y_A = Y_B = Y_C$ 。通常由于电压互感器激磁电感较大,铁芯不饱和时 $X_L > X_{C0}$,故两者并联之后为一等值电容,即 $Y_A = Y_B = Y_C = j C$,这种情况下自然不会产生过电压。



图 1 正常运行时的电压互感器等值电路

Fig. 1 Equivalent circuit of voltage transformer in normal operation

图 1 中的电路按基尔霍夫第一定律列方程可得

$$E_0 = \frac{E_A Y_A + E_B Y_B + E_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C} \quad (1)$$

显然,当正常运行时 $E_0 = 0$,电源中性点 O 具有地电位。若系统受到扰动, Y_A 、 Y_B 、 Y_C ,则 $E_0 \neq 0$,电源中性点 O 将有电位偏移,该电位偏移与各相电感的饱和程度密切相关。根据三相饱和程度的不

同,可归纳为下述几种情况:

1) 三相虽有不同程度的饱和,但各相仍为容性导纳。若分别用 C_A 、 C_B 、 C_C 表示并联支路的等值电容,则 $Y_A = j C_A$ 、 $Y_B = j C_B$ 、 $Y_C = j C_C$,一般 $C_A > C_B > C_C$,饱和程度越高,电容值越小。式(1)可以改写为:

$$E_0 = - \frac{E_A C_A + E_B C_B + E_C C_C}{C_A + C_B + C_C} \quad (2)$$

矢量分析可知,只要三相导纳性质相同,中性点 O 即在电压三角形之内(图 2a),否则,电流平衡条件 $I_A + I_B + I_C = 0$ 将无法实现。因此,这种情况下会出现一相或两相电压升高的现象,但电压升高不会超过线电压。

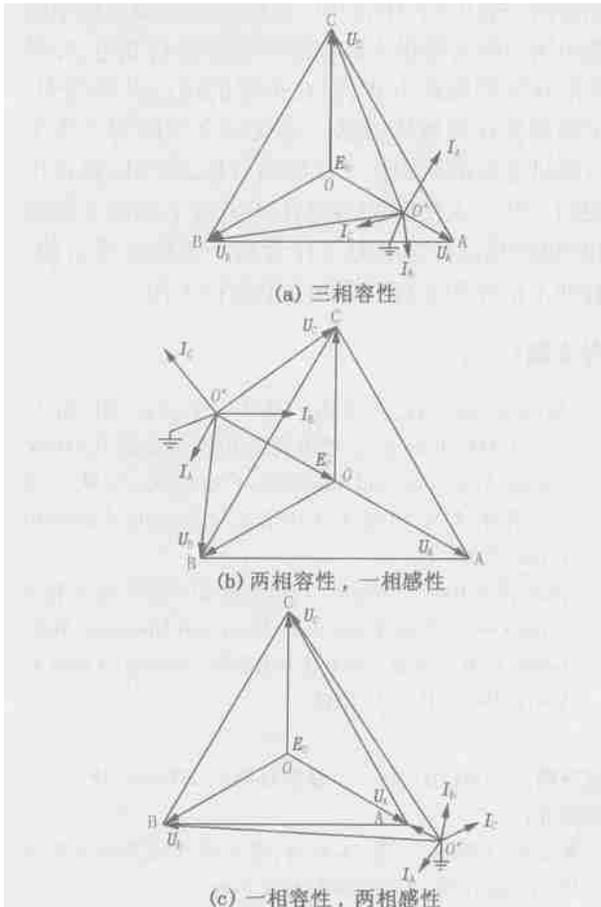


图 2 中性点出现位移电压时三相电压电流矢量图

Fig. 2 Vector of three-phase voltage and current when the phase shift voltage arises in the neutral point

2) 一相因严重饱和而导纳呈感性,其余两相仍为容性。若 A 相饱和等值电感为 L ,其余两相等值电容为 $C_B = C_C = C$,根据式(1)有:

$$E_0 = - \frac{E_A \frac{1}{jL} + E_B jC + E_C jC}{\frac{1}{jL} + jC + jC} = E_A \frac{C + \frac{1}{L}}{2C - \frac{1}{L}} \quad (3)$$

而其中: $\frac{C + \frac{1}{L}}{2C - \frac{1}{L}} = \frac{1 + \frac{1}{2LC}}{2 - \frac{1}{2LC}} > \frac{1}{2}$

故 E_0 与 E_A 同相,且 $E_0 > E_A/2$ 。这时中性点 O 必然偏移至电压三角形之外,才能满足 $I_A + I_B + I_C = 0$ 的电流平衡条件,于是造成一相(饱和相)电压升高的现象(图 2b)。

3) 两相因严重饱和而导纳呈感性,一相仍为容性。若 A 相为未饱和相,其等值电容为 C ,其余两饱和相的等值电感 $L_B = L_C = L$,如图 3,根据式(1)有:

$$E_0 = - \frac{E_A jC + E_B \frac{1}{jL} + E_C \frac{1}{jL}}{jC + \frac{1}{jL} + \frac{1}{jL}} = - E_A \frac{C + \frac{1}{L}}{C - \frac{2}{L}} \quad (4)$$

其中: $\frac{C + \frac{1}{L}}{C - \frac{2}{L}} = \frac{1 + \frac{1}{2LC}}{1 - \frac{2}{2LC}} > 1$

故 E_0 与 E_A 反相,且 $E_0 > E_A$ 。与第二种情况相似,中性点 O 一定偏移至电压三角形之外,如图 2(c),造成了两相电压同时升高。

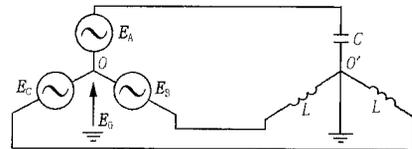


图 3 两相饱和时的等值电路

Fig. 3 Equivalent circuit when two phases saturate

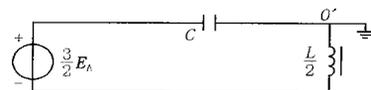


图 4 中性点偏移的单相等值电路

Fig. 4 Single-phase circuit when the neutral point shifts

4) 三相均因严重饱和而呈感性。分析可知,这时与三相呈电容性的情况类似,即中性点 O 不会移至电压三角形之外。这样,三相电压将不会同时升高,即至少有一相电压是降低的,那么该相电感就无法达到使导纳呈现感性的饱和程度。因此对于图 1 所示电路,实际上不可能出现三相同时饱和的情况。

对于以上几种情况,还可以利用等效电源定理将三相电路化作单相等值电路进行分析。例如对图3所示电路,可以以A相等值电容作为单相电路的负荷,将其余部分化作等值电压源,得到图4所示单相等值电路。对以上讨论的第一种情况,相当于电容分压电路。对第二、三两种情况,相当于L、C串联回路,当 $C = \frac{1}{L}$ (或 $C = \frac{2}{L}$)时,回路似乎可

以发生谐振,使相电压及中性点位移电压趋于无穷。但这种情况是不可能发生的,因为当电路处于铁磁谐振状态时,电容支路的端电压较电感支路为高,而这将使等效电容支路中激磁电感因严重饱和而下降,遂使电容性导纳支路也变为感性,成为以上分析的第四种情况。

根据以上分析,中性点位移电压的出现,都是使饱和相电压升高,即图4中等效电感支路电压高于等效电容支路,这表明过电压仅是由于串联回路的“电感-电容”效应造成,实际上回路并未发生铁磁谐振。实测及运行经验表明,系统中电压互感器饱和过电压多数属于第三种情况,即两相(饱和相)电压升高、一相(未饱和相)电压降低。经分析对比,上述运行实例亦是属于第三种情况,表明实际和理论相吻合。

3 限制措施

无论对于上述哪一种情况,中性点位移电压都属于工频(电源频率)零序电压,其结果导致系统中出现“虚幻接地”现象。运行经验表明,当电源向只带电压互感器的空载母线合闸时,最容易产生工频位移过电压。在中性点不接地的系统中,可选用下列措施消除电压互感器饱和过电压:

1) 选用激磁特性较好的电磁式电压互感器,或只采用电容式电压互感器。

2) 使电压互感器带有零序电阻,例如在它的开口三角绕组中短时接入 $R = 0.4L$ 的电阻(L 为电压互感器在线电压下的每相励磁电抗换算到开口三

角的开口上的值)。

3) 特殊情况下,可将电网中性点改为暂时经电阻接地或直接接地,或采用临时的倒闸措施来改变电路参数,如投入事先规定好的某些线路或设备等。

4) 禁止只使用一相或两相电压互感器接在相线与地线间(包括在双电源定相时),以保证三相相对地阻抗的对称性,避免中性点位移或产生谐振。

5) 尽量避免电源向只带电压互感器的空载母线合闸。

4 结束语

电源对只带电压互感器的空载母线合闸并非一定会产生工频位移过电压,而是跟电压互感器的激磁特性有关。尽管变电运行规程规定不能对只带电压互感器的空载母线合闸充电,在新设备启动过程中为了避免用刀闸对新投入的电压互感器进行充电,亦只能采取这样的操作方式,但在正常的运行操作当中,切记要避免这种操作方法。本文结合实际对产生工频位移过电压的原因作了详尽的分析,使实际运行中出现的一些令人费解的过电压现象有了理论上的解释和判断的依据,对电力工作者有一定的参考价值,亦有助于指导和处理今后的变电运行工作。

参考文献:

- [1] 张纬钺,何金良,高玉明(ZHANG Wei-bo, HE Jin-liang, GAO Yu-ming). 过电压防护及绝缘配合(Over-voltage Protection and Insulation Cooperation) [M]. 北京:清华大学出版社(Beijing: Tsinghua University Press), 2002.
- [2] 陈慈萱(CHEN Ci-xuan). 过电压保护原理与运行技术(The Over-voltage Protection Theory and Operation Technology) [M]. 北京:中国电力出版社(Beijing: China Electric Power Press), 2002.

收稿日期: 2004-05-14; 修回日期: 2004-06-15

作者简介:

黄文韬(1972-),男,工程师,现从事继电保护运行管理工作。E-mail: huangwentao@gzpsc.com

Analysis of falsely grounding of electromagnetic voltage transformer

HUANG Wentao

(Zengcheng Power Supply Company, Zengcheng 511300, China)

Abstract: Combining an example of falsely grounding of electromagnetic voltage transformer in practical operation, this paper analyzes the reason of working frequency phase shift over voltage theoretically in detail, and explains other possible cases caused by it. Its judgment methods and some countermeasures that can limit the working frequency phase shift over voltage are put forward. It will be helpful in operation of transformer substation.

Key words: voltage transformer; falsely grounding; neutral point; over voltage