

配电网电压互感器铁磁谐振的特点与抑制

翁利民¹, 陈灵欣², 靳剑峰³

(1. 武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072; 2. 安阳市供电局, 河南 安阳 455000;
3. 郑州电力高等专科学校, 河南 郑州 450004)

摘要: 从电磁式电压互感器铁芯饱和引起的铁磁谐振的机理出发, 介绍了铁磁谐振的特点与危害, 重点对抑制铁磁谐振的常见实用方法作了分析, 并得出了结论: 对 10 kV 中性点绝缘系统, 采用在 PT 一次侧中性点串接电阻型消谐器是比较成功的, 其结构简单, 安装方便; 35 kV 系统由于一般出线较长, 增装消弧线圈是有效的, 对系统的安全运行十分有利。

关键词: 铁磁谐振; 消谐装置; 分频谐振

中图分类号: TM451 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2004)20-0040-03

0 引言

电磁式电压互感器铁芯饱和引起的过电压是中性点不接地电网中最常见、造成事故最多的一种内部过电压。

为监测变电站母线对地电压, 需在其配电母线上接一次绕组为星形连接、中性点接地的电压互感器 PT, 参见图 1, 三相基本平衡, 电网中性点 N 对地位移电压 U_N 很小。但在如 PT 突然合闸、电网中单相接地突然消失等情形, 会造成电磁式电压互感器 PT 的三相励磁电感饱和程度差异很大, 电网三相对地阻抗明显不等, 电网中性点出现较大的位移电压, 三相对地电压也随之变化, 出现过电压。但 U_N 的出现并不影响电网相间电压, 线电压仍正常不变。所以, 这种过电压具有明显的零序性质。电网导线的相间电容 C_{12} 及接在相间的负荷大小, 均不影响电压的形成。即使电网中负荷变压器满负荷运行, 也有可能出现 PT 饱和过电压。

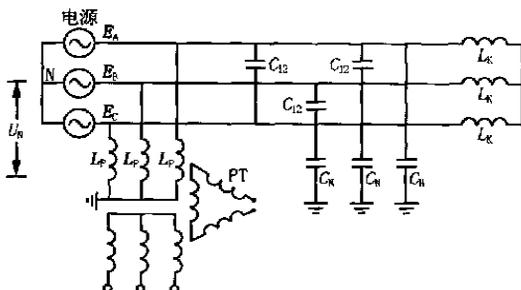


图 1 电压互感器 PT 接线简图

Fig. 1 Schematic diagram of PT connection

1 PT 铁磁谐振的特点

1) 在中性点非有效接地系统, PT 的铁磁谐振,

不仅使 PT 绕组电压升高, 电源中性点也有很大的位移电压——零序电压。此电压在 PT 开口三角绕组上即出现“虚幻接地”信号。

2) PT 在发生铁磁谐振时, 励磁电流大大增加, 可达到额定电流的百倍以上, 容易造成热击穿, 破坏 PT 热稳定。

3) 在 PT 谐振时, 整个谐振回路特性发生跃变——阻抗由感性到容性, 导致电压相位的反倾。

4) PT 铁磁谐振频率随网络参数及 PT 的饱和程度而变, 常反映为高次谐波、基波或分数次谐波的谐振。参与 PT 铁磁谐振的等值电容, 其数值越大, 越易引起分数频的谐振; 其数值小时, 易引起高频谐振。PT 的过电压值受其饱和限制, 谐振次数越高, 高频谐振的过电压倍数越大; 对于分数次谐振, 其过电压倍数约为 2 倍左右。

2 PT 铁磁谐振的危害

在电力系统正常工作电压下, 通常 PT 的铁芯磁通密度不高, 铁芯并不饱和, 如在过电压下, 铁芯易饱和, 电感呈非线性并迅速降低, 从而与电容产生谐振, 这种谐振在高频、基频和分频下都可能发生, 其中分频谐振过电压虽然幅值不高, 通常不大于 2 倍的额定电压, 但因其频率低, 互感器绕组感抗小, 以及铁芯元件的非线性特性, 使 PT 励磁电流大大增加, 甚至可达额定励磁电流的百倍以上, 易烧断 PT 的高压熔丝, 或使 PT 严重过热, 进而冒油, 烧损爆炸。从危害性来讲, 分频谐振过电压是最大的。其危害性主要表现为:

1) 谐振使得小电流系统绝缘监视装置误发接地信号, 这是由于 PT 谐振使中性点电压位移而产生

零序电压造成的。

2) 由于 PT 长时间发生铁磁谐振,造成三相电压升高时间长,线路避雷器发生爆炸现象也较普遍,线路的绝缘弱电击穿等现象也时有发生。

3) PT 发生铁磁谐振时,尤其是分频谐振,PT 感抗下降,以及 PT 过电压,励磁电流急剧增加,甚至达到额定值的百倍以上,致使 PT 及其保险烧毁。

3 限制铁磁谐振的措施

在中性点不接地电网中限制电磁式电压互感器饱和和过电压的措施可从两方面着手:一是在零序回路中增加电阻,阻尼谐振的产生和发展;二是设法改变互感器的感抗或电网对地容抗,避免匹配成谐振参数。

3.1 开口三角绕组端口接电阻或消谐装置

如图 2 所示,电网正常运行时,开口三角绕组端口基本无电压,在端口上接电阻 R_0 ,不消耗能量。当中性点有位移电压 U_N 时,开口三角绕组端口才出现电压 U_0 , R_0 将消耗能量,这正是需要的。 R_0 值愈小,消耗能量愈多,限制和阻尼谐振的作用愈明显。若 $R_0=0$,开口三角绕组被短接,PT 的电感 L_p 为漏感,三相相等,互感器饱和引起的过电压也不存在了。但在中性点不接地电网中,允许单相接地运行长达 2 h,所以不允许阻值过小的 R_0 长期接在开口三角绕组上,以免互感器过热而烧毁。

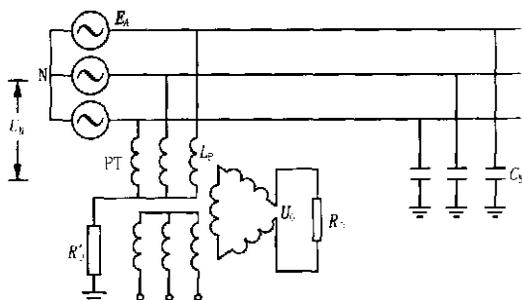


图 2 在零序回路中串接电阻

Fig. 2 Serial resistance in zero-sequence circuit

《电力设备过电压保护设计技术规程》建议的经验数据是 $R_0 = 0.4 X_{m0}$ 。 X_m 为电磁式电压互感器线电压下每相励磁感抗换算至开口三角绕组两端的值。随电压等级的增高,互感器励磁感抗随之增大,但因互感器二次侧定为 100 V,互感器的变比也随之增大,因而, X_m 值将随变比的平方而迅速减小。即电压等级愈高,要求的 R_0 值愈小,但太小的电阻是不能固定接在开口三角绕组上的。为达到消除分频谐振的目的,在开口三角绕组接低频率继电器,整定

其动作频率在 34 Hz 以下,动作电压在 18 V 以上。分频谐振时,继电器启动,将开口在三角绕组短接,经 1 s 后,继电器自动复归。由于三角绕组的短接,谐振很快消失,电网正常运行,开口三角绕组电压也就消失了。这种消谐方式的好处是整个电网只需选择一台互感器安装消谐装置,便于维护管理。

近年来,研制开发专用的消谐装置,如消谐、选频消谐装置、电脑消谐装置等。其基本原理是根据开口三角绕组电压的大小和频率,投入相应的电阻或电容。

3.2 高压侧中性点经电阻接地

如图 2 所示,PT 高压侧中性点原为直接接地,为限制谐振,改为经电阻 R_0 接地,这种方式等价于每相对地并联电阻或在 PT 二次开口三角绕组接入电阻一样,均能起到消耗能量及抑制谐振的作用,其作用原理是:较大的 R_0 值可限制通过 PT 绕组电流,从而限制了 PT 的饱和程度。线路电压升高时,随着电流增大, R_0 分压比增大,PT 饱和和电感分压比下降,也起了降低饱和的作用。

借用线性串联谐振的概念,串联阻尼应满足 $R_0 > 2 \sqrt{L_p / C_N}$ (L_p 为 PT 每相绕组电感, C_N 为线路每相对地电容)。

在非线性电感的情况下, L_p 不再是固定值,但电阻的阻尼作用是一样的, R_0 越大,阻尼效果越好。但 R_0 太大后,网路出现单相接地时,大部分零序电压降在 R_0 上,使 PT 开口三角绕组电压太低。而影响接地指示灵敏度和继电保护装置的正确动作,因此,对于 6~35 kV 电网,一般 R_0 可取为 20~30 k Ω 。

3.3 高压侧中性点串单相 PT(副 PT)

在实际系统中,采用这种方式取得了良好的运行效果,其作用是:单相接地时,线路电压由主、副 PT 共同承担,相当于改善了 PT 的励磁特性,使 PT 不易饱和。PT 开口三角侧的短接,起了阻尼作用;副 PT 本身的直流电阻有限流、消谐作用。

3.4 电源中性点经消弧线圈接地

这种情况下,消弧线圈(线性电感 L_n)的作用不在于补偿电容电流,而是因 L_n 值远小于 PT 的励磁电感,回路的零序自振角频率将决定于 $3L_n$ 和 C_0 ,PT 引起的共振现象成为不可能。显然 L_n 越小,效果越好。可见,消弧线圈的消弧效果与脱谐度无直接关系,而是取决于它的电感值。

3.5 三相母线接无间隙氧化锌避雷器(MOA)

MOA 具有良好的非线性,通流容量大,保护性

能优于一般避雷器。它是通过非线性电阻泄放三相接地电容上的零序电荷来达到此目的的。

在中性点不接地系统,使用无间隙 MOA 时情况比较复杂,由于没有间隙隔离,MOA 要求承受系统中发生的各种过电压。不接地系统可能带单相接地运行一定时间(< 2 h),也容易发生(激发)各种铁磁谐振,过电压持续时间往往达几分钟甚至几十分钟,运行条件比中性点直接接地要苛刻。

研究表明,在中性点不接地系统,MOA 的运行条件除了与 MOA 的参数选择及数量有重要关系外,还与系统中采用其它消谐措施有关,当其它消谐措施参数选择得当并能有效地抑制铁磁谐振过电压情况下,MOA 限压效果很小,相应的能耗值也极小,所以不宜单纯采用 MOA 作为 PT 铁磁谐振的限压措施,而应作为后备保护,一则其它消谐措施的使用将大大改善 MOA 在铁磁谐振下的运行条件,二则在其它措施未能有效抑制过电压时,MOA 能够有效发挥其优越的过电压保护性能。

4 结语

目前采用的一些消谐措施,从运行经验来看,对 10 kV 中性点绝缘系统,采用在 PT 一次侧中性点串接电阻型消谐器是比较成功的,它结构简单、安装方便,有足够的绝缘水平及热容量,既可消除 PT 引起的各种谐振,还可以限制弧光接地时流过 PT 的电流。

对于在开口三角两端接入电阻(或短接)的方法采用了许多的改进装置,这些装置主要是为消除分频谐振的,如低周波继电器,可控硅分频消振装置、

选频消谐电路等。此装置在谐振消失(或经定时)后恢复正常。但是如果重复发生谐振且持续时间较长,则也同样存在 PT 及消谐装置的容量问题。

对 35 kV 系统由于一般若有几十公里出线,如果经常发生谐振的话,则增装消弧线圈是比较有效的,尽管一次投资稍大,但对系统的安全运行是十分有利的。当然,其它的措施装置也各有其优点,可根据系统实际情况采用不同的抑制措施。

参考文献:

- [1] 文学良,赵琳(WEN Xue-liang, ZHAO Lin). PT 铁磁谐振分析及微机消谐装置的应用(PT Ferromagnetic Resonance Analysis and Microprocessor Resonance Eliminator Application)[J]. 电力学报(Journal of Electric Power),1995, 10(1):29-38.
- [2] 刘虹,尹忠东(LIU Hong, YIN Zhong-dong). 新型配网 PT 消谐器的研究(Research on a New Type of Resonance Eliminator in Distribution Network)[J]. 武汉水利电力大学学报(Journal of Wuhan University of Hydraulic and Electric Engineering),1994,27(6):707-712.

收稿日期: 2003-09-16; 修回日期: 2004-01-09

作者简介:

翁利民(1969-),男,高级工程师,从事电力系统电压稳定与电能质量的研究与配电网的设计; E-mail: lmweng@sina.com

陈灵欣(1963-),男,硕士,高级工程师,从事电力系统运行与管理;

靳剑峰(1963-),男,硕士,副教授,长期从事电力系统的教学与研究。

Characteristics and suppression of ferro-resonance of electromagnetic PT in distribution network

WENGLi-min¹, CHEN Ling-xin², JIN Jiar-feng³

(1. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. Anyang Power Supply Bureau, Anyang 455000, China;

3. Zhengzhou Institute of Power Engineering, Zhengzhou 450004, China)

Abstract: Core saturation of electromagnetic PT will result in ferro-resonance. On this basis, this paper analyses its characteristics, harmfulness, and general suppression methods respectively. With method analysing, this paper reaches to its conclusion that in 10 kV neutralized system, neutral serial connecting resistance based resonance suppression device on PT primary side is acceptable because of its simpleness and easy installation. Adding arc-suppression coil in long-outlet-line 35 kV system is effective, which can ensure the system stable operation.

Key words: eletromagnetic ferro-resonance; resonance suppression device; frequency-dividing ferro-resonance