

小电流接地系统的故障判别与处理

魏明新

(泰州兴化市供电公司, 江苏 兴化 225700)

摘 要: 目前, 3~35kV 电网多采用中性点不接地或经消弧线圈接地, 其统称为小电流接地系统。作为县区级调度值班员, 主要面对的是 35kV 及以下电网, 故经常遇到小电流接地系统故障, 故本文以 35kV、10kV 电压等级的系统为例, 浅析日常工作中碰到的小电流接地系统的故障判别与处理。

关键词: 小电流; 接地系统; 故障; 分析

0 引言

小电流接地系统各相对地的绝缘水平均按线电压设计, 出现接地故障时, 允许继续运行 1-2 小时, 能有时间处理故障或转移负荷而不必停电, 因而提高了供电可靠性。

但如何区分小电流接地系统中发生的各种现象, 如何地判别与处理, 成了电力调度员的难题。笔者就针对电网实际运行情况, 对单相接地故障、电压互感器一次熔断器熔断、系统谐振、线路断线故障等判别与处理, 作如下的分析说明。

1 正常运行

中性点不接地运行只适用于线路不长, 电压等级不高的系统。运行经验表明: 35kV 电网的接地电流 I_c 不大于 10A (约 100km 线路) 时, 可采用中性点不接地运行。

中性点不接地的三相系统在正常运行时, 各相对地的电压是对称的。如线路经过完善的换位, 三相对地电容是相等的, 此时中性点位移电压为零。但是在实际接线中, 线路参数完全对称的情况是少见的, 但中性点不接地系统要减小在正常运行情况下中性点的不对称电压, 就必须减小网络的不对称度。

正常运行情况下中性点位移电压太大将影响电气设备的绝缘, 同时有可能造成单相接地的错觉, 因此应限制在额定相电压 15% 以下。

2 单相接地故障的判别与处理

2.1 单相接地故障的判别

在小电流接地系统中, 任何一相绝缘受到破坏而接地时, 各相对地电压都将改变, 对地的电容电

流也发生变化, 中性点的电位升高。各相对地的电压值视故障点的接地情况而异。中性点经消弧线圈接地系统出现单相接地故障时, 与中性点不接地系统只在接地电流的性质 (感性或容性) 和大小上有区别, 其三相电压的变化规律是相同的。下面以中性点不接地系统为例, 分析小电流接地系统单相接地时电压的变化情况。

2.1.1 故障相完全接地

当一相为完全接地 (亦称金属性接地, 即接地电阻为零) 时, 故障相对地电压为零 (假设接地相为 C 相), 中性点电位升高为相电压, 其它两相电压升高为线电压, 同时相位差由 120° 变为 60° 。

2.1.2 故障相不完全接地

发生不完全接地 (亦称非金属性接地, 即经电阻或电弧接地) 时, 接地相对地电压大于零而小于相电压, 非接地相对地电压高明大于相电压而小于线电压。

2.1.3 接地相的辨别

正确判断接地相, 有利于接地点的查找, 从而缩短故障查找时间。那么, 接地相的辨别适用什么原则呢?

(1) 如果一相电压指示为零, 另两相指示为线电压, 那么指示为零的那一相为接地相。

(2) 如果一相电压指示较低, 另两相指示较高, 电压低的一相不一定为接地相。

(3) 如果一相电压接近线电压, 另两相电压相等, 用比较这两相指示值的微小差异来断言稍微偏低的那一相为接地相也是毫无根据的。

那么对上述第 2、第 3 两种情况如何判别接地相呢? 一般是指示值最高相的下一相为接地相 (按下相序)。例如 A 相最高, 则 B 相接地, C 相最高,

则 A 相接地。这一规律为我们经历处理的较多实例所证实。值得注意的是：这一判断规律只适用于系统接地但未断线的情况。

2.2 单相接地故障的处理

2.2.1 中性点不接地电网发生接地故障时的处理原则

(1) 应尽快找到故障点，并设法消除。带接地故障运行不得超过两小时。

(2) 当电网经消弧线圈接地时，接地时间不得超过消弧线圈铭牌的规定且上层油温不得超过 95℃。

2.2.2 寻找单相接地故障时的顺序

当系统发生单相接地故障时，对有重合闸装置的线路，应使用寻找接地按钮来试停，如发现重合闸拒绝动作时，应立即手动合上该开关（指线路上无发电机），对无重合闸装置的线路，可手动拉合开关。如果在接地的线路上有重要用户而又无其他电源可代替时，应提前通知这些用户做好停电准备工作，然后将线路停电。寻找单相接地故障时应按以下顺序进行：

(1) 试停空载线路和电容器组。

(2) 试停小电流接地检测装置所测到的接地线路。

(3) 用母线分排或分段的方法，将电网分割为几部分。如母线分段要限电，或母线分段时间较长，可能威胁电网安全运行时，可不进行分段，而启用重合闸逐条对所有出线寻找。如不能发现故障设备，再考虑分段。

(4) 试停有并联回路或有其他电源的线路。

(5) 试停线路长、分支多、负荷轻、历次事故多的不重要馈线。

(6) 试停线路长、分支少，负荷较重和较重要的馈电线，重要用户最后试停。

(7) 检查电源（变压器和发电机），检查接在母线上的配电装置（如避雷器和互感器等）。

(8) 用倒母线的方法检查母线系统。

2.2.3 单相接地故障处理不及时的危害

单相接地故障如果处理不及时，极易发展成三相短路。原因有两个：一是单相接地故障是一断续发展过程，由初期的有一定阻抗值发展到完全金属性接地；二是试拉过程是按非重要线路先拉的原则，待拉到故障线时，可能已延误了拉闸的时间。

2.3 举例说明

(1) 单相接地故障多发生在电缆线路上，而电缆线路又多发生在电缆中间头或终端头处，因这些部位破坏了原电缆绝缘层，是电缆绝缘的薄弱环节。

2006 年 2 月 12 日 23: 03，我公司 35kV 兴东变 10kV 母线发“单相接地”信号，母线电压分别为 A 相 10.5kV，B 相 9.5kV，C 相 0kV，经拉路寻找，判断为东岳 171 线路单相接地，东岳 1713 闸刀至 1#杆为出线电缆，从 1#杆开始为架空线，配网公司全线巡线未发生异常，试送后，“单相接地”仍存在，故拉开所有柱上开关，试送主杆，结果“单相接地”仍存在，判断故障为变电所出线至第一个柱上开关处，立即将负荷通过手拉手联络开关由其它线路转供，然后将东岳 171 线路改为线路检修状态，通过测绝缘确定为出线电缆故障，后将电缆更换，线路送电恢复正常。

(2) 2008 年 10 月 12 日，11: 58 我公司 220KV 昭阳变“35kV 母线接地”光字牌亮，电压表为 $U_a=0kV$ ， $U_b=35kV$ ， $U_c=35kV$ 。将 35kV 母线分段判断为 35kVII 段母线发生单相接地，通过拉路寻找，发现阳严 358 线路单相接地（阳严 358 为 35kV 严家变的进线电源），故拉开阳严 358 开关，将严家变调由兴化变兴严 312 线路供电，结果 110kV 兴化变“35kV 母线接地”光字牌亮，至此才判断出是严钧 383 线路单相接地。严钧 383 正常是由严家变对线路充电，昭阳变发“35kV 母线接地”信号时，实际上首先应考虑试停空载严钧 383 线路，虽然该线路未直接接在昭阳变 35kV 母线上，但却相当于通过阳严 358 线路串接至昭阳变 35kV 母线上，所以我们判断故障时不能按常规思维，要考虑到与此相关的方方面面。

判断出是严钧 383 线路单相接地后，通知线路工区巡线，经检查发现严钧 383 线路 64#塔 A 相瓷瓶击穿。

3 电压互感器一次熔断器熔断

在 35kV 小电流接地系统中，一般采用三只单相三绕组电压互感器接成星形，且中性点接地，用于测量线电压、相电压以及监视电网对地的绝缘状况和实现单相接地的继电保护。当电压互感器一次熔断器熔断一相或两相时，将有接地信号发出，而熔断三相时，因电压互感器开口无电压输出，故无声光信号，此时只有通过绝缘监察电压表及母线电压表发现。电压互感器一次熔断器熔断的电压变化

规律为：熔断相电压降低较大幅值但大于零，健全相电压不升高。

健全相电压是否升高是判断熔断还是系统接地的主要判据。一般的变电所都是在 I、II 段母线各带一组电压互感器。当电压互感器的一次侧熔断器单相熔断和一次侧出线单相接地时，这两种情况反映到互感器的二次侧线圈中的输出电压有高低：一般情况下，一次侧熔断器熔断时为 30~33V，而系统单相接地时一般为 90~100V，由此可以区分单相接地和一次侧熔断器的熔断。

如果利用三相的相电压表也可区分，即：一相相电压降低，另外两相相电压升高，这便是系统单相接地；如果一相相电压降低，另外两相相电压没有升高，则为一次侧熔断器熔断。

另外，当单相接地时，三相之间的线电压保持不变；当电压互感器的一次侧熔断时，三相线电压中非熔断相之间的线电压保持正常，熔断相和另外两相之间的线电压明显下降，由此也可以区分系统单相接地和一次侧熔断器熔断。

除了利用电压表以外，也可利用三个相电压指示灯进行判别。

在上面几种方法中，一般在电压互感器的辅助线圈中接电压表或电压继电器，通过电压区分比较直观。

采用电压表和指示灯不能进行报警，但是可以判别出哪一相发生单相接地。所以，在一般情况下，往往采用电压互感器的辅助线圈接电压表、电压继电器与接相电压表和相间电压表、指示灯配合使用为宜。

我公司也经常发生电压互感器一次侧熔断器熔断，发“XX 母线接地”信号，但我们根据以上几种方法，总能准确地判断出是熔断器熔断，而不会误判为线路单相接地。

4 谐振

电力系统中的谐振过电压，是由于系统中的电感和电容，在特定的参数配合条件下，产生谐振引起的。

电网中有许多非线性电感元件，如变压器、电磁式电压互感器、消弧线圈等。它们和系统的电容，构成复杂的振荡回路。如满足一定条件，就可能激发起铁磁谐振过电压。铁磁谐振过电压，在任何系统中都可能会产生，且谐振过电压的持续时间可能

较长，甚至长期保持，直到谐振条件被破坏为止。谐振过电压的特点是，过电压倍数较高、持续时间较长，对系统的绝缘危害很大。

小电流接地系统的谐振一般由雷击、操作、系统接地等原因而激发。

4.1 故障象征及判别

小电流接地系统，发生谐振过电压时，可能报出接地信号。

谐振过电压与接地故障的区分，主要是电压表指示会超过线电压，表针会打到头。而接地故障时，非故障相对地电压最高等于线电压值，而线电压则不变。

根据谐振时各相电压的变化，又可分为基波谐振、分频谐振、高频谐振。

(1) 基波谐振时，一相电压低，但不为零；两相电压高，超过线电压，表针打到头。或两相电压低，但不为零；一相电压高，表针打到头。

(2) 分频谐振时，三相电压依次轮流升高，并超过线电压，表针打到头，三相表针在同范围内低频摆动。

(3) 高频谐振时，三相电压同时升高，远超过线电压，表针打到头，也可能一相电压上升，另两相电压下降。

4.2 谐振的处理方法

谐振时很容易在电网的薄弱环节造成绝缘击穿而引发事故。故遇到谐振时，应迅速改变电网参数，破坏谐振条件而使谐振消除，如投、切空载线路。

(1) 由于操作后产生的谐振过电压，一般可以立即恢复到操作前的运行方式。分析原因，采取防止措施以后，再重新操作。例如可以改变操作方式等。

(2) 对母线充电时产生谐振过电压，可立即送上一条线路，破坏谐振的条件，消除谐振。

(3) 如果是运行中，突然发生谐振过电压，可以试断开一个不重要负荷的线路，改变参数，消除谐振。若谐振现象消失以后，仍有接地信号，三相对地电压不平衡，一相降低，另两相高于相电压，但是低于或等于线电压。说明谐振的同时，有单相接地或断线故障。

小电流接地系统，当谐振现象消失以后，如果三相电压仍不平衡，但表计指示最高不超过正常值，则可能是在谐振过电压时，使电压互感器高压保险熔断。应检查电压互感器有无异常，若无异常，可

以更换保险后试送一次。

(4) 如果在开关的断口上,有并联电容器。当母线停电操作时,母线断开电源后,母线电压表有很高的读数,表针并有抖动,发生谐振过电压。可以迅速将电源开关再合上,先将电压互感器的二次开关断开,并将互感器一次刀闸拉开后,再停母线。当母线恢复送电操作时,电源开关未合上之前,若母线电压表已有较高的指示,发生谐振过电压。可合上开关,对母线充电,消除谐振。

为了避免上述开关断口并联电容引起的谐振,发生过这种故障的变电所,可以改变母线停送电的操作顺序。母线停电时,先停电压互感器,再将母线电源断开。母线送电时,母线带电后,再合电压互感器一次刀闸。

4.3 举例说明

2007年5月30日,7:35我公司220kV昭阳变电所“35kV正母接地”光牌亮,此时正母空载运行,正、副母分列运行,母线电压为 $U_a=27\text{kV}$, $U_b=16\text{kV}$, $U_c=22.5\text{kV}$,因为该变电所投运之初,当母线空载运行时也发生过类似现象,调度员下令将“35kV母联310开关由热备用改为运行”,合上35kV母联310开关后,该现象立即消失。分析原因是由于用变电压器对母线充电时,电磁式电压互感器各相与母线对地电容构成谐振回路,形成谐振过电压,电压之所以不是很高,只因为是谐振初期,如果不及时调整运方,破坏谐振条件,电压有可能会逐渐升高,对设备构成威胁。

5 线路断线故障

在小电流接地系统中,由于线路导线熔断、断路器动作三相不同期等原因都可能造成部分网络或全部网络单相或两相断线的情况。中性点不接地系统单相断线时,三相对地电压不平衡,断线相对地

电压升高,健全相电压降低。两相断线时,断线两相电压升高,健全的一相电压降低。两相断线时,断线两相电压升高,健全的一相电压降低,其现象与单相接地故障相似。中性点经消弧线圈接地系统断线时,某一相对地电压还有可能升高到危害绝缘的程度。理论计算表明,欠补偿时发生一相断线,中性点位移电压可达相电压的2.5倍,大大超过故障时限时运行的允许值,对绝缘不利。因此应昼避免欠补偿运行。

6 结论

为了减少小电流接地系统故障给电网运行带来的不良影响,不仅要求值班人员熟悉有关运行规程,了解设备的运行状况,在实践中不断地总结经验,提高处理问题的能力,还要积极改善设备的运行条件,及时消除设备缺陷,保持设备的清洁,提高设备的绝缘水平。同时,还要加强设备的检修、维护管理,提高检修人员的技术水平,缩短查找处理接地故障的时间,尽快恢复电网正常运行、恢复对用户的供电。

参考文献:

- [1] 中国标准出版社第四编辑室.输变电技术常用标准汇编:电力调度卷[平装][M].北京:中国标准出版社,2010.
- [2] DL/T516-2006,电力调度自动化系统运行管理规程[S].
- [3] 国家电力调度通信中心.电网调度运行实用技术问答[M].北京:中国电力出版社,2008.
- [4] 黄晓明.对电网调度运行管理的探讨[J].现代物业(上旬刊),2011(09).

作者简介:

魏明新(1971-),男,江苏兴化人,工程师,技师,长期从事电网调度、运行工作。