

主变中性点过电压保护配置原则探索

石树平

(海南省电力公司,海南 海口 570000)

摘要: 针对 110kV 主变中性点局部不接地的系统,在分析避雷器和放电间隙作用基础上,对无间隙氧化锌避雷器并联放电间隙+间隙电流、过电压保护方案的配置原则,提出了新的想法。本文思想对于非有效接地情况下的 220kV 分级绝缘变压器具有一定参考价值。

关键词: 氧化锌避雷器; 放电间隙; 绝缘水平; 配合

中图分类号: TM86; TM772

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2001)05-0041-04

新颁布的国家标准 GB311.1—1997,列出我国分级绝缘 110kV 变压器的中性点绝缘水平为 LI250AC95,比原来的 LI180AC85 有了较大提高。这对 110kV 主变的运行,对那些终端站不接地的 110kV 变压器(特别是低压侧带有电源)的运行工况,比较有利。关于主变中性点过电压保护问题,长期以来由于人们的观点意见不一致,各地区的做法有较大区别,下面就 110kV 主变中性点的保护问题提出探索意见。

1 系统运行中的过电压

电力系统的过电压一般可分为下面三类,暂时过电压(工频过电压、谐振过电压),操作过电压,雷电过电压。对于中性点雷击过电压处理,人们比较容易形成统一意见。一般按变压器的标准雷电波的耐受水平,考虑绝缘老化累计效应乘 0.85 的系数,得出的实际绝缘耐受水平大于避雷器的标称雷电冲击放电电压或残压,取合理的系数即可。

下面简单讨论主变中性点电压的另外两种情况。

暂时过电压主要是由单相接地故障、谐振等引起,在我国标准的中性点接地系统 $X_0/X_1 < 3$ 、 $R_0/X_1 < 1$ 中,一般的单相接地故障,在不失去有效接地的情况下,非故障相工频过电压不会超过线电压的 80%。但在 110kV 终端站,不接地变压器实际是一个局部的不接地系统,在这种情况下发生单相间歇性电弧接地故障,按 110kV 的最高电压 126kV 计算,主变中性点稳态过电压可到 73kV,暂态电压可到 132kV。考虑带有均压电容的断路器开断连接带有电磁式电压互感器的空载母线时产生的铁磁谐振等;非故障相将产生 2.0p.u. ~ 3.0p.u. 甚至更高的过电压。变压器中性点过电压情况更为严峻。

操作过电压主要表现在空载线路、变压器的开

断和重合等。110kV 线路的重合闸,考虑到成功和非成功的重合前线路曾经发生单相接地;开断空载变压器考虑到由于断路器强制熄弧截流产生的过电压,隔离开关尤其是操作 GIS 变电站空载母线时发生的重击穿;上述情况非故障相过电压将接近和超过 3.0p.u.。特别是在双侧电源情况下断路器非全相重合中性点不接地变压器,严重时中性点稳态电压将达到 126kV。1994 年海南大广坝电厂曾发生非全相空载变压器造成主变中性点绝缘损坏事故。

上述的情况简单叙述了几种过电压的形式,真正对变压器绝缘和保护装置的作用,取决于过电压的波形、幅值和持续时间。标准的雷电波形并不一定是由雷电引出,例如,当单相接地时,可在非接地相上产生接近于雷电过电压的短波前。当变压器一侧有雷电波作用时,经过绕组的藕合,会有接近于操作过电压的长波前。主要考核设备绝缘的电压波形有三种:短波前的雷电波;长波前的操作波;低(工)频电压波;我们虽然强调设备绝缘对雷电、操作或工频电压的耐受能力应用相应的波形电压来检验,但一般对变压器等油纸绝缘设备,其耐受操作冲击电压的能力为雷电冲击的能力 0.83,耐受短时工频电压有效值的能力为雷电冲击的能力 1/2.3 的关系是可用的。对于 220kV 以下的电气设备,考核其绝缘水平主要由雷电冲击耐受电压和工频耐受电压来决定。

2 关于避雷器的保护作用

无论作为无间隙的氧化锌避雷器还是有间隙的普阀避雷器,选择使用的一个共同原则是,使避雷器额定电压不低于避雷器安装点的暂时过电压。JB/T5894-91《交流无间隙金属氧化物避雷器使用导则》指出,中性点有效接地系统中分级绝缘的变压器,当其中性点未接地时,中性点避雷器的额定电压

应不低于变压器的最高相电压(并具体提出中性点的标准冲击绝缘水平为 185kV 时,氧化锌避雷器的额定电压为 60kV)。按此计算,终端站 110kV 变压器中性点避雷器的额定电压为大或等于 72.7kV。避雷器的额定电压如果比上述值选择低了,阀式避雷器将在线路单相接地主变失去中性点的过电压出现后无法灭弧而爆炸。对无间隙氧化锌避雷器,同样将使其在一次过电压下吸收能量过多而劣化损坏。反之,额定电压过高,则相应的冲击放电电压和残压将增大,保护设备的限压效果变坏。从上面的过电压情况和避雷器使用原则来看,明确安装在主变中性点的避雷器的主要目的,就是保护雷电过电压和操作过电压,对部分工频过电压有一定的限制作用。氧化锌避雷器虽然比普通避雷器有诸多优点,比较适合用于中性点非直接接地的 110kV 主变中性点,但也和普通避雷器一样有着同样弱点,对于那些超过其额定电压(灭弧电压)的持续时间长(秒级以上)的暂时过电压(如工频过电压和谐振过电压)将无能为力。而实际上可能出现幅值高于避雷器额定电压且持续时间长的暂时过电压的概率是比较大的。

3 放电间隙的保护作用

棒-棒放电间隙属极不均匀电场,从下面的特性曲线(图 1)可以看到,放电间隙对雷电过电压、操作过电压和工频过电压均有保护作用。《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》中指出:“应避免在 110kV 及 220kV 有效接地系统中偶然形成局部不接地系统,并产生较高的工频过电压,对可能形成这种局部系统、低压侧有电源的 110kV 及 220kV 变压器不接地的中性点应装设间隙”。放电间隙也有如下弱点:(1)放电间隙的放电电压的分散性较大,放电后不能熄灭中性点的持续工频电弧,通常做法是在

经放电间隙接地的回路中接有零序电流保护,依靠断路器跳闸灭弧,而跳闸停电总不是好的办法。(2)其伏、秒特性是一条较陡的带区,在持续时间很短的雷电过电压作用时的放电电压,要比作用时间长的工频放电电压要高的多,存在和变压器的伏秒特性配合难的问题。(3)由于放电间隙放电的弧电阻很小,在放电后形成波尾极陡的截波对变压器的线圈匝间绝缘(纵绝缘)有较大的威胁,所以在变压器中性点中一般不宜单独使用,但如何发挥放电间隙的作用是值得我们考虑的。

4 110kV 终端站变压器中性点保护方案

从上面简单分析可以看出,单一避雷器和单一放电间隙保护主变中性点绝缘是不可取的,如何利用各自的长项而避开短项进行配合应是我们考虑的方向。

下面介绍采用无间隙氧化锌避雷器+棒间隙+零序过压、间隙电流保护方案的一些考虑。

(1)遵循 JB/T5894 - 91《交流无间隙金属氧化物避雷器使用导则》的原则,在保证雷电冲击残压满足要求的前提下,对可能不接地的 110kV 分级绝缘的变压器,选择中性点无间隙氧化锌避雷器 1kA 规格的额定电压,为略大于变压器的最高相电压—取 75kV。而目前大多通行做法仍是选择低于最高相电压或低于额定相电压,一般取 60kV 或更低。实际取 75kV 对 95kV 工频耐压水平的裕度还是有保障的。厂家资料显示,避雷器在额定电压时可耐受 20min。

(2)明确棒-棒放电间隙配置原则就是以弥补氧化锌避雷器无法履行的功能为目的,针对目标就是超过和接近避雷器额定电压的持续时间秒级以上的工频过电压、非全相重合和铁磁谐振等过电压,不搞面面俱到。提高棒-棒空气间隙的距离,突破传统的 120mm 限制,提高间隙的 50%工频放电电压等

于 75kV,按此依据估算的间隙距离约在 150mm 左右(具体数据需要实验和实践来确认)。这样做不仅是保证接地系统中线路单相接地时放电间隙不动作,而且保证一些情况下(如低压侧不带电源的 110kV 终端站)线路单相接地且失去接地点时放电间隙也不动作,达到既保护主变中性点绝缘和氧化锌避雷器,又避免不必要误动的目的。2000 年 6 月 23 日和 7 月 6 日,海南旅游区亚龙湾的 110kV 变电站,连续发生 2 起因主变中性点放电间隙动作造成全站停电事故。主要原

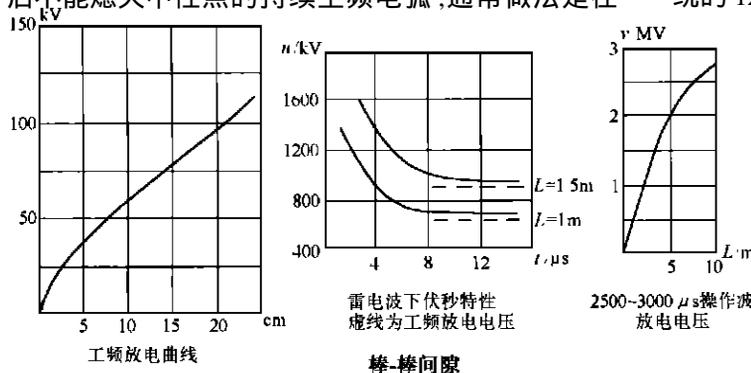


图 1

因就是由于放电间隙较小,仅有105mm。

目前流行一致的做法是采用100~120mm的间隙,首先120mm间隙的冲击放电电压为140kV,较低,接近132kV。在失去中性点的单相接地暂态电压作用下间隙容易放电(这时应让避雷器动作而不是间隙),在稳态电压作用下间隙不能熄弧而误动。其次120mm间隙的工频放电电压54kV也较低,其上限值约为62.3kV,下限值约为46kV,接近无间隙氧化锌避雷器的持续运行电压,躲不过某些局部不接地系统单相接地情况下的稳态电压,如不带低压电源的110kV终端站的110kV线路上的单相接地短路情况。再则对中性点工频耐压水平95kV的变压器,50kV以下的工频电压对其没有什么威胁,这区间接电间隙放电属于误动。

(3)对超过避雷器额定电压的持续时间接近毫秒级的雷电波和操作波,氧化锌避雷器可以轻松地放电限压,间隙动作与否、时间前后已不是非常紧要,间隙放电电流保护动作跳闸是500ms后的事,此时大气过电压和操作过电压等早已消失。并联放电间隙在避雷器动作之前动作或是同时动作,对减少截波陡度都是有利的,加大的间隙间距还减小了避雷器动作后的残压使间隙再动作的机率,即使再动作,其电压幅值和陡度都有了下挫,对变压器的纵绝缘威胁会减小。

(4)对出现在主变中性点超过避雷器额定电压的持续时间秒级以上的工频过电压、非全相重合和铁磁谐振带来的过电压,氧化锌避雷器的工频耐受电压时间特性无法承受。一般无间隙氧化锌避雷器额定电压1.2倍的耐受时间只有1s;1.3倍只能承受0.1s,承担不了保护主变中性点绝缘的重任。这就是给放电间隙的表现机会,放电间隙可以有效地限制这种电压,放电间隙动作后在0.5s时间内靠间隙电流保护动作跳开变压器的断路器,切断电源以保证避雷器不至于爆炸,主变绝缘不致遭到破坏。

(5)从上分析可以看出,失地变压器中性点保护采用间隙十分必要。在花费不多的情况下减小间隙放电的分散性,减小其受外部雨流环境、动物等影响的偶然性,对可靠保护分级绝缘主变中性点,减少无谓的误动停电损失,提高供电可靠性具有普遍重要意义。采用密封的、工艺精细、材料讲究的棒-棒放电间隙,应是我们完善主变中性点保护考虑的方向。

5 事故分析

2000年6月23日和7月6日,海南旅游区亚龙

湾的110kV变电站,连续发生2起因主变中性点放电间隙动作造成的全站停电事故。

亚龙湾站110kV母线单母分段,北开GIS设备。110kV电源进线鸭田线接入2段母线,通过110kV分段断路器向固定接入1段母线运行的主变供电。另一回110kV鸭龙线路带电空载送到亚龙湾站接入1段母线的鸭龙线路断路器外侧热备用。主变中性点经放电间隙接地,并联无间隙氧化锌避雷器额定电压60kV,雷电冲击放电残压144kV。主变经放电间隙接地时,接入中性点套管的零序2段保护的CT和接入放电间隙的CT是串联关系,在放电间隙动作时,通过的是同一放电电流。主变所有的保护动作后都跳主变两侧断路器。

6月23日11时22分,线路、变电站遭雷击,空载的110kV鸭龙线路距离对侧220kV鸭子塘站4.4公里处B相接地,故障持续64ms,线路对侧断路器跳闸并重合空载线路成功。几乎同时,亚龙湾站主变中性点放电间隙动作,主变零序电流2段2.5s跳主变两侧断路器全站停电。7月6日12时54分的事故几乎是6月23日事故重演,不同的是这次接地、跳闸、重合发生在110kV鸭田电源线路的A相上,重合时间均为1s。两次事故主变中性点避雷器均动作;1母的避雷器第一次B相动作,第二次A相动作;鸭田线第二次A相避雷器动作,其他动作不明。对侧两次故障录波图,第一次故障 $3U_0$ 电压约是相电压的58.8%;第二次 $3U_0$ 电压是相电压的45%。事后检查情况:(1)主变的零序2段保护一次整定电流100A,实际动作电流是50A。原因200/5的CT变比实际是100/5。(2)放电间隙的水平空气间隙为105mm。

事故原因初步分析:这两起事故均发生在雷雨交加的气候条件下,是雷击过电压,局部不接地系统的线路单相接地故障,保护跳闸重合带GIS开关线路和重合带空载线路的各种情况的综合体现(站内无故障录波,只做定性分析)。事故停电原因是由于放电间隙空气距离不够,其次是零序保护动作电流值误偏小整定(氧化锌避雷器额定电压低不是这次事故停电的原因)。120mm距离的工频放电电压下限值为46kV比较低,何况间隙距离只有105mm。任何在40kV及以上的工频过电压均可能使间隙放电,而放电后只要中性点仍存在持续2s以上的能维持间隙电弧燃烧的电压,足可以使间隙动作跳闸。这两次是什么类型的电压呢?为什么放电电流恰恰大于50A而小于100A?从雷电冲击过电压和线路单

相接地造成的局部不接地系统来看是不可能的,因为它们存在的作用时间太短,两次单相接地故障各自只有 64ms 的时间。实际主变间隙的两次动作和零序保护跳闸应是发生在线路重合后,第一次是带 26km 长空载线路重合过电压,110kV 鸭龙线路末端断路器外侧空载过电压倍数可达 2~3 倍左右,经过 GIS 断口电容和母线电磁型 PT 耦合到中性点悬浮的 110kV 系统,也考虑到重合时断路器的非同期性,有点非全相合不接地的变压器的意味。第二次是带 26km 线路、GIS 开关和不接地变压器的重合过电压。根据中性点避雷器两次动作和放电间隙 100A 电流 0.5s 没有动作的情况,说明放电间隙的燃弧电流并不大,也就是瞬间过电压值较高而维持电弧的电压并不大,根据当时天气情况(雨流)和间隙地理位置(靠近两面外墙的夹角处)推测,能够维持 2.5s 之久电弧的这种电压为变压器中性点的不平衡偏移电压。

建议采取两点措施:(1)先暂时增大间隙距离到 120mm;(2)事后三亚公司把放电间隙电流定值改为 60A,建议仍恢复 100A 定值。

6 结束语

6.1 本文简要介绍了暂时过电压和操作过电压对分级绝缘主变中性点的危害,针对 110kV 主变中性点局部不接地的系统,具体分析了避雷器和放电间隙在保护主变中性点绝缘中的作用。

6.2 对无间隙氧化锌避雷器并联放电间隙+零序电流过电压保护方案,提出了新的配置原则:以避雷器为主,主要是针对雷电压、操作过电压;放电间隙为辅,主要针对是避雷器额定电压及以上的持续工频过电压。

(A) 无间隙氧化锌避雷器的额定电压应按最大相电压选择;(B) 加大放电间隙的空气距离,提高间隙的工频放电电压不能小于最大相电压。保证一些情况下(不带低压电源的 110kV 终端站线路单相接地)时放电间隙不动作。

6.3 本文只对 110kV 主变情况进行了分析,其基本思想对于局部不接地的情况下的 220kV 分级绝缘变压器具有一定参考价值。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家标准 GB311.1—1997. 高压输变电设备的绝缘配合.
- [2] 中华人民共和国国家标准 GB311.1—88. 高压输变电设备的绝缘配合使用导则.
- [3] 机械电子工业部 JB/T5894—91. 交流无间隙金属氧化物避雷器使用导则.
- [4] 电力工业部 DL/T620—1997. 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合.
- [5] 赵智大,等. 电力系统绝缘过电压. 水利电力出版社, 1994. 6.
- [6] 蒋国雄,邱毓昌. 避雷器及其高压试验. 西安交通大学出版社, 1989. 5.
- [7] 武汉水利电力学院编写组. 过电压及保护. 水利电力出版社, 1976, 11.
- [8] 电介质的理论基础(第一分册). 湖南省电力试验研究所, 1992. 4.
- [9] 梁东,孙为民. 山东电网 110kV~220kV 变压器中性点保护现状、问题及分析. 山东电力技术, 1995, (4).
- [10] 晏家进. 变压器中性点的过电压保护问题. 广西电机工程学会 94~95 论文集.

收稿日期: 2000-12-01; 改回日期: 2001-03-01

作者简介: 石树平(1956-),男,硕士,工程师,从事电力系统自动化与继电保护的技术管理工作。

Discussion on the over-voltage protection scheme of neutral point on main transformer

SHI Shu-ping

(Hainan Power Company, Haikou 570000, China)

Abstract: In this paper, it focuses on the protection of non-earthing system at the neutral point of 110kV main transformer, and puts forward a new method for the protection scheme of parallel discharge gap of voidless flower of zinc lightning arrester through the function analysis of lightning arrester and discharge gap. The principle philosophy can also apply to the protection of 220kV grade insulation main transformer with non-earthing.

Keywords: zinc oxide lightning arrester; discharge gap; insulation level; match