

中性点低电阻接地方式在孤网系统中的应用

分析了中性点低电阻接地方式在孤网中应用,给出了孤网系统使用中性点低电阻接地方式的建议。

施文丰 黄跃进 龚理 刘文华/中国五环工程有限公司



施文丰/高级工程师

0 引言

随着国家战略“一带一路”的稳步推进,越来越多的中国工程公司走出了国门,开始承担国外的各类工程项目。但由于有些“一带一路”沿线国家的电网建设严重滞后,某些情况下,新建的工厂电力系统被迫孤网运行或与电网弱联系运行。同时,中性点低电阻接地方式在这些工程的中压系统中被大量采用。因此,有必要对中性点低电阻接地系统在孤网系统中的使用情况进行深入探讨。本文通过对国内外设计标准和实际工程项目案例进行分析,给出了类似工程使用中性点低电阻接地方式时的建议。

1 中性点低电阻接地系统简介

中压电网的中性点接地方式分为不接地、消弧线圈接地、高电阻接地和低电阻接地。当系统要求迅速切断单相接地故障时,通常会采用中性点低电阻接地方式,以适量增大单相接地电流,利于保护装置检查故障范围进而隔离故障回路,同时可以很好地限制系统的过电压水平。因此,在国外的工程项目中,中性点低电阻接地方式在中压系统中被大量采用。

关键词/Keywords

孤网系统·
低电阻接地·
继电保护·

2 国内外常用设计规程对中性点低电阻接地系统的规定

文献[1]规定:“6~35 kV主要有电

缆线路构成的配电系统、发电厂厂用电系统、风力发电场集电系统和除矿井的工业企业供电系统,当单相接地故障电容电流较大时,可采用中性点低电阻接地方式。变压器中性点电阻器的电阻在满足单相接地继电保护可靠性和过电压绝缘配合的前提下宜选较大值。”文献[2]规定:“10~35 kV低电阻接地系统中,接地电阻的选取宜为 $6\sim 30\ \Omega$,单相接地故障时零序电流($3I_0$)以1 000 A左右为宜”,此外还规定:“低电阻接地系统必须且只能有一个中性点接地运行,当接地变压器或中性点电阻失去时,供电变压器的同级断路器必须同时打开。”文献[3]给出的中性点低电阻限制单相接地电流在100~1 000 A,400 A为典型值。文献[4]对发电机的低电阻接地系统进行了详述,其中提及,对存在多点中性点低电阻接地的系统,需评估三次谐波环流引起中性点电阻上附加损耗的问题。对并列运行的发电机,推荐在母线上设接地变压器,而取消各个发电机的中性点接地;也可以采用切换开关将各个电源点的中性点连接到共用的低电阻上,进行统一的切换管理。同时,其建议电阻电流接近发电机额定电流的1.5倍,以利于发电机的纵联差动保护能够检测区内接地故障。文献[5]中给出的低电阻电流值为200~2 000 A。文献[6]对多电源的中压系统,中性点低电阻接地的表述与文献[4]基本一致,但要求单相接地电流限制在630 A以内。

综上所述,国内外常用的设计标准对中压系统中性点低电阻接地的表述主

体上是一致的,只是对限制单相接地故障电流的大小稍有不同;对多个中性点低电阻点接地并列运行,国内电力行业标准直接规定仅允许一点接地运行,国外标准建议评估三次谐波的损耗对中性点低电阻的影响。

3 低电阻接地系统在孤网中的应用分析

3.1 低电阻常用的接地点位置

一般来说,低电阻可以选择连接在发电机Y接的中性点(见图1a)、变压器的Y形绕组的中性点(见图1b)、变压器出口侧断路器前侧专用接地变压器Z型绕组的中性点(见图1c)或者母线上设置的专业接地变压器Z型绕组的中性点(见图1d)。

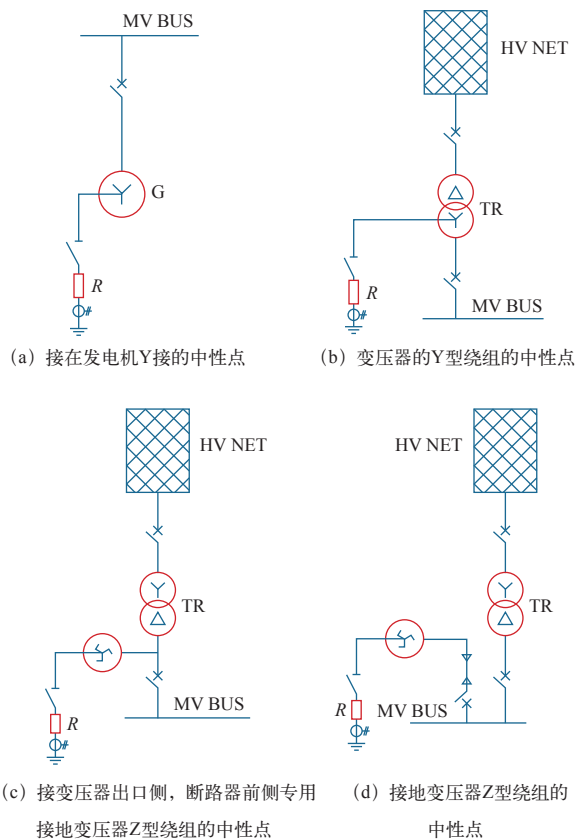


图1 低电阻常用的接地点位置

3.2 国外工程常见的孤网电力系统或与电网弱联系的电力系统接线

因有些“一带一路”沿线国家的电力系统建设比较滞后,中国工程公司承接的国外工厂项目用电负荷很多都在几万千瓦;工厂的电力系统通

常由几台中压发电机直接并网后带全厂负荷,孤网运行。有些地区情况稍好,工厂的电力系统通过联络变压器与外电网弱联系,电网能供给全厂的起动和应急负荷(通常在几千千瓦)。如某公司承接的伊朗某化肥项目,全厂负荷约3.4万kW,采用3台11 kV、23 MW发电机并列运行(两开一备),工厂电力系统孤网运行,接线示意图如图2所示。其承接的另一化肥项目位于印度尼西亚,全厂负荷约1.5万kW,采用单台6.3 kV、17.5 MW发电机与电压比20 kV/6.3 kV、8 MW变压器(高压侧接至电网)并列运行,但电网比较薄弱,工厂电力系统经常孤网运行,接线示意图如图3所示。上述两个工程限于与业主谈判的结果,所有电源点均采用低电阻(200 A)经隔离开关接地的方式;正常运行时,仅保留一个低电阻接地运行。

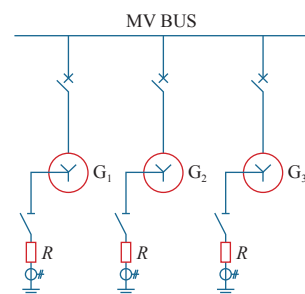


图2 伊朗某化肥项目接线示意图

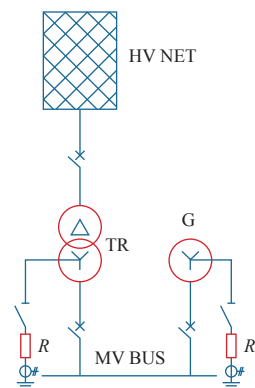


图3 印度尼西亚项目接线示意图

3.3 孤网系统中低电阻接地系统的继电保护整定及相关思考

由于上述孤立电网的系统比较小,系统的抗扰动能力很弱,规模上更贴近大型火力发电厂

的厂用电系统，为缩短单相接地故障持续的时间（尤其是接地故障发生在发电机内部），推荐参考文献[7]来进行继电保护整定，而不推荐文献[2]。即馈线零序电流保护仅设Ⅰ段；对电阻处的零序电流保护也仅设Ⅰ段动作时间，比馈线零序电流保护增加 Δt ，作为全系统的后备；详细的整定公式可查阅文献[7]。

上述两项目中，低电阻的额定电流远小于发电机的额定电流。因此，发电机的纵联差动保护无法检测发电机内部单相接地故障。为此，增加了窗口电流互感器（磁平衡/零序电流互感器），如图4所示。当发电机中性点隔离开关合位时，此窗口电流互感器作为磁平衡电流互感器来用；对应的过电流元件可整定为两段：Ⅰ段整定为躲过发电机本身提供最大短路电流时产生的不平衡电流，动作时间取0；Ⅱ段整定为躲过发电机额定电流产生的不平衡电流，并带外部短路闭锁，动作时间取保护装置实现外部短路闭锁的最短时间，一般取0.05~0.1 s。当发电机中性点隔离开关分位时，此窗口电流互感器作为零序电流互感器来用，为增加定子接地保护范围和保证继电保护的動作时间，此时的继电保护定值可以维持隔离开关合位时的定值。对比发电机，变压器对内部单相接地短路故障的排除时间没有那么严格，变压器的出口不必像发电机那样装设窗口电流互感器，中性点低电阻接地系统侧的变压器绕组单相接地保护可由系统的零序后备保护（电阻处）来实现。

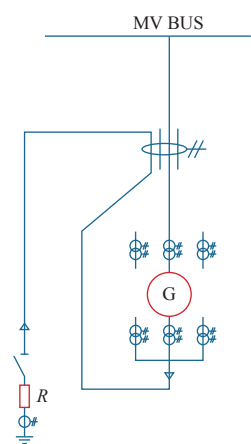


图4 增加窗口电流互感器

对于图2所示的系统，假定发电机 G_1 与 G_2 并列运行， G_1 中性点隔离开关合位， G_2 中性点隔离开关分位，当 G_1 因故障退出运行时，系统接地形式将由低电阻接地系统变为不接地系统，相关设备和材料的绝缘水平、过电压保护及继电保护配置并不能满足不接地系统的要求，因此不能长期运行；如直接生搬硬套规范，将与其并列运行的 G_2 联跳，从而会引起全厂停电，造成巨大的经济损失，并且需要重新黑启动。因此需对 G_1 退出的各种情况区别对待。第一种情况， G_1 因自身故障跳闸（纵差、窗口磁平衡差动等），此时应联动减载装置动作，甩掉对应的负荷，以保证 G_2 能够继续稳定运行；同时，综合自动化系统（PSCC）发出提醒信号，要求操作人员尽快合上 G_2 中性点的隔离开关，以迅速恢复中性点低电阻接地系统。第二种情况， G_1 因中性点电阻处的零序后备保护动作，由于其作为系统后备，如仅跳开 G_1 ，系统接地形式也将由低电阻接地系统变为不接地系统，并且 G_2 所在系统极有可能存在单相接地故障。此时，过电压将危及全系统的绝缘，相关的过电压保护和继电保护配置也极可能不满足此种工况的运行要求。因此，此种情况跳开 G_1 时，必须联跳 G_2 。对于图3所示的系统，其分析与图2类似，此处不在赘述。

3.4 孤网系统中低电阻接地系统的配置建议

在图2、图3类似的电力系统中，如采用在母线上设置单个接地变压器或将各个电源点的中性点引去公共的低电阻（采用开关进行切换）的中性点低电阻接地方式，当接地变压器或中性点低电阻故障退出运行时，系统的接地形式将会变成不接地系统，根据前文中的分析，系统不能长期稳定运行。因此，不建议上述两种配置；而是建议在各个电源点上均设置独立的中性点低电阻，并带单相真空接触器替换图2或图3中的隔离开关，进而通过真空接触器实现前文分析中第一种情况下的自动切换，保障系统的稳定运行。

（下转第33页）

造成起弧电流偏离标准。另外,外壳强度不够也会造成开断失败。

3 结束语

本文通过对国家高压电器质量监督检验中心实施的高压电器类产品,包括40.5 kV及以下断路器及其开关设备,72.5 kV及以上断路器及其开关设备,负荷开关、组合电器及其开关设备,隔离开关及接地开关,熔断器,以上产品近3年的容量试验失败情况进行统计分析,列举造成试验失败的常见原因。另外对重点产品如环保气体开关设备及高压开关设备L90、T100s和T100a等重点试验项目的试验情况进行了统计分析。希望能抛砖引玉,为高压电器设备生产厂家实施容量试验提供一些参考。

参考文献

- [1] 全国高压开关设备标准化技术委员会. GB/T 1984—2014 交流高压断路器[S]. 北京:中国标准出版社,2014.

- [2] 全国高压开关设备标准化技术委员会. GB/T 3906—2006 3.6~40.5 kV交流金属封闭开关设备和控制设备[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
- [3] 全国高压开关设备标准化技术委员会. GB/T 3804—2004 3.6~40.5 kV高压交流负荷开关[S]. 北京:中国标准出版社,2004.
- [4] 全国高压开关设备标准化技术委员会. GB/T 16926—2009 高压交流负荷开关 熔断器组合电器[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [5] 全国高压开关设备标准化技术委员会. GB/T 1985—2014 高压交流隔离开关和接地开关[S]. 北京:中国标准出版社,2014.
- [6] 全国高压开关设备标准化技术委员会. GB/T 15166.2—2008 高压交流熔断器 第2部分 限流熔断器[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [7] 全国高压开关设备标准化技术委员会. GB/T 15166.3—2008 高压交流熔断器 第3部分 喷射熔断器[S]. 北京:中国标准出版社,2008.

(收稿日期:2018-08-30) **EA**

(上接第28页)

另外,为避免在发电机出口侧使用大尺寸窗口电流互感器,需使发电机的纵差保护能够检测到内部单相接地故障。选择低电阻的额定电流时,建议参照文献[4],即低电阻的额定电流接近发电机额定电流的1.5倍,使得过电流保护和差动保护能够检测到单相接地故障,当然需综合考虑大额定电流的低电阻在制造上的难度和接地点入地电流增大引起的接触电压和跨步电压等问题。

4 结束语

本文由国内外的设计手册及标准入手,以实际工程案例的形式,分析了中压系统中性点低电阻接地系统在孤网系统或与电网弱联系的系统中的应用情况,给出了类似工程项目配置低电阻的位置及其继电保护的建议。

参考文献

- [1] GB/T 50062—2008 电力装置的继电保护和自动装

置设计规范[S].

- [2] GB/T 50064—2014 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范[S].
- [3] DL/T 584—2007 3kV~110kV电网继电保护装置运行整定规程[S].
- [4] DL/T 1502—2016 厂用电继电保护整定计算导则[S].
- [5] 水利电力部西北电力设计院. 电力工程电气设计手册 电气一次部分[M]. 北京:中国电力出版社,1989.
- [6] 能源部西北电力设计院. 电力工程电气设计手册 电气二次部分[M]. 北京:水利电力出版社,1991.
- [7] IEEE Std 142TM—2007 IEEE recommended practice for grounding of industrial and commercial power systems[S].
- [8] IEEE Std C37.101TM—2006 IEEE guide for generator ground protection[S].

(收稿日期:2018-03-15) **EA**