

浅谈10kV配电网经高阻接地方式下过电压及接地故障选线

何一蓂 陈浩伟

国网淮安供电公司 江苏 淮安 223300

[摘要]中性点经高阻接地方式在10kV配电网中的应用较为普遍,这种接地方式的小电流接地系统在出现单相接地故障后,接地电流能够控制在10A以内,电阻值的选择需要将弧光接地过电压、断线谐振过电压、电磁式电压互感器饱和过电压等要素考虑在内。一般情况下,高阻接地方式在很多规模小且系统电容电流低于10A的配电网场景下应用效果较为良好,但对于系统安全性要求较为严格,一些易燃易爆爆炸环境下的工业公店网可以选择较高的中性点电阻,从而控制单相接地电流。本文主要围绕10kV配电网经高阻接地方式展开论述,探讨该模式下的过电压和接地故障选线。

[关键词]10kV; 配电网; 高阻接地

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-6261.2021.10.795

引言

10kV配电网通常具有分布较广和数量较大等特征,中性点接地方法的选择一度决定了整个配电网运行的安全性。架空线路或混合组网的10kV配电网中,若电容电流小于10A,通常选择中性点不接地的方法。经有关实验能够了解到,中性点不接地的10kV配电网中,弧光接地或谐振导致的过电压很容易导致设备损坏、母线停电、主变跳闸等事故,不仅不利于电网的稳定运作,严重时还可能造成安全问题。面对这类情况可以考虑高阻接地方法。但高阻接地方法的应用也要考虑到阻值、过电压控制、单相接地故障选线等问题,只有做好全方位的分析才能保证电网系统的稳定运行。

一、高阻接地方式概述

高阻接地的目的在于将接地故障电流控制到最小,从而降低接地故障时电流对电气设备带来的影响,但接地系统依然可以检测到相线接地故障,从而切断电源保护系统安全。

在供电线路末端出现单相接地短路后,短路电流和系统、线路、变压器的正序、负序、零序阻抗值具有密切关联,变压器零序阻抗和接地方式又密不可分。当系统阻抗和变压器阻抗固定的条件下,短路电流和配电线路阻抗之间的关系未,线路越长短路电流越小。在单相接地故障中,短路电流越小则接地故障造成的影响越小,但故障电流越大则更有利于及时检测到并解决故障。

高阻接地方式能够将接地故障电流限制到最低,确保系统带故障运行时安全性更高,但由于故障电流较小,所以对于报警设备具有更高要求。

二、高阻接地方式下过电压和接地故障选线

(一) 阻值选择

高阻接地方式通常利用电阻来控制间歇性弧光接地过电压和谐振过电压等,在系统出现单相接地故障后,可以通过电阻形成零序有功电流,从而实现故障选线,在阻值选择上一般要关注以下几项重点:

1、控制弧光接地过电压

弧光接地过电压的形成因素在于电荷的持续累积,中性点在接入电阻 R_N 之后,三项对地电容 $3C_0$ 形成放电回路,放电衰减速率可以通过 $e^{-t/\tau}$ 来表示,其中 τ 为等效放电回路的衰减时间常数, $\tau=3R_N C_0$ 。如果阻性电流 I_R 和容性电流 I_C 相同,那么 $R_N=1/3\omega C_N$,其中 C_N 为中性点的电容,所以 τ

$=1/\omega=1/2\pi f$,在半个工频周期中 $e^{-t/\tau}=e^{-\pi}=0.043$ 。所以电网对地电容中的残存电荷已经完全泄漏,在后续燃弧时过电压增幅和电网运作过程中的单相接地故障情况基本一致,所形成的过电压不会很高,所以当接入电阻不高于 $R_N=1/3\omega C_N$ 时,可以实现弧光接地过电压的控制。

2、控制断线谐振过电压

中性点经高阻接地系统时,如果某一相导线出现了断线故障,通常故障有以下几种表现:其一,断线不接地;其二,断线电源侧接地;其三,断线负荷侧接地。通常若电源的内阻值较小,那么在出现单相断线电源侧接地故障后,接入电阻 R_N 后,等值谐振回路的损耗也会提高,谐振条件也会受到影响,谐振阻尼掉之后可以控制断线谐振过电压。根据不同断线情况下的等值电路能够获得控制谐振需要的组织,对于10kV配电网来说,当 $R_N \leq 1500\Omega$ 时就可以实现断线谐振过电压的控制。

3、控制电磁式电压互感器饱和过电压

互感器饱和过电压有着显著的零序特征,配电网在选择高阻接地方式时,电网的中性点点位基本固定。中性点电阻如同并联在电网对地电容中的旁路电阻,可以在谐振回路中增加阻尼,在这一条件下,电阻越低则谐振控制效果越强,当 $R_N \leq 1500\Omega$ 的情况下可以避免电压互感器饱和导致的谐振过电压。

(二) 单相接地故障选线

中性点经电阻接地条件下出现单相接地故障后,电网中会形成一个具有零序的有功电流,这种电流会通过故障线路并且和领先电压反向。非故障线路的零序有功分量是线路有功泄漏电流,这一电流通常数值不高,而且中性点电阻动作期间,故障线路始端的零序有功电流分量会产生明显变化,根据这一电流的变化可以分析控制出线电流互感器不平衡电流的影响,从而在较高过度电阻下控制单相接地故障选线。中性点的电阻较小时,零序电流的有功增量会明显提高,故障线路也更容易被检测发现,所以为达到单相接地故障检验的需求,中性点电阻阻值可以适当降低。

三、过电压和故障选线数值仿真

(一) 计算用网络模型

通过ATP电磁暂态程序来分析计算某变电所情况,甲乙两个10kV配电网的电容电流都在10A以下,为提高仿真结果可靠

性，在仿真计算中考虑个别线路新增或退出等情况，确保电网的电容电流在10A以内。

(二) 弧光接地过电压控制效果的模拟仿真

通过高频熄弧理论以及工频熄弧理论对中性点的多种接地方法经1200Ω电阻接地方式下间歇弧光接地过电压情况进行仿真分析。假设A相电源电压达到峰值，并且出现了单相接地故障，过渡电阻以5Ω为基准。在高频熄弧理论下，接地后电流的首个高频电流过零点熄弧，在熄弧之后，首个电压峰值时电弧重燃。从实践的角度分析，高频熄弧具有明显的周期性，间隔半个工频周期就会重燃，在仿真计算期间重燃了4次，和工频熄弧理论基本一致，故障电流在半个工频周波附近高频分量有着明显降低，电流过零认为工频电流过零，电弧熄灭时，熄弧之后故障相首个电压峰值时电弧重燃。从时间上来看工频熄弧为一整个工频周期会重燃一次，在整个仿真期间共重燃两次。

(三) 断线谐振过电压控制效果的仿真分析

其一，单相断线不接地形成的过电压计算结果如表1所示；其二，单相断线电源侧接地形成的过电压计算结果如表2所示；其三，单相断线负荷侧接地产生过电压的计算结果如表3所示。

表1 单相断线不接地形成的过电压

结构	电源侧电压		负荷侧电压		中性点电压	
	不接地	经高阻	不接地	经高阻	不接地	经高阻
1	1.18	1.04	1.00	1.00	1.02	1.04
2	1.07	1.06	1.00	1.00	1.02	1.04
3	1.51	1.29	2.47	1.00	1.00	1.15

表2 单相断线电源侧接地形成过电压的计算结果

结构	负荷侧电压		健全相电压		中性点电压	
	不接地	经高阻	不接地	经高阻	不接地	经高阻
1	4.91	4.91	1.52	1.52	1.00	1.00
2	4.90	4.90	1.52	1.52	1.00	1.00
3	1.28	1.28	1.74	1.74	1.00	1.00

表3 单相断线负荷侧接地形成过电压的计算结果

结构	电源侧电压		健全相电压		中性点电压	
	不接地	经高阻	不接地	经高阻	不接地	经高阻
1	2.56	0.92	2.56	0.90	1.78	0.04
2	2.55	1.05	2.78	0.98	1.84	0.05
3	2.80	1.17	2.36	1.06	1.82	0.22

根据上表所述，在电网出现断线不接地故障或断线复合故障后，中性点经1200Ω电阻接地在电流控制上能够起到显著作用，电流小宇10A的配电网中断线谐振过电压也能够得到有效控制。若电网出现断线电源侧接地故障，中性点接地电阻 R_N 的效果不太理想。

(四) 单相接地选线的数值仿真

通过ATP程序针对甲乙两个变电站电网展开计算与分析，接地点过渡电阻以0~300Ω为基本区间，电阻 R_N 设定为1200Ω。中性点1200Ω电阻动作前后，故障线路零序电流有功增量高于非故障线路的零序电流有功增量，当过渡电阻为

3000Ω时，零序电流有功增量的最低数值为0.765A。在网络规模及过渡电阻不同的情况下，这一现象却仍然一直，这也代表着过渡电阻对于单相接地故障的选线具有较高的适应能力，所以在1200Ω电阻下，零序电流有功增量的方式能够实现过渡电阻小于3000Ω的故障选线，不需要采用阻值更小的电阻。

四、现场运行

某单位在某110kV变电站进行中性点经高阻接地方式试验，试验结果如下：

(一) 试验连线与步骤

在变电站出线方面选择负荷高且分支多的渡满沙线，人工接地点选择变电站附近2.5km的配变处，取10kV进线的C相位接地相。设置永久接地故障，调整过渡电阻值并观察出线故障后的选线状况。

(二) 试验结果

经过6次接地试验，对试验中选线情况进行分析，从结果来看，中性点选择1200Ω电阻接地针对过度电阻0~3000Ω区间的单相接地故障能够保证故障选线的准确率。

(三) 运行情况

在运行期间，仪器记录了电网共97次单相接地故障，故障情况中多数为瞬时性接地，永久性接地故障发生了5次。据了解选线结果较为准确，在出现单相接地故障后均准确进行了拉闸处理，故障成功排除。经过两年多的运行，设备的运作较为稳定，设备的运行也较为正常，故障选线结果的可靠性使得过电压控制和故障选线要求得到了有效满足。

四、结论与分析

其一，电容电流在10A以下的10kV配电网中，中性点选择高阻接地可以很好控制弧光接地过电压和铁磁谐振过电压，电阻值在1200Ω时较为理想。高阻接地的适应性较强，能够将弧光接地过电压的标准值控制到3.0以下。

其二，高阻接地方式下，能够运用零序电流有功增量的方式选线，电阻值在1200Ω的条件下能够实现过渡电阻低于3000Ω的单相接地故障的选线。

其三，在现有的高阻接地项目中，人工单相接地试验结果表明，1200Ω的电阻下通过零序电阻有功增量法进行故障选线，结果较为可靠。

其四，在现有的高阻接地项目中，经过近3年的运行，设备依然能够保持良好的运行状态，故障选线结果也较为可靠。

参考文献

[1] 刘德志, 范德和, 李新海, 肖星, 曾令诚, 卢泳茵. 10kV配电网接地方式改造风险分析与防范策略研究[J]. 电气技术与经济, 2021(06): 10-13+17.
 [2] 王昱丹. 10kV配电网中性点不同接地方式的研究[J]. 数码世界, 2019(12): 289.
 [3] 金海望, 杨炳元, 董秀清, 张德强. 中性点经高阻接地10kV配电网的故障选线[J]. 电气自动化, 2011, 33(04): 50-53.