

10 kV 配网中性点小电阻接地技术与应用

付晓奇¹, 徐粮珍¹, 赵宝丽²

(1. 江西南昌供电公司, 江西 南昌 330006; 2. 江西省电力设计院, 江西 南昌 330006)

摘要: 阐述和分析 10 kV 配网中性点经小电阻接地技术原理, 讨论设备选型技术原则。总结了南昌电网 10 kV 配网中性点经小电阻接地技术应用实施过程和实际效果, 积累了采用中性点经小电阻接地方式后对供电可靠性的影响, 故障时瞬态电压、瞬态电流对电气设备的影响、对通信的影响和对继电保护技术的要求等方面运行经验。

关键词: 配网; 小电阻; 技术; 应用

Discussion on the technology and application of 10 kV distribution network neutral grounding through small resistance

FU Xiao-qi¹, XU Liang-zhen¹, ZHAO Bao-li²

(1. Jiangxi Nanchang Power Supply Company, Nanchang 330006, China;

2. Jiangxi Electric Power Design Institute, Nanchang 330006, China)

Abstract: The paper expounds and analyses the technology principle about 10 kV grounding through small resistance. And it discusses the technology principle about choosing equipment. What's more, it summarizes the process and result of using the technology in 110 kV distribution system of Nanchang power grid and accumulates operation experience such as its influences on the reliability of power supply, the influence of fault instantaneous voltage and current on electrical equipment, the influence on communication and requirements for relay protection, etc.

Key words: distribution network; little resistance; technology; application

中图分类号: TM76 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)23-0227-04

0 引言

目前电力系统中性点运行方式多为两大类, 一为大电流直接接地系统, 另为不接地或经消弧线圈接地小电流接地系统。以上两种系统由于接地方式不同, 运行特征也不同。前者在系统发生单相接地时, 会产生很大短路电流, 不允许单相故障点在系统中长期运行; 不接地或经消弧线圈接地系统, 在系统发生单相接地时, 产生接地电流不是很大, 为系统对地电容电流, 同时系统线电压保持对称, 不影响用户正常用电, 所以允许单相接地点在系统中长时间运行, 可减少系统停电次数。

小电流接地系统具有长时间带单相接地点运行的特性, 其表现了对用户不间断供电的良好一面, 因而在 3.3 kV、6 kV、10 kV、35 kV、66 kV 电网中得到了普遍应用。但是由于系统缺乏对单相接地故障的保护能力, 存在不足之处。如系统熄灭接地电弧能力低, 随着系统对地电容电流的增大, 常常

会发生由于单相接地故障而演变为相间短路故障, 使系统丧失长时间带单相接地点运行而不断电的能力。经消弧线圈接地系统, 受消弧线圈全补偿谐振过电压的限制, 接地点仍有残流, 并使接地电弧依然存在。如果发生人身单相触电, 由于系统不间断对接地点供电, 使触电人员不能快速脱离电源, 在系统对地电容电流的长时间作用下, 会引发人身伤亡事故。如果为间歇性接地故障, 会引发系统过电压, 易发生烧毁电气设备事故。如果单相接地是由于设备绝缘击穿造成的, 在接地电弧长时间作用下, 设备易发生严重损坏, 影响系统安全运行。

南昌电网近年来城网改造深入, 架空裸导线逐渐被电缆和绝缘导线替代, 系统电容电流急剧增加, 单相接地过电压烧坏设备事故有抬头之势。为了解决以上问题, 提高系统安全运行水平, 尝试对 10 kV 配电网中性点经小电阻接地方式的应用是必要的。为此, 结合城区内桃花坞变电站综自改造在该变电站 10 kV 系统采用中性点经小电阻直接接地, 以积

累采用中性点经小电阻接地方式后对供电可靠性的影响,故障时瞬态电压、瞬态电流对电气设备的影响、对通信的影响和对继电保护技术的要求等方面运行经验。

1 构成及特点

1.1 接地系统构成

中性点小电阻接地方式由接地变、小电阻构成。因主变 10 kV 侧为三角接线,需通过接地变提供系统中性点。接地变压器容量的选择应与中性点电阻的选择相配套,其接线见图 1。中性点接地电阻接入接地变压器中性点。

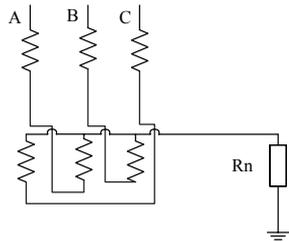


图 1 原理接线图

Fig.1 Graph of principle wiring

接地变一般采用 Z 型接地变,即将三相铁心每个芯柱上的绕组平均分为两段,两段绕组极性相反,三相绕组按 Z 形连接法接成星型接线。其最大的特点在于,首先对正序、负序电流呈现高阻抗(相当于激磁阻抗),绕组中只流过很小的激磁电流。其次,由于每个铁心柱上两段绕组绕向相反,同芯柱上两绕组流过相等的零序电流时,两绕组产生的磁通互相抵消,所以对零序电流呈现低阻抗(相当于漏抗),零序电流在绕组上的压降很小。变电站中性点接地电阻系统由接地变、接地电阻、零序互感器(有的配有中性点接地电阻器监测装置)等组成。

1.2 接地方式特点

1) 提高系统防止过电压水平^[1-2]

配电网在整个接地电容电流中含有一定成分的 5 次谐波电流,其比例高达 5%~15%,即使将工频接地电流计算得十分精确,但是消弧线圈工作在电网工频 50 Hz 下,对于 5%~15%接地电容电流中的谐波电流值还是无法补偿的,不能消除弧光接地过电压。中性点经电阻接地方式可以降低配电系统的过电压水平,从而保证配电系统电气设备安全可靠运行。根据有关 EMTP 程序计算、过电压模拟装置的实际模拟以及国内外大量电阻应用经验表明,系统内部过电压水平随着 I_R 增加而降低(I_R 为单相接地故障情况下流过中性点电阻的额定电流)。当 $I_R \approx I_C$ 时(I_C 为系统电容电流),过电压水平可降到

2.5 p.u 以下;当 $I_R \approx 2I_C$ 时,过电压水平可降到 2.2 p.u 以下;当 $I_R \approx 4I_C$ 时,过电压水平可降到 2.0 p.u 以下。

2) 具有良好的接地选线功能

小电阻接地系统中通过流过接地点的电流启动线路零序保护,可准确快速切除故障线路,缩短了故障排查时间,减少单相接地造成人身触电及相间短路发生。

3) 提高了供电可靠性

电缆为主配电网的单相接地故障多为系统设备在一定条件下由于自身绝缘缺陷造成的击穿,而且接地残流较大,尤其是当接地点在电缆时,接地电弧为封闭性电弧,电弧更加不易自行熄灭(单相接地电容电流所产生的弧光能自行熄灭的数值,远小于规程所规定的数值,对交联聚乙烯电缆仅为 5 A),所以电缆配电网的单相接地故障多为永久性故障。由于中性点经消弧线圈接地的系统为小电流接地系统,发生单相接地永久性故障后,接地故障点的检出困难,单相接地故障点所在线路的检出,一般采用试拉手段。在断路器对线路试拉过程中,有时将产生幅值较高的操作过电压,不能迅速检出故障点所在线路,继而容易发展为相间故障。这样,中性点经消弧线圈接地的系统,一方面使系统设备长时间承受过电压作用,对设备绝缘造成威胁,另一方面,使用户不断电的优势也将不复存在。而小电阻接地方式可准确快速切除故障线路,提高了供电可靠性。

4) 缺点

无论是永久性的还是非永久性的,均作用于跳闸,使线路的跳闸次数增加,影响了用户的正常供电。但对于架空线路我们已用重合闸进行校正,而电缆线路发生单相接地则多为永久性的,快速切除避免故障的扩大,利于用较短恢复供电。

1.3 接地方式适用范围

系统电缆化和架空绝缘线路所占的比例比较高,一般达到 60%以上。系统总的电容电流大于 10 A 以上。要求限制系统过电压水平较好,单相接地故障时能够快速、准确选出故障线路,杜绝单相接地故障发展为相间故障的情况。配网中单相永久性接地故障的概率占绝大多数,即远大于单相瞬时性接地故障的次数。配网结构健全,具备双电源、环网供电条件,配备高可靠性的备用电源自动投切装置。对变电站来说,属于新建变电站或系统容量今后有较大扩展的、改造中的老变电站。

2 技术应用

2.1 中性点电阻选择

桃花坞变电站 10 kV 系统为单母线分段接线, 经实测桃花坞变电站 10 kV I、II 段母线电容电流均约 35 A, 考虑近期大用户将接入, 电容电流均增至 50 A 以上。考虑一台主变检修, 另一主变带全部负荷和将来的增长, 暂按系统单相接地电容电流 100 A 进行接地电阻的选择和验证。

当 $I_c=100$ A (I_c 为系统总的电容电流) 时, 若采用中性点不接地方式, 用小电流接地选线装置或保护装置内工频量零序电流选线灵敏度毫无问题。但考虑到单相接地故障可能发展为相间或三相故障, 同时综合单相接地电容电流对设备的影响, 统筹厂站实际运行诸多因素, 采用中性点经小电阻接地方式为宜。

当 $I_c=100$ A (I_c 为系统总的电容电流) 时, 该 10 kV 配电网中性点接地电阻选择 15Ω , 即发生单相接地故障时流过电阻的额定电流 $I_R=400$ A, 其选择依据为:

1) 从降低配电网过电压水平考虑^[1-2]

系统内部过电压水平随着 I_R 增加而降低 (I_R 为单相接地故障情况下流过中性点电阻的额定电流)。但当 $I_R > 4I_c$ 以后, 降低过电压的作用已不明显且经济投资相对提高。因此从降低系统内部过电压水平及两段母线并列运行时共用 1 台中性点电阻器来考虑, 选配 $I_R \approx K \times 2 \times 2I_c$ (每段母线电容电流约为 50 A), K 为考虑系统以后发展的裕度系数, 取 1~1.5。因此取单相接地故障时流过中性点电阻的额定电流为 400 A。

2) 从保护整定考虑

当 10 kV 配网某一条线路发生单相接地故障时, 其接地故障电流理论数值为 $I^{jd} = \sqrt{I_R^2 + (I_c - I)^2}$, I 为故障线路本身的电容电流, 与整个系统总的电容电流相比, 计算时可以忽略。所以 $I^{jd} \approx \sqrt{I_R^2 + I_c^2} = \sqrt{400^2 + 100^2} = 412$ A (理论值), 实际上由于中性点电压、接地点过渡电阻等因素影响, 接地故障电流一般都达不到 412 A。

从保证继电保护灵敏度考虑, 电阻值越小即流过电阻的电流越大, 反馈到继电保护输入侧的输入量越大越好。单相接地故障电流远大于每条线路的对地电容电流, 一般都能满足零序保护的灵敏度要求。考虑接地过渡电阻, 继电保护的灵敏度会受到一定影响。按照所选的电阻值 15Ω 和根据广州、深圳、汕头、顺德等城市运行经验 (这些城市电阻

电流均选用 400 A), 当过渡电阻不是很大时, 保护的灵敏度一般都没有问题, 继电保护装置的选线准确率可达到 100%。因此, 考虑到继电保护灵敏度和接地过渡电阻的影响, 选择较大的电阻电流 400 A 是能够满足灵敏度要求的。

3) 考虑对通信的影响

从降低对通信的干扰考虑, 要求流过电阻的电流不宜选的过大。我国四部协议规定, 如通信电缆与大地间未装放电间隙时, 危险影响电压不得大于 430 V, 对高可靠线路要求不大于 630 V。目前, 上海电网取 1 000 A (6Ω), 北京、天津电网取 600 A (10Ω), 广州、深圳、厦门等取 400 A (15Ω), 其电阻运行经验已有十多年历史, 至今均未发现对通讯线路造成任何影响。因此, 桃花坞选择电阻额定通流 400 A 不会对通信线路产生影响。

4) 从人身安全考虑

中性点接地电阻的额定通流越小越好。因为中性点经电阻接地方式发生单相接地故障时, 通过故障点的接地短路电流比较大, 引起故障点地电位升高, 有可能造成跨步电压, 接触电势超过允许值。根据上海, 北京, 广州, 深圳等地的实际测量结果和应用经验, 即使在电阻电流选择 1 000 A 下, 测算出的跨步电压和接触电势也没有超出国家有关规程规定值, 且电阻运行至今也极少出现因跨步电压和接触电势过高引起的人身伤亡事故。因此选择电阻额定通流 400 A 是不会对人身安全产生任何影响的。

5) 从电缆运行允许故障电流考虑

按电力部规程, 当故障电流大于 10 A 时, 不允许电缆长期带电运行, 而要求立即准确选线并切除故障线路。从这方面考虑, 流过的故障电流大有利于保护装置迅速作出反应切除故障, 电缆线路承受的过电压时间短, 也大大减少了单相短路发展为相间短路的概率。因此 400 A 的电阻电流是能够很好满足上述要求的。

2.2 保护整定

中性点经电阻接地方式需配置专用的零序过电流保护作为系统单相接地故障情况下的保护; 同时需采用专用的零序电流互感器。桃花坞 10 kV 中性点经电阻接地系统单相接地零序保护的具体配置如下: 10 kV 系统所有馈线和电容器单元增配零序电流保护作为单相接地故障的保护, 动作于本单元断路器跳闸; 接地变增配反应单相接地的零序保护, 作为主变低压侧和母线单相接地故障的主保护和馈线单相接地的后备保护, 动作于接地变和主变低压侧断路器跳闸。

1) 10 kV 线路零序电流保护的整定^[3-4]

10 kV 线路单相接地零序电流保护的一次动作电流按躲过被保护线路本身的单相接地电容电流进行整定： $I_{dz1}=K_k \times I_{c1}$ (I_{dz1} 为保护装置的一次动作电流； K_k 为可靠系数； I_{c1} 为被保护线路本身单相接地电容电流)。因目前无法实测每条 10 kV 线路的电容电流，按馈线的电容电流 20 A 左右考虑，各馈线零序保护动作电流按： $I_{dz1}=K_k \times I_{c1}=2.5 \times 20=50$ A (已考虑躲过系统不平衡电流) 参考各地运行情况，10 kV 线路零序保护动作电流取 $I_{dz1}=60$ A，动作时限取 0.5 s。

2) 接地变压器的零序保护的整定^[3-4]

接地变压器的零序保护作为主变低压侧和母线单相接地的主保护一次动作电流按躲过各条馈线中单相接地电容电流最大的馈线单相接地电容电流来整定： $I_{dz1}=K_k \times I_{cmax}$ (K_k 为可靠系数； I_{cmax} 为系统中单相接地电容电流最大值的馈线的单相接地电容电流的最大值) 接地变压器的零序保护同时作为馈线单相接地保护的后备保护。10 kV 系统的所有馈线中，馈线电容电流最大的也按 20 A 考虑， $I_{dz1}=K_k \times I_{cmax}=2.5 \times 20=50$ A (已考虑躲过系统不平衡电流) 参考各地运行情况，动作电流取 $I_{dz1}=60$ A，接地变压器零序保护采用定时限，第一时限为 1.3 s 跳开 10 kV 分段开关 (在单台主变运行时)，第二时限为 1.6 s (同主变低后备时限) 跳开接地变和主变低压侧开关。

3 结论

2008 年结合桃花坞综合自动化改造将桃花坞 10 kV 系统改为中性点经小电阻接地方式后，大幅度降低系统过电压幅值和持续时间，提高了设备的绝缘裕度和使用寿命，提高了供电可靠性。系统运行几个月来，发生了六次单相接地故障，保护均正确动作切除故障线路。而改造前桃花坞已连续两次发生 10 kV 开关柜烧毁事故。

通过该技术的应用，我们认为小电阻接地方式在目前我们的配网确有推广的必要。小电阻接地方式可准确快速切除故障线路，缩短了故障排查时间，提高了供电可靠性，有效避免 10 kV 系统单相接地过电压烧坏设备及单相接地造成人身触电，对保证电力系统安全运行、可靠供电及群众的生命安全有着重要意义。再者通过该技术应用积累了采用中性点经小电阻接地方式的运行经验，为今后南昌城区 10 kV 配电网采用中性点经小电阻接地方式创造了条件。

参考文献

[1] DL/T620-1997 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合[S].
DL/T620-1997 setting guide for the AC electric setting matching about over voltage and insulation[S].

[2] DL/T621-1997 交流电气装置的接地[S].
DL/T621-1997 setting guide for the AC electric setting grounding[S].

[3] 电力行业标准 3 kV-110 kV 电网继电保护装置运行整定规程[M]. 北京：中国电力出版社，2007.
Setting guide for 3 kV-110 kV power system protection equipment[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2006.

[4] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护规程汇编 [M]. 北京：中国电力出版社，1997.
State Power Dispatching Center. Compliation of Power System Relay Protection Regulation[M].Beijing: China Electric Power Press, 1997.

收稿日期：2009-11-30； 修回日期：2010-01-01

作者简介：

付晓奇 (1978-)，男，工程师，主要从事继电保护生产管理工；E-mail: fxqhb@sina.com

徐粮珍 (1960-)，女，高级工程师，从事生产技术管理工作；

赵宝丽 (1980-)，女，工程硕士，从事电力系统设计工作。

(上接第 218 页 continued from page 218)

[6] 彭冰, 刘舒, 黄振. 基于共用总线的多片FPGA配置电路的设计与实现[J]. 中国新通信, 2009 (3): 71-75.
PENG Bing, LIU Shu, HUANG Zhen. Design and realization of multiple FPGA configuration circuit based on the common bus[J]. China New Telecommunications, 2009 (3): 71-75.

作者简介：

刘文亮 (1985-)，男，硕士研究生，从事电力系统继电保护及自动化方面的研究；E-mail: lwl0814@yahoo.com.cn

唐昆明 (1959-)，男，副教授，硕士生导师，从事电力系统继电保护及综合自动化方面的研究；

张太勤 (1966-)，男，高级工程师，从事电力系统继电保护及自动化产品研发。

收稿日期：2009-12-07； 修回日期：2010-01-11