

Analysis and Discussion about the Neutral Grounding Mode of the Medium-Voltage Network

Weijun Sun, Maohui Chen

State Grid Xiaogan Power Supply Company, Xiaogan

Email: 179168517@qq.com

Received: Dec. 9th, 2013; revised: Jan. 28th, 2014; accepted: Feb. 19th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

With the increasingly expanding neutral ungrounded power supply system and the increasing of the cable feeder circuit of the medium-voltage network, the single-phase grounding capacitive current is also on the rise. Consequently, altering and reasonably choosing the neutral grounding mode of the grid have been the key technical problems related to the operation reliability of power grid. And this paper will analyze and discuss about the neutral grounding mode of the grid.

Keywords

Power Supply System, Neutral Point, Ground Connection, Reliability

中压电网中性点接地方式分析与探讨

孙伟君, 陈茂辉

国网孝感供电公司, 孝感

Email: 179168517@qq.com

收稿日期: 2013年12月9日; 修回日期: 2014年1月28日; 录用日期: 2014年2月19日

摘要

针对中压电网中性点不接地供电系统的不断扩大及电缆馈线回路的增加, 单相接地电容电流也在不断

的增加。改造电网中性点接地方式、合理选择电网中性点接地方式，已是关系到电网运行可靠性关键的技术问题。文中就电网的中性点接地方式进行了分析和探讨。

关键词

供电系统，中性点，接地，可靠性

1. 概述

中压电网以 35 KV、10 KV、6 KV 三个电压等级应用较为普遍，其均为中性点非接地系统，但是随着供电网络的发展，特别是采用电缆线路的用户日益增加，使得系统单相接地电容电流不断增加，导致电网内单相接地故障扩展为事故。我国电气设备设计规范中规定 35 KV 电网如果单相接地电容电流大于 10 A，3 KV~10 KV 电网如果接地电容电流大于 30 A，都需要采用中性点经消弧线圈接地方式，而《城市电网规划设计导则》(施行)第 59 条中规定“35 KV、10 KV 城网，当电缆线路较长、系统电容电流较大时，也可以采用电阻方式”[1]。因对中压电网中性点接地方式，世界各国也有不同的观点及运行经验，就我国而言，对此在理论界、工程界也是讨论的热点问题，在中压电网改造中，其中性点的接地方式问题，现已引起多方面的关注，面临着发展方向的决策问题。

2. 中性点不同接地方式与供电可靠性

在我国中压电网的供电系统中，大部分为小电流接地系统(即中性点不接地或经消弧线圈或电阻接地系统)。我国采用经消弧线圈接地方式已运行多年，但近几年有部分区域采用中性点经小电阻接地方式，为此对这两种接地方式作以分析，对于中性点不接地系统，因其是一种过度形式，其随着电网的发展最终将发展到上述两种方式[2]。

2.1. 中性点经小电阻接地方式

世界上以美国为主的部分国家采用中性点经小电阻接地方式，如图 1 所示，原因是美国在历史上过高的估计了弧光接地过电压的危害性，而采用此种方式，用以泄放线路上的过剩电荷，来限制此种过电压[3]。

中性点经小电阻接地方式中，一般选择电阻的值较小。在系统单相接地时，控制流过接地点的电流在 500 A 左右，也有的控制在 100 A 左右，通过流过接地点的电流来启动零序保护动作，切除故障线路。其优缺点是：

- 1) 系统单相接地时，健全相电压不升高或升幅较小，对设备绝缘等级要求较低，其耐压水平可以按相电压来选择；
- 2) 接地时，由于流过故障线路的电流较大，零序过流保护有较好的灵敏度，可以比较容易检除接地线路；
- 3) 由于接地点的电流较大，当零序保护动作不及时或拒动时，将使接地点及附近的绝缘受到更大的危害，导致相间故障发生；
- 4) 当发生单相接地故障时，无论是永久性的还是非永久性的，均作用与跳闸，使线路的跳闸次数大大增加，严重影响了用户的正常供电，使其供电的可靠性下降。

2.2. 中性点经消弧线圈接地方式

1916 年发明了消弧线圈，并于 1917 年首台在德国 Pleidelshein 电厂投运至今，已有 84 年的历史，运

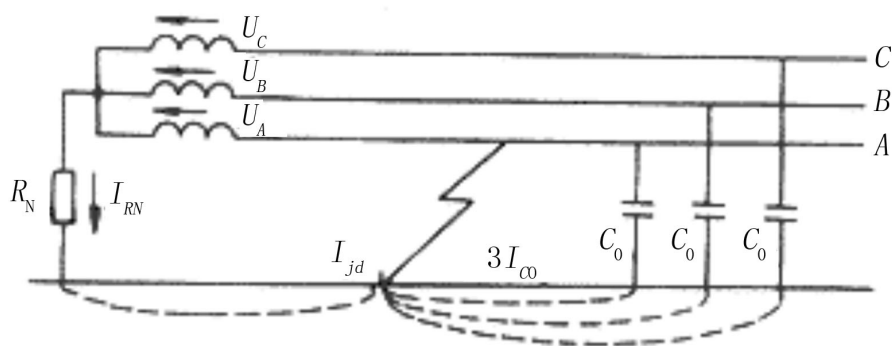


Figure 1. Neutral point by low resistance grounding mode

图 1. 中性点经小电阻接地方式

行经验表明,其广泛适用于中压电网,在世界范围有德国、中国、前苏联和瑞典等国的中压电网均长期采用此种方式,显著提高了中压电网的安全经济运行水平[4]。

系统正常运行时,由于三相电压、电流对称,中性点对地电位为0,消弧线圈上电压为0,消弧线圈中没有电流流过。当系统发生单相接地时,消弧线圈处在相电压之下,通过接地处的电流是接地电容电流 I_C 和线圈电感电流 I_L 的相量和,如图2所示。由于 I_C 超前 $U_C 90^\circ$,而 I_L 滞后 $U_C 90^\circ$, I_C 与 I_L 相位相反,在接地点相互补偿。只要消弧线圈电感量选取合适,就会使接地电流减小到小于发生电弧的最小生弧电流,电弧就不会产生,也就不会产生间歇过电压。

采用中性点经消弧线圈接地方式,在系统发生单相接地时,流过接地点的电流较小,其特点是线路发生单相接地时,可不立即跳闸,按规程规定电网可带单相接地故障运行2小时。从实际运行经验和资料表明,当接地电流小于10A时,电弧能自灭,因消弧线圈的电感的电流可抵消接地点流过的电容电流,若调节得很好时,电弧能自灭。对于中压电网中日益增加的电缆馈电回路,虽接地故障的概率有上升的趋势,但因接地电流得到补偿,单相接地故障并不发展为相间故障。因此中性点经消弧线圈接地方式的供电可靠性,大大的高于中性点经小电阻接地方式,但中性点经消弧线圈接地方式也存在着以下问题:

- 1) 当系统发生接地时,由于接地点残流很小,且根据规程要求消弧线圈必须处于过补偿状态,接地线路和非接地线路流过的零序电流方向相同,故零序过流、零序方向保护无法检测出已接地的故障线路;
- 2) 因目前运行在中压电网的消弧线圈大多为手动调匝的结构,必须在退出运行才能调整,也没有在线实时检测电网单相接地电容电流的设备,故在运行中不能根据电网电容电流的变化及时进行调整,所以不能很好的起到补偿作用,仍出现弧光不能自灭及过电压问题。

中性点经消弧线圈接地方式存在的两大缺点,也是两大技术难题,多年来电力学者致力于解决这一技术难题,随着微电子技术、检测技术的发展和运用,我国已研制生产出自动跟踪消弧线圈及单相接地选线装置,并已投入实际运行取得良好效果,现在正处在推广应用阶段[5]。

3. 单相接地电容电流

因中性点不接地方式在中压电网中,仅是一种短期的过渡方式,最终是要过度到经消弧线圈或小电阻接地方式,而在改造前要对电网中的电容电流进行计算和测量,以给改造提供技术数据。中压电网单相接地电容电流有以下几部分构成:

- 1) 系统中所有电气连接的全部线路(电缆线路、架空线路)的电容电流;
- 2) 系统中相与地之间跨接的电容器产生的电容电流;
- 3) 因变配电设备造成的电网电容电流的增值。

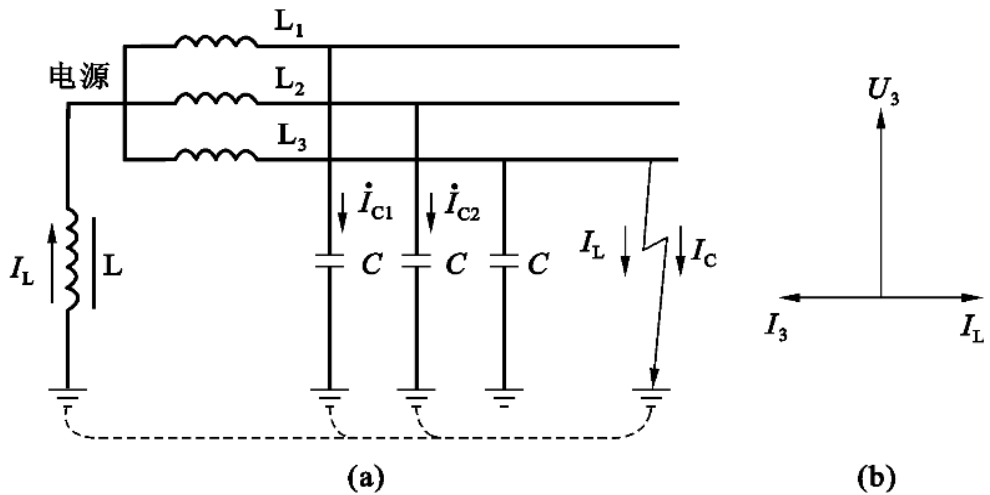


Figure 2. Neutral point arc suppression coil grounding mode
图 2. 中性点经消弧线圈接地方式

系统中的电容电流可按下式计算：

$$\sum I_c = \sum i_{c1} + \sum i_{c2} (1+k\%)$$

式中： $\sum I_c$ 电网上单相接地电容电流之和；

$\sum i_{c1}$ 线路和电缆单相接地电容电流之和；

$\sum i_{c2}$ 系统中相与地间跨接的电容器产生的电容电流之和；

$K\%$ 配电设备造成的电网电容电流的增值(10 KV 取 16%、35 KV 取 13%)。

在对电网上单相电容电流计算的基础上，为了准确选择和合理配置消弧线圈的容量，对系统运行中单相电容电流进行实测是十分必要的，微机在线实时检测装置为实测网上单相电容电流提供了快速准确的手段，其原理是，检测系统的不平衡电压 E_0 ，并以一定的采样周期检测线电压 U_{AB} ，中性点位移电压 U_0 及中性点位移电流 I_0 ，根据下式计算出单相接地电容电流。

$$E_0 = U_0 + I_0 \times X_c$$

式中 X_c 为系统对地容抗。

因 $X_c = (E_0 - U_0) / I_0$ ，则

$$I_c = U_{\text{相}} / X_c = U_{\text{相}} I_0 / (E_0 - I_0)$$

式中 I_c 为单相接地电容电流。

单相电容电流的检测也可以采用偏置电容法和中性点外加电容法，在测试中，可以选用几种不同容量的 C_f (所加的偏置电容) 测出几组数据，利用移动平均值获得单相接地电容电流，以减少测试中的误差。

4. 微机控制消弧装置

人工调谐的消弧线圈，因不能随着电网的运行实时调整补偿量，这样就不能保证电网始终处于过补偿状态，甚至导致系统谐振，并难以将故障发生时入地电流限制到最小。我国研制微机自动跟踪消弧装置始于 80 年代，现已不断完善形成系列产品，并配套接地自动选线环节，有效的解决了中性点经消弧线圈接地方式的电网，长期难以解决的技术问题。该装置的 Z 型结构接地变压器，具有零序阻抗小，损耗低，并可带二次负荷，其可调电抗器为无级连续可调铁芯全气隙结构，具有调节特性好、线性度高、噪声低等特点，装置采用消弧线圈串电阻接地方式，以抑制消弧线圈导致谐振的问题，其微机控制单元是

实现自动跟踪检测、调节、选线的核心，系统的响应时间小于 20 s，由过补、欠补、最小残流三种运行方式。

装置在运行中计算机周期采样，以获得电网运行的适时参数，计算机对系统电容电流、残流进行计算，根据设定值与计算值的偏差自动调整电抗器的电感量，从而实现消弧线圈运行在设定值上[6]。选线装置是通过计算机对线路零序电流的采样，计算机根据采样电流的幅值和方向判断接地线路，可达到准确及时的检出有接地故障的线路。

5. 结束语

中压电网的中性点接地方式在国内也有不同的观点，并已成为电网改造中的一个热点问题，根据我国多年的运行经验及科学技术的进步，解决了中压电网中性点经消弧线圈接地系统长期难以解决的技术难题。自动跟踪消弧线圈及接地选线装置的不断完善和推广应用，为中压电网中性点经消弧线圈接地提供了技术保障。为此，在我国采用中性点经消弧线圈接地方式是我国中压电网的发展方向。

参考文献 (References)

- [1] 陆国庆, 姜新宇, 梅中健, 周良才, 芮冬阳, 师冬霞, 陈锐 (2004) 配电网中性点接地的新途径. *电网技术*, **2**, 7-9.
- [2] 要焕年, 曹梅月 (2003) 电缆网络的中性点接地方式问题. *电网技术*, **11-13**.
- [3] Li, Y.G. and Shi, W. (2003) A systematical method for suppressing ferroresonance at neutral-grounded substations. *IEEE Transactions on Power Delivery*, **2**, 51-53.
- [4] Burke, J. and Marshall, M. (2003) How important is good grounding on utility distribution systems. *Rural Electric Power Conference*, **4**, 25-27.
- [5] Folliot, P., Boyer, J.M. and Bolle, S. (2001) Neutral grounding reactor for medium voltage networks. *16th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution*.
- [6] Wishtibeev, A.V. (2003) About duration operate of resistor for neutral grounding. *Science and Technology, Proceedings of the 7th Korea-Russia International Symposium*.