

Z型变在中性点经小电阻接地电网中的应用

贺春¹, 刘力军², 谢颂果¹, 李伟³

(1. 天津高压供电公司, 天津 300171; 2. 河北经贸大学信息技术学院, 河北 石家庄 050000; 3. 北京送变电公司, 北京 102401)

摘要: 接地变最大的功能就是创造了一个中性点用来连接接地电阻,使不接地系统能够将中性点集聚的多余电荷快速地释放掉,从而限制了内部过电压倍数。系统经接地变接地后,装设的接地保护对零序电流具有足够的灵敏度,为快速切除接地故障提供了可能性。从Z型变结构特点入手,讨论了中性点不接地系统经Z型变及小电阻接地后限制间歇性弧光过电压的原理,Z型变主要安装形式,Z型变及接地电阻选型。并讨论了经Z型变接地后,反映系统单相接地的保护配置,以及对主变压器差动保护的影响及对策。

关键词: Z型变; 小电阻; 接地; 接地保护; 电力系统

中图分类号: TM773 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)14-0015-05

0 引言

对于 35 kV 以下小电流接地电网来说,系统电容电流大到一定程度时,接地故障所产生的接地电流及其弧光过电压将最终不能熄灭。在弧光过电压作用下,系统就可能出现单相接地故障发展成相间短路、PT 高压熔断器熔断等现象。因此,随着城市中电缆线路不断增加,采取措施限制弧光过电压的影响就显得尤为重要。目前限制方案主要有两种:一是供电变压器中性点经消弧线圈接地,对容性电流进行感性补偿;另一种则是供电变压器中性点经接地电阻接地,加速泄放回路中的残余电荷,促使接地电弧自行熄灭。对于后一种方案,在限制过压的同时,还可以通过加装零序电流保护,实现有选择的跳闸并隔离故障。由于变压器在 35 kV 及以下配网侧多为三角接线,因此就需要通过接地变压器来实现人工接地。接地变压器的形式有多种,其中 Z 型变因其特有的结构形式得到了广泛的应用。

1 接地变的形式及 Z 型变结构特点

1) 接地变压器的主要形式

接地变的最大功能就是传递接地补偿电流。而接地补偿电流实际上是一种零序电流,它只能在零序阻抗非常小的网络中畅通。要使消弧线圈或接地电阻所产生的补偿电流能够顺利通过接地变,接地变的零序阻抗就要非常小。符合这一要求的变压器结构形式主要有: Z_0 , Z_0/Y_0 , $Y_0/$, Y_0 开口 等形式,分别见图 1~3。由于结构上的特殊性,Z型变得到了广泛的应用。本文即主要讨论这种接地变的相

关问题。

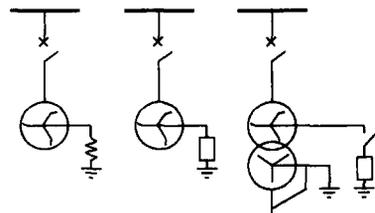


图 1 Z型接地变的接线形式

Fig 1 Zigzag grounding transformer

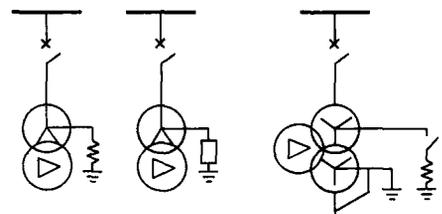


图 2 $Y_0/$ 型接地变的接线形式

Fig 2 $Y_0/$ grounding transformer

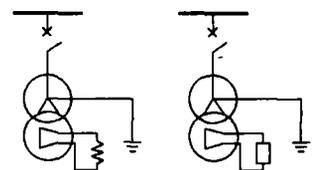


图 3 Y_0 开口 型接地变的接线形式

Fig 3 Y_0/N grounding transformer

2) Z型变的绕组结构及特点

Z型变为三柱六绕组结构,其结构及绕组连接情况如图 4所示。由图 4可见接地变三相铁芯的每个芯柱上的绕组被平均分为两部分,然后按照图中接线方式反极性串联成星型绕组。这样的结构使得

Z型变具有较高的正序、负序阻抗。同芯柱上两个绕组流过相等的零序电流时,两个绕组产生的磁通相互抵消,所以零序阻抗只相当于漏抗,其值不大。因此,在系统正常运行时接地变阻抗很高,等于励磁阻抗,绕组中只流过很小的励磁电流。当系统发生接地故障时,因零序阻抗很小,绕组将流过较大的零序电流。

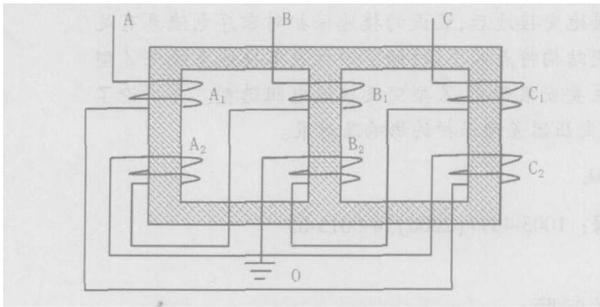
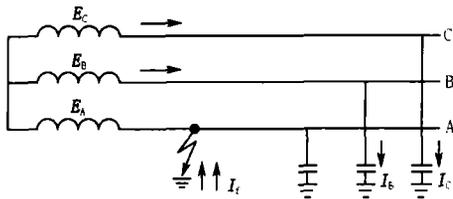


图 4 Z型变绕组结构示意图

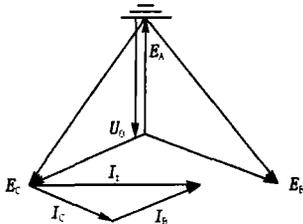
Fig 4 Construction of zigzag transformer

2 Z型变经电阻接地限制弧光过电压的原理

1) 弧光过电压产生机理



(a) 简单系统接线图



(b) A相接地时向量图

图 5 简单系统 A相接地时向量图

Fig 5 Vector diagram with phase A grounded in a simple power system

对中性点不接地系统而言,在单相金属接地时非故障相电压升为线电压,如图 5 所示。如果单相接地为不稳定的电弧接地,则在电网健全相和故障相上将产生很高的弧光过电压。实际上电弧能否熄灭是由电流过零时间隙中抗电强度的恢复和加在间隙上的恢复电压所决定的。在如图 5 (a)所示情况

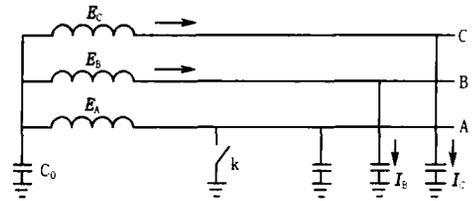


图 6 单相接地等效图

Fig 6 Equivalent circuit of single phase earth fault

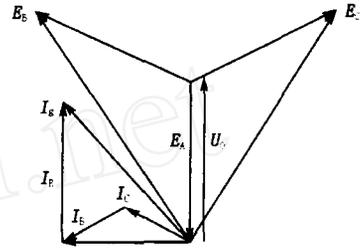


图 7 A相接地时向量图

Fig 7 Vector diagram of phase A grounded

下,我们假设电弧在工频电流过零时熄灭,并且不考虑过渡过程的衰减,残余电荷的泄漏以及相间电容的降压作用、燃弧相位不同等因素,可以认为在电弧发生前瞬间接地相电压处在最大值,即电压和电流具有如图 5 (b)所示的相角关系。那么我们现在就可以通过图 6对过电压的产生作一个粗略的说明。当开关 k 合上时表示 A 相第一次接地,此时发生 A 相线路对地放电, B、C 相通过电源电感对线路充电。根据电路的等效原理,我们将充电过程等效为对中性点电容 C0 的充电。在开关 k 打开后即第一次息弧后,短时间内电容 C0 上的电荷由于缺乏泄放路径将维持不变,相应电压将叠加在系统三相电源上。正是这个附加电源的存在,当 k 再次合上,即半个工频周期后发生的电弧复燃暂态过程中,在相电压与弧光电流相位存在大致 90 角关系下,会使故障相电压最大值升高到约 2 倍正常值,而非故障相电压最大值升高到约 3.5 倍正常值。因此弧光过电压的根本原因在于电网中性点的电位偏移,也即电网中性点的电荷积累^[1]。

2) Z型接地变经小电阻接地限制过电压原理

小电阻接地限制过电压的原理就在于通过 Z 型变构成的人工中性点引入接地电阻,将图 6 中的中性点电容短接,在接地点注入电阻性电流,改变接地电流相位,加速泄放回路中的残余电荷,促使接地电弧自熄灭,从而限制过电压。图 7 为经 Z 型变接地后系统单相接地向量图。其中 I_g 为短路电流, I_k 为经由电阻 R 注入的阻性电流。图 8 为经 Z 型变

接地后线路单相接地时故障电流在系统中的分布图。依图中可见,线路1发生单相接地后,流经开关1的零序电流较大,该处零序电流保护可以足够灵敏地快速切除故障线路,将故障隔离,并通过重合闸来实现瞬时性故障后的再供电。

线路1发生单相接地后,流经开关1的零序电流较大,该处零序电流保护可以足够灵敏地快速切除故障线路,将故障隔离,并通过重合闸来实现瞬时性故障后的再供电。

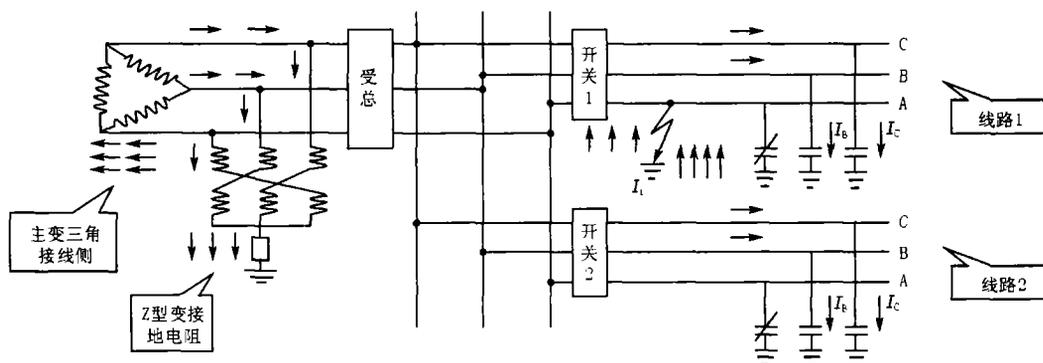


图8 单相接地时电流分布图

Fig 8 Current distribution approach when single phase fault

3 Z型接地变的设置方案及选型

1) Z型变的设置方案

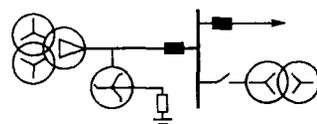
Z型变的设置方案要综合考虑一次系统主接线方式及运行方式,一般来讲,有两种方案可选。

方案1: Z型变与所用变分开。Z型变接于主变压器出口处,所用变单独占用一个配电间隔。这种接线方式,使接地变的运行不受所用变低压侧的影响,接地系统运行稳定。此时,主变与Z型接地变视为一体,Z型变故障联跳主变三侧开关。这种配置的缺点在于一次设备需要较大的投资,适用于重要地区供电的变电站。接线如图9(a)。

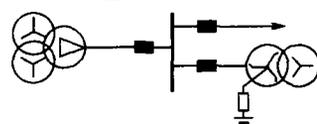
方案2: Z型变与所用变合二为一。对于改造工程可在Z型接地变与系统之间加装开关及保护,接地变故障时视系统运行方式可只跳该开关或联跳变压器低压侧开关,接线如图9(b);对于新建项目可将Z型变接于变压器侧,接地变故障时联跳主变三侧开关,接线如图9(c)。该方案可节省投资,但所用变负荷线故障,会增加Z型变跳主变三侧开关的几率,适用于35kV及以下站。

一般来说,变电站内各台主变都要加装Z型变并经小电阻接地。若变电站侧系统为双母接线并列运行或高压侧母线分段开关具有备自投时,则Z型变与主变接线之间须加装断路器(或快速隔离开关)以便能够自由投退适应系统运行方式的变化。Z型变投退原则是:侧分列时,Z型变均投入;侧并列时,只投入一组Z型变及电阻,以满足系统一点接地的要求。因为不接地系统在单相接地情况可以运行1~2个h,所以上述对Z型变的投退

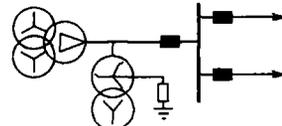
可由运行人员手动完成。即便如此,在该过程中若系统恰好发生接地故障,会发生带故障电流拉合刀闸的事故。为此可以采用电动操作的隔离开关,在隔离开关的拉、合电气回路中接入该侧母线零序电压闭锁接点。



(a) Z型变与所用变分设



(b) Z型变与所用变合二为一并占用独立间隔



(c) Z型变与所用变合二为一且不单独设置断路器

图9 Z型接地变设置方案

Fig 9 Possible arrangement schemes of zigzag grounding transformer

2) Z型变的选型

国内外大量研究表明,当中性点电阻上流过的单相接地电流等于系统电容电流时,可以将间歇性弧光过电压倍数限制在2.5倍以内。当中性点电阻上流过的单相接地电流等于4倍系统电容电流时,可将间歇性弧光过电压倍数限制在2倍以内。为此,接地电阻选择多以电阻电流为2~3倍计算用电容电流为宜。计算用电容电流依据实测电容电流确

定并适当考虑电网发展引起的可能电容电流。Z型变型号的选择主要考虑其长期热稳定要求及短时过流倍数限制。表 1 列出了根据 IEEE - C62.92.3 标准做出的过载倍数的规定,其中过载倍数 $k = \text{短时电流} / \text{额定电流}$ 。因此,Z型接地变可依据下式进行选择,其中 I_R 为电阻电流, I_C 为未补偿电容电流, k 为 Z型变过载倍数, U_x 为系统相电压, I_{ZN} 为 Z型变额定电流, S_N 为 Z型变额定容量。若 Z型变具有二次绕组,则 Z型变容量为该公式计算结果与二次容量之和。

$$\begin{cases} I_R = (2 \sim 3) I_C \\ R_n = U_x / I_R \\ I_{ZN} = I_R / (3 \cdot k) \\ S_N = 3 \cdot U_x \cdot I_{ZN} \end{cases}$$

表 1 Z型变过载倍数表

Tab 1 Overload quotiety of zigzag transformer

过载时间	过载倍数
10 s	10.5
60 s	4.7
10 min	2.6
30 min	1.9
2 h	1.4

4 小电阻接地保护整定配合原则

经小电阻接地后,原系统单相接地保护就可由 Z型变、主变受总、线路、用户等各级零序电流保护构成,如图 10。接地变中性点保护作为主变至受总开关间单相接地短路的主保护及线路、母线单相接地短路的后备保护,跳主变各侧开关;主变受总设置零序电流保护作为母线单相接地的主保护及线路的后备保护,在低压母线故障时只跳低压受总开关,可保持对 Z型变 所用变供电;线路出口处设置的零序电流保护用来保护全部线路并作为用户站内单相接地短路的后备保护;用户站内的零序电流保护可保护入户线至用户变压器高压套管之间的线路。相同地点的接地保护和相间保护采用一样的时延,这样就可以不考虑线路发生相间故障时对零序电流保护的影响^[2]。零序电流多以零序电流滤过器取得,因此各出线、Z型变都应配置三相 CT。

对 Z型变自身的保护多以过流保护为主保护。取相间电流为动作量进行判断,以滤去外部短路时零序电流分量的影响,从而只反应 Z型变自身故障。在不单独设置 Z型变零序电流保护时可由 Z型变三相 CT直接接成角形连接滤去零序分量后引至保护装置中。

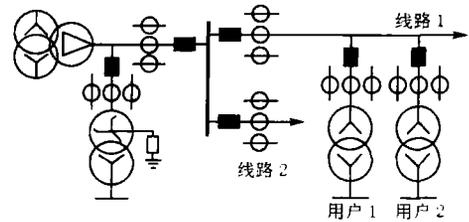


图 10 系统单相接地保护配置示意图

Fig 10 Protection configuration of single phase grounded fault

5 变压器保护受接地变的影响及对策

当 Z型变接于主变 出口处并且与所用变合二为一时(如图 10所示),所用变低压侧系统故障将对主变差动保护造成影响。另外主变压器低压侧系统发生单相接地故障时,将有故障电流通过该侧受总开关流向接地变。对主变差动保护而言,这一电流会在差动回路中产生差流,进而可能引起保护误动。为避免上述情况对主变差动保护的影响,人们提出了多种方案。这些方案包括 Z型变配置差动 CT、抬高差动定值以及软件滤除零序分量方法等。文献 [3] 提出了利用 Z型变中性点零序 CT,将零序电流作为制动量引入变压器差动计算中以消除外部接地产生的零序电流对变压器差动保护的影响。笔者认为该方法实质上同 Z型变配置差动 CT 的方法一样,同样具有不便于利用负荷电流校验极性的缺点。即便通过算法将 Z型变中性点 CT 电流量以标量的形式参与到主变差动计算中,该方法依然需要考虑主变低压系统不完全对称在 Z型变中性点 CT流过的零序电流的干扰。这种干扰实际上增加了主变差动保护的制动量,本质上是抬高了差动定值,影响了主变差动保护的灵敏度。因此笔者认为消除接地变对主变差动保护的影响,需视 Z型变的安装形式而定。对当 Z型变接于主变 出口处并且与所用变合二为一时,为 Z型变配置差动 CT 为好。此时可以所用变负荷电流检验差动 CT 极性。对于 Z型变与所用变分开的情况,利用软件滤除零序电流分量的方法还是较为实用。尽管该方法会使主变相电流稳态差动保护对大电流侧接地故障的灵敏度降低,但对具有主变突变量差动保护来说依然具有足够的灵敏度。

6 小结

接地变最大的功能就是创造了一个中性点用来连接接地电阻。当 35 kV 及以下原中性点不接地系统发生接地故障时,通过 Z型变及小电阻,系统能

够将中性点集聚的多余电荷快速地释放掉,避免了其在间隙电弧时对振荡的放大作用,从而限制了内部过电压倍数。系统经接地变接地后,装设的接地保护对零序电流具有足够的灵敏度,为快速切除接地故障提供了可能性。经 Z型变接地方式不仅能够抑制弧光过电压,同样能够完全抑制电网中因电压互感器磁饱和引起的铁磁谐振过电压,提高了一部分绝缘较弱设备的安全性。另外这种接地方式对电容电流的变化及电网的发展适应范围很大。当然,系统经这种方式接地后,线路开关跳闸次数会明显增多。当配电变高低压侧接地网共为一体时,高压侧接地电流将影响到低压系统的电位,从而对通信设备造成影响。

参考文献:

- [1] 周泽存. 高电压技术 [M]. 北京:水利电力出版社, 1987.
ZHOU Ze-cun The Technology in High Voltage Field [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1987.
- [2] 李延强,李锦敏,贾常朱,等. 天津配电网低电阻接地

保护方式及整定计算的探讨 [J]. 继电器, 1998, 26 (2): 38-42

LI Yan-qiang, LI Jin-min, JIA Chang-zhu, et al Discussion on Low Resistance Earth Protection Mode and Its Setting Calculation in Tianjin Distribution Network [J]. Relay, 1998, 26 (2): 38-42

- [3] 于立涛. 35 kV 配电网中性点经小电阻接地改造方案分析 [J]. 继电器, 2004, 32 (16): 57-59.

YU Li-tao Analysis of Improving Scheme for Grounding via Low Resistance in 35 kV Distribution Network [J]. Relay, 2004, 32 (16): 57-59.

收稿日期: 2006-01-05; 修回日期: 2006-04-04

作者简介:

贺春 (1976 -),男,硕士,工程师,主要从事电力系统继电保护设备安装调试及运行维护工作; E-mail: hechun01@163.com

刘力军 (1968 -),女,硕士,讲师,研究方向为电子技术;

谢硕果 (1974 -),男,工程师,主要从事继电保护工作。

Application of zigzag grounding transformers in the power system with low resistance via neutral grounding

HE Chun¹, LU Li-jun², XIE Song-guo¹, LI Wei³

(1. Tianjin High Voltage Power Supply Company, Tianjin 300171, China;

2. Information and Technology College, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang 050000, China;

3. Beijing Electric Power Transmission and Transformation Company, Beijing 102401, China)

Abstract: This paper introduces the characteristic of configuration of zigzag grounding transformers. Based on that, the mode of zigzag grounding transformers in distribution network with low resistance via neutral grounding is presented. It analyzes the principle of the mode limiting overvoltage due to intermissive arc grounding, the mounting position of zigzag transformers and arrangement principle of earth protection in the distribution network. Moreover, the influence to transformer differential protection in this mode is discussed and some countermeasures are proposed.

Key words: zigzag transformer; low resistance; grounding; earth protection; power system

(上接第 6 页 continued from page 6)

Application of Hilbert-Huang Transform in power system fault detection

LU Yi-hua¹, ZHAO Guang-zhou²

(1. Ningbo Institute of Technology, Zhejiang University, Ningbo 315100, China;

2. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Hilbert-Huang Transform (HHT) has been proved to be a good method for analyzing nonlinear and nonstationary signals. This paper introduces HHT into the fault measurement of power system. The fault signal is firstly decomposed into intrinsic mode function (IMF) by the EMD method. Then instantaneous frequency and instantaneous amplitude is obtained by Hilbert transform to compose Hilbert spectrum. Thus the transient caused by fault can be analyzed and further detected accurately through the instantaneous frequency and the time-frequency-amplitude spectra analysis. Simulations show that the HHT-based method is accurate at fault location and fault message abstraction, which enhance the reliability of fault detection.

Key words: Hilbert-Huang transform (HHT); empirical mode decomposition (EMD); instantaneous frequency (IF); power system; fault detection