

关于经电阻接地小电流接地系统的研究

林涛

(青岛供电公司调度处, 山东 青岛 266002)

摘要: 重点分析了电网在发生单相接地故障时的电流分布, 讨论了在不接地系统中增加接地点的可能性以及增加接地点的方法, 并对各种现有的方法进行了分析, 最后提出了增加接地变压器的可行方案和对于此系统继电保护整定的要求, 以实现低压系统发生单相接地故障时, 通过保护装置跳闸切除故障, 防止损坏一次设备的事故发生。

关键词: 接地变压器; 经电阻接地系统; 零序保护整定

中图分类号: TM711, TM722 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2004)11-0060-03

0 引言

近年来, 随着城市建设和供电业务的迅速发展, 改造和新建的 35 kV 电网主要采用地下电缆方式供电, 这使电网对地电容电流大大增加, 系统(不接地系统)发生单相接地故障时的故障电流也变得较大, 非故障相的电压升高极易造成一次设备的损坏(如电缆接头等)。当前主要有两种方式来解决此种问题: 一是采用中性点增加消弧线圈的方法, 利用感性元件来补偿容性元件; 二是采用增加接地电阻形成零序回路的方法, 利用故障时产生的零序电流来切除故障。如果采用消弧线圈接地, 则需要较大的补偿容量, 而且要配置多台。此外, 35 kV 配电网线路在运行中操作较多, 消弧线圈的分接头及时调整有困难, 容易出现谐振过电压现象。因此许多城市的 35 kV 配电网中采用了增加接地变压器(对于角型侧)或直接实行变压器中性点经小电阻接地的运行方式来解决这一问题, 本文主要针对此种类情况进行研究。

1 单相接地故障的分析

首先应明确发生单相接地时系统电流的分布情况, 对于一般的单相接地故障, 设正常时电网内的阻抗是对称的, 电源电动势三相也是对称的并且是纯正弦交流电压。

当电网某点 P 发生单相接地时, 系统皆可用图 1 等效表示^[1]。

使用对称分量法可得故障点处得电流电压关系如下:

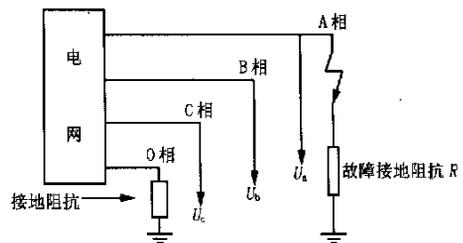


图 1 单相接地时的简化网络图

Fig. 1 Simplified network when single-phase earth fault

$$\begin{cases} I_A = I_{A1} + I_{A2} + I_0 = I_{\text{故障}} \\ I_B = \partial^2 I_{A1} + \partial I_{A2} + I_0 = 0 \\ I_C = \partial I_{A1} + \partial^2 I_{A2} + I_0 = 0 \end{cases} \Rightarrow I_{A1} = I_{A2} = I_0 \Rightarrow I_{\text{故障}} = 3 I_0 \quad (1)$$

这说明故障处的正、负、零序稳态电流皆相等, 因为各个序的电流只产生对应此序的电压降, 故应用基尔霍夫第二定律对故障相可写出以下方程:

$$I_0 = \frac{E}{3R + Z_0 + Z_1 + Z_2} \quad (2)$$

除电机以外的所有元件都可以认为负序阻抗与正序阻抗相等, 而零序阻抗则需根据不同情况分别进行分析。

若电网不接地运行(接地阻抗为无穷大), 可足够准确地认为零序电流 I_0 和零序电压 U_0 只取决于零序阻抗 Z_0 以及电弧电阻 R ; 零序阻抗中对应泄漏电导的有功电流约为电容电流的 2%, 当忽略有功分量后得到 $Z_0 \approx 1/jC$ (C 为电网每相的对地电容), 根据上面的零序电流计算公式可知系统中故障相零序电流

$$I_0 = \frac{E}{3R + \frac{1}{jC}} = \frac{jCE}{1 + j3RC}, \text{ 即不接地}$$

(或小电流接地)系统中的单相接地短路情况下,非故障线路 $3I_0$ 的大小等于本线路的接地电容电流,故障线路 $3I_0$ 的大小等于所有非故障线路的 $3I_0$ 之和,也就是流过故障线路故障相的电流等于全系统此相的电容电流之和。

若系统接地运行则可直接利用对称分量法,带入故障的边界条件($U_A=0; I_A=I_C=0$)后,转换为故障相(以A相为例)各序网的边界条件,把边界条件带入式(2)中,即可得到故障电流的表达式如式(3),此时的接地阻抗已经分别记入了各序网的总阻抗中。

$$\begin{cases} U_{A1} + U_{A2} + U_{A0} = 0 \\ I_{A1} = I_{A2} = I_{A0} \end{cases} \Rightarrow I_0 = \frac{E}{3R + Z_0 + Z_1 + Z_2} \quad (3)$$

由此可见在不接地系统中的故障电流要远远小于接地系统。

2 各种接地变压器的分析

由于现在 35 kV 线路电缆化率较高,而电缆线路的电容电流较架空线路高出几十倍甚至上百倍,从单相接地故障的电流电压分析可知,一旦发生接地故障,故障相流过的电容电流非常大。在这种情况下如果不能快速地切除故障极有可能由单相故障发展为两相或三相故障。最佳的方案就是增加接地点以实现线路的零序保护,由保护装置快速地切除故障。

对于接于主变星形侧的系统可直接考虑在星形侧中性点增加接地电阻,只需考虑合适的电阻值即可,但是对于由主变角形侧供电的系统,则必须考虑在母线外加接地点才可能形成接地系统。目前可用于接地的变压器主要有 Y/ 形、Y/Y 形、Z/Y 形几种,针对各种不同的变压器,有时需考虑变压器的零序阻抗在某些情况下还包括二次侧绕组的单相负载阻抗,下面是这几种变压器的简要接线图和零序阻抗的工程等值图^[2]。

1) 中性点接地变压器的 Y/ 形接线变压器,其变压器负载不影响零序阻抗的大小。

$$\text{其等值阻抗 } Z_n = z_{s1} + \frac{z_{s2} \cdot z_m}{z_{s2} + z_m} + z_g$$

2) 双侧都是中性点接地的 Y/Y 形接法变压器,主变二次侧负载阻抗 Z_2 对于零序阻抗有影响,不可忽略。其等值阻抗 $Z_n = z_{s1} + \frac{z_m \times (z_{s2} + z_2)}{z_m + z_{s2} + z_2} + z_g$ 。

3) Z/Y 形接法变压器当每相串联的 2 个线圈

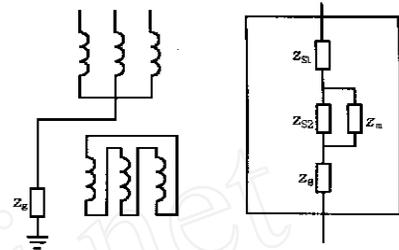


图 2 Y/ 形接线变压器等效图

Fig. 2 Equivalent diagram of Y/ transformer connection

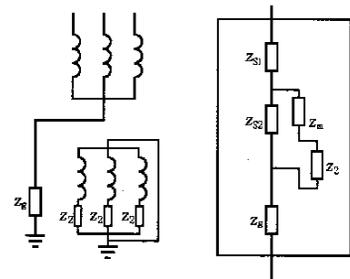


图 3 Y/Y 形接线变压器等效图

Fig. 3 Equivalent diagram of Y/Y transformer connection

的匝数相等时,两个线圈间以及它们对二次绕组的零序互磁通为零,因此 Z_m 、 Z_2 不影响零序阻抗。其等值阻抗 $Z_n = z_{s1} + z_g$ 。

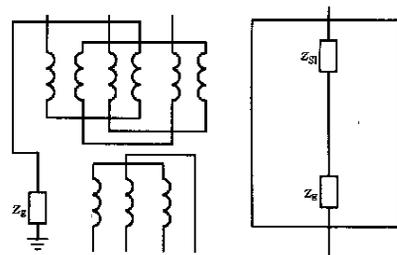


图 4 Z/Y 形接线变压器等效图

Fig. 4 Equivalent diagram of Z/Y transformer connection

从各种变压器的等值阻抗图可以看出,使用 Z/Y 形变压器由于其自身零序接地阻抗计算简单,不易受二次侧负载影响的优点,成为接地变压器的主要种类。

3 零序电流整定计算的相关问题

对于小电流接地系统的零序电流整定计算和接地电阻阻值的计算至今尚无具体的整定算法,由以上的公式可知对于零序电流的整定主要由中性点对地阻抗(包括接地变压器自身的阻抗和外接的接地电阻)决定,而选取接地阻值的主要整定原则有 3 条:

1) 从限制间歇电弧接地过电压角度选中性点

电阻值

电弧接地时,在电弧点燃熄灭过程中系统积累多余的电荷从而产生很高的过电压,若能使这些电荷在从电弧熄灭到重燃前的一段时间内通过中性点电阻泄漏掉,过电压就能降得很低。电阻值越低,过电压也越低,当 $R_g < (1 \sim 2) \frac{1}{3j} C$ 时,过电压就不超过 2.1 倍相电压了;当 $R_g = 1/3j C$ 时,半个周期内电荷基本上可以泄漏干净^[2],当然阻值过低相应的零序电流也就越大。

2) 从限制单相接地的故障电流角度来选取中性点电阻值

若选取的中性点阻值过小,则发生单相接地故障时的故障电流可能很大。例如:设电网的阻抗 $X_1 = X_2 = X_0$,此时取中性点电阻 $3R_g = X_1 = X_2$,单相金属性接地短路时的故障电流 $I_g = 3I_0 =$

$$\frac{3E}{\sqrt{(X_1 + X_2 + X_0)^2 + (3R_g)^2}} = \frac{3\sqrt{10}E}{10X_1}$$

三相短路电流的 95%,接地电流过大容易对人身安全造成威胁,一般情况下应限制单相接地时的故障电流不超过 300 A^[3]。

3) 从限制通信干扰角度来选取中性点电阻值

现在日本电力系统中性点电阻值的选取即以此为主要依据。很显然,若中性点电阻值太低,则单相接地电流大,对通信线路干扰大;反之则降低了零序保护的灵敏度使得继电保护装置运行不可靠。根据运行经验对于 35 kV 电压等级,中性点电阻中的电流在 100~200 A 时,对通信线路的干扰很小可以忽略。

以上的 3 条主要原则之间有相互限制的作用,接地电阻的选择与保护装置的整定之间也存在一定的相互制约关系。实际运行中可采用可调阻值的接地电阻,同时整定零序保护不跳闸而发信号,通过一段时间的运行来确定合理的接地电阻阻值以保证零序定值可以满足各个原则的要求。

4 保护的配置方式

对于变压器而言,由于所带母线上的设备(如:线路、电容器、电抗器等)增加了零序保护,因此变压器也应增加一级零序保护作为线路零序保护的后备。

变压器零序保护可直接从中心点引入。若电源变压器为角形接线,则零序保护从接地变压器的中性点引入电流。主变零序后备保护的时限应按躲过

相间故障时的不平衡电流考虑,即零序保护时间定值可以比本侧的相间过流保护高一个级差。应注意对于以上所说的两种不同接线的主变零序保护,其跳闸逻辑是不同的:安装在中心点的零序保护其保护范围包括部分电源侧变压器,零序保护应经过延时跳开变压器各侧开关;安装在接地变中性点的零序保护的保护区不包括电源侧变压器。

若使用增加接地变压器的方式,还应考虑对于接地变本身增加电流保护和零序保护,以保证接地变本身故障时能快速地切除故障。

综上所述,由于经电阻接地系统的特殊性,其接地故障电流数值与负荷电流数值相差不大,故对零序保护原则上不要求速动。同时由于电阻接地系统不允许失去接地点运行,因此当接地变或中性点电阻失去时,必须跳开相应主变同级开关,以下为两种主要的经接地变接地的主变接线方式及零序保护配置方式。

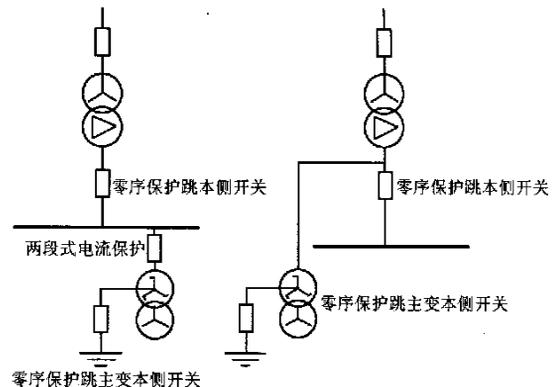


图 5 两种典型的保护配置方案

Fig. 5 Typical schemes of zero sequence protection allocation

5 结论

对于 35 kV 及以下电网,系统经电阻接地、经线圈接地以及不接地各有利弊。但是随着线路电缆化率的进一步提高,经电阻接地方式体现出了一定的优越性。其优点主要表现为:系统单相接地时,非故障相电压不升高或升幅较小,对设备绝缘等级要求较低;接地时,由于流过故障线路的电流较大,可以比较准确、快速地切除接地线路。正确选择中性点的接地方式,是优化电力系统运行特性的前提。不同的电网特性,应采用不同的方式。在处理中性点接地方式的问题时,应增强实践的观点,以便更好建设与改造我们的电网。

(下转第 67 页 continued on page 67)

组件,组件对象具有很好的封装性便于维护,同时它 also 具有很好的重用性。模拟实验表明组件对象可以很好地完成数据的接收存储。

参考文献:

- [1] Leinecker R C. Visual C++6 宝典(Classics of Visual C++ 6). 北京:电子工业出版社(Beijing:Publishing House of Electronics Industry),1999.
- [2] Don B. COM 本质论(Core Technique of COM) [M]. 潘爱民,译(PAN Ai-min, Trans). 北京:中国电力出版社(Beijing:China Electric Power Press),2001.
- [3] 盛寿麟(SHENG Shou-lin). 电力系统远程监控原理(Remote Monitoring and Controlling Theory of Power System) [M]. 北京:中国电力出版社(Beijing:China Electric Power Press),1998.
- [4] 王强,韩英铎(WANG Qiang, HAN Ying-duo). 电力系统

厂站及调度自动化综述(Survey of Power Plant and Substation Automation and Automation of Power System Dispatching) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems),2000,24(5):61-69.

- [5] 王海猷,贺仁睦(WANG Hai-you, HE Ren-mu). 基于多线程的变电站综合自动化监控主站(Multithread-based Host for Monitoring and Controlling in Integrated Substation Automation) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems),1999,23(4):42-44.

收稿日期: 2003-08-21; 修回日期: 2003-09-28

作者简介:

刘艳华(1978-),女,助工,从事电力系统自动化的设计研究工作;

王 渺(1940-),女,教授,从事电力系统自动化的研究工作。

Application of COM technique in protocol transform

LIU Yan-hua¹, WANG Miao²

(1. Electric Power Design Institute of Guangdong Province, Guangzhou 510600, China;

2. Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: With the development of dispatching automation system, it presents many new requirements to data sharing. In this paper, COM technique is introduced into protocol transform in substation rebuilding, and its implementation is also presented. The proposed method will make the software codes reused, extensive and well-maintained.

Key words: dispatching automation systems; protocol; COM technique

(上接第 64 页 continued from page 64)

参考文献:

- [1] 周荣光(ZHOU Rong-guang). 电力系统故障分析(Power System Fault Analysis) [M]. 北京:中国电力出版社(Beijing:China Electric Power Press),1998.
- [2] 李福寿(LI Fu-shou). 中性点非有效接地电网的运行(The Operation of Ungrounded Power System) [M]. 上海:上海交通大学出版社(Shanghai:Shanghai Jiaotong University

Press),1993.

- [3] 国家电力调度中心(State Power Dispatching Center of China). 电力系统继电保护实用技术问答(Power System Relay Protection Technique) [M]. 北京:中国电力出版社(Beijing:China Electric Power Press),1997.

收稿日期: 2003-09-10; 修回日期: 2003-12-04

作者简介:

林 涛(1978-),男,本科,助工,主要从事继电保护的整定计算工作。

Discussion on power system with neutral grounded via resistance

LIN Tao

(Dispatch Department, Qingdao Power Supply Company, Qingdao 266002, China)

Abstract: This paper focuses on the analysis of current distribution when single-phase-earth fault. The possibility and approaches of changing ungrounded supply system to grounded one are discussed. On the comparison of all the feasible methods, this paper puts forward that installing grounded transformer is suitable for system changing. The proposed method will meet the needs of relay protection coordination that faults can be removed by protection tripping, when single-phase-earth-fault, to avoid the accidents of primary equipment.

Key words: grounded transformer; grounded system via resistance; coordination of zero-sequence protection