

Automatic zero sequence fault monitoring and diagnosis analysis

Chen Xiufen

Sichuan University, Chengdu

Abstract: Zero sequence fault is a common fault in medium voltage distribution net. in order to improve the power supply reliability of medium voltage distribution net.in this paper, an intelligent zero sequence fault recording and comprehensive diagnosis device is popularized, which mainly USES artificial neural network (ANN) and expert system (ES). The zero-sequence fault recording and comprehensive diagnosis system can fully capture the recording data of all the zero-sequence signals before and after the occurrence of the fault, which can be used to diagnose and analyze the zero-sequence fault online, thus greatly reducing the labor intensity of monitoring personnel and improving the reliability and safety of power supply.

Key words: Zero sequence fault; Artificial neural network; Comprehensive diagnosis; The grid

Received: 2019-12-28; Accepted:2020-01-07; Published: 2020-01-09

零序故障自动监测及诊断分析

陈秀芬

四川大学，成都

邮箱: xf_chen2@126.com

摘要: 零序故障是中压配网中一种常见的故障,为提高中压配网的供电可靠性,本文推广一种智能型零序故障录波及综合诊断装置,利用主要是利用人工神经网络(ANN)和专家系统(ES)融为一体的神经网络专家系统。零序故障录波及综合诊断系统可完整捕获故障发生前后所有零序信号的录波数据,利用这些数据即可对零序故障进行在线诊断及分析,从而大大减轻监控人员劳动强度,提高供电可靠性、安全性。

关键词: 零序故障; 人工神经网络; 综合诊断; 电网

收稿日期: 2019-12-28; 录用日期: 2020-01-07; 发表日期: 2020-01-09

Copyright © 2019 by author(s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



1 引言

电网中高压变电站一般是枢纽点，它运行的可靠和安全与否直接关系到整个电网的安全运行。随着经济和社会的发展，对供电可靠率提出了越来越高的要求，如何降低配电网的故障率，在出现故障或不正常运行状态时，是否能迅速、准确的判断出事故原因，较少故障处理时间，提高供电可靠性已成为配电网研究的一个重点。除了在管理上不断进行革新，更急需采用、推广一些良好的技术措施，以便更有效的提高供电可靠率。在中压电网中，零序故障约占总故障的80%以上，其他故障又往往由零序故障发展而来，所以零序故障的治理是提高供电可靠率的关键。

2 零序故障在中压配网中的分析

在中压电网（6 ~ 35kV）中，主要有两大类故障，一类故障体现为中性点电压升高，另一类故障体现为相间电压异常（如相间短路等）。系统正常运行和发生相间短路时，不会出现零序电流和零序电压，不对称运行和单相运行是零序电流产生的主要原因。它引起三相对称电压产生的瞬时或连续性损耗，包括变压器绕组与铁心中的损耗；同时由于瞬时或连续性的不对称负载电流，尤其通过中点的电流，会使电压的稳定性受到影响，如电压不对称、中点电压偏移等。

零序电流和零序电压的关系并不是一个绝对依存的关系，也就是说可能存在零序电压却没有零序电流。就比如三角形接线侧发生金属性单相接地，如果不考虑线路对地电容的影响，那么此时从接地点看进去的零序电抗为无穷大，于是，在零序电压的作用下零序电流仍然为零；但是，如果考虑了对地电容，那么，对地电容容抗就是此时的零序阻抗了（它与变压器的励磁电抗并联构成此时的零序阻抗），此时，可以说并不是因为零序电压在各相共同产生了一个零序电流，零序电流的产生仅仅是因为非故障相电压上升为线电压（金属性接地），从而在两个非故障相线电压作用下的电容电流流经变压器（对地电容可以视作一个非对称负载）进入故障点入地，形成回路。在这里本文就中压配网

零序故障进行简单分析。

2.1 中性点不接地系统

当中性点不接地电网发生单相接地时，情况将发生明显变化。

(1) C相发生金属性接地时的情况。接地后故障点C相的电压变为零，既 $U_{dc}=0$ 。这时，按故障相条件，可写出下列电压方程式：

$$U_0+U_C=U_{dc}=0$$

式中 U_0 ——中性点对地电压；

U_C ——C相电源电压。

故有 $U_0=-U_C$

上式表明，当C相发生单相接地时，中性点的对地电压不再是零，而变成了 $-U_C$ ，于是A、B相的对地电压相应地为：

$$U_{dA}=U_0+U_A=-U_C+U_A=\sqrt{3}$$

$$U_{Ce-j150}$$

$$U_{dB}=U_0+U_B=-U_C+U_B=\sqrt{3}U_{Ce+j150}$$

(2) 其相量关系

U_{dA} 及 U_{dB} 之间的夹角变为 60° 。这时AC相之间的电压等于 U_{dA} ，BC相之间的电压等于 U_{dB} ，而A、B相间的电压则等于 U_{AB} ，即相当于原有的线电压三角形ABC平移到了A'B'C'的位置。换句话说，三个线电压仍保持对称和大小不变。但是，从式中均可看出，两个非故障相A和B的对地电压却升高 $\sqrt{3}$ 倍。由于线电压仍保持不变，故对电力用户的继续工作没有什么影响。同时，尽管相对地电压升高了 $\sqrt{3}$ 倍，但对电力网以及各种电气设备也无多大危险，因为在中性点不接地的电力网中，各种设备的绝缘是按线电压来设计的。

但是，由于A、B两相对地电压升高了 $\sqrt{3}$ 倍，该对地的电容电流也相应地增大了 $\sqrt{3}$ 倍，即 $I_{CA}=I_{CB}=\sqrt{3}I_{CO}$ ($I_{CO}=\omega CU_\phi$)。

由于C相接地，其对地电容被短接，所以C相的对地电容电流变为零。于是经过C相接地点流进地中的电容电流（即接地电流）不再是零，而是：

$$I_C=- (I_{CA}+I_{CB}) \quad (1-1)$$

假定线路各相的对地电容均相等, 即 $C_A=C_B=C_C=C$

则两健全相的电容电流分别

为:

$$I_{CA}=U_dA/(-jX_c=j\sqrt{3}\omega CU_{ce-j150}=\sqrt{3}\omega CU_{ce-j60}$$

$$I_{CB}=U_dB/(-jX_c=j\sqrt{3}\omega CU_{ce-j150}=\sqrt{3}\omega CU_{ce-j120}$$

将 I_{CA} 、 I_{CB} 的值代入式, 可得:

$$I_C=-(I_{CA}+I_{CB})=\sqrt{3}\omega CU_c(e^{-j60}+e^{-j120})=j3\omega CU_cZG$$

其绝对值为: $I_C=3\omega CU\Phi$

其中 $U\Phi$ ——装置的相电压(伏); ω ——角频率(弧度/秒); C ——相对地电容(法拉)。

上式表明, 在中性点不接地的电力网中, 单相接地电流 I_C 等于正常时相对地电容电流的 3 倍。

2.2 中性点经消弧线圈接地系统

系统限止电容电流的方法, 大都是采用消弧线圈补偿法, 用消弧线圈的感性电流补偿接地电容电流, 为了防止铁磁谐振过电压, 消弧线圈一般采用过补偿方式, 这样故障线路的零序电流和非故障线路的零序电流一样, 都超前零序电压 90° , 且零序功率方向都是从母线流向线路, 因此用基彼分量构成的零序功率方向不会动作。

在经消弧线圈接地的系统中, 虽然工频电容电流已被消弧线圈的感性电流补偿, 但对 5 次谐波来说, 消弧线圈的 5 次谐波感性电流, 比 5 次谐波的接地电容电流要小得多, 因此对于 5 次谐波来说, 可以不考虑消弧线圈的影响。因此可以利用故障线路和非故障线路的 5 次谐波零序电流的差异, 构成中性点不接地系统那样的零序电流保护和零序功率方向保护。用 5 次谐波零序电流作判据, 电流信号更加弱小, 并且 5 次谐波分量的成分和大小与电网的运行方式、线路多少和电压高低有关。

3 零序故障录波及综合诊断装置

关于零序故障的诊断方法，国内的研究工作主要集中在接地线路选择上，目前，在中性点不接地或中性点不直接接地的中压配网中接地保护，大多采用小电流接地选线系统，接地信号检测装置设计判据主要是反应工频电容电流的大小、反应工频电容电流的方向、反应零序电流有功分量、反应接地时5次谐波分量及反应接地故障电流暂态分量首半波。归纳起来由利用接地稳态量的零序电流原理、负序电流原理、零序导纳原理、谐波原理、有功分量原理、针对补偿电网的增量原理和利用接地暂态量的小波原理、能量原理和采用注入附加信号的原理等，研究方法都是先假定的接地模型，再利用仿真分析数据对提出的判据进行验证。综观全过程，仿真是用假定的接地模型，试验也是人工模型接地，那么实际电网的接地是否是这样，或者说接近这些模型的程度有多大都是未知数。事实上小电流系统的接地现象非常复杂，完全的稳定接地是不存在的，按时间跨度来讲，电力系统的动态工程从若干毫秒至几秒的暂态稳定，延伸到几秒至几十秒的中期稳定，一直到几十分钟的长期稳定，只有利用不稳定接地过程中全部录波信息综合诊断零序故障才是全面解决问题的出路。

具体的讲，目前的选线设备普遍存在如下问题：

信号捕捉不完整，具体体现为仅采集整个故障过程中部分时段信息，且采样率低，捕获不到高频信号。

产生中性点电压升高的原因有多种，并不全是单相接地造成，当发现中性点电压升高后，首先应对故障类型进行辨识。

接地现象本身太复杂，时不稳定的、时态的和不确定的，目前仍不能建立一种真实反映各类接地故障发生的模型。

传统的选线方法往往假定故障明显特征出现在故障波形特定的时域或频域内。其实，实际录波数据表明，不同的故障类型，故障的明显特征可能出现在不同的时域和频域中。如果不能抓住故障明显特征，因零序电流互感器、电压互感器等往往有较大失真，就很难诊断准确。

传统的选线方法往往认为故障是单一过程，实际上故障可能是由多个单一

过程复合我而成。所以,必须将以一个个的单一过程从整个故障波形中剥离出来,分别诊断,然后再综合在一起分析,才能得出正确结论。

为了能迅速、准确地查找出故障,智能故障诊断越来越受到重视。因此,在全时域、全频段、全类型监控中录波所有零序回路信号,并进行综合在线诊断和后台分析处理的零序故障录波和综合诊断设备能全面解决现场在零序回路监控方面面临的问题,是零序故障检测的发展方向。

3.1 基本原理

零序故障录波及综合诊断装置主要依靠控制屏、核心控制器、零序电流互感器以及后台分析工作站,主要是利用人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN)和专家系统(ES)融为一体的神经网络专家系统。把电网的各类信息形成网络,信息的存储体现在神经元之间的连接权上,利用系统的自适应和自学习能力能使故障诊断具有极强的自适应能力。在电网发生故障时,针对信息不同调度端可以按照信息的时间优先级将故障信息分为3级;第1级是开关动作信息;第2级是保护动作信息;第3级是故障录波信息。利用开关和保护动作信息可以进行故障诊断,利用故障录波信息可以进行录波分析并对保护动作分析评判。根据保护动作分析的结果可以修正误动、拒动的保护动作信息,从而进行更为准确的故障诊断。

故障诊断系统总体结构如下图所示。它主要包括3部分:故障位置诊断模块,故障类型和相别诊断模块,保护、断路器和自动装置的动作性能诊断模块。

3.2 诊断方法

零序故障录波及综合诊断系统可完整捕获故障发生前后所有零序信号的录波数据,利用这些数据即可对零序故障进行在线诊断及分析。

零序故障录波和综合诊断设备采用如下诊断方法:

对所有零序信号进行实时采样,并始终保存各信号最近的1500周期的采样数据。对每个采样点进行实时计算,一旦发现暂态出现,则将该暂态过程前后的波形截取下来(所有信号),进行在线分析,同时将该次录波存入硬盘。

首先通过对比各零序信号的一致性来判断是否是 PT、CT 故障，然后通过对信号发展过程的搜索将故障过程分解为一个个由单一电网参数突变导致的子过程，然后对该过程进行频域分析，判断故障类型，然后再对整个子过程进行全时域、全频域的搜索得到强特征区域，然后在该域内进行电流流向分析，从而判断故障区域。

零序故障的录波数据实现了二级管理—装置+后台分析工作站，在后台分析工作站上提供了相应的分析工具。

3.3 技术关键

零序故障录波及综合诊断装置主要有以下几个技术关键点：

(1) 全息故障辨识技术。该技术充分利用故障发生前后完整的录波信号进行故障辨识。其方法是首先分析此次故障是否复合故障（复合故障是指故障过程中有多次电网参数的突变），如是复合故障，则首先将录波数据分解为由一次电网参数突变引起的多个单一故障。然后对每个分解出的故障进行频谱分析，以辨识故障类型，然后再进行全时域和频域搜索，找出故障最强的特征域，在特征域内同通过分析电流流向，辨识故障区位，最后如果是复合故障，还需要综合多个单一的辨识结果，得出最终结论。

(2) 全过程实时录波技术。该技术实时缓存最近 1500 个周波的信号波形，并实时计算是否有暂态过程发生，一旦发生有暂态故障发生，则记录下来该暂态过程 500 个周波的数据。当无暂态发生，则定时记录稳态过程的幅值和相角，实现对零序漂移特性的记录。

(3) 消弧线圈动态特性计算。对不同种类的消弧线圈建立相应的数学模型，通过数学模型建立录波数据和消弧线圈动态特性指标关系，从而推算出消弧线圈动态特性。

(4) 根据录波数据和现场情况分析故障原因的方法。研究录波数据和故障原因的关联性，具体方法是根据不同的故障起因建立仿真模型，然后对仿真录波数据和现场录波数据进行比较分析，得出录波数据和故障原因的关联性。

(5) 根据录波数据和现场情况统计分析故障特点的方法。

(6) 按故障的起因对故障类型进行细致分类, 然后统计不同故障类型发生的频率及和电网运行环境的关系。

4 结论

从零序故障诊断及录波装置使用以来, 该装置功能齐全, 能实现中压配电网运行在线录波及综合故障诊断, 有效的判断零序故障, 能在线诊断零序故障(包括瞬时性故障)类型和故障区域, 发生零序故障时, 不再需要人工拉线排查, 避免非故障支路停电, 能提高处理事故的及时性, 有效防止事故扩大, 大大减轻监控人员劳动强度, 提高供电可靠性、安全性。

参考文献

- [1] 白小根, 方钦. 配电网零序故障诊断及录波系统的应用[J]. 经济技术协作信息, 2013(20): 73-73.
- [2] 胡翔飞, 王崇亮, 吴厚秀, 等. 暂态零序电流比较方法在配网线路故障诊断分析中的应用[J]. 电力系统装备, 2019(12): 122-123.
- [3] 田正阳. 配电网自动监测与故障分析系统设计[D]. 2015.
- [4] 恭秀芬. 中压配电网中性点接地方式研究与决策[D]. 重庆大学, 2014.