

投切电容器扰动的识别、定位与故障判断

崔连生¹, 张文涛²

(1. 石家庄市节能技术服务中心, 河北 石家庄 050011; 2. 河北省电力研究院, 河北 石家庄 050021)

摘要: 提出了一种针对投入和切除电容器扰动的识别、定位和确定是否发生机械故障的新方法。其它此类方法多对从扰动开始到扰动结束时的短暂的扰动时间内进行分析, 这使得其受某些复杂因素的影响较大, 比如瞬时电弧、低压投入时的弱信号、复杂信号等。此方法利用了投切电容器扰动独有的特点, 对扰动开始前的稳态和扰动结束后的稳态进行分析, 所以受这些复杂因素的影响较小。此方法原理可靠准确, 计算简单, 可信度得到很大提高。经仿真验证, 新方法显示了它的高可信度和准确性。

关键词: 电能质量; 小波变换; 电容器; 识别; 定位; 故障判断

Identification and location of the capacitor switching disturbance and its fault detection

CUI Lian-sheng¹, ZHANG Wen-tao²

(1. Shijiazhang Energy Conservation Technology Service Center, Shijiazhang 050000, China;

2. Hebei Electric Power Research Institute, Shijiazhang 050021, China)

Abstract: This paper presents a new method to identify and locate the capacitor switching on and off disturbance and to detect the mechanical failure. Other such methods always analyze the transient signals from the beginning of the disturbance to the end, making it susceptible to some complicated factors, such as transient arc, feeble signals when switch on in low voltage, complicated signals. The new method utilizes the special character of capacitor switching disturbance, analyzing the stable signals before and after the disturbance, avoiding that complicated factors. The new method has the character of plain theory and simple computation. Tested through simulation, this method shows its high reliability and correctness.

Key words: power quality; wavelet transform; capacitor; identification; location; fault detecting

中图分类号: TM711

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)18-0050-04

0 引言

在现代电力系统中, 电能质量受到人们越来越多的关注。要解决电能质量问题, 首先需要对扰动进行监测并识别, 并确定扰动源的位置, 然后才可以采取对应的措施减小扰动或者移除扰动源^[1]。

投切电容器引发的振荡扰动是一种常见的电能质量问题, 它发生的频率仅次于电压下降。投切电容器可能产生的电压振荡及电流脉冲, 会给电网上的设备造成很大的影响, 因此对它的识别与定位很重要。经过研究, 提出了许多识别和定位的方法, 但还有一些不足。文献[2]中指出: 在分析电网上实测的波形时, 有的方法在电压低时对判定投切电容器扰动的结论“不能肯定”, “可信度不高”。

在投切设备时, 常可看见瞬时电弧。瞬时电弧是一种非常复杂的电气现象, 它的产生和周围环境特性及电器元件自身特性密切相关, 而一旦瞬时电弧产生后, 这些特性又会发生很大改变。目前, 对

瞬时电弧的数学模型尚未建立, 所有的电气暂态仿真软件都没有针对瞬时电弧的仿真。

如果在电压的幅值较高时投电容器, 会产生幅值较大的振荡, 但如果在电压幅值较低时投入, 则会产生幅值较小的振荡。某些方法对幅值较大的振荡扰动容易识别和定位, 但反之则不易。在文献[2~5]中, 实测和仿真都是电压幅值较高的, 没有对电压幅值低时投切电容器进行分析的。

在对持续时间很短的振荡扰动中的高频信号进行分析时, 这些高频信号衰减很快。当扰动发生处距离测量装置较远时, 信号会变得模糊, 这也增大了分析的误差。

本文提出了一种专门针对投切电容器的振荡扰动的识别和定位的新方法, 可以避免上述复杂因素的影响, 提高了可信度。这种方法把短时电弧和振荡结合在一起, 作为一个整体扰动考虑, 即从扰动发生到结束作为一个整体处理。利用投切电容器对系统的独特影响, 通过比较扰动前的稳态和扰动

后的稳态, 系统功率因数和功率的变化, 进行准确的识别和定位。

对投切电容器振荡扰动进行识别和定位的过程中, 另一项重要的工作是确定投入或切除电容器的机械动作是否到位^[6], 即电容器的无功功率是否确实投入或切除, 这对诊断投切电容器时是否发生机械故障而没有投入或切除很有用处。而大多文献中只有对投入, 没有对切除的判断。本文提出的方法可以准确可靠地判定各相在投入或切除电容器时是否有故障发生。

1 小波分析

1.1 小波变换

小波变换是一种可以用于电能质量分析的很有效的信号处理工具。小波变换是一种多尺度分析方法, 可对时间序列过程从粗到细加以分析, 从低分辨率到高分辨率, 既能显示过程变化的全貌, 又能剖析局部变化特征, 这种特性很适合分析电能质量暂态扰动。

1.2 特征值提取

一般地, 当发生暂态扰动时, 它开始和结束时刻的小波高频分解信号是不为零的, 而无扰动时的小波分解高频信号为零。由此可以很方便地确定暂态扰动开始和结束的时间, 在以后的分析中, 就使用了扰动的开始和结束时间。

2 投切电容器的识别和定位

2.1 识别和定位的方法

投切电容器产生的振荡扰动与其它所有电能质量扰动的区别是: 扰动前后的系统功率因数发生明显变化, 而有功功率变化不大。本文根据此电容器扰动的特点, 来识别和定位投切电容器的扰动。

定位方法如图 1 所示, 定位时对负荷的要求是扰动前后功率因数不变。在图中的一条支路上有两个测量装置, 分别是 M1 和 M2, 箭头所指的方向规定为正方向, 是电流、功率流动的正方向。定义测量装置的前方与箭头正方向同向, 即电容器在 M1 的前方, 在 M2 的后方。

设在电容器投入前, 负荷功率为 $S=P+jQ$, 因此 M1 和 M2 上通过的功率均为 $P+jQ$ 。在投入电容器并稳定后, 负荷消耗功率仍为 $S=P+jQ$, 电容器注入系统无功功率 jQ_C , 此时 M2 上通过功率仍为 $P+jQ$, 但在 M1 通过的功率变为 $P+j(Q-Q_C)$ 。由此可见: 电容器投入前的稳态和投入后的稳态相比, 系统功率因数发生变化, 而有功功率不变。切除电容器时, 以上过程反之。这种特性只存在于投切电容器的扰

动。

在确定了投切电容器的扰动后, 还要测量投切电容器时系统无功功率的改变值。实测值与设定值比较, 若不超过某一阈值, 即可确定投切电容器时没有故障发生。在三相中使用此法分别计算。

以上判别方法避免了对瞬时电弧等复杂因素进行分析的必要。由上还可知: 测量装置只能对前方的功率因数和功率的变化进行识别并定位, 还可确定投入或切除电容器的功率值大小。但对后方的变化无法判断, 即在发生电容器投切的扰动后, 测量装置 M1 处可测到, 但在 M2 处测不到。

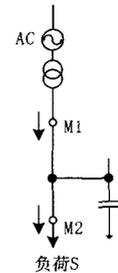


图 1 系统中的测量装置

Fig. 1 Measure equipments in power system

2.2 对负荷的要求

定位对负荷的要求是扰动前后负荷自身的功率因数变化较小。在电力系统中, 静态负荷的模型通常成为 ZIP 模型, 它是由①恒阻抗 (Z)、②恒电流 (I)、③恒功率 (P) 分量组成的。

$$\begin{cases} P_L = P_{L0} a_P V_L^2 \\ Q_L = Q_{L0} a_Q V_L^2 \end{cases} \quad (1)$$

式 (1) 是只有恒阻抗型负荷的功率与节点电压的关系。由式可见, 功率因数与电压关系较小, 而与负荷自身特性及负荷占系统比例大小关系较大。其它两种负荷也可得到相同的结论。

投入电容器后系统电压变化较小, 由上节, 判断是在距离负荷较远的测量装置处得到, 且以下的判据也留出了一定的裕量。经过仿真测试, 三种负荷均可满足判据的要求。

对典型的动态负荷——电动机来说, 由于电机转子的惯性较大, 而测量所需时间较短, 所以可将其视为恒阻抗负荷。

2.3 识别和定位的计算

利用小波变换来确定扰动发生和结束的时刻。

假设在一个周期 T 内测量装置采集 n 个数据, 在扰动发生前和扰动结束后的一个稳态周期有:

$$I_i = \max |i_i| \quad (2)$$

$$U_i = \max |u_i| \quad (3)$$

$$P_i = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^T u_i \cdot i_i \quad (4)$$

$$\cos \alpha_i = \frac{2 \cdot P_i}{U_i \cdot I_i} \quad (5)$$

以上各式中, 下标 $i=1,2$, 其中“1”代表扰动前的稳态值, 下标“2”代表扰动后的稳态值。

由以上计算结果, 投入电容器的判据为:

$$\begin{cases} \left| \frac{\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2}{\cos \alpha_1} \right| \times 100\% > T_c \\ \cos \alpha_1 < \cos \alpha_2 \\ \left| \frac{P_1 - P_2}{P_1} \right| \times 100\% < T_p \end{cases} \quad (6)$$

切除电容器的判据为:

$$\begin{cases} \left| \frac{\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2}{\cos \alpha_2} \right| \times 100\% > T_c \\ \cos \alpha_1 > \cos \alpha_2 \\ \left| \frac{P_1 - P_2}{P_1} \right| \times 100\% < T_p \end{cases} \quad (7)$$

其中: T_c 是判别功率因数变化的阈值, T_p 是判别有功功率变化的阈值, 它们采用的值由具体系统决定。投切电容器产生的扰动是唯一符合上述判别标准的扰动。

另外, 还需要确定投切电容器时, 每相是否确实投入或切除, 这可以从测得的各相功率因数改变的值是否相等来确定。

当投入电容器时, 若已知将改变的功率因数的大小为 C_1 ($C_1 > 0$), 则无故障的判据为:

$$\left| \frac{\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2 + C_1}{\cos \alpha_1} \right| \leq T_{T1} \quad (8)$$

其中: T_{T1} 为判断投入电容器的阈值。此判据要求三相分别判断, 共使用三次。若都符合判据, 即可推断投入电容器时没有发生故障。

若不知改变的功率因数大小, 只要求确定三相无故障的全部投入电容器, 则判据为:

$$\begin{aligned} & (\cos \alpha_{1A} - \cos \alpha_{2A})^2 + (\cos \alpha_{1B} - \cos \alpha_{2B})^2 + \\ & (\cos \alpha_{1C} - \cos \alpha_{2C})^2 - \\ & 3(\cos \alpha_{1A} - \cos \alpha_{2A})^2 \leq T_{T1} \end{aligned} \quad (9)$$

下标 ABC 代表三相。若符合判据, 即可推断投入电容器时没有发生故障, 全部正确投入。

当前方切除电容器时, 若已知要改变的功率因数的大小为 C_2 ($C_2 > 0$), 则无故障的判据为:

$$\left| \frac{\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2 - C_2}{\cos \alpha_2} \right| \leq T_{T2} \quad (10)$$

其中: T_{T2} 为判断切除电容器的阈值。此判据要三相分别判断, 若都符合判据, 即没有故障发生。

若不知预定改变的功率因数的大小, 只要求确定三相都无机械故障的切除电容器, 则无故障的判据为:

$$\begin{aligned} & (\cos \alpha_{1A} - \cos \alpha_{2A})^2 + (\cos \alpha_{1B} - \cos \alpha_{2B})^2 + \\ & (\cos \alpha_{1C} - \cos \alpha_{2C})^2 - 3(\cos \alpha_{1A} - \cos \alpha_{2A})^2 \leq T_{T2} \end{aligned} \quad (11)$$

若符合判据, 即切除电容器时没有发生机械故障。

3 仿真及结果

仿真支路如图 2 示, 测量装置共 5 个, 箭头方向即正方向, S1~S5 代表负荷。假定各负荷相同, 支路总功率因数为 $\cos \alpha = 0.6$, 在投入电容器后, 支路总功率因数变为 $\cos \alpha = 0.9$ 。仿真还包括逆过程, 即切除电容器的过程。

仿真时把无功功率值分为十等份, 随机的放在五个负荷处, 再依照仿真值与设定值的对比来测试方法的正确性。

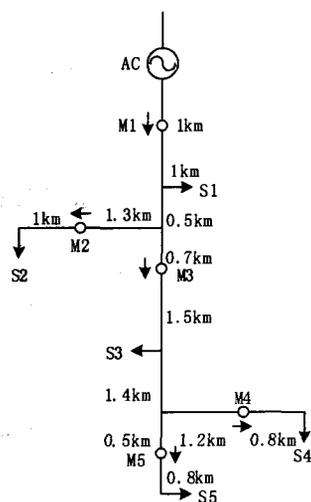


图 2 仿真用的支线图

Fig. 2 A feeder for simulation

仿真时, 阈值 T_c 按预定值减少 5% 计算, 其它阈值均取 5%, 仿真过程如下:

第一步, 利用小波变换, 确定扰动开始和结束的时刻。

第二步, 分别在扰动前的稳态时和扰动后的稳

态时, 依照式(2)至式(5)计算判别和定位需要的各计算值。

第三步, 依照判别式(6)和式(7), 判定是否有投入或切除电容器的扰动。

第四步, 若确是电容器扰动, 依照2.1节原理, 对电容器扰动定位。

第五步, 分别依照式(8)至式(11), 判定三相的电容器是否有故障发生。

第六步, 确定正确率。通过对预定值与仿真值的比较, 计算正确率, 验证方法的可行性。

表1 仿真结果

Tab.1 The result of simulation

	总正确率
投入时识别扰动	93.3
投入时定位扰动	90.0
投入时判定故障	96.4
切除时识别扰动	96.6
切除时定位扰动	93.3
切除时判定故障	96.6

由仿真结果可见, 对投入和切除电容器扰动的识别、定位和故障判定, 都取得了较高的正确率。文献[3]中的4种电容器扰动定位方法的正确率分别为79.2%, 100%, 87.5%, 87.5%。说明此方法的正确和有效。

4 结论

投切电容器引发的扰动是发生频率上仅次于电压下降的一种电能质量问题。对它的识别、定位和故障判定也有很多的研究, 其它此类方法多对从扰动开始到扰动结束时的短暂的扰动时间内进行分析, 这使得受某些复杂因素的影响较大, 比如瞬时电弧、低压投入时的弱信号、信号复杂等。本方法利用了电容器扰动独有的特点, 对扰动开始前的稳态和扰动结束后的稳态进行分析, 所以受这些复杂

因素的影响较小。它的原理可靠准确, 计算简单, 可信度得到很大提高。

参考文献

- [1] 朱桂萍, 王树民. 电能质量控制技术综述[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(19): 28-31.
ZHU Gui-ping, WANG Shu-min. A Survey on Power Quality Control Technology[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(19): 28-31.
- [2] Parsons A C, Grady W M, Powers E J, et al. A Direction Finder for Power Quality Disturbances Based Upon Disturbance Power and Energy[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2000, 15(3):1081-1086.
- [3] Parsons A C, Grady W M, Powers E J, et al. Rules for Locating the Sources of Capacitor Switching Disturbances[A]. In: Power Engineering Society Summer Meeting[C]. 1999.794-799.
- [4] CHEN Xiang-xun. Wavelet-Based Detection, Location, Quantification and Classification of Short Duration Power Quality Disturbances[A]. In: Power Engineering Society Winter Meeting[C]. 2002.931-936.
- [5] WANG Cheng-shan, WANG Ji-dong. Locating the Sources of Capacitor Switching Disturbances Based-on Wavelet Transform[A]. In: TENCON 2003. Conference on Convergent Technologies for Asia-Pacific Region[C]. 2003.998-1001.
- [6] Santoso S, Lamoree J D, McGranaghan M F. Signature Analysis to Track Capacitor Switching Performance[A]. In: Transmission and Distribution Conference and Exposition 2001 IEEE/PES[C]. 2001.259 - 263.

收稿日期: 2007-07-20; 修回日期: 2007-09-01

作者简介:

崔连生(1966-), 男, 工程师, 主要从事电力仪表及测量方面的研究;

张文涛(1972-), 男, 博士研究生, 研究方向为电能质量分析。E-mail: zhangwt01@sohu.com

许继轨道交通供电设备集成公司成立

为了快速开拓铁路电力市场, 全面打造许继集团在轨道交通领域的核心竞争力, 经总裁办公会议充分论证, 报集团董事会批准, 许继轨道交通供电设备集成公司日前成立。其业务范围为普通铁路、客运专线、城际铁路、城市轨道交通供电设备的集成与服务。

集团公司在轨道交通方面市场资源、技术引进实行统一协调、统一配置、统一出口的原则, 由许继轨道交通供电设备集成公司统一负责集团公司轨道交通供电设备集成业务。许继轨道交通供电设备集成公司下设市场营销部、系统集成部和综合管理部三个二级部门。集团公司副总裁于世新兼任许继轨道交通供电设备集成公司总经理。

此外, 根据发展需要, 集团公司还成立了以李富生总裁为首的轨道交通供电设备集成工作领导小组, 负责集团公司在轨道交通设备集成工作方面的市场、技术、人才等资源的统一领导、指挥与协调, 以充分发挥集团资源优势, 为加快许继在轨道交通领域的发展提供全面支持。