

电压跌落扰动源的小波-神经网络识别方法

陈伟, 郝晓弘, 林洁

(兰州理工大学 电气工程与信息工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 对一个辐射状配电网中可能引起电压跌落的各种扰动源进行了分析和仿真, 提出了一种基于小波变换与人工神经网络理论的电压跌落扰动源的自动识别方法, 仿真和实验结果表明该方法具有简洁可靠、辨识准确率高等优点。

关键词: 电力系统; 电能质量; 电压跌落; 小波变换; 人工神经网络

中图分类号: TM935.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0366(2007)04-0104-04

Identification of Voltage Sag Sources in Distribution Network Using Wavelet Transform and Artificial Neural Network

CHEN Wei, HAO Xiao-hong, LIN Jie

(College of Electrical Engineering and Information Engineering, Lanzhou University of Science and Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: Voltage sags were analyzed of the basis of a PSB simulation model at first. Then a method is given to identify voltage sag sources in distribution system using a novel combination of wavelet transform and artificial neural network. The outcome of the study clearly shows that the proposed method is reliable and effective.

Key words: power system; power quality; voltage sag; wavelet transform; artificial neural network.

电压跌落 (Voltage sag) 是指供电电压有效值降至额定值的 10%~90% 之间, 持续时间从半个电源周期到 1 min 的电压有效值变化现象^[1]. 尽管电压跌落持续的时间很短, 但其对于用户造成的影响和损失却极为严重. 英国 1995 年就电能质量问题对容量超过 1MW 的 100 家用户做了调查, 结果显示在过去的 12 月里, 69% 的用户的生产过程因电能质量问题而受到破坏, 其中 45% 的用户遭到多次扰动, 在事故原因调查结果统计中发现, 83% 的事故由电压跌落和瞬时中断造成^[2]. 文献[3~6]的调查结果表明: 电压跌落会影响各种电子监控设备的正常工作, 导致其控制的其他设备失控, 从而造成严重的经济损失. 另据统计, 欧美国家在电力用户有关电能质量问题的所有投诉中, 由于电压跌落引起的占

80% 以上. 而由谐波等其他电能质量问题引起的投诉不到 20%.

电压跌落扰动源的自动识别指根据检测到的电压跌落数据识别其产生原因. 准确的扰动源辨识不但有助于评估区域配电系统和选择合理的治理措施, 而且可以作为电力市场环境下的供电部门、用户以及设备供应商之间协调纠纷的重要依据.

近年来, 国内外对于电压跌落的研究主要集中在电压跌落的事件检测、起因、影响与危害、跌落在网络中的传播 (凹陷域)、跌落减缓技术以及补偿装置的开发等方面^[2~6]. 文献[7~9]对于可能导致配电网电压跌落的各种扰动源进行了分析, 但仅停留在单个事件的分析与检测上, 并没有提出有效的自动识别方法. 文献[10]提出了一种跌落源的检测方

法,但该方法只能确定跌落源的位置而无法识别具体的电压跌落的类型.基于此,我们提出了一种能够自动识别各种导致配电网电压跌落的扰动源的方法,仿真和实验结果表明该方法具有简洁可靠、辨识准确率高、抗干扰能力强等优点.

1 配电网电压跌落暂态仿真

电压跌落通常是由输配电系统中发生短路故障、感应电动机启动、变压器投运、雷击、电容器组投切以及其他启动电流较大的大型负荷接入电力系统时所引起.引起电压跌落的根本原因是线路故障或大型感性负荷启动时引起短时线路电流突然增大,导致邻近变压器电压或公共联接点(PCC)电压,甚至发电机端电压短时下降.

根据电压跌落事件特征将扰动源分为故障类(各种线路故障)、变压器投用类和感应电机启动类.下面以 10kV 辐射状配电网为模型用 Matlab 中的 PSB 进行暂态仿真,信号采样点为配电网低压侧(380V)的公共联接点(PCC).

1.1 故障引起的电压跌落

线路故障是导致配电网电压跌落的最主要的原因,它通常由人为误操作,鸟兽、树枝等跨接或是由于大风、雨雪等天气因素造成.跌落电压波形中的陡降处对应故障的发生,回升处对应故障被保护装置的切除,因此电压跌落持续的时间和保护装置发现并清除故障的时间基本一致,而电压跌落的程度与故障类型、变压器接线方式、故障点位置、故障阻抗的大小等因素有关.在各种故障类型中,以三相短路故障引起的电压跌落最为严重,而以单相接地故障引起的电压跌落最为常见.图1为在监测点得到的

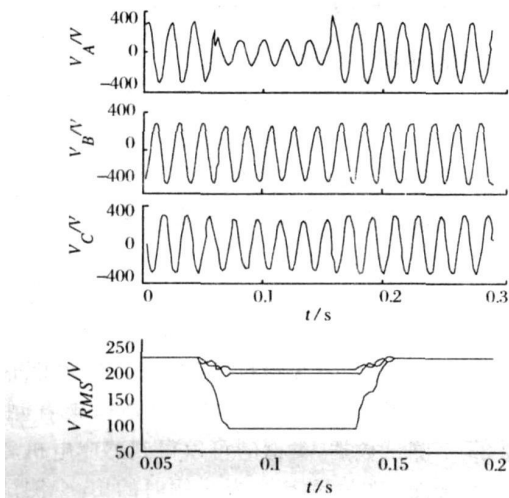


图 1 单相接地故障引起的电压跌落

单相接地故障时的暂态电压和电压跌落有效值波形图.

1.2 感应电机启动引起的电压跌落

感应电动机是电网中的重要负荷,在电网的总负荷中,感应电动机用电量占 60% 以上.但感应电动机的启动性能较差,大容量感应电动机启动时,初始转速很小,定子上会产生很大的启动电流,启动电流的大小取决于电动机的类型和启动方式,一般是正常工作电流的 2~8 倍,感应电动机的大启动电流将导致电动机所接母线发生电压跌落.电压跌落的程度与感应电动机的容量,配电网的剩余容量,启动方式以及负荷有关.在监测点得到的感应电机启动时引起的电压跌落的有效值波形如图 2 所示.

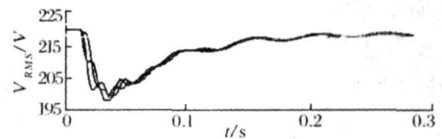


图 2 感应电机启动引起的电压跌落

1.3 变压器投用引起的电压跌落

变压器在投用时,由于铁心饱和效应,会在送电端产生很大的激磁涌流,从而引起电压跌落.电压跌落的程度和变压器投用时的电压的初相角、电源强度、铁芯中的剩磁以及网络阻尼等因素有关.由于变压器投用时三相的初相角始终相差 120°,三相铁芯饱和程度不同,所以变压器投用引起的三相电压跌落程度是不同的,总是三相不平衡的.在监测点得到的变压器投用时引起的电压跌落的有效值波形如图 3 所示.

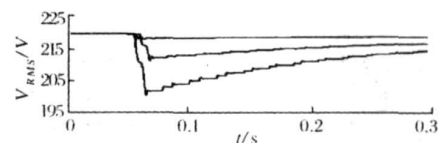


图 3 变压器投切引起的电压跌落波形

从上述分析可以看出,线路故障引起的电压跌落的发生和恢复波形较陡,突变期间的电压跌落幅值基本不变.感应电机由于是对称负载,启动时每相都要吸取同样大小的启动电流,因此引起的跌落电压也是三相对称的,电压跌落到达谷底后立即恢复,恢复过程是渐变的.而由变压器投用时引起的电压跌落三相暂降程度不同,是非对称的,跌落电压逐渐恢复,波形中含有偶次(2、4次)和高次谐波^[9].运用以上描述的扰动源的特征,熟练的技术人员或电能

质量专家可以直接判断出扰动源,但对于目前数目庞大的电能质量监测数据由人为来判断显然是不切实际的.

2 扰动源自动识别方法

2.1 信号去噪与小波分解

由于电力系统的实际采样信号往往被各种噪声所污染,所以必须对采样信号进行去噪后才能进行辨识.采用基于小波的软阈值去噪方法被证明是十分有效的去噪方法^[11].有关小波变换的理论可参考文献^[11].

在现有的各种小波中, Daubechies 小波为紧支撑正交实小波,由于其对不规则信号较为灵敏,因而在电能质量问题的分析中得以广泛应用.我们选用 db4 小波为基本小波以分析配电网的电能质量扰动信号.图 4 为采用 Daub4 小波对单相接地故障引起的电压跌落信号进行 7 尺度离散正交小波变换得到的分解结果.

2.2 特征提取

特征向量的提取是扰动源自动识别中一个关键的步骤.特征向量的提取通常要考虑以下问题:计算量小、识别精度高、实现简单等.由于对信号进行小波变换的实质就是对信号进行多通道“等 Q”滤波的过程,因此通过小波变换可以将信号分解到对应不同频段的各个尺度上,从而得到信号在各个频段上的构成信息.而在各个频段信号的能量中,包含着丰富的信息,某种或某几种频率成分能量的改变即代表了一种扰动情况,因此可以利用这些能量信息进行扰动源的自动识别.

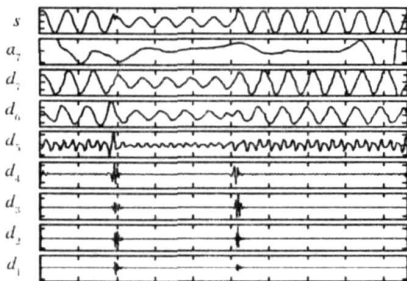


图 4 跌落波形的小波分解

以下将各频段信号的能量表示为

$$P_k = \sum_{n=1}^M W_{k,n}^2, \quad (1)$$

式中 K 表示不同的小波分解层数, W 表示小波系数, M 为该小波分解层小波系数的个数.

2.3 神经网络模型

采用前向 3 层神经网络.神经网络的输入层、隐含层和输出层节点的个数分别为 24、48 和 3, 结构如图 5 所示.

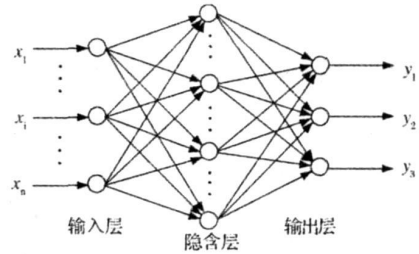


图 5 神经网络的结构

网络的学习采用改进的 BP 算法—学习速率自适应调整的 BP 算法^[12].在实际应用中,常规的 BP 算法由于存在收敛速度慢和目标函数存在局部极小点等缺点而很少使用,采用动量法和学习速率自适应调整 2 种策略,提高了学习速率并增加了算法的可靠性,动量法降低了网络对于误差曲面局部细节的敏感性,有效地抑制了网络陷入局部极小;自适应调整学习速率有利于缩短学习时间.网络训练完成后对扰动源的理想输出见表 1.

表 1 神经网络的理想输出

扰动源	网络输出		
	y_1	y_2	y_3
故障类	0	0	1
感应电机启动类	0	1	0
变压器投用类	1	0	0

3 仿真与实验

3.1 网络的训练

用 Matlab 仿真产生 20 个线路故障的数据(故障点随机选取)、20 个感应电机启动时的数据(除感应电机外的其他负荷略有变化)、16 个变压器投用时的数据(除变压器外的其他负荷略有不同),共 56 个训练集对网络进行训练.

3.2 网络的测试

(1) 利用仿真产生的数据进行网络性能的测试.用 Matlab 仿真产生 10 个线路故障的数据,并在此 10 个数据上迭加 1%~5% 不等的带限高斯白噪声,由此得到 20 个测试数据,类似的可以得到感应电机启动时的 18 个测试数据和变压器投用时的 16 个测试数据.测试结果如表 2 所示.

表 2 用仿真得到的数据测试结果

扰动源	样本	辨识结果
故障类	20	17
感应电机启动类	18	15
变压器投用类	16	14

(2) 利用现场实测数据测试的结果 我们从 Electrotek Concept 公司 2003 年~2004 年实时监测的现场数据中挑出了 19 个数据,处理以后作为网络的测试数据,表 3 为测试结果.

表 3 用实测数据测试的结果

扰动源	样本	辨识结果
故障类	10	8
感应电机启动类	6	5
变压器投用类	3	3

从上面的仿真和实验可以看出,上述方法具有简单易行,辨识准确性高、抗干扰能力强等优点.需要说明的是,我们所采用的神经网络模型是基于经验风险最小的,从理论上讲,神经网络要求训练样本是无穷多的,而我们只采用了有限数量的训练样本.因此,从理论上讲,如果采用基于结构风险最小和小样本学习理论的支持向量机来做辨识,辨识的精度会更高,关于采用支持向量机的辨识方法我们将另文阐述.

4 结论

利用小波变换对配电网电压跌落的暂态波形进行了详细的研究,并结合人工神经网络技术提出了一种可以自动识别导致配电网电压跌落的扰动源的新方法.仿真分析和实验表明,小波变换能够很好地提取扰动源的特征信息,利用这些特征作为人工神经网络的输入信号可以比较准确地识别出各种导致配电网发生电压跌落的扰动源,从而为配电网电能质量的测量、评估、分类和有效治理提供了良好的依据.

作者简介:

陈伟,(1976-)男,甘肃省甘谷人,2005年毕业于西安交通大学电气工程学院,获硕士学位,现任兰州理工大学电气工程系讲师,研究方向为电能质量分析与控制技术.

参考文献:

- [1] The Working Group on Monitoring Electric Power Quality. Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality [S]. IEEE Std 1159-1995.
- [2] Taylor G A, Burden A B. Wide Area Power Quality-Decision Processes and Options for Sensitive Users [A]. CIRED 97 [C]. Birmingham, 1997, 2-5.
- [3] Bendre A, Divan D, Kranz W, et al. Are Voltage Sags Destroying Equipment [J]. IEEE Industry Applications Magazine, 2006, 12(4): 12-21.
- [4] Lee K, Jahns T M, Berkopec W E, et al. Closed-form Analysis of Adjustable-speed Drive Performance under Input-Voltage Unbalance and Sag Conditions [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2006, 42(3): 733-741.
- [5] Pedra J, Sainz L, Corcoles F, et al. Symmetrical and Unsymmetrical Voltage Sag Effects on Three-phase Transformers [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2005, 20(2): 1683-1691.
- [6] Djokic S Z, Desmet J, Vanalme G, et al. Stockman K. Sensitivity of Personal Computers to Voltage Sags and Short Interruptions [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2005, 20(1): 375-383.
- [7] Bollen M H J. Voltage Sags in Three-phase System [J]. IEEE Power Engineering Review, 2001, 21(9): 8-11.
- [8] Elmendorf F, King L, Ingram M. Correlating Voltage Sags with Line Faults and Lightning [J]. Computer Applications in Power, 2001, 14(2): 22-24.
- [9] Bollen M H J, Styvaktakis E. Signatures of Voltage Dips: Transformer Saturation and Multistage Dips [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2003, 18(3): 265-270.
- [10] Pradhan A K, Routray A. Applying Distance Relay for Voltage Sag Source Detection [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2005, 20(1): 529-531.
- [11] Mallat S. 信号处理的小波导引 [M]. 北京:机械工业出版社, 2002. 9.
- [12] 阎平凡, 张长水. 神经网络与模拟进化计算 [M]. 北京:清华大学出版社, 2000. 11.
- [13] 王阳萍, 朱正平, 孙传庆. 一种基于改进径向神经网络的人脸图像识别方法 [J]. 甘肃科学学报, 2006, 18(2): 62-64.