

# HHT 法在配电线路在线故障诊断中的应用

刘 焱,徐晓亮

(盐城工学院 电气工程学院,江苏 盐城 224051)

**摘要:**配电网中线路运行故障已经成为干扰线路运行的重要问题。采用 HHT 法(自适应的时域频率分析法)判断配电线路运行故障,并对配电线路中出现的局部故障进行仿真分析,结果表明:该方法对配电线路故障中的非线性、非稳态信号的处理具有较高的应用价值。

**关键词:**配电线路,在线故障,自适应时域频率分析法

**中图分类号:**TM726      **文献标识码:**A      **文章编号:**1671-5322(2016)03-0056-04

在电力系统中,配电网如果发生故障,会直接影响到国民经济和人们的日常生活。目前的配电网诊断研究很多是倾向于事故后的分析和判断,即以某一电压等级电网或某一区域电网为研究对象,依据故障综合信息,采用某种诊断机制来确定故障原因和发生故障的区段。对于配电线路故障诊断而言,传统的方法主要是针对单相接地和相间短路进行研究,而对于高阻故障和间歇性故障,由于其故障后电流小、电压低、三相不平衡特征不明显,造成故障特征提取相对困难,传统方法已不再合适,而时频分析法却是诊断非平稳、非线性故障信号的有效方法<sup>[1]</sup>。

时频分析配电线路故障检测也有好几种方法:傅里叶变换是一种全域变换,但它不能反映非平稳信号统计量的时间变化,对非平稳的电力故障信号检测具有局限性;小波分析方法缺点之一就是小波基的选择上没有完善的理论,只是凭经验或者尝试选择不同的小波基,其结论差异较大,而且选择了小波基后,整个分析过程都要使用同一个小波基,无法更换,不具有自适应性。为了克服上述方法的不足,本文采用了一种新的信号处理方法——自适应的时域频率分析法(即 HHT 法)。

## 1 HHT 理论

HHT 法包括 EMD(Empirical Mode Decomposition, EMD, 经验模态分解)和 Hilbert(Hilbert-

Huang transform, HHT 希耳伯特-黄变换)变换。EMD 算法基于信号局部特征时间尺度提取 IMF(Intrinsic Mode Functions, IMF, 本质模态函数, IMF 可以是线性也可以是非线性的), 然后进行 Hilbert 变换, 变换之后称之为 Hilbert 谱<sup>[2]</sup>。

### 1.1 EMD 理论算法

一般原始信号都不满足 IMF 分量的条件,需要采用 EMD 算法进行预先处理。

EMD 算法分解步骤如下:

- (1)确定初始信号  $x(t)$  的全部极值点,用函数曲线构建所有极大值点的上包络线  $E_1$ 。
- (2)将所有极小值点构成下包络线  $E_2$ 。
- (3)求出两者的均值  $m$ ,由  $h = x(t) - m$ ,判断  $h$  是否为一个 IMF。若是,则为原始信号的 1 个 IMF 分量  $C$ ;若不是,则把  $h$  作为原始信号重复以上步骤,直到满足 IMF 分量的条件,并记为  $C$ ,作为原始信号的 1 个满足 IMF 的分量。
- (4)从原始信号  $x(t)$  中分解出  $r$ ,即  $r = x(t) - C$ ,判断  $r$  是否为单调函数。若是,则结束循环;若不是,则把  $r$  作为原始信号重复以上计算。循环结束后得到 EMD 分解结果: $x(t) = \sum_{i=1}^n C_i + r_n$ 。

图 1 为 EMD 算法流程。经过一系列 EMD 分解后,得到相应的一组平稳的时域信号,信号频率由高往低排列( $C_1 \cdots C_n$ ),相应的  $r_n$  也是最低的频率。EMD 分解是一个自适的过程,能够处理稳定性差的信号。

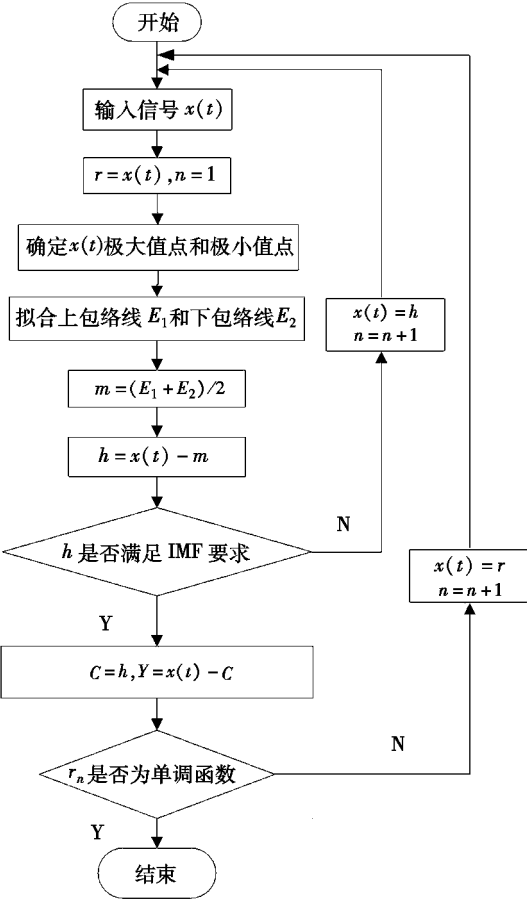


图 1 EMD 算法流程图

Fig.1 EMD arithmetic flow diagram

1.2 Hilbert 谱理论分析

获得  $x(t)$  的全部 IMF 分量后,对每一阶分量进行根本意义上的 Hilbert 变换,形成 Hilbert 幅值谱。第  $i$  阶 IMF $c_i(t)$  的 Hilbert 变换为:

$$\hat{c}_i(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{c_i}{t - \tau} d\tau$$

解析信号  $z_i(t) = c_i(t) + j\hat{c}_i(t) = A_i(t) e^{j\theta_i(t)}$

$$A_i(t) = \sqrt{c_i^2(t) + \hat{c}_i^2(t)}$$

$$\tan\theta_i(t) = \frac{\hat{c}_i(t)}{c_i(t)}$$

瞬时频率  $\omega_i(t) = \frac{d\theta_i(t)}{dt}$

则  $x_i(t) = \sum_{i=1}^n c_i(t) + r_n(t) =$

$$\text{Re} \left[ \sum_{i=1}^n A_i(t) e^{j\theta_i(t)} \right] + r_n(t) =$$

$$\text{Re} \left[ \sum_{i=1}^n A_i(t) e^{j \int \omega_i(t) dt} \right] + r_n(t)$$

式中:  $\text{Re}[\ast]$ :取实部;  $r_n(t)$ :一个常数或单

调函数,且是低频率,因此可省略。Hilbert 幅值谱为:

$$H(\omega, t) = \text{Re} \left[ \sum_{i=1}^n A_i(t) e^{j\theta_i(t)} \right]$$

Hilbert 幅值谱阐述了信号振幅在整个频率和时间跨度上随时间和频率的变化规律。

EMD 和与之相应的 Hilbert 变换的信号分析方法合起来称为 HHT,它不同于小波函数具有基函数的选取问题,能够自适应地分解信号,因而在信号分析与处理领域,特别是配电线路故障中对非线性、非稳态信号的处理具有较高的应用价值和广阔的应用前景<sup>[3]</sup>。

2 HHT 法诊断线路故障的研究

线路故障一直影响着线路的正常运行,然而故障总是在所难免。配电线路由于各种原因可能发生高阻故障和低阻故障。由于线路参数的不平衡等因素的影响,采集的故障零序电压信号虽说很小,但比较稳定。采集信号包含许多暂态分量信号,故障后信号的幅值都比线路正常运行时高很多(对于中性点不接地和经灭弧线圈接地系统所产生的状况也一样),所以基本上把故障后零序电压信号的特点作为判断故障特征的条件之一,原因如下:(1)零序电流信号太小,容易受自然环境干扰,一般很难提取;(2)零序电压信号反映故障信号的特征比较明显,采集过程中一般不会出现波动;(3)零序电压基本不受随机信号的干扰,但电流受干扰的程度要比电压深。

现以 HHT 法按以下步骤诊断线路故障:(1)故障信号的测取;(2)故障信号的调理;(3)数据采集;(4)故障状态识别,判断系统是否正常工作。假设某配电线路基频 50 Hz,以固定采样频率 1 000 Hz 分别对三相电压、电流信号进行初始采样提取分析,一个周期采样收集 20 次<sup>[4]</sup>。

故障检测步骤如下:

- (1)采用电压电流互感器对配电线路监测点实时采集三相电压信号  $u_a、u_b、u_c$  和电流信号  $i_a、i_b、i_c$ ,获得故障零序电压  $u_0$  和故障零序电流  $i_0$ 。
- (2)经过算式分解出故障零序电压  $u_0$ ,得到多个本征模态。根据 EMD 的特性,可知前几阶 IMF 包含许多故障信息量,都能较好地反映数据信号特征。
- (3)采用 HHT 法运算,得到相应的瞬时幅值。
- (4)信号在一个测量周期的一阶 IMF 瞬时幅

值的总和,列式:

$$S_{IMF1} = \sum_{i=1}^n a_i[N]$$

式中: $N$  为一个周期的采样点数, $N=20$ ;  
 $IMF1$  为一阶瞬时幅值的本征模态分量; $S_{IMF1}$  为一阶瞬时幅值和。

(5) 比较  $S_{IMF1}$  的值。若  $S_{IMF1} > 0$ , 线路出现故障, 开启后续程序; 若  $S_{IMF1} < 0$ , 则返回。

利用 HHT 法抽取故障信息的暂态分量, 将一个周期内所采集的零序一阶分量作为判断故障线路的依据。试验表明这种方法检测故障信号的灵敏度相对较高, 而且不易受外界因素的干扰<sup>[3]</sup>。

3 仿真

现以 HHT 为检测工具, 电力系统仿真软件 PSCAD 为仿真工具, 对故障线路的瞬时分量进行分析, 确定各故障类型分别如图 2 ~ 图 5 所示。

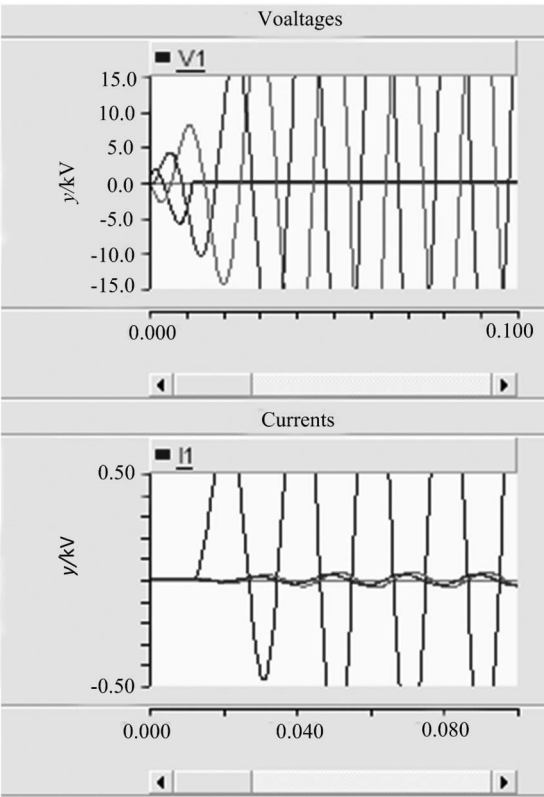


图 2 单相接地故障各相电压电流状态图  
Fig.2 The state diagram about voltage, current with single-phase grounded fault

(1) 线路发生单相接地故障时各相电压电流状态仿真如图 2 所示。

由图 2 可知非故障相电压高出故障相电压的数倍, 接近过电压状态; 故障相短路接地电流为非故障相的数十倍。可见发生短路使得冲击电流很

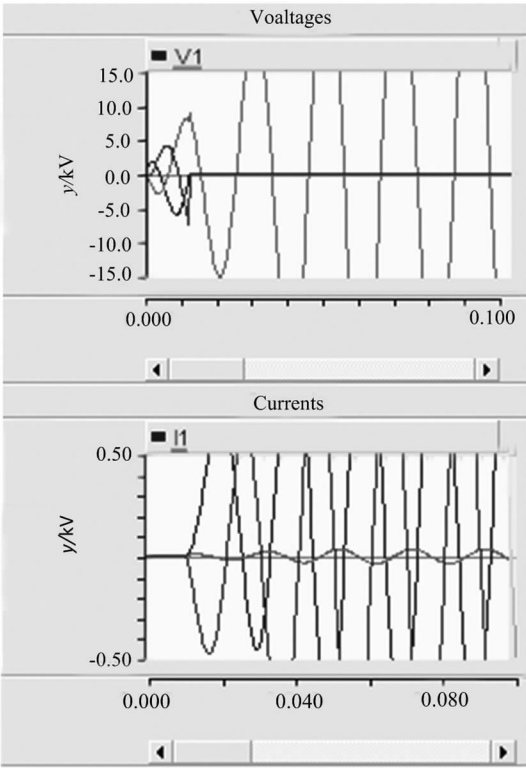


图 3 两相接地短路时各相电压电流仿真图  
Fig.3 the simulation diagram about phase voltage and current with two-phase short circuit and grounded

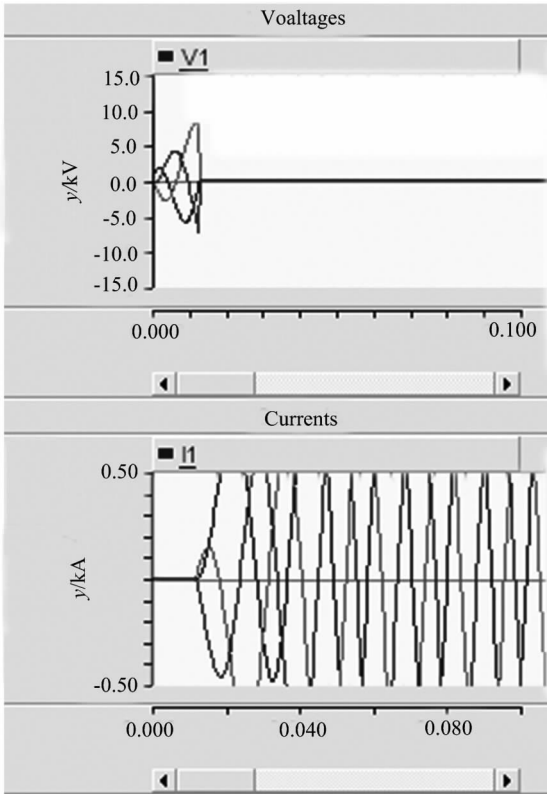


图 4 三相接地短路时各相电压电流仿真图  
Fig.4 The simulation diagram about phase voltage and current with three-phase short circuit and grounded

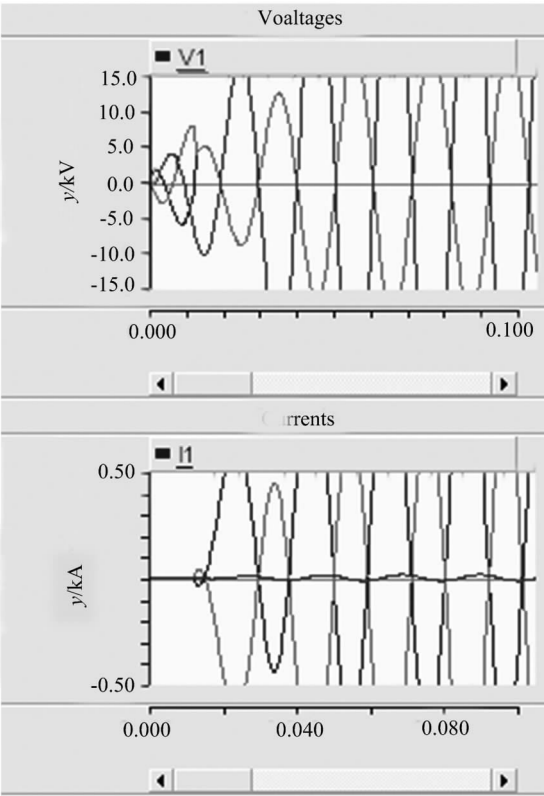


图5 两相短路时各相电压电流仿真图  
Fig.5 The simulation diagram about phase voltage and current with two-phase short circuit

大,可能损坏设备,如不及及时处理后果将很严重。  
(2)线路发生两相接地短路时各相电压电流状态如图3所示,故障相电压很小而故障相电流

参考文献:

[1] 黄永平. 配电线路在线故障识别与诊断方法研究[J]. 科技与企业,2013(21):299.  
[2] 周廷模. 配电线路在线故障识别与诊断方法的研究[J]. 广东科技,2013(16):90-91.  
[3] 翟进乾. 配电线路在线故障识别与诊断方法研究[D]. 重庆:重庆大学,2012.  
[4] 陈春. 电力系统中配电线路运行故障的检修[J]. 科技创新与应用,2013(29):166-167.

Application of HHT Method in the Online Fault Diagnosis of Distribution Line

LIU Yan, XU Xiaoliang

(School of Electrical Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng Jiangsu 224051, China)

**Abstract:**The operation fault of lines in distribution network has become an important problem in the operation of interference lines. The HHT method (adaptive time domain frequency analysis method) is used to judge the operation fault of distribution line, and the local fault in the distribution line is simulated and analyzed. The results show that this method has high application value in the nonlinear and non steady signal processing in power distribution line fault.

**Keywords:**distribution line; online fault; adaptive time domain frequency analysis method

(责任编辑:李华云)

很大,容易烧坏电路。  
(3)当线路发生三相接地短路时各相电压电流状态仿真如图4所示。  
由图4可知,三相短路接地时故障相电压同样基本为零,非故障相的电流很大;很大的短路电流通过导体时,如果导体不够坚固,则可能遭到破坏,很容易烧坏电路。  
(4)线路发生两相短路时故障相电压电流仿真如图5所示,三相电压和三相电流严重不平衡。  
因此,线路发生两相短路时,电路失去平衡引起区域断电,维修比较麻烦。  
由于篇幅关系,对配电线路高阻和低阻故障的仿真不一一叙述。

4 结束语

HHT法用于配电线路在线故障诊断的方法越来越常见。将传统配电线路故障诊断方法与HHT法相结合,使得线路故障的维修更有保障。但由于故障的现象总是千变万化的,许多故障如果不能在第一时间得到解决,很有可能引发2次故障,加深故障带来的危害,所以故障具体位置的确定就显得很重要。本文采用HHT法对线路是否存在故障和故障具体的类型展开了研究,相信通过以后的工作实践,能够对配电线路故障定位进行深入的研究,为配电线路安全、可靠工作提供技术保障。