

文章编号 1000-5013(2005)01-0035-03

# 变压器局部放电在线检测中 DSI 干扰抑制

卢小芬 方瑞明

(华侨大学信息科学与工程学院, 福建 泉州 362021)

**摘要** 针对运行中变压器局部放电在线监测信号中的周期性窄带干扰(DSI),分析 DSI 与局部放电信号的频谱特征.在此基础上,提出采用基于快速 Fourier 变换(FFT)的功率谱估计法进行 DSI 信号检测.采用级联二阶 IIR 陷波滤波器,对放电信号进行处理,滤除 DSI 信号以抑制干扰.详细介绍 IIR 陷波滤波器的设计方法,它对局部放电信号造成的波形畸变较小.仿真结果验证了该方法的有效性.

**关键词** 变压器,局部放电,周期性窄带干扰,快速傅里叶变换

**中图分类号** TM 406 TM 835.4

**文献标识码** A

在线监测运行中变压器的局部放电现象,可及时发现变压器内部存在的潜伏性缺陷和故障,给出预警,保证变压器乃至整个电力系统的安全、可靠运行<sup>[1]</sup>.然而,变压器运行现场存在着许多周期性窄带干扰信号.由于这些信号在频谱上表现为离散的谱线,故又称为 DSI(Discrete Spectral Interference).DSI 的出现使得本身就十分微弱的局部放电信号检测被淹没在噪声之中,给检测带来很大困难,因此必须设法加以抑制.可以说,有效抑制干扰是电气设备局部放电在线监测的关键技术之一<sup>[2]</sup>.局部放电信号从时域上看是一个瞬变的脉冲信号,在频域上则表现为一宽带信号,与 DSI 在频域中有明显的特性差异.因此,可以采用数字滤波的方法对其进行抑制.目前,关于变压器局放在线监测中的数字滤波方法研究较多.文[3]采用自适应滤波方法,参数调整困难且抑制低噪音 DSI 的能力较弱.文[4]采用小波分析提取局放脉冲信号,取得了较好效果.但该方法不能得到滤除 DSI 后的实际信号波形,这不利于高频脉冲型干扰信号的抑制.本文提出采用多级二阶 IIR 陷波滤波器抑制 DSI 信号,取得了较好的效果.

## 1 DSI 信号分析

### 1.1 DSI 的信号来源

变压器局部放电在线监测数据采集系统的简化框图,如图 1 所示.图中 PD 为局部放电信号, N1, N2 为采集电路中硬件噪声, DSI 为电力系统

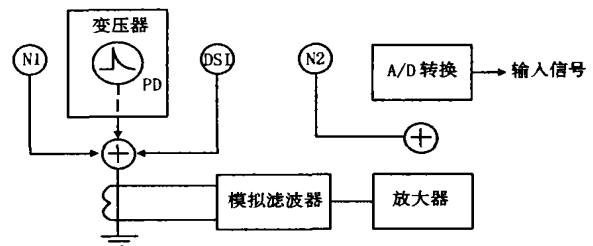


图 1 变压器局部放电在线监测数据采集系统简化框图

载波通讯、无线电广播等多种干扰信号.输出信号就是该采集系统采集到的信号,是做为级联二阶陷波滤波器的输入信号,即图 1 中所标示的“输入信号”.模拟滤波器的作用是将 N1 白色噪声(高频信号)滤除;而数字滤波器(如文中采用的多级二阶 IIR 陷波滤波器)作为信号辨识,可以抑制具有多频段的 DSI 信号.因此,在变压器局部放电在线监测系统中,由于多种 DSI 在测量点通过电流传感器进入数据采集系统,从而造成干扰.为提高局放监测的准确性,必须采取措施,抑制 DSI 干扰.

### 1.2 DSI 信号频谱分析

理想的局部放电时域信号可以看作一个单位冲激信号,它在频域内的频谱分布是均匀的<sup>[5]</sup>.各个频率分量处的幅值( $H$ )相等,即

收稿日期 2004-03-22

作者简介 卢小芬(1972-),女,讲师,主要从事电力系统与自动化的研究. E-mail: lxfg@126.com

$$p(\omega) = F[|x(t)|^2] = 1. \quad (1)$$

而理想的 DSI 在频域内为一冲激信号,其能量集中在  $\omega = \omega_0$  处,可表示为

$$X(\omega) = \delta(\omega - \omega_0). \quad (2)$$

利用快速傅里叶变换方法(FFT)直接对采样数据进行傅里叶变换估计功率谱,通常称为周期图法.周期图法估计的误差较大,实际应用时往往需要对其加以改进.本文采用加窗平滑周期图法<sup>[6]</sup>分析输入信号频谱,先对整个数据段分段处理(减少方差),对分段数据使用非矩形窗进行处理(减少分段引起的吉布斯效应).然后,求每段数据功率谱,再将结果相加后求平均值.其流程如图 2 所示.采用上述方法得到输入信号平均功率谱后,设置一定的阈值.超过该阈值的频率成分即为 DSI,频谱图上所对应的频率即为该 DSI 的频率.

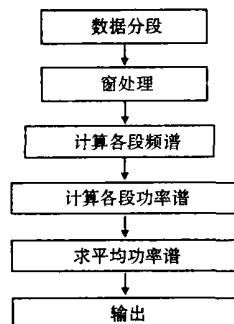


图 2 变压器局放在线监测输入信号频谱分析流程图

## 2 级联二阶 IIR 陷波滤波器设计

采样所得到的信号中的干扰是具有可加性,它们的 FFT 是线性的.因此,当 DSI 干扰和 PD 信号经 FFT 变换到频域后,它们将分别成为离散的窄带信号和连续的 PD 信号.在频域内将窄带信号消除,然后再将整个信号变换回时域,这样即可消除其中的窄带干扰.因此,用来滤波的级联二阶陷波滤波器的设计要求,如图 3 所示.

由图 3 可以看出,要使 IIR 滤波器在频率  $\omega_0$  处具有陷波特性和,只需保证其传递函数在  $z$  平面内  $e^{\pm j\omega_0 T}$  为一对零点.考虑到频谱分析中所检测得到的 DSI 角频率值存在着一定的误差,因此如果陷波滤波器的陷波特性和过于尖锐反而不利于抑制 DSI.为此,陷波滤波器的传递函数应设计为

$$H(Z) = \frac{(Z - e^{j\omega_0 T})(Z - e^{-j\omega_0 T})}{(Z - e^{j\omega_0 T})(Z - e^{-j\omega_0 T})}, \quad (3)$$

式中  $T$  为采样间隔时间,  $a$  为调整因子( $0 < a < 1$ ).当  $a = 1$  时,对实际 DSI 信号的抑制作用有限;而  $a$  值过小,则对非 DSI 信号(包括局部放电信号)的衰减增大,会导致波形畸变.因此,  $a$  的取值为 0.95 左右为宜.

一个二阶 IIR 陷波器只能抑制一种频率的 DSI,若有多个频率的 DSI 信号存在,可采用多个二阶 IIR 陷波器级联的方式抑制.其传递函数为

$$H(Z) = \prod_{i=1}^n H_i(Z). \quad (4)$$

将其表现为差分形式,则  $y_i(n) = x_i(n) - 2\cos(\omega_i T)x_i(n-1) + x_i(n-2) + 2\cos(\omega_i T)y_i(n-1) - 2y_i(n-2)$ .这里,  $y_i(n)$  表示  $n$  级滤波器的输出,  $x_i(n)$  表示  $n$  级滤波器的输入.采用连续递归方式编程,即可实现级联二阶 IIR 陷波滤波器.

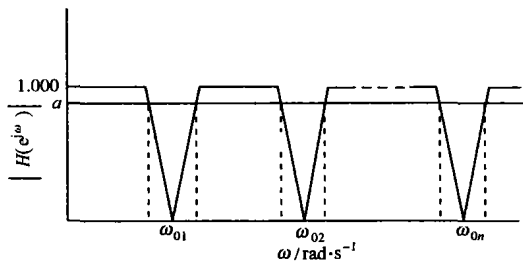


图 3 级联 IIR 陷波滤波器的设计要求

## 3 滤波结果分析

图 4 为变压器局放在线监测输入信号波形.这是采用基于上述算法的级联二阶滤波器,对变压器局部放电在线监测系统的采集信号进行分析而输入的信号.采用 1.2DSI 信号频谱分析中讲述的功率谱估计方法分析得到输入信号频谱,结果如图 5 所示.选取阈值为 0.2,则 DSI 信号如表 1 所示.

图 4 变压器局放在线监测输入信号波形

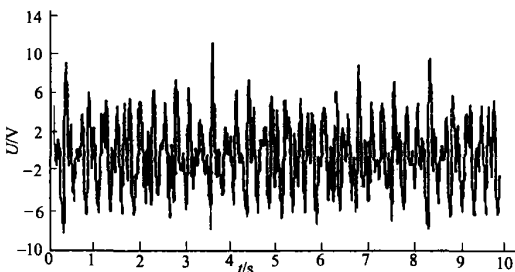


表 1 变压器局部放电在线监测中的 DSI 信号

$f/\text{MHz}$	0.199	0.300	0.449	0.500	0.619	0.699	0.801	0.900
$H$	1.426	7.704	1.102	1.821	6.921	0.521	1.363	0.512

根据频谱分析结果(图 6),选取调整因子为 0.95.设计 8 级联二阶 IIR 陷波滤波器,则抑制了表 1 中的 8

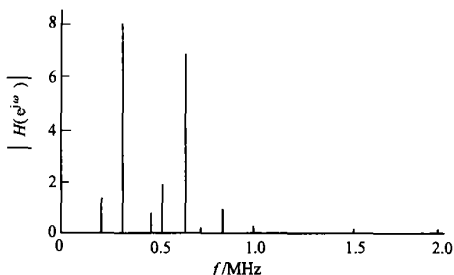


图 5 变压器局放在线监测输入信号频谱

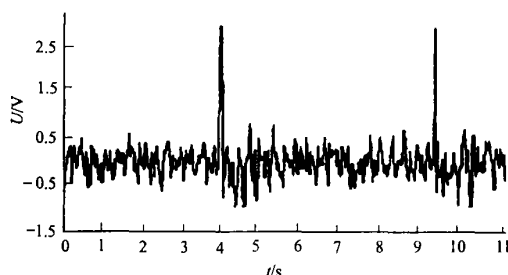


图 6 变压器局放在线监测输入信号滤波后波形

个频率的 DSI 信号.滤波后的波形,如图 6 所示.从图可以看出,输入信号中的 DSI 干扰信号已被抑制.

## 4 结束语

(1) 采用平均功率谱方法,分析变压器局部放电在线监测系统中 DSI 干扰信号的频谱特性.提出采用阈值判定法确定 DSI 信号频率,能够有效检测输入信号中的 DSI 成分.(2) 提出采用级联二阶 IIR 陷波滤波器抑制 DSI 干扰,分析了滤波器设计方法.(3) 滤波效果表明采用级联二阶 IIR 陷波滤波器,它能够有效抑制 DSI 干扰.只要合理选择调整因子,对局部放电信号造成的波形畸变也趋小.

## 参 考 文 献

- 1 邱昌容,王乃庆. 电工设备局部放电及其测试技术[M]. 北京:机械工业出版社,1994.7~8
- 2 高胜友,朱德恒,谈克雄等. 变压器局部放电在线监测信号处理技术的研究[J]. 清华大学学报(自然科学版),2003,43(9):1181~1183
- 3 Sher Z K, Zhu Deheng, Jin Xianhe, et al. A new adaptive technique for on-line partial discharge monitoring[J]. IEEE Trans. on Dielectrical and Electrical Insulation, 1995, 2(4):700~707
- 4 王 祁,钟 升. 用小波变换提取高压变压器局部放电脉冲的研究[J]. 电工技术学报,1997,12(4):50~53
- 5 张士宝,董旭柱. 局部放电监测中现场干扰的分析与抑制[J]. 清华大学学报(自然科学版),1997,37(8):107~110
- 6 周 正. 统计与自适应信号处理[M]. 北京:电子工业出版社,2003.278~287

## Suppression of Discrete Spectral Interference in Partial Discharge of Transformer during On-Line Detection

Lu Xiaofen Fang Ruiming

(College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, 362021, Quanzhou, China)

**Abstract** Aiming at the periodic narrow band interference in partial discharge signal of transformer during the operation of on-line monitoring, the authors take effective measures to suppress this discrete spectral interference (DSI). Such measures include an analysis of spectral characteristics of DSI and partial discharge signal; and a detection of DSI signal by adopting fast Fourier transform (FFT)-based power-spectrum estimate; and a treatment of discharge signal by adopting cascaded second-order notch filter which filters the DSI signal. With regard to this second-order notch filter, the authors give a detailed account of its design method which causes fairly little waveform distortion of the partial discharge signal. Simulation results have verified the validity of this method.

**Keywords** transformer, partial discharge, periodic narrow band interference or discrete spectral interference, fast Fourier transform