

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^[1]. 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^[2]. 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

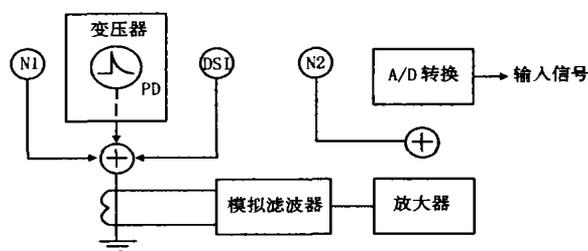


图 1 变压器局部放电在线监测数据采集系统简化框图

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^[5]. 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: lxflg@126.com

$$p(\omega) = |F[\delta(t)]| = 1. \tag{1}$$

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

$$X(\omega) = \delta(\omega - \omega_0). \tag{2}$$

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^[6]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.

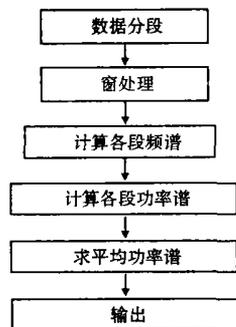


图 2 变压器局放在线监测输入信号频谱分析流程图

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 ω_0 处具有陷波特性和,只需保证其传递函数在 z 平面内 $e^{j\omega_0 T}$ 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

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

式中 T 为采样间隔时间, α 为调整因子($0 < \alpha < 1$).当 $\alpha = 1$ 时,对实际 DSI 信号的抑制作用有限;而 α 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, α 的取值为 0.95 左右为宜.

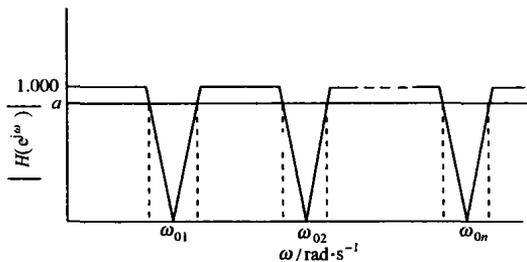


图 3 级联 IIR 陷波滤波器的设计要求

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

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

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.

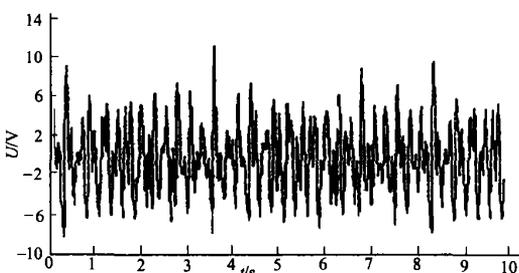


图 4 变压器局放在线监测输入信号波形

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.

表 1 变压器局部放电在线监测中的 DSI 信号

f/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

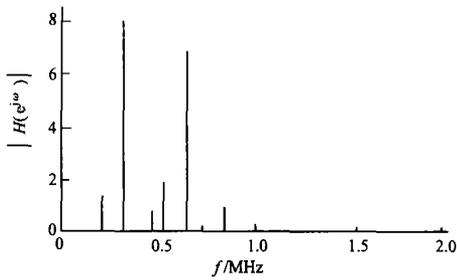


图 5 变压器局放在线监测输入信号频谱

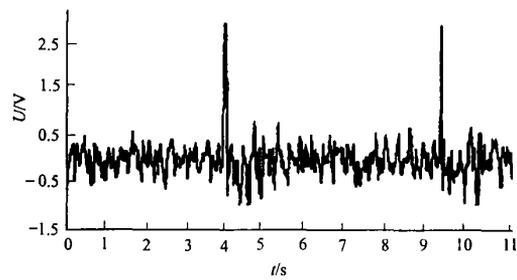


图 6 变压器局放在线监测输入信号滤波后波形

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