

DOI:10.12158/j.2096-3203.2020.04.017

换流变用有载分接开关振动信号预处理方法研究

张知先¹, 高拓宇², 雷嘉丽¹

(1. 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室(重庆大学), 重庆 400044;
2. 国网江苏省电力有限公司检修分公司, 江苏 南京 211102)

摘要:为提高换流变用有载分接开关(OLTC)状态诊断的准确性,开展换流变用 OLTC 振动信号预处理方法研究。通过对 OLTC 工作原理和现场噪声的分析,提出基于维纳滤波器的 OLTC 振动信号降噪方法和基于 Teager 能量算子-双门限法的 OLTC 振动信号阶段划分方法。在降噪方面,通过驱动电机电流信号划分噪声段和带噪信号段,基于噪声和带噪信号的频谱特征构建维纳滤波器,通过与降噪前的振动信号以及与其他降噪方法的比较,验证了该方法的有效性。在阶段划分方面,通过 Teager 能量算子放大振动脉冲与低频噪声的差异,通过对比观察法与所提方法在端点提取时存在的误差,验证了所提方法的有效性。文中提出的振动信号预处理方法,可为 OLTC 状态诊断提供高信噪比的振动信号和振动阶段信息。

关键词:有载分接开关(OLTC);信号预处理;维纳滤波器;Teager 能量算子;自适应降噪;端点提取
中图分类号:TM403 **文献标志码:**A **文章编号:**2096-3203(2020)04-0120-07

0 引言

有载分接开关(on-load tap changer, OLTC)是适合在变压器励磁或负载下进行操作的用来改变绕组分接位置以调整变压器输出电压的装置^[1-2]。相关统计表明,OLTC 的故障以机械故障为主,约占整体故障概率的 70%~90%^[3]。同时,许多电气性能故障如触头接触不良等,往往也是由于机械故障引起^[4]。换流变压器用 OLTC 具有切换负荷高、调压范围大、调压操作频繁等特点,鉴于特高压直流输电线路的重要性^[5],其运行安全受到广泛关注。

由于 OLTC 状态诊断的迫切需求和振动信号检测在获取设备内部零部件状态信息上的突出优势,基于振动信号的 OLTC 状态诊断受到国内外学者的广泛关注^[6-9]。OLTC 振动信号的预处理方法是重要的课题之一,其目的在于获得高信噪比的振动信号,并对振动信号进行阶段划分,以服务于振动信号特征提取和 OLTC 状态诊断,现场噪声干扰的多样性和振动信号本身的随机性是该课题的难点。

为了实现准确的 OLTC 状态诊断,获得高信噪比的 OLTC 振动信号是重要前提。王春亮等人研究了基于小波包变换-矩阵奇异值分解的 OLTC 振动信号降噪方法^[10],但该方法在用于 OLTC 振动信号降噪时,难以充分利用已有的噪声信息,同时降噪阶次的选取是一大难点^[11]。Seo 等人研究了基于概率小波变换的 OLTC 振动信号降噪方法^[12],该方法

需合理设置小波阈值,且在噪声干扰的幅值接近原始信号时,难以滤除噪声干扰。

OLTC 的振动具有典型的阶段性^[13],不同时段振动信号对应不同机械部件动作过程,对 OLTC 振动信号的端点进行提取以划分振动信号的不同阶段对于分析各个部件的状态具有重要意义。Rivas 等人基于小波变换提取了振动冲击的幅值与时间以划分振动信号的不同阶段^[14],但在实际使用中由于噪声和 OLTC 可能存在的零部件松动,提取的振动冲击点往往并不对应预设的振动阶段划分点。

文中开展 OLTC 振动信号预处理方法的研究工作。基于在换流站现场采集到的 OLTC 振动信号,对 OLTC 振动信号和噪声信号的典型特征进行了分析。在 OLTC 振动信号的降噪方面,提出基于维纳滤波器的 OLTC 降噪方法,充分利用 OLTC 振动的阶段性获得了噪声信号和带噪信号的频谱分布,通过构建维纳滤波器实现了自适应降噪。对降噪后的振动信号进行阶段划分,提出基于 Teager 能量算子-双门限法的 OLTC 阶段划分方法。Teager 能量算子放大了噪声和原始信号的差异,通过合理选择带入 Teager 能量算子的时段,降低残余噪声和 OLTC 零部件松动对阶段划分的干扰,提高计算效率。

1 振动信号的采集与分析

1.1 振动信号的采集

在换流站现场采集 OLTC 的振动和驱动电机电

收稿日期:2019-12-29;修回日期:2020-02-11

基金项目:国家自然科学基金资助项目(U1766217)

流信号。为实现有载调压功能,在1台换流变上安装有2台OLTC和1台极性转换开关,其中2台OLTC通过并联机构由1台驱动电机控制,极性转换开关由另1台驱动电机控制。

本次试验搭建的数据采集系统包括3个加速度传感器(型号为LC0103TB-50)和1个电流传感器(型号为MN60),其中加速度传感器分别安装在2台OLTC的顶盖和传动轴顶盖,电流传感器安装在驱动电机的某一相电源线上。采集系统数据采集卡的最大采样率为102.4 kHz。加速度传感器的布置方式如图1所示。

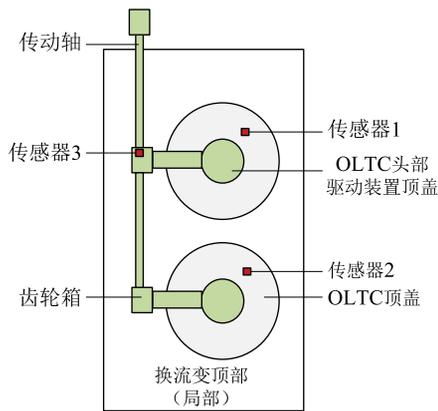


图1 传感器布置

Fig.1 Sensors arrangement

1.2 振动信号的阶段划分方案

采集到的振动信号和驱动电机电流信号波形见图2。由于OLTC的一次切换动作对应着多个动作过程,且各个动作过程之间振动信号的特征差异较大,故对振动信号的不同阶段拟定了划分方案。

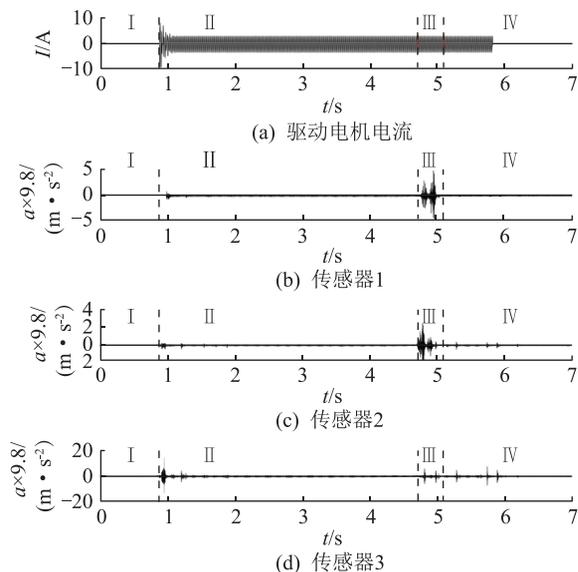


图2 振动信号的阶段划分

Fig.2 Stage division of vibration signal

图2中,基于驱动电机的电流信号,将OLTC的振动信号划分为4个阶段,分别为:阶段I,对应OLTC动作前;阶段II,主要对应OLTC快速动作机构储能;阶段III,主要对应OLTC触头切换动作;阶段IV,对应OLTC触头切换完成后。

1.3 噪声及其影响

OLTC振动信号的噪声包括如下2个方面。

(1) 接收信号固有的物理扰动:变压器铁芯和绕组的振动^[15];OLTC滤油机的振动;变压器风冷设备的振动;OLTC驱动电机的振动^[16]。

(2) 测试设备引入的噪声:电子噪声;电磁噪声(现场的电晕放电等)。

在试验过程中,发现部分OLTC由于OLTC滤油机芯体老化导致振动较为剧烈,采集到的振动信号受噪声影响较为严重。带噪声的振动信号如图3所示。

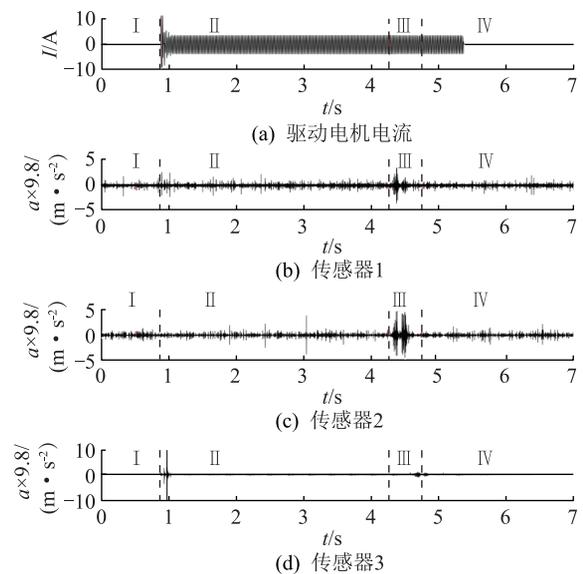


图3 带噪声的振动信号

Fig.3 Vibration signal with noise

图3中,传感器1、2采集的振动信号受到了较为严重的噪声干扰,由于本次试验是在离线状态下进行,这部分噪声主要来自OLTC滤油机。在OLTC不动作的情况下,采集了噪声信号,其时域和频域波形如图4所示。

由图3、图4可见,芯体老化滤油机振动的高频信号可达20 kHz,同时部分振动脉冲的幅值接近OLTC切换操作所产生的振动信号,淹没了OLTC的状态信息,导致难以按照1.2节拟定的方案对振动信号的阶段进行划分。

2 基于维纳滤波器的降噪

OLTC振动检测中常见的噪声如:变压器铁芯

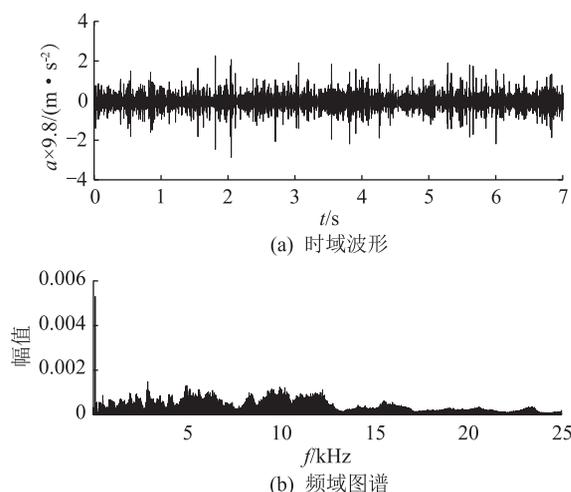


图4 噪声信号
Fig.4 Noise signal

和绕组振动, OLTC 滤油机振动, 变压器风冷设备的振动均在较长的时间段内具有较为稳定的时域、频域统计特征。同时, 由于 OLTC 的工作具有短时性, 即动作时段的时长远小于不动作时段的时长, 使获得 OLTC 振动信号的背景噪声十分容易。上述条件共同决定了对于 OLTC 振动信号的降噪非常适合采用维纳滤波器。

2.1 维纳滤波器基本原理

维纳滤波器^[17]的基本原理如下。对于观测数据 $y(t) = s(t) + n(t)$, 其中 $s(t)$ 为原始信号, $n(t)$ 为干扰噪声, 考虑使用滤波器 $H(\omega)$ 实现对 $s(t)$ 的估计:

$$H(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

$$\hat{s}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t - \tau) y(\tau) d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) y(t - \tau) d\tau \quad (2)$$

均方误差为:

$$J = E[(s(t) - \hat{s}(t))^2] = E\left[\left(s(t) - \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) y(t - \tau) d\tau\right)^2\right] \quad (3)$$

考虑使均方误差最小, 线性最优滤波器的冲激响应可表示为:

$$h_{opt}(t) = \underset{h(t)}{\operatorname{argmin}} J \quad (4)$$

其傅里叶变换即线性最优滤波器的频率响应。从而得到线性最优滤波器即非因果维纳滤波器如下:

$$H_{opt}(\omega) = \frac{P_{sy}(\omega)}{P_{yy}(\omega)} \quad (5)$$

考虑将非因果维纳滤波器中的因果部分分离出来, 首先, 将有理式功率谱 $P_{yy}(\omega)$ 分解为:

$$P_{yy}(\omega) = A_{yy}^+(\omega) A_{yy}^-(\omega) \quad (6)$$

式中: $A_{yy}^+(\omega)$ 的零、极点全部位于左半平面; $A_{yy}^-(\omega)$ 的零、极点全部位于右半平面。将位于 ω 轴上的零、极点对半分给 $A_{yy}^+(\omega)$, $A_{yy}^-(\omega)$, 然后进行分解:

$$\frac{P_{sy}(\omega)}{A_{yy}^-(\omega)} = B^+(\omega) + B^-(\omega) \quad (7)$$

式中: $B^+(\omega)$ 的零、极点全部位于左半平面; $B^-(\omega)$ 的零、极点全部位于右半平面。将位于 ω 轴上的零、极点对半分给 $B^+(\omega)$, $B^-(\omega)$, 将式(7)改写为:

$$H(\omega) = \frac{P_{sy}(\omega)}{A_{yy}^+(\omega) A_{yy}^-(\omega)} = \frac{1}{A_{yy}^+(\omega)} \frac{P_{sy}(\omega)}{A_{yy}^-(\omega)} = \frac{1}{A_{yy}^+(\omega)} (B^+(\omega) + B^-(\omega)) \quad (8)$$

从而, 得到物理可实现的因果维纳滤波器:

$$H_{opt}(\omega) = \frac{B^+(\omega)}{A_{yy}^+(\omega)} \quad (9)$$

2.2 基于维纳滤波的 OLTC 振动信号降噪方法

基于目前在语音信号降噪中使用的维纳滤波方法, 文中提出基于维纳滤波的 OLTC 振动信号降噪方法。在语音信号的处理中, 由于没有直接给定的语音段起始时间信息, 需要基于语音信号本身划分噪声段和带噪信号段, 而精确的时段划分在强噪声环境下较难实现。在 OLTC 的振动信号分析中, 基于 OLTC 驱动机电流信号可以精确获得 OLTC 的动作起始时间, 即使在强噪声环境下也可以精确划分 OLTC 的噪声段和带噪信号段。文中设计的基于维纳滤波的 OLTC 振动信号降噪算法如下。

(1) 输入量:

$x(n)$ 为 OLTC 振动信号; $y(n)$ 为 OLTC 驱动机电流信号。计算参数为: 帧宽 W ; 帧移 S ; 截取噪声时长 N ; 截取终点参数 T 。

(2) 计算过程:

(a) 消除 $x(n)$ 中的直流分量, 并做幅值归一化;

(b) 基于 $y(n)$ 提取 OLTC 动作开始的时间点 t_1 ;

(c) 设置 $x(n)$ 的截取参数为起点 $t_1 - N$, 终点 $t_1 + N + T$;

(d) 截取 $x(n)$ 得到 $x_1(n)$;

(e) 基于参数 W, S , 对 $x_1(n)$ 分帧, 得到 M 帧;

(f) 计算第 i 帧的幅度谱 X_i , 功率谱 P_i , 相位谱 θ_i , 其中 $i = 1, \dots, M$;

(g) 基于 N 参数划分噪声帧和信号帧, 计算噪声帧的平均功率谱 P_N 和平均幅度谱 X_N ;

(h) 基于参数 P_N, X_N 和各信号帧的功率谱, 构建各信号帧的维纳滤波器传递函数 $H_i(k)$, 其中 i 为信号帧;

(i) 基于 $H_i(k)$, 得到该帧的维纳滤波器输出;

(j) 基于 $\hat{s}_i(k), \theta_i$, 还原时域信号, 得到 $x_2(n)$, 基于 $x(n)$ 的最大值, 重新整定 $x_2(n)$, 得到滤波结果 $x_3(n)$ 。

算法流程如图 5 所示。

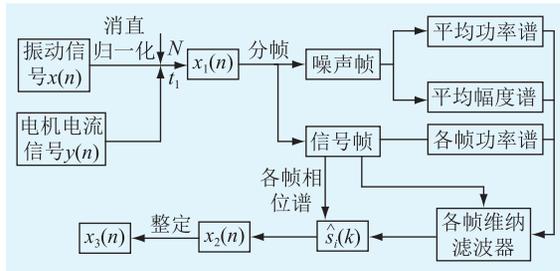


图 5 基于维纳滤波的 OLTC 振动信号降噪算法

Fig.5 Algorithm of OLTC vibration signal denoising algorithm based on Wiener filtering

采用维纳滤波对振动信号进行降噪, 取参数帧宽 W 为 25 ms, 帧移 S 为 10 ms, 截取噪声时长 N 为 0.5 s, 截取终点参数 T 为 6 s。

经过滤波后阶段 III 的振动波形如图 6 所示, 图 6 中也给出了阶段 III 前、后约 0.2 s 的信号, 从而方便比较滤波效果。

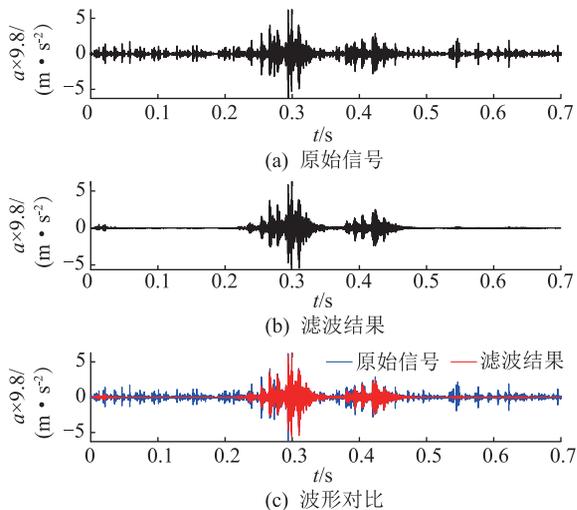


图 6 维纳滤波的结果与原始信号比较

Fig.6 Wiener filtering results compared with original signal

将文中所提的基于维纳滤波的 OLTC 振动信号降噪算法与小波阈值去噪、带通滤波作对比, 如图 7 所示。其中, 小波去噪的阈值基于施泰因无偏风险估计确定, 采用软阈值, 小波分解层数为 4 层, 小波基为 db3; 带通滤波由 1 个高通滤波器和 1 个低通

滤波器组成, 高通滤波器为基于等波纹法设计的有限长单位冲激响应 (finite impulse response, FIR) 滤波器, 通带起始频率 1.3 kHz, 低通滤波器为基于等波纹法设计的 FIR 滤波器, 截止频率为 20 kHz。

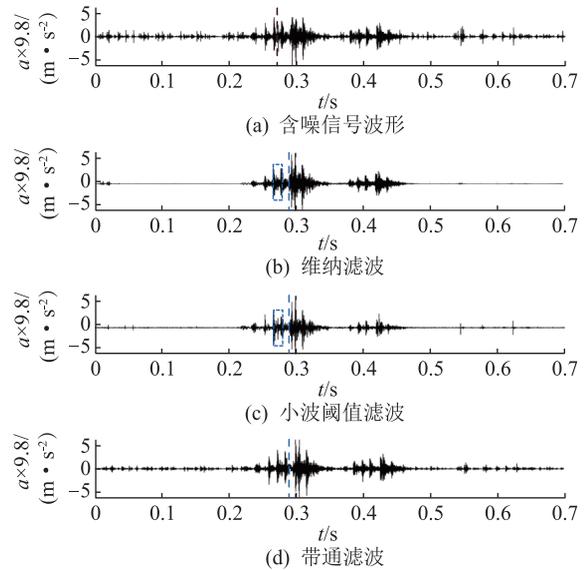


图 7 维纳滤波结果与其他算法的比较

Fig.7 Comparison of Wiener filtering results with other algorithms

由图 7 可知, 小波阈值去噪在噪声段和带噪信号段均存在部分明显的噪声残余, 其中在带噪信号段的残余如图 7(b)、(c) 中虚线框所示。带通滤波的波形出现了时延, 如图 7(b)、(d) 中虚线所示, 由于在 OLTC 振动信号的诊断中, 脉冲时间信息具有重要作用, 故传统的带通滤波不适合在 OLTC 振动信号去噪中使用。

3 基于 Teager 能量算子-双门限法的阶段划分方法

参照 1.2 节拟定的振动信号阶段划分方案, 提出基于 Teager 能量算子-双门限法的阶段划分方法, 对滤波降噪后的振动信号进行阶段划分。

3.1 Teager 能量算子

Teager 能量算子定义为:

$$\psi(x) = \dot{x}^2(t) - x(t)\ddot{x}(t) \quad (10)$$

将单频信号 $x(t) = A\cos(\omega t + \theta)$ 代入式 (10), 得到:

$$\psi(x) = A^2\omega^2 \sin^2(\omega t) + A^2\omega^2 \cos^2(\omega t) = A^2\omega^2 \quad (11)$$

可见 Teager 能量算子强化了信号的高频成分, 弱化了低频成分, 应用在 OLTC 的振动信号中时, 使得 OLTC 触头切换时产生的脉冲能量得到了放大, 而未动作或传动轴动作阶段的低频能量得到衰弱。

3.2 阶段划分方法及结果

通过 Teager 能量算子解调原始信号后,采用双门限法划分 OLTC 的动作阶段。具体划分时,针对 OLTC 动作的特点进行如下优化设计:

- (1) 基于驱动电机电流信号确定 OLTC 动作开始时间 t_1 ;
- (2) 设定 T_1, T_2 , 已从降噪的振动信号中截取 x_1, x_1 的开始时间为 t_1+T_1 , 终止时间为 $t_1+T_1+T_2$;
- (3) 对 x_1 实施阶段划分, 如图 8 所示。

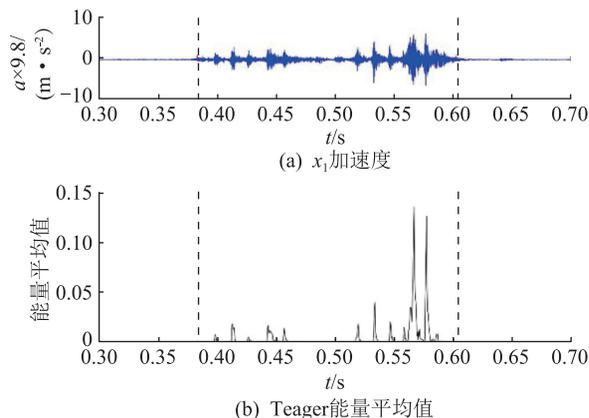


图 8 阶段划分结果
Fig.8 Stage division result

图 8 中给出了第一条起始线和最后一条终止线, 左边虚线代表起始线, 右边虚线代表终止线。

3.3 并联 OLTC 动作一致性检测

对于大型或特大型电力变压器, 往往需要多柱式 OLTC 进行电气调压。不同相之间或单相并联的多台 OLTC 处于不同分接位置时, 将在变压器内部产生循环电流, 导致电压不平衡, 严重时甚至会导致变压器跳闸, 故多柱式 OLTC 动作时间的差异必须控制在一定的范围内。

文中换流站现场 OLTC 采用的是单相 2 台分接开关并联调压的方式, 基于本节提出的端点提取方法, 对并联 OLTC 的动作一致性进行讨论。

首先, 通过放大波形进行人工观察的方式, 研究了站内 12 台换流变压器并联 OLTC 动作的一致性, 如图 9 所示。然后, 基于文中提出的阶段划分方法, 研究了并联 OLTC 动作的一致性, 如图 10 所示。由图 9 和图 10 可知, 开展实验的站内同台换流变并联 OLTC 动作一致性良好, 端点提取方法在诊断 OLTC 的动作一致性时具有较高的精度。

3.4 OLTC 各动作阶段的振动特征

在完成 OLTC 振动信号的阶段划分后, 对各个阶段的典型特征进行分析。

OLTC 在阶段 II 和阶段 III 的振动信号波形和频谱分布如图 11 所示。

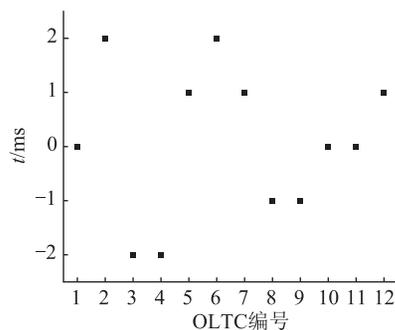


图 9 基于观察法的并联 OLTC 时间差值
Fig.9 Parallel OLTC action time difference based on observation method

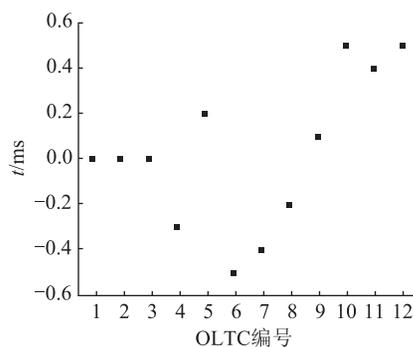


图 10 基于文中方法确定的时间差值
Fig.10 Time difference based on the proposed method

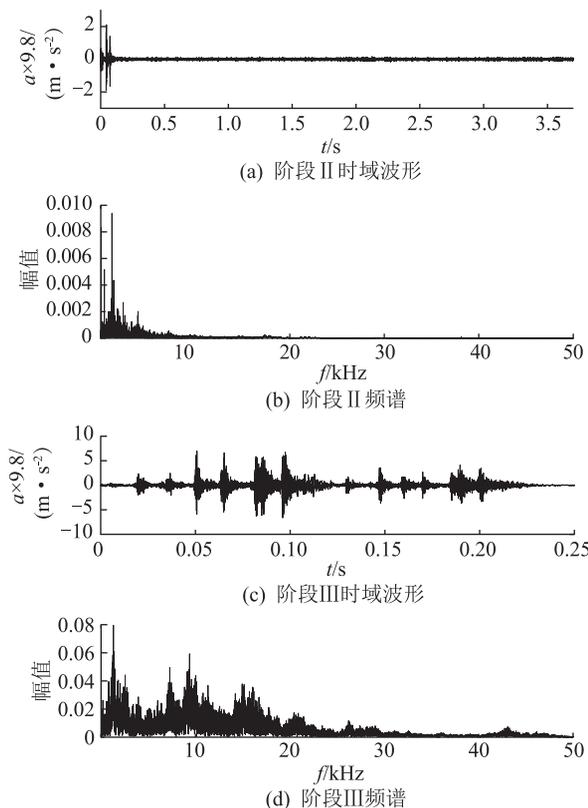


图 11 阶段 II 和阶段 III 的振动信号波形及频谱分布
Fig.11 Vibration signal waveform and spectrum distribution of stage II and stage III

由图 11 可见,阶段 II 对应了外部传动轴的转动过程,易于检测外部传动机构的松动、卡滞故障。阶段 III 对应了 OLTC 切换开关的动作,OLTC 的切换过程涉及到主触头、主通断触头、过度触头等多个触头的动作,因此在阶段 III 出现了多个幅值较强的振动峰,通过对阶段 III 振动信号的分析,易于检测切换开关各触头是否存在松动、过度磨损等异常。

表 1 提取了 OLTC 阶段 II 和阶段 III 振动信号的时频特征,作为诊断 OLTC 传动机构状态和切换机构状态的参考。其中在计算频率重心时,阶段 II 取 0~2.5 kHz 频段,阶段 III 取 0~25 kHz 频段。

表 1 OLTC 振动信号典型特征
Table 1 Typical characteristics of OLTC vibration signal

特征	阶段 II	阶段 III
持续时间/s	3.80	0.25
有效值 $\times 9.8/(m \cdot s^{-2})$	0.051 3	0.694
峰值 $\times 9.8/(m \cdot s^{-2})$	0.934 8	6.287 3
峰值点/ms	0.9	200
频域重心/kHz	1.171 5	11.2

由表 1 可知,OLTC 不同阶段的振动信号在时频特征上存在明显的差异,阶段 II 的持续时间较长,频谱分布集中在 1 kHz 以下,阶段 III 的持续时间较短,频谱分布集中在 10 kHz 左右。对于阶段 II 和阶段 III 应分别进行分析,尤其是在进行频谱分析时,应分段做傅里叶变换或采用时频分析的方式,以避免不同阶段频谱信息对彼此的影响。

4 结论

文中开展换流变用 OLTC 振动信号预处理方法研究,在换流站现场采集 OLTC 并联动作时产生的振动信号和现场噪声信号,分析 OLTC 振动信号和现场噪声信号的典型特征,建立 OLTC 振动信号的降噪算法和阶段划分方法,得到如下结论:

(1) 通过分析可知,OLTC 的振动信号在不同振动阶段的时频特征变化较大,宜划分为不同的阶段进行分析。在离线状态下,现场的噪声主要来自 OLTC 滤油机的振动,其时域波形存在幅值较大的脉冲,振动能量在频域分布于 0~30 kHz。

(2) OLTC 的动作具有短时性,利用驱动电机的电流信号可以精确掌握 OLTC 开始动作的时间。基于此提出基于维纳滤波器的 OLTC 振动信号降噪方法,通过与降噪前信号和其他方法降噪结果的对比,验证了文中所提降噪方法的有效性。

(3) 提出基于 Teager 能量算子-双门限法的

OLTC 阶段划分方法,通过分析单台换流变并联 OLTC 端点提取的误差,验证了文中所提阶段划分方法的有效性。

文中建立了 OLTC 振动信号的降噪和阶段划分等预处理方法,有助于 OLTC 振动信号的分析。将来,还需要针对不同型号的 OLTC 进行算法的优化设计,提高算法的普适性。

本文得到重庆高校创新团队建设计划(CXTD-X201601001),国网江苏省电力有限公司科技项目(J2018050)资助,谨此致谢!

参考文献:

- [1] 分接开关第 1 部分:性能要求和试验方法:GB/T 10230.1—2019[S]. 北京:中国标准出版社,2019.
Tap-changers part 1: performance requirements and test methods:GB/T 10230.1—2019[S]. Beijing: Standards Press of China, 2019.
- [2] 谢荣斌,张丽娟,靳斌,等. 基于经验模态分解的变压器振动信号盲源分离[J]. 广东电力,2018,31(2):119-124.
XIE Rongbin, ZHANG Lijuan, JIN Bin, et al. Blind source separation of transformer vibration signals based on empirical mode decomposition[J]. Guangdong Electric Power, 2018, 31(2): 119-124.
- [3] 张德明. 变压器分接开关保养维修技术问答[M]. 北京:中国电力出版社,2013:10-30.
ZHANG Deming. Questions and answers about maintenance and repair of transformer tap-changer[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2013:10-30.
- [4] 张知先,陈伟根,汤思蕊,等. 基于互补集总经验模态分解和局部异常因子的有载分接开关状态特征提取及异常状态诊断[J]. 电工技术学报,2019,34(21):4508-4518.
ZHANG Zhixian, CHEN Weigen, TANG Sirui, et al. State feature extraction and anomaly diagnosis of on-load tap-changer based on complementary ensemble empirical mode decomposition and local outlier factor[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2019, 34(21): 4508-4518.
- [5] 杨晓辉,尹玉君,寇晓适. 基于风险评估的特高压受端电网输电设备检修策略研究[J]. 电力工程技术,2017,36(2):72-75.
YANG Xiaohui, YIN Yujun, KOU Xiaoshi, et al. Research on the maintenance strategy of UHV receiving end power grid transmission equipment based on risk assessment[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(2): 72-75.
- [6] 高拓宇,赵贺,李修金,等. 基于 S 变换与奇异值分解的有载分接开关机械故障识别[J]. 广东电力,2019,32(10):111-118.
GAO Tuoyu, ZHAO He, LI Xiujin, et al. Mechanical fault recognition of on-load tap-changer based on S-transform and singular value decomposition[J]. Guangdong Electric Power, 2019, 32(10): 111-118.
- [7] LI Q, ZHAO T, ZHANG L, et al. Mechanical fault diagnostics of

- onload tap changer within power transformers based on hidden Markov model[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2012, 27(2):596-601.
- [8] DUAN R, WANG F. Fault diagnosis of on-load tap-changer in converter transformer based on time-frequency vibration analysis [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2016, 63(6): 3815-3823.
- [9] 邓敏. 基于振动信号的有载分接开关机械故障诊断研究 [J]. 变压器, 2018, 55(10):26-29.
DENG Min. Diagnosis of mechanical faults for on-load tap changer based on vibration signal [J]. Transformer, 2018, 55(10):26-29.
- [10] 王春亮, 李凯, 马宏忠, 等. 基于 WP_SVD 降噪的 OLTC 振动信号特征识别 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2012, 24(5):36-41.
WANG Chunliang, LI Kai, MA Hongzhong, et al. Feature recognition of OLTC vibration signal based on WP_SVD denoising method [J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2012, 24(5):36-41.
- [11] 汤宝平, 蒋永华, 张洋春. 基于形态奇异值分解和经验模态分解的滚动轴承故障特征提取方法 [J]. 机械工程学报, 2010, 46(5):37-42.
TANG Baoping, JIANG Yonghua, ZHANG Xiangchun. Feature extraction method of rolling bearing fault based on singular value decomposition-morphology filter and empirical mode decomposition [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46(5):37-42.
- [12] SEO J, MA H, SAHA T. A joint vibration and arcing measurement system for online condition monitoring of on-load tap changer of power transformer [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2016, 32(2):1031-1038.
- [13] CASTRO J C, LAGOS G S, GONZALEZ O A. Simulation and measuring transients in on-load tap changers [J]. IEEE Latin America Transactions, 2017, 15(10):1901-1907.
- [14] RIVAS E, BURGOS J C, GARCIA-PRADA J C. Vibration analysis using Envelope wavelet for detecting faults in the OLTC tap selector [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2010, 25(3):1629-1636.
- [15] MUNIR B S, SMIT J J, RINALDI I G M R. Diagnosing winding and core condition of power transformer by vibration signal analysis [C]//IEEE International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis. IEEE, 2012:429-432.
- [16] SECIC A, JAMBROSIC K, KUZLE I. Blind source separation as an extraction tool of the useful diagnostic material in on load tap changer audio based diagnostics [C]//IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe. IEEE, 2018: 1-6.
- [17] 张贤达. 现代信号处理 [M]. 北京:清华大学出版社, 2015: 157-174.
ZHANG Xianda. Modern signal processing [M]. Beijing:Tsinghua University Press, 2015:157-174.

作者简介:



张知先

张知先(1993),男,博士在读,研究方向为电气设备在线智能监测及诊断技术(E-mail: zhang.zhixian@cqu.edu.cn);

高拓宇(1985),男,博士,工程师,从事变电设备运检管理及设备状态评估研究工作;

雷嘉丽(1995),女,硕士在读,研究方向为光纤传感技术。

Vibration signal preprocessing method of OLTC for converter transformer

ZHANG Zhixian¹, GAO Tuoyu², LEI Jiali¹

(1. State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Maintenance Branch Company, Nanjing 211102, China)

Abstract: In order to improve state diagnosis accuracy of on-load tap changer (OLTC) for converter transformer, the research work of OLTC vibration signal preprocessing method is carried out. Based on the analysis of OLTC working principle and on-site noise, the OLTC vibration signal denoising method based on Wiener filter and the OLTC vibration signal stage division method based on Teager energy operator-double threshold method are proposed. In terms of noise reduction, the noise segment and the noisy signal segment are divided by the motor current signal, and the Wiener filter is constructed based on the spectral features of pure noise and noisy signal. By comparing the denoise result with original signal and result of other noise reduction methods, the effectiveness of proposed method is verified. As for division, the difference between vibration pulse and low frequency noise is amplified by the Teager energy operator. The validity of the method is verified by comparison between result of observation and proposed method. Based on the vibration signal pre-processing method proposed in this paper, high signal-to-noise ratio vibration signal and vibration stage information for OLTC state diagnosis can be provided.

Keywords: on-load tap changer (OLTC); signal preprocessing; Wiener filter; Teager energy operator; adaptive noise reduction; endpoint extraction

(编辑 吴楠)