

[换流站]

换流站12脉动干扰信号分析与抑制方法的研究

文/国网内蒙古东部电力有限公司电力科学研究院 安义岩
国网内蒙古东部电力有限公司赤峰供电公司 王乾力
国网内蒙古东部电力有限公司电力科学研究院 李 博 尚 鑫 周丽英

运行中的换流站干扰信号比较大且成分复杂，给换流变压器现场局部放电试验的开展带来很大干扰。通过获取现场检测数据，分析干扰的类型、来源及幅值频率等信号的特性，明确换流变压器局部放电试验典型12脉动干扰信号的类型、来源、传输路径、幅频特性及统计图谱特征等，提出有针对性的局部放电12脉动干扰信号抑制方法，保证局部放电试验顺利完成。

换流站是整个直流输电系统的重要节点，换流站中换流变压器是重要的电气设备，其可靠运行直接影响电网的正常运行。高端换流变压器的绝缘性能主要用局部放电试验进行考核，换流变压器的现场局部放电试验比普通交流变压器的现场局部放电试验难度更大，其中最主要的差别是现场局部放电干扰源比交流变电站更加复杂。换流站换流变压器阀侧所连接的晶闸管整流电路产生的12脉动干扰信号会通过地网、空间及线路影响局部放电试验，这是在换流站现场进行局部放电试验存在的主要困难。开展换流变压器局部放电试验现场干扰实测，分析脉冲信号干扰的特征，为制定干扰信号抑制措施提供准确指导，有效提高现场局部放电试验的效率和准确性，对换流变压器的绝缘诊断及安全运行具有非常重要的意义。

换流站12脉动干扰信号现场测量

1. 测量方案

换流站阀厅的换流阀在导通和关断时会引起晶闸管内电流的快速突变，从而产生高频电流及电磁波信号，电磁噪声信号通过大地和空间向外传播。

通过不同的测量方法能够获取不同传输路径的脉动信号，测量方法见表1。

表1 干扰信号测量方法

传播路径	测量方法	测量仪器	测量位置
大地传播	高频检测法	1) 宽频带电流互感器 (100 kHz ~ 100 MHz) 2) 脉冲校准发生器 (1 ~ 2 000 pC)	运行换流变压器中性点接地或被试换流变压器铁心接地处
空间传播	宽频带天线法	1) 宽频带天线 (0 ~ 80 MHz) 2) 特高频天线 (0 ~ 6 GHz)	运行换流变压器、阀厅及被试换流变压器周围

2. 局部放电高频测量

以某±500 kV换流站为例，高频检测的测量点共4个，各测量点位置如图1所示，高频互感器安装位置示意如图2所示。在图2中，1[#]位置极ⅡY/Y换流变压器中性点接地，2[#]位置极ⅡY/Δ换流变压器中性点接地，3[#]位置极ⅠY/Δ换流变压器中性点接地，4[#]位置极ⅠY/Y换流变压器中性点接地。

以测量点1为例，4个位置高频监测数值见表2。

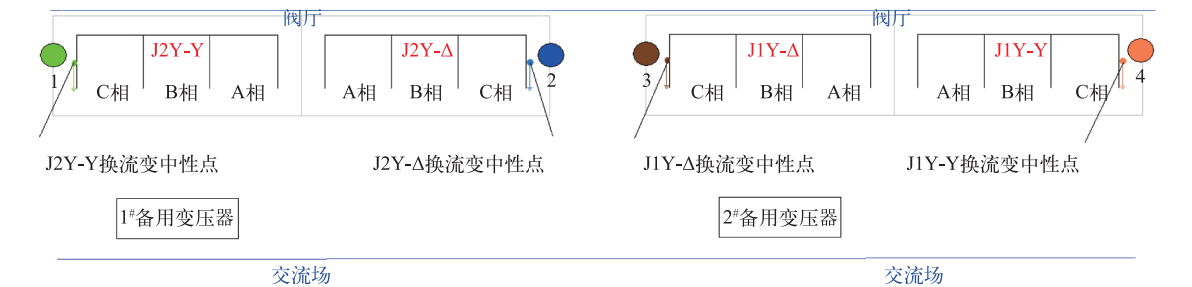


图1 高频脉冲干扰检测示意图

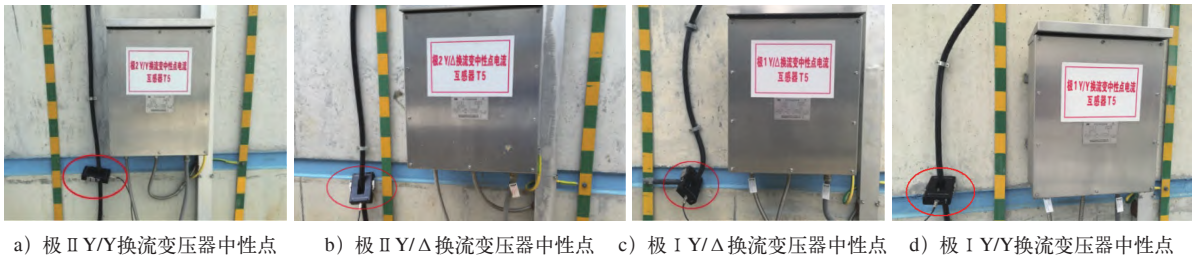


图2 换流变压器中性点高频互感器安装示意图

表2 12脉动干扰检测幅值

测点	相对局放值（高频）/pC
位置1	16 519.5
位置2	31 384.2
位置3	18 651.8
位置4	23 513.6

3. 局部放电空间宽频电磁波测量

空间信号测量点位置如图3所示，总共24个测量点。选取J2Y-Y测量的有6个点，检测数据见表3。12脉动空间信号检测波形图如图4所示。

表3 J2Y-Y换流变检测时域波形数据

测点	幅值/mV	干扰信号频谱特性
1	1.73	50~150 kHz，峰值97 kHz
2	1.75	40~155 kHz，峰值106 kHz
3	1.97	30~191 kHz，峰值84 kHz
4	1.77	50~170 kHz，峰值78 kHz
5	1.76	45~160 kHz，峰值83 kHz
6	1.78	30~135 kHz，峰值98 kHz

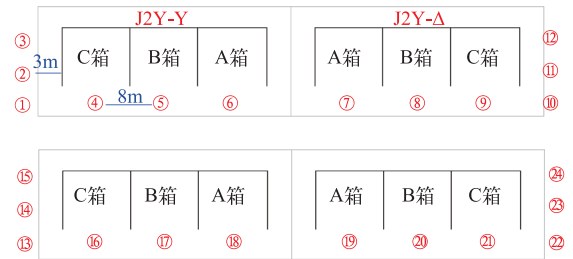


图3 空间信号测量点位置示意图



a) 位置1空间12脉动干扰信号
(峰值1.73 mV)



b) 位置17脉动干扰信号
(峰值1.15 mV)



c) 位置20空间12脉动干扰信号
(峰值0.87 mV)

图4 12脉动空间信号检测波形图

4. 12脉动测量数据分析

对极ⅡY/Y换流变压器中性点接地、极ⅡY/Δ换流变压器中性点接地、极ⅠY/Δ换流变压器中性点接地和极ⅠY/Y换流变压器中性点接地,通过4个位置的高频12脉动干扰信号检测数据对比,得到位置1和位置4比位置2和位置3干扰信号要小。4个中性点接地处检测的脉冲干扰信号幅值和相位不相同,对脉冲干扰信号展开详查,发现信号波形和频谱含量不相同。

通过对24个位置空间12脉动干扰信号进行分析,越接近阀厅12脉动空间干扰信号越强,在不同位置采集的空间干扰信号幅值不尽相同,相位不尽相同,脉冲波形形态也不完全相同,由检测数据和波形可知不同的阀厅产生不同的空间干扰,在不同位置,接收的干扰信号有所不同。

5. 脉动信号特征分析

通过对现场实测数据进行分析得知,脉动干扰是直流输电系统中最典型的干扰信号。

从大地回路耦合的高频干扰信号特征:

1) 脉动信号相位比较固定,一个周波有12个脉动信号,各脉动信号相位间隔基本相等,脉动宽度约为 1° 。

2) 每个脉动信号的幅值不尽相同,单个脉冲的幅值比较稳定。

3) 脉动信号展开波形如枣核状,从波头到波尾时间约为60 μs,且每个脉冲正负极性不同。

4) 脉动信号的频带为30~180 kHz,峰值频率为100 kHz左右。

5) 换流站中,由于传输路径不同,脉动干扰脉冲信号在每个监测点上的展开时域波形和频带略有不同,距离阀厅越远,脉动干扰信号幅值越小。

从空间耦合的宽频干扰信号特征为:

1) 换流站空间存在多个频带的干扰信号,主要是阀厅向空间辐射的频率为10~1 000 kHz干扰信号,电晕产生的频率为1 500~2 500 kHz干扰信号,无线电产生的固定频率的干扰信号。

2) 离阀厅越近,频率为10~1 000 kHz的空间干扰信号越强;距离交流场越近,频率为1 500~2 500 kHz的电晕产生的空间干扰信号越强。

12脉动干扰抑制方法

12脉动干扰从大地和空间向外传播,针对其波形时域和频域的特点,可以采用FIR数字滤波消干扰方法和频域消干扰方法。

1. FIR数字滤波消干扰算法

采用窗函数法设计FIR数字滤波器来消除干扰,由于阻带衰减的增大是以过渡带带宽的变宽为代价的,而窗函数类型决定了阻带衰减的最小值,设计时首先根据阻带衰减的要求选择适当的窗函数类型,然后根据过渡带带宽计算窗口长度 N ,通过对理想滤波器的单位脉冲响应的截取实现其设计。此种方法设计的滤波器边界频率不能精确控制,可能出现不符合技术指标情况,可通过增大窗口长度 N 或改变窗函数类型进行调整。

主要设计步骤:

1) 确定所需滤波器技术指标,选择合适的窗口类型并计算窗口长度 N 。

2) 构造逼近所需技术指标的理想滤波器,得到频率响应函数 $H(e^{j\omega})$,并进行傅里叶反变换得到理想滤波器的单位脉冲响应 $h_d(n)$, $h_d(n)$ 计算式为

$$h_d(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\alpha}^{\alpha} e^{j\omega} d\omega = \frac{\sin[\omega_c(n-\alpha)]}{\pi(n-\alpha)} \quad (1)$$

3) 将理想滤波器的单位脉冲响应 $h_d(n)$ 与窗口相乘,得到实际滤波器单位脉冲响应 $h(n)$ 。

2. 频域消干扰算法

软件频域消干扰技术主要是针对一定范围的频率干扰信号,运用FFT频谱变换技术,得到干扰的固定频率,通过软件消除干扰频率的信号。其算法为:

系统通过AD转换器获得采样数据,采样点个数能够包含脉冲波形信息,利用公式(2)对波形数据进行频谱变换,将连续信号转化成离散信号,把时域信号转换成频域信号,提取干扰信号的频率段,将干扰信号的频谱能量置零,然后将处理后的频率信号通过公式(3)进行IFFT反变换,将频谱信号转化成时域信号,消干扰后的时域信号已经滤除干扰信号的频谱能量,保留局部放电脉冲信号的能量,其信号为真实的局部放电信号,确保局部放电检测的准确性。

频域变换为

$$f'(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} e^{-i\alpha x} f(t) dt \quad (2)$$

频域反变换为

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} e^{i\alpha x} f'(t) dt \quad (3)$$

现场应用效果

在±500 kV换流站现场进行局部放电试验，在现场局部放电试验中同时测量到12脉动干扰信号及换流变压器内部的局部放电信号，图5是12脉动干扰信号和局部放电信号混合信号，在消干扰前检测信号幅值大约是1 000 pC。利用数字滤波和频域消干扰方法，消除12脉动干扰信号，得到真正的局部放电信号，如图6所示。在换流站现场，局部放电测试仪在1 000 pC左右的干扰环境下采用频域消干扰方法，消除12脉动干扰信号后测试背景信号小于20 pC，局部放电测量准确，现场应用效果良好。



图5 消除干扰前测量的局放信号



图6 消除干扰后测量的局放信号

结束语

根据换流站现场干扰信号的特征制定现场测试方案，获得现场实测数据，并提出抑制干扰方法，现场应用效果良好。通过现场实测数据及检测数据得到以下结论：

1) 空间干扰信号在不同位置检测的幅值不相同，相位不相同，越接近阀厅12脉动空间干扰信号越强。

2) 不同位置的高频脉动干扰信号距离阀厅越远，幅值越小。一个周波有12个脉动信号，每个脉动信号的相位间隔基本相等，相位比较固定，但是幅值不相同。

3) 针对换流站现场12脉动干扰信号特点，采用FIR数字滤波消干扰和频域消干扰方法降低了局部放电测试背景值，提高了局部放电检测数据的准确度，起到了良好的效果。EA

参考文献

- [1] 刘昌，孟晓波，樊灵孟，等．直流工程接地极入地电流对埋地金属管道的影响[C]．南方电网技术，2015(3)：15-20．
- [2] 朱德恒，严璋，谈克雄，等．电气设备状态监测与故障诊断技术[M]．北京：中国电力出版社，2009．
- [3] 党晓婧，黄荣辉，刘顺桂，等．基于时频域特征的局部放电单脉冲波形分析[J]．电测与仪表，2019，56(20)：52-56．
- [4] 李军浩，韩旭涛，刘泽辉，等．电气设备局部放电检测技术述评[J]．高电压技术，2015(8)：2583-2601．
- [5] 芦翔．局部放电超声信号检测系统研制及局部放电试验研究[D]．哈尔滨：哈尔滨理工大学，2017．
- [6] 尚海昆，苑津莎，王瑜，等．基于统计特征参数与相关向量机的变压器局部放电类型识别[C]．电测与仪表，2014，51(5)：15-21．
- [7] 侯峰，曹羽生，尹相国，等．油浸倒立式CT“三角区”绝缘纸松散缺陷局部放电检测[J]．电气应用，2020，39(8)：22-26．

(收稿日期：2022-02-24)