

Research on identification and suppression of electromagnetic interference in field test of substation equipment

Xiang Deng Hui Cha Jianpeng Ma Liang Zhai

State Grid Shizuishan Power Supply Company, Shizuishan, Ningxia, 753000, China

Abstract

This paper systematically investigates electromagnetic interference (EMI) identification methods and suppression techniques to address data distortion and misjudgment issues in field testing of substation equipment. Starting from EMI sources and propagation paths, the study analyzes characteristics of typical EMI types including power frequency harmonics, high-frequency radiation, and pulse interference, thereby establishing a comprehensive technical framework. A multi-dimensional identification method integrating time-domain, frequency-domain, and spatial-domain features is proposed. The research combines hardware filtering, software algorithms, and environmental optimization strategies to develop coordinated suppression approaches, with particular emphasis on EMI resistance technologies for critical testing items such as partial discharge and dielectric loss measurement. The study demonstrates that precise EMI type identification coupled with targeted suppression measures can significantly enhance test data reliability, providing scientific evidence for substation equipment condition assessment and ensuring safe power system operation.

Keywords

Substation equipment; Field testing; Electromagnetic interference; Interference identification; Suppression technology

变电设备现场试验中电磁干扰的识别与抑制技术研究

邓翔 查辉 马建鹏 翟亮

国网石嘴山供电公司, 中国·宁夏石嘴山 753000

摘要

本文针对变电设备现场试验中电磁干扰导致数据失真、误判等问题, 系统研究电磁干扰的识别方法与抑制技术。从干扰来源与传播路径入手, 分析工频谐波、高频辐射、脉冲干扰等典型电磁干扰的特征, 构建技术体系。提出基于信号时域、频域及空域特征的多维度识别方法, 结合硬件滤波、软件算法与环境优化的协同抑制策略, 重点阐述针对局部放电、介损测试等关键试验项目的抗干扰技术。研究表明, 通过精准识别干扰类型并匹配抑制措施, 可显著提升试验数据的可靠性, 为变电设备状态评估提供科学依据, 对保障电力系统安全运行具有重要意义。

关键词

变电设备; 现场试验; 电磁干扰; 干扰识别; 抑制技术

1 引言

变电设备现场试验是评估设备绝缘状态与运行性能的关键一环, 其结果直接影响到设备运维的相关决策。变电站作为强电磁环境区域, 存有诸多变压器、断路器、高压线路等设备生成的电磁辐射, 还面临通信信号、无线物件等外界的干扰。该类电磁干扰极易与试验信号混淆在一起, 引起局部放电的错误判断、介损测量的偏差问题, 若情况严重, 或许会遮蔽设备实际缺陷, 甚至误判设备有故障, 影响试验的精准成效。传统抗干扰手段大多仅依靠单一的屏蔽或滤波方式, 面对复杂多变的现场电磁环境束手无策。本文按照变电

设备现场试验特点情形, 综合梳理电磁干扰出处与特性, 确立恰当的判别方法与分层抑制技术架构, 力图增强现场试验数据可靠程度提供一套系统的解决手段。

2 变电设备现场试验中电磁干扰的来源与特征

2.1 主要干扰来源

就产生源而言, 现场试验的电磁干扰可分为内部干扰以及外部干扰, 内部干扰是由变电站运行设备引起, 涉及到变压器、电抗器引发的工频跟谐波的辐射表现, 断路器进行操作时伴随的暂态电磁脉冲现象, 像高压母线电晕放电信号这一类; 此干扰类别与设备运行状态关联十分紧密, 体现持续连贯或周期属性。外部干扰出自变电站外部的周遭环境, 好似附近通信基站释放的无线电信号、工业设备所产生的高频辐射能、雷电造成的电磁脉冲, 试验区域内诸如对讲机、手机等无线终端设备信号; 这类干扰大多表现为突发性或者

【作者简介】邓翔(1992-), 男, 中国宁夏石嘴山人, 本科, 工程师, 从事变电站一次设备检修、带电检测、状态检修研究。

特定频率的脉冲信号样态,测试系统的干扰源自试验设备自身,就如高压试验变压器杂散的电容耦合、测量电缆的电磁感应作用、仪器内部电路的热噪声效应等;此类干扰同测试系统硬件特性直接相关联。

2.2 干扰信号特征

各类电磁干扰具备特有的信号特性,能充当识别的凭据,工频连同谐波干扰的频率,集中分布在50Hz及其整数倍的频段,信号展现为正弦波样式,跟电网电压的相位达成同步,易让绝缘电阻、介损等试验项目出现偏差,高频辐射干扰频率普遍超30MHz,诸如通信信号、雷达波这般,呈现作连续与脉冲调制的高频信号模样,频谱性状明晰,极大影响局部放电特高频(UHF)检测成效。脉冲干扰涉及断路器操作、雷电冲击造就的暂态脉冲,信号上升沿峻急,持续时长短暂,极易对局部放电脉冲信号采集造成干扰,传导干扰借由试验回路或者接地系统进行传播,接地线上的共模干扰现象、电缆耦合过程的差模干扰,信号幅值随线路增长而减弱,影响高精度测量项目的实施。

3 电磁干扰的识别方法

3.1 信号特征识别要点

3.1.1 波形形态

像局部放电这样的有效信号,大多是非周期性脉冲,上升沿峭立(纳秒刻度上)、下降沿安谧,脉冲宽度稳定性较高;工频干扰呈现出标准的正弦波形样貌,通信信号属于规则调制脉冲,类似矩形波、梯形波,操作暂态干扰表现为单极性尖峰的脉冲形式,通过波形是否对称、有无周期,可初步鉴定信号属性,就像局部放电脉冲,在正负半周一般呈现对称分布情况,而外部电磁干扰方面,大多为单极性,或者分布毫无规则可言。

3.1.2 频率分布

有效信号的频率跨度和试验项目高度相关,比如局部放电特高频信号集中在300MHz-3GHz,而且频谱分布呈现出相对连续特性;干扰信号显现出清晰可辨的频率标记,就拿工频干扰而言,频率锁定在50Hz及其各次谐波,对讲机信号通常聚焦于400MHz或1.8GHz的频段区间,雷电干扰为宽频瞬态的信号,其频率覆盖从10kHz到1GHz范围,利用频谱峰值位置和带宽,可迅速定位干扰类别,通信或工业设备往往是带宽<1MHz窄带干扰的产生者,宽带干扰(带宽>10MHz),其成因也许是操作暂态,又或者是电晕放电^[1]。

3.1.3 幅值变化规律

有效信号幅值跟试验条件形成直接的关联态势,好比施加电压逐渐升高,局部放电量也增大,介损值伴随温度变化展现出规律性的起伏;电磁干扰幅值更多是受环境因素的牵动,跟试验电压毫无关联,就像与高压母线距离越近,电晕干扰信号愈发强劲,若开展传感器位置的移动操作,外部辐射干扰幅值出现明显的衰减现象。

3.2 传播路径识别要点

3.2.1 辐射传播特征

依靠空间辐射进行传播的干扰(如无线电信号、设备电磁辐射)体现出明显的方向性,采用定向天线开展检测时,接收方向改变,信号强度会急剧地上下波动,一旦远离干扰源,幅值便快速衰减,这符合距离平方反比定律,利用金属屏蔽能显著抑制这类干扰现象,屏蔽操作后,信号幅值下降程度一般超60%。

3.2.2 传导传播特征

借助试验回路、接地系统传导的干扰(例如共模干扰、差模干扰)具备路径依赖性,伴随线路长度的增加,信号强度线性衰减,接地若存在不良情况幅值会有突变,共模干扰出现在接地线上,会同时波及多台测试仪器,改变接地的形式(若将单点接地调整为多点接地)可明显改变信号幅度值。

3.2.3 耦合方式特征

电磁耦合引发的干扰跟线路布置的格局相关,若出现高压引线与测量电缆平行敷设状况,随着平行长度的递增,干扰信号幅值不断增大,若为垂直交叉,干扰显著削减;当处于高频阶段,电容耦合干扰更为明晰,低频段(如工频范围)里,电感耦合干扰的表现很突出,借助改变电缆间距与加装屏蔽层能区分耦合类型。

3.3 场景关联识别要点

3.3.1 时间关联性

内部干扰(类似变压器铁芯噪声)与设备运行状态达成同步,因负荷变化显规律性振荡;诸如手机信号的外部干扰,体现随机突发的属性特征,跟试验操作无关系;操作暂态干扰精准关联断路器分合闸、隔离开关动作等操作的时刻,以时间轴比对的方式明确关联关系。

3.3.2 环境敏感性

部分干扰受气象条件影响十分显著,像降雨天或起雾天,高压设备表面电晕放电的干扰会进一步强化;大风天气或许会引发导线的振动,引发因接触不良造成的火花干扰;若气温处于极低状态,测试电缆绝缘层硬化大概会引起局部放电干扰信号提升,可凭借这些环境因素进行辅助判断^[2]。

3.3.3 设备依赖性

若开展测试仪器或传感器的替换操作,系统内部干扰(如仪器热噪声)会随设备型号的更替而有所变动,外部干扰大致维持稳定情形。给设备做局部屏蔽处理,内部缺陷信号幅值变动不大,外部辐射干扰会极大程度地减弱,利用设备替换和屏蔽试验可最终判定干扰来源。

4 电磁干扰的抑制技术

4.1 硬件抑制措施

借助试验系统硬件配置的优化,降低干扰的引入,测试电缆采用双层屏蔽这种结构,实现屏蔽层两端接地的可靠性,形成一个闭合的屏蔽回路;传感器外壳采用金属材质达

成密封,减小电磁辐射耦合规模;为高灵敏度仪器(如局部放电检测仪这种)构建屏蔽室或屏蔽护罩。打造自成一体的试验接地网,与变电站主接地网留存安全距离范围,杜绝共模干扰的传导;借助多点接地方式达成降低接地阻抗目的,保障干扰电流迅速泄流;对高压设备外壳和试验仪器外壳采用单点连接方式,防御地电位差引发的干扰,给试验回路添装滤波器,若以工频陷波器来去除50Hz谐波,带通滤波器保留目标信号的相关频段,借助高通滤波器抑制低频的干扰,采取高压引线与测量电缆分开敷设方式,防止因线路平行布置造成电磁耦合;电缆弯折的半径与规范相契合,削减信号反射与干扰耦合现象;试验区域要远离大功率设备、通信基站这些干扰源。

4.2 软件算法抑制

依靠数字信号处理能力把干扰与有效信号分离开来,数字滤波借助自适应滤波算法(像最小均方算法),实时消除背景杂音;采用小波阈值去噪之法,留存局部放电的脉冲信号,遏制高频噪声干扰,通过独立分量分析(ICA)开展信号分离,从混合信号中析取出干扰成分与有效信号,可应对多源干扰的实际场景;借助信号的稀疏特性,依靠压缩感知算法对有效信号实施重构。特征匹配基于神经网络、支持向量机(SVM)去搭建干扰识别的模型,提取信号时频域特征,达成干扰自动分类与剔除;就局部放电这类信号而言,借助相位分布特征(PRPD谱)辨别干扰脉冲,同步采集运用跟电网同步的采样办法,采用工频信号作为参考基准,消除跟工频同步的干扰要素;就脉冲干扰而言,采用时间窗设置,只留下特定时段有效信号^[9]。

4.3 环境与操作优化

依靠试验环境管控以及操作规范实施减少干扰影响,试验时间绕开变电站倒闸操作、设备检修等干扰性强的时段,不妨选择负荷较为稳定、外部干扰相对少的时段实施试验,对非必要的干扰源设备(例如通信基站、高频加热设备)做临时关停处理,跟运行人员议定削减操作的频次;面对无法实施关停操作的干扰源,依靠金属挡板进行干扰隔离,阻隔干扰传播渠道。采用原理互异的检测方法,若结果达成一致,能降低干扰引起误判的几率;就关键数据而言,依靠反复试验去验证其是否稳定,试验人员防止在测试区域采用无线设备,像对讲机、手机之类,杜绝新干扰引入;测量电缆勿剧烈晃动,减少电磁感应引发的声扰。

5 典型试验项目的抗干扰技术

5.1 局部放电试验抗干扰技术

局部放电所发出的信号微弱,极易受到电磁干扰的牵扯,宜采用特高频(UHF)检测途径,采用局部放电专属的高频信号特征,绕开工频加上低频的干扰频带,铺排多传

感器阵列,凭借信号到达时间的差别找出信号源所在,区分设备内部放电状况与外部干扰,采纳脉冲极性判别手段,采用局部放电脉冲正负呈现出的对称特征,筛除单极性干扰脉冲,像开关操作干扰这般,在试验回路添加高通与带阻滤波器,消除低频传导干扰以及特定频率的无线电干扰隐患^[4]。

5.2 介损试验抗干扰技术

介损测量对工频干扰呈现敏感态势,应着重抑制谐波及传导干扰,采用偏离常规工频电源法,采用偏离了工频的测试电源,就如40Hz或者60Hz,绕过工频谐波造成的干扰,采用平衡电桥举措,以调节桥臂实现平衡的方式抵消干扰电流,尤其有益于共模干扰的抑制,测量线缆选用屏蔽式双绞线,两端实施接地处理,同时与高压引线维持安全间距,减少电磁耦合干扰,实施对试验数据的谐波分析作业,消除谐波分量对介损值干扰,采用软件算法改善测量结果。

5.3 绝缘电阻试验抗干扰技术

绝缘电阻检测易遭泄漏电流和感应电压的侵扰,不妨采用屏蔽式兆欧表,借助屏蔽端子消除表面所产生的泄漏电流干扰,尤其有益于潮湿环境下实施测试,开展试验前把设备电量充分放空,防止残余电荷引发的虚假电流对测量结果形成干扰,选择设备停电之后迅速进行试验,降低相邻带电设备感应电压的干扰,就长电缆等容性设备而言,把读数时间予以延长,待吸收电流平稳后再记录数据,排除电容电流的干扰。

6 结语

就变电设备现场试验而言,识别和抑制电磁干扰是保证试验准确可靠的关键要点。要结合干扰源头、特征以及试验项目的属性,建设多梯次技术格局。未来,通过持续完善抗干扰技术体系,将为变电设备状态评估提供更可靠的数据支撑,助力电力系统安全稳定运行。

参考文献

- [1] 邵拓,石琦,孙艳飞,等.高温气冷堆仪控设备电磁兼容性要求适应性研究[J].自动化与仪器仪表,2024,(04):58-61.DOI:10.14016/j.cnki.1001-9227.2024.04.058.
- [2] 贺瑞瑞.基于时域有限差分法的飞机用电设备电磁兼容整改方法[J].中国高新科技,2024,(03):26-28.DOI:10.13535/j.cnki.10-1507/n.2024.03.03.
- [3] 韦立.输变电工程电磁辐射的危害及防治措施[J].自动化应用,2023,64(S2):163-165.
- [4] 全国工业过程测量控制和自动化标准化技术委员会(SAC/TC 124).测量、控制和实验室用的电设备 电磁兼容性要求第31部分:安全相关系统和预期执行安全相关功能(功能安全)设备的抗扰度要求一般工业应用:GB/T 18268.31-2022[S].中国标准出版社,2022.