

接地网腐蚀故障智能感测成像系统

赵庆璞^{1,2,3}, 宋恒力^{1,2,3}, 董浩斌^{1,2,3}

(1.中国地质大学(武汉)自动化学院, 武汉 430074; 2.复杂系统先进控制与智能自动化湖北省重点实验室, 湖北省武汉市 430074; 3.地球探测智能化技术教育部工程研究中心, 湖北省武汉市 430074)

摘要: 接地网作为故障电流的流散通道, 其状态与变电站的安全运行息息相关。经过多年理论突破和仪器研发, 基于感应视磁阻抗法的接地网腐蚀故障智能感测成像系统可以实现在不停电非开挖的情况下, 对接地网位置、结构、腐蚀点位置和腐蚀程度等信息的无损探测、实时成像、特征提取和故障诊断, 并在多地开展了样板化工程应用, 证明了该系统在变电站中的实用性与适用性, 为接地网的状态评估提供了有效解决方案。

关键词: 接地网; 无损探测; 拓扑结构成像; 腐蚀诊断

中图分类号: TH89

文献标识码: B

The Grounding Grid Corrosion Fault Intelligent Sensing and Imaging System

Zhao Qingpu^{1,2,3}, Song Hengli^{1,2,3}, Dong Haobin^{1,2,3}

(1. School of Automation, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China ;2. Hubei Key Laboratory of Advanced Control and Intelligent Automation for Complex Systems, Wuhan 430074, China ;3. Engineering Research Center of Intelligent Technology for Geo-Exploration, Wuhan 430074, China)

Abstract: As a channel for fault current dissipation, the status of grounding grid is closely related to the safe operation of substation. After years of theoretical breakthroughs and instrument research and development, the grounding grid corrosion fault intelligent sensing and imaging system based on the inductive apparent magnetic resistance method can achieve non-destructive detection, real-time imaging, feature extraction and fault diagnosis of grounding grid location, structure, corrosion point location and corrosion degree and other information without power trenching. The system has been applied in a number of sample projects, proving the practicality and applicability of the system in substations and providing an effective solution for the condition assessment of grounding grids.

Keywords: Grounding grid; Non-destructive probing; Topology imaging; Corrosion diagnosis

1 设计背景与应用价值

接地网是变电站安全运行的重要保证,其接地性能的优劣直接关系到变电站内工作人员的人身安全和各种电气设备的安全及正常运行,故对接地网状态的诊断与评估一直受到设计和生产运行部门的重视^[1-2]。

经过调研,国内外有关埋地金属网腐蚀的检测方法和技术有大量基础性研究。大多将接地网看成电阻性网络,通过测量得到接地网支路导体电阻的变化值,进而判断接地网的腐蚀点和腐蚀程度^[4-6]。然而,该方法要求准确知道地网的结构,对运行多年的旧地网难以准确建模,而且当接地网局部出现严重腐蚀或断点时,由于两部分接地网间的互电阻作用,准确测量引线间电阻值是很困难的。因而在实际工程中,检测接地网的结构和腐蚀缺少成熟的理论方法,也缺乏能够判断接地网的走向、结构、寻找严重腐蚀点的成型装置^[7-11]。

本系统基于感应视磁阻抗法提出一种接地网无损检测技术与智能成像系统,实现接地网拓扑结构、断点和腐蚀点位置等多维信息的无损探测,并研发能够对接地网拓扑结构、断点和腐蚀点等相关故障位置进行成像效果的系统装置;综合考虑变电站接地网的特征参量,同时考虑接地网的腐蚀情况和断点情况,采用算法将测量结果进行整体分析,进行接地网状态评估的程序化和规范化。其关键技术的形成和系统装置的研发具有理论和现实意义,并具备广阔的应用前景。

2 系统研发

基于对复杂电磁环境下接地网非接触检测技术与腐蚀诊断成像方法研究,设计了接地网腐蚀故障智能感测成像系统,主要包括两个部分:发射机(激励源子系统+控制子系统1)和接收机(接收子系统+软件成像子系统+控制子系统2),系统整体方案框图如图1所示。

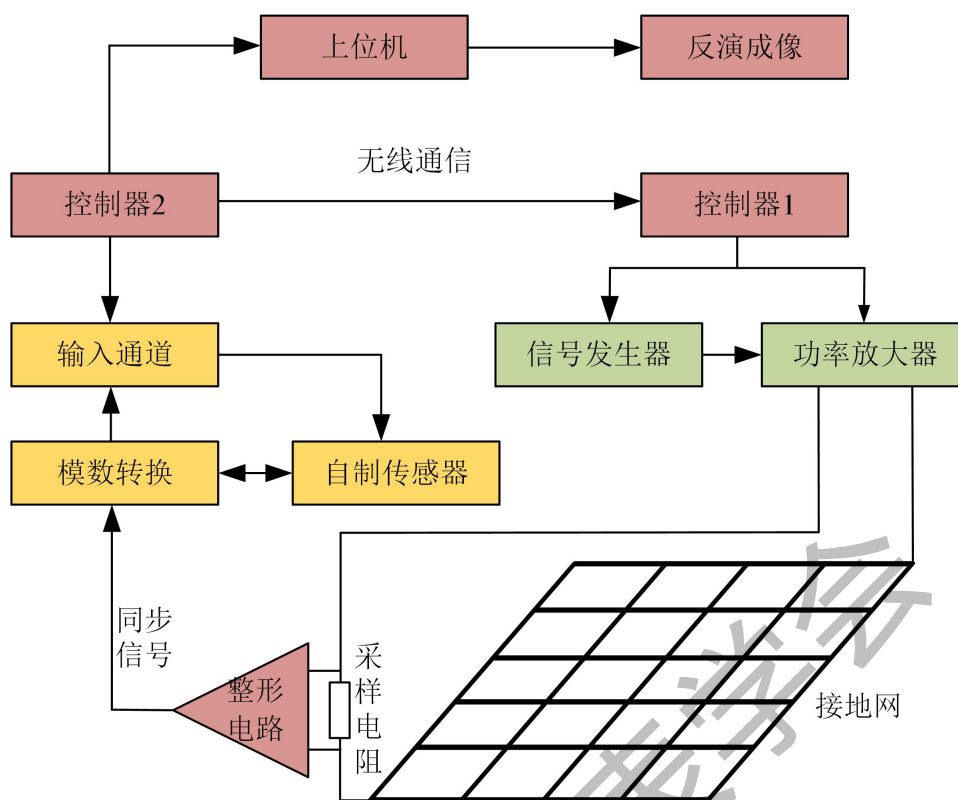


图1 整体方案框图

通过测量接地网的感应视磁阻抗，该系统拟实现的功能：实现接地网拓扑结构、断点和腐蚀点位置等多维信息的无损探测，并能够对接地网拓扑结构、断点和腐蚀点等相关故障进行成像与诊断，提取故障信息判断接地网运行状态并给出安全性评估意见。

2.1 发射机

由于变电站的工频干扰很强，而接地网无损探测时，欲检测的感应视磁阻抗信号较弱，为了有效地检测和提取待测量信号，激励源采用特殊编码方式，同时避开变电站工频及其各奇次谐波等主要干扰。激励源能够在地表面产生较强的电磁信号，以便于检测。而且，为了应对不同变电站的测量条件，要求激励源能适应不同的负载。变电站的容量越大，接地网的规模也会跟着增大，此时就对所用的接地网探测系统的激励电流源提出了更高的要求。为了满足接地网探测需求，设计了基于 DDS 的多频信号发生器和音频功放的特种发射机。

发射机具体功能包括：

(1) 利用 DDS 技术，实现任意波形的发生，经过嵌入式系统控制的快速运算产生一种特殊的编码，特殊编码通过阻抗变换电路和程控放大电路转换为幅度和频谱可控的特殊编码调制的电流，最后经隔离功率放大器推送至激励端。

(2) 利用功率放大技术，设计基于大功率 MOS 管的桥式功放电路，并设计自适应放大算法，智能调节激励功率。

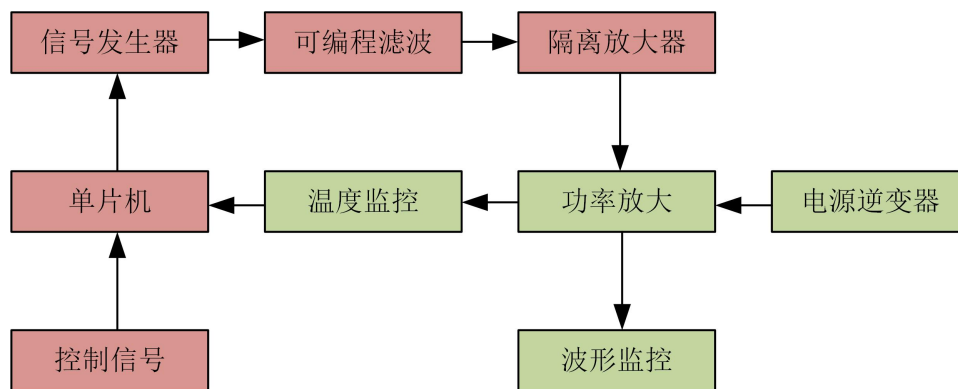


图2 发射机设计方案

2.2 接收机

接收机由信号调理通道、相关检测模块、数据采集模块三个部分构成，如图3所示，其中信号调理通道作用是与传感器线圈配合，实现特定频率信号的放大，同时抑制噪声，并进行电平转换；相关检测模块实施待测信号的自相关算法，利用高速乘法器实现，在乘法器的输出端得到线圈中感应信号的幅度和相位；数据采集模块由24位高精度低噪声AD芯片构成，数据采集后传给上位虚拟仪器处理。

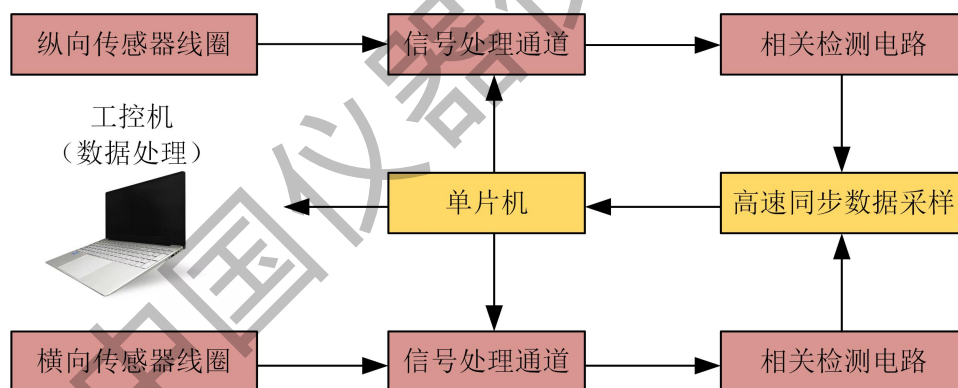


图3 接收机设计方案

其核心模块是相关检测电路，具体内容包括：可控跳频器、自适应振荡回路、自适应滤波器、自适应放大器、高速乘法器等，采用高精度低噪声低温漂元器件和嵌入式系统开发，保证精度和可靠性。

2.3 技术参数

(1) 发射机输出波形、频率及最大输出电流：输出正弦波，负载2欧姆时，交流电流峰峰值 $\leq 10\text{A}$ ；频率200Hz~2kHz，分4档可调；

(2) 感应电压幅度测量误差： $\pm 1\%$ /通道；

(3) 被测导体水平位置灵敏度：1cm；

(4) 被测导体方位角灵敏度：10°；

(5) 50Hz 信号抑制能力：20dB；

(6) 白噪声信号抑制能力：20dB；

2.4 上位机软件

上位机软件由数据处理模块、成像模块和诊断模块构成，如图 4 所示。数据处理模块针对变电站复杂的环境噪声，设计了基于时频变换的噪声滤除算法域主成分提取算法，基于信号频率自动提取感应视磁阻抗信号；成像模块根据获取到的定位数据以及感应视磁阻抗信号幅度信息，通过图像高分辨率重建算法处理，绘制热力图，设计拓扑结构提取与重构方法自动提取拓扑结构，实现智能判断接地网拓扑结构与断点；诊断模块开发了智能反演算法，根据正演感应视磁阻抗在时间域和频率域上的分布特性与规律，结合测试结果，直接给出区域内综合腐蚀程度与每根导体的腐蚀程度。

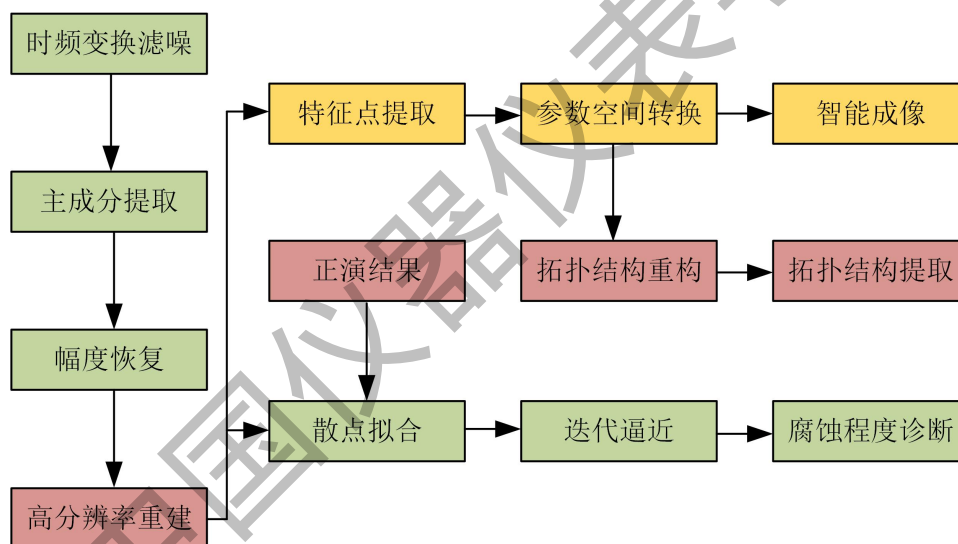


图 4 上位机软件设计方案

上位机软件根据测试结果与预设参数可以现场标注接地网拓扑结构、断点和腐蚀点等相关故障位置，实现了拓扑结构的智能成像与断点、腐蚀程度的诊断，给出变电站接地网运行状态评估，达到了接地网安全性智能评估的目的，有很好的现实意义。

3 应用示范

目前系统已基本成型，先后在国内外期刊和学术会议上发表论文 5 篇，申请各项专利 10 项，获得研究生电子竞赛全国二等奖等；从 2018 年起先后在 4 个省 10 个在役的变电站得到实际应用；2021 年获得湖北省职工创新创业大赛“优秀创新”奖。



图5 获奖情况



图6 第一代样机在湖北某变电站试运行



图7 第一代样机在陕西三个变电站应用并现场开挖验证



图8 第二代样机在浙江3个变电站应用并现场开挖验证



图 9 第三代样机在广东 3 个变电站应用

3.1 接地网拓扑结构提取

如图 10 所示，在广州某变电站检测站内接地网拓扑结构，结果表明，通过软件提取的拓扑结构与布置图纸基本一致。

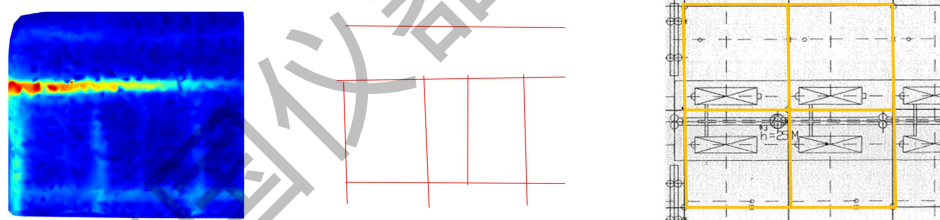


图 10 拓扑结构提取

3.2 腐蚀程度诊断

如图 11 所示，在广州某变电站诊断站内接地网腐蚀程度并现场开挖，结果表明，软件计算的腐蚀程度与真实腐蚀程度的准确率在 80%以上。

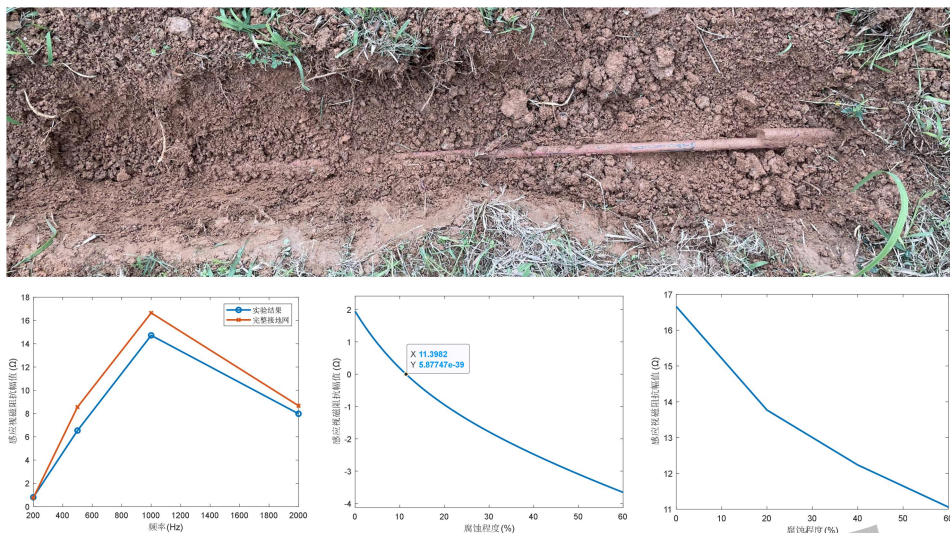


图 11 腐蚀程度诊断

参考文献:

- [1]李刘赐. 变电站接地网设计研究[J]. 通信电源技术, 2020, 37(9): 121-123.
- [2]陈宇燕,郭平,杨波,等. 接地网导体缺陷诊断方法的分析与研究[J]. 红水河, 2021, 40(4): 89-91+96.
- [3]吴尚志,佟卫波,孟庆. 某变电站接地系统研究[J]. 吉林电力, 2020, 48(5):33-36.
- [4]杨超. 基于电网络法的接地网腐蚀检测装置设计[D]. 长春: 吉林大学, 2021: 2-4.
- [5]冯志强. 接地装置冲击特性及土壤火花放电形貌特征研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2016: 2-210.
- [6]郑建波. 基于航空瞬变电磁的接地网断点检测仿真研究[J]. 现代信息科技, 2022, 6(5): 91-94.
- [7]刘南南. 基于电磁耦合原理的接地网拓扑结构识别方法[D]. 长春: 吉林大学, 2018: 25-50.
- [8]吴牧阳. 接地网腐蚀的瞬变电磁诊断方法研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2019: 31-48.
- [9]秦善强. 瞬变电磁法的神经网络快速成像及其在接地网检测中的应用[D]. 重庆: 重庆大学, 2019: 76-93.
- [10]王若冰. 基于改进 LeNet-5 网络的瞬变电磁法接地网腐蚀程度识别方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2020: 33-44.
- [11]许晓斌. 基于瞬变电磁法的接地网拓扑检测与腐蚀量化研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2020: 43-63.