

Analysis of Identification Method for Grounding Faults Caused by Broken Contact Lines in Railway Power Supply Traction Transformers

Ning Zhao

Guoneng Huangda Railway Company, Yangquan, Shanxi, 045100, China

Abstract

During the operation of traction transformers in railway power supply, the grounding fault of the overhead contact line is one of the common faults. The identification and handling of this fault by relevant personnel can directly affect the stability of the operation of the electrified railway traction power supply system. In order to more accurately identify grounding faults in the contact network of railway power supply traction transformers and improve the quality of related fault handling work, the author will delve into the methods of identifying such faults in this study. In the actual research process, the author will first introduce the grounding faults of railway power supply traction transformers and overhead contact lines, then propose a method to identify the grounding faults of transformer overhead contact lines, and finally clarify the actual effect of this fault identification method through experiments. The final result proves that after using the fault identification method proposed in this paper, a fault identification rate of over 99% can be achieved for broken wire grounding faults, which is worthy of promotion and application by relevant personnel.

Keywords

ground fault; contact network; broken line; electric traction transformer; fault identification

铁道供电牵引变压器接触网断线接地故障识别方法分析

赵宁

国能黄大铁路公司, 中国·山西 阳泉 045100

摘要

在铁道供电牵引变压器运行过程中接触网断线接地故障属于常见故障之一, 相关人员识别与处理该故障的情况可直接影响电气化铁道牵引供电系统运行的稳定性。为了能够更为准确地识别铁道供电牵引变压器接触网断线接地故障, 提升相关故障处理工作质量, 在本次研究中深入探讨识别此种故障的方法。在实际研究过程中笔者会首先介绍铁道供电牵引变压器及接触网断线接地故障, 然后提出识别变压器接触网断线接地故障的方法, 最后借助实验明确该故障识别方法的实际效果。最终结果证明, 在使用论文所提出的故障识别方法后, 可以达到超过99%的断线接地故障识别率, 值得相关人员进行推广与应用。

关键词

接地故障; 接触网; 断线; 电牵引变压器; 故障识别

1 引言

铁道供电牵引变压器在运营期间, 由于环境和气候因素的干扰, 其运行状况可能发生变化, 有一定几率出现接触网断线接地故障, 从而削弱了变压器的安全性和稳定性, 进一步造成铁道电力机车无法正常启动或误动作。因此, 有必要实施精确的接触网断线接地故障识别技术, 对牵引变压器的运行状态实施实时监控, 从而发现并预警潜在的故障风险。

【作者简介】赵宁(1996-), 男, 中国山西盂县人, 本科, 助理工程师, 从事铁路供电接触网研究。

2 铁道供电牵引变压器及接触网断线接地故障概述

铁道牵引变压器能够为两个具备独立负载的单相牵引电路提供电能, 两个单相牵引线路在实际运行过程中可同时满足上下行机车的电能需求。当运行状态较好时两个单相存在一致的负载。简单理解, 铁道供电牵引变压器三相电向二相电的转变。铁道供电牵引变压器主要分为壳式和芯式两种, 两者的差异主要是体现在变压器铁芯与绕组的相对位置方面^[1]。结合中国现阶段实际情况, 现阶段所用的铁道供电牵引变压器主要是芯式变压器。

接触网断线接地故障属于铁道供电牵引变压器较为常见的运行故障, 该故障主要是因为人为因素、自然因素的

综合影响下形成。当铁道牵引变压器出现该故障后，接触网导线已经无法有效连接，而且断裂部分可能已经与地面接触，产生接地短路的现象，进而导致牵引供电系统无法正常运行。除此之外，接触网断线接地故障还可能引发其他安全隐患，如火花放电、电气火灾等，对铁道运营安全和乘客生命财产安全构成严重威胁^[2]。

3 识别变压器接触网断线接地故障的方法

3.1 采集与处理故障信号

在采集信号方面，相关人员需要根据数字转换的原理，准确识别以及整合那些能体现铁道供电牵引变压器接触网断线接地故障特性的模拟信号。然后将这些故障信号送到滤波器中，滤除了高、低频率的信号，它们会对故障信息产生干扰。通过 A/D 变换后，将其送至故障监测中心。以此为前提，利用 EEMD 噪声消除方法，对接收到的接触网断线接地故障信号进行深度噪声过滤，有效解决时频分析的质量问题。这为进一步从故障信号中精确提取频带局部能量特性创造了有利条件。

在处理故障信号方面，主要是将随机白噪声融入已经采集完成的铁道供电牵引变压器接触网断线接地故障信号中，在此基础上，结合牵引变压器的实际工况特点，合理地进行随机白噪声幅度的确定。

在第 i 次牵引变压器运行过程中，相关人员可借助以下公式计算出混合信号：

$$x_i(t) = x(t) + h_i(t)$$

在以上公式中，第 i 次牵引变压器运行期间输入白噪声用 $h_i(t)$ 表示。

当得到混合信号后，运用 EMD 分解方法对其执行分解操作，能够获得可直接用于分析的故障信号，分别时需使用以下公式：

$$x_i(t) = \sum_{k=1}^K u_k(t) + h_k(t)$$

在以上公式中，完成分解后得到的故障信号 IMF 分量总和用 K 表示；第 k 个故障信号 IMF 分量用 $u_k(t)$ 表示。

对混合故障信号分解后的 IMF 分量进行判断，若是 K 值大于 k 值，则需要循环进行上述步骤，每多循环一次，则需要提升 1 的 k 值，直到 K 值与 k 值一致，此时出现的就是故障信号 UMF 分量。

当执行第 M 次运行后，加入白噪声的次数同样为 M ，结合已知条件相关人员可使用以下公式确定结束处理后的故障信号平均值：

$$u_k(t) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M u_k(t)$$

在以上公式中，第 k 个经过去噪处理后的平均值的故障信号 IMF 分量用 $u_k(t)$ 表示，其可以作为铁道供电牵引变压器接触网断线接地故障信号使用，从而为后续研究打下

基础。

3.2 提取故障信号频带局部能量特征

首先，借助先进的行波测量设备，对接触网的行波数据进行了全面细致的采样，获得了原始的行波信号图形。然后，精心挑选这部分信号，运用小波包技术的精髓，对行波信号进行了一次精细的分块与重建过程，从而获得了信号中从低频到高频的丰富信息，具体表现为一系列的小波包分解系数。以此为前提，通过对小波包重构后的接触网故障信号进行细致的能量分析，精准地计算出了故障频带区域的局部能量特征，此时需要使用以下公式：

$$E_j = \sum_{n=1}^N |d_j(k)|^2$$

在以上公式中，故障信号采样点数量用 N 表示；第 j 个故障信号频带总能量用 E_j 表示；当落实小波包分解后重构的故障信号频带系数用 $d_j(k)$ 表示。

当故障信号频带总能量确定后，需要继续落实归一化处理措施，处理过程中使用以下公式：

$$e_i = \frac{E_i}{\sum_{j=1}^N E_j}$$

在以上公式中，故障信号频带局部能量特征向量用 E_i 表示；故障信号频带局部能量特征用 e_i 表示。

合理运用以上公式相关人员可准确了解故障信号频带局部能量特征，至此完成提取特征的工作。

3.3 接触网断线接地故障性质识别算法

当完成以上各环节工作后，为了构建一种高效准确的牵引变压器接触网故障识别策略，具体目标是从多角度、深层次地洞察潜在的故障迹象。首先，运用收集到的详细行波数据，精确定位断线接地故障引发的行波波头位置，以此为基础，分析其与反射波头的电性特征。通过对比两者的极性，如果发现它们一致，且故障信号在初步分析中显示其频带能量主要集中在基础频率区，那么可以判断此次故障为短路问题，从而确认了故障的类型^[3]。然而，如果极性差异明显，且故障信号的能量分布并未集中于第一频段，这表明故障类型为开路故障。按照以上流程能完成对牵引变压器接触网断线接地故障本质的识别过程。这种算法设计旨在提升故障诊断的精确性和全面性。

4 效果验证

4.1 实验设计与实施

本研究选取了特定区域的 S 铁道供电系统作为核心考察对象。S 铁道供电系统采用了动态有源配电网架构，其中电源的中性点非直接接地，配置了三条馈电线，线路类型为混搭的架空线路与电缆。为了简化实验步骤并确保数据的代表性，相关人员设定牵引变压器负载占配电总容量的 80%，功率因数保持在优化的 0.95，并将供电系统的复杂网

络结构划分为多个独立的子区域，以便于逐个区域进行精确的实验测试。各个区段拥有如表1所示的详细参数。

表1 S 铁道供电工程线路区段参数

馈线编号	线路区段	DG 容量 (MW)	区段长度 (km)
L1	S1	1.22	2.6
	S2	1.22	1.6
L2	S3	0.81	3.1
	S4	0.81	2.6
L3	S5	0.34	3.9
	S6	0.34	4.6

从表1中提取出该铁道供电项目各线路区段的特定参数。在6条线路中，相关人员选取了多个单相开路金属接地故障。在此基础上，根据文中提出的故障识别方法，在理想情况下进行试验，重点研究牵引变压器接触网断线接地故障的突变点识别。

在验证论文提出的接触网断线接地故障识别的科学性与合理性的过程中，将其当作实验组，同时选用现阶段相关人员经常使用的以正序电压差和以智能融合终端为依据的故障识别方法作为对照组，通过实施对比实验的方式来确定论文方法的科学性。在实际进行试验时严格按照以上三种方法操作流程识别铁道供电牵引变压器接触网断线接地故障，详细记录以及整理识别出的故障数据，并在严格遵循客观性原则的基础上展开对比工作。采取此种对比分析的方法，能够确保最终实验结果的准确性，防止因为主观因素的影响导致实验结果存在偏差。

4.2 实验结果

在进行各种方法故障识别效果对比的过程中，相关人员选择了故障识别率作为对比指标，相关人员需要使用以下公式确定各种故障识别方法的故障识别率。

$$Q = \frac{R_m}{R} \times 100\%$$

在上述计算中，以R为代表的牵引变挂网的断丝和接地故障总数。在S供电项目中，采用Q来表达牵引变的断丝和接地故障的判别率。用多种方式正确辨识的牵引变压器接触网断线接地故障数目以 R_m 为代表。

当故障识别过程中获取越高的故障识别率后，则证明该方法在识别牵引变压器接触网断线接地故障时准确率越高，证明该方法在实际工作中具有越为理想的效果。

在实际操作中，相关人员合理选用了MATLAB分析软件，针对实验中所用三种故障识别方法的实际运行过程展开模拟，从而断定各个馈线运行状态是否正常，最终确定了三种方法在识别各个牵引变压器线路区段接触网断线接地故障的实际情况，结合公式计算出故障识别率，客观对比各种方法在使用中的实际表现，最终得到了如表2所示结果。

从表2的详尽实验比较数据中，我们可以明显看出，我们提出的故障检测策略在实际操作中展现出了卓越的效

能。当应用于牵引变压器的六个不同线路段时，此策略在识别断线接地故障方面表现出色，识别率始终保持在高位，不仅超越了其他两种比较方法，且总体识别率超过99%，这在铁道牵引变压器故障诊断领域堪称突破性进展。要充分认识到这一成就的意义，首要的是认识到牵引变压器在铁道供电系统中的核心地位。它承担着将高压电力转化为列车所需低压电力的任务。然而，受多种因素影响，牵引变压器可能出现如断线接地等故障，对铁道供电的安全稳定构成严重威胁。传统故障检测方法因识别率低、误报率高等问题，无法充分满足实际需求。相比之下，我们的故障检测策略采用创新的算法和技术，实时监控并分析变压器的工作状态，精准定位潜在故障。策略的实施步骤包括收集和处理牵引变压器的电气参数，以获取反映故障状态的关键数据。接着，借助机器学习等先进算法对这些数据进行深度解析，从而精确判断故障。更重要的是，该方法具备良好的自适应性，可针对各线路区段的具体情况进行调整和优化，提升故障识别的精确度和稳定性。

表2 各种故障识别方法对比结果

组别	S1	S2	S3	S4	S5	S6
论文方法故障识别率 (%)	99.3	99.2	99.7	99.0	99.1	99.0
基于智能融合终端方法故障识别率	89.5	90.5	90.6	90.2	93.2	91.9
基于正序电压差方法故障识别率	90.8	91.7	92.2	91.9	91.8	92.1

值得注意的是，该故障检测方法不仅具备高度的实用价值，而且在实践中已经取得了明显的成果。大量的实验验证和实际应用实例证明，该方法能有效提升铁道牵引变压器的故障检测率，降低故障发生的概率，从而确保铁道供电系统的安全和稳定运行。

5 结语

综上所述，本研究主要是为了提高铁道供电牵引变压器在遭遇接触网短路接地故障时的识别效率和准确性。通过对比实验数据的各项效能指标，可以清晰看出，应用本研究提出的识别方案后，牵引变压器对这类故障的识别精确度大幅提升，成功识别率稳定在99%以上，有效定位了接触网运行过程中的潜在故障点，对确保铁道供电牵引变压器的安全、高效运行具有深远的研究意义。

参考文献

- [1] 黄佳程,肖新标,王奇,等.市域列车牵引变压器声辐射特性与降噪措施分析[J].振动与冲击,2024,43(2):334-342.
- [2] 齐彪,周安德,陈三猛,等.动车组牵引变压器电磁噪声优化及声音品质分析[J].电力机车与城轨车辆,2024,47(1):33-37+49.
- [3] 邵宁宁,王英.基于Adam优化的改进PSO-RBF牵引变压器故障诊断研究[J].电气工程学报,2023,18(4):209-216.