[故障识别]

基于感应电压特征的架空配电线路故障识别研究

文/季和平[1] 丁文华[1] 邓行知[1] 刘东[2]
1. 华能糯扎渡水电厂；2. 华能澜沧江水电股份有限公司集控中心

常规的架空配电线路故障识别区域划定一般是单频段，针对故障识别的速度较慢，致使误识别率逐渐增高。为此提出基于感应电压特征的架空配电线路故障识别研究。根据当前的识别需求，先提取故障特征，采用多频段的方式，提高故障识别的速度，进行多频段感应故障相电压变动区域分布划定。以此为基础，构建感应电压特征架空配电线路故障识别模型，采用自适应跟踪监测的方式来实现故障识别处理。测试结果表明：对比于传统馈线自动化与级差保护架空配电线路故障识别方法、传统R语言ARIMA模型架空配电线路故障识别方法，此次设计的感应电压特征架空配电线路故障识别方法最终得出的误识别率较低，其误识别率均控制在15%以下。这说明在感应电压特征的辅助下，设计的架空配电线路故障识别方法更为高效，识别精准度明显提高，具有实际的应用意义与创新价值。

架空配电线路由于长期暴露在雷电、风雨和霜雪等复杂的自然环境中，往往导致线路故障频发，不仅影响区域范围的电力供应，还存在较大的潜在威胁，给电力系统的正常运行带来极大挑战。

为避免该情况的发生以及扩展延伸，部分人员设计了架空配电线路故障识别方法。文献[1]提出的传统馈线自动化与级差保护架空配电线路故障识别方法通过DEP-900馈线终端设备（FTU）实现馈线自动化，重点在故障检测、隔离和恢复供电。确保配电网的闭环运行，故障时瞬时切断故障段并保持非故障区供电。文献[2]提出的传统R语言ARIMA模型架空配电线路故障识别方法则是利用R语言中的ARIMA模型，通过时间序列分析，构建故障预测模型。这一类方法虽然能够实现预期的识别结果，但是过于依赖人工巡检或简单的电气参数检测，效率低下，且难以准确判断故障类型和位置。

为解决上述方法存在的问题，提出基于感应电压特征的架空配电线路故障识别方法的设计与研究。感应电压作为架空配电线路在故障发生时产生的特殊电气信号，其波形、幅值等特征能够直接反映故障的类型和位置。利用构建感应电压信号采集系统，结合信号处理和数据分析方法，揭示感应电压特征与故障类型、位置之间的内在关联，为架空配电线路的故障快速定位与修复提供科学依据和技术支持，也给电力系统的智能化运维和故障管理提供新的思路和方法。

设计架空配电线路感应电压特征故障识别方法

1. 故障特征提取

当前针对于架空配电线路的故障识别，需要进行基础的故障特征提取。首先，根据实际的识别需求范围，标定出基础的频域，并测定基础的故障数据，配电线路故障数据见表1。

表1主要是对配电线路故障数据的采集与分析。结合表1数据，判定当前线路故障的实际情况，结合感应电压的变动趋势，从而提取出能够表征线路

运行状态中凸显出来的异常特征，如图1所示。

表1　配电线路故障数据

配电线路故障项目	参数标准值
故障相数	11.57
持续时间/s	0.26～0.37
故障电流分量差	1.18
电流衰减次数/次	6～8
保护动作时间/s	1.35～1.74

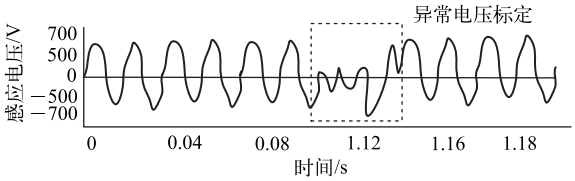

图1　架空配电线路感应电压故障特征提取图示

图1主要是对架空配电线路感应电压故障特征的提取及分析，结合电压的变化，获取各个周期的特征向量，同时根据电压波形的变动，标记判定出此时该线路的衰减区段，采集对应的感应电压数据，量化地描述线路的运行状态，为后续的故障识别和修复奠定基础条件。

2. 多频段感应故障相电压变动区域分布划定

多频段感应故障相电压变动时，需对不同频段下的电压波动进行细致划分。设定低频段反映线路的基本运行状态，同时反映部分的故障特征，而高频段则包含更多故障信息，可以结合感应电压的变化趋势，标定出潜在故障的可出现位置。在预设的频谱范围之内，结合上述提取的特征向量，先标定出电感的能量分布范围，依据每一个周期的电压变化趋势，计算出此时的高频系数，计算式为

$$G=\rho(1-\sum_{U=1}\aleph U+W)+\frac{1}{CW} \tag{1}$$

式中，G为感应电压的高频系数；ρ为频谱范围；$\aleph$为特征向量；U为电压相位点；W为能量分布区域；C为故障感应频次。

此时，对高频系数进行阈值量化处理。需要注意的是每一层的阈值都是不同的，要按照顺序逐一量化处理。利用高频系数作为标准进行变动区域分布的划定，设置为配电线路的高频感应区域、基础感应区域和低频感应区域。通过在不同的频段环境下模拟故障电压的变动，进一步标定出架空配电线路的故障位置，获取与之相关的实时故障数据与信息。

3. 构建感应电压特征架空配电线路故障识别模型

结合感应电压特征，进行架空配电线路故障识别建模。先通过基础的装置采集大量架空配电线路的感应电压数据，接下来，先对数据去噪，去除内部的重复值，并填补缺失值。在此基础之上，将当前数据的格式转换为统一的标准和形式，保证数据的可靠。利用上述提取的特征向量作为引导，结合感应电压特征，设计故障识别的具体模型执行环节，如图2所示。

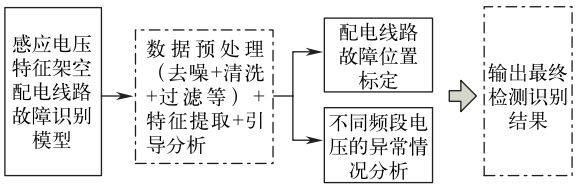

图2　感应电压特征架空配电线路故障识别模型图

图2主要是对感应电压特征架空配电线路故障识别模型环节的设计与实践分析，当前结合基础数值，可以分析架空配电线路的实时运行状态和潜在的故障信息。但是过程中需要结合感应电压的变动差值，进一步标定当前的故障位置，测定计算出此时不同频段电压的异常值，避免冲击分量现象的出现，影响识别结果的输出。在当前的环境下，构建故障识别模型的表达式为

$$k=\frac{\iota^2}{r}\times(\xi+m) \tag{2}$$

式中，k为故障识别输出结果；r为电压波动值；ι为实际的感应范围；ξ和m分别为架空配电线路预估故障区域和实际故障区域。

对模型输出的故障识别输出结果对比验证，利用提取特征进行不断训练，并对模型进行持续更新和改进，增加其在实际应用中的有效性和可靠性。

4. 自适应跟踪监测实现故障识别处理

自适应跟踪监测技术通过实时监测架空配电线路的感应电压特征，动态地捕捉线路状态的变化。将模型计算输出的结果作为跟踪监测的引导目标，利用自适应学习算法，结合历史数据和实时反馈优化故障识别规则，并计算出允许出现的自适应跟踪最大监测阈值，计算公式为

$$N=\int\sqrt{\partial^2}+\frac{H}{o} \tag{3}$$

式中，N为自适应跟踪最大监测阈值；∂为初始阈

值；H为自适应覆盖范围；o为监测识别点。

将计算得出的自适应跟踪最大监测阈值设置为监测识别的持续条件，在较短时间内准确核验出架空配电线路多周期故障识别结果，增强对误报率的控制。

方法测试

结合感应电压特征，对架空配电线路故障识别效果进行分析，考虑到最终测试结果的真实与可靠，采用对比的方式展开分析。选定X架空配电线路作为测试的目标对象，设定传统馈线自动化与级差保护架空配电线路故障识别方法、传统R语言ARIMA模型架空配电线路故障识别方法以及此次设计的感应电压特征架空配电线路故障识别方法。对初始的数据汇总整合，同类划分，存储在预设的位置上，以待后续使用。

1. 测试准备

对感应电压特征架空配电线路故障识别方法的测试环境进行设定。当前选定220 kV的X架空配电线路，在测试的平台之中，增设BP神经网络设计分类器，用于对架空线路的故障类型进行实时监测与识别处理。明确该配电网的覆盖范围，对该区域之内的线路进行标定，设备之中部署一定数量的监测节点，节点之间互相搭接，形成循环式的故障识别结构。为确保最终测试结果的真实可靠，预设辅助测试架空输电线路的故障类型，见表2。

表2　辅助测试架空输电线路故障类型设定

故障类型	说明
单相接地故障	相导线与地之间出现短路，易引发过电压或过电流保护动作
相间接地故障	两相或多相与地之间发生的短路故障
相间故障	两相或多相之间发生的故障
三相故障	三相电中任意一相或多相发生的故障

表2主要是对辅助测试架空输电线路故障类型的设定。基于此，结合感应电压特征，调整当前架空配电线路故障识别环境，为后续识别测定奠定基础。

2. 测试过程与结果分析

在上述搭建的测试环境之中，结合感应电压特征，对X架空配电线路故障识别方法进行测定与分析。按照上述设定的故障类型，将预设的故障内容转换为指令，导入测试程序之中。根据顺序执行，此时系统对故障情况的出现进行瞬时捕捉，在不同的感应电压背景下，选定750 kV和500 kV两个电压段，利用电压波动的特征进行引导，结合采集故障数据和信息，测算出故障误识率，计算公式为

$$T=\nu^{2}-\sqrt{(1+J)}\times\frac{\omega J}{R} \tag{4}$$

式中，T为故障误识率；ν为线路覆盖区域；J为延伸识别区域；R为互感重叠位置；ω为识别频次。

结合当前测定，对最终结果对比分析，见表3。

表3　测试结果对比分析

故障类型	传统馈线自动化与级差保护架空配电线路故障识别方法误识率（%）	传统R语言ARIMA模型架空配电线路故障识别方法误识率（%）	感应电压特征架空配电线路故障识别方法误识率（%）
单相接地故障	20.1	18.4	12.3
相间接地故障	18.4	14.9	10.4
相间故障	16.4	19.4	11.3
三相故障	18.2	17.7	13.4

结合表3，实现对测试结果的分析：对比于传统馈线自动化与级差保护架空配电线路故障识别方法、传统R语言ARIMA模型架空配电线路故障识别方法，此次设计的感应电压特征架空配电线路故障识别方法最终得出的误识别率较低，在15%以下。说明在感应电压特征的辅助下，设计的架空配电线路故障识别方法更为高效、具体，识别精准度明显提高，具有实际的应用意义与创新价值。

结束语

对基于感应电压特征的架空配电线路故障识别的深入研究，在感应电压特征的辅助与支持下，设计的架空配电线路故障识别方法更加灵活、多变，自身的识别效果更可靠。在复杂的背景环境下，通过测试实验和数据的对比分析，验证感应电压特征在故障识别中的有效性。**EA**

（收稿日期：2024-06-04）

参考文献

[1] 张英，隋喆，王琨，等．基于馈线自动化与级差保护的配电线路故障特征量自识别方法[J]．微型电脑应用，2023，39(12)：85-88．

[2] 康维，雷泽宇．基于R语言ARIMA模型的配电线路故障跳闸预测与研究[J]．自动化应用，2023，64(23)：170-172．