

[架空线路]

基于瞬态电场响应的架空线路雷击暂态过电压监测方法

文/陈世民¹ 赵得利²

1. 中铁工程设计咨询集团有限公司电化通号设计研究院; 2. 国网辽宁省电力有限公司朝阳供电公司

常规的架空线路雷击暂态过电压监测方法主要使用单/双端弧垂校正定位法提取暂态过电压特征, 易受雷电流分量叠加影响, 导致监测的雷击暂态过电压上下限频率偏差过高。利用瞬态电场响应分析了线路暂态过电压监测特征, 设计了架空线路雷击暂态过电压监测装置, 实现了架空线路暂态过电压监测。

架空线路是一种常见的输电线路, 运行成本较低, 维护难度不大。铁路系统的供配电线路主要由外部电源和区间贯通线路组成, 普速铁路区间贯通架空线路的供电半径长, 当贯通线雷电故障时, 会影响多处车站和区间的行车设备的供电, 对供电的安全性和可靠性要求较高。但由于架空线路属于室外线路, 容易受雷击、大风等外界因素影响, 出现运行故障, 或者导致严重的电磁干扰, 不符合供配电安全要求, 因此, 需要设计一种有效的架空线路暂态过电压监测方法。

相关研究人员针对架空线路暂态过电压监测特点设计了两种常规的暂态过电压监测方法。第一种是考虑直流线路暂态诊断的架空线路雷击暂态过电压监测方法, 主要利用自相关匹配滤波器分解暂态特征, 实现全响应暂态过电压监测; 第二种是高压状态下的架空线路雷击过电压监测方法, 主要通过雷击暂态响应监测系统进行检测校正, 完成暂态过电压监测。但大多数暂态过电压监测方法需要使用单/双端弧垂校正定位法提取暂态过电压特征, 易受雷电流分量叠加影响, 导致监测的雷击暂态过电压上下限频率偏差过高, 因此, 本文基于瞬态电场响应设计了一种全新的架空线路雷击暂态过电压监测方法。

架空线路雷击暂态过电压瞬态电场响应监测方法设计

1. 基于瞬态电场响应分析线路暂态过电压监测特征

瞬态电场响应指的是在某一特定信号作用下, 输出量逐渐由原始状态转为稳定状态的过程。在瞬态电场响应背景下, 负载电流、电容等变化都会影响线路的稳态, 基于瞬态电场响应分析了线路暂态过电压监测特征。瞬态电场响应注重响应的全面性, 使用滤波估计法对采集到的过电压监测向量进行了分解处理, 调整了其干扰状态, 构建的架空线路雷击暂态过电压特征输出模型为

$$D=a_k+x(n)+g_n \quad (1)$$

式中, a_k 为雷击暂态过电压监测采样幅值; $x(n)$ 为监测的雷击暂态输出分量; g_n 为监测控制参数。

根据上述模型可以有效地输入全响应参数, 根据模型输出的频域信号可以完成特征分量变换处理, 此时的变换式为

$$H=x(t)+[K_r+D] \quad (2)$$

式中, $x(t)$ 为雷击全暂态输出时域; K_r 为信号的瞬时频率。

变换完毕后, 原有的监测特征分量进行了不同程度的拟合, 因此, 根据拟合关系可以进行短时 Fourier 变换, 变换式为

$$W = \frac{\tau + \Delta t}{f} + H \quad (3)$$

式中, τ 为窗函数时宽; Δt 为抽样间隔; f 为短时变换频域; H 为变换特征值。

待上述变换步骤完成后,通过对多个监测模块进行特征聚类处理,此时得到的雷击暂态过电压监测特征分量为

$$F(m) = s_m(t) + x_m(t) + W \quad (4)$$

式中, $s_m(t)$ 为架空线路雷击暂态全响应信号增量; $x_m(t)$ 为常规条件下的信号增量。

根据上述分量即可获得暂态特征关系,提取稳态工作点 Q_f 表达式为

$$Q_f = \frac{\theta_0 + \Delta}{w(k)} + \sum_{m=1} F(m) \quad (5)$$

式中, θ_0 为雷击全响应参数; Δ 为监测增益参数; $w(k)$ 为监测过程中存在扰动的特征量。

此时生成的暂态过电压监测特征转换状态方程为

$$l(k) = \beta + [Q_f + w(k)] \quad (6)$$

式中, β 为监测拉格朗日系数。

由此进行分析,可以判断各个监测点的监测电压关系,调整监测约束,进行电压特征矢量分解,从而准确地获取雷击暂态过电压补偿特征值。

在架空线路雷击暂态过电压监测的过程中,受过度的监测参数影响,进行监测信号特征分解的难度较高,因此,设计的监测方法根据雷击暂态特征演化值完成了加窗操作,调整了雷击监测暂态统计关系,实现了监测特征分类。为了降低监测难度,使用冲激响应函数进行了参数寻优,根据高压架空线路的参数频率特性确定了监测在台矩阵,最大程度降低了线路雷击暂态过电压偏差,提高了最终的监测效果。

2. 设计架空线路雷击暂态过电压监测装置

架空线路雷击暂态过电压监测装置的综合性能直接决定了暂态过电压的监测效果,本文设计的架空线路雷击暂态过电压监测装置主要由数据采集模块、处理模块、供电模块和监测数据传输模块等组成,内含多个高性能存储单元,可以为监测中心提供直流电,本文设计的架空线路雷击暂态过电压装置架构如图1所示。

由图1可知,可以通过Rogowski线圈有效采集处理雷击暂态过电压监测信号,并通过A/D模数转

换成数字信号。除此之外,该装置中内置了FPGA数据处理单元,能按照监测数据采集的先后顺序确定监测数据的发送处理优先级。上述架空线路雷电暂态过电压监测装置可以有效确定待测信号与取样信号的关系,还原原始的监测波形,避免出现失真问题,从而满足暂态过电压的监测可靠性要求。

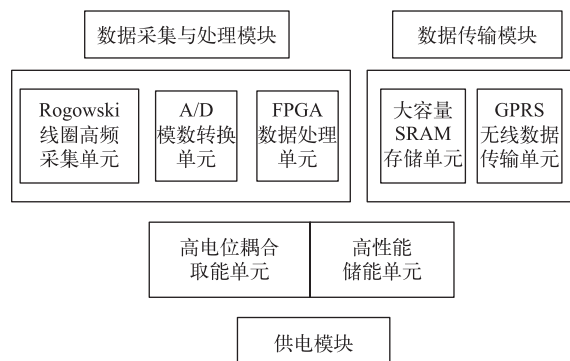


图1 架空线路雷击暂态过电压装置架构

实验

为了验证设计的基于瞬态电场响应的架空线路雷击暂态过电压监测方法的监测效果,配置了基础实验环境,将其与两种常规的架空线路雷击暂态过电压监测方法对比,进行如下实验。

1. 实验准备

根据架空线路雷击暂态过电压监测实验的监测要求,选取SDR输电线路雷击识别程序作为实验程序。已知该实验程序属于利用微分环的稳定性线路暂态过电压识别程序,主要利用C++语言完成编写,由NET搭建仿真编程环境。上述实验程序可以在实验的编码、设计、配置和运营等阶段做支持,生成更准确的实验组件,该实验平台中最重要的就是服务器信号的接收与识别,选取的SDR输电线路服务器信号接收识别平台的识别流程图如图2所示。

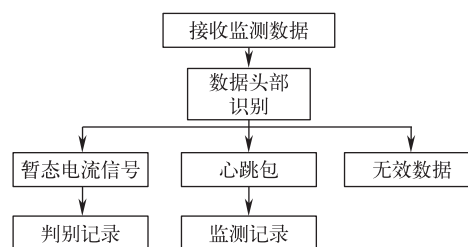


图2 输电线路识别流程图

根据图2可以向IP中发送有效的服务信息，通过指定的标识完成监测与识别。根据上述的输电线路识别流程图即可进行后续的电电压监测实验。

2. 实验结果与讨论

结合上述的实验准备，即可进行雷击暂态过电压监测实验，分别使用本文设计的基于瞬态电场响应的架空线路雷击暂态过电压监测方法，即考

虑直流线路暂态诊断的架空线路雷击暂态过电压监测方法，以及特高压状态下的架空线路雷击过电压监测方法，进行暂态过电压监测实验，记录三种监测方法在不同监测时间下的雷击暂态过电压上下限频率，并将其与实际雷击暂态过电压上下限频率对比，实验结果见表1。

表1 实验结果					(单位: kHz)			
时间	实际雷击暂态过电压上下限频率		设计的监测方法的雷击暂态过电压上下限频率		文献五方法的雷击暂态过电压上下限频率		文献六方法的雷击暂态过电压上下限频率	
	上限	下限	上限	下限	上限	下限	上限	下限
6.8	80 000	12 500	80 000	12 500	88 974	23 659	65 123	26 448
6.9	75 000	14 800	75 000	14 865	79 413	25 413	61 223	23 411
6.12	72 000	19 100	72 010	19 194	76 844	21 479	60 332	29 954
6.15	85 000	16 800	85 050	16 843	89 365	29 544	65 421	25 656
6.19	88 000	22 310	88 010	22 310	80 236	23 695	41 225	13 254
6.20	91 200	16 100	91 250	16 158	84 513	24 846	71 421	23 994
6.21	54 000	15 800	54 000	15 843	32 561	21 796	32 656	24 456
6.23	48 400	14 300	48 450	14 324	59 741	26 789	51 236	23 955
6.25	59 000	17 600	59 030	17 603	43 235	23 641	65 481	26 658
6.27	46 800	16 000	46 813	16 021	36 521	23 595	32 114	21 345
6.29	39 500	21 100	39 509	21 100	32 140	27 475	49 858	10 369
6.30	55 100	13 200	55 115	13 231	59 834	21 269	41 236	9 542
7.2	35 100	8 100	35 128	8 123	65 612	5 621	44 895	3 652
7.6	29 000	11 000	29 000	11 008	23 654	21 056	36 958	24 475

由表1可知，设计的基于瞬态电场响应的架空线路雷击暂态过电压监测方法，在不同监测时间下，监测的雷击暂态过电压上下限频率，与实际上下限频率拟合；考虑直流线路暂态诊断的架空线路雷击暂态过电压监测方法，和特高压状态下的架空线路雷击过电压监测方法不同监测时间下监测的雷击暂态过电压上下限频率，与实际上下限频率相差较大。上述实验结果证明，本文设计的基于瞬态电场响应的暂态过电压监测方法的监测效果较好，具有一定的应用价值。

10 kV或35 kV架空电缆混合线路。因此，针对暂态过电压监测问题，利用瞬态电场响应设计了一种全新的架空线路雷击暂态过电压监测方法。结果表明，设计的架空线路雷击暂态过电压瞬态电场响应监测方法监测的雷击暂态过电压上下限频率，与实际雷击暂态过电压上下限频率较拟合，证明设计的监测方法的监测效果较好，具有一定的应用价值，为提高架空线路的运行稳定性作出了贡献。EA

(收稿日期: 2023-08-29)

参考文献

[1] 何锦强, 李锐海, 李昊, 等. 基于Yolo v5与Grabcut的架空线路绝缘子可见光图像自动识别与分割方法[J]. 南方电网技术, 2023, 17(6): 128-135.

[2] 任俊瑜, 李本瑜, 赵明, 等. 基于计算电阻指标和双端测量信息的高压直流输电线路故障测距方法[J]. 电气应用, 2021, 40(6): 24-31.

结束语

综上所述，在电力需求激增的背景下，我国的电力输送距离越来越远，各种各样的特高压输配电工程随之而生。与此同时，我国输配电线路组成越来越复杂，存在许多的未知扰动，导致严重的供电故障，造成了经济损失。事实上，铁路供电系统主要由外部电源线路、变配电所、高压配电线路和低压配电系统构成，其外部电源线路一般是