



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113671293 B

(45) 授权公告日 2024.03.15

(21) 申请号 202110980266.7

(22) 申请日 2021.08.25

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 113671293 A

(43) 申请公布日 2021.11.19

(73) 专利权人 昆明同弘瑞能电力科技有限公司  
地址 650500 云南省昆明市盘龙区白云路  
28号凯悦时代A-A2601

(72) 发明人 向念亲 常全胤 孙秀晴

(74) 专利代理机构 北京国坤专利代理事务所  
(普通合伙) 11491  
专利代理师 张国栋

(51) Int. Cl.  
G01R 31/00 (2006.01)

(56) 对比文件  
CN 101290336 A, 2008.10.22  
CN 101711455 A, 2010.05.19  
CN 101776710 A, 2010.07.14

CN 102916345 A, 2013.02.06  
CN 105322460 A, 2016.02.10  
CN 107015109 A, 2017.08.04  
CN 108845177 A, 2018.11.20  
CN 112069691 A, 2020.12.11  
CN 112083278 A, 2020.12.15  
CN 112162173 A, 2021.01.01  
CN 205509453 U, 2016.08.24  
JP 2010045927 A, 2010.02.25  
KR 100463438 B1, 2004.12.23  
KR 101045990 B1, 2011.07.04  
KR 200264888 Y1, 2002.02.21

李鑫等. 输电线路感应雷与直击雷的辨识方法研究.《广东电力》.2012,第25卷(第2期),全文.

李天鹤等. 500kV架空线直击和感应雷暂态过电压计算.《四川电力技术》.2016,第39卷(第5期),全文. (续)

审查员 马佳伟

权利要求书2页 说明书8页 附图5页

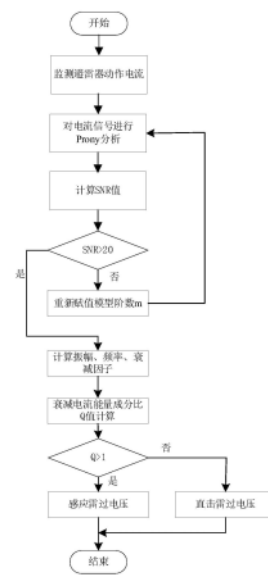
(54) 发明名称

一种配电线路雷击故障性质判别方法、系统、设备及终端

(57) 摘要

本发明属于电力系统继电保护技术领域,公开了一种配电线路雷击故障性质判别方法、系统、设备及终端,所述配电线路雷击故障性质判别方法包括:从能量成分上对雷击配电线路产生响应电流的过程进行分析,阐述配电线路上雷击响应电流能量溯源的基本原理;根据响应电流特点提出衰减电流能量成分表征的方法,采用Prony算法对检测到的雷电流信号进行模式分解,从不同的模式中分离出静电感应能量成分和电磁感应能量成分,根据不同雷击性质中能量成分占比不同对直击雷与感应雷过电压进行判别。本发明能够可靠检测雷击事件,并准确地对直击雷故障与感应雷故障性质进行辨识,对改进线路防雷设计和实现差异化防雷具有重要的意义。

CN 113671293 B



[接上页]

(56) 对比文件

P. Yutthagowith等.Improved Least-Square Prony Analysis Technique for

Parameter Evaluation of Lightning Impulse Voltage and Current.《IEEE Transactions on Power Delivery》.2016,第31卷(第1期),全文.

1. 一种配电线路雷击故障性质判别方法,其特征在于,所述配电线路雷击故障性质判别方法包括:

对雷击配电线路产生响应电流的能量溯源进行分析;采用Prony算法对检测到的雷电流信号进行模式分解,从不同的模式中分离出静电感应能量成分和电磁感应能量成分,根据不同雷击性质中能量成分占比不同对直击雷与感应雷过电压进行判别;

所述配电线路雷击故障性质判别方法包括以下步骤:

步骤一,监测避雷器动作电流;

步骤二,对电流信号进行Prony分析;

步骤三,计算SNR值;

步骤四,判断SNR是否大于20,若否,则重新赋值雷电流模型阶数 $m$ ,并返回步骤二;若是,则计算振幅、频率以及衰减因子;

步骤五,进行衰减电流能量成分比 $Q$ 值的计算;根据线路响应电流 $i$ 模式分解和能量关系可知:

$$Q = \frac{\sum \int i_i e^{-\alpha_i t} dt}{\sum \int i_j e^{if_j t} e^{-\beta_j t} dt};$$

其中, $i_i$ 、 $\alpha_i$ 为非振荡衰减电流的幅值和衰减系数, $i_j$ 、 $f_j$ 、 $\beta_j$ 为高频振荡衰减电流的幅值、频率和衰减系数;

步骤六,判断 $Q$ 是否大于1,若是,则判定为感应雷过电压;若否,则判定为直击雷过电压。

2. 如权利要求1所述配电线路雷击故障性质判别方法,其特征在于,所述配电线路雷击故障性质判别方法,还包括:

(1) 配电线路在雷电流作用下会产生静电感应和电磁感应两部分响应,雷电流作用的静电感应电流 $i_{sf}$ 由束缚电荷 $Q_{sf}$ 产生,雷电流作用的电磁感应部分 $i_{dc}$ ,该电流由电磁感应电荷 $Q_{dc}$ 产生;

(2) 配电线路在雷击作用下的电流响应特征用RLC二阶动态电路进行分析,雷击配电线路的响应电流由静电感应电荷电流和电磁感应电荷电流组成;

(3) 雷电流含有各种不同频率的衰减量;根据雷电流特征用Prony算法对雷电流模式进行分解,得出雷电流信号在不同频率下的特征量,频率为零的对应于静电感应能量成分,高频对应于电磁感应能量成分;

(4) 静电感应能量和电磁感应能量的能量成分分别为非振荡衰减能量 $Q_{sf}$ 和电磁感应能量 $Q_{dc}$ ,定义非振荡衰减能量与电磁感应能量比为能量成分比 $Q$ ,并对不同性质雷击故障进行溯源分析。

3. 如权利要求2所述配电线路雷击故障性质判别方法,其特征在于,步骤(2)中,雷击配电线路的响应电流由静电感应电荷电流和电磁感应电荷电流组成,即 $i = i_{sf} + i_{dc}$ 。

4. 一种应用如权利要求1~3任意一项所述配电线路雷击故障性质判别方法的配电线路雷击故障性质判别系统,其特征在于,所述配电线路雷击故障性质判别系统包括:

感应电流产生模块,配电线路在雷电流作用下会产生静电感应和电磁感应两部分响应,雷电流作用的静电感应电流 $i_{sf}$ 由束缚电荷 $Q_{sf}$ 产生,雷电流作用的电磁感应部分 $i_{dc}$ ,该

电流由电磁感应电荷 $Q_{dc}$ 产生；

电流响应特征分析模块,用于通过RLC二阶动态电路从能量成分上对雷击配电线路产生响应电流的过程进行分析,阐述配电线路上雷击响应电流能量溯源的基本原理；

电流信号模式分解模块,用于根据响应电流特点提出衰减电流能量成分表征的方法,采用Prony算法对检测到的雷电流信号进行模式分解,从不同的模式中分离出静电感应能量成分和电磁感应能量成分；

雷击故障溯源分析模块,用于定义非振荡衰减能量与高频振荡衰减能量比为能量成分比 $Q$ ,根据不同雷击性质中能量成分占比不同对直击雷与感应雷过电压进行判别,对不同性质雷击故障进行溯源分析。

5. 一种计算机设备,其特征在于,所述计算机设备包括存储器和处理器,所述存储器存储有计算机程序,所述计算机程序被所述处理器执行时,使得所述处理器执行权利要求1~3任意一项所述配电线路雷击故障性质判别方法。

6. 一种计算机可读存储介质,存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时,使得所述处理器执行权利要求1~3任意一项所述配电线路雷击故障性质判别方法。

7. 一种信息数据处理终端,其特征在于,所述信息数据处理终端用于实现如权利要求4所述配电线路雷击故障性质判别系统。

## 一种配电线路雷击故障性质判别方法、系统、设备及终端

### 技术领域

[0001] 本发明属于电力系统继电保护技术领域,尤其涉及一种配电线路雷击故障性质判别方法、系统、设备及终端。

### 背景技术

[0002] 目前,配电线路分布广泛,绝缘防护等级较低,极易遭受雷击,引发配电线路发生闪络故障并导致供电中断事故。统计数据表明,配电线路中因雷害事故造成的跳闸事故占总跳闸事故的70%~80%。雷电直击配电线路或附近雷击感应过电压,均能引起雷击故障,但直击雷与感应雷的入侵方式不同,故障形成机理不同,导致防雷手段的应用缺乏客观依据,提升防雷效果困难,因此可靠检测雷击事件,并准确识别感应雷和直击雷,对改进线路防雷设计和实现差异化防雷具有重要的意义。目前对于雷击线路故障的判别方法主要是用不同数字信号处理方法对仿真或者测量数据进行特征提取分析,其精度取决于方法与数据的适应性,局限性比较大。因此,亟需一种新的电线路雷击故障性质判别方法,以弥补现有技术的缺陷。

[0003] 通过上述分析,现有技术存在的问题及缺陷为:目前对于雷击线路故障的判别方法主要是用不同数字信号处理方法对仿真或者测量数据进行特征提取分析,其精度取决于方法与数据的适应性,且由于不同类型的数字信号处理方法对数据处理存在着各种不足,局限性比较大。本发明从配电线路对不同类型的雷击故障产生的响应特征来辨识雷击故障类型的原理和方法,其精度不依赖于数字信号处理的方法,给配电线路雷击类型识别提供可靠有效且易于实现的方案。

### 发明内容

[0004] 针对现有技术存在的问题,本发明提供了一种配电线路雷击故障性质判别方法、系统、设备及终端,尤其涉及一种基于雷击配电线路电流能量成分溯源原理的配电线路雷击故障性质判别方法、系统、设备及终端。

[0005] 本发明是这样实现的,一种配电线路雷击故障性质判别方法,所述配电线路雷击故障性质判别方法包括:

[0006] 从能量成分上对雷击配电线路产生响应电流的过程进行分析,阐述配电线路上雷击响应电流能量溯源的基本原理;根据响应电流特点提出衰减电流能量成分表征的方法,采用Prony算法对检测到的雷电流信号进行模式分解,从不同的模式中分离出静电感应能量成分和电磁感应能量成分,根据不同雷击性质中能量成分占比不同对直击雷与感应雷过电压进行判别。

[0007] 进一步,所述配电线路雷击故障性质判别方法包括以下步骤:

[0008] 步骤一,监测避雷器动作电流;

[0009] 步骤二,对电流信号进行Prony分析;

[0010] 步骤三,计算SNR值;

[0011] 步骤四,判断SNR是否大于20,若否,则重新赋值模型阶数 $m$ ,并返回步骤二;若是,则计算振幅、频率以及衰减因子;

[0012] 步骤五,进行衰减电流能量成分比 $Q$ 值的计算;

[0013] 步骤六,判断 $Q$ 是否大于1,若是,则判定为感应雷过电压;若否,则判定为直击雷过电压。

[0014] 进一步,所述配电线路雷击故障性质判别方法,还包括:

[0015] (1) 配电线路在雷电流作用下会产生静电感应和电磁感应两部分响应,雷电流作用的静电感应电流 $i_{sf}$ 由束缚电荷 $Q_{sf}$ 产生,雷电流作用的电磁感应部分 $i_{dc}$ ,该电流由电磁感应电荷 $Q_{dc}$ 产生;

[0016] (2) 配电线路在雷击作用下的电流响应特征用RLC二阶动态电路进行分析,雷击配电线路的响应电流由静电感应电荷电流和电磁感应电荷电流组成;

[0017] (3) 雷电流含有各种不同频率的衰减量;根据雷电流特征用Prony算法对雷电流模式进行分解,得出雷电流信号在不同频率下的特征量,频率为零的对应于静电感应能量成分,高频对应于电磁感应能量成分;

[0018] (4) 静电感应能量和电磁感应能量的能量成分分别为非振荡衰减能量 $Q_{sf}$ 和低频振荡衰减 $Q_{dc}$ ,定义非振荡衰减能量与高频振荡衰减能量比为能量成分比 $Q$ ,并对不同性质雷击故障进行溯源分析。

[0019] 进一步,步骤(2)中,雷击配电线路的响应电流由静电感应电荷电流和电磁感应电荷电流组成,即 $i = i_{sf} + i_{dc}$ 。

[0020] 进一步,步骤(4)中,根据线路响应电流 $i$ 模式分解和能量关系可知:

$$[0021] \quad Q = \frac{\sum \int i_i e^{-\alpha_i t} dt}{\sum \int i_j e^{j f_j t} e^{-\beta_j t} dt};$$

[0022] 其中, $i_i$ 、 $\alpha_i$ 为非振荡衰减电流的幅值和衰减系数, $i_j$ 、 $f_j$ 、 $\beta_j$ 为高频振荡衰减电流的幅值、频率和衰减系数。

[0023] 进一步,步骤(4)中,对不同性质雷击故障进行溯源分析可知,通过构造模式分解后的电流能量比来判别雷击故障类型;当 $Q > 1$ 时,判定为感应雷;当 $Q < 1$ 时,判定为直击雷。

[0024] 本发明的另一目的在于提供一种应用所述配电线路雷击故障性质判别方法的配电线路雷击故障性质判别系统,所述配电线路雷击故障性质判别系统包括:

[0025] 感应电流产生模块,配电线路在雷电流作用下会产生静电感应和电磁感应两部分响应,雷电流作用的静电感应电流 $i_{sf}$ 由束缚电荷 $Q_{sf}$ 产生,雷电流作用的电磁感应部分 $i_{dc}$ ,该电流由电磁感应电荷 $Q_{dc}$ 产生;

[0026] 电流响应特征分析模块,用于通过RLC二阶动态电路从能量成分上对雷击配电线路产生响应电流的过程进行分析,阐述配电线路上雷击响应电流能量溯源的基本原理;

[0027] 电流信号模式分解模块,用于根据响应电流特点提出衰减电流能量成分表征的方法,采用Prony算法对检测到的雷电流信号进行模式分解,从不同的模式中分离出静电感应能量成分和电磁感应能量成分;

[0028] 雷击故障溯源分析模块,用于定义非振荡衰减能量与高频振荡衰减能量比为能量成分比 $Q$ ,根据不同雷击性质中能量成分占比不同对直击雷与感应雷过电压进行判别,对不

同性质雷击故障进行溯源分析。

[0029] 本发明的另一目的在于提供一种计算机设备,所述计算机设备包括存储器和处理器,所述存储器存储有计算机程序,所述计算机程序被所述处理器执行时,使得所述处理器执行如下步骤:

[0030] 从能量成分上对雷击配电线路产生响应电流的过程进行分析,阐述配电线路上雷击响应电流能量溯源的基本原理;根据响应电流特点提出衰减电流能量成分表征的方法,采用Prony算法对检测到的雷电流信号进行模式分解,从不同的模式中分离出静电感应能量成分和电磁感应能量成分,根据不同雷击性质中能量成分占比不同对直击雷与感应雷过电压进行判别。

[0031] 本发明的另一目的在于提供一种计算机可读存储介质,存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时,使得所述处理器执行如下步骤:

[0032] 从能量成分上对雷击配电线路产生响应电流的过程进行分析,阐述配电线路上雷击响应电流能量溯源的基本原理;根据响应电流特点提出衰减电流能量成分表征的方法,采用Prony算法对检测到的雷电流信号进行模式分解,从不同的模式中分离出静电感应能量成分和电磁感应能量成分,根据不同雷击性质中能量成分占比不同对直击雷与感应雷过电压进行判别。

[0033] 本发明的另一目的在于提供一种信息数据处理终端,所述信息数据处理终端用于实现所述配电线路雷击故障性质判别系统。

[0034] 结合上述的所有技术方案,本发明所具备的优点及积极效果为:本发明提供的配电线路雷击故障性质判别方法,从能量成分上对雷击配电线路产生响应电流的过程进行分析,阐述配电线路上雷击响应电流能量溯源的基本原理;根据响应电流特点提出衰减电流能量成分表征的方法,采用Prony算法对检测到的雷电流信号进行模式分解,从不同的模式中分离出静电感应能量成分和电磁感应能量成分,根据不同雷击性质中能量成分占比不同对直击雷与感应雷过电压进行判别,为区分配电线路雷击类型提供可靠有效且易于实现的方法。本发明通过MATLAB与ATP-EMTP联机搭建仿真模型,验证基于能量溯源的雷击配电线路故障性质判别方法的有效性。

[0035] 本发明利用Prony算法对检测到的线路电流信号进行模式分解,分离出静电感应能量成分和电磁感应能量成分,根据不同雷击性质时能量成分占比不同的特征,对直击雷故障与感应雷故障进行辨识,对改进线路防雷设计和实现差异化防雷具有重要的意义;通过MATLAB与ATP-EMTP联机的仿真测试,结果表明该方法能可靠有效的判别雷击故障性质。

[0036] 本发明能够用以正确辨识直击雷和感应雷,对改进线路防雷设计和实现差异化防雷具有重要的意义;通过MATLAB与ATP-EMTP互联搭建10kV配电网感应雷过电压仿真平台,提出雷击配电线路电流能量溯源的原理,根据不同雷击性质时能量成分占比不同的特征,对直击雷故障与感应雷故障进行辨识。同时,本发明能够可靠检测雷击事件,并准确识别感应雷和直击雷,可改进线路防雷设计和实现差异化防雷。

## 附图说明

[0037] 为了更清楚地说明本发明实施例的技术方案,下面将对本发明实施例中所需要使用的附图做简单的介绍,显而易见地,下面所描述的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于

本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0038] 图1是本发明实施例提供的配电线路雷击故障性质判别方法流程图。

[0039] 图2是本发明实施例提供的配电线路雷击故障性质判别方法过程图。

[0040] 图3是本发明实施例提供的配电线路雷击故障性质判别方法原理图。

[0041] 图4是本发明实施例提供的配电线路雷击故障性质判别系统结构框图;

[0042] 图中:1、感应电流产生模块;2、电流响应特征分析模块;3、电流信号模式分解模块;4、雷击故障溯源分析模块。

[0043] 图5是本发明仿真实验1提供的直击雷(雷电流模型为HEIDLER模型)导致的线路电流波形图。

[0044] 图6是本发明仿真实验1提供的直击雷(雷电流模型为双指数函数模型)导致的线路电流波形图。

[0045] 图7是本发明仿真实验2提供的1/3光速回击速度的感应雷导致的线路电流波形图。

[0046] 图8是本发明仿真实验2提供的1/2光速回击速度的感应雷导致的线路电流波形图。

[0047] 图9是本发明仿真实验2提供的2/3光速回击速度的感应雷导致的线路电流波形图。

### 具体实施方式

[0048] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0049] 针对现有技术存在的问题,本发明提供了一种配电线路雷击故障性质判别方法、系统、设备及终端,下面结合附图对本发明作详细的描述。

[0050] 如图1所示,本发明实施例提供的配电线路雷击故障性质判别方法包括以下步骤:

[0051] S101,从能量成分上对雷击配电线路产生响应电流的过程进行分析,阐述配电线路上雷击响应电流能量溯源的基本原理;

[0052] S102,根据响应电流特点提出衰减电流能量成分表征的方法,采用Prony算法对检测到的雷电流信号进行模式分解;

[0053] S103,从不同的模式中分离出静电感应能量成分和电磁感应能量成分,根据不同雷击性质中能量成分占比不同对直击雷与感应雷过电压进行判别。

[0054] 本发明实施例提供的配电线路雷击故障性质判别方法原理图如图2-3所示。

[0055] 如图4所示,本发明实施例提供的配电线路雷击故障性质判别系统包括:

[0056] 感应电流产生模块1,配电线路在雷电流作用下会产生静电感应和电磁感应两部分响应,雷电流作用的静电感应电流 $i_{sf}$ 由束缚电荷 $Q_{sf}$ 产生,雷电流作用的电磁感应部分 $i_{dc}$ ,该电流由电磁感应电荷 $Q_{dc}$ 产生;

[0057] 电流响应特征分析模块2,用于通过RLC二阶动态电路从能量成分上对雷击配电线路产生响应电流的过程进行分析,阐述配电线路上雷击响应电流能量溯源的基本原理;



[0058] 电流信号模式分解模块3,用于根据响应电流特点提出衰减电流能量成分表征的方法,采用Prony算法对检测到的雷电流信号进行模式分解,从不同的模式中分离出静电感应能量成分和电磁感应能量成分;

[0059] 雷击故障溯源分析模块4,用于定义非振荡衰减能量与高频振荡衰减能量比为能量成分比Q,根据不同雷击性质中能量成分占比不同对直击雷与感应雷过电压进行判别,对不同性质雷击故障进行溯源分析。

[0060] 下面结合具体实施例对本发明的技术方案作进一步描述。

[0061] 本发明实施例提供的基于雷击配电线路电流能量溯源原理的雷击过电压辨识方法,从能量成分上对雷击配电线路产生响应电流的过程进行分析,阐述配电线路上雷击响应电流能量溯源的基本原理。根据响应电流特点提出衰减电流能量成分表征的方法,采用Prony算法对检测到的雷电流信号进行模式分解,从不同的模式中分离出静电感应能量成分和电磁感应能量成分,根据不同雷击性质中能量成分占比不同对直击雷与感应雷过电压进行判别,为区分配电线路雷击类型提供可靠有效且易于实现的方法。

[0062] 本发明要解决的技术问题是提供一种基于能量成分溯源的配电线路雷击故障性质判别方法,用以正确辨识直击雷和感应雷,对改进线路防雷设计和实现差异化防雷具有重要的意义。本发明的技术方案是:一种基于能量成分溯源的配电线路雷击故障性质判别方法,具体步骤为:

[0063] Step1:配电线路在雷电流作用下会产生静电感应和电磁感应两部分响应,雷电流作用的静电感应电流 $i_{sf}$ 由束缚电荷 $Q_{sf}$ 产生,雷电流作用的电磁感应部分 $i_{dc}$ ,该电流由电磁感应电荷 $Q_{dc}$ 产生。

[0064] Step2:配电线路在雷击作用下的电流响应特征可以用RLC二阶动态电路来进行分析,雷击配电线路的响应电流由静电感应电荷电流和电磁感应电荷电流组成,即 $i = i_{sf} + i_{dc}$ 。

[0065] Step3:雷电流含有各种不同频率的衰减量。根据雷电流特征可以用Prony算法对雷电流模式进行分解,得出雷电流信号在不同频率下的特征量,频率为零的对应于静电感应能量成分,高频对应于电磁感应能量成分。

[0066] Step4:静电感应能量和电磁感应能量的能量成分分别为非振荡衰减能量 $Q_{sf}$ 和高频振荡衰减 $Q_{dc}$ ,定义非振荡衰减能量与高频振荡衰减能量比为能量成分比Q,根据线路响应电流i模式分解和能量关系可知:

$$[0067] \quad Q = \frac{\sum \int i_i e^{-\alpha_i t} dt}{\sum \int i_j e^{i f_j t} e^{-\beta_j t} dt}$$

[0068] 其中: $i_i$ 、 $\alpha_i$ 为非振荡衰减电流的幅值和衰减系数, $i_j$ 、 $f_j$ 、 $\beta_j$ 为高频振荡衰减电流的幅值、频率和衰减系数。

[0069] 对不同性质雷击故障进行溯源分析可知,可以通过构造模式分解后的电流能量比来判别雷击故障类型。当 $Q > 1$ 时,可判定为感应雷;当 $Q < 1$ 时,可判定为直击雷。

[0070] 下面结合仿真实验对本发明的技术方案作进一步描述。

[0071] 在ATP-EMTP中建立10kV配电网架空线雷击故障模型,土壤电导率0.001,避雷器接地电阻为 $R = 20 \Omega$ 。设置导线距离地面的高度为 $h_j = 10m$ ,直击雷和感应雷模块作用在A相线路上,设置监测点P检测避雷器动作电流,S为感应雷落雷点距离导线的水平距离, $S = 100m$ ,

雷电流采用2/50 $\mu$ s进行模拟。

[0072] 仿真实验1

[0073] (1) 直击雷(雷电流模型为HEIDLER模型),取基电流幅值 $I_0=30\text{kA}$ ,雷电通道波阻抗为 $300\Omega$ ,采样率为1MHZ。线路电流波形如图5所示,对HEIDLER雷电流模型下的线路响应电流作Prony模式分解并计算对应成分的能量成分值,结果如表1所示。

[0074] 表1对HEIDLER雷电流模型下的线路响应电流作Prony模式分解并计算对应成分的能量成分值

[0075]

频率	幅值	衰减因子	能量成分
200608.203	64.2623840	-39475.4472	72
226645.996	428.650404	-113135.567	171
165211.8424	1221.58993	-154012.624	356
0	505.088554	-16672.1495	3030
102223.6005	2108.38685	-138293.192	684
34720.03451	5289.33199	-122329.383	1944

[0076] (2) 直击雷(雷电流模型为双指数函数模型),取基电流幅值 $I_0=30\text{kA}$ ,雷电通道波阻抗为 $300\Omega$ ,采样率为1MHZ。线路电流波形如图6所示,对双指数函数模型雷电流模型下的线路响应电流作Prony模式分解并计算对应成分的能量成分值,结果如表2所示。

[0077] 表2对双指数函数模型雷电流模型下的线路响应电流作Prony模式分解并计算对应成分的能量成分值

[0078]

频率	幅值	衰减因子	能量成分
122706.5339	28.15652825	-58624.721	22.5
189881.5188	162.5044784	-138326.61	54
249970.2003	502.615966	-166444.965	135
184531.3043	1036.95141	-153142.951	306
0	400.5132975	-12842.7347	3120
111985.3487	2706.587381	-150409.049	81
36799.80891	8032.962912	-141138.857	2560
97565.76881	19356.03075	-716348.859	1215

[0079] 仿真实验2

[0080] (1) 感应雷采用防雷保护规程中规定的双指数函数标准雷电波形,回击速度为1/3光速,取基电流 $I_0=30\text{kA}$ ,采样率为1MHZ。线路电流波形如图7所示,对1/3光速回击速度的双指数函数标准雷电波形下的线路响应电流进行Prony模式分解并计算对应成分的能量成分值,结果如表3所示。

[0081] 表3 1/3光速回击速度的双指数函数标准雷电波形下的线路响应电流进行Prony模式分解并计算对应成分的能量成分值

[0082]

频率	幅值	衰减因子	能量成分
161653.2258	9.43046288	-238929.804	1.8

	88287.20257	18.22196232	-410353.158	2
	0	28.15326029	-2020928.00	1.4
	187512.6268	13.31587569	-86430.9669	6.9
[0083]	112227.3258	12.02179461	-53780.6064	10
	237279.7271	25.28995715	-135197.004	8.4
	37734.98039	113.9329253	-35408.1883	144
	0	256.3467543	-98085.5404	261.4

[0084] (2) 感应雷采用防雷保护规程中规定的双指数函数标准雷电波形,回击速度为1/2光速,取基电流 $I_0=30\text{kA}$ ,采样率为1MHZ。线路电流波形如图8所示,对1/2光速回击速度的双指数函数标准雷电波形下的线路响应电流进行Prony模式分解并计算对应成分的能量成分值,结果如表4所示。

[0085] 表4 1/2光速回击速度的双指数函数标准雷电波形下的线路响应电流进行Prony模式分解并计算对应成分的能量成分值

频率	幅值	衰减因子	能量成分
156923.9109	25.61980672	-433769.221	2.7
59726.22552	41.65426585	-544131.959	3.4
200455.3014	30.39514605	-209306.550	6.5
149840.8951	23.09909127	-95085.2592	11
0	87.00763608	-63495.9188	137
0	167.4096294	-210886.848	79.4

[0087] (3) 感应雷采用防雷保护规程中规定的双指数函数标准雷电波形,回击速度为2/3光速,取基电流 $I_0=30\text{kA}$ ,采样率为1MHZ。线路电流波形如图9所示,对2/3光速回击速度的双指数函数标准雷电波形下的线路响应电流进行Prony模式分解并计算对应成分的能量成分值,结果如表5所示。

[0088] 表5 2/3光速回击速度的双指数函数标准雷电波形下的线路响应电流进行Prony模式分解并计算对应成分的能量成分值

频率	幅值	衰减因子	能量成分
158979.8969	7.55688415	-260487.757	1.3
110269.6373	8.680320319	-64796.6218	6
89204.33405	20.5949868	-401773.283	23.1
187283.5585	19.08746193	-87772.2472	10
0	61.09129718	-1251620.24	4.9
237344.1927	37.4361876	-134955.126	12.5
37904.99185	124.1799144	-35404.9195	158
0	279.0098508	-116190.6058	240

[0090] 在前面五种情况的实施例中,频率为零的对应于静电感应能量成分,高频对应于电磁感应能量成分。根据计算结果,五个仿真衰减电流能量成分比为:(1) $Q_1=0.94$ ;(2) $Q_2=0.61$ ;(3) $Q_3=1.52$ ;(4) $Q_4=9.17$ ;(5) $Q_5=1.16$ 。由前面的分析可知,当能量成分比 $Q>1$ 时为感应雷, $Q<1$ 时为直击雷。

[0091] 在本发明的描述中,除非另有说明,“多个”的含义是两个或两个以上;术语“上”、

“下”、“左”、“右”、“内”、“外”、“前端”、“后端”、“头部”、“尾部”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。此外,术语“第一”、“第二”、“第三”等仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0092] 在上述实施例中,可以全部或部分地通过软件、硬件、固件或者其任意组合来实现。当使用全部或部分地以计算机程序产品的形式实现,所述计算机程序产品包括一个或多个计算机指令。在计算机上加载或执行所述计算机程序指令时,全部或部分地产生按照本发明实施例所述的流程或功能。所述计算机可以是通用计算机、专用计算机、计算机网络、或者其他可编程装置。所述计算机指令可以存储在计算机可读存储介质中,或者从一个计算机可读存储介质向另一个计算机可读存储介质传输,例如,所述计算机指令可以从一个网站站点、计算机、服务器或数据中心通过有线(例如同轴电缆、光纤、数字用户线(DSL)或无线(例如红外、无线、微波等)方式向另一个网站站点、计算机、服务器或数据中心进行传输)。所述计算机可读存储介质可以是计算机能够存取的任何可用介质或者是包含一个或多个可用介质集成的服务器、数据中心等数据存储设备。所述可用介质可以是磁性介质,(例如,软盘、硬盘、磁带)、光介质(例如,DVD)、或者半导体介质(例如固态硬盘Solid State Disk(SSD))等。

[0093] 以上所述,仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,都应涵盖在本发明的保护范围之内。

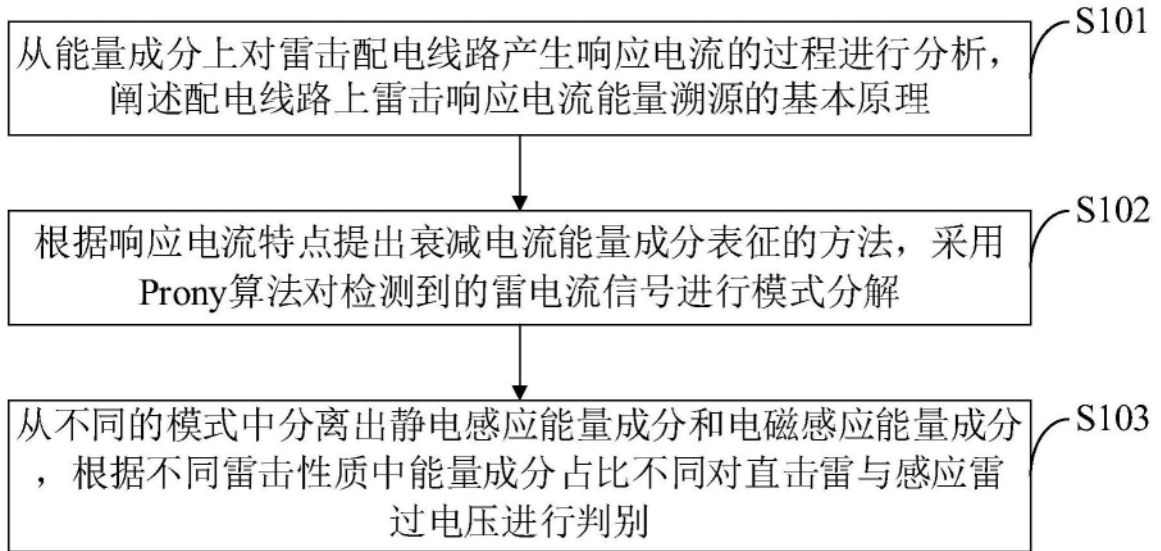


图1

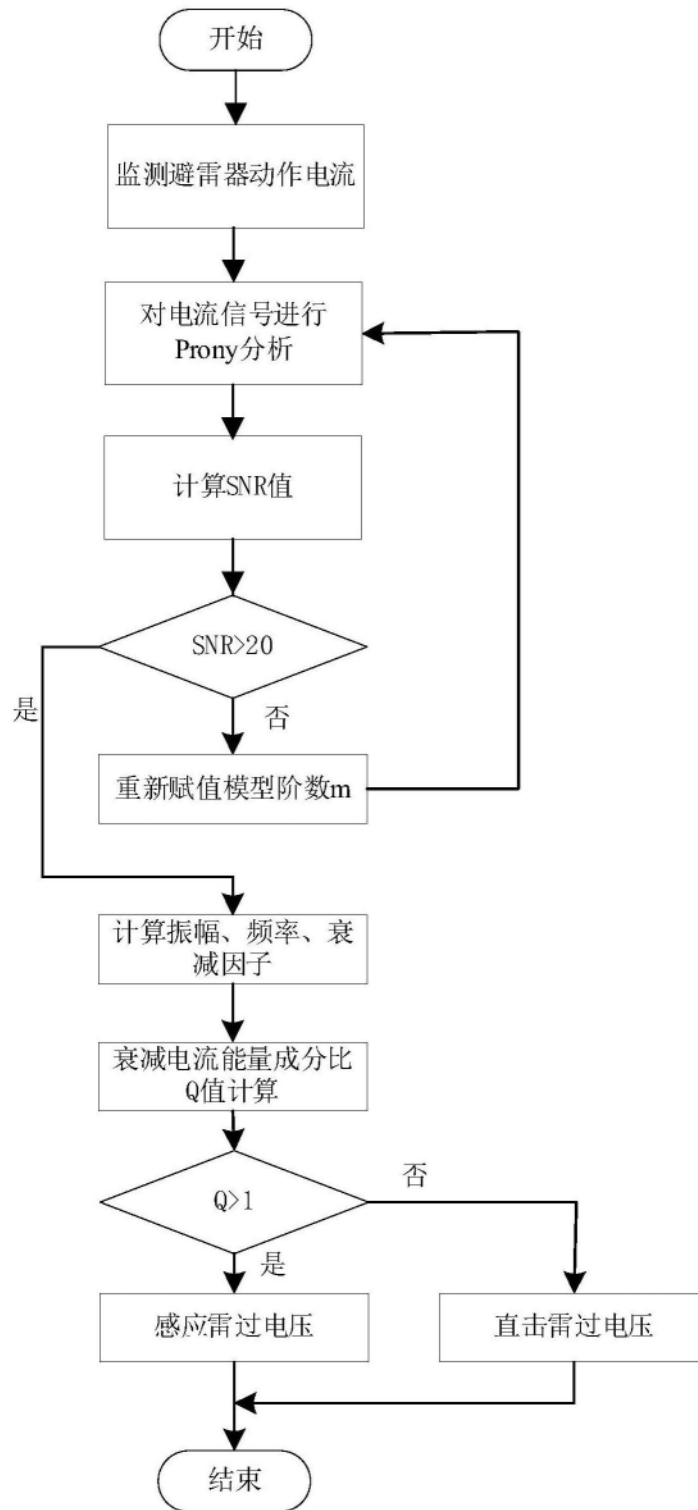


图2

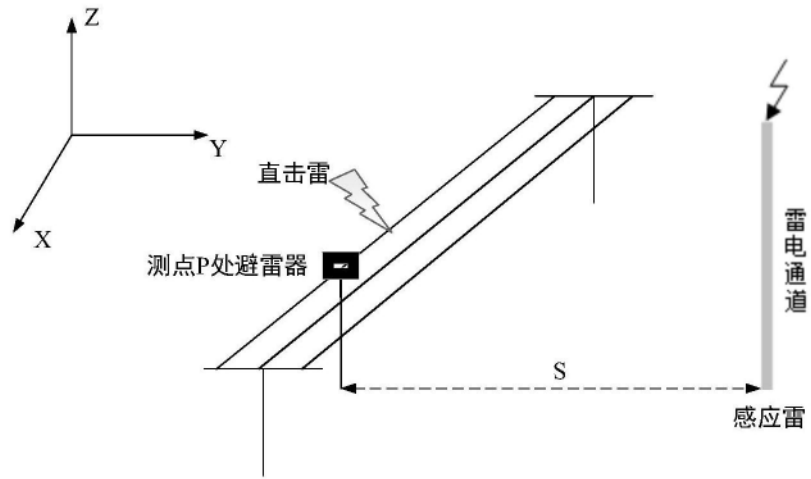


图3

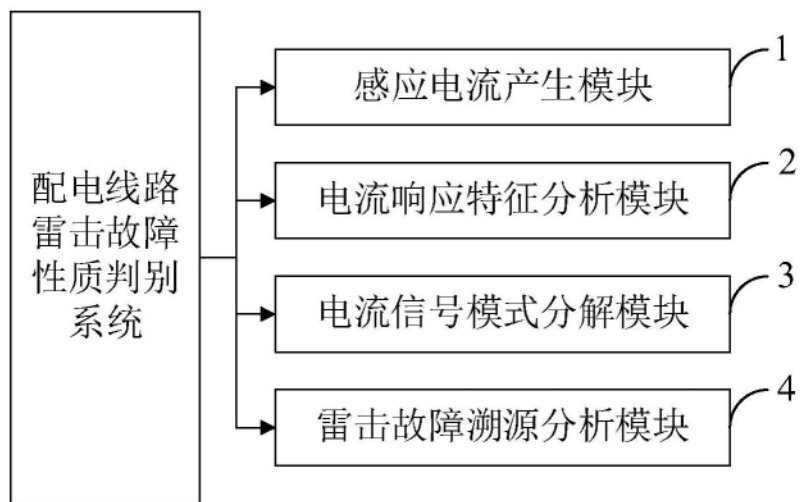


图4

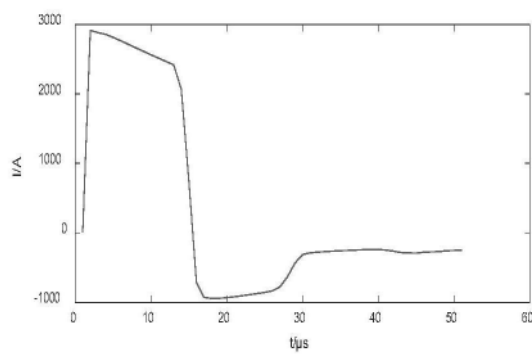


图5

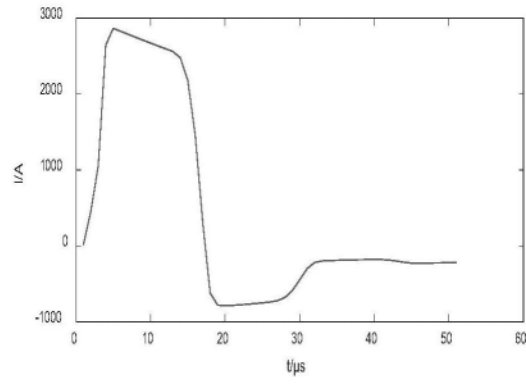


图6

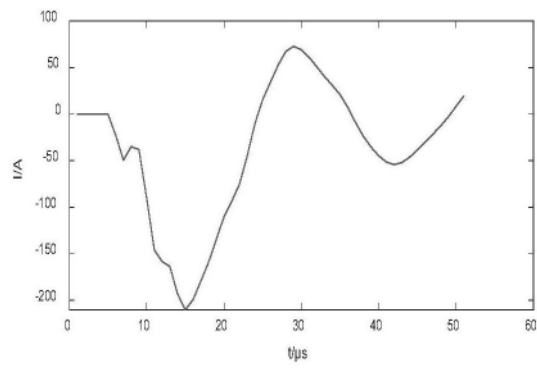


图7

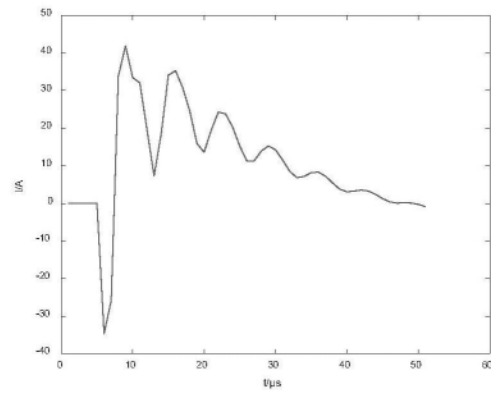


图8



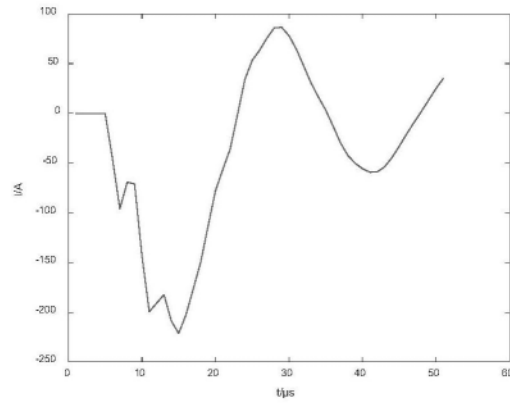


图9