



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102882193 B

(45) 授权公告日 2015.03.11

(21) 申请号 201210372328.7

(22) 申请日 2012.09.28

(73) 专利权人 中国南方电网有限责任公司超高压输电公司

地址 510620 广东省广州市天河区天河路116号

专利权人 华南理工大学

(72) 发明人 贺智 蔡泽祥 王朝硕 韩昆仑 徐敏

(74) 专利代理机构 广州科粤专利商标代理有限公司 44001

代理人 黄培智

(51) Int. Cl.

H02H 7/26(2006.01)

(56) 对比文件

US 2006/0282239 A1, 2006.12.14, 全文.

CN 102332709 A, 2012.01.25, 全文.

赵军等. 基于 PSCAD/EMTDC 的高压直流输电继电保护建模与仿真. 《机电工程技术》. 2011, 第40卷(第12期), 第42-45页.

罗海云等. 关于贵广二回直流线路行波保护中电压变化率整定值的讨论. 《南方电网技术》. 2008, 第2卷(第1期), 第14-17页.

审查员 丁小汀

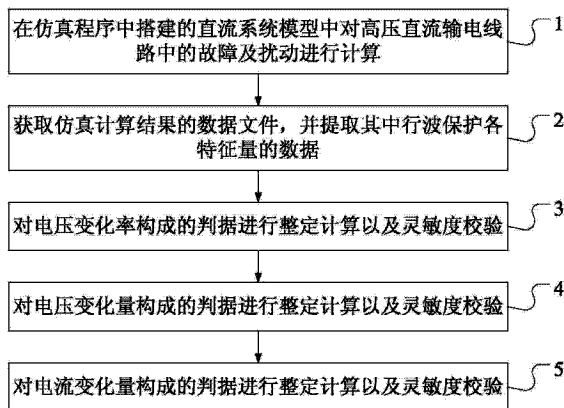
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

一种高压直流输电线路行波保护整定方法与系统

(57) 摘要

本发明公开了高压直流输电线路行波保护整定方法与系统,其步骤包括,为在仿真程序中搭建的直流系统模型中对高压直流输电线路中的故障及扰动进行计算;获取仿真计算结果的数据文件,并提取其中行波保护各特征量的数据;对电压变化率构成的判据进行整定计算以及灵敏度校验;对电压变化量构成的判据进行整定计算以及灵敏度校验;对电流变化量构成的判据进行整定计算以及灵敏度校验。其系统为包括相互连接的仿真数据的管理与处理模块、直流线路行波保护整定计算模块、保护特征量与相关电气量的分析与显示模块和整定计算书与定值单管理模块;采用本发明可使直流线路行波保护的整定计算具有了统一、适用的方法,形成了统一的、操作性强的计算体系。



1. 一种高压直流输电线路行波保护整定方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤 1:在仿真程序中搭建的直流系统模型中对高压直流输电线路中的故障及扰动进行计算;

步骤 2:获取仿真计算结果的数据文件,并提取其中行波保护各特征量的数据;

步骤 3:对电压变化率构成的判据进行整定计算以及灵敏度校验;

步骤 4:对电压变化量构成的判据进行整定计算以及灵敏度校验;

步骤 5:对电流变化量构成的判据进行整定计算以及灵敏度校验;

步骤 1 中所述故障包括:区内故障:本极线路上发生的故障;区外故障:线路两端平波电抗器的阀侧故障、整流侧交流系统母线故障、逆变侧交流系统母线故障以及对极线路上的故障;

对电压变化率构成的判据进行整定计算以及灵敏度校验的具体方法为:电压变化率判据的整定分别躲开平波电抗器阀侧故障和交流系统母线三相短路故障;

具体整定公式为:

$$\left. \frac{du}{dt} \right|_{set} = K_{rel} \cdot \left. \frac{du}{dt} \right|_{out};$$

灵敏度校验公式为:

$$K_{sen} = \frac{\left. \frac{du}{dt} \right|_{min}}{\left. \frac{du}{dt} \right|_{set}};$$

式中 $\left. \frac{du}{dt} \right|_{set}$ 为待整定的电压变化率的定值; $\left. \frac{du}{dt} \right|_{min}$ 为本极线路上不同位置故障时电压变化率可能出现的最小值; $\left. \frac{du}{dt} \right|_{out}$ 为需要躲开的除对极线路故障以外的其他各类区外故障条件下电压变化率的最大值; K_{rel} 为可靠系数;

对电压变化量构成的判据进行整定计算以及灵敏度校验的具体方法为:采用保末端灵敏度的方式计算定值,整定计算采用下式:

$$\Delta u_{set} = \frac{\Delta u_{min}}{K_{sen.min}};$$

式中的 Δu_{set} 为电压变化量的定值; Δu_{min} 为本极线路上不同位置故障时电压变化量可能出现的最小值; $K_{sen.min}$ 为本极线路故障时此判据应满足的最小灵敏度要求;

对电流变化量构成的判据进行整定计算以及灵敏度校验的具体方法为:整定计算采用:

$$\Delta i_{set} = K_{rel} \cdot \Delta i_{out};$$

灵敏度校验采用:

$$K_{sen} = \frac{\Delta i_{min}}{\Delta i_{set}};$$

式中的 Δi_{set} 为电流变化量的定值； Δi_{out} 为对极线路上不同位置故障时电流变化量可能出现的最大值； Δi_{min} 为本极线路上不同位置故障时电流变化量可能出现的最小值， K_{rel} 为可靠系数。

2. 根据权利要求1所述的高压直流输电线路行波保护整定方法，其特征在于，步骤2中所述仿真计算结果包括电压变化率、电压变化量以及电流变化量。

3. 一种实现前述任一项权利要求所述的方法的高压直流输电线路行波保护整定系统，其特征在于，包括相互连接的仿真数据的管理与处理模块、直流线路行波保护整定计算模块、保护特征量与相关电气量的分析与显示模块和整定计算书与定值单管理模块，所述仿真数据的管理与处理模块用于仿真数据的读取以及便于整定计算所需的相关数据的提取、分类、索引排序处理；所述直流线路行波保护整定计算模块用于整定计算基本参数的设定、直流线路行波保护的自动整定计算；所述保护特征量与相关电气量的分析与显示模块用于对相关电气量以不同方式进行显示；所述整定计算书与定值单管理模块用于提供最终的直流线路行波保护的定值、生成直流线路行波保护整定计算书与保护定值单。

一种高压直流输电线路行波保护整定方法与系统

技术领域

[0001] 本发明涉及高压输电领域,尤其涉及的是一种高压直流输电线路行波保护整定方法与系统。

背景技术

[0002] 直流输电线路是直流输电系统功率传输的通道,其能否稳定可靠的工作对于整个直流系统的稳定运行起着至关重要的作用。目前行波保护作为直流输电线路的主保护,广泛应用于国内高压及特高压直流输电系统中。典型的直流输电线路行波保护的動作方程如式(1)所示:

$$[0003] \quad \begin{cases} \frac{du}{dt} > k_1 \\ \Delta u > k_2 \\ \Delta i > k_3 \end{cases} \quad (1)$$

[0004] 此种结构的直流线路行波保护由三个判据构成,每个判据中分别包含一个保护特征量,电压变化率 du/dt 、电压变化量 Δu 以及电流变化量 Δi ; k_1, k_2, k_3 分别为三个判据的定值,当保护装置检测到的某个特征量的值大于其对应的定值,则此判据启动,若三个判据均启动,则行波保护动作,发出触发脉冲以启动后续的故障处理策略。

[0005] 交流系统中继电保护的整定计算已经形成一套成熟、完善的体系,可以采用解析化的方法进行保护定值的计算。与之相比,采用上述结构的直流线路行波保护中各定值的计算目前无法采用解析化的方法进行,主要的原因在于目前直流线路故障时,故障行波沿直流线路传播的特性难以采用解析化的方法进行分析。当前采用上述结构的直流输电线路行波保护各判据的定值均由保护设计厂家提供参考值,由运行部门根据实际情况进行适当的调整后投入使用,在实际运行中直流线路行波保护曾多次出现误动作,严重影响直流输电系统稳定可靠的运行。每次事故过后,只能依据事故发生时的故障录波数据,对直流线路行波保护各判据的定值进行适当的调整。因此,直流输电线路行波保护定值的整定计算缺乏一套统一、适用的计算方法,难以纳入电力系统继电保护的整体框架之中,行波保护的可靠性亟需进一步提高。

[0006] 因此,现有技术还有待于改进和发展。本发明是在国家 863 计划项目基金的资助下,为高压直流输电线路行波保护的整定提供的一套统一、适用的方法与系统,具有适用性广泛,效率高的特点。

发明内容

[0007] 本发明的目的在于提供一种高压直流输电线路行波保护整定方法与系统,旨在解决现有的直流输电线路行波保护定值的确定方法不成体系,缺乏普遍适用性的问题。

[0008] 本发明的技术方案如下:

[0009] 一种高压直流输电线路行波保护整定方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0010] 步骤 1 :在仿真程序中搭建的直流系统模型中对高压直流输电线路中的各类故障及扰动进行计算 ;

[0011] 步骤 2 :获取仿真计算结果的数据文件,并提取其中行波保护各特征量的数据 ;

[0012] 步骤 3 :对电压变化率 du/dt 构成的判据进行整定计算以及灵敏度校验 ;

[0013] 步骤 4 :对电压变化量 Δu 构成的判据进行整定计算以及灵敏度校验 ;

[0014] 步骤 5 :对电流变化量 Δi 构成的判据进行整定计算以及灵敏度校验。

[0015] 所述的高压直流输电线路行波保护整定方法,其中,步骤 1 中所述故障包括 :区内故障 :本极线路上不同位置发生的故障 ;区外故障 :线路两端平波电抗器的阀侧故障、整流侧交流系统母线故障、逆变侧交流系统母线故障以及对极线路上不同位置的故障。

[0016] 所述的高压直流输电线路行波保护整定方法,其中,步骤 2 中所述仿真计算结果包括电压变化率 du/dt 、电压变化量 Δu 以及电流变化量 Δi 。

[0017] 所述的高压直流输电线路行波保护整定方法,其中,对电压变化率 Δu 构成的判据进行整定计算以及灵敏度校验的具体方法为 :电压变化率判据的整定分别躲开线路两端平波电抗器阀侧故障和整流侧及逆变侧交流系统母线三相短路故障。

[0018] 所述的高压直流输电线路行波保护整定方法,其中,电压变化率的具体整定公式为 :

$$[0019] \quad \left. \frac{du}{dt} \right|_{set} = K_{rel} \cdot \left. \frac{du}{dt} \right|_{out} ;$$

[0020] 灵敏度校验公式为 :

$$[0021] \quad K_{sen} = \frac{\left. \frac{du}{dt} \right|_{min}}{\left. \frac{du}{dt} \right|_{set}} ;$$

[0022] 式中 $\left. \frac{du}{dt} \right|_{set}$ 为待整定的电压变化率的定值 ; $\left. \frac{du}{dt} \right|_{min}$ 为本极线路上不同位置故障

时电压变化率可能出现的最小值 ; $\left. \frac{du}{dt} \right|_{out}$ 为需要躲开的除对极线路故障以外的其它各类区外故障条件下电压变化率的最大值 ; K_{rel} 为可靠系数。

[0023] 所述的高压直流输电线路行波保护整定方法,其中,对电压变化量 Δu 构成的判据进行整定计算以及灵敏度校验的具体方法为 :采用保末端灵敏度的方式计算定值,整定计算采用下式 :

$$[0024] \quad \Delta u_{set} = \frac{\Delta u_{min}}{K_{sen.min}} ;$$

[0025] 式中的 Δu_{set} 为电压变化量的定值 ; Δu_{min} 为本极线路上不同位置故障时电压变化量可能出现的最小值 ; $K_{sen.min}$ 为本极线路故障时此判据应满足的最小灵敏度要求。

[0026] 所述的高压直流输电线路行波保护整定方法,其中,对电流变化量 Δi 构成的判据进行整定计算以及灵敏度校验的具体方法为 :

[0027] 整定计算采用 :

[0028] $\Delta i_{set} = K_{rel} \cdot \Delta i_{out}$;

[0029] 灵敏度校验采用 :

[0030]
$$K_{sen} = \frac{\Delta i_{min}}{\Delta i_{set}} ;$$

[0031] 式中的 Δi_{set} 为电流变化量的定值 ; Δi_{out} 为对极线路上不同位置故障时电流变化量可能出现的最大值 ; Δi_{min} 为本极线路上不同位置故障时电流变化量可能出现的最小值, K_{rel} 为可靠系数。

[0032] 一种高压直流输电线路行波保护整定系统, 其中, 包括相互连接的仿真数据的管理与处理模块、直流线路行波保护整定计算模块、保护特征量与相关电气量的分析与显示模块和整定计算书与定值单管理模块, 所述仿真数据的管理与处理模块用于仿真数据的读取以及便于整定计算所需的相关数据的提取、分类、索引排序处理 ; 所述直流线路行波保护整定计算模块用于整定计算基本参数的设定、直流线路行波保护的自动整定计算 ; 所述保护特征量与相关电气量的分析与显示模块用于对相关电气量以不同方式进行显示与对比 ; 所述整定计算书与定值单管理模块用于提供最终的直流线路行波保护的定值、生成直流线路行波保护整定计算书及定值单。

[0033] 本发明的有益效果 : 本发明通过提出一种全新的直流线路行波保护整定方法, 使直流线路行波保护的整定计算具有了统一、适用的方法, 形成了统一的、操作性强的计算体系, 这样就将直流线路行波保护的整定计算纳入到了电力系统继电保护整定计算的整体框架之中。直流线路行波保护整定计算方法的提出有助于更深入地理解行波保护的特性及功能, 为现有直流线路行波保护的整定提供了一套可靠性强、便于操作的方法 ; 直流输电线路行波保护整定计算系统的开发则大幅度提高了保护整定计算工作的效率。

附图说明

[0034] 图 1 是本发明中行波保护保护范围及相关故障分布。

[0035] 图 2a 是电压变化率在两极线路故障时的变化趋势图。

[0036] 图 2b 是电压变化率在区外故障下的响应图。

[0037] 图 3a 是电压变化量在两极线路故障时的变化趋势图。

[0038] 图 3b 是电压变化量在区外故障下的响应图。

[0039] 图 3c 是电压变化量在投入电容器组时的响应。

[0040] 图 4 是直流线路故障下的电流的动态特性。

[0041] 图 5 是电流变化量在线路不同位置故障时的变化趋势。

[0042] 图 6 是直流线路行波保护整定方法的流程图。

[0043] 图 7 是直流线路行波保护整定系统的框图。

具体实施方式

[0044] 为使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚、明确, 以下参照附图并举实施例对本发明进一步详细说明。

[0045] 当前普遍采用的直流输电线路行波保护定值的确定方法存在的缺点是定值的计

算方法不成体系,缺乏普遍适用性,即每个直流输电系统中直流输电线路行波保护的定值均是针对此直流系统单独进行设定的,对于采用此结构的直流线路行波保护缺乏一套统一、适用的整定计算方法。这使得直流线路行波保护的整定计算无法像交流系统的继电保护整定计算那样形成统一的体系。同时,在事故过后也只能依据故障录波数据及现场运行的经验对定值进行适当调整,对于定值的合理性及有效性及相关影响因素难以进行合理有效的评估。

[0046] 本发明为了使直流输电线路行波保护的整定计算形成统一的体系,提供了一套直流输电线路行波保护整定计算方法及系统,使直流输电线路行波保护整定计算系统化,具有统一性及实用性,以进一步提高直流输电线路行波保护的可靠性,提高直流输电线路行波保护整定计算工作的效率。

[0047] 直流线路行波保护的动作方程中包含三个特征量:电压变化率 du/dt 、电压变化量 Δu 以及电流变化量 Δi ,由此三个特征量所构成的判据相互配合而实现行波保护的整定功能。

[0048] 直流输电系统的两极线路上均配有行波保护,对于安装在一极线路上的行波保护而言,行波保护的保护范围为本极直流线路的全长属于区内的范围,而对极线路、线路两侧的末端设备、换流器以及交流系统均属于区外的范围,末端设备包括平波电抗器、直流滤波器等。

[0049] 直流输电线路行波保护的整定方法及所需考虑的故障类型分布如图 1 所示:整定计算需要考虑的各种故障类型:区内故障,即为本极线路上发生的故障 (d_1);区外故障主要包括:线路两端平波电抗器的阀侧故障 (d_3 、 d_4)、整流侧交流系统母线故障 (d_5)、逆变侧交流系统母线故障 (d_6) 以及对极线路上的故障 (d_2)。

[0050] 直流线路行波保护各保护特征量的动态特性(各种故障及扰动条件下各保护特征量响应的规律及特点)仿真分析是整定计算的前提和基础,由于目前缺乏有效的解析化分析手段,因此采用基于 PSCAD/EMTDC 仿真软件(通用的电磁暂态仿真程序)上搭建反映实际参数直流系统模型进行动态特性分析的手段加以解决,具体过程如下:

[0051] (1) 电压变化率 du/dt :从图 2a 和 2b 中可以看出电压变化率 du/dt 在各种故障条件下的变化趋势:从图 2a 可以看出,对于发生在线路上的故障,故障点位置越远则电压变化率 du/dt 的响应程度越小。从图 2b 中可以看出,电压变化率 du/dt 对于发生在平波电抗器阀侧的故障 (d_3 、 d_4) 的响应程度明显大于其对于交流母线故障 (d_5 、 d_6) 的响应程度。对比图 2a 与图 2b, du/dt 对两极线路上的故障的响应程度明显大于其对其他区外故障的响应程度。

[0052] 由此可以得出,电压变化率 du/dt 能够将本极线路上的故障与除对极线路故障以外的其它各类区外故障可靠的区分开。因此,由电压变化率 du/dt 所构成的保护判据的主要功能为判别故障是否发生在输电线路路上。

[0053] (2) 电压变化量 Δu :电压变化量 Δu 在各种故障条件下的变化趋势如图 3a 和 3b:而电容器组投切的非故障扰动时的 Δu 变化曲线如图 3c 所示。

[0054] 从图 3a 与图 3b 可以看出,无论是两极线路上的故障,还是发生在直流系统的其它区外故障,电压变化量 Δu 的响应程度较接近。对比图 3a、3b 和图 3c,对于系统运行过程中电容器组投切等非故障扰动产生的电压变化量 Δu 与其在故障条件下的响应程度具有明

显的差异性。因此,电压变化量 Δu 可以区分故障状态与非故障扰动状态。

[0055] 因此,由电压变化量 Δu 所构成的保护判据可用于区分系统的受扰状态与故障状态,作为行波保护的故障启动判据。

[0056] (3) 电流变化量 Δi :直流输电线路在发生本极故障与对极故障的不同情况下,本极行波保护检测到的线路电流的响应有明显的差异。图 4 为本极和对极线路分别在中点故障时,本极保护安装处的电流变化情况,在此基础上去掉稳态分量,可得到故障时的电流变化量 Δi 的响应,进而可得到本极与对极线路上不同位置发生故障时电流变化量 Δi 的响应情况,如图 5 所示:从图 5 可以看出,对于发生于本极与对极线路上的故障,电流变化量 Δi 的响应情况同样具有明显的差异性。因此,由电流变化量 Δi 构成的判据主要用于判别故障是否发生于本极线路上,即故障选极。

[0057] 参见图 6:本发明提供的直流线路行波保护整定方法具体包括以下步骤:

[0058] 步骤 1:在仿真程序中搭建的直流系统模型中对高压直流输电线路中的故障及扰动进行计算;

[0059] 其中所述故障包括区内故障:本极线路上发生的故障 (d_1);区外故障:线路两端平波电抗器的阀侧故障 (d_3 、 d_4)、整流侧交流系统母线故障 (d_5)、逆变侧交流系统母线故障 (d_6) 以及对极线路上的故障 (d_2)。本发明采用的为 PSCAD/EMTDC 仿真程序。

[0060] 步骤 2:获取仿真计算结果的数据文件,并提取其中行波保护各特征量的数据;

[0061] 具体包括:电压变化率 du/dt 、电压变化量 Δu 以及电流变化量 Δi 。

[0062] 步骤 3:对电压变化率 du/dt 构成的判据进行整定计算以及灵敏度校验;

[0063] 其具体方法为:电压变化率 du/dt 判据的整定应躲开除线路故障以外的各种区外故障,即分别躲开平波电抗器阀侧故障 (d_3 、 d_4)、交流系统母线三相短路故障 (d_5 、 d_6),此时特征量 du/dt 的响应值的最大值。

[0064] 可以具体可按式 (2) 进行整定计算:

$$[0065] \quad \left. \frac{du}{dt} \right|_{set} = K_{rel} \cdot \left. \frac{du}{dt} \right|_{out} \quad (2)$$

[0066] 灵敏度校验可按式 (3) 计算:

$$[0067] \quad K_{sen} = \frac{\left. \frac{du}{dt} \right|_{min}}{\left. \frac{du}{dt} \right|_{set}} \quad (3)$$

[0068] 式中 $\left. \frac{du}{dt} \right|_{set}$ 为电压变化率的定值; $\left. \frac{du}{dt} \right|_{min}$ 为本极线路上不同位置故障时电压变化率可能出现的最小值; $\left. \frac{du}{dt} \right|_{out}$ 为需要躲开的除对极线路故障以外各种区外故障条件下电压变化率的最大值; K_{rel} 为可靠系数,主要考虑计算误差、裕度等因素的影响。

[0069] 步骤 4:对电压变化量 Δu 构成的判据进行整定计算以及灵敏度校验;

[0070] 其具体方法为:电压变化量 Δu 判据按躲开系统运行中可能受到的扰动整定,可按“保末端灵敏度”的方式计算定值,以满足区内线路故障时应具有最低的灵敏性要求。

[0071] 其具体计算公式如式 (4) 计算：

$$[0072] \quad \Delta u_{set} = \frac{\Delta u_{min}}{K_{sen.min}} \quad (4)$$

[0073] 式中的 Δu_{set} 为电压变化量的定值； Δu_{min} 为本极线路上不同位置故障时电压变化量可能出现的最小值； $K_{sen.min}$ 为本极线路故障时此判据应满足的最小灵敏度要求。

[0074] 步骤 5：对电流变化量 Δi 构成的判据进行整定计算以及灵敏度校验。

[0075] 其具体方法为：电流变化量判据 Δi 的整定主要考虑躲开对极线路上不同位置故障时的最大值。

[0076] 其具体计算公式可如式 (5) 计算：

$$[0077] \quad \Delta i_{set} = K_{rel} \cdot \Delta i_{out} \quad (5)$$

[0078] 灵敏度校验可按式 (6) 计算：

$$[0079] \quad K_{sen} = \frac{\Delta i_{min}}{\Delta i_{set}} \quad (6)$$

[0080] 式中的 Δi_{set} 为电流变化量的定值； Δi_{out} 为对极线路上不同位置故障时电流变化量可能出现的最大值； Δi_{min} 为本极线路上不同位置故障时电流变化量可能出现的最小值， K_{rel} 为可靠系数。

[0081] 参见图 7，本发明依据上述方法还提供一种高压直流输电线路行波保护整定系统。PSCAD/EMTDC 仿真计算软件是直流输电线路行波保护整定计算系统的基础平台，采用 PSCAD/EMTDC 软件搭建包含实际参数的高压直流输电系统模型，进行各种故障及扰动下的仿真计算，为直流输电线路行波保护的整定计算提供所需的仿真数据；在此基础上对仿真数据数进行进一步的处理，按照直流输电线路行波保护整定计算方法进行整定计算，自动输出保护定值及保护整定计算书。

[0082] 上述系统包括仿真数据的管理与处理模块、直流线路行波保护整定计算模块、保护特征量与相关电气量的分析与显示模块和整定计算书与定值单管理模块。所述仿真数据的管理与处理模块用于仿真数据的读取以及便于整定计算所需的相关数据的提取、分类、索引排序等处理；所述直流线路行波保护整定计算模块用于整定计算基本参数的设定、直流线路行波保护的自动整定书；所述保护特征量与相关电气量的分析与显示模块用于对相关电气量以不同方式进行显示，便于更直观的掌握保护整定计算的情况以及对相关数据进行进一步的分析；所述整定计算书与定值单管理模块用于提供最终的直流线路行波保护的定值、生成直流线路行波保护整定计算书及定值单。

[0083] 直流线路行波保护整定方法的提出使直流线路行波保护的整定计算具有了统一、适用的方法，形成了统一的、操作性强的计算体系，这样就将直流线路行波保护的整定计算纳入到了电力系统继电保护整定计算的整体框架之中。直流线路行波保护整定计算方法的提出有助于更深入地理解行波保护的特性及功能，为现有直流线路行波保护的整定提供了一套可靠性强、便于操作的方法；直流输电线路行波保护整定计算系统的开发则大幅度提高了保护整定计算工作的效率。

[0084] 应当理解的是，本发明的应用不限于上述的举例，对本领域普通技术人员来说，可以根据上述说明加以改进或变换，所有这些改进和变换都应属于本发明所附权利要求的保

护范围。

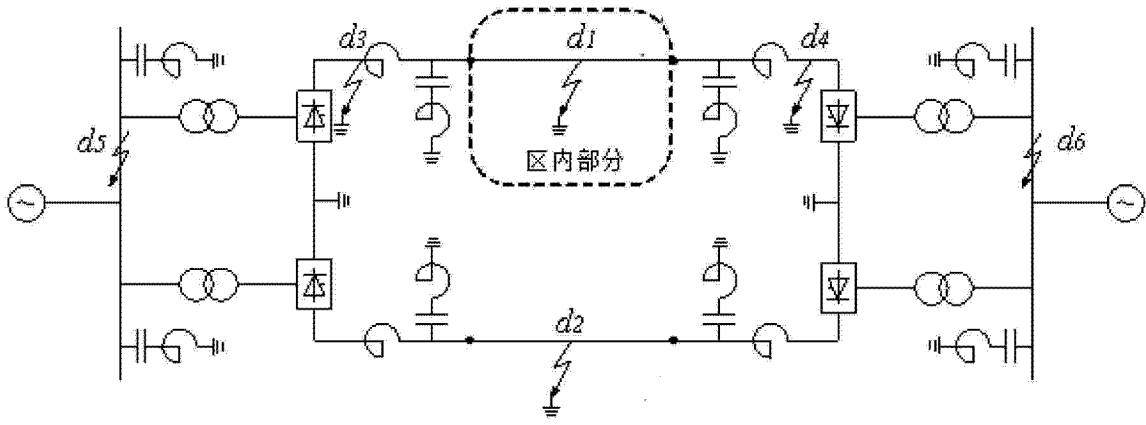


图 1

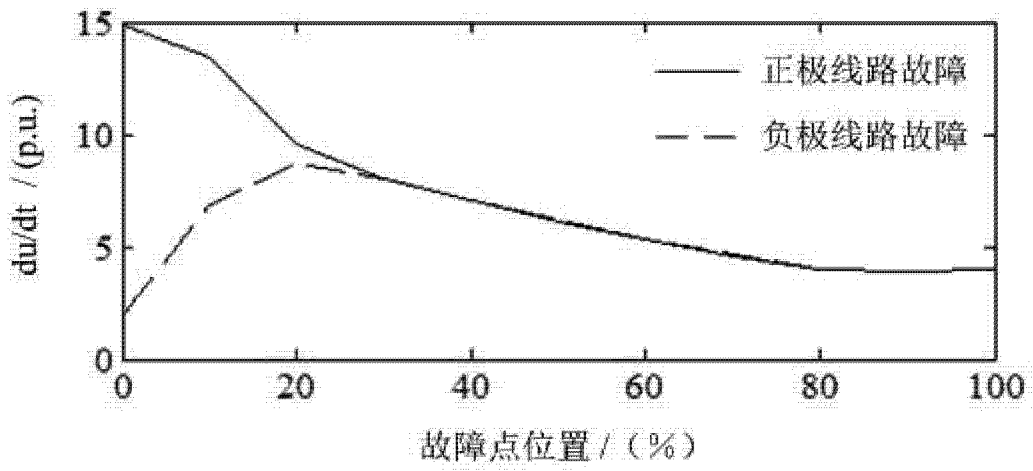


图 2a

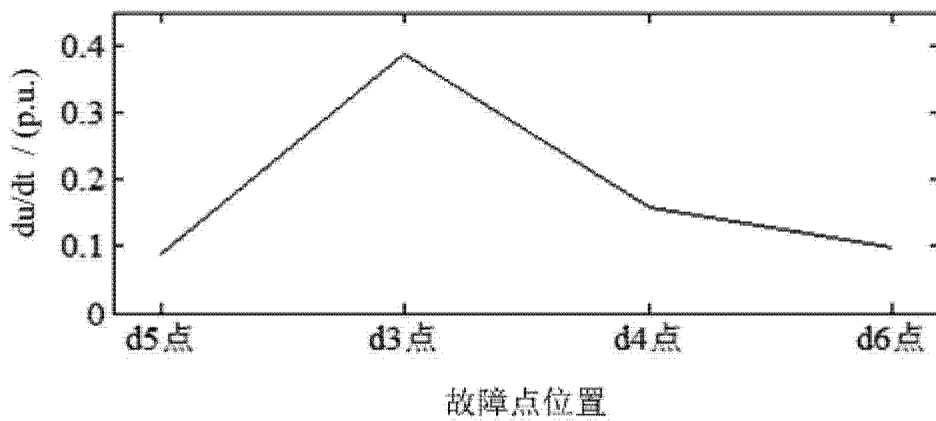


图 2b

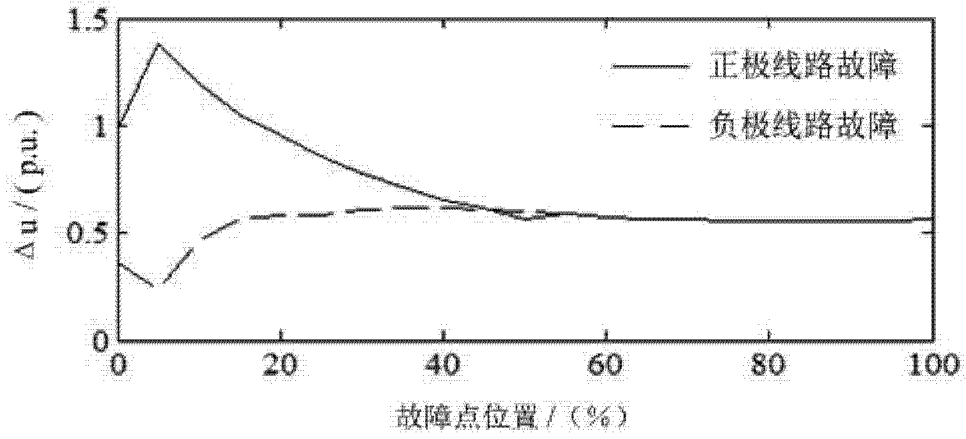


图 3a

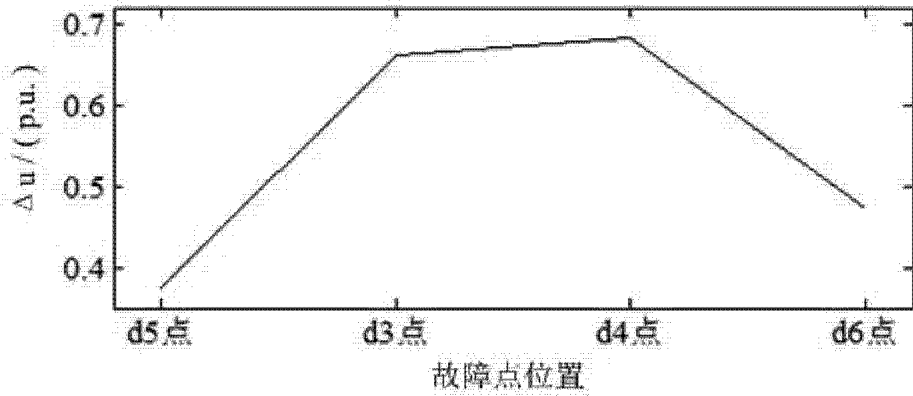


图 3b

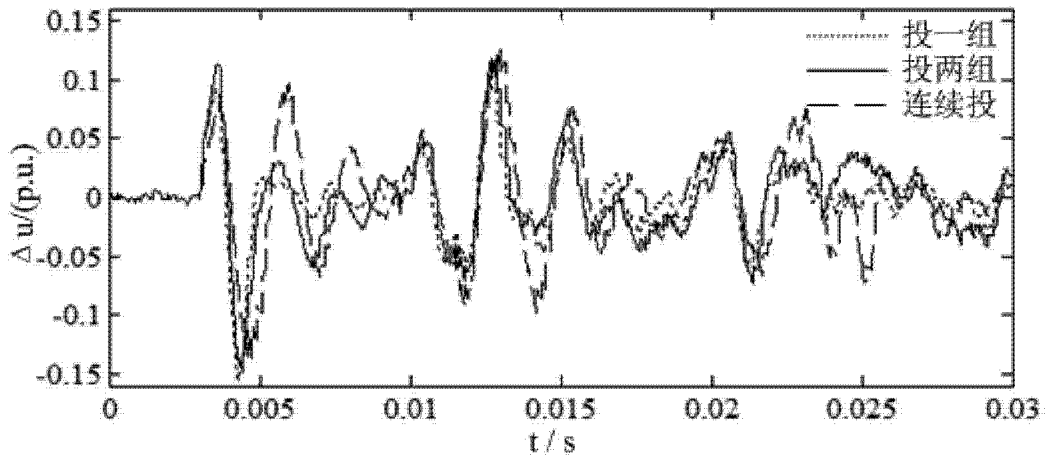


图 3c

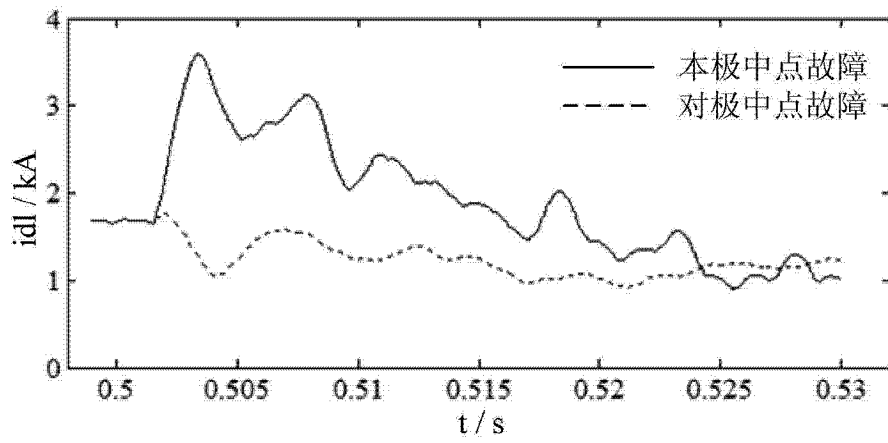


图 4

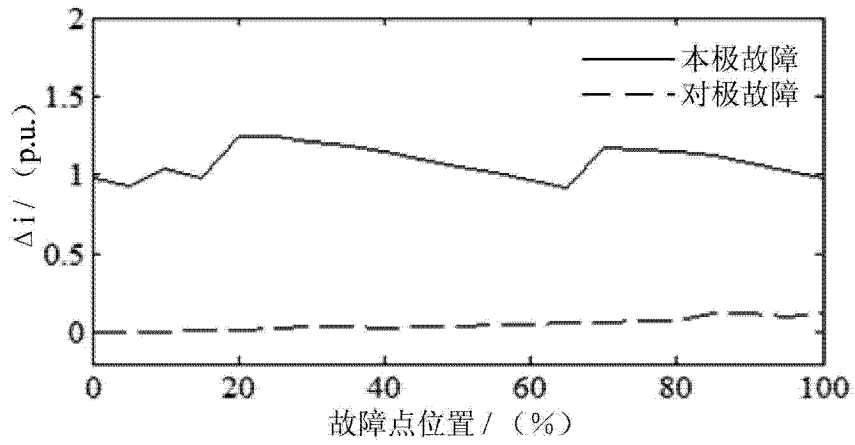


图 5

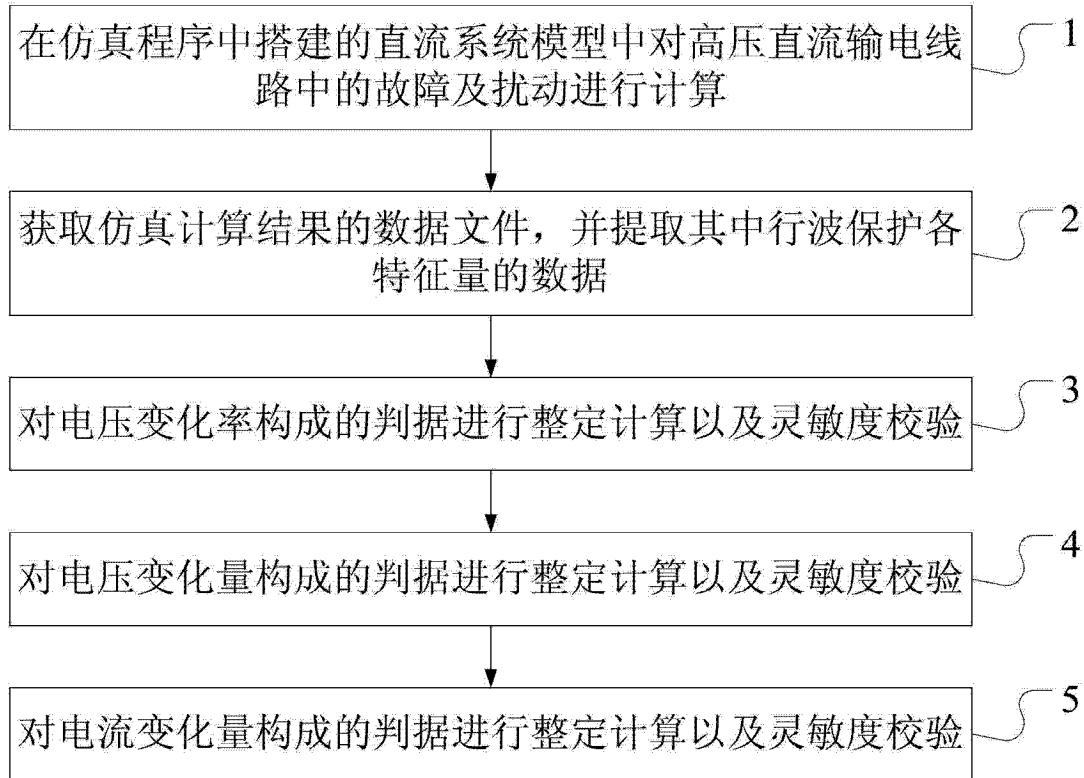


图 6

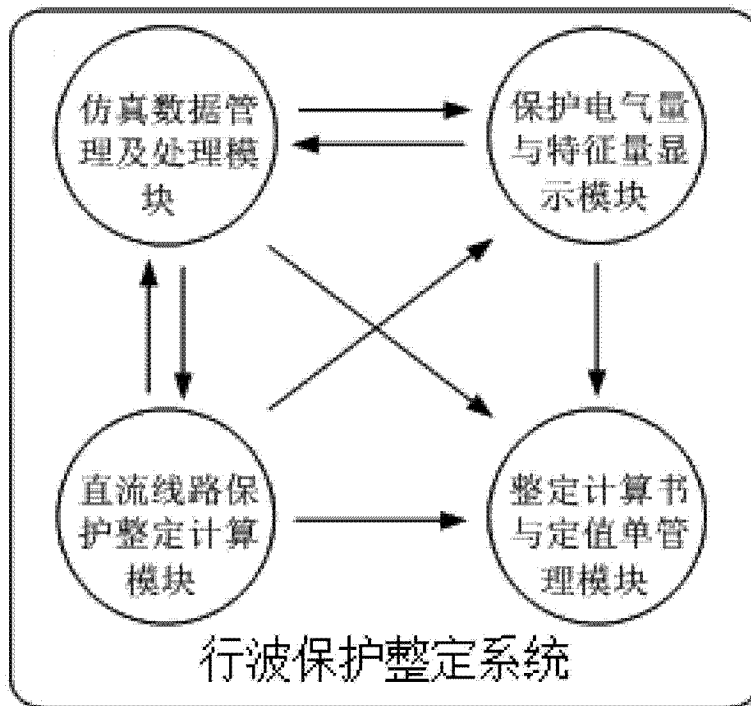


图 7