



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110703040 A

(43)申请公布日 2020.01.17

(21)申请号 201911010569.5

(22)申请日 2019.10.23

(71)申请人 国电南瑞科技股份有限公司  
地址 210000 江苏省南京市江宁区诚信大道19号2幢

申请人 国电南瑞南京控制系统有限公司

(72)发明人 鲁苏延 丁孝华 张蓓蓓 鲁文  
时金媛 苏标龙 徐希 张可新  
钱玉麟 安新成 袁伟 曹连连

(74)专利代理机构 南京苏高专利商标事务所  
(普通合伙) 32204  
代理人 吴海燕

(51)Int.Cl.  
G01R 31/08(2006.01)  
G01R 31/52(2020.01)

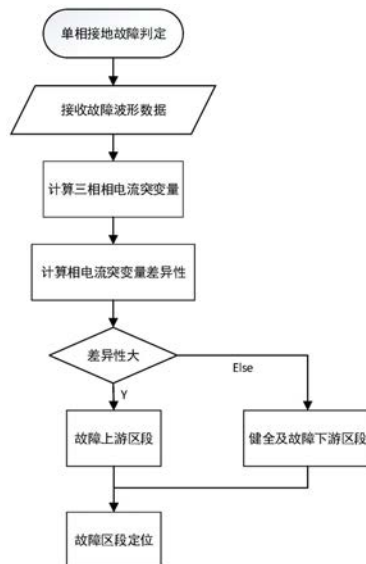
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

## (54)发明名称

基于故障相及非故障相相电流突变量差异性的配网单相接地故障定位方法

## (57)摘要

本发明公开了一种基于故障相及非故障相相电流突变量差异性的配网单相接地故障定位方法,当配网发生单相接地故障后,从相关电流数据采集装置获取各区段的三相相电流数据信息,并根据上述信息计算各区段的三相相电流突变量;然后,利用所提出的波形差异性计算方法处理各区段相电流突变量波形以得到各区段的差异性特征量;最后,根据差异性特征量大小区分故障上下游及健全区段,并根据电网拓扑模型确定具体故障线路。本发明方法不受系统接地方式及故障条件的影响,不拘泥于故障发生后的特定时段及频段,有着很高的定位灵敏性和可靠性。



1. 一种基于故障相及非故障相相电流突变量差异性的配网单相接地故障定位方法,其特征在于,包括步骤:

(1) 判定配电网发生单相接地故障,从相关电流数据采集装置获取各区段的三相相电流数据;

(2) 计算各区段的三相相电流突变量;

(3) 计算各区段每两相间的相电流突变量波形差异性,再在上述三个结果中选取最大值作为该区段的故障相非故障相相电流突变量差异性特征量;

(4) 比较各区段相电流突变量差异性特征量,差异性特征量较大的判定为故障上游区段,差异性特征量较小的判定为健全及故障下游区段;

(5) 根据步骤4中的判定结果结合配电网拓扑结构确定具体故障区段。

2. 根据权利要求1所述的基于故障相及非故障相相电流突变量差异性的配网单相接地故障定位方法,其特征在于,所述步骤1中,所获取的各区段三相相电流数据信息至少包括故障发生前两周期的非故障正常运行状态的相电流数据到故障发生后三周期的带故障运行状态的相电流数据。

3. 根据权利要求1所述的基于故障相及非故障相相电流突变量差异性的配网单相接地故障定位方法,其特征在于,所述步骤2中,各区段故障后三相相电流突变量计算公式:

$$\Delta i_n = i\left(t_0 + T + \frac{n}{N_s} * T\right) - i\left(t_0 - 2T + \frac{n}{N_s} * T\right)$$

其中,  $\Delta i_n$  表示故障后周期内第  $n$  个采样点所对应的相电流突变量,  $t_0$  为大致故障时刻,  $T$  为工频周期,  $N_s$  为一工频周期内所包含的采样点个数,  $n$  为整数且  $0 \leq n < N_s$ 。

4. 根据权利要求1所述的基于故障相及非故障相相电流突变量差异性的配网单相接地故障定位方法,其特征在于,所述步骤3中,波形差异性计算方法为:

$$d_{A-B} = \sum_{n=0}^{N_s-1} (i_A(n) - i_B(n))^2$$

其中,  $d_{A-B}$  表示波形A与波形B的波形差异性,  $i_A(n)$ 、 $i_B(n)$  分别对应波形A、B在第  $n$  个采样点处的采样值,  $N_s$  为一工频周期内所包含的采样点个数,  $n$  为整数且  $0 \leq n < N_s$ 。

5. 根据权利要求1所述的基于故障相及非故障相相电流突变量差异性的配网单相接地故障定位方法,其特征在于,所述步骤4中,差异性特征量大小的界定方法为:差异性特征量大于最大差异性特征量70%的判定为故障上游区段,差异性特征量小于或等于最大差异性特征量70%的判定为健全及故障下游区段。

6. 根据权利要求1所述的基于故障相及非故障相相电流突变量差异性的配网单相接地故障定位方法,其特征在于,所述步骤5中,按照如下逻辑进行故障定位:

若先前被判定为上游区段的部分均为相邻区段,则被判定为上游区段的部分中位于拓扑结构最后端的为故障区段;

若被判定为上游区段的部分分散或是系统中绝大部分区段均被判定为上游区段,则判定发生母线故障。

## 基于故障相及非故障相相电流突变量差异性的配网单相接地故障定位方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电力系统继电保护领域,尤其涉及一种基于故障相及非故障相相电流突变量差异性的配网单相接地故障定位方法。

### 背景技术

[0002] 我国10kV中压配电网广泛采用小电流接地系统,即中性点不接地或经消弧线圈接地这两种接地方式。单相接地故障是小电流接地配电网中最常见的故障,超过其上发生故障总数的80%。此类配电系统发生单相接地故障后,三相线电压仍保持对称关系,不影响对负荷的连续供电,故仍允许带故障运行1~2小时以提高供电可靠性。但若长时间不排除故障,则可能造成电气设备烧毁等一系列更为严重的后果。

[0003] 所以,小电流接地系统发生单相接地故障后,需要在保证不间断供电的情况下迅速找出故障点并予以切除,以确保配电网的安全可靠运行。但由于我国配网线路结构复杂且中性点接地方式不统一,配网单相接地故障类型又纷繁多样,其故障规律通常多变难以准确把握,同时小电流接地系统中单相接地故障还存在稳态电气量微弱、暂态过程短暂等诸多直接影响故障定位的问题,配网单相接地故障的准确定位仍十分困难。

### 发明内容

[0004] 发明目的:针对以上问题,本发明提出一种基于故障相及非故障相相电流突变量差异性的配网单相接地故障定位方法,可以进行快速可靠的故障定位。

[0005] 技术方案:为实现本发明的目的,本发明所采用的技术方案是:一种基于故障相及非故障相相电流突变量差异性的配网单相接地故障定位方法,包括步骤:

[0006] (1) 判定配电网发生单相接地故障,从相关电流数据采集装置获取各区段的三相相电流数据;

[0007] (2) 计算各区段的三相相电流突变量;

[0008] (3) 计算各区段每两相间的相电流突变量波形差异性,再在上述三个结果中选取最大值作为该区段的故障相非故障相相电流突变量差异性特征量;

[0009] (4) 比较各区段相电流突变量差异性特征量,差异性特征量较大的判定为故障上游区段,差异性特征量较小的判定为健全及故障下游区段;

[0010] (5) 根据步骤4中的判定结果结合配电网拓扑结构确定具体故障区段。

[0011] 进一步地,所述步骤1中,所获取的各区段三相相电流数据信息至少包括故障发生前两周期的非故障正常运行状态的相电流数据到故障发生后三周期的带故障运行状态的相电流数据。

[0012] 进一步地,所述步骤2中,各区段故障后三相相电流突变量计算公式:

$$[0013] \quad \Delta i_n = i\left(t_0 + T + \frac{n}{N_s} * T\right) - i\left(t_0 - 2T + \frac{n}{N_s} * T\right)$$

[0014] 其中,  $\Delta i_n$ 表示故障后周期内第n个采样点所对应的相电流突变量,  $t_0$ 为大致故障时刻,  $T$ 为工频周期,  $N_s$ 为一工频周期内所包含的采样点个数,  $n$ 为整数且  $0 \leq n < N_s$ 。

[0015] 进一步地, 所述步骤3中, 波形差异性计算方法为:

$$[0016] \quad d_{A-B} = \sum_{n=0}^{N_s-1} (i_A(n) - i_B(n))^2$$

[0017] 其中,  $d_{A-B}$ 表示波形A与波形B的波形差异性,  $i_A(n)$ 、 $i_B(n)$ 分别对应波形A、B在第n个采样点处的采样值,  $N_s$ 为一工频周期内所包含的采样点个数,  $n$ 为整数且  $0 \leq n < N_s$ 。

[0018] 进一步地, 所述步骤4中, 差异性特征量大小的界定方法为: 差异性特征量大于最大差异性特征量70%的判定为故障上游区段, 差异性特征量小于或等于最大差异性特征量70%的判定为健全及故障下游区段。

[0019] 进一步地, 所述步骤5中, 按照如下逻辑进行故障定位: 若先前被判定为上游区段的部分均为相邻区段, 则被判定为上游区段的部分中位于拓扑结构最后端(最远离母线侧)的为故障区段; 若被判定为上游区段的部分分散或是系统中绝大部分区段均被判定为上游区段, 则判定发生母线故障。

[0020] 有益效果: 与现有技术相比, 本发明提出的基于故障相非故障相相电流突变量差异性的配网单相接地故障定位方法, 具有以下显著优点: 仅通过三相相电流数据进行分析判断, 能够在现有技术条件下轻松实现; 所利用相电流突变量故障特征, 对于单相接地故障发生后暂稳态阶段均使用, 不依赖对于故障时刻的准确判断, 且不受系统接地方式、单相接地故障故障条件的影响; 所提出的波形差异性计算方法结合具体区段故障非故障相相电流突变量波形能够很好的区分单相接地故障的上游区段与下游或健全区段, 拥有很高的定位可靠性。

## 附图说明

[0021] 图1是配网单相接地故障后系统电流分布示意图;

[0022] 图2是相电压突变量向量图;

[0023] 图3是本发明的配网单相接地故障定位流程图;

[0024] 图4是PSCAD仿真验证系统结构示意图;

[0025] 图5是仿真实例中故障线路三相相电流突变量波形图;

[0026] 图6是仿真实例中非故障线路三相相电流突变量波形图。

## 具体实施方式

[0027] 下面结合附图和实施例对本发明的技术方案作进一步的说明。

[0028] 本发明所述的基于故障相及非故障相相电流突变量差异性的配网单相接地故障定位方法, 旨在解决配电网单相接地故障定位问题, 以相电流突变量这一故障特征量作为定位判据。

[0029] 对于相电流突变量, 具体以配网小电流接地系统为例进行说明, 当发生单相接地故障时, 系统内电流的组成如图1所示。而对于故障发生前的配网系统, 各线路正常状态下的相电流由负荷电流与线路对地电容电流组成。由于小电流接地系统故障后三相线电流的

幅值、相位仍保持不变,故线路的各相负荷电流在故障前后并不变化。所以,各线路各相的相电流突变量主要体现在对地电容电流的变化上。

[0030] 对于非故障线路的各相、故障线路的非故障相以及故障线路故障相的下游区段,相电流突变量为:

$$[0031] \quad \Delta i = i' - i = \Delta i_C = C \cdot \frac{d\Delta u}{dt}$$

[0032] 其中,  $\Delta u$  为该线路该相的相电压突变量,  $C$  为该线路该相的对地电容值。

[0033] 对于故障线路故障相的上游区段,相电流突变量除包含了本身对地电容电流的变化量之外,还由流经接地点的接地电流组成,即:

$$[0034] \quad \Delta i = C \cdot \frac{d\Delta u}{dt} + I_k$$

[0035] 其中,  $I_k$  为接地电流。

[0036] 同时对于此处涉及的相电压突变量,进行向量图分析,如图2所示,则能发现单相接地故障发生后,各线路的三相相电压向量突变量向量完全相同,且就是零序电压,即  $\Delta u_a = \Delta u_b = \Delta u_c = u_0$ 。所以结合相电压突变量的相关特征,相电流突变量的特征可总结如下:

[0037] 对于非故障线路以及故障线路下游,由于其三相的相电压突变量保持一致,故对应的各相相电流突变量也保持一致,即其三相电流突变量幅值相等、波形一致。

[0038] 对于故障线路上游,由于接地电流会经故障相上的故障点流向大地,所以其上故障相和其余两非故障相的相电流突变量会存在明显差异。

[0039] 基于上述特征,就可以实现配电网单相接地故障的定位。同时对于上述相电流突变量特征,本发明提出一种波形差异性表示方法。

[0040] 对于两条采样频率一致的波形A、B,计算同一时刻下两条波形所对应采样点的幅值差并求平方,再于一个工频周期内对上述结果进行累加处理,最终得到的结果即代表这两条波形的差异性,如公式所示:

$$[0041] \quad d_{A-B} = \sum_{n=0}^{N_s-1} (i_A(n) - i_B(n))^2$$

[0042] 其中,  $N_s$  代表一工频周期内所包含的采样点个数,  $i_A(n)$ 、 $i_B(n)$  分别对应两条不同波形在第  $n$  个采样点处的采样值。

[0043] 利用该波形差异性表示方法结合相电流突变量故障特征分析,本发明提出一种基于故障相及非故障相相电流突变量差异性的配网单相接地故障定位方法,如图3所示,具体步骤为:

[0044] (1) 判定配电网发生单相接地故障后,从相关电流数据采集装置获取各区段的三相相电流数据信息;

[0045] 所获取的各区段三相相电流数据信息至少包括故障发生前两周期的非故障正常运行状态的相电流数据到故障发生后三周期的带故障运行状态的相电流数据。

[0046] (2) 计算各区段的三相相电流突变量;

[0047] 通过下述公式计算各区段故障后第二周期所对应的三相相电流突变量:

$$[0048] \quad \Delta i_n = i\left(t_0 + T + \frac{n}{N_s} * T\right) - i\left(t_0 - 2T + \frac{n}{N_s} * T\right)$$

[0049] 其中,  $\Delta i_n$ 表示故障后第二周期第 $n$ 个采样点所对应的相电流突变量,  $t_0$ 为大致故障时刻,  $T$ 为工频周期,  $N_s$ 为一工频周期内所包含的采样点个数,  $n$ 为整数且 $0 \leq n < N_s$ 。

[0050] (3) 计算各区段每两相间的相电流突变量波形差异性, 再在上述的三个结果中选取数值最大的作为该区段的故障非故障相相电流突变量差异性特征量;

[0051] 波形差异性计算方法为:

$$[0052] \quad d_{A-B} = \sum_{n=0}^{N_s-1} (i_A(n) - i_B(n))^2$$

[0053] 其中,  $d_{A-B}$ 表示波形A与波形B的波形差异性,  $i_A(n)$ 、 $i_B(n)$ 分别对应波形A、B在第 $n$ 个采样点处的采样值,  $N_s$ 为一工频周期内所包含的采样点个数,  $n$ 为整数且 $0 \leq n < N_s$ 。

[0054] (4) 比较各区段相电流突变量的差异性特征量, 差异性特征量较大的判定为故障上游区段, 差异性特征量较小的判定为健全及故障下游区段;

[0055] 差异性特征量大小的界定方法为: 差异性特征量大于最大差异性特征量70%的判定为故障上游区段, 差异性特征量小于或等于最大差异性特征量70%的判定为健全及故障下游区段。

[0056] (5) 根据步骤4中的判定结果结合配电网拓扑结构确定具体故障区段。

[0057] 按照如下逻辑进行故障定位, 具体为: 若先前被判定为上游区段的部分均为相邻区段, 则被判定为上游区段的部分中位于拓扑结构最后端(最远离母线侧)的为故障区段; 若被判定为上游区段的部分分散或是系统中绝大部分区段均被判定为上游区段, 则考虑发生了母线故障。

[0058] 为进一步证明本发明方法的正确性, 建立如图4所示的PSCAD仿真模型, 即一35kV变电站经Y/D接线的主变压器配出单母线形式的10kV系统, 其中共设置包括故障区段在内的8个不同区段。此外, 以母线上连接接地变压器的形式调整系统的接地方式, 通过对于改变接地变压器星型侧的接地方式而决定整体系统的接地方式为不接地或是经消弧线圈接地。

[0059] 具体仿真及线路设备参数如下:

[0060] 系统频率50Hz, 仿真时长2s, 区段2于0.5s时刻在中段发生C相单相接地故障, 相电流采样点均置于各区段前端, 仿真、采样频率为50kHz, 其中:

[0061] 线路: 系统中的线路类型包括纯架空、纯电缆以及电缆架空混合线路, 具体以频率相关模型搭建;

[0062] 主变压器:  $S_N = 2\text{MVA}$ , Y/D接线;

[0063] 配电变压器:  $S_N = 0.5\text{MVA}$ , D/Yn接线;

[0064] 负荷: 负荷容量占配变容量的80%, 功率因数为85%;

[0065] 消弧线圈: 当系统为经消弧线圈接地系统时, 采用过补偿方式, 补偿度为10%。

[0066] 在上述仿真模型中, 系统接地方式为中性点经消弧线圈接地时, 故障点发生故障初相角为 $90^\circ$ 的金属性接地故障, 可按流程二中所述得到故障区段2与非故障区段6的代表性三相相电流突变量波形如图5和图6所示, 同时在系统为中性点不接地系统、接地点过渡

电阻为200欧姆以及故障初相角为 $0^\circ$ 这三种不同系统及典型故障条件下进行仿真,可分别得到如表1所示的线路差异性特征量及定位结果,波形及计算结果中的电流单位均为kA。

[0067] 为进一步突出方法的优越性,除对具体实施方案中所选用的故障后第二周期相电流突变量进行差异性计算外,还补充展示了故障后第3和4周期的计算及选线结果。

[0068] 表1

[0069]

系统及故障条件	故障后周期数	区段 1	区段 2	区段 3	区段 4	区段 5	区段 6	区段 7	区段 8	定位结果
消弧线圈、金属性、 $90^\circ$	2	0.7521	0.88262	0.00863	0.01158	0.00809	0.00549	0.00681	0.00973	区段 2 (正确)
	3	0.70047	0.82407	0.00731	0.0084	0.00685	0.00525	0.00587	0.00705	区段 2(正确)

	4	0.66209	0.78211	0.00696	0.00775	0.00652	0.00513	0.00565	0.0065	区段 2(正 确)
不接 地、 金属 性、 90°	2	2.50237	2.95893	0.02789	0.03313	0.02615	0.01958	0.02331	0.02797	区段 2(正 确)
	3	2.49125	2.93957	0.02624	0.02962	0.0246	0.01926	0.02197	0.02505	区段 2(正 确)
	4	2.44068	2.88492	0.02598	0.02912	0.02435	0.01917	0.02174	0.02463	区段 2(正 确)
[0070] 消弧 线 圈、 高阻 接 地、 90°	2	0.14993	0.17725	0.00161	0.0018	0.0015	0.00118	0.00134	0.00152	区段 2(正 确)
	3	0.15808	0.18663	0.00168	0.0019	0.00158	0.00124	0.00141	0.0016	区段 2(正 确)
	4	0.15133	0.17871	0.00163	0.00184	0.00152	0.00119	0.00136	0.00156	区段 2(正 确)
消弧 线 圈、 金属 性、 0°	2	1.19155	1.40727	0.01156	0.01249	0.01051	0.00852	0.00918	0.01008	区段 2(正 确)
	3	1.19666	1.42405	0.013	0.01391	0.01161	0.00916	0.00995	0.01086	区段 2(正 确)
	4	1.13883	1.3627	0.0132	0.01386	0.01158	0.0091	0.00974	0.01046	区段 2(正 确)

[0071] 从图5与图6可以看出,仿真结果与先前对于相电流突变量的特征总结相一致,且适用于故障发生后的任意暂稳态阶段。同时通过表1数据及结果可以看出,本发明所提出的故障非故障相差异性方法在各种系统类型及故障条件下对于故障线路上游与故障线路下游和非故障线路均能够体现出显著的数值差异性,有着非常高的定位灵敏性和可靠性。



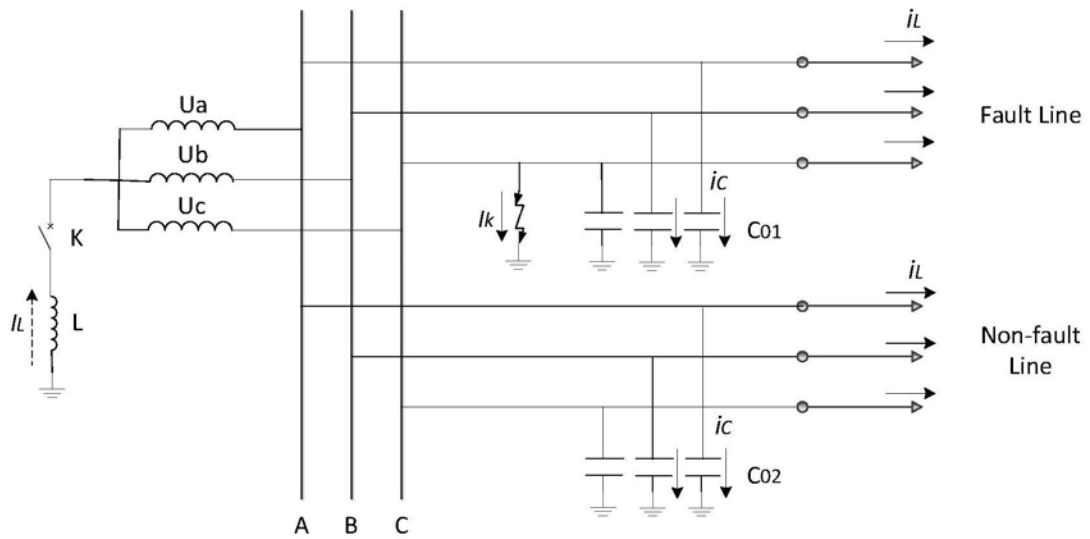


图1

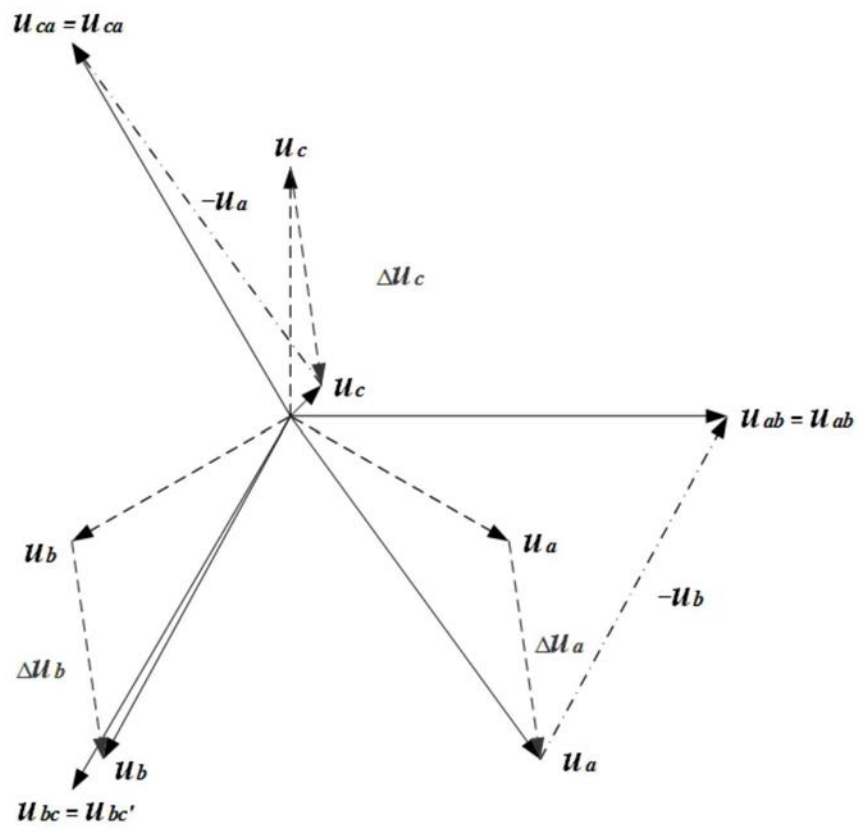


图2

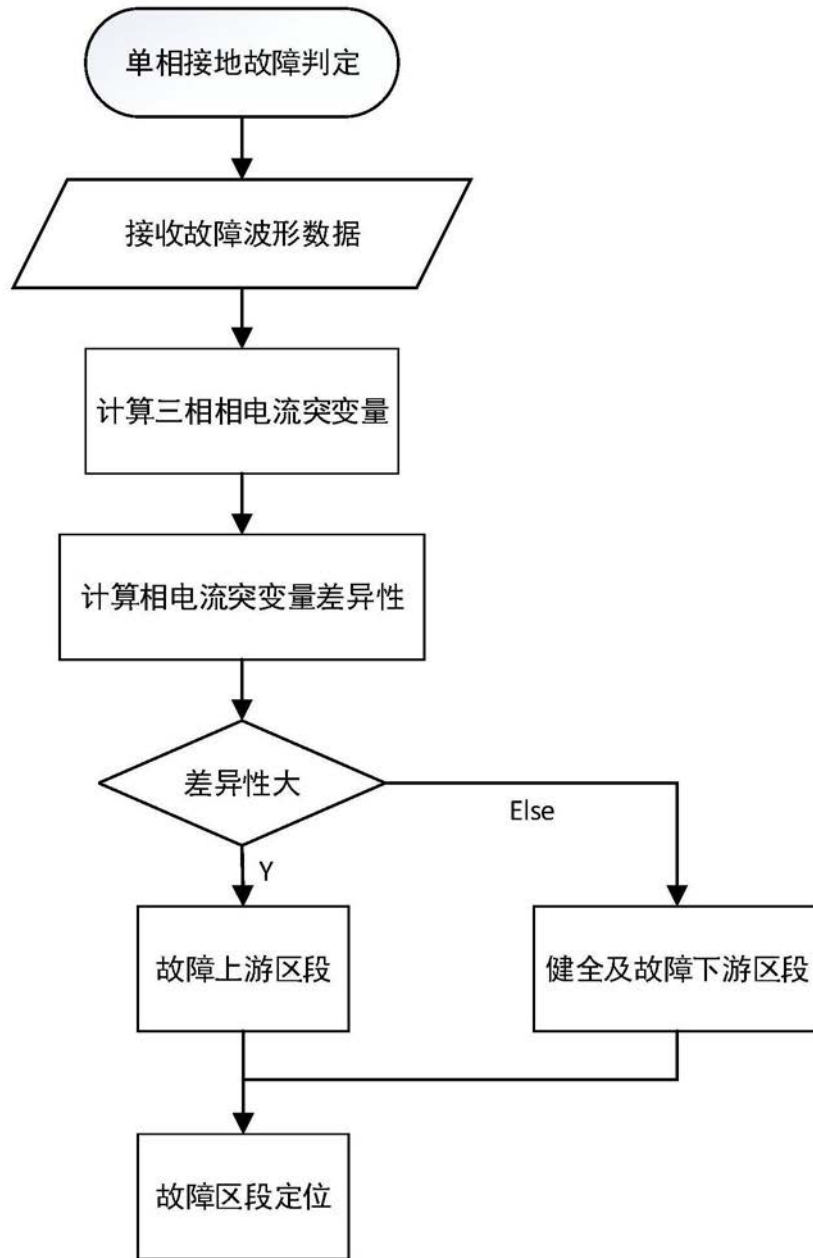


图3

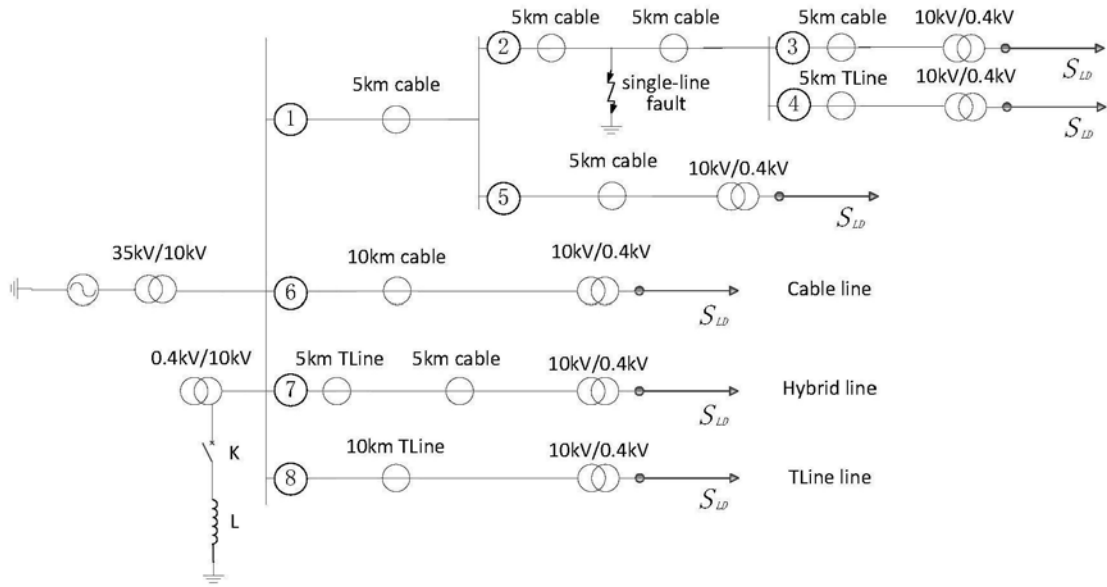


图4

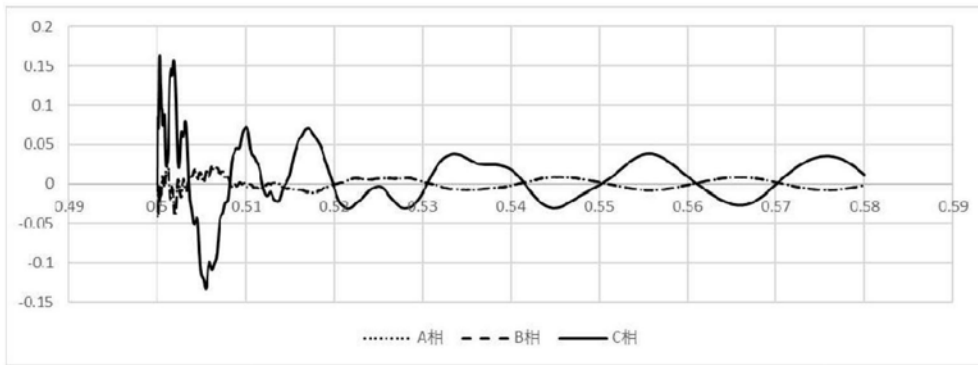


图5

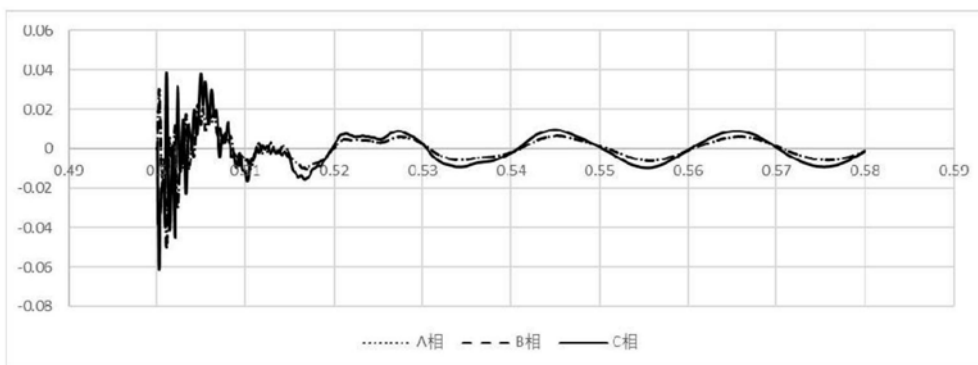


图6