(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103529358 B
(45)授权公告日 2016.10.05

(21)申请号 201310356730.0
(22)申请日 2013.08.15
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 103529358 A
(43)申请公布日 2014.01.22
(73)专利权人 国家电网公司
地址 100031 北京市西城区西长安街86号
专利权人 国网上海市电力公司
(72)发明人 严军 李昕 朱江 张雷
(74)专利代理机构 上海三和万国知识产权代理事务所(普通合伙) 31230
代理人 蔡海淳
(51)Int.Cl.
G01R 31/08(2006.01)

审查员 胡书红

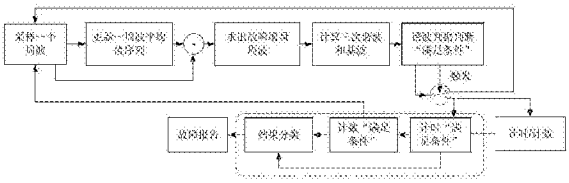
权利要求书2页 说明书10页 附图2页

(54)发明名称

用电流信息检测中压配电系统持续性高阻接地故障的方法

(57)摘要

一种用电流信息检测中压配电系统持续性高阻接地故障的方法，属紧急保护电路装置领域。其实时采集同一母线上各路出线的剩余电流；对其进行谐波分析，提取其三次谐波和基波的幅值和相位；比较各路出线剩余电流之三次谐波和基波的相位差和幅值比例；和对应的预定检测阈值做比较，一旦满足检测阈值则置位“满足条件”标志位；对这种标志位状态进行“计时”和“计数”，对计时、计数结果进行归类，报告所对应的故障事件，启动对应的处理程序。其可以进一步降低接地保护动作整定值的动作阈值，更为灵敏地检测到高阻接地故障并及时切除故障线路。可广泛用于中性点有效接地的中压配电系统的高阻接地故障检测和继电保护领域。



CN 103529358 B

1.一种用电流信息检测中压配电系统持续性高阻接地故障的方法，所述的中压配电系统为单电源辐射状的中性点有效接地的配电系统，其特征在于，所述的方法包括下列步骤：

A、在同一母线上的各路出线上分别设置零序电流互感器，检测各零序电流互感器的电流输出值的大小，得到各路出线的剩余电流；

B、对各路出线的剩余电流进行谐波分析，提取其三次谐波和基波的相位；

C、在系统正常运行状态下，储存一个周波剩余电流的平均采样值序列，构成一个周波平均值序列，用周波平均值序列的数据来表示当前周波和向前一段时间平均的剩余电流的波形形状；

D、在每周波采样点数固定的前提下，该剩余电流平均采样值序列中的每个点表示一个工频周期中相对固定的相位处的采样值；

E、所述的周波的平均采样值序列，在正常运行状态下不断地根据新采样点更新，始终追踪系统剩余电流平均的波形状况；

F、将所述的周波的平均采样值序列作为系统背景固有的波形，在其之上，每次新采样的一个周波的数据，减去相应的相位点上的平均值序列中的数据，得到增量序列，该增量序列就是作为判断依据的故障分量；

G、对各路出线的剩余电流进行谐波分析，同时提取其三次谐波和基波的幅值和相位；

H、比较各路出线剩余电流之三次谐波和基波的相位差和幅值比例；

I、如果某路出线剩余电流的三次谐波和基波的相位差进入预定的角度范围，且三次谐波幅值相对基波幅值比例大于预定的比例阈值，且剩余电流基波故障分量的幅值达到预定的幅值阈值，就认为检测到的接地故障电流满足了高阻接地故障电流的特性；

J、如果该路出线的接地故障电流满足了高阻接地故障电流的特性并且连续持续预定的时间，就认为有接地故障的特征出现，输出“满足条件”状态信号，否则，闭锁该路出线的接地故障保护；

K、对这种“满足条件”状态进行“计时”和“计数”，对计时、计数结果进行归类，报告所对应的故障事件，根据对应的故障事件报告，启动对应的处理程序；

其中，在对“满足条件”状态信号所持续的时间进行“计时”时，预先设定“接地故障时间阈值”和“暂态事件时间阈值”，根据“满足条件”状态信号所持续的时间来对接地故障进行分类：

L、如果所述的“满足条件”状态信号持续的时间超过“接地故障时间阈值”，则直接报告发生了接地故障；

M、如果所述的“满足条件”状态信号持续的时间达不到“接地故障时间阈值”，但是超过了“暂态事件时间阈值”，则当作一次暂态事件报告，并且继续等待；

N、如果在预设的复归时间内，连续出现三次以上的暂态事件，则认为发生了间歇性接地故障，否则按照暂态事件报告结果；

O、如果所述的“满足条件”状态信号仅仅持续不到“暂态事件时间阈值”，则当作噪声报告，且不做告警和任何处理。

2.按照权利要求1所述的用电流信息检测中压配电系统持续性高阻接地故障的方法，其特征在于所述的向前一段时间的时间长度为秒级单位时间间隔。

3.按照权利要求1所述的用电流信息检测中压配电系统持续性高阻接地故障的方法，

其特征在于所述剩余电流的三次谐波和基波的幅值和相位通过下述方式来确定：

基波相量表示为$A_1 \cdot \sin(\omega t)$，角速度为$\alpha_1 = \omega t$，其中的A_1为剩余电流基波的幅值，ω为剩余电流基波的相位；

三次谐波相量表示为$A_3 \cdot \sin(3\omega t+\varphi_3)$，角速度为$\alpha_3=3\omega t+\varphi_3$，其中的$A_3$为剩余电流三次谐波的幅值，$3\omega$为三次谐波的相位；

将三次谐波和基波的相位都归算到三次谐波的角速度，再求取相互之差：

$$\Delta\varphi_{31}=\varphi_3=\alpha_3-3\alpha_1;$$

用上述公式得到的相位差$\Delta\varphi_{31}$就是三次谐波相对基波的相位差。

4.按照权利要求1所述的用电流信息检测中压配电系统持续性高阻接地故障的方法，其特征在于所述的预定的角度范围为180度±60度；所述的预定的比例阈值为10％；所述的预定的幅值阈值为该路出线过流保护动作阈值的60％。

5.按照权利要求1所述的用电流信息检测中压配电系统持续性高阻接地故障的方法，其特征在于所述的预定的时间为半个周波。

6.按照权利要求1所述的用电流信息检测中压配电系统持续性高阻接地故障的方法，其特征在于所述的方法对剩余电流的三次谐波分量和基波分量进行比较，确定三次谐波相对基本电流的相位和幅值，藉此来检测各个供电线路上是否发生了高阻接地故障；在这样的比较过程中，剩余电流的基波作为参考量，剩余电流的三次谐波作为比较量，通过比较两者之间的相位信息和幅值比例，不仅能够检测高阻接地故障，还能够实现只利用剩余电流的信息就能有选择地在故障线路上动作报警，而在非故障线路上闭锁不报警，进而提高供电线路保护装置的灵敏性。

用电流信息检测中压配电系统持续性高阻接地故障的方法

技术领域

[0001] 本发明属于紧急保护电路装置领域，尤其涉及一种用于电缆或线路系统高阻接地故障的检测/保护方法。

背景技术

[0002] 在我国电力系统中，把标称电压1kV及以下的交流电压等级定义为低压，把标称电压1kV以上、330kV以下的交流电压等级定义为高压，把标称电压330kV及以上、1000kV以下的交流电压等级定义为超高压，把标称电压1000kV及以上的交流电压等级定义为特高压；美国电气和电子工程师协会(Institute of Electrical and Electronic Engineers, IEEE)的标准文件中把2.4kV至69kV的电压等级称为中压；我国国家电网公司(State Grid)的规范性文件中把1kV以上至20kV的电压等级称为中压。

[0003] 电力系统接地故障是指带电导体(架空线，电缆等)发生异常，经过大地发生短路的故障，是电力系统中最常见的故障种类。

[0004] 接地故障因为是经过大地构成故障回路，故障点是回路的一端，系统自身的接地点是回路的另外一端。因此，研究接地故障，首先要明确电力系统本身的接地方式。

[0005] 三相电力系统经过系统本身的中性点接地，总体上分为有效接地(即中性点直接接地或经过小电阻接地)和非有效接地(中性点不接地，经过大电阻接地和经过消弧线圈接地)两种方式。其中高压输电系统出于过电压和绝缘考虑大都采用中性点有效接地的接地方式，而中压配电系统情况比较复杂，根据实际不同的需求，各种接地方式都有可能采用。

[0006] 另外，接地故障所关注的另一个问题是故障点的电阻：带电导体和大地直接或间接通过其它物体接触时，往往不是理想的金属性的短路，会伴有一定的过度电阻、电弧或间歇性等现象。这些复杂现象在传统的继电保护系统/装置中一般都是仅仅当作一个简单的电阻表示的。

[0007] 在高压系统中，因为接地故障电压高，故障引起的电流稳态量大，稳态故障特征明显，这样的简化不会对故障检测带来很大影响。

[0008] 但是在中压配电系统中，电压较低，稳态故障电流较小，特征不明显，加之故障点非金属性接地，故障点电阻较大，且伴有不稳定的间歇性接地，就可能无法产生足够的故障电流，给保护装置检测接地故障带来很大困难。

[0009] 综上，在中压配电系统中，接地方式复杂，故障电流较小，接地故障检测的问题尤其复杂。但同时因为在配电系统中，线路杆塔低，线间距小，导线处于树枝、建筑物可触及的范围内，与这类介质接触而发生接地故障的机会大大增加。因此接地故障检测一直是中压配电系统中的难点重点问题。

[0010] 由于配电系统中性点接地方式复杂，而接地方式又直接决定了故障回路和故障电流，在采用中性点不接地的中压配电系统中，理论上单相接地故障不构成故障回路，不会产生稳态的短路电流，只有通过分布电容构成微弱的电容电流；如果系统采用了中性点经过消弧线圈接地的接地方式，微弱的容性故障电流也会被补偿掉，这样的配置本身，就是希望

接地故障能够自动熄灭、或者减小单相接地故障对供电的影响。

[0011] 在这种系统中检测接地线路十分困难，但是正因为系统中性点有高阻抗，在接地故障发生的时候，母线上的零序电压会有偏移，故障是可以被发现的，只是并不知道母线上那一条馈线发生了故障。在这种系统中的接地故障检测问题属于小电流接地选线研究的范畴。

[0012] 在采用中性点有效接地(直接接地或小电阻接地)的中压配电系统中。接地故障后的故障回路中的阻抗小，故障大都不能自动熄灭，需要过流保护动作才能把故障清除(希望过流保护动作切除故障实际上也是采用中性点有效接地的接地方式的目的之一)。

[0013] 但是，如果在故障点有较高的故障电阻，例如树枝、干燥土壤等非导电介质会限制接地故障电流小。故障电流低于过流保护的阈值，无法被保护装置检测和清除。因此，这种接地故障就很有可能长时间无法被发现。故障持续燃烧会带来触电、火灾等很严重的危害。

[0014] 正是因为在这样的系统中，高阻接地故障可以持续存在、无法被察觉、危害很大，高阻接地故障问题一般就被定义在中性点有效接地的中压配电系统中。

[0015] 表1.1给出直接接地中压(12.5kV)配电系统中高阻接地故障在不同的介质表面的典型的稳态的电流值：一般高阻接地故障电流会小于50A，低于继电保护系统/装置中过流保护或保险丝最低的动作阈值。

[0016] 表1.1 12.5kV高阻接地故障典型电流值

[0017]

介质	电流(安培)
干燥的沥青/混凝土/沙地	0
潮湿沙地	15
干燥草皮	20
干燥草地	25
潮湿草皮	40
潮湿草地	50
钢筋混凝土	75

[0018] 因此美国电气电子工程师学会，电力系统继电保护委员会(Power System Relaying Committee,PSRC)的定义指出，高阻接地故障(High Impedance Fault,HIF)是在中性点有效接地的配电线路发生了经由非金属性导电介质(路面、泥土、树枝等)接地的故障。

[0019] 高阻接地故障的定义中将故障电流微弱、传统的过流保护装置检测不到故障都定义为高阻接地故障，持续高阻接地故障难以检测的主要原因是电流幅值较小，难以启动过流保护。

[0020] 高阻接地故障危害很大，数值不大的故障电流长期存在而不能被发现会酿成严重的后果。因此高阻接地故障检测(HIF Detection,HIFD)是中性点有效接地的配电线路的一个特殊的、重要的问题，也是国际继电保护和故障检测领域的难点问题和研究热点之一。

[0021] 以前，我国10～35kV配电系统的中性点普遍采用非有效接地方式，不存在上述定义的高阻接地故障问题，因此重视程度不够，研究也不够充分。

[0022] 但是中性点非有效接地系统也有很多弊端，像过电压问题，接地电弧电流问题等，

愈来愈不能被现代电力用户所接受。

[0023] 从上世纪末期开始的大规模城网、农网改造起，我国沿海大城市陆续开始把中性点非有效接地的配电系统改为中性点有效接地系统。大型重要电力用户也已经或者准备采用中性点有效接地的系统接地方式(经小电阻接地)，目前这种趋势还在发展。

[0024] 中性点采用有效接地方式后，如果发生低阻的短路接地故障时，继电保护系统/单元中的过电流保护装置能立刻动作并切除故障线路，可以有效防止故障的扩大和蔓延。而传统保护方法难以检测的高阻接地故障是这类系统中的难点问题。因此，研究高阻接地故障检测，对于保证我国新建、改建的配电系统乃至整个电力系统的安全都具有现实的必要性。

发明内容

[0025] 本发明所要解决的技术问题是提供一种用电流信息检测中压配电系统持续性高阻接地故障的方法，其将检测到的剩余电流的基波作为参考量，将剩余电流的三次谐波作为比较量，通过比较两者之间的相位信息和幅值比例，不仅可以检测高阻接地故障，还可以实现只利用剩余电流的信息就能有选择地在故障线路上动作报警，而在非故障线路上闭锁不报警，进而提高供电线路保护装置的灵敏性。

[0026] 本发明的技术方案是：提供一种用电流信息检测中压配电系统持续性高阻接地故障的方法，包括在同一母线上的各路出线上分别设置零序电流互感器，检测各零序电流互感器的电流输出值的大小，得到各路出线的剩余电流；其特征在于：

[0027] A、实时采集或检测同一母线上所有出线上各零序电流互感器的电流输出值，分别得到各路出线的剩余电流；

[0028] B、在系统正常运行状态下，储存一个周波剩余电流的平均采样值序列，构成一个周波平均值序列，用周波平均值序列的数据来表示当前周波和向前一段时间平均的剩余电流的波形形状；在每周波采样点数固定的前提下，该剩余电流平均采样值序列中的每个点表示一个工频周期中相对固定的相位处的采样值；

[0029] C、所述的周波的平均采样值序列，在正常运行状态下不断地根据新采样点更新，始终追踪系统剩余电流平均的波形状况；

[0030] D、将所述的周波的平均采样值序列作为系统背景固有的波形，在其之上，每次新采样的一个周波的数据，减去相应的相位点上的平均值序列中的数据，得到增量序列，该增量序列就是作为判断依据的故障分量；

[0031] E、对各路出线的剩余电流进行谐波分析，提取其三次谐波和基波的幅值和相位；

[0032] F、比较各路出线剩余电流之三次谐波和基波的相位差和幅值比例；

[0033] G、如果某路出线剩余电流的三次谐波和基波的相位差进入预定的角度范围，且三次谐波幅值相对基波幅值比例大于预定的比例阈值，且剩余电流基波故障分量的幅值达到预定的幅值阈值，就认为检测到的接地故障电流满足了高阻接地故障电流的特性，否则，闭锁该路出线的接地故障保护；

[0034] H、如果该路出线的接地故障电流满足了高阻接地故障电流的特性并且连续持续预定的时间，就认为有接地故障的特征出现，输出“满足条件”状态信号；

[0035] I、对这种“满足条件”状态进行“计时”和“计数”，对计时、计数结果进行归类，报告

所对应的故障事件，根据对应的故障事件报告，启动对应的处理程序。

[0036] 其所述的中压配电系统为单电源辐射状的中性点有效接地的配电系统，所述的单相高阻接地故障为持续性高阻接地故障。

[0037] 具体的，在所述的B步骤中，所述的向前一段时间的时间长度为秒级单位时间间隔。

[0038] 在所述的E步骤中，所述剩余电流的三次谐波和基波的幅值和相位通过下述方式来确定：

[0039] 基波相量表示为$A_1 \cdot \sin(\omega t)$，角速度为$\alpha_1=\omega t$，其中的A_1为剩余电流基波的幅值，ω为剩余电流基波的相位；

[0040] 三次谐波相量表示为$A_3 \cdot \sin(3\omega t+\varphi_3)$，角速度为$\alpha_3=3\omega t+\varphi_3$，其中的$A_3$为剩余电流三次谐波的幅值，3ω为三次谐波的相位；

[0041] 将三次谐波和基波的相位都归算到三次谐波的角速度，再求取相互之差：

[0042] $\Delta\varphi_{31}=\varphi_3=\alpha_3-3\alpha_1$；

[0043] 用上述公式得到的相位差$\Delta\varphi_{31}$就是三次谐波相对基波的相位差。

[0044] 在所述的G步骤中，所述的预定的角度范围为180度±60度；所述的预定的比例阈值为10%；所述的预定的幅值阈值为该路出线过流保护动作阈值的50%。

[0045] 在所述的H步骤中，所述的预定的时间为半个周波。

[0046] 在所述的I步骤中，在对“满足条件”状态信号所持续的时间进行“计时”时，预先设定“接地故障时间阈值”和“暂态事件时间阈值”，根据“满足条件”状态信号所持续的时间来对接地故障进行分类：

[0047] 如果所述的“满足条件”状态信号持续的时间超过“接地故障时间阈值”，则直接报告发生了接地故障；

[0048] 如果所述的“满足条件”状态信号持续的时间达不到“接地故障时间阈值”，但是超过了“暂态事件时间阈值”，则当作一次暂态事件报告，并且继续等待；

[0049] 如果在预设的复归时间内，连续出现三次以上的暂态事件，则认为发生了间歇性接地故障，否则按照暂态事件报告结果；

[0050] 如果所述的“满足条件”状态信号仅仅持续不到“暂态事件时间阈值”，则当作噪声报告，且不做告警和任何处理。

[0051] 所述的检测方法对剩余电流的三次谐波分量和基波分量进行比较，确定三次谐波相对基本电流的相位和幅值，藉此来检测各个供电线路上是否发生了高阻接地故障；在这样的比较过程中，剩余电流的基波作为参考量，剩余电流的三次谐波作为比较量，通过比较两者之间的相位信息和幅值比例，不仅可以检测高阻接地故障，还可以实现只利用剩余电流的信息就能有选择地在故障线路上动作报警，而在非故障线路上闭锁不报警，进而提高供电线路保护装置的灵敏性。

[0052] 与现有技术比较，本发明的优点是：

[0053] 1.通过对剩余电流进行谐波分析，提取其三次谐波和基波的幅值和相位，通过比较两者之间的相位信息和幅值比例，不仅可以检测高阻接地故障，还可以实现只利用剩余电流的信息就能有选择地在故障线路上动作报警，而在非故障线路上闭锁不报警，进而提高供电线路保护装置的灵敏性。

[0054] 2.将线路上三次谐波电流相对基波电流的相位差和幅值比例作为保护装置动作的判据依据，可以进一步降低接地保护动作整定值的动作阈值，便于更为灵敏地检测到高阻接地故障并及时切除故障线路；

[0055] 3.针对稳定的高阻接地故障，给出了利用谐波信息的高阻接地故障检测方法，在中性点有效接地的系统中，充分发挥了现有继保系统/装置的保护作用，有助于提高整个中压配电系统的连续、稳定运行，确保整个供电系统的安全性能。

附图说明

[0056] 图1是本发明检测方法的方框示意图；

[0057] 图2是电阻接地的辐状配电系统简图；

[0058] 图3是故障线路和健全线路基波电流相位差的示意图；

[0059] 图4是故障线路和健全线路三次谐波电流相位差的示意图；

[0060] 图5是在不同线路上的三次谐波和基波的相位差的示意图；

[0061] 图6是线路上故障分量电流中基波和三次谐波的波形图；

[0062] 图7是线路上故障分量电流中基波和三次谐波的相量图。

具体实施方式

[0063] 下面结合附图和实施例对本发明做进一步说明。

[0064] 图1中，本发明的技术方案提供了一种用电流信息检测中压配电系统持续性高阻接地故障的方法。

[0065] 本发明技术方案检测方法的主要原理是：对剩余电流的故障分量进行谐波分析；提取其三次谐波和基波的幅值和相位；比较三次谐波和基波的相位差和幅值比例；如果相位差进入一定的角度范围，且比例大于一定的阈值，且剩余电流基波故障分量的幅值达到阈值，就认为检测到的电流满足了高阻接地故障电流的特性；如果该满足该特性并且持续一段时间，就认为有接地故障的特征出现（称为“满足条件”状态）；对这种满足条件状态进行计时和计数；对计时计数结果进行归类，就可以报告相应的故障事件（包括接地故障、间歇性接地故障、暂态事件和噪声）。

[0066] 可见，本发明技术方案总体上分为三部分，按照其执行的顺序分别描述如下：

[0067] 1）故障分量的提取计算：

[0068] 要求对剩余电流的采样是追踪系统频率的，以保证每周波采样固定的点数，在系统正常运行状态（非故障状态）下，检测系统中存有一个周波的平均采样值序列。在每周波采样点数固定的前提下，该平均值序列中的每个点正好能表示一个工频周期中相对固定的相位处的采样值。

[0069] 对该相位处的当前周波的这个点和历史（例如当前点向前10秒历史）数据中相同相位处采样值点进行平均，就能够得到平均值，一个周波的这样的平均值就能构成的一个周波平均值序列。

[0070] 用这样的一个周波的平均值序列的数据来表示当前周波和向前一段时间平均的剩余电流的波形形状。同时，该周波的平均采样值序列在正常运行状态会不断地根据新采样点更新，始终追踪系统剩余电流平均的波形状况。

[0071] 本技术方案的检测方法将这个变化缓慢的平均值波形序列，作为系统背景固有的波形，在其之上，每次新采样的一个周波的数据，减去相应的相位点上的平均值序列中的数据，得到增量序列，该增量序列就是作为判断依据的故障分量。

[0072] 在实际实施过程中，电流平均波形可以通过下述低通滤波器估计来实现：

[0073] $$y(n)=\frac{(N-1)\cdot y(n-1)+x(n)}{N} \qquad (1)$$

[0074] 上式中的n是以周波为单位，y(n-1)是假设已知的上一个周波的平均波形序列，x(n)是相应的当前新采样得到一个周波的波形序列，N是做平均的周波的个数，这样，y(n)就近似表示这N个周波的平均波形。

[0075] 在供电系统正常运行，对上述的平均波形不断更新，从新采样得到的一个周波中减去平均波形得到增量周波；而在继电保护系统接地故障检测阶段，则将平均波形锁定存储系统在控制计算机的内存中，故障后新采集的电流波形中减去锁定的故障前的电流平均波形来计算相对故障前平均波形的故障增量波形，得到故障增量电流波形是本检测方法分析的对象。

[0076] 这样的故障增量可以减弱系统中负荷量以及原有的背景谐波对计算工作量的影响。

[0077] 2)谐波分析判据：

[0078] 对上面的故障增量波形进行谐波分析，求出剩余电流的基波相量和三次谐波相量，其基波相量表示为$A_1\cdot\sin(\omega t)$，角速度为$\alpha_1=\omega t$，其三次谐波相量表示为$A_3\cdot\sin(3\omega t+\varphi_3)$，角速度为$\alpha_3=3\omega t+\varphi_3$。由于上述公式中各个变量的字母代号均为业内通常用法和含义，如相量的幅值用A来表示，相位用ω来表示，相位差用φ来表示，下标1表示基波，下标3表示三次谐波等等，故其具体含义和表述在此不再叙述。

[0079] 将三次谐波和基波的相位都归算到三次谐波的角速度在求取相互之差：

[0080] $\Delta\varphi_{31}=\varphi_3=\alpha_3-3\alpha_1$。

[0081] 用该试计算得到的$\Delta\varphi_{31}$就是判断依据之一的三次谐波相对基波的相位差。

[0082] 由于谐波分析为现有技术，故其具体实施过程在此不再叙述。

[0083] 由于已知三次谐波相对基波的相位差$\Delta\varphi_{31}$设在180度附近的一个角度范围内，则由此构成检测各路出线是否出线接地故障电流的判据：

[0084] 1)基波幅值大于基波阈值；

[0085] 2)三次谐波相对基波比例(A_3/A_1)达到比例阈值；

[0086] 3)$\Delta\varphi_{31}$进入故障判断的角度区域；

[0087] 4)上述1～3项持续满足超过一定的时间(半个周波)。

[0088] 若上述1)～4)判据条件都满足，则认为出现了“接地故障”的疑似状况，一个“满足条件”的标志位随之“置位”，表明该路出线出现了“接地故障”，进而通过对该标志位的计时和计数，来实现故障的逻辑判断和输出相应的继电保护控制信号。

[0089] 在实际实施时，上述阀值及角度区域范围按下列数值选择为佳：

[0090] 基波阈值为该路出线过流保护动作阈值的50%；三次谐波相对基波比例的比例阈值为10%；故障判断的角度区域为180度±60度。

[0091] 3)计时和计数：

[0092] 即对上述满足条件标志位的计时和计数。

[0093] 设有“接地故障时间阈值”和“暂态事件时间阈值”两个时间阈值，据此对故障进行分类：

[0094] a)如果上述“满足条件”标志位持续的时间超过“接地故障时间阈值”，则直接报告为发生了接地故障；

[0095] b)如果上述的“满足条件”标志位持续时间不到“接地故障时间阈值”，但是超过了“暂态事件时间阈值”则当作一次暂态事件报告，并且继续等待，如果在预设的复归时间内，连续出现多次(三次以上)的暂态事件，则认为发生了间歇性接地故障，否则按照暂态事件报告结果；

[0096] c)如果仅仅持续不到“暂态事件时间阈值”，则当作噪声报告，且不做告警任何处理。

[0097] 图2中，给出了一个典型的中性点经小电阻接地的系统的故障分量网络。

[0098] 图中，R_N为系统中性点接地电阻，I_{RN}为系统中性点接地电流，D_F为继电保护装置中用于检测该路出线的剩余电流的电流检测装置，即通常所说的零序电流互感器，R_E为故障线路接地电阻，I_H为正常线路(或称健全线路，下同)的剩余电流，I_F为故障线路的剩余电流，其余均按国标进行标注。

[0099] 本发明技术方案的核心是对剩余电流的三次谐波分量和基波进行比较，确定三次谐波相对基本电流的相位和幅值来检测线路上是否发生了高阻接地故障。

[0100] 在这样的比较中，剩余电流的基波作为参考量，其三次谐波作为比较量，通过比较相位信息，不仅可以检测高阻接地故障，还可以实现只利用剩余电流的信息就能有选择地在故障线路上动作报警，而在非故障线路上闭锁不报警，提高保护装置的灵敏性。

[0101] 关于本检测方法之选择性的分析如下：

[0102] 对图2中所示的典型的中性点经小电阻接地的系统的故障分量网络，定义从母线到线路为正向，反之为反向。

[0103] 在故障线路上，故障电流主要经过中性点流入大地，电流为阻性；而在健全线路上，分布电容占到了更大的比例，电流为容性。

[0104] 通过判断容性和阻性就可以实现故障选线，提高检测的灵敏度。

[0105] 检测容性和阻性的方法是通过谐波和基波的比较实现的，近似认为故障电流可以分解为基波和三次谐波的叠加，具体过程如下：

[0106] 在健全线路上，故障分量电流为：

[0107] $I_H=I_{1H}+I_{3H}$

[0108] 其中I_{1H}是基波电流分量；I_{3H}是三次谐波电流分量，可以写作：

[0109] $I_{1H}=B_1\sin\beta_1(t)=B_1\sin(\omega t)$

[0110] $$I_{3H}=B_3\sin\beta_3(t)=B_3\sin(3\omega t+\varphi_{3H})$$

[0111] I_{1H}和I_{3H}的相角差可以写作：

[0112] $$\varphi_{3H}=\beta_3(t)-3\beta_1(t)$$

[0113] 在中性点，纯电阻性的电流相比健全线上的电容电流会有－90°的相位差。

[0114] 在中心点接地电阻上的电流为：

[0115] $I_{RN}=I_{1RN}+I_{3RN}$

[0116] 其中I_{1RN}是故障电流基波分量，I_{3RN}是故障电流三次谐波分量。.

[0117] $I_{1RN}=C_1\sin\gamma_1(t)=C_1\sin(\beta_1(t)-90°)$

[0118] $I_{3RN}=C_3\sin\gamma_3(t)=C_3\sin(\beta_3(t)-90°)$

[0119] 同样，I_{1RN}和I_{3RN}的相位差可以写作：

[0120] $$\varphi_{3RN}=\gamma_3(t)-3\gamma_1(t)=\varphi_{3H}+180°$$

[0121] 在故障线路上同理：故障电流表示为基波和三次谐波电流的合成：

[0122] $I_F=I_{1F}+I_{3F}$

[0123] I_{1F}是故障电流基波分量，I_{3F}是故障电流三次谐波分量。

[0124] 假设φ_{FH1}和φ_{FH3}是故障线路上的电流分量相对健全线路上的电流分量的相位差，则：

[0125] $$I_{1F}=A_1\sin\alpha_1(t)=A_1\sin(\beta_1(t)+\varphi_{FH1})$$

[0126] $$I_{3F}=A_1\sin\alpha_3(t)=A_3\sin(\beta_3(t)+\varphi_{FH3})$$

[0127] 这样，在故障线路上I_{1F}和I_{3F}的相位差可以如下表示：

[0128] $$\varphi_{3F}=\alpha_3(t)-3\alpha_1(t)=\varphi_{3H}-(3\varphi_{FH1}-\varphi_{FH3})=\varphi_{3H}-\Delta\varphi$$

[0129] $$\Delta\varphi=3\varphi_{FH1}-\varphi_{FH3}$$

[0130] 这样的相位关系通过相量图表示出来如图3～图5所示、

[0131] 在图3中，给出了故障线路和健全线路基波电流相位差关系（I_{1HT}是全部电容电流基波分量）；图4中，给出了故障线路和健全线路三次谐波电流相位差关系；图5中，给出了在不同线路上（故障线，健全线，中性点电阻）的三次谐波和基波的相位差关系。

[0132] 这里我们关心的是在故障线路上三次谐波和基波的相角差，从上面的图中计算得到该相角差：

[0133] $$\Delta\varphi=3\varphi_{FH1}-\varphi_{FH3}=3\cdot\left(90°+\tan^{-1}\frac{I_{1HT}}{I_{1RN}}\right)-\left(90°+\tan^{-1}\frac{I_{3HT}}{I_{3RN}}\right) \quad (2)$$

[0134] $$=180°+3\tan^{-1}\frac{I_{1HT}}{I_{1RN}}-\tan^{-1}\frac{I_{3HT}}{I_{3RN}}=180°+3\tan^{-1}K_1-\tan^{-1}K_3$$

[0135] I_{1HT}和I_{3HT}是故障序网中所有线路（主要是健全线路）上的电容电流的基波电流分量的总和与三次谐波电流的总和，比例系数K_1和K_3是该电容电流和中性点接地电阻上的电流的比例。在实际中，这个比例是衡量中性点电阻限流性能的指标。

[0136] K_1一般取值在0（表示中性点直接接地，健全线路上没有容性故障电流，故障电流全部通过中性点流入大地）到1（表示中性点经过大电阻接地，中性点电阻上的故障电流和系统中的电容电流大小相当）之间，有效接地系统中K1的值小于0.5。

[0137] 因为电容的容纳和频率成正比，在三次谐波下相类似的系数K3是K1的三倍。

[0138] 因此，从上面的分析中可以得到某条线路上的三次谐波电流相对基波电流的相位差的两点结论：

[0139] 1）在健全线路上的该相位差（φ_{3H}）和中性点电阻上的电流的该相位差180度反向；2）在故障线路上的该相位差和健全线路上的该相位差有$\Delta\varphi$的差距。

[0140] 根据上述(2)式，$\Delta\varphi$的范围从180°(K_1=0)到250°(K_1=1，K_3=3K_1)。

[0141] 表2.1 不同线路上三次谐波相对基波的相位差

[0142]

	三次谐波相对基波相角差	相位差值
中性点 I_{RN}: φ_{3RN}	$\varphi_{3F}+\Delta\varphi+180°$	φ_{3F}+(360~430)°
健全线 I_H: φ_{3H}	$\varphi_{3F}+\Delta\varphi$	φ_{3F}+(180~250)°
故障线 I_F: φ_{3F}	φ_{3F}	φ_{3F}

[0143] 典型实用化的保护装置，一般都是需要利用本地测量数据的量值来实现检测的，因此，为了实现选择性需要，首先估计确定上表中唯一的一个未知数φ_{3F}的范围。

[0144] φ_{3F}的估计取值来自对故障电流本身谐波特性的分析。

[0145] 故可以对高阻接地故障的谐波的特征的相位差简单估计为从180度正负60度。

[0146] 如果三次谐波相对基波幅值达到一定阈值($I_3/I_1>R_I$)，且基波电流有效值达到一定幅值($I_{rms}>R_I$)，同时两者的相角差达到一定的范围，则满足高阻接地故障的标志为置位为真，认为故障发生在该线路上，否则，闭锁该出线回路的接地故障保护回路，判定故障可能发生在同一条母线上连接的其他线路上。在这样的选择性的保证下，就可以进一步降低各个出线回路接地保护动作的阈值，以实现更为灵敏地检测到高阻接地故障。

[0147] 这样得到了具有选择特性的判据为：

[0148] 表2.2 健全线和故障线谐波算法判据

[0149]

线路	相位差	幅值关系	检测法响应
健全线	φ_{3H}: -40°~110°	任意	闭锁
故障线	φ_{3F}: 140°~220°	$I_3/I_1>R_I$ 且 $I_{rms}>R_I$	报警

[0150] 对三次谐波元件方向和选线原理的简单描述见图6所示：在含有三次谐波的故障电流中，相对于故障线路，健全线路上的基波和三次谐波在各自的相位中都有接近90度的相移，这样合成后的健全线路上的故障电流的波形和健全线路的波形会有明显的不同，如图6中的粗线形状的明显不同，而这个不同就是通过本条线路上故障电流的三次谐波和基波的相对关系描述的(如上面所述的φ_{3H}和φ_{3F})。也构成了本检测法的核心判据。

[0151] 实施例：

[0152] 本检测方法的具体过程通过下面的一个例子详细说明：

[0153] 按照图7所示，从原始电流采样值信号中减去故障前的平均波形序列，得到除去了背景波形的“零序电流故障分量”；对零序电流故障分量进行谐波分析，得到三次谐波相对基波的相位和比例；再和前述的三种预定检测阈值比较来检测是否“满足条件”；再对“满足条件”状态计时来判断是否发生高阻故障。

[0154] 故本技术方案的流程可以分为3步：

[0155] 1)从采样得到的零序电流中获取电流的故障分量；

[0156] 2)提取三次谐波和基波电流的相位、幅值，和对应的预定检测阈值做比较，一旦满足检测阈值则，使继电保护装置进入故障检测状态，并置位满足条件标志位；

[0157] 3)对满足条件标志位进行计时，如果持续时间大于时间阈值则报告发生了持续的高阻接地故障。

[0158] 由于本发明确定三次谐波相对基本电流的相位和幅值，以剩余电流的基波作为参考量，剩余电流的三次谐波作为比较量，通过比较两者之间的相位信息和幅值比例，藉此来检测各个供电线路上是否发生了高阻接地故障；可以进一步降低接地保护动作整定值的动作阈值，便于更为灵敏地检测到高阻接地故障并及时切除故障线路。

[0159] 本发明的技术方案不仅可以检测高阻接地故障，还可以实现只利用剩余电流的信息就能有选择地在故障线路上动作报警，而在非故障线路上闭锁继电保护装置不报警，进而提高了供电线路保护装置的灵敏性，在中性点有效接地的系统中，充分发挥了现有继保系统/装置的保护作用，有助于提高整个中压配电系统的连续、稳定运行，确保整个供电系统的安全性能。

[0160] 本发明可广泛用于中性点有效接地的中压配电系统的高阻接地故障检测和继电保护领域。

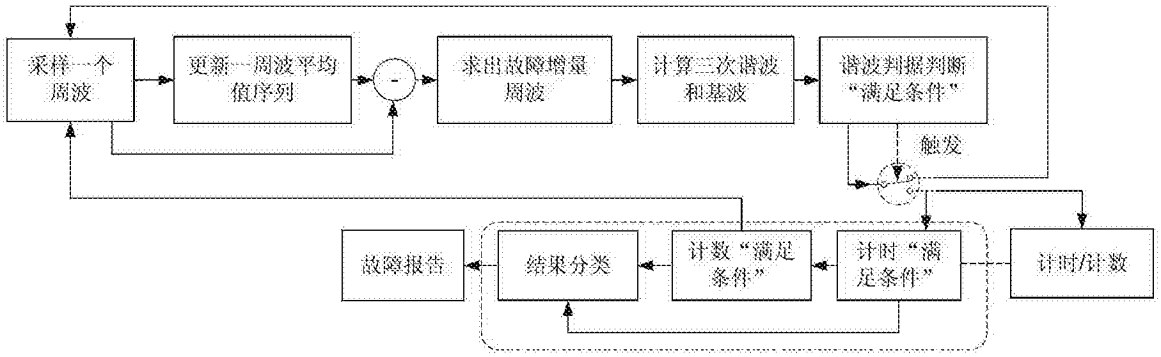

采样一个周波
更新一周波平均值序列
-
求出故障增量周波
计算三次谐波和基波
谐波判据判断“满足条件”
触发
故障报告
结果分类
计数“满足条件”
计时“满足条件”
计时/计数

图1

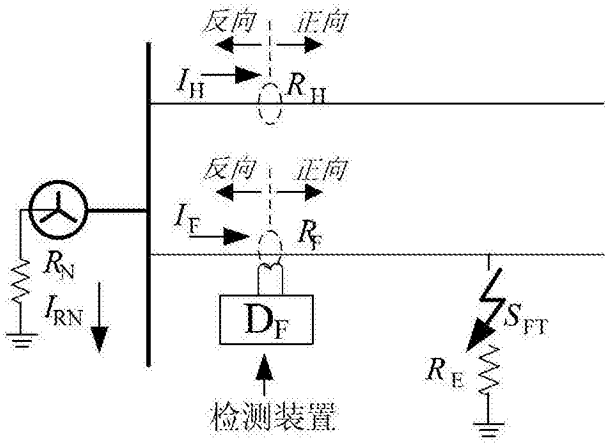

反向
正向
I_H
R_H
反向
正向
I_F
R_F
R_N
I_{RN}
D_F
S_{FT}
R_E
检测装置

图2

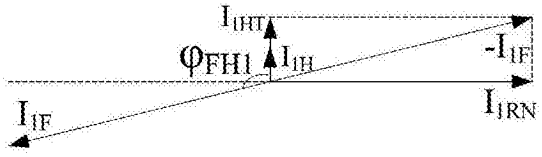

I_{1HT}
φ_{FH1}
I_{1H}
$-I_{1F}$
I_{1F}
I_{1RN}

图3

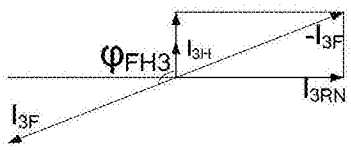

φ_{FH3}
I_{3H}
$-I_{3F}$
I_{3RN}
I_{3F}

图4

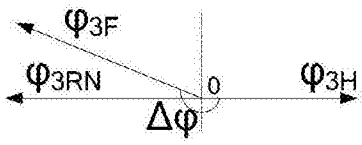

φ_{3F}
φ_{3RN}
0
φ_{3H}
$\Delta\varphi$

图5

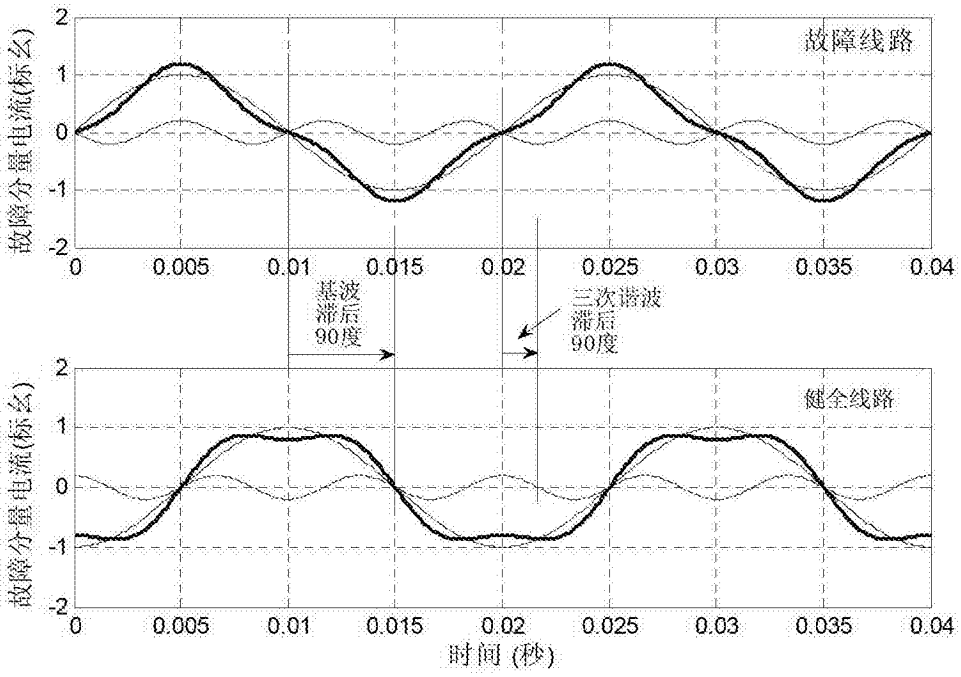

故障线路
故障分量电流(标幺)
基波
滞后
90度
三次谐波
滞后
90度
健全线路
故障分量电流(标幺)
时间 (秒)

图6

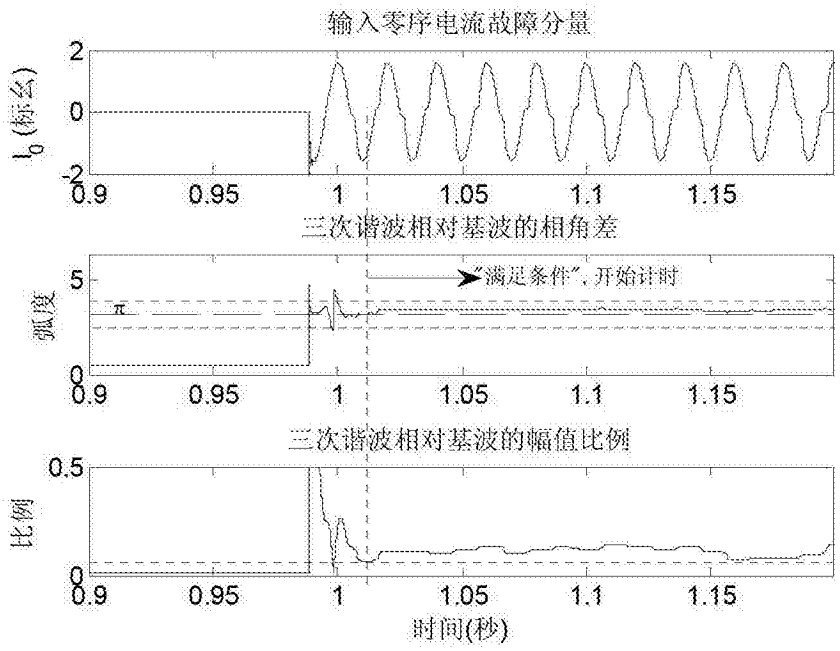

输入零序电流故障分量
I_0 (标幺)
三次谐波相对基波的相角差
弧度
"满足条件", 开始计时
三次谐波相对基波的幅值比例
比例
时间(秒)

图7