



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103809070 B

(45)授权公告日 2017. 11. 17

(21)申请号 201210460491.9

(22)申请日 2012.11.15

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103809070 A

(43)申请公布日 2014.05.21

(73)专利权人 施耐德电器工业公司

地址 法国吕埃-马迈松

(72)发明人 李容 任睿

(74)专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 史新宏

(51)Int.Cl.

G01R 31/02(2006.01)

G01R 31/08(2006.01)

(56)对比文件

吕艳萍 等.基于小波分析的超高压输电线路故障定位的研究.《中国电力》.2003,第36卷(第2期),

审查员 刘晓佩

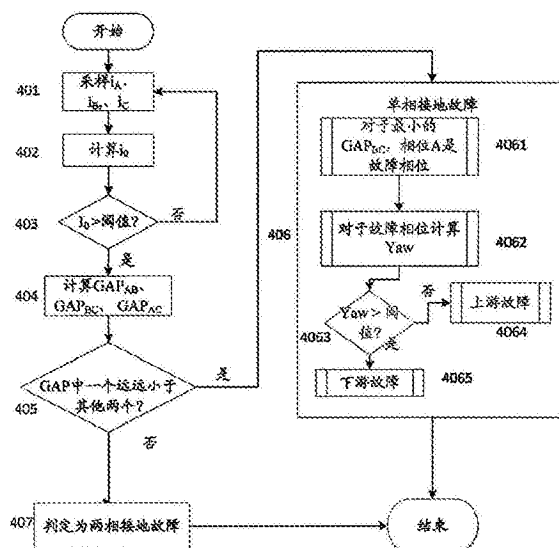
权利要求书4页 说明书9页 附图3页

(54)发明名称

基于三相电流变化进行的方向接地故障检测方法 and 装置

(57)摘要

一种在单相接地故障期间确定故障相并确定该故障是下游故障还是上游故障的方法。本发明提供了一种方向接地故障检测方法,包括:a.根据采样的三相电流 i_A 、 i_B 、 i_C 来检测接地故障,并得到与刚刚检测到接地故障的时刻对应的时间点 t ;b.根据 t 时刻的三个增量相电流 Δi_A 、 Δi_B 、 Δi_C 来确定是单相接地故障还是两相接地故障;以及c.当确定是单相接地故障时,根据故障相的增量相电流的幅度来确定该故障是上游故障还是下游故障。



1. 一种方向接地故障检测方法,包括:

a. 根据采样的三相电流 i_A 、 i_B 、 i_C 来检测接地故障,并得到与刚刚检测到接地故障的时刻对应的时间点 t ;

b. 根据 t 时刻的三个增量相电流 Δi_A 、 Δi_B 、 Δi_C 来确定是单相接地故障还是两相接地故障;以及

c. 当确定是单相接地故障时,根据故障相的增量相电流的幅度来确定该故障是上游故障还是下游故障,

其中,根据下式计算 t 时刻的三个增量相电流:

$$\Delta i_A[k] = i_A[t+k-1] - i_A[t-N+k]$$

$$\Delta i_B[k] = i_B[t+k-1] - i_B[t-N+k]$$

$$\Delta i_C[k] = i_C[t+k-1] - i_C[t-N+k]$$

$$k=1,2,3\ldots N$$

其中, Δi_A 是相A增量电流, Δi_B 是相B增量电流, Δi_C 是相C增量电流, i_A 是相A电流, i_B 是相B电流, i_C 是相C电流, N 是采样值的数目。

2. 如权利要求1所述的方法,步骤b进一步包括:b1) 通过比较 t 时刻的三个增量相电流 Δi_A 、 Δi_B 、 Δi_C 的接近度来确定是单相接地故障还是两相接地故障。

3. 如权利要求2所述的方法,步骤b1) 进一步包括:b11) 计算 t 时刻的三个增量相电流中每两个增量相电流的差值的均方根RMS值以得到三个差值变量 GAP_{AB} 、 GAP_{BC} 、 GAP_{AC} ;如果三个差值变量 GAP_{AB} 、 GAP_{BC} 、 GAP_{AC} 中的一个远小于其他两个,则判断是单相接地故障;否则,判断是两相接地故障。

4. 如权利要求3所述的方法,其中,

根据下式计算三个差值变量 GAP_{AB} 、 GAP_{BC} 、 GAP_{AC} :

$$GAP_{AB} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\Delta i_A[k] - \Delta i_B[k])^2}{N}}$$

$$GAP_{BC} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\Delta i_B[k] - \Delta i_C[k])^2}{N}}$$

$$GAP_{AC} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\Delta i_A[k] - \Delta i_C[k])^2}{N}}$$

5. 如权利要求4所述的方法,步骤c进一步包括:

c1) 判断具有最小差值变量的两个相是健康相,另外一个相是故障相;

c2) 计算 t 时刻的三个增量相电流 Δi_A 、 Δi_B 、 Δi_C 的均方根RMS值,当与两个健康相相比,故障相具有显著大的增量相电流的均方根RMS值时,确定是下游故障;否则,确定是上游故障。

6. 如权利要求5所述的方法,步骤c2进一步包括:计算故障相的增量相电流的均方根RMS值与两个健康相的增量相电流的均方根RMS值的平均值之比 Yaw ;如果该 Yaw 值大于第三

阈值,则判断是下游故障;否则,判断是上游故障。

7.如权利要求6所述的方法,其中,根据下列等式计算三个增量相电流 Δi_A 、 Δi_B 、 Δi_C 的均方根RMS值:

$$\Delta I_A = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\Delta i_A[k])^2}{N}}$$

$$\Delta I_B = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\Delta i_B[k])^2}{N}}$$

$$\Delta I_C = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\Delta i_C[k])^2}{N}};$$

根据下式计算Yaw值:

$$Yaw = \frac{\Delta I_{\text{故障相}}}{0.5 \cdot (\Delta I_{\text{第一健康相}} + \Delta I_{\text{第二健康相}})} \cdot 100\%。$$

8.如权利要求7所述的方法,其中,第三阈值取值范围是(500%,600%)。

9.如权利要求8所述的方法,步骤c1)进一步包括:按下式计算第一、第二和第三比率:

$$G_{BC} = \frac{GAP_{BC}}{0.5 \cdot (GAP_{AB} + GAP_{AC})} \cdot 100\%$$

$$G_{AB} = \frac{GAP_{AB}}{0.5 \cdot (GAP_{BC} + GAP_{AC})} \cdot 100\%$$

$$G_{AC} = \frac{GAP_{AC}}{0.5 \cdot (GAP_{AB} + GAP_{BC})} \cdot 100\%$$

如果第一比率小于第二阈值,则确定相A为故障相;

如果第二比率小于第二阈值,则确定相C为故障相;

如果第三比率小于第二阈值,则确定相B为故障相。

10.如权利要求9所述的方法,其中,第二阈值取值范围是(36%,131%)。

11.如权利要求1-10中的任一项所述的方法,步骤a进一步包括:

当三相电流 i_A 、 i_B 、 i_C 之和大于第一阈值时,判断检测到接地故障。

12.如权利要求11所述的方法,其中,第一阈值等于10。

13.一种方向接地故障检测装置,包括:

接地故障检测模块,用于根据采样的三相电流 i_A 、 i_B 、 i_C 来检测接地故障,并得到与刚刚检测到接地故障的时刻对应的时间点 t ;

单相接地故障确定模块,用于根据 t 时刻的三个增量相电流 Δi_A 、 Δi_B 、 Δi_C 来确定是单相接地故障还是两相接地故障;和

故障方向确定模块,用于在确定是单相接地故障时,根据故障相的增量相电流的幅度来确定该故障是上游故障还是下游故障,

其中,根据下式计算 t 时刻的三个增量相电流:

$$\Delta i_A[k] = i_A[t+k-1] - i_A[t-N+k]$$

$$\Delta i_B[k] = i_B[t+k-1] - i_B[t-N+k]$$

$$\Delta i_C[k] = i_C[t+k-1] - i_C[t-N+k]$$

$$k=1, 2, 3 \dots N$$

其中, Δi_A 是相A增量电流, Δi_B 是相B增量电流, Δi_C 是相C增量电流, i_A 是相A电流, i_B 是相B电流, i_C 是相C电流, N 是采样值的数目。

14. 如权利要求13所述的装置, 单相接地故障确定模块进一步包括: 第一比较模块, 用于通过比较 t 时刻的三个增量相电流 Δi_A 、 Δi_B 、 Δi_C 的接近度来确定是单相接地故障还是两相接地故障。

15. 如权利要求14所述的装置, 单相接地故障确定模块进一步包括: 第一计算模块, 用于计算 t 时刻的三个增量相电流中每两个增量相电流的差值的均方根RMS值以得到三个差值变量 GAP_{AB} 、 GAP_{BC} 、 GAP_{AC} ; 以及

所述第一比较模块比较三个差值变量 GAP_{AB} 、 GAP_{BC} 、 GAP_{AC} , 并且如果三个差值变量 GAP_{AB} 、 GAP_{BC} 、 GAP_{AC} 中的一个远小于其他两个, 则判断是单相接地故障; 否则, 判断是两相接地故障。

16. 如权利要求15所述的装置, 其中,

根据下式计算三个差值变量 GAP_{AB} 、 GAP_{BC} 、 GAP_{AC} :

$$GAP_{AB} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\Delta i_A[k] - \Delta i_B[k])^2}{N}}$$

$$GAP_{BC} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\Delta i_B[k] - \Delta i_C[k])^2}{N}}$$

$$GAP_{AC} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\Delta i_A[k] - \Delta i_C[k])^2}{N}}$$

17. 如权利要求16所述的装置, 故障方向确定模块进一步包括:

故障相判定模块, 用于判断具有最小差值变量的两个相是健康相, 另外一个相是故障相;

第二计算模块, 用于计算 t 时刻的三个增量相电流 Δi_A 、 Δi_B 、 Δi_C 的均方根RMS值; 和

第二比较模块, 用于比较三个增量相电流的均方根RMS值, 当与两个健康相相比, 故障相具有显著大的增量相电流的均方根RMS值时, 确定是下游故障; 否则, 确定是上游故障。

18. 如权利要求17所述的装置, 其中,

第二计算模块进一步计算故障相的增量相电流的均方根RMS值与两个健康相的增量相电流的均方根RMS值的平均值之比 Yaw ; 以及

第二比较模块进一步比较 Yaw 值和第三阈值, 并且如果该 Yaw 值大于第三阈值, 则判断是下游故障; 否则, 判断是上游故障。

19. 如权利要求18所述的装置, 其中, 根据下列等式计算三个增量相电流 Δi_A 、 Δi_B 、 Δi_C 的均方根RMS值:

$$\Delta I_A = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\Delta I_A[k])^2}{N}}$$

$$\Delta I_B = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\Delta I_B[k])^2}{N}}$$

$$\Delta I_C = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\Delta I_C[k])^2}{N}};$$

根据下式计算Yaw值:

$$Yaw = \frac{\Delta I_{故障相}}{0.5 \cdot (\Delta I_{第一健康相} + \Delta I_{第二健康相})} \cdot 100\%。$$

20. 如权利要求19所述的装置,其中,第三阈值取值范围是(500%,600%)。

21. 如权利要求20所述的装置,所述故障相判定模块进一步包括:

第三计算模块,用于按下式计算第一、第二和第三比率:

$$G_{BC} = \frac{GAP_{BC}}{0.5 \cdot (GAP_{AB} + GAP_{AC})} \cdot 100\%$$

$$G_{AB} = \frac{GAP_{AB}}{0.5 \cdot (GAP_{BC} + GAP_{AC})} \cdot 100\%$$

$$G_{AC} = \frac{GAP_{AC}}{0.5 \cdot (GAP_{AB} + GAP_{BC})} \cdot 100\%$$

第三比较模块,用于将第一比率、第二比率和第三比率与第二阈值进行比较,如果第一比率小于第二阈值,则确定相A为故障相;如果第二比率小于第二阈值,则确定相C为故障相;如果第三比率小于第二阈值,则确定相B为故障相。

22. 如权利要求21所述的装置,其中,第二阈值取值范围是(36%,131%)。

23. 如权利要求13-22中的任一项所述的装置,接地故障检测模块进一步包括:

第四比较模块,用于比较三相电流 i_A 、 i_B 、 i_C 之和与第一阈值,并且当三相电流 i_A 、 i_B 、 i_C 之和大于第一阈值时,判断检测到接地故障。

24. 如权利要求23所述的装置,其中,第一阈值等于10。

基于三相电流变化进行的方向接地故障检测方法和装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种接地故障检测方法和装置,更具体地说,涉及在瞬态周期期间基于三相电流变化进行的方向接地故障检测方法和装置。

背景技术

[0002] 在配电网络中,经常存在许多树状分支。在网络中,在每个地理关键位置上通常安装多个FPI(Fault Passage Indicator线路故障指示器)。这些FPI将检测不同类型的故障并且有些FPI也判别故障方向。配电网络中发生概率最多的故障(大约70%)是单相接地故障。因此,对于DNOs(配电网络操作者)快速定位并修理故障部分,以及对于电能终端用户缩短停电时间两者而言,经济且可靠的单相接地故障检测以及单相接地故障的方向判别是非常重要的。

[0003] 在欧洲专利EP239098A1中描述了一种用于检测多路馈线系统中的间歇接地故障的方法和装置。它测量消弧线圈上的电压并计算一阶导数。然后计算与每个馈线回路电流的相关因子,具有最高相关因子的馈线被检测为具有接地故障。该专利采用了电压测量并且仅仅可应用于中性点经消弧线圈接地的系统。

[0004] 在专利W02011023305A1中公开了一种故障相选择和故障类型确定的方法。该方法采用指示器来确定是相-相故障、三相故障还是接地故障。该方法测量相-相电流并采用共享系数来确定不同类型的故障,但它不提供有关方向确定的信息。

[0005] 在日本专利JP2009526203A中描述了一种接地故障检测方法和用于供电线缆的设备。该方法给出了估计平均电压的阈值和从其导出的变量,然后将其与相电压比较。如果电压或从其导出的变量在阈值之下,则将假设是接地故障。该方法仅利用电压信号。

[0006] 在日本专利JP2009038912A中描述了一种用于接地故障检测的方法和装置。在整个系统中采用零序电压传感器来检测接地故障。然后每个馈线中的电流用于计算每个馈线的电阻。计算的值与预置值进行比较,具有低于预置值的阻值的馈线将被检测为具有接地故障。该方法采用电压信号并采用电流来计算阻抗变量。

[0007] 在日本专利JP4215656B2中公开了一种接地故障检测设备和接地故障检测方法。该方法测量三相电流 I_A 、 I_B 和 I_C 。然后,将 $|I_A - I_B|$ 、 $|I_B - I_C|$ 和 $|I_C - I_A|$ 的绝对值与用于接地故障的预置值 I_{set} 进行比较。如果等于或高于预置值则检测到接地故障。该方法采用了相-相电流,但是,未检测方向。

[0008] 下面给出了三种现有类型的、在现有电气产品范围中采用的单相接地故障检测算法。

[0009] 一经典方向算法在故障瞬态期间测量残余电流和电压。比较电流 I_0 和电压 V_0 的符号,如果它们的符号相同,则故障将被确定为上游故障,相反的符号意味着是下游故障。通过测量线路下方几米处的电场和磁场来获得电压信息,该电压测量方法对于干扰非常敏感,诸如在附近的MV(中压,medium voltage)或HV(高压,high voltage)线路。此外,电场对于诸如湿度的环境条件非常敏感。

[0010] -电流幅值 (Ammetric) 算法仅仅测量残余电流,不能确定故障方向。因此,为了在故障期间降低将要巡查的距离,对于Ammetric FPIs禁止检测上游故障,故障电平的阈值必须设置得高于最大可能电容性电流。

[0011] -ICC算法 (Insensitive to Capacitive Current) 在故障之前和故障期间测量三相电流。该算法有两个原理:最大RMS (Root mean square, 均方根) 是基于健康相和故障相之间的相电流的比较。如果发生下游故障,则应该具有一个相电流RMS (故障方) 明显大于其他两个相的,否则,该故障是上游故障。相关因子是基于相电流和残余电流之间的波形相似性。下游故障应该具有一个相电流与残余电流波形非常相似,否则,该故障是上游故障。这两个原理可以结合使用或者补充使用。已知该算法并不能可靠得确定故障方向。

[0012] 如下公开的本发明的方法能够克服上述现有技术以及上述算法的缺点。

发明内容

[0013] 本发明的另外方面和优点部分将在后面的描述中阐述,还有部分可从描述中明显地看出,或者可以在本发明的实践中得到。

[0014] 本发明公开了一种检测配电网中的单相接地故障并确定其方向 (该故障是上游故障还是下游故障) 的方法。该方法采用了在故障时间之前和故障时间之后的三相电流信号。

[0015] 本发明目的在于仅利用电流传感器来实现精确的故障方向确定。

[0016] 本发明提供了一种方向接地故障检测方法,包括:a. 根据采样的三相电流 i_A 、 i_B 、 i_C 来检测接地故障,并得到与刚刚检测到接地故障的时刻对应的时间点 t ; b. 根据 t 时刻的三个增量相电流 Δi_A 、 Δi_B 、 Δi_C 来确定是单相接地故障还是两相接地故障; 以及c. 当确定是单相接地故障时,根据故障相的增量相电流的幅度来确定该故障是上游故障还是下游故障。

[0017] 本发明还提供了一种方向接地故障检测装置,包括:接地故障检测模块,用于根据采样的三相电流 i_A 、 i_B 、 i_C 来检测接地故障,并得到与刚刚检测到接地故障的时刻对应的时间点 t ;单相接地故障确定模块,用于根据 t 时刻的三个增量相电流 Δi_A 、 Δi_B 、 Δi_C 来确定是单相接地故障还是两相接地故障;和故障方向确定模块,用于在确定是单相接地故障时,根据故障相的增量相电流的幅度来确定该故障是上游故障还是下游故障。

[0018] 与现有的Flair/Flite FPIs (线路故障指示器, Fault Passage Indicator) 中的其他方向故障检测方法相比,本发明的方法具有如下优点:

[0019] -极大地改善了正确性:基于当前信息与现有的方向故障检测算法相比极大地改善了正确方向检测的比例 (经过批量仿真验证,本发明的方法在所用仿真平台下的正确率为100%)。

[0020] -不需要电压传感器:与传统方向相比,本发明不需要获取电压信息。因此,能够节约电压传感器的成本。

[0021] 本发明在故障之前记录电流 (负荷分量) 以使得在故障期间从测量的电流中减去负荷分量,以便能够提取包含与不同位置发生的故障的特性相对应的更多有用信息的故障分量。

[0022] 本发明使用采样值来检测故障的刚刚开始,因此包含高频充电和放电电容性电流

的瞬态信号能够用于帮助确定故障相。

附图说明

[0023] 通过结合附图对本发明的优选实施例进行详细描述,本发明的上述和其他目的、特性和优点将会变得更加清楚,其中相同的标号指定相同结构的单元,并且在其中:

[0024] 图1示出了在单相故障期间故障电流的简化等效电路图。

[0025] 图2示出了在故障窗口(即,检测故障之后的第一周期)期间相A接地故障期间的三相电流的波形。

[0026] 图3示出了在所述故障窗口期间的三相增量电流 Δi 的波形。相B和相C彼此非常接近,以至于它们彼此几乎重叠。

[0027] 图4示出了在所述故障窗口期间相A接地故障期间从图3的圆圈圈定的部分放大得到的三相 Δi 的波形。

[0028] 图5示出了根据本发明实施例的故障方向的确定方法的流程图。

[0029] 图6示出了根据本发明的方向接地故障检测方法的简化的示意性仿真电路。

具体实施方式

[0030] 下面将参照示出本发明实施例的附图充分描述本发明。然而,本发明可以以许多不同的形式实现,而不应当认为限于这里所述的实施例。相反,提供这些实施例以便使本公开透彻且完整,并且将向本领域技术人员充分表达本发明的范围。在附图中,为了清楚起见放大了组件。

[0031] 应当理解,尽管这里可以使用术语第一、第二、第三等描述各个元件、组件和/或部分,但这些元件、组件和/或部分不受这些术语限制。这些术语仅仅用于将元件、组件或部分相互区分开来。因此,下面讨论的第一元件、组件或部分在不背离本发明教学的前提下可以称为第二元件、组件或部分。

[0032] 这里使用的术语仅仅是为了描述特定实施例的目的,而并不意图限制本发明。这里使用的单数形式“一”、“一个”和“那(这个)”也意图包含复数形式,除非上下文中明确地指出不包含。应当理解,术语“包括”当用在本说明书中时指示所述特征、整数、步骤、操作、元件和/或组件的存在,但并不排除一个或多个其他特征、整数、步骤、操作、元件、组件和/或其组合的存在或添加。

[0033] 除非另有定义,这里使用的所有术语(包括技术和科学术语)具有与本发明所属领域的普通技术人员共同理解的相同含义。还应当理解,诸如在通常字典里定义的那些术语应当被解释为具有与它们在相关技术的上下文中的含义相一致的含义,而不应用理想化或极度形式化的意义来解释,除非这里明确地这样定义。

[0034] 根据本发明的故障识别方法的原理如下。图1示出了在单相故障期间故障电流的简化等效电路图。图1是示意性的简化电路图,其省略了如下分量的大多数:变压器阻抗、馈线的纵向阻抗、馈线之间的耦接、地回路的阻抗、馈线的泄漏阻抗。假设负荷是线性且对称的。

[0035] 在正常运行期间,在三相中的负荷电流和电容性电流彼此抵消,以便没有零序电流可以由IED(智能电子设备)测量到。在例如相A中短路到地期间,相A上的电压将下降。另

外两相上的电压也将改变(在大多数情况下,上升)。这种电压失真将使得三相电容性电流不再平衡。因此,残余电流将能够由IED测量到。当残余电流的瞬时值超过预置阈值(例如,10A)时,认为检测到接地故障。因此,得到故障开始的时间,以便可以进行方向判别。

[0036] 由图1中所述位置的IED D1测量的残余电流包括中性点电流 I_N 和来自所有相邻馈线(此处仅仅由图1中的馈线1表示)的电容性电流 I_{C1} (= $I_{C1C}+I_{C1B}$)。故障馈线的电容性电流(由实心箭头表示)通过流入和流出自身抵消,因此,它不能从残余电流测得。故障相电流包含两个部分:负荷分量和故障分量。负荷分量未示于示意性电路图中,但负荷分量在故障之前和故障期间都是存在的。

[0037] 故障相中的故障分量包含5个箭头(两个实心箭头、两个空心箭头和一个无填充箭头)。如果中性点电流 I_N 和来自所有相邻馈线的电容性电流 I_{C1} 的和是一个足够大的值,那么故障相中的故障分量将具有比两个健康相的故障分量显著大的值(相A中的5个箭头>>相B和C中的1个箭头)。当三个相电流的故障分量之间的这种关系被实现时,将是下游故障;否则,是上游故障。

[0038] 接下来的问题是:中性点电流 I_N 和来自所有相邻馈线的电容性电流 I_{C1} 是足够大的值发生在什么时候?即,什么条件下的电网结构才会满足这种条件。

[0039] 这依赖于两个因素:

[0040] 变电站变压器中性点接地类型;

[0041] 相邻馈线的总长度

[0042] 在中性点有效接地系统中,中性点电流本身已经是足够大的值,以至于电容性电流的大小已经不重要。

[0043] 在中性点非有效接地系统中(俗称小电流接地系统,包括中性点不接地、中性点经高阻接地、和中性点经消弧线圈接地。中性点不接地和经高阻接地很相似,下面的讨论将不加区分),网络中必须具有足够长度的相邻馈线。换言之,网络应当具有多条馈线(>2)。该条件一般情况下可以满足,因为一个变电站在一条母线上通常会有8-9条馈线。如果在图1所示的位置发生单相故障,由IED D1测量的故障分量包括 I_N 、 I_{C1} 和 I_{C2} (= $I_{C2B}+I_{C2C}$)。如果是中性点不接地系统,那么流经中性点的电流为0, I_N 是可以忽略的,只有电容性电流。因此 I_{C1} 将必须是大的以使得假设正确。如果是中性点经消弧线圈接地,因为消弧线圈的电抗值是按照50Hz的工频电流来调节的,所以对于在暂态发生的高频电容充放电电流,消弧线圈的电抗会随着频率成正比增加,以至于可以被近似当做开路,所以对于高频电容性电流,经消弧线圈接地相当于不接地系统。这个时候就是比较在暂态的高频电容性电流的大小。本发明的检测时间是在故障暂态,所以可以利用快速衰减的高频电流来进行方向判别。如果检测时间是在故障稳态,高频电流已经衰减完毕,那么由于消弧线圈对稳态的电容性电流有近似完全抵消作用,所以在故障相测量不到明显的电流变化,也就无法获得关于故障方向的信息了。

[0044] 因此,利用暂态来判别在消弧线圈接地中的故障方向,这也是本发明的一个很大的优势。

[0045] 根据本发明原理的故障识别方法在残余电流的瞬时值高于预置值,例如10A的情况下,考虑检测到故障。

[0046] 根据本发明的方向确定方法是基于如下原理:

[0047] 原理1:当发生单相接地故障时,FPI将检测到两个健康相的增量电流 ΔI (ΔI 的定义如下等式1所示)彼此非常接近。因此,能够确定故障相。

[0048] 原理2:在故障馈线上,如果是下游故障,故障相将具有显著大于两个健康相的 Δi 值的 Δi 值。如果不满足这个条件,则故障是上游故障。

[0049] A、B和C三个相的 Δi 的定义如等式1所示:

$$[0050] \quad \Delta i_A[k] = i_A[t+k-1] - i_A[t-N+k]$$

$$[0051] \quad \Delta i_B[k] = i_B[t+k-1] - i_B[t-N+k]$$

$$[0052] \quad \Delta i_C[k] = i_C[t+k-1] - i_C[t-N+k]$$

$$[0053] \quad k=1, 2, 3 \dots N \quad \text{等式1}$$

[0054] 其中N是故障检测装置每周期的采样点数,诸如36。但本领域技术人员应该理解,不同的产品可以有不同采样频率的值。 t 是与刚刚检测到故障的时刻对应的时间点。

[0055] 根据本发明的方向确定方法包括如下步骤:

[0056] 1. 检测接地故障:

[0057] 该方法采用采样值(或瞬时值)来检测接地故障。一旦采样值大于预置值,例如10A,则认为发生接地故障。但本领域技术人员应该理解,也可以采用其他现有的或将来的方法来检测接地故障的发生。

[0058] 2. 确定是单相故障还是两相接地故障:

[0059] 在单相接地故障期间,在故障窗口(在故障已经被检测到的第一周期)中 Δi 值中的两个彼此非常接近。第一周期定义如下:假如故障被检测到的时候对应的采样点下标是 t ,那么第一周期对应的采样点就是 $[t, t+N-1]$ 。参考图2、图3和图4。

[0060] 图2示出了在故障窗口(即,检测故障之后的第一周期)期间相A接地故障期间的三相电流的波形。

[0061] 图3示出了在所述故障窗口期间的三相增量电流 Δi 的波形。相B和相C彼此非常接近,以至于它们彼此几乎重叠。

[0062] 图4示出了在所述故障窗口期间相A接地故障期间从图3的圆圈圈定的部分放大得到的三相 Δi 的波形。

[0063] 为了量化两个 Δi 之间的接近度以描述“ Δi 的两个彼此非常接近”的关系,变量GAP被定义为两个 Δi 的差值的RMS:

$$[0064] \quad GAP_{AB} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\Delta i_A[k] - \Delta i_B[k])^2}{N}}$$

$$[0065] \quad GAP_{BC} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\Delta i_B[k] - \Delta i_C[k])^2}{N}}$$

$$[0066] \quad GAP_{AC} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\Delta i_A[k] - \Delta i_C[k])^2}{N}} \quad \text{等式2}$$

[0067] 例如,如果接地的故障相仅仅是相A,那么将满足如下等式3:

$$[0068] \quad GAP_{BC} \ll GAP_{AB}$$

[0069] $GAP_{BC} \ll GAP_{AC}$ 等式3

[0070] 为了量化用于相A故障的等式3所示的关系,如下定义比率G:

$$[0071] \quad G_{BC} = \frac{GAP_{BC}}{0.5 \cdot (GAP_{AB} + GAP_{AC})} \cdot 100\%$$

$$[0072] \quad G_{AB} = \frac{GAP_{AB}}{0.5 \cdot (GAP_{BC} + GAP_{AC})} \cdot 100\%$$

$$[0073] \quad G_{AC} = \frac{GAP_{AC}}{0.5 \cdot (GAP_{AB} + GAP_{BC})} \cdot 100\% \text{等式4}$$

[0074] 如果发生单相接地故障,等式4中的三个比率G中将有一个接近0。例如,对于相A故障,那么应该是 G_{BC} 接近0。

[0075] 如果不满足GAP中的一个远小于其他两个,则是两相接地故障。

[0076] 此外,还有其他方法来区分单相接地故障和两相接地故障。比如两相接地,相电流会相当大(比如超过3-6倍负荷电流)。因此,单相和两相接地故障的区分方法并不现有上述方法。

[0077] 虽然上文中给出了量化两个 Δi 之间的接近度的具体方式,但本领域技术人员应该理解,根据本发明原理的现有的或将来的其他量化方式也在本发明保护范围内。

[0078] 同样,虽然下文中给出了量化根据本发明原理的各种关系的具体方式,但本领域技术人员应该理解,根据本发明原理的现有的或将来的其他量化方式也在本发明保护范围内。

[0079] 3. 对于单相接地故障确定该故障是上游故障还是下游故障:

[0080] 根据上文中所述的原理可知,在故障暂态,故障相中电流显著大于健康相中电流则判定为下游故障。也即,当与两个健康相相比,故障相具有显著大的 Δi 的RMS值时,将确定为是下游故障:

$$[0081] \quad \Delta I_A = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\Delta I_A[k])^2}{N}}$$

$$[0082] \quad \Delta I_B = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\Delta I_B[k])^2}{N}}$$

$$[0083] \quad \Delta I_C = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\Delta I_C[k])^2}{N}} \text{等式5,}$$

[0084] 对于相A故障,满足如下关系,即 $\Delta I_A \gg \Delta I_B$ 且 $\Delta I_A \gg \Delta I_C$ 。

[0085] 否则是上游故障。

[0086] 对于相A故障,为了量化上述关系,定义了比例 Y_{aw} 如下: $Y_{aw} = \frac{\Delta I_A}{0.5 \cdot (\Delta I_B + \Delta I_C)} \cdot 100\%$

等式6

[0087] 本领域技术人员应该理解,对于上述等式6,将根据故障相的不同而改变分子和分

母。也即,如果是相B故障,那么上面的等式6将变为 $Yaw = \frac{\Delta I_B}{0.5 \cdot (\Delta I_A + \Delta I_C)} \cdot 100\%$;而对于相C是故障相,那么上面的等式6将变为

$$[0088] \quad Yaw = \frac{\Delta I_C}{0.5 \cdot (\Delta I_A + \Delta I_B)} \cdot 100\%。$$

[0089] 图5示出了根据本发明实施例的故障方向的确定方法的流程图。

[0090] 如图5所示,在步骤401,对相电流 i_A 、 i_B 和 i_C 进行采样。

[0091] 在步骤402,计算 i_0 。 $i_0 = (i_A + i_B + i_C)$,残余电流的瞬时值,在正常运行时三相电流因为平衡,所以残余电流应该很接近于0。

[0092] 在步骤403,判断 i_0 是否大于阈值?如果 i_0 大于第一阈值,则说明检测到接地故障,前进到步骤404,否则返回步骤401。第一阈值例如等于10。 i_0 的大小可以由用户设定,比如25A或50A,也可以取很低的值,比如1A。在用户保证在没有故障时,电流传感器和线路中元件的不平衡度不会引起大于某一个值的残余电流的时候,就可以把这个值作为第一阈值。第一阈值越小,装置就越灵敏(可以检测到具有更高阻抗值的接地故障)。

[0093] 在步骤404,计算 GAP_{AB} 、 GAP_{BC} 、和 GAP_{AC} 。

[0094] 在步骤405,判断在步骤404中计算的三个GAP中是否有一个GAP值远远小于其他两个的值?如果是,则判断是单相接地故障,并前进到步骤406。如果不是,则判断是两相接地故障,并前进到步骤407。

[0095] 在步骤406中进一步判断单相接地故障的方向。步骤406包括:步骤4061,确定哪个相是故障相。当 GAP_{AB} 最小时,即,比率 G_{AB} 小于第二阈值时,相C是故障相;当 GAP_{BC} 最小时,即,比率 G_{BC} 小于第二阈值时,相A是故障相;以及当 GAP_{AC} 最小时,即,比率 G_{AC} 小于第二阈值时,相B是故障相。根据参考图6的仿真结果,第二阈值的取值范围例如是(35.82%, 131.71%)。在步骤4062,针对故障相计算Yaw值。在步骤4063,判断Yaw值是否大于第三阈值?根据参考图6的仿真结果,第三阈值的取值范围例如是(500%, 600%)。如果步骤4063的判断结果为“是”,则前进到步骤4065,判断是下游故障。如果步骤4063的判断结果为“否”,则前进到步骤4064,判断是上游故障。并结束。

[0096] 在步骤407中,确定故障是双相接地故障,并结束。

[0097] 本发明意欲在MV配电领域中的故障检测应用中实施,主要用于:

[0098] -HV/MV变电站变压器中性点接地方式采取:直接接地、阻抗接地、消弧线圈接地、或不接地;

[0099] -架空和地下网络FPIs和RTUs(远程终端设备,Remote Terminal Unit);

[0100] -仅仅相电流获取是可能或希望的;

[0101] -当HV/MV配电变压器的接地方式是高阻抗的、消弧线圈接地,或者不接地的時候,必须存在多于两路馈线耦合在MV母线时可实施本发明的方法。

[0102] 本发明的方法可以应用于如下应用:

[0103] 1>-用于地下网络的线路故障指示器,MV/LV变电站远程监控和控制。

[0104] -用于架空网络的线路故障指示器,LBS(基于位置的服务,LocationBased Service)远程监控和控制。

[0105] 2>地下网络

- [0106] -嵌入在MV配电柜的非通信FPIs(或者具有Modbus RS通信,),主要用于新的安装。
- [0107] -壁装式类型的非通信FPIs,尤其用于后期改造。。
- [0108] 架空网络
- [0109] 现今,架空FPI采用两类技术:用夹子夹住(clip-on)或者安装在电杆上(pole-mounted)。
- [0110] 考虑安装在电杆上技术电压遥感测量精度受环境影响比较大,因此不能可靠地解决全球的需求。
- [0111] 因此,本发明的方法能够提供一种可以适用于用夹子夹住技术的解决方案,比如
- [0112] -具有收集单元和网关的产品。
- [0113] 下文中,将结合图6描述根据本发明的方向接地故障检测方法的仿真结果。
- [0114] 为了测试根据本发明的方向接地故障检测方法,在EMTP(电磁暂态程序,Electro-Magnetic Transient Program)中建模20kV配电网络。采用的电路参数如下:
- [0115] 地下线缆参数: $Z_1=(0.15+j0.099)\text{ Ohm/km}$, $C_1=0.25\text{ uF/km}$, $Z_0=(0.3+j0.1256)\text{ Ohm/km}$, $C_0=0.25\text{ uF/km}$, 长度从0.2到30km。
- [0116] 架空线路参数: $Z_1=(0.25+j0.382)\text{ Ohm/km}$, $C_1=0.00756\text{ uF/km}$, $Z_0=(0.5+j0.5005)\text{ Ohm/km}$, $C_0=0.00756\text{ uF/km}$, 长度从0.2到30km。
- [0117] 变压器中性点接地方式:电阻性、消弧线圈、以及不接地的
- [0118] 故障电阻:从0.01到3000hm
- [0119] 电力变压器参数: $P_0=21\text{ kW}$, $I_0=0.7\%$, $U_k=12\%$, $P_k=104\text{ kW}$
- [0120] 系统短路功率: $S_k=150\text{ MVA}$
- [0121] 负载功率因数: $\cos\varphi=0.9$
- [0122] 图6示出了根据本发明的方向接地故障检测方法的简化的示意性仿真电路。
- [0123] 首先,将检测假设1是否正确:
- [0124] 当发生单相接地故障时,FPI将检测到两个健康相的 ΔI 彼此非常接近。因此,能够确定故障相。
- [0125] 下文中给出了三种类型的FPI位置的统计数据:
- [0126] 下游故障: $G_{BC}=[0.07\%, 3.46\%]$, $G_{AB}=[163.27\%, 199.99\%]$, $G_{AC}=[163.27\%, 199.99\%]$
- [0127] 上游故障: $G_{BC}=[0.38\%, 35.82\%]$, $G_{AB}=[148.72\%, 199.23\%]$, $G_{AC}=[131.71\%, 199.23\%]$
- [0128] 根据上述仿真结果可知,显然处于在35.82%和131.71%之间的任何位置的阈值在所有情况下都能够确定哪个相故障。
- [0129] 其次,将检测假设2是否正确:
- [0130] 如果是下游故障,那么故障相将具有显著大于两个健康相的 ΔI 值的 ΔI 值。如果上述条件不满足,那么故障是上游故障。
- [0131] 下面是故障馈线上FPI的仿真的统计数据:
- [0132] 下游故障: $Y_{aw}=[600\%, 72621.88\%]$
- [0133] 上游故障: $Y_{aw}=[20.92\%, 500\%]$
- [0134] 因此,从上面的仿真结果可知,显然对于所有情形,在500%和600%之间选定的任何阈值都能够区分是下游故障还是上游故障。
- [0135] 上面是对本发明的说明,而不应被认为是对其的限制。尽管描述了本发明的若干

示例性实施例,但本领域技术人员将容易地理解,在不背离本发明的新颖教学和优点的前提下可以对示例性实施例进行许多修改。因此,所有这些修改都意图包含在权利要求书所限定的本发明范围内。应当理解,上面是对本发明的说明,而不应被认为是限于所公开的特定实施例,并且对所公开的实施例以及其他实施例的修改意图包含在所附权利要求书的范围内。本发明由权利要求书及其等效物限定。

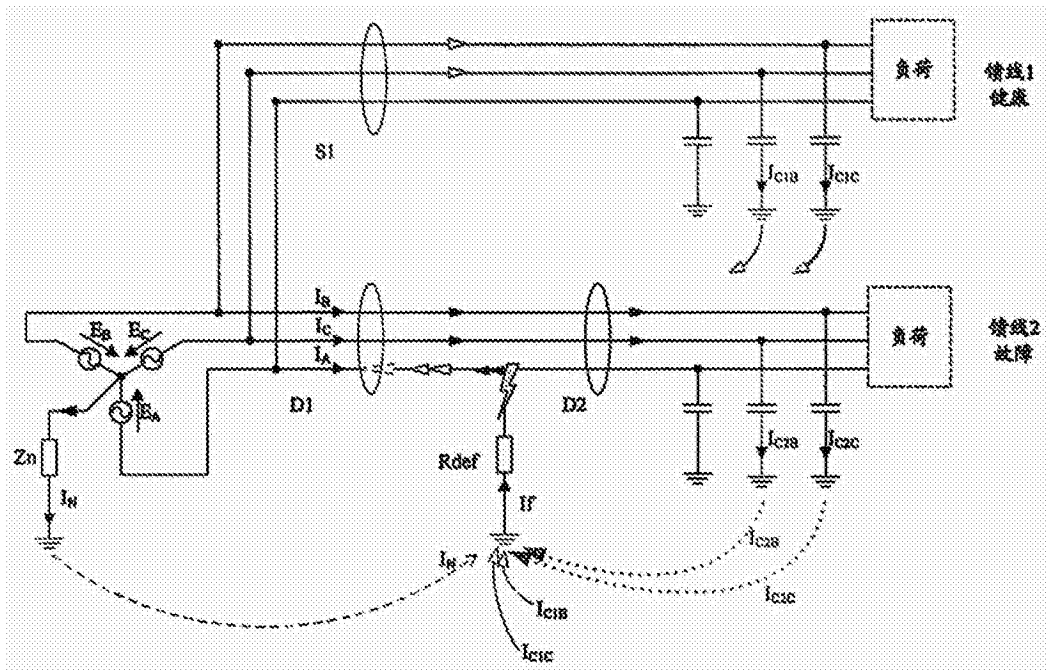


图1

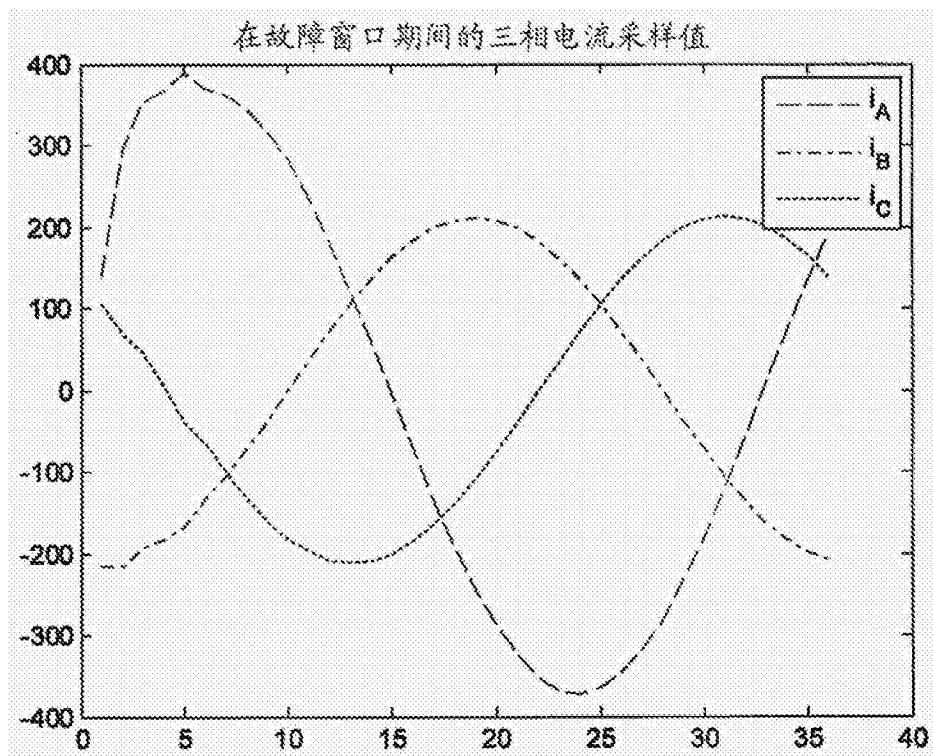


图2

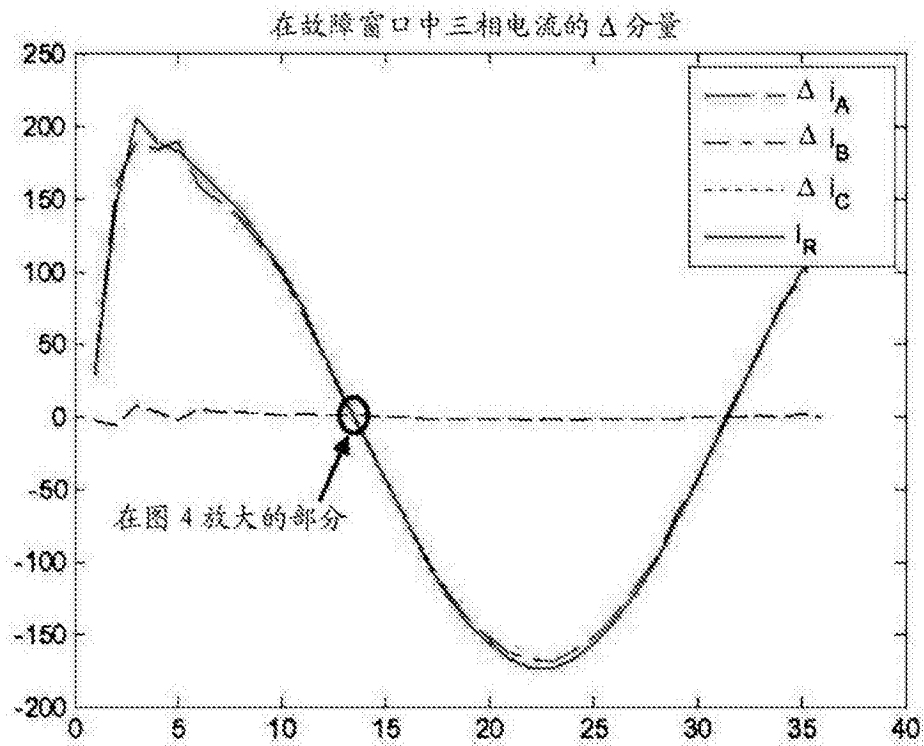


图3

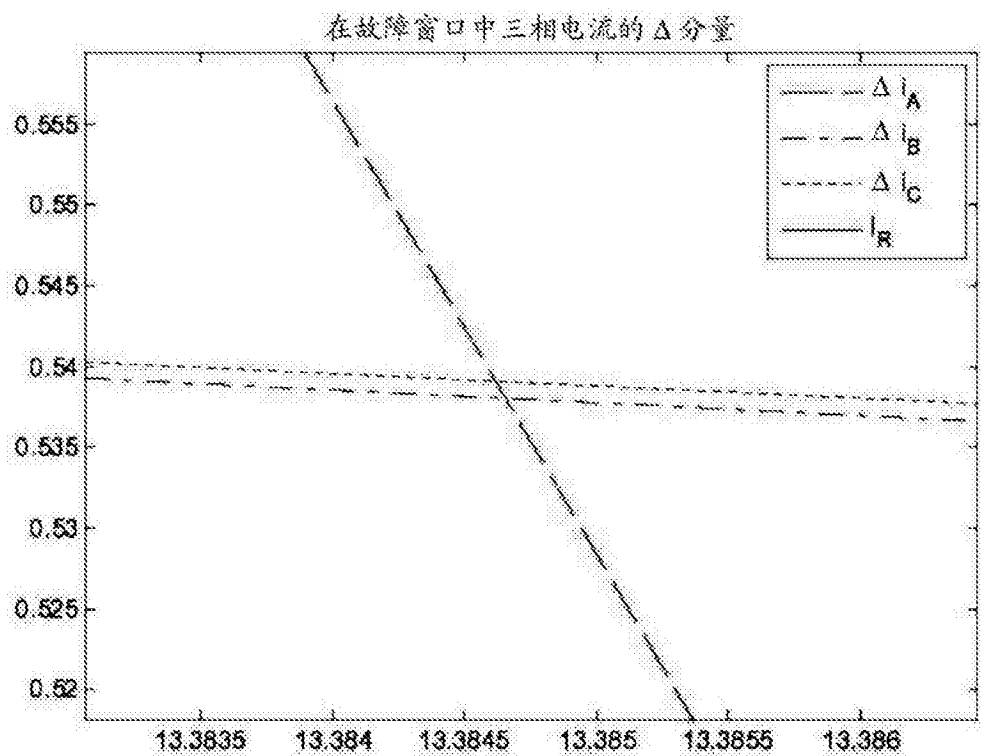


图4

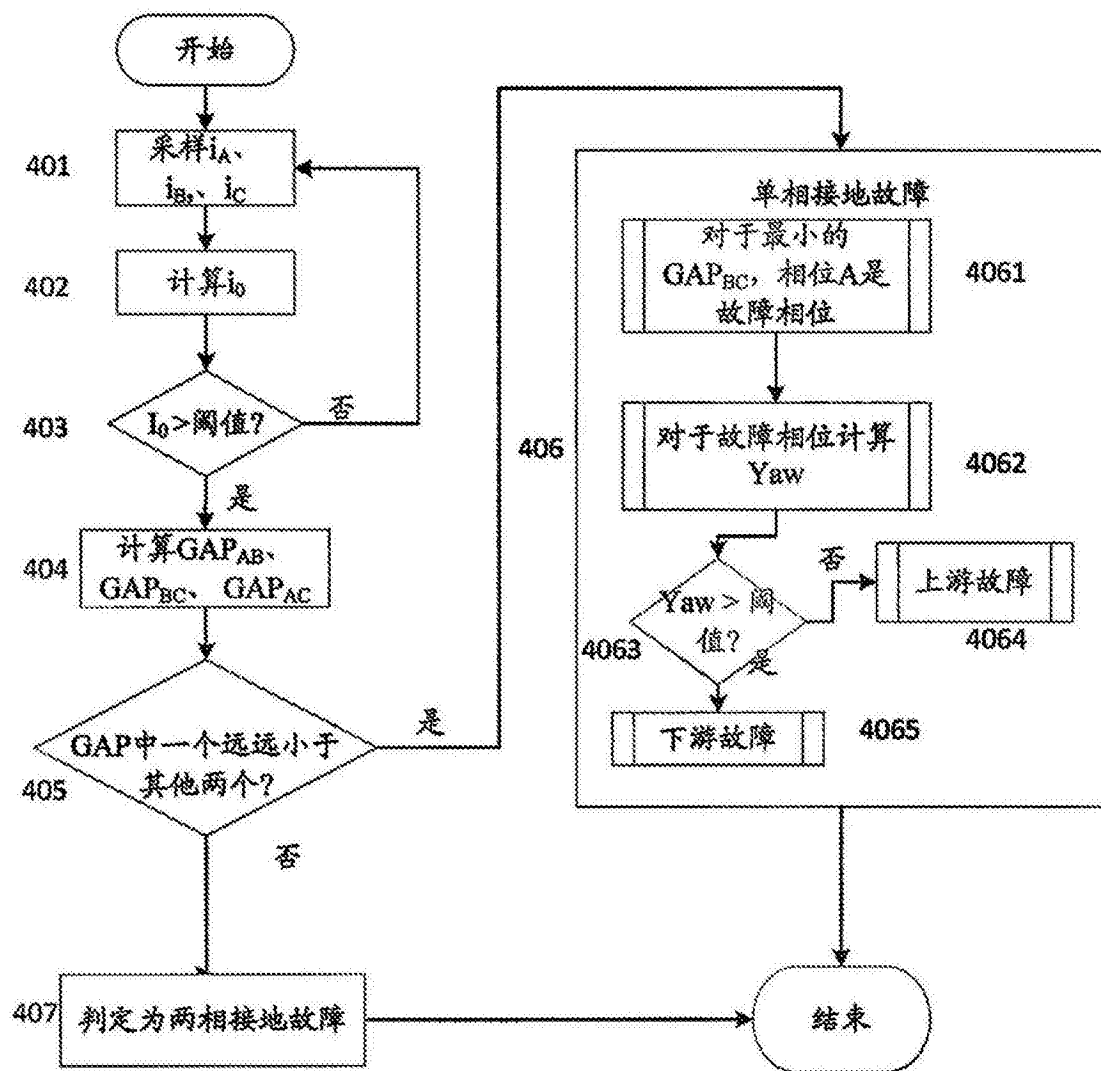


图5

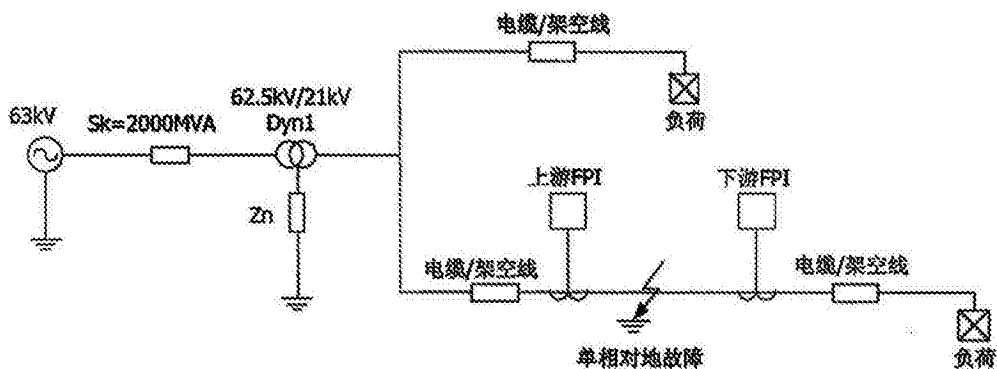


图6