



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111262231 B

(45) 授权公告日 2022. 09. 02

(21) 申请号 201911343906.2

(22) 申请日 2019.12.24

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 111262231 A

(43) 申请公布日 2020.06.09

(73) 专利权人 长沙理工大学  
地址 410000 湖南省长沙市天心区赤岭路  
45号

(72) 发明人 范必双 姚淦洲 王玉凤 魏国强  
王文 曾祥君 李泽扬 喻坤  
卓超

(74) 专利代理机构 深圳中一联合知识产权代理  
有限公司 44414  
专利代理师 叶厚平

(51) Int. Cl.  
H02H 9/08 (2006.01)

(56) 对比文件  
CN 104319757 A, 2015.01.28  
CN 106786636 A, 2017.05.31

审查员 赵舒博

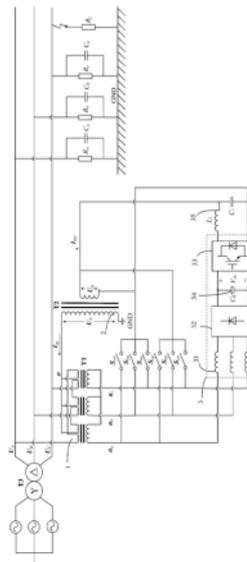
权利要求书2页 说明书18页 附图9页

(54) 发明名称

非有效接地系统接地消弧装置、方法、设备和介质

(57) 摘要

本申请属于教育技术领域,提供了一种非有效接地系统接地消弧装置、方法、设备及介质,所述装置包括接地变压器、单相变压器、有源逆变器;所述接地变压器的一次侧的一端分别与配电网的A相、B相、C相连接,所述接地变压器的一次侧的另一端引出中性点与所述单相变压器的一次侧连接;所述接地变压器的二次侧通过控制开关分别与所述单相变压器的二次侧、所述有源逆变器输入端并联连接;所述有源逆变器的输出端与所述单相变压器的二次侧电性连接。本申请首先通过Z型接地变压器和单相变压器进行电压消弧,再通过调节有源逆变器的等效输出阻抗对接地变压器的输出电压相位进行补偿,有效实现电压、电流综合消弧,使得消弧效果好,精度高。



1. 非有效接地系统接地消弧装置, 其特征在于, 包括接地变压器、单相变压器、有源逆变器;

所述接地变压器的一次侧的一端分别与配电网的A相、B相、C相连接, 所述接地变压器的一次侧的另一端引出中性点与所述单相变压器的一次侧连接; 所述接地变压器的二次侧通过控制开关分别与所述单相变压器的二次侧、所述有源逆变器输入端并联连接; 接地变压器的二次侧输出三相电压 $u_a$ 、 $u_b$ 、 $u_c$ 通过控制开关组合 $S_{an}$ 、 $S_{bn}$ 、 $S_{cn}$ 、 $S_{ap}$ 、 $S_{bp}$ 、 $S_{cp}$ 连接至单相变压器(2)变压器二次侧, 通过控制开关组合 $S_{an}$ 、 $S_{bn}$ 、 $S_{cn}$ 、 $S_{ap}$ 、 $S_{bp}$ 、 $S_{cp}$ 实现故障相线电压的输出;

所述有源逆变器的输出端与所述单相变压器的二次侧电性连接;

所述非有效接地系统接地消弧装置还用于依次对A相进行故障判断、B相进行故障判断、C相进行故障判断, 并控制发生故障的A相、B相、C相任一相输出故障相线电压。

2. 如权利要求1所述非有效接地系统接地消弧装置, 其特征在于, 所述有源逆变器包括电抗器、整流器、单相逆变器、直流电容、输出滤波器,

所述电抗器、所述整流器、所述单相逆变器、所述输出滤波器依次电性连接, 所述整流器、单相逆变器之间并联连接所述直流电容; 所述接地变压器的二次侧通过控制开关与所述电抗器电性连接, 所述输出滤波器的输出端与所述单相变压器的二次侧电性连接。

3. 如权利要求2所述非有效接地系统接地消弧装置, 其特征在于, 所述输出滤波器为LC并联低通输出滤波器。

4. 如权利要求3所述非有效接地系统接地消弧装置, 其特征在于, 所述接地变压器采用Z型接法。

5. 如权利要求4所述非有效接地系统接地消弧装置, 其特征在于, 所述接地变压器采用Zny1的接法。

6. 非有效接地系统接地消弧方法, 其特征在于, 应用于如权利要求1-5任一项所述的非有效接地系统接地消弧装置中, 包括: 检测配电网运行状态; 发生单相接地故障时, 分别向接地变压器、有源逆变器输出故障相线电压;

分别计算所述接地变压器的内在阻抗 $Z_G$ 、所述有源逆变器的等效输出阻抗 $Z_{inv}$ ;

使 $\dot{U}_N = -K_G \cdot \dot{E}_C$ 、 $K_G = 1$ ;

其中,  $K_G = \frac{(K_{G3} + Z_{inv}) \cdot K_{G4} \cdot Z_{inv} - K_{G5}}{(K_{G3} + Z_{inv}) \cdot K_{G1} \cdot Z_{inv} - K_{G2} - n_2/n_1}$ ;

$K_{G1} = \frac{n_2 \cdot l_N \cdot K_T \cdot Z_G \cdot (Z_G + j\omega_0 l_q)}{n_1 \cdot l_q \cdot Z_G \cdot (1 - Z_G - j\omega_0 l_q)}$ ;  $K_{G2} = \frac{n_2}{n_1} \cdot (\frac{l_N \cdot K_T}{l_q} + \frac{1}{Z_G})$ ;  $K_{G3} = \frac{Z_G^2 \cdot j\omega_0 l_q}{Z_G + j\omega_0 l_q}$ ;

$K_{G4} = \frac{[(Z_G \cdot j\omega_0 l_q) - (Z_G + j\omega_0 l_q)]}{Z_G \cdot (1 - Z_G - j\omega_0 l_q)}$ ;  $K_{G5} = \frac{(Z_G^{-1} + Z_G \cdot j\omega_0 l_q) \cdot (1 + e^{-j60^\circ})}{Z_G + j\omega_0 l_q}$ ;

$\dot{U}_N$ 为中性点电压;  $\dot{E}_C$ 为非有效接地系统故障相电势;  $K_{G1}$ 、 $K_{G2}$ 、 $K_{G3}$ 、 $K_{G4}$ 、 $K_{G5}$ 以及 $K_G$ 均为复数增益;  $n_1:n_2$ 为单相变压器的匝数比;  $l_N$ 为单相变压器主边的电感值,  $l_q$ 是单相变压器副边的电感值;  $\omega_0$ 是工频50Hz。

7. 如权利要求6所述的非有效接地系统接地消弧方法,其特征在于,还包括调节所述有源逆变器的等效输出阻抗 $Z_{inv}$ ,使所述有源逆变器的输出电流对接地变压器的输出电压相位补偿,使所述 $Z_{inv} = Z_v + Z_i$ ,其中: $Z_v$ 为微电网逆变器的虚拟复阻抗,且 $Z_{inv} = R_v + R_i + j\omega_0(L_i - L_v) = mR_v + kj\omega_0L_v$ ,其中 $R_v$ 为虚拟电阻, $L_v$ 为虚拟电感, $L_v = L_i$ ;  $Z_i$ 为线路阻抗, $m, k$ 为线性系数、 $R_i$ 为线路电阻:

$$\dot{U}_N = -K'_G \cdot \dot{E}_C$$

$$\text{其中 } K'_G = \frac{K_{G4} \cdot (mR_v + kj\omega_0L_v) - \frac{K_{G5}}{K_{G3} + mR_v + kj\omega_0L_v}}{\frac{K_{G2} + n_2/n_1}{K_{G3} + mR_v + kj\omega_0L_v} - K_{G1} \cdot (mR_v + kj\omega_0L_v)}$$

8. 如权利要求7所述的非有效接地系统接地消弧方法,其特征在于,在分别向接地变压器、有源逆变器输出故障相线电压之前,还包括依次对A相进行故障判断、B相进行故障判断、C相进行故障判断,并控制发生故障的A相、B相、C相任一相输出故障相线电压。

9. 一种非有效接地系统接地消弧设备,其特征在于,包括存储器、处理器以及存储在所述存储器中并可在所述处理器上运行的计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序时实现如权利要求6至8任一项所述方法的步骤。

10. 一种计算机可读存储介质,其特征在于,所述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实现如权利要求6至8任一项所述方法的步骤。

## 非有效接地系统接地消弧装置、方法、设备和介质

### 技术领域

[0001] 本申请涉及非有效接地系统接地故障抑制技术领域,尤其涉及一种非有效接地系统接地消弧装置、方法、设备和介质。

### 背景技术

[0002] 电力系统的中性点接地方式是一个综合性的技术问题,它与系统的供电可靠性、设备安全、绝缘水平、人身安全等问题有密切关系。影响配电网供电可靠性最大的因素是瞬时性接地故障。在发生单相接地故障的情况下,当电容电流超过一定范围时,接地电弧无法自行熄灭。会因电弧产生的高温而导致火灾。若接地电弧不稳定,也会产生间歇性电弧,而电弧不断的熄灭和重燃,会导致非故障相之间产生间歇性电弧接地过电压,严重时,它会将电气设备的绝缘薄弱处击穿。因此,若接地故障不及时消除,可能损害系统绝缘,极易导致故障蔓延,进一步扩大为相间短路故障,并引发大面积长时间停电事故,危及电网安全可靠运行。此外,坠地的导线长期带电运行,容易造成人身与牲畜触电事故,产生恶劣的社会影响与造成严重的社会经济损失。

[0003] 配电网接地故障消弧的机理在于:交流电流过零点熄弧后,绝缘介质的恢复速度快于故障点电压的恢复速度,有效阻止电弧重燃。影响消弧的主要因素有:残流大小、恢复电压幅值和恢复电压上升速度。故障电流越小,使得介质损伤越小,越有利于绝缘介质恢复和故障消弧;故障点恢复电压的幅值越小、恢复初速度越慢、恢复时间越长,使得绝缘介质越难重新击穿,阻止电弧重燃,越有利于故障消弧。

[0004] 现有的消弧方法根据控制手段来分,可分为电流控制型消弧(以下简称电流消弧)和电压控制型消弧(以下简称电压消弧)。消弧线圈(Petersen coil)和电流源型单相逆变器消弧方式均属于电流消弧,它们都是通过补偿单相接地故障时的对地电容电流来实现消弧控制。但是电流消弧必须依赖于三相对地参数以及实际残流的准确测量或估算,才能达到良好的消弧效果。由于实际配电网的运行状态是多变的,三相对地参数随配电网的运行方式不同而不断发生改变,不同的接地故障,接地阻抗也不一样,有的是金属性接地,有的是经不同的过渡电阻接地,因此实际中很难实现对三相对地参数和接地残流进行精确测量及估算。

[0005] 单相接地转移装置和电压源型单相逆变器消弧方式均属于电压消弧。单相接地转移装置在发生单相接地故障时,将备用线路上的故障快速地转换为金属接地,实现快速的故障转移,使得故障点电弧快速被熄灭,但是这种方法只是将故障点转移了,并不能从根本上减小接地电容电流。电压源型单相逆变器是控制中性点电压为故障相电压的相反数来实现消弧。只需知道接地故障相故障前的相电压幅值大小和相位,即可实现控制。这种方法基本属于开环控制,优点是反应快,消弧迅速,无需测量三相对地参数和实际残流;缺点是电压源型逆变器以电压为控制目标,容易导致装置过流保护。另外由于逆变器的电子元件多,其过载能力、可靠性和寿命相比消弧线圈和变压器等设备要差。

[0006] 虽然电压消弧相比电流消弧更直接有效,但是采用有源逆变装置的电压消弧,难

以实现阻抗控制,在运行过程中容易造成有源逆变装置过流。电流消弧虽然能够很好地进行阻抗控制,系统运行稳定性好,可靠性高,但是在故障消弧之前需要精确测量对地参数,从而得到注入电流参考值。综上,目前采用的消弧,不管是采用电压消弧还是电流消弧,均存在精度低,效果差等技术问题。

[0007] 申请内容

[0008] 有鉴于此,本申请提供一种精度高、效果好的非有效接地系统接地消弧装置、方法、设备和介质,以解决现有技术中的问题。

[0009] 本申请实施例的第一方面提供了非有效接地系统接地消弧装置,包括接地变压器、单相变压器、有源逆变器;

[0010] 所述接地变压器的一次侧的一端分别与配电网的A相、B相、C相连接,一次侧的另一端引出中性点与所述单相变压器的一次侧连接;所述接地变压器的二次侧通过控制开关与所述单相变压器的二次侧、有源逆变器输入端并联连接;

[0011] 所述有源逆变器的输出端与所述单相变压器的二次侧电性连接。

[0012] 进一步地,所述有源逆变器包括电抗器、整流器、单相逆变器、直流电容、输出滤波器,

[0013] 所述电抗器、所述整流器、所述单相逆变器、所述输出滤波器依次电性连接,所述整流器、单相逆变器之间并联连接所述直流电容;所述接地变压器的二次侧通过控制开关与所述电抗器电性连接,所述输出滤波器的输出端与所述单相变压器的二次侧电性连接。

[0014] 进一步地,所述输出滤波器为LC并联低通输出滤波器。

[0015] 进一步地,所述接地变压器采用Z型接法。

[0016] 进一步地,所述接地变压器采用Zny1的接法。

[0017] 本申请实施例的第二方面提供了一种非有效接地系统接地消弧方法,检测配电网运行状态;发生单相接地故障时,分别向接地变压器、有源逆变器输出故障相线电压;

[0018] 分别计算所述接地变压器的内在阻抗 $Z_G$ 、所述有源逆变器的等效输出阻抗 $Z_{inv}$ ;

[0019] 满足 $\dot{U}_N = -K_G \cdot \dot{E}_C$ 、 $K_G = 1$ ;

[0020] 其中, $K_G = \frac{(K_{G3} + Z_{inv}) \cdot K_{G4} \cdot Z_{inv} - K_{G5}}{(K_{G3} + Z_{inv}) \cdot K_{G1} \cdot Z_{inv} - K_{G2} - n_2/n_1}$ ;  $K_{G1} = \frac{n_2 \cdot l_N \cdot K_T \cdot Z_G \cdot (Z_G + j\omega_0 l_q)}{n_1 \cdot l_q \cdot Z_G \cdot (1 - Z_G - j\omega_0 l_q)}$ ;

$$K_{G2} = \frac{n_2}{n_1} \cdot \left( \frac{l_N \cdot K_T}{l_q} + \frac{1}{Z_G} \right); \quad K_{G3} = \frac{Z_G^2 \cdot j\omega_0 l_q}{Z_G + j\omega_0 l_q}; \quad K_{G4} = \frac{[(Z_G \cdot j\omega_0 l_q) - (Z_G + j\omega_0 l_q)]}{Z_G \cdot (1 - Z_G - j\omega_0 l_q)};$$

$$K_{G5} = \frac{(Z_G^{-1} + Z_G \cdot j\omega_0 l_q) \cdot (1 + e^{j60^\circ})}{Z_G + j\omega_0 l_q}; \quad \dot{U}_N \text{ 为中性点电压; } \dot{E}_C \text{ 为非有效接地系统故障相电}$$

势;; $K_{G1}$ 、 $K_{G2}$ 、 $K_{G3}$ 、 $K_{G4}$ 、 $K_{G5}$ 以及 $K_G$ 均为复数增益; $n_1$ : $n_2$ 为单相变压器的匝数比; $l_N$ 为单相变压器主边的电感值, $l_q$ 是单相变压器副边的电感值; $\omega_0$ 是工频50Hz。

[0021] 进一步地,还包括调节所述有源逆变器的等效输出阻抗 $Z_{inv}$ ,使所述有源逆变器的输出电流对接地变压器的输出电压相位补偿,使所述 $Z_{inv} = Z_v + Z_i$ ,其中: $Z_v$ 为微电网逆变器的虚拟复阻抗,且 $Z_{inv} = R_v + R_i + j\omega_0(l_{i1} - l_{v1}) = mR_v + k j\omega_0 l_{v1}$ ,其中 $R_v$ 为虚拟电阻, $L_v$ 为虚拟电感, $L_v = L_{i1}$ ;  $Z_i$ 为线路阻抗。(m,k为线性系数、 $R_{i1}$ 为线路电阻),公式(22)可由公式(26)进行表

达：

$$[0022] \quad \dot{U}_N = -K'_G \cdot \dot{E}_C$$

$$[0023] \quad \text{其中 } K'_G = \frac{K_{G4} \cdot (mR_v + kj\omega_0 l_v) - \frac{K_{G5}}{K_{G3} + mR_v + kj\omega_0 l_v}}{\frac{K_{G2} + n_2/n_1}{K_{G3} + mR_v + kj\omega_0 l_v} - K_{G1} \cdot (mR_v + kj\omega_0 l_v)}$$

[0024] 进一步地,在分别向接地变压器、有源逆变器输出故障相线电压之前,还包括依次对A相进行故障判断、B相进行故障判断、C相进行故障判断,并控制发生故障的A相、B相、C相任一相输出故障相线电压。

[0025] 本申请实施例的第三方面提供了一种设备,包括存储器、处理器以及存储在所述存储器中并可在所述处理器上运行的计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序时实现本申请实施例非有效接地系统接地消弧方法中的步骤。

[0026] 本申请实施例的第四方面提供了一种介质,所述介质为计算机可读存储介质,所述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实现本申请实施例非有效接地系统接地消弧方法中的步骤。

[0027] 本申请实施例与现有技术相比存在的有益效果是:本申请通过接地变压器的一次侧的一端分别与配电网的A相、B相、C相连接,一次侧的另一端引出中性点与所述单相变压器的一次侧连接;所述接地变压器的二次侧通过控制开关与所述单相变压器的二次侧、有源逆变器输入端并联连接;并将有源逆变器的输出端与单相变压器的二次侧电性连接;有效实现对配电网的A相、B相、C相接地故障进行电压、电流消弧。同时,通过控制有源逆变器的虚拟复阻抗中的实部 $R_v$ ,有效实现中性点的电压对非有效接地系统故障相电势的抵消,实现完全消弧,提高消弧精度和效果。

## 附图说明

[0028] 为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0029] 图1是本申请实施例提供的非有效接地系统接地消弧装置结构示意图;

[0030] 图2是本申请实施例提供的接地变压器的Zny1的接法结构示意图;

[0031] 图3是本申请提供的非有效接地系统接地消弧方法实施例一的流程示意图;

[0032] 图4是本申请实施例提供的电压消弧结构示意图;

[0033] 图5是本申请实施例提供的未考虑漏感故障消弧的电压相量示意图一;

[0034] 图6是本申请实施例提供的未考虑漏感故障消弧的电压相量示意图二;

[0035] 图7是本申请实施例提供的未考虑漏感故障消弧的电压相量示意图三;

[0036] 图8是本申请实施例提供的配电网零序电路图的示意图;

[0037] 图9是图8的简化示意图;

[0038] 图10是图1的等效结构示意图;

[0039] 图11是图1的等效电路图的示意图;

- [0040] 图12是本申请提供的非有效接地系统接地消弧方法实施例二的流程示意图；
- [0041] 图13是本申请提供的单独有源逆变器进行故障消弧的等效电路图的示意图；
- [0042] 图14是本申请提供的有源逆变器的控制系统框图的示意图；
- [0043] 图15是本申请提供的虚拟复阻抗串联等效示意图；
- [0044] 图16是本申请提供的虚拟复阻抗电压电流闭环控制框图的示意图；
- [0045] 图17是本申请提供的非有效接地系统接地消弧方法实施例三的流程示意图；
- [0046] 图18是本申请提供的建模仿真效果示意图；
- [0047] 图19是本申请提供的非有效接地系统接地消弧设备示意图；
- [0048] 附图标记说明：
- [0049] 1-接地变压器；2-单相变压器；3-有源逆变器；31-电抗器；32-整流器；33-单相逆变器；34-直流电容；35-输出滤波器；4-设备；40-处理单元；41-存储单元；42-计算机程序。

### 具体实施方式

[0050] 以下描述中,为了说明而不是为了限定,提出了诸如特定系统结构、技术之类的具体细节,以便透彻理解本申请实施例。然而,本领域的技术人员应当清楚,在没有这些具体细节的其它实施例中也可以实现本申请。在其它情况中,省略对众所周知的系统、装置、电路以及方法的详细说明,以免不必要的细节妨碍本申请的描述。

[0051] 应当理解,当在本说明书和所附权利要求书中使用时,术语“包括”指示所描述特征、整体、步骤、操作、元素和/或组件的存在,但并不排除一个或多个其它特征、整体、步骤、操作、元素、组件和/或其集合的存在或添加。

[0052] 还应当理解,在此本申请说明书中所使用的术语仅仅是出于描述特定实施例的目的而并不意在限制本申请。如在本申请说明书和所附权利要求书中所使用的那样,除非上下文清楚地指明其它情况,否则单数形式的“一”、“一个”及“该”意在包括复数形式。

[0053] 还应当进一步理解,在本申请说明书和所附权利要求书中使用的术语“和/或”是指相关联列出的项中的一个或多个的任何组合以及所有可能组合,并且包括这些组合。

[0054] 如在本说明书和所附权利要求书中所使用的那样,术语“如果”可以依据上下文被解释为“当...时”或“一旦”或“响应于确定”或“响应于检测到”。类似地,短语“如果确定”或“如果检测到[所描述条件或事件]”可以依据上下文被解释为意指“一旦确定”或“响应于确定”或“一旦检测到[所描述条件或事件]”或“响应于检测到[所描述条件或事件]”。

[0055] 具体实现中,本申请实施例中描述的终端设备包括但不限于诸如具有触摸敏感表面(例如,触摸屏显示器和/或触模板)的移动电话、膝上型计算机或平板计算机之类的其它便携式设备。还应当理解的是,在某些实施例中,所述设备并非便携式通信设备,而是具有触摸敏感表面(例如,触摸屏显示器和/或触模板)的台式计算机。

[0056] 在接下来的讨论中,描述了包括显示器和触摸敏感表面的终端设备。然而,应当理解的是,终端设备可以包括诸如物理键盘、鼠标和/或控制杆的一个或多个其它物理用户接口设备。

[0057] 终端设备支持各种应用程序,例如以下中的一个或多个:绘图应用程序、演示应用程序、文字处理应用程序、网站创建应用程序、盘刻录应用程序、电子表格应用程序、游戏应用程序、电话应用程序、视频会议应用程序、电子邮件应用程序、即时消息收发应用程序、锻

炼支持应用程序、照片管理应用程序、数码相机应用程序、数字摄影机应用程序、web浏览应用程序、数字音乐播放器应用程序和/或数字视频播放器应用程序。

[0058] 可以在终端设备上执行的各种应用程序可以使用诸如触摸敏感表面的至少一个公共物理用户接口设备。可以在应用程序之间和/或相应应用程序内调整和/或改变触摸敏感表面的一个或多个功能以及终端上显示的相应信息。这样，终端的公共物理架构(例如，触摸敏感表面)可以支持具有对用户而言直观且透明的用户界面的各种应用程序。

[0059] 另外，在本申请的描述中，术语“第一”、“第二”等仅用于区分描述，而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0060] 为了说明本申请所述的技术方案，下面通过具体实施例来进行说明。

[0061] 如附图1所示，非有效接地系统接地消弧装置，包括接地变压器1、单相变压器2、有源逆变器3，将接地变压器1的一次侧的一端分别与配电网的A相、B相、C相连接，并将接地变压器1的一次侧的另一端引出中性点与单相变压器2的一次侧连接；接地变压器1的二次侧通过控制开关分别与单相变压器1的二次侧、有源逆变器3输入端并联连接。将有源逆变器3的输出端与单相变压器2的二次侧电性连接。

[0062] 具体实施中分别将接地变压器1一次侧通过Z型连接引出中性点n与单相变压器2的一次侧连接，接地变压器1的二次侧输出三相电压 $u_a$ 、 $u_b$ 、 $u_c$ 通过控制开关组合 $S_{an}$ 、 $S_{bn}$ 、 $S_{cn}$ 、 $S_{ap}$ 、 $S_{bp}$ 、 $S_{cp}$ 连接至单相变压器2变压器二次侧，输出一个电压 $U_q$ 。同时接地变压器1的二次侧输出三相电压 $u_a$ 、 $u_b$ 、 $u_c$ 作为有源逆变器3的输入，经过有源逆变器3整流、逆变、滤波后向单相变压器2的二次侧注入一个电流 $I_{inv}$ 。在电压 $U_q$ 和电流 $I_{inv}$ 的共同作用下对单相变压器2一次侧的中性点电压 $\dot{U}_N$ 进行调节。本申请具体操作中通过控制器与有源逆变器连接，通过控制器有效对有源逆变器3进行控制和调整，使得有源逆变器输出电流 $I_{inv}$ 有效弥补采用电压 $U_q$ 进行消弧存在的相位差，提高对配电网的A相、B相、C相任一相非接地故障的消弧效果和精度。

[0063] 在某一实施例中，如附图1所示，有源逆变器3包括电抗器31、整流器32、单相逆变器33、直流电容34、输出滤波器35。将电抗器31、整流器32、单相逆变器33、输出滤波器35依次电性连接，并在整流器32、单相逆变器33之间并联连接直流电容34；将接地变压器1的二次侧通过控制开关组合 $S_{an}$ 、 $S_{bn}$ 、 $S_{cn}$ 、 $S_{ap}$ 、 $S_{bp}$ 、 $S_{cp}$ 与电抗器31电性连接，将输出滤波器35的输出端与单相变压器2的二次侧电性连接。整流器32采用桥式整流电路，单相逆变器33采用电压型逆变器，单相逆变器33集成有两个IGBT，IGBT与一个二极管反向并联，单相逆变器33内置驱动模块发出PWM脉冲控制IGBT的开通和关断。直流电容34采用直流有源电容。

[0064] 在某实施例中，如附图1所示，输出滤波器35为LC并联低通输出滤波器，具体实施中输出滤波器35采用 $L_1$ 、 $C_1$ 并联低通输出滤波器。接地变压器1为Z型接地变压器，具体采用Zny1的接法，具体如附图2所示，使得零序磁通可沿磁柱流通，有效降低零序阻抗，大约在10 $\Omega$ 左右。

[0065] 本申请另一方面还提供基于非有效接地系统接地消弧装置的非有效接地系统接地消弧方法，如附图3所示：

[0066] 结合附图1，首先在步骤S11中，检测配电网运行状态。具体实施过程中对配电网 $U_A$ 、 $U_B$ 、 $U_C$ 的进行监测时，包括但不限于通过监测电压、电流的方式进行；本申请通过测量配电网 $U_A$ 、 $U_B$ 、 $U_C$ 的电压和零序电压。

[0067] 其次在步骤S12中,是否发生单相接地故障,具体实施时通过将监测到的配电网电压、零序电压等与预设值进行比较,当零序电压大于15%相电压,判断接地故障发生,比较三相电压大小,判断电压最低相为故障相。

[0068] 系统仅需对三相对地电压 $U_a$ 、 $U_b$ 、 $U_c$ 进行采样,三相对地电压 $U_a$ 、 $U_b$ 、 $U_c$ 可表示如下:

$$[0069] \begin{cases} U_a = U_{at} \sin(\omega t + \theta_{at}) \\ U_b = U_{bt} \sin(\omega t + \theta_{bt}) \\ U_c = U_{ct} \sin(\omega t + \theta_{ct}) \end{cases}$$

[0070] 步骤一:经过FFT计算后得到相应的电压幅值 $U_{at}$ 、 $U_{bt}$ 、 $U_{ct}$ 和相位 $\theta_{at}$ 、 $\theta_{bt}$ 、 $\theta_{ct}$ ;

[0071] 步骤二:取固定采样点数,对三相电压幅值 $U_{at}$ 、 $U_{bt}$ 、 $U_{ct}$ 和相位 $\theta_{at}$ 、 $\theta_{bt}$ 、 $\theta_{ct}$ 进行求均值平滑处理,并实时保存该均值为 $U_{ar}$ 、 $U_{br}$ 、 $U_{cr}$ 和 $\theta_{ar}$ 、 $\theta_{br}$ 、 $\theta_{cr}$ ;

[0072] 步骤三:当检测到瞬时的三相电压幅值 $U_{at}$ 、 $U_{bt}$ 、 $U_{ct}$ 和相位 $\theta_{at}$ 、 $\theta_{bt}$ 、 $\theta_{ct}$ 值与上一次步骤二中所保存的均值 $U_{ar}$ 、 $U_{br}$ 、 $U_{cr}$ 和 $\theta_{ar}$ 、 $\theta_{br}$ 、 $\theta_{cr}$ 之差绝对值分别大于设定的数值时 $\delta_1$ 和 $\lambda_1$ 时,将上一次的均值设定为故障前的电压幅值 $U_{a0}$ 、 $U_{b0}$ 、 $U_{c0}$ 和相位 $\theta_{a0}$ 、 $\theta_{b0}$ 、 $\theta_{c0}$ ,同时将标志位GroundU和Ground $\theta$ 置1,这两个标志位将用于逻辑同步;

[0073] 步骤四:当检测到当前的瞬时三相电压幅值 $U_{at}$ 、 $U_{bt}$ 、 $U_{ct}$ 和相位 $\theta_{at}$ 、 $\theta_{bt}$ 、 $\theta_{ct}$ 与上一次步骤二中所保存的均值 $U_{ar}$ 、 $U_{br}$ 、 $U_{cr}$ 和 $\theta_{ar}$ 、 $\theta_{br}$ 、 $\theta_{cr}$ 之差绝对值分别小于设定的数值时 $\delta_2$ 和 $\lambda_2$ ,且标志位GroundU和Ground $\theta$ 为1时,将标志位GNDU和GND $\theta$ 置1;同时判断三相电压和相位均值 $U_{ar}$ 、 $U_{br}$ 、 $U_{cr}$ 和 $\theta_{ar}$ 、 $\theta_{br}$ 、 $\theta_{cr}$ 是否分别大于故障前的电压幅值和相位 $U_{a0}$ 、 $U_{b0}$ 、 $U_{c0}$ 和 $\theta_{a0}$ 、 $\theta_{b0}$ 、 $\theta_{c0}$ ,如果大于则将相应的幅值标志 $A_u$ 、 $B_u$ 、 $C_u$ 和相位标志 $A_\theta$ 、 $B_\theta$ 、 $C_\theta$ 置1,否则置0;

[0074] 步骤五:在GNDU和GND $\theta$ 为1时:

[0075] 当 $A_u=0$ 、 $B_u=1$ 、 $C_u=1$ ,则判断故障相为A相;

[0076] 当 $A_u=1$ 、 $B_u=0$ 、 $C_u=0$ ,则判断故障相为B相;

[0077] 当 $A_u=1$ 、 $B_u=1$ 、 $C_u=0$ ,则判断故障相为C相;

[0078] 当 $A_u=0$ 、 $B_u=0$ 、 $C_u=1$ ,如果 $A_\theta=1$ 、 $B_\theta=0$ 、 $C_\theta=0$ 则判断出故障相为A相;如果 $A_\theta=0$ 、 $B_\theta=1$ 、 $C_\theta=0$ 则可判断出故障相为B相;在 $A_\theta$ 、 $B_\theta$ 、 $C_\theta$ 为其他状态情况下,当 $U_{at} < U_{bt}$ ,则判断故障相为A相,当 $U_{bt} < U_{at}$ ,则判断故障相为B相。

[0079] 当 $A_u=1$ 、 $B_u=0$ 、 $C_u=0$ ,如果 $A_\theta=0$ 、 $B_\theta=1$ 、 $C_\theta=0$ 则判断出故障相为B相;如果 $A_\theta=0$ 、 $B_\theta=0$ 、 $C_\theta=1$ 则可判断出故障相为C相;在 $A_\theta$ 、 $B_\theta$ 、 $C_\theta$ 为其他状态情况下,当 $U_{bt} < U_{ct}$ ,则判断故障相为B相,当 $U_{ct} < U_{bt}$ ,则判断故障相为C相。

[0080] 当 $A_u=0$ 、 $B_u=1$ 、 $C_u=0$ ,如果 $A_\theta=1$ 、 $B_\theta=0$ 、 $C_\theta=0$ 则判断出故障相为A相;如果 $A_\theta=0$ 、 $B_\theta=0$ 、 $C_\theta=1$ 则可判断出故障相为C相;在 $A_\theta$ 、 $B_\theta$ 、 $C_\theta$ 为其他状态情况下,当 $U_{at} < U_{ct}$ ,则判断故障相为A相,当 $U_{ct} < U_{at}$ ,则判断故障相为C相。

[0081] 其次在步骤S13中,分别向接地变压器、有源逆变器输出故障相线电压。具体实施中,如附图1所示,通过控制开关组合 $S_{an}$ 、 $S_{bn}$ 、 $S_{cn}$ 、 $S_{ap}$ 、 $S_{bp}$ 、 $S_{cp}$ 实现故障相线电压的输出。如当配电网A相发生单相接地故障时,开关组合 $S_{cn}$ 与 $S_{ap}$ 瞬间闭合,输出配电网A相故障相线电压。当配电网B相发生单相接地故障时,开关组合 $S_{an}$ 与 $S_{bp}$ 瞬间闭合,输出电网B相故障相线电压;当配电网C相发生单相接地故障时, $S_{bn}$ 与 $S_{cp}$ 瞬间闭合,输出电网C相故障相线电压。

[0082] 再次在步骤S14中,分别计算所述接地变压器的内在阻抗 $Z_G$ 、所述有源逆变器的等效输出阻抗 $Z_{inv}$ ;

[0083] 满足  $\dot{U}_N = -K_G \cdot \dot{E}_C$ ,  $K_G = 1$ ;

[0084] 其中,  $K_G = \frac{(K_{G3} + Z_{inv}) \cdot K_{G4} \cdot Z_{inv} - K_{G5}}{(K_{G3} + Z_{inv}) \cdot K_{G1} \cdot Z_{inv} - K_{G2} - n_2/n_1}$ ;

[0085]  $K_{G1} = \frac{n_2 \cdot l_N \cdot K_T \cdot Z_G \cdot (Z_G + j\omega_0 l_q)}{n_1 \cdot l_q \cdot Z_G \cdot (1 - Z_G - j\omega_0 l_q)}$ ;

[0086]  $K_{G2} = \frac{n_2}{n_1} \cdot \left( \frac{l_N \cdot K_T}{l_q} + \frac{1}{Z_G} \right)$ ;

[0087]  $K_{G3} = \frac{Z_G^2 \cdot j\omega_0 l_q}{Z_G + j\omega_0 l_q}$ ;

[0088]  $K_{G4} = \frac{[(Z_G \cdot j\omega_0 l_q) - (Z_G + j\omega_0 l_q)]}{Z_G \cdot (1 - Z_G - j\omega_0 l_q)}$ ;

[0089]  $K_{G5} = \frac{(Z_G^{-1} + Z_G \cdot j\omega_0 l_q) \cdot (1 + e^{j60^\circ})}{Z_G + j\omega_0 l_q}$ ;

[0090]  $\dot{U}_N$  为中性点电压;  $\dot{E}_C$  为非有效接地系统故障相电势;  $\dot{E}_C$  为非有效接地系统故障相电势;  $K_{G1}$ 、 $K_{G2}$ 、 $K_{G3}$ 、 $K_{G4}$ 、 $K_{G5}$  以及  $K_G$  均为复数增益;  $n_1$ : $n_2$  为单相变压器的匝数比;  $l_N$  为单相变压器主边的电感值,  $l_q$  是单相变压器副边的电感值;  $\omega_0$  是工频 50Hz。

[0091] 步骤 S13 具体实施过程如下:

[0092] 根据本申请的附图 2 所示, 可得到接地变压器 1 的输出线电压与 C 相对中性点电压的电压  $U_{CN}$  的公式 (1); 结合附图 4 所示, 根据理想变压器原理可得公式 (2)

$$[0093] \frac{U_{bc}}{U_{CN}} = \frac{U_{bc}}{U_{c0}} \cdot \frac{U_{c0}}{U_{CC'}} \cdot \frac{U_{CC'}}{U_{CN}} = -n_1 \quad (1)$$

$$[0094] U_N = -\frac{n_1}{n_2} U_{CN} \quad (2)$$

[0095] 结合本申请附图 2、附图 4 和附图 5, 在未考虑变压器漏感的理想情况下, 利用接地变压器 1 和单相变压器 2 进行故障消弧的电压相量图。当配电网 A 相发生单相接地故障时, 开关组合  $S_{cn}$  与  $S_{ap}$  瞬间闭合, 输出的线电压为附图 6 中的  $U_{ca}$ , 此时可在附图 7 中看到  $U_{ca} = -U_A$ , 即输出的线电压与故障相电压幅值相等, 相位相反, 实现电压消弧。同样地, 当配电网 B 相发生单相接地故障时, 开关组合  $S_{an}$  与  $S_{bp}$  瞬间闭合, 输出的线电压为附图 7 中的  $U_{ab}$ ; 配电网 C 相发生单相接地故障时, 开关组合  $S_{bn}$  与  $S_{cp}$  瞬间闭合, 输出的线电压为附图 7 中的  $U_{bc}$ , 此时可在附图 8 中可以看到  $U_{ab} = -U_B$ ,  $U_{bc} = -U_C$ 。

[0096] 由于本申请应用的接地变压器 1 采用的 Z 型接地变压器的 Zny1 接法, 与普通变压器的区别是每一相线圈分为两个相等的部分反方向绕在两个磁柱上, 这样连接的好处是零序磁通相互抵消, 而普通变压器的零序磁通是沿着漏磁磁路流通, 所以 Z 型接地变压器的零序阻抗很小 ( $< 10 \Omega$ ), 而普通变压器要大得多。因此本申请配电网电路的零序电路如附图 8 所

示,在考虑变压器存在漏感时的公式计算便利,利用接地变压器和单相变压器进行故障消弧的等效电路可由附图8简化为附图9。

[0097] 附图8、附图9中的 $L_{1k-T1}$ 与 $3L_{1k-T2}$ 为接地变压器1与单相变压器2的漏感, $Z_s$ 为系统对地参数, $3R_f$ 为发生单相故障时的接地电阻。

[0098] 由基尔霍夫定律可得式(3):

$$\begin{aligned} \dot{U}_n &= U_{zs} + j\omega_0(L_{1k-T1} + 3L_{1k-T2}) \cdot \dot{I}_1 \\ &= U_{zs} + j\omega_0(L_{1k-T1} + 3L_{1k-T2}) \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot \dot{I}_C + \frac{U_{zs}}{Z_s} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

$$= U_{zs} \cdot \left[ \frac{j\omega_0(L_{1k-T1} + 3L_{1k-T2})}{Z_s} + 1 \right] + \frac{1}{3} \cdot j\omega_0(L_{1k-T1} + 3L_{1k-T2}) \cdot \dot{I}_C$$

[0100] 将式(3)整理,可得,

$$\dot{U}_{zs} \cdot \left[ \frac{j\omega_0(L_{1k-T1} + 3L_{1k-T2})}{Z_s} + 1 \right] + \frac{1}{3} \cdot j\omega_0(L_{1k-T1} + 3L_{1k-T2}) \cdot \dot{I}_C - \dot{U}_N = 0 \quad (4)$$

[0102] 由公式(4)可得出结论:

[0103] 由于接地变压器1和单相变压器2存在漏感 $L_{1k-T1}$ 与 $3L_{1k-T2}$ ,因此单独使用这种方法进行消弧,存在很大的误差,不能做到零残流完全消弧,因此需要引入有源逆变器进行更为精确的消弧控制。

[0104] 如附图1所示, $n_1$ 为接地变压器1原副边的匝比, $n_2$ 为单相变压器2原副边的匝比, $C_0$ 和 $R_0$ 为系统对地参数, $R_f$ 为发生单相故障时的接地电阻, $\omega_0$ 为工频50赫兹, $C_a$ 、 $C_b$ 、 $C_c$ 为三相对地电容, $R_a$ 、 $R_b$ 、 $R_c$ 为三相对地电阻

[0105] 由基尔霍夫定理KCL可得Z型接地变压器1一次侧绕组的注入电流 $\dot{I}_{ip}$ 为:

$$\dot{I}_{ip} = -\dot{U}_A(j\omega_0 C_a + \frac{1}{R_a}) - \dot{U}_B(j\omega_0 C_b + \frac{1}{R_b}) - \dot{U}_C(j\omega_0 C_c + \frac{1}{R_c} + \frac{1}{R_f}) \quad (5)$$

[0107] 由于在配电网正常运行时,三相的电源电势 $E_A$ 、 $E_B$ 、 $E_C$ 、相电压 $U_A$ 、 $U_B$ 、 $U_C$ 与中性点电压 $U_N$ 关系如式(6)所示。

$$\begin{cases} \dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0 \\ \dot{E}_C = \dot{U}_C - \dot{U}_N \\ \dot{E}_B = \dot{U}_B - \dot{U}_N \\ \dot{E}_A = \dot{U}_A - \dot{U}_N \end{cases} \quad (6)$$

[0109] 联立式(6)可得

$$\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = 3\dot{U}_N \quad (7)$$

[0111] 令三相对地参数 $C_a = C_b = C_c = C_0$ ,  $R_a = R_b = R_c = R_0$ ,将式(7)代入式(5)可得:

$$\begin{aligned}
 [0112] \quad \dot{I}_{ip} &= -3\dot{U}_N \left( j\omega_0 C_0 + \frac{1}{R_0} \right) - \frac{\dot{U}_C}{R_f} \quad (8) \\
 &= -3\dot{U}_N \left[ \left( j\omega_0 C_0 + \frac{1}{R_0} \right) + \frac{1}{3R_f} \right] - \frac{\dot{E}_C}{R_f}
 \end{aligned}$$

[0113] 取  $K_T = 3 \cdot \left( j\omega_0 C_0 + \frac{1}{R_0} \right)$ , 可得式 (9):

$$[0114] \quad \dot{I}_{ip} = -\dot{U}_N \left( K_T + \frac{1}{R_f} \right) - \frac{\dot{E}_C}{R_f} \quad (9)$$

[0115] 由于  $\dot{U}_N = \dot{U}_C - \dot{E}_C$ , 若要做到零残流完全消弧, 则  $\dot{U}_C = 0$ , 即  $\dot{U}_N = -\dot{E}_C$ , 代入式 (9) 得:

$$[0116] \quad \dot{I}_{ip} = K_T \cdot \dot{E}_C \quad (10)$$

[0117] 由图10和图11所示, 其中  $Z_{inv}$  为有源逆变器3的阻抗,  $Z_G$  为接地变压器1的内阻,  $L_q$  为单相变压器2副边电感,  $L_N$  为单相变压器2主边电感,  $I_2$  为流过单相变压器2副边的电流,  $I_1$  为接地变压器1输出的电流,  $I_{ip}$  为中性点注入电流,  $I_{inv}$  为有源逆变器3输出的电流。

$$[0118] \quad \text{由理想变压器原理, 联立如右四式, } \left\{ \begin{array}{l} \dot{I}_2 = \frac{n_1}{n_2} \dot{I}_{ip} \\ \dot{I}_2 = \dot{I}_1 + \dot{I}_{inv} \\ \dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_s - \dot{U}_q}{Z_G} \\ \dot{I}_{ip} = K_T \cdot \dot{E}_C \end{array} \right. \text{ 可得:}$$

$$[0119] \quad \dot{U}_q = \dot{I}_2 \cdot j\omega_0 l_q = \left( \frac{\dot{U}_s - \dot{U}_q}{Z_G} + \dot{I}_{inv} \right) \cdot j\omega_0 l_q \quad (11)$$

[0120] 由式 (11) 可得中性点变压器二次侧电压  $U_q$  的值:

$$[0121] \quad \dot{U}_q = \frac{\dot{U}_s \cdot j\omega_0 l_q \cdot Z_G + \dot{I}_{inv} \cdot j\omega_0 l_q \cdot Z_G^2}{Z_G + j\omega_0 l_q} \quad (12)$$

[0122] 由于  $\frac{\dot{U}_q}{\dot{U}_N} = \frac{n_2}{n_1}$ , 可得中性点变压器主侧电压  $U_N$  的值:

$$[0123] \quad \dot{U}_N = \frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{\dot{U}_s \cdot j\omega_0 l_q \cdot Z_G + \dot{I}_{inv} \cdot j\omega_0 l_q \cdot Z_G^2}{Z_G + j\omega_0 l_q} \quad (13)$$

[0124] 由基尔霍夫电压 (KVL) 定律可得:

$$[0125] \quad \dot{U}_N = -j\omega_0 l_N \cdot \dot{I}_{ip} \quad (14)$$

[0126] 即中性点变压器二次侧电压 $\dot{U}_q$ 与注入电流 $\dot{I}_{ip}$ 的关系如式(15)所示;

$$[0127] \quad \dot{U}_q = \frac{n_2}{n_1} \cdot \dot{U}_N = -\frac{n_2}{n_1} \cdot j\omega_0 l_N \cdot \dot{I}_{ip} \quad (15)$$

[0128] 与此同时,中性点变压器二次侧电流 $\dot{I}_2$ 与注入电流 $\dot{I}_{ip}$ 的关系如式(16)所示;

$$[0129] \quad \dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_q}{j\omega_0 l_q} = -\frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{l_N}{l_q} \cdot \dot{I}_{ip} \quad (16)$$

[0130] 而逆变器输出的电流 $\dot{I}_{inv}$ 可由式(17)表示:

$$[0131] \quad \dot{I}_{inv} = \dot{I}_2 - \dot{I}_1 = \frac{n_2 \cdot l_N \cdot K_T}{n_1 \cdot l_q} \cdot \dot{U}_N - \frac{\dot{U}_s - \dot{U}_q}{Z_G} \quad (17)$$

[0132] 并将(12)代入(17)可得:

$$[0133] \quad \dot{I}_{inv} = \frac{n_2 \cdot l_N \cdot K_T \cdot Z_G \cdot (Z_G + j\omega_0 l_q) \cdot \dot{U}_N + [n_1 \cdot l_q \cdot (Z_G + j\omega_0 l_q) - n_1 \cdot l_q \cdot (Z_G \cdot j\omega_0 l_q)] \cdot \dot{U}_s}{Z_G \cdot (1 - Z_G - j\omega_0 l_q) \cdot n_1 \cdot l_q} \quad (18)$$

[0134] 式中的 $\dot{U}_s = \dot{U}_{CB} = \dot{E}_C + \dot{E}_C \cdot e^{-j60^\circ} = (1 + e^{-j60^\circ}) \cdot \dot{E}_C$ ;

[0135] 此外,由于有源逆变器3输出电流可表示为 $\dot{I}_{inv} = \frac{\dot{U}_{inv} - \dot{U}_q}{Z_{inv}}$ 以及 $\dot{I}_{inv} = \dot{I}_2 - \dot{I}_1$ ,可得

逆变器输出电压 $\dot{U}_{inv}$ 公式:

$$[0136] \quad \dot{U}_{inv} = (\dot{I}_2 - \dot{I}_1) \cdot Z_{inv} + \dot{U}_q \quad (19)$$

[0137] 将(17)代入(19)得

$$[0138] \quad \dot{U}_{inv} = \left( \frac{n_2 \cdot l_N \cdot K_T}{n_1 \cdot l_q} \cdot \dot{U}_N - \frac{n_1 \cdot \dot{U}_s - n_2 \cdot \dot{U}_N}{n_1 \cdot Z_G} \right) \cdot Z_{inv} + \dot{U}_q \quad (20)$$

[0139] 与此同时,将 $\dot{I}_{inv} = \frac{\dot{U}_{inv} - \dot{U}_q}{Z_{inv}}$ 与 $\dot{U}_q = \frac{n_2}{n_1} \cdot \dot{U}_N$ 、联立式(20)、式(12)可得:

$$[0140] \quad \dot{I}_{inv} = \frac{\frac{n_2}{n_1} \cdot \left( \frac{l_N}{l_q} \cdot K_T + \frac{1}{Z_G} + \frac{1}{Z_{inv}} \right) \cdot \dot{U}_N - \frac{Z_G \cdot j\omega_0 l_q + Z_G^{-1}}{Z_{inv} \cdot (Z_G + j\omega_0 l_q)} \cdot \dot{U}_s}{Z_{inv} + \frac{Z_G^2 \cdot j\omega_0 l_q}{Z_G + j\omega_0 l_q}} \quad (21)$$

[0141] 继续联立式(18)与式(21),即可得出中性点电压 $\dot{U}_N$ 与非有效接地系统故障相电势 $\dot{E}_C$ 之间的关系,公式如下所示,

$$[0142] \quad \dot{U}_N = \frac{K_{G4} \cdot Z_{inv} - \frac{K_{G5}}{K_{G3} + Z_{inv}}}{\frac{K_{G2} + n_2/n_1}{K_{G3} + Z_{inv}} - K_{G1} \cdot Z_{inv}} \cdot \dot{E}_C \quad (22)$$

[0143] 其中,按照变压器短路阻抗计算公式,接地变压器的零序阻抗的感抗部分计算如下。

$$[0144] \quad X_0 = \frac{24.8W^2 \sum \sigma R \rho k_0}{H \times 10^6}$$

[0145] 式中 $X_T$ —接地变压器零序阻抗,  $\Omega$  /相

[0146]  $W$ —接地变压器半绕组匝数

[0147]  $\Sigma \sigma R$ —接地变压器半绕组间等效漏抗面积,  $\text{cm}^2$

[0148]  $\rho$ —洛氏系数

[0149]  $H$ —零序阻抗高度,  $\text{cm}$

[0150]  $k_0$ —横向漏磁系数

[0151] 于是 $Z_G = R_T + jX_T$ ,其中 $R_T$ 接地变压器内阻,且:

$$[0152] \quad K_{G1} = \frac{n_2 \cdot l_N \cdot K_T \cdot Z_G \cdot (Z_G + j\omega_0 l_q)}{n_1 \cdot l_q \cdot Z_G \cdot (1 - Z_G - j\omega_0 l_q)}, \quad K_{G2} = \frac{n_2}{n_1} \cdot \left( \frac{l_N \cdot K_T}{l_q} + \frac{1}{Z_G} \right), \quad K_{G3} = \frac{Z_G^2 \cdot j\omega_0 l_q}{Z_G + j\omega_0 l_q},$$

$$[0153] \quad K_{G4} = \frac{[(Z_G \cdot j\omega_0 l_q) - (Z_G + j\omega_0 l_q)]}{Z_G \cdot (1 - Z_G - j\omega_0 l_q)}, \quad K_{G5} = \frac{(Z_G^{-1} + Z_G \cdot j\omega_0 l_q) \cdot (1 + e^{-j60^\circ})}{Z_G + j\omega_0 l_q},$$

$$[0154] \quad K_G = \frac{(K_{G3} + Z_{\text{inv}}) \cdot K_{G4} \cdot Z_{\text{inv}} - K_{G5}}{(K_{G3} + Z_{\text{inv}}) \cdot K_{G1} \cdot Z_{\text{inv}} - K_{G2} - n_2/n_1};$$

[0155] 即可得:

$$[0156] \quad \dot{U}_N = -K_G \cdot \dot{E}_C \quad (23)$$

[0157] 因此,当 $K_G = 1$ 时,可得 $\dot{U}_N = -\dot{E}_C$ ,实现配电网故障消弧。

[0158] 本申请提供基于非有效接地系统接地消弧装置的非有效接地系统接地消弧方法,在某一实施例中,如附图12所示,包括步骤S21:检测配电网运行状态;

[0159] 步骤S22:是否发生单相接地故障;

[0160] 步骤S23:发生单相接地故障时,分别向接地变压器、有源逆变器输出故障相线电压;

[0161] 步骤S24:分别计算所述接地变压器的内在阻抗 $Z_G$ 、所述有源逆变器的等效输出阻抗 $Z_{\text{inv}}$ ;

[0162] 满足 $\dot{U}_N = -K_G \cdot \dot{E}_C$ ,  $K_G = 1$ ;

$$[0163] \quad \text{其中, } K_G = \frac{(K_{G3} + Z_{\text{inv}}) \cdot K_{G4} \cdot Z_{\text{inv}} - K_{G5}}{(K_{G3} + Z_{\text{inv}}) \cdot K_{G1} \cdot Z_{\text{inv}} - K_{G2} - n_2/n_1};$$

$$[0164] \quad K_{G1} = \frac{n_2 \cdot l_N \cdot K_T \cdot Z_G \cdot (Z_G + j\omega_0 l_q)}{n_1 \cdot l_q \cdot Z_G \cdot (1 - Z_G - j\omega_0 l_q)};$$

$$[0165] \quad K_{G2} = \frac{n_2}{n_1} \cdot \left( \frac{l_N \cdot K_T}{l_q} + \frac{1}{Z_G} \right);$$

$$[0166] \quad K_{G3} = \frac{Z_G^2 \cdot j\omega_0 l_q}{Z_G + j\omega_0 l_q};$$

$$[0167] \quad K_{G4} = \frac{[(Z_G \cdot j\omega_0 l_q) - (Z_G + j\omega_0 l_q)]}{Z_G \cdot (1 - Z_G - j\omega_0 l_q)};$$

$$[0168] \quad K_{G5} = \frac{(Z_G^{-1} + Z_G \cdot j\omega_0 l_q) \cdot (1 + e^{-j60^\circ})}{Z_G + j\omega_0 l_q};$$

[0169]  $\dot{U}_N$  为中性点电压;  $\dot{E}_C$  为非有效接地系统故障相电势;  $\dot{E}_C$  为非有效接地系统故障相电势;  $K_{G1}$ 、 $K_{G2}$ 、 $K_{G3}$ 、 $K_{G4}$ 、 $K_{G5}$  以及  $K_G$  均为复数增益;  $n_1$ 、 $n_2$  为单相变压器的匝数比;  $l_N$  为单相变压器主边的电感值,  $l_q$  是单相变压器副边的电感值;  $\omega_0$  是工频 50Hz。

[0170] 步骤 S25: 还包括调节所述有源逆变器 3 的等效输出阻抗  $Z_{inv}$ , 使所述有源逆变器 3 的输出电流对接地变压器 1 的输出电压相位补偿, 使所述  $Z_{inv} = Z_v + Z_i$ , 其中:  $Z_v$  为微电网逆变器的虚拟复阻抗, 且  $Z_{inv} = R_v + R_i + j\omega_0(l_i - l_v) = mR_v + kj\omega_0 l_v$ , 其中  $R_v$  为虚拟电阻,  $L_v$  为虚拟电感,  $L_v = L_i$ ;  $Z_i$  为线路阻抗。(m, k 为线性系数、 $R_i$  为线路电阻):

$$[0171] \quad \dot{U}_N = -K'_G \cdot \dot{E}_C$$

$$[0172] \quad \text{其中 } K'_G = \frac{K_{G4} \cdot (mR_v + kj\omega_0 l_v) - \frac{K_{G5}}{K_{G3} + mR_v + kj\omega_0 l_v}}{\frac{K_{G2} + n_2/n_1}{K_{G3} + mR_v + kj\omega_0 l_v} - K_{G1} \cdot (mR_v + kj\omega_0 l_v)}$$

[0173] 由于步骤 S21 与步骤 S11 相同, 步骤 S22 与步骤 S12 相同, 步骤 S23 与步骤 S13 相同, 步骤 S24 与步骤 S14 相同, 在本实施例中不在阐述, 将对步骤 25 进行详细介绍。

[0174] 根据单独的有源逆变器 3 进行故障消弧的控制系统工作原理, 其等效电路如附图 13 所示:  $C_1$  和  $L_1$  为滤波参数,  $R_f$  为发生单相故障时的接地电阻,  $\omega_0$  为工频 50 赫兹,  $C_0$  为故障相对地电容,  $R_0$  为故障相对地电阻,  $U_{c1}$  为滤波电容  $C_1$  两端的电压。

[0175] 同时, 有源逆变器 3 的控制系统框图如附图 14 所示, 根据附图 14 写出系统传递函数, 从而计算得到有源逆变器 3 的输出阻抗参考值为:

$$[0176] \quad Z_{inv} = \frac{\dot{U}_{c1}}{\dot{I}_{inv}} = \frac{1 - G_2 - j\omega_0 L_1 G_1}{G_1 \cdot (1 - \omega_0^2 C_1 L_1) - G_2 \cdot (j\omega_0 C_0 + Y_0 + Y_f)} \quad (24)$$

$$[0177] \quad \text{其中, } G_1 = \frac{1 + \frac{SR_0 R_f C_0}{R_0 + R_f}}{S^2 L_1 C_1 + 1 + SL_1 \cdot (1 + \frac{SR_0 R_f C_0}{R_0 + R_f})}, \quad G_2 = \frac{1}{R_f - \frac{SL_1 \cdot (R_0 + R_f + SR_0 R_f C_0)}{R_0 (S^2 L_1 C_1 + 1)}};$$

[0178] 通过调节有源逆变器 3 等效输出阻抗  $Z_{inv}$  为容性或感性, 以此来使得输出电压与输出电流的相位为超前或滞后, 更好的对故障进行快速、精确的灭弧动作, 使配电网系统更加安全和稳定。

[0179] 如上所述, 输出阻抗  $Z_{inv}$  为附图 1 中的有源逆变器 1 的等效输出阻抗, 基于公式 (24)

中所求出的 $Z_{inv}$ 作为参考值,通过描述有源逆变器3控制结构的传递函数控制有源逆变器3的输出阻抗 $Z_{inv}$ 的输出。如附图15所示,通过引入微电网逆变器中对虚拟复阻抗 $Z_v = R_v - j\omega L_v$ 实现对等效输出阻抗 $Z_{inv}$ 的控制。通常,有源逆变器3采用电压电流双闭环控制方式,本方法中电流内环以电容电流为控制对象,选用比例控制器( $G_i(s) = k_{ip}$ )以获得更快的动态响应;电压外环以电容电压为控制对象,选用比例积分控制器( $G_v(s) = k_{vp} + \frac{k_{vi}}{s}$ ),以提高系统的抗性。

[0180] 通过闭环控制,有效实现系统输出电压对参考电压的动态跟踪,因此可将有源逆变器3等效成一个含有内阻的受控电压源,引入虚拟复阻抗乘以有源逆变器输出电流反馈对参考电压进行修正,即将虚拟复阻抗 $Z_v$ 与线路阻抗 $Z_i$ 串联,引入虚拟复阻抗后的有源逆变器等效输出阻抗为 $Z_{inv} = Z_v + Z_i$ 。

[0181] 在传统控制方式下引入适当的虚拟复阻抗 $Z_v = R_v - j\omega L_v$  ( $R_v$ 为虚拟电阻, $L_v$ 为虚拟电感,引入虚拟电感的作用是为了使等效输出阻抗 $Z_{inv}$ 呈感性、容性或阻性。由于引入虚拟复阻抗后的等效输出阻抗为 $Z_{inv} = R_v + R_i + j\omega_0(1_i - 1_v)$ 。

[0182] 因此,当以控制虚拟复阻抗中的电阻 $R_v$ 为主( $R_i$ 为固定参数),且令虚拟电感 $1_v = 1_i$ 时,实现输出阻抗呈纯阻性,使有源逆变器3输出的有功分量与无功分量解耦, $Z_{inv}$ 得到纯阻性控制;当以控制虚拟复阻抗中的电阻 $R_v$ 为主( $R_i$ 为固定参数),且令虚拟电感 $1_v < 1_i$ 时,实现输出阻抗呈感性;当以控制虚拟复阻抗中的电阻 $R_v$ 为主( $R_i$ 为固定参数),且令虚拟电感 $1_v > 1_i$ 时,实现输出阻抗呈容性。

[0183] 如附图16所示,虚线为虚拟复阻抗环。虚拟复阻抗设为 $Z_v = R_v - sL_v \omega_c / (s + \omega_c)$ ,其中, $\omega_c / (s + \omega_c)$ 为一阶低通滤波器截止频率,有利于滤波器滤除对电流微分引入的高频噪声,则有:

$$[0184] \quad V_0(s) = \frac{G_v(s)G_i(s)K_{PWM}V_{ref}(s) - (L_f s + r + G_v(s)G_i(s)K_{PWM}Z_f)i_0(s)}{G_v(s)G_i(s)K_{PWM} + (L_f s + r + G_i(s)K_{PWM})C_f s + 1} \quad (25)$$

[0185] 式中, $L_f$ 为有源逆变器的滤波电感,为 $r$ 为有源逆变器的滤波计生电阻; $C_f$ 为有源逆变器的滤波电容; $K_{PWM}$ 为有源逆变器的电流增益。

[0186] 由式(25)可得,通过引入虚拟复阻抗后,系统等效输出阻抗 $Z_{inv}$ 随着虚拟电阻的增大而增大,且虚拟电阻增大逆变器输出电阻值;而虚拟感抗为负值,呈电容性,可降低逆变器输出阻抗中固有的感性分量,从而使得逆变器输出阻抗在工频下可控制输出为感性、容性或阻性。

[0187] 令引入虚拟复阻抗后的等效输出阻抗 $Z_{inv}$ 呈与公式(24)中参考值 $Z_{inv}$ 相同且呈阻性,则当 $Z_{inv} = R_v + R_i + j\omega_0(1_i - 1_v) = mR_v + kj\omega_0 1_v$ 时, ( $m, k$ 为线性系数、 $R_i$ 为线路电阻),公式(22)可由公式(26)进行表达:

$$[0188] \quad \dot{U}_N = -K'_G \cdot \dot{E}_C \quad (26)$$

$$[0189] \quad \text{其中 } K'_G = \frac{K_{G4} \cdot (mR_v + kj\omega_0 1_v) - \frac{K_{G5}}{K_{G3} + mR_v + kj\omega_0 1_v}}{\frac{K_{G2} + n_2/n_1}{K_{G3} + mR_v + kj\omega_0 1_v} - K_{G1} \cdot (mR_v + kj\omega_0 1_v)}$$

[0190] 即是改变虚拟复阻抗中的实部 $R_v$ 与虚部 $L_v$ ,使消弧增益 $K'_G=1$ ,此时中性点电压与故障相电源电压大小相等,方向相反,即 $\dot{U}_N = -\dot{E}_C$ ,成功将故障相电压置零,实现配电网故障消弧。

[0191] 整个过程是通过对虚拟复阻抗 $Z_v = R_v - sL_v \omega_c / (s + \omega_c)$ 中的 $R_v$ 与 $L_v$ 进行核心控制,并且利用包括但不限于基于PHP、Java、C++、VB以及C语言编程等控制软件算法,实时改变虚拟复阻抗的实部 $R_v$ ,同时调节虚拟电感 $L_v$ ,使引入虚拟复阻抗后的等效输出阻抗 $Z_{inv}$ 呈与公式(24)中参考值 $Z_{inv}$ 相同。此时, $Z_{inv}$ 得到实时控制, $K_G$ 可置1,使 $U_n = -E_c$ ,实现真实有效的电压电流综合消弧控制。

[0192] 本申请提供基于非有效接地系统接地消弧装置的非有效接地系统接地消弧方法,在某一实施例中,如附图17所示:包括步骤S31:检测配电网运行状态;

[0193] 步骤S32:是否发生单相接地故障;

[0194] 步骤S33:还包括依次对A相进行故障判断、B相进行故障判断、C相进行故障判断;

[0195] 步骤S34:分别向接地变压器、有源逆变器输出故障相线电压;

[0196] 步骤S35:分别计算所述接地变压器的内在阻抗 $Z_G$ 、所述有源逆变器的等效输出阻抗 $Z_{inv}$ ;

[0197] 满足 $\dot{U}_N = -K_G \cdot \dot{E}_C$ ,  $K_G = 1$ ;

[0198] 其中,  $K_G = \frac{(K_{G3} + Z_{inv}) \cdot K_{G4} \cdot Z_{inv} - K_{G5}}{(K_{G3} + Z_{inv}) \cdot K_{G1} \cdot Z_{inv} - K_{G2} - n_2/n_1}$ ;

[0199]  $K_{G1} = \frac{n_2 \cdot l_N \cdot K_T \cdot Z_G \cdot (Z_G + j\omega_0 l_q)}{n_1 \cdot l_q \cdot Z_G \cdot (1 - Z_G - j\omega_0 l_q)}$ ;

[0200]  $K_{G2} = \frac{n_2}{n_1} \cdot \left( \frac{l_N \cdot K_T}{l_q} + \frac{1}{Z_G} \right)$ ;

[0201]  $K_{G3} = \frac{Z_G^2 \cdot j\omega_0 l_q}{Z_G + j\omega_0 l_q}$ ;

[0202]  $K_{G4} = \frac{[(Z_G \cdot j\omega_0 l_q) - (Z_G + j\omega_0 l_q)]}{Z_G \cdot (1 - Z_G - j\omega_0 l_q)}$ ;

[0203]  $K_{G5} = \frac{(Z_G^{-1} + Z_G \cdot j\omega_0 l_q) \cdot (1 + e^{-j60^\circ})}{Z_G + j\omega_0 l_q}$ ;

[0204]  $\dot{U}_N$ 为中性点电压; $\dot{E}_C$ 为非有效接地系统故障相电势; $\dot{E}_C$ 为非有效接地系统故障相电势; $K_{G1}$ 、 $K_{G2}$ 、 $K_{G3}$ 、 $K_{G4}$ 、 $K_{G5}$ 以及 $K_G$ 均为复数增益; $n_1$ : $n_2$ 为单相变压器的匝数比; $l_N$ 为单相变压器主边的电感值, $l_q$ 是单相变压器副边的电感值; $\omega_0$ 是工频50Hz。。

[0205] 步骤S36:还包括调节所述有源逆变器的等效输出阻抗 $Z_{inv}$ ,使所述有源逆变器的输出电流对接地变压器的输出电压相位补偿,使所述 $Z_{inv} = Z_v + Z_i$ ,其中: $Z_v$ 为微电网逆变器的虚拟复阻抗,且 $Z_{inv} = R_v + R_i + j\omega_0(l_i - l_v) = mR_v + kj\omega_0 l_v$ ,其中 $R_v$ 为虚拟电阻, $L_v$ 为虚拟电感, $L_v = L_i$ ;  $Z_i$ 为线路阻抗。(m,k为线性系数、 $R_i$ 为线路电阻),公式(22)可由公式(26)进行表

达:

$$[0206] \quad \dot{U}_N = -K'_G \cdot \dot{E}_C \quad (26)$$

$$[0207] \quad \text{其中 } K'_G = \frac{K_{G4} \cdot (mR_v + kj\omega_0 l_v) - \frac{K_{G5}}{K_{G3} + mR_v + kj\omega_0 l_v}}{\frac{K_{G2} + n_2/n_1}{K_{G3} + mR_v + kj\omega_0 l_v} - K_{G1} \cdot (mR_v + kj\omega_0 l_v)}$$

[0208] 由于步骤S31与步骤S11或步骤S21相同,步骤S32与步骤S12或步骤S22相同,步骤S34与步骤S13或步骤S23相同,步骤S35与步骤S24或步骤S14相同,步骤S36与步骤S25相同,将不对步骤S31、步骤S33、步骤S34、步骤S35、步骤S36进行阐述,将对步骤S32进行详细说明。

[0209] 具体实施时,根据对三相对地电压 $U_a$ 、 $U_b$ 、 $U_c$ 采样监测,三相对地电压 $U_a$ 、 $U_b$ 、 $U_c$ 可表示如下:

$$[0210] \quad \begin{cases} U_a = U_{at} \sin(\omega t + \theta_{at}) \\ U_b = U_{bt} \sin(\omega t + \theta_{bt}) \\ U_c = U_{ct} \sin(\omega t + \theta_{ct}) \end{cases}$$

[0211] 步骤一:经过FFT(快速傅里叶变换)计算后得到相应的电压幅值 $U_{at}$ 、 $U_{bt}$ 、 $U_{ct}$ 和相位 $\theta_{at}$ 、 $\theta_{bt}$ 、 $\theta_{ct}$ ;

[0212] 步骤二:取固定采样点数,对三相电压幅值 $U_{at}$ 、 $U_{bt}$ 、 $U_{ct}$ 和相位 $\theta_{at}$ 、 $\theta_{bt}$ 、 $\theta_{ct}$ 进行求均值平滑处理,并实时保存该均值为 $U_{ar}$ 、 $U_{br}$ 、 $U_{cr}$ 和 $\theta_{ar}$ 、 $\theta_{br}$ 、 $\theta_{cr}$ ;

[0213] 步骤三:当检测到瞬时的三相电压幅值 $U_{at}$ 、 $U_{bt}$ 、 $U_{ct}$ 和相位 $\theta_{at}$ 、 $\theta_{bt}$ 、 $\theta_{ct}$ 值与上一次步骤二中所保存的均值 $U_{ar}$ 、 $U_{br}$ 、 $U_{cr}$ 和 $\theta_{ar}$ 、 $\theta_{br}$ 、 $\theta_{cr}$ 之差绝对值分别大于设定的数值时 $\delta_1$ 和 $\lambda_1$ 时,将上一次的均值设定为故障前的电压幅值 $U_{a0}$ 、 $U_{b0}$ 、 $U_{c0}$ 和相位 $\theta_{a0}$ 、 $\theta_{b0}$ 、 $\theta_{c0}$ ,同时将标志位GroundU和Ground $\theta$ 置1,这两个标志位将用于逻辑同步;

[0214] 步骤四:当检测到当前的瞬时三相电压幅值 $U_{at}$ 、 $U_{bt}$ 、 $U_{ct}$ 和相位 $\theta_{at}$ 、 $\theta_{bt}$ 、 $\theta_{ct}$ 与上一次步骤二中所保存的均值 $U_{ar}$ 、 $U_{br}$ 、 $U_{cr}$ 和 $\theta_{ar}$ 、 $\theta_{br}$ 、 $\theta_{cr}$ 之差绝对值分别小于设定的数值时 $\delta_2$ 和 $\lambda_2$ ,且标志位GroundU和Ground $\theta$ 为1时,将标志位GNDU和GND $\theta$ 置1;同时判断三相电压和相位均值 $U_{ar}$ 、 $U_{br}$ 、 $U_{cr}$ 和 $\theta_{ar}$ 、 $\theta_{br}$ 、 $\theta_{cr}$ 是否分别大于故障前的电压幅值和相位 $U_{a0}$ 、 $U_{b0}$ 、 $U_{c0}$ 和 $\theta_{a0}$ 、 $\theta_{b0}$ 、 $\theta_{c0}$ ,如果大于则将相应的幅值标志 $A_u$ 、 $B_u$ 、 $C_u$ 和相位标志 $A_\theta$ 、 $B_\theta$ 、 $C_\theta$ 置1,否则置0;

[0215] 步骤五:在GNDU和GND $\theta$ 为1时:

[0216] 当 $A_u=0$ 、 $B_u=1$ 、 $C_u=1$ ,则判断故障相为A相;

[0217] 当 $A_u=1$ 、 $B_u=0$ 、 $C_u=0$ ,则判断故障相为B相;

[0218] 当 $A_u=1$ 、 $B_u=1$ 、 $C_u=0$ ,则判断故障相为C相;

[0219] 当 $A_u=0$ 、 $B_u=0$ 、 $C_u=1$ ,如果 $A_\theta=1$ 、 $B_\theta=0$ 、 $C_\theta=0$ 则判断出故障相为A相;如果 $A_\theta=0$ 、 $B_\theta=1$ 、 $C_\theta=0$ 则可判断出故障相为B相;在 $A_\theta$ 、 $B_\theta$ 、 $C_\theta$ 为其他状态情况下,当 $U_{at} < U_{bt}$ ,则判断故障相为A相,当 $U_{bt} < U_{at}$ ,则判断故障相为B相。

[0220] 当 $A_u=1$ 、 $B_u=0$ 、 $C_u=0$ ,如果 $A_\theta=0$ 、 $B_\theta=1$ 、 $C_\theta=0$ 则判断出故障相为B相;如果 $A_\theta=0$ 、 $B_\theta=0$ 、 $C_\theta=1$ 则可判断出故障相为C相;在 $A_\theta$ 、 $B_\theta$ 、 $C_\theta$ 为其他状态情况下,当 $U_{bt} < U_{ct}$ ,则判断故障相为B相,当 $U_{ct} < U_{bt}$ ,则判断故障相为C相。

[0221] 当 $A_u=0$ 、 $B_u=1$ 、 $C_u=0$ ,如果 $A_\theta=1$ 、 $B_\theta=0$ 、 $C_\theta=0$ 则判断出故障相为A相;如果 $A_\theta=0$ 、 $B_\theta=0$ 、 $C_\theta=1$ 则可判断出故障相为C相;在 $A_\theta$ 、 $B_\theta$ 、 $C_\theta$ 为其他状态情况下,当 $U_{at} < U_{ct}$ ,则判断

故障相为A相,当 $U_{ct} < U_{at}$ ,则判断故障相为C相。

[0222] 本申请有效结合电压消弧和电流消弧两种方法,充分利用了两种消弧方法的优点,一方面实现了对零序电压的直接控制,能够实现故障瞬间消弧,另一方面实现了对电容电流的完全补偿,做到零残留完全消弧,即同时兼顾了消弧的快速性和准确性。此外,此方式大大降低了对有源逆变器的功率容量要求,降低了设备的成本,提高了消弧系统的可靠性。对本申请所述方法进行建模仿真,仿真结果如附图18所示,系统故障接地电阻设置为 $10\ \Omega$ ,在0.4s时刻将A相经 $10\ \Omega$ 接地电阻接地,0.6s时刻将电压消弧接入,在0.8s时刻接入有源逆变器3消弧装置,在0.4s到0.6s之间接地故障发生,但电压和电流消弧装置均未投入时,故障相电压峰值未700V,接地电流峰值为70A;但在0.6s到0.6s之间进行电压消弧是没有实现完全消弧的,直到在0.8s时刻接入有源逆变器3后对系统故障实现了完全消弧。

[0223] 图19是本申请实施例提供的设备4的硬件结构示意图。如图19所示,该实施例设备4包括:处理单元40、存储单元41以及存储在所述存储单元41中并可在所述处理单元40上运行的计算机程序42,例如情景监测程序。所述处理单元40执行所述计算机程序42时实现上述各个非有效接地系统接地消弧方法实施例中的步骤,例如附图3所示的步骤S11至S14;或者附图12所示的步骤S21至S25;或者附图17所示的步骤S31至S36。

[0224] 示例性的,所述计算机程序42可以被分割成一个或多个模块/单元,所述一个或者多个模块/单元被存储在所述存储单元41中,并由所述处理单元40执行,以完成本申请。所述一个或多个模块/单元可以是能够完成特定功能的一系列计算机程序指令段,该指令段用于描述所述计算机程序42在所述情景监测装置/终端设备4中的执行过程。

[0225] 所述设备4可以是桌上型计算机、笔记本、掌上电脑及云端服务器等计算设备。所述设备4可包括,但不仅限于,处理单元40、存储单元41。本领域技术人员可以理解,图10仅仅是设备4的示例,并不构成对设备4的限定,可以包括比图示更多或更少的部件,或者组合某些部件,或者不同的部件,例如所述终端设备4还可以包括输入输出设备、网络接入设备、总线等。

[0226] 所称处理单元40可以是中央处理单元(Central Processing Unit,CPU),还可以是其他通用处理器、数字信号处理器(Digital Signal Processor,DSP)、专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit,ASIC)、现成可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array,FPGA)或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件等。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等。

[0227] 所述存储单元41可以是内部存储单元,例如硬盘或内存,也可以是外部存储设备,例如插接式硬盘,智能存储卡(Smart Media Card,SMC),安全数字(Secure Digital,SD)卡,闪存卡(Flash Card)等。进一步地,所述存储单元41还可以既包括内部存储单元也包括外部存储设备。所述存储单元41用于存储所述计算机程序以及所述终端设备所需的其他程序和数据。所述存储单元41还可以用于暂时地存储已经输出或者将要输出的数据。

[0228] 所属领域的技术人员可以清楚地了解到,为了描述的方便和简洁,仅以上述各功能单元、模块的划分进行举例说明,实际应用中,可以根据需要而将上述功能分配由不同的功能单元、模块完成,即将所述装置的内部结构划分成不同的功能单元或模块,以完成以上描述的全部或者部分功能。实施例中的各功能单元、模块可以集成在一个处理单元中,也可

以是各个单元单独物理存在,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中,上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能单元的形式实现。另外,各功能单元、模块的具体名称也只是为了便于相互区分,并不用于限制本申请的保护范围。上述系统中单元、模块的具体工作过程,可以参考前述方法实施例中的对应过程,在此不再赘述。

[0229] 在上述实施例中,对各个实施例的描述都各有侧重,某个实施例中未详述或记载的部分,可以参见其它实施例的相关描述。

[0230] 本领域普通技术人员可以意识到,结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤,能够以电子硬件、或者计算机软件和电子硬件的结合来实现。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能,但是这种实现不应认为超出本申请的范围。

[0231] 在本申请所提供的实施例中,应该理解到,所揭露的装置/终端设备和方法,可以通过其它的方式实现。例如,以上所描述的装置/终端设备实施例仅仅是示意性的,例如,所述模块或单元的划分,仅仅为一种逻辑功能划分,实际实现时可以有另外的划分方式,例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统,或一些特征可以忽略,或不执行。另一点,所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通讯连接可以是通过一些接口,装置或单元的间接耦合或通讯连接,可以是电性,机械或其它的形式。

[0232] 所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。

[0233] 另外,在本申请各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理存在,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能单元的形式实现。

[0234] 所述集成的模块/单元如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用,可以存储在一个计算机可读介质中。基于这样的理解,本申请实现上述实施例方法中的全部或部分流程,也可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成,所述的计算机程序可存储于一可读介质中,该计算机程序在被处理器执行时,可实现上述各个方法实施例的步骤。其中,所述计算机程序包括计算机程序代码,所述计算机程序代码可以为源代码形式、对象代码形式、可执行文件或某些中间形式等。所述计算机可读介质可以包括:能够携带所述计算机程序代码的任何实体或装置、记录介质、U盘、移动硬盘、磁碟、光盘、计算机存储器、只读存储器(ROM, Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM, Random Access Memory)、电载波信号、电信信号以及软件分发介质等。需要说明的是,所述计算机可读介质包含的内容可以根据司法管辖区内立法和专利实践的要求进行适当的增减,例如在某些司法管辖区,根据立法和专利实践,计算机可读介质不包括电载波信号和电信信号。

[0235] 以上所述实施例仅用以说明本申请的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本申请进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或替换,并不使相应技术方案的本质脱离本申请各实施例技术方案的精神和范围,均应包

含在本申请的保护范围之内。

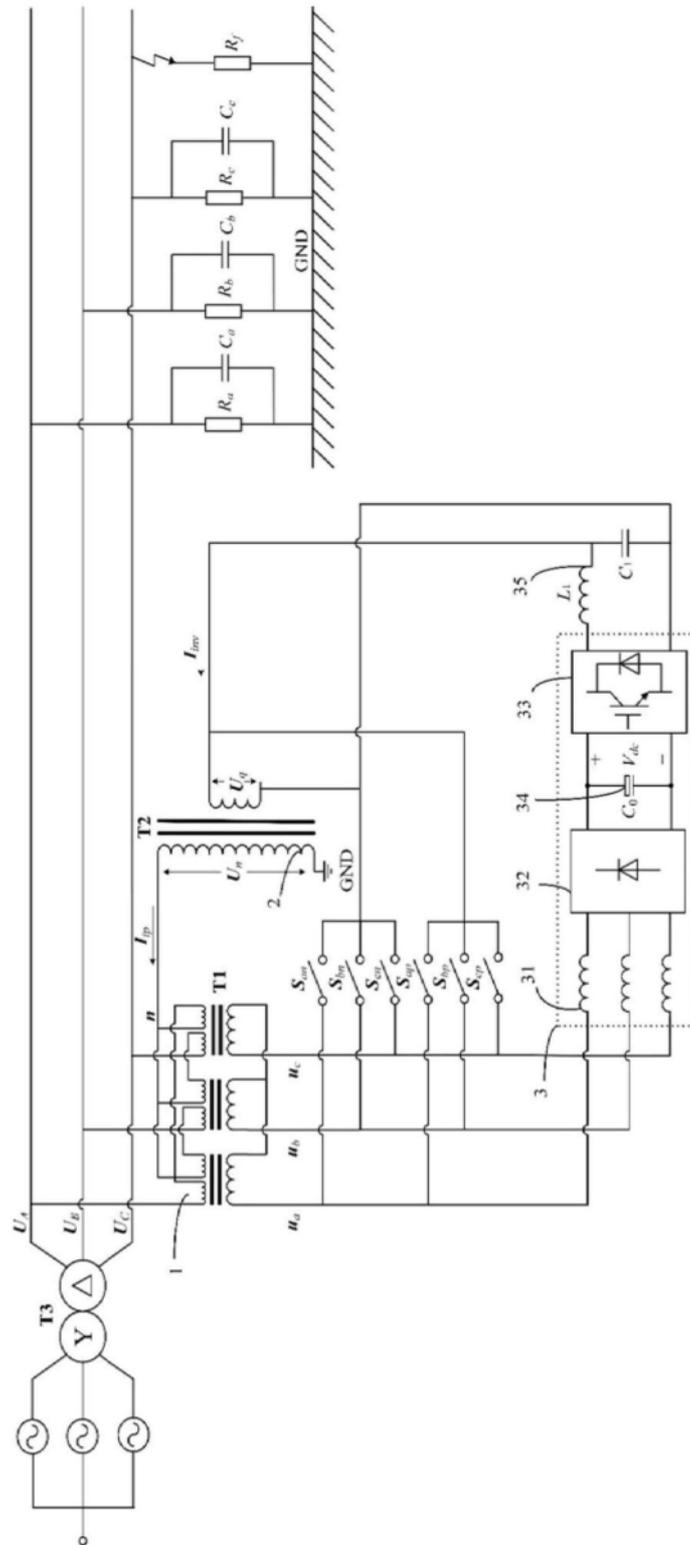


图1

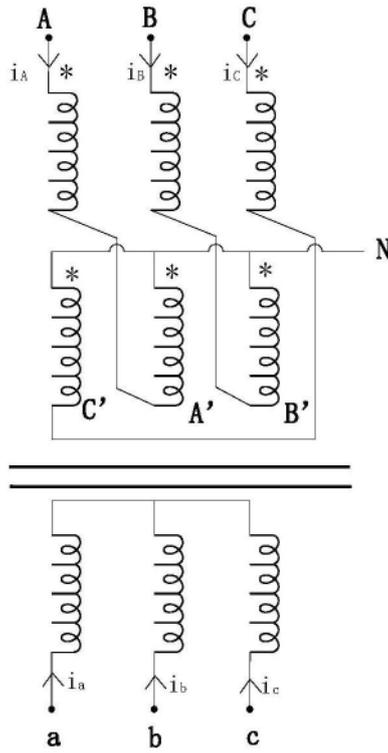


图2

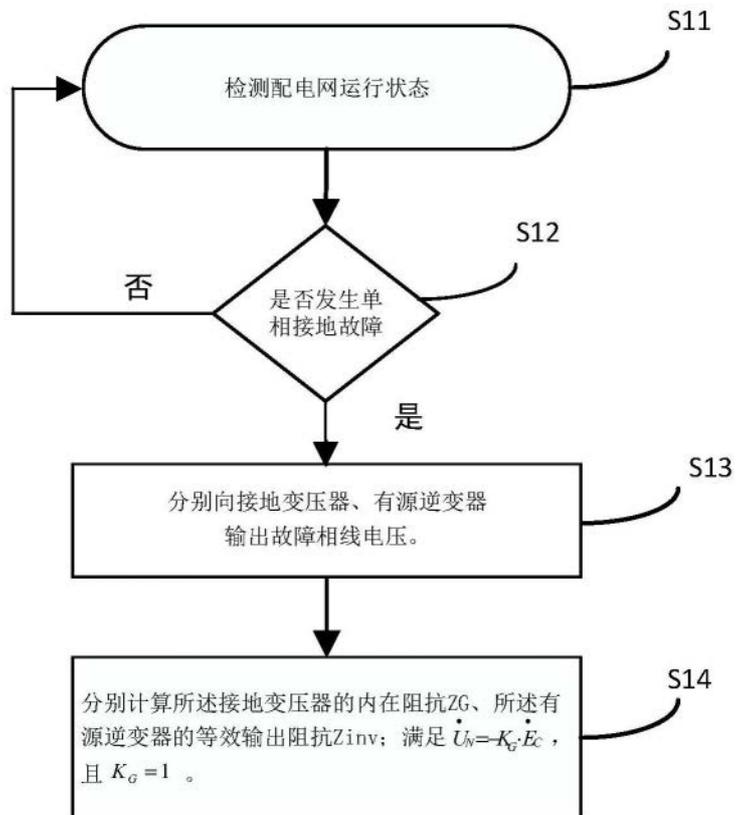


图3

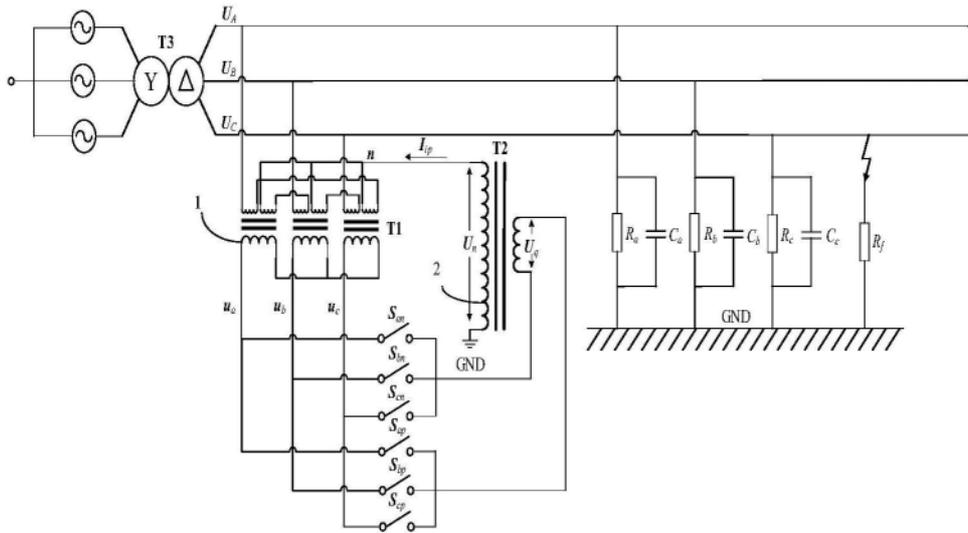


图4

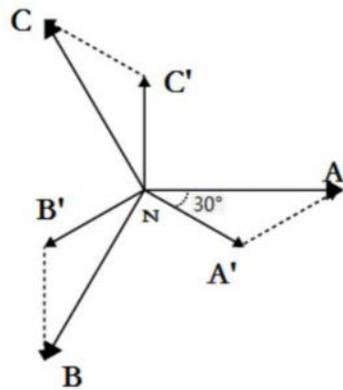


图5

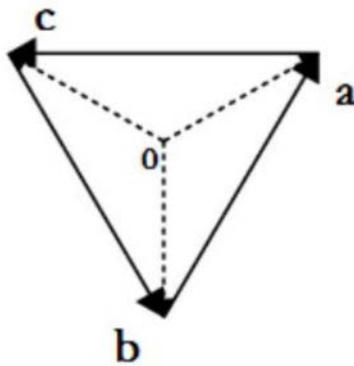


图6

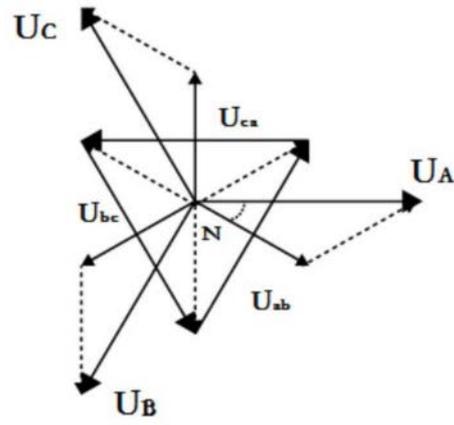


图7

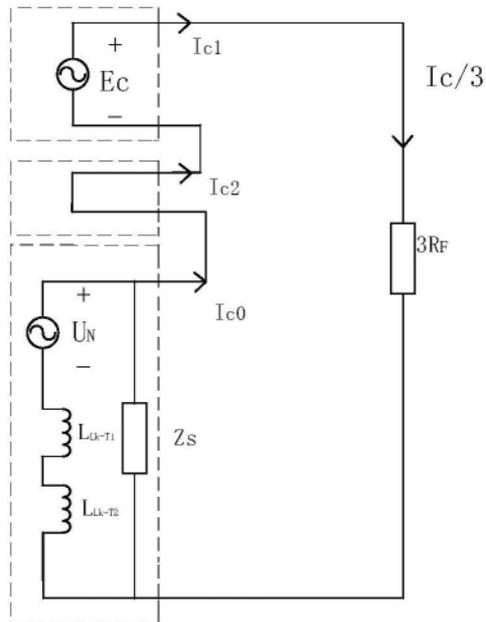


图8

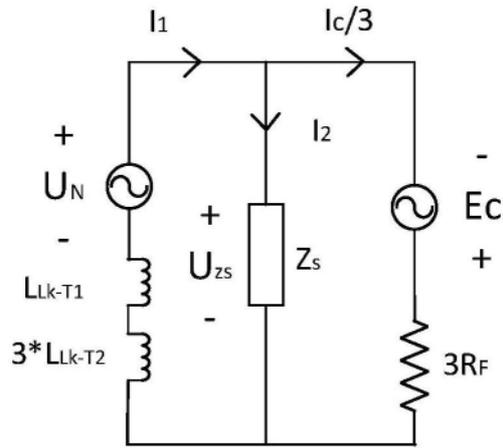


图9

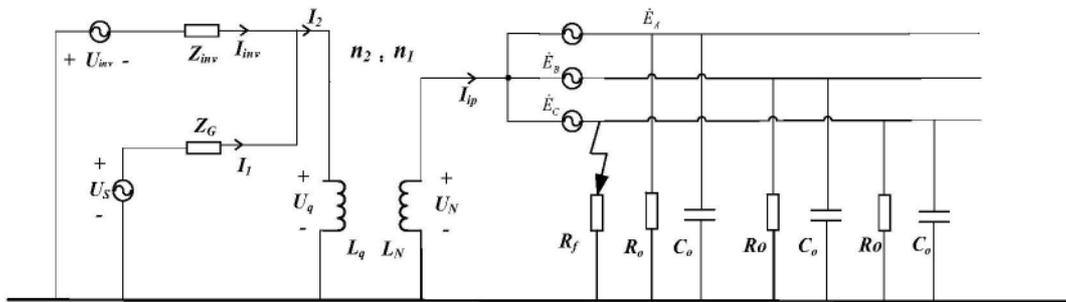


图10

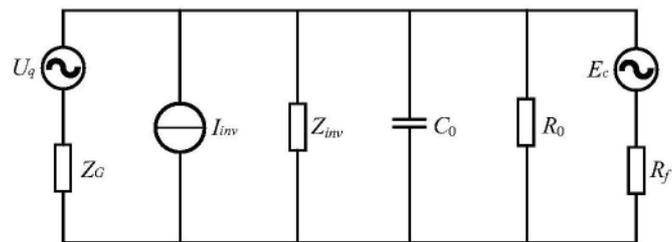


图11

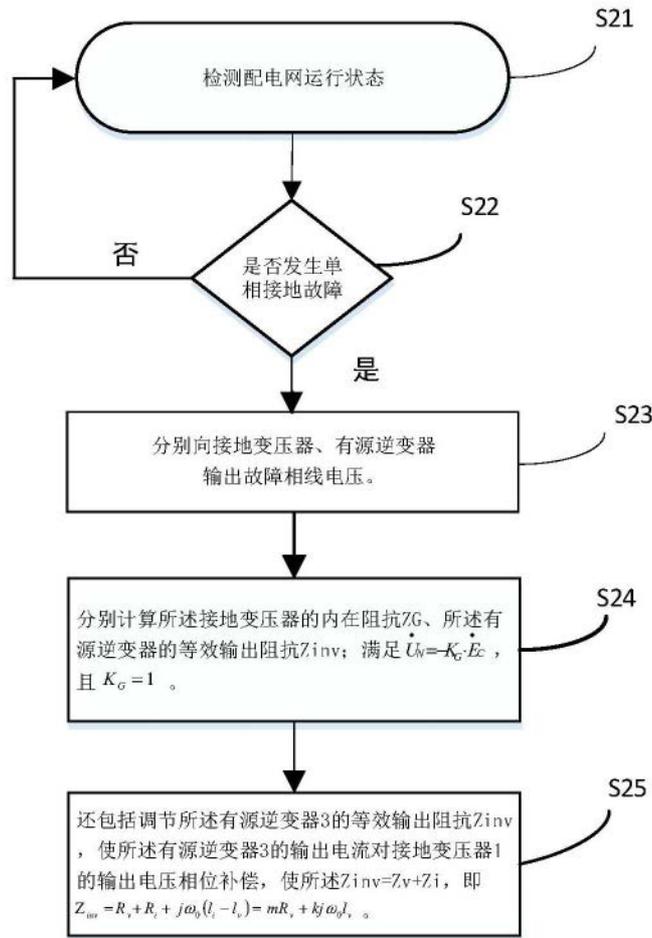


图12

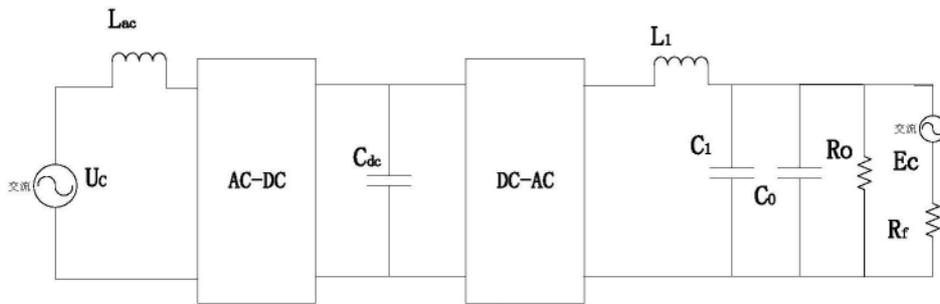


图13

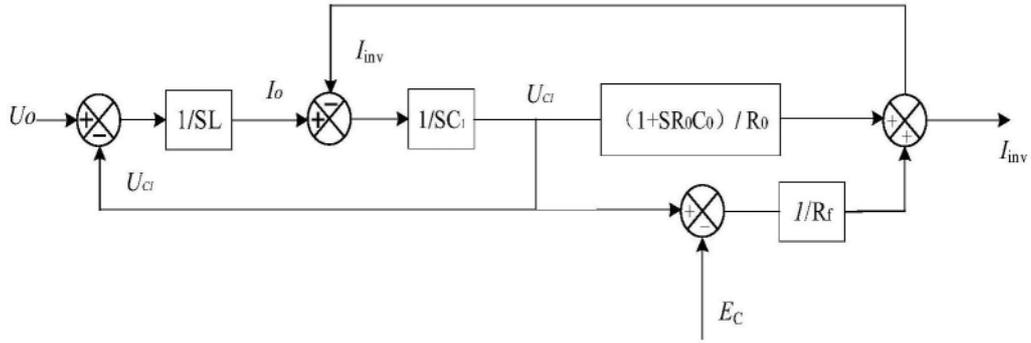


图14

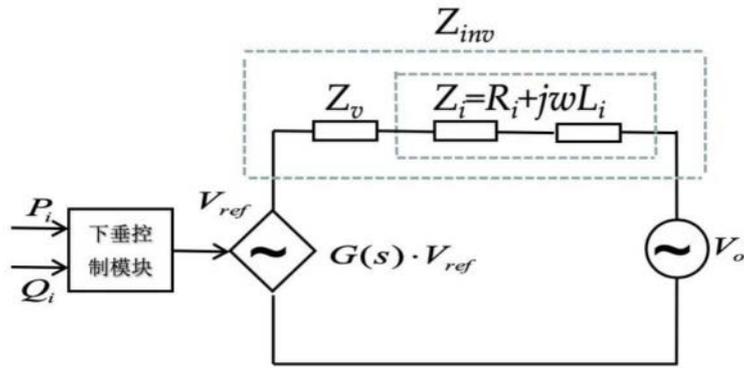


图15

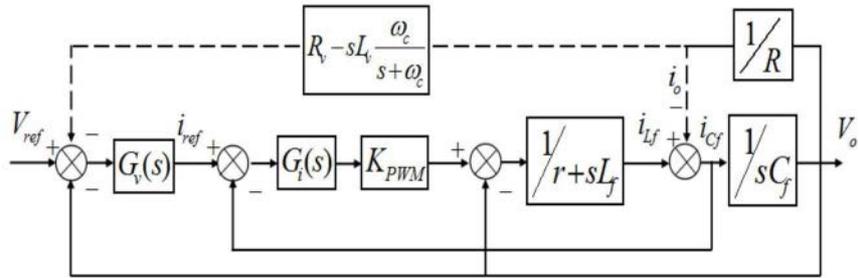


图16

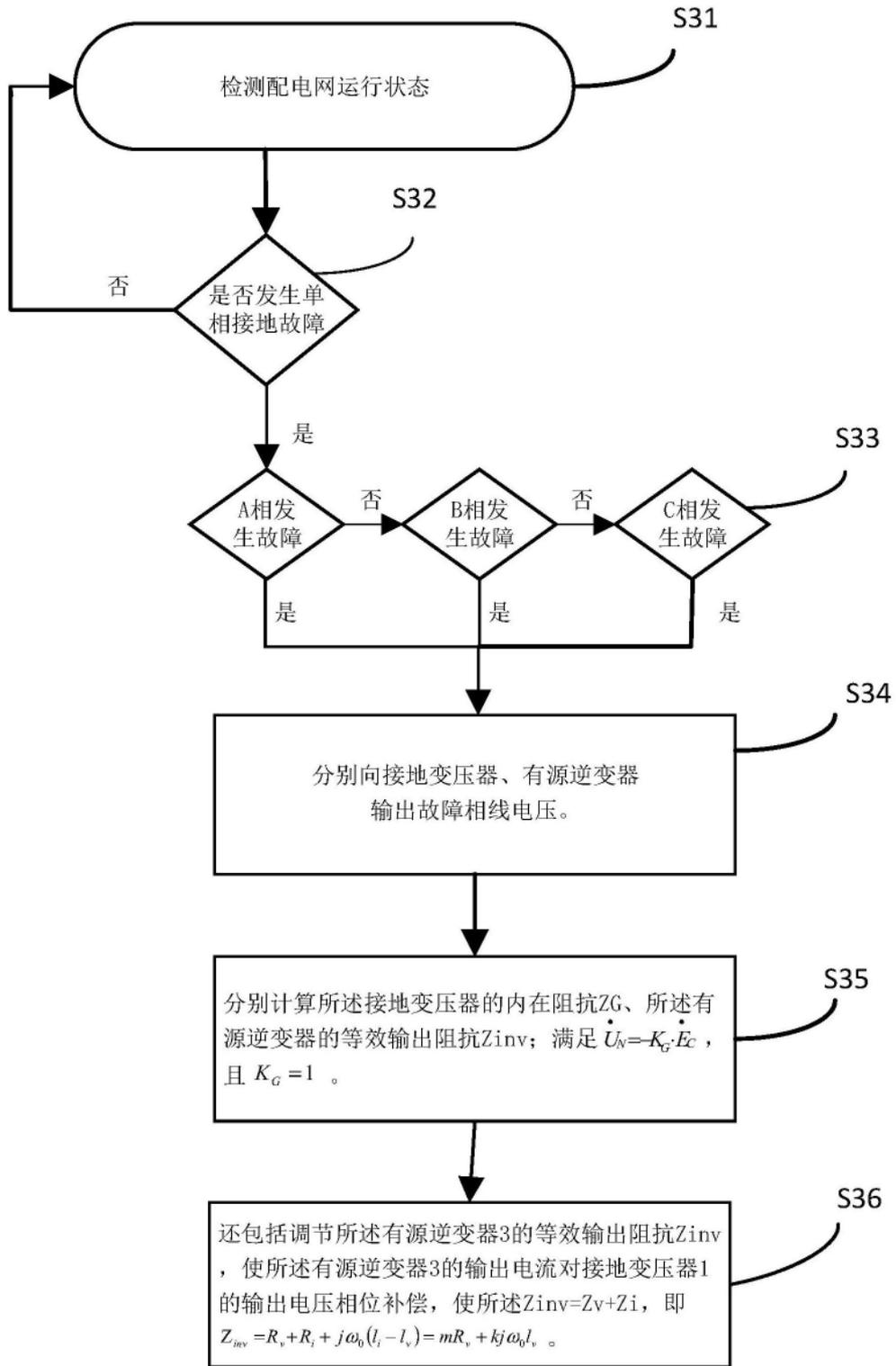


图17

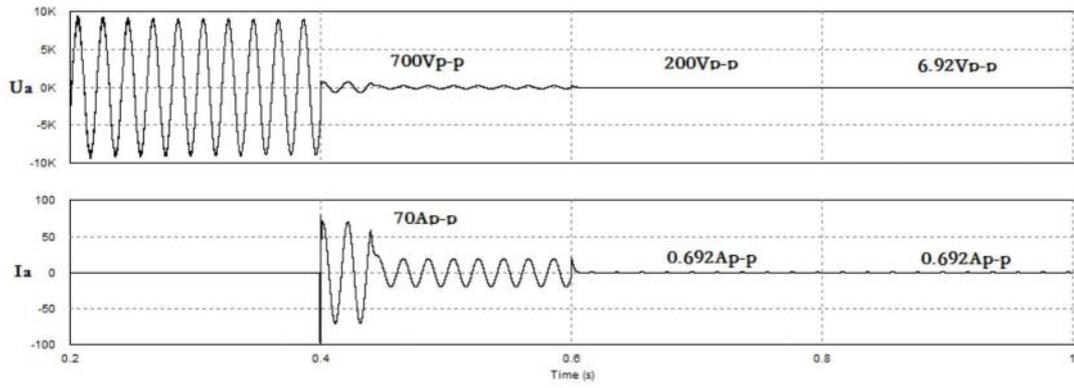


图18

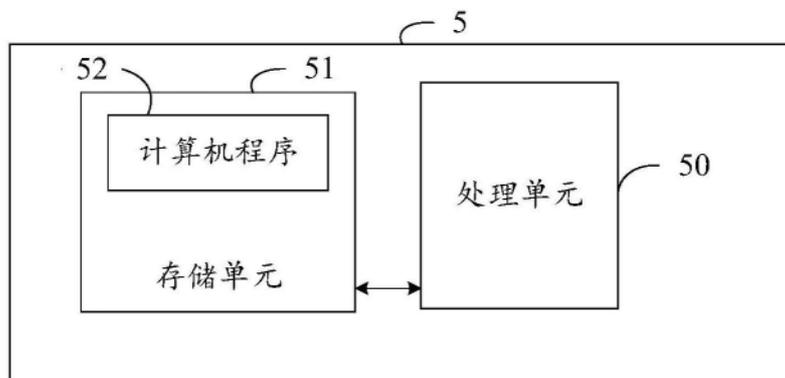


图19