(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105738677 A
(43)申请公布日 2016.07.06

(21)申请号 201410743329.7

(22)申请日 2014.12.07

(71)申请人 中国石油化工股份有限公司
地址 100728 北京市朝阳区朝阳门北大街22号
申请人 中国石油化工股份有限公司抚顺石油化工研究院

(72)发明人 李琼 时振堂 孟凡中 秦文杰 钱志红 李君

(51)Int.Cl.
G01R 19/00(2006.01)
G01R 27/26(2006.01)

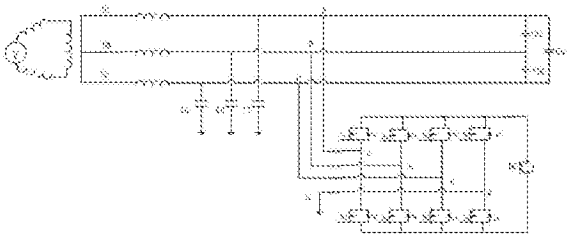
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种电力网对地电容电流检测方法

(57)摘要

本发明公开了一种电力网对地电容电流检测方法，包括如下步骤：在三相电路上安装电流型三相四臂逆变桥；调整工作桥臂分别向A、B、C三相注入检测电流，依次测量中性点偏移电压；利用相电压、注入电流和中性点偏移电压相量计算分相对地电容；按分相对地电容计算分相对地电容电流。本发明提供的电力网对地电容电流检测方法，在原有方法的基础上，利用电力电子器件，分别在A、B、C三相上加入幅值及角度可调的检测电流，并测量三种情况下的中性点位移电压，结合系统相电压，通过计算得到分相对地电容，以此可以分别计算出系统每相对地电容电流。此种方法准确度高，测试简单，安全性好，不中断对用户供电，满足了实际使用的要求。



CN 105738677 A

1.一种电力网对地电容电流检测方法，其特征在于包括如下步骤：

在三相电路上安装电流型三相四臂逆变桥；

调整工作桥臂分别向A、B、C三相注入检测电流，依次测量中性点偏移电压；

利用相电压、注入电流和中性点偏移电压相量计算分相对地电容；

按分相对地电容计算分相对地电容电流。

2.如权利要求1所述的对地电容电流检测方法，其特征在于，所述电流型三相四臂逆变桥包括第一、二、三、四电力电子桥臂和电流源，第一、二、三电力电子桥臂分别接于母线，所述第四电力电子桥臂接地，电流源分别与第一、二、三电力电子桥臂连接。

3.如权利要求1所述的对地电容电流检测方法，其特征在于，所述第一电力电子桥臂，由高频全控型器件S1、S2及其二极管D1、D2组成；

高频全控型器件S1的发射极与高频全控型器件S2的集电极相连，并由S1与S2连接线的a点处通过电感L与A相相连；

S1、S2的发射极与集电极之间设置有续流二极管D1、D2；S1的集电极与可控电流源正极相连接，S2的发射极与可控电流源的负极相连接；

S1、S2的栅极接收控制信号，控制S1、S2的导通与关闭，向A相注入检测电流。

4.如权利要求1所述的对地电容电流检测方法，其特征在于，所述计算分相对地电容的步骤具体包括：

分相对地电容按下式计算：

$$(\dot{U}_A+\dot{U}_0)\omega C_A+\dot{I}+(\dot{U}_B+\dot{U}_0)\omega C_B+(\dot{U}_C+\dot{U}_0)\omega C_C=0$$

其中：$\dot{U}_A$、$\dot{U}_B$、$\dot{U}_C$分别表示A、B、C三相相电压；$\dot{U}_0$表示系统中性点偏移电压；$\dot{I}$表示各相注入电流；ω表示系统角频率，ω＝2πf≈314rad/s；C_A、C_B、C_C分别表示A、B、C三相线路对地电容；

将三相相电压、各相输入电流及其对应的中性点电压作为已知量分别带入上式，得到三个以对地电容为未知量的等值公式，形成方程组，通过计算，得到三相对地电容的表达式。

5.如权利要求4所述的对地电容电流检测方法，其特征在于，三相对地电容的表达式如下：

$$[C_A\ \ C_B\ \ C_C]=-\frac{1}{j\omega}[I_A\ \ I_B\ \ I_C]\begin{bmatrix}\dot{U}_A+\dot{U}_{01} & \dot{U}_A+\dot{U}_{02} & \dot{U}_A+\dot{U}_{03}\\ \dot{U}_B+\dot{U}_{01} & \dot{U}_B+\dot{U}_{02} & \dot{U}_B+\dot{U}_{03}\\ \dot{U}_C+\dot{U}_{01} & \dot{U}_C+\dot{U}_{02} & \dot{U}_C+\dot{U}_{03}\end{bmatrix}^{-1}$$

其中：$\dot{U}_A$、$\dot{U}_B$、$\dot{U}_C$分别表示A、B、C三相相电压；$\dot{U}_0$表示系统中性点偏移电压；$\dot{I}$表示各相注入电流；ω表示系统角频率，ω＝2πf≈314rad/s；C_A、C_B、C_C分别表示A、B、C三相线路对地电容。

6.如权利要求1所述的对地电容电流检测方法，其特征在于，所述分相对地电容电流按下式计算：

$I_C=\omega CU$

其中，U表示相电压，ω表示系统角频率，ω＝2πf≈314rad/s。

一种电力网对地电容电流检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种电力网对地电容电流检测方法，属于电力系统技术领域。

背景技术

[0002] 高压输电因具备降低损耗、提高经济性等明显优势，目前在国内外得到了广泛应用。但三相交流电传输电能的交变性质使线路或线圈与大地之间通过电介质（空气等）形成虚拟电容，在线路中产生电容电流，该电流随着电压等级的升高以及线路变长而增大，使线路两端的电流幅值以及相位随之改变。另外，当线路发生接地时，由于对地电容电流的存在，接地电流变大，可能导致电弧不易熄灭，致使线路、设备损坏，甚至引起火灾。电网中，除了输电线路以外的设备同样具有对地电容。因此，电容电流的准确检测，对于输、配电网的安全稳定运行，具有重要意义。

[0003] 测量电容电流的方法大致可分为直接法和间接法两种。早期测量电容电流一般采用直接法，即单相金属接地法。该方法是将配电线路的某一相通过开关进行人为接地，然后利用电流互感器直接测量接地电流，此电流即为电容电流。该方法操作复杂，若在试验过程中系统发生另外一相接地故障，就会造成两相短路，影响供电可靠性。另外在整个试验过程中，这种方法会对人员以及配电网系统安全构成威胁，因而具有一定的危险性，只在科学研究中使用。

[0004] 目前广泛采用的是间接法，包括中性点外加电容法、偏置电容法、电压互感器开口三角信号注入法、调谐法、变频法等。偏置电容法是人为地在系统某一相上加入一个合适电容，测量中性点偏移电压，然后假设 A、B、C 三相对地电容相等，在此基础上可求出系统对地电容电流。实际系统三相对地电容是不平衡的，用上述方法会存在一定误差，但现场可用三相轮流叠加偏置电容和改变电容量等方法，取算术平均值后，其误差在工程上是可以接受的。此种方法使用的偏置电容需要人为估算，由于偏置电容的大小会直接影响测量结果，因此偏置电容地选取不当可能会造成结果与实际不符。

[0005] 目前大多数测量方法都是在假设系统三相对地电容相等的基础上进行的，有时不能满足工程实际要求。为了保证系统单相接地时保护装置能够有效动作和设置相关保护装置，必须准确测量单相接地电流大小。

发明内容

[0006] 本发明要解决的技术问题是：提供一种电力网对地电容电流的测量方法。

[0007] 为实现上述发明目的，本发明提供如下的技术方案：

[0008] 一种电力网对地电容电流检测方法，包括如下步骤：

[0009] 在三相电路上安装电流型三相四臂逆变桥；

[0010] 调整工作桥臂分别向 A、B、C 三相注入检测电流，依次测量中性点偏移电压；

[0011] 利用相电压、注入电流和中性点偏移电压相量计算分相对地电容；

[0012] 按分相对地电容计算分相对地电容电流。

[0013] 其中较优地，所述电流型三相四臂逆变桥包括第一、二、三、四电力电子桥臂和电流源，第一、二、三电力电子桥臂分别接于母线，所述第四电力电子桥臂接地，电流源分别与第一、二、三电力电子桥臂连接。

[0014] 其中较优地，所述第一电力电子桥臂，由高频全控型器件 S1、S2 及其二极管 D1、D2 组成；

[0015] 高频全控型器件 S1 的发射极与高频全控型器件 S2 的集电极相连，并由 S1 与 S2 连接线的 a 点处通过电感 L 与 A 相相连；

[0016] S1、S2 的发射极与集电极之间设置有续流二极管 D1、D2；S1 的集电极与可控电流源正极相连接，S2 的发射极与可控电流源的负极相连接；

[0017] S1、S2 的栅极接收控制信号，控制 S1、S2 的导通与关闭，向 A 相注入检测电流。

[0018] 其中较优地，所述计算分相对地电容的步骤具体包括：

[0019] 分相对地电容按下式计算：

[0020] $$(\dot{U}_A+\dot{U}_0)\omega C_A+\dot{I}+(\dot{U}_B+\dot{U}_0)\omega C_B+(\dot{U}_C+\dot{U}_0)\omega C_C=0$$

[0021] 其中：$\dot{U}_A$、$\dot{U}_B$、$\dot{U}_C$分别表示 A、B、C 三相相电压；$\dot{U}_0$表示系统中性点偏移电压；i 表示各相注入电流；ω 表示系统角频率，ω = 2πf ≈ 314rad/s；C_A、C_B、C_C分别表示 A、B、C 三相线路对地电容；

[0022] 将三相相电压、各相输入电流及其对应的中性点偏移电压作为已知量分别带入上式，得到三个以对地电容为未知量的等值公式，形成方程组，通过计算，得到三相对地电容的表达式。

[0023] 其中较优地，三相对地电容的表达式如下：

[0024] $$[C_A\ C_B\ C_C]=-\frac{1}{j\omega}[I_A\ I_B\ I_C]\begin{bmatrix}\dot{U}_A+\dot{U}_{01} & \dot{U}_A+\dot{U}_{02} & \dot{U}_A+\dot{U}_{03}\\ \dot{U}_B+\dot{U}_{01} & \dot{U}_B+\dot{U}_{02} & \dot{U}_B+\dot{U}_{03}\\ \dot{U}_C+\dot{U}_{01} & \dot{U}_C+\dot{U}_{02} & \dot{U}_C+\dot{U}_{03}\end{bmatrix}^{-1}$$

[0025] 其中：$\dot{U}_A$、$\dot{U}_B$、$\dot{U}_C$分别表示 A、B、C 三相相电压；$\dot{U}_0$表示系统中性点偏移电压；i 表示各相注入电流；ω 表示系统角频率，ω = 2πf ≈ 314rad/s；C_A、C_B、C_C分别表示 A、B、C 三相线路对地电容。

[0026] 其中较优地，所述分相对地电容电流时按下式计算的：

[0027] I_C= ωCU

[0028] 其中，U 表示相电压，ω 表示系统角频率，ω = 2πf ≈ 314rad/s。

[0029] 本发明的电力网对地电容电流检测方法，在原有方法的基础上，分别在 A、B、C 三相上加入幅值及角度可调的检测电流，并测量三种情况下的中性点位移电压，结合系统相电压，通过计算得到分相对地电容，以此计算对地电容电流。此种方法准确度高，测试简单，安全性好，不中断对用户供电，满足了实际使用的要求。

附图说明

[0030] 图 1 为本发明对地电容电流检测电路图；

[0031] 图 2 为 A 相注入阻性电流前三相电压向量图；

[0032] 图 3 为 A 相注入阻性电流后三相电压向量图。

具体实施方式

[0033] 下面结合附图和实施例，对本发明的具体实施方式作进一步详细描述。以下实施例用于说明本发明，但不用来限制本发明的范围。

[0034] 本发明提供一种电力网对地电容电流检测方法，具体包括如下步骤：在三相电路上安装电流型三相四臂逆变桥；调整工作桥臂分别向 A、B、C 三相注入对地检测电流，依次测量中性点偏移电压；利用相电压、注入电流和中性点偏移电压相量计算分相对地电容；按分相对地电容计算分相对地电容电流。下面对本发明展开详细的说明。

[0035] 首先，介绍在三相电路上安装电流型三相四臂逆变桥的步骤。

[0036] 如图 1 所示，电流型三相四臂逆变桥包括第一、二、三、四电力电子桥臂和电流源，第一、二、三电力电子桥臂分别接于母线，所述第四电力电子桥臂接地，电流源分别与第一、二、三电力电子桥臂连接。

[0037] 第一电力电子桥臂，由高频全控型器件 S1、S2 及其二极管 D1、D2 组成；第二电力电子桥臂，由高频全控型器件 S3、S4 及其二极管 D3、D4 组成；第三电力电子桥臂，由高频全控型器件 S5、S6 及其二极管 D5、D6 组成；第四电力电子桥臂，由高频全控型器件 S7、S8 及其二极管 D7、D8 组成。其中高频全控型器件包括 IGBT、IGCT、GTO、MOSFET 等。

[0038] 下面以高频全控型器件采用 N 沟道 PNP 型的 IGBT 为例，介绍三相四臂逆变桥。

[0039] 第一电力电子桥臂中，IGBT S1 的发射极与 IGBT S2 的集电极相连，并由 S1 与 S2 连接线的 a 点处通过电感 L 与 A 相相连；S1、S2 的发射与集电极之间设置有续流二极管 D1、D2，具有保护作用；S1 的集电极与可控电流源正极相连接，S2 的发射极与可控电流源的负极相连接；S1、S2 的栅极接收控制信号，控制 S1、S2 的导通与关闭，向 A 相注入检测电流。

[0040] 第二电力电子桥臂中，IGBT S3 的发射极与 IGBT S4 的集电极相连，并由 S3 与 S4 连接线的 b 点处通过电感 L 与 B 相相连；S3、S4 的发射极与集电极之间设置有续流二极管 D3、D4，具有保护作用；S3 的集电极与可控电流源正极相连接，S4 的发射极与可控电流源的负极相连接；S3、S4 的栅极接收控制信号，控制 S3、S4 的导通与关闭，向 B 相注入检测电流。

[0041] 第三电力电子桥臂与第一、二电力电子桥臂的结构相同，不再赘述。

[0042] 第四电力电子桥臂中，IGBT S7 的发射极与 IGBT S8 的集电极相连，并由 S7 与 S8 连接线的 g 点处通过电感 L 接地处理；S7、S8 的发射极与集电极之间设置有续流二极管 D7、D8，具有保护作用；S7 的集电极与可控电流源正极相连接，S7 的集电极与可控电流源的负极相连接；S7、S8 的栅极接收控制信号，控制 S7、S8 的导通与关闭，向大地注入检测电流，以构成单相对地电流通道。

[0043] 当向 A、B、C 三相中的任一相对地注入电流时，电压互感器 PT 采集 A、B、C 三相对地电压，检测电压变化。

[0044] 其次，介绍调整工作桥臂分别向 A、B、C 三相线路注入检测电流，依次测量中性点偏移电压的步骤；

[0045] 通过控制三相逆变桥臂中通断比可以选择检测电流的导通相并控制检测电流的性质及幅值。

[0046] 下面以向 A 相通入阻性电流为例对检测过程进行说明。

[0047] 首先开通 A 相桥臂、关闭 B、C 两相桥臂。在加入检测电流前电压相量图如图 2 所示。向 A 相注入 5A 阻性电流，记为$\dot{I}_A = 5\angle 0^\circ_A$。在系统电压互感器 PT 二次侧开口三角端利用电压表 V 测量中性点偏移电压，记为$\dot{U}_{01}$，加入检测电流后电压相量图 3 所示。依据上述方法依次向 B、C 两相注入 5A 相对阻性电流，即$\dot{I}_B = 5\angle 120^\circ_A$、$\dot{I}_C = 5\angle -120^\circ_A$，分别测量两种情况下的中性点偏移电压，记为记为$\dot{U}_{02}$、$\dot{U}_{03}$。

[0048] 再次，介绍利用相电压、注入电流和中性点偏移电压相量计算分相对地电容的步骤。

[0049] 根据戴维南定理如式 (1) 所示：

[0050] $$(\dot{U}_A + \dot{U}_0)\omega C_A + \dot{I} + (\dot{U}_B + \dot{U}_0)\omega C_B + (\dot{U}_C + \dot{U}_0)\omega C_C = 0 \quad (1)$$

[0051] 其中：$\dot{U}_A$、$\dot{U}_B$、$\dot{U}_C$分别表示 A、B、C 三相相电压；$\dot{U}_0$表示系统中性点偏移电压；i 表示各相注入电流；ω 表示系统角频率，ω = 2 π f ≈ 314rad/s；C_A、C_B、C_C分别表示 A、B、C 三相线路对地电容。

[0052] 将 A、B、C 三相相电压$\dot{U}_A$、$\dot{U}_B$、$\dot{U}_C$、各相输入电流 i_A、i_B、i_C及其对应的中性点电压$\dot{U}_{01}$、$\dot{U}_{02}$、$\dot{U}_{03}$作为已知量分别带入式 (1)，得到三个以 C_A、C_B、C_C为未知量的等值公式，如式 (2) 所示。

[0053] $$\begin{cases}(\dot{U}_A + \dot{U}_{01})\omega C_A + \dot{I}_A + (\dot{U}_B + \dot{U}_{01})\omega C_B + (\dot{U}_C + \dot{U}_{01})\omega C_C = 0\\(\dot{U}_A + \dot{U}_{02})\omega C_A + (\dot{U}_B + \dot{U}_{02})\omega C_B + \dot{I}_B + (\dot{U}_C + \dot{U}_{02})\omega C_C = 0\\(\dot{U}_A + \dot{U}_{03})\omega C_A + (\dot{U}_B + \dot{U}_{03})\omega C_B + (\dot{U}_C + \dot{U}_{03})\omega C_C + \dot{I}_C = 0\end{cases} \quad (2)$$

[0054] 将式 (2) 改写成矩阵形式，如式 (3) 所示。

[0055] $$[C_A \quad C_B \quad C_C]\begin{bmatrix}(\dot{U}_A + \dot{U}_{01})\omega & (\dot{U}_A + \dot{U}_{02})\omega & (\dot{U}_A + \dot{U}_{03})\omega\\(\dot{U}_B + \dot{U}_{01})\omega & (\dot{U}_B + \dot{U}_{02})\omega & (\dot{U}_B + \dot{U}_{03})\omega\\(\dot{U}_C + \dot{U}_{01})\omega & (\dot{U}_C + \dot{U}_{02})\omega & (\dot{U}_C + \dot{U}_{03})\omega\end{bmatrix} + [\dot{I}_A \quad \dot{I}_B \quad \dot{I}_C] = 0 \quad (3)$$

[0056] 经过推导，最终可得到三相对地电容表达式，如式 (4) 所示。

[0057] $$[C_A \quad C_B \quad C_C] = -\frac{1}{j\omega}[\dot{I}_A \quad \dot{I}_B \quad \dot{I}_C]\begin{bmatrix}\dot{U}_A + \dot{U}_{01} & \dot{U}_A + \dot{U}_{02} & \dot{U}_A + \dot{U}_{03}\\\dot{U}_B + \dot{U}_{01} & \dot{U}_B + \dot{U}_{02} & \dot{U}_B + \dot{U}_{03}\\\dot{U}_C + \dot{U}_{01} & \dot{U}_C + \dot{U}_{02} & \dot{U}_C + \dot{U}_{03}\end{bmatrix}^{-1} \quad (4)$$

[0058] 最后，介绍按分相对地电容计算分相对地电容电流。

[0059] 将三相对地电容值 C_A、C_B、C_C分别带入式 (5)，即可求出系统单相对地电容电流。

[0060] $I_C = \omega CU$ (5)

[0061] 其中，U 表示相电压，ω 表示系统角频率，ω = 2 π f ≈ 314rad/s，中国电力系统额定频率 f = 50Hz。

[0062] 另外，系统对地电容是三相对地电容 C_A、C_B、C_C之和。将三相对地电容之和带入式 (5) 后可得到系统对地电容电流值。

[0063] 综上所述，本发明提供的电力网对地电容电流检测方法，操作简单，测量方便，具有较高的灵活性与准确性，可通过调节输入电流幅值和角度改变中性点电压大小，使测量结果更加精确可靠；通过测量可得到系统分相对地电容电流，为线路的继电保护配置提供参考依据。

[0064] 以上实施方式仅用于说明本发明，而并非对本发明的限制，有关技术领域的普通技术人员，在不脱离本发明的精神和范围的情况下，还可以做出各种变化和变型，因此所有等同的技术方案也属于本发明的范畴，本发明的专利保护范围应由权利要求限定。

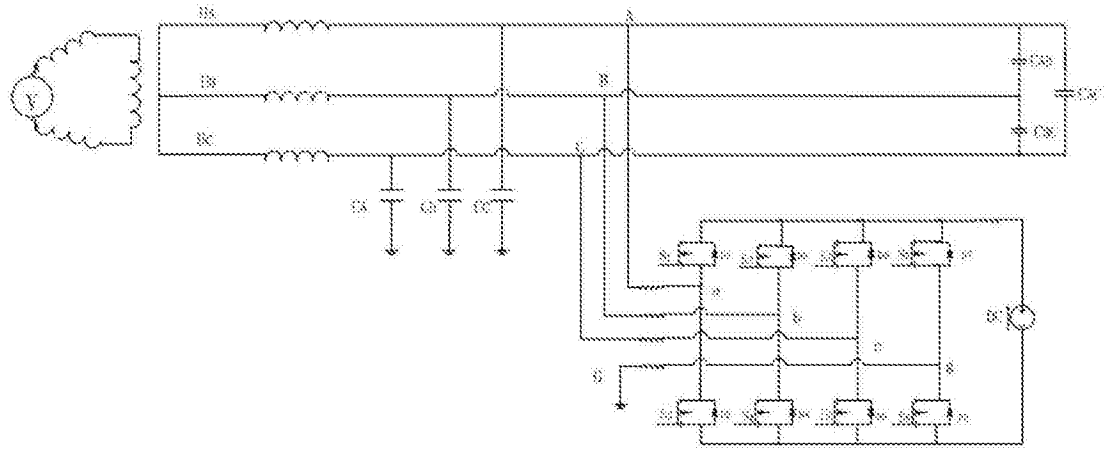


图 1

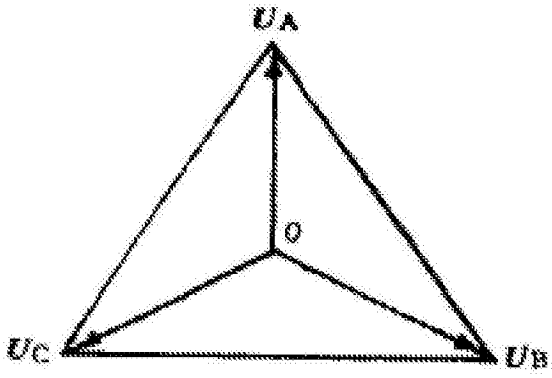


图 2

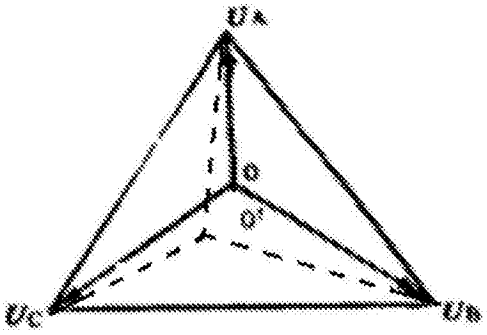


图 3