



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110135039 A

(43)申请公布日 2019.08.16

(21)申请号 201910376065.9

(22)申请日 2019.05.07

(71)申请人 国网冀北电力有限公司电力科学研究院

地址 100045 北京市西城区复兴门外地藏庵南巷一号

申请人 国家电网有限公司 中国农业大学  
国网冀北电力有限公司

(72)发明人 陈璨 刘辉 吴林林 巨云涛  
张永华 邓晓洋 李雨

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

代理人 孙乳笋 王涛

(51)Int.Cl.

G06F 17/50(2006.01)

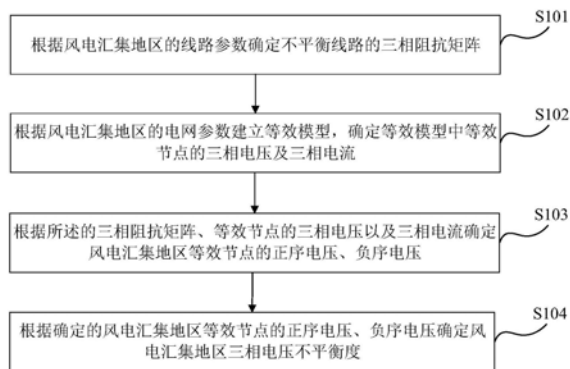
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

风电汇集地区三相电压不平衡度确定方法及装置

(57)摘要

本发明提供了一种风电汇集地区三相电压不平衡度确定方法及装置,方法包括:根据风电汇集地区的线路参数确定不平衡线路的三相阻抗矩阵;根据风电汇集地区的电网参数建立等效模型,确定等效模型中等效节点的三相电压及三相电流;根据所述的三相阻抗矩阵、等效节点的三相电压以及三相电流确定风电汇集地区等效节点的正序电压、负序电压;根据确定的风电汇集地区等效节点的正序电压、负序电压确定风电汇集地区三相电压不平衡度。利用本发明可以简单明确地分析影响风电场三相电压不平衡的关键因素,对于探究大规模风电汇集地区的电压不平衡机理具有重要的指导意义。



1. 一种风电汇集地区三相电压不平衡度确定方法,其特征在于,所述的方法包括:

根据风电汇集地区的线路参数确定不平衡线路的三相阻抗矩阵;

根据风电汇集地区的电网参数和拓扑结构建立等效模型,确定等效模型中等效节点的三相电压及三相电流,其中,所述的等效模型为风电汇集地区等效节点与外部电网等效节点之间的电路等效模型;

根据所述的三相阻抗矩阵、等效节点的三相电压以及三相电流确定风电汇集地区等效节点的正序电压、负序电压;

根据确定的风电汇集地区等效节点的正序电压、负序电压确定风电汇集地区三相电压不平衡度。

2. 如权利要求1所述的风电汇集地区三相电压不平衡度确定方法,其特征在于,所述的风电汇集地区的线路参数包括:风电汇集地区的线路长度、线路型号以及杆塔架设参数。

3. 如权利要求1所述的风电汇集地区三相电压不平衡度确定方法,其特征在于,所述的根据所述的三相阻抗矩阵、等效节点的三相电压以及三相电流确定风电汇集地区等效节点的正序电压、负序电压包括:

根据风电汇集地区等效节点的三相电压、外部电网等效节点的三相电压确定风电汇集地区等效节点的三序电压、外部电网等效节点的三序电压;

根据所述的三相电流确定三序电流;

根据所述的风电汇集地区等效节点的三序电压、外部电网等效节点的三序电压、三序电流以及三相阻抗矩阵确定风电汇集地区等效节点的正序电压、负序电压。

4. 如权利要求3所述的风电汇集地区三相电压不平衡度确定方法,其特征在于,确定的风电汇集地区等效节点的负序电压为:

$$\dot{U}_{M,2} = z_{21} \dot{I}_1 + z_{22} \dot{I}_2$$

其中,  $\dot{U}_{M,2}$  为风电汇集地区等效节点的负序电压;

$z_{21}$  为三序阻抗矩阵中正负序耦合系数;  $z_{22}$  为三序阻抗矩阵中等效负序阻抗;

$\dot{I}_1$  为线路正序电流;  $\dot{I}_2$  为线路负序电流。

5. 一种风电汇集地区三相电压不平衡度确定装置,其特征在于,所述的装置包括:

阻抗矩阵确定模块,用于根据风电汇集地区的线路参数确定不平衡线路的三相阻抗矩阵;

模型确定模块,用于根据风电汇集地区的电网参数和拓扑结构建立等效模型,确定等效模型中等效节点的三相电压及三相电流,其中,所述的等效模型为风电汇集地区等效节点与外部电网等效节点之间的电路等效模型;

正负序电压确定模块,用于根据所述的三相阻抗矩阵、等效节点的三相电压以及三相电流确定风电汇集地区等效节点的正序电压、负序电压;

不平衡度确定模块,用于根据确定的风电汇集地区等效节点的正序电压、负序电压确定风电汇集地区三相电压不平衡度。

6. 如权利要求5所述的风电汇集地区三相电压不平衡度确定装置,其特征在于,所述的风电汇集地区的线路参数包括:风电汇集地区的线路长度、线路型号以及杆塔架设参数。

7. 如权利要求5所述的风电汇集地区三相电压不平衡度确定装置,其特征在于,正负序

电压确定模块包括：

三序电压确定单元，用于根据风电汇集地区等效节点的三相电压、外部电网等效节点的三相电压确定风电汇集地区等效节点的三序电压、外部电网等效节点的三序电压；

三序电流确定单元，用于根据所述的三相电流确定三序电流；

节点正负序电压确定单元，用于根据所述的风电汇集地区等效节点的三序电压、外部电网等效节点的三序电压、三序电流以及三相阻抗矩阵确定风电汇集地区等效节点的正序电压、负序电压。

8. 如权利要求7所述的风电汇集地区三相电压不平衡度确定装置，其特征在于，所述的节点正负序电压确定单元确定的风电汇集地区等效节点的负序电压为：

$$\dot{U}_{M,2} = z_{21} \dot{I}_1 + z_{22} \dot{I}_2$$

其中， $\dot{U}_{M,2}$  为风电汇集地区等效节点的负序电压；

$z_{21}$  为三序阻抗矩阵中正负序耦合系数； $z_{22}$  为三序阻抗矩阵中等效负序阻抗；

$\dot{I}_1$  为线路正序电流； $\dot{I}_2$  为线路负序电流。

9. 一种计算机设备，包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，其特征在于，所述处理器执行所述计算机程序时实现权利要求1至4任一所述方法。

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执行权利要求1至4任一所述方法的计算机程序。

## 风电汇集地区三相电压不平衡度确定方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电力技术,具体的讲是一种风电汇集地区三相电压不平衡度确定方法及装置。

### 背景技术

[0002] 风电多采用大规模集中开发、远距离传输的模式,由于缺少常规电源的支撑且网架结构较为薄弱,在大规模风电汇集地区经常发生电压不平衡现象。严重的电压不平衡对风电场和电网的安全稳定运行均会产生危害。电压不平衡会造成风机定、转子绕组发热和增损,甚至触发风电机组的不平衡保护动作,造成风机脱网事故。电网的电压不平衡度需满足对于电力系统公共连接点电压不平衡度限值的要求:电网正常运行时,负序电压不平衡度不超过2%,短时不超过4%。

[0003] 此外,根据现有技术设计规范,长度小于100公里的架空输电线路采用不换位的架设方式,线路换位会造成输电线路阻抗参数不平衡,而风电机组不同出力也会影响风电场电压不平衡度。因此,有必要对大规模风电汇集地区电压不平衡度的关键影响因素进行分析。

### 发明内容

[0004] 为了对风电汇集地区的不平衡度影响因素进行分析,本发明实施例提供了一种风电汇集地区三相电压不平衡度确定方法,包括:

[0005] 根据风电汇集地区的线路参数确定不平衡线路的三相阻抗矩阵;

[0006] 根据风电汇集地区的电网参数和拓扑结构建立等效模型,确定等效模型中等效节点的三相电压及三相电流,其中,所述的等效模型为风电汇集地区等效节点与外部电网等效节点之间的电路等效模型;

[0007] 根据所述的三相阻抗矩阵、等效节点的三相电压以及三相电流确定风电汇集地区等效节点的正序电压、负序电压;

[0008] 根据确定的风电汇集地区等效节点的正序电压、负序电压确定风电汇集地区三相电压不平衡度。

[0009] 本发明实施例中,所述的风电汇集地区的线路参数包括:风电汇集地区的线路长度、线路型号以及杆塔架设参数。

[0010] 本发明实施例中,所述的根据所述的三相阻抗矩阵、等效节点的三相电压以及三相电流确定风电汇集地区等效节点的正序电压、负序电压包括:

[0011] 根据风电汇集地区等效节点的三相电压、外部电网等效节点的三相电压确定风电汇集地区等效节点的三序电压、外部电网等效节点的三序电压;

[0012] 根据所述的三相电流确定三序电流;

[0013] 根据所述的风电汇集地区等效节点的三序电压、外部电网等效节点的三序电压、三序电流以及三相阻抗矩阵确定风电汇集地区等效节点的正序电压、负序电压。

[0014] 本发明实施例中,确定的风电汇集地区等效节点的负序电压为:

$$[0015] \quad \dot{U}_{M,2} = z_{21}\dot{I}_1 + z_{22}\dot{I}_2$$

[0016] 其中, $\dot{U}_{M,2}$ 为风电汇集地区等效节点的负序电压;

[0017]  $z_{21}$ 三序阻抗矩阵中正负序耦合系数; $z_{22}$ 为三序阻抗矩阵中等效负序阻抗;

[0018]  $\dot{I}_1$ 为线路正序电流; $\dot{I}_2$ 为线路负序电流。

[0019] 同时,本发明还提供一种风电汇集地区三相电压不平衡度确定装置,包括:

[0020] 阻抗矩阵确定模块,用于根据风电汇集地区的线路参数确定不平衡线路的三相阻抗矩阵;

[0021] 模型确定模块,用于根据风电汇集地区的电网参数和拓扑结构建立等效模型,确定等效模型中等效节点的三相电压及三相电流,其中,所述的等效模型为风电汇集地区等效节点与外部电网等效节点之间的电路等效模型;

[0022] 正负序电压确定模块,用于根据所述的三相阻抗矩阵、等效节点的三相电压以及三相电流确定风电汇集地区等效节点的正序电压、负序电压;

[0023] 不平衡度确定模块,用于根据确定的风电汇集地区等效节点的正序电压、负序电压确定风电汇集地区三相电压不平衡度。

[0024] 本发明实施例中,所述的风电汇集地区的线路参数包括:风电汇集地区的线路长度、线路型号以及杆塔架设参数。

[0025] 本发明实施例中,正负序电压确定模块包括:

[0026] 三序电压确定单元,用于根据风电汇集地区等效节点的三相电压、外部电网等效节点的三相电压确定风电汇集地区等效节点的三序电压、外部电网等效节点的三序电压;

[0027] 三序电流确定单元,用于根据所述的三相电流确定三序电流;

[0028] 节点正负序电压确定单元,用于根据所述的风电汇集地区等效节点的三序电压、外部电网等效节点的三序电压、三序电流以及三相阻抗矩阵确定风电汇集地区等效节点的正序电压、负序电压。

[0029] 同时,本发明还提供一种计算机设备,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序,处理器执行计算机程序时实现上述方法。

[0030] 同时,本发明还提供一种计算机可读存储介质,计算机可读存储介质存储有执行上述方法的计算机程序。

[0031] 利用本发明确定的大规模风电通过不对称输电线路并网的负序电压不平衡度,可以简单明确地分析影响风电场三相电压不平衡的关键因素,对于探究大规模风电汇集地区的电压不平衡机理具有重要的指导意义。

[0032] 为了让本发明的上述和其他目的、特征和优点能更明显易懂,下文特举较佳实施例,并配合所附图式,作详细说明如下。

## 附图说明

[0033] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,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发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

- [0034] 图1为本发明公开的风电汇集地区三相电压不平衡度确定方法的流程图；  
 [0035] 图2为本发明实施例中提供的等效电路的示意图；  
 [0036] 图3为本发明公开的风电汇集地区三相电压不平衡度确定装置的框图；  
 [0037] 图4为本发明实施例中公开的计算机设备的框图。

### 具体实施方式

[0038] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0039] 本发明提供了一种风电汇集地区三相电压不平衡度确定方法,如图1所示,该方法包括:

[0040] 步骤S101,根据风电汇集地区的线路参数确定不平衡线路的三相阻抗矩阵;

[0041] 本发明实施例中,风电汇集地区的线路参数包括:风电汇集地区的线路长度、线路型号以及杆塔架设参数。

[0042] 步骤S102,根据风电汇集地区的电网参数和拓扑结构建立等效模型,确定等效模型中等效节点的三相电压及三相电流,其中,所述的等效模型为风电汇集地区等效节点与外部电网等效节点之间的电路等效模型;

[0043] 步骤S103,根据所述的三相阻抗矩阵、等效节点的三相电压以及三相电流确定风电汇集地区等效节点的正序电压、负序电压;

[0044] 步骤S104,根据确定的风电汇集地区等效节点的正序电压、负序电压确定风电汇集地区三相电压不平衡度。

[0045] 本发明的技术方案通过建立不平衡线路的三相阻抗矩阵,建立风电汇集地区等效模型,确定风电汇集地区等效节点的三序电压,确定风电汇集地区等效节点的负序电压,简化风电汇集地区等效节点的负序电压,确定风电汇集地区等效节点的负序电压不平衡度。

[0046] 下面对本发明的技术方案作进一步详细说明如下:

[0047] (1) 建立不平衡线路的三相阻抗矩阵:

[0048] 根据风电汇集地区电网中的线路长度、型号、杆塔架设方式等相关参数,利用PSCAD中搭建不平衡线路的三相模型,仿真得到线路的三相阻抗矩阵。

[0049] 线路的三相阻抗矩阵可以表征为:

$$[0050] \quad \mathbf{Z}_{abc} = \begin{bmatrix} z_{aa} & z_{ab} & z_{ac} \\ z_{ba} & z_{bb} & z_{bc} \\ z_{ca} & z_{cb} & z_{cc} \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0051] 其中, $z_{aa}$ 、 $z_{bb}$ 和 $z_{cc}$ 为线路的自阻抗系数; $z_{ab}$ 、 $z_{bc}$ 和 $z_{ca}$ 为相间互阻抗系数。

[0052] (2) 建立风电汇集地区等效模型:

[0053] 根据风电汇集地区电网参数和拓扑结构,将风电汇集地区等效为两节点模型,如图2所示,为本实施例中等效模型的电路示意图。

[0054] 其中,节点M为风电汇集地区的等效节点,节点N为外部电网等效节点,两个节点之间通过一条不平衡输电线路相连,图2中线路的三相阻抗矩阵为公式(1)中所示。

[0055] (3) 计算风电汇集地区等效节点的三序电压:

[0056] 根据三相电路基本理论,节点M三相电压可表示为:

$$[0057] \quad \dot{U}_{M,abc} - \dot{U}_{N,abc} = \mathbf{Z}_{abc} \dot{i}_{abc} \quad (2)$$

[0058] 其中,  $\dot{U}_{M,abc}$  为节点M的三相电压,  $\dot{U}_{N,abc}$  为节点N的三相电压,  $\dot{i}_{abc}$  为流过线路MN的三相电流。

[0059] 本发明实施例中,根据对称分量法的相序转换关系,将三相电压转换为三序电压,三相阻抗矩阵转换为三序阻抗矩阵,如下所示:

$$[0060] \quad \dot{U}_{M,012} = \mathbf{T} \dot{U}_{M,abc} \quad (3)$$

$$[0061] \quad \dot{U}_{N,012} = \mathbf{T} \dot{U}_{N,abc} \quad (4)$$

$$[0062] \quad \dot{i}_{012} = \mathbf{T} \dot{i}_{abc} \quad (5)$$

$$[0063] \quad \mathbf{Z}_{012} = \mathbf{T} \mathbf{Z}_{abc} \mathbf{T}^{-1} \quad (6)$$

[0064] 其中,  $\dot{U}_{M,012}$  为节点M的三序电压,  $\dot{U}_{N,012}$  为节点N的三序电压,  $\dot{i}_{012}$  为流过线路MN的三序电流,  $\mathbf{Z}_{012}$  为线路的三序阻抗矩阵,  $\mathbf{T}$  为相序转换矩阵,  $\mathbf{T}^{-1}$  为矩阵  $\mathbf{T}$  的逆矩阵。相序转换矩阵  $\mathbf{T}$  表达式为:

$$[0065] \quad \mathbf{T} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \quad (7)$$

[0066] 其中,  $\alpha = e^{j120^\circ}$

[0067] 则线路三序电路关系可以表征为:

$$[0068] \quad \dot{U}_{M,012} - \dot{U}_{N,012} = \mathbf{Z}_{012} \dot{i}_{012} \quad (8)$$

[0069] (4) 计算风电汇集地区等效节点M的负序电压:

[0070] 将公式 (8) 进一步展开,得到下式:

$$[0071] \quad \begin{bmatrix} \dot{U}_{M,0} \\ \dot{U}_{M,1} \\ \dot{U}_{M,2} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{U}_{N,0} \\ \dot{U}_{N,1} \\ \dot{U}_{N,2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{00} & z_{01} & z_{02} \\ z_{10} & z_{11} & z_{12} \\ z_{20} & z_{21} & z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{i}_0 \\ \dot{i}_1 \\ \dot{i}_2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

[0072] 则风电汇集地区等效节点M的负序电压可以表征为:

$$[0073] \quad \dot{U}_{M,2} = \dot{U}_{N,2} + z_{20} \dot{i}_0 + z_{21} \dot{i}_1 + z_{22} \dot{i}_2 \quad (10)$$

[0074] (5) 简化风电汇集地区等效节点M的简化负序电压表达式:

[0075] 由于外部电网等效节点N三相电压基本均衡,故设  $\dot{U}_{N,2} = 0$ , 在风电汇集站变压器低压侧采用三角形接线方式下,  $\dot{i}_0 = 0$ 。故风电汇集地区等效节点M的负序电压可以进一步简化为:

$$[0076] \quad \dot{U}_{M,2} = z_{21} \dot{i}_1 + z_{22} \dot{i}_2 \quad (11)$$

[0077] (6) 确定风电汇集地区等效节点M的负序电压不平衡度:

[0078] 根据负序电压不平衡度的定义,风电汇集地区等效节点M的负序电压不平衡度可以表征为:

$$[0079] \quad \text{负序电压不平衡度} = \frac{U_{M,2} - |z_{21}i_1 + z_{22}i_2|}{U_{M,1}} \quad (12)$$

[0080] 本发明的技术方案提供的确定大规模风电通过不对称输电线路并网的负序电压不平衡度的方法,可以简单明确地分析影响风电场三相电压不平衡的关键因素,对于探究大规模风电汇集地区的电压不平衡机理具有重要的指导意义。

[0081] 本发明还提供一种风电汇集地区三相电压不平衡度确定装置,如图3所示,为本实施例中公开的装置的框图,其包括:

[0082] 阻抗矩阵确定模块301,用于根据风电汇集地区的线路参数确定不平衡线路的三相阻抗矩阵;

[0083] 模型确定模块302,用于根据风电汇集地区的电网参数和拓扑结构建立等效模型,确定等效模型中等效节点的三相电压及三相电流,其中,所述的等效模型为风电汇集地区等效节点与外部电网等效节点之间的电路等效模型;

[0084] 正负序电压确定模块303,用于根据所述的三相阻抗矩阵、等效节点的三相电压以及三相电流确定风电汇集地区等效节点的正序电压、负序电压;

[0085] 不平衡度确定模块304,用于根据确定的风电汇集地区等效节点的正序电压、负序电压确定风电汇集地区三相电压不平衡度。

[0086] 本发明实施例中,正负序电压确定模块303包括:

[0087] 三序电压确定单元,用于根据风电汇集地区等效节点的三相电压、外部电网等效节点的三相电压确定风电汇集地区等效节点的三序电压、外部电网等效节点的三序电压;

[0088] 三序电流确定单元,用于根据所述的三相电流确定三序电流;

[0089] 节点正负序电压确定单元,用于根据所述的风电汇集地区等效节点的三序电压、外部电网等效节点的三序电压、三序电流以及三相阻抗矩阵确定风电汇集地区等效节点的正序电压、负序电压。

[0090] 同时,本发明还提供一种计算机设备,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序,处理器执行计算机程序时实现上述方法。如图4所示,为本实施例中提供的计算机设备的示意图。该计算机设备可以是台式计算机、平板电脑及移动终端等,本实施例不限于此。在本实施例中,计算机电子设备可以参照前述的方法的实施,其内容被合并于此,重复之处不再赘述。

[0091] 该计算机设备包括:处理器401、存储器402和总线403;

[0092] 其中,处理器401及存储402分别通过总线403完成相互间的通信;处理器401用于调用存储器402中的程序指令,以执行上述实施例所提供的风电汇集地区三相电压不平衡度确定方法,处理器401根据风电汇集地区的线路参数确定不平衡线路的三相阻抗矩阵;根据风电汇集地区的电网参数和拓扑结构建立等效模型,确定等效模型中两节点的三相电压及三相电流;根据三相阻抗矩阵、等效节点的三相电压以及三相电流确定风电汇集地区等效节点的正序电压、负序电压;根据确定的风电汇集地区等效节点的正序电压、负序电压确定风电汇集地区三相电压不平衡度。

[0093] 本发明实施例提供的方案,提供确定大规模风电通过不对称输电线路并网的负序电压不平衡度的方法,可以简单明确地分析影响风电场三相电压不平衡的关键因素,对于探究大规模风电汇集地区的电压不平衡机理具有重要的指导意义。



[0094] 本领域内的技术人员应明白,本发明的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此,本发明可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且,本发明可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质(包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等)上实施的计算机程序产品的形式。

[0095] 本发明是参照根据本发明实施例的方法、设备(系统)、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器,使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

[0096] 这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中,使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品,该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

[0097] 这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上,使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理,从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

[0098] 本发明中应用了具体实施例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处,综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

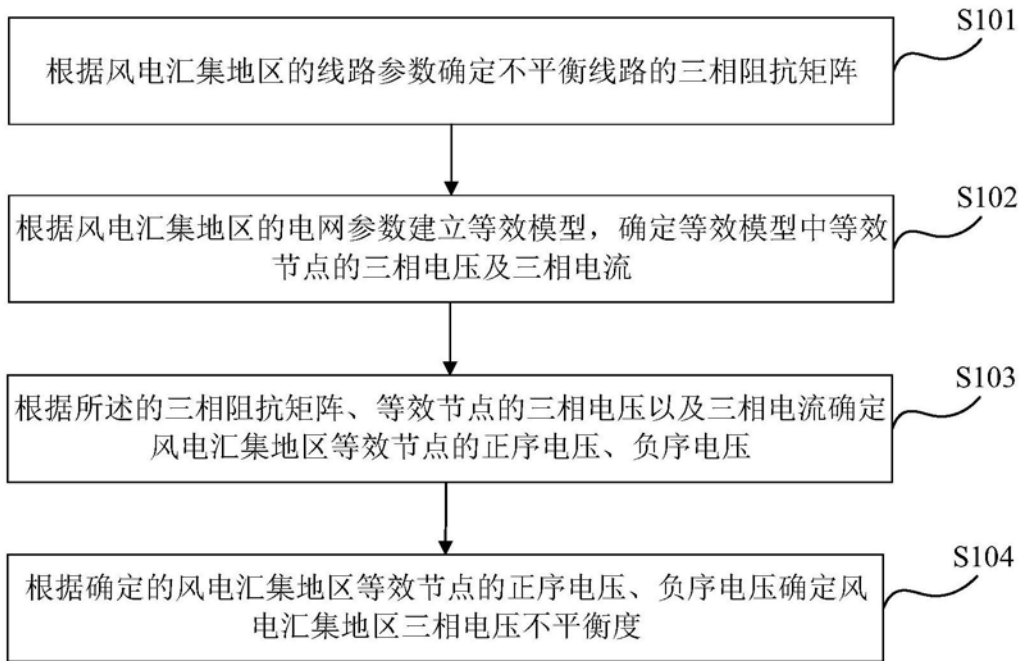


图1

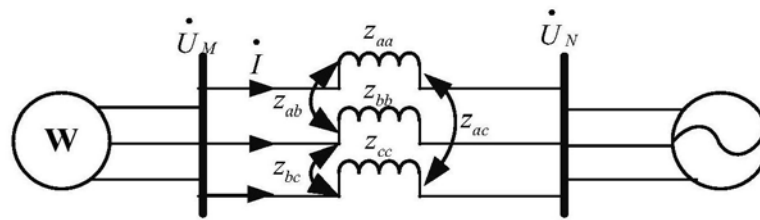


图2

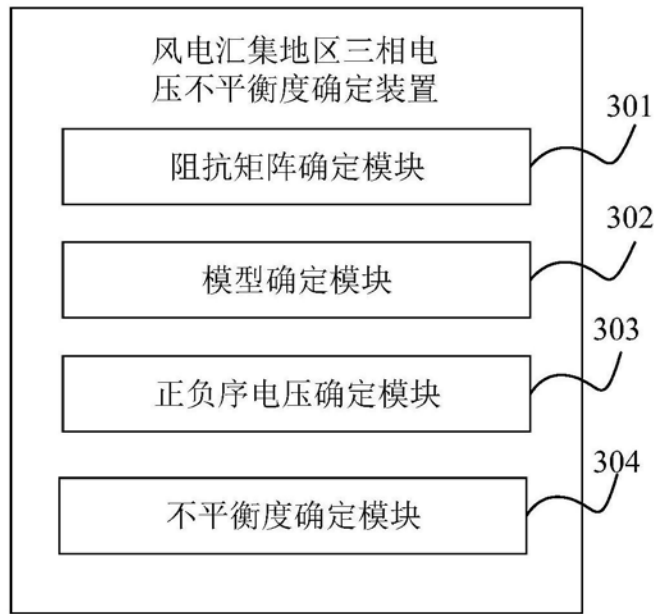


图3

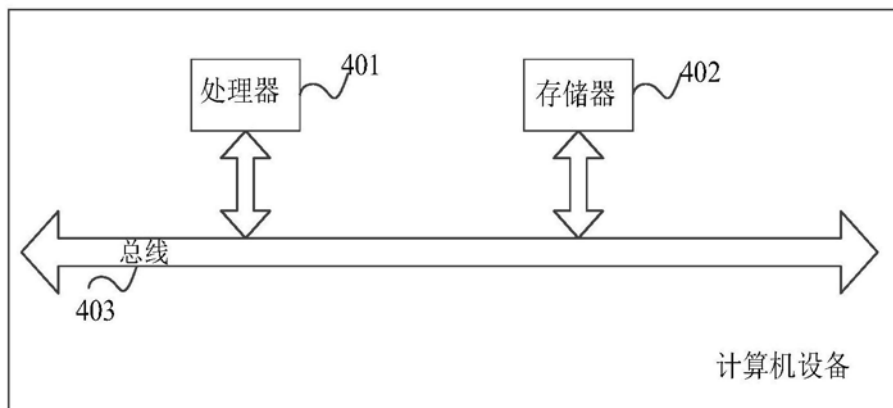


图4