(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 114966205 B
(45)授权公告日 2024.07.30

(21)申请号 202110191269.2
(22)申请日 2021.02.19
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114966205 A
(43)申请公布日 2022.08.30
(73)专利权人 华为数字能源技术有限公司
地址 518043 广东省深圳市福田区香蜜湖街道香安社区安托山六路33号安托山总部大厦A座研发39层01号
(72)发明人 鞠华磊
(74)专利代理机构 北京同达信恒知识产权代理有限公司 11291
专利代理师 张翠华
(51)Int.Cl.
G01R 27/02(2006.01)
G01R 27/18(2006.01)
(56)对比文件
CN 104917200 A,2015.09.16
CN 108896822 A,2018.11.27
审查员 张婕

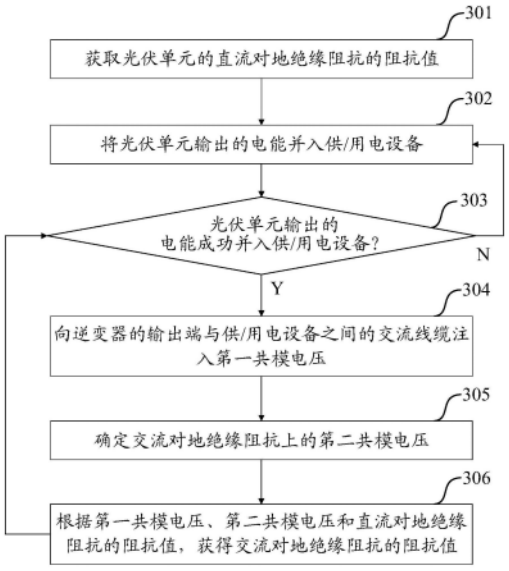
权利要求书4页 说明书19页 附图3页

(54)发明名称

一种绝缘阻抗检测方法、装置及系统

(57)摘要

一种绝缘阻抗检测方法、装置及系统，用以降低交流对地绝缘阻抗检测的成本和复杂性。其中方法包括：逆变器向交流侧注入第一共模电压，该第一共模电压被交流线缆的交流对地绝缘阻抗和光伏单元的直流对地绝缘阻抗分压，逆变器根据该第一共模电压、交流对地绝缘阻抗对第一共模电压的分压(即交流对地绝缘阻抗上的第二共模电压)和直流对地绝缘阻抗的阻抗值，能获得交流对地绝缘阻抗的阻抗值。通过利用光伏发电系统中的必备设备逆变器检测交流对地绝缘阻抗，不仅能避免安装额外的检测设备，降低检测交流对地绝缘阻抗的成本和复杂性，还能兼容于存在逆变器的各类光伏发电系统，提高交流对地绝缘阻抗检测方法的通用性。



CN 114966205 B

1.一种绝缘阻抗检测方法,其特征在于,适用于逆变器,所述逆变器的输入端连接光伏单元,所述光伏单元具有直流对地绝缘阻抗,所述逆变器的输出端通过交流线缆连接供/用电设备,所述交流线缆具有交流对地绝缘阻抗;所述方法包括:

所述逆变器向所述交流线缆注入第一共模电压,所述第一共模电压等于所述交流对地绝缘阻抗上的电压和所述直流对地绝缘阻抗上的电压之和;

所述逆变器确定所述交流对地绝缘阻抗上的第二共模电压;

所述逆变器基于所述交流对地绝缘阻抗与所述直流对地绝缘阻抗的分压比例和所述直流对地绝缘阻抗的阻抗值,获得所述交流对地绝缘阻抗的阻抗值,其中所述第二共模电压和所述直流对地绝缘阻抗上的第三共模电压的比值为所述分压比例,所述第一共模电压与所述第二共模电压的差值电压为所述第三共模电压。

2.如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述直流对地绝缘阻抗的阻抗值通过下述方式获得:

所述逆变器根据所述光伏单元输出的电气特性获得所述直流对地绝缘阻抗的阻抗值。

3.如权利要求2所述的方法,其特征在于,所述光伏单元通过直流线缆连接所述逆变器,所述直流线缆通过预设阻抗元件接地;

所述逆变器根据所述光伏单元输出的电气特性获得所述直流对地绝缘阻抗的阻抗值,包括:

所述逆变器采集所述光伏单元的第一电压,所述第一电压等于所述预设阻抗元件上的电压和所述直流对地绝缘阻抗上的电压之和;

所述逆变器采集所述预设阻抗元件上的第二电压;

所述逆变器根据所述第一电压、所述第二电压、以及所述预设阻抗元件的阻抗值,获得所述直流对地绝缘阻抗的阻抗值。

4.如权利要求1或2所述的方法,其特征在于,在所述逆变器向所述交流线缆注入第一共模电压之前,所述方法还包括:

所述逆变器将所述光伏单元输出的电能并入所述供/用电设备。

5.如权利要求1或2所述的方法,其特征在于,所述第一共模电压为交流电压;

所述逆变器向所述交流线缆注入第一共模电压,包括:

所述逆变器向所述交流线缆注入第一频率的第一共模电压;

所述逆变器确定所述交流对地绝缘阻抗上的第二共模电压,包括:

所述逆变器采集所述交流线缆上的第四共模电压,从所述第四共模电压中提取出具有所述第一频率的所述第二共模电压。

6.如权利要求1或2所述的方法,其特征在于,所述交流对地绝缘阻抗包括交流对地绝缘电阻和交流对地绝缘电容;

所述方法还包括:

所述逆变器分别向所述交流线缆注入至少两个不同电压特性的第一共模电压;

所述逆变器根据每个电压特性的第一共模电压、所述每个电压特性的第一共模电压对应的第二共模电压和所述直流对地绝缘阻抗的阻抗值,确定所述每个电压特性的第一共模电压对应的交流对地绝缘电阻和交流对地绝缘电容之间的关联关系;

所述逆变器根据所述至少两个不同电压特性的第一共模电压分别对应的交流对地绝

缘电阻和交流对地绝缘电容之间的关联关系,获得所述交流对地绝缘电阻的电阻值和所述交流对地绝缘电容的电容值。

7.如权利要求1或2所述的方法,其特征在于,所述交流线缆为单相线缆。

8.如权利要求1或2所述的方法,其特征在于,所述交流线缆为三相线缆,所述交流对地绝缘阻抗包括与所述三相线缆分别对应的三个交流对地绝缘子阻抗;

所述方法还包括:

所述逆变器分别向所述交流线缆注入三个不同电压特性的第一共模电压;

所述逆变器根据每个电压特性的第一共模电压、每个电压特性的第一共模电压对应的第二共模电压和所述直流对地绝缘阻抗的阻抗值,确定所述每个电压特性的第一共模电压对应的三个交流对地绝缘子阻抗之间的关联关系;

所述逆变器根据所述三个不同电压特性的第一共模电压分别对应的所述三个交流对地绝缘子阻抗之间的关联关系,获得所述三个交流对地绝缘子阻抗分别对应的阻抗值。

9.如权利要求6所述的方法,其特征在于,

当所述第一共模电压为交流电形式的电压时,所述电压特性包括频率、幅值或相位中的一项或多项;

当所述第一共模电压为直流电形式的电压时,所述电压特性包括幅值和/或相位。

10.如权利要求1或2所述的方法,其特征在于,

所述供/用电设备包括负载设备;和/或,

所述供/用电设备包括隔离变压器和电网,所述隔离变压器的输入端连接所述逆变器,所述隔离变压器的输出端连接所述电网。

11.一种逆变器,其特征在于,包括控制电路、逆变电路和电压采样电路,所述控制电路分别连接所述逆变电路的控制端和所述电压采样电路的输出端,所述逆变电路的输入端连接光伏单元,所述光伏单元具有直流对地绝缘阻抗,所述逆变电路的输出端通过交流线缆连接供/用电设备;所述交流线缆具有交流对地绝缘阻抗;

所述逆变电路,用于将来自所述光伏单元的直流电能转换为交流电能后并入所述供/用电设备;

所述控制电路,用于控制所述逆变电路向所述交流线缆注入第一共模电压,所述第一共模电压等于所述交流对地绝缘阻抗上的电压和所述直流对地绝缘阻抗上的电压之和;

所述电压采样电路,用于采集所述交流对地绝缘阻抗上的第二共模电压并发送给所述控制电路;

所述控制电路,还用于基于所述交流对地绝缘阻抗与所述直流对地绝缘阻抗的分压比例和所述直流对地绝缘阻抗的阻抗值,获得所述交流对地绝缘阻抗的阻抗值,其中所述第二共模电压和所述直流对地绝缘阻抗上的第三共模电压的比值为所述分压比例,所述第一共模电压与所述第二共模电压的差值电压为所述第三共模电压。

12.如权利要求11所述的逆变器,其特征在于,所述控制电路还连接所述光伏单元;

所述控制电路,还用于:

在所述逆变电路将来自所述光伏单元的电能并入所述供/用电设备之前,根据所述光伏单元输出的电气特性获得所述直流对地绝缘阻抗的阻抗值。

13.如权利要求12所述的逆变器,其特征在于,还包括预设阻抗元件,所述光伏单元通

过直流线缆连接所述逆变电路,所述直流线缆通过所述预设阻抗元件接地;

在所述逆变电路将来自所述光伏单元的电能并入所述供/用电设备之前:

所述电压采样电路,还用于:采集所述光伏单元的第一电压并发送给所述控制电路,以及采集所述预设阻抗元件的第二电压并发送给所述控制电路,所述第一电压等于所述预设阻抗元件上的电压和所述直流对地绝缘阻抗上的电压之和;

所述控制电路,具体用于:根据所述第一电压、所述第二电压、以及所述预设阻抗元件的阻抗值,获得所述直流对地绝缘阻抗的阻抗值。

14.如权利要求11或12所述的逆变器,其特征在于,所述控制电路,还用于:

在控制所述逆变电路向所述交流线缆注入第一共模电压之前,控制所述逆变电路将所述光伏单元输出的电能并入所述供/用电设备。

15.如权利要求11或12所述的逆变器,其特征在于,所述第一共模电压为交流电压;

所述控制电路,具体用于:控制所述逆变电路向所述交流线缆注入第一频率的第一共模电压;

所述电压采样电路,具体用于:采集所述交流线缆上的第四共模电压,从中提取出具有所述第一频率的所述第二共模电压并发送给所述控制电路。

16.如权利要求11或12所述的逆变器,其特征在于,所述交流对地绝缘阻抗包括交流对地绝缘电阻和交流对地绝缘电容;

所述控制电路具体用于:控制所述逆变电路分别向所述交流线缆注入至少两个不同电压特性的第一共模电压;

所述电压采样电路具体用于:分别采集所述至少两个不同电压特性的第一共模电压下的所述交流对地绝缘阻抗上的第二共模电压并发送给所述控制电路;

所述控制电路具体用于:根据每个电压特性的第一共模电压、所述每个电压特性的第一共模电压对应的第二共模电压和所述直流对地绝缘阻抗的阻抗值,确定所述每个电压特性的第一共模电压对应的交流对地绝缘电阻和交流对地绝缘电容之间的关联关系,根据所述至少两个不同电压特性的第一共模电压分别对应的交流对地绝缘电阻和交流对地绝缘电容之间的关联关系,获得所述交流对地绝缘电阻的电阻值和所述交流对地绝缘电容的电容值。

17.如权利要求11或12所述的逆变器,其特征在于,所述交流线缆为单相线缆。

18.如权利要求11或12所述的逆变器,其特征在于,所述交流线缆为三相线缆,所述交流对地绝缘阻抗包括与所述三相线缆分别对应的三个交流对地绝缘子阻抗;

所述控制电路具体用于:分别向所述交流线缆注入三个不同电压特性的第一共模电压;

所述电压采样电路具体用于:分别采集所述三个不同电压特性的第一共模电压下的所述交流对地绝缘阻抗上的第二共模电压并发送给所述控制电路;

所述控制电路具体用于:根据每个电压特性的第一共模电压、每个电压特性的第一共模电压对应的第二共模电压和所述直流对地绝缘阻抗的阻抗值,确定所述每个电压特性的第一共模电压对应的三个交流对地绝缘子阻抗之间的关联关系,根据所述三个不同电压特性的第一共模电压分别对应的所述三个交流对地绝缘子阻抗之间的关联关系,获得所述三个交流对地绝缘子阻抗分别对应的阻抗值。

19.如权利要求16所述的逆变器,其特征在于,

当所述第一共模电压为交流电形式的电压时,所述电压特性包括频率、幅值或相位中的一项或多项;

当所述第一共模电压为直流电形式的电压时,所述电压特性包括幅值和/或相位。

20.如权利要求11或12所述的逆变器,其特征在于,

所述供/用电设备包括负载设备;和/或,

所述供/用电设备包括隔离变压器和电网,所述隔离变压器的输入端连接所述逆变器,所述隔离变压器的输出端连接所述电网。

21.一种光伏发电系统,其特征在于,所述光伏发电系统包括光伏单元、以及供/用电设备、以及如权利要求11至20中任一项所述的逆变器;

所述光伏单元,用于将光能转化为直流电形式的电能后传输给所述逆变器;

所述逆变器,用于在确定所述交流对地绝缘阻抗不小于预设的阻抗阈值的情况下,将所述直流电形式的电能转换为交流电形式的电能后并入所述供/用电设备;

所述供/用电设备,用于接收所述交流电形式的电能。

22.如权利要求21所述的光伏发电系统,其特征在于,

所述供/用电设备包括隔离变压器和电网,所述隔离变压器的输入端连接所述逆变器的输出端,所述隔离变压器的输出端连接所述电网;和/或,

所述供/用电设备包括负载设备。

一种绝缘阻抗检测方法、装置及系统

技术领域

[0001] 本申请涉及光电技术领域,尤其涉及一种绝缘阻抗检测方法、装置及系统。

背景技术

[0002] 近年来,光伏发电系统在电子电力领域得到了越来越广泛的应用。光伏发电系统能将清洁无污染的太阳能转化为电能,该电能不仅可供给居民设备以满足居民的日常供电需求,还能并入电网以进行储备。在电子电力领域中应用光伏发电系统,能有效提高居民用电的可靠性。

[0003] 然而,在光伏发电系统中,转化的电能会通过交流线缆输入至居民设备或并入电网,而交流线缆又会存在交流对地绝缘阻抗。当交流对地绝缘阻抗较小时,说明交流线缆与地面之间的绝缘性较差,交流线缆存在漏电或短路接地的风险。这不仅会影响到居民用电的安全性,还会使光伏发电系统自身的供电稳定性变差,降低光伏发电系统的可靠性。因此,为维持光伏发电系统的可靠性,还需要对光伏发电系统中的交流对地绝缘阻抗进行检测,以及时发现光伏发电系统中出现的交流对地绝缘阻抗异常现象,便于用户及时修复异常,恢复光伏发电系统的可靠性。

[0004] 现有技术中,通常是在光伏发电系统中额外安装一个专用检测设备,如绝缘监测设备(insulation monitor device,IMD),使用该专用检测设备专门检测光伏发电系统的交流对地绝缘阻抗。然而,专用检测设备通常具有复杂的结构和昂贵的价格,额外安装专用检测设备,不仅会增大光伏发电系统的建设成本和维护成本,还会使光伏发电系统的结构变得更加复杂。因此,如何以更低的成本及更低的复杂性实现对光伏发电系统中的交流对地绝缘阻抗的检测,成为目前亟需解决的一个问题。

发明内容

[0005] 本申请提供一种绝缘阻抗检测方法、装置及系统,用以降低交流对地绝缘阻抗检测的成本和复杂性。

[0006] 第一方面,本申请提供一种绝缘阻抗检测方法,该方法可由逆变器实现,如光伏发电系统中的逆变器。其中,该逆变器的输入端连接光伏单元,该逆变器的输出端通过交流线缆连接用电设备或电网,光伏单元具有直流对地绝缘阻抗,而交流线缆具有交流对地绝缘阻抗。在实施中,逆变器可以先向逆变器的输出端与用电设备之间的交流线缆注入第一共模电压,该第一共模电压被交流对地绝缘阻抗和直流对地绝缘阻抗分压,该第一共模电压等于交流对地绝缘阻抗上的电压和直流对地绝缘阻抗上的电压之和,如此,逆变器获取交流对地绝缘阻抗上第二共模电压,根据第一共模电压、第二共模电压和直流对地绝缘阻抗的阻抗值,可获得交流对地绝缘阻抗的阻抗值。

[0007] 在上述方案中,逆变器属于光伏发电系统中的必备设备,通过利用必备设备逆变器来检测光伏发电系统中的交流对地绝缘阻抗,不仅能避免安装额外的检测设备,降低交流对地绝缘阻抗检测的成本和复杂性,还能兼容存在逆变器的各类光伏发电系统,有效提

高交流对地绝缘阻抗检测方法的通用性。此外,通过将交流对地绝缘阻抗检测方法集成在逆变器中,还使逆变器可同时实现电能转换功能和绝缘阻抗检测功能,有效提高光伏发电系统的资源利用率。

[0008] 在一种可能的设计中,考虑到光伏单元内部导体的阻抗和逆变器内部导体的阻抗都较小,可直接忽略光伏单元内部导体的阻抗和逆变器内部导体的阻抗所产生的影响,如此,第一共模电压可只被串联的交流对地绝缘阻抗和直流对地绝缘阻抗所分担。在这种情况下,逆变器可通过串联电流一致性原则计算出交流对地绝缘阻抗的阻抗值,例如:

[0009] 一种计算方式下,逆变器根据第一共模电压、交流对地绝缘阻抗和直流对地绝缘阻抗,可计算出串联的交流对地绝缘阻抗和直流对地绝缘阻抗所在的回路上流经的电流,根据交流对地绝缘阻抗上的第二共模电压和交流对地绝缘阻抗,可计算出交流对地绝缘阻抗上流经的电流,根据第一共模电压的电压值、第二共模电压的电压值、以及直流对地绝缘阻抗的阻抗值,按照上述回路上流经的电流和交流对地绝缘阻抗上流经的电流一致的原则,逆变器能解析出交流对地绝缘阻抗的阻抗值。

[0010] 另一种计算方式下,由于第一共模电压只被串联的交流对地绝缘阻抗和直流对地绝缘阻抗所分担,因此逆变器根据第一共模电压和交流对地绝缘阻抗上的第二共模电压,可计算出直流对地绝缘阻抗上的第三共模电压,根据直流对地绝缘阻抗上的第三共模电压和直流对地绝缘阻抗,可计算出直流对地绝缘阻抗上流经的电流,根据交流对地绝缘阻抗上的第二共模电压和交流对地绝缘阻抗,可计算出交流对地绝缘阻抗上流经的电流,根据第一共模电压的电压值、第二共模电压的电压值、以及直流对地绝缘阻抗的阻抗值,按照直流对地绝缘阻抗上流经的电流和交流对地绝缘阻抗上流经的电流一致的原则,逆变器能解析出交流对地绝缘阻抗的阻抗值。

[0011] 在上述设计中,逆变器注入第一共模电压作为激励源,通过利用该激励源在直流对地绝缘阻抗和交流对地绝缘阻抗上的分压比例,能折算出交流对地绝缘阻抗的阻抗值,该种检测方式逻辑简单且便于实现,有助于更快地检测出交流对地绝缘阻抗的阻抗值。

[0012] 在一种可能的设计中,直流对地绝缘阻抗的阻抗值可以通过如下方式获得:逆变器根据光伏单元输出的电气特性获得直流对地绝缘阻抗的阻抗值。如此,通过将直流对地绝缘阻抗的检测过程也放在必备器件逆变器侧执行,还能避免在检测直流对地绝缘阻抗的过程中额外引入其它部件,进一步提高阻抗检测方法的通用性。

[0013] 在一种可能的设计中,光伏单元通过直流线缆连接逆变器,在需要获得直流对地绝缘阻抗的阻抗值时,逆变器可以控制直流线缆通过预设阻抗元件接地,如此,光伏单元的第一电压被预设阻抗元件和直流对地绝缘阻抗分压,第一电压等于预设阻抗元件上的电压和直流对地绝缘阻抗上的电压之和。在这种情况下,逆变器可以先采集光伏单元的第一电压,再采集预设阻抗元件的第二电压,之后根据第一电压、第二电压、以及预设阻抗元件的阻抗值,可获得直流对地绝缘阻抗的阻抗值。该设计能实现逆变器对整个阻抗检测过程(包括直流对地绝缘阻抗和交流对地绝缘阻抗)的统一监管,有效提高检测阻抗的灵活性。

[0014] 在一种可能的设计中,在逆变器向交流线缆注入第一共模电压之前,逆变器可以先将光伏单元输出的电能并入用电设备或电网。如此,光伏单元输出的差模电压直接并入用户设备或电网,使得逆变器注入的第一共模电压能被预先设定的直流对地绝缘阻抗和交流对地绝缘阻抗所分压,逆变器能通过注入的第一共模电压实现对交流对地绝缘阻抗的检

测。

[0015] 在一种可能的设计中,第一共模电压可以为交流电压。在这种情况下,逆变器可以向交流线缆注入第一频率的第一共模电压,并在采集到交流线缆上的第四共模电压之后,从第四共模电压中提取出具有第一频率的第二共模电压。如此,通过利用同频共模电压完成检测,能避免其它频率共模电压对检测过程的干扰,有效提高交流对地绝缘阻抗检测的准确性。

[0016] 在一种可能的设计中,交流对地绝缘阻抗可以包括交流对地绝缘电阻和交流对地绝缘电容。在这种情况下,逆变器可以分别向交流线缆注入至少两个不同电压特性的第一共模电压,并根据每个电压特性的第一共模电压、每个电压特性的第一共模电压对应的第二共模电压和直流对地绝缘阻抗的阻抗值,确定每个电压特性的第一共模电压对应的交流对地绝缘电阻和交流对地绝缘电容之间的关联关系,如此,根据至少两个不同电压特性的第一共模电压分别对应的交流对地绝缘电阻和交流对地绝缘电容之间的关联关系,逆变器可以获得交流对地绝缘电阻的电阻值和交流对地绝缘电容的电容值。在该设计中,通过采用不同电压特性的第一共模电压进行多次检测,不仅能在交流对地绝缘阻抗包含至少两个参数(如交流对地绝缘电阻和交流对地绝缘电容)的情况下计算出每个参数的参数值,还能通过多次检测找到一个较为准确的参数值,尽量避免计算的偶然性,提高检测的准确性。

[0017] 在一种可能的设计中,交流线缆可以为单相线缆。该设计能在逆变器和用电设备(或电网)通过单相线缆连接的场景中检测出单相线缆的交流对地绝缘阻抗。

[0018] 在一种可能的设计中,交流线缆可以为三相线缆,对应的,交流对地绝缘阻抗也可以包括与三相线缆分别对应的三个交流对地绝缘子阻抗。在这种情况下,逆变器可以分别向交流线缆注入三个不同电压特性的第一共模电压,之后根据每个电压特性的第一共模电压、每个电压特性的第一共模电压对应的第二共模电压和直流对地绝缘阻抗的阻抗值,确定每个电压特性的第一共模电压对应的三个交流对地绝缘子阻抗之间的关联关系,再根据三个不同电压特性的第一共模电压分别对应的三个交流对地绝缘子阻抗之间的关联关系,获得三个交流对地绝缘子阻抗分别对应的阻抗值。该设计能在逆变器和用电设备(或电网)通过三相线缆连接的场景中检测出三相线缆中的每相线缆的交流对地绝缘子阻抗。

[0019] 在一种可能的设计中,当第一共模电压为交流电形式的电压时,电压特性可以包括频率、幅值或相位中的一项或多项。当第一共模电压为直流电形式的电压时,电压特性可以包括幅值和/或相位。该设计不仅能根据用户的实际需求选择注入不同类型的第一共模电压,还能利用每种类型的第一共模电压所具有的电压特性完成检测,以提高检测的准确性和对各种光伏发电系统的兼容能力。

[0020] 在一种可能的设计中,当逆变器的输出端通过交流线缆连接电网时,逆变器的输出端可以连接隔离变压器的输入端,隔离变压器的输出端可以连接电网。通过在逆变器和电网之间设置隔离变压器,能起到电气绝缘逆变器和电网的目的,降低逆变器与电网之间的相互干扰。

[0021] 第二方面,本申请提供一种逆变器,该逆变器包括控制电路、逆变电路和电压采样电路,控制电路分别连接逆变电路的控制端和电压采样电路的输出端,逆变电路的输入端连接光伏单元,光伏单元具有直流对地绝缘阻抗,逆变电路的输出端通过交流线缆连接用电设备或电网;交流线缆具有交流对地绝缘阻抗。在实施中,逆变电路用于将来自光伏单元

的直流电能转换为交流电能后并入用电设备或电网,控制电路用于控制逆变电路向交流线缆注入第一共模电压,该第一共模电压被交流对地绝缘阻抗和直流对地绝缘阻抗分压,第一共模电压等于交流对地绝缘阻抗上的电压和直流对地绝缘阻抗上的电压之和,电压采样电路用于采集交流对地绝缘阻抗上的第二共模电压并发送给控制电路,控制电路还用于根据第一共模电压、第二共模电压和直流对地绝缘阻抗的阻抗值,获得交流对地绝缘阻抗的阻抗值。

[0022] 在一种可能的设计中,控制电路还可以连接光伏单元。在这种情况下,在逆变电路将来自光伏单元的电能并入用电设备或电网之前,控制电路还可以根据光伏单元输出的电气特性获得直流对地绝缘阻抗的阻抗值。

[0023] 在一种可能的设计中,逆变器还可以包括预设阻抗元件,光伏单元通过直流线缆连接逆变电路,直流线缆通过预设阻抗元件接地。在这种情况下,在逆变电路将来自光伏单元的电能并入用电设备或电网之前,电压采样电路还可以采集光伏单元的第一电压并发送给控制电路,以及采集预设阻抗元件的第二电压并发送给控制电路;其中,第一电压被预设阻抗元件和直流对地绝缘阻抗分压,第一电压等于预设阻抗元件上的电压和直流对地绝缘阻抗上的电压之和,如此,控制电路可以根据第一电压、第二电压、以及预设阻抗元件的阻抗值,可获得直流对地绝缘阻抗的阻抗值。

[0024] 在一种可能的设计中,在逆变电路向交流线缆注入第一共模电压之前,控制电路还可以先控制逆变电路将光伏单元输出的电能并入用电设备或电网。

[0025] 在一种可能的设计中,控制电路可以先将第一共模电压与第二共模电压的差值电压,确定为直流对地绝缘阻抗上的第三共模电压,再将第二共模电压和第三共模电压的比值,确定为交流对地绝缘阻抗与直流对地绝缘阻抗的分压比例,最后基于分压比例和直流对地绝缘阻抗的阻抗值,获得交流对地绝缘阻抗的阻抗值。

[0026] 在一种可能的设计中,第一共模电压可以为交流电压。在这种情况下,控制电路可以控制逆变电路向交流线缆注入第一频率的第一共模电压,电压采样电路可以采集交流线缆上的第四共模电压,并从中提取出具有第一频率的第二共模电压并发送给控制电路。

[0027] 在一种可能的设计中,交流对地绝缘阻抗可以包括交流对地绝缘电阻和交流对地绝缘电容。在这种情况下,控制电路可以控制逆变电路分别向交流线缆注入至少两个不同电压特性的第一共模电压,电压采样电路可以分别采集至少两个不同电压特性的第一共模电压下的交流对地绝缘阻抗上的第二共模电压并发送给控制电路,控制电路可以根据每个电压特性的第一共模电压、每个电压特性的第一共模电压对应的第二共模电压和直流对地绝缘阻抗的阻抗值,确定每个电压特性的第一共模电压对应的交流对地绝缘电阻和交流对地绝缘电容之间的关联关系,根据至少两个不同电压特性的第一共模电压分别对应的交流对地绝缘电阻和交流对地绝缘电容之间的关联关系,获得交流对地绝缘电阻的电阻值和交流对地绝缘电容的电容值。

[0028] 在一种可能的设计中,交流线缆可以为单相线缆。

[0029] 在一种可能的设计中,交流线缆可以为三相线缆,对应的,交流对地绝缘阻抗也可以包括与三相线缆分别对应的三个交流对地绝缘子阻抗。在这种情况下,控制电路可以分别向交流线缆注入三个不同电压特性的第一共模电压,电压采样电路可以分别采集三个不同电压特性的第一共模电压下的交流对地绝缘阻抗上的第二共模电压并发送给控制电路,

控制电路可以根据每个电压特性的第一共模电压、每个电压特性的第一共模电压对应的第二共模电压和直流对地绝缘阻抗的阻抗值，确定每个电压特性的第一共模电压对应的三个交流对地绝缘子阻抗之间的关联关系，根据三个不同电压特性的第一共模电压分别对应的三个交流对地绝缘子阻抗之间的关联关系，获得三个交流对地绝缘子阻抗分别对应的阻抗值。

[0030] 在一种可能的设计中，当第一共模电压为交流电形式的电压时，电压特性可以包括频率、幅值或相位中的一项或多项，当第一共模电压为直流电形式的电压时，电压特性可以包括幅值和/或相位。

[0031] 在一种可能的设计中，逆变器的输出端可以连接隔离变压器的输入端，隔离变压器的输出端可以连接电网。

[0032] 第三方面，本申请提供一种光伏发电系统，该光伏发电系统包括如上述第二方面任一项所述的逆变器、光伏单元、以及用电设备或电网。在实施中，光伏单元用于将光能转化为直流电形式的电能后传输给逆变器，逆变器用于在确定交流对地绝缘阻抗不小于预设的阻抗阈值的情况下，将直流电形式的电能转换为交流电形式的电能后并入用电设备或电网，用电设备或电网用于接收交流电形式的电能。

[0033] 在一种可能的设计中，光伏单元还可以包括隔离变压器，隔离变压器的输入端连接逆变器的输出端，隔离变压器的输出端连接电网。

[0034] 第四方面，本申请提供一种计算机可读存储介质，该计算机可读介质存储有程序代码，当该程序代码在计算机上运行时，使得该计算机执行上述第一方面中的任一设计所述的方法。

[0035] 第五方面，本申请提供一种芯片，该芯片可以为逆变器中的芯片，该芯片用于执行上述第一方面中的任一设计所述的方法。

[0036] 上述第二方面至第五方面的有益效果，请具体参照上述第一方面中各项设计所对应的有益效果，此处不再一一重复赘述。

附图说明

[0037] 图1示例性示出了一种光伏发电系统的系统架构示意图；

[0038] 图2示例性示出了一种基于抗PID器件检测交流对地绝缘阻抗的电路结构图；

[0039] 图3示例性示出本申请实施例提供的一种绝缘阻抗检测方法的流程示意图；

[0040] 图4示例性示出本申请实施例提供的一种由逆变器检测直流对地绝缘阻抗的电路结构图；

[0041] 图5示例性示出本申请实施例提供的另一种光伏发电系统的电路结构图。

具体实施方式

[0042] 在介绍具体的实现方案之前，先示例性介绍下本申请的下列实施例所涉及到的部分术语：

[0043] (1)、直流电和交流电。

[0044] 本申请实施例中的直流电是指电能在电路中沿着不变的方向进行传导的一种电学形态。电能的传导方向也称为相位，直流电的相位可以包括正向或负向两种。大多数直流

电的电能强度是固定的,在某些特殊的直流电(如脉冲直流电)中,电能强度也会随着时间的变化而变化。电能强度也称为电流幅值。常见的直流电源包括干电池、蓄电池或直流发电机等。

[0045] 本申请实施例中的交流电是指电能在电路中沿着周期性变化的方向进行传导的一种电学形态。大多数交流电的电能强度也会随着时间而发生周期性的变化。交流电在传导方向上的周期性变化由交流电的频率来限定。当交流电的频率越大时,交流电能越快地更改传导方向,当交流电的频率越小时,交流电能缓慢地更改传导方向。常见的交流电源包括市电、工农业用电源、居民用电源等。

[0046] (2)、共模电压和差模电压。

[0047] 本申请实施例中的共模电压是指某一相线缆对参照点之间的电压,参照点一般为大地。当输入端通过单相线缆连接输出端时,单相线缆上的共模电压是指单相线缆上的电位相对于参照点的基准电位之间的电位差。当输入端通过至少两相线缆连接输出端时,至少两相线缆上的共模电压则是指这至少两相线缆上的电位相对于参照点的基准电位之间的至少两个电位差的平均值。例如,假设输入端通过a相线缆、b相线缆和c相线缆所构成的三相线缆连接输出端,则三相线缆上的共模电压可由如下公式(1.1)表示:

[0048] $V_{gm}=(V_a+V_b+V_c)/3\cdots\cdots(1.1)$

[0049] 其中,V_{gm}是指三相线缆上的共模电压,V_a是指a相线缆上的电位相对于参照点的基准电位的电位差,V_b是指b相线缆上的电位相对于参照点的基准电位的电位差,V_c是指c相线缆上的电位相对于参照点的基准电位的电位差。

[0050] 本申请实施例中的差模电压是指某一相线缆对另一相线缆之间的电压。例如,假设输入端通过i相线缆和o相线缆所构成的两相线缆连接输出端,i相线缆为正端输入线缆,o相线缆为负端输入线缆,则两相线缆之间的差模电压可由如下公式(1.2)表示:

[0051] $V_{cm}=V_i-V_o\cdots\cdots(1.2)$

[0052] 其中,V_{cm}是指两相线缆上的差模电压,V_i是指i相线缆上的电位相对于参照点的基准电位的电位差,V_o是指o相线缆上的电位相对于参照点的基准电位的电位差。

[0053] (3)太阳能电池的潜在电势诱导衰减(potential induced degradation,PID)现象。

[0054] 在光伏发电系统中,太阳能电池在发电过程中会与地面之间形成对地偏置电位差,而该对地偏置电位差作为一个影响因素又会反过来损坏太阳能电池的基板,影响太阳能电池的发电能力。研究发现,在太阳能电池使用3-4年甚至更短时间之后,太阳能电池的发电效率就会有一个明显的下降,导致整个光伏发电系统的发电量大幅降低,该现象称为太阳能电池的PID现象。太阳能电池的PID现象对于光伏发电系统来说是有害的,理论上应该要尽量避免或降低。

[0055] 下面将结合本申请实施例中的附图,对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述。

[0056] 图1示例性示出了一种光伏发电系统的系统架构示意图,如图1所示,该系统架构中可以包括光伏(photovoltaic,PV)单元110、逆变器(inverter)120和供/用电设备130,光伏单元110的输出端连接逆变器120的输入端,逆变器120的输出端连接供/用电设备130。其中,光伏单元110用于接收太阳光的辐照能量,并将接收到的辐照能量转化为直流电形式的

电能。光伏单元110可以是由多个太阳能电池通过串联和/或并联得到的光伏组件，也可以是由多个光伏组件串联和/或并联得到的光伏组串，还可以是由多个光伏组串构成的光伏组串集合。光伏组串也称为光伏面板、光伏阵列(array)。逆变器120也称为光伏逆变器，用于从光伏单元110接收直流电形式的电能，并将直流电形式的电能转换为交流电形式的电能后，将交流电形式的电能并入供/用电设备130。

[0057] 如图1所示，光伏单元110可通过直流线缆L_1和直流线缆L_2将直流电形式的电能输入至逆变器120。在这种情况下，逆变器120接收到的电压即为直流线缆L_1和直流线缆L_2之间的差模电压。例如，当直流线缆L_1为正端输入线缆而直流线缆L_2为负端输入线缆时，逆变器120接收到的电压为直流线缆L_1上的共模电压减去直流线缆L_2上的共模电压所得到的差模电压；当直流线缆L_1为负端输入线缆而直流线缆L_2为正端输入线缆时，逆变器120接收到的电压为直流线缆L_2上的共模电压减去直流线缆L_1上的共模电压所得到的差模电压。进一步地，逆变器120在将接收到的直流电形式的电能转化为交流形式的电能后，可通过交流线缆L_3将交流电形式的电能输入至供/用电设备130。其中，交流线缆L_3可以是单相交流线缆，也可以是三相交流线缆，具体不作限定。

[0058] 本申请实施例中，供/用电设备130可以为如下情况中的一种：

[0059] 一种情况下，供/用电设备130是指供电设备，如可以包括如图1所示意的电网(grid)131。在这种情况下，逆变器120可先将交流电形式的电能并入电网131，再通过电网131转化为市电后提供给居民使用。考虑到电网131侧在电压不稳时可能会对逆变器120和光伏单元110的光伏发电过程造成影响，供/用电设备130还可以包括如图1所示意的隔离变压器132，逆变器120的输出端连接隔离变压器132的输入端，隔离变压器132的输出端连接电网131。通过在逆变器120和电网131之间设置隔离变压器132，能起到电气绝缘逆变器120和电网131的目的，降低逆变器120与电网131之间的相互干扰。

[0060] 另一种情况下，供/用电设备130是指用电设备，如可以包括如图1所示意的负载设备133，负载设备133可指适用于交流供电的家用电子设备，如电冰箱、空调、洗衣机和电视机等。在这种情况下，逆变器120能直接将交流电形式的电能提供给家用电子设备，以支持家用电子设备的正常运行，而无需通过电网131进行转化。

[0061] 又一种情况下，供/用电设备130是指供电设备和用电设备，如可以同时包括上述内容介绍的隔离变压器132、电网131和负载设备133，还可包括开关组件S_1和开关组件S_2。逆变器120的输出端通过开关组件S_1连接负载设备133，电网131的输出端通过开关组件S_2连接负载设备133。在这种情况下，光伏发电系统可以为户用分布式光伏发电系统。在天气较好时，光伏单元110能产生足够稳定的电能，因此用户可导通开关组件S_1、并断开开关组件S_2，以尽可能地选择光伏单元110直接为负载设备133供电。在天气不好时，光伏单元110产生的电能可能不稳定，可能并不足以供负载设备133使用，因此用户可导通开关组件S_2、并断开开关组件S_1，以通过电网131为负载设备133供电，或同时导通开关组件S_1和开关组件S_2，以同时使用光伏单元110和电网131为负载设备133供电。通过联合光伏单元110和电网131一起为用户设备供电，能在降低用户购电成本的同时，兼顾到用户用电的可靠性。

[0062] 下文示例性地以供/用电设备130包括电网131和隔离变压器132为例进行介绍。

[0063] 在光伏发电系统中，逆变器120与供/用电设备130之间的交流线缆L_3通常会存在交流对地绝缘阻抗，如图1所示意出的交流对地绝缘阻抗Z_2。该交流对地绝缘阻抗Z_2并不是

一个真实存在的阻抗元件，而是用于表征交流线缆L_3内部导体与地面之间的绝缘程度的一个虚拟阻抗元件。该虚拟阻抗元件的阻抗值与包覆交流线缆L_3内部导体的绝缘介质的导电性、厚度、温度、及湿度等因素相关。当绝缘介质的导电性越好、厚度越薄、温度越高、或湿度越大时，交流对地绝缘阻抗Z_2的阻抗值越小，意味着，交流线缆L_3的内部导体与地面的绝缘性越差，交流线缆L_3漏电或短路接地的可能性越大，光伏发电系统的稳定性和可靠性也越差。因此，为避免出现漏电或短路接地的现象，通常还需要检测交流对地绝缘阻抗Z_2的阻抗值，一旦发现阻抗值小至一定程度，则可立马委托专人检修交流线缆L_3，以及时发现并修复光伏发电系统中出现的交流对地绝缘阻抗异常，维持光伏发电系统的稳定性和可靠性。

[0064] 现阶段在检测交流对地绝缘阻抗时，通常要在光伏发电系统中额外设置专用检测设备，由专用检测设备经过复杂的逻辑计算来完成检测。但是这种方式显然会增加光伏发电系统的成本和复杂性。为解决该问题，在一种可选地实施方式中，也可以将检测功能集成在光伏发电系统的抗PID器件中，其中，抗PID器件是预设在一些光伏发电系统中的固有器件，用于抑制太阳能电池的PID现象。图2示例性示出了该种检测方式所对应的光伏发电系统的电路结构图，如图2所示，抗PID器件140中预设有控制单元141，控制单元141内包含一个输出电压源，在实施中，逆变器120会采集光伏单元110中的电池板的对地共模电压并反馈给控制单元141，由控制单元141根据该对地共模电压调节内部输出电压源的输出电压，以限制光伏单元110的对地悬浮电压，尽量降低发电过程中产生的对地偏置电位差对光伏单元110所带来的损害。

[0065] 继续参照图2所示，在利用抗PID器件140检测交流对地绝缘阻抗Z_2时，抗PID器件140中还会设置电压采样器142和限流阻抗元件Z_3，电压采样器142的输入端和限流阻抗元件Z_3的一端分别连接逆变器120的输出端，电压采样器142的输出端和限流阻抗元件Z_3的另一端分别连接控制单元141，控制单元141还连接接地电路。在实施中，控制单元141会先向限流阻抗元件Z_3注入预设的共模电压(假设为U_{pid})，在预设的共模电压U_{pid}的作用下，由于限流阻抗元件Z_3和交流对地绝缘阻抗Z_2均连接接地电路，因此限流阻抗元件Z_3、交流对地绝缘阻抗Z_2、接地电路和控制单元141之间能形成回路。在忽略接地电路和控制单元141内部导体的阻抗的情况下，预设的共模电压U_{pid}只提供给限流阻抗元件Z_3和交流对地绝缘阻抗Z_2，即预设的共模电压U_{pid}被限流阻抗元件Z_3和交流对地绝缘阻抗Z_2分压，预设的共模电压U_{pid}等于限流阻抗元件Z_3上的电压和交流对地绝缘阻抗Z_2上的电压之和(在预设的共模电压U_{pid}被限流阻抗元件Z_3和交流对地绝缘阻抗Z_2分压的情况下，“限流阻抗元件Z_3上的电压”也可以称为“限流阻抗元件Z_3分压预设的共模电压U_{pid}所得到的共模电压”，“交流对地绝缘阻抗Z_2上的共模电压”也可以称为“交流对地绝缘阻抗Z_2分压预设的共模电压U_{pid}所得到的共模电压”)。如此，控制单元141从电压采样器142中获取到交流对地绝缘阻抗Z_2分压预设的共模电压U_{pid}所得到的共模电压(假设为U_{gd})后，可以按照如下公式(1.3)计算出交流对地绝缘阻抗Z_2的阻抗值：

[0066] $$\frac{U_{gd}}{U_{pid}}=\frac{Z_2}{Z_2+Z_3} \quad \ldots\ldots (1.3)$$

[0067] 在上述公式(1.3)中，预设的共模电压U_{pid}由抗PID器件140注入在回路中，其电压值属于一个已知量，限流阻抗元件Z_3为抗PID器件140自身固有的元件，其阻抗值也属于一个已知量，而交流对地绝缘阻抗Z_2分压预设的共模电压U_{pid}所得到的共模电压U_{gd}的电压值

能由电压采样器142测量得到,也属于一个已知量。在这种情况下,上述公式(1.3)中只存在交流对地绝缘阻抗Z_2这一个未知量,因此,根据上述公式(1.3)能求解出交流对地绝缘阻抗Z_2的阻抗值。

[0068] 虽然上述实施方式能利用抗PID器件检测交流对地绝缘阻抗,但是并不是所有的光伏发电系统中都设置有抗PID器件。在一些成本有限且对太阳能电池的寿命要求不是很严格的光伏发电系统中并不会设置抗PID器件。在这种情况下,该实施方式只能适用于存在抗PID器件的光伏发电系统,而无法兼容于不存在抗PID器件的光伏发电系统,这极大地限制了交流对地绝缘阻抗检测方法的可用场景,导致交流对地绝缘阻抗检测方法的通用性较差。

[0069] 有鉴于此,本申请提供一种绝缘阻抗检测方法,用以利用光伏发电系统中的必备设备逆变器来检测交流对地绝缘阻抗,以在降低检测交流对地绝缘阻抗的成本和复杂性的同时,兼顾交流对地绝缘阻抗检测方法的通用性。

[0070] 应理解,下文所描述的实施例仅仅是本申请的一部分实施例,而不是全部的实施例。在下文的描述中,“至少一个”是指一个或多个,多个是指两个或两个以上。鉴于此,本发明实施例中也可以将“多个”理解为“至少两个”。“和/或”,描述关联对象的关联关系,表示可以存在三种关系,例如,A和/或B,可以表示:单独存在A,同时存在A和B,单独存在B这三种情况。另外,字符“/”,如无特殊说明,一般表示前后关联对象是一种“或”的关系。

[0071] 另外,需要理解的是,在本申请的描述中,“第一”、“第二”、“第三”、及“第四”等词汇,仅用于区分描述的目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性,也不能理解为指示或暗示顺序。例如,“第一共模电压”、“第二共模电压”、“第三共模电压”、和“第四共模电压”,只是示例性地指出不同的共模电压,而并不意味着这四个共模电压的重要程度或优先级不同。

[0072] 下面将通过具体的实施例来介绍检测交流对地绝缘阻抗的具体实现过程。

[0073] 【实施例一】

[0074] 基于图1所示意的光伏发电系统,图3示例性示出本申请实施例提供的一种绝缘阻抗检测方法的流程示意图,该方法适用于图1所示意的逆变器120。在该示例中,考虑到交流线缆内部导体的阻抗、光伏单元内部导体的阻抗、以及接地电路的阻抗都较小,因此逆变器在检测交流对地绝缘阻抗的过程中可直接忽略这些阻抗。如图3所示,该方法包括:

[0075] 步骤301,逆变器获取光伏单元的直流对地绝缘阻抗的阻抗值。

[0076] 继续参照图1所示,在上述步骤301中,光伏单元110还具有直流对地绝缘阻抗Z_1。该直流对地绝缘阻抗Z_1并不是一个真实存在的阻抗元件,而是用于表征光伏单元110内部导体与地面之间的绝缘程度的一个虚拟阻抗元件。该虚拟阻抗元件的阻抗值与包覆光伏单元110内部导体的绝缘介质的材质、厚度、温度、及湿度等相关。一般来说,当包覆光伏单元110内部导体的绝缘介质的导电性越差、厚度越厚、温度越低、或湿度越小时,直流对地绝缘阻抗Z_1的阻抗值会越大,意味着,光伏单元110的内部导体与地面的绝缘性越好,光伏单元110漏电或短路接地的可能性越小。当包覆光伏单元110内部导体的绝缘介质的导电性越好、厚度越薄、温度越高、或湿度越大时,直流对地绝缘阻抗Z_1的阻抗值越小,意味着,光伏单元110的内部导体与地面的绝缘性越差,光伏单元110漏电或短路接地的可能性越大。

[0077] 本申请实施例中,光伏单元110的直流对地绝缘阻抗Z_1的阻抗值可以由逆变器120

根据光伏单元110输出的电气特性参数自行检测得到，也可以由光伏发电系统中的其它器件根据光伏单元110输出的电气特性参数检测得到并发送给逆变器120，还可以由额外设置在光伏发电系统中的专用检测设备检测得到并发送给逆变器120，具体不作限定。当由其它器件或专用检测设备检测时，其它器件或专用检测设备可以在逆变器120开机之前执行检测，并在逆变器120开机之后将检测到的阻抗值发送给逆变器120。当由逆变器120自行检测得到时，逆变器120可以在将来自光伏单元110的直流形式的电能并入供/用电设备130之前的任意时刻执行检测，如在接收到来自光伏单元110的直流形式的电能之前检测，或在接收到来自光伏单元110的直流形式的电能之后、将该直流形式的电能转化为交流电形式的电能之前检测，或接收到来自光伏单元110的直流电形式的电能、且将该直流电形式的电能转化为交流电形式的电能之后、将转化得到的交流电形式的电能并入供/用电设备130之前检测。如此，逆变器120在执行对直流对地绝缘阻抗Z_1的检测操作时，光伏单元110、逆变器120和供/用电设备130之间的传输链路处于断开状态，光伏单元110产生的电能只在光伏单元110、光伏单元110和逆变器120之间的直流线缆（如直流线缆L_1和直流线缆L_2）、逆变器120和接地电路之间传输。

[0078] 图4示例性示出本申请实施例提供的一种由逆变器检测直流对地绝缘阻抗的电路结构图，如图4所示，在该示例中，逆变器120中可以设置有控制电路121和电压采样电路122，光伏单元110与逆变器120之间的直流线缆上设置有采样点（如直流线缆L_1上的采样点r_1和直流线缆L_2上的采样点r_2），该采样点通过预设阻抗元件Z_4连接接地电路，电压采样电路122的输入端分别连接该采样点和光伏单元110，电压采样电路122的输出端连接控制电路121。在检测直流对地绝缘阻抗Z_1时，控制电路121可以通过电压采样电路122分别获取光伏单元110侧的第一电压（假设为U_1）和采样点处的第二电压（假设为U_4），由于光伏单元110输出的电能未并入供/用电设备130，因此在光伏单元110侧的第一电压U_1的作用下，预设阻抗元件Z_4、接地电路、直流对地绝缘阻抗Z_1和光伏单元110之间能形成回路。在不考虑光伏单元110内部导体的阻抗的情况下，第一电压U_1被预设阻抗元件Z_4和直流对地绝缘阻抗Z_1分压，第一电压U_1等于预设阻抗元件Z_4分压第一电压U_1所得到的电压和直流对地绝缘阻抗Z_1分压第一电压U_1所得到的电压之和，而电压采样电路122采样到的直流线缆上的第二电压U_4即为预设阻抗元件Z_4分压第一电压U_1所得到的分压电压。如此，逆变器根据第一电压U_1、预设阻抗元件Z_4分压第一电压U_1所得到的第二电压U_4和预设阻抗元件Z_4的阻抗值，可以按照如下公式（2.1）计算得到直流对地绝缘阻抗Z_1的阻抗值：

[0079] $$\frac{U_4}{U_1}=\frac{Z_4}{Z_1+Z_4} \quad \text{……（2.1）}$$

[0080] 在上述公式（2.1）中，第二电压U_4可由电压采样电路122采样得到，属于已知量，预设阻抗元件Z_4预先设置在光伏发电系统中，也属于已知量，而第一电压U_1和直流对地绝缘阻抗Z_1均为未知量。该表达式中存在两个未知量，若要求解直流对地绝缘阻抗Z_1的阻抗值，则还需要列另一个表达式。在这种情况下，预设阻抗元件Z_4可设置为可调阻抗元件，在实施中，逆变器可以先将预设阻抗元件Z_4调节为某个阻抗值，根据该阻抗值和检测出的第二电压U_4按照上述公式（2.1）列一个表达式，之后再将预设阻抗元件Z_4调节为另一个阻抗值，再根据该另一个阻抗值和检测出的第二电压U_4按照上述公式（2.1）列另一个表达式，如此，根据这两个表达式约分第一电压U_1后，逆变器能求解出直流对地绝缘阻抗Z_1的阻抗值。

[0081] 示例性地，当直流线缆包括如图4所示意的直流线缆L_1和直流线缆L_2时，预设阻抗元件Z_4也可以包括如图4所示意的阻抗元件Z_{41}和阻抗元件Z_{42}，直流线缆L_1上的采样点r_1通过阻抗元件Z_{41}连接接地电路，直流线缆L_2上的采样点r_2通过阻抗元件Z_{42}连接接地电路，电压采样电路122分别连接采样点r_1和采样点r_2。在光伏单元110输出的电能未并入电网131的情况下，阻抗元件Z_{41}和阻抗元件Z_{42}属于并联关系。在这种情况下：

[0082] 控制电路121可以先将预设阻抗元件Z_4的阻抗值调节为某一阻抗值，通过电压采样电路122获取采样点r_1处的电压(假设为U_{41})，该电压U_{41}实际上是直流线缆L_1上的共模电压，该共模电压U_{41}提供给阻抗元件Z_{41}，作为阻抗元件Z_{41}分压第一电压U_1所得到的第二电压，而直流对地绝缘阻抗Z_1和阻抗元件Z_{42}并联后分压第一电压U_1得到另一部分电压。如此，逆变器根据第一电压U_1、阻抗元件Z_{41}分压第一电压U_1所得到的第二电压U_{41}、直流对地绝缘阻抗Z_1、阻抗元件Z_{41}的阻抗值和阻抗元件Z_{42}的阻抗值，可以按照如下公式(2.2.1)列出一个表达式：

[0083] $$\frac{U_{41}}{U_1}=\frac{Z_{41}}{\frac{Z_1\times Z_{42}}{Z_1+Z_{42}}+Z_{41}} \quad \text{……（2.2.1）}$$

[0084] 进一步地，控制电路121可以再将预设阻抗元件Z_4的阻抗值调节为某一阻抗值，通过电压采样电路122获取采样点r_2处的电压(假设为U_{42})，该电压U_{42}实际上是直流线缆L_2上的共模电压，该共模电压U_{42}提供给阻抗元件Z_{42}，作为阻抗元件Z_{42}分压第一电压U_1所得到的第二电压，而直流对地绝缘阻抗Z_1和阻抗元件Z_{41}并联后分压第一电压U_1得到另一部分电压。如此，逆变器根据第一电压U_1、阻抗元件Z_{42}分压第一电压U_1所得到的第二电压U_{42}、直流对地绝缘阻抗Z_1、阻抗元件Z_{41}的阻抗值和阻抗元件Z_{42}的阻抗值，可以按照如下公式(2.2.2)列出另一个表达式：

[0085] $$\frac{U_{42}}{U_1}=\frac{Z_{42}}{\frac{Z_1\times Z_{41}}{Z_1+Z_{41}}+Z_{42}} \quad \text{……（2.2.2）}$$

[0086] 如此，上述公式(2.2.1)和公式(2.2.2)中共存在第一电压U_1和直流对地绝缘阻抗Z_1这两个未知量，逆变器根据这两个表达式约分第一电压U_1后，能求解出直流对地绝缘阻抗Z_1的阻抗值。

[0087] 需要说明的是，上述内容只是示例性介绍一种可能的检测方式，本申请并不限定只能使用该种方式检测直流对地绝缘阻抗Z_1。例如，在其它示例中，也可以在逆变器开机之前采用绝缘ISO测试方式测得直流对地绝缘阻抗Z_1的阻抗值，或者通过多次实验将采集到的多个阻抗值的平均值作为直流对地绝缘阻抗Z_1的阻抗值等。

[0088] 步骤302，逆变器将光伏单元输出的电能并入供/用电设备。

[0089] 继续参照图4所示，逆变器120中还可以包括逆变电路123，逆变电路123的输入端连接光伏单元110，逆变电路123的输出端连接供/用电设备130，逆变电路123的控制端连接控制电路121。在这种情况下，逆变器120将光伏单元110输出的电能并入供/用电设备130，是指：逆变电路123在控制电路121的控制下，接收来自光伏单元110的直流电形式的电能，并将该直流电形式的电能转化为交流电形式的电能，将交流电形式的电能输出给供/用电设备130。

[0090] 步骤303,逆变器判断光伏单元输出的电能是否成功并入供/用电设备,若是,则执行步骤304,若否,则执行步骤302。

[0091] 在一种可选地实施方式中,逆变器120在开机后可以先不将光伏单元110输出的电能并入供/用电设备130,而是先检测光伏单元110的直流对地绝缘阻抗Z_1的阻抗值,并在检测完成后将光伏单元110输出的电能并入供/用电设备130,并实时监测并入结果。在未并入成功时,逆变器120可以重复进行并入操作(即重复执行步骤302和步骤303),直至监测到并入成功后,逆变器开始周期检测交流对地绝缘阻抗Z_2的阻抗值。下面示例性以一个周期为例,介绍如何检测得到交流对地绝缘阻抗Z_2的阻抗值。

[0092] 步骤303,逆变器向逆变器的输出端与供/用电设备之间的交流线缆注入第一共模电压。

[0093] 继续参照图4所示,在上述步骤303中,控制电路121可以通过向逆变电路123发送注入第一共模电压的指示信息来指示逆变电路123向交流线缆L_3注入第一共模电压(假设为U_{gm1})。示例性地,控制电路121还可以连接外部终端设备,如笔记本电脑、手机或嵌入式设备等,外部终端设备上安装有应用程序(application,APP)。如此,用户还可以通过外部终端设备上的APP软件控制注入第一共模电压U_{gm1}的电压特性,如控制注入第一共模电压U_{gm1}的频率、相位或幅值。

[0094] 本申请实施例中,当供/用电设备130包括隔离变压器132和电网131时,电网131可以是指平衡电网。在这种情况下,光伏单元110输出的电能并入电网131,意味着光伏单元110输出的差模电压经由逆变器转化后全部并入电网131,而逆变器注入至交流线缆L_3的第一共模电压U_{gm1}则使交流线缆L_3、交流对地绝缘阻抗Z_2、接地电路、直流对地绝缘阻抗Z_1、光伏单元110和逆变器120之间形成回路。

[0095] 步骤304,逆变器确定交流对地绝缘阻抗上的第二共模电压。

[0096] 继续参照图4所示,在一种可选地实施方式中,交流线缆L_3上设置采样点r_3,电压采样电路122还连接采样点r_3,如此,控制电路121通过电压采样电路122还可以获取采样点r_3处的共模电压,该共模电压即为交流对地绝缘阻抗Z_2上的第二共模电压。当不考虑交流线缆L_3内部导体的阻抗、接地电路的阻抗、光伏单元110内部导体的阻抗和逆变器120内部导体的阻抗时,第一共模电压U_{gm1}只提供给交流对地绝缘阻抗Z_2和直流对地绝缘阻抗Z_1,这种情况下,第一共模电压U_{gm1}被交流对地绝缘阻抗Z_2和直流对地绝缘阻抗Z_1分压,第一共模电压U_{gm1}等于交流对地绝缘阻抗Z_2上的电压和直流对地绝缘阻抗Z_1上的电压之和,而采样点r_3处的共模电压即为交流对地绝缘阻抗Z_2分压第一共模电压U_{gm1}所得到的第二共模电压(假设为U_{gm2})。

[0097] 步骤305,逆变器根据第一共模电压、第二共模电压和直流对地绝缘阻抗的阻抗值,获得交流对地绝缘阻抗的阻抗值。

[0098] 在上述步骤305中,逆变器可以通过如下任一方式获得交流对地绝缘阻抗的阻抗值:

[0099] 方式一:

[0100] 控制电路121根据第一共模电压U_{gm1}、交流对地绝缘阻抗Z_2分压第一共模电压U_{gm1}所得到的第二共模电压U_{gm2}、以及直流对地绝缘阻抗Z_1的阻抗值,可按照如下公式(2.3)计算得到交流对地绝缘阻抗Z_2的阻抗值:

[0101] $$\frac{U_{gm2}}{U_{gm1}}=\frac{Z_2}{Z_1+Z_2}\cdots\cdots(2.3)$$

[0102] 在上述公式(2.3)中,第一共模电压U_{gm1}由控制电路121控制逆变电路123注入给交流线缆L_3,其电压值属于一个已知量,第二共模电压U_{gm2}能通过电压采样电路122采样得到,其电压值也属于一个已知量,而直流对地绝缘阻抗Z_1在逆变器120将光伏单元110输出的电能并入供/用电设备130之前已提前检测得到,其阻抗值也属于一个已知量。在这种情况下,上述公式(2.3)中实际上只包括交流对地绝缘阻抗Z_2的阻抗值这一个未知量,如此,逆变器将各个已知量代入上述公式(2.3)后,可计算得到交流对地绝缘阻抗Z_2的阻抗值。

[0103] 方式二:

[0104] 控制电路121根据第一共模电压U_{gm1}和交流对地绝缘阻抗Z_2分压第一共模电压U_{gm1}所得到的第二共模电压U_{gm2},可以先按照如下公式(2.4)计算出直流对地绝缘阻抗Z_1分压第一共模电压U_{gm1}所得到的第三共模电压U_{gm3}:

[0105] $U_{gm3}=U_{gm1}-U_{gm2}\cdots\cdots(2.4)$

[0106] 之后,控制电路121根据直流对地绝缘阻抗Z_1分压第一共模电压U_{gm1}所得到的第三共模电压U_{gm3}和提前检测出的直流对地绝缘阻抗Z_1的阻抗值,能计算出直流对地绝缘阻抗Z_1上流经的电流值,根据交流对地绝缘阻抗Z_2分压第一共模电压U_{gm1}所得到的第二共模电压U_{gm2}和交流对地绝缘阻抗Z_2,能计算出交流对地绝缘阻抗Z_2上流经的电流值,由于直流对地绝缘阻抗Z_1和交流对地绝缘阻抗Z_2串接在一起,因此这两个电流值保持一致,即满足如下公式(2.5):

[0107] $$\frac{U_{gm3}}{Z_1}=\frac{U_{gm2}}{Z_2}\cdots\cdots(2.5)$$

[0108] 如此,控制电路通过将各项已知量代入上述公式(2.4)和公式(2.5),能计算出交流对地绝缘阻抗Z_2的阻抗值。

[0109] 方式三:

[0110] 控制电路121根据交流对地绝缘阻抗Z_2分压第一共模电压U_{gm1}所得到的第二共模电压U_{gm2}和交流对地绝缘阻抗Z_2,能计算出交流对地绝缘阻抗Z_2上流经的电流值,根据第一共模电压U_{gm1}、提前检测出的直流对地绝缘阻抗Z_1的阻抗值和交流对地绝缘阻抗Z_2,能计算出整个回路上流经的电流值,由于直流对地绝缘阻抗Z_1和交流对地绝缘阻抗Z_2串接在一起,因此这两个电流值保持一致,即满足如下公式(2.6):

[0111] $$\frac{U_{gm2}}{Z_2}=\frac{U_{gm1}}{Z_1+Z_2}\cdots\cdots(2.6)$$

[0112] 如此,控制电路通过将各项已知量代入上述公式(2.6),能计算出交流对地绝缘阻抗Z_2的阻抗值。

[0113] 在一种可选地实施方式中,逆变器120在每次检测到交流对地绝缘阻抗Z_2的阻抗值之后,还可以对比检测到的交流对地绝缘阻抗Z_2的阻抗值和预设的阻抗阈值。若发现检测到的交流对地绝缘阻抗Z_2的阻抗值小于预设的阻抗阈值,则说明交流线缆L_3与地面的绝缘性较差,光伏发电系统当前存在漏电或短路接地的风险。在这种情况下,逆变器120可不再将光伏单元110输出的电能并入供/用电设备130,并可向用户进行告警,如生成告警消息

并实时发送给所连接的外部终端设备，以便于用户及时发现交流对地绝缘阻抗Z_2的异常情况，尽快修复交流线缆L_3，维持光伏发电系统的可靠性。若发现检测到的交流对地绝缘阻抗Z_2的阻抗值不小于预设的阻抗阈值，则说明交流线缆L_3与地面的绝缘性较好，光伏发电系统当前不存在漏电或短路接地的风险，逆变器120无需告警，并可启动下一周期的检测操作。

[0114] 在上述实施例一中，逆变器将注入交流线缆的共模电压作为激励源，通过提前检测直流对地绝缘阻抗的阻抗值，以及测量提取交流对地绝缘阻抗在该激励源下所分得的共模电压，能利用共模电压在交流对地绝缘阻抗和直流对地绝缘阻抗的分压值折算出交流对地绝缘阻抗的阻抗值。该方式利用光伏发电系统中的必备器件逆变器检测交流对地绝缘阻抗，既不需要设置额外的检测设备，又不用经过复杂的逻辑计算，有助于在降低检测交流对地绝缘阻抗的成本和复杂性的情况下，兼顾到检测方法的通用性和实现的便捷性。

[0115] 下文以上述公式(2.3)为例进一步地介绍解析交流对地绝缘阻抗Z_2的过程。

[0116] 本申请实施例中，交流对地绝缘阻抗Z_2可以包括交流对地绝缘电阻、交流对地绝缘电容和交流对地绝缘电抗这三项参数中的一项参数或多项参数。例如，当供/用电设备为用电设备(如图1所示意的负载设备133)时，交流对地绝缘阻抗Z_2一般包括交流对地绝缘电阻、交流对地绝缘电容和交流对地绝缘电抗这三项参数，而当供/用电设备为供电设备(如图1所示意的隔离变压器132和电网131)时，交流对地绝缘阻抗Z_2一般包括交流对地绝缘电阻和交流对地绝缘电容这两项参数。在仅包括三项参数中的一项参数时，逆变器按照上述公式(2.3)所计算出的阻抗值即为该项参数所对应的参数值，如交流对地绝缘电阻的电阻值，或交流对地绝缘电容的电容值，或交流对地绝缘电抗的电抗值。在包括三项参数中的至少两项参数时，逆变器只根据上述公式(2.3)无法计算出至少两个参数各自对应的参数值。在这种情况下，逆变器120还需要改变注入在交流线缆L_3上的第一共模电压U_{gm1}的电压特性，并按照上述公式(2.3)构建出至少两个公式，以通过至少两个公式计算出至少两个参数各自对应的参数值。其中，当第一共模电压U_{gm1}的电压类型不同时，第一共模电压U_{gm1}的电压特性也不同。下面分别以示例一和示例二为例，针对于不同电压类型的第一共模电压U_{gm1}，介绍如何计算交流对地绝缘阻抗Z_2中包含的各项参数的参数值。

[0117] 示例一：

[0118] 当第一共模电压U_{gm1}为交流电形式的电压时，逆变器120可通过改变第一共模电压U_{gm1}的频率、幅值或相位中的一项或多项电压特性，来生成与交流对地绝缘阻抗Z_2中包含的参数数量相同的数量的公式。下面以改变第一共模电压U_{gm1}的频率为例，进行示例性地说明：

[0119] 当交流对地绝缘阻抗Z_2只包括交流对地绝缘电阻、交流对地绝缘电容或交流对地绝缘电抗中的一项参数时，逆变器120可以只向交流线缆L_3注入第一频率的第一共模电压，之后，在通过电压采样电路122获取到交流线缆L_3上的共模电压(如第四共模电压)后，从第四共模电压中提取出具有第一频率的共模电压作为第二共模电压U_{gm2}(该提取操作可以由电压采样电路122执行，也可以由控制电路121执行，不作限定)，将第一频率的第一共模电压U_{gm1}和第一频率的第二共模电压U_{gm2}代入上述公式(2.3)，以计算出交流对地绝缘阻抗Z_2所包含的一个参数的参数值。其中，逆变器可通过多种方式从第四共模电压中提取第一频率的第二共模电压U_{gm2}，如快速傅里叶变换(fast fourier transform,FFT)等。

[0120] 当交流对地绝缘阻抗Z_2包括交流对地绝缘电阻、交流对地绝缘电容和交流对地绝

缘电抗中的两项参数(如交流对地绝缘电阻和交流对地绝缘电容)时,逆变器120可以一次向交流线缆L_3中注入包含第一频率和第二频率的共模电压,之后,在通过电压采样电路122获取到交流线缆L_3上的第四共模电压后,分别从第四共模电压中提取出具有第一频率的共模电压和具有第二频率的共模电压,将注入的共模电压中包含的第一频率的共模电压(作为第一共模电压U_{gm1})和从第四共模电压中提取出的第一频率的共模电压(作为第二共模电压U_{gm2})代入上述公式(2.3),得到交流对地绝缘电阻和交流对地绝缘电容之间的第一关联关系,将注入的共模电压中包含的第二频率的共模电压(作为第一共模电压U_{gm1})和从第四共模电压中提取出的第二频率的共模电压(作为第二共模电压U_{gm2})代入上述公式(2.3),得到交流对地绝缘电阻和交流对地绝缘电容之间的第二关联关系;解析这两个关联关系,逆变器120能计算出交流对地绝缘阻抗Z_2中包含的交流对地绝缘电阻的电阻值和交流对地绝缘电容的电容值。

[0121] 需要说明的是,上述方式只是以一次注入包含多个频率的共模电压为例进行介绍。在其它示例中,逆变器也可以分多次分别注入不同频率的共模电压,联合多次注入所构建的多个表达式来计算上述多个参数的参数值,本申请对此不再重复赘述。

[0122] 当交流对地绝缘阻抗Z_2包括交流对地绝缘电阻、交流对地绝缘电容和交流对地绝缘电抗这三项参数时,逆变器120可以先向交流线缆L_3注入第一频率的第一共模电压U_{gm1},并按照上述方式采集并提取出具有第一频率的第二共模电压U_{gm2},将第一频率的第一共模电压U_{gm1}和第一频率的第二共模电压U_{gm2}代入上述公式(2.3),得到交流对地绝缘电阻、交流对地绝缘电容和交流对地绝缘电抗之间的第一关联关系;之后,逆变器120可以再向交流线缆L_3注入第二频率的第一共模电压U_{gm1},并按照上述方式采集并提取出具有第二频率的第二共模电压U_{gm2},将第二频率的第一共模电压U_{gm1}和第二频率的第二共模电压U_{gm2}代入上述公式(2.3),得到交流对地绝缘电阻、交流对地绝缘电容和交流对地绝缘电抗之间的第二关联关系;接着,逆变器120可以再向交流线缆L_3注入第三频率的第一共模电压U_{gm1},并按照上述方式采集并提取出具有第三频率的第二共模电压U_{gm2},将第三频率的第一共模电压U_{gm1}和第三频率的第二共模电压U_{gm2}代入上述公式(2.3),得到交流对地绝缘电阻、交流对地绝缘电容和交流对地绝缘电抗之间的第三关联关系;解析这三个关联关系,逆变器120能计算出交流对地绝缘阻抗Z_2中包含的交流对地绝缘电阻的电阻值、交流对地绝缘电容的电容值、以及交流对地绝缘电抗的电抗值。需要说明的是,该方式只是以分多次分别注入不同频率的第一共模电压为例进行介绍。在其它示例中,逆变器也可以一次注入包含多个频率的共模电压,联合多个频率的共模电压分别构建的多个表达式来计算上述多个参数的参数值,本申请对此不再重复赘述。

[0123] 应理解,上述示例一只是以改变第一共模电压U_{gm1}的频率这一个电压特性为例介绍如何计算交流对地绝缘阻抗Z_2中包含的各参数的参数值。当交流对地绝缘阻抗Z_2中包含至少两个参数时,逆变器也可以通过改变频率、幅值和相位这三个电压特性中的至少两个电压特性,来构建与参数数量相同的表达式,本申请对此不再一一重复赘述。

[0124] 示例二:

[0125] 当第一共模电压U_{gm1}为直流电形式的电压时,由于直流电形式的电压不具有频率,而交流对地绝缘电容和交流对地绝缘电抗均与频率相关,因此交流对地绝缘阻抗Z_2中只包含交流对地绝缘电阻,而不包含交流对地绝缘电容和交流对地绝缘电抗。在这种情况下,逆

变器120可直接向交流线缆L_3注入预设幅值和预设相位的第一共模电压U_{gm1}，再通过电压采样电路122获取到交流线缆L_3上的第二共模电压U_{gm2}，将第一共模电压U_{gm1}和第二共模电压U_{gm2}代入上述公式(2.3)，以计算出交流对地绝缘阻抗Z_2中包含的交流对地绝缘电阻的电阻值。

[0126] 在一种可选地实施方式中，为避免单次计算所存在的精度不高的问题，逆变器120还可随机改变或按照预设规则改变相位和幅值以进行多次计算，然后根据多次计算的计算结果选取精度较高的结算结果作为最终的阻抗值。例如，逆变器120还可先施加某一幅值的正向的第一共模电压至交流侧，根据检测到的第二共模电压计算出正向的第一共模电压所对应的交流对地绝缘阻抗Z_2的阻抗值后，再施加同一幅值的负向的第一共模电压至交流侧，根据检测到的第二共模电压计算出负向的第一共模电压所对应的交流对地绝缘阻抗Z_2的阻抗值。如果正向的第一共模电压和负向的第一共模电压所对应的两个阻抗值差别不大，说明当前计算的精度较好，逆变器120可以选取这两个阻抗值中的一个作为最终的阻抗值，也可以将这两个阻抗值的平均值或加权平均值作为最终的阻抗值等。如果正向的第一共模电压和负向的第一共模电压所对应的两个阻抗值差别较大，说明当前计算的精度不好，逆变器120可以再重新施加另一幅值的正向和负向的第一共模电压，并重复执行上述过程，直至找到计算结果差别不大的阻抗值为止，以提高计算精度。

[0127] 本申请实施例中，逆变器120可以通过单相交流线缆连接供/用电设备130，也可以通过三相交流线缆连接供/用电设备130。当通过单相交流线缆连接供/用电设备130时，交流对地绝缘阻抗Z_2用于表征该单相交流线缆的内部导体与地面之间的绝缘程度，逆变器120可直接按照上述实施例一中的方式计算得到交流对地绝缘阻抗Z_2的阻抗值。当通过三相交流线缆连接供/用电设备130时，该交流对地绝缘阻抗Z_2实际上由三相交流线缆分别对应的三个交流对地绝缘子阻抗构成，每相交流线缆对应的交流对地绝缘子阻抗用于表征该相交流线缆的内部导体与地面之间的绝缘程度。下面以实施例二介绍如何计算得到三相交流线缆对应的交流对地绝缘阻抗Z_2。

[0128] 【实施例二】

[0129] 图5示例性示出本申请实施例提供的另一种光伏发电系统的电路结构图，如图5所示，在该示例中，逆变器120通过交流线缆L_{31}、交流线缆L_{32}和交流线缆L_{33}这三相交流线缆连接供/用电设备130，交流对地绝缘阻抗Z_2包括与交流线缆L_{31}对应的交流对地绝缘子阻抗Z_{21}、与交流线缆L_{32}对应的交流对地绝缘子阻抗Z_{22}和与交流线缆L_{32}对应的交流对地绝缘子阻抗Z_{23}。这三相交流线缆中的每相交流线缆都通过自己所对应的交流对地绝缘子阻抗连接接地电路，如交流线缆L_{31}在采样点r_{31}处引出线缆连接交流对地绝缘子阻抗Z_{21}的一端，进而通过交流对地绝缘子阻抗Z_{21}的另一端连接接地电路，交流线缆L_{32}在采样点r_{32}处引出线缆接交流对地绝缘子阻抗Z_{22}的一端，进而通过交流对地绝缘子阻抗Z_{22}的另一端连接接地电路，交流线缆L_{33}在采样点r_{33}处引出线缆接交流对地绝缘子阻抗Z_{23}的一端，进而通过交流对地绝缘子阻抗Z_{23}的另一端连接接地电路。逆变器120中的电压采样电路122的输入端还分别连接采样点r_{31}、采样点r_{32}和采样点r_{33}。在实施中，控制电路121在检测到逆变器120开机后，可以先不向逆变电路123发送启动指令，以使逆变电路123继续处于不工作状态，光伏单元110输入的电能也不会被并入电网131，控制电路121根据光伏单元110在未并网状态下的电气参数检测出光伏单元110的直流对地绝缘阻抗Z_1。之后，控制电路121向逆变电路123发送

启动指令,以使逆变电路123切换到工作状态,在这种情况下,逆变电路123能接收光伏单元110输入的直流电形式的电能,并将该直流电形式的电能转化为交流电形式的电能,之后通过交流线缆L_{31}、交流线缆L_{32}和交流线缆L_{33}并入电网131。其中,交流线缆L_{31}、交流线缆L_{32}和交流线缆L_{33}上分别传输三个频率相同、振幅相等、且相位依次互差120°的交流电。在确定光伏单元110并网成功后,控制电路121可向逆变电路123发送注入指令,驱使逆变电路123向三相交流线缆注入第一共模电压,并通过电压采样电路122获取采样点r_{31}处的共模电压(假设为U_{21})、采样点r_{32}处的共模电压(假设为U_{22})和采样点r_{33}处的共模电压(假设为U_{23})。控制电路121根据这三个采样点处采集到的共模电压,可以按照如下公式(2.7)计算出三相交流线缆上的共模电压,该共模电压即为交流对地绝缘阻抗Z_2分压第一共模电压所得到的分压电压U_2:

[0130] $$U_2=\frac{U_{21}+U_{22}+U_{23}}{3} \quad \cdots\cdots (2.7)$$

[0131] 更进一步的,控制电路121联合将上述公式(2.7)与上述公式(2.3)、或上述公式(2.4)和上述公式(2.5)、或上述公式(2.6),能解析出交流对地绝缘阻抗Z_2的阻抗值。然而,交流对地绝缘阻抗Z_2的阻抗值实际上由交流对地绝缘子阻抗Z_{21}、交流对地绝缘子阻抗Z_{22}和交流对地绝缘子阻抗Z_{22}通过并联方式构成,在这种情况下,这三个子阻抗之间的关联关系还满足如下公式(2.8):

[0132] $$Z_2=\frac{1}{\frac{1}{Z_{21}}+\frac{1}{Z_{22}}+\frac{1}{Z_{23}}} \quad \cdots\cdots (2.8)$$

[0133] 上述公式(2.8)中实际上存在三个未知参数,若要求解每相交流线缆所对应的交流对地绝缘子阻抗的阻抗值,则至少需要列三个表达式。在这种情况下,控制电路121还可以分三次注入不同电压特性的第一共模电压,并根据每次注入的第一共模电压和对应采集到的第二共模电压构建对应的表达式,基于三次构建得到的三个表达式计算出三相交流线缆分别对应的交流对地绝缘子阻抗的阻抗值。或者,控制电路121还可以一次注入包含不同电压特性的共模电压,并根据注入的共模电压中的每种电压特性的第一共模电压和对应电压特性的第二共模电压构建对应的表达式,基于构建得到的多个表达式计算出三相交流线缆分别对应的交流对地绝缘子阻抗的阻抗值。其中,当控制电路121控制逆变电路123注入的是直流电形式的第一共模电压时,控制电路121可以改变注入第一共模电压的幅值和相位这两种电压特性,当控制电路121控制逆变电路123注入的是交流电形式的第一共模电压时,控制电路121可以改变注入第一共模电压的频率、幅值和相位这三种电压特性中的一种或多种。关于如何改变不同电压特性以构建不同的表达式的具体实现过程,请参照上述实施例一,此处不再重复介绍。

[0134] 更进一步的,本申请实施例中,每相交流线缆对应的交流对地绝缘子阻抗也都可以由交流对地绝缘子电阻、交流对地绝缘子电容和交流对地绝缘子电抗这三项参数中的一项参数或多项参数构成。例如,当供/用电设备为用电设备(如图1所示意的负载设备133)时,交流对地绝缘阻抗Z_2一般包括交流对地绝缘电阻、交流对地绝缘电容和交流对地绝缘电抗这三项参数,而当供/用电设备为供电设备(如图1所示意的隔离变压器132和电网131)时,交流对地绝缘阻抗Z_2一般包括交流对地绝缘电阻和交流对地绝缘电容这两项参数。在

仅包括这三项参数中的一项参数时，按照上述方式构建三个表达式之后所计算出的每相交流线缆对应的交流对地绝缘子阻抗的阻抗值即为该参数的参数值。在包括三项参数中的至少两项参数时，按照上述方式构建三个表达式之后只能计算出每相交流线缆对应的交流对地绝缘子阻抗的阻抗值，但无法计算出该交流对地绝缘子阻抗中包含的至少两个未知数各自对应的参数值。在这种情况下，逆变器还需要继续改变注入在交流线缆L_3上的第一共模电压的电压特性，来构建更多数量的表达式。示例来说，当三相交流线缆对应的三个交流对地绝缘子阻抗都包含交流对地绝缘子电阻和交流对地绝缘子电容这两个参数时，若想要求解出每相交流对地绝缘子阻抗所包含的交流对地绝缘子电阻的电阻值和交流对地绝缘子电容的电容值，则至少需要构建6个表达式，即至少需要改变6次第一共模电压的电压特性，如同时注入包括6个频率的共模电压，或分6次注入不同频率的第一共模电压等。

[0135] 示例性地，当供/用电设备包括电网、且第一共模电压为直流电形式的电压时，三相交流线缆近似被电网所短路。在这种情况下，逆变器可以直接通过一次注入操作所构建的表达式来计算出三相交流线缆上的交流对地绝缘子电阻所构成的总的电阻值，而可以不再分别计算每相交流线缆上的交流对地绝缘子电阻的电阻值，以避免重复执行无意义的构建操作，节省逆变器的计算资源。

[0136] 需要说明的是，上述实施例一和实施例二均是以光伏发电系统包括1个光伏单元和1个逆变器为例介绍如何测量交流对地绝缘阻抗。在具体实施中，光伏发电系统中还可以包括一一对应的至少两个光伏单元和至少两个逆变器，各光伏单元通过各自对应的逆变器连接同一供/用电设备。

[0137] 需要说明的是，上述各个信息的名称仅仅是作为示例，随着通信技术的演变，上述任意信息均可能改变其名称，但不管其名称如何发生变化，只要其含义与本申请上述信息的含义相同，则均落入本申请的保护范围之内。

[0138] 上述主要从各个网元之间交互的角度对本申请提供的方案进行了介绍。可以理解的是，上述实现各网元为了实现上述功能，其包含了执行各个功能相应的硬件结构和/或软件模块。本领域技术人员应该很容易意识到，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，本发明能够以硬件或硬件和计算机软件的结合形式来实现。某个功能究竟以硬件还是计算机软件驱动硬件的方式来执行，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发明的范围。

[0139] 根据本申请实施例提供的方法，本申请还提供一种光伏发电系统，其包括前述的光伏单元、逆变器以及供/用电设备，其中，光伏单元用于将光能转化为直流电形式的电能后传输给逆变器，逆变器在确定交流对地绝缘阻抗不小于预设的阻抗阈值的情况下，将直流电形式的电能转换为交流电形式的电能后输入供/用电设备，以使供/用电设备接收该交流电形式的电能。

[0140] 在一种可能的设计中，供/用电设备可以是指供电设备，如可以包括隔离变压器和电网，隔离变压器的输入端连接逆变器的输出端，隔离变压器的输出端连接电网。

[0141] 在另一种可能的设计中，供/用电设备可以是指用电设备，如可以包括负载设备。

[0142] 根据本申请实施例提供的方法，本申请还提供一种计算机可读存储介质，该计算机可读介质存储有程序代码，当该程序代码在计算机上运行时，使得该计算机执行图1至图

5所示实施例中任意一个实施例的方法。

[0143] 根据本申请实施例提供的方法,本申请还提供一种计算机程序产品,该计算机程序产品包括:计算机程序代码,当该计算机程序代码在计算机上运行时,使得该计算机执行图1至图5所示实施例中任意一个实施例的方法。

[0144] 根据本申请实施例提供的方法,本申请还提供一种芯片,如逆变器中的芯片,该芯片用于执行图1至图5所示实施例中任意一个实施例的方法。

[0145] 本领域内的技术人员应明白,本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此,本申请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,本申请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。

[0146] 本申请是参照根据本申请的方法、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。

[0147] 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。

[0148] 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。

[0149] 显然,本领域的技术人员可以对本申请进行各种改动和变型而不脱离本申请的保护范围。这样,倘若本申请的这些修改和变型属于本申请权利要求及其等同技术的范围之内,则本申请也意图包含这些改动和变型在内。

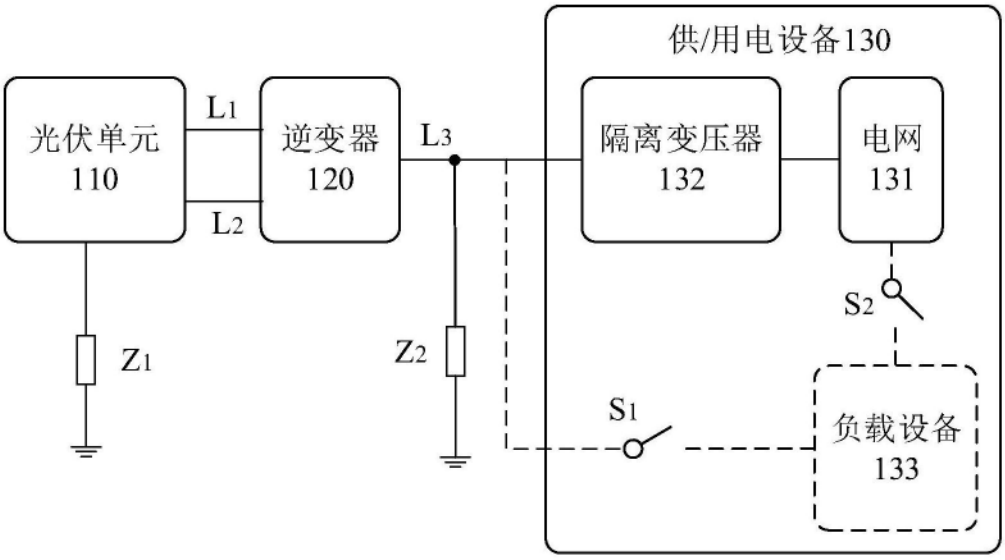

供/用电设备130
光伏单元
110
L1
L2
逆变器
120
L3
隔离变压器
132
电网
131
S2
Z1
Z2
S1
负载设备
133

图1

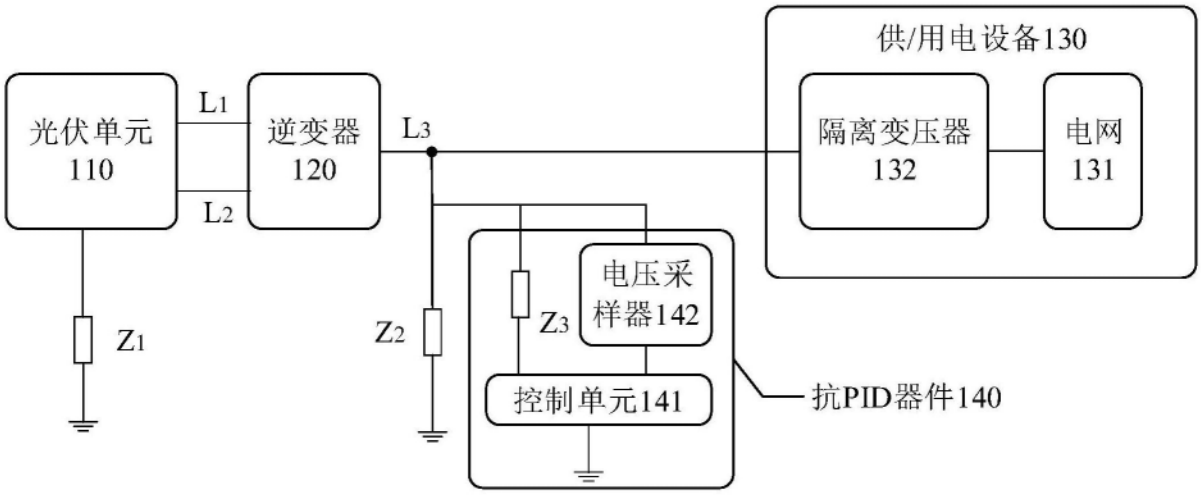

供/用电设备130
光伏单元
110
L1
L2
逆变器
120
L3
隔离变压器
132
电网
131
Z1
Z2
Z3
电压采
样器142
控制单元141
抗PID器件140

图2

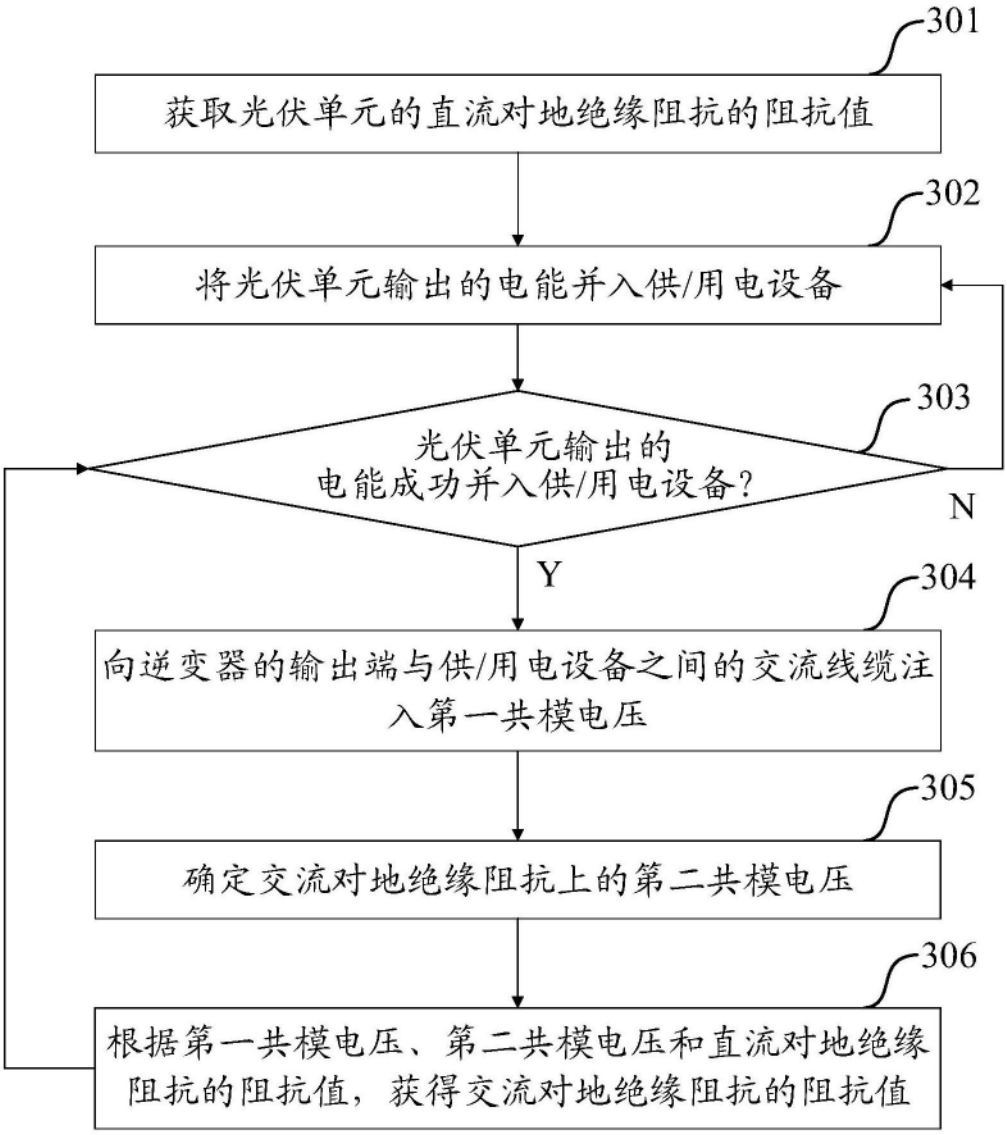

301
获取光伏单元的直流对地绝缘阻抗的阻抗值
302
将光伏单元输出的电能并入供/用电设备
303
光伏单元输出的
电能成功并入供/用电设备?
N
Y
304
向逆变器的输出端与供/用电设备之间的交流线缆注入第一共模电压
305
确定交流对地绝缘阻抗上的第二共模电压
306
根据第一共模电压、第二共模电压和直流对地绝缘阻抗的阻抗值，获得交流对地绝缘阻抗的阻抗值

图3

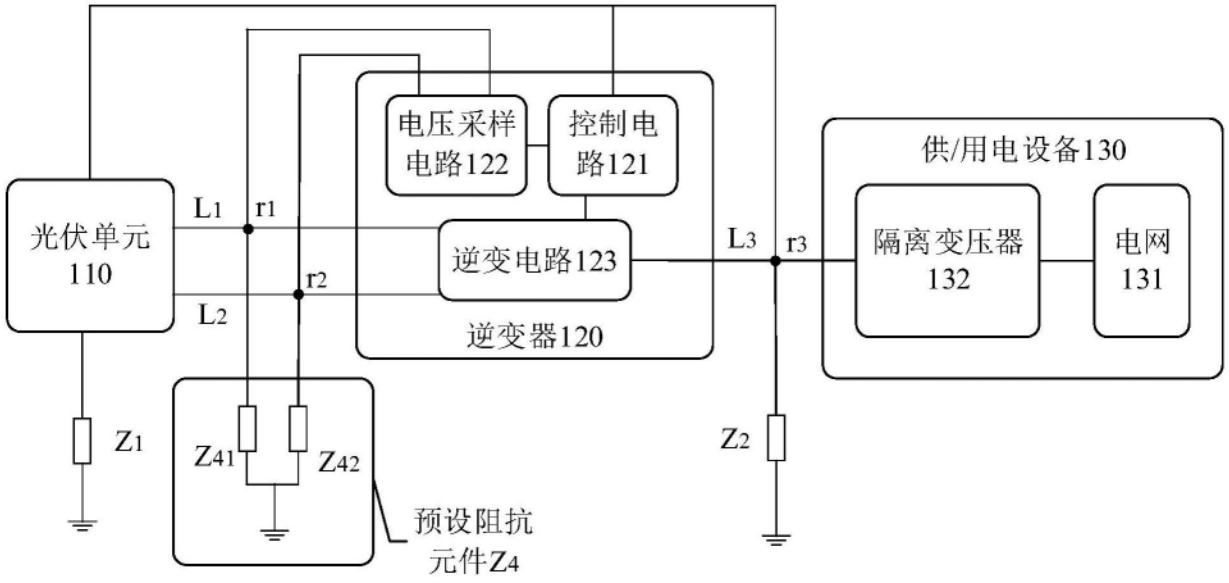

光伏单元
110
L1
r1
L2
r2
电压采样
电路122
控制电
路121
逆变电路123
逆变器120
L3
r3
供/用电设备130
隔离变压器
132
电网
131
Z1
Z41
Z42
预设阻抗
元件Z4
Z2

图4

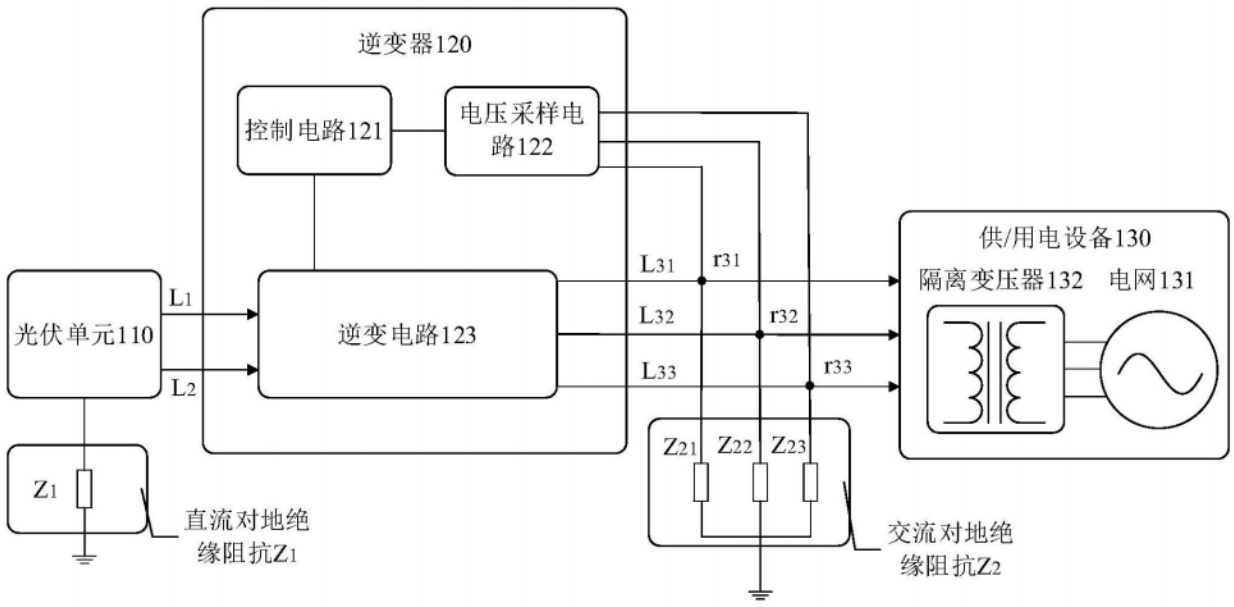

逆变器120
控制电路121
电压采样电
路122
光伏单元110
L1
L2
逆变电路123
L31
r31
L32
r32
L33
r33
供/用电设备130
隔离变压器132
电网131
Z1
直流对地绝
缘阻抗Z1
Z21
Z22
Z23
交流对地绝
缘阻抗Z2

图5