



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116247751 A

(43) 申请公布日 2023. 06. 09

(21) 申请号 202211582365.0

(22) 申请日 2022.12.09

(71) 申请人 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 赵明权 辛凯 刘云峰 徐飞
屈子森

(74) 专利代理机构 北京亿腾知识产权代理事务
所(普通合伙) 11309

专利代理师 陈霖

(51) Int. Cl.

H02J 3/50 (2006.01)

H02J 3/16 (2006.01)

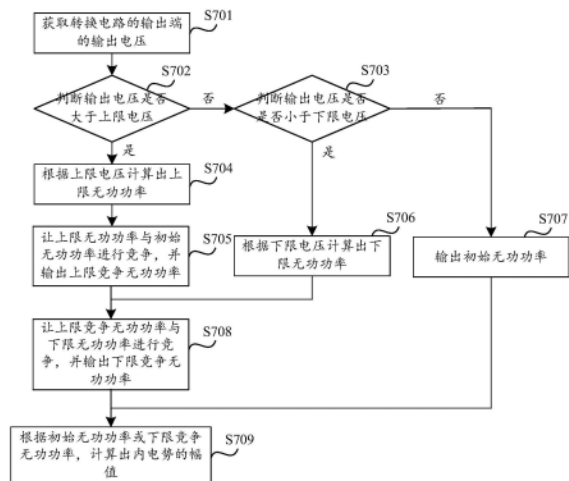
权利要求书3页 说明书16页 附图4页

(54) 发明名称

一种功率变换器的构网控制方法和功率变
换器

(57) 摘要

一种功率变换器的构网控制方法,应用在功
率变换器,功率变换器包括变换电路,变换电
路的输入端连接直流源,输出端连接电力系
统。功率变换器检测变换电路的输出电压,并在输出电
压的幅值超出设定电压范围时,控制变换电路输出
第一无功功率。变换电路通过改变输出无功功
率的方式,实现对电力系统电压的快速支撑。功
率变换器根据设定电压范围的上限电压或下限
电压计算出无功功率,尽最大能力对电力系统的
电压支撑,使得电力系统运行在正常电压范围
内。功率变换器让上限无功功率或下限无功功
率与原始无功功率进行竞争,并输出竞争无功
功率。通过竞争的方式实现功率变换器在电压控制
和无功功率控制模式之间无缝切换,不会对电力
系统造成冲击。



1. 一种功率变换器的构网控制方法,应用在功率变换器,其特征在于,所述功率变换器包括变换电路,所述变换电路的输入端用于连接直流源,输出端用于连接电力系统,所述方法,包括:

检测所述变换电路的输出端的输出电压;

在所述输出电压的幅值大于设定电压范围的上限电压或小于所述设定电压范围的下限电压时,控制所述变换电路输出第一无功功率;所述上限电压为所述设定电压范围的最大电压值,所述下限电压为所述设定电压范围的最小电压值,所述第一无功功率是指让所述变换电路输出端的输出电压的幅值处在所述设定电压范围的无功功率。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述在所述输出电压的幅值大于设定电压范围的上限电压或小于所述设定电压范围的下限电压时,控制所述变换电路输出第一无功功率,包括:

根据所述上限电压计算出上限无功功率,以及根据所述下限电压计算出下限无功功率;

根据所述上限无功功率、所述下限无功功率和上级调度的无功功率之间关系,选择竞争无功功率;所述竞争无功功率为所述上限无功功率、所述下限无功功率和所述上级调度的无功功率中的一个;

根据所述竞争无功功率,控制所述变换电路输出所述第一无功功率。

3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述根据所述上限电压计算出上限无功功率,包括:

在所述输出电压的幅值大于所述上限电压时,根据所述上限电压计算出第二无功功率;

对所述第二无功功率对应的电压的幅值进行限制,并计算出所述上限无功功率。

4. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述根据所述下限电压计算出下限无功功率,包括:

在所述输出电压的幅值小于所述下限电压时,根据所述下限电压计算出第三无功功率;

对所述第三无功功率对应的电压的幅值进行限制,并计算出所述下限无功功率。

5. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述根据所述上限无功功率、所述下限无功功率和上级调度的无功功率之间关系,选择竞争无功功率,包括:

选择出所述上限无功功率与所述上级调度的无功功率中数值小的无功功率,作为上限竞争无功功率;

选择出所述上限竞争无功功率与所述下限无功功率中数值大的无功功率,作为所述竞争无功功率。

6. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述根据所述上限无功功率、所述下限无功功率和上级调度的无功功率之间关系,选择竞争无功功率,包括:

选择出所述下限无功功率与所述上级调度的无功功率中数值大的无功功率,作为下限竞争无功功率;

选择出所述下限竞争无功功率与所述上限无功功率中数值小的无功功率,作为所述竞争无功功率。

7. 根据权利要求1-6任意一项所述的方法,其特征在于,还包括:

在所述输出电压的幅值处在所述设定电压范围时,控制所述变换电路输出所述上级调度的无功功率。

8. 根据权利要求1-7任意一项所述的方法,其特征在于,还包括:

当所述变换电路的输出电压的幅值处在所述上限电压或所述下限电压的时间超过第一设定时间时,保持所述竞争无功功率的数值不变。

9. 根据权利要求8所述的方法,其特征在于,还包括:

当所述变换电路的输出电压的幅值处在所述上限电压或所述下限电压的时间超过第二设定时间时,控制所述变换电路输出所述上级调度的无功功率或按照预设函数控制所述变换电路输出其它无功功率;所述第二设定时间大于第一设定时间。

10. 根据权利要求2-9任意一项所述的方法,其特征在于,在所述根据所述上限电压计算出上限无功功率,以及根据所述下限电压计算出下限无功功率之前,还包括:

检测所述变换电路的输出端的输出电流;

在所述输出电流大于设定电流阈值时,根据预设函数获取动态虚拟阻抗和动态虚拟电阻。

11. 根据权利要求2-10任意一项所述的方法,其特征在于,所述根据所述竞争无功功率,控制所述变换电路输出所述第一无功功率,包括:

根据所述竞争无功功率,控制出内电势的幅值,所述内电势的幅值是指所述功率变换器为所述电力系统提供电压支撑内电势矢量的电压的幅值;

根据所述内电势的幅值、内电势的相位和内电势的频率,控制所述功率变换器的内电势的电压,以使所述变换电路输出所述第一无功功率。

12. 一种功率变换器,其特征在于,包括:变换电路和控制器,所述变换电路的输入端用于连接直流源,输出端用于连接电力系统;

所述功率变换器用于在所述控制装置的控制下将直流电能转换为交流电能;

所述控制器,用于:

获得所述变换电路的输出端的输出电压;

在所述输出电压的幅值大于设定电压范围的上限电压或小于所述设定电压范围的下限电压时,控制所述变换电路输出第一无功功率;所述上限电压为所述设定电压范围的最大电压值,所述下限电压为所述设定电压范围的最小电压值,所述第一无功功率是指让所述变换电路输出端的输出电压的幅值处在所述设定电压范围的无功功率。

13. 根据权利要求12所述的功率变换器,其特征在于,所述控制器,具体用于根据所述上限电压计算出上限无功功率,以及根据所述下限电压计算出下限无功功率;

根据所述上限无功功率、所述下限无功功率和上级调度的无功功率之间关系,选择竞争无功功率;所述竞争无功功率为所述上限无功功率、所述下限无功功率和所述上级调度的无功功率中的一个;

根据所述竞争无功功率,控制所述变换电路输出所述第一无功功率。

14. 根据权利要求13所述的功率变换器,其特征在于,所述控制器根据所述上限电压计算出上限无功功率,包括:

在所述输出电压的幅值大于所述上限电压时,根据所述上限电压计算出第二无功功

率；

对所述第二无功功率对应的电压的幅值进行限制，并计算出所述上限无功功率。

15. 根据权利要求13所述的功率变换器，其特征在于，所述控制器根据所述下限电压计算出下限无功功率，包括：

在所述输出电压的幅值小于所述下限电压时，根据所述下限电压计算出第三无功功率；

对所述第三无功功率对应的电压的幅值进行限制，并计算出所述下限无功功率。

一种功率变换器的构网控制方法和功率变换器

技术领域

[0001] 本发明涉及电力电子技术领域,尤其涉及一种功率变换器的构网控制方法和功率变换器。

背景技术

[0002] 近些年来,全球的温度不断地上升。为了降低碳排放,新能源和储能设备的广泛应用成为未来的发展趋势。通常情况下,新能源和储能设备中的能量无法直接利用,必须转换成电能供给人类使用。例如,光伏发电系统是将太阳能转换成电能,风力发电系统是将风能转换成电能。

[0003] 在构建以新能源为主体的新型电力系统的过程中,新能源是电力系统的主体电源,煤电降为辅助性电源。未来的新型电力系统将是由高比例电力电子设备组成的系统。但是,新型电力系统的新能源电力电子设备存在强波动性和弱支撑性,造成电力系统的电压容易波动,严重影响电力系统运行的安全性和可靠性。

发明内容

[0004] 为了解决上述的问题,本申请的实施例中提供了一种功率变换器的构网控制方法和功率变换器。电力系统的电压波动时,功率变换器可以快速地对电力系统的电压支撑,并且可以尽最大能力对电力系统电压进行支撑,使得功率变换器可以运行在正常电压范围内。通过竞争的方式输出实现功率变换器在电压控制和无功功率控制模式之间无缝切换,不会对电力系统造成冲击。

[0005] 为此,本申请的实施例中采用如下技术方案:

[0006] 第一方面,本申请实施例提供了一种功率变换器的构网控制方法,应用在功率变换器,所述功率变换器包括变换电路,所述变换电路的输入端用于连接直流源,输出端用于连接电力系统,包括:检测所述变换电路的输出端的输出电压;在所述输出电压的幅值大于设定电压范围的上限电压或小于所述设定电压范围的下限电压时,控制所述变换电路输出第一无功功率;所述上限电压为所述设定电压范围的最大电压值,所述下限电压为所述设定电压范围的最小电压值,所述第一无功功率是指让所述变换电路输出端的输出电压的幅值处在所述设定电压范围的无功功率。

[0007] 在该实施方式中,功率变换器确定变换电路的输出端的输出电压的幅值超出设定电压范围后,可以根据设定电压范围,控制变换电路输出对应的无功功率。功率变换器通过无功功率的方式,实现快速地对电力系统的电压支撑。并且,功率变换器根据设定电压范围的上限电压或下限电压计算出无功功率,实现尽最大能力对电力系统的电压支撑,使得电力系统可以运行在正常电压范围内。

[0008] 在一种实施方式中,所述在所述输出电压的幅值大于设定电压范围的上限电压或小于所述设定电压范围的下限电压时,控制所述变换电路输出第一无功功率,包括:根据所述上限电压计算出上限无功功率,以及根据所述下限电压计算出下限无功功率;根据所述

上限无功功率、所述下限无功功率和上级调度的无功功率之间关系,选择竞争无功功率;所述竞争无功功率为所述上限无功功率、所述下限无功功率和所述上级调度的无功功率中的一个;根据所述竞争无功功率,控制所述变换电路输出所述第一无功功率。

[0009] 在该实施方式中,功率变换器让上限无功功率或下限无功功率与上级调度的无功功率进行竞争,并输出竞争无功功率。通过竞争的方式实现功率变换器在电压控制和无功功率控制模式之间无缝切换,不会对电力系统造成冲击。

[0010] 在一种实施方式中,所述根据所述上限电压计算出上限无功功率,包括:在所述输出电压的幅值大于所述上限电压时,根据所述上限电压计算出第二无功功率;对所述第二无功功率对应的电压的幅值进行限制,并计算出所述上限无功功率。

[0011] 在该实施方式中,功率变换器确定电力系统的电压大于设定电压范围的上限电压时,可以根据上限电压计算出支撑电力系统的稳定电压的无功功率,以便功率变换器通过输出无功功率的方式实现对电力系统的电压支撑。

[0012] 在一种实施方式中,所述根据所述下限电压计算出下限无功功率,包括:在所述输出电压的幅值小于所述下限电压时,根据所述下限电压计算出第三无功功率;对所述第三无功功率对应的电压的幅值进行限制,并计算出所述下限无功功率。

[0013] 在该实施方式中,功率变换器确定电力系统的电压低于设定电压范围的下限电压时,可以根据下限电压计算出支撑电力系统的稳定电压的无功功率,以便功率变换器通过输出无功功率的方式实现对电力系统的电压支撑。

[0014] 在一种实施方式中,所述根据所述上限无功功率、所述下限无功功率和上级调度的无功功率之间关系,选择竞争无功功率,包括:选择出所述上限无功功率与所述上级调度的无功功率中数值小的无功功率,作为上限竞争无功功率;选择出所述上限竞争无功功率与所述下限无功功率中数值大的无功功率,作为所述竞争无功功率。

[0015] 在一种实施方式中,所述根据所述上限无功功率、所述下限无功功率和上级调度的无功功率之间关系,选择竞争无功功率,包括:选择出所述下限无功功率与所述上级调度的无功功率中数值大的无功功率,作为下限竞争无功功率;选择出所述下限竞争无功功率与所述上限无功功率中数值小的无功功率,作为所述竞争无功功率。

[0016] 在一种实施方式中,还包括:在所述输出电压的幅值处在所述设定电压范围时,控制所述变换电路输出所述上级调度的无功功率。

[0017] 在该实施方式中,功率变换器确定电力系统的电压处在设定电压范围外时,说明电力系统的电压波动比较大。功率变换器执行电压控制功能,为电力系统输出无功功率以支撑电压。

[0018] 在一种实施方式中,还包括:当所述变换电路的输出电压的幅值处在所述上限电压或所述下限电压的时间超过第一设定时间时,保持所述竞争无功功率的数值不变。

[0019] 在该实施方式中,确定输出电压的幅值稳定在上限电压或下限电压的时间超过第一设定时间时,功率变换器可以冻结输出的竞争无功功率,使得电力系统保持稳定运行。同时,功率变换器可以避免出现多个功率变换器之间因为电压控制出现的环流的问题。

[0020] 在一种实施方式中,还包括:当所述变换电路的输出电压的幅值处在所述上限电压或所述下限电压的时间超过第二设定时间时,控制所述变换电路输出所述上级调度的无功功率或按照预设函数控制所述变换电路输出其它无功功率;所述第二设定时间大于第一

设定时间。

[0021] 在该实施方式中,功率变换器为电力系统输出电压支撑时间超过第二设定时间后,没有进入电压控制模式,并输出上级调度的无功功率或由预设函数生成的无功功率,可以避免电力系统的无功功率的需求由少数几台功率变换器承担,降低了功率变换器的可靠性。

[0022] 在一种实施方式中,在所述根据所述上限电压计算出上限无功功率,以及根据所述下限电压计算出下限无功功率之前,还包括:检测所述变换电路的输出端的输出电流;在所述输出电流大于设定电流阈值时,根据预设函数获取动态虚拟阻抗和动态虚拟电阻。

[0023] 在该实施方式中,电力系统的电压出现较大的扰动时,变换电路的输出端的输出电流可能出现饱和的情况,导致功率变换器控制失稳。功率变换器在电力系统出现扰动后,功率变换器将投入动态虚拟阻抗,避免功率变换器出现饱和现象。

[0024] 在一种实施方式中,所述根据所述竞争无功功率,控制所述变换电路输出所述第一无功功率,包括:根据所述竞争无功功率,控制出内电势的幅值,所述内电势的幅值是指所述功率变换器为所述电力系统输出电压支撑内电势矢量的电压的幅值;根据所述内电势的幅值、内电势的相位和内电势的频率,控制所述功率变换器的内电势的电压,以使所述变换电路输出所述第一无功功率。

[0025] 第二方面,本申请实施例提供了一种功率变换器,包括:变换电路和控制器,所述变换电路的输入端用于连接直流源,输出端用于连接电力系统,所述功率变换器用于在所述控制装置的控制下将直流电能转换为交流电能,所述控制器,用于获得所述变换电路的输出端的输出电压;在所述输出电压的幅值大于设定电压范围的上限电压或小于所述设定电压范围的下限电压时,控制所述变换电路输出第一无功功率;所述上限电压为所述设定电压范围的最大电压值,所述下限电压为所述设定电压范围的最小电压值,所述第一无功功率是指让所述变换电路输出端的输出电压的幅值处在所述设定电压范围的无功功率。

[0026] 在一种实施方式中,所述控制器,具体用于根据所述上限电压计算出上限无功功率,以及根据所述下限电压计算出下限无功功率;根据所述上限无功功率、所述下限无功功率和上级调度的无功功率之间关系,选择竞争无功功率;所述竞争无功功率为所述上限无功功率、所述下限无功功率和所述上级调度的无功功率中的一个;根据所述竞争无功功率,控制所述变换电路输出所述第一无功功率。

[0027] 在一种实施方式中,所述控制器,根据所述上限电压计算出上限无功功率,包括:在所述输出电压的幅值大于所述上限电压时,根据所述上限电压计算出第二无功功率;对所述第二无功功率对应的电压的幅值进行限制,并计算出所述上限无功功率。

[0028] 在一种实施方式中,所述控制器,根据所述下限电压计算出下限无功功率,包括:在所述输出电压的幅值小于所述下限电压时,根据所述下限电压计算出第三无功功率;对所述第三无功功率对应的电压的幅值进行限制,并计算出所述下限无功功率。

[0029] 在一种实施方式中,所述控制器,根据所述上限无功功率、所述下限无功功率和上级调度的无功功率之间关系,选择竞争无功功率,包括:选择出所述上限无功功率与所述上级调度的无功功率中数值小的无功功率,作为上限竞争无功功率;选择出所述上限竞争无功功率与所述下限无功功率中数值大的无功功率,作为所述竞争无功功率。

[0030] 在一种实施方式中,所述控制器,根据所述上限无功功率、所述下限无功功率和上

级调度的无功功率之间关系,选择竞争无功功率,包括:选择出所述下限无功功率与所述上级调度的无功功率中数值大的无功功率,作为下限竞争无功功率;选择出所述下限竞争无功功率与所述上限无功功率中数值小的无功功率,作为所述竞争无功功率。

[0031] 在一种实施方式中,所述控制器,还用于在所述输出电压的幅值处在所述设定电压范围时,控制所述变换电路输出所述上级调度的无功功率。

[0032] 在一种实施方式中,所述控制器,还用于当所述变换电路的输出电压的幅值处在所述上限电压或所述下限电压的时间超过第一设定时间时,保持所述竞争无功功率的数值不变。

[0033] 在一种实施方式中,所述控制器,还用于当所述变换电路的输出电压的幅值处在所述上限电压或所述下限电压的时间超过第二设定时间时,控制所述变换电路输出所述上级调度的无功功率或按照预设函数控制所述变换电路输出其它无功功率;所述第二设定时间大于第一设定时间。

[0034] 在一种实施方式中,所述控制器,还用于检测所述变换电路的输出端的输出电流;在所述输出电流大于设定电流阈值时,根据预设函数获取动态虚拟阻抗和动态虚拟电阻。

[0035] 在一种实施方式中,所述控制器,根据所述竞争无功功率,控制所述变换电路输出所述第一无功功率,包括:根据所述竞争无功功率,控制出内电势的幅值,所述内电势的幅值是指所述功率变换器为所述电力系统输出电压支撑内电势矢量的电压的幅值;根据所述内电势的幅值、内电势的相位和内电势的频率,控制所述功率变换器的内电势的电压,以使所述变换电路输出所述第一无功功率。

[0036] 第三方面,本申请实施例提供了一种并网电力系统,包括:新能源组件和/或储能系统,至少一个如第二方面各个可能实现的功率变换器,所述功率变换器的输入端与新能源组件和/或储能系统连接,所述功率变换器的输出端用于与电力系统连接,所述变换器用于将所述新能源组件和/或储能系统的直流电转化为所述电力系统的交流电。

[0037] 第四方面,本申请实施例提供一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,当计算机程序在计算机中执行时,令计算机执行第一方面各个可能实现的实施例。

[0038] 第五方面,本申请实施例提供一种计算机程序产品,其特征在于,计算机程序产品存储有指令,指令在由计算机执行时,使得计算机实施第一方面各个可能实现的实施例。

附图说明

[0039] 下面对实施例或现有技术描述中所需使用的附图作简单地介绍。

[0040] 图1为本申请实施例中提供的一种并网电力系统的架构示意图;

[0041] 图2为本申请实施例中提供的一种功率变换器的架构示意图;

[0042] 图3为本申请实施例中提供的一种控制器的架构示意图;

[0043] 图4为本申请实施例中提供的控制器的控制目标和控制效果示意图;

[0044] 图5为本申请实施例中提供的控制器的控制目标和控制效果示意图;

[0045] 图6为本申请实施例中提供的控制器的控制目标和控制效果示意图;

[0046] 图7为本申请实施例中提供的一种功率变换器的构网控制方法流程示意图。

具体实施方式

[0047] 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描述。

[0048] 在本申请的描述中,术语“中心”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本申请和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本申请的限制。

[0049] 在本申请的描述中,需要说明的是,除非另有明确的规定和限定,术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解,例如可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,还可以是抵触连接或一体的连接;对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语在本申请中的具体含义。

[0050] 在本申请的描述中,术语“和/或”,是一种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。本文中符号“/”表示关联对象是或者的关系,例如A/B表示A或者B。

[0051] 在本申请的描述中,术语“第一”和“第二”等是用于区别不同的对象,而不是用于描述对象的特定顺序。例如,第一响应消息和第二响应消息等是用于区别不同的响应消息,而不是用于描述响应消息的特定顺序。

[0052] 在本申请实施例中,“在一个实施例中”或者“例如”等词用于表示作例子、例证或说明。本申请实施例中被描述为“在一个实施例中”或者“例如”的任何实施例或设计方案不应被解释为比其它实施例或设计方案更优选或更具优势。确切而言,使用“在一个实施例中”或者“例如”等词旨在以具体方式呈现相关概念。

[0053] 在本说明书的描述中,具体特征、结构、材料或者特点可以在任何一个或多个实施例或示例中以适合的方式结合。

[0054] 传统的电力系统中,电力系统的几个主要节点处并联有同步发电机。同步发电机可以对电力系统的电压支撑,使电力系统可以稳定地运行。新型电力系统中,新能源发电系统逐步替代同步发电机,成为了不可逆转的趋势。但是,新能源发电系统也存在较大局限性,例如对电压支撑的能力有限,这使得其在并网特性方面并不能完全地替代同步发电机。

[0055] 电力电子设备如果替代同步发电机,电力电子设备就必须具备与同步机相匹配的电力系统支撑能力,才能保证新型电力系统稳定运行。相比较同步发电机,电力电子设备的过流能力比较弱。但电力电子设备也具有响应速度快、控制灵活、价格便宜等优点。电力电子设备可以通过控制算法的优化,可以做到匹配同步发电机电力系统支撑能力的程度。

[0056] 传统的跟网型(grid-following)构网型算法的内核是对输出电流的控制。电力电子设备可以响应电力系统动态,向电力系统提供功率支撑。但是,电力电子设备需要通过检测电力系统动态、下发指令、执行指令等步骤,才能够实现对电力系统支撑的功能。

[0057] 构网型(grid-forming)技术是当前解决超高比例的电力电子设备组成电力系统的稳定运行的一种极有潜力的并网算法技术。构网型技术是从控制方式上自然地具有对电力系统支撑的能力。构网型算法的内核是对输出电压的控制。电力系统的电压出现扰动时,变流器的内电势瞬时保持不变,使得变流器可以自然地具有对电力系统的支撑能力。但是,电力电子设备的过流能力比较差。如果电力电子设备不经过控制优化,电力电子设备将很快被保护,使得电力电子设备起不到对电力系统的电压进行支撑。因此,电力电子设备的控

制算法需要优化,实现提升电力系统的电压支撑能力。

[0058] 为了解决现有的电力电子设备对电力系统的电压进行支撑的能力不足的缺陷,本申请实施例提供了一种并网电力系统、功率变换器和功率变换器的构网控制方法。

[0059] 图1为本申请实施例中提供的一种并网电力系统的架构示意图。如图1所示,并网电力系统10包括电力系统100、至少一个功率变换器200和至少一个外接电源系统300。至少一个外接电源系统300分别通过至少一个功率变换器200耦合于电力系统100。

[0060] 电力系统100可以是国家电力系统、家庭电力网、企业电力网或其它交流电力系统,本申请在此不作限定。

[0061] 功率变换器200可以是逆变器、变流器、模块化多电平功率变换器或其它功率变换器,本申请在此不作限定。

[0062] 外接电源系统300可以为新能源系统,如光伏发电系统、风力发电系统或其它直流电力系统。新能源系统包括新能源组件,如光伏组件、风车等。外接电源系统300可以储能系统,如备用电池。本申请在此不作限定。

[0063] 本申请中,外接电源系统300通过功率变换器200并联在电力系统100的几个主要节点处,可以对电力系统100的电压支撑,实现电力系统100稳定的运行。

[0064] 图2为本申请实施例中提供的一种功率变换器的架构示意图。如图2所示,功率变换器200包括变换电路210和控制器220。变换电路210的一端与电力系统100电连接。变换电路210的另一端与外接电源系统300电连接。

[0065] 变换电路210包括有双向直流/交流(direct current/alternating current,DC/AC)转换器。双向DC/AC转换器可以将交流电转换成直流电,或者,将直流电转换成交流电。本申请中,外接电源系统300的电压为直流电。电力系统100的电压为交流电。变换电路210将外接电源系统300的直流电转换成设定电压值的交流电,并输入至电力系统100,实现对电力系统100的电压支撑。在其它实施例中,变换电路210可以为其它类型的电路,如逆变电路、整流电路等,本申请在此不作限定。

[0066] 控制器220可以为数字信号处理(digital signal processing,DSP)单元、现场可编程逻辑门阵列(field programmable gate array,FPGA)、微控制单元(microcontroller unit,MCU)或其它具有计算与控制功能的器件。本申请中,控制器220耦合于变换电路210,用于接收变换电路210的输出端的输出电压的幅值,并在输出电压的幅值大于设定电压范围的上限电压或小于设定电压范围的下限电压时,控制变换电路210输出第一无功功率。功率变换器200为电力系统100输出第一无功功率,让外接电源系统300对电力系统100的电压支撑,实现让电力系统100稳定的运行。

[0067] 如图3所示,控制器220可以根据执行的功能,划分为第一电压处理单元221、第二电压处理单元222、第一电压控制单元223、第二电压控制单元224、第一功率竞争单元225、第二功率竞争单元226和功率控制单元227。其中,第一电压处理单元221、第二电压处理单元222、第一电压控制单元223、第二电压控制单元224、第一功率竞争单元225、第二功率竞争单元226和功率控制单元227均可以通过软件实现,或者可以通过硬件实现,或者可以通过软件和硬件结合实现。

[0068] 下面以控制器220的各个执行单元以及结合图4所示的控制目标和控制效果图,描述本申请技术方案。

[0069] 第一电压处理单元221用于接收变换电路210的输出端的输出电压的幅值 $|U|$ 和控制器220自身存储的上限电压 U_{up}^{ref} 。第一电压处理单元221可以根据输出电压的幅值 $|U|$ 和上限电压 U_{up}^{ref} ，判断输出电压的幅值 $|U|$ 与上限电压 U_{up}^{ref} 在数值上关系。其中，上限电压 U_{up}^{ref} 是指电力系统100的电压波动时不影响负载正常工作的最大电压值。

[0070] 第二电压处理单元222用于接收变换电路210的输出端的输出电压的幅值 $|U|$ 和控制器220自身存储的下限电压 U_{dn}^{ref} 。第二电压处理单元222根据输出电压的幅值 $|U|$ 和下限电压 U_{dn}^{ref} ，判断输出电压的幅值 $|U|$ 与下限电压 U_{dn}^{ref} 在数值上关系。其中，下限电压 U_{dn}^{ref} 是指电力系统100的电压波动时不影响负载正常工作的最小电压值。

[0071] 在一个实施例中，输出电压的幅值 $|U|$ 不大于上限电压 U_{up}^{ref} 、且不小于下限电压 U_{dn}^{ref} 时，表明电力系统100的电压的幅值处在正常电压范围内。此时，电力系统100的电压波动比较小，功率变换器200可以不需要额外修改设备输出的无功功率，并优先执行无功功率控制功能。控制器220可以向功率控制单元227发送原始无功功率 Q_0^{ref} 。

[0072] 通常情况下，功率变换器200对电力系统100提供电压支撑时，功率变换器200向电力系统100输出有功功率 P_e 和无功功率 Q_e 。其中，有功功率 P_e 是指单位时间内实际发出或消耗的交流电能。无功功率 Q_e 是指在具有电抗的交流电路中，电场或磁场在一周期的一部分时间内从电源吸收能量，另一部分时间则释放能量，在整个周期内平均功率是零，但能量在电源和电抗元件（电容、电感）之间不停地交换。交换率的最大值即为无功功率 Q_e 。功率变换器200输出的有功功率 P_e ，可以让电力系统100的电压稳定在设定范围内，以及让电连接在电力系统100的负载正常工作。功率变换器200输出的无功功率 Q_e ，可以支撑电力系统100的电压的幅值，起到无功过电压支撑的作用。

[0073] 原始无功功率 Q_0^{ref} 是指电站、电网公司等上级调度中心发送的原始无功功率指令，让功率变换器200为电力系统100输出所需的无功功率。

[0074] 在一个实施例中，输出电压的幅值 $|U|$ 大于上限电压 U_{up}^{ref} 时，表明电力系统100的电压的幅值超出正常电压范围。此时，电力系统100的电压的幅值运行在较高的非正常运行水平，功率变换器200需要额外修改设备输出的无功功率，实现对电力系统100的电压支撑。第一电压处理单元221可以让功率变换器200优先执行电压控制功能，让功率变换器200输出无功功率，可以支撑电力系统100的电压的幅值，起到电压支撑的作用。第一电压处理单元221可以将上限电压 U_{up}^{ref} 输入到第一电压控制单元223。

[0075] 在一个实施例中，输出电压的幅值 $|U|$ 小于下限电压 U_{dn}^{ref} 时，表明电力系统100的电压的幅值超出正常电压范围。此时，电力系统100的电压的幅值运行在较低的非正常运行水平，功率变换器200需要额外修改设备输出的无功功率，实现对电力系统100的电压支撑。第二电压处理单元222可以让功率变换器200优先执行电压控制功能，让功率变换器200输出无功功率，可以支撑电力系统100的电压的幅值，起到电压支撑的作用。第二电压处理单

元222可以将下限电压 U_{dn}^{ref} 输入到第二电压控制单元224。

[0076] 本申请中,功率变换器200可以判断变换电路210的输出电压的幅值 $|U|$ 是否超过设定电压的波动范围。如果变换电路210的输出电压的幅值 $|U|$ 超过设定电压的波动范围,说明电力系统100的电压不稳定功率变换器200需要对电力系统100的电压支撑。如果变换电路210的输出电压的幅值 $|U|$ 不超过设定电压的波动范围,说明电力系统100的电压稳定,功率变换器200可以正常地向电力系统100输出给原始无功功率 Q_0^{ref} 。

[0077] 第一电压控制单元223用于接收第一电压处理单元221输入的上限电压 U_{up}^{ref} 。第一电压控制单元223在输出电压的幅值 $|U|$ 大于上限电压 U_{up}^{ref} 时,可以根据上限电压 U_{up}^{ref} 计算出上限电压 U_{up}^{ref} 的上限无功功率 Q_{up}^{ref} 。

[0078] 在一个实施例中,第一电压控制单元223在接收到上限电压 U_{up}^{ref} 时,可以将上限电压 U_{up}^{ref} 转换成限幅前的上限无功功率 Q_1 。第一电压控制单元223可以根据限幅前的上限无功功率 Q_1 、电力系统100的电压的幅值正常时功率变换器200输入的无功功率 Q_0^{ref} 等参数,对上限电压 U_{up}^{ref} 的幅值进行限制,得到限幅后的上限无功功率,记为上限无功功率 Q_{up}^{ref} 。第一电压控制单元223可以将上限无功功率 Q_{up}^{ref} 发送至第一功率竞争单元225。

[0079] 第二电压控制单元224用于接收第二电压处理单元222输入的下限电压 U_{dn}^{ref} 。第二电压控制单元224在输出电压的幅值 $|U|$ 小于下限电压 U_{dn}^{ref} 时,可以根据下限电压 U_{dn}^{ref} 计算出下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 。

[0080] 在一个实施例中,第二电压控制单元224在接收到下限电压 U_{dn}^{ref} 时,可以将下限电压 U_{dn}^{ref} 转换成限幅前的下限无功功率 Q_2 。第二电压控制单元224可以根据限幅前的下限无功功率 Q_2 、电力系统100的电压的幅值正常时功率变换器200输入的无功功率 Q_0^{ref} 等参数,对下限电压 U_{dn}^{ref} 的幅值进行限制,得到限幅后的下限无功功率,记为下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 。第二电压控制单元224可以将下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 发送至第二功率竞争单元226。

[0081] 本申请中,功率变换器200在接收到上限电压 U_{up}^{ref} 或下限电压 U_{dn}^{ref} 后,可以根据上限电压 U_{up}^{ref} 或下限电压 U_{dn}^{ref} 计算出支撑电力系统100的稳定电压的无功功率,以便功率变换器200通过输出无功功率的方式实现对电力系统100的电压支撑。

[0082] 第一功率竞争单元225用于接收第一电压控制单元223发送的上限无功功率 Q_{up}^{ref} ,以及控制器220自身存储的原始无功功率 Q_0^{ref} 。第一功率竞争单元225可以让上限无功功率 Q_{up}^{ref} 与原始无功功率 Q_0^{ref} 进行竞争。

[0083] 在一个实施例中,第一功率竞争单元225接收上限无功功率 Q_{up}^{ref} 时,第一功率竞争

单元225选择输出上限无功功率 Q_{up}^{ref} 与原始无功功率 Q_0^{ref} 之间较小的无功功率,作为上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} 。当上限无功功率 Q_{up}^{ref} 大于原始无功功率 Q_0^{ref} 时,第一功率竞争单元225将原始无功功率 Q_0^{ref} 作为上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} ,并向第二功率竞争单元226发送原始无功功率 Q_0^{ref} 。此时,第一功率竞争单元225可以让功率变换器200优先执行无功功率控制功能。当上限无功功率 Q_{up}^{ref} 小于原始无功功率 Q_0^{ref} 时,第一功率竞争单元225将上限无功功率 Q_{up}^{ref} 作为上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} ,并向第二功率竞争单元226发送上限无功功率 Q_{up}^{ref} 。此时,第一功率竞争单元225可以让功率变换器200优先执行电压控制功能。

[0084] 在一个实施例中,第一功率竞争单元225在没有接收到上限无功功率 Q_{up}^{ref} 时,第一功率竞争单元225向第二功率竞争单元226发送原始无功功率 Q_0^{ref} 。

[0085] 第二功率竞争单元226用于接收第二电压控制单元224发送的下限无功功率 Q_{dn}^{ref} ,以及第一功率竞争单元225发送的上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} 。第二功率竞争单元226可以让下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 与上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} 进行竞争。

[0086] 在一个实施例中,第二功率竞争单元226接收下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 时,第二功率竞争单元226选择输出下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 与上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} 之间较大的无功功率,作为下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} 。当下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 大于上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} 时,第二功率竞争单元226将下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 作为下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} ,并向功率控制单元227发送下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 。此时,第二功率竞争单元226可以让功率变换器200优先执行电压控制功能。当下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 小于上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} 时,第二功率竞争单元226将上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} 作为下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} ,并向功率控制单元227发送上限无功功率 Q_{up}^{ref} 或原始无功功率 Q_0^{ref} 。此时,第二功率竞争单元226可以让功率变换器200优先执行电压控制功能或无功功率控制功能。

[0087] 在一个实施例中,第二功率竞争单元226在没有接收到下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 时,第二功率竞争单元226向功率控制单元227发送上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} 。

[0088] 相反地,第一功率竞争单元225可以与第二电压控制单元224。第二功率竞争单元226可以与第一电压控制单元223和第一功率竞争单元225。此时,第一功率竞争单元225用于接收第二电压控制单元224发送的下限无功功率 Q_{dn}^{ref} ,以及控制器220自身存储的原始无功功率 Q_0^{ref} 。

[0089] 第一功率竞争单元225可以让下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 与原始无功功率 Q_0^{ref} 进行竞争。

[0090] 在一个实施例中,第一功率竞争单元225接收下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 时,第一功率竞争

单元225选择输出下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 与原始无功功率 Q_0^{ref} 之间较大的无功功率,作为下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} 。当下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 大于原始无功功率 Q_0^{ref} 时,第一功率竞争单元225将下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 作为下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} ,并向第二功率竞争单元226发送下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 。此时,第一功率竞争单元225可以让功率变换器200优先执行电压控制功能。当下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 小于原始无功功率 Q_0^{ref} 时,第一功率竞争单元225将原始无功功率 Q_0^{ref} 作为下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} ,并向第二功率竞争单元226发送原始无功功率 Q_0^{ref} 。此时,第一功率竞争单元225可以让功率变换器200优先执行无功功率控制功能。

[0091] 在一个实施例中,第一功率竞争单元225在没有接收到下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 时,第一功率竞争单元225向第二功率竞争单元226发送原始无功功率 Q_0^{ref} 。

[0092] 第二功率竞争单元226用于接收第一电压控制单元223发送的上限无功功率 Q_{up}^{ref} ,以及第一功率竞争单元225发送的下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} 。第二功率竞争单元226可以让上限无功功率 Q_{up}^{ref} 与下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} 进行竞争。

[0093] 在一个实施例中,第二功率竞争单元226接收上限无功功率 Q_{up}^{ref} 时,第二功率竞争单元226选择输出上限无功功率 Q_{up}^{ref} 与下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} 之间较小的无功功率,作为上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} 。当上限无功功率 Q_{up}^{ref} 大于下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} 时,第二功率竞争单元226将下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} 作为上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} ,并向功率控制单元227发送下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 或原始无功功率 Q_0^{ref} 。此时,第二功率竞争单元226可以让功率变换器200优先执行电压控制功能或无功功率控制功能。当上限无功功率 Q_{up}^{ref} 小于下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} 时,第二功率竞争单元226将上限无功功率 Q_{up}^{ref} 作为上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} ,并向功率控制单元227发送上限无功功率 Q_{up}^{ref} 。此时,第二功率竞争单元226可以让功率变换器200优先执行电压控制功能。

[0094] 在一个实施例中,第二功率竞争单元226在没有接收到上限无功功率 Q_{up}^{ref} 时,第二功率竞争单元226向功率控制单元227发送下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} 。

[0095] 本申请中,功率变换器200在接收到上限无功功率 Q_{up}^{ref} 或下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 后,将上限无功功率 Q_{up}^{ref} 或下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 与原始无功功率 Q_0^{ref} 进行竞争,并输出竞争无功功率。通过竞争的方式实现功率变换器200在电压控制和无功功率控制模式之间的无缝切换,不会对电力系统100造成冲击。

[0096] 功率控制单元227用于接收第一功率竞争单元225的上限无功功率 Q_{up}^{ref} 、第二功率竞争单元226的下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 、以及控制器220自身存储的原始无功功率 Q_0^{ref} 。功率控

制单元227可以根据上限无功功率 Q_{up}^{ref} 、或下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 、或原始无功功率 Q_0^{ref} ，计算出内电势的幅值 $|V|$ 。

[0097] 在一个实施例中，功率控制单元227在接收到上限无功功率 Q_{up}^{ref} 时，功率控制单元227可以根据上限无功功率 Q_{up}^{ref} 计算出内电势的幅值。控制器220根据内电势的幅值、内电势的相位和内电势的频率控制出脉宽调制(pulse width modulation, PWM)信号，控制变换电路210的输出端的电压。控制器220为电力系统100输出无功功率，可以减小电力系统100的电压的幅值，实现降低电力系统100的电压的波动幅度。

[0098] 在一个实施例中，功率控制单元227在接收到下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 时，功率控制单元227可以根据下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 计算出内电势的幅值。控制器220根据内电势的幅值、内电势的相位和内电势的频率控制出PWM信号，控制变换电路210的输出端的电压。控制器220为电力系统100输出无功功率，可以增大电力系统100的电压的幅值，实现降低电力系统100的电压的波动幅度。

[0099] 在一个实施例中，功率控制单元227在接收到原始无功功率 Q_0^{ref} 时，功率控制单元227可以根据原始无功功率 Q_0^{ref} 计算出内电势的幅值。控制器220根据内电势的幅值、内电势的相位和内电势的频率控制出PWM信号，控制变换电路210的输出端的电压，让控制器220正常地向电力系统100输出无功功率。

[0100] 本申请实施例中，功率变换器200接收变换电路210的输出端的输出电压的幅值，确定电力系统的电压的幅值是否异常。功率变换器200确定电力系统100的电压的幅值异常时，可以根据预设的电压范围，产生无功功率，并向变换电路210输出无功功率，可以快速地对电力系统100的电压支撑，并且可以尽最大能力对电力系统100的电压支撑，使得功率变换器200可以运行在正常电压范围内。通过竞争的方式实现功率变换器200在电压控制和无功功率控制模式之间无缝切换，不会对电力系统100造成冲击。

[0101] 本申请中，电力系统100的电压的幅值从较大波动恢复到正常电压范围内时，为了避免少数几个功率变换器200长期处于电压控制模式，功率变换器200在电力系统100恢复到正常范围内后，冻结竞争无功功率，按照原始无功功率或预设函数生成新的无功功率过度到正常运行状态。

[0102] 如图5所示，控制器220实时地接收变换电路210的输出端的输出电压的幅值 $|U|$ 。控制器220确定输出电压的幅值 $|U|$ 处在上限电压 U_{up}^{ref} 与下限电压 U_{dn}^{ref} 之间，表明电力系统100的电压得到支撑，电力系统100可以保持稳定运行。在一个实施例中，控制器220确定输出电压的幅值 $|U|$ 稳定在上限电压 U_{up}^{ref} 或下限电压 U_{dn}^{ref} 的时间超过第一设定时间时，控制器220可以冻结输出的竞争无功功率 Q_e ，让变换电路210一直输出竞争无功功率 Q_e ，使得电力系统100保持稳定运行。同时，控制器220可以避免出现多个功率变换器200之间因为电压控制出现的环流的问题。

[0103] 在一个实施例中，控制器220确定输出电压的幅值 $|U|$ 稳定在上限电压 U_{up}^{ref} 或下限电压 U_{dn}^{ref} 的时间超过第二设定时间时，控制器220可以输出原始无功功率 Q_0^{ref} 或按照预设

函数 $f_2(t, Q)$, 改变控制器220输出的竞争无功功率 Q_e , 让控制器220输出原始无功功率 Q_0^{ref} 或新的无功功率 Q_1^{ref} 。控制器220为电力系统100输出电压支撑时间超过第二设定时间后, 没有进入电压控制模式, 并输出原始无功功率 Q_0^{ref} 或由预设函数生成的无功功率 Q_1^{ref} , 可以避免电力系统100的无功功率的需求由少数几台功率变换器200承担, 降低了功率变换器200的可靠性。

[0104] 在一个实施例中, 控制器220确定输出电压的幅值 $|U|$ 在第二设定时间内再次大于上限电压 U_{up}^{ref} 或者小于下限电压 U_{dn}^{ref} 时, 控制器220再次执行如图3和图3描述的技术方案。

[0105] 本申请中, 电力系统100的电压出现较大的扰动时, 功率变换器200的输出端的输出电流可能出现饱和的情况, 导致功率变换器200控制失稳。功率变换器200在电力系统100出现扰动后约10ms内, 功率变换器200将投入动态虚拟阻抗, 避免功率变换器200出现饱和现象。

[0106] 在一个实施例中, 如图6所示, 功率变换器200的变换电路210的输出端的输出电流超过设定阈值时, 可以根据预设函数获取虚拟阻抗 X 和虚拟电阻 R , 并通过虚拟阻抗 X 计算出额外电压指令信号, 并输入到电压控制环路, 可以在暂态过程中改变虚拟阻抗和虚拟电阻。虚拟阻抗和虚拟电阻随着输出电流的幅值的增大而增大, 保证电压控制不饱和。在其它实施例中, 预设函数可以是 $f_1(I, X, R)$, $f_1(I, X, R)$ 是一种电流幅值与虚拟阻抗 X 和虚拟电阻 R 之间的预设函数。

[0107] 功率变换器200的变换电路210的输出端输出电流降低到低于设定阈值时, 设定函数对应的动态虚拟阻抗为0或低于设定阈值, 控制器220再次执行如图3和图3描述的技术方案。设定函数对应的动态虚拟阻抗为很定值时, 控制器220再次执行如图3和图3描述的技术方案。

[0108] 需要特别说明的是, 控制器220的各个单元在传输原始无功功率 Q_0^{ref} 、上限无功功率 Q_{up}^{ref} 、下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 等无功功率是以指令的形式进行传输。例如, 原始无功功率指令是指携带有原始无功功率 Q_0^{ref} 的指令。内电的势幅值是以指令的形式进行传输。

[0109] 本申请中, 控制器220根据内电势的幅值、变换电路210的输出端的输出电压相位和变换电路210的输出端的输出电压频率, 控制变换电路210的输出端的电压, 以使变换电路输出无功功率。在一个实施例中, 控制器220还包括第一坐标转换单元、电压控制单元、电流控制单元、第二坐标转换单元和调制单元。第一坐标转换单元在接收到内电势的幅值、内电势的频率、内电势的相位等内电势参数, 将内电势从极坐标系转换成直角坐标系, 得到内电势 U_{dq}^{ref} 。电压控制单元在接收到内电势 U_{dq}^{ref} 后, 计算出电流 I_{dq}^{ref} 。电流控制单元在接收到电流 I_{dq}^{ref} 后, 计算出旋转坐标系下的调制电压 E_{dq}^{ref} 。第二坐标转换单元将调制电压 E_{dq}^{ref} 从旋转坐标系转换到静止坐标系, 得到静止坐标系的调制电压 E_{abc}^{ref} 。调制单元在得到静止坐标系的调制电压 E_{abc}^{ref} 后, 产生相应的PWM信号。控制器220将PWM信号输入到变换电路210中, 让变换电路210的内部的电力电子器件工作, 实现调整变换电路210的输出端的输出电压的幅值。

[0110] 在另一个实施例中,控制器220还包括第一坐标转换单元、第二坐标转换单元和调制单元。第一坐标转换单元在接收到内电势的幅值、内电势的频率、内电势的相位等内电势参数,将内电势从极坐标系转换成直角坐标系,得到调制电压 E_{dq}^{ref} 。第二坐标转换单元将调制电压 E_{dq}^{ref} 从旋转坐标系转换到静止坐标系,得到静止坐标系的调制电压 E_{abc}^{ref} 。调制单元在得到静止坐标系的调制电压 E_{abc}^{ref} 后,产生相应的PWM信号。控制器220将PWM信号输入到变换电路210中,让变换电路210的内部的电力电子器件工作,实现调整变换电路210的输出端的输出电压的幅值。

[0111] 图7为本申请实施例中提供的一种功率变换器的构网控制方法流程示意图。如图7所示,该方法由功率变换器200内部的控制器220执行,具体实现过程如下:

[0112] 步骤S701,控制器220获取变换电路210的输出端的输出电压的幅值 $|U|$ 。

[0113] 控制器220获取变换电路210的输出端的输出电压的幅值 $|U|$ 。其中,输出电压的幅值 $|U|$ 为电力系统100的电压的幅值。控制器220通过获取电力系统100的电压的幅值,可以检测电力系统100的电压的幅值波动情况,从而实现控制电力系统100稳定的运行。

[0114] 步骤S702,控制器220判断输出电压的幅值 $|U|$ 是否大于上限电压 U_{up}^{ref} 。当输出电压的幅值 $|U|$ 不大于上限电压 U_{up}^{ref} 时,执行步骤S703。当输出电压的幅值 $|U|$ 大于上限电压 U_{up}^{ref} 时,执行步骤S704。

[0115] 步骤S703,控制器220判断输出电压的幅值 $|U|$ 是否小于下限电压 U_{dn}^{ref} 。当输出电压的幅值 $|U|$ 小于下限电压 U_{dn}^{ref} 时,执行步骤S706。当输出电压的幅值 $|U|$ 不小于下限电压 U_{dn}^{ref} 时,执行步骤S707。

[0116] 处理器220在接收到变换电路210的输出电压的幅值 $|U|$,判断输出电压的幅值 $|U|$ 是否大于上限电压 U_{up}^{ref} 。在一个实施例中,输出电压的幅值 $|U|$ 大于上限电压 U_{up}^{ref} 时,表明电力系统100的电压的幅值超出正常电压范围。此时,电力系统100的电压的幅值运行在较高的非正常运行水平,功率变换器200需要额外修改设备输出的无功功率,实现对电力系统100的电压支撑。处理器220可以让功率变换器200优先执行电压控制功能,让功率变换器200输出无功功率,可以支撑电力系统100的电压的幅值,起到电压支撑的作用。

[0117] 处理器220确定输出电压的幅值 $|U|$ 不大于上限电压 U_{up}^{ref} 时,判断输出电压的幅值 $|U|$ 是否大于下限电压 U_{dn}^{ref} 。在一个实施例中,输出电压的幅值 $|U|$ 小于下限电压 U_{dn}^{ref} 时,表明电力系统100的电压的幅值超出正常电压范围。此时,电力系统100的电压的幅值运行在较低的非正常运行水平,功率变换器200需要额外修改设备输出的无功功率,实现对电力系统100的电压支撑。处理器220可以让功率变换器200优先执行电压控制功能,让功率变换器200输出无功功率,可以支撑电力系统100的电压的幅值,起到电压支撑的作用。

[0118] 在一个实施例中,输出电压的幅值 $|U|$ 不大于上限电压 U_{up}^{ref} 、且不小于下限电压 U_{dn}^{ref} 时,表明电力系统100的电压的幅值处在正常电压范围内。此时,电力系统100的电压波

动比较小,功率变换器200可以不需要额外修改设备输出的无功功率,并优先执行无功功率控制功能。处理器220可以让功率变换器200向功率控制单元227发送原始无功功率 Q_0^{ref} 。

[0119] 步骤S704,控制器220根据上限电压 U_{up}^{ref} 计算出上限无功功率 Q_{up}^{ref} 。

[0120] 控制器220在接收到上限电压 U_{up}^{ref} 时,可以将上限电压 U_{up}^{ref} 转换成限幅前的上限无功功率 Q_1 。控制器220可以根据限幅前的上限无功功率 Q_1 、电力系统100的电压的幅值正常时功率变换器200输入的无功功率 Q_0^{ref} 等参数,对上限电压 U_{up}^{ref} 的幅值进行限制,得到限幅后的上限无功功率,记为上限无功功率 Q_{up}^{ref} 。

[0121] 步骤S705,控制器220让上限无功功率 Q_{up}^{ref} 与原始无功功率 Q_0^{ref} 竞争,并输出上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} 。

[0122] 控制器220接收上限无功功率 Q_{up}^{ref} 时,控制器220选择输出上限无功功率 Q_{up}^{ref} 与原始无功功率 Q_0^{ref} 之间较小的无功功率,作为上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} 。在一个实施例中,上限无功功率 Q_{up}^{ref} 大于原始无功功率 Q_0^{ref} 时,控制器220将原始无功功率 Q_0^{ref} 作为竞争无功功率 Q_{min}^{ref} ,可以让功率变换器200优先执行无功功率控制功能。

[0123] 在一个实施例中,上限无功功率 Q_{up}^{ref} 小于原始无功功率 Q_0^{ref} 时,控制器220将上限无功功率 Q_{up}^{ref} 作为上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} ,可以让功率变换器200优先执行电压控制功能。

[0124] 在一个实施例中,控制器220没有接收到上限无功功率 Q_{up}^{ref} 时,控制器220将原始无功功率 Q_0^{ref} 作为上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} ,可以让功率变换器200优先执行电压控制功能。步骤S706,控制器220根据下限电压 U_{dn}^{ref} 计算出下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 。

[0125] 控制器220在接收到下限电压 U_{dn}^{ref} 时,可以将下限电压 U_{dn}^{ref} 转换成限幅前的下限无功功率 Q_2 。控制器220可以根据限幅前的下限无功功率 Q_2 、电力系统100的电压的幅值正常时功率变换器200输入的无功功率 Q_0^{ref} 等参数,对下限电压 U_{dn}^{ref} 的幅值进行限制,得到限幅后的下限无功功率,记为下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 。

[0126] 步骤S707,控制器220输出原始无功功率 Q_0^{ref} 。

[0127] 步骤S708,控制器220让下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 与上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} 进行竞争,并输出下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} 。

[0128] 控制器220接收下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 和上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} 时,控制器220选择输出下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 与上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} 之间较大的无功功率,作为下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} 。在一个实施例中,下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 大于上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} 时,控制器220将下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 作为下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} ,可以让功率变换器200优先执行电压控制

功能。

[0129] 在一个实施例中, 下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 小于上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} 时, 控制器220将上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} 作为下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} , 可以让功率变换器200优先执行电压控制功能或无功功率控制功能。

[0130] 在一个实施例中, 控制器220没有接收到下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 时, 控制器220将上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} 作为下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} , 可以让功率变换器200优先执行电压控制功能或无功功率控制功能。

[0131] 步骤S709, 控制器220可以根据原始无功功率 Q_0^{ref} 或下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} , 计算出内电势的幅值 $|V|$ 。

[0132] 控制器220在接收到上限无功功率 Q_{up}^{ref} 时, 控制器220可以根据上限无功功率 Q_{up}^{ref} 计算出内电势的幅值。控制器220根据内电势的幅值、内电势的相位和内电势的频率控制出PWM信号, 控制变换电路210的输出端的电压。控制器220为电力系统100输出无功功率, 可以减小电力系统100的电压的幅值, 实现降低电力系统100的电压的波动幅度。

[0133] 控制器220在接收到下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 时, 控制器220可以根据下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 计算出内电势的幅值。控制器220根据内电势的幅值、内电势的相位和内电势的频率控制出PWM信号, 控制变换电路210的输出端的电压。控制器220为电力系统100输出无功功率, 可以增大电力系统100的电压的幅值, 实现降低电力系统100的电压的波动幅度。

[0134] 控制器220在接收到原始无功功率 Q_0^{ref} 时, 控制器220可以根据原始无功功率 Q_0^{ref} 计算出内电势的幅值。控制器220根据内电势的幅值、内电势的相位和内电势的频率控制出PWM信号, 控制变换电路210的输出端的电压, 让控制器220正常地向电力系统100输出无功功率。

[0135] 控制器220执行步骤S705-步骤S708过程中, 控制器220优先让上限无功功率 Q_{up}^{ref} 与原始无功功率 Q_0^{ref} 进行竞争, 然后让上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} 与下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 进行竞争, 得到下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} 。可选地, 控制器220可以优先让下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 与原始无功功率 Q_0^{ref} 进行竞争, 然后让下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} 与上限无功功率 Q_{up}^{ref} 进行竞争, 得到上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} 。具体为:

[0136] 控制器220接收到下限无功功率 Q_{dn}^{ref} , 让下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 与原始无功功率 Q_0^{ref} 进行竞争。控制器220选择输出下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 与原始无功功率 Q_0^{ref} 之间较大的无功功率, 作为下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} 。在一个实施例中, 下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 大于原始无功功率 Q_0^{ref} 时, 控制器220将下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 作为下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} , 可以让功率变换器200优先执行电压控制功能。

[0137] 在一个实施例中, 下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 小于原始无功功率 Q_0^{ref} 时, 控制器220将原始

无功功率 Q_0^{ref} 作为下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} ,可以让功率变换器200优先执行无功功率控制功能。

[0138] 在一个实施例中,控制器220没有接收到下限无功功率 Q_{dn}^{ref} 时,控制器220将原始无功功率 Q_0^{ref} 作为下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} ,可以让功率变换器200优先执行无功功率控制功能。

[0139] 控制器220接收到上限无功功率 Q_{up}^{ref} 和下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} 时,让上限无功功率 Q_{up}^{ref} 与下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} 进行竞争。控制器220选择输出上限无功功率 Q_{up}^{ref} 与下限竞争无功功率 Q_{ma}^{ref} 之间较小的无功功率,作为上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} 。

[0140] 在一个实施例中,上限无功功率 Q_{up}^{ref} 大于下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} 时,控制器220将下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} 作为上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} ,可以让功率变换器200优先执行电压控制功能或无功功率控制功能。

[0141] 在一个实施例中,上限无功功率 Q_{up}^{ref} 小于下限竞争无功功率 Q_{max}^{ref} 时,控制器220将上限无功功率 Q_{up}^{ref} 作为上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} ,可以让功率变换器200优先执行电压控制功能。

[0142] 在一个实施例中,控制器220没有接收到上限无功功率 Q_{up}^{ref} 时,控制器220将上限无功功率 Q_{up}^{ref} 作为上限竞争无功功率 Q_{min}^{ref} ,可以让功率变换器200优先执行电压控制功能。

[0143] 本申请实施例中,控制器在电力系统的电压波动时,可以快速地对电力系统的电压支撑,并且可以尽最大能力对电力系统的电压支撑,使得功率变换器可以运行在正常电压范围内。由于电压控制和无功功率控制是通过竞争的方式输出,功率变换器在电压控制和无功功率控制模式之间无缝切换,不会对电力系统造成冲击。

[0144] 本申请实施例还提供了一种包含指令的计算机程序产品。所述计算机程序产品可以是包含指令的,能够运行在计算设备上或被储存在任何可用介质中的软件或程序产品。当所述计算机程序产品在至少一个计算设备上运行时,使得至少一个计算设备执行功率变换器的构网控制方法。

[0145] 本申请实施例还提供了一种计算机可读存储介质。所述计算机可读存储介质可以是计算设备能够存储的任何可用介质或者是包含一个或多个可用介质的数据中心等数据存储设备。所述可用介质可以是磁性介质,(例如,软盘、硬盘、磁带)、光介质(例如,DVD)、或者半导体介质(例如固态硬盘)等。该计算机可读存储介质包括指令,所述指令指示计算设备执行功率变换器的构网控制方法。

[0146] 最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,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;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的保护范围。

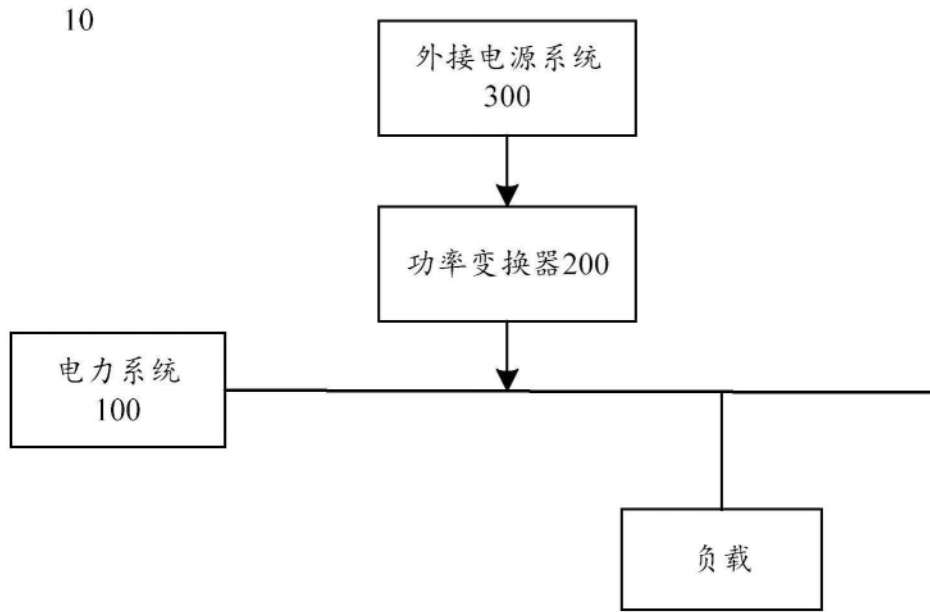


图1

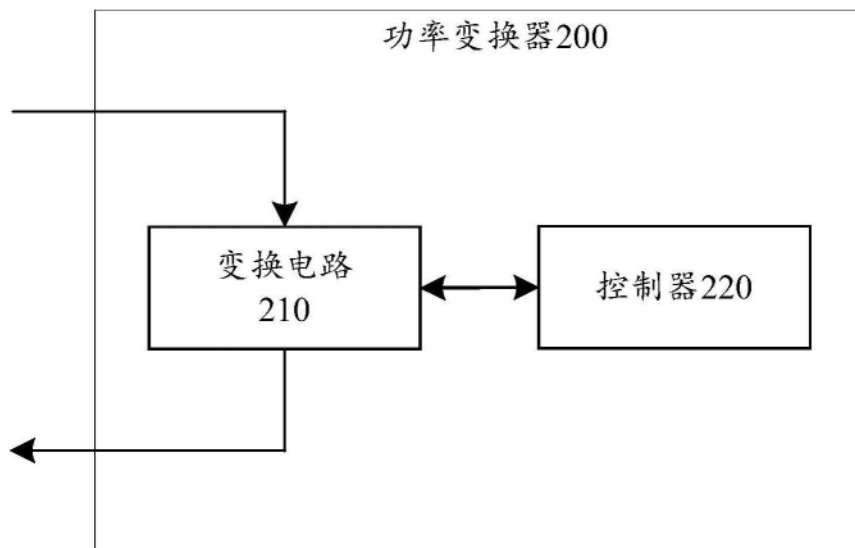


图2

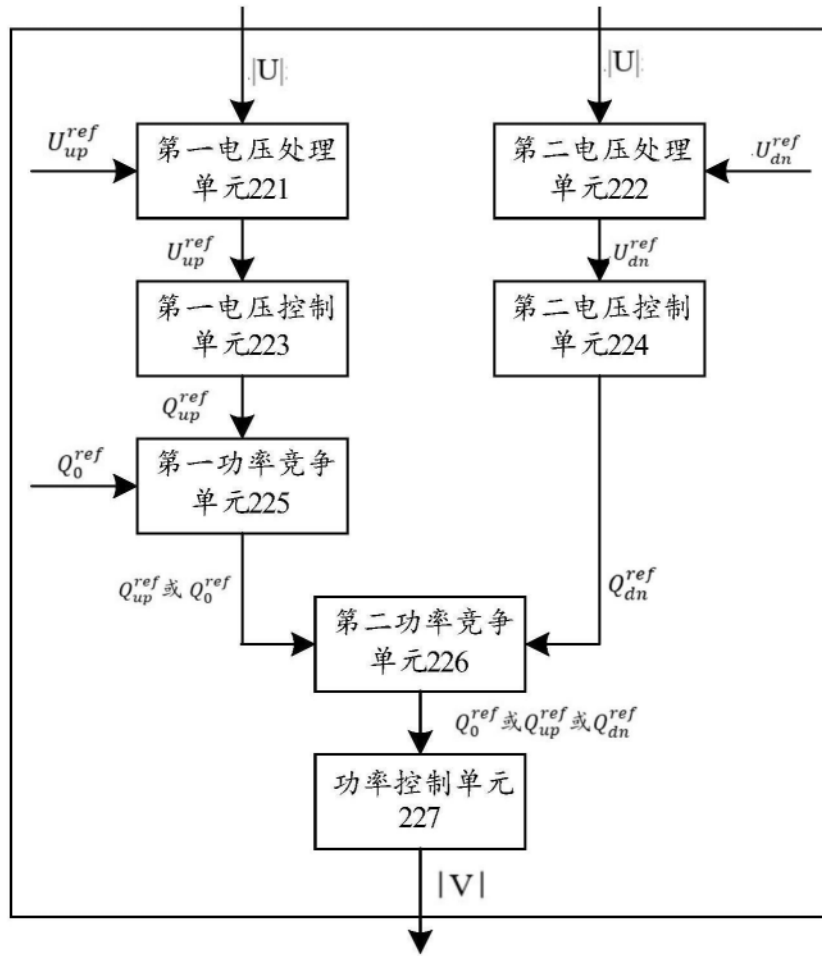


图3

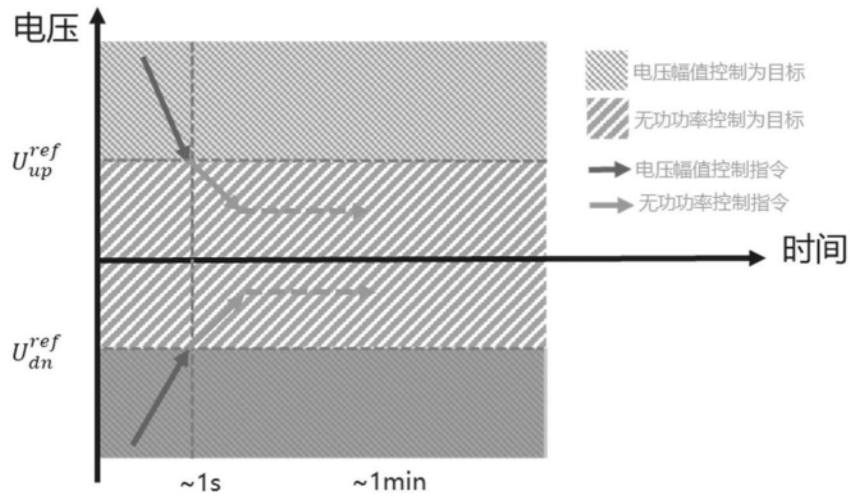


图4

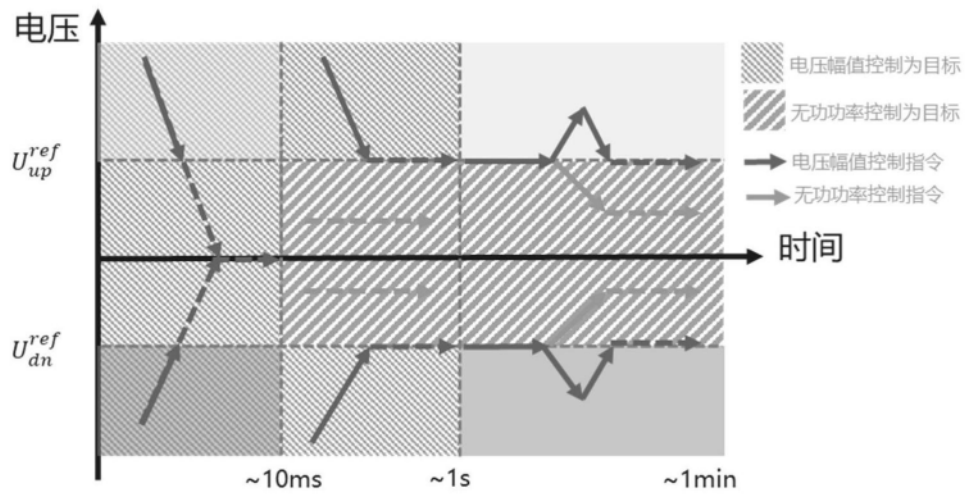


图5

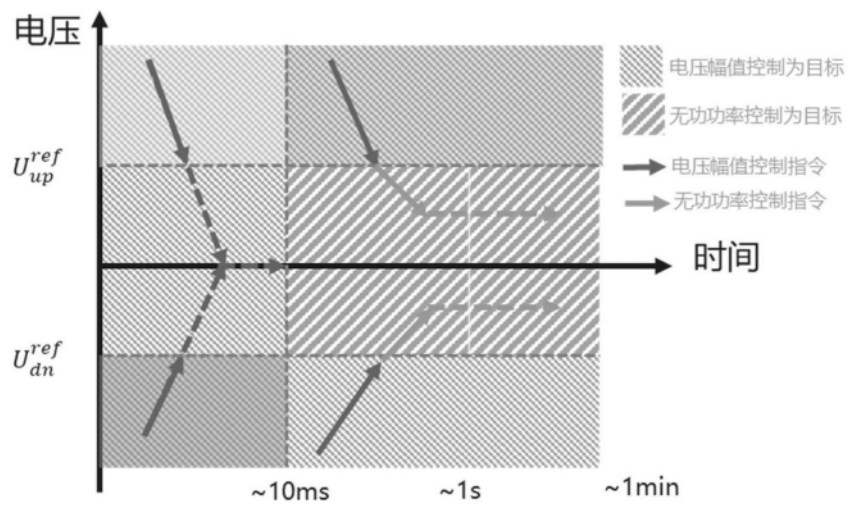


图6

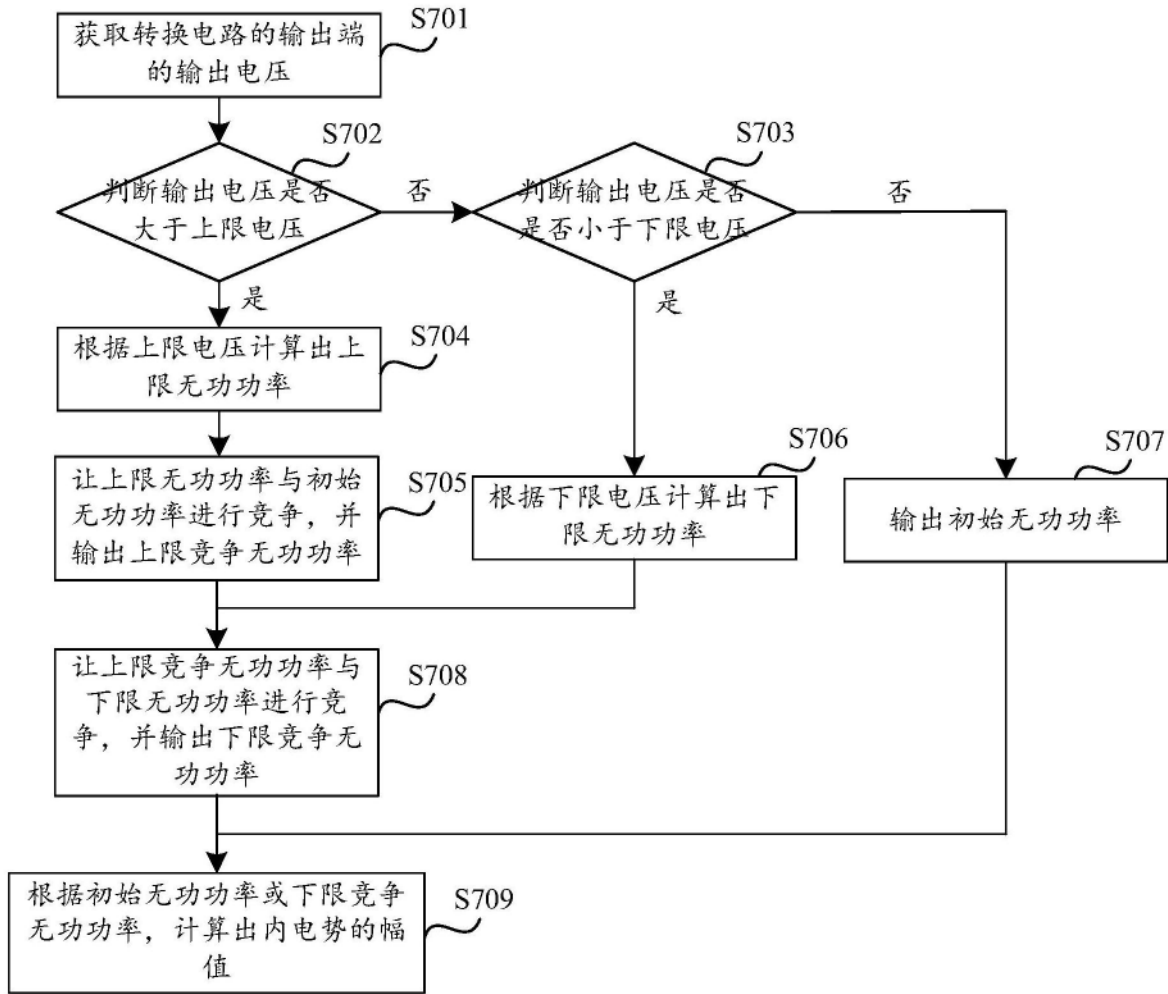


图7