



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115149552 B

(45) 授权公告日 2024.06.11

(21) 申请号 202210925690.6

(22) 申请日 2022.08.03

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 115149552 A

(43) 申请公布日 2022.10.04

(73) 专利权人 中国电力工程顾问集团东北电力设计院有限公司

地址 130021 吉林省长春市南关区人民大街4368号

(72) 发明人 张文原 魏显安 何适 刘尧 华伟

(74) 专利代理机构 长春众益专利商标事务所 (普通合伙) 22211

专利代理师 李文萍

(51) Int.Cl.

H02J 3/28 (2006.01)

H02J 3/32 (2006.01)

H02J 3/18 (2006.01)

H02J 15/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 102522763 A, 2012.06.27

CN 111668869 A, 2020.09.15

CN 114204606 A, 2022.03.18

CN 114362138 A, 2022.04.15

CN 114389300 A, 2022.04.22

WO 2014201849 A1, 2014.12.24

崔红芬;王德顺;杨波;吴福保;朱天天;赵晶晶. 支撑电网黑启动的风光储新能源电站协调控制策略. 电力建设. 2020, (第09期), 全文.

审查员 郭桢

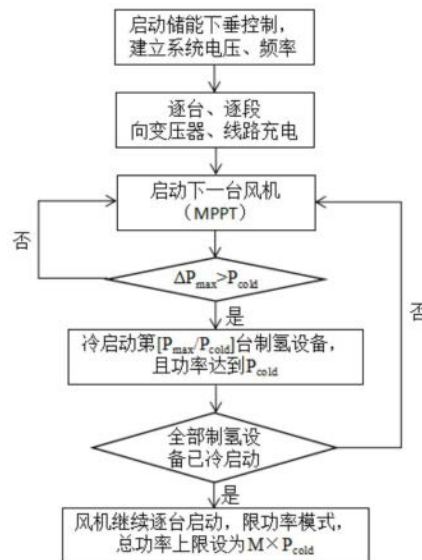
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种交流耦合离网风电制氢系统控制方法

(57) 摘要

本发明提供一种交流耦合离网风电制氢系统控制方法,利用源荷互动的交叉启动方式,最大化地利用了现有储能系统容量,保证系统功能正常的同时,大大减少了离网启动阶段系统对于储能系统瞬时功率值的要求,由此减少离网风电制氢系统对于储能系统配置的要求;通过两套PCS进行电压源控制及电流源控制的轮值切换,有效保证了在构网PCS配置满足系统最小要求的前提下,仍有一部分PCS采用直接PQ控制方式,进而更加主动、快速、精准、宽范围地平抑风功率高频波动,减弱供电随机性。



1. 一种交流耦合的离网风电制氢系统控制方法,所述离网风电制氢系统包括:含有多台风电机组的风电场(1)、含有多台电解水制氢设备的制氢系统(2)、电化学储能系统(3)、公共交流母线(4)、SVG设备(5);交流耦合的离网风电制氢系统配置公共交流母线(4),所述电化学储能系统(3)包括PCS,风电机组、制氢设备、PCS、SVG设备(5)均通过各自的升压变压器(7)高压侧连接至公共交流母线;所述离网风电制氢系统连接微网控制器;

所述风电场(1)包括风电机组、风功率预测系统,风功率预测系统用于进行短期功率预测,并将数据传输至微网控制器;

所述制氢系统(2)包含多台并联的电解水制氢设备、制氢控制单元,制氢控制单元与分别与每台电解水制氢设备连接;

所述电化学储能系统(3)还包含蓄电池组、EMS和BMS,所述电化学储能系统用作启动电源,通过储能系统的下垂控制实现微电网电压频率的建立,进而支持各设备启动;启动过程中,储能系统瞬时充、放电功率不超过单台风电机组额定功率 $P_n$ 与单台制氢设备冷启动需求功率 $P_{cold}$ 中的最大值;

所述微网控制器用于逐台启动风机、逐台冷启动制氢设备,用于主动控制制氢设备运行功率点跟踪风电输出功率变化,采取MPPT控制;

所述SVG设备(5)用于在启动及运行过程中补充系统无功功率偏差,维持无功功率平衡;

其特征在于,

交流耦合的离网风电制氢系统控制方法包括以下步骤:

步骤一:风功率预测系统进行短期功率预测,判断未来4h平均风功率水平高于制氢系统最小运行功率值时,系统进入启动流程;

步骤二:储能系统PCS通过下垂控制迅速建立微电网电压及频率,并对交流母线、集电线路、变压器进行充电;充电过程中,采取线路分段充电、变压器逐次投入的方式,减小涌流;

步骤三,微网控制器逐台启动风机、逐台冷启动制氢设备,电化学储能、SVG设备迅速对系统有功、无功偏差进行补偿,维持平衡,投入的风机采取MPPT控制,当已投入风机可发最大总功率 $P_{max}$ 大于单台制氢设备冷启动需求功率 $P_{cold}$ 时,第一台制氢设备冷启动并进入预热阶段,当制氢设备功率升高到 $P_{cold}$ 时,启动下一台风机;类似地,随着 $P_{max}$ 逐渐增大,随即冷启动第 $[P_{max}/P_{cold}]$ (就近取整)台制氢设备;制氢设备冷启动功率爬升阶段,电化学储能补偿风电场与制氢设备之间的功率偏差;

步骤四,当全部M台制氢设备冷启动且电功率达到 $P_{cold}$ 时,风机继续逐台启动,微网控制器控制风电场总输出不超过全部制氢冷启动总功率,部分或全部风机通过转速控制或桨距角控制进入限功率模式;

步骤五,冷启动达到设定时间,达到产氢条件时,启动电解水制氢设备,开始制取氢气;

步骤六:风机逐渐退出限功率模式,按照与制氢系统升功率速率相当的速率,提升风电场输出功率,实现与制氢功率的匹配,直至全部风电机组达到MPPT状态,或者制氢电解槽全部处于最大功率状态;

步骤七:系统进入正常运行模式,微网控制器根据风电场输出总功率测量值动态分配并更新制氢设备功率目标值,实现动态跟踪;由于风电极端升功率速率高于制氢系统,所以

当风电功率骤增时,采取限制风电功率升速的方式,实现二者的耦合。

2. 根据权利要求1所述的交流耦合的离网风电制氢系统控制方法,其特征在于,所述步骤七动态跟踪采用源荷互动交叉启动的方式,控制系统采集电源、负荷实时数据,动态判断并决策每台设备启动时机、控制方式,当 $P_{max}$ 逐渐增大时,随即冷启动第 $[P_{max}/P_{cold}]$ (就近取整)台制氢设备;启动过程中,储能系统瞬时充、放电功率不超过单台风电机组额定功率 $P_n$ 与 $P_{cold}$ 中的最大值,即系统对储能额定功率的最低要求。

3. 根据权利要求2所述的交流耦合的离网风电制氢系统控制方法,其特征在于,更优地,额外配置部分电化学储能,在运行过程中,PCS按照控制方式被分为两组:其中任意一组PCS总功率大小至少为 $P_n$ 与 $P_{cold}$ 中的最大值;第一组PCS采用下垂控制方式,用于建立微电网的系统电压及频率,即作为系统的电压源;另一组PCS采用PQ控制策略,用于平抑风电场出力的高频波动,并更精准地填补由风电出力随机性引起的功率差额,即作为系统的电流源。

4. 根据权利要求3所述的交流耦合的离网风电制氢系统控制方法,其特征在于,所述的两组PCS能够通过BMS实现控制方式及功能的切换,切换的原则为:当下垂控制组PCS的SOC值达到上限或下限时,将其切换至PQ控制方式,在保证平抑功率波动和填补功率差额功能正常的基础上,调整目标功率值对自身其进行充电或放电,使其SOC逐渐恢复;与此同时,另一组PCS转为下垂控制模式,负责建立系统的电压及频率。

5. 根据权利要求1所述的交流耦合的离网风电制氢系统控制方法,其特征在于,所述步骤七在风电出力骤增情况下,对风电场进行升功率速率限制,上升速率与制氢系统升功率速率相同;在风电出力值高于制氢系统稳态消纳能力时,对风电场进行总功率限制,限值设定为当前工况下制氢系统最高可消纳功率,功率限值通过桨距角控制、转速控制实现。

## 一种交流耦合离网风电制氢系统控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及可再生能源电解水制氢技术领域,尤其是涉及一种交流耦合离网风电制氢系统控制方法。

### 背景技术

[0002] 可再生能源电解水制氢技术能够将绿电转化为绿氢,是一种理想的能源转换方式。特别地,离网风电制氢技术能够有效利用偏远地区风力资源,彻底避免风电对电网的影响,且节省了输线路成本,具有重要的研究价值。然而,目前的离网风电制氢技术存在诸多问题:

[0003] (1) 由于缺少主电网的支撑,离网风电制氢系统通常需要配置较大容量的电化学储能系统,用于建立微电网电压、频率,并且在启动、运行阶段对系统的功率偏差进行迅速响应、削峰填谷。然而,电化学储能系统具有极高的成本,导致系统整体经济效益降低。

[0004] (2) 主流的离网风电制氢系统采用直流耦合结构,这要求对风电机组的输出侧进行全功率整流,因此通常采用成本较高的永磁式风电机组,并将风机全功率变流器的直流环节作为最终输出,此种结构需要对现有永磁式风电机组变流系统进行针对性改造,进一步增加成本,且改变了常规风电场的原有构架。

[0005] (3) 若采用双馈式风电机组,为了实现离网状态下对机组的励磁、启动、并网,通常采用在双馈式风电机组的交直交变流器的直流环节上并联储能柜的方式,同样需要对现有风电机组变流系统进行改造,增加了成本和控制难度。

### 发明内容

[0006] 本发明旨在解决离网风电制氢系统对储能系统配置要求过高、以及现有技术对常规风电场结构改造大、研发设计成本高等问题,本发明公开一种交流耦合的离网风电制氢系统及其控制方法,能够有效利用常规风电场原有结构,且通过本发明的控制方法,有效减少对储能系统的配置要求,降低了成本,提升了运行稳定性。

[0007] 为实现上述发明目的,本发明提供一种交流耦合的离网风电制氢系统控制方法,所述离网风电制氢系统包括:含有多台风电机组的风电场(1)、含有多台电解水制氢设备的制氢系统(2)、电化学储能系统(3)、公共交流母线(4)、SVG设备(5);交流耦合的离网风电制氢系统配置公共交流母线(4),所述电化学储能系统(3)包括PCS,风电机组、制氢设备、PCS、SVG设备(5)均通过各自的升压变压器(7)高压侧连接至公共交流母线。所述离网风电制氢系统连接微网控制器。

[0008] 所述风电场(1)包括风电机组、风功率预测系统,风功率预测系统用于进行短期功率预测,并将数据传输至微网控制器。

[0009] 所述制氢系统(2)包含多台并联的电解水制氢设备、制氢控制单元,制氢控制单元与分别与每台电解水制氢设备连接。

[0010] 所述电化学储能系统(3)还包含蓄电池组、EMS和BMS,所述电化学储能系统用作启

动电源,通过储能系统的下垂控制实现微电网电压频率的建立,进而支持各设备启动;启动过程中,储能系统瞬时充、放电功率不超过单台风电机组额定功率 $P_n$ 与单台制氢设备冷启动需求功率 $P_{cold}$ 中的最大值。

[0011] 所述微网控制器用于逐台启动风机、逐台冷启动制氢设备,用于主动控制制氢设备运行功率点跟踪风电输出功率变化,采取MPPT控制。

[0012] 所述SVG设备(5)用于在启动及运行过程中补充系统无功功率偏差,维持无功功率平衡。

[0013] 交流耦合的离网风电制氢系统控制方法包括以下步骤:

[0014] 步骤一:风功率预测系统进行短期功率预测,判断未来4h平均风功率水平高于制氢系统最小运行功率值时,系统进入启动流程。

[0015] 步骤二:储能系统PCS通过下垂控制迅速建立微电网电压及频率,并对交流母线、集电线路、变压器进行充电。充电过程中,采取线路分段充电、变压器逐次投入的方式,减小涌流。

[0016] 步骤三,微网控制器逐台启动风机、逐台冷启动制氢设备,电化学储能、SVG设备迅速对系统有功、无功偏差进行补偿,维持平衡,投入的风机采取MPPT控制,当已投入风机可发最大总功率 $P_{max}$ 大于单台制氢设备冷启动需求功率 $P_{cold}$ 时,第一台制氢设备冷启动并进入预热阶段,当制氢设备功率升高到 $P_{cold}$ 时,启动下一台风机;类似地,随着 $P_{max}$ 逐渐增大,随即冷启动第 $[P_{max}/P_{cold}]$ (就近取整)台制氢设备;制氢设备冷启动功率爬升阶段,电化学储能补偿风电场与制氢设备之间的功率偏差。

[0017] 步骤四,当全部M台制氢设备冷启动且电功率达到 $P_{cold}$ 时,风机继续逐台启动,微网控制器控制风电场总输出不超过全部制氢冷启动总功率,部分或全部风机通过转速控制或桨距角控制进入限功率模式。

[0018] 步骤五,冷启动达到设定时间,达到产氢条件时,启动电解水制氢设备,开始制取氢气。

[0019] 步骤六:风机逐渐退出限功率模式,按照与制氢系统升功率速率相当的速率,提升风电场输出功率,实现与制氢功率的匹配,直至全部风电机组达到MPPT状态,或者制氢电解槽全部处于最大功率状态。

[0020] 步骤七:系统进入正常运行模式,微网控制器根据风电场输出总功率测量值动态分配并更新制氢设备功率目标值,实现动态跟踪;由于风电极端升功率速率高于制氢系统,所以当风电功率骤增时,采取限制风电功率升速的方式,实现二者的耦合。

[0021] 进一步地,所述步骤七动态跟踪采用源荷互动交叉启动的方式,控制系统采集电源、负荷实时数据,动态判断并决策每台设备启动时机、控制方式,当 $P_{max}$ 逐渐增大时,随即冷启动第 $[P_{max}/P_{cold}]$ (就近取整)台制氢设备。启动过程中,储能系统瞬时充、放电功率不超过单台风电机组额定功率 $P_n$ 与 $P_{cold}$ 中的最大值,即系统对储能额定功率的最低要求。

[0022] 进一步地,额外配置部分电化学储能,在运行过程中,PCS按照控制方式被分为两组:其中任意一组PCS总功率大小至少为前文所述的 $P_n$ 与 $P_{cold}$ 中的最大值。第一组PCS采用下垂控制方式,用于建立微电网的系统电压及频率,即作为系统的电压源;另一组PCS采用PQ控制策略,用于平抑风电场出力的高频波动,并更精准地填补由风电出力随机性引起

的功率差额,即作为系统的电流源。

[0023] 进一步地,所述的两组PCS能够通过BMS实现控制方式及功能的切换,切换的原则为:当下垂控制组PCS的SOC值达到上限或下限时,将其切换至PQ控制方式,在保证平抑功率波动和填补功率差额功能正常的基础上,调整目标功率值对自身其进行充电或放电,使其SOC逐渐恢复;与此同时,另一组PCS转为下垂控制模式,负责建立系统的电压及频率。

[0024] 进一步地,所述步骤七在风电出力骤增情况下,对风电场进行升功率速率限制,上升速率与制氢系统升功率速率相同;在风电出力值高于制氢系统稳态消纳能力时,对风电场进行总功率限制,限值设定为当前工况下制氢系统最高可消纳功率,功率限值通过桨距角控制、转速控制实现。

[0025] 与常规技术相比,本发明的有益效果是:

[0026] (1) 本发明公开的系统启动控制方法,利用源荷互动的交叉启动方式,最大化地利用了现有储能系统容量,保证系统功能正常的同时,大大减少了离网启动阶段系统对于储能系统瞬时功率值的要求,由此减少离网风电制氢系统对于储能系统配置的要求;此外,通过在特定时刻及时间段内对风电场进行限功率、限功率升速的方式,最大限度地优化了制氢功率变化跟随风电功率变化的效果,同样减小了运行过程中对储能系统的依赖。从这两方面来讲,提升了系统的经济性。

[0027] (2) 本发明公开的一种离网风电制氢场景下储能系统控制方法,通过两套 PCS进行电压源控制及电流源控制的轮值切换,有效保证了在构网PCS配置满足系统最小要求的前提下,仍有一部分PCS采用直接PQ控制方式,进而更加主动、快速、精准、宽范围地平抑风功率高频波动,减弱供电随机性,并且,基于SOC 状态的切换原则,改善了储能系统工作可靠性。

## 附图说明

[0028] 图1:为本发明一种交流耦合离网风电制氢系统实施例示意图;

[0029] 图2:为本发明一种交流耦合离网风电制氢系统启动流程图;

[0030] 图3:为本发明实施例储能输出有功功率仿真曲线图;

[0031] 其中,1、风电场;2、制氢系统;3、电化学储能系统;4、公共交流母线;5、SVG设备;6、备用柴油发电机;7、升压变压器。

## 具体实施方式

[0032] 图1为本发的交流耦合离网风电制氢系统配置主要包括:N台双馈型风电机组的风电场1,其中N大于1;M台碱性电解水制氢设备的制氢系统2,其中 M大于1,还包括含蓄电池组及PCS的电化学储能系统3、公共交流母线4、SVG 设备5、备用柴油发电机6。交流耦合离网风电制氢系统孤网运行,与主电网之间既无能量交换,也无物理连接。

[0033] 风电场1包含风电机组、箱式升压变、集电线路、汇流装置、集控系统、风功率预测系统。风功率预测系统数据传输至集控系统 & 微网控制器。风电机组为可变桨距变速恒频双馈异步风力发电机组;

[0034] 制氢系统2为碱性电解水制氢系统,包含由M台并联的电解水制氢设备,电解水制氢设备包含电解槽、变流器、变压器、控制系统以及配套的提纯、储氢等辅助系统,通过控制

系统可以对任一电解槽运行功率进行单独控制,功率波动范围为20% - 120% 额定功率。制氢系统额定总功率不超过风电场额定功率的 83.3%。

[0035] 电化学储能系统3包含蓄电池组、PCS、EMS、BMS及相应的辅助系统,响应速度ms级别,功率因数可在-0.95 ~ +0.95范围内调节,优选地为磷酸铁锂蓄电池系统。电化学储能系统用作启动电源,通过储能系统的下垂控制实现微电网电压频率的建立,进而支持各设备启动;启动过程中,储能系统瞬时充、放电功率不超过单台风电机组额定功率 $P_n$ 与 $P_{cold}$ 中的最大值。

[0036] 微网控制器用于逐台启动风机、逐台冷启动制氢设备,用于主动控制制氢设备运行功率点跟踪风电输出功率变化,电化学储能、SVG设备迅速对系统有功、无功偏差进行补偿,维持平衡,采取MPPT控制;

[0037] 交流耦合离网风电制氢系统采用交流母线耦合方式,各台风电机组、各台制氢设备、各台储能PCS、SVG设备5、柴油发电机均通过各自的升压变压器7 高压侧连接至公共交流母线。

[0038] 交流耦合离网风电制氢系统采用交流母线上连接的电化学储能系统作为微电源,通过电化学储能系统的下垂控制实现微电网电压频率的建立,进而支持各设备启动。运行过程中采用制氢功率跟随的方式,即主动控制制氢设备运行功率点跟踪风电输出功率变化,电化学储能和SVG设备能够迅速对系统有功、无功偏差进行补偿,维持平衡,备用柴油发电机6作为应急电源,在系统首次启动或电化学储能SOC低于限值时投入使用。该系统能够完全实现孤网运行,与主电网之间既无能量交换,也无物理连接。控制器能够实现对系统中各部分的实时监控、控制、调度,控制系统离网启动、运行,并在全过程中通过本发明公开的控制方法保证系统平衡稳定。

[0039] 交流耦合离网风电制氢系统中,制氢系统额定总电功率配置规模至多为风电场装机容量容量的83.3%,以保证在风电场输出功率达到最大时,制氢系统无空闲容量。

[0040] 参照图2,本发明的交流耦合离网风电制氢系统控制方法,具体如下:

[0041] 步骤一:风功率预测系统进行短期功率预测,判断未来4h平均风功率水平高于制氢系统最小运行功率值时,交流耦合离网风电制氢系统进入启动流程。

[0042] 步骤二:储能系统PCS通过下垂控制迅速建立微电网电压及频率,并对交流母线、集电线路、变压器进行充电。充电过程中,首先依次对1号至N号风机的变压器及集电线路充电,再依次对1号至M号的制氢变压器充电,减小涌流。

[0043] 步骤三,微网控制器逐台启动风机、逐台冷启动制氢设备。投入的风机采取MPPT控制,当已投入风机可发最大总功率 $P_{max}$ 大于单台制氢设备冷启动需求功率 $P_{cold}$ 时,第一台制氢设备冷启动并进入预热阶段,当制氢设备功率升高到 $P_{cold}$ 时,启动下一台风机;类似地,随着 $P_{max}$ 逐渐增大,随即冷启动第  $[P_{max}/P_{cold}]$  (就近取整) 台制氢设备;制氢设备冷启动功率爬升阶段,电化学储能补偿风电场与制氢设备之间的功率偏差。

[0044] 步骤四,当全部M台制氢设备冷启动且电功率达到 $P_{cold}$ 时,风机继续逐台启动,微网控制器控制风电场总输出不超过全部制氢冷启动总功率,部分或全部风机通过转速控制或桨距角控制进入限功率模式;

[0045] 步骤五,达到产氢条件时,通常约为冷启动之后30分钟,启动电解槽,开始制取氢气。

[0046] 步骤六:风机逐渐退出限功率模式,按照与制氢系统升功率速率相当的速率,提升风电场输出功率,实现与制氢功率的匹配,直至全部风电机组达到MPPT 状态,或者制氢电解槽全部处于最大功率状态。

[0047] 步骤七:系统进入正常运行模式,控制器根据风电场输出总功率测量值动态分配并更新制氢设备功率目标值,实现动态跟踪;由于风电极端升功率速率高于制氢系统,所以当风电功率骤增时,采取限制风电功率升速的方式,实现二者的耦合,减少储能系统的投入。上述动态跟踪采用源荷互动交叉启动的方式,控制系统采集电源、负荷实时数据,动态判断并决策每台设备启动时机、控制方式,当 $P_{max}$ 逐渐增大时,随即冷启动第 $[P_{max}/P_{cold}]$  (就近取整) 台制氢设备。启动过程中,储能系统瞬时充、放电功率不超过单台风电机组额定功率 $P_n$ 与 $P_{cold}$ 中的最大值,即系统对储能额定功率的最低要求,大大减少系统成本。

[0048] 在风电出力骤增情况下,对风电场进行升功率速率限制,上升速率与制氢系统升功率速率相同;在风电出力值高于制氢系统稳态消纳能力时,对风电场进行总功率限制,限值设定为当前工况下制氢系统最高可消纳功率,功率限值通过桨距角控制、转速控制实现。

[0049] 按照本发明公开的启动及运行策略,在此过程中,储能系统瞬时充、放电功率不超过单台风电机组额定功率 $P_n$ 与 $P_{cold}$ 中的最大值,即此离网制氢系统对储能系统额定功率的最低要求,大大减少了系统成本。

[0050] 图3为本发明实施例(图1)储能系统输出有功功率仿真曲线图,仿真模型中,单台风电机组额定功率为2.5MW,单台制氢设备额定功率为5MW, $P_{cold}$ 按照1MW考虑。该仿真模型模拟了系统从进入启动程序开始一直到实现4台风机、4台制氢设备启动并进入限功率模式的过程,控制策略按照本发明公开的离网风电制氢启动控制方法执行。可见在整个过程中,储能系统充、放电功率最大值未超过单台风电机组额定功率 $P_n=2.5MW$ ,即视为系统的储能系统必备最小配置。

[0051] 在上述必备储能配置基础上,更优地,额外配置部分电化学储能系统,在运行过程中,PCS按照控制方式被分为两组:其中任意一组PCS总功率大小至少为前文所述的 $P_n$ 与 $P_{cold}$ 中的最大值。运行过程中,第一组PCS采用下垂控制方式,用于建立微电网的系统电压及频率,即作为系统的电压源;另一组PCS 采用PQ控制策略,用于平抑风电场出力的高频波动,并更精准地填补由风电出力随机性引起的功率差额,即作为系统的电流源。两组PCS能够通过通过BMS 实现控制方式及功能的切换,切换的原则为:当下垂控制组PCS的SOC值即将达到SOC上限或下限时,将其切换至PQ控制方式,在保证平抑功率波动和填补功率差额功能正常的基础上,调整目标功率值对其自身进行充电或放电,使其 SOC逐渐恢复;与此同时,另一组PCS转为下垂控制模式,负责建立系统的电压及频率。

[0052] 在此种双套PCS轮值控制的策略下,能够有效保障储能系统工作不间断,且大大改善系统电源供电质量,有利于提升制氢系统工作安全性。

[0053] 例如,系统配置如下:风电场额定装机容量为50MW,由20台2.5MW双馈型风力发电机组构成,编号分别为1号风机至20号风机;制氢系统额定产氢能力为8000Nm<sup>3</sup>/h,由8套产氢能力为1000Nm<sup>3</sup>/h的电解槽及其整流、变压装置构成,编号分别为1号制氢设备至8号制氢设备,总额定功率约为40MW;电化学储能系统配置为5MW/1h,其中2.5MW为必备配置,另外2.5MW为优选方案额外配置,电化学储能系统由4套额定功率为1.25MW的PCS构成;SVG设备额定功率为10MW;柴油发电机额定功率为2MW。

[0054] 制氢设备总运行功率范围为0%至120%额定功率,即最大可超功率 $40 \times 120\% = 48\text{MW}$ 运行,当风电场满发时,经过线路损耗后,基本可以通过制氢系统消纳全部功率。储能系统额定功率为5MW,保证系统能够承受最多两台风机或一台制氢设备满负荷切除。

[0055] 以风速为8m/s为例,描述系统启动过程如下:

[0056] 步骤一:风功率预测系统进行短期功率预测,判断未来4h平均风功率水平高于制氢系统最小运行功率值时,系统进入启动流程。

[0057] 步骤二:储能系统4套PCS通过下垂控制共同建立微电网电压及频率,并对交流母线、集电线路、变压器进行充电。充电过程中,采取线路分段充电、变压器逐次投入的方式,减小涌流。

[0058] 步骤三,逐台启动风机、逐台冷启动制氢设备。具体为:(1)启动1号风机, $P_{\max} = 1.5\text{MW}$ ,储能系统充电功率提升至1.5MW;(2)启动1号制氢设备,使其按照 $P_{\text{cold}} = 20\% \times 5\text{MW} = 1\text{MW}$ 功率加热,此时,仍有0.5MW风电未被利用,电化学储能自动将充电功率降低为0.5MW;(3)启动2号风机, $P_{\max} = 3\text{MW}$ ,电化学储能自动将充电功率提高为2MW;(4)依次启动2号、3号制氢设备,电化学储能自动将充电功率降低为0MW;(5)启动3号风机, $P_{\max} = 4.5\text{MW}$ ,电化学储能自动将充电功率提高为1.5MW;(6)启动4号制氢设备,制氢共吸收4MW功率,储能系统充电功率转为0.5MW,依此类推。

[0059] 步骤四:当全部8台制氢设备冷启动且电功率达到 $P_{\text{cold}}$ 时,风机继续逐台启动,微网控制器控制风电场总输出不超过全部制氢冷启动总功率,部分或全部风机通过转速控制或桨距角控制进入限功率模式;

[0060] 步骤五,冷启动之后30分钟,启动电解槽,开始制取氢气。

[0061] 步骤六:风机逐渐退出限功率模式,按照与制氢系统升功率速率相当的速率,提升风电场输出功率,实现与制氢功率的匹配,直至全部风电机组达到MPPT 状态,或者制氢电解槽全部处于最大功率状态。

[0062] 步骤七:系统进入正常运行模式,微网控制器根据风电场输出总功率测量值动态分配制氢设备功率目标值,实现动态跟踪;

[0063] 图3为本发明实施例图1储能系统输出有功功率仿真曲线图,该仿真模型模拟了系统从进入启动程序开始一直到实现4台风机、4台制氢设备启动并进入限功率模式的过程,控制策略按照本发明公开的离网风电制氢启动控制方法执行。

[0064] 更优地,将4套PCS分为两组A组及B组,每组由2套1.25MW的PCS组成,运行过程中,A组采取下垂控制,作为系统的电压源;B组采取PQ控制,作为系统的电压源;两组PCS能够通过储能控制器实现控制方式的切换,切换的原则为:当下垂控制组PCS的SOC值即将达到SOC上限或下限时,将其切换至PQ 控制方式,进行充放电调整,与此同时,另一组PCS转为下垂控制,负责建立系统的电压及频率。

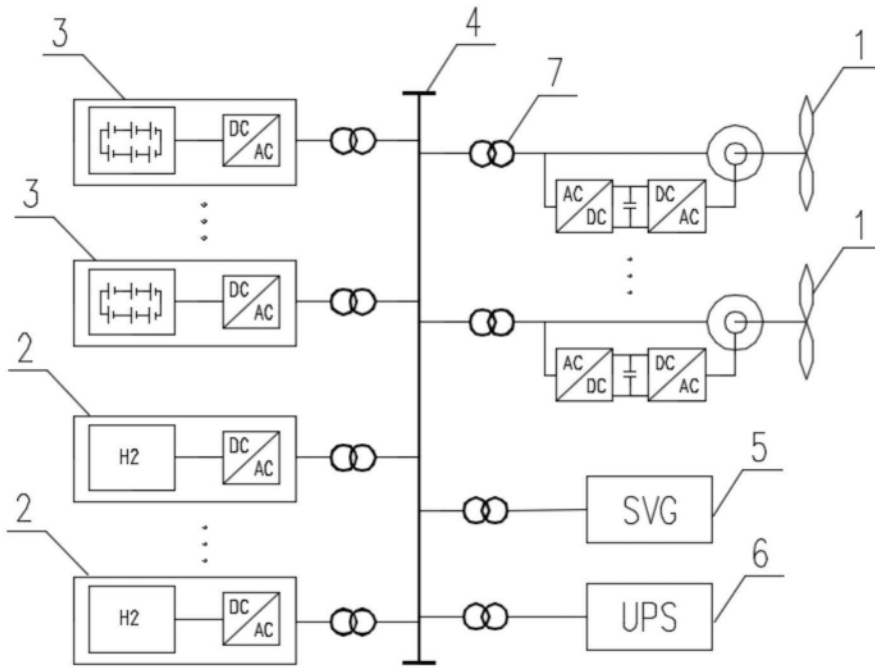


图1

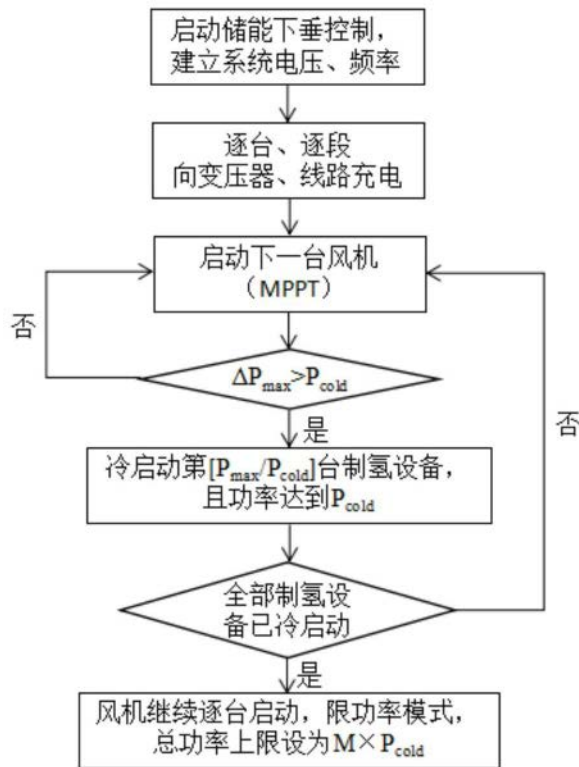


图2

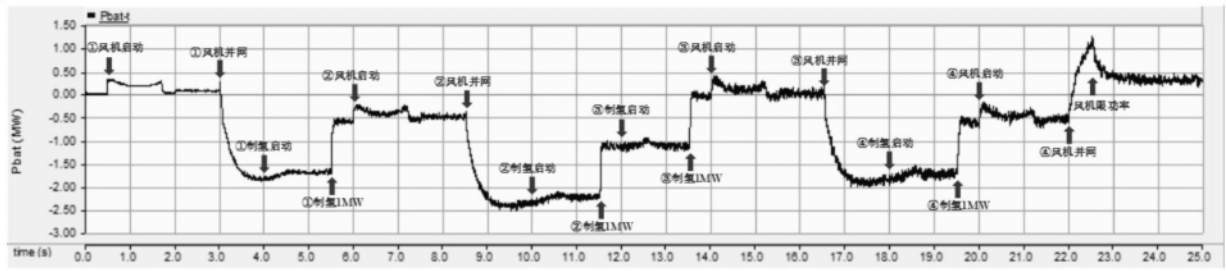


图3