



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103748759 B

(45)授权公告日 2017.03.01

(21)申请号 201280031384.2

(72)发明人 拉尔斯·约翰逊

(22)申请日 2012.06.12

(74)专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理有限公司 11112

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 103748759 A

代理人 陈源 崔利梅

(43)申请公布日 2014.04.23

(51)Int.Cl.  
H02J 3/38(2006.01)

(30)优先权数据  
13/169,978 2011.06.27 US

(56)对比文件

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2013.12.25

CN 102044885 A,2011.05.04,  
CN 102044885 A,2011.05.04,  
US 5614801 A,1997.03.25,  
US 5268832 A,1993.12.07,  
CN 101483346 A,2009.07.15,  
US 2010067271 A1,2010.03.18,

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/US2012/042076 2012.06.12

审查员 曾丽娟

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02013/003030 EN 2013.01.03

(73)专利权人 太阳能公司  
地址 美国加利福尼亚州

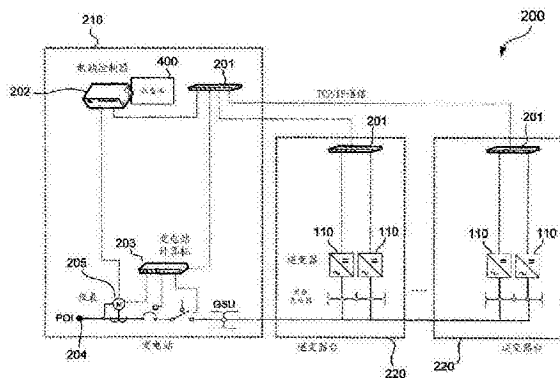
权利要求书2页 说明书10页 附图11页

(54)发明名称

控制光伏电站运行的方法和设备

(57)摘要

本发明公开了一种光伏电站(200),所述光伏电站包括将太阳能电池产生的直流转换成交流的光伏逆变器(110)。光伏逆变器(110)的输出被提供给与电网的互连点(204)。互连点处的仪表(205)可被读取以检测电网上光伏逆变器(110)的输出。光伏电站(200)包括具有状态机(400)的电站控制器(202)。电站控制器(202)被配置成调节光伏逆变器(110)的设定点以控制光伏电站(200)的输出。电站控制器(202)还被配置成软起动并软停止光伏电站(200)的自动电压调节(AVR)以防止扰动AVR。



1. 一种控制光伏电站运行的方法,所述方法包括:

使用多个太阳能电池产生直流;

使用光伏逆变器,将所述太阳能电池产生的直流转换成交流;

将所述光伏逆变器的输出连接到电网;

检测所述光伏电站产生超过所述光伏电站的最大容许输出限值的光伏电站输出,所述最大容许输出限值是所述光伏电站的最大容许无功功率或功率因数;以及

响应于检测到所述光伏电站产生超过所述光伏电站的最大容许输出限值的光伏电站输出,将所述光伏逆变器的设定点可变限值从第一逆变器设定点限值降低至第二逆变器设定点限值以降低关于所述光伏逆变器的无功功率输出的限值。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述光伏电站输出包括被所述光伏逆变器输出或吸收的无功功率,所述光伏电站的所述最大容许输出限值包括所述电站输出的最大容许无功功率,并且所述第一逆变器设定点限值和所述第二逆变器设定点限值各自包括所述逆变器的无功功率设定点限值。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中检测所述光伏电站产生超过所述光伏电站的最大容许输出限值的光伏电站输出的步骤在光伏电站运行的第一状态下执行,并且将所述光伏逆变器的设定点可变限值从所述第一逆变器设定点限值降低至所述第二逆变器设定点限值的步骤是在光伏电站运行的第二状态下执行的。

4. 根据权利要求3所述的方法,还包括,响应于检测到所述光伏电站输出没有超过所述光伏电站的所述最大容许输出限值,返回到所述光伏电站运行的第一状态。

5. 根据权利要求4所述的方法,其中在所述光伏电站运行的第一状态下通过自动电压调节(AVR)来控制所述光伏电站。

6. 根据权利要求1所述的方法,其中在与所述电网的互连点(POI)处检测所述光伏电站输出。

7. 根据权利要求6所述的方法,其中检测所述光伏电站产生超过所述光伏电站的最大容许输出限值的光伏电站输出的步骤在光伏电站运行的第一状态下执行,并且当与检测所述POI处的所述光伏电站输出的仪表的通信中断时,进入运行的第三状态。

8. 根据权利要求1所述的方法,其中所述光伏电站输出包括所述光伏电站的功率因数,所述电站的所述最大容许输出限值包括所述光伏电站的最大容许功率因数,并且第一逆变器设定点限值和第二逆变器设定点限值各自包括所述逆变器的功率因数设定点限值。

9. 一种光伏电站,所述光伏电站包括:

多个太阳能电池;

光伏逆变器,所述光伏逆变器被配置成将所述多个太阳能电池产生的直流转换成交流;

仪表,所述仪表检测与电网的互连点处的所述光伏电站的输出;以及

包括状态机的电站控制器,所述电站控制器被配置成读取所述仪表来检测第一运行状态下互连点处的所述光伏电站的输出,并且当所述光伏电站的输出超过最大容许输出时,将所述光伏逆变器的设定点可变限值动态地从第一逆变器设定点限值调节至第二逆变器设定点限值以降低关于所述光伏逆变器的无功功率输出的限值,所述最大容许输出是所述光伏电站的最大容许无功功率或功率因数。

10. 根据权利要求9所述的光伏电站,其中所述光伏电站的输出包括无功功率并且所述设定点可变限值包括逆变器无功功率设定点。

11. 根据权利要求9所述的光伏电站,其中所述光伏电站的输出包括功率因数并且所述设定点可变限值包括逆变器功率因数设定点。

12. 根据权利要求9所述的光伏电站,其中还包括补偿器,所述补偿器被配置成接收并处理来自所述仪表的读数。

13. 根据权利要求12所述的光伏电站,其中所述补偿器包括比例-积分(PI)补偿器。

14. 根据权利要求9所述的光伏电站,其中在所述第一运行状态下使用自动电压调节(AVR)控制所述光伏电站。

15. 一种控制光伏电站运行的方法,所述方法包括:

检测所述光伏电站的有功功率输出低于最小有功功率产生水平;以及

响应于检测到所述光伏电站的有功功率输出低于所述最小有功功率产生水平,将所述光伏电站的光伏逆变器的无功功率设定点降低至单位功率因数。

16. 根据权利要求15所述的方法,还包括:

在使所述光伏逆变器的无功功率设定点下降之后,检测所述光伏电站的有功功率输出超过启动有功功率产生水平;以及

响应于检测到所述光伏电站的有功功率输出超过启动有功功率产生水平,升高所述光伏逆变器的无功功率设定点。

17. 根据权利要求16所述的方法,其中在与电网的互连点处测量所述光伏逆变器的所述有功功率输出。

18. 一种光伏电站,所述光伏电站包括:

多个太阳能电池;

光伏逆变器,所述光伏逆变器被配置成将所述多个太阳能电池产生的直流转换成交流;

仪表,所述仪表被配置成在与电网的互连点处检测所述光伏电站的输出;以及

电站控制器,所述电站控制器被配置成读取所述仪表以检测所述互连点处的所述光伏电站的有功功率输出,以将所述光伏电站的有功功率输出与最小有功功率产生水平进行比较,并且响应于检测到所述光伏电站的有功功率输出低于所述最小有功功率产生水平,将所述光伏逆变器的无功功率设定点降低至单位功率因数。

19. 根据权利要求18所述的光伏电站,其中所述电站控制器还被配置成响应于检测到所述光伏电站的有功功率输出超过启动有功功率产生水平而升高所述光伏逆变器的无功功率设定点。

20. 根据权利要求19所述的光伏电站,还包括补偿器,所述补偿器被配置成接收并处理来自所述仪表的读数。

21. 根据权利要求20所述的光伏电站,其中所述补偿器包括比例-积分(PI)补偿器。

## 控制光伏电站运行的方法和设备

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光伏电站。

### 背景技术

[0002] 光伏电站采用光伏系统以用太阳辐射来发电。光伏系统可包括太阳能电池板的阵列,其中每个太阳能电池板包括互连的太阳能电池。太阳能电池包括P型和N型扩散区。冲击在太阳能电池上的太阳辐射产生迁移至扩散区的电子和空穴,从而在扩散区之间形成电压差。在背接触太阳能电池中,扩散区和与它们相连的金属触片均位于太阳能电池的背面上。触片允许将外部电路连接到太阳能电池上并由太阳能电池供电。

[0003] 光伏逆变器将由太阳能电池产生的直流转换成适于在互连点(POI)处联接至电网的交流。光伏电站在POI处的输出(如无功功率、有功功率和功率因数)被控制在特定值的范围内以满足要求。本发明的实施例涉及用于控制光伏电站的运行以控制POI或其它传送节点处的光伏电站输出的方法和设备。

### 发明内容

[0004] 在一个实施例中,一种控制光伏电站运行的方法包括使用多个太阳能电池产生直流。使用光伏逆变器,将所述太阳能电池产生的直流转换成交流。将所述光伏逆变器的输出连接到电网。所述光伏电站被检测到产生超过所述光伏电站的最大容许输出限值的光伏电站输出。响应于检测到所述光伏电站产生超过所述光伏电站的最大容许输出限值的光伏电站输出,将所述光伏逆变器的设定点可变限值从第一逆变器设定点限值降低至第二逆变器设定点限值。

[0005] 在另一个实施例中,一种控制光伏电站运行的方法包括检测所述光伏电站的有功功率输出低于最小有功功率产生水平。响应于检测到所述光伏电站的有功功率输出低于所述最小有功功率产生水平,将所述光伏电站的光伏逆变器的无功功率设定点降低至单位功率因数。

[0006] 在另一个实施例中,一种光伏电站包括:多个太阳能电池;光伏逆变器,所述光伏逆变器被配置为将所述多个太阳能电池产生的直流转换成交流;仪表,所述仪表被配置成检测与电网的互连点处的所述光伏逆变器的输出;以及包括状态机的电站控制器。所述电站控制器被配置成读取所述仪表,以检测第一运行状态下互连点处的所述光伏电站的输出,并且当所述光伏电站的输出超过最大容许输出时,将所述光伏逆变器的设定点可变限值动态地从第一逆变器设定点限值调节至第二逆变器设定点限值。

[0007] 在另一个实施例中,一种光伏电站包括:多个太阳能电池;光伏逆变器,所述光伏逆变器被配置为将所述多个太阳能电池产生的直流转换成交流;仪表,所述仪表被配置为在与电网的互连点处检测所述光伏逆变器的输出;以及电站控制器。所述电站控制器被配置成读取所述仪表以检测所述互连点处的所述光伏电站的有功功率输出,以将所述光伏电站的有功功率输出与最小有功功率产生水平进行比较,并且响应于检测到所述光伏电站的

有功功率输出低于所述最小有功功率产生水平,将所述光伏逆变器的无功功率设定点降低至单位功率因数。

[0008] 本领域的普通技术人员在阅读包括附图和权利要求书的本公开全文之后,本发明的这些和其他特征对于他们而言将是显而易见的。

### 附图说明

[0009] 当结合以下附图考虑时,通过参见具体实施方式和权利要求书可以更完全地理解所述主题,其中在所有附图中,类似的附图标记是指类似的元件。

[0010] 图1示意性示出根据本发明的实施例的光伏电站的部件。

[0011] 图2示意性示出根据本发明的实施例的光伏电站的附加部件。

[0012] 图3示意性示出根据本发明的实施例的光伏电站的更多细节。

[0013] 图4示出根据本发明的实施例的光伏电站的自动电压调节的状态机的状态图。

[0014] 图5至图7示出根据本发明的实施例的控制光伏电站运行的方法的流程图。

[0015] 图8示出根据本发明的实施例的控制光伏电站运行的方法的流程图。

[0016] 图9示出根据本发明的实施例的控制光伏电站运行的方法的流程图。

[0017] 图10示出根据本发明的实施例的控制光伏电站运行的方法的流程图。

[0018] 图11示出根据本发明的实施例的控制光伏电站运行的方法的流程图。

### 具体实施方式

[0019] 在本发明中,提供了许多具体的细节,例如设备、部件和方法的例子,从而获得对本发明实施例的全面理解。然而,本领域的普通技术人员将会认识到,本发明可以在没有所述具体细节中的一者或多者的情况下实施。在其他情况下,未示出或描述熟知的细节,以避免混淆本发明的方面。

[0020] 图1示意性示出根据本发明的实施例的光伏电站200的部件。图1的实例中所示的光伏电站200的部件包括多个汇流箱112、多个太阳能电池板114、和光伏逆变器110。光伏电站可包括多个光伏逆变器,但为了清楚起见,图1中只示出了一个。太阳能电池板114包括安装在同一框架上的电连接的太阳能电池。在一个实施例中,每个太阳能电池板114包括多个串联的背接触太阳能电池115。也可采用前接触太阳能电池。为了清楚起见,图1中只标出了背接触太阳能电池115中的一些。

[0021] 光伏串包括如图1中的多个串联的太阳能电池板114。一组太阳能电池板114电连接到汇流箱112,其中太阳能电池板114为串联连接的。电连接汇流箱112,以使得光伏串中的所有太阳能电池板114为串联的。例如,光伏串的输出电连接到逆变器110,逆变器110将由太阳能电池115产生的直流(DC)转换成适于递送至公用电网的交流(AC)。

[0022] 图2示意性示出根据本发明的实施例的光伏电站200的附加部件。图2示出了结合图1描述的逆变器110。为清楚起见,图2中未示出太阳能电池板114。在图2的实例中,光伏电站200的部件位于光伏变电站210和逆变器台220中。

[0023] 逆变器台220为逆变器所在的大体区域。逆变器台220通常设置为远离变电站210(其远离与电网的互连点(POI)204)。通信模块201允许逆变器110和设置在变电站210中的部件之间的数据通信。逆变器台220还可包括未明确示于图2中的附加部件,例如模数转换

器、数模转换器、和用于支持逆变器110的操作的其他部件。

[0024] 在一个实施例中,使用监视控制和数据采集系统(SCADA)来控制光伏电站200的运行,其中电站控制器202充当中央控制计算机。在一个实施例中,逆变器110、电站控制器202、和变电站计算机203根据ModbusTCP/IP通信协议进行通信。在该实施例中,通信模块201包括提供光伏电站200的部件之间的数据通信链路的以太网交换机。也可通过模拟信令(例如通过提供用于信号的单独配线)来执行监测和控制。

[0025] 在图2的实例中,逆变器台220中的升压变压器将逆变器110的AC输出电压升高至较高的电压以用于分配到变电站210。另外,在图2的实例中,变电站210中的发电机升压(GSU)变压器将从逆变器台220接收的AC电压进一步地升压并且随后将其连接到POI204,以用于分配到电网(未示出)。变电站计算机203允许对变电站210进行控制和监测。变电站计算机203可被构造成用于控制保护电路和通过仪表205来读取POI204处的电压。仪表205可包括常规的电表或其他感测元件,诸如RMS发送器。

[0026] 变电站210中的电站控制器202可包括被配置为有助于控制POI204处(或附近)的电压、功率因数、有功功率或无功功率的专用或通用计算机。在图2的实例中,电站控制器202包括状态机400,状态机400用于动态限制光伏电站200的无功功率、功率因数、和/或逆变器端子电压,并且用于使自动电压调节软启动且缓和地停止。

[0027] 在一个实施例中,电站控制器202被配置为在操作的第一状态下读取POI仪表205,以检测光伏电站200在POI204处的输出(例如,无功功率、功率因数),并且当光伏电站200的输出超过最大容许输出(例如,最大无功功率或功率因数)时,将光伏逆变器110的设定点可变限值(例如,逆变器无功功率或功率因数设定点)从第一逆变器设定点限值动态地调节至第二逆变器设定点限值。

[0028] 在一个实施例中,电站控制器202被配置为读取POI仪表205以检测光伏电站200在POI204处的有功功率输出,将光伏电站204的有功功率输出与最小有功功率产生水平进行比较,并且响应于检测到光伏电站200的有功功率输出低于最小有功功率产生水平,将光伏逆变器110的有功功率设定点降低至单位功率因数(即,1.0PF即零无功功率)。电站控制器202还可被配置为响应于检测到光伏电站200的有功功率输出超过比最小有功功率产生水平高的使能有功功率产生水平,升高光伏逆变器110的无功功率设定点,以增大光伏电站200的无功功率输出。

[0029] 可通过自动电压调节(AVR)来控制互连点处的电压。一般来讲,AVR可涉及通过操纵逆变器的无功功率和/或功率因数设定点来操纵光伏电站的无功功率输出/输入,以控制被分配到、输送到电网或与电网其他电连接的互连点处的电压。AVR也可用于使光伏电站的运行与无功功率源(例如静态VAR补偿器和电容器组)协调。

[0030] 图3示意性示出根据本发明的实施例的光伏电站200的更多细节。

[0031] 在图3的实例中,通过电站控制器202来执行功能块301至313。应当理解,这些功能可通过软件、硬件、或者硬件/软件的组合来实施。例如,电站控制器202可包括具有硬件接口和相关驱动器软件的计算机,所述硬件接口用于模拟输入直接测量和控制、数据通信(如,以太网适配器)、数据采集(如,接收信号)和控制(如,发送控制信号)。电站控制器202可采用与应用软件结合的专用处理器或协处理器来执行其功能。电站控制器202还可与其他控制器以主-从构型来使用,以使光伏电站200的运行与无功功率源(例如静态VAR补偿器

和电容器组)协调。

[0032] 在图3的实例中,从功能块302至306处理整体逆变器无功功率设定点信号。单个逆变器无功功率设定点信号从功能块306发送至各逆变器110。逆变器110基于接收到的逆变器无功功率设定点来输出/吸收无功功率。

[0033] 参见图3,电站控制器202接收用作设定点电压的基准电压 $V_{REF}$ ,所述设定点电压用于设定POI204处的电压。加法器301基于由基准电压 $V_{REF}$ 指示的POI204处的期望电压与由仪表205测得的POI204处的电压( $V_{METER}$ )之间的差值来产生误差信号 $V_{ERR}$ 。

[0034] 在一个实施例中,基准电压 $V_{REF}$ 和仪表电压读数 $V_{METER}$ 在电站控制器202中被作为数字信号处理。可利用模数转换器(ADC)将这些电压转换成数字的,并且随后通过数据通信网络提供至电站控制器202。作为特例,可通过Modbus TCP寄存器将基准电压 $V_{REF}$ 和仪表电压读数 $V_{METER}$ 提供至电站控制器202。可对于由电站控制器202接收的命令和输入(包括基准电压 $V_{REF}$ 和仪表电压读数 $V_{METER}$ )来执行边界检查。

[0035] 光伏电站中的基准电压 $V_{REF}$ 和仪表电压读数 $V_{METER}$ 、和其他电压/电流可由对光伏电站200的其余部分具有适当改变的其他类型的信号来表示。例如,电压信号可由电流信号来表示,反之亦然。又如,光伏电站中的电压和电流可用RMS(均方根)来表示。

[0036] 转储死区功能元件302可根据应用而启用或不启用。转储死区功能元件302允许误差电压 $V_{ERR}$ 在一定的范围内变化,不用针对逆变器110调节控制信号。更具体地讲,当电网电压(即,POI204处的电压)位于界限(通常为标称值的 $\pm 1\%$ )内时,转储死区功能元件302允许对补偿器303的输入向上或向下变化,并且将逆变器110保持为设定值,使得逆变器110输出单位功率因数。换句话说,如果电网电压在(例如) $\pm 1\%$ 的范围内,则对于补偿器303的输入实际上正好是电网电压。如果电网电压位于死区范围内,则这将导致逆变器110输出单位功率因子。

[0037] 在一个实施例中,补偿器303使用比例-积分(PI)控制方案用误差电压 $V_{ERR}$ 产生整体逆变器无功功率设定点信号。可使用的其他控制方案包括比例、积分、微分、比例-积分、积分-微分、比例-微分、和比例-积分-微分。PI补偿器303可以是绝对的,这意味着逆变器无功功率设定点基于误差信号 $V_{ERR}$ 以及PI补偿器303的比例增益( $K_p$ )和积分增益( $K_i$ )向上或向下偏置。补偿器303也可为增量的。补偿器303可具有积分饱和保护和饱和限度。可因发生电网扰动时触发的状态机逻辑来启用或禁用补偿器303。

[0038] 无功功率限值选择功能元件304被配置成基于逆变器电压限制器子回路330、功率因数限制器子回路331和无功功率限制器子回路332的输入,减小或增大补偿器303的逆变器无功功率设定点信号输出。无功功率限值选择功能元件304调节逆变器无功功率设定点信号,使得逆变器110不产生超过电压限值( $V_{INV \text{ limit}}$ )、功率因数限值(PF限值)和无功功率限值(Q限值)的输出。

[0039] 逆变器电压限制器子回路330被配置成基于逆变器110的端子的电压输出,限制逆变器无功功率设定点。在一个实施例中,光伏电站200中的所有逆变器110的端子电压被一起求平均,以产生代表所有逆变器110的端子电压的单个逆变器端子电压。在另一个实施例中,使用所有逆变器110之中的最高逆变器端子电压来代表所有逆变器110的端子电压。逆变器端子电压(平均的、最高的、或逆变器110的端子电压的其它代表形式)被电压滤波器341过滤,并且由加法器309将其与逆变器基准电压限值 $V_{INV}$ 限值进行比较。加法器309的输

出被输入到补偿器308,补偿器308将其输出提供给无功功率限值选择功能元件304。与功率因数和无功功率子回路不同,逆变器电压限制器子回路330直接从逆变器110(而不是从仪表205)获得其测量值。逆变器电压限制器子回路330具有其自身的补偿器308,因为由于阻抗随着流过电站AC采集系统的有功功率而变POI204处的电压未必与逆变器端子处的电压相同。补偿器308可采用PI或其他控制方案。

[0040] 功率因数限制器子回路331被配置成在仪表205测得的POI204处的功率因数接近、等于或超过光伏电站200的功率因数限值(PF限值)时限制逆变器无功功率设定点。得自仪表205的功率因数读数被功率因数滤波器342过滤,并且随后由加法器313将其与功率因数限值进行比较。得自仪表205的功率因数和功率因数限值之间的差值被输入到补偿器310,补偿器310将其输出提供给无功功率限值选择功能元件304。功率因数限制器子回路331具有其自身的补偿器310,因为由于阻抗随流过电站AC采集系统的有功功率而变POI204处的功率因数未必与逆变器端子的功率因数相同。补偿器310可采用PI或其他控制方案。

[0041] 无功功率限制器子回路332被配置成在仪表205测得的POI204处的无功功率接近、等于、或超过光伏电站200的无功功率限值(Q限值)时限制逆变器无功功率设定点。得自仪表205的无功功率读数被无功功率滤波器343过滤,并且由加法器312将其与无功功率限值进行比较。得自仪表205的无功功率读数和无功功率限值之间的差值被输入到补偿器311,补偿器311将其输出提供给无功功率限值选择功能元件304。无功功率子回路332具有其自身的补偿器311,因为由于阻抗随流过电站AC采集系统的有功功率而变POI204处的无功功率因数未必与逆变器端子处的无功功率相同。补偿器311可采用PI或其他控制方案。

[0042] 改变限值功能元件305的无功功率改变率限制逆变器无功功率设定点信号的改变速率。这可保护逆变器无功功率设定点使之免于快速和急剧的变化。

[0043] 逆变器可用功能元件306周期性地接收搏动信号340以检测逆变器中断。为了清楚起见,在图3中只示出来自一个逆变器110的一个搏动信号340。实际上,可以从各逆变器110接收单独的搏动信号340。对于各可用的逆变器110,逆变器可用功能元件306对改变限值功能元件307的单个无功功率改变率输出对应的逆变器无功功率设定点信号。

[0044] 改变限值功能元件307的单个无功功率改变率被施加于各个逆变器无功功率设定点信号,该设定点信号被提供给对应的逆变器110。在一个实施例中,逆变器无功功率设定点信号(Inv Q SP)通过Modbus TCP寄存器提供给对应的逆变器110。从寄存器中读取逆变器无功功率设定点信号并且将其转换成模拟电压信号,然后将所述模拟电压信号提供给逆变器110所在的逆变器台220上的逆变器110的端子。

[0045] 改变限值功能元件307的各个无功功率改变率还被配置成响应于逆变器中断而将逆变器无功功率设定点上升或下降。例如,如果逆变器110离线(例如,错过搏动),则功能元件307可以将该逆变器110的逆变器无功功率设定点设置成单位功率因数或零无功功率。当逆变器110回到在线状态时,功能元件307可以将该逆变器110的逆变器无功功率设定点重新设置成如AVR所指示的整体无功功率设定点。

[0046] 图4示出根据本发明的实施例的用于光伏电站的自动电压调节的状态机400的状态图。电站控制器202(参见图2)可执行状态机400指示的动作。

[0047] 在状态机400中,状态423、424、425、426、427和429代表AVR开启但由于光伏电站200达到无效功率、功率因数、电压或最小有功功率产生限值而丧失电压控制的状况。状态



470和480代表光伏电站200的无功功率设定点(即,整个电站的无功功率设定点)和逆变器110的无功功率设定点被手动设置,闭环控制不存在并且AVR关闭的状况。状态421、422和430代表检测到短暂(就状态421和430而言)或持续(就状态422而言)反常状况,并且整体逆变器无功功率设定点的最终值被保持。

[0048] 状态机400从初始状态410开始,初始状态410是当状态机410被初始化时的默认状态。从初始状态410开始,状态机400发生转变,转变到运行状态429。在状态429下,光伏电站200的比例-积分-微分(PID)或其他控制方案执行扫描循环,以进行初始化。在一个实施例中,在状态420、423、426、427和425下采用PID控制方案。在状态429下还检查输入参数,以验证AVR可被启用。

[0049] 状态机400从状态429转变到AVR状态420,在AVR状态420下,闭环控制被启用并正确工作,并且电网电压在设定点死区内。更具体地讲,在状态420下,AVR被启用并在闭环控制下运行。在状态420下,AVR控制方案控制电站和逆变器无功功率设定点,以控制POI204处的电压。设定点死区可允许在POI204处测得的电网电压变化 $\pm 1\%$ ,例如在逆变器110被命令提供无功功率之前。从状态420,状态机400可根据光伏电站200的状况转变到其它状态。

[0050] 当AVR关闭且不启用时,状态机400从AVR状态420转变到手动逆变器设定点状态470并转变到手动电站设定点状态480。替代地,逆变器110(状态470)和光伏电站200(状态480)被指令到可指示特定无功功率(单位为kVAR)的特定无功功率设定点。在一个实施例中,当切换模式时使用无扰切换,即从AVR控制(状态420)转变到无功功率设定点的手动控制(状态470和480)。为了返回AVR模式,状态机400从状态470和480开始转变,转变到运行状态429,然后转变到AVR状态420。

[0051] 在与POI仪表(本例中,仪表205)的通信发生短暂中断时,状态机400从AVR状态420转变到故障安全状态421。在状态421下,AVR程序将整体逆变器无功功率设定点保持在其最终位置(即最终值)。当与POI仪表的通信问题被解决时,状态机400自动地转变回状态420,以重新开始AVR。

[0052] 在发生短暂错误的POI仪表读数时,状态机400从AVR状态420转变到故障安全状态430。例如,当仪表205提供可疑的有功功率、无功功率、功率因数或当前读数时,比如,当仪表205短时给出超过容许范围的读数时,会出现从状态420到状态430的转变。在状态430下,自动电压调节程序将逆变器无功功率设定点保持在它们的最终位置。当仪表205的读数问题被排除,状态机400自动地转变回状态420,以重新开始AVR。

[0053] 在发生持续错误的POI仪表相关问题(例如持续错误的POI仪表读数或持续的POI仪表通信故障)时,状态机400从AVR状态420转变到故障安全状态422。例如,当仪表205持续地给出可疑的有功功率、无功功率、功率因数或当前读数时,比如当仪表205给出超过容许范围的读数时,会发生从状态420到状态422的转变。又如,当不能在超过预定时长的期间建立与仪表205的通信时,状态机400可从状态420转变到状态422。由于状态422是针对存在持续(相对于瞬间或暂时)的POI仪表相关问题的状况,因此AVR程序被构造成将整体逆变器无功功率设定点上升至单位功率因数。当POI仪表的问题被排除,状态机400自动地转变回状态420,以重新开始自动电压调节。

[0054] 当如POI仪表测得的(即,POI204处测得的)光伏电站200的功率因数超过最大容许功率因数 $PF_{max}$ 时,状态机400从AVR状态420转变到AVR功率因数限值状态426。状态426将电

站200的功率因数减小至比最大容许功率因数 $PF_{max}$ 小的值。可以通过功率因数限制器子回路331(参见图3)检测并处理光伏电站200的功率因数。在状态426下,逆变器无功功率设定点可被保持稳定或者被修改,以使电站功率因数在容许限值内。当光伏电站200的功率因数回到容许限值时,状态机400自动地转变回状态420。

[0055] 当如POI仪表测得的光伏电站200输出的无功功率超过最大容许无功功率 $Q_{max}$ 时,状态机400从AVR状态420转变到AVR无功功率限值状态423。状态423将电站的无功功率减小至比最大容许无功功率 $Q_{max}$ 小的值。可以通过无功功率限制器子回路332(参见图3)检测并处理光伏电站200输出的无功功率。在状态423下,逆变器无功功率设定点可被保持稳定或者被修改,以使电站无功功率值在容许限值内。当光伏电站200输出的无功功率回到容许限值时,状态机400自动地转变回状态420。

[0056] 当逆变器端子电压(例如,逆变器110各端子处电压的平均值)达到最大容许端子电压时,状态机400从AVR状态420转变到AVR逆变器电压限值状态427。可以通过电压限制器子回路330(参见图3)检测并处理逆变器端子电压。在状态427下,逆变器无功功率设定点可被保持稳定或者被修改,以使逆变器端子电压在容许限值内。当逆变器端子电压回到容许限值时,状态机400自动地转变回状态420。

[0057] 当光伏电站200产生的有功功率低于最小有功功率产生水平时,状态机400从AVR状态420转变到AVR有功功率产生截止状态424。电站控制器202可从POI仪表(参见图2的仪表205)读取光伏电站200产生的有功功率。在状态424下,逆变器无功功率设定点逐渐增至单位设定点。状态机400停留在状态424,直到有功功率产生水平上升至比滞后的最小有功功率重启产生水平高的启动水平为止。

[0058] 当状态机400之前在低有功功率产生状态(即,状态424)的状态下时,状态机400从AVR状态420转变到AVR上升状态425,光伏电站200产生的有功功率上升至超过启动水平,并且逆变器无功功率设定点此时上升至适于AVR控制的值。当光伏电站200产生的有功功率上升至超过最小有功功率产生水平时,状态机400自动地从状态425转变到状态420。

[0059] 图5至图7示出根据本发明的实施例的控制光伏电站的运行的流程图。图5至图7的流程图示出电站控制器202执行的状态机400运行的细节。

[0060] 以图5开始,状态机400开始于初始状态410。当状态机400接收用于进入AVR模式的命令时(框503),状态机400发生转变,转变到运行状态429。电站运行人员还可发送用于开启AVR的命令。在从状态429转变到AVR状态420之前,执行一系列检查来验证可启动AVR。

[0061] 在转变到运行状态429时,状态机400检查用于在手动逆变器设定点模式下运行的命令。如果存在用于在手动电站无功功率设定点模式下运行的命令(框504),则状态机400转变到手动电站设定点状态480,并且停留在状态480,直到接收到用于进入自动电压调节模式的命令(框506)。类似地,如果存在用于在手动逆变器无功功率设定点模式下运行的命令(框505),则状态机400转变到手动逆变器设定点状态470,并且停留在状态470,直到接收到用于进入自动电压调节模式的命令(框507)。

[0062] 检查与POI仪表的通信和POI仪表的读数,以查明在正确运行(图5的节点“D”至图6的节点“D”)。当POI仪表读数(例如,有功功率、无功功率、功率因数和电流)持续不良时(框551),比如,当在超过5秒的时间内读数不良时,或者当与POI仪表的通信中断并且不能在预定时间段内重新建立时,状态机400可进入故障安全状态422。当POI仪表读数短暂不良时

(框552),比如,当读数在比5秒短的时间内不良时,状态机400进入故障安全状态430。当与POI仪表的通信短暂中断时(框553),状态机400进入故障安全状态421。当这些POI仪表相关问题被排除(框554、555和556;图6的节点“B”至图5的节点“B”),状态机400返回到:开始转变至运行状态429。

[0063] 状态机400可包括设定点死区(框701;图6的节点“E”至图7的节点“E”)。在一个实施例中,设定点死区允许在POI204处测得的电网电压变化 $\pm 1\%$ ,例如在命令逆变器110提供无功功率之前。

[0064] 将光伏电站200产生的有功功率与最小有功功率产生水平进行比较(框702)。当光伏电站200产生的有功功率达到最小有功功率产生水平时,状态机400进入AVR有功功率产生截止状态424,以将逆变器无功功率设定点降低至单位值。当光伏系统200产生的有功功率上升至超过启动水平时(框706),状态机400进入AVR上升状态425,以将逆变器无功功率设定点上升至适于AVR控制的值(框707)。然后,状态机400返回到:开始转变至运行状态429(图7的节点“A”至图5的节点“A”)。

[0065] 当逆变器110的平均端子电压超过最大容许端子电压时(框703),状态机400进入AVR逆变器电压限值状态427。在图7的实例中,逆变器110的端子电压的平均值( $V_{inv\_avg}$ )被视为用于与最大容许端子电压 $V_{max}$ 相比的逆变器端子电压。当光伏电站200输出的无功功率超过最大容许无功功率 $Q_{max}$ 时(框704),状态机400进入AVR无功功率限值状态423。当光伏电站200的功率因数超过最大容许功率因数 $\max$ 时(框705),状态机400进入AVR功率因数限值状态426。当这些状况被排除(框708、709和710;图7的节点“A”至图5的节点“A”),状态机400返回到:开始转变至运行状态429。

[0066] 当上述一系列检查验证了可以进入自动电压调节模式时,状态机400从转变到运行状态429(参见图5)转变到AVR状态420。从状态420的自动电压调节模式,状态机400可以根据光伏电站200的后续状况进入其他状态。

[0067] 图8示出根据本发明的实施例的控制光伏电站运行的方法800的流程图。在图8的实例中,方法800包括涉及状态424和425的状态机400的运行。在方法800中,将光伏电站200产生的有功功率与触发点进行比较,所述触发点是图8的实例中的最小有功功率产生水平(框702;也参见图7)。当如POI仪表测得的光伏电站200产生的有功功率低于最小有功功率产生水平 $P_{min}$ 时,状态机400进入AVR有功功率产生截止状态424,以将逆变器无功功率设定点降低至单位功率因数(即,1.0PF也就是零kVar)(框424)。当光伏系统200产生的有功功率上升至超过启动水平 $P_{resume}$ 时(框722),状态机400进入AVR上升状态425,以将逆变器无功功率设定点上升至适于AVR控制的值。在一个实施例中,在至少8分钟内执行逆变器无功功率设定点下状态425的上升(框723),例如,以在光伏电站200因进入AVR状态420而被置于AVR模式之前达到稳定状态。可以基于电站发电规模、无功功率需求、其它电站和区域特性,优化特定光伏电站的上升时间间隔。

[0068] 方法800处理关于光伏电站的问题。当出现某些过渡状态时,AVR本身可能不能够恢复对POI电压的严密控制。例如,在逆变器在线的早上,逆变器可从睡眠模式苏醒,因为存在足够的DC(直流)电压来输出功率。然而,当逆变器开始在这种状况下选通并输出功率时,逆变器可以感测到没有足够的功率用于输出并因此将被关闭。苏醒和关闭周期可针对一个或多个逆变器重复多次,并且会扰动AVR。在方法800中,通过不进入AVR直到逆变器可产生

就方法800(参见框702和722)而言在POI处测得的或者在逆变器端子测得的足够有功功率( $P_{\text{resume}}$ )为止,执行软起动。在逆变器产生超过足够有功功率水平的有功功率时,逆变器无功功率设定点(AVR的受控变量)可以按线性方式平滑地上升至它们的最终值,这些最终值由AVR控制方案确定。这允许光伏电站以平滑方式在早晨或者从电站关闭状态开始上线,这不太可能干扰电网或电站运行。

[0069] 类似地,当光伏电站将在晚上或者针对安排好的关闭(例如,削减命令)而关闭时,可以通过按线性方式以限定的时间间隔(例如,在图8的实例中,8分钟)内将逆变器无功功率设定点降低至零无功功率(0kVar)或单位功率因数来缓和地停止AVR(参见框723)。可以基于电站发电规模、无功功率需求、其它电站和区域特性,优化特定光伏电站的时间间隔。可以在软起动阈值和软停止阈值之间配置合适的死区,使得光伏电站不会由于(例如)辐照度引致的功率波动、逆变器关闭/启动、断路器跳闸等而重复地无意关闭或启动。

[0070] 在方法800中,逆变器无功功率设定点被升高以软起动或软停止AVR。在其它实施例中,功率因数设定点被升高至它们的最终目标值以软起动AVR或者降低至单位功率因数即零无功功率(0kVar)以软停止AVR。

[0071] 上述软起动和软停止技术按照作为主控制回路的AVR加以阐明。也可得益于软起动和软停止技术的其它主控制回路包括功率因数控制和无功功率控制。

[0072] 图9示出根据本发明的实施例的控制光伏电站运行的方法900的流程图。在图9的实例中,方法900包括涉及状态423的状态机400的运行。在图9的流程图中,当光伏电站200输出的无功功率(例如,如在POI204处测得的)超过最大容许无功功率 $Q_{\text{max}}$ 时(框704;也参见图7),状态机400进入AVR无功功率限值状态423。否则,假定满足AVR状态420的所有其它条件,状态机400进入AVR状态420。子回路332(参见图3)的PI补偿器311(框732中的“POI Q PI补偿器”)既接收无功功率限值(框732中的“输入:SP= $Q_{\text{limit}}$ ”)又接收POI仪表无功功率读数(“输入:PV=POI\_Q”)。PI补偿器311的输出 $Q_{\text{Qlimit}}$ (框732中的“输出: $Q_{\text{Qlimit}}=\text{PID}_{\text{out}}$ ”)被输入到无功功率限值选择功能元件304,无功功率限值选择功能元件304输出逆变器无功功率设定点作为AVR设置的设定点 $Q_{\text{AVR}}$ 和PI补偿器311的输出 $Q_{\text{Qlimit}}$ 中的较低者(框733)。

[0073] 图10示出根据本发明的实施例的控制光伏电站运行的方法950的流程图。在图10的实例中,方法950包括涉及状态426的状态机400的运行。在图10的流程图中,当光伏电站200的功率因数超过最大容许功率因数 $\text{PF}_{\text{max}}$ 时(框705;也参见图7),状态机400进入AVR功率因数限值状态426。否则,假定满足AVR状态420的所有其它条件,状态机400进入AVR状态420。子回路331(参见图3)的PI补偿器310(框742中的“POI PF PI补偿器”)既接收功率因数限值(“输入:SP= $\text{PF}_{\text{limit}}$ ”)又接收POI仪表功率因数读数(“输入:PV=POI\_PF”)。PI补偿器311的输出 $Q_{\text{PFlimit}}$ (框742中的“输出: $Q_{\text{PFlimit}}=\text{PID}_{\text{out}}$ ”)被输入到无功功率限值选择功能元件304,无功功率限值选择功能元件304输出逆变器无功功率设定点作为AVR设置的设定点 $Q_{\text{AVR}}$ 和PI补偿器311的输出 $Q_{\text{Qlimit}}$ 中的较低者(框743)。

[0074] 通常,光伏电站不需要输出或吸收逆变器能够输出或吸收的所有无功功率。有时,合同可指示光伏电站必须能够输出或吸收什么样的无功功率和/或功率因数。如果光伏电站允许完全输出/吸收逆变器无功功率,则由于逆变器的视在功率限值,逆变器可削减光伏电站的有功功率输出。方法900和950通过动态限制电站无功功率(就方法900而言)和功率

因数(就方法950而言)处理与光伏电站相关的这些问题。限值是动态的原因在于,它们利用了互连点(或某个其他位置)得到的过程值测量,而不是使用逆变器的能力。动态限值可以是造成光伏发电设施AC收集、变压器、滤波器、开关元件等内出现的无功功率输出/吸收变化的原因。

[0075] 例如,就方法900而言,如果电站产生的无功功率超过电站的最大容许无功功率,则引致逆变器无功功率设定点上较低的无功功率限值。逆变器无功功率设定点的较低无功功率限值使电站无功功率限值降低至可取的限值。如果电站产生的无功功率的大小低于电站的最大容许无功功率,则通过返回状态420下的AVR模式来去除逆变器无功功率设定点上在状态423下施加的较低无功功率限值。当电站无功功率的大小具有与状态423下的较低无功功率限值非常接近或大致相同的值以允许逆变器在接近电站无功功率限值的情况下操作时,在状态423下施加于逆变器无功功率设定点的较低无功功率限值还可略微升高,以停留在状态423。

[0076] 类似地,就方法950而言,当电站功率因数超过最大容许功率因数时,引致逆变器功率因数设定点上的限值。逆变器功率因数设定点的较低逆变器功率因数限值使电站功率因数降低至可取的限值。如果电站功率因数的大小低于最大容许电站功率因数,则通过返回到状态420下的AVR模式,去除在状态426下施加在电站功率因数设定点上的较低逆变器功率因数限值。当电站功率因数的大小具有与状态426下的较低电站功率因数限值非常接近或大致相同的值以允许逆变器在接近电站功率因数限值的情况下操作时,在状态426下施加于逆变器功率因数设定点的较低电站功率因数限值还可略微升高,以停留在状态426。

[0077] 方法900和950的动态限值可以被同时施加和控制。此外,虽然以AVR描述了方法900和950,但方法900和950还可应用于自动功率因数控制、无功功率控制、紧急VAR支持控制和其它控制方法。

[0078] 图11示出根据本发明的实施例的控制光伏电站运行的方法的流程图。图11的流程图还示出涉及状态427的状态机400的更多细节。在图11的流程图中,与电站控制器202在正常通信的各逆变器110(框751)被包括在其端子电压被一起平均而形成逆变器端子电压信号的逆变器110的组中(框752)。当逆变器110的平均端子电压超过最大容许端子电压 $V_{max}$ 时(框703;也参见图7),状态机400进入AVR逆变器电压限值状态427。否则,假定满足AVR状态420的所有其它条件,状态机400进入AVR状态420。子回路330(参见图3)的PI补偿器308(框754中的“POI Inv term V PI补偿器”)既接收逆变器基准电压限值(“输入: $V_{inv}=V_{inv\_limit}$ ”)又接收平均逆变器端子电压(“输入: $PV=V_{inv\_avg}$ ”)。PI补偿器308的输出 $Q\_Vlimit$ (框754中的“输出: $Q\_Vlimit=PID\_out$ ”)被输入到无功功率限值选择功能元件304,无功功率限值选择功能元件304输出逆变器无功功率设定点作为AVR设置的设定点 $Q\_AVR$ 和PI补偿器308的输出 $Q\_Qlimit$ 中的较低者(框755)。

[0079] 本发明已公开了用于光伏电站的改善的自动电压调节技术。虽然已提供了本发明的具体实施例,但是应当理解,这些实施例是用于举例说明的目的,而不用于限制。通过阅读本发明,许多另外的实施例对于本领域的普通技术人员而言将是显而易见的。

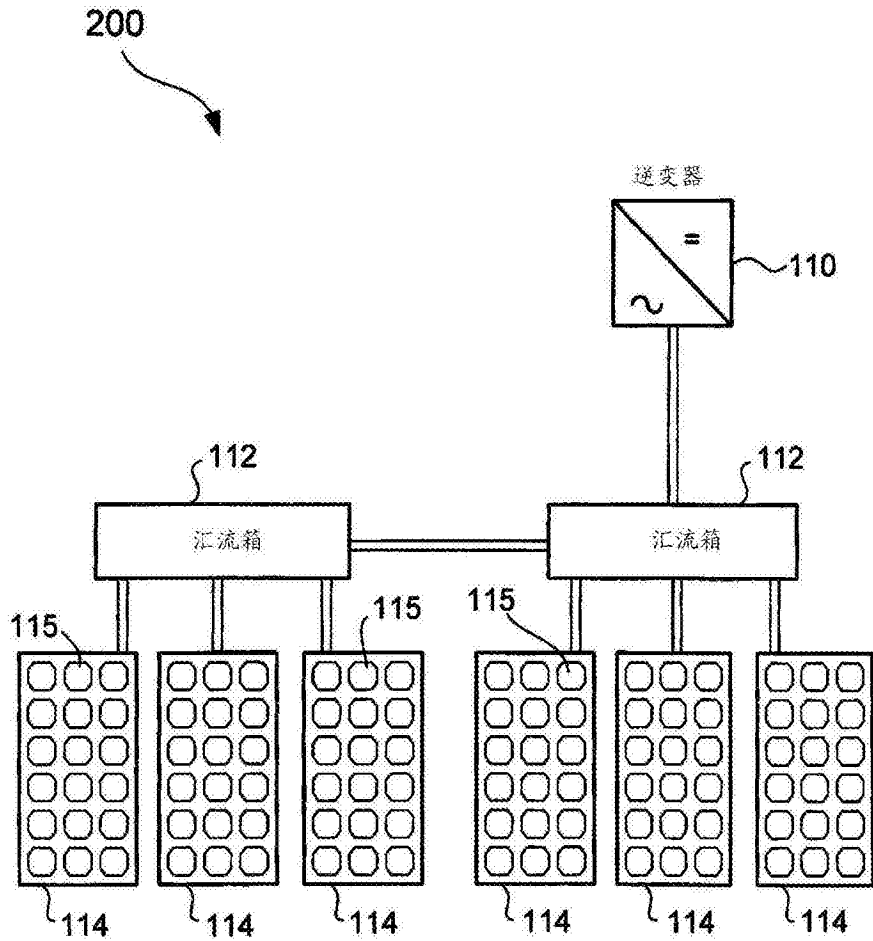


图1

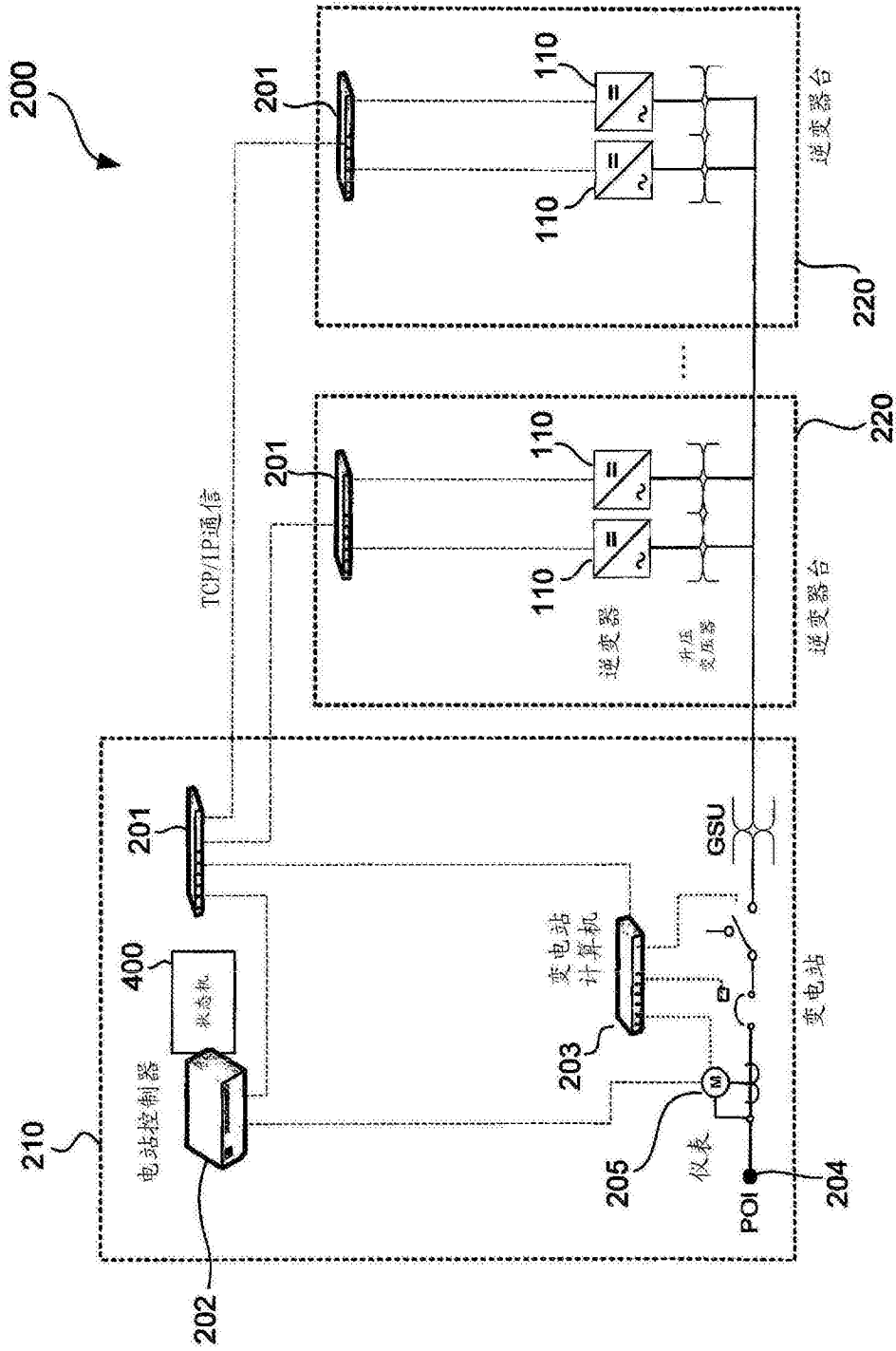


图2

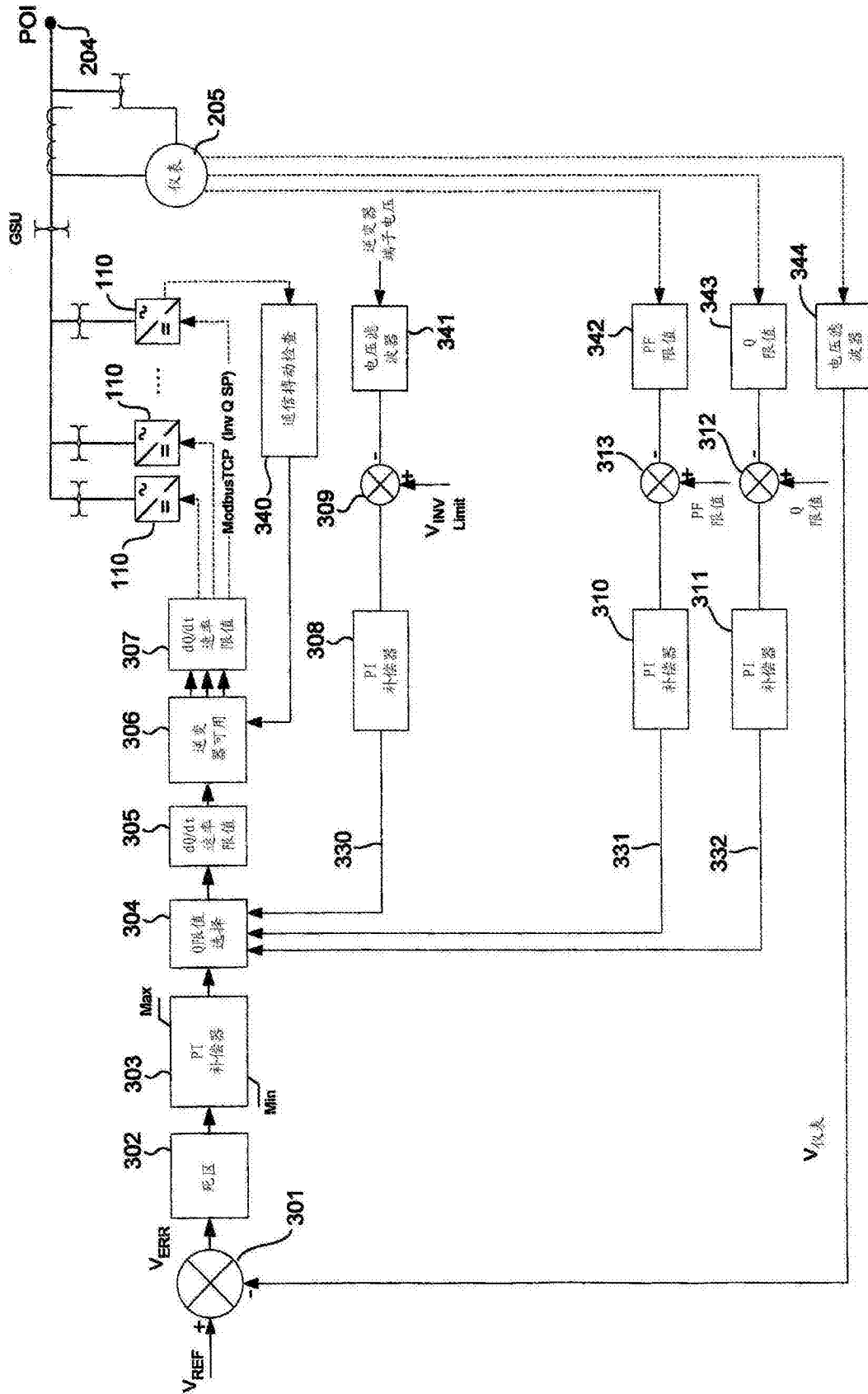


图3



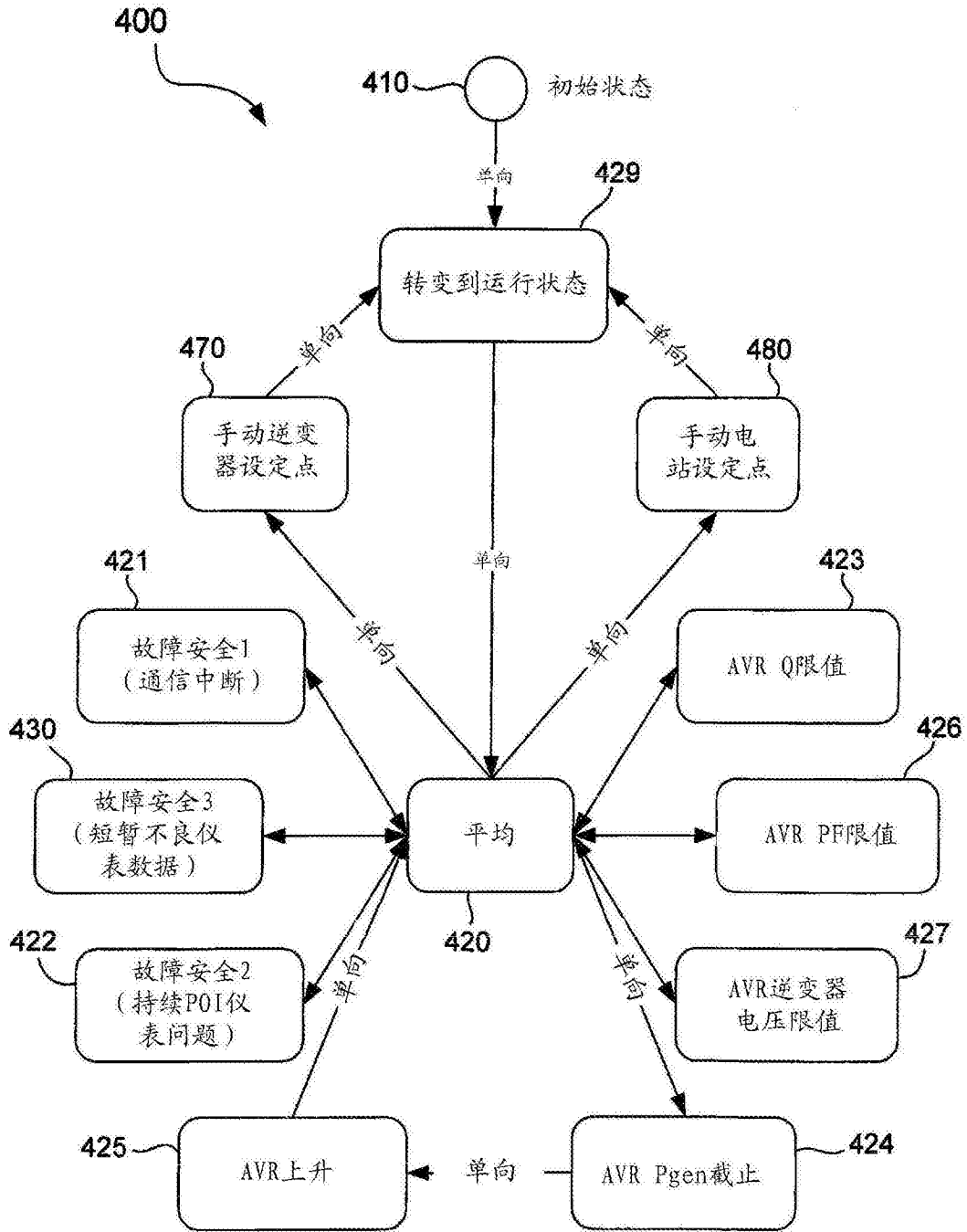


图4

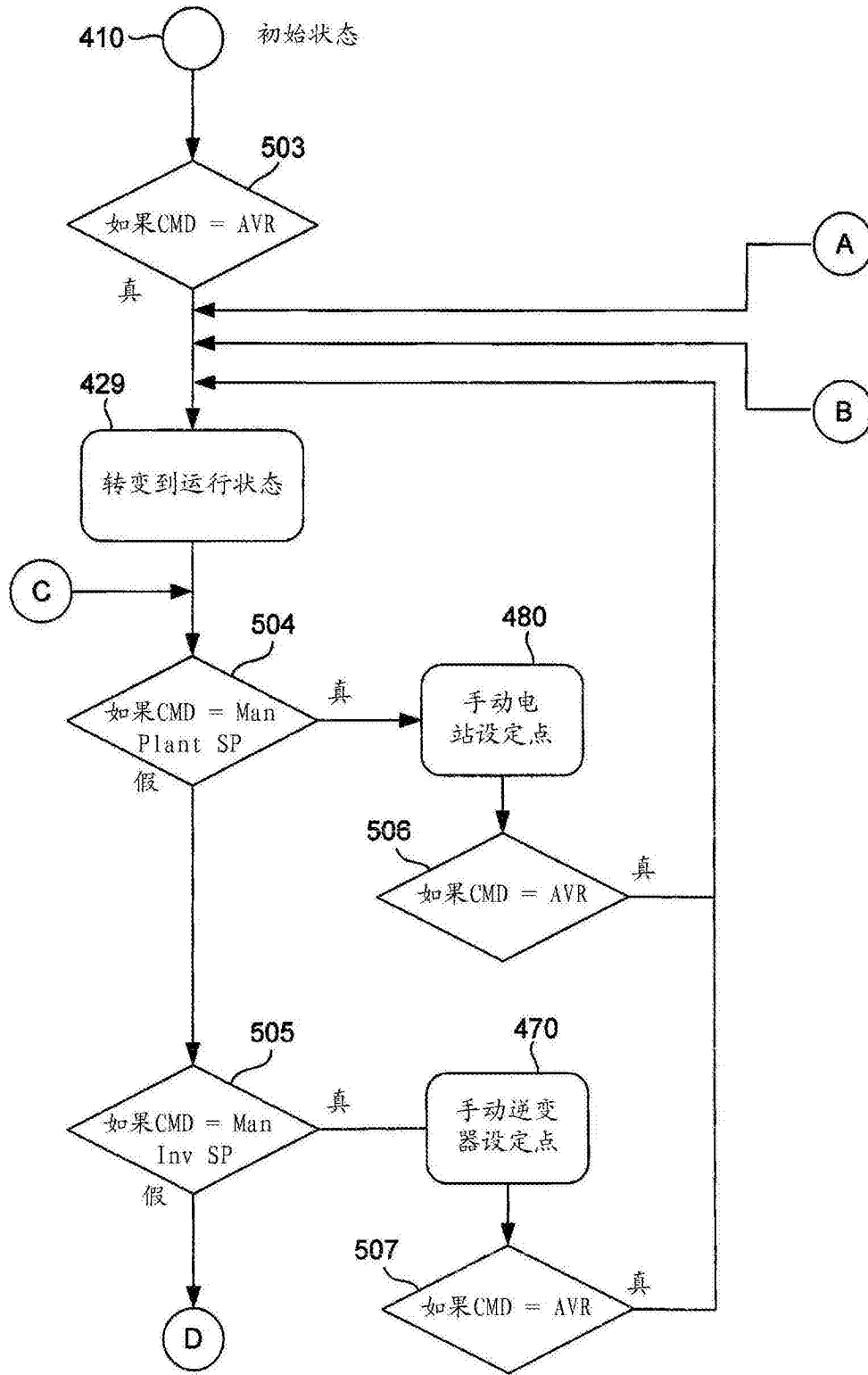


图5

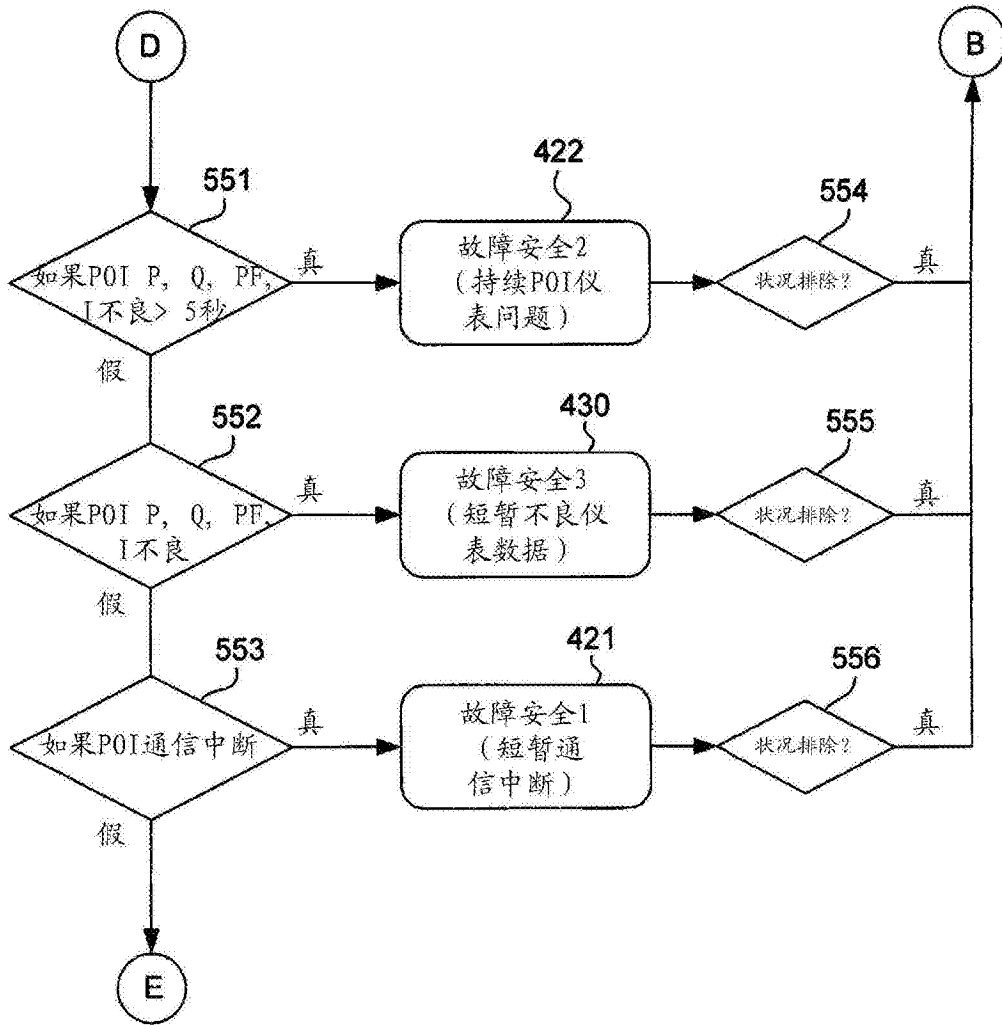


图6

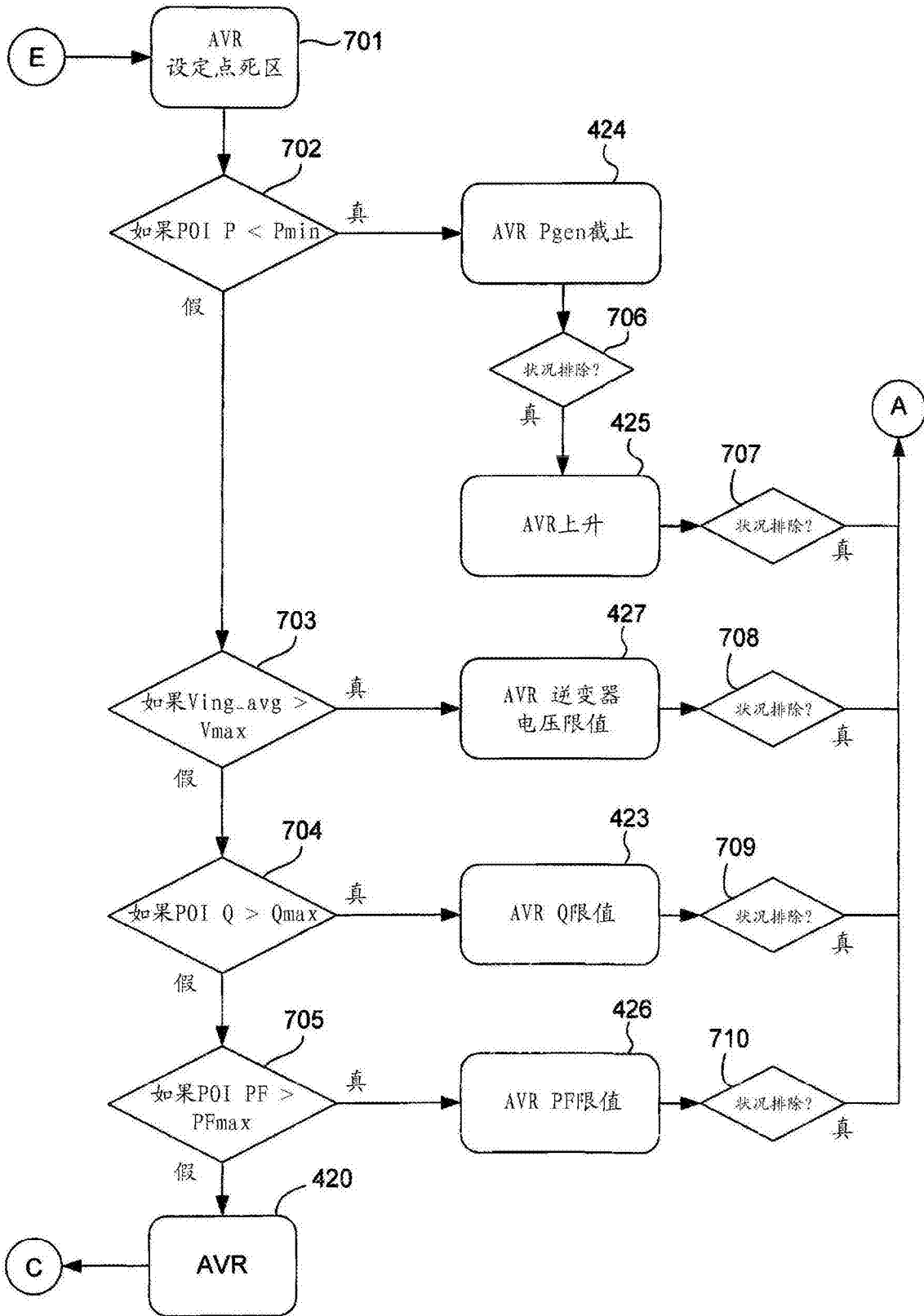


图7

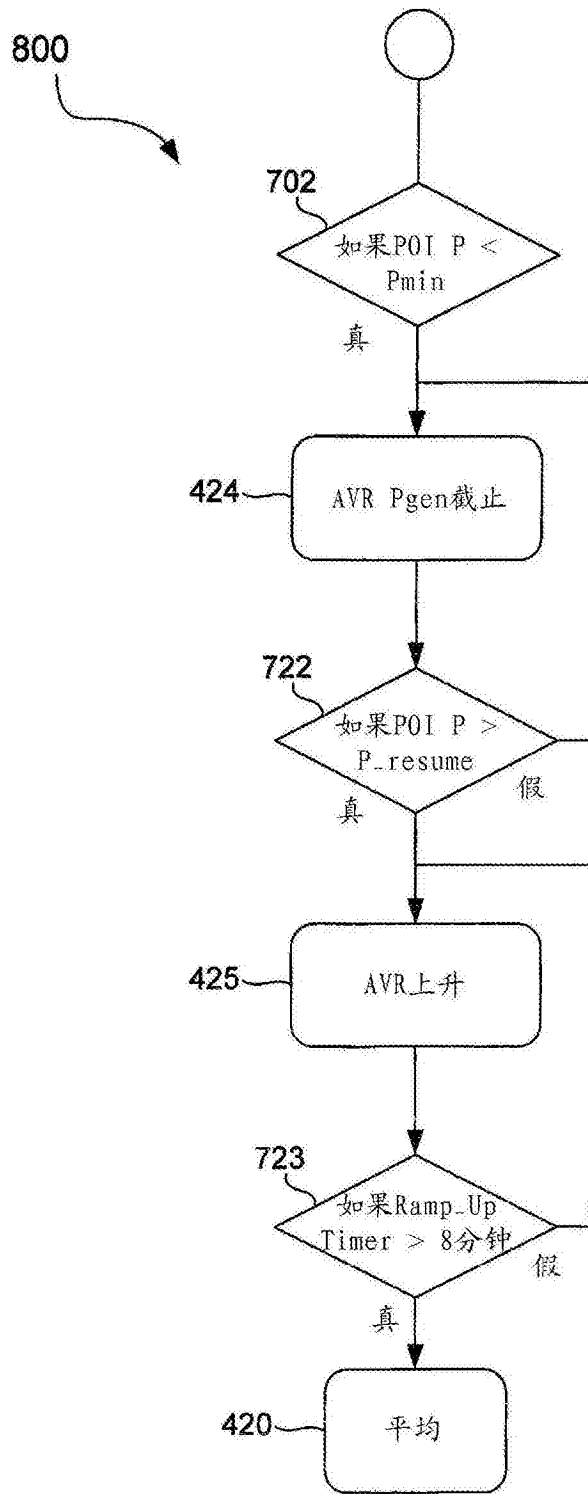


图8

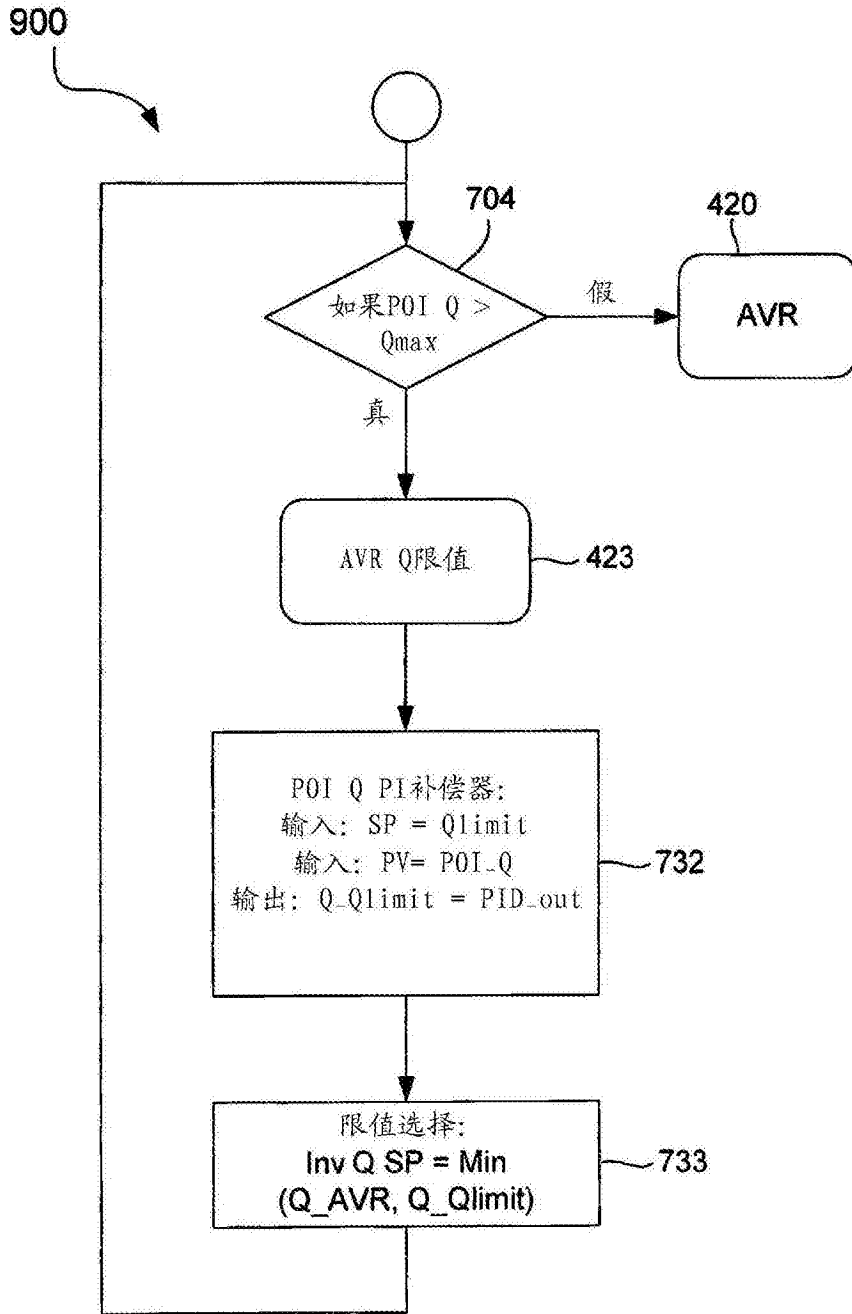


图9

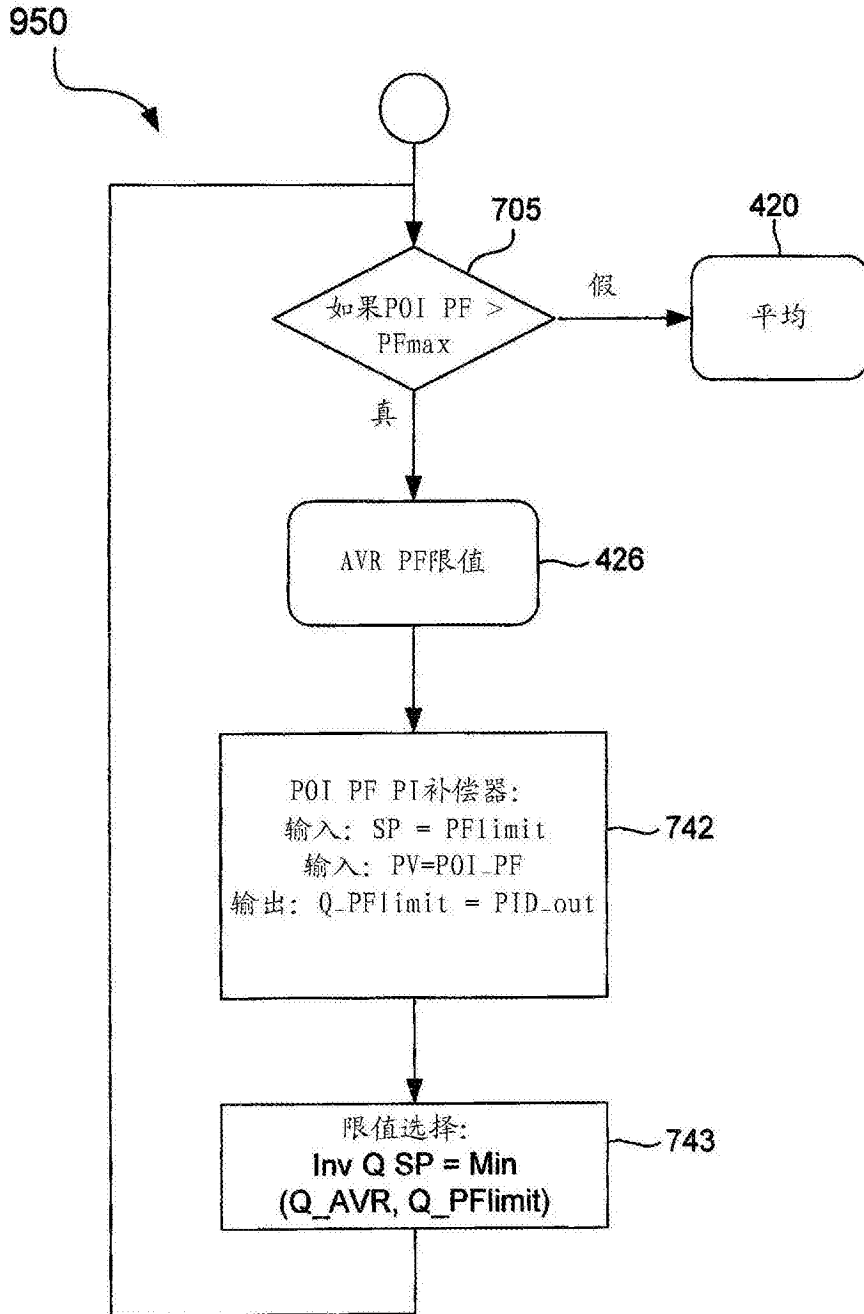


图10

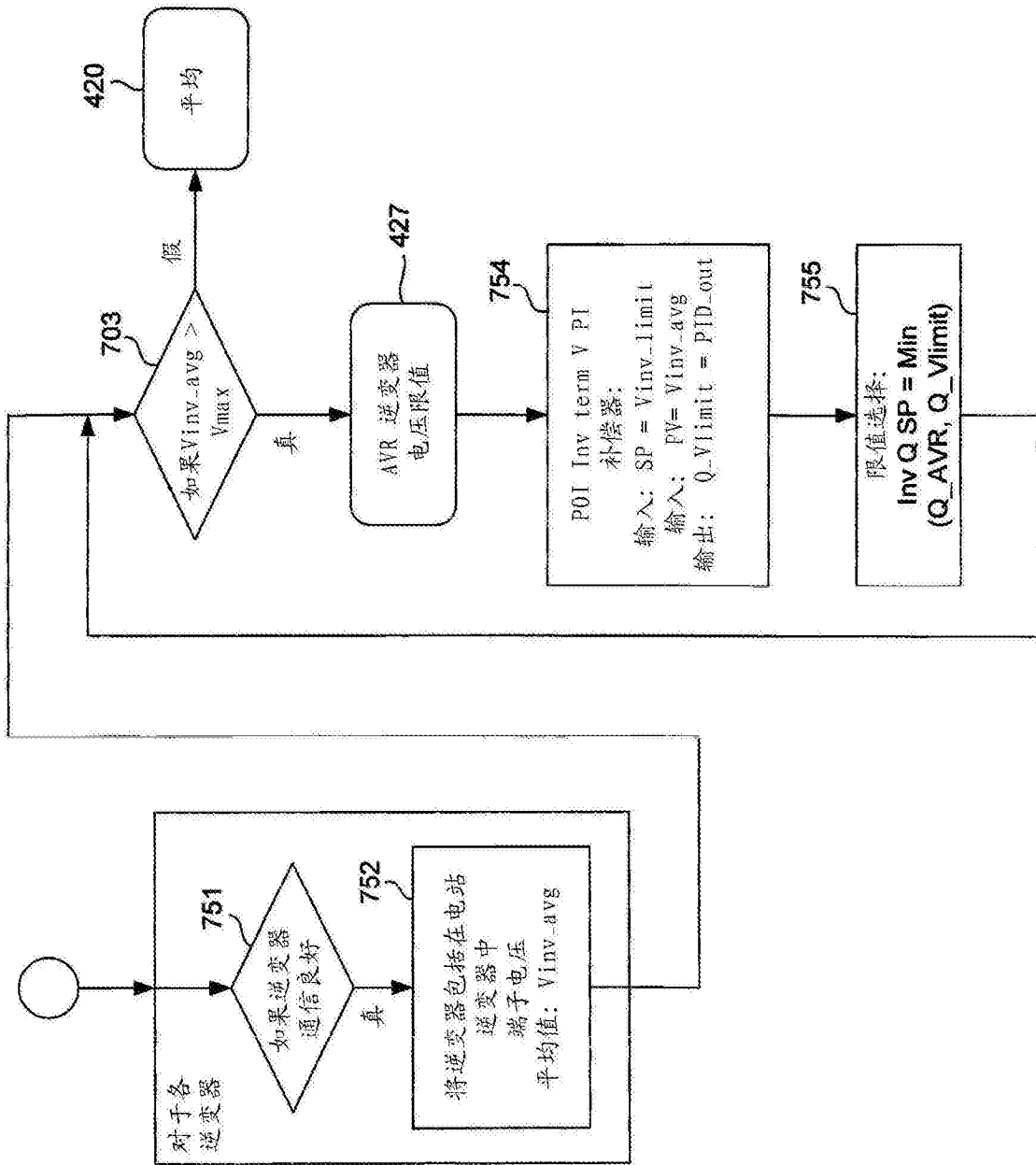


图11