



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102904273 B

(45) 授权公告日 2015. 05. 20

(21) 申请号 201110217137. 9

(22) 申请日 2011. 07. 29

(73) 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 谭卓辉 邬雪琴 邬心慧 公茂忠

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 周少杰

(51) Int. Cl.

H02J 3/38(2006. 01)

H02J 3/24(2006. 01)

G05F 1/67(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102082443 A, 2011. 06. 01, 全文.

WO 2011073938 A2, 2011. 06. 23, 全文.

US 2010134076 A1, 2010. 06. 03, 全文.

K. Samangkool et al. Maximum Power

Point Tracking Using Neural Networks for
Grid-Connected Photovoltaic System. 《
Future Power Systems, 2005 International
Conference》. 2005, 第 1-4 页.

审查员 李明娟

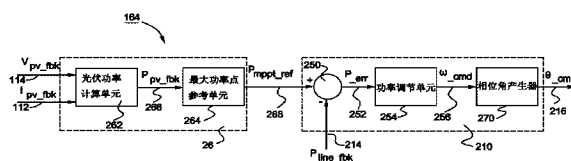
权利要求书4页 说明书10页 附图9页

(54) 发明名称

能量转换系统的最大功率点追踪控制和相关方法

(57) 摘要

本发明揭示一种能量转换系统。该能量转换系统包括根据电流反馈信号和电压反馈信号产生最大功率点参考信号的最大功率点追踪装置;接收来自于直流母线的直流电;将该直流母线上的直流电转换成交流电的变流器模块;根据该最大功率点参考信号以及网侧功率反馈信号产生控制信号的变流器控制模块。该变流器控制模块将该控制信号发送给该变流器模块,以使得该变流器模块对转换后的交流电进行调节,并使得电源输出最大功率。本发明还揭示一种控制能量转换系统运作的方法以及一种光伏发电系统。



1. 一种能量转换系统,其特征在于:该能量转换系统包括:最大功率点追踪装置,直流母线,变流器模块,以及变流器控制模块;该最大功率点追踪装置用于接收来自于电源的电流反馈信号和电压反馈信号,并至少基于该接收的电流反馈信号和电压反馈信号产生最大功率点参考信号;该直流母线接收来自于该电源的直流电;该变流器模块与直流母线连接,并用于将该直流母线上的直流电转换成交流电;该变流器控制模块用于接收该最大功率点追踪装置提供的最大功率点参考信号,以及该变流器模块提供的网侧功率反馈信号,该变流器控制模块还至少根据该最大功率点参考信号以及该网侧功率反馈信号产生控制信号;该变流器控制模块还将该控制信号发送给该变流器模块,以使得该变流器模块对转换后的交流电进行调节,并使得该电源输出最大功率,其中

该能量转换系统还包括网侧变流器,该网侧变流器用于将该直流母线上的直流电转换成交流电,其中该变流器控制模块包括网侧控制器,该网侧控制器至少基于该最大功率点参考信号以及该网侧功率反馈信号产生频率指令信号,并将该频率指令信号积分产生相位角指令信号,其中该相位角指令信号被用来产生控制该网侧变流器的控制信号。

2. 如权利要求 1 所述的能量转换系统,其特征在于:该网侧控制器还被配置成至少基于直流电压指令信号以及从该直流母线检测到的直流电压反馈信号产生该控制信号,该网侧控制器发送该控制信号给该网侧变流器,以调节该直流母线的直流电压。

3. 如权利要求 1 所述的能量转换系统,其特征在于:该最大功率点追踪装置包括功率计算单元以及最大功率点参考单元;该功率计算单元用于接收该电流反馈信号和电压反馈信号,并通过将该电流反馈信号和电压反馈信号相乘以计算出电源功率反馈信号;该最大功率点参考单元用于接收该电源功率反馈信号,并将该电源功率反馈信号与先前功率参考信号相比较,以产生最大功率点功率参考信号;其中该网侧控制器还被配置成使用该最大功率点功率参考信号产生发送给该网侧变流器的控制信号。

4. 如权利要求 1 所述的能量转换系统,其特征在于:该最大功率点追踪装置包括功率计算单元以及最大功率点参考和匹配单元;该功率计算单元用于接收该电流反馈信号和电压反馈信号,并通过将该电流反馈信号和电压反馈信号相乘以计算出电源功率反馈信号;该最大功率点参考和匹配单元用于接收该电源功率反馈信号,并基于该电源功率反馈信号产生最大功率点电流参考信号;其中该网侧控制器还包括乘法元件,该乘法元件用于通过将该最大功率点电流参考信号与电压反馈信号相乘以得到最大功率点功率参考信号,该网侧控制器还被配置成使用该最大功率点功率参考信号产生发送给该网侧变流器的控制信号。

5. 如权利要求 1 所述的能量转换系统,其特征在于:该最大功率点追踪装置包括功率计算单元以及最大功率点参考和匹配单元;该功率计算单元用于接收该电流反馈信号和电压反馈信号,并通过将该电流反馈信号和电压反馈信号相乘以计算出电源功率反馈信号;该最大功率点参考和匹配单元用于接收该电源功率反馈信号,并基于该电源功率反馈信号产生最大功率点电压参考信号;其中该网侧控制器还包括乘法元件,该乘法元件用于通过将该最大功率点电压参考信号与电流反馈信号相乘以得到最大功率点功率参考信号,该网侧控制器还被配置成使用该最大功率点功率参考信号产生发送给该网侧变流器的控制信号。

6. 如权利要求 1 所述的能量转换系统,其特征在于:该变流器模块包括电源侧变流器,

该电源侧变流器用于将从该电源接收的直流或者交流电转换成直流电,其中该变流器控制模块包括电源侧控制器,该电源侧控制器被配置成至少基于直流电压指令信号以及从该直流母线检测到的直流电压反馈信号产生控制信号,该电源侧控制器将该控制信号发送给该电源侧变流器,以控制该电源侧变流器调节该直流母线的直流电压。

7. 如权利要求 6 所述的能量转换系统,其特征在于:该电源侧控制器包括直流电压控制器,匹配单元以及电流调节器,该直流电压控制器用于基于该直流电压指令信号以及该直流电压反馈信号之间的差值产生功率指令信号;该匹配单元用于根据该功率指令信号匹配得到电流指令信号;该电流调节器基于该电流指令信号以及该电流反馈信号之间的差值产生控制信号,该控制信号被作用到该电源侧变流器。

8. 如权利要求 7 所述的能量转换系统,其特征在于:该最大功率点追踪装置包括功率计算单元以及最大功率点参考单元;该功率计算单元用于接收该电流反馈信号和电压反馈信号,并通过将该电流反馈信号和电压反馈信号相乘以计算出电源功率反馈信号;该最大功率点参考单元用于接收该电源功率反馈信号,并将该电源功率反馈信号与先前功率参考信号相比较,以产生最大功率点功率参考信号;其中,该电源侧控制器还包括加法元件,该加法元件用于将该最大功率点功率参考信号与该直流电压控制器产生的功率指令信号结合。

9. 如权利要求 6 所述的能量转换系统,其特征在于:该电源侧控制器包括直流电压控制器和电流调节器,该直流电压控制器用于基于该直流电压指令信号以及该直流电压反馈信号之间的差值产生电流指令信号;该电流调节器基于该电流指令信号以及该电流反馈信号之间的差值产生控制信号,该控制信号被作用到该电源侧变流器。

10. 如权利要求 9 所述的能量转换系统,其特征在于:该最大功率点追踪装置包括功率计算单元以及最大功率点参考和匹配单元;该功率计算单元用于接收该电流反馈信号和电压反馈信号,并通过将该电流反馈信号和电压反馈信号相乘以计算出电源功率反馈信号;该最大功率点参考和匹配单元用于接收该电源功率反馈信号,并根据该电源功率反馈信号匹配得到最大功率点电流参考信号;其中,该电源侧控制器还包括加法元件,该加法元件用于将该最大功率点电流参考信号与该电流指令信号结合并减去电流反馈信号。

11. 如权利要求 6 所述的能量转换系统,其特征在于:该电源侧控制器包括直流电压控制器和电压调节器,该直流电压控制器用于基于该直流电压指令信号以及该直流电压反馈信号之间的差值产生电压指令信号;该电压调节器基于该电压指令信号以及该电压反馈信号之间的差值产生控制信号,该控制信号被作用到该电源侧变流器。

12. 如权利要求 11 所述的能量转换系统,其特征在于:该最大功率点追踪装置包括功率计算单元以及最大功率点参考和匹配单元;该功率计算单元用于接收该电流反馈信号和电压反馈信号,并通过将该电流反馈信号和电压反馈信号相乘以计算出电源功率反馈信号;该最大功率点参考和匹配单元用于接收该电源功率反馈信号,并根据该电源功率反馈信号匹配得到最大功率点电压参考信号;其中,该电源侧控制器还包括加法元件,该加法元件用于将该最大功率点电压参考信号与该电压指令信号结合并减去电压反馈信号。

13. 一种操作能量转换系统的方法,其特征在于:该方法至少包括如下步骤:

至少根据在电源输出端测得的电流反馈信号和电压反馈信号产生最大功率点参考信号;

至少根据该最大功率点参考信号和网侧功率反馈信号产生频率指令信号,并将该频率指令信号积分产生相位角指令信号,其中该相位角指令信号被用来产生控制该网侧变流器的控制信号;以及

将该控制信号作用到该能量转换系统的变流器模块,以使得该电源输出最大功率并且减轻功率不平衡。

14. 如权利要求 13 所述的方法,其特征在于:该方法还包括如下步骤:

通过将该电流反馈信号和电压反馈信号相乘以计算出电源功率反馈信号;

基于该电源功率反馈信号产生最大功率点功率参考信号;以及

使用该最大功率点功率参考信号产生该控制信号并将该控制信号作用到该变流器模块的网侧变流器。

15. 如权利要求 14 所述的方法,其特征在于:该方法还包括如下步骤:

将该计算出的电源功率反馈信号和先前功率参考信号相比较;

判定该计算得到的电源功率反馈信号和先前功率参考信号之间的差值是否满足预定的阈值;以及

在判定出该计算得到的电源功率反馈信号和先前功率参考信号之间的差值满足该预定的阈值时,通过将该计算得到的电源功率反馈信号增加预定的步进功率值,以产生更新的最大功率点功率参考信号。

16. 如权利要求 14 所述的方法,其特征在于:该方法还包括如下步骤:

将该计算得到的电源功率反馈信号和先前功率参考信号相比较;

判定该计算得到的电源功率反馈信号和先前功率参考信号之间的差值是否满足预定的阈值;以及

在判定出该计算得到的电源功率反馈信号和先前功率参考信号之间的差值不满足该预定的阈值时,通过将该计算得到的电源功率反馈信号减少预定的步进功率值,以产生更新的最大功率点功率参考信号。

17. 如权利要求 13 所述的方法,其特征在于:该方法还包括如下步骤:

通过将该电流反馈信号和电压反馈信号相乘以计算出电源功率反馈信号;

基于该电源功率反馈信号产生最大功率点功率参考信号;以及

使用该最大功率点功率参考信号产生该控制信号并将该控制信号作用到该变流器模块的电源侧变流器。

18. 一种光伏发电系统,其特征在于:该光伏发电系统包括:最大功率点追踪装置,直流母线,网侧变流器,以及网侧控制器;该最大功率点追踪装置用于接收来自于光伏电源的电流反馈信号和电压反馈信号,并至少基于该接收的电流反馈信号和电压反馈信号产生最大功率点参考信号;该直流母线接收来自于该光伏电源的直流电;该网侧变流器与直流母线连接,并用于将该直流母线上的直流电转换成交流电;该网侧控制器用于接收该最大功率点追踪装置提供的最大功率点参考信号,以及该网侧变流器提供的网侧功率反馈信号,该网侧控制器还至少根据该最大功率点参考信号以及该网侧功率反馈信号产生频率指令信号,并将该频率指令信号积分产生相位角指令信号,其中该相位角指令信号被用来产生控制该网侧变流器的控制信号;该网侧控制器还将该控制信号发送给该网侧变流器,以使得该网侧变流器对转换后的交流电进行调节,并使得该电源输出最大功率。

19. 如权利要求 18 所述的光伏发电系统,其特征在于:该光伏发电系统还包括光伏侧变流器和光伏侧控制器,该光伏侧控制器被配置成至少根据最大功率点参考信号,该直流母线处测得的直流电压反馈信号以及直流电压指令信号产生控制信号,并将该控制信号作用到该光伏侧变流器,以调节该光伏侧变流器转换产生的直流电。

能量转换系统的最大功率点追踪控制和相关方法

技术领域

[0001] 本发明公开的实施方式涉及能量转换系统和方法,以向电力系统提供电能,特别涉及一种对能量转换系统的最大功率点追踪控制能力进行改善的系统和方法。

背景技术

[0002] 基本而言,在全世界范围内,通过可再生能源发电系统,例如光伏发电系统产生的电能,其所占据的份额越来越大。一般的光伏发电系统包括一个或者多个光伏阵列,其中每个光伏阵列又包括多个相互连接的光伏电池单元,该光伏电池单元可以将太阳辐射能转换成直流电能。为了实现光伏阵列的并网发电,通常会使用变流器模块将光伏阵列产生的直流电能转换成可供电网传输的交流电能。

[0003] 现有的供光伏发电系统使用的变流器模块的架构有多种形式。其中一种为二级式的结构,其包括一个直流-直流变流器和一个直流-交流变流器。该直流-直流变流器控制从光伏阵列到直流母线间的直流电能的传输。该直流-交流变流器则将输送到直流母线上的直流电能转换成可供电网传送的交流电能。通常,现有的光伏发电系统还具有一个变流器控制模块,其用于通过控制信号控制直流-直流变流器和一个直流-交流变流器的运作,并对各种系统变量,例如直流母线电压,交流电网电压和频率等变量作补偿控制。

[0004] 由于光伏电源器件本身固有的非线性特点,通常较难准确预测光伏电源的最佳工作点。因此,几乎所有的光伏发电系统均采用最大功率点追踪控制,以确保在光伏电源的发电过程中能从该光伏电源抽取出最大的功率。一般的最大功率点追踪控制通过执行包括扰动观测算法或者电导增量法在内的各种算法来实现。然而,当该光伏发电系统并网连接时,执行最大功率点追踪算法可能存在一些新的挑战。其中的一个挑战是当从光伏电源抽取出的最大输出功率大于网侧输出功率时,直流母线会出现功率不平衡。特别是当光伏发电系统连接到弱电网时,由于弱电网有更大的电压和频率变动,这样功率不平衡问题就显得更加突出。

[0005] 因此,有必要提供一种改进的能量转换系统和方法以解决上述的技术问题。

发明内容

[0006] 有鉴于上述提及之问题,本发明的一个方面在于提供一种能量转换系统。该能量转换系统包括最大功率点追踪装置,直流母线,变流器模块,以及变流器控制模块。该最大功率点追踪装置用于接收来自于电源的电流反馈信号和电压反馈信号,并至少基于该接收的电流反馈信号和电压反馈信号产生最大功率点参考信号。该直流母线接收来自于该电源的直流电。该变流器模块与直流母线连接,并用于将该直流母线上的直流电转换成交流电。该变流器控制模块用于接收该最大功率点追踪装置提供的最大功率点参考信号,以及该变流器模块提供的网侧功率反馈信号。该变流器控制模块还至少根据该最大功率点参考信号以及该网侧功率反馈信号产生控制信号。该变流器控制模块还将该控制信号发送给该变流器模块,以使得该变流器模块对转换后的交流电进行调节,并使得该电源输出最大功率。

[0007] 本发明的另一个方面在于提供一种操作能量转换系统的方法。该方法至少包括如下步骤：至少根据在电源输出端测得的电流反馈信号和电压反馈信号产生最大功率点参考信号；至少根据该最大功率点参考信号和网侧功率反馈信号产生控制信号；以及将该控制信号作用到该能量转换系统的变流器模块，以使得该电源输出最大功率并且减轻功率不平衡。

[0008] 本发明的再一个方面在于提供一种光伏发电系统。该光伏发电系统包括最大功率点追踪装置，直流母线，网侧变流器，以及网侧控制器。该最大功率点追踪装置用于接收来自于光伏电源的电流反馈信号和电压反馈信号，并至少基于该接收的电流反馈信号和电压反馈信号产生最大功率点参考信号。该直流母线接收来自于该光伏电源的直流电。该网侧变流器与直流母线连接，并用于将该直流母线上的直流电转换成交流电。该网侧控制器用于接收该最大功率点追踪装置提供的最大功率点参考信号，以及该网侧变流器提供的网侧功率反馈信号。该网侧控制器还至少根据该最大功率点参考信号以及该网侧功率反馈信号产生控制信号。该网侧控制器还将该控制信号发送给该网侧变流器，以使得该网侧变流器对转换后的交流电进行调节，并使得该光伏电源输出最大功率。

[0009] 本发明提供的能量转换系统，控制能量转换系统运作的方法以及光伏发电系统，通过基于电压源的控制架构，在能量转换的过程中，并通过最大功率点追踪装置产生的最大功率点参考信号，调整系统的能量输出，以使得该能量转换系统取得较佳的功率平衡。

附图说明

[0010] 通过结合附图对于本发明的实施方式进行了描述，可以更好地理解本发明，在附图中：

[0011] 图 1 所示为光伏能量转换系统的一种实施方式的模块示意图。

[0012] 图 2 所示为图 1 所示的网侧控制器的一种实施方式的控制框图。

[0013] 图 3 所示为图 2 所示的有功功率调节器结合最大功率点追踪装置的一种实施方式的详细控制框图。

[0014] 图 4 所示为图 2 所示的有功功率调节器结合最大功率点追踪装置的另一种实施方式的详细控制框图。

[0015] 图 5 所示为图 2 所示的有功功率调节器结合最大功率点追踪装置的又一种实施方式的详细控制框图。

[0016] 图 6 所示为图 1 所示的光伏侧控制器的一种实施方式的详细控制框图。

[0017] 图 7 所示为图 1 所示的光伏侧控制器的另一种实施方式的详细控制框图。

[0018] 图 8 所示为图 1 所示的光伏侧控制器的又一种实施方式的详细控制框图。

[0019] 图 9 所示为图 1 所示的光伏侧控制器的再一种实施方式的详细控制框图。

[0020] 图 10 所示为改进的供光伏能量转换系统执行的最大功率点追踪算法的一种实施方式的流程图。

[0021] 图 11 所示为光伏电源其光伏功率与光伏电压之间函数特性的曲线示意图。

具体实施方式

[0022] 本发明揭露的一个或者多个实施方式涉及具有改善的最大功率点追踪控制能力

的能量转换系统和方法。在此所谓的“最大功率点追踪控制能力”是指由软件或者硬件方式执行的控制机制或者算法,用于寻找光伏电源的最佳工作点,从而可以从光伏电源抽取最大的功率。更具体而言,在此描述的最大功率点追踪控制能力基于电压源控制架构或者算法来具体实施。在此所谓的“电压源控制 (Voltage Source Control, VSC) 架构或者算法”是指在一种具体的实施方式中其主要的控制变量包括交流侧电压的幅值指令和相位角指令之相关控制机制。进一步而言,基于电压源控制架构执行最大功率点追踪算法时,通过控制光伏电源输出的功率与网侧的输出功率相互协调,以取得一定的功率平衡。因此,在一些实施方式中,能量转换系统可以不使用额外的在传统的光伏能量转换系统中使用的能量存储装置,来存储光伏电源发出的额外能量。

[0023] 以下将描述本发明的一个或者多个具体实施方式。首先要指出的是,在这些实施方式的具体描述过程中,为了进行简明扼要的描述,本说明书不可能对实际的实施方式的所有特征均作详尽的描述。应当可以理解的是,在任意一种实施方式的实际实施过程中,正如在任意一个工程项目或者设计项目的过程中,为了实现开发者的具体目标,或者为了满足系统相关的或者商业相关的限制,常常会做出各种各样的具体决策,而这也会从一种实施方式到另一种实施方式之间发生改变。此外,还可以理解的是,虽然这种开发过程中所作出的努力可能是复杂并且冗长的,然而对于与本发明公开的内容相关的本领域的普通技术人员而言,在本公开揭露的技术内容的基础上进行的一些设计,制造或者生产等变更只是常规的技术手段,不应当理解为本公开的内容不充分。

[0024] 除非另作定义,在本说明书和权利要求书中使用的技术术语或者科学术语应当为本发明所属技术领域内具有一般技能的人士所理解的通常意义。本说明书以及权利要求书中使用的“第一”或者“第二”以及类似的词语并不表示任何顺序、数量或者重要性,而只是用来区分不同的组成部分。“一个”或者“一”等类似词语并不表示数量限制,而是表示存在至少一个。“或者”包括所列举的项目中的任意一者或者全部。“包括”或者“包含”等类似的词语意指出现在“包括”或者“包含”前面的元件或者物件涵盖出现在“包括”或者“包含”后面列举的元件或者物件及其等同元件,并不排除其他元件或者物件。“连接”或者“相连”等类似的词语并非限定于物理的或者机械的连接,而是可以包括电性的连接,不管是直接的还是间接的。此外,“电路”或者“电路系统”以及“控制器”等可以包括单一组件或者由多个主动元件或者被动元件直接或者间接相连的集合,例如一个或者多个集成电路芯片,以提供所对应描述的功能。

[0025] 图 1 所示为能量转换系统 10 一种实施方式的模块示意图。在下面的描述中,为了更好的理解本发明的最佳实施方式,能量转换系统 10 被图示并描述成一种光伏或者太阳能能量转换系统。但是,应当可以理解的是,对于本发明所属技术领域内具有一般技能的人士来讲,本发明所披露的一个或者多个实施方式应当不仅仅限制在光伏领域,其中的一些方面应当可以通过类似的方式应用到其他领域,例如,燃料电池发电系统,风能发电系统以及潮汐能发电系统等。

[0026] 概括而言,该光伏能量转换系统 10 包括一个光伏变流器模块 14。该光伏变流器模块 14 可以视作连接在光伏电源 12 和电网 18 之间的能量转换接口,以用于不同形式能量的转换。详细而言,该光伏变流器模块 14 被配置成将从光伏电源 12 输出的直流电压或者电流形式的能量(下文简称为直流电能)转换成适合输入到电系统 18 的交流电压或者电流

形式的能量（下文简称为交流电能）。在一种实施方式中，光伏电源 12 可以包括一个或者多个光伏阵列，其中每个光伏阵列可以包括多个相互连接的光伏单元，该光伏单元基于光电效应进行太阳能到直流电能的转换。在一种实施方式中，电系统 18 可以为输送交流电的电网，该光伏能量转换系统 10 可以被配置成输送具有适当频率和幅值的三相交流电给电网 18。

[0027] 在一种实施方式中，图 1 所示的光伏变流器模块 14 基于两级式的架构，其包括光伏侧变流器 142（也即靠近光伏电源 12 侧的变流器）和网侧变流器 144（也即靠近电网 18 侧的变流器）。该光伏侧变流器 142 可以包括直流-直流变流器，例如升压型直流-直流变流器，其可以升高从光伏电源 12 的直流输出电压，并将升高后的电压提供给直流母线 146。该直流母线 146 可以包括一个或者多个电容器，用以将直流母线 146 的直流电压的电平维持在特定的数值，从而可以控制从直流母线 146 到电网 18 的能量流动。该网侧变流器 144 可以包括直流-交流变流器，用以将直流母线 146 处的直流电压转换成适合交流电网 18 输送的交流电压。可以理解的是，在其他实施方式中，该光伏变流器模块 14 也可以基于单级式的架构，也即，其通过一个直流-交流变流器直接将直流母线的直流电压转换成具有适当频率和幅值的交流电压，以供电网 18 输送。不管是单级式架构还是多级式架构的具体实施方式，该变流器模块被控制成进行交流电能调节和最大功率抽取。在此所谓的“交流电能调节”是指根据预定的指令信号进行有功功率的调节或者无功功率的调节。在此所谓的“最大功率抽取”是指在外界环境发生变动的情形下，例如，辐照或者温度发生变动的情形下，动态移动光伏电源的工作点，以确保从光伏电源有最大的功率输出。

[0028] 在一种实施方式中，图 1 所示的该能量转换系统 10 进一步包括变流器控制模块 16。该变流器控制模块 16 被配置成调节光伏电源 12 输出的光伏能量，并调节从网侧变流器 144 输出的有功功率或者无功功率。在一种实施方式中，该变流器控制模块 16 被配置成包括光伏侧控制器 162 和网侧控制器 164。该光伏侧控制器 162 被配置成根据各种指令信号和反馈信号发送光伏侧控制信号 166 给光伏侧变流器 142，以调节光伏电源 12 输出的光伏能量。该网侧控制器 164 被配置成根据各种指令信号和反馈信号发送网侧控制信号 168 给网侧变流器 144，以调节从网侧变流器 144 输出的有功功率或者无功功率。该光伏侧变流器 142 可以包括任何拓扑结构的变流器，例如，半桥式变流器，全桥式变流器以及推挽式变流器等。该网侧变流器 144 可以包括任意拓扑结构的直流-交流变流器，例如，两电平式变流器，三电平式变流器或者多电平变流器等。该光伏侧变流器 142 和该网侧变流器 144 可以包括一定数量的半导体开关器件，例如，集成门极换流晶闸管，（Integrated Gate Commutated Thyristors, IGCTs）和绝缘栅双极型晶体管（Insulated Gate Bipolar Transistor, IGBTs）。该等开关器件可以在光伏侧控制信号 166 和网侧控制信号 168 的作用下被开通或者关断。虽然图 1 示出了使用两个独立的控制器 162, 164 进行控制，但是在其他实施方式中，应当也可以使用单一的控制对光伏侧变流器 142 和网侧变流器 144 进行控制。

[0029] 在一种实施方式中，图 1 所示的能量转换系统 10 还可以进一步包括光伏侧滤波器 22，该光伏侧滤波器 22 包括一个或者多个容性元件和感性元件，用以滤除从光伏电源 12 输出的直流电能中的波动分量，并阻止波动信号从光伏侧变流器 142 流向光伏电源 12。该能量转换系统 10 还可以包括网侧滤波器 24，该网侧滤波器 24 也包括一个或者多个感性元件

或者容性元件,以滤除从网侧变流器 144 输出的三相交流电中的谐波分量。

[0030] 请参阅图 1,在一种实施方式中,该网侧控制器 162 接收直流电压传感器测量并提供的直流电压反馈信号 156,其中,该直流电压传感器放置在直流母线 146 的输出端。该光伏侧控制器 162 进一步接收直流电压指令信号 292。该光伏侧控制器 162 根据该直流电压反馈信号 156 和直流电压指令信号 292 调整光伏侧控制信号 166,以控制出现在直流母线 146 处的直流电压。在可替换的实施方式中,如图 1 中虚线 292 所指示,该网侧控制器 164 也可以被配置成替换地或者进一步控制直流母线 146 处的直流电压。更具体而言,该网侧控制器 164 接收直流电压反馈信号 156 和直流电压指令信号 292。在一种实施方式中,该网侧控制器 164 根据该直流电压反馈信号 156 和直流电压指令信号 292 之间比较产生的直流电压误差信号调节送给网侧变流器 142 的网侧控制信号 168,以控制该直流母线 146 处的电压。

[0031] 在一种实施方式中,图 1 所示的该能量转换系统 10 进一步包括最大功率点追踪(maximum power point tracking, MPPT) 装置 26。为作示例性之目的,该最大功率点追踪装置 26 被描绘成位于该变流器控制模块 16 之外侧。在可替换的实施方式中,该最大功率点追踪装置 26 应当还可以被配置在变流器控制模块 16 之内部,或者更具体而言,该最大功率点追踪装置 26 被配置在光伏侧控制器 162 中。在一种实施方式中,该最大功率点追踪装置 26 被配置成执行最大功率点追踪算法,以确保在外界环境,例如温度,辐照等发生变化的情形下,光伏电源 12 始终能向变流器模块 14 提供最大的输出功率。

[0032] 如图 1 所示,该最大功率点追踪装置 26 被配置成与光伏电源 12,光伏侧控制器 162 以及网侧控制器 164 进行通信连接。在正常运作时,该最大功率点追踪装置 26 接收由电流传感器 28 测量并提供的直流电流反馈信号 112,并接收由电压传感器 32 测量并提供的直流电压反馈信号 114,其中,该电流传感器 28 和电压传感器 32 可以被放置在光伏电源 12 的输出端。该最大功率点追踪装置 26 执行最大功率点追踪算法,并产生各种参考信号,例如,包括电流参考信号,电压参考信号以及功率参考信号等。在一种实施方式中,从该最大功率点追踪装置 26 产生的参考信号 158 被提供给网侧控制器 164。在此情形下,最大功率点的追踪通过网侧控制器 164 的扰动作用来实现,也即,网侧控制器 164 根据提供的参考信号 158,调节作用到网侧变流器 144 的网侧控制信号 168,以确保光伏电源 12 可以有最大的功率输出。在一些实施方式中,当输送给网侧控制器 144 的参考信号 158 为功率参考信号时,通过网侧变流器 144 输出的电能依照光伏电源 12 输出的电能进行调节,以此取得一定的功率平衡,从而减轻直流母线 146 处的由于功率不平衡所受的过电压和欠电压影响。在其他实施方式中,从最大功率点追踪装置 26 送出的参考信号 158 还被选择性地作用到光伏侧控制器 162,以进一步减轻直流母线 146 处的功率不平衡,并提供更快的最大功率点追踪控制。

[0033] 图 2 所示为图 1 所示的网侧控制器的一种实施方式的控制框图。图 2 所示的功能模块可以通过硬件的形式来实现,也可以通过软件的形式来实现,或者通过硬件结合软件的形式来实现。在实际的应用中,该网侧控制器 164 可以通过微控制器来执行,也可以通过数字信号处理器(digital signal processor, DSP) 来执行。基本而言,图 2 所示的网侧控制器 164 被构建成电压源控制架构。基于这样的电压源控制架构,在一种实施方式中,通过有功功率指令和无功功率指令可以调节网侧变流器 144 输出的有功功率和无功功率。在图

示的实施方式中,该网侧控制器 164 包括有功调节器 210,无功调节器 220 以及信号产生器 240。

[0034] 图 2 所示的有功功率调节器 210 被配置成根据有功功率指令信号调节从网侧变流器 144 输出的有功功率。更具体而言,在一种实施方式中,该有功功率调节器 210 接收网侧功率反馈信号 214 以及最大功率点功率指令信号 212,并产生相位角指令信号 216。该最大功率点功率指令信号 212 代表希望在网侧变流器 144 输出端和电网 18 之间传送的功率,而该网侧功率反馈信号 214 则代表所测量到的在网侧变流器 144 输出端和电网 18 之间实际传送的功率。在一种实施方式中,该网侧功率反馈信号 214 可以通过网侧电流反馈信号 154 和网侧电压反馈信号 152 计算得到,其中,该网侧电流反馈信号 154 和该网侧电压反馈信号 152 可以分别通过设置在网侧变流器 144 输出端和电网 18 之间的电流传感器 34 和电压传感器 36 测量得到。在一种实施方式中,该相位角指令信号 216 代表期望在网侧变流器 144 输出端得到的交流输出电压的相位值。

[0035] 请继续参阅图 2,该无功功率调节器 220 被配置成根据无功功率指令信号调节从网侧变流器 144 输出的无功功率。更具体而言,该无功功率调节器 220 接收网侧无功功率反馈信号 224 和无功功率指令信号 222,并产生电压幅值指令信号 226。该无功功率指令信号 222 代表希望在网侧变流器 144 输出端和电网 18 之间传送的无功功率,其可以由电网运营商指定。该网侧无功功率反馈信号 224 代表所测量到的在网侧变流器 144 输出端和电网 18 之间实际传送的无功功率。该电压幅值指令信号 226 代表期望在网侧变流器 144 输出端得到的交流输出电压的幅值。在一种实施方式中,该无功功率调节器 220 包括求和元件 610,以将该无功功率指令信号 222 和该无功功率反馈信号 224 相减,以得到代表该无功功率指令信号 222 和该网侧无功功率反馈信号 224 之间差值的无功功率误差信号。该无功功率调节器 220 还可以包括无功调节单元和电压调节单元以根据该无功功率误差信号产生电压幅值指令信号 226。

[0036] 请继续参阅图 2,该信号产生单元 240 被配置成根据相位角指令信号 216 和电压幅值指令信号 226 产生作用到网侧变流器 144 的网侧控制信号 168。在一种实施方式中,该信号产生单元 240 可以使用脉冲宽度调制 (Pulse Width Modulation, PWM) 单元来产生 PWM 型控制信号 168。

[0037] 图 3 所示为图 2 所示的有功功率调节器 210 结合最大功率点追踪装置 26 的一种实施方式的详细控制框图。在图示的实施方式中,该最大功率点追踪装置 26 包括光伏功率计算单元 262 以及最大功率点参考单元 264。该光伏功率计算单元 262 用于将直流电流反馈信号 112 和直流电压反馈信号 114 相乘,以计算出当前从光伏电源 12 获取的实际功率。在一种实施方式中,该最大功率点参考单元 264 用于接收该光伏功率反馈信号 266,并至少基于该光伏功率反馈信号 266 产生最大功率点功率参考信号 268。更具体而言,该最大功率点参考单元 264 通过将该光伏功率反馈信号 266 与先前功率参考信号相比较,以得到该最大功率点功率参考信号 268。在此所谓的“先前功率参考信号”是指执行最大功率点追踪算法所产生的信号,其用来指示预计从光伏电源 12 获取的功率值。如果该光伏功率反馈信号 266 与先前功率参考信号之间的绝对差值被判定为小于预定的阈值时,可以将该当前获得的光伏功率反馈信号增加预定的步进功率值,以得到更新的最大功率点功率参考信号 268。在此提及的“预定的步进功率值”可以为定步长的数值或者也可以为变步长的数值,具体依

据实际的系统要求和应用加以确定。如果该光伏功率反馈信号 266 与先前功率参考信号之间的绝对差值被判定为大于预定的阈值时,可以将该当前获得的光伏功率反馈信号减去预定的步进功率值,以得到更新的最大功率点功率参考信号 268。

[0038] 请进一步参阅图 3,从该最大功率点追踪装置 26 产生的最大功率点功率参考信号 268 被提供给有功功率调节器 210 中的求和元件 250。该求和元件 250 将该最大功率点功率参考信号 268 与该功率反馈信号 214 相减,以提供代表该最大功率点功率参考信号 268 与该功率反馈信号 214 之间产值的功率误差信号 252。该功率误差信号 252 被提供给该有功功率调节器 210 中的功率调节单元 254,其中该功率调节单元 254 根据该功率误差信号 252 产生频率指令信号 256,以在稳态运行时,将功率误差信号 252 控制为零。该频率指令信号 256 被进一步提供给该有功功率调节器 210 中的相位角产生器 270,,其中,该相位角产生器 270 根据该频率指令信号 256 产生相位角指令信号 216。在一种实施方式中,该相位角产生器 270 可以使用积分器件对频率指令信号 256 进行积分,以产生相位角指令信号 216。

[0039] 图 4 所示为图 2 所示的有功功率调节器 210 结合最大功率点追踪装置 26 的另一种实施方式的详细控制框图。图 4 所示的控制框图与图 3 所示的控制框图相类似,其中一个不同之处在于图 4 还包括最大功率点参考和匹配单元 265。该最大功率点参考和匹配单元 265 被配置成根据该光伏功率计算单元 262 计算得到的光伏功率反馈信号 266 产生最大功率点电流参考信号 267。进一步,该有功功率调节器 210 还包括一个乘法元件 232,其中该乘法元件 232 将该最大功率点电流参考信号 267 与直流电压反馈信号 114 相乘,得到最大功率点功率参考信号 234。接下来,与图 3 所描述的内容相类似,该最大功率点参考信号 234 被用来产生频率指令信号 256 和相位角指令信号 216。

[0040] 图 5 所示为图 2 所示的有功功率调节器 210 结合最大功率点追踪装置 26 的又一种实施方式的详细控制框图。图 5 所示的控制框图与图 4 所示的控制框图相类似,其中一个不同之处在于图 4 所示的最大功率点参考和匹配单元 265 被配置成根据该光伏功率计算单元 262 计算得到的光伏功率反馈信号 266 产生最大功率点电压参考信号 269。进一步,该有功功率调节器 210 的乘法元件 232 用于将该最大功率点电压参考信号 269 与直流电流反馈信号 112 相乘,以得到最大功率点功率参考信号 234。该最大功率点功率参考信号 234 进一步被用来产生频率指令信号 256 和相位角指令信号 216。

[0041] 图 6 所示为图 1 所示的光伏侧控制器 162 的一种实施方式的详细控制框图。如上文所描述,一方面,该网侧控制器 162 负责调节直流母线 146 处的直流电压。该网侧控制器 162 包括第一加法元件 320,直流电压控制器 324,匹配单元 328,第二加法元件 331 以及光伏电流调节器 358。如图 6 所示,该网侧控制器 162 包括两个控制环路,其中,外环 321 为电压环,内环 333 为电流环。在电压外环 321 中,从直流母线 146 处测得的直流电压反馈信号 156 被提供给第一加法元件 320,该第一加法元件 320 将直流电压指令信号 292 与该直流电压反馈信号 156 相减,以产生代表该直流电压指令信号 292 与该直流电压反馈信号 156 之间差值的直流电压误差信号 322。该直流电压指令信号 292 代表希望在直流母线 146 处得到的直流电压。该直流电压误差信号 322 经过直流电压控制器 324 调节后,产生光伏功率指令信号 326。该光伏功率指令信号 326 经过匹配单元 328 匹配得到光伏电流指令信号 332。在此所谓的“匹配”是指参考光伏功率曲线,依照光伏功率信号对应得到光伏电流信号。进一步如图 6 所示,在电流内环 333 中,第二加法元件 331 将该光伏电流指令信号 332 与直流

电流反馈信号 112 相减,以得到电流误差信号 334。该电流误差信号 334 经过光伏电流调节器 358 调节后,得到光伏侧控制信号 166,以作用到光伏侧变流器 142。

[0042] 图 7 所示为图 1 所示的光伏侧控制器 162 的另一种实施方式的详细控制框图。在图 7 所示的控制框图中,还进一步包括前馈控制。更具体而言,在一种实施方式中,由最大功率点追踪装置 26 产生的最大功率点功率参考信号 268 被加入到电压外环 321 中。在一种实施方式中,如上文结合图 3 所述,该最大功率点功率参考信号 268 可以由最大功率点参考单元 264 根据光伏功率反馈信号 266 产生。该最大功率点功率参考信号 268 被提供给电压外环 321 中的第三加法元件 330。该第三加法元件 330 将该最大功率点功率参考信号 268 与光伏功率指令信号 326 结合,得到复合光伏功率指令信号 344。与上文结合图 6 所作的描述相类似,该复合光伏功率指令信号 344 接下来经过匹配单元 328 和光伏电流调节器 358 产生光伏侧控制信号 166,以作用到光伏侧变流器 142。可以理解的是,通过进一步的前馈控制,一方面可以使最大功率点追踪控制更快地寻找到最佳工作点。另一方面,还在光伏侧控制器 162 和网侧控制器 164 之间进行调节,使得直流母线 146 具有更小的电压压力。

[0043] 图 8 所示为图 1 所示的光伏侧控制器 162 又一种实施方式的详细控制框图。在图 8 所示的实施方式中,与图 7 所示的产生最大功率点功率参考信号 268 作为前馈控制信号不同,最大功率点电流参考信号 267 被用来进行前馈控制。更具体而言,该最大功率点电流参考信号 267 由最大功率点追踪装置 26 中的最大功率点参考和匹配单元 265 根据光伏功率反馈信号 266 产生。另外,与图 7 所不同的是,图 8 所示的直流电压控制器 324 被配置成产生光伏电流指令信号 332 而不是光伏功率指令信号。该光伏电流指令信号 332 被提供给加法元件 354,以与最大功率点电流参考信号 267 结合,并减去光伏直流电流反馈信号 112,得到复合光伏电流指令信号 356。该复合光伏电流指令信号 356 经过光伏电流调节器 358 调节后,产生作用到光伏侧变流器 142 的光伏侧控制信号 166。

[0044] 图 9 所示为图 1 所示的光伏侧控制器 162 的再一种实施方式的详细控制框图。在图 9 所示的实施方式中,与图 7 所示的产生最大功率点功率参考信号 268 作为前馈控制信号不同,最大功率点电压参考信号 269 被用来进行前馈控制。更具体而言,该最大功率点电压参考信号 269 由最大功率点追踪装置 26 中的最大功率点参考和匹配单元 265 根据光伏功率反馈信号 266 产生。另外,与图 7 所不同的是,图 9 所示的直流电压控制器 324 被配置成产生光伏电压指令信号 362 而不是光伏功率指令信号。该光伏电压指令信号 362 被提供给加法元件 364,以与最大功率点电压参考信号 269 结合,并减去光伏直流电压反馈信号 114,得到复合光伏电压指令信号 366。该复合光伏电压指令信号 366 经过光伏电压调节器 336 调节后,产生作用到光伏侧变流器 142 的光伏侧控制信号 166。

[0045] 图 10 所示为改进的供光伏能量转换系统执行的最大功率点追踪算法的方法 3000 一种实施方式的流程图。该方法 3000 可以编程为程序指令或者计算机软件,并保存在可以被电脑或者处理器读取的存储介质上。当该程序指令被电脑或者处理器执行时,可以实现如流程图所示的各个步骤。可以理解,电脑可读的介质可以包括易失性的和非易失性的,以任何方法或者技术实现的可移动的以及非可移动的介质。更具体言之,电脑可读的介质包括但不限于随机访问存储器,只读存储器,电可擦只读存储器,闪存存储器,或者其他技术的存储器,光盘只读存储器,数字化光盘存储器,或者其他形式的光学存储器,磁带盒,磁带,磁碟,或者其他形式的磁性存储器,以及任何其他形式的可以被用来存储能被指令执行

系统访问的预定信息的存储介质。

[0046] 在一种实施方式中,该方法 3000 可以从步骤 3002 开始执行。在步骤 3002 中,获取光伏电源 12(参阅图 1)的光伏电压反馈信号 114 和光伏电流反馈信号 112。在一种实施方式中,该光伏直流电压反馈信号 114 和光伏直流电流反馈信号 112 为直流信号,其可以由电压传感器 32 和电流传感器 28 分别测量得到。

[0047] 在步骤 3004 中,计算光伏电源 12 的反馈功率。在一种实施方式中,光伏反馈功率可以通过将在步骤 3002 中获得的光伏电压反馈信号 114 和光伏电流反馈信号 112 计算得到。

[0048] 在步骤 3006 中,确定该计算的光伏反馈功率和光伏参考功率之间的差值。在一种实施方式中,该光伏参考功率可以存储在与最大功率点追踪装置 26 相关联的存储元件中,该光伏参考功率代表希望从光伏电源 12 抽取出的功率。在一种实施方式中,在步骤 3006 所作的运算为计算该光伏反馈功率和光伏参考功率之间的差值的绝对值。

[0049] 在步骤 3008 中,判定该在步骤 3006 中所计算出的差值是否满足预定的条件标准。其中,在一种实施方式中,该步骤 3008 进一步判定在步骤 3006 中所计算出的差值的绝对值是否小于预定的阈值。如果计算出的绝对差值小于该预定的阈值,其说明当前获得的光伏电源的反馈功率跟随先前的参考功率值,并且可以进一步增加功率参考信号,以作下一步扰动。基于该判定结论,流程转向步骤 3012 执行。如果计算出的绝对差值大于该预定的阈值,其说明当前获得的光伏电源的反馈功率不能跟随先前的参考功率值,此时应当减小功率参考信号。基于该判定结论,流程转向步骤 3014 执行。

[0050] 在步骤 3012 中,参考功率信号通过增加预定的步进功率值进行更新。在一种实施方式中,该预定的步进功率值为固定步长的数值。在其他实施方式中,该预定的步进功率值还可以为变步长的数值。请参阅图 11,其中曲线 410 所示为光伏电源 12 在特定的光照和温度条件下的光伏功率和光伏电压之间的函数特性关系图。从图 11 可以看出,该曲线 410 具有一个最佳的工作点 A_5 ,也即,光伏电源 12 在该工作点 A_5 有最大的功率输出。在一种情形下,光伏电源 12 可能开始位于第一工作点 A_1 ,该第一工作点 A_1 位于曲线 410 的右方的下降部分。在该第一工作点 A_1 ,对应的光伏功率为 P_1 。由于该第一工作点 A_1 相对远离该最佳工作点 A_5 ,因此,为了减少搜寻时间,可以使用相对较大的第一步进功率值 ΔP_1 来进行功率扰动,也即,通过在当前获得的光伏功率反馈信号上增加该第一步进功率值 ΔP_1 以对参考功率信号进行更新。如箭头 412 所指示,通过第一步进功率值进行扰动后,该光伏电源 12 的工作点可以从第一工作点 A_1 移动到第二工作点 A_2 。在另外一种情形下,该光伏电源 12 可能开始工作在第三工作点 A_3 ,该第三工作点 A_3 位于曲线 410 的左方的上升部分。在该第一工作点 A_3 ,对应的光伏功率为 P_3 。由于该第三工作点 A_3 相对靠近该最佳工作点 A_5 ,因此,为了克服搜寻过程中的振荡问题并提高跟踪精度,可以使用相对较小的第二步进功率值 ΔP_2 来进行功率扰动,也即,通过在当前获得的光伏功率反馈信号增加该第二步进功率值 ΔP_2 以对参考功率信号进行更新。如箭头 414 所指示,通过第二步进功率值进行扰动后,该光伏电源 12 的工作点可以从第三工作点 A_3 移动到第四工作点 A_4 ,并进一步逼近最佳工作点 A_5 。

[0051] 在步骤 3014 中,参考功率信号通过减少预定的步进功率值进行更新。与在步骤 3012 中所描述的相类似,该预定的步进功率值可以根据实际的需求例如搜寻时间以及跟踪精度等设置为定步长数值或者变步长数值。更具体而言,该参考功率信号通过将当前获得

的光伏功率反馈信号减去该预定的步进功率值而获得。

[0052] 在步骤 3016 中,该更新后的参考功率信号被发送给步骤 3006 中,以进一步确定光伏反馈功率和光伏参考功率之间的差值。

[0053] 虽然结合特定的实施方式对本发明进行了说明,但本领域的技术人员可以理解,对本发明可以作出许多修改和变型。因此,要认识到,权利要求书的意图在于涵盖在本发明真正构思和范围内的所有这些修改和变型。

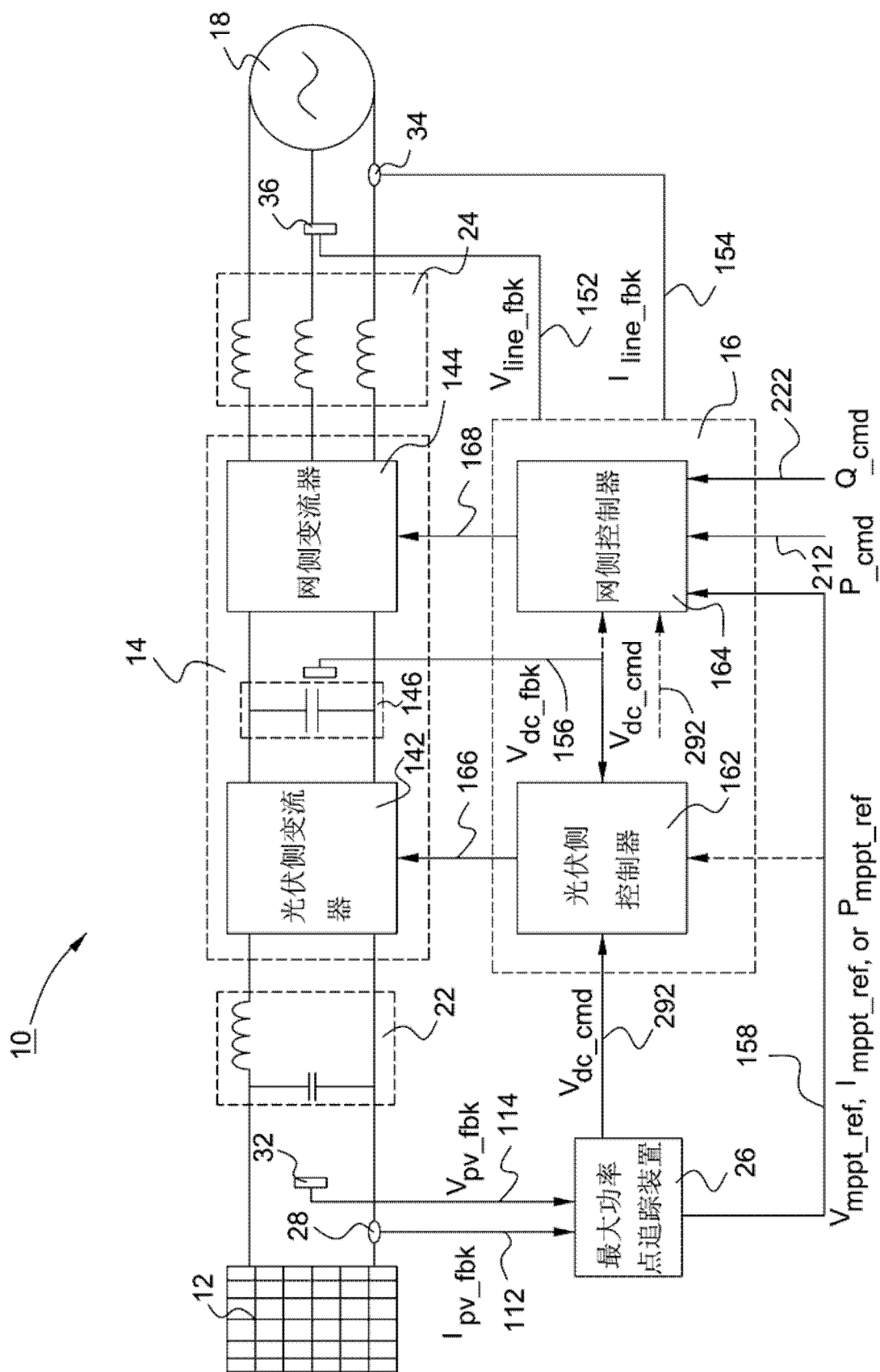


图 1

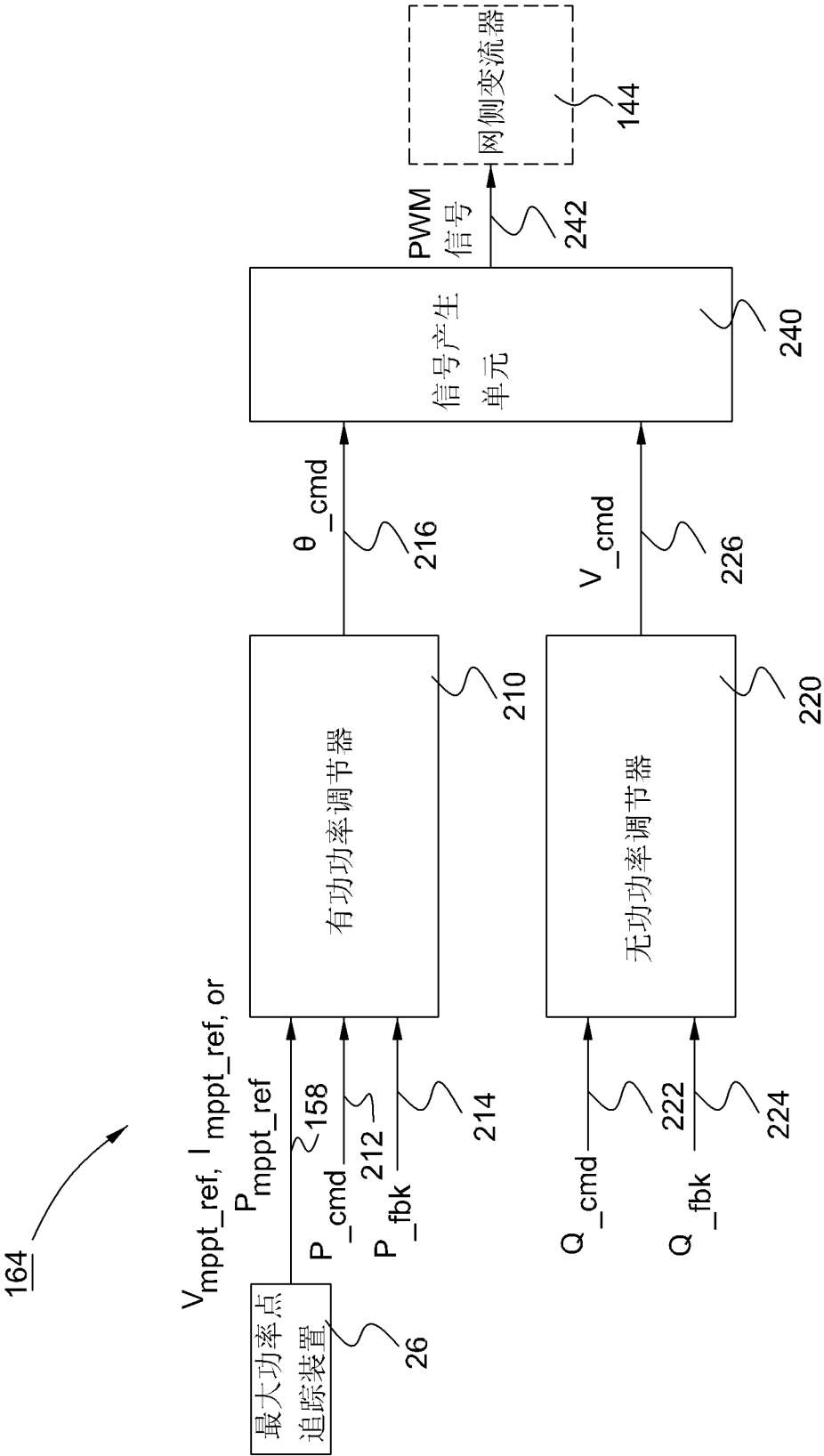


图 2

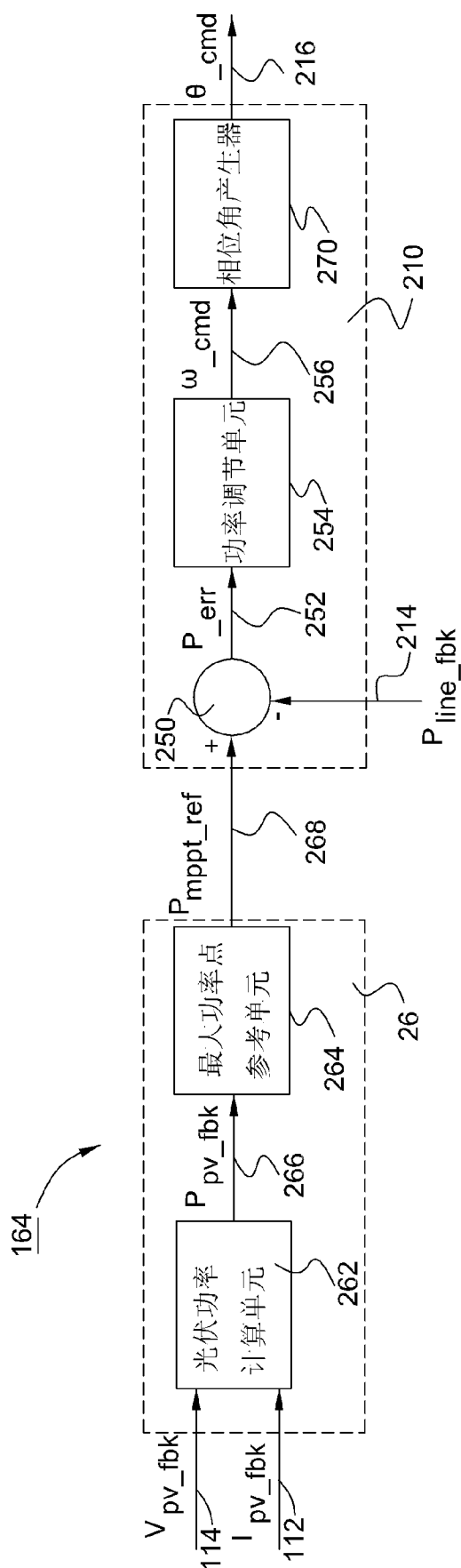


图 3

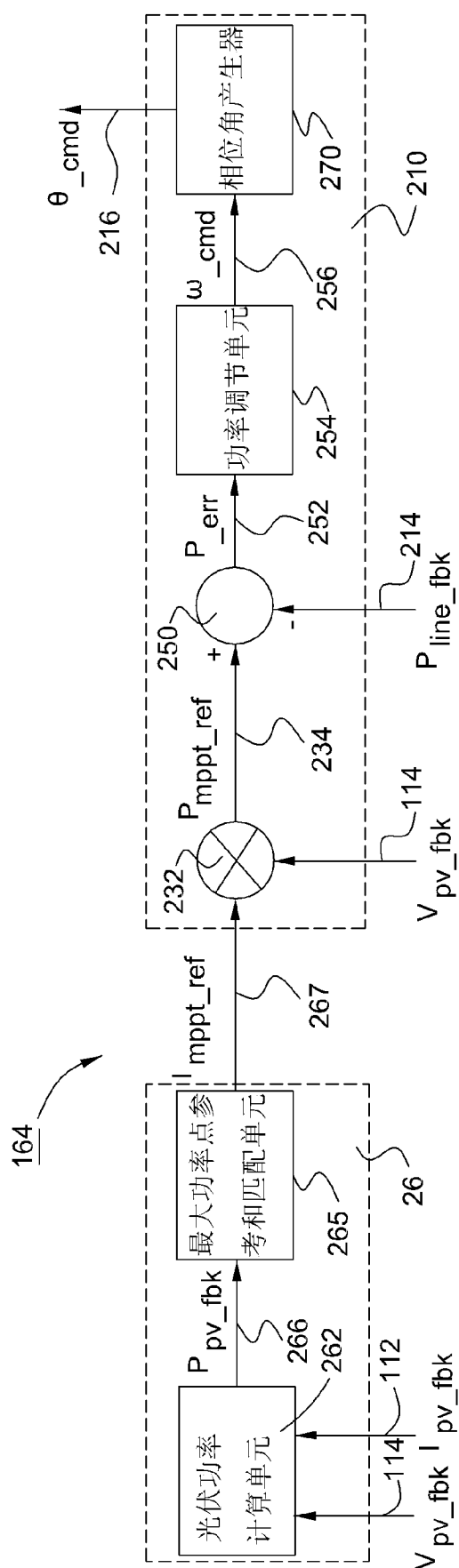


图 4

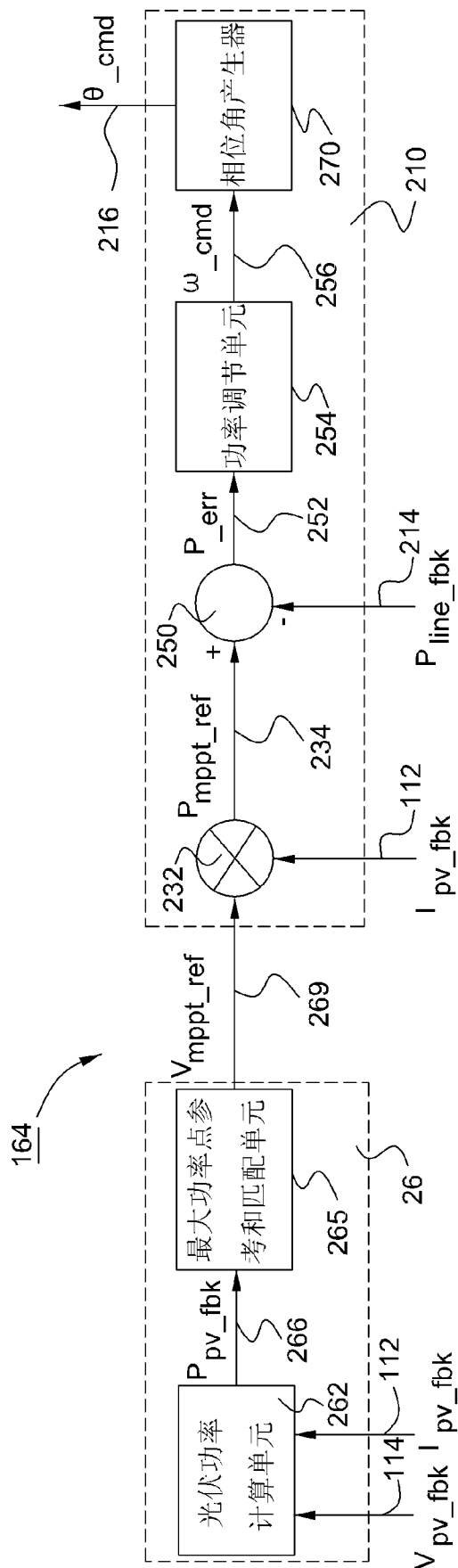


图 5

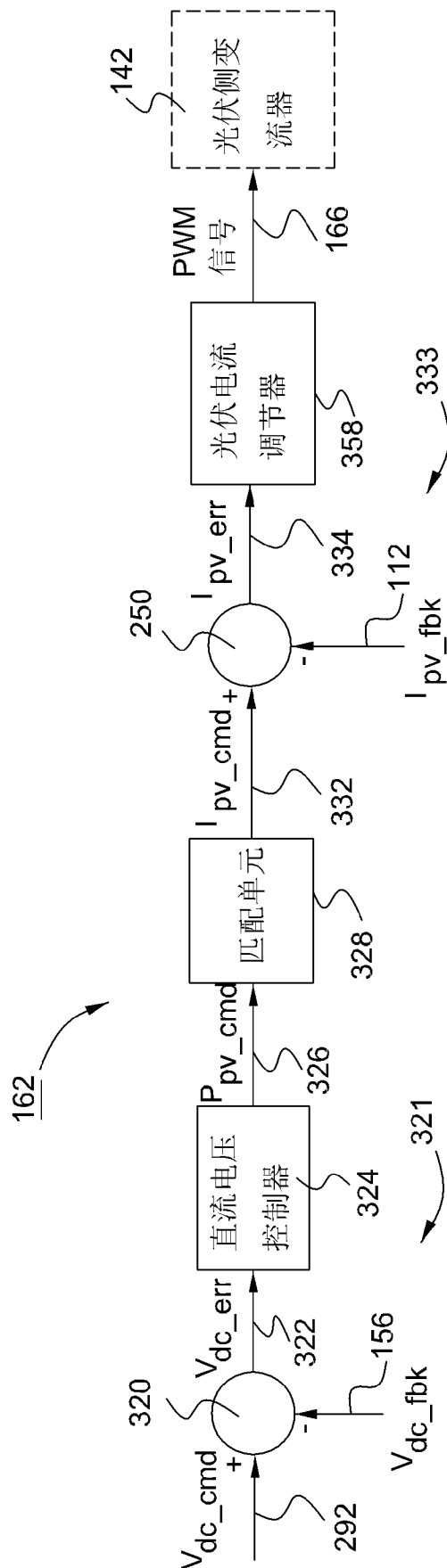


图 6

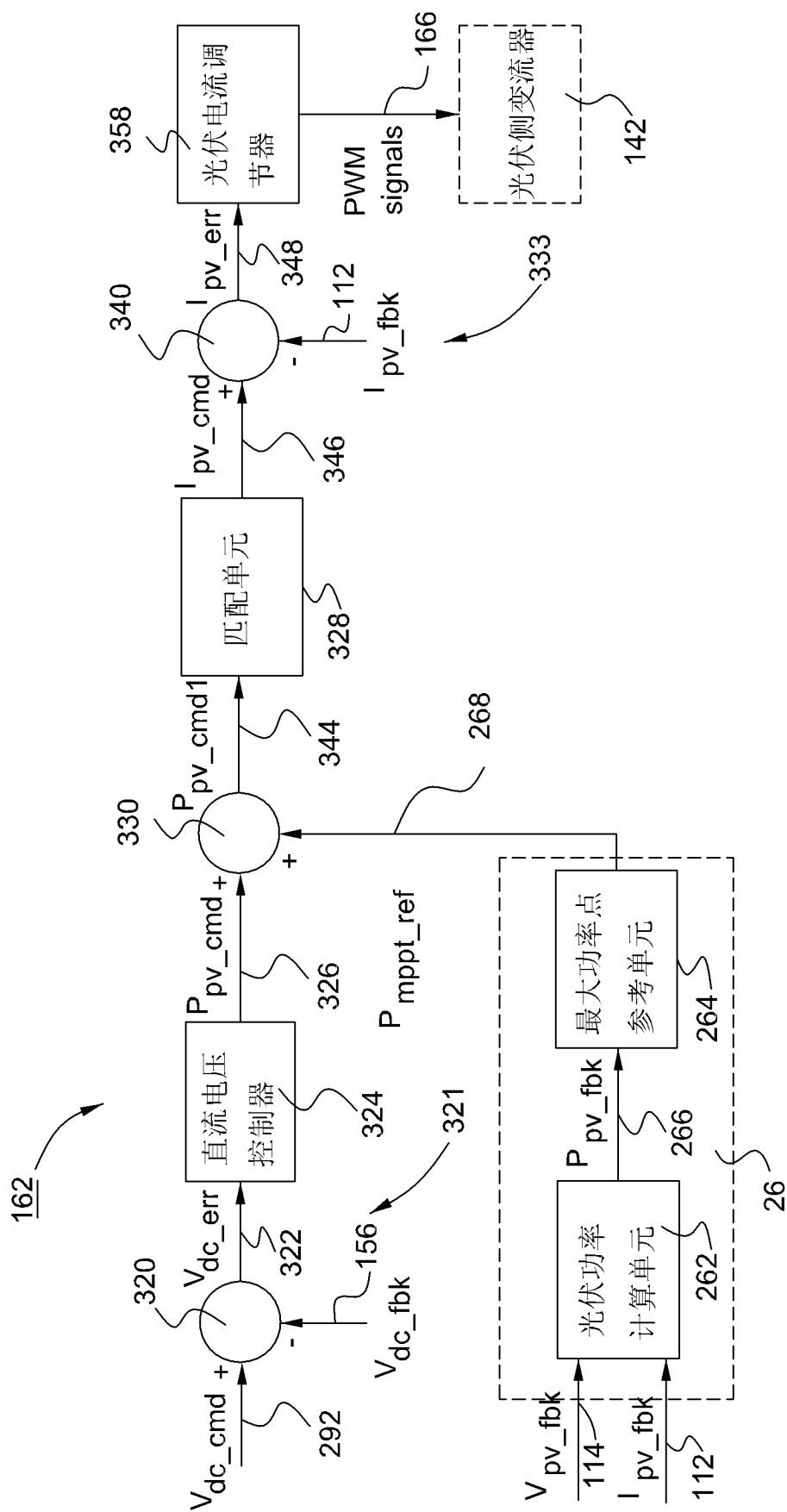


图 7

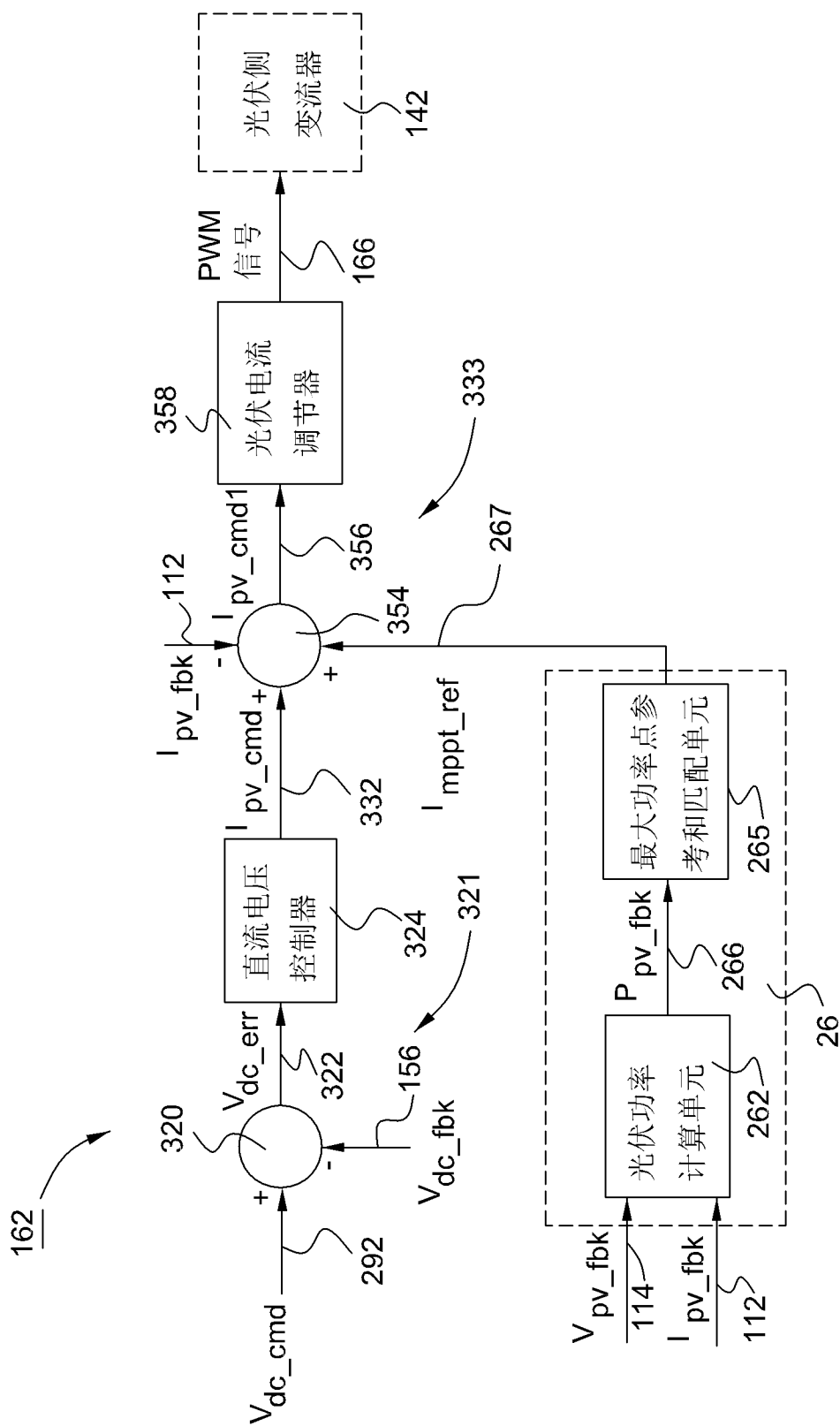


图 8

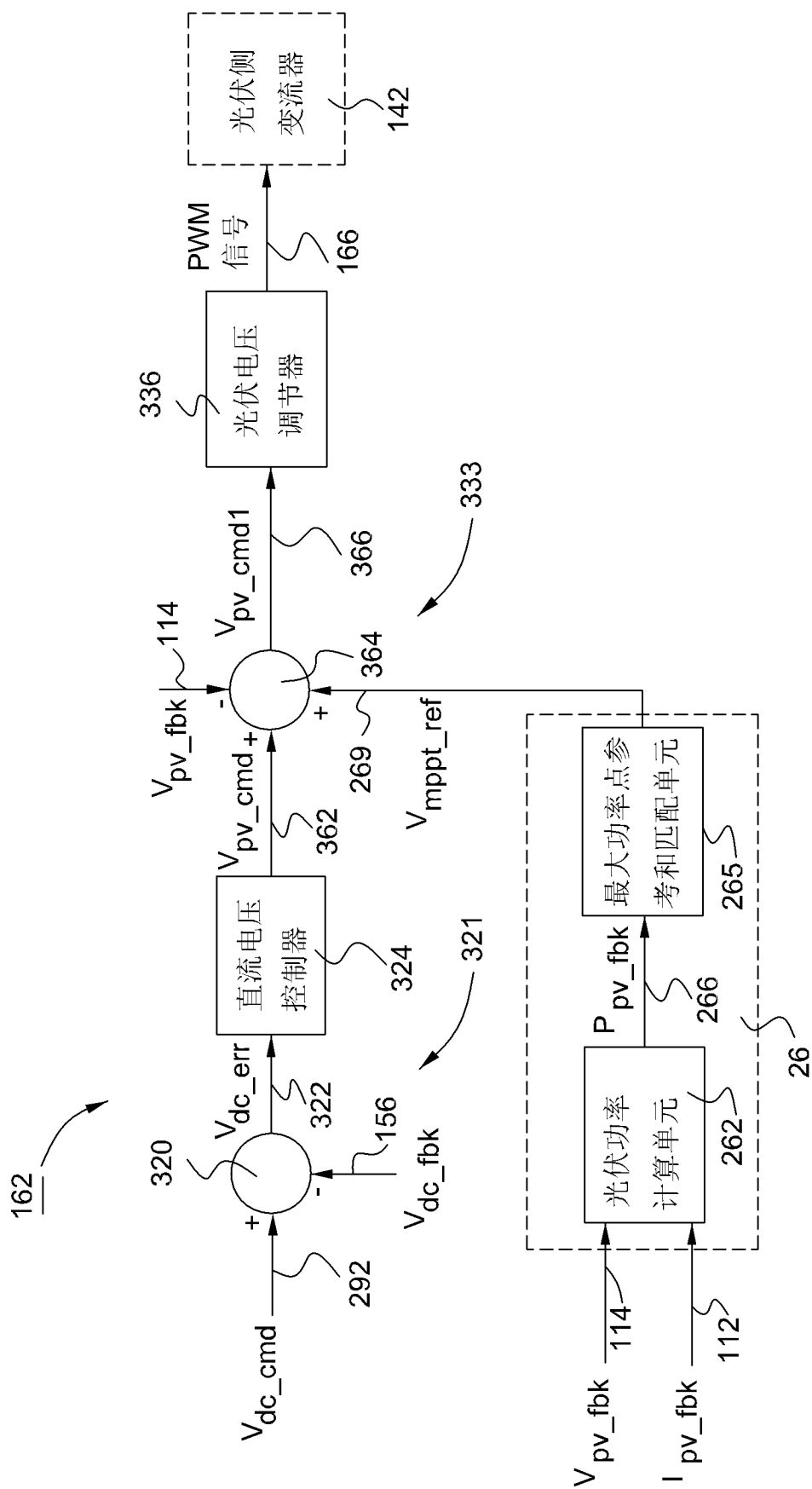


图 9

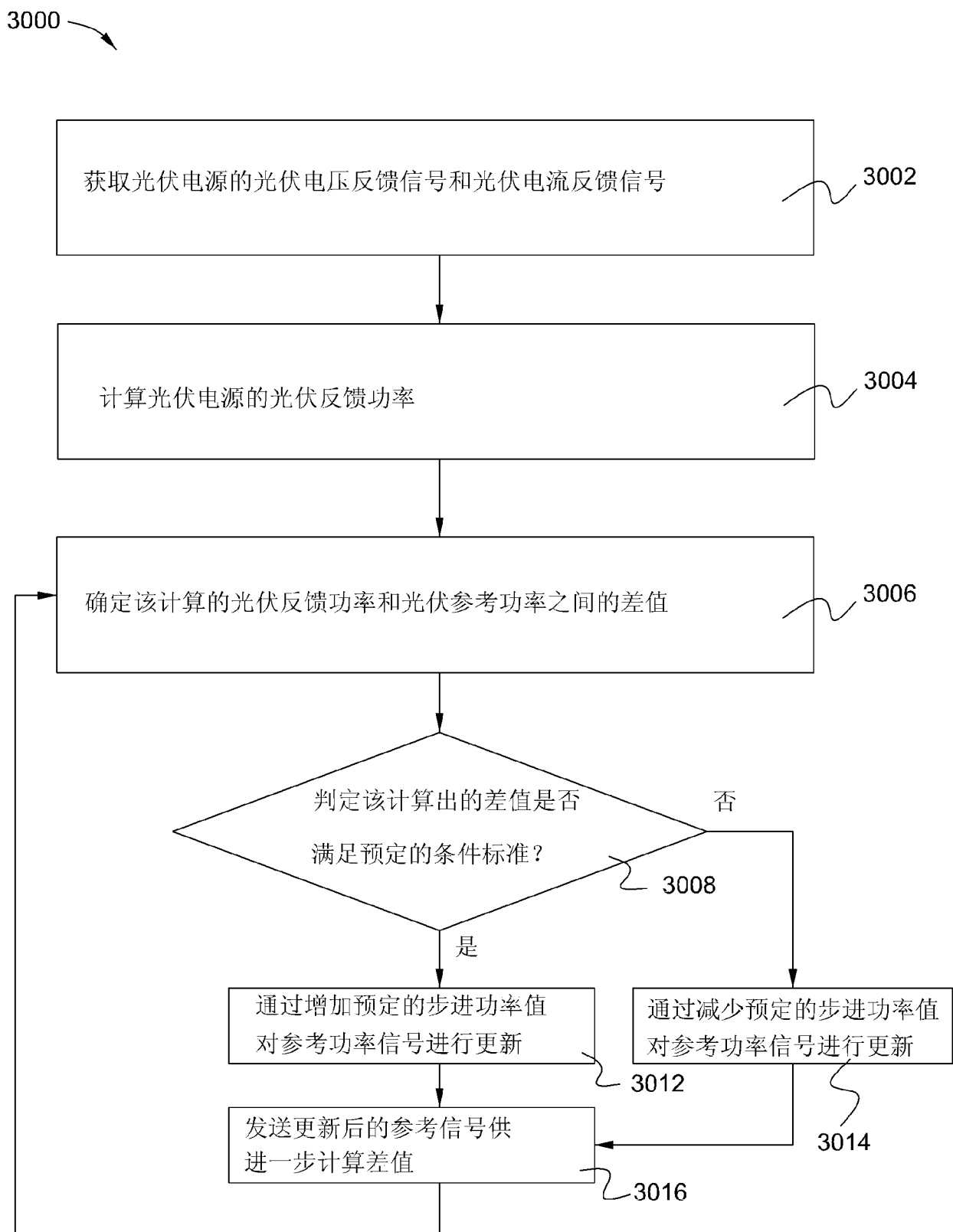


图 10

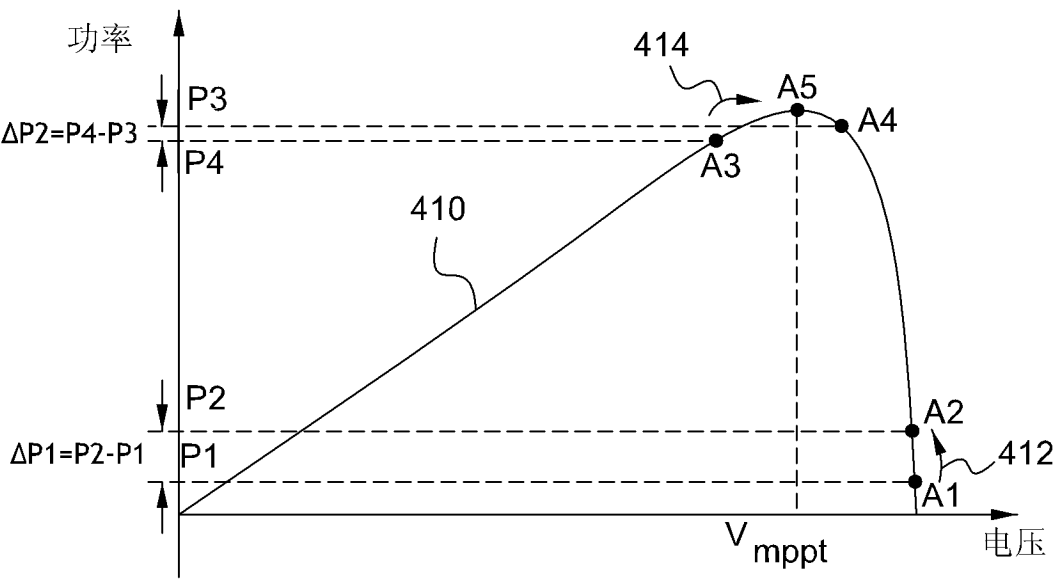


图 11