

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2016年1月7日 (07.01.2016)



(10) 国际公布号
WO 2016/000500 A1

- (51) 国际专利分类号:
H02M 7/483 (2007.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2015/079884
- (22) 国际申请日: 2015年5月27日 (27.05.2015)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201410309844.4 2014年6月30日 (30.06.2014) CN
- (71) 申请人: 阳光电源股份有限公司 (SUNGROW POWER SUPPLY CO., LTD.) [CN/CN]; 中国安徽省合肥市高新区习友路1699号, Anhui 230088 (CN)。
- (72) 发明人: 丁杰 (DING, Jie); 中国安徽省合肥市高新区习友路1699号, Anhui 230088 (CN)。 陶磊 (TAO, Lei); 中国安徽省合肥市高新区习友路1699号, Anhui 230088 (CN)。 邹海晏 (ZOU, Haiyan); 中国安徽省合肥市高新区习友路1699号, Anhui 230088 (CN)。 孙龙林 (SUN, Longlin); 中国安徽省合肥市高新区习友路1699号, Anhui 230088 (CN)。
- (74) 代理人: 北京集佳知识产权代理有限公司 (UNITALEN ATTORNEYS AT LAW); 中国北京市朝阳区建国门外大街22号赛特广场7层, Beijing 100004 (CN)。
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

[见续页]

(54) Title: CONTROL METHOD AND CONTROL DEVICE FOR PHOTOVOLTAIC INVERTER CIRCUIT

(54) 发明名称: 光伏逆变电路的控制方法及控制装置

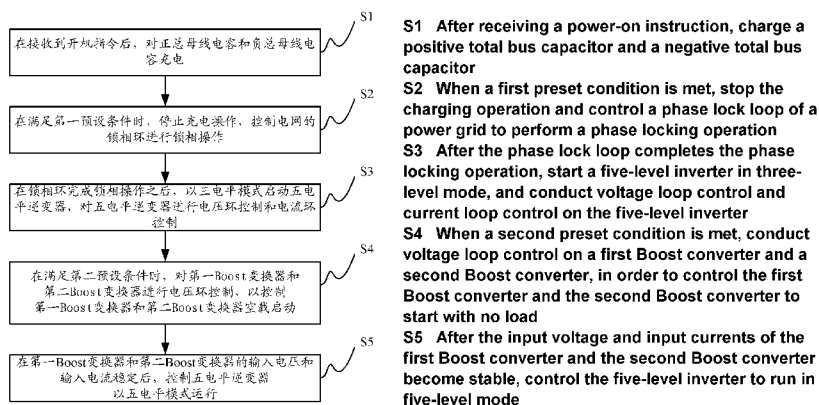


图2 / Fig. 2

(57) Abstract: A control method and control device for a photovoltaic inverter circuit, the control method comprising: after receiving a power-on instruction, charging a positive total bus capacitor and a negative total bus capacitor (S1); when a first preset condition is met, stopping the charging operation and controlling a phase lock loop of a power grid to perform a phase locking operation (S2); after the phase lock loop completes the phase locking operation, starting a five-level inverter in three-level mode, and conducting voltage loop control and current loop control on the five-level inverter (S3); when a second preset condition is met, controlling a first Boost converter and a second Boost converter to start with no load, and conducting voltage loop control on the first Boost converter and the second Boost converter (S4); after the input voltage and input currents of the first Boost converter and the second Boost converter become stable, controlling the five-level inverter to run in five-level mode (S5). The control method can reduce fluctuation of the input voltage and input power of a solar cell array in the process of starting a photovoltaic inverter circuit, enabling the starting process to be smoother.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2016/000500 A1

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种光伏逆变电路的控制方法及控制装置，该控制方法包括：在接收到开机指令后，对正总母线电容和负总母线电容充电（S1）；在满足第一预设条件时，停止充电操作，控制电网的锁相环进行锁相操作（S2）；在锁相环完成锁相操作之后，以三电平模式启动五电平逆变器，对五电平逆变器进行电压环控制和电流环控制（S3）；在满足第二预设条件时，控制第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器空载启动，对第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器进行电压环控制（S4）；在第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器的输入电压和输入电流稳定后，控制五电平逆变器以五电平模式运行（S5）。该控制方法能够降低光伏逆变电路启动过程中太阳能电池阵列的输入电压和输入功率的波动，使得启动过程更为平滑。

光伏逆变电路的控制方法及控制装置

本申请要求于 2014 年 6 月 30 日提交中国专利局、申请号为 201410309844.4、发明名称为“光伏逆变电路的控制方法及控制装置”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

5 技术领域

本发明属于光伏发电技术领域，尤其涉及光伏逆变电路的控制方法及控制装置。

背景技术

10 光伏发电技术目前已经得到广泛的应用。逆变器是光伏逆变电路中非常重要的部件。目前出现的五电平逆变器具有更低的并网电流纹波和更低的开关损耗，相较于传统的两电平或三电平逆变器具有更低的并网电流谐波失真和更高的效率。

图 1 为基于五电平逆变器构建的一种光伏逆变电路，主要包括第一 Boost
15 （升压）变换器 201、第二 Boost 变换器 202 以及逆变器组，其中逆变器组包括三个五电平逆变器 301、302 和 303。太阳能电池阵列 100 接入正输入母线和负输入母线，正输入母线相对于中点的电压为 $V1Pos$ ，中点相对于负输入母线的电压为 $V1Neg$ 。正输入母线电压经过第一 Boost 变换器 201 升压得到正总
20 母线电压，负输入母线电压经过第二 Boost 变换器 202 升压得到负总母线电压，正总母线相对于中点的电压为 $V2Pos$ ，中点相对于负总母线的电压为 $V2Neg$ 。五电平逆变器 301、302 和 303 能够输出电平值为 $V2Pos$ 、 $V1Pos$ 、0、 $-V1Neg$ 和 $-V2Neg$ 的电信号。在图 1 中，C1 为正输入母线电容，C2 为负输入母线电容，C3 为正总母线电容，C4 为负总母线电容。这里需要说明的是，当光伏逆变电路的类型不同时，其逆变器组所包含的五电平逆变器的数量也不同，例如：
25 单相光伏逆变电路的逆变器组仅包括一个五电平逆变器，两相光伏逆变电路的逆变器组包括两个五电平逆变器。也就是说，光伏逆变电路的逆变器组至少包括一个五电平逆变器。另外，五电平逆变器的结构并不限定于图 1 所示，采用其他结构的五电平逆变器也是可以的。

目前,在启动光伏逆变电路的过程中,直接以五电平模式启动五电平逆变器,导致太阳能电池阵列的输入电压和输入功率存在较大的波动,启动过程不平稳。

5 发明内容

有鉴于此,本发明实施例的目的在于提供一种光伏逆变电路的控制方法和控制装置,以降低启动过程中太阳能电池阵列的输入电压和输入功率的波动,使得启动过程更为平滑。

为实现上述目的,本发明提供如下技术方案:

- 10 一种光伏逆变电路的控制方法,所述光伏逆变电路包括第一 Boost 升压变换器、第二 Boost 变换器以及逆变器组,所述逆变器组包括至少一个五电平逆变器,所述控制方法包括:

在接收到开机指令后,对正总母线电容和负总母线电容充电;

在满足第一预设条件时,停止充电操作,控制电网的锁相环进行锁相操作;

- 15 在所述锁相环完成锁相操作之后,以三电平模式启动所述五电平逆变器,使得所述五电平逆变器能够输出电平值为 V_{2Pos} 、0 和 $-V_{2Neg}$ 的电信号,对所述五电平逆变器进行电压环控制和电流环控制;

- 20 在满足第二预设条件时,对所述第一 Boost 变换器和所述第二 Boost 变换器进行电压环控制,以控制所述第一 Boost 变换器和所述第二 Boost 变换器空载启动;

在所述第一 Boost 变换器和所述第二 Boost 变换器的输入电压和输入电流稳定后,控制所述五电平逆变器以五电平模式运行。

- 25 优选的,在上述控制方法中,所述第一预设条件包括以下任意一种:总母线电压达到第一电压阈值;或者,对所述正总母线电容和所述负总母线电容充电的时间达到第一时间阈值。

优选的,在上述控制方法中,所述第二预设条件包括以下任意一种:总母线电压达到设定值;或者,所述五电平逆变器以三电平模式运行的时间达到第二时间阈值。

优选的,在上述控制方法中,在满足第二预设条件时,还包括:对所述第一 Boost 变换器和所述第二 Boost 变换器进行电流环控制。

5 优选的,在上述控制方法中,在控制所述五电平逆变器以五电平模式运行之后,还包括:对所述第一 Boost 变换器和所述第二 Boost 变换器进行 MPPT 最大功率点追踪控制,以使得所述太阳能电池阵列输出最大功率。

本发明还公开一种光伏逆变电路的控制装置,所述光伏逆变电路包括第一 Boost 升压变换器、第二 Boost 变换器以及逆变器组,所述逆变器组包括至少一个五电平逆变器,所述控制装置包括:

10 第一控制单元,用于在接收到开机指令后,对正总母线电容和负总母线电容充电;

第二控制单元,用于在满足第一预设条件时,停止充电操作,控制电网的锁相环进行锁相操作;

15 第三控制单元,用于在所述锁相环完成锁相操作之后,以三电平模式启动所述五电平逆变器,使得所述五电平逆变器能够输出电平值为 V_{2Pos} 、0 和 $-V_{2Neg}$ 的电信号,对所述五电平逆变器进行电压环控制和电流环控制;

第四控制单元,在满足第二预设条件时,对所述第一 Boost 变换器和所述第二 Boost 变换器进行电压环控制,以控制所述第一 Boost 变换器和所述第二 Boost 变换器空载启动;

20 第五控制单元,用于在所述第一 Boost 变换器和所述第二 Boost 变换器的输入电压和输入电流稳定后,控制所述五电平逆变器以五电平模式运行。

优选的,在上述控制装置中,所述第二控制单元包括第一判断模块或者第二判断模块;所述第一判断模块用于在所述总母线电压达到第一电压阈值时,确定满足第一预设条件;所述第二判断模块用于在对所述正总母线电容和所述负总母线电容充电的时间达到第一时间阈值时,确定满足第一预设条件。

25 优选的,在上述控制装置中,所述第四控制单元包括第三判断模块或第四判断模块;所述第三判断模块用于在总母线电压达到设定值时,确定满足第二预设条件;所述第四判断模块用于在所述五电平逆变器以三电平模式运行的时间达到第二时间阈值时,确定满足第二预设条件。

优选的,上述控制装置还包括第六控制单元;所述第六控制单元在满足第

二预设条件时,对所述第一 Boost 变换器和所述第二 Boost 变换器进行电流环控制。

优选的,上述控制装置还包括第七控制单元;所述第七控制单元用于在所述第五控制单元控制所述五电平逆变器以五电平模式运行之后,对所述第一 Boost 变换器和所述第二 Boost 变换器进行 MPPT 最大功率点追踪控制,以使

得所述太阳能电池阵列输出最大功率。

由此可见,本发明的有益效果为:本发明公开的光伏逆变电路的控制方法,以三电平模式启动逆变器组中的五电平逆变器,使得五电平逆变器输出电平值为 V_{2Pos} 、0 和 $-V_{2Neg}$ 的电信号,由于五电平逆变器中与正输入母线和负输入母线连接的开关管均不动作,因此不会对太阳能电池阵列的输入电压和输入功率造成扰动;之后,控制第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器空载启动,将对太阳能电池阵列造成的功率扰动降至最低;在将五电平逆变器切换至五电平模式时,由于第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器已经启动电压环控制,因此可以降低对太阳能电池阵列的输入电压造成的扰动,相应的可以降低对太阳能电池阵列造成的功率扰动。与现有方式相比,基于本发明公开的控制方法,能够降低光伏逆变电路启动过程中太阳能电池阵列的输入电压和输入功率的波动,使得启动过程更为平滑。

附图说明

为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据提供的附图获得其他的附图。

图 1 为现有的一种光伏逆变电路的结构示意图;

图 2 为本发明公开的光伏逆变电路的一种控制方法的流程图;

图 3 为一种五电平逆变器拓扑的结构示意图;

图 4 为图 1 所示光伏逆变电路的一种具体应用场景示意图;

图 5 为对基于本发明公开的控制方法启动光伏逆变电路的过程进行仿真

获得的波形图；

图 6 为对基于现有方式启动光伏逆变电路的过程进行仿真获得的波形图；

图 7 为本发明公开的光伏逆变电路的一种控制装置的结构示意图；

图 8 为本发明公开的光伏逆变电路的另一种控制装置的结构示意图。

5

具体实施方式

下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

本发明公开一种光伏逆变电路的控制方法，以降低启动过程中太阳能电池阵列的输入电压和输入功率的波动，使得启动过程更为平滑。在本发明中，光伏逆变电路包括第一 Boost 变换器、第二 Boost 变换器以及逆变器组，逆变器组包括至少一个五电平逆变器，图 1 示出了一种光伏逆变电路的结构，其中逆变器组包括三个五电平逆变器。

参见图 2，图 2 为本发明公开的光伏逆变电路的一种控制方法的流程图。该控制方法包括：

步骤 S1：在接收到开机指令后，对正总母线电容和负总母线电容充电。

在直流侧电压和交流侧电压均满足并网条件，且逆变器无故障的情况下就可以开启逆变器组。由于五电平逆变器启动所需的直流侧电压高于太阳能电池阵列的开路电压，因此控制装置在接收到开机指令后，要对正总母线电容和负总母线电容进行充电处理，以建立总母线启动电压。

步骤 S2：在满足第一预设条件时，停止充电操作，控制电网的锁相环进行锁相操作。

该预设条件可以为以下任意一种：总母线电压达到第一电压阈值，总母线电压是指正总母线和负总母线之间的电压；或者，对正总母线电容和负总母线电容充电的时间达到第一时间阈值。这里需要说明的是，该第一时间阈值大于或等于总母线电压达到第一电压阈值所需的时间。其中，第一电压阈值略小于

交流侧的线电压峰值,交流侧指的是与五电平逆变器的交流输出端连接的滤波电路的输出端。实施中,第一电压阈值可以设置为交流侧的线电压峰值与充电过程中的系统损耗的差值。

在对正总母线电容和负总母线电容充电过程中,判断是否满足第一预设条件。当确定满足第一预设条件时,停止为正总母线电容和负总母线电容继续充电,控制电网中的锁相环启动,进行锁相操作。

步骤 S3: 在锁相环完成锁相操作之后,以三电平模式启动五电平逆变器,使得五电平逆变器输出电平值为 $V2Pos$ 、0 和 $-V2Neg$ 的电信号,对五电平逆变器进行电压环控制和电流环控制。

这里结合图 3 对以三电平模式启动五电平逆变器的过程进行说明。在图 3 所示的五电平逆变器中,仅开关管 P2、开关管 N2、开关管 P0A 和开关管 P0B 工作,而开关管 P1A、开关管 P1B、开关管 N1A 和开关管 N1B 均不动作,在这种情况下,五电平逆变器的交流输出端 AC 能够输出电平值为 $V2Pos$ 、0 和 $-V2Neg$ 的电信号。在以三电平模式启动五电平逆变器的过程中,由于五电平逆变器中与正输入母线和负输入母线连接的开关管(开关管 P1A、开关管 P1B、开关管 N1A 和开关管 N1B)均不动作,因此不会对太阳能电池阵列的输入电压和输入功率造成扰动。

步骤 S4: 在满足第二预设条件时,对第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器进行电压环控制,以控制第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器空载启动。

该第二预设条件可以为以下任意一种: 总母线电压达到设定值; 或者, 五电平逆变器以三电平模式运行的时间达到第二时间阈值, 该第二时间阈值大于或等于总母线电压达到设定值所需的时间。其中, 该设定值略低于在以三电平模式启动五电平逆变器之后、且在对五电平逆变器进行电压环控制之前, 总母线电压的采样平均值。例如, 该设定值为: 在以三电平模式启动五电平逆变器之后、且在对五电平逆变器进行电压环控制之前, 总母线电压的采样平均值的 98%~99.5%。

这里需要说明的是: 在本技术领域, Boost 变换器空载启动指的是 Boost 变换器的负载为 0 或者很低。由于太阳能电池阵列的输出电压存在波动, Boost 变换器的输入电压完全跟随太阳能电池阵列的输出电压是理想情况, Boost

变换器的输入电压与太阳能电池阵列的输出电压通常会存在很小的差异,此时 Boost 变换器的负载很低,也认为 Boost 变换器为空载启动。

由于第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器是空载启动的,因此将对太阳能电池阵列造成的功率扰动降至最低。实施中,将第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器的电压环控制的目标电压值设定为略低于太阳能电池阵列的开路电压的 1/2 的数值,就可以控制第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器空载启动。例如:将第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器的电压环控制的目标电压值设定为太阳能电池阵列的开路电压的 49%。

步骤 S5: 在第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器的输入电压和输入电流稳定后,控制五电平逆变器以五电平模式运行。

第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器的输入电压稳定,是指第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器的输入电压在单位时间内的变化量小于第一数值,第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器的输入电流稳定,是指第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器的输入电流在单位时间内的变化量小于第二数值。

这里仍结合图 3 对控制五电平逆变器以五电平模式运行进行说明。在第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器的输入电压和输入电流稳定之后,控制装置使能开关管 P1A、开关管 P1B、开关管 N1A 和开关管 N1B,在这种情况下,五电平逆变器能够输出电平值为 V2Pos、V1Pos、0、-V2Neg 和 -V1Neg 的电信号。在开关管 P1A、开关管 P1B、开关管 N1A 和开关管 N1B 开通的时刻,由于第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器已经启动电压环控制,因此对太阳能电池阵列的输入电压造成的扰动较小,相应的对太阳能电池阵列的输入功率的造成的扰动也较小。

本发明公开的光伏逆变电路的控制方法,以三电平模式启动逆变器组中的五电平逆变器,使得五电平逆变器输出电平值为 V2Pos、0 和 -V2Neg 的电信号,由于五电平逆变器中与正输入母线和负输入母线连接的开关管均不动作,因此不会对太阳能电池阵列的输入电压和输入功率造成扰动;之后,控制第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器空载启动,将对太阳能电池阵列造成的功率扰动降至最低;在将五电平逆变器切换至五电平模式时,由于第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器已经启动电压环控制,因此可以降低对太阳能电池阵列

的输入电压造成的扰动，相应的可以降低对太阳能电池阵列造成的功率扰动。与现有方式相比，基于本发明公开的控制方法，能够降低光伏逆变电路启动过程中太阳能电池阵列的输入电压和输入功率的波动，使得启动过程更为平滑。

5 实施中，可以采用预充电电路对正总母线电容和负总母线电容进行充电处理。

这里结合图 4 进行说明，图 4 为图 1 所示光伏逆变电路的一种具体应用场景示意图。在图 4 中，五电平逆变器 301、302 和 303 的交流输出端与滤波电路 400 连接，滤波电路 400 对五电平逆变器 301、302 和 303 输出的电信号进行滤波处理后送入升压变压器 600 进行升压处理，之后传输至交流电网。滤波电路 400 具体为 LCL 型滤波器。图 4 中所示的预充电电路 500 包括三个充电支路。

第一充电支路包括第一可控开关 K1、第二可控开关 K2 和第一电阻 R1。其中，第二可控开关 K2 串联在交流电网的第一相和五电平逆变器 301 的交流输出端之间，第一可控开关 K1 和第一电阻 R1 串联之后并联在第二可控开关 K2 的两端。

第二充电支路包括第三可控开关 K3、第四可控开关 K4 和第二电阻 R2。其中，第四可控开关 K4 串联在交流电网的第二相和五电平逆变器 302 的交流输出端之间，第三可控开关 K3 和第二电阻 R2 串联之后并联在第四可控开关 K4 的两端。

第三充电支路包括第五可控开关 K5、第六可控开关 K6 和第三电阻 R3。其中，第六可控开关 K6 串联在交流电网的第三相和五电平逆变器 303 的交流输出端之间，第五可控开关 K5 和第三电阻 R3 串联之后并联在第六可控开关 K6 的两端。

25 在启动充电操作之前，第一充电支路中的第一可控开关 K1 和第二可控开关 K2 处于断开状态，第二充电支路中的第三可控开关 K3 和第四可控开关 K4 处于断开状态，第三充电支路中的第五可控开关 K5 和第六可控开关 K6 处于断开状态。此时，五电平逆变器 301、302 和 303 与交流电网之间没有连接。在接收到开机指令后，控制装置控制第一可控开关 K1、第三可控开关 K3 和

第五可控开关 K5 闭合, 交流电网通过第一电阻 R1、第二电阻 R2 和第三电阻 R3 对正总母线电容 C3 和负总母线电容 C4 进行充电, 充电路径为: 交流电网-充电电路-滤波电路-与开关管 P2 反向并联的二极管-正总母线电容 C3; 交流电网-充电电路-滤波电路-与开关管 N2 反向并联的二极管-负总母线电容 C4。

5 当满足第一预设条件时, 要停止对正总母线电容 C3 和负总母线电容 C4 的充电操作。此时, 首先闭合第二可控开关 K2、第四可控开关 K4 和第六可控开关 K6, 在延时特定时间后, 再断开第一可控开关 K1、第三可控开关 K3 和第五可控开关 K5。

10 作为优选方式, 在确定满足第二预设条件的情况下, 还包括: 对第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器进行电流环控制。也就是说, 在确定满足第二预设条件的情况下, 对第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器进行电压环控制和电流环控制。通过增加对第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器的电流环控制, 能够提高光伏逆变电路的动态响应的速度。

15

另外, 在控制五电平逆变器以五电平模式运行之后, 还可以执行以下步骤: 对第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器进行 MPPT (最大功率点追踪) 控制, 以使得太阳能电池阵列输出最大功率。

20 申请人对基于本发明公开的控制方式启动光伏逆变电路的过程进行仿真, 仿真结果如图 5 所示。同时, 对基于现有方式 (直接以五电平模式启动五电平逆变器) 启动光伏逆变电路的过程进行仿真, 仿真结果如图 6 所示。在图 5 和图 6 中, 按照从上到下的顺序, 第一条曲线为桥臂电压, 桥臂电压指的是五电平逆变器的交流输出端的电压, 第二条曲线为总母线电压, 第三条曲线为网侧桥臂电流, 网侧桥臂电流指的是五电平逆变器的交流输出端输出到滤波电路的电流, 第四条曲线为太阳能电池阵列的输入电压, 第五条曲线为第一 Boost 变换器的输入电流。

25

在图 5 中, t_0 时刻, 正总母线电容和负总母线电容的预充电结束, 电网锁相完成, 五电平逆变器按照三电平模式启动; $t_0 \sim t_1$, 总母线电压由预充电电压

值缓慢爬升至设定值；t1 时刻，第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器启动；t1~t2，对第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器进行电压环控制，并且电压环控制的目标电压值略低于太阳能电池阵列的开路电压的 1/2，此时输入功率近似为 0；t2 时刻，五电平逆变器由三电平工作模式切换至五电平工作模式；t2~t3，电压环控制的目标电压值继续保持；t3 时刻，启动 MPPT 控制，启动过程结束。可见，启动过程中总母线电压和太阳能电池阵列的输入电压扰动均较小，输入功率脉动很小，启动过程平滑。

在图 6 中，t0 时刻，五电平逆变器以五电平模式启动；t1 时刻，第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器启动；t2 时刻，启动 MPPT 控制。可以看到，当第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器启动时，由于五电平逆变器纹波的存在导致输出电流瞬时不为 0，从而造成第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器相当于带载启动，造成太阳能电池阵列的输入电压和输入功率出现波动，进而引起总直流母线电压的波动。

本发明上述公开了光伏逆变电路的控制方法，相应的，本发明还公开光伏逆变电路的控制装置。在本发明中，光伏逆变电路包括第一 Boost 变换器、第二 Boost 变换器以及逆变器组，逆变器组包括至少一个五电平逆变器，图 1 示出了一种光伏逆变电路的结构，其中逆变器组包括三个五电平逆变器。

参见图 7，图 7 为本发明公开的光伏逆变电路的一种控制装置的结构示意图。该控制装置包括第一控制单元 100、第二控制单元 200、第三控制单元 300、第四控制单元 400 和第五控制单元 500。

其中：

第一控制单元 100，用于在接收到开机指令后，对正总母线电容和负总母线电容充电。由于五电平逆变器启动所需的直流侧电压高于太阳能电池阵列的开路电压，因此第一控制单元 100 在接收到开机指令后，要对正总母线电容和负总母线电容进行充电处理，以建立总母线启动电压。

第二控制单元 200，用于在满足第一预设条件时，停止充电操作，控制电网的锁相环进行锁相操作。

该预设条件可以为以下任意一种：总母线电压达到第一电压阈值，总母线

电压是指正总母线和负总母线之间的电压；或者，对正总母线电容和负总母线电容充电的时间达到第一时间阈值。这里需要说明的是，该第一时间阈值大于或等于总母线电压达到第一电压阈值所需的时间。其中，第一电压阈值略小于交流侧的线电压峰值，交流侧指的是与五电平逆变器的交流输出端连接的滤波电路的输出端。实施中，第一电压阈值可以设置为交流侧的线电压峰值与充电过程中的系统损耗的差值。

相应的，第二控制单元 200 具有不同的结构。

例如：第二控制单元 200 包括第一判断模块，该第一判断模块用于在总母线电压达到第一电压阈值时，确定满足第一预设条件。或者，第二控制单元 200 包括第二判断模块，该第二判断模块用于在对正总母线电容和负总母线电容充电的时间达到第一时间阈值时，确定满足第一预设条件。

第三控制单元 300，用于在锁相环完成锁相操作之后，以三电平模式启动五电平逆变器，使得五电平逆变器能够输出电平值为 V_{2Pos} 、0 和 $-V_{2Neg}$ 的电信号，对五电平逆变器进行电压环控制和电流环控制。

第四控制单元 400，在满足第二预设条件时，对第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器进行电压环控制，以控制第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器空载启动。

该第二预设条件可以为以下任意一种：总母线电压达到设定值；或者，五电平逆变器以三电平模式运行的时间达到第二时间阈值，该第二时间阈值大于或等于总母线电压达到设定值所需的时间。其中，该设定值略低于在以三电平模式启动五电平逆变器之后、且在对五电平逆变器进行电压环控制之前，总母线电压的采样平均值。例如，该设定值为：在以三电平模式启动五电平逆变器之后、且在对五电平逆变器进行电压环控制之前，总母线电压的采样平均值的 98%~99.5%。

相应的，第四控制单元 400 具有不同的结构。

例如：第四控制单元 400 包括第三判断模块，该第三判断模块用于在总母线电压达到设定值时，确定满足第二预设条件。或者，第四控制单元 400 包括第四判断模块，该第四判断模块用于在五电平逆变器以三电平模式运行的时间达到第二时间阈值时，确定满足第二预设条件。

第五控制单元 500, 用于在第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器的输入电压和输入电流稳定后, 控制五电平逆变器以五电平模式运行。

5 本发明公开的光伏逆变电路的控制装置, 以三电平模式启动逆变器组中的五电平逆变器, 使得五电平逆变器输出电平值为 $V2Pos$ 、0 和 $-V2Neg$ 的电信号, 由于五电平逆变器中与正输入母线和负输入母线连接的开关管均不动作, 因此不会对太阳能电池阵列的输入电压和输入功率造成扰动; 之后, 控制第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器空载启动, 将对太阳能电池阵列造成的功率扰动降至最低; 在将五电平逆变器切换至五电平模式时, 由于第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器已经启动电压环控制, 因此可以降低对太阳能电池阵列的输入电压造成的扰动, 相应的可以降低对太阳能电池阵列造成的功率扰动。
10 与现有方式相比, 基于本发明公开的控制装置, 能够降低光伏逆变电路启动过程中太阳能电池阵列的输入电压和输入功率的波动, 使得启动过程更为平滑。

实施中, 可以在控制装置中进一步设置第六控制单元 600, 如图 8 所示。
15 该第六控制单元 600 在第四控制单元 400 确定满足第二预设条件的情况下, 对第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器进行电流环控制。

另外, 还可以在控制装置中进一步设置第七控制单元 700, 如图 8 所示。该第七控制单元 700 用于在第五控制单元 500 控制五电平逆变器以五电平模式运行之后, 对第一 Boost 变换器和第二 Boost 变换器进行 MPPT 最大功率点追踪控制, 以使得太阳能电池阵列输出最大功率。
20

最后, 还需要说明的是, 在本文中, 诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来, 而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且, 术语“包
25 括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含, 从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素, 而且还包括没有明确列出的其他要素, 或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下, 由语句“包括一个……”限定的要素, 并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

本说明书中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。对于实施例公开的装置而言,由于其与实施例公开的方法相对应,所以描述的比较简单,相关之处参见方法部分说明即可。

- 5 对所公开的实施例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例,而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

权 利 要 求

1、一种光伏逆变电路的控制方法，所述光伏逆变电路包括第一 Boost 升压变换器、第二 Boost 变换器以及逆变器组，所述逆变器组包括至少一个五电平逆变器，其特征在于，所述控制方法包括：

5 在接收到开机指令后，对正总母线电容和负总母线电容充电；

在满足第一预设条件时，停止充电操作，控制电网的锁相环进行锁相操作；

在所述锁相环完成锁相操作之后，以三电平模式启动所述五电平逆变器，使得所述五电平逆变器能够输出电平值为 $V2Pos$ 、0 和 $-V2Neg$ 的电信号，对所述五电平逆变器进行电压环控制和电流环控制；

10 在满足第二预设条件时，对所述第一 Boost 变换器和所述第二 Boost 变换器进行电压环控制，以控制所述第一 Boost 变换器和所述第二 Boost 变换器空载启动；

在所述第一 Boost 变换器和所述第二 Boost 变换器的输入电压和输入电流稳定后，控制所述五电平逆变器以五电平模式运行。

15 2、根据权利要求 1 所述的控制方法，其特征在于，所述第一预设条件包括以下任意一种：

总母线电压达到第一电压阈值；

或者，对所述正总母线电容和所述负总母线电容充电的时间达到第一时间阈值。

20 3、根据权利要求 1 或 2 所述的控制方法，其特征在于，所述第二预设条件包括以下任意一种：

总母线电压达到设定值；

或者，所述五电平逆变器以三电平模式运行的时间达到第二时间阈值。

25 4、根据权利要求 3 所述的控制方法，其特征在于，在满足第二预设条件时，还包括：

对所述第一 Boost 变换器和所述第二 Boost 变换器进行电流环控制。

5、根据权利要求 4 所述的控制方法，其特征在于，在控制所述五电平逆变器以五电平模式运行之后，还包括：

对所述第一 Boost 变换器和所述第二 Boost 变换器进行 MPPT 最大功率点追踪控制, 以使得所述太阳能电池阵列输出最大功率。

6、一种光伏逆变电路的控制装置, 所述光伏逆变电路包括第一 Boost 升压变换器、第二 Boost 变换器以及逆变器组, 所述逆变器组包括至少一个五电平逆变器, 其特征在于, 所述控制装置包括:

第一控制单元, 用于在接收到开机指令后, 对正总母线电容和负总母线电容充电;

第二控制单元, 用于在满足第一预设条件时, 停止充电操作, 控制电网的锁相环进行锁相操作;

第三控制单元, 用于在所述锁相环完成锁相操作之后, 以三电平模式启动所述五电平逆变器, 使得所述五电平逆变器能够输出电平值为 $V2Pos$ 、0 和 $-V2Neg$ 的电信号, 对所述五电平逆变器进行电压环控制和电流环控制;

第四控制单元, 在满足第二预设条件时, 对所述第一 Boost 变换器和所述第二 Boost 变换器进行电压环控制, 以控制所述第一 Boost 变换器和所述第二 Boost 变换器空载启动;

第五控制单元, 用于在所述第一 Boost 变换器和所述第二 Boost 变换器的输入电压和输入电流稳定后, 控制所述五电平逆变器以五电平模式运行。

7、根据权利要求 6 所述的控制装置, 其特征在于, 所述第二控制单元包括第一判断模块或者第二判断模块;

所述第一判断模块用于在所述总母线电压达到第一电压阈值时, 确定满足第一预设条件;

所述第二判断模块用于在对所述正总母线电容和所述负总母线电容充电的时间达到第一时间阈值时, 确定满足第一预设条件。

8、根据权利要求 6 或 7 所述的控制装置, 其特征在于, 所述第四控制单元包括第三判断模块或第四判断模块;

所述第三判断模块用于在总母线电压达到设定值时, 确定满足第二预设条件;

所述第四判断模块用于在所述五电平逆变器以三电平模式运行的时间达到第二时间阈值时, 确定满足第二预设条件。

9、根据权利要求 8 所述的控制装置，其特征在于，还包括第六控制单元；
所述第六控制单元在满足第二预设条件时，对所述第一 Boost 变换器和所述
第二 Boost 变换器进行电流环控制。

10、根据权利要求 9 所述的控制装置，其特征在于，还包括第七控制单元；
5 所述第七控制单元用于在所述第五控制单元控制所述五电平逆变器以五
电平模式运行之后，对所述第一 Boost 变换器和所述第二 Boost 变换器进行
MPPT 最大功率点追踪控制，以使得所述太阳能电池阵列输出最大功率。

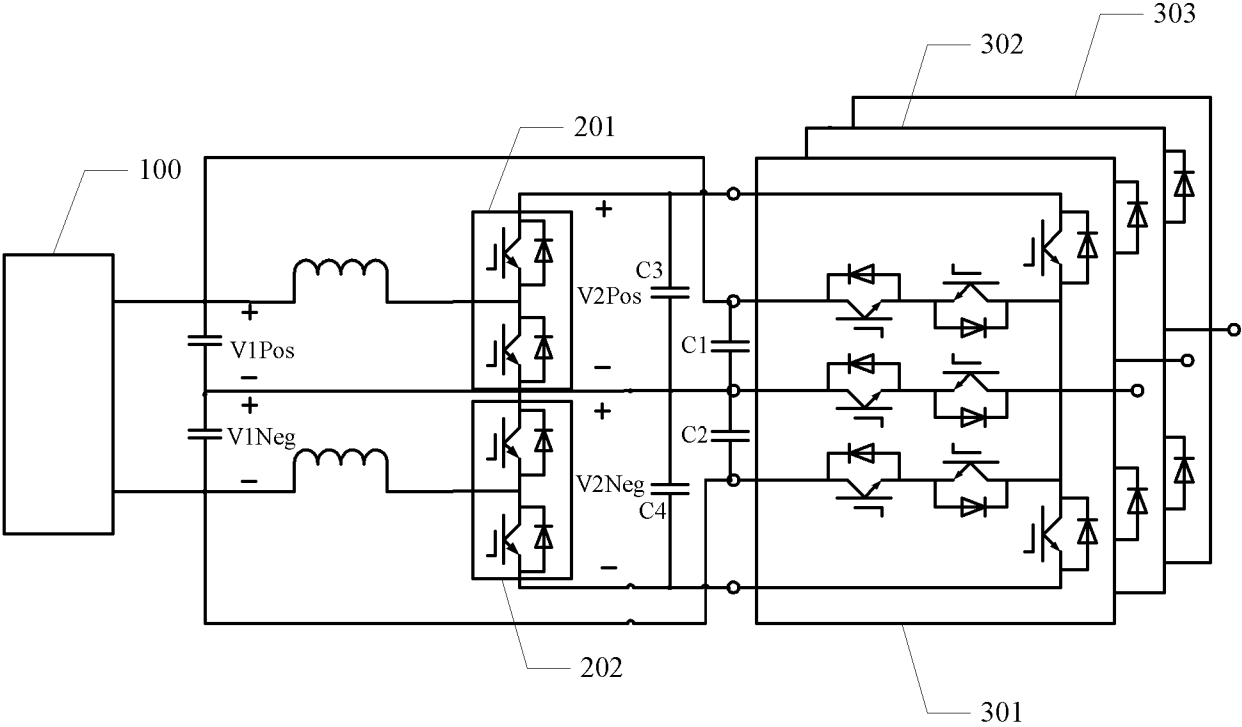


图 1

- 2/7 -

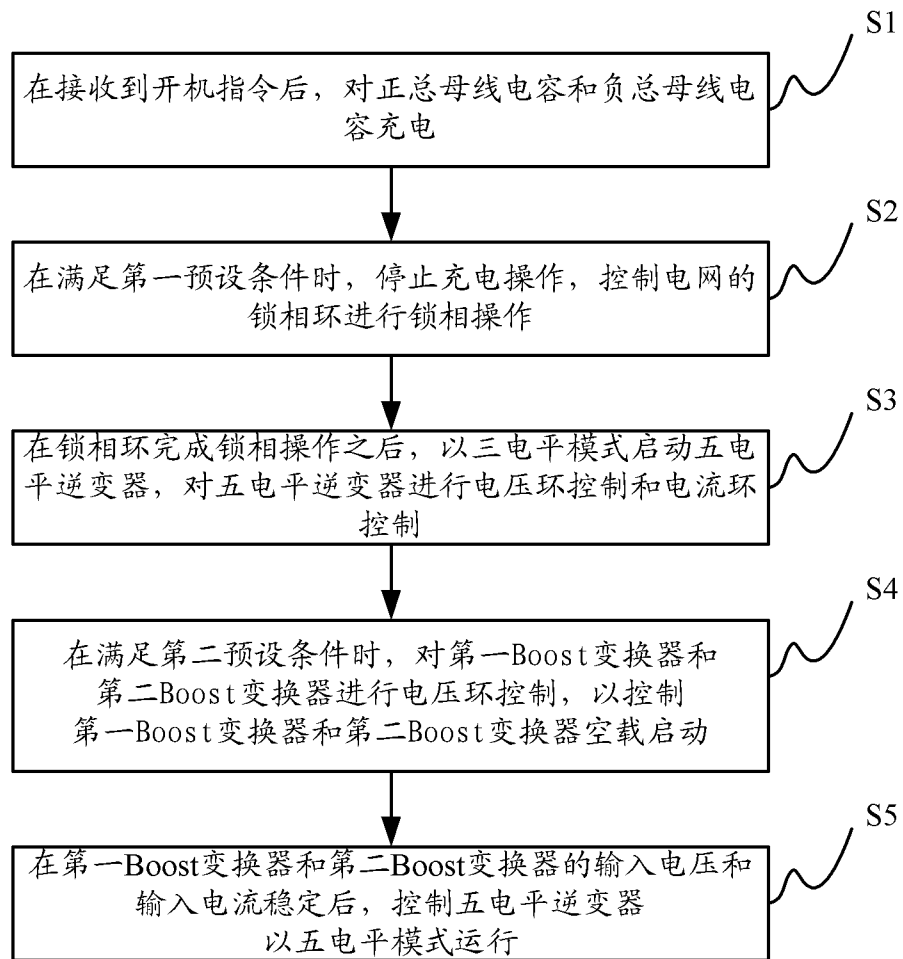


图 2

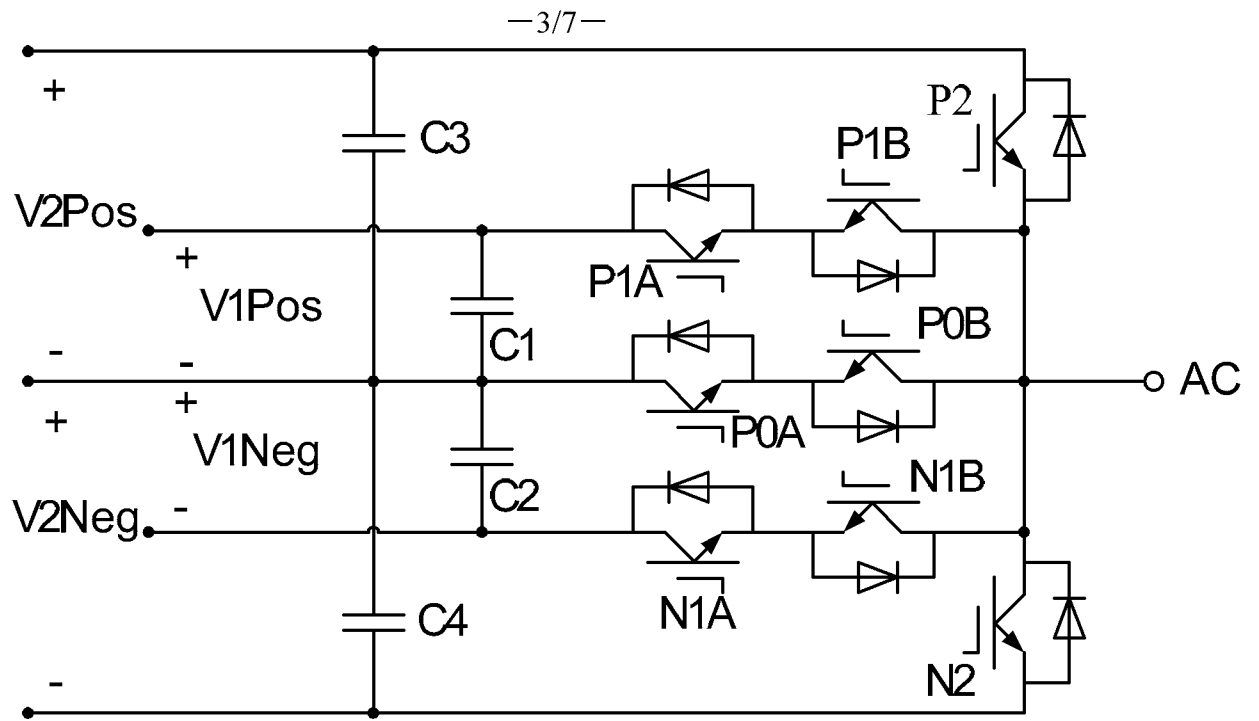


图 3

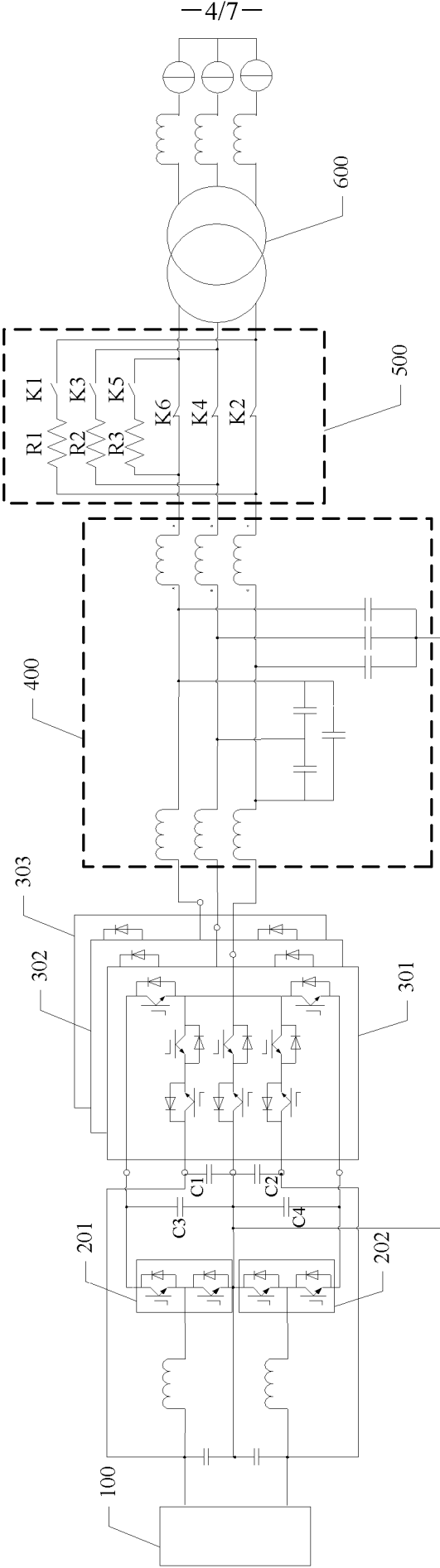


图 4

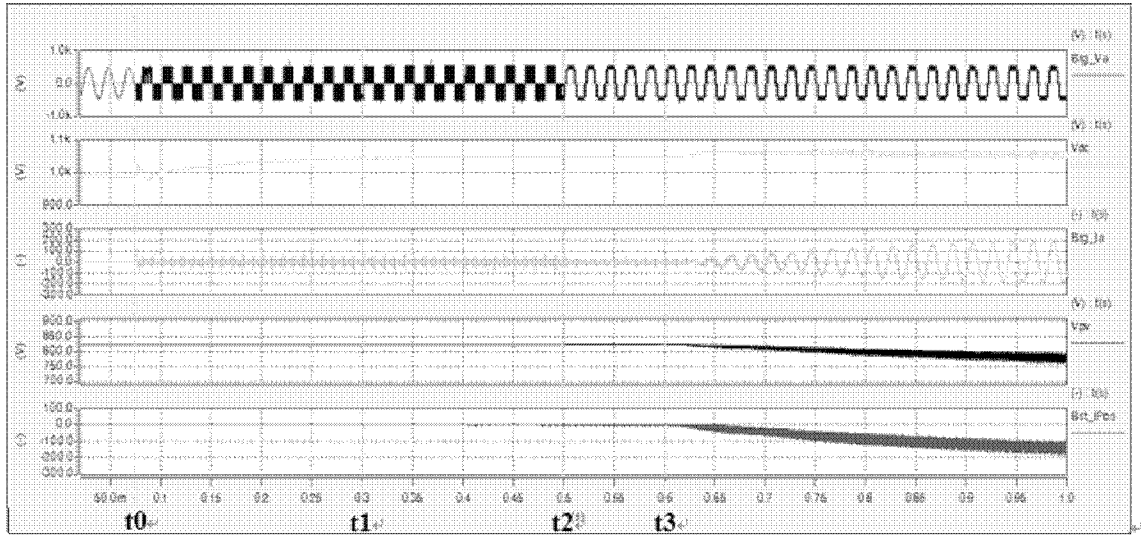


图 5

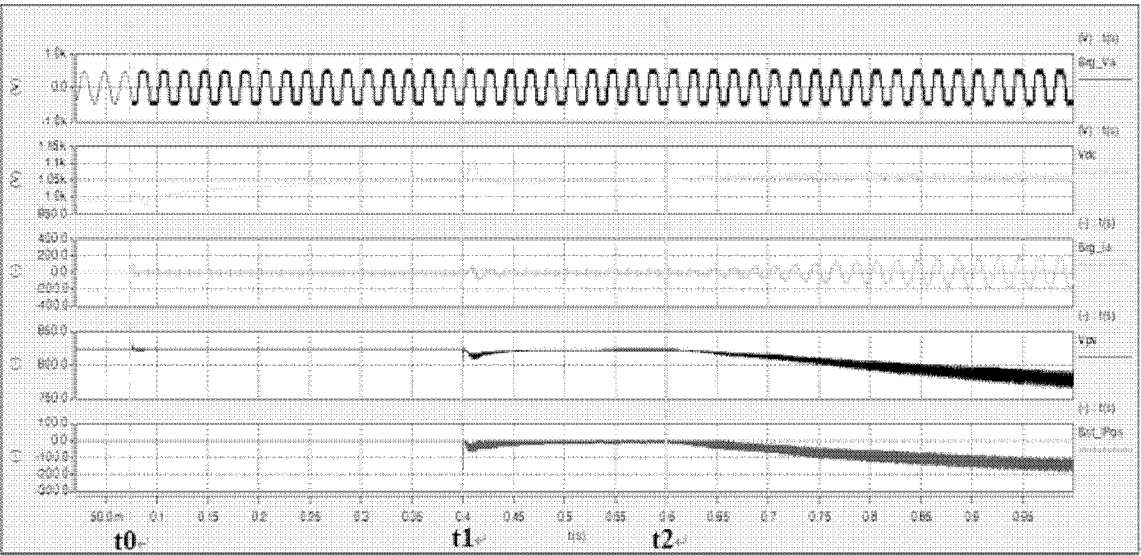


图 6

—6/7—

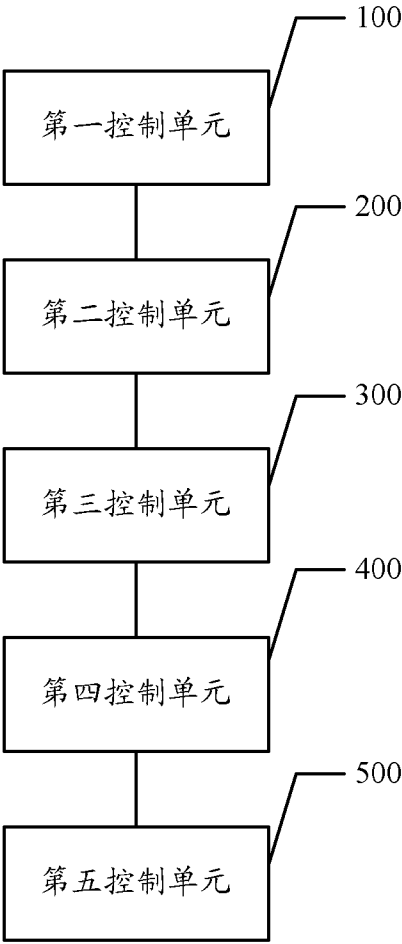


图 7

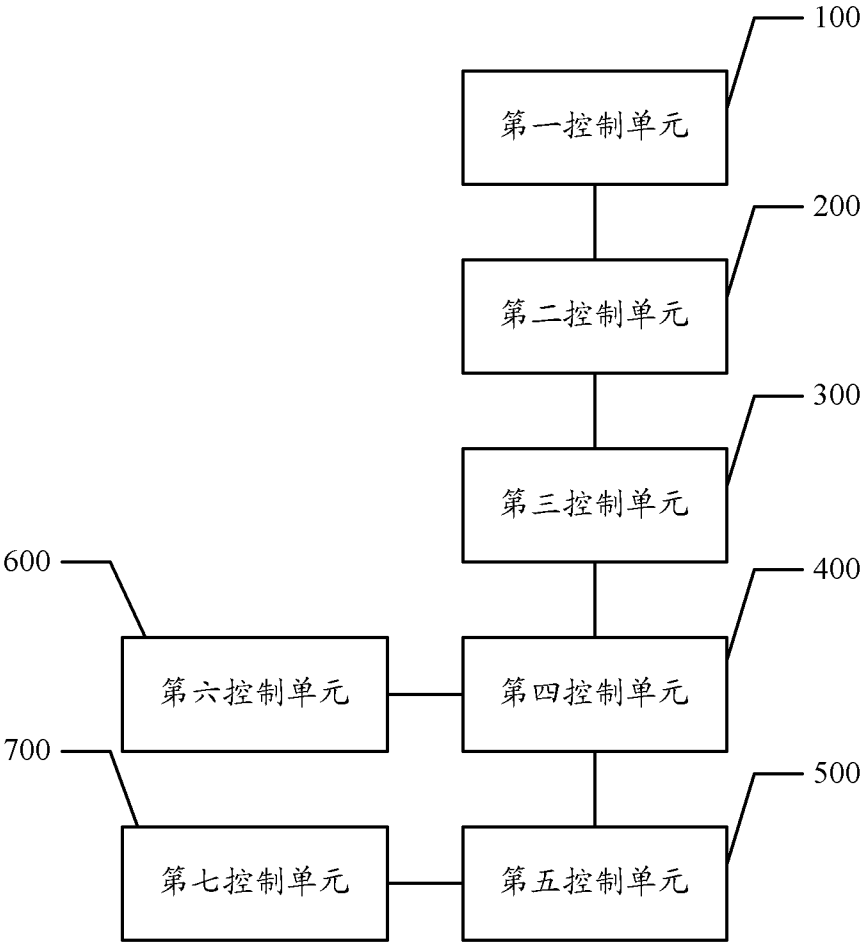


图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2015/079884

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02M 7/483 (2007.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02M; H02J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT; WPI; EPODOC; CNKI: five-level, solar energy, three-level, boost, invert+, start+, five, three, level, PV, solar, photovoltaic, control+, phase lock+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2008278968 A1 (BLOOM ENERGY CORP.), 13 November 2008 (13.11.2008), the whole document	1-10
A	CN 103532420 A (HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY), 22 January 2014 (22.01.2014), the whole document	1-10
A	CN 103023363 A (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.), 03 April 2013 (03.04.2013), description, paragraphs 0031-0068, and figure 2	1-10
PX	CN 104038088 A (SUNGROW POWER SUPPLY CO., LTD.), 10 September 2014 (10.09.2014), claims 1-10	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search

18 August 2015 (18.08.2015)

Date of mailing of the international search report

25 August 2015 (25.08.2015)

Name and mailing address of the ISA/CN:
State Intellectual Property Office of the P. R. China
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao
Haidian District, Beijing 100088, China
Facsimile No.: (86-10) 62019451

Authorized officer

WANG, Lu

Telephone No.: (86-10) **62411952**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2015/079884

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
US 2008278968 A1	13 November 2008	US 7705490 B2	27 April 2010
		US 2011062795 A1	17 March 2011
		WO 2008136977 A1	13 November 2008
CN 103532420 A	22 January 2014	None	
CN 103023363 A	03 April 2013	CN 103023363 B	08 April 2015
CN 104038088 A	10 September 2014	None	

A. 主题的分类 H02M 7/483 (2007. 01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) H02M; H02J 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNPAT; WPI; EPDOC; CNKI: 起动, 五电平, 逆变, 升压, 太阳能, 光伏, 启动, 三电平, 控制, 锁相, boost, invert+, start+, five, three, level, PV, solar, photovoltaic, control+, phase lock+		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	US 2008278968 A1 (BLOOM ENERGY CORP) 2008年 11月 13日 (2008 - 11 - 13) 全文	1-10
A	CN 103532420 A (哈尔滨工业大学) 2014年 1月 22日 (2014 - 01 - 22) 全文	1-10
A	CN 103023363 A (华为技术有限公司) 2013年 4月 3日 (2013 - 04 - 03) 说明书第0031-0068段, 附图2	1-10
PX	CN 104038088 A (阳光电源股份有限公司) 2014年 9月 10日 (2014 - 09 - 10) 权利要求1-10	1-10
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期 2015年 8月 18日		国际检索报告邮寄日期 2015年 8月 25日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 中国 传真号 (86-10)62019451		授权官员 王璐 电话号码 (86-10)62411952

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2015/079884

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
US	2008278968	A1	2008年 11月 13日	US 7705490 B2	2010年 4月 27日
				US 2011062795 A1	2011年 3月 17日
				WO 2008136977 A1	2008年 11月 13日
CN	103532420	A	2014年 1月 22日	无	
CN	103023363	A	2013年 4月 3日	CN 103023363 B	2015年 4月 8日
CN	104038088	A	2014年 9月 10日	无	