



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104184396 A

(43) 申请公布日 2014. 12. 03

(21) 申请号 201410398457. 2

(22) 申请日 2014. 08. 13

(71) 申请人 上海电机学院

地址 200240 上海市闵行区江川路 690 号

(72) 发明人 林贞汛 蒋赢 潘婷 蓝培芝  
董玉龙 唐良美 黄远康 贺翔宇

(74) 专利代理机构 上海思微知识产权代理事务  
所(普通合伙) 31237

代理人 郑玮

(51) Int. Cl.

H02S 10/20(2014. 01)

H02M 3/335(2006. 01)

G05F 1/67(2006. 01)

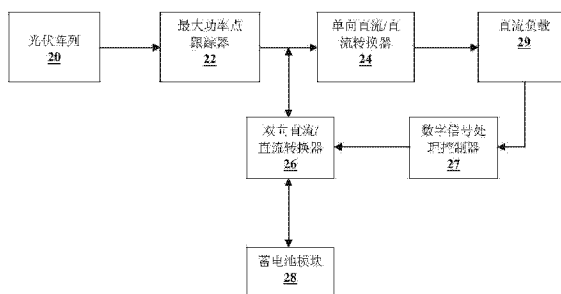
权利要求书2页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

光伏供电系统及其控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种光伏供电系统及其控制方法,用于给直流负载供电,所述光伏供电系统少包括:光伏阵列,用于将光能转换为电能;最大功率点跟踪器,用于追踪所述光伏阵列的最大功率点,并输出直流电;单向直流/直流转换器,用于将所述最大功率点跟踪器输出的直流电转换为预定电平的直流电。其中,所述光伏供电系统还包括:双向直流/直流转换器,当所述光伏阵列输出的电能大于所述直流负载所需的电能时,所述双向直流/直流转换器控制将多余的电能用于给蓄电池模块充电;当所述光伏阵列输出的电能小于所述直流负载所需的电能时,所述双向直流/直流转换器控制由所述蓄电池模块补充所述直流负载所需的电能不足的部分。



1. 一种光伏供电系统,用于给直流负载供电,所述光伏供电系统少包括:光伏阵列,用于将光能转换为电能;最大功率点跟踪器,用于追踪所述光伏阵列的最大功率点,并输出直流电;单向直流/直流转换器,用于将所述最大功率点跟踪器输出的直流电转换为预定电平的直流电;

其特征在于,所述光伏供电系统还包括:

双向直流/直流转换器,当所述光伏阵列输出的电能大于所述直流负载所需的电能时,所述双向直流/直流转换器控制将多余的电能用于给蓄电池模块充电;当所述光伏阵列输出的电能小于所述直流负载所需的电能时,所述双向直流/直流转换器控制由所述蓄电池模块补充所述直流负载所需的电能不足的部分。

2. 根据权利要求1所述的光伏供电系统,其特征在于,当所述光伏阵列输出的电能为零时,停止所述最大功率点跟踪器,所述双向直流/直流控制由所述蓄电池模块单独给所述直流负载供电。

3. 根据权利要求1所述的光伏供电系统,其特征在于,所述光伏供电系统还包括数字信号处理控制器,其一端连接所述双向直流/直流转换器,用于控制所述双向直流/直流转换器,其另一端经由反馈回路连接至所述直流负载。

4. 根据权利要求1所述的光伏供电系统,其特征在于,当所述光伏阵列输出的电能大于所述直流负载所需的电能时,所述双向直流/直流转换器工作在降压模式下。

5. 根据权利要求1所述的光伏供电系统,其特征在于,当所述光伏阵列输出的电能小于所述直流负载所需的电能时,所述双向直流/直流转换器工作在升压模式下。

6. 根据权利要求1所述的光伏供电系统,其特征在于,所述双向直流/直流转换器采用隔离型的结构。

7. 根据权利要求1所述的光伏供电系统,其特征在于,所述双向直流/直流转换器为基于推挽电路拓扑结构电流型双向直流/直流转换器。

8. 根据权利要求3所述的光伏供电系统,其特征在于,所述数字信号处理控制器根据所述光伏阵列的输出以及所述直流负载的状态控制所述双向直流/直流转换器中的功率开关管的导通与关闭,从而将所述双向直流/直流转换器切换至合适的工作模式。

9. 根据权利要求8所述的光伏供电系统,其特征在于,所述数字信号处理控制器与所述双向直流/直流转换器之间包括驱动电路。

10. 根据权利要求3所述的光伏供电系统,其特征在于,所述数字信号处理控制器进一步包括:

A/D 采样单元,用于通过采样程序用事物管理器的定时器定时地触发对所述单向直流/直流转换器的输入电压的采样操作;

计算单元,用于将检测到的所述单向直流/直流转换器的输入电压与参考电压相比较,得到偏差信号;接着,使用PI调节器、计算、限幅、比较环节得到导通比;随后,通过将所述导通比与三角波相比较;以及

PWM 信号发生器,根据所述导通比与三角波的比较结果生成PWM信号,以将所述双向直流/直流转换器切换至合适的工作模式。

11. 根据权利要求3所述的光伏供电系统,其特征在于,所述数字信号处理控制器为TMS320F2407芯片。

12. 一种光伏供电系统的控制方法,其应用于包括有双向直流 / 直流转换器的光伏供电系统,其特征在于,所述光伏供电系统的控制方法至少包括以下步骤:

执行采样操作,并判断采样值是否正常;

当所述采样值为正常时,根据相应的算法计算相关的信号参数;

当所述采样值非正常时,执行中断服务;

输出相应的 PWM 信号进而将所述双向直流 / 直流转换器切换至合适的工作模式。

13. 根据权利要求 12 所述的光伏供电系统的控制方法,其特征在于,所述根据相应的算法计算相关的信号参数的步骤进一步包括:

通过采样程序用事物管理器的定时器定时地触发对所述单向直流 / 直流转换器的输入电压的采样操作;

将检测到的所述单向直流 / 直流转换器的输入电压与参考电压相比较,得到偏差信号;

使用 PI 调节器、计算、限幅、比较环节到导通比;

通过将所述导通比与三角波相比较;以及

根据所述导通比与三角波的比较结果生成 PWM 信号,以将所述双向直流 / 直流转换器切换至合适的工作模式。

## 光伏供电系统及其控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种光能供电系统,特别是涉及一种基于双向直流/直流转换器的光伏供电系统及其控制方法。

### 背景技术

[0002] 图1所示为现有技术的一种光伏供电系统的结构框图。如图所示,该光伏供电系统用于给负载19(例如,包括辐热炉,电磁炉,冰箱等直流负载和交流负载)供电,其进一步包括光伏阵列10(例如,太阳能电池板),最大功率点跟踪器12(Maximum Power Point Tracking,简称MPPT),直流/直流转换器14,直流/交流转换器16以及电池模块18。

[0003] 该光伏供电系统的工作过程如下:由光伏阵列10输出的电经过MPPT12采集光伏阵列10输出的最大功率点,再由直流/直流转换器14将最大功率点电压升压至360V的直流电,接着再经由直流/交流转换器16逆变为220V的交流电,随即向负载19中的交流负载供电。该光伏供电系统还包括电池模块18用于在光能不足的情况下直接给直流/直流转换器14输出能量进而使负载19的供电不受环境条件影响。然而,前述这种光伏供电系统的转换环节多,且每个环节都会造成不容忽视的能量损耗,因此导致整个光伏供电系统的光电转换效率降低,此外,前述这种光伏供电系统的成本较高,不利于新能源应用的推广。

### 发明内容

[0004] 本发明要解决的技术问题在于提供一种更高效且成本较低的光伏供电系统及其控制方法。

[0005] 本发明提供了一种光伏供电系统,用于给直流负载供电,所述光伏供电系统少包括:光伏阵列,用于将光能转换为电能;最大功率点跟踪器,用于追踪所述光伏阵列的最大功率点,并输出直流电;单向直流/直流转换器,用于将所述最大功率点跟踪器输出的直流电转换为预定电平的直流电。其中,所述光伏供电系统还包括:双向直流/直流转换器,当所述光伏阵列输出的电能大于所述直流负载所需的电能时,所述双向直流/直流转换器控制将多余的电能用于给蓄电池模块充电;当所述光伏阵列输出的电能小于所述直流负载所需的电能时,所述双向直流/直流转换器控制由所述蓄电池模块补充所述直流负载所需的电能不足的部分。

[0006] 本发明的光伏供电系统还包括数字信号处理控制器,其一端连接所述双向直流/直流转换器,用于控制所述双向直流/直流转换器,其另一端经由反馈回路连接至所述直流负载。

[0007] 本发明的数字信号处理控制器进一步包括:A/D采样单元,用于通过采样程序用事物管理器的定时器定时地触发对所述单向直流/直流转换器的输入电压的采样操作;计算单元,用于将检测到的所述单向直流/直流转换器的输入电压与参考电压相比较,得到偏差信号;接着,使用PI调节器、计算、限幅、比较环节得到导通比;随后,通过将所述导通比与三角波相比较;以及PWM信号发生器,根据所述导通比与三角波的比较结果生成PWM信

号,以将所述双向直流 / 直流转换器切换至合适的工作模式。

[0008] 本发明还提供一种光伏供电系统的控制方法,其应用于包括有双向直流 / 直流转换器的光伏供电系统,所述光伏供电系统的控制方法至少包括以下步骤:执行采样操作,并判断采样值是否正常;当所述采样值为正常时,根据相应的算法计算相关的信号参数;当所述采样值非正常时,执行中断服务;输出相应的 PWM 信号进而将所述双向直流 / 直流转换器切换至合适的工作模式。

[0009] 本发明的光伏供电系统的控制方法,其中,所述根据相应的算法计算相关的信号参数的步骤进一步包括:通过采样程序用事物管理器的定时器定时地触发对所述单向直流 / 直流转换器的输入电压的采样操作;将检测到的所述单向直流 / 直流转换器的输入电压与参考电压相比较,得到偏差信号;使用 PI 调节器、计算、限幅、比较环节得到导通比;通过将所述导通比与三角波相比较;以及根据所述导通比与三角波的比较结果生成 PWM 信号,以将所述双向直流 / 直流转换器切换至合适的工作模式。

[0010] 与现有技术相比,本发明的包含有双向直流 / 直流转换器的光伏供电系统减少了逆变环节,即在最大功率追踪器输出直流电后,仅仅经由单向直流 / 直流转换器便直接传送给直流负载,因此可以大大减少整个光伏供电系统的能量损耗,从而提高光伏转换的效率。另外,本发明的包含有数字信号处理控制器的光伏供电系统满足了光伏供电系统对时间实时性的要求,采用数字控制技术取代传统的模拟控制技术,其一方面可以明显减少硬件电路的器件,提高控制的精度,另一方面消除了温漂现象,从而进一步有效地降低了光伏供电系统的成本并提高了功效。

[0011] 以下结合附图和具体实施例对本发明的技术方案进行详细的说明,以使本发明的特性和优点更为明显。

## 附图说明

[0012] 图 1 所示为现有技术的一种光伏供电系统的结构框图;

[0013] 图 2 所示为本发明一个实施例的基于双向直流 / 直流转换器的光伏供电系统的结构框图;

[0014] 图 3 所示为本发明如图 2 所示实施例的光伏供电系统中的双向直流 / 直流转换器的电路示意图;

[0015] 图 4 所示为如图 3 所示实施例的双向直流 / 直流转换器工作在降压模式下的等效电路示意图;

[0016] 图 5 所示为如图 3 所示实施例的双向直流 / 直流转换器工作在升压模式下的等效电路示意图;

[0017] 图 6 所示为本发明如图 3 所示实施例的双向直流 / 直流转换器的控制电路连接示意图;

[0018] 图 7 所示为本发明如图 6 所示实施例的 DSP 控制器的结构框图;

[0019] 图 8 所示为如图 7 所示实施例的 DSP 控制器的控制方法的流程示意图;以及

[0020] 图 9 所示为图 8 所示实施例的 DSP 控制器的中断服务的流程示意图。

## 具体实施方式

[0021] 以下将对本发明的实施例给出详细的说明。尽管本发明将结合一些具体实施方式进行阐述和说明,但需要注意的是本发明并不仅仅只局限于这些实施方式。相反,对本发明进行的修改或者等同替换,均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

[0022] 另外,为了更好的说明本发明,在下文的具体实施方式中给出了众多的具体细节。本领域技术人员将理解,没有这些具体细节,本发明同样可以实施。在另外一些实例中,对于大家熟知的方法、流程、元件和电路未作详细描述,以便于凸显本发明的主旨。

[0023] 图 2 所示为本发明一个实施例的基于双向直流/直流转换器的光伏供电系统的结构框图。本实施例的基于双向直流/直流转换器的光伏供电系统用于给直流负载 29 供电,其进一步包括光伏阵列 20(例如,太阳能电池板),MPPT22,单向直流/直流转换器 24,双向直流/直流转换器 26 以及蓄电池模块 28。其中,本发明的光伏供电系统还包括数字信号处理控制器(Digital Signal Processing,简称 DSP 控制器)27,该 DSP 控制器 27 的一端连接至双向直流/直流转换器 26,用于控制该双向直流/直流转换器 26;该 DSP 控制器 27 的另一端经由反馈回路连接至直流负载 29。

[0024] 结合图 2 和图 1 可知,相较于如图 1 所示的现有技术的光伏供电系统,本发明的包含有双向直流/直流转换器 26 的光伏供电系统减少了逆变环节,即在 MPPT22 输出直流后,仅仅经由单向直流/直流转换器 24 便直接传送给直流负载 29,因此可以大大减少整个光伏供电系统的能量损耗,从而提高光伏转换的效率。另外,本发明的包含有 DSP 控制器 27 的光伏供电系统满足了光伏供电系统对时间实时性的要求,采用数字控制技术取代传统的模拟控制技术,其一方面可以明显减少硬件电路的器件,提高控制的精度,另一方面消除了温漂现象,从而进一步有效地降低了光伏供电系统的成本并提高了功效。

[0025] 接着,请参阅图 3 至图 5。其中,图 3 所示为本发明如图 2 所示实施例的光伏供电系统中的双向直流/直流转换器 26 的电路示意图。图 4 所示为如图 3 所示实施例的双向直流/直流转换器 26 工作在降压模式下的等效电路示意图。图 5 所示为如图 3 所示实施例的双向直流/直流转换器 26 工作在升压模式下的等效电路示意图。以下将结合图 2 至图 5 详细地说明本发明的光伏供电系统的操作。

[0026] 光伏阵列 20 输出的电经由 MPPT22 升压后输出,当光照充足时,即此时光伏阵列 20 输出的电能大于直流负载 29 所需的电能时,通过控制双向直流/直流转换器 26,多余的电能将用于给蓄电池模块 28 充电,此时,双向直流/直流转换器 26 工作在降压模式下。

[0027] 参阅图 4,当双向直流/直流转换器 26 工作在降压模式下时,S1、S4 作为一对开关管,S2、S3 作为另外一对开关管接入电路。当 S1 和 S4 都导通,S2 和 S3 都关断时,变压器一次侧 N3 处的电压为正,变压器二次侧 N1 和 N2 处的感应电压都为正,此时位于变压器二次侧 N1 的支路上的二极管 D5 不导通,位于变压器二次侧 N2 的支路上的二极管 D6 导通,进而对直流负载 29(图 4 未示出)施加上正下负的电压,并对电容充电,形成回路。当 S2 和 S3 都导通,S1 和 S4 都关断时,变压器一次侧 N3 处的电压为负,变压器二次侧 N1 和 N2 处的感应电压都为负,此时位于变压器二次侧 N2 的支路上的二极管 D6 不导通,位于变压器二次侧 N1 的支路上的二极管 D5 导通,进而对直流负载 29(图 4 未示出)施加上正下负的电压,并对电容充电,形成回路。变压器一次侧的 LC 电路具有滤波功能,以防止高频电压对直流负载产生干扰,进而抑制电压尖峰的现象。在一个较佳的实施例中,变压器 T 的变比为  $n = N3/N1 = N3/N2 = 2$ ,通过 1/2 变压器的二级侧为负载提供上正下负的  $U_{in}/2$  电压,从而实

现了降压的功能。

[0028] 光伏阵列 20 输出的电经由 MPPT22 升压后输出,当光照不足时,即光伏阵列 20 输出的电能不能满足直流负载 29 所需要的电能时,通过控制双向直流 / 直流转换器 26,不足的部分由蓄电池模块 28 通过双向直流 / 直流转换器 26 汇集,再通过单向直流 / 直流转换器 24 一起给直流负载 29,补充所需要的电能,此时双向直流 / 直流转换器 26 工作在升压模式下。

[0029] 参阅图 5,当双向直流 / 直流转换器 26 工作在升压模式下时,变压器推挽侧的 S5、S6 作为一对开关管,由于变压器推挽侧连接至光伏阵列 20(图 5 未示出),电压不太稳定,因此需要在变压器推挽侧串联接入一个电感。当 S5 导通,S6 关断时,变压器一次侧 N1 处的电压为正,变压器二次侧 N3 处的感应电压为正,于是变压器二次侧 N3 处连接的二极管 D2、D3 作为整流二极管导通工作,为直流负载(图 5 未示出)提供上正下负的电压,同时为电容充电,形成一个回路。当 S5 关断,S6 导通时,变压器一次侧 N2 出的电压为负,变压器二次侧 N3 处的感应电压为负,于是变压器二次侧 N3 处连接的二极管 D4、D1 作为整流二极管导通工作,为直流负载(图 5 未示出)提供上正下负的电压,同时为电容充电,形成一个回路。由于变压器推挽侧有电感的存在,因此在 S5 和 S6 的占空比大于 50%。在一个较佳的实施例中,变压器 T 变比为  $n = N3/N1 = N3/N2 = 2$ ,则变压器二次侧为负载提供上正下负的  $2U_{in}$  电压,从而实现了升压的作用。

[0030] 除了图 4 所示的降压模式以及图 5 所示的升压模式之外,当在晚上或者阴雨天的时候,光伏阵列 20 输出的电能为零时,此时 MPPT22 停止工作,通过控制双向直流 / 直流转换器 26 用蓄电池模块 28(例如,48V 的蓄电池模块)单独给直流负载 29 提供电能。由于双向直流 / 直流转换器 26 的输出电压与蓄电池模块 28 的输出电压等级差比较大,在一个较佳的实施例中,双向直流 / 直流转换器 26 采用隔离型的结构;此外,由于反激式双向直流 / 直流转换器具有结构简单、成本比较低以及瞬态响应较快等优点,因此,在一个较佳的实施例中,双向直流 / 直流转换器 26 为基于推挽电路拓扑结构电流型双向直流 / 直流转换器。

[0031] 图 6 所示为本发明如图 3 所示实施例的双向直流 / 直流转换器 26 的控制电路连接示意图。如图 6 所示,DSP 控制器 27 根据光伏阵列 20 的输出以及直流负载 29 的状态控制双向直流 / 直流转换器 26 中的功率开关管 S1 至 S6 的导通与否,从而将双向直流 / 直流转换器切换至合适的工作模式,DSP 控制器 27 与双向直流 / 直流转换器 26 之间还可以进一步包括驱动电路 25。在一个较佳的实施例中,该 DSP 控制器 27 可以是 TMS320F2407 芯片。进一步地,该 DSP 控制器 27 进一步包括 A/D 采样单元 270,计算单元 272 以及 PWM 信号发生器 274。

[0032] 接着,请参阅图 7 至图 9。图 7 所示为本发明如图 6 所示实施例的 DSP 控制器 27 的结构框图。图 8 所示为如图 7 所示实施例的 DSP 控制器 27 的控制方法的流程示意图。图 9 所示为图 8 所示实施例的 DSP 控制器 27 的中断服务的流程示意图。以下结合图 7 至图 9 详细地说明如图 6 所示实施例的 DSP 控制器 27 的操作。

[0033] DSP 控制器 27 在开始操作之后执行步骤 S10。在步骤 S10 中,执行采样操作,并判断采样值是否正常。在一个实施例中,DSP 控制器 27 中的 A/D 采样单元 270 通过采样程序用事物管理器的定时器定时地触发对单向直流 / 直流转换器 24 的输入电压  $U_2$  的采样操作,并判断采样值是否正常,若正常,则执行步骤 S12,若不正常,则执行步骤 S14。在一个实施

例中, A/D 采样单元 270 在采样时采用级联模式, 一次做 16 个转换, 转换通道分别为 0-15。转换完成后, 在 DSP 控制器 27 的中断服务子程序中读出转换结果, 该中断服务子程序完成一次 A/D 采样。

[0034] 在步骤 S12 中, 根据相应的算法计算相关的信号参数。在一个实施例中, 首先, DSP 控制器 27 中的计算单元 272 将检测到的单向直流 / 直流转换器 24 的输入电压  $U_2$  与参考电压  $U_3$  (例如, 输入电压期望值) 相比较, 得到偏差信号  $e$ ; 接着, 通过计算单元 272 中的 PI 控制单元 2720 使用 PI 调节器、计算、限幅、比较环节得到导通比  $\alpha$ 。

[0035] 在步骤 S14 中, 执行中断服务。下文将结合图 9 对一个实施例进行详细地说明。

[0036] 在步骤 S16 中, 生成 PWM 信号, 以将双向直流 / 直流转换器切换至合适的工作模式。在一个实施例中, 通过将计算得到的导通比  $\alpha$  与计算单元 272 中的比较器 2722 产生三角波相比较, 生成驱动 PWM 信号, 进而控制单向直流 / 直流转换器 24 的输入电压。更详细地说, 经过以上步骤, 生成的 PWM 有两种情况: ①当测得  $U_2$  小于  $U_3$ , 说明光伏阵列 20 不能满足直流负载 29 所需要的电能, DSP 控制器 27 将生成占空比大于 50% 的 PWM 信号, 从而使光伏供电系统的双向直流 / 直流转换器 26 工作在升压模式; ②当测得  $U_2$  大于  $U_3$ , 说明光伏阵列 20 产生的电能大于直流负载 27 所需要的电能, DSP 控制器 27 将生成占空比小于 50% 的 PWM 信号, 从而使光伏供电系统的双向直流 / 直流转换器 26 工作在降压模式。

[0037] 图 9 所示, 进入 DSP 控制器 27 的中断服务之后进一步包括如下步骤: 在步骤 S20 中, 进行电流电压采样; 接着, 在步骤 S22 中, 执行运行控制; 随后, 在步骤 S24 中, 进行电流 PI 调节; 最后, 在步骤 S26 中, 调节 PWM 信号的占空比。

[0038] 上文中具体实施方式和附图仅为本发明之常用实施例。显然, 在不脱离权利要求书所界定的本发明精神和发明范围的前提下可以有各种增补、修改和替换。本领域技术人员应该理解, 本发明在实际应用中可根据具体的环境和工作要求在不背离发明准则的前提下在形式、结构、布局、比例、材料、元素、组件及其它方面有所变化。因此, 在此披露之实施例仅用于说明而非限制, 本发明之范围由后附权利要求及其合法等同物界定, 而不限于此前之描述。



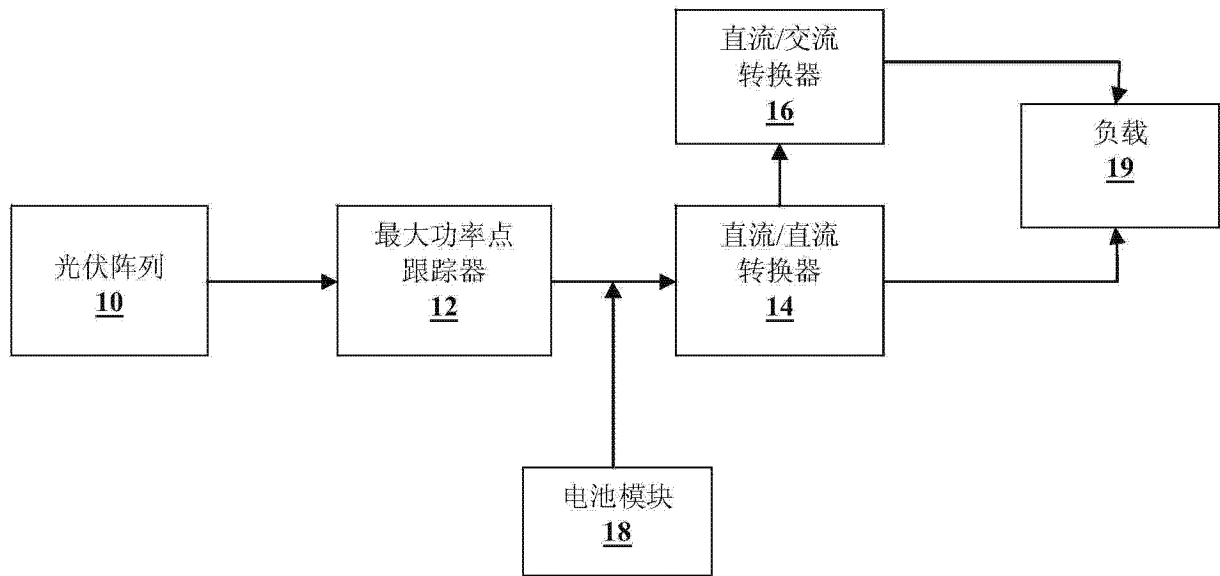


图 1

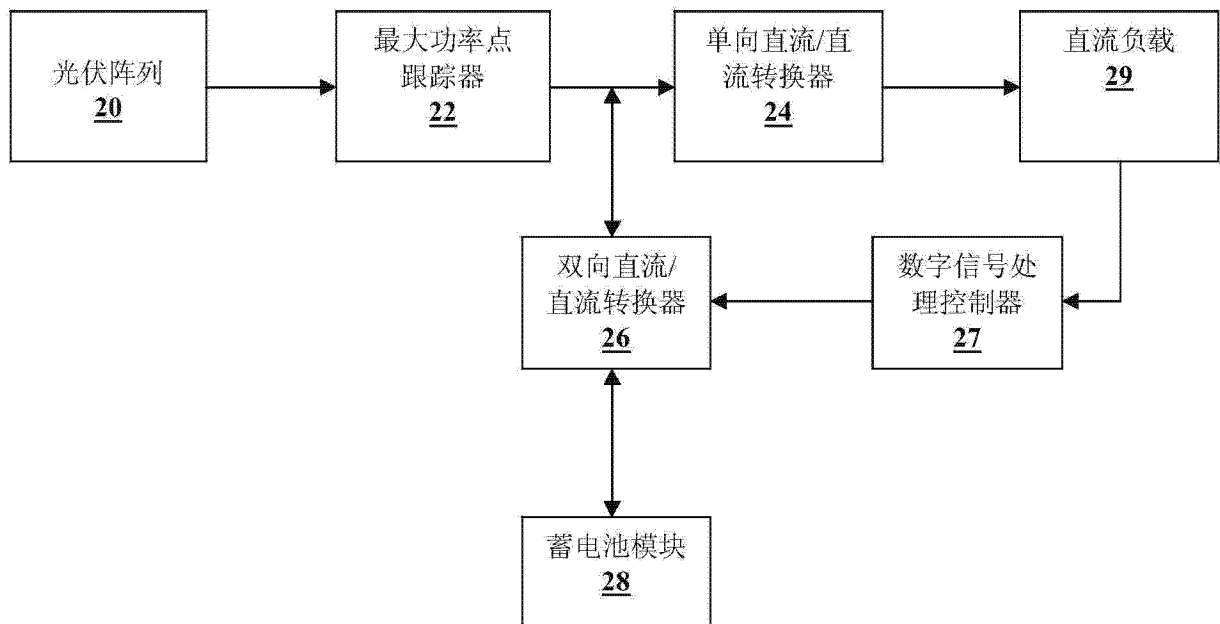


图 2

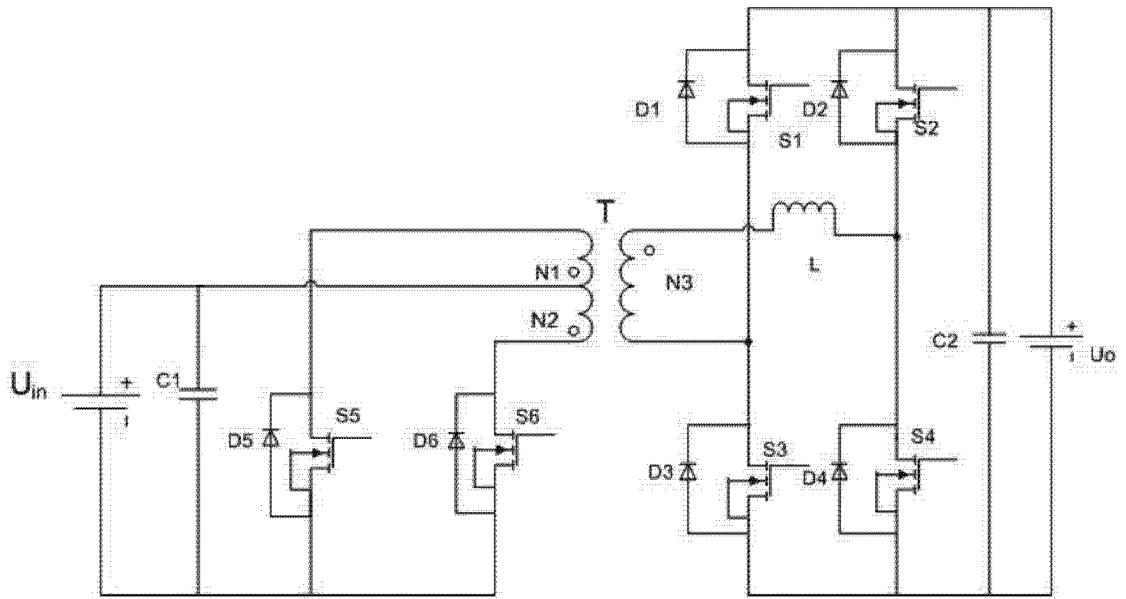


图 3

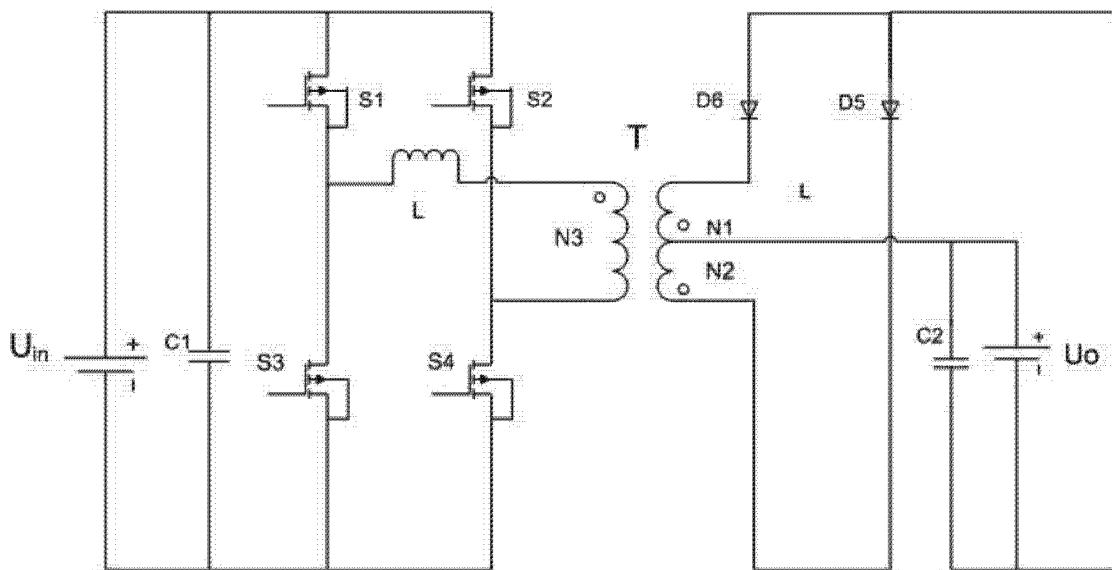


图 4

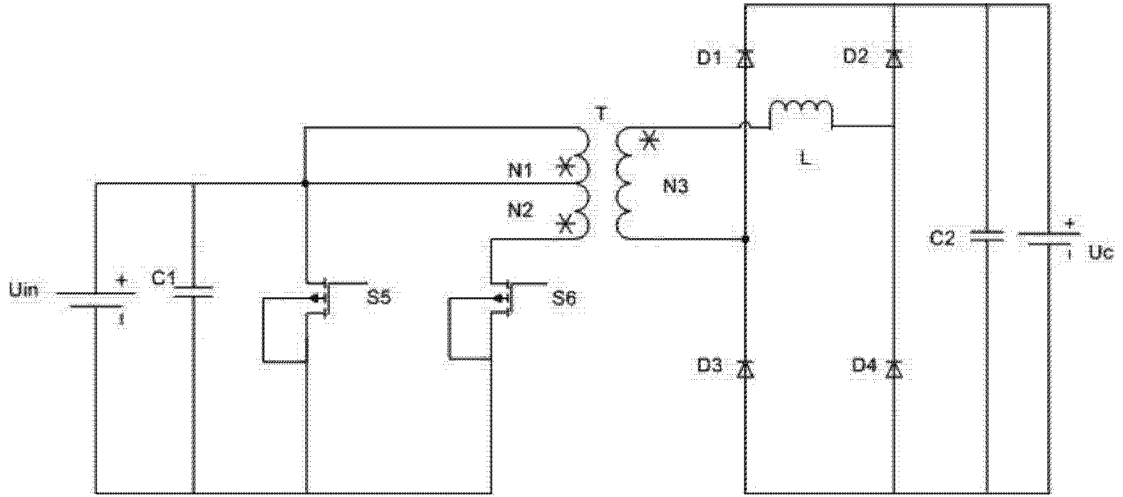


图 5

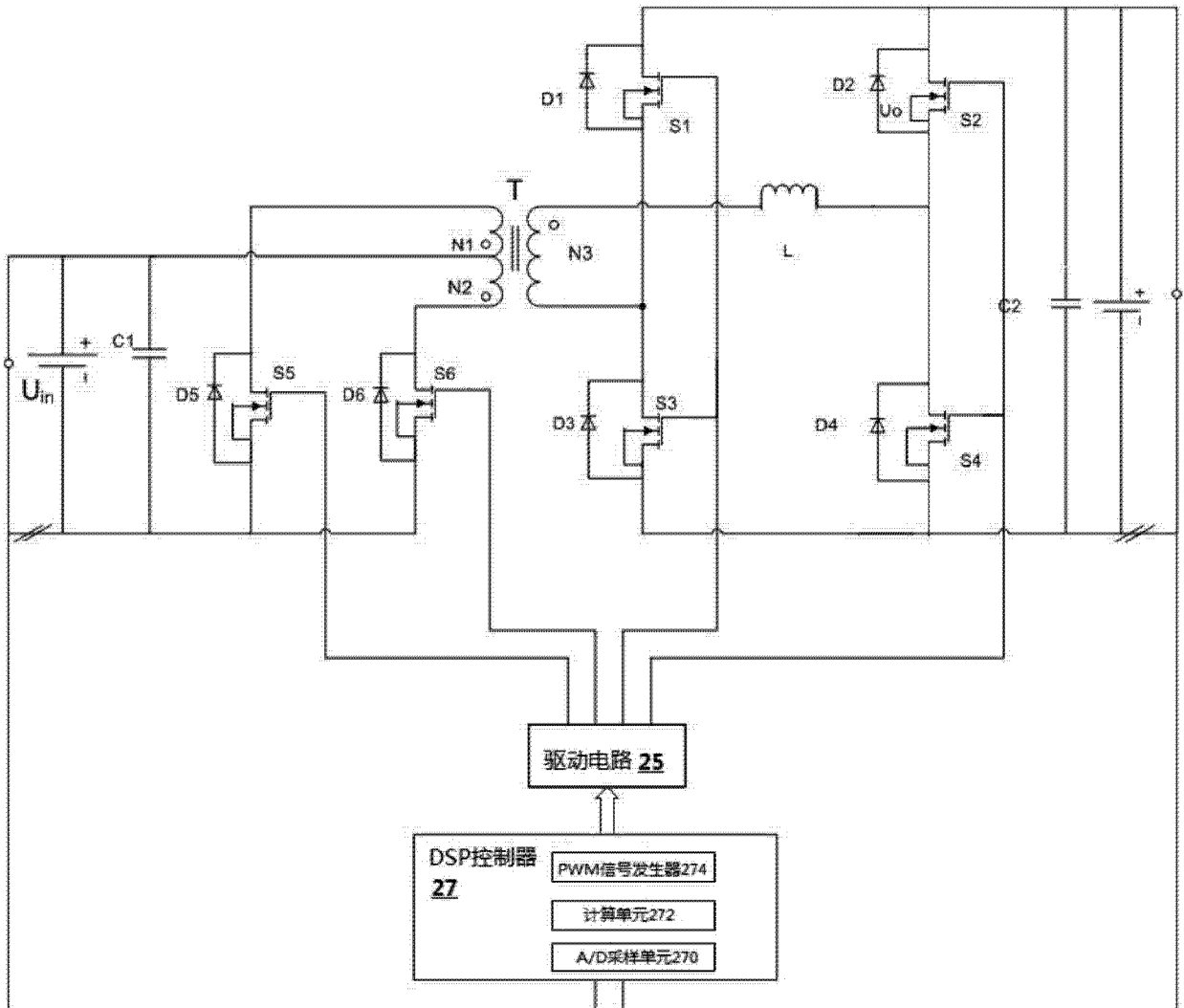


图 6

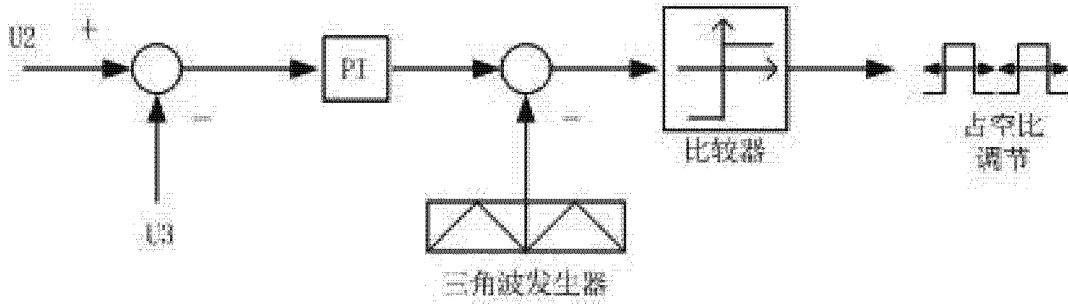


图 7

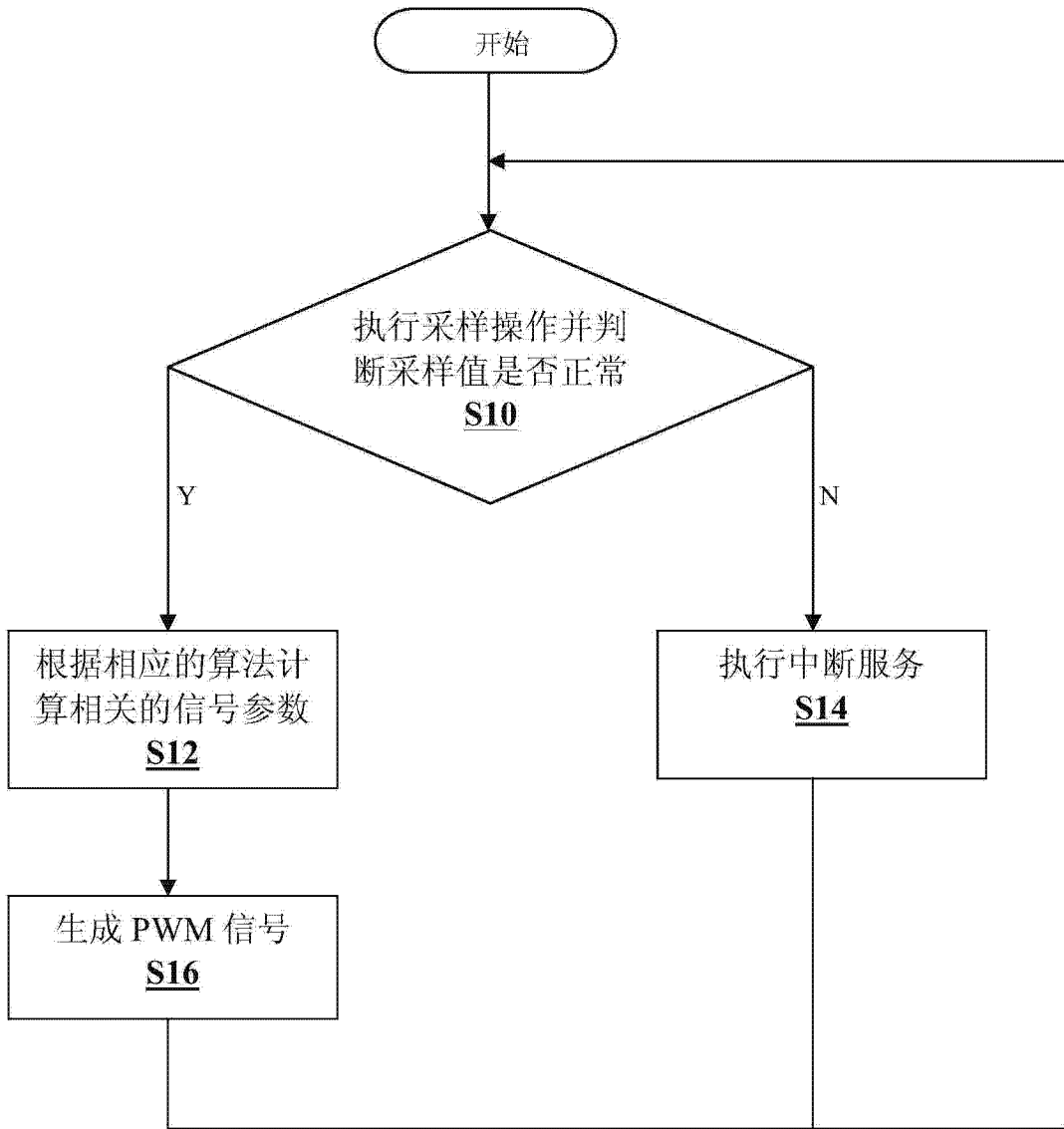


图 8

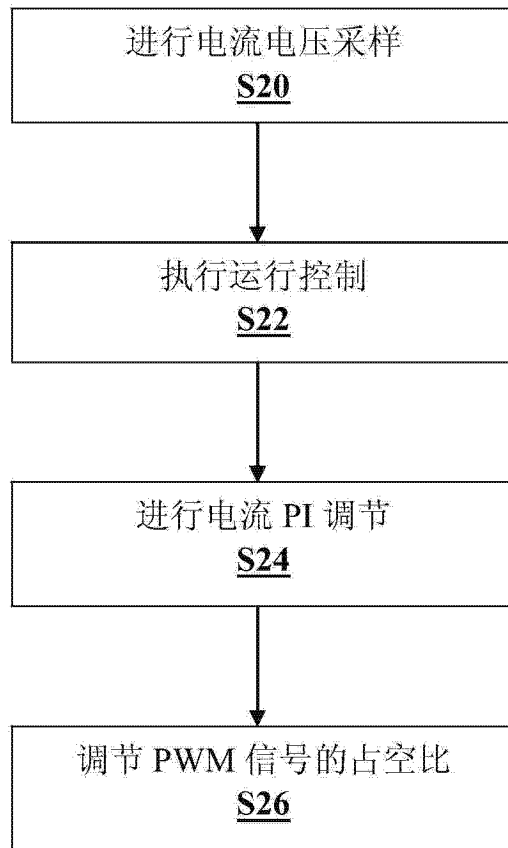


图 9