



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101917017 B

(45) 授权公告日 2012. 12. 12

(21) 申请号 201010234868. X

(22) 申请日 2010. 07. 21

(73) 专利权人 北京交通大学

地址 100044 北京市海淀区西直门外上园村 3 号

(72) 发明人 葛宝明

(74) 专利代理机构 北京市商泰律师事务所

11255

代理人 吴克宇 毛燕生

(51) Int. Cl.

H02J 3/38(2006. 01)

H02J 3/28(2006. 01)

H02J 3/18(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101656422 A, 2010. 02. 24, 全文.

CN 101697421 A, 2010. 04. 21, 全文.

US 2005/0117375 A1, 2005. 06. 02, 全文.
JP 特开 2008-193817 A, 2008. 08. 21, 全文.
CN 101345500 A, 2009. 01. 14, 说明书第 5 页
第 1 段 - 第 9 页第 1 段, 附图 1-4.

审查员 王晓曦

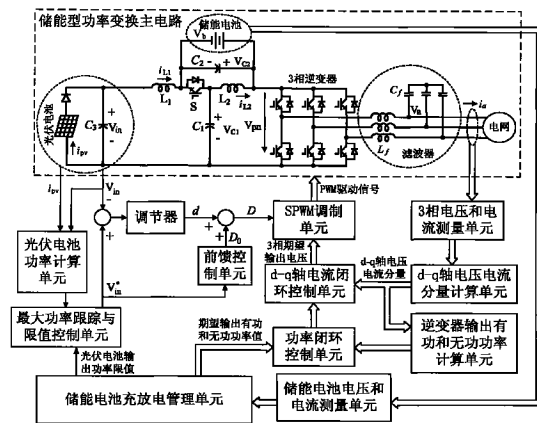
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 8 页

(54) 发明名称

单级升 / 降压储能型光伏并网发电控制系统

(57) 摘要

本发明公开了一种单级升 / 降压储能型光伏并网发电控制系统, 包括: 相互相连的储能型功率变换主电路和控制系统, 所述储能型功率变换主电路包括相互连接的光伏电池、电感和电容电路网络、储能电池以及三相逆变器; 所述控制系统用于对所述储能型功率变换主电路进行所述储能电池的充放电管理、所述光伏电池的最大功率跟踪与限值控制以及所述三相逆变器的输出有功和无功功率的闭环控制。本发明通过单级功率变换完成升 / 降压、逆变和储能, 以较简的结构实现最小逆变器容量, 确保电网得到平稳功率, 可最大限度地收集太阳能, 改善发电效率。实现无功补偿、电力调峰控制等, 改善电网质量。



1. 一种单级升 / 降压储能型光伏并网发电控制系统, 其特征在于, 包括:

相互相连的储能型功率变换主电路和控制系统, 所述储能型功率变换主电路包括相互连接的光伏电池、电感和电容电路网络、储能电池以及三相逆变器;

所述控制系统用于对所述储能型功率变换主电路进行所述储能电池的充放电管理、所述光伏电池的最大功率跟踪与限值控制以及所述三相逆变器的输出有功和无功功率的闭环控制;

其中,

所述储能型功率变换主电路还包括:

具有反并联二极管的开关管 S、电解电容 C_1 、电解电容 C_2 和电解电容 C_3 、电感 L_1 和 L_2 、由输出滤波电感 L_f 和电容 C_f 组成的 LC 滤波器以及与光伏电池串联的二极管; 其中,

所述储能电池与所述电解电容 C_2 并联, 跨接于所述开关管 S 的发射极和所述三相逆变器正极间, 且所述电解电容 C_2 及所述储能电池的正极与所述三相逆变器正极相连; 所述开关管 S 的集电极与所述电解电容 C_1 正极、所述电感 L_2 相连; 所述电感 L_2 的另一端连接于所述三相逆变器正极; 所述电解电容 C_1 的负极与所述三相逆变器负极相连; 所述电感 L_1 的一端与所述电解电容 C_3 的正极相连, 另一端与所述电解电容 C_2 的负极相连; 所述与光伏电池串联的二极管与所述电解电容 C_3 并联, 且所述与光伏电池串联的二极管的阴极与所述电解电容 C_3 的正极相连, 所述电解电容 C_3 的负极与所述三相逆变器的负极相连; 所述三相逆变器输出经过所述 LC 滤波器后并入电网。

2. 根据权利要求 1 所述的光伏并网发电控制系统, 其特征在于, 所述控制系统包括: 储能电池充放电管理单元、最大功率跟踪与限值控制单元、光伏电池功率计算单元、调节器、前馈控制单元、功率闭环控制单元、三相逆变器输出有功和无功功率计算单元、d-q 轴电压电流分量计算单元、三相电压和电流测量单元、d-q 轴电流闭环控制单元、SPWM 调制单元、储能电池电压和电流测量单元; 其中,

所述储能电池充放电管理单元通过所述储能电池电压和电流测量单元, 获取储能电池的电压和电流, 评估所述储能电池当前的状态, 结合用户功率需求, 确定并网输出有功和无功功率数值和光伏功率限值; 通过对储能电池的充放电管理, 在储能电池允许的条件下, 满足电网需求以及最大可能地获取太阳能发电功率;

从所述储能型功率变换主电路, 通过所述三相电压和电流测量单元, 测取所述三相逆变器输出的三相电压和电流并输入给 d-q 轴电压电流分量计算单元; d-q 轴电压电流分量计算单元输出 d-q 轴电压电流分量, 以提供给所述三相逆变器输出有功和无功功率计算单元, 用于计算三相逆变器输出有功和无功功率, 以及反馈给 d-q 轴电流闭环控制单元;

三相逆变器输出有功和无功功率反馈给功率闭环控制单元, 储能电池充放电管理单元产生的期望输出有功和无功功率值作为功率闭环控制单元的给定; 功率闭环控制单元产生 d-q 轴电流期望值, 输入给 d-q 轴电流闭环控制单元, 与反馈的 d-q 轴电流分量综合, 得到三相逆变器的期望输出电压信号; 三相期望输出电压信号综合直通占空比信号 D, 经过 SPWM 调制单元, 输出 PWM 驱动信号给储能型功率变换主电路;

储能电池充放电管理单元产生光伏电池输出功率限值, 输入给最大功率跟踪与限值控制单元, 用于光伏电池最大功率跟踪与限值控制的上限;

光伏电池功率计算单元根据光伏电池的电流和端电压, 计算光伏电池的实际输出功

率,输入给最大功率跟踪与限值控制单元,进行最大功率跟踪控制,直到达到上限;

最大功率跟踪过程中,产生光伏电池期望端电压 V_{in}^* ,用于通过前馈控制单元产生直通占空比初始值 D_0 ,以及与光伏电池实际的端电压 V_{in} 求差,电压差经过调节器后得到直通占空比的补偿量 d ;补偿量 d 和初始值 D_0 求和,得到总的直通占空比 D ;PWM 驱动信号用于驱动三相逆变器和开关管 S ;

三相逆变器各桥臂的直通占空比 D ,用于控制光伏电池的输出功率,同时控制端电压 V_{in} 到直流母线峰值电压 V_{peak} 的泵升电压比;开关管 S 的状态由直通状态控制,三相逆变器电路直通时 S 关闭,否则 S 导通;对三相逆变器进行脉宽调制,控制其输出电压和电流,进而控制三相逆变器输出的有功和无功功率;储能电池功率为光伏电池功率与三相逆变器输出功率的差。

单级升 / 降压储能型光伏并网发电控制系统

技术领域

[0001] 本发明涉及光伏发电技术领域,尤其涉及一种单级升 / 降压储能型光伏并网发电控制系统。

背景技术

[0002] 传统上的电能主要以火力发电为主,但是其化石燃料非常有限,越来越少,甚至可能枯竭,价格则越来越昂贵;而且,燃烧化石燃料产生大量污染,对生存环境造成严重危害。2009年12月7日在丹麦首都哥本哈根举行了联合国气候变化大会,体现了世界对环境的关注,节能减排、利用可再生新能源已经受到足够关注,并步入人类日常生活。

[0003] 光伏发电是颇具前景的新能源发电之一,主要包括独立发电系统和并网发电系统两类,并网型光伏发电是当今发展的主流趋势[谢建,马勇刚,廖华,苏庆益,李景天,杨丽娟,太阳能电池及其应用技术讲座(五)光伏发电系统,《可再生能源》,第25卷,第5期,2007年10月,页码117-120]。

[0004] 功率变换器在光伏发电中担负着重要角色,是连接光伏电池与电网(或用户)、有效传递能量的桥梁,其可靠性、效率与费用对整个光伏发电系统至关重要。

[0005] 应用于光伏发电系统中的功率变换器拓扑结构,具有两级或单级、有变压器或无变压器的特点。单级式结构如图1a所示[吴理博,赵争鸣,刘建政,王健,袁立强,具有无功补偿功能的单级式三相光伏并网系统,《电工技术学报》,第21卷,第1期,2006年1月,页码28-32],具有紧凑、低费用、高效率和高可靠性特点。但是,这种单级功率变换器只具有降压功能,而且一块光伏电池板输出电压较低(典型值为12V,24V,或48V),受光线辐射、尤其是温度变化的影响,输出电压宽范围变化。为此,传统单级式的逆变器容量偏大,以适应光伏电池电压的宽范围变化;为了满足并网电压要求,在逆变器输出与电网间连接一个低频升压变压器,导致系统体积庞大、效率降低、高噪声和高费用。不采用变压器时,则将若干光伏电池板串联,以得到一个较高的直流电压(比电网电压略高),串联的光伏电池在局部阴影时存在较大功率损失和热斑问题。两级式结构如图1b所示[程军照,吴夕科,李澍森,左文霞,采用Boost的两级式光伏发电并网逆变系统,《高电压技术》,第35卷,第8期,2009年8月,页码2048-2052],其应用DC/DC变换器,将宽范围变化的光伏电池输出电压升到一个恒定的期望值,逆变器的KVA定额最小,也无需变压器。但是,DC/DC变换器将使系统费用增加,效率降低。

[0006] 光伏电池产生的功率受辐射和温度影响,所以光伏发电系统输出的功率与天气、季节相关,具有不确定性。随机波动的功率对电网有负面影响,尽管目前尚无导致严重电网失败的案例,但是随着太阳能电站数量、容量的扩大,这个问题将日益突出,寻求解决方案刻不容缓。另一方面,用电消耗也随季节和人类生活习惯而变化。在春、秋季节,有相对多的晴朗天气,和其他季节比,太阳能辐射较强。这些季节也较凉爽,一些电负荷(如,空调)很少使用。所以,光伏发电系统将产生更多的电,负荷却较低,导致电力配线电压上升。在周末,光伏发电系统继续产生同样多的功率,但工业负荷轻,电网电压亦容易变高,电网频

率也易受到影响。通常,如果过压超过上限,则选择性地关闭光伏发电系统,以调节传输到电网的功率,不可避免地造成一个晴朗天气里的大量能量损失。比较理想的是,在并网型光伏发电系统中结合储能电池,将多余电能存入储能系统,以避免电网电压上升;也不必关掉一部分光伏发电系统,而浪费能量。根据电网的需求,储能系统可以吸收光伏发电系统多余的能量,或弥补其不足,即削峰填谷,类似于一个能量缓存,也称可调度型光伏并网发电系统[王长贵,并网光伏发电系统综述(上),《太阳能》,2008年第2期,页码14-17]。这样,在任何情况下,都可以最大限度地收集太阳能功率,实现高效率,同时确保电网得到平稳的功率,从而最小化或消除光伏发电系统对电网的负面影响。另外,储能型光伏并网发电系统还能实现一些重要的辅助功能,诸如无功补偿、电力调峰控制等,使电网更可靠。但是,现有的方案基于传统单级或两级功率变换器,体现有各自的不足;为了有效管理储能电池的充放电,还额外引入双向DC/DC变换器,增加了硬件费用和控制的复杂度,效率将降低。

发明内容

[0007] 本发明的目的在于提供一种单级升/降压储能型光伏并网发电控制系统,基于本发明,可以实现单级功率变换完成升/降压、逆变和储能,并且,以较简的结构实现最小逆变器容量,确保电网得到平稳功率,可最大限度地收集太阳能,改善发电效率以及实现无功补偿、电力调峰控制等,改善电网质量。

[0008] 本发明提供了一种单级升/降压储能型光伏并网发电控制系统,它包括:储能电池充放电管理单元、最大功率跟踪与限值控制单元、光伏电池功率计算单元、调节器、前馈控制单元、功率闭环控制单元、逆变器输出有功和无功功率计算单元、d-q轴电压电流分量计算单元、3相电压和电流测量单元、d-q轴电流闭环控制单元、SPWM调制单元、储能型功率变换主电路和储能电池电压和电流测量单元。

[0009] 其中,储能型功率变换主电路包括:储能电池,3相逆变器,具有反并联二极管的开关管S、电解电容 C_1 、 C_2 和 C_3 ,电感 L_1 和 L_2 ,输出滤波电感 L_f 和电容 C_f ,光伏电池与串联二极管,电网;其连接方式为:储能电池与电容 C_2 并联,跨接于开关管S的发射极和3相逆变器正极间,且电容 C_2 及储能电池的正极与3相逆变器正极相连;开关管S的集电极与电容 C_1 正极、电感 L_2 相连;电感 L_2 的另一端连接于3相逆变器正极;电容 C_1 的负极与3相逆变器负极相连;电感 L_1 的一端与电容 C_3 的正极相连,另一端与电容 C_2 的负极相连;光伏电池串联二极管后与电容 C_3 并联,且二极管的阴极与电容 C_3 的正极相连,电容 C_3 的负极与3相逆变器的负极相连;3相逆变器输出经过LC滤波器后并入电网。

[0010] 具有反并联二极管的开关管S,电解电容 C_1 和 C_2 ,电感 L_1 和 L_2 ,构成该储能型功率变换主电路的电感和电容电路网络。

[0011] 控制系统的连接方式为:储能电池充放电管理单元通过储能电池电压和电流测量单元,获取储能电池的电压和电流,评估储能电池当前的状态,结合用户功率需求,确定并网输出有功和无功功率数值和光伏功率限值,通过对储能电池的充放电管理,在储能电池允许的条件下,一方面满足电网需求,另一方面最大可能地获取太阳能发电功率;从储能型功率变换主电路,通过3相电压和电流测量单元,测取逆变器输出的3相电压和电流并输入给d-q轴电压电流分量计算单元;d-q轴电压电流分量计算单元输出d-q轴电压电流分量,一方面提供给逆变器输出有功和无功功率计算单元,用于计算逆变器输出有功和无功功

率,另一方面反馈给 d-q 轴电流闭环控制单元;逆变器输出有功和无功功率反馈给功率闭环控制单元,储能电池充放电管理单元产生的期望输出有功和无功功率值作为功率闭环控制单元的给定;在功率闭环控制单元内,将给定功率与反馈功率做差,经过调节器控制;功率闭环控制单元产生 d-q 轴电流期望值,输入给 d-q 轴电流闭环控制单元,与反馈的 d-q 轴电流分量综合,得到 3 相逆变器的期望输出电压信号;3 相期望输出电压信号综合直通占空比信号 D,经过 SPWM 调制单元,输出 PWM 驱动信号给储能型功率变换主电路;储能电池充放电管理单元产生光伏电池输出功率限值,输入给最大功率跟踪与限值控制单元,用于光伏电池最大功率跟踪与限值控制的上限;光伏电池功率计算单元根据光伏电池的电流和端电压,计算光伏电池的实际输出功率,输入给最大功率跟踪与限值控制单元,进行最大功率跟踪控制,直到达到上限;最大功率跟踪过程中,产生光伏电池期望端电压 V_{in}^* ,其一方面通过前馈控制单元产生直通占空比初始值 D_0 ,另一方面与光伏电池实际的端电压 V_{in} 求差,电压差经过调节器后得到直通占空比的补偿量 d;补偿量 d 和初始值 D_0 求和,得到总的直通占空比 D;PWM 驱动信号用于驱动 3 相逆变器和开关管 S;3 相逆变器各桥臂的直通占空比 D,用于控制光伏电池的输出功率,同时控制输入电压 V_{in} 到直流母线峰值电压 V_{peak} 的泵升电压比;开关管 S 的状态由直通状态控制,3 相逆变器电路直通时 S 关闭,否则 S 导通;对 3 相逆变器进行脉宽调制,控制其输出电压和电流,进而控制 3 相逆变器输出的有功和无功功率;储能电池功率为光伏电池功率与逆变器输出功率的差。

[0012] 可见,该系统以单级功率变换的形式同时实现了升/降压、逆变与能量存储,可并网或独立运行,适应于光伏电池电压的宽范围变化。避免了以往单级逆变器设计容量过大的弊端,无需两级式系统中额外的 DC/DC 变换器。而且,无需额外的功率电路即可有效地管理储能电池的充放电,简化了系统硬件。该系统中逆变器允许电路直通,不会由此导致电路损坏,增强了系统可靠性,无需死区则改善了输出电流波形。

[0013] 该系统中,储能电池实现能量缓冲或削峰填谷的作用,即:当光伏电池提供的功率不足以电网(或用户)需求时,储能电池将提供能量,补充功率差;当光伏电池产生的功率大于电网(或用户)需求时,多余的功率将输入储能电池,进行能量存储。储能电池的充放电管理,通过控制光伏电池和逆变器的输出功率实现,既能最大限度地利用光伏输出功率,又能合理地实现电池的最小损耗和最长寿命。由于储能电池的作用,电网将得到平稳的功率,消除了太阳能发电功率的随机波动;也实现了最大限度地收集太阳能,改善发电效率。可实现无功补偿、电力调峰控制等,改善电网质量。

[0014] 相对于现有技术而言,本发明具有如下优势:

[0015] (1) 消除了光伏发电系统注入电网功率的随机波动,提高了供电质量;

[0016] (2) 适应于光伏电池输出电压的宽范围变化;

[0017] (3) 可实现无功补偿、电力调峰控制等,改善电网质量;

[0018] (4) 可最大限度地收集太阳能,系统效率高;

[0019] (5) 采用单级功率变换实现升/降压、逆变和能量存储,可避免以往单级逆变器设计容量过大的弊端,也无需两级式系统中额外的 DC/DC 变换器及现有储能系统中额外的功率电路,降低了复杂性和成本,效率较高;

[0020] (6) 系统可靠性较高。

附图说明

- [0021] 图 1a 为现有的光伏并网发电功率主电路单级结构图；
- [0022] 图 1b 为现有的光伏并网发电功率主电路两级结构图；
- [0023] 图 2 为本发明储能型光伏并网发电控制系统示意图；
- [0024] 图 3a 为本发明控制系统在光伏电池功率变化、逆变器输出有功功率恒定时的储能电池端电压及其 SOC 仿真结果；
- [0025] 图 3b 为本发明控制系统在光伏电池功率变化、逆变器输出有功功率恒定时的光伏电池端电压及两电容电压之和仿真结果；
- [0026] 图 3c 为本发明控制系统在光伏电池功率变化、逆变器输出有功功率恒定时的两电感电流仿真结果；
- [0027] 图 3d 为本发明控制系统在光伏电池功率变化、逆变器输出有功功率恒定时的逆变器输出相电压和相电流仿真结果；
- [0028] 图 3e 为本发明控制系统在光伏电池功率变化、逆变器输出有功功率恒定时的逆变器输出相电压和相电流局部放大波形；
- [0029] 图 3f 为本发明控制系统在光伏电池功率变化、逆变器输出有功功率恒定时的逆变器直流母线电压和直通占空比仿真结果；
- [0030] 图 4a 为本发明控制系统在光伏电池输出功率恒定、逆变器输出有功功率变化时的储能电池端电压及其 SOC 仿真结果；
- [0031] 图 4b 为本发明控制系统在光伏电池输出功率恒定、逆变器输出有功功率变化时的光伏电池端电压及两电容电压之和仿真结果；
- [0032] 图 4c 为本发明控制系统在光伏电池输出功率恒定、逆变器输出有功功率变化时的两电感电流仿真结果；
- [0033] 图 4d 为本发明控制系统在光伏电池输出功率恒定、逆变器输出有功功率变化时的逆变器输出相电压和相电流仿真结果；
- [0034] 图 4e 为本发明控制系统在光伏电池输出功率恒定、逆变器输出有功功率变化时的逆变器输出相电压和相电流局部放大波形；
- [0035] 图 4f 为本发明控制系统在光伏电池输出功率恒定、逆变器输出有功功率变化时的逆变器直流母线电压和直通占空比仿真结果。

具体实施方式

[0036] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂，下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0037] 如图 2 所示，本发明的一种单级升 / 降压储能型光伏并网发电控制系统包括：储能电池充放电管理单元，最大功率跟踪与限值控制单元，光伏电池功率计算单元，调节器，前馈控制单元，功率闭环控制单元，逆变器输出有功和无功功率计算单元，d-q 轴电压电流分量计算单元，三相电压和电流测量单元，d-q 轴电流闭环控制单元，SPWM 调制单元，储能型功率变换主电路，储能电池电压和电流测量单元；其中，储能型功率变换主电路包括：储能电池，三相逆变器，具有反并联二极管的开关管 S，电解电容 C_1 、 C_2 和 C_3 ，电感 L_1 和 L_2 ，输出滤波电感 L_f 和电容 C_f ，光伏电池与串联二极管，电网；其连接方式为：储能电池与电容 C_2

并联,跨接于开关管 S 的发射极和三相逆变器正极间,且电容 C_2 及储能电池的正极与三相逆变器正极相连;开关管 S 的集电极与电容 C_1 正极、电感 L_2 相连;电感 L_2 的另一端连接于三相逆变器正极;电容 C_1 的负极与三相逆变器负极相连;电感 L_1 的一端与电容 C_3 的正极相连,另一端与电容 C_2 的负极相连;光伏电池串联二极管后与电容 C_3 并联,且二极管的阴极与电容 C_3 的正极相连,电容 C_3 的负极与三相逆变器的负极相连;三相逆变器输出经过 LC 滤波器后并入电网。

[0038] 具有反并联二极管的开关管 S, 电解电容 C_1 和 C_2 , 电感 L_1 和 L_2 , 构成该储能型功率变换主电路的电感和电容电路网络。

[0039] 对于该储能型功率变换主电路, 逆变器各桥臂可以直通, 使其具有升压功能, 通过控制其直通占空比, 控制从输入电压 V_{in} 到直流母线峰值电压 V_{peak} 的泵升电压比, 它们具有关系式

$$[0040] \quad V_{peak} = \frac{1}{1-2D} V_{in}$$

[0041] 式中, D 为直通占空比。开关管 S 的状态由直通状态控制, 逆变器电路直通时 S 关闭, 否则 S 导通; 逆变器的输出电压和电流通过逆变器脉宽调制实现。可见, 该功率电路以单级功率变换的形式, 同时实现升 / 降压、逆变和储能, 适应于光伏电池电压的宽范围变化, 避免了以往单级逆变器设计容量过大的弊端, 也无需两级式系统中额外的 DC/DC 变换器, 同时也避免了现有储能系统中额外的功率电路。逆变器允许电路直通, 不会由此导致电路损坏, 增强了系统可靠性, 无需死区则改善了输出电流波形。

[0042] 如图 2 所示, 本发明控制系统的连接方式为: 储能电池充放电管理单元通过储能电池电压和电流测量单元, 获取储能电池的电压和电流, 评估储能电池当前的状态, 结合用户功率需求, 确定并网输出有功和无功功率数值和光伏功率限值, 通过对储能电池的充放电管理, 在储能电池允许的条件下, 一方面满足电网需求, 另一方面最大可能地获取太阳能发电功率; 从储能型功率变换主电路, 通过三相电压和电流测量单元, 测取逆变器输出的三相电压和电流并输入给 d-q 轴电压电流分量计算单元; d-q 轴电压电流分量计算单元输出 d-q 轴电压电流分量, 一方面提供给逆变器输出有功和无功功率计算单元, 用于计算逆变器输出有功和无功功率, 另一方面反馈给 d-q 轴电流闭环控制单元, 用于控制并网逆变器三相电流的 d-q 轴分量; 逆变器输出有功和无功功率反馈给功率闭环控制单元, 储能电池充放电管理单元产生的期望输出有功和无功功率值作为功率闭环控制单元的给定, 二者取差, 经过比例积分调节器后, 产生 d-q 轴电流分量期望值; 功率闭环控制单元产生的 d-q 轴电流期望值, 输入给 d-q 轴电流闭环控制单元, 与反馈的 d-q 轴电流分量综合, 产生三相逆变器的期望输出电压信号; 三相期望输出电压信号综合直通占空比信号 D, 经过 SPWM 调制单元, 输出 PWM 驱动信号给储能型功率变换主电路; 储能电池充放电管理单元产生光伏电池输出功率限值, 输入给最大功率跟踪与限值控制单元, 用于光伏电池最大功率跟踪与限值控制的上限; 光伏电池功率计算单元根据光伏电池的电流 i_{pv} 和端电压 V_{in} , 计算光伏电池的实际输出功率, 输入给最大功率跟踪与限值控制单元, 进行最大功率跟踪控制, 直到达到上限; 最大功率跟踪过程中, 产生光伏电池期望端电压 V_{in}^* , 其一方面通过前馈控制单元产生直通占空比初始值 D_0 , 另一方面与光伏电池实际的端电压 V_{in} 求差, 电压差经过调节器后得到直通占空比的补偿量 d; 补偿量 d 和初始值 D_0 求和, 得到总的直通占空比 D; PWM 驱动信号用于驱动三相逆变器和开关管 S; 三相逆变器各桥臂的直通占空比 D, 用于控制光伏电

池的输出功率,同时控制输入电压 V_{in} 到直流母线峰值电压 V_{peak} 的泵升电压比;另一方面,PWM 驱动信号对三相逆变器进行脉宽调制,控制其输出电压和电流,进而控制三相逆变器输出的有功和无功功率。

[0043] 储能电池功率为光伏电池功率与逆变器输出功率的差,实现能量缓冲或削峰填谷的作用。根据光伏电池产生功率和注入电网功率的情况,储能电池将进行充电或放电,即:
1) 当光伏电池产生功率大于注入电网功率时,储能电池充电,充电功率为二者的差功率;
2) 当光伏电池产生功率小于注入电网功率时,储能电池放电,放电功率为二者的差功率;
3) 当光伏电池产生功率等于注入电网功率时,储能电池不充电也不放电。

[0044] 应用上述实施方案,进行仿真建模,图 3 和图 4 给出了一些原理性仿真结果,图中的符号分别为: V_b 表示储能电池端电压,单位为伏特 (V);SOC 表示储能电池充电状态,用百分数 (%) 表示;Time 表示时间,单位为秒 (s); V_{c1} 表示电容 C_1 的端电压, V_{c2} 表示电容 C_2 的端电压, $V_{c1}+V_{c2}$ 表示电容 C_1 和 C_2 端电压的和,单位均为伏特 (V); V_{in} 表示光伏电池端电压,单位为伏特 (V); i_{L1} 和 i_{L2} 分别为电感 L_1 和 L_2 的电流,单位为安培 (A); V_a 表示逆变器输出经滤波器后的 a 相电压,单位为伏特 (V); i_a 表示逆变器输出到电网的 a 相电流,单位为安培 (A); V_{pn} 表示直流母线电压,单位为伏特 (V); D 表示直通占空比。

[0045] 图 3 对应的运行条件为:控制光伏电池端电压恒定,逆变器输出有功功率恒定、无功功率为零。参数为:控制 V_{in} 为 280V,在 0-10s 期间光伏电池输出功率 5375W,在 10-20s 期间光伏电池输出功率 2800W,在 20-22s 期间光伏电池输出功率 4087.5W;在 0-22s 期间逆变器输出有功功率 4087.5W;储能电池初始 SOC 为 35%。图 3a 为 0-22s 期间储能电池的端电压 V_b 及 SOC 响应,由于在 0-10s 期间充入储能电池的功率为 1287.5W,使得储能电池端电压 V_b 与 SOC 增加;在 10-20s 期间储能电池则以功率 1287.5W 放电,使得储能电池端电压 V_b 与 SOC 减小;在 20-22s 期间,由于光伏电池功率全部输出给电网,储能电池不充电也不放电,使得其端电压 V_b 与 SOC 保持恒定。图 3b 为系统运行期间电容 C_1 与 C_2 的端电压和,及光伏电池端电压 V_{in} 响应。电容 C_1 与 C_2 的端电压和等于直流母线峰值电压。可见,即使光伏电池功率变化,逆变器输出功率不变,但由于该系统的升压功能和储能电池的能量缓冲作用,电容 C_1 与 C_2 的端电压和 ($V_{c1}+V_{c2}$,即,直流母线峰值电压)被稳定地泵升于 380V。光伏电池端电压的闭环控制使得其稳定于 280V。随着光伏电池功率的变化,其输出电流 i_{L1} 分别为 19.2A、10A 和 14.6A,电感电流 i_{L2} 也变化,如图 3c 所示。图 3d 为逆变器输出到电网的 a 相电压和电流波形,图 3e 为局部放大图,分别展示了 9.9s-10.1s 和 19.9s-20.1s 期间的 a 相电压和电流。可以发现,整个运行期间 a 相电压和电流保持恒定且同相位,功率因数为 1,输出有功功率恒定、无功功率为零。图 3f 为系统运行期间的直流母线电压 V_{pn} 和直通占空比 D 的波形。由于逆变器存在直通状态,在直通期间直流母线电压为零,非直通期间直流母线电压(即直流母线峰值电压)为电容 C_1 与 C_2 的端电压和,直通占空比 D 的波形则显示了光伏电池端电压闭环调节的过程。

[0046] 图 4 对应的运行条件为:光伏电池端电压 V_{in} 被控制于 280V,且输出恒定功率 2800W,逆变器输出有功功率变化、无功功率为零。在 10s 前,逆变器输出有功功率 1512.5W,在 10-20s 期间逆变器输出有功功率 4087.5W,在 20-22s 期间逆变器输出有功功率 2800W,储能电池的初始 SOC 为 35%。图 4a 为 0-22s 期间储能电池的端电压 V_b 及 SOC 响应,由于在 0-10s 期间充入储能电池的功率为 1287.5W,使得储能电池端电压 V_b 与 SOC 增加;在 10-20s

期间储能电池则以功率 1287.5W 放电,使得储能电池端电压 V_b 与 SOC 减小;在 20-22s 期间,由于光伏电池功率全部输出给电网,储能电池不充电也不放电,使得其端电压 V_b 与 SOC 保持恒定。图 4b 为系统运行期间电容 C_1 与 C_2 的端电压和,及光伏电池端电压 V_{in} 的响应。电容 C_1 与 C_2 的端电压和等于直流母线峰值电压。可见,即使光伏电池功率不变,逆变器输出功率变化很大,但由于该系统的升压功能和储能电池的能量缓冲作用,电容 C_1 与 C_2 的端电压和 ($V_{c1}+V_{c2}$,即,直流母线峰值电压)被稳定地泵升于 380V。光伏电池端电压的闭环控制使得其稳定于 280V。由于光伏电池输出功率恒定,其端电压被控制为恒定,则其输出电流 i_{L1} 恒定,如图 4c 所示,而逆变器输出功率的变化导致电感 L2 的电流 i_{L2} 变化。图 4d 为逆变器输出到电网的 a 相电压和电流波形,图 4e 为局部放大图,分别展示了 9s-9.1s、19s-19.1s 和 21.8s-21.9s 期间的 a 相电压和电流。可以发现,整个运行期间 a 相电压保持恒定且与 a 相电流同相位,功率因数为 1,逆变器输出无功功率为零。但是,a 相电流却有变化,在 0-10s 期间最小,在 10-20s 期间最大,在 20-22s 期间居中,反应到逆变器输出的有功功率为:0-10s 期间输出功率最小,10-20s 期间输出功率最大,20-22s 期间输出功率居中。图 4f 为系统运行期间的直流母线电压 V_{pn} 和直通占空比 D 的波形。由于逆变器存在直通状态,在直通期间直流母线电压为零,非直通期间直流母线电压(即直流母线峰值电压)为电容 C_1 与 C_2 的端电压和,直通占空比 D 的波形则显示了光伏电池端电压闭环调节的过程。

[0047] 以上对本发明所提供的一种单级升/降压储能型光伏并网发电控制系统进行详细介绍,本文中应用了具体实施例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处。综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

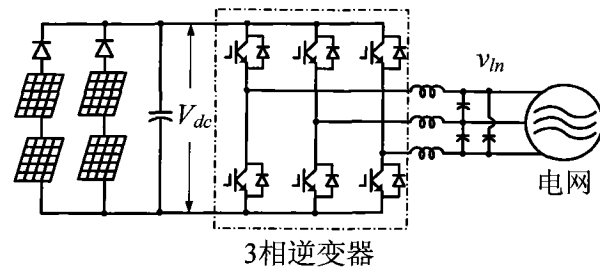


图 1a

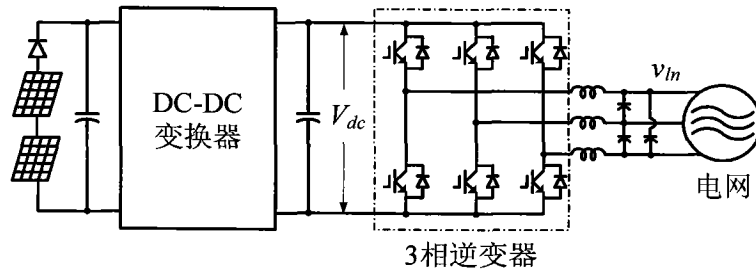


图 1b

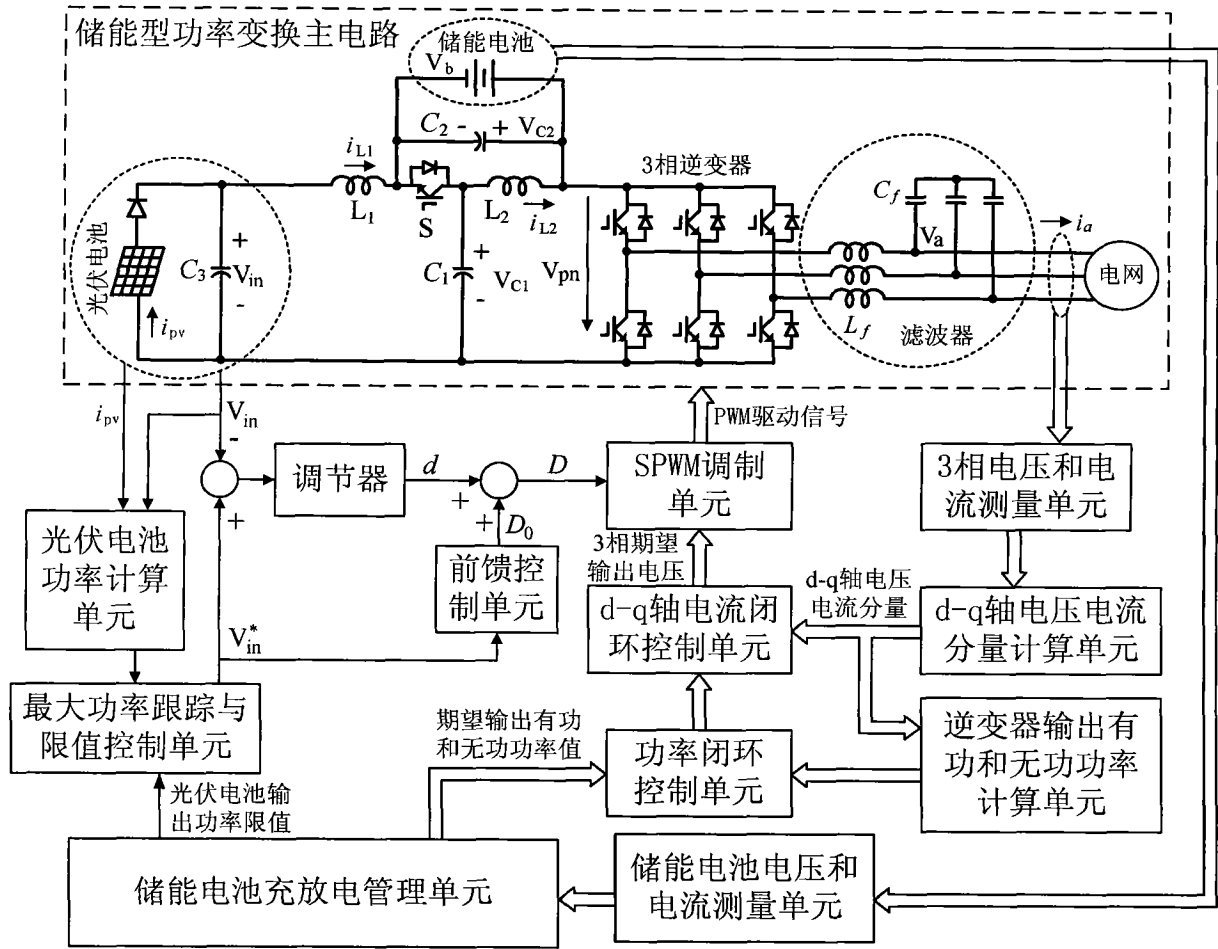


图 2

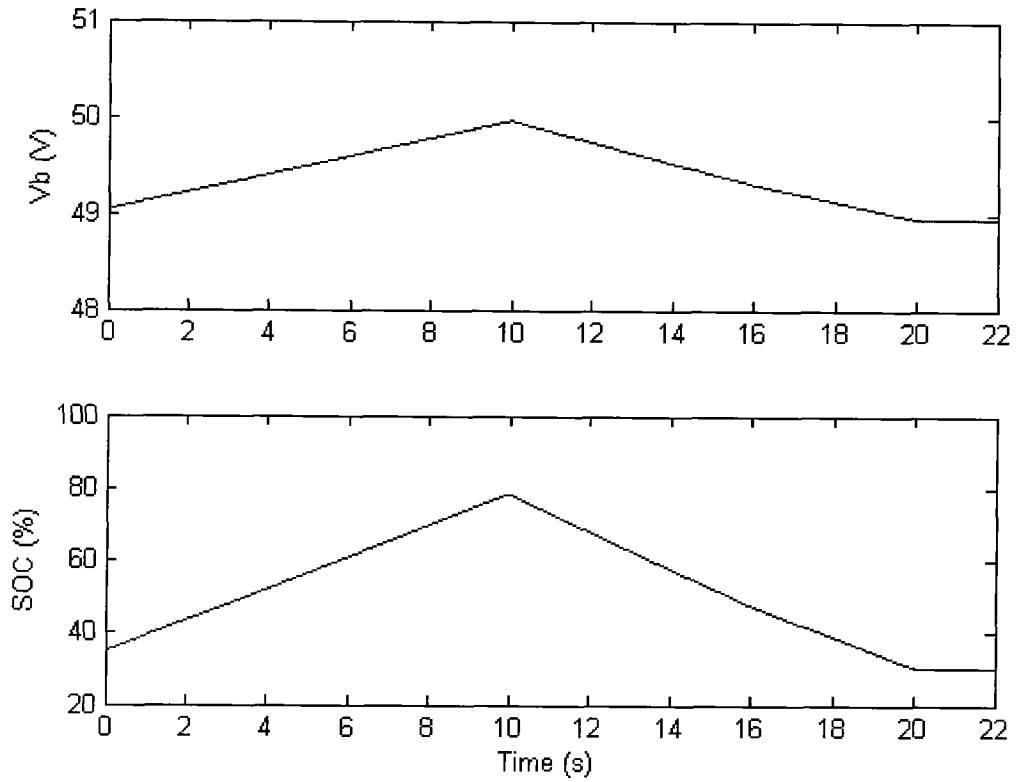


图 3a

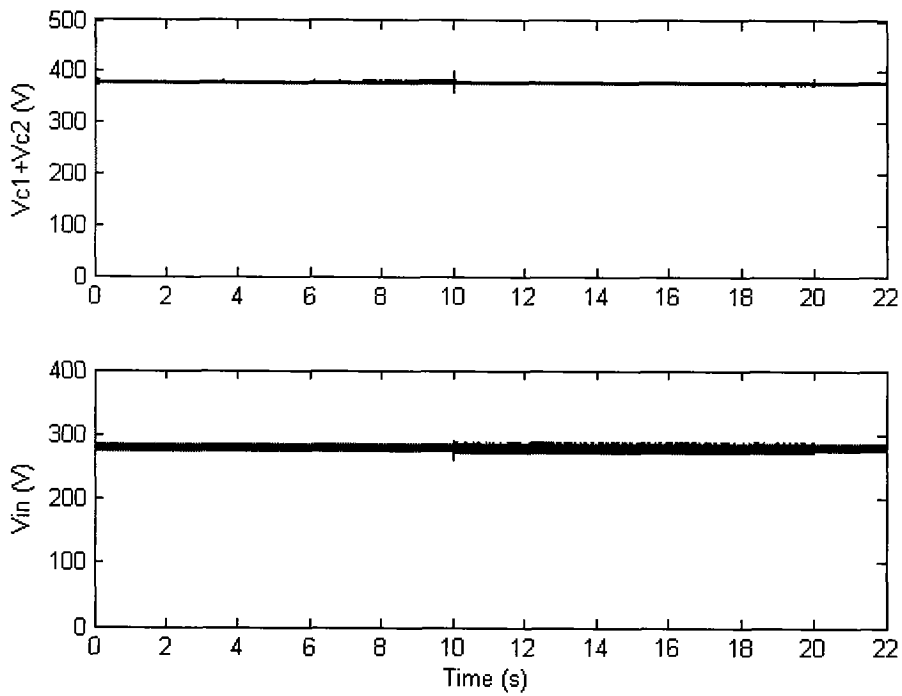


图 3b

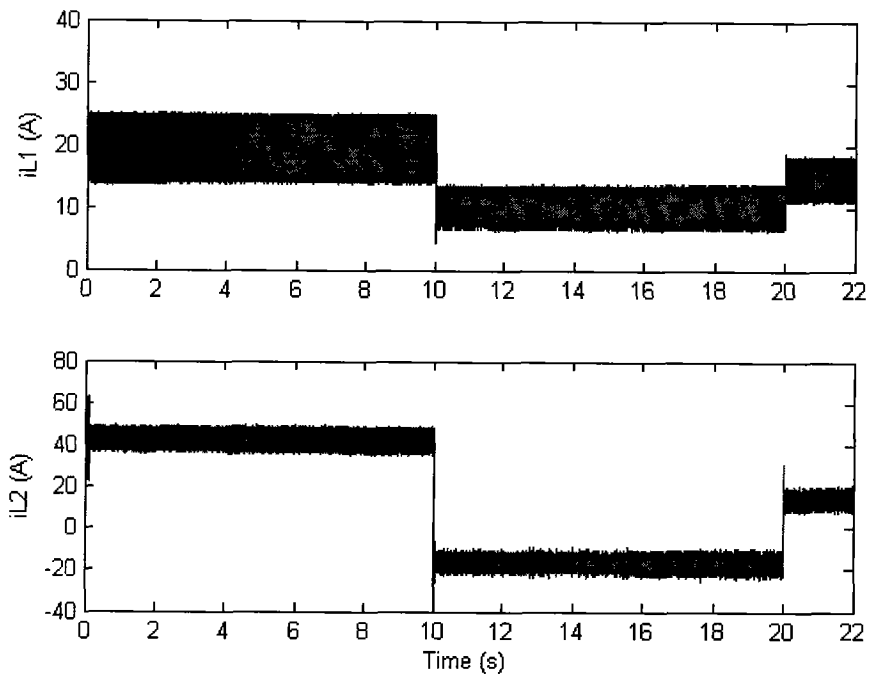


图 3c

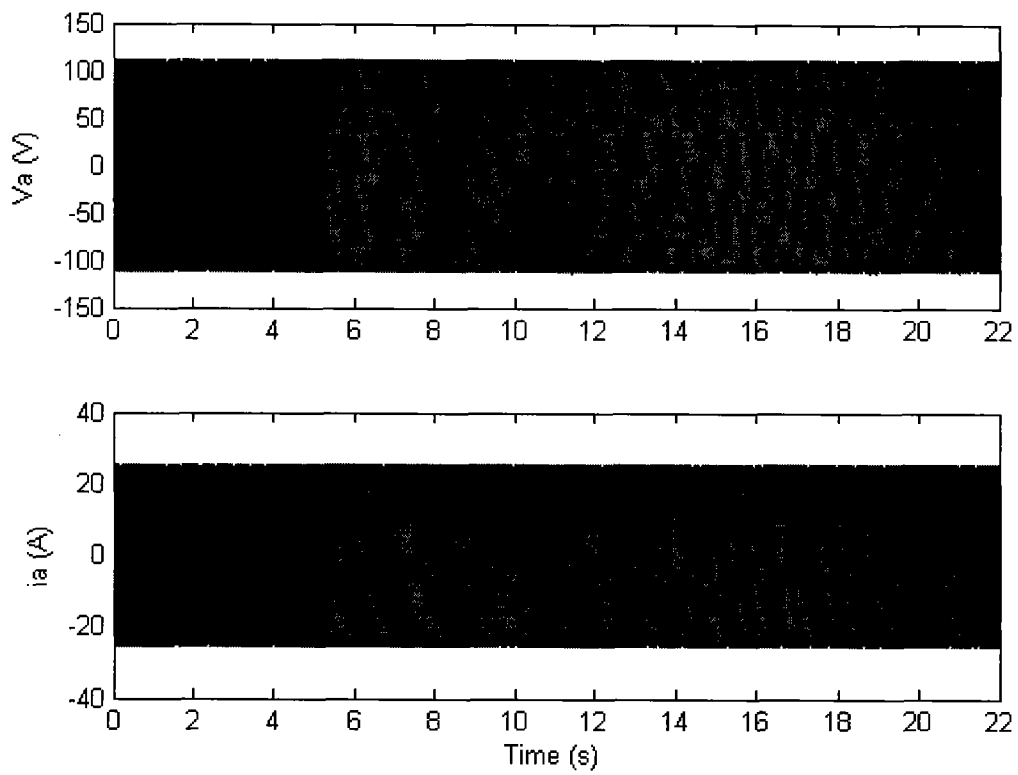


图 3d

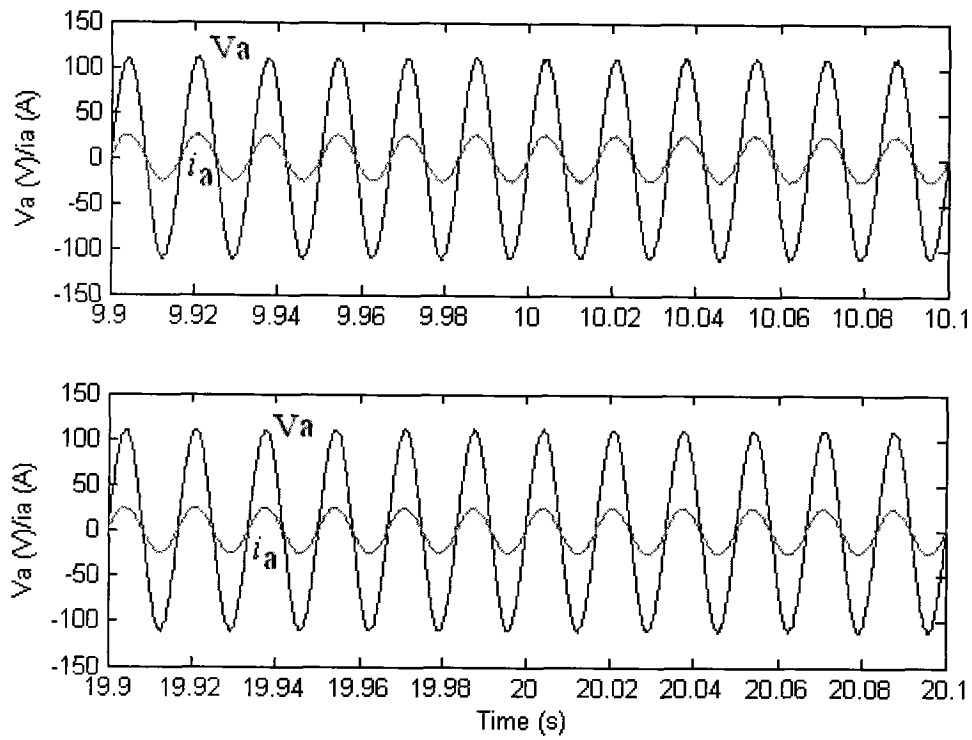


图 3e

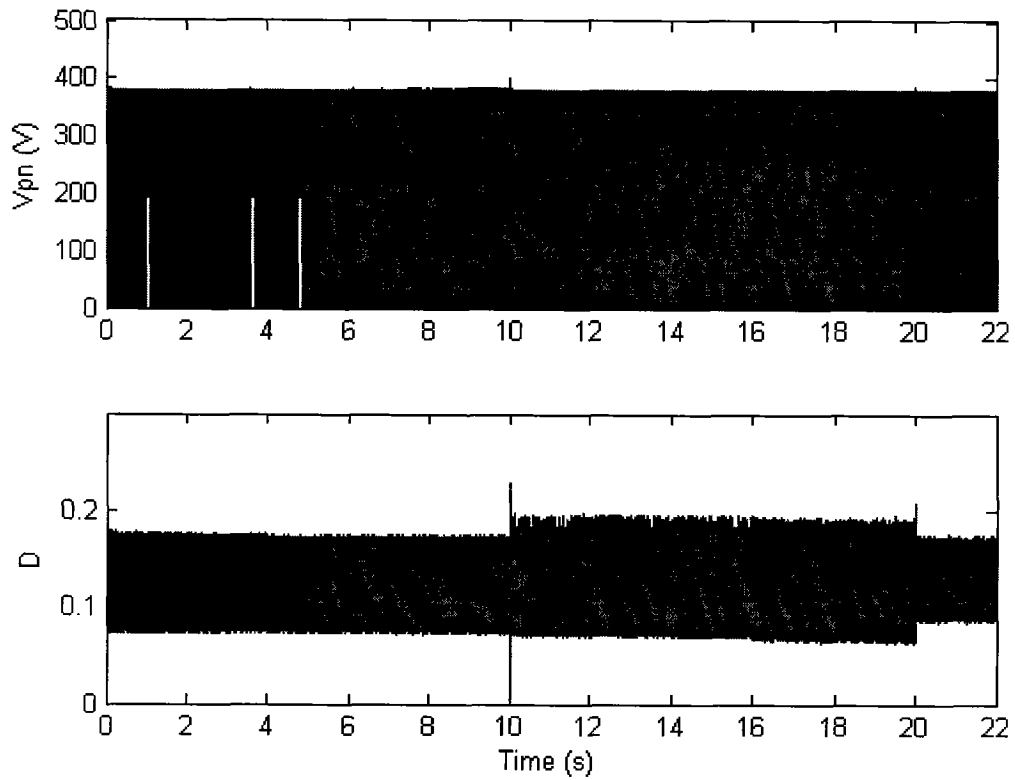


图 3f

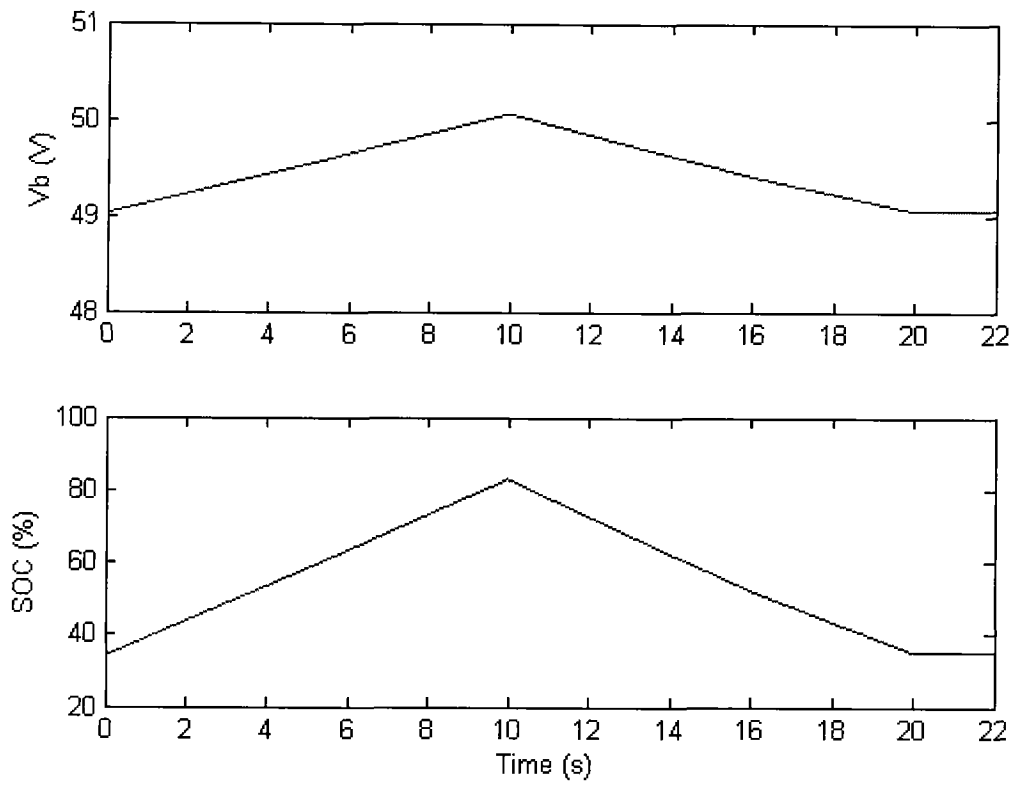


图 4a

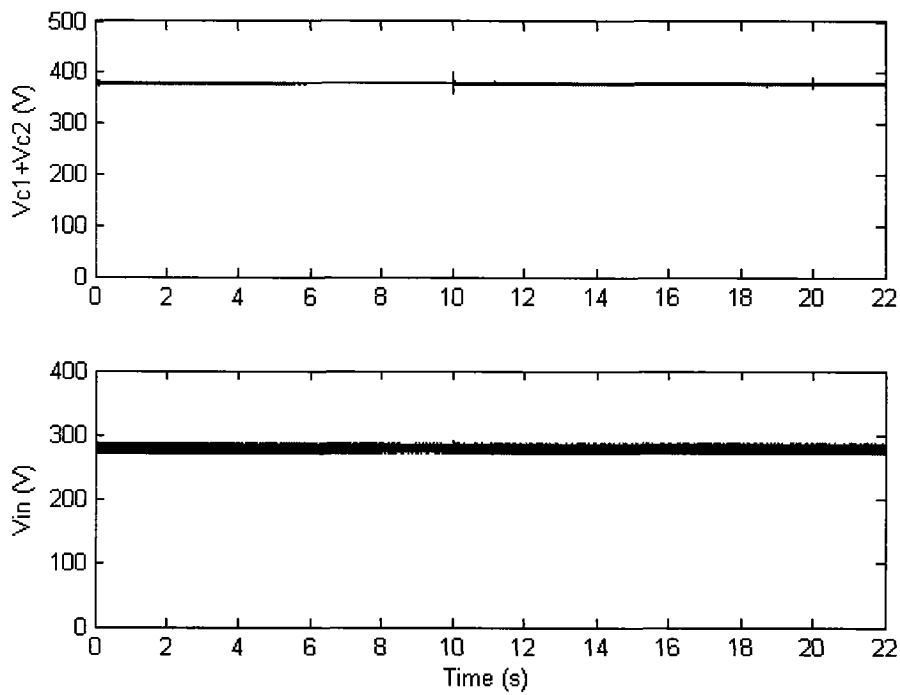


图 4b

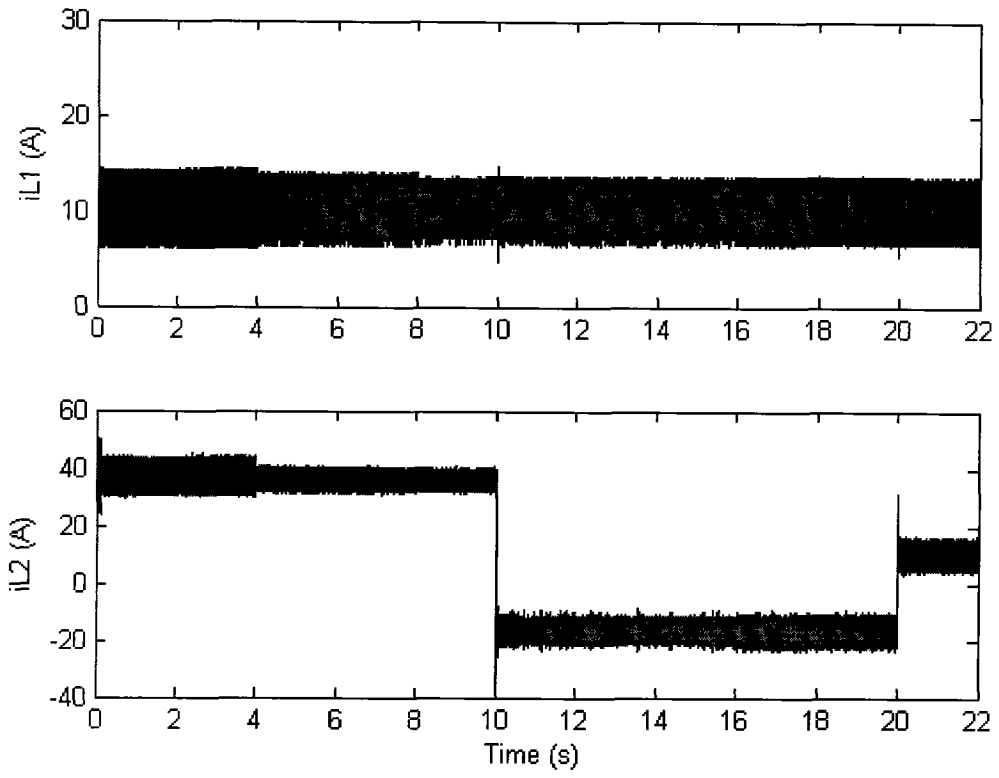


图 4c

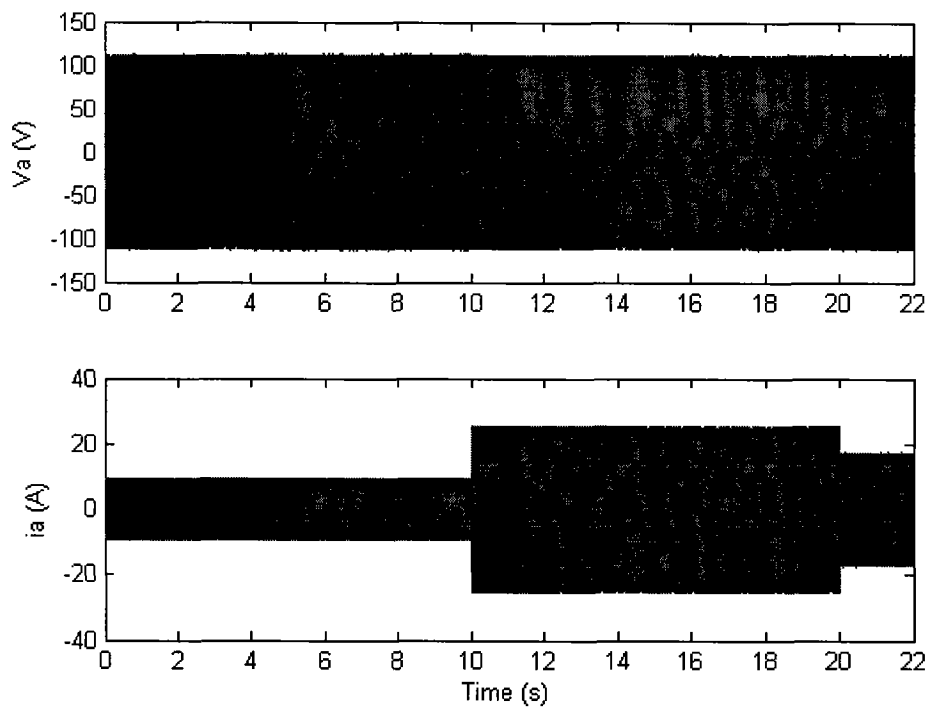


图 4d

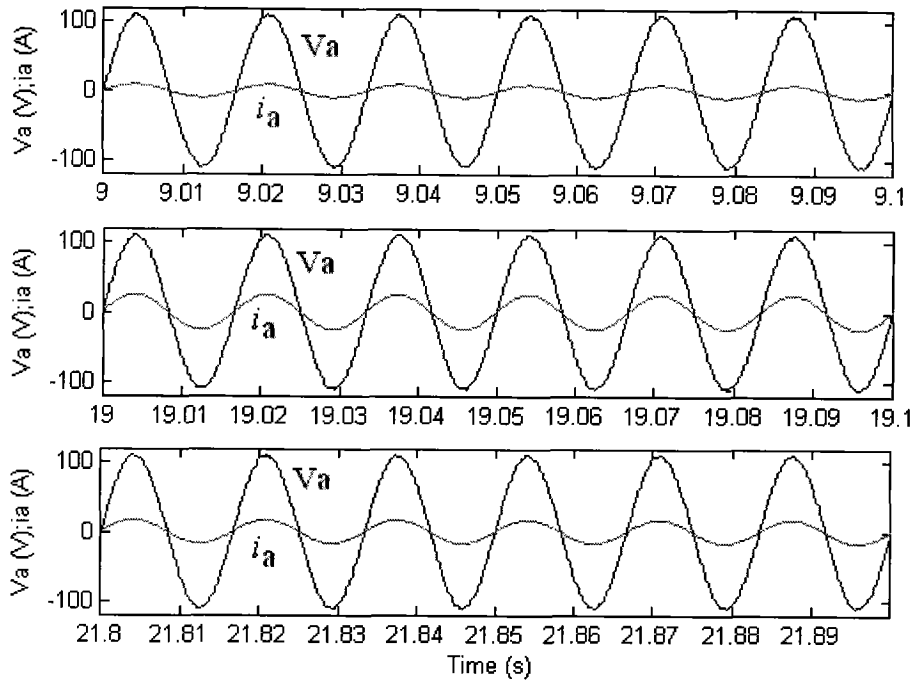


图 4e

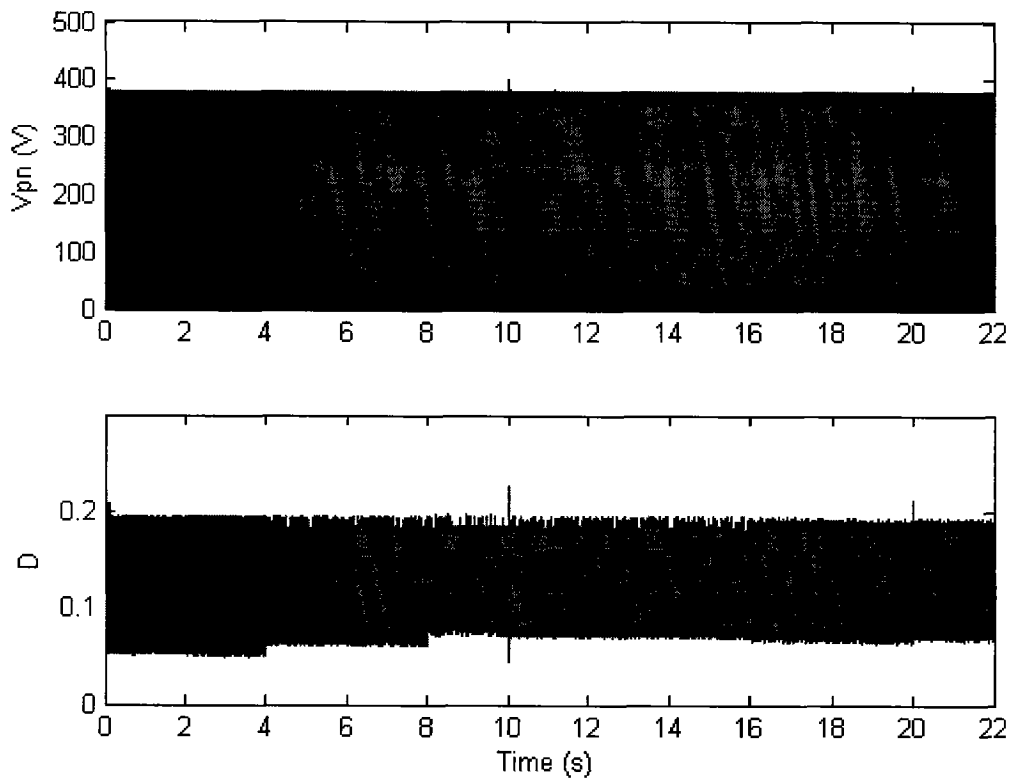


图 4f