

并联式支路光伏发电系统的研究与仿真

许天, 陈小强

(兰州交通大学 自动化学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 分布式光伏发电系统受安装方向和角度的影响, 时刻处在不同的光照条件, 采用常规的集中式、串式电气结构的发电系统容易产生热斑问题, 且部分处在低光照条件的电池影响整个系统的性能, 使最大功率点跟踪效率大大降低. 在分析实际屋顶光照情况下, 提出了一种并联式多支路分布式光伏发电系统, 针对并联式多支路结构的电气特点, 分析选取一种有源钳位变换器, 在 MATLAB 环境下构建实验模型并仿真分析. 仿真结果表明, 该系统可有效提高系统抗阴影性能.

关键词: 分布式; 光伏发电; 并联式多支路; 有源钳位变换器; 抗阴影性能

中图分类号: TM91 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.201505023

0 引言

光伏发电技术近年来得到了各国的重视, 发展十分迅速. 其中分布式光伏发电系统装机容量持续增长, 这使得分布式光伏发电结合智能电网技术成为未来电网的发展趋势^[1-4]. 分布式光伏发电系统具有系统简单、安装灵活等优点, 可安装在办公楼宇、住宅小区等用电端, 且成本较低, 适合民间投资. 然而, 现有的分布式光伏系统多采用固定支架安装, 因光伏阵列的日照情况时刻变化, 致使传统的串联阵列结构容易发生功率损失^[4]. 笔者通过分析分布式光伏系统安装环境, 提出一种改进的光伏发电系统结构, 有效提升了系统抗阴影能力.

1 光伏电池支路的特性及功率损失

光伏阵列的基础元件是光伏电池. 光伏电池的输出特性曲线主要受光伏电池的温度及辐照度影响, 其中温度越高, 开路电压越低, 短路电流变化不明显, 最大功率越低; 辐照度越高, 开路电压变化不明显, 短路电流越大, 最大功率越大. 因此, 光伏电池输出特性受温度影响相对较小^[5-6], 而辐照度大幅变化对系统的影响较大.

光伏发电系统使用光伏电池单元串、并联以

获得设计的功率容量. 常见系统结构有集中式、串联式多支路等结构, 使用光伏电池串联可获得高电压. 光伏电池串联需要给光伏电池并联旁路二极管以防止热斑效应^[7-8]损坏元件, 然而旁路二极管会在发生阴影遮蔽时导通, 致使光伏元件短路, 造成部分功率损失. 此外, 由于光伏电池是电压控制电流源, 出现被短路电池将导致整条串联支路剩余光伏电池工作电压较大地偏离最大功率点电压, 造成更大的损失. 文献显示, 使用相同数量的并联光伏电池和串联光伏电池做比较, 当光伏阵列处在不同辐照度条件时, 串联电池支路的输出功率远小于并联支路^[9-11].

2 并联式多支路光伏系统

分布式光伏发电系统多安装于屋顶, 采用固定支架安装, 不具备阳光追踪功能. 为充分利用屋顶的光照, 一般会在各斜面安装光伏电池板^[12]. 各斜面对太阳的角度不同, 既投影面积不同, 形成不同的辐照条件. 同时, 考虑到一天中太阳位置始终在变化, 背阳面甚至出现阴影^[13], 附近较高建筑也可能存在遮挡, 因此, 复杂的阳光照射情况始终存在. 除此之外, 串联光伏电池支路的输出特性决定了此类结构在阴影情况下损失大量功率, 采用光伏电池并联可以解决此问题.

收稿日期: 2015-05-11; 修订日期: 2015-08-18

基金项目: 甘肃省科技计划资助项目(145RJZA098)

通讯作者: 陈小强(1966—), 男, 兰州交通大学教授, 博士, 主要从事电磁场与微波技术、计算电磁学研究, E-mail: 13919289637@139.com.

引用本文: 许天, 陈小强. 并联式支路光伏发电系统的研究与仿真[J]. 郑州大学学报(工学版), 2016, 37(2): 25-28.

根据系统功率容量确定并联光伏电池组件的数量,使用 DC/DC 变换器实现升压及最大功率点跟踪功能,使用逆变器将电能并网. 相较串联式支路,并联式支路在复杂光照分布情况下效率较高,更适合于安装在多斜面屋顶,如别墅,或是被高楼包围的建筑上. 然而并联式支路也存在一些问题,需要进一步讨论.

(1) 并联光伏模块时,光伏电池模块输出电流较大,假设有 n 块电池并联,如果采用图 1 所示链接方式,则靠近电源变换器的导线将承受 n 倍电流,其导线功率损耗

$$P = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} I^2 R,$$

(1)

此时导线上功率损耗巨大,因此需要采用如图 2 所示并联拓扑,将 n 条导线接入节点,致使 n 块电池并联的导线损耗仅为

$$P = n I^2 R.$$

(2)

此外,节点式并联拓扑的故障冗余度要高于链式结构,一条线路断路不会影响其他光伏板的运行.

(2) 并联式支路输出电压为单块光伏组件的标准工作电压,一般小于 50 V,故而需要转换到 220 V/380 V 电网电压,因此对 DC/DC 变换器的要求较高,需要采用针对低压大电流条件的高升压比变换器. DC/DC 变换器分为隔离型和非隔离型,非隔离型变换器为了达到高增益效果,一般需要采用多级变换、输出串联、耦合电感等复杂技术^[14],且不满足某些国家关于分布式能源的安全要求. 隔离型变换器分为工频隔离型、高频隔离型,其中工频隔离型变换器需要将光伏组件输出的直流电先逆变为工频交流电,在使用工频变压器变压后需要进行整流,且工频变压器一般铁芯绕组较大,增加了设备成本及损耗;而高频隔离型变换器相比工频变换器具有体积小、质量轻等优点,且容易得到高电压增益,具有一定的优势.

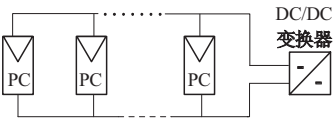


图 1 链式拓扑

Fig. 1 The chained topology

光伏电池是电压控制电流源,输入电流纹波应尽可能小,因此需要合适的变换器拓扑. 隔离型变换器采用电流馈入型结构可减小变压器匝比,减少漏感,且控制简单. 选择 Boost 型有源箝位型

电流馈入的变换器拓扑,具有效率高,结构简单等优点^[15],适合应用于并联式支路结构,其输入纹波电流小,提高低压大电流电源输入的稳定性,提高变换器寿命. 综上,并联式支路光伏发电系统的结构示意图如图 3 所示.

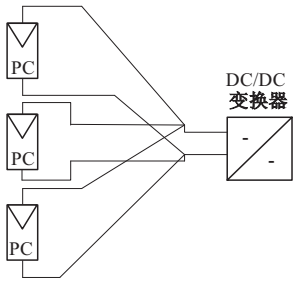


图 2 节点式拓扑

Fig. 2 The nodal topology

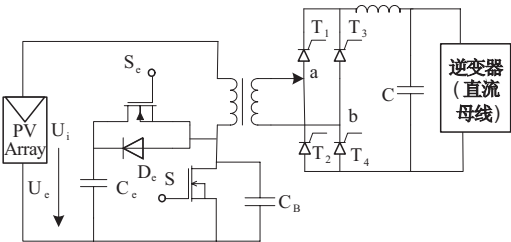


图 3 并联式支路光伏发电系统结构示意图

Fig. 3 The structure diagram of parallel branch photovoltaic power generation system

3 仿真实验

3.1 比较串联结构与并联结构效率

根据以上分析搭建光伏电池模型,使用尚德 STP250 型电池板的参数,其峰值功率为 250 W,开路电压 37.4 V,短路电流 8.63 A,最佳工作电压 30.7 V,最佳工作电流为 8.15 A. 测试单块光伏电池在辐照度为 250、500、750 和 1 000 W/m² 时的最大功率输出,数据如表 1.

表 1 STP250 型光伏电池在不同辐照度条件下最大输出功率

Tab. 1 Maximum output power of STP250 type photovoltaic cell under different irradiance condition

项目	辐照度/(W · m ⁻²)			
	250	500	750	1 000
最大输出功率/W	53	113	180	250
最大功率点电压/V	26.6	28.2	29.7	31.2

设置光伏电池所受辐照度分别为 250、500、750 和 1 000 W/m²,比较 4 块光伏电池并联和串联的输出,并联结构最大功率为 566.5 W,串联结

构最大输出功率仅为 381.5 W。仿真结构图及结果如图 4。其中串联结构输出为多峰值曲线,其最大功率点为全局最大功率点,对跟踪算法有更高的要求。

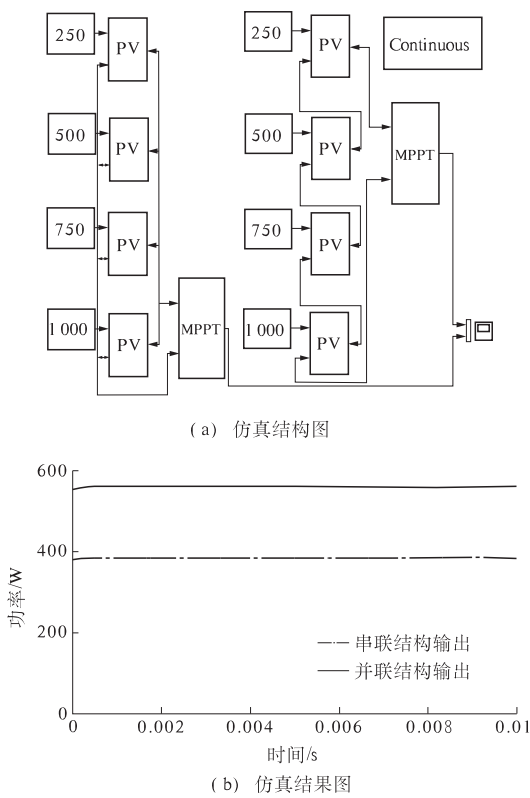


图 4 串并联结构输出比较图

Fig.4 Series and parallel structure output diagram

3.2 验证并联式支路光伏发电系统工作效率

搭建 12 块光伏电池板并联式支路光伏系统前级电路,其仿真实接线图如图 5 所示,光伏组件最大功率 3 kW,最大功率点跟踪算法采用固定电压法,电压为开路电压的 78%。模拟不规则的屋顶安装条件,设置电池板辐照度为 250、500、750 和 1 000 W/m²各 3 块,代表不同斜面面对阳光的不同角度;Boost 型有源钳位变换器采用 MOSFET 开关管,MOSFET 管电阻应尽可能小,否则会有大量

功率损失,参考实际已有产品数据,确定仿真参数;辅助开关支路的电容起到储能作用,应尽可能大;高频变压器对光伏系统输入进行升压,该实验设置输出 400 V 直流电以便并入电网配电侧输送电能;使用全桥整流将高频变压器输出的交流电整流,以便进一步逆变或并入直流母线。仿真的参数如表 2 所示,仿真得到变换器输入输出波形如图 6 所示。

其中输入电压为 28.8 V,输入电流为 54.6 A,输入功率为 1 575.2 W;输出电压为 390.0 V,负载电流为 3.9 A,输出功率为 1 521.0 W,变换后的电能符合要求。其中变换器的效率为 96.6%。并且光伏电池接受太阳能功率为 1 788.0 W,实际转化率为 85.0%。分析表 1 的数据与图 6 的仿真电压可知,不同辐照度下光伏组件最大功率点电压各不相同,而固定电压法的运行电压为固定值,当此固定值偏离全局最大功率点电压时,将导致部分电池偏离最大功率点运行,而由于此时偏离电压相对较小,对全局最大功率的偏离影响较小,因此和串联支路对比,并联式支路的效率仍要比串联支路高出很多。并且通过选择其他全局跟踪算法,可消除固定电压法造成的偏差,进一步提升跟踪效率。

表 2 仿真实验参数

Tab.2 Parameters of simulation experiment

实验参数	数值
脉冲频率/kHz	20
脉冲占空比	0.75
开关管电阻/mΩ	0.005
变压器频率/kHz	20
变压器变压比	30/400
钳位电容/nF	60
辅助电容/μF	100
稳压电容/μF	10
负载电阻/Ω	100

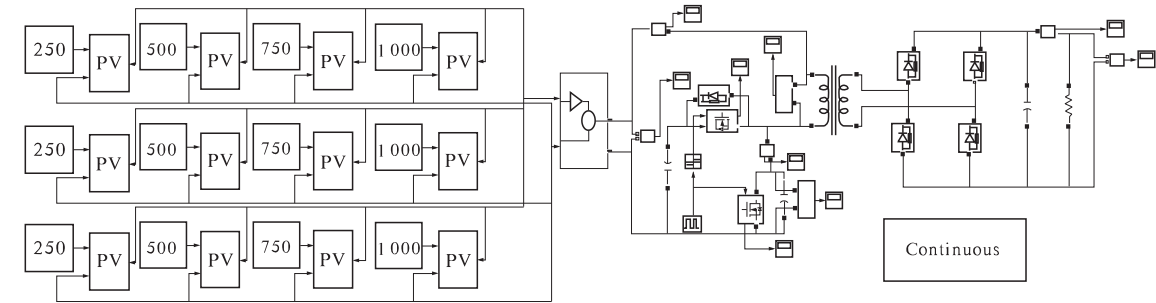


图 5 并联式支路光伏发电系统前级电路仿真图

Fig.5 Parallel branch photovoltaic system front-end circuit simulation diagram

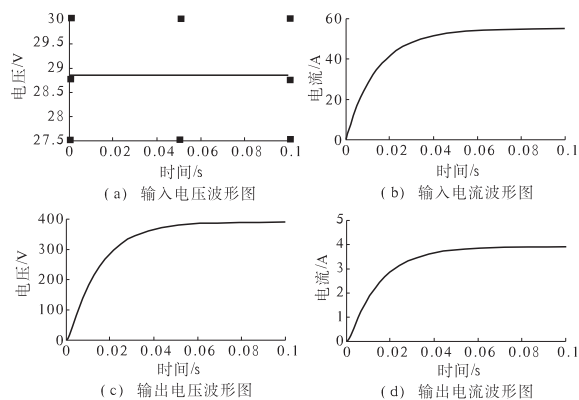


图6 仿真结果图

Fig. 6 The results of simulation diagram

4 结论

提出一种基于并联式支路的分布式光伏系统结构,该结构确保在光照条件不均情况下所有光伏电池都能近似工作在最大功率点;采用 Boost 型有源钳位变换器,在得到高升压比的同时起到隔离电网的作用,具有较高的能量转换效率;系统结构方便扩展,实际工程安装方便,能高效利用建筑表面空间,适合千瓦级分布式光伏发电系统的安装;该系统适用于居民住宅屋顶以及不规则外形建筑等分布式环境。

参考文献:

- [1] 杨涛,曾国宏. 分布式光伏发电引起电压越限的储能解决方案[J]. 电力电子技术, 2013, 47(4): 55 - 57.
- [2] LI B, LIU T Q, LI X Y. Impact of distributed generation on power system voltage stability [J]. Power system technology, 2009, 33(3): 84 - 88.
- [3] VEERACHARY M. PSIM circuit oriented simulator model

for the nonlinear photovoltaic sources[J]. IEEE trans aerosp electron syst, 2006, 42(2): 735 - 740.

- [4] PUTTGEN H B, MACGREGOR P R, LAMBERT F C. Distributed generation: semantic hype or the dawn of a new area[J]. IEEE power and energy magazine, 2003 (1): 22 - 29.
- [5] 张丹, 陈华. 光伏阵列拓扑结构对系统输出的影响[J]. 计算机仿真, 2014, 31(5): 125 - 129.
- [6] 茆美琴, 余世杰, 苏建徽. 带有 MPPT 功能的光伏阵列 Matlab 通用仿真模型[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(5): 1248 - 1251.
- [7] 周航. 基于粒子群算法的局部遮阴光伏发电系统 MPP-T 控制的研究[D]. 天津: 天津大学电气与自动化工程学院, 2009.
- [8] 吴小进, 魏学业. 复杂光照环境下光伏阵列输出特性研究[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(Z): 162 - 167.
- [9] 张兴, 曹仁贤. 太阳能光伏并网发电及其逆变控制[M]. 北京: 机械工业出版社. 2011.
- [10] 张立斌. 屋顶分布式光伏发电设计[J]. 华北电力技术, 2014(1): 13 - 19.
- [11] 陈丹. 直流母线下多逆变器负载局域电力系统的研究[D]. 大连: 大连海事大学轮机工程学院, 2010.
- [12] 刘邦银, 梁超辉, 段善旭. 直流模块式建筑集成光伏系统的拓扑研究[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(20): 99 - 104.
- [13] 王春明, 王金全, 徐晔, 等. 城市住宅小区屋顶并网光伏发电系统的实现[J]. 解放军理工大学学报, 2007, 8(4): 382 - 386.
- [14] 张雪. 非隔离型光伏并网逆变器高效 MPPT 控制方法研究[D]. 广州: 华南理工大学机械与汽车工程学院, 2012.
- [15] 陈道炼, 严仰光. 有源钳位正激变换器的分析与设计[J]. 电气传动, 1999(1): 30 - 33.

Research and Simulation of Parallel Branch Photovoltaic Power Generation System

XU Tian, CHEN Xiaoqiang

(School of Automation and Electrical Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Distributed photovoltaic power generation system is affected by installation direction and angle, in different times illuminance condition changes, the conventional structures such as centralized or serial structures of the electrical power generation systems are prone to suffer hot spot phenomenon, the photovoltaic cell which is in low illuminance condition will affect the whole system performance, and the performance of the maximum power point tracking will decrease greatly. This paper analyzes the actual roof illuminance conditions, puts forward a paralleled multi-branch of distributed photovoltaic power generation system, combining photovoltaic cell's own characteristics of series-parallel and roof sunshine distribution to change array structure, according to the electrical characteristics of parallel branch structure, and we choose a kind of active clamped converter, which can improve system's security and shadow resistance. Construct the experimental prototype and the simulate in Matlab, verify that the system can run efficiently when partially shadowed.

Key words: distributed; photovoltaic power system; paralleled multi-branch; active clamped converter; shadow resistance