[光伏发电]

基于微型逆变器和组串逆变器光伏并网系统的发电效率对比

文/北京理工大学智能机器人与系统高精尖创新中心　刘　潇

阐述了基于微型逆变器和组串逆变器光伏并网系统各自的特点，分析了光伏组件失配形成的原因及对组串系统发电效率的影响，并利用试验的方式进行了验证，给出了两种系统投资及收益情况分析。长期来看，微型逆变器系统在“生命周期”中的总发电效率更高。

如今，传统能源日趋枯竭，环境污染日趋严重，寻找及利用清洁能源已成为当今社会发展的主题之一。太阳能作为一种重要的清洁能源，已得到了广泛应用。光伏并网发电是其中的重要方式，传统的光伏并网发电系统主要为集中式和组串式系统。而伴随着应用的不断发展，传统系统中存在的如组件失配等诸多问题，逐渐暴露出来。人们关注的重点，也已从之前的系统初始投资成本，逆变器、光伏板转换效率等，转变为系统在“生命周期”内的发电效率及收益问题。

近些年，微型逆变器光伏并网发电系统快速发展，其不仅可以彻底解决传统发电系统存在的诸多问题，还在经济、安全和运维等方面具有极大的优势。

系统介绍

微型逆变器：可实现组件级最大功率跟踪的光伏并网逆变器。每个组件连接一个微型逆变器。

组串逆变器：对一个光伏串进行最大功率追踪的光伏并网逆变器。光伏组件经串并联后接入组串逆变器。

光伏发电系统：由光伏组件、并网逆变器、交流配电箱和电表等组成，光伏直流电经逆变后接入电网或就近被负载消耗掉。系统示意图如图1所示。

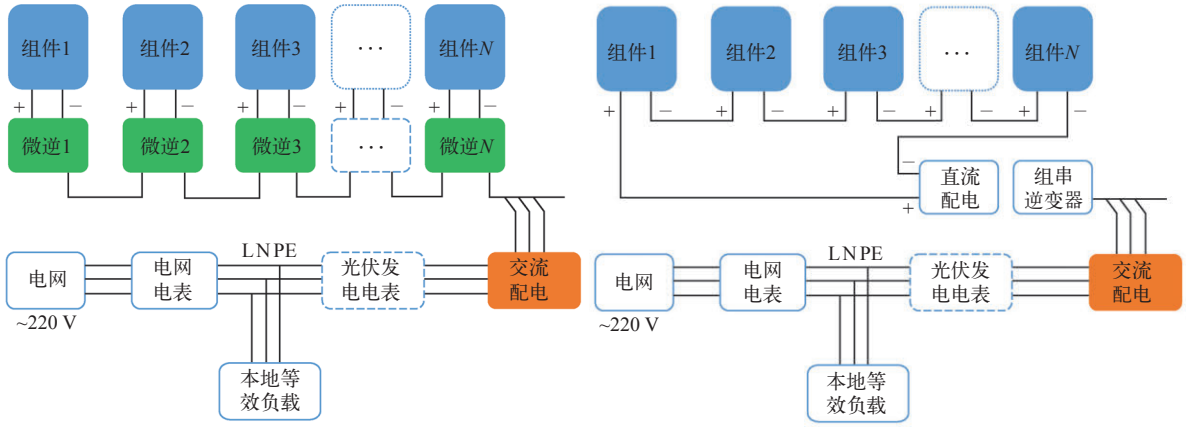


图1　微型逆变器及组串逆变器并网系统示意图

影响组串系统发电效率的因素分析

1．光伏组件的组成

光伏组件一般由多个电池单元串并联而成，图2示意了以晶硅组件为例的光伏板构成，常见的一般包括60或72个单元。其中每20或24个电池单元组成一个单元子串，每块光伏组件由3个子电池单元子串串联而成，每个子串两端反并联一个旁路二极管。

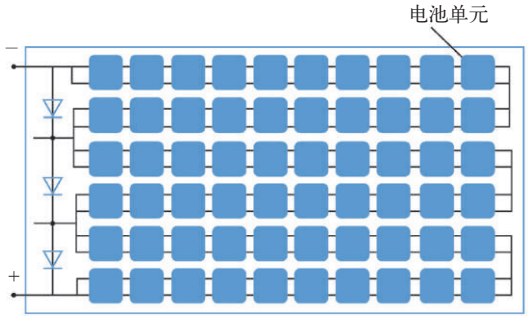


图2　光伏板构成

组串光伏发电系统由多块光伏组件串联而成。而每块光伏组件又由多个电池单元串联而成，实际上，组串系统可等效成由多个电池单元串联组成。串联电路中，流过系统电路中的电流是相等的。

2．短板效应

短板效应即木桶效应，指一只水桶能盛多少水取决于木桶最短的那块木板。组串系统中的电流取决于系统中电流最小的那块组件。

实际应用中，组串系统极易出现短板效应。多种原因造成组件内部各光伏单元输出功率不一致，进而各组件输出功率不一致，系统组件失配。根据“短板效应”原理，此时系统中的电流会跟随其中电流最小的一块组件，导致系统整体输出功率的大幅下降。一块组件出现问题，整个系统的发电功率都随之下降，如图3所示。

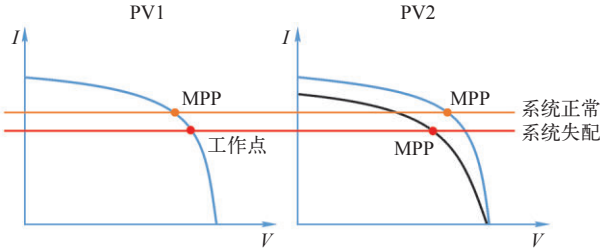


图3　组串系统正常和失配情况下MPPT情况

3．失配原因

造成组件失配的原因有很多种：光伏组件衰减及老化速率各不相同，光伏组件制造本身存在误差，组件存在隐裂、热斑等问题，光伏组件存在遮挡，表面存在灰尘、积雪和污垢等，光伏组件安装朝向、角度不同等。

试验验证

1．试验目的

通过对组串及微型逆系统中的光伏组件进行有规则的遮挡，模拟组件在实际工作过程中的失配情况，验证组件功率失配对各自系统发电效率的影响。

2．试验方法

（1）系统组成

本次试验采用了独立的组串及微型逆并网系统进行对比，系统组成如下：

1）10块300 W组件串联，接入3 kW组串逆变器，交流输出接电表后接220 V交流市电，组成组串逆变系统。

2）10块300 W组件，每块组件接入300 W微型逆变器，交流输出并联，接电表后接220 V交流市电，组成微型逆变系统。

3）电表各自独立，两系统组件安装倾角等条件完全一致，且均无外界遮挡。

（2）遮挡原理及规则

光伏发电系统工作一段时间后，系统中的组件功率各不一致。通过对组件进行遮挡，模拟组件此失配现象。组件无遮挡作为参考标准，此时功率为P。遮挡面积在电池单元面积的5%～15%不等。遮挡可选取系统中任意组件，两个系统同时遮挡，试验规则如表1所示。

表1　组串系统组件遮挡规则

	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	10#
无失配	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
1块5%	$P-5\%$	P	P	P	P	P	P	P	P	P
1块10%	$P-10\%$	P	P	P	P	P	P	P	P	P
1块15%	$P-15\%$	P	P	P	P	P	P	P	P	P
2块5%	$P-5\%$	P	P	P	P	P	P	P	P	$P-5\%$
2块10%	$P-10\%$	P	P	P	P	P	P	P	P	$P-10\%$
2块15%	$P-15\%$	P	P	P	P	P	P	P	P	$P-15\%$

（3）试验方式

根据设计规则变换极板的遮挡面积，每个规则下记录规定时间内电表的发电量数据，以此作为判断依据。

3．试验数据

不同遮挡规则下的电表读数及效率对比如表2所示，记录规定时间内各自电表总发电量读数

的“起始值”和“结束值”，差值即为这段时间内系统的‘发电量’数据，再对组串逆变系统和微型逆变系统发电量数据进行比值得到“效率对比”的百分数。

表2　试验数据统计

	组串逆变系统			微型逆变系统			效率对比（%）
	起始	结束	发电量	起始	结束	发电量	组串/微逆
无遮挡	0.515	0.969	0.454	0.492	0.948	0.456 5	99.45
1块5%	1.058	1.451	0.393	1.042	1.449	0.407	96.56
1块10%	1.729	1.982	0.253	1.746	2.029	0.283 25	89.32
1块15%	2.104	2.335	0.231	2.164	2.422	0.258 5	89.36
2块5%	2.948	3.095	0.147	3.143	3.3	0.156 75	93.78
2块10%	2.686	2.863	0.177	2.849	3.047	0.198	89.39
2块15%	2.424	2.612	0.188	2.53	2.752	0.222 75	84.40

4．数据结果分析

1）系统中任意组件中的任何一个电池单元被遮挡5%，即单块组件被遮挡约0.083%面积，组串逆变系统整体发电效率下降约5%，而微型逆变系统只有约0.5%。

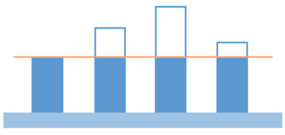
2）组串逆变系统中，组件功率失配比例越大，失配数量越多，发电效率损失越多。

3）组串逆变系统中，串联组件数量越多，对功率失配越敏感，短板效应越大，对系统发电效率影响越大，发电系统组件失配情况可等效成表中遮挡形式。

4）组串逆变系统中，任意组件出现失配情况，系统发电效率整体下降。

5）微型逆变系统，具有组件级最大功率追踪特性，系统发电效率只受有问题组件影响，不存在失配问题。系统功率模型如图4所示。

微型逆变系统功率模型



组串逆变系统功率模型

图4　功率模型

系统投资及收益分析

以3 kW组串逆变系统和3 kW微型逆变系统为例，对比在其生命周期内的发电及收益型情况。微型逆变系统初始投资成本比组串式逆变系统高出约0.3～0.4元，度电收益按1元/kW·h计算，分析如表3所示。

表3　投资及收益分析

	3 kW组串逆变系统	3 kW微型逆变系统		
售价/元	2 100	3 300	3 300	3 300
年发电量/kW·h	3 500	3 500×(1+k)	3 500×(1+k)	3 500×(1+k)
度电收益/（元/kW·h）	1	1	1	1
发电量增加系数k		5%	10%	15%
年收入/元	3 500	2 940	3 850	4 025
20年累计收入/元	70 000	73 500	77 000	80 500
系统逆变器多支出/元		1 200	1 200	1 200
发电增加收入/元		3 500	7 000	10 500
实际系统增收/元		2 300	5 800	9 300

结束语

通过对相同工作条件下的组串和微型逆变系统进行遮挡对比试验的数据分析得出结论，微型逆变系统在“生命周期”中的总发电效率更高，更具有经济性。EA

（收稿日期：2019.11.10）

（编辑：朱金凤）