

是德科技

# 用太阳能电池阵列模拟技术测试 微型地面太阳能供电逆变器

应用指南



# 简介

## 综述

与中国由政府和大公司出面集中建设太阳能发电站不同，欧美国家更多是在建筑物的屋顶上建立小型的太阳能发电设施。他们就会用到很多的微型太阳能逆变器，通过多个逆变器的极联，将多个太阳能板产生的电能全部输入建筑物的市电网络。虽然这套体系在中国没有大范围推广，但很多国内的公司已经开始了微型逆变器的研制和生产，并形成了很大的出口规模。

地面太阳能逆变器设计和制造商必须确保其产品能够从所连接的模块上获取和提供最大功率。能从太阳能模块获取的功率与光照和温度密切相关。所能实现的最大功率随工作条件而变化，它被称为最大功率点(MPP)。对于逆变器的设计、开发和认证，关键是要测试MPP阵列。为了获得逆变器测试的太阳能电池模块全范围的MPP和其它工作点，必须要长时间内置于可预期、可重复和宽范围的太阳光照条件下，并控制其温度。但这样的测试环境对于太阳能电池模块的测试是不实际的。Keysight E4360 太阳能电池阵列模拟器能模拟可控的、一致性的、稳定的和宽范围的太阳能电池板性能。

## 问题

精确、可控、可重复和宽范围的太阳能逆变器的性能测试并不是件容易的工作，如果不具备足够的条件，要完成这项工作的可能性几乎为零。

- 通常，一个逆变器性能的测试包括了以下几个部分：
- 开发和验证逆变器峰值功率跟踪电路和算法的性能
- 测量和验证逆变器的效率
- 验证逆变器在高和低输入电压极端条件下产生电网电平输出的能力
- 性能认证测试：确认不同环境条件下的性能
- 性能加速寿命测试，用仅仅几周时间推算到工作数年后的结果
- 针对相关标准的认证测试



## 解决方案

利用Keysight E4360 模块化太阳能电池阵列模拟器，在测试逆变器时，就能控制和一致地复现稳定和宽范围的I-V曲线。E4360的三种曲线生成方法为您提供选择的灵活性：

- 太阳能电池阵列仿真模式
- 列表模式
- 内置偏置特性

这篇应用指南介绍所有这三种方法。您可选择不同的I/V曲线分辨率，并利用列表功能自动切换I/V曲线，以仿真太阳光照的变化。在这个过程中，无需对仪器进行编程操作。



# 太阳能电池阵列仿真 (SAS) 模式

当您用 E4360A 提供模块的开路电压 (Voc)，短路电流 (Isc)，以及最大功率点的电压和电流 (Vmp, Imp) 时，仿真器的内部固件算法按图 1 所示的指数太阳能电池模型公式，用 4096 点或 256 点对电流和电压数据建立 I-V 曲线。

$$V = \frac{V_{oc} * \ln \left[ 2 - \left( \frac{I}{I_{sc}} \right)^N \right]}{\ln(2)} - R_s * (I - I_{sc})}{1 + \frac{R_s * I_{sc}}{V_{oc}}}$$

图 1. I-V 曲线生成公式

下述文献描述了该指数模型: Britton, Lunscher, and Tanju, "A 9-KW High-Performance Solar Array Simulator," Proceedings of the European Space Power Conference, August 1993 (ESA WPP-054, August 1993

$$R_s = \frac{V_{oc} - V_{mp}}{I_{mp}} \quad N = \frac{\ln(2 - 2^a)}{\ln \left( \frac{I_{mp}}{I_{sc}} \right)}$$

$$a = \frac{V_{mp} * \left( 1 + \frac{R_s * I_{sc}}{V_{oc}} \right) + R_s * (I_{mp} - I_{sc})}{V_{oc}}$$

## 列表模式

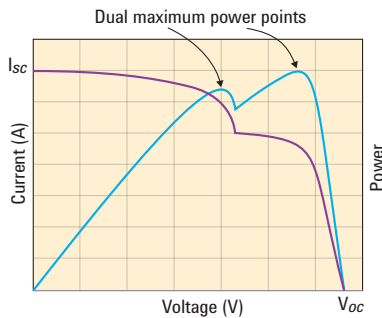


图 2. 从并联的太阳能电池模块得到的复杂 I-V 曲线

您可用 E4360A 提供的高达 4000 对电流和电压数据点为所要模拟的曲线精确建模。当模拟器的内部算法未能提供与所需模拟模块的足够相关性，或 I-V 曲线甚为复杂时，这种方法是非常有用的。例如多块太阳能电池模块的并联有可能产生多最大峰值功率点。在这种情况下，仅采用内部算法是不能复现的。

图 2 中的复杂曲线代表通过二极管隔离的并联模块，其中有部分模块处于阴影中。

您可在列表模式中输入 3 至 4000 对电流和电压 (I-V) 数据点。不管您输入多少对数据点，E4360 都将根据您选择的分辨率，通过线性内插产生 256 或 4096 对数据点的列表。每一 I-V 数据点都必须包括电流值和电压值。请参看表 1。最大模拟电流分辨率由您选择的太阳能电池阵列模拟器模块型号的额定满度值确定。如果您不提供开路电压 (Voc) 值和短路电流值 (Isc)，E4360 将通过给定数据内插产生 Voc 和 Isc。

表 1. 使用 n 对电流和电压的 I-V 列表

电流	0	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>	I <sub>6</sub>	I <sub>7</sub>	... I <sub>n-1</sub>	I <sub>sc</sub>
电压	V <sub>oc</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>5</sub>	V <sub>6</sub>	V <sub>7</sub>	... I <sub>n-1</sub>	0

续

## 列表模式 续

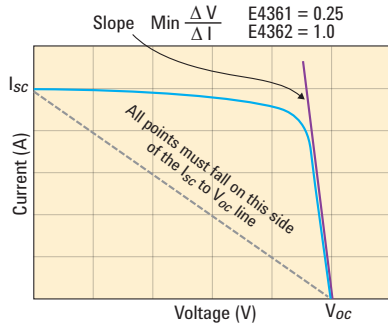


图 3. 当您在列表模式送入 I-V 数据，图形将识别是否符合必须的边界条件。

E4360 能够接受等效于短路电流的最大功率点电流 ( $I_{mp}$ )。最大功率点电压 ( $V_{mp}$ ) 必须小于开路电压 ( $V_{oc}$ )。曲线必须是单调下降的，也必须落在  $I_{sc}$  至  $V_{oc}$  连线的上面，所得到曲线每一点的斜率 (用  $\Delta V/\Delta I$  表示) 必须符合最小值的要求。见图 3。E4360 检查整条曲线的单调性，以及在  $V_{oc}$  终止时的斜率。

## 偏置特性

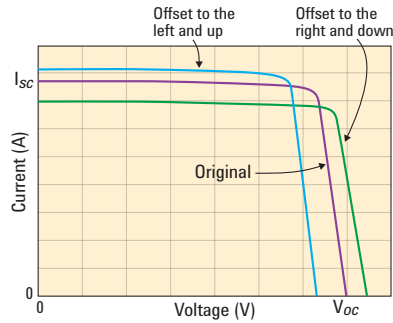


图 4. 在水平和垂直方向同时偏置原曲线

E4360 产生的 I-V 曲线的电流和电压列表可以调整，但不能改变其基本形状。如果在改变工作条件时，被模拟模块产生的 I-V 曲线能够保持基本形状，那么这一基本形状就可作为模板使用。偏置值施加到您原先通过内插所产生内部表格的原始 I-V 数据组上。可通过编程加减电压、电流偏置，从而有效地模拟变化的光照和温度条件，而不需要另外送入曲线数据。请参看图 4。

## 列表特性

除了上述三种曲线生成方法外，E4360A 列表特性还为您提供多达 512 步列表的多条曲线的排序能力。您可以设定各步的停留时间，或执行触发从一步移到另一步。您也能触发列表，开始、重复 1 至 256 次或连续运行。

## 确保逆变器性能

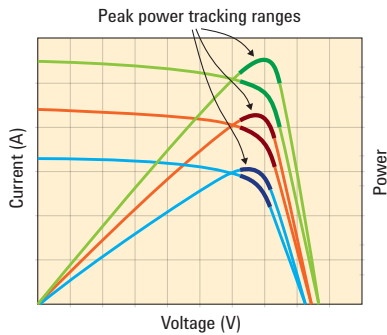


图 5. 峰值功率跟踪阳光照射范围和功率跟踪范围

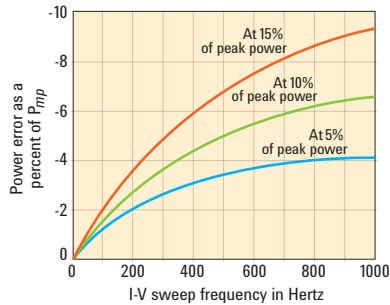


图 6. 作为扫描频率和功率跟踪范围函数的功率差的百分数

通过上述 E4360 能力，您就能完成逆变器指标性能的验证。

### 逆变器峰值功率跟踪电路和算法的开发和性能验证

如果您的目标是开发能在任何可能环境条件下尽可能多地提取太阳能模块功率的逆变器，通常都会采用最大峰值功率跟踪技术。电路的设计和开发必须考虑如图 5 所示的峰值功率的跟踪范围和跟踪频率。峰功率跟踪范围是 I-V 曲线最大峰功率点周围的区间，这也是逆变器峰值功率跟踪电路和算法的工作区间，跟踪频率则是工作区间内的摆动的速率。为确保逆变器能在模块 I-V 曲线变化时始终能找到最大峰功率点，必须有足够宽的跟踪范围和足够高的跟踪频率。为验证设计有效，要根据精确和可再现的 I-V 曲线，通过测试来验证逆变器性能。

重要的是要理解和考虑太阳能电池阵列模拟器的性能边界。在逆变器最大峰值功率跟踪电路和算法改变工作点时，太阳能电池阵列模拟器复现可编程 I-V 曲线的能力是功率跟踪范围和跟踪频率的函数。较宽的功率跟踪范围和较高的跟踪频率要比较窄范围和较低频率会有更多的仿真功率差。为确保测量有效，您可使用如 Keysight N3300 这样的电子负载找到编程 I-V 曲线的最大功率点，从而建立一条用于比较逆变器提取功率的基线。这一功率差用如图 6 所示跟踪频率和功率跟踪范围最大功率点 ( $P_{mp}$ ) 的功率百分数表示。图上在  $P_{mp}$  两端区间的功率跟踪范围用峰值功率的百分数表示。在这一例子中，仿真器负载是正弦扫描，它从  $P_{mp}$  一边的 -5%，-10% 和 -15% 扫至  $P_{mp}$  另一边的 -5%，-10% 和 -15%。

### 测量和验证逆变器的效率

除了从模块提取尽可能多的功率外，逆变器还必须将输入的直流功率高效率地转换为交流功率。在逆变器输入施加固定的直流电压范围可能提供一些有意义的结果，但不能完全了解最大峰功率跟踪 (MPPT) 电路及其与 DC-AC 变换功能的互动。变换效率取决于 MPPT 与 DC-AC 变换电路的互动，以及电源路径中的 DC 工作电压电平。最大峰功率跟踪功能的更高频率和更宽范围提供比固定 DC 工作点范围的更大 I-V 曲线应用范围，从而产生精确的逆变器效率数据。

## 确保逆变器性能 续

### 验证逆变器在高和低输入电压极端条件下产生电网电平输出的能力

如果您的逆变器要充分利用太阳能电池模块的输出功率优势，例如在清晨和正午的低和高输入电压极端条件下，始终能产生电网要求的输出电平，这就要求逆变器能适应这些条件下的模块I-V曲线。太阳能电池阵列模拟器允许您渐渐地或急剧地从一个极端条件变到另一个极端条件，从而帮助您确定变化速率和极端条件下的I-V曲线是否给逆变器工作带来重大影响。如果这样的曲线或曲线变化速率给逆变器工作带来不良结果，模拟器可帮助定位性能问题，或者反过来验证工作状况是否符合预期要求。E4360可让您在30ms内改变曲线。

### 性能认证测试—确认在不同环境条件下的性能

认证过程通常需要在各种环境条件下验证性能是否达到技术指标要求。逆变器可能要经受冲击、振动、运输。温度、湿度和高度等环境测试和一系列电气测试。有些测试要在环境试验箱中进行，有些测试要在逆变器工作条件下进行。为确保逆变器能在全部输入和环境条件下达到技术指标，通常要进行全范围的I-V曲线测试。如有需要，可在测试时同步改变I-V曲线。E4360A太阳能电池阵列模拟器具有内置的同时电压和电流测量能力和数据记录能力，可按您的测试要求量身定制地变更I-V曲线，从而使您能捕获整个测试过程的电压和电流读数。在许多情况下可从电压和电流读数计算得到足够精确的瓦特数。Keysight N3300这样的电子负载可调整电网模拟器的电压和频率，它和Keysight E4360太阳能电池阵列模拟器一起构成适用于逆变器鉴定的完美环境测试设备。当你需要更高精度的电流、电压和功率测量时，可再增添Keysight数字万用表和精密功率计。

### 性能加速寿命测试用仅仅几周时间得到工作数年后的结果

您可用E4360A执行加速寿命测试。在环境试验箱条件下测试逆变器意味着将每天24小时，每年365天暴露在真实世界中，您还可通过改变温度和太阳辐照的变化模拟太阳能电池模块输出的变化。还可能模拟改变模块输出的许多其它条件，如局部阴影、老化、尘土、污垢和风速等条件。为加快寿命测试，必须大大加快环境条件的变化速度，同时增加模块输出，用短短几周时间得到工作数年后的结果。使用E4360，您就可以产生和同步响应逆变器环境条件变化的I-V曲线。通过数字I/O端口的外部事件或编程，就可触发I-V曲线的变化。

## 确保逆变器性能 续

### 相关标准的认证测试

参与各种政府和私人团体赞助的可再生能源项目可能要求通过认证测试。例如，加州能源委员会 (CEC) 掌握有资格参与国家资助项目的逆变器和其它类型设备的名单。为列入资格名单，逆变器必须符合规范要求并通过一系列测试。CEC 官方网站列有逆变器要求及测试步骤，以及太阳能电池阵列模拟器基本要求。E4362 太阳能电池阵列模拟器提供确保有效和可重复测试结果的宽范围输出、模拟性能、稳定性和精度。

## 总结

Keysight E4360 提供的灵活性和 I-V 曲线生成等特性，将帮助您开发和验证逆变器设计的性能和执行鉴定、寿命及认证测试。E4360 是一种提高您生产力的激励和测量仪器。

要了解有关详情，请访问：[www.keysight.com/find/sas](http://www.keysight.com/find/sas)

myKeysight

myKeysight  
[www.keysight.com/find/mykeysight](http://www.keysight.com/find/mykeysight)  
个性化视图为您提供最适合自己的信息!



[www.axistandard.org](http://www.axistandard.org)  
AdvancedTCA® Extensions for Instrumentation and Test (AXIe) 是基于 AdvancedTCA 标准的一种开放标准, 将 AdvancedTCA 标准扩展到通用测试和半导体测试领域。是德科技是 AXIe 联盟的创始成员。



[www.lxistandard.org](http://www.lxistandard.org)  
局域网扩展仪器 (LXI) 将以以太网和 Web 网络的强大优势引入测试系统中。是德是 LXI 联盟的创始成员。



[www.pxisa.org](http://www.pxisa.org)  
PCI 扩展仪器 (PXI) 模块化仪器提供坚固耐用、基于 PC 的高性能测量与自动化系统。



**3年保修**  
是德卓越的产品可靠性和广泛的3年保修服务完美结合, 从另一途径帮助您实现业务目标: 增强测量信心、降低拥有成本、增强操作方便性。



**是德保证方案**  
[www.keysight.com/find/AssurancePlans](http://www.keysight.com/find/AssurancePlans)  
5年的周密保护以及持续的巨大预算投入, 可确保您的仪器符合规范要求, 精确的测量让您可以继续高枕无忧。



[www.keysight.com/quality](http://www.keysight.com/quality)  
Keysight Electronic Measurement Group  
DEKRA Certified ISO 9001:2008  
Quality Management System

**是德渠道合作伙伴**  
[www.keysight.com/find/channelpartners](http://www.keysight.com/find/channelpartners)  
黄金搭档: 是德的专业测量技术和丰富产品与渠道合作伙伴的便捷供货渠道完美结合。

[www.keysight.com/find/powerofx](http://www.keysight.com/find/powerofx)

如欲获得是德科技的产品、应用和服务信息, 请与是德科技联系。如欲获得完整的产品列表, 请访问:  
[www.keysight.com/find/contactus](http://www.keysight.com/find/contactus)

请通过 Internet、电话、传真得到测试和测量帮助。

热线电话: 800-810-0189、400-810-0189  
热线传真: 800-820-2816、400-820-3863

#### 是德科技(中国)有限公司

地址: 北京市朝阳区望京北路3号  
电话: (010) 64397888  
传真: (010) 64390278  
邮编: 100102

#### 上海分公司

地址: 上海市虹口区四川北路1350号  
利通广场5楼、16-19楼  
电话: (021) 36127688  
传真: (021) 36127188  
邮编: 200080

#### 广州分公司

地址: 广州市天河区北路233号  
中信广场66层07-08室  
电话: (020) 38113988  
传真: (020) 86695074  
邮编: 510613

#### 成都分公司

地址: 成都高新区南部园区  
天府四街116号  
电话: (028) 83108888  
传真: (028) 85330830  
邮编: 610041

#### 深圳分公司

地址: 深圳市福田区  
福华一路六号免税商务大厦3楼  
电话: (0755) 83079588  
传真: (0755) 82763181  
邮编: 518048

#### 西安分公司

地址: 西安市碑林区南关正街88号  
长安国际大厦D座5/F  
电话: (029) 88867770  
传真: (029) 88861330  
邮编: 710068

#### 是德科技香港有限公司

地址: 香港北角电气道169号25楼  
电话: (852) 31977777  
传真: (852) 25069292

香港热线: 800-938-693  
香港传真: (852) 25069233