

针对微型光伏逆变器的测试使用具有四象限能力的程控交流电源来模拟电网

概述

本应用文章介绍了线性交流电源的四象限操作模式，以及该模式为何适合于光伏（PV）逆变器的开发和测试应用。作为为数不多的线性交流电源剩余的主流厂商之一，太平洋电源提供了一个独特的电源解决方案。本应用文章中，我们使用广泛应用于2KVA，3相输出的机型320AMXT-UPC32来说明电能回灌的能力。



Figure 1: 320AMX Linear AC Power Source

介绍

为了满足不断增长的能源需求，通常需要部署许多可再生能源以补充传统的化工燃料和核能发电。如光伏逆变器，也可以称作太阳能逆变器，太阳能逆变器在这方面发挥了重要作用，因为它可通过将太阳能电池板的直流电（DC）转换成交流电（AC）以用于家庭或工业领域。

太阳能电池板有60个6寸大小的单晶片组成，串联组成30Vdc的电池板，通过再次串联组合产生300Vdc到600Vdc的电压。这种装置依靠一个大型的、集中式的逆变器把直流电转换成足够带载能力的交流电。通常这些集中式逆变器的额定功率是3000W或更高。

近年来，一种前端只有一块太阳能电池板的微型逆变器已成为一种日益增长的趋势，通过多个逆变器并联电网输出以产生期望的交流能量。这种分散式发电方法的优点包括：

- 每个微型逆变器的功率大小只有250W，排除了强迫风冷的要求，因此降低了成本，提高了可靠性，增强了设备的使用寿命。

- 每个逆变器都可以工作在最大功率点处。逆变器串联到电池板上产生等额的电流，因此电池板即使在乌云和阴影下，逆变器也会工作在最大功率点处。
- 安装简单。一个微型逆变器依附在一块太阳能电池板上，减小了使用高直流电压的危险性。
- 扩容方便。未来若有扩容需求时，只需要再添加一个由微型逆变器和独立的太阳能电池板组成的微型逆变系统即可。
- 多个逆变器系统将会更加稳定。当一个微型逆变器失效时，剩余的微型逆变器将会继续提供能量。

与任何技术一样，总需要有一些取舍。微型逆变器每瓦的成本往往比串式逆变器高。由于安装尺寸的增加，集中式逆变器转换的高效率更具成本效益。然而对于大部分住宅设施，微型逆变器是一个很好的选择并正在迅速成长。

光伏逆变器测试需求

光伏逆变器需符合多个安全与电磁兼容法规。相同的监管标准，也适用于微型逆变器。由于光伏逆变器是并网设备，需要建立严格的指导方针，以确保众多并网逆变器的存在不会对公共电网造成混乱。这些监管标准的典型的例子是：

Standard	Description
IEEE 1547 / IEEE 1547.1	電力系統設備互連標準的一致性測試程序分佈式資源
UL 1741	隨著分佈式能源的使用標準逆變器，轉換器，控制器和聯網系統設備
IEC 61000-3-15	電磁抗擾度和發射要求分散在低壓網絡代

Table 1: PV Inverter Test Standards

IEEE和UL标准首先关注的是安全方面的问题，例如漏电流和防孤岛动作；IEC标准包含了对EMC测试如谐波、闪变、电压跌落、低电压穿越和频率变化。相关的标准如IEC61000-3-2/12(谐波)，IEC61000-3-3/11(闪变)，IEC61000-4-11/34(电压跌落和变化)，IEC61000-4-28(频率变化)等。



频率转换

航空

研发

军事

生产

定制

为了遵守微型逆变器在产品开发和生产阶段的稳定性，在评估和测试逆变器过程中，需要使用一个精密的可程控交流电源。使用交流电源测试光伏逆变器有别于大多数其他产品的测试，不像大多数产品仅仅需求功率（例如家电，热水器，照明）；光伏逆变器则是一个发电设备。

光伏逆变器的测试需要把交流电源的输出端连接到逆变器的交流侧。这样会产生能量回灌的问题，回灌电流会流入交流电源导致设备自动保护关机。为了避免自动保护关机，一种能够工作在四象限操作 (bidirectional) 模式下的交流电源诞生了，我们可以把它认为是负载或者两者都是。

光伏逆变器的测试需要把交流电源的输出端连接到逆变器的交流侧。这样会产生能量回灌的问题，回灌电流会流入交流电源导致设备自动保护关机。为了避免自动保护关机，一种能够工作在四象限操作 (bidirectional) 模式下的交流电源诞生了，我们可以把它认为是负载或者两者都是。

四象限的操作模式

一般情况下，大多数交流电源都支持两象限工作模式，如下图2所示，当电压和电流为正或负时，功率因数始终是正，这是大多数PWM开关电源的设计基础。

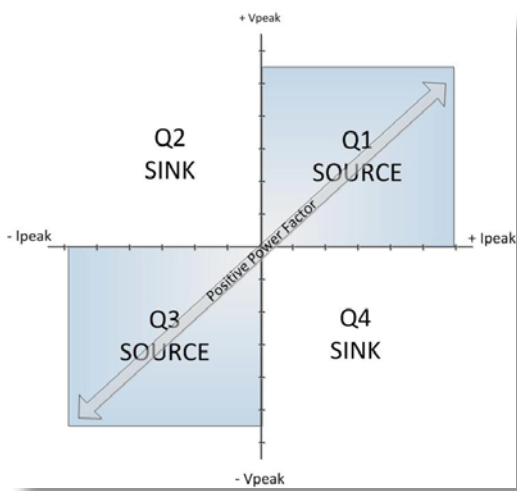


Figure 2: Two Quadrant Power Source Operation

一种四象限交流电源比如太平洋交流电源AMX系列，具有线性放大能力，可以产生和吸收能量。这种设计允许功率因数稳定地从正值到负值之间过渡（电源模式和能量回灌模式）。-1 到+1的功率因数数值显示能力，如下图3所示

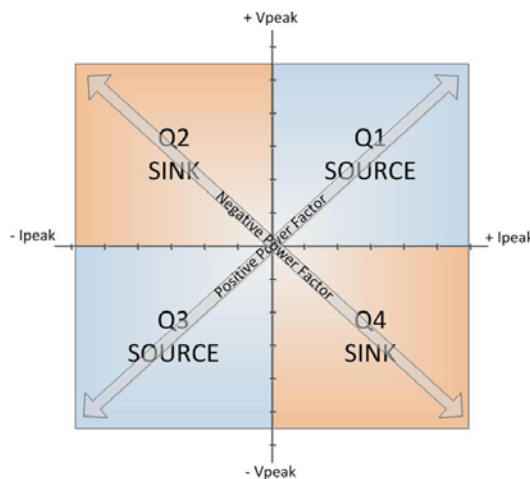


Figure 3: Four Quadrant Power Source Operation

从示波器上观察交流电压和电流波形，当交流电源工作在能量回灌模式下，其交流电压和交流电流之间会有180°的相位差。

下图4 表明了光伏逆变器回灌能量到交流电源，交流电源在这里模拟了电网。很容易的看到电压是正值时候，电流为负，反之亦然。一般情况下，交流电源加载时电压和电流不会有那么大的相位差。

如果没有外部负载消耗，工作在四象限的交流电源需要吸收来自逆变器回灌的能量，或是把这能量再生反馈到电网。再生电网的连接方式，需要更复杂的交换技术，这不仅增加了产品的成本，但更重要的是增加了复杂程度，往往导致可靠性降低，减少平均无故障时间 (MTBF)。

更重要的是，当交流电源具有再生能量反馈到电网的功能，往往需要依循与太阳能逆变器一样的法规要求，然而大多交流电源在这种模式下并没有经过权威机构的认证，对电网的影响我们无法预估。

一种处于消耗方式的交流电源允许在电源模式和能量回灌模式下无缝过渡。然而，这将导致额外的热量产生。因此，交流电源吸收的能量要小于产生的能量。

太平洋电源的AMX系列是一个四象限线性电源，可以吸收回灌电流，其为最大额定功率的25%。为了确定AMX系列在这种模式下的工作范围，需要使用微型

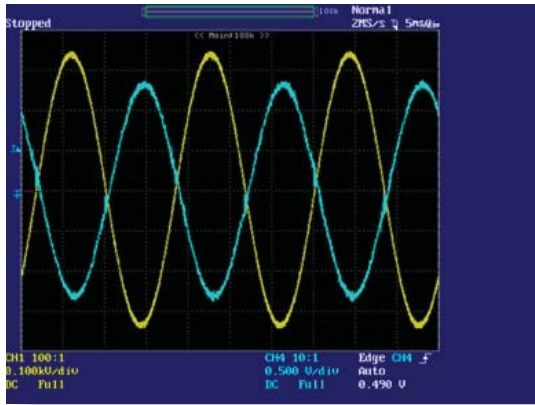


Figure 4: Negative Unity Power Factor Operation V/I Waveforms

电源模式下能量回灌温度情况

为了确定电流回灌模式的交流电源的安全操作区间，一系列的加载测试通过轻载到重载增加功率等级。这种测试建立在型号320AMXT-UPC32交流电源处于PF=1.0情况下所得到的数据。

AMX系列的内部能量消耗发热情况和直接加载产生功率是有关联的。下列表格以及文档表明了能量消耗温度和所消耗功率的变化

额定240V，使用两块功率放大板形成单相输出（B相和A相的相位差为180度），在美国这称为分相输出。每块功率放大板都测试了温度。

注：在這個測試中使用，以最大限度地應用到每個放大器的電流分相模式。單相230VAC輸出電壓設置與配置，在其他應用程序可能更為合適。

表2和图5显示了在一般工作模式下的测试数据，清楚地表明了温度会随着功率的增加而增加，但是没有达到电源的过载环境。

VAC (Vrms)	Load Current (A)	Power (W)	Heat Sink Temp (% of Shutdown Temp)	
			Phase A	Phase B
240	.940	225.60	47.1%	46.7%
240	1.911	458.64	63.3%	64.8%
240	2.919	700.56	65.4%	64.9%
240	3.981	955.44	67.2%	67.4%
240	5.000	1200.00	70.4%	70.2%
240	5.940	1425.60	77.4%	77.2%

Table 2: Heat Sink Temperature as Function of Load – Source Mode

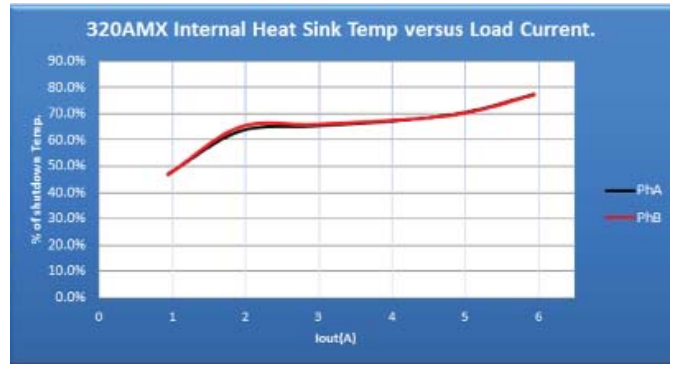


Figure 5: Temperature versus Current – Current Source (Normal) Operation

測試設置

使用直流电源给逆变器进行供电，功率为500W。这种直流电源可以替代真正的太阳能电池板，故能控制VI曲线，使其能模拟不同日照量和温度下的VI曲线变化

为了模拟交流电网，太平洋电源的320AMXT交流电源以分相方式输出，电压为240Vac。为了控制功率的走向，我们在交流电源的输出端和逆变器的输出端并联一个阻性负载。通过增加或减小并联负载值，交流电源吸收的电流总数与负载值的控制有关。以下显示了安装示意图。

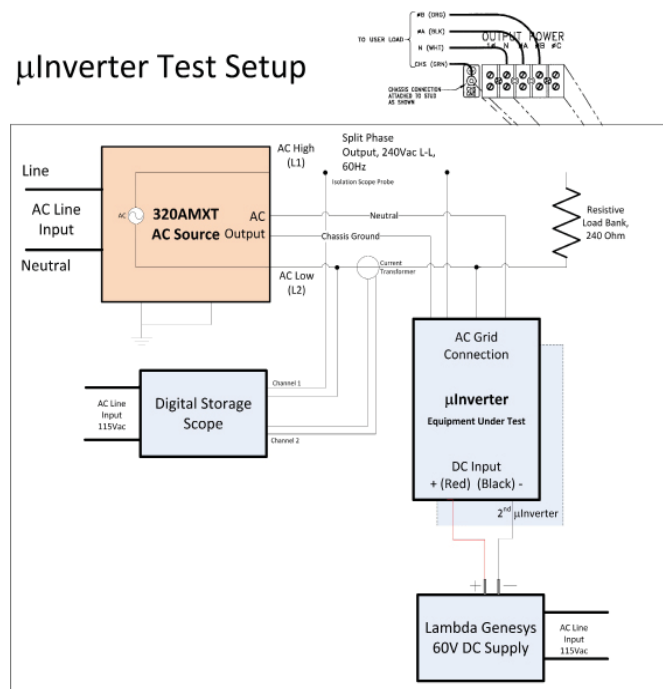


Figure 6: Micro Inverter Test Setup

在测试开始时，交流电源提供能量给阻性负载。微型光伏逆变器将是一个高阻抗设备直到它侦测到直流电压在可接受范围内，直流电源的输出端连接到微型光伏逆变器的直流输入端，逆变器开始同步模拟电网交流电源输出的电压和频率，并且侦测到在可接受的范围内，此时微型光伏逆变器将开始启动。

这个过程需要花几分钟的时间。在启动的过程中，微型逆变器将慢慢产生电流直到达到最大功率点。图7显示了启动的过程。交流电压由AMX提供，显示为黄色，电流显示为蓝色。

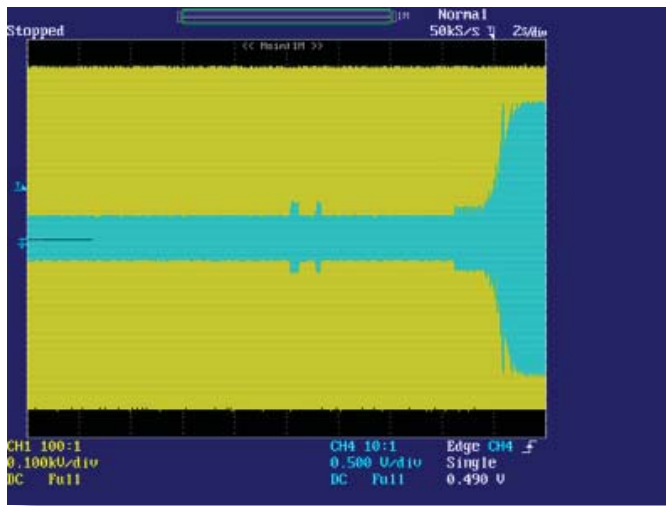


Figure 7: Micro Inverter Start Up Current

回灌模式下的内部温度情况

使用图6描述的测试环境，在不同的反向电流读出相同的内部温度，从0到2.0A 之间。反向电流或者回灌电流是由慢慢调小外部电阻的值来控制，这样逆变器产生更多的电流回灌入交流电源的放大器中。在回灌电流模式（负的功率因数）下，逆变器产生的能量必须由线性放大器消耗掉。

由于方向电流需要成倍的内部温度消耗掉，相比在电源模式等值的电流下所取得的实验温度，该温度运行得更高。为了回灌能量达到500W（2A/240V），我们又加了一个250W的逆变器。

在电流回灌模式下记录的温度比在电源模式下等额电流的温度更高。相位A和相位B的温度数据显示在表3和图8中。

VAC (Vrms)	Load Current (A)	Power (W)	Heat Sink Temp (% of Shutdown Temp)	
			Phase A	Phase B
240	0.935	224.40	62.2%	66.2%
240	1.389	333.36	73.6%	78.0%
240	1.500	360.00	82.9%	83.1%
240	1.617	388.08	87.7%	86.8%
240	1.863	447.12	89.7%	88.1%

Table 3: Heat Sink Temperature as function of Load – Sink Mode

在电流回灌条件下，内部温度很快地上升了，微型逆变器立刻回灌1.4A的有效值电流进入交流电源。温度上升的时间与温度百分比的关系由图8显示。在大约十五分钟后，内部温度达到平衡并交流电源可以持续工作在这个等级上。

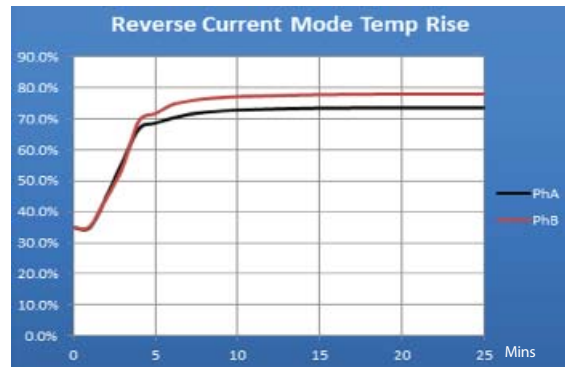


Figure 8: Reverse Current Mode Temperature Rise

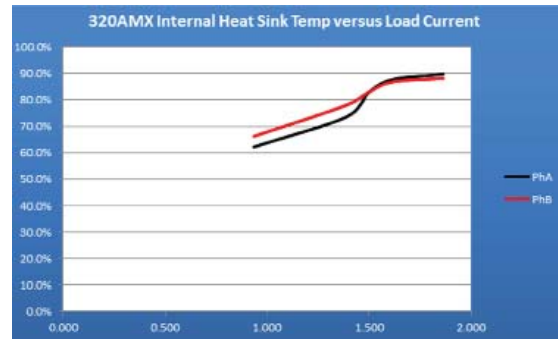


Figure 9: Temperature versus Current – Current Sink Operation

图9中所示，回灌电流达到450W，交流电源的内部保护机制打开，导致交流电源自动关机。保护时间需要由电源的内部温度和环境温度来决定。交流电源一旦关机，由于电网失效逆变器也将关机。

这个测试结果表明，320AMXT-UPC32在回灌电流约额定功率的25%时候可连续工作，并且是安全的。对于较大的光伏逆变器的测试和开发应用程序，一个更大尺寸的AMX交流电源或者并联多个交流电源可以提供四象限运行。此外，合适的外部负载和电流回灌能力将提供更具效率的解决方案，同时还提供了输出功率和吸收功率运作模式之间的无缝过渡。相比较实用开关类型的电源则不具备四象限操作功能。

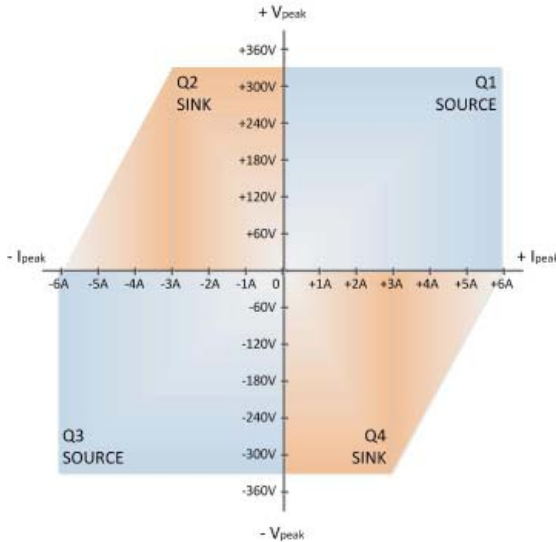


Figure 10: 320AMX 4 Quadrant Power Source Operating Curve

光伏逆变器测试

交流电源的四象限操作模式适合光伏逆变器测试应用。使用具有电压和频率程控的电源，使得设计开发以及遵守测试规范变得简单。同样，用交流电源测试产品也可以保证产品品质和能源的效率。

虽然开关电源和线性电源都有变电压和变频的功能，但是在此应用中双向功率流的功能，是大多数开关电源不能提供的，且为线性电源独特的优势。

- 吸收与产生能量的能力能在两种模式之间平滑的过渡：线性的交流电源是能够吸收功率通过把反向电流转化为热能消耗掉的电源。一个开关式交流电源没有办法来处理这种能量，因为它会导致其内部的直流母线电压上升。在高危险的直流母线电压等级下，会导致交流电源内部硬件的损坏，除非它自动关机，以保护自己。
- 输出端无任何高频开关噪音：消除了光伏逆变器在开发和测试过程中，对功率跟踪算法的潜在负面影响。

线性交流电源的其他好处

线性电源的其他优势：

- 低输出阻抗允许大的峰值电流
- 高带宽允许更快电压和负载变化响应
- 低电压失真

作为一个为数不多的能同时提供开关电源和线性电源的交流电源供应商，太平洋电源公司是拥有无任何商业歧视的最佳技术应用公司。

结论

线性交流电源的独特特征常常被忽视，大多数比较关注更加紧凑和高效节能的开关技术交流电源。然而，线性交流电源在许多应用中反而有优势，比如这里表述的光伏逆变器测试。太平洋电源公司拥有范围从500VA到90kVA的线性交流电源，能够满足您的应用需求。