



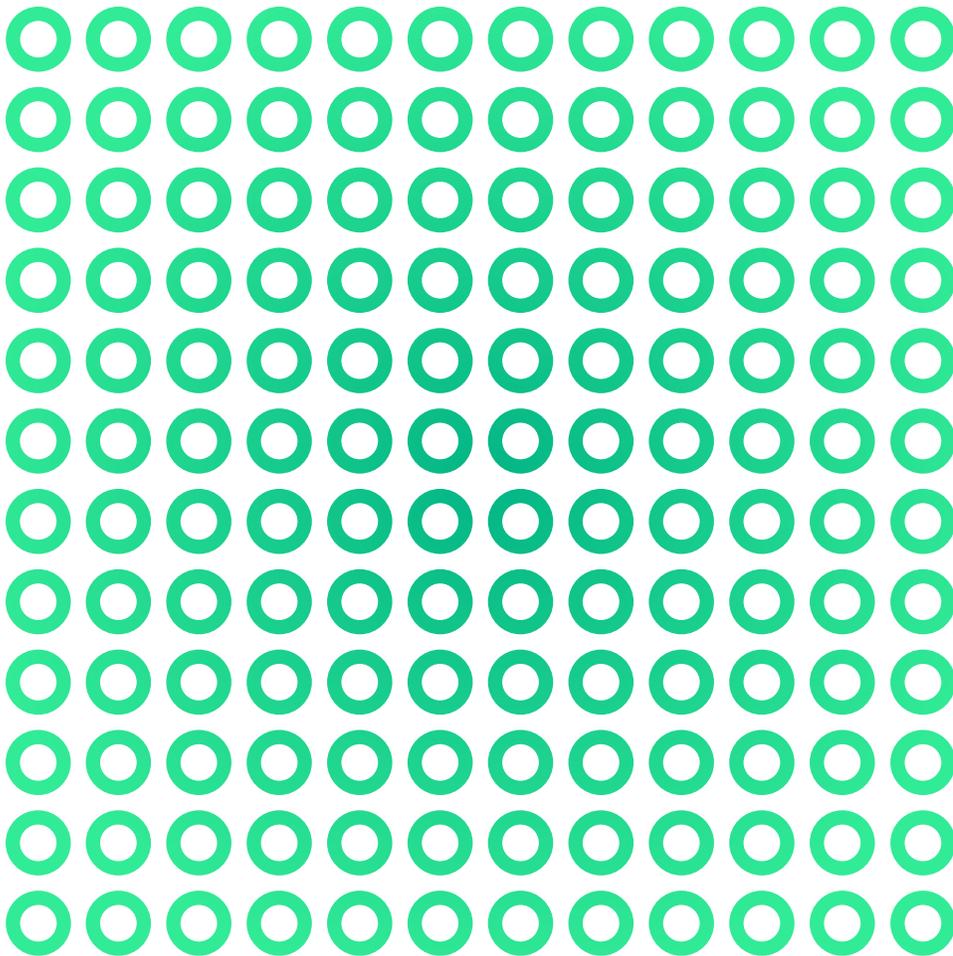
NI is now part of Emerson.



EMERSON™

应用指南

使用NI PXI系统进行大功率 直流-直流转换器测量





目录

03 引言

03 PMIC验证挑战

04 PMIC验证解决方案

调试和自动执行各种测试

同步仪器

收集大量数据并优化测量效率和测试时间

改进数据管理

07 PMIC测试设置

待测设备(DUT)

连接DUT和仪器

09 选择测试设备

电源

电子负载

SourceAdapt技术

数字码型仪器

示波器/FGEN

11 测量参数

电源效率

负载调节

负载瞬态

14 多通道PMIC的PXI配置范例

15 结语



引言

电源管理集成电路(PMIC)用于管理或转换各种系统中的电源,包括手机、平板电脑以及信息娱乐系统、高级驾驶辅助系统(ADAS)和电子控制单元(ECU)等汽车应用。

PMIC,尤其是空间有限的紧凑型手持设备中使用的PMIC,会直接安装在印刷电路板(PCB)上,作为设备电源或电池与其复杂电子设备之间的重要接口。随着半导体技术的进步和集成度的不断提高,PMIC在设备中的应用越来越多,对功率密度和效率的需求也在不断增长。快速充电已成为我们日常使用的移动设备的标准功能,随着汽车行业逐渐向电动汽车(EV)倾斜,充电和放电系统的效率变得至关重要。

直流-直流电源转换器就是广泛应用于各种不同应用的一个典型PMIC,用于将直流电从一个电压电平上变频或下变频到另一个电压电平。在制造前进行设计验证或评估直流-直流转换器是否可能集成到产品中时,必须采用精确且可重复的测试序列。

直流-直流转换器的标准测试序列可测量性能标准,包括电压精度、效率、负载和线路调节、负载和线路瞬态响应、电源抑制比(PSRR)分析、关断和静态电流以及噪声。

移动设备对小型化的需求以及安全电动汽车的日益普及,推动了电子行业的快速发展,催生了对单个PMIC中拥有更多更大功率直流-直流转换器通道的需求。因此,通过数字通信对待测设备(DUT)进行迭代和自动控制已成为测试序列的必要条件。此外,在有效同步仪器和扩大测量范围以测量多个通道方面,还存在着更多挑战。

本应用指南介绍了如何在以功率、精确度和速度著称的NI PXI系统中测试需要电源、数字码型仪器、频率发生器(FGEN)和示波器的直流-直流转换器。

PMIC验证挑战

测试工程师在测试PMIC时可能会遇到一些特有的挑战,例如:

- 调试和自动执行各种测试
- 同步仪器
- 收集大量数据
- 优化测量效率和测试时间
- 改进数据管理

在PMIC验证过程中,测试工程师还可能会面临其他挑战,其中包括:

- 确定测试计划以验证PMIC的功能和性能
- 有效地将数据与跨职能团队(包括设计工程师、项目经理和其他相关人员)关联起来
- 管理复杂的验证程序

特别是,他们可能难以识别和诊断PMIC中的问题和缺陷。他们的最终责任是确定所有问题的根本原因。

NI提供的解决方案可应对测试工程师面临的所有这些挑战。

PMIC验证解决方案

NI提供了一系列仪器和软件来应对上述挑战。下面我们来看看具体的NI解决方案是如何解决各个问题的。

调试和自动执行各种测试

NI软件为交互式 and 自动化测试提供了解决方案。**InstrumentStudio™**是一款用于交互式仪器控制和实验室测量的应用软件（见图1），可帮助测试工程师找出问题的根本原因，轻松复制测试设置并远程访问仪器。

LabVIEW是一个图形化编程环境，工程师可用其开发自动化研究、验证和生产测试系统（见图2）。测试工程师还可以使用LabVIEW开发的现有范例或软件进行PMIC测试。这些软件解决方案还可协助测试工程师进行高效调试，从而使设计工程师受益。

NI PXI系统为一系列强大的交流（示波器、FGEN）、直流和数字仪器提供支持。这个单一平台支持各种测试，如电力供应和测量、迹线电源采集、噪声注入和DUT控制。此外，PXI系统还以合理的每通道成本简化了并行多站点或多通道测试的执行过程，并可根据需要灵活地添加仪器（见图3）。

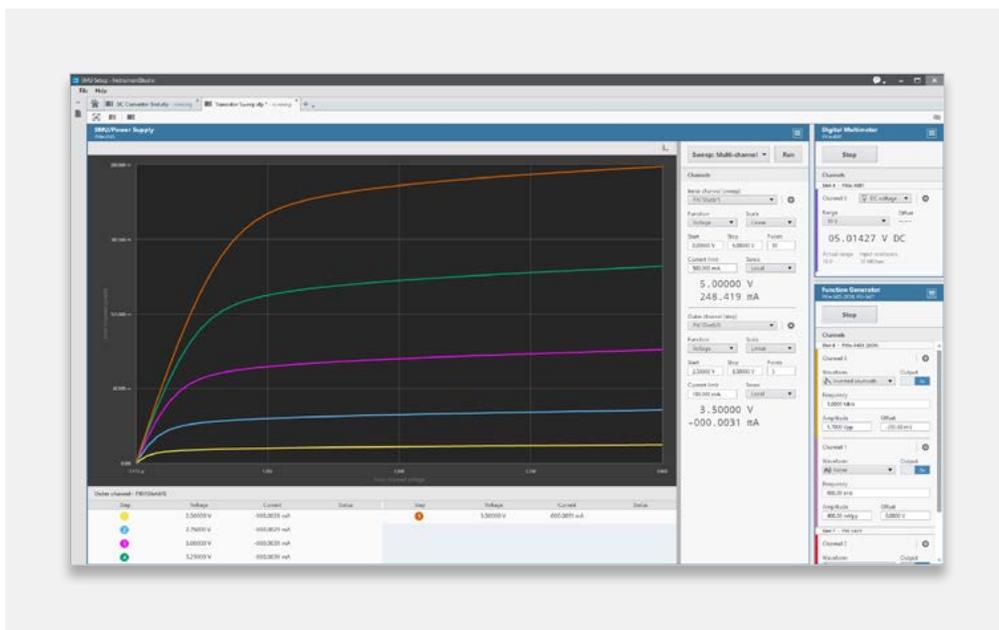


图1
使用NI SMU和InstrumentStudio测量的I/V曲线图

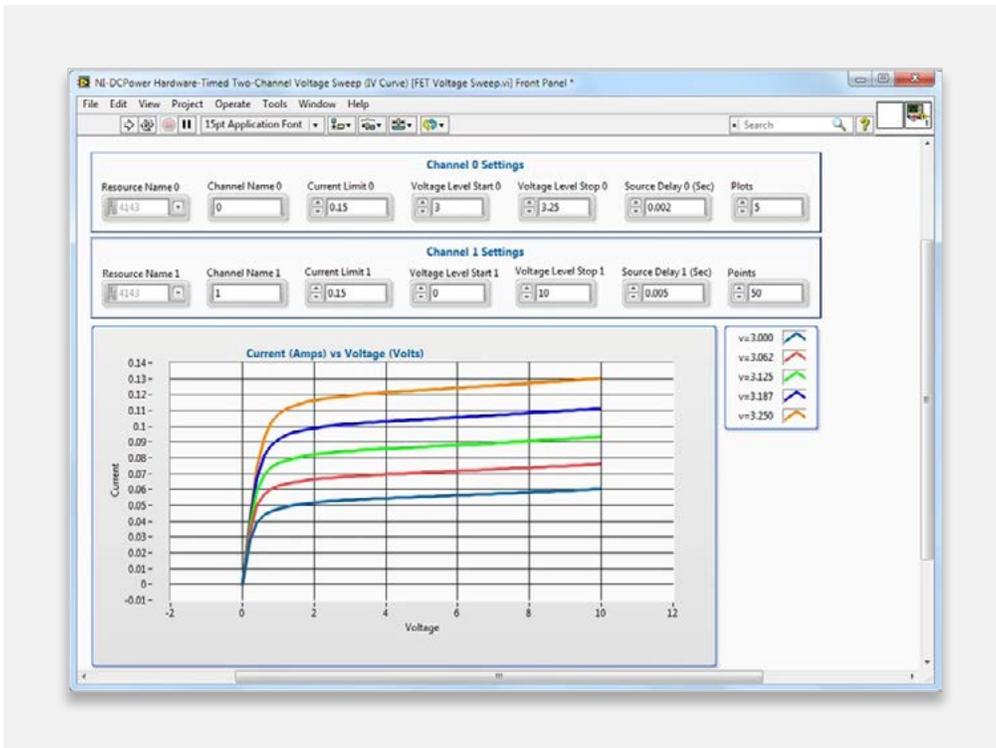


图2
使用NI SMU和LabVIEW测量的I/V曲线图



图3
NI提供用于生成和测量信号的PXI模块，机箱选件最多具有18个插槽。

同步仪器

PXI和PXI Express机箱提供内部定时和同步功能，因此测试工程师不必担心需要连接外部设备或外部线缆才能同步仪器。这些机箱都具有一个10 MHz背板时钟、一个PXI触发总线和一个PXI星形触发信号（见图4）。PXI Express机箱还在背板上增加了一个100 MHz差分钟钟和多个差分星形触发器，以提供更高的抗噪能力和业界卓越的同步精度（模块间延迟差分别为250 ps和500 ps）。在同步测量时，定时和同步功能非常有用，尤其是在PMIC验证系统等需要在多台仪器之间进行测量的场景中，包括电源、电子负载、源测量单元(SMU)、示波器和FGEN。

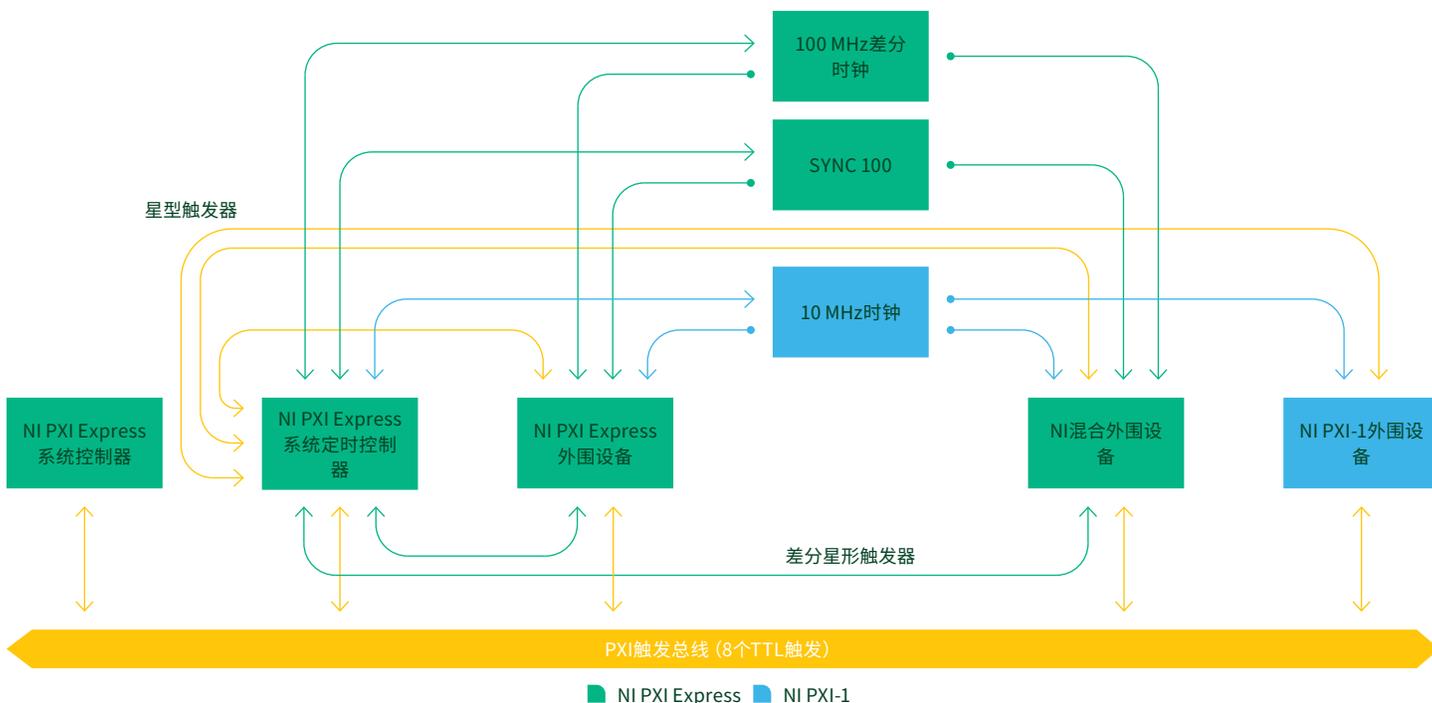


图4
PXI机箱定时和同步特性

收集大量数据并优化测量效率和测试时间

最近发布的NI PXI产品采用了PCI Gen3技术, 使得NI PXI系统具备更大的数据带宽, 支持高达24 GB/s的速度, 并提供比其他通信协议更低的数据延迟。这样可以快速传输大型数据集, 例如示波器原始数据或屏幕截图。除了快速传输数据这一优势外, 在自动化测试或大规模生产测试等需要重复执行命令的场景中, 数据延迟的降低还可以提高测试效率。

改进数据管理

SystemLink中的新功能提供了一款基于Web的工具, 旨在管理数据获取和工程分析, 确保规范合规性, 增强团队间的协作。测试工程师和设计工程师可以使用SystemLink高效地监控和比较来自设计工具、仿真工具和测量系统的数据。此外, 它还可以生成合规性报告, 提醒用户注意那些超出指定参数的测量值。

接下来, 我们将介绍一个集成了上述NI PXI系统和软件功能的PMIC测试设置范例。

PMIC测试设置

待测设备(DUT)

本范例中使用的待测设备(DUT)是一个评估板卡(EVB) DC1811B-B, 配备LTM4676A降压型稳压器, 具有4.5 V至26.5 V的宽输入电压范围, 以及0.5 V至5.5 V (13 A或单通道26 A电流) 的宽输出电压范围 (见图5A)。

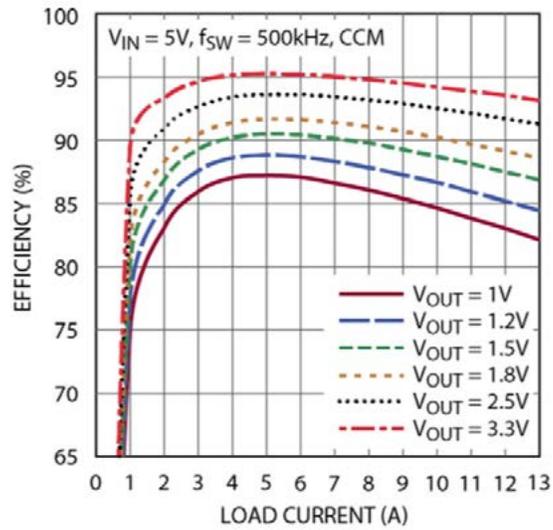


图5

A)使用LINEAR LTM4676A IC的EVB (DC1811B-B)。 B) $V_{IN} = 5V$ 时效率与负载电流的关系 (DC1811B-B规范)。

连接DUT和仪器

图6是DUT特性测量的范例，说明了DUT和NI仪器之间的线缆连接。这些仪器用于为DUT供电，通过I2C对其进行控制以及吸收电流。

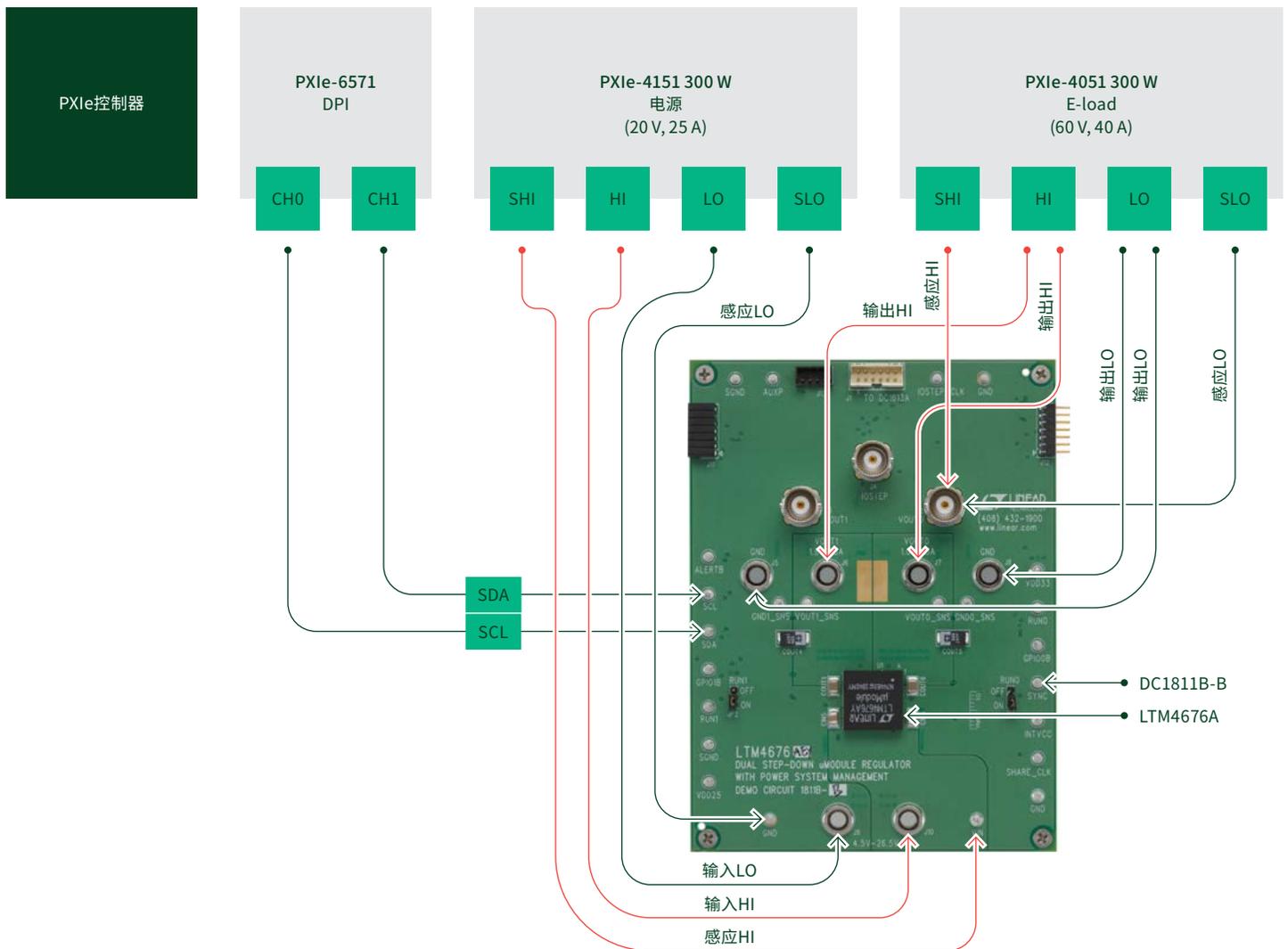


图6
连接DC1811B-B上数字码型仪器、电源和电子负载的连线图

图7显示了使用NI PXI系统测试DUT的范例。此场景使用NI大功率电源(PXIe-4151)和大功率电子负载(PXIe-4051)测试LTM4676A稳压器。该稳压器具有宽输入电压范围(4.5 V至26.5 V)和宽输出电压范围(0.5 V至5.5 V)，最大电流容量为26 A。要通过I2C与稳压器建立通信，需使用NI数字码型仪器(PXIe-6751)。

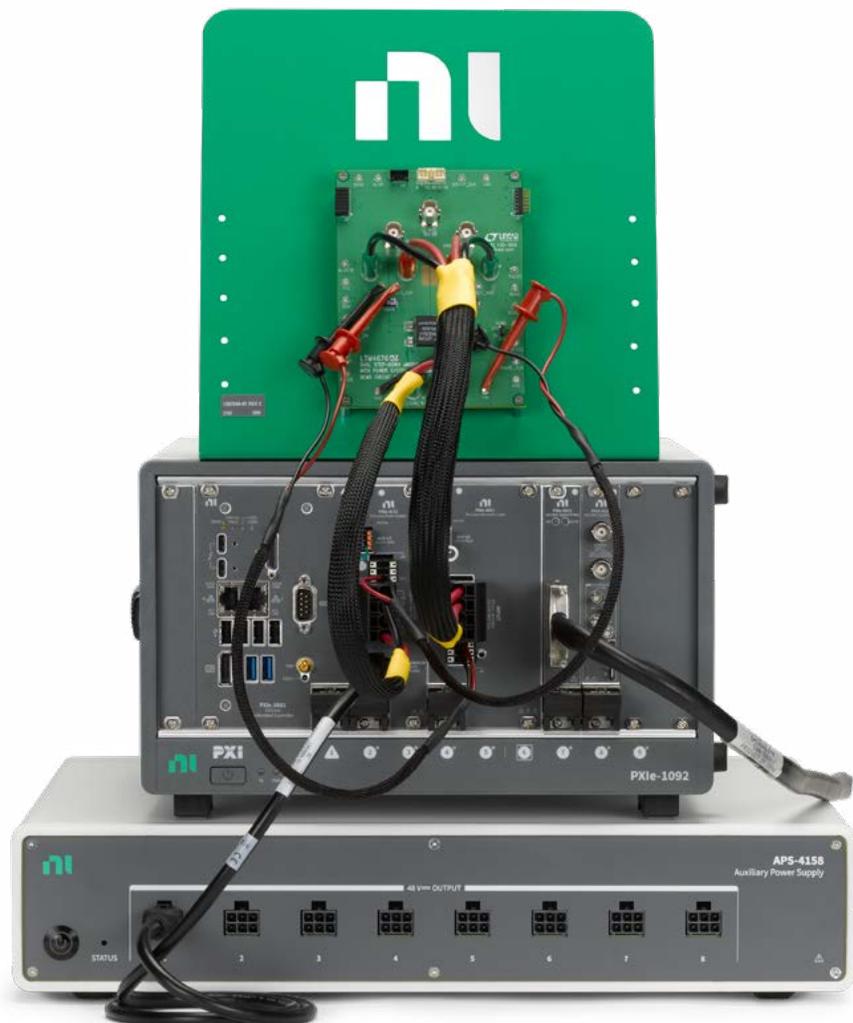


图7 用于测试LTM4676A稳压器的NI PXI系统设置。包括PXIe-6751数字码型仪器、PXIe-4151 300 W电源和PXIe-4051 300 W电子负载(带DC1811B-B)。

选择测试设备

电源

NI提供多种电源,包括PXIe-4151。该仪器能够应对功率密度和效率的提高,例如移动设备快速充电和汽车电气化所需的功率密度和效率。它提供300 W功率输出,具有20 V、15 A或12 V、25 A等选项,所有输出均可达到数字万用表同等测量精度。SourceAdapt函数是其显著特性之一,可实现瞬态响应调整。这是NI SMU/电源的一大关键优势,可以提高测量速度和验证效率。该电源可通过PXI定时和同步技术以及API或InstrumentStudio与其他NI模块无缝集成。



图8
A) NI PXIe-4151 300 W电源，带辅助电源。B) PXIe-4151的象限图。

电子负载

NI PXIe-4051电子负载是首款专为PXI平台设计的电子负载，可吸收高达60 V和40 A的电流，提供300 W的可用负载功率，可达到数字万用表同等测量精度。该仪器还含有SourceAdapt和PXI定时与同步等功能，同时与NI SMU/电源共享相同的底层硬件和软件技术。

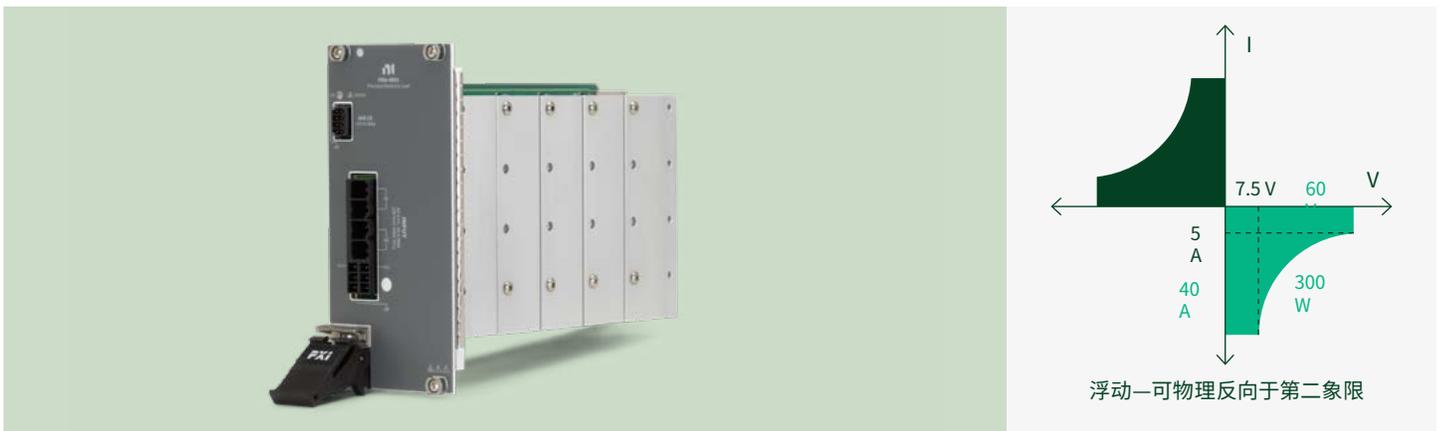


图9
A) NI PXIe-4051 300 W电子负载。 B) PXIe-4051的象限图。

SourceAdapt技术

您可以使用SourceAdapt技术，针对各种负载（包括高感性或高容性负载）优化SMU、电源和电子负载响应。该技术采用数字控制循环代替传统的模拟控制循环，因此用户可以完全自定义硬件的瞬态响应。如需详细了解SourceAdapt技术，请[访问此链接](#)。

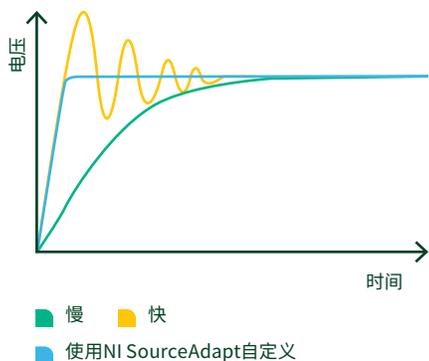


图10 SourceAdapt技术支持自定义响应，以实现更高的稳定性和更短的上升时间。

数字码型仪器

PXIe-6571是一款具有100 MVector/s和32个通道的数字码型仪器，是一款适用于数字通信和协议验证的多功能工具。它可以自动高效执行重复测试，减轻测试工程师所面临的挑战。

示波器/FGEN

为了对PMIC测试中的交流参数进行特征分析，NI PXI系统可同时包含示波器和FGEN。

仪器	说明
PXIe-4151	300 W电源, 150 V CAT I隔离, 1.8 MS/s采样率和100 kS/s更新速率。瞬态响应调整(SourceAdapt)。需要辅助电源 (通过2U盒或电源电源模组)。
PXIe-4051	300 W电子负载, 150 V CAT I隔离, 1.8 MS/s采样率和100 kS/s更新速率。瞬态响应调整(SourceAdapt)。可编程边沿斜率 (CV、CC模式)。
PXIe-6571	100 MVector/s 32通道PXI数字码型仪器, 128 M向量存储器。有源负载(16 mA), PPMU (-2 V至6 V, 最高32 mA)。
PXIe-5433	2通道, 800 MS/s, 80 MHz带宽, 24 Vpk-pk任意波形发生器 (生成用户定义的任意波形和标准函数, 包括正弦波、方波、三角波和斜波)。
PXIe-5162	4通道1.5 GHz带宽示波器, 采样率高达5 GS/s, 可灵活设置耦合、电压量程 (高达50 Vpk-pk) 和滤波 (20 MHz、175 MHz或全带宽)。

测量参数

测试PMIC时，需要关注的典型参数包括源极和测量输入电压(V_{in})、测量输入电流(I_{in})、测量输出电压(V_{out})和吸收负载电流(I_{out})。根据这些测量值，可确定电源效率。其他参数包括精度、线路/负载调节、线路/负载瞬态、交流纹波电压、PSRR、关断/静态/浪涌电流、过压保护(OVP)和过流保护(OCP)。



图11 PMIC测试设置简化程序框图

电源效率

在大多数情况下,用于计算电源效率的测试设置连接在电源和电子负载之间,以吸收PMIC的电流。然后,设置会测量电源提供的输入端电压和电流 (V_{in} 和 I_{in}),以及电子负载测量的输出端电压和电流 (V_{out} 和 I_{out}),见图6/图11。

电源效率表示消耗功率与输出功率之比,通常以百分比的形式表示: $([V_{out} * I_{out}] / [V_{in} * I_{in}] * 100)$ 。该指标对于电池供电产品非常重要,尤其是在移动设备和电动汽车等产品中,将直接影响产品的可用执行时间。

图6为使用一个PXIe-4151 (电源) /PXIe-4051 (电子负载) 通道和多个PXIe-6571通道的连线图。为测试典型参数 (电源效率、负载调节和负载瞬态),需使用PXIe-4151 (电源) 提供输入电压并测量输入电流,将PXIe-4051 (电子负载) 作为负载使用,以吸收输出电流并测量PMIC (LTM4676A)输出端的电流/电压。PXI-6571的通道用作I2C通信的时钟和数据通道,连接至EVB (DC1811B-B)上的引脚,以修改PMIC的配置状态。

电源效率与负载电流的关系曲线说明了PMIC的效率如何随着负载的增加而变化。系统可显示一组效率与负载的关系曲线,每个输入电压对应一条曲线。在图12的结果图中,PMIC配置为生成恒定的3.3 V电压。电源效率在以下4个不同的输入电压值下测量得出: 9 V、12 V、18 V和20 V。PXIe-4051配置为扫描0.1至24 A的负载电流 (共25步),并测量PMIC的输出电压。

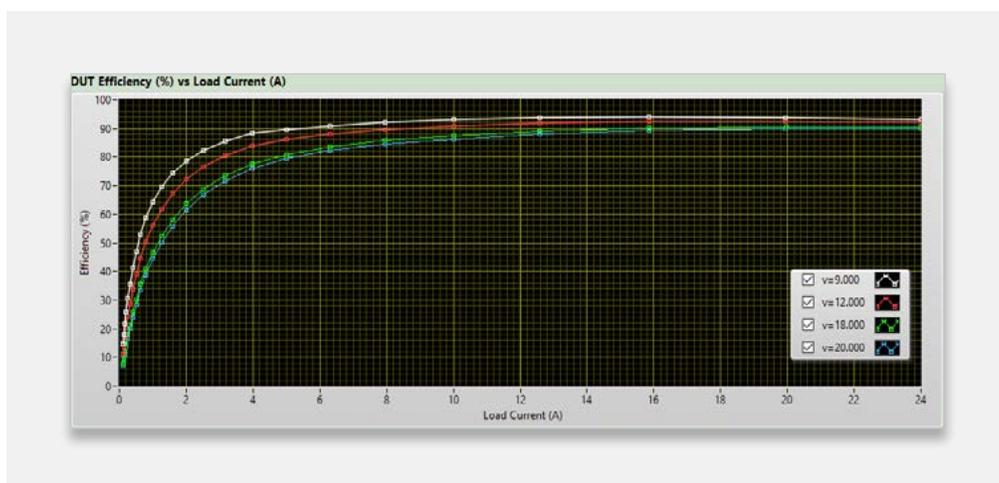


图12

PMIC (LTM4676A) 3.3 V恒定输出电压下的电源效率结果图

范例: NI硬件测试程序

- 1.将 V_{in} 设置为PXIe-4151的指定电压水平(9 V)。
- 2.将 I_{out} 设置为PXIe-4051的所需起始电流水平(0.1 A)。
- 3.将 I_{out} 扫描至所需的结束电流水平(24 A),使用PXIe-4051记录PMIC输入和输出的V和I水平。
- 4.对所有所需的 V_{in} 电压水平 (9 V、12 V、18 V和20 V) 重复步骤1-3。

负载调节

负载调节测试可测量PMIC在负载电流从其最小和最大额定值扫描时维持输出电压的能力。在该测试过程中，PXIe-4151的输入电压(V_{in})保持稳定，通常为额定电压。负载调节结果以mV/A或百分比表示。测得的输出电压变化应落在产品技术规范规定的范围内。务必要注意的是，负载调节测试所需的连接与用于电源效率测试的连线图(图6)中所示连接相同。

在图6中，PXIe-4151和PXIe-4051使用远端感应或四线连接(端口名称: 感应HI和感应LO)进行配置。这种设置消除了可能影响测量精度的导线电阻。远端感应连接方法的工作原理如下: 一对测试导线连接输入(输出) HI和输入(输出) LO之间的源极输出(负载输入)，而第二组导线则负责测量感应HI和感应LO之间的压降。为确保测量准确，感应导线应尽可能靠近PMIC连接，以防止导线电阻影响读数。

图13显示了负载调节曲线。请注意，PMIC的输出电压配置为恒定的3.3 V，PXIe-4051的通道配置为扫描0.1 mA至24 A的负载电流。该测试使用PXIe-4151，在4种不同的输入电压条件下(9 V、12 V、18 V和20 V)执行。

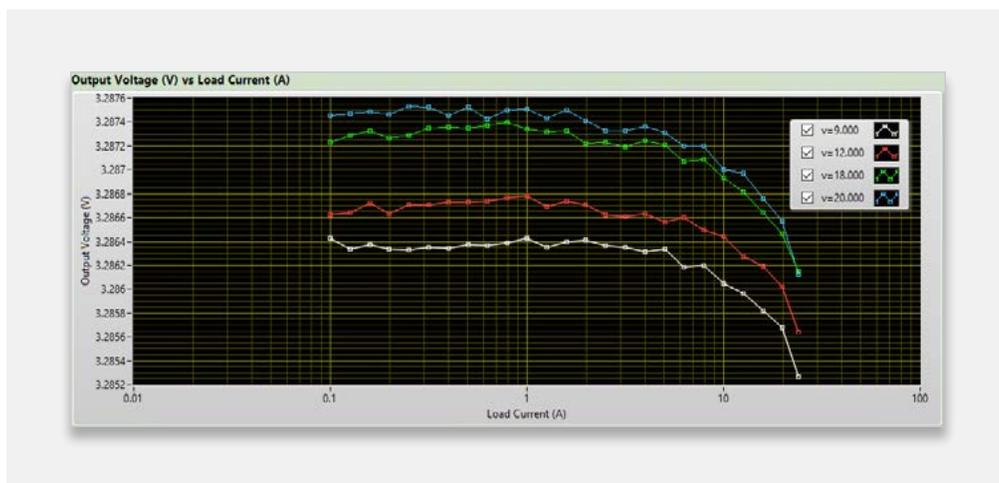


图13

PMIC (LTM4676A) 3.3 V恒定输出电压下的输出电压与负载电流的关系结果图

范例: NI硬件测试程序

1. 将 V_{in} 设置为PXIe-4151的所需电压水平(9 V)。
2. 将 I_{out} 设置为PXIe-4051的最小电流水平(0.1 A)。
3. 将 I_{out} 扫描至最大电流水平(24 A)，使用PXIe-4051记录PMIC输出的V和I水平。
4. 对所有所需的 V_{in} 电压水平(9 V、12 V、18 V和20 V)重复步骤1-3。

负载瞬态

负载瞬态测试测量输出电流负载发生变化后，PMIC的输出电压稳定至指定精度范围所需的时间。该测试可能是评估PMIC上稳压器性能最简单的诊断工具之一。

虽然在负载电流缓慢变化时保持输出电压恒定很简单，但负载电流的突然跳跃可能会导致输出电压出现波动。要分析电流和电压的这种快速变化，需要使用外部示波器。但是，PXIe-4051的快速采样率使用户可以在不使用示波器的情况下捕捉负载瞬态。传统的SMU无法捕捉这些瞬态响应，但PXIe-4051(电子负载)和PXIe-4151(电源)可以同时捕捉最高1.8 MS/s速率的电压和电流响应，最高更新速率为100 kS/s。

图14显示了当负载电流从1 A跳跃至20 A和从20 A跳跃至1 A时，PMIC的输出电压和PXIe-4051的负载电流。这些测量由PXIe-4051执行。

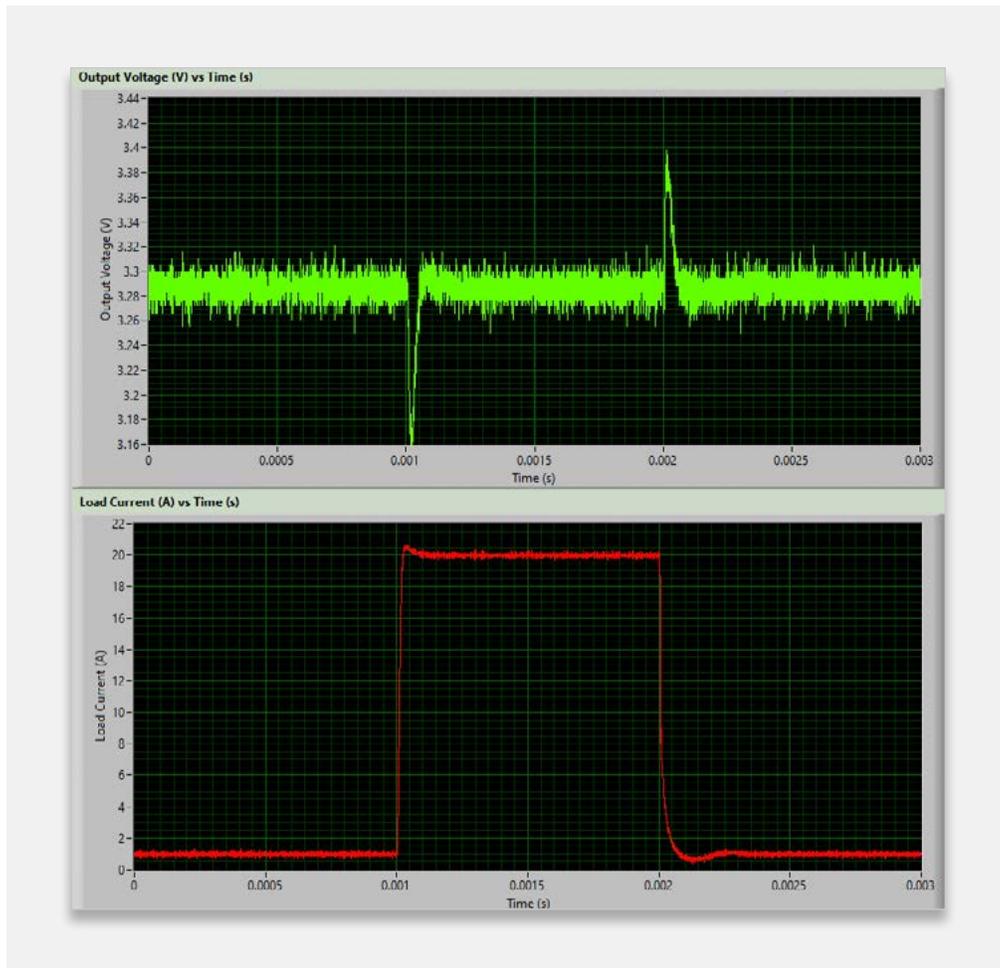


图14
PXIe-4051测量的输出电压和负载电流的响应图

NI硬件测试程序范例

1. 将 V_{in} 设置为PXIe-4151的所需电压水平(12 V)。
2. 将 I_{out} 设置为PXIe-4051的所需电流水平(1 A)。
3. 将 I_{out} 更改为新电流水平(20 A)，使用PXIe-4051记录 V_{out} 和 I_{out} 的响应。

多通道PMIC的PXI配置范例

要对多通道PMIC的性能进行特性分析，测试工程师可将NI PXI SMU/电源和NI PXI SMU/电子负载按照前面讨论的单通道PMIC中使用的相同电源和电子负载进行连接。此外，PXIe-6571还可作为数字通信硬件的重要组成部分，在多通道PMIC的重复配置更改中发挥重要作用。

与上一个范例类似，该设置使用NI硬件（NI SMU/电源/电子负载/6571）获取和测量输入电压(V_{in})，测量输入电流(I_{in})，测量输出电压(V_{out})，以及吸收负载电流(I_{out})。这些测量对于计算与线路/负载调节、效率、精度和静态/关断电流相关的值至关重要。

除了使用该硬件对多通道PMIC的性能进行特性分析之外，测试工程师还可以使用NI FGEN/示波器评估PMIC所需的交流参数。使用NI FGEN/示波器和该硬件进行的测试可用于评估交流参数，包括线路/负载瞬态、PSRR、噪声、OVP、OCP和启动/关闭序列。

图15显示了典型的测试配置，表明如何将NI仪器连接至DUT，以测量多通道PMIC性能。

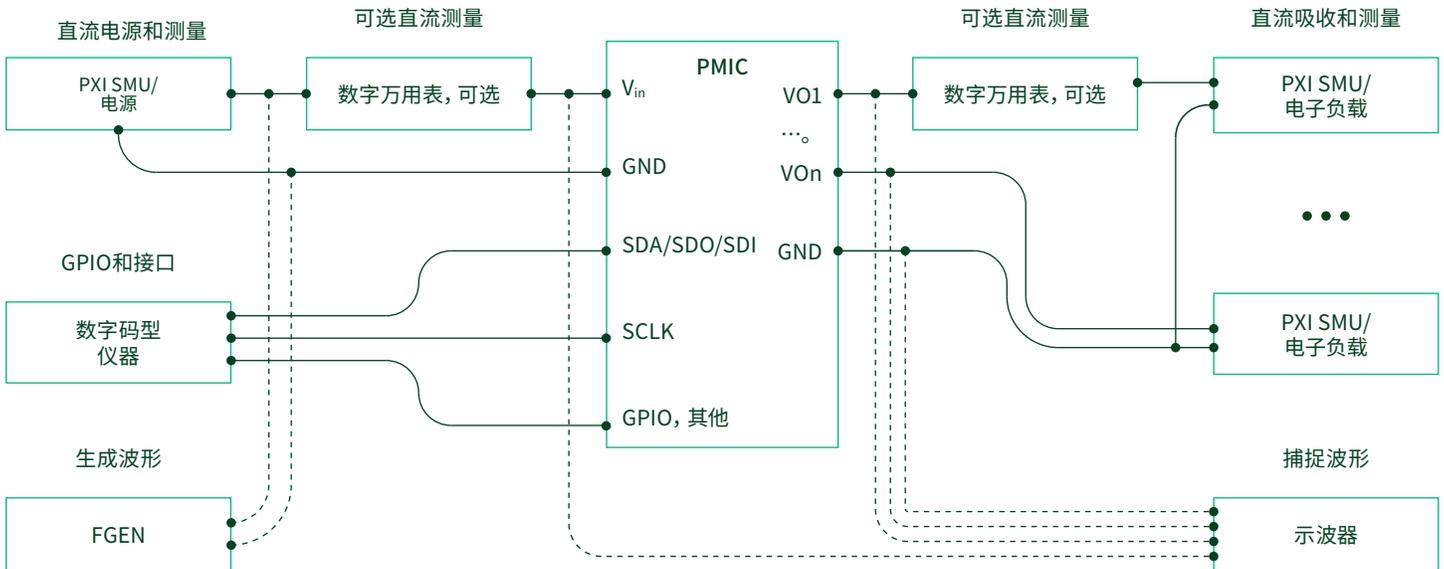


图15
多通道PMIC的PXI配置范例

结语

测试PMIC时，NI PXI系统可帮助测试工程师轻松收集大量数据，同步仪器，自动执行数千种测试，优化测试时间并降低验证系统的相关资金成本。NI PXI系统可包含电源（例如，PXIe-4151 300 W电源）、电子负载（例如，PXIe-4051 300 W电子负载）、数字通信硬件（例如，PXIe-6571 100 MVector/s数字码型仪器）、示波器（例如，PXIe-5162 5 GS/s示波器）、FGEN（PXIe-5433 800 MS/s）等仪器。

本应用指南中介绍的NI硬件拥有以下特性：在电源管理、负载处理、测量精度、精确定时和同步、大数据带宽、低数据延迟以及各种数字通信功能方面具有灵活性。这套完整的测试PMIC设置满足了测试工程师的需求，使其能够通过LabVIEW范例或InstrumentStudio应对各种条件，解决特定的测量挑战。