

# 如何使用 Keysight N6790 系列 优化电源测试

## 引言

第一台是德科技电子负载的设计初衷是作为测试电源的仪器。它们的功能开始非常简单，但后来逐渐演变成一种功能众多的通用仪器。在我们讨论电子负载在电源测试中的作用之前，我们需要了解电源的重要性。

电源使工程师能够深入了解被测设备的设计，无论是用于工作台上的研发（R&D）工作，还是用于系统机架中的测试和验证工作。电源使您可以为电路板供电，也可以表征半导体器件。无论应用是什么，电源在任何装置中都起着关键作用。

要制造合格的电源，满足设计期望，工程师在设计和制造过程中面临着巨大压力。他们必须精心开发和测试电源设计，保证其符合客户提出的苛刻技术指标。电源测试不是一件容易的事，它需要性能优异、功能强大的工具和设备。

几乎任何的电源测试都需要电子负载，在研发和生产过程中都会进行测试。研发环境中的测试主要是为了验证电源设计。这些测试需要高性能的测试设备，而且要求可以通过这些设备的前面板轻松编程设置。

相对而言，生产环境中的电源测试主要是为了根据产品设计阶段确定的技术指标，评测设计的整体功能水平。由于测试的工作量很大，通常工程师会采用自动化测试而不是通过前面板控制测试，这需要很高的测试吞吐量和测试可重复性。研发和生产环境都需要电子负载等复杂的测试设备，以便保证电源的设计和制造符合最高标准。

## 典型的电源测试装置 — 负载的安装位置

您可以执行许多测试来确认和验证电源性能。每项测试都需要不同的仪器和测试装置。电源测试通常使用的仪器包括电子负载、数字示波器、数字万用表、真有效值电压表、功率计和可编程交流电源。每种测试的配置都不相同。

电子负载是许多常见电源测试中的关键工具。它可以通过多种方法对电源进行加载。电源提供了多种工作模式，以方便您使用这些方法：恒定电流（CC）、恒定电压（CV）、恒定电阻（CR）和恒定功率（CP）。电子负载支持完整的编程功能，使您可以通过编程实施各种方式的控制，如通过前面板进行控制，或者通过 LAN、USB 和 GPIB 等 I/O 接口进行控制。除了可编程性之外，电子负载还必须提供具有数字化仪功能和数据记录功能的复杂测量系统。这些功能为您提供了全套必需的工具，确保您成功实施电源测试。这些功能保证交付给最终客户产品的最高品质。



图 1. N6705C 直流电源分析仪和 N6700 电源，装有电子负载模块

本应用指南讨论了使用 Keysight N6790 系列模块化电子负载执行常见电源测试的步骤：

- Keysight N6790 系列扩展了现有的 Keysight N6700 模块化电源系统的功能
- 包括专为生产自动化测试设计的 N6700C 小型主机，以及专为工作台测试而设计的 N6705C 直流电源分析仪主机。
- 小巧快速的 100W 模块（N6791A）和 200W 模块（N6792A）提供更大的灵活性；
- 外形仅为 1U 高，指令处理时间小于 1ms，这种电子负载提供快速吞吐量
- 这些负载模块提供了四种不同的工作模式：恒定电压、恒定电流、恒定功率和恒定电阻
- 高精度测量和数字化功能快速轻松地深入了解被测电源

此外，它还具有强大的内置任意波形功能，可以仿真复杂的动态负载波形。数据记录功能可让您对捕获的测量结果进行更深入的后期分析。N6700 都配置了 LAN、USB 和 GPIB 接口，实现安全的连通性和编程。对于要求严苛的系统设计师和测试工程师来说，这是必须具备的特性。

## 负载瞬态恢复时间

恒压直流电源的设计是一个反馈回路，它通过连续地调节，将输出电压维持在稳态水平。反馈回路的带宽有限，这限制了电源对负载电流变化的响应能力。如果电源反馈回路输入和输出之间的时延接近临界值，电源会变得不稳定并发生振荡。因此对电源的瞬态恢复/响应时间进行测试至关重要。

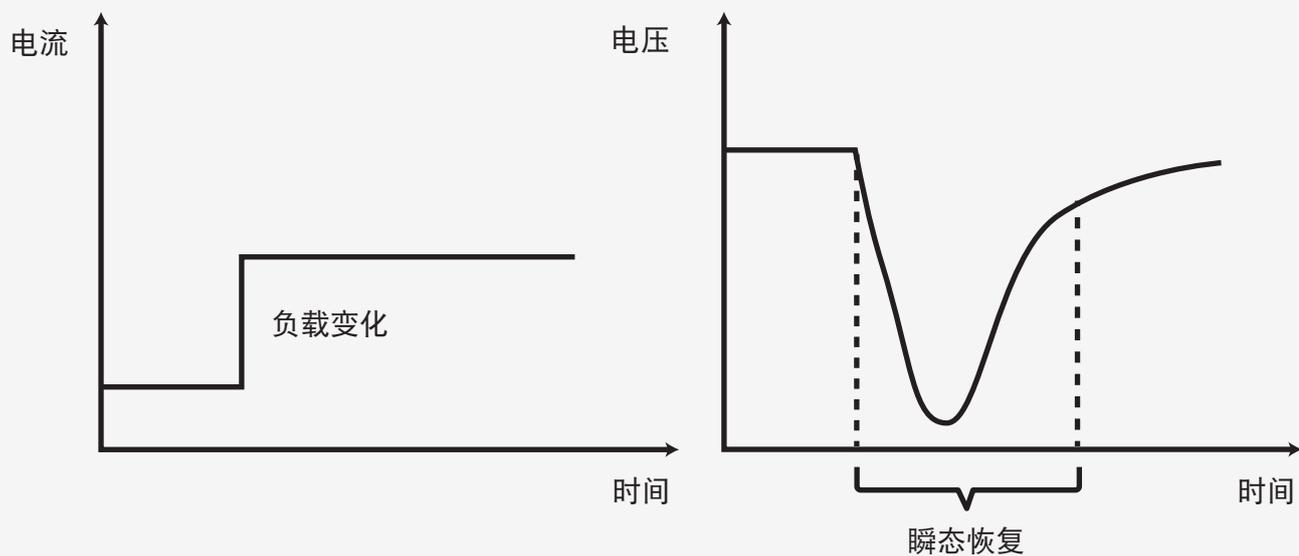


图 2. 瞬态恢复时间图

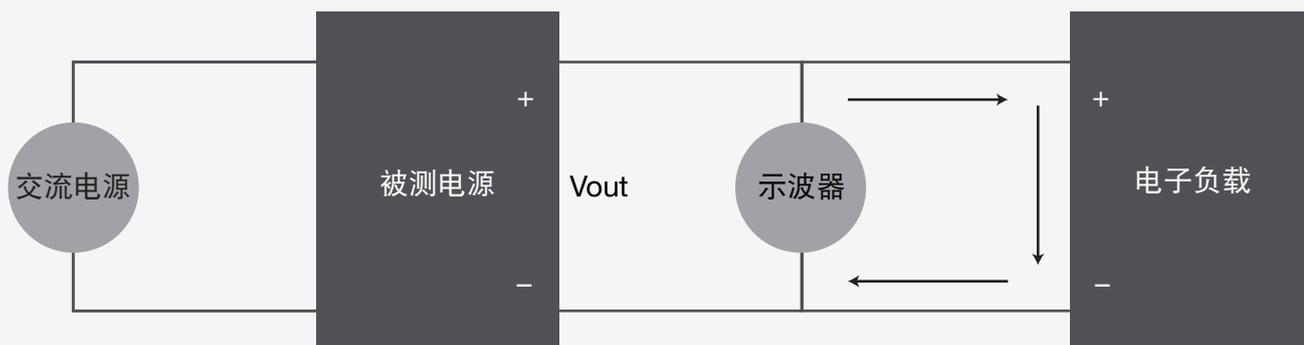


图 3. 负载瞬态恢复测试的典型装置

电子负载处于 CC 模式时，电源以 CV 模式编程。对电子负载进行编程以使负载快速变化。示波器捕获电源  $V_{out}$  的电压响应。

在这项测试中，电子负载需要的上升时间至少比被测电源快五倍，且应在 CC 模式（或 CR 模式）下工作，直至达到电源的最大额定电流。测量负载瞬态恢复时间要求负载能够在 CC 或 CR 模式下在两个不同值之间发出脉冲。

对于连续负载瞬态测试，脉冲的重复率应足够慢，以便电源反馈环路可在每次瞬态后恢复并稳定下来。应用负载输入脉冲时，使用数字化示波器测量电源的  $V_{out}$ 。测量的同步对于获得正确的测量结果至关重要。因此，应使用公共触发来启动电子负载测量和示波器测量。CV 负载瞬态恢复时间是指在感应到负载电流瞬态之后，CV 电源的输出电压稳定到设定区域内所需的时间，这是一种动态测量。

您可以使用 Keysight N6790 系列电子负载模块快速执行这项测试。由于其上升和下降时间比大多数基础型电源快许多倍，因此它能满足电源瞬态恢复测试的负载要求。N6790 系列电子负载可与 N6700C 小型系统主机或 N6705C 直流电源分析仪主机集成，执行瞬态恢复测试。与直流电源分析仪集成时，您可以使用如图 4 所示的任意波形功能快速轻松地配置电子负载上的瞬态。

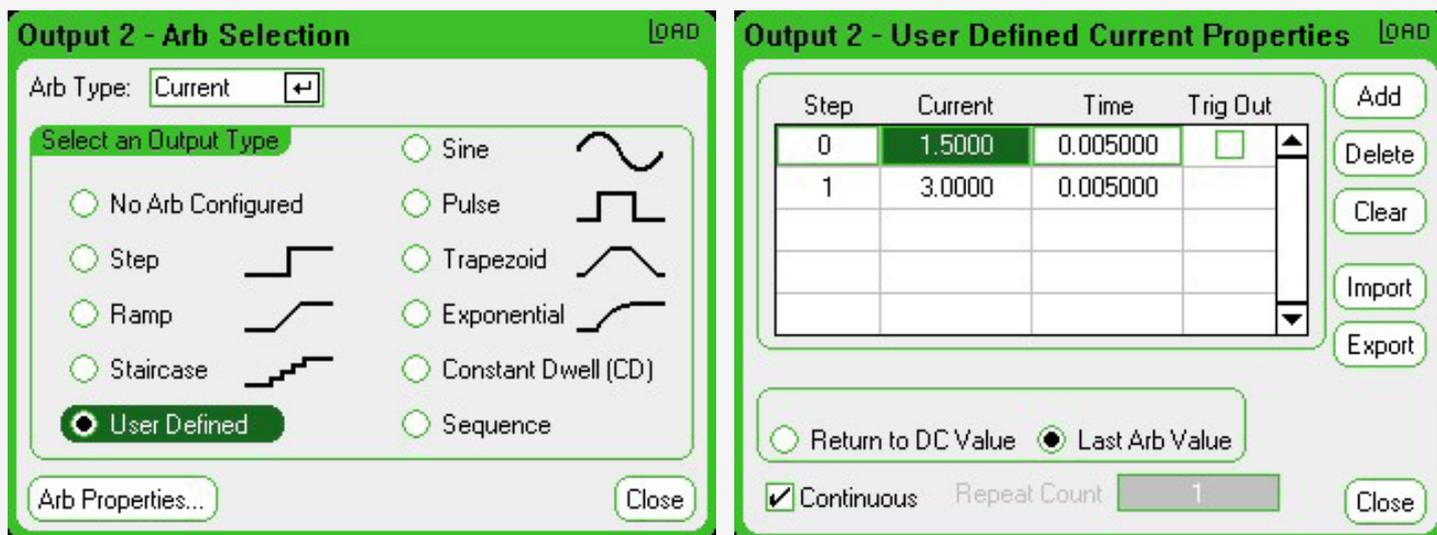


图 4. Keysight N6791A 瞬态恢复设置屏幕快照

上面的屏幕快照显示了 100 Hz 时在 1.5A 和 3A 之间产生瞬态切换的菜单设置 — 设置步骤快速简便。您还可以使用 N6705C 直流电源分析仪的数字化仪功能捕获瞬态恢复波形，如图 5 所示。

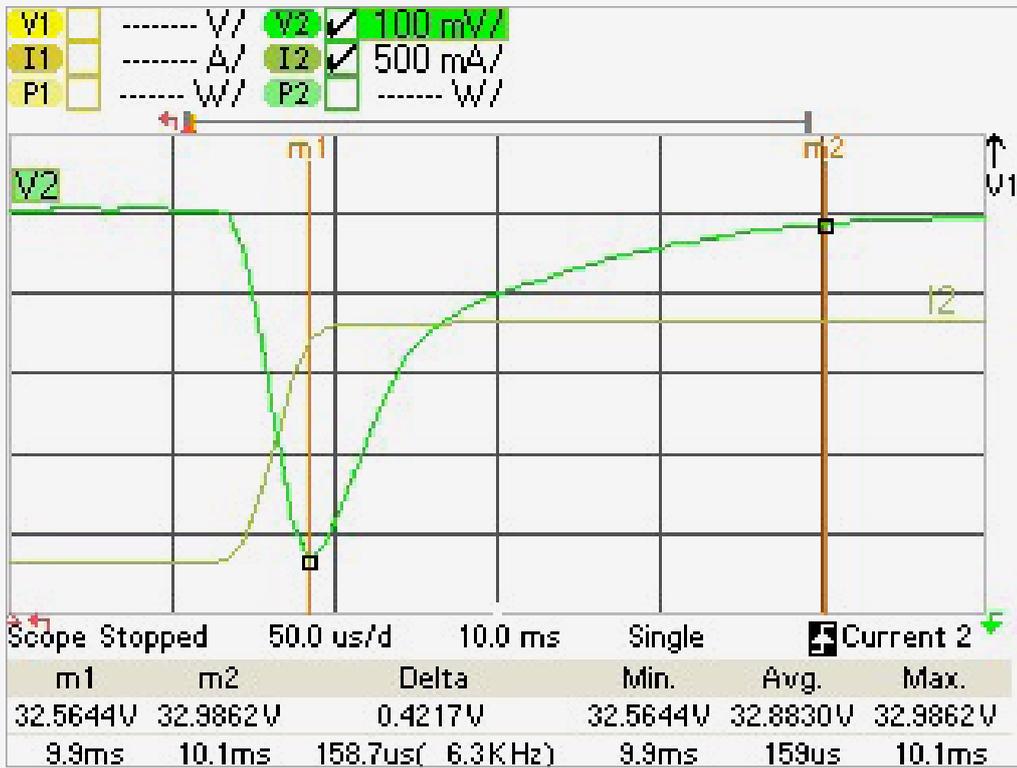


图 5. 瞬态恢复数字化波形

图 5 显示了您期望的瞬态恢复特性。 $V_2$  是电压波形， $I_2$  是电流波形。您可以看到  $I_2$  中显示的负载发生变化，这引起了  $V_2$  中的电压响应（下降），从而使其恢复。 $m_1$  和  $m_2$  之间的时间区域就是瞬态恢复时间。执行这项测试不仅快速，而且非常简单。通常情况下，这项测试需要使用示波器，但您可以通过结合使用 N6705C 示波器与直流电源分析仪，避免这种麻烦。

## CV 负载效应

这项测试测量的是当发生瞬态后，稳态输出电流的变化引起的电源输出电压的变化。输出电流的这种变化通常是从无负载到满负载的变化。可编程交流电源是必需的设备，它被设置到预定的交流输入电平，从而保证负载变化是导致电源输出电压发生变化的唯一原因。

在测量之前，允许被测电源的输出电压达到指定的稳定时间。为这项测试选择的电子负载必须能在 CC 或 CR 模式下工作，并且必须有足够的输入额定值，如电压、电流和功率，这样才能适应被测电源的最大额定值。您可以使用电源的 CV 模式和电子负载的 CC 模式创建这项测试。此外，您需要使用电子负载，且要求该电子负载能够通过编程轻松地将电流设置从无负载改成满负载。

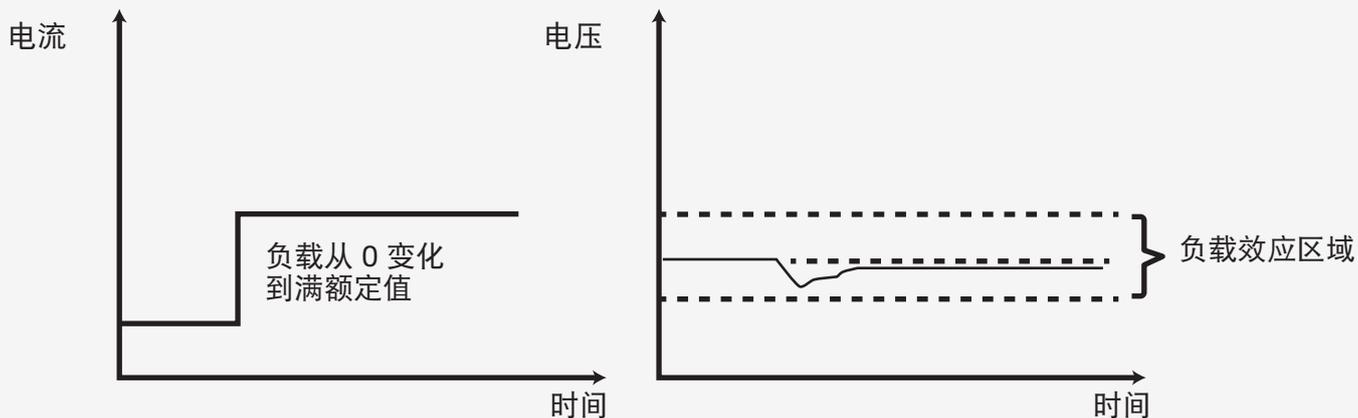


图 6. CV 负载效应时间图

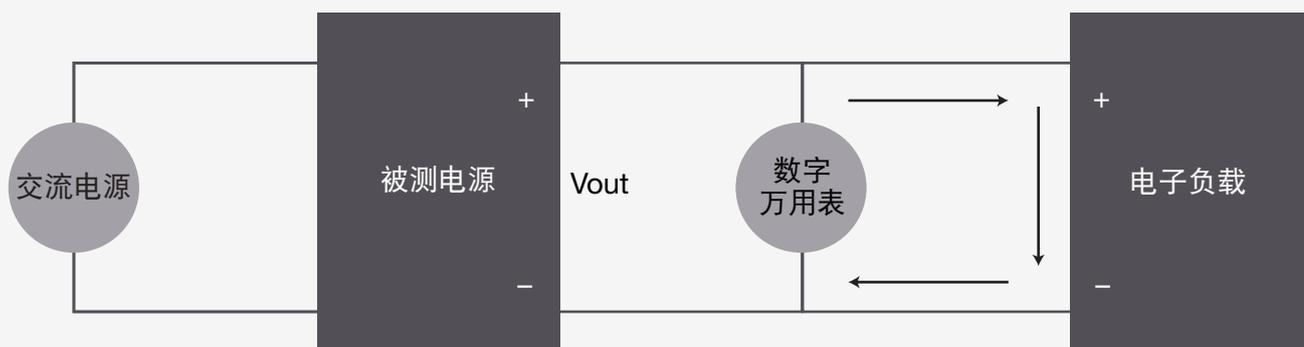


图 7. CV 负载效应测试的典型装置

使用 Keysight N6790 系列电子负载模块，您可以快速执行甚至简化这项测试。它提供四种工作模式：CV、CC、CR 和 CP 借助 N6705C 直流电源分析仪主机上的波形发生器功能，您可以根据需要使用电子负载模块中非常精确的电压和电流测量系统进行编程，实现从无负载到满负载的变化。

直接连接到被测电源时，它直接将关联电源的输入和输出电压测量结果。在某些测试环境中，这种精度水平就已经足够，因此无需使用独立的数字万用表，使测试配置极大简化。图 8 显示了 N6790 系列电子负载如何通过简单的编程，使用波形发生器创建从满载到零负载的电流阶跃。

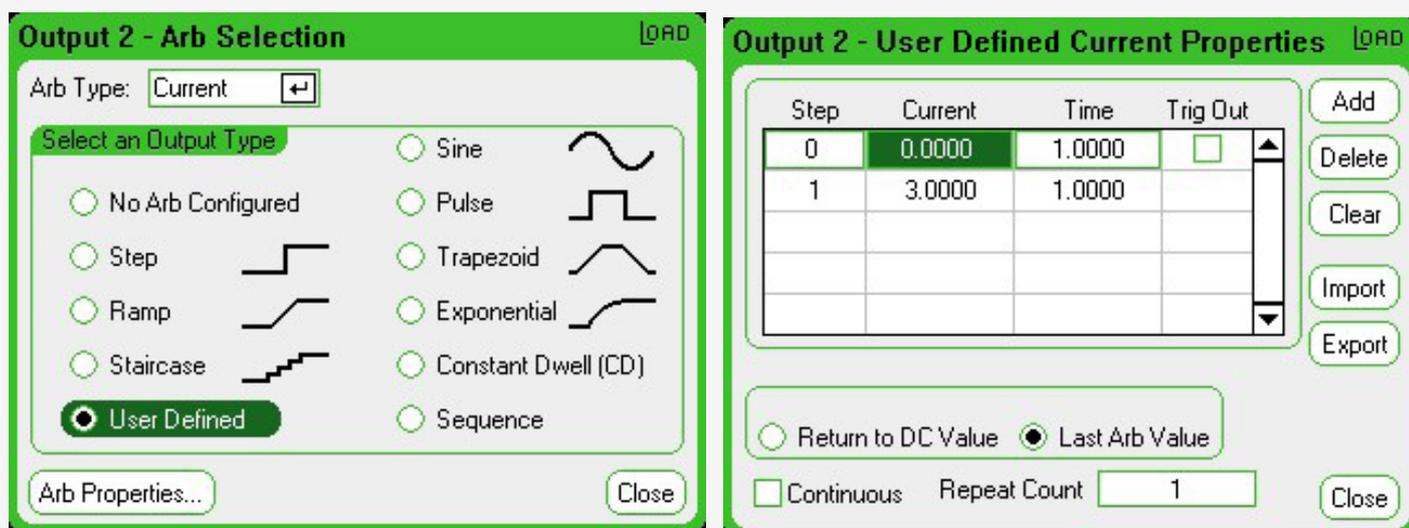


图 8. Keysight N6791A 上的负载效应设置屏幕快照

在经过足够的稳定时间后，您可以直接从前面板读取电压测量值，以保证  $V_{out}$  符合技术指标。

## 效率

电源效率是指其总输出功率与总输入功率之比。例如，AC/DC 电源输入连接到稳压交流电源，输出连接到稳压直流电子负载。无论是交流电源本身还是交流功率计，都是测量输入功率时不可或缺的工具。输出功率可通过直流功率计或电子负载测量。

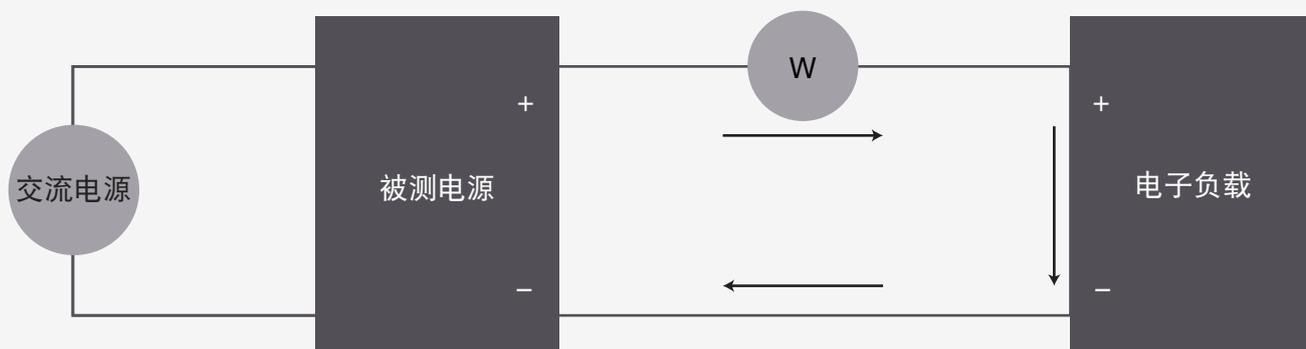


图 9. 交流到直流电源效率测试的典型装置

对于 AC/DC 电源，输入连接到稳压直流电源，输出连接到直流电子负载。输入和输出都会连接功率计以测量功率。或者，您也可以使用电源和电子负载来执行功率测量。效率测量在稳态下进行，此时电源处于 CV 模式，负载处于 CC 模式。

对于效率测试来说，选择测量精度水平符合需求的电子负载至关重要。尤其是使用电子负载测量输出功率时更是如此。在某些测试中，您还希望在不同的负载点测试效率，因为电源效率会根据负载水平而变化。Keysight N6790 系列电子负载具有执行此类效率测试所需的全部必要功能。测量系统提供准确的测量洞察力，无需使用独立功率计。使用 CP 工作模式，您可以快速轻松地切换不同的负载电平。

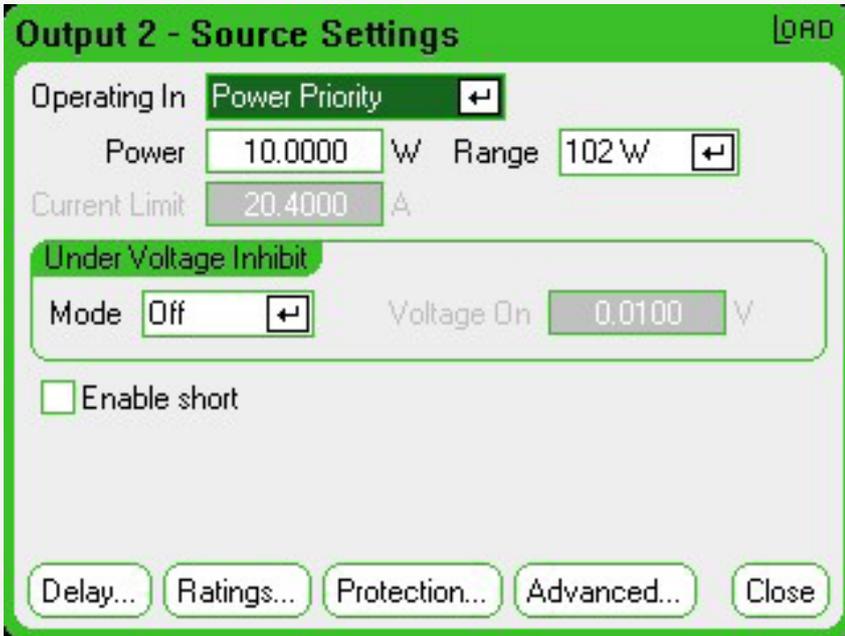


图 10. 恒定功率菜单设置屏幕快照

测试直流到直流电源时，您可以通过 N6700 平台提供直流电源输入和进行测量，因为它提供了超过 34 种直流电源模块和 2 个电子负载模块。它是真正的直流电转换效率测试综合解决方案，可在单个平台中进行简单的编程控制和测量。在单个平台中同时提供电源和负载，降低了复杂性。电源和负载模块都使用同一个时钟，因此可以同步执行电源和负载两端的命令。无需额外的工作来保证电源和电子负载在通信方面相互联系。因而无需任何硬件或软件同步。

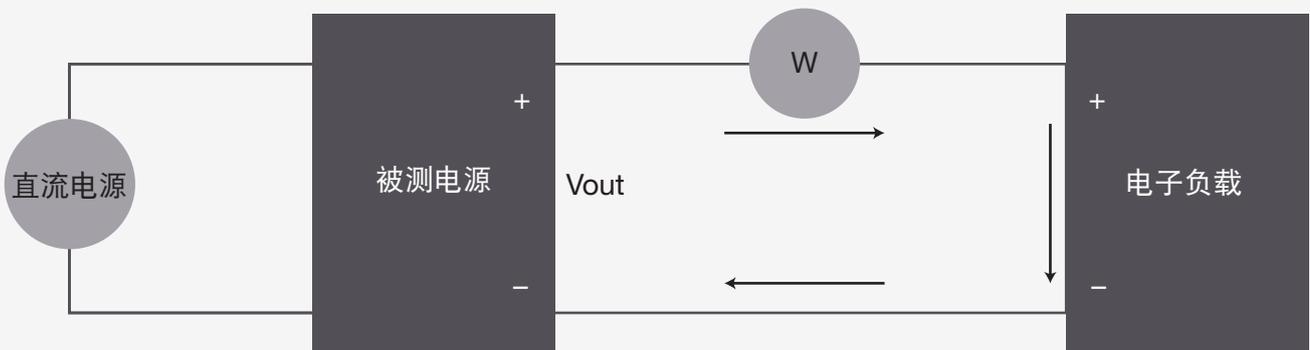


图 11. DC/DC 电源效率测试的典型装置

由于命令和测量在电源和负载之间是同步的，因此您可以在设置更改时获得实时效率数据。图 11 显示了不同直流输入设置下 DC/DC 电源随时间变化的直流电源输入和直流电源输出。您可以在输入端使用 Keysight N6762A 精密电源模块，在输出端使用 Keysight N6790 系列电子负载模块。两个模块都在同一台 N6705C 直流电源分析仪主机内。通过使用数据记录器，您可以在同一个屏幕上查看输入和输出的功率测量值，无需额外配置。

## 总结

在您进行电源测试时，Keysight N6790 系列电子负载模块可以为您提供优异的性能和速度。无论何种测试环境，也无论是工作台或系统应用，您都可以获得高质量和高可靠性以及卓越的性能和功能。它简化了测试系统配置，可以实现出色的准确性和可重复性。N6790 系列与 N6700 电源模块以及多种工作台主机和系统主机集成，构成真正的综合解决方案，用于直流电源转换测试。

如欲了解更多信息，请访问：[www.keysight.com](http://www.keysight.com)

如需了解关于是德科技产品、应用和服务的更多信息，请与是德科技联系。如需完整的联系方式，请访问：[www.keysight.com/find/contactus](http://www.keysight.com/find/contactus)

