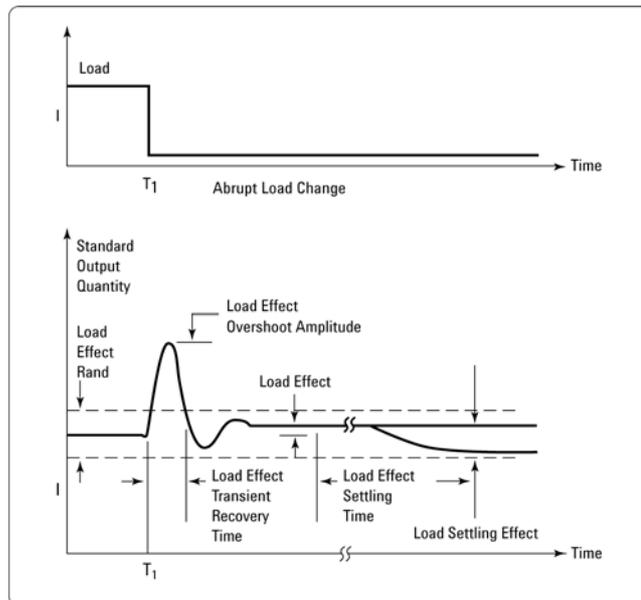


Agilent AN 372-1 电源测试

应用指南

电子负载有众多的工作模式。可提供表征和验证直流电源设计规范所需要的各式各样负载配置。



Agilent Technologies

引言

随着可调整型电源技术的进步，需要用更为复杂的电子设备进行设计验证和测试产品的功能。不同的电源体系结构和输出也需要有适应更宽范围技术指标的通用测试仪器。这样，加载被测电源的方法成为一项越来越重要的测试要求。由于测试的复杂性，例如需要计算机的编程能力，使得对负载的控制有了更迫切的需要，这也增加了对电子负载这类仪器的要求。下面考查最常用的电源体系结构或拓扑，说明对电子负载和电源测试设备更高性能和通用性的需要。

电源拓扑方式概述

在所有可能的电源拓扑中，线性调整或开关调整技术是最常使用的设计实现。线性电源由于具有高性能，低PARD（纹波和噪声），优良的电源调整率和负载调整率及瞬态响应指标，而常用于研发环境和生产测试系统。但与开关电源相比，线性电源效率偏低，而且由于要用散热器为串联晶体管及磁铁散热，使其大而笨重。通常对于较低功率应用，线性电源是更为有效的解决方案，它在不同产品中作为组件使用。

开关电源克服了线性电源的缺点（效率低、体积大、笨重），对于大功率应用，它是高效和价廉的解决方案。但与线性电源相比有三方面的缺点：较慢的瞬态恢复时间，较高的PARD和较低的可靠性。开关电源适用于各种工业环境，在各种产品，如计算机、外设和复印机中作为部件使用。近年来的电源设计组合了开关和线性这两种拓扑方式各自好的特性。下面的表 1 比较了线性和开关拓扑的典型指标。

表 1

调整技术	负载调整率	电源调整率	瞬态响应	PARD	效率
开关电源	0.05 - 0.5%	0.05 - 0.5%	1 - 20ms	5 - 20mVrms 20 - 130mVp-p	65 - 85%
线性电源 (串联通过)	0.005 - 0.1%	0.005 - 0.1%	20 - 200 μ s	0.25 - 5mVrms 1.0 - 15mVp-p	30 - 50%

电源测试综述

电源用于各种各样的产品和测试系统。因此对于不同厂商和不同最终用户而言，需要通过测试确定的技术指标也会有很大不同。例如研发环境进行的测试主要作为电源的设计验证。这些测试要求高性能的测试设备，在工作台上采用大量的手动控制。与其相反，制造环境的电源测试主要针对产品设计阶段所确定的产品所有功能。由于测试批量很大，必须有高测试吞吐率和高可重复性，因此通常要求测试自动化，电源测试仪器必须能用计算机编程。对于这两种测试环境，都要通过测量同步执行正确测试和获得有效数据。此外，对电源测试装置设计师而言，同样重要的是还需考虑测试装置可靠性，对被测电源的保护，机架空间和总的使用成本。正确选择测试仪器将提供测量通用性和测试装置复杂性的最好组合。

电源测试用仪器

在本应用指南中讨论的电源测试方法和配置当然并非实现所需要测量的唯一可行方案。但无论何种实现方法，仪器对于所有测试都是最为基本的需要。某些商业化的测试系统融入了定制的电路板级仪器和手工接线。但基于标准产品的电源测试系统有更多好处。由于其低噪声环境，这些系统更为可靠，能提供可重复的高性能测量。采用标准仪器的系统是模块化的，具有按性能需要配置系统的灵活性，并且易于升级。此外，进行系统中各仪器的维修、更换或校准也只需最少的系统停机时间。

下面各节所覆盖的测试均使用标准仪器配置，这些仪器包括电子负载，数字示波器，数字多用表，真有效值电压表，瓦特表和交流功率源。

电子负载可用几种方法执行电源测试。它们一般是可编程的，虽然大多数电子负载需要外部DAC编程器。

这一能力能在测试期间精确控制负载值，为测试装置操作者提供有价值的状态信息，电子负载通常采用FET设计，它比采用继电器和电阻器的解决方案更可靠，也更简易。您还可选择工作模式：恒流(CC)、恒压(CV)和恒阻(CR)。较复杂的电子负载在一台产品中提供所有这三种模式，具有最高的测试灵活性。并进而提供测量直流电压和电流这两种源的通用解决方案。电子负载的最后一项优点是提供通过总线的回读。这就能去掉一些测试中测量电压和电流所用的数字多用表。如上所述，现在有各种不同复杂程度的电子负载。Agilent电子负载产品系列在一台仪器中提供所有最复杂的功能特性和很高的性能指标。

电源测试

电源测试还需要一些其它仪器。不同测试（精度、分辨率、稳定度、带宽等）要求不同的性能。大体上仪器测量能力应保证其误差低于被测指标的 10%。对于本应用指南讨论的测试，下面的表 2 提供对仪器性能的基本要求。

负载瞬态恢复时间

所设计的恒压直流电源使用反馈环，它把输出电压持续保持在稳态电平上。反馈环的有限带宽限制了电源响应负载电流变化的能力。如果电源反馈环输入和输出间的时间延迟到达单位增益转角处的临界

值，电源将不稳定和产生振荡。通常要测量作为角度差的这一时间延迟，并用相移的度数表示。环路输入和输出间相移的临界值为 180°。

表 2	负载瞬变恢复时间	负载效应	电流极限特性	PARD	效率和功率因素	起动
电子负载	$t_{rise} \leq 15\mu s$	1% 编程精度	1% 编程精度	1% 编程精度	1% 编程精度	1% 编程精度
	至示波器的触发输出	CC 或 CR 模式	CC 或 CR 模式	CC 或 CR 模式 低 PARD	CC 或 CR 模式	CR 模式
数字示波器	$t_{sample} \leq 100\mu s$	N/A	N/A	$t_{sample} \leq 25\mu s$	N/A	$t_{sample} \leq 1\mu s$
				dc-20MHz 最小带宽		记录长度 4K 样本最小
				记录长度 $\geq 4K$ 样本 100 μs /Div (线性) 1mV/Div (开关)		
数字多用表	N/A	6/位, $\pm 0.004\%$ 精度	6/位, $\pm 0.004\%$ 精度	N/A	N/A	N/A
瓦特表	N/A	N/A	N/A	N/A	1% 精度, 电流波形 中的波峰因素达 10:1	N/A
调整型 交流源	> 1% 调整率	> 1% 调整率	N/A	> 1% 调整率	> 1% 调整率	> 1% 调整率
	可调峰值和频率	可调峰值和频率		可调峰值和频率	可调峰值和频率	可调峰值和频率
					功率因素测量能力	相位控制
RF rms 电压表	N/A	N/A	N/A	100 μV 满度 dc – 20MHz 最小带宽	N/A	N/A

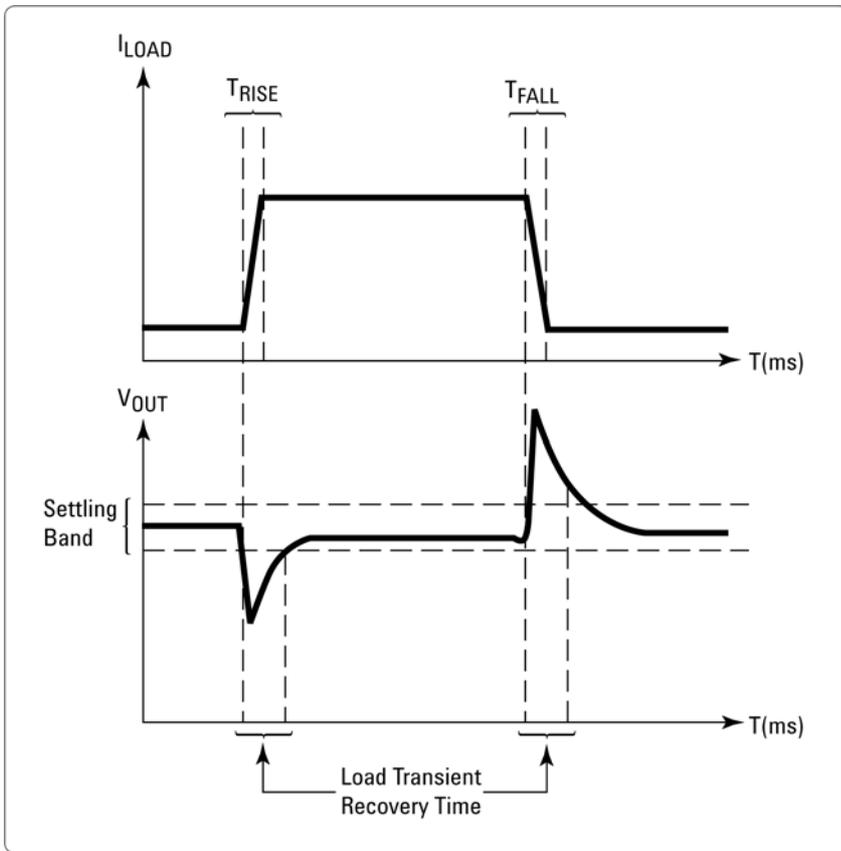


图 1. 负载瞬态恢复时间

负载瞬态恢复时间测量要求电子负载的上升和下降时间至少比被测电源快 5 倍。

对于负载电流的跃变，处于稳定态边缘的 CV 电源将有振铃电压输出。它使电源调整电路失效，并可能损坏对电压敏感的负载。这种负载的例子如计算机中的逻辑电路。在这种情况下，外购电源的计算机制造商可能会考虑进行电源组件负

载瞬态恢复特性指标的验证。这项测试也能揭示造成不稳定的关键制造问题，如有缺陷的输出滤波电容器和松动的电容器连接。

测试概述 / 测试步骤

CV 负载瞬变时间是一项动态时间测量，它是负载电流瞬变后，CV 电源的输出电压稳定到预先规定稳定带内的时间（见图 1）。通常所测的响应为微秒或毫秒量级，取决于被测电源的拓扑。

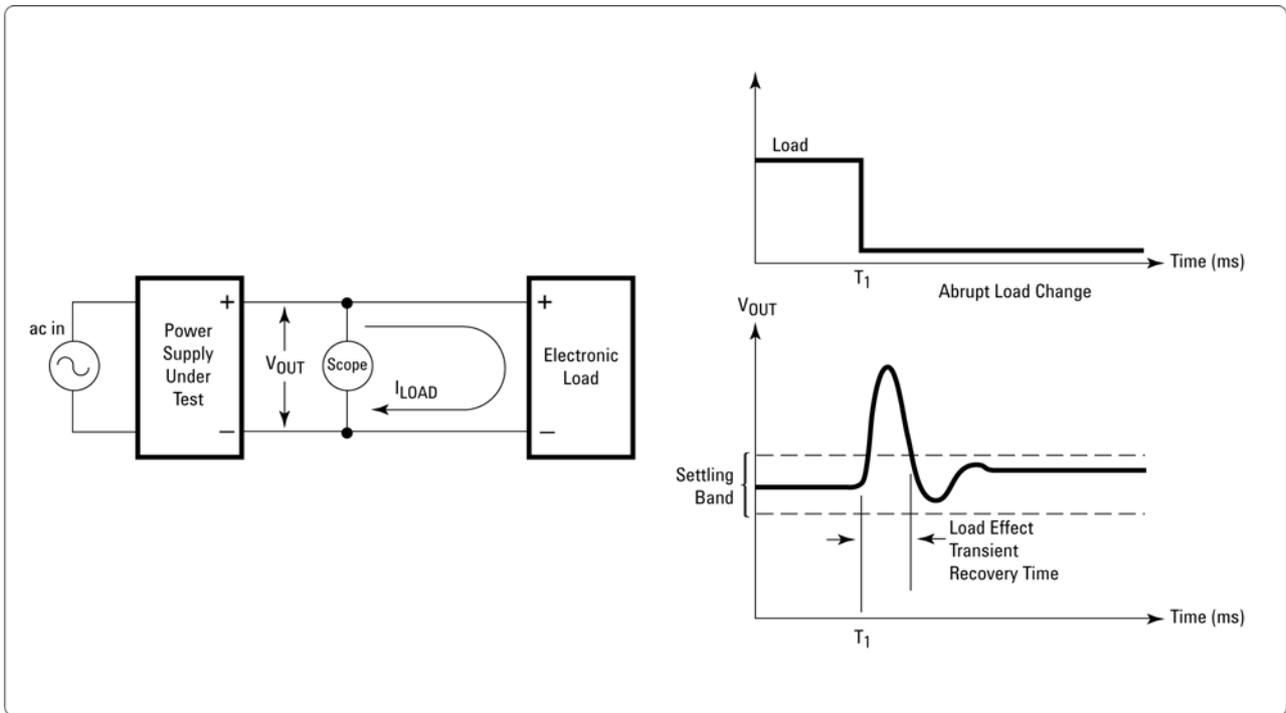


图 2. 对 CV 电源的负载瞬态恢复测试配置的 V_{out} 测量结果

这项测试中所用电子负载的上升时间至少要比被测电源快5倍,并能工作于达到电源最大额定电流的CC模式(或CR模式)。测量负载瞬态恢复时间要求负载能够在CC或CR模式2个不同值间切换。为进行连续的负载瞬态测试,切换的重复率应足够慢,从而使电源反馈环能在每次施加切换后恢复和稳定。

图2是进行负载瞬态恢复时间测量的典型测试系统。可把数字示波器作为负载输入脉冲进行电源的 V_{out} 测量。测量同步对于得到正确测量结果至为关键。应使用公共触发起动电子负载和示波器测量。

负载效应(负载调整率)

负载效应或负载调整率是一项静态的性能测量,它定义被测电源在预先确定的负载变化时保持在规范输出极限内的能力(见图3)。对于CV电源,关注的影响量是稳态输出电流。对于CC电源,影响量

是稳态输出电压。对于单路输出CV电源,负载电流变化产生的电压负载效应等于电源的额定电流。该指标一般用mV,或额定输出电压的百分数表示。

对多路输出CV电源应确定交叉负载效应。这是对单路输出电源负载效应测试的扩展,它确定在一路上输出上负载电流变化时,CV电源所有输出保持在规范额定电压范围内的能力。也可反过来规定一路输出承受所有其它输出变化的能力。

图 3. 负载效应

当负载电流变化等于 CV 电源的额定满度电流时，产生的 V_{out} 变化应不超出预先定义的负载效应带。负载响应的典型指标范围为最大输出电压的 0.005%-0.5%。

测试概述 / 测试步骤

对于 CV 电源，输出电压和输入电压的测量应在负载从被测电源的最小电流变化到满度额定电流后进行（图 4）。需要测量交流输入电压，以保证输出电压变化仅是负载变化，而不是交流输入变化的结果。当要求高吞吐率时，为缩短测试时间，用可调型交流源提供预先确定的交流输入电平和可使用的频率。这样就不需要进行交流输入电压测量。

在测量前应允许输出电压有规定的稳定时间。选择用于这项测试的电子负载必须能在 CC 或 CR 模式工作，以及适应被测电源最大额定值的足够输入额定值（电压、电流和功率）。

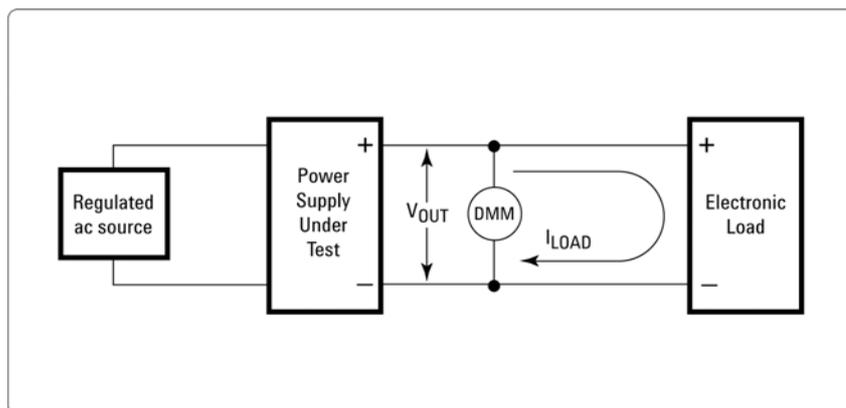
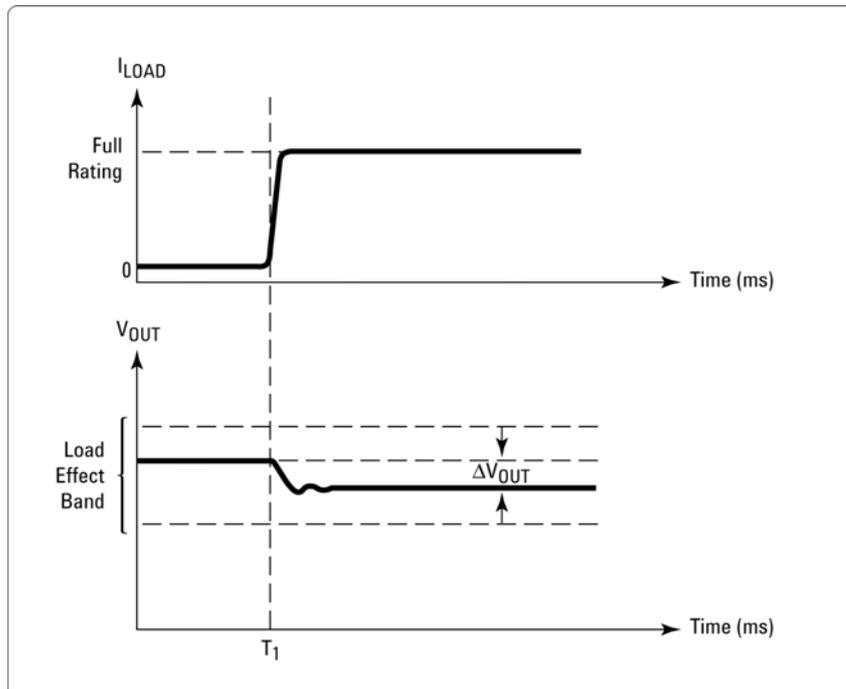


图 4. 负载效应测试配置

在负载效应测试配置中使用可调型交流源，以保持交流输入为预定值。这就保证测试结果只反映负载电流变化造成的 V_{out} 变化。

电流极限表征

电流极限测量论证恒压电源的预设最大输出电流极限值。这一预设值可以固定，也可在规定范围内改变。有三种基本类型的电流极限设计实现：

1. 常规电流极限电源
2. CV/CC 模式电源
3. 折返电流极限电源

常规电流极限电源和CV/CC模式电源在功能很相似。其实现的不同处仅在恒流工作区内的调整程度（见图5）和使用者调整CC工作点（CV/CC电源）的能力。一个圆形拐角和倾斜的电流极限特性表明较低精度的电流调整。相反，陡峻的拐角和垂直的电流极限特性表明更高的电流调整能力。折返电流极限电源采用在负载电阻低于变换值时能让输出电压和电流同时降低的技术。

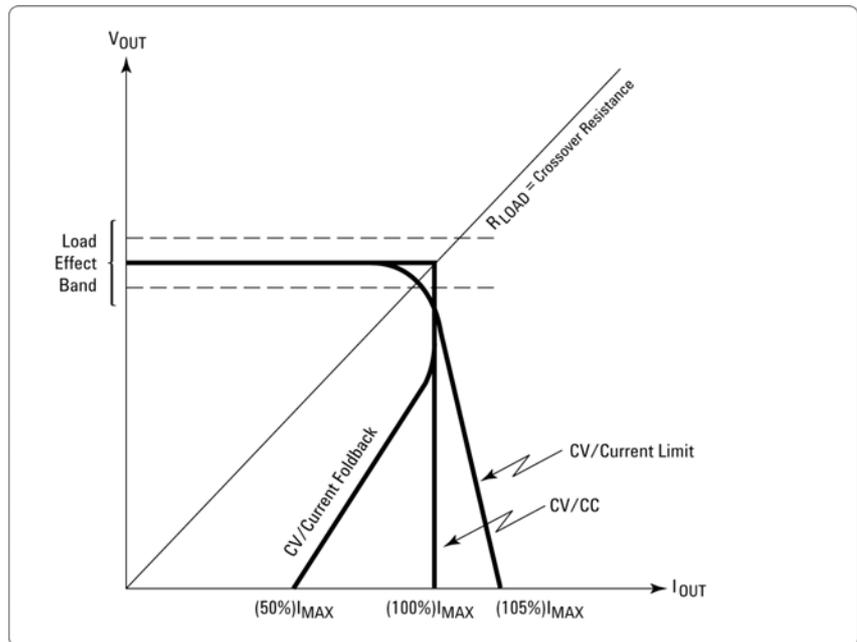


图 5. 三种类型电流极限电源的典型工作特性

电流极限的目的是提供对电源及其供电设备的保护（假定电流极限值低于设备的最大额定电流）。

测试概述 / 测试步骤

对被测电源输出电压和电流的测量从电源满度额定输出电压初始值开始（见图6），然后逐步减小电子负载的电阻（或电流，CC模式）。

电压将保持恒定，直到负载电流（电源的输出电流）增加到预设的电流极限值。当电源额定输出电压变化到大于其负载调整规范时，即到达了变换区或电流极限。在电流极限拐点处，负载电流和输出电压的行为由电源设计中实现的电流极限电路类型确定（见表3）。

表 3. 标准电流极限实现的典型测试结果

电流极限实现方法	最小负载电阻下的负载电流（或 I_{out} ）
CV/CC	保持恒定
常规电流极限	典型值 $\leq (105\%) I_{max}$
电流折返	典型折返 $\leq (50\%) I_{max}$

PARD (周期和随机偏差)

PARD (原称纹波和噪声) 是在所有其它参数恒定的条件下, 在规定带宽内直流输出电压对其平均值的周期性和随机性偏离。它代表调整和滤波电路后面直流输出电压中所残存不需要的交流和噪声成分

(见图7)。PARD用有效值或峰峰值度量, 通常规定的带宽范围为20Hz至20MHz。任何技术指标中所包括20Hz以下的偏离被称为输出偏置。低输出纹波对一些应用至为关键。这样的应用例子如为高增益放大器加电的电源, 如果该电源的纹波偏大, 电源的PARD部分会连同所需要

的信号一起被放大。在应用中规定的PARD值是峰峰值还是有效值非常重要。峰峰值提供有关高幅度、短持续时间尖峰的信息, 而有效值则有利于确定预期的信噪比。

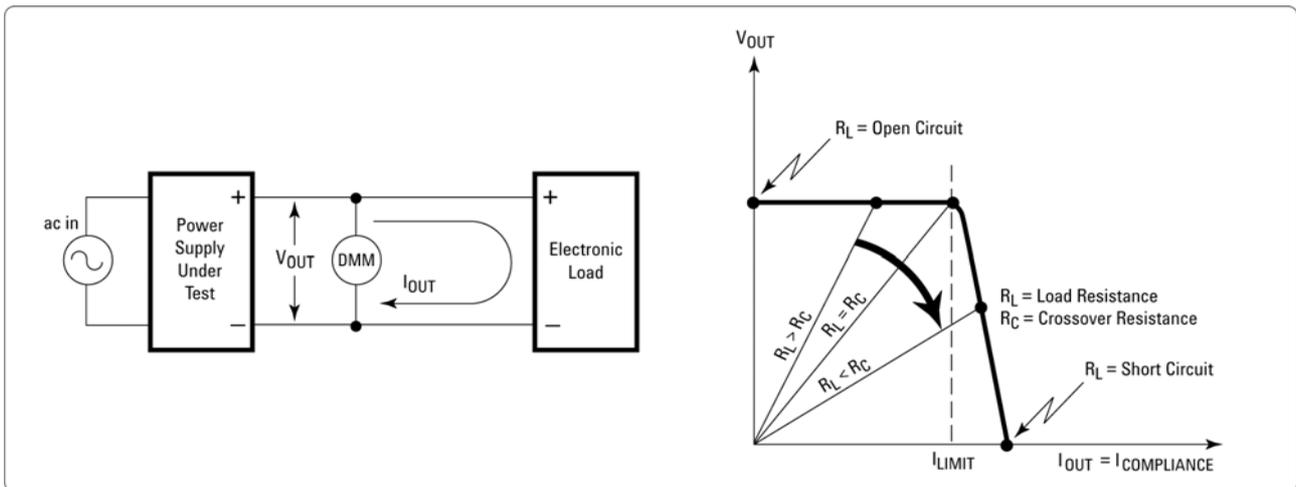


图 6. 电流极限表征的测试配置和结果

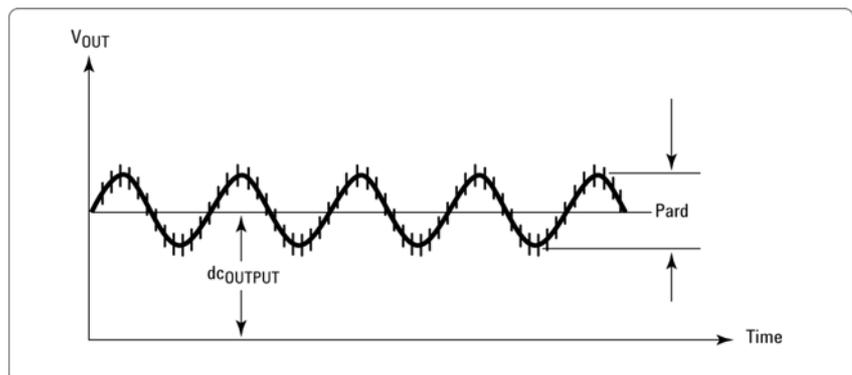


图 7. PARD 包括重叠于电源直流输出上的不需要信号

测试概述 / 测试步骤

为进行 PARD 测量，对于恒压和恒流电源，所使用的电子负载应工作于 CR 模式。负载的 PARD 要低于被测电源。这在测量线性电源的 PARD 时尤为重要，因为线性电源通常有优良的 PARD 指标。应使用可调型交流源向被测电源施加输入。在规定电源最低和最高交流输入，以及规定的最低和最高源频率处进行 PARD 测量。

在进行这些测量时，正确连接仪器和被测电源十分重要。由于 PARD 包括低电平的宽带信号，主测试装置应注意地环路、正确的屏蔽和阻抗匹配。可用数字示波器作峰峰值测量（图 8）。由于需要测量高频噪声尖峰，因此为进行正确取样，示波器的数字化率至少要比最高 PARD 频率高 5 倍。为消除电缆振铃和驻波，典型配置中包括在两端以 50 Ω 端接的同轴电缆。要把电容器与信号路径串联，以阻塞直流电流。

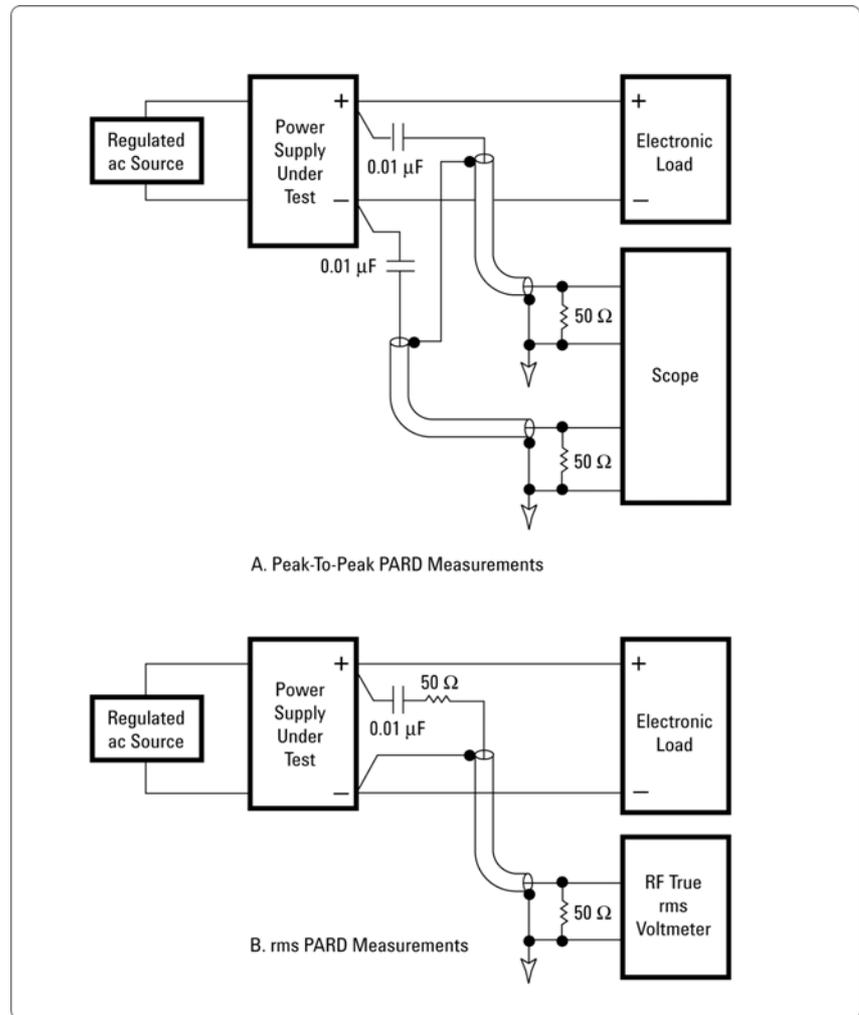


图 8. PARD 测试配置

应使用真有效值 RF 电压表测量有效值指标。也应考虑类似的峰峰值测量。这两种测量都应防止出现地环路。由于大多数示波器和真有效值电压表都使用以地为参照的输入，测试电源以地为参照的输

出，此时很可能产生地环路。在这种情况下，为避免地环路问题，也许应使用具有浮置（差分放大器）输入的仪器。

在进行第一组 PARD 测量时，交流源的电压和频率应设置于规定的最小值，被测电源在最小，然后为最大额定负载值。第二组 PARD 测量时，交流源应设置于规定的最大幅度和频率，被测电源在最小，然后为最大负载值。为测试多路输出电源，在进行各路输出的 PARD 测量时，所有其它输出应先设置在最小负载，然后至最大负载。

效率

电源效率就是总输出功率与总输入功率之比。为得到典型 ac-dc 变换电源的真实输入功率（有效值电压×同相有效值电流），可使用商业瓦特表或交流源测量所需参数。用于输入电流和电压测量的仪器必须以足够快的速率取样输入信号，以得到精确的测量结果。

这项测试能很好指示被测电源的正确工作。如果对于电源拓扑，所测效率超出了规定范围，表明可能存在设计缺陷或制造问题。

测试概述 / 测试步骤

要在仪器预热后的稳定条件下测量被测电源的效率和功率因素。电子负载可工作于 CC 模式（对 CV 电源）和 CV 模式（对 CC 电源）。至少应使用两种负载设置，其中一种是被测电源的最大额定负载（测试配置见图 9）。某些电源的效率和功率因素是负载的函数。在这种情况下，应使用足够数量的负载设置，以使由测量数据绘制的曲线能最好地表述测试结果。

起动

电源的开启延迟是从施加交流输入至输出达到其调整指标之内的时间。对于开关电源或具有电流限制的电源来说，这一时间周期对输出电压的正确开启序列至为关键。在开关电源设计中，会在开启时产生有害事件，即有可能损坏开关晶体管的电流尖峰。问题的起因是当最初交流输入施加到电源时，反馈环试图补偿它所看到的低输入电压。一般是通过增加“软起动”电路解决这一问题，软起动电路在起动序列期间限制开关晶体管的导通时间。这将限制通过开关晶体管的电流，直到电源到达稳定工作状态。

图 9. 效率和功率因素的测试配置

在测量电源效率和功率因素的测试配置中，由可变交流源进行输入功率和功率因素测量。

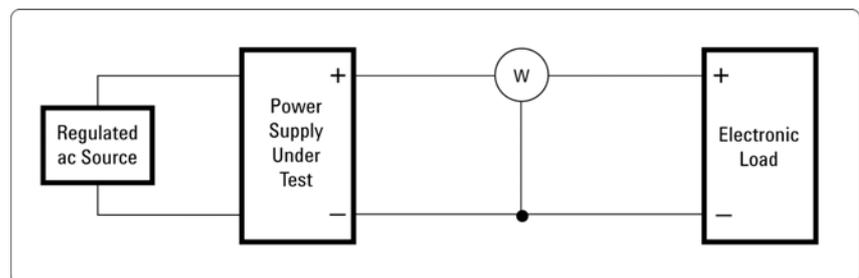


图 10. 电压锁定

有害的电压锁定和导通可能造成电源工作在有可能损坏内部电路的电流级

电源起动时可能产生的另一有害条件是电压锁定。在这种情况下，具有电流折返 CV 电源的输出电压不能在开机后到达其最终值，因为输出电流试图立即达到高值。电源电流折返电路的保护响应可能造成输出电源被“锁定”在某点，而此处的电流可能使电源损坏（见图 10）。因此测量起动延迟时间和对其全面表征将能保证开机时的安全工作。

为全面表征被测电源的开机起动序列，必须测量输出电压对即时交流输入响应（见图 11）。可用数字示波器保存测量起动时间周期得到的输出值。为精确控制施加至被测电源的交流输入频率和幅度，应使用可调型交流源。在选择 60Hz (50Hz) 相位（例如跨零和正或负峰值电压）开启交流源对于全面表征起动特性是重要的。在这项测试中使用的电子负载应工作于 CR 模式。

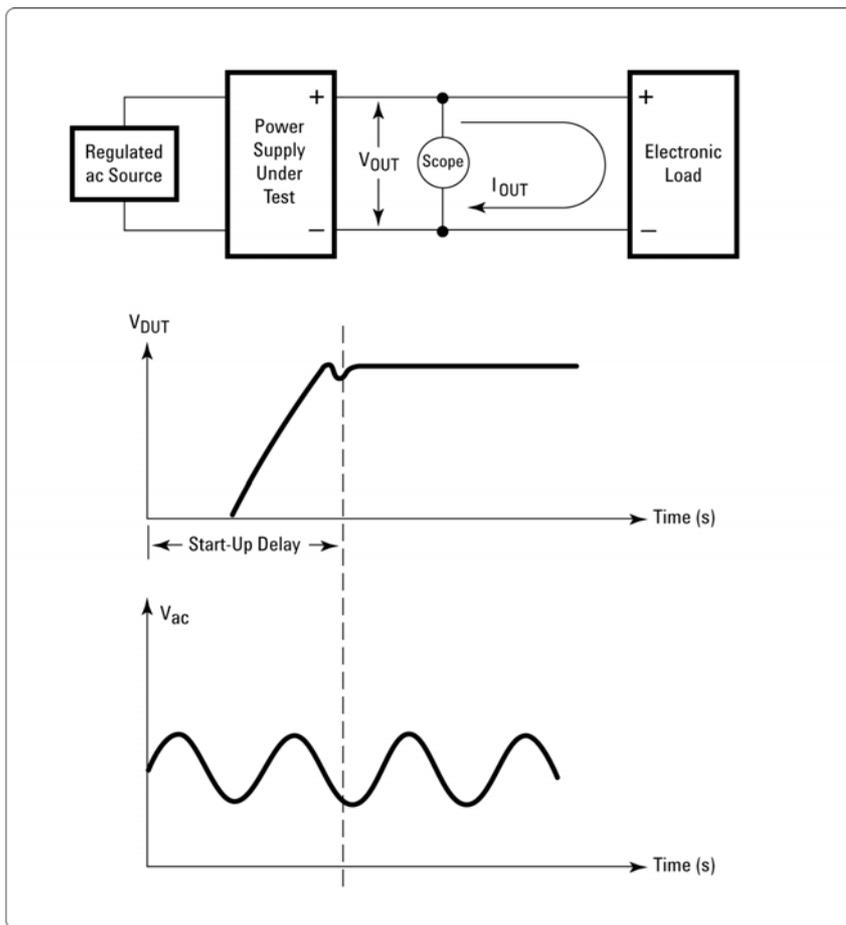
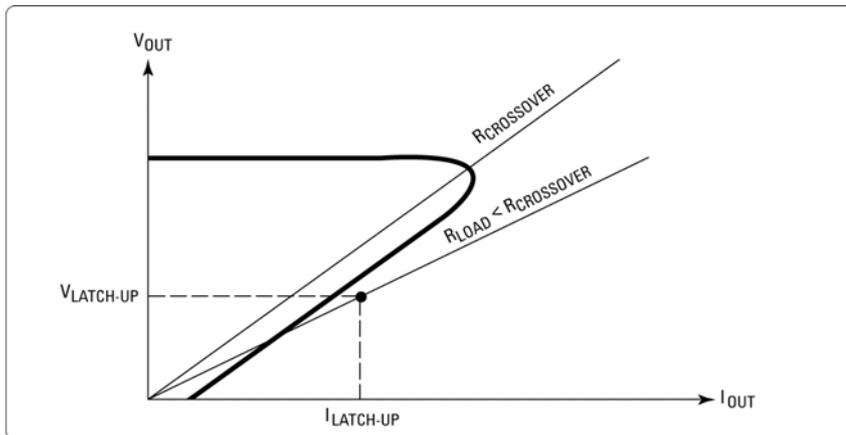


图 11. 起动延迟测试配置和结果

电源的其它测试

在观看电源制造商所提供任何直流电源的技术指标时，会发现必须对某些设计规范作验证和测试。这些测试因所采用的技术和测量各种不同参数所使用的测试设备而异。所有这些测试的共同点是需要有控制电源输出负载的方法，而最容易的方法是使用电子负载。下面列出这些测试的简要说明。

漂移

这项测试包括测量电源输出电流或电压的周期和随机偏离（通常超过 8 小时），覆盖的带宽为 DC 至 20Hz。测试中所用的电子负载应能工作于 CC 或 CV 模式。

测试设备：

- 计算机（用于长期测试）
- 电子负载
- 真有效值电压表

源效应（电源调整）

测量因源电压幅度变化而产生的输出电压或电流变化。关注的是输出是否在调整率指标范围内。测试中所用的电子负载应能工作于 CC 或 CV 模式。

测试设备：

- 电子负载
- 可调型交流源
- 数字多用表
- 精密分流器

短路输出电流

这项测试是测量被测电源在输出端短路后的稳态电流。可用工作于 CR 模式的电子负载提供短路。

测试设备：

- 电子负载
- 数字多用表
- 精密分流器

过压关断

在通常情况下，如果电源的输出电压超过预期负载的最大输入电压、电源最大工作电压或改变电压极限设置时，电源应被关断。过压保护测试示出被测电源正确响应这些条件的能力。在测试输出电压响应时，电子负载应使用 CC 模式。

测试设备：

- 电子负载
- 数字多用表

编程响应时间

这项测试是测量编程输出电压或电流，在模拟编程信号跳变后，或数字信号选通后，从规定的初始值变化到编程值所规定容限带内需要的最大时间。这项测试中电子负载工作于 CC、CR 或 CV 模式。

测试设备：

- 计算机
- 电子负载
- 数字多用表
- 精密分流器

用 Agilent 电子负载测试电源

Agilent 电子负载家族提供电源测试的仪器解决方案。对于大批量或小批量测试环境中的工作台或系统应用，Agilent 电子负载具有高质量和高可靠性，以及优异的性能特性和技术文档。从而使电源测试系统配置更容易，测量程序可重复，工作环境更安全。

Agilent 6060B 300W 和 6063B 240V 单路输入直流电子负载提供可在 CC、CV 或 CR 模式中完全编程的许多特性。对于需要步进改变负载的测量，6060B 和 6063B 带有最小上升时间为 12 μ s 的瞬态发生器。这能用于高性能线性（串联调整）电源和开关电源的负载瞬态响应测试。此外，您还可通过前面板，或通过 GPIB 编程控制瞬态发生器的占空比和频率。

为得到有效测试数据，同步电源测试系统中的测量仪器至关重要。6060B 和 6063B 能从外部触发数字多用表、数字示波器或瓦特表，根据测试要求在负载变化时进行测量。6060B 和 6063B 也能响应来自其它测试仪器的外触发。Agilent 还有 N3300A 1800W 电子负载主机。对于大批量的测试环境，该产品是 6060B 和 6063B 的廉价替代方案。它有 6 个插槽，用户可使用各种 Agilent 电子负载模块配置到 1800W — 包括 N3302A 150W 模块，N3304A 300W 模块，N3303A 240V 模块，N3305A 500W 模块和 N3306A 600W 模块。N3300A 系列提供 6060B 和 6063B 的所有特性，更快，更精确，以及许多新的编程特性，使制造测试系统更快和效率更高。

电子负载家族为系统应用提供“单机”解决方案。这些负载包括内装的数字多用表和精密分流器，用

于进行通过内置 GPIB 的电压、电流和功率回读。此外，Agilent 电子负载还带有提供状态回读的瞬态发生器，其电压和电流编程器驻存在仪器中。这样，许多电源测试应用就不需要外部数字多用表，从而节省了机架空间和降低了附加的测试系统成本。

为安全可靠地工作，Agilent 电子负载提供全面的过压、过流、过热和反极性保护。Agilent 电子负载有高可靠性，提供标准的 3 年保修期。6060B、6063B 和 N3300A 系列的可靠性、高性能，以及极富竞争性的价格，使其成为电源测试应用的最佳解决方案。

可信度，表现和特征，由于竞争的价格联合，为力量补给测试的申请使这些产品成为最适宜的解决。

www.agilent.com

安捷伦测试和测量技术支持、服务和协助

Agilent公司的宗旨是使您获得最大效益，而同时将您的风险和问题减少到最低限度。我们将努力确保您获得的测试和测量能力物有所值，并得到所需要的支持。我们广泛的支持和服务能帮助您选择正确的Agilent产品，并在应用中获得成功。我们所销售的每一类仪器和系统都提供全球保修服务。对于停产的产品，在5年内均可享受技术服务。“我们的承诺”和“用户至上”这两个理念高度概括了Agilent公司的整个技术支持策略。

我们的承诺

我们的承诺意味着Agilent测试和测量设备将符合其广告宣传的性能和功能。在您选择新设备时，我们将向您提供产品信息，包括切合实际的性能指标和经验丰富的测试工程师的实用建议。在您使用Agilent设备时，我们可以验证设备的正常工作，帮助产品投入生产，以及按要求对一些特别的功能免费提供基本的测量协助。此外，还提供一些自助软件。

用户至上

用户至上意味着Agilent公司将提供大量附加的专门测试和测量服务。您可以根据自己的独特技术和商务需要来获得这些服务。通过与我们联系取得有关校准、有偿升级、超过保修期的维修、现场讲解和培训、设计和系统组建、工程计划管理和其它专业服务，使用户能有效地解决问题并取得竞争优势。经验丰富的Agilent工程技术人员能帮助您最大限度地提高生产率，使您在Agilent仪器和系统上的投资有最佳回报，并在产品寿命期内得到可靠的测量精度。

欢迎订阅免费的



安捷伦电子期刊

www.agilent.com/find/emailupdates

得到您所选择的产品和应用的最新信息。

您可以通过 Internet、电话或传真，获得与所有测试测量需求有关的协助。

在线帮助：

www.agilent.com/find/assist

热线电话：800-810-0189

安捷伦科技有限公司总部

地址：北京市朝阳区建国路乙118号

招商局中心4号楼京汇大厦16层

电话：800-810-0189

(010) 65647888

传真：(010) 65647666

邮编：100022

上海分公司

地址：上海西藏中路268号

来福士广场办公楼7层

电话：(021) 23017688

传真：(021) 63403229

邮编：200001

广州分公司

地址：广州市天河北路233号

中信广场66层07-08室

电话：(020) 86685500

传真：(020) 86695074

邮编：510613

成都分公司

地址：成都市下南大街2号

天府绿洲大厦0908-0912室

电话：(028) 86165500

传真：(028) 86165501

邮编：610012

深圳办事处

地址：深圳市深南东路5002号

信兴广场地王商业中心

4912-4915室

电话：(0755) 82465500

传真：(0755) 82460880

邮编：518008

西安办事处

地址：西安市科技二路68号

西安软件园A106室

电话：(029) 87669811

(029) 87669812

传真：(029) 87668710

邮编：710075

安捷伦科技香港有限公司

地址：香港太古城英皇道1111号

太古城中心1座24楼

电话：(852) 31977777

传真：(852) 25069256

本文中的产品规范和说明如有变更，恕不另行通告。

©Agilent Technologies, Inc. 2005

5952-4190CHCN

2005年5月 印于北京



Agilent Technologies