

# 面向 LDO 和降压型稳压器的瞬变测试平台和自动化方法

作者: Kern Wong

首席设计应用工程师, 移动照明与电源

## 引言

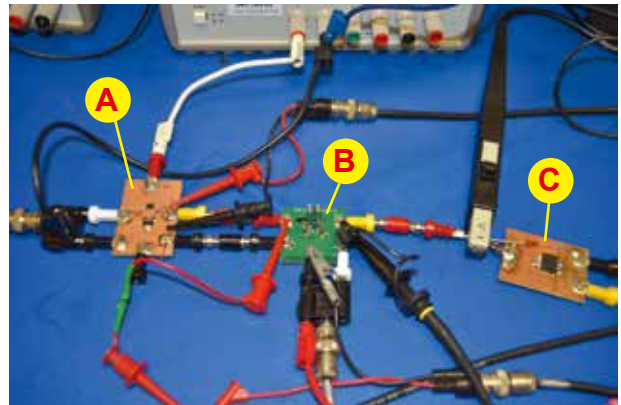
随着无线设备中的移动处理器的工作频率达到千兆赫兹 (GMz) 级, 消费者对于更高性能、更长电池寿命、更小尺寸及更低成本的需求不断地增长。因此, 电源管理电路的设计正逐渐成为一个日益复杂的问题。在具有独立型稳压器和电源管理单元 (PMU) 的便携式系统中, 低压降稳压器 (LDO) 和开关稳压器是不可或缺的组件。由于高速和便携式通信设备采用了要求较快响应时间的稳压器, 因此有必要严格地验证稳压器的性能和优劣以确保打造可靠的电源管理产品。主要的性能参数包括线路电压瞬变、负载瞬变、启动、负载和线路电压调节, 等等。为了完整地分析这些参数, 必需拥有用于硬件测试平台的尖端工具和成熟的方法。除了支持能够加速测试和确保可重复结果的自动化方法之外, 这些工具还可提供用于参数特性分析的准确而且很高的采样速率。

## 实现高边缘速率和可重用的测试装置

为了准确地评估稳压器的主要参数, 有必要在线路电压和负载电流中生成快速 (相对于稳压器的控制环路响应时间) 阶跃。实验室设备和许多采用了运算放大器 (运放)、无源组件和大型驱动器链路的商用仪器能够限制具有大摆幅的激励脉冲信号的上升和下降时间。如欲获得针对负载瞬变 ( $\gg 1 \text{ A}/\mu\text{s}$ ) 和线路电压瞬变 ( $\gg 0.1 \text{ V}/\mu\text{s}$ , 采用了输入电容器) 的高速边缘速率, 市场上几乎没有现成的产品。

慢瞬变激励脉冲信号有可能让一个性能不佳的稳压器看起来还不错。为此, 人们通过持续不断的研发 (R & D) 活动造就了寄生电感 (L) 和电容 (C) 很低的简单设计, 此类设计可以容易地创建和复制以在设计和应用实验室里使用。一旦建立了上乘的测试夹具 (test jig), 便可以说解决方案完成了一半。为了实现最优的响应性能, 被测器件 (DUT) 必须正确地布线或插入印刷电路板 (PCB) 上的插座中。另外, 应正确地选择最优的接地和电源电路、旁路、电荷储存器和外部支持组件, 这一点也是很

图 1: 用于瞬变测试的陈旧设置



- A. 射极跟随器和脉冲发生器在线路电压瞬变测试期间产生  $V_{IN}$  阶跃电压。
- B. 被测器件 (DUT) 是一块 LDO 评估板 (EVB)。
- C. 用于 NMOS 瞬态负载开关的 PCB。在线路电压瞬变测试期间施加了一个恒定的负载。

重要的。归根结底, 应该确定的是 DUT 的优劣, 而不是由于不当的组件选择或物理布局所造成的寄生效应或不良影响。

## 有关测试硬件挑战和局限性的导言

在负载瞬变测试中, 稳压器的输入由一个恒定的电压电源来供电, 而且输出被快速地切换至一个较大的阻性负载或电流吸收器。线路电压瞬变测试与之相似, 因为在稳压器的输入端上快速地注入了一个线路电压阶跃, 而其输出则利用一个恒定的负载来支持。图 1 示出了一种用于瞬变测试的典型测试设置。该设置的模块化程度相对较高 (旨在简化装配), 而且电缆很长 (足以适合采用老式技术的需要)。然而, 由于寄生效应、接地环路、以及电压和电流较高的原因, 这种设置对于当今的要求而言并不让人满意。

### 测试夹具寄生效应和自动化

2013 年 1 月，启动了一项旨在实现 PMU 和稳压器的半自动化测试的瞬变测试计划。一款通用的稳压器试验台已经设计和构建完成，用以验证其优劣。图 2 和图 3 示出了一款 LDO 稳压器测试夹具，其能够通过机加工的插座引脚来容纳一块评估板 (EVM)，以实现半自动化的测试。电路原理图示于图 4。

图 2：带 LDO EVM (蓝色PCB) 的瞬变测试夹具

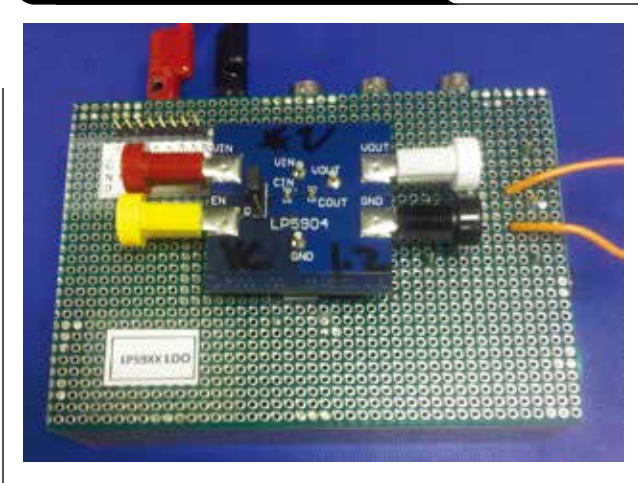
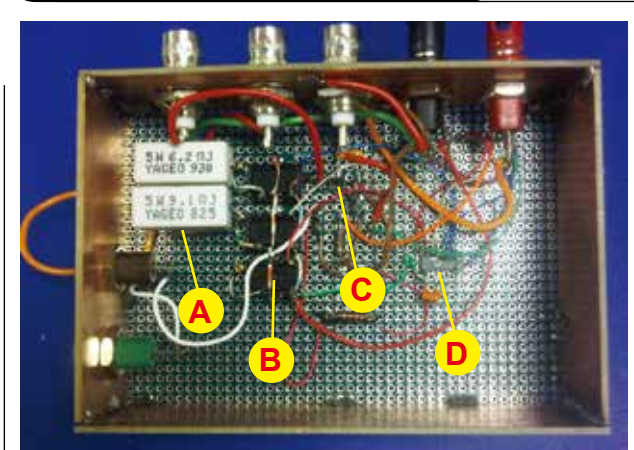


图 3：LDO 测试夹具的背面



- A.NFET 负载阶跃开关 (在电阻器的下方)。
- B.用于选择负载的继电器。
- C.NPN 跟随器。
- D.48 mA 继电器驱动器。

图 4：LDO 测试夹具的电路原理图

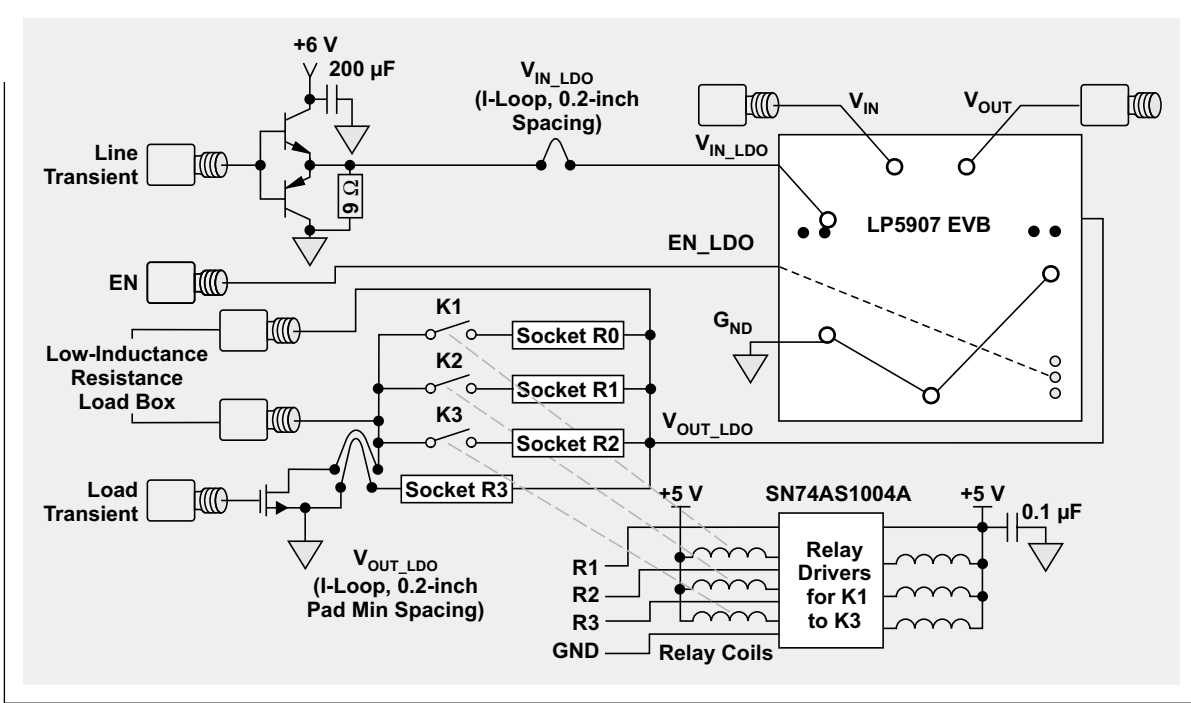


图 5~7 示出了用于降压型稳压器的几款相似的瞬变测试夹具和原理图。

图 5: 瞬变测试夹具和降压型稳压器 EVB (绿色 PCB)

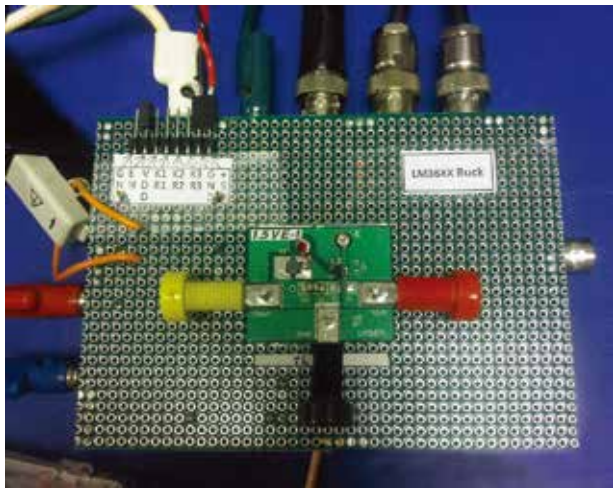
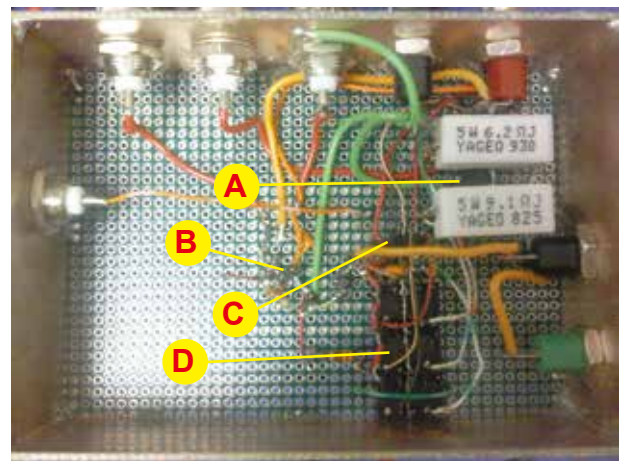
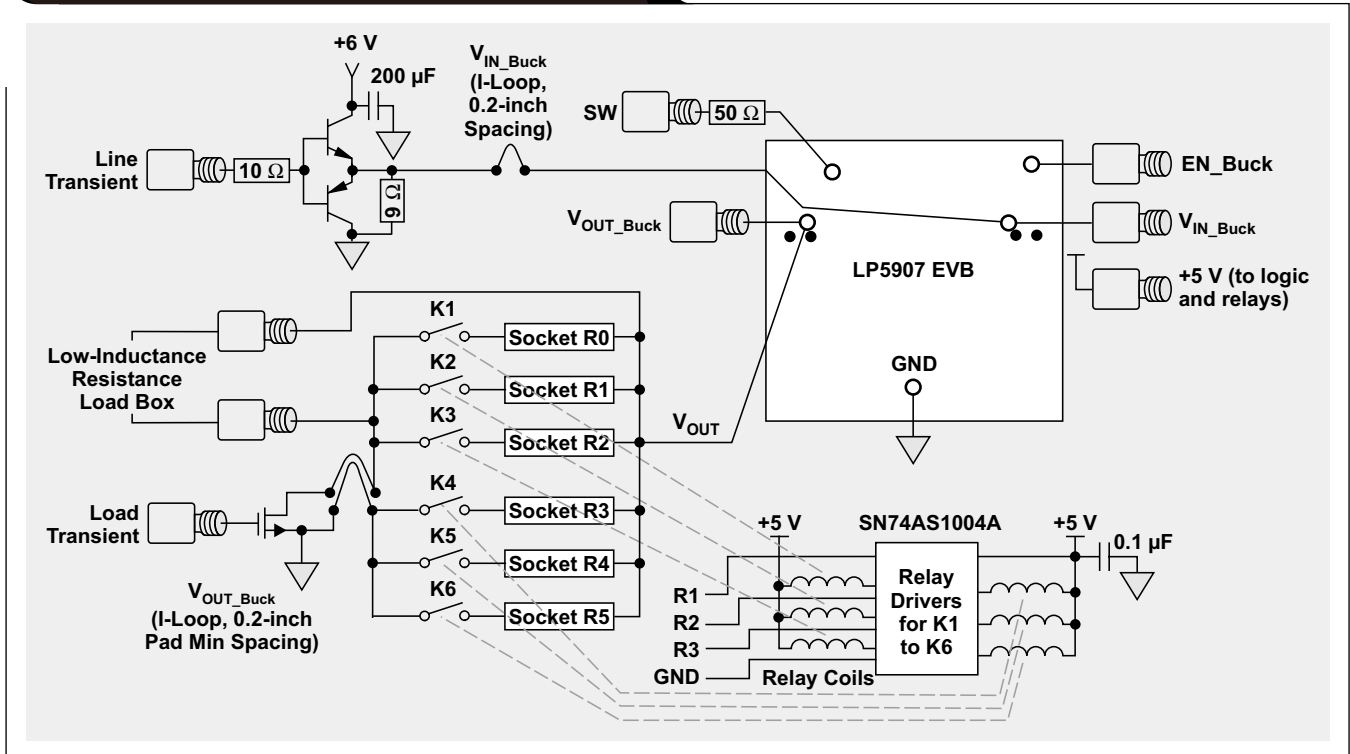


图 6: 降压型稳压器测试夹具的背面



- A. NFET 负载阶跃开关 (在电阻器的下方)。
- B. 用于线路电压阶跃的 NPN 跟随器。
- C. 48 mA 继电器驱动器。
- D. 用于选择负载的继电器。

图 7: 降压型稳压器测试夹具的电路原理图

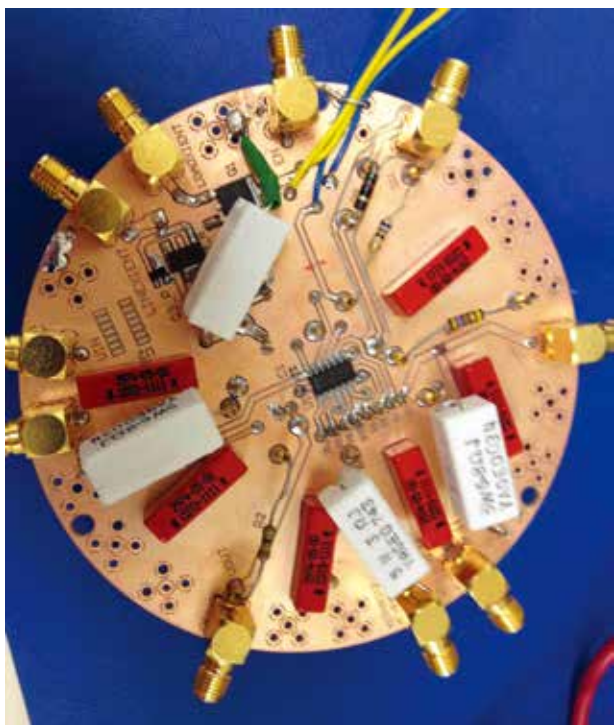


### 进一步的改进

上面介绍的测试夹具在实现设计目标方面是很成功的，因为它们显著地抑制了寄生效应并缩小了电流环路，从而实现了用于验证目标产品的较快边缘速率激励脉冲。2013年6月，进行了一项旨在打造更高性能的集成型瞬变测试夹具的后续改进型设计。该平台能够适应当今的高带宽和快速边缘速率产品以及未来的产品系列。

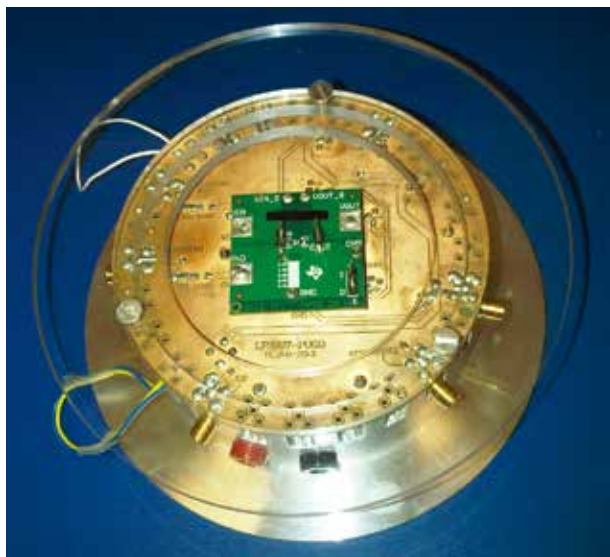
如图8所示，改进的测试夹具的设计采用一种圆形PCB配置，而且还可以适应DUT的EVB以提供最大的灵活性。一种可供替换的DUT布局是将其焊接在PCB上以实现最优的性能。在电路板上使用了射频(RF)波导设备，而且PCB走线是匹配和阻抗受控的。另外，该测试夹具还提供了一个可再充电电池组，此电池组可为DUT提供干净和安静的电源以满足低噪声应用的需要。

图8：在电路板上具有阻性负载的改进型测试夹具



对于更加极端的测试要求，重新设计了测试夹具以便与可实施气密密封（无泄漏）的温度循环、气流系统相连，从而将避免在极端温度条件下出现结冰。改进的结果是图9所示的城堡型金属外壳结构，其支持一种用于EVB的专用插件PCB。一种替代方案可以是把DUT直接安装在电路板上的圆形PCB。另外，还包括了一个耐高温的透明塑料适配器以连接至温度循环外壳。

图9：具有用于PMU的专用PCB的温度循环测试夹具

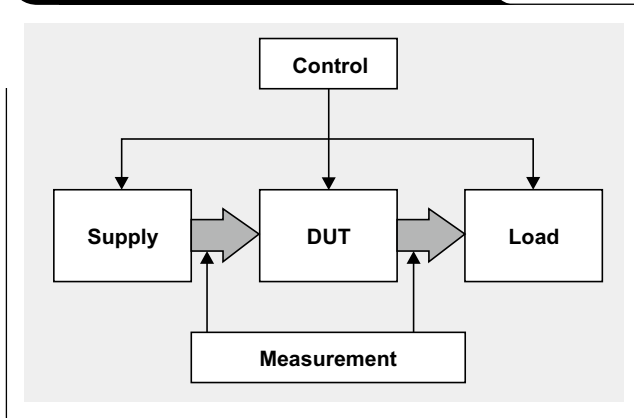


### 架构及自动化测试流程

用于自动化测试平台的测试环境的方框图示于图10。

电源功能块用于提供至DUT的所有电压输入和线路电压瞬态输入。负载功能块提供了多个利用继电器控制的阻性负载。控制功能块负责与DUT的连接以及更改电源和负载设置。测量功能块负责测量输入和输出电压及电流。

图10：一般的测试环境



## LDO 测试夹具

根据图 4 中的测试夹具原理图，线路电压瞬态输入被连接至一个信号函数发生器，以给 LDO 提供线路电压瞬态输入。由于该信号函数发生器不能提供大量的电流，故而使用了一个射极跟随器来增加供应至输入端的电流。在射极跟随器电路的输出端上连接了一个  $9\Omega$  电阻器，用以在输入线路电压瞬变的下降时间里提供输入电容器的快速放电。

对于那些不需要线路电压瞬变的测试，则通过线路电压瞬态输入提供一个恒定的 DC 电压，其连接至 LDO 的输入。启用 (EN) 输入可用于借助一个函数发生器来提供用于启动测试的脉冲。在其他测试场合中，给 EN 引脚施加一个恒定的 DC 电压以执行常规的启用操作。负载瞬变输入也受控于一个函数发生器，该函数发生器在负载瞬变测试期间对 NMOSFET 实施持续的开关切换。有一个基本负载（对于 LDO 为 1 mA 负载），其始终连接至 LDO 的输出端。不过，如果需要可将其断连。其他三个阻性负载则采用三个继电器来控制。接着，利用计算机通过一个 USB 继电器控制器来控制这三个继电器。

## 降压型稳压器测试夹具

示于图 7 的降压型稳压器测试夹具的系统架构与用于 LDO 的测试夹具几乎相同。仅有的重大变更是增设了三个新的继电器。之所以增添这些继电器，原因在于降压型 IC 负载瞬变测试的复杂特性。与 LDO 不同，负载瞬变包括了用于负载瞬变测试的不同基础电流。例如，对于 LDO 来说，所需的负载瞬变为 1 mA 至 20 mA、1 mA 至 100 mA 和 1 mA 至 250 mA。然而对于降压型稳压器而言，各种负载瞬变测试则需要 1 mA 至 50 mA、50 mA 至 400 mA、200 mA 至 400 mA 和 0.6 A 至 1 A。于是，增加了额外的继电器。PCB 设计具有某些其他的变更。降压型稳压器是一款开关稳压器，因此有一个需要探测的额外开关引脚。通过在该走线和引脚的两侧建立 20 mm 的隔离区，可将此引脚与电路板的其他部件隔离开来。针对降压型稳压器测试平台的测试与针对 LDO 平台的测试是完全相同的。

## PCB 设计和问题

关于重新设计的用于高性能验证的自动化测试平台的布局，有两个主要的关注点。第一个关注点是维持激励脉冲的高边缘速率和信号完整性。测试设置是专为产生用于 DUT 的快速线路电压和负载瞬变而设计的。然而，走线之间的阻抗失配和串扰会显著地影响这些高速线路。第二个关注点是由源自长走线的衰减在电源线中引起

的电压降。因此，必需按照合适的 RF 方法进行正确的 PCB 设计。另外，很有必要在尽可能靠近信号源的地方测量信号，以减少电压降或抑制寄生效应。

## 部署的实验室设备

对于线路电压 / 负载瞬变和启动测试，测试平台包括了一个可编程电源、三个函数发生器、一个示波器和一个测试夹具。电源用于提供测试电路执行线路电压和负载瞬变测试所需的功率。另外，电源还用于给 DUT 的继电器驱动器芯片的启用引脚供电，从而允许用户针对某种特定的测试来选择不同的负载。函数发生器用于生成线路电压瞬变阶跃、负载瞬变阶跃的脉冲波形（采用任意函数波形），以及给启用引脚施加脉冲。

示波器负责测量输入和输出电压及电流。测试平台还用于观察启用引脚以进行启动测试。该架构方法被设计为一款即插即用型测试平台（DUT 必需安装在测试夹具上），其可针对不同的 DUT 实现该平台的重复使用。此测试设置依赖受控于一台运行 LabVIEW® 软件的笔记本电脑并通过一根通用接口总线 (GPIB) 连接的仪器。所有的仪表（示波器除外）均采用 GPIB 电缆进行菊链式连接（使用一根 USB 至 GPIB 电缆连接至笔记本电脑）。示波器利用一根 USB 电缆直接连接至笔记本电脑。BNC 至 SMA 电缆用于测量或探测所有的信号。

## 用于实现测试自动化的 LabVIEW 工具 (LVT)

写入了用于虚拟仪器 (VI) 的 Visual Basic 例程以实现瞬变测试的自动化。这些测试包括三个功能块。LVT 测试的第一个功能块负责选择用于测试的负载。第二个功能块包含了反馈校正环路，其持续地测量输入瞬变激励脉冲的上升和下降时间，并校正函数发生器的输出，直到示波器测量到正确的上升和下降时间为止。LVT 测试的第三个功能块负责在反馈结束后立即捕获输出和输入电压的屏幕截图。另外，它还用于获取实测的上升和下降时间以及最大和最小输出电压。LVT 直接从示波器获得所有参数的最小值、最大值和平均值。其还计算实测最大值和最小值的平均值。LVT 随后填充显示在前面板上的测量结果矩阵和图表。这些测量结果还被写入“Text Files”文件夹中的一个文本文件。屏幕截图被保存到一个插入示波器的笔式驱动器中。这些文件的名称根据负载的类型和边缘速率设置来决定。不过，文件的名称在 LVT 的方框图中可以更改。

## 结论

用于实现高速瞬变测试自动化的平台涉及到非常多学科的知识，因为其所需要的功能超出了典型的验证与测试 R & D 范围。涵盖的学科领域十分广泛，比如：线性和开关稳压器的启动及瞬变运行方式特性的基本知识、用于测试与测量的最佳惯例和新颖方法、电路板级系统设计和软件开发等。

借助用于 LDO 和降压型 IC 的测试夹具原型，可就线路电压瞬变、负载瞬变和启动测试对提出的测试程序进行验证和自动化。利用正确的驱动、接口和终接可实现纳秒级的激励脉冲边缘速率。采用高性能测试设备和探针能够实施高速波形捕获采样。器件模式、操作和测试设备的串行接口控制可在执行中编程，以实现测试的自动化。而且，除了准确地记录响应时间延迟之外，闭环控制和监视功能还简化了定时事件和电参数激励脉冲的编程。

## 鸣谢

本文作者向 Sheng Jin（德州仪器 MLP 应用经理）和 Aditya Jain（我们的特别助理）表示感谢。同时感谢 Hoang Duong、Robin Gupta 和 Hak-Leong Ng。

## 参考文献

1. 作者：Kern Wong，《用于测试快速响应 POL 稳压器的高速负载 / 线路电压瞬变夹具及应用报告》，德州仪器应用报告 (SNOA895)，2013 年 4 月。
2. 作者：Kern Wong，《围绕 PSRR 规范的谬见》，摘自 TI E2E 社区电源之家 (Power House) 系列博客，2013 年 10 月 22 日。
3. 《负载瞬变测试得以简化》，德州仪器应用报告 (SNOA507)，2007 年 11 月。

## 相关网站

产品信息：

**LP5907**

**LM3671**

LabVIEW 工具信息：

**[www.ni.com/labview](http://www.ni.com/labview)**

订阅 AAJ：

**[www.ti.com.cn/subscribe-aaaj](http://www.ti.com.cn/subscribe-aaaj)**

TI Designs 参考设计库提供完整的设计方案，由资深工程师团队精心创建，支持汽车、工业、医疗、消费等广泛应用的设计。在这里，您能找到包括原理图、物料清单、设计文件及测试报告的全面设计方案。登陆TI Designs，找寻更多适合您的参考设计！简单设计，从TI起步。

马上登录 [ti.com.cn/tidesigns](http://ti.com.cn/tidesigns) 查询最适合您的设计文档。



**WEBENCH**  
Design Center



WEBENCH® 设计中心: 易于使用且可提供定制结果的设计工具。  
PowerLab™ 参考设计库, 包含了近千个适用于所有应用的参考设计。  
电源在线培训课程

[www.ti.com.cn/webench](http://www.ti.com.cn/webench)  
[www.ti.com.cn/powerlab](http://www.ti.com.cn/powerlab)  
[www.ti.com.cn/powertraining](http://www.ti.com.cn/powertraining)

**WEBENCH® Designer** My Designs

Clocks	Filters	传感器
电源	FPGA/μP	LED

输入您的供电要求:

直流  交流

最小                      最大

输入电压    14.0 V                      22.0 V

输出                      3.3 V                      2.0 A

环境温度                      30 °C

多负载                      单输出

**Power Architect**                      **开始设计**

**WEBENCH® Designer** My Designs

最小                      最大

输入电压    14.0 V                      22.0 V

输出                      3.3 V                      2.0 A

环境温度                      30 °C

**SIMPLE SWITCHER®**

**开始设计** ▶

德州仪器在线技术支持社区

[www.deyisupport.com](http://www.deyisupport.com)

中国产品信息中心 免费热线:

800-820-8682

TI新浪微博



[weibo.com/tisemi](http://weibo.com/tisemi)

## 热门产品

DAC8760	用于 4-20mA 电流回路应用的单通道、16 位、可编程电流/电压输出 DAC
DAC7760	单通道、12 位可编程电流输出和电压输出 DAC
ADS1247	极低噪声、精密 24 位 模数转换器
ADS1120	具有串行外设接口的低功耗、低噪声、16 位 ADC
ISO7242	四通道 2/2 25Mbps 数字隔离器
ISO7631FM	4kV <sub>PK</sub> 低功耗三通道、150Mbps 数字隔离器
TPS54062	4.7V 至 60V 输入、50mA 同步降压转换器
TLK105L	工业温度、单端口 10/100Mbps 以太网物理层
SN65HVD255	CAN 收发器具有快速循环次数, 可用于高度已加载网络

了解更多, 请搜索以下产品型号:

DAC8760



## 重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或间接版权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独立负责满足与其产品及其应用中使用 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独立负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

	产品		应用
数字音频	<a href="http://www.ti.com.cn/audio">www.ti.com.cn/audio</a>	通信与电信	<a href="http://www.ti.com.cn/telecom">www.ti.com.cn/telecom</a>
放大器和线性器件	<a href="http://www.ti.com.cn/amplifiers">www.ti.com.cn/amplifiers</a>	计算机及周边	<a href="http://www.ti.com.cn/computer">www.ti.com.cn/computer</a>
数据转换器	<a href="http://www.ti.com.cn/dataconverters">www.ti.com.cn/dataconverters</a>	消费电子	<a href="http://www.ti.com.cn/consumer-apps">www.ti.com.cn/consumer-apps</a>
DLP® 产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>	能源	<a href="http://www.ti.com.cn/energy">www.ti.com.cn/energy</a>
DSP - 数字信号处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/dsp">www.ti.com.cn/dsp</a>	工业应用	<a href="http://www.ti.com.cn/industrial">www.ti.com.cn/industrial</a>
时钟和计时器	<a href="http://www.ti.com.cn/clockandtimers">www.ti.com.cn/clockandtimers</a>	医疗电子	<a href="http://www.ti.com.cn/medical">www.ti.com.cn/medical</a>
接口	<a href="http://www.ti.com.cn/interface">www.ti.com.cn/interface</a>	安防应用	<a href="http://www.ti.com.cn/security">www.ti.com.cn/security</a>
逻辑	<a href="http://www.ti.com.cn/logic">www.ti.com.cn/logic</a>	汽车电子	<a href="http://www.ti.com.cn/automotive">www.ti.com.cn/automotive</a>
电源管理	<a href="http://www.ti.com.cn/power">www.ti.com.cn/power</a>	视频和影像	<a href="http://www.ti.com.cn/video">www.ti.com.cn/video</a>
微控制器 (MCU)	<a href="http://www.ti.com.cn/microcontrollers">www.ti.com.cn/microcontrollers</a>		
RFID 系统	<a href="http://www.ti.com.cn/rfidsys">www.ti.com.cn/rfidsys</a>		
OMAP应用处理器	<a href="http://www.ti.com/omap">www.ti.com/omap</a>		
无线连通性	<a href="http://www.ti.com.cn/wirelessconnectivity">www.ti.com.cn/wirelessconnectivity</a>	德州仪器在线技术支持社区	<a href="http://www.deyisupport.com">www.deyisupport.com</a>

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2015, Texas Instruments Incorporated