

说明

MIL-STD-1275E 标准提供了适用于军用车辆用电设备 28V 直流输入电源的全新特性。该标准描述了在军用车辆运行期间发生的三个主要事件，必须保护连接至 28V 主电源的任何设备免受这三个事件的影响。这些事件包括反极性、电压尖峰和电压浪涌。要安全度过这些事件，请勿在反极性事件期间运行保护电路，并且在尖峰和浪涌事件期间，保护电路的输出应为标称值 28V，最大值 34V。此参考设计采用可处理最大 120W 输出的两级钳位电路。通过实施两级钳位电路，该设计有助于降低 BOM 的总体成本并尽可能减小整体尺寸。

资源

[TIDA-010242](#)

设计文件夹

[LM7480-Q1](#)

产品文件夹

[LM5069](#)

产品文件夹



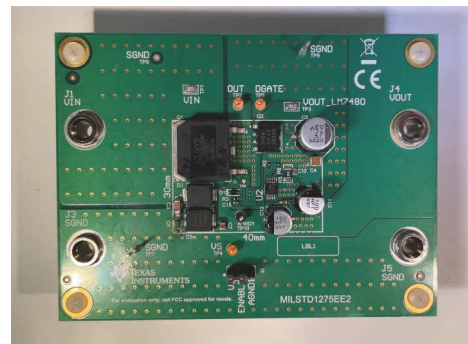
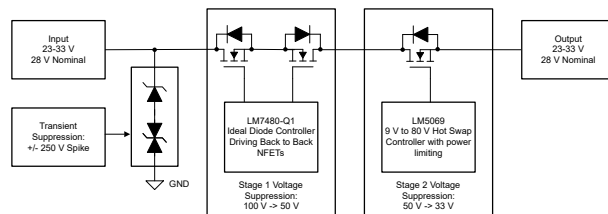
请咨询我司 TI E2E™ 支持专家

特性

- 两级 100V 浪涌抑制
 - 第一级浪涌 100V → 50V，由 LM7480-Q1 处理
 - 第二级浪涌 50V → 34V，由 LM5069 处理
- $\pm 250V$ 尖峰浪涌抑制
- 反向输入保护低至 -65V

应用

- [软件定义无线电](#)
- [全球定位系统接收器](#)



1 系统说明

MIL-STD-1275E 参考设计是一个两级钳位系统，能够处理反向输入、尖峰和浪涌事件，同时为功率高达 120W (4.3A 时为 28V) 的系统提供保护。两级钳位方法可实现更好的热分布，这意味着与单级钳位解决方案相比，所选 MOSFET 可以更小，并可减小整体解决方案尺寸。

2 系统概述

2.1 方框图

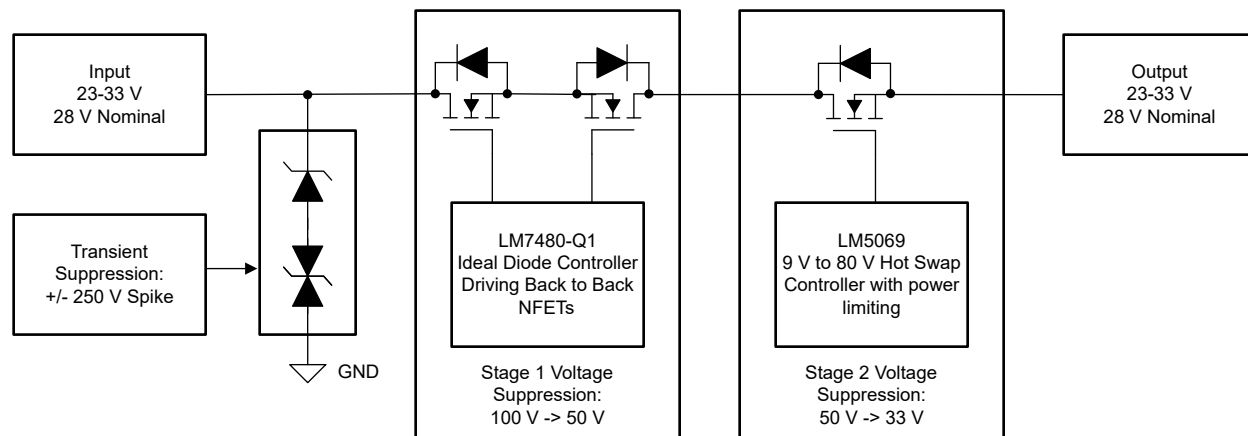


图 2-1. MIL-STD-1275E 保护方框图

2.2 设计注意事项

在 MIL-STD-1275E 中，保护电路需要处理三个事件：反极性、电压尖峰和电压浪涌。为了处理这些事件，两级钳位电路利用 LM7480-Q1 和 LM5069 为这三个事件提供保护。更多有关每个事件的信息，请参阅 MIL-STD-1275E 标准文档。

2.2.1 MIL-STD-1275E 与 MIL-STD-1275D

TIDA-010242 的设计符合 MIL-STD-1275E 概述的规格。但是，MIL-STD-1275E 标准和 MIL-STD-1275D 标准之间存在一些差异。表 2-1 所示为这两项标准之间的差异。

表 2-1. MIL-STD-1275E 与 MIL-STD-1275D

	MIL-STD-1275E	MIL-STD-1275E
工作模式	单运行模式	仅发生器模式 (G) 和正常工作模式 (N)
启动干扰限制	12V 至 33V 用曲柄启动	无启动限制
尖峰事件	+250V 持续 70 μ s，在 1ms 时 $\geq +100V$ ；- 250V 持续 70 μ s，在 1ms 时 $\geq +18V$ 。注入尖峰能量 = 2J，发射电压尖峰 = 125mJ	(G) $\pm 250V$ 持续 70 μ s，在 1ms 时 $\geq \pm 100V$ 。总能耗 15mJ (N) $\pm 250V$ 持续 70 μ s，在 1ms 时 $\geq \pm 40V$ 。总能耗 15mJ
浪涌事件	100V 持续 50ms， $\geq 33V$ 持续 500ms。注入能量浪涌 = 60J	(G) 100V 持续 50ms，500ms 时 $\geq 40V$ 。源阻抗 500m Ω (G) 40V 持续 50ms，500ms 时 $\geq 32V$ 。源阻抗 20m Ω

2.2.2 反极性事件

反极性事件在电源端子反相时发生。例如，正极端子连接到负极端子，负极端子连接到正极端子。在此事件期间，需要注意的是系统接触不到任何电源。

为防止发生此事件，LM7480-Q1 内置了高达 -65V 的反向保护。这意味着在反极性事件期间，没有输出电压，系统也不会消耗电流，在反极性事件结束前系统会一直得到保护。

2.2.3 电压尖峰事件

在 MIL-STD-1275E 文档中，*注入电压尖峰* 部分描述了车辆运行期间可能发生的两种不同的电压尖峰事件：注入尖峰和发射尖峰。

注入电压尖峰是 28V 总线上可能出现的较高能量尖峰。电压尖峰为 $\pm 250\text{V}$ ，而能量含量为 2 焦耳。当车辆中的高功率系统在系统中开启时，会发生注入电压尖峰事件。

相反，发射电压尖峰是在 28V 总线上发生的低得多的能量尖峰。单个尖峰中的最大总能量为 125mJ 。当总线上的其他低功耗配件打开和关闭时，会发生这些事件。

2.2.4 电压尖峰事件：元件选型

为了防止 MIL-STD-1275E 概述的 $\pm 250\text{V}$ 电压尖峰事件，电路中有三个主要组件可帮助抑制电压尖峰。第一个组件是原理图中的主 MOSFET 或 Q1。选择额定电压大于 250V 的 MOSFET，以帮助实现尖峰电压抑制，并确保 MOSFET 不会因电压尖峰事件而损坏。其他两个有助于抑制的元件是 TVS 二极管 D3 和 D5。TVS 二极管 D3 抑制主要的 $+250\text{V}$ 电压尖峰事件。将 D3 的击穿电压设置为大于浪涌事件的最大电压 (100V) 但小于最大电压尖峰事件，以确保 TVS 二极管在浪涌事件期间不会损坏。该电路中使用的是击穿电压为 120V 的 5.0SMDJ120A。

D5 用于抑制主要的 -250V 电压尖峰事件。要选择合适的二极管，必须考虑几个参数。第一个是，在 -250V 电压尖峰事件期间，Q1 的体二极管可以耐受 -250V 电压，因此 Q2 会完全检测到尖峰事件。这意味着 D5 的击穿电压应小于 Q2 的额定电压。在此设计中，5.0SMDJ33CA 是双向 TVS 二极管，其反向击穿电压为 -33V ，低于 Q2 的额定电压 (60V)。

2.2.5 电压浪涌事件

MIL-STD-1275E 文档中介绍了 *电压浪涌*。*电压浪涌* 部分描述了车辆运行期间可能发生的两种不同的电压浪涌事件：注入电压浪涌和发射电压浪涌。但是，对于本参考设计，只有注入电压浪涌与保护电路有关。

注入电压浪涌是一个总能量含量为 60J 的 100V 浪涌。这些注入电压浪涌事件通常发生在电机事件期间，例如主转塔转动，然后连接到 28V 总线的任何配件都会看到这种情况。

2.2.6 电压浪涌事件：元件选型

为了防止 MIL-STD-1275E 中定义的电压浪涌事件，使用了两级钳位解决方案来处理大量能量，同时有助于减小整体解决方案尺寸，并允许在整个浪涌事件期间提供电力。

使用两级钳位拓扑的优势在于，它可以减小 MOSFET 上的热应力和电应力。例如，在参考设计中，第一级将电压从 100V 钳制至 50V ，第二级电压从 50V 钳制至 33V 。这意味着 Q1 必须能够在浪涌事件期间以 50V 的漏源电压处理最大 4.28A 的电流。

要确定 MOSFET，必须计算 MOSFET 的安全工作应力。可以下载一个 MIL-STD-1275E SOA 计算器，以帮助确定 MOSFET 是否能够处理浪涌事件。第一步是将浪涌包络近似为矩形脉冲。为此，请找到曲线下方的总面积（相当于能量），然后将其转换为矩形脉冲以便于计算。

- 浪涌事件的第一部分是最大 100V 持续 50ms 。这意味着 Q1 检测到其两端有 50V 的压降，并且系统在其最大负载下的拉电流约为 4.28A 。这会导致 MOSFET 上的功率耗散为 $50\text{V} \times 4.28\text{A} = 214\text{W}$ 且持续 50ms ，相当于 10.7J 的能量耗散。
- 浪涌事件的第二部分是从 50ms 时的 100V 线性下降至 500ms 时的 33V ，这意味着 FET 在该范围内检测到 50V 至 0V 的压降。假设 100V 和 33V 之间有一条直线，这会导致约 107W 的功率耗散且持续 336ms ，相当于 36J 的能量耗散。
- 计算浪涌事件的每个分段后，总功率耗散为 $10.7\text{J} + 36\text{J}$ ，等于 46.7J 。
- 接下来，要估算方波的等效时间，取最大功率 (214W) 和刚刚计算出的总能量 (46.7J)，求解出时间为 $46.7\text{J} / 214\text{W} = 218\text{ms}$ 。现在，粗略估计 MOSFET 必须承受 214W 的功率且持续 218ms 。

计算 MOSFET 在 25°C 下可承受 218 ms 的功率值。以下公式用于确定 MOSFET 的安全工作区 (SOA)。

$$SOA(t) = a \times t^m \quad (1)$$

$$m = \frac{\ln(SOA(t_1) / SOA(t_2))}{\ln(t_1/t_2)} : a = \frac{SOA(t_1)}{t_1^m} \quad (2)$$

要求解 m 和 a ，从 MOSFET 数据表中的 SOA 图查找信息。从 SOA 图中可以看出，重要的信息是时间和 50V 时的电流能力。本设计中使用了 IXTT88N30P，以它为例， $SOA(t_1) = 23A$ ，持续时间为 $t_1 = 0.01s$ ，而 $SOA(t_2) = 13A$ ，持续时间为 $t_2 = 1s$ 。插入 IXTT88N30P 的数字可得出 SOA 为 15.7A，这意味着 IXTT88N30P 可以持续 252ms 处理 439.6W 的功率。这表明这对于 25°C 时的 120W 系统来说绰绰有余。

SOA 计算的第二部分是计算热降额。为了确定热降额，使用了以下公式：

$$SOA(T_C) = SOA(25^\circ C) \times \frac{T_{J,A}BSMAX - T_C}{T_{J,A}BSMAX - 25^\circ C} \quad (3)$$

$$T_C = T_A + R_{\theta CA} \times I_{LOAD,MAX}^2 \times R_{DS(on)}(T_J) \quad (4)$$

T_A 是系统的环境温度。例如，计算 IXTT88N30P 在 $T_A = 100^\circ C$ 时的 SOA，可得出调整后的 SOA 为 6.15A。这意味着 MOSFET 可以在 100°C 时持续 252ms 处理 172.2W 的功率。

2.3 重点产品

2.3.1 LM7480-Q1

LM7480x-Q1 理想二极管控制器可驱动和控制外部背对背 N 沟道 MOSFET，从而模拟具有电源路径开/关控制和过压保护功能的理想二极管整流器。3V 至 65V 的宽输入电源电压可保护和控制 28V 军用车辆电气系统。该器件可以承受并保护负载免受低至 -65V 的负电源电压的影响。集成的理想二极管控制器 (DGATE) 可驱动第一个 MOSFET 来代替肖特基二极管，以实现反向输入保护和输出电压保持功能。在电源路径中使用了第二个 MOSFET 的情况下，该器件允许负载断开（开/关控制）并使用 HGATE 控制提供过压保护。LM7480x-Q1 独立栅极驱动拓扑使其能够采用共源极拓扑进行配置，以提供负载突降保护和反向输入保护。

2.3.2 LM5069

LM5069 正电压热插拔控制器可在从带电系统背板或其他热插拔电源插入和移除电路板期间，为电源连接提供智能控制。LM5069 可提供浪涌电流控制以限制系统电压下降和瞬变。外部串联导通 N 沟道 MOSFET 中的电流限制和功率耗散可进行编程，从而确保其在 SOA 内运行。当输出电压低于 1.25V 输入电压时，会显示电源正常输出。输入欠压和过压锁定电平和迟滞，以及初始插入延迟时间和故障监测时间均可进行编程。在故障监测之后 LM5069-1 闭锁，同时 LM5069-2 以固定占空比自动重启。LM5069 采用 10 引脚 VSSOP 封装。

要对 LM5069 进行钳位配置，请参阅 [使用 LM5069 热插拔控制器实现 AN-2040 输出电压钳位](#) 应用报告。

3 硬件、测试要求和测试结果

3.1 硬件要求

图 3-1 所示为 TIDA-010242 板。

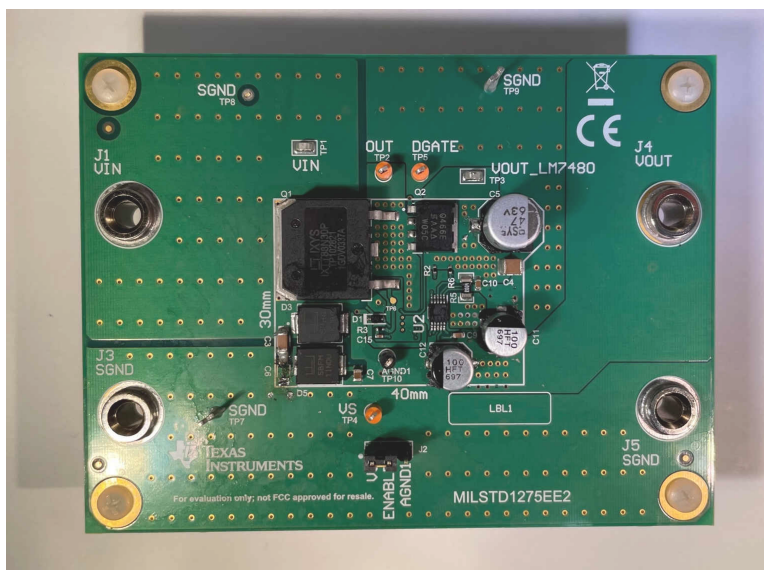


图 3-1. MIL-STD-1275E 板

下面几节介绍了如何设置 TIDA-010242 进行测试。

1. **电源输入** - 将输入电源连接到 J1 和 J3 (SGND)。标称电源电压为 28V，并将电源的电流限制设置为 5A。
2. **启用跳线** - 在 J2 的引脚 1 和 2 之间放置一个分流器以启用器件。2 和 3 之间的分流器或 DNP 分流器会禁用 LM7480-Q1。
3. **电源输出** - 输出功率可通过 J4 和 J5 (SGND) 进行测量或连接。这些跳线还可用于连接电子负载以进行负载测试。

3.2 测试设置

为了测试 TIDA-010242，TI 与 NTS 合作进行了 MIL-STD-1275E 电气测试。反极性、电压尖峰和电压浪涌测试的所有测试设置均符合 MIL-STD-1275E 标准，如有关电压兼容性验证的部分所述。更多信息，请参阅标准。

下图显示了测试设置图。

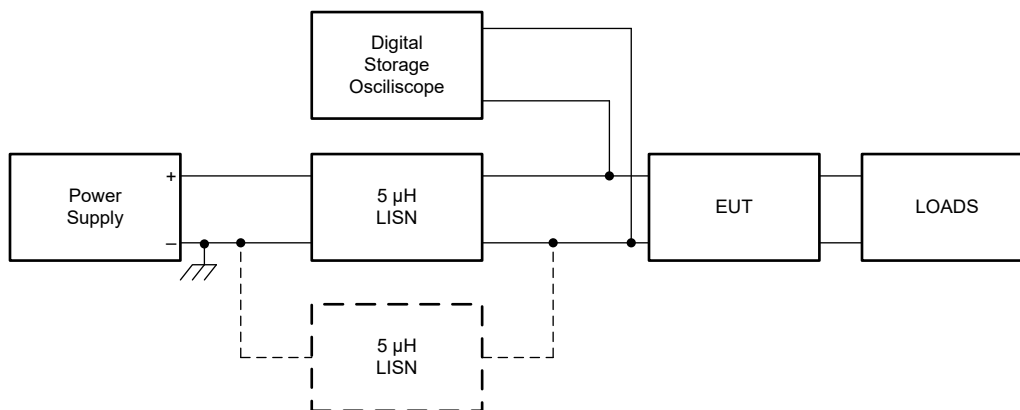


图 3-2. 发射尖峰测试设置

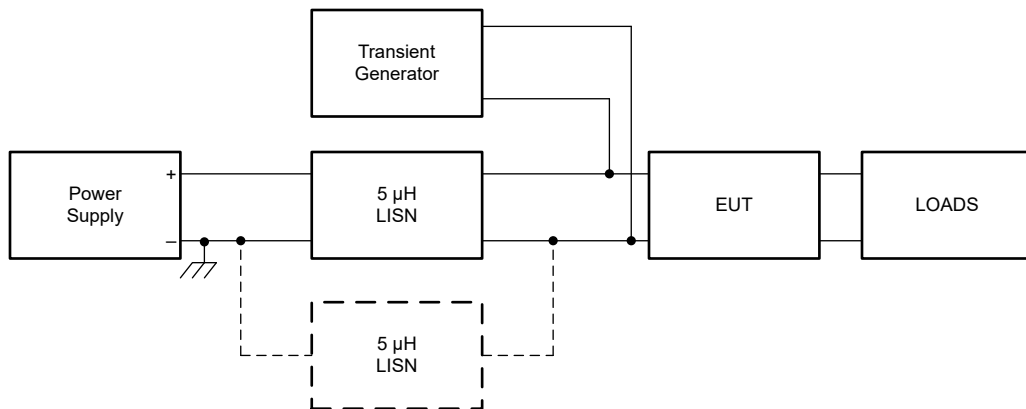


图 3-3. 注入尖峰测试设置

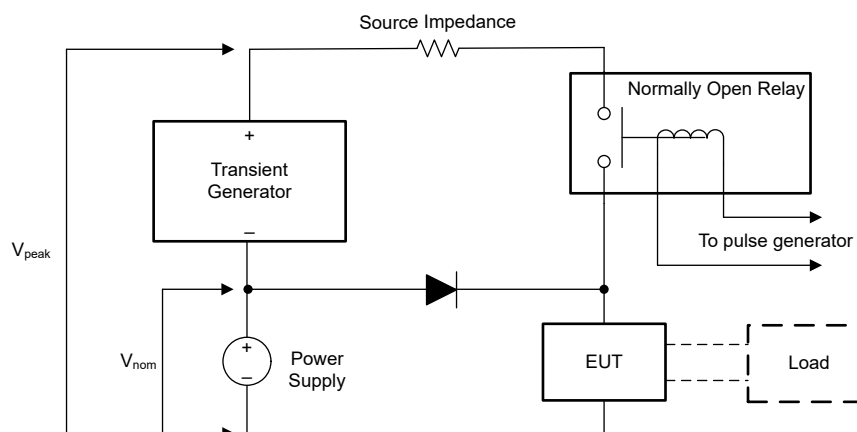


图 3-4. 浪涌测试设置

3.3 测试结果

以下测试由 NTS 完成，并由德州仪器 (TI) 探测和收集数据。

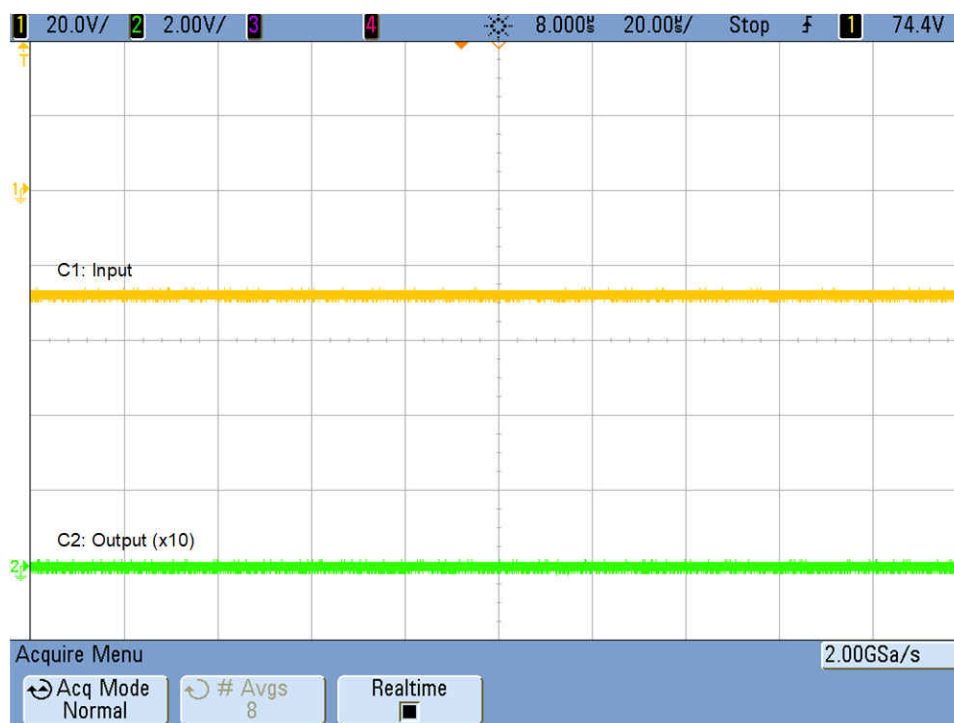


图 3-5. 反极性事件

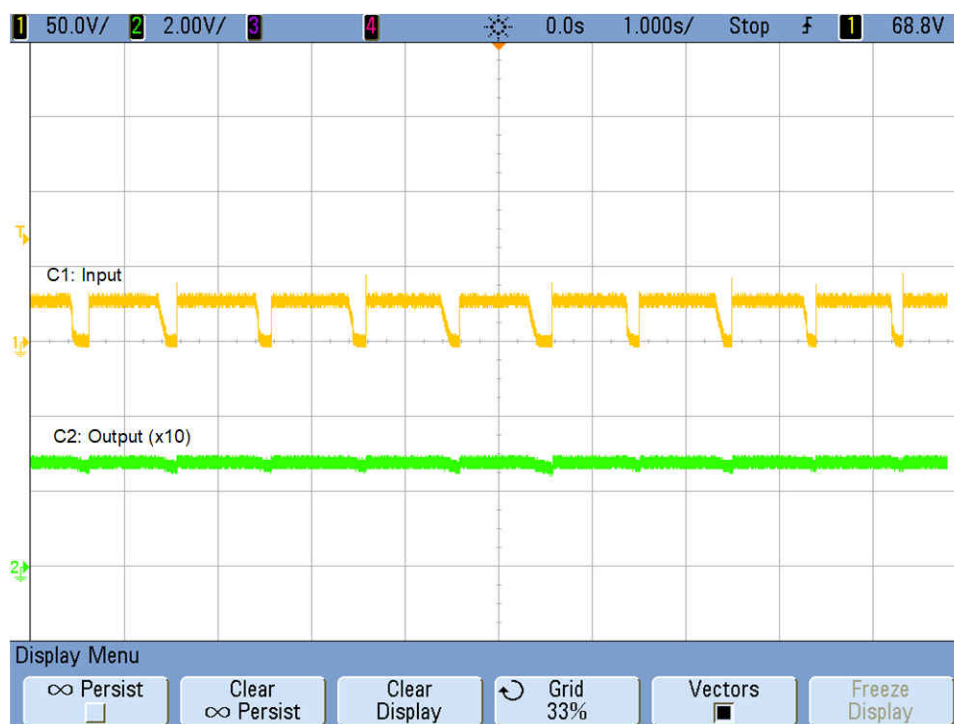


图 3-6. 发射电压尖峰事件

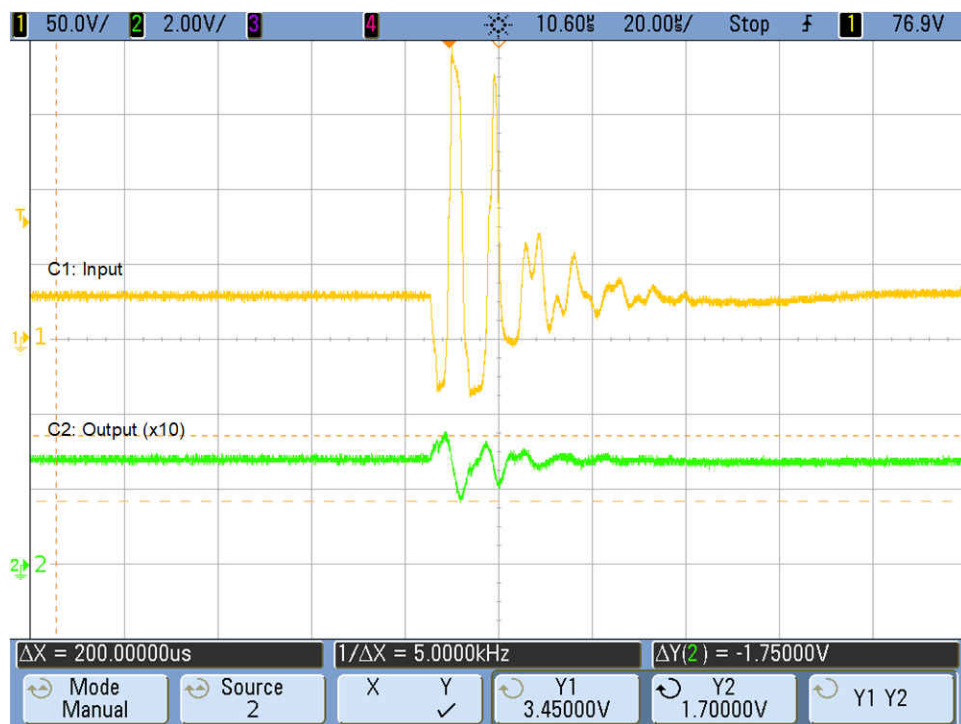


图 3-7. +250V 注入电压尖峰

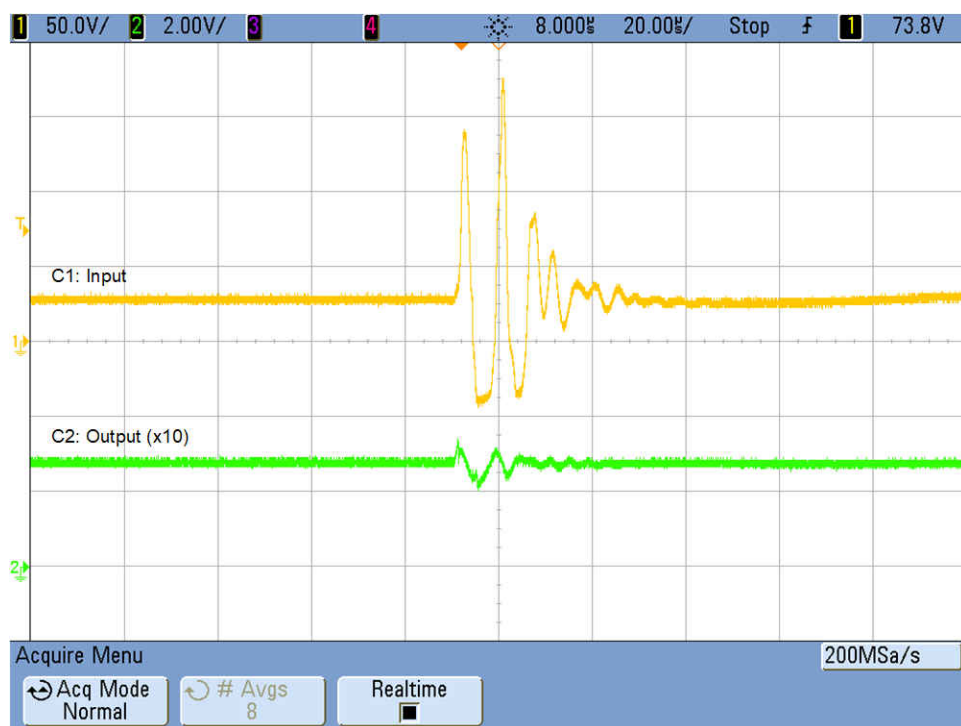


图 3-8. - 250V 注入电压尖峰事件



图 3-9. 100V 浪涌事件：低电流

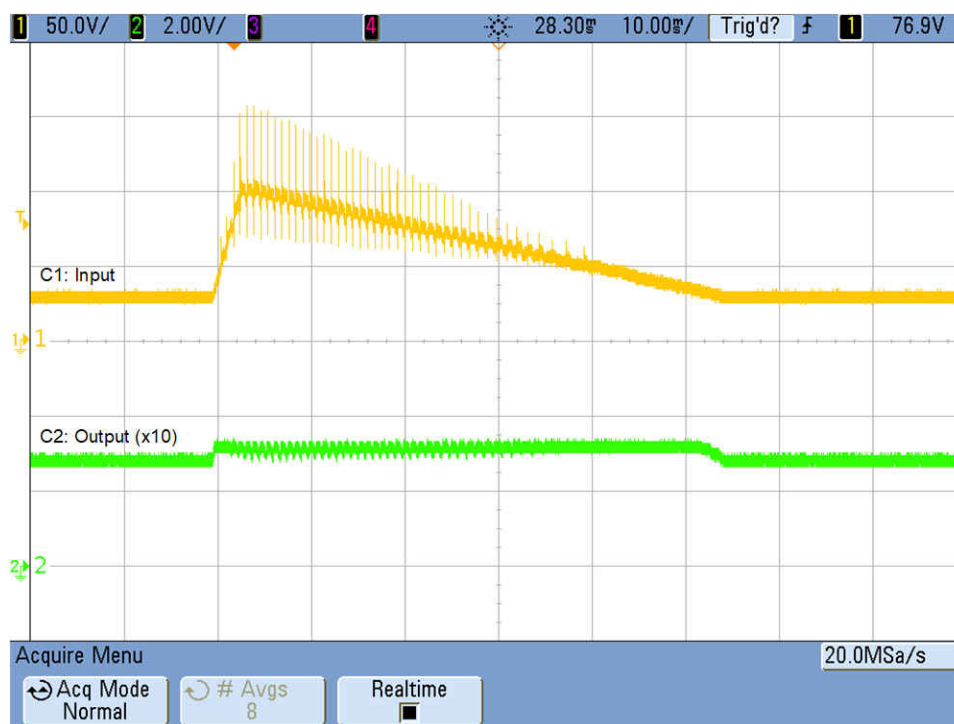


图 3-10. 100V 浪涌事件：2A 负载

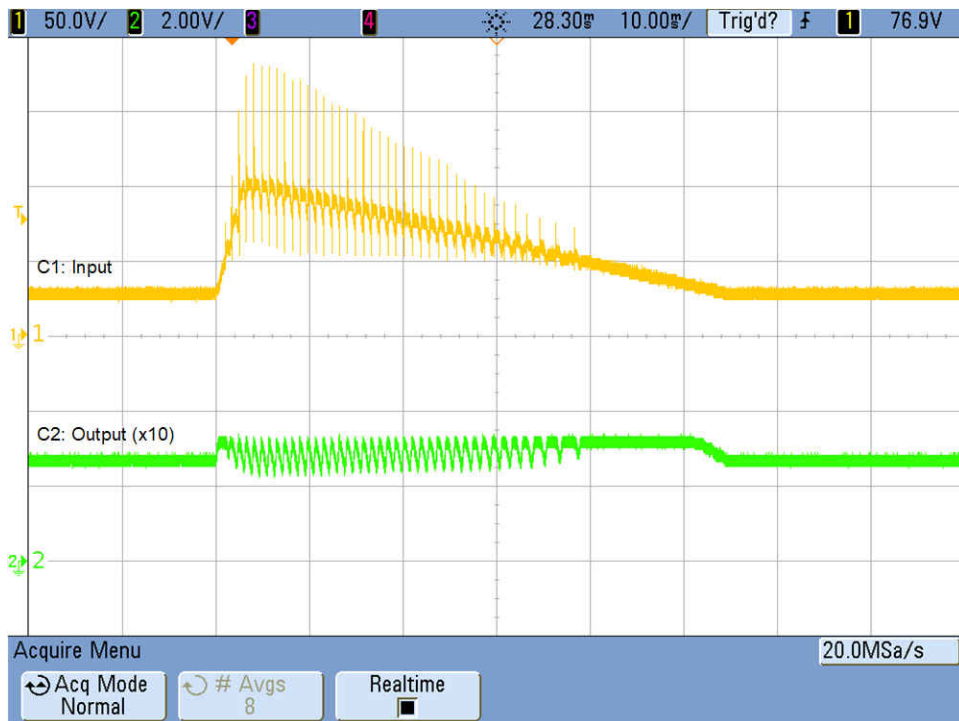


图 3-11. 100V 浪涌事件：4A 负载

4 设计和文档支持

4.1 设计文件

4.1.1 原理图

要下载原理图，请参阅 [TIDA-010242](#) 中的设计文件。

4.1.2 BOM

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-010242](#) 的设计文件。

4.2 文档支持

1. 德州仪器 (TI)，[LM7480-Q1 具有负载突降保护功能的理想二极管控制器](#) 数据表
2. 德州仪器 (TI)，[LM5069 具有功率限制功能的正高压热插拔和浪涌电流控制器](#) 数据表

4.3 支持资源

[TI E2E™ 支持论坛](#) 是工程师的重要参考资料，可直接从专家获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题可获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的《[使用条款](#)》。

4.4 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司