

Design Guide: TIDA-010958

耐辐射双相通用® FPGA 电源参考设计



说明

TIDA-010958 是一种面向 AMD® Versal® AI Core XQRVC1902 内核电源轨的耐辐射同步降压电源参考设计。此设计非常适用于 12V 输入操作，可生成 0.8V 的输出电压和最大 80A 的输出电流。这种紧凑型电源设计可提供高电流，同时满足 FPGA 的小容差要求。该电源设计与 Versal® AI Core XQRVC1902 结合使用，可为卫星提供执行不同任务所需的精度、可靠性和效率。TIDA-010958 采用耐辐射器件，在可用时无源元件符合 MIL 标准 MIL-STD-55681 (或等效版本)。否则，替换为等效的值和元件尺寸。

资源

TIDA-010958	设计文件夹
TPS7H6023-SP	产品文件夹
TPS7H5004-SP	产品文件夹

特性

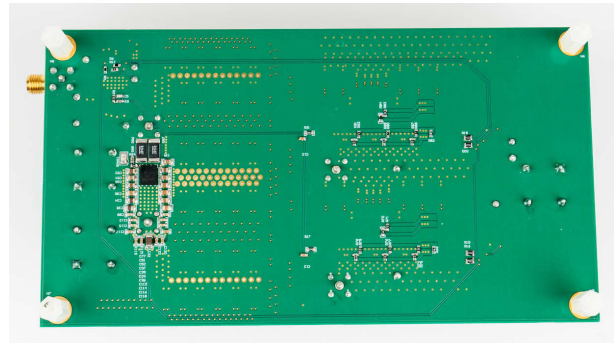
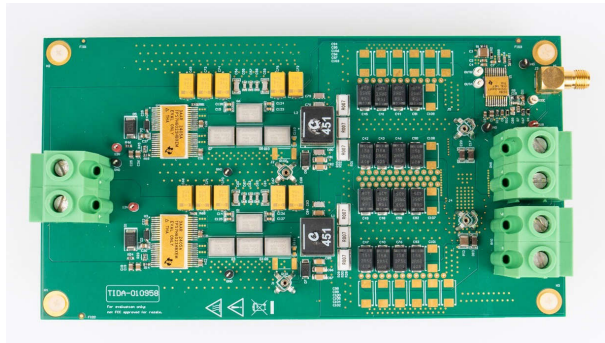
- 辐射性能 - 100krad / 75MeV
- 12V 标称直流输入，适用于航天应用
- 负载电流高达 80A
- 开关频率为 278kHz
- 已封装 GaN 元件
- 电路板尺寸：126.7mm × 61.2mm
- 设计用于为 AMD® Versal® AI Core XQRVC1902 的内核电源轨电压供电

应用

- 通信有效载荷
- 雷达成像有效载荷
- 光学成像有效载荷
- 卫星电力系统 (EPS)



请咨询我司 TI E2E™ 支持专家



1 系统说明

TIDA-010958 参考设计使用 TPS7H5004-SP 脉宽调制 (PWM) 控制器和 TPS7H6023-SP 栅极驱动器来创建同步降压转换器。这种设计可将 12V 电源轨转换为 0.8V 电源轨，适用于大电流 FPGA 设计，并可专门满足 AMD Versal™ AI Core XQRVC1902 内核电源轨的稳压要求。单个 TPS7H5004-SP 可为两个不同的 TPS7H6023-SP 器件提供 PWM 输出，这些器件可切换同步降压转换器的 FET，从而在输出端提供电压和电流。每个功率级可提供 40A 的电流，最高可提供 80A 的总电流。每个栅极驱动器均可驱动一个高侧 FET 和三个低侧 FET。此参考设计使用航天级 GaN FET 和 GaN 栅极驱动器。

2 系统概述

2.1 方框图

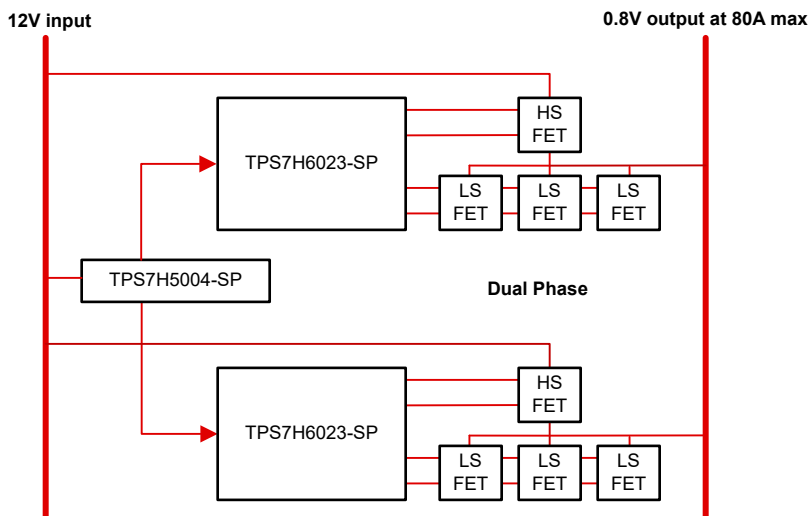


图 2-1. TIDA-010958 方框图

2.2 设计注意事项

表 2-1. 电压和电流要求

参数	规格
输入电压	12V
输出电压	0.8V
最大负载电流	80A
开关频率	278kHz

2.2.1 开关频率

在开关频率方面，效率和带宽之间存在不同的权衡。更高的开关频率具有更大的带宽，但与更低的开关频率相比，效率更低。根据要求，器件的最大开关频率为 381kHz。为确保器件不能接近最大开关频率，器件开关频率设置为 278kHz。开关频率通过 [TPS7H5004-SP 耐辐射保障 1.3A、2.5A、半桥 GaN FET 栅极驱动器](#) 数据表中的公式进行设置。每个相位的开关频率为 278kHz。

2.2.2 设计尺寸

该设计的另一个关键考虑因素是实现小设计尺寸和高效率。通常，更紧凑的设计代表着更小的冷却空间，这会导致散热问题，进而造成性能下降。此外，将元件紧密放置在一起会导致信号干扰并需要更高的布线精度。这种设计优先考虑的是设计尺寸小而紧凑，同时保持合理的效率。

2.2.3 栅极电阻器

每个相位中三个低侧 FET 的栅极电阻器均设置为 0。这是为了让器件尽可能快地切换，同时避免电流路径中额外电阻影响效率。

2.2.4 输出纹波

为了优化器件的输出纹波，使其符合 Versal FPGA 内核电源轨要求的严格限制，我们选择了每个 ESR 低至 $5\text{m}\Omega$ 的钽电容。此设计由每相 8 个钽电容器组成，共 16 个输出钽电容器。

2.2.5 FET 放置

建议将高侧 FET 直接置于所有低侧 FET 之间。在这种设计中三个低侧 FET，因此高侧 FET 放置在中间低侧 FET 的正上方。特定 FET 放置背后的意图是通过单个高侧 GaN FET 实现平衡的回流路径，以减少潜在的开关节点振铃。

2.3 重点产品

以下各节介绍了该参考设计中使用的 PWM 控制器和栅极驱动器 IC 的主要特性。

2.3.1 TPS7H5004-SP

TPS7H500x-SP 耐辐射加固保障高速 PWM 控制器系列。这些控制器提供的许多功能有助于设计面向太空应用的直流/直流转换器拓扑。控制器具有精密的内部基准 ($0.613\text{V} + 0.7\%/ - 1\%$)，可配置开关频率高达 2MHz。每个器件都提供可编程斜坡补偿和软启动功能。

TPS7H500x-SP 系列可通过 SYNC 引脚使用外部时钟来驱动，也可使用内部振荡器以用户编程的频率来驱动。此控制器系列为用户提供了各种选项，用于选择开关输出、同步整流功能、死区时间（固定或可配置）、前沿消隐时间（固定或可配置）和占空比限制。TPS7H500x-SP 系列中的每个器件均采用 22 引脚 CFP 陶瓷封装和 24 引脚 TSSOP 塑料封装。

2.3.2 TPS7H6023-SP

TPS7H60x3-SP 系列耐辐射保障 (RHA) 氮化镓 (GaN) 场效应晶体管 (FET) 栅极驱动器专为高频、高效率应用而设计。该系列包括 TPS7H6003-SP (200V 等级)、TPS7H6013-SP (60V 等级) 和 TPS7H6023-SP (22V 等级)。这些驱动器具有可调节死区时间功能、30ns 低传播延迟，以及 5.5ns 的高侧和低侧匹配。这些器件还包括内部高侧和低侧 LDO，无论电源电压如何，都能确保驱动电压为 5V。TPS7H60x3-SP 驱动器都具有分离栅输出，可独立灵活地调节输出的导通和关断强度。

TPS7H60x3-SP 驱动器具有两种控制输入模式：独立输入模式 (IIM) 和 PWM 模式。在 IIM 中，每个输出都由专用输入来控制。在 PWM 模式下，两个补偿输出信号由单个输入产生，用户可以调节每个边沿的死区时间。

栅极驱动器还提供用户可配置的输入互锁功能，在独立输入模式下作为防击穿保护。当两个输入同时导通时，输入互锁不允许两个输出同时导通。用户可以选择在独立输入模式下启用或禁用此保护，从而可以在多种不同的转换器配置中使用该驱动器。这些驱动器还可用于半桥和双低侧转换器应用。

该器件还可采用 TPS7H60x5-SEP 和 TPS7H60x5-SP 塑料封装。

3 硬件、测试要求和测试结果

3.1 硬件要求

- TIDA-010958 参考设计电路板
- 直流电源 (12V 和 10A)
- 电子负载 (80A)
- 万用表
- 示波器

3.2 测试设置

将电源连接到输入端子板，然后将 GND 和 12V 连接置于正确的插槽中。此电路板的输入电流高达 10A 左右，因此请验证电源额定值在 12V 时是否可处理 10A 电流。将电子负载连接到输出端子板，方法是将电缆接到标有 GND 的端子，然后将输出电缆接到标有 0V8 的端子。将负载电流增至 80A。

3.3 测试结果

3.3.1 效率图

图 3-1 和 图 3-2 分别显示了 TIDA-010958 效率和功率损耗图。

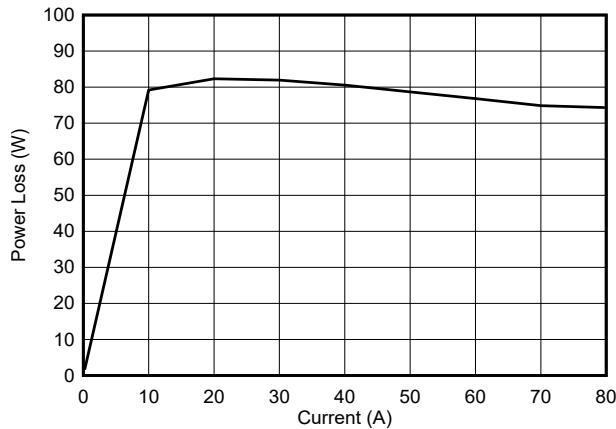


图 3-1. TIDA-010958 效率、
12V 输入、0.8V 输出

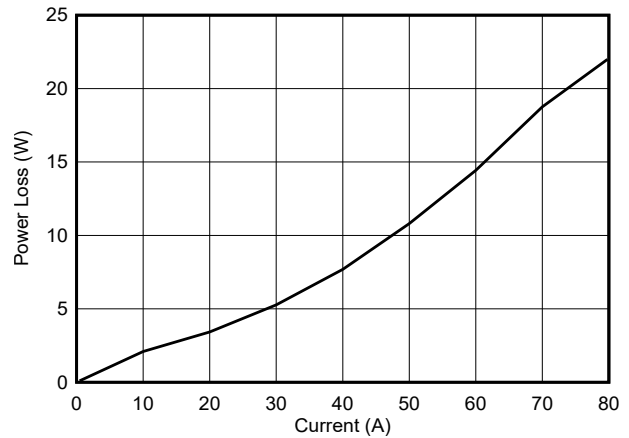


图 3-2. TIDA-010958 功率损耗、
12V 输入、0.8V 输出

3.3.2 波特图

图 3-3 所示为 TIDA-010958 波特图。

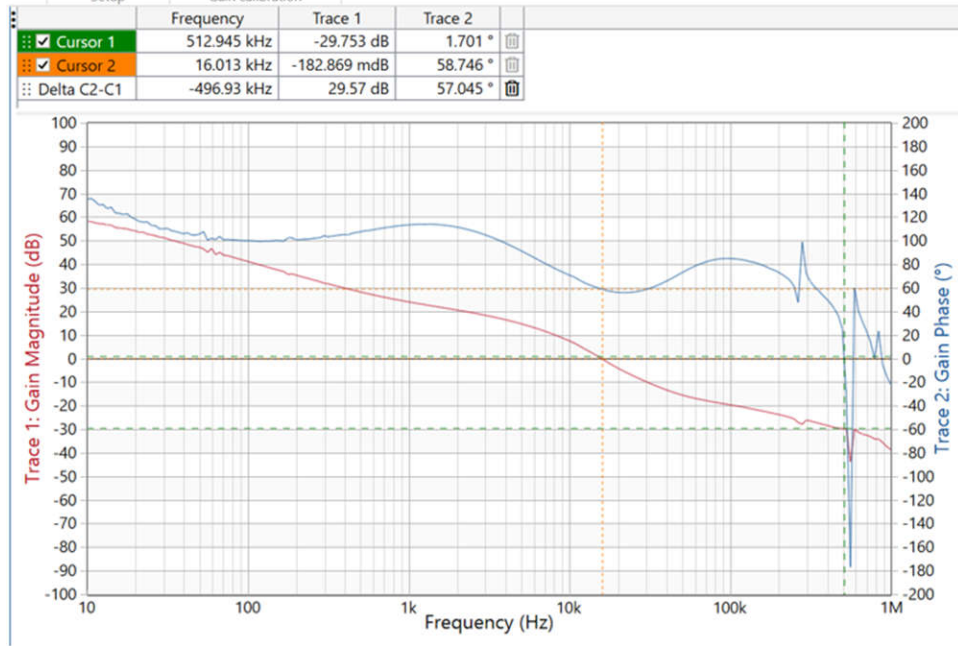


图 3-3. 12V 输入、0.8V 输出；带宽 = 10Hz、相位裕度 = 58.7 度

3.3.3 开关

图 3-5 显示了使用测试连接器测量的 TIDA-010958 的开关行为。

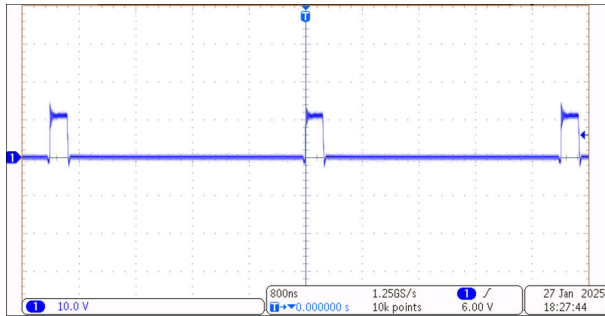


图 3-4. 开关节点缩小

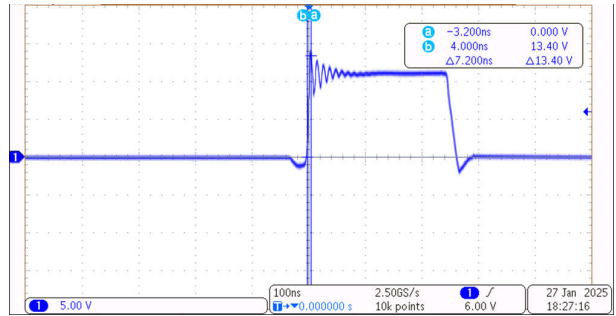


图 3-5. 278kHz 开关频率

3.3.4 输出纹波

图 3-6 展示了 TIDA-010958 输出电压纹波波形。这种输出纹波可以使用测试连接器来测量。

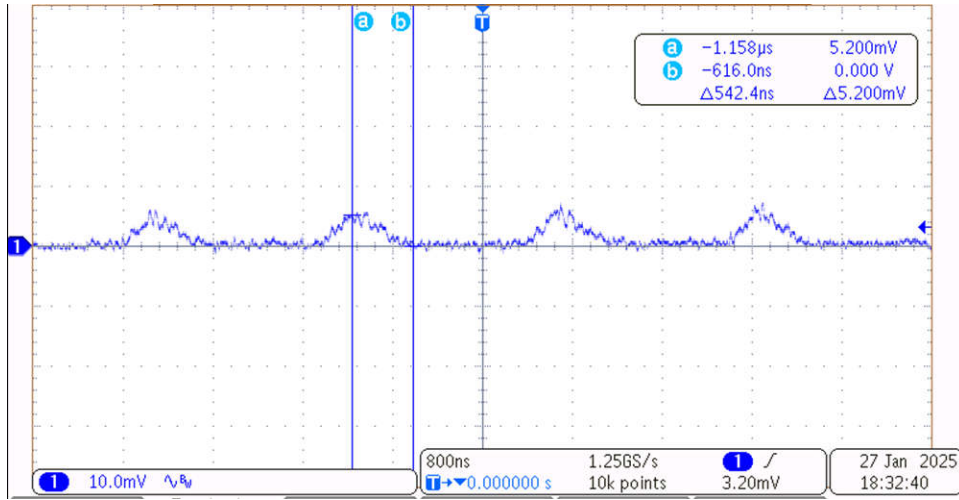


图 3-6. 测得的输出电压纹波 (交流耦合) 峰峰值为 5.2mV

3.3.5 栅极信号

图 3-7 和 图 3-8 分别显示了低侧栅极上升时间和高侧栅极上升时间。

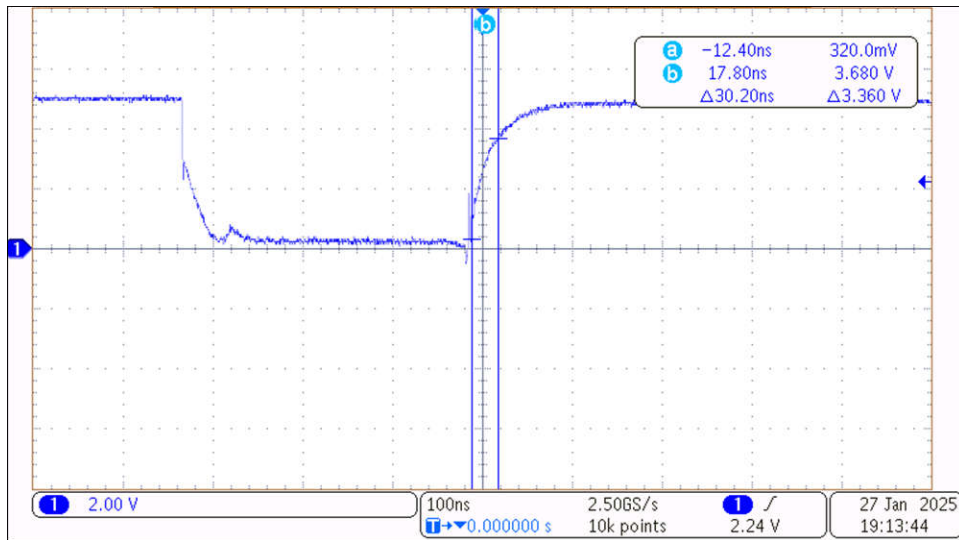


图 3-7. 低侧栅极上升时间

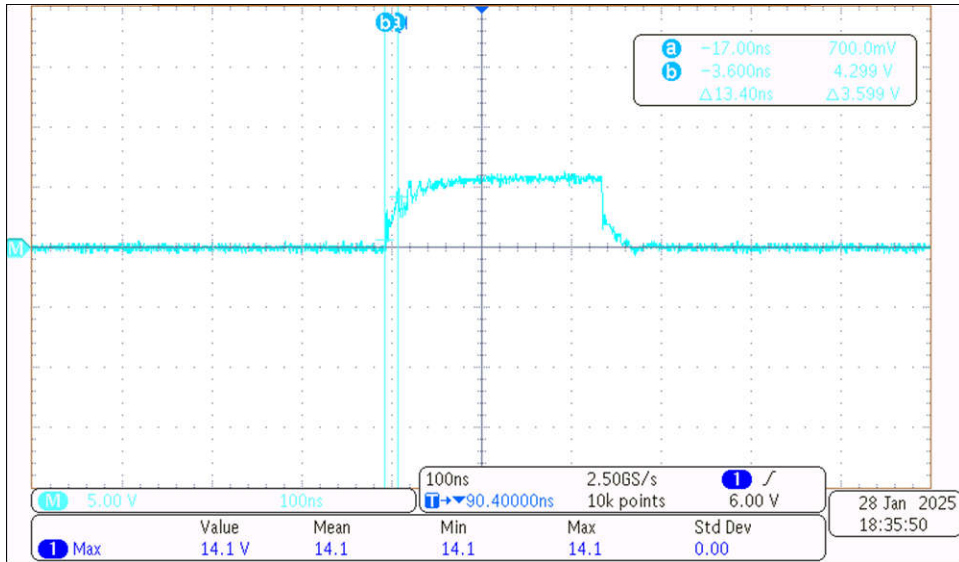


图 3-8. 高侧栅极上升时间

3.3.6 启动序列

图 3-9 显示了 TIDA-010958 的启动行为。

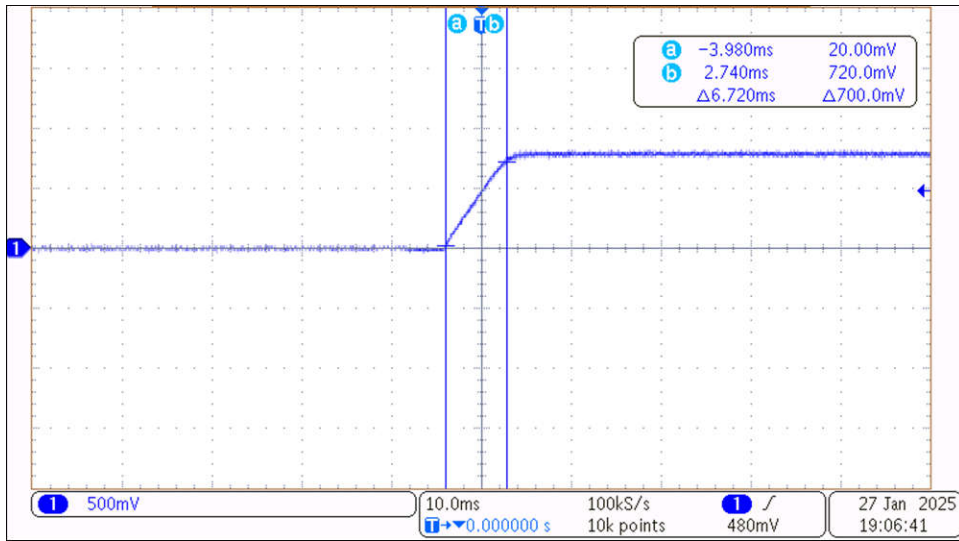


图 3-9. 12V 输入、0V 输出、无负载

3.3.7 负载瞬态

图 3-12 显示了 TIDA-0109458 在 0.8V、10A 至 30A 和 30A 至 10A 负载阶跃期间的瞬态负载行为。

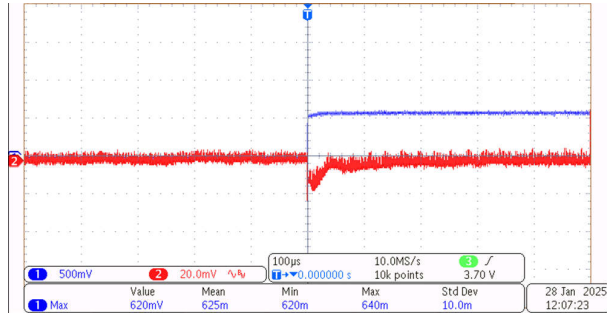


图 3-10. 10A 至 30A 负载阶跃

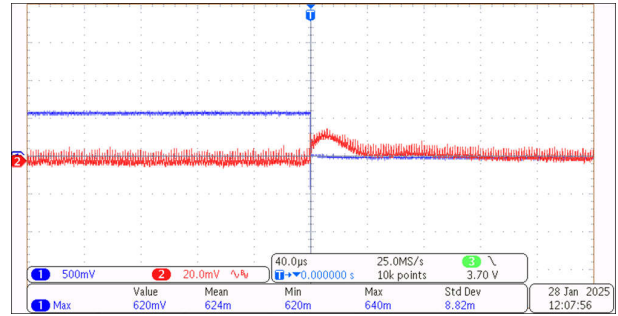


图 3-11. 30A 至 10A 负载阶跃

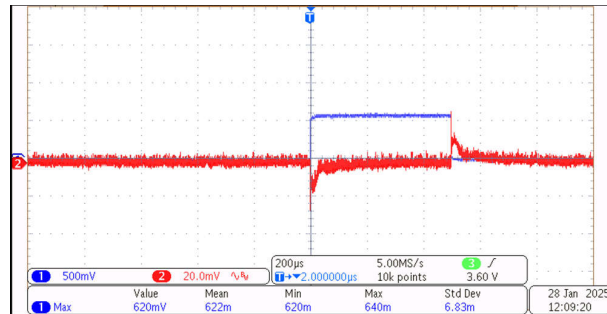


图 3-12. 12V 输入；CH1：输出电压，交流耦合，20mV/div；CH2：输出电流

3.3.8 热像图

图 3-13、图 3-14 和 图 3-15 显示了 TIDA-010958 电路板顶部在不同负载电流下 (每次电流一分钟后) 的热性能。

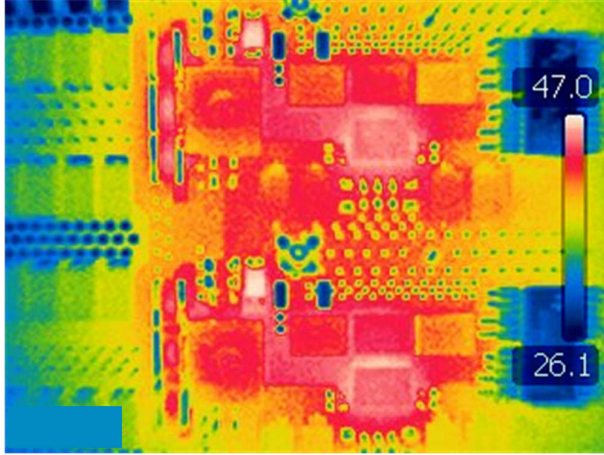


图 3-13. 顶视图、12V 输入、
0.8V 输出 (30A)

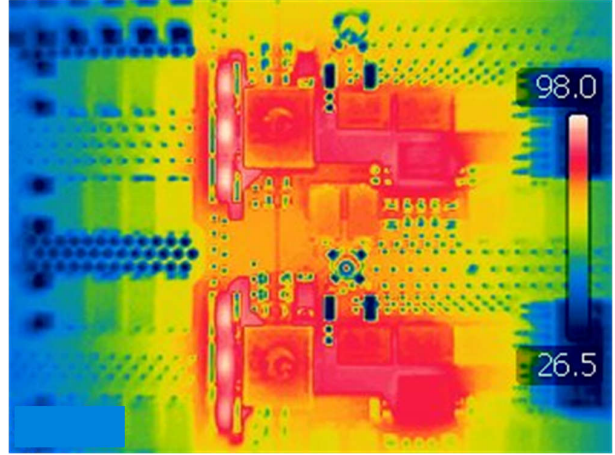


图 3-14. 顶视图、12V 输入、
0.8V 输出 (60A)

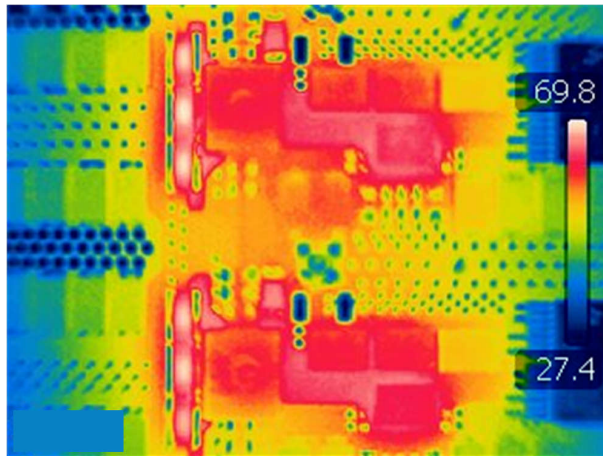


图 3-15. 顶视图、12V 输入、
0.8V 输出 (80A)

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-010958](#) 中的设计文件。

4.1.2 BOM

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-010958](#) 中的设计文件。

4.2 工具

工具

[POWERSTAGE-DESIGNER](#) 适用于常用开关模式电源的 Power Stage Designer™ 软件工具。

4.3 文档支持

- 德州仪器 (TI)，[TPS7H500x-SP 耐辐射加固保障 2MHz 电流模式 PWM 控制器数据表](#)
- 德州仪器 (TI)，[TPS7H60x3-SP 耐辐射保障 1.3A、2.5A、半桥 GaN FET 栅极驱动器数据表](#)

4.4 支持资源

[TI E2E™ 中文支持论坛](#) 是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、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，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](#)。

4.5 商标

TI E2E™ and Power Stage Designer™ are trademarks of Texas Instruments.

AMD® is a registered trademark of Advanced Micro Devices, Inc.

Versal® is a registered trademark of Xilinx, Inc.

所有商标均为其各自所有者的财产。

5 作者简介

BHAVIKA KAGATHI 是德州仪器 (TI) 的系统工程师，负责开发太空系统设计。Bhavika 自 2023 年以来一直在 TI 工作。Bhavika 在伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校获得生物工程理学学士学位和工程硕士学位。

重要通知和免责声明

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。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
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司