



Zachary Deardorff

## 摘要

航天应用的一个常见设计挑战是需要生成负电压轨。本应用手册说明了如何使用抗辐射 TPS7H4010-SEP 设计反相降压/升压。在 LEO™ 应用中，需要使用抗辐射器件来屏蔽单粒子效应和剂量效应。TPS7H4010-SEP 的电离辐射总剂量额定值为 30krad (Si)，单粒子闩锁效应抑制额定值为 43MeV\*cm<sup>2</sup>/mg。此拓扑采用正输入电压并产生经调节的负输出电压。本应用手册详细介绍了设计注意事项和仿真结果，以便设计人员可以根据不同的要求扩展设计。该文档还包含实验结果和配置说明，用以通过 -6V 和 -1.8V 电源轨的 12V 输入和 5V 输入调节 -12V、-6V 和 -1.8V 的电压轨。

## 内容

1 引言.....	3
1.1 设计说明.....	3
1.2 设计目标.....	3
2 详细设计过程.....	4
3 测试结果.....	5
4 总结.....	16
5 参考文献.....	17

## 插图清单

图 1-1. TPS7H4010-SEP 反相降压/升压拓扑.....	3
图 2-1. TPS7H4010EVM 3.3V 布局.....	4
图 3-1. TPS7H4010EVM 1.8V 电源轨原理图.....	5
图 3-2. 12V 至 -12V 效率.....	5
图 3-3. 12V 至 -12V 负载瞬态.....	6
图 3-4. 3A 时的 12V 至 -12V 开关节点.....	6
图 3-5. 3A 时的 12V 至 -12V 输入纹波.....	6
图 3-6. 3A 时的 12V 至 -12V 输出纹波.....	7
图 3-7. -12V 启动.....	7
图 3-8. 12V 至 -6V 效率.....	7
图 3-9. 12V 至 -6V 负载瞬态.....	8
图 3-10. 3A 时的 12V 至 -6V 开关节点.....	8
图 3-11. 3A 时的 12V 至 -6V 输入纹波.....	8
图 3-12. 3A 时的 12V 至 -6V 输出纹波.....	9
图 3-13. 12V 至 -6V 启动.....	9
图 3-14. 5V 至 -6V 效率.....	9
图 3-15. 5V 至 -6V 负载瞬态.....	10
图 3-16. 2A 时的 5V 至 -6V 开关节点.....	10
图 3-17. 2A 时的 5V 至 -6V 输入纹波.....	10
图 3-18. 2A 时的 5V 至 -6V 输出纹波.....	11
图 3-19. 5V 至 -6V 启动.....	11
图 3-20. 12V 至 -1.8V 效率.....	11
图 3-21. 12V 至 -1.8V 负载瞬态.....	12
图 3-22. 3A 时的 12V 至 -1.8V 开关节点.....	12
图 3-23. 3A 时的 12V 至 -1.8V 输入纹波.....	12
图 3-24. 3A 时的 12V 至 -1.8V 输出纹波.....	13

图 3-25. 12V 至 -1.8V 启动.....	13
图 3-26. 5V 至 -1.8V 效率.....	13
图 3-27. 5V 至 -1.8V 瞬态.....	14
图 3-28. 3A 时的 5V 至 -6V 开关节点.....	14
图 3-29. 3A 时的 5V 至 -1.8V 输入纹波.....	14
图 3-30. 3A 时的 5V 至 -1.8V 输出纹波.....	15
图 3-31. 5V 至 -1.8V 启动 ( 深蓝色表示 Vout , 浅蓝色表示 Vin ) .....	15

## 表格清单

表 1-1. 设计目标.....	3
表 2-1. 无源器件变更.....	4

## 商标

LEO™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

### 1.1 设计说明

将 TPS7H4010-SEP 实施为反相降压/升压与降压拓扑类似。在降压拓扑中，输出的正连接连接到电感器，返回连接到集成电路 (IC) 接地。但是，在反相降压/升压配置中，IC 接地用作负输出电压，而原来的正输出接地。反相降压/升压拓扑允许输出电压反相并且低于接地电压，因为  $V_{in}$  通常以接地为基准，但在反相降压/升压拓扑中， $V_{in}$  以  $V_{out}$  为基准。反相降压/升压中 TPS7H4010-SEP 的输入电压范围为 3.5V 至 32V (+  $V_{out}$ )，其中  $V_{out}$  为负值。由于输入从  $V_{in}$  一直切换到  $V_{out}$  而不是接地，因此请记住为输入选择额定电压足够大的电容器。当从降压转换为反相降压/升压配置时，最大输出电流会减小。对于此应用，3A 是经测试的最大电流，因为不建议超过 3A。

图 1-1 显示了反相降压/升压拓扑的原理图。

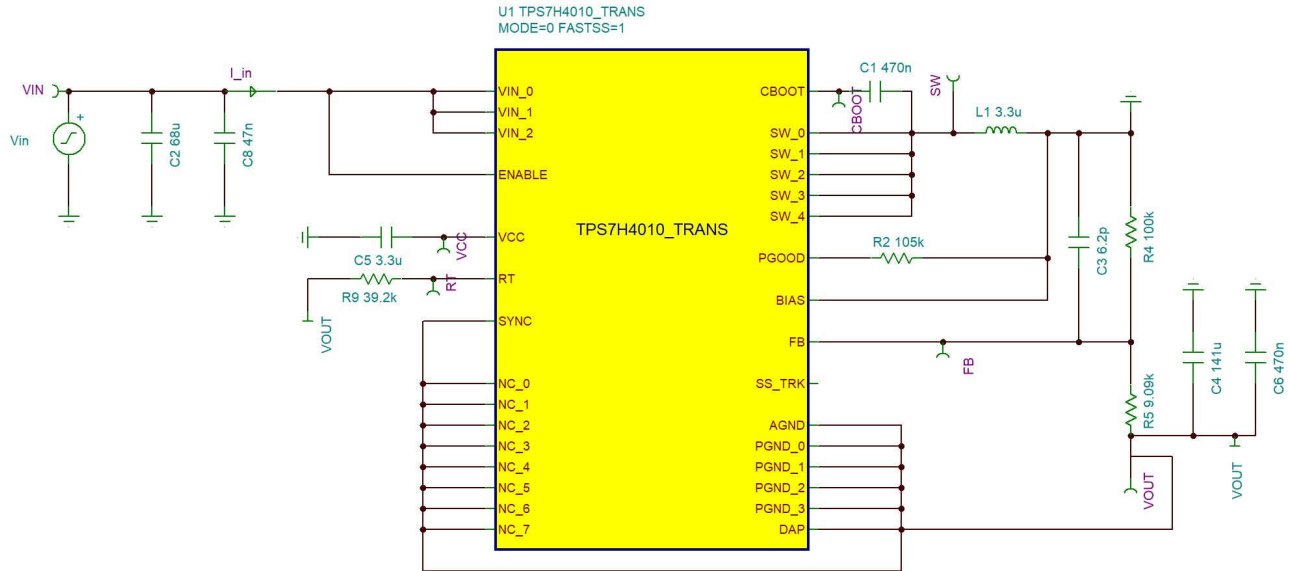


图 1-1. TPS7H4010-SEP 反相降压/升压拓扑

### 1.2 设计目标

表 1-1. 设计目标

输入电压	输出电压	经测试的输出电流	开关频率
12V	-12 V	3A	1MHz
12V	-6V	3A	1MHz
12V	-1.8V	3A	1MHz
5V	-6V	2.5A	1MHz
5V	-1.8V	3A	1MHz

## 2 详细设计过程

对于本应用手册，使用 TPS7H4010EVM 实现反相降压/升压。TPS7H4010EVM 板上有两个 TPS7H4010-SEP 器件。一个器件配置为输出 3.3V 电压，另一个器件配置为输出 1.8V 电压。下面说明了如何在反相降压/升压拓扑中配置 TPS7H4010EVM，这些说明以 EVM 上的 1.8V 电压轨为基准 (图 2-1)。第一步是将电路板上标记为 VOUT\_A (TP1、J1、J20 顶部) 的输出端接地。然后，对于输出和负载，将其连接到标有 GND\_A (TP9、J2、J20 底部) 的 EVM 接地端。输入电压仍然连接在 PVIN\_A (TP5、J3) 和 VOUT\_A (TP1、J1、J20 顶部) 之间，因为这是接地端连接的电压。此过程将 EVM 配置为反相降压/升压配置。

表 2-1. 无源器件变更

Vout	L1 (L3) (uH)	输出电容	R2(R12) (Ω)	R4(R14)(Ω)	R6(R16)(Ω)
-12 V	3.3μH	141μF	100kΩ	9.1k	39.2k
-6V	3.3μH	141μF	100kΩ	20k	39.2k
-1.8V	1.8μH	400μF	100kΩ	124k	39.2k

本文讨论了所测试的每个不同电压轨的设计注意事项。对于 TPS7H4010-SEP 反相降压/升压拓扑，开关频率设置为 1MHz。为了在 TPS7H4010EVM 上进行这些更改，更改了最初 3.3V 电压轨上的一些无源器件值以转换为 -12V 和 -6V 电压轨，更改了原 1.8V 电压轨上的一些无源器件值以转换为 -1.8V。为此，首先在 EVM R16 的 3.3V 电压轨和 1.8V 电压轨 (1.8V 电压轨上的 R6) 上，用 39.2k 电阻器取而代之，以将开关频率更改为所需的 1MHz 开关频率。然后，为了改变 3.3V 电压轨的输出电压值，将反馈电阻器 R14 更改为调节至 -12V 和 -6V。表 2-1 显示了针对反相降压/升压应用测试的每个输出电压轨的设计所使用的无源值。根据初始 1.8V 电压轨 (3.3V 电压轨) 原理图，该表包含与原理图上的数字相对应的每个无源值的两个数字。TPS7H4010EVM 的图 2-1 中突出显示了需要更改的两个电阻器。对于所执行的测试，其余的无源值保持不变。请注意，可以更改其他无源值以针对所需的特定输出调节进行优化。

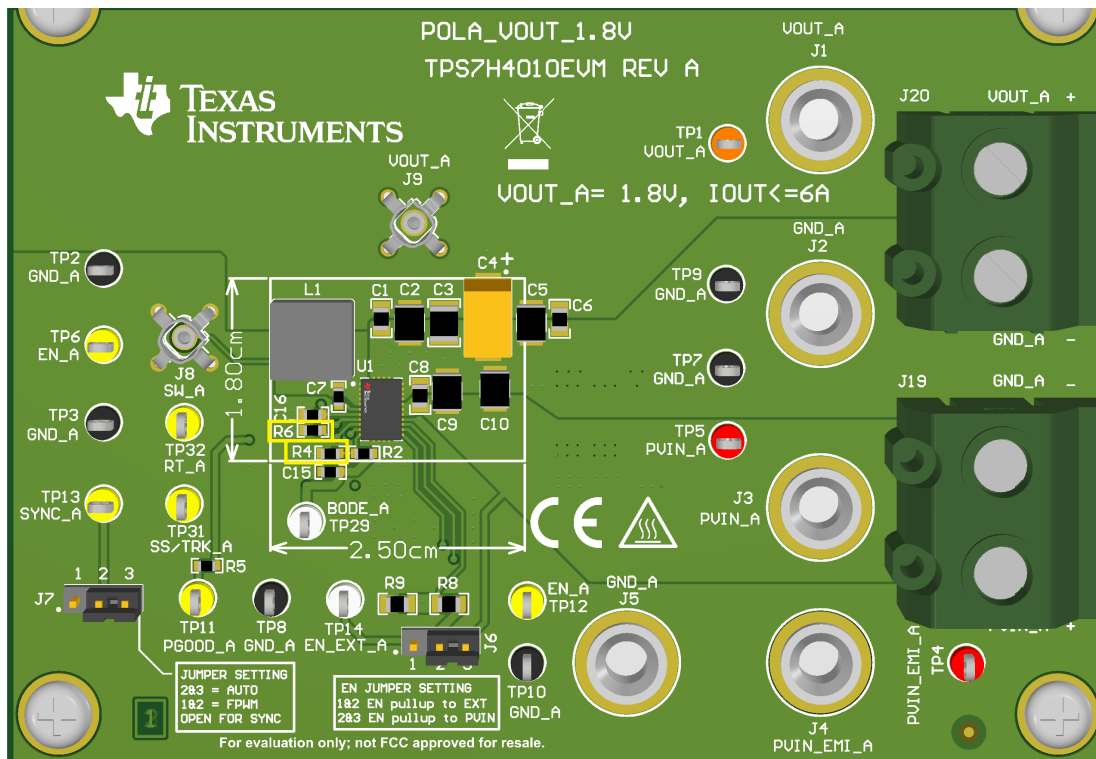


图 2-1. TPS7H4010EVM 3.3V 布局

### 3 测试结果

在 -12V、-6V 和 -1.8V 条件下进行了测试，以显示 TPS7H4010-SEP 的反相降压/升压拓扑能够承受的范围。在 12V 输入端顶部使用 5V 输入电压进行了 -6V 电压轨和 -1.8V 电压轨测试，以显示较低输入电压下的行为。以下各图显示了每个被测电压轨的典型波形和测试结果。请注意，除 5 Vin 至 -6 Vout 外的每个电压轨都在高达 3A 的电流下进行了测试。对于 5 Vin 至 -6 Vout 电压轨，波形是在 2A 电流下捕获的，因为使用 EVM 时，稳压在超过 2.5A 时开始变得不稳定。如设计部分所述，这可通过更改电容和电感值进行优化。图 3-1 中显示了 TPS7H4010EVM 的 -1.8V 电压轨原理图。

采取了传统交流响应方法，但发现其不准确，因此传统方法未包括在内。瞬态响应表明，反相降压/升压拓扑中的器件在测试条件下仍保持稳定。

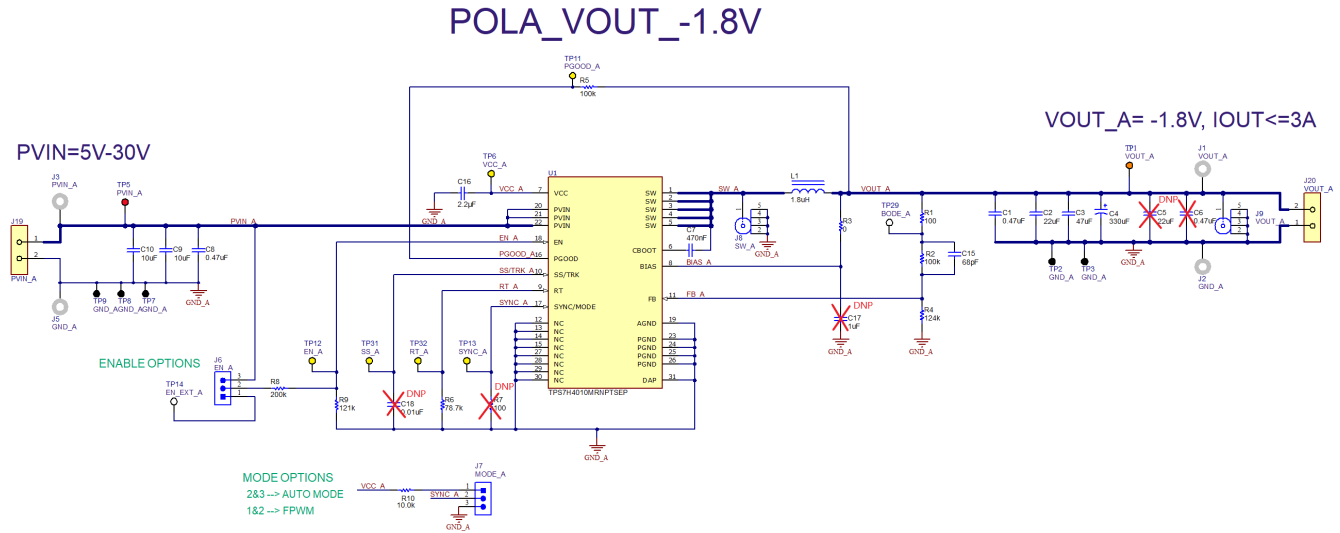


图 3-1. TPS7H4010EVM 1.8V 电源轨原理图

图 3-2 显示了在 100mA 至 3A 范围内，12V 输入和 -12V 输出的测试效率。

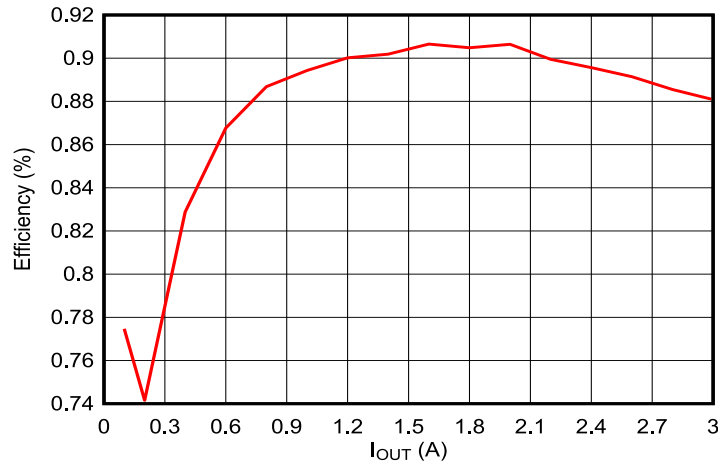


图 3-2. 12V 至 -12V 效率

图 3-3 显示了 12V 输入和 -12V 输出的瞬态响应。输出电流从 280mA 上升到 2.76A。在负载阶跃的正边沿上，瞬态的峰值为 236mV。在负边沿上，瞬态的谷值为 -204mV。

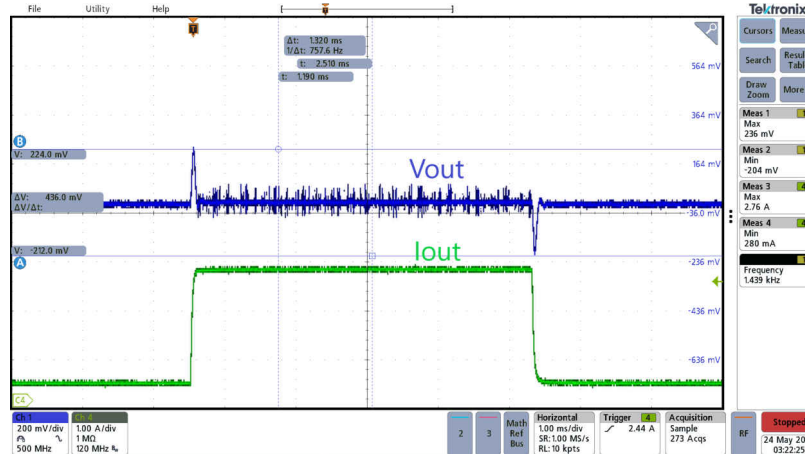


图 3-3. 12V 至 -12V 负载瞬态

图 3-4 显示了负载电流为 3A 时 12V 输入和 -12V 输出条件下的开关节点。开关频率为 999.5kHz

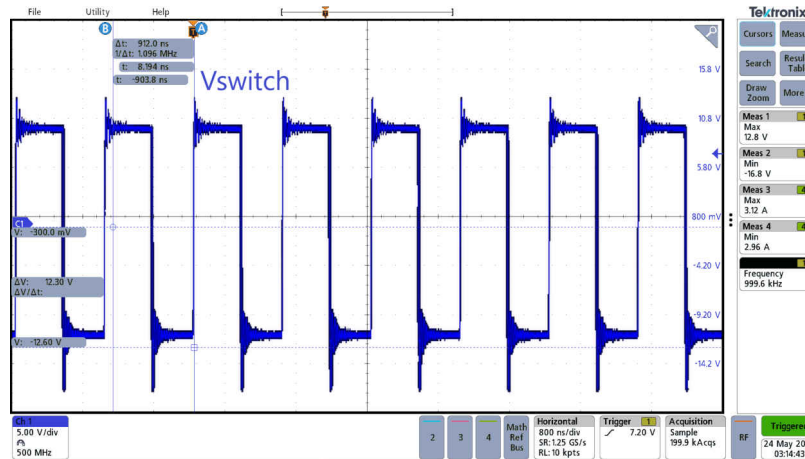


图 3-4. 3A 时的 12V 至 -12V 开关节点

图 3-5 显示了负载电流为 3A 时 12V 输入和 -12V 输出条件下的输入纹波，为 396mV。

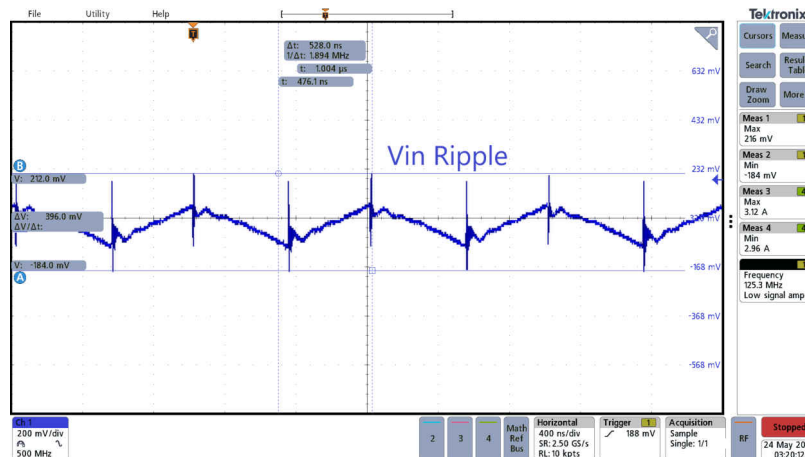


图 3-5. 3A 时的 12V 至 -12V 输入纹波

图 3-6 显示了负载电流为 3A 时 12V 输入和 -12V 输出条件下的输出纹波，为 115mV。

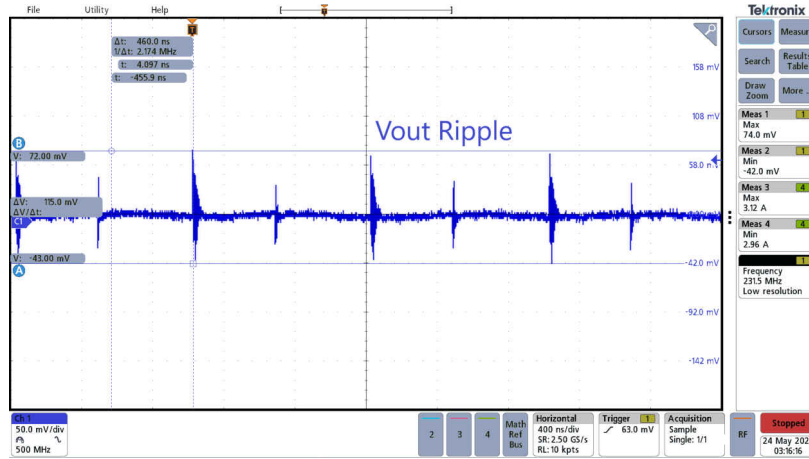


图 3-6. 3A 时的 12V 至 -12V 输出纹波

图 3-7 显示了 Vin 和 Vout 的启动波形。Vin 需要 12.1ms 才能达到 12V，Vout 需要 7.76ms 才能达到 -12V。

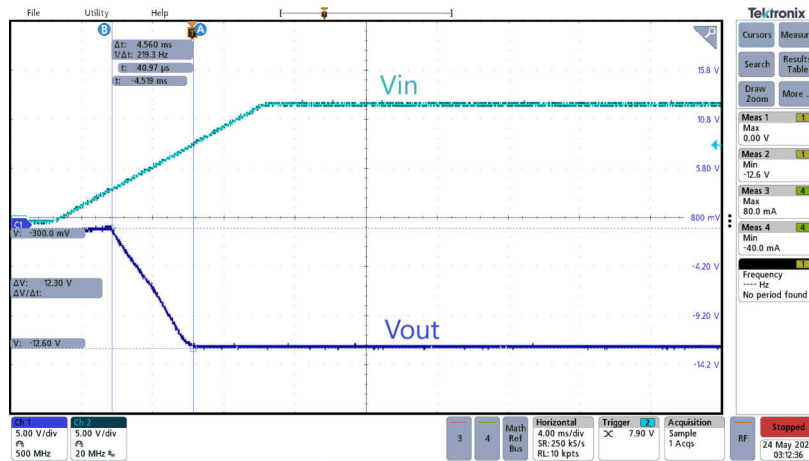


图 3-7. -12V 启动

图 3-8 显示了在 100mA 至 3A 范围内，12V 输入和 -6V 输出的测试效率。

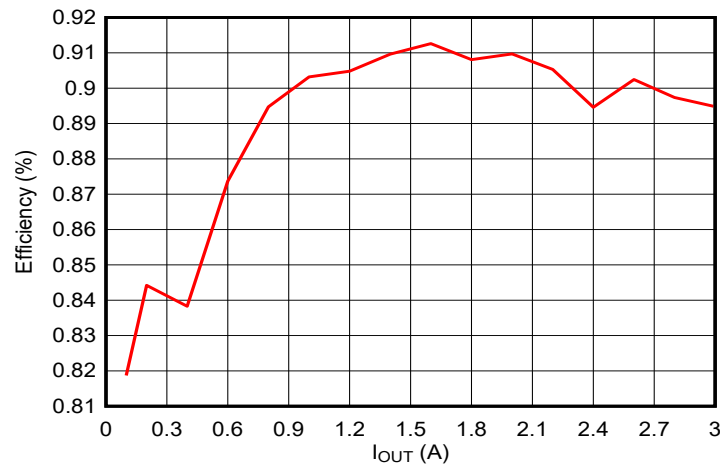


图 3-8. 12V 至 -6V 效率



图 3-9 显示了 12V 输入和 -6V 输出的瞬态响应。输出电流从 320mA 上升到 2.84A。在负载阶跃的正边沿上，瞬态的峰值为 132mV。在负边沿上，瞬态的谷值为 -60mV。

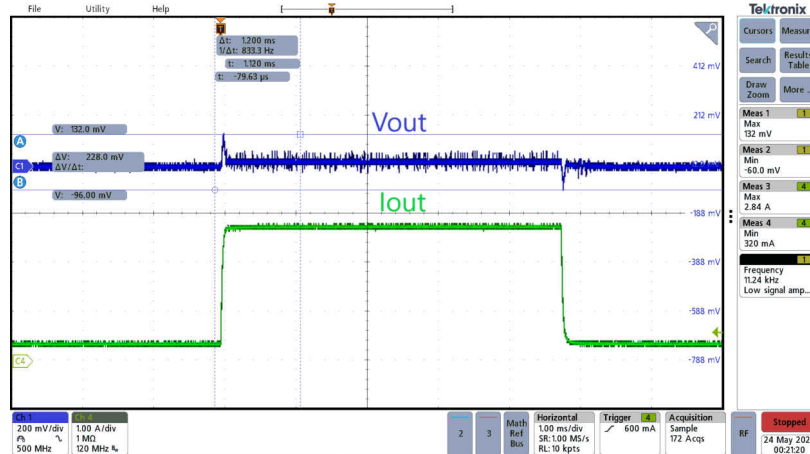


图 3-9. 12V 至 -6V 负载瞬态

图 3-10 显示了负载电流为 3A 时 12V 输入和 -6V 输出条件下的开关节点。开关频率为 999.8kHz。

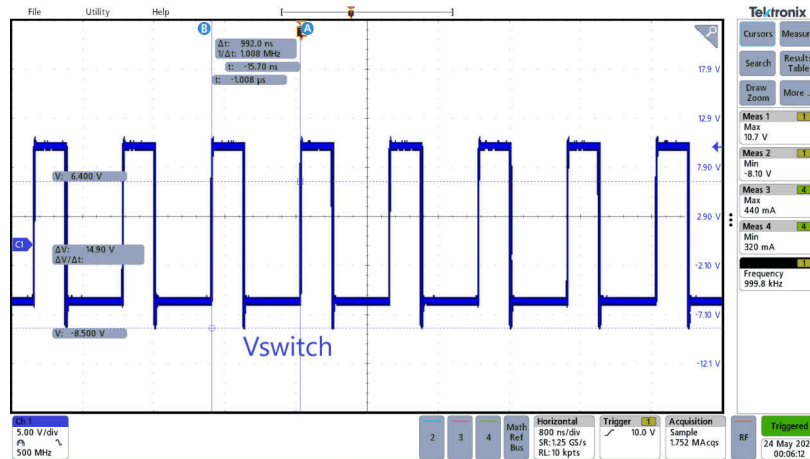


图 3-10. 3A 时的 12V 至 -6V 开关节点

图 3-11 显示了负载电流为 3A 时 12V 输入和 -6V 输出条件下的输入纹波，为 214mV。

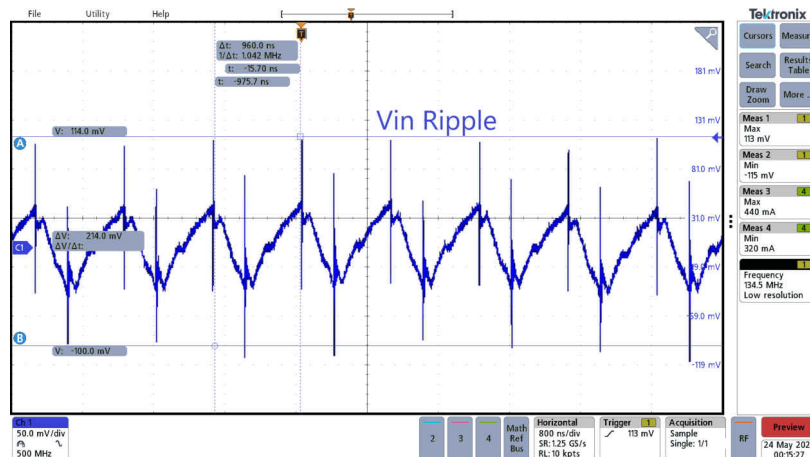


图 3-11. 3A 时的 12V 至 -6V 输入纹波



图 3-12 显示了负载电流为 3A 时 12V 输入和 -6V 输出条件下的输出纹波，为 94mV。

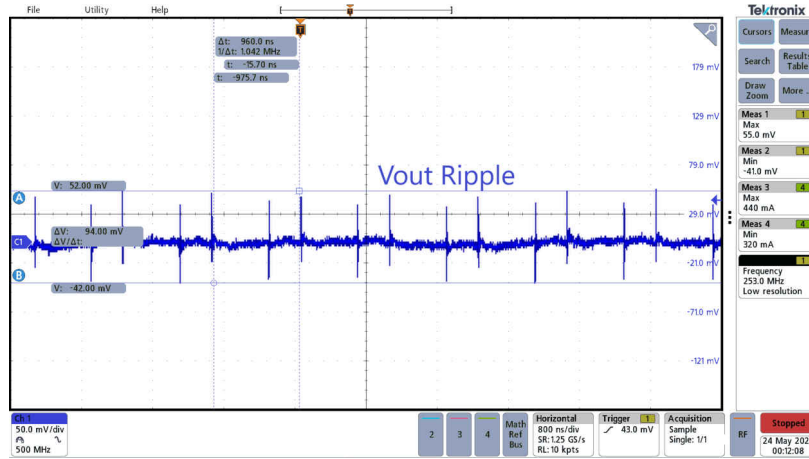


图 3-12. 3A 时的 12V 至 -6V 输出纹波

图 3-13 显示了 Vin 和 Vout 的启动波形。VIN 需要 11.48ms 才能达到 12V，Vout 需要 7.48ms 才能达到 -6V。

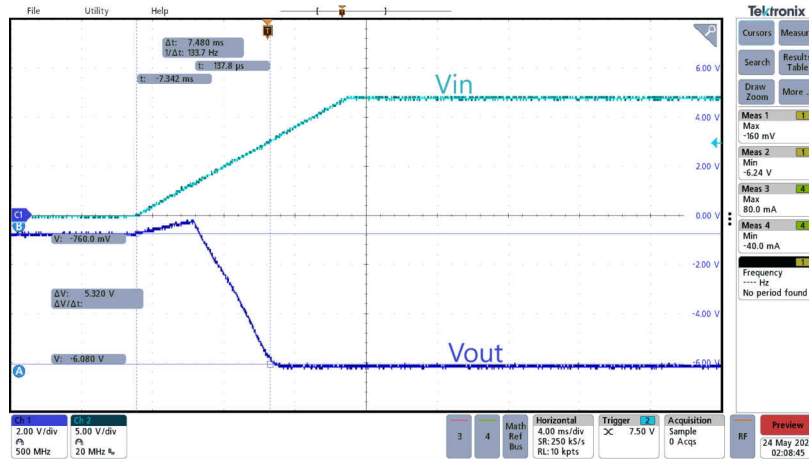


图 3-13. 12V 至 -6V 启动

图 3-14 显示了在 100mA 至 3A 范围内，5V 输入和 -6V 输出的测试效率。

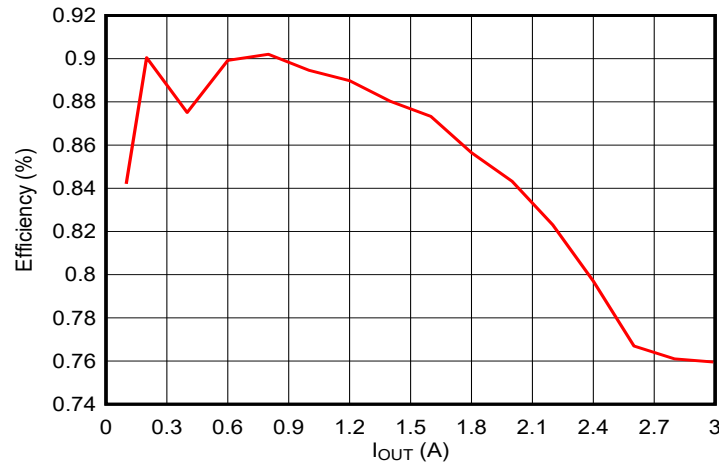


图 3-14. 5V 至 -6V 效率

图 3-15 显示了 5V 输入和 -6V 输出的瞬态响应。输出电流从 310mA 上升到 1.83A。在负载阶跃的正边沿上，瞬态的峰值为 132mV。在负边沿上，瞬态的谷值为 -68mV。

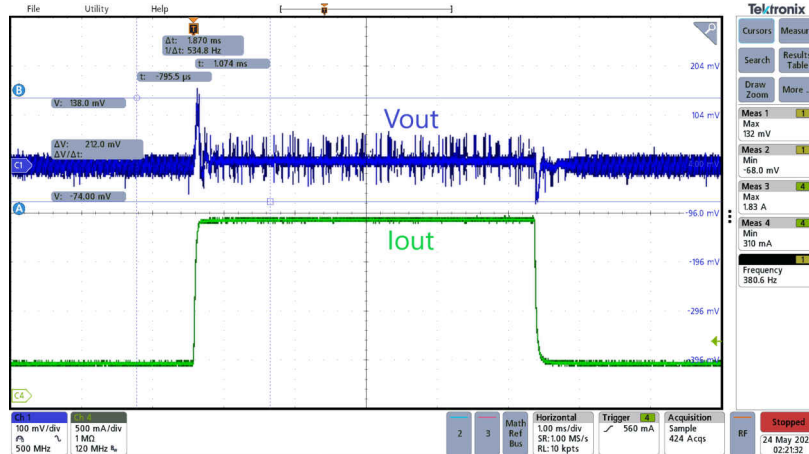


图 3-15. 5V 至 -6V 负载瞬态

图 3-16 显示了负载电流为 2A 时 5V 输入和 -6V 输出条件下的开关节点。开关频率为 999.8kHz。

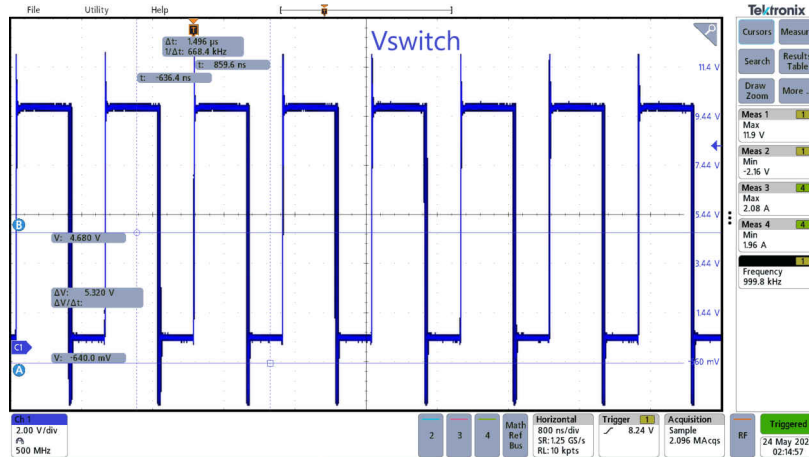


图 3-16. 2A 时的 5V 至 -6V 开关节点

图 3-17 显示了负载电流为 2A 时 5V 输入和 -6V 输出条件下的输入纹波，为 224mV。

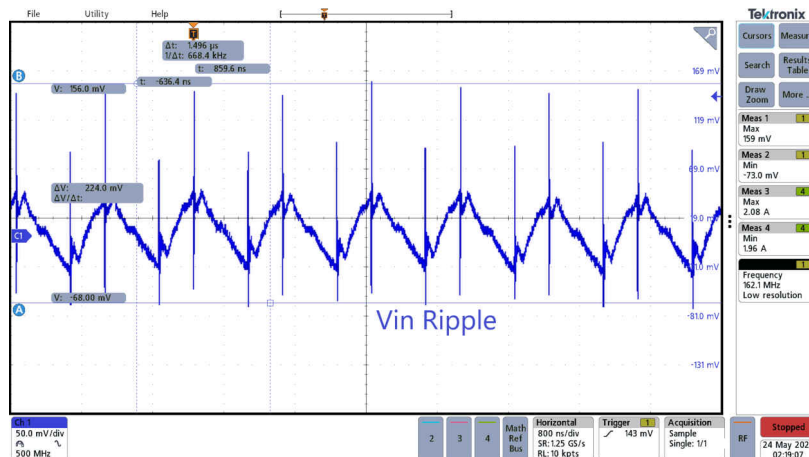


图 3-17. 2A 时的 5V 至 -6V 输入纹波

图 3-18 显示了负载电流为 2A 时 5V 输入和 -6V 输出条件下的输出纹波，为 97mV。

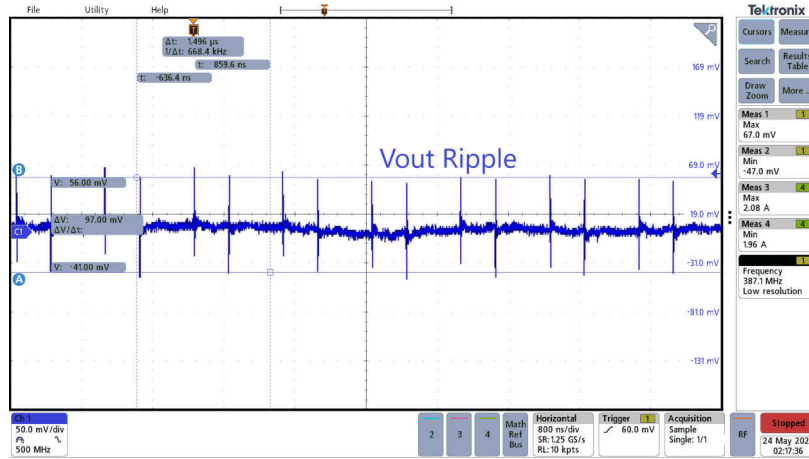


图 3-18. 2A 时的 5V 至 -6V 输出纹波

图 3-19 显示了 Vin 和 Vout 的启动波形。Vin 需要 4.5ms 才能达到 5V，Vout 需要 7.7ms 才能达到 -6V。

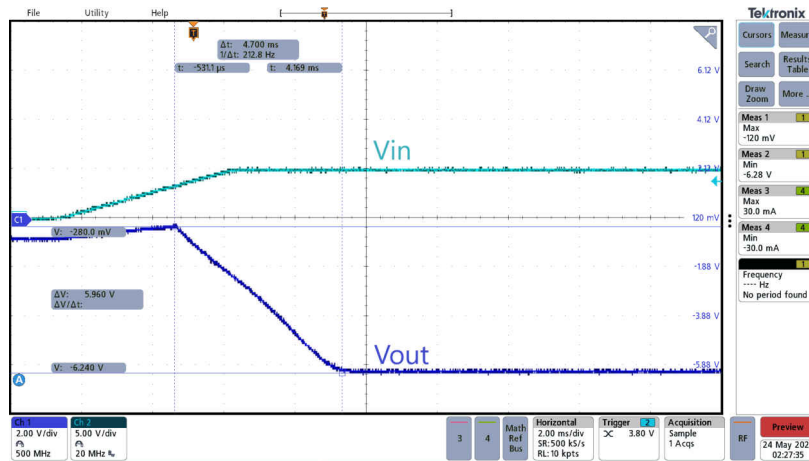


图 3-19. 5V 至 -6V 启动

图 3-20 显示了在 100mA 至 3A 范围内，12V 输入和 -1.8V 输出的测试效率。

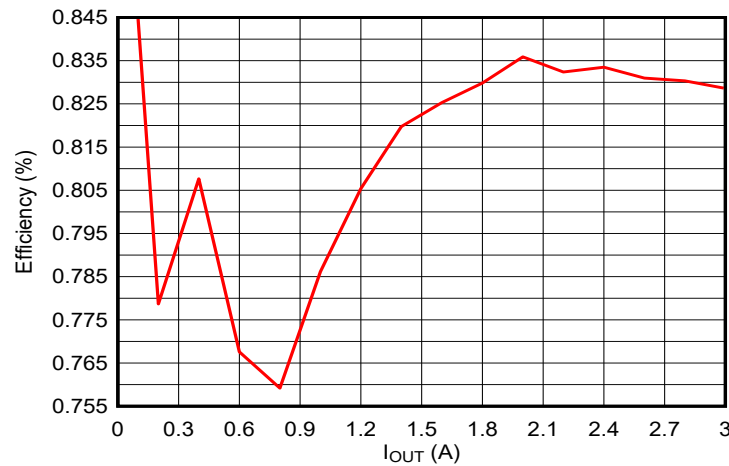


图 3-20. 12V 至 -1.8V 效率

图 3-21 显示了 12V 输入和 -1.8V 输出的瞬态响应。输出电流从 320mA 上升到 2.76A。在负载阶跃的正边沿上，瞬态的峰值为 42mV。在负边沿上，瞬态的谷值为 -12mV

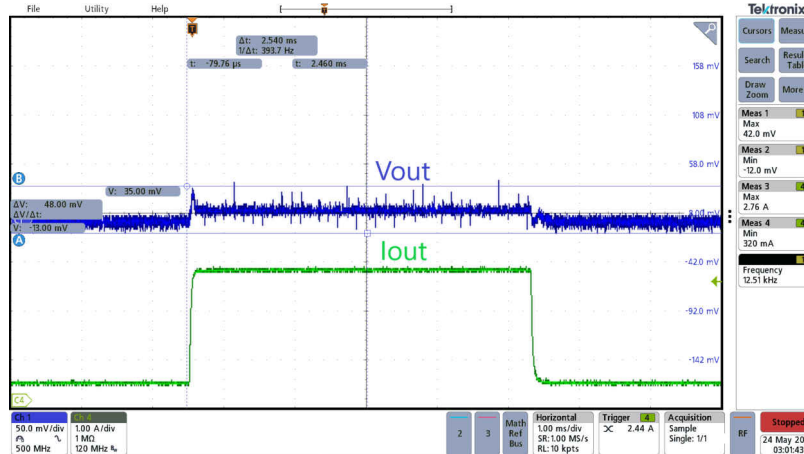


图 3-21. 12V 至 -1.8V 负载瞬态

图 3-22 显示了负载电流为 3A 时 12V 输入和 -1.8V 输出条件下的开关节点。开关频率为 1.008MHz。

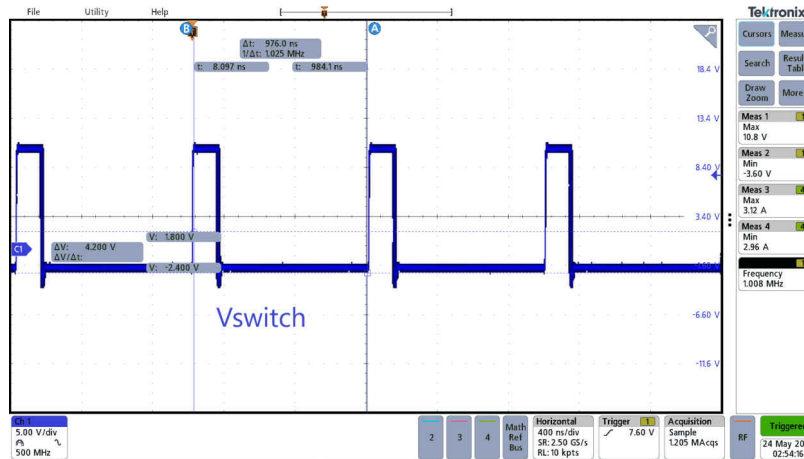


图 3-22. 3A 时的 12V 至 -1.8V 开关节点

图 3-23 显示了负载电流为 3A 时 12V 输入和 -1.8V 输出条件下的输入纹波，为 190mV。

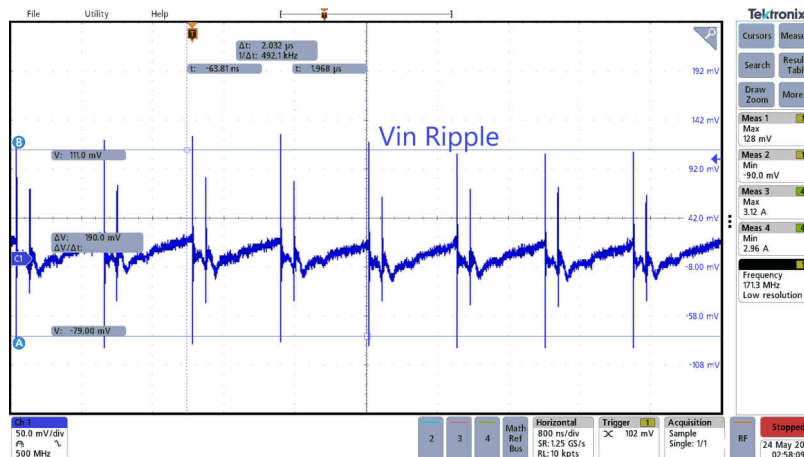


图 3-23. 3A 时的 12V 至 -1.8V 输入纹波

图 3-24 显示了负载电流为 3A 时 12V 输入和 -1.8V 输出条件下的输出纹波，为 48mV。

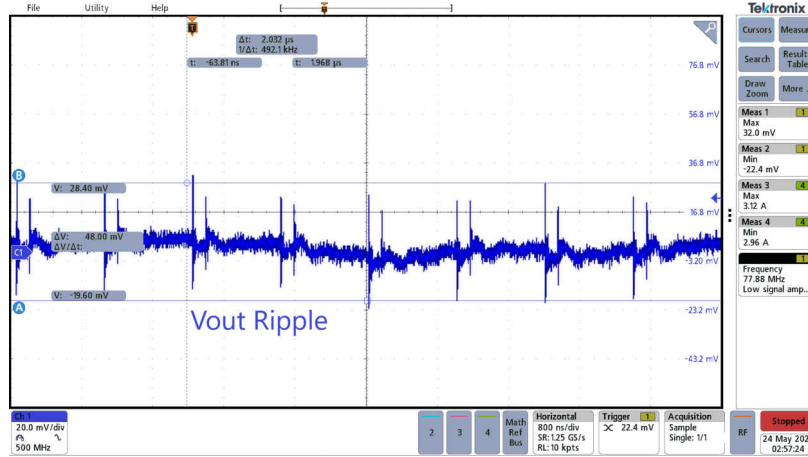


图 3-24. 3A 时的 12V 至 -1.8V 输出纹波

图 3-25 显示了 Vin 和 Vout 的启动波形。Vin 需要 12.2ms 才能达到 12V，Vout 需要 7.22ms 才能达到 -1.8V。

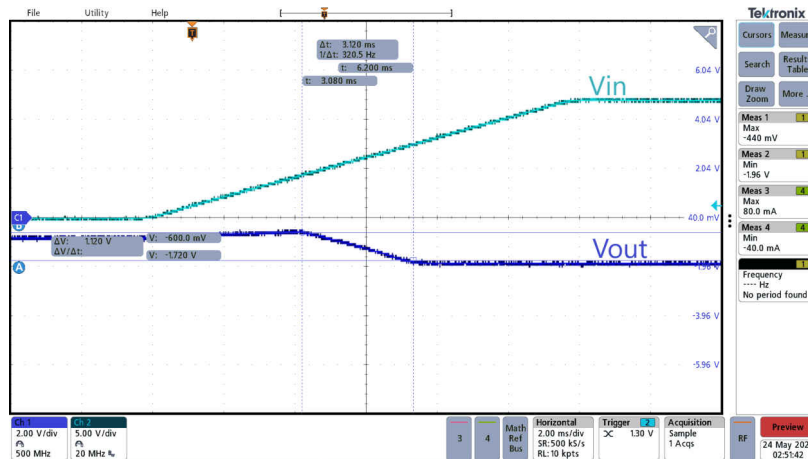


图 3-25. 12V 至 -1.8V 启动

图 3-26 显示了在 100mA 至 3A 范围内，5V 输入和 -1.8V 输出的测试效率。

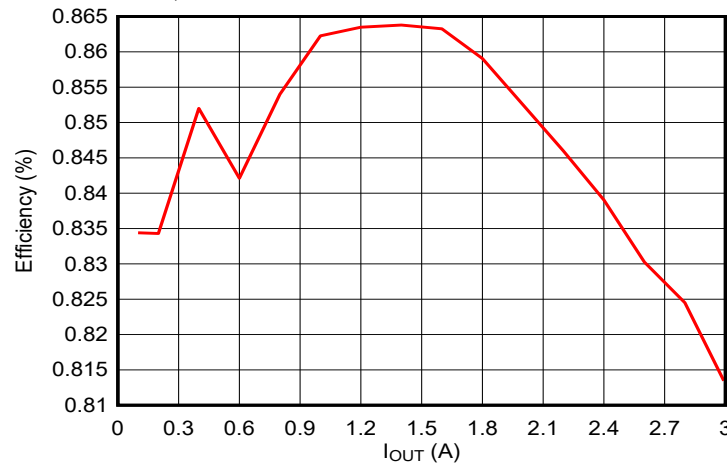


图 3-26. 5V 至 -1.8V 效率

图 3-27 显示了 5V 输入和 -1.8V 输出的瞬态响应。输出电流从 320mA 上升到 2.76A。在负载阶跃的正边沿上，瞬态的峰值为 48mV。在负边沿上，瞬态的谷值为 -16mV。



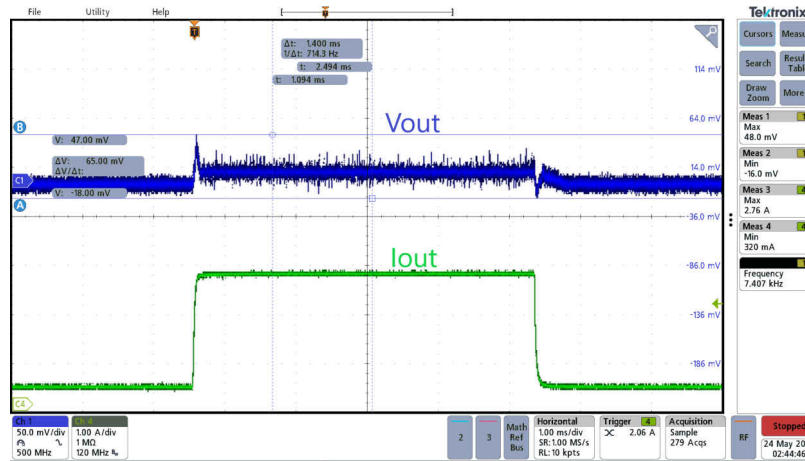


图 3-27. 5V 至 -1.8V 瞬态

图 3-28 显示了负载电流为 3A 时 5V 输入和 -1.8V 输出条件下的开关节点。开关频率为 1.008MHz。

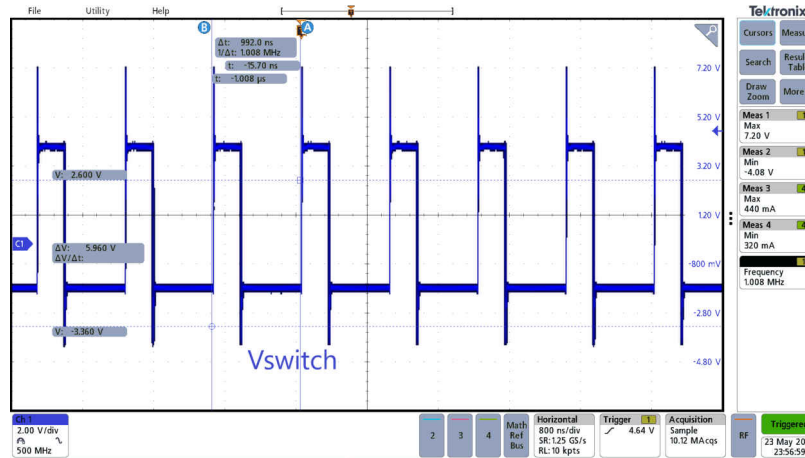


图 3-28. 3A 时的 5V 至 -6V 开关节点

图 3-29 显示了负载电流为 3A 时 5V 输入和 -1.8V 输出条件下的输入纹波，为 264mV。

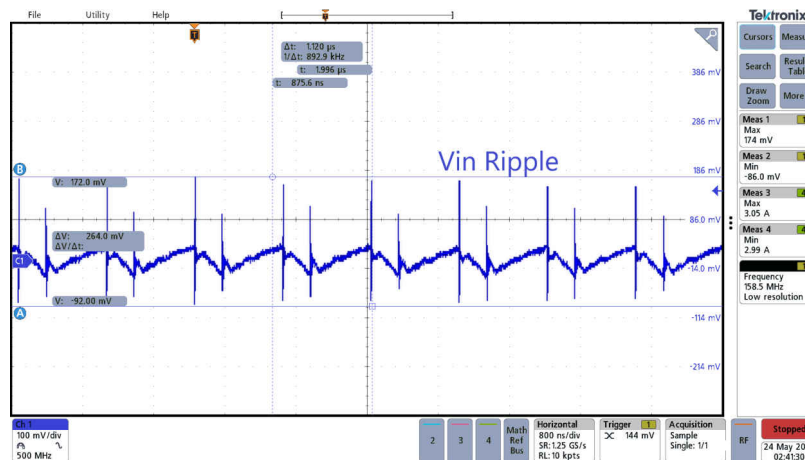


图 3-29. 3A 时的 5V 至 -1.8V 输入纹波

图 3-30 显示了负载电流为 3A 时 12V 输入和 -1.8V 输出条件下的输出纹波，为 80.8mV。

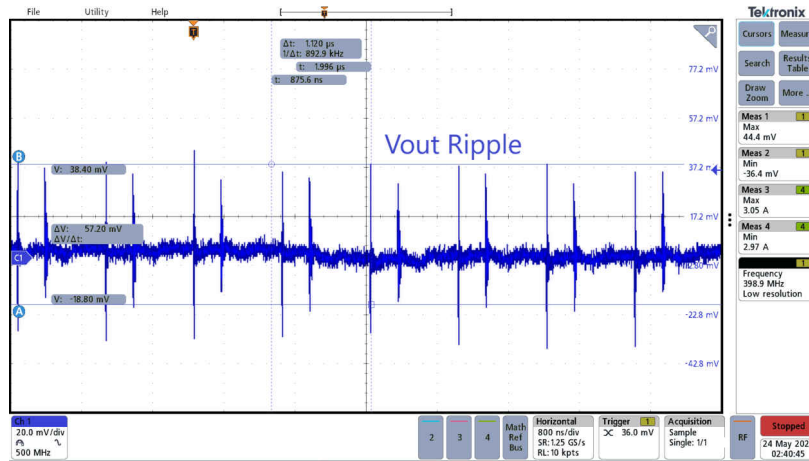


图 3-30. 3A 时的 5V 至 -1.8V 输出纹波

图 3-31 显示了 Vin 和 Vout 的启动波形。Vin 需要 4.4ms 才能达到 12V，Vout 需要 7.6ms 才能达到 -1.8V。

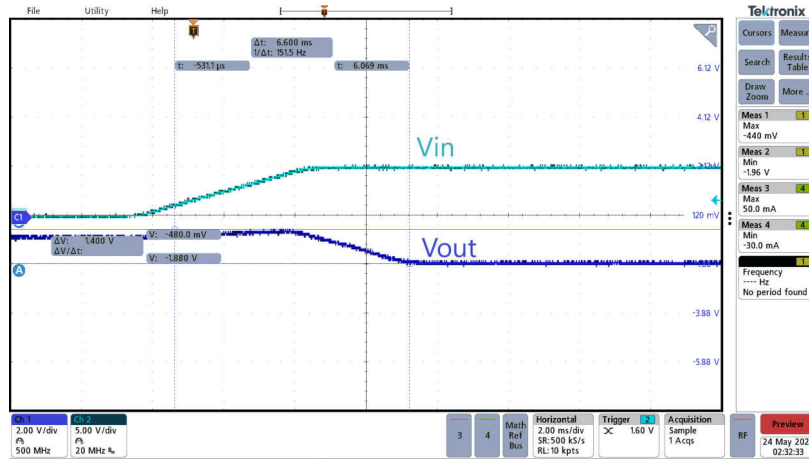


图 3-31. 5V 至 -1.8V 启动 (深蓝色表示 Vout，浅蓝色表示 Vin)



## 4 总结

TPS7H4010-SEP 可以配置为反相降压/升压转换器，以生成负输出电压。反相降压/升压拓扑改变了一些系统特性，例如输入电压范围和最大输出电流。TPS7H4010EVM 可重新配置和修改，以测试反相降压/升压拓扑中的不同特性。提供了来自 TPS7H4010EVM 的测量数据，以支持反相降压/升压拓扑中具有各种输入和输出的器件功能。

## 5 参考文献

1. 德州仪器 (TI), [TPS7H4010EVM 用户指南](#)。
2. 德州仪器 (TI), [TPS7H4010-SEP 采用增强型航天塑料的耐辐射 3.5V 至 32V、6A 同步降压转换器](#) 数据表。
3. 德州仪器 (TI), [在反相降压/升压拓扑中使用 TPS629210-Q1](#) 应用手册。
4. 德州仪器 (TI), [TPS7H4010-SEP 电离辐射总剂量 \(TID\) 辐射报告](#), 辐射和可靠性报告
5. 德州仪器 (TI), [TPS7H4010-SEP 的单粒子效应测试报告 \(Rev A\)](#), 辐射和可靠性报告。

## 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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司