

Application Note

LM5125x 升压控制器的异步操作



Federico Galli

摘要

LM5125x 是一款双相同步控制器，可为较低和同等输入电压提供稳压输出电压，还支持 V_{IN} 至 V_{OUT} 旁路模式。LM5125x 可支持高端音频电源、电压稳定器模块和启停应用等应用。该器件也可以进行双相异步操作，这样可以降低 BOM 成本和复杂性，但整体转换器性能会有一定的降低。本应用手册显示了在异步模式下对 LM5125x 的评估，并提供了设计指南，以帮助工程师针对实际应用进行正确设计。

内容

1 简介.....	2
2 应用实现.....	3
3 设计注意事项.....	5
4 测试结果.....	6
4.1 效率测量.....	6
4.2 器件特性.....	6
4.3 负载瞬态.....	10
4.4 线路瞬态.....	12
4.5 温度测量.....	14
4.6 波特图.....	17
5 摘要.....	19
6 参考资料.....	20

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

LM5125x 可在宽输入电压范围 (高达 42V) 内工作，并提供可通过 ATRK/DTRK 引脚动态更改的稳压输出。

LM5125x 可提供多种不同的特性，例如：可选开关频率 (100kHz 至 2.2MHz)、可选死区时间 (18ns 至 200ns)、平均电感器电流监控、动态可选开关模式 [二极管仿真模式 (DEM) 和强制脉宽调制 (FPWM)]、可编程电流限制以及电源正常指示器。

[[LM5125-Q1 数据表](#)，产品信息和支持 | 德州仪器 TI.com.cn]

[[LM5125A-Q1 数据表](#)，产品信息和支持 | 德州仪器 TI.com.cn]

升压控制器设计用于同步运行，驱动高侧开关来替代标准升压控制器拓扑的二极管。同步运行通过避免二极管的正向压降来降低功率损耗，从而提高整体效率。然而，同步运行会增加 BOM 成本和设计的复杂性。在某些应用中，因为不使用高侧开关，而使用更便宜、更小的二极管，所以异步升压转换器可能仍然是不错的选择。

本应用手册介绍了如何在异步模式下使用 LM5125x，同时仍具有该器件提供的所有特性。测试结果显示，转换器的整体效率仅降低了 2-3%。

2 应用实现

为了演示 LM5125x 异步操作的可行性，我们在 LM5125EVM-BST 评估模块上执行了测试。该评估模块展示了 LM5125 的特性和性能，同时设计为便于配置，使用户能够评估该模块的不同状况。标准配置旨在提供 24V/300W 输出。可通过 ATRK/DTRK 引脚动态调整输出电压。

使用评估模块上的 DIP 开关可设置三个配置寄存器 CFG0、CFG1 和 CFG2。如 LM5125EVM-BST 用户指南 [https://www.ti.com/lit/snvu874] 中所述，这三个寄存器可控制该器件的大多数特性，包括过压保护 (OVP) 和输入电流限制保护。有关使用 DIP 开关进行设备配置的详细信息，请参阅 [https://www.ti.com/lit/snvu874]。

为了对异步操作进行完整评估，我们执行了以下测试：

- 负载电流高达 5A 的效率测量。
- 软启动 (SS)，OVP，相位 2 使能 (EN2) 和旁路模式等器件特性。
- 从 0.5A 至 4.5A 的负载瞬态
- 从 14V 至 20V 的线路瞬态
- 温度测量，包括 +85°C 和 -35°C 下的效率测量，以及在 5A 负载下运行 10 分钟时的热成像。
- 使用波德图测量补偿环路稳定性。

使用以下参数运行上述测试。

表 2-1. 异步模式下的 EVM 规格

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
输入电压	运行		14.4		V
输出电压	$R_{ATRK} = 40.2k\Omega$		24		V
	$V_{ATRK} = 1.6V$		48		V
	$V_{ATRK} = 1.2V$ (OVP)		36		V
输出功率	$R_{ATRK} = 40.2k\Omega$			120	W
	$V_{ATRK} = 1.6V$			240	W
	$V_{ATRK} = 1.2V$ (OVP)			180	W
开关频率	运行		400		kHz
效率	$V_{IN} = 14.4V$ 、 $V_{OUT} = 24V$ 、 $P_{OUT} = 120W$		95.1		W
	$V_{IN} = 14.4V$ 、 $V_{OUT} = 48V$ 、 $P_{OUT} = 240W$		92.9		W

评估模块跳线采用默认连接 [如 (https://www.ti.com/lit/snvu874) 的表 2-2 中所述]，但相位 2 使能测试 (移除了 JP2) 和补偿环路稳定性测量 (移除了 JP6) 有一些例外。可通过连接到 J8 连接器的电压源来动态设置输出电压。对该器件采用三种不同的配置在 DEM 模式下进行了测试。[表 2-2] 中介绍了这些配置。

表 2-2. 用于异步模式测试的配置

配置	CFG0	CFG1	CFG2	V_{OUT} 通过以下方式设置	V_{ATRK}	V_{OUT}	OVP
电阻器	3	10	1	电阻器	不适用	24V	50V
模拟	11	10	1	ATRK/DTRK	2.0V	48V	50V
OVP 测试	11	12	2	ATRK/DTRK	1.5V	36V	28.5V

执行 LM5125 异步模式评估需要以下测试设备 [表 2-3]：

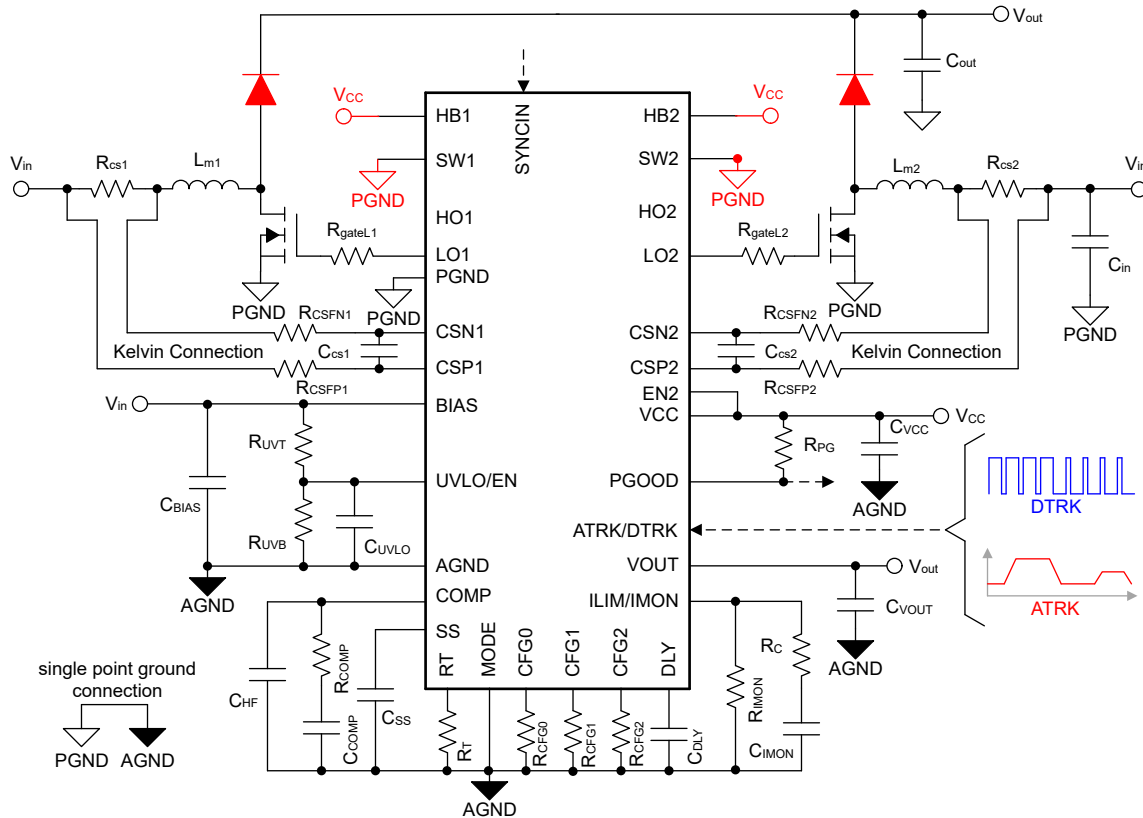
表 2-3. 使用的设备

设备类型	说明
电源	电源至少需要支持 20V/20A，并产生线路瞬态。
电子负载	电子负载需要至少在 48V 时灌入 250W 功率，并产生负载瞬态。
数字万用表	<ul style="list-style-type: none"> 电压表 1 (V_{IN})：能够测量 30V 输入电压。 电压表 2 (V_{OUT})：能够测量 50V 输出电压。 电流表 1 (I_{IN})：能够进行 30A 直流测量。 电流表 2 (I_{OUT})：能够进行 10A 直流测量。
示波器	最小 200MHz 带宽。
温度循环系统	模拟 +85°C 和 -35°C 环境温度。
红外摄像机	用于拍摄器件的红外照片，并检查产生的热量。
网络分析仪	用于进行稳定性测量

3 设计注意事项

通常，在 DC/DC 同步转换器中，SWx 引脚（器件引脚）和 SW 节点（电感器端子）连接在一起。此外，HBx 引脚和 SWx 引脚之间还连接了一个 100nF 电容器来实现自举功能，即为高侧栅极驱动器提供一个相对于 SWx 引脚高 5V 的电源。在异步模式下，100nF 自举电容器是无用的，因为没有高侧 FET；因此必须将其移除。但是，在没有自举电容器的情况下，HBx 引脚无法相对于 SWx 引脚构建 5V 的电压，因此会在器件内部触发故障；该故障进而会导致不必要的栅极驱动器开关活动。

为避免出现这种情况，必须将 HBx 引脚拉至 VCC，而 SWx 引脚必须在评估板上接地（如图 3-1 中所示）。这验证了 HBx 引脚相对于 SWx 引脚始终为 5V，从而绕过故障检测器。由于 SWx 引脚接地时不允许在电感器上发生所需的电压开关活动，因此必须移除 SWx 引脚和开关节点之间的连接。有关 EVM 上更改的信息，请参阅图 3-1。



4 测试结果

4.1 效率测量

在器件的输入/输出端进行电压和电流测量，分别测量输入/输出功率并计算升压转换器的效率。该器件以“电阻器”和“模拟”配置运行，输入电压为 14.4V，负载范围为 0.1A 至 5A。图 4-1 显示了这两个配置的效率图。

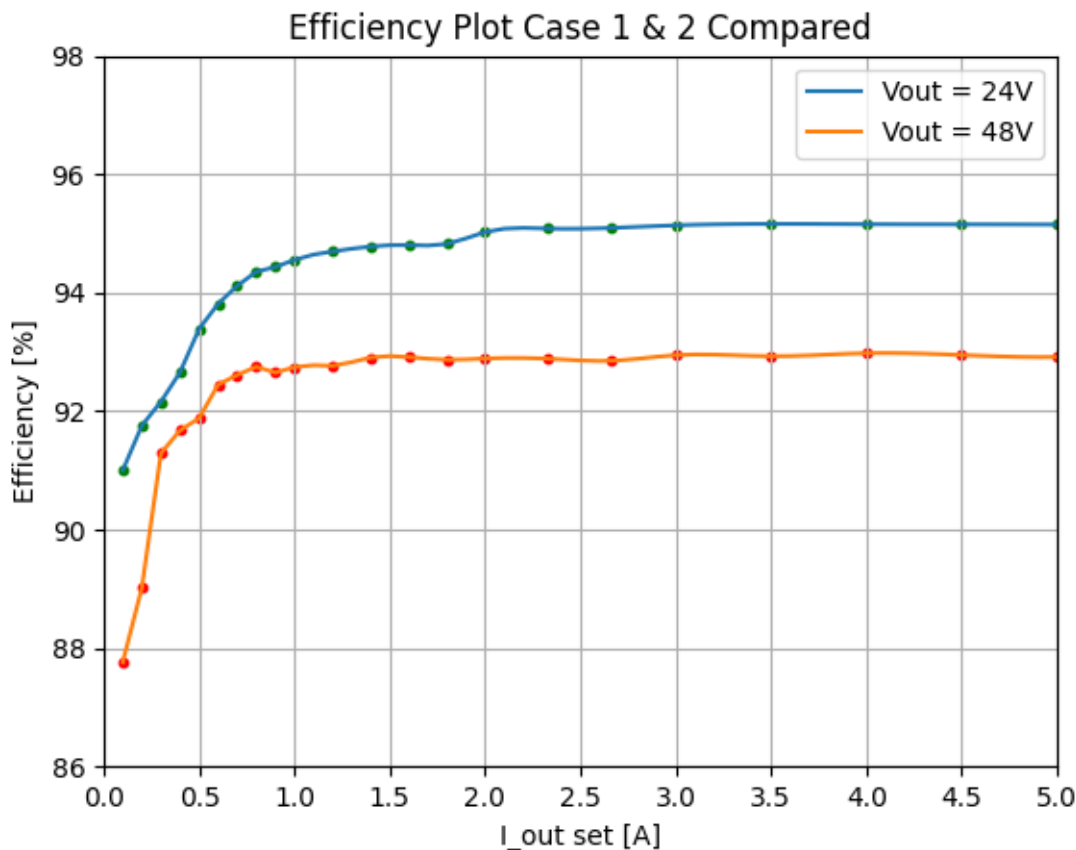


图 4-1. 效率图 : $V_{OUT} = 24V$ 、 $V_{OUT} = 48V$

在电阻器配置中，在施加 5A 负载电流时的效率高达 95.16%，而在模拟配置中，在施加 5A 负载电流时的效率高达 92.95%。正如预期的那样，由于二极管的传导损耗高于晶体管，转换器的同步运行效率损失在 2% 到 3% 之间（根据 LM5125EVM-BST 评估模块表 1-1 中提到的 EVM 规格）。更高的输出电压意味着低侧 FET 的占空比更高，这会在总转换器损耗中增加更多开关损耗，因此模拟配置的效率会降低 ($V_{OUT} = 48V$)。

4.2 器件特性

4.2.1 软启动 (SS)

即使 SS 行为从理论上讲不受异步操作的影响，检查器件是否正常启动仍然是一种很好的做法。启动行为和软启动引脚显示 SS 引脚上的信号快照。如图所示，输出电压（黄色）首先跟随输入（橙色），然后斜升至所需的输出电压（在本例中为 24V）。在图的顶部（蓝色）可以看到转换器的开关节点。

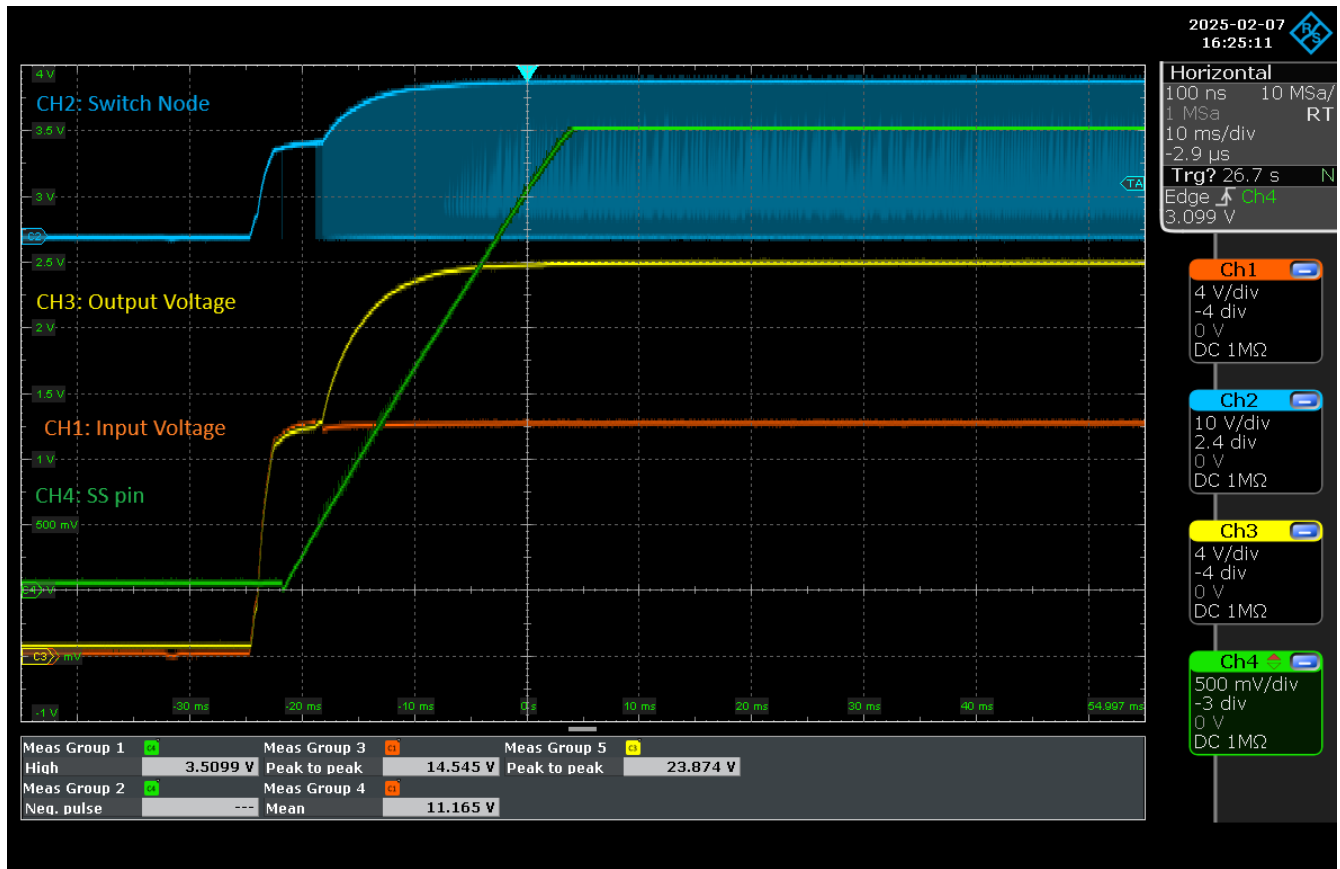


图 4-2. 启动行为和软启动引脚

4.2.2 过压保护(OVP)

要测试 OVP，器件需在“OVP 测试”（CFG0 = 11、CFG1 = 12、CFG2 = 2）配置下运行，将 OVP 电平更改为 28.5V（OVP 位等于 [11]），并将目标输出电压设置为超过该阈值（在本例中为 36V）。结果如图 4-3 中所示。该器件开始开关（绿色波形），尝试达到预期的输出电压（黄色波形），但一旦达到 OVP 阈值，器件就会停止开关；然后输出电压开始降低，直到器件降至 OVP 电平以下，并重复相同的周期。输出电压降至 OVP 电平以下的速度取决于负载电流。在这里，测试中使用了 3A 负载。



图 4-3. 过压保护行为

4.2.3 第二相使能 (EN2)

在 EN2 引脚上施加了一个频率为 100Hz 的方波，以便重复地打开和关闭第二个相位，并观察器件的行为。如图 4-4 中所示，电感器电流（分别为橙色和蓝色）根据 EN2 信号（绿色）流动。输出电压（黄色）显示快速恢复时可接受幅度（数百毫伏）的过冲/下冲。此测试使用的负载电流为 3A。

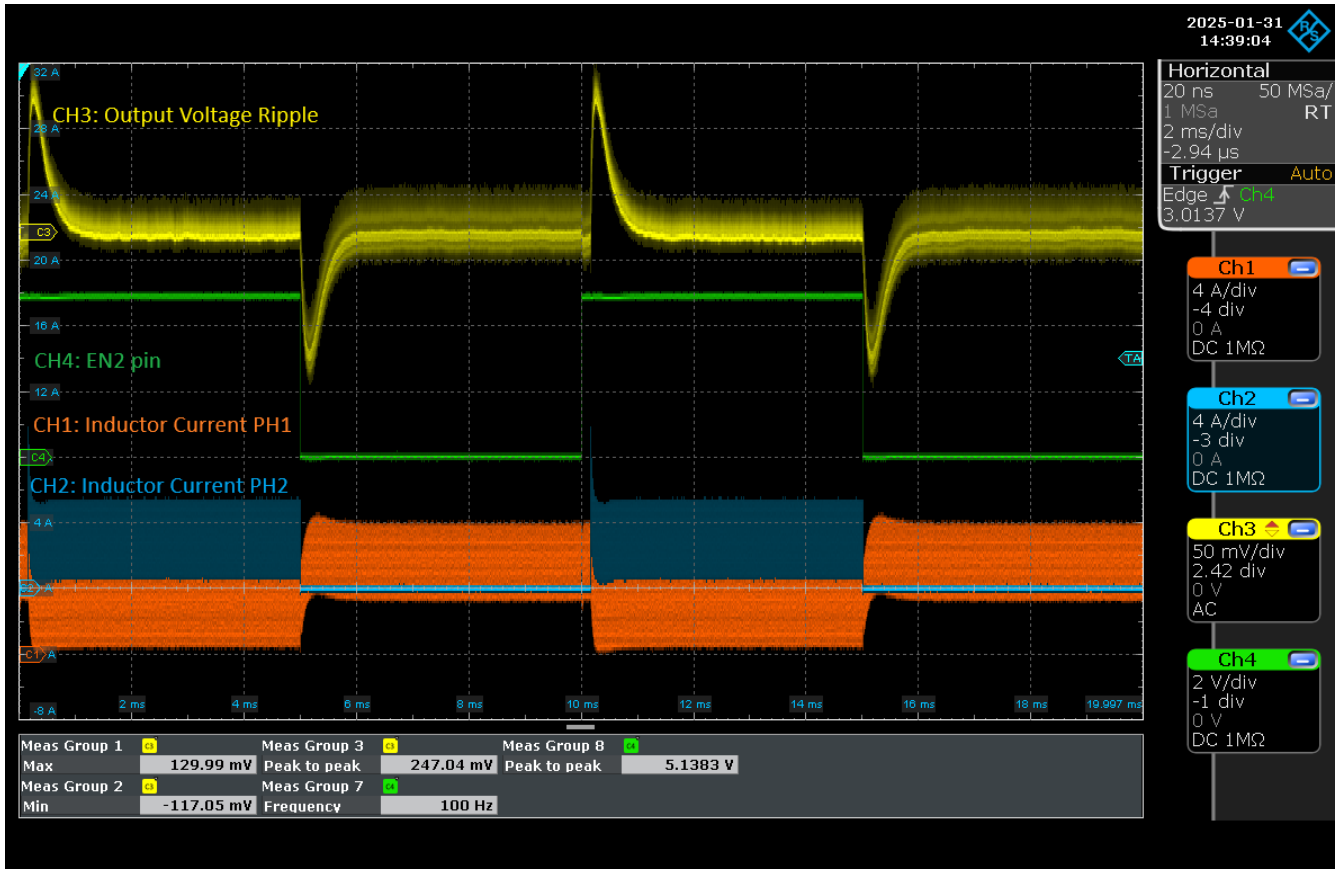


图 4-4. 开启和关闭相位 2

4.2.4 旁路模式

只要输入电压上升到高于输出电压，就会触发旁路模式。如图 4-5 中所示，这里需要注意的是，一旦发生这种情况，器件就会停止开关（蓝色波形）。输出跟随输入电压变化（分别为黄色和绿色），但需减去二极管压降。

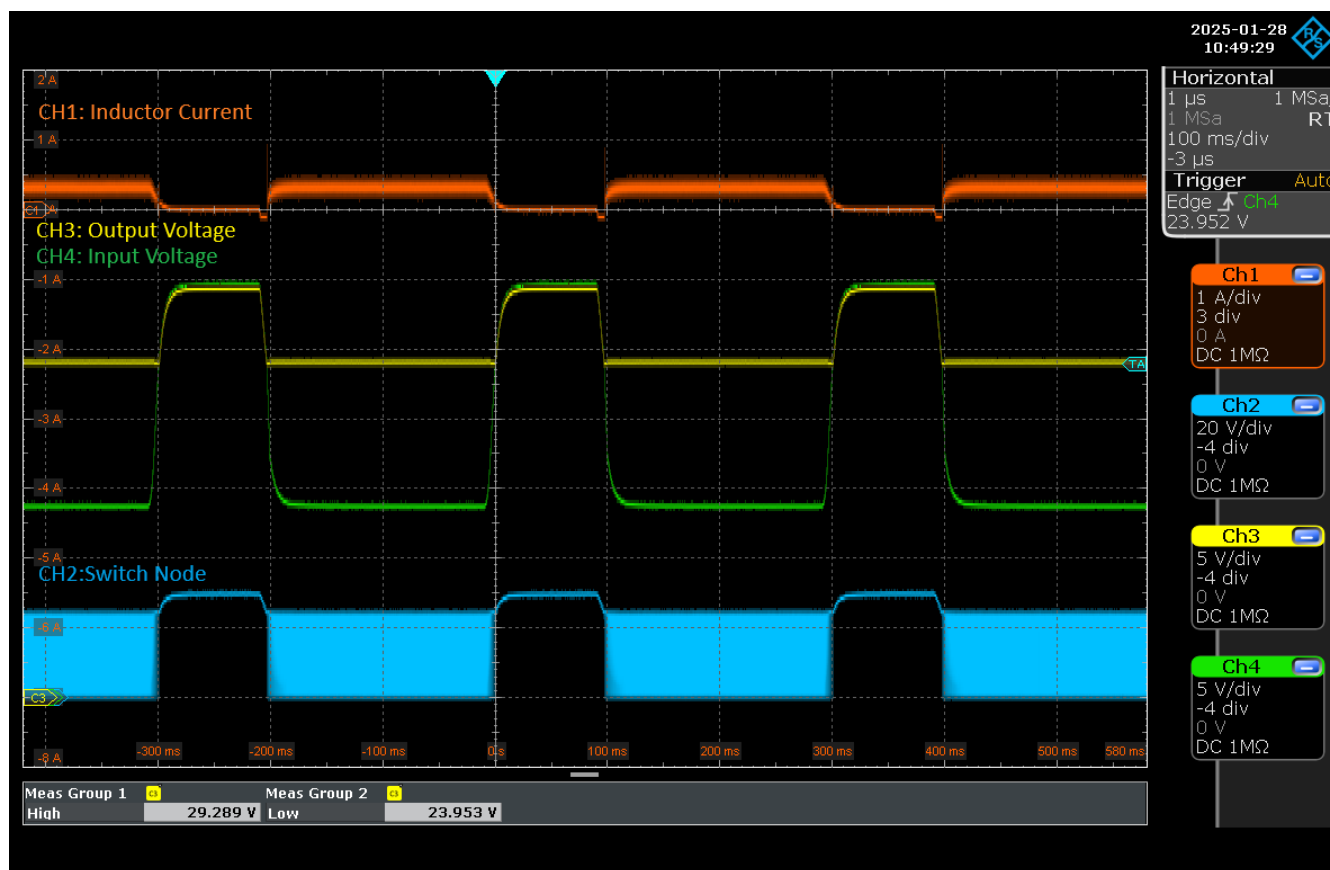


图 4-5. 旁路模式行为

4.3 负载瞬态

为了检查器件在负载变化时的稳健性，在输出端施加了 0.5A 至 4.5A 的负载阶跃，频率为 100Hz，配置为电阻器和模拟。从图 4-6 和图 4-7 中可以看出，该器件只需 1ms 的时间即可恢复，电阻器配置的过冲和下冲最大为 1.4%，模拟配置的过冲和下冲最大为 1.1%。在这两个图中需要注意的地方是，一旦输出电压由于过冲而增加到超过设定值，器件就会停止开关（并且电感器电流变为零）。当输出值再次降至该阈值以下时，器件将恢复正常运行。

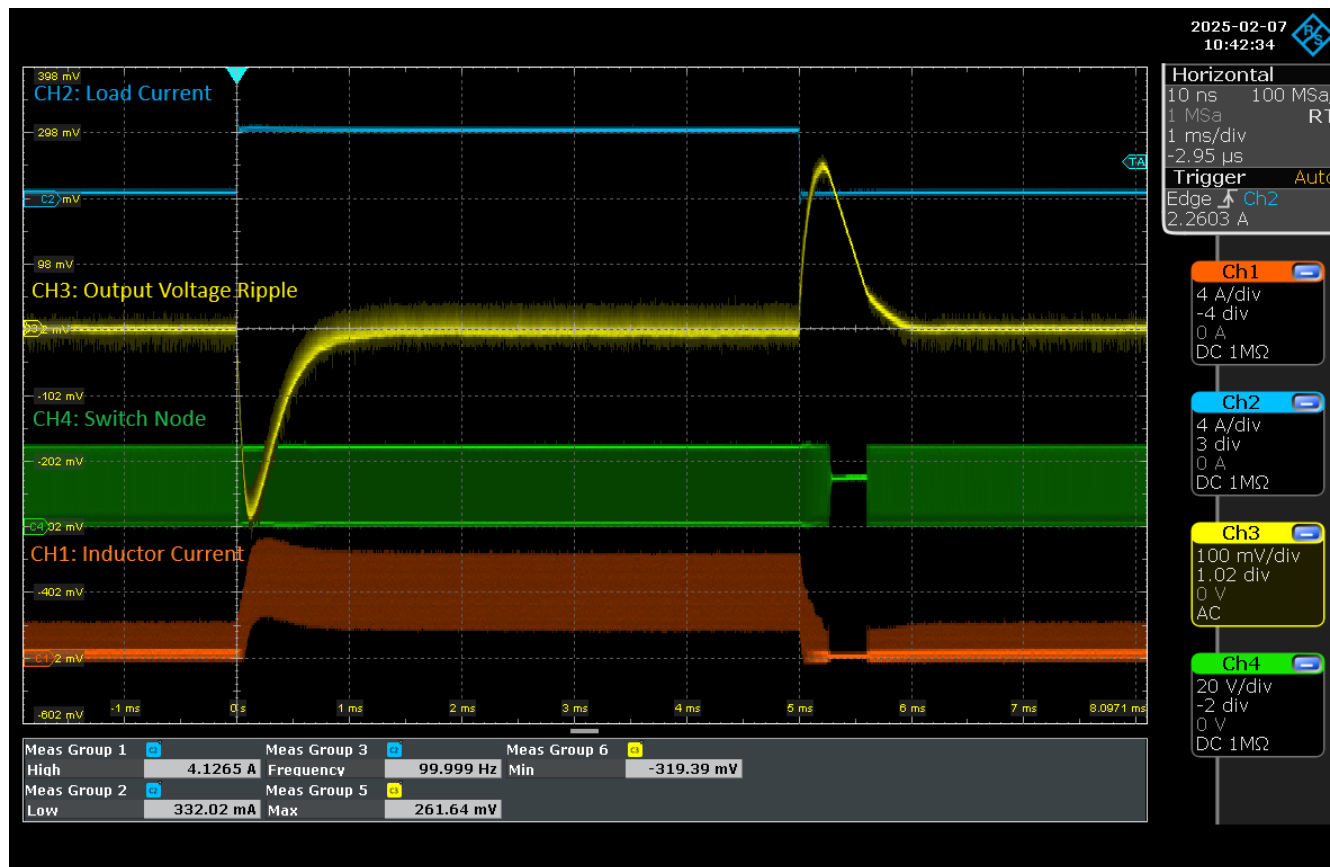


图 4-6. 电阻器配置的负载瞬态 (24Vout)

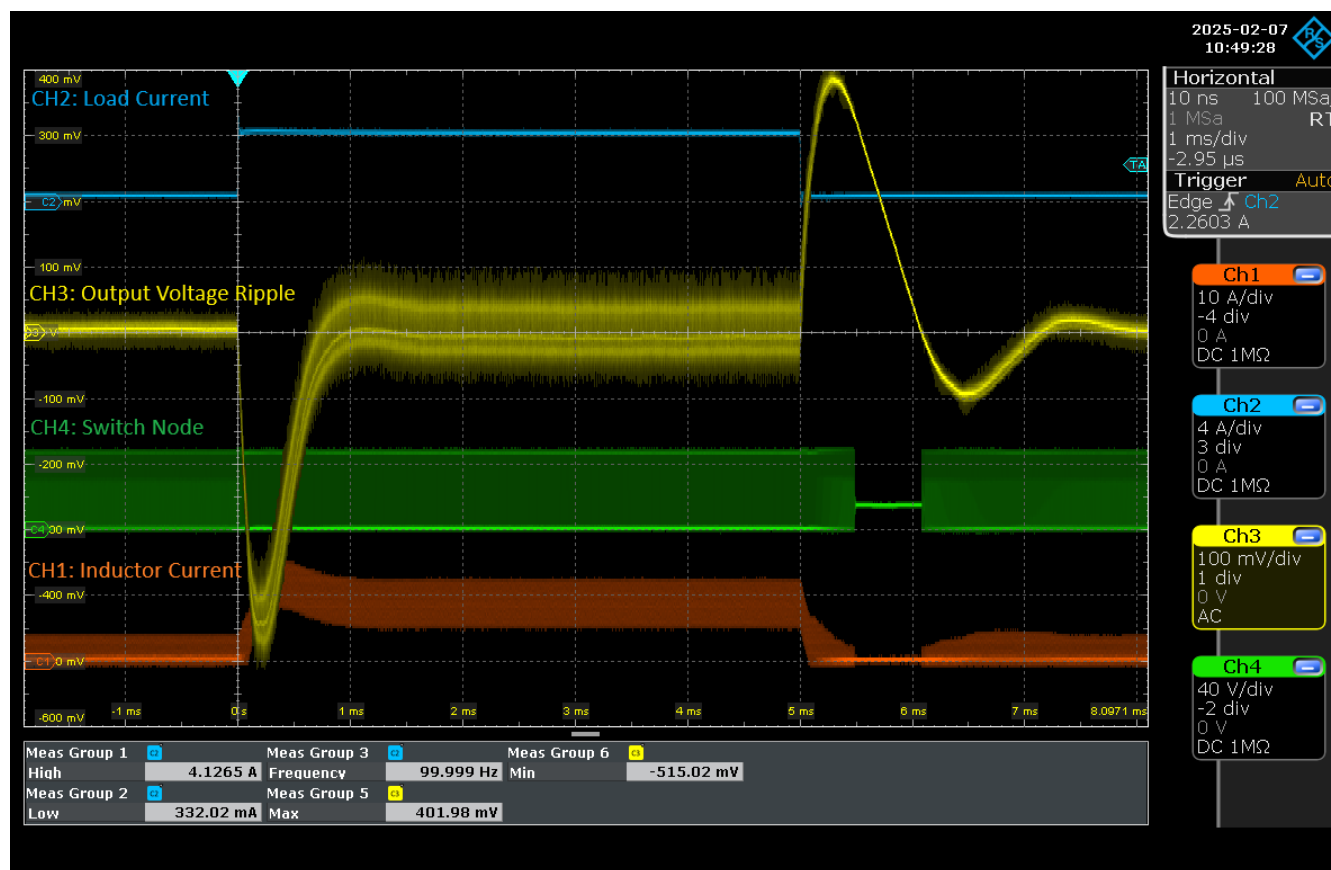


图 4-7. 模拟配置的负载瞬态 (48Vout)

4.4 线路瞬态

还对输入施加了电压瞬变，以检查转换器在线路干扰方面的稳健性：施加 14V 至 20V 的线路阶跃，并观察到输出电压纹波。图 4-8 和图 4-9 中分别显示了“电阻器”和“模拟”配置的结果。使用的补偿环路可产生 68° 相位裕度，从而使器件保持稳定。与负载瞬态分析相比，过冲导致器件在此处停止开关的时间间隔较短（几十微妙），而过冲幅度即使不比前者更大也至少相当：这是由于器件调节输出电压的速度很快，此时间间隔短于沿信号路径传播的时间，该传播检测输出电压并通过 FB 引脚。

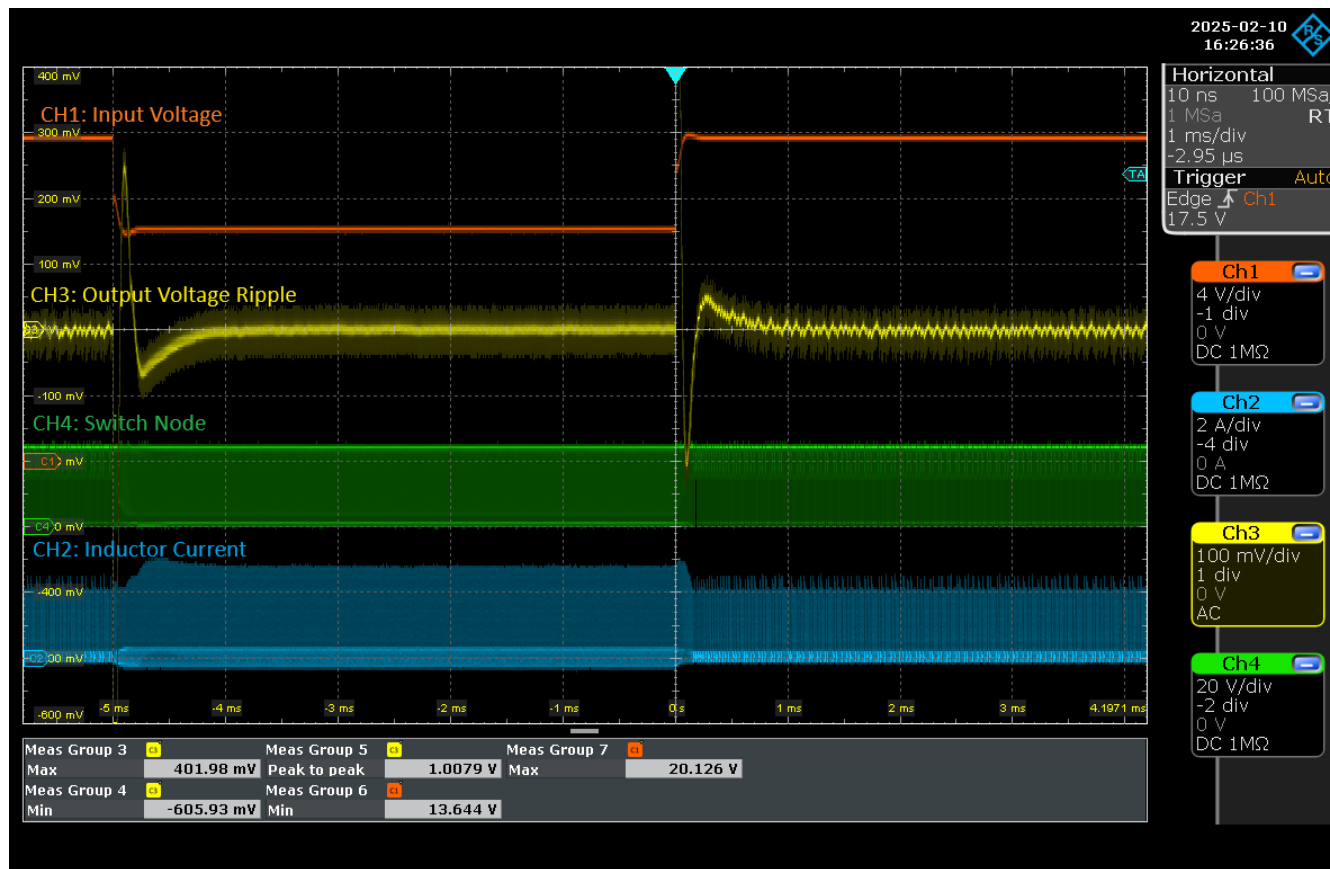


图 4-8. 电阻器配置的线路瞬态 (24Vout)

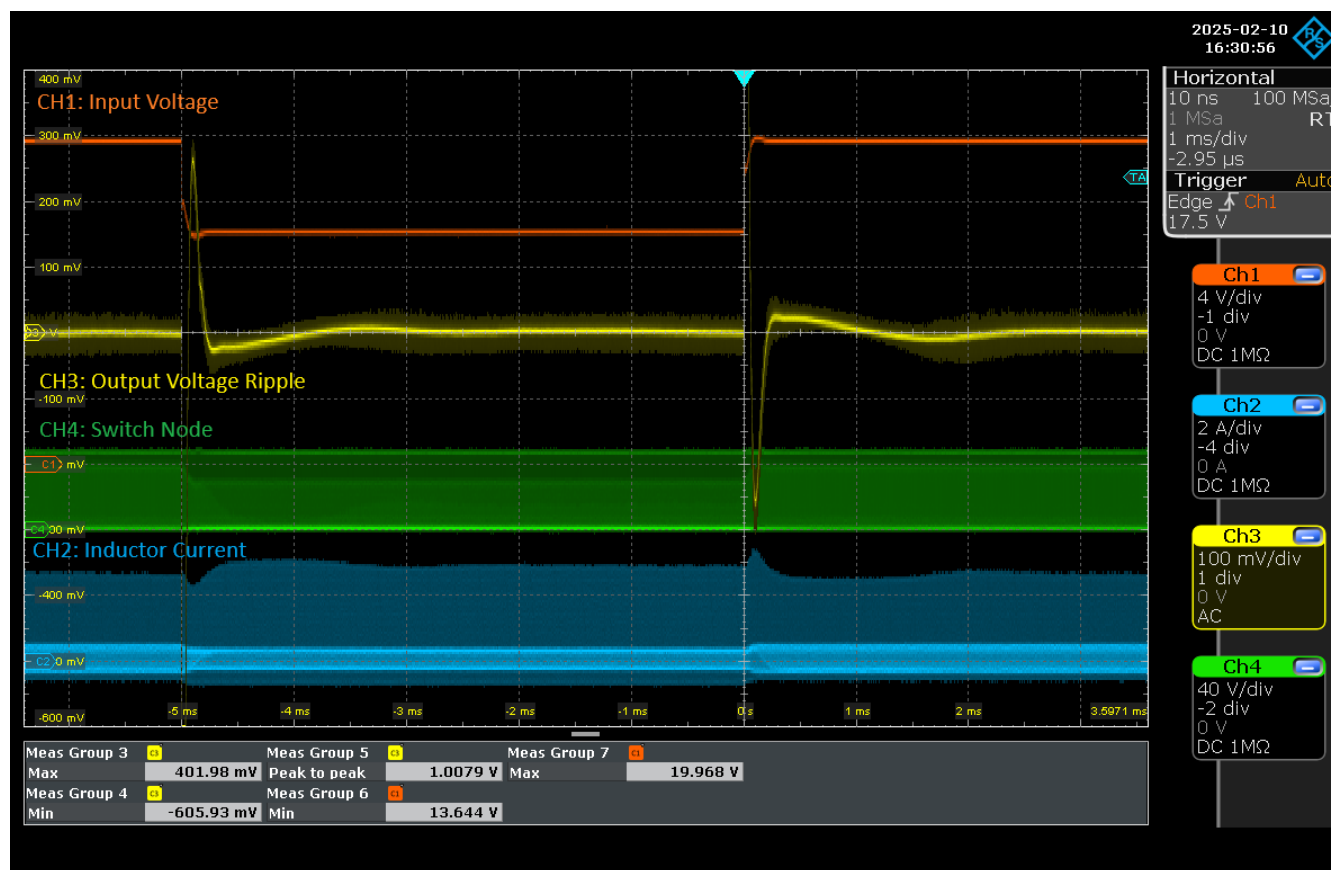


图 4-9. 模拟配置的线路瞬态 (48Vout)

4.5 温度测量

效率测量是在与 +25°C 环境温度不同的温度 (即 +85°C 和 -35°C) 下重复进行的。“电阻器”和“模拟”配置的结果分别如图 4-11 和图 4-10 所示。正如预期的那样, 较高温度下的整体效率会下降, 而较低温度下的效率与环境温度下的效率相当。

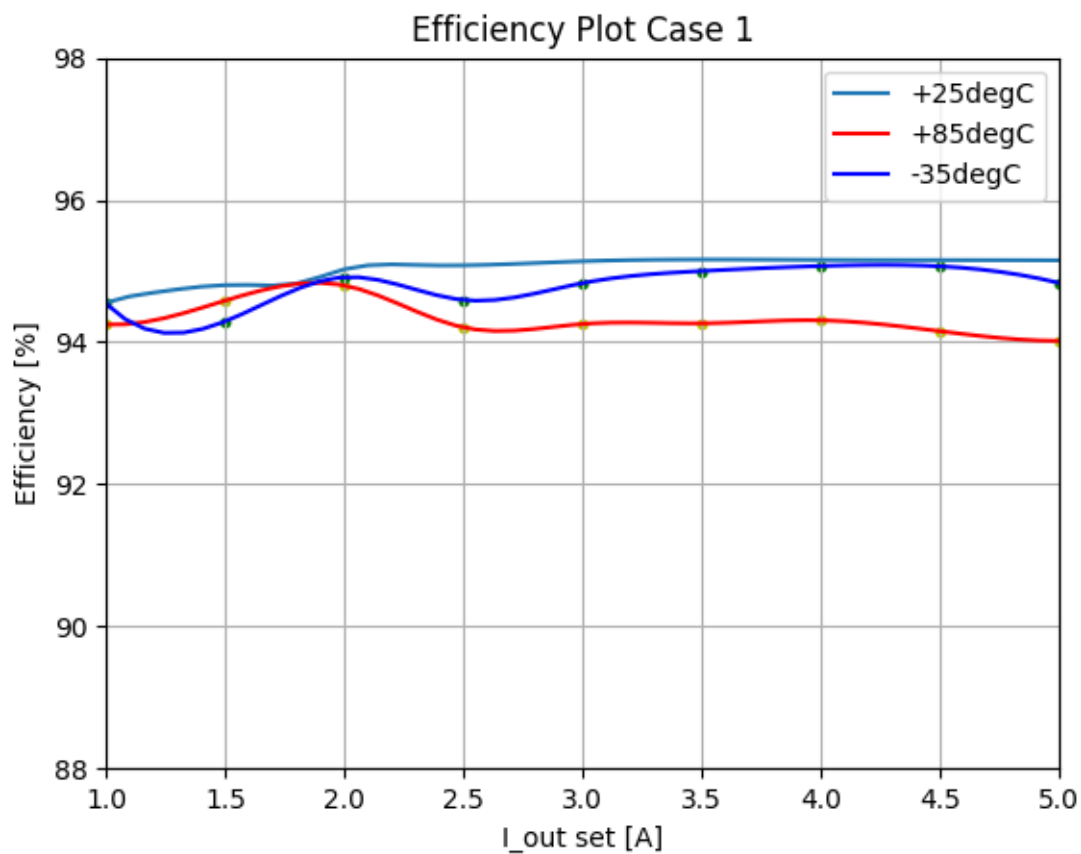


图 4-10. 与环境温度相比，不同温度下的电阻器效率图配置

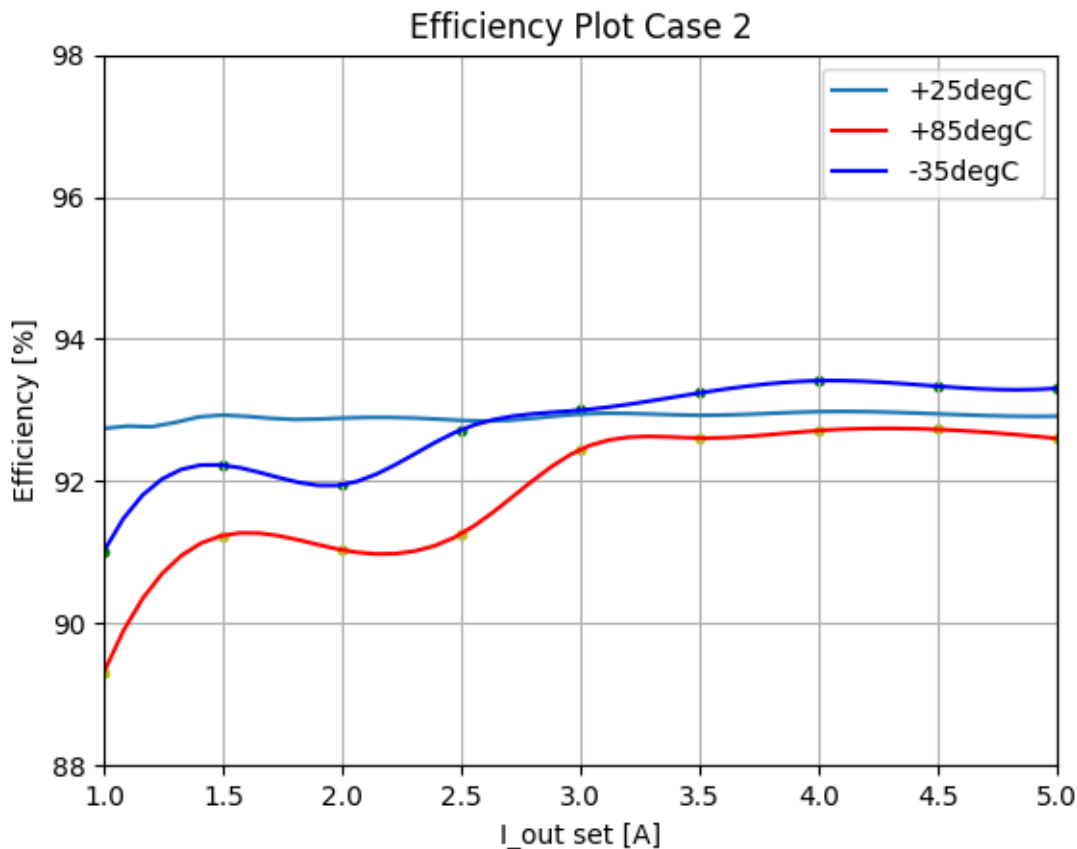


图 4-11. 与环境温度相比，不同温度下的模拟效率图配置

为了检查电路板的热损耗情况，让器件在 5A 负载下运行 10 分钟，并在两种配置（“电阻器”和“模拟”）下拍摄评估板的红外照片。红外镜头如图 4-13 和图 4-12 中所示。请注意，在较低的输出功率下（“电阻器”配置），二极管变得比低侧 FET 更热（由于导通损耗更高），而在第二种情况下（当输出电压较高时），二极管会发热，因为占空比增加，并且低侧 FET 保持导通的时间更长（因此导通损耗比二极管更高）。总体而言，从图中可以看出，热量主要来自二极管和低侧 FET，而 IC 始终处于黄色到橙色区域。

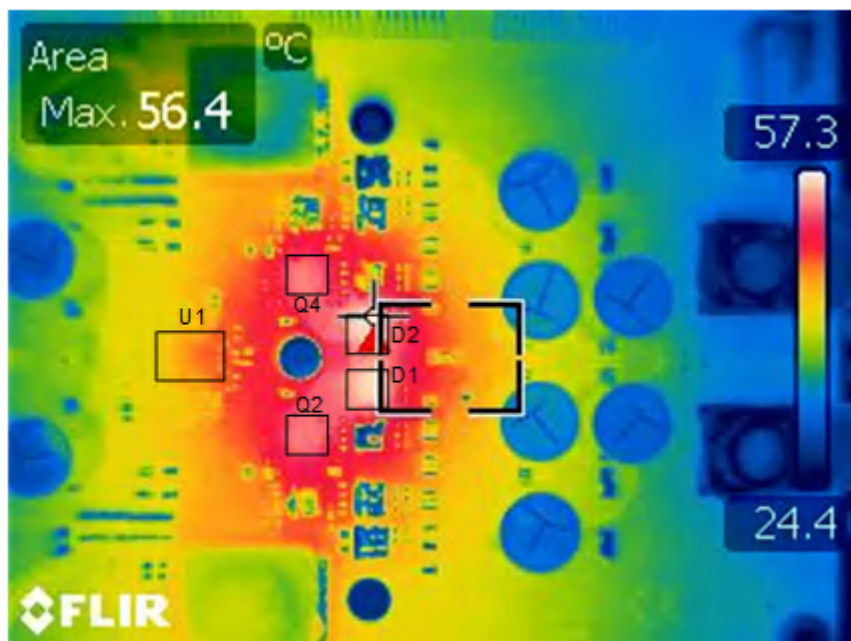


图 4-12. 电阻器配置中的 EVM 热损耗情况

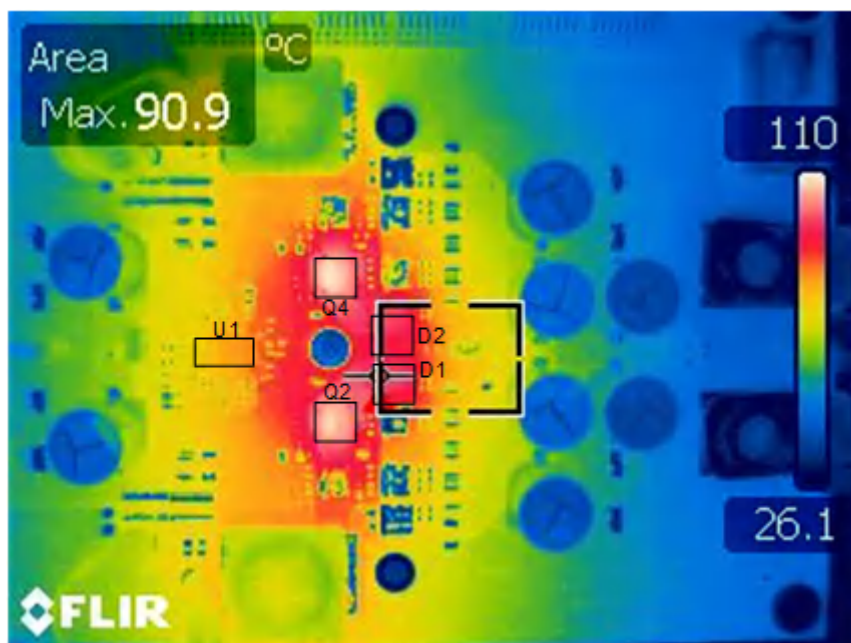


图 4-13. 模拟配置中的 EVM 热损耗情况

4.6 波特图

即使通过负载和线路瞬态间接检查稳定性，也可以使用图 4-14 中所示的波特图来进一步查看补偿环路的稳定性。图中清楚地显示了器件相位在截止频率（大约为 1kHz）下大约比零高 80°，这证实了器件是稳定的（相位裕度高于强烈推荐的 60° 这个值）。

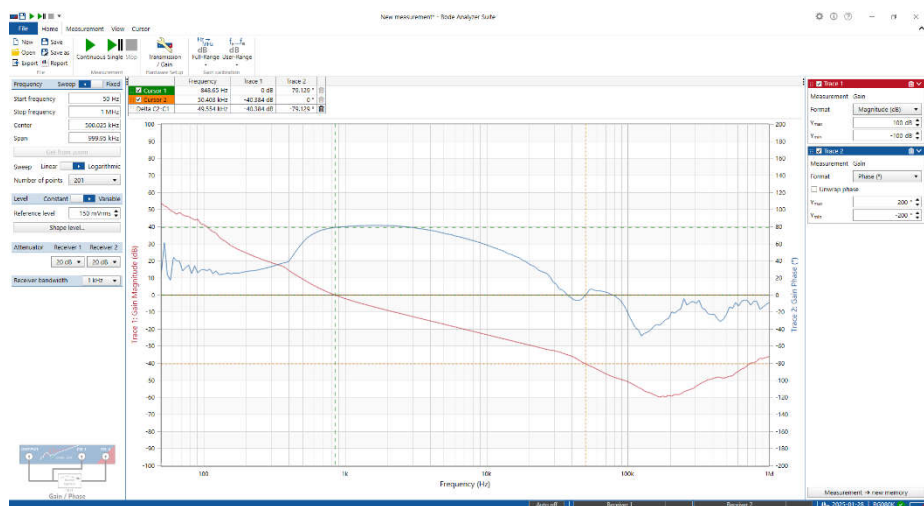


图 4-14. 电阻器配置中异步模式下的波德图

5 摘要

如上图和示波器图所示，LM5125x 能够在异步模式下正常工作。然而，必须考虑一些缺点：即使用二极管替换高侧 FET 并移除自举电容器来降低总体 BOM，但转换器的效率降低了 2% 至 3%（因为二极管相对于晶体管的传导损耗更高），因此在相同输出电压下的热损耗更高。话虽如此，为了使 LM5125x 在异步模式下工作，可以对评估模块进行重新设计，在 HBx 和 SWx 引脚之间构建所需的 5V 阶跃，从而正确运行高侧驱动器（即使 HO1/HO2 引脚悬空也是如此）。

6 参考资料

1. <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm5125-q1.pdf>
2. <https://www.ti.com/lit/snvu874>
3. <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm5125a-q1.pdf>

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、与某特定用途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安全、安保法规或其他要求。

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。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月