

Application Note

采用 LM51772 降压/升压控制器并联运行降压/升压转换器



Stefan Schauer, Moiz Ahmad

摘要

本应用手册探讨如何使用 LM51772 降压/升压控制器 IC 实现降压/升压转换器的并联运行。LM51772 设计用于处理多种输入电压，可在降压、升压或降压/升压模式下运行，这使得该器件成为各种电源设计的灵活选择。当需要更高的输出电流或系统冗余时，并联使用多个 LM51772 控制器是一种有效的设计。本文档指导用户完成使用 LM51772 建立并联运行的实际步骤，重点介绍诸如验证控制器是否均匀分担电流、保持环路稳定性和管理散热等关键因素。本应用手册还讨论了并行运行的挑战，特别是电流分担误差的可能性，并提供了关于减少这些误差的实用建议。本应用手册提供了实际设计示例、仿真结果和实验数据，以证明建议配置的有效性。

通过遵循本应用手册中的指导，设计人员可以优化电力输送，并验证在要求严格的电源转换应用中的可靠运行。

内容

1 引言.....	3
2 并联或多相功率级.....	3
2.1 并联功率级.....	3
2.2 时钟生成.....	4
2.3 功率级互连.....	4
3 应用实现.....	5
3.1 软启动电容器.....	6
3.2 补偿.....	6
3.3 输入和输出电容器.....	6
3.4 平均电流传感器的使用.....	6
4 测试结果.....	7
4.1 负载电流平衡.....	7
4.2 电感器电流.....	7
4.3 热像图.....	9
5 总结.....	13
6 参考资料.....	13

插图清单

图 2-1. 两个并联 LM51772 转换器作为电源.....	3
图 2-2. 等效型号.....	3
图 3-1. 两个 LM51772 并联运行的方框图.....	5
图 4-1. 负载电流与 $(I_{\text{Phase1}} - I_{\text{Phase2}})/I_{\text{Load}}$ 间的误差.....	7
图 4-2. 两相的负载分配.....	7
图 4-3. 升压区域中的电感器电流 ($V_{\text{IN}}=12\text{V}$ 且负载电流为 2A).....	7
图 4-4. 升压区域中的电感器电流 ($V_{\text{IN}}=12\text{V}$ 且负载电流为 8A).....	7
图 4-5. 升压区域中的电感器电流 ($V_{\text{IN}}=15\text{V}$ 且负载电流为 2A).....	8
图 4-6. 升压区域中的电感器电流 ($V_{\text{IN}}=15\text{V}$ 且负载电流为 8A).....	8
图 4-7. 降压/升压区域中的电感器电流 ($V_{\text{IN}}=20\text{V}$ 且负载电流为 2A).....	8
图 4-8. 降压/升压区域中的电感器电流 ($V_{\text{IN}}=20\text{V}$ 且负载电流为 8A).....	8
图 4-9. 降压区域中的电感器电流 ($V_{\text{IN}}=30\text{V}$ 且负载电流为 2A).....	8
图 4-10. 降压区域中的电感器电流 ($V_{\text{IN}}=30\text{V}$ 且负载电流为 8A).....	8
图 4-11. 升压区域中的热条件 ($V_{\text{IN}}=12\text{V}$ 且负载电流为 2A).....	9
图 4-12. 升压区域中的热条件 ($V_{\text{IN}}=12\text{V}$ 且负载电流为 8A).....	9

图 4-13. 升压区域中的热条件 ($V_{IN}=15V$ 且负载电流为 2A)	9
图 4-14. 升压区域中的热条件 ($V_{IN}=15V$ 且负载电流为 8A)	9
图 4-15. 降压/升压区域中的热条件 ($V_{IN}=20V$ 且负载电流为 2A)	9
图 4-16. 降压/升压区域中的热条件 ($V_{IN}=20V$ 且负载电流为 8A)	9
图 4-17. 降压区域中的热条件 ($V_{IN}=30V$ 且负载电流为 2A)	10
图 4-18. 降压区域中的热条件 ($V_{IN}=30V$ 且负载电流为 8A)	10
图 4-19. 单相升压中的热条件 ($V_{IN}=12V$ 且负载电流为 2A)	10
图 4-20. 双相升压中的热条件 ($V_{IN}=12V$ 且负载电流为 2A)	10
图 4-21. 单相升压中的热条件 ($V_{IN}V_{in}=12V$ 且负载电流为 8A)	10
图 4-22. 双相升压中的热条件 ($V_{IN}=12V$ 且负载电流为 8A)	10
图 4-23. 单相升压中的热条件 ($V_{IN}=15V$ 且负载电流为 2A)	11
图 4-24. 双相升压中的热条件 ($V_{IN}=15V$ 且负载电流为 2A)	11
图 4-25. 单相升压中的热条件 ($V_{IN}=15V$ 且负载电流为 8A)	11
图 4-26. 双相升压中的热条件 ($V_{IN}=15V$ 且负载电流为 8A)	11
图 4-27. 单相降压/升压中的热条件 ($V_{IN}=20V$ 且负载电流为 2A)	11
图 4-28. 双相降压/升压中的热条件 ($V_{IN}=20V$ 且负载电流为 2A)	11
图 4-29. 单相降压/升压中的热条件 ($V_{IN}=20V$ 且负载电流为 8A)	12
图 4-30. 双相降压/升压中的热条件 ($V_{IN}=20V$ 且负载电流为 8A)	12
图 4-31. 单相降压中的热条件 ($V_{IN}=30V$ 且负载电流为 2A)	12
图 4-32. 双相降压中的热条件 ($V_{IN}=30V$ 且负载电流为 2A)	12
图 4-33. 单相降压中的热条件 ($V_{IN}=30V$ 且负载电流为 8A)	12
图 4-34. 双相降压中的热条件 ($V_{IN}=30V$ 且负载电流为 8A)	12

表格清单

表 2-1. 共享引脚.....	4
表 2-2. 其他引脚.....	4

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

LM51772 器件是一款具有集成驱动器 (适用于 N 沟道 MOSFET) 的宽输入电压范围四开关降压/升压控制器 IC。

单个 LM51772 转换器可提供大于 200W 的功率。为了获得更高的输出功率，需要并联功率级来解决由于开关和传导损耗增加而导致的电路板过热问题。功率级的并联运行还可以提供许多其他优势，例如：增强模块化、设计灵活性和尽可能降低元件等级。只有 LM51772 转换器均匀分担了总负载功率时，才能实现这些优势。此应用报告展示了如何配置和互连 LM51772 器件以获得均衡的负载分担。测试结果显示，在不影响整体性能的情况下，负载共享误差小于 10%。

2 并联或多相功率级

2.1 并联功率级

2.1.1 负载平衡要求

并联电源转换器意味着均等共享负载电流，而输出电压是相同的。图 2-1 演示了两个并联 LM51772 转换器的集成。

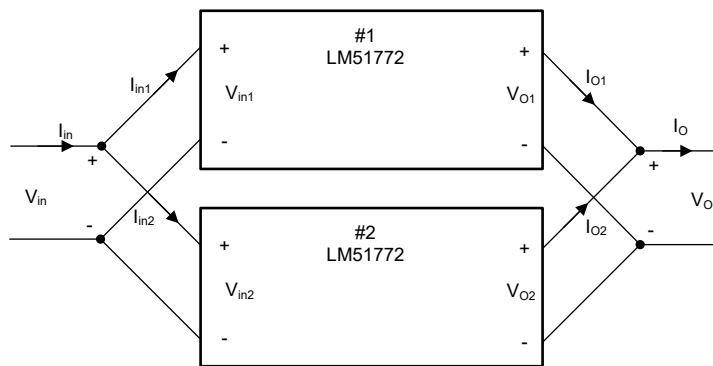


图 2-1. 两个并联 LM51772 转换器作为电源

该电源可以建模为馈入公共输出电容器的电流源。在输出电压共享反馈的情况下，功率级保持一致，由于器件差异而导致的输出电流平衡仅略有不同。

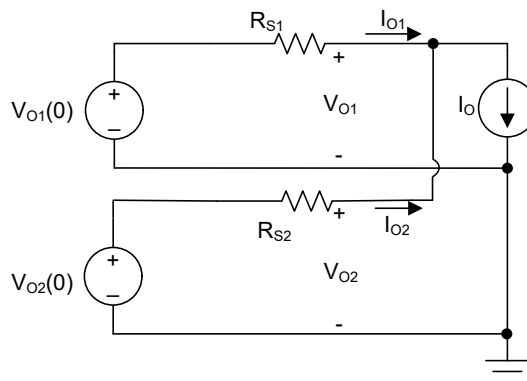


图 2-2. 等效型号

所有功率级都需要与相同的电感值以及输入或输出电容构建相同的结构，以使输出变化足够小，能够在并联两个或更多功率级时提供良好的负载平衡。

2.2 时钟生成

对于两相的实现，当在两个控制器之间以 180 度相移运行时，可以获得最佳电流均衡。使用 R2D 接口，可将 LM51772 配置为在 SYNC 引脚上输出时钟，或使用在 SYNC 引脚上提供的具有反极性的时钟。基于此，无需额外的外部硬件即可轻松实现两相操作。为此，需要连接两个控制器的 SYNC 引脚。然后，将第一个器件配置为输出时钟并将 EN_SYNC_OUT 设置为启用，将第二个器件设置为在下降沿使用 SYNC 上的时钟并将 SYNC_IN_FALLING 设置为启用（通过 CFG2 引脚上的 R2D 设置）。

当 LM51772 转换器使用多于两相运行时，需要从外部提供时钟，并且不同控制器的时钟具有 360 度或与相数相关的相移。使用 LM5177 降压/升压控制器的降压/升压转换器的并联运行应用手册中显示了针对更多相的时钟发生的实现方案。

2.3 功率级互连

除了功率级的类似元件外，各个功率级之间还需要相互进行某种程度的互连，以确保适当地共享负载并避免在转换器并联运行期间发生相位过载。因此，表 2-1 展示了需要在器件之间共用的多个引脚功能。

表 2-1. 共享引脚

引脚功能	引脚名称	备注
软启动	SS/ATRK	共享软启动电容器
补偿	COMP	共享补偿网络
使能/欠压锁定	EN/UVLO	相同电压电平
VIN 反馈	VIN-FB	共享分压器电路
反馈	FB	共享分压器电路
输出电压	VOOUT	共享输出
输入电压	VIN	共享输入
偏置电压	BIAS	相同电压电平

此外，还需要按表 2-2 所示设置其他一些引脚，以实现准确的并联运行。

表 2-2. 其他引脚

引脚功能	引脚名称	备注
RT	RT	所有器件必须使用相同的值
外部时钟	SYNC	为了确保良好的负载均衡，时钟必须相移 $360/n$ [n = 功率级数]
斜率补偿	SLOPE	所有器件必须使用相同的值

3 应用实现

为了演示使用 **LM51772** 器件并联运行两个降压/升压转换器的实际实现方案，根据图 3-1 中所示的方框图设计了一个评估模块。所设计设置的总额定功率为 200W，输出电压为 20V。此外，每个转换器的选定峰值电流限制为 20A。

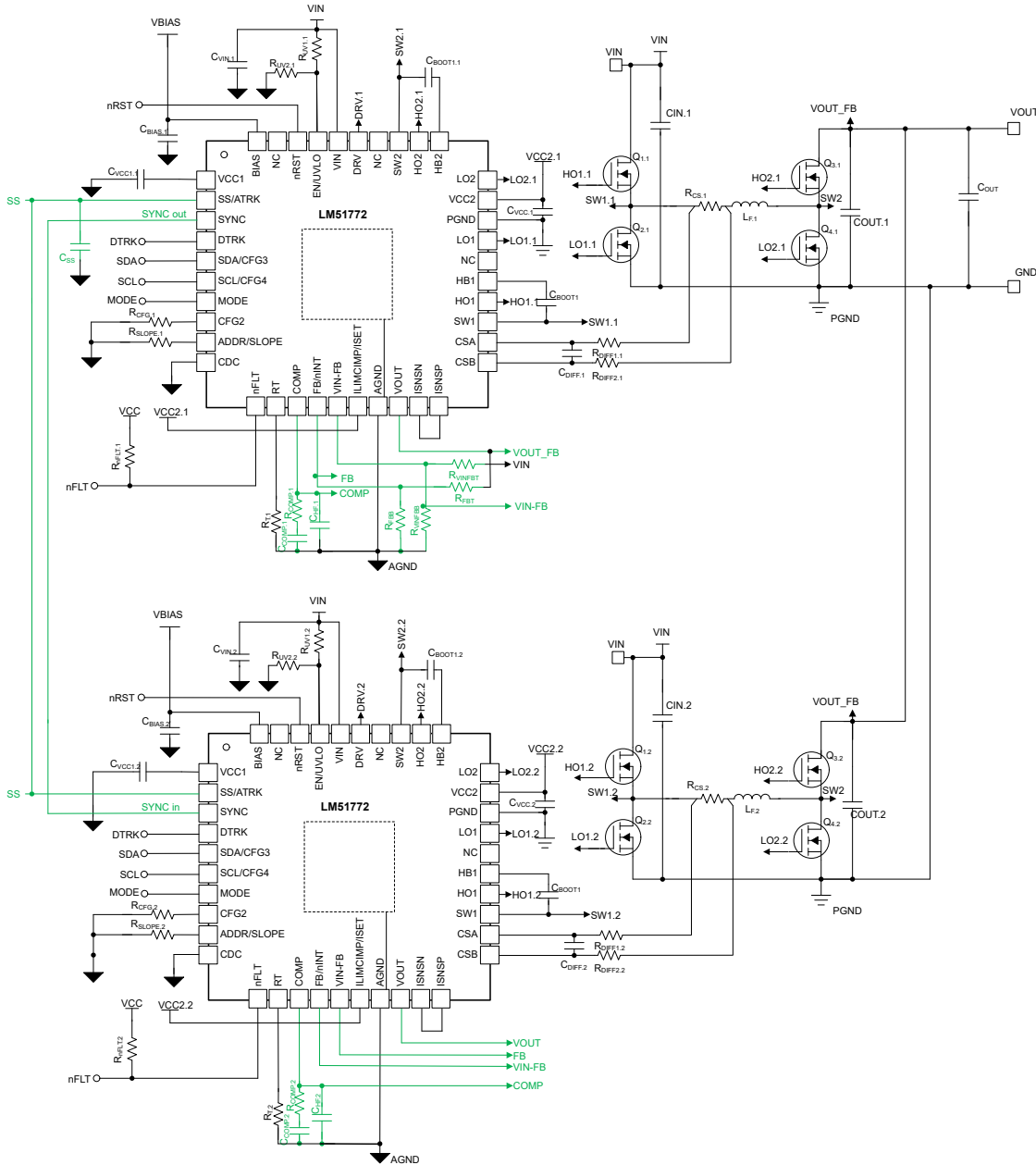


图 3-1. 两个 LM51772 并联运行的方框图

使用 **LM51772 降压/升压快速入门计算器工具**可以轻松选择在功率级中使用以及与 LM51772 控制器搭配使用的外部元件的值。需要针对单个功率级计算这些值。因此，可以将总负载电流值除以功率级数来计算每个转换器的外部元件值。除此之外，一些元件需要特殊设置，如下文所述。

3.1 软启动电容器

要获得软启动电容值，请将建议的 C_{SS} 值乘以要实现的功率级数。

3.2 补偿

计算得出的补偿元件需要添加到每个功率级，并且需要连接各个功率级的 COMP 引脚。

补偿网络可以合并。在这种情况下，电阻器的值需要分压，电容器的值需要乘以功率级数。

备注

只有在噪声水平可保持在极低水平且功率级之间的连接非常短时，才需要完成此过程。

3.3 输入和输出电容器

输入和输出电容器必须靠近各功率级放置，并在每个功率级上计算出值。可以使用公共输入和/或输出电容器，但仍必须将电容器的一部分放置在每个功率级的局部位置。

3.4 平均电流传感器的使用

当并联运行功率级并用于多个选项时，可以启用电流监测器 (IMONLIM) 功能。对于两个功率级，可以使用以下选项：

- 都不使用 - 两者均禁用
- 只有一个用作电流监测器，另一个禁用
- 第一个电流监测器用于输入电流检测，第二个电流监测器用于输出电流检测

图 3-1 展示了在输入端和输出端均具有电流监测器的配置。

4 测试结果

4.1 负载电流平衡

图 4-1 展示了不同转换器拓扑的 180° 异相和同相负载电流之间相对误差的测试结果。在所有输入电压条件下，当总负载电流高于 2A 时，误差小于 10%，但降压/升压区域 ($V_{IN}=20V$) 的相对误差最小。同样，图 4-2 展示了不同输入电压条件下两相的负载分配的测试结果。相位之间的负载分布似乎相等，但在不同输入电压电平的相位之间可以看到变化，尤其是对于高负载电流。

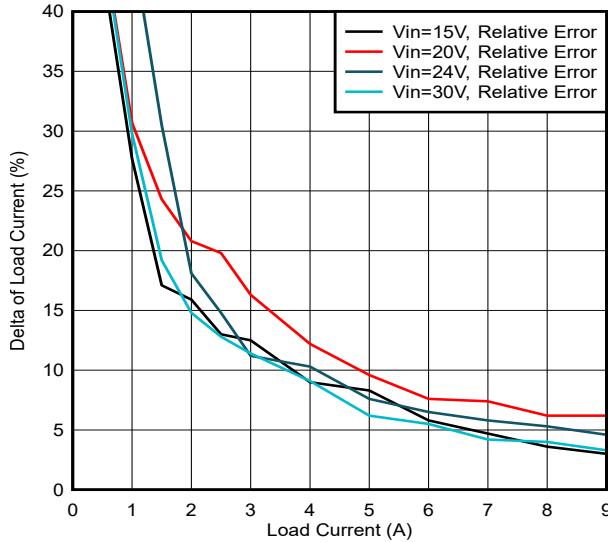


图 4-1. 负载电流与 $(I_{Phase1} - I_{Phase2})/I_{Load}$ 间的误差

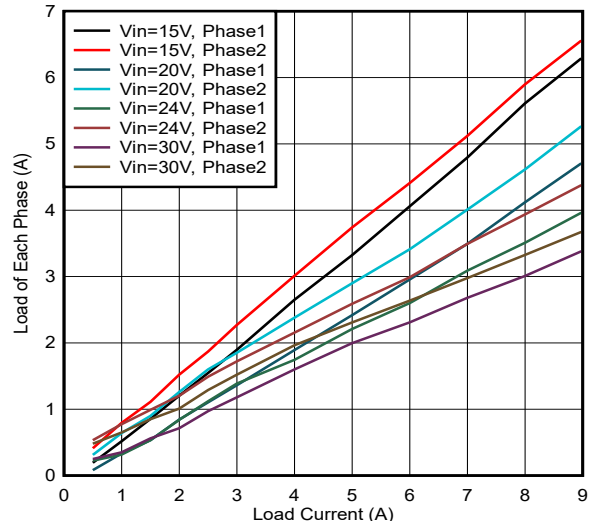


图 4-2. 两相的负载分配

4.2 电感器电流

在 2A 和 10A 负载电流下，不同转换器拓扑的电感器电流不同。所有图中显示的电感器电流验证了两个并联相位之间具有准确的负载共享和 180° 的相移。通过示波器图可以看到，电感器峰值电流具有小误差。此误差是所选电感器值的微小变化引起的。因此，TI 建议并联运行使用具有相似容差的相同电感器值。此外，在所有输入电压条件下，并联运行的输出电压中未出现明显的纹波。因此，这证实了 LM51772 转换器并联运行的输出电压稳压质量。

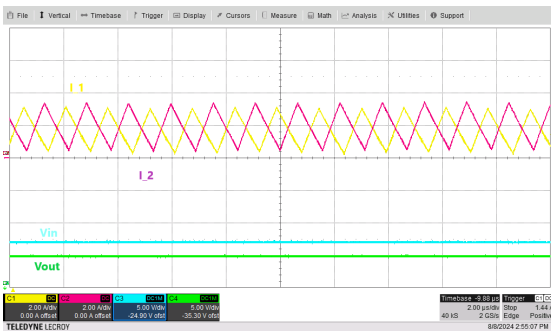


图 4-3. 升压区域中的电感器电流 ($V_{IN}=12V$ 且负载电流为 2A)

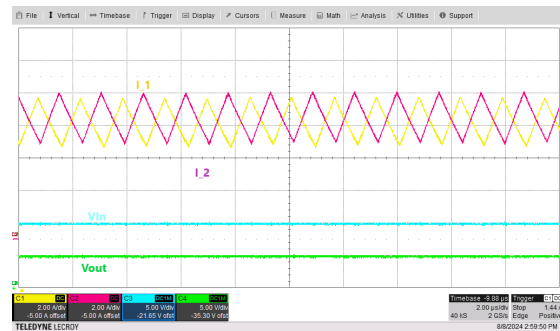


图 4-4. 升压区域中的电感器电流 ($V_{IN}=12V$ 且负载电流为 8A)

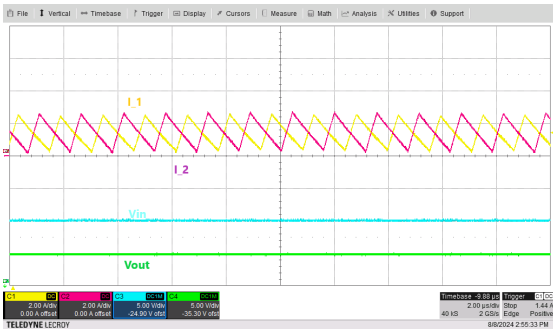


图 4-5. 升压区域中的电感器电流 ($V_{IN}=15V$ 且负载电流为 2A)

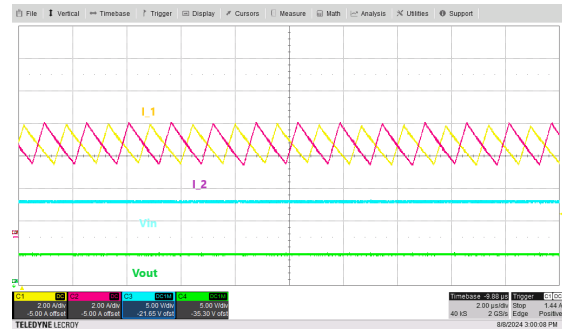


图 4-6. 升压区域中的电感器电流 ($V_{IN}=15V$ 且负载电流为 8A)

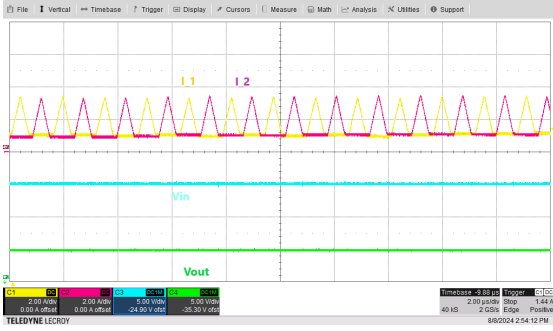


图 4-7. 降压/升压区域中的电感器电流 ($V_{IN}=20V$ 且负载电流为 2A)

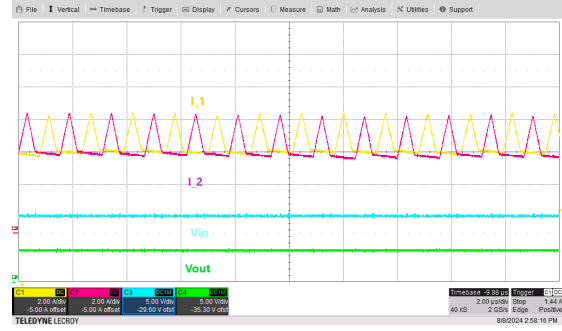


图 4-8. 降压/升压区域中的电感器电流 ($V_{IN}=20V$ 且负载电流为 8A)

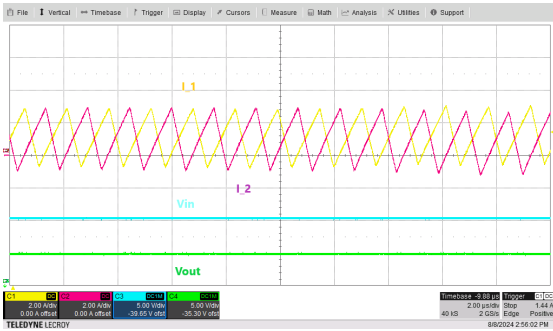


图 4-9. 降压区域中的电感器电流 ($V_{IN}=30V$ 且负载电流为 2A)

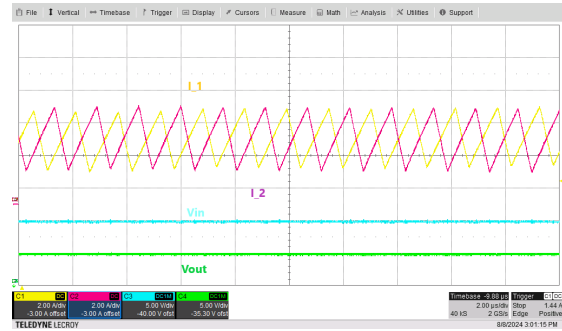


图 4-10. 降压区域中的电感器电流 ($V_{IN}=30V$ 且负载电流为 8A)

4.3 热像图

4.3.1 可变负载下的双相工作模式

为验证 EVM 在并联运行和负载共享下的热稳定性，在不同 LM51772 转换器拓扑下针对正常和极端负载条件拍摄了 EVM 的热图像，如图 4-11 至图 4-18 所示。LM51772 的最高工作温度为 120 摄氏度。

热分析表明，升压模式下的最大负载电流能力被限制在 8A，这主要是由于峰值电流限制器所致。在极端负载条件下，升压模式的温度比降压和降压/升压模式高。高负载条件下热应力的增加强调了在升压模式下运行时需要进行充分的热管理，以验证可靠的性能并防止过热。



图 4-11. 升压区域中的热条件 ($V_{IN}=12V$ 且负载电流为 2A)



图 4-12. 升压区域中的热条件 ($V_{IN}=12V$ 且负载电流为 8A)



图 4-13. 升压区域中的热条件 ($V_{IN}=15V$ 且负载电流为 2A)

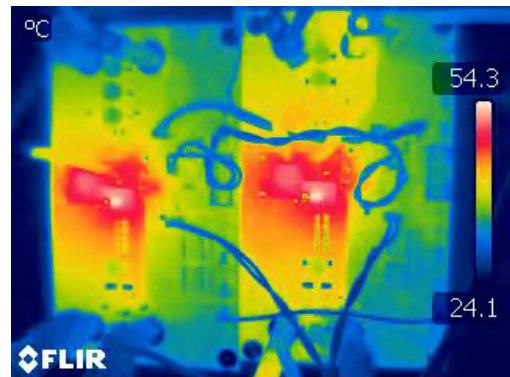


图 4-14. 升压区域中的热条件 ($V_{IN}=15V$ 且负载电流为 8A)

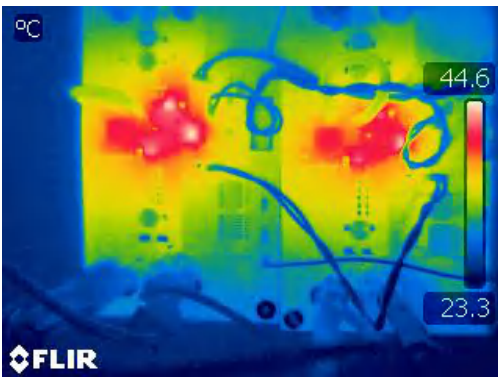


图 4-15. 降压/升压区域中的热条件 ($V_{IN}=20V$ 且负载电流为 2A)



图 4-16. 降压/升压区域中的热条件 ($V_{IN}=20V$ 且负载电流为 8A)

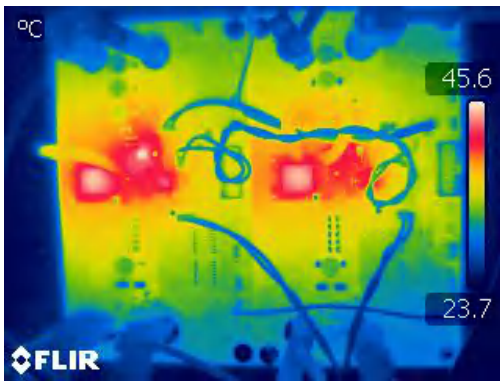


图 4-17. 降压区域中的热条件 ($V_{IN}=30V$ 且负载电流为 2A)

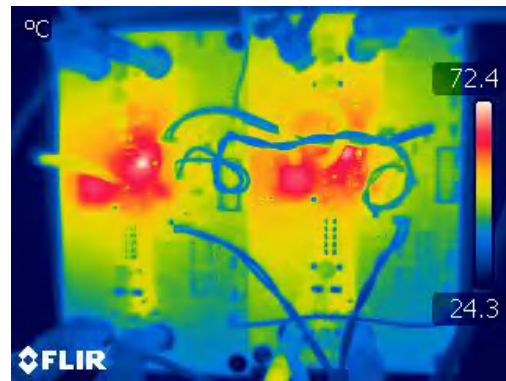


图 4-18. 降压区域中的热条件 ($V_{IN}=30V$ 且负载电流为 8A)

4.3.2 单相和双相工作模式比较

针对单相和双相运行拍摄热图像，以验证双相运行的热效率。在可变负载下的降压、降压/升压和升压运行中，对单相和双相进行了热测试。热图像显示，与相同负载分布下的单相运行相比，双相运行具有更低的温度，如图 4-19 至图 4-34 所示。两个双相转换器之间的总负载电流均等负载共享可减少热损耗并提高转换器的总体热效率。

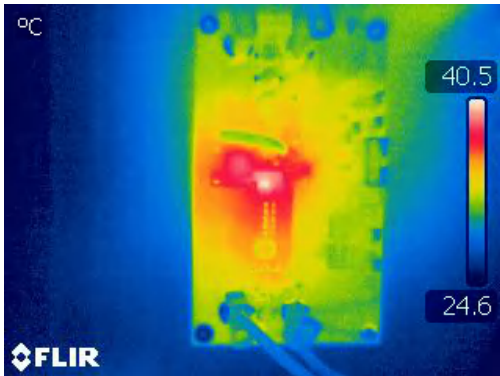


图 4-19. 单相升压中的热条件 ($V_{IN}=12V$ 且负载电流为 2A)



图 4-20. 双相升压中的热条件 ($V_{IN}=12V$ 且负载电流为 2A)

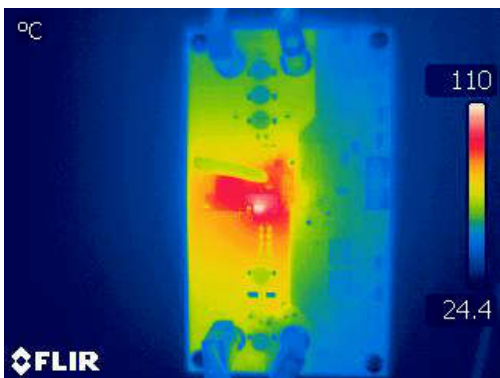


图 4-21. 单相升压中的热条件 ($V_{IN}=12V$ 且负载电流为 8A)

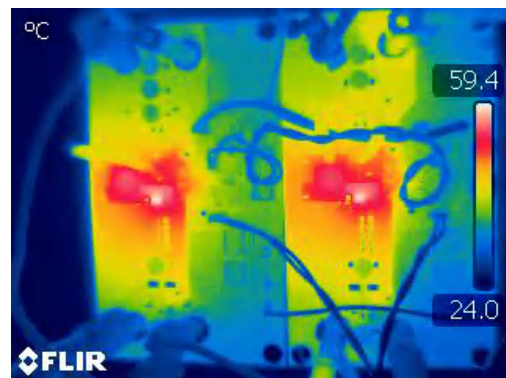


图 4-22. 双相升压中的热条件 ($V_{IN}=12V$ 且负载电流为 8A)

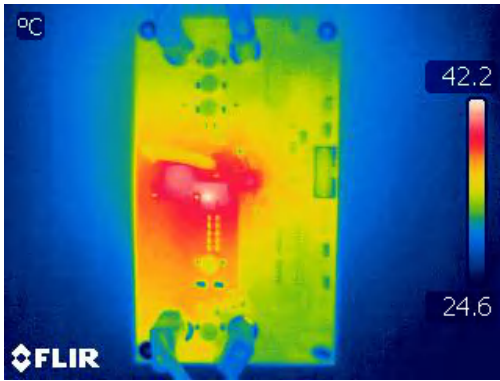


图 4-23. 单相升压中的热条件 ($V_{IN}=15V$ 且负载电流为 2A)



图 4-24. 双相升压中的热条件 ($V_{IN}=15V$ 且负载电流为 2A)

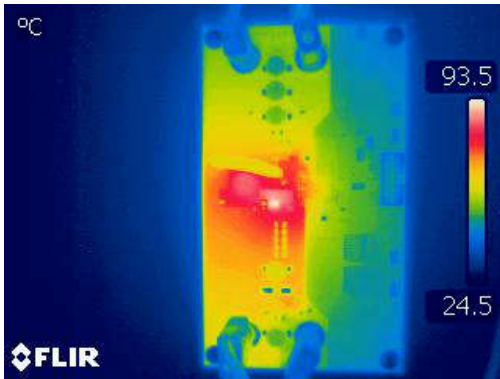


图 4-25. 单相升压中的热条件 ($V_{IN}=15V$ 且负载电流为 8A)

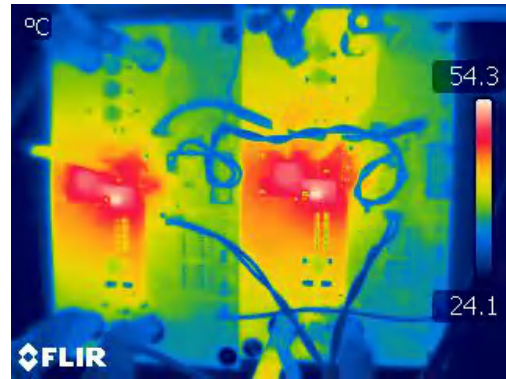


图 4-26. 双相升压中的热条件 ($V_{IN}=15V$ 且负载电流为 8A)

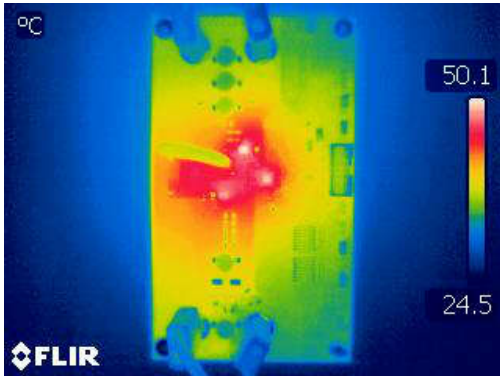


图 4-27. 单相降压/升压中的热条件 ($V_{IN}=20V$ 且负载电流为 2A)

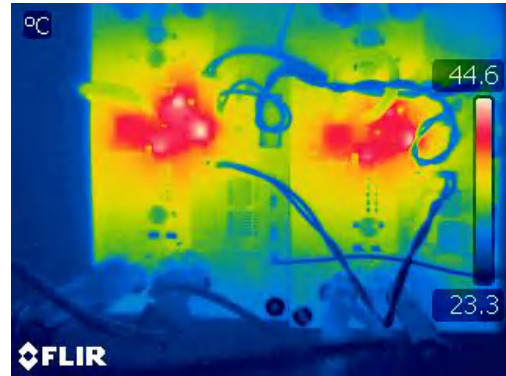


图 4-28. 双相降压/升压中的热条件 ($V_{IN}=20V$ 且负载电流为 2A)

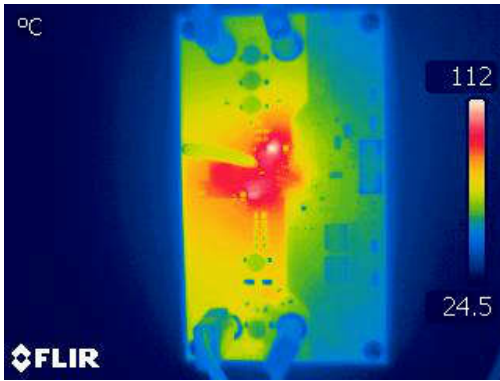


图 4-29. 单相降压/升压中的热条件 ($V_{IN}=20V$ 且负载电流为 8A)

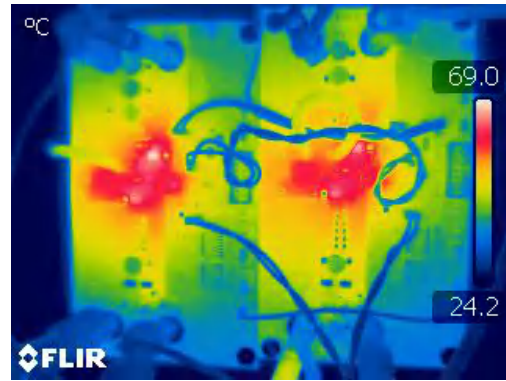


图 4-30. 双相降压/升压中的热条件 ($V_{IN}=20V$ 且负载电流为 8A)

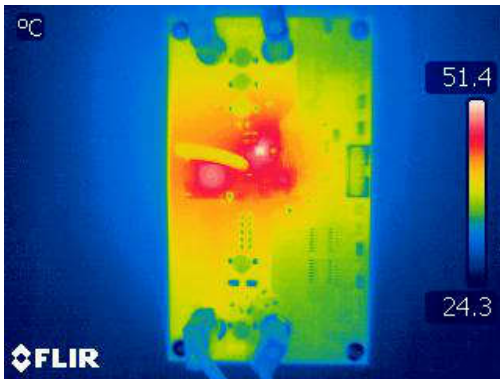


图 4-31. 单相降压中的热条件 ($V_{IN}=30V$ 且负载电流为 2A)

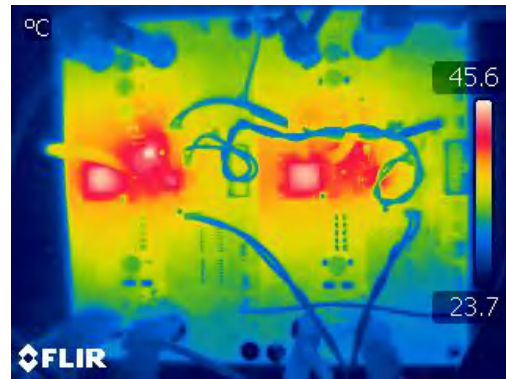


图 4-32. 双相降压中的热条件 ($V_{IN}=30V$ 且负载电流为 2A)

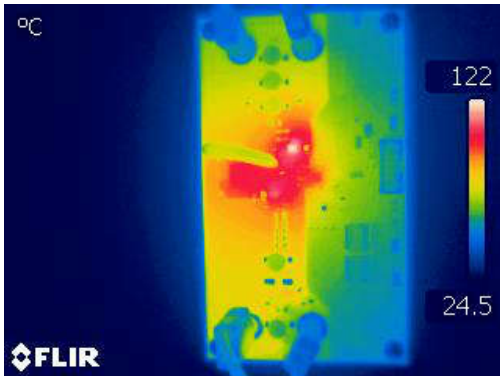


图 4-33. 单相降压中的热条件 ($V_{IN}=30V$ 且负载电流为 8A)

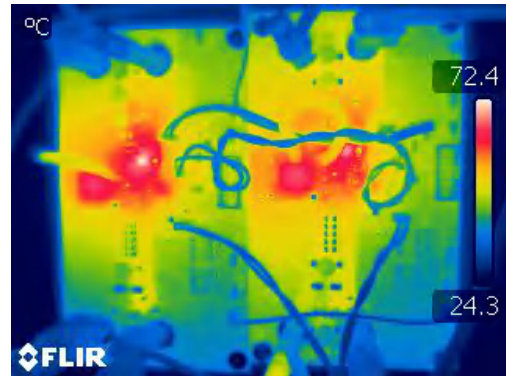


图 4-34. 双相降压中的热条件 ($V_{IN}=30V$ 且负载电流为 8A)

5 总结

从上一节的结果可以看出，在负载分担相对误差不超过 10% 的情况下，可以使用 [LM51772](#) 转换器实现并联运行。在电感器电流方面，可以看到，相之间有利同步时，峰值电流值具有细微变化，这可使用类似电感器进行补偿。此外，热测试的结果还确认了并联转换器的热稳定性，但与降压和降压/升压区域相比，升压区域测得的温度略高。此外，通过比较单相和双相运行的热性能，证实了双相运行具有高热效和低损耗。

6 参考资料

- 德州仪器 (TI), [LM51772 80V 宽 VIN 双向 4 开关降压/升压控制器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [TLC555 元件计算器工具](#)。
- 德州仪器 (TI), [LM51772 降压/升压快速入门计算器工具](#)。
- 德州仪器 (TI), [使用内部限流器实现恒流运行](#) 应用简报。

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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司