

如何利用四相交错 Buck 为舱驾融合处理器提供 450W 功率



Shelly Xie

舱驾融合架构同时支持汽车信息娱乐系统和智能驾驶功能，与传统的舱驾分立架构相比，该架构集成度更高，模块化设计更灵活，支持 L2+ 以上级别自动驾驶，同时满足座舱和智驾两大模块算力需求。为了实现这些功能，需要具备功率超过 450W 的高阶处理器，而为处理器供电的电源轨也迎来设计挑战，在提供高功率的同时，如何满足高效率，低纹波，快速的瞬态负载响应，高负载下的热管理以及功能安全的要求尤为重要。LM5137F-Q1 四相交错降压方案是专门为解决高功率设计的挑战来设计。

高功率满足舱驾融合处理器电源设计要点

LM5137F-Q1 具备可堆叠功能，两颗相同封装的 LM5137F-Q1 通过级联成一个四相交错稳压器，其中第一个控制器为主控制器，第二个为从控制器，为高性能的舱驾融合处理器提供大于 450W 功率。四相交错控制器通过四相交错并联，可以有效的降低输入输出电流纹波，且平均到每个电感器存储的能量降低可提高负载的瞬态性能并减小电感尺寸，原理图如图 1。

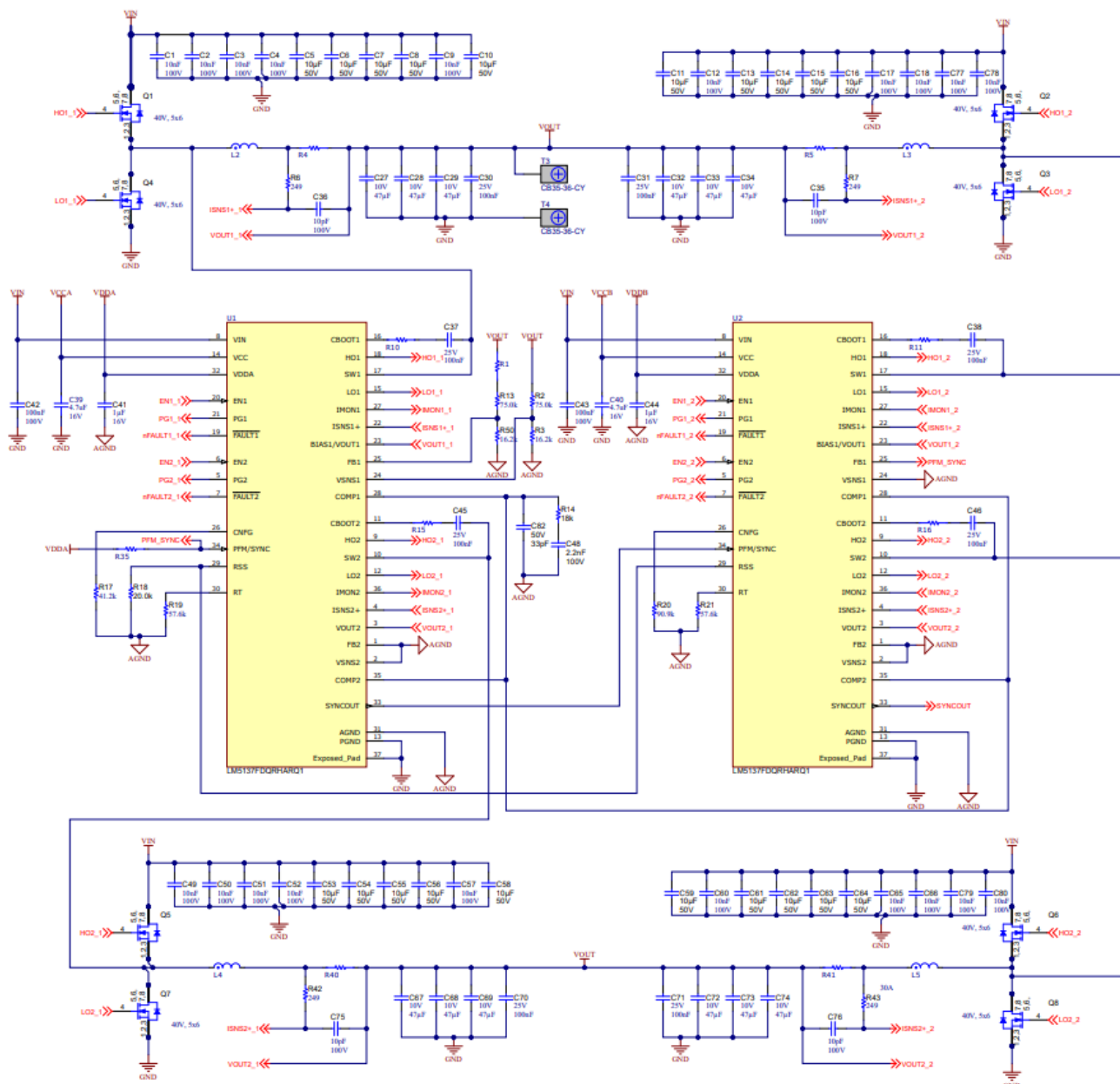


图 1. 两颗 LM5137-Q1 构成四相交错控制器

在配置时，需要将主从控制器的 SYNC，COMP，SS，和 EN 连接在一起，确保开关频率，运行模式能保持一致。与单相控制器相比，四相交错可有效减小纹波电流，从而减小输出电容器的纹波电压，减小的纹波电流可由公式 1 和公式 2 计算得出。

$$m = D \times Phases \quad (1)$$

$$I_{rip-norm}(D) = Phases \times \frac{\left[D - \frac{mp(D)}{Phases} \right] \times \left[\frac{1 + mp(D)}{Phases} - D \right]}{(1 - D) \times D} \quad (2)$$

PCB 布局布线注意事项

PCB 布局布线对大功率四相交错 Buck 的性能来说至关重要，主要注意事项包括：大功率回路设计，dv/dt 节点，驱动回路设计，电流采样信号线设计。电流采样信号线要采用差分形式，从而降低噪声的影响。大功率回路设计需要对热性能、噪声、尺寸进行折中优化，实现最大化降低回路寄生电感和功率器件温升效应的小尺寸方案。功率回路设计如图 2，环路 a 承担输入开关电流，环路 b 承载输出开关电流，小面积回路设计实现了高功率密度和较低的回路寄生电感，同时该布局为开关管提供了最佳散热路径。

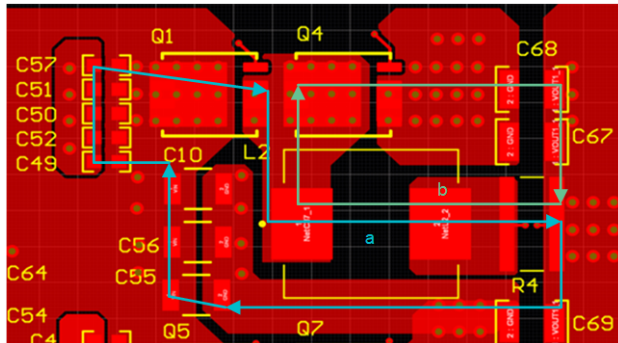
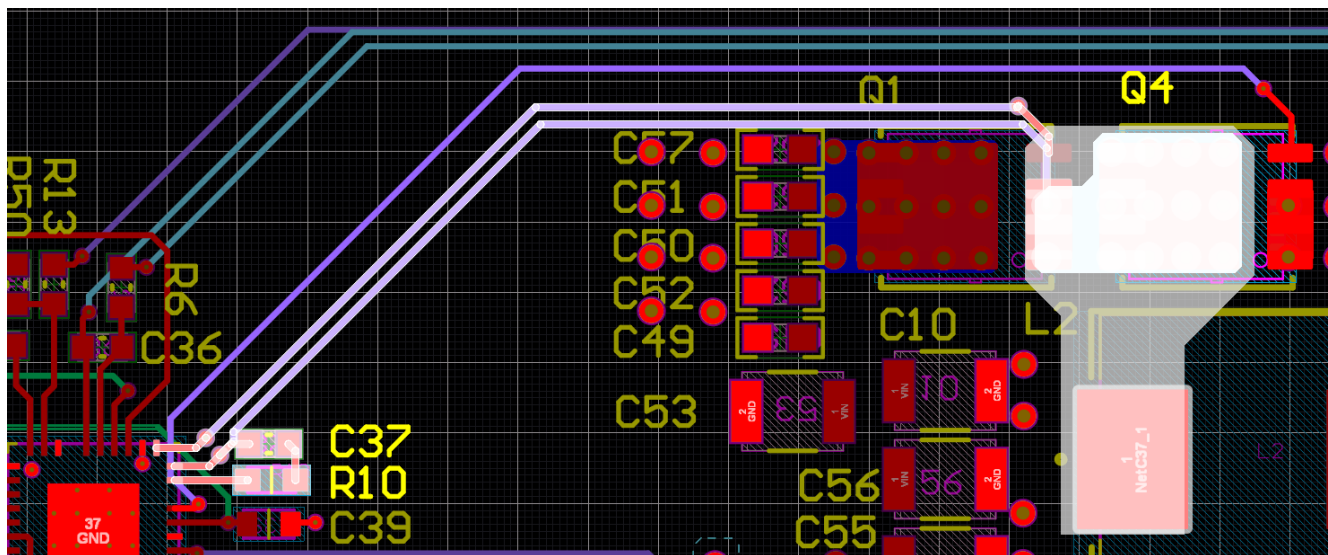


图 2. PCB 功率回路

在实际电路中，驱动回路的寄生电阻、寄生电感以及 MOS 栅极电容会导致栅极信号延迟。由于 PCB 面积限制，无法实现驱动电路的位置十分靠近 MOS。如果驱动电路和 MOSFET 之间布线不合理，会增大寄生电感，仅仅 nH 量级的寄生电感就会和 MOSFET 源漏电容共振，从而产生振铃现象。为了尽可能减小寄生电感，如图 3 所示，需要尽可能减小驱动回路的面积。



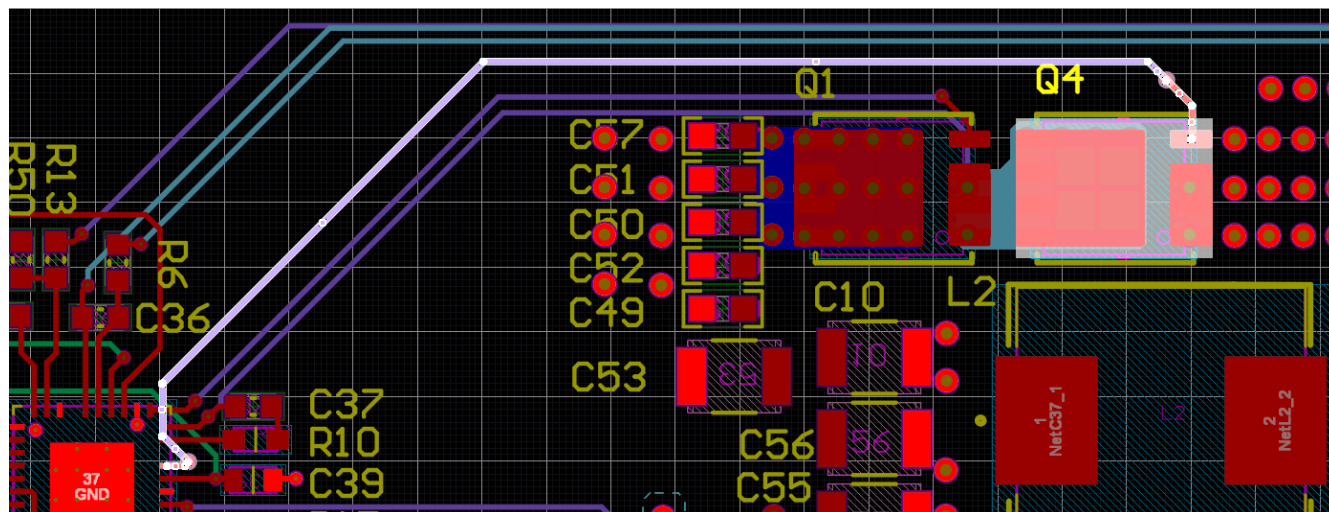


图 3. PCB 驱动回路

开关节点 SW 在开关管开关过程中会产生 high dv/dt，形成强电场发射源，并且会通过寄生电容向临近线路耦合噪声。开关节点面积过大会引入额外的寄生电感，可能导致电压振铃或过冲，甚至超出开关管耐压范围。因此，采用图 4 布线方式减小 high dv/dt 节点的布线面积，从而降低电场辐射，耦合效应以及寄生效应。

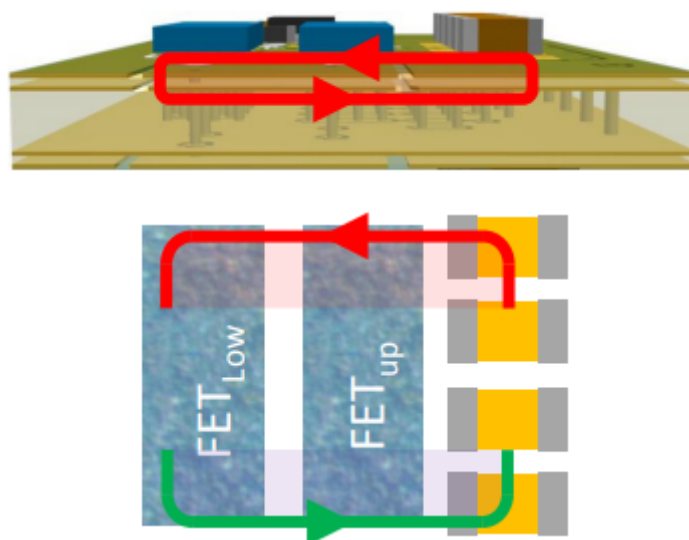


图 4. High dv/dt 回路

基于 LM5137F-Q1 设计四相交错 Buck 的 PCB 如图 5，四路输出对称式布局，通过四相交错方式可最大化降低输出电压的纹波以及四相之间的比较好的均流特性。

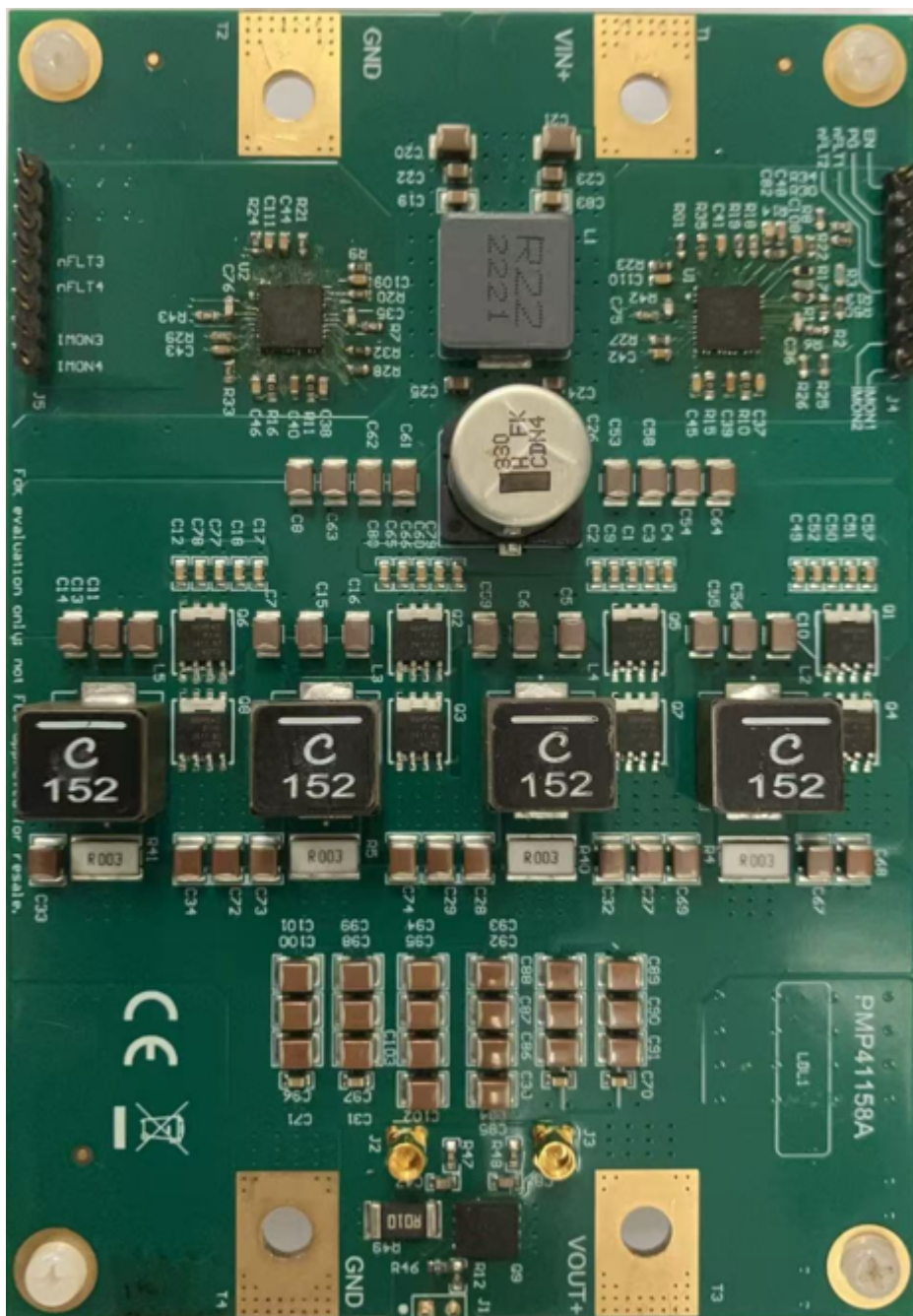


图 5. 四相交错 Buck PCB

四相交错 Buck 测试结果

采用 LM5137F-Q1 设计的四相交错 Buck 在输出电流为 42A 条件下进行环路、纹波、效率、热性能、动态负载（最高跳变至 83A）测试，可以满足市面上已发布的舱驾融合处理器的功率需求。

如图 6 所示，相位裕度约 61° ，增益裕度约 -13dB，环路带宽约 29kHz，环路稳定性满足要求。图 7 为输出电压纹波测试结果，峰峰值仅为 16mV。效率曲线如图 8 所示，轻载下 15mA-50mA 典型值 13.5V 输入时效率超过 80%，重载下 42A 典型值 13.5V 输入时效率超过 94%。轻载重载时效率均表现较好的特性。图 9 为四相 Buck 的热成像，在 42A 的输出电流情况下，温度仅为 98°C ，热性能十分优异。图 10 为负载按照 21A-42A-56A-83A-21A 趋势动态跳变，可以看出超调电压仅为输出电压 $\pm 3.5\%$ ，满足大功率舱驾融合处理器动态负载的要求。图 11 为负

载按照 21A-83A-56A-42A-21A 趋势动态跳变，此时超调电压为输出电压 $\pm 4.2\%$ ，这是由于负载在 1 μ s 内从 21A 跳变到 83A，输出电容放电不足导致电压跌落值略大，但仍然满足大功率舱驾融合处理器动态负载的要求。

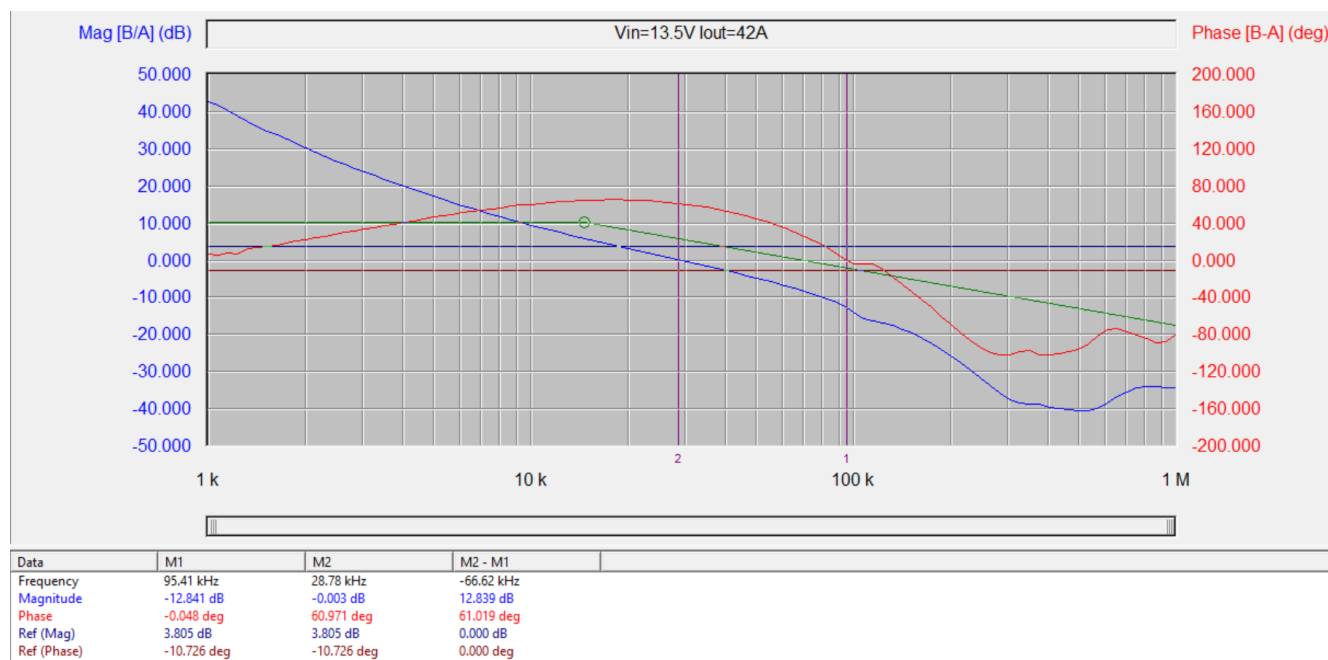


图 6. 环路测试结果

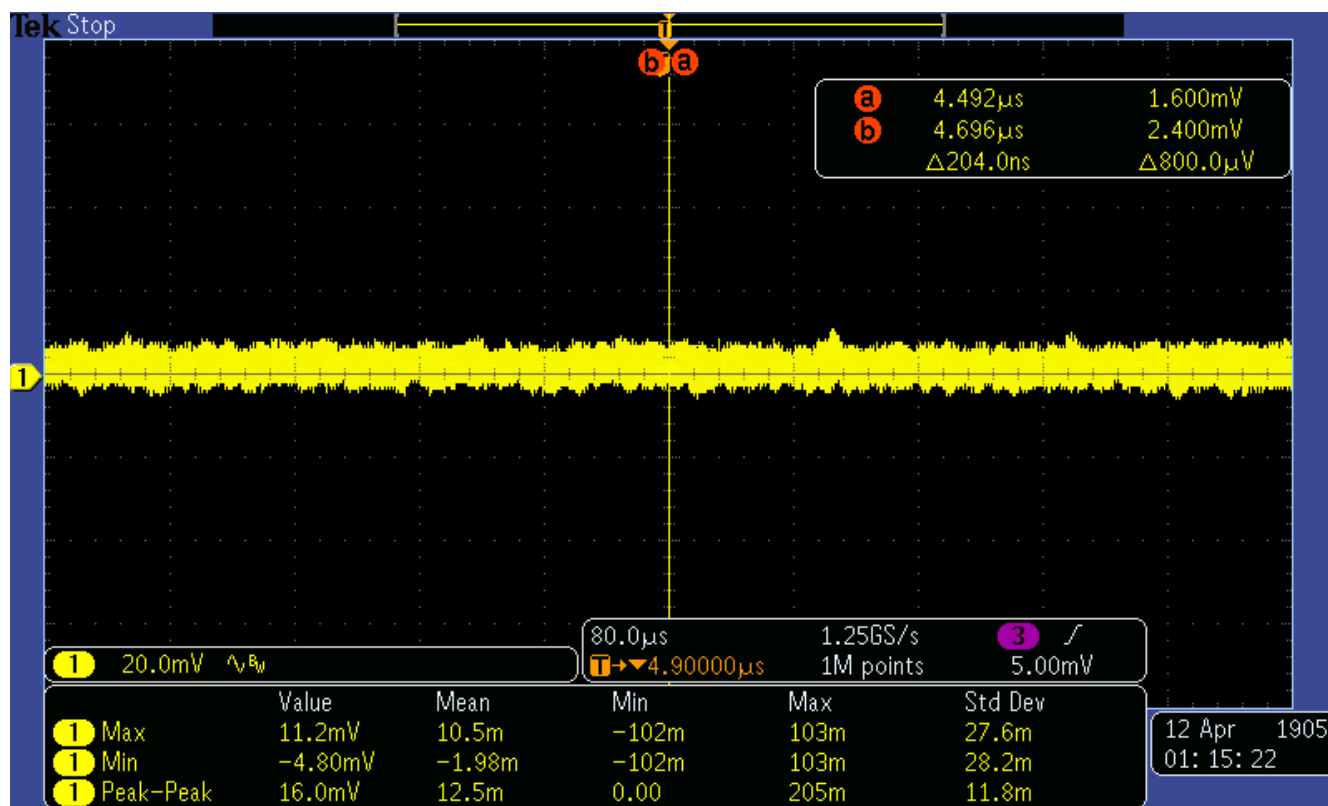


图 7. 纹波测试结果

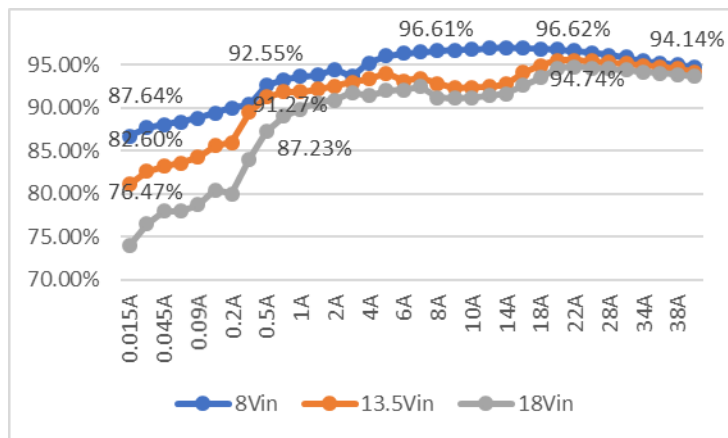


图 8. 效率测试结果

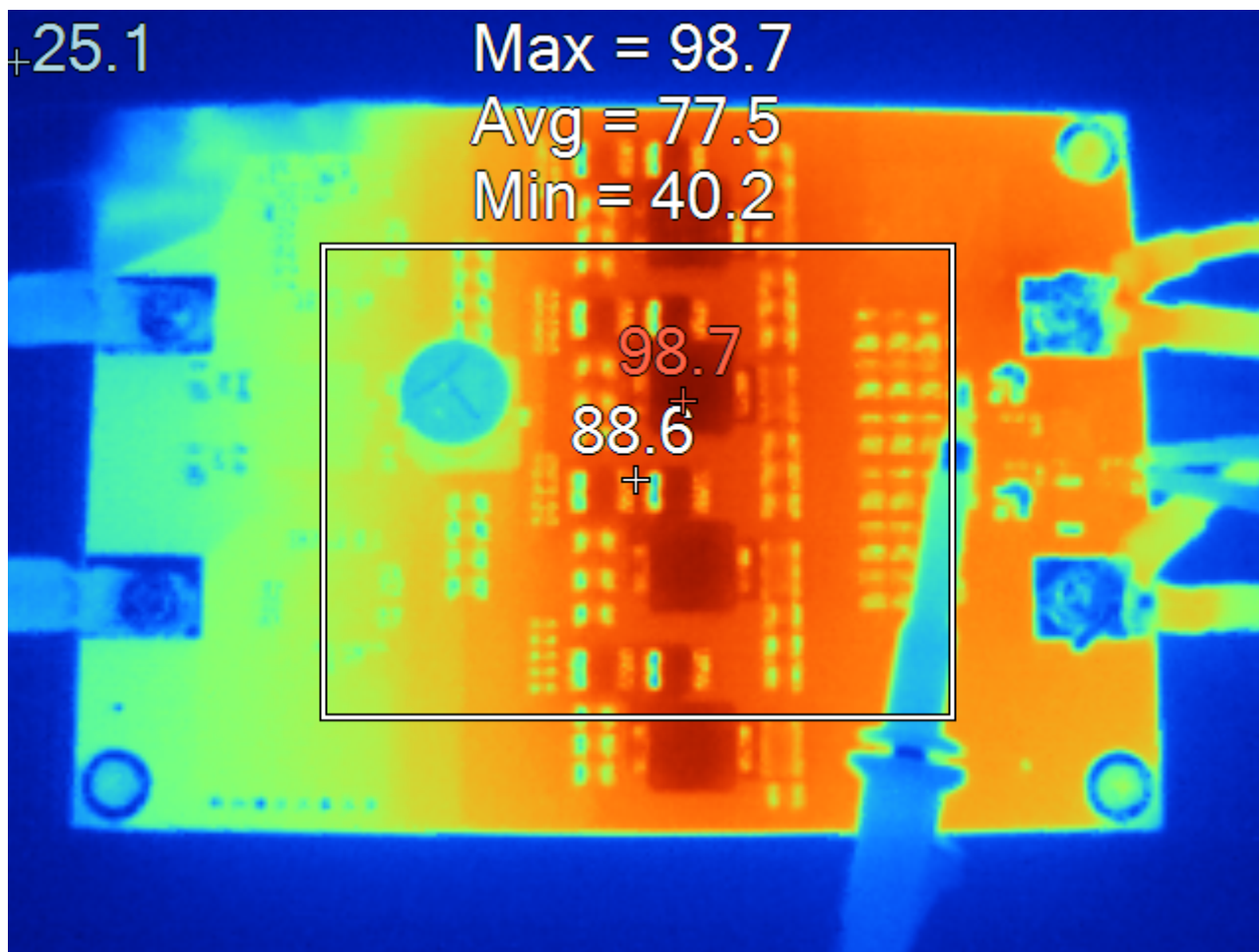


图 9. 热成像测试结果

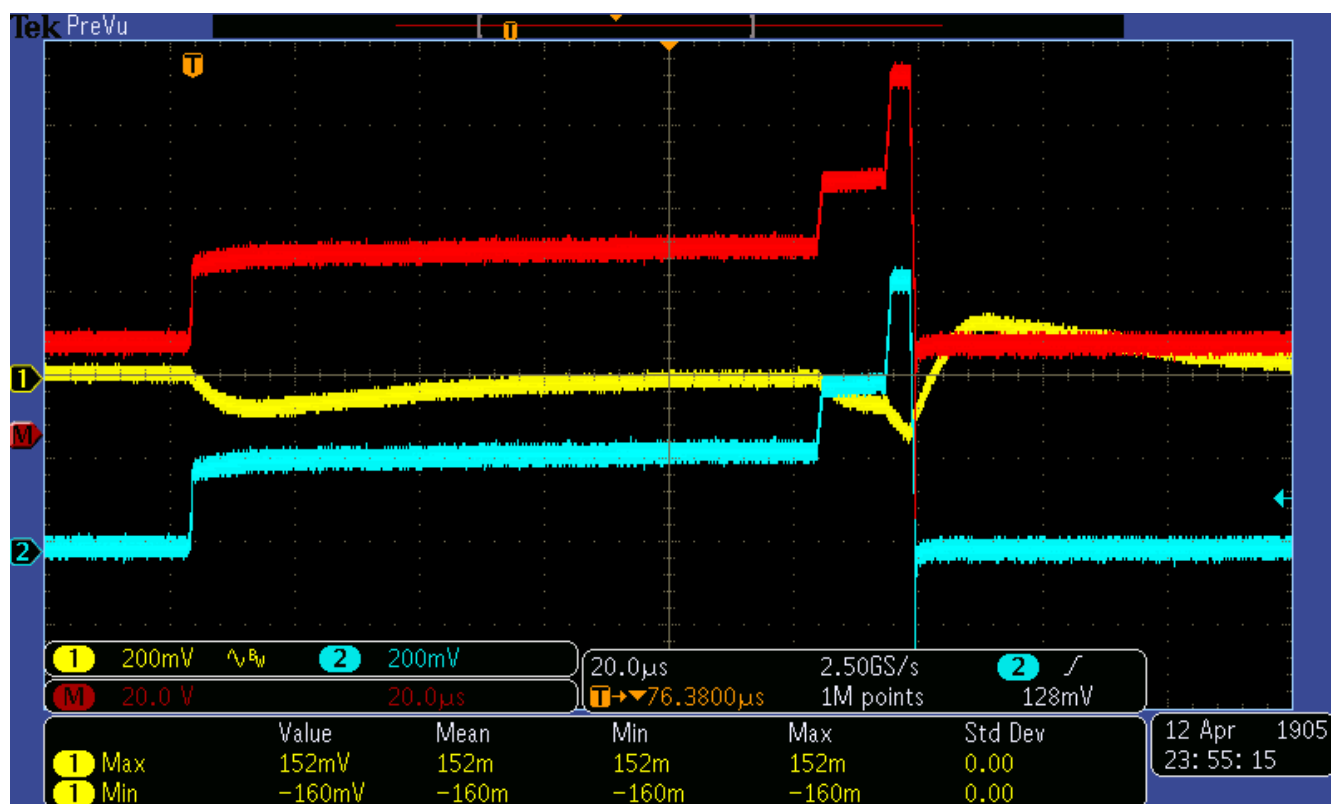


图 10. 动态负载测试结果 1

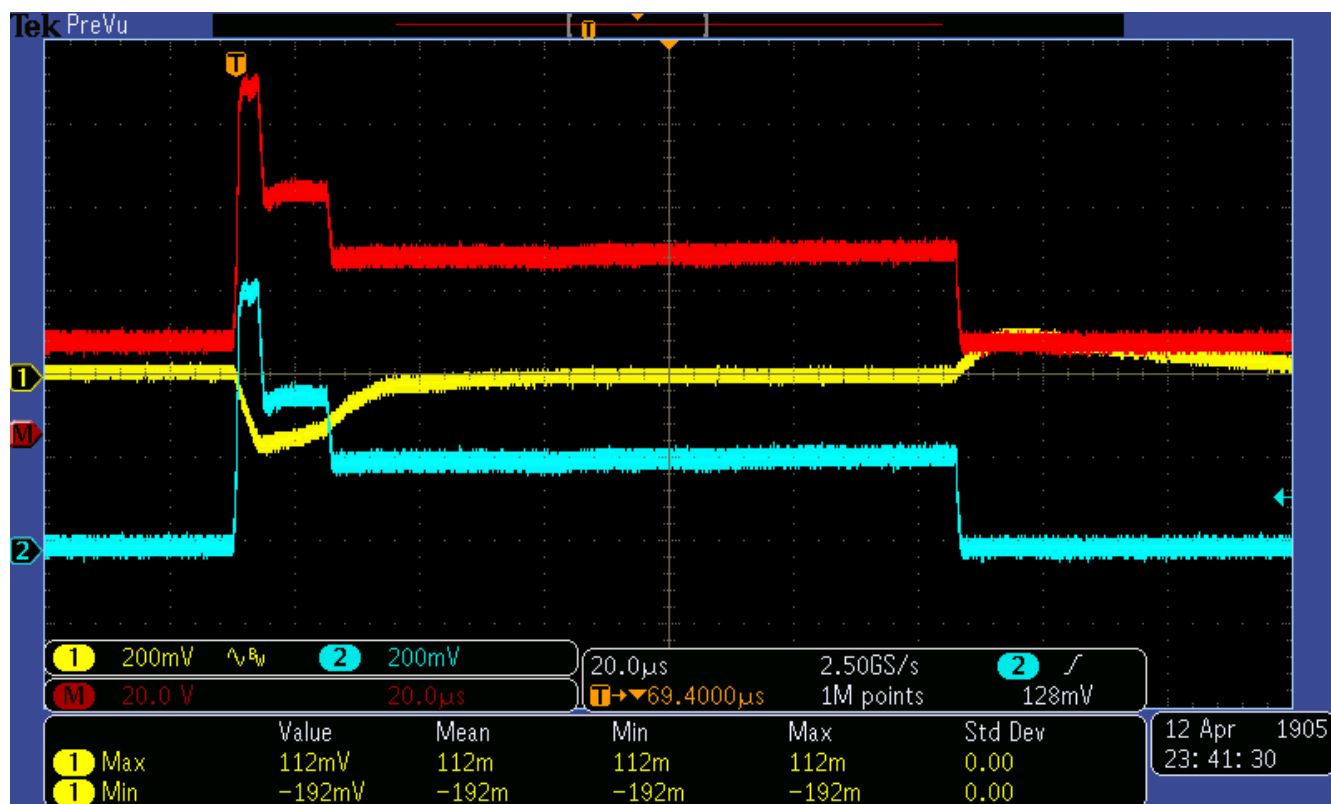


图 11. 动态负载测试结果 2

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