Application Note

如何使用 LM5137F-Q1 实现四相交错降压

Daniel Gao, David Baba

摘要

汽车系统不断集成，其中包括高级驾驶辅助系统 (ADAS)。系统集成的结果是需要更大的功率，因此也需要更高级别的功能安全。随着功率整合到满足效率要求的单个负载点中，热、纹波电压和瞬态规格变得更具挑战性。参考设计 PMP41158 是一款使用 LM5137F-Q1 的四相交错降压器件，可解决上述难题。除关键性能指标外，本应用手册还介绍了参考设计和特性。

此处展示的硬件可以针对 48V 输入电源轨进行修改，转换为 12V 输出电源轨。

内容

1 简介.....2
2 使用 LM5137F-Q1 时的硬件设计.....3
2.1 原理图.....3
3 PMP41158 性能曲线.....4
3.1 四相交错.....4
3.2 热性能.....4
3.3 负载瞬态.....5
3.4 轻负载效率.....6
3.5 波特图.....7
4 从 48V 转换为 12V 的参考设计修改.....8
5 总结.....9
6 参考资料.....10

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

English Document: SLYA094
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

1 简介

该参考设计介绍了可用于 ADAS 和 IVI 应用的四相交错降压转换器。如表 1 所示，转换器在 6.5V 至 36V 的宽输入电压范围内工作，可提供 4.5V 的单路稳压输出。在高达 42A 的负载电流下，输出容差具有优于 1% 的稳态设定点精度。该参考设计还采用动态切相来确保出色的轻负载效率，从而在 15mA 负载电流下实现高达 81% 的效率。借助峰值电流模式控制，转换器可实现 ±8.3% 的输出电压扰动，负载阶跃为 21A 至 86A，速率为 65A/us。LM5137F-Q1 是一款双相可堆叠控制器，该参考设计使用两个 LM5137F-Q1 来获得一个单输出四相交错式稳压器。一个 LM5137-Q1 用作主要控制器，另一个 LM5137-Q1 用作辅助控制器。在堆叠配置中，每个控制器的 COMP1 和 COMP2 都连接在一起。作为单输出交错设计，所有输出连接在一起，每个相位与每个相位的时钟交错同步，相移 90 度。与单相设计相比，四相交错能够有效地降低纹波电流，从而降低输入和输出电容器上的纹波电压和 RMS 纹波电流。

表 1-1. 主要系统规格

参数	测试条件	最小值	标称值	最大值	单位
输入条件					
输入电压	/	6.5	13.5	36	伏特
输入电流	/		14	26	安培
输出条件					
输出电压	/		4.5		伏特
输出电流	/			42	安培
输出电压纹波	全范围 Vin，全范围负载			40	mV
输出功率				200	瓦特
系统特性					
效率 (η)	Vin = 13.5V，Vout = 4.5V，Iout = 15mA		81.1		%
	Vin = 13.5V，Vout = 4.5V，Iout = 21A		95.5		%
	Vin = 13.5V，Vout = 4.5V，Iout = 40A		94.1		%
负载瞬态	21A-42A-56A-83A-21A，1 µ s 压摆时间 12 × 47 µ F/1210 输出电容器	-5.5		5.5	%
	21A-83A-56A-42A-21A，1 µ s 压摆时间 12 × 47 µ F/1210 输出电容器	-8.3		8.3	%
工作环境	开放式框架	-25	25	85	°C
开关频率	/		400		kHz
电路板形式因素	FR4 材料、6 层、2 盎司铜	126 × 87 × 35			mm3

English Document: SLYA094
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

2 使用 LM5137F-Q1 时的硬件设计

LM5137F-Q1 是一款 80V 双通道降压控制器，其所属产品系列提供三个功能安全选项：Capable、ASIL B 或 ASIL D。该器件采用交错式可堆叠峰值电流模式架构，可实现简单环路补偿、快速瞬态响应、优异的负载和线路调节能力，并可通过用于高输出电流的并联相位实现精确的电流共享。22ns 的高侧开关超短导通时间有助于获得大降压比，支持从 12V、24V 或 48V 汽车输入到低电压轨的直接降压转换，从而降低系统设计成本和复杂性。LM5137F-Q1 在输入电压突降至 4V 时，仍能根据需要以 100% 的占空比继续工作。

2.1 原理图

请参阅 PMP41158。

.

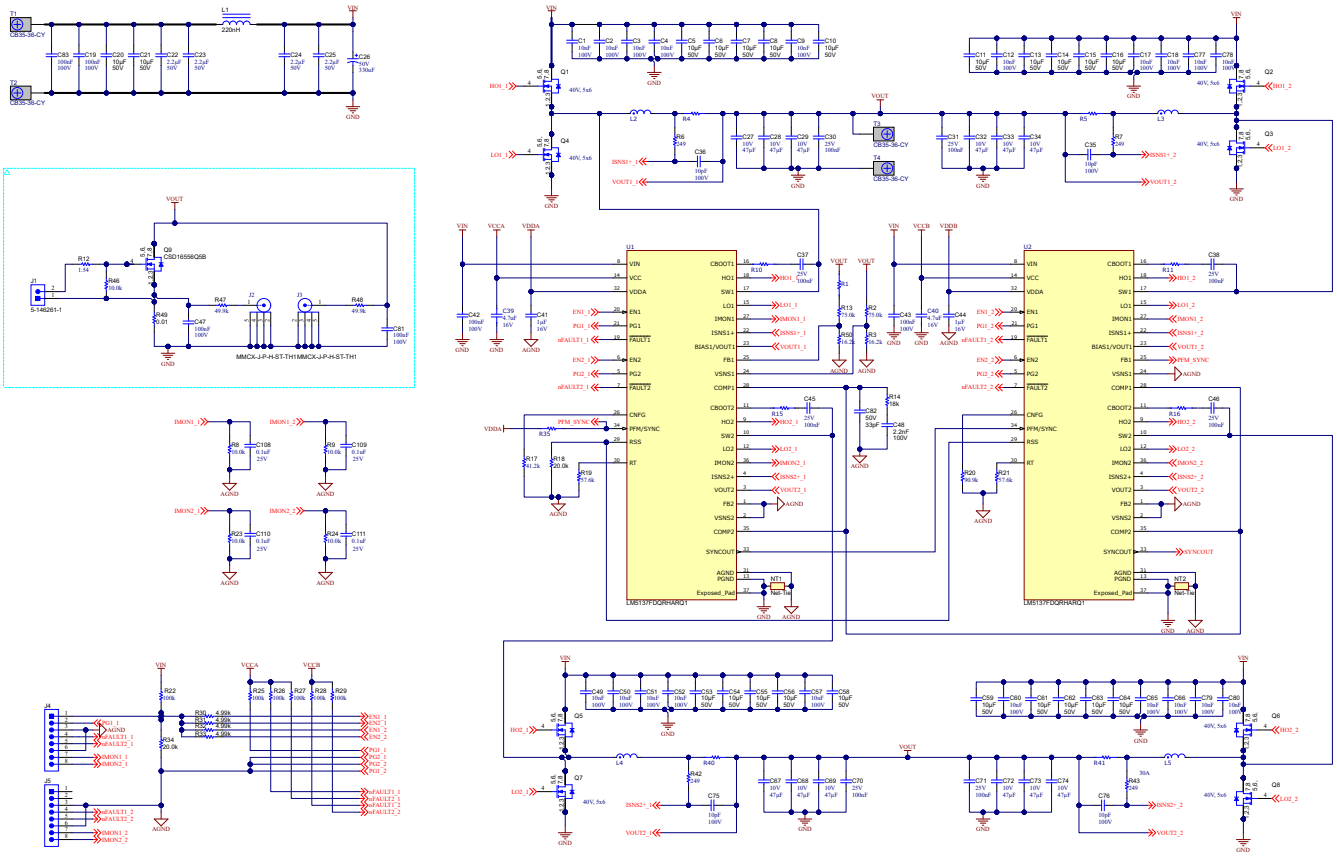

图 2-1. PMP41158 原理图

English Document: SLYA094
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

3 PMP41158 性能曲线

3.1 四相交错

图 3-1 展示了开关节点 1 至 4 在 45A 负载下的稳定性。如图 3-1 所示，通道 1 和通道 2 互补，由主控制器生成。通道 3 和通道 4 互补，由辅助控制器生成。每个相位相隔 90 度。

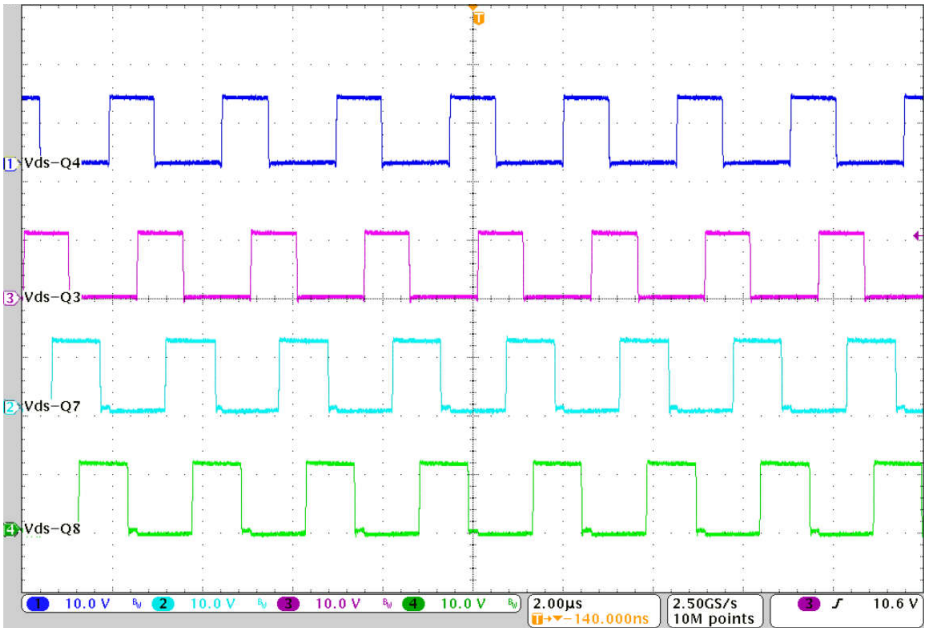

图 3-1. 开关节点电压波形

3.2 热性能

图 3-2 和图 3-3 展示了参考设计在 25℃ 的室温下、采用开放式框架、无气流时的热性能。如您所见，当 Iout 为 21A 时，最大上升温度仅约为 25.5℃，而如果 Iout 为 42A，最大上升温度约为 73.4℃。所以最好在输送机的底部添加一个散热器。

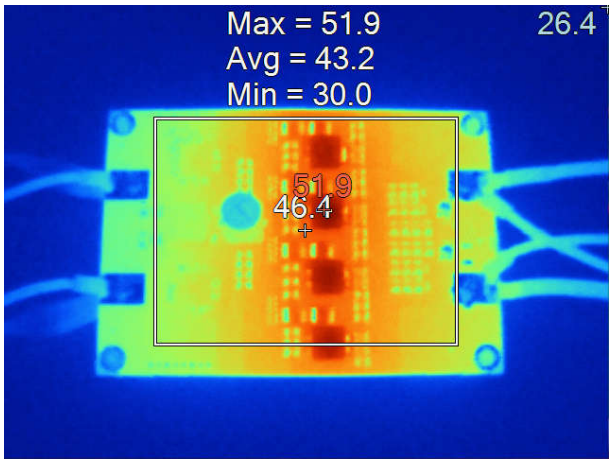

图 3-2. 13.5V 输入、4.5V 输出 (21A) 热像图

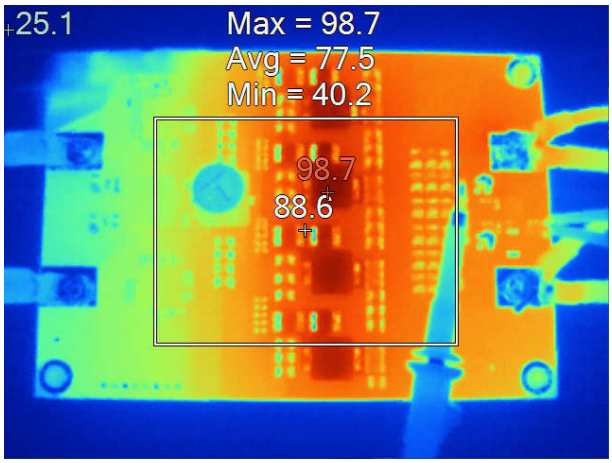

图 3-3. 13.5V 输入、4.5V 输出 (42A) 热像图

English Document: SLYA094
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

3.3 负载瞬态

为了在负载瞬态测试中实现 62A/us 的高压摆率，该参考设计需要板载负载步进电路，如图 3-4 所示。理论上，负载步进器中使用的 MOSFET 在由栅源电压 VGS 控制的线性区域内工作。通过调制栅源电压，我们可以调整负载阶跃的电流压摆率。板载负载步进器能够实现高达 100A/us 的负载阶跃压摆率。

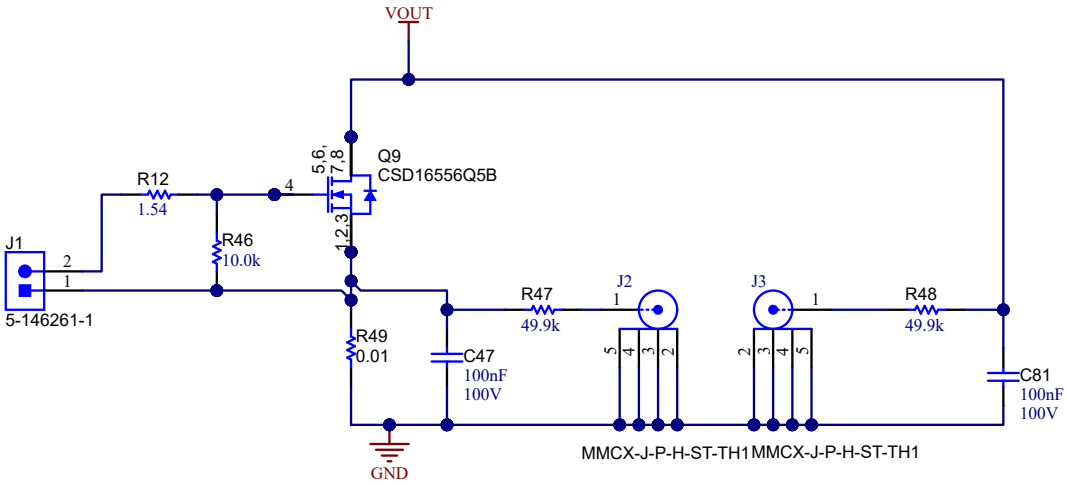

图 3-4. 板载负载步进电路

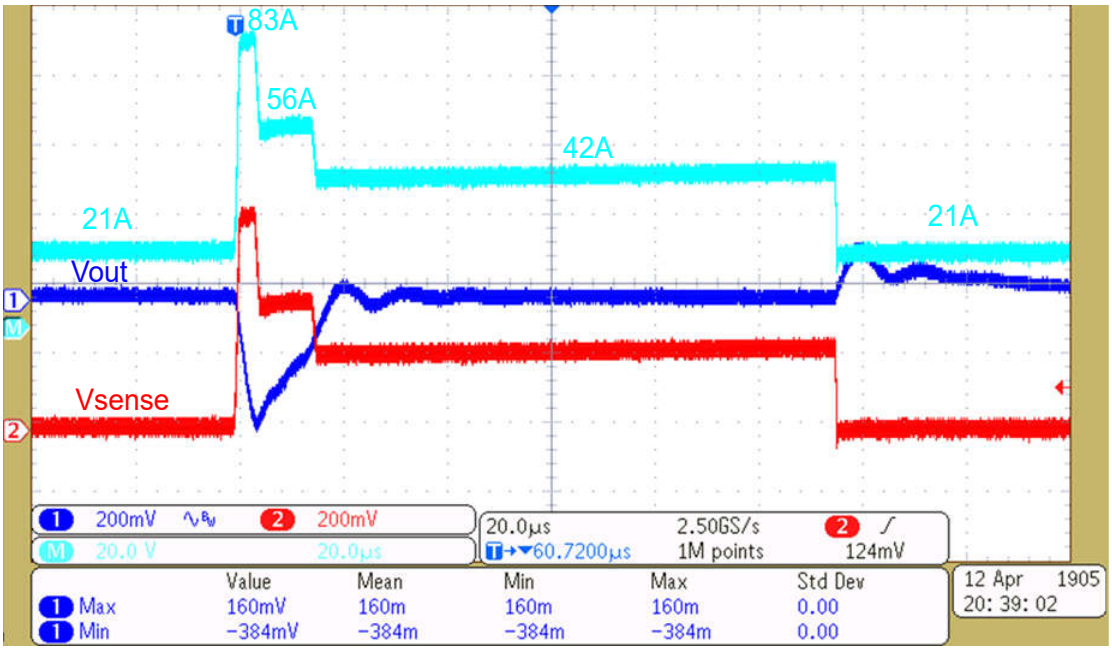

图 3-5. 负载瞬态测试

有关负载步进设置的详细信息，请参阅 *PMP41158：450W 四相交错式降压转换器参考设计*。

备注

不同的 MOSFET 具有不同的栅极电荷规格，因此使用不同的 MOSFET 可能需要调整 VGS 电压以达到所需的负载阶跃压摆率。

English Document: SLYA094
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

3.4 轻负载效率

图 3-6 至图 3-10 显示了开关节点和输出纹波电压波形。

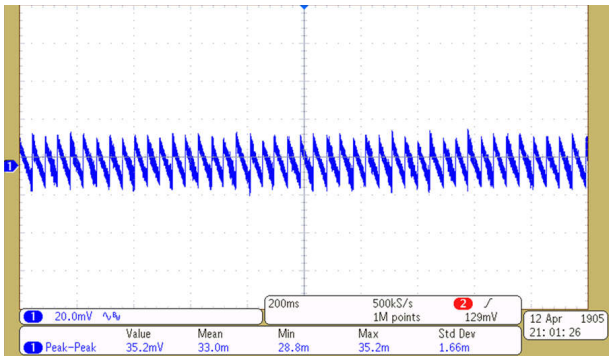

图 3-6. 空载条件下的纹波电压波形

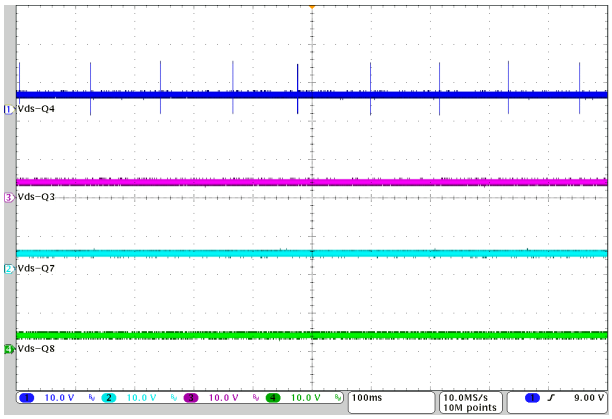

图 3-7. PFM + 切相，0A 负载下的开关节点

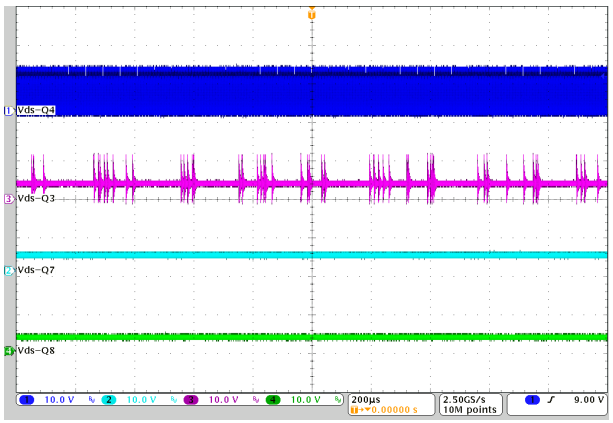

图 3-8. PFM + 切相，0.5A 负载下的开关节点

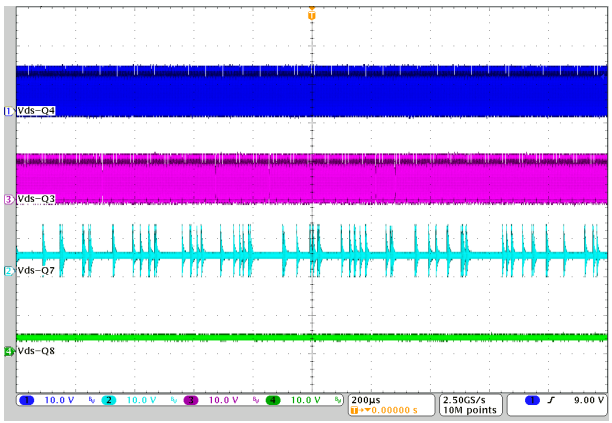

图 3-9. PFM + 切相，0.8A 负载下的开关节点

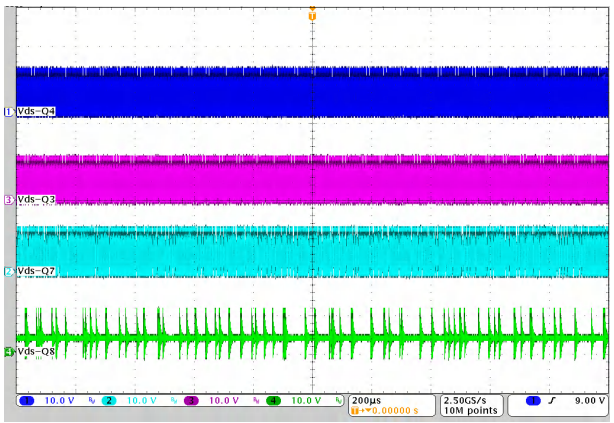

图 3-10. PFM + 切相，1.2A 负载下的开关节点

PMP41158 通过在轻负载时切换相位并尽可能减少输入电源的电流消耗来实现出色的轻负载效率。这样就能在空载条件下只运行一个相位，如图 3-7 所示。随着负载增加，相位可以逐个开始工作，如图 3-8 至图 3-10 所示。除了切相之外，LM5137-Q1 还以 PFM 模式运行。有关轻负载效率性能，请参阅图 3-11。

English Document: SLYA094
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

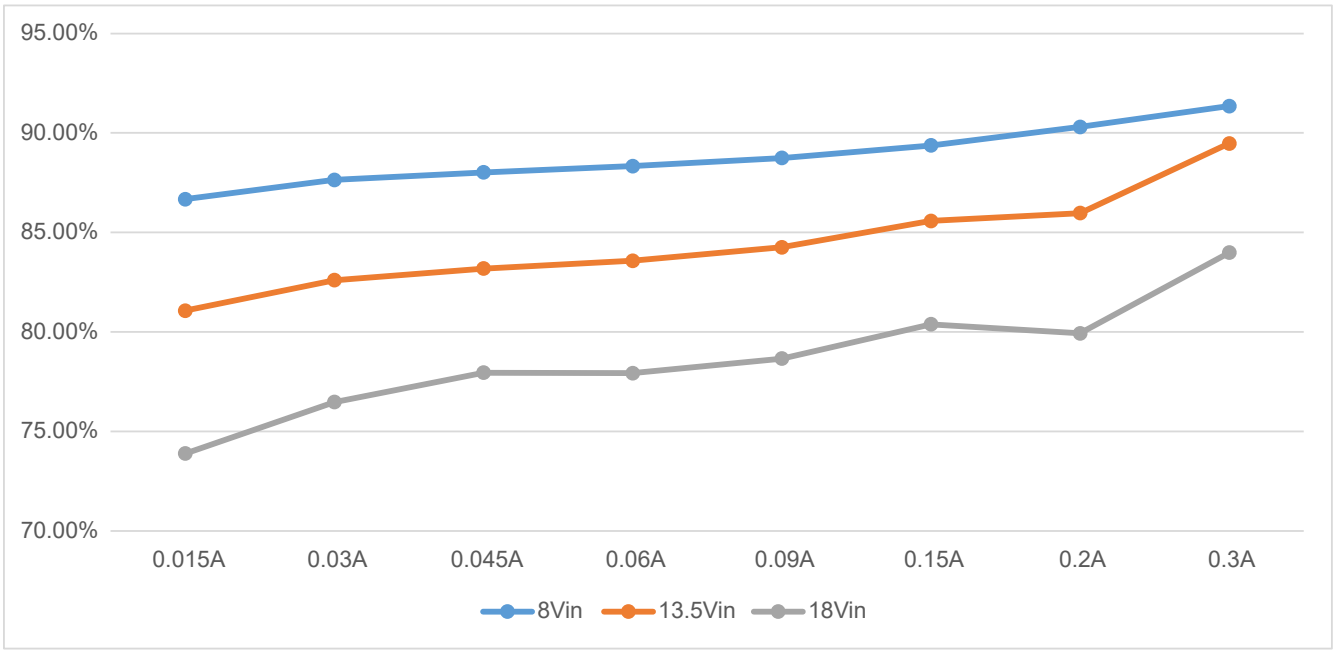

图 3-11. 轻负载效率 15mA-300mA

3.5 波特图

通过优化的补偿电路，PMP41158 可以获得良好的波特图。图 3-12 是参考设计的波特图。实现了 60° 的相位裕度和 -12.8dB 的增益裕度，可确保稳定运行。

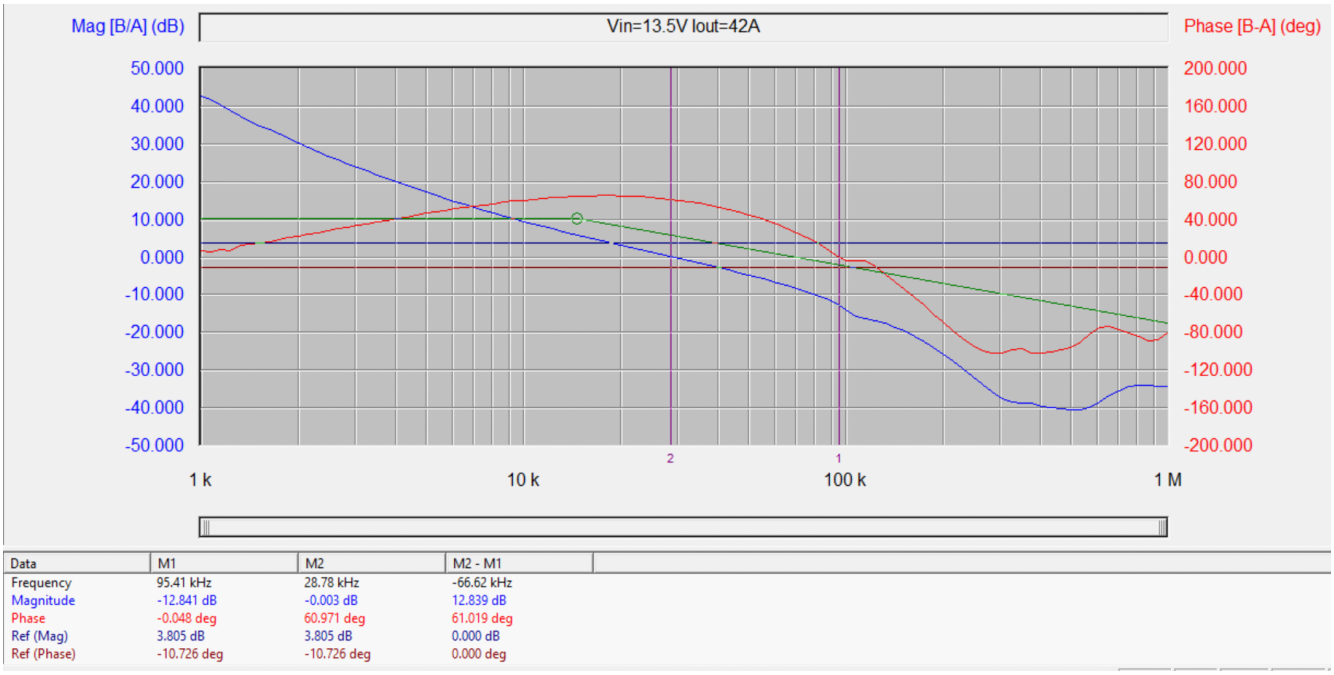

图 3-12. 13.5Vin、4.5Vout、42Aout 时的波特图

English Document: SLYA094
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

4 从 48V 转换为 12V 的参考设计修改

通过对电路板进行以下小幅修改，本参考设计可以实现 48V 至 12V 的转换。有关获取 48V 至 12V 单输出四相降压转换器所需的修改，请参阅图 4-1 和表 4-1。

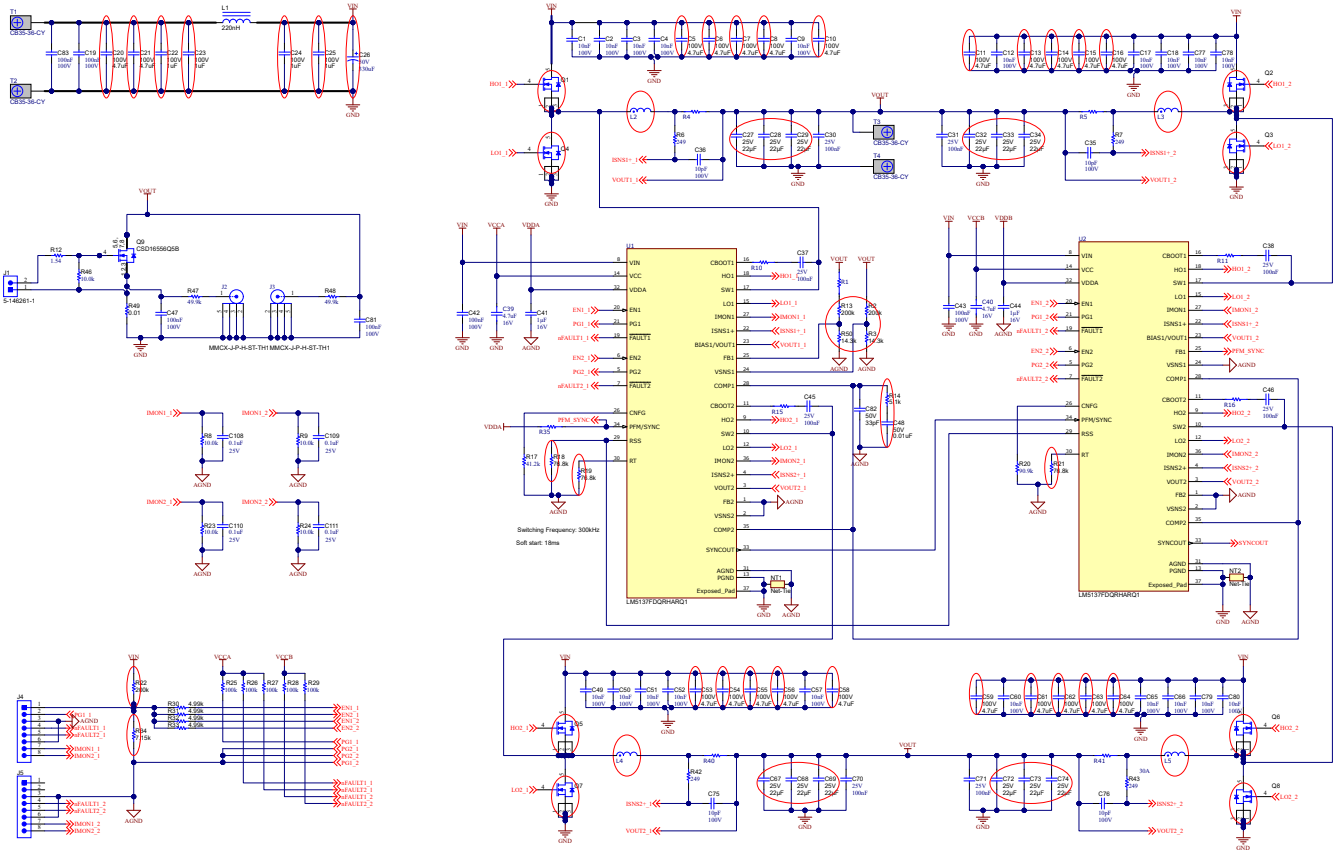

图 4-1. 为实现 48V 至 12V 转换而对参考设计进行的原理图详细修改

表 4-1. 为实现 48V 至 12V 转换而对参考设计进行的 BOM 清单修改

位置	位号	PN	备注
输入滤波器	C22、C23、C24、C25	CGA4J3X7S2A105K125AB	1uF/100V，0805
	C26	EEV-FK1K101Q	100uF/80V，H13
输入电容器	C20、C21、C5、C6、C7、C8、C10、C11、C13、C14、C15、C16	CGA6M3X7S2A475K200	4.7uF/100V，1210
FET	Q1、Q2、Q5、Q6	NVMFS6H852NLT1G	13.1mohm，80V，QFN5*6
	Q3、Q4、Q7、Q8	NVMFS6H836NLT1G	6.2mohm，80V，QFN5*6
电感器	L2、L3、L4、L5	XGL1010-682MED	6.8uH
输出电容器	C27、C28、C29、C32、C33、C34、C67、C68、C69、C72、C73、C74	GA6P3X7R1E226M250	22uF/25V，1210
FB	R13、R2	CRCW0603200KFKEA	200kΩ、0603
	R50、R3	CRCW060314K3FKEA	14.3kΩ、0603
RT	R19、R21	CRCW060376K8FKEA	76.8kΩ、0603
EN	R22	CRCW0603200KFKEA	200kΩ、0603
	R34	CRCW06037K15FKEA	7.15kΩ、0603

English Document: SLYA094
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

5 总结

本应用手册中已经验证了 ADAS 应用中采用 LM5137F-Q1 的四相交错降压转换器。该转换器可通过切换相位并在轻负载条件下频繁降低开关频率来实现出色的轻负载效率。这样也可以满足 ADAS 应用中的高 di/dt 要求。

如果电池电压为 12V，则首选 LM25137-Q1，这是一款支持 100% 占空比的 42V 双通道同步降压控制器。借助更新的 BOM，基于 LM5137F-Q1 的转换器也可用于 48V 电池应用。有关此类应用的详细信息，请参阅 PMP41165。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6 参考资料

- 德州仪器 (TI)，*LM5137F-Q1 汽车级 80V、100% 占空比、双通道功能安全同步降压控制器*
- 德州仪器 (TI)，*LM25137F-Q1 汽车级 80V、100% 占空比、双通道功能安全同步降压控制器*
- 德州仪器 (TI)，*PMP41158：450W 12V 至 4.5V 四相交错式降压转换器参考设计*
- 德州仪器 (TI)，*PMP41165：600W 48V 至 12V 四相交错式降压转换器参考设计*
- 德州仪器 (TI)，*多相降压转换器的优势* 文章
- EE Times, *Benefits Of Multiphasing Buck Converters Part 1*

English Document: SLYA094
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

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出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