

Application Note

LM5137F-Q1 を使用して 4 相インターリーブ降圧を実装する方法



Daniel Gao, David Baba

概要

車載システムでは統合化が進められていますが、これには先進運転支援システム (ADAS) も含まれます。システム統合の結果、より高い水準の機能的安全性のニーズが生じ、より多くの電力が必要となります。電力が単一の作用点に集約されるため、効率、熱、リップル電圧、過渡に関する仕様を満たすことがさらに困難になります。リファレンスデザイン PMP41158 は、LM5137F-Q1 を使用した 4 相インターリーブ降圧回路であり、この課題に対応しています。このアプリケーションノートでは、主な性能指標に加えて、リファレンスデザインおよび特長について紹介しています。

ここで紹介するハードウェアでは、48V 入力レールを 12V 出力レールに変換することができます。

目次

1 はじめに.....	2
2 LM5137F-Q1 によるハードウェアデザイン.....	3
2.1 回路図.....	3
3 PMP41158 の性能曲線.....	4
3.1 4 相インターリーブ.....	4
3.2 熱性能.....	4
3.3 負荷過渡.....	5
3.4 軽負荷効率.....	6
3.5 ボード線図.....	7
4 リファレンスデザインを 48V から 12V への変換に変更.....	8
5 まとめ.....	9
6 参考資料.....	10

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 はじめに

このリファレンスデザインは、ADAS および IVI アプリケーションで使用できる 4 相インターリーブ降圧コンバータを示しています。表 1 に示すように、コンバータは 6.5V ~ 36V の広い入力電圧範囲で動作し、単一の 4.5V 安定化出力を供給します。出力許容誤差は、最大 42A の負荷電流において、定常状態設定点精度は 1% より優れています。また、このリファレンスデザインは動的位相シェディングを採用して優れた軽負荷効率を実現し、15mA の負荷電流で最大 81% の効率を達成します。コンバータはピーク電流モード制御を搭載しており、65A/μs で 21A ~ 86A の負荷ステップで ±8.3% の出力電圧摂動を達成します。LM5137F-Q1 はデュアル位相スタックブルコントローラです。このリファレンスデザインは 2 つの LM5137F-Q1 を使用して、単一出力 4 相インターリーブ電圧レギュレータを実現します。1 つの LM5137-Q1 を 1 次コントローラとして、2 つ目の LM5137-Q1 を 2 次コントローラとして使用しています。スタック構成では、各コントローラの COMP1 と COMP2 すべてが一緒に接続されます。単一出力のインターリーブ設計として、すべての出力が一緒に接続され、各位相はクロックインターリーブの各位相に同期され、90 度間隔でシフトされます。4 相インターリーブを使用すると単相設計よりもリップル電流が効果的に低減されるため、入力コンデンサと出力コンデンサの両方でリップル電圧と RMS リップル電流が低減されます。

表 1-1. 主なシステム仕様

パラメータ	テスト条件	最小値	公称値	最大値	単位
入力条件					
入力電圧	/	6.5	13.5	36	Volt
入力電流	/		14	26	アンペア
出力条件					
出力電圧	/		4.5		Volt
出力電流	/			42	アンペア
出力電圧リップル	全範囲 Vin、全範囲負荷			40	mV
出力電力				200	ワット
システム特性					
効率 (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		%
負荷過渡応答	21A-42A-56A-83A-21A、1μs スルー時間 12 個の 47μF/1210 個の出力コンデンサ	-5.5		5.5	%
	21A-83A-56A-42A-21A、1μs スルー時間 12 個の 47μF/1210 個の出力コンデンサ	-8.3		8.3	%
動作時周囲温度	オープン フレーム	-25	25	85	°C
スイッチング周波数	/		400		kHz
基板フォーム ファクタ	FR4 材質、6 層、2 オンス銅	126 × 87 × 35			mm3

2 LM5137F-Q1 によるハードウェアデザイン

LM5137F-Q1 は、80V のデュアルチャネル降圧コントローラファミリであり、機能安全を実現するための次の 3 つのオプションが用意されています: Capable、ASIL B、ASIL D。インターリーブ方式のスタック可能なピーク電流モードアーキテクチャにより、容易なループ補償、高速な過渡応答、優れた負荷/ライン制御、並列化した相での正確なカレントシェア(電流共有)を実現し、より大きな出力電流に対応します。最小オン時間 22ns のハイサイドスイッチは大きい降圧率に対応できるため、12V、24V、または 48V の車載用入力から低電圧レールへの直接変換が可能になり、システムの設計コストと複雑性を下げることができます。LM5137F-Q1 は、最低 4V の入力電圧ディップ時にも動作を継続でき、必要に応じて 100% のデューティサイクルでも動作できます。

2.1 回路図

PMP41158 を参照してください。

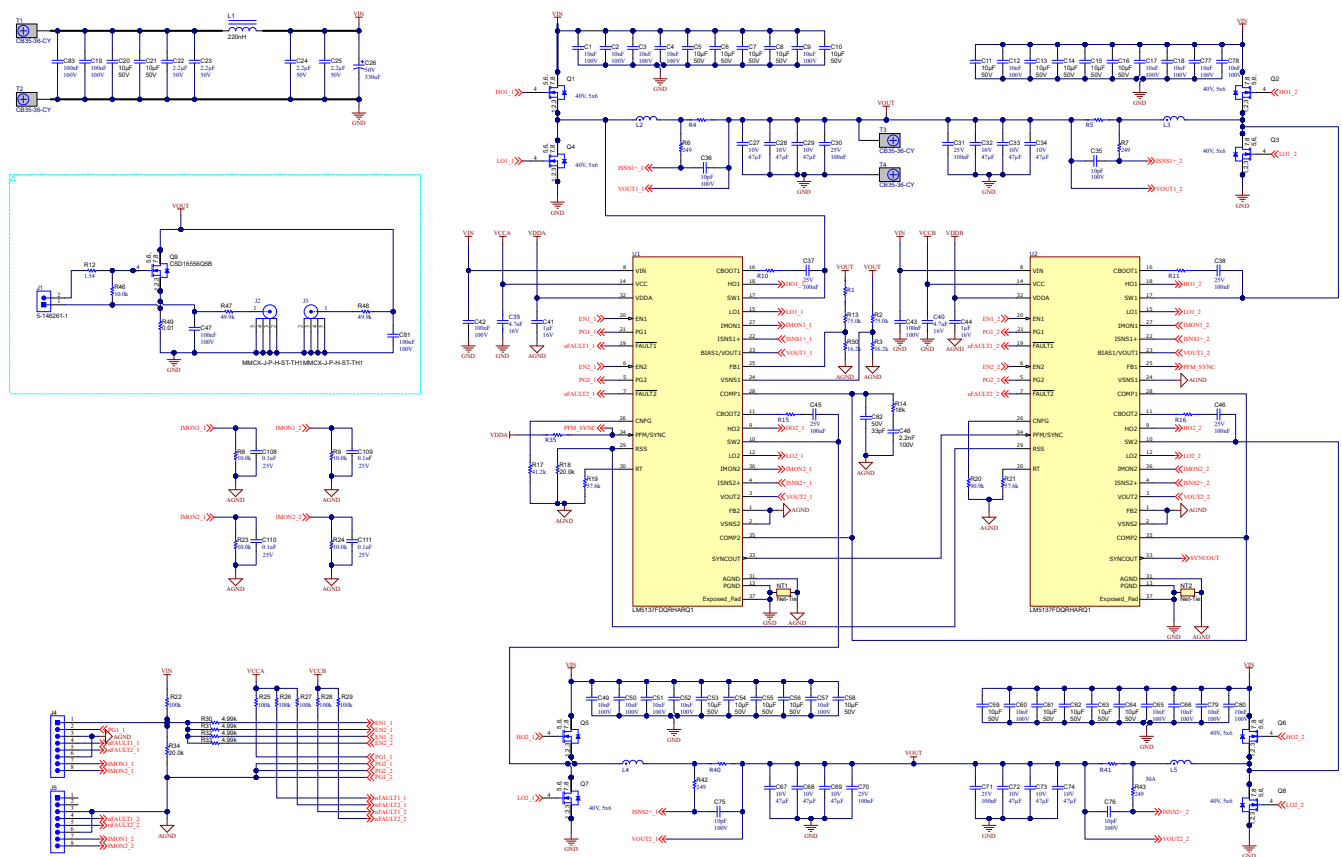


図 2-1. PMP41158 の回路図

3 PMP41158 の性能曲線

3.1 4 相インターリーブ

図 3-1 は、45A 負荷で安定した永続性を示すスイッチノード 1 から 4 を示しています。図 3-1 に示すように、チャンネル 1 とチャンネル 2 は 1 次コントローラによって生成される相補型です。チャンネル 3 とチャンネル 4 は 2 次コントローラによって生成される相補型です。各位相は 90 度間隔でシフトされます。

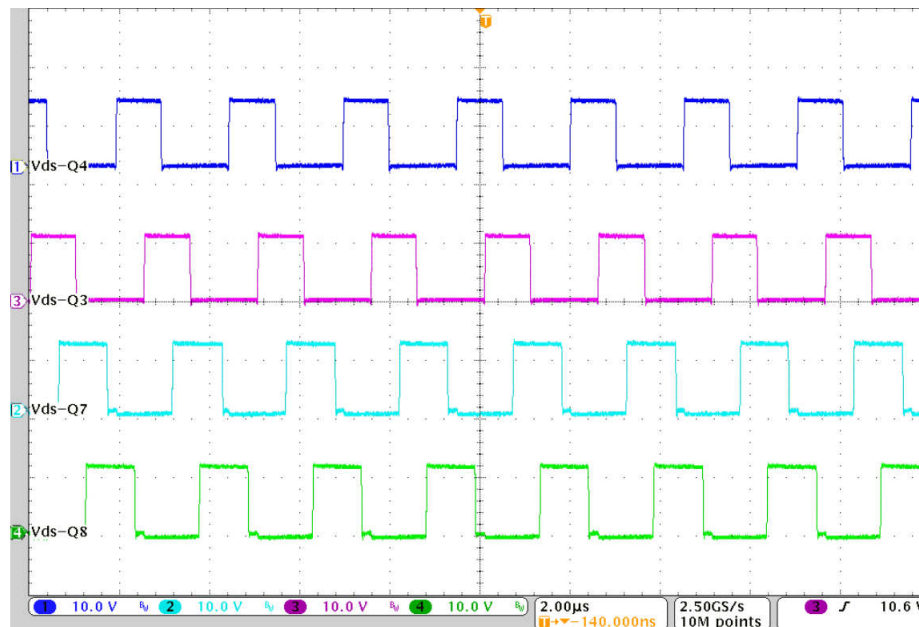


図 3-1. スwitchングノード電圧波形

3.2 熱性能

図 3-2 および 図 3-3 は、室温 25°C、オープンフレーム、エアフローなしで測定したリファレンスデザインの熱性能を示しています。ご覧のように、 I_{out} が 21A の場合、最大上昇温度は約 25.5°C ですが、 I_{out} が 42A の場合、最大上昇温度は約 73.4°C です。そのため、コンバータの底面にヒートシンクを追加することをお勧めします。

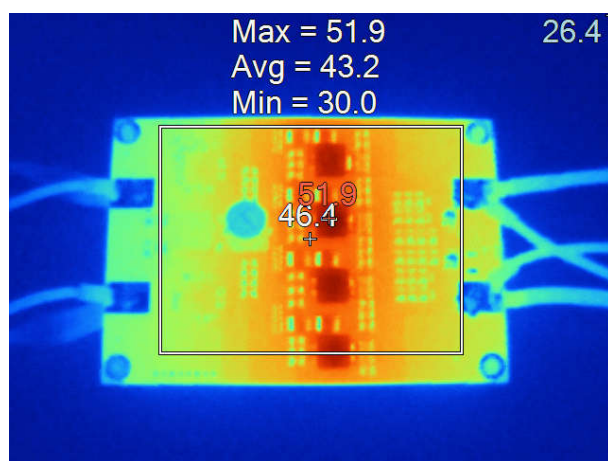


図 3-2. 21A 時の 13.5V in、4.5V out の熱画像

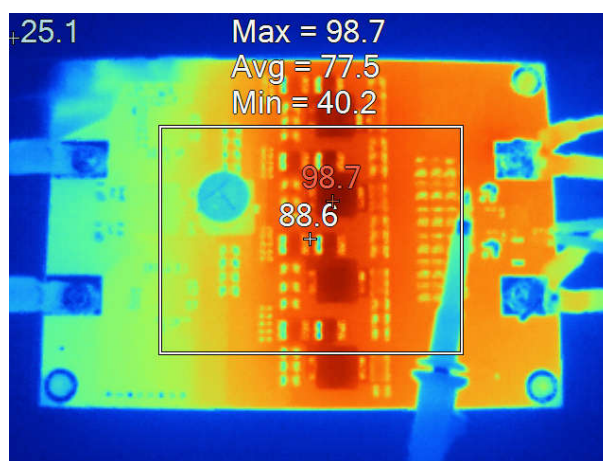


図 3-3. 42A 時の 13.5V in、4.5V out の熱画像

3.3 負荷過渡

負荷過渡テストで $62\text{A}/\mu\text{s}$ の高スルーレートを達成するには、図 3-4 に示すように、このリファレンスデザインにオンボードの負荷ステップ回路が必要です。理論的には、負荷ステップで使用される MOSFET は、ゲートとソース間の電圧 V_{GS} によって制御される線形領域で動作します。ゲートとソース間の電圧を変調すると、負荷ステップの電流スルーレートを調整できます。オンボードの負荷ステップは、最大 $100\text{A}/\mu\text{s}$ の負荷ステップスルーレートを実現できます。

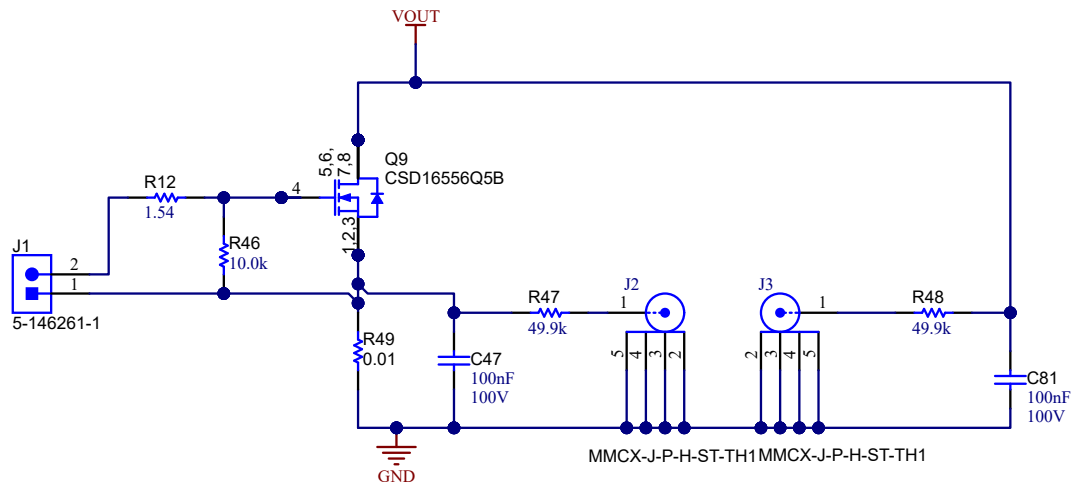


図 3-4. オンボードの負荷ステップ回路

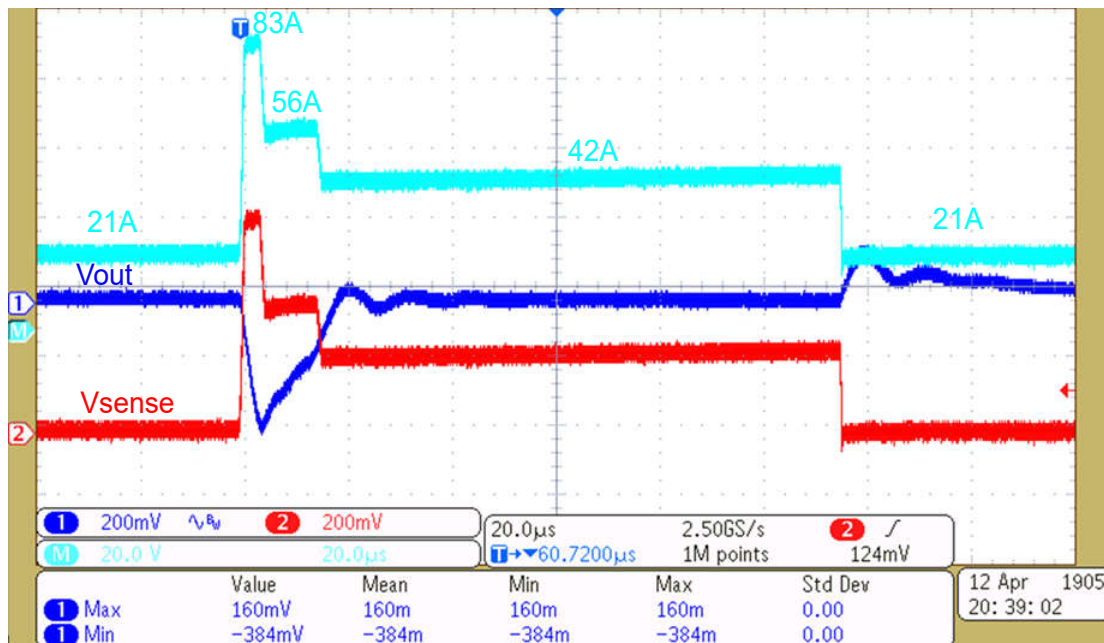


図 3-5. 負荷過渡テスト

負荷ステップ設定の詳細については、『[PMP41158:450W 4 相インターリーブ降圧コンバータのリファレンスデザイン](#)』を参照してください。

注

MOSFET が異なるとゲート充電仕様も異なるため、別の MOSFET を使用すると、必要な負荷ステップスルーレートを達成するために V_{GS} 電圧を調整する必要があります。

3.4 軽負荷効率

スイッチノードおよび出力リップル電圧の波形を 図 3-6 と 図 3-10 に示します。

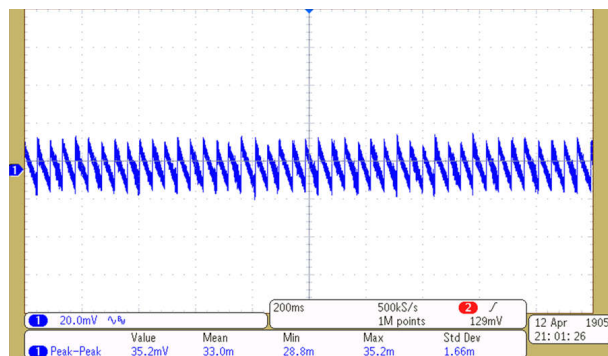


図 3-6. 無負荷状態のリップル電圧波形

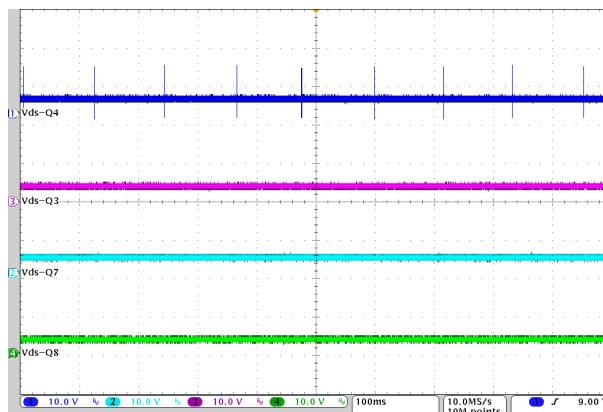


図 3-7. PFM + 位相シェディング、0A 負荷時のスイッチノード

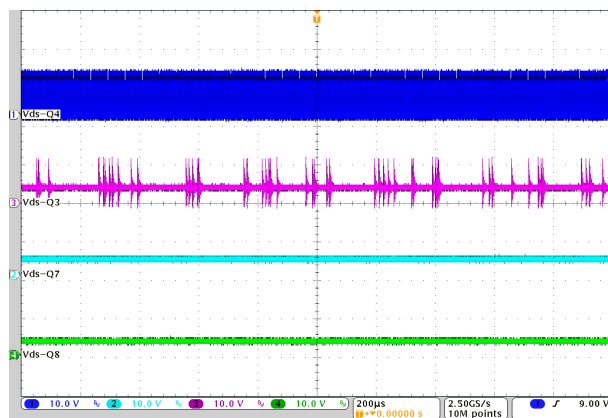


図 3-8. PFM + 位相シェディング、0.5A 負荷時のスイッチノード

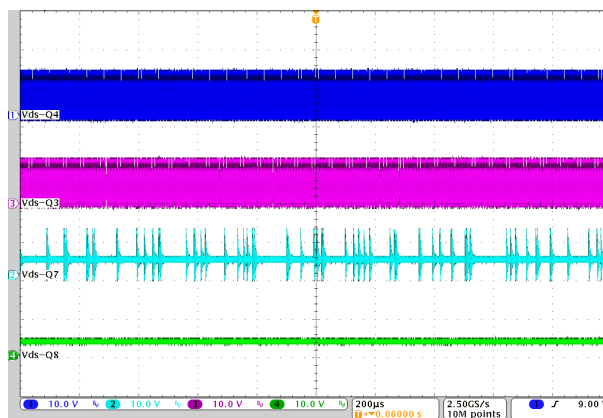


図 3-9. PFM + 位相シェディング、0.8A 負荷時のスイッチノード

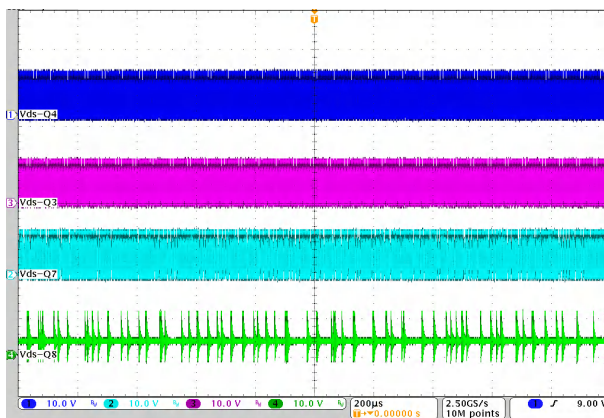


図 3-10. PFM + 位相シェディング、1.2A 負荷時のスイッチノード

PMP41158 は、軽負荷時に位相をシェディングし、入力電源から引き出す電流を最小限に抑えることで、優れた軽負荷効率を実現します。これにより、図 3-7 に示すように、無負荷条件下では 1 つの位相のみで動作します。負荷が増加すると、図 3-8 から 図 3-10 が示すように、位相が 1 つずつ動作を開始できます。位相シェディングに加えて、LM5137-Q1 は PFM モードで動作します。軽負荷時の効率性能については、図 3-11 を参照してください。

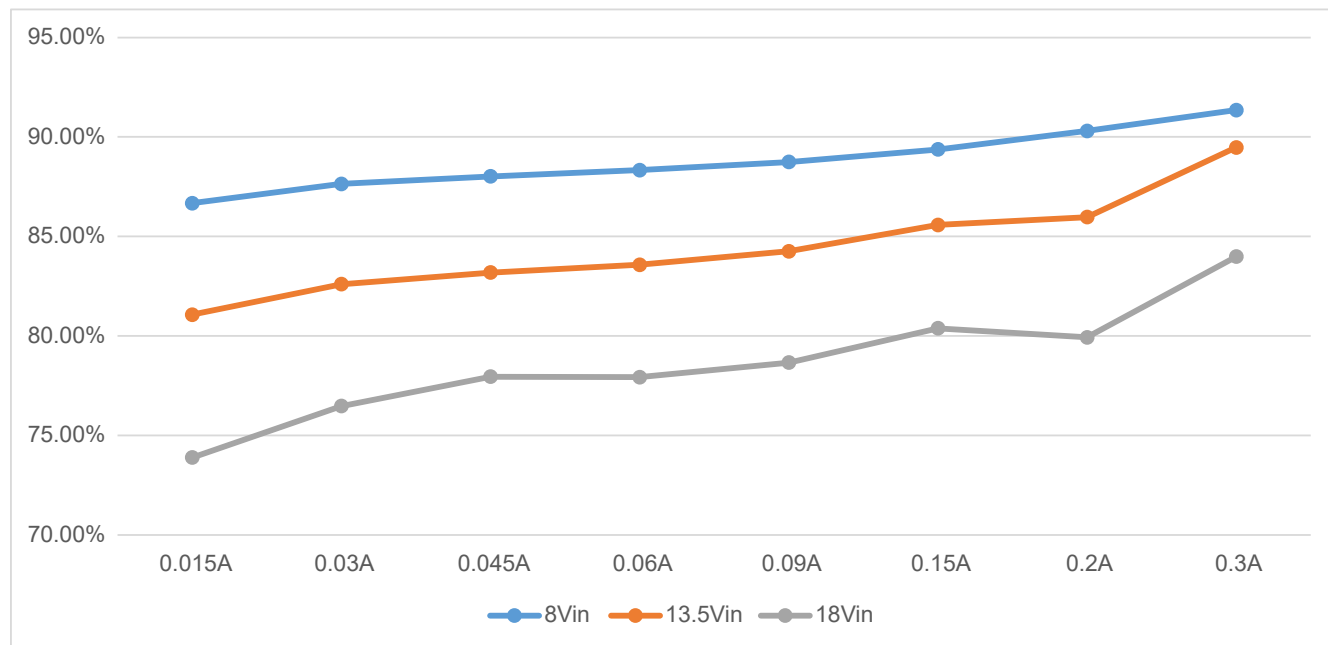


図 3-11. 軽負荷効率 15mA-300mA

3.5 ボード線図

最適化された補償回路を使用することで、PMP41158 のための適切なボード線図を実現できます。図 3-12 はリファレンスデザインボードのボード線図です。位相マージン 60° とゲインマージン -12.8dB を達成して、安定した動作が保証されます。

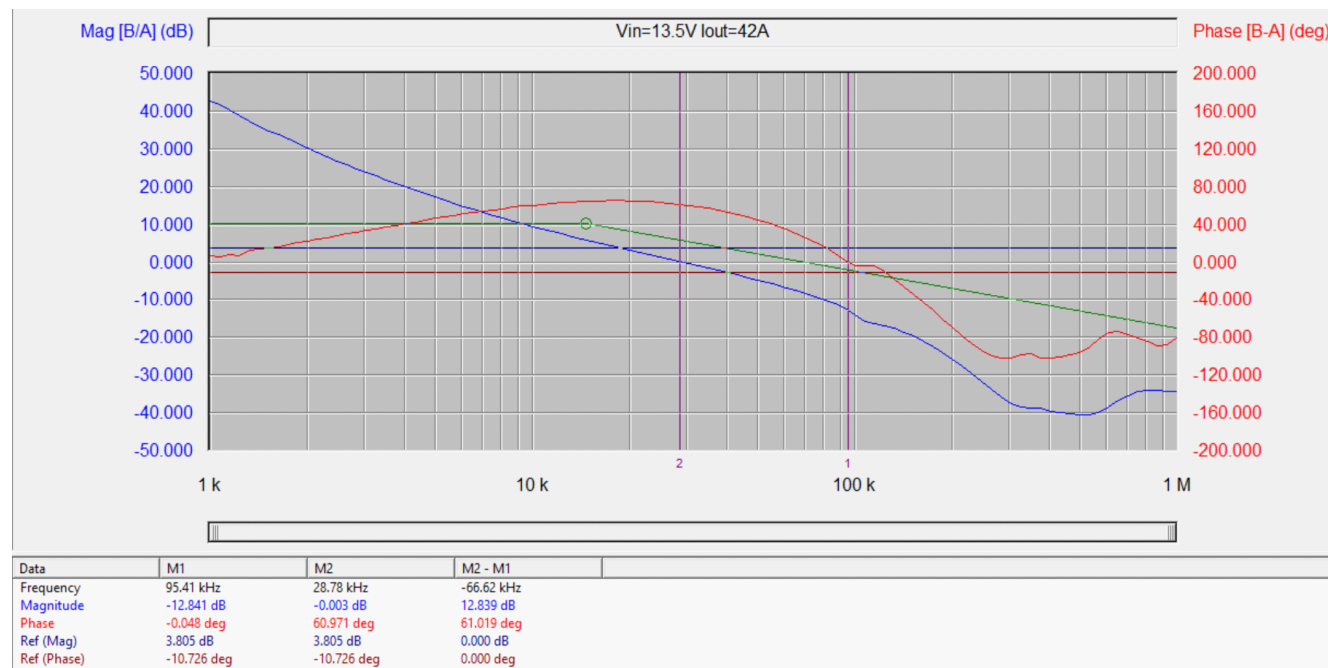


図 3-12. 13.5Vin、4.5Vout、42Aout のボード線図

4 リファレンスデザインを 48V から 12V への変換に変更

このリファレンスデザインでは、基板に次の小さな変更を加えると、48V から 12V への変換が可能です。48V から 12V への単一出力 4 相降圧コンバータを実現するために必要な変更については、図 4-1 と表 4-1 を参照してください。

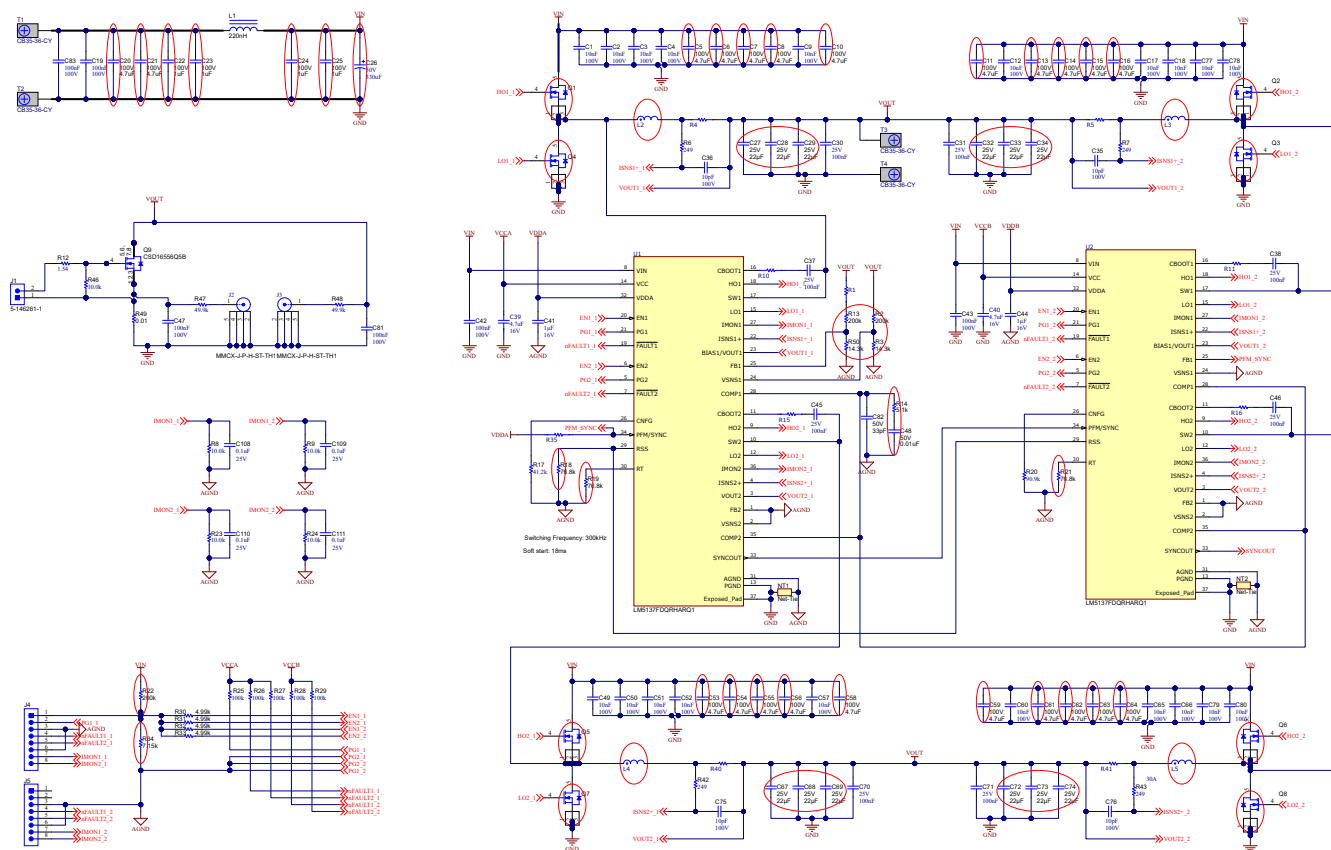


図 4-1. 48V から 12V への変換を実現するためのリファレンスデザインへの回路図変更の詳細

表 4-1. 48V から 12V への変換を実現するためのリファレンスデザインへの BOM リストの変更

位置	記号	PN	注記
入力フィルタ	C22, C23, C24, C25	CGA4J3X7S2A105K125AB	1μF/100V, 0805
	C26	EEV-FK1K101Q	100μF/80V, H13
入力コンデンサ	C20, C21, C5, C6, C7, C8, C10, C11, C13, C14, C15, C16	CGA6M3X7S2A475K200	4.7μF/100V, 1210
FET	Q1, Q2, Q5, Q6	NVMFS6H852NLT1G	13.1mΩ, 80V, QFN5*6
	Q3, Q4, Q7, Q8	NVMFS6H836NLT1G	6.2mΩ, 80V, QFN5*6
インダクタ	L2, L3, L4, L5	XGL1010-682MED	6.8uH
出力コンデンサ	C27, C28, C29, C32, C33, C34, C67, C68, C69, C72, C73, C74	GA6P3X7R1E226M250	22μF/25V, 1210
FB	R13, R2	CRCW0603200KFKEA	200kΩ, 0603 年
	R50, R3	CRCW060314K3FKEA	14.3kΩ, 0603 年
RT	R19, R21	CRCW060376K8FKEA	76.8kΩ, 0603 年
EN	R22	CRCW0603200KFKEA	200kΩ, 0603 年
	R34	CRCW06037K15FKEA	7.15kΩ, 0603 年

5 まとめ

ADAS アプリケーションに LM5137F-Q1 を搭載した 4 相インターリーブ降圧コンバータがアプリケーションノートで検証されています。このコンバータは、位相をシェディング、および軽負荷時のスイッチング周波数を低減することで、優れた軽負荷効率を実現できます。これにより ADAS アプリケーションにおける高い di/dt 要件を満たすこともできます。

バッテリー電圧が 12V の場合、LM25137-Q1 (42V、100% のデューティサイクル対応のデュアルチャネル同期整流降圧コントローラ) が推奨されます。BOM が更新され、LM5137F-Q1 をベースとするコンバータも 48V バッテリアプリケーションで使用できます。それらのアプリケーションの詳細については、『[PMP41165](#)』を参照してください。

6 参考資料

- テキサス インスツルメンツ、『[LM5137F-Q1 車載、80V、100% のデューティサイクル、デュアルチャネル、機能安全準拠の同期整流降圧コントローラ](#)』
- テキサス インスツルメンツ、『[LM25137F-Q1 車載、80V、100% のデューティサイクル、デュアルチャネル、機能安全準拠の同期整流降圧コントローラ](#)』
- テキサス・インスツルメンツ、『[PMP41158: 450W 12V ~ 4.5V 4 相インターリーブ降圧コンバータのリファレンスデザイン](#)』
- テキサス・インスツルメンツ、『[PMP41165: 600W 48V ~ 12V 4 相インターリーブ降圧コンバータのリファレンスデザイン](#)』
- テキサス インスツルメンツ、『[多相降圧コンバータの利点](#)』、記事
- EE Times、『[マルチフェーズ降圧コンバータの利点パート 1](#)』

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用される テキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated