

Application Note

LM5125x 昇圧コントローラの非同期動作



Federico Galli

概要

LM5125x は、最大でも等しい入力電圧に対して安定化された出力電圧を供給するデュアルフェーズ同期コントローラであり、 V_{IN} と V_{OUT} の間でバイパスモードにも対応しています。LM5125x は、ハイエンドオーディオ電源、電圧スタビライザ モジュール、スタート/ストップ アプリケーションなどのアプリケーションに対応できます。デバイスの 2 相の非同期動作も可能なため、コンバータ全体の性能を妥当に低下させながら、BOM コストと複雑さを低減できます。このアプリケーションノートでは、非同期モードでの LM5125x の評価について説明し、実用的なアプリケーションを想定してエンジニアが適切に設計するのに役立つ設計ガイドラインを提示します。

目次

1 はじめに	2
2 アプリケーションと実装	3
3 設計上の考慮事項	5
4 テスト結果	6
4.1 効率の測定	6
4.2 デバイスの機能	6
4.3 負荷過渡	10
4.4 ライントランジエント	12
4.5 温度測定	14
4.6 ボード線図	17
5 まとめ	19
6 参考資料	20

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

LM5125x は広い入力電圧範囲 (最大 42V) で動作し、ATRK/DTRK ピンを使用して動的に変更できるレギュレーション済み出力を供給します。LM5125x は、選択可能なスイッチング周波数 (100kHz ~ 2.2MHz)、選択可能なデッドタイム (18ns ~ 200ns)、平均インダクタ電流監視、動的に選択可能なスイッチング モード (ダイオード エミュレーション モード (DEM)、強制パルス幅変調 (FPWM))、プログラマブルな電流制限、パワー グッド インジケータなど、多くの機能を備えています。

[[LM5125-Q1 のデータシート、製品情報、およびサポート | TI.com](#)]

[[LM5125A-Q1 のデータシート、製品情報、およびサポート | TI.com](#)]

昇圧コントローラは同期動作向けに設計されており、標準的な昇圧コントローラトポロジのダイオードを置き換えてハイサイド スイッチを駆動します。同期動作では、ダイオードの順方向電圧降下を回避することで電力損失を低減できるため、全体的な効率が向上します。ただし、同期動作を採用すると、BoM コストと設計の複雑さが増します。一部のアプリケーションでは、非同期昇圧コンバータが依然として適しており、ハイサイド スイッチの代わりに、より安価でより小型のダイオードを使用しています。

このアプリケーションノートは、LM5125x を非同期モードで使用し、デバイスに搭載されているすべての機能を引き続き維持する方法を示します。テスト結果では、コンバータ全体の効率でわずか 2 ~ 3% の低下が示されています。

2 アプリケーションと実装

LM5125x の非同期動作の実現可能性を実証するため、LM5125EVM-BST 評価基板を使用してテストを実施しました。この評価基板は、LM5125 の機能と性能を提示すると同時に、構成を容易にする設計を採用しているため、ユーザーはモジュールのさまざまな条件を評価できます。標準構成は、24V/300W の出力を供給するよう設計されています。出力電圧は、ATRK/DTRK ピンを使用して動的に調整することができます。

評価基板の DIP スイッチを使用して、3 つの構成レジスタ CFG0、CFG1、CFG2 を設定できます。LM5125EVM-BST のユーザー ガイド [<https://www.ti.com/lit/snvu874>] で説明しているように、これら 3 個のレジスタは、過電圧保護 (OVP) や入力電流制限保護など、デバイスの大半の機能を制御します。DIP スイッチを使用したデバイス構成の詳細については、[<https://www.ti.com/lit/snvu874>] を参照してください。

非同期動作を完全に評価するには、次のテストを実行します。

- 最大 5A の負荷電流での効率測定。
- ソフトスタート (SS)、OVP、位相 2 のイネーブル (EN2)、バイパス モードなどのデバイス機能。
- 負荷過渡変化: 0.5A ~ 4.5A。
- ライン過渡変化: 14V ~ 20V。
- +85°C と -35°C での効率測定を含む温度測定、5A 負荷で 10 分間動作した際の熱画像。
- ボード線図による補償ループの安定性測定。

上記のテストは、次のパラメータで実行されます。

表 2-1. 非同期モードの評価基板仕様

パラメータ	条件	最小値	標準値	最大値	単位
入力電圧	動作	14.4		V	
出力電圧	$R_{ATRK} = 40.2\text{k}\Omega$	24		V	
	$V_{ATRK} = 1.6\text{V}$	48		V	
	$V_{ATRK} = 1.2\text{V}$ (OVP)	36		V	
出力電力	$R_{ATRK} = 40.2\text{k}\Omega$		120	W	
	$V_{ATRK} = 1.6\text{V}$		240	W	
	$V_{ATRK} = 1.2\text{V}$ (OVP)		180	W	
スイッチング周波数	動作	400		kHz	
効率	$V_{IN} = 14.4\text{V}$ 、 $V_{OUT} = 24\text{V}$ 、 $P_{OUT} = 120\text{W}$	95.1		W	
	$V_{IN} = 14.4\text{V}$ 、 $V_{OUT} = 48\text{V}$ 、 $P_{OUT} = 240\text{W}$	92.9		W	

デフォルト接続が評価基板のジャンパに対して (<https://www.ti.com/lit/snvu874> の表 2-2 に記載されているように) 使用されます。ただし、位相 2 のイネーブル テスト (JP2 を除外) と補償ループの安定性測定 (JP6 を除外) に関する例外がいくつかあります。出力電圧は、J8 コネクタに接続された電圧源を使用して動的に設定できます。このデバイスは、3 つの異なる構成の DEM モードでテストされます。これらの構成については、[表 2-2] に記載されています。

表 2-2. 非同期モード テストに使用する構成

構成	CFG0	CFG1	CFG2	V_{OUT} は以下で設定	V_{ATRK}	V_{OUT}	OVP
抵抗	3	10	1	抵抗	該当なし	24V	50V
アナログ	11	10	1	ATRK/DTRK	2.0V	48V	50V
OVP テスト	11	12	2	ATRK/DTRK	1.5V	36V	28.5V

LM5125 非同期モード評価を実行するには、以下の試験装置が必要です [表 2-3]。

表 2-3. 使用した機器

機器のタイプ	説明
電源	電源は、少なくとも 20V/20A をサポートし、ライン過渡電圧を生成する必要があります。
電子負荷	電子負荷は、48V 以上で 250W をシンクし、負荷過渡を生成する必要があります。
デジタルマルチメータ	<ul style="list-style-type: none"> 電圧計 1 (V_{IN}): 30V の入力電圧を測定可能。 電圧計 2 (V_{OUT}): 50V の出力電圧を測定可能。 電流計 1 (I_{IN}): 30A の DC 測定が可能。 電流計 2 (I_{OUT}): 10A の DC 測定が可能。
オシロスコープ	最小 200MHz 帯域幅。
温度サイクルシステム	周囲温度 +85°C と -35°C をシミュレート。
赤外線カメラ	デバイスの IR の画像を撮影し、生成されている熱を確認。
ネットワークアナライザ	安定性測定用

3 設計上の考慮事項

通常、DC/DC 同期コンバータでは、SWx ピン (デバイス ピン) と SW ノード (インダクタ端子) が接続されます。また、ブートストラップ機能のために HBx ピンと SWx ピンとの間に 100nF コンデンサが接続されており、SWx ピンに対して 5V 高いハイサイド ゲートドライバ用の電源を供給します。非同期モードでは、ハイサイド FET が存在しないため、100nF のブートストラップ コンデンサは役に立ちません。したがって、取り外す必要があります。ただし、ブートストラップ コンデンサがない場合、HBx ピンに SWx ピンを基準に 5V を構築する機能がないため、デバイス内部のフォルトがトリガされ、このフォルトによって、不要なゲートドライバ スイッチング動作が発生します。

これを回避するためには、HBx ピンを VCC にプルし、評価ボードで SWx ピンを接地する必要があります (図 3-1)。これにより、SWx ピンに対する HBx ピンが常に 5V であることが検証され、フォルト検出器がバイパスされます。SWx ピンを接地しても、インダクタ間の必要な電圧スイッチング動作が許容されないため、SWx ピンとスイッチ ノードとの間の接続は取り除く必要があります。評価基板の変更については、図 3-1 を参照してください。

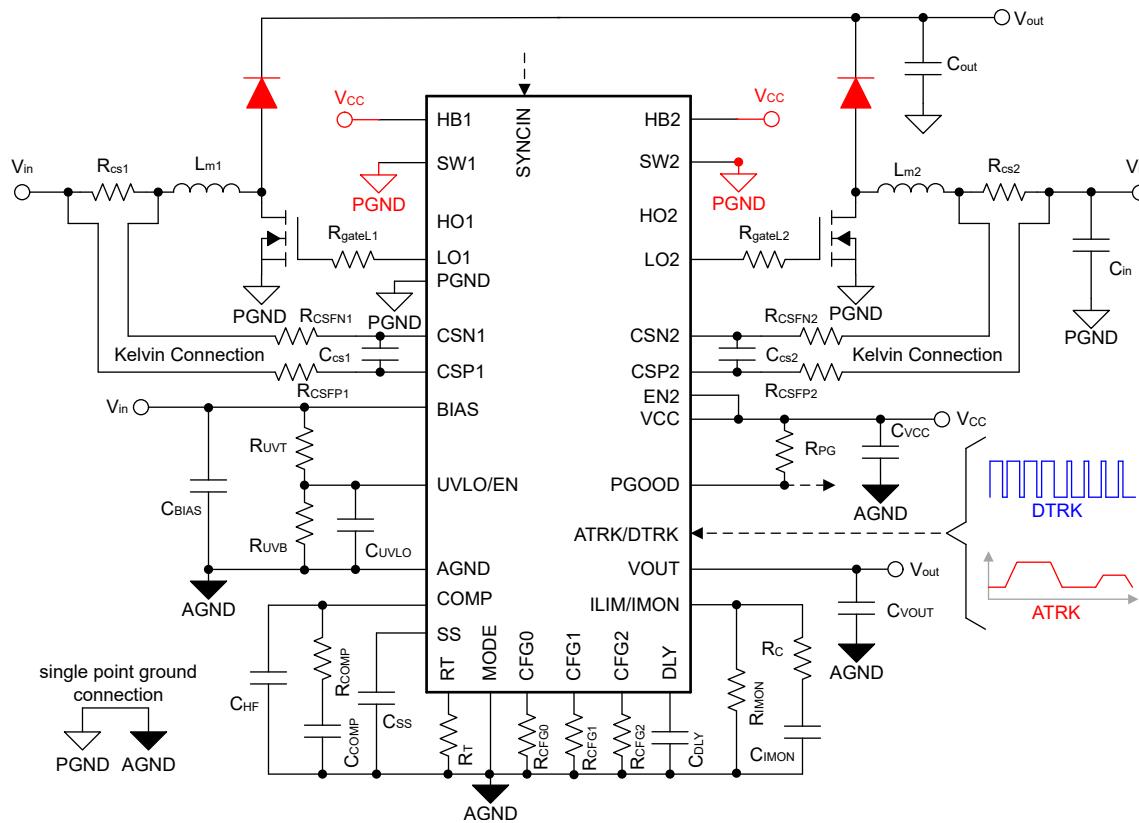


図 3-1. 非同期モードにおける LM5125 のブロック図

4 テスト結果

4.1 効率の測定

入出力電力をそれぞれ測定し、昇圧コンバータの効率を計算するために、デバイスの入出力で電圧と電流を測定します。このデバイスは、入力電圧 14.4V、負荷範囲 0.1A ~ 5A において、「抵抗」および「アナログ」構成で動作します。[図 4-1](#) に、2 つの構成の効率プロットを示します。

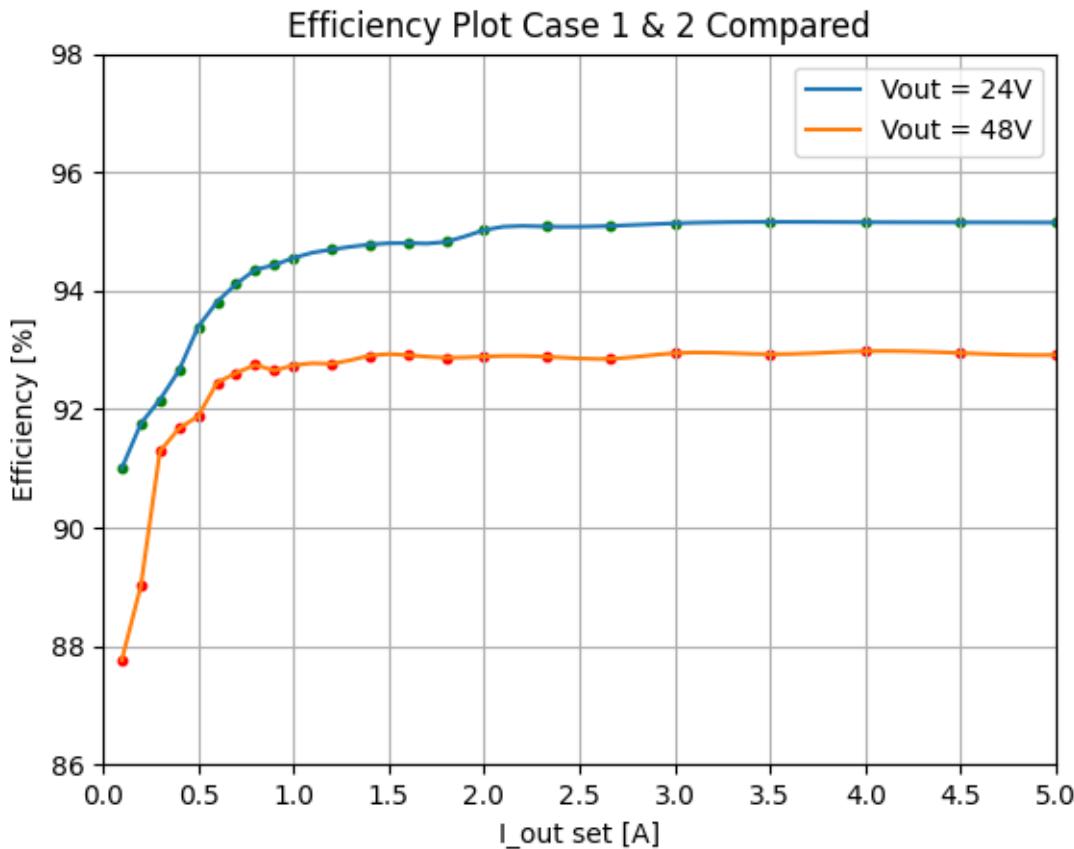


図 4-1. $V_{OUT} = 24V$ および $V_{OUT} = 48V$ における効率プロット

抵抗構成では、負荷電流 5A 時に最大 95.16% の効率が得られます。アナログ構成では、負荷電流 5A で最大 92.95% の効率が得られます。予想どおり、同期動作に対してコンバータの効率は 2% ~ 3% 低下します ([LM5125EVM-BST 評価基板](#) の表 1-1 に記載されている評価基板仕様による)。これは、ダイオードがトランジスタよりも導通損失が大きいためです。出力電圧が高いほど、ローサイド FET のデューティサイクルが高くなり、スイッチング損失が大きくなることで、コンバータ全体の損失につながります。その結果、「アナログ」構成の効率は低下します ($V_{OUT} = 48V$)。

4.2 デバイスの機能

4.2.1 ソフトスタート (SS)

SS の動作が理論的には非同期動作の影響を受けない場合でも、デバイスが正常に起動しているかどうかを確認することをお勧めします。スタートアップ動作とソフトスタートピンには、SS ピンの信号のスナップショットが表示されます。見てわかるように、出力電圧 (黄色) はまず入力 (オレンジ色) に追従し、次に目的の出力 (この場合は 24V) まで上昇します。画像の上部 (青色) には、コンバータのスイッチ ノードが見えます。

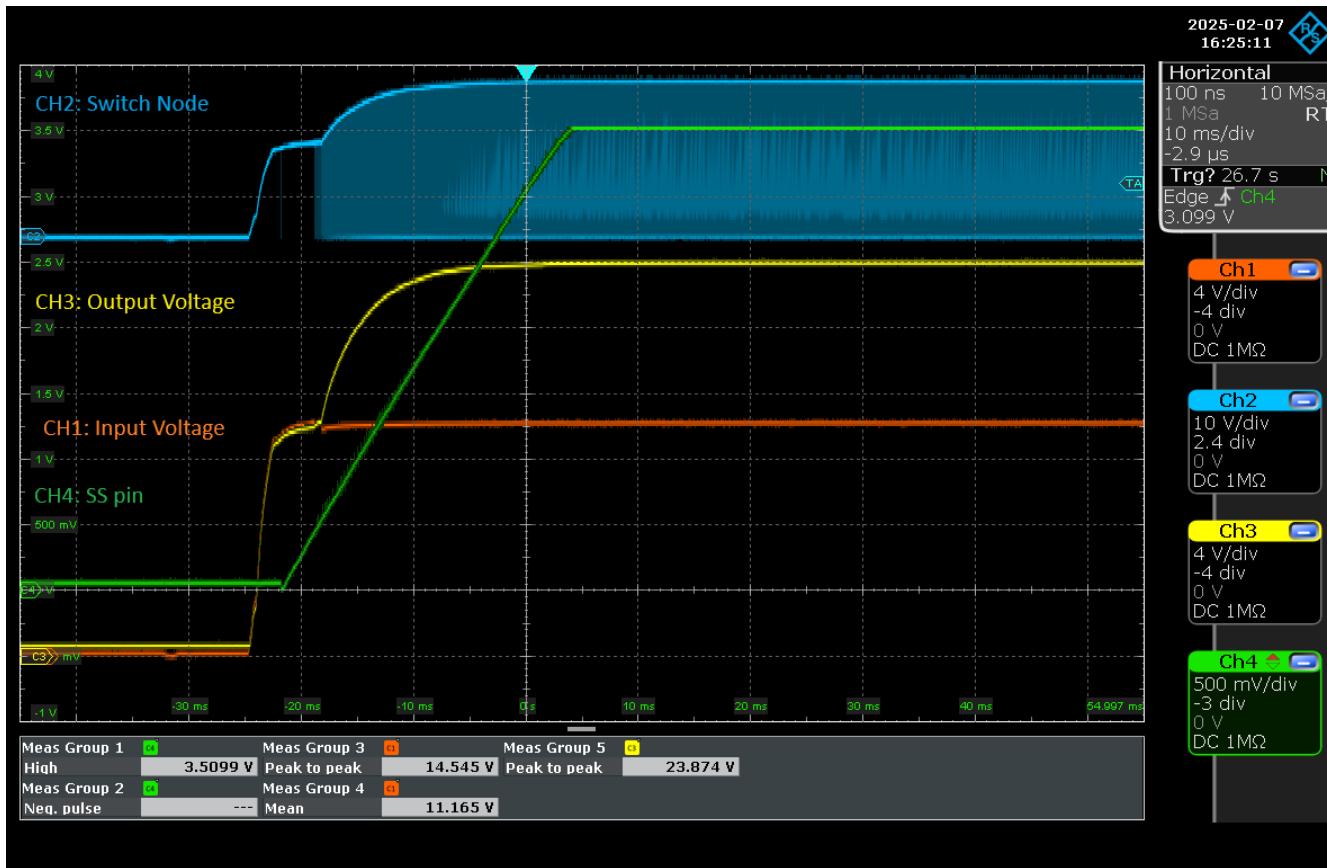


図 4-2. スタートアップ動作とソフトスタートピン

4.2.2 過電壓保護(OVP)

OVP をテストするために、デバイスは構成「OVP テスト」(CFG0 = 11、CFG1 = 12、CFG2 = 2) で動作し、OVP レベルを 28.5V (OVP ビット [11]) に変更して、ターゲット出力電圧をそのスレッショルド (この場合は 36V) を超えるように設定します。結果が図 4-3 に表示されます。このデバイスはスイッチングを開始し (緑色の波形)、目的の出力電圧 (黄色の波形) に到達しようとしていますが、デバイスが OVP スレッショルドに達すると、デバイスはスイッチングを停止し、出力電圧は低下を開始して、デバイスが OVP レベルを下回るまで低下し、同じサイクルが繰り返されます。出力電圧が OVP レベルを下回る速度は、負荷電流に依存します。ここでは、テストに 3A の負荷を使用しました。

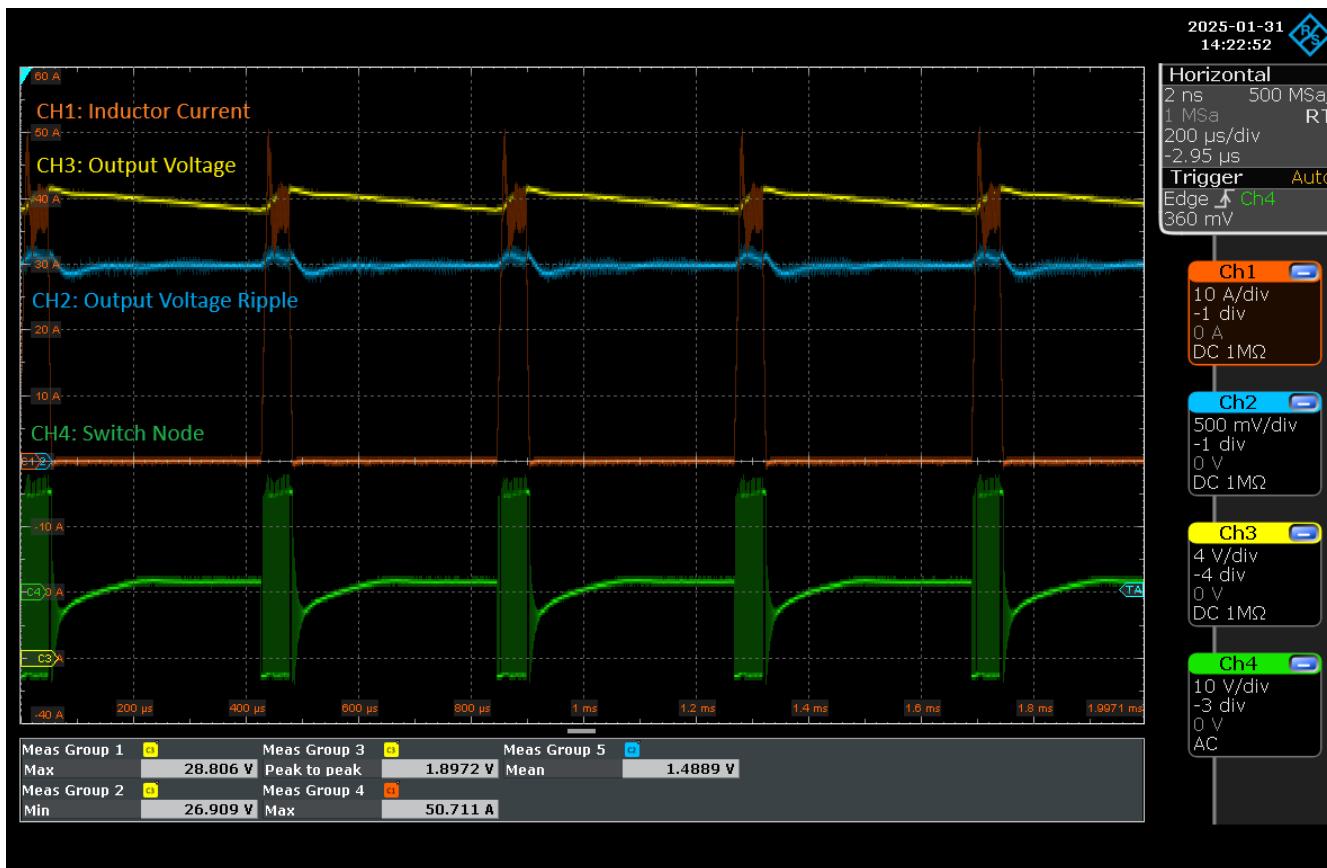


図 4-3. 過電圧保護動作

4.2.3 2 番目の位相の有効化 (EN2)

EN2 ピンに 100Hz の周波数の方形波を印加することで、2 番目の位相のオンとオフを繰り返し、デバイスの動作方法を確認します。図 4-4 に示すように、インダクタ電流 (それぞれオレンジ色と青) は、EN2 信号 (緑) に従って流れます。出力電圧 (黄色) は、高速回復で許容振幅 (数百 mV) のオーバー / アンダーシュートを示しています。このテストで使用される負荷電流は 3A です。

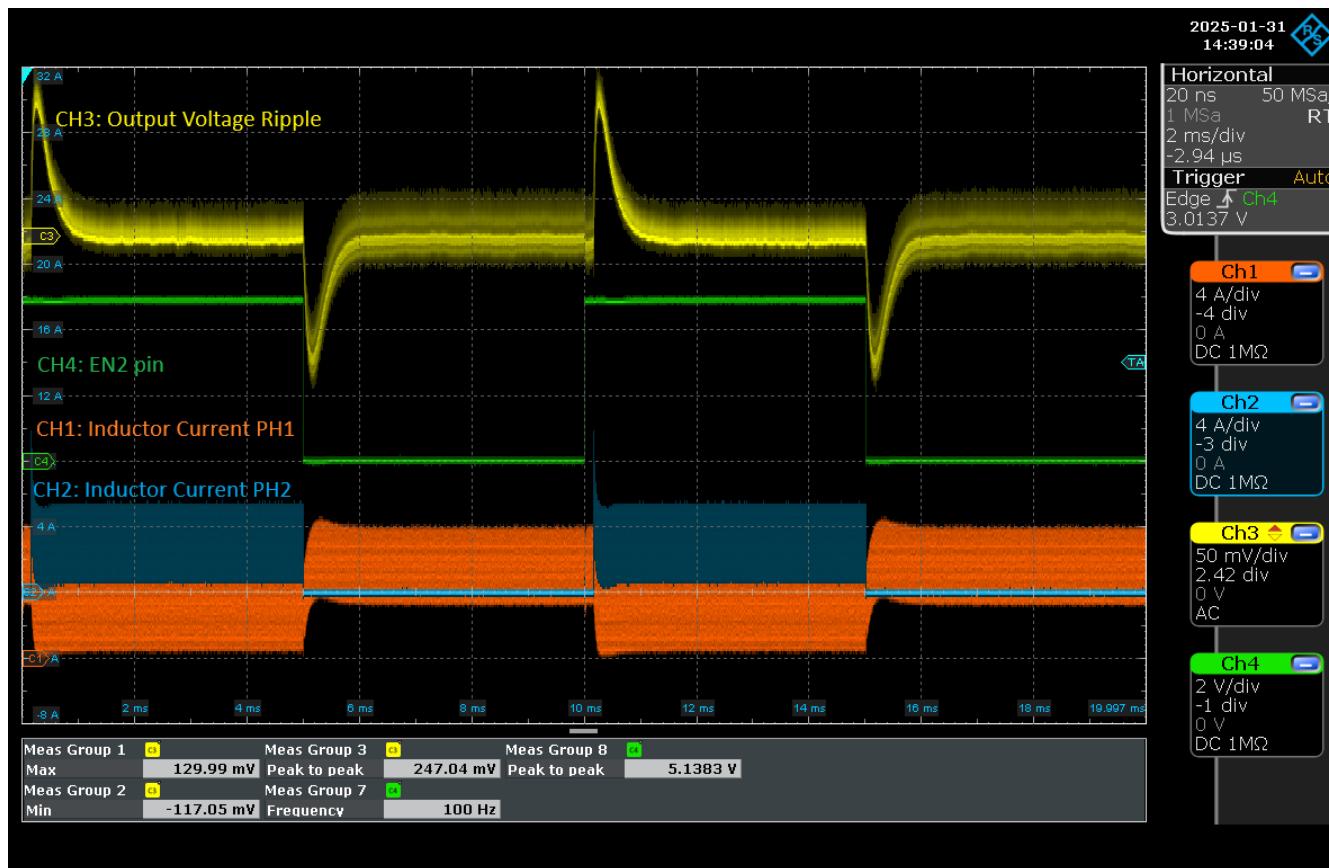


図 4-4. フェーズ 2 のオン / オフ

4.2.4 バイパス モード

入力電圧が出力電圧を上回ると、バイパス モードがトリガされます。ここで興味深いのは、図 4-5 に示すように、これが発生するとすぐに、デバイスがスイッチングを停止することです (青色の波形)。出力は入力電圧 (それぞれ黄色と緑色) からダイオードの電圧降下を引いた値になります。

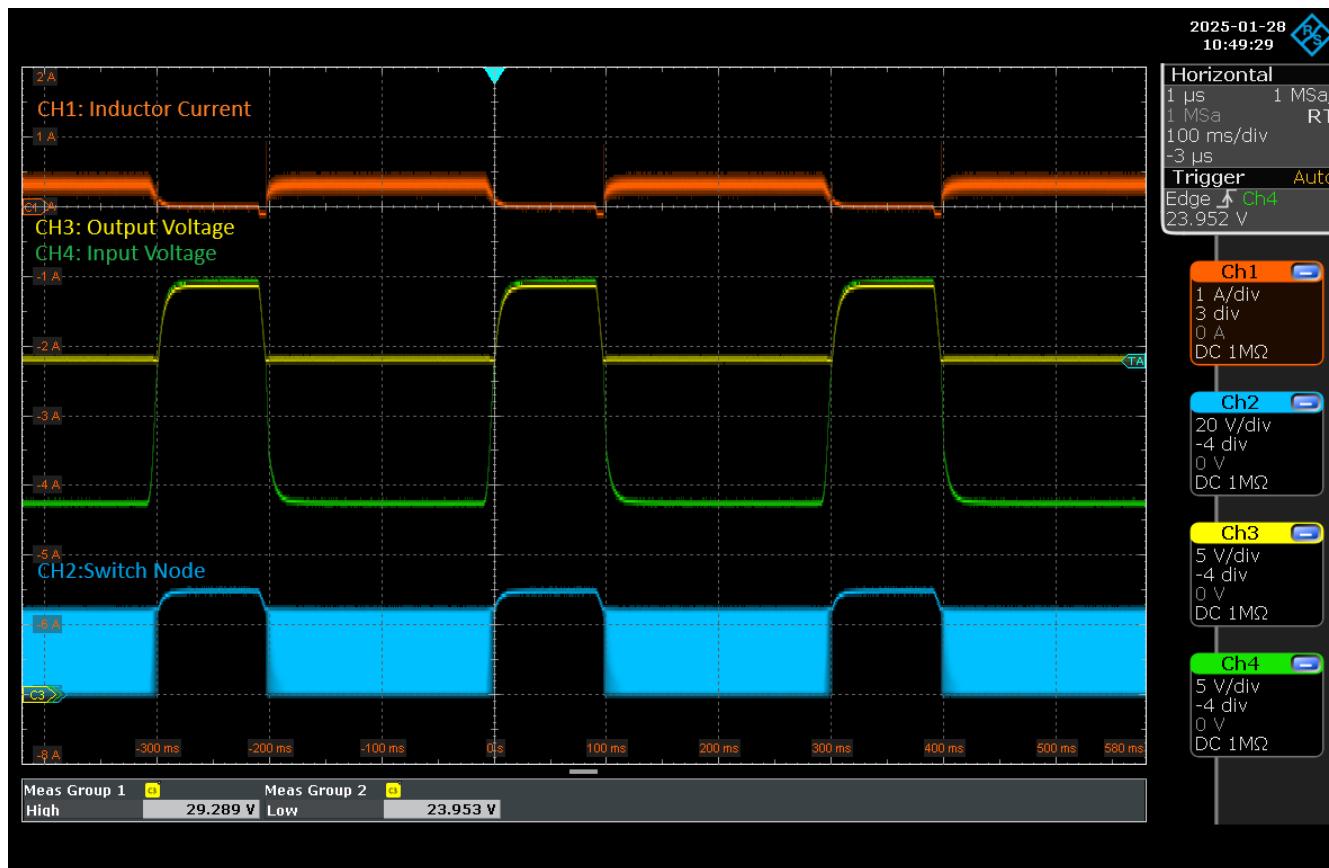


図 4-5. バイパス モード動作

4.3 負荷過渡

負荷の変化に応じてデバイスの堅牢性を確認するために、構成「抵抗」と「アナログ」の両方で、周波数 100Hz で 0.5A から 4.5A までの負荷ステップを出力に印加します。図 4-6 と図 4-7 から、デバイスを回復するのに要する時間はわずか 1ms であり、オーバーシュートとアンダーシュートは「抵抗」構成で最大 1.4%、「アナログ」構成で 1.1% です。両方の画像で注目すべき興味深い点は、オーバーシュートにより出力電圧が設定値を超えて増加するとすぐに、デバイスはスイッチングを停止する（そしてインダクタ電流がゼロになる）ことです。出力値が再びこのスレッショルドを下回ると、デバイスは通常動作を再開します。

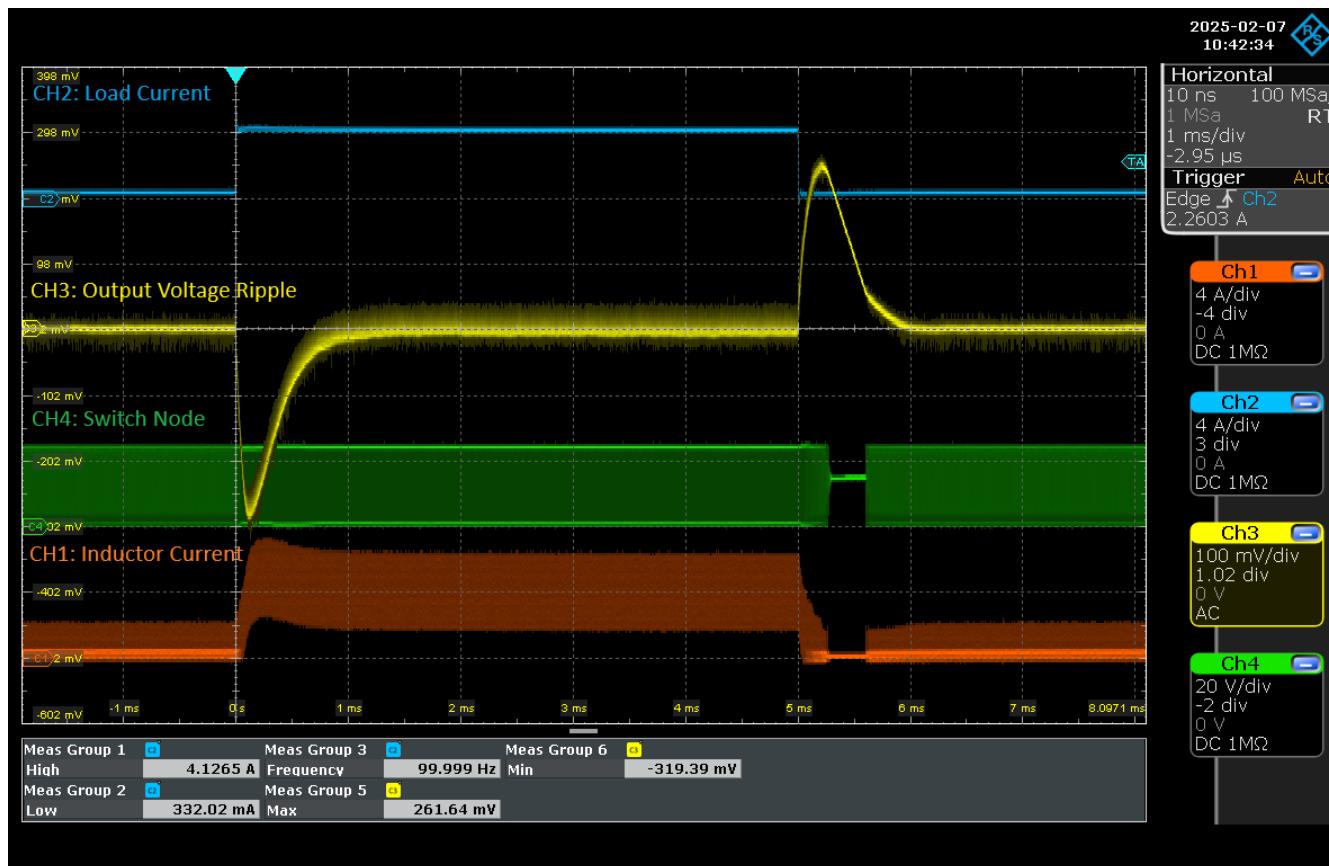


図 4-6. 抵抗構成の負荷過渡 (24Vout)

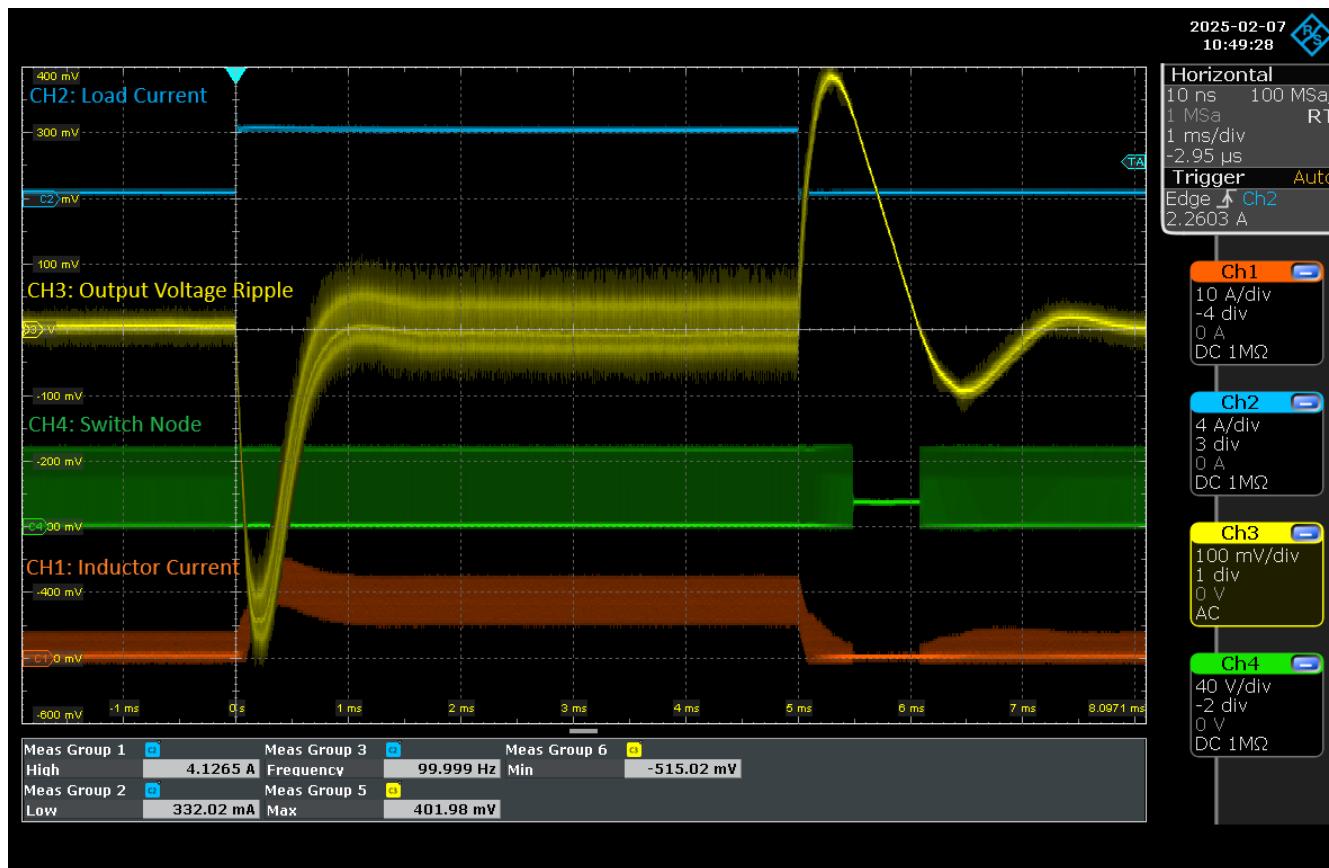


図 4-7. アナログ構成の負荷過渡 (48Vout)

4.4 ライントランジエント

入力に電圧過渡を印加し、回線障害に対するコンバータの堅牢性をチェックしました。14V ~ 20V の間のラインステップを印加し、出力電圧リップルを観測します。構成「抵抗」および「アナログ」の結果を、図 4-9 と図 4-8 にそれぞれ示します。使用される補償ループは 68° の位相マージンをもたらし、これによりデバイスは安定しています。負荷過渡分析と比較すると、オーバーシュートによってデバイスはスイッチングをより短い時間間隔 (数十 μ s) で停止しますが、オーバーシュートの大きさは、同等かそれ以下です。これは、デバイスが出力電圧をレギュレートする速度が非常に速いため、この時間間隔は、出力電圧を検出して FB ピンを通過する信号路に沿った伝搬より短いためです。

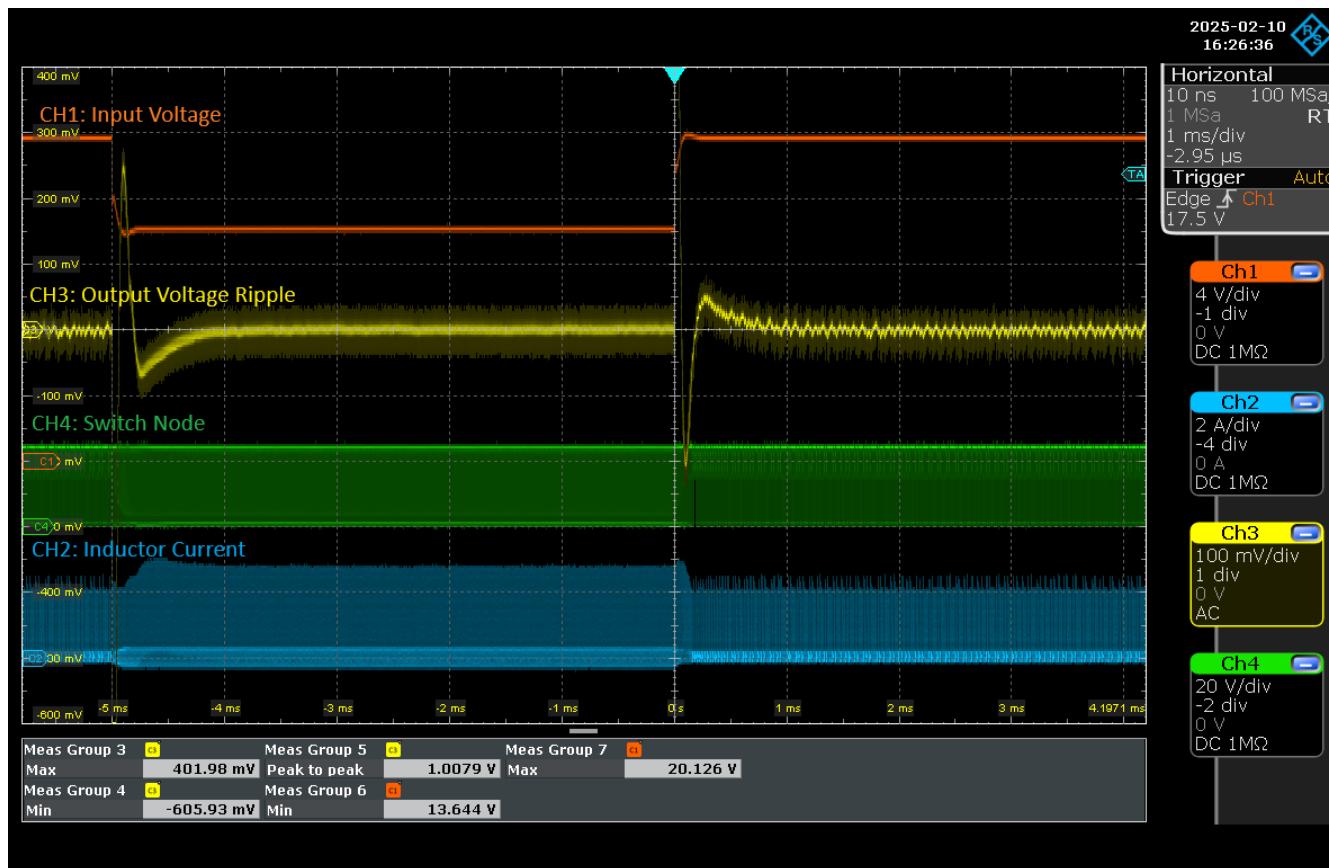


図 4-8. 抵抗構成のライントランジェント (24Vout)

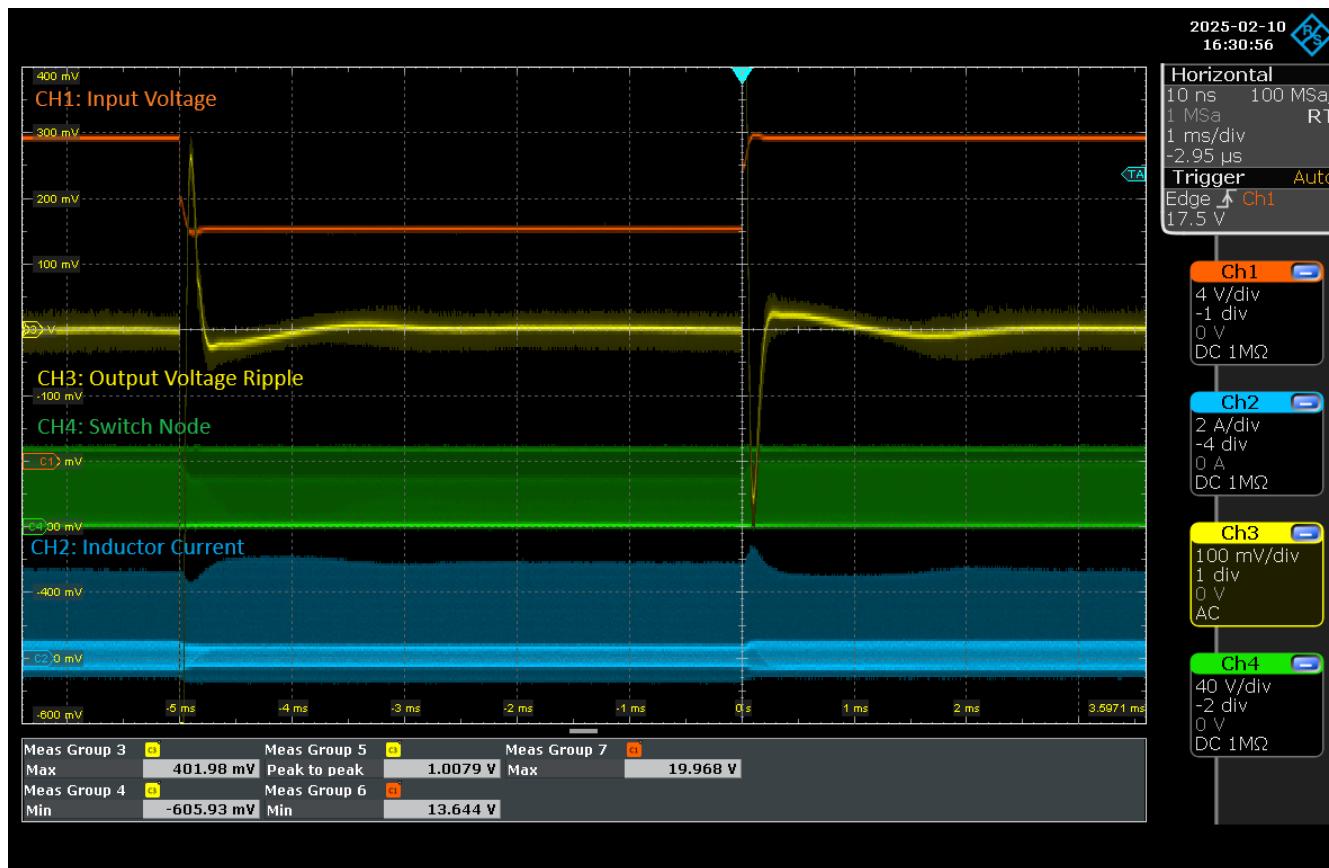


図 4-9. アナログ構成のライントランジエント (48Vout)

4.5 温度測定

効率測定は、周囲温度 $+25^{\circ}\text{C}$ 以外の温度、すなわち $+85^{\circ}\text{C}$ および -35°C で繰り返されます。「抵抗」構成と「アナログ」構成の結果をそれぞれ図 4-11 と図 4-10 に示します。予想どおり、周囲より温度が高いと全体的な効率は低下しますが、周囲温度より低いと、効率は周囲温度での効率と同等になります。

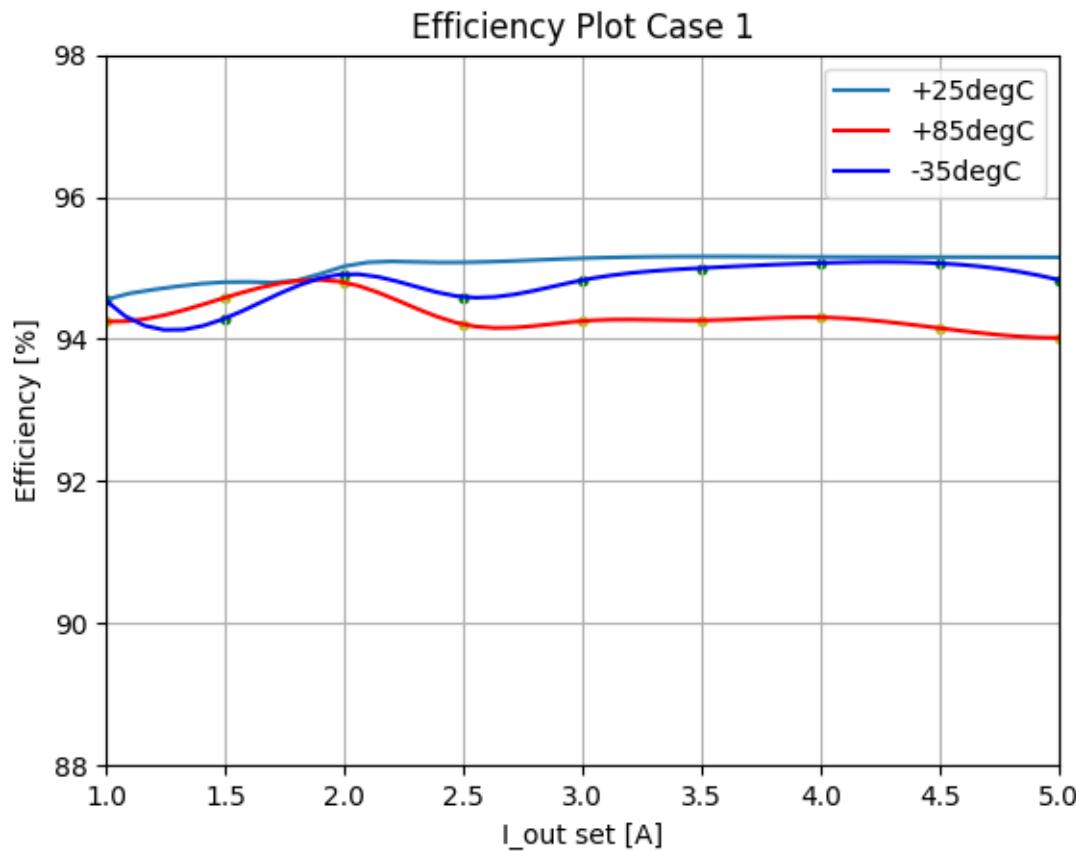


図 4-10. 周囲温度と異なる温度での効率プロット (抵抗構成)

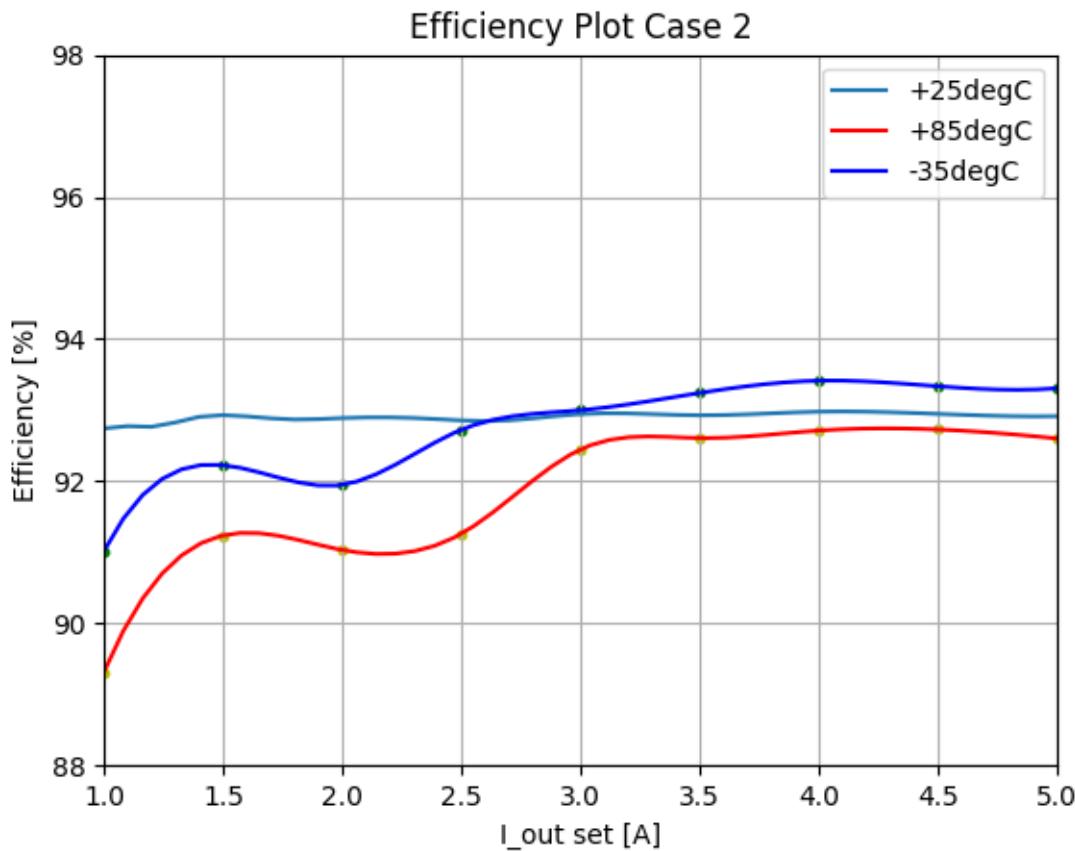


図 4-11. 周囲温度と異なる温度での効率プロット (アナログ構成)

ボードの放熱を確認するため、デバイスを 10 分間 5A 負荷で動作させ、両方の構成「抵抗」と「アナログ」で評価ボードの赤外線画像を取得します。赤外線画像を図 4-12 と図 4-13 に示します。出力電力が小さい場合 (構成「抵抗」)、ダイオードがローサイド FET よりも高温になりつつある一方 (導通損失が大きいため)、2 番目のケースでは (出力電圧が高いとき)、逆の現象が起きます。デューティ サイクルが増加し、ローサイド FET がより長くオンに維持されるためです (そのため、ダイオードよりも導通損失が大きくなります)。全体として、画像からわかるように、熱発生の大半はダイオードとローサイド FET によるもので、IC は常に黄色からオレンジ色の領域にあります。

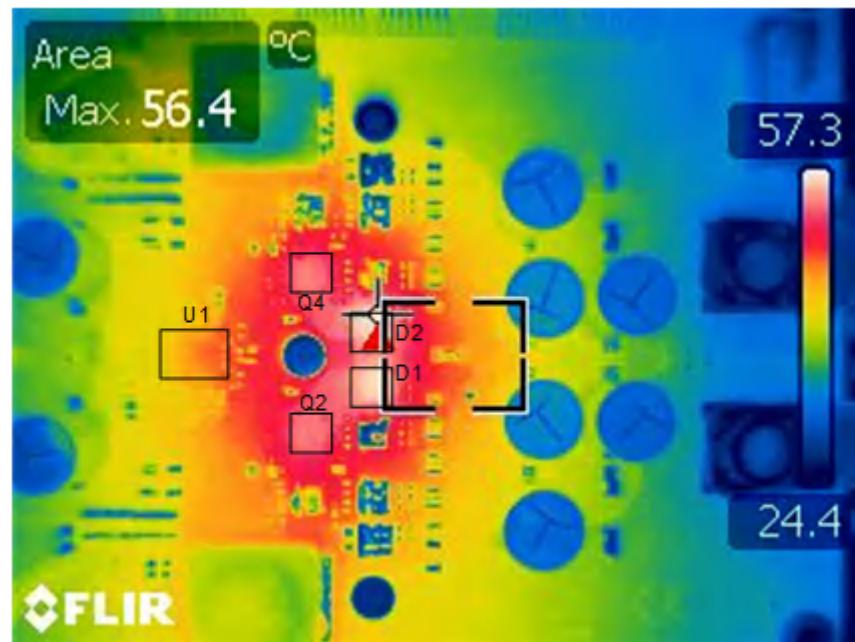


図 4-12. 抵抗構成の評価基板の放熱

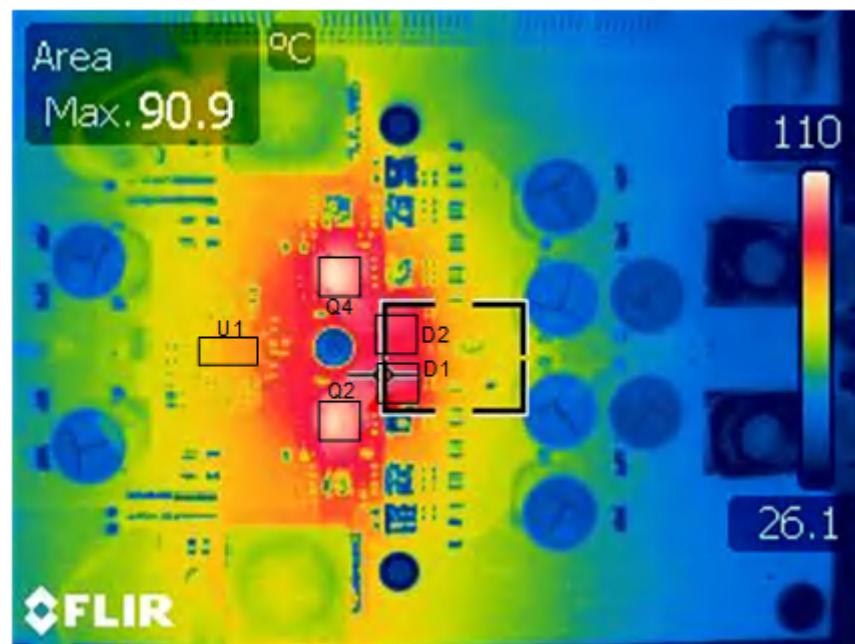


図 4-13. アナログ構成での評価基板の放熱

4.6 ボード線図

負荷およびライン過渡によって間接的に安定性をチェックしている場合でも、図 4-14 に示すボード線図で補償ループの安定性に関して再検討できます。これは明らかに、カットオフ周波数 (ほぼ 1kHz) でデバイス位相がゼロより約 80° を超えていることを示しており、デバイスが安定していることを確認しています (位相マージンは、主に推奨される 60° よりも高くなっています)。

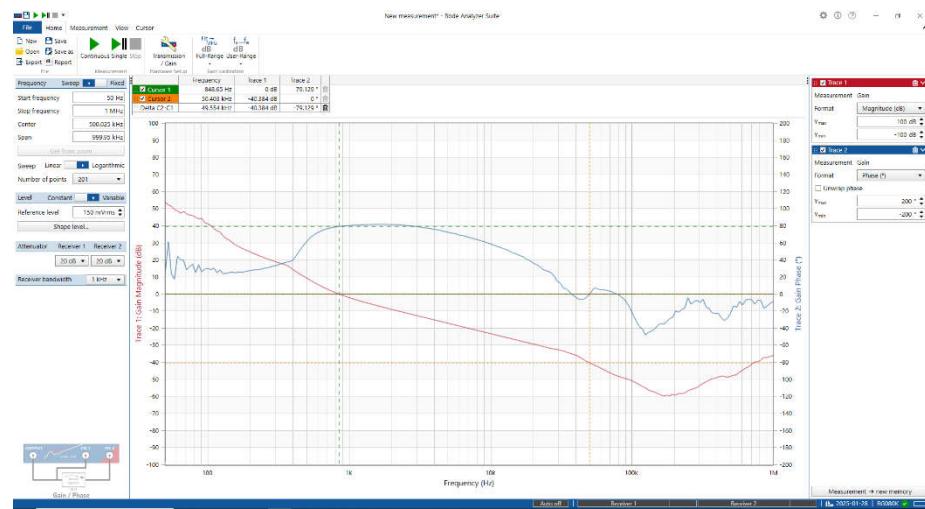
テスト結果


図 4-14. 抵抗構成における非同期モードのボード線図

5 まとめ

上の図とスコープ プロットに示すように、LM5125x は非同期モードで適切に動作します。ただし、いくつかの欠点を考慮する必要があります。ハイサイド FET をダイオードに置き換えてブートストラップ コンデンサを取り除くことで全体の BOM が低くなりますが、コンバータの効率は 2 ~ 3% 低くなり (トランジスタと比較してダイオードの導通損失が大きいため)、同じ出力電圧での放熱が大きくなります。ただし、LM5125x を非同期モードで動作させるために、評価基板を変更して HBx ピンと SWx ピンの間に必要な 5V ステップを構築することで、ハイサイド ドライバを正しく動作させることができます (HO1/HO2 ピンがフローティングのままになっている場合でも)。

6 參考資料

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>

重要なお知らせと免責事項

TI 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默示保証、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、明示的または默示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 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、(1) お客様のアプリケーションに適した TI 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、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 TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI 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。TI 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、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI 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。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月