

TI Designs リファレンス・デザイン

2層 TO-220 フォーム・ファクタを採用した 5V、1A、低 EMI、効率 94% の DC/DC モジュールのリファレンス・デザイン



概要

TIDA-00946 という TI Design リファレンス・デザインは、主な家電機器において LDO の代替となる小型、高効率、低 EMI の DC/DC モジュールです。このリファレンス・デザインは効率を大幅に改善しており、ヒートシンクも不要なので、サイズとコストを節減できます。TPS54202 パワー・コンバータを採用した結果、同じ入力電流でより大きな出力電流を供給するほか、全負荷時、低負荷時、スタンバイ動作時それぞれの消費電力を低減することができます。

このモジュールは、TO-220 に封止した LDO とのサイズ互換性およびピン互換性を確保しているため、迅速な評価と、市場投入期間の短縮が可能です。

リソース

[TIDA-00946](#)

[デザイン・フォルダ](#)

[TPS54202](#)

[プロダクト・フォルダ](#)



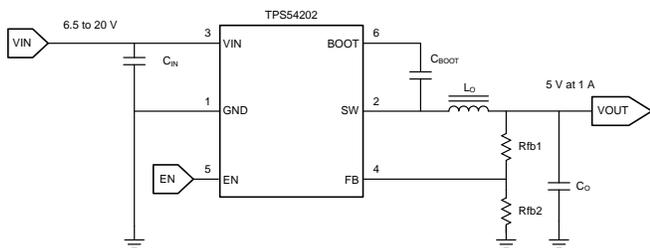
[E2E エキスパートに質問](#)

特長

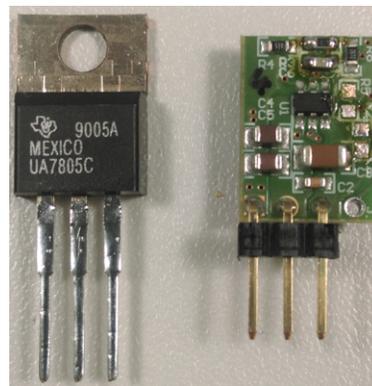
- 5V 安定化、最大 1A の出力負荷に対応
- 94% の効率
- スタンバイ電流 1.6μA、無負荷時電流 76μA
- 小型フォームファクタ: TO-220 とのサイズ互換性およびピン互換性を確保し、TO-220 より小型 (10.5mm x 14.5mm)
- 全負荷時の温度上昇が 35°C 未満で、ヒート・シンク不要
- オンボード DC/DC 設計の複雑度を緩和、スイッチング電源の EMC 設計に関する研究開発期間と労力を節減 (市場投入期間の短縮)

アプリケーション

- [洗濯機、乾燥機](#)
- [冷蔵庫、冷凍庫](#)
- [食器洗い機](#)
- [エアコンの室内機](#)



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated



使用許可、知的財産、その他免責事項は、最終ページにあるIMPORTANT NOTICE (重要な注意事項)をご参照くださいますようお願いいたします。

1 システム概要

1.1 システムの説明

従来、家電機器は低ドロップアウト・レギュレータ (LDO) を使用して、12V レールから 5V または 3.3V を生成しています。LDO 選定の主な理由は、低コストかつ小型であることです。

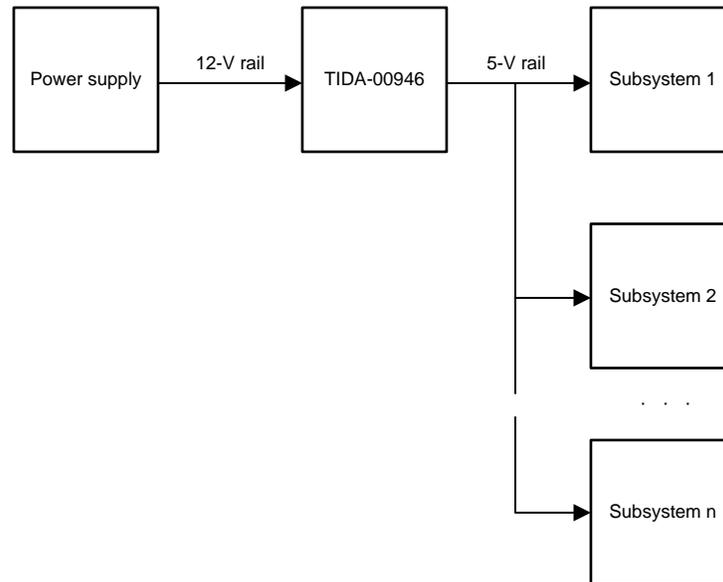


図 1. システム図

動作時とスタンバイ時の消費電力要件が厳しくなり、新機能 (Wi-Fi モジュールなど) の追加により電流ニーズも増大している現状で、LDO は厳格なエネルギー定格を実現する際に障害となっています。

TIDA-00946 は、効率向上と電流能力に関するこのニーズを満たす目的で開発したもので、通常は LDO の電力損失を放熱するために使用するヒートシンクが不要になるので、占有面積も節減できます。

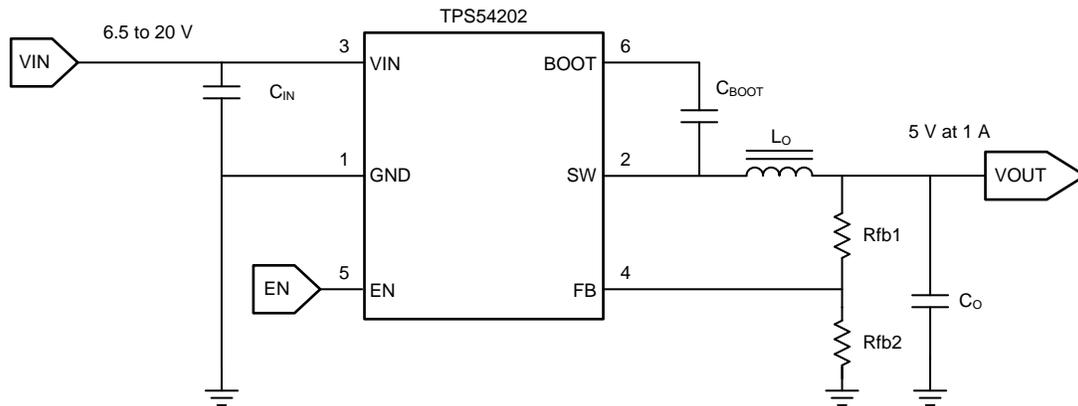
1.2 主なシステム仕様

TIDA-00946 の仕様を表 1 に示します。

表 1. 主なシステム仕様

パラメータ	仕様	詳細
入力電圧範囲	6.5~20V	—
出力電圧/最大電流	5V/1A	—
効率(全負荷、定格負荷、軽負荷)	92.5%: 12V → 5V/1A、94%: 12V → 5V/500mA、 77.5%: 12V → 5V/10mA	4.2.1
EMI 性能	EN55022 クラス B、6dB を上回るマージン	4.2.10
レギュレーション(ライン/ロード)	入力範囲全体と負荷電流範囲全体で ±1%	4.2.3
過渡応答	0.1~1.0A で ±5%	4.2.5
保護機能	短絡、両方の FET のヒックアップ・モード OCP、OTP、OVP	4.2.7
動作時の周囲温度	-30°C~65°C	4.2.2

1.3 ブロック図



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

図 2. ブロック図

1.4 主な使用製品

1.4.1 TPS54202

TPS54202 は、入力電圧範囲 4.5~28V、2A の同期整流・降圧コンバータです。2 個のスイッチング FET、ループ補正、5ms のソフト・スタート機能を内蔵しているため、部品点数を低減できます。

また MOSFET を内蔵し、SOT-23 パッケージを採用しているため、高い電力密度を実現し、PCB 上の占有面積を削減できます。

高度な Eco-mode™ の実装により、軽負荷時の効率を最大限に高め、電力損失を削減できます。

TPS54202 は、EMI 低減の目的で周波数スペクトラム拡散動作を採用しています。

2 個の 1 次側 MOSFET でサイクル単位の電流制限を実施して過負荷条件下のコンバータを保護するほか、2 次側 MOSFET のフリーホイール電流制限により電流暴走を防止します。プリセット時間を上回る長さで過電流状態が続いた場合、ヒックアップ・モード保護機能をトリガします。

特長:

- 4.5~28Vの広い入力電圧範囲
- 148mΩと78mΩのMOSFETを内蔵し、2Aの連続出力電流に対応
- 2μAの低シャットダウン電流と45μAの静止電流
- 5msのソフト・スタート機能内蔵
- 500kHzの固定スイッチング周波数
- 周波数スペクトラム拡散によりEMIを低減
- 高度なEco-modeパルス・スキップ
- ピーク電流モード制御
- ループ補償内蔵
- ヒックアップ・モード保護機能付き、2個のMOSFETの過電流保護
- 過電圧保護
- サーマル・シャットダウン

- SOT-23(6)パッケージ

1.5 システム設計理論

LDO は、出力電流が入力電流と等しい場合に、出力電圧を制御するデバイスです。式 1 に示すように、損失が、入出力電圧間のドロップアウトと出力電流に比例することを前提としています。この損失が、LDO の効率の低さの根本原因です。このため、入出力電圧比と最大出力電流に制限を課す結果になり、ヒートシンクが必要になります。このヒートシンクが原因で、ソリューション全体のコストとサイズは増大します。

一方、このプロジェクトで使用している降圧トポロジを含め、DC/DC スイッチ・モード電源には高効率という利点があります。その結果、幅広い用途に使用できるほか、(全部品とヒートシンクを含め)コストとサイズの面でも LDO 搭載デザインに対する競争力を確保しています。降圧トポロジの詳細については、アプリケーション・レポート『スイッチモード電源の降圧電力段について』(SLVA057)を参照してください。

TIDA-00946 と LDO 搭載デザインの効率を比較します。TIDA-00946 の効率データを 4.2.1 に掲載しています。LDO の電力損失は式 1 で推定できます。

$$P_{DISSIPATED} = (V_{IN} - V_{OUT}) \times I_{OUT} \quad (1)$$

12V 入力、5V 出力で、出力電流が 1A、500mA、100mA それぞれの場合の電力損失を計算し、TIDA-00946 と LDO 搭載デザインの性能を確認します。

1A 出力時の TIDA-00946 の効率は 92.5% (損失 7.5%) です。出力 5W で、損失が 0.375W です。LDO 搭載デザインの場合、式 1 から LDO による電力損失は 7W になります。

500mA 出力時の TIDA-00946 の効率は 94% (損失 6%) です。出力 2.5W で、損失が 0.15W です。これを LDO の 3.5W と比較します。

最後に 100mA 出力時の電力損失は、TIDA-00946 で 0.05W (効率90%) であるのに対し、LDO 搭載デザインで 0.7W になります。

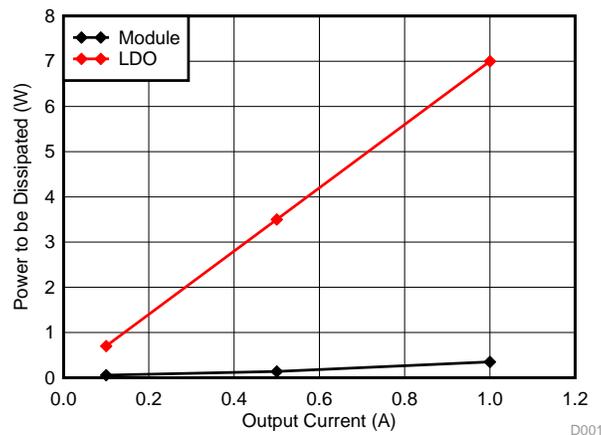


図 3. 電力損失の比較

図 3 に示すように、LDO 搭載デザインは TIDA-00946 よりかなり多くの電力を消費および放熱する必要があり、ヒートシンクが必要になるので、消費電力、コスト、サイズのいずれにも影響を及ぼします。

2 回路設計と部品選定

2.1 部品とトポロジーの選定

設計の第一歩は、回路トポロジーの選定です。家電機器はコストと占有面積を重視し、12V から 5V への変換では絶縁も不要なので、降圧トポロジーを選定します。さらに、部品コストとサイズを低減するために、FET を搭載した同期整流コンバータが望ましい選択になります。

この方針と、表 1 の仕様を念頭に置き、TPS54202 を選定しました。このコンバータは、2 個のスイッチング FET、ループ補償、5ms のソフト・スタート機能を内蔵しているので、部品数を低減できます。148mΩ と 78mΩ の MOSFET を 1 個ずつ内蔵し、最大 2A の連続出力電流動作、2μA のシャットダウン電流、45μA の静止電流を実現しています。

2.2 設計手順と受動部品の選定

最初に出力電圧を設定します。これは抵抗デバイダ (R3 と R6) で調整します。まず、抵抗の範囲を設定します。値が大きいと抵抗デバイダでの損失は小さくなりますが、帰還信号がノイズの影響を受けやすくなります。一方、値が大きいと帰還信号のノイズ耐性は向上しますが、損失は増大します。このプロジェクトでは、適切なトレードオフとして R3 を 200kΩ に設定し、式 2 を使用して R6 を計算します。ループ安定性を測定できるように、51Ω の抵抗 (R4) を追加しました。最終設計では R4 は必要ありません。

$$R6 = \frac{R3 \times V_{REF}}{V_{OUT} - V_{REF}} \quad (2)$$

ここで

- R3 = 200kΩ
- V_{OUT} = 5V
- V_{REF} = 0.596V

式 2 により R3 = 27.07kΩ になります。そこで R3 として、26.7kΩ の抵抗値を採用します。式 2 を逆算すると、実効出力電圧 V_{OUT} = 5.062V になります。

次はインダクタ (L1) の選定です。この場合、インダクタンスの値、RMS、ピーク電流を考慮します。

インダクタの最小インダクタ値を式 3 で計算します。最小インダクタ値を計算するには、最大入力電圧 (20V)、最大出力電圧 (5V)、最大出力電流 (1A)、スイッチング周波数 (500kHz)、最大出力電流に対するインダクタのリプル電流量を示す係数 (K_{IND}) を使用します。出力コンデンサの ESR が小さい場合は、K_{IND} を 0.3 にする必要がありま (出力コンデンサの ESR が大きい場合は 0.2)。式 3 は、理想的には L1 を 25μH より大きくする必要があることを示しています。このリファレンス・デザインは、L1 の値として 22μH を採用しました。

$$L_{MIN} = \frac{V_{OUT} \times (V_{IN_MAX} - V_{OUT})}{V_{IN_MAX} \times K_{IND} \times I_{OUT} \times F_{SW}} \quad (3)$$

この出力インダクタ値を使用し、式 4 と式 5 から RMS 電流とピーク電流を計算することができ、それぞれ 1.008A と 1.213A になります。これらのパラメータを念頭に置いて、インダクタを選定できます。さまざまなメーカーの複数のインダクタのコストと性能をレビューした結果、Taitech 社の THPC6045MF-220M を選定しました。

$$I_{LRMS} = \sqrt{\left(I_{OUT}\right)^2 + \frac{1}{12} \times \left(\frac{V_{OUT} \times (V_{IN_MAX} - V_{OUT})}{V_{IN_MAX} \times L \times F_{SW}}\right)^2} \quad (4)$$

$$I_{L_PEAK} = I_{OUT} \times \frac{V_{OUT} \times (V_{IN_MAX} - V_{OUT})}{1.6 \times V_{IN_MAX} \times L \times F_{SW}} \quad (5)$$

最大許容出力電圧リップルと、負荷変動に対する過渡応答によって、出力コンデンサの値が決まります。 C_{OUT} は、以下の各式のうち最も厳しいものに基づいて選定します。

$$C_{OUT} > \frac{2 \times \Delta I_{OUT}}{F_{SW} \times \Delta V_{OUT}} \quad (6)$$

ここで

- ΔI_{OUT} は、軽負荷時(0.1A)と全負荷時(1A)の出力電流を基準とする、出力電流の負荷ステップです。
- ΔV_{OUT} は、負荷ステップが発生している間の出力電圧の許容変動です。

$$C_{OUT} > \frac{1}{8 \times F_{SW}} \times \frac{1}{\frac{V_{OUT_RIPPLE}}{K_{IND} \times I_{OUT}}} \quad (7)$$

ここで

- V_{OUT_RIPPLE} は、これ以下に抑える必要がある最大出力リップルです。

出力コンデンサは、クロスオーバ周波数にも影響を及ぼします。TPS54202 の場合、フィードフォワード・コンデンサを考慮しない状況で、クロスオーバ周波数が 40kHz を下回っている必要があります。

$$C_{OUT} > \frac{3.95}{V_{OUT} \times F_{CO}} \quad (8)$$

C_{OUT} は、前述の式のうち最も厳しいものに基づいて選定する必要があります。式 6、式 7、式 8 は、 C_{OUT} が 19 μ F を上回る必要があることを示しています。経年変化、温度、DC バイアスのマージンを確保し、22 μ F のコンデンサを 2 個並列接続して C_{OUT} の要件を満たすことにしました。

式 9 で、最大出力リップルの要件を満たすために必要とされる出力コンデンサの最大 ESR を計算します。出力コンデンサ C4 と C5 の等価 ESR は 0.5 Ω を下回る必要があります。

$$R_{ESR} < \frac{V_{OUT_RIPPLE}}{I_{L_RIPPLE}} \quad (9)$$

フィードフォワード・コンデンサ(C6)を R6 と並列に配置し、クロスオーバ周波数時の位相昇圧性能を向上させます。式 10 は、フィードフォワード・コンデンサを 44.8pF より大きくする必要があることを示しています。22pF をテストした後、初期値として 50pF を採用しました。

$$C6 > \frac{V_{OUT} \times C_{OUT}}{2 \times \pi \times 3.95} \times \frac{1}{R3} \quad (10)$$

最後にイネーブル・スレッシュホールドを設定します。外部信号を使用する場合、追加部品は不要です。ただし、外部イネーブル信号を使用しない場合、R2 と R5 で構成した抵抗デバイダを使用します。式 11 と式 12 を使用して、R2 と R5 の値を選定します。

$$R2 = \frac{V_{START} \times \frac{V_{EN_FALLING}}{V_{EN_RISING}} - V_{STOP}}{I_P \times \left(1 - \frac{V_{EN_FALLING}}{V_{EN_RISING}}\right) + I_H} \quad (11)$$

$$R5 = \frac{R2 \times V_{EN_FALLING}}{V_{STOP} - V_{EN_FALLING} + R2 \times (I_P + I_H)} \quad (12)$$

ここで

- V_{START} は、コンバータが動作を開始する電圧です(ここでは 7.5V)。
- V_{STOP} は、それを下回るとコンバータがオフになる電圧です(ここでは 6.5V)。
- $V_{EN_FALLING}$ と V_{EN_RISING} は、内蔵 UVLO 機能の立ち下がり設定値と立ち上がり設定値です(それぞれ 1.19V、1.21V)。
- I_P はイネーブルの入力電流です(0.7 μ A)。
- I_H は、ヒステリシス電流です(1.55 μ A)。

式 11 により、R2 は 561k Ω になるので、562k Ω を採用しました。この結果、式 12 に基づいて R5 は 101.7k Ω になるので、102k Ω を採用しました。

必要に応じて、BOOT ピンと SW ピンの間に 0.1 μ F (X7R または X5R) のブートストラップ・コンデンサ (C1) を追加します。

最後に、テスト (EMC テスト) の目的で、ブートストラップに隣接して 0 Ω の抵抗 (R1) を追加しました。テスト結果は、この抵抗が不要であることを示しています。

3 ハードウェアの概要

3.1 PCB の概要

図 4 に、複数の機能ブロックを明示した PCB の画像を示します。

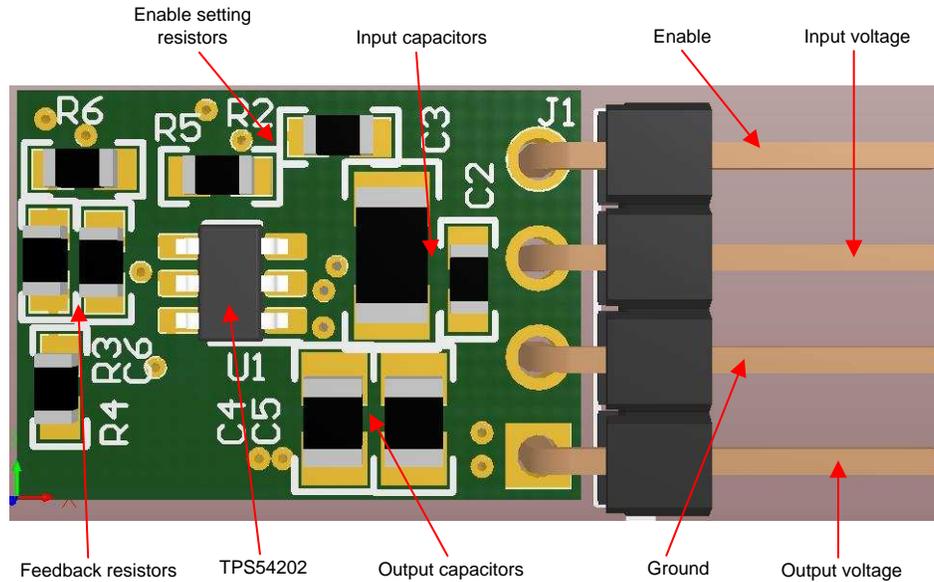


図 4. 機能ブロックを明示した、TIDA-00946 の PCB

インダクタとブートストラップ・コンデンサは、基板の底面に配置します。

3.2 コネクタ設定

表 2. コネクタ設定

コネクタ	機能
J1-1	V_{OUT}
J1-2	GND
J1-3	V_{IN}
J1-4	EN

4 テストと結果

4.1 構成

図 5 に、テスト構成と、使用した試験装置を示します。

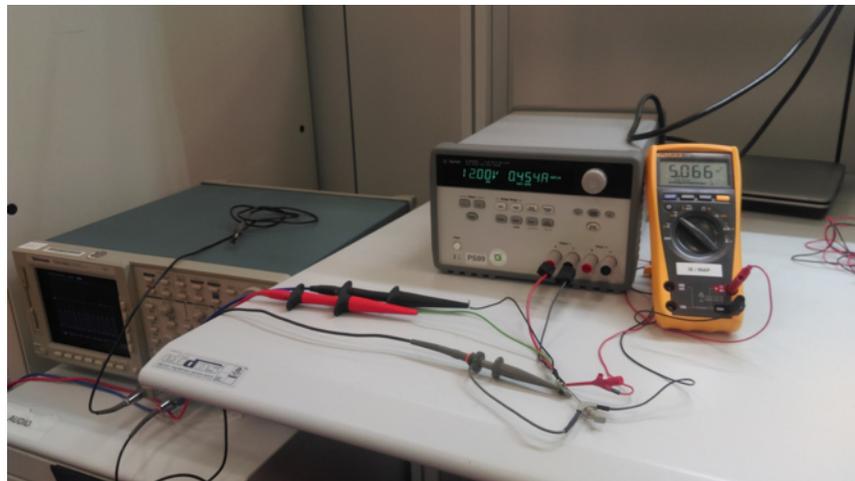


図 5. TIDA-00946 のテスト構成の画像

表 3 に、TIDA-00948 のテストに使用した試験装置を示します。

表 3. 試験装置

試験装置	型番
オシロスコープ	Tektronix TDS 640A
電圧プローブ	Tektronix P6139A
電流プローブ	LEM PR 30
マルチメータ	Fluke 179 と 87 III
電源	Agilent E3648A
電子負荷	Chroma 63103 と 63104
受動負荷	SNE350x40S2 D040
温度ルーム	Voetsch VT4002
温度カメラ	Fluke TI40

4.2 テスト結果

4.2.1 効率

効率をテストするには、4 台のマルチメータを使用します。2 台は電圧計として設定し、入出力電圧を測定します。2 台は電流計として設定し、入出力電流を測定します。

測定は、22.5°C の室温で行います。

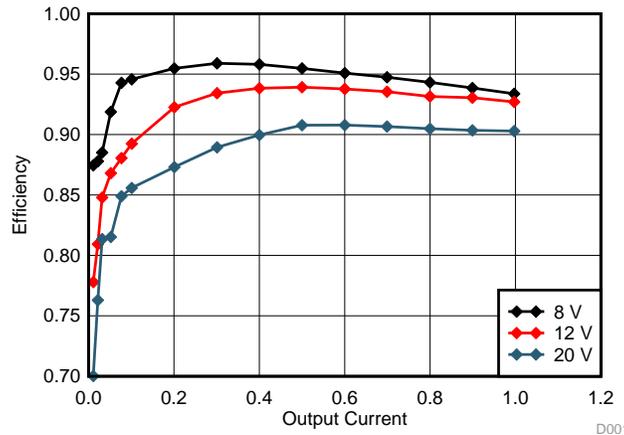


図 6. TIDA-00946 の効率

表 4、表 5、表 6 に、図 6 の効率曲線の詳細を示します。

表 4. 8V 入力時の効率

V_{IN} (V)	I_{IN} (A)	V_{OUT} (V)	I_{OUT} (A)	η
7.770	0.6970	5.0720	0.9970	0.933728
7.800	0.6230	5.0730	0.8990	0.938516
7.820	0.5500	5.0740	0.7995	0.943191
7.850	0.4770	5.0750	0.6990	0.947382
7.870	0.4070	5.0760	0.6000	0.950832
7.890	0.3370	5.0770	0.5000	0.954707
7.910	0.2680	5.0775	0.4000	0.958073
7.930	0.2010	5.0780	0.3010	0.958937
7.950	0.1345	5.0790	0.2010	0.954739
7.980	0.0680	5.0810	0.1010	0.945712
7.980	0.0520	5.0810	0.0770	0.942831
7.990	0.0360	5.0820	0.0520	0.918732
7.990	0.0230	5.0830	0.0320	0.885106
7.990	0.0158	5.0840	0.0218	0.877927
7.995	0.0080	5.0850	0.0110	0.874531

表 5. 12V 入力時の効率

V_{IN} (V)	I_{IN} (A)	V_{OUT} (V)	I_{OUT} (A)	η
11.81	0.4620	5.0680	0.9980	0.926990
11.83	0.4140	5.0690	0.8990	0.930458
11.85	0.3670	5.0700	0.7990	0.931473
11.87	0.3190	5.0710	0.6985	0.935446
11.89	0.2730	5.0730	0.6000	0.937717
11.90	0.2270	5.0740	0.5000	0.939177
11.92	0.1815	5.0750	0.4000	0.938303
11.94	0.1370	5.0770	0.3010	0.934219
11.96	0.0925	5.0780	0.2010	0.922605
11.98	0.0480	5.0810	0.1010	0.892427
11.98	0.0370	5.0820	0.0768	0.880516
11.99	0.0250	5.0820	0.0512	0.868051
11.99	0.0160	5.0830	0.0320	0.847873
11.99	0.0110	5.0830	0.0210	0.809334
11.99	0.0060	5.0875	0.0110	0.777905

表 6. 20V 入力時の効率

V_{IN} (V)	I_{IN} (A)	V_{OUT} (V)	I_{OUT} (A)	η
19.88	0.2810	5.059	0.9970	0.902895
19.90	0.2530	5.060	0.8990	0.903518
19.91	0.2245	5.062	0.7990	0.904860
19.92	0.1960	5.064	0.6990	0.906620
19.93	0.1680	5.066	0.6000	0.907820
19.94	0.1400	5.068	0.5000	0.907723
19.95	0.1130	5.070	0.4000	0.899594
19.96	0.0860	5.072	0.3010	0.889379
19.97	0.0585	5.074	0.2010	0.872997
19.98	0.0300	5.079	0.1010	0.855821
19.98	0.0230	5.080	0.0768	0.848988
19.99	0.0160	5.083	0.0513	0.815276
19.99	0.0100	5.082	0.0320	0.813527
19.99	0.0070	5.084	0.0210	0.762981
19.99	0.0040	5.090	0.0110	0.700225

4.2.2 熱特性

図 7 と図 8 の熱画像は、室温 26°C、12V 入力、5V/1A 出力、エアフローなしの条件下で撮影しました。

このリファレンス・デザイン の最高温度ポイントは、57.3°C の TPS54202 です。これは 34.8°C の温度上昇に相当します。許容可能な周囲温度範囲は -30°C ~ 65°C なので、TIDA-00946 はヒートシンクなしで正常に機能します。

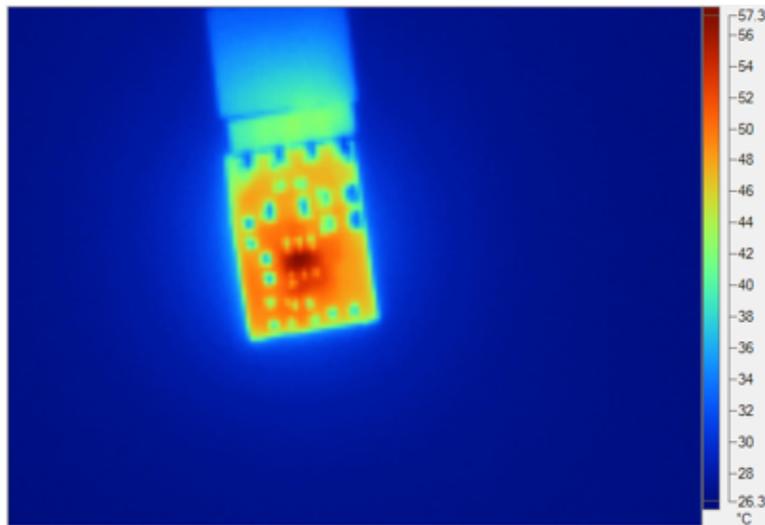


図 7. 12V_{IN}、5V/1A 出力時の上面熱画像

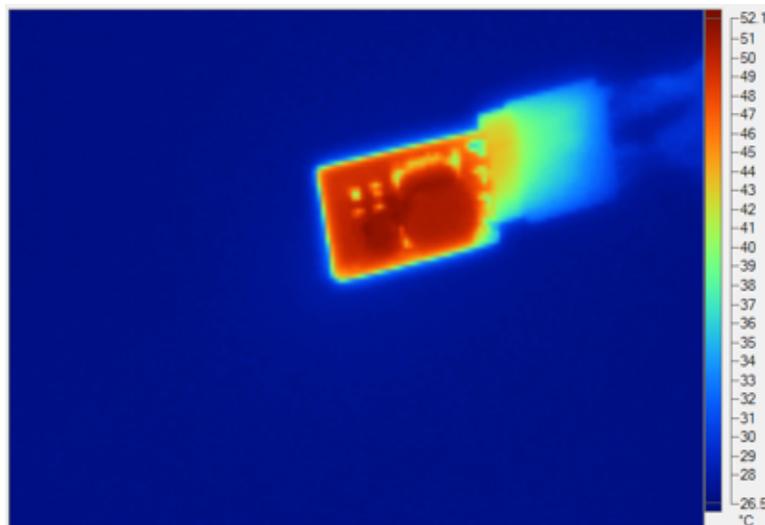


図 8. 12V_{IN}、5V/1A 出力時の底面熱画像

4.2.3 全温度範囲にわたるライン/ロード・レギュレーション

図 9、図 10、図 11 に、温度を -30°C ～ 65°C の範囲内で特定の値に、また入力電圧を特定の値に設定した状態で、負荷電流に対応する出力電圧の変化を示します。

すべての入力電圧、出力電流、温度条件にわたって、出力電圧は $5.057\sim 5.09\text{V}$ の範囲で変化しています。これは出力電圧の 0.66% に相当し、初期目標の $\pm 1\%$ を十分下回っています。

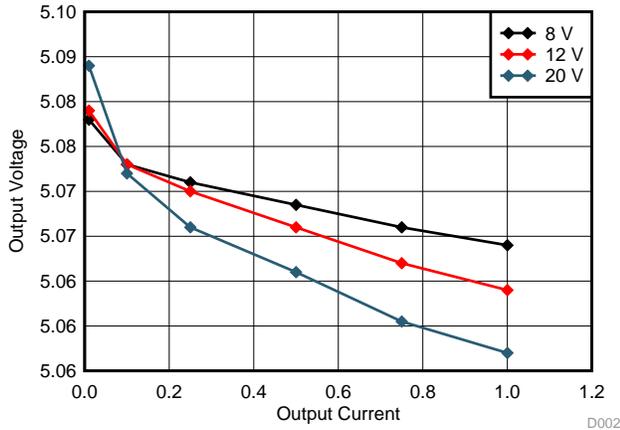


図 9. 65°C 時のライン/ロード・レギュレーション

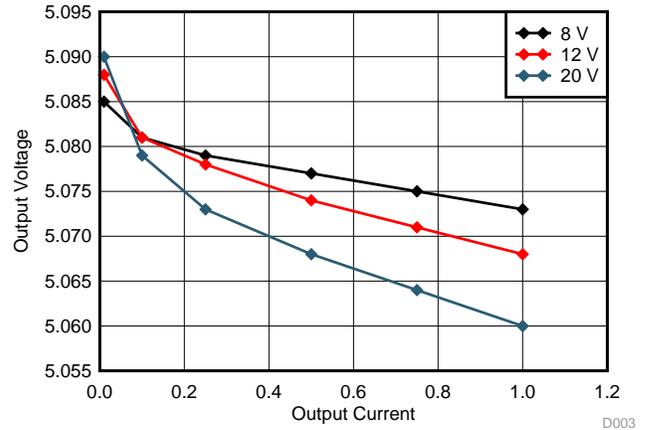


図 10. 22.5°C 時のライン/ロード・レギュレーション

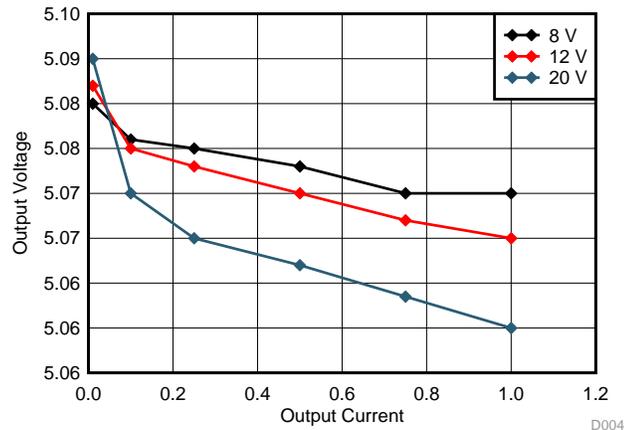


図 11. -30°C 時のライン/ロード・レギュレーション

表 7、表 8、表 9に、図 9、図 10、図 11の全温度曲線にわたるライン/ロード・レギュレーションの詳細を示します。

表 7. 65°C 時のライン/ロード・レギュレーション

V_{IN}	V_{OUT}	I_{OUT}
20	5.0570	1.00
20	5.0605	0.75
20	5.0660	0.50
20	5.0710	0.25
20	5.0770	0.10
20	5.0890	0.01
12	5.0640	1.00
12	5.0670	0.75
12	5.0710	0.50
12	5.0750	0.25
12	5.0780	0.10
12	5.0840	0.01
8	5.0690	1.00
8	5.0710	0.75
8	5.0735	0.50
8	5.0760	0.25
8	5.0780	0.10
8	5.0830	0.01

表 8. 22.5°C 時のライン/ロード・レギュレーション

V_{IN}	V_{OUT}	I_{OUT}
20	5.060	1.00
20	5.064	0.75
20	5.068	0.50
20	5.073	0.25
20	5.079	0.10
20	5.090	0.01
12	5.068	1.00
12	5.071	0.75
12	5.074	0.50
12	5.078	0.25
12	5.081	0.10
12	5.088	0.01
8	5.073	1.00
8	5.075	0.75
8	5.077	0.50
8	5.079	0.25
8	5.081	0.10
8	5.085	0.01

表 9. -30°C 時のライン/ロード・レギュレーション

V_{IN}	V_{OUT}	I_{OUT}
20	5.0600	1.00
20	5.0635	0.75
20	5.0670	0.50
20	5.0700	0.25
20	5.0750	0.10
20	5.0900	0.01
12	5.0700	1.00
12	5.0720	0.75
12	5.0750	0.50
12	5.0780	0.25
12	5.0800	0.10
12	5.0870	0.01
8	5.0750	1.00
8	5.0750	0.75
8	5.0780	0.50
8	5.0800	0.25
8	5.0810	0.10
8	5.0850	0.01

4.2.4 出力電圧リップル

全負荷時(1A)、低負荷時(10mA)、または無負荷時の出力電圧リップルは、20mVpp 未満に維持されています。これは初期要件である $\pm 1\%$ を十分下回っています。

測定は 22.5°C の室温、12V の入力電圧で行いました。上の曲線(1)は 50mV/div(1 目盛り 50mV)、AC 結合モードに設定したオシロスコープによる出力電圧です。下の曲線(2)は、5V/div に設定したときのスイッチ・ノード (TPS54202 の 2 ピン)を示しています。

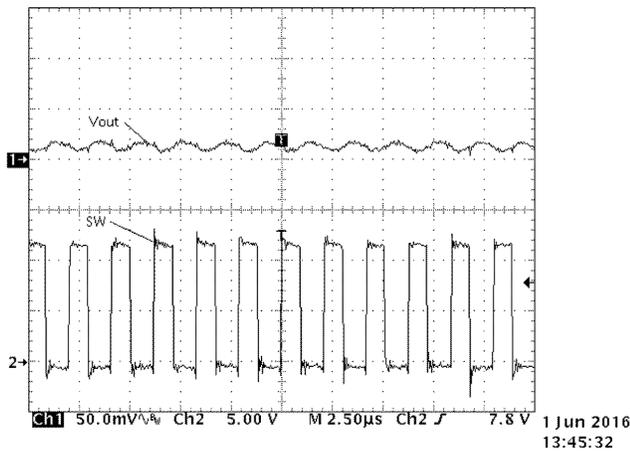


図 12. 出力負荷 1A 時の出力電圧リップル

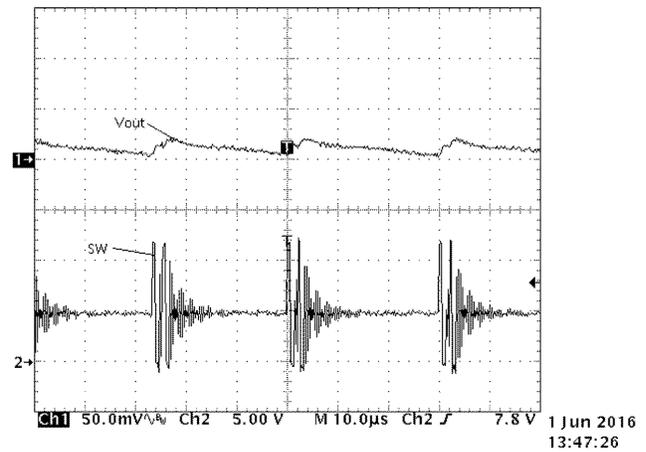


図 13. 出力負荷 10mA 時の出力電圧リップル

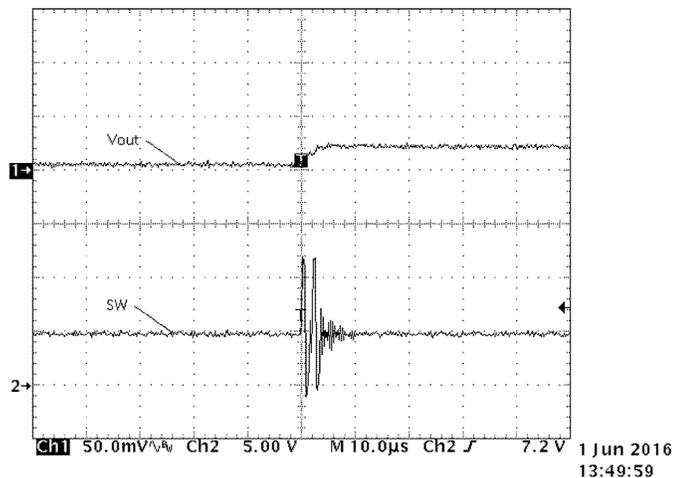


図 14. 無負荷出力時の出力電圧リップル

4.2.5 過渡応答

10mA と 1A の間で負荷ステップを印加した場合、過渡応答は $\pm 200\text{mV}$ 以下にとどまっています。これは、 $\pm 5\%$ という設計要件を満たしています ($5\text{V} \times 0.05 = 250\text{mV}$)。

測定は 22.5°C の室温、 12V の入力電圧で行いました。上の曲線 (1) は、 $100\text{mV}/\text{div}$ 、AC 結合モードに設定したオシロスコープによる出力電圧です。下の曲線 (2) は、 $100\text{mV}/\text{A}$ の電流プローブを使用し、 $200\text{mV}/\text{div}$ に設定したときの出力電流です。 $250\text{mA}/\mu\text{s}$ のスルーレートで負荷ステップを印加しました。

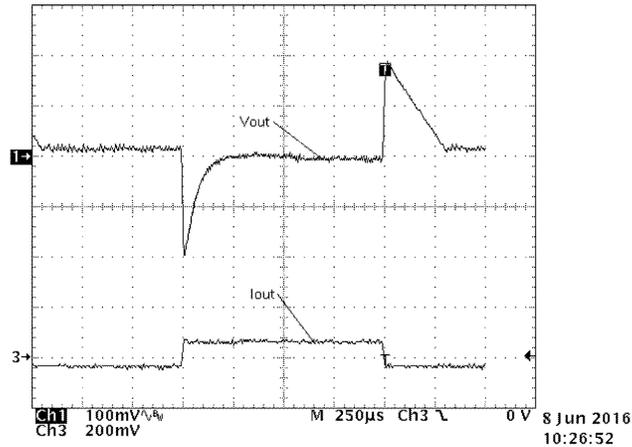


図 15. 出力負荷 10mA → 1A の過渡応答

4.2.6 起動とシャットダウン

起動とシャットダウンの動作については、入力に 12V を印加し、出力に 1A の負荷を接続します。

EN 設定抵抗 ($R2$ と $R5$) を実装せず、 5V 信号を使用してイネーブル・ピンを制御します。

測定は 22.5°C の室温で行いました。上の曲線 (1) は、 $2\text{V}/\text{div}$ 、DC 結合モードに設定したオシロスコープによる出力電圧です。下の曲線 (2) は、 $5\text{V}/\text{div}$ に設定したときのイネーブル信号です。

TIDA-00946 は、EN ピンをイネーブルにした後、 5V を出力するまでに 7ms を要します。オーバーシュートなしで出力電圧に達します。

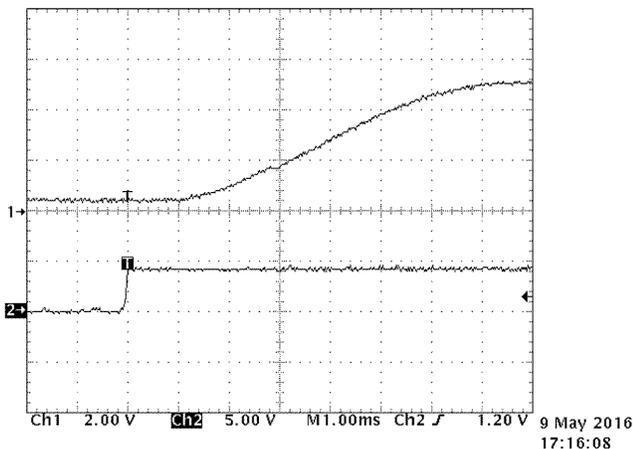


図 16. 入力 12V、出力負荷 1A 時の起動

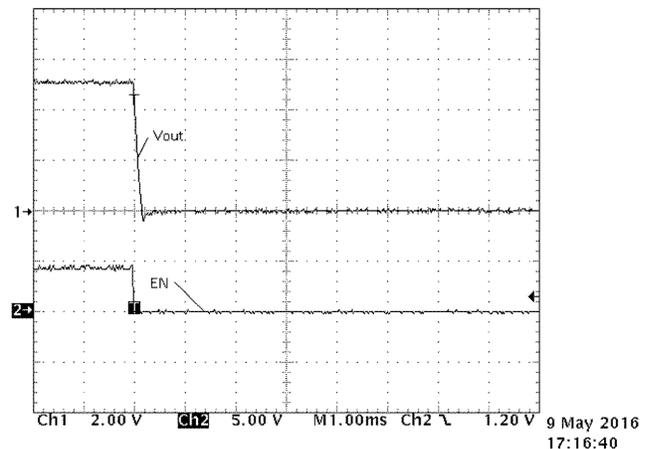


図 17. 入力 12V、出力負荷 1A 時のシャットダウン

4.2.7 過電流と短絡のテスト

過電流保護機能は、基板に 12V で電力を供給し、出力電流を 1A → 3A に変化させる方法で過渡負荷を発生させてテストしました。短絡保護機能は、出力ピンを GND に短絡する方法でテストしました。

上の曲線(1)は、それぞれ 2V/div (図 18)と 100mV/div (図 19)、DC 結合モードに設定したオシロスコープによる出力電圧です。下の曲線(2)は、100mV/A の電流プローブを使用し、200mV/div に設定したときの出力電流です。

図 18 と図 19 に示すように、電流が電流制限値まで上昇すると、TPS54202 データシート(SLVSD26)に掲載の過電流保護モードになります。事前に設定した時間だけ待機した後、デバイスが再起動を試みます。異常が解消していた場合、デバイスが正常に起動します。

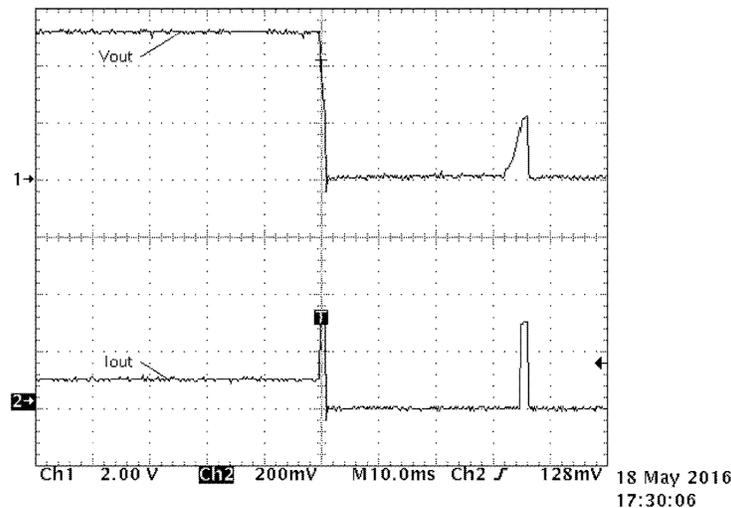


図 18. 過電流保護

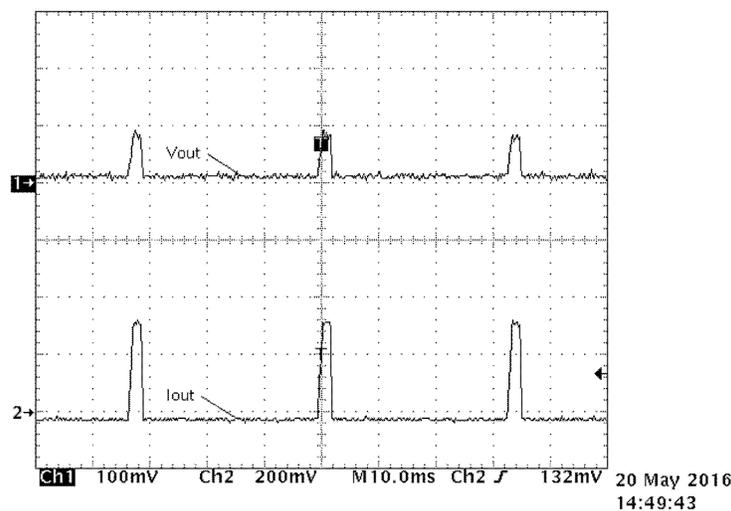


図 19. 短絡保護

4.2.8 過電圧テスト

過電流保護機能は、基板に 12V で電力を供給し、出力負荷を 1A に設定して、TIDA-00946 基板の出力に 5.5V を印加する方法でテストしました。

上の曲線 (4) は、2V/div、DC 結合モードに設定したオシロスコープによる出力電圧です。中間の曲線 (3) は、100mV/A の電流プローブを使用し、50mV/div に設定したときの TIDA-00946 の出力電流です。下の曲線 (2) は、5V/div に設定したときのスイッチ・ノードの電圧です。

TPS54202 データシート (SLVSD26) の 11 ページに記載するとおり、FB ピンの電圧が V_{REF} の 108% を上回ると、1 次側 MOSFET はオフになります。異常が解消した時点で、デバイスはまた正常にスイッチングを開始します。

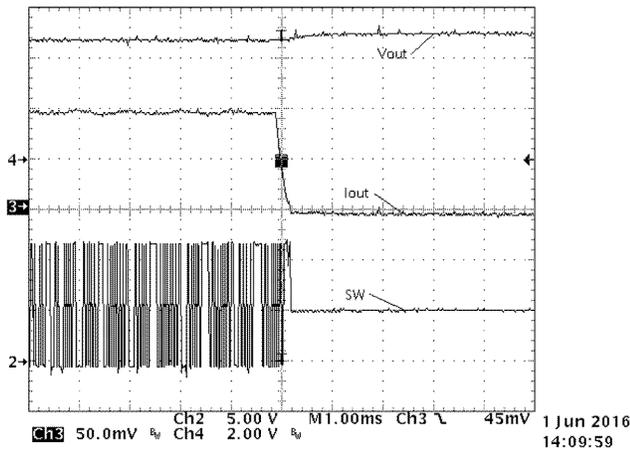


図 20. 5V → 5.5V の過電圧保護

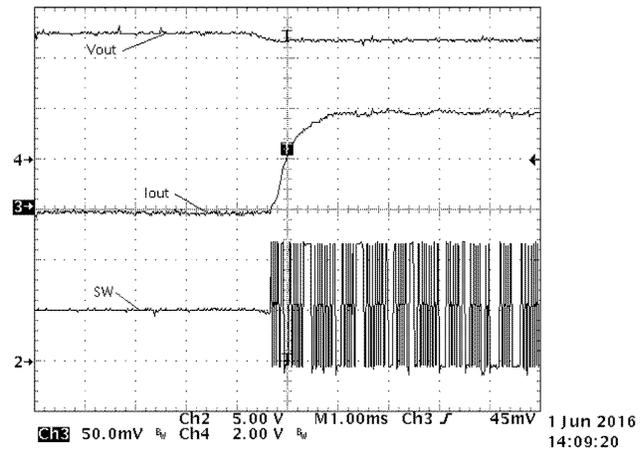


図 21. 5.5V → 5V の過電圧保護

4.2.9 スタンバイ電流と無負荷時電流

スタンバイ電流は、22.5°C の室温、入力電圧 12V で、電流計を使用して測定しました。コネクタ経由でイネーブル・ピンを Low に設定し、イネーブル設定抵抗 (R2 と R5) は実装しませんでした。スタンバイ電流の測定値は 1.5μA でした。

無負荷時電流は 22.5°C の室温、入力電圧 12V、イネーブル設定抵抗 (R2 と R5) 実装、出力側の負荷接続なしで、電流計を使用して測定しました。無負荷時電流の測定値は 76μA でした。

4.2.10 EMC テスト

TIDA-00946 という TI Design は、EN55022 クラス B の 伝導型および放射型電磁波規格に準拠した形で EMI をテスト済みです。これらの EMC テストは、CSA Group Bayern GmbH (ドイツ) が実施しました。

4.2.10.1 伝導型電磁波

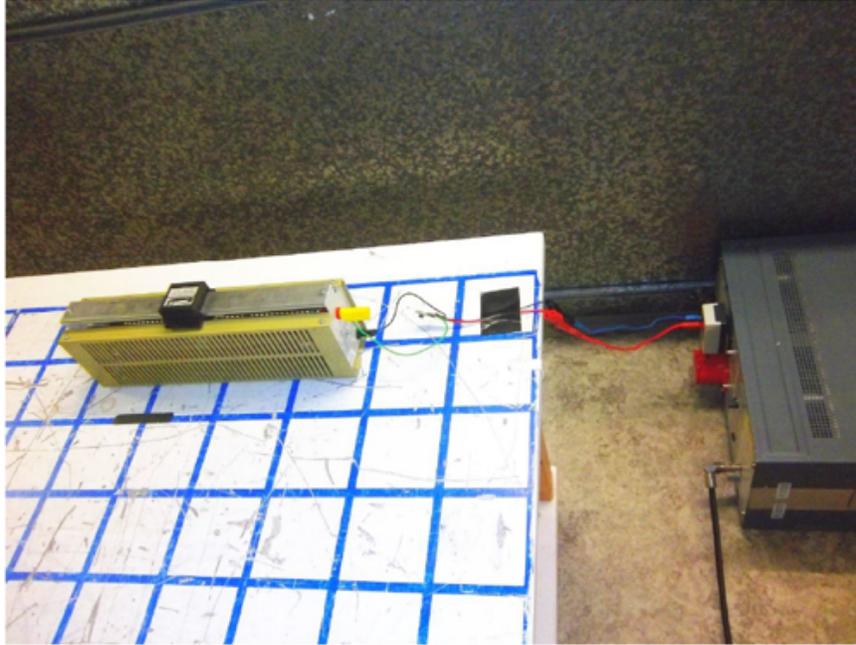


図 22. 伝導型電磁波のテスト構成

入力フィルタなしで最初のテストを実施した結果、伝導型テストは不合格になりました。

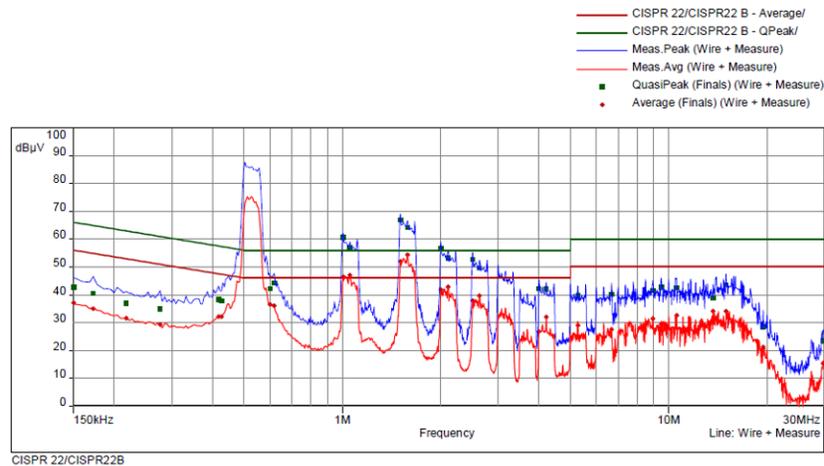


図 23. フィルタなしの伝導型電磁波テストの結果

表 10. フィルタなしの伝導型電磁波テストの結果

周波数 (MHz)	SR	準尖頭値 (dB μ V)	マージン (dB)	限度値 (dB)	平均値 (dB μ V)	マージン (dB)	限度値 (dB)	ライン	相関係数 (dB)
0.1500	1	42.66	23.34	66.00	37.08	18.92	56.00	ワイヤ+	10.06
0.1725	1	40.45	24.39	64.84	34.93	19.91	54.84	ワイヤ+	10.06
0.2175	1	36.99	25.92	62.91	31.48	21.44	52.91	ワイヤ+	10.06
0.2760	1	34.84	26.10	60.94	29.27	21.67	50.94	ワイヤ+	10.06
0.4170	2	38.35	19.16	57.51	32.12	15.38	47.51	ワイヤ+	10.06
0.4260	2	37.81	19.52	57.33	32.08	15.25	47.33	ワイヤ+	10.06
0.6000	3	42.23	13.77	56.00	36.48	9.52	46.00	ワイヤ+	10.07
0.6180	3	44.35	11.65	56.00	36.09	9.91	46.00	ワイヤ+	10.07
1.0050	3	60.69	-4.69	56.00	46.46	-0.46	46.00	ワイヤ+	10.07
1.0545	3	56.87	-0.87	56.00	46.94	-0.94	46.00	ワイヤ+	10.07
1.5060	4	66.95	-10.95	56.00	51.94	-5.94	46.00	ワイヤ+	10.07
1.5825	4	64.28	-8.28	56.00	54.32	-8.32	46.00	ワイヤ+	10.07
2.0055	4	56.72	-0.72	56.00	41.81	4.19	46.00	ワイヤ+	10.08
2.1090	4	53.09	2.91	56.00	42.80	3.20	46.00	ワイヤ+	10.08
2.5080	5	52.73	3.27	56.00	37.82	8.18	46.00	ワイヤ+	10.09
2.6295	5	49.70	6.30	56.00	39.63	6.37	46.00	ワイヤ+	10.09
4.0020	5	42.23	13.77	56.00	26.68	19.32	46.00	ワイヤ+	10.11
4.2180	5	42.03	13.97	56.00	31.93	14.07	46.00	ワイヤ+	10.11
5.2725	6	39.70	20.30	60.00	29.00	21.00	50.00	ワイヤ+	10.13
6.6765	6	40.17	19.83	60.00	27.49	22.51	50.00	ワイヤ+	10.15
8.9580	6	41.66	18.34	60.00	31.37	18.63	50.00	ワイヤ+	10.18
9.5025	6	42.60	17.40	60.00	29.46	20.54	50.00	ワイヤ+	10.19
10.5810	7	42.43	17.57	60.00	32.60	17.40	50.00	ワイヤ+	10.21
13.6950	7	38.97	21.03	60.00	34.08	15.92	50.00	ワイヤ+	10.29
15.0045	7	43.50	16.50	60.00	34.16	15.84	50.00	ワイヤ+	10.32
19.4925	8	28.28	31.72	60.00	20.59	29.41	50.00	ワイヤ+	10.43
19.5015	8	28.54	31.46	60.00	21.24	28.76	50.00	ワイヤ+	10.43
29.8290	8	23.46	36.54	60.00	15.38	34.62	50.00	ワイヤ+	10.59
29.8605	8	23.42	36.58	60.00	15.37	34.63	50.00	ワイヤ+	10.59

次に小型フィルタ(10 μ F のコンデンサと 5 μ H のインダクタ)を入力側に追加したところ、基板は 7dB を超えるマージンを確保し、伝導型電磁波テストに合格しました。

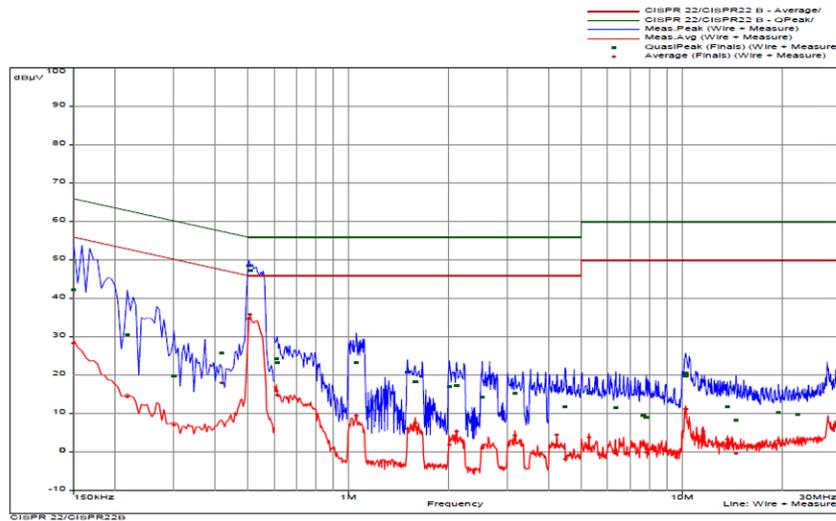


図 24. フィルタありの伝導型電磁波テストの結果(ワイヤ+)

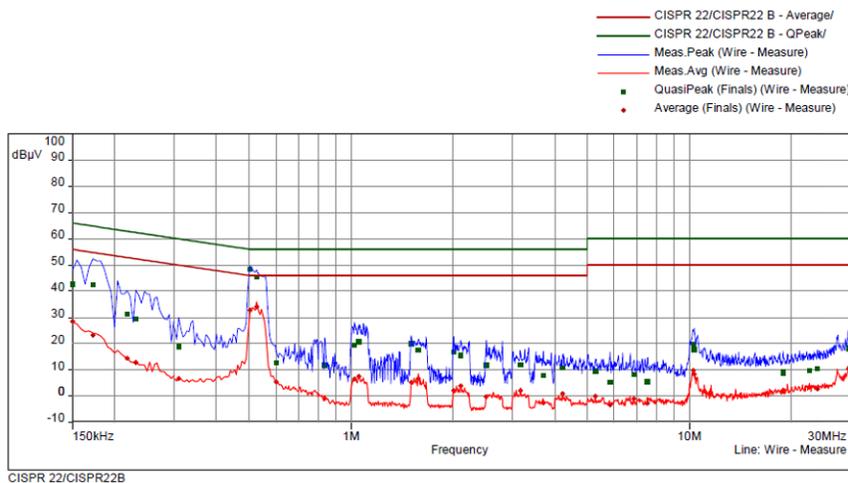


図 25. フィルタありの伝導型電磁波テストの結果(ワイヤ-)

表 11. フィルタありの伝導型電磁波テストの結果

周波数 (MHz)	SR	準尖頭値 (dB μ V)	マージン (dB)	限度値 (dB)	平均値 (dB μ V)	マージン (dB)	限度値 (dB)	ライン	相関係数 (dB)
0.1500	1	42.43	23.57	66.00	28.39	27.61	56.00	ワイヤ+	10.06
0.2175	1	30.66	32.25	62.91	14.40	38.52	52.91	ワイヤ+	10.06
0.3000	2	19.72	40.52	60.24	7.06	43.18	50.24	ワイヤ+	10.06
0.4170	2	25.90	31.61	57.51	18.05	29.45	47.51	ワイヤ+	10.06
0.5025	2	48.68	7.32	56.00	34.80	11.20	46.00	ワイヤ+	10.06
0.5070	2	47.28	8.72	56.00	35.87	10.13	46.00	ワイヤ+	10.06
0.6090	3	24.39	31.61	56.00	15.94	30.06	46.00	ワイヤ+	10.07
0.6135	3	23.36	32.64	56.00	14.84	31.16	46.00	ワイヤ+	10.07
1.0590	3	23.40	32.60	56.00	9.52	36.48	46.00	ワイヤ+	10.07

表 11. フィルタありの伝導型電磁波テストの結果 (continued)

周波数 (MHz)	SR	準尖頭値 (dB μ V)	マージン (dB)	限度値 (dB)	平均値 (dB μ V)	マージン (dB)	限度値 (dB)	ライン	相関係数 (dB)
1.5060	4	20.80	35.20	56.00	6.07	39.93	46.00	ワイヤ+	10.07
1.5870	4	18.23	37.77	56.00	7.60	38.40	46.00	ワイヤ+	10.07
2.0145	4	17.11	38.89	56.00	1.94	44.06	46.00	ワイヤ+	10.08
2.1135	4	17.41	38.59	56.00	5.37	40.63	46.00	ワイヤ+	10.08
2.5215	5	14.38	41.62	56.00	1.03	44.97	46.00	ワイヤ+	10.09
3.1605	5	15.37	40.63	56.00	4.36	41.64	46.00	ワイヤ+	10.10
4.2180	5	15.98	40.02	56.00	4.51	41.49	46.00	ワイヤ+	10.11
4.4745	5	11.86	44.14	56.00	-1.76	47.76	46.00	ワイヤ+	10.12
5.2770	6	15.44	44.56	60.00	3.90	46.10	50.00	ワイヤ+	10.13
6.3480	6	11.60	48.40	60.00	-0.39	50.39	50.00	ワイヤ+	10.14
7.6890	6	9.52	50.48	60.00	2.44	47.56	50.00	ワイヤ+	10.16
7.8330	6	9.13	50.87	60.00	-0.07	50.07	50.00	ワイヤ+	10.16
10.2795	7	20.58	39.42	60.00	11.18	38.82	50.00	ワイヤ+	10.20
10.2885	7	19.84	40.16	60.00	11.26	38.74	50.00	ワイヤ+	10.20
13.7265	7	11.79	48.21	60.00	3.38	46.62	50.00	ワイヤ+	10.29
14.5635	7	8.30	51.70	60.00	-0.32	50.32	50.00	ワイヤ+	10.31
19.5105	8	10.24	49.76	60.00	3.05	46.95	50.00	ワイヤ+	10.43
22.3050	8	9.82	50.18	60.00	2.73	47.27	50.00	ワイヤ+	10.48
29.5680	8	17.61	42.39	60.00	10.13	39.87	50.00	ワイヤ+	10.58
29.8470	8	18.34	41.66	60.00	10.86	39.14	50.00	ワイヤ+	10.59
0.1500	9	42.78	23.22	66.00	28.45	27.55	56.00	ワイヤ+	10.06
0.1725	9	42.30	22.54	64.84	23.29	31.55	54.84	ワイヤ-	10.06
0.2175	9	31.31	31.60	62.91	14.53	38.39	52.91	ワイヤ-	10.06
0.2310	9	29.50	32.91	62.41	12.77	39.64	52.41	ワイヤ-	10.06
0.3090	10	18.99	41.00	60.00	6.72	43.28	50.00	ワイヤ-	10.06
0.5025	10	48.24	7.76	56.00	32.75	13.25	46.00	ワイヤ-	10.06
0.5250	10	45.30	10.70	56.00	34.15	11.85	46.00	ワイヤ-	10.06
0.6000	11	12.74	43.26	56.00	5.31	40.69	46.00	ワイヤ-	10.07
0.8340	11	11.87	44.13	56.00	-0.96	49.96	46.00	ワイヤ-	10.06
1.0230	11	19.42	36.58	56.00	6.52	39.48	46.00	ワイヤ-	10.07
1.0545	11	20.72	35.28	56.00	7.55	38.45	46.00	ワイヤ-	10.07
1.5060	12	19.97	36.03	56.00	5.27	40.73	46.00	ワイヤ-	10.07
1.5780	12	17.57	38.43	56.00	6.73	39.27	46.00	ワイヤ-	10.07
2.0100	12	16.72	39.28	56.00	2.10	43.90	46.00	ワイヤ-	10.08
2.1090	12	15.41	40.59	56.00	3.94	42.06	46.00	ワイヤ-	10.08
2.5125	13	11.86	44.14	56.00	-0.31	46.31	46.00	ワイヤ-	10.09
3.1695	13	11.92	44.08	56.00	2.01	43.99	46.00	ワイヤ-	10.10
3.7095	13	7.91	48.09	56.00	-2.53	48.53	46.00	ワイヤ-	10.10
4.2225	13	10.89	45.11	56.00	0.95	45.05	46.00	ワイヤ-	10.11
5.2770	14	9.52	50.48	60.00	-0.15	50.15	50.00	ワイヤ-	10.13
5.8305	14	5.29	54.71	60.00	-3.41	53.41	50.00	ワイヤ-	10.13
6.8610	14	8.13	51.87	60.00	-1.00	51.00	50.00	ワイヤ-	10.15
7.5315	14	5.48	54.52	60.00	-2.67	52.67	50.00	ワイヤ-	10.16
10.2705	15	19.50	40.50	60.00	9.90	40.10	50.00	ワイヤ-	10.20
10.3380	15	17.75	42.25	60.00	8.31	41.69	50.00	ワイヤ-	10.21
18.9510	15	8.67	51.33	60.00	1.98	48.02	50.00	ワイヤ-	10.42
18.9600	15	9.20	50.80	60.00	2.13	47.87	50.00	ワイヤ-	10.42

表 11. フィルタありの伝導型電磁波テストの結果 (continued)

周波数 (MHz)	SR	準尖頭値 (dB μ V)	マージン (dB)	限度値 (dB)	平均値 (dB μ V)	マージン (dB)	限度値 (dB)	ライン	相関係数 (dB)
22.6605	16	9.64	50.36	60.00	3.43	46.57	50.00	ワイヤー	10.48
23.9655	16	10.42	49.58	60.00	2.73	47.27	50.00	ワイヤー	10.50
29.5545	16	18.02	41.98	60.00	10.46	39.54	50.00	ワイヤー	10.58
29.8650	16	18.73	41.27	60.00	11.15	38.85	50.00	ワイヤー	10.59

4.2.10.2 放射型電磁波

まず、アンテナ高 3m、10dB 高い閾値による予備スキャン・テストで放射型電磁波をテストしました。この予備テストで、10m テストにおけるクリティカル・ポイント(マージンが 20dB を下回る点)を特定します。



図 26. 放射型電磁波に関する 3m 予備スキャン・テスト構成

CAUTION

予備スキャンの場合、距離を短くする(10m ではなく 3m)ので、EN55022 放射型 EMI の閾値は 10dB 高くなります。

予備スキャンの結果、基板は 6dB を上回るマージンを確保し、放射型電磁波テストに合格しました。

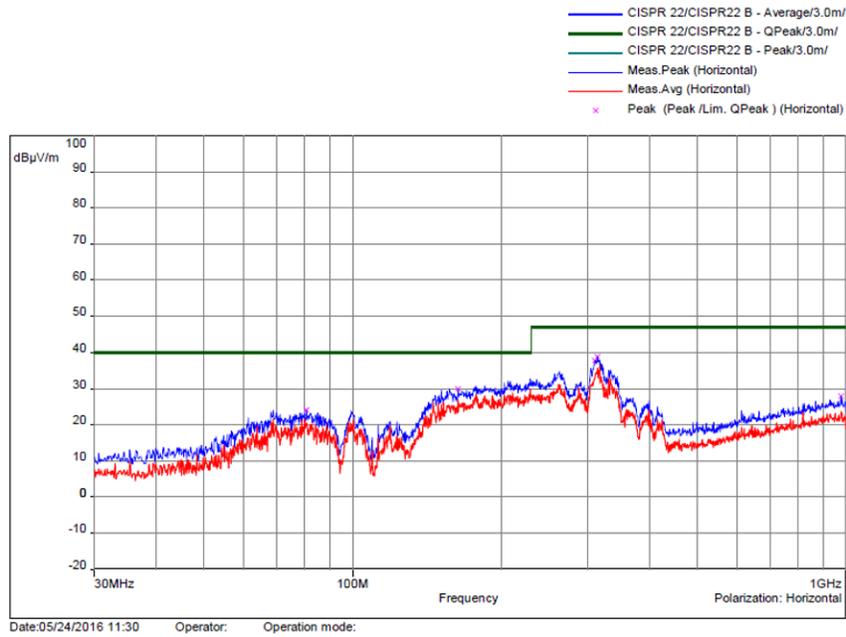


図 27. 放射型電磁波 3m 予備スキャン・テストの水平偏波

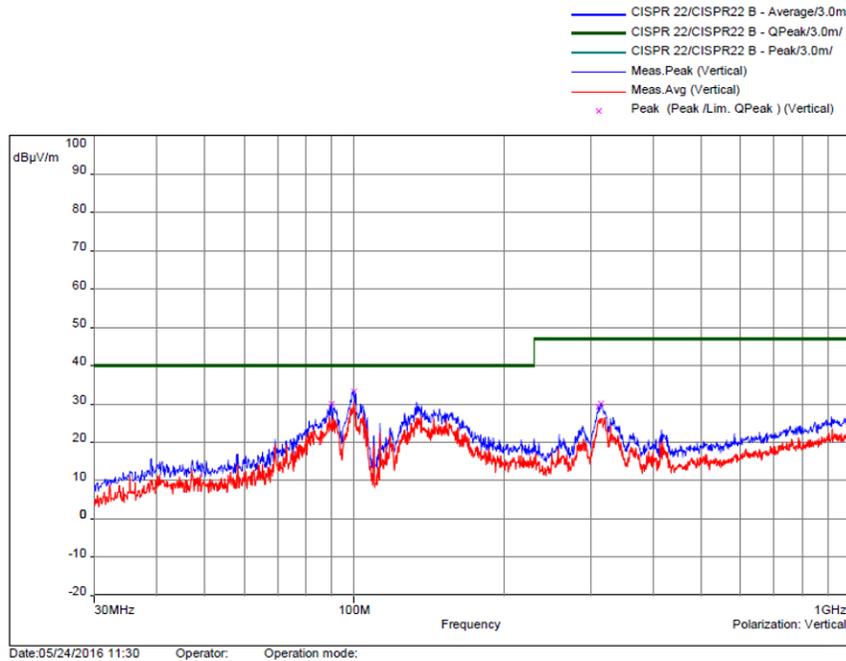


図 28. 放射型電磁波 3m 予備スキャン・テストの垂直偏波

表 12. 放射型電磁波 3m 予備スキャンによるクリティカル・ポイント一覧

周波数 (MHz)	SR	尖頭値 (dB μ V/m)	準尖頭値限度値 (dB μ V/m)	マージン (dB)	角度 (°)	偏波	相関関数
80.54205421	1	23.96	40.00	-16.04	229.40	水平	-9.43
163.48534850	1	29.84	40.00	-10.16	239.50	水平	-5.86
309.38793880	1	37.67	47.00	-9.33	239.50	水平	-4.69
313.46234620	1	38.74	47.00	-8.26	249.50	水平	-4.66
978.17281730	1	27.86	47.00	-19.14	149.50	水平	7.37
90.04900490	2	30.00	40.00	-10.00	209.40	垂直	-10.45
99.94399440	2	33.30	40.00	-6.70	169.40	垂直	-9.01
310.35803580	2	29.20	47.00	-17.80	309.40	垂直	-5.05
314.14141410	2	30.17	47.00	-16.83	299.30	垂直	-4.88

次に、上記のクリティカル・ポイントを標準的な 10m 構成でテストします。



図 29. 放射型電磁波 10m テスト構成

事前スキャンで、基板は 8dB を上回るマージンを確保して放射型電磁波テストに合格しました。

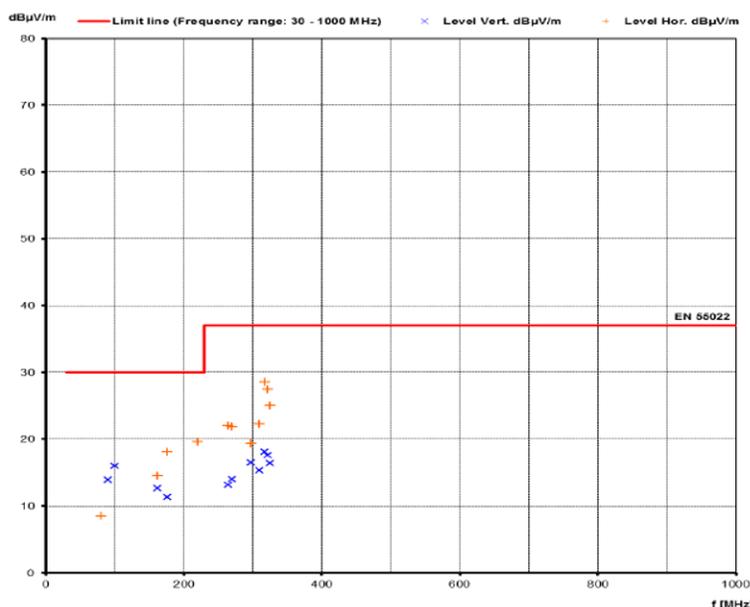


図 30. 放射型電磁波 10m テストの結果

表 13. 放射型電磁波 10m テストの結果

周波数 (MHz)	垂直読取值 (dBµV)	水平読取值 (dBµV)	垂直補正值 (dB/m)	水平補正值 (dB/m)	垂直レベル (dBµV/m)	水平レベル (dBµV/m)	限度値 (dBµV/m)	D _{LIMIT} (dB)
80.50	—	-1.7	—	10.2	—	8.5	30.0	-21.5
90.00	2.6	—	11.3	—	13.9	—	30.0	-16.1
99.80	2.7	—	13.3	—	16.0	—	30.0	-14.0
162.00	1.9	3.8	10.7	10.7	12.6	14.5	30.0	-15.5
176.20	-0.3	6.5	11.6	11.6	11.3	18.1	30.0	-11.9
220.00	—	5.5	—	14.0	—	19.5	30.0	-10.5
265.00	-2.5	6.4	15.6	15.6	13.1	22.0	37.0	-15.0
270.00	-1.8	6.0	15.8	15.8	14.0	21.8	37.0	-15.2
298.00	-0.2	2.6	16.7	16.7	16.5	19.3	37.0	-17.7
310.00	-1.7	5.2	17.0	17.0	15.3	22.2	37.0	-14.8
317.00	0.9	11.3	17.2	17.2	18.1	28.5	37.0	-8.5
322.00	0.2	10.1	17.3	17.3	17.5	27.4	37.0	-9.6
325.00	-1.0	7.6	17.4	17.4	16.4	25.0	37.0	-12.0

5 デザイン・ファイル

5.1 回路図

回路図をダウンロードするには、[TIDA-00946](#) のデザイン・ファイルを参照してください。

5.2 部品表 (BOM)

部品表 (BOM) をダウンロードするには、[TIDA-00946](#) のデザイン・ファイルを参照してください。

5.3 PCB レイアウトに関する推奨事項

スイッチ・モード DC/DC では、さまざまなループ間で結合を回避するために細心の注意を払う必要があります。降圧トポロジーでは、入力ループが特に重要なので、入力コンデンサを **TPS54202** のできるだけ近くに配置する必要があります。

このため、ノイズの影響を受けやすいループ (帰還とイネーブル) を、 di/dt の大きいループ (入力、スイッチ・ノード、ブートストラップ) から分離します。分離の目的で、帰還ループやイネーブル・ループの部品や配線を、 di/dt の大きい部品や配線からできるだけ遠ざけます。

ノイズ感度を低減し、放熱を促すために、**GND** プレーンもできるだけ大きくし、**GND** ベタを確保するように特に注意しました。

放熱に関しては、入出力電圧プレーンもできるだけ大きくし、ベタのパターンを確保して、基板の温度を可能な限り下げる必要があります。

最後に、インダクタのハンダ付けパッドは若干大きくして、複数のインダクタをテストできるようにしました。

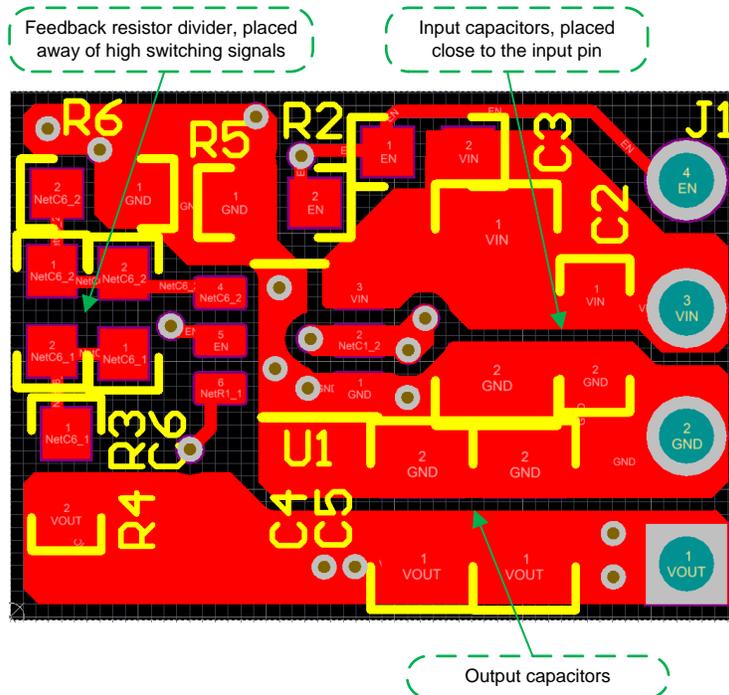


図 31. 上層

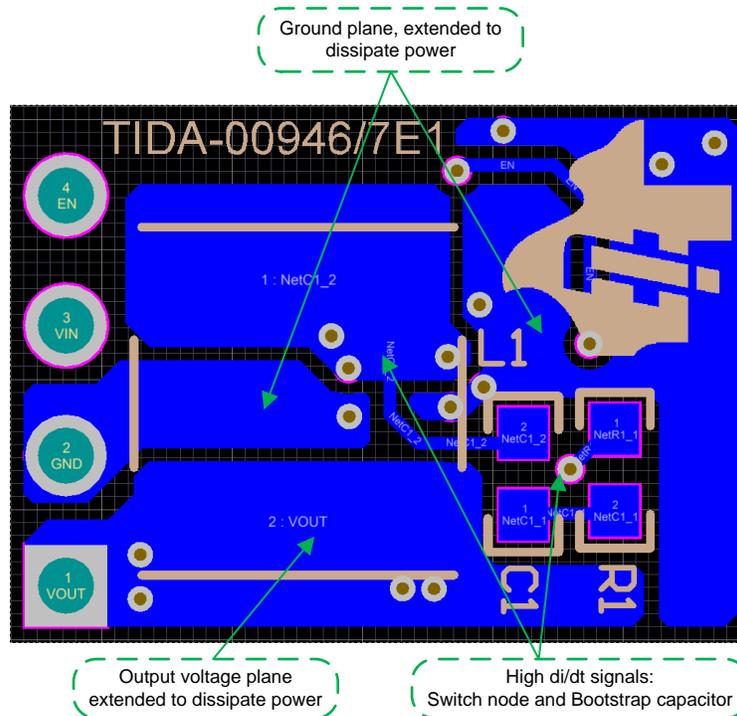


図 32. 下層(左右反転)

5.3.1 レイアウト・プリント

レイヤ・プロットをダウンロードするには、[TIDA-00946](#) のデザイン・ファイルを参照してください。

5.4 Altium プロジェクト

Altium プロジェクト・ファイルをダウンロードするには、[TIDA-00946](#) のデザイン・ファイルを参照してください。

5.5 ガーバー・ファイル

ガーバー・ファイルをダウンロードするには、[TIDA-00946](#) のデザイン・ファイルを参照してください。

5.6 組立図面

組立図面をダウンロードするには、[TIDA-00946](#) のデザイン・ファイルを参照してください。

6 関連資料

1. テキサス・インスツルメンツ、『スイッチモード電源の降圧電力段について』、アプリケーション・レポート (SLVA057)
2. テキサス・インスツルメンツ、『DC/DCコンバータのEMIを低減するレイアウトのヒント』、AN-2155アプリケーション・レポート (SNVA638)
3. テキサス・インスツルメンツ、『DC/DCコンバータの伝導EMIにおける設計成功のカギ』、AN-2162アプリケーション・レポート (SNVA489)

6.1 商標

All trademarks are the property of their respective owners.

7 著者について

KEVIN STAUDER (ケビン・シュタウダー) は、TI (テキサス・インスツルメンツ) の産業システム・チームに属するシステム・エンジニアであり、産業用 TI Design リファレンス・デザインの開発を担当しています。

リビジョン A の改訂履歴

資料番号末尾の英字は改訂を表しています。その改訂履歴は英語版に準じています。

2016年6月発行のものから更新

Page

-
- プレビュー・ページから 変更 1
-

TIの設計情報およびリソースに関する重要な注意事項

Texas Instruments Incorporated ("TI")の技術、アプリケーションその他設計に関する助言、サービスまたは情報は、TI製品を組み込んだアプリケーションを開発する設計者に役立つことを目的として提供するものです。これにはリファレンス設計や、評価モジュールに関係する資料が含まれますが、これらに限られません。以下、これらを総称して「TIリソース」と呼びます。いかなる方法であっても、TIリソースのいずれかをダウンロード、アクセス、または使用した場合、お客様(個人、または会社を代表している場合にはお客様の会社)は、これらのリソースをここに記載された目的にのみ使用し、この注意事項の条項に従うことに合意したものとします。

TIによるTIリソースの提供は、TI製品に対する該当の発行済み保証事項または免責事項を拡張またはいかなる形でも変更するものではなく、これらのTIリソースを提供することによって、TIにはいかなる追加義務も責任も発生しないものとします。TIは、自社のTIリソースに訂正、拡張、改良、およびその他の変更を加える権利を留保します。

お客様は、自らのアプリケーションの設計において、ご自身が独自に分析、評価、判断を行う責任がお客様にあり、お客様のアプリケーション(および、お客様のアプリケーションに使用されるすべてのTI製品)の安全性、および該当するすべての規制、法、その他適用される要件への遵守を保証するすべての責任をお客様のみが負うことを理解し、合意するものとします。お客様は、自身のアプリケーションに関して、(1) 故障による危険な結果を予測し、(2) 障害とその結果を監視し、および、(3) 損害を引き起こす障害の可能性を減らし、適切な対策を行う目的での、安全策を開発し実装するために必要な、すべての技術を保持していることを表明するものとします。お客様は、TI製品を含むアプリケーションを使用または配布する前に、それらのアプリケーション、およびアプリケーションに使用されているTI製品の機能性を完全にテストすることに合意するものとします。TIは、特定のTIリソース用に発行されたドキュメントで明示的に記載されているもの以外のテストを実行していません。

お客様は、個別のTIリソースにつき、当該TIリソースに記載されているTI製品を含むアプリケーションの開発に関連する目的でのみ、使用、コピー、変更することが許可されています。明示的または黙示的を問わず、禁反言の法理その他どのような理由でも、他のTIの知的所有権に対するその他のライセンスは付与されません。また、TIまたは他のいかなる第三者のテクノロジーまたは知的所有権についても、いかなるライセンスも付与されるものではありません。付与されないものには、TI製品またはサービスが使用される組み合わせ、機械、プロセスに関連する特許権、著作権、回路配置利用権、その他の知的所有権が含まれますが、これらに限られません。第三者の製品やサービスに関する、またはそれらを参照する情報は、そのような製品またはサービスを利用するライセンスを構成するものではなく、それらに対する保証または推奨を意味するものでもありません。TIリソースを使用するため、第三者の特許または他の知的所有権に基づく第三者からのライセンス、もしくは、TIの特許または他の知的所有権に基づくTIからのライセンスが必要な場合があります。

TIのリソースは、それに含まれるあらゆる欠陥も含めて、「現状のまま」提供されます。TIは、TIリソースまたはその仕様に関して、明示的か暗黙的にかかわらず、他のいかなる保証または表明も行いません。これには、正確性または完全性、権原、続発性の障害に関する保証、および商品性、特定目的への適合性、第三者の知的所有権の非侵害に対する黙示的保証が含まれますが、これらに限られません。

TIは、いかなる苦情に対しても、お客様への弁済または補償を行う義務はなく、行わないものとします。これには、任意の製品の組み合わせに関連する、またはそれらに基づく侵害の請求も含まれますが、これらに限られず、またその事実についてTIリソースまたは他の場所に記載されているか否かを問わないものとします。いかなる場合も、TIリソースまたはその使用に関連して、またはそれらにより発生した、実際の、直接的、特別、付随的、間接的、懲罰的、偶発的、または、結果的な損害について、そのような損害の可能性についてTIが知らされていたかどうかにかかわらず、TIは責任を負わないものとします。

お客様は、この注意事項の条件および条項に従わなかったために発生した、いかなる損害、コスト、損失、責任からも、TIおよびその代表者を完全に免責するものとします。

この注意事項はTIリソースに適用されます。特定の種類の資料、TI製品、およびサービスの使用および購入については、追加条項が適用されます。これには、半導体製品(<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、評価モジュール、およびサンプル(<http://www.ti.com/sc/docs/sampterms.htm>)についてのTIの標準条項が含まれますが、これらに限られません。