

TI Designs

二層 TO-220 フォーム・ファクタを採用した 3.3V、1A、低 EMI、効率 92% の DC/DC モジュールのリファレンス・デザイン



概要

TI Design TIDA-00947 は、主要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・デザインでは効率が大幅に向上し、ヒートシンクも不要になるため、サイズとコストを削減できます。TPS54202 電力コンバータにより、同じ入力電流でより大きな出力電流を供給でき、全負荷、低負荷、およびスタンバイ動作時の消費電力を抑制できます。

このモジュールは TO-220 LDO とサイズおよびピン互換なため、迅速な評価が可能で、市場投入までの期間を短縮できます。

リソース

[TIDA-00947](#)

デザイン・フォルダ

[TPS54202](#)

プロダクト・フォルダ



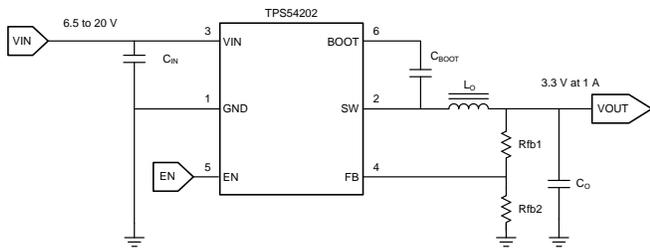
[E2E エキスパートに質問](#)

特長

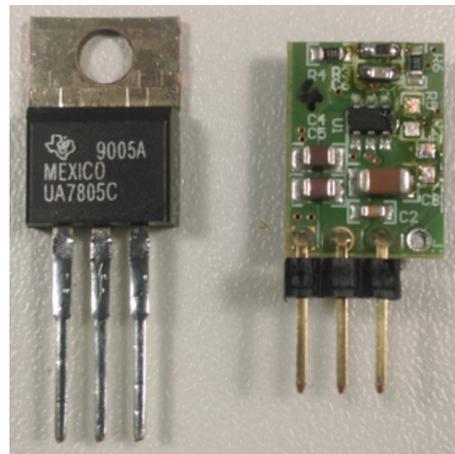
- 3.3V に電圧制御された、最大 1A の出力負荷
- 92% の効率
- スタンバイ電流 1.5μA、無負荷時電流 84μA
- 小型のフォーム・ファクタ: TO-220 とサイズおよびピン互換で、より小型 (10.5mmx14.5mm)
- 全負荷時の温度上昇は 31°C 未満、ヒートシンク不要
- オンボード DC/DC 設計の複雑性を低減、スイッチング電源の EMC 設計に関する研究開発の期間と労力を削減 (市場投入までの期間短縮)

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 システム概要

従来、家電機器で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 が選定されている主な理由は、低コストかつ小型であることです。

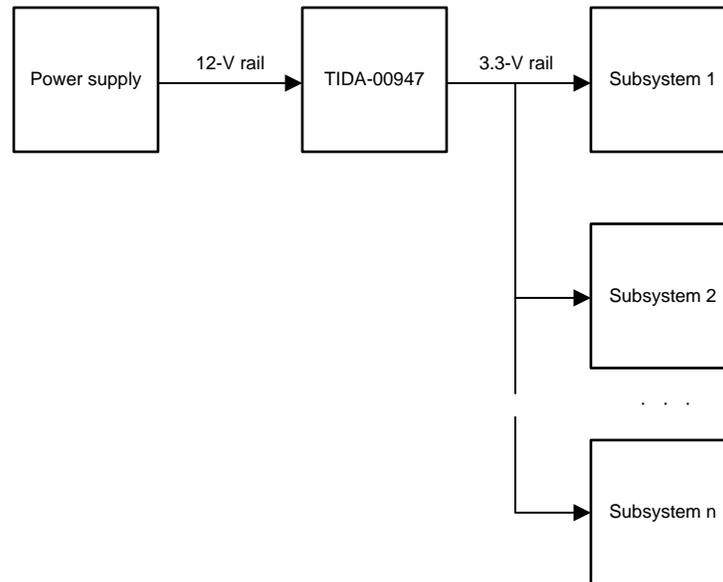


図 1. システム図

動作時および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するなか、LDO は高い定格電力を実現する上で障害となっています。

TIDA-00947 は、この効率向上と電流能力のニーズを満たすように開発されており、通常は LDO が電力損失を放熱できるように用いられるヒートシンクが不要になることから、占有面積も削減できます。

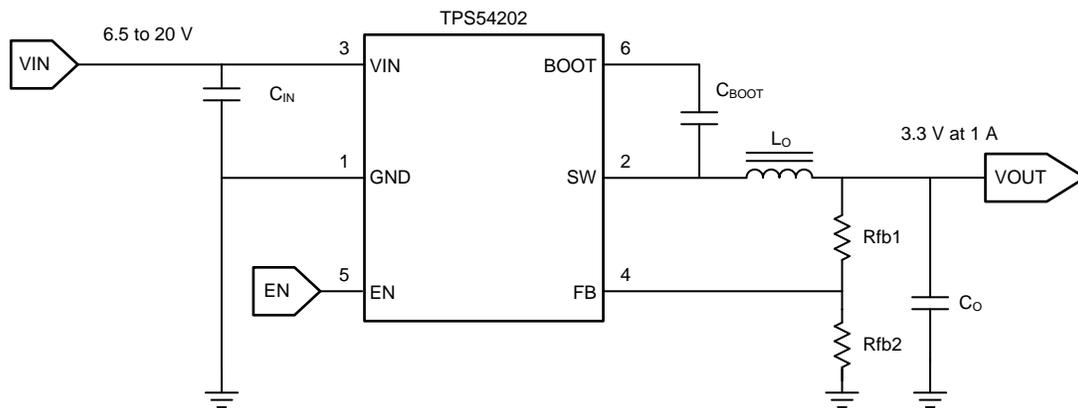
1.2 主なシステム仕様

TIDA-00947 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	3.3V/1A	—
効率(全負荷、定格負荷、軽負荷)	90%:12V → 5V/1A, 92%:12V → 5V/500mA, 88%:12V → 5V/10mA	4.2.1
EMI 性能	EN55022 クラス B、6dB を超えるマージン	4.2.10
電圧制御(ライン/負荷)	入力範囲および負荷電流範囲で ±1%	4.2.3
過渡応答	0.1 ~ 1.0A で ±5%	4.2.5
保護機能	短絡、2 つの FET のヒカップ・モード OCP、OTP、OVP	4.2.7
動作周囲温度	-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 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 つのスイッチング FET、ループ補正、5ms のソフト・スタートを内蔵しているため、部品数を削減できます。

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 上でわずかな面積しか占有しません。

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 では、EMI 低減のため周波数スペクトラム拡散動作を採用しています。

2 つの 1 次側 MOSFET におけるサイクル単位の電流制限により、過負荷条件下のコンバータを保護し、さらなる機能として 2 次側 MOSFET の電流制限を自由に設定し、電流暴走を防止できます。あらかじめ設定された時間を超えて過電流の状態が続いた場合、ヒックアップ・モード保護が作動します。

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
- 低い停止時電流 (2μA) と静止電流 (45μA)
- 5ms のソフト・スタート内蔵
- 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
- ループ補正内蔵
- ヒックアップ・モード保護による 2 つの 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同じである場合に、出力電圧を制御するデバイスです。これは、Equation 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示唆しています。この損失が LDO の効率の低さの根本原因とされています。このため、入出力電圧比と最大出力電流は制限され、ヒートシンクが必要になります。このヒートシンクによって、ソリューション全体のコストとサイズは増大します。

本プロジェクトの降圧方式を含め、DC/DC スイッチモード電源には高効率という利点があるため、幅広い用途に使用できる一方、(全部品とヒートシンクを含めた)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があります。降圧方式の詳細については、『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-00947 と LDO 搭載デザインの効率を比較します。TIDA-00947 の効率データは 4.2.1 に掲載しています。LDO の損失電力は Equation 1 で推計できます。

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

1A、500mA、100mA 時の 12V 入力、3.3V 出力による損失電力を計算して、TIDA-00947 と LDO 搭載デザインの性能を確認します。

1A 時の TIDA-00947 の効率は 90% (損失 10%) です。出力 3.3W で損失が 0.33W です。LDO 搭載デザインの場合、Equation 1 から LDO による損失電力は 8.7W となります。

500mA 時の TIDA-00947 の効率は 92% (損失 8%) です。出力 1.65W で損失が 0.132W です。LDO 搭載デザインの場合、Equation 1 から LDO による損失電力は 4.35W となります。

最後に 100mA 時の損失電力は、TIDA-00947 では 0.04W (効率 88%) であるのに対し、LDO 搭載デザインでは 0.87W となります。

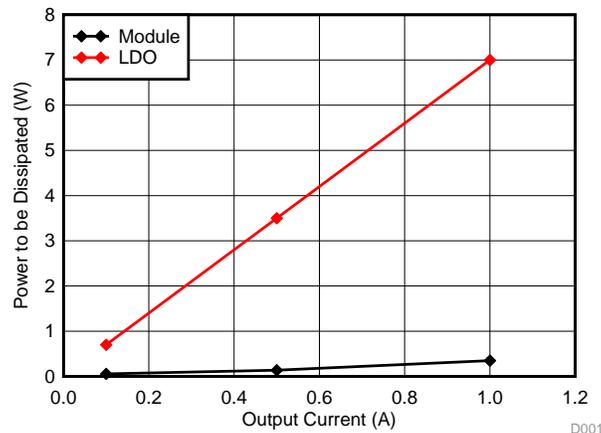


図 3. 損失電力の比較

図 3 に示すように、LDO 搭載デザインは TIDA-00947 よりはるかに多くの電力を放熱する必要があり、ヒートシンクが必要になるため、消費電力、コスト、サイズのいずれにも影響を与えます。

2 回路設計と部品選定

2.1 部品と方式の選定

設計の第一歩は、回路方式の選定です。家電機器ではコストと占有面積が重視され、12V から 3.3V への変換では絶縁も不要なことから、降圧方式が選定されます。さらに、部品コストとサイズを削減するために FET を搭載した同期整流コンバータが推奨されます。

このことを念頭に置き、1.2 の仕様により TPS54202 を選定しました。このコンバータは、2 つのスイッチング FET、ループ補正、5ms のソフト・スタートを内蔵しているため、部品数を削減できます。148mΩ と 78mΩ の MOSFET を内蔵し、最大 2A の連続出力電流動作、2μA の停止時電流、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が、これは分圧抵抗 (R3 と R6) で調整します。まず、抵抗の範囲を設定します。値が高いと分圧抵抗での損失は小さくなりますが、帰還信号はノイズに対してより敏感になります。一方、値が低いと帰還信号はノイズに対して強くなるものの、損失は増大します。本プロジェクトでは、適切なトレードオフとして R3 を 200kΩ に設定し、Equation 2 を用いて R6 を計算します。ループ安定性を測定するために、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} = 3.3V
- V_{REF} = 0.596V

Equation 2 により R6 = 44.08kΩ となります。そこで R6 には抵抗値 44.2kΩ を採用します。Equation 2 を逆算すると、実効出力電圧 V_{OUT} = 3.294V となります。

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 Equation 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 (3.3V)、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・リップル電流量を示す係数 (K_{IND}) を用います。ESR 出力容量が小さい場合には、K_{IND} を 0.3 とする必要があります (ESR 出力容量が大きい場合には 0.2)。Equation 3 は、L1 が理想的には 18.37μH を上回る必要があることを示しています。このリファレンス・デザインでは、22μH を L1 の値として採用します。

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

出力インダクタ値により、RMS およびピーク電流は Equation 4 および Equation 5 で計算でき、それぞれ 1.004A、1.157A となります。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 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、出力容量の値が決まります。 C_{OUT} は、次の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 (0.1A) および全負荷 (1A) 時の出力電流からの出力電流負荷ステップです。
- ΔV_{OUT} は、負荷ステップ中の許容出力電圧変動です。

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

ここで

- V_{OUT_RIPPLE} は要求される最大出力リップルです。

出力容量は交差周波数にも影響します。TPS54202 の場合、フィードフォワード容量は考慮せずに、交差周波数が 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しなければなりません。Equation 6、Equation 7、Equation 8 は、 C_{OUT} が 30 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もと、22 μ F の容量を 2 個並列に接続して C_{OUT} の要件を満たすことにしました。

Equation 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容量の最大 ESR を計算します。出力容量 C4 および C5 の等価 ESR は 0.33 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容量 (C6) を R6 と並列に使用して、交差周波数での位相昇圧性能を高めま。Equation 10 は、フィードフォワード容量が 29pF を上回る必要があることを示しているため、30pF を採用しました。

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

最後にイネーブル閾値を設定します。外部信号を使用する場合、追加部品は不要です。しかし、外部イネーブル信号を使用しない場合には、R2 と R5 からなる分圧抵抗を使用します。Equation 11 と Equation 12 を用いて、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)。
- $V_{EN_FALLING}$ および V_{EN_RISING} は、内蔵された UVLO 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)。

Equation 11 により R2 は 561k Ω になるため、562k Ω を採用しました。これにより、Equation 12 から R5 は 101.7k Ω になるため、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 のブートストラップ容量(C1) (X7R または X5R)を追加します。

最後に、テスト(EMC テスト)用に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 概要

PCB と機能ブロックの図を図 4 に示します。

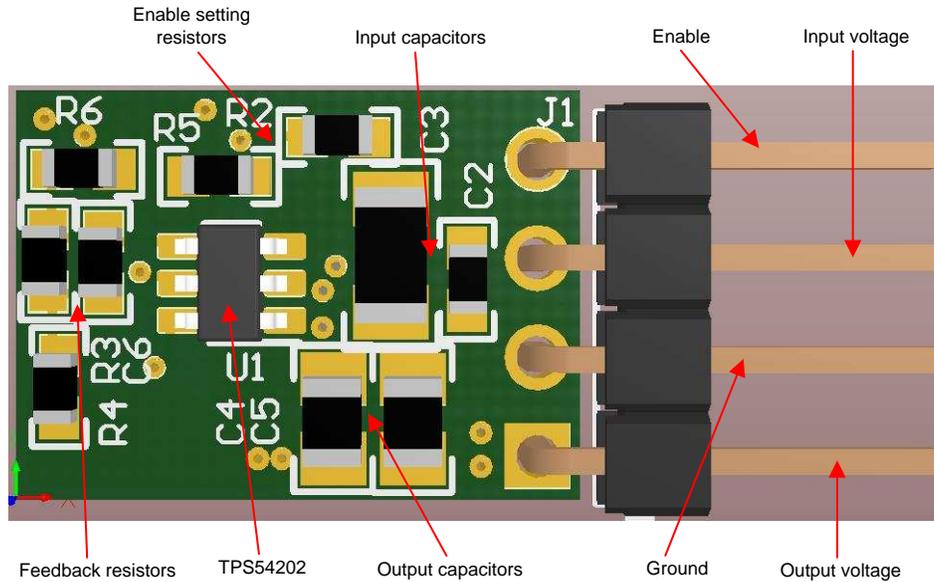


図 4. TIDA-00947 PCB と機能ブロック

インダクタとブートストラップ容量は基板底面に配置します。

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 に構成と使用した試験用機器を示します。

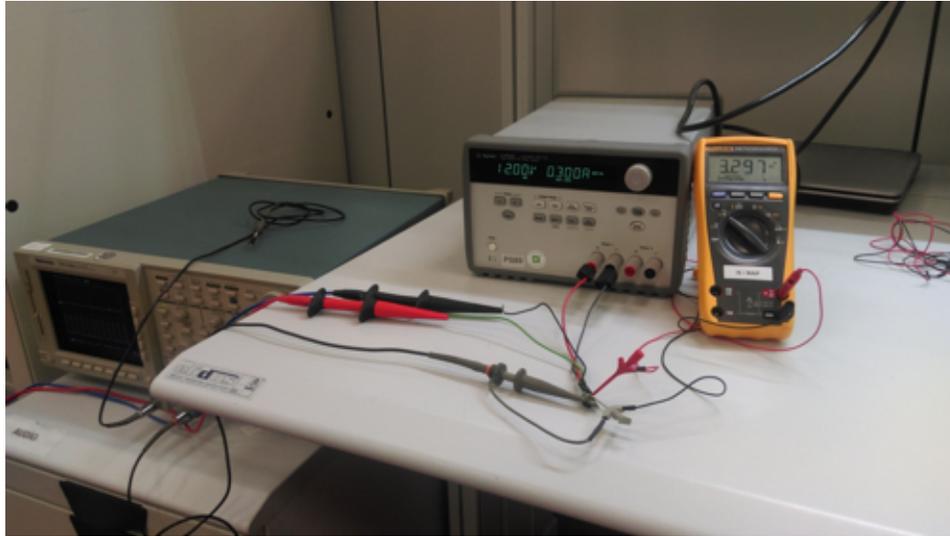


図 5. TIDA-00947 のテスト構成

表 3 に、TIDA-00947 のテストに使用した試験用機器を示します。

表 3. 試験用機器

試験用機器	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 179/87 III
電源	Agilent E3648A
電子負荷	Chroma 63103/6314
受動負荷	SNE350x40S2 D040
温度室	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つのマルチメータを使用します。2つは電圧計に設定して入出力電圧を測定し、2つは電流計に設定して入出力電流を測定します。

測定は室温 22.5°C で行います。

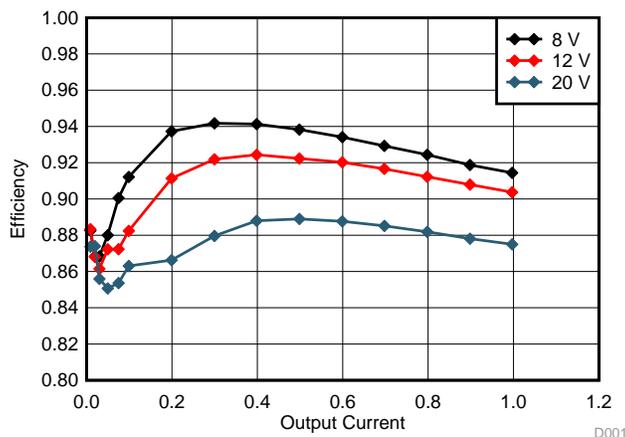


図 6. TIDA-00947 の効率

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 入力での効率

V_{IN} (V)	I_{IN} (A)	V_{OUT} (V)	I_{OUT} (A)	η
7.905	0.4534	3.2880	0.9968	0.914443
7.915	0.4062	3.2890	0.8981	0.918751
7.920	0.3585	3.2900	0.7978	0.924433
7.930	0.3114	3.2900	0.6975	0.929284
7.940	0.2657	3.2910	0.5988	0.934109
7.950	0.2200	3.2920	0.4985	0.938286
7.960	0.1750	3.2920	0.3983	0.941280
7.970	0.1314	3.2930	0.2995	0.941748
7.980	0.0877	3.2930	0.1992	0.937300
7.990	0.0447	3.2940	0.0989	0.912149
7.990	0.0343	3.2950	0.0749	0.900526
7.990	0.0232	3.2955	0.0495	0.880018
7.990	0.0143	3.2960	0.0301	0.868302
8.000	0.0093	3.2960	0.0196	0.868301
8.000	0.0042	3.2950	0.0090	0.882589

表 5. 12V 入力での効率

V_{IN} (V)	I_{IN} (A)	V_{OUT} (V)	I_{OUT} (A)	η
11.93	0.3039	3.2870	0.9968	0.903726
11.94	0.2724	3.2880	0.8981	0.907915
11.95	0.2407	3.2890	0.7978	0.912250
11.95	0.2095	3.2900	0.6975	0.916618
11.96	0.1790	3.2900	0.5988	0.920224
11.97	0.1486	3.2910	0.4985	0.922317
11.97	0.1185	3.2920	0.3983	0.924395
11.98	0.0893	3.2930	0.2995	0.921892
11.98	0.0601	3.2940	0.1992	0.911343
11.99	0.0308	3.2950	0.0989	0.882433
11.99	0.0236	3.2955	0.0749	0.872312
11.99	0.0156	3.2960	0.0495	0.872265
12.00	0.0096	3.2970	0.0301	0.861456
12.00	0.0062	3.2950	0.0196	0.868038
12.00	0.0028	3.2980	0.0090	0.883393

表 6. 20V 入力での効率

V_{IN} (V)	I_{IN} (A)	V_{OUT} (V)	I_{OUT} (A)	η
19.950	0.1876	3.285	0.9969	0.875006
19.960	0.1684	3.286	0.8982	0.878088
19.960	0.1490	3.287	0.7979	0.881863
19.970	0.1298	3.289	0.6976	0.885151
19.970	0.1111	3.289	0.5988	0.887674
19.970	0.0924	3.290	0.4986	0.888993
19.975	0.0739	3.291	0.3983	0.887988
19.980	0.0561	3.292	0.2995	0.879627
19.980	0.0379	3.293	0.1992	0.866256
19.990	0.0189	3.297	0.0989	0.863059
19.990	0.0145	3.299	0.0750	0.853616
19.990	0.0096	3.298	0.0495	0.850691
19.990	0.0058	3.297	0.0301	0.855943
19.990	0.0037	3.298	0.0196	0.873961
19.990	0.0017	3.299	0.0090	0.873702

4.2.2 熱特性

図 7 および図 8 の熱画像は、室温 22.5°C、12V 入力、3.3V/1A 出力、エアフローなしで撮影しました。

このリファレンス・デザインの最高温度点は TPS54202 で 53.2°C です。これは 30.7°C の温度上昇に相当します。対応周囲温度範囲が -30°C ~ 65°C であるため、TIDA-00947 はヒートシンク不要で正常に機能します。

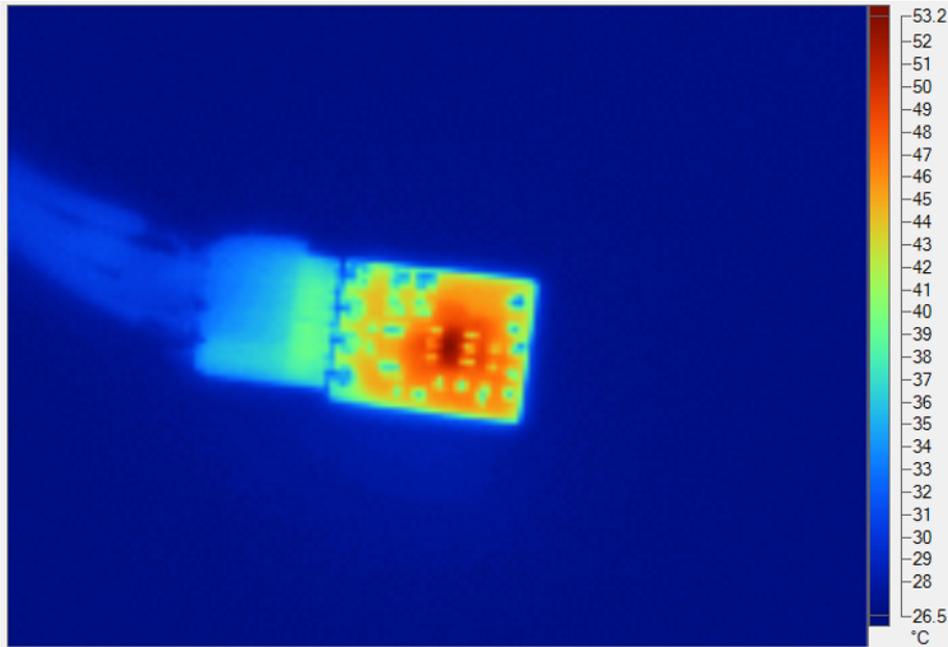


図 7. 12V_{IN}、3.3V/1A 出力での上面熱画像

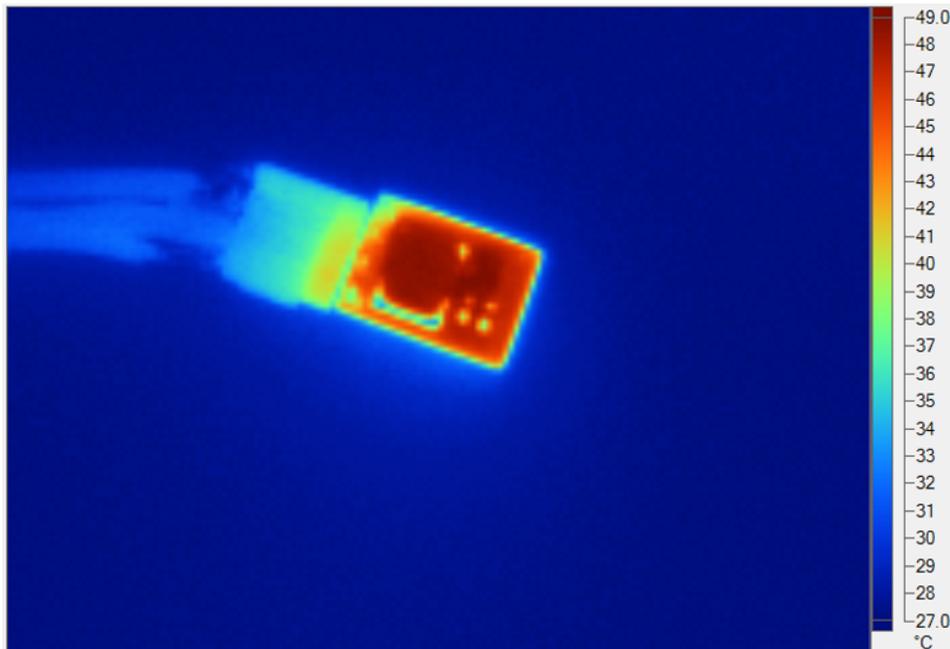


図 8. 12V_{IN}、3.3V/1A 出力での底面熱画像

4.2.3 全温度範囲にわたるライン/負荷電圧制御

図 9、図 10、図 11 に、 -30°C ~ 65°C での負荷電流および入力電圧に応じた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 $3.274 \sim 3.303\text{V}$ の範囲で変化しています。これは出力電圧の 0.88% に相当し、初期目標の $\pm 1\%$ を優に下回っています。

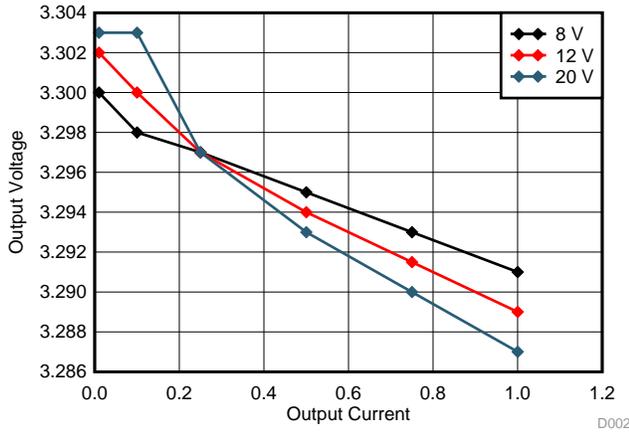


図 9. 65°C 時のライン/負荷電圧制御

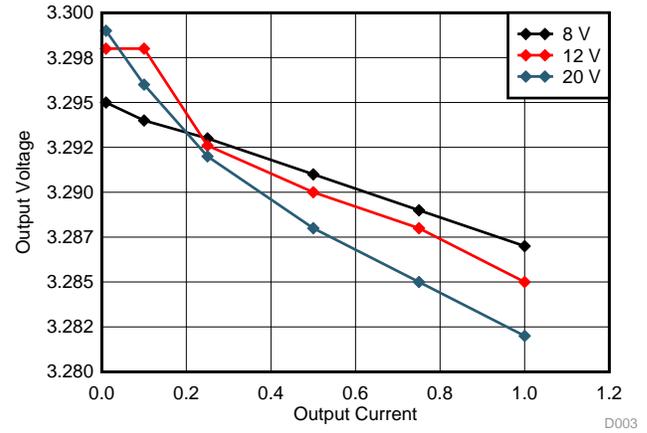


図 10. 22.5°C 時のライン/負荷電圧制御

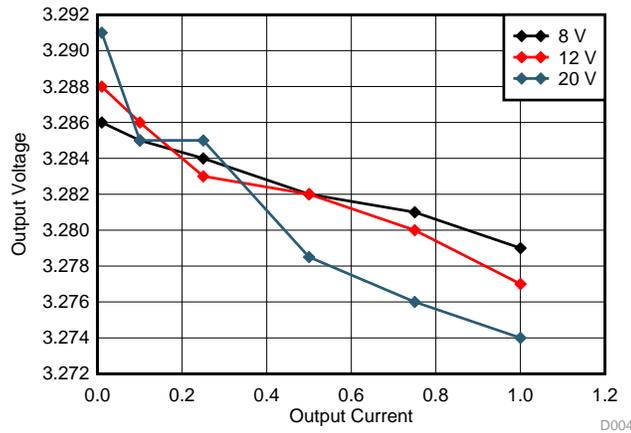


図 11. -30°C 時のライン/負荷電圧制御

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/負荷電圧制御の詳細を示します。

表 7. 65°C 時のライン/負荷電圧制御

V_{IN}	V_{OUT}	I_{OUT}
20	3.287	1.00
20	3.290	0.75
20	3.293	0.50
20	3.297	0.25
20	3.303	0.10
20	3.303	0.01
12	3.289	1.00
12	3.292	0.75
12	3.294	0.50
12	3.297	0.25
12	3.300	0.10
12	3.302	0.01
8	3.291	1.00
8	3.293	0.75
8	3.295	0.50
8	3.297	0.25
8	3.298	0.10
8	3.300	0.01

表 8. 22.5°C 時のライン/負荷電圧制御

V_{IN}	V_{OUT}	I_{OUT}
20	3.282	1.00
20	3.285	0.75
20	3.288	0.50
20	3.292	0.25
20	3.296	0.10
20	3.299	0.01
12	3.285	1.00
12	3.288	0.75
12	3.290	0.50
12	3.293	0.25
12	3.298	0.10
12	3.298	0.01
8	3.287	1.00
8	3.289	0.75
8	3.291	0.50
8	3.293	0.25
8	3.294	0.10
8	3.295	0.01

表 9. -30°C 時のライン/負荷電圧制御

V_{IN}	V_{OUT}	I_{OUT}
20	3.2740	1.00
20	3.2760	0.75
20	3.2785	0.50
20	3.2850	0.25
20	3.2850	0.10
20	3.2910	0.01
12	3.2770	1.00
12	3.2800	0.75
12	3.2820	0.50
12	3.2830	0.25
12	3.2860	0.10
12	3.2880	0.01
8	3.2790	1.00
8	3.2810	0.75
8	3.2820	0.50
8	3.2840	0.25
8	3.2850	0.10
8	3.2860	0.01

4.2.4 出力電圧リップル

全負荷(1A)、低負荷(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 $\pm 1\%$ を優に下回っています。

測定は室温 22.5°C、12V の入力電圧で行いました。上の曲線(1)は 50mV/div、AC 結合モードのオシロスコープによる出力電圧です。下の曲線(2)は 5V/div でのスイッチ (TPS54202 のピン 2) です。

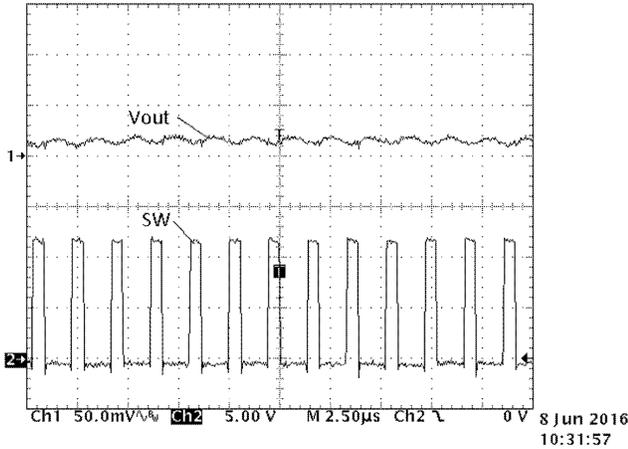


図 12. 出力負荷 1A 時の出力電圧リップル

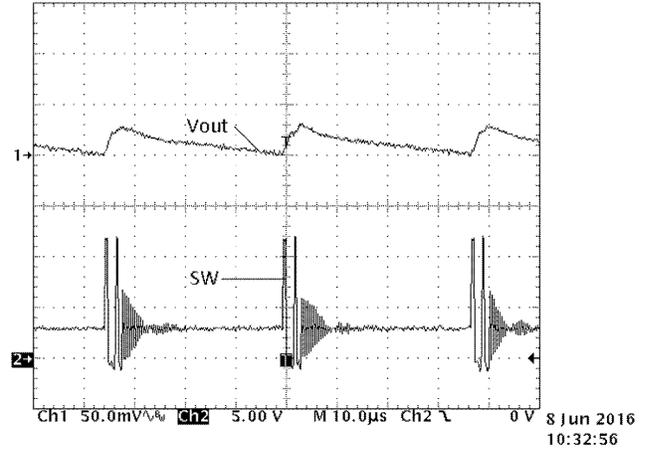


図 13. 出力負荷 10mA 時の出力電圧リップル

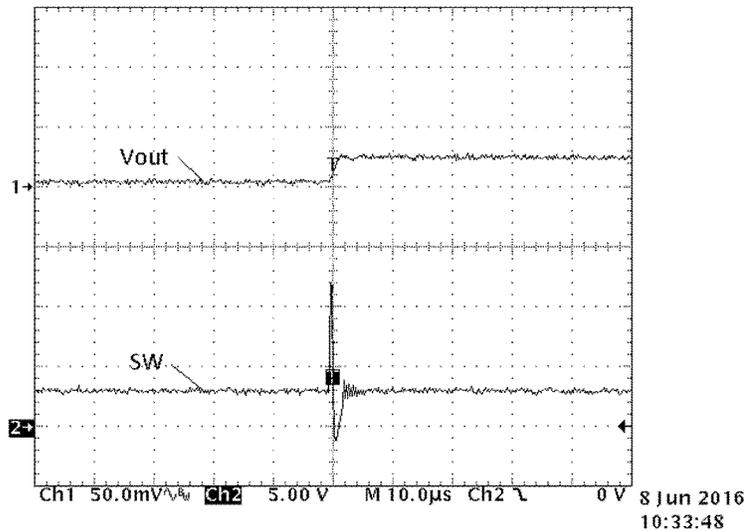


図 14. 無負荷出力時の出力電圧リップル

4.2.5 過渡応答

過渡応答は 10mA ~ 1A の負荷ステップで $\pm 200\text{mV}$ を下回っており、これは設計要件に相当しました ($\pm 5\%$)。

測定は室温 22.5°C、12V の入力電圧で行いました。上の曲線(1)は 100mV/div、AC 結合モードのオシロスコープによる出力電圧です。下の曲線(2)は 200mV/div、100mV/A の電流プローブによる出力電流です。負荷ステップはスルーレート 250mA/ μs で印加しています。

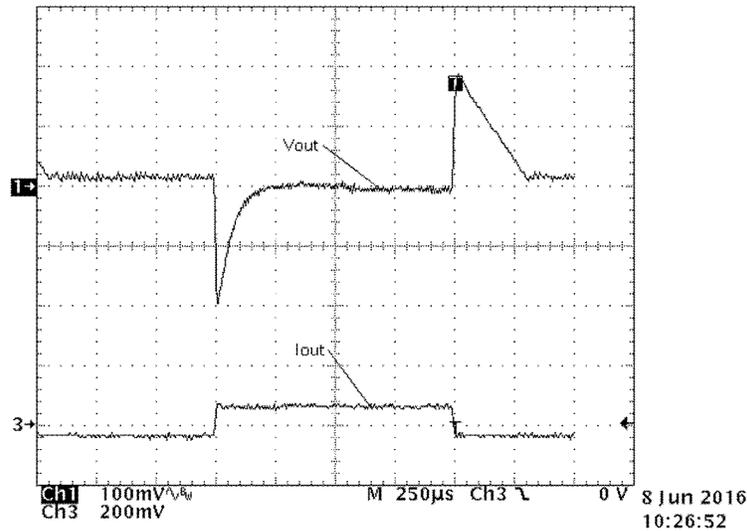


図 15. 出力負荷 10mA → 1A の過渡応答

4.2.6 起動と停止

起動および停止動作については、入力に 12V を、出力に 1A の負荷を印加します。

EN 設定抵抗 (R2 および R5) は実装せず、5V 信号によりイネーブル・ピンを制御します。

測定は室温 22.5°C で行いました。上の曲線(1)は 2V/div、DC 結合モードのオシロスコープによる出力電圧です。下の曲線(2)は 5V/div でのイネーブル信号です。

TIDA-00947 は、EN ピンが有効になってから 3.3V を出力するのに 7ms を要します。オーバーシュートすることなく、出力電圧に達します。

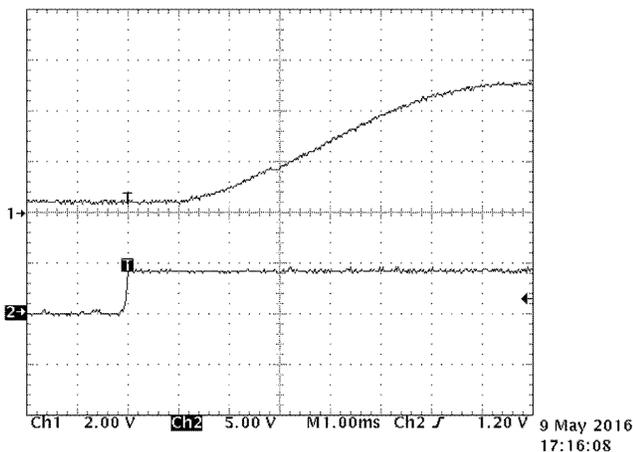


図 16. 入力 12V、出力負荷 1A 時の起動

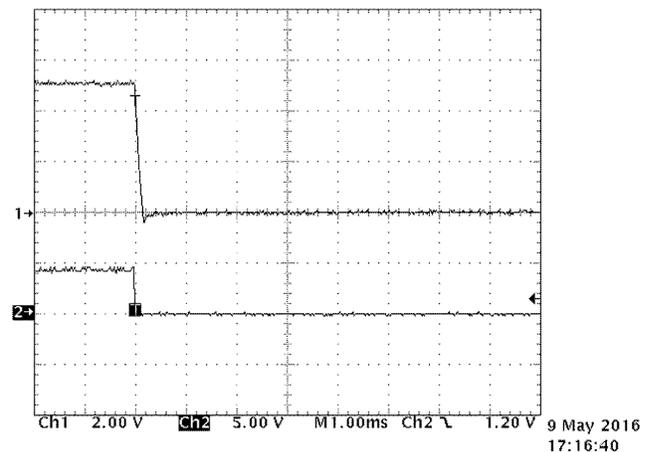


図 17. 入力 12V、出力負荷 1A 時の停止

4.2.7 過電流および短絡テスト

過電流保護機能は、12V で基板に電力を供給し、過渡負荷を 1A → 3A の出力電流としてテストしました。短絡保護機能は、出力ピンを GND に短絡してテストしました。

上の曲線(1)は 2V/div (図 18) および 100mV/div (図 19)、DC 結合モードのオシロスコープによる出力電圧です。下の曲線(2)は 200mV/div、100mV/A の電流プローブによる出力電流です。

図 18 および図 19 に示すように、電流が電流制限値まで上昇すると、TPS54202 特性表 (SLVSD26) に記載する過電流保護モードとなります。事前に設定した時間待機すると、再起動を試みます。異常が解消すると、正常に起動します。

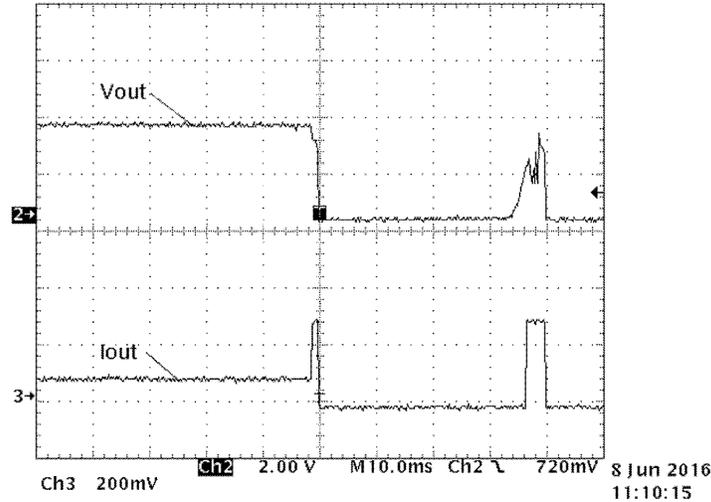


図 18. 過電流保護

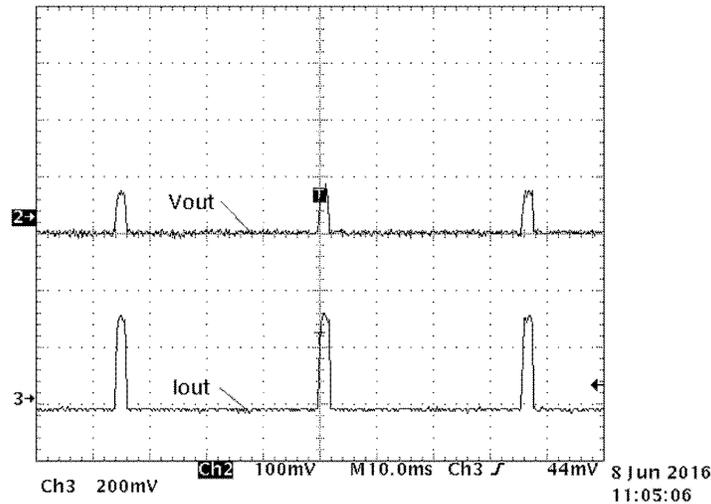


図 19. 短絡保護

4.2.8 過電圧テスト

過電圧保護機能は、12V で基板に電力を供給し、出力負荷を 1A として、TIDA-00947 基板の出力に 3.65V を印加してテストしました。

上の曲線 (4) は 2V/div、DC 結合モードのオシロスコープによる出力電圧です。中の曲線 (3) は 50mV/div、100mV/A の電流プローブによる TIDA-00947 から生じた電流です。下の曲線 (2) は 5V/div でのスイッチの電圧です。

TPS54202 特性表 (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。異常が解消すると、また正常にスイッチングを開始します。

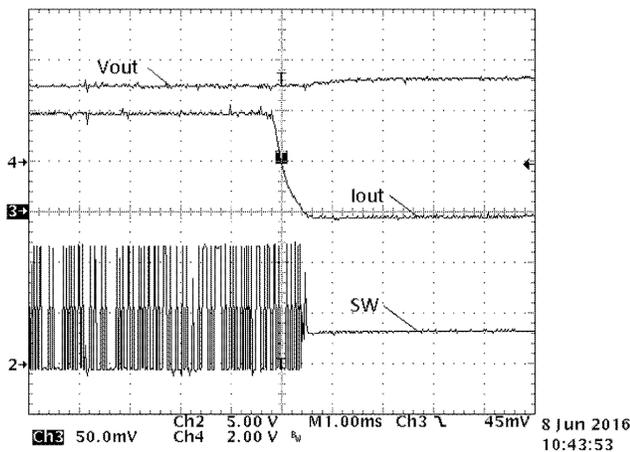


図 20. 3.3V → 3.65V の過電圧保護

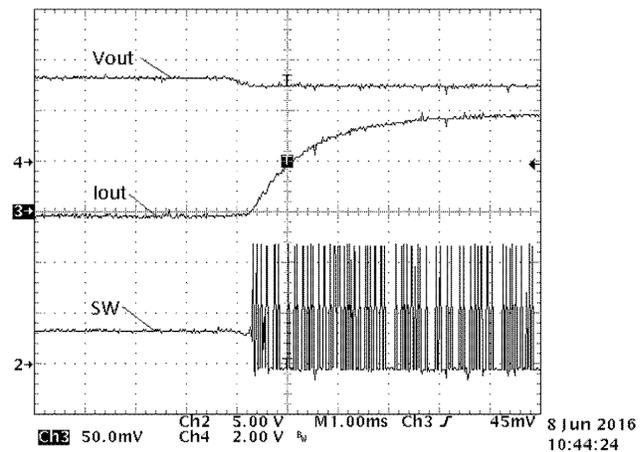


図 21. 3.65V → 3.3V の過電圧保護

4.2.9 スタンバイ電流と無負荷時電流

スタンバイ電流は室温 22.5°C、入力電圧 12V で電流計により測定しました。コネクタを介してイネーブル・ピンを LOW に設定し、イネーブル設定抵抗 (R2 および 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。

無負荷時電流は室温 22.5°C、入力電圧 12V、イネーブル設定抵抗 (R2 および R5) 実装、出力時の負荷接続なしで、電流計により測定しました。無負荷時電流の測定値は 84μA でした。

4.2.10 EMC テスト

TIDA-00947 TI Design は、EN55022 クラス B の伝導・放射エミッションに準拠した EMI テストを既に受けています。EMC テストは、CSA Group Bayern GmbH(ドイツ)が実施しました。

4.2.10.1 伝導エミッション

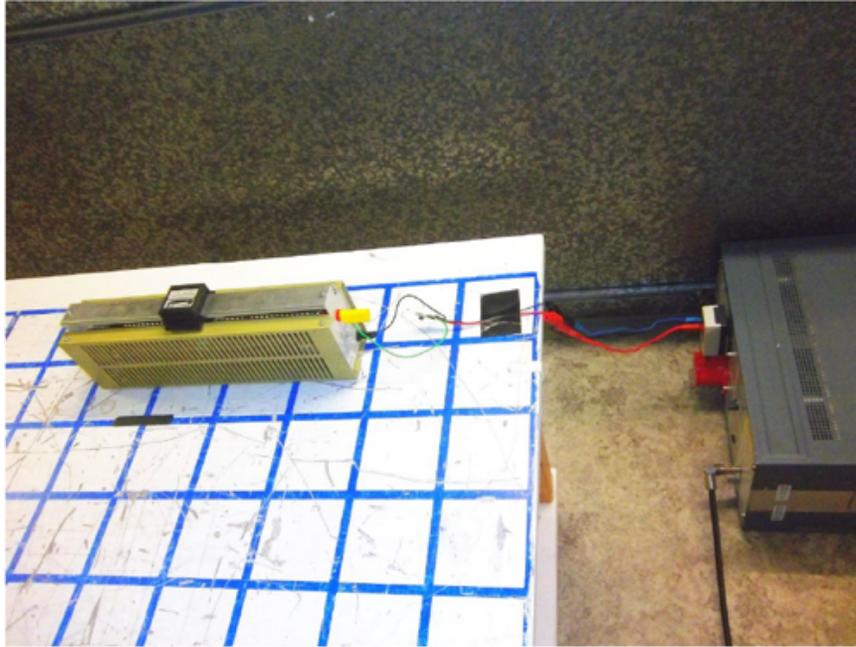


図 22. 伝導エミッション・テスト構成

入力フィルタなしで初回テストを実施した結果、伝導テストには不合格でした。

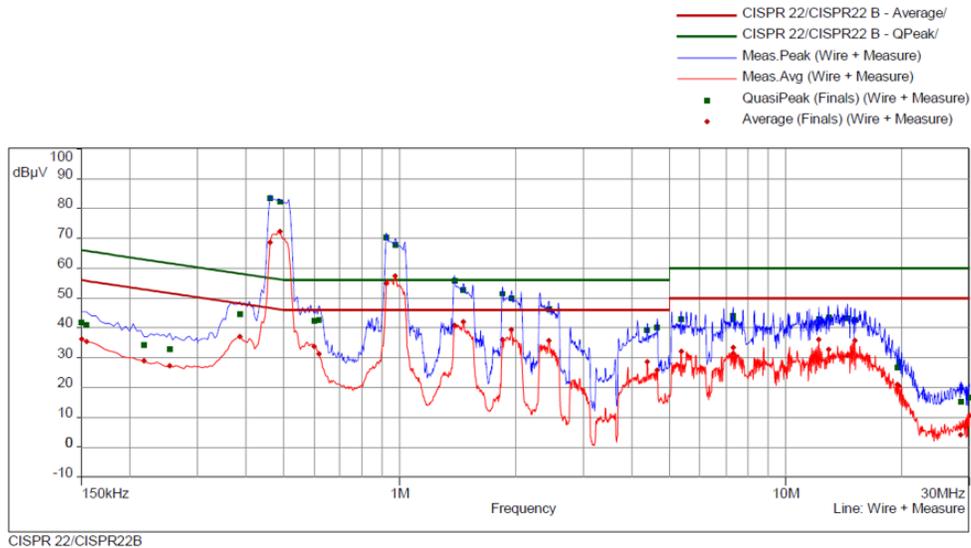


図 23. フィルタなしの伝導エミッション・テスト結果

表 10. フィルタなしの伝導エミッション・テスト結果

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	41.85	24.15	66.00	36.19	19.81	56.00	ワイヤ +	10.06
0.1545	1	40.81	24.95	65.75	35.35	20.40	55.75	ワイヤ +	10.06
0.2175	1	34.34	28.57	62.91	29.01	23.90	52.91	ワイヤ +	10.06
0.2535	1	32.93	28.71	61.64	27.39	24.25	51.64	ワイヤ +	10.06
0.3855	2	44.74	13.42	58.16	37.05	11.11	48.16	ワイヤ +	10.06
0.4620	2	83.47	-26.81	56.66	68.68	-22.02	46.66	ワイヤ +	10.06
0.4890	2	82.13	-25.94	56.18	72.22	-26.04	46.18	ワイヤ +	10.06
0.6000	3	42.34	13.66	56.00	33.78	12.22	46.00	ワイヤ +	10.07
6.1800	3	42.64	13.36	56.00	31.36	14.64	46.00	ワイヤ +	10.07
0.9240	3	70.28	-14.28	56.00	54.89	-8.89	46.00	ワイヤ +	10.07
0.9735	3	67.88	-11.88	56.00	57.35	-11.35	46.00	ワイヤ +	10.07
1.3890	4	55.70	0.30	56.00	40.84	5.16	46.00	ワイヤ +	10.07
1.4610	4	52.62	3.38	56.00	42.10	3.90	46.00	ワイヤ +	10.07
1.8480	4	51.44	4.56	56.00	36.16	9.84	46.00	ワイヤ +	10.08
1.9470	4	49.82	6.18	56.00	39.32	6.68	46.00	ワイヤ +	10.08
2.4360	5	46.31	9.69	56.00	35.77	10.23	46.00	ワイヤ +	10.09
4.3890	5	39.20	16.80	56.00	28.61	17.39	46.00	ワイヤ +	10.11
4.6545	5	40.30	15.70	56.00	25.80	20.20	46.00	ワイヤ +	10.12
5.3670	6	42.94	17.06	60.00	32.19	17.81	50.00	ワイヤ +	10.13
7.3200	6	43.99	16.01	60.00	33.45	16.55	50.00	ワイヤ +	10.16
7.3245	6	43.10	16.90	60.00	31.49	18.51	50.00	ワイヤ +	10.16
12.1965	7	43.02	16.98	60.00	36.09	13.91	50.00	ワイヤ +	10.25
12.9255	7	43.54	16.46	60.00	32.84	17.16	50.00	ワイヤ +	10.27
14.4870	7	43.25	16.75	60.00	30.85	19.15	50.00	ワイヤ +	10.31
15.1170	7	42.58	17.42	60.00	35.72	14.28	50.00	ワイヤ +	10.32
19.5015	8	26.63	33.37	60.00	21.01	28.99	50.00	ワイヤ +	10.43
19.6545	8	28.69	31.31	60.00	20.52	29.48	50.00	ワイヤ +	10.43
28.4295	8	15.24	44.76	60.00	4.27	45.73	50.00	ワイヤ +	10.56
29.9865	8	16.67	43.33	60.00	10.67	39.33	50.00	ワイヤ +	10.59

次に小型フィルタ(10 μ F の容量と 5 μ H のインダクタ)を入力に追加したところ、基板は 12dB を超えるマージンで伝導エミッション・テストに合格できました。

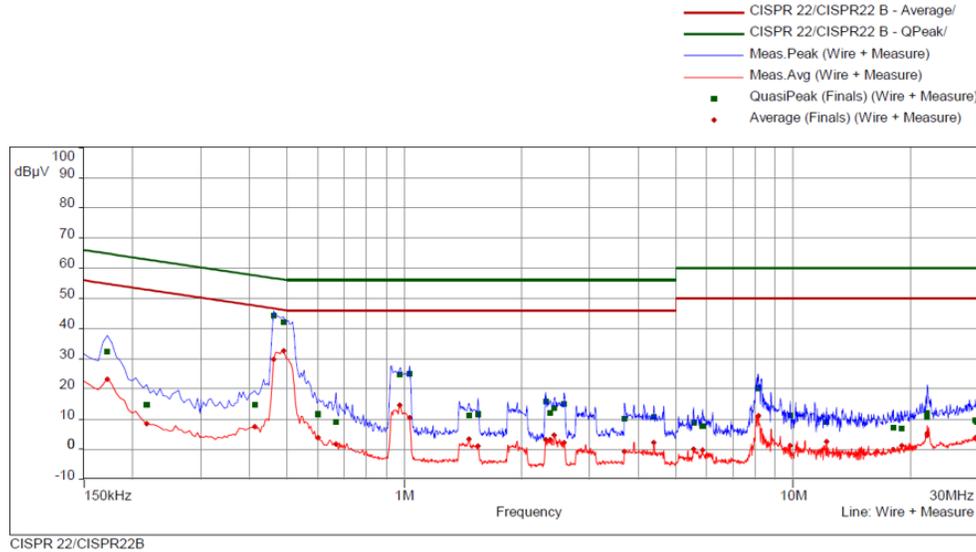


図 24. フィルタありの伝導エミッション・テスト結果(ワイヤ +)

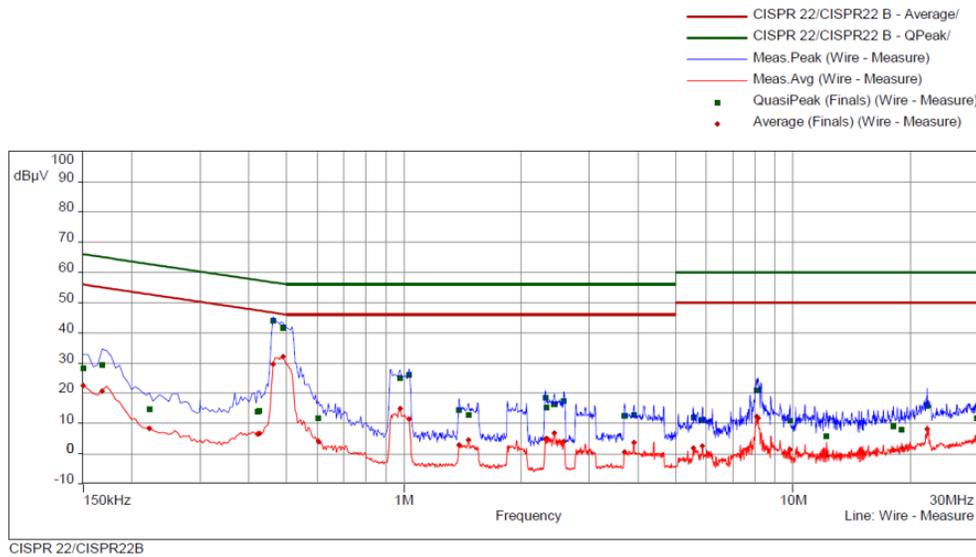


図 25. フィルタありの伝導エミッション・テスト結果(ワイヤ -)

表 11. フィルタありの伝導エミッション・テスト結果

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	28.35	37.65	66.00	22.53	33.47	56.00	ワイヤ-	10.06
0.1680	1	29.40	35.66	65.06	20.78	34.28	55.06	ワイヤ-	10.06
0.2220	1	14.54	48.20	62.74	8.33	44.42	52.74	ワイヤ-	10.06
0.4215	2	13.87	43.54	57.42	6.50	40.91	47.42	ワイヤ-	10.06
0.4260	2	14.27	43.06	57.33	6.64	40.69	47.33	ワイヤ-	10.06
0.4620	2	44.04	12.62	56.66	29.61	17.05	46.66	ワイヤ-	10.06
0.4890	2	41.78	14.40	56.18	62.16	14.02	46.18	ワイヤ-	10.06

表 11. フィルタありの伝導エミッション・テスト結果 (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)
0.6045	3	11.64	44.36	56.00	4.11	41.89	46.00	ワイヤ-	10.07
0.9780	3	24.96	31.04	56.00	14.95	31.05	46.00	ワイヤ-	10.07
1.0320	3	26.02	29.98	56.00	11.43	34.57	46.00	ワイヤ-	10.07
1.3890	4	14.51	41.49	56.00	2.81	43.19	46.00	ワイヤ-	10.07
1.4655	4	12.88	43.12	56.00	4.58	41.42	46.00	ワイヤ-	10.07
2.3115	4	18.54	37.46	56.00	4.92	41.08	46.00	ワイヤ-	10.08
2.3340	4	15.24	40.76	56.00	5.07	40.93	46.00	ワイヤ-	10.08
2.4360	5	16.48	39.52	56.00	6.83	39.17	46.00	ワイヤ-	10.09
2.5800	5	17.40	38.60	56.00	4.11	41.89	46.00	ワイヤ-	10.09
3.6915	5	12.42	43.58	56.00	0.57	45.43	46.00	ワイヤ-	10.10
3.9030	5	12.74	43.26	56.00	3.75	42.25	46.00	ワイヤ-	10.11
5.5425	6	11.92	48.08	60.00	1.87	48.13	50.00	ワイヤ-	10.13
5.8530	6	11.37	48.63	60.00	2.53	47.47	50.00	ワイヤ-	10.13
8.0670	6	21.01	38.99	60.00	12.28	37.72	50.00	ワイヤ-	10.17
8.1345	6	21.02	38.98	60.00	11.82	38.18	50.00	ワイヤ-	10.17
9.8340	7	10.93	49.07	60.00	1.37	48.63	50.00	ワイヤ-	10.19
12.2100	7	5.74	54.26	60.00	-0.49	50.49	50.00	ワイヤ-	10.25
18.1095	7	9.24	50.76	60.00	1.20	48.80	50.00	ワイヤ-	10.40
19.0365	7	7.96	52.04	60.00	1.99	48.01	50.00	ワイヤ-	10.42
22.1565	8	15.97	44.03	60.00	8.19	41.81	50.00	ワイヤ-	10.48
29.7435	8	11.63	48.37	60.00	5.78	44.22	50.00	ワイヤ-	10.59
29.9955	8	11.70	48.30	60.00	5.79	44.21	50.00	ワイヤ-	10.59
0.1725	9	32.36	32.48	64.84	23.21	31.63	54.84	ワイヤ+	10.06
0.2175	9	14.77	48.14	62.91	8.54	44.38	52.91	ワイヤ+	10.06
0.4125	10	14.73	42.86	57.60	7.52	40.07	47.60	ワイヤ+	10.06
0.4620	10	44.40	12.26	56.66	29.87	16.79	46.66	ワイヤ+	10.06
0.4890	10	42.27	13.92	56.18	32.63	13.56	46.18	ワイヤ+	10.06
0.6000	11	11.72	44.28	56.00	3.91	42.09	46.00	ワイヤ+	10.07
0.6675	11	9.18	46.82	56.00	1.69	44.31	46.00	ワイヤ+	10.07
0.9735	11	24.63	31.37	56.00	14.61	31.39	46.00	ワイヤ+	10.07
1.0320	11	25.02	30.98	56.00	10.53	35.47	46.00	ワイヤ+	10.07
1.4655	12	11.23	44.77	56.00	3.38	42.62	46.00	ワイヤ+	10.07
1.5465	12	11.69	44.31	56.00	1.02	44.98	46.00	ワイヤ+	10.07
2.3115	12	16.02	39.98	56.00	3.23	42.77	46.00	ワイヤ+	10.08
2.3700	12	12.01	43.99	56.00	3.26	42.74	46.00	ワイヤ+	10.08
2.4315	13	13.71	42.29	56.00	4.65	41.35	46.00	ワイヤ+	10.08
2.5800	13	15.10	40.90	56.00	2.22	43.78	46.00	ワイヤ+	10.09
3.6870	13	10.14	45.86	56.00	-0.75	46.75	46.00	ワイヤ+	10.10
4.3890	13	10.70	45.30	56.00	2.22	43.78	46.00	ワイヤ+	10.11
5.5425	14	8.90	51.10	60.00	0.02	49.98	50.00	ワイヤ+	10.13
5.8485	14	7.77	52.23	60.00	-0.23	50.23	50.00	ワイヤ+	10.13
8.1300	14	20.09	39.91	60.00	10.88	39.12	50.00	ワイヤ+	10.17
8.1345	14	20.53	39.47	60.00	11.23	38.77	50.00	ワイヤ+	10.17
9.8340	15	11.22	48.78	60.00	1.18	48.82	50.00	ワイヤ+	10.19
12.2010	15	9.24	50.76	60.00	2.52	47.48	50.00	ワイヤ+	10.25
18.1095	15	7.16	52.84	60.00	-0.16	50.16	50.00	ワイヤ+	10.40
19.0320	15	6.90	53.10	60.00	1.25	48.75	50.00	ワイヤ+	10.42

表 11. フィルタありの伝導エミッション・テスト結果 (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)
22.1610	16	12.09	47.91	60.00	5.34	44.66	50.00	ワイヤ +	10.48
22.1655	16	10.73	49.27	60.00	4.79	45.21	50.00	ワイヤ +	10.48
29.4960	16	9.50	50.50	60.00	3.93	46.07	50.00	ワイヤ +	10.58
29.7705	16	9.07	50.93	60.00	3.15	46.85	50.00	ワイヤ +	10.59

4.2.10.2 放射エミッション

まず、アンテナ高 3m、10dB 高い閾値による予備スキャン・テストで放射エミッションをテストしました。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. 放射エミッション 3m 予備スキャン・テスト構成

CAUTION

予備スキャンの場合、距離が短くなるため(10m でなく 3m)、EN55022 放射 EMI の閾値は 10dB 高くなります。

予備スキャンにおいて、基板は 8dB を超えるマージンで放射エミッション・テストに合格しました。

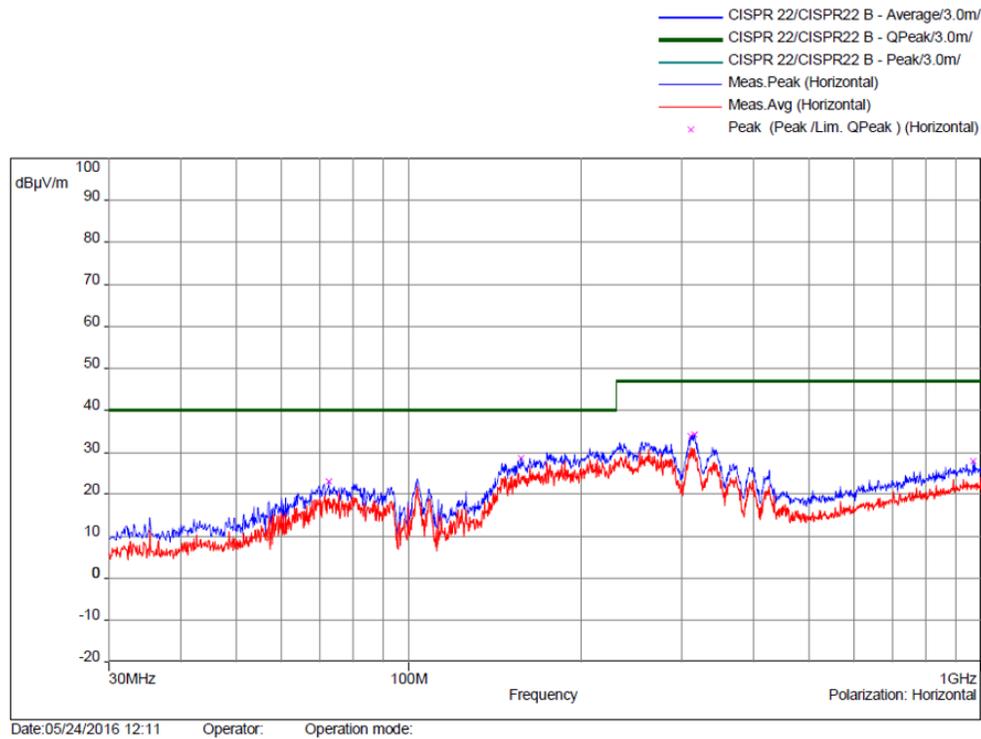


図 27. 放射エミッション 3m 予備スキャン・テストの水平偏波

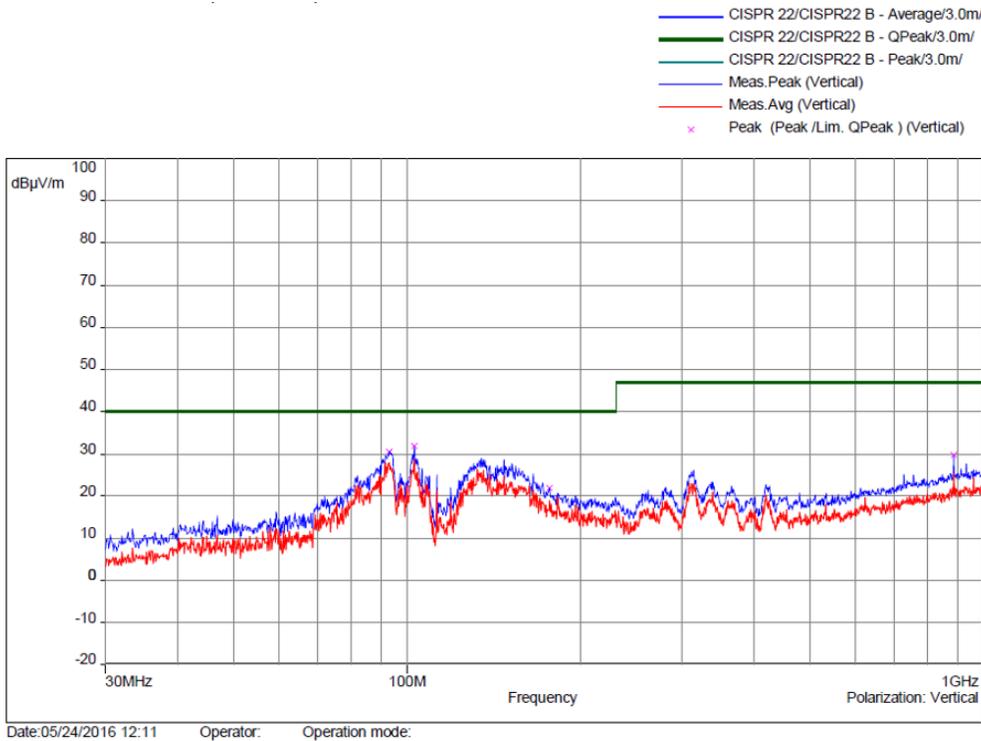


図 28. 放射エミッション 3m 予備スキャン・テストの垂直偏波

表 12. 放射エミッション 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	相関係数
72.58725873	1	23.01	40.00	-16.99	69.30	水平	-8.54
157.17971800	1	28.63	40.00	-11.37	259.30	水平	-5.88
310.74607460	1	33.81	47.00	-13.19	209.40	水平	-4.67
315.30553060	1	34.15	47.00	-12.85	239.40	水平	-4.62
967.21072110	1	27.78	47.00	-19.22	189.50	水平	7.42
93.15331533	2	30.44	40.00	-9.56	129.30	垂直	-10.10
103.04830480	2	31.86	40.00	-8.14	169.30	垂直	-8.65
176.87268730	2	21.85	40.00	-18.15	229.40	垂直	-6.34
887.46874690	2	29.67	47.00	-17.33	319.30	垂直	6.01

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. 放射エミッション 10m テスト構成

10m 構成において、基板は 13dB を超えるマージンで放射エミッション・テストに合格しました。

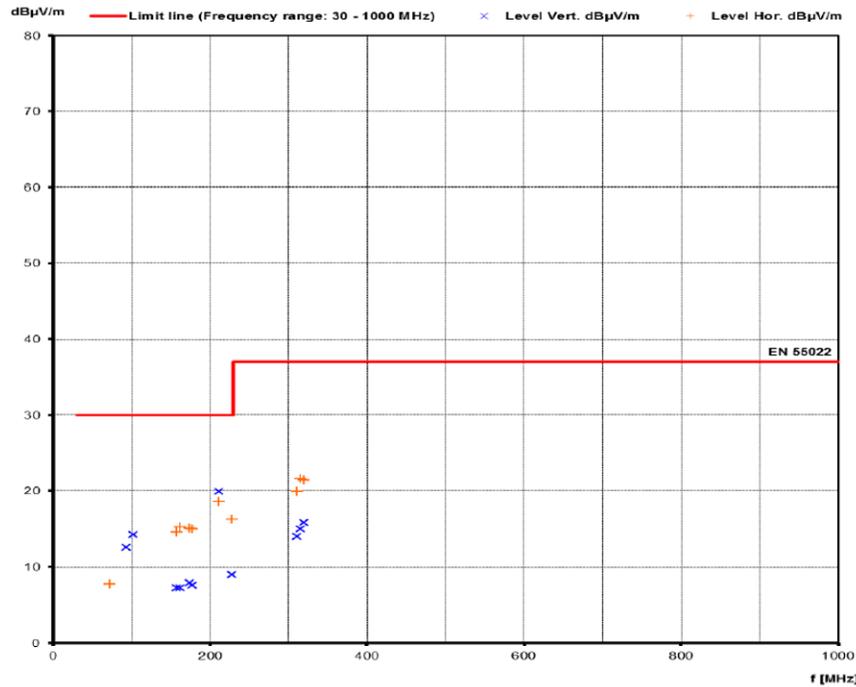


図 30. 放射エミッション 10m テストの結果

表 13. 放射エミッション 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)
72.60	—	-2.6	—	10.3	—	7.7	30.0	-22.3
93.30	0.6	—	12.0	—	12.6	—	30.0	-17.4
102.80	1.2	—	13.0	—	14.2	—	30.0	-15.8
157.00	-3.3	4.1	10.5	10.5	7.2	14.6	30.0	-15.4
162.00	-3.5	4.5	10.7	10.7	7.2	15.2	30.0	-14.8
174.00	-3.6	3.6	11.4	11.4	7.8	15.0	30.0	-15.0
177.00	-4.1	3.3	11.7	11.7	7.6	15.0	30.0	-15.0
212.00	6.2	4.8	13.7	13.7	19.9	18.5	30.0	-10.1
228.00	-5.4	1.9	14.3	14.3	8.9	16.2	30.0	-13.8
310.70	-3.1	2.9	17.0	17.0	13.9	19.9	37.0	-17.1
315.70	-2.2	4.4	17.2	17.2	15.0	21.6	37.0	-15.4
320.00	-1.5	4.1	17.3	17.3	15.8	21.4	37.0	-15.6

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-00947](#) のデザイン・ファイルを参照してください。

5.2 部品表

部品表 (BOM) をダウンロードするには、[TIDA-00947](#) 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、差動ループ間の結合を回避するように細心の注意を払わねばなりません。降圧方式では、入力ループが特に重要であるため、入力容量を 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、ノイズに敏感なループ (帰還およびイネーブル) を高 di/dt のループ (入力、スイッチ、ブートストラップ) から分離します。また、帰還およびイネーブル・ループの部品や配線を高 di/dt の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安定したものになるよう特に注意しました。

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安定したものにして、基板を可能な限り低温に保つ必要があります。

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。

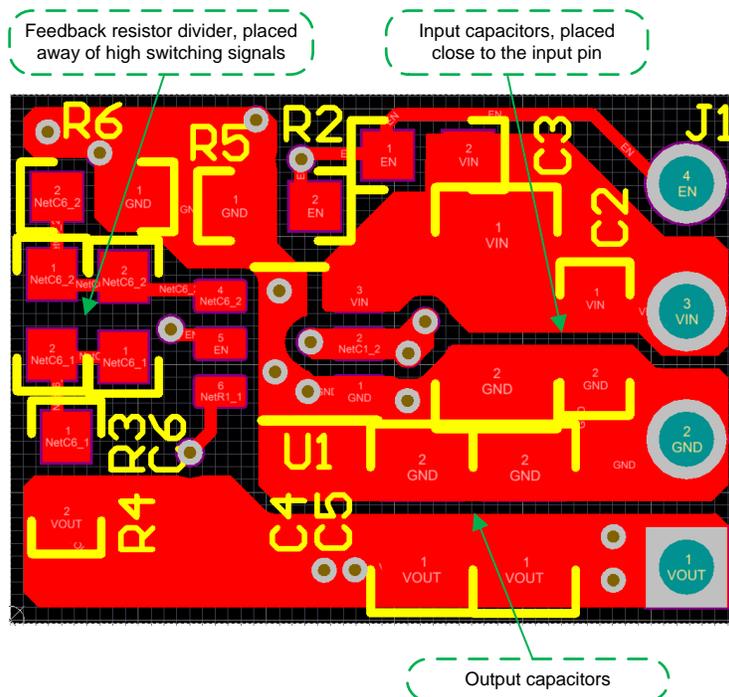


図 31. 上層

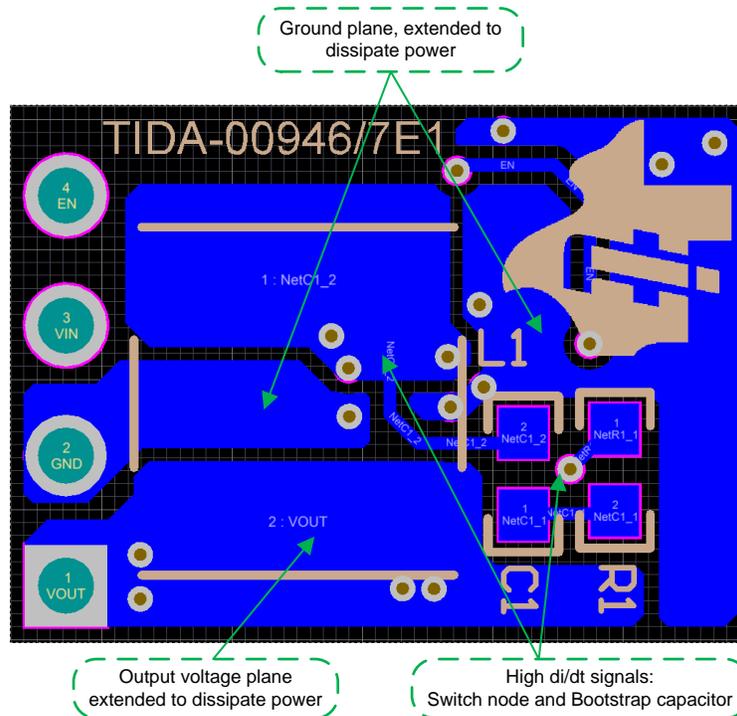


図 32. 下層(反転図)

5.3.1 レイアウト・プリント

レイアウト・プリントをダウンロードするには、[TIDA-00947](#) 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-00947](#) 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-00947](#) 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-00947](#) 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 Trademarks

All trademarks are the property of their respective owners.

7 著者について

KEVIN STAUDER は、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 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。

20166	Page
• プレビュー・ページから Changed	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の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。