



AC/DCコンバータ
絶縁フライバック型PWM方式 48 W 24 V 出力
BM2P016T 評価ボード

<高電圧に関するご注意事項>

◇操作を始められる前に！

このドキュメントは、**BM2P016T** 用評価ボード(**BM2P016T-EVK-004**)とその機能に限定し記載しています。

BM2P016T のより詳細な内容については、データシートを参照してください。

安全に操作を行って頂く為に、評価ボードをご使用になる前に

必ずこのドキュメントの全文を読んでください！



また、使用される電圧およびボードの構造によっては、

生命に危険をおよぼす電圧が発生する場合があります。

必ず下記囲み内の注意事項を厳守してください。

<使用前に>

- ① ボードの落下などによる部品の破損、欠落がない事を確認してください。
- ② 導電性の物体がボード上に落ちていない状態である事を確認してください。
- ③ モジュールと評価ボードのはんだ付けを行う際は、はんだ飛散に注意してください。
- ④ 基板に、結露や水滴がない事を確認してください。

<通電中>

- ⑤ 導電性の物体がボードに接触しないよう注意してください。
- ⑥ 動作中は、偶発的な短時間の接触、もしくは手を近づけた場合の放電であっても、重篤に陥る場合や生命に関わる危険性があります。

絶対にボードに素手で触れたり、近づけ過ぎたりしないでください。

また、ピンセットやドライバなど導電性の器具を用いての作業も上記同様に注意してください。

- ⑦ 定格以上の電圧が印加された場合、短絡など仕様状況によっては部品の破裂等も考えられます。部品の飛散などによる危険についても考慮して下さい。
- ⑧ 動作時は、熱等によるボード・部品の変色や液漏れ等、及び低温評価による結露に注意しながら作業を進めてください。

<使用后>

- ⑨ 評価ボードには、高電圧を蓄える回路が含まれる場合があります。接続している電源回路を切断しても電荷を蓄えているため、ご使用後には必ず放電し、放電したことを確認してから取り扱うようにして下さい。
- ⑩ 過熱された部品への接触による火傷等に注意してください。

この評価ボードは、研究開発施設で使用されるもので、

各施設において高電圧を取り扱う事を許可された方だけが使用出来ます。

また、高電圧を使用しての作業時には、「高電圧作業中」等の明示を行い、インターロック等を備えたカバーや保護メガネの着用等、安全な環境において作業される事を推奨します。

AC/DC Converter

絶縁フライバック型 PWM 方式 48 W 24 V 出力 BM2P016T 評価ボード

BM2P016T-EVK-004

BM2P016T-EVK-004評価ボードは、90 Vac～264 Vacの入力から24 Vの電圧を出力します。出力電流は最大2.0 Aを供給します。650 V MOSFET内蔵PWM方式DC/DCコンバータICのBM2P016Tを使用しています。

BM2P016Tは、650 V耐圧起動回路内蔵により、低消費電力に貢献します。電流モード制御を用いているため、サイクルごとに電流制限がかけられ、帯域幅と過渡応答にすぐれた性能を発揮します。スイッチング周波数は固定方式で65 kHzです。軽負荷時には、周波数低減により、高効率を実現します。周波数ホッピング機能を内蔵しており、低EMIに貢献します。低オン抵抗1.4 Ω ・650 V耐圧MOSFETを内蔵しており、低消費電力、設計容易化に貢献します。

最適なEMI設計により、雑音端子電圧／放射エミッション試験のCISPR22 Class. Bを準拠しています。

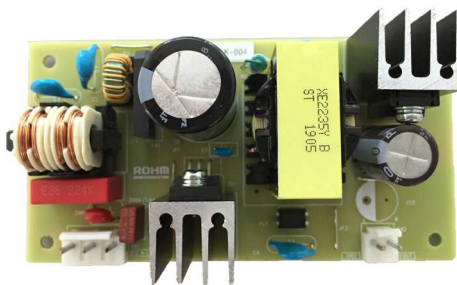


Figure 1. BMP016T-EVK-004

性能仕様

これは代表値であり、特性を保証するものではありません。特に指定がない場合は、 $V_{IN} = 230 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 1.5 \text{ A}$, $T_a = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Parameter	Min	Typ	Max	Units	Conditions
入力電圧範囲	90	230	264	V	
入力周波数	47	50/60	63	Hz	
出力電圧	22.8	24.0	25.2	V	
最大電力	-	-	48	W	$I_{OUT} = 2 \text{ A}$
出力電流範囲 ^(Note 1)	0.0	1.5	2.0	A	
待機電力	-	280	-	mW	$I_{OUT} = 0 \text{ A}$
電源効率	83.0	86.4	-	%	$I_{OUT} = 2 \text{ A}$
出力リップル電圧 ^(Note 2)	-	180	-	mVpp	
動作温度範囲	-10	+25	+65	$^{\circ}\text{C}$	

(Note 1) 部品表面温度が 105 $^{\circ}\text{C}$ 以上にならないよう、負荷印加時間を調整してください。

(Note 2) スパイクノイズを含みません。

動作手順

1. 必要な機器

- (1) 90 ～ 264 Vac、50 W 以上の AC 電源
- (2) 最大 2.0 A の負荷
- (3) DC 電圧計

2. 機器を接続

- (1) AC 電源を 90 ～ 264 Vac にプリセットして、電源出力を OFF にします。
- (2) 負荷を 2 A 以下に設定して、負荷を無効にします。
- (3) 電源の N 端子を CN1-2:AC(N)端子へ、L 端子を CN1-3:AC(L)端子へ、一対のワイヤで接続します。
- (4) 負荷の正端子を CN2-2(VOUT)端子へ、負端子を CN2-1(GND)端子へ、一対のワイヤで接続します。
- (5) 入力電圧測定用に電力計を電源へ接続します。
- (6) 出力電圧測定用に DC 電圧計の正端子を VOUT へ、負端子を GND へ接続します。
- (7) AC 電源の出力を ON にします。
- (8) DC 電圧計の表示が 24 V であることを確認します。
- (9) 負荷を有効にします。
- (10) ワイヤの抵抗により電圧効果（損失）が発生していないか、DC 電圧計で確認します。

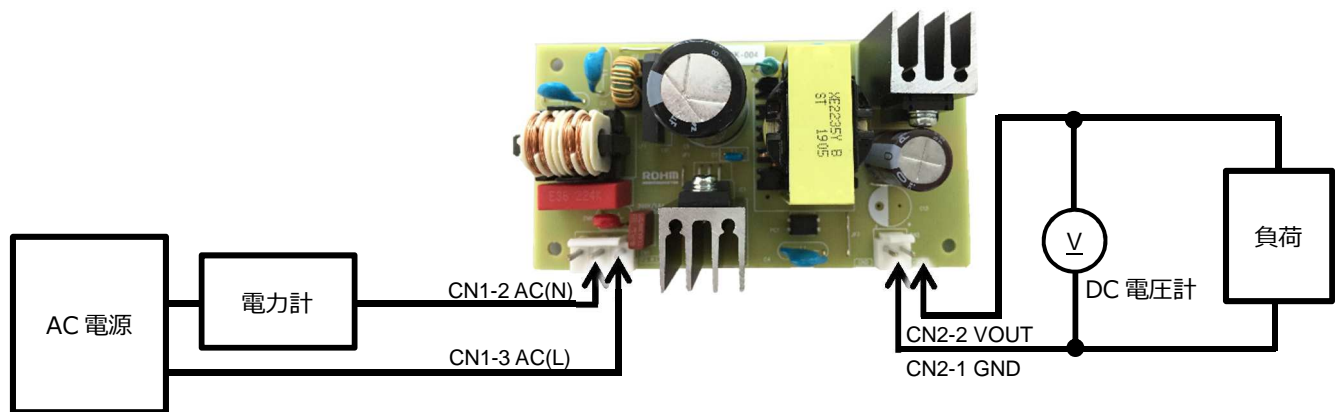


Figure 2. 接続図

デレーティング

本評価ボードは、最大電力 P_o は 48 W です。また、下図に示すデレーティング曲線を示します。

40 °C 以上の高温時、デレーティング曲線を超える負荷電力を印加する場合は、部品表面温度が 105 °C を超えないよう、負荷電流時間を調整してください。

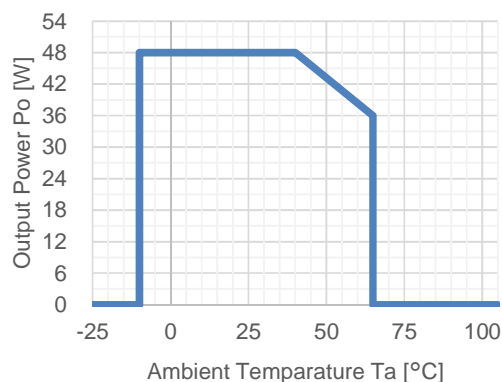


Figure 3. デレーティング

アプリケーション回路

BM2P016T-EVK-004 は、フライバック型の回路方式であり、IC は、BM2P016T を使用しています。

BM2P016T は、高耐圧 V_{DS} :650V かつ低オン抵抗 $R_{DS(ON)}$:1.4 Ω の Super-Junction MOSFET が内蔵されており、省エネに貢献します。

出力(VOUT)の電圧を Feedback 回路にてモニタし、フォトカプラを通して、IC1 の FB 端子にフィードバックしています。IC1 の FADJ 端子は、軽負荷時のバースト動作時のバースト周波数を固定することで、バースト時の音なりを対策することが可能になります。

起動時は、起動回路(Starter)を通して、 V_{IN} から C_{VCC} へ供給されることにより、VCC 電圧が上昇します。VCC 電圧が UVLO 解除電圧 13.5V typ.を超えると IC の動作が開始します。IC が動作すると起動回路は OFF し、DRAIN 端子からの供給を切断し、待機電力の削減に貢献します。

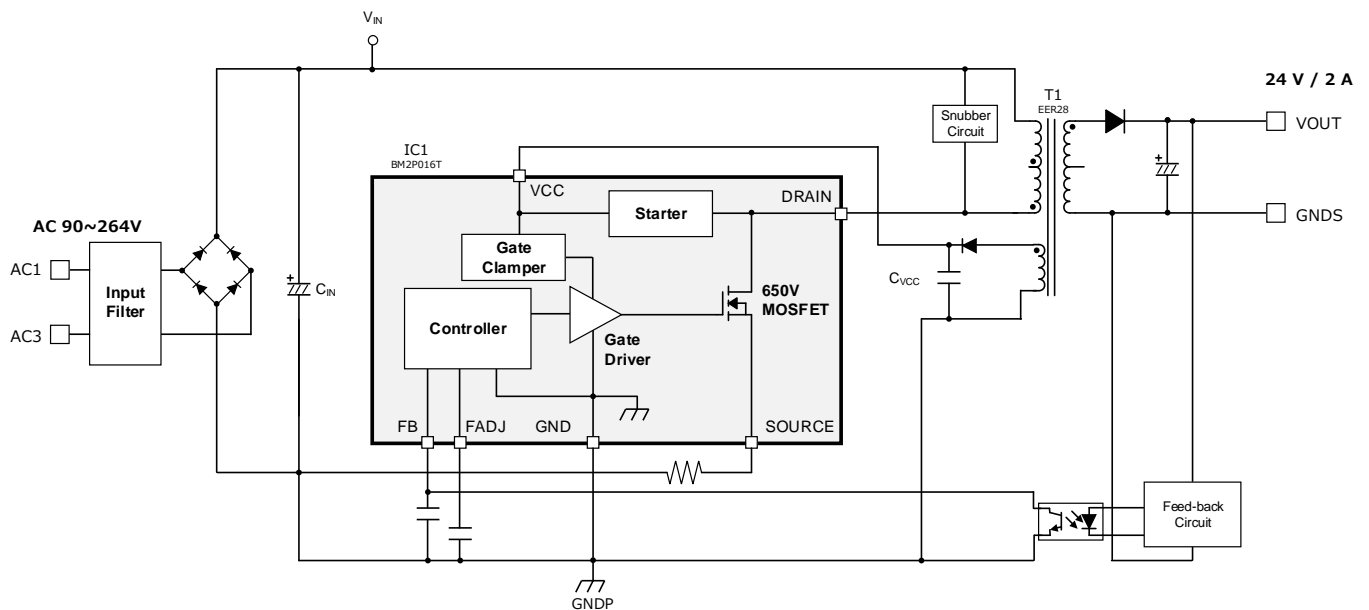


Figure 4. BM2P016T-EVK-004 アプリケーション回路

BM2P016T 概要

特徴

- PWM 周波数=65 kHz
- PWM カレントモード方式
- 周波数ホッピング機能内蔵
- 軽負荷時バースト動作 / 周波数低減機能
- 650 V 起動回路内蔵
- 650 V スイッチング MOSFET 内蔵
- VCC 端子 低電圧保護
- VCC 端子 過電圧保護
- SOURCE 端子 オープン保護
- SOURCE 端子 ショート保護
- SOURCE 端子 Leading-Edge-Blanking 機能
- サイクルごとの過電流リミット機能
- 過電流リミット AC 補正機能
- ソフトスタート機能
- 2 次側 過電流保護回路

重要特性

- 動作電源電圧範囲: VCC: 8.9 V ~ 26.0 V
DRAIN: 650 V
- 通常動作時電流: 0.95 mA(Typ)
- バースト動作電流: 0.30 mA(Typ)
- 最大発振周波数: 65 kHz(Typ)
- 動作温度範囲: -40 °C ~ +105 °C
- MOSFET Ron: 1.4 Ω (Typ.)

アプリケーション

AC アダプタ、TV、各種家電 (掃除機、加湿器、空気清浄機、エアコン、IH クッキングヒーター、炊飯器等)

パッケージ

W(Typ) x D(Typ) x H(Typ)

TO220-7M

10.0 mm x 4.6 mm x 25.4 mm



Figure 5. TO220-7M Package

(※) 製品構造：シリコンを主材料としたモノリシック集積回路 耐放射線設計はしていません

(※) 印加電圧及び動作温度範囲などの絶対最大定格を超えた場合は、劣化または破壊に至る可能性があります。また、ショートモードもしくはオープンモードは破壊状態を想定できません。絶対最大定格を超えるような特殊モードが想定される場合、ヒューズなど物理的な安全対策を施していただくようご検討をお願いします。

Table 1. BM2P016T ピン配置

No.	Name	I/O	Function	ESD Diode	
				VCC	GND
1	DRAIN	I/O	MOSFET ドレイン端子	-	-
2	SOURCE	I/O	MOSFET ソース端子	✓	✓
3	N.C.	-	-	-	-
4	FADJ	I	バースト周波数設定端子	✓	✓
5	GND	I/O	GND 端子	✓	-
6	FB	I	フィードバック信号入力端子	✓	✓
7	VCC	I	電源入力端子	-	✓

設計概要

1 重要パラメータ

- V_{IN} : 入力電圧範囲 AC 90 V ~ 264 Vac (DC 100 V ~ 380 V)
- V_{OUT} : 出力電圧 DC 24 V
- $I_{OUT}(typ)$: 定常出力電流 1.5 A
- $I_{OUT}(max)$: 最大出力電流 2.0 A
- f_{sw} : 最大スイッチング周波数 min:61 kHz, typ:65 kHz, max:69 kHz
- V_{SOURCE} : 過電流検出電圧 min:0.375 V, typ:0.400 V, max:0.425 V

2 トランスの設計

2.1 フライバック電圧の設定 VOR の決定

フライバック電圧 VOR を決定して、巻数比 $N_p : N_s$ 、Duty 比を求めます。

$V_{IN}(min)=100$ V、 $V_f=1.5$ V とし、VOR を約 100V 狙いとします。

今回は、後述で決定した巻数比 $N_p:N_s=4.38$ としています。

$$VOR = (V_{OUT} + V_F) \times \frac{N_p}{N_s} = \frac{t_{on}}{t_{off}} \times V_{IN} = 111.7$$

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{VOR}{V_{OUT} + V_F} = \frac{111.7 \text{ V}}{24 \text{ V} + 1.5 \text{ V}} = 4.38$$

$$Duty(max) = \frac{VOR}{V_{IN}(min) + VOR} = \frac{111.7 \text{ V}}{100 \text{ V} + 111.7 \text{ V}} = 0.527$$

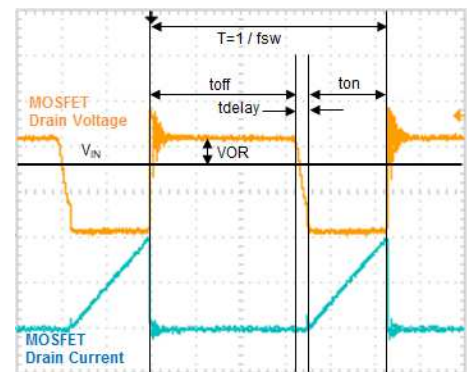


Figure 6. MOSFET Drain 波形

MOSFET の損失等を考慮して、できる限り Duty が 0.5 以下になるように VOR を設定してください。

2.2 動作モードの選択

PWM 駆動 Fly-back 方式のスイッチングレギュレータは、一次側から二次側へ電力をトランスにて伝送します。

トランスの動作モードには、以下の 3 種類があります。

- CCM (Continuous Current Mode) : 二次側のコイルの充電電流が完全に放電する前に、一次側のスイッチング素子が On するモードです。コイルの電流が連続するため、電流連続モードといいます。
- BCM (Boundary Current Mode) : 二次側のコイルの放電完了と同時に、一次側のスイッチング素子が On するモードです。電流が、着地と同時に弾むように見えるので Boundary と表現しています。
- DCM (Dis-continuous Current Mode) : 二次側のコイルが完全に放電した後、一次側のスイッチング素子が On するモードです。コイルの電流が連続しないため、電流不連続モードといいます。

BM2P016 は、CCM, DCM のどちらのモードでも正常に動作します。

今回の設計では、入力電圧 DC260 V(AC 換算:185 Vac)で、負荷電流 1.5 A 時に、BCM になるようにトランスを設計します。

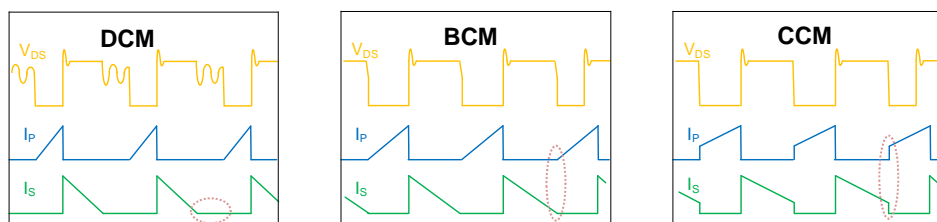


Figure 7. スwitching動作波形(MOSFET V_{DS} , I_p , I_s)

2 トランスの設計 – 続き

2.3 インダクタンス値の算出

最適なインダクタ値を選択すると電源効率の向上になります。トランスのピーク電流 I_{PPK} とスイッチング ON 時の DC 電流 I_{DC} の入力電圧／出力電流特性を下图に示します。トランスのインダクタンス値を上げると、トランスのピーク電流が小さくなります。ピーク電流が小さいと、電力損失の削減、部品の小型化などのメリットがあります。但し、入力電圧が低い場合や、出力電流が大きい場合に、連続モード CCM となり、DC 電流 I_{DC} が発生します。DC 電流が発生すると、スイッチング損失が大きくなり、電源効率の悪化、スイッチングノイズの発生等のデメリットが大きくなります。

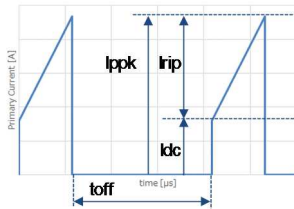


Figure 8. トランス電流波形

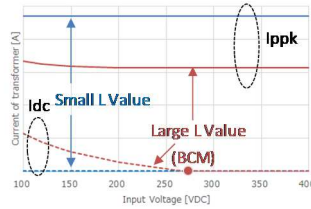


Figure 9. 入力電圧とトランス電流の関係

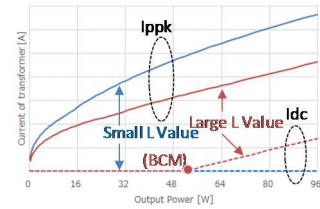


Figure 10. 出力電圧とトランス電流の関係

入力電圧 $V_{IN}=260$ Vdc 入力、負荷電流 $I_{OUT}(BCM)=1.5$ A、発振周波数 65kHz に時に BCM になるという条件から、一次巻線インダクタンス L_P 、二次巻線インダクタンス L_S を求めます。

$$\text{Duty} = \frac{V_{OR}}{V_{IN} + V_{OR}} = \frac{111.7 \text{ V}}{260 \text{ V} + 111.7 \text{ V}} = 0.301$$

BCM になる場合の、二次側インダクタンス L_S を算出する。

$$I_{SPK} = \frac{V_{OUT} + V_F}{L_S} \times t_{OFF} = \frac{V_{OUT} + V_F}{L_S} \times \frac{1 - \text{Duty}}{f_{SW}}$$

$$I_{OUT}(BCM) = \frac{1}{2} \times I_{SPK} \times (1 - \text{Duty}) = \frac{(V_{OUT} + V_F) \times (1 - \text{Duty})^2}{2 \times L_S \times f_{SW}}$$

$$L_S = \frac{(V_{OUT} + V_F) \times (1 - \text{Duty})^2}{2 \times I_{OUT}(BCM) \times f_{SW}} = \frac{(24 \text{ V} + 1.5 \text{ V}) \times (1 - 0.301)^2}{2 \times 1.5 \text{ A} \times 65 \text{ kHz}} = 63.89 \mu\text{H}$$

$$L_P = L_S \times \left(\frac{N_P}{N_S}\right)^2 = 63.89 \mu\text{H} \times (4.38)^2 = 1225.7 \mu\text{H}$$

今回は、 $L_P = 1200 \mu\text{H}$ 、 $L_S = 62.69 \mu\text{H}$ としています。

一次側の最大電流 I_{PPK} 、二次側の最大電流 I_{SPK} を求めます。

$$I_{SPK} = \frac{V_{OUT} + V_F}{L_S} \times \frac{1 - \text{Duty}}{f_{SW}} = \frac{24 \text{ V} + 1.5 \text{ V}}{62.69 \mu\text{H}} \times \frac{1 - 0.301}{65 \text{ kHz}} = 4.29 \text{ [A]}$$

$$I_{PPK} = I_{SPK} \times \frac{N_S}{N_P} = 1.70 \text{ [A]}$$

3 トランスの設計 – 続き

2.4 トランスのサイズの決定

Po(max)=48 W より、トランスのコアサイズは、EER28 を選びます。

Table 2. 出力電力とトランスコア

出力電力 Po(W)	コアサイズ	コア断面積 Ae (mm ²)
~30	EI25/EE25	41
~50	EFD30	68
~60	EI28/EE28/EER28	86
~80	EI33/EER35	107

(*) 上記の値は目安です。詳細はトランスメーカー等にご確認ください。

2.5 一次巻線 N_P の算出

一般的なフェライトコアの磁束密度 B(T)の最大値は、0.4 T@100℃ です。Bs_{sat}=0.35 Tとします。

今回は、コア断面積 Ae=86.3 mm² のコアを選択しています。

$$N_P > \frac{L_P \times I_{PPK}}{A_e \times B_{sat}} = \frac{1200 \mu H \times 1.70 A}{86.3 \text{ mm}^2 \times 0.35 T} = 67.5 [T]$$

一次側巻線数 N_P は、68 ターン以上とします。今回は、トランスのボビンサイズから密巻きになるように、N_P = 105 ターンとしています。

2.6 二次巻線数 N_S の算出

二次巻線数 N_S は、以下の式で表されます。

$$\frac{N_P}{N_S} = 4.38 \rightarrow N_S = \frac{105 [T]}{4.38} = 24.0 \rightarrow 24 [T]$$

今回は、N_S = 24 ターンとしています。また、漏れインダクタンスを減らすために、トランスボビンのサイズから、密巻きになるように、24 ターンを選択しています。

2.7 VCC 巻線数 N_D の算出

VCC=17 V、V_{F-VCC}=1 V とすると、N_D は、以下の式で表されます。

$$N_D = N_S \times \frac{V_{CC} + V_{F-VCC}}{V_{OUT} + V_F} = 24 T \times \frac{15 V + 1.0 V}{24 V + 1.5 V} = 15.1 [T]$$

N_D = 15 ターンとしています。

MOSFET を駆動する場合、Gate 電圧を制御する必要があるため、VCC は 15 V 以上に設定してください。

これより、トランス仕様は以下となります。

Table 3. トランス仕様 (参考)

Core	EER28 compatible
L _P	1200 μH
N _P	105 turns
N _S	24 turns
N _D	15 turns

2 トランスの設計 – 続き

2.8 トランス設計事例

製造元：株式会社アルファトランス

〒541-0059 大阪市中央区博労町 1-7-2

<http://www.alphatrans.jp/>

製品: XE2235Y AlphaTrans Corp.

Bobin: FX-2828 10PIN

Core: EER28/28

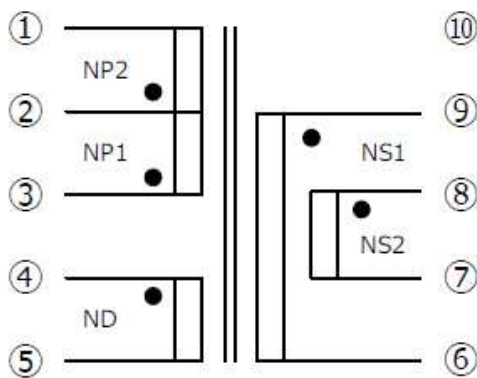


Figure 11. 回路図

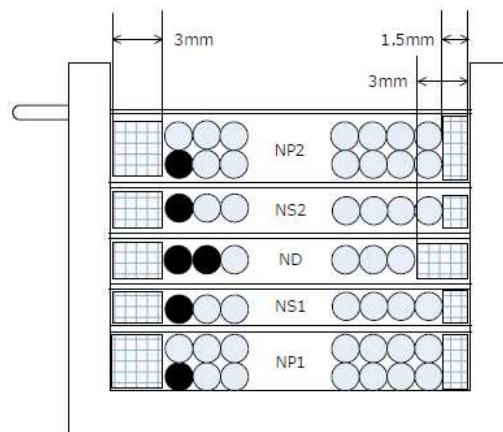


Figure 12. 構造図

Table 4. Alpha Trans XE2236Y 巻線仕様

NO.	WINDING	TERMINAL		WIRE SIZE	TURNS	TAPE LAYERS	WINDING METHOD	NOTE
		START	FINISH					
1	NP1	3	2	2UEW / $\Phi 0.40 * 1$	53	2	COMPACT	
2	NS1	9	6	2UEW / $\Phi 0.40 * 1$	24	2	COMPACT	
3	ND	4	5	2UEW / $\Phi 0.30 * 2$	15	2	COMPACT	
4	NS2	8	7	2UEW / $\Phi 0.40 * 1$	24	2	COMPACT	
5	NP2	2	1	2UEW / $\Phi 0.40 * 1$	52	2	COMPACT	

インダクタンス (Lp) 1200 $\mu\text{H} \pm 10\%$ (100 kHz, 1 V)漏れインダクタンス 50 μH MAX

耐電圧 Pri – Sec AC1500 V

Pri - Core AC1500 V

Sec – Core AC500 V

絶縁抵抗 100 M Ω over (DC500 V)

設計概要 – 続き

3 主要部品選定

3.1 入力コンデンサ : C6

入力コンデンサ容量は Table 5 を目安に選定します。

Table 5. 入力コンデンサ選定

入力電圧 (Vac)	Cin (μF)
85 ~ 264	2 x P _{IN} (W)
180 ~ 264	1 x P _{IN} (W)

(*) 保持時間などの仕様に合わせて選定して下さい。

P_{OUT}=48 W、電源効率 84 %として、48 W / 0.84 x 2 = 114 μF 相当の容量が必要となります。

今回は、コンデンサの耐圧とリップル電流を考慮し、100 μF としています。

コンデンサの耐圧は最大入力電圧以上が必要になります。最大 380 Vdc に対し、450 V 耐圧を選択しています。

3.2 電流検出抵抗 : Rs (R4, R5)

一次側に流れる電流を制限して出力の過負荷保護ポイントを設定します。

過電流検出時の一次側のピーク電流 I_{PPK} を算出します。

$$I_{PPK} = I_{SPK} \times \frac{N_S}{N_P}$$

過電流検出時の二次側のピーク電流 I_{SSK} を算出します。連続モード時の出力電流は以下の式で表され、過電流検出時の負荷電流を I_{OUT(LIM)} とします。

$$I_{OUT(LIM)} = \left(I_{SPK} - \frac{1}{2} \times \frac{V_{OUT} + V_F}{L_S} \times t_{OFF} \right) \times \frac{t_{OFF}}{T}$$

オン Duty とオフ時間 t_{OFF} を算出します。

$$\text{Duty} = \frac{V_{OR}}{V_{IN(min)} + V_{OR}} = \frac{111.7 \text{ V}}{100 \text{ V} + 111.7 \text{ V}} = 0.528$$

$$t_{OFF} = \frac{1 - \text{Duty}}{F_{SW}} = \frac{1 - 0.528}{65 \text{ kHz}} = 7.26 \text{ } [\mu\text{s}]$$

二次側ピーク電流 I_{SSK} は、以下の式で表されます。過電流検出時の負荷電流は、最大負荷電流 I_{OUT(MAX)}:2 A から 20% マージンで、I_{OUT(LIM)}:2.4 A とします。

$$I_{SPK} = \frac{I_{OUT(LIM)}}{t_{OFF} \times F_{SW}} + \frac{1}{2} \times \frac{V_{OUT} + V_F}{L_S} \times t_{OFF} = \frac{2.4 \text{ A}}{7.26 \mu\text{s} \times 65 \text{ kHz}} + \frac{1}{2} \times \frac{24 \text{ V} + 1.5 \text{ V}}{62.69 \mu\text{H}} \times 7.26 \mu\text{s} = 6.56 \text{ [A]}$$

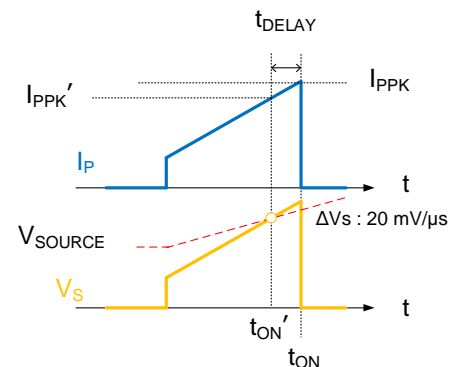


Figure 13. 電流検出電圧波形

3.2 電流検出抵抗 – 続き

一次側ピーク電流 I_{PPK} は、以下の式で表されます。

$$I_{PPK} = I_{SPK} \times \frac{N_S}{N_P} = 6.56 \text{ A} \times \frac{24}{105} = 1.50 \text{ [A]}$$

一次側電流をセンス抵抗 R_S にて電圧変換し、過電流検出電圧を超えることで、スイッチングを OFF します。過電流検出から、遅延時間 t_{DELAY} 後に、ピーク電流 I_{PPK} となります。検出した時点でのピーク電流 I_{PPK}' を算出します。 t_{DELAY} は、 $0.1 \mu\text{s}$ とします。

$$I_{PPK}' = I_{PPK} - \frac{V_{IN}(min)}{L_P} \times t_{DELAY} = 1.50 \text{ A} - \frac{100 \text{ V}}{1200 \mu\text{H}} \times 0.1 \mu\text{s} = 1.49 \text{ A}$$

オン時間 t_{ON} と過電流検出時間 t_{ON}' を算出します。

$$t_{ON} = \frac{1}{F_{SW}} - t_{OFF} = \frac{1}{65 \text{ kHz}} - 7.26 \mu\text{s} = 8.12 \mu\text{s}$$

$$t_{ON}' = t_{ON} - t_{DELAY} = 8.12 \mu\text{s} - 0.10 \mu\text{s} = 8.02 \mu\text{s}$$

過電流保護には、AC 電圧補正機能を内蔵しており、入力電圧の違いにより、過電流保護ポイントのズレを補正します。 $0 \mu\text{s}$ 時の過電流検出電圧 V_{SOURCE} : 400 mV 、AC 電圧補正 ΔV_S : $20 \text{ mV}/\mu\text{s}$ とします。過電流検出時の電流 I_{PPK}' は、以下の式となります。

$$I_{PPK}' > \frac{V_{SOURCE} + \Delta V_S \times t_{ON}'}{R_S}$$

センス抵抗 R_S は、以下の式で算出されます。

$$R_S < \frac{V_{SOURCE} + \Delta V_S \times t_{ON}'}{I_{PPK}'} = \frac{400 \text{ mV} + 20 \text{ mV}/\mu\text{s} \times 8.02 \mu\text{s}}{1.49 \text{ A}} = 0.376 \text{ } [\Omega]$$

センス抵抗 R_S は、 0.376Ω 以下になるようにします。

今回は、センス抵抗(R_4, R_5)は、 0.56Ω を 2 並列とし、 R_S : 0.28Ω としています。

また、電流検出抵抗の損失 P_{R4} は、以下の式で表されます。

$$P_{R14}(rms) = I_{PRMS}^2 \times R_4 = \left[I_{PPK} \times \sqrt{\frac{Duty(max)}{3}} \right]^2 \times R_4 = \left[0.75 \times \sqrt{\frac{0.528}{3}} \right]^2 \times 0.56 = 0.055 \text{ [W]}$$

定格電力 0.25 W の MCR18 Series を選択しました。

3. 主要部品選定 – 続き

3.6 VCC 用ダイオード : D2

VCC 用ダイオードは高速ダイオードを推奨します。V_F=1 V とすると、
VCC 用ダイオードに印加される逆電圧 V_D は、以下の式で表されます。

$$V_D = V_{CC(max)} + V_F + V_{IN(max)} \times \frac{N_D}{N_P}$$

本 IC には、VCC OVP 機能があり、VCC OVP(min)=29.0 V です。

VCC 電圧が VCC OVP まで上昇した場合でもダイオードの逆電圧が使用するダイオードの V_D を超えないように設定します。

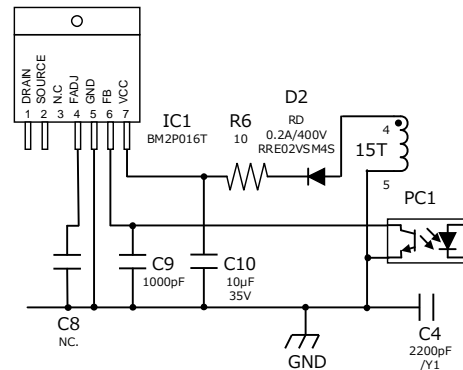


Figure 14. IC 周辺回路

$$V_D = 29.0 \text{ V} + 1.0 \text{ V} + 380 \text{ V} \times \frac{15 \text{ turns}}{105 \text{ turns}} = 84.3 \text{ V}$$

マージンを考慮して、84.3 V / 0.7 ≒ 120 V → 400 V 品を選定します。(例 ROHM RRE02VSM4S 400 V 0.2 A)

3.7 VCC 巻線用サージ電圧制限抵抗 : R6

トランスのリーケージ・インダクタンス(L_{leak})により、MOSFET がオンからオフになった瞬間、大きなサージ電圧 (スパイクノイズ) が発生します。このサージ電圧が VCC 巻線に誘起され、VCC 電圧が上昇して IC の VCC 過電圧保護にかかる場合があります。

VCC 巻線に誘起されるサージ電圧を軽減するために制限抵抗 R6 (5~22 Ω 程度) を挿入します。

VCC 電圧の上昇につきましては、製品に組み込んだ状態での確認をします。今回は、10 Ω を選択しました。

3.8 VCC 用コンデンサ ; C10

VCC 用コンデンサ C_{VCC} は、IC の VCC 電圧を安定させるために必要です。容量は 4.7 μF~22 μF を推奨します。起動時間と VCC コンデンサ容量との関係を Figure 15 に示します。今回は、10 μF / 35 V を選択しました。

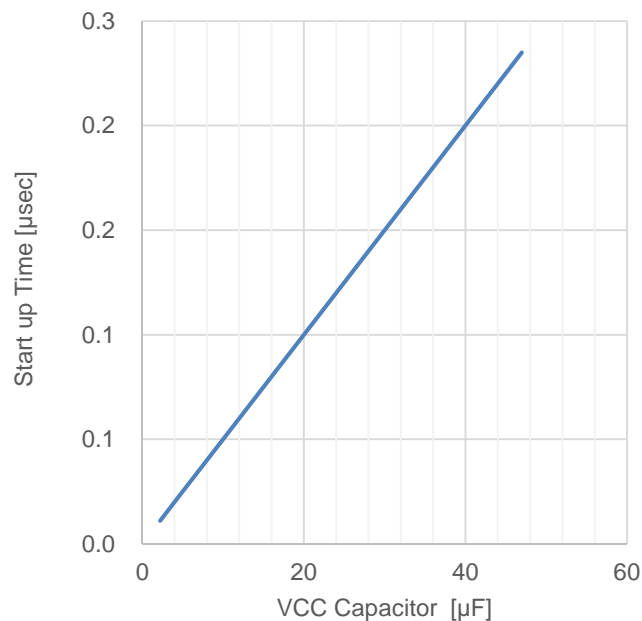


Figure 15. 起動時間 (参考値)

3. 主要部品選定 – 続き

3.8 FB 端子コンデンサ : C9

C9 は FB 端子の安定用コンデンサです (1000pF~0.01uF 程度を推奨)。

3.9 スナバ回路 : C11, R7, R8, D1

トランスのリーケージ・インダクタンス(L_{LEAK})により、MOSFET がオンからオフになった瞬間、大きなサージ電圧 (スパイクノイズ) が発生します。このサージ電圧は、MOSFET のドレイン-ソース間に印加されるため、最悪の場合、MOSFET の破壊に至る場合があります。このサージ電圧を抑制するために RCD スナバ回路を推奨します。

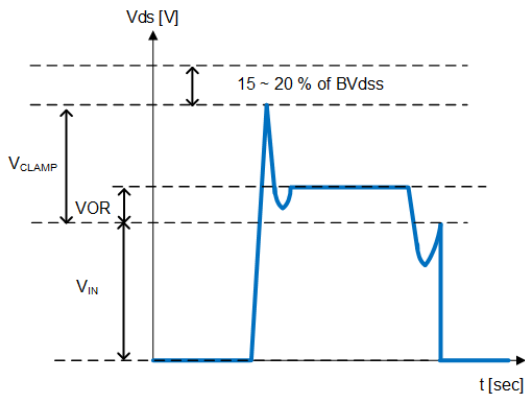


Figure 16. MOSFET Drain 電圧波形

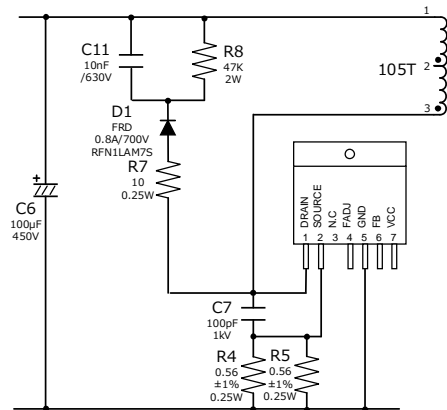


Figure 17. スナバ回路

- ① クランプ電圧(V_{CLAMP})、クランプ Ripple 電圧(V_{RIPPLE})の決定
クランプ電圧は、MOSFET の耐圧からマージンを考慮して決定します。

$$V_{CLAMP} = 650 \text{ V} \times 0.8 = 520 \text{ V}$$

クランプ Ripple 電圧 (V_{RIPPLE}) は 50 V 程度にします。

- ② スナバ抵抗:R8 の決定
スナバ抵抗は、以下の条件を満たすように選定します。

$$R_8 < 2 \times V_{CLAMP} \times \frac{V_{CLAMP} - V_{OR}}{L_{LEAK} \times I_P^2 \times f_{SW(max)}}$$

ここで、 L_{LEAK} は、トランスの規格から 50 μH とします。

以下の式より $P_{OUT}=48 \text{ W}$ 、 $V_{IN(max)}=380 \text{ V}$ 時の一次側ピーク電流: I_{PPK} を算出します。

まず、オン Duty とオフ時間 t_{OFF} を算出します。

$$\text{Duty} = \frac{V_{OR}}{V_{IN(max)} + V_{OR}} = \frac{111.7 \text{ V}}{380 \text{ V} + 111.7 \text{ V}} = 0.227$$

$$t_{OFF} = \frac{1 - \text{Duty}}{f_{SW}} = \frac{1 - 0.227}{65 \text{ kHz}} = 11.89 \text{ } [\mu\text{s}]$$

3.9 スナバ回路— 続き

二次側ピーク電流 I_{SSK} は、以下の式で表されます。過電流検出時の負荷電流は、最大負荷電流 $I_{OUT}(MAX):2\text{ A}$ とします。

$$I_{SPK} = \frac{I_{OUT}(LIM)}{t_{OFF} \times F_{SW}} + \frac{1}{2} \times \frac{V_{OUT} + V_F}{L_S} \times t_{OFF} = \frac{2.0\text{ A}}{11.89\text{ }\mu\text{s} \times 65\text{ kHz}} + \frac{1}{2} \times \frac{24\text{ V} + 1.5\text{ V}}{62.69\text{ }\mu\text{H}} \times 11.89\text{ }\mu\text{s} = 5.01\text{ [A]}$$

一次側ピーク電流 I_{PPK} は、以下の式で表されます。

$$I_{PPK} = I_{SPK} \times \frac{N_S}{N_P} = 5.01\text{ A} \times \frac{24}{105} = 1.15\text{ [A]}$$

これにより、スナバ抵抗: R_8 は、以下の式で表されます。

$$R_8 < 2 \times V_{CLAMP} \times \frac{V_{CLAMP} - V_{OR}}{L_{LEAK} \times I_{PPK}^2 \times f_{SW}(max)} = 2 \times 520\text{ V} \times \frac{520\text{ V} - 111.7\text{ V}}{50\text{ }\mu\text{H} \times 1.15^2\text{ A} \times 65\text{ kHz}} = 98.79\text{ [k}\Omega\text{]}$$

実際には、MOSFET の影響もあり、この式の通りではなく、実機評価から、スナバ抵抗は、47 k Ω を選定しています。

スナバ抵抗の損失: P_{R_8} は、以下の式で表されます。

$$P_{R_8} = \frac{(V_{CLAMP} - V_{IN})}{R_8} = \frac{(520\text{ V} - 380\text{ V})^2}{47\text{ k}\Omega} = 0.42\text{ [W]}$$

マージンを考慮し、2 W 以上とします。

③ スナバコンデンサ: C_{10} の決定

スナバコンデンサは、以下の条件を満たすように選定します。

$$C_{10} > \frac{V_{CLAMP}}{V_{RIPPLE} \times f_{SW}(min) \times R_8} = \frac{540\text{ V}}{50\text{ V} \times 65\text{ kHz} \times 47\text{ k}\Omega} = 3.54\text{ [nF]}$$

スナバコンデンサは、10 nF とします。 C_{10} にかかる電圧は、540 V - 380 V=160 V となります。

マージンをみて、200 V 以上とします。今回は、630 V 耐圧を選択しています。

④ スナバダイオード: D_1 の決定

ダイオードはファストリカバリダイオードをご使用下さい。耐圧は、MOSFET の $V_{ds}(max)$ 以上の電圧にします。

サージ電圧は、トランスのリーケージ・インダクタンスの他に、基板のパターンの影響も受けます。製品に組み込んだ状態にて V_{ds} 電圧の確認を行い、必要に応じてスナバ回路の調整を行います。

3.10 出力整流ダイオード : D4

出力整流ダイオードは、高速ダイオード（ショットキーバリアダイオード、ファストリカバリダイオード）を使用してください。出力ダイオードに印加される逆電圧は、 $V_F=1.5\text{ V}$ とし、 $V_{OUT}=24.0\text{ V}$ とすると、D4 のダイオードに印加される逆電圧 V_D は、以下の式で表されます。

$$V_D = V_{OUT} + V_F + V_{IN(max)} \times \frac{N_S}{N_P} = 24.0\text{ V} + 1.5\text{ V} + 380\text{ V} \times \frac{24\text{ turns}}{105\text{ turns}} = 112.4\text{ [V]}$$

マージンを考慮して、300 V 品を選定します。

出力ダイオードに流れる電流 $I_S(\text{rms})$ は、以下の式で表されます。

$$I_S(\text{rms}) = I_{SPK} \times \sqrt{\frac{1 - \text{Duty}}{3}} = 5.01\text{ A} \times \sqrt{\frac{1 - 0.227}{3}} = 2.54\text{ [A]}$$

今回は、20 A, 300V, TO-220 パッケージ品を選定しています。（例、ローム RF2001T3DNZ）

電圧マージンは 70% 以下、電流は 50% 以下でを使用することを推奨します。

製品に組み込んだ状態にて温度上昇の確認を行い、必要に応じて部品の再検討、ヒートシンク等の放熱を行って下さい。

3.11 出力コンデンサ : C12,C13,C14

出力コンデンサは、出力負荷で許容可能な Peak to Peak の Ripple 電圧（ ΔV_{pp} ）と Ripple 電流で決まります。

MOSFET がオンの時、出力ダイオードはオフ状態です。この時、出力コンデンサから負荷に電流を供給します。

MOSFET がオフの時に出力ダイオードはオン状態になり、この時に出力コンデンサにチャージするとともに負荷電流も供給します。トランスの計算で算出した条件（ $V_{IN}=100\text{ V}$, $P_{OUT}=48\text{ W}$ ）で、 $\Delta V_{PP}=200\text{ mV}$ とすると、

$$Z_C < \frac{\Delta V_{PP}}{I_{SPK}} = \frac{200\text{ mV}}{5.01\text{ A}} = 39.9\text{ [m}\Omega\text{]}$$

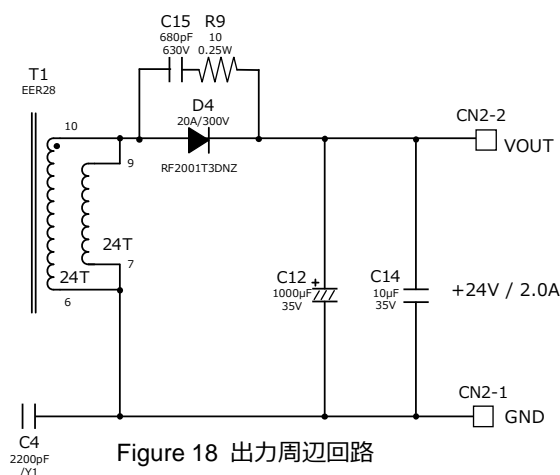


Figure 18 出力周辺回路

一般的なスイッチング電源用電解コンデンサ（低インピーダンス品）では、インピーダンスは 100 kHz で規定されていますので、65 kHz に換算します。

$$Z_C < 39.9\text{ m}\Omega \times \frac{65\text{ kHz}}{100\text{ kHz}} = 25.9\text{ [m}\Omega\text{]}$$

また、コンデンサへの Ripple 電流 $I_C(\text{rms})$ は、以下の式で表されます。

$$I_C(\text{rms}) = \sqrt{I_S(\text{rms})^2 - I_{OUT}^2} = \sqrt{2.54^2 - 2.00^2} = 1.57\text{ [Arms]}$$

コンデンサの耐圧は、出力電圧に対し、デレーティング 80 %を目安にします。 $24\text{ V} / 0.8 = 30\text{ V}$ 以上とします。

今回は、スイッチング電源用の低インピーダンスタイプ 35 V, 1000 μF , 定格リップル電流 1.89 A : UPA1V102MPD:

Nichicon 製を選択しています。実際の Ripple 電圧、Ripple 電流は実機での確認をしてください。

3. 主要部品選定 – 続き

3.12 出力電圧設定抵抗: R10,R11,R12

出力電圧は、以下の式で設定します。

$$V_{OUT} = \left(1 + \frac{R10 + R11}{R12}\right) \times V_{ref}$$

R12 に流れるフィードバック電流 I_{BIAS} を 0.1 mA~1.0 mA で設定します。

今回、 $I_{BIAS}=0.25$ mA を狙いとし、シャントレギュレータ IC2 の基準電圧 $V_{REF}=2.485$ V とすると、R12 の抵抗値は、

$$R12 = \frac{V_{REF}}{I_{BIAS}} = \frac{2.485 \text{ V}}{0.25 \text{ mA}} = 9.9 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

今回は、R12:10 k Ω を選択します。

フィードバック抵抗の合成抵抗($R10+R11+R12$)は、

$$R10 + R11 + R12 = \frac{V_{OUT}}{I_{BIAS}} = \frac{24 \text{ V}}{0.25 \text{ mA}} = 96 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

今回は、R10=82 k Ω 、R11=4.7 k Ω を選択しています。出力電圧の理論値は、以下のようになります。

$$V_{OUT} = \left(1 + \frac{82 \text{ k}\Omega + 4.7 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega}\right) \times 2.485 \text{ V} = 24.03 \text{ V}$$

3.13 制御回路調整: R13,R14,R15,C16

R14 はシャントレギュレータ IC2 の暗電流設定抵抗です。シャントレギュレータを安定に動作させる電流値 I_{min} は、IC のデータシートより、1.2 mA です。この電流は、R13 とフォトカプラの I_F の合成電流となります。R14 に印加される電圧は、フォトカプラの V_F となるため、フォトカプラの V_F を 1.1 V とすると、

$$R14 < \frac{V_F}{I_{min}} = \frac{1.1 \text{ V}}{1.2 \text{ mA}} = 0.92 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

今回は、R14=1.0 k Ω を選定します。

R13 は制御回路電流の制限抵抗です。300~2.2 k Ω で調整してください。

今回は、R13=1.0 k Ω を選定します。

R15、C16 は位相補償回路です。R15=1 k~30 k Ω 、C16=0.1 μ F 程度として実機にて調整してください。

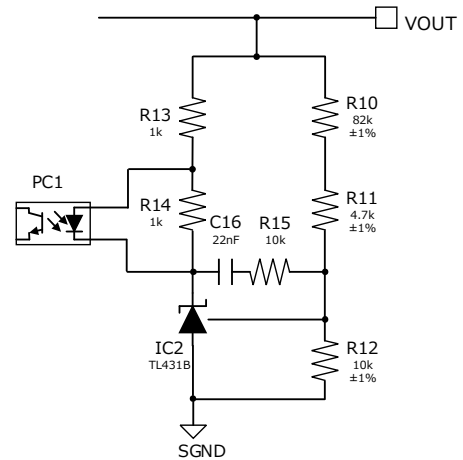


Figure 19. フィードバック回路

設計概要 – 続き

4 EMI 対策

EMI 対策としては、以下をご確認ください。

(*) 定数は参考値です。ノイズの影響により調整してください。

・入力部にフィルタ

コモンモードフィルタを 2 つ使用しています。低周波領域用に LF1、高周波領域用に LF2 を使用しています。

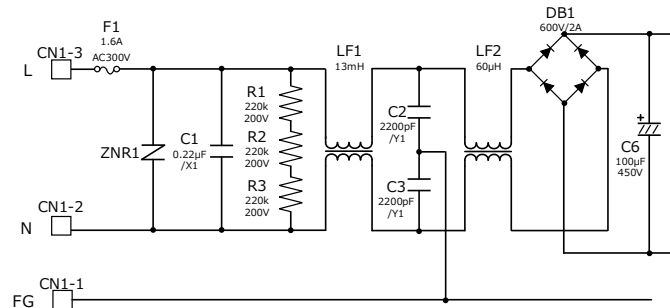


Figure 20. 入力フィルタ回路

・一次側と二次側間にコンデンサ (C4 ; Y-Cap 2200 pF 程度)

・2 次側整流ダイオードに RC スナバ回路

放射エミッション対策として、RC スナバ回路を追加しています。

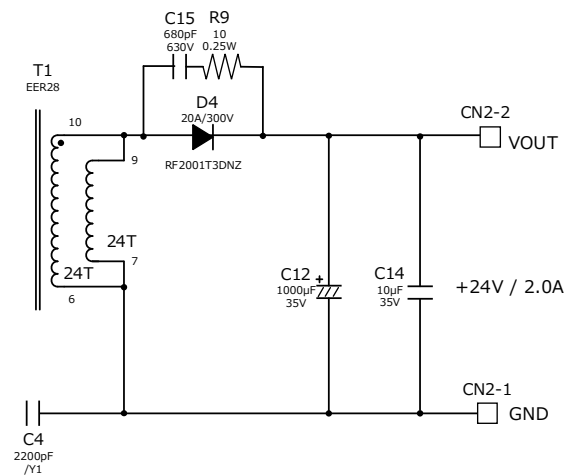


Figure 21. 二次側整流ダイオードの RC スナバ回路

測定データ

ロードレギュレーション

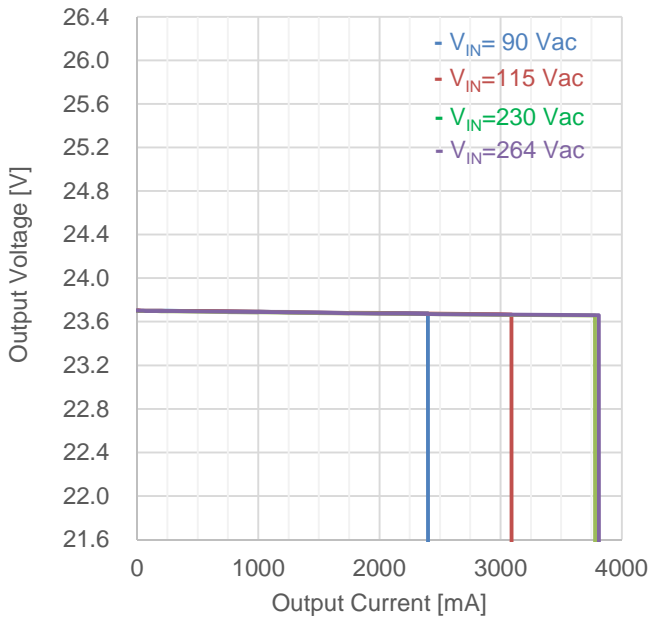


Figure 22. Load Regulation (I_{OUT} vs V_{OUT})

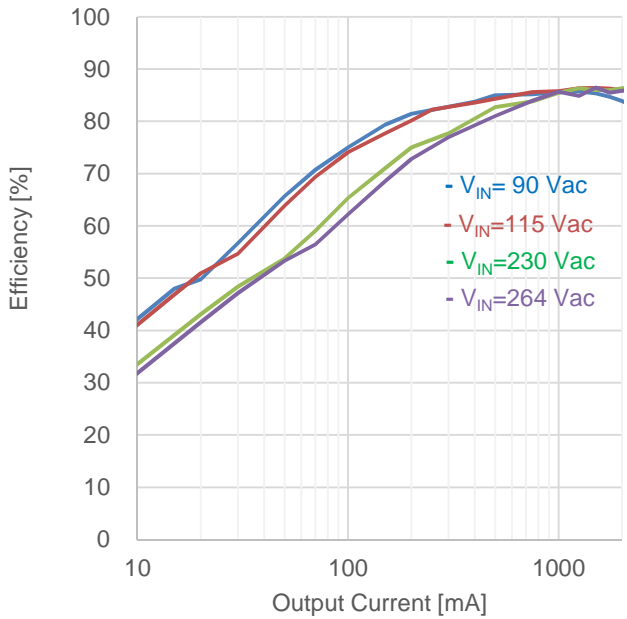


Figure 23. Load Regulation (I_{OUT} vs Efficiency)

Table 6-1. Load Regulation ($V_{IN}=100$ Vac)

I_{OUT}	V_{OUT}	Efficiency
0.5 A	23.695 V	84.76 %
1.0 A	23.690 V	85.68 %
1.5 A	23.684 V	85.94 %
2.0 A	23.679 V	85.04 %

Table 6-2. Load Regulation ($V_{IN}=230$ Vac)

I_{OUT}	V_{OUT}	Efficiency
0.5 A	23.693 V	82.73 %
1.0 A	23.687 V	85.48 %
1.5 A	23.680 V	86.96 %
2.0 A	23.675 V	86.33 %

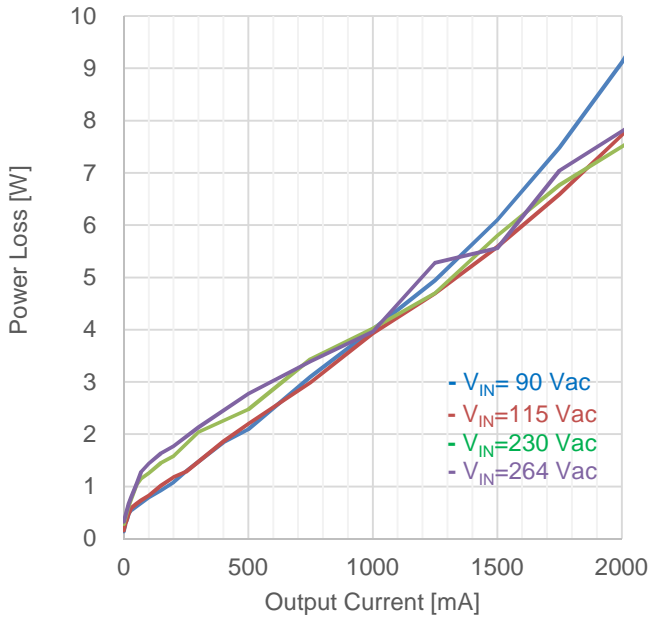


Figure 24. Load Regulation (I_{OUT} vs P_{LOSS})

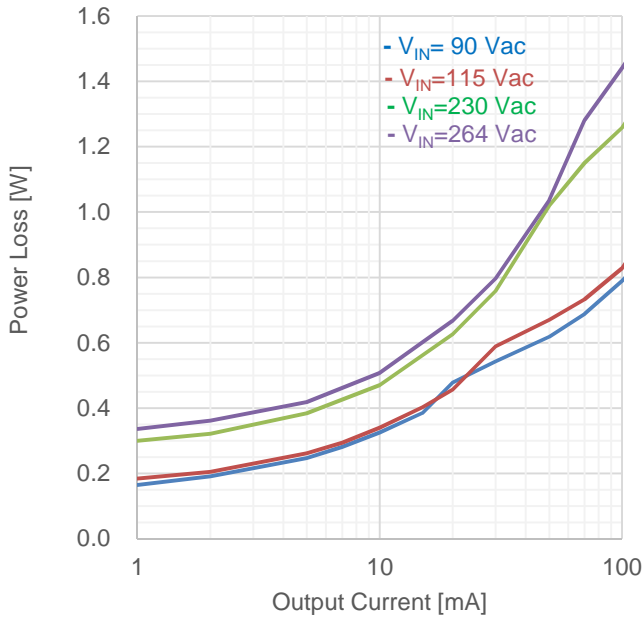


Figure 25. Load Regulation (I_{OUT} vs P_{LOSS})

測定データ - 続き

Table 7-1. Load Regulation: $V_{IN}=90$ Vac

V_{IN} [Vac]	P_{IN} [W]	V_{OUT} [V]	I_{OUT} [mA]	P_{OUT} [W]	P_{LOSS} [W]	Efficiency [%]
90	0.14	23.703	0	0.000	0.140	0.00
90	0.19	23.703	1	0.024	0.164	12.61
90	0.24	23.703	2	0.047	0.191	19.92
90	0.37	23.703	5	0.119	0.246	32.47
90	0.45	23.703	7	0.166	0.281	37.12
90	0.56	23.702	10	0.237	0.325	42.17
90	0.74	23.702	15	0.356	0.385	47.98
90	0.95	23.702	20	0.474	0.478	49.79
90	1.25	23.702	30	0.711	0.543	56.70
90	1.80	23.702	50	1.185	0.618	65.73
90	2.35	23.702	70	1.659	0.688	70.69
90	3.16	23.702	100	2.370	0.789	75.03
90	4.48	23.701	150	3.555	0.925	79.36
90	5.82	23.700	200	4.740	1.080	81.44
90	7.21	23.700	250	5.925	1.285	82.18
90	11.32	23.698	400	9.479	1.841	83.74
90	13.94	23.697	500	11.849	2.092	85.00
90	20.87	23.694	750	17.771	3.100	85.15
90	27.70	23.692	1000	23.692	4.008	85.53
90	34.55	23.688	1250	29.610	4.940	85.70
90	41.63	23.685	1500	35.528	6.103	85.34
90	48.93	23.682	1750	41.444	7.487	84.70
90	56.47	23.680	2000	47.360	9.110	83.87
90	68.95	23.678	2400	56.827	12.123	82.42
90	0.05	0.000	2410	0.000	0.050	0.00

Table 7-2. Load Regulation: $V_{IN}=100$ Vac

V_{IN} [Vac]	P_{IN} [W]	V_{OUT} [V]	I_{OUT} [mA]	P_{OUT} [W]	P_{LOSS} [W]	Efficiency [%]
100	0.16	23.697	0	0.000	0.161	0.00
100	0.19	23.701	1	0.024	0.170	12.22
100	0.24	23.701	2	0.047	0.195	19.59
100	0.37	23.701	5	0.119	0.249	32.20
100	0.57	23.701	10	0.237	0.328	41.95
100	0.92	23.701	20	0.474	0.448	51.41
100	1.28	23.701	30	0.711	0.564	55.77
100	1.82	23.700	50	1.185	0.634	65.15
100	2.36	23.700	70	1.659	0.705	70.18
100	3.18	23.699	100	2.370	0.811	74.50
100	4.53	23.699	150	3.555	0.973	78.51
100	5.89	23.698	200	4.740	1.149	80.48
100	8.51	23.697	300	7.109	1.404	83.51
100	13.98	23.695	500	11.848	2.131	84.76
100	20.66	23.692	750	17.769	2.893	86.00
100	27.65	23.690	1000	23.690	3.958	85.68
100	34.40	23.687	1250	29.609	4.795	86.06
100	41.34	23.684	1500	35.526	5.814	85.94
100	48.43	23.682	1750	41.444	6.987	85.57
100	55.69	23.679	2000	47.358	8.332	85.04
100	61.66	23.677	2200	52.089	9.571	84.48
100	70.91	23.673	2500	59.183	11.728	83.46
100	76.51	23.673	2670	63.207	13.303	82.61
100	0.08	0.000	2680	0.000	0.080	0.00

Table 7-3. Load Regulation: $V_{IN}=115$ Vac

V_{IN} [Vac]	P_{IN} [W]	V_{OUT} [V]	I_{OUT} [mA]	P_{OUT} [W]	P_{LOSS} [W]	Efficiency [%]
115	0.16	23.702	0	0.000	0.158	0.00
115	0.21	23.702	1	0.024	0.184	11.40
115	0.25	23.702	2	0.047	0.205	18.81
115	0.38	23.703	5	0.119	0.261	31.19
115	0.46	23.703	7	0.166	0.294	36.07
115	0.58	23.703	10	0.237	0.340	41.08
115	0.76	23.703	15	0.356	0.402	46.91
115	0.93	23.703	20	0.474	0.457	50.92
115	1.30	23.702	30	0.711	0.589	54.70
115	1.86	23.702	50	1.185	0.670	63.89
115	2.39	23.701	70	1.659	0.733	69.36
115	3.20	23.701	100	2.370	0.828	74.11
115	4.57	23.700	150	3.555	1.019	77.72
115	5.91	23.700	200	4.740	1.173	80.16
115	7.20	23.699	250	5.925	1.278	82.25
115	11.34	23.698	400	9.479	1.861	83.59
115	14.05	23.697	500	11.849	2.202	84.33
115	20.76	23.694	750	17.771	2.990	85.60
115	27.62	23.691	1000	23.691	3.929	85.77
115	34.30	23.688	1250	29.610	4.690	86.33
115	41.11	23.685	1500	35.528	5.583	86.42
115	48.03	23.682	1750	41.444	6.587	86.29
115	55.08	23.679	2000	47.358	7.722	85.98
115	66.64	23.675	2400	56.820	9.820	85.26
115	87.72	23.665	3090	73.125	14.595	83.36
115	0.07	0.000	3100	0.000	0.070	0.00

Table 7-4. Load Regulation: $V_{IN}=178$ Vac

V_{IN} [Vac]	P_{IN} [W]	V_{OUT} [V]	I_{OUT} [mA]	P_{OUT} [W]	P_{LOSS} [W]	Efficiency [%]
178	0.22	23.705	0	0.000	0.215	0.00
178	0.26	23.705	1	0.024	0.240	8.98
178	0.31	23.704	2	0.047	0.266	15.15
178	0.45	23.705	5	0.119	0.326	26.63
178	0.65	23.704	10	0.237	0.415	36.36
178	1.03	23.703	20	0.474	0.555	46.07
178	1.39	23.703	30	0.711	0.679	51.16
178	2.05	23.703	50	1.185	0.860	57.95
178	2.60	23.702	70	1.659	0.945	63.72
178	3.41	23.702	100	2.370	1.042	69.47
178	4.79	23.701	150	3.555	1.239	74.16
178	6.15	23.701	200	4.740	1.410	77.08
178	8.77	23.700	300	7.110	1.660	81.07
178	14.24	23.697	500	11.849	2.392	83.21
178	20.92	23.694	750	17.771	3.150	84.95
178	27.71	23.691	1000	23.691	4.019	85.50
178	34.15	23.688	1250	29.610	4.540	86.71
178	41.08	23.685	1500	35.528	5.553	86.48
178	47.77	23.682	1750	41.444	6.327	86.76
178	54.48	23.679	2000	47.358	7.122	86.93
178	59.91	23.677	2200	52.089	7.821	86.95
178	68.13	23.673	2500	59.183	8.948	86.87
178	82.05	23.668	3000	71.004	11.046	86.54
178	100.37	23.662	3640	86.130	14.240	85.81
178	0.14	0.000	3650	0.000	0.137	0.00

測定データ - 続き

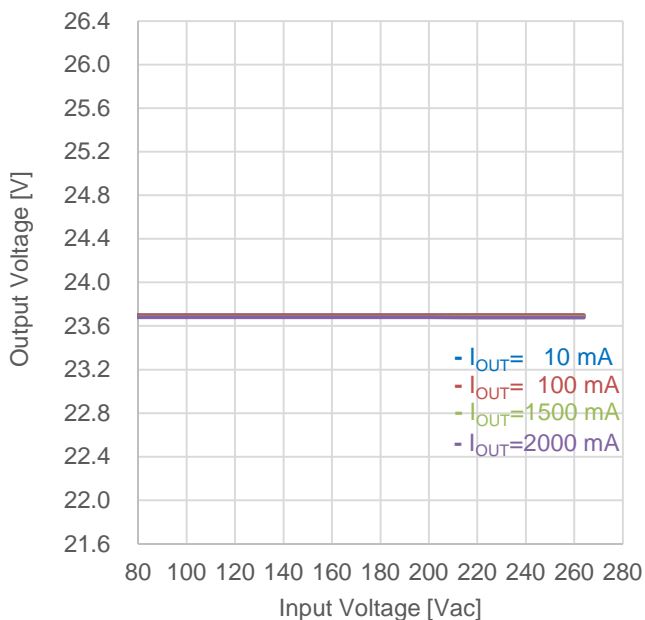
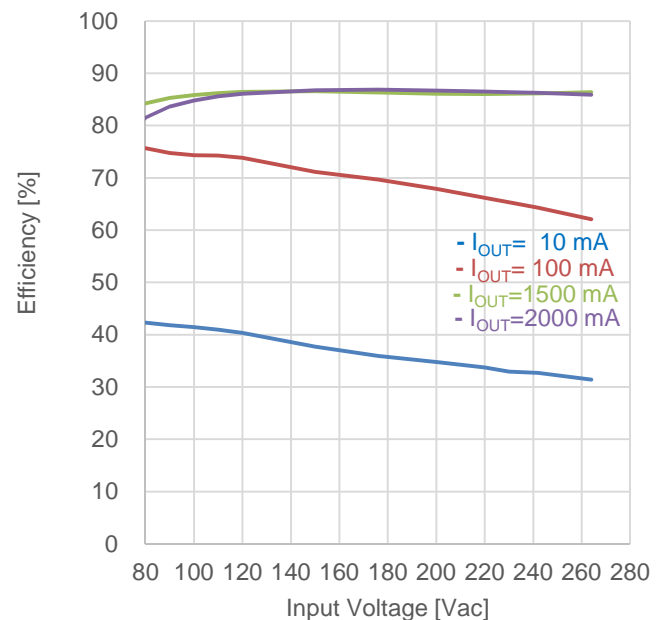
Table 7-5. Load Regulation: $V_{IN}=230$ Vac

V_{IN} [Vac]	P_{IN} [W]	V_{OUT} [V]	I_{OUT} [mA]	P_{OUT} [W]	P_{LOSS} [W]	Efficiency [%]
230	0.28	23.698	0	0.000	0.280	0.00
230	0.32	23.699	1	0.024	0.300	7.31
230	0.37	23.699	2	0.047	0.322	12.84
230	0.50	23.698	5	0.118	0.385	23.56
230	0.71	23.698	10	0.237	0.470	33.52
230	1.10	23.698	20	0.474	0.626	43.09
230	1.47	23.698	30	0.711	0.758	48.40
230	2.21	23.697	50	1.185	1.020	53.73
230	2.81	23.697	70	1.659	1.150	59.05
230	3.63	23.697	100	2.370	1.258	65.32
230	5.01	23.697	150	3.555	1.451	71.01
230	6.32	23.696	200	4.739	1.581	74.99
230	9.15	23.695	300	7.109	2.042	77.69
230	14.32	23.693	500	11.847	2.474	82.73
230	21.20	23.690	750	17.768	3.433	83.81
230	27.71	23.687	1000	23.687	4.023	85.48
230	34.30	23.684	1250	29.605	4.695	86.31
230	41.32	23.680	1500	35.520	5.800	85.96
230	48.20	23.677	1750	41.435	6.765	85.96
230	54.85	23.675	2000	47.350	7.500	86.33
230	60.18	23.673	2200	52.081	8.099	86.54
230	68.24	23.669	2500	59.173	9.068	86.71
230	81.83	23.664	3000	70.992	10.838	86.76
230	103.47	23.658	3780	89.427	14.043	86.43
230	0.19	0.000	3790	0.000	0.190	0.00

Table 7-6. Load Regulation: $V_{IN}=264$ Vac

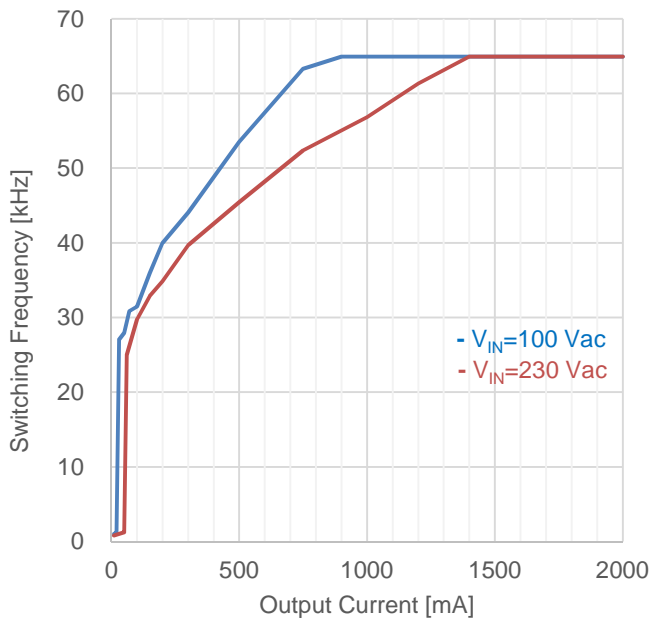
V_{IN} [Vac]	P_{IN} [W]	V_{OUT} [V]	I_{OUT} [mA]	P_{OUT} [W]	P_{LOSS} [W]	Efficiency [%]
264	0.33	23.701	0	0.000	0.325	0.00
264	0.36	23.701	1	0.024	0.336	6.58
264	0.41	23.700	2	0.047	0.362	11.59
264	0.54	23.700	5	0.119	0.419	22.07
264	0.75	23.700	10	0.237	0.508	31.81
264	1.14	23.700	20	0.474	0.667	41.54
264	1.51	23.700	30	0.711	0.797	47.15
264	2.22	23.700	50	1.185	1.037	53.33
264	2.94	23.699	70	1.659	1.281	56.43
264	3.81	23.699	100	2.370	1.440	62.20
264	5.19	23.698	150	3.555	1.634	68.50
264	6.51	23.698	200	4.740	1.770	72.80
264	9.24	23.697	300	7.109	2.131	76.94
264	14.62	23.694	500	11.847	2.773	81.03
264	21.16	23.692	750	17.769	3.391	83.97
264	27.65	23.689	1000	23.689	3.961	85.67
264	34.89	23.687	1250	29.609	5.281	84.86
264	41.09	23.685	1500	35.528	5.563	86.46
264	48.48	23.678	1750	41.437	7.043	85.47
264	55.15	23.676	2000	47.352	7.798	85.86
264	60.49	23.674	2200	52.083	8.407	86.10
264	68.51	23.670	2500	59.175	9.335	86.37
264	82.00	23.665	3000	70.995	11.005	86.58
264	104.23	23.660	3810	90.145	14.085	86.49
264	0.23	0.000	3820	0.000	0.230	0.00

ラインレギュレーション

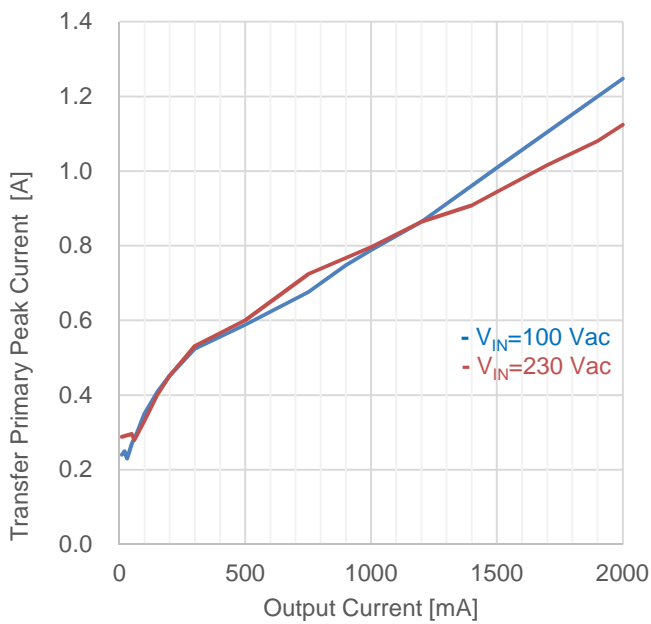
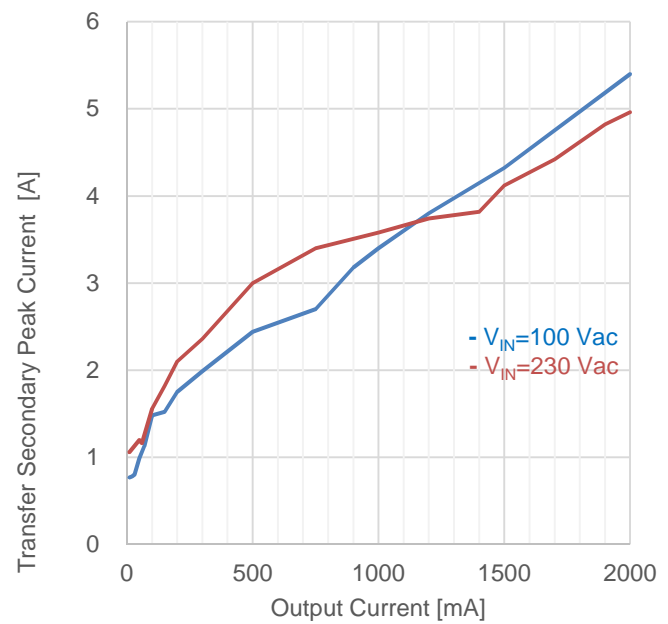
Figure 26. Line Regulation (V_{IN} vs V_{OUT})Figure 27. Line Regulation (V_{IN} vs Efficiency)

測定データ - 続き

スイッチング周波数

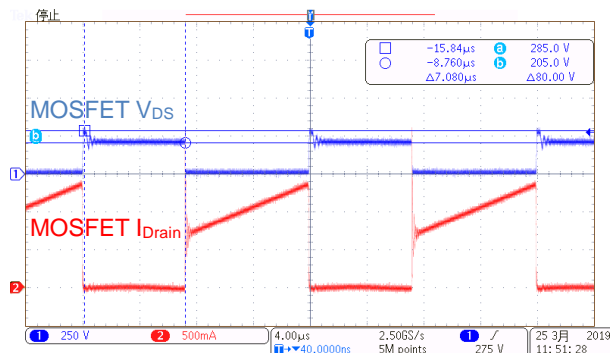
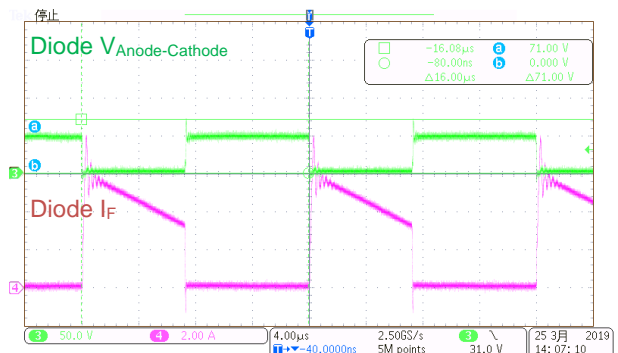
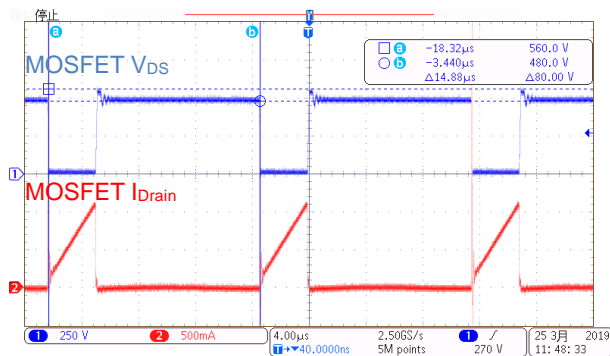
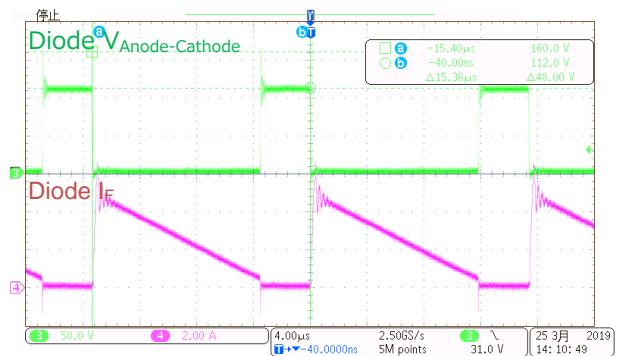
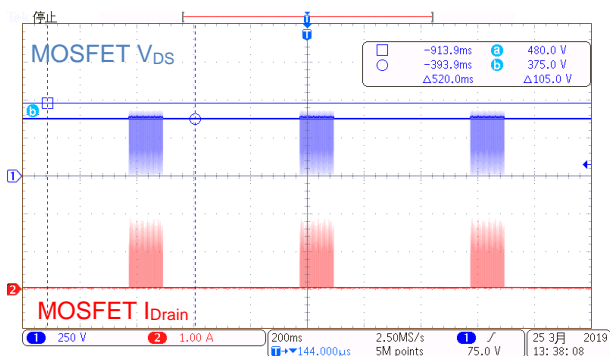
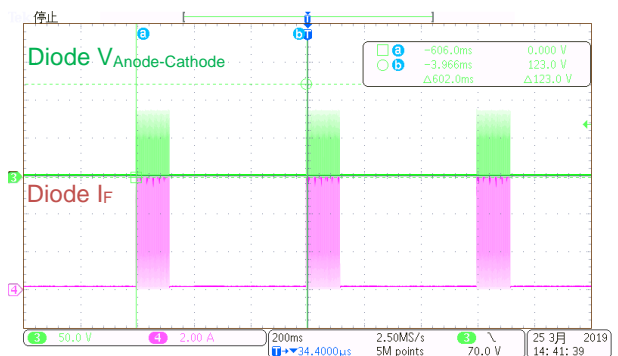
Figure 28. Switching Frequency (I_{OUT} vs f_{sw})

トランスピーク電流

Figure 29. Transfer Primary Peak Current (I_{OUT} vs I_{PPK})Figure 30. Transfer Secondary Peak Current (I_{OUT} vs I_{SPK})

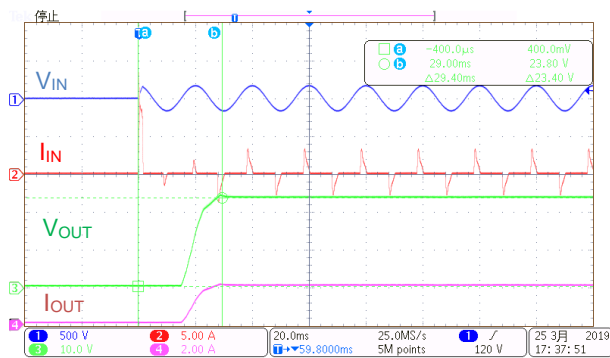
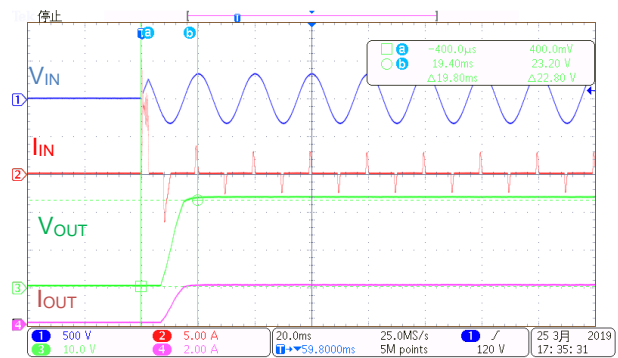
測定データ - 続き

スイッチング波形

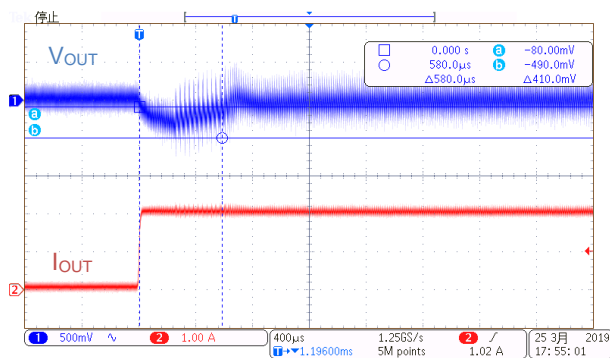
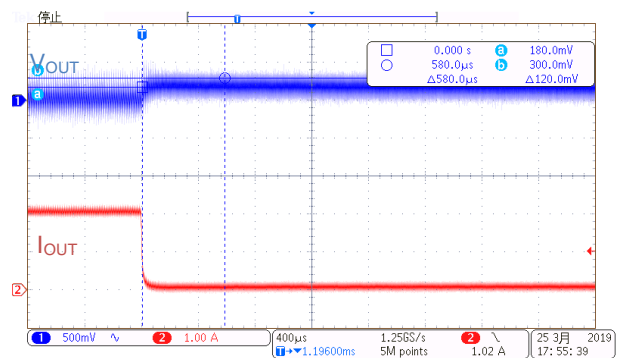
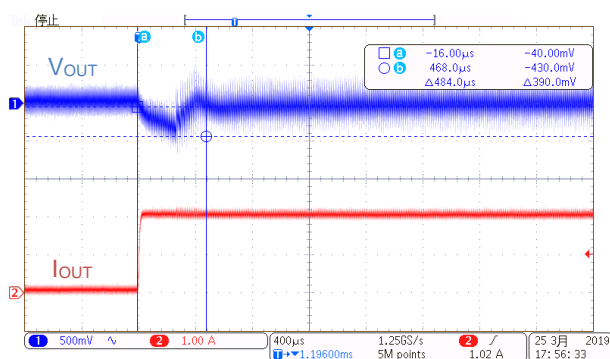
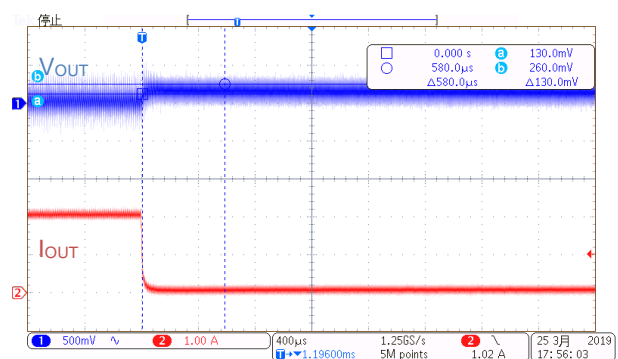
Figure 31. MOSFET 波形 $V_{IN} = 90 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 2.0 \text{ A}$ Figure 32. Diode 波形 $V_{IN} = 90 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 2.0 \text{ A}$ Figure 33. MOSFET 波形 $V_{IN} = 264 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 2.0 \text{ A}$ Figure 34. Diode 波形 $V_{IN} = 264 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 2.0 \text{ A}$ Figure 35. MOSFET 波形 $V_{IN} = 264 \text{ Vac}$, 出力短絡Figure 36. Diode 波形 $V_{IN} = 264 \text{ Vac}$, 出力短絡

測定データ - 続き

起動波形

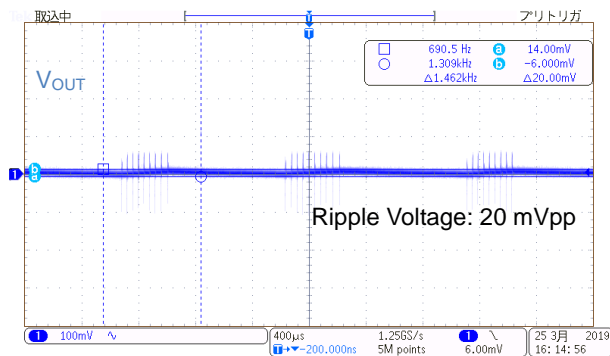
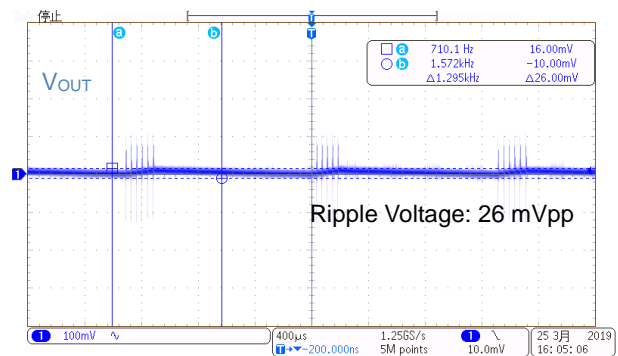
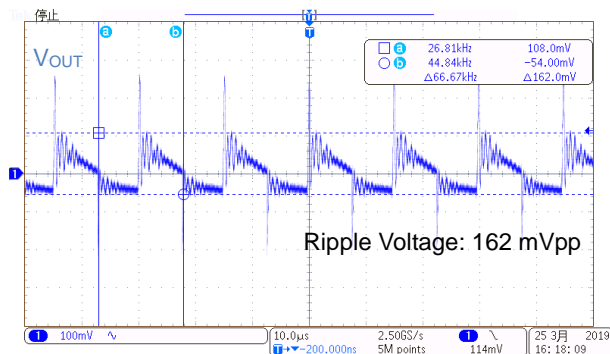
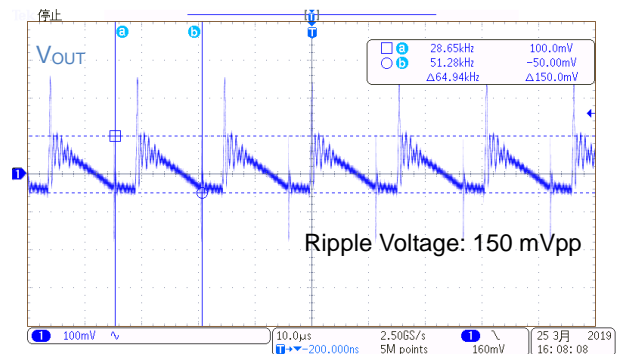
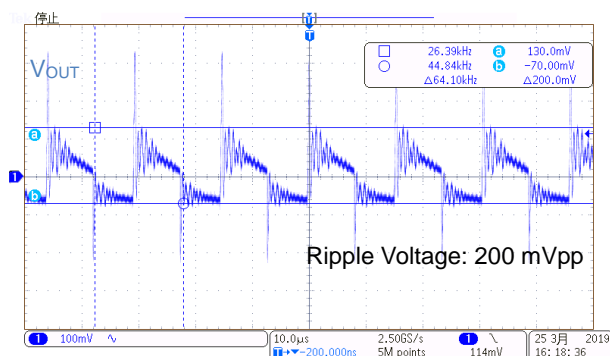
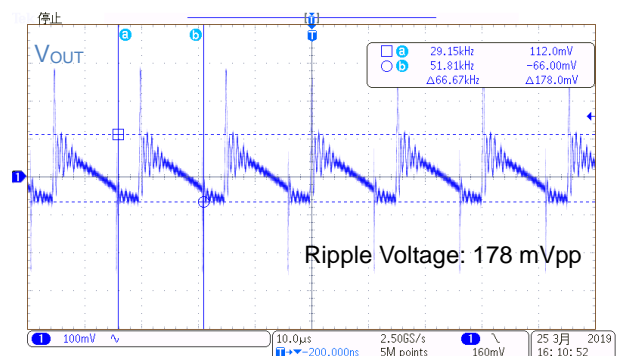
Figure 37. $V_{IN} = 115 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 2.0 \text{ A}$ Figure 38. $V_{IN} = 230 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 2.0 \text{ A}$

急峻負荷変動

Figure 39. $V_{IN} = 115 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 10 \text{ mA} \rightarrow 2.0 \text{ A}$ Figure 40. $V_{IN} = 115 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 2.0 \text{ A} \rightarrow 10 \text{ mA}$ Figure 41. $V_{IN} = 230 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 10 \text{ mA} \rightarrow 2.0 \text{ A}$ Figure 42. $V_{IN} = 230 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 2.0 \text{ A} \rightarrow 10 \text{ mA}$

測定データ - 続き

出力電圧リップル波形

Figure 43. $V_{IN} = 115 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 10 \text{ mA}$ Figure 44. $V_{IN} = 230 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 10 \text{ mA}$ Figure 45. $V_{IN} = 115 \text{ Vdc}$, $I_{OUT} = 1.5 \text{ A}$ Figure 46. $V_{IN} = 230 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 1.5 \text{ A}$ Figure 47. $V_{IN} = 115 \text{ Vdc}$, $I_{OUT} = 2.0 \text{ A}$ Figure 48. $V_{IN} = 230 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 2.0 \text{ A}$

測定データ – 続き

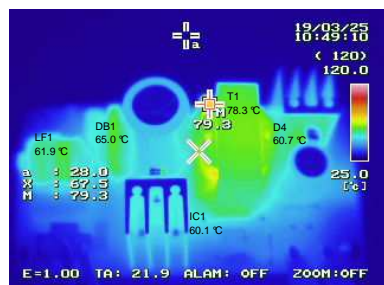
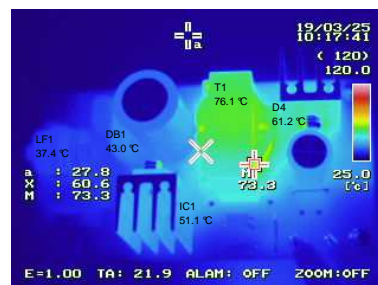
部品表面温度

電源投入から 30 分放置後測定

Table 8. 部品表面温度

Ta = 25 °C

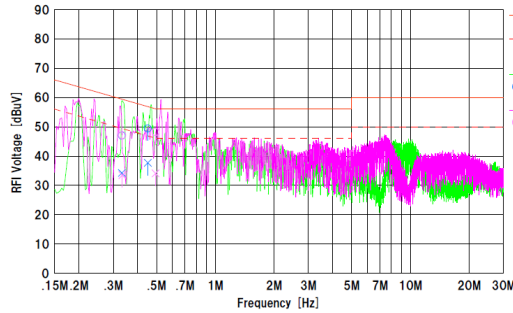
Part	Condition			
	V _{IN} =90 Vac, I _{OUT} =1.5 A	V _{IN} =90 Vac, I _{OUT} =2.0 A	V _{IN} =264 Vac, I _{OUT} =1.5 A	V _{IN} =264 Vac, I _{OUT} =2.0 A
LF1	61.9 °C	72.1 °C	37.4 °C	39.7 °C
DB1	65.0 °C	76.2 °C	43.0 °C	45.8 °C
IC1	60.1 °C	65.5 °C	51.1 °C	64.8 °C
T1	78.3 °C	92.2 °C	76.1 °C	78.5 °C
R8	85.3 °C	99.1 °C	83.7 °C	87.2 °C
D4	60.7 °C	71.0 °C	61.2 °C	65.7 °C

Figure 49. サーマルイメージ
V_{IN}: 90 Vac, I_{OUT}: 1.5 AFigure 50. サーマルイメージ
V_{IN}: 264 Vac, I_{OUT}: 1.5 A

測定データ – 続き

EMI

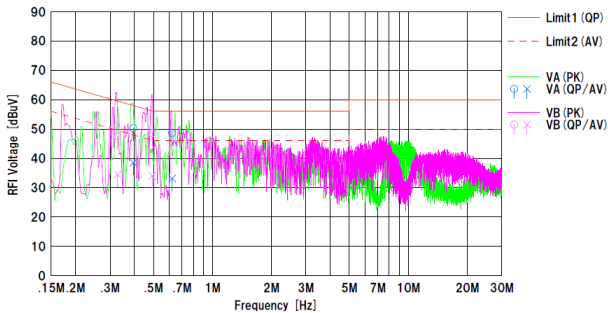
•Conducted Emission



QP margine : 7.4 dB

AVE margine : 9.1 dB

Figure 51. V_{IN} : 110 Vac / 60 Hz, I_{OUT} :2 A

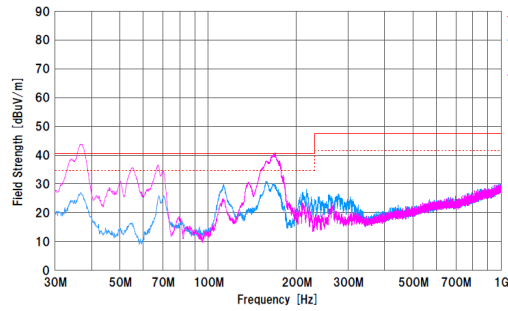


QP margine : 7.6 dB

AVE margine : 9.4 dB

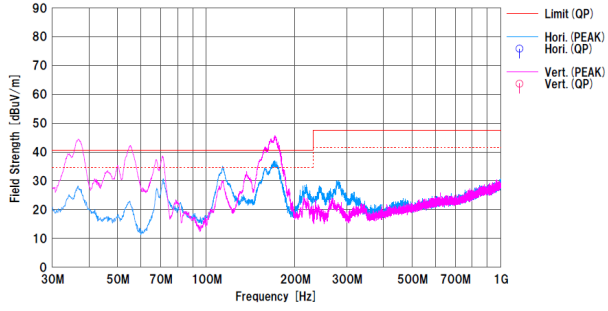
Figure 52. V_{IN} : 230 Vac / 50 Hz, I_{OUT} :2 A

•Radiated Emission



QP margine : 4.0 dB

Figure 53. V_{IN} : 110 Vac / 60 Hz, I_{OUT} :2 A



QP margine : 3.1 dB

Figure 54. V_{IN} : 230 Vac / 50 Hz, I_{OUT} :2 A

回路図

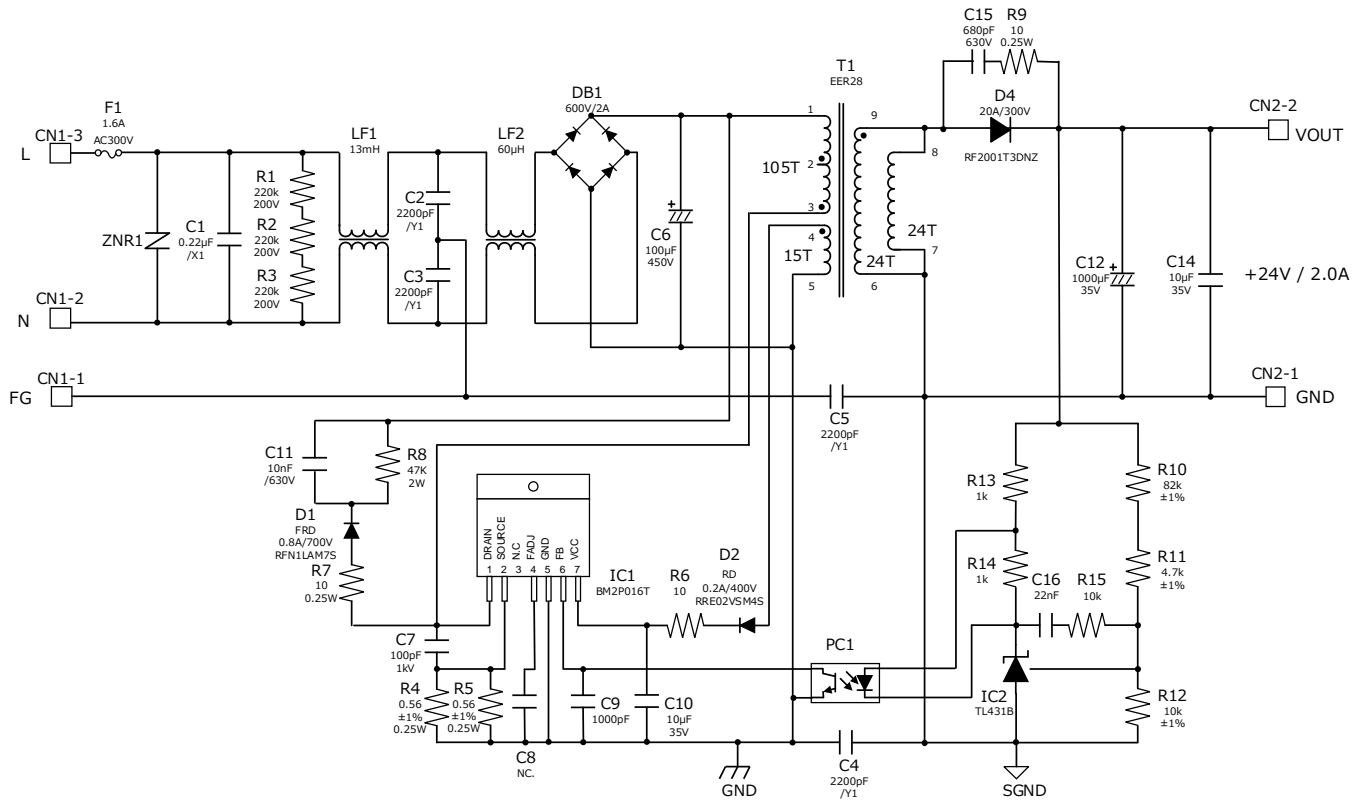
 $V_{IN} = 90 \sim 264 \text{ Vac}$, $V_{OUT} = 24 \text{ V}$


Figure 55. BM2P016T-EVK-004 回路図

部品表

Table 9. BM2P016T-EVK-004 の部品表

Part Reference	Qty.	Type	Value	Description	Part Number	Manufacture	Configuration mm (inch)
C1	1	X2 Capacitor	0.22μF	300Vac, ±20%	890 334 025 027 CS	Würth	-
C2,C3,C4,C5	4	Y1 Capacitor	2200pF	Y1 capacitor	DE1E3RA222MJ4BP01F	Murata	-
C6	1	Electrolytic	100μF	450V, ±20%	450BXW100MEFR18X30	Rubycon	18mmΦX30mm
C7	1	Ceramic	100pF	1kV, X7R, ±20%	RDE5C3A101J2M1H03A	Murata	-
C8	0	-	-	25V, ±20%	-	-	-
C9	1	Ceramic	1000pF	100V, X7R, ±20%	HMK107B7102MA-T	Taiyo Yuden	1608 (0603)
C10,C14	2	Ceramic	10μF	35V, X7R, ±20%	GMK316AB7106ML-TR	Taiyo Yuden	3216 (1206)
C11	1	Ceramic	10nF	630V, X7R, ±10%	SMK316B7103KF-T	Taiyo Yuden	3216 (1206)
C12	1	Electrolytic	1000μF	35V, ±20%	UPA1V102MPD	Nichicon	12.5mmΦX20mm
C13	0	-	-	-	-	-	-
C15	1	Ceramic	680pF	630V, C0G, ±10%	GRM31B5C2J681FW01L	Murata	3216 (1206)
C16	1	Ceramic	22nF	100V, X7R, ±10%	HMK107B7223KA-T	Taiyo Yuden	1608 (0603)
CN1	1	Connector	3pin	-	B3P-NV	JST	-
CN2	1	Probe(Write)	-	-	-	-	-
CN3	1	Probe(Black)	-	-	-	-	-
D1	1	FRD	0.8A	700V	RFN1LAM7S	ROHM	PMDTM
D2	1	RD	0.5A	200V	RRE02VSM4S	ROHM	TUMD2SM
D3	1	FRD	20A	300V	RF2001T3DNZ	ROHM	TO-220
D4	0	-	-	-	-	-	-
DB1	1	Bridge Diode	2A	600V	D2SBA60	Shindengen	SIP4
F1	1	Fuse	1.6A	300V	36911600000	Littelfuse	-
HS1,HS2	2	Heat Sink	-	22.9℃/W	IC-1625-STL	Sankyo Thermotec	-
-	2	Skrew	M3	M3	-	-	-
IC1	1	AC/DC Converter	-	650V	BM2P016T	ROHM	TO-220-7
IC2	1	Shunt Regulator	-	-	TL431BIDBZT	TI	SOT-23-3
LF1	1	Line Filter	13mH	1A	XF1482Y	Alpha Trans	-
LF2	1	Line Filter	60μH	1A	LF1246Y	Alpha Trans	-
PC1	1	Optocoupler	-	5kV	LTV-817-B	LiteOn	DIP4
R1,R2,R3	3	Resistor	220kΩ	0.25W, ±5%	MCR18EZPJ224	ROHM	3216 (1206)
R4,R5	2	Resistor	0.56Ω	0.25W, ±1%	MCR18EZHFRLR560	ROHM	3216 (1206)
R6	1	Resistor	10Ω	0.25W, ±5%	MCR18EZPJ100	ROHM	3216 (1206)
R7,R9	2	Resistor	10Ω	0.25W, ±5%	MCR18EZPJ100	ROHM	3216 (1206)
R8	1	Resistor	47kΩ	2W, ±2%	ERG2SJ473	Panasonic	-
R10	1	Resistor	82kΩ	0.1W, ±1%	MCR03EZPFX8202	ROHM	1608 (0603)
R11	1	Resistor	4.7kΩ	0.1W, ±1%	MCR03EZPFX4701	ROHM	1608 (0603)
R12,R15	2	Resistor	10kΩ	0.1W, ±1%	MCR03EZPFX1002	ROHM	1608 (0603)
R13,R14	2	Resistor	1kΩ	0.1W, ±5%	MCR03EZPJ102	ROHM	1608 (0603)
T1	1	Transformer	-	Bobin:EER2828-10pin Core:EER28/28	XE2235Y	Alpha Trans	-
ZNR1	1	Varistor	-	300Vac, 423Vmin, 400A	V470ZA05P	Littelfuse	-

レイアウト

Size: 55 mm x 105 mm

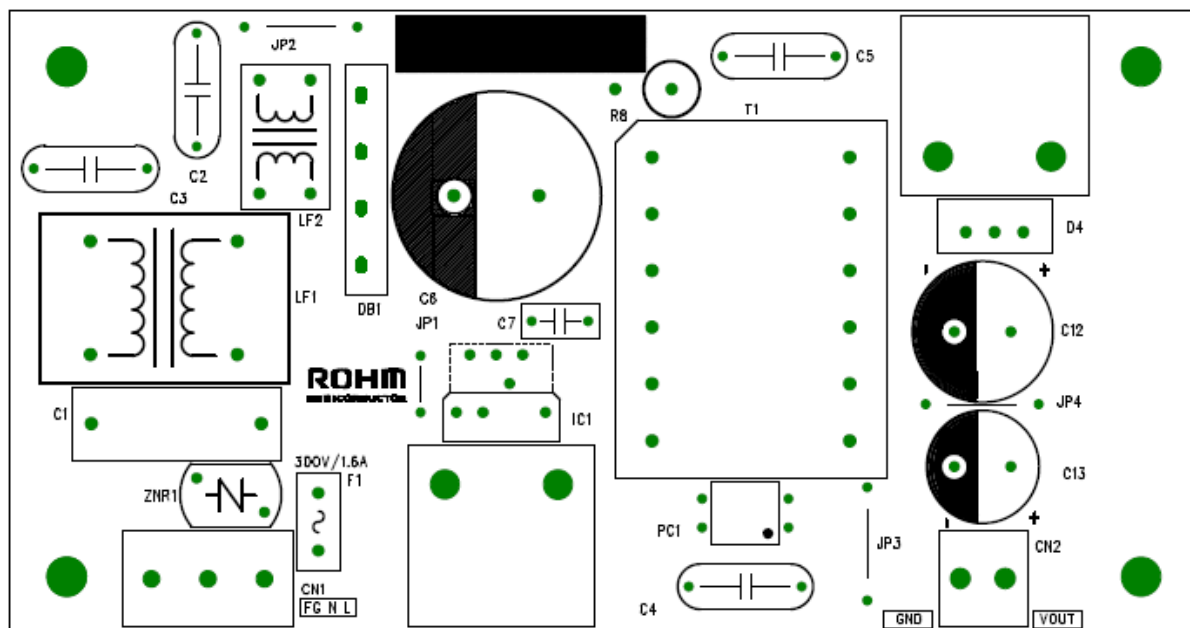


Figure 56. TOP シルクスクリーン (Top view)

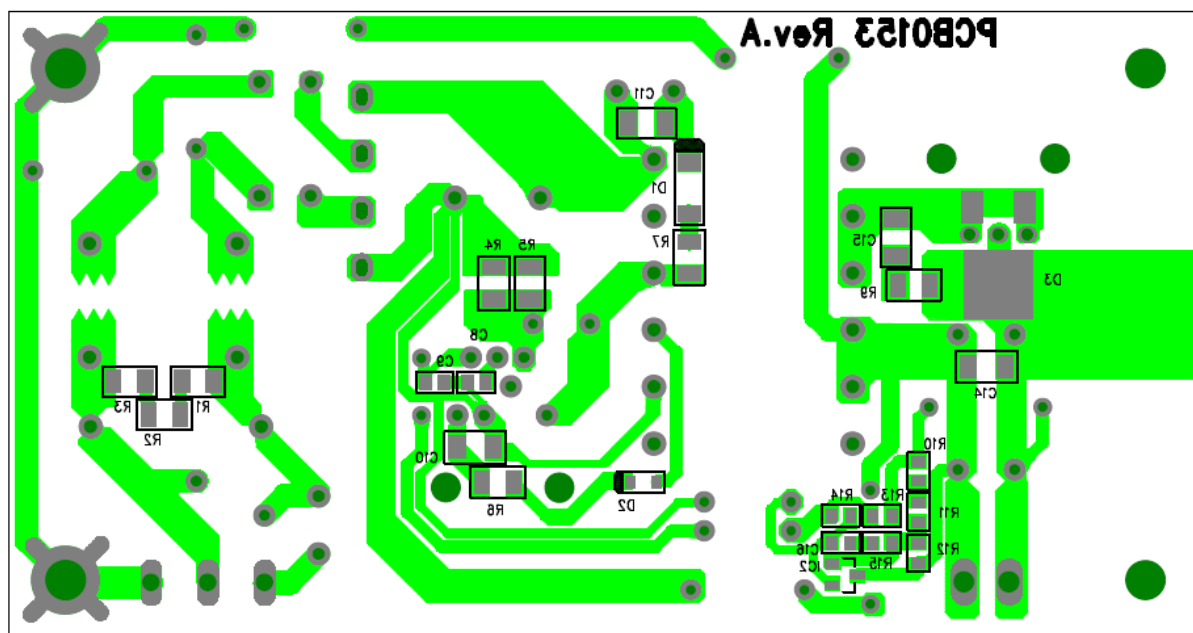


Figure 57. Bottom レイアウト (Top View)

ご 注 意

- 1) 本資料の記載内容は改良などのため予告なく変更することがあります。
- 2) 本資料に記載されている内容は製品のご紹介資料です。ご使用に際しては、別途最新の仕様書を必ずご請求のうえ、ご確認ください。
- 3) ロームは常に品質・信頼性の向上に取り組んでおりますが、半導体製品は種々の要因で故障・誤作動する可能性があります。
万が一、本製品が故障・誤作動した場合であっても、その影響により人身事故、火災損害等が起こらないようご使用機器でのディレーティング、冗長設計、延焼防止、バックアップ、フェイルセーフ等の安全確保をお願いします。定格を超えたご使用や使用上の注意書が守られていない場合、いかなる責任もロームは負うものではありません。
- 4) 本資料に記載されております応用回路例やその定数などの情報につきましては、本製品の標準的な動作や使い方を説明するものです。
したがって、量産設計をされる場合には、外部諸条件を考慮していただきますようお願いいたします。
- 5) 本資料に記載されております技術情報は、製品の代表的動作および応用回路例などを示したものであり、ロームまたは他社の知的財産権その他のあらゆる権利について明示的にも黙示的にも、その実施または利用を許諾するものではありません。上記技術情報の使用に起因して紛争が発生した場合、ロームはその責任を負うものではありません。
- 6) 本資料に掲載されております製品は、耐放射線設計はなされていません。
- 7) 本製品を下記のような特に高い信頼性が要求される機器等に使用される際には、ロームへ必ずご連絡の上、承諾を得てください。
・輸送機器（車載、船舶、鉄道など）、幹線用通信機器、交通信号機器、防災・防犯装置、安全確保のための装置、医療機器、サーバー、太陽電池、送電システム
- 8) 本製品を極めて高い信頼性を要求される下記のような機器等には、使用しないでください。
・航空宇宙機器、原子力制御機器、海底中継機器
- 9) 本資料の記載に従わないために生じたいかなる事故、損害もロームはその責任を負うものではありません。
- 10) 本資料に記載されております情報は、正確を期すため慎重に作成したのですが、万が一、当該情報の誤り・誤植に起因する損害がお客様に生じた場合においても、ロームはその責任を負うものではありません。
- 11) 本製品のご使用に際しては、RoHS 指令など適用される環境関連法令を遵守の上でご使用ください。
お客様がかかる法令を順守しないことにより生じた損害に関して、ロームは一切の責任を負いません。
本製品の RoHS 適合性などの詳細につきましては、セールス・オフィスまでお問合せください。
- 12) 本製品および本資料に記載の技術を輸出又は国外へ提供する際には、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」など適用される輸出関連法令を遵守し、それらの定めにしたがって必要な手続を行ってください。
- 13) 本資料の一部または全部をロームの許可なく、転載・複写することを堅くお断りします。



ローム製品のご検討ありがとうございます。
より詳しい資料やカタログなどご用意しておりますので、お問合せください。

ROHM Customer Support System

<http://www.rohm.co.jp/contact/>