



絶縁フライバック型 PWM 方式 2.5 W 5 V 出力 BM2P26CK-Z 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、**BM2P26CK-Z** 用評価ボード(**BM2P26CK-EVK-001**)とその機能に限定し記載しています。

BM2P26CK-Z 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 コンバータ

絶縁フライバック型 PWM 方式 2.5 W 5 V 出力 BM2P26CK-Z 評価ボード

BM2P26CK-EVK-001

概要

本評価ボードは、90 Vac~264 Vacの入力から5 Vの電圧を出力し、出力電流の最大値は0.5 Aです。ICには、800 V MOSFET内蔵 PWM方式AC/DCコンバータであるBM2P26CK-Zが実装されています。

BM2P26CK-Zは、800 V耐圧の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100 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（6.0 Ω）、高耐圧MOSFET（800 V）の内蔵により、低消費電力、設計の容易化を実現します。Xコンデンサ放電機能を内蔵しており、Xコンデンサには6.8 μFまでのコンデンサが使用可能です。

BM2P26CK-Zは、IEC62368-1規格認定を取得済みです。また、本評価ボードは最適なEMI設計によって、雑音端子電圧/放射エミッション試験のCISPR22 Class. Bに準拠しています。



Figure 1. BM2P26CK-EVK-001

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、 $V_{IN} = 230 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 0.5 \text{ A}$, $T_a = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

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	4.75	5.00	5.25	V	
最大電力	-	-	2.5	W	$I_{OUT} = 0.5 \text{ A}$
出力電流範囲 ^(Note 1)	0.0	0.5	0.5	A	
待機電力	-	40	-	mW	$I_{OUT} = 0 \text{ A}$
電源効率	65	71.1	-	%	
出力リップル電圧 ^(Note 2)	-	60	-	mVpp	
動作温度範囲	-10	+25	+65	°C	

(Note 1) 部品表面温度が 105 °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 Vac~264 Vac、10 W 以上の AC 電源
- (2) 最大 0.5 A の負荷装置
- (3) DC 電圧計

2 機器を接続

- (1) AC 電源を 90 Vac~264 Vac にプリセットし、電源出力を OFF にします。
- (2) 負荷を 0.5 A 以下に設定し、負荷を無効にします。
- (3) 電源の N 端子を CN1-1: AC (N) 端子へ、L 端子を CN1-2: 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 CN2-2 (VOUT) 端子へ、負端子を CN2-1 (GND) 端子へ接続します。
- (7) AC 電源の出力を ON にします。
- (8) DC 電圧計の表示が 5 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。

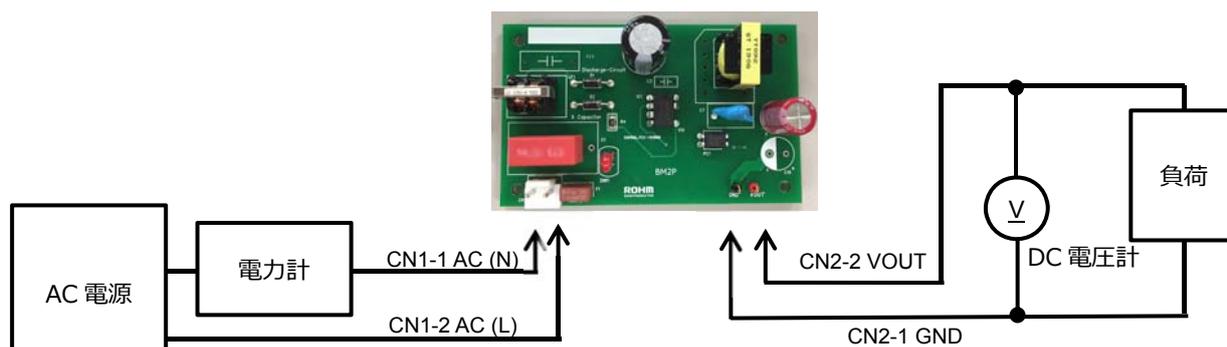


Figure 2. 接続図

アプリケーション回路

本評価ボードは、フライバック型の回路方式を採用しています。

本評価ボードに実装されている BM2P26CK-Z には、高耐圧 V_{DS} : 800 V かつ低オン抵抗 $R_{DS(ON)}$: 6.0 Ω のスーパージャンクション MOSFET が内蔵されており、低消費電力に貢献します。

出力 (VOUT) の電圧をフィードバック回路にてモニタし、フォトカプラを通して、BM2P26CK-Z の FB 端子にフィードバックしています。

起動時は、起動回路を通して、VH 端子から VCC 端子へ電圧が供給されることにより、VCC 端子電圧が上昇します。VCC 端子電圧が UVLO 解除電圧 15.50 V (Typ) を超えると BM2P26CK-Z の動作が開始します。動作が開始すると起動回路は OFF し、VH 端子からの供給を切断し、待機電力の削減に貢献します。また、BM2P26CK-Z には電流検出抵抗が内蔵されており、過電流検出値は 0.192 A (Min) です。差込み電源プラグの残留電圧放電回路 (X コンデンサ放電機能) が内蔵されており、X コンデンサの容量を大きくすることが可能です。

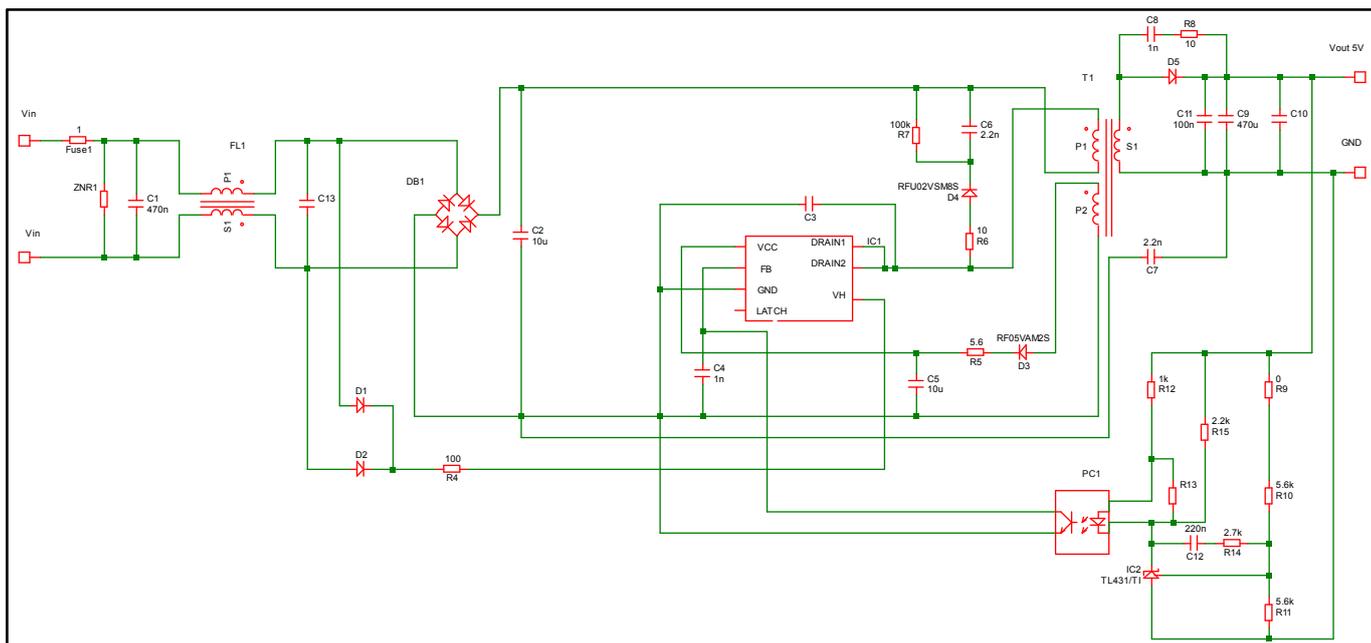


Figure 3. アプリケーション回路

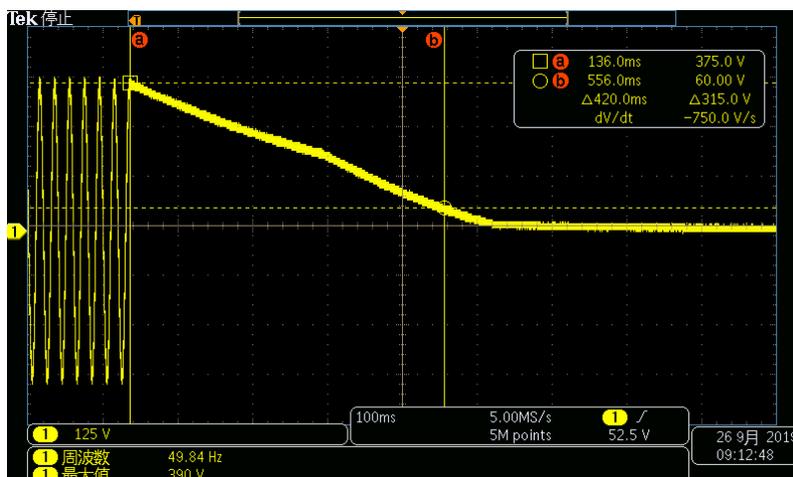


Figure 4. 残留電圧の波形

BM2P26CK-Z 概要

特徴

- Xコンデンサ放電機能
- PWM カレントモード方式
- 周波数ホッピング機能
- 軽負荷時バースト動作
- 周波数低減機能
- 650 V 耐圧起動回路内蔵
- 800 V 耐圧スーパージャンクション MOSFET 内蔵
- VCC UVLO (Under Voltage Lockout)
- VCC OVP (Over Voltage Protection)
- サイクルごとの過電流リミッタ機能
- 過電流リミッタ AC 補正機能
- ソフトスタート機能
- 外部ラッチ機能

重要特性

- 動作電源電圧範囲
VCC 端子電圧: 11.9 V~25.5 V
DRAIN 端子電圧: 800 V (Max)
VH 端子電圧: 650 V (Max)
- スwitching動作時電流: 0.60 mA (Typ)
- バースト動作時電流: 0.35 mA (Typ)
- 最大Switching周波数: 100 kHz (Typ)
- 動作温度範囲: -40 °C~+105 °C
- MOSFET オン抵抗: 6.0 Ω (Typ)

用途

ACアダプタ、各種家電（TV、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）

端子配置図

VCC	1	DRAIN	7
FB	2	DRAIN	6
GND	3		
LATCH	4	VH	5

パッケージ

DIP7K

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

9.27 mm x 6.35 mm x 8.63 mm



(Note 1) 製品構造：シリコンを主材料とした半導体集積回路 耐放射線設計はしていません

(Note 2) 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で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ください。

端子情報

No.	端子名	I/O	機能
1	VCC	I	電源入力端子
2	FB	I	フィードバック信号入力端子
3	GND	-	GND 端子
4	LATCH	I	外部ラッチ端子
5	VH	I	AC 電圧起動端子
6	DRAIN	I/O	MOSFET ドレイン端子
7	DRAIN	I/O	MOSFET ドレイン端子

設計概要

1 重要パラメータ

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Units	Conditions
入力電圧範囲	V_{IN}	90	230	264	V	
出力電圧	V_{OUT}	4.75	5.00	5.25	V	
出力電流範囲 ^(Note 1)	I_{OUT}	0.0	0.5	0.5	A	
最大スイッチング周波数	f_{SW}	94	100	106	kHz	
過電流検出電流	I_{PEAK}	0.192	-	-	A	At 10 μ s
電源効率	η	-	65	-	%	

(Note 1) 設定最大出力電流 I_{OUT_MAX} は以下の式で計算されます。1.1 はマージンです。

$$I_{OUT_MAX} = \frac{I_{OUT}}{\eta} \times 1.1 = \frac{0.5}{0.65} \times 1.1 = 0.85 \quad [A]$$

I_{OUT_MAX} : 最大出力電流

I_{OUT} : 出力電流

η : 電源効率

2 入力コンデンサ : C2

入力コンデンサ容量は Table 1 を目安に選定します。

Table 1. 入力コンデンサ選定目安

入力電圧 (Vac)	C_{IN} (μ F) / P_{IN} (W)
85~264	2
180~264	1

(Note 1) P_{IN} : 入力電力

出力電力 $P_{OUT} = 2.5$ W のとき、

$$\frac{P_{OUT}}{\eta} \times 2 = \frac{2.5}{0.65} \times 2 = 7.7 \quad [\mu F]$$

P_{OUT} : 出力電力

η : 電源効率

より、入力コンデンサには 7.7 μ F 相当の容量が必要となります。今回は、10 μ F としています。

2 入力コンデンサ : C2 — 続き

C2 には、最大入力電圧以上の耐圧のコンデンサが必要です。最大 $264 \times \sqrt{2}$ Vdc に対し、450 V 以上の耐圧を選択しています。

下記にシミュレーション回路図とシミュレーション結果（平滑後の電圧波形）を示します。

AC 入力は 90 V / 50 Hz、C2 は $10 \mu\text{F} \times 0.8$ （許容差を含んだ値）です。

そのとき、平滑最低電圧（ $V_{INDCMIN}$ ）は 93 V です。

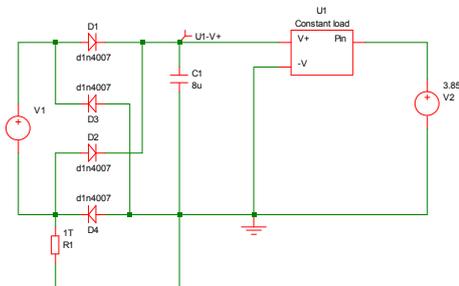


Figure 5. シミュレーション回路図

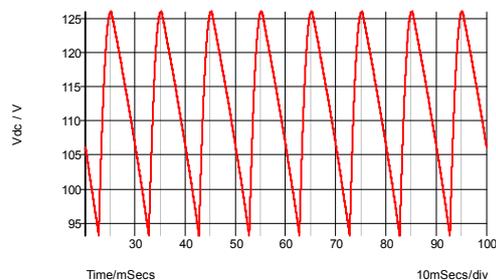


Figure 6. シミュレーション結果

3 トランスの設計 : T1

トランスの設計には、以下の計算を行ってください。

3.1 トランス電流傾斜係数 k の決定

以下の手順で、トランス電流傾斜係数 k を求めてください。

Duty は 0.5 以下、トランス電流傾斜係数 k は、1 以下になるように設定する必要があります。

今回は Duty を 0.42 として計算します。

以下の計算式より、トランスの二次側電圧から発生する一次側電圧 V_{OR} を求めます。

$$V_{OR} = \frac{V_{INDCMIN} \times Duty}{1 - Duty}$$

$$= \frac{93 \times 0.42}{1 - 0.42} = 67.3 \quad [\text{V}]$$

V_{OR} : トランスの二次側電圧から発生する一次側電圧
 $V_{INDCMIN}$: 平滑最低電圧
 Duty: デューティ

3.1 トランス電流傾斜係数 k の決定 — 続き

V_{OR} が決定すると、トランスの巻数比 N が決定します。

$$N = \frac{N_P}{N_S} = \frac{V_{OR}}{V_{OUT} + V_F}$$

$$= \frac{67.3}{5 + 0.8} = 11.6$$

N : トランスの巻数比
 N_P : 一次側巻数
 N_S : 二次側巻数
 V_{OUT} : 出力電圧
 V_F : 二次側ダイオードの順方向電圧

次に、二次側ピーク電流 I_{SP} と一次側ピーク電流 I_{PP} を、以下の式で計算します。

内蔵 MOSFET の遅れ時間 (t_{DELAY1}) は含まずに計算し、 L_P を決定した後、 t_{DELAY1} を含めた計算を行ってください。

$$I_{SP} = I_{PP} \times N$$

$$I_{PP} = I_{PEAK} + \frac{V_{IN}}{L_P \times t_{DELAY1}}$$

$$I_{PP} = 0.110 \quad [\text{A}]$$

ここでは、一度、 $I_{PP} = I_{PEAK}$ として計算しています。よって、 I_{SP} は、

$$I_{SP} = 0.192 \times 11.6 = 2.23 \quad [\text{A}]$$

I_{SP} : 二次側ピーク電流
 I_{PP} : 一次側ピーク電流
 N : トランスの巻数比
 I_{PEAK} : BM2P26CK-Z の過電流検出電流
 L_P : トランスの二次側インダクタンス
 t_{DELAY1} : 内蔵 MOSFET の遅れ時間

3.1 トランス電流傾斜係数 k の決定 — 続き

以上より、トランス電流傾斜係数 k は以下の式で計算されます。

$$k = 2 - \frac{2 \times I_{O_{MAX}}}{(1 - Duty) \times I_{SP}}$$

$$k = 2 - \frac{2 \times 0.85}{(1 - 0.42) \times 2.23} = 0.69$$

k :	トランス電流傾斜係数
I_{OUT_MAX} :	設定最大出力電流
$Duty$:	デューティ
I_{SP} :	二次側ピーク電流

また、上記より ΔI_S を求めることが可能です。

$$\Delta I_S = I_{SP} \times k = 2.23 \times 0.69 = 1.54 \quad [A]$$

ΔI_S :	二次側電流変化量
I_{SP} :	二次側ピーク電流
k :	トランス電流傾斜係数

(Note) 出力電流はトランスの二次側電流の平均値のため、以下の式で計算されます。

$$I_{OUT} = 0.5 \times (I_{SP} + I_{SB}) \times (1 - Duty)$$

$$\Delta I_S = I_{SP} - I_{SB} \quad \text{とすると、} \quad k = \frac{\Delta I_S}{I_{SP}}$$

$$L_S = \frac{V_{OUT} + V_F}{\Delta I_S} \times \frac{1 - Duty}{f_{SW}}$$

I_{OUT} :	出力電流
I_{SP} :	二次側ピーク電流
I_{SB} :	二次側ボトム電流
ΔI_S :	二次側電流変化量
k :	トランス電流傾斜係数
L_S :	トランスの二次側インダクタンス
V_{OUT} :	出力電圧
V_F :	二次側ダイオード順方向電圧
f_{SW} :	スイッチング周波数
$Duty$:	デューティ

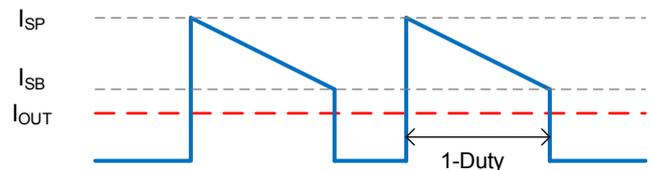


Figure 7. 二次側電流

3 トランスの設計 — 続き

3.2 トランスのインダクタンス $L_S \cdot L_P$ の算出

まず、トランスの二次側インダクタンス L_S を求めます。

$$L_S = \frac{(V_{OUT} + V_F)}{\Delta I_S} \times \frac{(1 - Duty)}{f_{SW_MIN}}$$

$$L_S = \frac{(5 + 0.8)}{1.54} \times \frac{(1 - 0.42)}{94} = 23.2 \quad [\mu\text{H}]$$

L_S : トランスの二次側インダクタンス
 V_{OUT} : 出力電圧
 V_F : 二次側ダイオード順方向電圧
 ΔI_S : 二次側電流変化量
 $Duty$: デューティ
 f_{SW_MIN} : スイッチング周波数最小値

次に、一次側インダクタンス L_P を求めます。

$$L_P = L_S \times N^2 = 23.2 \times 11.6^2 = 3.13 \quad [\text{mH}]$$

L_P : トランスの一次側インダクタンス
 L_S : トランスの二次側インダクタンス
 N : トランスの巻数比

BM2P26CK-Z には AC 電圧補正機能が内蔵されており、過電流検出電流を補正します。
 内蔵 MOSFET の遅れ時間に対応する過電流検出電流 I_{PP2} は、以下の式で計算されます。

$$I_{PP2} = I_{PEAK} + \frac{V_{DC}}{L_P} \times t_{DELAY2}$$

I_{PP2} : 内蔵 MOSFET の遅れ時間に対応する、BM2P26CK-Z の過電流検出電流
 I_{PEAK} : トランスの二次側インダクタンス
 V_{DC} : トランスの巻数比
 L_P : トランスの一次側インダクタンス
 t_{DELAY2} : 過電流検出後の遅れ時間

t_{DELAY2} の最小値は 200 ns のため、

$$I_{PP2} = 0.192 + \frac{93}{3.13 \text{ m}} \times 200 \text{ n} = 0.198 \quad [\text{A}]$$

3.2 トランスのインダクタンス $L_S \cdot L_P$ の算出 — 続き

ここで得た I_{PEAK2} の値を使用し、再度以下の計算を行います。

$$I_{SP} = I_{PP2} \times N = 0.198 \times 11.6 = 2.30 \quad [A]$$

$$k = 2 - \frac{2 \times 0.85}{(1 - 0.42) \times 2.30} = 0.72$$

$$\Delta I_S = I_{SP} \times k = 2.30 \times 0.72 = 1.65 \quad [A]$$

- I_{SP} : 二次側ピーク電流
 I_{PP2} : 内蔵 MOSFET の遅れ時間に対応する、BM2P26CK-Z の過電流検出電流
 N : トランスの巻数比
 k : トランス電流傾斜係数
 ΔI_S : 二次側電流変化量

再度、インダクタンス値を計算します。

$$L_S = \frac{(V_{OUT} + V_F)}{\Delta I_S} \times \frac{(1 - Duty)}{f_{SW_MIN}}$$

$$L_S = \frac{(5 + 0.8)}{1.65} \times \frac{(1 - 0.42)}{94} = 21.6 \quad [\mu H]$$

$$L_P = L_S \times N^2 = 21.6 \times 11.6^2 = 2.91 \quad [mH]$$

- L_S : トランスの二次側インダクタンス
 V_{OUT} : 出力電圧
 V_F : 二次側ダイオードの順方向電圧
 ΔI_S : 二次側電流変化量
 $Duty$: デューティ
 f_{SW_MIN} : スイッチング周波数最小値

3.3 トランスのサイズの決定

$P_o(\max) = 2.5 \text{ W}$ より、トランスのコアサイズは、巻き数が多いため EE16 を選びます。

Table 2. 出力電力とトランスコア

出力電力 P_o (W)	コアサイズ	コア断面積 A_e (mm ²)
~5	EI13/EE13	17.1
~8	EI16/EE16	18.9
~10	EI19/EE19	23.1

(Note) 上記の値は目安です。詳細はトランスメーカーにご確認ください。

3 トランスの設計 — 続き

3.4 一次側巻線数 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、 $T_a = 100\text{ }^\circ\text{C}$ の場合 0.4 T です。
したがって、 $B_{SAT} = 0.35\text{ T}$ とします。また、コア断面積 $A_e = 18.9\text{ mm}^2$ のコアを選択しています。

$$N_P > \frac{L_P \times I_{PP2}}{A_e \times B_{SAT}} = \frac{2810\ \mu\text{H} \times 0.198\ \text{A}}{18.9\ \text{mm}^2 \times 0.35\ \text{T}} = 87.1 \quad [\text{T}]$$

N_P : トランスの一次側巻線数
 L_P : トランスの一次側インダクタンス
 I_{PP2} : 内蔵 MOSFET の遅れ時間に対応する、BM2P26CK-Z の過電流検出電流
 A_e : コア断面積
 B_{SAT} : 実効飽和磁束密度

よって、一次側巻線数 N_P は 88 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、 $N_P = 114$ ターンで計算します。

3.5 二次側巻線数 N_S の算出

二次側巻線数 N_S は、以下の式で計算されます。

$$\frac{N_P}{N_S} = 11.6 \quad \text{より、}$$

$$N_S = \frac{114}{11.6} = 9.8 \approx 10 \quad [\text{T}]$$

N_P : トランスの一次側巻線数
 N_S : トランスの二次側巻線数

よって、 $N_S = 10$ ターンとします。
また、巻数比は以下の通りです。

$$N = \frac{N_P}{N_S} = \frac{114}{10} = 11.4$$

N : トランスの巻数比
 N_S : トランスの二次側巻線数
 N_P : トランスの一次側巻線数

3 トランスの設計 — 続き

3.6 VCC 巻線数 N_D の算出

VCC 端子電圧 $V_{CC} = 16 \text{ V}$ 、VCC 端子ダイオードの順方向電圧 $V_{F_VCC} = 1 \text{ V}$ とすると、VCC 巻線数 N_D は、以下の式で計算されます。

$$N_D = N_S \times \frac{V_{CC} + V_{F_VCC}}{V_{OUT} + V_F} = 10 \text{ T} \times \frac{16 \text{ V} + 1.0 \text{ V}}{5.0 \text{ V} + 0.8 \text{ V}} = 29.3 \quad [\text{T}]$$

N_D : VCC 巻線数
 N_S : トランスの二次側巻線数
 V_{CC} : VCC 端子電圧
 V_{F_VCC} : VCC 端子ダイオードの順方向電圧
 V_{OUT} : 出力電圧
 V_F : 二次側ダイオードの順方向電圧

以上より、 $N_D = 30$ ターンとします。また、 V_{CC} は 15 V 以上に設定してください。

3.7 一次側インダクタンス値 L_P の再計算

必要な値がすべて決定したため、再度以下の手順で計算し、一次側のインダクタンス L_P を決定します。

$$V_{OR} = (V_{OUT} + V_F) \times N = (5 + 0.8) \times 11.4 = 66.1 \quad [\text{V}]$$

$$Duty = \frac{V_{OR}}{V_{OR} + V_{IN}} = \frac{66.1}{66.1 + 93} = 0.42$$

$$I_{PP2} = 0.192 + \frac{93}{2.91} \times 200 = 0.198 \quad [\text{A}]$$

$$I_{SP} = I_{PP2} \times N = 0.198 \times 11.4 = 2.26 \quad [\text{A}]$$

$$k = 2 - \frac{2 \times 0.85}{(1 - 0.41) \times 2.26} = 0.73$$

$$\Delta I_S = I_{SP} \times k = 2.26 \times 0.73 = 1.65 \quad [\text{A}]$$

$$L_S = \frac{(V_{OUT} + V_F)}{\Delta I_S} \times \frac{(1 - Duty)}{f_{SW_MIN}} = \frac{(5 + 0.8)}{1.65} \times \frac{(1 - 0.42)}{94} = 22.1 \quad [\mu\text{H}]$$

$$L_P = L_S \times N^2 = 22.1 \times 11.4^2 = 2.87 \quad [\text{mH}]$$

(Note) 各パラメータの説明は次項に記載します。

3 トランスの設計 — 続き

3.7 一次側インダクタンス値 L_P の再計算 — 続き

V_{OR} :	トランスの二次側電圧から発生する一次側電圧
V_{OUT} :	出力電圧
V_F :	二次側ダイオードの順方向電圧
N :	トランスの巻数比
$Duty$:	デューティ
V_{IN} :	入力電圧
I_{PP2} :	内蔵 MOSFET の遅れ時間に対応する、BM2P26CK-Z の過電流検出電流
I_{SP} :	二次側ピーク電流
k :	トランス電流傾斜係数
ΔI_S :	二次側電流変化量
L_S :	トランスの二次側インダクタンス
f_{SW_MIN} :	スイッチング周波数最小値
L_P :	トランスの一次側インダクタンス

以上により、トランスの仕様を以下のように決定しました。

Table 3. トランス仕様 (参考)

項目	記号	数 値	単 位
コア	-	EE16 (compatible)	-
一次側インダクタンス	L_P	2.87	mH
一次側巻数	N_P	114	turns
二次側巻数	N_S	10	turns
VCC 巻線数	N_D	30	turns

3.8 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) 0
<http://www.alphatrans.jp/>

品名:	XE2373Y	■ 一次側インダクタンス:	2.87 mH ± 10 % (100 kHz, 1 V)
ボビン:	10PIN	■ 耐電圧	
コア:	EE16	一次側 - 二次側間 :	AC1500 V
		一次側 - コア間:	AC1500 V
		二次側 - コア間:	AC500 V
		■ 絶縁抵抗	100 MΩ 以上 (DC500 V)

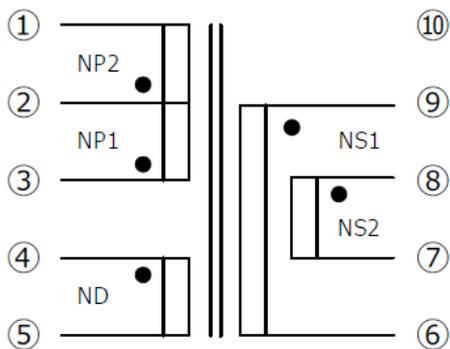


Figure 8. 回路図

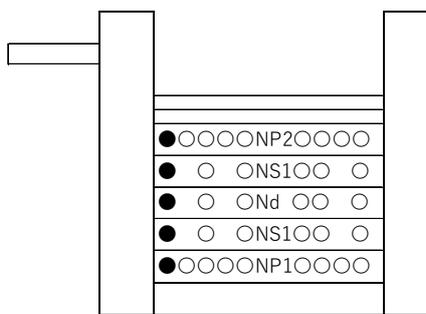


Figure 9. 構造図

Table 4. XE2373Y 製品仕様

No.	トランス	端子		ワイヤー	ターン数	テープ層	巻線仕様
		巻始め	巻終わり				
1	NP1	3	2	2UEW / Φ0.17 x 1	38	1	COMPACT
2	NS1	9	6	TEX / Φ0.32 x 2	10	1	COMPACT
3	ND	4	5	2UEW / Φ0.17 x 1	30	1	COMPACT
4	NS1	8	7	TEX / Φ0.32 x 1	10	1	COMPACT
5	NP2	2	1	2UEW / Φ0.17 x 1	76	2	COMPACT

設計概要 — 続き

4 VCC 端子用ダイオード : D3

VCC 端子用ダイオードには、高速ダイオードを推奨します。

VCC 端子用ダイオードに印加される逆電圧 V_{D1} は、以下の式で表されます。

$$V_{D1} = V_{OVP_MAX} + V_{IN_MAX} \times \frac{N_D}{N_P}$$

$$V_{D1} = 29.0 + 374 \times \frac{30}{114} = 127 \quad [\text{V}]$$

V_{D1} :	VCC 端子用ダイオードに印加される逆電圧
V_{OVP_MAX} :	BM2P26CK-Z の VCC OVP 検出電圧の最大値 29.0 V
V_{IN_MAX} :	入力電圧の最大値
N_D :	VCC 巻線数
N_P :	トランスの一次側巻線数

マージンを考慮すると、

$$\frac{127}{0.7} = 181 \approx 200 \quad [\text{V}]$$

よって、VCC 端子用ダイオード D3 には、200 V 品を選定します。

(推奨品 : RF05VAM2S (ローム) 200 V / 0.5 A)

5 VCC 巻線用サージ電圧制限抵抗 : R5

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 端子電圧が上昇して BM2P26CK-Z の VCC OVP が誤検出される可能性があります。

VCC 巻線に誘起されるサージ電圧を軽減するため、制限抵抗 R5 (5 Ω~22 Ω 程度) を挿入してください。VCC 端子電圧の上昇については、必ず製品に組み込んだ状態でご確認ください。今回は、5.6 Ω を選択しています。

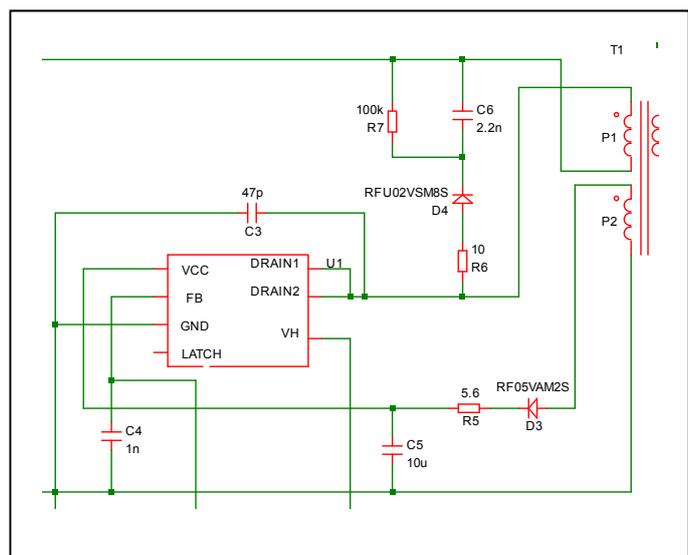


Figure 8. BM2P26CK-Z 周辺回路

設計概要 — 続き

6 VCC 端子用コンデンサ : C5

VCC 端子用コンデンサ容量 C_{VCC} は、BM2P26CK-Z の VCC 端子電圧を安定させるために必要です。容量は $4.7 \mu\text{F} \sim 22 \mu\text{F}$ を推奨します。起動時間と VCC 用コンデンサ容量の関係を Figure 9 に示します。今回は、 $10 \mu\text{F} / 35 \text{V}$ を選択しています。

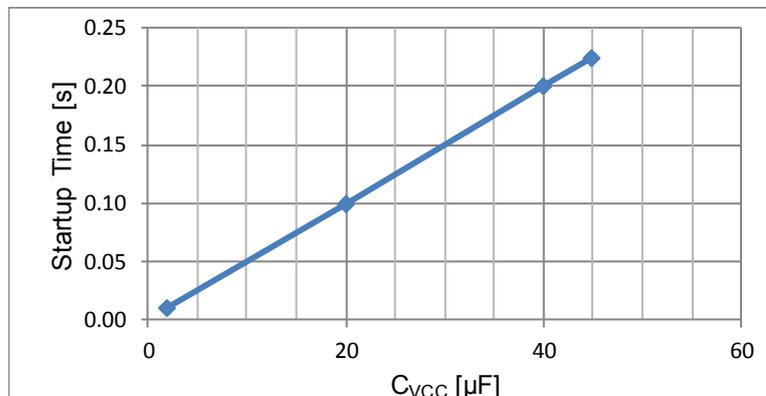


Figure 9. 起動時間 (参考値)

7 FB 端子コンデンサ : C4

C4 は FB 端子の安定用コンデンサです ($1000 \text{pF} \sim 0.01 \mu\text{F}$ 程度を推奨)。
今回は 1000pF を選択しています。

8 RCD スナバ回路 : C6、R7、R6、D4

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。

(推奨値) C6 : 2200pF
R7 : $100 \text{k}\Omega$
R6 : 10Ω
D4 : $800 \text{V} / 0.2 \text{A}$

D4 のダイオードにはファストリカバリダイオードをご使用ください。耐圧は、MOSFET の $V_{ds} (\text{Max})$ 以上が必要です。
(推奨品 : RFU02VSM8S (ローム) $800 \text{V} / 0.2 \text{A}$ 品)

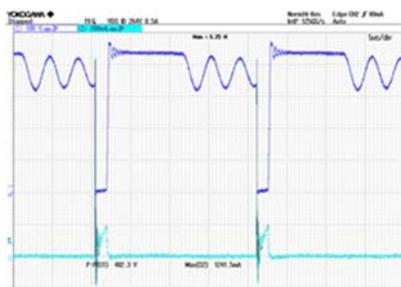


Figure 10. MOSFET DRAIN 電圧波形

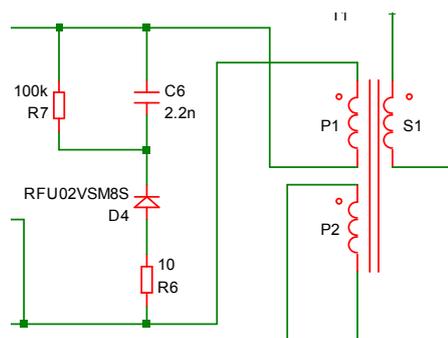


Figure 11. スナバ回路

設計概要 – 続き

9 出力整流ダイオード : D5

出力整流ダイオードには、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。

出力電圧 $V_{OUT} = 5.25 \text{ V}$ とすると、出力整流ダイオードに印加される逆電圧 V_{D2} は、以下の式で表されます。

$$V_{D2} = V_{OUT} + V_{IN_MAX} \times \frac{N_S}{N_P}$$

$$V_{D2} = 5.25 + 374 \times \frac{30}{114} = 38.5 \quad [\text{V}]$$

V_{D2} : 出力整流ダイオードに印加される逆電圧

V_{OUT} : 出力電圧

V_{IN_MAX} : 最大入力電圧

N_S : トランスの二次側巻線数

N_P : トランスの一次側巻線数

マージンを考慮すると、

$$\frac{38.5}{0.7} = 55 \approx 60 \quad [\text{V}]$$

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

$$I_{S(rms)} = I_{SP} \times \sqrt{\frac{1 - \text{Duty}}{3}} = 2.26 \times \sqrt{\frac{1 - 0.42}{3}} = 0.99 \quad [\text{A}]$$

I_{SP} : 二次側ピーク電流

Duty : デューティ

本評価ボードでは、3 A / 60 V 品を選定しています。

電圧マージンは 80 % 以下、電流マージンは 50 % 以下で使用することを推奨します。

(推奨品 : RB058LAM-60 (ローム) 60 V / 3.0 A 品)

設計概要 – 続き

10 出力コンデンサ : C9

出力コンデンサは、最大負荷電流値で許容可能な、Peak to Peak のリップル電圧 (ΔV_{PP}) 及びリップル電流で決定されます。MOSFET がオンの時、出力ダイオードはオフ状態です。この時、電流は出力コンデンサから負荷電流に供給されます。MOSFET がオフの時に出力ダイオードはオン状態になり、電流は出力コンデンサと負荷電流の両方に供給されます。

定格出力電流 I_{OUT} から二次側ピーク電流 I_{SP} を計算します。

$$I_{SP} = \frac{I_{OUT}}{1 - Duty} + \frac{\Delta I_S}{2}$$

$$I_{SP} = \frac{0.5}{1 - 0.42} + \frac{1.48}{2} = 1.60 \quad [A]$$

I_{SP} :	二次側ピーク電流
I_{OUT} :	出力電流
$Duty$:	デューティ
ΔI_S :	二次側電流変化量

$V_{IN} = 100 \text{ V}$ 、 $P_{OUT} = 2.5 \text{ W}$ のとき、 $\Delta V_{PP} = 0.15 \text{ V}$ とすると、出力コンデンサのインピーダンス Z_C は以下の式で計算されます。

$$Z_C < \frac{\Delta V_{PP}}{I_{SP}} = \frac{0.15}{1.6} = 0.094 \quad [\Omega]$$

Z_C :	出力コンデンサのインピーダンス
ΔV_{PP} :	出力リップル電圧
I_{SP} :	二次側ピーク電流

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

$$I_C(\text{rms}) = \sqrt{I_C(\text{rms})^2 - I_{OUT}^2} = \sqrt{0.73^2 - 0.5^2} = 0.53 \quad [A]$$

$I_C(\text{rms})$:	コンデンサへのリップル電流の実効値
I_{OUT} :	出力電流

10 出力コンデンサ : C9 - 続き

コンデンサの耐圧は、出力電圧に対し、デレーティング 80 %を目安に決定するため、

$$\frac{5}{0.8} = 6.3 \quad [\text{V}]$$

よって、耐圧は 10 V 以上とします。

本評価ボードでは、スイッチング電源用の低インピーダンスタイプを使用しています。

(推奨品 : 860 040 75 008 (WURTH) 25 V, 470 μF , 定格リップル電流 1.2 A, インピーダンス 68 m Ω (Max))

実際のリップル電圧、リップル電流は必ず実機でご確認ください。

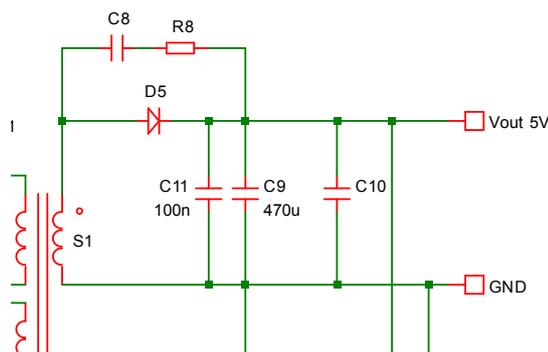


Figure 12. 出力周辺回路

11 出力電圧 V_{OUT} 設定抵抗 : R9, R10, R11

出力電圧 V_{OUT} は、以下の式で設定します。

$$V_{OUT} = \left(1 + \frac{R_9 + R_{10}}{R_{11}}\right) \times V_{REF}$$

まず、 R_{11} を決定します。本評価ボードでは、5.6 k Ω を選択しました。

フィードバック抵抗の合成抵抗 ($R_9 + R_{10}$) は、

$$R_9 + R_{10} = R_{11} \times \left(1 + \frac{V_{OUT}}{V_{REF}}\right) = 5.6 \times \left(1 + \frac{5}{2.495}\right) = 5.6 \quad [\text{k}\Omega]$$

V_{OUT} :	出力電圧
R_9 :	R9 の抵抗値
R_{10} :	R10 の抵抗値
R_{11} :	R11 の抵抗値
V_{OUT} :	出力電圧
V_{REF} :	シャントレギュレータの基準電圧 (2.495 V)

よって、以下の値を推奨します。

(推奨値) R9 :	0 Ω
R10 :	5.6 k Ω
R11 :	5.6 k Ω

設計概要 – 続き

12 フィードバック回路調整 : R12、R14、R15、C12

R15 はシャントレギュレータ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 1.0 mA です（製品データシートより）。この電流は、R15 から供給されます。

R15 に印加される電圧は、出力電圧からシャントレギュレータのカソード電圧 V_{KA} を引いた電圧となります。

$$R_{14} < \frac{V_{OUT} - V_{KA}}{I_{MIN}} = \frac{5 - 2.495}{1} \quad [\text{k}\Omega]$$

R_{14} :	R14 の抵抗値
V_{OUT} :	出力電圧
V_{KA} :	シャントレギュレータのカソード電圧
I_{MIN} :	シャントレギュレータを安定に動作させる電流値

(推奨値) R15 (暗電流設定抵抗) :	2.2 k Ω
R12 (フィードバック回路電流の制限抵抗) :	300 Ω ~2.2 k Ω
R14 (位相補償回路) :	2.7 k Ω
C16 (位相補償回路) :	0.22 μ F

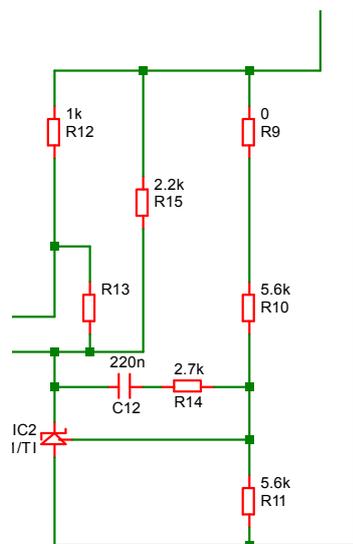


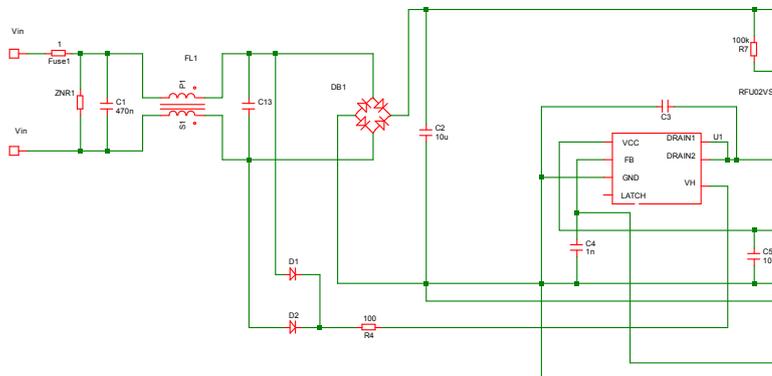
Figure 13. フィードバック回路

設計概要 – 続き

13 EMI 対策

EMI 対策として、入力部にフィルタ (FL1)、X コンデンサ (C1) を接続しています。

FL1 にはコモンモードフィルタを使用しており、C1 には 6.8 μF までの X コンデンサを接続することが可能です。



(Note) 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。

Figure 14. 入力フィルタ回路

13.1 X コンデンサの放電回路 : D1、D2、R4

入力電圧が無くなると、D1、D2、R4 の経路から X コンデンサに溜まった電荷を引き抜きます。

(推奨品 : D1・D2…1N4001 R4…100 Ω)

13.2 一次側 - 二次側間コンデンサ : C7

C7 には、2200 pF 程度の Y コンデンサをご使用ください。

13.3 RC スナバ回路 : C8、R8

放射エミッション対策として、二次側整流ダイオードに RC スナバ回路を追加しています。

C8 には、1000 pF のコンデンサを、R8 には 10 Ω の抵抗をご使用ください。

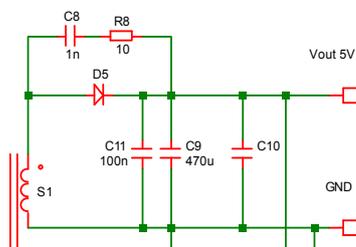


Figure 15. 二次側整流ダイオードの RC スナバ回路

測定データ

1 ロードレギュレーション

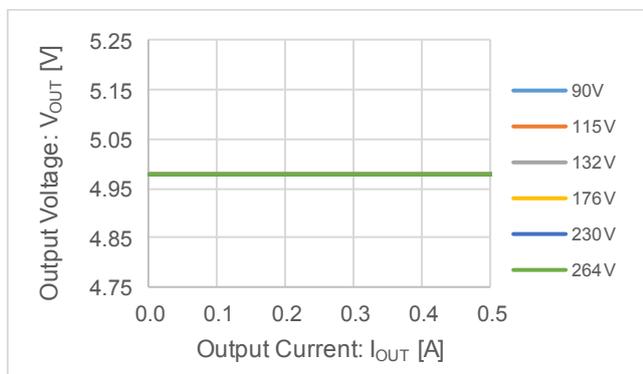


Figure 16. Load Regulation (V_{OUT} vs I_{OUT})

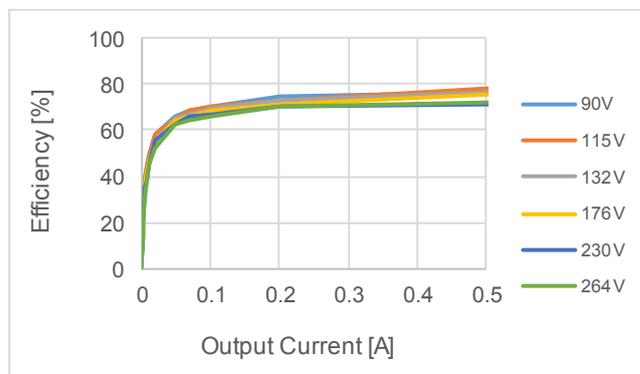


Figure 17. Load Regulation (Efficiency vs I_{OUT})

Table 5. Load Regulation ($V_{IN}=115$ Vac)

I_{OUT} [A]	V_{OUT} [V]	Efficiency [%]
0.01	4.981	48.83
0.02	4.981	57.92
0.05	4.981	65.54
0.07	4.981	68.23
0.1	4.981	70.35
0.2	4.980	73.13
0.5	4.980	78.01

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

I_{OUT} [A]	V_{OUT} [V]	Efficiency [%]
0.01	4.981	45.28
0.02	4.981	55.34
0.05	4.981	62.26
0.07	4.981	65.79
0.1	4.981	67.31
0.2	4.980	70.64
0.5	4.980	71.14

測定データ - 続き

2 ラインレギュレーション

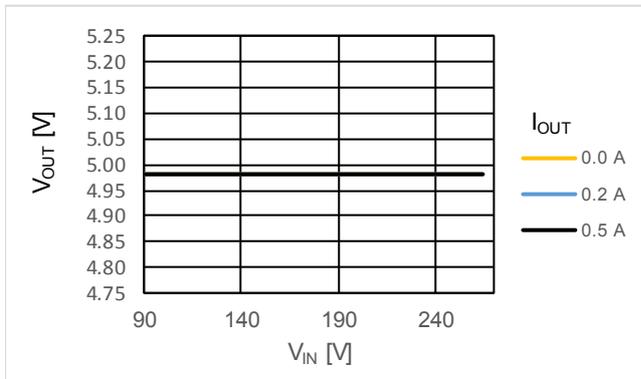


Figure 18. Line Regulation (V_{OUT} vs V_{IN})

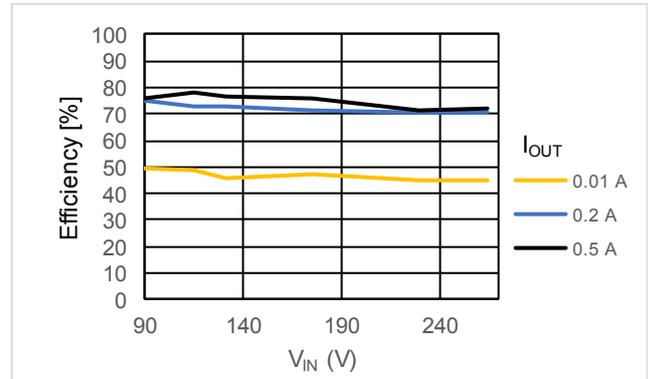


Figure 19. Line Regulation (Efficiency vs V_{IN})

Table 7. Line Regulation

V _{IN} [Vac]	I _{OUT} (A)		
	0.0	0.2	0.5
90	4.980	4.980	4.980
115	4.981	4.980	4.980
132	4.980	4.980	4.980
176	4.981	4.981	4.980
230	4.981	4.980	4.980
264	4.980	4.981	4.980

Table 8. Efficiency Regulation

V _{IN} [Vac]	I _{OUT} (A)		
	0.0	0.2	0.5
90	49.80	75.00	76.15
115	48.83	73.13	78.01
132	45.69	72.59	76.66
176	47.44	71.26	75.41
230	45.28	70.64	71.14
264	45.28	70.15	72.38

測定データ - 続き

3 スイッチング周波数

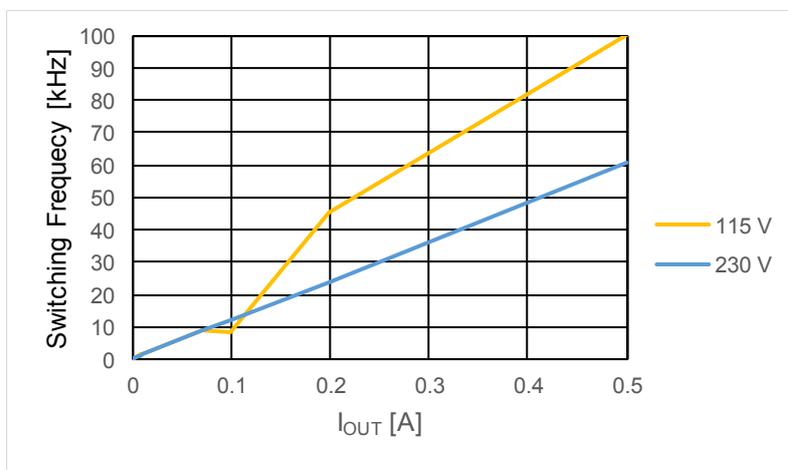
Figure 20. Switching Frequency vs I_{OUT}

Table 9. スイッチング周波数測定結果

I _{OUT} [A]	V _{IN} (V)	
	115	230
0	0.28	0.27
0.001	0.42	0.40
0.002	0.56	0.50
0.005	1.00	0.89
0.007	1.29	1.12
0.01	1.67	1.49
0.02	2.94	2.79
0.05	6.36	6.25
0.07	8.72	8.62
0.1	8.23	11.76
0.2	45.40	23.58
0.5	100.00	60.97

測定データ - 続き

4 スイッチング波形

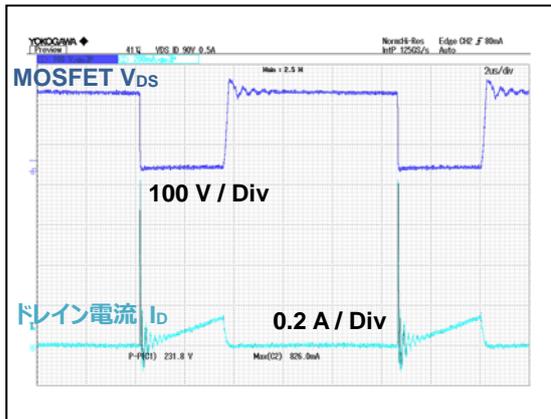


Figure 21. MOSFET 波形 $V_{IN} = 90 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 0.5 \text{ A}$

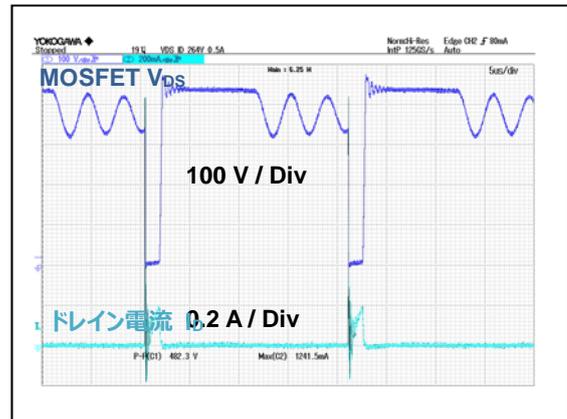


Figure 22. MOSFET 波形 $V_{IN} = 264 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 0.5 \text{ A}$

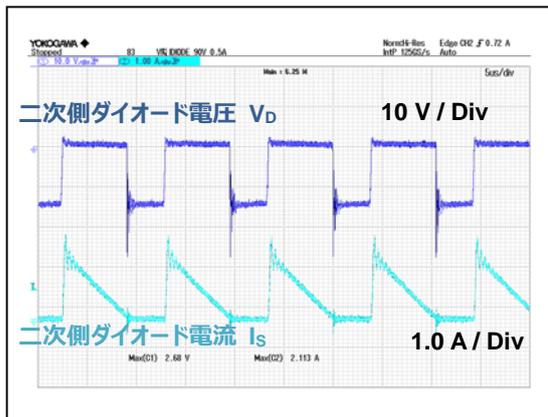


Figure 23. ダイオード波形 $V_{IN} = 90 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 0.5 \text{ A}$

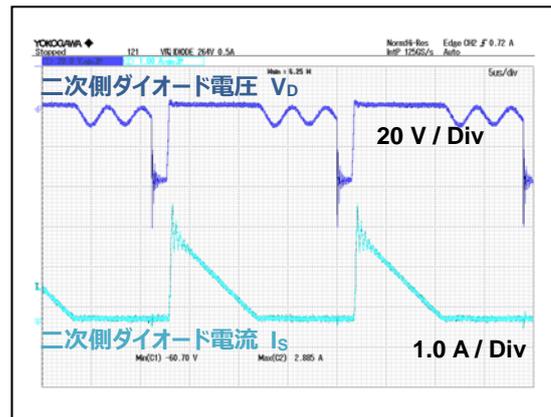


Figure 24. ダイオード波形 $V_{IN} = 264 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 0.5 \text{ A}$

4 スイッチング波形 - 続き

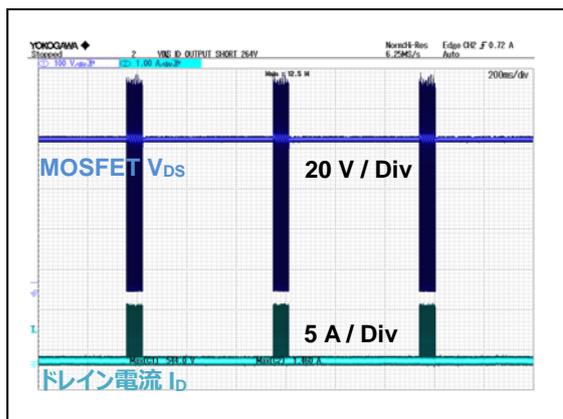


Figure 25. MOSFET 波形 $V_{IN} = 90 \text{ Vac}$, 出力短絡

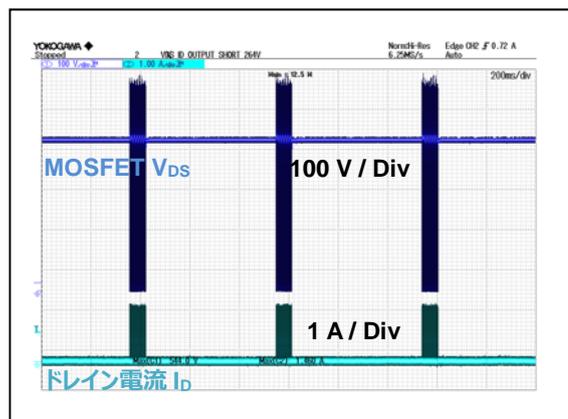


Figure 26.ダイオード波形 $V_{IN} = 264 \text{ Vac}$, 出力短絡

5 起動波形

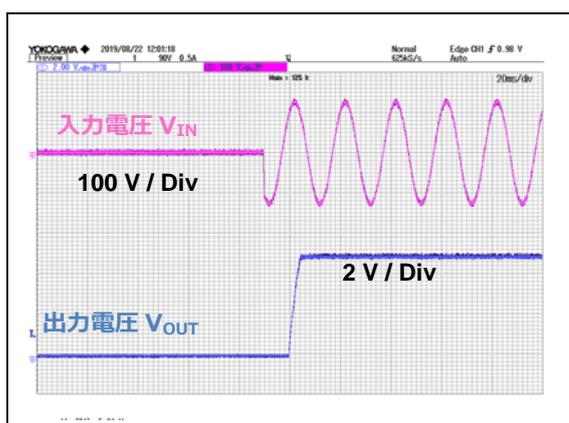


Figure 27. $V_{IN} = 90 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 0.5 \text{ A}$

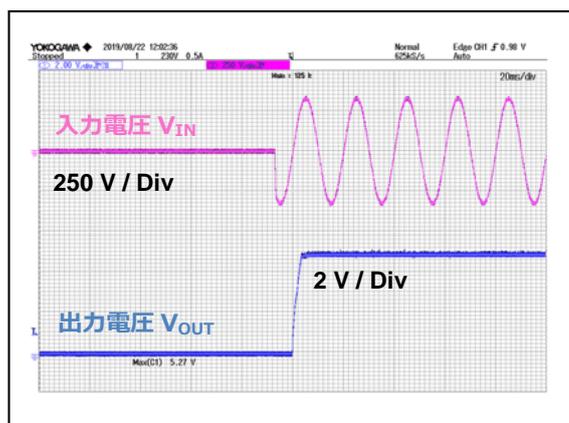


Figure 28. $V_{IN} = 264 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 0.5 \text{ A}$

測定データ - 続き

6 急峻負荷変動

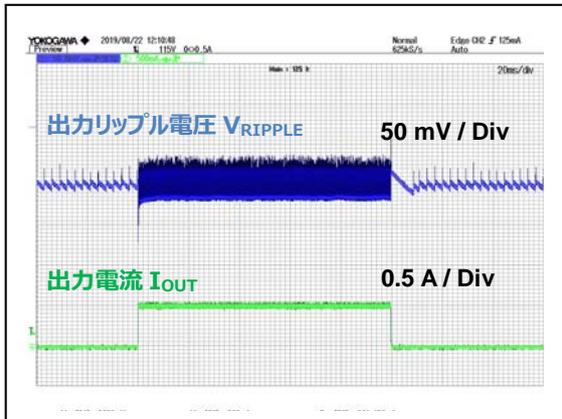


Figure 29. $V_{IN} = 115 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = \text{switch } 0 \text{ A} / 0.5 \text{ A}$

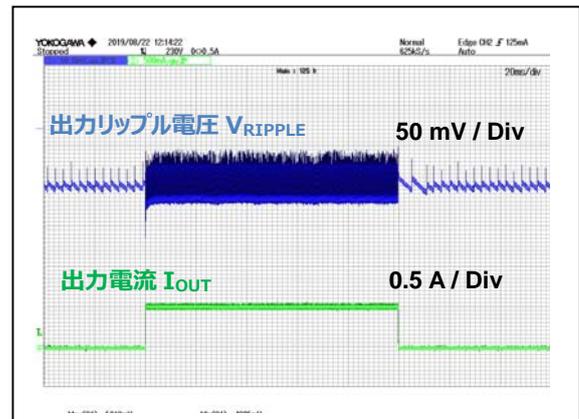


Figure 30. $V_{IN} = 230 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = \text{switch } 0 \text{ A} / 0.5 \text{ A}$

7 出力電圧リップル波形

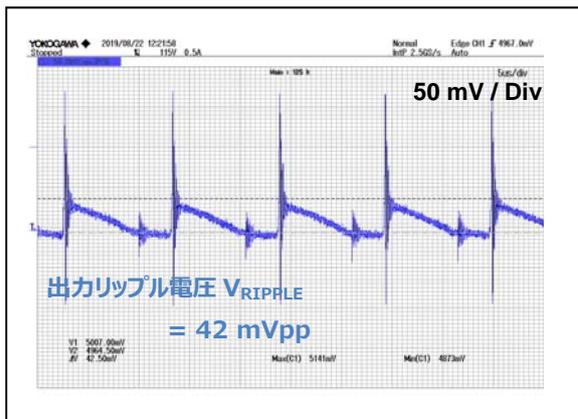


Figure 31. $V_{IN} = 115 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 0.5 \text{ A}$

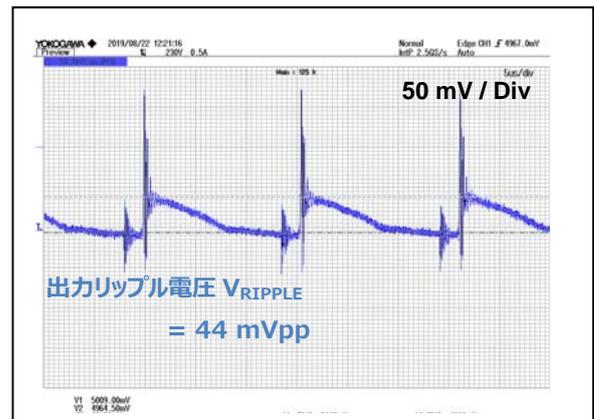


Figure 32. $V_{IN} = 230 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 0.5 \text{ A}$

8 部品表面温度

電源投入から 15 分放置後測定

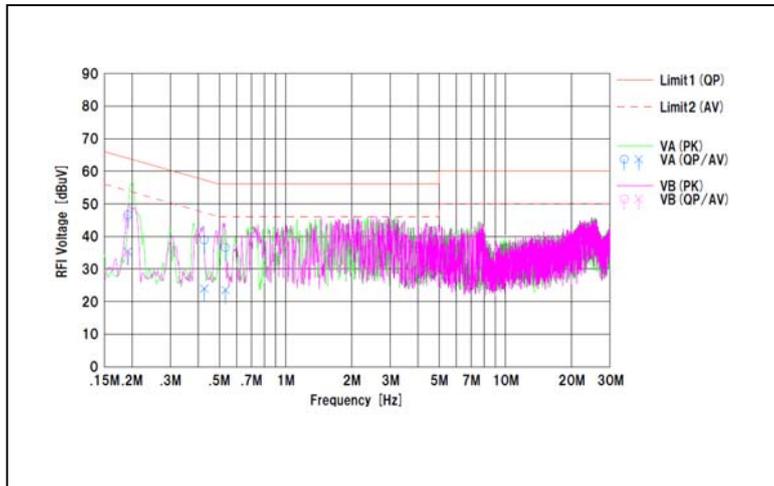
Table 10. 部品表面温度 ($T_a = 27 \text{ }^\circ\text{C}$)

Part	Condition	
	$V_{IN} = 90 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 0.5 \text{ A}$	$V_{IN} = 264 \text{ Vac}$, $I_{OUT} = 0.5 \text{ A}$
BM2P26CK-Z	47.6 $^\circ\text{C}$	57.8 $^\circ\text{C}$
Diode	50.5 $^\circ\text{C}$	54.0 $^\circ\text{C}$

測定データ - 続き

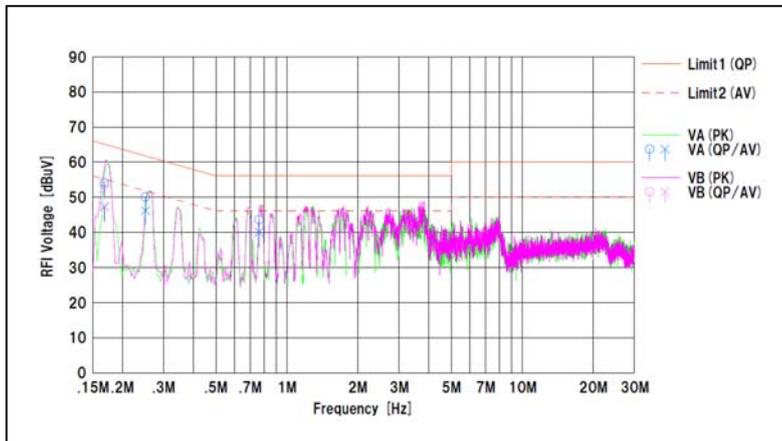
9 EMI

9.1 雑音端子電圧



QP margin: 17.3 dB
 AVE margin: 18.5 dB

Figure 33. V_{IN} : 115 Vac / 60 Hz, I_{OUT} : 0.5 A

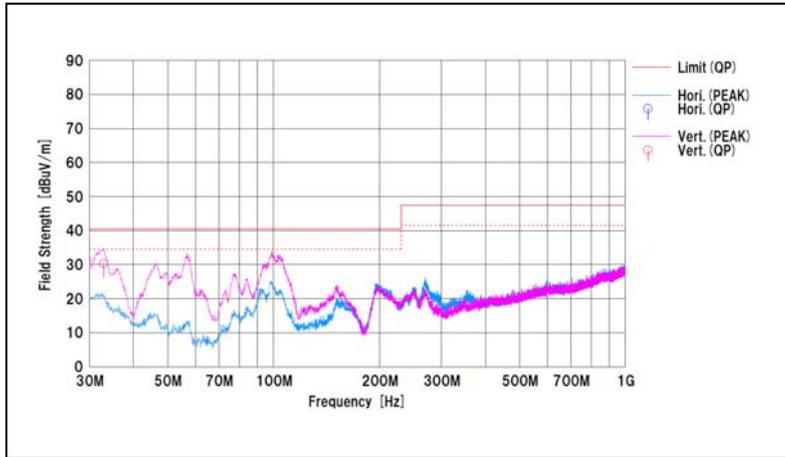


QP margin: 10.9 dB
 AVE margin: 5.5 dB

Figure 34. V_{IN} : 230 Vac / 50 Hz, I_{OUT} : 0.5 A

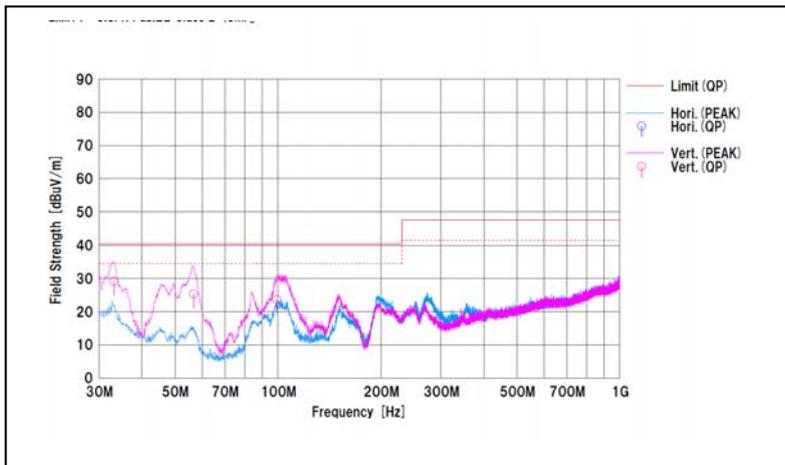
9 EMI - 続き

9.2 電界強度 (3 m 法)



QP margin: 10.2 dB

Figure 35. V_{IN} : 115 Vac / 60 Hz, I_{OUT} : 0.5 A



QP margin: 11.3 dB

Figure 36. V_{IN} : 230 Vac / 50 Hz, I_{OUT} : 0.5 A

回路図

(条件) $V_{IN} = 90 \text{ Vac} \sim 264 \text{ Vac}$ 、 $V_{OUT} = 5 \text{ V}$

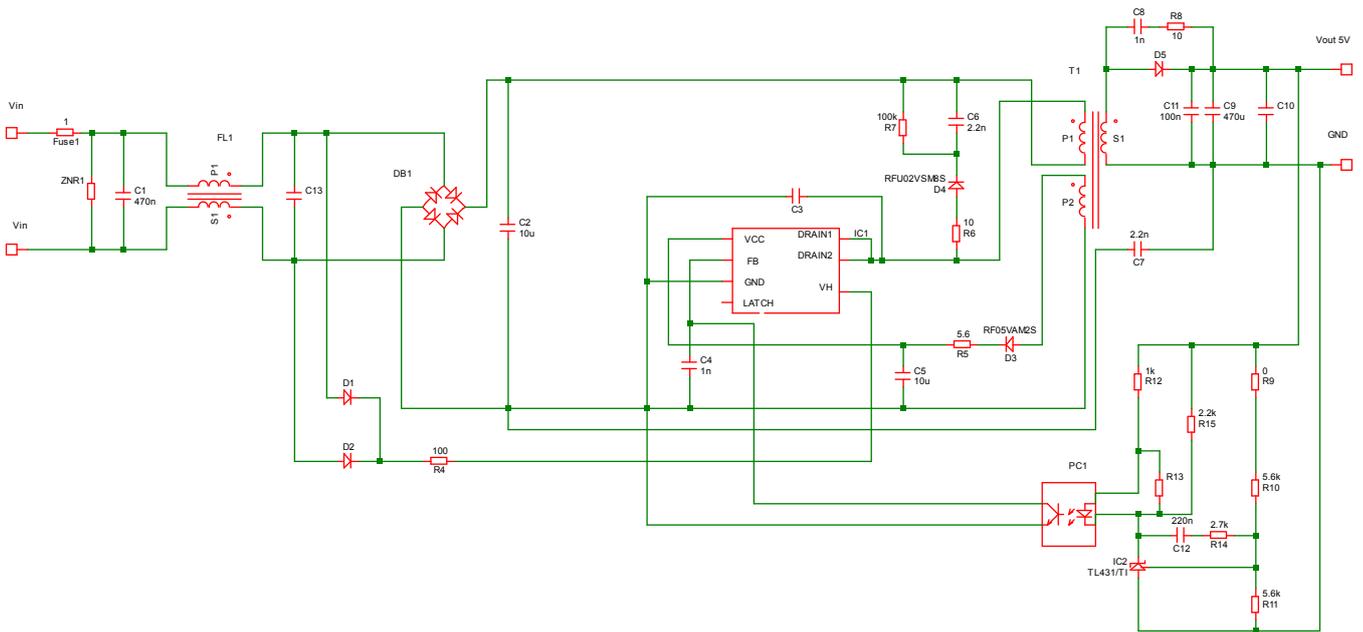


Figure 37. BM2P26CK-EVK-001 回路図

部品表

	Item	Spec	Parts name	Maker
Capacitor	C1	0.47uF/310V	890 334 025 039 CS	WURTH
	C2	10uF/450V	450BXC10MFC 10×20	Rubycon
	C3	-	-	-
	C4	1000pF/100V	GRM2165C2A102J	Murata
	C5	10uF/35V	GMK316AB7106KL-TR	Murata
	C6	2.2nF/1kV	GRM31BR73A222KW01L	Murata
	C7	2200pF/250V	DE1E3RA222MJ4BQ01F	Murata
	C8	1000pF/100V	GRM2165C2A102J	Murata
	C9	470uF/25V	860 040 75 008	WURTH
	C10	-	-	-
	C11	0.1uF/100V	HMK107B7104MA-T	Taiyou Yuden
	C12	0.22uF/16V	EMK107B7224KAHT	Taiyou Yuden
	C13	-	-	-
Diode	D1	1kV 1A	1N4007	
	D2	1kV 1A	1N4007	
	D3	0.5A/200V	RF05VSM2S	ROHM
	D4	0.2A / 800 V	RFU02VSM8S	ROHM
	D5	3A/60V	RB058LAM-60	ROHM
Diode - Bridge	DB1	1A/800V	D1UBA80-7062	SHINDENGEN
Fuse	F1	1A/300V	36911000000	Littelfuse
IC	IC1		BM2P26CK	ROHM
	IC2		TL431BIDBZT	TI
Opto-coupler	PC1		LTV-817-B	LiteOn
CommonMode-Coil	LF1		UF9.8V-20	ALPHA TRANS
Connector	CN1		B02P-NV(LF)(SN)	JST
Varistor	ZNR1	470V	V470ZA05P	Littelfuse
Resistor	R4	100	KTR18PZPJ101	ROHM
	R5	5.6	MCR18PZPJ5 R6	ROHM
	R6	10	MCR18EZPJ100	ROHM
	R7	100k	MCR25JZHJ104	ROHM
	R8	10	MCR18EZPJ100	ROHM
	R9	0	MCR03PZPJ000	ROHM
	R10	5.6k	MCR03EZPFX5601	ROHM
	R11	5.6k	MCR03EZPFX5601	ROHM
	R12	1k	MCR03PZPJ102	ROHM
	R13	-	-	-
	R14	2.7k	MCR03PZPJ272	ROHM
R15	2.2k	MCR03PZPJ222	ROHM	
Transformer	T1	3.49mH	TT0092	ALPHA TRANS

レイアウト

Size: 55 mm x 90 mm

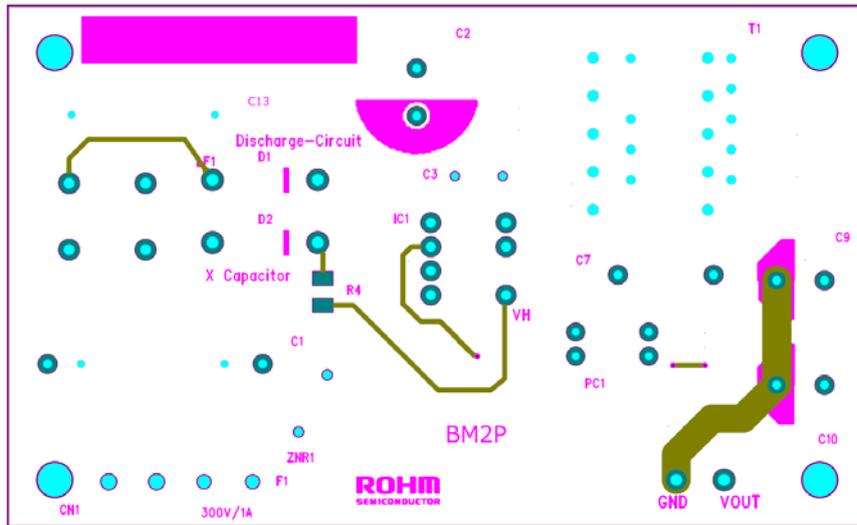


Figure 38. TOP シルksスクリーン (Top view)

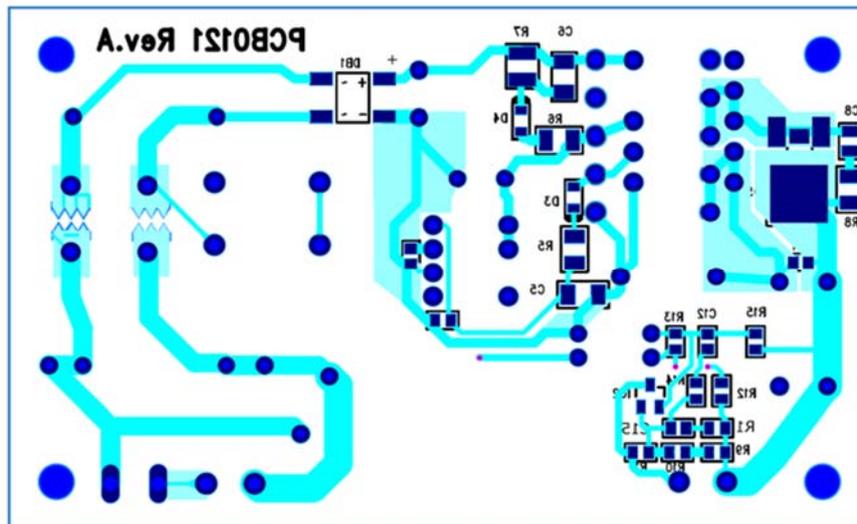


Figure 39. Bottom レイアウト (Top View)

改定履歴

日付	版	変更内容
2019.10.10	001	新規作成

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/>