

STR5A453D 使用

10.5 W (15 V、0.7 A)

オフライン降圧コンバータ 設計例

高電圧に関するご注意



本基板の内部では、高電圧が発生しています。
誤った取り扱いをすると、人が死亡したり重傷を負ったりすることが想定されます。
本基板を使用する前に、以下の注意事項をよくお読みのうえ、正しく使用してください。

通電中の基板に触れないでください

通電中の本基板の内部では、死亡や重傷の可能性のある高電圧が発生しています。

短時間の偶発的な接触や、手を近づけただけでも感電する可能性があります。

感電すると、人が死亡したり重傷を負ったりする可能性があります。
基板に触れる前に、必ずコンデンサが放電されていることを確認してください。

安全のため、本基板は電気知識を有した方が取り扱ってください

本基板は、STR5A453D を評価するためのものです。
本基板を使用者の量産品に組み込んで使用することを禁じます。
本基板を使用する前に、本資料および STR5A453D のデータシートを確認してください。
入力電圧、周波数、出力電圧、出力電流は定格の範囲内で使用してください。
周囲温度、湿度など、定められた周囲環境条件を厳守してください。

目次

高電圧に関するご注意	2
1. まえがき	4
2. 電源の特長	4
3. 用途	4
4. 設計例外観	4
5. 設計例	5
5.1 電源仕様	5
5.2 回路図	5
5.3 部品表	6
5.4 パターンレイアウト例	7
6. 本電源例の基本動作	8
7. 電源設計	9
7.1 出力電圧の設定	9
7.2 インダクタンスの設定	9
7.2.1 PWM 動作モード	9
7.2.2 パラメータ定義	11
7.2.3 インダクタンスの計算	14
7.2.4 最適化の検討	16
7.3 ブリッジ整流ダイオード BR1 の選定	17
7.4 フリーホイールダイオード D1、VCC 供給用ダイオード D2、 フィードバック用ダイオード D3 の選定	17
7.5 ブリーダー抵抗 R5 の選定	17
8. 特性データ	18
8.1 効率	18
8.2 待機電力特性	19
8.3 ラインレギュレーション特性	19
8.4 ロードレギュレーション特性	20
9. 動作確認	21
9.1 起動動作の確認	21
9.1.1 電源 IC のスイッチング動作の確認	21
9.1.2 出力電圧の確認	22
9.2 電源 IC のスイッチング動作の確認	23
9.2.1 定常動作時	23
9.2.2 軽負荷時動作 (グリーンモード)	24
9.2.3 無負荷時動作 (バースト発振)	24
9.3 出力リップル電圧の確認	25
9.4 過電流保護、過負荷保護動作の確認	26
9.5 過電圧保護動作の確認	27
9.6 停止動作の確認	27
9.7 ケース温度の確認	28
10. 伝導エミッション試験	29
注意書き	31

1. まえがき

本資料では、ユニバーサル入力、出力 15 V、0.7 A (0.8 A ピーク)、非絶縁降圧コンバータの電源設計例について示します。この電源設計例は STR5A453D を使用しています。STR5A453D はパワーMOSFET を内蔵した電流モード型 PWM 制御 IC で、非絶縁降圧コンバータを構成できます。また、フリーホイール用の高速整流ダイオードに SJPD-L5 を、IC の電源供給用のショットキダイオードに SJPB-D9、フィードバック用の高速整流ダイオードに SJPD-D5 を使用しています。

本資料では、設計例の仕様、回路図、部品表、部品定数の設定例、パターンレイアウト例、および電源特性の評価結果を示します。本資料記載の部品の詳細は、それぞれのデータシートを参照してください。

2. 電源の特長

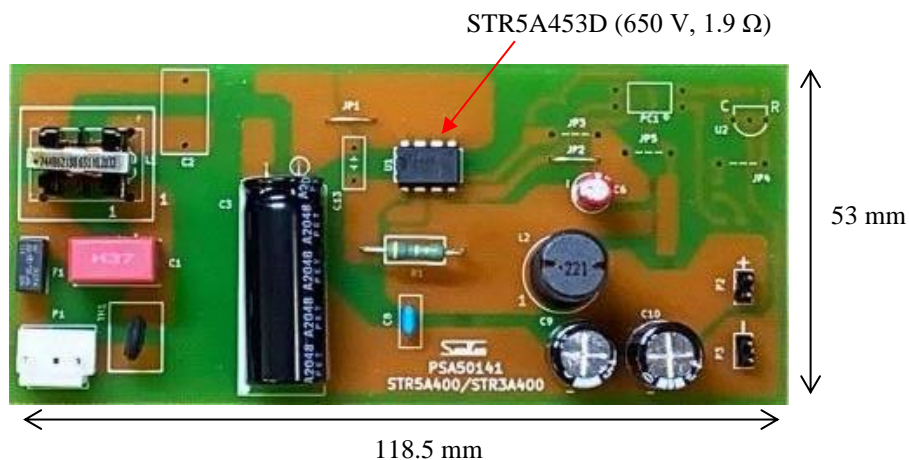
- 外付け部品削減 (起動回路内蔵)
- 負荷に応じて動作モードを自動的に移行し、全負荷範囲高効率を実現
通常時：PWM モード 60 kHz (Typ.)
軽負荷時：グリーンモード
スタンバイ時：バースト発振モード
- 効率：84.1% (230 VAC、10.5 W)
- 無負荷時入力電力：62.3 mW (230 VAC)
- EMI ノイズ低減 (ランダムスイッチング機能)

3. 用途

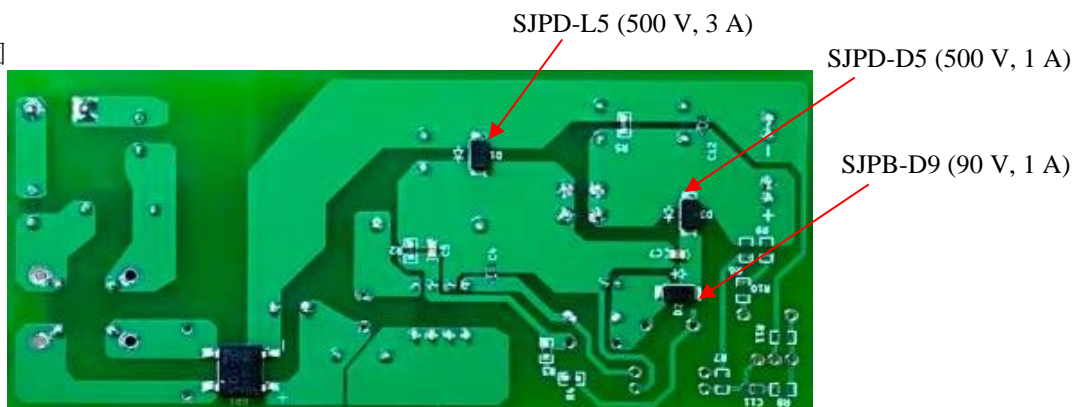
- 小型家電
- 白物
- 補助電源
- モータ制御用電源
- その他 SMPS

4. 設計例外観

上面図



下面図



5. 設計例

5.1 電源仕様

項目	記号	測定条件	Min	Typ.	Max.	単位
入力						
入力電圧	V_{INAC}		85	—	265	V
周波数	f_{LINE}		47	50/60	63	Hz
出力						
定格電圧	V_{NP}		13.5	15	16.5	V
定格電流	I_{NP}		—	0.7 ⁽¹⁾	—	A
出力リップル電圧	V_{RIPPLE}	20 MHz 帯域幅、 フィルタ追加 ⁽²⁾	—	36	—	mV _{P-P}
出力電力	P_{OUT}		—	10.5	—	W
効率	η	定格負荷、 $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ 、 230 VAC	—	84.1	—	%
環境						
コンダクションノイズ	—	$T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$	CISPR22B / EN55022B 適合		—	—
温度						
電源 IC 上昇温度 ⁽³⁾	ΔT_{C-IC}	265 VAC、 $I_O = 0.7\text{ A}$	—	38.8	—	$^\circ\text{C}$
フリーホイールダイオード 温度上昇 ⁽⁴⁾	ΔT_{C-DI}	265 VAC、 $I_O = 0.7\text{ A}$	—	39.8	—	$^\circ\text{C}$
インダクタ温度上昇	ΔT_L	265 VAC、 $I_O = 0.7\text{ A}$	—	41.4	—	$^\circ\text{C}$

5.2 回路図

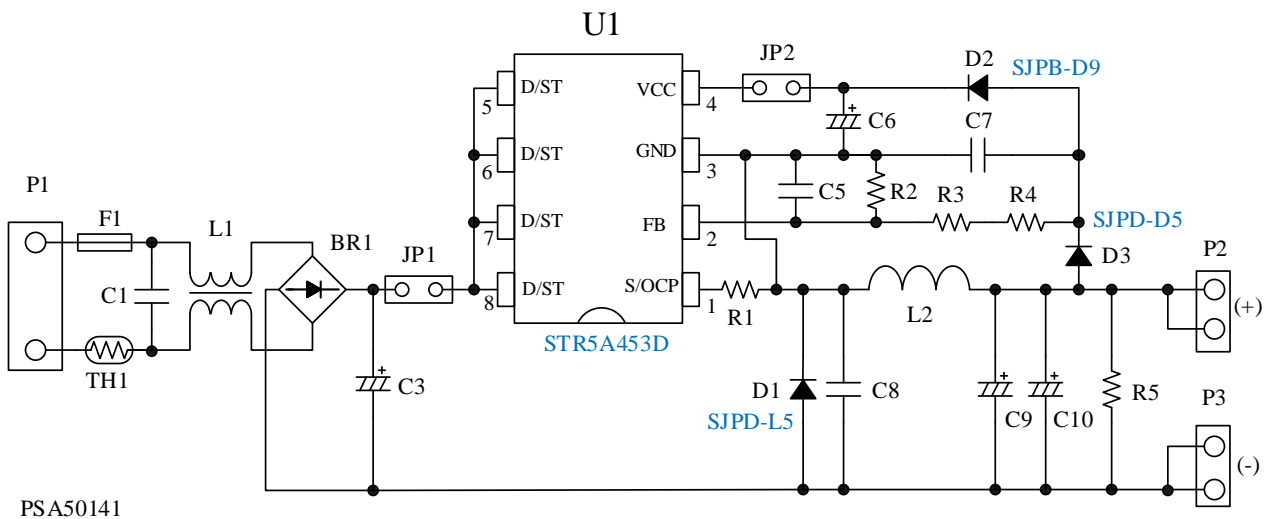


図 5-1 回路図

- (1) 0.8 A ピーク (1 秒間)
- (2) 基板の出力コネクタに電解コンデンサ (50 V、1 μF) とセラミックコンデンサ (50 V、0.1 μF) を並列に接続
- (3) STR5A453D のケース温度
- (4) SJPD-L5 のケース温度

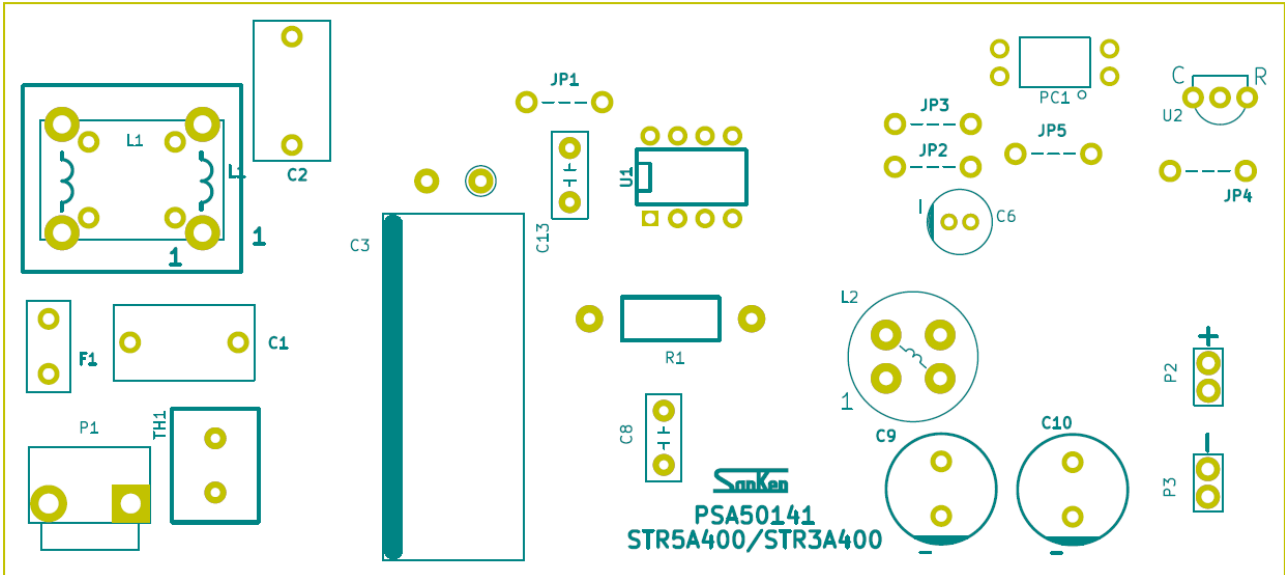
5.3 部品表

部品番号	部品	定格	品名*	会社名
F1	ヒューズ	250 V, 2 A	RSTA 2 BULK	BELLEFUSE
TH1	パワーサーミスタ	4.7 Ω, 3 A	B57153S0479M000	TDKEPCOS
C1	フィルムコンデンサ	310 VAC, 0.1 μF	890334023023CS	Würth Electronics
C3	電解コンデンサ	105 °C, 400 V, 56 μF	400QXW56MEFR12.5x30	ルビコン
C5	チップセラミック コンデンサ	50 V, 470 pF, 2012	885012207084	Würth Electronics
C6	電解コンデンサ	105 °C, 50 V, 22 μF	860020672011 50YXF22MEFC5x11	Würth Electronics ルビコン
C7	チップセラミック コンデンサ	50 V, 2.2 μF, 2012	UMK212BB7225KG-T	太陽誘電
C9	電解コンデンサ	105 °C, 25 V, 470 μF	860080475016 UHE1E471MPD6 EKY-250E471MJ16S	Würth Electronics ニチコン 日本ケミコン
C10	電解コンデンサ	105 °C, 25 V, 470 μF	860080475016 UHE1E471MPD6 EKY-250E471MJ16S	Würth Electronics ニチコン 日本ケミコン
C8	セラミックコンデンサ	1 kV, 22 pF	RDE5C3A220J2M1H03A	村田製作所
BR1	ブリッジ整流ダイオード	1000 V, 1.5 A	DF10S	ON Semiconductor
D1	高速整流ダイオード	500 V, 3 A	SJPD-L5	サンケン電気
D2	ショットキダイオード	90 V, 1 A	SJPB-D9	サンケン電気
D3	高速整流ダイオード	500 V, 1 A	SJPD-D5	サンケン電気
L1	CM インダクタ	18 mH, 0.3 A	744862180	Würth Electronics
L2	インダクタ	220 μH, 2.1 A	7447231221	Würth Electronics
R1	抵抗	1 W, 0.47 Ω	RSMF1BR47F	赤羽電具製作所
R2	チップ抵抗	10 kΩ, 1/8 W, 1608	CR16TR103F	赤羽電具製作所
R3	チップ抵抗	47 kΩ, 1/8 W, 1608	CR16TR473F	赤羽電具製作所
R4	チップ抵抗	4.7 kΩ, 1/8 W, 1608	CR16TR472F	赤羽電具製作所
R5	チップ抵抗	6.8 kΩ, 1/8 W, 1608	CR16TR682J	赤羽電具製作所
U1	PWM オフライン コンバータ IC	650 V, 1.9 Ω	STR5A453D	サンケン電気
JP1	ジャンパーワイヤ	メッキ線	φ = 0.6, P = 7 mm	
JP2	ジャンパーワイヤ	メッキ線	φ = 0.6, P = 7 mm	
P1	コネクタ	250 V	B2P3-VH	日本圧着端子製造
P2	コネクタ	50 V	61300211121	Würth Electronics
P3	コネクタ	50 V	61300211121	Würth Electronics
—	プリント基板		PSA50141	サンケン電気

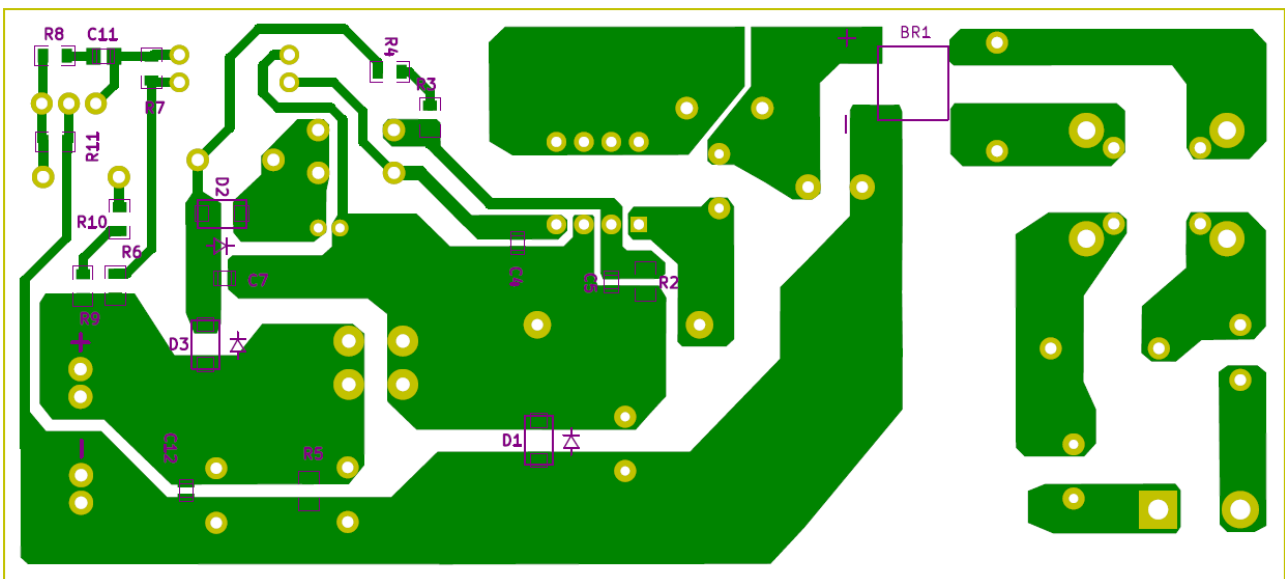
* 複数記載がある場合は、いずれか 1 つを使用

5.4 パターンレイアウト例

本設計例では、回路図と部品表に記載されている部品のみ使用します。
 基板サイズ：118.5 mm × 53.0 mm



(a) 上面図



(b) 下面図

図 5-2 パターンレイアウト例

6. 本設計例の基本動作

コネクタ P1 には AC 電源を接続します。AC 電圧が印加されると、AC 入力電圧は入力フィルタとブリッジ整流ダイオード BR1 を介して全波整流され、電解コンデンサ C3 で DC 電圧に平滑されます。

入力フィルタ部の C1 はノーマルモードノイズを、L1 はコモンモードノイズ除去用、パワーサーミスタ TH1 は、突入電流抑制用です。

電源 IC (U1 : STR5A453D) の D/ST 端子に電圧が印加されると、IC 内部の起動回路がオンします。これにより、VCC 端子から起動電流が流出し、電解コンデンサ C6 を充電します。VCC 端子電圧が IC の動作開始電圧まで上昇すると、IC の制御回路が動作して、IC 内部のパワー-MOSFET が PWM スwitchング動作を開始します。IC が動作を開始すると、起動回路はオフし、出力から高速整流ダイオード D3 とショットキダイオード D2 を介して VCC 端子に電力を供給します。

パワー-MOSFET がオンの期間は、図 6-1 の I_{ON} の電流経路で L2 に電力を蓄え、出力電解コンデンサ C9、C10 を充電します。C9、C10 は、低 ESR 品を使用します。

パワー-MOSFET がオフの期間は、L2 に蓄えられたエネルギーにより、逆起電力が発生し、フリーホイールダイオード D1 が順バイアスされてターンオンします。これにより、図 6-1 の I_{OFF} の経路で電流が流れます。このように、内部のパワー-MOSFET はオン/オフを繰り返し、出力電圧を目標電圧まで上昇させます。FB 端子には出力電圧を R2~R4 で抵抗分圧した信号を入力します。この信号を用いて、電源 IC は出力電圧が一定になるように内部パワー-MOSFET のオンデューティを制御します。また、軽負荷時の出力電圧の上昇を抑制するため、C9、C10 と並列にブリーダー抵抗 R5 を接続します。

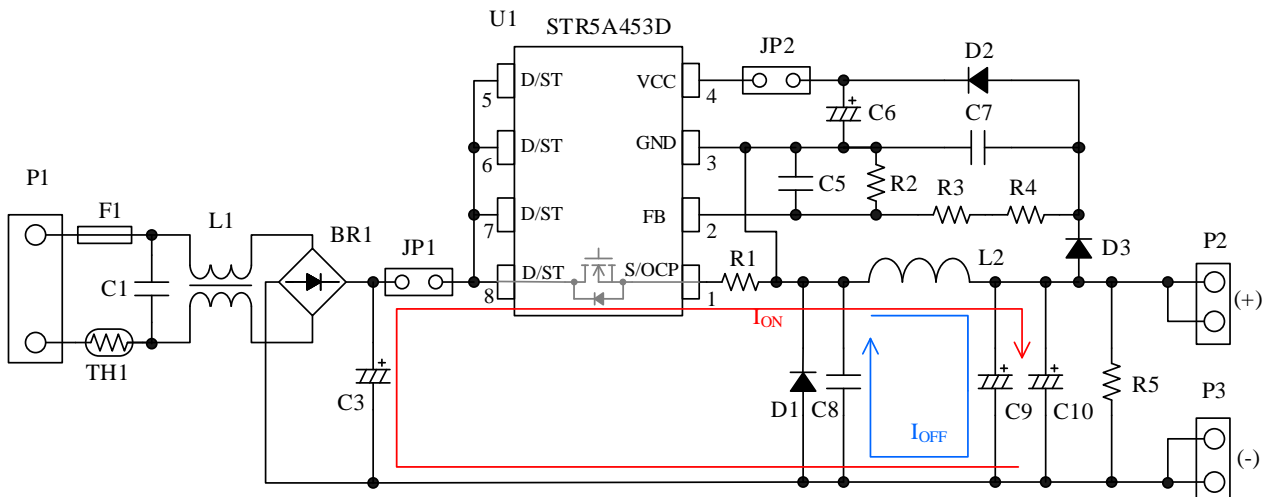


図 6-1 回路図

7. 電源設計

7.1 出力電圧の設定

出力電圧 V_{OUT} と抵抗 $R2 \sim R4$ は次式の関係があります。

$$R3 + R4 = \left(\frac{|V_{OUT}| - V_{FD3} + V_{FD1}}{V_{FB(REF)}} - 1 \right) \times R2 \quad (7-1)$$

ここで、

V_{FD1} : D1 の順方向電圧

V_{FD3} : D3 の順方向電圧

$V_{FB(REF)}$: FB 端子の基準電圧

式(7-1)より、 $V_{OUT} = 15 \text{ V}$ 、 $V_{FD1} = 0.9 \text{ V}$ 、 $V_{FD3} = 0.5 \text{ V}$ 、 $V_{FB(REF)} = 2.5 \text{ V}$ とした場合の、 $R2 \sim R4$ の抵抗値の設定例は以下とおりです。

$R2 = 10 \text{ k}\Omega$

$R3 = 47 \text{ k}\Omega$

$R4 = 4.7 \text{ k}\Omega$

7.2 インダクタンスの設定

7.2.1 PWM 動作モード

図 7-1 のように、PWM 制御は、電流連続モード (CCM)、電流臨界モード (CRM)、電流不連続モード (DCM) の 3 つの動作モードがあります。

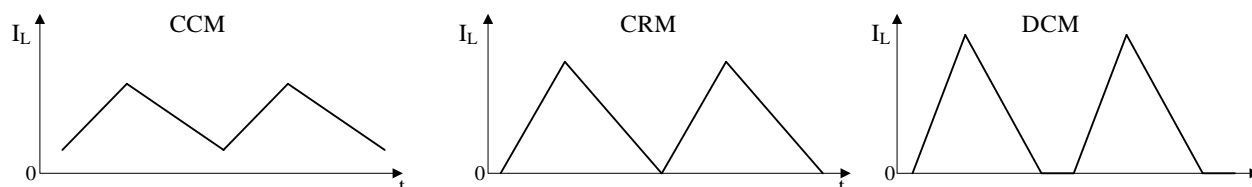


図 7-1 PWM 動作モード

CCM は、パワーMOSFET の導通損失を低減できますが、インダクタに電流が流れている状態でパワーMOSFET がターンオンするため、ノイズが出やすく、スイッチング損失が増加する傾向にあります。出力負荷が 15 W (15 V 、 1 A) 程度までの領域は、導通損失よりもスイッチング損失の割合が支配的です。この傾向は、入力電圧が高く、直流が重畳する条件で顕著になります (表 7-1、図 7-2～図 7-5 参照)。

CRM、DCM はインダクタ電流がゼロの状態パワーMOSFET がターンオンするため、低ノイズでスイッチング損失も低減できます。

本電源例では、パワーMOSFET の損失削減と回路効率の向上を考慮して DCM モードを使用します。

表 7-1 パワーMOSFET の損失

項目	CCM 動作時の損失 (W)		CRM 動作時の損失 (W)	
	85 VAC	265 VAC	85 VAC	265 VAC
導通損失	0.56	0.12	0.51	0.11
ターンオン損失	0.08	0.47	0.05	0.29
ターンオフ損失	0.03	0.14	0.03	0.13
合計	0.67	0.73	0.59	0.53

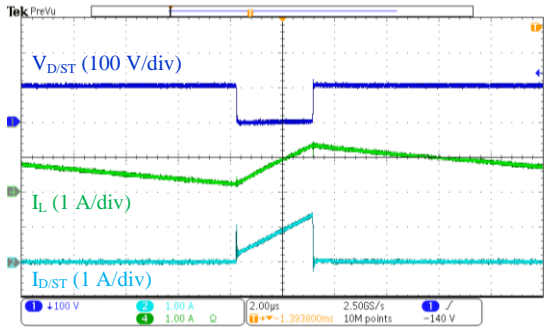


図 7-2 CCM 動作時の波形 ($V_{IN} = 85 \text{ VAC}$)

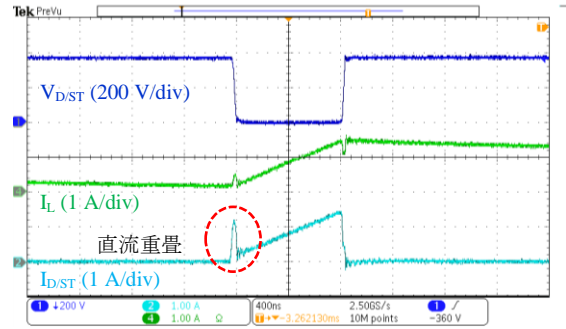


図 7-3 CCM 動作時の波形 ($V_{IN} = 265 \text{ VAC}$)

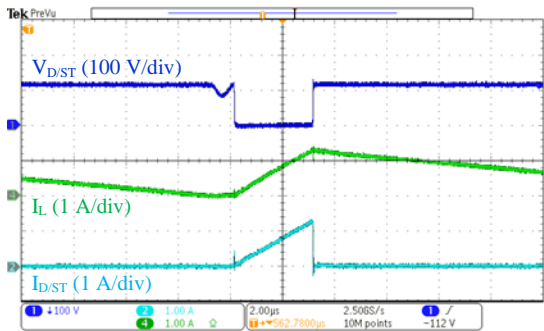


図 7-4 CRM 動作時の波形 ($V_{IN} = 85 \text{ VAC}$)

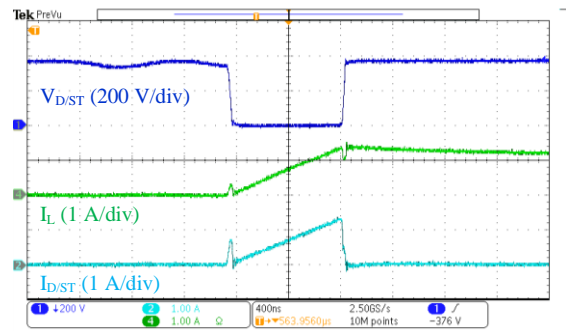


図 7-5 CRM 動作時の波形 ($V_{IN} = 265 \text{ VAC}$)

7.2.2 パラメータ定義

STR5A453D の場合、出力電圧 V_{OUT} を 27.5 V 以上にする場合は、図 7-6 のように、D1 と直列にツェナーダイオード DZ1 を接続します。VCC 端子電圧が起動電流供給しきい電圧まで低下しないよう、確認が必要です。

定常動作時に設定可能なオンデューティを最大 65% とすると、 V_{OUT} は、式(7-2)を満たすように設計します。なお、本設計例の場合、 V_{OUT} は入力電圧に対して 65% 以下に降圧できます。

$$V_{CC(OFF)}(\text{max.}) < V_{OUT} - (V_{DZ1} + V_{DF2} + V_{DF3}) + V_{DF1} < V_{CC(OVP)}(\text{min.}) \quad (7-2)$$

ここで、

$V_{CC(OVP)}$: OVP しきい電圧の Min. 値 (27.5 V)

V_{DZ1} : DZ1 のツェナー電圧

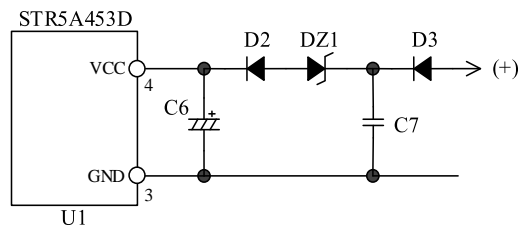


図 7-6 出力電圧 V_{OUT} を上げる場合

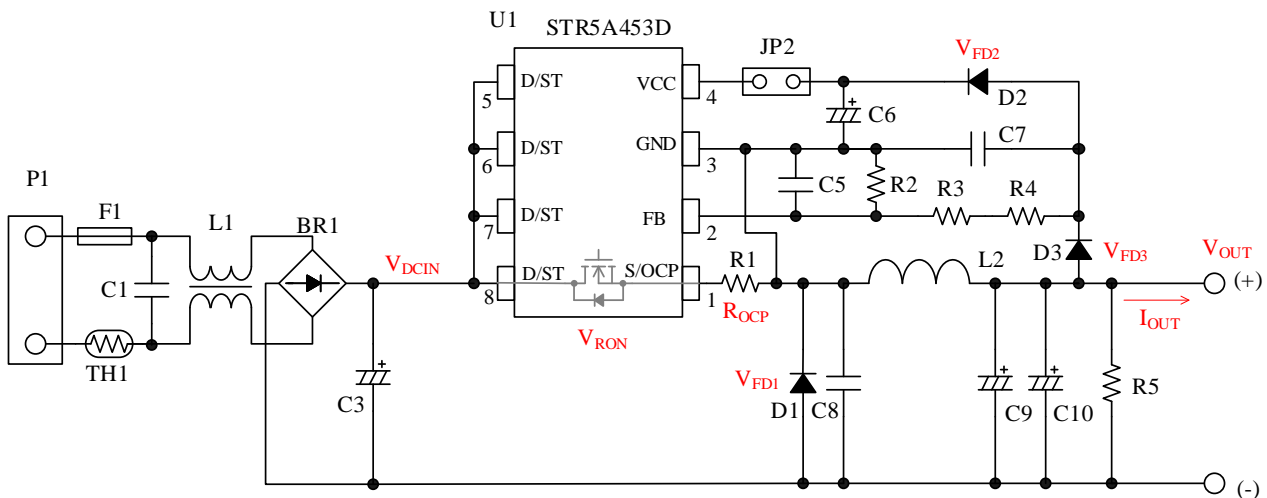


図 7-7 回路図

表 7-2 に、図 7-7 の回路パラメータを示します。

表 7-2 回路パラメータ

記号	概要
V_{DCIN_MIN}	C3 の直流入力電圧の下限値
V_{DCIN_MAX}	C3 の直流入力電圧の上限値
V_{OUT}	出力電圧
I_{OUT}	出力電流
V_{RON}	内部パワーMOSFET のオン電圧 $V_{RON} = \text{ドレイン電流} \times R_{DS(ON)}$
V_{FD3}	D3 の順方向電圧
V_{FD2}	D2 の順方向電圧
V_{FD1}	D1 の順方向電圧
V_{DZ1}	DZ1 のツェナー電圧 (V_{OUT} を 27.5 V 以上にする場合、ツェナーダイオードかレギュレータを追加。損失に注意)
R_{OCP}	S/OCP 端子と GND 端子間の電流検出抵抗値

表 7-3 に電源 IC に依存する特性パラメータを示します。数値は使用する電源 IC のデータシートを参照してください。

表 7-3 特性パラメータ

記号	概要	STR5A453D の値
D_{ON_MAX}	定常動作時に設定可能なオンデューティの Max. 値	0.5
V_{ST_MAX}	起動回路動作電圧 $V_{ST(ON)}$ の Max. 値	37 V
$V_{DC(MAX)}$	最大直流入力電圧	400 V (推奨)
$V_{CC(OVP)_MIN}$	OVP しきい電圧 $V_{CC(OVP)}$ の Min. 値	27.5 V
I_{DLIM}	$< I_{DPEAK} \times 0.9$ (デューティ制限 90%)	< 4.68 A
f_{TYP}	平均発振周波数 $f_{OSC(AVG)}$	60 kHz
$V_{OCP(L)_MIN}$	ゼロオンデューティ時 OCP しきい電圧 $V_{OCP(L)}$ の Min. 値	0.640 V
$V_{OCP(H)_MIN}$	OCP しきい電圧 $V_{OCP(H)}$ の Min. 値	0.74 V
$V_{OCP(H)_TYP}$	OCP しきい電圧 $V_{OCP(H)}$ の Typ. 値	0.83 V
$V_{OCP(H)_MAX}$	OCP しきい電圧 $V_{OCP(H)}$ の Max. 値	0.92 V
DPC	過電流補正值の Typ. 値	15.8 mV/ μ s

図 7-8 に電流臨界モード (CRM) と電流不連続モード (DCM) のインダクタ電流波形を示します。図 7-8 内の記号は表 7-4 のように定義します。

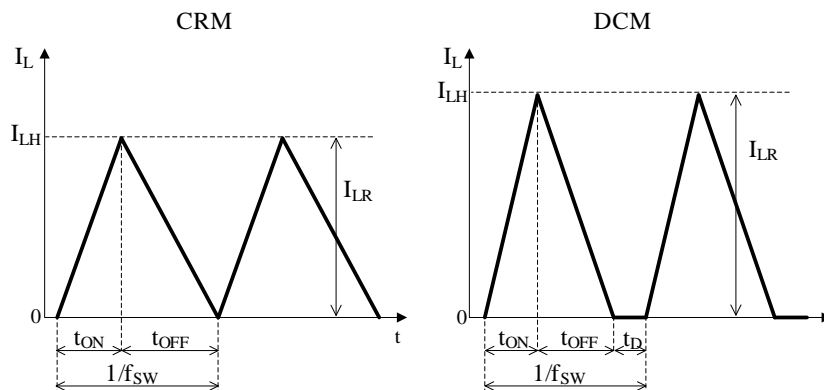


図 7-8 PWM 制御の動作モード

表 7-4 インダクタ電流波形パラメータ

記号	概要
f _{SW}	スイッチング周波数
t _{ON}	オン時間
t _{OFF}	オフ時間
t _D	不連続時間
I _{LH}	インダクタ電流上限値
I _{LR}	インダクタリップル電流

降圧コンバータの入出力条件を表 7-5 に示します。

表 7-5 降圧コンバータの入出力条件

項目	条件	
	Min.	Max.
V _{DCIN}	以下のうちどちらか高い方 $\geq V_{ST_MAX}$ $> 2.0 \times V_{OUT} + 1.5 \times V_{FD1} + V_{RON}$	$\leq V_{DC(MAX)}$
V _{OUT}	$> V_{CC_MIN} + V_{DZ1} - V_{FD1} + V_{FD2} + V_{FD3}$	$< 0.5 \times (V_{DCIN_MIN} - V_{RON} - V_{FD1})$
I _{OUT}	—	$< 0.5 \times I_{DLIM}$ (過電流保護機能 (OCP) の設定や IC のオン抵抗による発熱にも影響を受けます)
V _{DZ1}	以下のうちどちらか高い方 ≥ 0 $> V_{OUT} + V_{FD1} - (V_{FD2} + V_{FD3} + V_{CC(OVP)_MIN})$	$< V_{OUT} + V_{FD1} - (V_{FD2} + V_{FD3} + V_{CC(OFF)_MAX})$
R _{OCP}	$\geq \frac{V_{OCP(H)_MAX}}{I_{DLIM}}$	—

7.2.3 インダクタンスの計算

本設計例ではパワーMOSFETの損失低減と回路効率の向上を考慮して、電流不連続モード（DCM）で動作させます。まず、電流臨界モード（CRM）におけるインダクタンス L_{CRM} を算出してインダクタを選定し、選定したインダクタのインダクタンスから各パラメータを求めます。

CRM動作時のインダクタンス L_{CRM} を算出します。このときオンデューティ D_{ON} は、次式の範囲です。

$$D_{ON} = \frac{V_{OUT} + V_{FD1}}{V_{DCIN_MIN} - V_{RON} + V_{FD1}} < 0.5 \quad (7-3)$$

CRM動作時のインダクタ電流のパラメータは次のとおりです（図 7-8 CRM動作時の波形参照）。

$$I_{LH} = 2 \times I_{OUT}$$

$$I_{LR} = I_{LH}$$

I_{LH} は次式より算出できます。

$$I_{LH} = \frac{V_{OCP(H)}}{R_{OCP}} \quad (7-4)$$

ここで、

$V_{OCP(H)}$: STR5A453D の OCP しきい電圧

R_{OCP} : 電流検出抵抗 $R1$ の値

CRM動作時のインダクタンス値 L_{CRM} は、次式で算出できます。

$$L_{CRM} = \frac{(V_{DCIN_MIN} - V_{OUT} - V_{RON}) \times D_{ON}}{f_{TYP} \times I_{LH}} \quad (7-5)$$

CCM動作にならないように、使用するインダクタのインダクタンス L_{USER} はばらつきなどを考慮し、以下の範囲で選択します。

$$L_{USER} < L_{CRM} \times 0.9 \quad (7-6)$$

本設計例の場合、 $V_{DCIN_MIN} = 120 \text{ V}$ 、 $V_{OUT} = 15 \text{ V}$ 、 $I_{LH} = 1.4 \text{ A}$ 、 $V_{RON} = 1.9 \Omega \times 1.4 \text{ A} \approx 2.66 \text{ V}$ 、 $D_{ON} = 0.135$ 、 $f_{TYP} = 60 \text{ kHz}$ とすると、式(7-5)より $L_{CRM} \approx 164 \mu\text{H}$ になります。これより、DCM動作の目標値は $L_{USER} \approx 148 \mu\text{H}$ になります。目標値に対し、入手可能なインダクタを選択してください。

最終的に効率や損失などを考慮し、最適なインダクタンスを選定してください（7.2.4項参照）。

選定したインダクタにおいて、降圧コンバータの各パラメータを算出します。

- インダクタ電流
インダクタ電流上限値 I_{LH} は次式で算出できます。

$$I_{LH} = \sqrt{\frac{2 \times I_{OUT} \times (V_{DCIN_MIN} - V_{OUT}) \times V_{OUT}}{f_{TYP} \times L_{CRM} \times 0.9 \times V_{DCIN_MIN}}} \quad (7-7)$$

- オン時間
パワーMOSFET のオン時間 t_{ON} は次式で算出できます。

$$t_{ON} = \frac{L_{CRM} \times 0.9 \times I_{LH}}{(V_{DCIN_MIN} - V_{OUT} - V_{RON})} \quad (7-8)$$

- 電流検出抵抗 $R1$

STR5A453D は、過電流保護の入力補正機能を搭載しており、OCP しきい電圧はオン時間に応じて補正されます。補正後の OCP しきい値に対して電流検出抵抗の上限値 $R_{OCP(H)_TMP}$ を算出します。補正後の OCP しきい値の最小値 $V_{OCP(H)_MIN}'$ は、オン時間 $6 \mu s$ 以上のときは $V_{OCP(H)}$ の最小値 $0.74 V$ 、 $6 \mu s$ 未満のときは式(7-9)の算出結果になります。

$$V_{OCP(H)_MIN}' = V_{OCP(L)_MIN} + DPC \times t_{ON} \quad (7-9)$$

ここで、

$V_{OCP(L)_MIN}$: ゼロオンデューティ時 OCP しきい電圧の最小値 ($0.640 V$)

DPC : 過電流補正值 ($15.8 mV/\mu s$)

t_{ON} : パワーMOSFET のオン時間 (μs)

電流検出抵抗の値は、定常動作時に過電流保護機能が動作しないように設定する必要があります。電流検出抵抗の上限値 $R_{OCP(H)_TMP}$ は式(7-7)と式(7-9)の結果から、次式で算出できます。

$$R_{OCP(H)_TMP} = \frac{V_{OCP(H)_MIN}'}{I_{LH}} \quad (7-10)$$

設定した出力電流が供給できるように、電流検出抵抗の値 R_{OCP} はばらつきなども考慮し、十分にマージンを持った設定にしてください。また、OCP しきい電圧 $V_{OCP(H)}$ の最大値において、IC の最大スイッチング電流が絶対最大定格 I_{DPEAK} を超えないように、 I_{DLIM} は I_{DPEAK} に対して十分にマージンを持った設定にしてください。

$$R_{OCP} < R_{OCP(H)_TMP} \quad (7-11)$$

$$I_{DLIM} > \frac{V_{OCP(H)_MAX}}{R_{OCP}}$$

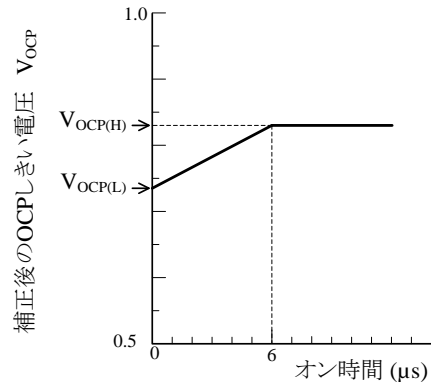


図 7-9 オン時間と補正後の V_{OCP}

7.2.4 最適化の検討

STR5A453D はグリーンモードを搭載しており、負荷に応じて周波数を低減します。そのため、L2 のインダクタンス L_{USER} と過電流検出抵抗の値 R_{OCP} を上げることで、インダクタ電流のピーク値を下げながらも、定格負荷時に電流不連続モード (DCM) で動作させることができます。

図 7-10～図 7-12 に L_{USER} と R_{OCP} を振った場合の比較データ (参考) を示します。これらの結果から、本設計例では $L_{USER} = 220 \mu\text{H}$ 、 $R_{OCP} = 0.47 \Omega$ を選択しています。

入力電圧が 265 VAC のときの定格負荷において電流連続モード (CCM) にならないように、本設計例ではスイッチング周波数を 40 kHz～50 kHz 程度に設定しています。実際に取得できるピーク負荷に対して、定格負荷が非常に小さい場合は、定格負荷時のスイッチング周波数が非常に下がる場合がありますが、実効電流が小さいのでパワー-MOSFET の損失や効率に対する影響はほとんどありません。

表 7-6 に、STR5A453D を使用した降圧コンバータのインダクタンスの目安を示します。実際の仕様に対するインダクタンスを計算し (7.2.3 項参照)、最終的に実際の動作で確認して定数を決定してください。

インダクタ電流値や、IC の損失、効率などは、負荷の条件や使用するインダクタのインダクタンス、過電流検出抵抗の値で異なるため、最終的に実際の動作で確認する必要があります。また、最大負荷が確保できること、使用する IC の電気的特性や絶対最大定格に対して問題ないことも確認してください。

表 7-6 参考インダクタンス

定格負荷	参考インダクタンス
15 V、0.7 A	100 μH ～220 μH
15 V、0.4 A	180 μH ～330 μH

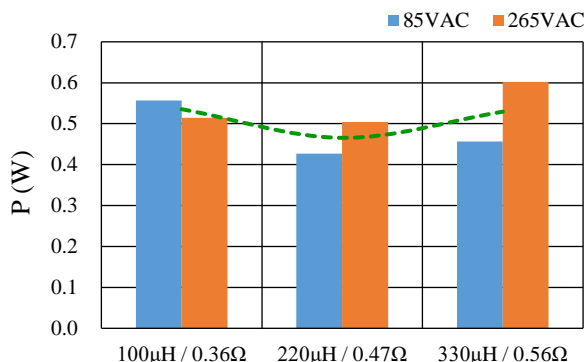


図 7-10 パワー-MOSFET 損失 P 参考データ (STR5A453D、15 V、0.7 A)

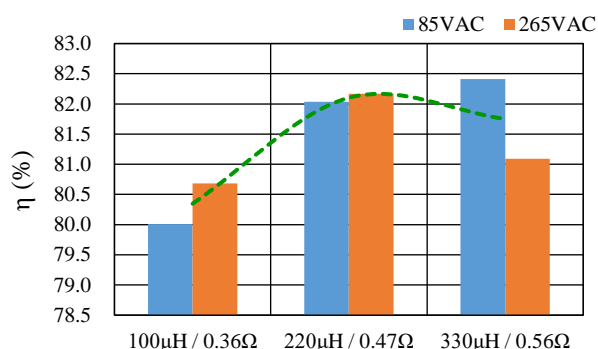


図 7-11 効率 η 参考データ (STR5A453D、15 V、0.7 A)

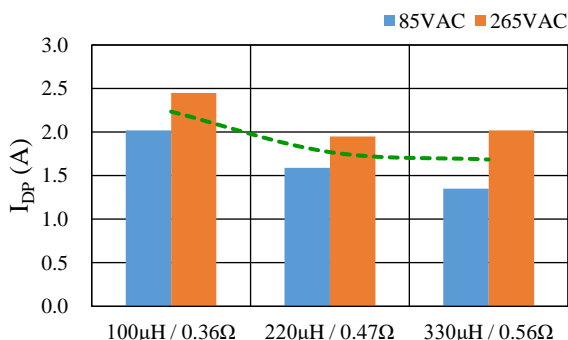


図 7-12 ドレイン電流ピーク I_{DP} 参考データ (STR5A453D、15 V、0.7 A)

7.3 ブリッジ整流ダイオード BR1 の選定

ブリッジ整流ダイオード BR1 の電圧、電流定格は、AC 入力電圧、電流の上限値に対して、十分にマージンをとったものを選定します。

入力電圧の上限値が 265 VAC の場合、BR1 に印加される電圧は、 $V_p = 265 \text{ (VAC)} \times \sqrt{2} \approx 375 \text{ (VDC)}$ になります。BR1 の耐圧に対しディレーティングを 80% 以上に設定した場合、BR1 の耐圧は 500 V 以上必要です。

入力電流 I_{IN} は、次式で算出できます。

$$I_{IN} = \frac{P_{OUT}}{V_{INAC(MIN)} \times \eta \times PF} \quad (7-12)$$

ここで、

P_{OUT} : 出力電力

$V_{INAC(MIN)}$: AC 入力電圧の下限値

η : 効率

PF : 力率

$P_{OUT} = 10.5 \text{ W}$ 、 $V_{INAC(MIN)} = 85 \text{ VAC}$ 、 $\eta = 0.84$ 、 $PF = 0.6$ とすると、式(7-12)より、 $I_{IN} \approx 245 \text{ mA}$ となります。BR1 の定格電流に対しディレーティングを 80% 以上に設定した場合、BR1 の定格電流は 306 mA 以上必要です。

本電源例では、入手可能なブリッジ整流ダイオードから、耐圧 1000 V、定格電流 1.5 A のものを選択しています。

7.4 フリーホイールダイオード D1、VCC 供給用ダイオード D2、フィードバック用ダイオード D3 の選定

D1、D3 はスイッチング電流が流れるため、リカバリー時間の短い高速整流ダイオード (FRD) を選択します。いずれのダイオードも、電圧、電流定格は、AC 入力電圧の上限値および、ダイオードに流れるピーク電流に対して、十分にマージンをとったものを選定します。入力電圧の上限値が 265 VAC の場合、ダイオードに印加される電圧は、 $V_p = 265 \text{ (VAC)} \times \sqrt{2} \approx 375 \text{ (VDC)}$ になります。さらに、スイッチング時のサージ電圧も考慮してください。ダイオードの耐圧に対しディレーティングを 80% 以上に設定した場合、ダイオードの耐圧は 500 V 以上必要です。D1 は、インダクタ L2 に流れるピーク電流値 I_{LP} 、D2 は電源 IC の動作時の回路電流、D3 は電源 IC の動作時の回路電流とフィードバック電流が十分に供給できる電流値に対して十分にマージンを取ります。

D2 は、出力電圧に対して順方向電圧 V_F の影響をより少なくするためにショットキダイオード (SBD) を使用します。過電圧保護機能のしきい電圧の最大値 $V_{CC(OVP)} = 31.3 \text{ V}$ に対し、ディレーティングを 80% 以上に設定して、D2 の耐圧を選定します。

本設計例の場合、 I_{LP} は実際の定常動作波形 (図 9-5～図 9-8) より、およそ 1.6 A です。また、STR5A453D の動作時の回路電流は最大 3 mA、フィードバック電流は最大 2.4 μA なので、入手可能なダイオードから、それぞれ以下の定格のものを選択しています。

- フリーホイールダイオード D1 : FRD、500 V、3 A (SJPD-L5)
- VCC 供給用ダイオード D2 : SBD、90 V、1 A (SJPB-D9)
- フィードバック用ダイオード D3 : FRD、500 V、1 A (SJPB-D9)

7.5 ブリーダー抵抗 R5 の選定

軽負荷動作時の出力電圧の上昇を抑制するため、C9、C10 と並列にブリーダー抵抗 R5 を接続します。R5 の抵抗値は、出力電圧 15.0 V に対し、 $\pm 10\%$ 以内を目安とするレギュレーション特性になるよう、実動で確認しながら選定します。レギュレーション特性を向上させると無効電力が増加するため、バランスを見ながら選定する必要があります。本設計例では 6.8 k Ω を選定しています。

8. 特性データ

本資料に記載の特性データは、室温、AC 電源周波数 50 Hz、負荷 10.5 W (15 V、0.7 A) で測定したものです。

8.1 効率

図 8-1 に電源効率の入力電圧特性、図 8-2 に電源効率の出力電力特性を示します。

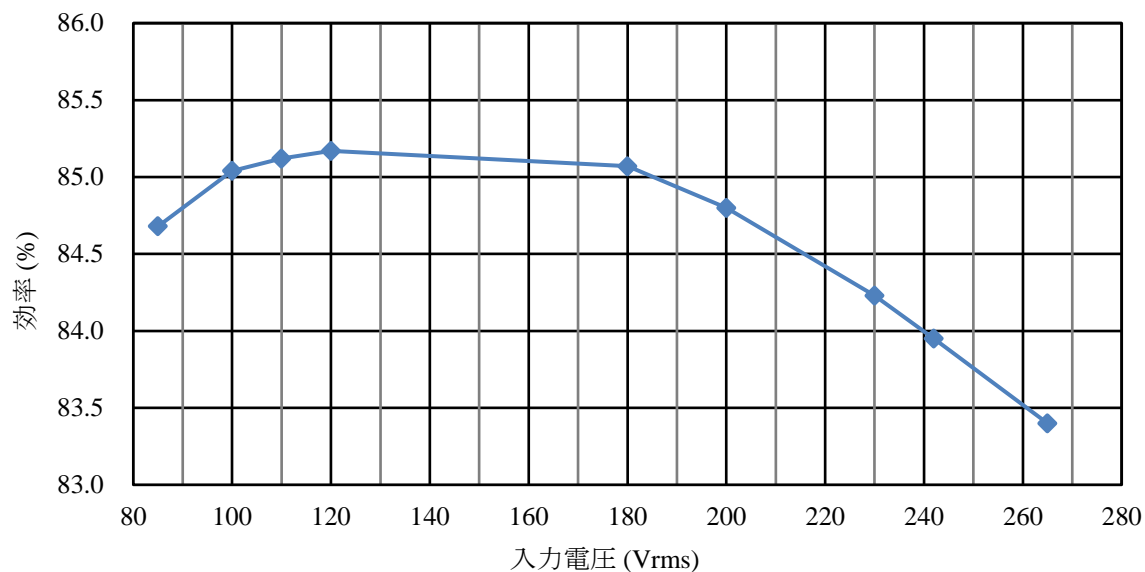


図 8-1 効率 – 入力電圧特性

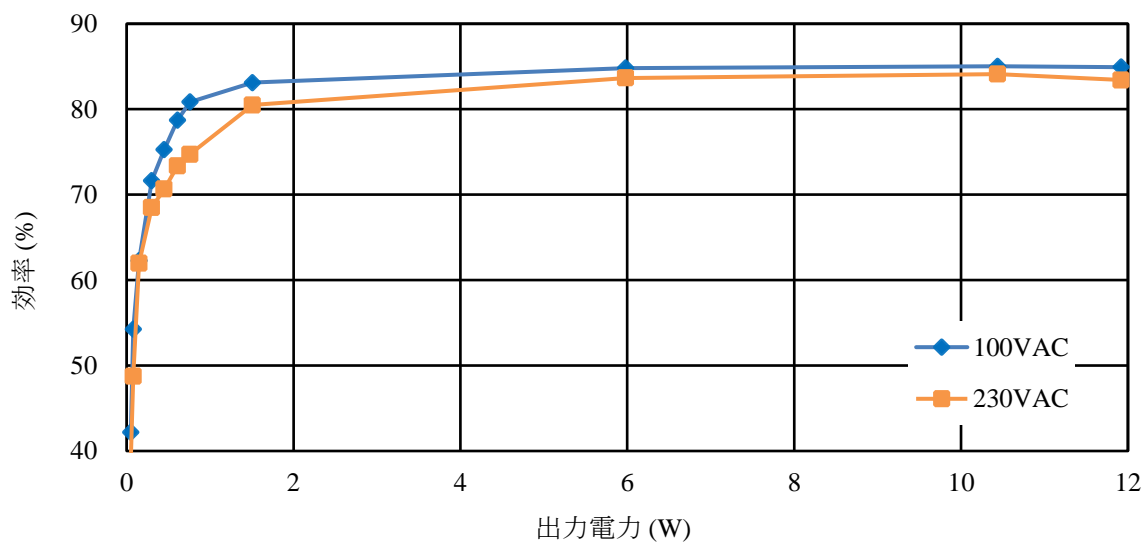


図 8-2 効率 – 出力電力特性

8.2 待機電力特性

表 8-1 無負荷時入力電力

入力電圧	入力電力
100 VAC	54.1 mW
230 VAC	62.3 mW

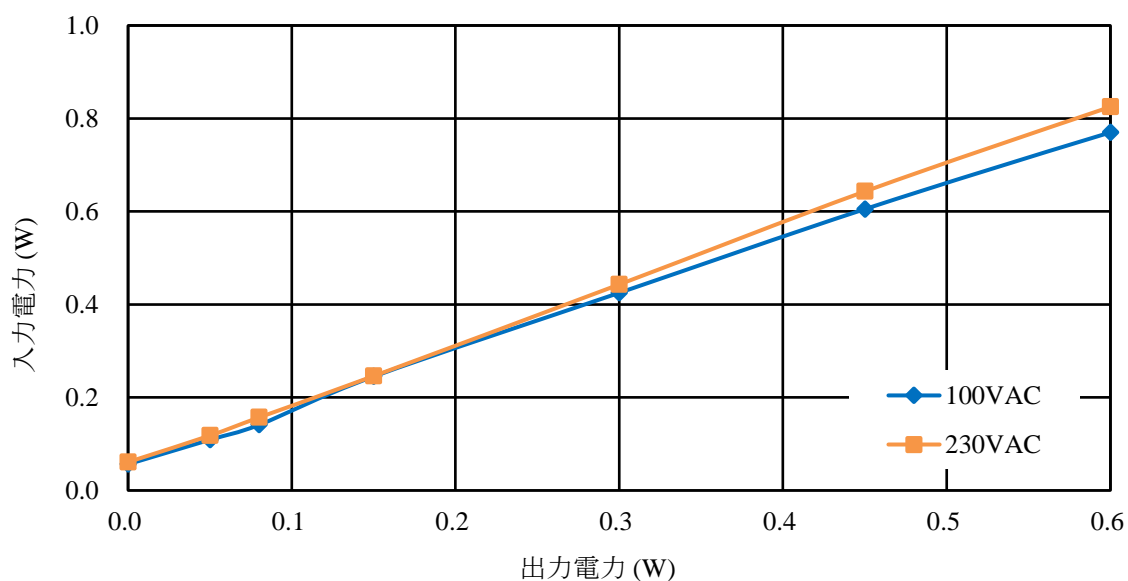


図 8-3 入力電力 - 出力電力特性

8.3 ラインレギュレーション特性

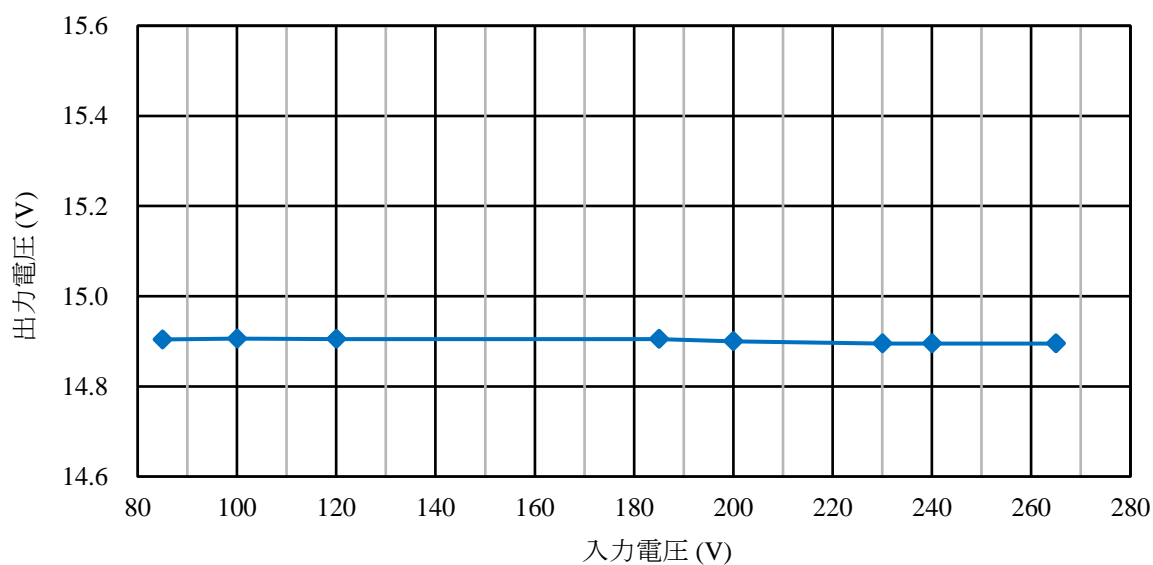


図 8-4 出力電圧 - 入力電圧特性

8.4 ロードレギュレーション特性

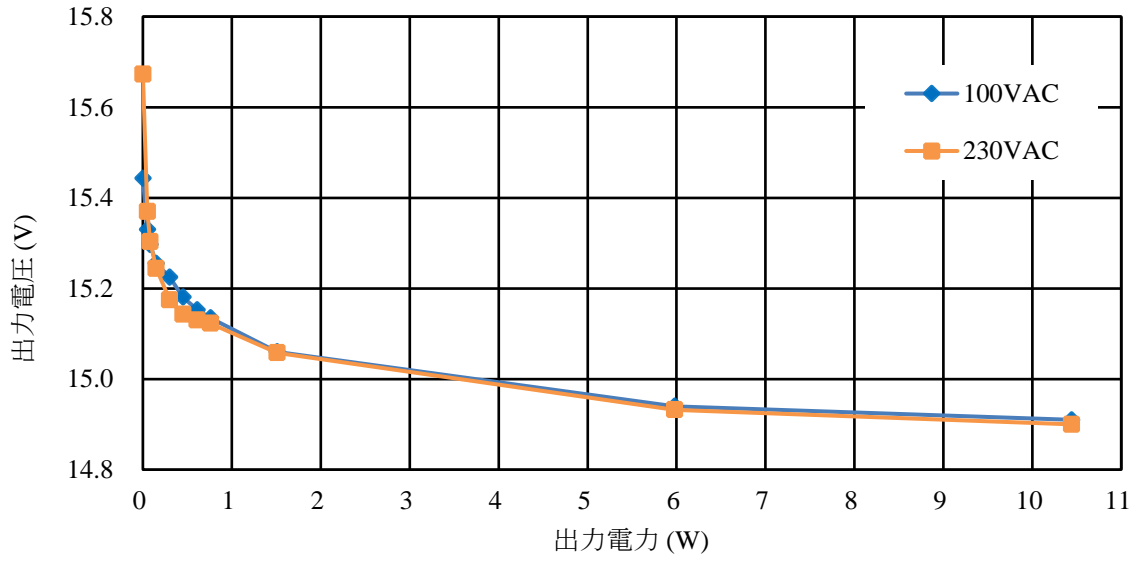


図 8-5 出力電圧 - 出力電力特性

9. 動作確認

本資料に記載のデータは、室温、AC電源周波数 50 Hz で測定したものです。
 最大連続負荷は 10.5 W (15 V、0.7 A)、最大瞬時電流は 0.8 A (≤ 1 秒) です。
 電源 IC (STR5A453D) の電気的特性や動作の詳細などは、データシートを参照してください。

9.1 起動動作の確認

9.1.1 電源 IC のスイッチング動作の確認

電源起動時はソフトスタート機能が動作し、電源 IC の D/ST 端子の電流 $I_{D/ST}$ は、緩やかに上昇します。電流検出抵抗 R1 の両端電圧が電源 IC の OCP しきい電圧に達すると、過電流保護機能が動作し、出力電力を制限します。

図 9-1 の D/ST 端子電圧 $V_{D/ST}$ の波形の脈動部分は全波整流の入力リップル成分です。また、出力電圧が一定になるまでの間、D/ST 端子電流 $I_{D/ST}$ は、過電流保護機能で制限されます。その後、出力電圧が一定になると、 $I_{D/ST}$ は減少します。

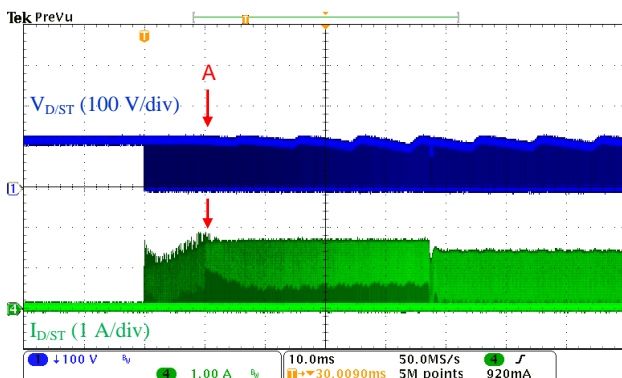


図 9-1 起動時動作波形
($V_{IN} = 85$ VAC、 $I_O = 0.7$ A)

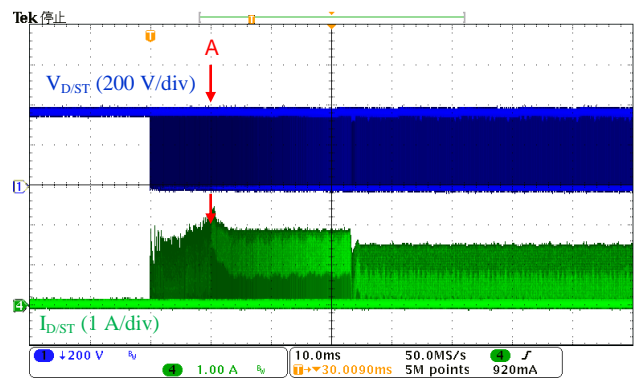


図 9-2 起動時動作波形
($V_{IN} = 265$ VAC、 $I_O = 0.7$ A)

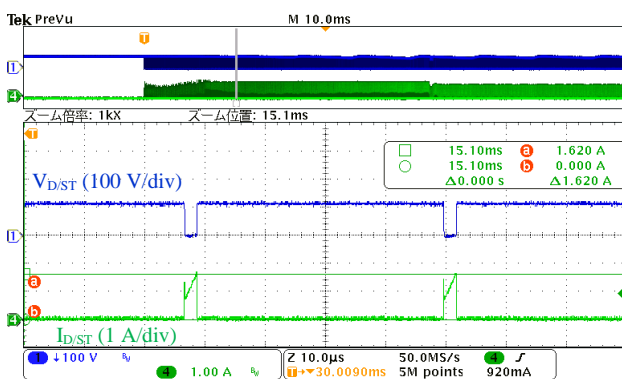


図 9-3 起動時動作波形
(図 9-1 A 部拡大)

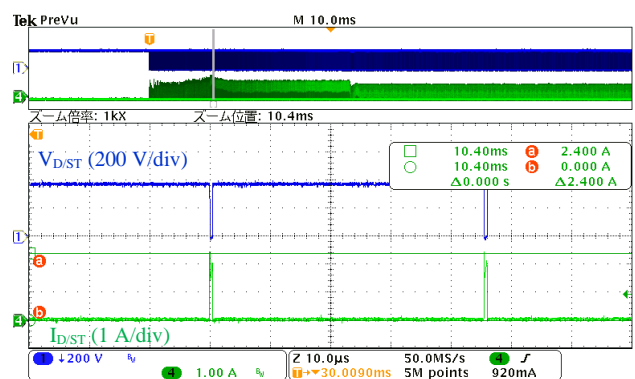


図 9-4 起動時動作波形
(図 9-2 A 部拡大)

9.1.2 出力電圧の確認

電源起動時はソフトスタート機能が動作し、出力電圧 V_{OUT} は徐々に上昇します。設定電圧に到達後、オーバーシュートは発生せず、電源仕様の範囲内で定常動作に移行しています。

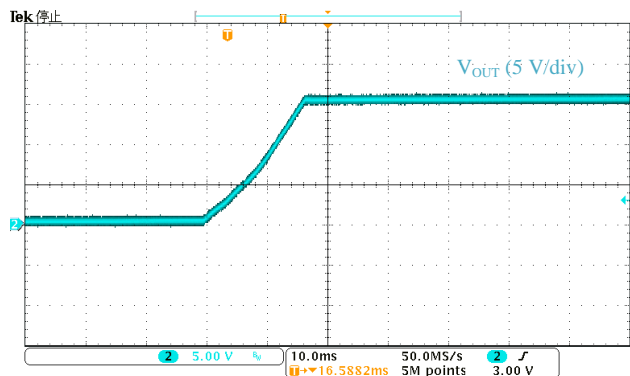


図 9-5 起動時出力電圧波形
($V_{IN} = 85 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 0 \text{ A}$)

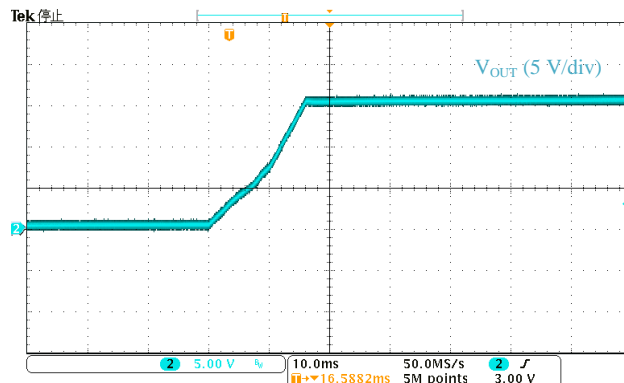


図 9-6 起動時出力電圧波形
($V_{IN} = 265 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 0 \text{ A}$)

9.2 電源 IC のスイッチング動作の確認

STR5A453D は、全負荷範囲の効率を向上させるために、負荷に応じて自動的に動作を切り替えます。定常動作時だけでなく、全負荷範囲での動作を確認します。

9.2.1 定常動作時

図 9-7～図 9-10 に定常時の動作波形を示します。これらの波形より、定常動作時は入力電圧にかかわらずグリーンモードの周波数（約 47 kHz）で動作しており、ドレイン電流のピーク値は、過電流動作点に対してマージンのある設定になっています。

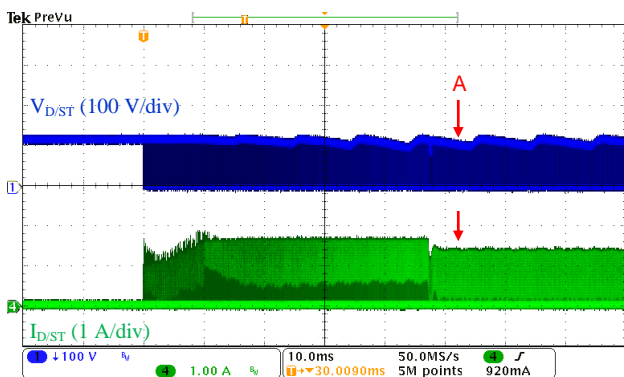


図 9-7 定常時動作波形
($V_{IN} = 85 \text{ VAC}$, $I_O = 0.7 \text{ A}$)

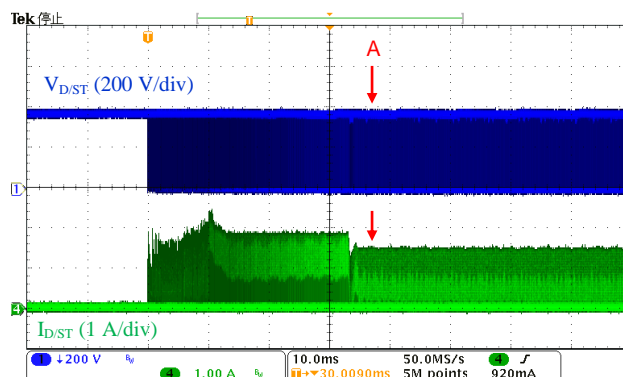


図 9-8 定常時動作波形
($V_{IN} = 265 \text{ VAC}$, $I_O = 0.7 \text{ A}$)

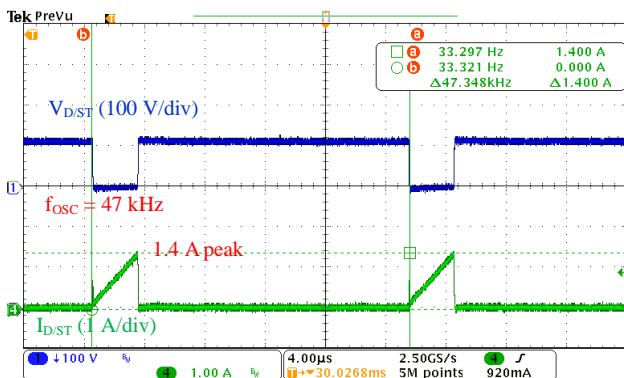


図 9-9 定常時動作波形
(図 9-7 A 部拡大)

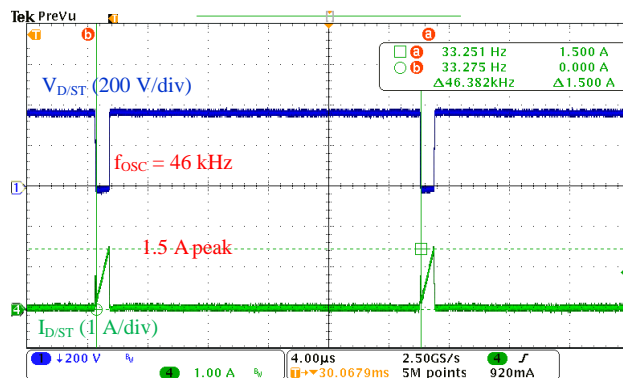


図 9-10 定常時動作波形
(図 9-8 A 部拡大)

9.2.2 軽負荷時動作（グリーンモード）

軽負荷時はグリーンモードに移行し、負荷に応じて発振周波数を低減します。

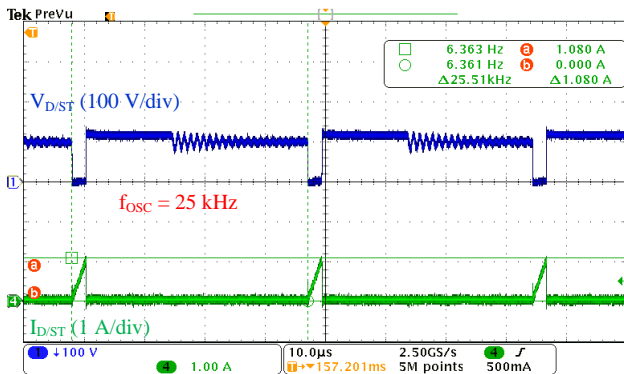


図 9-11 軽負荷時動作波形
($V_{IN} = 85 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 0.2 \text{ A}$)

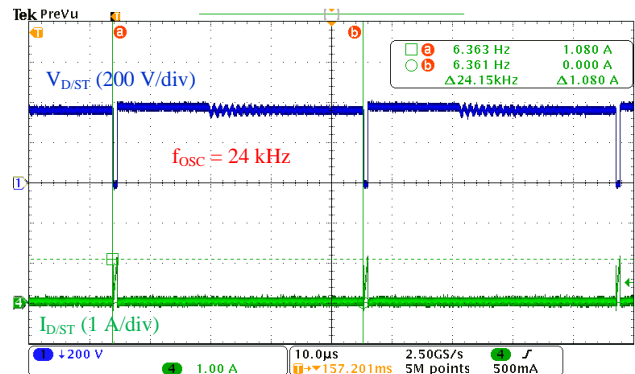


図 9-12 軽負荷時動作波形
($V_{IN} = 265 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 0.2 \text{ A}$)

9.2.3 無負荷時動作（バースト発振）

無負荷時はバースト発振動作に移行します。本設計例のバースト発振周期 T_{STBOP} は、入力電圧が 85 VAC で 0.35 ms、265 VAC で 1.1 ms です。負荷に応じてバースト発振周期は変化します。

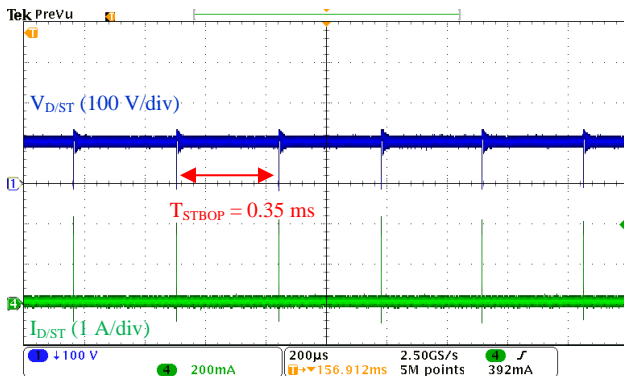


図 9-13 無負荷時動作波形
($V_{IN} = 85 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 0 \text{ A}$)

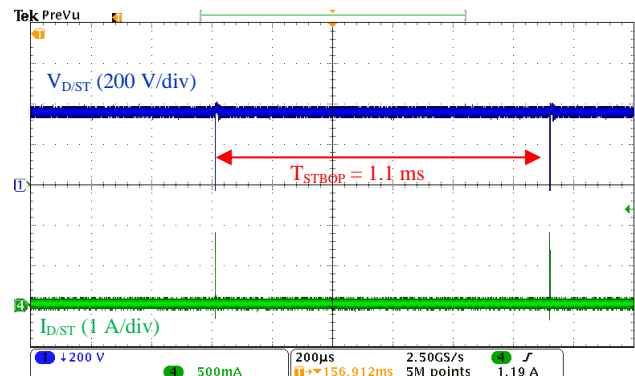


図 9-14 無負荷時動作波形
($V_{IN} = 265 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 0 \text{ A}$)

9.3 出力リップル電圧の確認

本設計例では出力リップル電圧は 35 mV 程度です。測定条件は以下のとおりです。

- 基板の出力コネクタにフィルタを追加（電解コンデンサ（50 V、1 μ F）とセラミックコンデンサ（50 V、0.1 μ F）を並列に接続）
- オシロスコープの帯域幅を 20 MHz に設定

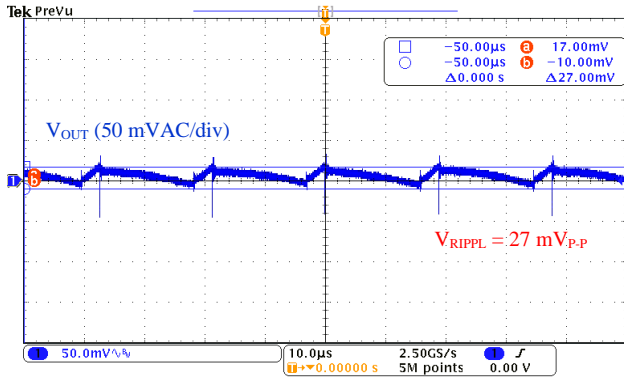


図 9-15 出力リップル電圧波形
($V_{IN} = 85 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 0.7 \text{ A}$)

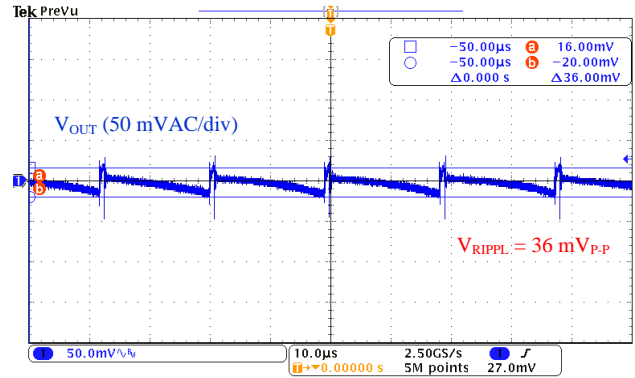


図 9-16 出力リップル電圧波形
($V_{IN} = 265 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 0.7 \text{ A}$)

9.4 過電流保護、過負荷保護動作の確認

過電流保護（OCP：Overcurrent Protection）は、一定の負荷に達すると、電源 IC 内部のパワーMOSFET のドレイン電流 I_{DST} をドレイン電流制限値 I_{DLIM} に制限します。 I_{DLIM} と電流検出抵抗 $R1$ には以下の関係があります。

$$I_{DLIM} = \frac{V_{OCP(H)}}{R1} \quad (9-1)$$

ここで、

$V_{OCP(H)}$ ：STR5A453D の 36% オンデューティ時 OCP しきい電圧

$R1$ ：電流検出抵抗 $R1$ の値

I_{DLIM} で制限している過負荷状態が遅延時間 $t_{OLP} = 70 \text{ ms (typ.)}$ 以上継続すると、過負荷保護（OLP：Overload Protection）が動作し、スイッチング動作が停止します。OLP 動作時はバイアスアシスト機能が無効になります。スイッチング動作が停止すると V_{CC} 端子電圧が低下し、 $V_{CC(OFF)} = 8.0 \text{ V (typ.)}$ に達すると制御回路は動作を停止します。このように、OLP 動作時は UVLO 機能による間欠発振動作を繰り返します。これにより、パワーMOSFET の温度上昇を抑制します。過負荷の要因を取り除くと、通常の動作に自動復帰します。

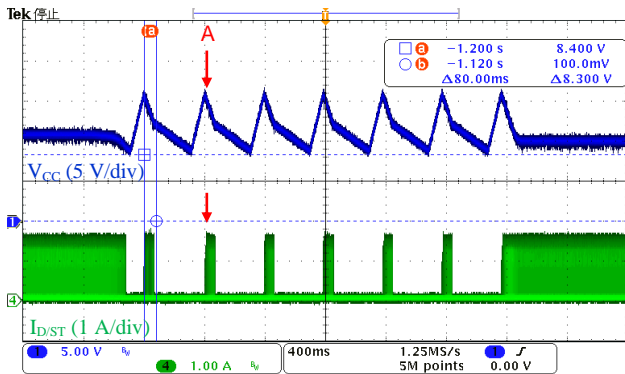


図 9-17 OCP、OLP 動作波形
($V_{IN} = 85 \text{ VAC}$ 、 $I_O > 0.7 \text{ A}$)

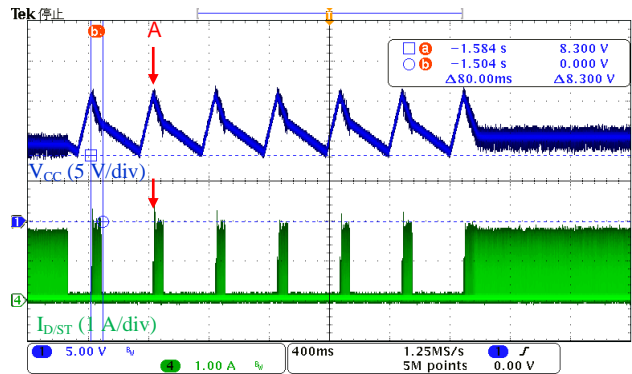


図 9-18 OCP、OLP 動作波形
($V_{IN} = 265 \text{ VAC}$ 、 $I_O > 0.7 \text{ A}$)

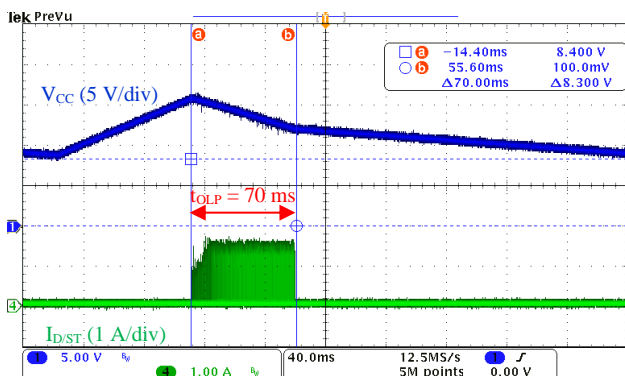


図 9-19 OCP、OLP 動作波形
(図 9-17 A 部拡大)

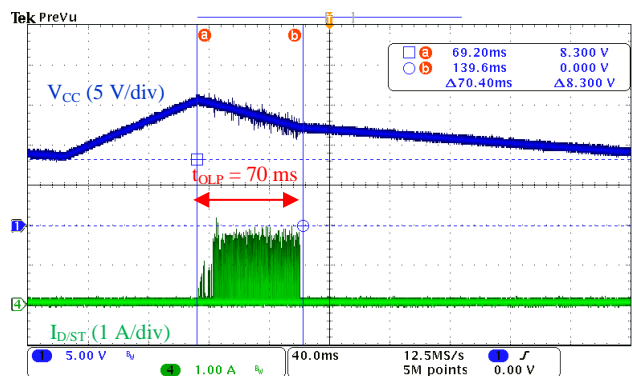


図 9-20 OCP、OLP 動作波形
(図 9-18 A 部拡大)

9.5 過電圧保護動作の確認

電源 IC の VCC 端子と S/GND 端子間の電圧が OVP しきい電圧 $V_{CC(OVP)} = 29.3 \text{ V}(\text{typ.})$ 以上になると過電圧保護 (OVP : Overvoltage Protection) 動作に移行し、VCC 端子の UVLO 機能による間欠発振動作を繰り返します。過電圧の要因を取り除くと、通常の動作に自動復帰します。

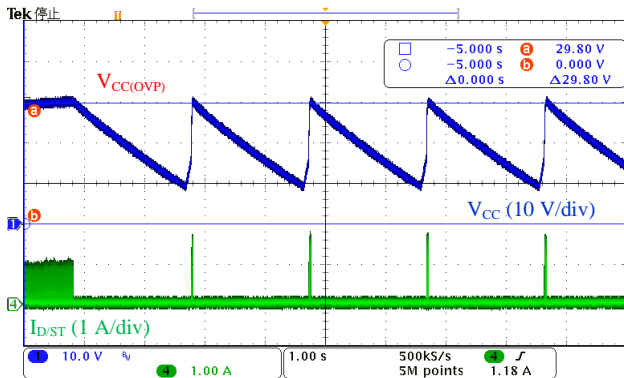


図 9-21 OVP 動作波形
($V_{IN} = 85 \text{ VAC}$, $I_O = 0 \text{ A}$)

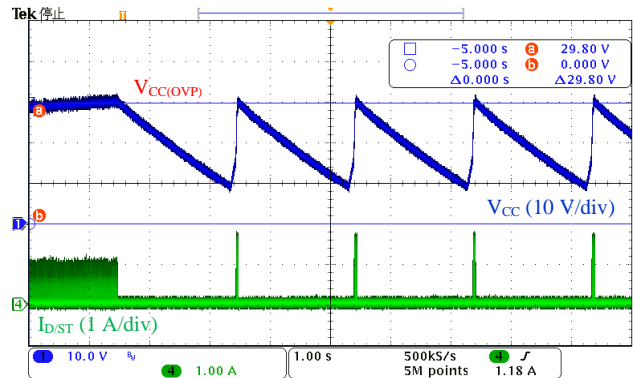


図 9-22 OVP 動作波形
($V_{IN} = 265 \text{ VAC}$, $I_O = 0 \text{ A}$)

9.6 停止動作の確認

AC 電源を遮断すると、出力電圧 V_{OUT} がオーバーシュートします。ダミー抵抗 R_5 で出力電圧の上昇を調整できますが、 R_5 はスタンバイ動作時の電力損失に影響する為、最終的に実機動作で確認が必要です。本電源例では、 $R_5 = 6.8 \text{ k}\Omega$ に設定し、停止時の出力電圧のオーバーシュートは 1.1 V 程度です。

また、AC 電源を遮断後、約 7.5 秒間 V_{OUT} が発生し続けるのは、 C_9 、 C_{10} の残留電荷によるものです。

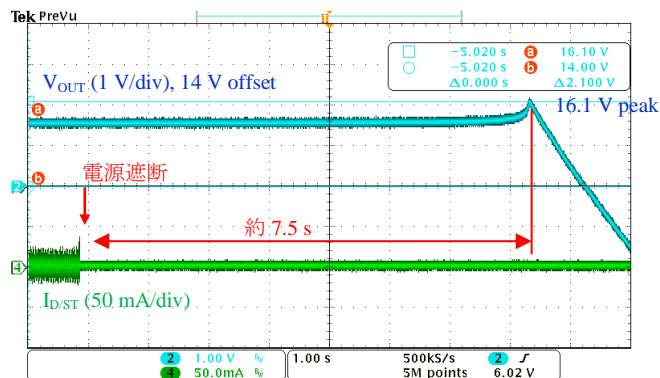


図 9-23 停止時動作波形 ($V_{IN} = 85 \text{ VAC}$, $I_O = 0 \text{ A}$)

9.7 ケース温度の確認

表 9-1 に、周囲温度を 25 °C と 50 °C にした場合の、入力電圧上下限における各 부품のケース温度の測定結果を示します。

表 9-1 入力電圧と 부품の温度 ($I_o = 0.7 \text{ A}$)

周囲温度 (°C)	入力電圧 (VAC)	定常動作時ケース温度 (°C)		
		電源 IC (U1)	フリーホイール ダイオード (D1)	インダクタ (L2)
25	85	54.3	60.8	54.7
	265	63.8	64.8	66.4
50*	85	79.3	85.8	79.7
	265	88.8	89.8	91.4

* 周囲温度 25 °C から換算したケース温度

10. 伝導エミッション試験

図 10-1～図 10-4 に雑音端子電圧 (EMI) の測定結果を示します。

測定条件 : $I_o = 0.7 \text{ A}$ 、FG = Open

テストモード : Average

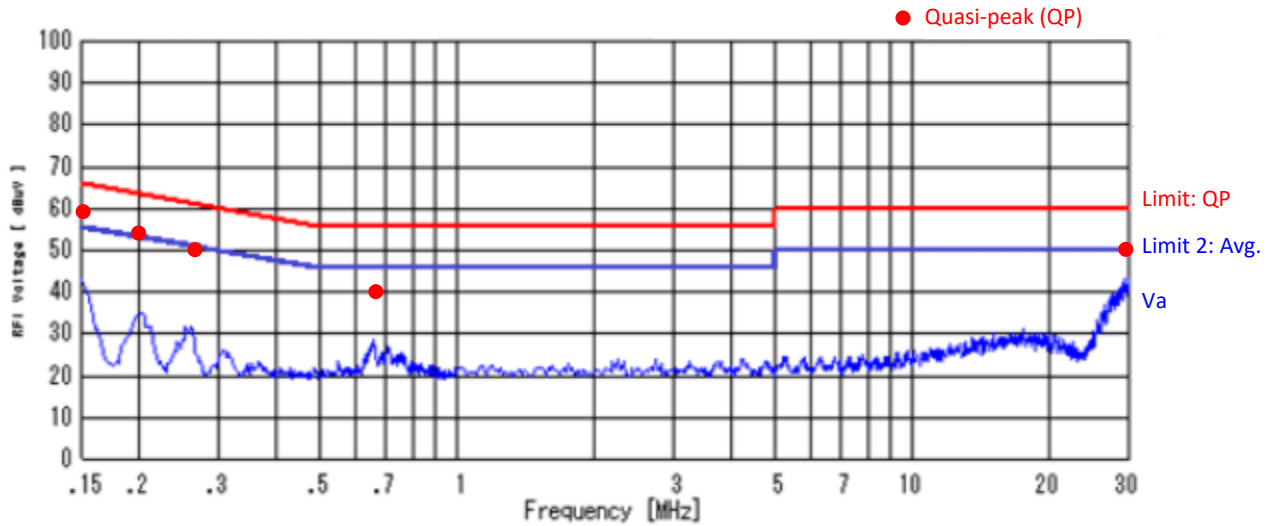


図 10-1 EMI 測定結果 (Line、 $V_{IN} = 100 \text{ VAC}$)

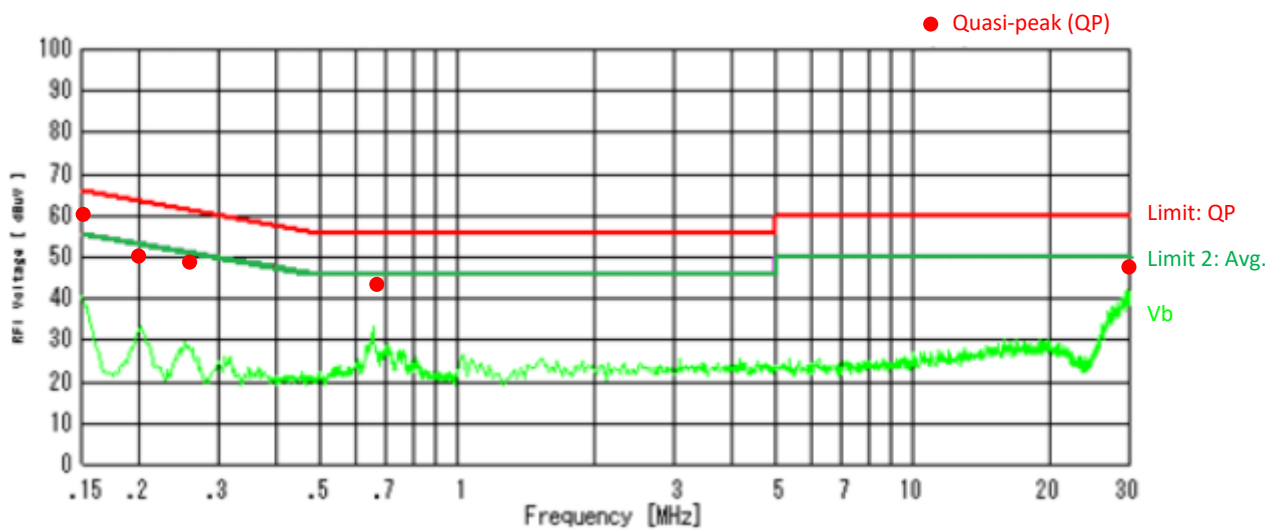


図 10-2 EMI 測定結果 (Neutral、 $V_{IN} = 100 \text{ VAC}$)

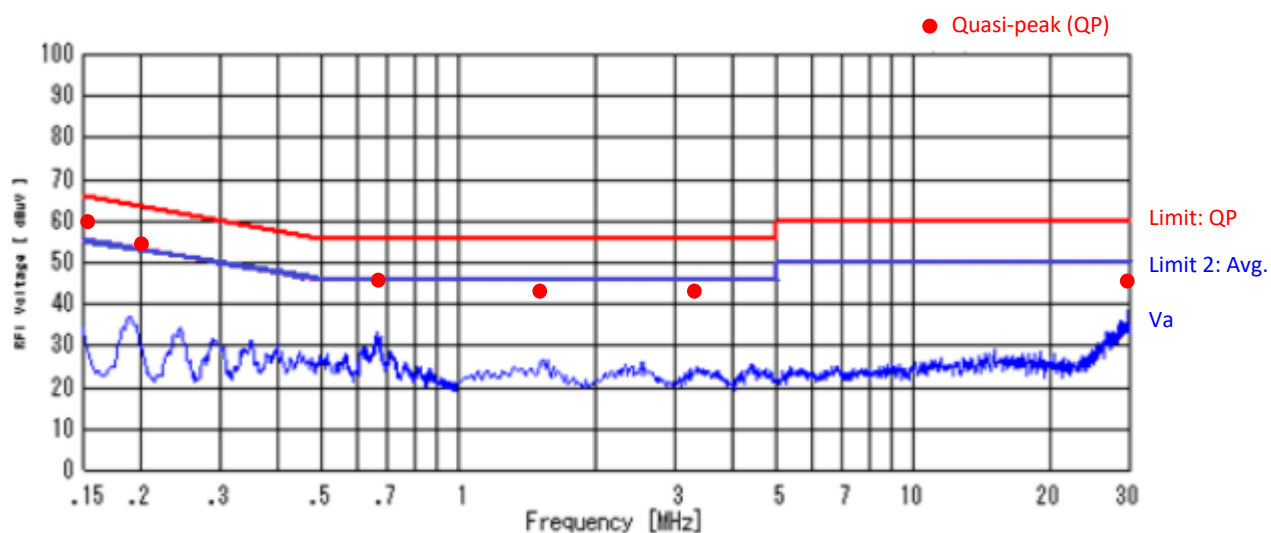


図 10-3 EMI 測定結果 (Line、 $V_{IN} = 230 \text{ VAC}$)

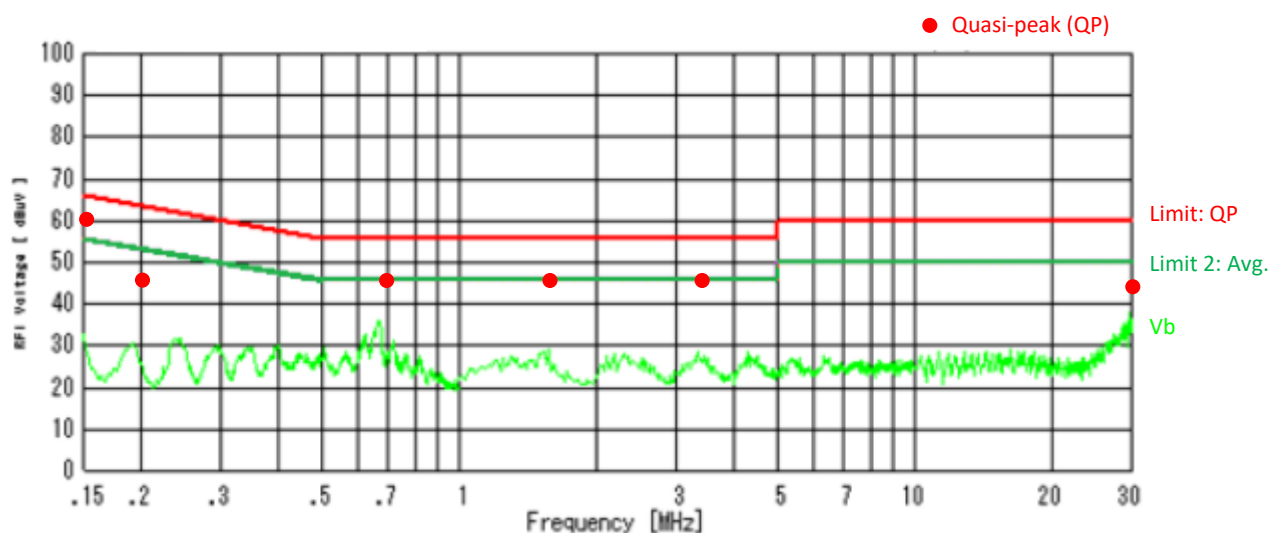


図 10-4 EMI 測定結果 (Neutral、 $V_{IN} = 230 \text{ VAC}$)

注意書き

- 本書に記載している製品（以下、「本製品」という）のデータ、図、表、およびその他の情報（以下、「本情報」という）は、本書発行時点のものであります。本情報は、改良などで予告なく変更することがあります。本製品を使用する際は、本情報が最新であることを弊社販売窓口を確認してください。
- 本製品は、一般電子機器（家電製品、事務機器、通信端末機器、計測機器など）の部品に使用されることを意図しております。本製品を使用する際は、納入仕様書に署名または記名押印のうえ、返却をお願いします。高い信頼性が要求される装置（輸送機器とその制御装置、交通信号制御装置、防災装置、防犯装置、各種安全装置など）に本製品を使用することを検討する際は、必ず事前にその使用の適否について弊社販売窓口へ相談いただき、納入仕様書に署名または記名押印のうえ、返却をお願いします。本製品は、極めて高い信頼性が要求される機器または装置（航空宇宙機器、原子力制御、その故障や誤動作が生命や人体に危害を及ぼす恐れのある医療機器（日本における法令でクラスⅢ以上）など）（以下「特定用途」という）に使用されることは意図されておられません。特定用途に本製品を使用したことでお客様または第三者に生じた損害などに関して、弊社は一切その責任を負いません。
- 本製品を使用するにあたり、本製品に他の製品や部材を組み合わせる際、あるいはこれらの製品に物理的、化学的、その他の何らかの加工や処理を施す際は、使用者の責任においてそのリスクを必ず検討したうえで行ってください。
- 弊社は、品質や信頼性の向上に努めていますが、半導体製品は、ある確率で欠陥や故障が発生することは避けられません。本製品が故障し、その結果として人身事故、火災事故、社会的な損害などが発生しないように、故障発生率やディレーティングなどを考慮したうえで、使用者の責任において、本製品が使用される装置やシステム上で、十分な安全設計および確認を含む予防措置を必ず行ってください。ディレーティングについては、納入仕様書および弊社ホームページを参照してください。
- 本製品は、耐放射線設計をしておりません。
- 本書に記載している回路定数、動作例、回路例、パターンレイアウト例、設計例、推奨例、本書に記載しているすべての情報、およびこれらに基づく評価結果などは、使用上の参考として示したものです。
- 本情報に起因する使用者または第三者のいかなる損害、および使用者または第三者の知的財産権を含む財産権とその他一切の権利の侵害問題について、弊社は一切その責任を負いません。
- 本情報を、文書による弊社の承諾なしに転記や複製をすることを禁じます。
- 本情報について、弊社の所有する知的財産権およびその他の権利の実施、使用または利用を許諾するものではありません。
- 使用者と弊社との間で別途文書による合意がない限り、弊社は、本製品の品質（商品性、および特定目的または特別環境に対する適合性を含む）ならびに本情報（正確性、有用性、および信頼性を含む）について、明示的か黙示的かを問わず、いかなる保証もしておりません。
- 本製品を使用する際は、特定の物質の含有や使用を規制する RoHS 指令など、適用される可能性がある環境関連法令を十分に調査したうえで、当該法令に適合するように使用してください。
- 本製品および本情報を、大量破壊兵器の開発を含む軍事用途やその他軍事利用の目的で使用しないでください。また、本製品および本情報を輸出または非居住者などに提供する際は、「米国輸出管理規則」や「外国為替及び外国貿易法」など、各国で適用される輸出管理法令などを遵守してください。
- 弊社物流網以外における本製品の落下などの輸送中のトラブルについて、弊社は一切その責任を負いません。
- 本書は、正確を期すために慎重に製作したのですが、本書に誤りがないことを保証するものではありません。万一、本情報の誤りや欠落に起因して、使用者に損害が生じた場合においても、弊社は一切その責任を負いません。
- 本製品を使用する際の一般的な使用上の注意は弊社ホームページを、特に注意する内容は納入仕様書を参照してください。
- 本書で使用されている個々の商標、商号に関する権利は、弊社を含むその他の原権利者に帰属します。