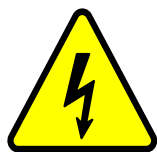


STR6S161HXD 使用

21.8 W (15 V、1.45 A)

絶縁フライバックコンバータ 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が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、STR6S161HXD 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 STR6S161HXD 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. 本設計例の基本動作	8
7. 電源設計	9
7.1 出力電圧の設定	9
7.2 ブリッジ整流ダイオード BR1 の選定	9
7.3 クランプスナバ回路 (D1、C3、R1、R8) の選定	9
7.4 VCC 端子整流ダイオード D2 の選定	10
7.5 電流検出抵抗 R6 の選定	10
7.6 2 次側整流ダイオード D51 の選定	10
7.7 トランス仕様	11
8. 特性データ	13
8.1 効率	13
8.2 待機電力特性	14
8.3 ラインレギュレーション特性	15
8.4 ロードレギュレーション特性	15
9. 動作確認	16
9.1 起動動作の確認	16
9.1.1 電源 IC のスイッチング動作の確認	16
9.1.2 出力電圧の確認	17
9.1.3 VCC 端子電圧の確認	17
9.1.4 D51、D2 の印加電圧の確認	18
9.2 電源 IC のスイッチング動作の確認	19
9.2.1 定格負荷時	19
9.2.2 軽負荷時動作 (グリーンモード、バースト発振)	20
9.2.3 無負荷時動作 (バースト発振)	21
9.3 出力リップル電圧の確認	21
9.4 過電流保護、過負荷保護動作の確認	22
9.5 過電圧保護動作の確認	23
9.6 AC 入力過電圧保護 (HVP) 動作の確認	23
9.7 ブラウンイン・ブラウンアウト動作の確認	24
9.8 ケース温度の確認	24
10. 伝導エミッション試験	25
注意書き	27

1. まえがき

本資料では、ユニバーサル入力、出力 15 V、1.45 A、絶縁フライバック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 STR6S161HDXD を使用しています。STR6S161HDXD はパワー MOSFET を内蔵した電流モード型 PWM 制御 IC です。また、RCD スナバ用ダイオードに SARS05 を、IC の電源供給用の高速整流ダイオードに SJPX-F2 を、2 次側整流用ショットキダイオードに FMEN-220B を採用しています。

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

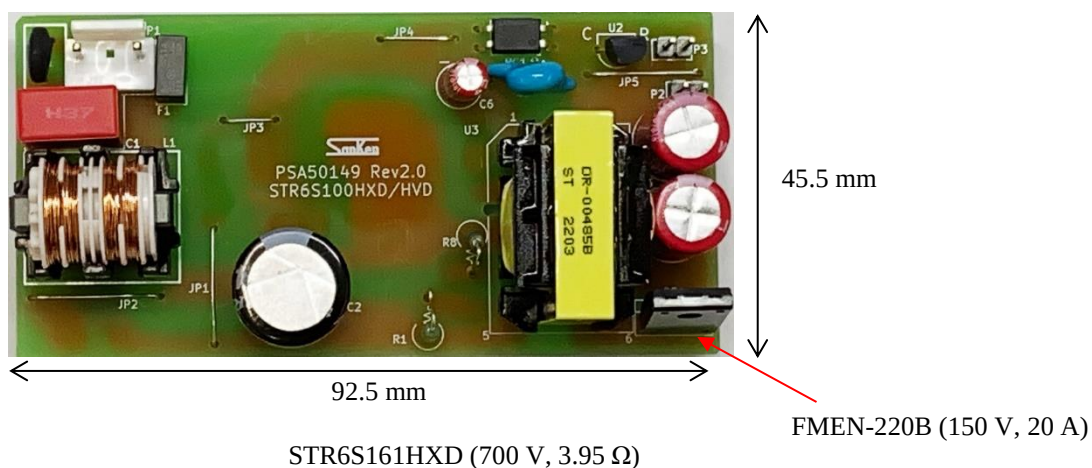
- 回路効率の向上（ステップドライブ制御により、2 次側整流ダイオードは従来より低耐圧品を選定でき、低 V_F 化が可能）
- AC 入力過電圧保護機能（HVP）
- ブラウンイン・ブラウンアウト機能
- 外付け部品削減（起動回路内蔵）
- 負荷に応じて動作モードを自動的に移行し、全負荷範囲高効率を実現
定格負荷時：PWM モード 100 kHz (Typ.)
軽負荷時：グリーンモード
スタンバイ時：バースト発振モード
- 効率：89.2% (230 VAC、21.8 W)
- 無負荷時入力電力：59 mW (230 VAC)
- EMI ノイズ低減（ランダムスイッチング機能）

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



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}		90	—	288	V
周波数	f _{LINE}		47	50/60	63	Hz
出力						
定格電圧	V _{NP}		14.25	15	15.75	V
定格電流	I _{NP}		—	1.45	—	A
出力リップル電圧	V _{RIPPLE}	20 MHz 帯域幅、 フィルタ追加 ⁽¹⁾	—	370	—	mV _{P-P}
出力電力	P _{OUT}		—	21.8	—	W
効率	η	定格負荷、T _A = 25 °C、 230 VAC	—	89.2	—	%
環境						
コンダクションノイズ	—	T _A = 25 °C	CISPR22B / EN55022B 適合			—
温度						
電源 IC 上昇温度 ⁽²⁾	ΔT _{C-IC}	90 VAC、I _O = 1.45 A	—	48.5	—	°C
2 次側整流ダイオード 温度上昇 ⁽³⁾	ΔT _{C-DI}	288 VAC、I _O = 1.45 A	—	49.6	—	°C
トランス温度上昇	ΔT _L	90 VAC、I _O = 1.45 A	—	23.3	—	°C

5.2 回路図

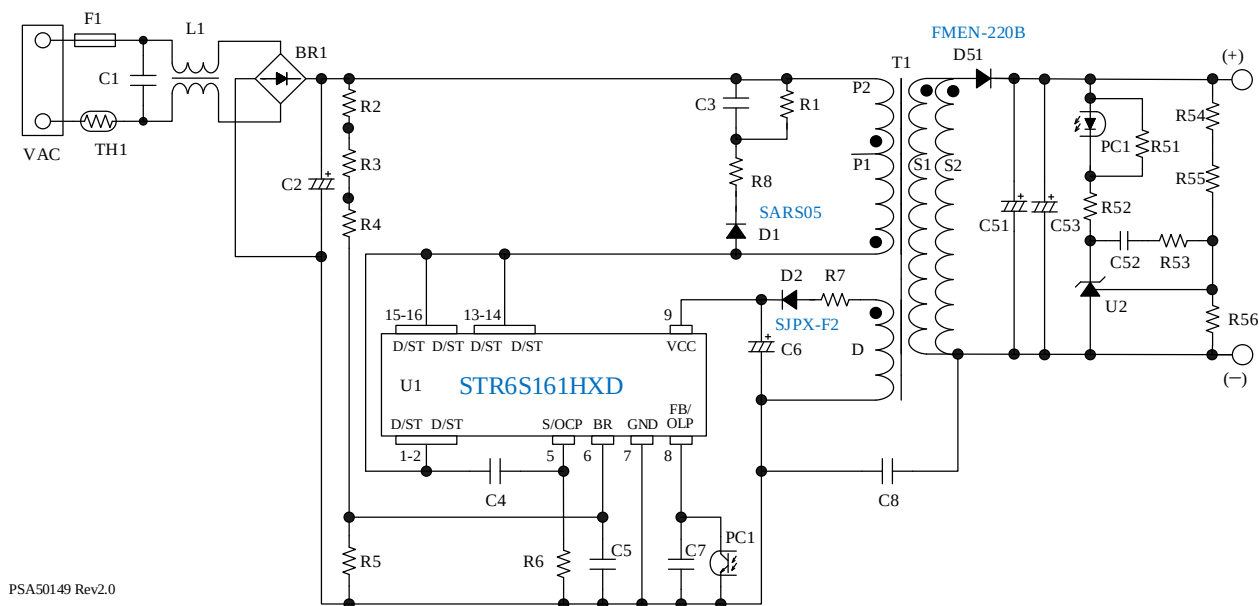


図 5-1 回路図

⁽¹⁾ 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

⁽²⁾ STR6S161HXD のケース温度

⁽³⁾ FMEN-220B のケース温度

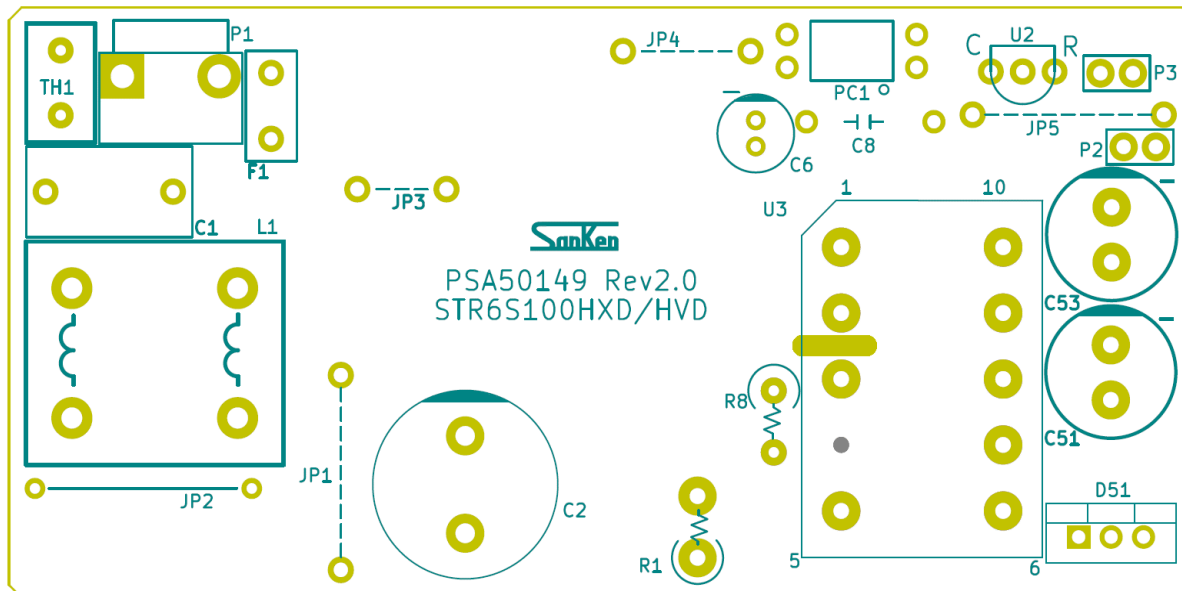
5.3 部品表

部品番号	部品	定格	品名	会社名
F1	ヒューズ	2 A, 250 V	RSTA 2 BULK	ベルヒューズ
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	0.1 μ F, 310 VAC	FTX2(890334023023CS)	Würth Electronics
C2	電解コンデンサ	56 μ F, 450 V	450LXW56MEFR14.5×25	ルビコン
C3	積層セラミックコンデンサ	1500 pF, 1 kV, 3216	GRM31BR73A152KW01L	村田製作所
C4	積層セラミックコンデンサ	10 pF, 2 kV	GRM31A7U3D100JW31D	村田製作所
C5	積層セラミックコンデンサ	1000 pF, 50 V, 2012	885012207086	Würth Electronics
C6	電解コンデンサ	22 μ F, 50 V	860020672011	Würth Electronics
C7	積層セラミックコンデンサ	2200 pF, 50 V, 2012	885012207088	Würth Electronics
C8	Y コンデンサ	1500 pF, 250 VAC	DE1E3RA152MA4BP01F	村田製作所
C51	電解コンデンサ	560 μ F, 25 V	860080475017	Würth Electronics
C53	電解コンデンサ	560 μ F, 25 V	860080475017	Würth Electronics
C52	積層セラミックコンデンサ	0.068 μ F, 50 V, 2012	885012207097	Würth Electronics
BR1	ブリッジ整流ダイオード	1.5 A, 1000 V	DF10S	オンセミ
D1	スナバダイオード	1.0 A, 800 V	SARS05	サンケン電気
D2	高速整流ダイオード	1.5 A, 200 V	SJPX-F2	サンケン電気
D51	ショットキダイオード	20 A, 150 V	FMEN-220B	サンケン電気
L1	インダクタ	18 mH, 0.5 A	7448640416	Würth Electronics
T1	トランス	EE25/25B	DR-00485B	サンシン電気
R1	抵抗	470 k Ω , 1/2 W	RN12S474JK	赤羽電具製作所
R2	チップ抵抗	3.3 M Ω , 1/4 W, 2012	CR0805-JW-335ELF	Bourns
R3	チップ抵抗	3.3 M Ω , 1/4 W, 2012	CR0805-JW-335ELF	Bourns
R4	チップ抵抗	3.3 M Ω , 1/4 W, 2012	CR0805-JW-335ELF	Bourns
R5	チップ抵抗	120 k Ω , 1/4 W, 2012	RK73B2ATTD124J	KOA
R6	チップ抵抗	1 Ω , 1/2 W, 3226	RK73B2ETTD1R0J	KOA
R7	チップ抵抗	5.6 Ω , 1/4 W, 3216	RK73B2BTDD5R6J	KOA
R8	抵抗	68 Ω , 1/2 W	RSMF12B680J	赤羽電具製作所
R51	チップ抵抗	2.2 k Ω , 1/4 W, 2012	RK73B2ATTD222J	KOA
R52	チップ抵抗	1.5 k Ω , 1/4 W, 2012	RK73B2ATTD682J	KOA
R53	チップ抵抗	56 k Ω , 1/4 W, 2012	RK73B2ATTD682J	KOA
R54	チップ抵抗	3.9 k Ω , 1/4 W, 2012	RK73B2ATTD392J	KOA
R55	チップ抵抗	47 k Ω , 1/4 W, 2012	RK73B2ATTD473J	KOA
R56	チップ抵抗	10 k Ω , 1/4 W, 2012	RK73B2ATTD103J	KOA
U1	AC/DC コンバータ IC	700 V, 3.95 Ω	STR6S161HDX	サンケン電気
U2	シャントレギュレータ	V _{REF} = 2.5V	TL431AILPRE3	Texas Instruments
PC1	フォトカプラ		TLP781F	東芝
P1	コネクタ	250V, 10A	B2P3-VH	日本圧着端子
P2	コネクタ	50V	WR-WTB (64800611622)	Würth Electronics
P3	コネクタ	50V	WR-WTB (64800611622)	Würth Electronics
—	プリント基板		PSA50149, Rev.2.0	サンケン電気

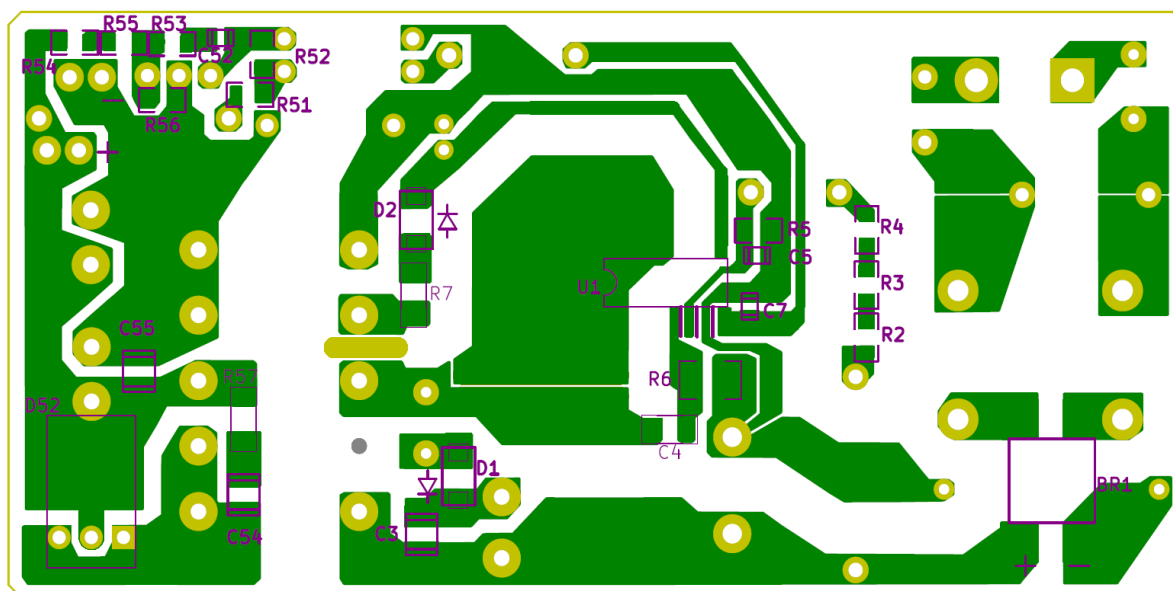
5.4 パターンレイアウト例

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：92.5 mm × 45.5 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 C2 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 : STR6S161HDX) 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。Switching 動作を開始すると、トランス T1 の補助巻線 D に電圧が生じ、D2 と C6 で平滑された整流電圧が VCC 端子に印加されます。この際、IC 内部の起動回路は自動的にオフし、その後は補助巻線 D から VCC 端子に電力を供給します。なお、補助巻線 D に生じたサージ電圧で C6 が充電され、VCC 端子の電圧が上昇する事があります。これを抑制するために R7 を接続します。

IC 内部のパワー-MOSFET がターンオフする際にドレイン-ソース間に発生するリンギング電圧を低減するために、トランス T1 の P 巻線間にクランプスナバ回路 (D1、C3、R1、R8) を接続します。ダイオード D1 に使用する SARS05 は、スナバ回路専用のダイオードで、リンギング電圧を低減するだけでなく、リンギングのエネルギーを有効に使用でき、電源効率の向上に寄与します。

S/OCP 端子に接続される抵抗 R6 は、過電流検出用の抵抗です。FB/OLP 端子には、フォトカプラ PC1 の受光側を接続し、出力の定電圧制御のフィードバック信号を入力します。PC1 には負荷に応じたフィードバック電流 I_{FB} が流れます。また、高周波ノイズの除去と位相補償を目的とするコンデンサ C7 を接続します。BR 端子には、入力電圧を検出するための抵抗 R2~R5 と、ノイズ除去用のコンデンサ C5 が接続されます。

フライバックコンバータの場合、トランス T1 は、1 次側と 2 次側の極性を逆に接続します。1 次側から 2 次側へのエネルギー伝達は、以下のように行われます。

IC 内部のパワー-MOSFET がターンオンすると、トランス T1 の P 巻線に入力電圧 V_{INDC} が印加され、エネルギーを蓄えます。このとき、2 次側の S 巻線の極性は逆なので、2 次側整流ダイオード D51 は導通せず、1 次側から 2 次側に電力は伝達されません。パワー-MOSFET がターンオフすると、P 巻線に逆起電力が発生します。これにより、D51 が導通して電解コンデンサ C51、C53 を充電し、トランス T1 に蓄積したエネルギーを 2 次側に放出します。

フォトカプラ PC1 の発光側のアノード側は、出力の+側 (コネクタ P2) に接続します。カソード側は電流制限抵抗 R52 を介してシャントレギュレータ U2 に接続します。また、PC1 発光側のアノード-カソード端子間に接続される R51 は、PC1 のアイドル電流を U2 に供給するための抵抗です。定電圧制御の精度を上げるため、シャントレギュレータ U2 の基準端子に印加する電圧を生成する抵抗 R54~R56 は、許容誤差 $\pm 1\%$ 以下の高精度なものを使用します。

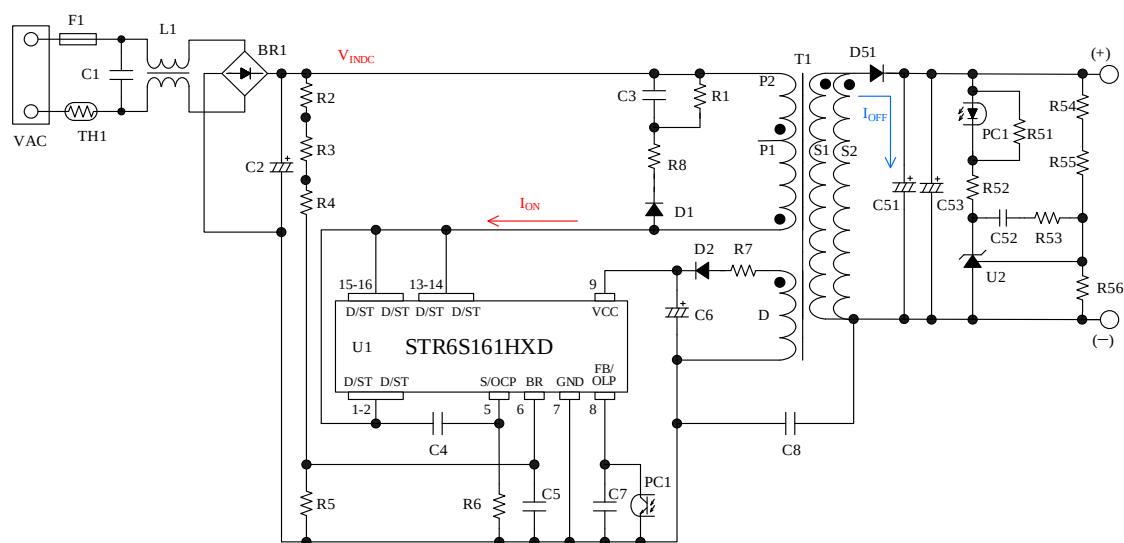


図 6-1 回路図

7. 電源設計

7.1 出力電圧の設定

出力電圧 V_{OUT} とシャントレギュレータ U2 の基準電圧 $V_{FB(REF)}$ 、抵抗 R54～R56 は次式の間係があります。

$$V_{OUT} = \frac{(R54 + R55 + R56) \times V_{FB(REF)}}{R56} \quad (1)$$

ここで、 $V_{OUT} = 12 \text{ V}$ に設定する場合の $V_{FB(REF)}$ と R54～R56 の抵抗値の設定例は以下とおりです。

$$V_{FB(REF)} = 2.495 \text{ V}$$

$$R54 = 3.9 \text{ k}\Omega$$

$$R55 = 47 \text{ k}\Omega$$

$$R56 = 10 \text{ k}\Omega$$

7.2 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 288 VAC の場合、BR1 に印加される電圧は、 $V_p = 288 \text{ (VAC)} \times \sqrt{2} \approx 407 \text{ (VDC)}$ 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 509 V 以上必要です。

入力電流 I_{IN} は、次式で算出できます。

$$I_{IN} = \frac{P_{OUT}}{V_{INAC(MIN)} \times \eta \times PF} \quad (2)$$

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

$P_{OUT} = 21.8 \text{ W}$ 、 $V_{INAC(MIN)} = 90 \text{ VAC}$ 、 $\eta = 0.84$ 、 $PF = 0.6$ とすると、式(2)より、 $I_{IN} \approx 481 \text{ mA}$ 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 601 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。

7.3 クランプスナバ回路 (D1、C3、R1、R8) の選定

電源 IC (U1 : STR6S161HDX) の D/ST と S/OCP 端子間電圧のサージ電圧を低減させるために、クランプスナバ回路を接続します。IC 内部のパワー MOSFET の最大定格は 700 V なので、サージ電圧のピーク値が 600 V 程度になるように C3 の容量や放電抵抗 R1 の値を調整します。C3 は 1000 pF～3300 pF、R1 は 390 k Ω ～1 M Ω の範囲を目安に調整します。

D1 は、弊社製のスナバ回路専用ダイオードから、800 V、1.0 A の SARS05 を選択します。R8 はエネルギー放電時の制限抵抗で、SARS05 の場合 68 Ω 程度を推奨します。

7.4 VCC 端子整流ダイオード D2 の選定

D2 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を選択します。定格電圧は、補助巻線 D の両端電圧に対して十分にマージンを取ります。

本電源例では、200 V、1.5 A の高速整流ダイオード SJPX-F2 を選択しています。

7.5 電流検出抵抗 R6 の選定

電流検出抵抗 R6 の定数は、電源 IC (U1 : STR6S161HDX) の OCP しきい電圧 $V_{\text{OCP(H)}}$ と抵抗の損失を考慮し決定します。抵抗は、過電流検出の精度を向上させるため、許容誤差 $\pm 2\%$ 以下の高精度なものを使用します。

R6 の抵抗値を $1\ \Omega$ に設定した場合、STR6S161HDX の $V_{\text{OCP(H)}}$ の上限値は $0.933\ \text{V}$ なので、R6 に流れる電流のピーク $I_{\text{R6_P}}$ は次のとおり。

$$I_{\text{R6_P}} = \frac{0.933\ (\text{V})}{1\ (\Omega)} = 0.933\ (\text{A})$$

電源 IC のスイッチングのオンデューティを 0.5 とすると、R6 の実効電流 $I_{\text{R6_RMS}}$ は次のとおり。

$$I_{\text{R6_RMS}} = 0.933\ (\text{A}) \times \sqrt{\frac{0.5}{3}} \approx 0.381\ (\text{A})$$

これより、R6 の損失 P_{R6} は次のとおり。

$$P_{\text{R6}} = I_{\text{R6_RMS}}^2 \times R6 = 0.381^2 \times 1 \approx 0.145\ (\text{W})$$

以上より、本電源例では $1\ \Omega$ 、 $1/2\ \text{W}$ の抵抗を選択しています。

7.6 2 次側整流ダイオード D51 の選定

本設計例において、D51 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を使用します。安全性と電源効率を考慮して、低漏れ電流特性のショットキダイオードから選択します。

D51 の定格電流は、定格負荷とピーク電流を考慮し、十分にマージンを取ります。

D51 の定格電圧 V_{RM} は、式(3)のトランス T1 の巻数比 (N_s/N_p)、入力電圧 V_{INDC} 、出力電圧 V_{OUT} で決まる電圧に対して、十分にマージンを取ります。

$$V_{\text{RM}} \gg \left(\frac{N_s}{N_p} \times V_{\text{INDC}} \right) + V_{\text{OUT}} \quad (3)$$

$V_{\text{INDC}} = 288\ \text{V} \times \sqrt{2}$ 、 $V_{\text{OUT}} = 15\ \text{V}$ 、 $N_s/N_p = 0.1375$ とすると、式(3)より、 $V_{\text{RM}} \gg 71\ \text{V}$ と算出できます。これより、本電源例では $150\ \text{V}$ 、 $20\ \text{A}$ のショットキダイオード FMEN-220B を選択しています。

7.7 トランス仕様

トランスの設計条件を表 7-1、表 7-2 に示します。

表 7-1 入出力仕様

巻線	記号	仕様	備考
1 次巻線	P	90 VAC～288 VAC	
出力巻線	S	15 V、1.45 A	P 巻線と絶縁
1 次補助巻線	D	19 V	P 巻線と非絶縁、 VCC 端子供給用

表 7-2 電源仕様

項目	仕様	備考
定格負荷	21.8 W	
入力電圧	288 VAC (max.)	
回路効率	89%	
平均入力電流	0.29 A	90 VAC (min.)
スイッチング電流ピーク	0.87 A	90 VAC (min.) 起動時
スイッチング周波数	100 kHz	
最大オンデューティ	49%	

表 7-1、表 7-2 の条件から設計したトランス T1 の仕様は表 7-3 のとおりです。

表 7-3 トランス仕様

項目	仕様
1 次側インダクタンス L_p	1.3 mH
コアサイズ	EE25/25B (表 7-4 参照)
ボビン	縦型、10 ピン (表 7-5 参照)
AL-value	203 nH/N ² (センターギャップ 0.3 mm)
巻線仕様	表 7-6 参照
巻線構造	図 7-1 参照

表 7-4 コアの仕様

項目	仕様
コア形状	EE25/25B
コア材料	Mn-Zn、6H20 材
コア実効断面積 Ae	51.7 mm ²

表 7-5 ボビンの仕様

項目	仕様
ボビン形状	縦型 EE-2551
端子数	10 ピン
沿面距離	1 次側 : 4.0 mm (min.) 2 次側 : 4.0 mm (min.)

表 7-6 トランス巻線仕様

巻線名称	記号	巻数 (T)	端子番号		線形 (mm)	形式
			巻始め	巻終わり		
1 次巻線 1	P1	40	3	4	φ 0.26	1 層整列巻
出力巻線 1	S1	11	7	10	φ 0.32 × 2, TEX-E	1 層整列巻
VCC 用補助巻線	D	11	2	1	φ 0.18	1 層中央整列巻
出力巻線 2	S2	11	6	9	φ 0.32 × 2, TEX-E	1 層整列巻
1 次巻線 2	P2	40	4	5	φ 0.26	1 層整列巻

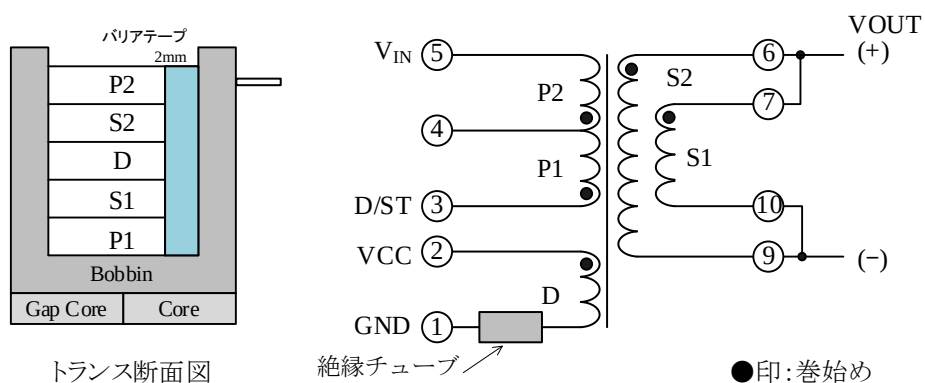


図 7-1 巻線構造

8. 特性データ

本資料に記載のデータは、室温、AC 電源周波数 50 Hz、負荷 21.8 W（15 V、1.45 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。

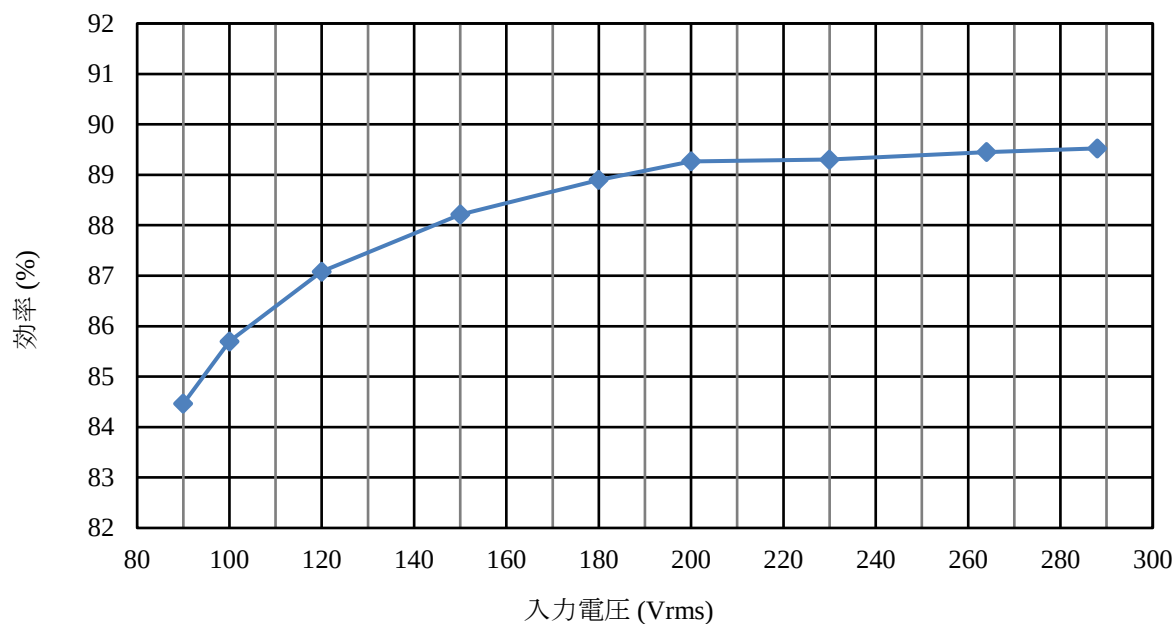


図 8-1 効率 – 入力電圧特性

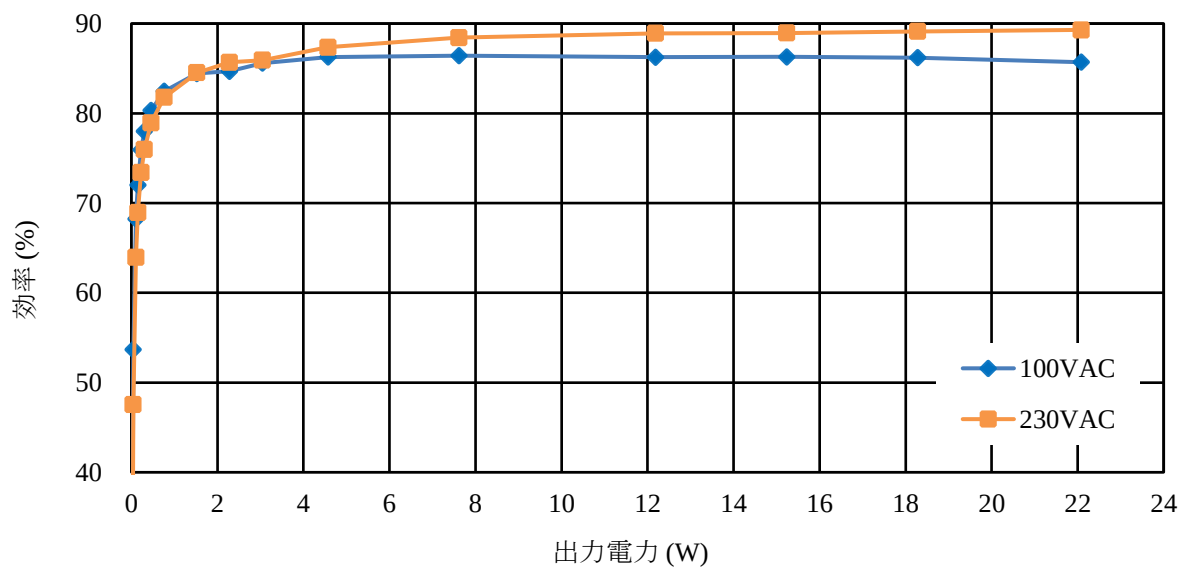


図 8-2 効率 – 出力電力特性

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 mW
230 VAC	59 mW

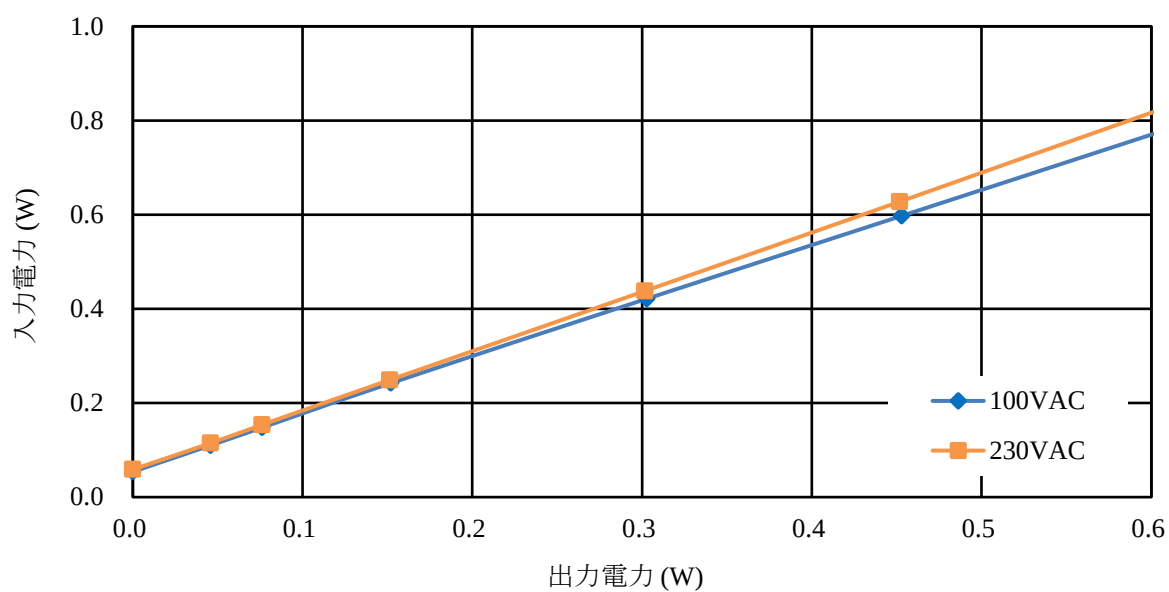


図 8-3 入力電力 – 出力電力特性

8.3 ラインレギュレーション特性

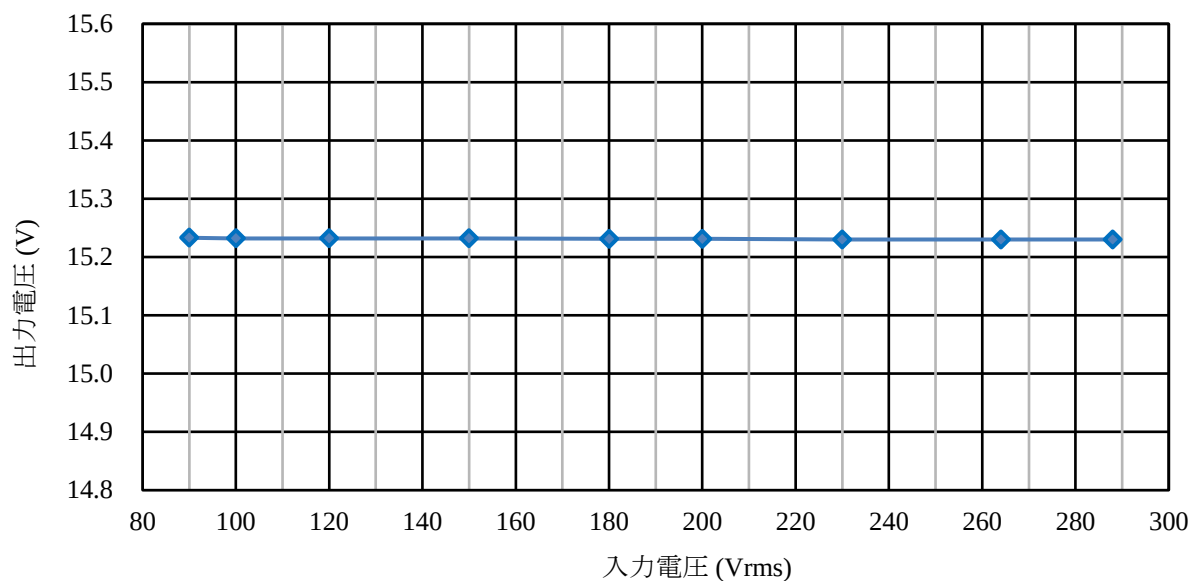


図 8-4 出力電圧 - 入力電圧特性

8.4 ロードレギュレーション特性

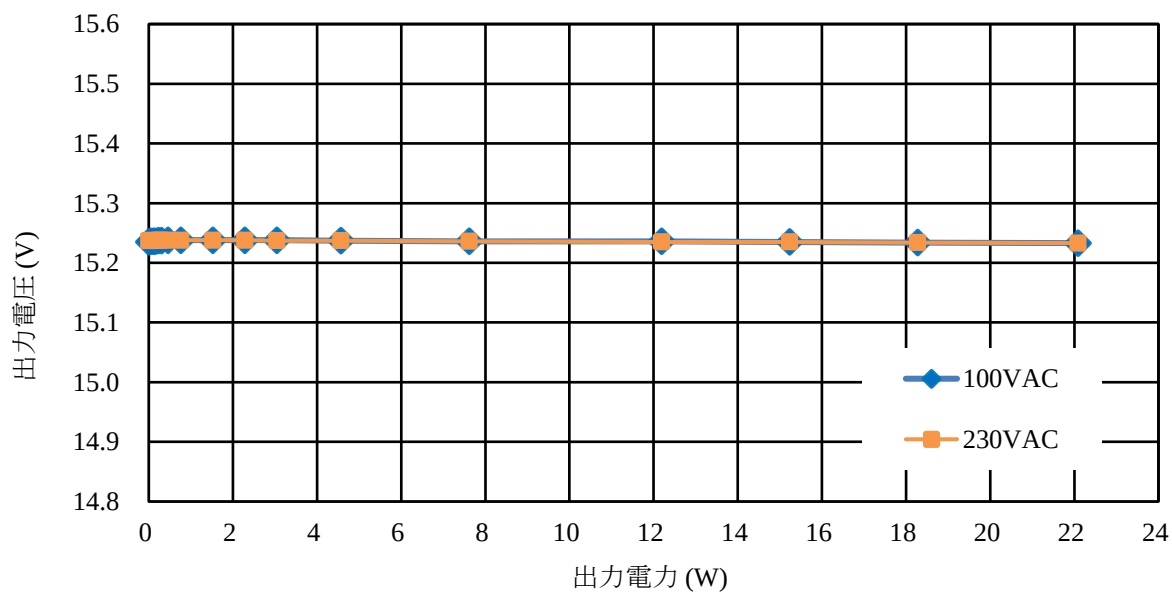


図 8-5 出力電圧 - 出力電力特性

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。

定格負荷は 21.8 W (15 V、1.45 A) です。

電源 IC (STR6S161HXD) の電氣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 R6 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。

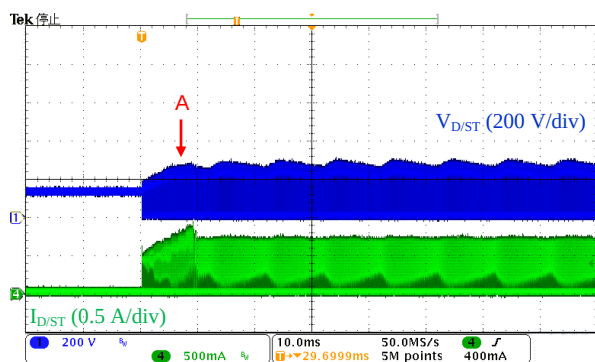


図 9-1 起動時動作波形
($V_{IN} = 90 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 1.45 \text{ A}$)

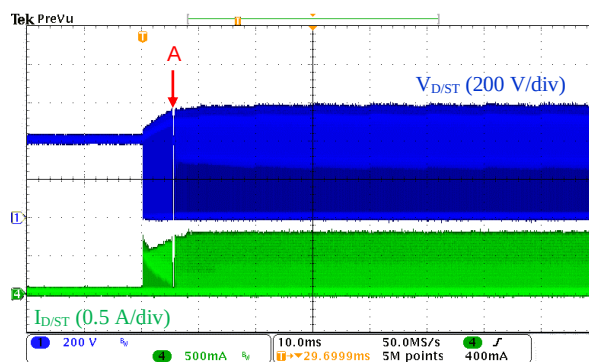


図 9-2 起動時動作波形
($V_{IN} = 288 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 1.45 \text{ A}$)

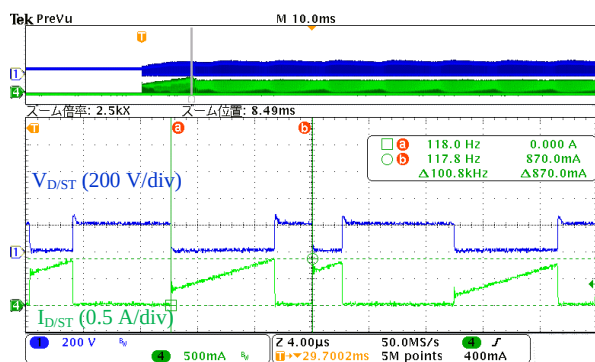


図 9-3 起動時動作波形
(図 9-1 A 部拡大)

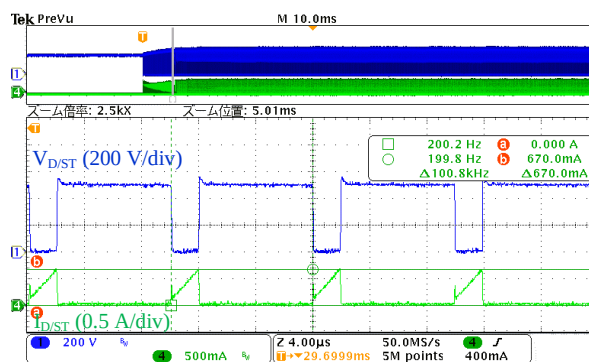


図 9-4 起動時動作波形
(図 9-2 A 部拡大)

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。

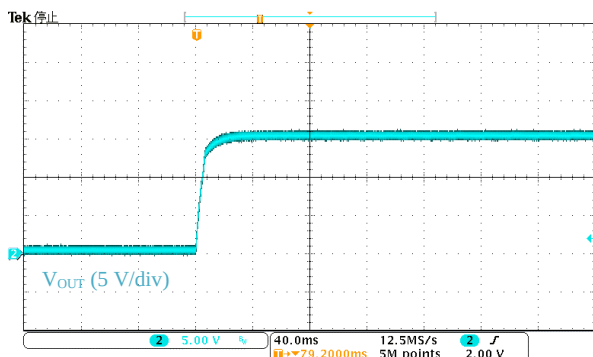


図 9-5 起動時出力電圧波形
($V_{IN} = 90 \text{ VAC}$, $I_O = 0 \text{ A}$)

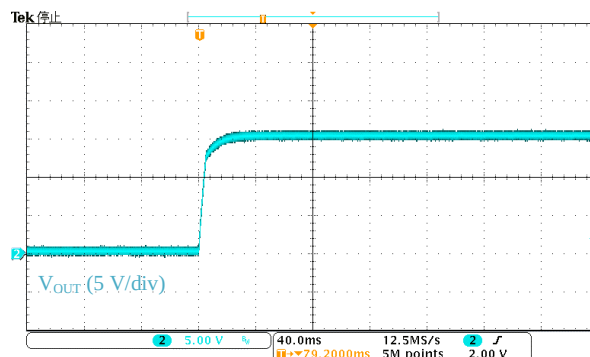


図 9-6 起動時出力電圧波形
($V_{IN} = 288 \text{ VAC}$, $I_O = 0 \text{ A}$)

9.1.3 VCC 端子電圧の確認

VCC 端子電圧はトランス T1 の補助巻線 D から供給します。VCC 端子電圧 V_{CC} が $V_{CC(BIAS)} < V_{CC} < V_{CC(OVP)}$ の範囲になるように補助巻線 D を設定します。補助巻線 D の電圧 V_D の目安は 15 V～20 V 程度です。無負荷時は、起動後に定常動作に入るとすぐにバースト発振動作に移行するため、VCC 端子電圧は一旦上昇して、すぐに低下します(図 9-7、図 9-8 参照)。無負荷時を含む全負荷範囲において VCC 端子電圧が $V_{CC(BIAS)} = 10.5 \text{ V (max.)}$ 以下にならないように、R7 の値を調整してください。

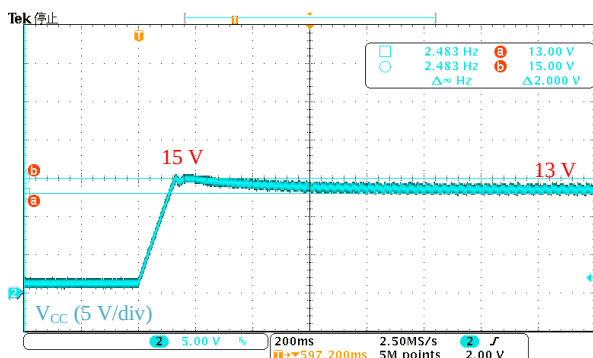


図 9-7 起動時 VCC 端子電圧波形
($V_{IN} = 90 \text{ VAC}$, $I_O = 0 \text{ A}$)

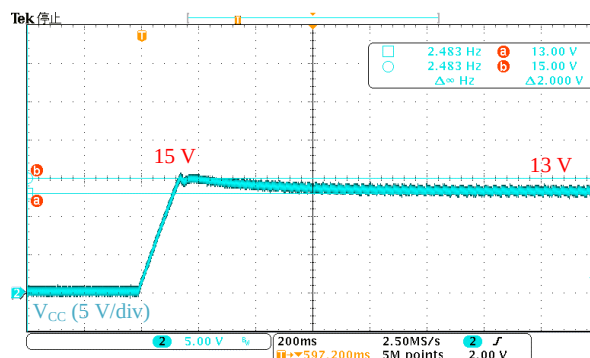


図 9-8 起動時 VCC 端子電圧波形
($V_{IN} = 288 \text{ VAC}$, $I_O = 0 \text{ A}$)

9.1.4 D51、D2 の印加電圧の確認

STR6S161HxD は、負荷条件に応じてパワーMOSFET のゲートドライブを内部で最適に制御するステップドライブ制御回路を搭載しています。これにより、ターンオン時の 2 次側整流ダイオード D51 および、VCC 端子の整流ダイオード D2 に印加されるサージ電圧を低減できるため、D51 や D2 の耐圧は従来よりも低く設定できます。さらには、ダイオードの低コスト化と、低 VF 化による回路効率の向上が実現できます。

図 9-9 に起動時の D51 の両端電圧波形、図 9-10 に起動時の D2 の両端電圧波形を示します。

図 9-9 より、D51 のピーク繰返し逆電圧の最大値は約 115 V で、D51 (FMEN-220B) のピーク繰返し逆電圧 V_{RM} の最大定格値 150 V に対し十分にディレーティングを確保できています (77%以下)。

図 9-10 より、D2 のピーク繰返し逆電圧の最大値は約 99 V で、D2 (SJPX-F2) のピーク繰返し逆電圧 V_{RM} の最大定格値 200 V に対し十分にディレーティングを確保できています (50%以下)。

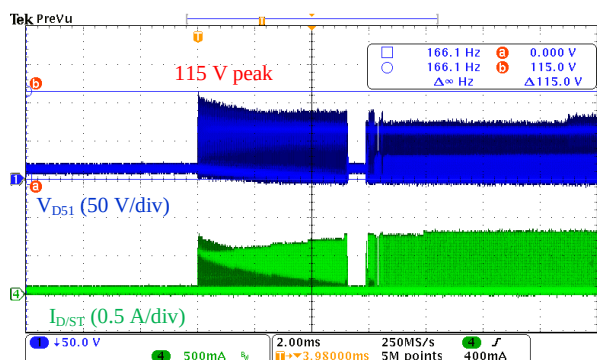


図 9-9 起動時 D51 動作波形
($V_{IN} = 288 \text{ VAC}$, $I_O = 1.45 \text{ A}$)

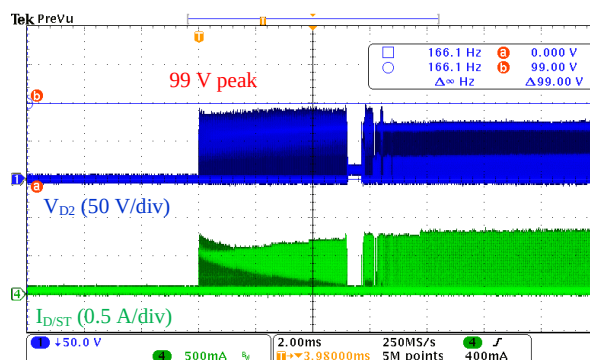


図 9-10 起動時 D2 動作波形
($V_{IN} = 288 \text{ VAC}$, $I_O = 1.45 \text{ A}$)

9.2 電源 IC のスイッチング動作の確認

STR6S161HXD 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。定格負荷時だけでなく、全負荷範囲での動作を確認します。

9.2.1 定格負荷時

図 9-11、図 9-12 に定格負荷時の動作波形を示します。これらの波形より、入力電圧が 90 VAC のときは約 99 kHz、288 VAC のときは約 57 kHz（グリーンモードの周波数）で動作しています。いずれも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。

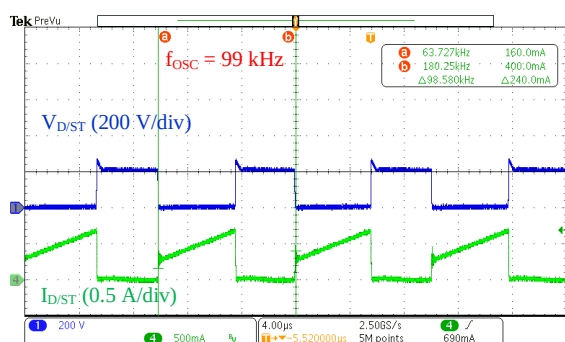


図 9-11 定格負荷時動作波形
($V_{IN} = 90 \text{ VAC}$, $I_O = 1.45 \text{ A}$)

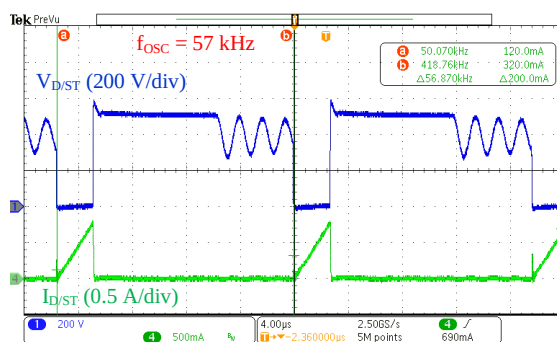


図 9-12 定格負荷時動作波形
($V_{IN} = 288 \text{ VAC}$, $I_O = 1.45 \text{ A}$)

9.2.2 軽負荷時動作（グリーンモード、バースト発振）

負荷が軽くなるとFB/OLP 端子電圧が低下します。FB/OLP 端子電圧が $V_{FB(FDS)} = 3.60 \text{ V (typ.)}$ 以下になるとグリーンモードに移行し、FB/OLP 端子電圧が $V_{FB(FDE)} = 3.10 \text{ V (typ.)}$ になるまで周波数を低減させます。

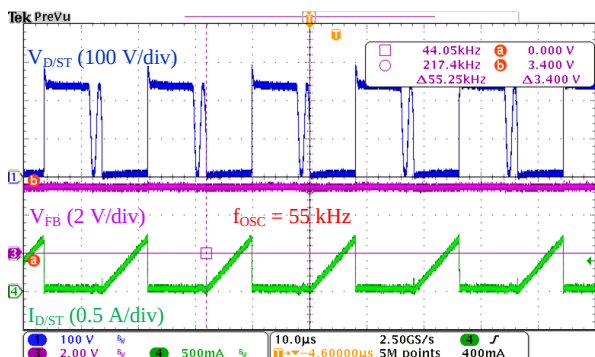


図 9-13 軽負荷時動作波形
($V_{IN} = 90 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 1.0 \text{ A}$)

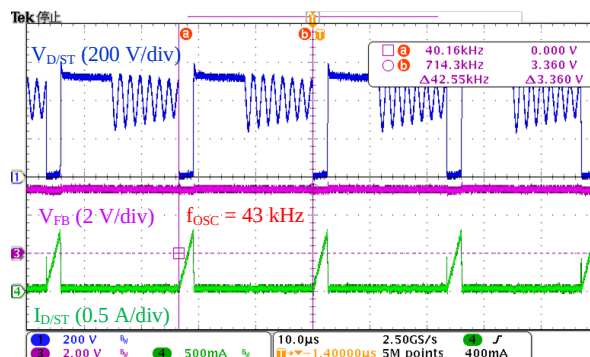


図 9-14 軽負荷時動作波形
($V_{IN} = 288 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 1.0 \text{ A}$)

グリーンモード移行後、FB/OLP 端子電圧が低下し、FB/OLP 端子電圧がスタンバイ動作点に達すると、バースト発振動作に移行します。

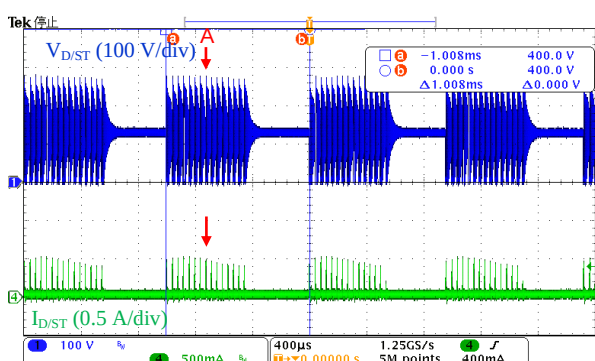


図 9-15 軽負荷時動作波形
($V_{IN} = 90 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 0.1 \text{ A}$)

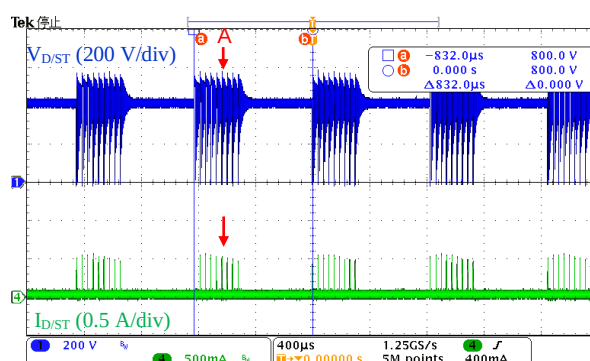


図 9-16 軽負荷時動作波形
($V_{IN} = 288 \text{ VAC}$ 、 $I_O = 0.1 \text{ A}$)

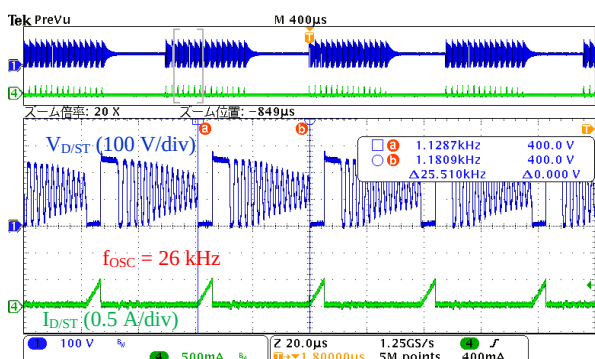


図 9-17 軽負荷時動作波形
(図 9-15 A 部拡大)

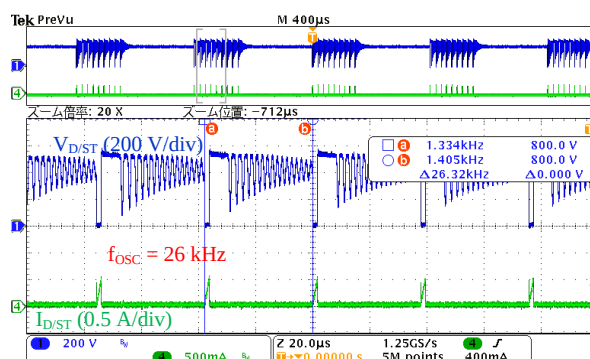


図 9-18 軽負荷時動作波形
(図 9-16 A 部拡大)

9.2.3 無負荷時動作（バースト発振）

負荷に応じてバースト発振周期は変化します。本設計例の無負荷時のバースト発振周期 T_{STBOP} は、入力電圧が 90 VAC で 32 ms、288 VAC で 34 ms です。

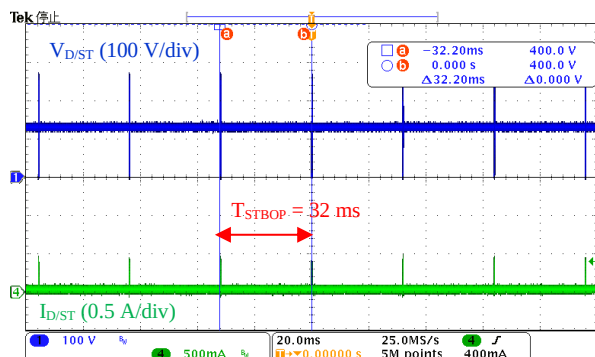


図 9-19 無負荷時動作波形
($V_{IN} = 90 \text{ VAC}$, $I_O = 0 \text{ A}$)

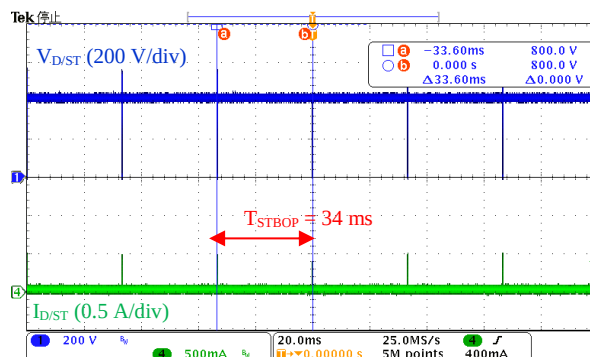


図 9-20 無負荷時動作波形
($V_{IN} = 288 \text{ VAC}$, $I_O = 0 \text{ A}$)

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、入力電圧が 90 VAC のときは 370 mV 程度、288 VAC のときは 260 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 μF ）とセラミックコンデンサ（50 V、0.1 μF ）を並列に接続）
- オシロスコープの帯域幅を 20 MHz に設定

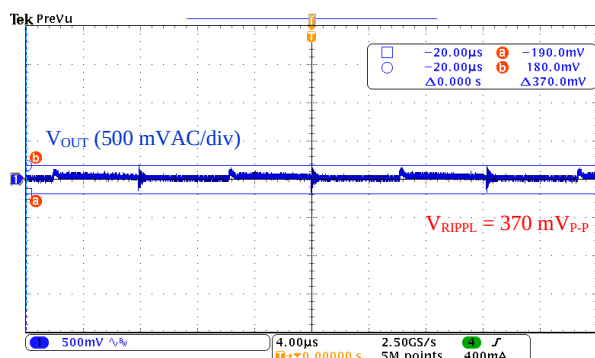


図 9-21 出力リップル電圧波形
($V_{IN} = 90 \text{ VAC}$, $I_O = 1.45 \text{ A}$)

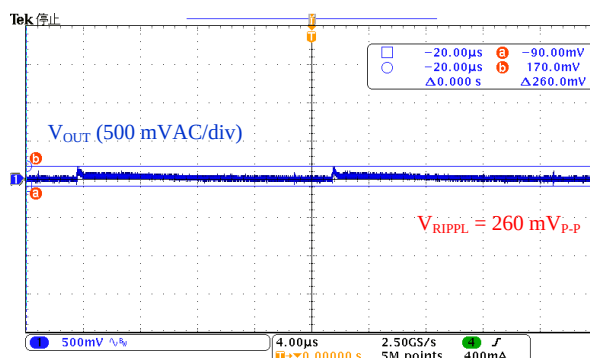


図 9-22 出力リップル電圧波形
($V_{IN} = 288 \text{ VAC}$, $I_O = 1.45 \text{ A}$)

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 $I_{D/ST}$ 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 R_6 には以下の関係があります。

$$I_{DLIM} = \frac{V_{OCP(H)}}{R_6} \quad (4)$$

ここで、

$V_{OCP(H)}$ ：STR6S161HXD の 36% オンデューティ時 OCP しきい電圧

R_6 ：電流検出抵抗 R_6 の値

FB/OLP 端子電圧が、OLP しきい電圧 $V_{FB(OLP)} = 7.3 \text{ V (typ.)}$ を超えている状態を OLP 遅延時間 $t_{OLP} = 75 \text{ ms (typ.)}$ 以上継続すると、過負荷保護（OLP：Overload Protection）が動作してスイッチング動作を停止します。OLP 動作時は、VCC 端子電圧による間欠発振動作を行い、パワーMOSFET や 2 次側整流ダイオードなどの部品ストレスを低減します。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。

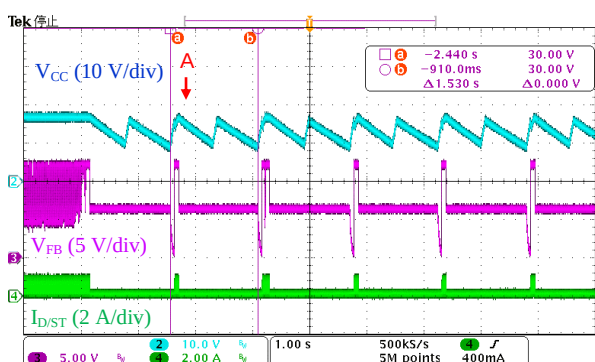


図 9-23 OCP、OLP 動作波形
($V_{IN} = 90 \text{ VAC}$, $I_O > 1.45 \text{ A}$)

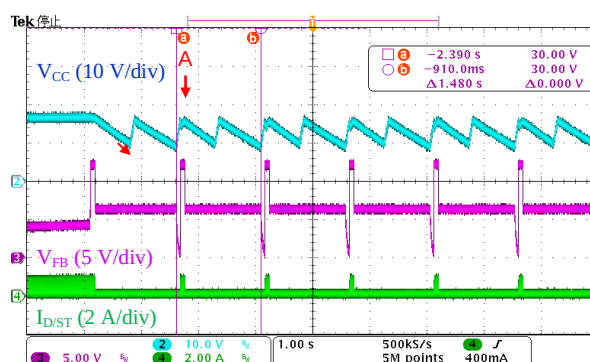


図 9-24 OCP、OLP 動作波形
($V_{IN} = 288 \text{ VAC}$, $I_O > 1.45 \text{ A}$)

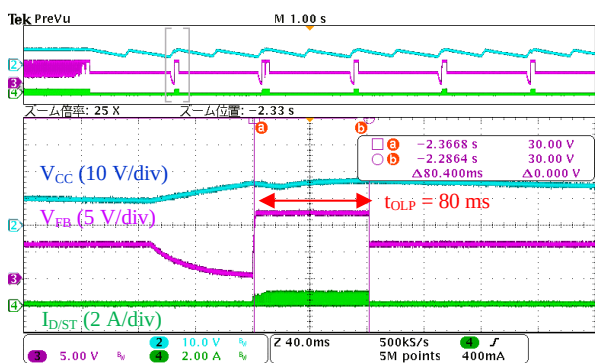


図 9-25 OCP、OLP 動作波形
(図 9-23 A 部拡大)

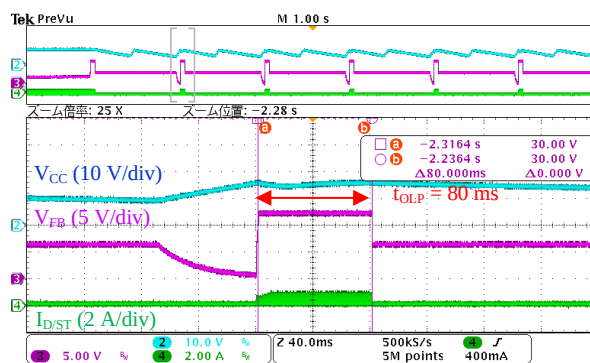


図 9-26 OCP、OLP 動作波形
(図 9-24 A 部拡大)

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 $V_{CC(OVP)} = 29.1 \text{ V (typ.)}$ 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。

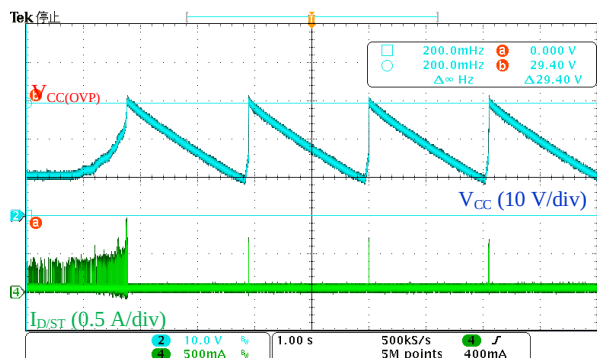


図 9-27 OVP 動作波形
($V_{IN} = 90 \text{ VAC}$, $I_O = 0 \text{ A}$)

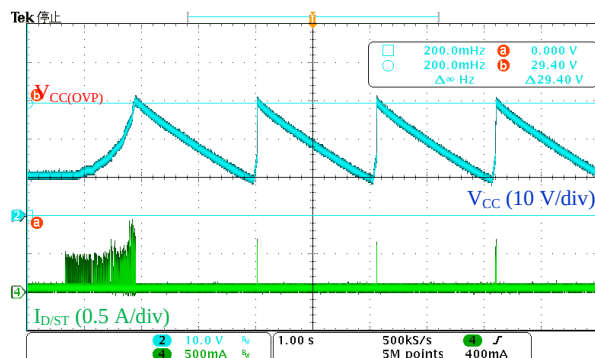


図 9-28 OVP 動作波形
($V_{IN} = 288 \text{ VAC}$, $I_O = 0 \text{ A}$)

9.6 AC 入力過電圧保護（HVP）動作の確認

BR 端子電圧が HVP しきい電圧 $V_{BR(HVP)} = 5.51 \text{ V (typ.)}$ 以上になると、スイッチング動作を停止します。AC 入力電圧が低下し、BR 端子電圧が HVP 解除しきい電圧 $V_{BR(HVPR)} = 5.39 \text{ V (typ.)}$ 以下になると、スイッチング動作を再開します。

図 9-29 は HVP 動作時の波形です。入力電圧が上昇し、平滑後の電圧が 468 V（入力電圧は 330 VAC）になると発振を停止します。このとき、ドレイン電圧のピークは約 632 V です。ドレイン電圧のピークは、本 IC の耐圧 700 V 未満になっています。図 9-30 は、HVP 解除時の波形です。入力電圧が低下し、平滑後の電圧が 452 V（入力電圧は 320 VAC）になると、発振を再開します。このとき、ドレイン電圧のピークは約 616 V です。

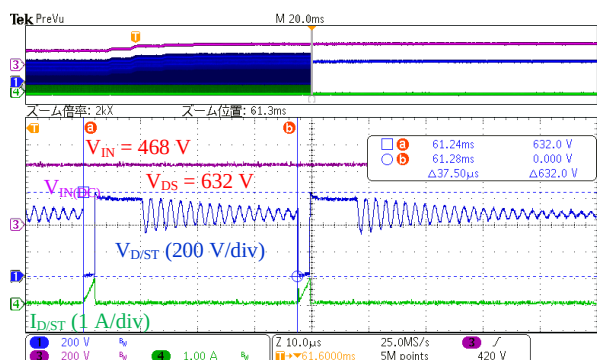


図 9-29 HVP 動作波形

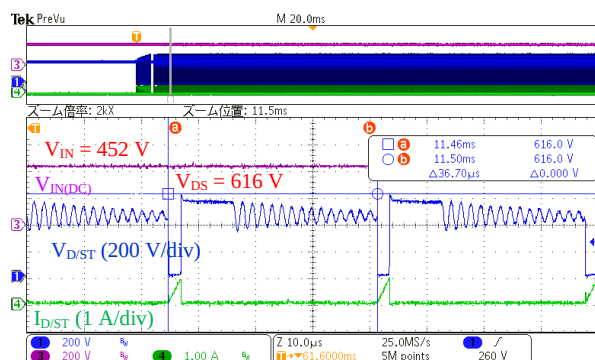


図 9-30 HVP 解除時動作波形

9.7 ブラウンイン・ブラウンアウト動作の確認

BR 端子電圧がブラウンアウトしきい電圧 $V_{BR(OUT)} = 0.85 \text{ V (typ.)}$ 以下になると、IC が動作状態 ($V_{CC(OFF)} \leq V_{CC}$ 端子電圧の状態) でも、その状態が OLP 遅延時間 $t_{OLP} = 75 \text{ ms (typ.)}$ 継続すると、スイッチング動作を停止します。AC 入力電圧が上昇し、IC が動作状態、かつ BR 端子電圧がブラウンインしきい電圧 $V_{BR(IN)} = 1.11 \text{ V (typ.)}$ 以上になると、スイッチング動作を開始します。

図 9-31 はブラウンアウト動作時の波形です。入力電圧が低下し、平滑後の電圧が 72 V (入力電圧は 51 VAC) になると発振を停止します。図 9-32 は、ブラウンイン時の波形です。入力電圧が上昇し、平滑後の電圧が 96 V (入力電圧は 68 VAC) になると発振を再開します。

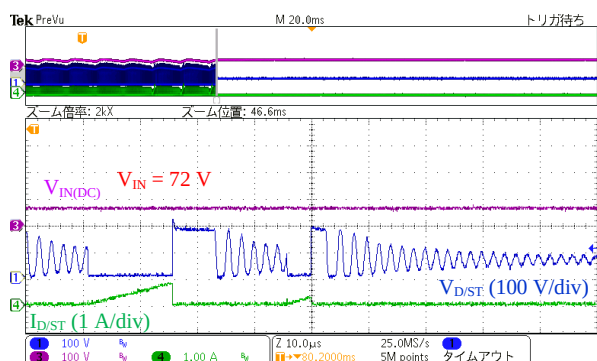


図 9-31 ブラウンアウト動作波形

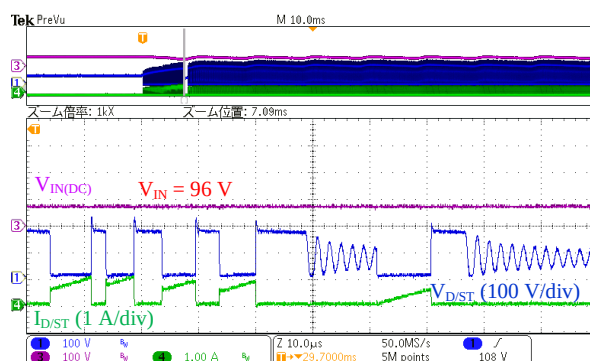


図 9-32 ブラウンイン動作波形

9.8 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部品のケース温度の測定結果を示します。

表 9-1 入力電圧と部品の温度 ($I_o = 1.45 \text{ A}$)

周囲温度 (°C)	入力電圧 (VAC)	定格負荷時ケース温度 (°C)		
		電源 IC (U1)	2 次側整流 ダイオード (D51)	トランス (T1)
25	90	73.5	73.1	48.3
	288	54.8	74.6	47.6
50*	90	98.5	98.1	73.3
	288	79.8	99.6	72.6

*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： $I_o = 1.45\text{ A}$ 、FG = Open

テストモード：Average

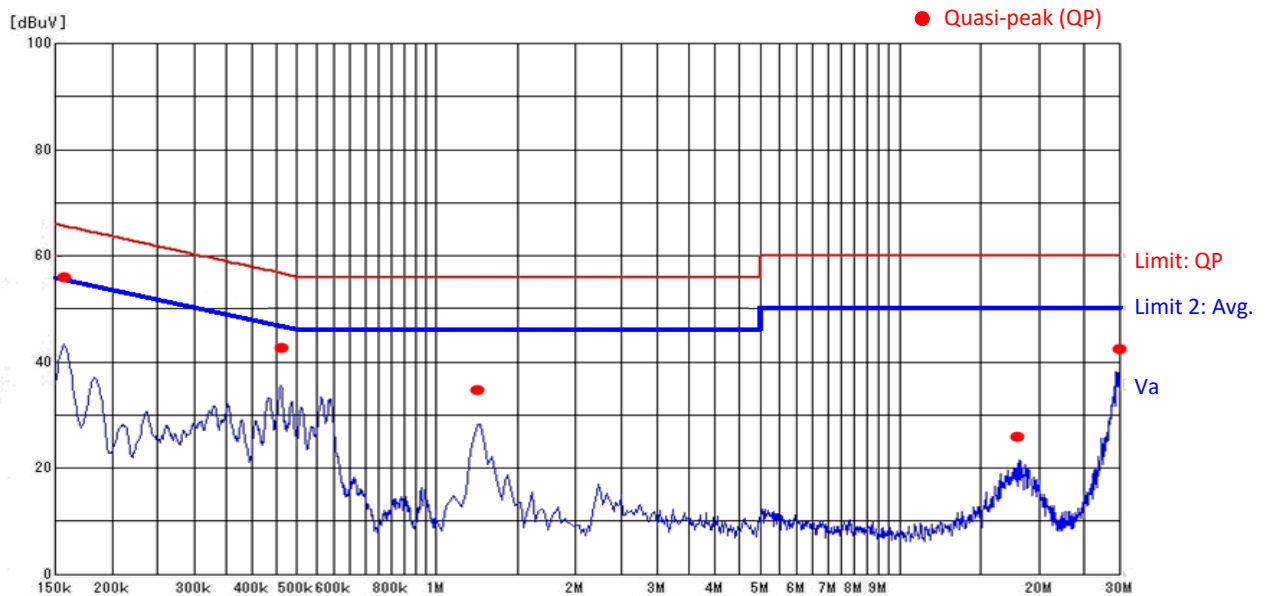


図 10-1 EMI 測定結果（Live、 $V_{IN} = 100\text{ VAC}$ ）

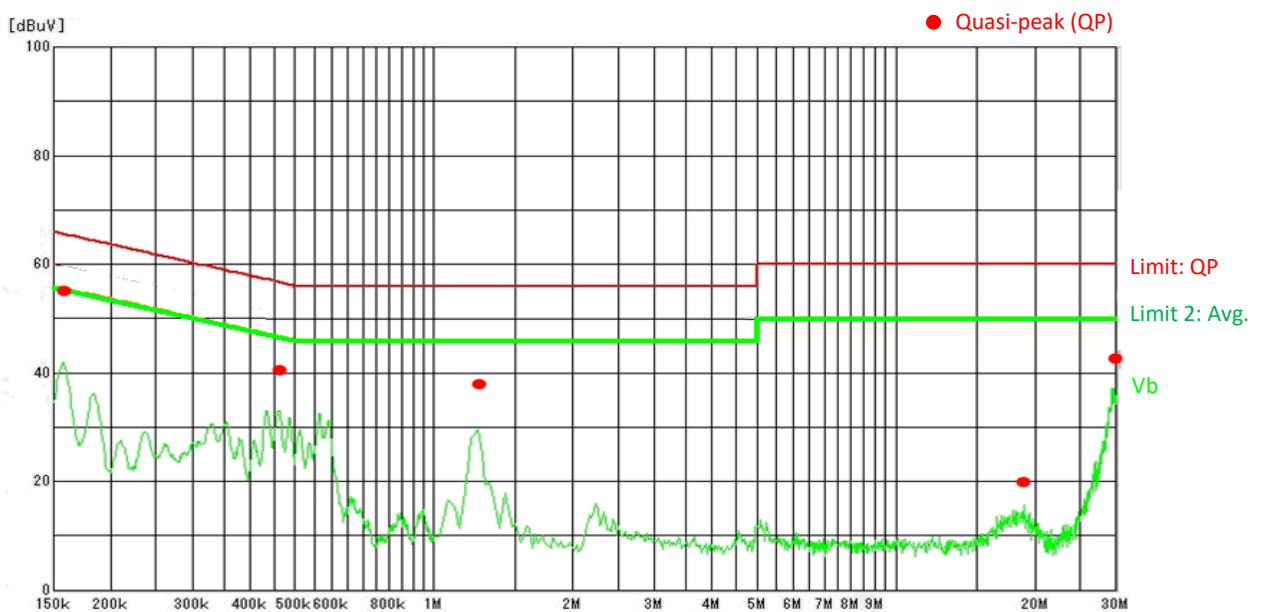
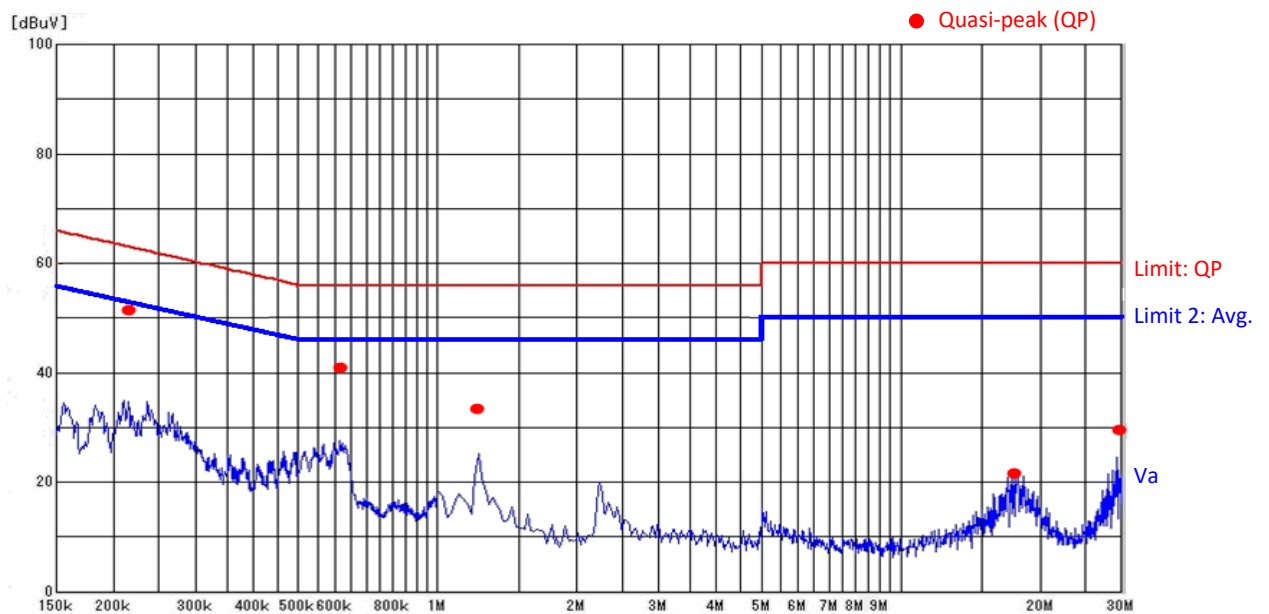
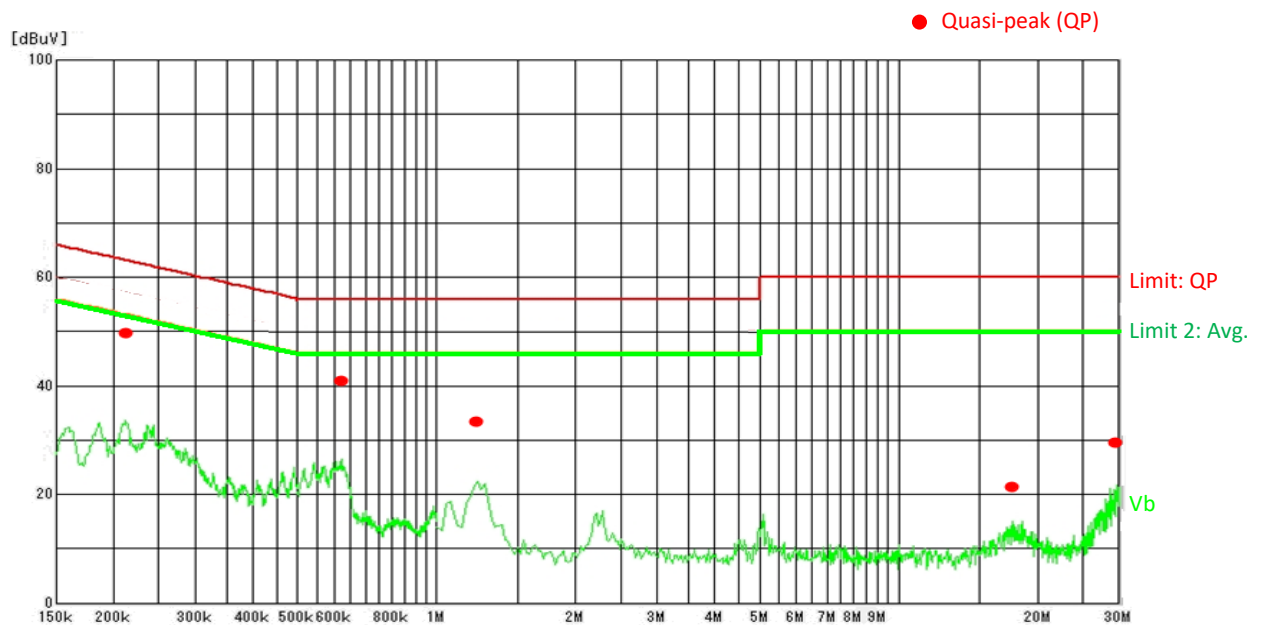


図 10-2 EMI 測定結果（Neutral、 $V_{IN} = 100\text{ VAC}$ ）

図 10-3 EMI 測定結果 (Live、 $V_{IN} = 230 \text{ VAC}$)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ものです。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。

DSGN-CJZ-16003