

設計例レポート

タイトル	HiperLCS™ LCS701HG を使用した 125 W LLC DC-DC 共振コンバータ
仕様	380 VDC 入力、24 V、4 A 出力及び 12 V、2.4 A 出力
用途	LCD TV
作成者	アプリケーション技術部門
ドキュメント番号	DER-270
日付	2011 年 9 月 13 日
改訂	1.0

概要と機能

- 低背型設計
 - LCD TV 向けの高さ 11 mm の低背型設計
- 部品点数の少ないソリューション
 - コントローラ、ドライバ、及び MOSFET ハーフブリッジを 1 つの HiperLCS IC に集積することで、大幅な部品点数の削減及び簡素化が実現
- 高い動作周波数 (190 kHz)
 - セラミック出力コンデンサの使用が可能
 - 低背型 EFD35 コア サイズの使用が可能
- 高性能
 - 最大負荷時効率 94% 以上
 - 優れた出力クロスレギュレーション
 - 損失低減のための損失ゼロのコンデンサ電流センス
 - バーストモードにより、無負荷状態におけるレギュレーションを改善

特許情報

ここで提示した製品及びアプリケーション (製品の外付け周辺回路及びトランス構造も含む) は、米国及び他国の特許の対象である場合があります。また、Power Integrations に譲渡された米国及び他国の出願中特許の対象である場合があります。Power Integrations の持つ特許の全リストは、www.powerint.com に掲載されます。Power Integrations は、<http://www.powerint.com/ip.htm> に定めるところに従って、特定の特許権に基づくライセンスを顧客に許諾します。

Power Integrations

5245 Hellyer Avenue, San Jose, CA 95138 USA.
電話: +1 408 414 9200 ファックス: +1 408 414 9201
www.powerint.com

目次

1	はじめに	4
1.1	重要な注意点	4
2	電源仕様	6
3	回路図	7
4	回路の説明	8
4.1	一次側	8
4.2	出力整流	10
5	PCB レイアウト	11
6	部品表	12
7	トランスの仕様	14
7.1	回路図	14
7.2	電気仕様	15
7.3	材料	15
7.4	トランスの構造図	16
7.5	トランス構造	16
7.6	構造の図	17
8	トランスの設計計算シート	21
9	出カインダクタの仕様	27
9.1	回路図	27
9.2	電気仕様	27
9.3	材料リスト	27
10	ヒートシンク アセンブリ	28
10.1	ダイオード ヒートシンク	28
10.1.1	ダイオード ヒートシンクの図面	28
10.1.2	ダイオード ヒートシンク アセンブリ図面	29
10.2	HiperLCS ヒートシンク	30
10.2.1	HiperLCS ヒートシンクの図面	30
10.2.2	HiperLCS ヒートシンク製造アセンブリ図面	31
10.2.3	HiperLCS 及びヒートシンク アセンブリ図面	32
11	性能データ	33
11.1	効率 – 100%、50%、20%、及び 10% の負荷	33
11.1.1	効率データ	33
11.2	出カクロス レギュレーション	33
11.2.1	クロス レギュレーション データ	33
11.3	起動時及びシャットダウン時の整流電圧	34
11.3.1	起動時及びシャットダウン時の整流電圧のデータ (最大負荷)	34



12	波形	35
12.1	通常動作時のハーフブリッジ電圧とハーフブリッジ電流	35
12.2	出力電圧起動プロファイル	36
12.3	出力停止	37
12.4	出力ダイオードピーク逆電圧	38
12.5	短絡	39
12.6	出力リップルの測定	40
12.6.1	リップルの測定方法	40
12.6.2	出力リップルの測定結果	41
12.7	出力負荷ステップ応答	43
13	温度測定	44
13.1	条件: 380 VDC、最大負荷、1 時間動作	44
14	ゲイン位相測定	47
15	改訂履歴	48

重要なお知らせ:

この基板は絶縁に関する安全要件を満たすよう設計されていますが、評価プロトタイプは機関の承認を得られていません。



1 はじめに

このドキュメントは、LLC コンバータの電力部を内蔵した IC、LCS701HG を使用し、12 V 及び 24 V、125 W 仕様の LLC DC-DC コンバータに関する技術レポートです。この電源は、LED バックライトを備えた LCD TV で使用されることを想定しています。このボードには、12 VDC 及び 380 VDC 入力が必要です。

このドキュメントには、電源仕様書、回路図、部品表、トランス資料、基板レイアウト、及び性能データが記載されています。

1.1 重要な注意点

正常に動作させるには、RD-270 の +380 V の入力と入力ターンの両端子間に 10 μ F 以上の整流コンデンサを直接配置する必要があります。

注:この電源には、短絡保護はありますが、過電圧保護は実装されていません。TL431 (U3) またはフォトカプラ (U2) を停止させ過電圧テストを行うと、出力電圧が大きく上昇して、出力ショットキー ダイオード (D2-D4) がブレイクダウンし、破損します。

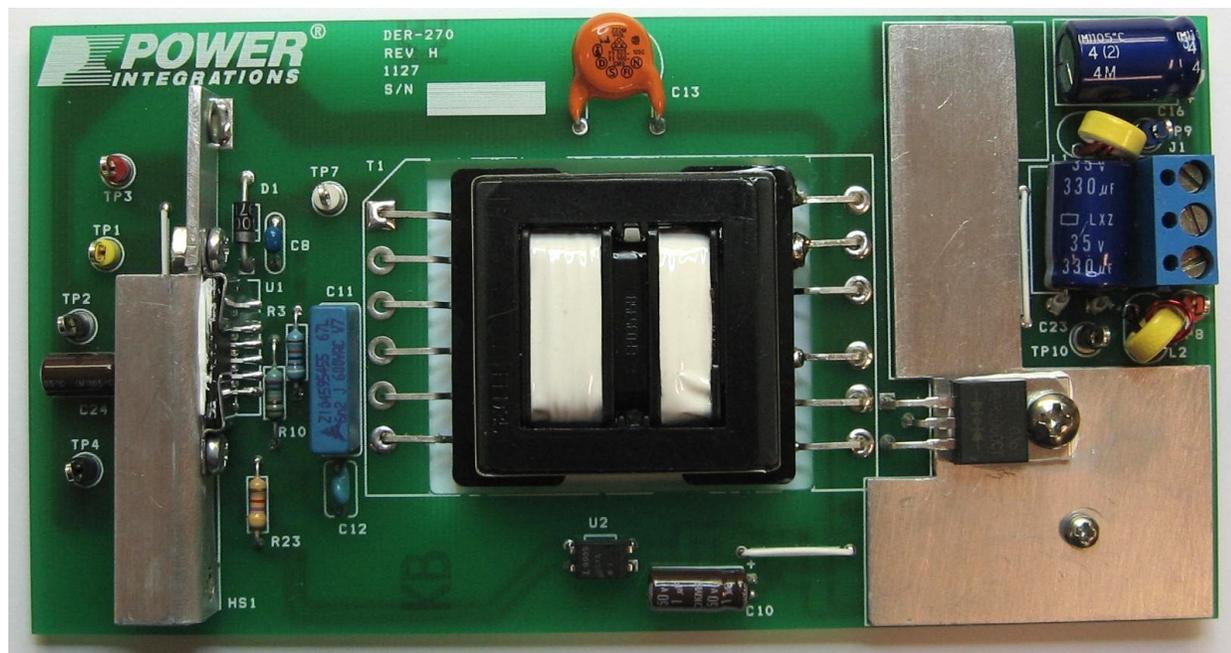


図 1 - 実装基板の写真、上面図。2.97 インチ x 5.8 インチ (75.44 mm x 147.32 mm)



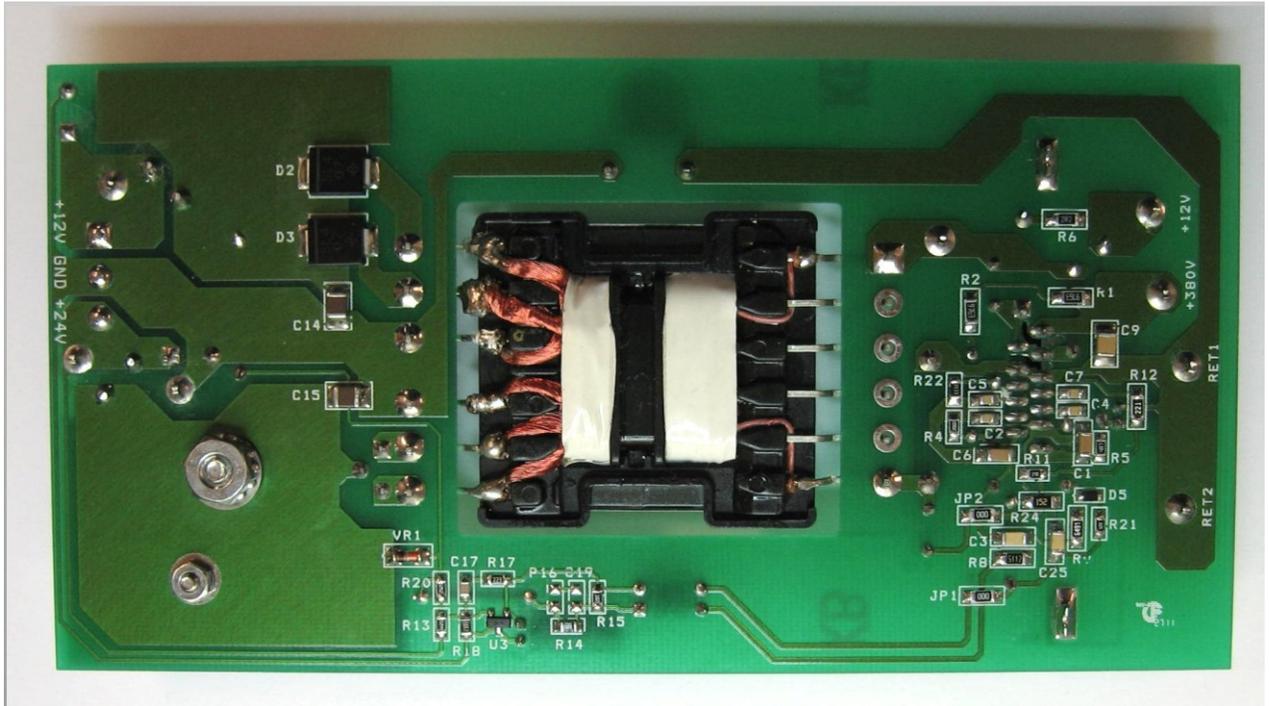


図 2 - 実装基板の写真、底面図



2 電源仕様

次の表は、設計上の最小許容性能を示しています。実際の性能は、性能データ セクションを参照してください。

概要	記号	最小	標準	最大	単位	コメント
入力 電圧 発振周波数 無負荷時入力電力 (230 VAC)	V_{IN} f_{LINE}	300	380 なし	420	VDC Hz W	DC 入力のみ なし
出力 出力電圧 1 出力 P-P リップル電圧 1 出力電流 1 出力電圧 2 出力 P-P リップル電圧 2 出力電流 2	V_{OUT1} $V_{RIPPLE1}$ I_{OUT1} V_{OUT2} $V_{RIPPLE2}$ I_{OUT2}	11.4 0.02 22.8 0.00	12 2.4 24 4	12.6 120 2.4 25.2 240 4	V mV A V mV A	$\pm 5\%$ 20 MHz バンド幅 両方の出力の合計負荷 125 W 以下 $\pm 5\%$ 20 MHz バンド幅 両方の出力の合計負荷 100 W 以下
出力電力の合計 連続出力電力 ピーク出力電力	P_{OUT} P_{OUT_PEAK}			125 125	W W	
効率 負荷 20% 負荷 50%	η η	87.5 93.5	88 94.0		% %	DC-DC コンバータ目標効率、25 °C、 380 VDC 入力で測定 DC-DC コンバータ目標効率、25 °C、 380 VDC 入力で測定
負荷 100%	η	94.0	94.2		%	DC-DC コンバータ目標効率、25 °C、 380 VDC 入力で測定
無負荷時入力電力			0.350			バースト モード動作は、出力無負荷 時の出力レギュレーションを維持す るよう指定



3 回路図

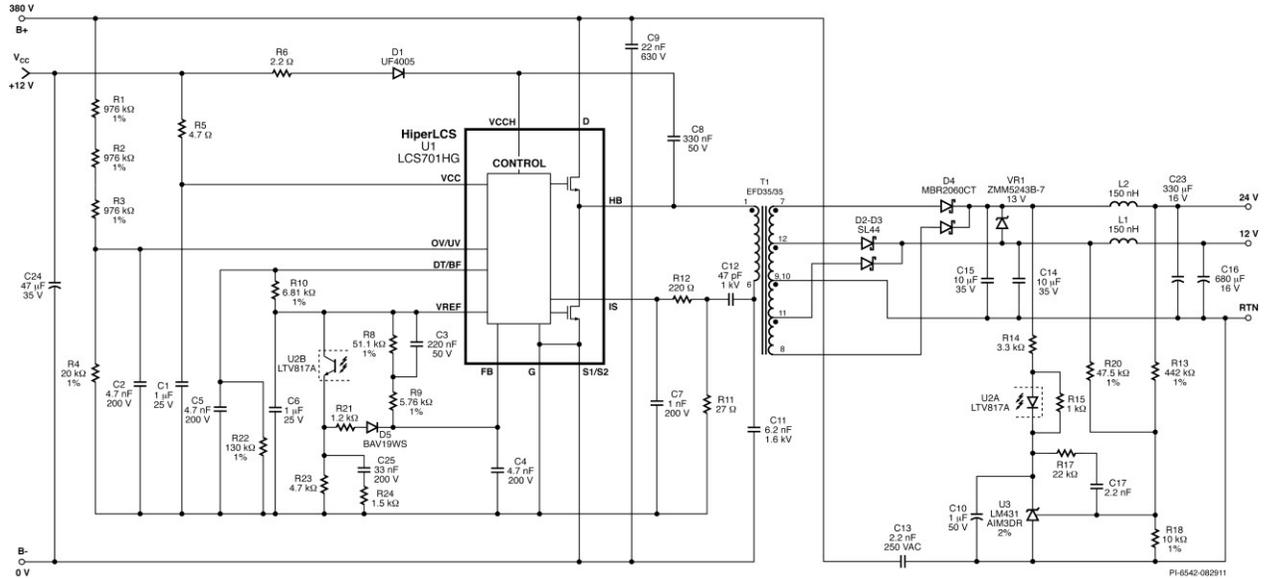


図 3 - 回路図

4 回路の説明

図 3 の回路図は、LCD TV アプリケーションでの使用を想定し、LCS701HG を使用して実装された 12 V 及び 24 V、125 W LLC DC-DC コンバータを示しています。この回路が動作するには、+12 V 及び +380 V の電源が必要です。

正常に動作させるには、RD-270 の +380 V の入力と入力ターンの両端子間に 10 μ F 以上の整流コンデンサを直接配置する必要があります。

4.1 一次側

集積回路 U1 には、LLC 共振ハーフブリッジ コンバータに必要な制御回路、ドライバ、出力デバイスが集積されています。U1 の HB 出力は、ブロッキング及び共振コンデンサ (C11) 経由で出力トランス T1 を駆動します。このコンデンサの定格は、動作リップル電流に対応する必要があります。また、電圧定格は、異常状態時の電圧に耐えるように選択する必要があります。

トランス T1 は、100 μ H の漏れインダクタンス用に設計されています。この値と共振コンデンサ C11 の値から、以下の方程式に基づき、一次直列共振周波数が 202 kHz 以下に設定されます。

$$f_R = \frac{1}{6.28\sqrt{L_L \times C_R}}$$

この方程式の f_R は、直列共振周波数 (単位ヘルツ) です。 L_L は、トランスの漏れインダクタンス (単位ヘンリー) です。そして、 C_R は、共振コンデンサ (C11) の値 (単位ファラッド) です。

トランスの巻線比は、最大負荷時の定格入力電圧の動作周波数が前述の共振周波数をわずかに下回る (190 kHz 以下) ように一次巻線を調整することによって設定されました。また、二次巻線は、コア損失と銅損のバランスを考慮し、選択されました。一次巻線には AWG #42 リッツ線が使用され、二次巻線には AWG #40 リッツ線が使用されました。この巻線ゲージの組み合わせにより、200 kHz での効率が向上します。それぞれの巻線本数 (ストランド数) は、巻線棒と銅損のバランスをとって選択されました。200 kHz の動作周波数は、トランスのサイズ、出力フィルタ コンデンサ、及び効率の最もバランスの取れた値です。

部品 D1、R6、及び C8 は、ブートストラップ回路を構成して、U1 のトップ サイドドライバを供給します。部品 R5、C1、及び C24 は、+12 V 入力をフィルタ及びバイパスします。分圧器 R1 ~ R4 は、U1 の高電圧ターンオンと過電圧スレッシュホールドを設定します。分圧器の値は、入力過電圧ポイント 473 VDC で、LLC ターンオン ポイントが 360 VDC、ターンオフ ポイントが 285 VDC となるように選択されました。

コンデンサ C9 は、+380 V 入力の高周波バイパス コンデンサです。



コンデンサ C12 は、C11 とともに電流分割器を形成します。C12 は、一次電流の一部をサンプリングするのに使用されます。抵抗 R11 がこの電流を検出します。結果として生じた信号は、R12 と C7 によってフィルタされます。コンデンサ C12 の定格は、異常状態時のピーク電圧に対応する必要があります。また、C12 には、フィルム、SL セラミック、NPO セラミック、COG セラミックなどの安定した低損失誘電体を使用する必要があります。この設計で使用されているコンデンサは、CCFL チューブのドライバで一般的に使用される、"SL" 温度特性を備えたセラミックコンデンサです。選択された値に基づいて、以下の方程式から 1 サイクル (高速) のカレントリミットが 4.1 A に、8 サイクル (低速) のカレントリミットが 2.3 A に設定されます。

$$I_{CL} = \frac{0.5V}{\left(\frac{C12}{C11+C12}\right)(R11)}$$

I_{CL} は、8 サイクルのカレントリミット (単位アンペア) です。R11 は、カレントリミット抵抗 (単位オーム) です。C11 と C12 は、それぞれ共振コンデンサと電流サンプリングコンデンサの値 (単位ナノファラッド) です。1 サイクルのカレントリミットについては、上記の方程式で 0.5 V の代わりに 0.9 V を使用します。

抵抗 R12 とコンデンサ C7 は、IS ピンへの一次電流信号をフィルタします。抵抗 R12 の最大許容抵抗は、220 Ω に設定されています。C7 の値は、ノイズによる誤動作を防ぐために 1 nF に設定されています。ただし、この値は、前述の計算によるカレントリミット設定値に大きく影響するほど高くはありません。これらの部品は、最大の効果が得られるように IS ピンの近くに配置する必要があります。IS ピンは負電流を許容できるので、電流センス回路に複雑な整流回路は必要ありません。

抵抗 R10 は、デッドタイムを 320 nS に設定し、U1 の最大動作周波数を 847 kHz に設定します。U1 の F_{MAX} 入力は、C5 によってフィルタされます。また、R10 と R22 の組み合わせにより、U1 に対してバーストモード "1" が選択されます。この結果、下側と上側のバーストスレッシュホールド周波数がそれぞれ 382 kHz と 437 kHz に設定されます。

FEEDBACK ピンには、FEEDBACK ピンに流れる電流 1 μA あたり 2.6 kHz という近似特性があります。FEEDBACK ピンへの電流は、U1 の動作周波数を増加させ、出力電圧を軽減します。R8 と R9 の直列接続により、U1 の最小動作周波数が 124 kHz 以下に設定されます。一般に、この値は、最大負荷かつ最小整流コンデンサ電圧でのレギュレーションに必要な周波数より少し低く設定されます。抵抗 R8 は C3 によってバイパスされます。これは、フィードバックループがオープン時に、最初により大きな電流が FEEDBACK ピンに流れるようにすることによって、起動時の出力ソフトスタートを実現するためです。この結果、スイッチング周波数が高い周波数から始まり、その後、出力電圧がレギュレーション範囲になるまで小さくなります。R9 は通常、ソフトスタート時の初期周波数が R10 で設定される最大スイッチング周波数と等しくなるように、R10 と同じ値に設定されます。R9 の値がこれより小さいと、スイッチング開始前にディレーが発生します。



フォトカプラ U2 は、FEEDBACK ピンへの最大フォトカプラ電流を制限する R21 経由で U1 FEEDBACK ピンを駆動します。コンデンサ C4 は、FEEDBACK ピンをフィルタします。抵抗 R23 は、フォトカプラ出力に負荷をかけて比較的高い暗電流で動作させ、ゲインを増やします。抵抗 R21 及び R23 は、大信号ステップ応答とバースト モード出力リップルも改善します。ダイオード D5 は、 F_{MAX} /ソフトスタート回路から R23 を絶縁します。

4.2 出力整流

トランス T1 の出力は、D2 ~ D4、C14、C15 によって整流及び平滑されます。これらのコンデンサは X5R 誘電体であり、出力リップル電流定格を満足するよう選定されます。このアプリケーションでは、標準 Z5U コンデンサの使用は困難です。出力整流ダイオード D4 は、効率の高さで選ばれた 60 V ショットキー ダイオードです。トランスの二次側の半分を編み合わせると(トランス構造のセクションを参照)、二次側の半分の間の漏れインダクタンスが減少するので、24 V 出力整流ダイオードの最悪条件の PIV が 57 V に減少します。その結果、高効率を実現できる 60 V ショットキー ダイオードの使用も可能になります。追加の出力フィルタは、L1、L2、C16、C23 によって行われます。また、コンデンサ C16 及び C23 は、LLC "仮想" 出力直列 R-L とセラミック出力コンデンサ C14 及び C15 によって生じた LLC 出力インピーダンスピークを減衰させます。さらに、高速で高振幅の負荷ステップに対する応答を改善します。抵抗 R13、R18、及び R20 は、U3 基準電圧とともに、電源の出力電圧を設定します。出力分圧器は、12 V 出力が優勢になるように重み付けされます。これは、負荷が比較的一定であると予想されるためです。エラー アンプ U3 は、R14 経由でフィードバック フォトカプラ U2 を駆動します。部品 C17、C25、R14、R17、及び R23 は、電源のゲイン位相特性を決定します。これらの値は、定格及び極端な負荷や入力電圧の組み合わせでも安定動作を実現するように選択されました。フォトカプラ U2 の LED 電流が無い場合、抵抗 R15 により、必要な最小動作電流を U3 に流すことができます。コンデンサ C10 は、ターンオン時の出力のオーバーシュートを解消できるように "ソフトスタート" を実現します。その ESR は、TL431 (U3) の出力インピーダンスがゲイン位相応答時に支配的になるように、十分に高くなっています。



その他の情報

スマートフォンと www.neoreader.com の無料ソフトウェア (またはお使いのスマートフォンのアプリケーション ストアにあるその他の無料 QR コードリーダー) を使用して、当社 Web サイトの関連コンテンツに接続してください。



6 部品表

項目	数量	参照略号	概要	製造部品番号	メーカー
1	2	C1 C6	1 μ F、25 V、セラミック、X7R、1206	C3216X7R1E105K	TDK
2	3	C2 C4 C5	4.7 nF、200 V、セラミック、X7R、0805	08052C472KAT2A	AVX
3	1	C3	220 nF、50 V、セラミック、X7R、1206	ECJ-3YB1H224K	Panasonic
4	1	C7	1 nF、200 V、セラミック、X7R、0805	08052C102KAT2A	AVX
5	1	C8	330 nF、50 V、セラミック、X7R	FK24X7R1H334K	TDK
6	1	C9	22 nF、630 V、セラミック、X7R、1210	GRM32QR72J223KW01L	Murata
7	1	C10	1 μ F、50 V、電解、汎用、(5 x 11)	EKMG500ELL1R0ME11D	Nippon Chemi-Con
8	1	C11	6.2 nF、1,600 V、フィルム	B32672L1622J000	Epcos
9	1	C12	47 pF、1 kV、ディスク セラミック	DEA1X3A470JC1B	Murata
10	1	C13	2.2 nF、セラミック、Y1	440LD22-R	Vishay
11	2	C14 C15	10 μ F、35 V、セラミック、X5R、1210	GMK325BJ106KN-T	Taiyo Yuden
12	1	C16	680 μ F、16 V、電解、低 ESR、68 m Ω 、(10 x 16)	ELXZ160ELL681MJ16S	Nippon Chemi-Con
13	1	C17	2.2 nF、200 V、セラミック、X7R、0805	08052C222KAT2A	AVX
14	1	C23	330 μ F、35 V、電解、低 ESR、68 m Ω 、(10 x 16)	ELXZ350ELL331MJ16S	Nippon Chemi-Con
15	1	C24	47 μ F、35 V、電解、汎用、(5 x 11)	EKMG350ELL470ME11D	Nippon Chemi-Con
16	1	C25	33 nF、200 V、セラミック、X7R、1206	12062C333KAT2A	AVX
17	1	D1	600 V、1 A、超高速リカバリー、75 ns、DO-41	UF4005-E3	Vishay
18	2	D2 D3	40 V、4 A、ショットキー、SMD、DO-214AB	SL44-E3/57T	Vishay
19	1	D4	60 V、20 A、デュアル ショットキー、TO-220AB	MBR2060CT	Vishay
20	1	D5	100 V、0.2 A、高速スイッチング、50 ns、SOD-323	BAV19WS-7-F	Diodes, Inc.
22	1	HS1	ヒートシンク、カスタム、アルミニウム 3003、厚さ 0.62		Custom
23	1	HS2	ヒートシンク、DER-270-ダイオード、アルミニウム 3003、幅 1.720 インチ x 高さ 2.920 インチ x 厚さ 0.062 インチ		Custom
24	1	J1	接続端子台 5.08 mm 3POS	ED120/3DS	On Shore Tech
25	2	JP1 JP2	0 Ω 、5%、1/4 W、厚膜、1206	ERJ-8GEY0R00V	Panasonic
26	2	L1 L2	カスタム、150 nH、 \pm 15%、Micrometals T30-26 トロイダル コアに構成		Power Integrations
27	2	NUT1 NUT2	ナット、六角、Kep 4-40、S ZN Cr3 メッキ RoHS	4CKNTZR	Any RoHS Compliant Mfg.
28	1	NUT3	ナット、六角、Kep 6-32、亜鉛プレート	6CKNTZR	Any RoHS Compliant Mfg.
29	1	NUT4	ナット、六角 2-56、SS	2CHNTS	Olander
30	2	R1 R2	976 k Ω 、1%、1/4 W、厚膜、1206	ERJ-8ENF9763V	Panasonic
31	1	R3	976 k Ω 、1%、1/4 W、メタル フィルム	MFR-25FBF-976K	Yageo
32	1	R4	20 k Ω 、1%、1/8 W、厚膜、0805	ERJ-6ENF2002V	Panasonic
33	1	R5	4.7 Ω 、5%、1/8 W、厚膜、0805	ERJ-6GEYJ4R7V	Panasonic
34	1	R6	2.2 Ω 、5%、1/4 W、厚膜、1206	ERJ-8GEYJ2R2V	Panasonic
35	1	R8	51.1 k Ω 、1%、1/4 W、厚膜、1206	ERJ-8ENF5112V	Panasonic
36	1	R9	5.76 k Ω 、1%、1/4 W、厚膜、1206	ERJ-8ENF5761V	Panasonic
37	1	R10	6.81 k Ω 、1%、1/4 W、メタル フィルム	MFR-25FBF-6K81	Yageo
38	1	R11	27 Ω 、5%、1/4 W、厚膜、0805	ERJ-6GEYJ270V	Panasonic
39	1	R12	220 Ω 、5%、1/4 W、厚膜、1206	ERJ-8GEYJ221V	Panasonic
40	1	R13	442 k Ω 、1%、1/8 W、厚膜、0805	ERJ-6ENF4423V	Panasonic
41	1	R14	3.3 k Ω 、5%、1/8 W、厚膜、0805	ERJ-6GEYJ332V	Panasonic
42	1	R15	1 k Ω 、5%、1/8 W、厚膜、0805	ERJ-6GEYJ102V	Panasonic



43	1	R17	22 k Ω 、5%、1/8 W、厚膜、0805	ERJ-6GEYJ223V	Panasonic
44	1	R18	10 k Ω 、1%、1/8 W、厚膜、0805	ERJ-6ENF1002V	Panasonic
45	1	R20	47.5 k Ω 、1%、1/8 W、厚膜、0805	ERJ-6ENF4752V	Panasonic
46	1	R21	1.2 k Ω 、5%、1/8 W、厚膜、0805	ERJ-6GEYJ122V	Panasonic
47	1	R22	130 k Ω 、1%、1/8 W、厚膜、0805	ERJ-6ENF1303V	Panasonic
48	1	R23	4.7 k Ω 、5%、1/4 W、カーボン フィルム	CFR-25JB-4K7	Yageo
49	1	R24	1.5 k Ω 、5%、1/4 W、厚膜、1206	ERJ-8GEYJ152V	Panasonic
50	2	SCREW1 SCREW2	Screw Machine Phil 4-40 x 1/4 SS	PMSSS 440 0025 PH	Building Fasteners
51	1	SCREW3	Screw Machine Phil 6-32 x 5/16 SS	PMSSS 632 0031 PH	Building Fasteners
52	1	SCREW4	Screw Machine Phil 2-56 x 0.250 インチ SS	2C25PPMS	Olander
53	1	T1	トランス、EFD35/35、水平、12 ピン ボビン ボビン カバー コア	SNX R1608 TB21061SNX TC2106SNX ACEFD35/35BJPP95SNX	Santronics
54	1	TP1	試験点、黄、スルーホール実装	5014	Keystone
55	3	TP2 TP4 TP10	試験点、黒、スルーホール実装	5011	Keystone
56	1	TP3	試験点、赤、スルーホール実装	5010	Keystone
57	1	TP7	試験点、白、スルーホール実装	5012	Keystone
58	1	TP8	試験点、オレンジ、スルーホール実装	5013	Keystone
59	1	TP9	試験点、青、スルーホール実装	5127	Keystone
60	1	U1	HiperLCS、ESIP16/13	LCS701HG	Power Integrations
61	1	U2	フォトカブラ、35 V、CTR 80 ~ 160%、4 DIP	LTV-817A	Liteon
62	1	U3	IC、REG ZENER SHUNT ADJ SOT-23	LM431AIM3/NOPB	National Semi
63	1	VR1	13 V、5%、500 mW、DO-213AA (MELF)	ZMM5243B-7	Diods, Inc.
64	1	WASHER1	平ワッシャー #6、SS、亜鉛プレート、0.267 OD x 0.143 ID x 0.032 厚さ	620-6Z	Olander
65	2	WASHER2 WASHER3	平ワッシャー #4 SS	FWSS 004	Building Fasteners
66	2	WASHER4 WASHER5	平ワッシャー #2、SS、0.149 OD x 0.089 ID x 0.016 厚さ	620C2	Olander



7 トランスの仕様

7.1 回路図

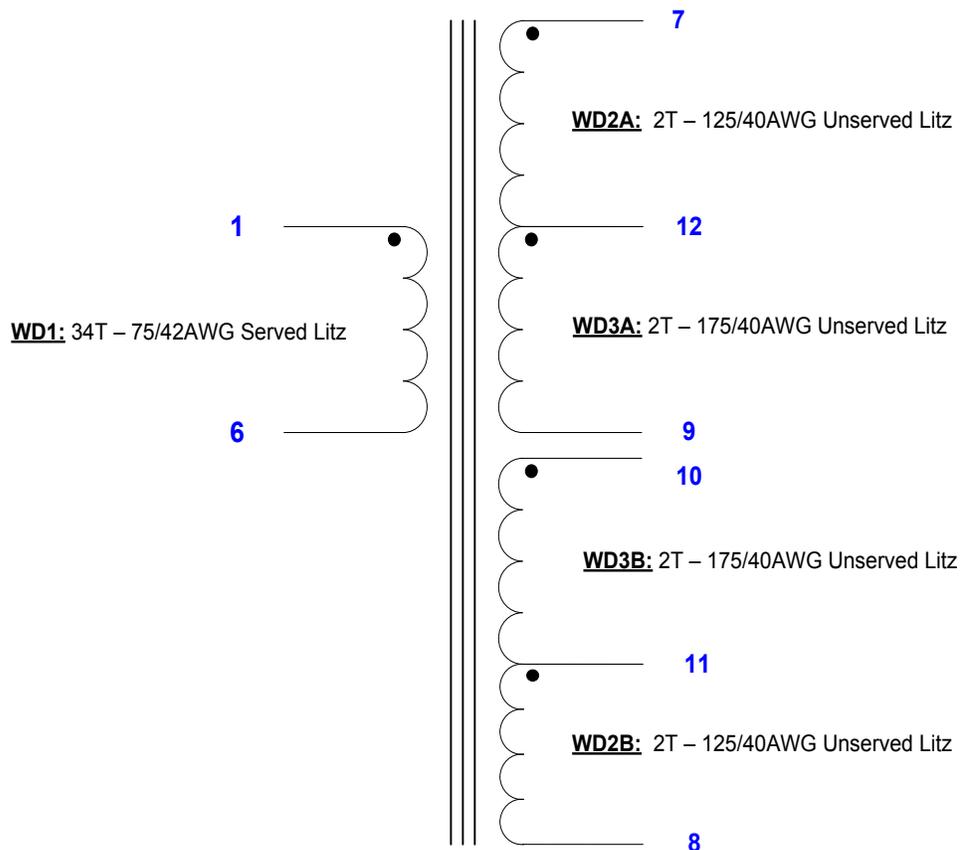


図 6 – トランスの回路図

7.2 電気仕様

耐電圧	1 秒間、60 Hz、ピン 1 ~ 6 からピン 7 ~ 12 まで	3000 VAC
一次インダクタンス	他の巻線をすべてオープンした状態で、ピン 1 ~ 6 を 100 kHz、0.4 V _{RMS} で測定	580 μ H、 \pm 10%
共振周波数	ピン 1 ~ 6、他の巻線をすべてオープンした状態	1400 kHz (最小)
一次漏れインダクタンス	ピン 7 ~ 12 をショートした状態で、ピン 1 ~ 6 を 100 kHz、0.4 V _{RMS} で測定	100 μ H \pm 5%
一次 DCR	ピン 1 ~ 6	140 M Ω 最大
二次 DCR #1	Pins 7-12	5.1 M Ω 最大
二次 DCR #2	Pins 8-11	4.2 M Ω 最大
二次 DCR #3	Pins 7-9	8.1 M Ω 最大
二次 DCR #4	Pins 8-10	7.2 M Ω 最大

7.3 材料

項目	概要
[1]	コア ペア: EFD35B ギャップ無し。コア材料 ACEFD35/35BJPP95SNX またはそれと同等の製品。
[2]	ボビン: EFD35 水平 12 ピン、2 セクション、PI パッケージ番号: 25-00958-00。Santronics p/n: TB21061SNX。
[3]	ボビン カバー、EFD35、PI パッケージ番号: 25-00958-01。Santronics p/n: TC2106SNX。
[4]	テープ: ポリエステル フィルム 3M 1350F-1 またはそれと同等の製品、9.0 mm 幅。
[5]	テープ: ポリエステル フィルム 3M 1350F-1 またはそれと同等の製品、6.0 mm 幅。
[6]	リッツ線: 75/#42 単層コート、被覆。
[7]	リッツ線: 125/#40 単層コート、裸。
[8]	リッツ線: 175/#40 単層コート、裸。
[9]	トランスのワニス: Dolph BC-359 またはそれと同等の製品。



7.4 トランスの構造図

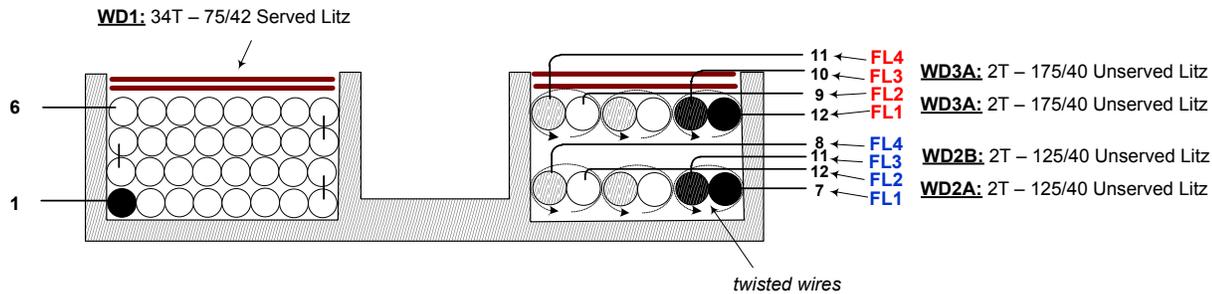


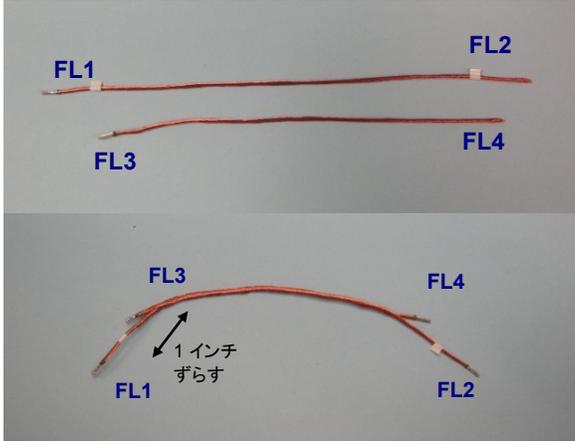
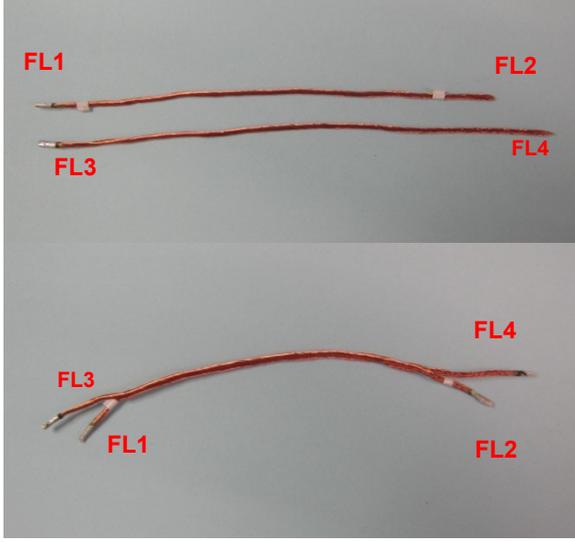
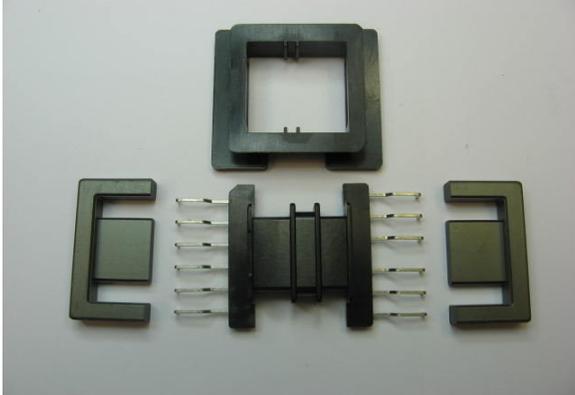
図 7 – トランスの構造図

7.5 トランス構造

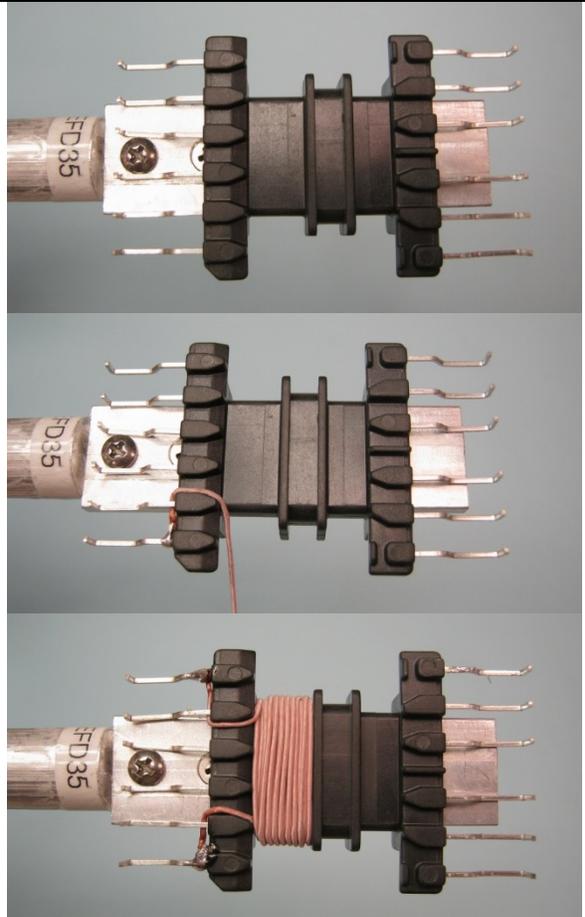
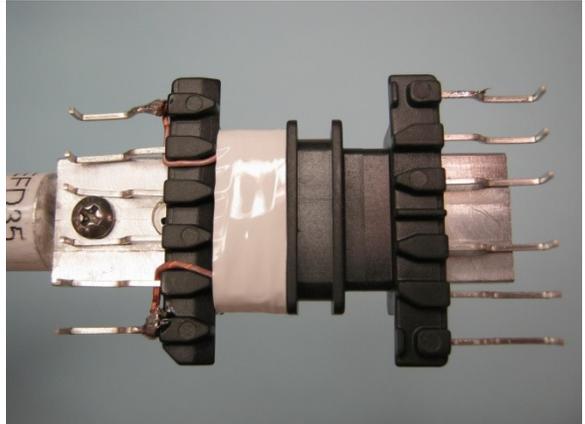
<p>ステップ 1: 24 V 二次巻線の準備</p>	<p>ワイヤ項目 [7] の長さ 6.5 インチのストランドを 1 本準備します。このストランドの一端を錫メッキし、両端にラベルを付けて、FL1、FL2 とします。 同じワイヤ項目 [7] の長さ 5 インチのストランドも 1 本準備します。一端を錫メッキして、FL3、FL4 とします。 この 2 本のストランドを並べて配置します。オフセットは ¼ インチ以下で、全体を均等に最大 25 回ツイストして 1 本にします。両方のストランドのもう一端を錫メッキします。以下の写真を参照してください。</p>
<p>ステップ 2: 12 V 二次巻線の準備</p>	<p>ワイヤ項目 [8] の長さ 6 インチのストランドを 1 本準備します。このストランドの一端を錫メッキし、両端にラベルを付けて、FL1、FL2 とします。 同じワイヤ項目 [8] の長さ 6.5 インチのストランドも 1 本用意します。一端を錫メッキして、FL3、FL4 とします。 この 2 本のストランドを並べて配置します。オフセットは ½ インチ以下で、全体を均等に最大 25 回ツイストして 1 本にします。両方のストランドのもう一端を錫メッキします。以下の写真を参照してください。</p>
<p>WD1 (一次側)</p>	<p>ポビン項目 [2] を巻線軸に取り付け、一次側が左側になるようにします。 ピン 1 から始めて、被覆リッツ線 [6] を左側のポビン セクションに 4 層で 34 回巻き付け、ピン 6 で終了します。テープ [4] を 2 回巻き付けて固定します。</p>
<p>WD2A 及び WD2B (24 V 二次側)</p>	<p>ステップ 1 で準備した 24 V 裸リッツ組み立てを使用して、ポビン [2] のピン 7 に FL1 を、ピン 11 に FL3 を接続して始めます (図を参照)。ポビンの右側のセクションで 2 回きつく巻きます。ポビンのピン 12 に FL2 を、ピン 8 に FL4 を接続して終了します。</p>
<p>WD3A 及び WD3B (12 V 二次側)</p>	<p>ステップ 2 で準備した 12 V 裸リッツ組み立てを使用して、ポビン [2] のピン 12 に FL1 を、ピン 10 に FL3 を接続して始めます (図を参照)。ポビンの右側のセクションで 2 回きつく巻きます。ポビンのピン 9 に FL2 を、ピン 11 に FL4 を接続して終了します。</p>
<p>ポビン カバー</p>	<p>図のように巻線を巻いたポビンにポビン カバー [3] をスライドさせます。カバーがしっかりと取り付けられているか確認してください。</p>
<p>終了</p>	<p>インダクタンスが 580 µH ±10% になるように、コア [1] を研磨します。コアを組み立て、固定します。[9] に浸漬ワニスを行います。</p>



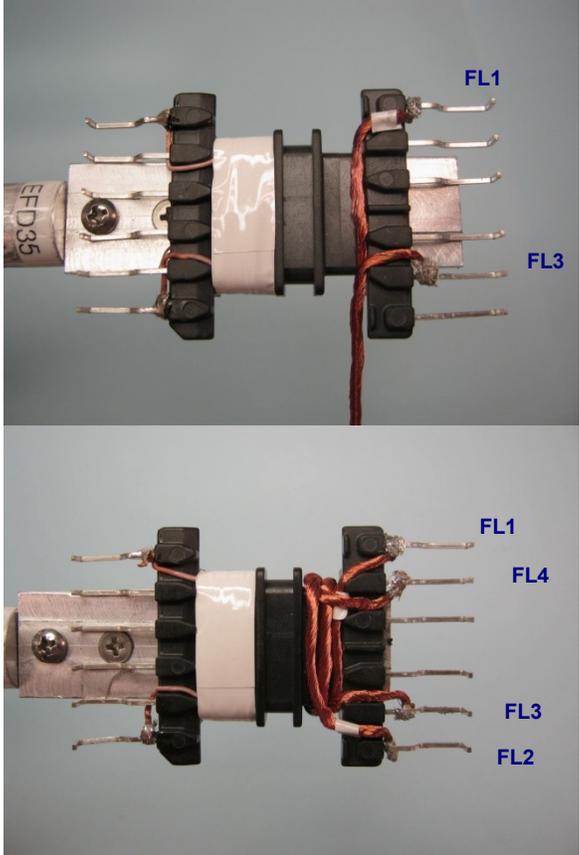
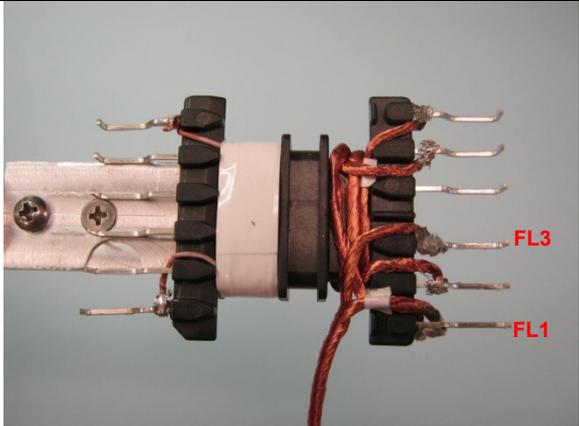
7.6 構造の図

<p>ステップ 1: 24 V 二次巻線の準備</p>		<p>ワイヤ項目 [7] の長さ 6.5 インチのストランドを 1 本準備します。このストランドの一端を錫メッキし、両端にラベルを付けて、FL1、FL2 とします。</p> <p>同じワイヤ項目 [7] の長さ 5 インチのストランドも 1 本準備します。一端を錫メッキして、FL3、FL4 とします。</p> <p>この 2 本のストランドを並べて配置します。オフセットは $\frac{3}{4}$ インチ以下で、全体を均等に最大 25 回ツイストして 1 本にします。両方のストランドのもう一端を錫メッキします。以下の写真を参照してください。</p>
<p>ステップ 2: 12 V 二次巻線の準備</p>		<p>ワイヤ項目 [8] の長さ 6 インチのストランドを 1 本準備します。このストランドの一端を錫メッキし、両端にラベルを付けて、FL1、FL2 とします。</p> <p>同じワイヤ項目 [8] の長さ 6.5 インチのストランドも 1 本準備します。一端を錫メッキして、FL3、FL4 とします。</p> <p>この 2 本のストランドを並べて配置します。オフセットは $\frac{1}{2}$ インチ以下で、全体を均等に最大 25 回ツイストして 1 本にします。両方のストランドのもう一端を錫メッキします。以下の写真を参照してください。</p>
<p>ボビンの準備</p>		

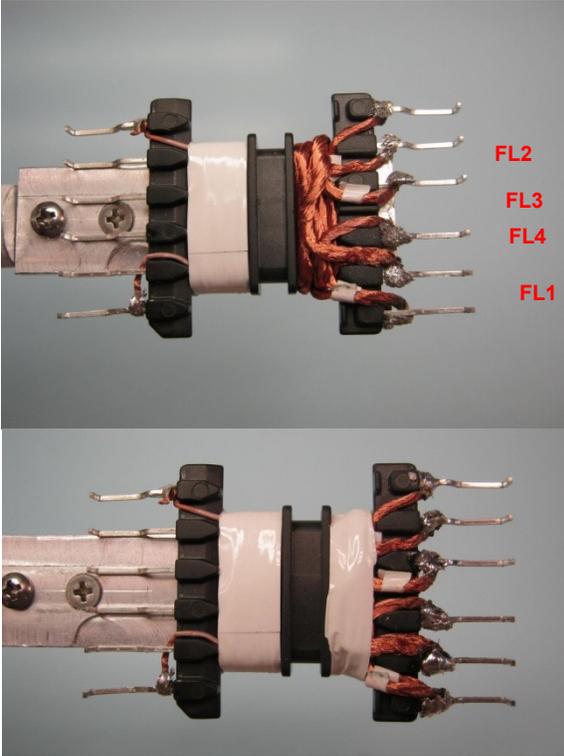
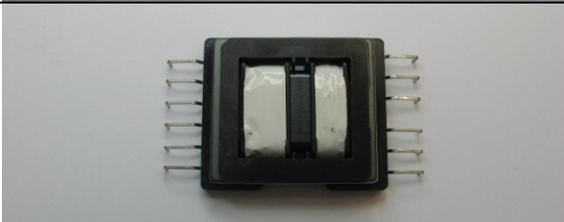


<p>WD1 (一次側)</p>		<p>ボビン項目 [2] を巻線軸に取り付け、一次側が左側になるようにします。</p> <p>ピン 1 から始めて、被覆リッツ線 [6] を左側のボビン セクションに 4 層で 34 回巻き付け、ピン 6 で終了します。</p>
<p>WD1 (一次側) (続き)</p>		<p>テープ [4] を 2 回巻き付けて固定します。</p>



<p>WD2A 及び WD2B (24 V 二次側)</p>		<p>ステップ 1 で準備した 24 V 裸リッツ組み立てを使用して、ポピン [2] のピン 7 に FL1 を、ピン 11 に FL3 を接続して始めます (図を参照)。ポピンの右側のセクションで 2 回きつく巻きます。ポピンのピン 12 に FL2 を、ピン 8 に FL4 を接続して終了します。</p>
<p>WD3A 及び WD3B (12 V 二次側)</p>		<p>ステップ 2 で準備した 12 V 裸リッツ組み立てを使用して、ポピン [2] のピン 12 に FL1 を、ピン 10 に FL3 を接続して始めます (図を参照)。</p>



		<p>ボビンの右側のセクションで 2 回きつく巻きます。ボビンのピン 9 に FL2 を、ピン 11 に FL4 を接続して終了します。</p>
ボビン カバー		<p>図のように巻線を巻いたボビンにボビン カバー [3] をスライドさせます。カバーがしっかりと取り付けられているか確認してください。</p>
終了		<p>インダクタンスが $580 \mu\text{H} \pm 10\%$ になるように、コア [1] を研磨します。 コアを組み立て、固定します。 [9] に浸漬ワニスします。</p>



8 トランスの設計計算シート

HiperLCS_062411; Rev.1.1; Copyright Power Integrations 2011	入力	情報	出力	単位	HiperLCS_062411_Rev1-1.xls、HiperLCS ハーフブリッジ、連続モード LLC 共振コンバータ設計計算シート
入力パラメータの入力					
Vbulk_nom			380	V	定格 LLC 入力電圧
Vbrownout			280	V	停止スレッシュホールド電圧。電圧がこの値を下回ると、HiperLCS がシャットダウンします。許容値は Vbulk_nom の 65 ~ 76% です。保持時間に対しては 65% に設定します
Vbrownin			353	V	整流コンデンサの起動スレッシュホールド
VOV_shut			465	V	整流電圧の OV 保護
VOV_restart			448	V	OV 保護の後のリスタート電圧
CBULK			86	uF	保持時間要求に合わせた整流コンデンサの最小値。保持時間と Vbrownout を調整して、整流コンデンサの値を変更します
tHOLDUP			21.8	ms	整流コンデンサ保持時間
LLC (二次) 出力の入力					
計算シートでは、二次側の AC 積み上げと想定されます					
VO1	24.00		24.00	V	メイン出力電圧。計算シートでは、安定化出力と想定されます
IO1	4.00		4.00	A	メイン出力最大電流
VD1			0.70	V	メイン出力のダイオードの順方向電圧
PO1			96	W	メイン LLC 出力からの出力電力
VO2	12.00		12.00	V	第二出力電圧
IO2	2.40		2.40	A	第二出力電流
VD2	0.50		0.50	V	第二出力で使用されるダイオードの順方向電圧
PO2			28.80	W	第二 LLC 出力からの出力電力
P_LLC			125	W	指定された総 LLC 出力電力
LCS デバイスの選択					
デバイス	自動		LCS701		LCS デバイス
RDS-ON (MAX)			1.86	Ω	選択したデバイスの RDS-ON (最大)
Coss			187	pF	選択したデバイスの等価 Coss
Cpri			40	pF	トランスの一次側の浮遊容量
Pcond_loss			1.3	W	公称電圧及び最大負荷での導通損失
Tmax-hs			90	deg C	最大ヒートシンク温度
Theta J-HS			9.5	deg C/W	ヒートシンクへの熱抵抗ジャンクション (グリース使用、絶縁体なし)
予測ジャンクション温度			102	deg C	推定ジャンクション温度
Ta 最大			50	deg C	推定最大周囲温度
Theta HS-A			32	deg C/W	周囲に対する必要な熱抵抗ヒートシンク
LLC 共振パラメータとトランスの計算 (赤色の曲線を生成)					
Po			129	W	ダイオード損失を含む LLC コンバータからの出力
Vo			24.70	V	トランス巻線のメイン出力 (ダイオード降下を含む)
f_target	200.00		200	kHz	PFC 及び LLC に必要な最大負荷時スイッチング周波数。66 ~ 300 kHz、250 kHz を推奨
Lpar	5		476	uH	並列インダクタンス。(Lpar = Lopen - Lres (一体型トランスの場合)、Lpar = Lmag (漏れが小さい外付けインダクタの場合))
Lpri	580.00		580	uH	一体型トランスの一次オープン回路インダクタンス。外付けインダクタの場合は、一次インダクタンスと直列インダクタの和になります。空白のままにした場合、自動計算によって、80% の Vnom における ZVS の損失に必要な値が示されます
Lres	104.00		104.0	uH	一体型トランスの直列インダクタンスまたは一次漏れインダクタンス。空白にした場合、K=4 の自動計算が行われます



Kratio			4.6		Lpar と Lres の比率。2.1 < K < 11 になるように K の値を維持します。推奨される Lres は、K < 7 のようになります
Cres	6.20		6.2	nF	直列共振コンデンサ。背景が赤のセルは、赤のグラフで表されます。Lpar、Lres、Cres、及び n_RATIO_red_graph が空白の場合は、自動計算が行われます
Lsec	8.100		8.100	uH	メイン出力の 1 つの位相の二次側インダクタンス。測定して値を入力するか、測定された値と一致するように f_predicted を調整します
m			48	%	漏れ分布係数 (一次から二次)。99% は、漏れの多くが一次側にあることを示します
n_eq			7.67		LLC 等価回路の最適なトランスの巻線比
Npri	34.0		34.0		一次巻数。入力しない場合、デフォルト値が自動計算されて、f_predicted = f_target となります
Nsec	4.0		4.0		二次巻数 (メイン出力の各位相)。デフォルト値は、BAC ≤ 200 mT を維持できる推定値です
f_predicted			190	kHz	定格入力電圧と最大負荷での推定周波数。n_Ratio 及び一次巻線に大きく影響されます
f_res			198	kHz	直列共振周波数 (直列インダクタンス Lres 及び C で定義)
f_brownout			132	kHz	Vbrownout 及び最大負荷でのスイッチング周波数
f_par			84	kHz	並列共振周波数 (Lpar + Lres 及び C で定義)
f_inversion			123	kHz	Vbrownout 及び最大負荷での最小周波数。HiperLCS の最小周波数をこの値に設定します。この周波数を下回る動作は、ゲイン反転領域で動作しなくなります
Vinversion			261	V	低周波ゲイン反転前の LLC パワー伝送の最小入力電圧。最適な値は Vbrownout と等価です
RMS 電流及び電圧					
IRMS_LLC_Primary			0.82	A	最大負荷及び定格入力電圧 (Vbulk) と fnominal_actual での一次巻線 RMS 電流
巻線 1 (二次低電圧側) RMS 電流			5.1	A	巻線 1 (二次低電圧側) RMS 電流
二次低電圧側コンデンサ RMS 電流			2.0	A	二次低電圧側コンデンサ RMS 電流
巻線 2 (二次高電圧側) RMS 電流			1.9	A	巻線 2 (二次高電圧側) RMS 電流
二次高電圧側コンデンサ RMS 電流			1.2	A	二次高電圧側コンデンサ RMS 電流
Cres_Vrms			111	V	最大負荷及び定格入力電圧での共振コンデンサ AC RMS 電圧
仮想トランストライアル - (青色の曲線を生成)					
新規一次巻線			34.0		トライアルトランス一次巻線。デフォルト値は共振セクションの値です
新規二次巻線			4.0		トライアルトランス二次巻線。デフォルト値は共振セクションの値です
新規 Lpri			580	uH	トライアルトランスオープン回路インダクタンス。デフォルト値は共振セクションの値です
新規 Cres			6.1	nF	直列コンデンサのトライアル値 (空白にした場合、f_res = f_target となるように計算値が選択されます)
新規推定 Lres			104.0	uH	トライアルトランスの推定 Lres
新規推定 Lpar			476	uH	トライアルトランスの Lpar の推定値
新規推定 Lsec			8.100	uH	二次漏れインダクタンスの推定値
新規 Kratio			4.6		Lpar と Lres のトライアルトランスの比率
新規等価回路トランス巻線比			7.67		推定実効トランス巻線比
新規 V パワー伝送部反転			262	V	整流コンデンサの電圧。この値を下回ると、ZVS が消失します
f_res_trial			200	kHz	新規直列共振周波数
f_predicted_trial			192	kHz	新規定格動作周波数



IRMS_LLC_Primary			0.82	A	最大負荷及び定格入力電圧 (Vbulk) と f_predicted_trial での一次巻線 RMS 電流
巻線 1 (二次低電圧側) RMS 電流			5.0	A	半正弦波形と推定した場合の、出力 1 巻線を通る RMS 電流
二次低電圧側コンデンサ RMS 電流			1.9	A	二次低電圧側コンデンサ RMS 電流
巻線 2 (二次高電圧側) RMS 電流			3.1	A	出力 2 巻線を通る RMS 電流。出力 1 巻線は、出力 2 巻線に重なる AC 積み上げです
二次高電圧側コンデンサ RMS 電流			1.1	A	二次高電圧側コンデンサ RMS 電流
トランス コアの計算 (共振パラメータ セクションからの計算)					
トランス コア			EFD35/35B		トランス コア
Ae	0.57		0.57	cm ²	トランス コア断面積を入力します
Ve	4.57		4.57	cm ³	コアの体積を入力します
Aw	60.56		60.6	mm ²	領域
Bw	21.00		21.0	mm	合計ボビン幅
損失密度			200.0	mW/cm ³	スイッチング周波数及び BAC での単位体積あたりの損失を入力します (kW/m ³ と同じ単位)
MLT	5.10		5.1	cm	1 巻あたりの平均長
Nchambers			2		ボビン セクションの数
Wsep	7.00		7.0	mm	巻線仕切り距離 (巻線領域が失われます)
電力ロス			0.9	W	推定コア損失
Bpkfmin			206	mT	最小周波数での第 1 象限ピーク磁束密度
BAC			285	mT	AC ピーク ツー ピーク磁束密度 (f_predicted、及び最大負荷の Vbulk で計算)
一次巻線					
Npri			34.0		一次巻線数。LLC 共振セクションで決定されます
一次ゲージ	42		42	AWG	一次巻線に使用される個別の巻線ゲージ
等価の一次測定基準巻線ゲージ			0.060	mm	メトリック単位による等価の線径
一次リッツ ストランド	75		75		リッツ線のストランド数。リッツ線以外の一次巻線の場合は 1 に設定します
一次巻線分配係数			50	%	一次領域の分配係数 (一次側に割り当てられた巻線スペースの割合)
AW_P			20	mm ²	一次側の巻線領域
占有率			60%	%	一次巻線の占有率 (%) (標準的な占有率は 60%)
Resistivity_25 C_Primary			79.06	mΩ/m	メートルあたりの抵抗率
一次 DCR 25 C			137.08	mΩ	25 C での予測抵抗
一次 DCR 100 C			183.69	mΩ	100 C での予測抵抗 (25 C の場合よりもおよそ 33% 高くなります)
一次 RMS 電流			0.82	A	一次巻線を通る測定された RMS 電流
ACR_Trif_Primary			293.91	mΩ	測定された AC 抵抗 (100 kHz、室温) で、1.33 を掛けると、100 C での巻線の温度に近似します
一次銅損			0.20	W	85 C での一次巻線合計銅損
二次巻線 1 (二次低電圧側または単出力)					
注 - 電力損失の計算は、二次側の各巻線の半分に対して行われます					
出力電圧			12.00	V	出力電圧 (AC 積み上げ巻線を想定)
セクション 1 の巻線			2.00		二次巻線数 (各位相)
セクション 1 の RMS 電流 (AC + DC の合計)			5.1	A	半正弦波形と推定した場合の、出力 1 巻線を通る RMS 電流
巻線電流 (DC 部品)			3.20	A	巻線電流の DC 部品
巻線電流 (AC RMS 部品)			3.96	A	巻線電流の AC 部品



セクション 1 の巻線ゲージ		40	AWG	二次巻線に使用される個別の巻線ゲージ
等価の二次側 1 の測定基準巻線ゲージ		0.080	mm	メトリック単位による等価の線径
セクション 1 のリッツストランド	175	175		リッツ線に使用されるストランド数。リッツ線以外の非一体型トランスの場合は 1 に設定します
Resistivity_25 C_sec1		21.31	mΩ/m	メートルあたりの抵抗率
DCR_25C_Sec1		2.17	mΩ	25 C での位相あたりの予測抵抗 (参照用)
DCR_100C_Sec1		2.91	mΩ	100 C での位相あたりの予測抵抗 (25 C の場合よりもおよそ 33% 高くなります)
DCR_Ploss_Sec1		0.24	W	DC 抵抗による推定電力損失 (両方の二次位相)
ACR_Sec1		4.66	mΩ	測定された位相あたりの AC 抵抗 (100 kHz、室温) で、1.33 を掛けると、100 C での巻線の温度に近似します。ACR のデフォルト値は、100 C での DCR 値の 2 倍です
ACR_Ploss_Sec1		0.15	W	推定 AC 銅損 (両方の二次位相)
巻線 1 銅損合計		0.38	W	両方の二次位相の合計 (AC + DC) 巻線銅損
コンデンサ RMS 電流		1.2	A	出力コンデンサ RMS 電流
Co1		5.4	uF	二次側 1 の出力コンデンサ
コンデンサリップル電圧		3.0	%	二次側 1 の出力コンデンサのピークツーピークリップル電圧
出力整流ダイオード RMS 電流		1.9	A	ショットキーでの損失は、負荷 DC 電流により強く依存します。同期整流器損失は、RMS 電流に依存します
二次巻線 2 (二次高電圧側)				
出力電圧		24.00	V	出力電圧 (AC 積み上げ巻線を想定)
セクション 2 の巻線		2.00		二次巻線数 (各位相)。二次巻線 1 に重なる AC 積み上げ
セクション 2 の RMS 電流 (AC + DC の合計)		3.2	A	出力 2 巻線を通る RMS 電流。出力 1 巻線は、出力 2 巻線に重なる AC 積み上げです
巻線電流 (DC 部品)		2.0	A	巻線電流の DC 部品
巻線電流 (AC RMS 部品)		2.5	A	巻線電流の AC 部品
セクション 2 の巻線ゲージ		40	AWG	二次巻線に使用される個別の巻線ゲージ
等価の二次側 2 の測定基準巻線ゲージ		0.080	mm	メトリック単位による等価の線径
セクション 2 のリッツストランド	125	125		リッツ線に使用されるストランド数。リッツ線以外の非一体型トランスの場合は 1 に設定します
Resistivity_25 C_sec2		29.83	mΩ/m	メートルあたりの抵抗率
トランス二次 MLT		5.10	cm	1 巻あたりの平均長
DCR_25C_Sec2		3.04	mΩ	25 C での位相あたりの予測抵抗 (参照用)
DCR_100C_Sec2		4.08	mΩ	100 C での位相あたりの推定抵抗 (25 C の場合よりもおよそ 33% 高くなります)
DCR_Ploss_Sec1		0.05	W	DC 抵抗による推定電力損失 (両方の二次巻線)
ACR_Sec2		6.52	mΩ	測定された位相あたりの AC 抵抗 (100 kHz、室温) で、1.33 を掛けると、100 C での巻線の温度に近似します。ACR のデフォルト値は、100 C での DCR 値の 2 倍です
ACR_Ploss_Sec2		0.08	W	推定 AC 銅損 (両方の二次巻線)
巻線 2 銅損合計		0.13	W	両方の二次巻線の合計 (AC + DC) 巻線銅損
コンデンサ RMS 電流		2.0	A	出力コンデンサ RMS 電流
Co2		4.5	uF	二次側 2 の出力コンデンサ
コンデンサリップル電圧		3.0	%	二次側 1 の出力コンデンサのピークツーピークリップル電圧
出力整流ダイオード RMS 電流		3.2	A	ショットキーでの損失は、負荷 DC 電流により強く依存します。同期整流器損失は、RMS 電流に依存します



トランス損失の計算					ギャップからのフリンジング磁束損失は含まない
一次銅損 (一次セクションから)			0.20	W	85 C での一次巻線合計銅損
二次銅損			0.51	W	二次巻線合計銅損
トランスの合計銅損			0.71	W	トランスの合計銅損 (一次 + 二次)
AW_S			20.19	mm ²	二次巻線の領域
二次占有率			50%	%	二次巻線の占有率 (%). 標準的な最大占有率は、被覆リッツ線で 60%、裸リッツ線で 75% です
信号ピン抵抗値					
デッドタイム	350		350	ns	デッドタイム
バーストモード	1		1		バーストモードとして、1、2、及び 3 を選択します。これらにはヒステリシスがあり、周波数スレッシュホールドが異なります
f_max			774	kHz	デッドタイム設定に応じた最大内部クロック周波数。起動周波数でもあります
f_burst_start			347.1	kHz	バーストモードの下側スレッシュホールド周波数で、ヒステリシスを設定します。これは、バーストオフ期間後の再起動時のスイッチング周波数です
f_burst_stop			396.6	kHz	バーストモードの上側スレッシュホールド周波数。これは、バーストオフ期間が停止した時点のスイッチング周波数です
DT/BF ピン上側分割抵抗			7.62	kΩ	DT/BF ピンから VREF ピン間の抵抗
DT/BF ピン下側分割抵抗			144.9	kΩ	DT/BF ピンから G ピン間の抵抗
Rstart			6.50	kΩ	起動抵抗 - ソフトスタートコンデンサと直列接続される抵抗。起動時の FB から VREF ピン間の抵抗値と等価。起動遅延の追加が必要でなければ、デフォルト値を使用します
起動ディレー			0.0	ms	起動ディレー。スイッチング開始前の遅延です。遅延を増やすには、R_START の値を下げます
Rfmin			50.9	kΩ	VREF ピンから FB ピン間の抵抗で、最小動作周波数を設定します。この抵抗と Rstart によって f_MIN が決まります
C_softstart			0.33	uF	ソフトスタートコンデンサ。推奨値は、0.1 ~ 0.47 uF です
Ropto			1.3	kΩ	フォトカプラ エミッタと直列接続される抵抗
OV/UV ピン下側抵抗			22.0	kΩ	OV/UV ピン分割回路の下側抵抗
OV/UV ピン上側抵抗			3.21	MΩ	OV/UV ピン分割回路の上側抵抗
LLC コンデンサの分割電流センス回路					
低速カレントリミット			2.30	A	8 サイクル カレントリミット - 停止及び起動中の正のハーフサイクルをチェックします
高速カレントリミット			4.14	A	1 サイクル カレントリミット - 起動中の正のハーフサイクルをチェックします
LLC センスコンデンサ			47	pF	HV センスコンデンサ。メインの共振コンデンサと共に電流分割器を形成します
RLLC センス抵抗			28.9	Ω	LLC 電流センス抵抗。センスコンデンサの電流を検出します
IS ピンカレントリミット抵抗			220	Ω	センス R の電圧が -0.5 V 未満の場合のセンス抵抗から IS ピンへの電流を制限します
IS ピンノイズフィルタコンデンサ			1.0	nF	IS ピンバイパスコンデンサ。IS ピンのカレントリミットコンデンサと共に極を形成します
IS ピンノイズフィルタポール周波数			724	kHz	このポールは IS ピン信号を減衰します
損失量					
LCS デバイスの導通損失			1.3	W	公称電圧及び最大負荷での導通損失
出力ダイオード損失			2.8	W	推定ダイオード損失



トランスの推定合計銅損			0.71	W	トランスの合計銅損 (一次 + 二次)
トランスの推定合計コア損失			0.9	W	推定コア損失
合計トランス損失			1.6	W	合計トランス損失
合計推定損失			5.7	W	LLC 段の合計損失
推定効率			96%	%	推定効率
ピン			130	W	LLC 入力電力
二次巻線と電圧センタリング計算機					これは、二次巻線を選択する場合に役に立ちます。出力は計算シートの他のどの部分にも接続されていません
V1			24.00	V	目標安定化出力電圧 Vo1。変更してスレープ出力への影響を確認します
V1d1			0.70	V	Vo1 のダイオード降下電圧
N1			4.00		Vo1 の合計巻数
V1_Actual			24.00	V	推定出力電圧
V2			12.00	V	目標出力電圧 Vo2
V2d2			0.50	V	Vo2 のダイオード降下電圧
N2			2.00		Vo2 の合計巻線数
V2_Actual			11.85	V	推定出力電圧
分離直列インダクタ (非一体型トランスのみ)					一体型磁性部品を使用している場合は適用されません。計算シートの他のどの部分にも接続されていません
Lsep			104.00	uH	外付けインダクタの必要なインダクタンス
Ae_Ind			0.53	cm ²	インダクタ コア断面積
インダクタ巻数			16		一次側巻数
BP_fnom			153	mT	コア損失計算の AC 磁束 (f_predicted 及び最大負荷の場合)
推定ピーク一次電流			2.3	A	推定ピーク一次電流
BP_fmin			285	mT	最小周波数 fmin で計算されたピーク磁束密度
インダクタリッツ ゲージ			43	AWG	一次巻線に使用される個別の巻線ゲージ
等価のインダクタ測定基準巻線ゲージ			0.055	mm	メトリック単位による等価の線径
インダクタリッツ ストランド			125		リッツ線で使用するストランド数
インダクタ並列巻線			1		リッツ線を構成するための個別の並列巻線数
Resistivity_25 C_Sep_Ind			59.8	mΩ/m	メートルあたりの抵抗率
インダクタ MLT			7.00	cm	1 巻あたりの平均長
インダクタ DCR 25 C			67.0	mΩ	25 C での推定抵抗 (参照用)
インダクタ DCR 100 C			89.8	mΩ	100 C での推定抵抗 (25 C の場合よりもおよそ 33% 高くなります)
ACR_Sep_Inductor			143.6	mΩ	測定された AC 抵抗 (100 kHz、室温) で、1.33 を掛けると、100 C での巻線の温度に近似します
インダクタ銅損			0.10	W	85 C での一次巻線合計銅損



9 出力インダクタの仕様

9.1 回路図

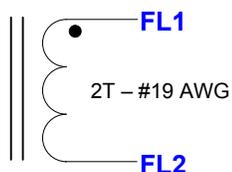


図 8 – インダクタの回路図

9.2 電気仕様

インダクタンス	他の巻線をすべてオープンした状態で、ピン FL1 ~ FL2 を 100 kHz、0.4 V _{RMS} で測定	150 nH ±15%
---------	--	-------------

9.3 材料リスト

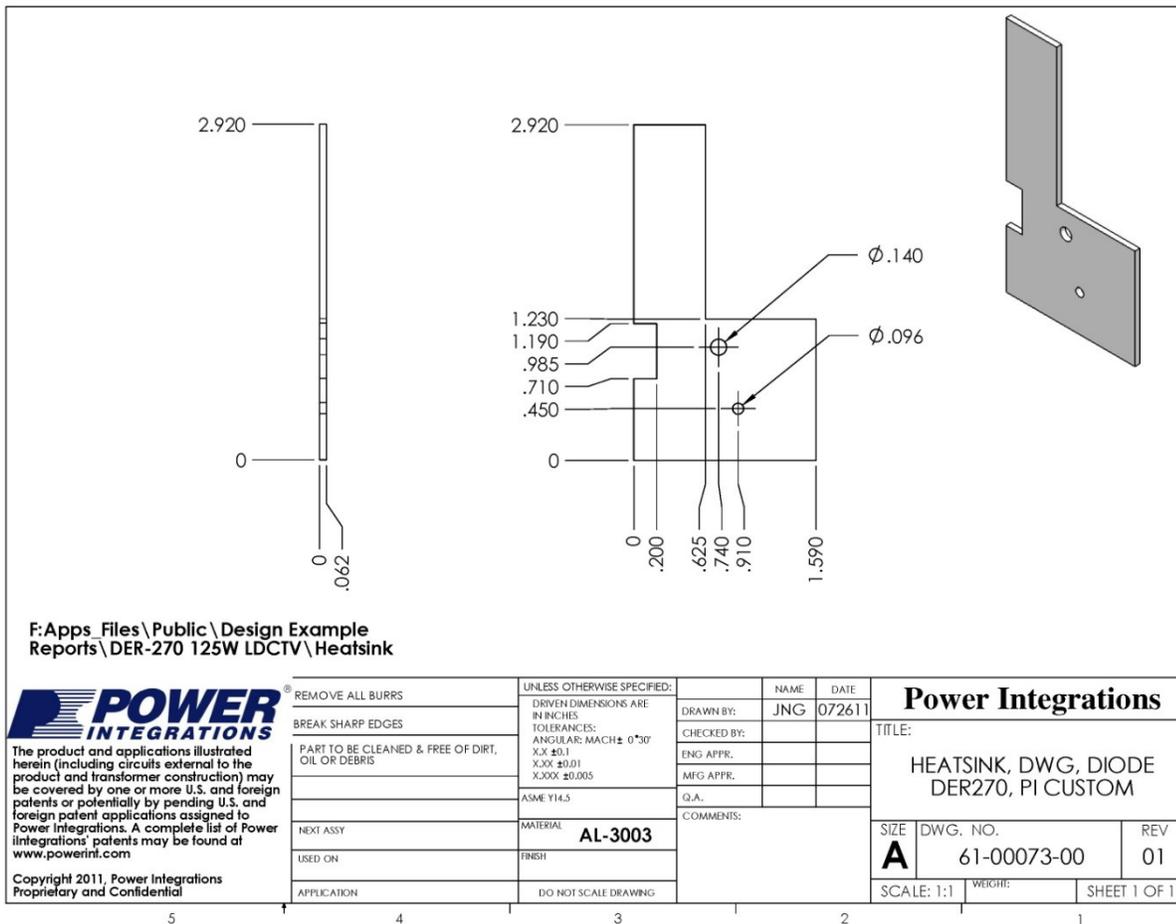
項目	概要
[1]	鉄心トロイダルコア: Micrometals T30-26
[2]	マグネット ワイヤ: 19 AWG、はんだ付け可能な 2 層コーティング



10 ヒートシンク アセンブリ

10.1 ダイオード ヒートシンク

10.1.1 ダイオード ヒートシンクの図面



10.1.2 ダイオード ヒートシンク アセンブリ図面

(FOR ASSEMBLY REFERENCE)

(PCB FOR ILLUSTRATE ONLY)

F:\Apps_Files\Public\Design Example Reports\DER-270 125W LDCTV\Heatsink

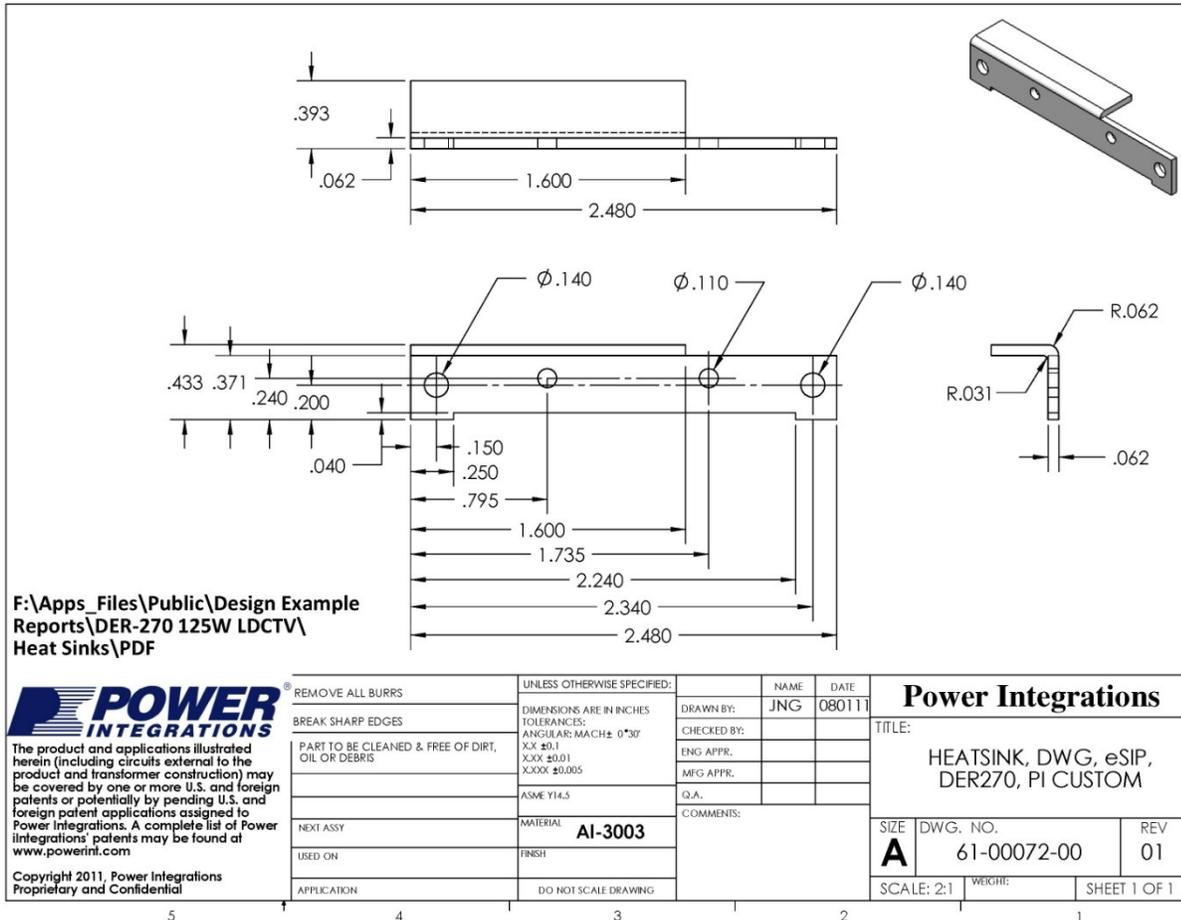
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	61-00073-00	HEATSINK, DER270 DIODE,AL 3003, 60 V, 20 A, DUAL	1
2	15-00346-00	SCHOTTKY, TO-220AB	1
3	75-00069-00	NUT,HEX,KEP 6-32, Zinc Plate	1
4	75-00008-00	SCREW MACHINE PHIL 6-32 X 5/16 SS PAN HEAD	1
6	75-00167-00	WASHER FLAT #6, SS, ZINC PLATE	2
7	75-00001-00	SCREW MACHINE PHIL 4-40 1/4 SS	1
8	75-00032-00	WASHER FLAT #4 Zinc, OD 0.219, ID 0.125, THK 0.032.	2
9	75-00055-00	NUT,HEX,METRIC, M3 SS	1
10	60-00035-00	THERMAL GREASE, SILICONE, 5 oz TUBE	1

REMOVE ALL BURRS	UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:	NAME:	DATE:	Power Integrations
BREAK SHARP EDGES	DIMENSIONS ARE IN INCHES TOLERANCES: MACH± 0.0005 XXX ±0.1 XXX ±0.01 XXX ±0.005	DRAWN BY: JNG	072611	
PART TO BE CLEANED & FREE OF DIRT, OIL OR DEBRIS	ASME Y14.5	CHECKED BY:		HEATSINK, ASSY, DIODE DER270-PI CUSTOM
NEXT ASSY	MATERIAL	ENG APPR.		SIZE DWG. NO. REV
USED ON	FINISH	MFG APPR.		A 61-00073-02 01
APPLICATION	DO NOT SCALE DRAWING	Q.A.		SCALE: 1:4 SHEET 1 OF 1
		COMMENTS:		

Copyright 2011, Power Integrations
Proprietary and Confidential

10.2 HiperLCS ヒートシンク

10.2.1 HiperLCS ヒートシンクの図面



10.2.2 HiperLCS ヒートシンク製造アセンブリ図面

1 FOR COMPLETED ASSEMBLY
SEE 61-00072-02

61-00072-00-HEATSINK

FABRICATOR TO INSTALL
ITEM 2 AS SHOWN.

ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	61-00072-00	HEATSINK, CUSTOM, AL, 3003, 0.062" THK	1
2	60-00016-00	TERMINAL, EYELET, ZIERICK PN 190	2

F:\Apps_Files\Public\Design Example Reports\DER-270 125W LDCTV\Heat Sinks\PDF

POWER INTEGRATIONS

The product and applications illustrated herein (including circuits external to the product and transformer construction) may be covered by one or more U.S. and foreign patents or potentially by pending U.S. and foreign patent applications assigned to Power Integrations. A complete list of Power Integrations' patents may be found at www.powerint.com

Copyright 2011, Power Integrations
Proprietary and Confidential

REMOVE ALL BURRS	UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:	NAME	DATE	Power Integrations TITLE: HEATSINK, FAB.ESIP WITH BRKTS, PI CUSTOM SIZE DWG. NO. REV A 61-00072-01 01 SCALE: 1:1 WEIGHT: SHEET 1 OF 1
BREAK SHARP EDGES	DIMENSIONS ARE IN INCHES	DRAWN BY:	JNG 072611	
PART TO BE CLEANED & FREE OF DIRT, OIL OR DEBRIS	TOLERANCES: MACH ± 0.001 XXX ±0.1 XXXX ±0.01 XXXXX ±0.005	CHECKED BY:		
	ASME Y14.5	ENG APPR.		
NEXT ASSY	MATERIAL	MFG APPR.		
USED ON	FINISH	Q.A.		
APPLICATION	DO NOT SCALE DRAWING	COMMENTS:		



10.2.3 HiperLCS 及びヒートシンク アセンブリ図面

(FOR ASSEMBLY REFERENCE)

ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	61-00072-00	HEATSINK, CUSTOM, AL, 3003, 0.062" THK	1
2	60-00037-00	EDGE CLIP 14.3mm L x 6.35mm W	2
3	10-00513-00	HiperLCS, LC701HG, ESIP16/13	1
4	75-00001-00	SCREW MACHINE PHIL 4-40 1/4 SS	2
5	75-00068-00	NUT, HEX, KEP 4-40, S 7N CR3 PLATE	2
6	66-00035-00	THERMALLY SILICONE ,GREASE, 5 OZ TUBE	1

F:\Apps_Files\Public\Design Example Reports\DER-270 125W LDCTV\Heat Sinks\PDF

<p>POWER INTEGRATIONS</p> <p>The product and applications illustrated herein (including circuits external to the product and transformer construction) may be covered by one or more U.S. and foreign patents or potentially by pending U.S. and foreign patent applications assigned to Power Integrations. A complete list of Power Integrations' patents may be found at www.powerint.com</p> <p>Copyright 2011, Power Integrations Proprietary and Confidential</p>	REMOVE ALL BURRS BREAK SHARP EDGES PART TO BE CLEANED & FREE OF DIRT, OIL OR DEBRIS NEXT ASSY USED ON APPLICATION	UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN INCHES TOLERANCES: ANGULAR: MACH ± 0°30' XXX ±0.1 XXX ±0.01 XXXX ±0.005 ASME Y14.5 MATERIAL FINISH DO NOT SCALE DRAWING	NAME: JNG DATE: 072611 DRAWN BY: CHECKED BY: ENG APPR. MFG APPR. Q.A. COMMENTS:	<p>Power Integrations</p> TITLE: HEATSINK, ASSY, ESIP WITH BRKTS, DER270, PI CUSTOM SIZE: A DWG. NO.: 61-00072-02 REV: 01 SCALE: 1:2 WEIGHT: SHEET 1 OF 1
--	--	---	--	--



11 性能データ

11.1 効率 – 100%、50%、20%、及び 10% の負荷

11.1.1 効率データ

P _{IN}	V _{OUT1}	I _{OUT1}	V _{OUT2}	I _{OUT2}	P _{OUT}	効率 (%)
133	24.12	4	12.02	2.4	125.328	94.23
66.8	24.17	2	12.02	1.2	62.764	93.96
28.59	24.19	0.8	12.02	0.48	25.1216	87.87
15.46	24.19	0.4	12.02	0.24	12.5608	81.25
8.86	24.19	0.2	12.01	0.12	6.2792	70.87
5.01	24.21	0.08	12.02	0.05	2.5378	50.65
3.52	24.17	0.04	12.02	0.02	1.2072	34.30
0.326	24.86	0	11.98	0	0	

11.2 出力クロスレギュレーション

下の図のデータ取得のため、1つの出力は最大負荷に調整し、他の出力は合計出力電力が一貫して 125 W となるようにゼロ負荷と最大負荷の間を変動しました。

11.2.1 クロスレギュレーション データ

クロスレギュレーション 1				クロスレギュレーション 2			
V _{OUT1}	I _{OUT1}	V _{OUT2}	I _{OUT2}	V _{OUT1}	I _{OUT1}	V _{OUT2}	I _{OUT2}
24.14	4	12.01	2.4	24.14	4	12.01	2.4
24.25	2	12	2.4	24.09	4	12.03	1.5
24.31	1	11.99	2.4	24.05	4	12.04	1
24.37	0.5	11.99	2.4	24	4	12.04	0.5
24.41	0.25	11.98	2.4	23.94	4	12.05	0.2
24.46	0.1	11.98	2.4	23.9	4	12.06	0.1
24.49	0.05	11.97	2.4	23.85	4	12.06	0.05
24.55	0.02	11.97	2.4	23.8	4	12.07	0.02
24.57	0.01	11.96	2.4	23.78	4	12.07	0.01
24.8	0	11.94	2.4	20.32	4	12.45	0



11.3 起動時及びシャットダウン時の整流電圧

11.3.1 起動時及びシャットダウン時の整流電圧のデータ (最大負荷)

VCC 入力に +12 VDC が適用され、起動時電圧は 356 VDC、出力シャットダウンは 283 VDC で行われました。



12 波形

12.1 通常動作時のハーフブリッジ電圧とハーフブリッジ電流

380 VDC 入力で測定。

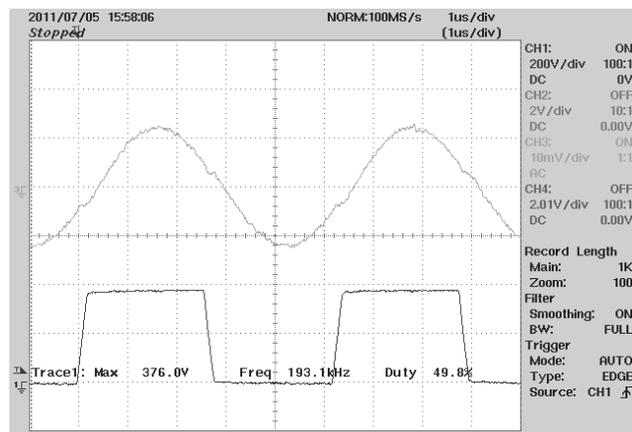


図 9 - 一次側 V_{IN} 、最大負荷

上: 一次電流、1 A/div

下: 一次電圧、100 V、2 μ s/div



12.2 出力電圧起動プロファイル

図 10 ~ 14 は、受動抵抗負荷を使用して取得。

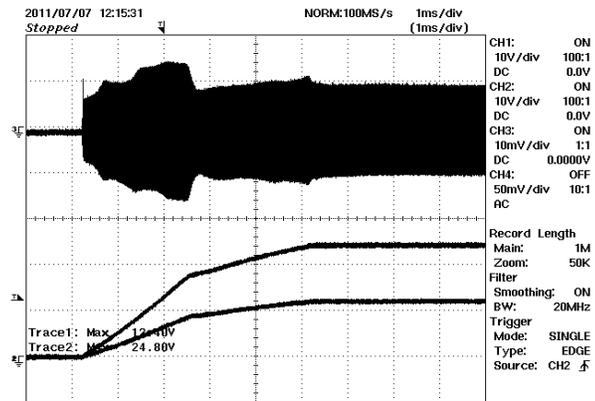


図 10 - 最大負荷での起動、抵抗負荷
上: 一次電流、1 A/div
下: 出力電圧、10 V、2 ms/div

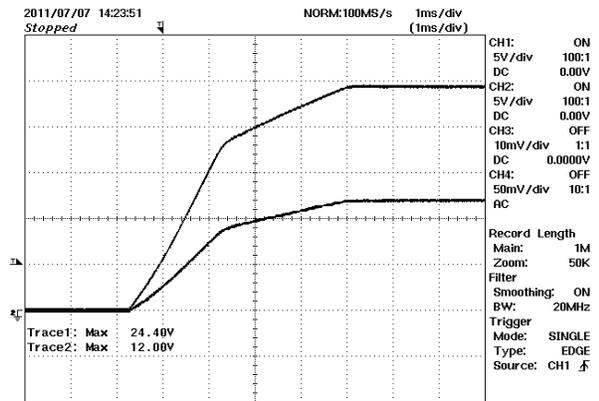


図 11 - 起動時の無負荷時出力電圧、5 V、1 ms/div

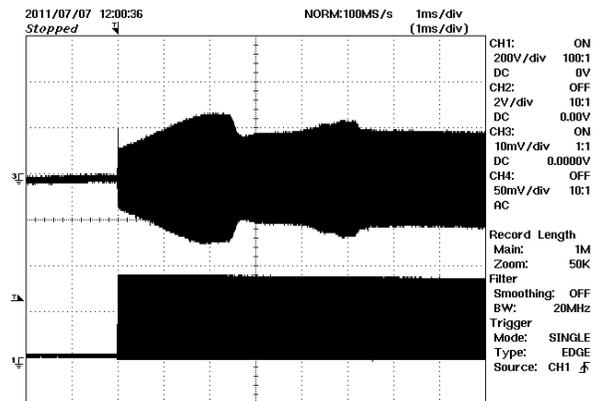


図 12 - 最大負荷での起動、抵抗負荷
上: 一次電流、1 A/div
下: 一次電圧、200 V、1 ms/div

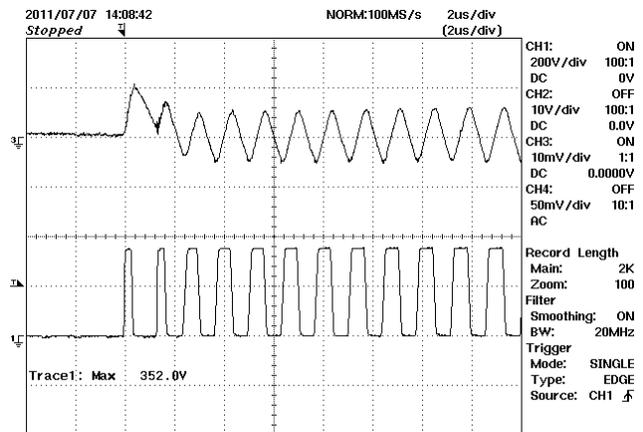


図 13 - 初期電流スパイクが現れている最大負荷での
起動、抵抗負荷
上: 一次電流、1 A/div
下: 一次電圧、200 V、2 μs/div



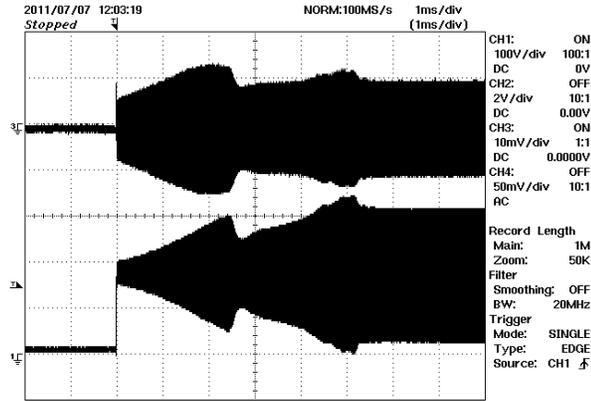


図 14 - 最大負荷での起動、抵抗負荷。

上: 一次電流、1 A/div

下: 共振コンデンサ電圧、100 V、1 ms/div

12.3 出力停止

図 15 ~ 17 は、入力電圧電源をオフにして、一次電流の立ち上がりでオシロスコープをトリガ。

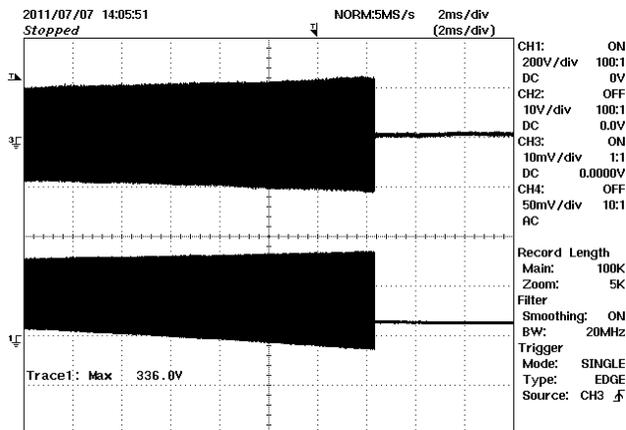


図 15 - 出力停止

上: 一次電流、2 A/div

下: 一次電圧、200 V、2 ms/div

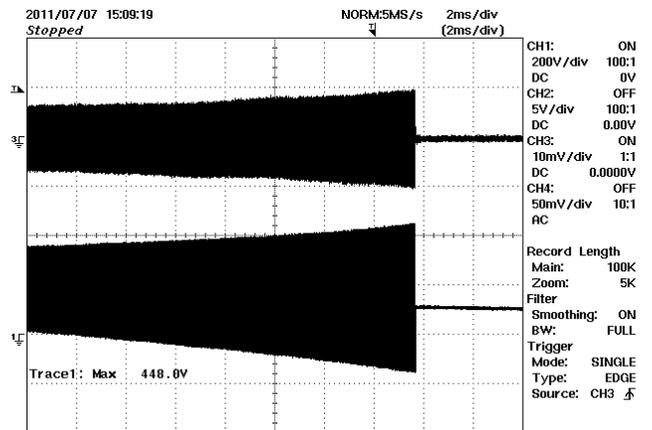


図 16 - 出力停止

上: 一次電流、2 A/div

下: 共振コンデンサ電圧、200 V、2 ms/div



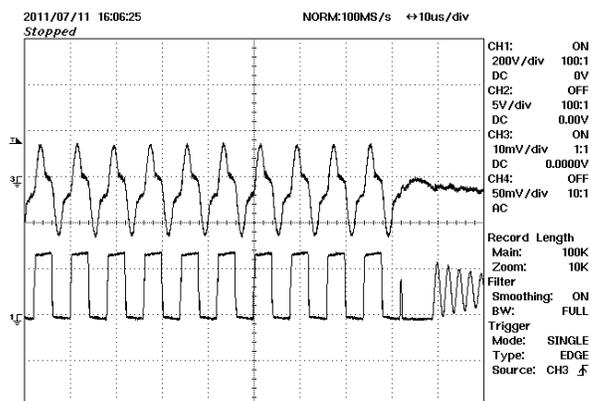


図 17 - 出力停止

上:一次電流、2 A/div

下:一次電圧、200 V、10 μs/div

シャットダウン前の最小周波数は 125 kHz 以下。

12.4 出力ダイオードピーク逆電圧

最大負荷時及び 380/420 VDC 入力で測定。

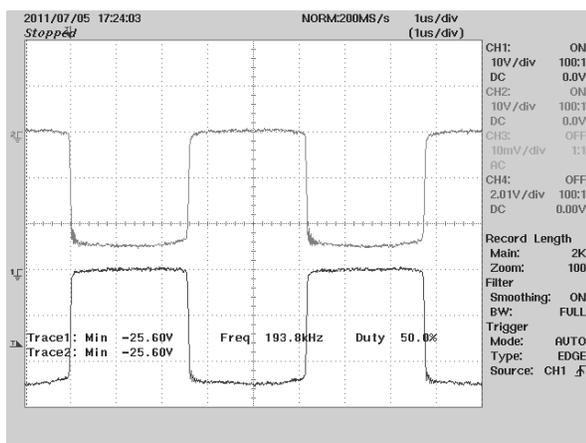


図 18 - 12 V 出力ダイオードピーク逆電圧、380 VDC 入力、10 V、1 μs/div

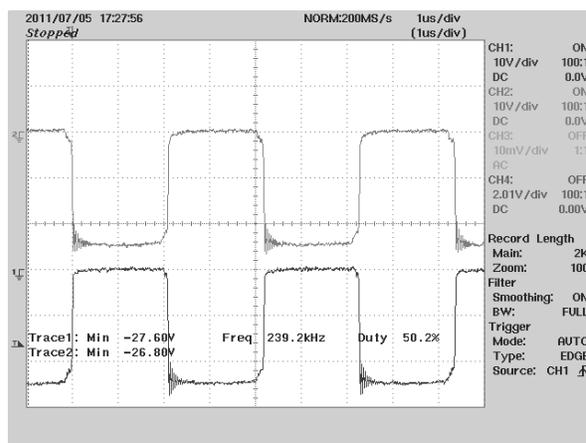


図 19 - 12 V 出力ダイオードピーク逆電圧、420 VDC 入力、10 V、1 μs/div

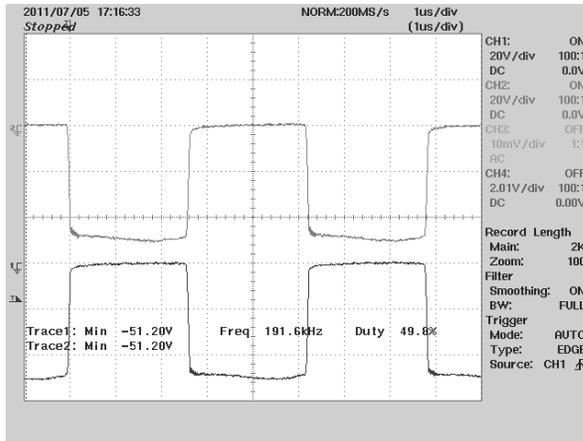


図 20 - 24 V 出力ダイオード ピーク逆電圧、380 VDC 入力、20 V、1 μ s/div

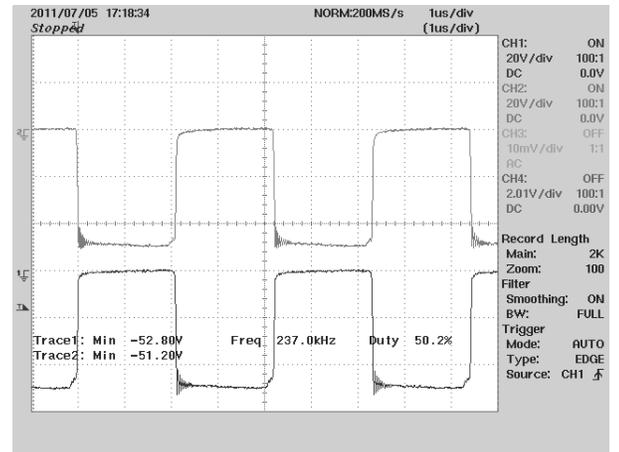


図 21 - 出力ダイオードピーク逆電圧、420 VDC 入力、20 V、1 μ s/div

12.5 短絡

次に示すテストでは、125 W 負荷、380 VDC 入力で、出力電圧端子を水銀リレーでショートしました。オシロスコープは、電流の立ち上がりでトリガ。

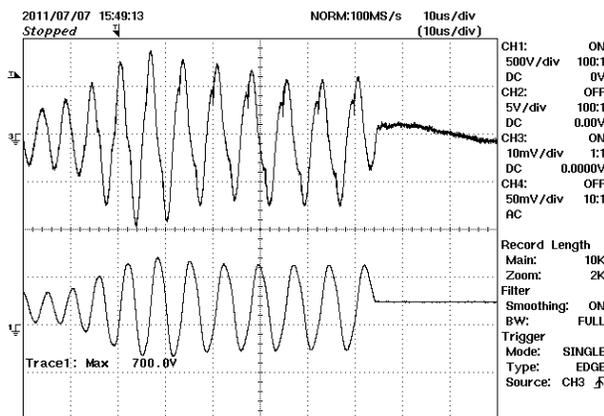


図 22 - 12 V 出力短絡時の一次波形
上: 一次電流、2 A/div
下: 共振コンデンサ電圧、500 V、10 μ s/div

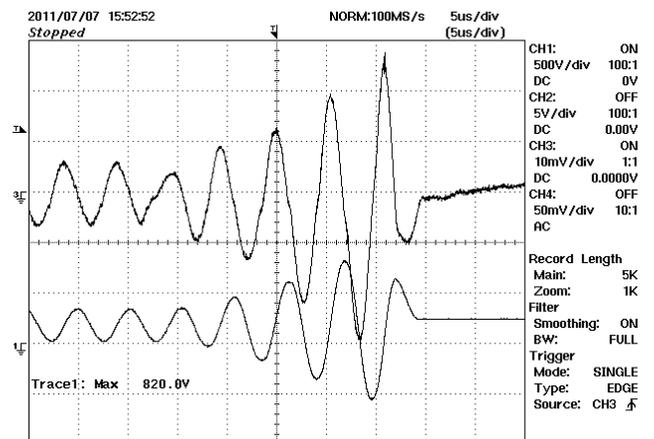


図 23 - 24 V 出力短絡時の一次波形
上: 一次電流、2 A/div
下: 共振コンデンサ電圧、500 V、5 μ s/div



12.6 出力リップルの測定

12.6.1 リップルの測定方法

DC 出力リップル測定で、干渉による信号の影響を減らすには、オシロスコープ テスト プローブを修正して使用する必要があります。プローブ修正の詳細を下の図に示します。

4987BA プローブ アダプタにはコンデンサが 2 つ付いており、プローブの先端に並列で接続されます。このコンデンサは、一方 (1) が $0.1 \mu\text{F}/50 \text{ V}$ セラミック タイプで、もう一方 (1) が $1.0 \mu\text{F}/50 \text{ V}$ アルミニウム電解コンデンサです。アルミニウム電解コンデンサは有極です。したがって、DC 出力に対して正しい極性を維持する必要があります (下の写真を参照)。

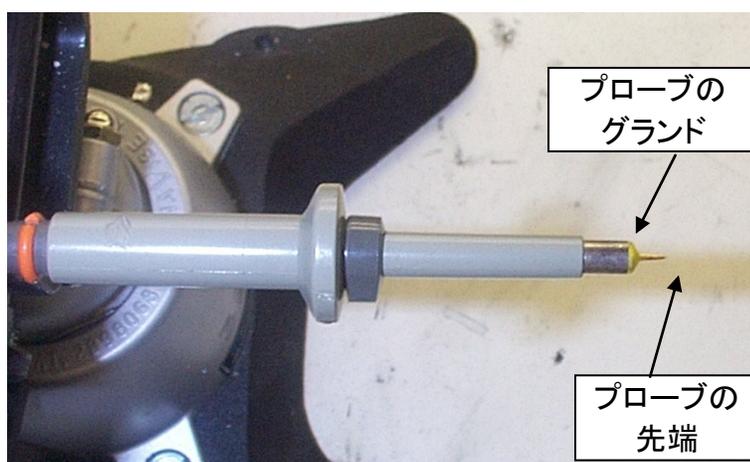


図 24 - リップル測定用に準備されたオシロスコープのプローブ。(端末キャップとアース線を取り外したところ)

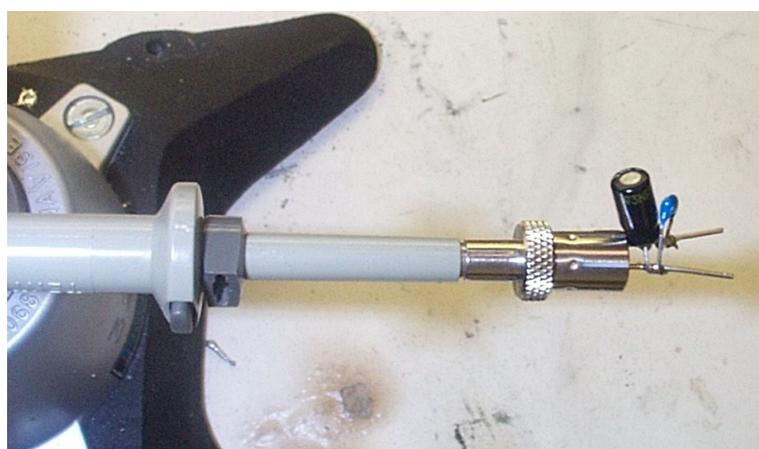


図 25 - オシロスコープのプローブと Probe Master (www.probemaster.com) 4987A BNC アダプタ。(リップル測定用ワイヤが変更され、2 つの並列デカップリング コンデンサが追加された)

12.6.2 出力リップルの測定結果

下の図は、どちらの出力も無負荷になっている場合 (このアプリケーションでは通常は発生しない状態) の出力の動作を示しています。両方の出力がゼロ負荷の場合、電源はバーストモードで動作し、レギュレーションを維持します。LCS デバイスのバーストモードは、レギュレーションを維持するために最適化されており、無負荷時低電力消費とは関係ありません。従って、効率を最適化した場合、無負荷及び定格入力電圧で電源がバーストモードにならない可能性もあります。

各バースト期間開始時の初期スパイクは、バーストサイクル間の休止時間における一次共振コンデンサの放電によるものです。このスパイクは、バーストモードで動作する LLC コンバータで発生します。図 28 に見られる 12 V の電圧スパイクは、ESR の小さいフィルタコンデンサ (C16) を使用することで、必要に応じて減らすことができます。

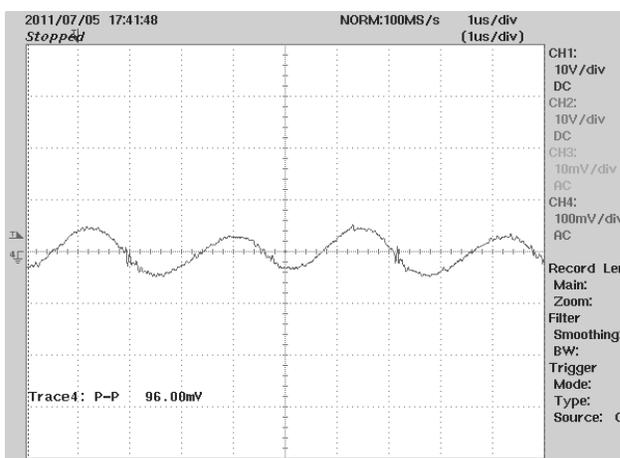


図 26 - 12 V リップル、380 VDC 入力、100% 負荷。
出力リップル電圧、100 mV/div 1 μ s/div

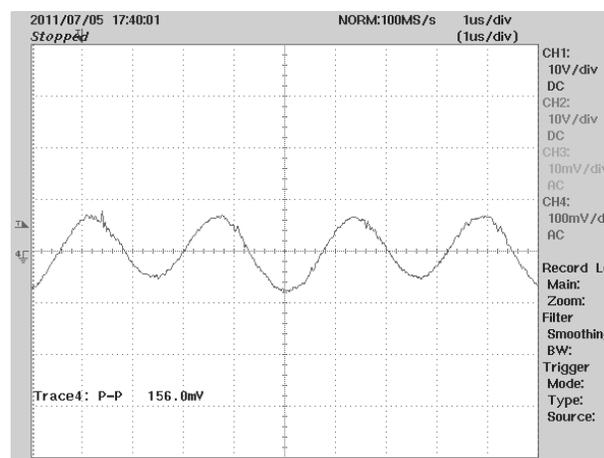


図 27 - 24 V リップル、380 VDC 入力、100% 負荷。
出力リップル電圧、100 mV/div 1 μ s/div



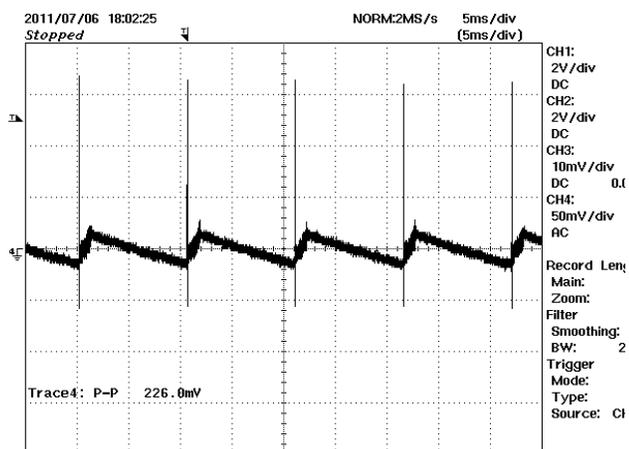


図 28 - 12 V 出カリップル電圧、どちらの出力もゼロ負荷、50 mV/div、5 ms/div 電源はバーストモード。

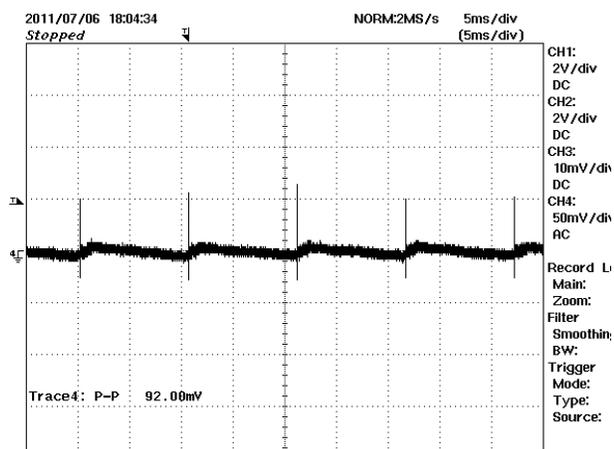


図 29 - 24 V 出カリップル電圧、どちらの出力もゼロ負荷、50 mV/div、5 ms/div 電源はバーストモード。

12.7 出力負荷ステップ応答

下の図では、測定するオシロスコープが平均化モードに設定され、出力電流ステップの立ち上がりエッジでトリガ。これにより、出力リップルが平均化されました。そうでない場合、過渡応答が明確に表示されないことがあります。

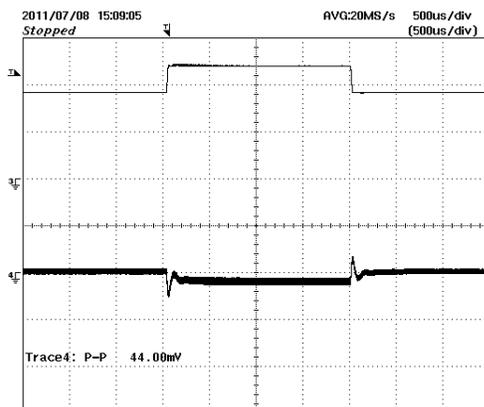


図 30 - 12 V 出力負荷ステップ応答。

12 V 出力の負荷ステップは
75% - 100% - 75%。

上: 12 V 負荷電流、2 A/div

下: 12 V 出力応答、50 mV、500 μ s/div

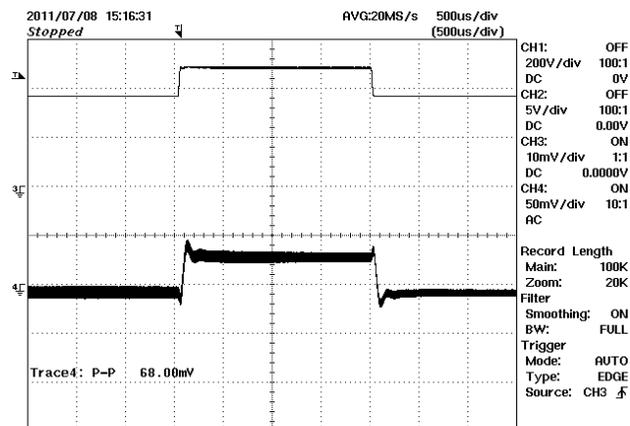


図 31 - 24 V 出力負荷ステップ応答。

12 V 出力の負荷ステップは
75% - 100% - 75%。

上: 12 V 負荷電流、2 A/div

下: 24 V 出力応答、500 mV、500 μ s/div

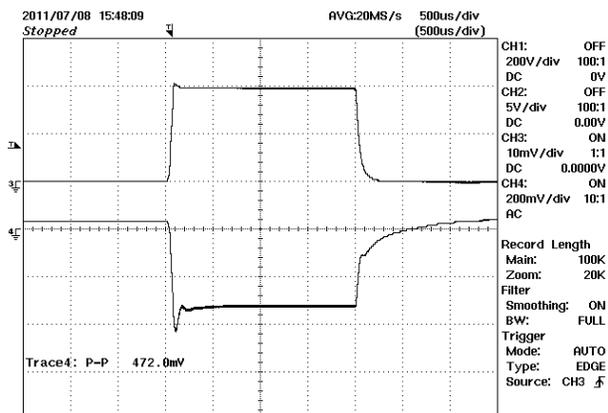


図 32 - 24 V 出力負荷ステップ応答。

24 V 出力の負荷ステップは
1% - 100% - 1%。

上: 24 V 負荷電流、2 A/div

下: 24 V 出力応答、200 mV、500 μ s/div

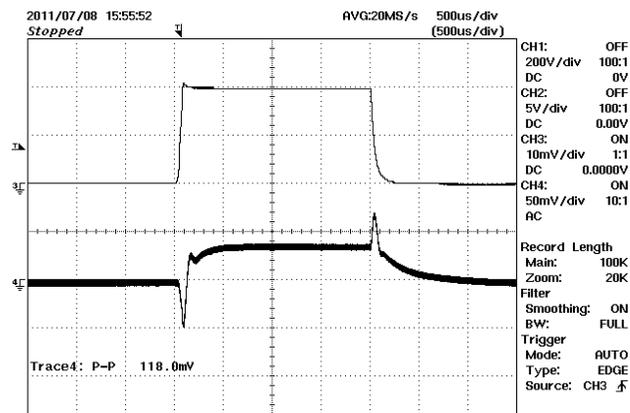


図 33 - 12 V 出力負荷ステップ応答。

24 V 出力の負荷ステップは
1% - 100% - 1%。

上: 24 V 負荷電流、2 A/div

下: 12 V 出力応答、50 mV、500 μ s/div



13 温度測定

13.1 条件: 380 VDC、最大負荷、1 時間動作

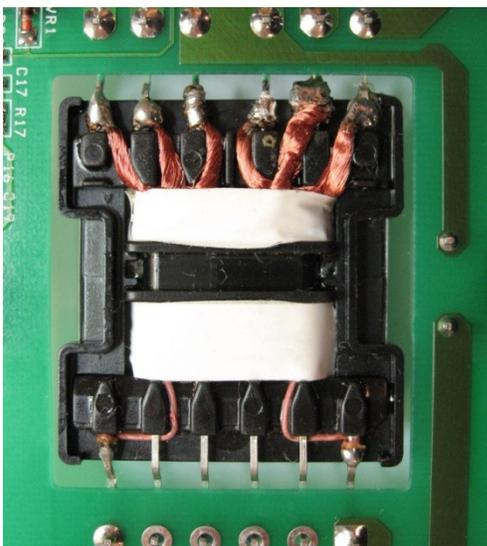


図 34 トランス (T1)。底面図。



図 35 トランス (T1)。室温での温度の底面表示、最大負荷。

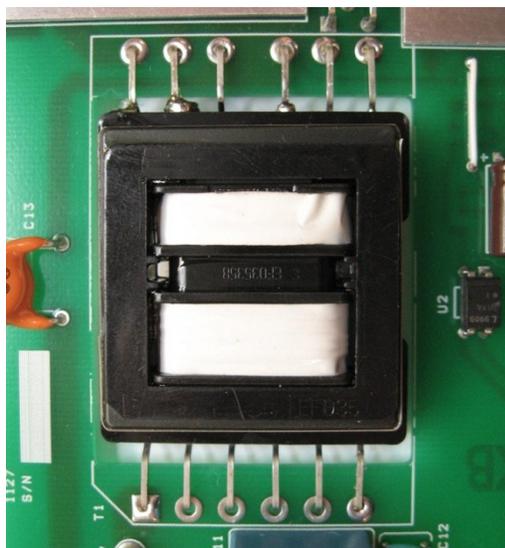


図 36 トランス (T1)。上面図。

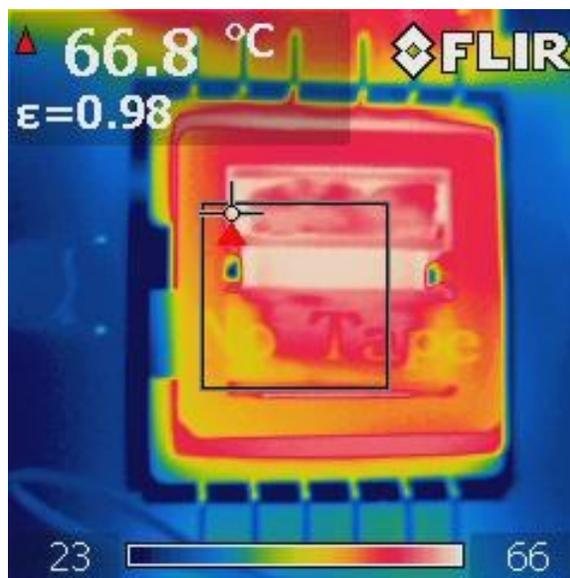


図 37 トランス (T1)。室温での温度の上面表示、最大負荷。

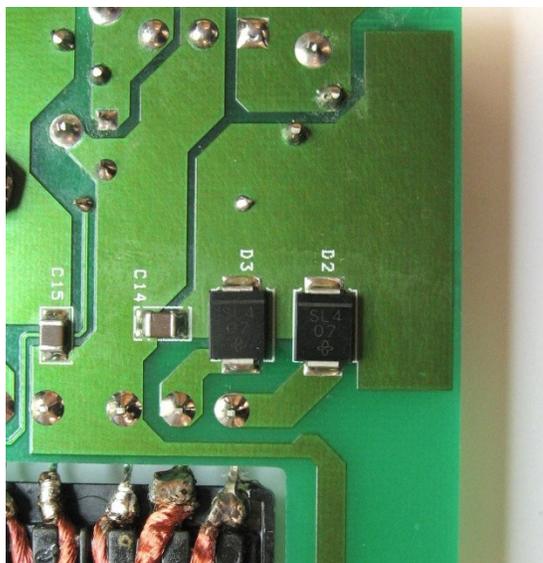


図 38 - 12 V 出力整流ダイオード (D2、D3)。

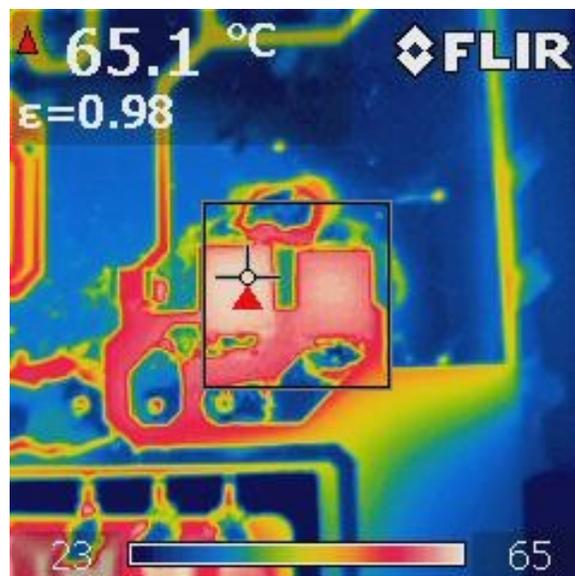
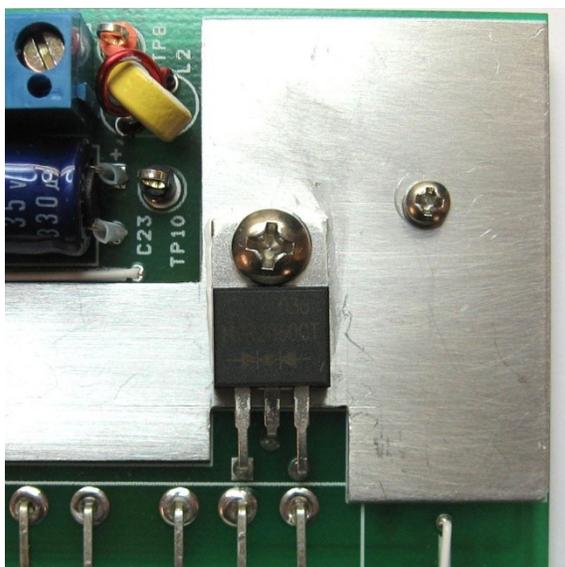
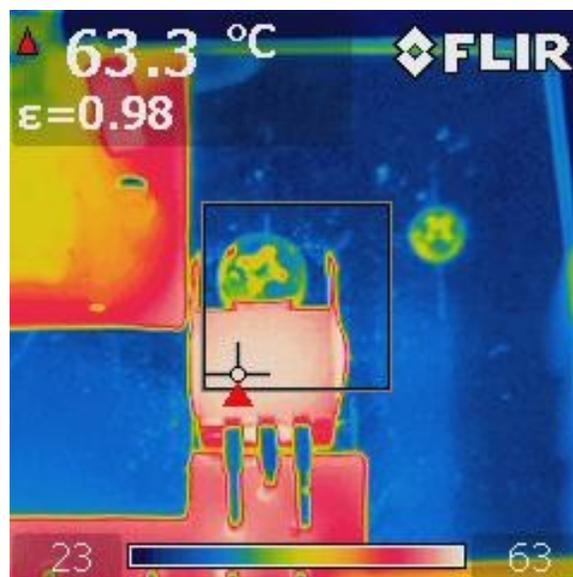
図 39 - 12 V 出力整流ダイオード (D2、D3)。
室温での最大負荷温度表示。

図 40 - 24 V 出力整流ダイオード (D4)。

図 41 - 24 V 出力整流ダイオード (D4)。
室温での最大負荷温度表示。

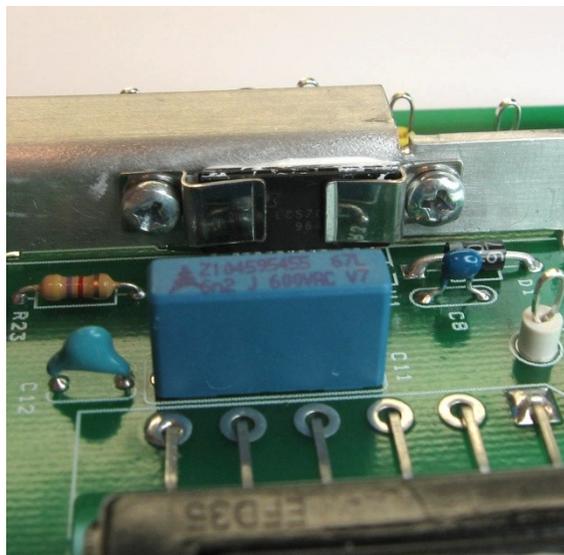


図 42 - HiperLCS (U1)。

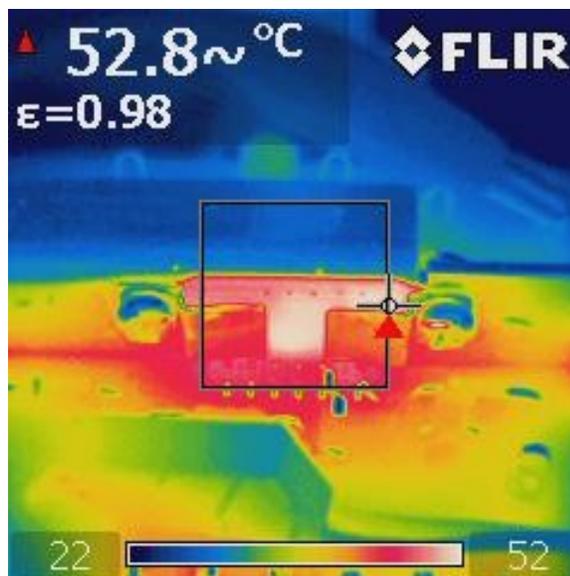


図 43 - 最大負荷 HiperLCS (U1)。
室温での温度表示。

14 ゲイン位相測定

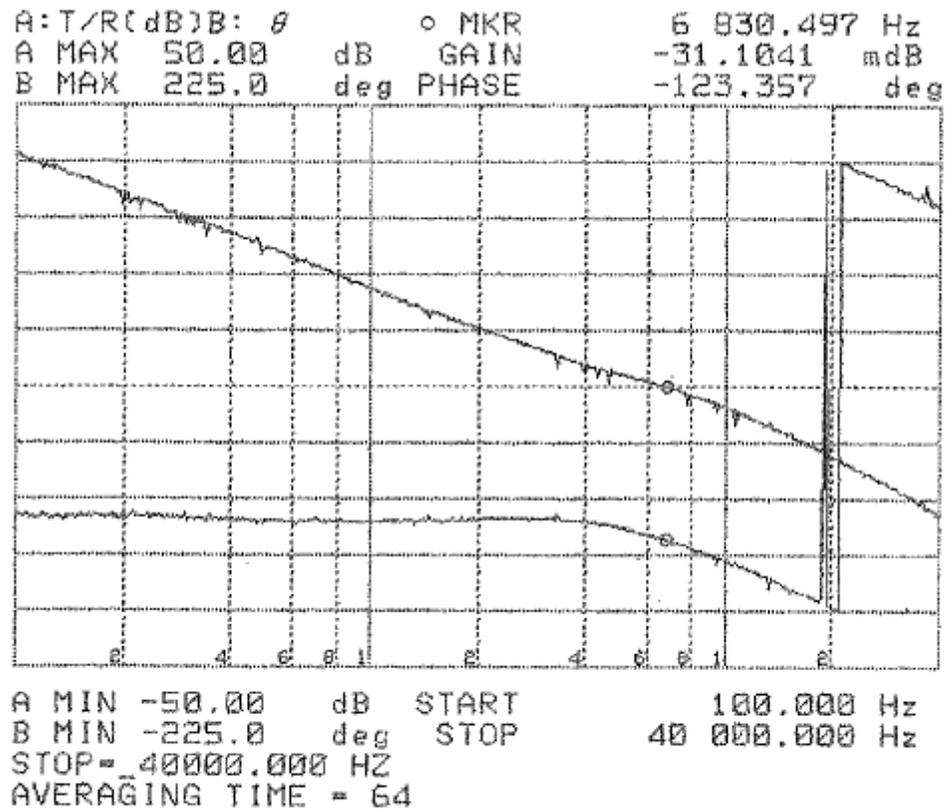


図 44 - ゲイン位相応答、最大負荷、380 VDC 入力。ゲインのクロスオーバー周波数は 6.8 kHz、位相マージンは 57 度。



15 改訂履歴

日付	作成者	改訂	説明と変更点	校閲者
2011 年 9 月 13 日	RH	1.0	初回リリース	アプリケーション 担当とマーケ ティング担当



For the latest updates, visit our website: www.powerint.com

Power Integrations reserves the right to make changes to its products at any time to improve reliability or manufacturability. Power Integrations does not assume any liability arising from the use of any device or circuit described herein. POWER INTEGRATIONS MAKES NO WARRANTY HEREIN AND SPECIFICALLY DISCLAIMS ALL WARRANTIES INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, AND NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY RIGHTS.

PATENT INFORMATION

The products and applications illustrated herein (including transformer construction and circuits' external to the products) may be covered by one or more U.S. and foreign patents, or potentially by pending U.S. and foreign patent applications assigned to Power Integrations. A complete list of Power Integrations' patents may be found at www.powerint.com. Power Integrations grants its customers a license under certain patent rights as set forth at <http://www.powerint.com/ip.htm>.

The PI Logo, TOPSwitch, TinySwitch, LinkSwitch, DPA-Switch, PeakSwitch, CAPZero, SENZero, LinkZero, HiperPFS, HiperTFS, HiperLCS, Qspeed, EcoSmart, Clampless, E-Shield, Filterfuse, StackFET, PI Expert and PI FACTS are trademarks of Power Integrations, Inc. Other trademarks are property of their respective companies. ©Copyright 2011 Power Integrations, Inc.

Power Integrations Worldwide Sales Support Locations**WORLD HEADQUARTERS**

5245 Hellyer Avenue
San Jose, CA 95138, USA.
Main: +1-408-414-9200
Customer Service:
Phone: +1-408-414-9665
Fax: +1-408-414-9765
e-mail:
usasales@powerint.com

GERMANY

Rueckertstrasse 3
D-80336, Munich
Germany
Phone: +49-89-5527-3911
Fax: +49-89-5527-3920
e-mail:
eurosales@powerint.com

JAPAN

Kosei Dai-3 Building
2-12-11, Shin-Yokohama,
Kohoku-ku, Yokohama-shi,
Kanagawa 222-0033
Japan
Phone: +81-45-471-1021
Fax: +81-45-471-3717
e-mail: japansales@powerint.com

TAIWAN

5F, No. 318, Nei Hu Rd., Sec. 1
Nei Hu District
Taipei 114, Taiwan R.O.C.
Phone: +886-2-2659-4570
Fax: +886-2-2659-4550
e-mail:
taiwansales@powerint.com

CHINA (SHANGHAI)

Rm 1601/1610, Tower 1
Kerry Everbright City
No. 218 Tianmu Road West
Shanghai, P.R.C. 200070
Phone: +86-021-6354-6323
Fax: +86-021-6354-6325
e-mail:
chinasales@powerint.com

INDIA

#1, 14th Main Road
Vasanthanagar
Bangalore-560052
India
Phone: +91-80-4113-8020
Fax: +91-80-4113-8023
e-mail:
indiasales@powerint.com

KOREA

RM 602, 6FL
Korea City Air Terminal B/D, 159-6
Samsung-Dong, Kangnam-Gu,
Seoul, 135-728
Korea
Phone: +82-2-2016-6610
Fax: +82-2-2016-6630
e-mail: koreasales@powerint.com

EUROPE HQ

1st Floor, St. James's House
East Street, Farnham
Surrey GU9 7TJ
United Kingdom
Phone: +44 (0) 1252-730-141
Fax: +44 (0) 1252-727-689
e-mail:
eurosales@powerint.com

CHINA (SHENZHEN)

Rm A, B & C 4th Floor, Block C,
Electronics Science and
Technology Building
2070 Shennan Zhong Road
Shenzhen, Guangdong,
P.R.C. 518031
Phone: +86-755-8379-3243
Fax: +86-755-8379-5828
e-mail:
chinasales@powerint.com

ITALY

Via De Amicis 2
20091 Bresso MI
Italy
Phone: +39-028-928-6000
Fax: +39-028-928-6009
e-mail:
eurosales@powerint.com

SINGAPORE

51 Newton Road,
#19-01/05 Goldhill Plaza
Singapore, 308900
Phone: +65-6358-2160
Fax: +65-6358-2015
e-mail:
singaporesales@powerint.com

APPLICATIONS HOTLINE

World Wide +1-408-414-9660

APPLICATIONS FAX

World Wide +1-408-414-9760

