

アプリケーション ノート AN-68

LYTSwitch-7 ファミリー

設計ガイド

背景

LED が市場の主要商品になり、製造コストの削減が最優先課題になっています。一般的な A19 電球の DOE コスト内訳によれば、LED ドライバはシステム コストの 15% ~ 20% になります。したがって、非常に競争が激しい市場に適應する手段として、すべての LED OEM はドライバの BOM コストを削減する方法を探する必要があります。

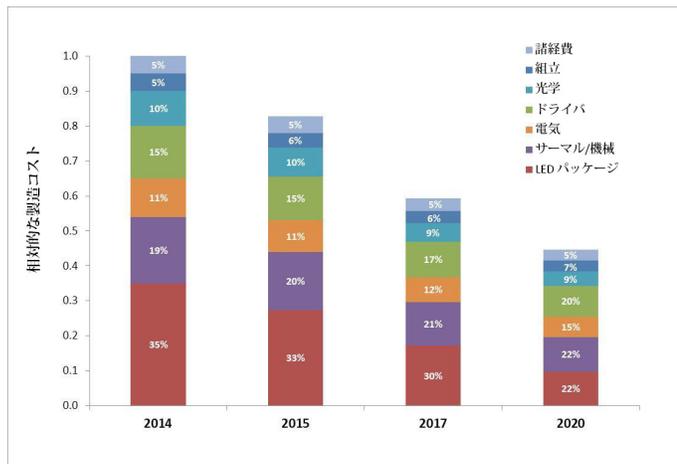


図 1. 一般的な A19 交換用ランプのコスト内訳
(出典: DOE SSL ラウンドテーブルとワークショップ出席者)

調光 LED ドライバ回路は一般に複雑で、電球型調光器との互換性を維持するために多くの部品を必要とします。電球型調光器は白熱電球などの高電力、抵抗負荷向けに設計されています。

LYTSwitch-7 IC は、安価で信頼できるソリューションの必要性を満たしながら調光器の互換性に対応します。

はじめに

LYTSwitch™-7 ファミリーは、安価なワンコンバータ型、高力率 (PF) 定電流、及びダンパーなし調光型 LED 電球に最適です。

このファミリーには、高耐圧 MOSFET と可変 ON 時間電流臨界モード (CrM) コントローラが内蔵されています。必要最小限の外付け部品と優れた保護機能により、業界トップの電力密度と機能を実現します。

ローサイド構成では、DC バス電圧から BYPASS ピンへの1つのプルアップ抵抗で対応でき、バイアス巻線が不要であり、低価格の既製のドラム チョークを使用できます。

オートリスタートの保護機能は、入出力過電圧保護、出力短絡保護、及びオープン ループ保護に対応しています。

サーマル フォールドバックにより、温度上昇した場合でも点灯し続けることができます。過熱シャットダウン機能により、異常時にも保護機能が動作します。

制御アルゴリズムにより、迅速なターンオン、低いポップオン、10:1 を上回る調光比、ムラのない調光特性が実現出来ます。

適用範囲

このアプリケーション ノートは、LYTSwitch-7 ファミリーのデバイスを使用して非絶縁 AC-DC 降圧型電源を設計するエンジニアを対象としています。ここでは、すべての回路部品の選択をステップ バイ ステップ形式で説明します。

このアプリケーション ノートでは、電源の設計者が設計プロセスにおいて、より細かい制御ができる計算シートベースのアプリケーションである PIXIs Designer を使用します。このソフトウェアは、<http://www.power.com/ja/design-support/pi-expert-design-software> からダウンロードできる PI Expert™ 設計ソフトウェア スイートに含まれます。

このアプリケーション ノートに加えて、新しい設計を開始する際に役立つ LYTSwitch-7 評価キット (RDK) もあります。これには、評価プロトタイプ基板、レポート、及びデバイス サンプルが含まれています。

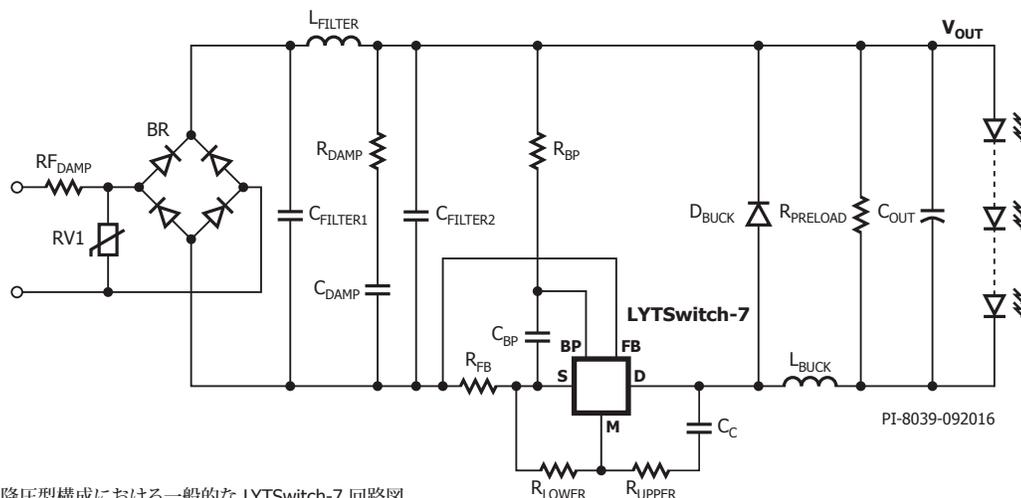


図 2. ローサイド降圧型構成における一般的な LYTSwitch-7 回路図

ピン機能の説明

ピン名	機能
BYPASS (BP) ピン	5.22 V 電源レール
MULTIFUNCTION (M) ピン	モード 1: MOSFET オフ • CrM を維持するためのゼロクロス (ZCD) の検出 • 出力 OVP センス • 定常状態動作電圧範囲は [1 V - 2.4 V] モード 2: MOSFET オン • 入力 OVP センス
FEEDBACK (FB) ピン	• 外部電流センス抵抗を用いた MOSFET 電流センス • 通常動作電圧範囲は [V _{FB(REF)} - 0 V]
DRAIN (D) ピン	高電圧内部 MOSFET
SOURCE (S) ピン	電力と信号グラウンド

テーブル 1. ピン機能の説明

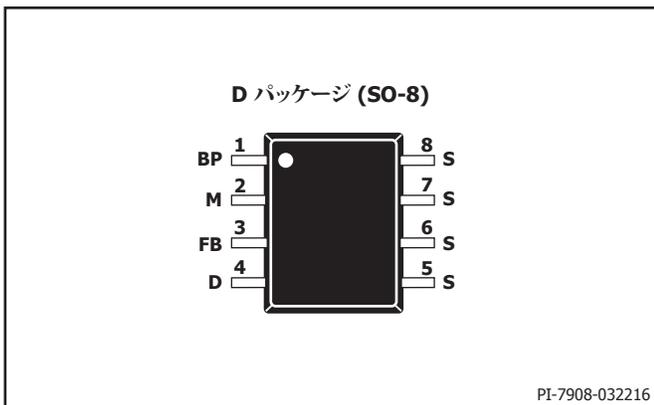


図 3. LYTSwitch-7 ピンの構成

LYTSwitch-7 の動作

LYTSwitch-7 IC は、出力電流が平均インダクタ電流と等しくなる 電流臨界モード (CrM) の降圧型トポロジで動作します。

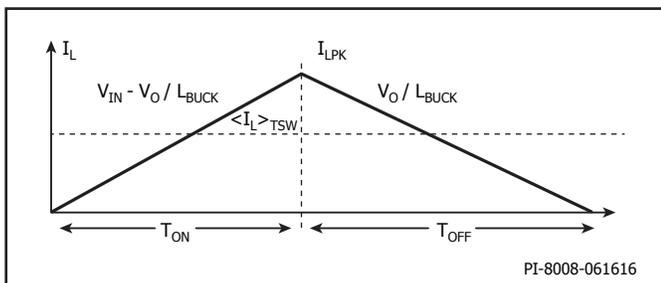


図 4. 電流臨界モード (CrM) インダクタ電流プロファイル

調光機能が無い場合、LYTSwitch-7 IC では、ピーク カレントリミットを適用し、 T_{ON} を制御して定電流制限領域の時間 (t_{CC}) とデッド ゾーンの時間 (T_{DZ}) の比率を一定に維持することによって、定電流 (CC) レギュレーションを維持します。

$$\frac{t_{CC}}{T_{DZ}} = 1$$

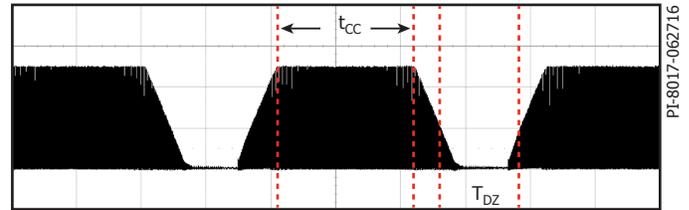


図 5. LYTSwitch-7 の定率制御スキーム

位相カット入力で動作する LYTSwitch-7 IC は、 T_{ON} を調整して比率 1 を維持しようとします。ただし、 $T_{ON(MAX)}$ に到達すると、その後は自然調光になります。つまり、導通角が変化すると、平均インダクタ電流が減少し、その結果、出力電流が低下します。

図 6 ~ 9 に、DER-539 の LYTSwitch-7 IC で調光機能を実現する方法を示します。

調光器なし

出力電流は最大です。 $t_{CC}/T_{DZ} = 1$ 。 $T_{ON} < T_{ON(MAX)}$

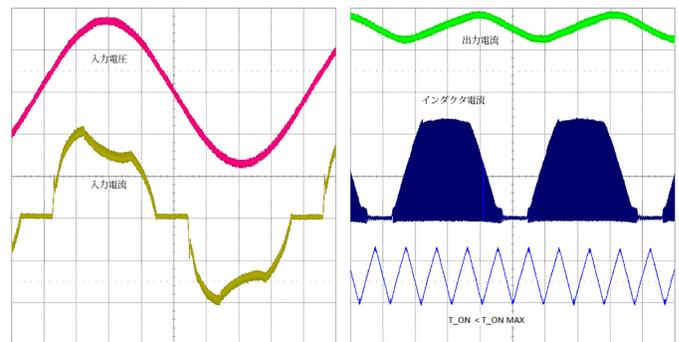


図 6. 完全 AC 導通における入力波形と出力波形

位相カット調光、150°導通角

出力電流は自然に減少します。 $t_{CC}/T_{DZ} = 1$ 比率が維持されます。

$T_{ON} < T_{ON(MAX)}$

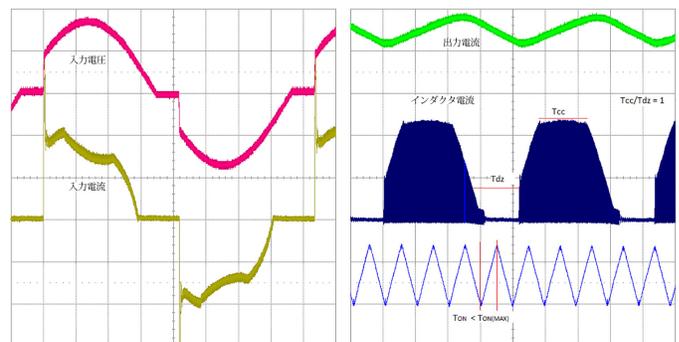


図 7. 150°導通角における入力波形と出力波形

位相カット調光、90°導通角

位相カットによって出力電流がさらに低下します。 t_{CC}/T_{DZ} 比率は 1 より小さくなります。 $T_{ON} = T_{ON(MAX)}$ スイッチングは、入力電圧が低下するに従って入力電流を増加させるピーク電流に基づきます。

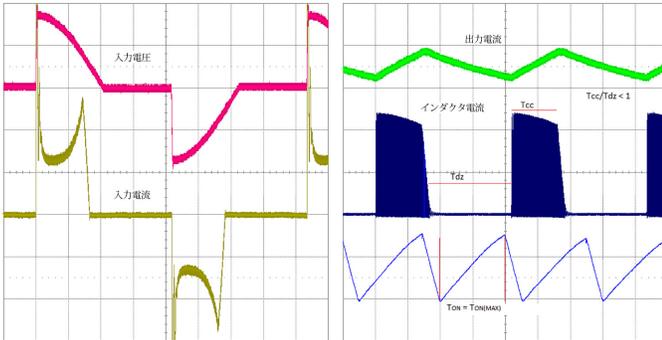


図 8. 90°導通角における入力波形と出力波形

位相カット調光、60°導通角

T_{ON} は $T_{ON(MAX)}$ で維持されます。出力電流は自然に低下します。入力電流は入力の低下に応じて上昇し、トライアック調光機能は正常に動作します。

図 10 に、NEMA SSL7A-2015 基準を容易に満たす LYTSwitch-7 IC の一般的な調光カーブを示します。

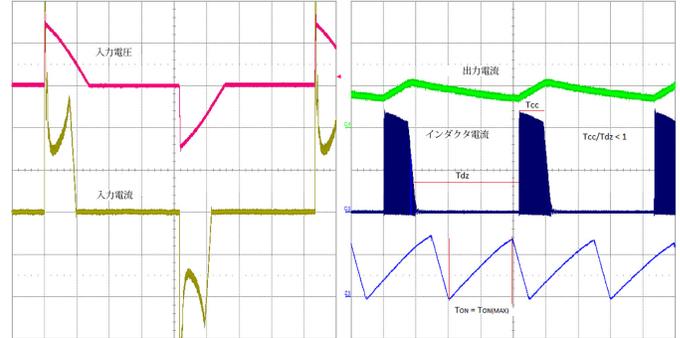


図 9. 60°導通角における入力波形と出力波形

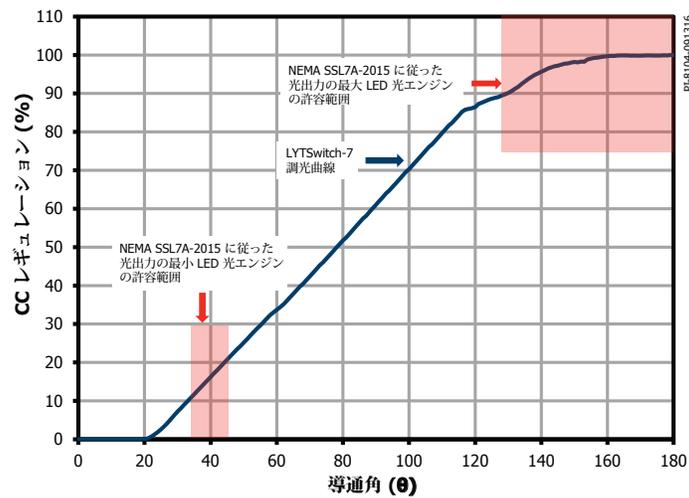


図 10. LYTSwitch-7 調光曲線と SSL7A-2015 制限

ステップ バイ ステップ形式の設計手順

ステップ 1 – アプリケーション変数 V_{AC_MIN} 、 V_{AC_TYP} 、 V_{AC_MAX} 、 f_L 、 V_o 、 I_o 、 V_D 、最適化パラメータの入力

アプリケーション変数の入力			
入力電圧範囲		低電圧	AC 入力電圧範囲
VACMIN		90 V	最小 AC 入力電圧
VACTYP		115 V	AC 入力電圧通常値
VACMAX		132 V	最大 AC 入力電圧
FL		50 Hz	AC 主電源周波数
VO		50 V	出力電圧
IO		160 mA	平均出力電流規格
効率		0.90	効率予測値
PO		8.00 W	連続出力電力
VD		0.70 V	出力ダイオード順方向電圧降下

図 11. 設計計算シートの「アプリケーション変数」セクション

入力電圧範囲と入力周波数

テーブル 2 から入力電圧範囲と入力周波数を決定します。

入力電圧	V_{AC_MIN}	V_{AC_TYP}	V_{AC_MAX}	f_L (Hz)
低電圧のみ	90	100/115	132	50/60
高電圧のみ	180	230	265	50
ワイド入力	90	115/230	265	50/60

テーブル 2. 入力電圧範囲と入力周波数

定格出力電圧、 V_o (V)

テーブル 3 に基づいて定格 LED 出力電圧を入力します。最良の調光性能を得るために、推奨 V_o 列から選択します。拡張された V_o 列により、ユーザーは推奨値を超えた場合でもデバイスを柔軟に使用できます。ただし、調光特性は実際の試作品で確認する必要があります。

入力電圧範囲 (V_{AC})	推奨 V_o	拡張 V_o
低電圧またはワイド入力	25 - 55	15 - 72
高電圧のみ	25 - 80	15 - 120

テーブル 3. 出力電圧範囲

定格出力電流、 I_o (mA)

定格出力電流を入力します。最大許容出力電流は、デバイスが内部カレントリミットに到達しないように、LYT7504D では 400 mA、LYT7503D では 265 mA です。 I_o と I_{PK} の間の関係は、次のとおりです。

$$I_{PK} \cong 3.6 \times I_o$$

出力ダイオードの順方向電圧降下、 V_D (V)

出力ダイオードの平均の順方向電圧降下を入力します。 V_D のデフォルト値は 0.7 V です。

ステップ 2 – LYTSwitch-7 デバイスの選択

「自動」を選択すると、PIXIs は適切なデバイス サイズを選択します。手動で選択する場合は、電力テーブルからデバイスを選択します。

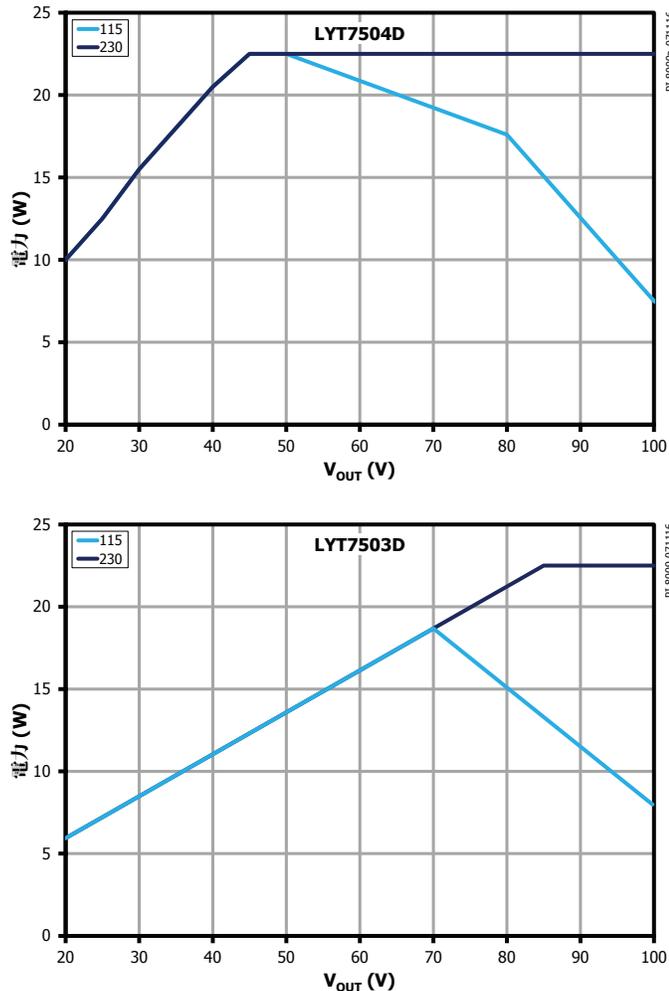


図 12. 出力電力テーブルのグラフ

ステップ 3 – 出力インダクタンスの決定

設計計算シートでは、使用する推奨インダクタンス ($L_{P(TYP)}$) を計算します。 $L_{P(MIN)}$ と $L_{P(MAX)}$ の間の任意の値が使用できるようにインダクタンスの範囲も計算します。この計算では、インダクタンスの動作に関して最良の性能を得るために次の設計パラメータが考慮されます。

- スイッチング周波数 – インダクタンスが高いほど、ピーク スイッチング周波数は低くなります。これにより、スイッチング周波数を調整して EMI 特性を向上できます。
- インダクタ/ボビン サイズ – インダクタンスが高いほど巻き数が多くなり、コア サイズが大きくなります。
- 入力電圧レギュレーション – インダクタンスが高いほど、入力レギュレーションはフラットになります。

ステップ 4 – 出力インダクタのタイプの選択

ボビン タイプのインダクタまたは既製のドラム コアのインダクタのいずれかを選択できます。ドラム チョークのインダクタはボビン タイプのインダクタよりかなり安価です。

シールドされていないドラム コア出力インダクタを使用する際のヒント
LYTSwitch-7 IC のローサイド スイッチング降圧型トポロジでは、開磁型のドラム チョークでも EMI を満足します。次のヒントは、一貫した性能を維持するために必要です。電源のレイアウトでインダクタ (メイン インダクタと EMI インダクタ) の配置と場所を考慮する際、磁場がこれらのインダクタ間の磁束カップリングを防止し、磁束を伝導面に対してキャンセルさせることが重要です。

- 入力フィルタ インダクタと出力インダクタの両方がシールドされていない場合は、両者の間に十分な空間距離を確保します。
- アルミ電解コンデンサには金属エンクロージャがあるので、出力インダクタと出力電解コンデンサの間に十分な空間距離を確保します。
- インダクタを基板の中央に配置し、できれば金属エンクロージャから離します。出力レギュレーション及び金属エンクロージャ内のドライブパが EMI に影響していないことを確認します。
- 磁束がキャンセルされるようにインダクタを配置します。ドラム チョークを基板に挿入する際に、その方向を維持するために巻線の巻き始めと巻き終わりに注意して下さい。

PIXIs では、一般的なトランス コアの一覧から選択するか、または別のコアを使用する場合は、[カスタム] を選択してパラメータにデータを入力します。ドラム コアに [既製] を選択します。標準値については、テーブル 4 を参照してください。

LYTSWITCH-7 の変数の入力			
デバイスのブレイクダウン電圧		725 V	この計算シートは 725 V デバイスのみをサポートします
DEVICE	自動	LYT7503D	実際の LYTSwitch-7 デバイス
ILIMITMIN		1.06 A	最小カレントリミット
ILIMITTYP		1.15 A	カレントリミット通常値
ILIMITMAX		1.24 A	最大カレントリミット
TON		2.95 μ S	VACTYP の固定オン時間領域におけるオン時間
FSW		103 kHz	VACTYP の固定カレントリミット領域における最大スイッチング周波数
DMAX		2.40	固定オン時間領域で可能な最大デューティ サイクル

図 13. 設計計算シートの「LYTSwitch-7 変数」セクション

インダクタの設計パラメータ			
LP_MIN		290 μ H	絶対最小設計インダクタンス
LP_TYP		582 μ H	インダクタンス通常値
LP_TOLERANCE		10 %	設計インダクタンスの公差
LP_MAX		873 μ H	絶対最大設計インダクタンス

図 14. 設計計算シートの「インダクタ設計」セクション

ステップ 5 – フリーホイーリング ダイオードの選択

次に基づいてフリーホイーリング ダイオードを選択します。

- 逆回復時間、 t_{rr} – CrM 動作により、より低速な逆回復 (最大 250 ナノ秒) の出力ダイオードを使用できます。
- ピーク逆電圧、 PIV_o – ピーク入力電圧より少なくとも 25% 高いマージンを確保してピーク逆電圧 (PIV) 定格値を選択します。
- 順電流、 I_F – 出力電流 I_o は最小順電流定格値とします。 I_o が 300 mA 未満の設計では、1 A ダイオードを推奨します。出力電流 (I_o) がこれより大きい場合は、順方向電流のディレーティング曲線を確認し、最大動作温度で 2 A ダイオードが必要かどうかを決定します。

ステップ 6 – 出力コンデンサの選択

標準既製品のインダクタ値	
470 μ H	1800 μ H
560 μ H	2200 μ H
680 μ H	2700 μ H
820 μ H	3300 μ H
1000 μ H	3900 μ H
1200 μ H	4700 μ H
1500 μ H	5600 μ H

テーブル 4. 標準ドラム コア インダクタ値

LYTSwitch-7 IC は出力コンデンサなしでも動作しますが、リップル電流が大きくなります。従って、LED の信頼性を向上し、調光中のちらつきを防止するために、たいいてい場合は、リップル電流の低減が必要です。

リップル電流は、出力容量と LED バルク抵抗の両方によって決まります。したがって、実際の LED 負荷を用いて、指定されたリップル電流低減に必要な出力容量を決定する必要があります。

出力 OVP レベルを超える定格電圧の電解コンデンサを推奨します。

ステップ 7 – プリロード抵抗の選択

プリロード抵抗は、オープン負荷時の出力コンデンサの電圧の上昇を抑えるために必要です。最小の推奨値は、次の式で得られます。

$$R_{PRELOAD} = \frac{V_o}{1 mA}$$

ステップ 8 – バイパス コンデンサの選択

BYPASS ピン コンデンサの値は、特に入力電圧が瞬間的に V_o 未満になる場合に、BYPASS ピンの電圧が V_{BP} リセットより低くなることを防止するために十分に大きくする必要があります。ほとんどの設計において、定格電圧が 7 V 以上で 10 μ F のコンデンサを推奨します。

インダクタ コア/構成に関する変数の入力			
CORE	EE13	EE13	トランス コアを入力
CUSTOM CORE NAME			カスタム コアを使用する場合は、ここに部品番号を入力
AE		17.10 mm ²	コア実効断面積
LE		30.20 mm	コア実効パス長
AL		1130.00 nH/turn ²	コアギャップ無し実効インダクタンス
AW		21.28 mm ²	ボビンの巻線面積
BW		7.40 mm	ボビンの物理的巻線幅
LAYERS		6.0	巻線層数

図 15. 計算シートの「インダクタ コアと構成に関する変数」セクション

ステップ 9 – フィードバック抵抗の決定

次の式を使用して、フィードバック センス抵抗 R_{FB} を計算します。

$$R_{FB} = \frac{V_{FB(REF)}}{3.6 \times I_O}$$

数式の記号の意味は次のとおりです。

- R_{FB} : フィードバック センス抵抗
- $V_{FB(REF)}$: FEEDBACK ピンの基準電圧 (-279 mV)
- I_O : 出力電流

I_O を公称入力電圧でセンター値に設定するため、 R_{FB} のトリミングが必要になる場合があります。

ステップ 10 – MULTI-FUNCTION ピンの部品の決定

 R_{UPPER} の選択

次のテーブルを使用して、 R_{UPPER} のデフォルト値を選択します。

入力電圧範囲	推奨 R_{UPPER}
低電圧のみ	402 k Ω , 1%, 0805
高電圧のみ/ワイド入力	402 k Ω , 1%, 1206

テーブル 5. R_{UPPER} の推奨値

 R_{LOWER} の選択

R_{UPPER} と R_{LOWER} により、出力 OVP スレッシュホールド (V_{OVP}) を設定する電圧分割回路網を形成します。

ローサイド構成の出力電圧は、カップリングコンデンサを使用して検出します。この手法を用いることで、補助巻線が不要になります。ローサイド構成における R_{LOWER} の選択では、通常動作中に出力 OVP が誤ってトリガされることを防止するため、特に注意が必要です。

ピーク MULTIFUNCTION ピン電圧はインダクタンス (V_O と入力電圧) の影響を受けます。次の数式を使用して、ローサイド構成の適切な R_{LOWER} を計算します。

$$R_{LOWER} (Low - Side) = \frac{V_{MREF} \times R_{UPPER}}{V_{OUT} - V_{MREF}}$$

数式の記号の意味は次のとおりです。

- V_{MREF} : テーブル 6 に示されている MULTIFUNCTION ピンの基準電圧

F_{SW} (kHz)	V_{MREF} (ローサイド構成)、V		
	高電圧		低電圧/広範囲
	$V_O < 70$ V	$V_O \geq 70$ V	
>70	1.9	1.9	1.9
60-70	1.85	1.85	1.85
50-60	1.8	1.8	1.8
40-50	1.7	1.8	1.8
30-40	1.6	1.7	1.7
20-30	1.5	1.6	1.6

テーブル 6. ローサイド構成の MULTIFUNCTION ピン基準電圧 (V_{MREF})

カップリングコンデンサの選択

カップリングコンデンサはローサイド構成にのみ適用されます。100 pF、COG または NPO 誘電体、1 kV のセラミック コンデンサを使用します。

LYTSWITCH の外付け部品				
FB ピン抵抗				
RFB_T			0.486 Ω	フィードバック ピンのセンス抵抗の理論上の計算値
RFB			0.487 Ω	フィードバック ピンのセンス抵抗の標準の 1% 値
M ピンの部品				
RUPPER			402.00 K Ω	M ピン分割回路網の上側抵抗 (E96/1%)
RLOWER			15.80 K Ω	M ピン分割回路網の下側抵抗 (E96/1%)
VO_OVP			62.8 V	VO 過電圧スレッシュホールド
Line_OVP			452 V	入力過電圧スレッシュホールド
CC			100 pF	ローサイド降圧型構成の結合コンデンサ
RPRELOAD			50 K Ω	最小出力プリロード抵抗
CBP			10 μ F	BP コンデンサ
RBP			140 K Ω	DC バスから BP ピンへの推奨プルアップ抵抗

図 16. 設計計算シートの「外部部品」セクション

ステップ 11 – 調光部品の選択

図 17 において、最適化する必要がある主な調光部品を破線で囲んでいます。

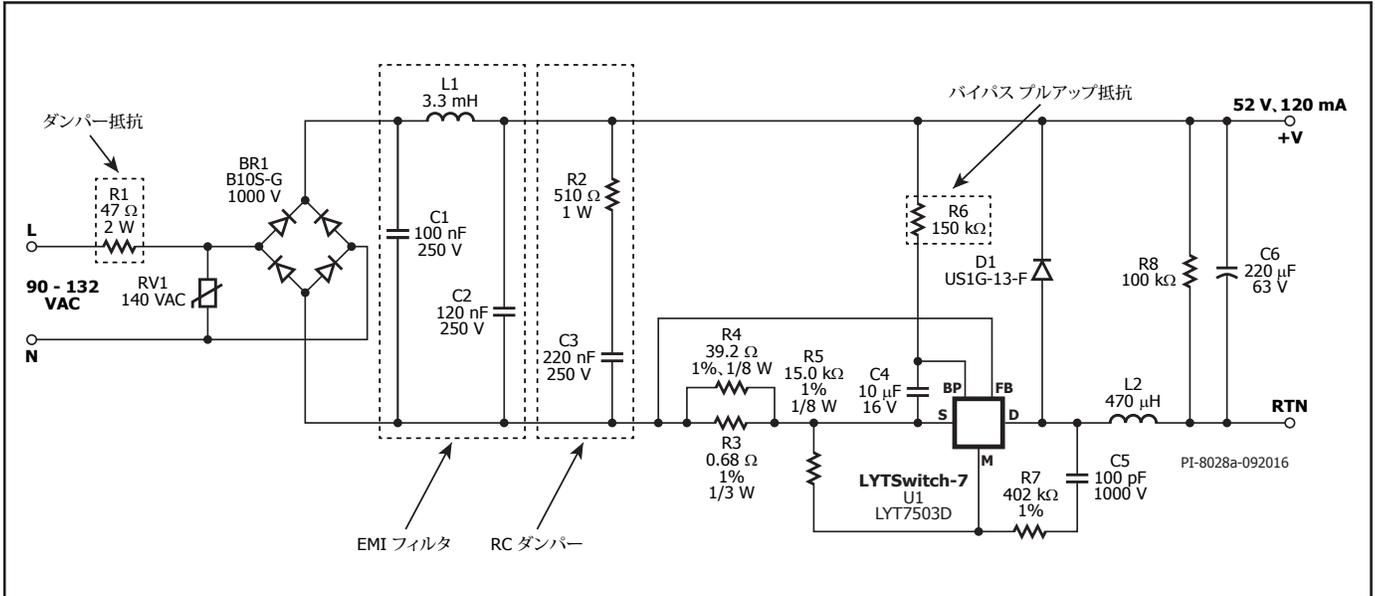


図 17. DER-539 の低入力電圧入力、6.24 W、52 V、120 mA の調光、非絶縁型 A19 LED ドライバ (ローサイド降圧型構成で LYT7503D を使用)

ダンパー抵抗

ダンパー抵抗は、調光のためのダンパーとして、及び安全保護のためのヒューズとして機能します (安全規格を取得したヒューズ抵抗を使用する必要があります)。抵抗値は、調光器の種類、入力電圧、出力電力、及び効率要件によって決まります。

調光器の動作は、使用されている部品によって異なります。ラッチ電流と保持電流の要件が厳しいトライアック調光器では、一般に大きな電力負荷向けに設計されているので、より困難になります。高入力電圧動作では、特定の出力電力における入力電流が低入力電圧より低いので、高入力電圧の設計にも困難が伴います。図 19 ~ 22 に、異なる抵抗値が入力電流に与える影響を示します。理想的には、波形は図 22 のようになります。ただし、値が効率要件によって制限されることもあります。図 18 に、特定の出力電力と入力電圧に対するダンパー抵抗の推奨値を示します。さらに、テーブル 7 に、さまざまな LYTSwitch-7 DER で使用される実際の調光部品を示します。

DER #	V _o (V)	I _o (mA)	P _o (W)	入力	R _{DAMPER} (Ω)	R _{BLEED} (Ω)	C _{BLEED} (Ω)	効率 (%)
539	52	0.12	6.24	LL	47	510	220	86
540	52	0.09	4.68	LL	68	820	220	85
558	50	0.15	7.5	HL	100	510	220	85
561	60	0.125	7.5	WR	47	510	220	88
563	52	0.355	18.46	HL	100	560	220	86
568	84	0.12	10.08	HL	130	510	220	88

テーブル 7. LYTSwitch-7 DER の調光部品の値

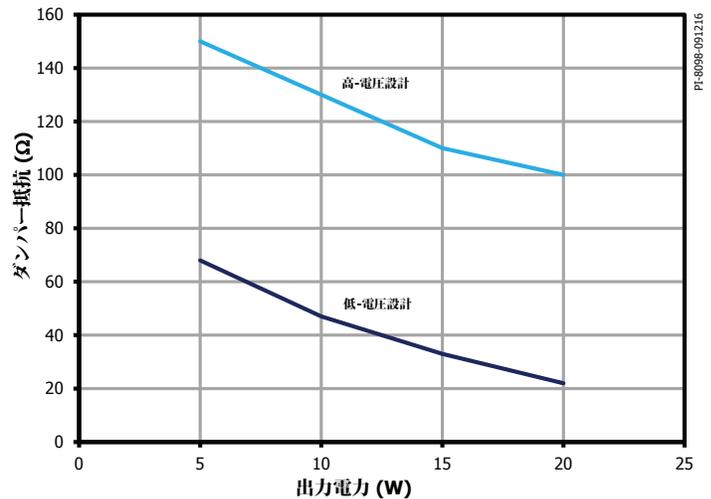


図 18. 推奨ダンパー抵抗値

図 19 ~ 22 に、導通角 90°におけるダンパー抵抗 (R1) の異なる値の DER-539 の入力電流への影響を示します。値が大きくなるにつれて、ダンピングの影響も増大し、リングングが抑えられます。

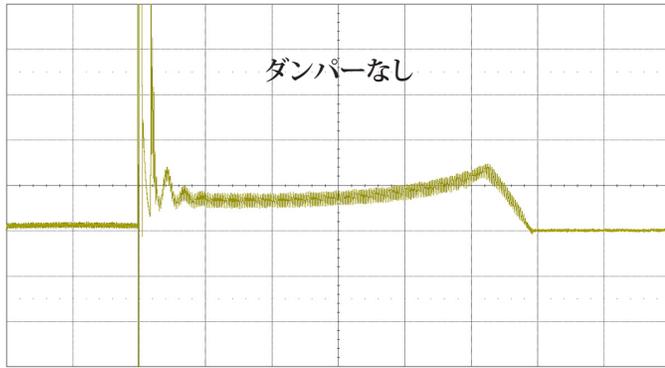


図 19. ダンパー抵抗なしの入力電流

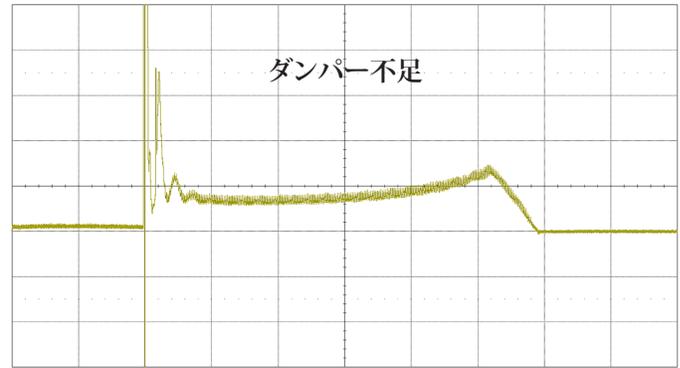


図 20. 10 Ω ダンパー抵抗による入力電流

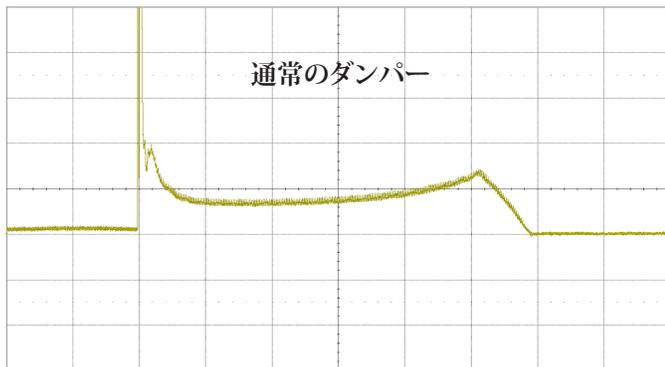


図 21. 22 Ω ダンパー抵抗による入力電流

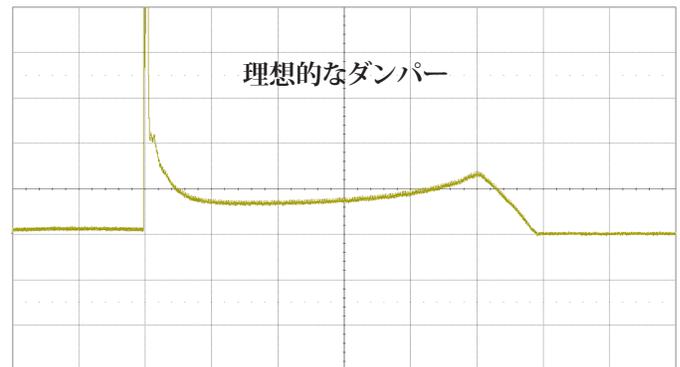


図 22. 47 Ω ダンパー抵抗による入力電流

サージ保護

MOV は、ブリッジ整流器 (BR1) とコントローラ (U1) の内部 MOSFET にかかる入力サージまたは入力上昇による電圧ストレスを制限する電圧クランプとして機能します。

EMI フィルタ

推奨 EMI フィルタは安価な pi (π) 構成を使用します。フィルタ設計は力率と調光の性能に直接影響するので、総合的な回路特性にとってはフィルタ設計も重要です。

図 23 に、第 1 コンデンサ (C1) の入力電流に対する影響を示します。コンデンサにより高い入力電流スパイクが生成されます。これは、トライアックのラッチ電流には良いのですが、発生するリングングが保持電流を下回り、特に容量が小さい場合にフリッカが発生することがあります。

5 W 未満の入力電力では、LC フィルタのみで EMI を満足出来る場合があります。ただし、ほとんどの場合、第 1 コンデンサ (C1) が必要で、容量は 47 nF と 100 nF の間の値を推奨します。

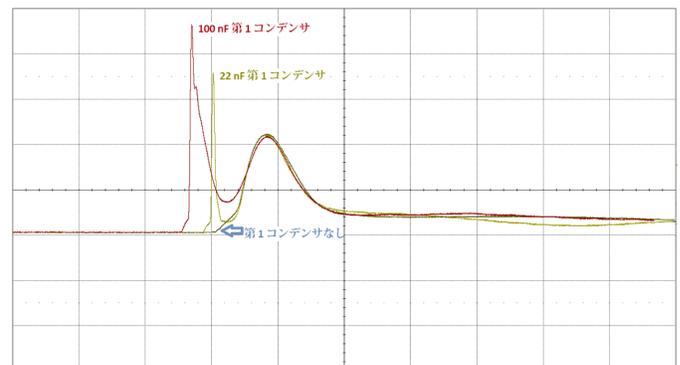


図 23. 第 1 のフィルタ コンデンサの入力電流に対する影響

第 2 の入力フィルタ コンデンサ (C2) には、100 nF と 220 nF の間の値を推奨します。容量を大きくすると、トライアック入力電流リングングが減衰し、調光器との互換性が向上することがあります。ただし、230 V で 90% 以上の PF が必要な場合、25 nF/W を使用して総入力容量を容易に選択出来ます。低入力電圧設計では、比較的高い入力容量でも高い PF を達成できます。

フィルタ インダクタは 1 mH から 4.7 mH までの範囲にします。入力容量値を最大にすることによって、できるだけ小さなインダクタンスを使用します。このインダクタに対して正しい定格電流を選択します。このインダクタは、特にトライアックがオンになる際の突入電流によって飽和すると、調光による可聴ノイズが発生することがあります。

RC ダンパーの選択

RC ダンパー回路は、調光器のトライアックがオンになる際の EMI フィルタの共振で発生するリングングの減衰に対して重要な役割を果たします。この回路は、入力電流のリングングがトライアックの保持電流 (I_{HOLD}) を下回ることを防止します。図 24 に、調光中の入力電流波形に対する RC ダンパー回路の影響を示します。

ほとんどの設計における R と C の有効な標準値は、それぞれ 510 Ω と 220 nF です。さまざまな LYTSwitch-7 DER で使用される実際の RC ダンパー値については、テーブル 7 を参照してください。これらの値は、調光の互換性を最適化する際の出発点として使用します。

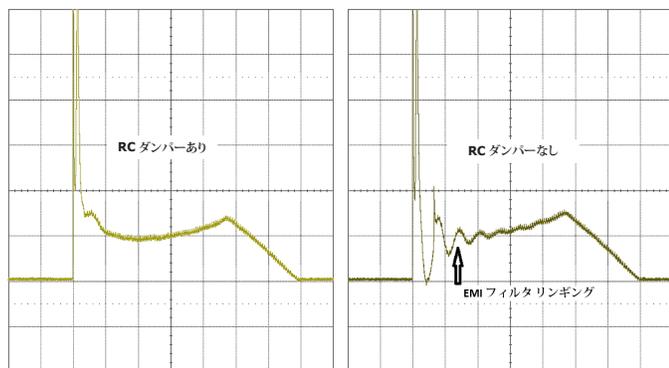


図 24. RC ダンパーの入力電流リングングに対する影響

RC ダンパーの配置

RC ダンパー (R2 と C3) は、一般に pi (π) フィルタの後に配置します (図 17)。この構成は、ほとんどのリーディングエッジ調光器で良好な調光比 (>10:1) を提供します。ただし、トライアック調光器モデルまたはブランドの最大導通角によっては、それが低い場合 (つまり、150°未満の導通角)、調光器の最大出力電流が調光器が接続されていない場合より低くなる可能性があります。電流を大きくするためにブリッジの前に RC ダンパーを配置すると、導通角は大きくなりますが、調光範囲は小さくなります。図 25 に、一般的なトライアック調光器を使用する DER-539 の調光特性に対する RC の配置による出力電流の違いを示します。

バイパス プルアップ抵抗の決定

調光中に導通角が小さくなるとドレインの電圧が低下し、ドレインからの内部供給がコントローラのバイパス供給を維持できなくなる時点までスイッチングなし時間 (デッドゾーン) が長くなります。上述の状況ではバイパス電圧を 4.5 V より高く維持する必要があります。そうしなければ、IC はリセットされ、スイッチングが停止します。

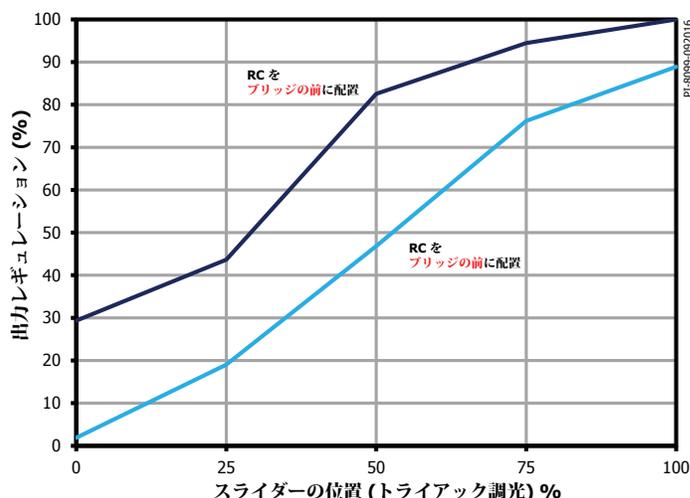


図 25. RC ダンパーの配置の調光曲線に対する影響

IC が小さな導通角まで適切に動作するために、図 17 に示されているように、整流 DC バス電圧から BYPASS ピンにプルアップ抵抗 (R_{BP}) または R6 を追加することを推奨します。推奨抵抗値は、数式 6 を使用して計算します。これにより、バイパス電圧は深い調光時にも常に 4.5 V より大きくなります。

$$R_{BP} = \frac{V_o \times 0.8 - 5V}{250 \mu A} \quad (\text{数式 6})$$

最大入力電圧によっては電力消費が高くなることがあるので、高電圧の動作のために抵抗の定格電力は適切な値にする必要があります。基準値として数式 6 を使用し、必要に応じて抵抗を調整して、深い調光においてバイパス電圧を 4.5 V 以上で維持しながら電力損失を減らします。

設計方法のまとめ

- PIXIs を使用して磁気部品を設計し、必要な部品を選択します。
- EMI の最適化 – 互換性のためには入力容量を高くするほうが良いため、EMI に必要な最小容量を知っておくことにより、調光器の互換性に対して最適化した後に EMI に確実に合格できます。
- 互換性の最適化
 - ダンパー抵抗の選択
 - RC ダンパーの選択
 - R_{BP} の決定

保護機能

SOA 保護

起動中に、出力過負荷または出力短絡の状態、出力電圧が低いかまたはゼロの状態になると、フライホイール導通中にインダクタに蓄積されたエネルギーが放電するための十分な時間がないために動作が連続動作モード (CCM) になり、ドレイン電流が階段状に上昇して安全動作領域 (SOA) 制限を超えることがあります。これは破損の原因になります。この現象は、他のトポロジより降圧型トポロジで顕著になります。LYTSwitch-7 IC にはそのような状況を回避するための保護機能があり、ピーク電流が 500 ナノ秒以内に動作カレントリミットに到達した場合に SOA 状態が検出されます。SOA パルスが検出されると、8 つのスイッチングパルス (F_{MIN} サイクル) がスキップされ、インダクタ電流がゼロにリセットされてから次のスイッチングサイクルが有効になります。

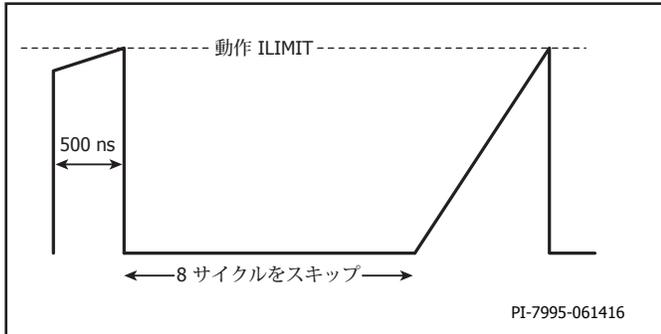


図 26. SOA スキップサイクルのタイミング

出力短絡保護

出力短絡が発生すると、SOA 保護がトリガされ、パルス スキップ モードが有効になります。出力短絡が 2 つ以上のサイクルで SOA 保護が継続される場合、次のスイッチングが開始するまで 100 ms のオートリスタート遅延が有効になります。SOA 保護が解除されない場合、2 回の 100 ms のオートリスタートのオフ後に遅延時間が 1 秒まで延長されます。

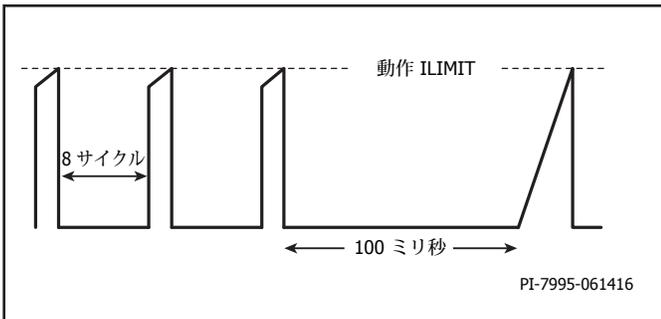


図 27. 3 つの連続した SOA 保護のタイミング

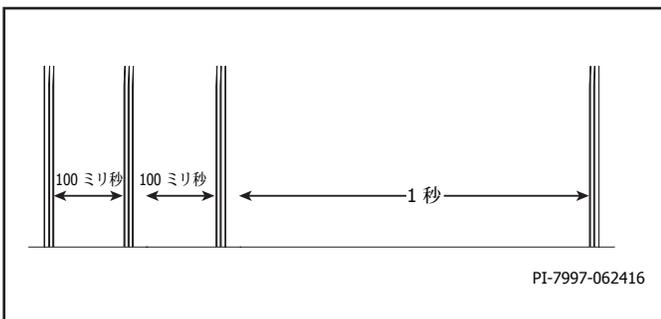


図 28. 遅延時間が 1 秒のオートリスタート

場合によっては電源が 3 つの連続した SOA 保護を検出しないことがあります。その場合は、MULTIFUNCTION ピンの低電圧が動作します。

MULTIFUNCTION ピンの低電圧保護

MULTIFUNCTION ピンの電圧が 1 V 未満のまま 500 ms 経過すると、デバイスは 1 秒のオートリスタートをトリガします。これは、出力が短絡した場合に発生することがあります。図 29 - MULTIFUNCTION ピン低電圧におけるオートリスタートのタイミング。

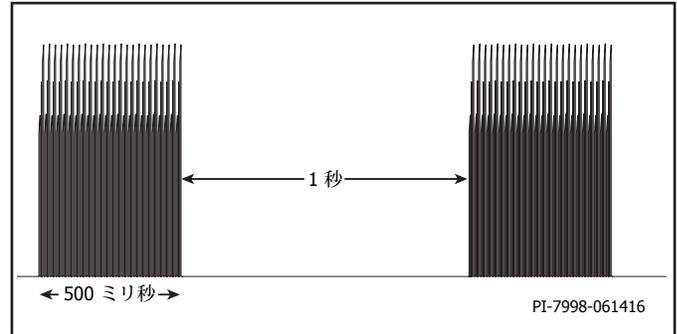


図 29. MULTIFUNCTION ピンの低電圧オートリスタートのタイミング

入力過電圧保護

MOSFET が ON の場合、MULTIFUNCTION ピンは実質的にソースに対して短絡され、 R_{UPPER} を通る電流が 1 mA を超えると入力 OVP がトリガされます。障害がトリガされるとスイッチングが即座に停止し、デバイスはオートリスタートに入ります。

$$V_{IN_OVP} = 1\text{ mA} \times R_{UPPER} + V_{OUT} \quad (\text{数式 7})$$

出力過電圧保護

フライホイール ダイオードの導通時間に、MULTIFUNCTION ピンにかかる電圧が V_{OVP} (2.4 V) を超えた状態で 500 ms 経過すると、出力 OVP がトリガされ、ユニットはオートリスタートに入ります。

$$V_{OUT_OVP} = V_{OUT} \times \frac{2.4\text{ V}}{V_{MREF}} \quad (\text{数式 8})$$

過電流保護

R_{FB} が短絡した場合などに内部カレントリミットに到達すると、ユニットはオートリスタートに入ります。

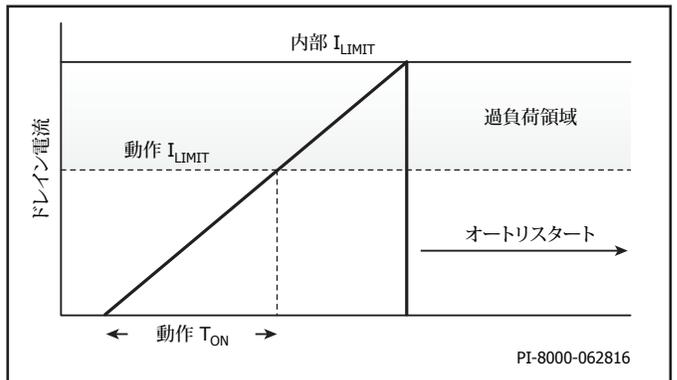


図 30. 過電流保護

サーマルフォールドバックと過熱シャットダウン

サーマルフォールドバックは、接合温度が 145 °C を超えると開始されます。出力電流は、160 °C で過熱シャットダウンがトリガされるまで、約 -2.5%/°C で直線的に低下します。デバイスは、温度が 85 °C まで下がると自動復帰します。

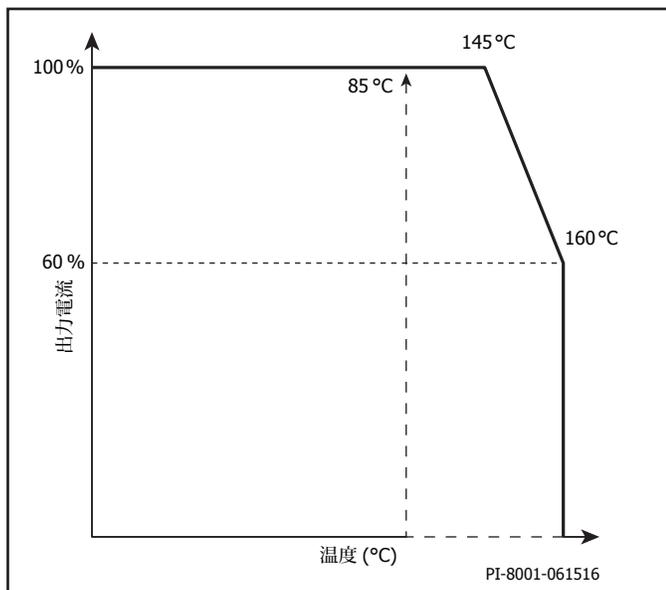


図 31. サーマル フォールドバックと OTP

LED 互換の調光器のメモ

白熱電球が時代遅れになり、店頭で販売される多くの新しい調光器が LED 対応になるにつれて、最新の調光器のみで動作する新製品が発売されてきています。

一部の位相カット調光器は、調光機能付き LED 電球で使用するよう設計されています。この情報は、一般に調光器の銘板表示にある「LED」マークで探すことができます。この種の調光器では、RC ダンパーなしで互換性を維持できます。

テーブル 8 に記載されている調光器は、RC ダンパーなしで DER-539 を使用して動作することが確認されています。

ブランド	モデル番号
Lutron	LGCL-153PLH-WH
Lutron	DVWCL-153PH-WH
Lutron	TGCL-153PH-WH
Lutron	CTCL-153PDH-WH
Leviton	IPL06
Leviton	6674

テーブル 8. LYTSwitch-7 を使用する LED ドライバ互換の低電圧調光器の例

「LED ドライバ対応」の調光器では、ユーザーは調光器の用途に最適な入力構成を試すことができます。

テーブル 9 は、図 32 ~ 35 に示されている 4 つの回路構成に関する特性比較の概要です。

特性の基準	構成 1	構成 2	構成 3	構成 4
互換性	高	中	低	中
効率	中	中	高	低
BOM コスト	高	高	低	中
調光比	高	中	高	高
最大導通における調光器の出力電流低下	中	低	低	低

テーブル 9. LYTSwitch-7 の各種の入力回路構成に対する相対的な特性比較

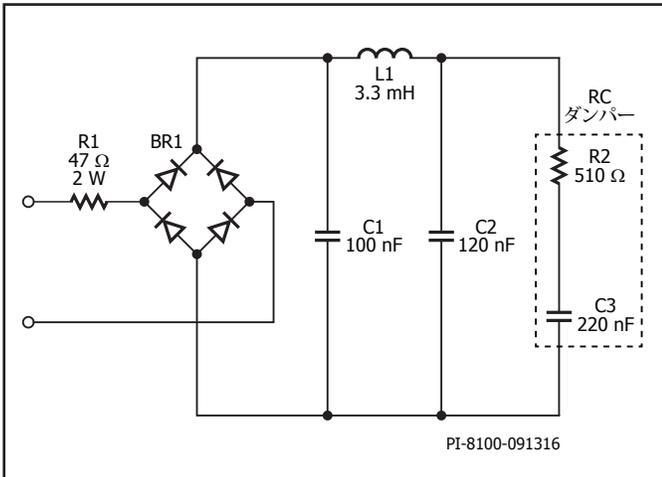


図 32. 構成 1 – DER-539 から参照

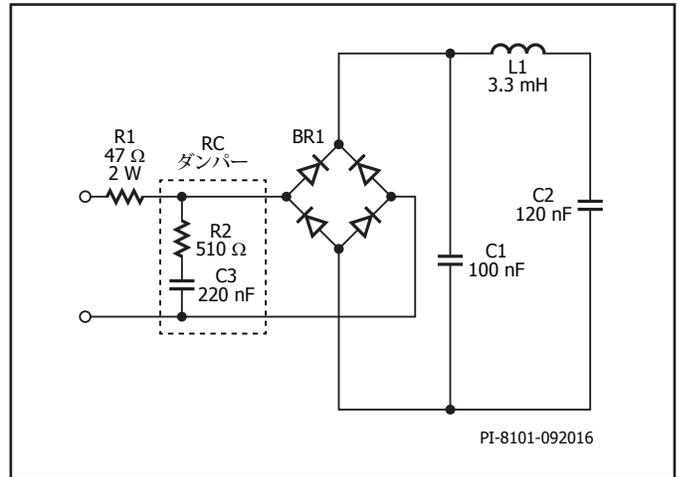


図 33. 構成 2 – RC ダンパーをブリッジの前に配置

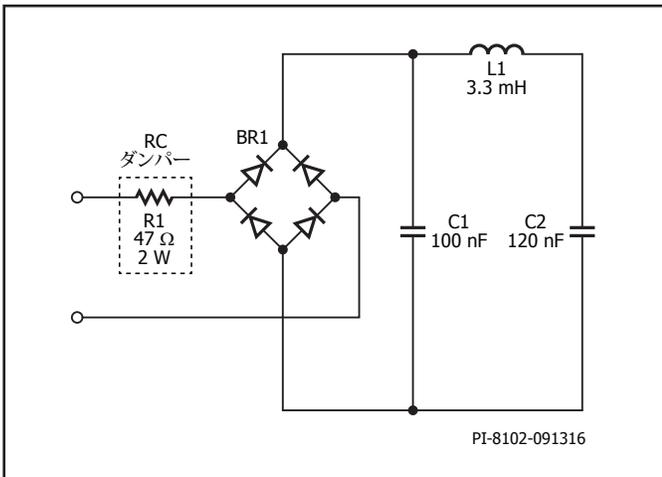


図 34. 構成 3 – RC ダンパーなし

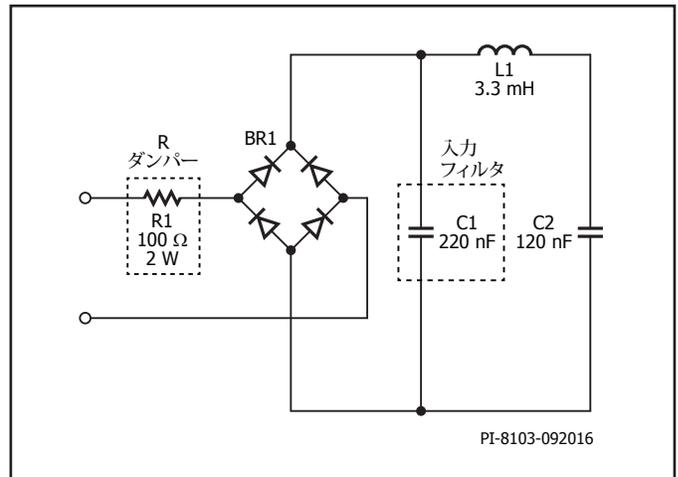


図 35. RC ダンパーなし、高 R ダンパー、及び第 1 コンデンサの値

基板レイアウトの考慮事項

図 36 に示すように、EMI フィルタ部品は、フィルタの効果を高めるために出来る限り近くに配置する必要があります。EMI フィルタ部品 C1 と L1 は、基板のスイッチング ノード (特に U1 ドレイン ノード、出力ダイオード (D1)、及びインダクタ (T1)) からできるだけ離して配置します。

重要な IC 部品 (R3、R4、R5、R9、R10、C5、及び C4) の配置には注意が必要です。これらの部品をコントローラ U1 のピンのすぐ近くに配置して (アンテナとして機能する) 長い配線を最小に抑え、電源全体に影響を及ぼすノイズ結合を防ぐために回路の高電圧や高電流のスイッチング ノードからできるだけ離すことを強く推奨します。

ノイズを効果的にデカップリングするには、バイパス供給コンデンサ C4 を U1 の BYPASS ピンと SOURCE ピンの直近に接続する必要があります。

次のスイッチング回路部品のループ エリアを最小にすると (図 8 を参照)、EMI の発生を減らすことができます。

- インダクタ巻線 (T1)、フリーホイーリング整流ダイオード (D1)、及び出力コンデンサ (C6) で形成されるループ エリア。
- 入力コンデンサ (C2)、コントローラ内部 MOSFET (U1)、フリーホイーリング整流ダイオード (D1)、及びセンス抵抗 (R4、R5) で形成されるループ エリア。

ローサイド構成の LYTSwitch-7 IC では、ヒートシンクにポテンシャル SOURCE ピンがグラウンド電位で使用されます。これにより、設計者は EMI を大きくすることなく温度を良好に管理するために銅箔面積を最大にできます。

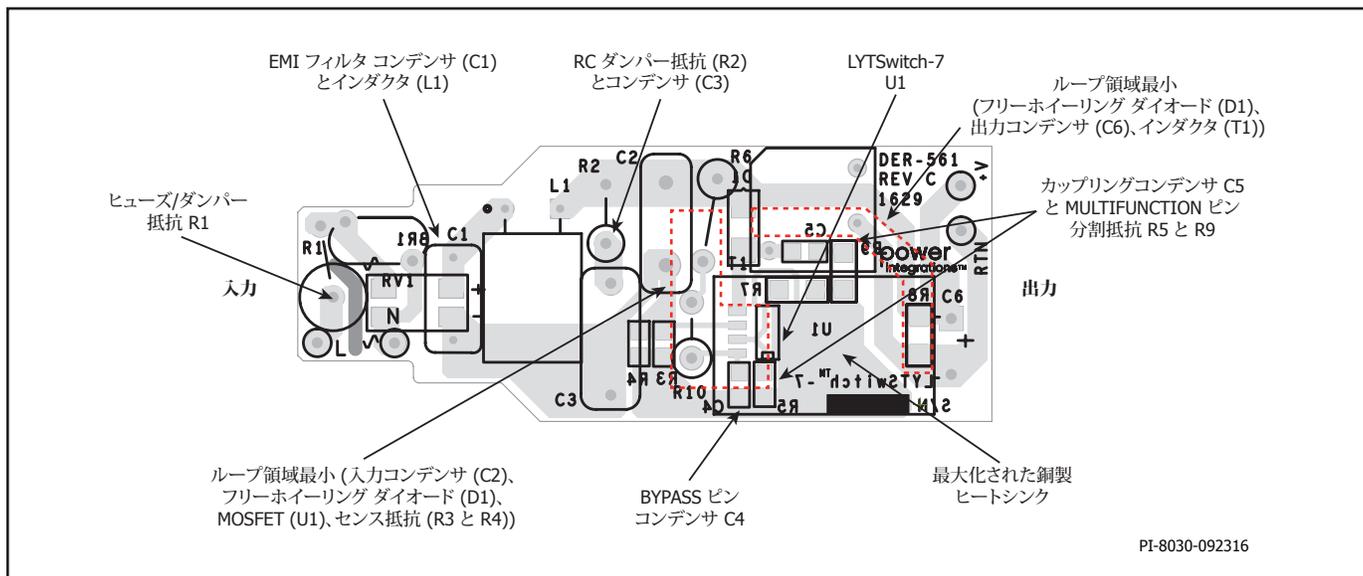


図 36. 設計例 DER-561: LYTSwitch-7 を使用する降圧型の構成における重要なループ領域を示す基板レイアウト

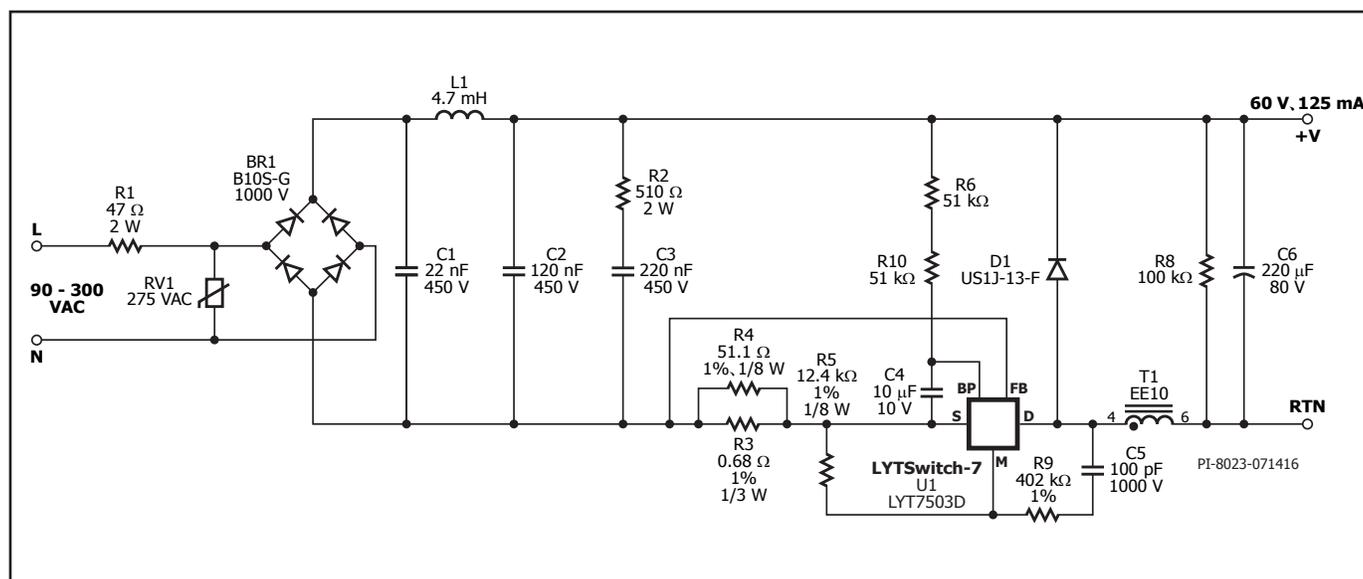


図 37. 設計例 DER-561 の回路図

設計チェックリスト

最大ドレイン電圧

起動及び異常の状態を含むすべての動作状態で、ピークドレイン電圧ストレス (VDS) が 725 V を超えないことを確認します。

最大ドレイン電流

すべての動作状態 (起動及び異常の状態を含む) で、ピークドレイン電流を測定します。インダクタの飽和を確認します (通常は最大の動作周囲温度で発生します)。ピーク電流がデータ シートの絶対最大定格に示されている値以下であることを確認します。

温度特性の確認

最大出力電力、最小及び最大の入力電圧及び最大周囲温度で、部品の温度が限界を超えないことを確認します。

設計ツール

設計ツールの最新情報については、弊社ホームページ: www.power.com を参照してください。

LYTSwitch-7 の PIXIs 設計計算シートには、PI Expert オンライン (<https://piexpertonline.power.com/site/login>) からアクセスできます。

改訂	注	日付
A	初回リリース。	2016年9月

最新の情報については、弊社ウェブサイトを参照してください。www.power.com

Power Integrations は、信頼性や生産性を向上するために、いつでも製品を変更する権利を保有します。Power Integrations は、ここに記載した機器または回路を使用したことから生じる事柄について責任を一切負いません。Power Integrations は、ここでは何らの保証もせず、商品性、特定目的に対する適合性、及び第三者の権利の非侵害性の黙示の保証などが含まれますがこれに限定されず、すべての保証を明確に否認します。

特許情報

ここで例示した製品及びアプリケーション (製品の外付けトランス構造と回路も含む) 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可能性があります。Power Integrations の持つ特許の全リストは、www.power.com に掲載されています。Power Integrations は、<http://www.power.com/ip.htm> の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お客様に許諾します。

生命維持に関する方針

Power Integrations の社長の書面による明示的な承認なく、Power Integrations の製品を生命維持装置またはシステムの重要な構成要素として使用することは認められていません。ここで使用した用語は次の意味を持つものとします。

- 「生命維持装置またはシステム」とは、(i) 外科手術による肉体への埋め込みを目的としているか、または (ii) 生命活動を支援または維持するものであり、かつ (iii) 指示に従って適切に使用した時に動作しないと、利用者に深刻な障害または死をもたらすと合理的に予想されるものです。
- 「重要な構成要素」とは、生命維持装置またはシステムの構成要素のうち、動作しないと生命維持装置またはシステムの故障を引き起こすか、あるいは安全性または効果に影響を及ぼすと合理的に予想される構成要素です。

PI ロゴ、TOPSwitch、TinySwitch、SEZero、SCALE-iDriver、Qspeed、PeakSwitch、LYTSwitch、LinkZero、LinkSwitch、InnoSwitch、HiperTFS、HiperPFS、HiperLCS、DPA-Switch、CAPZero、Clampless、EcoSmart、E-Shield、Filterfuse、FluxLink、StakFET、PI Expert 及び PI FACTS は Power Integrations, Inc. の商標です。その他の商標は、各社の所有物です。©2016, Power Integrations, Inc.

Power Integrations の世界各国の販売サポート担当

世界本社 5245 Hellyer Avenue San Jose, CA 95138, USA. 代表: +1-408-414-9200 カスタマー サービス: 電話: +1-408-414-9665 Fax: +1-408-414-9765 電子メール: usasales@power.com	ドイツ Lindwurmstrasse 114 80337 Munich Germany 電話: +49-895-527-39110 Fax: +49-895-527-39200 電子メール: eurosales@power.com	イタリア Via Milanese 20, 3rd.Fl. 20099 Sesto San Giovanni (MI) Italy 電話: +39-024-550-8701 Fax: +39-028-928-6009 電子メール: eurosales@power.com	シンガポール 51 Newton Road #19-01/05 Goldhill Plaza Singapore, 308900 電話: +65-6358-2160 Fax: +65-6358-2015 電子メール: singapore-sales@power.com
中国 (上海) Rm 2410, Charity Plaza, No. 88 North Caoxi Road Shanghai, PRC 200030 電話: +86-21-6354-6323 Fax: +86-21-6354-6325 電子メール: chinasales@power.com	ドイツ HellwegForum 1 59469 Ense Germany 電話: +49-2938-64-39990 電子メール: igbt-driver.sales@power.com	日本 〒 222-0033 神奈川県横浜市港北区 新横浜 2 丁目 12-11 光正第 3 ビル 電話: +81-45-471-1021 Fax: +81-45-471-3717 電子メール: japansales@power.com	台湾 5F, No. 318, Nei Hu Rd., Sec.1 Nei Hu Dist. Taipei 11493, Taiwan R.O.C. 電話: +886-2-2659-4570 Fax: +886-2-2659-4550 電子メール: taiwansales@power.com
中国 (深圳) 17/F, Hivac Building, No. 2, Keji Nan 8th Road, Nanshan District, Shenzhen, China, 518057 電話: +86-755-8672-8689 Fax: +86-755-8672-8690 電子メール: chinasales@power.com	インド #1, 14th Main Road Vasanthanagar Bangalore-560052 India 電話: +91-80-4113-8020 Fax: +91-80-4113-8023 電子メール: indiasales@power.com	韓国 RM 602, 6FL Korea City Air Terminal B/D, 159-6 Samsung-Dong, Kangnam-Gu, Seoul, 135-728, Korea 電話: +82-2-2016-6610 Fax: +82-2-2016-6630 電子メール: koreasales@power.com	英国 Cambridge Semiconductor, a Power Integrations company Westbrook Centre, Block 5, 2nd Floor Milton Road Cambridge CB4 1YG 電話: +44 (0) 1223-446483 電子メール: eurosales@power.com