

はじめに

このコース ノートは、PI University のビデオ コース「フライバック電源の部品の発熱が大きい場合の対処」に関するものです。このコースでは、スイッチング電源の部品が発熱するさまざまな原因と、問題を診断して対処する手順を学習します。

本コースを始める前に

ディレーティング制限の把握

このコースを開始する前に、会社や顧客が動作温度に対するディレーティング制限を指定している場合、基板上の各主要部品についてその制限を把握しておく必要があります。そのような指定が特になければ、メーカーのデータシートを参照して各部品の最大動作温度を確認してください。

Component	Temp. Limit
Class B transformer	120°C
DC bulk capacitor	20°C derating
Input inductor or common mode choke	100°C
Clamp diode	115°C
Clamp Zener	115°C
PI device	110°C
Output diodes	115°C
Output capacitors	20°C derating
Bridge rectifier	115°C
Inrush limiter (thermistor)	150°C
MOV (metal oxide varistor)	40°C

余裕を持った温度制限

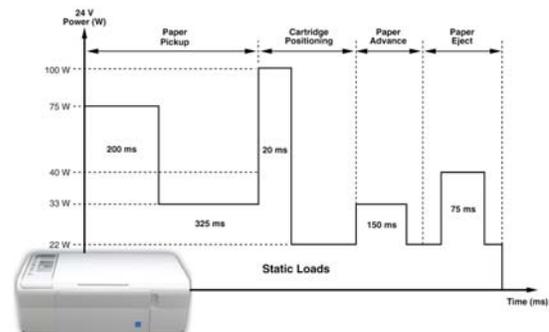
参考として、各主要部品の余裕を持った動作温度ガイドラインのリストをここに示します。これらは、最大周囲温度と最小/最大入力電圧で測定されるワースト ケースの条件を示しています。特定の安全要件を満たすためや、部品の寿命を延ばすために、部品の温度をディレーティングすることがあります。たとえば、電解コンデンサの許容動作温度は、所定の部品寿命を確保するためのものです。105°C で 2,000 時間の寿命となる定格のコンデンサが 70°C で連続して動作する場合、寿命はおよそ 20,000 時間になると想定されます。

最小/最大入力電圧及び最大負荷での動作中に、いずれの部品が最大動作温度を超えるかを測定して把握する必要があります。

負荷設定の確認

先に進む前に、負荷で消費されている電力が、設計で指定した値より高くないことをまず確認します。

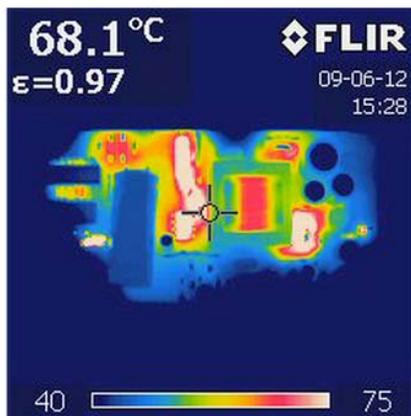
例として、インクジェット プリンタの負荷設定をここに示します。プリンタに必要な静的負荷は 22 W のみですが、過渡現象を含む場合の平均電力は 31 W で、ピークは最大 100 W です。このプリンタを 22 W の電源に接続した場合、使用中に電源が発熱します。



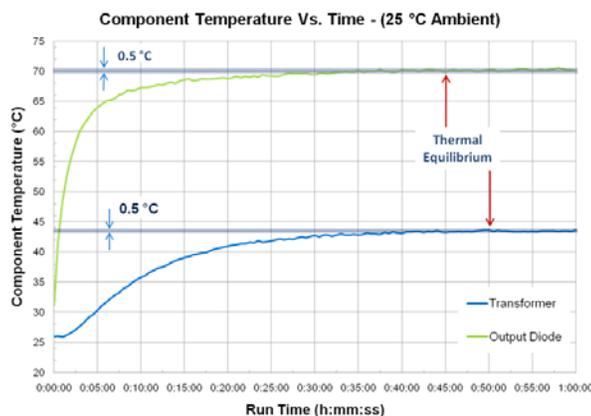
インクジェット プリンタの負荷設定

負荷設定を確認するには、[PI Expert](#)^(R) で指定した総平均出力電力を出力するように設定した電子負荷を接続します。

電子負荷を使ってテストしたときに発熱の問題が解決する場合は、負荷を再設定し、[PI Expert](#) で電源を再設計する必要があります。



部品の温度表示



熱平衡に到達

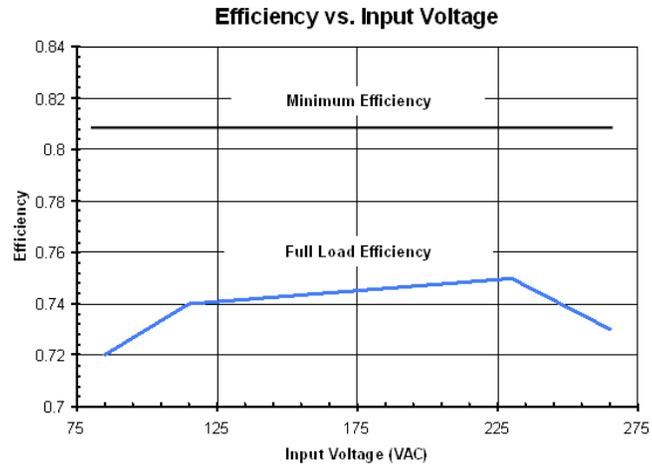
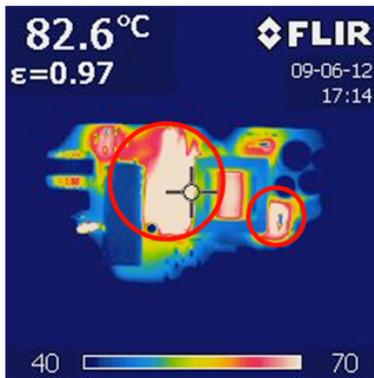
抵抗から煙が出るなど、発熱が大きくなっていることが明らかな場合は、問題解決前に温度を測定する必要はありません。それ以外の場合の測定については、測定前に電源が熱平衡に達するまで十分な時間を取ります。場合によっては、1 時間以上かかることもあります。熱平衡の適切な目安は、部品温度の変化が 10 分以上の間 0.5°C 未満になったポイントです。

部品の種類による発熱分析

設計で次のいずれかの部品が発熱している場合、先に進む前に電源の効率を測定します。

- 出力ダイオード
- トランス
- 入力インダクタまたはコモンモード チョーク
- ブリッジ整流器
- 入力コンデンサ
- Power Integrations デバイス

効率が [PI Expert](#) の目標よりも 5% 以上低い場合、回路での損失は予想より高くなります。フライバック電源での電力損失は熱に変換され、一部の部品が発熱する原因となることがあります。先に進む前に、この問題を解決してください。



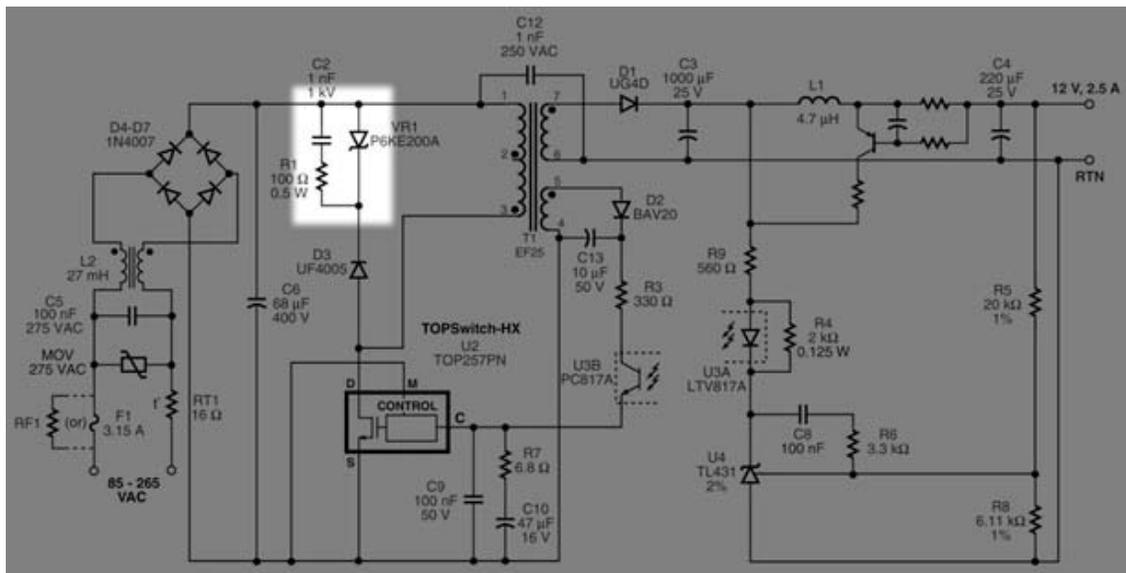
電力損失が発熱の原因になる場合がある

(注: 電源の効率を測定するために必要な装置と手順は、PI University のコース ノート「[効率の測定方法](#)」に記載されています。

測定された効率と目標との誤差が 5% 以内である場合、このコースを続行して問題を解決してください。

クランプの発熱

クランプの発熱が大きくなっている場合、設計に問題がある可能性があります。



クランプの発熱は、設計に問題があることを示している可能性がある

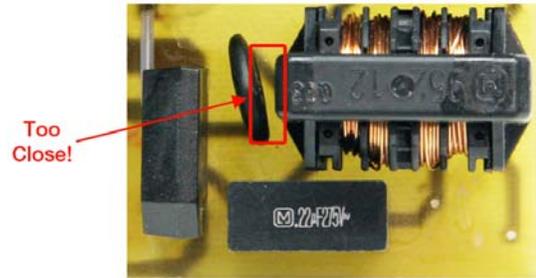
この問題を診断するには、クランプのすべての部品サイズが適切に設定されていることを確認する必要があります (付録 A 「クランプのサイズ設定の設計ガイド」を参照してください)。

トランスの発熱

トランスの発熱が大きくなっている場合、設計に別の問題があることを示している可能性があります。この問題に対処するには、トランス設計の欠陥を修正する必要があります。この問題を解決する上で不明な点がある場合は、各地域の **Power Integrations** の技術サポートにお問い合わせください。

入力インダクタまたはコモンモード チョークの発熱

入力コモンモード チョークの発熱が大きくなっている場合、サーミスタなどの非常に高温で動作している部品の近くに配置されていないことをまず確認します。高温の部品が近くにある場合は、基板のレイアウトを変更してコモンモード チョークから離す必要があります。



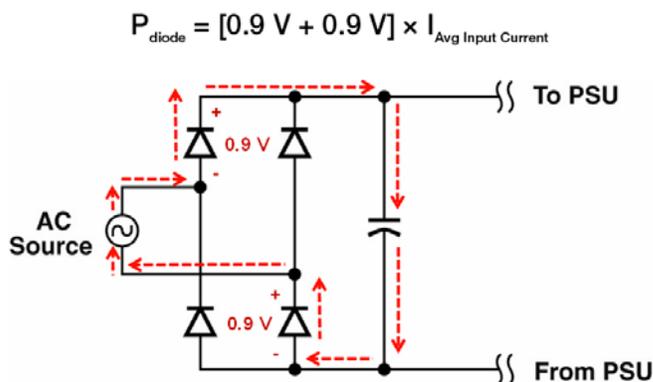
コモンモード チョークの位置の確認

インダクタ自体の発熱が大きくなっている場合、これは、インダクタ巻線の直列抵抗で大きな電力が消費されていることを示しています。消費電力を減らすには、高電流定格のインダクタと交換します。線径が大きくなり、直列抵抗が小さくなります。

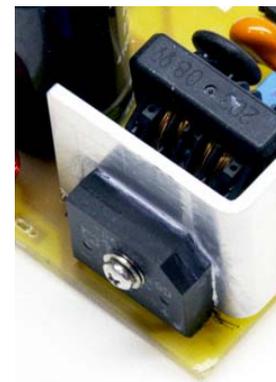
ブリッジ整流器の発熱

ブリッジ整流ダイオードで失われる電力は、平均入力電流と、2つのダイオードのワーストケースの順電圧降下(およそ 1.8 V)を掛け合わせたものに等しくなります。高い電流定格を持つダイオードを使用すると、抵抗損失が減少して部品温度が下がります。

出力電力が約 30 ~ 40 W を超える設計の場合、ヒートシンクに取り付け可能なパッケージのブリッジ整流器が必要になることがあります。



ブリッジ整流ダイオードの電力損失

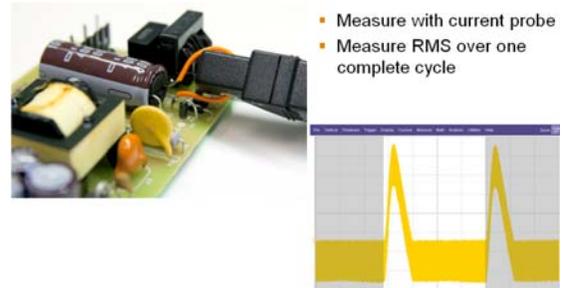


ヒートシンクに取り付けられたブリッジ整流器

入力コンデンサの発熱

電解コンデンサの熱は、等価直列抵抗 (ESR) を流れるリップル電流により生じます。全波整流設計の場合、ブリッジ内のダイオードがいずれも問題ないことをまず確認します。ダイオードがオープン回路になっていると、ブリッジは半波整流器になってしまいます。これにより、入力コンデンサのリップル電流が大幅に増大します。

次に、コンデンサのリップル電流定格が、コンデンサを流れる実際の実効リップル電流と同等以上であることを確認します。入力コンデンサへの実効リップル電流を確認する方法は、2つあります。1つは最も簡単な方法で、コンデンサと基板の間にカレント ループを挿入し、オシロスコープと電流プローブを使用してコンデンサとの間で流れる全実効電流を測定します。必ず、スコープの実効値と平均化時間を設定して、1つのサイクル全体を測定してください。



電流プローブを使用した実効リップル電流の測定

もう1つの方法として、実効リップル電流は、ここに示す方程式を使用して概算できます。

$$I_{BRMS} = \sqrt{\left(\frac{I_{CHP} + \frac{1-D_S}{D_S} * I_{DCHAV}^2}{3} \right) * \frac{T_C}{T_B} + \frac{I_{DCHAV}^2}{D_S} * \frac{T_B - T_C}{T_B}}$$

$$V_{BV} = V_{MIN} \rightarrow PIExpert$$

$$V_{BP} = \sqrt{2} * V_{ACMIN} \rightarrow PIExpert$$

$$V_{BAVG} = V_{BV} + (V_{BP} - V_{BV}) * \frac{1}{2}$$

$$I_{CHP} = 2 * C_{IN1} * \frac{V_{BP} - V_{BV}}{T_C}$$

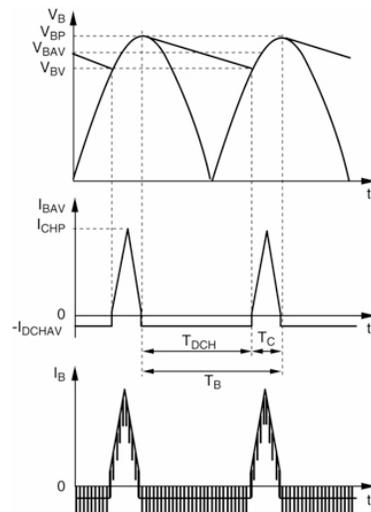
$$I_{DCHAV} = \frac{T_C}{T_B - T_C} * \frac{I_{CHP}}{2}$$

$$T_B = \frac{1}{2} * \frac{1}{f_L}$$

$$T_C \rightarrow PIExpert$$

$$VOR \rightarrow PIExpert$$

$$D_S = \frac{VOR}{V_{BAVG} + VOR}$$



Huber, Laszlo and Jovanovic, Milan M. "Evaluation of Flyback Topologies for Notebook AC/DC Adapter/Charger Applications." (www.deltairtp.com)

一次側コンデンサのリップル電流の算出

この方程式では、

- T_B は 1 つのコンデンサ充放電サイクルの合計時間で、全波整流設計の入力電圧時間の半分に相当します。

- V_{BV} は DC バスの最小電圧で、特定の入力コンデンサ値について [PI Expert](#) で算出される値 V_{MIN} と同じです。
- V_{BP} は DC バスのピーク電圧で、[PI Expert](#) で指定される V_{ACMIN} にルート 2 をかけた値と同じです。
- T_C は、[PI Expert](#) で指定されている、ブリッジ整流ダイオードの導通時間です。
- I_{CHP} と I_{DCHAV} はそれぞれ、整流コンデンサのピーク充電電流と平均放電電流です (いずれも所定の方程式で算出できます)。
- D_S はスイッチング MOSFET のデューティ サイクルを表します。

概算する場合、電源の平均デューティ サイクルを使用します。ダイオードブリッジの導通時間は短いため、DC バスの平均電圧は、 V_{MIN} に総電圧リップルの半分を加算したものに等しいと考えられます。ここから、フライバック電源の伝達関数を使うと、D 平均を計算できます。

コンデンサの定格が適切に設定されていなくても関わらず発熱する場合、コンデンサの値を増やすか、2 つのコンデンサを並列で使用して、実効 ESR を小さくします。または、ESR の小さい別のシリーズから同じ値を持つコンデンサを選択します。入力整流コンデンサの値を変更する場合、新しい値を使って [PI Expert](#) で設計をやり直す必要があります。

金属酸化バリスタの発熱

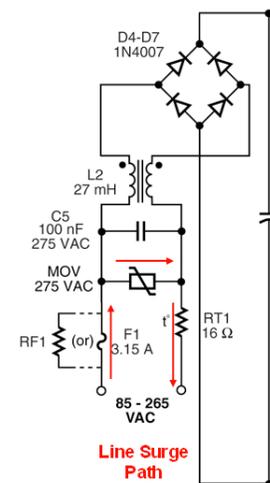
金属酸化バリスタ (MOV) は、ディファレンシャルモードの入力サージをクランプするのに使用します。設計で MOV を使用する場合、電圧定格が最大 AC 入力電圧より高いことを確認します。ユニバーサル入力電源の MOV 電圧は通常、275 ~ 320 V です。

サージ印加が多いと、MOV の機能が低下し、電圧定格が下がって消費電力が増大します。MOV が多くの入力サージを受けていなくても発熱する場合、部品に欠陥がある可能性があります。

すべての場合において、電圧定格が適切で MOV が熱くなっていれば、新しい部品と交換します。

出力コンデンサの発熱

まず、コンデンサのリップル電流定格が、[PI Expert](#) で指定された値と同等以上であることを確認します。これは、[Design Results (デザイン結果)] タブの [Output Capacitor RMS Ripple Current (出力コンデンサ実効リップル電流)] フィールドで確認できます。コンデンサの定格が適切に設定されている場合、ESR が小さいコンデンサを選択するか、複数のコンデンサを並列で配置して総 ESR を小さくし、消費電力を減らします。



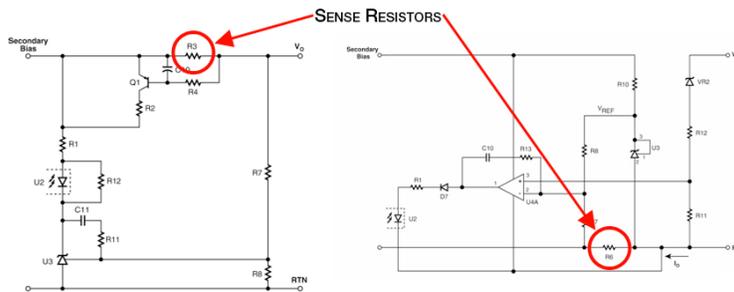
機能低下による MOV の発熱

単一出力で複数の出力コンデンサを並列で使用する場合、リップル電流がすべてのコンデンサ間で等分されるように、各コンデンサについて PCB レイアウトの線の長さが等しいことを確認します。PCB レイアウトの線の長さが等しくない場合、いずれかのコンデンサが他のコンデンサよりも熱くなり、基板のレイアウトの変更が必要になります。

出力電流センスの発熱

出力電流センス抵抗で消費される電力は、 V^2/R に相当します。ここで、 V はセンス電圧、 R はセンス抵抗値です。センス電圧は通常、トランジスタベースのセンスの場合は $0.3 \sim 0.7 \text{ V}$ 、オペアンプベースの回路の場合は $50 \sim 100 \text{ mV}$ です。

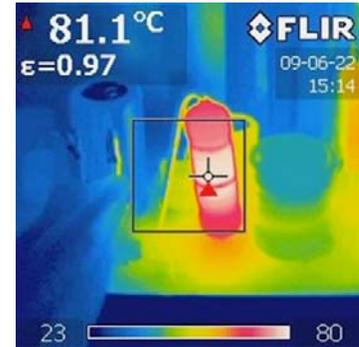
抵抗は、消費電力を超える十分なサイズでない場合、非常に熱くなります。抵抗の電力定格は通常、表面温度が 70°C になるよう指定されます。この温度を超えて抵抗を使用すると、寿命が大幅に短くなることがあります。



■ Voltage drop = 0.7 V

■ Voltage drop = 0.1 V

センス電圧



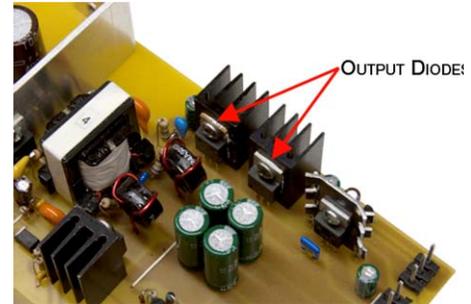
抵抗の発熱

抵抗の温度を下げるには、抵抗が PCB に垂直に実装されていない場合、垂直にすることを検討してください。これにより、抵抗周辺のアアフローが改善され、リード線が長くなるので、放熱が改善されます。もう 1 つの方法として、電力定格の大きい抵抗の使用を検討します。

他の解決法としては、抵抗で消費される電力を減らすことです。電流センス抵抗で消費される電力を減らすには、2 つの方法があります。複数の並列抵抗間で電力を分割するか、または、トランジスタベースのセンス回路を使用している場合には、回路をオペアンプベース設計に変更して抵抗の電圧降下を減らします。

出力ダイオードの発熱

出力ダイオードは通常、基板で最も高温になる部品の1つで、外付けヒートシンクがある場合でも、周囲より 50°C 高くなるのが普通です。出力ダイオードの温度が高すぎる場合、ダイオードの種類と定格が、[PI Expert](#) で指定されているとおりに適切であることをまず確認します。



出力ダイオードの発熱

フライバック コンバータでは、出力整流器として、超高速リカバリー ダイオードかショットキー ダイオードのみを使用する必要があります。標準の整流ダイオードは使用できません。高速または超高速リカバリー ダイオードが発熱していて、ショットキー ダイオードを使用できる程度にダイオードのピーク逆電圧が低い場合は、同様の定格のショットキー ダイオードに交換すると温度が下がります。出力ダイオードのピーク逆電圧は、[PI Expert](#) の [Design Results (デザイン結果)] タブで確認できます。

既存のダイオードに、同様の定格を持つ別のダイオードを並列で追加しても、温度が下がります。また、電流定格が高いダイオードを使用すると、抵抗が小さくなるため、問題がいくらか改善されることもあります。

ダイオードのサイズと種類が適切であるにも関わらず発熱する場合は、さらに大きいヒートシンクを使用する必要があります。

TO-220 パッケージ ダイオードについては、サーマル コンパウンドかサーマル パッドを使用すると、ケース及びヒートシンク間の熱抵抗が小さくなります。ただし、サーマル グリースを使用する際は、層の厚さを最小限に抑えるように注意します。層が厚いと、表面の熱伝導が悪くなり、デバイスの温度が上昇します。



必ず同一平面上に取り付ける

また、デバイスがヒートシンク表面全体と同一平面上にあることを確認します。取り付け用ネジを回転させすぎないようにします。パッケージがヒートシンクから分離する原因になることがあります。

必要に応じて、大きいヒートシンクを選択して温度を下げます。

アキシアル ダイオードの場合、ダイオードのカソード パッドで PCB の銅面積を増やす必要があります。基板銅箔部が 1 オンスの基板を使用している場合、銅の厚さを 2 オンスに増やすことでも、PCB 放熱特性を利用するアキシアル ダイオードの温度が下がります。

Power Integrations デバイスの発熱

Power Integrations デバイスが熱くなったり過熱保護が動作した場合、放熱量を増やす必要があります。

DIP または表面実装パッケージ デバイスを使用する場合、基板のレイアウトを変更してソース パターン部の銅面積を最大にします。これは、デバイスの発熱を抑える重要な方法です。

基板銅箔部が 1 オンスの基板を使用している場合、銅の厚さを 2 オンスに増やすと、**Power Integrations** デバイスも含め、PCB 放熱特性を利用するあらゆる部品の温度が下がります。それでも基板のソース パターン部から十分に放熱できない場合は、外付けヒートシンクを利用可能なパッケージ タイプに切り替えるか、ワンサイズ大きい **Power Integrations** デバイスを選択することを検討します。 $R_{ds(on)}$ を下げると、導通損失が減ってデバイスの温度が下がります。

一部の **Power Integrations** デバイス ファミリーでは、内部のカレント リミットをプログラムできるので、設計を変更せずに、より大きいデバイスを使用できます。

Power Integrations デバイスを外付けヒートシンクに取り付ける際には、サーマル グリースを使用して、ケース及びヒートシンク間の熱抵抗を小さくします。ただし、層の厚さを最小限に抑えるように注意してください。層が厚いと、表面の熱伝導が悪くなり、デバイスの温度が上昇します。

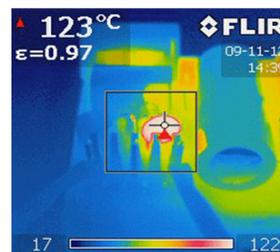
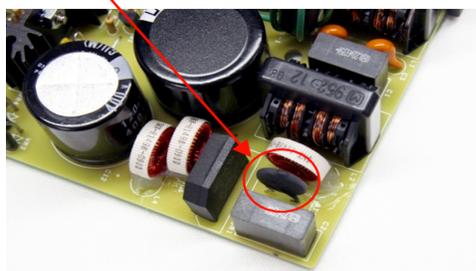
また、デバイスがヒートシンク表面全体と同一平面上にあることを確認します。取り付け用ネジを回転させすぎないようにします。パッケージがヒートシンクから分離する原因になることがあります。

サーミスタの発熱

入力突入サーミスタは、熱くなるように設計されています。通常の動作時に、周囲より 100°C 高くなるのが一般的です。サーミスタの抵抗は温度の上昇とともに小さくなり、冷えているときは高いインピーダンスを示して突入電流を制限し、熱くなるにつれて急激に減少して過度の放熱を抑えます。

$$\text{サーミスタ} = T_{\text{ambient}} + 100^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Thermistor} = T_{\text{ambient}} + 100^{\circ}\text{C}$$



サーミスタの発熱

サーミスタの電流定格が [PI Expert](#) の [Design Results (デザイン結果)] タブの [Average Diode Bridge Current (平均ダイオードブリッジ電流)] と一致することを確認します。

入力ヒューズ抵抗の発熱

ヒューズ抵抗は電力を浪費するため、設計の出力電力が約 10 W を超えない場合にのみ使用します。設計の出力電力がこれより大きい場合、ヒューズ抵抗の代わりにヒューズを使用します。設計の出力電力が 10 W 未満である場合、基板上のヒューズ抵抗の値が、設計で指定した値と一致していることを確認します。

単に抵抗の値を小さくして消費電力と温度を下げることは、お勧めできません。最初に AC を使用するときの高い突入電流による大きな故障につながる可能性があります。

詳細情報

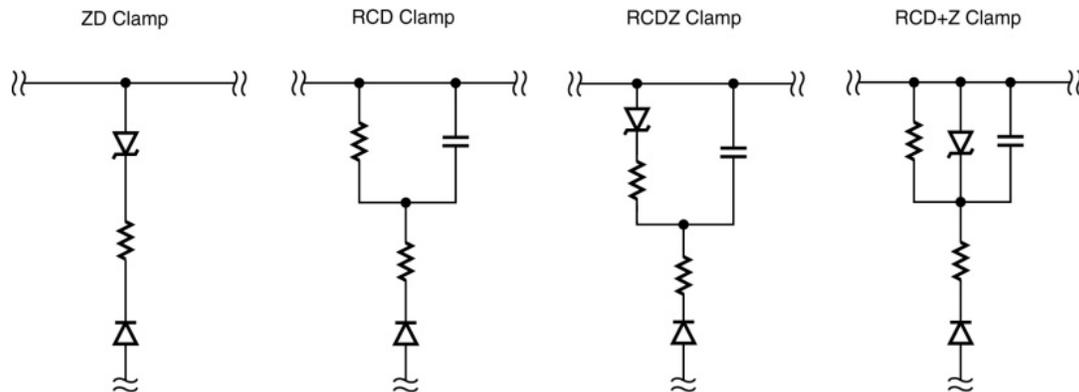
このコースの説明に関するご質問やコメントについては、電子メールで PIUniversity@powerint.com までお寄せください。



付録 A クランプのサイズ設定の設計ガイド

はじめに

このドキュメントでは、[PI Expert](#)^(R) を使用して設計したフライバック電源用の 4 つの主要なクランプ型の回路それぞれについて、部品のサイズ設定手順をステップ バイ ステップ形式で説明します。推定値や概算値を使用する場合には、必要に応じて注を付けてあります。[PI Expert](#) で作成されるクランプ設計は、ここで説明しているアルゴリズムで設計されるものよりも、いくらか余裕を持っています。クランプ回路を最初に設計した後、試作品を作成して電源内での性能を確認するようにしてください。結果が予想値と大幅に異なる場合は、設計をやり直します。



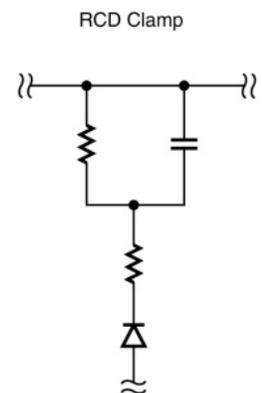
4 つのクランプ型

RCD クランプのサイズ設定

1. トランスの一次漏れインダクタンス (L_L) を測定します。
2. [PI Expert](#) で使用された設計のスイッチング周波数 (f_s) を確認します。
3. 適切な一次電流 (I_p) を次のように決定します。
(注: 値はすべて [PI Expert](#) で確認できます。)
 a. 電力を制限している場合、 $I_p = I_{LIMITEXT}$
 b. 外部のカレント リミットを低減している場合、 $I_p = I_{LIMITEXT}$
 c. その他の設計の場合、 $I_p = I_{LIMITMAX}$
4. 次のように、一次側 MOSFET に許容される電圧を決定して $V_{maxclamp}$ を算出します。

$$V_{MOSFETmax} = (V_{AC_{HighLine}} * \sqrt{2}) + V_{maxclamp}$$

(注: MOSFET の BVDSS から少なくとも 50 V のマージンを確保し、過渡電圧のためにさらに 30 ~ 50 V のマージンを確保することをお勧めします。ユニバーサル入力設計の場合、 $V_{maxclamp} < 200$ V であることが推奨されます。 $V_{maxclamp}$ は、約 $1.5 * VOR$ を下回ってはいけません。)



5. クランプ回路の電圧リップル (V_{Δ}) を決定します。

(注:標準値として、 $V_{\max\text{clamp}}$ の 10% が推奨されます。)

6. クランプ回路の最小電圧を次のように算出します。

$$V_{\min\text{clamp}} = V_{\max\text{clamp}} - V_{\Delta}$$

7. クランプ回路の平均電圧 (V_{clamp}) を次のように算出します。

$$V_{\text{clamp}} = V_{\max\text{clamp}} - \frac{V_{\Delta}}{2}$$

8. 漏れリアクタンスに蓄えられるエネルギーを次のように算出します。

$$E_{LL} = \frac{1}{2} * L_L * I_P^2$$

(注: 漏れリアクタンスのエネルギーすべてがクランプに供給されるわけではありません。そのため、クランプで消費される真のエネルギーは、上記の方程式を使用し、ピーク一次電流 (I_P) をクランプのみに流れる電流 (I_C) に置き換えて算出する必要があります。 I_C は算出または測定するのが困難であるため、 E_{LL} を既知のスケール係数で調整して、クランプで消費されるエネルギー (E_{clamp}) を概算します。)

9. クランプで消費されるエネルギー (E_{clamp}) を次のように概算します。

$$1.5 \text{ W} \leq P_{\text{out}} \leq 50 \text{ W} \quad E_{\text{clamp}} = 0.8 * E_{LL}$$

$$50 \text{ W} < P_{\text{out}} \leq 90 \text{ W} \quad E_{\text{clamp}} = E_{LL}$$

$$90 \text{ W} < P_{\text{out}} \quad E_{\text{clamp}} = E_{LL} * \left(\frac{V_{\text{clamp}}}{V_{\text{clamp}} - V_{\text{OR}}} \right)$$

(注: クランプ回路は通常、連続出力電力が 1.5 W 未満の電源では必要とされません。)

10. クランプ抵抗値を次のように算出します。

$$R_{\text{clamp}} = \frac{V_{\text{clamp}}^2}{E_{\text{clamp}} * f_s}$$

(注: ここで算出した R_{clamp} の値は、初期概算値です。電源を作成した後、平均電圧 (V_{clamp}) を測定し、ここで使用した値と比較します。測定値が予想値よりも低い場合は、測定値が算出した値と一致するまで R_{clamp} の値を増やします。測定値が予想値よりも高い場合は、 R_{clamp} の値を減らします。)

11. クランプ抵抗の電力定格は、次の値を超えている必要があります。

$$\frac{V_{\text{clamp}}^2}{R_{\text{clamp}}}$$

12. クランプ コンデンサ値を次のように算出します。

$$C_{\text{clamp}} = \frac{E_{\text{clamp}}}{\frac{1}{2} * [V_{\max\text{clamp}}^2 - V_{\min\text{clamp}}^2]}$$

13. クランプ コンデンサの電圧定格は、 $1.5 * V_{\max\text{clamp}}$ を超えている必要があります。

14. クランプ回路では、高速または超高速リカバリー ダイオードをブロッキング ダイオードとして使用する必要があります。

(注: 標準のリカバリー ダイオードを使用すると、効率及び EMI がいくらか改善されることがあります。このような目的で使用される標準のリカバリー ダイオードは、記載されている特定の逆回復時間を持つ**必要があります**。このダイオードの逆回復電流が許容制限を超えないように、特別の注意を払ってください。十分な評価をせずに標準のリカバリー ダイオード を使った設計をはお勧めできません。)

15. ブロッキング ダイオードの PIV は、 $1.5 * V_{\max\text{clamp}}$ を超えている必要があります。

16. ブロッキング ダイオードのピーク繰り返し順電流定格は、 I_p を超えている必要があります。データシートにこのパラメータが記載されていない場合は、平均順電流定格が $0.5 \cdot I_p$ を超えている必要があります。

(注: ダイオードの平均順電流定格は低めに指定されている場合があります、主に熱により制限されます。定格が適切かどうかを調べるには、最小入力電圧での定常動作時にブロッキング ダイオードの温度を測定する必要があります。放熱特性、部品の配置、及び最終製品の筐体はすべて、ダイオードの動作温度に影響します。)

17. 制動抵抗 (使用している場合) のサイズを次のように設定します。

$$\frac{20}{0.8 \cdot I_p} \Omega \leq R_{damp} \leq 100 \Omega$$

(注: 最大連続出力電力が 20 W 以上のシステムでは、 R_{damp} はどうしても必要な場合にのみ使用するようにし、非常に小さい値 ($1 \Omega \leq R_{damp} \leq 4.7 \Omega$) に制限する必要があります。)

18. 制動抵抗の電力定格は、次の値を超えている必要があります。

$$I_p^2 * R_{damp}$$

ZD クランプのサイズ設定

1. トランスの一次漏れインダクタンス (L_L) を測定します。
2. [PI Expert](#) で使用された設計のスイッチング周波数 (f_s) を確認します。
3. 一次電流 (I_p) を次のように規定します。
(注: 値はすべて [PI Expert](#) で確認できます。)
 - a. 電力を制限している場合、 $I_p = I_{LIMITEXT}$
 - b. 外部のカレント リミットを低減している場合、 $I_p = I_{LIMITEXT}$
 - c. その他の設計の場合、 $I_p = I_{LIMITMAX}$

4. 次のように、一次側 MOSFET に許容される電圧を決定して $V_{maxclamp}$ を算出します。

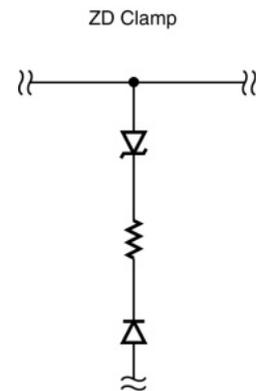
$$V_{MOSFETmax} = (V_{AC_{HighLine}} * \sqrt{2}) + V_{maxclamp}$$

(注: MOSFET の $BVDSS$ から少なくとも 50 V のマージンを確保し、過渡電圧のためにさらに 30 ~ 50 V のマージンを確保することをお勧めします。ユニバーサル入力設計の場合、 $V_{maxclamp} < 200$ V であることが推奨されます。 $V_{maxclamp}$ は、約 $1.5 \cdot VOR$ を下回ってはいけません。)

5. 漏れリアクタンスに蓄えられるエネルギーを次のように算出します。

$$E_{LL} = \frac{1}{2} * L_L * I_p^2$$

(注: 漏れリアクタンスのエネルギーすべてがクランプに供給されるわけではありません。そのため、クランプで消費される真のエネルギーは、上記の方程式を使用し、ピーク一次電流 (I_p) をクランプのみに流れる電流 (I_c) に置き換えて算出する必要があります。 I_c は算出または測定するのが困難であるため、 E_{LL} を既知のスケール係数で調整して、クランプで消費されるエネルギー (E_{clamp}) を概算します。)



6. クランプで消費されるエネルギー (E_{clamp}) を次のように概算します。

$$1.5 W \leq P_{out} \leq 50 W \quad E_{clamp} = 0.8 * E_{LL}$$

$$50 W < P_{out} \leq 90 W \quad E_{clamp} = E_{LL}$$

$$90 W < P_{out} \quad E_{clamp} = E_{LL} * \left(\frac{V_{clamp}}{V_{clamp} - V_{OR}} \right)$$

(注: クランプ回路は通常、連続出力電力が 1.5 W 未満の電源では必要とされません。)

7. TVS の降伏電圧は $V_{maxclamp}$ として指定されます。

(注: 必要に応じて四捨五入します。ツェナー ダイオードはデバイスで消費される瞬間的なピーク電力に対応できないため、TVS を使用する必要があります。)

8. TVS の電力定格は少なくとも $1.5 * E_{clamp} * f_s$ である必要があります。

(注: 必要に応じて、複数の TVS 部品を直列で使用して、電力のディレーティングを行います。TVS の電力定格が適切かどうかを確認するには、電源が最大負荷及び最小入力電圧で動作しているときに TVS の温度を測定します。周囲温度 25°C での動作時に TVS 本体の温度が 70°C を超えてはいけません。TVS がこれより熱い場合は、電力定格の高い部品を使用するか、複数の TVS 部品を直列で使用します。)

9. クランプ回路では、高速または超高速リカバリー ダイオードをブロッキング ダイオードとして使用する必要があります。

(注: 標準のリカバリー ダイオードを使用すると、効率及び EMI がいくらか改善されることがあります。このような目的で使用される標準のリカバリー ダイオードは、記載されている特定の逆回復時間を持つ**必要があります**。このダイオードの逆回復電流が許容制限を超えないように、特別の注意を払ってください。十分な評価をせずに標準のリカバリー ダイオードを使った設計はお勧めできません。)

10. ブロッキング ダイオードの PIV は、 $1.5 * V_{maxclamp}$ を超えている必要があります。

11. ブロッキング ダイオードのピーク繰り返し順電流定格は、 I_p を超えている必要があります。データシートにこのパラメータが記載されていない場合は、平均順電流定格が $0.5 * I_p$ を超えている必要があります。

(注: ダイオードの平均順電流定格は低めに指定されている場合があります、主に熱により影響を受けます。定格が適切かどうかを調べるには、最小入力電圧での定常動作時にブロッキング ダイオードの温度を測定する必要があります。放熱特性、部品の配置、及び最終製品の筐体はすべて、ダイオードの動作温度に影響します。)

12. ダンピング抵抗 (使用している場合) のサイズを次のように設定します。

$$\frac{20}{0.8 * I_p} \Omega \leq R_{damp} \leq 100 \Omega$$

(注: 最大連続出力電力が 20 W 以上のシステムでは、 R_{damp} はどうしても必要な場合のみ使用するようし、非常に小さい値 ($1 \Omega < R_{damp} < 4.7 \Omega$) に制限する必要があります。)

13. ダンピング抵抗の電力定格は、次の値を超えている必要があります。

$$I_p^2 * R_{damp}$$

RCD+Z クランプのサイズ設定

1. トランスの一次漏れインダクタンス (L_L) を測定します。
2. [PI Expert](#) で使用された設計のスイッチング周波数 (f_s) を確認します。
3. [PI Expert](#) で予測されたピーク一次電流 (I_P) を確認します。
4. 次のように、一次側 MOSFET に許容される電圧を決定して $V_{maxclamp}$ を算出します。

$$V_{MOSFETmax} = (V_{AC_{HighLine}} * \sqrt{2}) + V_{maxclamp}$$

(注: MOSFET の BVDSS から少なくとも 50 V のマージンを確保し、過渡電圧のためにさらに 30 ~ 50 V のマージンを確保することをお勧めします。ユニバーサル入力設計の場合、 $V_{maxclamp} < 200$ V であることが推奨されます。 $V_{maxclamp}$ は、約 $1.5 * V_{OR}$ を下回ってはけません。)

5. クランプ回路の電圧リップル (V_{delta}) を決定します。
(注: 標準値として、 $V_{maxclamp}$ の 10% が推奨されます。)
6. クランプ回路の最小電圧を次のように算出します。
 $V_{minclamp} = V_{maxclamp} - V_{delta}$
7. クランプ回路の平均電圧 (V_{clamp}) を次のように算出します。

$$V_{clamp} = V_{maxclamp} - \frac{V_{delta}}{2}$$

8. 漏れリアクタンスに蓄えられるエネルギーを次のように算出します。

$$E_{LL} = \frac{1}{2} * L_L * I_P^2$$

(注: 漏れリアクタンスのエネルギーすべてがクランプに供給されるわけではありません。そのため、クランプで消費される真のエネルギーは、上記の方程式を使用し、ピーク一次電流 (I_P) をクランプのみに流れる電流 (I_C) に置き換えて算出する必要があります。 I_C は算出または測定するのが困難であるため、 E_{LL} を既知のスケール係数で調整して、クランプで消費されるエネルギー (E_{clamp}) を概算します。)

9. クランプで消費されるエネルギー (E_{clamp}) を次のように概算します。

$$1.5 W \leq P_{out} \leq 50 W \quad E_{clamp} = 0.8 * E_{LL}$$

$$50 W < P_{out} \leq 90 W \quad E_{clamp} = E_{LL}$$

$$90 W < P_{out} \quad E_{clamp} = E_{LL} * \left(\frac{V_{clamp}}{V_{clamp} - V_{OR}} \right)$$

(注: クランプ回路は通常、連続出力電力が 1.5 W 未満の電源では必要とされません。)

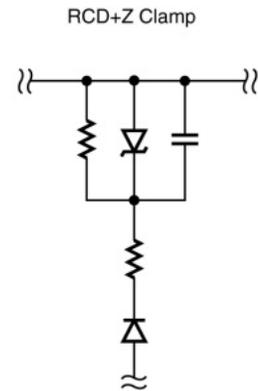
10. クランプ抵抗値を次のように算出します。

$$R_{clamp} = \frac{V_{clamp}^2}{E_{clamp} * f_s}$$

(注: ここで算出した R_{clamp} の値は、初期概算値です。電源を作成した後、平均電圧 (V_{clamp}) を測定し、ここで使用した値と比較します。測定値が予想値よりも低い場合は、測定値が算出した値と一致するまで R_{clamp} の値を増やします。測定値が予想値よりも高い場合は、 R_{clamp} の値を減らします。)

11. クランプ抵抗の電力定格は、次の値を超えている必要があります。

$$\frac{V_{clamp}^2}{R_{clamp}}$$



12. クランプ コンデンサ値を次のように算出します。

$$C_{clamp} = \frac{E_{clamp}}{\frac{1}{2} * [V_{maxclamp}^2 - V_{minclamp}^2]}$$

13. クランプ コンデンサの電圧定格は、 $1.5 * V_{maxclamp}$ を超えている必要があります。

14. TVS の降伏電圧を、およそ $V_Z = V_{maxclamp} + 20 \text{ V}$ として指定します。

(注: ツェナー ダイオードはデバイスの起動時に見られる瞬間的なピーク電力に対応できないため、TVS を使用する必要があります。)

15. TVS の電力定格は、通常動作時と過負荷時に蓄えられるエネルギーの差異に対応できるようにサイズ設定する必要があります。

$$P_{TVS} > \frac{1}{2} * L_L * [I_{LIMITMAX}^2 - I_P^2] * f_s$$

(注: カレント リミットの値はすべて [PI Expert](#) で確認できます。)

16. クランプ回路では、高速または超高速リカバリー ダイオードをブロッキング ダイオードとして使用する必要があります。

(注: 標準のリカバリー ダイオードを使用すると、効率及び EMI がいくらか改善されることがあります。このような目的で使用される標準のリカバリー ダイオードは、記載されている特定の逆回復時間を持つ必要があります。このダイオードの逆回復電流が許容制限を超えないように、特別の注意を払ってください。十分な評価をせずに標準のリカバリー ダイオード を使った設計はお勧めできません。)

17. ブロッキング ダイオードの PIV は、 $1.5 * V_{maxclamp}$ を超えている必要があります。

18. ブロッキング ダイオードのピーク繰り返し順電流定格は、 I_P を超えている必要があります。データシートにこのパラメータが記載されていない場合は、平均順電流定格が $0.5 * I_P$ を超えている必要があります。

(注: ダイオードの平均順電流定格は低めに指定されている場合があります、主に熱により影響を受けます。定格が適切かどうかを調べるには、最小入力電圧での定常動作時にブロッキング ダイオードの温度を測定する必要があります。放熱特性、部品の配置、及び最終製品の筐体はすべて、ダイオードの動作温度に影響します。)

19. ダンピング抵抗 (使用している場合) のサイズを次のように設定します。

$$\frac{20}{0.8 * I_P} \Omega \leq R_{damp} \leq 100 \Omega$$

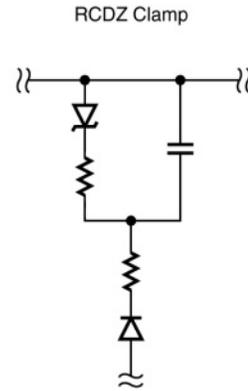
(注: 最大連続出力電力が 20 W 以上のシステムでは、 R_{damp} はどうしても必要な場合にのみ使用するようし、非常に小さい値 (1Ω R_{damp} 4.7Ω) に制限する必要があります。)

20. ダンピング抵抗の電力定格は、次の値を超えている必要があります。

$$I_P^2 * R_{damp}$$

RCDZ クランプのサイズ設定

- トランスの一次漏れインダクタンス (L_L) を測定します。
- [PI Expert](#) で使用された設計のスイッチング周波数 (f_s) を確認します。
- 一次電流 (I_p) を次のように規定します。
(注: 値はすべて [PI Expert](#) で確認できます。)
 - 電力を制限している場合、 $I_p = I_{LIMITEXT}$
 - 外部カレント リミット を低減している場合、 $I_p = I_{LIMITEXT}$
 - その他の設計の場合、 $I_p = I_{LIMITMAX}$



- 次のように、一次側 MOSFET に許容される電圧を決定して $V_{maxclamp}$ を算出します。

$$V_{MOSFETmax} = (V_{ACHighLine} * \sqrt{2}) + V_{maxclamp}$$

(注: MOSFET の $BVDSS$ の下に少なくとも 50 V のマージンを確保し、過渡電圧のためにさらに 30 ~ 50 V のマージンを確保することをお勧めします。ユニバーサル入力設計の場合、 $V_{maxclamp} < 200 V$ であることが推奨されます。 $V_{maxclamp}$ は、約 $1.5 * VOR$ を下回ってはいけません。)

- クランプ回路の電圧リップル (V_{delta}) を決定します。
(注: 標準値として、 $V_{maxclamp}$ の 10% が推奨されます。)
- クランプ回路の最小電圧を次のように算出します。

$$V_{minclamp} = V_{maxclamp} - V_{delta}$$

- クランプ回路の平均電圧 (V_{clamp}) を次のように算出します。

$$V_{clamp} = V_{maxclamp} - \frac{V_{delta}}{2}$$

- 漏れリアクタンスに蓄えられるエネルギーを次のように算出します。

$$E_{LL} = \frac{1}{2} * L_L * I_p^2$$

(注: 漏れリアクタンスのエネルギーすべてがクランプに供給されるわけではありません。そのため、クランプで消費される真のエネルギーは、上記の方程式を使用し、ピーク一次電流 (I_p) をクランプのみに流れる電流 (I_c) に置き換えて算出する必要があります。 I_c は算出または測定するのが困難であるため、 E_{LL} を既知のスケール係数で調整して、クランプで消費されるエネルギー (E_{clamp}) を概算します。)

- クランプで消費されるエネルギー (E_{clamp}) を次のように概算します。

$$1.5 W \leq P_{out} \leq 50 W \quad E_{clamp} = 0.8 * E_{LL}$$

$$50 W < P_{out} \leq 90 W \quad E_{clamp} = E_{LL}$$

$$90 W < P_{out} \quad E_{clamp} = E_{LL} * \left(\frac{V_{clamp}}{V_{clamp} - VOR} \right)$$

(注: クランプ回路は通常、連続出力電力が 1.5 W 未満の電源では必要とされません。)

- ツェナーの降伏電圧は $V_Z \geq VOR$ として指定されます。
(注: 必要に応じて四捨五入します。 V_Z を VOR 未満に指定することはできません。)
- クランプ抵抗値を次のように算出します。

$$R_{clamp} = \frac{[V_{clamp} - V_Z]^2}{E_{clamp} * f_s}$$

12. クランプ抵抗の電力定格を次のように算出します。

$$1.5 * \frac{[V_{clamp} - V_z]^2}{R_{clamp}}$$

(注: ここで算出した R_{clamp} の値は、初期概算値です。電源を作成した後、平均電圧 (V_{clamp}) を測定し、ここで使用した値と比較します。測定値が予想値よりも低い場合は、測定値が算出した値と一致するまで R_{clamp} の値を増やします。測定値が予想値よりも高い場合は、 R_{clamp} の値を減らします。)

13. ツェナーの電力定格は、次の値を超えるように指定する必要があります。

$$1.5 * V_z * \left[\frac{E_{clamp} * f_s}{V_{clamp}} \right]$$

(注: 必要に応じて、複数のツェナーを直列で使用して、電力のディレーティングを行います。ツェナー ダイオードに対する電力定格が大きすぎる場合は、代わりに TVS を使用することもできます。ツェナーの電力定格が適切かどうかを確認するには、電源が最大負荷及び最小入力電圧で動作しているときにツェナーの温度を測定します。周囲温度 25°C での動作時にツェナー本体の温度が 70°C を超えてはいけません。)

14. クランプ コンデンサ値を次のように算出します。

$$C_{clamp} = \frac{E_{clamp}}{\frac{1}{2} * [V_{maxclamp}^2 - V_{minclamp}^2]}$$

15. クランプ コンデンサの電圧定格は、 $1.5 * V_{maxclamp}$ を超えている必要があります。

16. クランプ回路では、高速または超高速リカバリー ダイオードをブロッキング ダイオードとして使用する必要があります。

(注: 標準のリカバリー ダイオードを使用すると、効率及び EMI がいくらか改善されることがあります。このような目的で使用される標準のリカバリー ダイオードは、記載されている特定の逆回復時間を持つ**必要があります**。このダイオードの逆回復電流が許容制限を超えないように、特別の注意を払ってください。十分な評価をせずに標準のリカバリー ダイオード ベースの設計を承認することはお勧めできません。)

17. ブロッキング ダイオードの PIV は、 $1.5 * V_{maxclamp}$ を超えている必要があります。

18. ブロッキング ダイオードのピーク繰り返し順電流定格は、 I_p を超えている必要があります。データシートにこのパラメータが記載されていない場合は、平均順電流定格が $0.5 * I_p$ を超えている必要があります。

(注: ダイオードの平均順電流定格は低めに指定されている場合があります、主に熱の影響を受けます。定格が適切かどうかを調べるには、最小入力電圧での定常動作時にブロッキング ダイオードの温度を測定する必要があります。放熱特性、部品の配置、及び最終製品の筐体はすべて、ダイオードの動作温度に影響します。)

19. ダンピング抵抗 (使用している場合) のサイズを次のように設定します。

$$\frac{20}{0.8 * I_p} \Omega \leq R_{damp} \leq 100 \Omega$$

(注: 最大連続出力電力が 20 W 以上のシステムでは、 R_{damp} はどうしても必要な場合にのみ使用するようにし、非常に小さい値 ($1 \Omega < R_{damp} < 4.7 \Omega$) に制限する必要があります。)

20. ダンピング抵抗の電力定格は、次の値を超えている必要があります。

$$I_p^2 * R_{damp}$$

詳細情報

このドキュメントに記載されている情報に関するご質問がある場合は、[PI の電源設計フォーラム](#)に投稿してください。