

## 高集積DC/DC $\mu$ Moduleレギュレータ・システムを使った、複雑なFPGAベースのシステムへの給電

パート 1/2 回路と電氣的性能

Alan Chern and Afshin Odabae

最近、あるシステム設計者と電源について検討した際、その要件は1.5Vに安定化して最大40Aの電流を4個のFPGAで構成される負荷に供給することでした。これは最大60Wの電力となり、冷却用に安定したエアフローを与えるため、できるだけ低いプロファイル(高さ)で狭い領域に供給する必要があります。この電源は表面実装可能でなければならず、熱放散を最小に抑えるため、十分高い効率で動作する必要があります。この担当者は、もっと複雑な作業に時間を割けるように、できるだけ簡単なソリューションを要求しました。高精度の電氣的性能とは別に、このソリューションはDC/DC変換時に発生する熱を即座に除去して、その回路と周辺のICが過熱状態にならないようにする必要があります。このようなソリューションには、以下の基準を満たす先進的な設計が必要です。

1. 効率の良いエアフローを可能にし、周囲のICがエアフローから遮られるのを防ぐ高さの低いパッケージ
2. 熱放出を最小に抑える高い効率
3. 熱を均一に拡散してホットスポットを除去し、ヒートシンクの必要性を最小にするか、または除去するための電流分担能力
4. 手間をかけずに短時間で実現できるソリューション向けの、DC/DCコントローラ、MOSFET、インダクタ、コンデンサおよび補償回路を全て組み込んだ、表面実装パッケージのDC/DC回路

### DC/DC設計の革新

この新手法はモジュラーでありながら表面実装の手法であり、効率の良いDC/DCコンバータ、高精度電流分担および低熱抵抗パッケージを使って出力電力を供給するので、最小限の冷却手段しか必要としません。パッケージの高さが低く、4つのデバイス間で電力を分担するので、このソリューションを使用するシステムは少ないファン数または低速のファンで十分であり、最少のヒートシンクまたはヒートシンクなしですみます(これらは、熱除去のための電力消費を減らし、システム・コストの削減に寄与します)。このような回路のテストボー

ドを図1に示します。この設計は出力を1.5Vに安定化し、40A(最大48A)の負荷電流を供給します。各「黒い四角」はすべて揃ったDC/DC回路で、15mm×15mm×2.8mmの表面実装パッケージに収められています。いくつかの入力と出力のコンデンサおよび抵抗を備えた、これらのDC/DC  $\mu$ Module<sup>®</sup>レギュレータ・システムを使った設計は、写真に示されているようにシンプルです。

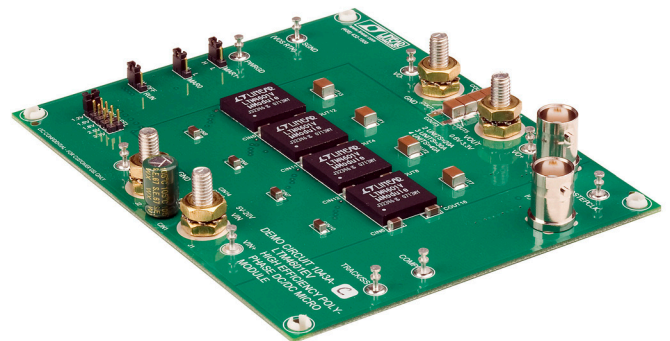


図1. 高さがわずか2.8mmで各デバイスの基板面積が15mm×15mmの、48Aで1.5Vに安定化する、4個のDC/DC  $\mu$ Moduleレギュレータのシステムの電流分担。各 $\mu$ Moduleレギュレータの重さはわずか1.7g、基板組み立て時にどんなピック&プレース装置でも扱えるICフォームファクタ

### DC/DC $\mu$ Moduleレギュレータ: LGAパッケージの全てを備えたシステム

LTM4601  $\mu$ Module DC/DCレギュレータはICのフォームファクタまでサイズを小さくした高性能電源です。これは完全に一体化されたソリューションで、PWMコントローラ、インダクタ、入力コンデンサと出力コンデンサ、超低 $R_{DS(ON)}$ のFET、ショットキー・ダイオードおよび補償回路を搭載しています。入力と出力の外部バルク・コンデンサと、出力を0.6V~5Vに設定するための1個の抵抗だけがが必要です。この電源は4.5V~20Vの広い入力範囲から12A(並列接続すればさらに大きな電流)を供給できるので、多様な用途に使えます。ピン互換のLTM4601HVは入力範囲を28Vに広げます。

LT、LT、LTC、LTM、 $\mu$ Module、Linear TechnologyおよびLinearのロゴはリニアテクノロジー社の登録商標です。他の全ての商標はそれぞれの所有者に所有権があります。

an119afb

# アプリケーションノート119A

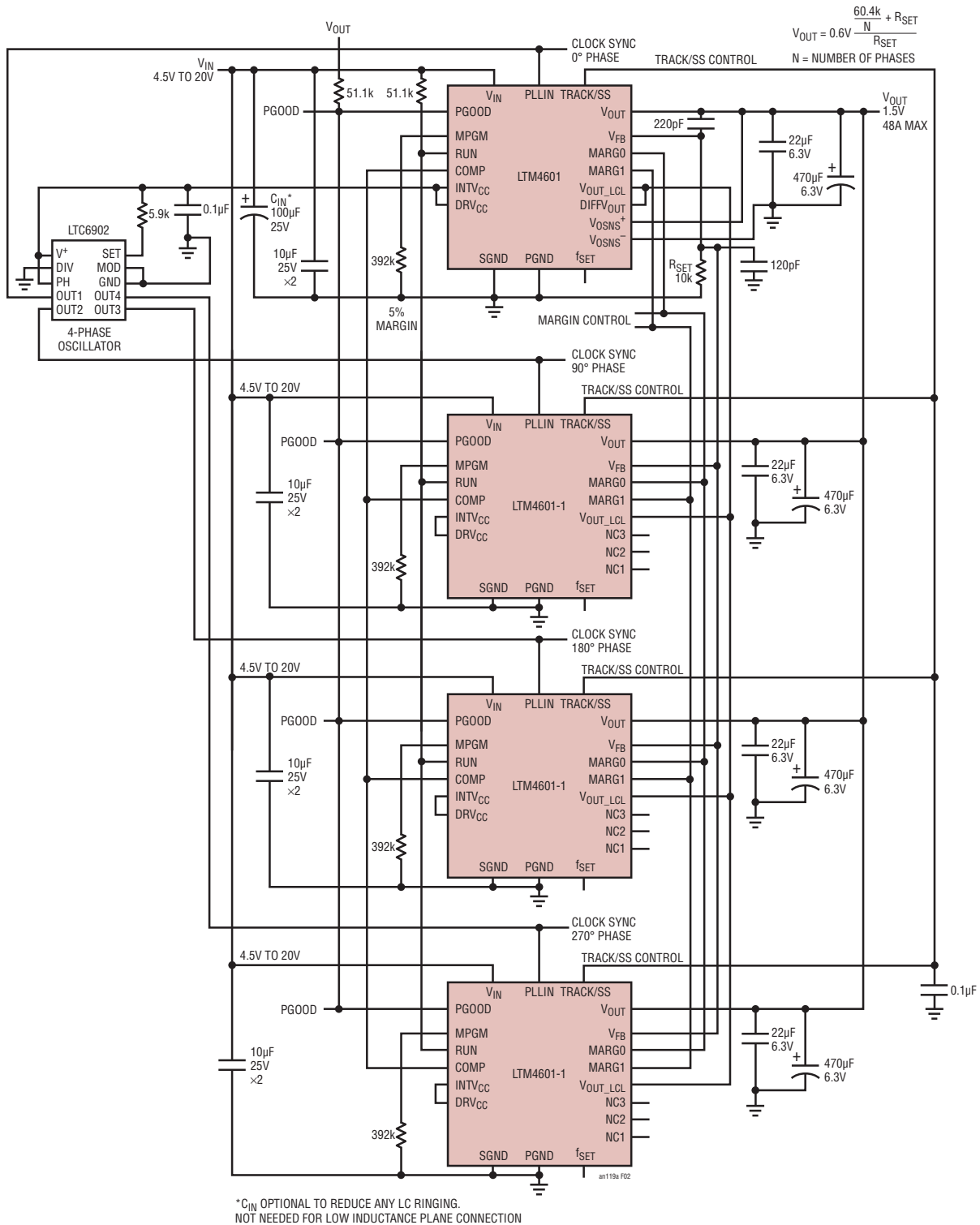


図2. 複数のDC/DC μModuleレギュレータ・システムを単に並列接続して高出力電流を達成。基板レイアウトは各μModuleレギュレータのレイアウトをコピーして貼り付けるだけで簡単であり、必要な外部部品はわずか

電源モジュールやICをベースにしたシステムに較べて、LTM4601の別の大きな利点は、負荷の増加に伴い、その能力を簡単にスケールアップできることです。1個のμModuleレギュレータが供給できるレベルより負荷が大きい場合、単にモジュールを並列に追加します。並列システムの設計には、μModuleレギュレータの各15mm×15mmのレイアウトをコピーして張り付ける以上のことはほとんど必要ありません。電気的レイアウトの問題はμModuleのパッケージ内で解決されており、配慮する必要のある外部のインダクタ、スイッチ、その他の部品はありません。

出力機能には出力電圧トラッキングとマーージニングが含まれます。高いスイッチング周波数(最大負荷で標準850kHz)、固定オン時間、待ち時間ゼロを特長とするこのコントローラは、安定性を維持したまま、ラインと負荷の変化に対する高速過渡応答を与えます。高調波が懸念される場合、外部クロックにより、内蔵フェーズロック・ループを介して同期を制御することができます。

## 48Aを供給する並列接続した4個のDC/DC μModuleレギュレータ

図2に示されているのは並列接続した4個のLTM4601で構成したレギュレータで、48A(4×12A)の出力を発生することができます。これらのレギュレータは同期していますが、互いに90°ずつ位相をシフトして動作するので、キャンセル効果により、入力と出力のリプル電流の振幅が減少します(図3)。

同期と位相シフトはLTC6902発振器によって与えられます。この発振器は4つのクロックを出力し、それぞれ位相が90°シフトしています(2相または3相の位相関係の場合、抵抗を使ってLTC6902を調節することができます)。μModuleレギュレータを位相をシフトして動作させることにより、ピーク入力電流およびピーク出力電流が、デューティ・サイクルに依存して約20%減少します(LTM4601のデータシートを参照)。リップルが減衰すると外部コンデンサのRMS電流定格とサイズが減少し、ソリューションのコストと基板スペースがさらに減少します。

クロック信号は4個のLTM4601のPLLINピン(フェーズロック・ループ入力)への入力として使われます。LTM4601のフェーズロック・ループは位相検出器と電圧制御発振器によって構成されており、850kHzの周波数範囲で外部クロックの立ち上がりエッジにロックします。フェーズロック・ループは、少なくとも幅が400nsで振幅が2VのパルスがPLLINピンで検出されるとオンします。ただし、起動時はディスエーブルされます。並列接続した4個のLTM4601 μModuleレギュレータのスイッチング波形を図3に示します。

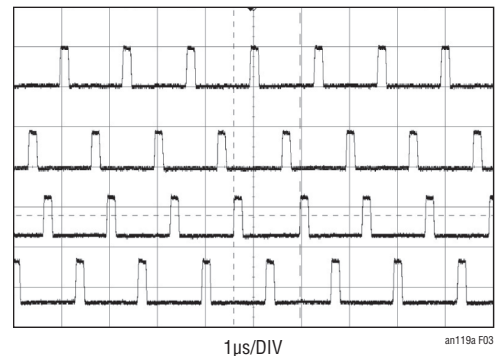


図3. 各DC/DC μModuleレギュレータを90°位相をシフトして動作させることにより、入力と出力のリプルが減少するので、入力と出力のコンデンサに関する要件が緩和される。写真は図2の個々のμModuleレギュレータのスイッチング波形を示している

出力電圧を設定するのに1個の抵抗だけが必要です。並列構成では、抵抗値は使用されるLTM4601の個数に依存します。これは、LTM4601を並列接続すると、トップ(内部)帰還抵抗の実効値が変化するためです。LTM4601のリファレンス電圧は0.6V、内部トップ帰還抵抗の値は60.4kΩなので、 $V_{OUT}$ 、出力電圧設定抵抗( $R_{FB}$ )および並列接続されたモジュールの個数( $n$ )の関係は次のようになります。

$$V_{OUT} = 0.6V \frac{60.4k + R_{FB}}{n R_{FB}}$$

# アプリケーションノート119A

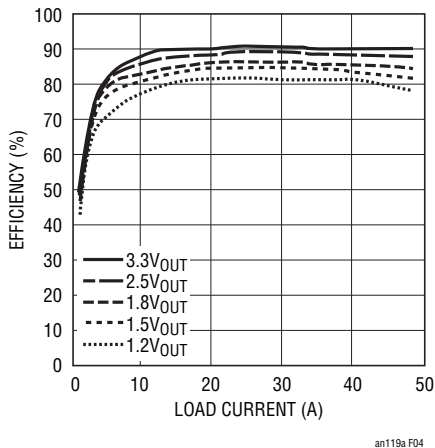


図4. 並列接続した4個のDC/DC μModuleレギュレータの効率はいくつもの出力で高く保たれる(12V入力)

最大48Aの広い出力電流範囲でシステムの効率が低いことを図4は示しています。システムは素晴らしい性能を示し、広い出力電圧範囲で効率の低下は見られません。

## 起動、ソフトスタートおよび電流分担

LTM4601のソフトスタート機能は、出力電圧をその公称値までゆっくりランプアップさせることにより、起動時の大きな突入電流を防ぎます。V<sub>OUT</sub>までの起動時間とソフトスタート・コンデンサ(C<sub>SS</sub>)の関係は次のとおりです。

$$t_{\text{SOFTSTART}} = 0.8 \cdot (0.6V - V_{\text{OUT(MARGIN)}}) \cdot \frac{C_{\text{SS}}}{1.5\mu\text{A}}$$

where

$$V_{\text{OUT(MARGIN)}} = \frac{\%V_{\text{OUT}}}{100} \cdot V_{\text{OUT}}$$

たとえば、0.1μFのソフトスタート・コンデンサは、マーギニングなしでは、公称8msのランプを生じます(図5を参照)。

並列接続したレギュレータ間の電流分担は、起動時から最大負荷に至るまで十分バランスがとれています。並列接続した2個のLTM4601がそれぞれ公称10A(合計20A)まで上昇するとき、このシステムの均一に分配された出力電流曲線を図6に示します。

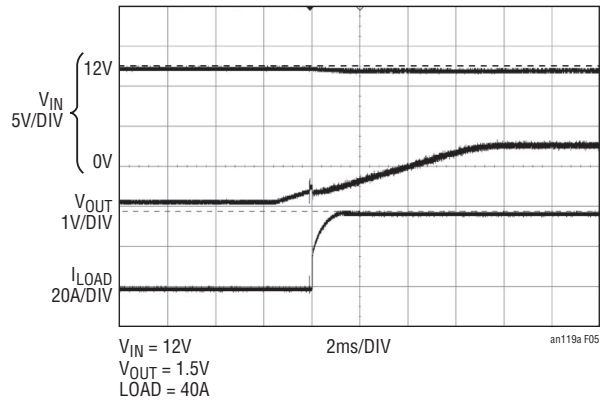


図5. FPGAやシステム全体の適切なスタートアップには制御されたソフトスタートが重要。並列接続した4個のDC/DC μModuleレギュレータのソフトスタート電流と電圧ランプ

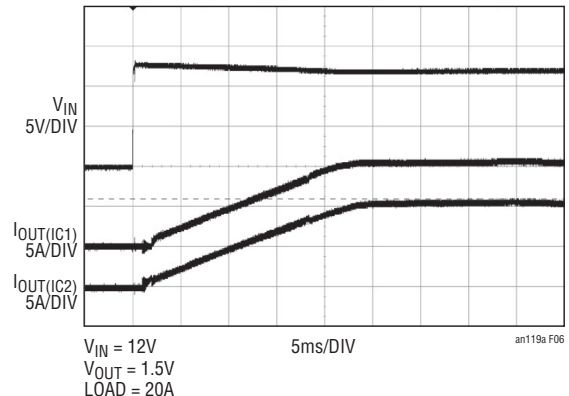


図6. 各DC/DC μModuleレギュレータは、負荷電流を均一に分担し、バランスを保って起動し、停止する。これは1個のレギュレータが過熱状態になるのを防ぐのに不可欠な機能。1個当たり公称10A、合計20Aまで上昇する2個の並列接続したLTM4601

## まとめ

DC/DC μModuleレギュレータは、ICのフォームファクタで全てを備えた自立したシステムです。低プロファイル、高効率および電流分担能力により、新世代デジタル・システム向けの実際的な高電力ソリューションが可能になります。48Aの出力電流での熱性能は卓越しており、電流分担のバランスがよく、起動がスムーズで均一です。この設計は簡単なので、開発時間が短縮され、基板スペースを節約できます。この記事のパート2では、熱性能とこの回路のレイアウトに焦点を当てます。