

大電力・超小型・放熱の優れた DC/DC ポイントオブロード・レギュレーション

ヒートシンクを一体化した画期的な SoC パッケージ技術

Eddie Beville, Afshin Odabae & Mike Stokowski
Linear Technology Corp.

ハイエンド・プロセッサや FPGA、ASIC の世代が変わる度に、電源はさらに大きな負荷電流を供給する必要に迫られています。しかしシステム設計者にとって、パワーの増加に対応するために新たなシステム基板スペースを見出すのは容易なことではありません。複数の電圧レールのポイントオブロード (POL) レギュレーションを実現するために、基板に搭載する専用電源の数がますます多く必要とされているため、電源を実装するスペースがますます厳しくなっています。それぞれのレールは 1V 以下の低電圧で数十から数百アンペアもの大電流を供給する必要があり、必要とされる供給電流がますます大きくなっています。しかも、約 1% の初期精度と、負荷応答時の電圧偏差が数% 以下という非常に優れた性能が要求されています。低い出力電圧で高精度かつ大きな負荷電流を供給でき、そして実装に必要なシステム基板スペースが小さい電源を見出さなければなりません。これは大きな課題です。

適切と思われる大電力レギュレータの候補を決めたら、次にそのレギュレータの電力損失と熱抵抗を評価しなければなりません。一見して良いレギュレータと思われる場合でも、この 2 つのパラメータが適合しないことがあります。これらのパラメータが適切でなければ、レギュレータはシステムの熱的要件を満たすことができません。特に高温環境で動作するシステムに用いられるレギュレータの場合、電力損失と熱抵抗は重要です。当然ながら、電力損失を制限するには変換効率が高くなければなりません。またパッケージは内部熱抵抗が小さく、周囲環境との接続による熱抵抗が小さくなるよう設計されていることが必要です。レギュレータのサイズが小さくなると、レギュレータと基板との接触面積が小さくなり、レギュレータと基板との間の熱抵抗が増加するため、基板の温度を低く保つことが難しくなります。その理由は、大電力レギュレータは通常その電力損失の大部分を熱としてシステム基板に放出するので、システムの内部温度を大きく上昇させてしまうからです。

設計現場での問題: 発熱と熱対策コスト

システムの設計者と熱対策の設計者は、電力損失によって発生する熱をうまく逃がすために、複雑な電子システムをモデル化して評価することに多くの時間を割きます。エアフローとヒートシンクを用いることが、熱を逃がすための標準的な方法です。しかし、真の問題は、最新のプロセッサや FPGA、カスタム ASIC の消費電力は、システムの内部温度の上昇とともに非常に増大することにあります。不幸なことに、これによ

レギュレータが供給すべき電力が増加し、この増加が、内部の電力損失を増加させ、これがシステム温度をさらに上昇させることとなります。ですから電力損失と熱を減少させることが非常に重要で、とりわけ高密度でレギュレータを配置する場合は、電源損失を抑え、熱を効率よく取り除くことが求められます。ところがほとんどの小型パッケージ電源は消費電力が大き過ぎるか、または熱を効率よく除去できません。そのため有効なディレーティング検討なしに内部温度が上昇するシステムで動作させることができません。このような問題を解消する解決策が必要です。

高電力設計において温度を適正レベルに保つために冷却手法に注目することが重要なのは当然のことです。ファンや冷却板、ヒートシンクを設置し、ときにはシステムを特殊な液体に浸すといった方法が設計者が実施する解決策の例です。これらは高価ですが、必要なことです。しかし、大電力のポイントオブロード・レギュレータが熱を効率よく放熱しながら必要とされる電力を供給できれば、回路のその部分の冷却に関する要件が減り、冷却におけるサイズ、重量、保守、コストを節減できます。

電力密度に関する誤解

高電力密度 DC/DC レギュレータについては誤解があります。これはデバイスの熱的動作が考慮されないためです。システム設計者はシステムの電氣的・物理的要件と電力要件を満たす DC/DC レギュレータ製品を決めたら、そのデバイスのデータシートからより多くの情報を得る必要があります。具体例として、**2cm x 1cm** の DC/DC レギュレータが負荷に **54W** を供給するとしましょう。このときの電力密度定格は **27W/cm²** です。設計者によってはこの数値は満足なものかもしれません。所望のパワー、サイズ、価格であれば、設計はそれで終了となるかもしれません。しかし、熱が最終的に温度を上昇させることを忘れてはいないでしょうか。重要な情報は、DC/DC レギュレータの熱インピーダンスに関するものです。パッケージの接合部からケース、接合部から空気、そして接合部から PCB への熱インピーダンスの値の情報が重要です。

上記の例についてさらに検討してみましよう。このデバイスは次のような魅力的な特性を持っているとします。つまり、デバイスが **90%** の高効率で動作するとしましょう。**54W** を出力しているときデバイス自体は **6W** しか消費しません。また、接合部から空気への熱抵抗が **20°C/W** のパッケージに収納されているとしましょう。**6W** と **20°C/W** を掛ければ、積は **120°C** ですから、周囲温度よりも **120°C** 上昇することがわかります。周囲温度が **45°C** であれば、この一見魅力的に見える DC/DC レギュレータのパッケージの接合部温度は **165°C** であると計算できます。しかし、**165°C** という値は次の2つの理由から良好とは言えません。つまり (a) ほとんどのシリコン IC の最大許容温度は約 **120°C** ですから、上記の値はこの許容温度を超えています、(b) 接合部温度を **120°C** 未満のより安全に動作できる温度に保つには特別な注意を払う必要があります。

上記の簡単な計算が無視されてしまうことがあります。一見して DC/DC レギュレータがすべての電氣的要件と電源要件を満たすように見えても、システムの熱的ガイドラインに適合しない場合や、安全な温度環境で動作させるために新たな対策が必要となり、コストが高すぎて使用できない場合があります。電圧、電流、寸法などの特性を初めて評価する際に、DC/DC の熱特性を忘れずに調べることが重要です。

次に、高密度でスケーラブルな新製品 LTM4620 μ Module[®]レギュレータについて説明しましょう。電気的特性、機械的/パッケージ特性、熱特性についてスケーラブルな各種の電源設計とともに考察します。以下の説明で、電気的特性に優れ、電力損失が小さく、熱特性が改善された独自設計のパッケージを持つ、高密度でスケーラブルな新しい電源レギュレータが、高電力密度の問題解決に役立つことを紹介します。

LTM4620 デュアル 13A/シングル 26A μ Module レギュレータ

図 1 は LTM4620 μ Module レギュレータの写真です。このシステム・イン・パッケージ(SIP)は 15mm x 15mm x 4.41mm の LGA 製品で、独立した 2 つの 13A 出力、または単一出力では 26A を供給する能力があります。パッケージは上面と底面の両方からの放熱に対応し、優れた熱管理を実現します。

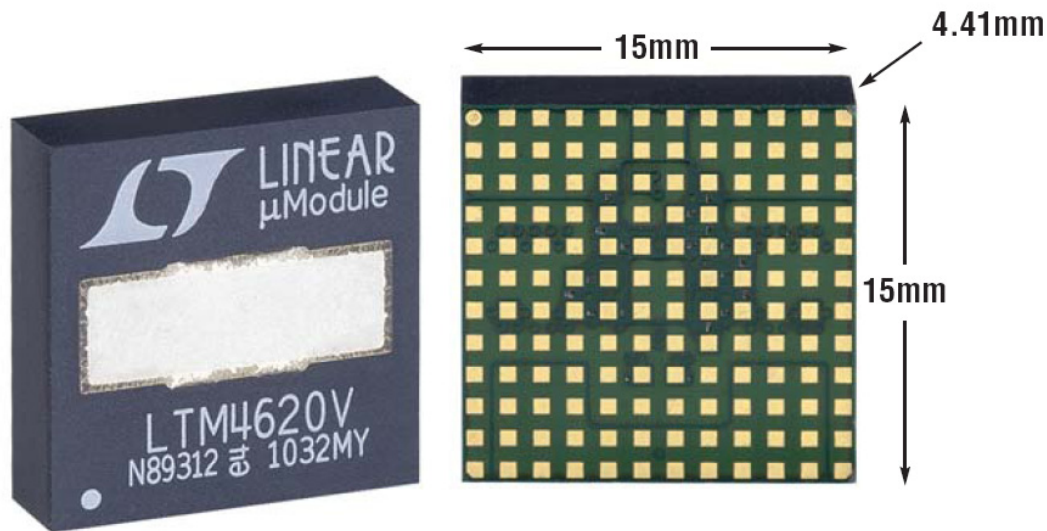


図 1. LTM4620 のパッケージ: 15mm x 15mm x 4.41mm LGA

図 2 は、LTM4620 μ module レギュレータのブロック図です。LTM4620 は 2 つの高性能同期整流方式の降圧レギュレータで構成されています。入力電圧範囲は 4.5V ~ 16V で、出力電圧範囲は 0.6V ~ 2.5V (LTM4620A では 0.6V ~ 5.5V) です。LTM4620 の電気的特性は、出力精度が $\pm 1.5\%$ 、100% テストされた高精度カレントシェア、高速過渡応答、内部発振器とプログラマブル・フェーズ・シフトによるマルチフェーズ並列動作、外部周波数同期が可能で、正確なリモート・センス・アンプを備えています。

保護機能としては、出力過電圧保護、フォールドバック過電流保護、ダイオードによる内部温度モニタの機能を有します。

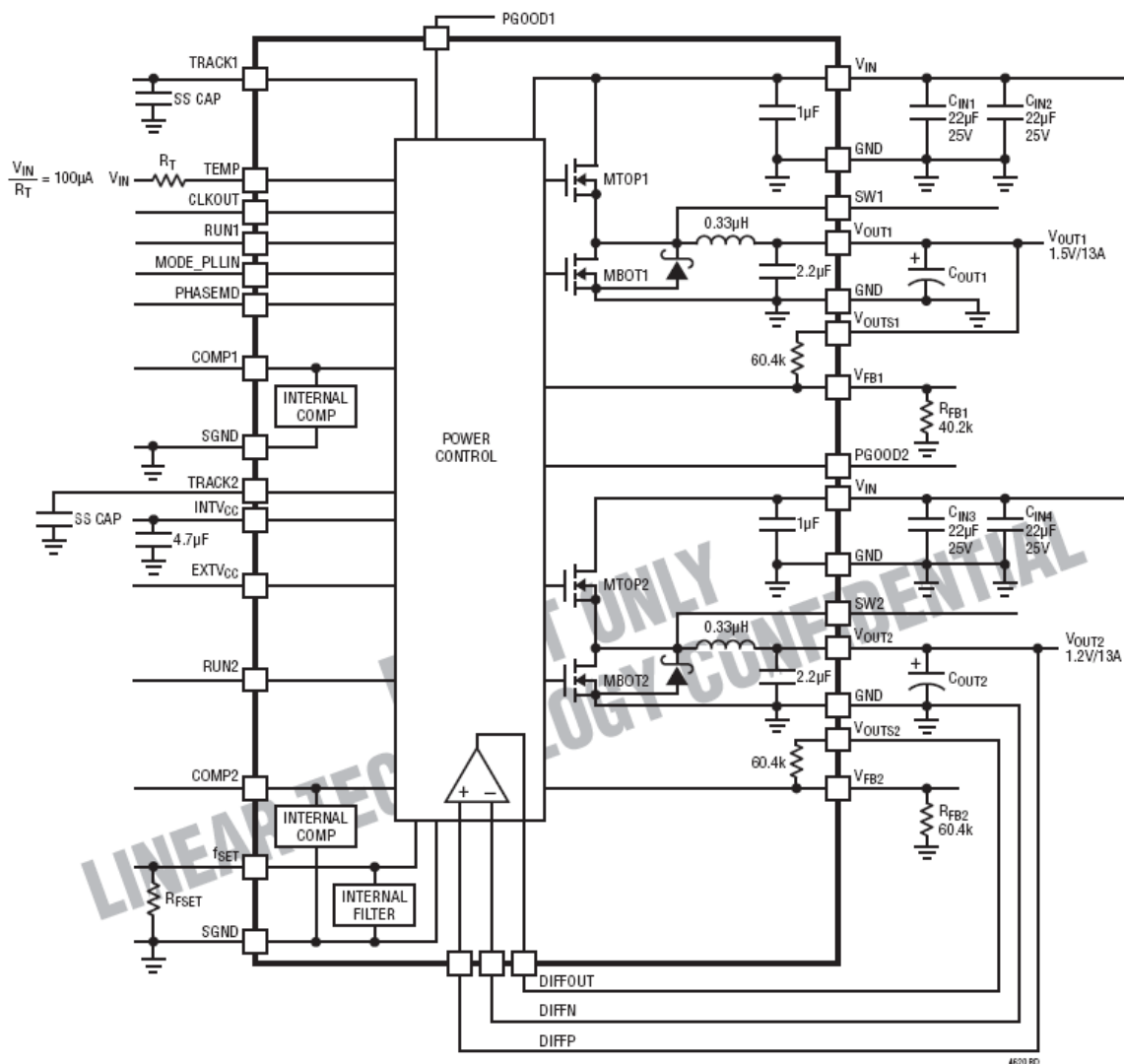


図 2. LTM4620 ブロック図

LTM4620 の独自のパッケージ設計

図 3 に LTM4620 を側面より見た 3 次元構造図と、モールド封止前の上面写真を示します。パッケージ構造は、適切な銅層を含む高熱伝導度 BT 基板を用いて、システム基板への高い電流伝達能力と小さな熱抵抗が得られるように構成されています。特許取得のリードフレーム・パワー MOSFET スタックを用いて高電力密度と、低い内部接続抵抗、デバイスの上部と底部の両方への高熱伝導度が達成されています。特許取得のヒートシンク構造をパワー MOSFET スタックとパワーインダクターに取り付けることによって上面側における効果的なヒートシンクが達成されています。上面に露出した金属部にヒートシンクを外付けが可能になっていますので、このヒートシンクを介してエアフローへ熱を放出できます。外付けヒートシンクなしでエアフローのみを用いた場合でも、内部ヒートシンクとモールド封止構造により上面から熱を放出します。

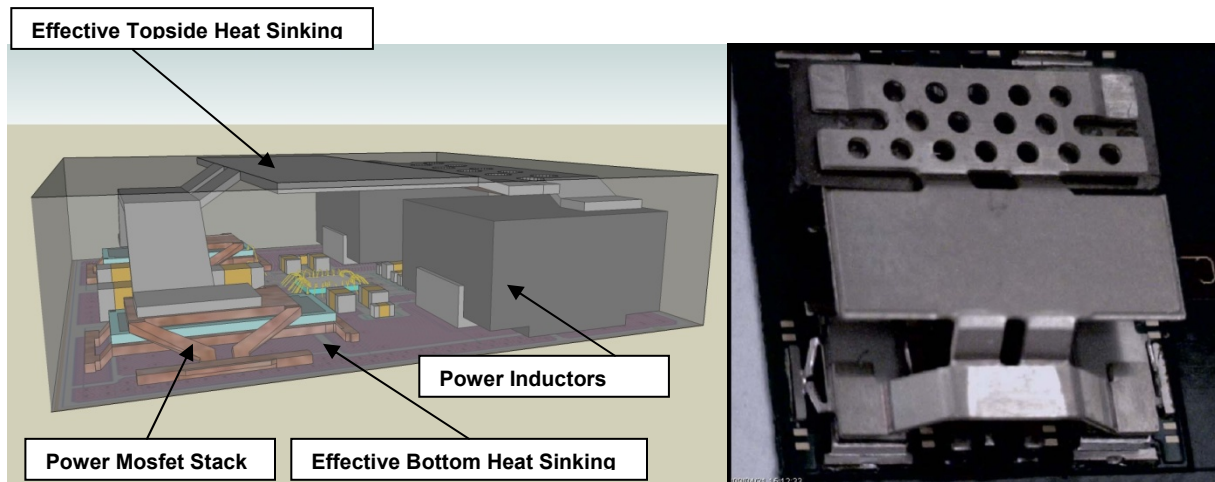


図 3. LTM4620 の側面の 3 次元表示とモールド封止前の上面写真

図 4 は、26A のデザインで 12V 入力を 1V に降下させたときの LTM4620 の温度分布画像とディレーティング曲線を示したものです。エアフローが 200LFM のときの温度上昇は周囲温度からわずか 35°C です。また、ディレーティング曲線より、エアフローが 200LFM の場合、約 80°C の周囲温度まで最大負荷電流を流せることがわかります。図 4 に示した熱特性データから、熱特性を改善したこの高電力密度レギュレータがいかに優れた利点を有するかがわかります。独自のパッケージ設計によって小型サイズでも電力損失が最小限に抑えられ、電力損失の変化に応じて熱が効果的に除去されます。

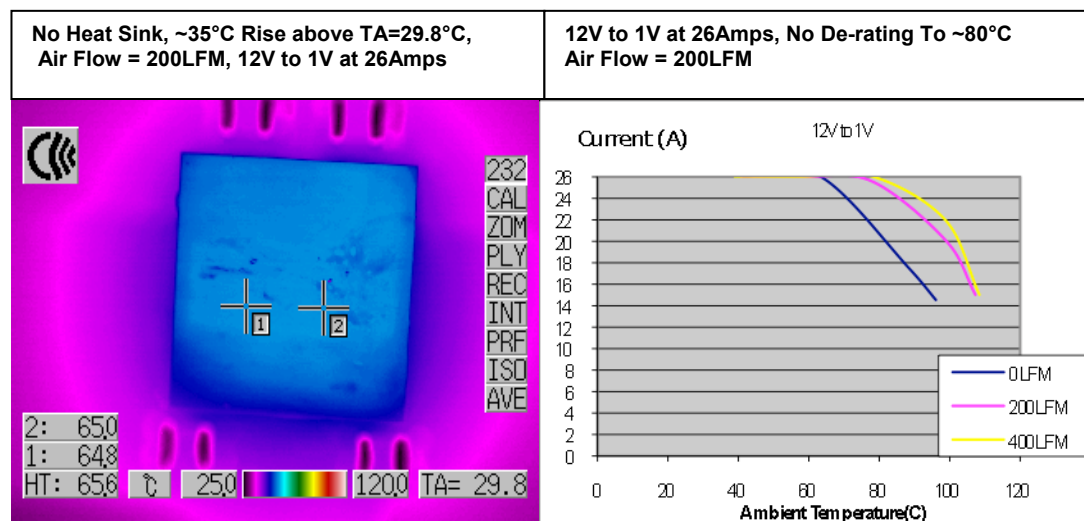


図 4. LTM4620 の温度分布画像とディレーティング曲線

LTM4620 の電気的特性

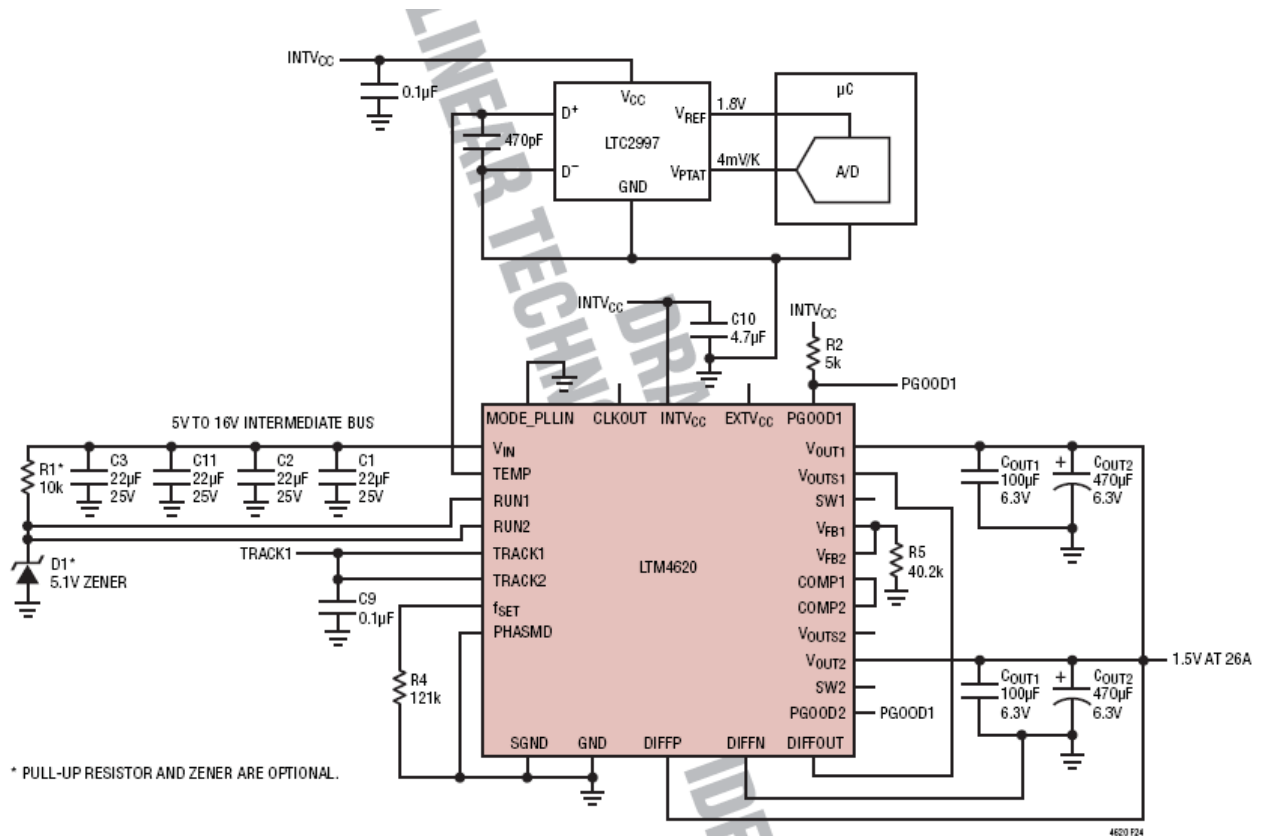


図 5. LTM4620 を用いた 2 フェーズ 1.5V/26A 並列出力構成

図 5 の回路は、LTM4620 のデュアル出力をカレントシェアさせるように構成しています。この構成は 1.5V/26A の非常に高電流密度の用途に使えます。並列動作では、RUN, TRACK, COMP, VFB, PGOOD および VOUT ピンはそれぞれ対応するピン同士を接続します。この回路では LTM4620 の内部温度ダイオードを LTC2997 温度検出モニタを用いてモニタしています。なお、温度検出ダイオードのモニタは、ダイオード接続されたトランジスタをモニタできるデバイスであれば LTC2997 でなくとも使用できます。図 6 は 1.5V における 2 フェーズ並列出力の効率と、2 チャンネルのカレントシェア特性を示したものです。このような高電力密度ソリューションにおいて 86% の効率が達成できるのは非常に優れていると言えます。図 4 の熱特性データからわかるように、

基板に実装後の Θ_{JA} 熱抵抗が小さいので、温度上昇がよく制御されています。パッケージ上部および下部からの効果的な放熱特性を備えているので、LTM4620 は全出力動作時でもわずかな温度上昇しか起こりません。図 6 は VOUT1 と VOUT2 の電流分担特性を示しています。LTM4620 の内部コントローラは出力電流が正確に分担されるように調整・テストされているので、LTM4620 は高密度でスケーラブルな電源ソリューションに最適です。高効率で高速過渡応答の電流モードアーキテクチャは、高性能プロセッサや FPGA、カスタム ASICs で求められる低電圧コア電源の要件を満たす最適なソリューションを提供します。また、優れた出力電圧の初期精度と差動リモートセンスとによって、負荷ポイントにおける良好な DC 電圧レギュレーションが得られます。独自の熱性能と優れたカレントシェア性能によって、出力電流能力を 100+ A まで高めることができます。各レギュレータチャンネルをマルチフェーズ動作させるために、外付けフェーズ・シフト・クロック用のデバイスを用意する必要はありません。各 LTM4620 は Clock In ピンと Clock Out ピンを備えており、並列チャンネルに対するクロックのためのフェーズ・シフトが内部で可能です。外部周波数同期と内部オン・ボードクロックのどちらかを選択できます。このクロック機能によってさらにパワー拡張が可能です。

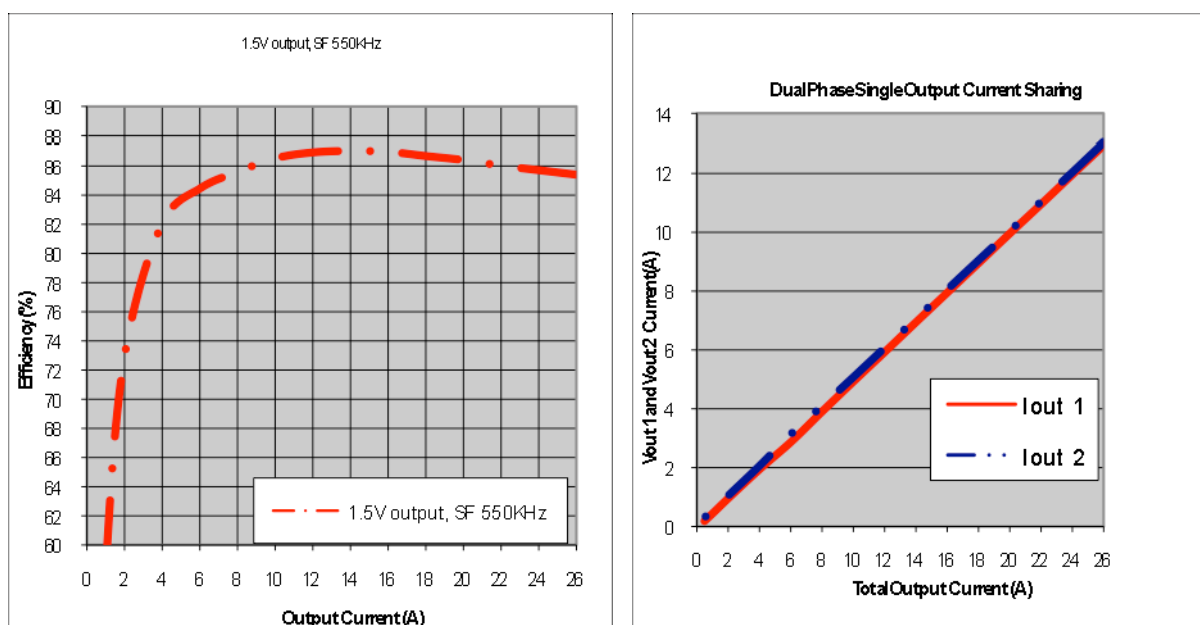


図 6.2 フェーズ 1.5V 効率およびカレントシェアのグラフ

図 7 は 4 個の μ Module レギュレータを用いて 8 フェーズ動作させることで 100A の出力を得る構成のスナップ写真と、4 個のレギュレータ間のカレントシェアを示すグラフです。8 フェーズのすべてがクロックによってフェーズ調整されて結合されることで 100A の電流を分担出力しています。図 7 に示されているように、100A の出力を得るのに実際に必要となる μ Module レギュレータのボードの実装面積は約 1.95 平方インチに過ぎず、大電流を少ない実装面積で提供できる優れた高密度電源を実現しています。4 個のモジュールに対して 1 個のヒートシンクを設けて電力損失による発熱をエアーフ

ローへ放出するようにできます。このようにすれば、電力損失によって発生する熱の多くをシステムボードに逃がすことができます。

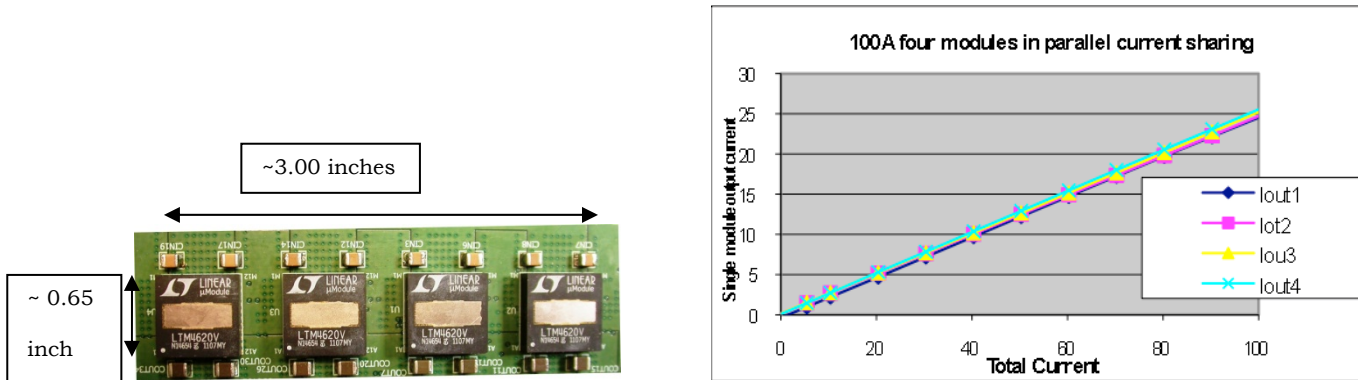


図 7. 4 個の μ Module レギュレータを 8 フェーズ動作させて 100A に出力拡大

性能実証

LTM4620 の性能を実証する 4 つの短い TechClip ビデオが提供されています。セットアップと測定の実証がこれらのビデオでご覧になれます。ビデオの内容には、短絡保護、26A と 100A における熱的動作と温度上昇、ヒートシンクの取付けと起動時のカレントシェアの正確な設定、定常動作とシャットダウンに関する内容が含まれています。これらのビデオは <http://video.linear.com/p4634-126> でご覧いただけます。

まとめ

LTM4620 μ Module レギュレータは高密度電源技術に新しい概念をもたらしました。高性能レギュレータを非常に優れた熱設計のパッケージに収納することにより、非常に小型で大電力設計を実現しました。マルチフェーズ・クロック機能を用いると電流を正確に分担でき、25 A、50 A、100+ A にスケールアップできます。LTM4620 独自の温度特性は、高い周囲温度においてもフルパワー動作を可能にします。電力損失と温度を許容レベルに制御しながら大電流設計を実現することができます。