

LTM4601 DC/DC μ Module™の熱性能

Eddie Beville, Jian Yin

はじめに

LTM4601 DC/DC μ Moduleは連続12A(ピーク時14A)負荷用の完全な高電力密度降圧レギュレータです。 μ Moduleは小型15mm×15mm×2.8mm LGA表面実装パッケージに収められていますので、アプリケーションによっては μ Moduleの大きな電力消費が困難な課題になります。熱に関するこのアプリケーションノートの目的は、エアフローを使う、または使わない周囲環境での μ Moduleの使い方に関するガイドラインを示すことです。いくつかの入力電圧および出力電圧と周囲温度およびエアフローに対する負荷電流のディレーティング曲線が与えられています。これらのディレーティング曲線は、安全動作領域(SOA)に関して、多様な周囲環境でLTM4601を使用するためのガイドラインを与えます。また、効率曲線も含まれており、熱に関するこのアプリケーションノートで使われている電力損失曲線を外挿するのに使われています。この手法では、デザインの温度を測定し、そこからいくつかの異なる環境条件のサーマルモデルを引き出し、最後に $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ で表した接合部から周囲への熱経路の熱抵抗(θ_{JA})を決定します。データに含まれるのは、電力損失曲線、安全動作曲線(SOA)、サーマルカメラのイメージ、およびディレーティング曲線と周囲温度およびエアフロー(ヒートシンクが付く場合と付かない場合)です。入

力電圧の高いデザインで見られる比較的低い効率によるワーストケースの温度上昇を調べるため、24Vデザインが解析されています。

サーマルモデル

サーマルモデルを図1に示します。 μ Moduleはサイズが95mm×76mmの4層PCBに接着されています。この物理システムを解析するため、図1(b)に示されている簡略化された1次元サーマルモデルを使ってシステムの熱経路を表します。熱は μ Moduleで発生し、上下方向に向かって流れます。上側の熱経路には R_{JT} が使われ、接合部からパッケージ上面までの熱抵抗を表します。 R_{TA} はパッケージ上面から周囲環境への熱抵抗を表します。同様に、下側では R_{JB} が接合部から底面までの熱抵抗を表し、 R_{BA} は底面から周囲環境への熱抵抗を表します。両面冷却方式は、特に上面にヒートシンクを使うと簡単に実現できます。

LT、**LT**、**LTC**および**LTM**はリニアテクノロジー社の登録商標です。
 μ Moduleはリニアテクノロジー社の商標です。
 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。

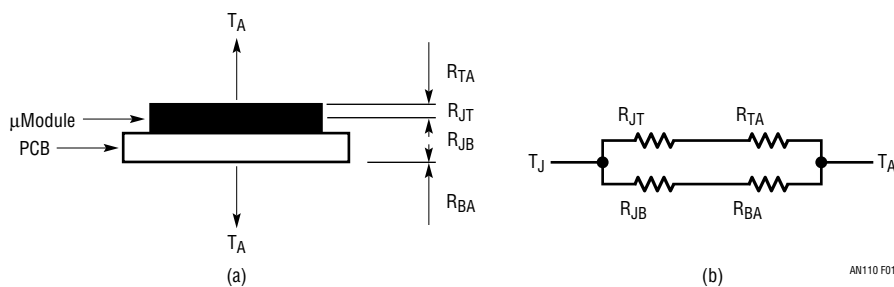


図1. 設計用サーマルモデル

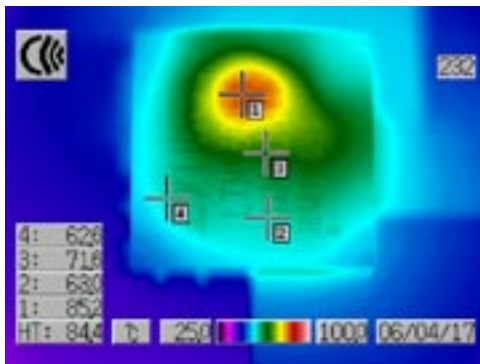
AN110 F01

アプリケーションノート 110

サーマル・イメージング

ケース1: ヒートシンクなし

12V_{IN}から3.3V_{OUT}/10Aのデザインと24V_{IN}から3.3V_{OUT}/10Aのデザインを、それぞれ約91%と87%の変換効率で39.6W動作の場合の特性を評価しました。これはμModuleで消費される約4.2Wと5.8Wの電力損失に相当します。24Vデザインの4%の余分の損失は、コントローラ内の余分の電力消費と内部トップMOSFETの遷移損失の増加に起因します。この損失は、DRV_{CC}ピンを50mAの能力のある5Vバイアス電源に接続することによって、約2%だけ減らす(つまり24V_{IN}のデザインで効率89%)ことができます。DRV_{CC}は主入力電源より後に立ち上がるようにシーケンスを制御する必要があります。12V_{IN}から3.3V_{OUT}のデザインのサーマルイメージをサーマルイメージ内のいくつかのデータ・ポイントとともに図2に示します。24V_{IN}から3.3V_{OUT}のデザインのサーマルイメージはサーマルイメージ内のいくつかのデータ・ポイントとともに図3に示します。このデザインで4.2Wの電力消費のとき、図2の



条件: 周囲は25°C、エアフローなし、ヒートシンクなし、EXTV_{CC}なし

図2. 12V_{IN}から3.3V_{OUT}/12AのLTM4601を上から見たところ

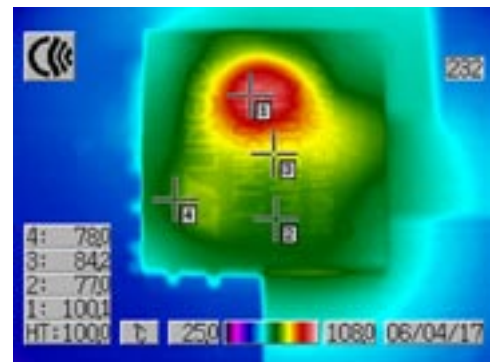
μModuleの最大温度は85°Cになり、5.8Wの電力消費のとき、図3のμModuleの最大温度は100°Cになります。

図3のヒートシンクなしで5.8Wの電力消費のもと条件が悪い場合、μModuleの上側からの熱放散は無視することができます。したがって、図1に示されているサーマルモデルは図4のように描き直すことができ、下側の熱経路の熱抵抗R_{JB}とR_{BA}だけが存在します。アプリケーションノート103を参照してください。この場合の接合部から周囲までの合計熱抵抗はこの場合わずか14.3°C/Wです。したがって、μModuleの接合部温度は108°Cです。

ケース2: BGA用ヒートシンク付き

μModuleの上面に表面実装型ヒートシンクを付けた状態の側面のサーマルイメージを図5に示します。

データ・ポイント3はヒートシンクの温度を示し、データ・ポイント2はパワーμModuleの側面を示しています。



条件: 周囲は25°C、エアフローなし、ヒートシンクなし、EXTV_{CC}なし

図3. 24V_{IN}から3.3V_{OUT}/12AのLTM4601を上から見たところ

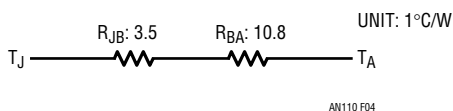
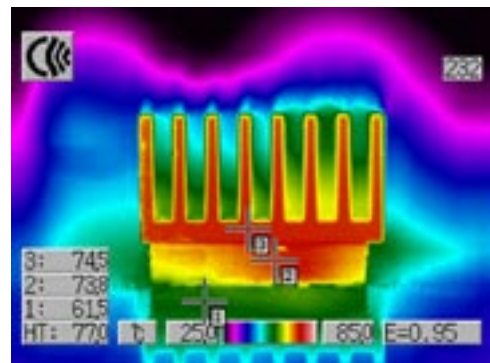


図4. 図3のケース1のサーマルモデル



条件: 周囲は25°C、エアフローなし、WAKEFIELD ENGINEERING社のPN#LTN20069 15mm×15mm×9mmヒートシンク付き、EXTV_{CC}なし

図5. 24V_{IN}から3.3V_{OUT}/12AのLTM4601を横から見たところ

LTM4601 μ Moduleの上側は、表面が平坦で使われているケースの素材が適しているため、外部ヒートシンクに熱を伝えるのに非常に効果的です。5.8Wを消費する図5の構成を表すサーマルモデルを図6に示します。この場合、熱は上下両方の側に流れます。上側の熱経路では、モジュールから発生する熱はまず接合部から μ Moduleのケース/ヒートシンクの境界面に流れ(R_{JH})、次にヒートシンクに達して周囲に放散されます(R_{HA})。下側の熱経路では、熱はまず4層PCBに流れてから、PCBから周囲に放散されます。ここで、 R_{JB} は接合部からPCBの放熱面までの熱抵抗で、それには R_{JP} (接合部からモジュールのピン)と R_{PB} (ピンからPCBの放熱面まで)が含まれます。

図5でヒートシンクの温度は約74°Cであり、自然対流状態での R_{HA} は製造元のデータシートから約30°C/Wと求めることができますので、上側への電力消費は約1.6Wです。したがって、この場合の接合部温度は約95°Cです。図4のヒートシンクのない場合と比較して、この場合の下側への熱放散は少なく、下側の熱拡散面積が小さくなりますので、下側の熱経路の熱

抵抗は図6(b)に示されているように大きくなります。BGAヒートシンクが付いているこの場合の接合部から周囲までの合計熱抵抗は約12°C/Wです。

ケース3: メタルプレート付き

サイズが100mm×75mmのメタルプレートに実装したLTM4601の側面のサーマルイメージを図7に示します。このサーマル・テストケースは、PCBの裏側へのパワー μ Moduleの実装が望ましいシステムでの使用を検討するために解析します。パワー μ Moduleはメタルキャリアに直接または熱伝導性パッドを介して実装することができます。

このケースでは、パワー μ Moduleとメタルキャリアの間の熱的接続にBergquist社の”Gap Pad”を使用しています。条件は図7に注記されています。

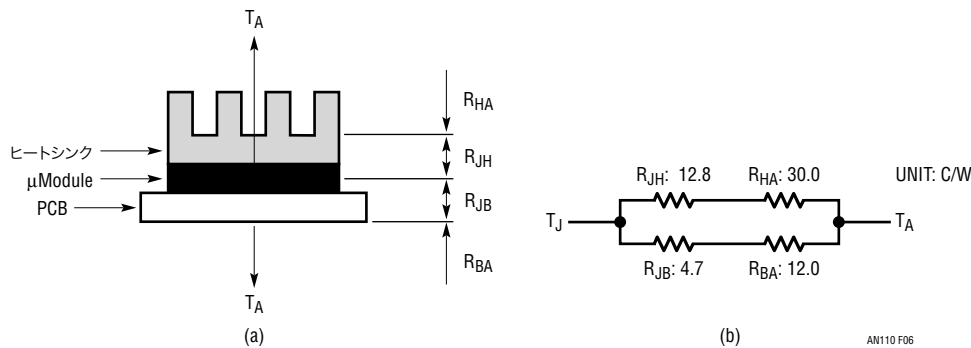
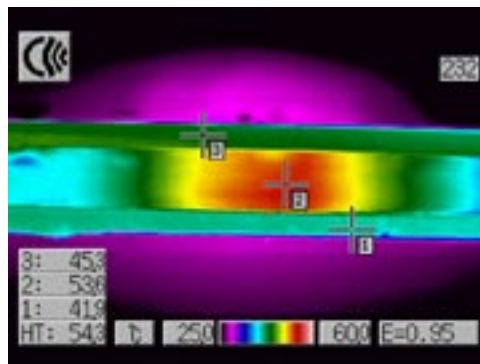


図6. 図5のケース2のサーマルモデル



条件: 24Vから3.3V/12A、25°Cの周囲温度、エアフローなし、 μ Moduleとメタルプレートの間にBERGQUIST社の”GAP PAD 1000”を使用。0.04の厚さで2°C/W。
(メタルプレート = 100mm×75mm×1.5mm)

図7. 24V_{IN}から3.3V_{OUT}/12AのLTM4601を横から見たところ

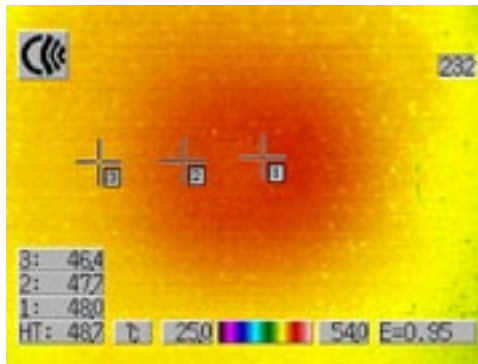
an110f

アプリケーションノート 110

写真の下に注記されている条件での40Wデザインのメタルプレートイメージを図8に示します。メタルプレートは熱を効率的に伝えますが、エアフローを使うとさらに良い結果を与えるでしょう。前の分析と同様、メタルプレートの平均温度は約47°Cです(図8)。メタルプレートの放散面は大きいので、メタルプレートから周囲への熱抵抗 R_{MA} はわずか10.5°C/Wほどです。図9のサーマルモデルを使うと、約87°Cの接合部温度が得られます。

μ Moduleの上面からメタルプレートへは熱抵抗が低下しています。 μ Moduleとメタルプレートの間に使われているBergquist社の”Gap Pad”の熱抵抗は2°C/Wです。5°C/Wの別の熱抵抗の低下が μ Moduleとメタルプレートから”Gap Pad”への境界面によって生じます。この全熱抵抗の低下は、 μ Moduleからメタルプレートへの熱インタフェースの改善によ

って減らすことができます。ここで、 R_{JM} は接合部からメタルプレートまでの全熱抵抗で、接合部からメタルプレートの放熱面への熱抵抗(R_{JC} (接合部からケース)、 R_{PAD} (ギャップ・パッド)、 $R_{INTERFACE}$ (ケースとメタルからギャップ・パッドへの境界面)および $R_{METAL PLATE}$ (メタルプレート))が含まれます。図9(b)に示されているように、全ての熱抵抗を求めることができます。ケース2と同様、接合部からボードへの熱抵抗 R_{JB} には、 R_{JP} (接合部からモジュールのピン)と R_{PB} (ピンからPCBの放散表面)の2つの熱抵抗が含まれています。これらの熱抵抗では、 R_{JC} (6°C/W~9°C/W)と R_{JP} (1.5°C/W~3°C/W)は μ Moduleに依存し、他のすべての熱抵抗はカスタマの特定のデザインに関係します。接合部から周囲までの合計熱抵抗はこの場合わずか10.7°C/Wです。



条件: 24V_{IN}から3.3V_{OUT}/12A、25°Cの周囲温度、エアフローなし、 μ Moduleとメタルプレート間にBERGQUIST社の”GAP PAD 1000”を使用。0.04の厚さで2°C/W。(メタルプレート = 100mm×75mm×1.5mm)

図8. 24V_{IN}から3.3V_{OUT}/12AのLTM4601のメタルプレートを見たところ

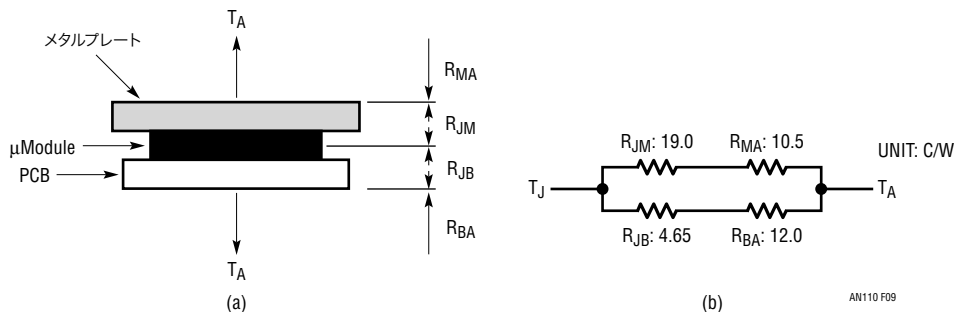


図9. 図7のケース3のサーマルモデル

ディレーティング曲線と周囲温度およびエアフロー

特定の周囲温度で可能な最大負荷電流のガイドラインとして、いくつかのディレーティング曲線を示します。これらの曲線は0LFM、200LFM、および400LFMで特性を評価しました。また、曲線はヒートシンク付きおよびヒートシンクなしで得られました。電力損失曲線は特性評価された動作条件のおよその θ_{JA} を確定し、この θ_{JA} は上のサーマルイメージと相関がとれています。電力損失曲線とディレーティング曲線は、 θ_{JA} とエアフローを相関づける表を作成するのに使われています。この分析の入力動作条件として、5V、12Vおよび24Vを選択しました。2つの出力電圧は1.5Vと3.3Vです。

1.5V_{OUT}と3.3V_{OUT}の電力損失曲線と負荷電流および入力電圧を図10と図11に示します。

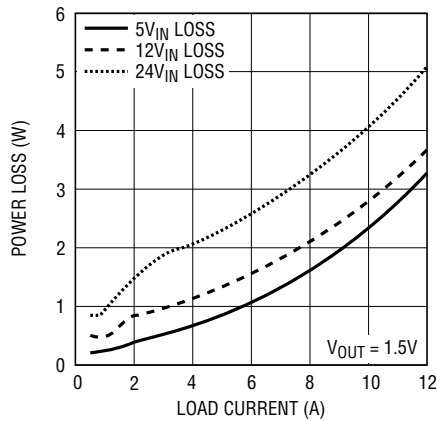
図12、図13および図14は、5V_{IN}から1.5V_{OUT}の場合の3つのディレーティング曲線と負荷電流およびエアフロー（ヒートシンク付きとヒートシンクなし）です。図15、図16および図17は12V_{IN}から1.5V_{OUT}の場合の同じディレーティング曲線です。図18、図19および図20は24V_{IN}から1.5V_{OUT}の場合のディレーティング曲線です。テスト条件で使用されたヒートシンクの種類を示すため、すべての曲線は縦列に配置してあります。

図21、図22および図23は、12V_{IN}から1.5V_{OUT}の場合の、異なった負荷電流、異なったエアフロー、および異なったヒートシンクでの3つのディレーティング曲線です。図24、図25および図26は24V_{IN}から3.3V_{OUT}の場合の3つのディレーティング曲線です。テスト条件で使用されたヒートシンクの種類を示すため、これらすべての曲線は縦列に配置してあります。

図10と図11の電力損失曲線を図12～図26の負荷電流ディレーティング曲線と一緒に使って、 θ_{JA} を概算します。各負荷電流ディレーティング曲線では、パワー μ Moduleのケース温度を最大100°Cに保つ最大負荷電流が、周囲温度の関数として示されています。この100°Cの最大値は、6°C/W～9°C/Wの接合部からケースの熱抵抗 R_{JC} による μ Module内部の約13°C～20°Cの温度上昇を見込んで、最大接合部温度を125°Cより下に保つためです。

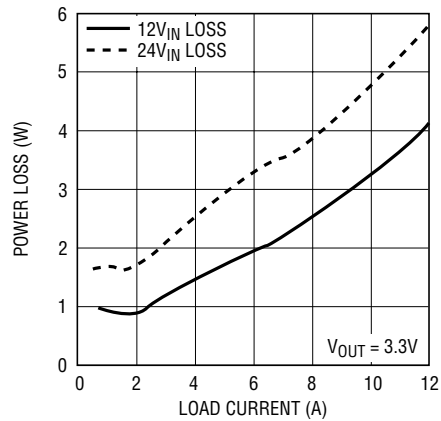
まとめ

LTM4601のサーマルモデルは、ヒートシンクなし、BGAヒートシンクおよびメタルプレートの3つの場合に対し、エアフローなしの条件で使われています。次いで、およその θ_{JA} が実験によって得られ、その結果、ヒートシンクなし、BGAヒートシンク、およびメタルプレートの場合の値はそれぞれ14.3°C/W、12.1°C/W、および10.7°C/Wでした。このデータは表2のエアフローなしの θ_{JA} と非常に良く相関がとれています。



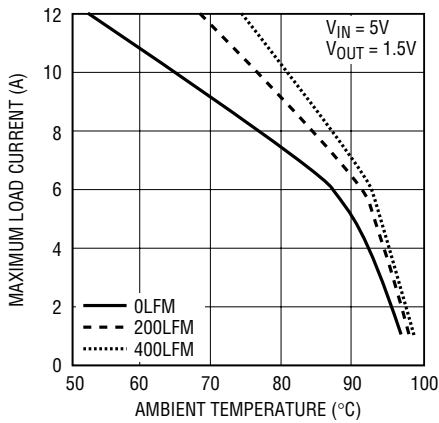
AN110 F10

図10. 電力損失と負荷電流



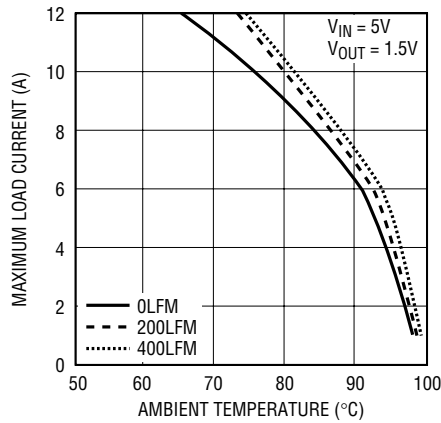
AN110 F11

図11. 電力損失と負荷電流



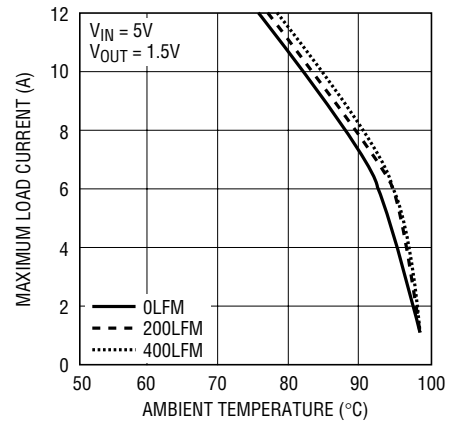
AN110 F12

図12. 5VINおよび1.5VOUTで
ヒートシンクなし



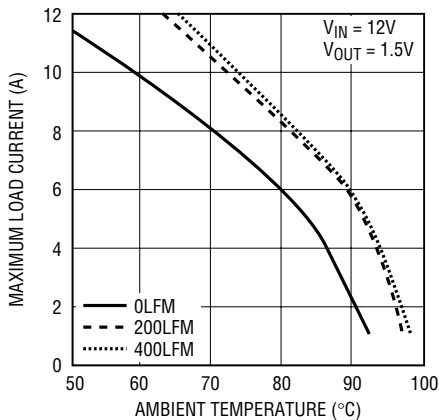
AN110 F13

図13. 5VINおよび1.5VOUTで
BGAヒートシンク



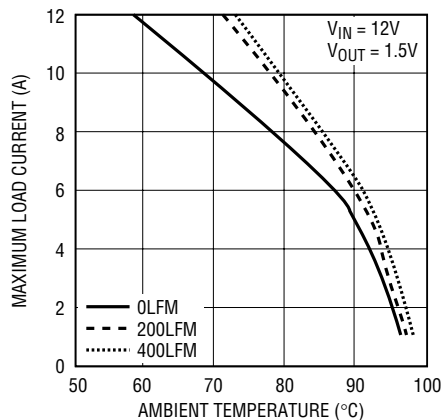
AN110 F14

図14. 5VINおよび1.5VOUTでギャップパッド
を使ったメタルプレート



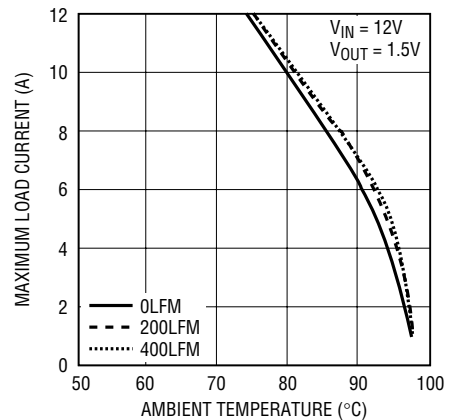
AN110 F15

図15. 12VINおよび1.5VOUTで
ヒートシンクなし



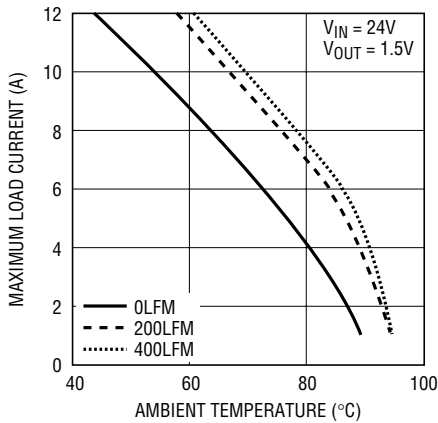
AN110 F16

図16. 12VINおよび1.5VOUTで
BGAヒートシンク



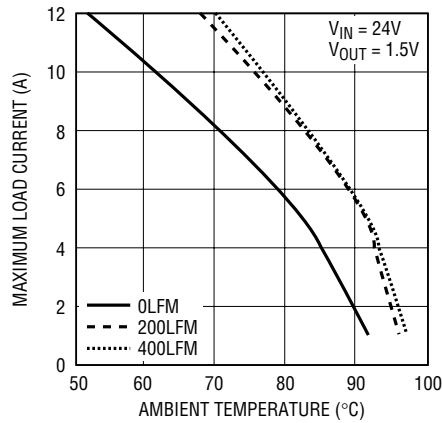
AN110 F17

図17. 12VINおよび1.5VOUTでギャップパッド
を使ったメタルプレート



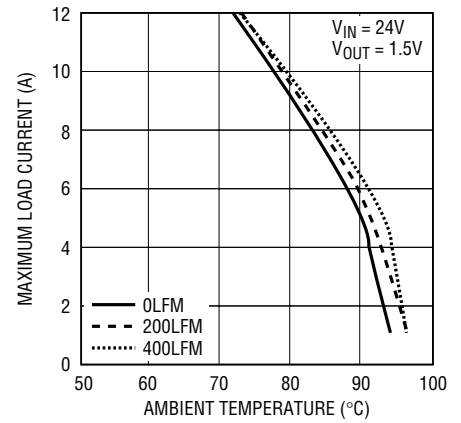
AN110 F18

図18. 24V_{IN}および1.5V_{OUT}でヒートシンクなし



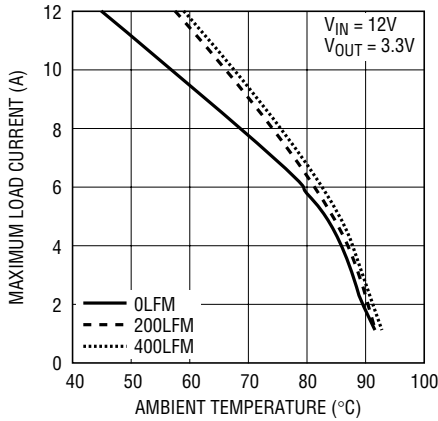
AN110 F19

図19. 24V_{IN}および1.5V_{OUT}でBGAヒートシンク



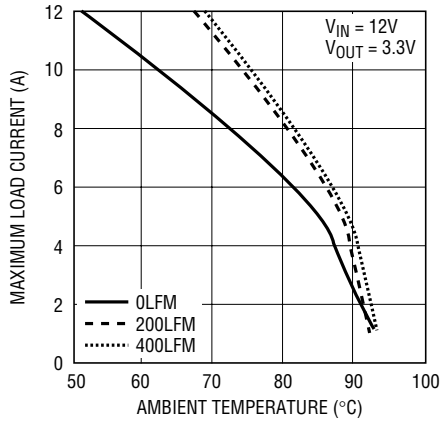
AN110 F20

図20. 24V_{IN}および1.5V_{OUT}でギャップパッドを使ったメタルプレート



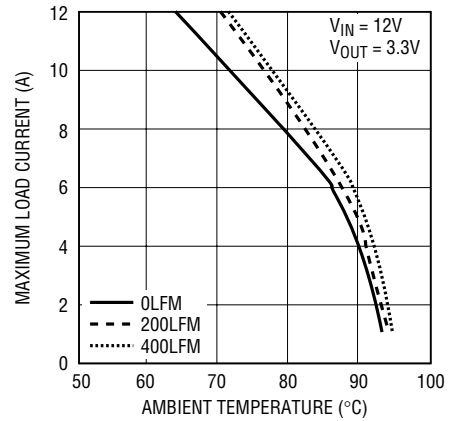
AN110 F21

図21. 12V_{IN}および3.3V_{OUT}でヒートシンクなし



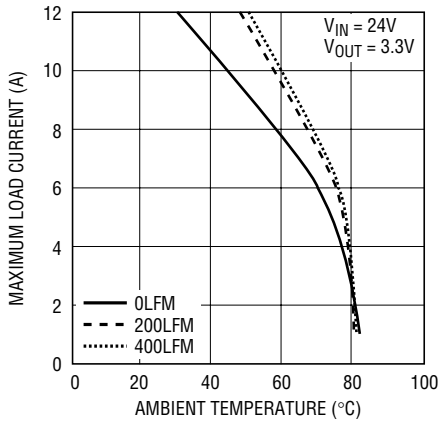
AN110 F22

図22. 12V_{IN}および3.3V_{OUT}でBGAヒートシンク



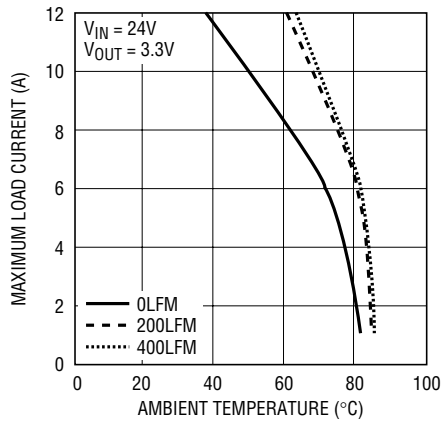
AN110 F23

図23. 12V_{IN}および3.3V_{OUT}でギャップパッドを使ったメタルプレート



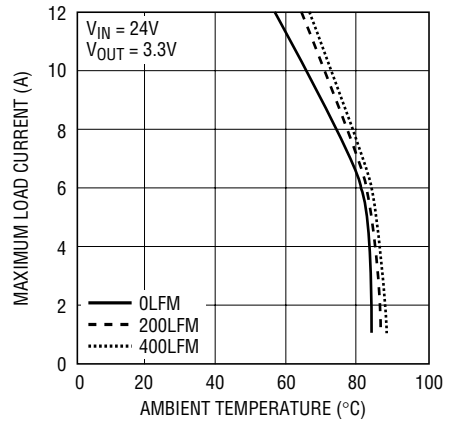
AN110 F24

図24. 24V_{IN}および3.3V_{OUT}でヒートシンクなし



AN110 F25

図25. 24V_{IN}および3.3V_{OUT}でBGAヒートシンク



AN110 F26

図26. 24V_{IN}および3.3V_{OUT}でギャップパッドを使ったメタルプレート

アプリケーションノート 110

表1. 12Aで1.5V出力

ディレーティング曲線	V _{IN} (V)	電力損失曲線	エアフロー (LFM)	ヒートシンク	θ _{JA} (°C/W)
Figures 18	24	Figure 10	0	None	15.2
Figures 18	24	Figure 10	200	None	14
Figures 18	24	Figure 10	400	None	12
Figures 19	24	Figure 10	0	BGA Heatsink	13.9
Figures 19	24	Figure 10	200	BGA Heatsink	11.3
Figures 19	24	Figure 10	400	BGA Heatsink	10.25
Figures 20	24	Figure 10	0	Metal Plate	12
Figures 20	24	Figure 10	200	Metal Plate	9.5
Figures 20	24	Figure 10	400	Metal Plate	8.15

表2. 12Aで3.3V出力

ディレーティング曲線	V _{IN} (V)	電力損失曲線	エアフロー (LFM)	ヒートシンク	θ _{JA} (°C/W)
Figures 24	24	Figure 11	0	None	14.3
Figures 24	24	Figure 11	200	None	13.1
Figures 24	24	Figure 11	400	None	11.1
Figures 25	24	Figure 11	0	BGA Heatsink	12.1
Figures 25	24	Figure 11	200	BGA Heatsink	9.6
Figures 25	24	Figure 11	400	BGA Heatsink	8.45
Figures 26	24	Figure 11	0	Metal Plate	10.7
Figures 26	24	Figure 11	200	Metal Plate	8.2
Figures 26	24	Figure 11	400	Metal Plate	6.85

ヒートシンク・メーカー	製品番号	電話番号
Wakefield Engineering	LTN20069	603-635-2800
Bergquist Company	Gap Pad 1000SF	952-835-2322