

LTM4600 DC/DC μ Module™ の熱性能

Eddie Beville, Jian Yin

はじめに

LTM4600 DC/DC μ Moduleは連続10A(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には2つの電圧オプションがあります。最大20V_{IN}のLTM4600EVと最大28V_{IN}のLTM4600HVEVで、それぞれ小型15mm×15mm×2.8mmのLGA表面実装型パッケージに入っています。いくつかの入力電圧、出力電圧、およびエアフローを伴う周囲温度に対する負荷電流のディレーティング曲線がデータシートに載せてあります。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LTM4600を使用するためのガイドラインを与えます。また、データシートには効率曲線が与えられており、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。熱に関するこのアプリケーションノートの目的は、エアフローを伴う、または伴わない周囲環境での μ Moduleの使用に関するガイドラインを示すことです。目標は、デザインの温度を測定し、そこからいくつかのケースのサーマルモデルを引き出し、最後に接合部から周囲への熱経路の熱抵抗(θ_{JA})を°C/Wを単位として決定することです。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(ヒートシンクが付く場合と付かない場合)です。ディレーティング曲線にはエアフローも含まれます。高入力電圧のデザインで現れる効率低下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

一例が図1(a)に示されており、 μ Module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、システムの熱経路を示すのに(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が使われています。熱は μ Moduleで発生し、上側と下側に向かって流れます。上側の熱経路には R_{JT} が使われ、接合部から上面までの熱抵抗を表します。 R_{TA} は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。両面冷却方式は上面にヒートシンクを使うと簡単に実現できます。

サーマル・イメージング

ケース1: ヒートシンクなし

12Vから3.3V/10Aのデザインと24Vから3.3V/10Aのデザインを、それぞれ約91%と87%の変換効率の33W動作について特性を評価しました。これは μ ModuleとPCBで消費される約3Wと4.25W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。

LT, LTC, LTMおよびLT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。
 他のすべての商標はそれぞれの所有者に所有権があります。

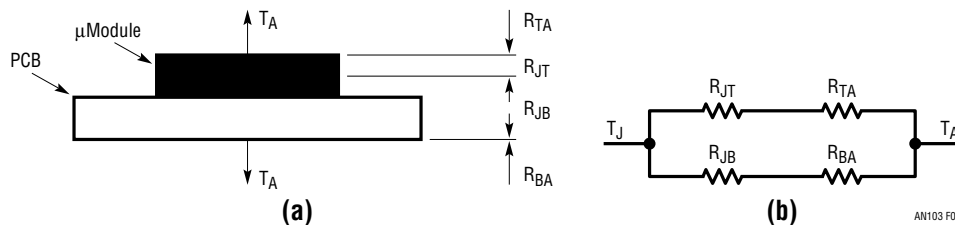


図1. デザインのサーマルモデル

Application Note 103

この損失は、EXTV_{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のデザインで効率89%)ことができます。EXTV_{CC}は主入力電源より後に立ち上がるようにシーケンス制御する必要があります。12Vから3.3Vのデザインのサーマルイメージをいくつかのサーマルイメージのデータ・ポイントとともに図2に示します。24Vから3.3Vのデザインのサーマルイメージをいくつかのサーマルイメージのデータ・ポイントとともに図3に示します。このデザインで3Wの電力消費のとき、図2のμModuleの最大温度は66°Cになり、4.25Wの電力消費のとき、図3のμModuleの最大温度は82°Cになります。

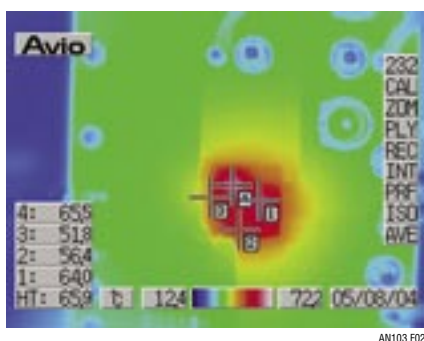
ここでは、図3のヒートシンクなしで4.25Wの電力消費のワーストケースの解析だけをおこないます。μModuleの上面の面積はわずか15mm×15mmなので、μModuleの上面からの熱放散は無視することができます。したがって、図1に示されているサーマルモデルは図4のように描き直すことができ、それには底側の熱経路に熱抵抗R_{JB}とR_{BA}だ

けがあります。μModuleの接合部温度を測定するため、熱電対がパワーMOSFETに近いポイントでμModuleに挿入されています。この測定された接合部温度は89.8°Cです。PCBの底側の平均温度は約75°Cです。したがって、R_{JB}とR_{BA}はそれぞれ3.5°C/Wと11.7°C/Wであると計算することができます。接合部から周囲までの合計熱抵抗はこの場合わずかに15.2°C/Wです。

ケース2: BGA用ヒートシンク付き

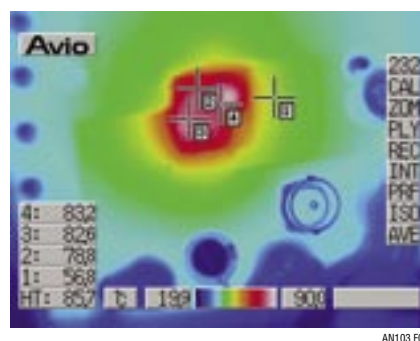
μModuleの上に表面実装型ヒートシンクを付けた状態のサーマルイメージを図5に示します。測定により、T_{PCB}平均温度は12Vから3.3Vのデザインでは約54°Cで、24Vから3.3Vのデザインでは約73°Cです。

表面実装型BGA用ヒートシンクを付けたLTM4600 μModuleを横から見たところを図5に示します。データ・ポイント2はヒートシンクの温度を示し、データ・ポイント4はBGA用ヒートシンクとパワーμModuleの接合ポイントを示しています。



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

図2. 12Vから3.3V/10AのLTM4600を上から見たところ



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

図3. 24Vから3.3V/10AのLTM4600を上から見たところ

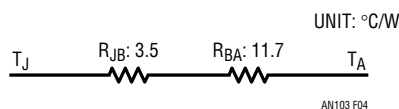
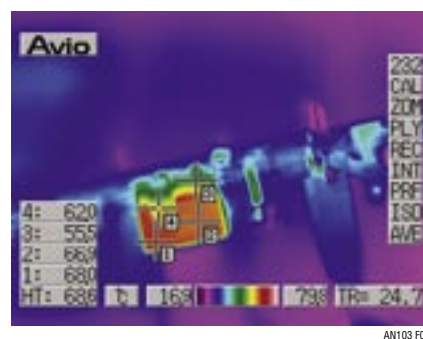


図4. 図3のケース1のサーマルモデル



条件: 25°C, エアフローなし、WAKEFIELD ENGINEERING PN# CIS20069、15mm×15mm×9mmのヒートシンク、EXTV_{CC}なし

図5. 24Vから3.3V/10AのLTM4600を横から見たところ

LTM4600 μ Moduleの上側は外部ヒートシンクに熱を伝えるのに非常に効果的です。4.25Wの電力消費の場合、デバイスとヒートシンクのあいだにはわずか4°Cの差しかありません。後のセクションで、周囲条件のもとでヒートシンク付きとヒートシンクなしの出力電流のディレーティング曲線について説明します。4.25Wの電力消費を伴う図5のケースを表すサーマルモデルを図6に示します。このケースでは、熱は上側と下側の両方に流れます。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66°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21.5°C/Wと求め

ることができますので、上側への熱の放散は約1.9Wであることが分かります。このケースの測定された接合部温度は約84°Cなので、図6(b)に示されているモデルの全熱抵抗を計算することができます。図4のヒートシンクなしのケースに比べ、このケースの下側の熱放散面積は、下側への熱放散が少ないため小さくなります。したがって、下側の熱経路の熱抵抗は図6では大きくなります。BGAヒートシンク付きのこのケースの接合部-周囲の全熱抵抗は約13.9°C/Wです。

ケース3: メタルプレート付き

サイズが100mm×80mmのメタルプレートに実装したLTM4600のデザインのPCBの裏側のイメージを図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ヒートシンク上の熱伝導性パッドを介して実装することができます。

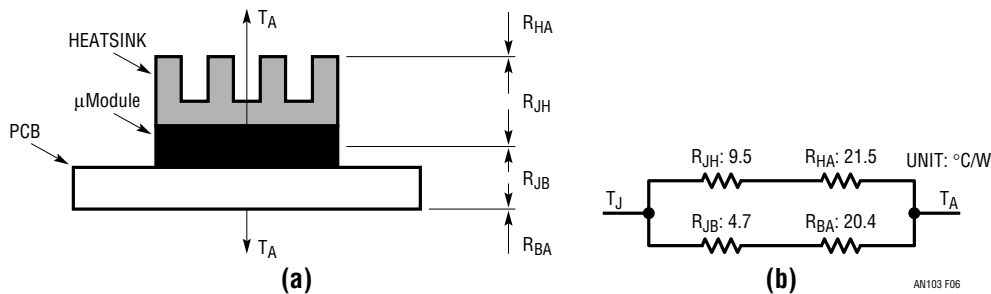
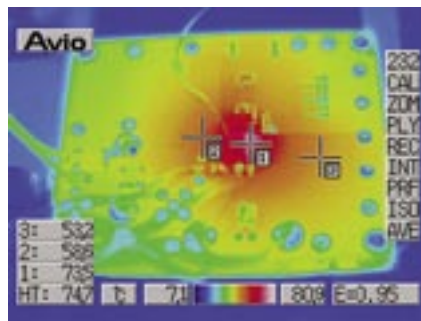


図6. ケース2のサーマルモデル



条件: 24Vから3.3V/10A, 25°C, エアフローなし。
 μ Moduleとメタルプレートのあいだに
 BERGQUIST "GAP PAD 1000"を使用。厚さ0.04, 2°C/W。
 (メタルプレート = 100mm×75mm×1.5mm)

図7. 24Vから3.3V/10AのLTM4600、PCBの裏側

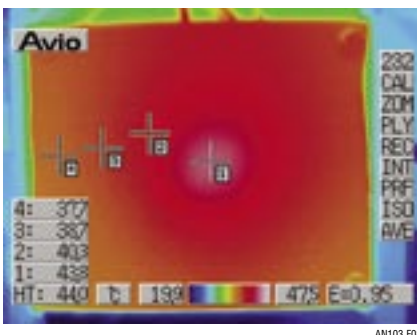
Application Note 103

このテストケースでは、パワーμModuleとメタルキャリアのあいだの熱的接続にBergquistの「ギャップ・パッド」を使用しています。条件は図7の下に注記されています。

写真の下に注記されている条件での33Wデザインのメタルプレートのイメージを図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、エアフローのもとではさらに良い結果を与えるでしょう。前の解析と似て、PCBの下側の平均温度は図7で約66°Cで、メタルプレートの平均温度は図8で約40°Cです。メタルプレートから周囲への熱抵抗 R_{MA} は、メタルプレートの大きな放熱面により、わずか約7.5°C/Wです。測定された接合部温度は約76°Cです。μModule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。μModuleとメタルプレートのあいだに使われているBergquistの「ギャップ・パッド」の熱抵抗は2°C/Wなので、「ギャップ・パッド」を取り去ると、これは改善されるでしょう。5°C/Wの別の熱抵抗の低下がμModuleとメタルプレートから「ギャップ・パッド」へのインタフェース

によって生じます。この全熱抵抗の低下は、μModule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・パッドへのインタフェース) 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、すべての熱抵抗を求めることができます。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μModule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12°C/Wです。

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下に示します。



条件: 24Vから3.3V/10A、25°C、エアフローなし。
 μModuleとメタルプレートのあいだに
 BERGQUIST "GAP PAD 1000"を使用。厚さ0.04、2°C/W。
 (メタルプレート = 100mm×75mm×1.5mm)

図8. 24Vから3.3V/10AのLTM4600、メタルプレートのイメージ

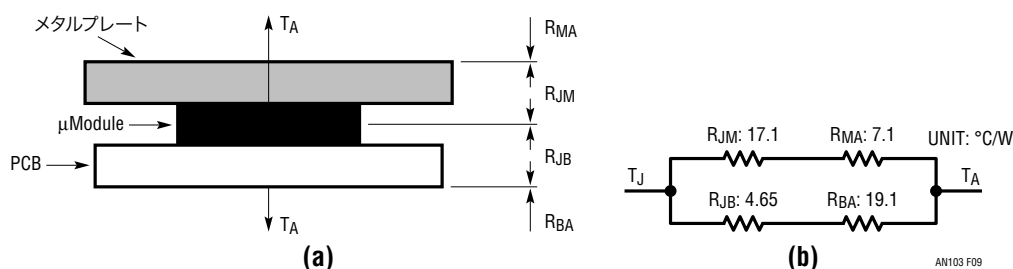


図9. ケース3のサーマルモデル

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。特性評価された動作条件のおよその θ_{JA} を確定するのを助けるため、電力損失曲線が与えられており、最終的には上のサーマルイメージと相関がとられます。電力損失曲線とディレーティング曲線は、われわれのおよその θ_{JA} と、エアフローを強めて減少させた θ_{JA} の相関をとるための表を作成するのに使われます。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。

負荷電流と入力電圧とともに1.5Vと3.3Vの電力損失曲線を図10と図11に示します。

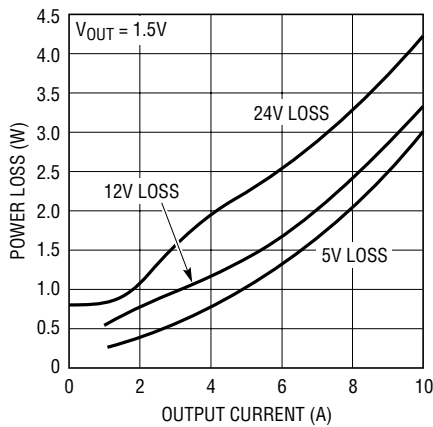


図10. 電力損失と負荷電流

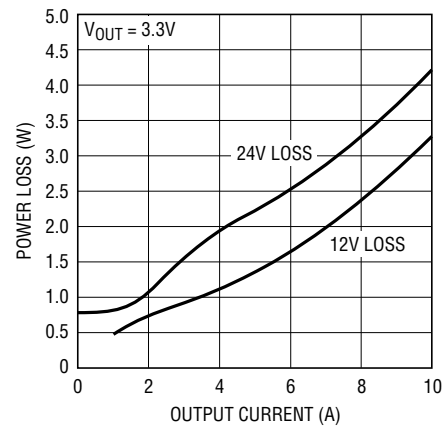


図11. 電力損失と負荷電流

ヒートシンクなしの列

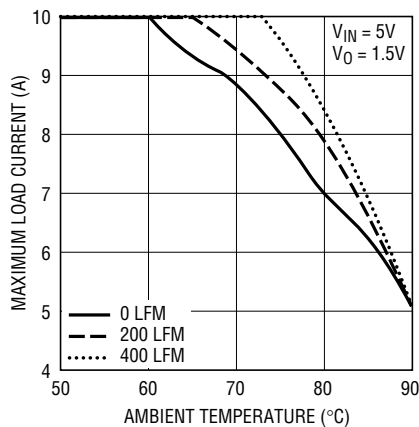


図12

BGA用ヒートシンクの列

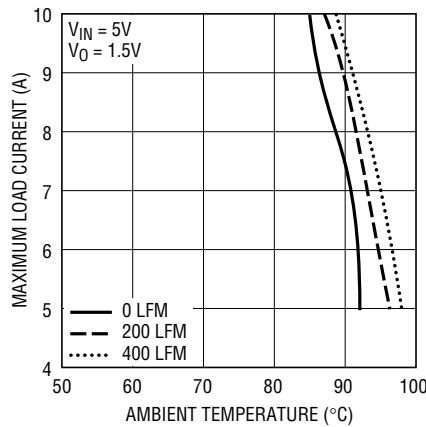


図13

ギャップ・パッド付き
メタルプレート

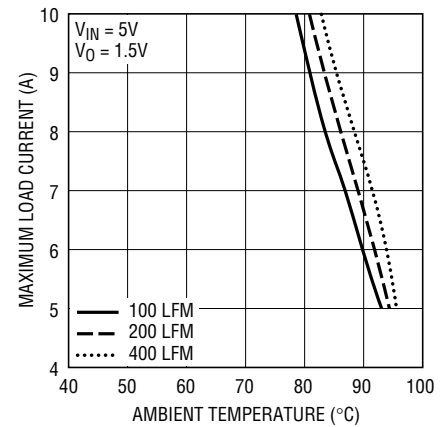


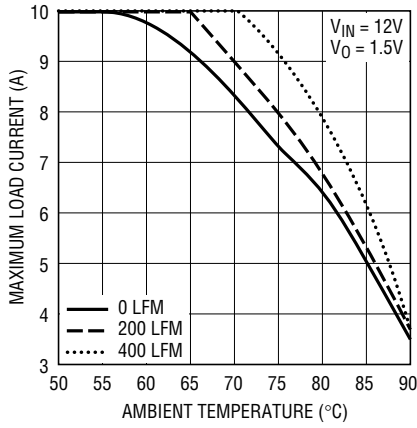
図14

図12、図13および図14は、5Vから1.5Vの場合の3つのディレーティング曲線と負荷電流、エアフロー、およびヒートシンクの有無です。図15、図16および図17は12Vから1.5V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から1.5V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から1.5Vの場合の、異なる負荷電流、異なるエアフロー、および異なるヒートシンクでの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から3.3V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。

Application Note 103

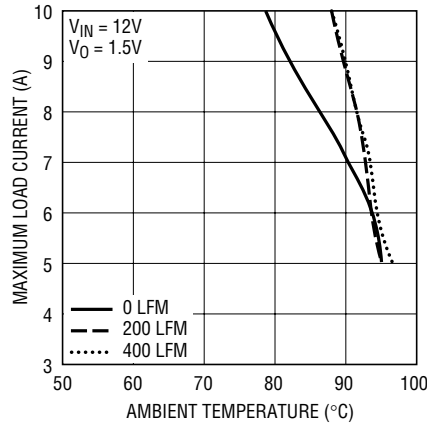
ヒートシンクなしの列



AN103 F15

図15

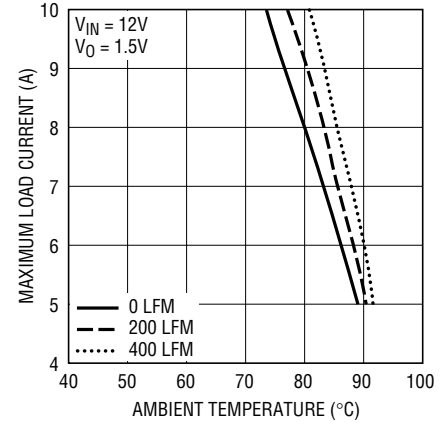
BGA用ヒートシンクの列



AN103 F16

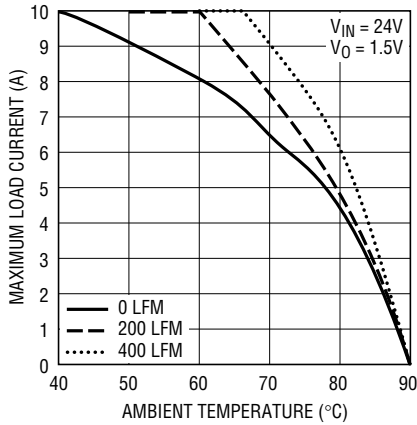
図16

ギャップ・パッド付き
メタルプレート



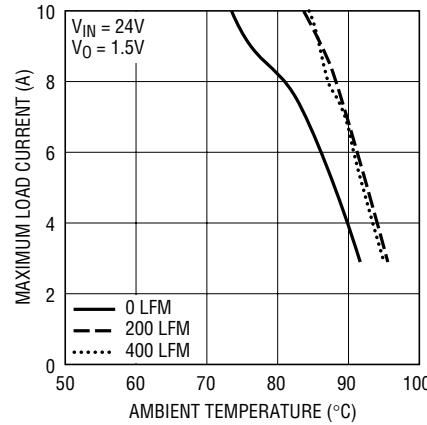
AN103 F17

図17



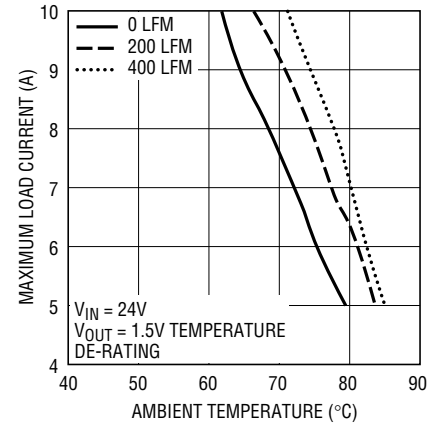
AN103 F18

図18



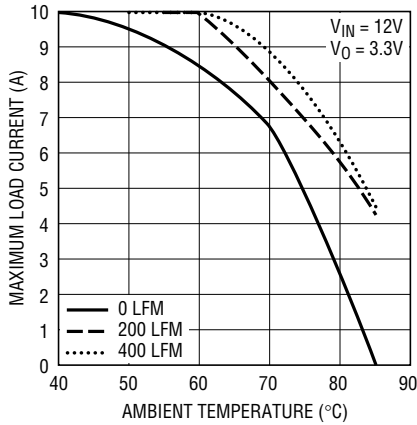
AN103 F19

図19



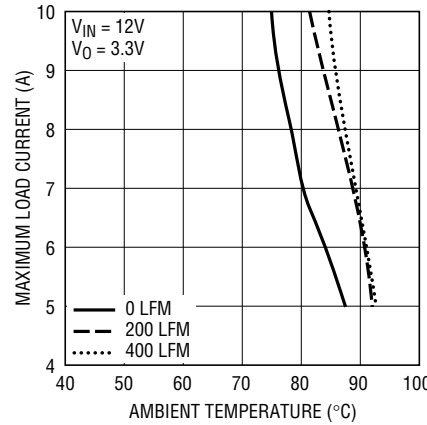
AN103 F20

図20



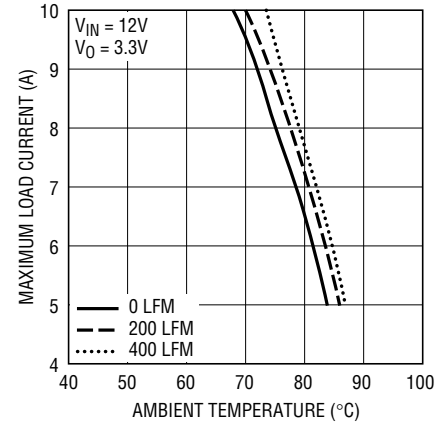
AN103 F21

図21



AN103 F22

図22

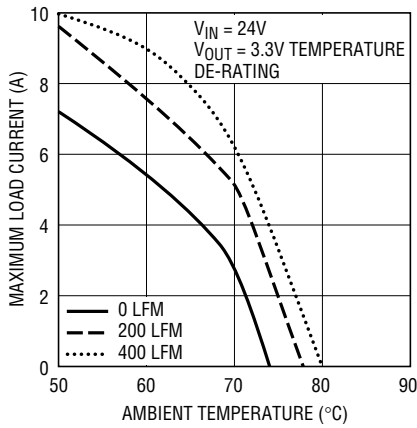


AN103 F23

図23

an103f

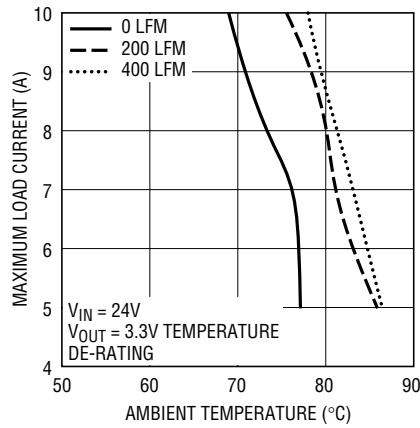
ヒートシンクなしの列



AN103 F24

図24

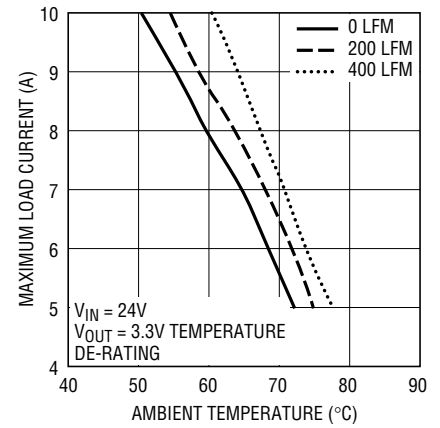
BGA用ヒートシンクの列



AN103 F25

図25

ギャップ・パッド付き
メタルプレート



AN103 F26

図26

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。負荷電流ディレーティング曲線のそれぞれは、増加した周囲温度の関数として最大負荷電流を下げて、パワー μ Moduleのケース温度を最大100°Cに保ちます。この最大100°Cは、6°C/W～9°C/Wの接合部からケースの熱抵抗 R_{JC} に伴う μ Module内部の約13°C～20°Cの上昇に対して余裕を持たせるためです。これにより、最大動作温度が125°Cより下に維持されます。正しい出力電圧に対応する各ディレーティング曲線と電力損失曲線を使って、その条件のおよその θ_{JA} を求めることができます。

まとめ

このアプリケーションノートのサーマルイメージのセクションでおよその θ_{JA} が経験的に求められました。データはエアフローなしで取られました。サーマルモデルから得られた θ_{JA} の値は、ヒートシンクなし、BGA用ヒートシンク付き、およびメタルプレート付きで、それぞれ15.2°C/W、13.9°C/Wおよび12°C/Wです。表1と表2のエアフローなしの θ_{JA} で、このデータは非常に良く相関がとれています。

Application Note 103

表1. 1.5V出力

DERATING CURVE	V _{IN} (V)	POWER LOSS CURVE	AIR FLOW (LFM)	HEATSINK	θ _{JA} (°C/W)
Figures 12, 15, 18	5, 12, 24	Figure 10	0	None	15.2
Figures 12, 15, 18	5, 12, 24	Figure 10	200	None	14
Figures 12, 15, 18	5, 12, 24	Figure 10	400	None	12
Figures 13, 16, 19	5, 12, 24	Figure 10	0	BGA Heatsink	13.9
Figures 13, 16, 19	5, 12, 24	Figure 10	200	BGA Heatsink	11.3
Figures 13, 16, 19	5, 12, 24	Figure 10	400	BGA Heatsink	10.25
Figures 14, 17, 20	5, 12, 24	Figure 10	0	Metal Plate	12
Figures 14, 17, 20	5, 12, 24	Figure 10	200	Metal Plate	9.5
Figures 14, 17, 20	5, 12, 24	Figure 10	400	Metal Plate	8.15

表2. 3.3V出力

DERATING CURVE	V _{IN} (V)	POWER LOSS CURVE	AIR FLOW (LFM)	HEATSINK	θ _{JA} (°C/W)
Figures 21, 24	12, 24	Figure 11	0	None	15.2
Figures 21, 24	12, 24	Figure 11	200	None	14.6
Figures 21, 24	12, 24	Figure 11	400	None	13.4
Figures 22, 25	12, 24	Figure 11	0	BGA Heatsink	13.9
Figures 22, 25	12, 24	Figure 11	200	BGA Heatsink	11.1
Figures 22, 25	12, 24	Figure 11	400	BGA Heatsink	10.5
Figures 23, 26	12, 24	Figure 11	0	Metal Plate	12
Figures 23, 26	12, 24	Figure 11	200	Metal Plate	10.8
Figures 23, 26	12, 24	Figure 11	400	Metal Plate	10.3

HEATSINK MANUFACTURER	PART NUMBER	PHONE NUMBER
Wakefield Engineering	CIS20069	603-635-2800
Bergquist Company	Gap Pad 1000SF	952-835-2322

このアプリケーションノートのカラー版は
www.linear.co.jp/micromoduleから入手できます。

an103f