

# 15V、4A 昇圧 $\mu$ Module レギュレータ

## 特長

- 実装面積が1cm<sup>2</sup>(片面PCB)または0.5cm<sup>2</sup>(両面PCB)以内の完全なソリューション
- 入力電圧範囲:1.8V~5.5V、起動後は最小0.7V
- 出力電圧範囲:2.5V~15V\*
- 4Aのスイッチ電流
- 2相動作
- 負荷、入力、温度の全範囲での全DC出力電圧レギュレーション:最大 $\pm 3\%$
- シャットダウン時の出力切断
- 突入電流の制限
- 外部周波数同期
- 選択可能なBurst Mode<sup>®</sup>動作
- 出力過電圧保護と過熱保護
- 6.25mm×6.25mm×2.42mm BGAパッケージ

## アプリケーション

- RF/マイクロ波パワーアンプ
- バッテリー駆動DCモータ
- 3.3Vバス電気通信用トランシーバ

## 概要

LTM<sup>®</sup>4661は、6.25mm×6.25mm×2.42mm BGAパッケージに収容された同期整流式昇圧スイッチング・モード $\mu$ Module<sup>®</sup>(パワーモジュール)レギュレータです。スイッチング・コントローラ、パワーFET、インダクタ、および全ての周辺部品がパッケージに搭載されています。LTM4661は、1.8V~5.5Vの入力電圧範囲で動作し、起動後は最小0.7Vでも動作します。出力電圧は1本の外付け抵抗で設定され、2.5V~15Vの電圧に安定化します。最大4Aのスイッチ電流を提供します。必要なのは入力と出力のバルク・コンデンサだけです。

LTM4661の1MHzスイッチング周波数と2フェーズ・シングル出力アーキテクチャにより、入力や負荷の変動に対する高速な過渡応答を実現し、出力リップル電圧を大きく低減できます。周波数同期のPolyPhase<sup>®</sup>動作と、選択可能なBurst Mode動作をサポートしています。

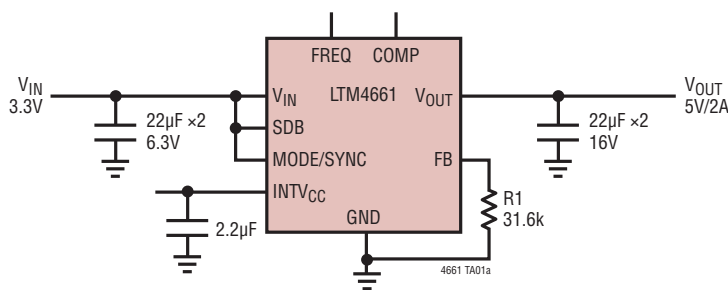
LTM4661は、シャットダウン時の真の出力切断と、起動時の突入電流制限を備えています。また、短絡、過電圧、過熱保護も備えています。

LTM4661は無鉛仕上げでRoHSに準拠しています。

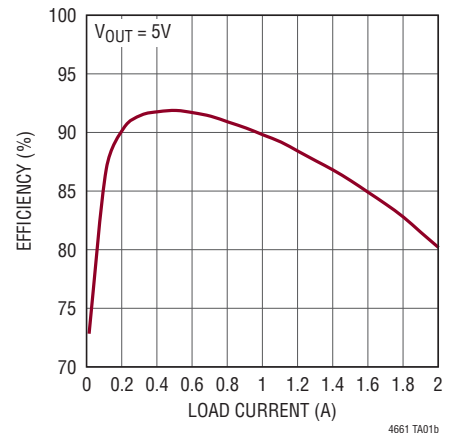
全ての登録商標および商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。

## 標準的応用例

5V/2A DC/DC 昇圧  $\mu$ Module レギュレータ



3.3V入力時の効率と出力電流



# LTM4661

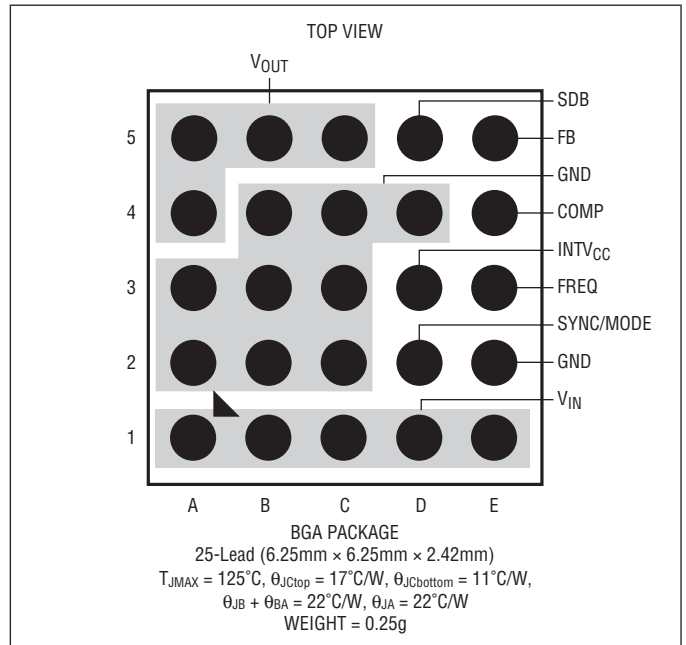
## 絶対最大定格

(Note 1)

$V_{IN}$ .....	-0.3V~6V
$V_{OUT}$ .....	-0.3V~18V
COMP、FREQ.....	-0.3V~INTVCC
SYNC/MODE、SDB.....	-0.3V~6V
動作内部温度範囲 (Note 2).....	-40°C~125°C
保存温度範囲.....	-55°C~125°C
半田リフローのピーク・ボディ温度.....	250°C

## ピン配置

(ピン機能、ピン配置の表を参照)



## 発注情報

<http://www.linear-tech.co.jp/product/LTM4661#orderinfo>

製品番号	パッド/ボール仕上げ	製品マーキング*		パッケージ・タイプ	MSL 定格	温度範囲 (Note 2)
		デバイス	仕上げコード			
LTM4661EY#PBF	SAC305 (RoHS)	LTM4661Y	e1	BGA	4	-40°C~125°C
LTM4661IY#PBF	SAC305 (RoHS)	LTM4661Y	e1	BGA	4	-40°C~125°C
LTM4661IY	SnPb (63/37)	LTM4661Y	e0	BGA	4	-40°C~125°C

• さらに広い動作温度範囲で規定されるデバイスについては、弊社または弊社代理店にお問い合わせください。\*パッドまたはボールの仕上げコードはIPC/JEDEC J-STD-609に準拠しています。

• 端子仕上げの製品マーキングの参照先: [www.linear-tech.co.jp/leadfree](http://www.linear-tech.co.jp/leadfree)

• 推奨のBGA PCBアセンブリ手順および製造手順についての参照先: [www.linear-tech.co.jp/umodule/pcbassembly](http://www.linear-tech.co.jp/umodule/pcbassembly)

• BGAパッケージおよびトレイの図面の参照先: [www.linear-tech.co.jp/packaging](http://www.linear-tech.co.jp/packaging)

## 電气的特性

●は規定された全内部動作温度範囲の規格値を意味する。それ以外は  $T_A = 25^\circ\text{C}$  (Note 2) での値。  $V_{IN} = 3.3\text{V}$ 、標準的応用例の構成による。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
スイッチング・レギュレータ部:チャンネル当たり						
$V_{IN}$	Input DC Voltage	$V_{OUT} \geq 2.5\text{V}$	● 0.7		5.5	V
$V_{IN(MIN)}$	Minimum Start-Up Voltage	$V_{OUT} = 0\text{V}$	●	1.6	1.8	
$V_{OUT(RANGE)}$	Output Voltage Range		● 2.5		15	V
$V_{OUT(DC)}$	Output Voltage, Total Variation with Line and Load	$R_{FB} = 31.6\text{k}$ , SYNC/MODE = INTV <sub>CC</sub> $V_{IN} = 3.3\text{V}$ , $V_{OUT} = 5\text{V}$ , $I_{OUT} = 0\text{A}$ to $2\text{A}$	● 4.85	5	5.15	V
$I_{Q(VIN)}$	Input Supply Bias Current	$V_{IN} = 3.3\text{V}$ , $V_{OUT} = 5\text{V}$ , SYNC/MODE = INTV <sub>CC</sub> , $I_{OUT} = 5\text{mA}$ $V_{IN} = 3.3\text{V}$ , $V_{OUT} = 5\text{V}$ , SYNC/MODE = GND, $I_{OUT} = 5\text{mA}$ Shutdown, SDB = 0, $V_{IN} = 3.3\text{V}$		10 8.5 0.5		mA mA μA
$I_{S(VIN)}$	Input Supply Current	$V_{IN} = 3.3\text{V}$ , $V_{OUT} = 5\text{V}$ , $I_{OUT} = 2\text{A}$		3.7		A
$I_{OUT(DC)}$	Output Continuous Current Range	$V_{IN} = 3.3\text{V}$ , $V_{OUT} = 5\text{V}$ (Note 4) $V_{IN} = 3.3\text{V}$ , $V_{OUT} = 12\text{V}$	0 0		2 0.7	A A
$\Delta V_{OUT}(\text{Line})/V_{OUT}$	Line Regulation Accuracy	$V_{OUT} = 12\text{V}$ , $V_{IN} = 1.8\text{V}$ to $5.5\text{V}$ , $I_{OUT} = 0\text{A}$	●	0.1	0.5	%/V
$\Delta V_{OUT}(\text{Load})/V_{OUT}$	Load Regulation Accuracy	$V_{IN} = 3.3\text{V}$ , $V_{OUT} = 5\text{V}$ , $I_{OUT} = 0\text{A}$ to $2\text{A}$	●	0.1	2	%
$V_{OUT(AC)}$	Output Ripple Voltage	$I_{OUT} = 0\text{A}$ , $C_{OUT} = 2 \times 22\mu\text{F}$ Ceramic $V_{IN} = 3.3\text{V}$ , $V_{OUT} = 5\text{V}$		3		mV
$\Delta V_{OUT(START)}$	Turn-On Overshoot	$I_{OUT} = 0\text{A}$ , $C_{OUT} = 2 \times 22\mu\text{F}$ Ceramic, $V_{IN} = 3.3\text{V}$ , $V_{OUT} = 5\text{V}$		30		mV
$t_{START}$	Turn-On Time	$C_{OUT} = 100\mu\text{F}$ Ceramic, No Load, $V_{IN} = 3.3\text{V}$ , $V_{OUT} = 5\text{V}$		10		ms
$\Delta V_{OUTLS}$	Peak Deviation for Dynamic Load	Load:0% to 25% to 0% of Full Load $C_{OUT} = 100\mu\text{F}$ Ceramic, $V_{IN} = 3.3\text{V}$ , $V_{OUT} = 5\text{V}$		200		mV
$t_{SETTLE}$	Settling Time for Dynamic Load Step	Load:0% to 25% to 0% of Full Load $C_{OUT} = 100\mu\text{F}$ Ceramic, $V_{IN} = 3.3\text{V}$ , $V_{OUT} = 5\text{V}$		500		μS
$V_{FB}$	Voltage at V <sub>FB</sub> Pin	$I_{OUT} = 0\text{A}$ , $V_{IN} = 3.3\text{V}$ , $V_{OUT} = 5\text{V}$ , SYNC/MODE = INTV <sub>CC</sub>	● 1.17	1.2	1.23	V
$I_{FB}$	Current at V <sub>FB</sub> Pin	(Note 7)		1	50	nA
$R_{FBHI}$	Resistor Between V <sub>OUT</sub> and V <sub>FB</sub> Pins		99.5	100	100.5	kΩ
Duty(MIN)	Minimum Duty Cycle	FB = 1.4V (Note 7)			0	%
Duty(MAX)	Maximum Duty Cycle	FB = 1.0V (Note 7)	90	94		%
SDB Input Voltage		SDB Input High SDB Input Low		1.2 0.35		V V
$I_{SDB}$	SDB Input Current	SDB = 5.5V		1	2	μA
$V_{INTVCC}$	Internal V <sub>CC</sub> Voltage	$V_{IN} < 2.8\text{V}$ , $V_{OUT} > 5\text{V}$	3.9	4.25	4.6	V
$f_{OSC}$	Switching Frequency			1		MHz
SYNC Range	SYNC Frequency Range		0.5		1.5	MHz
MODE/SYNC		Sync Input High Voltage Sync Input Low Voltage		1.6 0.35		V V
$I_{MODE/SYNC}$	SDB = 5.5V			1	2	μA

## 電気的特性

**Note 1:** 絶対最大定格に記載された値を超えるストレスはデバイスに永続的損傷を与える可能性があります。また、長期にわたって絶対最大定格条件に曝すと、デバイスの信頼性と寿命に悪影響を与えるおそれがあります。

**Note 2:** LTM4661は $T_J$ が $T_A$ にほぼ等しいパルス負荷条件でテストされる。LTM4661Eは、 $0^\circ\text{C}$ ~ $125^\circ\text{C}$ の内部動作温度範囲で性能仕様に適合することが保証されている。 $-40^\circ\text{C}$ ~ $125^\circ\text{C}$ の全内部動作温度範囲での仕様は設計、特性評価および統計的なプロセス・コントロールとの相関で確認されている。LTM4661は $-40^\circ\text{C}$ ~ $125^\circ\text{C}$ の全内部動作温度範囲で仕様に適合することが保証されている。これらの仕様を満たす最大周囲温度は、基板レイアウト、パッケージの定格熱抵抗および他の環境要因と関連した特定の動作条件によって決まることに注意。

**Note 3:** 最小オン時間の条件は、 $I_{\text{MAX}}$ の負荷の約40%のピーク・トゥ・ピーク・インダクティブ・リップル電流に対して規定される。(「アプリケーション情報」のセクションを参照。)

**Note 4:** 異なる $V_{\text{IN}}$ 、 $V_{\text{OUT}}$ 、および $T_A$ については出力電流のディレーティング曲線を参照。

**Note 5:** RUNピンに流れ込む電流を2mA未満に制限する。

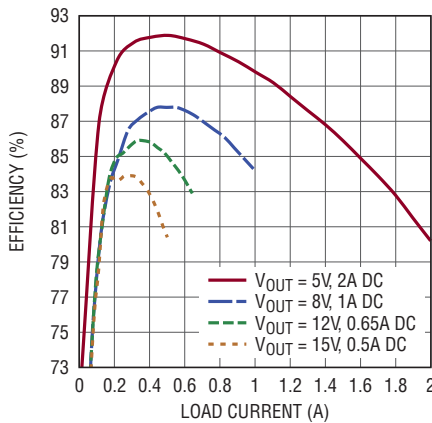
**Note 6:** 設計により保証されている。

**Note 7:** ウェハ・レベルで全数テストされる。

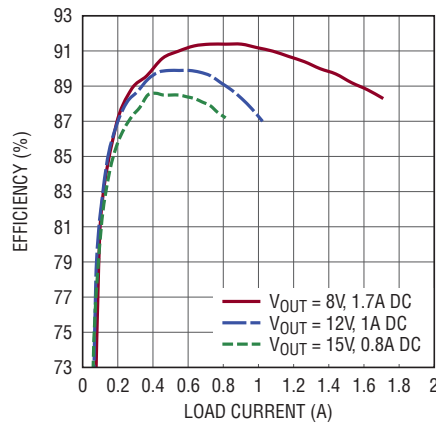
**Note 8:** LTM4661は、瞬間的な過負荷状態時にデバイスを保護するための過熱保護機能を備えている。接合部温度が $170^\circ\text{C}$ を超えそうになると、過熱シャットダウン機能が作動する。規定された最大動作接合部温度を超える動作が継続するとデバイスの劣化または故障が生じる恐れがある。

## 標準的性能特性

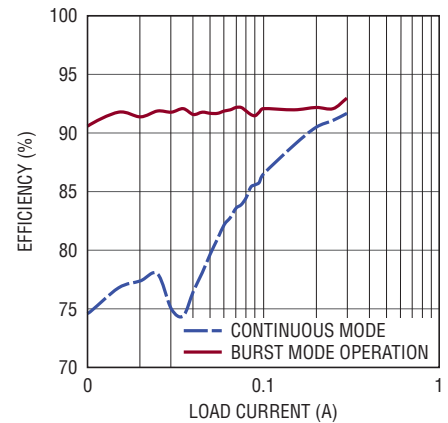
効率と出力電流 ( $V_{\text{IN}} = 3.3\text{V}$ )



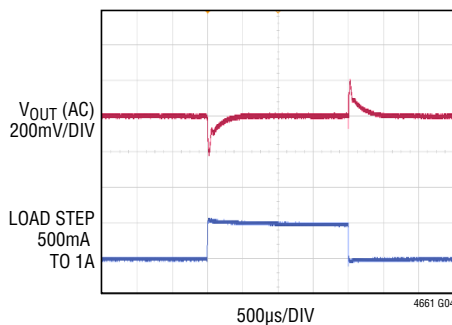
効率と出力電流 ( $V_{\text{IN}} = 5\text{V}$ )



Burst Modeと連続モードの効率 ( $V_{\text{IN}} = 3.3\text{V}$ )

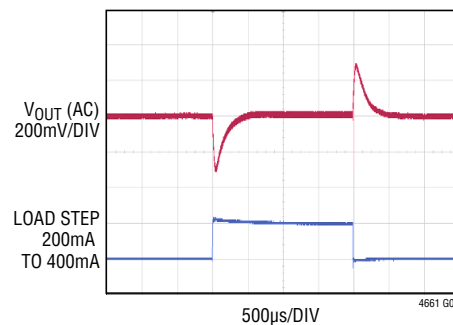


5V出力負荷過渡応答



$V_{\text{IN}} = 3.3\text{V}$ ,  $V_{\text{OUT}} = 5\text{V}$   
 $f_{\text{S}} = 1\text{MHz}$  (DEFAULT)  
 500mA TO 1A LOAD STEP  
 $C_{\text{OUT}} = 2 \times 22\mu\text{F}$  CERAMIC

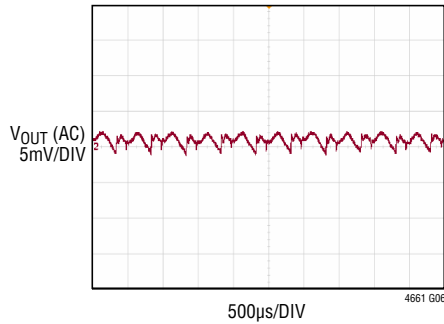
12V出力負荷過渡応答



$V_{\text{IN}} = 3.3\text{V}$ ,  $V_{\text{OUT}} = 12\text{V}$   
 $f_{\text{S}} = 1\text{MHz}$  (DEFAULT)  
 200mA TO 400mA LOAD STEP  
 $C_{\text{OUT}} = 2 \times 22\mu\text{F}$  CERAMIC

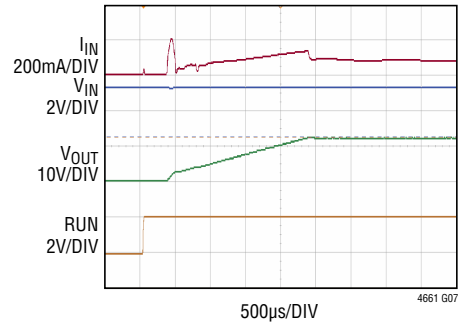
## 標準的性能特性

安定状態での出力リップル



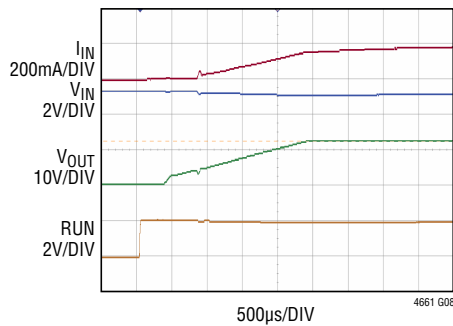
$V_{IN} = 3.3V$ ,  
 $V_{OUT} = 5V$   
 $f_S = 1MHz$  (DEFAULT)  
 $C_{OUT} = 2 \times 22\mu F$  CERAMIC

無負荷での起動波形



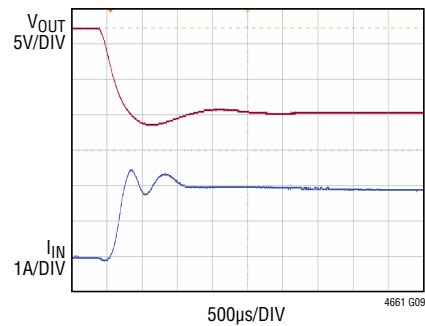
$V_{IN} = 3.3V$ ,  
 $V_{OUT} = 12V$   
 $f_S = 1MHz$  (DEFAULT)  
 $C_{OUT} = 2 \times 22\mu F$  CERAMIC

0.5A 負荷での起動波形



$V_{IN} = 3.3V$ ,  
 $V_{OUT} = 12V$   
 $f_S = 1MHz$  (DEFAULT)  
 $C_{OUT} = 2 \times 22\mu F$  CERAMIC

短絡に対する応答



$V_{IN} = 3.3V$ ,  
 $V_{OUT} = 12V$   
 $f_S = 1MHz$  (DEFAULT)  
 $C_{OUT} = 2 \times 22\mu F$  CERAMIC

## ピン機能

**V<sub>IN</sub> (A1, B1, C1, D1, E1)** : 電源入力ピン。これらのピンとGNDピンの間に入力電圧を印加します。入力デカップリング・コンデンサはV<sub>IN</sub>ピンとGNDピンの間に直接配置することを推奨します。

**V<sub>OUT</sub> (A4, A5, B5, C5)** : スイッチング・モード・レギュレータの電源出力ピン。これらのピンとGNDピンの間に出力負荷を接続します。出力デカップリング・コンデンサはこれらのピンとGNDピンの間に直接配置することを推奨します。

**GND (A2, A3, B2~B4, C2~C4, D4, E2)** : 入力帰路と出力帰路の両方の電源グランド・ピン。

**SYNC/MODE (D2)** : Burst Mode動作の選択ピン、および位相検出器への外部同期入力ピン。モジュールを強制連続モードで動作させるには、このピンをINTV<sub>CC</sub>に接続します。Burst Mode動作をイネーブルするには、このピンをGNDに接続します。このピンに100nsを超えるクロックを印加すると、モジュールが強制的に連続モードに設定され、印加された外部クロックに同期します。外部クロック周波数はFREQピンによってプログラムされる自走周波数より高くする必要があります。「アプリケーション情報」セクションの「周波数のプログラミング」を参照してください。

**INTV<sub>CC</sub> (D3)** : 内部レギュレータの出力。内部パワー・ドライバおよび制御回路はこの電圧から電力を供給されます。このピンは、2.2μF以上の低ESRセラミック・コンデンサで電源グランドにデカップリングします。INTV<sub>CC</sub>電圧は、V<sub>IN</sub>または4.25Vのいずれか低い方の値で安定化されます。V<sub>OUT</sub>がV<sub>IN</sub>より高

い状態でV<sub>IN</sub>が3V未満に低下した場合、INTV<sub>CC</sub>はV<sub>OUT</sub>または4.25Vのいずれか低い方の値にほぼ等しい値で安定化されます。INTV<sub>CC</sub>が1.5V(標準)未満に低下すると、UVLOイベントが生成されます。

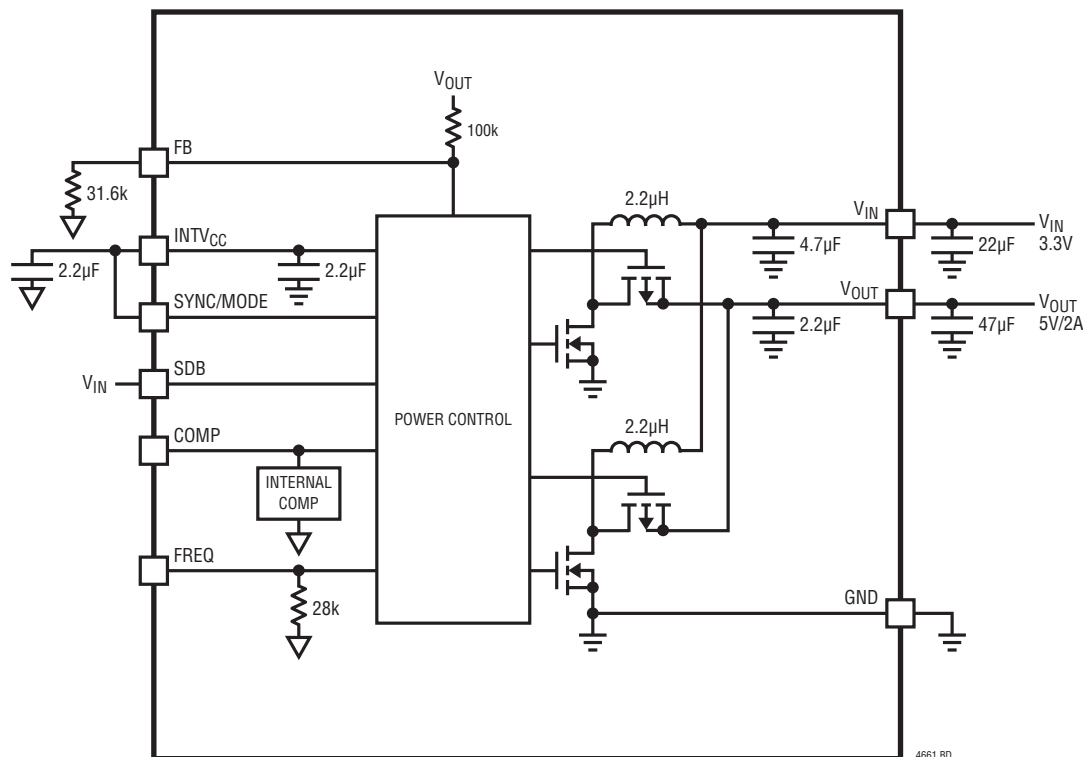
**FREQ (E3)** : 周波数は内部で1MHzに設定されます。外付け抵抗をこのピンとグランドの間に接続して周波数を高くするか、またはこのピンとINTV<sub>CC</sub>の間に接続して周波数を低くすることができます。周波数の調整については「アプリケーション情報」のセクションを参照してください。

**SDB (D5)** : μModuleレギュレータのシャットダウン制御入力。このピンが1.6Vを超えると、通常の自走動作がイネーブルされます。このピンを0.25Vより低い電圧に引き下げると、レギュレータはオフし、静止電流は1μA未満になります。このピンはフロート状態のままにしないでください。

**COMP (E4)** : スイッチング・モード・レギュレータの電流制御しきい値およびエラーアンプ補償ポイント。並列動作を行うにはCOMPピンを相互に接続します。このデバイスは内部補償されています。

**FB (E5)** : スイッチング・モード・レギュレータのエラーアンプの負入力。このピンは内部で100kΩ 0.5%の高精度抵抗を介してV<sub>OUT</sub>に接続されています。FBピンとGNDピンの間に抵抗を追加して、異なった出力電圧をプログラムすることができます。PolyPhase動作では、FBピンを相互接続することによって並列動作が可能になります。詳細については「アプリケーション情報」のセクションを参照してください。

## ブロック図



## 動作

LTM4661は2フェーズ・シングル出力の独立型非絶縁昇圧スイッチング・モードDC/DC電源です。本モジュールは、高精度に安定化された出力電圧を提供します。出力電圧は1本の外付け抵抗によって1.2V～15Vの範囲で設定可能で、わずかな数の外付け入力/出力セラミック・コンデンサで最大4Aのスイッチ電流(表1を参照)を供給します。また、1.8Vという低い入力電圧で起動し、わずか0.7Vの入力電圧でも動作を維持して、2.5Vを超える出力電圧を供給することができます。標準的応用例の回路図を図17に示します。

LTM4661は、固定周波数電流モード・レギュレータ、パワーMOSFET、インダクタ、その他のディスクリートの周辺部品を内蔵しています。デフォルトのスイッチング周波数は1MHzです。スイッチング・ノイズの影響を受けやすいアプリケーションでは、スイッチング周波数を外付け抵抗によって調整できます。また、µModuleレギュレータは、最小100nsのクロックに外部同期することができます。

電流モード制御と内部帰還ループ補償により、LTM4661モジュールは、広範囲の出力コンデンサを使って(全てセラミック出力コンデンサを使用する場合でも)十分に余裕のある安定性と良好なトランジェント性能を達成します。

SDBピンを1.6Vより高い電圧に引き上げるとモジュール動作がイネーブルされ、0.25Vより低い電圧に強制的に引き下げるとモジュールはオフし、静止電流は1µA未満になります。軽負荷電流では、SYNC/MODEピンの電圧をGNDに設定することにより、Burst Mode動作をイネーブルして、連続モード(CCM)に比べて高い効率を達成することができます。また、10msソフトスタート機能を搭載しているため、起動時の突入電流を制限し、設計プロセスを簡素化して、外付け部品数を最小限に抑えることができます。

## アプリケーション情報

LTM4661の標準的なアプリケーション回路を図17に示します。外部部品の選択は主に、入力電圧、出力電圧、および最大負荷電流で決まります。

### 最小入力電圧

LTM4661は、1.8Vという低い入力電圧でも起動できるように設計されています。 $V_{OUT}$ が2.5Vを超えると、LTM4661は、 $V_{IN}$ が0.7Vまで低下しても出力の安定化を維持します。この機能は、入力ソースから最大限のエネルギーを引き出せるようにすることで、動作時間を拡大します。利用を制限する要素は、低入力電圧時に出力へ十分な電力を供給するための電力源を使用できるかどうかと、94%にクランプされる最大デューティ・サイクルです。

昇圧コンバータでは、デューティ・サイクルは以下の式で計算できます。

$$D = 1 - \frac{V_{IN} \cdot \eta}{V_{OUT}}$$

ここで、 $\eta$ はコンバータの効率です。85%は、スタートポイントとして良い見積もりです。

入力電圧が低い場合は、直列抵抗による電圧降下も非常に重要な要素となり、コンバータの電力供給能力が大きく制限されます。

### 出力電流供給能力

LTM4661は最大4Aのスイッチ電流を供給するように設計されています。昇圧コンバータの性質上、実際の出力電流供給能力は、入力電圧/出力電圧の比に大きく依存します。ピーク・インダクタ電流は、スイッチ電流と同じで、昇圧コンバータでは以下の式で計算できます。

$$I_{SW} = \frac{V_{IN} \cdot D}{2 \cdot f_s \cdot L} + \frac{I_{OUT}}{1-D}$$

ここで、Dは上述のデューティ・サイクルで、 $f_s = 1\text{MHz}$ 、 $L = 2.2\mu\text{H}/2 = 1.1\mu\text{H}$ です。

一般的な入力値と出力値に基づいて、表1は、LTM4661モジュールのさまざまな出力電流供給能力を示します。

表1. 出力電流供給能力と入力電圧

$V_{IN}$ (V)	3.3				5		
$V_{OUT}$ (V)	5	8	12	15	8	12	15
出力電流 (A)	1.9	1	0.7	0.5	1.7	1	0.7
効率 (%)	82	84	83	81	88	87	88
ピーク・スイッチ電流 (A)	4	3.8	3.9	4	3.94	4.1	4.1

### 出力電圧のプログラミング

PWMコントローラには1.2Vの内部リファレンス電圧があります。「ブロック図」に示すように、 $V_{OUT}$ ピンとFBピンは100k、0.5%の内部帰還抵抗によって相互に接続されます。FBピンとGNDの間に抵抗 $R_{FB}$ を追加すると、出力電圧は次のように設定されます。

$$R_{FB} = \frac{1.2V}{V_{OUT} - 1.2V} \cdot 100k$$

表2. 各種出力電圧に対する $V_{FB}$ 抵抗値

$V_{OUT}$ (V)	1.2	2.5	3.3	5	8	12	15
$R_{FB}$ (k)	開放	93.1	57.6	31.6	17.8	11.0	8.66

N個のLTM4661モジュールを並列動作させる場合は、次式を使って $R_{FB}$ を求めることができます。

$$R_{FB} = \frac{1.2V}{V_{OUT} - 1.2V} \cdot \frac{100k}{N}$$

### マルチフェーズ動作

LTM4661は、他の昇圧コンバータのような従来の1フェーズ・アーキテクチャではなく、独自の2フェーズ・シングル出力アーキテクチャを採用しています。2つのフェーズを180°の位相差で等間隔にインターリーブすることで、入力と出力両方の電流リップルと、入力と出力に必要なデカップリング・コンデンサの容量を大きく削減できます。



## アプリケーション情報

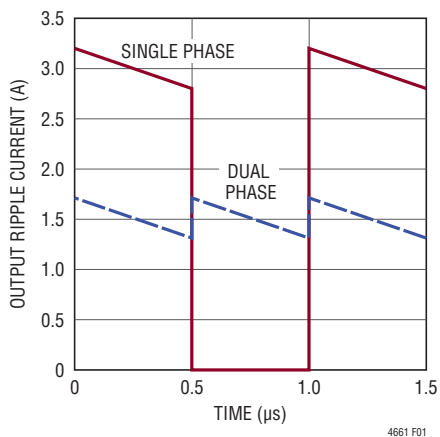


図1.1 フェーズおよび2フェーズ昇圧コンバータの出力リップル電流の比較

### 入力デカップリング・コンデンサ

LTM4661 モジュールは低 AC インピーダンスの DC 電源に接続する必要があります。各モジュールには、RMS リップル電流のデカップリングのため、1 個の 10 $\mu$ F の入力セラミック・コンデンサが必要です。バルク入力コンデンサは、長い誘導性のリードやトレースまたは電源の容量不足によって入力電源インピーダンスが損なわれる場合にだけ必要です。バルク・コンデンサは、アルミ電解コンデンサおよびポリマー・コンデンサでもかまいません。

### 出力デカップリング・コンデンサ

高い周波数と広い帯域幅に合わせて最適化された 2 フェーズ・インターリーブ設計により、22 $\mu$ F の低 ESR の出力セラミック・コンデンサを 1 つ取り付けるだけで、各 LTM4661 モジュールは低い出力リップル電圧と非常に良好なトランジェント応答を実現できます。出力リップルや動的トランジェント・スパイクを更に低減するために、システム設計者による出力フィルタの追加が必要になる場合があります。出力リップル、安定性、過渡応答解析のため、LTpowerCAD<sup>®</sup> 設計ツールをオンラインでダウンロードすることができます。

### ソフトスタート

LTM4661 には、ソフトスタート動作を実行する回路が組み込まれています。ソフトスタートは、エラーアンプのリファレンス電圧がゼロからのその公称値である 1.2V まで約 10ms で線形に上昇する動作を利用するもので、内部制御ループが  $V_{OUT}$  をゼロから最終設定値までドライブします。これによって、入力ソースからの突入電流が制限されます。そのため、ソフトス

タートの継続時間が、出力コンデンサのサイズや出力安定化電圧に影響されることはありません。ソフトスタート時間は、SDB のシャットダウン・コマンド、INTV<sub>CC</sub> の UVLO イベント (INTV<sub>CC</sub> < 1.5V)、 $V_{OUT}$  の過電圧イベント ( $V_{OUT} \geq 16.5V$ )、または過熱イベント (ダイ温度が 170°C を超えるとサーマル・シャットダウンが実行される) によってリセットされます。これらのフォルト状態が解消されると、LTM4661 は出力電圧のソフトスタートを開始します。

### Burst Mode 動作

軽負荷電流での高い効率が出力電圧リップルよりも重要なアプリケーションでは、SYNC/MODE ピンを GND に接続して Burst Mode 動作を使用し、軽負荷時の効率を向上できます。Burst Mode 動作における出力電流 ( $I_{OUT}$ ) 能力は連続電流動作モード (CCM) に比べてかなり低く、図 2 に示すように  $V_{IN}$  および  $V_{OUT}$  に従って変化します。LTM4661 は、ソフトスタート時に Burst Mode 動作が指示されたとしても、CCM モードで動作します。

Burst Mode 動作時は LTM4661 の 1 つのフェーズのみが動作し、もう一方のフェーズはディスエーブルされています。フェーズのインダクタ電流は、N チャネル MOSFET スイッチをオンすることによって、まず約 700mA まで増大します。この時点で N チャネル・スイッチがオフし、P チャネル同期スイッチがオンして、出力に電流が供給されます。インダクタ電流がほぼゼロまで低下すると、サイクルが繰り返されます。Burst Mode 動作時は、公称レギュレーション値に達するまで出力にエネルギーが供

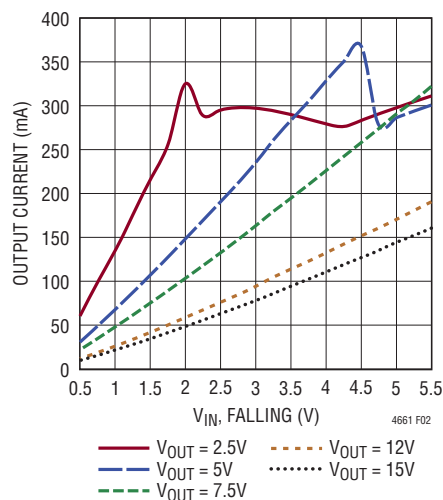


図2. Burst Mode の出力電流と  $V_{IN}$

## アプリケーション情報

給されます。公称レギュレーション値に達すると、LTM4661は静止電流が非常に少ないスリープ・モードに移行します。スリープ・モードでは出力スイッチがオフし、LTM4661はわずか25 $\mu$ Aの静止電流しか消費しません。出力電圧が約1%垂下すると、スイッチングが再開されます。これによってスイッチング損失と静止電流損失が最小限に抑えられ、負荷が非常に軽い場合の効率を最大限まで高めることができます。Burst Mode動作時の出力電圧リップルは、ピーク・トゥ・ピークで標準1%~2%です。出力容量を追加するか(22 $\mu$ F以上)、V<sub>OUT</sub>とFBの間に小さいフィードフォワード・コンデンサ(10pF~50pF)を追加すれば、出力リップルをさらに減らすことができます。

### 動作周波数

LTM4661の動作周波数は、小型パッケージ・サイズと最小出力リップル電圧を達成し、なおかつ高い効率を維持するように最適化されています。デフォルトの動作周波数は内部で1MHzに設定されています。ほとんどのアプリケーションでは、追加の周波数調整は必要ありません。

1MHz以外の動作周波数がアプリケーションによって要求される場合は、図18に示すように、FREQピンとGNDの間に抵抗R<sub>FSSET</sub>を追加して動作周波数を高くすることができます。動作周波数は次式で計算することができます。

$$f_s(\text{MHz}) = \frac{28 + R_{\text{FSSET}}(\text{k}\Omega)}{R_{\text{FSSET}}(\text{k}\Omega)}$$

### 周波数同期

SYNC/MODEピンに望みの周波数の2倍のクロックを印加することにより、LTM4661のスイッチング周波数を希望する周波数に同期させることができます。また、自走周波数は望みの周波数の約80%に調整する必要があります。外付けR<sub>FSSET</sub>抵抗の値を計算するには、「動作周波数」セクションに記載した式を使用してください。

たとえば、LTM4661を1.5MHzのスイッチング周波数に同期する必要がある場合、FREQピンとGNDの間に140k $\Omega$ のR<sub>FSSET</sub>抵抗を追加して自走周波数を1.2MHzに設定したうえで、3MHzの外部クロックをSYNC/MODEピンに供給する必要があります。

### シャットダウン

昇圧コンバータはSDBを0.25V未満にすることでディスエーブルされ、SDBを1.6Vより高くすることでイネーブルされます。SDBピンは、絶対最大定格値よりも小さい値に制限されていれば、V<sub>IN</sub>またはV<sub>OUT</sub>より高い値にドライブすることができます。

### サーマル・シャットダウン

LTM4661は、ダイの温度が170°C(標準)を超えるとサーマル・シャットダウン(TSD)されます。この場合はダイ温度が約7°C低下するまで全てのスイッチがオフされ、温度が7°C低下した時点でデバイスがソフトスタートを再開して、スイッチングが再度イネーブルされます。

### 出力切断

LTM4661の出力切断機能は、内部PチャネルMOSFET整流器のボディ・ダイオードが導通するのを防止します。この機能によってシャットダウン時にV<sub>OUT</sub>を0Vまで放電し、入力ソースから電流が流れないようにすることができます。また、起動時に突入電流が制限されるので、入力電源から見たサージ電流が最小限に抑えられます。出力切断機能により、V<sub>IN</sub>に接続された電源に逆給電することなくV<sub>OUT</sub>を“H”にすることも可能です。

### 短絡保護

LTM4661の出力切断機能により、設定された最大電流制限を維持しながら、出力短絡保護を行うことができます。過負荷状態や短絡状態での電力損失を小さくするために、ピーク・スイッチ電流制限値は約2Aに抑えられています。V<sub>OUT</sub>が約1.5Vを超えると、電流制限値は公称値の3.5Aピーク・スイッチング電流/フェーズにリセットされます。

### 出力過電圧保護

V<sub>OUT</sub>が約16.5Vを超えると過電圧状態が発生し、スイッチングがディスエーブルされて、内部ソフトスタートがリセットされます。V<sub>OUT</sub>が約16Vを下回ると、ソフトスタートが開始されてスイッチングを再開することができます。出力容量C<sub>OUT</sub>と出力負荷抵抗R<sub>OUT</sub>の時定数が、約10msのソフトスタート時間に近いか大きくなるくらい、昇圧コンバータ出力の負荷が軽い場合、スイッチング再開前か再開直後にソフトスタート過程が終了する場合があります。過電圧イベント後の閉ループ・ソフトスタートの突入電流が、制限されなくなります。

## アプリケーション情報

### 熱に関する検討事項と出力電流のディレーティング

データシートの「ピン配置」セクションに記載された熱抵抗は、JESD 51-9に定義されたパラメータと整合しています。これらのパラメータは、有限要素解析 (FEA) ソフトウェアのモデリング・ツールでの使用を意図したものです。モデリング・ツールでは、JESD 51-9 (“Test Boards for Area Array Surface Mount Package Thermal Measurements”)によって定義されたハードウェア・テストボードに $\mu$ Moduleパッケージを実装して行われたハードウェア評価で得られた熱的モデリング、シミュレーション、相関の結果を使用します。これらの熱係数を示す意図は、JESD51-12 (“Guidelines for Reporting and Using Electronic Package Thermal Information”)に示されています。

多くの設計者は、さまざまな電気的および環境的動作条件で動作する実際のアプリケーションにおける $\mu$ Moduleレギュレータの熱性能を予測するのに、実験室の装置およびデモボードのようなテスト手段の使用を選択して、FEAの作業を補強できます。FEAソフトウェアを使用しない場合、「ピン配置」セクションに記載された熱抵抗は、それだけでは熱性能の目安を示すことになりません。むしろ、このデータシートに示されたディレーティング曲線を使った方が、アプリケーションへの適用方法に沿った見通しと参考情報が得られ、熱性能をユーザー独自のアプリケーションと対応付けるようにディレーティング曲線を適合させることができます。

「ピン配置」セクションには、通常はJESD51-12に明示的に定義されている4つの熱係数を示しています。これらの係数について以下に示します。

1.  $\theta_{JA}$  (接合部から周囲までの熱抵抗) は、1立方フィートの密閉された筐体内で測定された、接合部から自然対流する周囲の空気までの熱抵抗です。この環境は、自然対流により空気が移動しますが、「静止空気」と呼ばれることがあります。この値は、JESD51-9で定義されているテストボードに実装したデバイスを使って決定されます。このテストボードは実際のアプリケーションまたは実現可能な動作条件を反映するものではありません。
2.  $\theta_{JCbottm}$  (接合部から製品のケースの底面までの熱抵抗) は、部品の全電力損失がパッケージの底面を流れて出す場合の接合部から基板までの熱抵抗です。この環境は、自然対流により空気が移動しますが、「静止空気」と呼ばれることがあります。この値は、JESD51-9で定義されているテストボードに実装したデバイスを使って決定されます。このテストボードは実際のアプリケーションまたは実現可能な動作条件を反映するものではありません。
3.  $\theta_{JCTop}$  (接合部から製品のケースの上面までの熱抵抗) は、部品のほぼ全電力損失がパッケージの上面を流れて出す状態で決定されます。標準的 $\mu$ Moduleの電気的接続はパッケージの底部なので、接合部からデバイスの頂部に熱の大半が流れるようにアプリケーションが動作することは稀です。 $\theta_{JCbottm}$  の場合のように、この値はパッケージの比較には役立ちますが、このテスト条件は一般にユーザーのアプリケーションに合致しません。
4.  $\theta_{JB}$  (接合部からプリント回路基板までの熱抵抗) は、熱の大部分が $\mu$ Moduleの底部を流れて基板に流れ出すときの接合部から基板までの熱抵抗であり、実際には、 $\theta_{JCbottm}$  と、デバイスの底部から半田接合部を通り、基板の一部までの熱抵抗の和です。基板の温度は、両面の2層基板を使って、パッケージからの規定された距離で測定されます。この基板はJESD51-9に記述されています。

前述の熱抵抗を図式化したものが図3です。青色の部分は $\mu$ Moduleレギュレータ内部の熱抵抗、緑色の部分は $\mu$ Moduleの外部に存在する熱抵抗です。

実際には、JESD51-12または「ピン配置」で定義されている4種類の熱抵抗パラメータの個々のものまたはサブグループは、 $\mu$ Moduleの通常の動作条件を再現または表現するものではないことに注意してください。例えば、標準規格では $\theta_{JCTop}$ および $\theta_{JCbottm}$ を個別に定義していますが、通常の基板実装アプリケーションでは、 $\mu$ Moduleの全電力損失 (熱) の100%がパッケージの上面だけまたは底面だけを通して熱的に伝達されることはありません。実際には、電力損失はパッケージの両面から熱的に放散されます。ヒートシンクと空気流がない場合には、当然、熱流の大部分は基板に流れます。

## アプリケーション情報

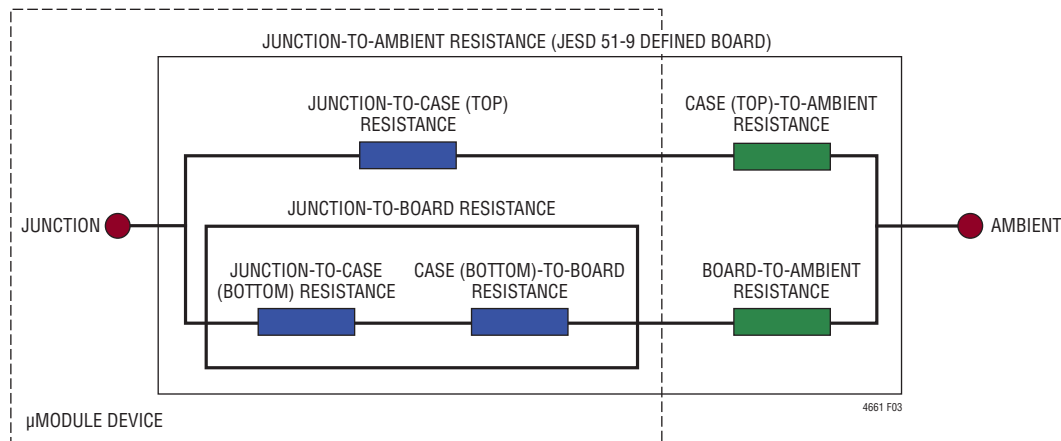


図3. JESD51-12の熱係数の図解

SIP (System-In-Package) モジュール内部では、電力損失を生じるパワーデバイスや部品が複数存在するので、その結果、部品やダイのさまざまな接合部を基準にした熱抵抗は、パッケージの全電力損失に対して正確に線形ではないことに注意してください。この複雑な問題をモデリングの簡潔性を犠牲にすることなく、(しかも実用的な現実性を無視せずに) 解決するため、制御環境室でのラボ・テストとともに FEA ソフトウェア・モデリングを使用するやり方を採用して、このデータシートに記載されている熱抵抗値を合理的に定義して相関をとります。(1) はじめに、FEA ソフトウェアを使用し、正確な材料係数に加えて正確な電力損失源の定義を使用することにより、μModule と指定の PCB の機械的形狀モデルを高い精度で構築します。(2) このモデルによって、JESD51-9 に適合するソフトウェア定義の JEDEC 環境のシミュレーションを行い、さまざまな界面における電力損失熱流と温度測定値を予測します。その値から JEDEC 定義の熱抵抗値を計算できます。(3) モデルと FEA ソフトウェアを使用してヒートシンクと空気流がある場合の μModule の熱性能を評価します。(4) これらの熱抵抗値を計算して分析し、ソフトウェア・モデル内でさまざまな動作条件によるシミュレーションを行った上で、これを再現する徹底した評価実験を実施します。具体的には、制御環境チャンバ内で、シミュレーションと同じ電力損失でデバイスを動作させながら、熱電対を使用して温度を測定します。このプロセスと必要な作業の結果、このデータシートの別のセクションに示されているデレーティング曲線が得られました。これらの

実験室評価を実施し、μModule モデルとの相関をとってから  $\theta_{JB}$  と  $\theta_{BA}$  を合計すると、適切な環境のチャンバ内における空気流およびヒートシンクなしの μModule モデルと、きわめてよい相関が得られました。この  $\theta_{JB} + \theta_{BA}$  の値は「ピン配置」セクションに示されていますが、空気流がなく上面にヒートシンクを取り付けていない状態では、電力損失のほぼ 100% が接合部から基板を通して周囲に流れるので、この値は  $\theta_{JA}$  の値に正確に等しくなります。

図4～図7の 5V、8V、12V、15V 出力の電力損失曲線を図8～図14の負荷電流デレーティング曲線とともに使って、さまざまなヒートシンクおよびエアフロー条件での LTM4661 のおおよその  $\theta_{JA}$  熱抵抗を計算することができます。電力損失曲線は室温で測定されますが、周囲温度に応じた倍数因子によって増加します。これらの近似因子は、接合部温度を  $110^{\circ}\text{C}$  とすると 1.4 です。熱抵抗の相関をとるため、出力電圧は出力電圧範囲の下方と上方を含むように選択されます。熱モデルは、恒温槽での数回の温度測定と熱モデリング解析から得られます。空気流ありと空気流なしの条件で周囲温度を上げながら接合部温度をモニタします。デレーティング曲線には、周囲温度の変化に応じた電力損失の増加が加味されます。周囲温度の上昇に合わせて出力電流つまり電力が減少するので、接合部温度は最大で  $110^{\circ}\text{C}$  に維持されます。周囲温度を上げながら出力電流を減らすと、内部モジュールの損失は減少します。モニタされている接合部温度である  $110^{\circ}\text{C}$  から周囲

## アプリケーション情報

動作温度を引くと、許容できるモジュールの温度上昇が規定されます。図13の例では、エアフローやヒートシンクなしで約80°Cのとき負荷電流が約0.35Aにディレーティングされ、3.3Vから15V/0.35A出力の電力損失は約1.4Wです。1.4Wの損失は、3.3Vから15Vへの0.35Aでの電力損失曲線から得られる約1.0Wの室温での損失、および1.4の増加係数を使って計算されます。110°Cの接合部温度から80°Cの周囲温度を差し引き、その差の30°Cを1.4Wで割ると21.4°C/Wの熱抵抗 $\theta_{JA}$ が得られます。表3はこれと非常に近い21°C/Wの値を規定しています。表3～6は、エアフローとヒートシンクのありとなしの

5V、8V、12V、および15V出力の等価熱抵抗を示します。さまざまな条件で得られた表3～表6の熱抵抗に、周囲温度の関数として計算された電力損失を掛けて、周囲温度を超える温度上昇(したがって最大接合部温度)を求めることができます。室温での電力損失を「標準的性能特性」セクションの効率曲線から求めて、前述の周囲温度の倍率で調整することができます。プリント回路基板は1.6mm厚の4層構造で、外側2層には2オンス銅箔、全4層に1オンス銅箔を使用しています。PCBの寸法は65mm×65mmです。

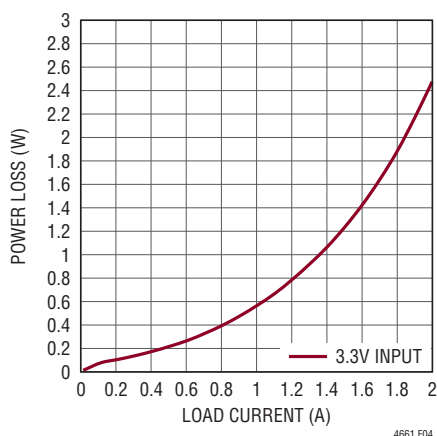


図4. 5V出力での電力損失

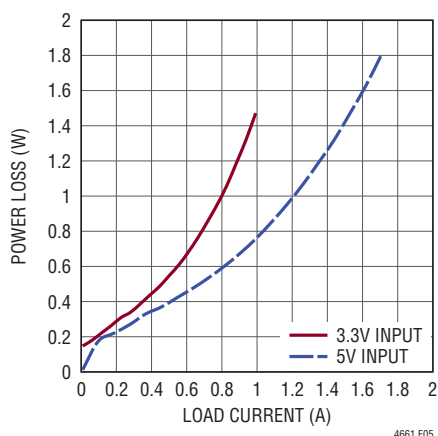


図5. 8V出力での電力損失

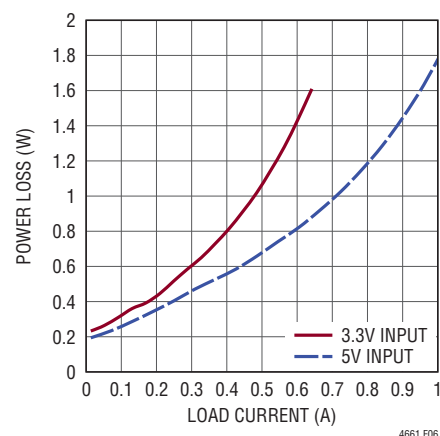


図6. 12V出力での電力損失

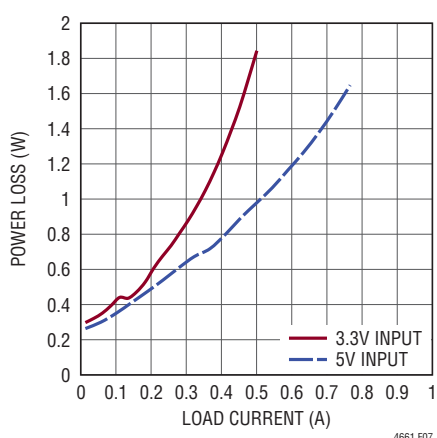


図7. 15V出力での電力損失

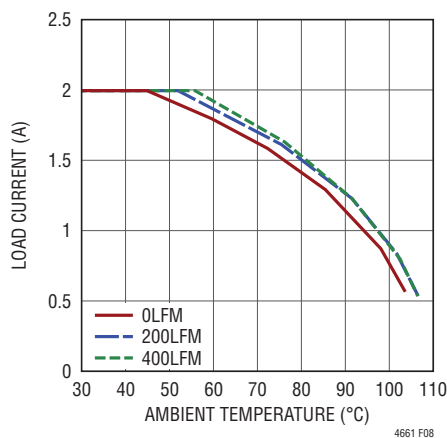


図8. 3.3V～5Vディレーティング曲線、ヒートシンクなし

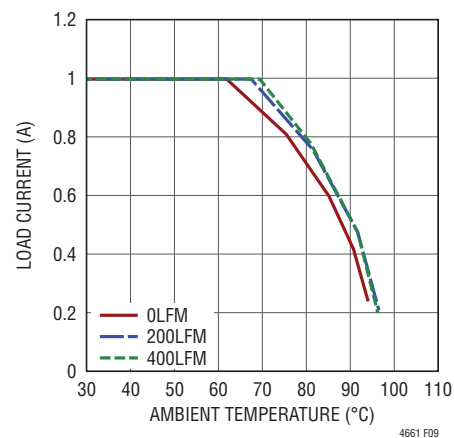


図9. 3.3V～8Vディレーティング曲線、ヒートシンクなし

## アプリケーション情報

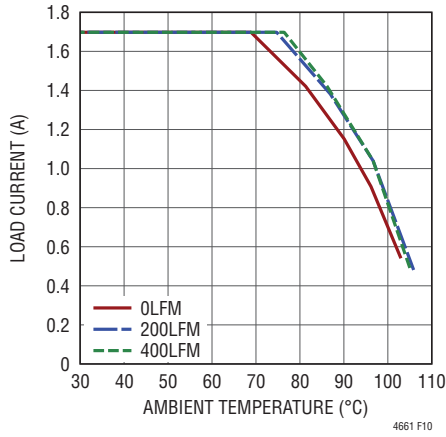


図10. 5V入力、8V出力のディレ  
ティング曲線、ヒートシンクなし

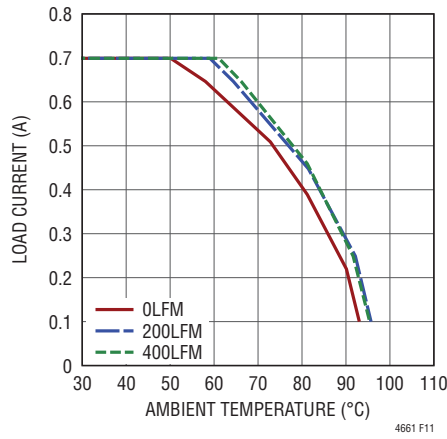


図11. 3.3V入力、12V出力のディレ  
ティング曲線、ヒートシンクなし

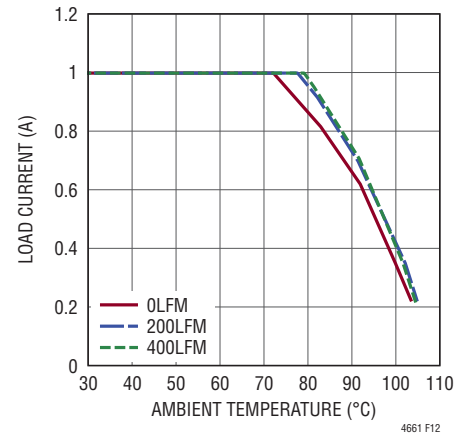


図12. 5V入力、12V出力のディレ  
ティング曲線、ヒートシンクなし

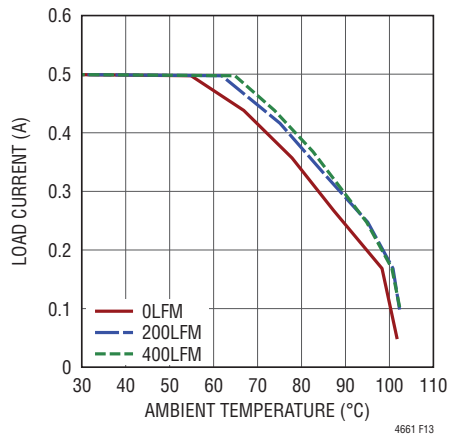


図13. 3.3V入力、15V出力のディレ  
ティング曲線、ヒートシンクなし

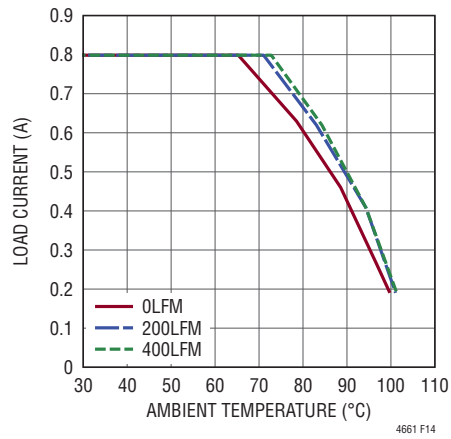


図14. 5V入力、15V出力のディレ  
ティング曲線、ヒートシンクなし

## アプリケーション情報

表3. 5V出力

ディレーティング曲線	V <sub>IN</sub> (V)	電力損失曲線	空気流 (LFM)	ヒートシンク	Θ <sub>JA</sub> (°C/W)
図8	3.3	図4	0	なし	21
図8	3.3	図4	200	なし	19
図8	3.3	図4	400	なし	18

表4. 8V出力

ディレーティング曲線	V <sub>IN</sub> (V)	電力損失曲線	空気流 (LFM)	ヒートシンク	Θ <sub>JA</sub> (°C/W)
図9、10	3.3、5	図5	0	なし	21
図9、10	3.3、5	図5	200	なし	19
図9、10	3.3、5	図5	400	なし	18

表5. 12V出力

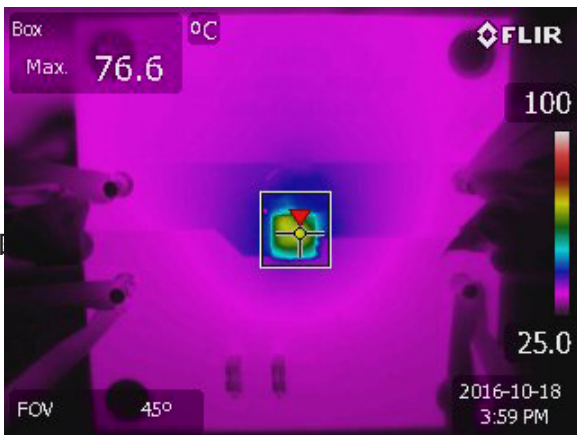
ディレーティング曲線	V <sub>IN</sub> (V)	電力損失曲線	空気流 (LFM)	ヒートシンク	Θ <sub>JA</sub> (°C/W)
図11、12	3.3、5	図6	0	なし	21
図11、12	3.3、5	図6	200	なし	19
図11、12	3.3、5	図6	400	なし	18

表6. 15V出力

ディレーティング曲線	V <sub>IN</sub> (V)	電力損失曲線	空気流 (LFM)	ヒートシンク	Θ <sub>JA</sub> (°C/W)
図13、14	3.3、5	図7	0	なし	21
図13、14	3.3、5	図7	200	なし	19
図13、14	3.3、5	図7	400	なし	18

## アプリケーション情報

図15は、3.3V入力、12V出力、0.8A DC電流、200LFM空気流、ヒートシンクなしで動作したLTM4661で測定された熱画像を示しています。



熱画像(3.3V入力、12V出力、0.8A、200LFM空気流、ヒートシンクなし)

### 安全性に関する検討事項

LTM4661 モジュールでは、 $V_{IN}$  と  $V_{OUT}$  の間が電氣的に絶縁されていません。内部にヒューズはありません。必要に応じて、最大入力電流の2倍の定格の低速溶断ヒューズを使って各ユニットを致命的損傷から保護してください。このデバイスはサーマル・シャットダウンおよび過電流保護機能をサポートしています。

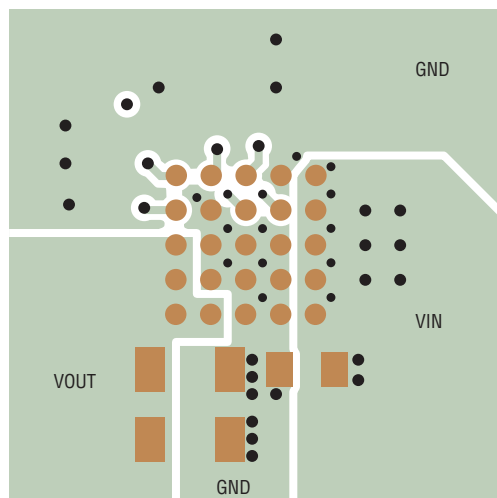
### レイアウトのチェックリスト/例

LTM4661 は高度に集積化されているので、PCB 基板のレイアウトが非常に簡単です。ただし、電氣的性能と熱的性能を最適化するにはいくつかのレイアウト上の配慮が依然として必要です。

- $V_{IN}$ 、GND および  $V_{OUT}$  を含む大電流経路では、PCB の銅箔面積を広くします。PCB の導通損失と熱ストレスを最小に抑えるのに役立ちます。

- 入力と出力の高周波用セラミック・コンデンサを  $V_{IN}$ 、PGND および  $V_{OUT}$  の各ピンに隣接させて配置し、高周波ノイズを最小に抑えます。
- デバイスの下に専用の電源グランド層を配置します。
- ビアの導通損失を最小限に抑え、モジュールの熱ストレスを減らすため、トップ層と他の電源層の間の相互接続に複数のビアを使用します。
- 充填ビアまたはメッキビアでない限り、パッドの上に直接ビアを置かないでください。
- 並列モジュールの場合は、 $V_{OUT}$ 、 $V_{FB}$ 、COMP ピンを互いに接続します。内部層を使ってこれらのピンを互いに近づけて接続します。
- 信号ピンからは、モニタリング用にテスト・ポイントを引き出してください。

推奨レイアウトの良い例を図16に示します。



4661 F16

図16. 推奨のPCBレイアウト



## アプリケーション情報

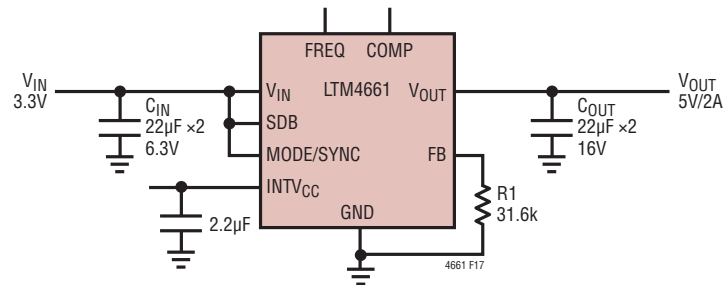


図17. 3.3V入力、5V出力、2Aの設計

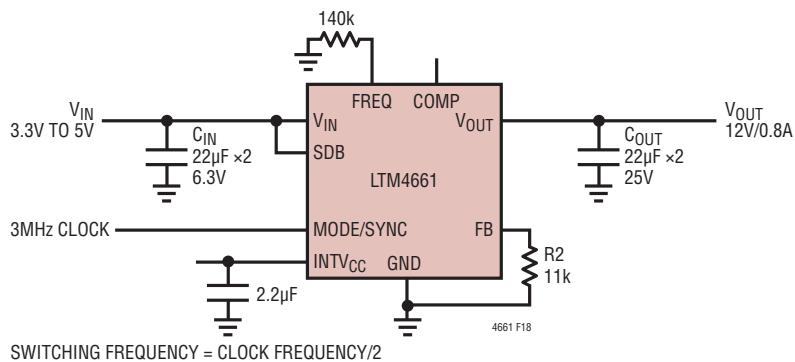


図18. 3.3V~5V入力、12V出力、外部クロック付きの設計

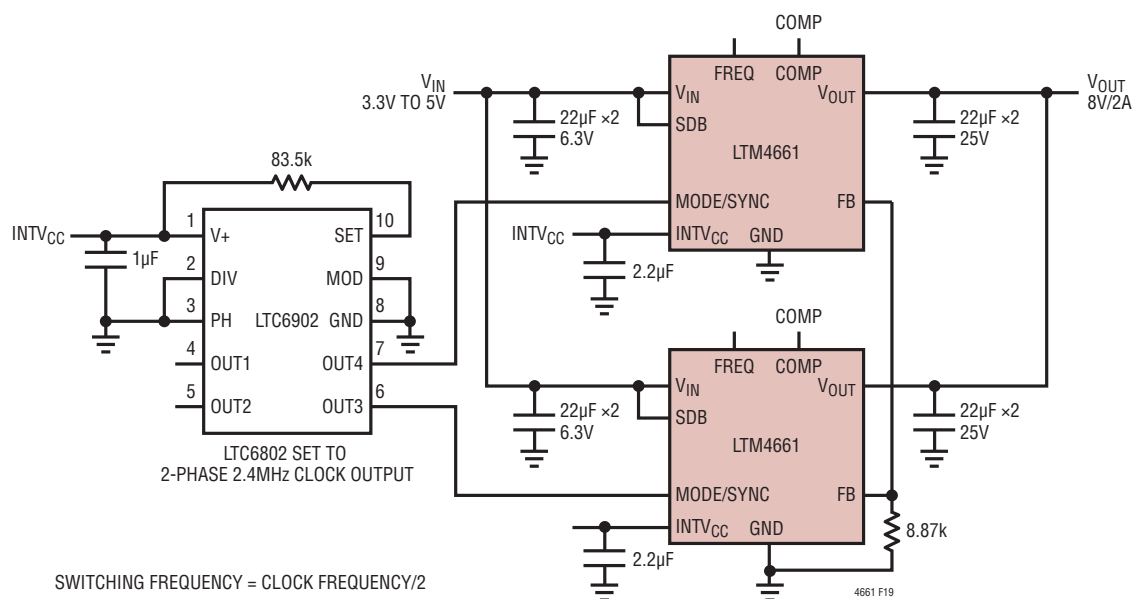


図19. 2つのLTM4661モジュールを並列接続した8V/2A出力、1.2MHz設計

# LTM4661

---

## パッケージ



パッケージの行と列のラベルはμModule 製品間で異なります。各パッケージのレイアウトをよく確認してください。

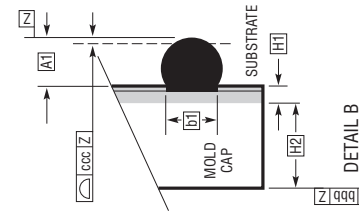
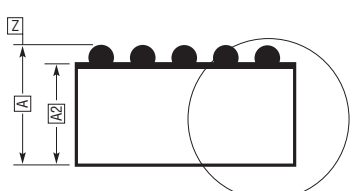
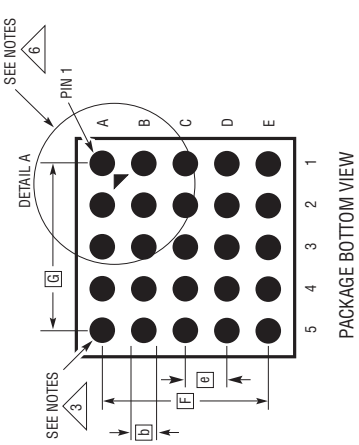
### LTM4661の構成要素のBGAピン配列

ピンID	機能	ピンID	機能	ピンID	機能	ピンID	機能	ピンID	機能
A1	V <sub>IN</sub>	A2	GND	A3	GND	A4	V <sub>OUT</sub>	A5	V <sub>OUT</sub>
B1	V <sub>IN</sub>	B2	GND	B3	GND	B4	GND	B5	V <sub>OUT</sub>
C1	V <sub>IN</sub>	C2	GND	C3	GND	C4	GND	C5	V <sub>OUT</sub>
D1	V <sub>IN</sub>	D2	SYNC/MODE	D3	INTV <sub>CC</sub>	D4	GND	D5	SDB
E1	V <sub>IN</sub>	E2	GND	E3	FREQ	E4	COMP	E5	FB

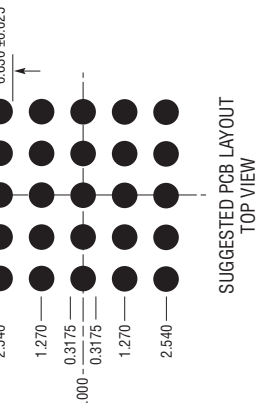
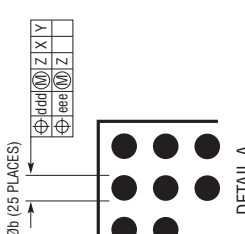
パッケージ

最新のパッケージ図は、<http://www.linear-tech.co.jp/product/LTM4661#packaging>を参照してください。

**BGA Package**  
**25-Lead (6.25mm × 6.25mm × 2.42mm)**  
 (Reference LTC DWG # 05-08-1502 Rev A)



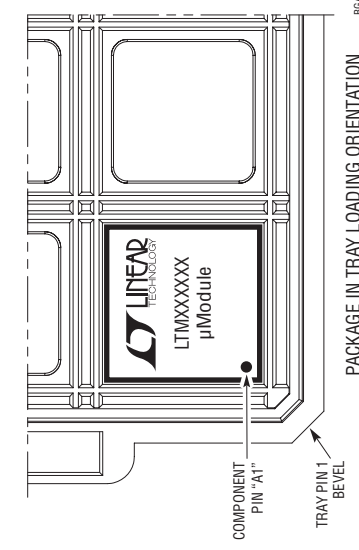
DETAIL B  
PACKAGE SIDE VIEW



DETAIL A

DIMENSIONS			
SYMBOL	MIN	NOM	MAX
A	2.22	2.42	2.62
A1	0.50	0.60	0.70
A2	1.72	1.82	1.92
b	0.60	0.75	0.90
b1	0.60	0.63	0.66
D	6.25		
E	6.25		
e	1.27		
F	5.08		
G	5.08		
H1	0.27	0.32	0.37
H2	1.45	1.50	1.55
aaa	0.15		
bbb	0.10		
ccc	0.20		
ddd	0.30		
eee	0.15		
TOTAL NUMBER OF BALLS: 25			

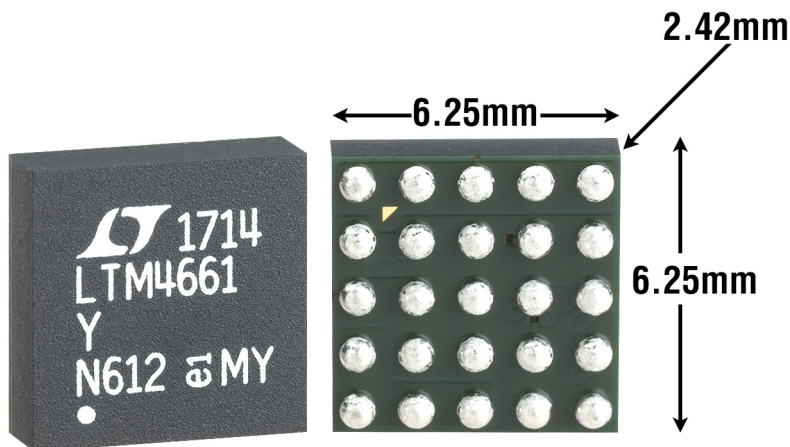
- 注記:
1. 寸法と許容誤差は ASME Y14. 5M-1994 による
  2. 全ての寸法はミリメートル
  3. ボールの指定は JESD MS-028 および JEP95 による
  4. ピン #1 の識別マークの詳細はオプションだが、示された領域内にはなければならない  
ピン #1 の識別マークはモールドまたはマキングにすることができる
  5. 主データム Z は シーティングプレーン
  6. パッケージの行と列のラベルは、μModule 製品間で異なる可能性がある。各パッケージのレイアウトをよく確認すること



PACKAGE IN TRAY LOADING ORIENTATION

アナログ・デバイセズは、提供する情報が正確で信頼できるものであることに万全を期していますが、その利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許やその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。仕様は、予告なく変更される場合があります。アナログ・デバイセズの特許または特許の権利の使用を明示的または暗示的に許諾するものでもありません。

## パッケージの写真



## 設計リソース

主題	説明	
<a href="#">μModule の設計/製造リソース</a>	<b>設計:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 選択ガイド</li> <li>• デモボードおよび Gerber ファイル</li> <li>• 無料シミュレーション・ツール</li> </ul>	<b>製造:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• クイック・スタート・ガイド</li> <li>• PCB の設計、組立、および製造ガイドライン</li> <li>• パッケージおよびボード・レベルの信頼性</li> </ul>
<a href="#">μModule レギュレータ製品の検索</a>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 製品の表をパラメータによって並べ替え、結果をスプレッドシートとしてダウンロードする</li> <li>2. <a href="#">Quick Power Search</a> パラメトリック・テーブルを使って検索を実行する</li> </ol> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>Quick Power Search</p> <p>Input <math>V_{in}</math> (Min) <input type="text"/> V <math>V_{in}</math> (Max) <input type="text"/> V</p> <p>Output <math>V_{out}</math> <input type="text"/> V <math>I_{out}</math> <input type="text"/> A</p> <p style="text-align: right;"><input type="button" value="Search"/></p> </div>	
<a href="#">TechClip ビデオ</a>	μModule 製品の電気的特性と熱特性のベンチマーク・テストの方法を詳しく説明した短いビデオ	
<a href="#">デジタル・パワーシステム・マネージメント</a>	アナログ・デバイスズのデジタル電源管理デバイス・ファミリーは、電源の監視、管理、マージン制御およびシーケンス制御などの基本機能を提供する高度に集積されたソリューションであり、ユーザーの構成とフォルト・ログを保存する EEPROM を搭載しています。	

## 関連製品

製品番号	概要	注釈
<a href="#">LTM8054</a>	36V 入力、5.4A 昇降圧 μModule レギュレータ	$5V \leq V_{IN} \leq 36V$ 、 $1.2V \leq V_{OUT} \leq 36V$ 、 $15mm \times 15mm \times 3.42mm$ BGA パッケージ
<a href="#">LTM8045</a>	SEPIC (昇圧) または反転 μModule レギュレータ	$2.8V \leq V_{IN} \leq 18V$ 、 $\pm 2.5V \leq V_{OUT} \leq \pm 15V$ 、 $I_{OUT}$ は最大 700mA、 $6.25mm \times 11.25mm \times 4.92mm$ BGA
<a href="#">LTM8049</a>	デュアル、SEPIC (昇圧) および/または反転 μModule レギュレータ	$2.6V \leq V_{IN} \leq 20V$ 、 $\pm 2.5V \leq V_{OUT} \leq \pm 24V$ 、 $I_{OUT}$ は最大 1.5A、 $9mm \times 15mm \times 2.42mm$ BGA
<a href="#">LTM4622</a>	超薄型、20V 入力、デュアル 2.5A、降圧 μModule レギュレータ	$3.6V \leq V_{IN} \leq 20V$ 、 $0.6V \leq V_{OUT} \leq 5.5V$ 、 $6.25mm \times 6.25mm \times 1.82mm$ LGA、 $6.25mm \times 6.25mm \times 2.42mm$ BGA
<a href="#">LTM4643</a>	超薄型の 20V 入力、クワッド 3A 降圧 μModule レギュレータ	$4V \leq V_{IN} \leq 20V$ 、 $0.6V \leq V_{OUT} \leq 3.3V$ 、 $9mm \times 15mm \times 1.82mm$ LGA、 $9mm \times 15mm \times 2.42mm$ BGA