




構成可能な4A出力アレイを備えたクワッドDC/DC μ Moduleレギュレータ

特長

- 4A/出力のクワッド出力降圧 μ Module[®]レギュレータ 
- 広い入力電圧範囲: 4V ~ 14V
 - 外部バイアス使用時は 2.375V ~ 14V
- 出力電圧範囲: 0.6V ~ 5.5V
- 各チャンネルの出力電流: 4A (DC)、5A (ピーク値)
- 電力損失: 最大 5.5W ($T_A = 60^\circ\text{C}$ 、200LFM、ヒートシンクなし)
- 全出力電圧レギュレーション: $\pm 1.5\%$
- 電流モード制御、高速トランジェント応答
- 大出力電流用に並列接続可能
- 出力電圧トラッキング
- 内部温度検出ダイオード出力 
- 外部の周波数に同期
- 過電圧保護、過電流保護、および過熱保護
- 9mm \times 15mm \times 5.01mm BGAパッケージ

アプリケーション

- マルチレールのポイントオブロード・レギュレーション
- FPGA、DSP、ASICの各アプリケーション

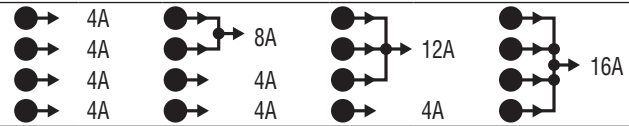
、LT、LTC、LTM、Linear Technology、Linearのロゴ、 μ ModuleおよびPolyPhaseはリアテックノロジー社の登録商標です。LTpowerCADはリアテックノロジー社の商標です。その他すべての商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。

概要

LTM[®]4644は、4A/出力のクワッドDC/DC降圧 μ Module (マイクロモジュール)レギュレータです。出力を並列接続して1つのアレイにすると、最大16Aに対応できます。スイッチング・コントローラ、パワーFET、インダクタ、および支持部品がパッケージに搭載されています。LTM4644は、4V ~ 14Vまたは2.375V ~ 14V (外部バイアス電源使用時)の入力電圧範囲で動作し、0.6V ~ 5.5Vの出力電圧範囲をサポートしており、出力電圧をそれぞれ1本の外付け抵抗で設定されます。高効率設計により、チャンネルごとに4Aの連続出力電流 (5Aのピーク出力電流)を供給します。必要なのは入力と出力のバルク・コンデンサだけです。

フォルト保護機能には、過電圧保護、過電流保護、過熱保護が含まれます。LTM4644は、9mm \times 15mm \times 5.01mmのBGAパッケージで供給されます。LTM4644は、SnPb (BGA)またはRoHS準拠の端子仕上げで供給されます。

構成可能な出力アレイ*

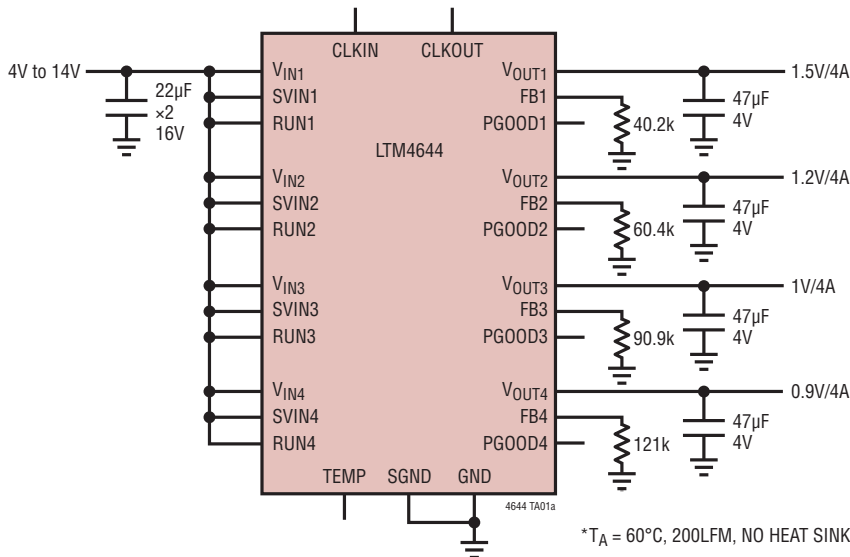


* Note 4

 クリックすると、関連するTechClipビデオが表示されます。

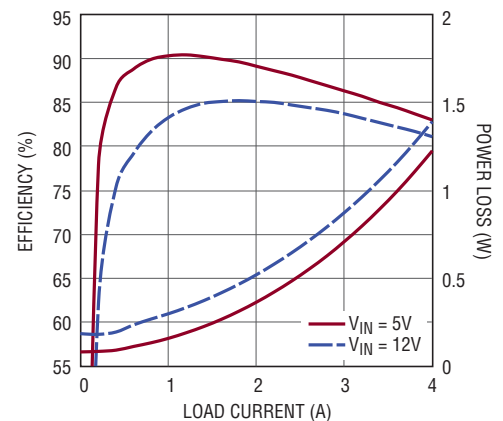
標準的応用例

4V ~ 14V入力、0.9V、1V、1.2V、および1.5V出力のクワッドDC/DC μ Moduleレギュレータ



* $T_A = 60^\circ\text{C}$, 200LFM, NO HEAT SINK

1.5V出力の効率と電力損失 (各チャンネル)



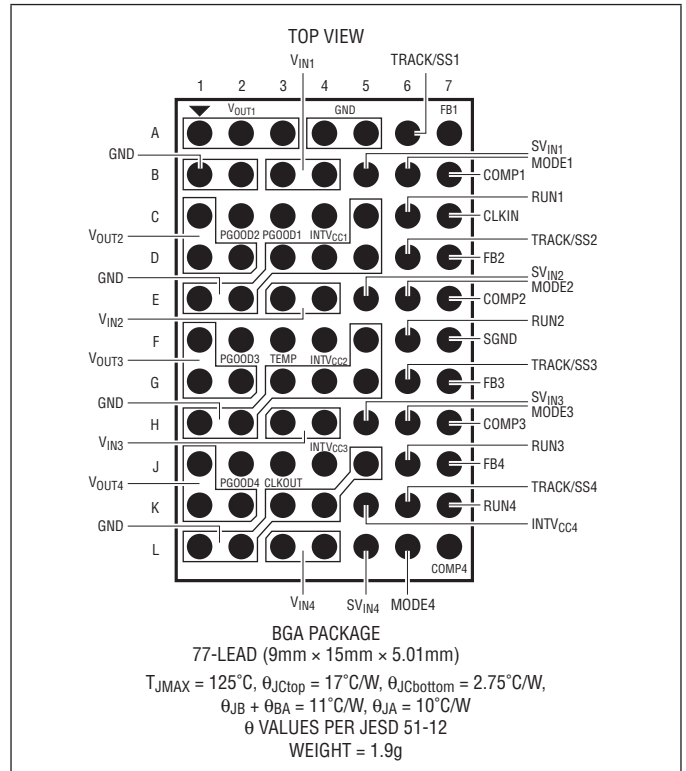
4644 TA01b

LTM4644

絶対最大定格 (Note 1)

V_{IN} , SV_{IN} (チャンネルあたり)	-0.3V ~ 15V
V_{OUT} (チャンネルあたり) (Note 3)	-0.3V ~ SV_{IN} または 6V
RUN (チャンネルあたり)	-0.3V ~ SV_{IN}
$INTV_{CC}$ (チャンネルあたり)	-0.3V ~ 3.6V
PGOOD、MODE、TRACK/SS、 FB (チャンネルあたり)	-0.3V ~ $INTV_{CC}$
CLKOUT (Note 3)、CLKIN	-0.3V ~ $INTV_{CC}$
内部動作温度範囲 (Note 2、5)	-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	245°C

ピン配置



発注情報

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	MSL レーティング	温度範囲 (Note 2)
		デバイス	コード			
LTM4644EY#PBF	SAC305 (RoHS)	LTM4644Y	e1	BGA	3	-40°C to 125°C
LTM4644IY#PBF	SAC305 (RoHS)	LTM4644Y	e1	BGA	3	-40°C to 125°C
LTM4644IY	SnPb (63/37)	LTM4644Y	e0	BGA	3	-40°C to 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。* 温度グレードは出荷時のコンテナのラベルで識別されます。パッド/ボール仕上げのコードは、IPC/JEDEC J-STD-609による。

• 端子仕上げの製品マーキング:
www.linear-tech.co.jp/leadfree

• 推奨される LGA/BGA の PCB アセンブリおよび製造方法:
www.linear-tech.co.jp/umodule/pcbassembly

• パッケージおよびトレイ図面:
www.linear-tech.co.jp/packaging

電气的特性

● は全動作温度範囲での規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値 (Note 2)。「標準的応用例」に基づき、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 。

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}, SV_{IN}	Input DC Voltage	$SV_{IN} = V_{IN}$	●	4	14	V	
$V_{OUT(RANGE)}$	Output Voltage Range		●	0.6	5.5	V	
$V_{OUT(DC)}$	Output Voltage, Total Variation with Line and Load	$C_{IN} = 22\mu\text{F}$, $C_{OUT} = 100\mu\text{F}$ Ceramic, $R_{FB} = 40.2\text{k}$, MODE = INTV _{CC} , $V_{IN} = 4\text{V}$ to 14V , $I_{OUT} = 0\text{A}$ to 4A (Note 4)	●	1.477	1.50	1.523	V
V_{RUN}	RUN Pin On Threshold	V_{RUN} Rising		1.1	1.2	1.3	V
$I_Q(SV_{IN})$	Input Supply Bias Current	$V_{IN} = 12\text{V}$, $V_{OUT} = 1.5\text{V}$, MODE = INTV _{CC} $V_{IN} = 12\text{V}$, $V_{OUT} = 1.5\text{V}$, MODE = GND Shutdown, RUN = 0, $V_{IN} = 12\text{V}$		6 2 11		mA mA μA	
$I_S(V_{IN})$	Input Supply Current	$V_{IN} = 12\text{V}$, $V_{OUT} = 1.5\text{V}$, $I_{OUT} = 4\text{A}$		0.62		A	
$I_{OUT(DC)}$	Output Continuous Current Range	$V_{IN} = 12\text{V}$, $V_{OUT} = 1.5\text{V}$ (Note 4)		0	4	A	
$\Delta V_{OUT}(\text{Line})/V_{OUT}$	Line Regulation Accuracy	$V_{OUT} = 1.5\text{V}$, $V_{IN} = 4\text{V}$ to 14V , $I_{OUT} = 0\text{A}$	●	0.04	0.15	%/V	
$\Delta V_{OUT}(\text{Load})/V_{OUT}$	Load Regulation Accuracy	$V_{OUT} = 1.5\text{V}$, $I_{OUT} = 0\text{A}$ to 4A	●	0.5	1	%	
$V_{OUT(AC)}$	Output Ripple Voltage	$I_{OUT} = 0\text{A}$, $C_{OUT} = 100\mu\text{F}$ Ceramic, $V_{IN} = 12\text{V}$, $V_{OUT} = 1.5\text{V}$		5		mV	
$\Delta V_{OUT(START)}$	Turn-On Overshoot	$I_{OUT} = 0\text{A}$, $C_{OUT} = 100\mu\text{F}$ Ceramic, $V_{IN} = 12\text{V}$, $V_{OUT} = 1.5\text{V}$		30		mV	
t_{START}	Turn-On Time	$C_{OUT} = 100\mu\text{F}$ Ceramic, No Load, TRACK/SS = $0.01\mu\text{F}$, $V_{IN} = 12\text{V}$, $V_{OUT} = 1.5\text{V}$		2.5		ms	
ΔV_{OUTLS}	Peak Deviation for Dynamic Load	Load:0% to 50% to 0% of Full Load, $C_{OUT} = 47\mu\text{F}$ Ceramic, $V_{IN} = 12\text{V}$, $V_{OUT} = 1.5\text{V}$		160		mV	
t_{SETTLE}	Settling Time for Dynamic Load Step	Load:0% to 50% to 0% of Full Load, $C_{OUT} = 47\mu\text{F}$ Ceramic, $V_{IN} = 12\text{V}$, $V_{OUT} = 1.5\text{V}$		40		μs	
I_{OUTPK}	Output Current Limit	$V_{IN} = 12\text{V}$, $V_{OUT} = 1.5\text{V}$		5	7	A	
V_{FB}	Voltage at FB Pin	$I_{OUT} = 0\text{A}$, $V_{OUT} = 1.5\text{V}$, 0°C to 125°C $I_{OUT} = 0\text{A}$, $V_{OUT} = 1.5\text{V}$, -40°C to 125°C	●	0.594 0.592	0.60 0.60	0.606 0.608	V V
I_{FB}	Current at FB Pin	(Note 3)			±30	nA	
R_{FBHI}	Resistor Between V_{OUT} and FB Pins			60.05	60.40	60.75	kΩ
$I_{TRACK/SS}$	Track Pin Soft-Start Pull-Up Current	TRACK/SS = 0V		2.5	4	μA	
$V_{IN(UVLO)}$	V_{IN} Undervoltage Lockout	V_{IN} Falling V_{IN} Hysteresis		2.4	2.6 350	2.8	V mV
$t_{ON(MIN)}$	Minimum On-Time	(Note 3)		40		ns	
$t_{OFF(MIN)}$	Minimum Off-Time	(Note 3)		70		ns	
V_{PGOOD}	PGOOD Trip Level	V_{FB} With Respect to Set Output V_{FB} Ramping Negative V_{FB} Ramping Positive		-13 7	-10 10	-7 13	% %
I_{PGOOD}	PGOOD Leakage				2	μA	
V_{PGL}	PGOOD Voltage Low	$I_{PGOOD} = 1\text{mA}$		0.02	0.1	V	
V_{INTVCC}	Internal V_{CC} Voltage	$SV_{IN} = 4\text{V}$ to 14V		3.2	3.3	3.4	V
V_{INTVCC} Load Reg	INTV _{CC} Load Regulation	$I_{CC} = 0\text{mA}$ to 20mA		0.5		%	
f_{OSC}	Oscillator Frequency			1		MHz	
CLKIN	CLKIN Threshold			0.7		V	

LTM4644

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回復不可能な損傷を与える可能性がある。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恐れがある。

Note 2: LTM4644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。LTM4644Eは、 0°C ~ 125°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°C ~ 125°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学的なプロセス・コントロールとの相関で確認されている。LTM4644Iは -40°C ~ 125°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。

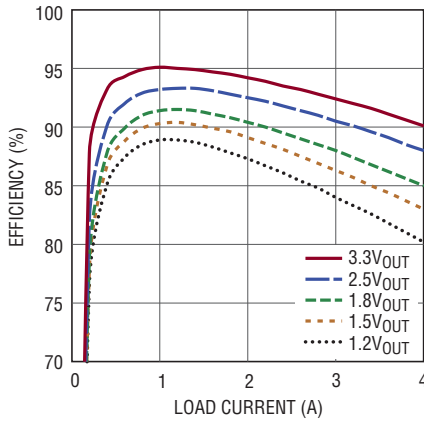
Note 3: ウェハ・レベルで全数テストされる。

Note 4: 異なる V_{IN} 、 V_{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: このデバイスには短時間の過負荷状態の間デバイスを保護するための過熱保護機能が備わっている。過熱保護機能がアクティブなとき接合部温度は 125°C を超える。規定された最大動作接合部温度を超えた動作が継続すると、デバイスの信頼性を損なう恐れがある。

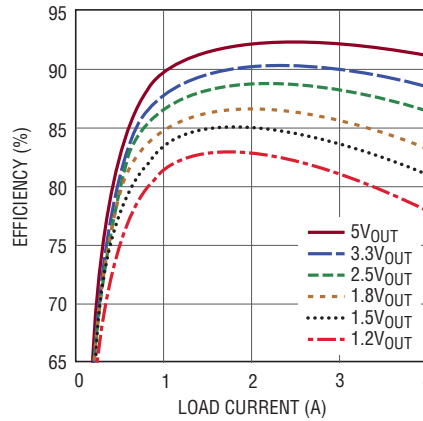
標準的性能特性 (チャンネル当たり)

効率と $5V_{IN}$ からの負荷電流
(1チャンネル動作)



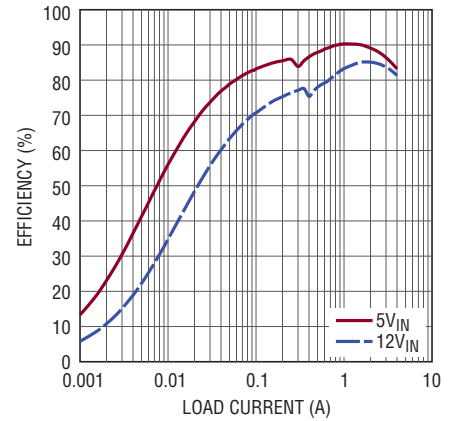
4644 G01

効率と $12V_{IN}$ からの負荷電流
(1チャンネル動作)



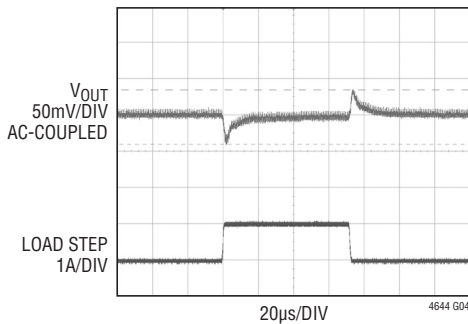
4644 G02

DCMモードでの $1.5V_{OUT}$ からの
効率



4644 G03

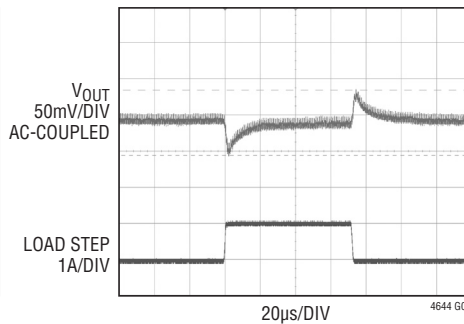
1.0Vの出力トランジェント応答



4644 G04

$V_{IN} = 12\text{V}$, $V_{OUT} = 1\text{V}$, $I_{OUT} = 3\text{A TO } 4\text{A}$, $1\text{A}/\mu\text{s}$
 $C_{FF} = 10\text{pF}$
OUTPUT CAPACITOR = $1 \cdot 47\mu\text{F}$ CERAMIC

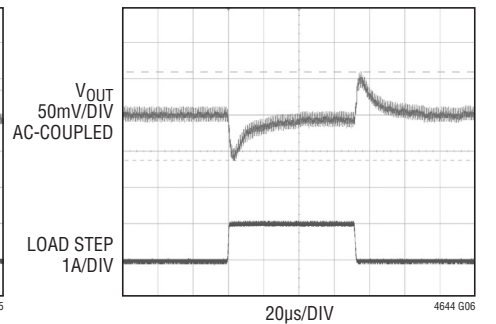
1.5Vの出力トランジェント応答



4644 G05

$V_{IN} = 12\text{V}$, $V_{OUT} = 1.5\text{V}$, $I_{OUT} = 3\text{A TO } 4\text{A}$, $1\text{A}/\mu\text{s}$
 $C_{FF} = 10\text{pF}$
OUTPUT CAPACITOR = $1 \cdot 47\mu\text{F}$ CERAMIC

2.5Vの出力トランジェント応答



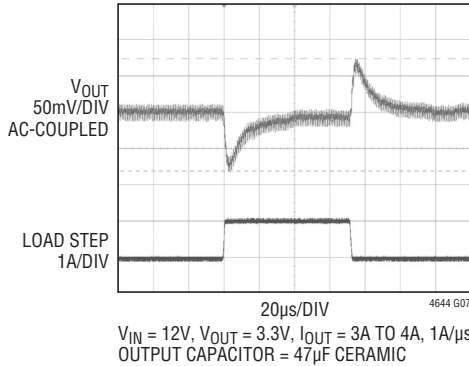
4644 G06

$V_{IN} = 12\text{V}$, $V_{OUT} = 2.5\text{V}$, $I_{OUT} = 3\text{A TO } 4\text{A}$, $1\text{A}/\mu\text{s}$
 $C_{FF} = 10\text{pF}$
OUTPUT CAPACITOR = $1 \cdot 47\mu\text{F}$ CERAMIC

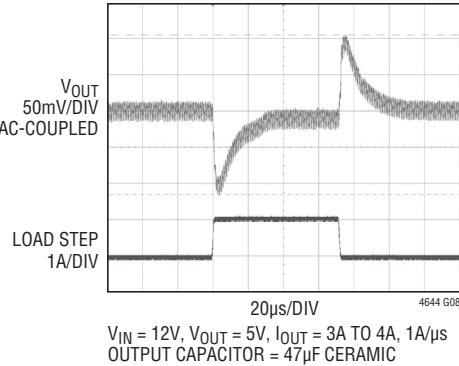
4644fb

標準的性能特性

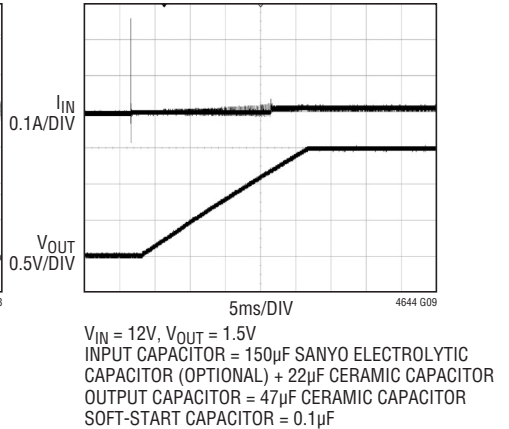
3.3Vの出力トランジェント応答



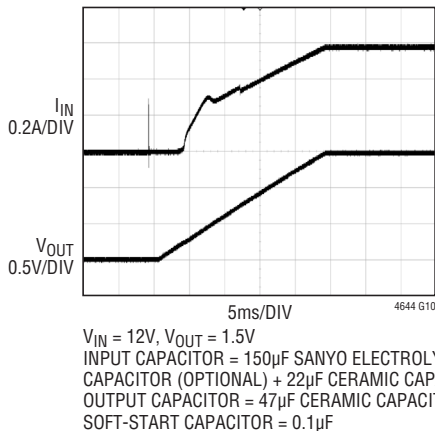
5Vの出力トランジェント応答



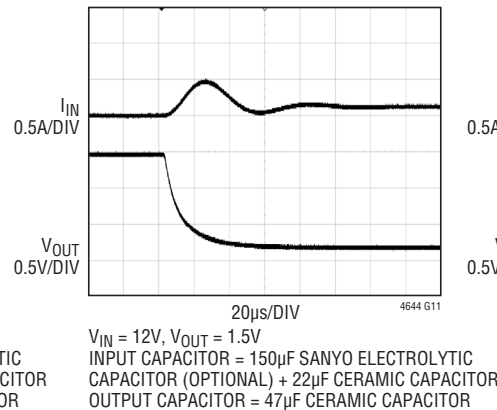
無負荷での起動



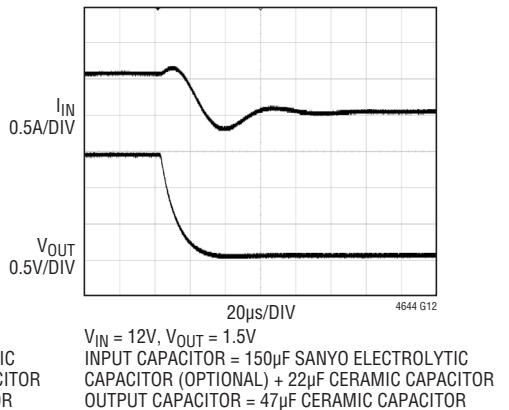
4A負荷での起動



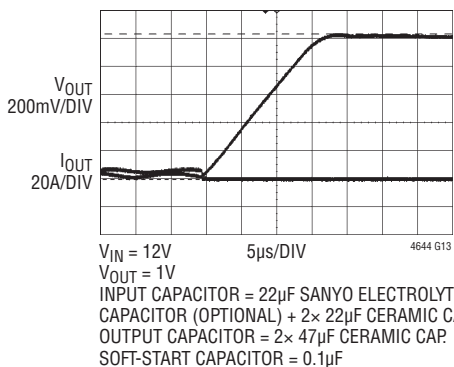
無負荷での短絡



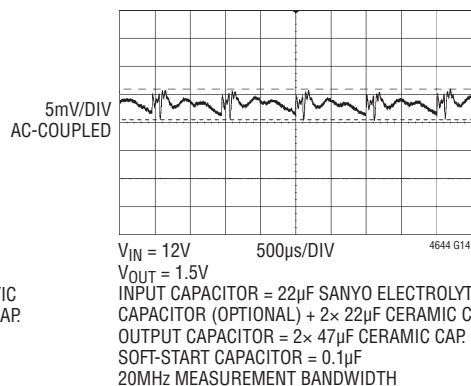
4A負荷時の短絡



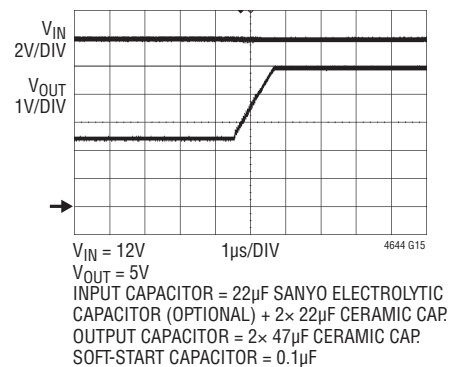
短絡状態から無負荷への回復



出力リップル



プリバイアス出力到達までの起動



ピン機能



パッケージの行と列のラベルは μ Module 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。

V_{OUT1} (A1, A2, A3)、V_{OUT2} (C1, D1, D2)、V_{OUT3} (F1, G1, G2)、V_{OUT4} (J1, K1, K2) : スイッチング・モード・レギュレータの各チャネルの電源出力ピン。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。出力の並列接続については「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。

GND (A4 ~ A5, B1 ~ B2, C5, D3 ~ D5, E1 ~ E2, F5, G3 ~ G5, H1 ~ H2, J5, K3 ~ K4, L1 ~ L2) : 入力帰路と出力帰路の両方の電源グラウンド・ピン。大きなPCB銅箔面積を使用して、全てのGNDを相互接続します。

V_{IN1} (B3, B4)、V_{IN2} (E3, E4)、V_{IN3} (H3, H4)、V_{IN4} (L3, L4) : スイッチング・モード・レギュレータの各チャネルの内部トップMOSFETのドレインに接続される電源入力ピン。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・コンデンサは各V_{IN}ピンと各GNDピンの間に直接配置することを推奨します。

PGOOD1, PGOOD2, PGOOD3, PGOOD4 (C3, C2, F2, J2) : スイッチング・モード・レギュレータの各チャネルのオープンドレイン・ロジック付き出力パワーグッド・ピン。FBピンの電圧が内部0.6Vリファレンスの $\pm 10\%$ 以内に入らない場合、PGOODはグラウンド電位になります。

CLKOUT (J3) : モジュールのPolyPhase[®]動作時の出力クロック信号。CLKINを基準にしたCLKOUTの位相は180°に設定されます。CLKOUTでのピーク・トゥ・ピークの振幅範囲はINTV_{CC}からGNDまでです。詳細は、「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。このピンは出力専用です。このピンをドライブしないでください。

INTV_{CC1}, INTV_{CC2}, INTV_{CC3}, INTV_{CC4} (C4, F4, J4, K5) : スイッチング・モード・レギュレータの各チャネルの内部3.3Vレギュレータ出力。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。各ピンは低ESRの1 μ Fセラミック・コンデンサにより、既に内部でGNDにデカップリングされています。

SV_{IN1}, SV_{IN2}, SV_{IN3}, SV_{IN4} (B5, E5, H5, L5) : 信号用V_{IN}ピン。スイッチング・モード・レギュレータの各チャネルの制御回路用内蔵3.3Vレギュレータへのフィルタを通した入力電圧。ほとんどのアプリケーションではこのピンを各V_{IN}ピンに接続します。SV_{IN}ピンは4V以上の外部電源に接続できますが、外部電源はV_{OUT}より電圧が高いことも必要です。

TRACK/SS1, TRACK/SS2, TRACK/SS3, TRACK/SS4 (A6, D6, G6, K6) : スイッチング・モード・レギュレータの各チャネルの出力トラック/ソフトスタート・ピン。このピンを使うと、出力電圧の立ち上がり時間を制御することができます。このピンの電圧が0.6Vより低くなると、エラーアンプへの内部リファレンス入力バイパスされ、代わりにFBピンがTRACKピンの電圧に合わせてサーボ制御されます。0.6Vより高くなるとトラック機能が停止し、内部リファレンスによるエラーアンプの制御が再開されます。このピンにはINTV_{CC}から2.5 μ Aの内部プルアップ電流が流れるので、このピンにコンデンサを接続すると、ソフトスタート機能を実現できます。

MODE1, MODE2, MODE3, MODE4 (B6, E6, H6, L6) : スイッチング・モード・レギュレータの各チャネルの動作モード選択ピン。全ての出力負荷で連続同期動作を強制するには、このピンをINTV_{CC}に接続します。SGNDに接続すると、軽負荷で不連続電流モード動作がイネーブルされます。このピンはフロート状態のままにしないでください。

RUN1, RUN2, RUN3, RUN4 (C6, F6, J6, K7) : スイッチング・モード・レギュレータの各チャネルの動作制御入力。RUNピンを1.2Vより高い電圧に接続すると、レギュレータの動作がイネーブルされます。このピンの電圧を1.1Vより低い値まで下げると、レギュレータの各チャネルはシャットダウン状態になります。このピンはフロート状態のままにしないでください。

FB1, FB2, FB3, FB4 (A7, D7, G7, J7) : スイッチング・モード・レギュレータの各チャネルのエラーアンプの負入力。このピンは内部で60.4k Ω の高精度抵抗を介して各チャネルのV_{OUT}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、異なる出力電圧を設定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。

ピン機能

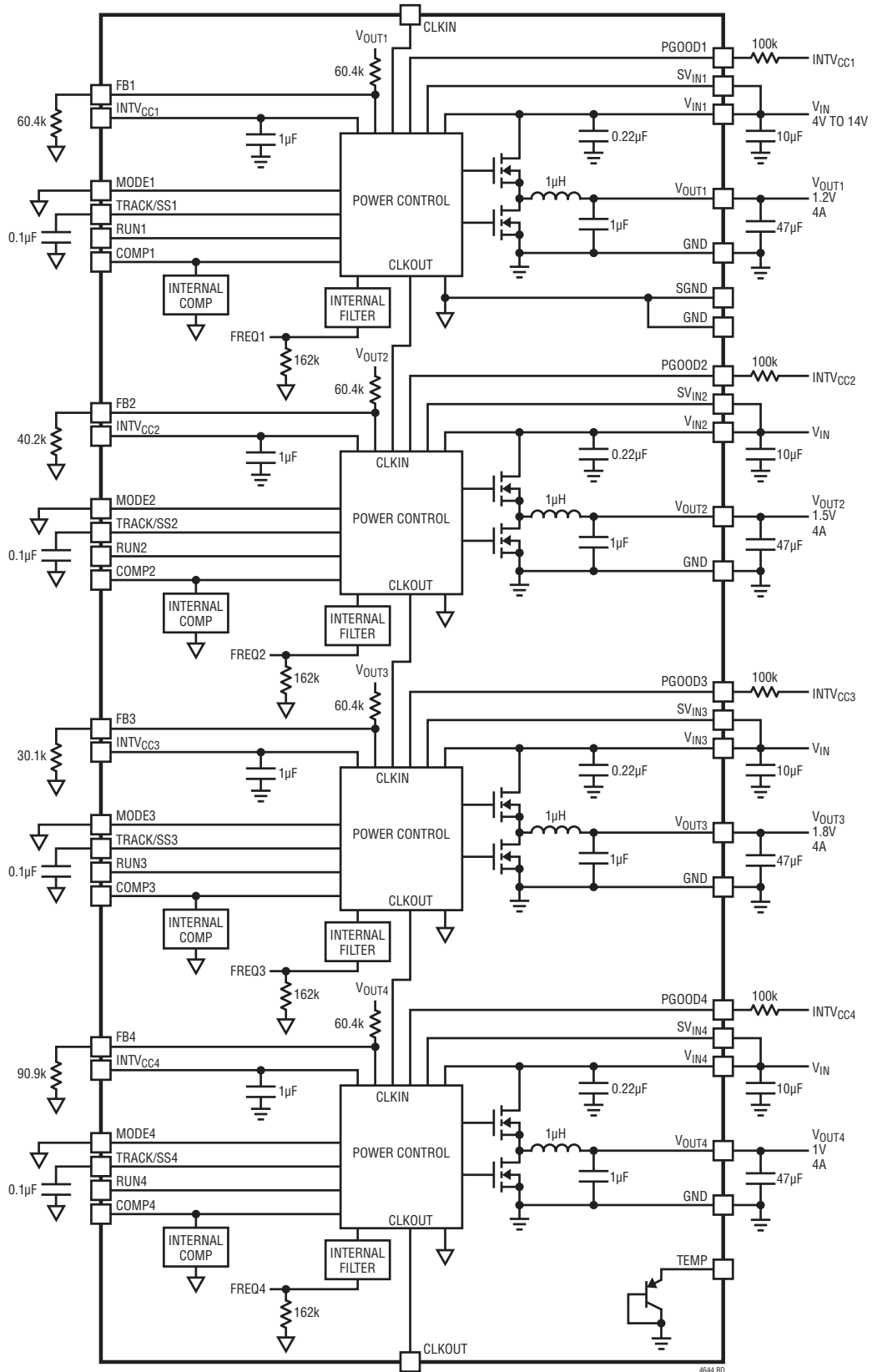
COMP1、COMP2、COMP3、COMP4 (B7、E7、H7、L7) : スイッチング・モード・レギュレータの各チャネルの電流制御しきい値およびエラーアンプ補償ポイント。内部電流コンパレータのしきい値は、このピンの電圧に比例します。並列動作を行うにはCOMPピンを相互に接続します。このデバイスは内部補償されています。

CLKIN (C7) : モジュールの位相検出器の外部同期入力ピン。このピンは内部でSGNDに20k Ω で終端されています。フェーズロック・ループは、チャネル1のターンオン信号をCLKIN信号の立ち上がりエッジに同期させます。チャネル2、チャネル3、およびチャネル4も、あらかじめ決定された位相シフトでCLKIN信号の立ち上がりエッジに同期します。詳細は、「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。

SGND (F7) : 信号グラウンドの接続ピン。SGNDは内部でGNDに一点接続されています。信号ピンに接続される帰還抵抗などの部品のグラウンドには、別のSGNDグラウンド銅箔領域を 사용합니다。PGNDプレーンとSGNDプレーンの間の2つ目の接続は、モジュールの底面のPCBの裏側で行うことを推奨します。

TEMP (F3) : VBE接合電圧の温度変化をモニタする内蔵温度検出ダイオード。「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



デカップリングの要件 (チャンネル当たり)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
C _{IN}	External Input Capacitor Requirement (V _{IN} = 4V to 14V, V _{OUT} = 1.5V)	I _{OUT} = 4A	4.7	10		μF
C _{OUT}	External Output Capacitor Requirement (V _{IN} = 4V to 14V, V _{OUT} = 1.5V)	I _{OUT} = 4A	22	47		μF

動作

LTM4644はクワッド出力の独立型非絶縁スイッチ・モードDC/DC電源です。このデバイスは4つの独立したレギュレータ・チャンネルを備えており、各チャンネルはわずかな数の外付け入力/出力コンデンサを使用して最大4Aの連続出力電流を供給できます。各レギュレータは、1本の外付け抵抗により、4V～14Vの入力電圧範囲にわたって0.6V～5.5Vの範囲で設定可能な高精度の安定化出力電圧を実現します。外付けのバイアス電圧を使用すると、このモジュールは最小2.375Vの入力電圧で動作できます。標準的応用回路を図33に示します。

LTM4644は、オン時間を固定周波数で制御する4つの独立した谷電流モード・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・サポート部品を内蔵しています。標準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、μModuleレギュレータは700kHz～1.3MHzの範囲のクロックに外部同期可能です。「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。

電流モード制御と内部帰還ループ補償により、LTM4644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過渡性能を達成します。

電流モード制御により、高精度の電流分担機能を備えた独立したレギュレータ・チャンネルを柔軟に並列接続できます。LTM4644は、2つのレギュレータ・チャンネル間にインタリーブされる内蔵クロックにより、2+2、3+1または4チャンネルの並列動作を簡単に利用できるため、FPGAなどのマルチレール

POLアプリケーションでの柔軟性がさらに高まります。さらに、LTM4644は複数デバイスの周波数同期またはポリフェーズ構成用にCLKINピンとCLKOUTピンを備えており、最大8フェーズをカスケード接続して同時に実行できます。

また、電流モード制御により、サイクルごとに高速電流モニタリングが行われます。フォールドバック電流制限は過電流状態で動作し、V_{FB}の電圧降下時にインダクタの谷電流が元の値の約40%まで減少します。内蔵されている過電圧コンパレータと低電圧コンパレータは、出力帰還電圧がレギュレーション・ポイントから±10%の範囲を外れると、オープン・ドレインのPGOOD出力を“L”に引き下げます。OV状態とUV状態の間は連続導通モード(CCM)動作が強制されます。ただし、TRACKピンの電圧が0.6Vまで上昇している起動時は除きます。

RUNピンの電圧を1.1Vより低い値まで下げると、コントローラは強制的にシャットダウン状態になり、上下両側のパワーMOSFETおよびほとんどの内部制御回路はオフします。軽負荷電流では、MODEピンをSGNDに設定することにより、不連続導通モード(DCM)動作をイネーブルして、連続導通モード(CCM)に比べて高い効率を達成することができます。TRACK/SSピンは電源トラッキングとソフトスタートの設定に使用されます。「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。

モジュールに内蔵された温度検出ダイオードによって、モジュールの温度をモニタできます。詳細については「アプリケーション情報」を参照してください。

アプリケーション情報

LTM4644の標準的なアプリケーション回路を図33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。個々のアプリケーションに対する外付けコンデンサの具体的な要件については、表7を参照してください。

V_{IN}からV_{OUT}への降圧比

各レギュレータには最小オフ時間と最小オン時間の制限があるので、所定の入力電圧で実現可能なV_{IN}とV_{OUT}との最大降圧比には制約があります。最小オフ時間の制限によって最大デューティ・サイクルが決まり、その値は次のように計算できます。

$$D_{MAX} = 1 - t_{OFF(MIN)} \cdot f_{SW}$$

ここで、t_{OFF(MIN)}は最小オフ時間でLTM4644では標準で70nsであり、f_{SW}はスイッチング周波数です。反対に、最小オン時間の制限によってコンバータの最小デューティ・サイクルが決まり、その値は次のように計算できます。

$$D_{MIN} = t_{ON(MIN)} \cdot f_{SW}$$

ここで、t_{ON(MIN)}は最小オン時間であり、LTM4644では標準で40nsです。最小デューティ・サイクルを超える稀なケースでは、出力電圧はレギュレーション状態に留まりますが、スイッチング周波数は設定値より減少します。さらに熱的デレレーティングが適用される可能性があることに注意してください。このデータシートの「熱に関する検討事項と出力電流のデレレーティング」のセクションを参照してください。

出力電圧の設定

PWMコントローラには0.6V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、60.4kΩの内部帰還抵抗によって、各レギュレータ・チャンネルはV_{OUT}ピンとFBピンの間で相互に接続されています。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。

$$R_{FB} = \frac{60.4k}{\frac{V_{OUT}}{0.6} - 1}$$

表1. 各種出力電圧に対するVFB抵抗

V _{OUT} (V)	0.6	1.0	1.2	1.5	1.8	2.5	3.3	5.0
R _{FB} (k)	Open	90.9	60.4	40.2	30.1	19.1	13.3	8.25

N個のチャンネ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。並列接続される各出力について、次の式で求められるGNDへの1本の抵抗で、V_{OUT}とFBピンおよびCOMPピンを相互接続します。

$$R_{FB} = \frac{\left(\frac{60.4k}{N}\right)}{\left(\frac{V_{OUT}}{0.6} - 1\right)}$$

入力デカップリング・コンデンサ

LTM4644モジュールは低ACインピーダンスのDCソースに接続する必要があります。各レギュレータ・チャンネルには、RMSリップル電流のデカップリングのため、10μFの入力セラミック・コンデンサの使用を推奨します。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またはポリマー・コンデンサでもかまいません。

インダクタのリップル電流を考慮しなければ、入力コンデンサのRMS電流は次のように概算することができます。

$$I_{CIN(RMS)} = \frac{I_{OUT(MAX)}}{\eta\%} \cdot \sqrt{D \cdot (1-D)}$$

ここで、η%は電源モジュールの推定効率です。

出力デカップリング・コンデンサ

LTM4644は高い周波数と広い帯域幅に合わせて設計が最適化されているので、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、各レギュレータ・チャンネ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。異なる出力電圧と、2A負荷ステップの過渡変動での電圧の垂下やオーバーシュートを最小に抑えるための出力コンデンサの一覧を表7に示します。マルチフェーズ動作では、位相数に応じて実効出力リップルが低減されます。このノイズ低減と出力リップル電流の相殺については「アプリケーションノート77」で解説していますが、出力容量は安定性とトランジェント応答によっても変化します。LTpowerCAD™設計ツールをオンラインでダウンロードして、出力リップル、安定性、トランジェント応答を解析し、実装される位相数がN倍に増えるたびに出力リップルがどれだけ低減されるかを計算できます。

アプリケーション情報

不連続導通モード (DCM)

中間の電流で低出力リップルと高効率が要求されるアプリケーションでは、MODEピンをSGNDに接続して不連続導通モード(DCM)を使用する必要があります。軽い負荷では、内部電流コンパレータが数サイクルにわたってトリップしたままになり、上側MOSFETを数サイクルにわたって強制的にオフのままにする(つまり、サイクルをスキップする)ことがあります。このモードでは、インダクタ電流は反転しません。

強制連続導通モード (CCM)

低電流での効率より周波数固定の動作が重要で、さらに出力リップルを最小限に抑える必要があるアプリケーションでは、強制連続導通モードの動作を使用する必要があります。強制連続動作をイネーブルするには、MODEピンをINTV_{CC}に接続します。このモードでは、インダクタ電流が低出力負荷の間反転可能で、常にCOMP電圧が電流コンパレータのしきい値を制御し、トップMOSFETは発振器のパルスごとに必ずオンします。起動時には、LTM4644の出力電圧が安定化されるまで、強制連続モードがディスエーブルされ、インダクタ電流の反転が防止されます。

動作周波数

LTM4644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、追加の周波数調節は不要です。

1MHz以外の動作周波数が必要なアプリケーションでは、μModuleレギュレータは700kHz～1.3MHzの範囲のクロックに外部同期できます。

周波数同期とクロックイン

この電源モジュールには電圧制御発振器と位相検出器で構成されるフェーズロック・ループが内蔵されています。そのため、全ての内部トップMOSFETのターンオンを同じ外部クロックの立ち上がりエッジにロックすることができます。外部クロックの周波数範囲は、1MHzに設定された周波数を中心にして±30%以内にする必要があります。CLKINピンのクロックを検出してフェーズロック・ループをオンするのにパルス検出回路が使われています。クロックのパルス幅は少なくとも400nsであ

る必要があります。クロックの“H”のレベルは2V以上、クロックの“L”のレベルは0.3V未満にする必要があります。レギュレータの起動時、フェーズロック・ループ機能はディスエーブルされます。

マルチチャンネル並列動作

4Aより大きな負荷電流を必要とする出力の場合、LTM4644の複数のレギュレータ・チャンネルを簡単に並列接続して、入力と出力の電圧リップルを増大させることなく出力電流を大きくすることができます。LTM4644は、4つのレギュレータ・チャンネルのそれぞれ2つの間にプリセット位相シフト機能を内蔵しているため、2+2、3+1または4チャンネルの並列動作に適しています。表2にレギュレータ・チャンネル間の位相差を示します。

表2. レギュレータ・チャンネル間の位相差

チャンネル	CH1	CH2	CH3	CH4
位相差	180°	90°	180°	

図2に、クロック位相制御用の2+2チャンネルおよび4チャンネル並列接続の概念図を示します。

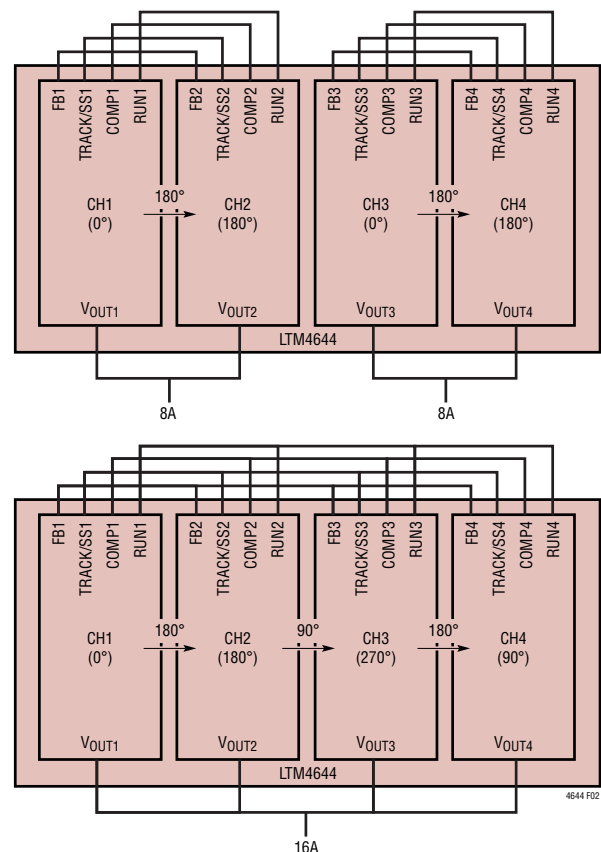


図2. 2+2チャンネルおよび4チャンネル並列接続の概念図

アプリケーション情報

マルチフェーズ電源では、入力と出力のどちらのコンデンサのリップル電流の量も大幅に減少します。RMS入力リップル電流は使用する位相数が増えると低減され、実効リップル周波数は位相数倍されます(入力電圧が、使用される位相数×出力電圧より大きいと仮定)。すべての出力を互いに接続した高電流のシングル出力デザインでは、使用する位相数によって出力リップルの振幅を低減することができます。

LTM4644は本来、電流モードで制御されるデバイスであるため、並列モジュールでは優れた電流分担特性を示し、デザインの発熱バランスがよくなります。並列接続される各チャネルのRUN、TRACK/SS、FBおよびCOMPピンを相互接続します。図35および図36に、並列動作とピン接続の例を示します。

入力RMSリップル電流の相殺

マルチフェーズ動作は「アプリケーションノート77」で詳細に説明されています。入力RMSリップル電流の相殺を数学的に導出し、RMSリップル電流の減少を、インタリーブされた位相の数の関数として表したグラフを掲載しています。図3に、そのグラフを示します。

ソフトスタートおよび出力電圧トラッキング

TRACK/SSピンによって、各レギュレータ・チャネルをソフトスタートさせることも、別の電源をトラッキングさせることもできます。TRACK/SSピンに接続されたコンデンサにより、出力電圧の上昇率が設定されます。内部の2.5 μ A電流源が外付けのソフトスタート・コンデンサを充電し、その電圧はINTV_{CC}ピ

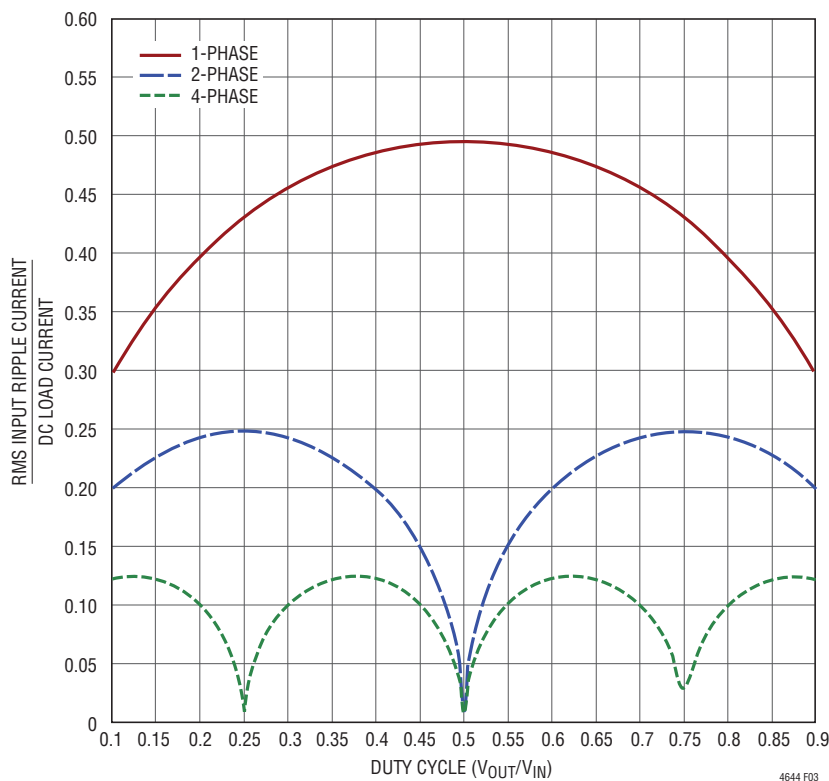


図3. シングルフェーズまたはポリフェーズ・アプリケーションの正規化されたRMSリップル電流

アプリケーション情報

ンの電圧に近づきます。TRACK/SSピンの電圧が0.6Vより低くなると、出力電圧の制御は0.6Vの内部リファレンス電圧に引き継がれます。ソフトスタートの合計時間は次のように計算できます。

$$t_{SS} = 0.6 \cdot \frac{C_{SS}}{2.5\mu A}$$

ここで、 C_{SS} はTRACK/SSピンに接続されている容量です。電流フォールドバックと強制連続モードは、ソフトスタートの間ディスエーブルされます。

出力電圧のトラッキングは各レギュレータ・チャネルのTRACK/SSピンを使用して外部から設定することもできます。出力を別のレギュレータによってトラッキングアップおよびトラッキングダウンさせることができます。スレーブ・レギュレータ(V_{OUT2} 、 V_{OUT3} 、 V_{OUT4})の出力スルーレートがマスタ(V_{OUT1})のスルーレートに比例する比例トラッキングの波形および回路図の例を図4および図5に示します。

スレーブ・レギュレータのTRACK/SSピンは抵抗分割器 $R_{TR(TOP)}/R_{TR(BOT)}$ を介してマスタの出力に接続されており、その電圧は、TRACK/SSピンの電圧が0.6Vより低いとき、スレー

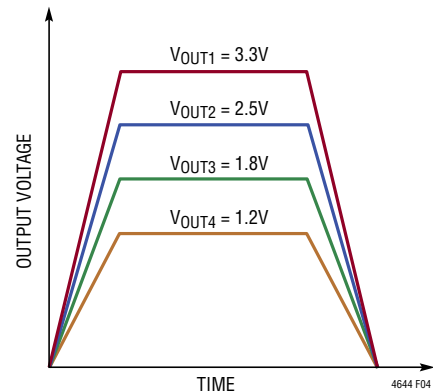


図4. 出力比例トラッキングの波形

ブの出力電圧を安定化するために使用されるので、スレーブの出力電圧とマスタの出力電圧は起動時に次の式を満たす必要があります。

$$\begin{aligned} V_{OUT(SL)} \cdot \frac{R_{FB(SL)}}{R_{FB(SL)} + 60.4k} \\ = V_{OUT(MA)} \cdot \frac{R_{TR(BOT)}}{R_{TR(TOP)} + R_{TR(BOT)}} \end{aligned}$$

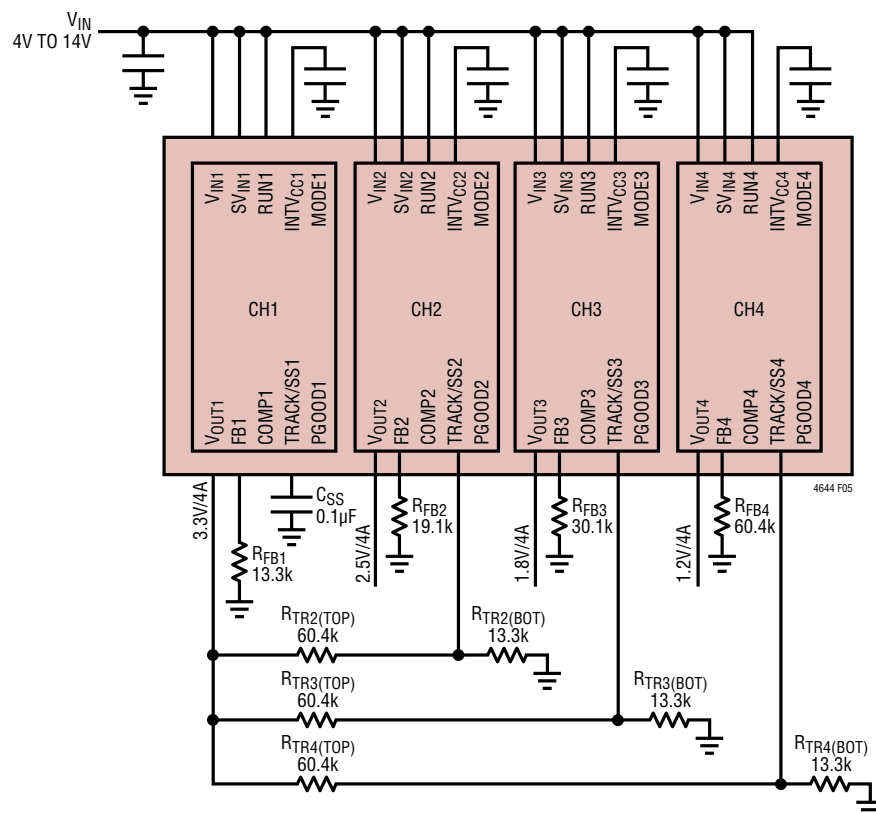


図5. 出力比例トラッキング回路

アプリケーション情報

図5に示すように、 $R_{FB(SL)}$ は帰還抵抗であり、 $R_{TR(TOP)}/R_{TR(BOT)}$ はスレーブ・レギュレータのTRACK/SSピンに接続されている抵抗分割器です。

上記の式に従うと、ボルト/時間を単位とするマスタの出力スルーレート(MR)とスレーブの出力スルーレート(SR)は次式により求められます。

$$\frac{MR}{SR} = \frac{\frac{R_{FB(SL)}}{R_{FB(SL)} + 60.4k}}{\frac{R_{TR(BOT)}}{R_{TR(TOP)} + R_{TR(BOT)}}}$$

たとえば、図5に示す V_{OUT1} と V_{OUT4} のように、 $V_{OUT(MA)} = 3.3V$ 、 $MR = 3.3V/24ms$ および $V_{OUT(SL)} = 1.2V$ 、 $SR = 1.2V/24ms$ の場合を考えます。式から、 $R_{TR4(TOP)} = 60.4k$ および $R_{TR4(BOT)} = 13.3k$ が最適な組み合わせであると解くことができます。同じ式に従って、 V_{OUT2} と V_{OUT3} についても同じ $R_{TR(TOP)}/R_{TR(BOT)}$ 抵抗分割器の値を得ることができます。

TRACKピンは、その特定のチャンネルでトラックングを行うのに抵抗分割器が使われていると、 $2.5\mu A$ の電流源をオンします。このため、TRACKピン入力にオフセットが生じます。上式で計算した抵抗値より値が小さく比が等しい抵抗を使うことができます。例えば、 $60.4k$ が使われている場合、 $6.04k$ を使ってTRACKピンのオフセットを無視できる値に下げることができます。

図6の波形に示すように、同時出力トラックングは、マスタの出力スルーレート(MR)がスレーブの出力スルーレート(SR)と同じである特殊な比例出力トラックングとして認識することができます。

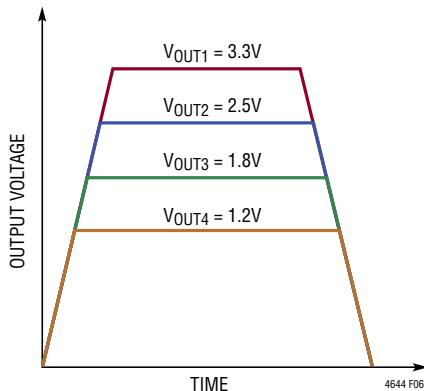


図6. 出力同時トラックングの波形

式から容易に分かるように、同時トラックングでは、スレーブ・レギュレータのTRACK/SSピンの抵抗分割器が出力電圧分割器と常に同じです。

$$\frac{R_{FB(SL)}}{R_{FB(SL)} + 60.4k} = \frac{R_{TR(BOT)}}{R_{TR(TOP)} + R_{TR(BOT)}}$$

たとえば、 $R_{TR4(TOP)} = 60.4k$ および $R_{TR4(BOT)} = 60.4k$ は、 $V_{OUT(MA)} = 3.3V$ および $V_{OUT(SL)} = 1.2V$ のアプリケーションの同時トラックングに適した組み合わせです。

パワーグッド

PGOODピンはオープン・ドレインのピンで、有効な各出力電圧レギュレーションをモニタするのに使うことができます。このピンはレギュレーション点の上下 $\pm 10\%$ の範囲をモニタします。モニタ用の抵抗を特定の電源電圧までプルアップできます。トランジェント時または V_{OUT} の動的変化時にPGOODの不要なグリッチを防ぐため、LTM4644のPGOODの立ち下がリエッジにはスイッチング・サイクル約52回分のブランキング遅延が含まれています。

安定性補償

LTM4644モジュールの各レギュレータ・チャンネルの内部補償ループは、低ESRのセラミック出力コンデンサのみのアプリケーション向けに設計され、最適化されています。ほとんどのアプリケーションの要件に対して表6が与えられています。出力リップルや動的なトランジェント・スパイクを低減するためにバルク出力コンデンサが必要な場合は、 $10pF \sim 15pF$ の位相ブースト・コンデンサを V_{OUT} ピンとFBピンの間に追加する必要があります。制御ループの最適化には、LTpowerCAD設計ツールをダウンロードして利用できます。

RUNイネーブル

各レギュレータ・チャンネルのRUNピンの電圧をグラウンド電位まで下げると、レギュレータは強制的にシャットダウン状態になり、上下両側のパワー・MOSFETおよびほとんどの内部制御回路はオフします。RUNピンの電圧を $0.7V$ より高くすると、内部リファレンスだけはオンしますが、パワー・MOSFETは依然オフに保たれます。さらにRUNピンの電圧を $1.2V$ より高くすると、レギュレータ・チャンネル全体がオンします。

アプリケーション情報

プリバイアスされた出力の起動

出力コンデンサが多少充電された状態で電源を起動しなければならない状況もあり得ます。LTM4644は、プリバイアスされた出力を放電せずに安全に起動できます。

LTM4644は、TRACK/SSピンの電圧が0.6Vのリファレンス電圧に達するまで不連続モード(DCM)の動作を強制することにより、これを実現します。これにより、プリバイアスされた出力での起動中にBGがオンして出力を放電することを防ぎます。

INTV_{CC} (3.3V)より高い出力電圧でLTM4644をプリバイアスしないでください。

過熱保護

内蔵されている過熱保護機能は、モジュールの接合部温度をモニタします。接合部温度が約160°Cに達すると、温度が約15°C下がるまで両方のパワースイッチがオフします。

低入力電圧アプリケーション

LTM4644モジュールは各レギュレータ・チャンネルに独立したSV_{IN}ピンを備えているため、2.375Vまでの低入力電圧での動作に適しています。SV_{IN}ピンはレギュレータ制御回路の単一の入力であるのに対して、V_{IN}ピンは上側MOSFETのドレインに直接接続されている電源入力です。入力電圧が4V～14Vの範囲内であるほとんどのアプリケーションでは、SV_{IN}ピンを各レギュレータ・チャンネルのV_{IN}ピンに直接接続します。SV_{IN}とV_{IN}グラウンドの間の抵抗(1Ω～10Ω)で構成されるオプションのフィルタを配置すれば、さらにノイズ耐性を高めることができます。優れたPCBレイアウト手法に従っていれば、ほとんどの場合、このフィルタは不要です(図32参照)。低入力電圧(2.375V～4V)アプリケーションでは、あるいは内部バイアスLDOでの電力損失を低減するには、4Vより高い外部電圧にSV_{IN}ピンを接続し、0.1μFのバイパス・コンデンサを近くに取り付けます。低入力電圧アプリケーションの例を図34に示します。SV_{IN}ピンの電圧はV_{OUT}ピンの電圧より低くなることはできない点に注意してください。

温度のモニタリング

ダイオード接続されたPNPトランジスタ上で、温度に対する電圧の変化をモニタすることにより、TEMPモニタ機能を実現できます。このダイオード電圧の温度に対する依存性は、次の式で理解できます。

$$V_D = nV_T \ln\left(\frac{I_D}{I_S}\right)$$

ここで、V_Tは熱電圧(kT/q)であり、n(理想係数)は、LTM4644で使用されているダイオード接続のPNPトランジスタでは1です。I_Sは次の標準的な経験式によって表されます。

$$I_S = I_0 \exp\left(\frac{-V_{G0}}{V_T}\right)$$

ここで、I₀はプロセスと形状に依存する電流(I₀は室温では通常I_Sの約20,000倍の大きさ)であり、V_{G0}は絶対零度すなわち-273°Cまで外挿された1.2Vのバンドギャップ電圧です。

I_Sの式をV_Dの式に代入すると、次の式が得られます。

$$V_D = V_{G0} - \left(\frac{kT}{q}\right) \ln\left(\frac{I_D}{I_0}\right), \quad V_T = \frac{kT}{q}$$

この式は、一定のダイオード電流で温度が上昇すると、ダイオード電圧が(I₀が一定の場合は直線的に)下がることを示しています。図6に、LTM4644の動作温度範囲での温度に対するV_Dのグラフを示します。

この式を温度Tで微分すると、次の式が得られます。

$$\frac{dV_D}{dT} = -\frac{V_{G0} - V_D}{T}$$

このdV_D/dTの項は温度係数で、約-2mV/Kまたは-2mV/°Cに等しくなります。この式は1次導関数に簡略化されています。

Tについて解くと、T = -(V_{G0} - V_D)/(dV_D/dT)で温度が得られます。

アプリケーション情報

第1の例：図7の27°C (300K)ではダイオード電圧は0.598Vなので、 $300K = -(1200mV - 598mV)/-2.0 mV/K$

第2の例：図7の75°C (350K)ではダイオード電圧は0.50Vなので、 $350K = -(1200mV - 500mV)/-2.0mV/K$

華氏温度を摂氏温度に変換するには、華氏温度から273を引きます。

標準順方向電圧はこのデータシートの「電気的特性」のセクションに記載されています。図7はこの順方向電圧のグラフです。この順方向電圧を27°Cで測定すると、基準点が確定されます。次に、温度に対して順方向電圧を測定しながら上記の式を使用すると、一般的な温度モニタが得られます。TEMPとVINの間に抵抗を接続して、電流を100μAに設定します。一例としては、図35を参照してください。

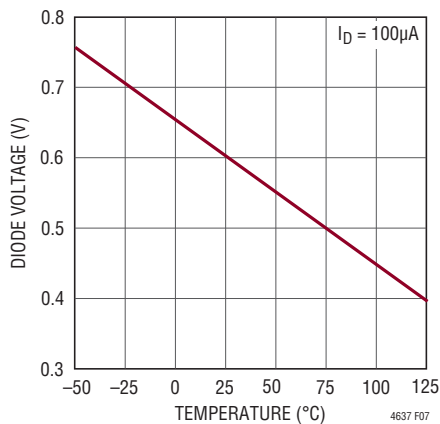


図7. ダイオードの電圧 V_D と温度 T (°C)

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」に記載された熱抵抗は、JESD 51-12に定義されたパラメータに準拠しています。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μModule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、JESD 51-12の「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の実際のアプリケーションにおけるμModuleレギュレータの熱性能を予測するのに、実験室の装置やテスト手段 (デモ用基板など)の使用を選択して、FEAの作業を補足することができます。FEAソフトウェアを使用しない場合、「ピン配置」のセクションに記載されている熱抵抗自体では熱性能の目安を示すことになりません。代わりに、このデータシートに掲載されているディレーティング曲線を各ユーザのアプリケーション/使用法に関する見通しと参考情報が得られるやり方で使用することや、ディレーティング曲線を適合させて熱性能をユーザ独自のアプリケーションと対応付けることができます。

「ピン配置」には、通常はJESD 51-12に明示的に定義された4つの熱係数が記載されています。以下に、これらの係数の定義の引用または説明を示します。

1. θ_{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、JESD 51-9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. $\theta_{JCbottom}$ (接合部から製品のケースの底面までの熱抵抗)は、ページの底面を流れていく部品の全電力損失によって決まります。標準的なμModuleレギュレータでは、熱

アプリケーション情報

の大半がパッケージの底面から流出しますが、周囲の環境への熱の流出が必ず発生します。その結果、この熱抵抗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のアプリケーションに合致しません。

3. θ_{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。標準的な μ Module レギュレータの電氣的接続はパッケージの底面なので、接合部からデバイスの上面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。 $\theta_{JCbottom}$ 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のアプリケーションに合致しません。
4. θ_{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 μ Module レギュレータの底面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、 $\theta_{JCbottom}$ と、デバイスの底面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。基板温度は、パッケージから規定された距離をおいて測定されます。

前述の熱抵抗を図式化したものが図8です。青色の部分は μ Module レギュレータ内部の熱抵抗、緑色の部分は μ Module パッケージの外部に存在する熱抵抗です。

実際には、JESD 51-12 または「ピン配置」のセクションで定義されている4種類の熱抵抗パラメータは、個別でもいくつかの組み合わせでも、 μ Module レギュレータの通常動作条件を再現することも表現することもないので注意してください。たと

えば、標準規格では θ_{JCtop} および $\theta_{JCbottom}$ 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、デバイスの全電力損失(熱)の100%が μ Module 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決してありません。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。

LTM4644 の内部では、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、結果として、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は線形になっていないことに注意してください。この複雑さを(モデリングの簡単さ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)調和させるため、制御された環境室でのラボ・テストとともに FEA ソフトウェア・モデリングを使うアプローチが取られ、このデータシートで与えられている熱抵抗値の定義と相関が得られました。(1)はじめに、FEA ソフトウェアによって LTM4644 と指定の PCB の機械的形狀モデルを、正確な材料係数と正確な電力損失源の定義とともに、高い精度で構築しました。(2)このモデルによって、JESD 51-12 に準拠したソフトウェア定義の JEDEC 環境をシミュレートして、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 ソフトウェアを使ってヒートシンクとエアフローがある場合の LTM4644 の熱性能を評価します。(4)これらの熱抵抗値を計算、解析し、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

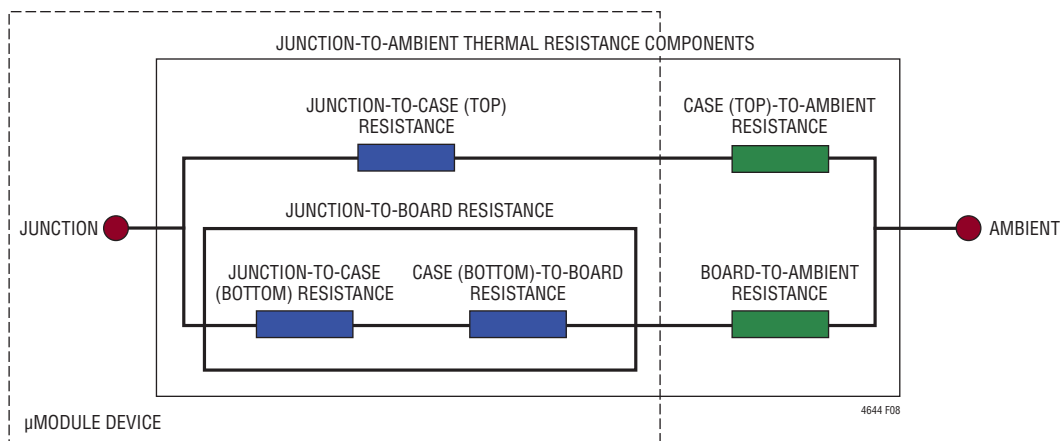


図8. JESD 51-12 熱係数の図解

アプリケーション情報

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、熱電対を使って温度を測定します。このプロセスと必要な作業の結果、このデータシートに示されているディレーティング曲線が得られました。

図9～図15の1V～5Vの電力損失曲線を図16～図29の負荷電流ディ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LTM4644のおおよその θ_{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、接合部温度に応じた倍数因子によって増加します。この近似倍率は、接合部温度が120°Cの場合1.35です。ディレーティング曲線は、16Aを始点とする出力電流と30°Cを始点とする周囲温度の関数としてプロットされます。これらの数値が選ばれたのは、低めおよび高めの出力電圧範囲を含むようにして、熱抵抗の相関をとるためです。熱モデルは、制御温度室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。周囲温度の変化による電力損失の増加はディレーティング曲線に加味されています。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約120°Cに維持されます。出力電流が減少することにより、周囲温度が上昇するにつれて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120°Cから周囲動作温度を引くと、許容できるモジュールの温度上昇が規定されます。図16の例では、400LFMのエアフロー、ヒートシンクなしで約90°Cのとき負荷電流は約9.6Aにディレーティングされ、12V入力で1.0V/9.5A出力の場合の電力損失は約3.2Wです。3.2Wの損失は、12V入力、1.0V/2.4A出力での各チャネルの電力損失曲線から得られる室温での約0.6Wの損失に4を掛けて、120°Cの接合部温度での1.35の倍率を使って計算されます。120°Cの接合部温度から90°Cの周囲温度を差し引き、その差の30°Cを3.2Wで割ると、約9.4°C/Wの熱抵抗 θ_{JA} が得られます。表3はこれと非常に近い10°C/Wの値を規定しています。表3～表6にエアフローと

ヒートシンクありとなしのさまざまな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、前述の接合部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、内側2層には1オンス銅箔を使用しています。PCBの寸法は95mm×76mmです。

16Aは、並列接続されたそれぞれ4Aの全4チャネルを表します。4つの並列チャネルは、熱抵抗値の検証に使用される熱電対またはIRカメラを使って等価の θ_{JA} 回路評価を展開できるように、同じレートで電流を低減されます。

最大動作周囲温度

図30と図31は、各種のヒートシンクおよびエアフロー条件での最大許容電力損失曲線と周囲温度を示しています。このデータは、接合部温度の測定値120°Cでの各種の熱ディレーティング試験によって生成された熱インピーダンスから得られたものです。この最大電力損失の制限は、総電力損失の計算によってさまざまな電圧および電流を備えた複数の出力レールを設計する際のガイドラインとして機能します。

たとえば、 $V_{OUT1} = 2.5V/0.6A$ 、 $V_{OUT2} = 3.3V/3A$ 、 $V_{OUT3} = 1.8V/1A$ 、 $V_{OUT4} = 1.2V/3A$ 、ヒートシンクなし、400LFMのエアフローの条件で最大周囲温度を求めるには、図9～図15から読み取れる各チャネルの総電力損失を合計し(この例では2.5Wになる)、120°Cの接合部温度での係数1.35を掛けて、図30で総電力損失の数値3.4Wを比較します。図30は、3.4Wの総電力損失ではこのアプリケーションの最大周囲温度は約86°Cになることを示しています。参考までに、実験室内の熱ディレーティング・テストの結果は最大周囲温度86.3°Cであり、計算値に非常に近い値です。また図30から、3.4Wの総電力損失では最大周囲温度はエアフローなしで約77°C、200LFMのエアフローで約81°Cになることが簡単にわかります。

アプリケーション情報

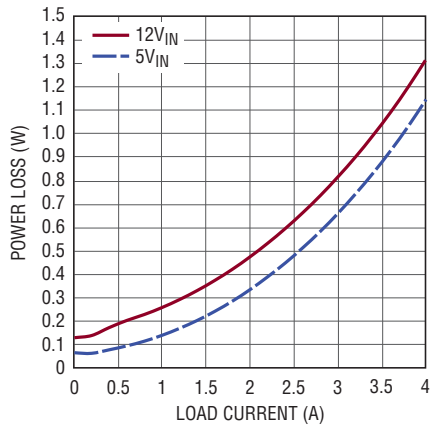


図9. 1.0V出力での電力損失
(各チャンネル、25°C)

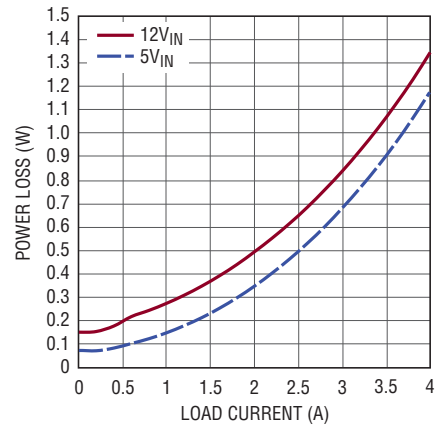


図10. 1.2V出力での電力損失
(各チャンネル、25°C)

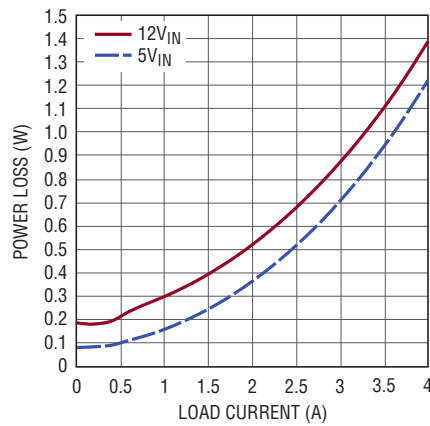


図11. 1.5V出力での電力損失
(各チャンネル、25°C)

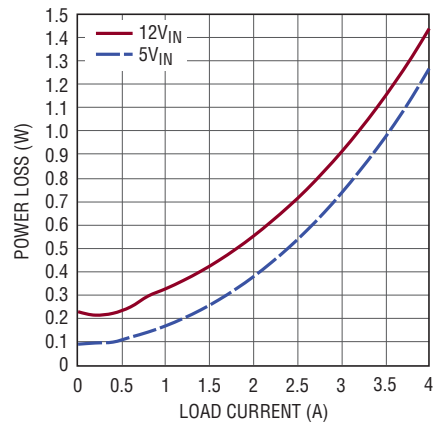


図12. 1.8V出力での電力損失
(各チャンネル、25°C)

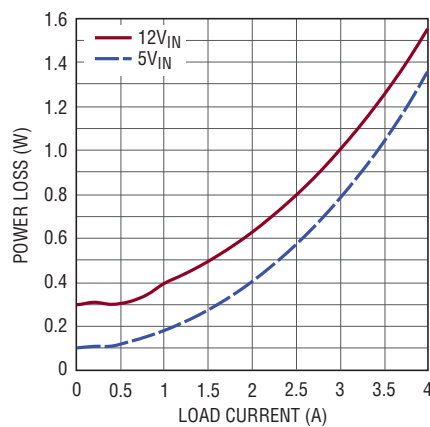


図13. 2.5V出力での電力損失
(各チャンネル、25°C)

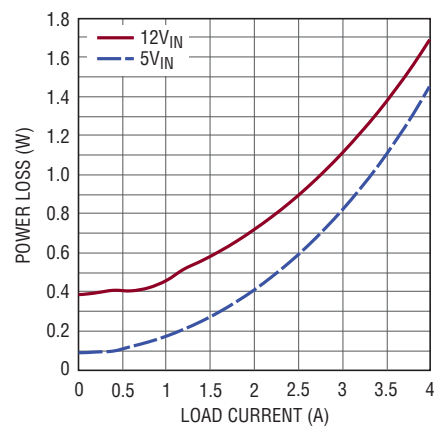


図14. 3.3V出力での電力損失
(各チャンネル、25°C)

アプリケーション情報

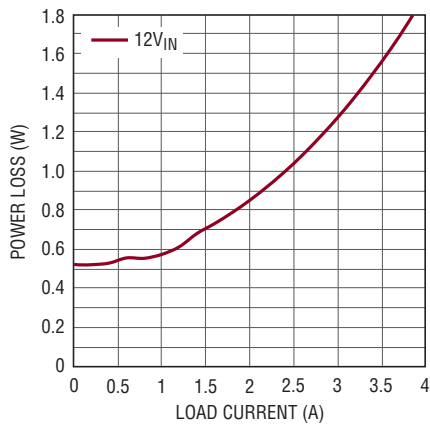


図15. 5V出力での電力損失
(各チャンネル、25°C)

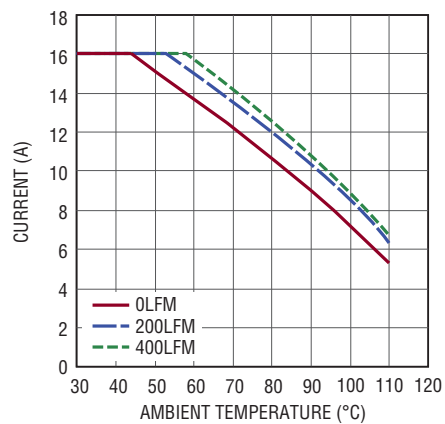


図16. 5VIN、1.0VOUTのデレレーティング曲線、4チャンネル並列接続、ヒートシンクなし

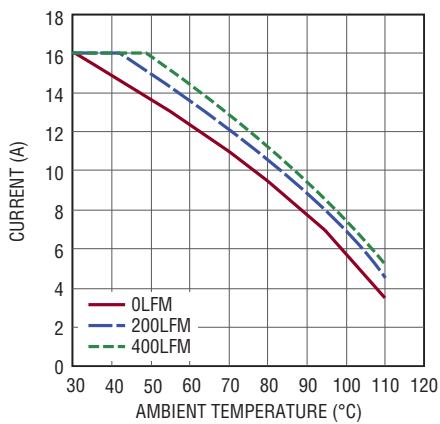


図17. 12VIN、1.0VOUTのデレレーティング曲線、4チャンネル並列接続、ヒートシンクなし

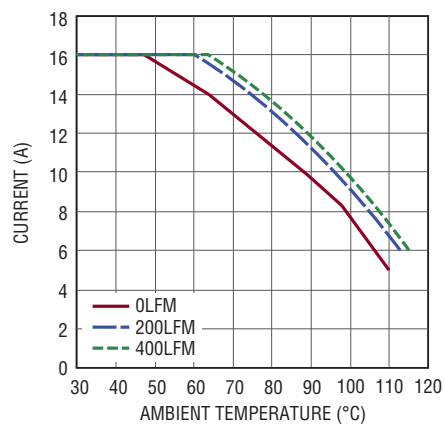


図18. 5VIN、1.0VOUTのデレレーティング曲線、4チャンネル並列接続、BGAヒートシンク

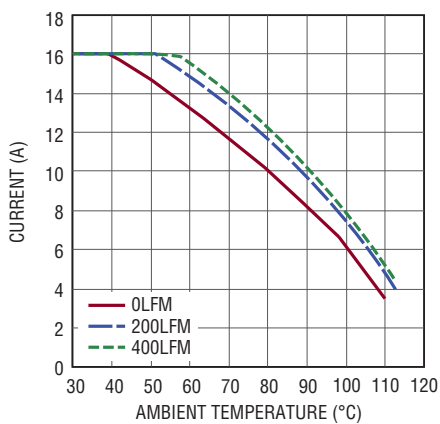


図19. 12VIN、1.0VOUTのデレレーティング曲線、4チャンネル並列接続、BGAヒートシンク

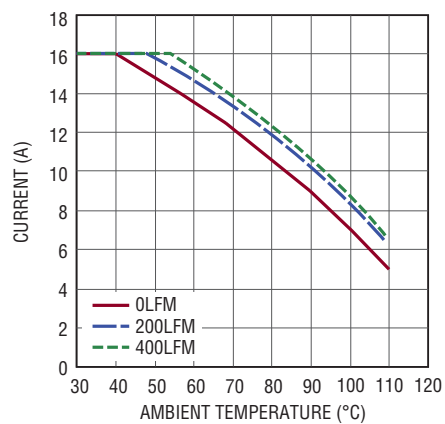
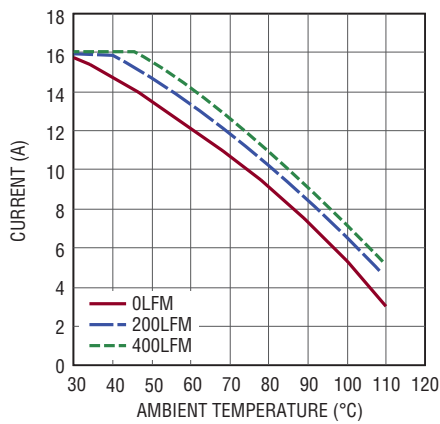


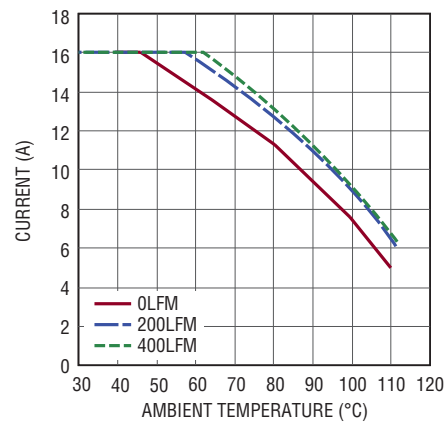
図20. 5VIN、1.5VOUTのデレレーティング曲線、4チャンネル並列接続、ヒートシンクなし

アプリケーション情報



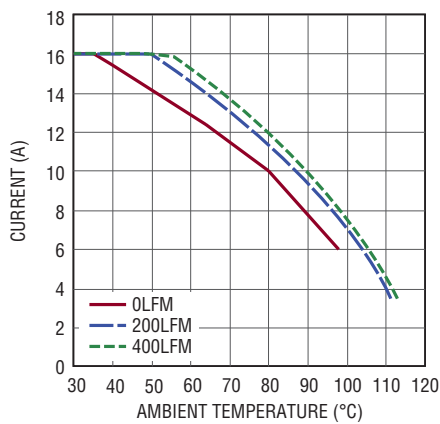
4641 F21

図21. 12V_{IN}、1.5V_{OUT}のディレーティング曲線、4チャンネル並列接続、ヒートシンクなし



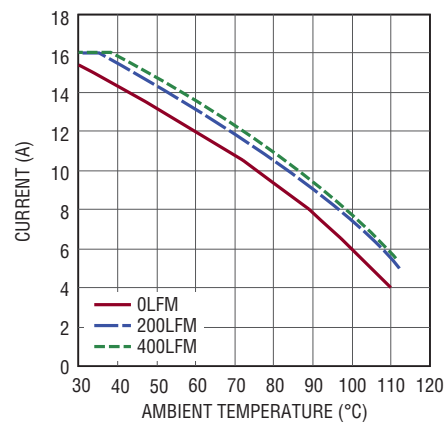
4641 F22

図22. 5V_{IN}、1.5V_{OUT}のディレーティング曲線、4チャンネル並列接続、BGAヒートシンク



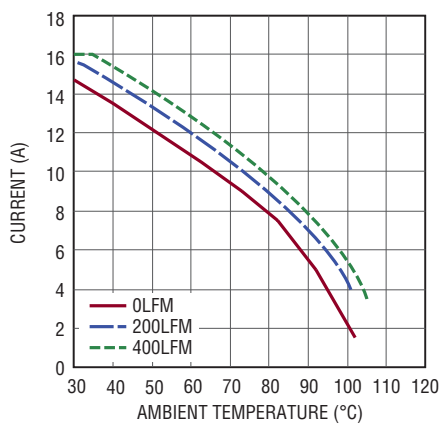
4641 F23

図23. 12V_{IN}、1.5V_{OUT}のディレーティング曲線、4チャンネル並列接続、BGAヒートシンク



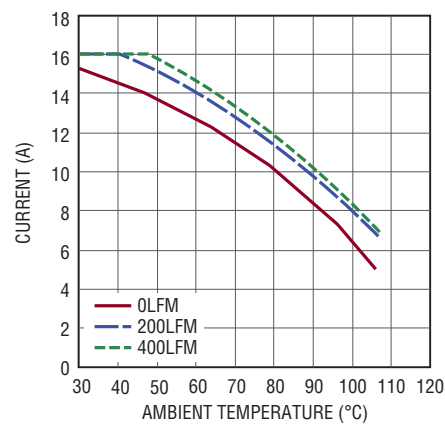
4641 F24

図24. 5V_{IN}、3.3V_{OUT}のディレーティング曲線、4チャンネル並列接続、ヒートシンクなし



4641 F25

図25. 12V_{IN}、3.3V_{OUT}のディレーティング曲線、4チャンネル並列接続、ヒートシンクなし



4641 F26

図26. 5V_{IN}、3.3V_{OUT}のディレーティング曲線、4チャンネル並列接続、BGAヒートシンク

アプリケーション情報

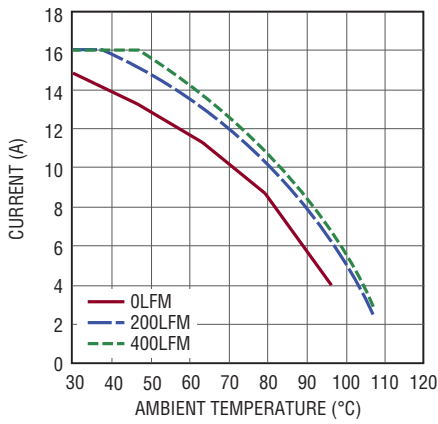


図27. 12V_{IN}、3.3V_{OUT}のディレーティング曲線、4チャンネル並列接続、BGA ヒートシンク

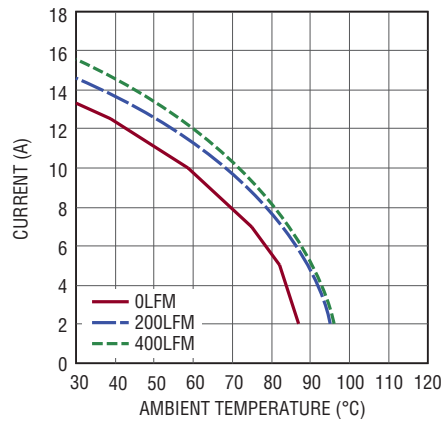


図28. 12V_{IN}、5V_{OUT}のディレーティング曲線、4チャンネル並列接続、ヒートシンクなし

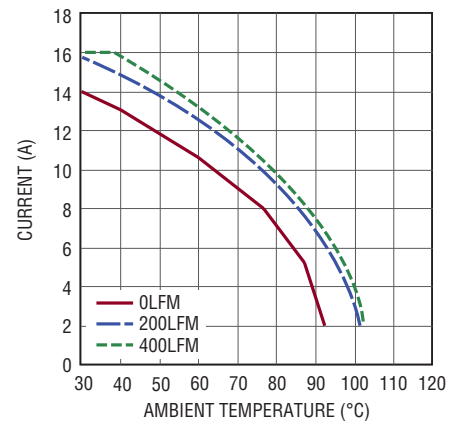


図29. 12V_{IN}、5V_{OUT}のディレーティング曲線、4チャンネル並列接続、BGA ヒートシンク

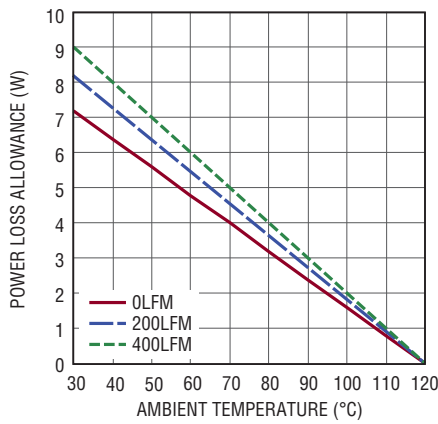


図30. 許容電力損失と周囲温度、ヒートシンクなし

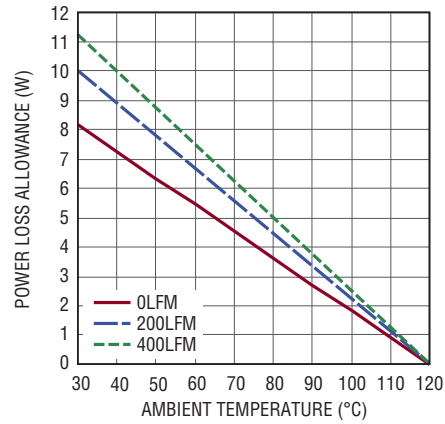


図31. 許容電力損失と周囲温度、BGA ヒートシンク

アプリケーション情報

表3. 1.0V出力

ディレーティング曲線	V _{IN} (V)	電力損失曲線	空気流 (LFM)	ヒートシンク	Θ _{JA} (°C/W)
Figures 16, 17	5, 12	Figure 9	0	None	12.5
Figures 16, 17	5, 12	Figure 9	200	None	11
Figures 16, 17	5, 12	Figure 9	400	None	10
Figures 18, 19	5, 12	Figure 9	0	BGA Heat Sink	11
Figures 18, 19	5, 12	Figure 9	200	BGA Heat Sink	9
Figures 18, 19	5, 12	Figure 9	400	BGA Heat Sink	8

表4. 1.5V出力

ディレーティング曲線	V _{IN} (V)	電力損失曲線	空気流 (LFM)	ヒートシンク	Θ _{JA} (°C/W)
Figures 20, 21	5, 12	Figure 11	0	None	12.5
Figures 20, 21	5, 12	Figure 11	200	None	11
Figures 20, 21	5, 12	Figure 11	400	None	10
Figures 22, 23	5, 12	Figure 11	0	BGA Heat Sink	11
Figures 22, 23	5, 12	Figure 11	200	BGA Heat Sink	9
Figures 22, 23	5, 12	Figure 11	400	BGA Heat Sink	8

表5. 3.3V出力

ディレーティング曲線	V _{IN} (V)	電力損失曲線	空気流 (LFM)	ヒートシンク	Θ _{JA} (°C/W)
Figures 24, 25	5, 12	Figure 14	0	None	12.5
Figures 24, 25	5, 12	Figure 14	200	None	11
Figures 24, 25	5, 12	Figure 14	400	None	10
Figures 26, 27	5, 12	Figure 14	0	BGA Heat Sink	11
Figures 26, 27	5, 12	Figure 14	200	BGA Heat Sink	9
Figures 26, 27	5, 12	Figure 14	400	BGA Heat Sink	8

表6. 5V出力

ディレーティング曲線	V _{IN} (V)	電力損失曲線	空気流 (LFM)	ヒートシンク	Θ _{JA} (°C/W)
Figures 26, 27	12	Figure 15	0	None	12.5
Figures 26, 27	12	Figure 15	200	None	11
Figures 26, 27	12	Figure 15	400	None	10
Figures 28, 29	12	Figure 15	0	BGA Heat Sink	11
Figures 28, 29	12	Figure 15	200	BGA Heat Sink	9
Figures 28, 29	12	Figure 15	400	BGA Heat Sink	8

LTM4644

アプリケーション情報

表7

C _{IN}	製品番号	値	C _{OUT1}	製品番号	値	C _{OUT2}	製品番号	値
村田製作所	GRM21BR61C106KE15L	10μF、16V、0805、X5R	村田製作所	GRM21BR60J476ME15	47μF、6.3V、0805、X5R	三洋	4TPE100MZB	4V 100μF
太陽誘電	EMK212BJ106KG-T	10μF、16V、0805、X5R	太陽誘電	JMK212BJ476MG-T	47μF、6.3V、0805、X5R			
村田製作所	GRM31CR61C226ME15L	22μF、16V、1206、X5R						
太陽誘電	EMK316BJ226ML-T	22μF、16V、1206、X5R						

V _{OUT} (V)	C _{IN} (セラミック) (μF)	C _{IN} (バルク)	C _{OUT1} (セラミック) (μF)	C _{OUT2} (バルク) (μF)	C _{FF} (pF)	V _{IN} (V)	電圧低下量 (mV)	P-P変動量 (mV)	回復時間 (μs)	負荷ステップ (A)	負荷ステップのスルーレート (A/μs)	R _{FB} (kΩ)
1	10		47			5,12	5	72	40	1	1	90.9
1	10			100μF	10	5,12	5	60	40	1	1	90.9
1	10		47			5,12	5	127	40	2	1	90.9
1	10			100μF	10	5,12	5	90	40	2	1	90.9
1.2	10		47			5,12	5	76	40	1	1	60.4
1.2	10			100μF	10	5,12	5	65	40	1	1	60.4
1.2	10		47			5,12	5	145	40	2	1	60.4
1.2	10			100μF	10	5,12	5	103	40	2	1	60.4
1.5	10		47			5,12	5	80	40	1	1	40.2
1.5	10			100μF	10	5,12	5	70	40	1	1	40.2
1.5	10		47			5,12	5	161	40	2	1	40.2
1.5	10			100μF	10	5,12	5	115	40	2	1	40.2
1.8	10		47			5,12	5	95	40	1	1	30.1
1.8	10			100μF	10	5,12	5	80	40	1	1	30.1
1.8	10		47			5,12	5	177	40	2	1	30.1
1.8	10			100μF	10	5,12	5	128	40	2	1	30.1
2.5	10		47			5,12	5	125	40	1	1	19.1
2.5	10			100μF	10	5,12	5	100	50	1	1	19.1
2.5	10		47			5,12	5	225	40	2	1	19.1
2.5	10			100μF	10	5,12	5	161	50	2	1	19.1
3.3	10		47			5,12	5	155	40	1	1	13.3
3.3	10			100μF	10	5,12	5	122	60	1	1	13.3
3.3	10		47			5,12	5	285	40	2	1	13.3
3.3	10			100μF	10	5,12	5	198	60	2	1	13.3
5	10		47		10	5,12	5	220	40	1	1	8.25
5	10			100μF	10	5,12	5	420	40	2	1	8.25

アプリケーション情報

安全性に関する検討事項

LTM4644 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

LTM4644 は高度に集積化されているため、PCB 基板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、さらにレイアウト上の配慮がいくつか必要です。

- $V_{IN1} \sim V_{IN4}$ 、GND、 $V_{OUT1} \sim V_{OUT4}$ を含む高電流経路には PCB 銅箔面積を広く確保します。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} 、GND 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。
- ユニットの下に専用の電源グランド・レイヤを配置します。
- ビアの導通損失を最小に抑え、モジュールの熱ストレスを減らすため、トップ・レイヤと他の電源レイヤの間の相互接続に多数のビアを使います。
- 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。
- 信号ピンに接続された部品には、別の SGND グランド銅領域を使います。SGND と GND をユニットの下で接続します。
- 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。TRACK/SS ピンはレギュレータのソフトスタート用に共通のコンデンサを接続できます。
- 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 32 に示します。

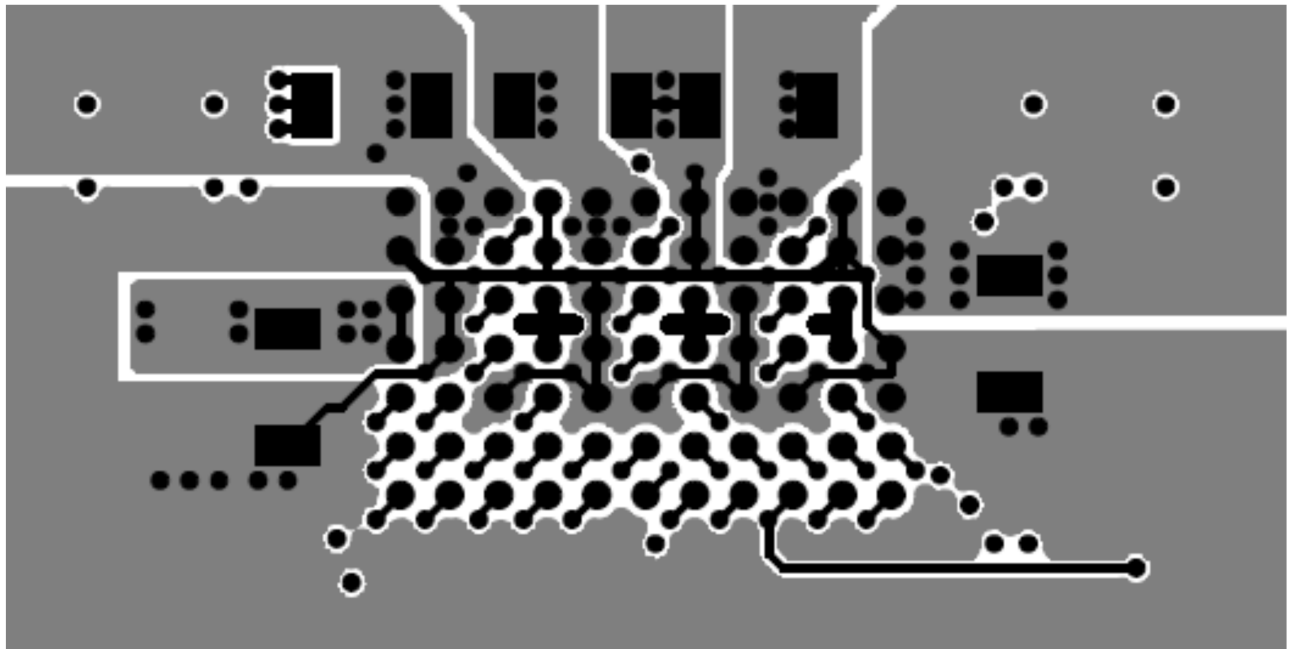


図 32. 推奨される PCB レイアウト

標準的応用例

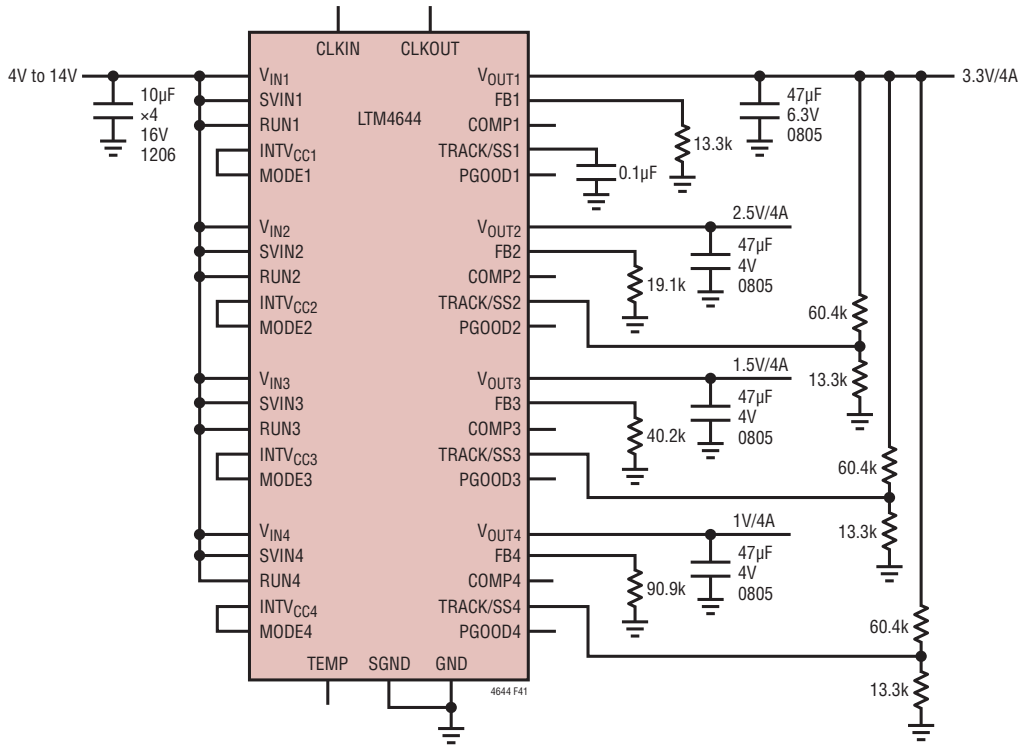


図33. 4V～14V入力、クワッド1.2V、1.5V、2.5Vおよび3.3V出力(トラッキング機能付き)

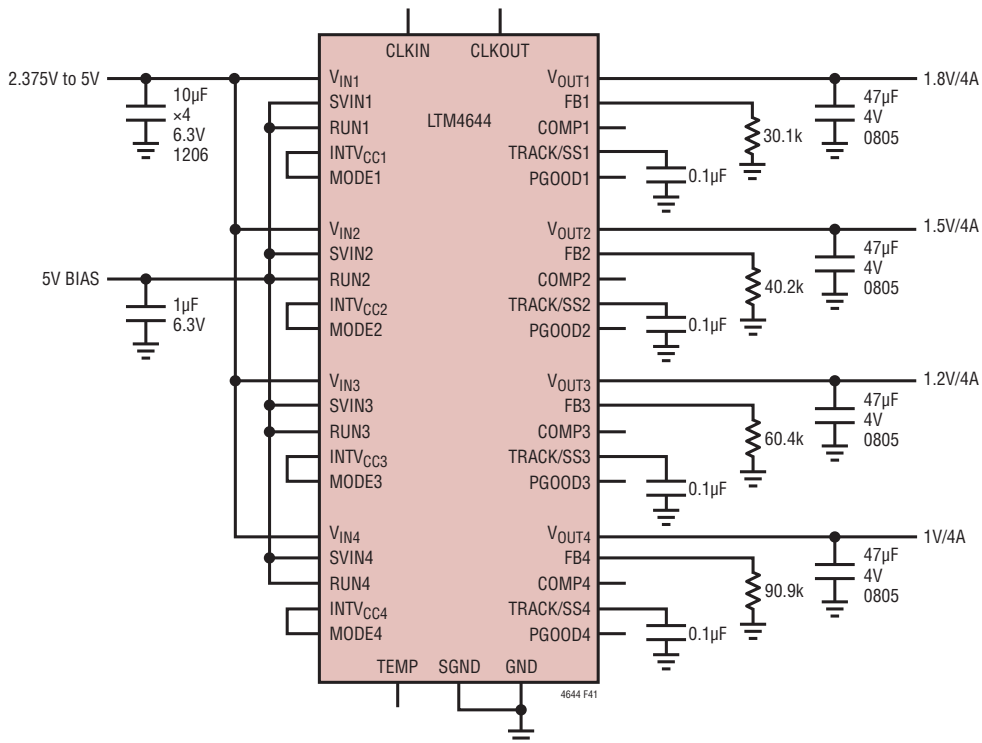


図34. 2.375V～5V入力、クワッド1V、1.2V、1.5V、1.8V出力

4644fb

標準的応用例

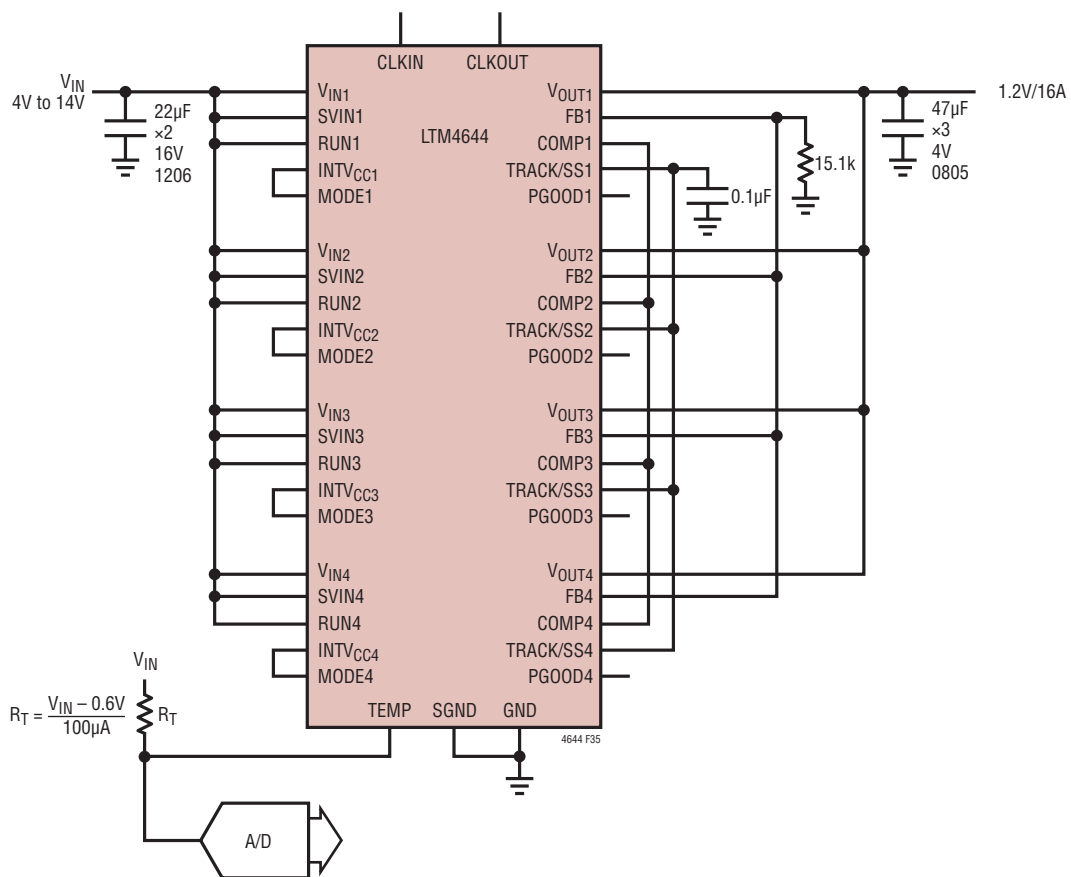


図 35. 4V～14V 入力、4フェーズ、1.2V/16A デザイン (温度モニタリング機能付き)

標準的応用例

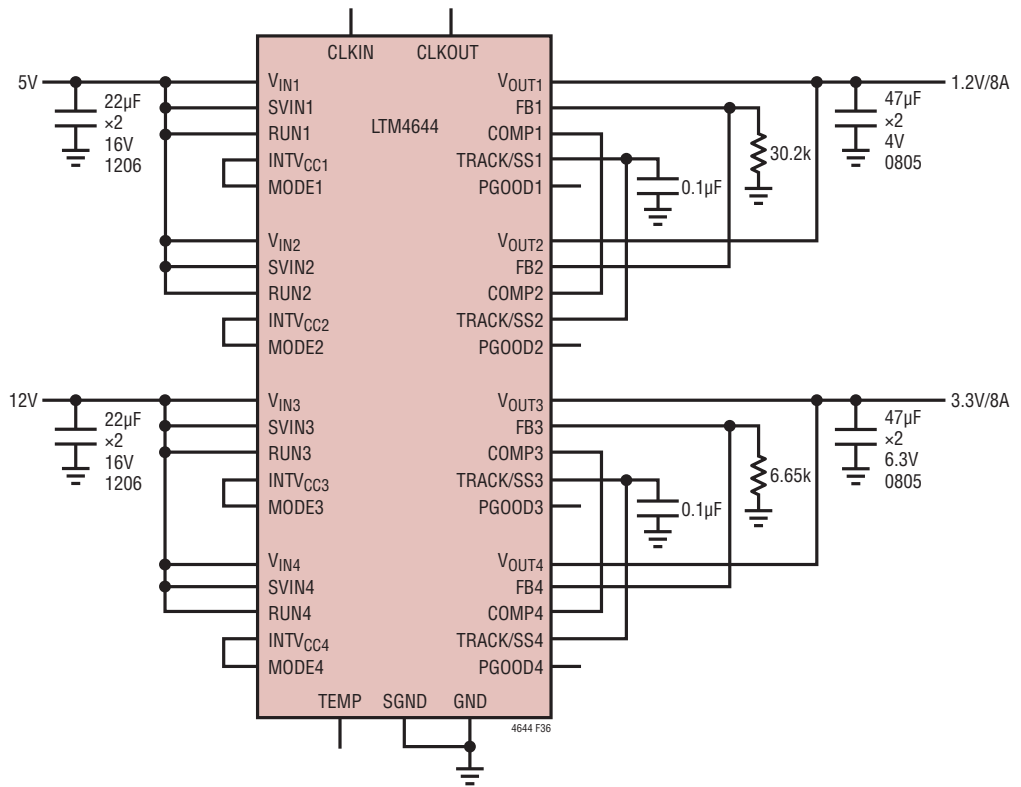


図 36. 12V と 5V の 2 つの独立した入力レール、1.2V/8A 出力および 3.3V/8A 出力

パッケージ



パッケージの行と列のラベルは μ Module 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。

LTM4644の構成要素のBGAピン配列

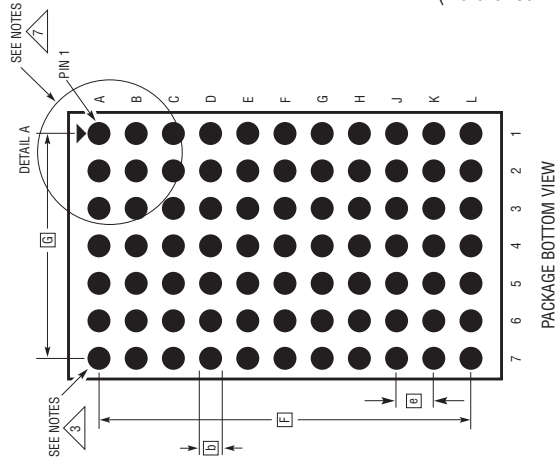
ピン	名称	ピン	名称	ピン	名称	ピン	名称	ピン	名称	ピン	名称
A1	V _{OUT1}	B1	GND	C1	V _{OUT2}	D1	V _{OUT2}	E1	GND	F1	V _{OUT3}
A2	V _{OUT1}	B2	GND	C2	PGOOD2	D2	V _{OUT2}	E2	GND	F2	PGOOD3
A3	V _{OUT1}	B3	V _{IN1}	C3	PGOOD1	D3	GND	E3	V _{IN2}	F3	TEMP
A4	GND	B4	V _{IN1}	C4	INTV _{CC1}	D4	GND	E4	V _{IN2}	F4	INTV _{CC2}
A5	GND	B5	SV _{IN1}	C5	GND	D5	GND	E5	SV _{IN2}	F5	GND
A6	TRACK/SS1	B6	MODE1	C6	RUN1	D6	TRACK/SS2	E6	MODE2	F6	RUN2
A7	FB1	B7	COMP1	C7	CLKIN	D7	FB2	E7	COMP2	F7	SGND

ピン	名称	ピン	名称	ピン	名称	ピン	名称	ピン	名称		
G1	V _{OUT3}	H1	GND	J1	V _{OUT4}	K1	V _{OUT4}	L1	GND		
G2	V _{OUT3}	H2	GND	J2	PGOOD4	K2	V _{OUT4}	L2	GND		
G3	GND	H3	V _{IN3}	J3	CLKOUT	K3	GND	L3	V _{IN4}		
G4	GND	H4	V _{IN3}	J4	INTV _{CC3}	K4	GND	L4	V _{IN4}		
G5	GND	H5	SV _{IN3}	J5	GND	K5	INTV _{CC4}	L5	SV _{IN4}		
G6	TRACK/SS3	H6	MODE3	J6	RUN3	K6	TRACK/SS4	L6	MODE4		
G7	FB3	H7	COMP3	J7	FB4	K7	RUN4	L7	COMP4		

パッケージ

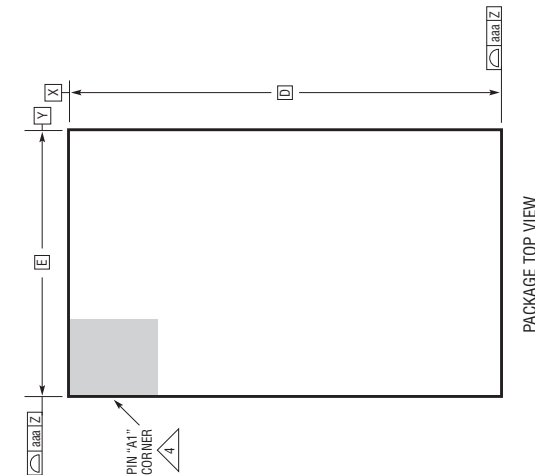
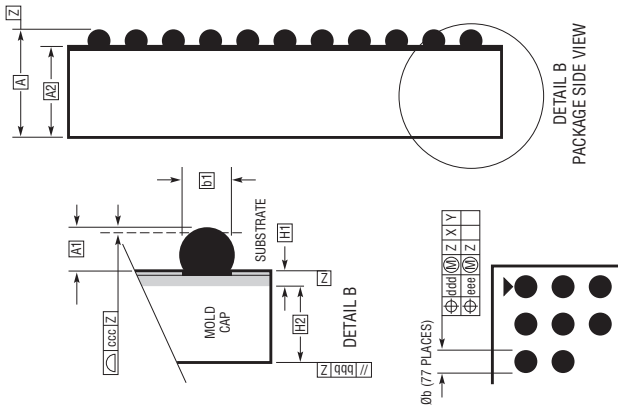
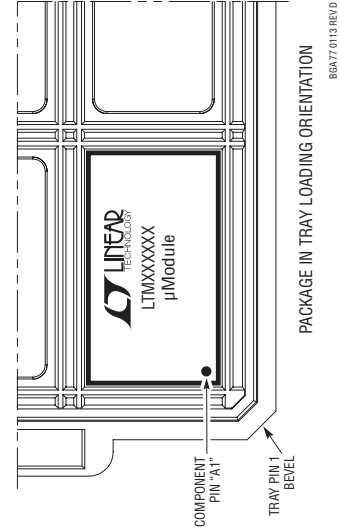
最新のパッケージ図面については、<http://www.linear-tech.co.jp/designtools/packaging/> を参照してください。

BGA Package 77-Lead (9mm × 15mm × 5.01mm) (Reference LTC DWG # 05-08-1900 Rev D)

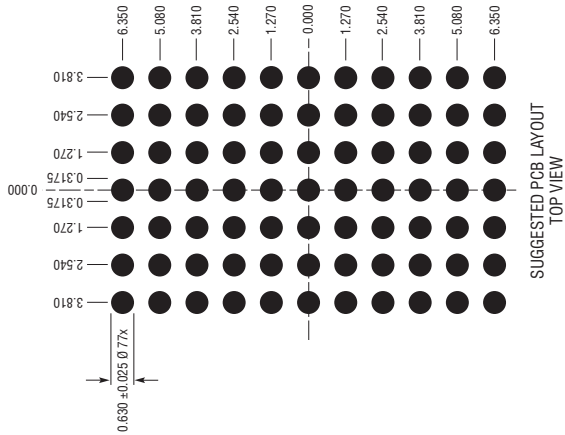


NOTES:

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オンだが、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ーキングにすることができ
5. 主データム-Z₁ はシーティングプレーン
6. 半田ボールは、元素構成比がスズ (Sn) 96.5%、銀 (Ag) 3.0%、銅 (Cu) 0.5% の合金
7. パッケージの行と列のラベルは、μModule 製品間で異なり得ます。各パッケージのレイアウトを十分に確認してください。



DIMENSIONS			
SYMBOL	MIN	NOM	MAX
A	4.81	5.01	5.21
A1	0.50	0.60	0.70
A2	4.31	4.41	4.51
b	0.60	0.75	0.90
b1	0.60	0.63	0.66
D		15.00	
E		9.00	
e		1.27	
F		12.70	
G		7.62	
H1	0.36	0.41	0.46
H2	3.95	4.00	4.05
aaa			0.15
bbb			0.10
ccc			0.20
ddd			0.30
eee			0.15
TOTAL NUMBER OF BALLS: 77			

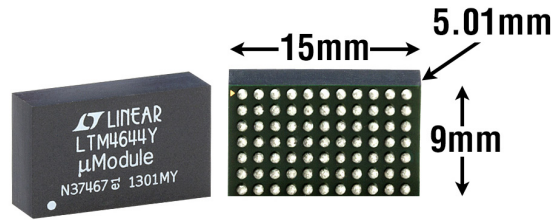


改訂履歴

REV	日付	概要	ページ番号
A	01/14	SnPb BGAパッケージオプションの追加。	1、2
B	06/14	ピデオクリックのハイパーリンクを追加。 「発注情報」を更新。 VRUN (RUN Pin On Threshold)を更新。 図5を更新。 「ソフトスタートおよび出力電圧トラッキング」セクションを更新。	1 2 3 13 14

LTM4644

パッケージの写真



デザイン・リソース

主題	説明
μModuleのデザイン/製造リソース	<p>デザイン:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 選択ガイド • デモボードおよび Gerber ファイル • 無料シミュレーション・ツール <p>製造:</p> <ul style="list-style-type: none"> • クイック・スタート・ガイド • PCBの設計、組立、および製造ガイドライン • パッケージおよびボード・レベルの信頼性
μModuleレギュレータ製品の検索	<p>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</p> <p>2. Quick Power Search パラメトリック・テーブルを使って検索を実行する</p> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>Quick Power Search</p> <p>Input V_{in} (Min) <input type="text"/> V V_{in} (Max) <input type="text"/> V</p> <p>Output V_{out} <input type="text"/> V I_{out} <input type="text"/> A</p> <p style="text-align: right;"><input type="button" value="Search"/></p> </div>
TechClipビデオ	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
デジタル・パワーシステム・マネージメント	リニアテクノロジーのデジタル電源管理デバイス・ファミリは、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	説明	注釈
LTM4624	14V _{IN} 、4A 降圧 μModule レギュレータ、小型 6.25mm×6.25mm×5.01mm BGA	4V ≤ V _{IN} ≤ 14V、0.6V ≤ V _{OUT} ≤ 5.5V、V _{OUT} トラッキング、PGOOD、軽負荷モード、ソリューション全体を1cm ² の片面PCBに実装
LTM4619	デュアル26V、4A 降圧 μModule レギュレータ	4.5V ≤ V _{IN} ≤ 26.5V、0.8V ≤ V _{OUT} ≤ 5V、PLL入力、V _{OUT} のトラッキング、PGOOD、15mm×15mm×2.82mm LGA
LTM4618	26V、6A 降圧 μModule レギュレータ	4.5V ≤ V _{IN} ≤ 26.5V、0.8V ≤ V _{OUT} ≤ 5V、PLL入力、V _{OUT} のトラッキング、9mm×15mm×4.32mm LGA
LTM4628	デュアル26V、8A 降圧 μModule レギュレータ	4.5V ≤ V _{IN} ≤ 26.5V、0.6V ≤ V _{OUT} ≤ 5.5V、リモート検出アンプ、内部温度検出出力、15mm×15mm×4.32mm LGA
LTM4614	デュアル5V、4A μModule レギュレータ	2.375V ≤ V _{IN} ≤ 5.5V、0.8V ≤ V _{OUT} ≤ 5V、15mm×15mm×2.82mm LGA パッケージ
LTM4608A	トラッキング、マージニング、周波数同期機能を備えた5V、8A 降圧 μModule レギュレータ	2.7V ≤ V _{IN} ≤ 5.5V、0.6V ≤ V _{OUT} ≤ 5V、PLL入力、クロック出力、V _{OUT} のトラッキングとマージニング、PGOOD、9mm×15mm×2.82mm LGA
LTM4616	トラッキング、マージニング、周波数同期機能を備えた5V、8A デュアル降圧 μModule レギュレータ	2.7V ≤ V _{IN} ≤ 5.5V、0.6V ≤ V _{OUT} ≤ 5V、PLL入力、クロック出力、V _{OUT} のトラッキングとマージニング、PGOOD、15mm×15mm×2.82mm LGA
LTM8045	最大出力電流が700mAで反転またはSEPIC構成のμModule DC/DCコンバータ	2.8V ≤ V _{IN} ≤ 18V、±2.5V ≤ V _{OUT} ≤ ±15V、同期可能、反転構成時にディレーティング不要および制御入力のロジックレベル・シフト不要、6.25mm×11.25mm×4.92mm BGA
LTM8001	5個の1A LDOからなる構成可能な配列を備えた、36V、5A 降圧 μModule レギュレータ	6V ≤ V _{IN} ≤ 36V、0V ≤ V _{OUT} ≤ 24V、5個の並列接続可能な1.1A 90μV _{RMS} 出力ノイズLDO、同期可能、調整可能なスイッチャ出力電流制限、15mm×15mm×4.92mm BGA
LTC®2978	EEPROM付きオクタール・デジタル電源マネージャ	I ² C/PMBus インタフェース、設定用EEPROM、フォルト・ロギング、TUE±0.25%の16ビットADC、3.3V～15V動作
LTC2974	EEPROMを内蔵したクワッド・デジタル電源マネージャ	I ² C/PMBus インタフェース、設定用EEPROM、フォルト・ロギング、チャンネルごとの電圧、電流および温度測定

4644fb