

5出力の設定可能な LDOアレイを備えた36V入力、 5A μ Moduleレギュレータ

特長

- 設定可能な5つのLDOアレイを備えた総合的な降圧スイッチ・モード電源
- 降圧スイッチング電源
 - 調整可能な10%精度の出力電流制限
 - 定電流、定電圧動作
 - 広い入力電圧範囲: 6V ~ 36V
 - 出力電圧範囲: 1.2V ~ 24V
- 設定可能な出力LDOアレイ
 - 並列接続可能な5つの1.1A出力
 - 出力は0V ~ 24Vの範囲で調整可能
 - 低出力ノイズ: 90 μ V_{RMS} (100Hz ~ 1MHz)
- 15mm×15mm×3.42mmの表面実装型BGAパッケージ

アプリケーション

- FPGA、DSP、ASIC、およびマイクロプロセッサの電源
- サーバおよび記憶装置
- RFトランシーバ

概要

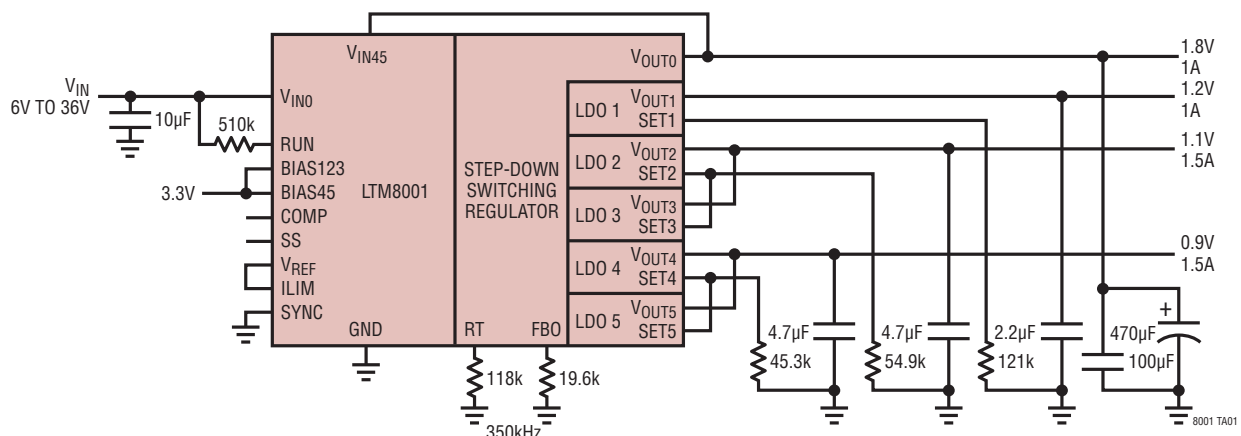
LTM[®]8001は、5出力の設定可能なLDOアレイを備えた36V入力の5A降圧 μ Module[®]レギュレータです。LTM8001降圧レギュレータは、6V ~ 36Vの入力電圧範囲で動作し、1.2V ~ 24Vの出力電圧範囲をサポートします。降圧レギュレータの後段には5つの1.1Aリニア・レギュレータ・アレイがあり、この出力を並列に接続してさまざまな負荷の組み合わせに適応させることができます。これらのLDOのうち3つは降圧レギュレータの出力に接続されていますが、残りの2つは専用ではない入力にまとめて接続されています。

高さの低いパッケージ(3.42mm)なので、プリント回路基板裏面の未使用スペースを利用して、高密度のポイントオブロード・レギュレーションに使用できます。LTM8001は、熱特性の改善された、小型(15mm×15mm)で高さの低い(3.42mm)オーバーモールド・ボール・グリッド・アレイ(BGA)パッケージに収容されているので、標準の表面実装装置による自動組み立てに適しています。LTM8001は、SnPb(BGA)またはRoHS準拠の端子仕上げで供給されます。

LT、LT、LTC、LTM、 μ Module、Linear TechnologyおよびLinearのロゴはリニアテクノロジー社の登録商標です。その他全ての商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。7199560、7321203を含む米国特許によって保護されています。

標準的応用例

5A出力のDC/DC μ Moduleコンバータ



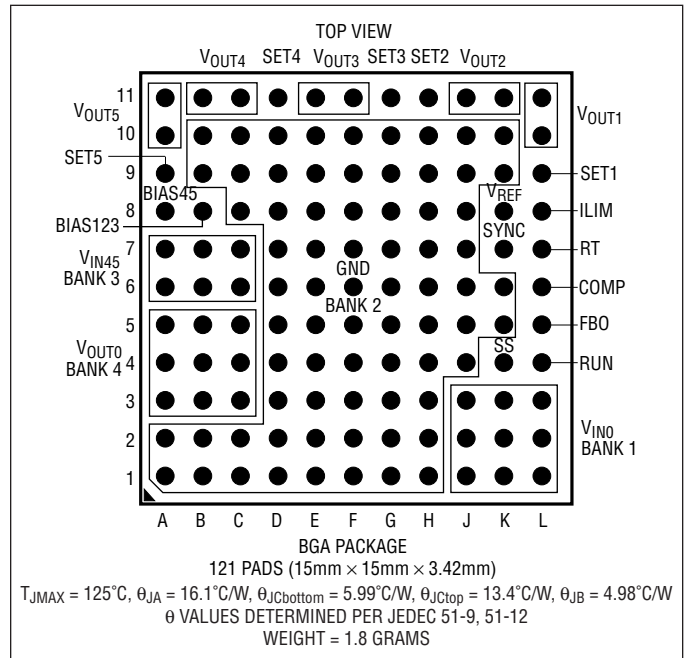
LTM8001

絶対最大定格

(Note 1)

V _{IN0}	40V
V _{IN45} 、BIAS45.....	25V
BIAS123.....	25V
FBO、RT、COMP、ILIM、V _{REF}	3V
V _{OUT0-5}	25V
RUN、SYNC、SS.....	6V
SET1-5 (それぞれV _{OUT1-5} 基準).....	±0.3V
SET1-5への流入電流.....	±10mA
RUNピンへの流入電流.....	100μA
最大接合部温度 (Note 2、3).....	125°C
ピーク・ボディ・リフロー温度.....	245°C
保存温度.....	-55°C ~ 125°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			
LTM8001EY#PBF	SAC305 (RoHS)	LTM8001Y	e1	BGA	3	-40°C to 125°C
LTM8001IY#PBF	SAC305 (RoHS)	LTM8001Y	e1	BGA	3	-40°C to 125°C
LTM8001IY	SnPb (63/37)	LTM8001Y	e0	BGA	3	-40°C to 125°C
LTM8001MPY#PBF	SAC305 (RoHS)	LTM8001Y	e1	BGA	3	-55°C to 125°C
LTM8001MPY	SnPb (63/37)	LTM8001Y	e0	BGA	3	-55°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

• LGA/BGAパッケージおよびトレイ図面:

www.linear-tech.co.jp/packaging

電気的特性 ●は全動作温度範囲の規格値を意味する。それ以外は注記がない限り $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $\text{RUN} = 3\text{V}$ での値 (Note 3)。

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
降圧レギュレータ						
Minimum V_{IN0} Input Voltage		●		6	V	
V_{OUT0} Output DC Voltage	$0\text{A} < I_{\text{OUT}} \leq 3\text{A}$, R_{FB0} Open $0\text{A} < I_{\text{OUT}} \leq 3\text{A}$; $R_{\text{FB0}} = 536\Omega$		1.2 24		V V	
V_{OUT0} Output DC Current	$6\text{V} < V_{\text{IN0}} < 36\text{V}$, $V_{\text{OUT}} = 3.3\text{V}$	0		5	A	
Quiescent Current Into V_{IN0}	$\text{RUN} = 0\text{V}$ No Load		0.1 26	1 40	μA mA	
V_{OUT0} Line Regulation	$6\text{V} < V_{\text{IN0}} < 36\text{V}$, $I_{\text{OUT}} = 1\text{A}$		± 0.5		%	
V_{OUT0} Load Regulation	$V_{\text{IN0}} = 24\text{V}$, $0\text{A} < I_{\text{OUT}} < 5\text{A}$		± 1.2		%	
V_{OUT0} RMS Voltage Ripple	$V_{\text{IN0}} = 24\text{V}$, $I_{\text{OUT}} = 5\text{A}$		10		mV	
Switching Frequency	$R_T = 39.2\text{k}$ $R_T = 200\text{k}$		1000 200		kHz kHz	
Voltage at FBO Pin		●	1.15	1.19	1.21	V
Internal FBO Resistor			10		$\text{k}\Omega$	
RUN Pin Current	$\text{RUN} = 1.45\text{V}$		5.5		μA	
RUN Threshold Voltage (Falling)		1.49		1.61	V	
RUN Threshold Voltage (Rising)		1.63		1.75	V	
ILIM Control Range		0		1.5	V	
ILIM Pin Current			100		nA	
ILIM Current Limit Accuracy	ILIM = 1.5V ILIM = 0.75V	5.1 2.5		6.4 3.4	A A	
V_{REF} Voltage	0.5mA Load	1.9	2	2.1	V	
SS Pin Current			11		μA	
SYNC Input Low Threshold	$f_{\text{SYNC}} = 500\text{kHz}$	0.8			V	
SYNC Input High Threshold	$f_{\text{SYNC}} = 500\text{kHz}$			1.2	V	
SYNC Input Current	SYNC = 0V SYNC = 2V	-0.1		0.1	μA μA	
LDOアレイ						
SET1-5 Pin Current	BIAS123 = BIAS45 = 2V, SETx = 0V, $I_{\text{OUT1-5}} = 1\text{mA}$	●	9.85 9.80	10 10	10.15 10.20	μA μA
$V_{\text{OUTx}} - \text{SETx}$ Offset Voltage	BIAS123 = BIAS45 = 2V, SETx = 0V, $I_{\text{OUT1-5}} = 1\text{mA}$	●	-4 -6.5		4 6.5	mV mV
Line Regulation for SET Current	$1\text{V} < V_{\text{OUT0}} = V_{\text{IN45}} < 22\text{V}$, $I_{\text{OUTx}} = 1\text{mA}$ (Note 4)	●			11	nA
Line Regulation for $V_{\text{OUT1-5}}$	$1\text{V} < V_{\text{OUT0}} = V_{\text{IN45}} < 22\text{V}$, $I_{\text{OUTx}} = 1\text{mA}$ (Note 4)			0.25		mV
Load Regulation for SETx Current	$I_{\text{OUT1-5}} = 1\text{mA}$ to 1.1A				25	nA
Load Regulation for $V_{\text{OUT1-5}}$	$I_{\text{OUT1-5}} = 1\text{mA}$ to 1.1A	●			34 52	mV mV
Minimum Load Current for $V_{\text{OUT1-5}}$ (Note 4)	$V_{\text{OUT0}} = V_{\text{IN45}} = \text{BIAS123} = \text{BIAS45} = 10\text{V}$ $V_{\text{OUT0}} = V_{\text{IN45}} = \text{BIAS123} = \text{BIAS45} = 22\text{V}$	● ●			500 1	μA mA
BIAS123, BIAS45 Dropout Voltage	$I_{\text{OUT1-5}} = 100\text{mA}$ $I_{\text{OUT1-5}} = 1.1\text{A}$	●		1.2	1.6	V V
V_{OUT0} to $V_{\text{OUT1-3}}$ and V_{IN45} to $V_{\text{OUT4-5}}$ Dropout Voltage	$I_{\text{OUT1-5}} = 100\text{mA}$ $I_{\text{OUT1-5}} = 1.1\text{A}$	●		100	500	mV mV

LTM8001

電気的特性 ●は全動作温度範囲の規格値を意味する。それ以外は注記がない限り $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $\text{RUN} = 3\text{V}$ での値 (Note 3)。

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Maximum $V_{\text{OUT}0}$ to $V_{\text{OUT}1-3}$ and $V_{\text{IN}45}$ to $V_{\text{OUT}4-5}$ Differential Voltage (Note 5)	$I_{\text{OUT}1-5} = 750\text{mA}$			10	V
	$I_{\text{OUT}1-5} = 310\text{mA}$			15	V
	$I_{\text{OUT}1-5} = 125\text{mA}$			22	V
BIAS123, BIAS45 Pin Current	$I_{\text{OUT}1-5} = 100\text{mA}$			6	mA
	$I_{\text{OUT}1-5} = 1.1\text{A}$	●		30	mA
$V_{\text{OUT}1-5}$ Current Limit (Note 5)	$V_{\text{OUT}1-5} = -0.1\text{V}$		1.3		A
$V_{\text{OUT}1-5}$ RMS Output Noise	$V_{\text{OUT}1-5} = 1\text{V}$, $I_{\text{OUT}1-5} = 1.1\text{A}$, 100Hz to 1MHz		90		μVRMS

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。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る。

Note 2: この μModule レギュレータ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状態で動作が継続すると、デバイスの信頼性を損なうおそれがある。

Note 3: LTM8001E は $0^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ の内部温度で性能仕様に適合することが保証されている。 $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ 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。LTM8001I は $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ 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。LTM8001MP は $-55^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ 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。最大内部温度は、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。

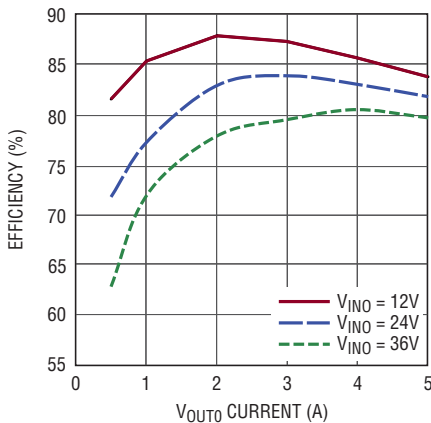
Note 4: $V_{\text{OUT}0} = 0\text{V}$ 、 $V_{\text{IN}45} = 0\text{V}$ 、BIAS123 = 0V または BIAS45 = 0V など、対応するリニア・レギュレータがオフの場合、最小負荷は不要。

Note 5: 入力対出力の電圧差が 22V よりも大きい場合、電流制限が 0 まで低下する可能性がある。 $V_{\text{OUT}0}$ 、 $V_{\text{IN}45}$ 、BIAS123、BIAS45 の電圧は最大 25V まで動作可能。ただし、リニア・レギュレータの入力と出力電圧の差が、規定された電圧差よりも低い場合に限る。デバイスが電流制限状態で動作している場合、入力レギュレーションおよび負荷レギュレーションの仕様は適用されない。

標準的性能特性

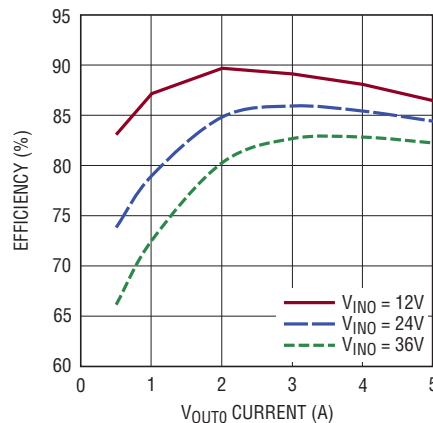
(注記がない限り $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。該当する場合は、表 1 に基づいて構成)

効率と出力電流 ($V_{\text{OUT}0} = 2.5\text{V}$)



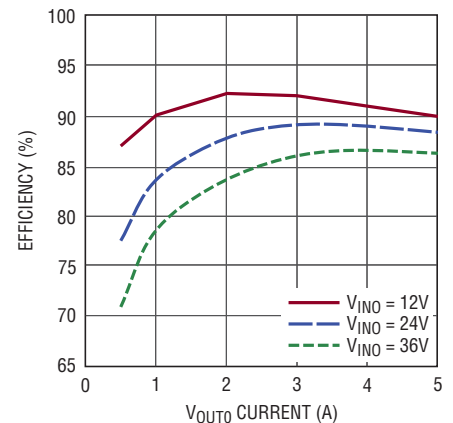
8001 G01

効率と出力電流 ($V_{\text{OUT}0} = 3.3\text{V}$)



8001 G02

効率と出力電流 ($V_{\text{OUT}0} = 5\text{V}$)



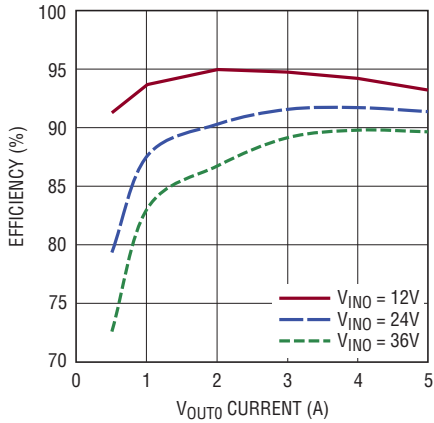
8001 G03

8001fc

標準的性能特性

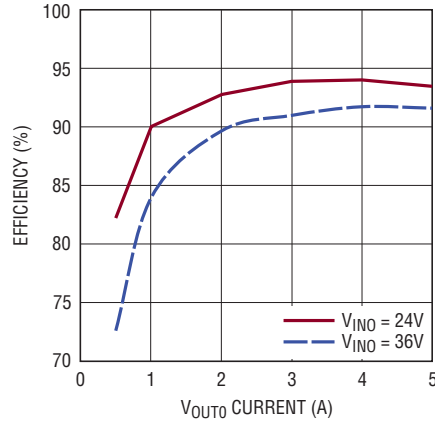
(注記がない限り $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。該当する場合は、表1に基づいて構成)

効率と出力電流 ($V_{OUT0} = 8\text{V}$)



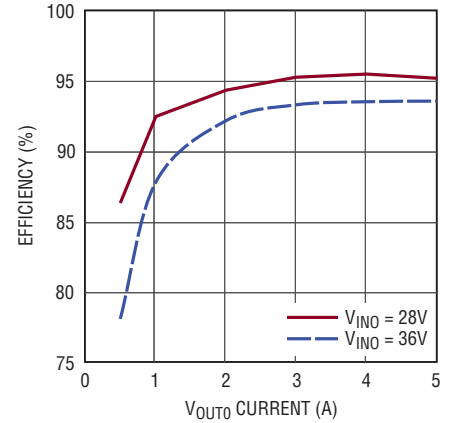
8001 G04

効率と出力電流 ($V_{OUT0} = 12\text{V}$)



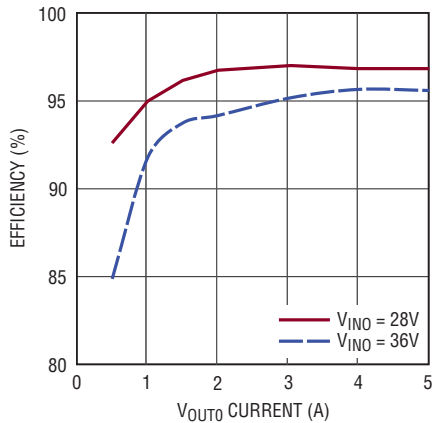
8001 G05

効率と出力電流 ($V_{OUT0} = 18\text{V}$)



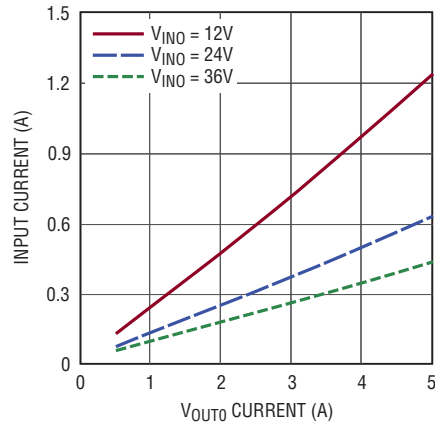
8001 G06

効率と出力電流 ($V_{OUT0} = 24\text{V}$)



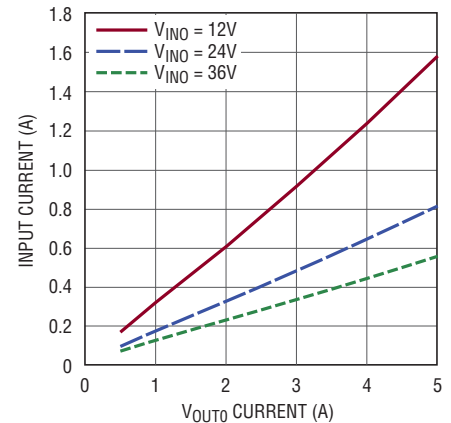
8001 G07

効率と出力電流 ($V_{OUT0} = 2.5\text{V}$)



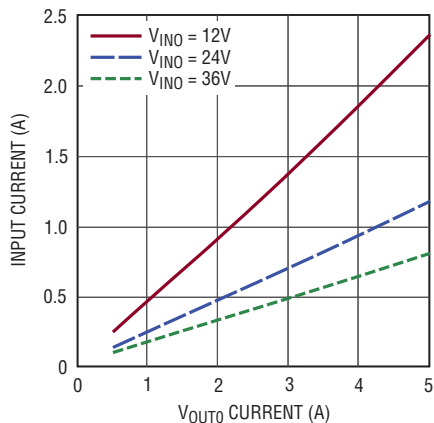
8001 G08

効率と出力電流 ($V_{OUT0} = 3.3\text{V}$)



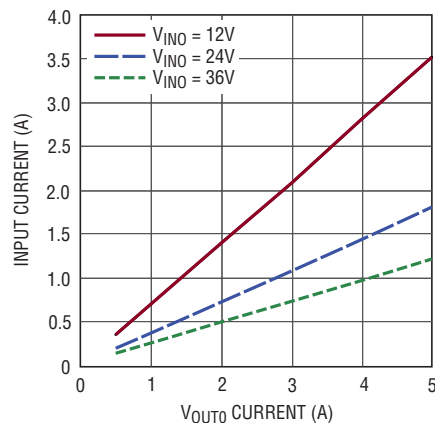
8001 G09

入力電流と出力電流 ($V_{OUT0} = 5\text{V}$)



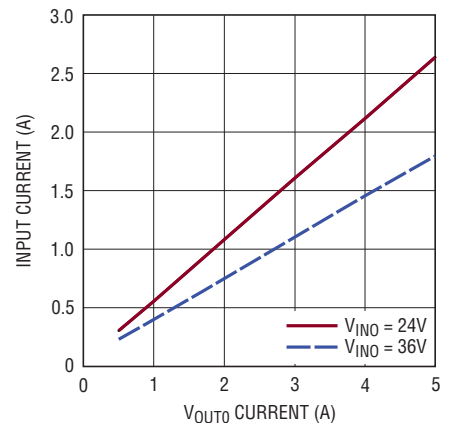
8001 G10

入力電流と出力電流 ($V_{OUT0} = 8\text{V}$)



8001 G11

入力電流と出力電流 ($V_{OUT0} = 12\text{V}$)



8001 G12

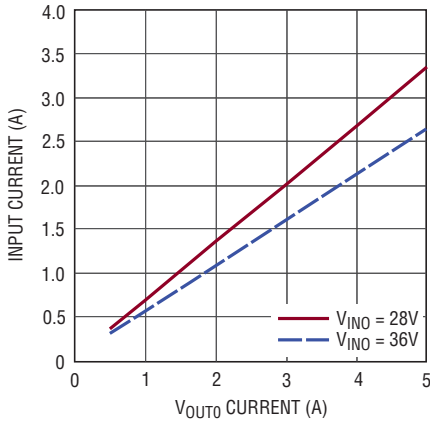
8001fc

LTM8001

標準的性能特性

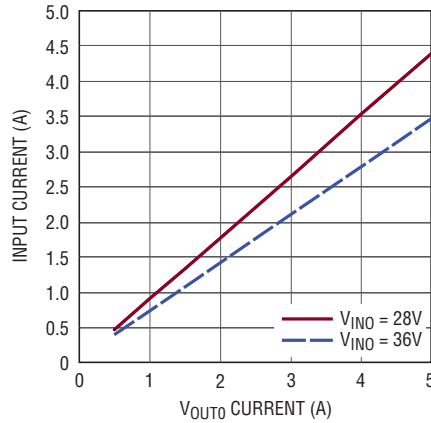
(注記がない限り $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。該当する場合は、表1に基づいて構成)

入力電流と出力電流 ($V_{\text{OUT0}} = 18\text{V}$)



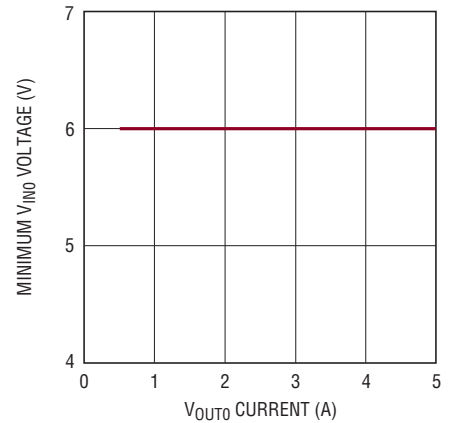
8001 G13

入力電流と出力電流 ($V_{\text{OUT0}} = 24\text{V}$)



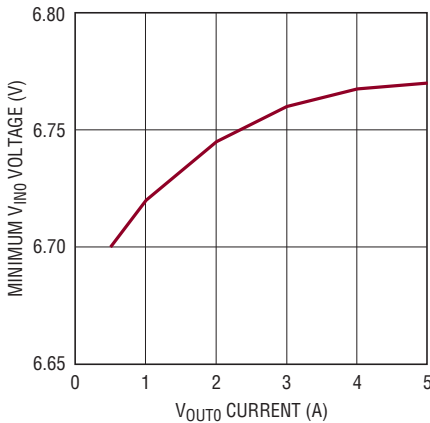
8001 G14

最小 V_{INO} と出力電流 ($V_{\text{OUT0}} = 3.3\text{V}$ 以下)



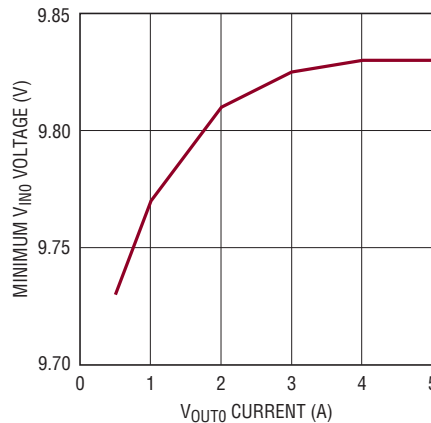
8001 G1

最小 V_{INO} と出力電流 ($V_{\text{OUT0}} = 5\text{V}$)



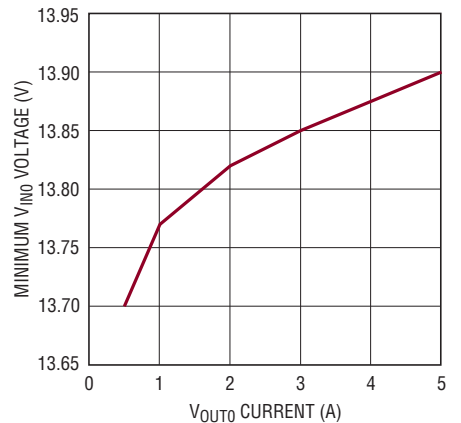
8001 G16

最小 V_{INO} と出力電流 ($V_{\text{OUT0}} = 8\text{V}$)



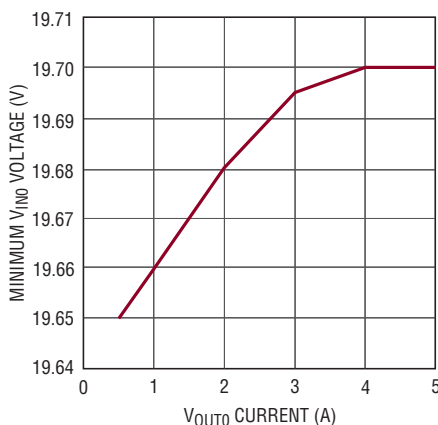
8001 G17

最小 V_{INO} と出力電流 ($V_{\text{OUT0}} = 12\text{V}$)



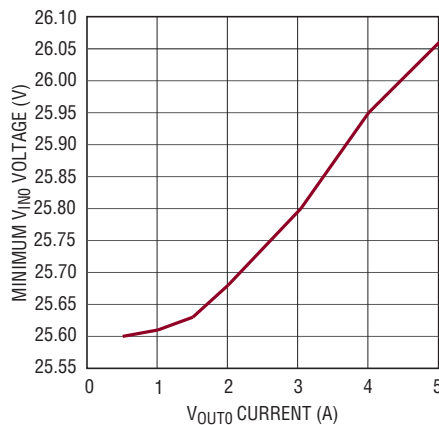
8001 G18

最小 V_{INO} と出力電流 ($V_{\text{OUT0}} = 18\text{V}$)



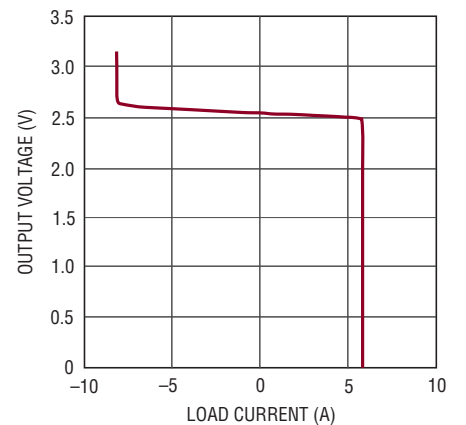
8001 G19

最小 V_{INO} と出力電流 ($V_{\text{OUT0}} = 24\text{V}$)



8001 G20

出力電圧と出力電流 ($V_{\text{OUT0}} = 2.5\text{V}$)



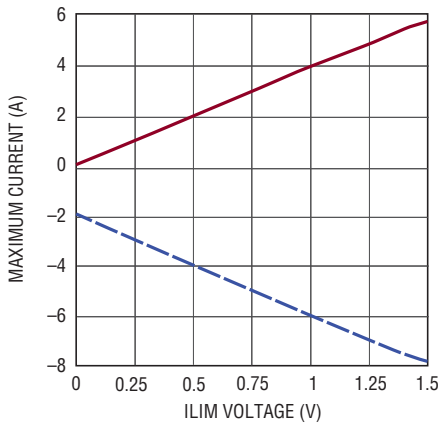
8001 G21

8001fc

標準的性能特性

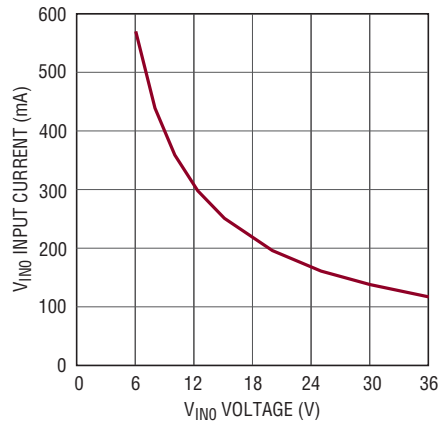
(注記がない限り $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。該当する場合は、表1に基づいて構成)

ILIM 電圧と最大 I_{OUT0} 出力電流



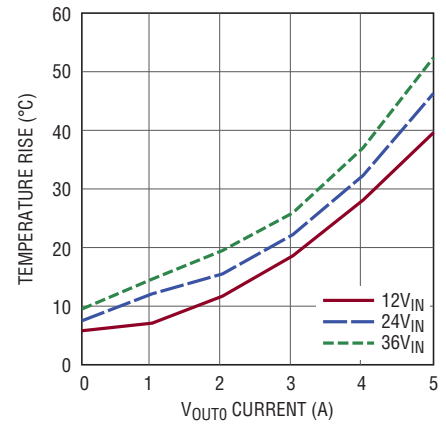
8001 G22

V_{IN0} 入力電流と電圧 (V_{OUT0} 短絡時)



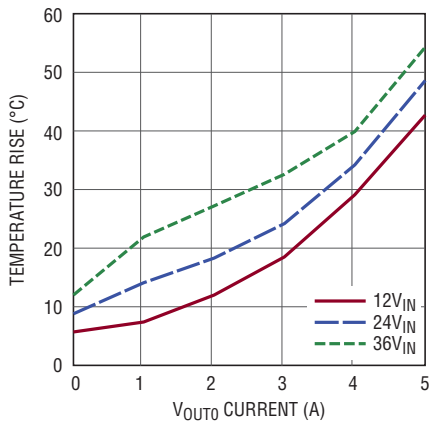
8001 G23

温度上昇と V_{OUT0} 電流 (降圧レギュレータ、 $V_{OUT0} = 2.5\text{V}$)



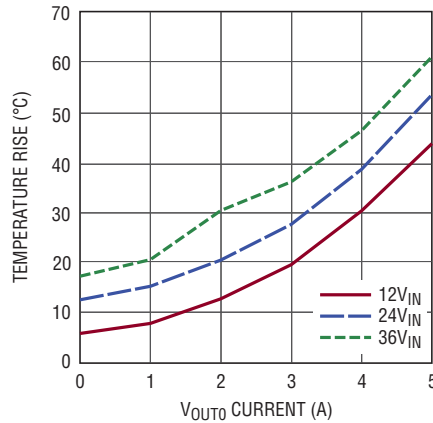
8001 G24

温度上昇と V_{OUT0} 電流 (降圧レギュレータ、 $V_{OUT0} = 3.3\text{V}$)



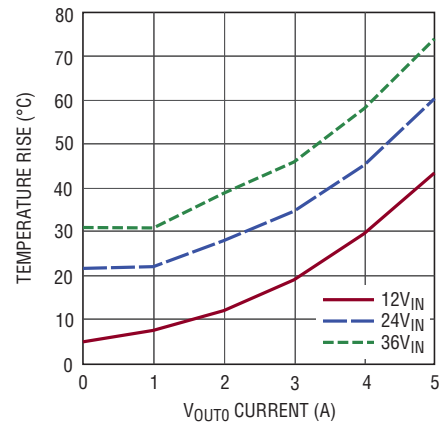
8001 G25

温度上昇と V_{OUT0} 電流 (降圧レギュレータ、 $V_{OUT0} = 5\text{V}$)



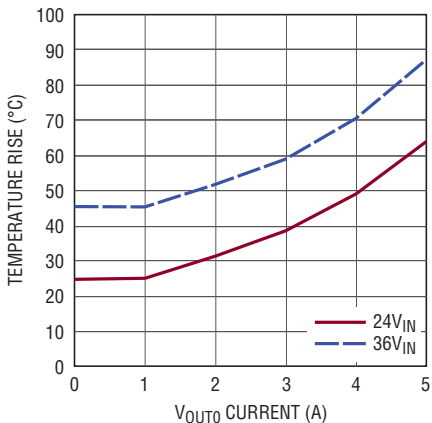
8001 G26

温度上昇と V_{OUT0} 電流 (降圧レギュレータ、 $V_{OUT0} = 8\text{V}$)



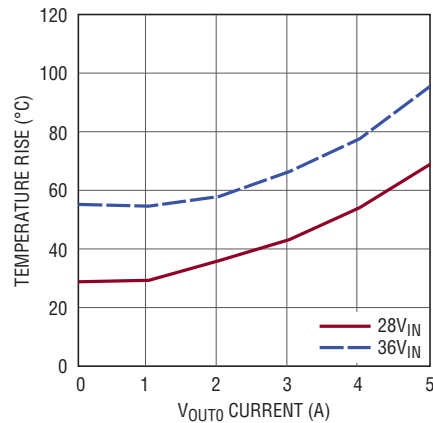
8001 G27

温度上昇と V_{OUT0} 電流 (降圧レギュレータ、 $V_{OUT0} = 12\text{V}$)



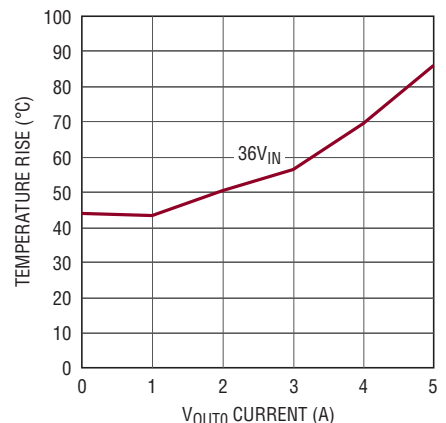
8001 G28

温度上昇と V_{OUT0} 電流 (降圧レギュレータ、 $V_{OUT0} = 18\text{V}$)



8001 G29

温度上昇と V_{OUT0} 電流 (降圧レギュレータ、 $V_{OUT0} = 24\text{V}$)



8001 G30

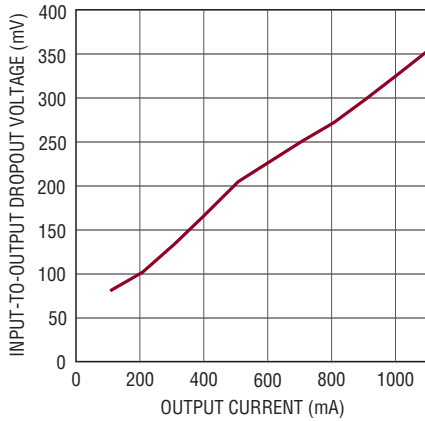
8001fc

LTM8001

標準的性能特性

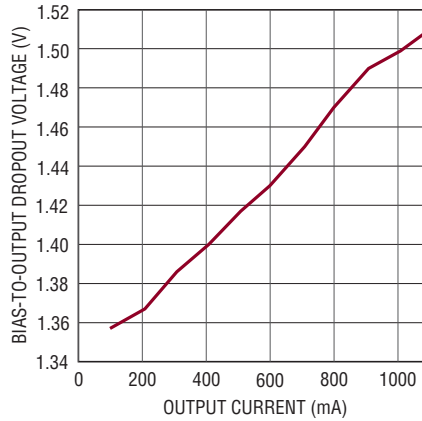
(注記がない限り $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。該当する場合は、表1に基づいて構成)

**LDO入力対出力ドロップアウト
電圧と出力電流**



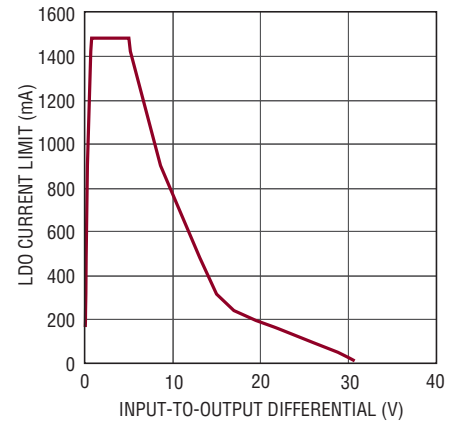
8001 G31

**LDO V_{BIAS} 対出力ドロップアウト
電圧と出力電流**



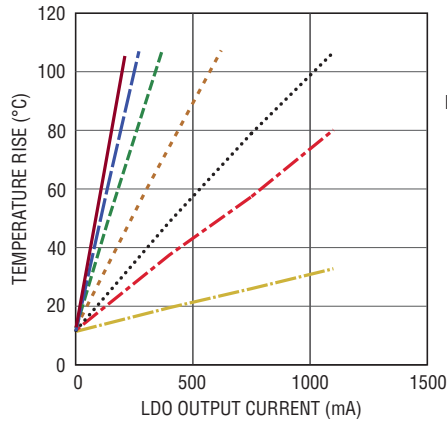
8001 G32

LDO 電流制限と入力対出力電圧差



8001 G33

**LDO 温度上昇と LDO 出力電流
($V_{IN} = 24\text{V}$ 、 $V_{OUT0} = 12\text{V}$ 、LDO 1 個
をオン)**

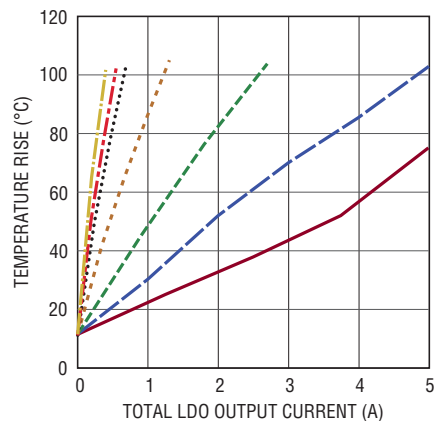


LDO
INPUT-TO-OUTPUT
DIFFERENTIAL
VOLTAGE

- 0.5V
- - 1.6V
- ⋯ 2.4V
- - - 4V
- - - 7V
- - - 9.5V
- - - 11.9V

8001 G34

**LDO 温度上昇と LDO 出力電流
($V_{IN} = 24\text{V}$ 、 $V_{OUT0} = 12\text{V}$ 、LDO 5 個
並列)**

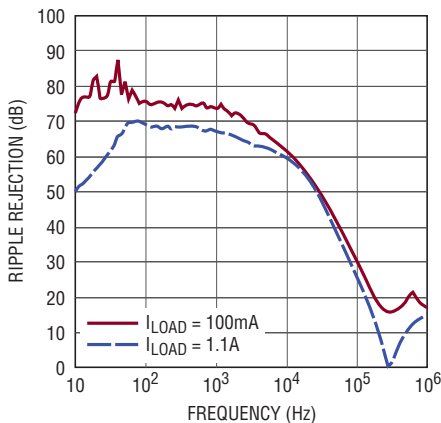


LDO
INPUT-TO-OUTPUT
DIFFERENTIAL
VOLTAGE

- 0.5V
- - 0.9V
- - - 2V
- - - 4V
- ⋯ 7V
- - - 8.7V
- - - 11.9V

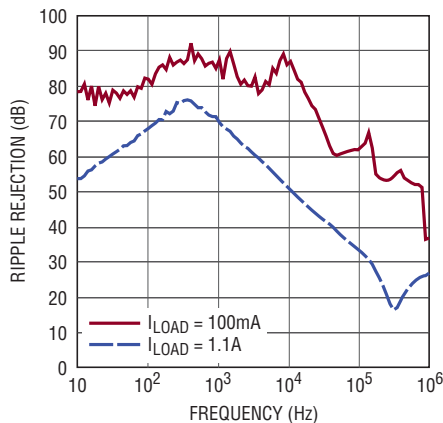
8001 G35

**LDO 入力電圧リップル除去
($V_{OUT4} = 2.5\text{V}$ 、 $V_{IN45} = V_{BIAS45} =$
 4.5V)**



8001 G36

**LDO 入力電圧リップル除去
($V_{OUT4} = 2.5\text{V}$ 、 $V_{BIAS45} = 4.5\text{V}$ 、
 $V_{IN45} = 3.5\text{V}$)**



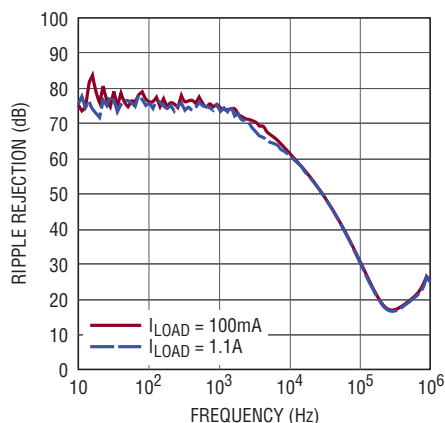
8001 G37

8001fc

標準的性能特性

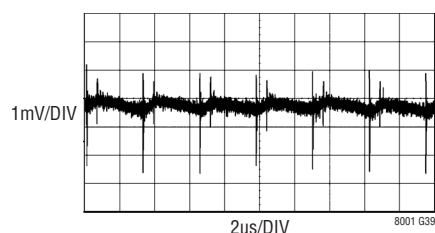
(注記がない限り $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。該当する場合は、表1に基づいて構成)

LDO V_{BIAS} リップル除去
 ($V_{\text{OUT4}} = 2.5\text{V}$ 、 $V_{\text{BIAS45}} = 4.5\text{V}$ 、
 $V_{\text{IN45}} = 3.5\text{V}$)



8001 G38

LDO 出力リップル



$V_{\text{OUT}} = 1.2\text{V}$ AT 700mA
 $C_{\text{OUT1}} = 22\mu\text{F}$
 $C_{\text{SET1}} = 1\text{nF}$
 $V_{\text{IN}} = 12\text{V}$
 $V_{\text{OUT0}} = 1.8\text{V}$ LOADED TO
 A TOTAL CURRENT OF 5A
 100MHz BW

ピン機能

V_{IN0} (バンク1) : V_{IN0} バンクは、LTM8001 の内部レギュレータと内蔵のパワー・スイッチに電流を供給します。このピンは低 ESR の外部コンデンサを使ってローカルにバイパスする必要があります (推奨値については、表1を参照)。

GND (バンク2) : これらの GND ピンは LTM8001 および回路部品の下にあるローカル・グラウンド・プレーンに接続します。ほとんどのアプリケーションでは、LTM8001 からの熱流の大半がこれらのパッドを通るので、プリント回路の設計がデバイスの熱性能に大きく影響します。詳細については「PCB レイアウト」と「熱に関する検討事項」のセクションを参照してください。帰還抵抗分割器 (R_{FB0}) はこのネットに返してください。

V_{IN45} (バンク3) : V_{OUT4} と V_{OUT5} に接続される LDO への入力。低 ESR のコンデンサでローカルにバイパスする必要があります。

V_{OUT0} (バンク4) : スイッチング・パワー・コンバータの出力ピン。これらのピンと GND ピンの間に出力フィルタ・コンデンサと出力負荷を接続します。ほとんどの場合、セラミック・コンデンサと電解コンデンサの組み合わせから構成される出力容量によって最適な容量の解が得られます。

BIAS45 (ピンA8) : V_{OUT4} と V_{OUT5} に接続される LDO の制御回路に給電する電源ピン。LDO をレギュレーション動作させるには、この電圧を出力電圧よりも $1.2\text{V} \sim 1.6\text{V}$ 高くする必要があります (ドロップアウトの仕様参照)。

BIAS123 (ピンB8) : $V_{\text{OUT1}} \sim V_{\text{OUT3}}$ に接続される LDO の制御回路に給電する電源ピン。LDO をレギュレーション動作させるには、この電圧を出力電圧よりも $1.2\text{V} \sim 1.6\text{V}$ 高くする必要があります (ドロップアウトの仕様参照)。

SS (ピンK4) : ソフトスタート・ピン。外付けコンデンサをグラウンドに接続して、起動状態の間、レギュレーション電流を制限します。ソフトスタート・ピンには $11\mu\text{A}$ の充電電流が流れます。

SYNC (ピンK7) : 周波数同期ピン。このピンにより、スイッチング周波数を外部クロックに同期させることができます。SYNC パルス周波数より 20% 低い周波数で内部クロックが動作するように R_{T} 抵抗を選択します。このピンを使用しない場合は接地します。このピンはフロート状態のままにしないでください。基板のレイアウトを行うときは、SYNC トレースとの間でノイズが結合しないようにしてください。「アプリケーション情報」の「スイッチング周波数同期」のセクションを参照してください。

V_{REF} (ピンK8) : 0.5mA の駆動能力を持つ、バッファされた 2V のリファレンス。

RUN (ピンL4) : RUN ピンはイネーブル・ピンとして機能し、内部回路をオンします。このピンはプルアップもプルダウンもされていないので、通常動作をさせるには電圧バイアスが必要です。RUN ピンは内部でクランプされているため、ピン電流が $100\mu\text{A}$ を超えない限り、抵抗を介して絶対最大定格電圧である 6V より電圧の高い電圧源にプルアップできます。

ピン機能

FB0 (ピンL5) : LTM8001は、FB0ピンを1.19Vにレギュレートします。このピンとグラウンドの間に調整抵抗を接続します。 R_{FB0} の値は次式により与えられます。

$$R_{FB0} = \frac{11.9}{V_{OUT} - 1.19}$$

ここで、 R_{FB0} の単位はk Ω です。

COMP (ピンL6) : 補償ピン。このピンは通常は使用しません。LTM8001は内部で補償されていますが、制御ループに変更が必要になる状況がまれに発生することがあります。このピンはLTM8001の入力PWMコンパレータに直接接続されます。ほとんどの場合、調整は必要ありません。この機能を使用しない場合は、このピンを開放したままにします。

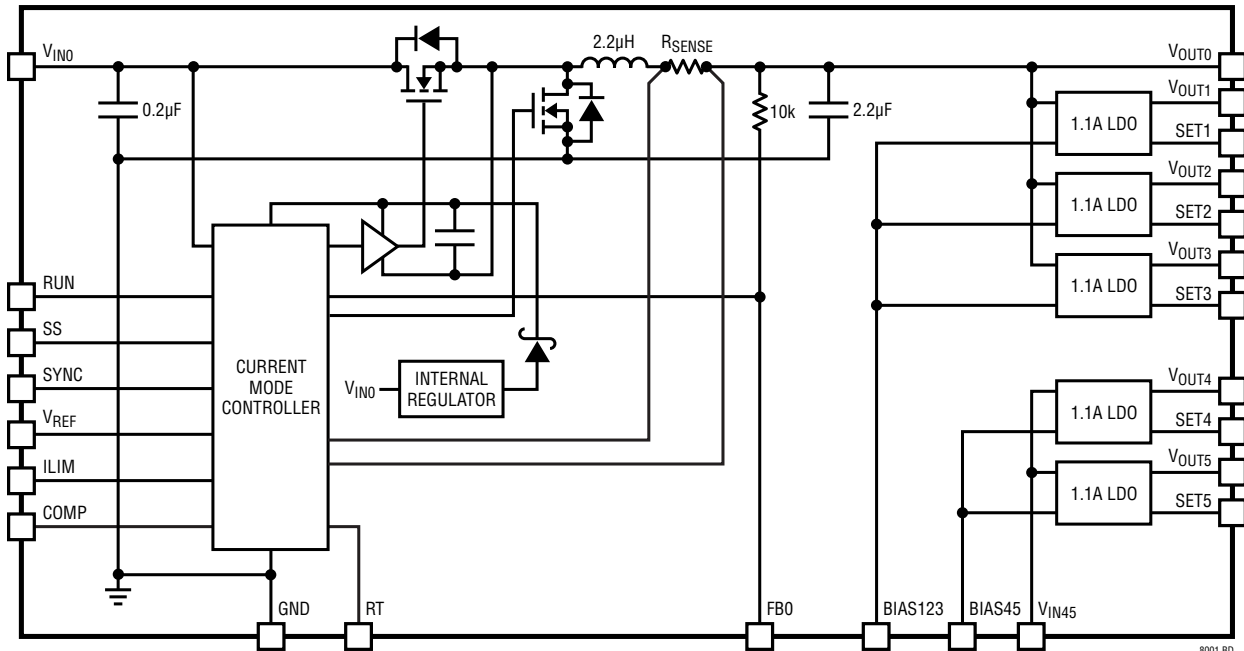
RT (ピンL7) : このピンとグラウンドの間に抵抗を接続することでLTM8001のスイッチング周波数を設定します。データシートの「アプリケーション情報」のセクションには、推奨抵抗値とスイッチング周波数を判断するための表が掲載されています。SYNC機能を使用する場合は、周波数をSYNCのパルス周波数より20%低い値に設定します。このピンは開放のままにしないでください。

ILIM (ピンL8) : ILIMピンは、LTM8001の最大レギュレーション出力電流を低減します。最大制御電圧範囲は1.5Vです。ILIM電圧を1.5Vより高くしても、ほとんどまたはまったく効果がありません。この機能を使用しない場合は、このピンを V_{REF} に接続します。

SET1、SET2、SET3、SET4、SET5 (ピンL9、H11、G11、D11、A9) : 各LDOのレギュレーション・ポイントを設定します。このピンから外付け抵抗1個を介して10 μ Aの一定電流が流出します。この外付け抵抗によってデバイスの出力電圧を設定します。絶対最大定格の出力電圧に対する出力電圧範囲は0です。SETピンからグラウンドに小さなコンデンサを追加すると過渡性能が改善する場合があります。

V_{OUT1} (ピンL10、L11)、V_{OUT2} (ピンJ11、K11)、V_{OUT3} (ピンE11、F11)、V_{OUT4} (ピンB11、C11)、V_{OUT5} (ピンA10、A11) : 個々のLDOの電源出力ピンです。最小負荷電流として1mAを流す必要があります。負荷電流を流さないと出力がレギュレートされない場合があります。内部LDOの定格は、入力対出力の電圧差が正となるように規定されています。起動時や遮断時の過渡状態も含め、内部LDOに負電圧が印加されるようなアプリケーションは避けてください。

ブロック図



動作

LTM8001は主に2つの部分から構成されています。1つは最大5Aの出力電流を供給可能な独立型の非絶縁降圧スイッチングDC/DC電源コンバータであり、もう1つは、並列接続可能な5つの1.1A LDOを含むアレイです。DC/DCコンバータは、1個の外付け抵抗によって設定可能な、精密にレギュレートされた出力電圧を1.2Vから24Vまでの範囲で供給します。入力電圧範囲は6V～36Vです。このデバイスが降圧コンバータであることを踏まえ、入力電圧が目的の出力電圧と負荷電流を支えるのに十分な大きさであることを確認してください。リニア・レギュレータ・アレイは、5つの低ドロップアウト・レギュレータからなり、そのうち3つの入力は降圧コンバータ出力(V_{OUT0})専用であり、2つは非専用の入力(V_{IN45})に接続されています。個々のリニア・レギュレータはそれぞれのSETピンによって個別に電圧を設定するか、対応するSETピンと V_{OUT} ピンを相互に接続することで他のLDOと並列の構成にすることができます。

LTM8001の降圧スイッチング・コンバータは、固定周波数、平均電流モード制御によって出力電流を精度よくレギュレートします。その結果、定電圧、定電流の出力特性が得られるため、LTM8001の降圧レギュレータは多くのスーパーキャパシタやバッテリー向け充電アプリケーションに最適です。「標準的性能特性」に示したとおり、電流制限は両方向で動作します。制御ループは内部インダクタの電流をレギュレートします。 V_{OUT0} 出力が、 $FB0$ ピンからグランドへの抵抗によって決まるレギュレーション電圧に達すると、電圧レギュレーション・ループが出力電流を低減し、出力電圧を維持します。LTM8001の最大許容電流出力は、 $ILIM$ 入力によって設定できます。 $ILIM$ ピンのアナログ制御範囲は0V～1.5Vです。 $ILIM$ ピンを1.5Vより高く設定しても、ほとんどまたはまったく効果がありません。

RUNピンは、 V_{OUT0} に接続された降圧スイッチング・コンバータの高精度イネーブル・ピンとして機能します。BIASを含む V_{OUT1-3} LDOの入力が V_{OUT0} に接続されている場合、 V_{OUT0} に何らかの外部電源を接続していない限り、RUNピンは暗黙のうちにこれらのLDOのイネーブルおよびディスエーブルも制御することになります。 V_{OUT0} が強制的に V_{IN0} よりも高くなる場合は、「アプリケーション情報」の「短絡入力保護」のセクションを参照してください。RUNピンの電圧が1.55Vより低くなると、スイッチングは終了します。ターンオンしきい値より低

い場合、RUNピンに5.5 μ Aが流れ込みます。この電流をRUNピンと V_{IN0} ピン間の抵抗とともに使用して、ヒステリシスを設定できます。詳細は、「アプリケーション情報」の「UVLOとシャットダウン」のセクションを参照してください。起動時は、11 μ Aの電流源がソフトスタート・ピンに接続されたコンデンサの充電を完了してデバイスがイネーブルされるまで、SSピンは“L”に保持されます。

LTM8001は、瞬時の過負荷状態の間デバイスを保護するためにサーマル・シャットダウン回路を備えています。サーマル・シャットダウン温度は、通常の規定動作に支障がないように、内部温度の絶対最大定格である125°Cより高い温度に設定されているので、過熱保護が作動している場合、デバイスの内部温度は絶対最大定格を超えています。したがって、サーマル・シャットダウンが連続的にまたは繰り返し作動すると、デバイスの信頼性を低下させる可能性があります。サーマル・シャットダウン時は、全てのスイッチングが停止し、SSピンは“L”になります。

スイッチング周波数はRTピンの抵抗によって決まります。LTM8001はSYNCピンを使って外部クロックに同期させることもできます。詳細は、「アプリケーション情報」の「スイッチング周波数同期」のセクションを参照してください。

V_{OUT1-5} のリニア・レギュレータは使いやすく、高性能レギュレータに求められる保護機能を全て備えています。短絡保護、安全動作領域保護、サーマル・シャットダウンなどの機能です。これらのリニア・レギュレータは複数のレールを必要とするアプリケーションに特に適しています。出力を最低0Vまで調整できるアーキテクチャを採用しています。出力電圧は1個の抵抗で設定され、最新の低電圧デジタルICに対応するとともに、並列動作を簡単に実現し、熱管理を容易にします。

リニア・レギュレータは2つのモードによる動作が可能です。一方のモードではBIAS123とBIAS45ピンが、リニア・レギュレータの電源入力ピン(V_{OUT0} と V_{IN45})に接続され、ドロップアウト約1.6Vの制限を提供します。もう一方のモードでは、BIAS123とBIAS45ピンを、対応する出力の最大値より1.6V以上高い電圧に接続できます。その上で、リニア・レギュレータの電源入力(V_{OUT0} と V_{IN45})を、ドロップアウト要件を満たすより低い電圧に設定して電力損失を最小化できます。

アプリケーション情報

ほとんどのアプリケーションでは、設計手順は簡単であり、下のようによまとめられます。

1. 表1を参照し、目的とする入力範囲とV_{OUT0}出力電圧に該当する行を見つけます。
2. C_{IN0}、C_{OUT0}、R_{FBO}、およびR_Tの推奨値を適用します。セラミックおよび電解コンデンサが推奨されていることに注意してください。これら2種類のコンデンサを組み合わせることで性能とソリューション・サイズが最適化されるため、両方のコンデンサを使用してください。
3. V_{OUT1}、V_{OUT2}、V_{OUT3}、V_{OUT4}、V_{OUT5}レギュレータに設定抵抗を接続します。各リニア・レギュレータに電圧を設定する場合、次の式を使います。

$$R_{SETX} = \frac{V_{OUTX}}{10\mu A}$$

ここで、R_{SET}の値の単位はオームです。レギュレータには正の出力電圧に対する最小値規定はありませんが、最小負荷電流は必要です。レギュレーション動作を維持するには、出力電圧にかかわらず最小負荷電流を流す必要があります(電気的特性の表を参照してください)。真の0V出力動作を実現するには、この最小負荷電流を負の電源電圧に戻す必要があります。リニア・レギュレータを並列接続する場合は、SET_xピンを相互に接続して1つの抵抗を適用することで、各レギュレータの出力を同じ電圧に設定します。この1つの設定抵抗の値は、次式から求められます。

$$R_{SET} = \frac{V_{OUT}}{10\mu A \cdot n}$$

ここで、nは並列接続するレギュレータの個数です。

4. V_{OUT1}、V_{OUT2}、V_{OUT3}、V_{OUT4}、V_{OUT5}レギュレータに出力コンデンサを接続します。発振を防止するため、ESRが0.5Ω以下、容量が2.2μF以上の出力コンデンサを推奨します。

これらの部品の組み合わせは正しく動作するかテストされていますが、目的のシステムの電源ライン、負荷および環境条件で正しく動作することをユーザーが検証してください。最大出力電流は、接合部温度、入力電圧と出力電圧の大きさの関係、その他の要因によって制限されることに注意してください。手引きとして、「標準的性能特性」のセクションのグラフを参照してください。

LTM8001がスイッチング可能な最大周波数(および付随するR_Tの値)は表1のf_{MAX}の列に示されています。一方、与えられた入力条件にわたって最適な効率を得るための推奨周波数(およびR_Tの値)はf_{OPTIMAL}の列に記載されています。同期機能を使用する場合は、その他の条件も満足する必要があります。詳細については、「スイッチング周波数の同期」のセクションを参照してください。

コンデンサの選択に関する検討事項

表1のC_{IN}とC_{OUT}のコンデンサ値は、該当する動作条件に対する最小推奨値です。表1に示されているコンデンサ値より小さな値を適用することは推奨されておらず、望ましくない動作を引き起こす可能性があります。表1より大きな値は通常は問題なく使用でき、必要に応じてダイナミック応答を改善できます。目的のシステムの電源ライン、負荷および環境条件で正しく動作することをユーザーが検証してください。

セラミック・コンデンサは小さく堅牢で、ESRが非常に小さいコンデンサです。ただし、全てのセラミック・コンデンサが適しているわけではありません。X5RとX7Rのタイプは全温度範囲と印加電圧で安定しており、安心して使えます。Y5VやZ5Uなど他のタイプは容量の温度係数と電圧係数が非常に大きくなります。アプリケーション回路ではそれらの容量が公称値の数分の1に減少することがあるため、電圧リップルが予期したよりもはるかに大きくなる可能性があります。表1では出力容量の多くに電解コンデンサが指定されています。アプリケーションにはセラミック・コンデンサも使用できますが、使用するコンデンサの数を多くすることが必要になる場合があります。値の大きいセラミック・コンデンサの多くは電圧係数が大きいので、目的の動作電圧での部品の実際の容量は、規定値のわずかな数分の1になることがあります。また、セラミック・コンデンサのESRは非常に小さいので、十分な安定性の余裕を得るには、コンデンサを追加することが必要です。

セラミック・コンデンサに関する最後の注意点はLTM8001の最大入力電圧定格に関係します。入力セラミック・コンデンサはトレースやケーブルのインダクタンスと結合してQの高い(減衰の小さな)共振タンク回路を形成します。LTM8001の回路を通電中の電源に差し込むと、入力電圧に公称値の2倍のリングングが生じて、デバイスの定格を超えるおそれがあります。この状況は容易に避けられます。「安全な活線挿入」のセクションを参照してください。

アプリケーション情報

LTM8001 表 1: V_{OUT0} に対する推奨部品値と構成 ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

V_{IN0}	V_{OUT0}	C_{IN0}	C_{OUT0} (セラミック)	C_{OUT0} (電解)	R_{FB0}	$f_{OPTIMAL}$	$R_T(OPTIMAL)$	f_{MAX}	$R_T(MIN)$
6V to 36V	1.2V	10 μ F, 50V, 1210	100 μ F, 6.3V, 1210	470 μ F, 6.3V, 9m Ω , Chemi-Con, APXF6R3ARA471MH80G	Open	200kHz	200k	250kHz	169k
6V to 36V	1.5V	10 μ F, 50V, 1210	100 μ F, 6.3V, 1210	470 μ F, 6.3V, 9m Ω , Chemi-Con, APXF6R3ARA471MH80G	38.3k	300kHz	140k	350kHz	118k
6V to 36V	1.8V	10 μ F, 50V, 1210	100 μ F, 6.3V, 1210	470 μ F, 6.3V, 9m Ω , Chemi-Con, APXF6R3ARA471MH80G	19.6k	350kHz	118k	400kHz	102k
6V to 36V	2.5V	10 μ F, 50V, 1210	100 μ F, 6.3V, 1210	330 μ F, 4V, 27m Ω , OS-CON, 4SVPC330M	9.09k	450kHz	90.9k	525kHz	78.7k
6V to 36V	3.3V	10 μ F, 50V, 1210	100 μ F, 6.3V, 1210	330 μ F, 4V, 27m Ω , OS-CON, 4SVPC330M	5.62k	550kHz	75.0k	625kHz	64.9k
7V to 36V	5V	10 μ F, 50V, 1210	100 μ F, 6.3V, 1210	120 μ F, 16V, 27m Ω , OS-CON, 16SVPC120M	3.09k	600kHz	68.1k	700kHz	57.6k
10V to 36V	8V	10 μ F, 50V, 1210	100 μ F, 10V, 1210	120 μ F, 16V, 27m Ω , OS-CON, 16SVPC120M	1.74k	625kHz	64.9k	750kHz	53.6k
15V to 36V	12V	10 μ F, 50V, 1210	47 μ F, 16V, 1210	120 μ F, 16V, 27m Ω , OS-CON, 16SVPC120M	1.10k	650kHz	61.9k	800kHz	49.9k
22V to 36V	18V	10 μ F, 50V, 1210	22 μ F, 25V, 1210	47 μ F, 20V, 45m Ω , OS-CON, 20SVPS47M	715 Ω	675kHz	59.0k	900kHz	44.2k
28V to 36V	24V	4.7 μ F, 50V, 1210	10 μ F, 50V, 1206	47 μ F, 35V, 30m Ω , OS-CON, 35SVPC47M	523 Ω	700kHz	57.6k	1MHz	39.2k
9V to 15V	1.2V	10 μ F, 50V, 1210	100 μ F, 6.3V, 1210	470 μ F, 6.3V, 9m Ω , Chemi-Con, APXF6R3ARA471MH80G	Open	200kHz	200k	525kHz	78.7k
9V to 15V	1.5V	10 μ F, 50V, 1210	100 μ F, 6.3V, 1210	470 μ F, 6.3V, 9m Ω , Chemi-Con, APXF6R3ARA471MH80G	38.3k	300kHz	140k	650kHz	61.9k
9V to 15V	1.8V	10 μ F, 50V, 1210	100 μ F, 6.3V, 1210	470 μ F, 6.3V, 9m Ω , Chemi-Con, APXF6R3ARA471MH80G	19.6k	350kHz	118k	800kHz	49.9k
9V to 15V	2.5V	10 μ F, 50V, 1210	100 μ F, 6.3V, 1210	330 μ F, 4V, 27m Ω , OS-CON, 4SVPC330M	9.09k	450kHz	90.9k	1MHz	39.2k
9V to 15V	3.3V	10 μ F, 50V, 1210	100 μ F, 6.3V, 1210	330 μ F, 4V, 27m Ω , OS-CON, 4SVPC330M	5.62k	550kHz	75.0k	1MHz	39.2k
9V to 15V	5V	10 μ F, 50V, 1210	100 μ F, 6.3V, 1210	120 μ F, 16V, 27m Ω , OS-CON, 16SVPC120M	3.09k	600kHz	68.1k	1MHz	39.2k
10V to 15V	8V	10 μ F, 50V, 1210	100 μ F, 10V, 1210	120 μ F, 16V, 27m Ω , OS-CON, 16SVPC120M	1.74k	625kHz	64.9k	1MHz	39.2k
18V to 36V	1.2V	10 μ F, 50V, 1210	100 μ F, 6.3V, 1210	470 μ F, 6.3V, 9m Ω , Chemi-Con, APXF6R3ARA471MH80G	Open	200kHz	200k	250kHz	169k
18V to 36V	1.5V	10 μ F, 50V, 1210	100 μ F, 6.3V, 1210	470 μ F, 6.3V, 9m Ω , Chemi-Con, APXF6R3ARA471MH80G	38.3k	300kHz	140k	350kHz	118k
18V to 36V	1.8V	10 μ F, 50V, 1210	100 μ F, 6.3V, 1210	470 μ F, 6.3V, 9m Ω , Chemi-Con, APXF6R3ARA471MH80G	19.6k	350kHz	118k	400kHz	102k
18V to 36V	2.5V	10 μ F, 50V, 1210	100 μ F, 6.3V, 1210	330 μ F, 4V, 27m Ω , OS-CON, 4SVPC330M	9.09k	450kHz	90.9k	525kHz	78.7k
18V to 36V	3.3	10 μ F, 50V, 1210	100 μ F, 6.3V, 1210	330 μ F, 4V, 27m Ω , OS-CON, 4SVPC330M	5.62k	550kHz	75.0k	625kHz	64.9k
18V to 36V	5V	10 μ F, 50V, 1210	100 μ F, 6.3V, 1210	120 μ F, 16V, 27m Ω , OS-CON, 16SVPC120M	3.09k	600kHz	68.1k	700kHz	57.6k
18V to 36V	8V	10 μ F, 50V, 1210	100 μ F, 10V, 1210	120 μ F, 16V, 27m Ω , OS-CON, 16SVPC120M	1.74k	625kHz	64.9k	750kHz	53.6k
18V to 36V	12V	10 μ F, 50V, 1210	47 μ F, 16V, 1210	120 μ F, 16V, 27m Ω , OS-CON, 16SVPC120M	1.10k	650kHz	61.9k	800kHz	49.9k

Note: 入力バルク・コンデンサが必要。

アプリケーション情報

スイッチング周波数の設定

LTM8001の動作スイッチング周波数範囲は200kHz～1MHzです。この周波数は、RTピンからグランドに接続された外付け抵抗によって設定されます。このピンはいかなる場合も開放のままにしないでください。抵抗値と対応するスイッチング周波数については、表2を参照してください。

表2. R_Tの抵抗値と得られるスイッチング周波数

スイッチング周波数 (MHz)	R _T (kΩ)
1	39.2
0.75	53.6
0.5	82.5
0.3	140
0.2	200

スイッチング周波数のトレードオフ

入力と出力の動作条件に合わせて、表1に与えられている最適なR_Tの抵抗値を適用することを推奨します。ただし、システム・レベルや他の検討事項により、異なる動作周波数が必要になることがあります。LTM8001には十分な柔軟性があり、広い範囲の動作周波数に対応しますが、無計画に周波数を選ぶと、特定の動作条件やフォルト条件で望ましくない動作を示すことがあります。周波数が高すぎると効率が低下し、過剰な熱を生じることがあり、一部のフォルト条件ではLTM8001が損傷することさえあります。周波数が低すぎると最終デザインの出力リップルが大きくなりすぎたり、出力コンデンサが大きくなりすぎることがあります。

スイッチング周波数の同期

LTM8001の公称スイッチング周波数はRTピンからGNDに接続した抵抗によって決まり、200kHz～1MHzの範囲で設定できます。内部発振器はSYNCピンを使って外部クロックに同期させることもできます。SYNCピンに入力する外部クロックのロジック“L”は0.8Vより低く、ロジック“H”は1.2Vより高くする必要があります。入力周波数は、RTピンの抵抗によって決まる周波数より20%高くなければなりません。外部クロックへの同期が不要の場合は、SYNCピンを接地する必要があります。SYNCが接地されていれば、スイッチング周波数がRTピンの抵抗によって決まります。

ソフトスタート

ソフトスタート機能は、起動時に電源の出力電圧V_{OUT0}のスルーレートを制御します。出力電圧ランプが制御されているため、出力電圧のオーバーシュートが最小限に抑えられ、V_{IN0}電源からの突入電流が減少し、電源シーケンシングが容易になります。スルーレートはSSピンからGNDに接続されたコンデンサによって設定します。このコンデンサを内部の11μA電流源によって充電することで出力電圧ランプを生成します。

最大出力電流の調整

LTM8001は、調整可能な高精度電流制限機能を備えています。負荷電流制限を調整するには、ILIMピンにアナログ電圧を印加します。この電圧を0V～1.5Vの間で変化させると、最大出力電流が最小値から最大値(代表値5.6A)の間で調整されます。1.5Vよりも大きな制御電圧は、レギュレーション・インダクタ電流に何の影響も与えません。出力電流とILIM電圧のグラフを「標準的性能特性」のセクションに示します。LTM8001には、抵抗分割器を使って簡単に電流制限値を設定できるように、2Vのリファレンス電圧を提供します。電流制限は次式に従い、図1に示す回路で設定できます。

$$I_{MAX} = 7.47 \frac{R2}{R1 + R2}$$

R1に適した値は10kΩなどです。その場合は、次式が成立します。

$$R2 = \frac{10 \cdot I_{MAX}}{7.47 - I_{MAX}} \text{ k}\Omega$$

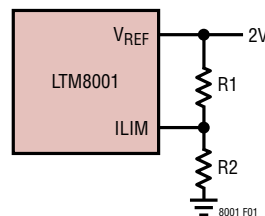


図1. 出力電流制限値(I_{MAX})の設定

アプリケーション情報

ILIMピンを使った負荷電流のディレーティング

大電流アプリケーションでは、動作温度に基づいて最大電流をディレーティングすることで負荷の損傷を防ぐことができます。更に、多くのアプリケーションには熱的限界があり、負荷や基板の温度に基づいてレギュレーション電流を減らす必要があります。これを実現するため、LTM8001ではILIMピンを使用して負荷の実効レギュレーション電流を低減します。ILIMは負荷に流れるレギュレーション電流を設定するとともに、レギュレーション電流を抑える設定にも使用できます。負荷や基板の温度によるディレーティングは、温度依存性のある抵抗で構成された抵抗分割器を使って設定します(図2)。基板または負荷の温度が上昇すると、ILIM電圧が低下します。

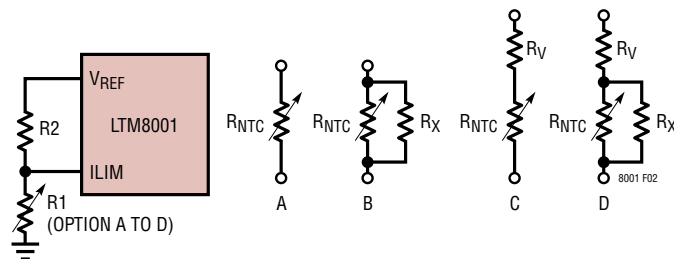


図2. NTC抵抗を使った負荷電流のディレーティングと温度

V_{OUT0}出力過電圧保護

LTM8001のスイッチング・レギュレータは出力電圧のレギュレーション、および高速の過電圧ロックアウト機能による高出力電圧状態の回避の両方にFB0ピンを使用します。出力電圧がレギュレーション電圧レベル(FB0ピンで1.5V)の125%を超えると、LTM8001はスイッチングを停止して、スイッチングを短期間遮断します。出力過電圧保護が作動する出力電圧は1.5Vよりも高くなければならず、次式によって設定されます。

$$V_{OUT} = 1.5V \left(1 + \frac{10k}{R_{FB0}} \right)$$

この式のR_{FB0}は図3に示した抵抗です。

出力過電圧保護が作動すると、LTM8001はスイッチングを停止します。出力過電圧がV_{OUT0}に接続された何らかの外部電源に起因して発生する場合は、この電源によってV_{OUT0}をプルアップしてかまいません。V_{OUT0}電圧がV_{IN0}入力を超えると、内部のパワー・ダイオードが、出力を入力からダイオード1段分高い電圧にクランプします。

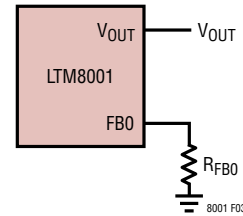


図3. 電圧レギュレーションおよび過電圧保護の帰還接続

サーマル・シャットダウン

LTM8001は、過熱状態になるとサーマル・シャットダウンを作動させ、スイッチングが停止してソフトスタート・コンデンサを放電します。デバイスは、冷却されると自動的に再起動します。サーマル・シャットダウンは内部動作の絶対最大定格である125°Cより高い温度で作動するように設定されているため、規定の動作範囲内の機能には支障を与えません。これは、過熱保護が作動している間は内部温度が125°Cの絶対最大定格を超え、デバイスの信頼性を損なうおそれがあることを意味しています。

UVLOとシャットダウン

LTM8001のV_{OUT0}降圧レギュレータは内部UVLO回路を備えており、入力電圧が4.2Vを下回った場合にスイッチングを停止し、全てのロジックをリセットし、ソフトスタート・コンデンサを放電します。LTM8001は、RUNピンの電圧が1.68Vまで上がるとスイッチングをイネーブルし、RUNピンの電圧が1.55Vまで下がるとLTM8001をシャットダウンする高精度RUN機能も備えています。5.5μAのプルダウン電流を供給して追加のUVLOヒステリシスを設定する内部電流源もあります。RUNピンの立ち上がり中、電流源はRUN = 1.68Vとなるまで5.5μAをシンクし、その後オフします。RUNピンの立ち下がり中は、RUN = 1.55Vとなるまで電流源はオフであり、その後は5.5μAをシンクします。以下の式により、図4のように構成された、立ち下がりUVLO電圧と立ち上がりイネーブル電圧(V_{ENA})を設定する分圧器の抵抗が求められます。

$$R2 = \frac{V_{ENA} - 1.084 \text{ UVLO}}{5.5\mu A}$$

$$R1 = \frac{1.55 R2}{\text{UVLO} - 1.55}$$

アプリケーション情報

RUNピンの絶対最大定格電圧は6Vです。できるだけ幅広いアプリケーションに対応できるように、デバイスにはこのピンをクランプするツェナー・ダイオードが内蔵されています。これにより、このピンは電流を100 μ A未満に制限する抵抗を介して6Vより高い電圧までプルアップできます。電源範囲が4:1を超えるアプリケーションでは、R2を375kより大きくします。

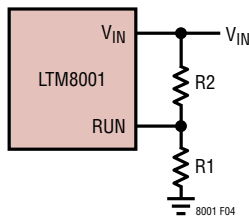


図4. UVLOの構成

負荷シェアリング

V_{OUT0} 降圧スイッチング・コンバータは、周波数固定の強制連続モードで動作するため、電流のソースおよびシンクが可能です。このため、負荷電流を分担する構成(負荷シェアリング)には適していません。

V_{OUT1} ~ V_{OUT5}に接続されたリニア・レギュレータは内部でバラストされているため並列に接続できます。この構成は、V_{OUTx}とSET_x端子を相互に接続するだけで実現できます。レギュレータのSETピンを相互に接続する場合、R_{SET}抵抗は次式によって決まります。

$$R_{SET} = \frac{V_{OUT}}{n \cdot 10\mu A}$$

ここで、nは相互に接続したリニア・レギュレータ出力の数です。

この式が成立するには、並列接続されたLDOの全てがアクティブである必要があります。ここでは、1つの電圧設定抵抗に対して、並列接続された全てのLDOがそれぞれ10 μ Aを供給していることを前提としているためです。LDOのいずれかがオフまたは非アクティブの場合、そのLDOが受け持つ設定電流が供給されないため、出力電圧が期待値よりも低くなります。

LDOを並列接続する場合、V_{OUTx}の全てと、SET_xピンの全てを相互に接続してください。「標準的応用例」のセクションに例が掲載されています。

入力に関する注意事項

LTM8001には、ユーザーによる選択が可能な周波数の強制連続モードで動作する、降圧スイッチング・レギュレータが搭載されています。強制連続モードで動作する降圧スイッチング・レギュレータは、出力電圧レギュレーションを維持するために、電流のソースおよびシンクの両方が可能です。

LTM8001が電流をシンクしている場合、出力電圧レギュレーションは電力損失ではなく、電力変換によって維持されます。これは、LTM8001に供給されるエネルギーが、最終的にはその入力電源バスに送られることを意味します。したがって、この電源バス上の何らかの回路がエネルギーを受け取りあるいは消費しないと、LTM8001の入力電圧が上昇します。これを放置すればエネルギーが入力電圧を絶対最大定格よりも高い値まで上昇させ、LTM8001を損傷するおそれがあります。

多くの場合、LTM8001の入力バスに接続されたシステム負荷だけで、 μ Moduleレギュレータによって供給されるエネルギーは十分に吸収できます。他のデバイスが接続されていれば、LTM8001が供給するエネルギーを十分すぎるほど消費してくれるでしょう。しかし、LTM8001が最大または唯一の電源コンバータである場合には、この条件があてはまらない可能性があるため、入力電圧が過度に上昇しないように何らかの措置を講じる必要があります。図5aに、短期間の入力過電圧状態においてエネルギーを消費する、受動クローバ回路を示します。ツェナー・ダイオードの耐圧と抵抗Rの組み合わせを選定して、回路のトリップ・ポイントを設定します。トリップ・ポイントは通常動作条件における最大V_{IN}電圧よりも十分に高い値に設定するのが一般的です。この回路は、高精度のしきい値を与えるものではなく、部品間ばらつきおよび温度の両方によって変動します。このため、高い精度が求められるアプリケーションや、電圧マージンを大きく取れないアプリケーションには適していません。

図5bも、短期間の過電圧状態においてエネルギーを消費する回路ですが、図5aの回路に比べて精度が高められています。安価なコンパレータとLTM8001のV_{REF}出力を使ってリファレンス電圧を決定しています。必要に応じて、コンパレータ回路にヒステリシス抵抗を追加すれば、MOSFETのチャタリングを防止できます。図5cは、過電圧が発生した場合にオン状態にラッチし、入力を短絡(クローバ)する回路です。入力電圧

アプリケーション情報

しきい値を超えるとSCRがラッチするため、図に示したヒューズか、負荷からの電流を遮断する他の何らかの手段が必要です。

前述のとおり、LTM8001はエネルギー損失ではなくエネルギー変換によって電流をシンクします。したがって、どのような保護回路を使う場合であれ、それが吸収すべきエネルギーは入力に供給される電力量によって決まります。例えば、出力電圧が2.5Vで5Aをシンクできる電源の入力保護回路は、7.5W以上を吸収できるように設計する必要があります。図5aと5bにおいて、保護回路の作動しきい値が30Vであるとします。この場合、7.5Wを消費でき、 $7.5W/30V = 250mA$ を流し込める設計の保護回路が必要です。

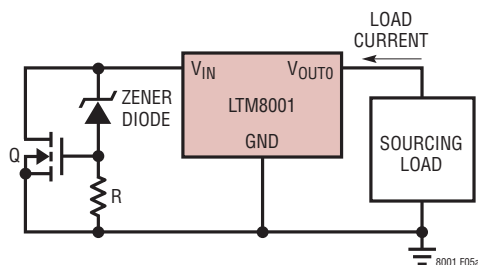


図5a. MOSFET Qが瞬時エネルギーをGNDへと逃がす。ツェナーダイオードと抵抗の値は、MOSFETが必ず通常動作時の最大 V_{IN} より高い電圧でターンオンするように選定する。

図5a～5cはクローバ回路です。これは、パワー・デバイスを通じて入力をGNDにクランプすることで、入力電圧が一定のレベルを超えて上昇するのを防ぎます。入力電圧が何らかのしきい値を超えたときに単にLTM8001をオフするだけでよい場合もあります。これは、 V_{OUT} に電流を流し込む電源の電圧が、決して V_{IN} を超えない場合に適用できる方法です。この回路の例を図5dに示します。出力に接続された電源が、あらかじめ決められたしきい値を超えて V_{IN} を駆動すると、コンパレータがRUNピンをプルダウンし、LTM8001のスイッチングを停止します。その場合、LTM8001内部のインダクタに蓄えられたエネルギーを入力コンデンサが吸収する必要があり、その結果更に電圧が上昇します。ブロック図に示したとおり、内部イ

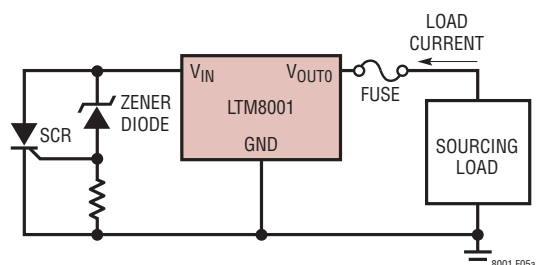


図5c. 作動しきい値に達するとSCRがオン状態にラッチするため、負荷を切り離すヒューズその他の手段の適用が必要。

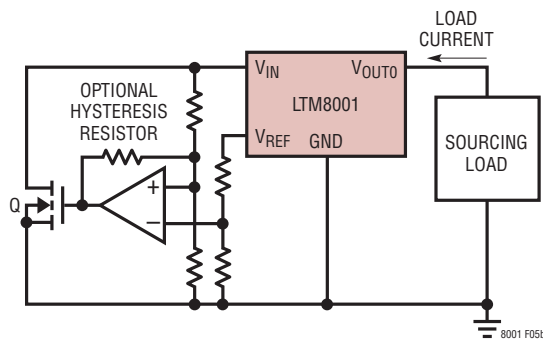


図5b. この回路のコンパレータは図5aに示した回路よりも高精度の電圧でMOSFET Qをアクティブにする。コンパレータのリファレンスはLTM8001の V_{REF} ピンから供給する。

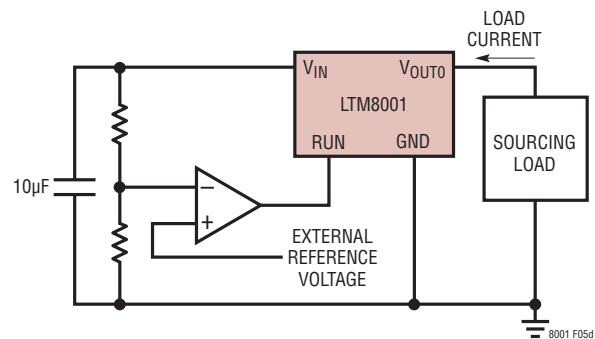


図5d. このコンパレータ回路は、入力があらかじめ決められたしきい値を超えるとLTM8001をオフする。LTM8001がオフすると、内部インダクタに蓄えられていたエネルギーによって、 V_{IN} がしきい値よりも若干高くなる。

アプリケーション情報

インダクタの値は $2.2\mu\text{H}$ です。LTM8001の負の電流制限が例えば5Aに設定されている場合に入力コンデンサが吸収しなければならないエネルギーは、 $1/2 LI^2 = 27.5\mu\text{J}$ です。図5dのコンパレータ回路が、 $V_{\text{TRIP}} = 15\text{V}$ でRUNピンをプルダウンするように設定されているとします。その場合の入力電圧は、次のコンデンサのエネルギーの式に従って上昇します。

$$\frac{1}{2}C(V_{\text{IN}}^2 - V_{\text{TRIP}}^2) = 27.5\mu\text{J}$$

総入力容量が $10\mu\text{F}$ の場合、入力電圧は次の値まで上昇します。

$$27.5\mu\text{J} = \frac{1}{2}10\mu\text{F}(V_{\text{IN}}^2 - 15\text{V}^2)$$

$$V_{\text{IN}} = 15.2\text{V}$$

PCBレイアウト

PCBレイアウトに関連する頭痛の種のほとんどは、LTM8001による高度の集積化によって軽減されるか、解消されました。とはいえ、LTM8001がスイッチング電源であることから、EMIを最小限に抑えて正しい動作を保証するには注意を払う必要があります。高度に集積化されていても、レイアウトが無計画だったり不適切だったりすると、規定された動作を実現できないことがあります。推奨レイアウトを図6に示します。接地とヒート・シンクに問題がないことを確認してください。注意すべきいくつかのルールがあります。

1. 抵抗 $R_{\text{SET}x}$ 、 $R_{\text{FB}0}$ 、 R_{T} を、対応するピンのできるだけ近くに配置します。
2. コンデンサ $C_{\text{IN}0}$ を、LTM8001の $V_{\text{IN}0}$ およびGND接続箇所のできるだけ近くに配置します。
3. セラミック・コンデンサによる $C_{\text{OUT}0}$ を、LTM8001の $V_{\text{OUT}0}$ およびGND接続箇所のできるだけ近くに配置します。電解コンデンサによる $C_{\text{OUT}0}$ は、これより離して配置できます。残りの出力コンデンサ $C_{\text{OUT}x}$ を $V_{\text{OUT}x}$ ピンのできるだけ近くに配置します。
4. $C_{\text{IN}0}$ および $C_{\text{OUT}0}$ の各コンデンサのグラウンド電流がLTM8001の近くまたは下を流れるようにこれらのコンデンサを配置します。
5. 全てのGND接続をトップ層のできるだけ大きな銅領域またはプレーン領域に接続します。外付け部品とLTM8001の間でグラウンド接続を切り離さないようにします。

6. ビアを使って、GND銅領域をボードの内部グラウンド・プレーンに接続します。これらのGNDビアを多数分散配置して、プリント回路基板の内部プレーンへの十分なグラウンド接続と熱経路の両方を与えます。図6のサーマル・ビアの位置と密度に注意してください。図の位置に置かれた内部GNDプレーンへのビアがLTM8001の放熱に有利であるのは、デバイス内部の電力を処理する部分がこの場所の近くに配置されているためです。サーマル・ビアの最適個数はプリント回路基板の設計に依存します。例えば、非常に小さなビア孔を使う基板では、大きな孔を使う基板に比べて使用するサーマル・ビアの数を増やします。

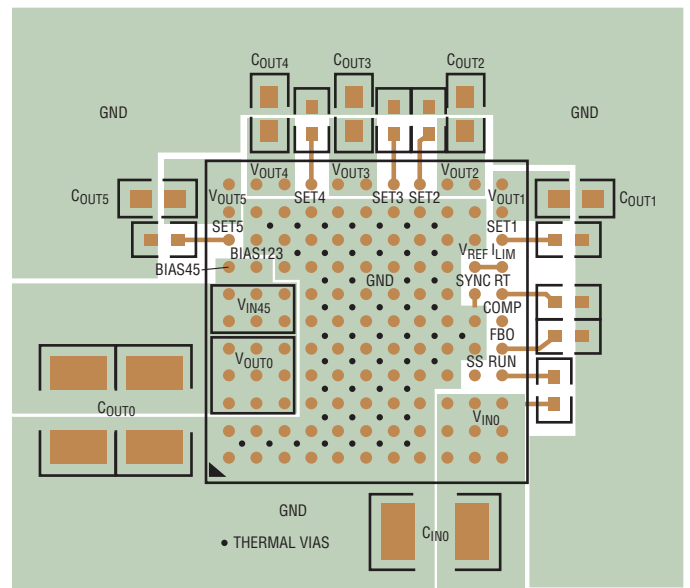


図6. 外付け部品、GNDプレーン、サーマル・ビアの推奨レイアウト

安全な活線挿入

セラミック・コンデンサはサイズが小さく、堅牢でインピーダンスが低いので、LTM8001の回路の入力バイパス・コンデンサに最適です。ただし、LTM8001が入力電源に活線挿入されると、これらのコンデンサは問題を生じることがあります(詳細については「アプリケーション・ノート88」を参照)。低損失のセラミック・コンデンサは電源に直列の浮遊インダクタンスと結合して減衰しにくいタンク回路を形成し、LTM8001の $V_{\text{IN}0}$ ピンの電圧に公称入力電圧の2倍を超えるリングングを生じる可能性があり、このリングングがLTM8001の定格を超えてデバイスに損傷を与えるおそれがあります。入力電源の制御が

アプリケーション情報

十分でなかったり、ユーザーがLTM8001を給電中の電源に挿入することがある場合、このようなオーバーシュートを防ぐように入力回路網を設計する必要があります。これは、小さな抵抗を V_{IN0} に直列に接続することによって実現できますが、入力電圧のオーバーシュートを抑える最も一般的な方法は、 V_{IN0} の回路網に電解バルク・コンデンサを追加することです。このコンデンサは等価直列抵抗が比較的大きいので回路の過渡応答が減衰し、電圧オーバーシュートが抑えられます。追加コンデンサにより低周波リップルのフィルタ機能が改善され、回路の性能がわずかに向上しますが、このコンデンサは物理的に大きくなる場合があります。

短絡入力保護

LTM8001に入力が印加されていないときに出力 V_{OUT0} が高く保持されるシステムでは、注意が必要です。 V_{IN0} ピンをフロート状態にすることができる場合で、RUNピンが(ロジック信号によって、または V_{IN0} に接続されているために)“H”に保持されていると、LTM8001の内部回路には内部のパワー・スイッチを介して静止電流が流れます。この状態を許容できるシステムであれば問題ありません。RUNピンを“L”にプルダウンしていれば、入力電流は実質的にゼロに低下します。ただし、出力 V_{OUT0} を高く保持した状態で V_{IN0} を接地すると、出力から V_{IN0} ピンを通してLTM8001内部の寄生ダイオードに大電流が流れる可能性があります。入力電圧が存在しているときにのみ動作し、短絡入力や逆入力から保護する回路を図7に示します。

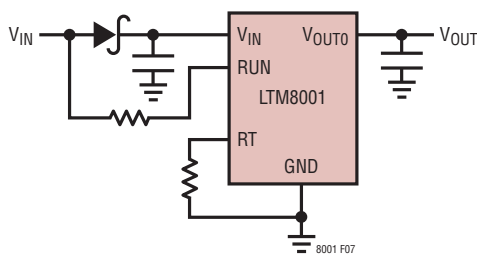


図7. 入力ダイオードは、出力に接続されたバックアップ用バッテリーが短絡入力によって放電するのを防ぐ。また、逆入力から回路を保護する。LTM8001は入力が印加されているときだけ動作する。

充電アプリケーション

LTM8001内部のスイッチング降圧レギュレータはCVCCモードで動作することから、バッテリーまたはスーパーキャパシタの充電アプリケーションに最適です。LTM8001を使ってスーパーキャパシタに充電し、更に内蔵LDOによって各種負荷に電力を配分する回路を、「標準的応用例」のセクションに示しました。このアプリケーションでは、スーパーキャパシタをLDOではなく降圧スイッチング・レギュレータによって充電します。各LDOの定格は入力/出力間電圧差が正と規定されていますが、出力がバッテリー、スーパーキャパシタ、エネルギーを蓄えた負荷に接続されていると、起動時また遮断時の過渡状態で負の電圧が印加される可能性があります。内部LDOに負電圧が印加される可能性があるアプリケーションにはLTM8001を使わないでください。

熱に関する検討事項

LTM8001を高い周囲温度で動作させる場合、出力電流のデレーティングが必要になる場合があります。電流のデレーティングの程度は、入力電圧、出力電力および周囲温度に依存します。「標準的性能特性」のセクションに記載されている温度上昇曲線を目安として使うことができます。これらは 59cm^2 の4層FR4プリント回路基板に実装したLTM8001から得られた曲線です。寸法や層数の異なる基板では異なる熱的挙動を示すことがあるので、目的のシステムの電源ライン、負荷および環境動作条件で正しく動作することをユーザーが検証してください。

実際のアプリケーションに対する精度と忠実性を向上させるため、多くの設計者は有限要素解析(FEA)を使って熱性能を予測しています。その目的で、データシートの「ピン配置」には通常次の4種類の熱係数が記載されています。

θ_{JA} : 接合部から周囲までの熱抵抗。

$\theta_{Jc\text{bottom}}$: 接合部から製品のケースの底部までの熱抵抗。

アプリケーション情報

θ_{JcTop} : 接合部から製品のケースの頂部までの熱抵抗。

θ_{JB} : 接合部からプリント回路基板までの熱抵抗。

これらの係数のそれぞれの意味は直感的に理解できそうですが、JEDECでは混乱や不整合を防ぐために、それぞれを定義しています。これらの定義はJESD 51-12に記載されています。以下に引用または言い換えた文を掲載します。

θ_{JA} 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。

$\theta_{JcBottom}$ は、デバイスの電力損失による熱が全てパッケージの底部を流れる状態での接合部から基板までの熱抵抗です。標準的な μ Moduleレギュレータでは、熱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ーのアプリケーションに合致しません。

θ_{JcTop} は、デバイスの電力損失による熱のほとんど全てがパッケージ上面を流れる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ーのアプリケーションに合致しません。

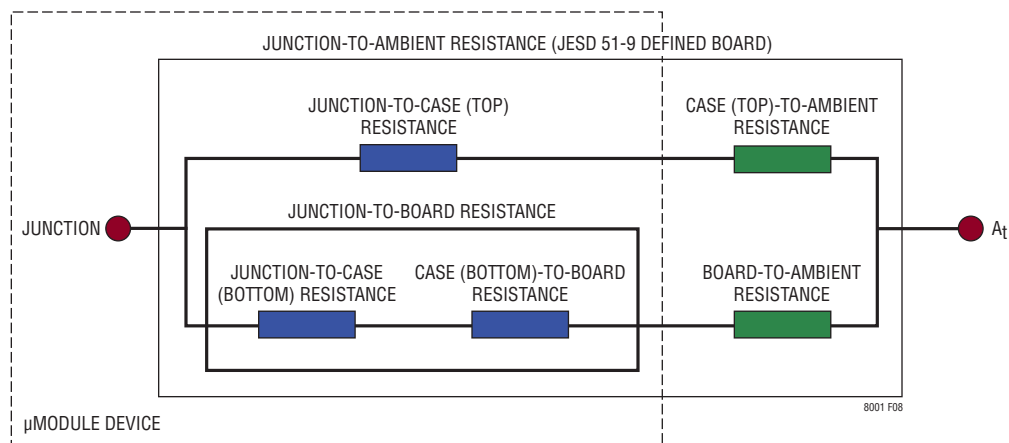
θ_{JB} は、熱の大部分が μ Moduleレギュレータの底部を流れて基板に流れ出すときの接合部から基板までの熱抵抗であり、実際には、 $\theta_{JcBottom}$ と、デバイスの底部から半田接合部を通り、基板の一部までの熱抵抗の和です。基板の温度は、両面の2層基板を使って、パッケージからの規定された距離で測定されます。この基板はJESD 51-9に記述されています。

これらの定義を見れば、これらの熱係数のいずれも μ Moduleレギュレータの実際の物理的動作条件を反映していないことは明らかです。したがって、これらを個々に使ってデバイスの熱性能を正確に予測することはできません。同様に、いずれか1つの係数をこのデバイスのデータシートに記載されている「接合部温度と負荷」のグラフと関連付けようとするのは適切ではありません。これらの係数を適切に使用できるのは、全ての熱抵抗を同時に考慮する (FEAのような) 詳細な熱解析を行う場合だけです。

これらの熱抵抗をグラフで表したものを図8に示します。青色の熱抵抗は μ Moduleレギュレータ内部に含まれ、緑色の熱抵抗は外部にあります。

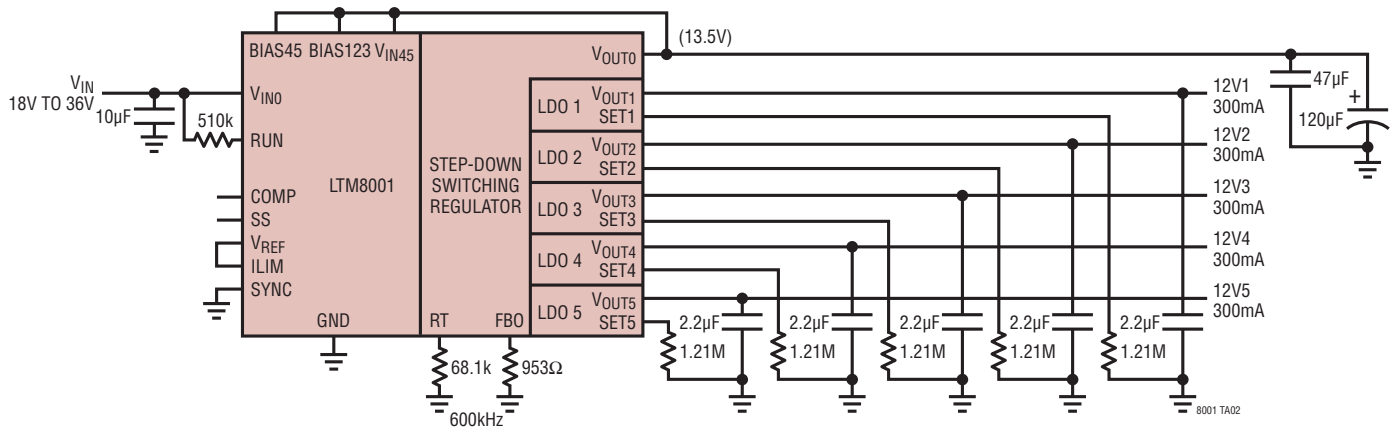
LTM8001のダイ温度は125°Cの最大定格より低くなければならないので、回路のレイアウトに注意してLTM8001の十分な放熱を確保します。LTM8001からの熱流の大半は、モジュールの底部およびBGAパッドを通してプリント回路基板に達します。したがって、プリント回路基板の設計が適切でない場合と過度の熱が生じ、性能や信頼性が損なわれることがあります。プリント回路基板設計の推奨事項については、「PCBレイアウト」のセクションを参照してください。

アプリケーション情報

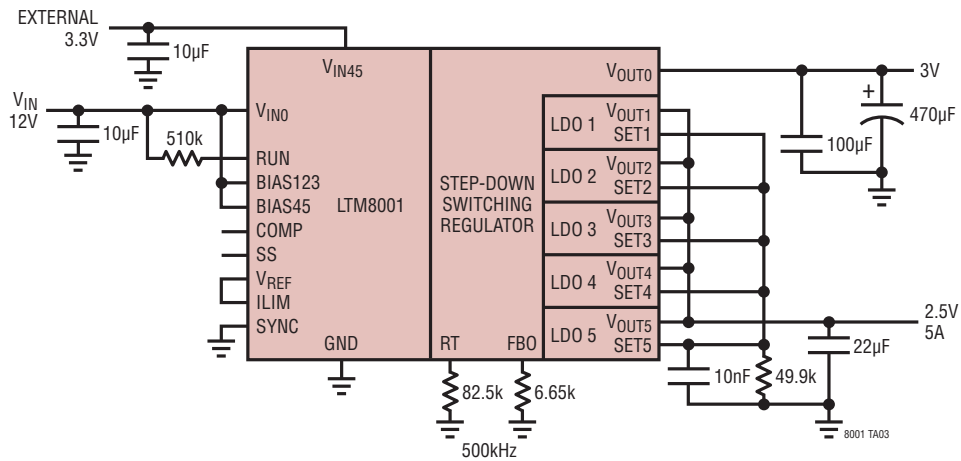
図 8. μ Module デバイスのプリント回路基板と周囲温度の間の熱抵抗

標準的応用例

5出力のDC/DC μModuleレギュレータ

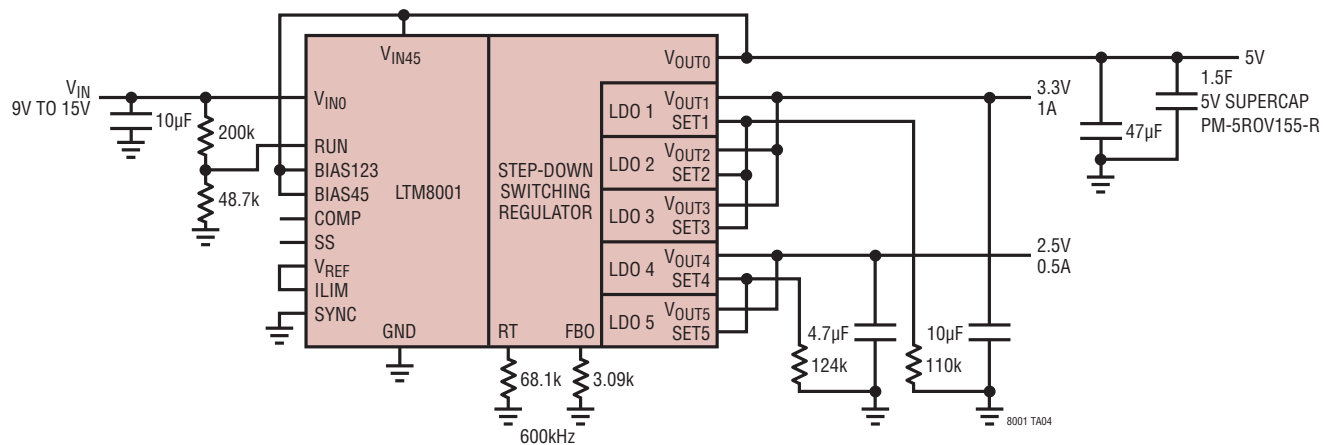


LTM8001を1個用いたデュアル入力、2.5V/5A DC/DC μModuleコンバータ (外部3.3Vは12Vよりも前または同時にオンする)



標準的応用例

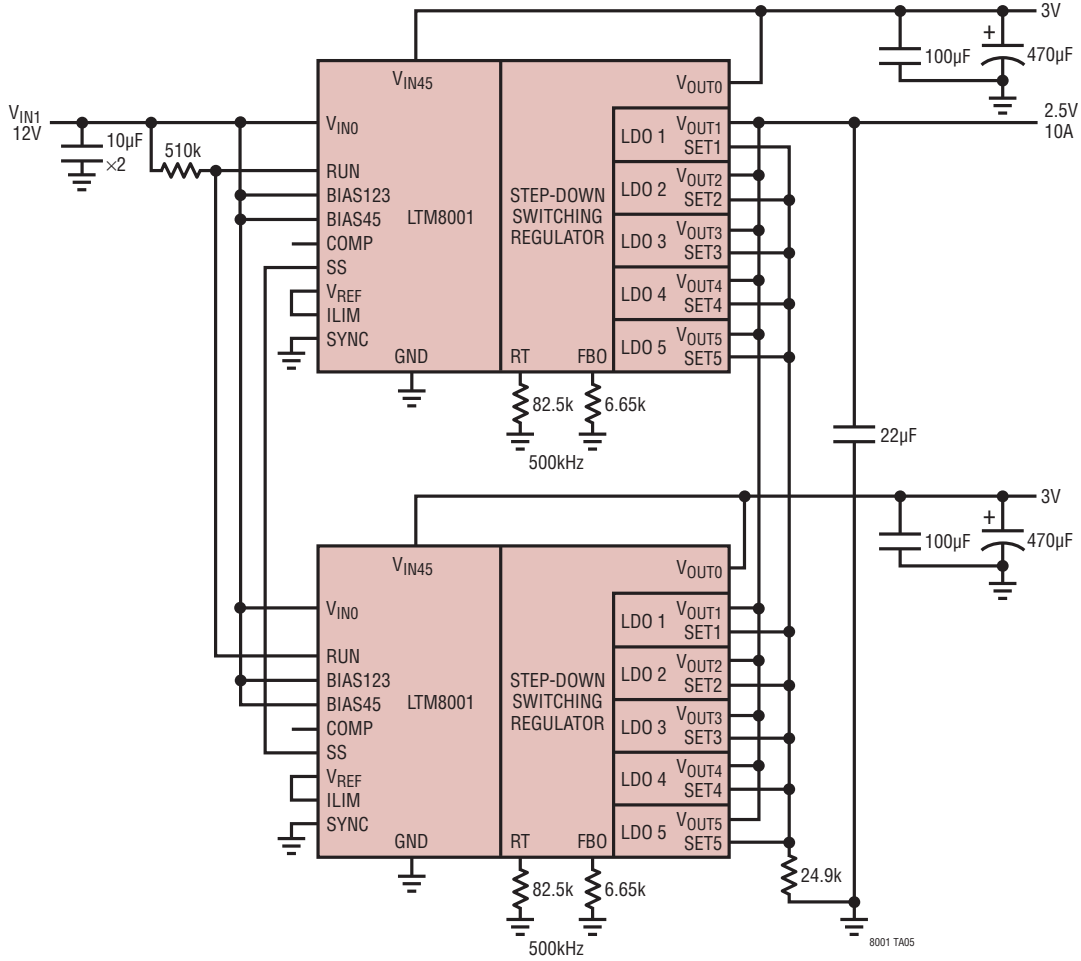
スーパーキャパシタ・チャージャと2つの出力レギュレータ



LTM8001

標準的応用例

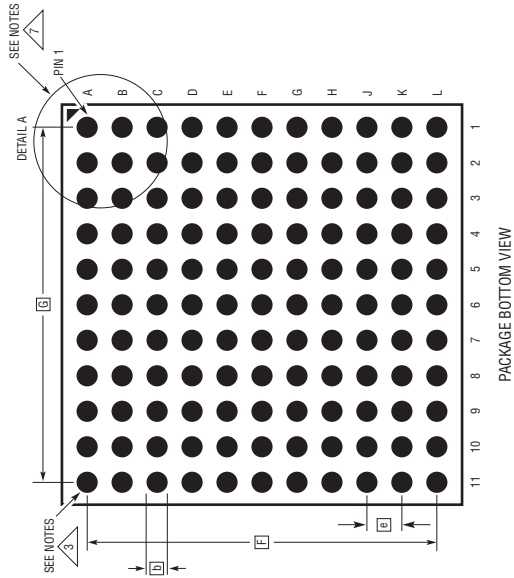
2つのLTM8001による $V_{OUT} = 2.5V/10A$ DC/DC μ Module コンバータの実装



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。

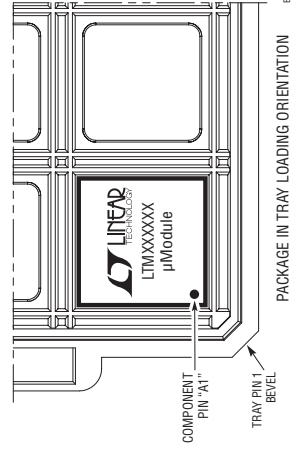
BGA Package
121-Lead (15.00mm × 15.00mm × 3.42mm)
 (Reference LTC DWG# 05-08-1923 Rev A)



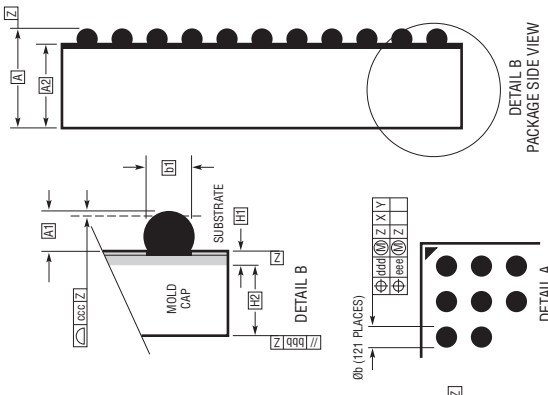
注記：

1. 寸法と許容公差は 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-Q28 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
5. マーキングはピン #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る
6. 主タームは、シーティングプレーン
7. 半田ボールは、元素構成比が Sn (Sn) 96.5%、銀 (Ag) 3.0%、銅 (Cu) 0.5% の合金、またはスズ鉛共晶合金

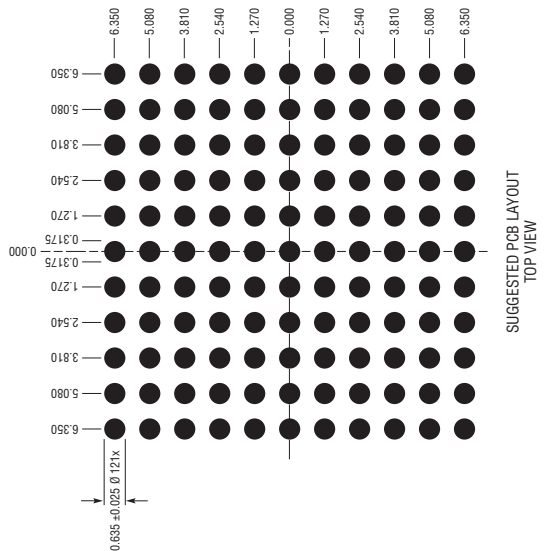
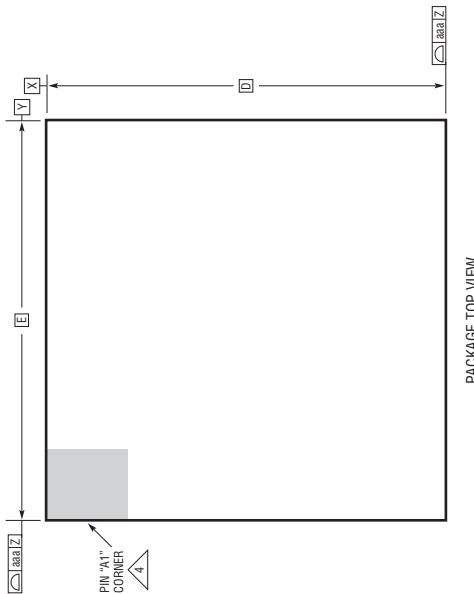
パッケージの行と列のラベルは、μModule 製品間で異なる可能性がある。各パッケージのレイアウトを確認すること



BGA 021112 REV A



DIMENSIONS			
SYMBOL	MIN	NOM	MAX
A	3.22	3.42	3.62
A1	0.50	0.60	0.70
A2	2.72	2.82	2.92
b	0.60	0.75	0.90
b1	0.60	0.63	0.66
D		15.00	
E		15.00	
e		1.27	
F		12.70	
G		12.70	
H1	0.27	0.32	0.37
H2	2.45	2.50	2.55
aaa		0.15	
bbb		0.10	
ccc		0.20	
ddd		0.30	
eee		0.15	
TOTAL NUMBER OF BALLS: 121			



LTM8001

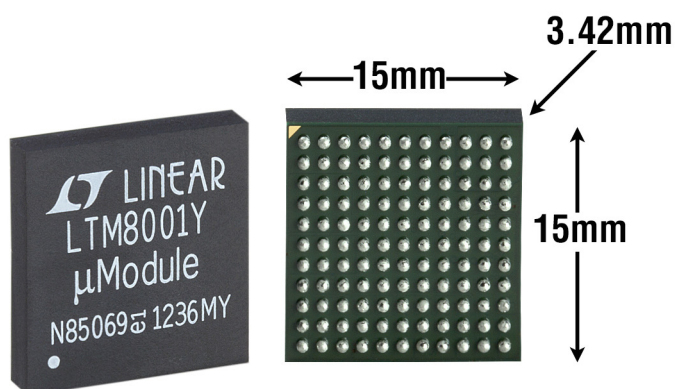
パッケージ

表3. LTM8001のピン配置(ピン番号順)

ピン	ピン名	ピン	ピン名	ピン	ピン名	ピン	ピン名	ピン	ピン名	ピン	ピン名
A1	GND	B1	GND	C1	GND	D1	GND	E1	GND	F1	GND
A2	GND	B2	GND	C2	GND	D2	GND	E2	GND	F2	GND
A3	V _{OUT0}	B3	V _{OUT0}	C3	V _{OUT0}	D3	GND	E3	GND	F3	GND
A4	V _{OUT0}	B4	V _{OUT0}	C4	V _{OUT0}	D4	GND	E4	GND	F4	GND
A5	V _{OUT0}	B5	V _{OUT0}	C5	V _{OUT0}	D5	GND	E5	GND	F5	GND
A6	V _{IN45}	B6	V _{IN45}	C6	V _{IN45}	D6	GND	E6	GND	F6	GND
A7	V _{IN45}	B7	V _{IN45}	C7	V _{IN45}	D7	GND	E7	GND	F7	GND
A8	BIAS45	B8	BIAS123	C8	GND	D8	GND	E8	GND	F8	GND
A9	SET5	B9	GND	C9	GND	D9	GND	E9	GND	F9	GND
A10	V _{OUT5}	B10	GND	C10	GND	D10	GND	E10	GND	F10	GND
A11	V _{OUT5}	B11	V _{OUT4}	C11	V _{OUT4}	D11	SET4	E11	V _{OUT3}	F11	V _{OUT3}

ピン	ピン名	ピン	ピン名	ピン	ピン名	ピン	ピン名	ピン	ピン名
G1	GND	H1	GND	J1	V _{IN0}	K1	V _{IN0}	L1	V _{IN0}
G2	GND	H2	GND	J2	V _{IN0}	K2	V _{IN0}	L2	V _{IN0}
G3	GND	H3	GND	J3	V _{IN0}	K3	V _{IN0}	L3	V _{IN0}
G4	GND	H4	GND	J4	GND	K4	SS	L4	RUN
G5	GND	H5	GND	J5	GND	K5	GND	L5	FBO
G6	GND	H6	GND	J6	GND	K6	GND	L6	COMP
G7	GND	H7	GND	J7	GND	K7	SYNC	L7	RT
G8	GND	H8	GND	J8	GND	K8	V _{REF}	L8	ILIM
G9	GND	H9	GND	J9	GND	K9	GND	L9	SET1
G10	GND	H10	GND	J10	GND	K10	GND	L10	V _{OUT1}
G11	SET3	H11	SET2	J11	V _{OUT2}	K11	V _{OUT2}	L11	V _{OUT1}

パッケージの写真



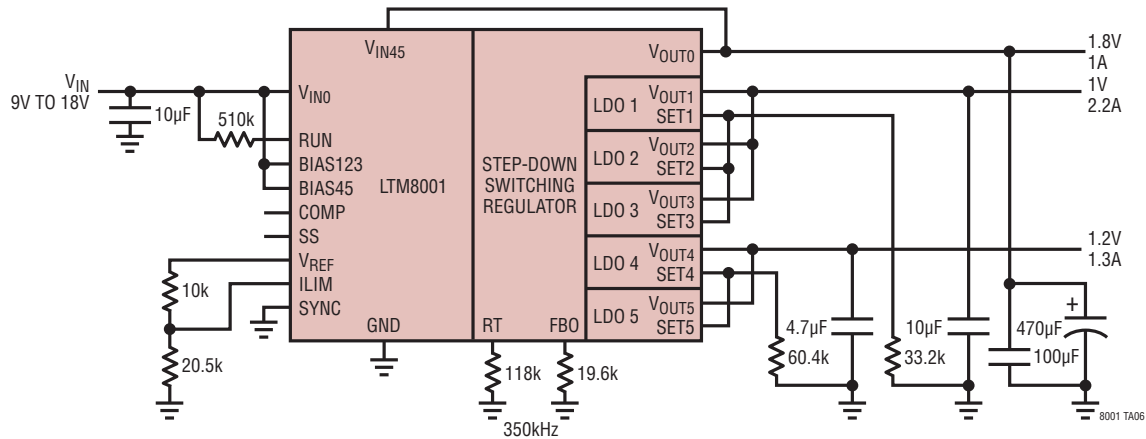
8001fc

改訂履歴

REV	日付	概要	ページ番号
A	9/13	「特長」セクションを更新。 テスト条件と制限値を更新。 入力電源ピンのピン名を修正。	1 3、4 11
B	2/14	SnPb BGAパッケージオプションを追加。	1、2
C	8/14	MPグレードオプションを追加。	2、3

標準的応用例

3出力のDC/DC μ Module コンバータ



関連製品

製品番号	説明	注釈
LTM8026	$V_{IN} = 36V$ 、5A 降圧 μ Module レギュレータ、可変電流制限機能付き	$6V \leq V_{IN} \leq 36V$ 、 $1.2V \leq V_{OUT} \leq 24V$ 、可変電流制限、出力の並列接続可能、CLK 入力、 $11.25mm \times 15mm \times 2.82mm$ LGA
LTM8052	$V_{IN} = 36V$ 、 $\pm 5A$ 降圧 μ Module レギュレータ、可変電流制限機能付き	$6V \leq V_{IN} \leq 36V$ 、 $1.2V \leq V_{OUT} \leq 24V$ 、 $-5V \leq I_{OUT} \leq 5A$ 、可変電流制限、CLK 入力、 $11.25mm \times 15mm \times 2.82mm$ LGA、LTM8026 とピン互換
LTM8061	32V/2A 降圧 μ Module バッテリ・チャージャ、設定可能な入力電流制限機能付き	シングルおよびデュアル・セルの Li-Ion または Li-Poly バッテリの CC-CV 充電に最適、 $4.95V \leq V_{IN} \leq 32V$ 、 $C/10$ または可変タイムによる充電終了、NTC 抵抗モニタ入力、 $9mm \times 15mm \times 4.32mm$ LGA
LTM8062A	32V/2A 降圧 μ Module バッテリ・チャージャ、太陽電池アプリケーション向けの最大ピーク電力トラッキング (MPPT) 機能内蔵	CC-CV 充電方式および Li-Ion、Li-Poly、鉛酸蓄電池、 $LiFePO_4$ バッテリ方式に最適、ユーザー可変の MPPT サーボ電圧、 $4.95V \leq V_{IN} \leq 32V$ 、 $3.3V \leq V_{BATT} \leq 18.8V$ 可変、 $C/10$ または可変タイムによる充電終了、NTC 抵抗モニタ入力、 $9mm \times 15mm \times 4.32mm$ LGA
LTM8033	36V/3A EN55022 クラス B 認定 DC/DC 降圧 μ Module レギュレータ	$3.6V \leq V_{IN} \leq 36V$ 、 $0.8V \leq V_{OUT} \leq 24V$ 、同期可能、 $11.25mm \times 15mm \times 4.32mm$ LGA
LTM4613	$V_{IN} = 36V$ 、8A EN55022 クラス B 認定 DC/DC 降圧 μ Module レギュレータ	$5V \leq V_{IN} \leq 36V$ 、 $3.3V \leq V_{OUT} \leq 15V$ 、PLL 入力、 V_{OUT} トラッキングとマーギニング、 $15mm \times 15mm \times 4.32mm$ LGA
LTM8048	1.5W、DC 725V 電気絶縁 μ Module コンバータ、LDO ポスト・レギュレータ付き	$3.1V \leq V_{IN} \leq 32V$ 、 $2.5V \leq V_{OUT} \leq 12V$ 、 $1mV_{P-P}$ 出力リップル、内部絶縁トランス、 $9mm \times 11.25mm \times 4.92mm$ BGA
LTC2978	オクタル・デジタル電源マネージャ、EEPROM 付き	I^2C /PMBus インタフェース、設定用 EEPROM、フォルト・ロギング、 $TUE \pm 0.25\%$ の 16 ビット ADC、 $3.3V \sim 15V$ 動作
LTC2974	クワッド・デジタル電源マネージャ、EEPROM 付き	I^2C /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、温度測定
LTC3880	デュアル出力 PolyPhase [®] 降圧 DC/DC コントローラ、デジタル・パワー・システム・マネージメント付き	I^2C /PMBus インタフェース、設定用 EEPROM、フォルト・ロギング、出力電圧精度 $\pm 0.5\%$ 、MOSFET ゲート・ドライバ