

特長

- 入力消費電流: 950nA (出力安定時、無負荷)
- 入力消費電流: 450nA (UVLOモード)
- 入力動作範囲: 2.7V~20V
- 低損失の全波ブリッジ整流器を内蔵
- 出力電流: 最大100mA
- 選択可能な出力電圧: 1.8V、2.5V、3.3V、3.6V
- ヒステリシスを備えた高効率降圧DC/DCコンバータを内蔵
- 入力保護用シャント: $V_{IN} \geq 20V$ でシャント電流最大25mA
- 広い入力低電圧ロックアウト(UVLO) 範囲
- 10ピンMSEおよび3mm×3mm DFNパッケージ

アプリケーション

- 圧電性環境発電(エナジーハーベスト)
- 電気機械式環境発電(エナジーハーベスト)
- ワイヤレスHVACセンサ
- モバイル資産管理
- タイヤ空気圧センサ
- 産業用センサの代替バッテリー
- 照明用リモート・スイッチ
- スタンドアロン・ナノパワー降圧レギュレータ

概要

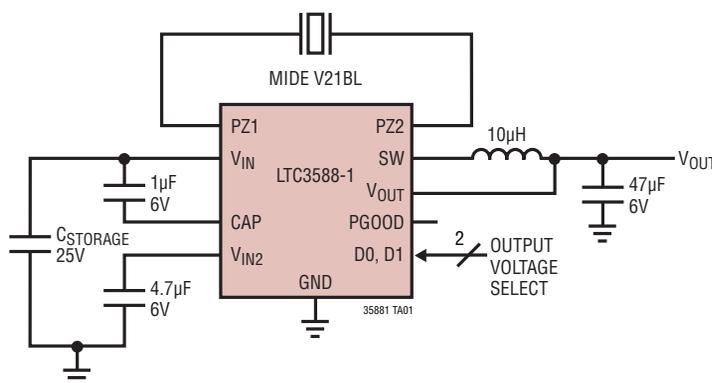
LTC[®]3588-1は、低損失の全波ブリッジ整流器と高効率の降圧コンバータを一体化して、総合的な環境発電(エナジーハーベスト)ソリューションを構成しており、圧電変換器、太陽光発電変換器、磁気変換器などの高出力インピーダンス・エネルギー源に最適です。超低静止電流の低電圧ロックアウト(UVLO)モードと広いヒステリシス範囲により、蓄積された電荷の一部を降圧コンバータが出力に効率的に伝達できるようになるまで、電荷を入力コンデンサに蓄積できます。レギュレーション時に、LTC3588-1は入力および出力の両方の静止電流を最小限に抑えるスリープ状態に移行します。降圧コンバータは必要に応じてオン/オフし、レギュレーションを維持します。

4種類の出力電圧(1.8V、2.5V、3.3V、3.6V)のいずれかをピンで選択可能で、最大100mAの連続出力電流を供給できますが、出力コンデンサのサイズを調整すれば、さらに大量の出力電流バーストを供給できます。20Vに設定された入力保護用シャント回路により、所定の入力容量により大きなエネルギーを蓄積できます。

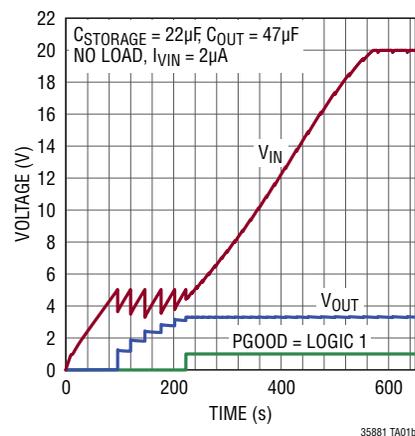
LT、LT、LTC、LTM、Linear Technology、LinearのロゴおよびBurst Modeはリニアテクノロジー社の登録商標です。その他すべての商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。

標準的応用例

100mA圧電環境発電(エナジーハーベスト)電源



LTC3588-1 3.3Vレギュレータの起動時電圧分布



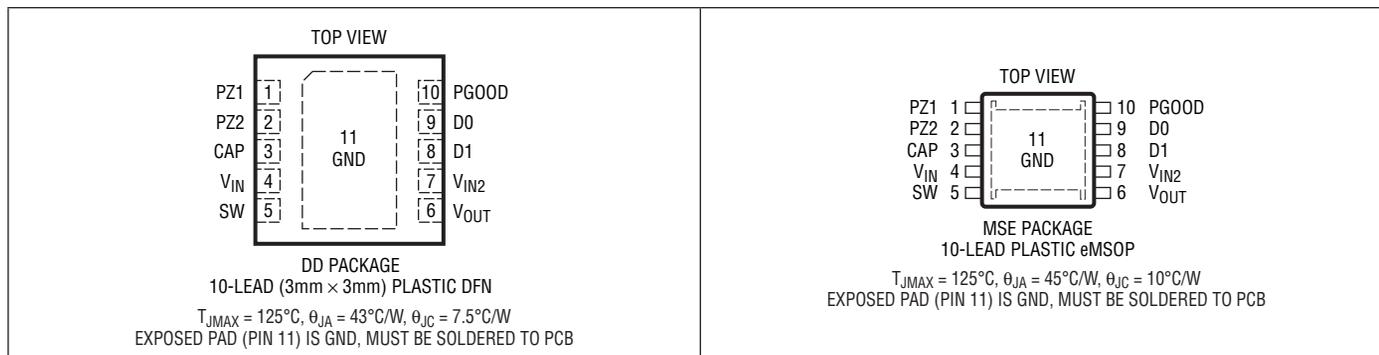
LTC3588-1

絶対最大定格 (Note 1)

V_{IN}		V_{OUT}	-0.3V~[($V_{IN2}+0.3V$)と6Vの低い方]
低インピーダンス・ソース.....	-0.3V~18V*	PGOOD.....	-0.3V~[($V_{OUT}+0.3V$)と6Vの低い方]
供給される電流、 $I_{SW} = 0A$	25mA†	I_{PZ1} 、 I_{PZ2}	±50mA
PZ1、PZ2.....	0V~ V_{IN}	I_{SW}	350mA
D0、D1.....	-0.3V~[($V_{IN2}+0.3V$)と6Vの低い方]	動作接合部温度範囲 (Notes 2、3).....	-40°C~125°C
CAP.....	[-0.3Vと($V_{IN}-6V$)の高い方]~ V_{IN}	保存温度範囲.....	-65°C~150°C
V_{IN2}	-0.3V~[($V_{IN}+0.3V$)と6Vの低い方]	リード温度 (半田付け、10秒)	
		MSEパッケージのみ.....	300°C

* V_{IN} には20Vのクランプが備わっている
 † $t < 1ms$ かつデューティ・サイクル1%未満の場合、
 絶対最大連続電流は5mA

ピン配置



発注情報

鉛フリー仕様	テープアンドリール	製品マーキング*	パッケージ	温度範囲
LTC3588EDD-1#PBF	LTC3588EDD-1#TRPBF	LFKY	10-Lead (3mm × 3mm) Plastic DFN	-40°C to 125°C
LTC3588IDD-1#PBF	LTC3588IDD-1#TRPBF	LFKY	10-Lead (3mm × 3mm) Plastic DFN	-40°C to 125°C
LTC3588EMSE-1#PBF	LTC3588EMSE-1#TRPBF	LTFKX	10-Lead Plastic eMSOP	-40°C to 125°C
LTC3588IMSE-1#PBF	LTC3588IMSE-1#TRPBF	LTFKX	10-Lead Plastic eMSOP	-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。

鉛フリー仕様の製品マーキングの詳細については、<http://www.linear-tech.co.jp/leadfree/> をご覧ください。
 この製品はトレイでのみ供給されます。詳細については、<http://www.linear-tech.co.jp/packaging/> をご覧ください。

電気的特性

●は全動作接合部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)。注記がない限り $V_{IN} = 5.5\text{V}$ 。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
V_{IN}	Input Voltage Range	Low Impedance Source on V_{IN}	●		18.0	V	
I_{VIN}	V_{IN} Quiescent Current UVLO Buck Enabled, Sleeping Buck Enabled, Sleeping Buck Enabled, Not Sleeping	$V_{IN} = 2.5\text{V}$, Not PGOOD $V_{IN} = 4.5\text{V}$ $V_{IN} = 18\text{V}$ $I_{SW} = 0\text{A}$ (Note 4)		450 950 1.7 150	700 1500 2.5 250	nA nA μA μA	
V_{UVLO}	V_{IN} Undervoltage Lockout Threshold	V_{IN} Rising 1.8V Output Selected; D1 = 0, D0 = 0 2.5V Output Selected; D1 = 0, D0 = 1 3.3V Output Selected; D1 = 1, D0 = 0 3.6V Output Selected; D1 = 1, D0 = 1 V_{IN} Falling 1.8V Output Selected; D1 = 0, D0 = 0 2.5V Output Selected; D1 = 0, D0 = 1 3.3V Output Selected; D1 = 1, D0 = 0 3.6V Output Selected; D1 = 1, D0 = 1	● ● ● ● ● ● ● ●	3.77 3.77 4.73 4.73 2.66 2.66 3.42 3.75	4.04 4.04 5.05 5.05 2.87 2.87 3.67 4.02	4.30 4.30 5.37 5.37 3.08 3.08 3.91 4.28	V V V V V V V V
V_{SHUNT}	V_{IN} Shunt Regulator Voltage	$I_{VIN} = 1\text{mA}$		19.0	20.0	21.0	V
I_{SHUNT}	Maximum Protective Shunt Current	1ms Duration		25			mA
	Internal Bridge Rectifier Loss ($ V_{PZ1} - V_{PZ2} - V_{IN}$)	$I_{BRIDGE} = 10\mu\text{A}$		350	400	450	mW
	Internal Bridge Rectifier Reverse Leakage Current	$V_{REVERSE} = 18\text{V}$				20	nA
	Internal Bridge Rectifier Reverse Breakdown Voltage	$I_{REVERSE} = 1\mu\text{A}$		V_{SHUNT}	30		V
V_{OUT}	Regulated Output Voltage	1.8V Output Selected Sleep Threshold Wake-Up Threshold 2.5V Output Selected Sleep Threshold Wake-Up Threshold 3.3V Output Selected Sleep Threshold Wake-Up Threshold 3.6V Output Selected Sleep Threshold Wake-Up Threshold	● ● ● ● ● ● ● ●	1.710 2.425 3.201 3.492	1.812 1.788 2.512 2.488 3.312 3.288 3.612 3.588	1.890 2.575 3.399 3.708	V V V V V V V V
	PGOOD Falling Threshold	As a Percentage of the Selected V_{OUT}		83	92		%
I_{VOUT}	Output Quiescent Current	$V_{OUT} = 3.6\text{V}$			89	150	nA
I_{PEAK}	Buck Peak Switch Current			200	260	350	mA
I_{BUCK}	Available Buck Output Current			100			mA
R_P	Buck PMOS Switch On-Resistance				1.1		Ω
R_N	Buck NMOS Switch On-Resistance				1.3		Ω
	Max Buck Duty Cycle		●	100			%
$V_{IH(D0, D1)}$	D0/D1 Input High Voltage		●	1.2			V
$V_{IL(D0, D1)}$	D0/D1 Input Low Voltage		●		0.4		V
$I_{IH(D0, D1)}$	D0/D1 Input High Current					10	nA
$I_{IL(D0, D1)}$	D0/D1 Input Low Current					10	nA

LTC3588-1

電気的特性

Note 1: 絶対最大定格に記載された値を超えるストレスはデバイスに永続的損傷を与える可能性がある。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可能性がある。

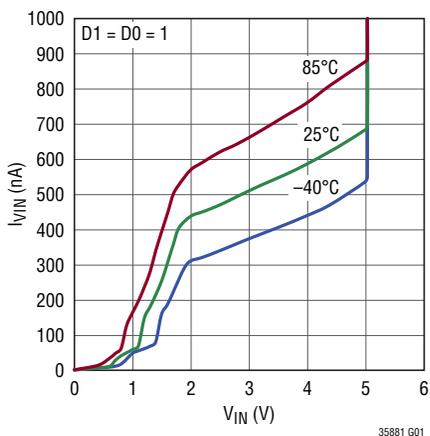
Note 2: LTC3588-1は、 T_J が T_A にほぼ等しいパルス負荷条件でテストされている。LTC3588E-1は 0°C ~ 85°C の接合部温度範囲で仕様に適合することが保証されている。 -40°C ~ 125°C の動作接合部温度範囲での仕様は設計、特性評価および統計学的なプロセス・コントロールとの相関で確認されている。LTC3588I-1は -40°C ~ 125°C の全動作接合部温度範囲で保証されている。これらの仕様と調和する最大周囲温度は、基板レイアウト、パッケージの定格熱抵抗などの環境要因と関連した特定の動作条件によって決まることに注意。

Note 3: 接合部温度(T_J , 単位: $^{\circ}\text{C}$)は周囲温度(T_A , 単位: $^{\circ}\text{C}$)および電力損失(P_D , 単位: W)から次式に従って計算される。 $T_J = T_A + (P_D \cdot \theta_{JA})$ ここで、 θ_{JA} ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)はパッケージの熱抵抗である。

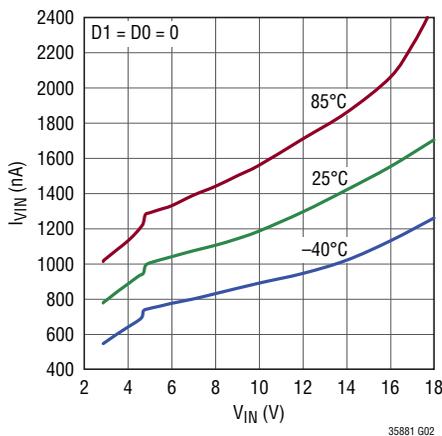
Note 4: スイッチング周波数で供給されるゲート電荷によって動作時消費電流が増える。

標準的性能特性

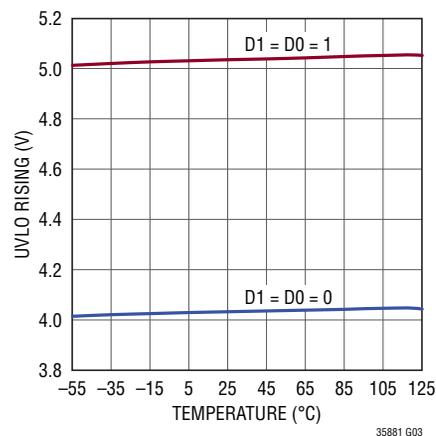
UVLO時の I_{VIN} と V_{IN}



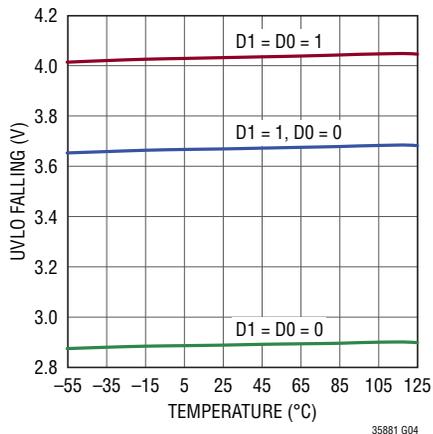
スリープ時の I_{VIN} と V_{IN}



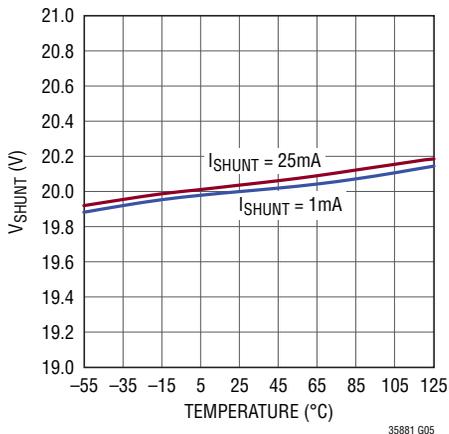
UVLOの立ち上がりスレッシュホールドと温度



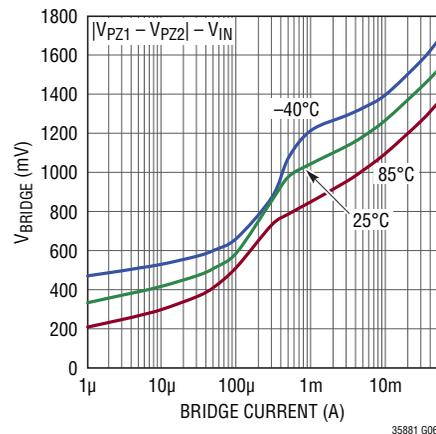
UVLOの立ち下がりスレッシュホールドと温度



V_{SHUNT} と温度



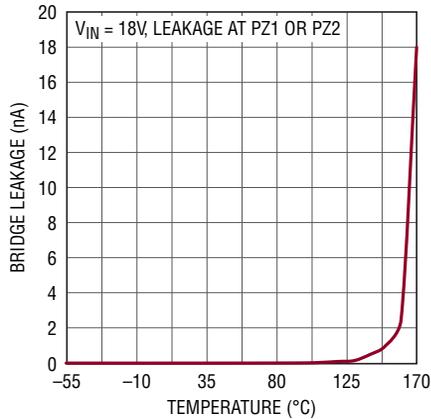
ブリッジ整流器の全電圧降下とブリッジ電流



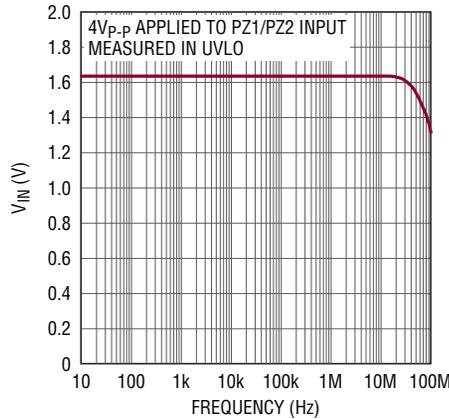
35881fb

標準的性能特性

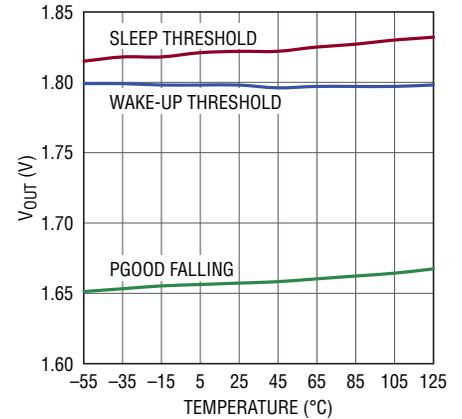
ブリッジのリーク電流と温度



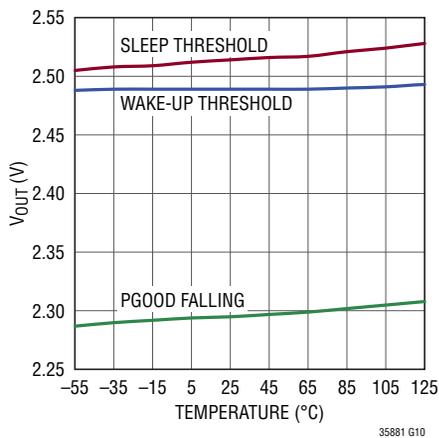
ブリッジの周波数応答



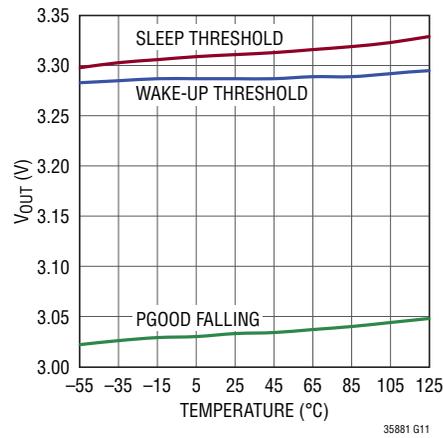
1.8V出力と温度



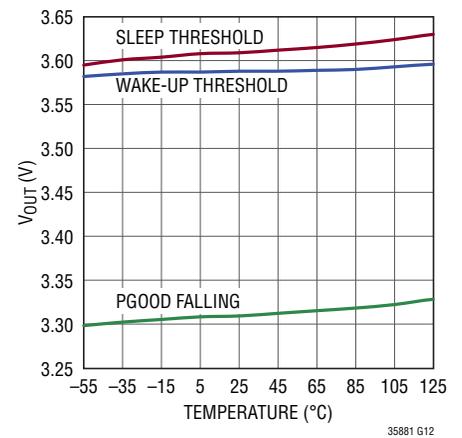
2.5V出力と温度



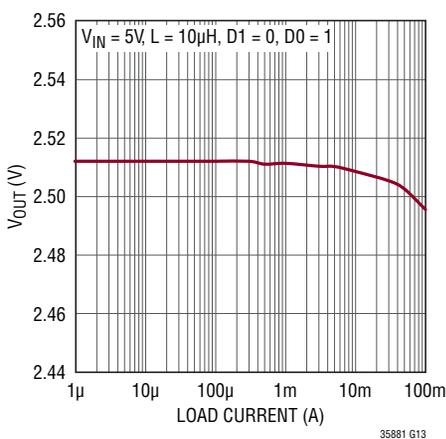
3.3V出力と温度



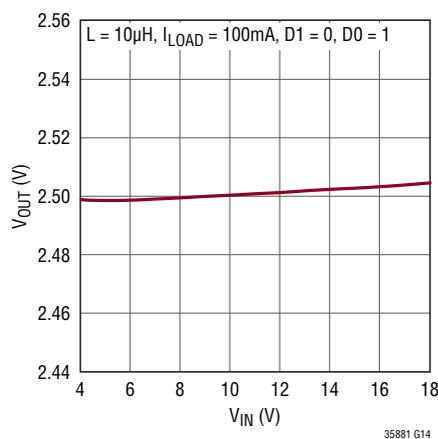
3.6V出力と温度



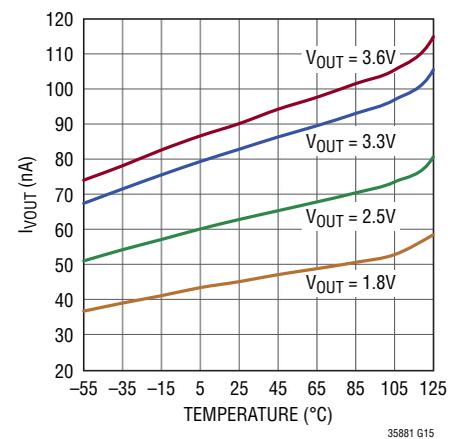
VOUTのロード・レギュレーション



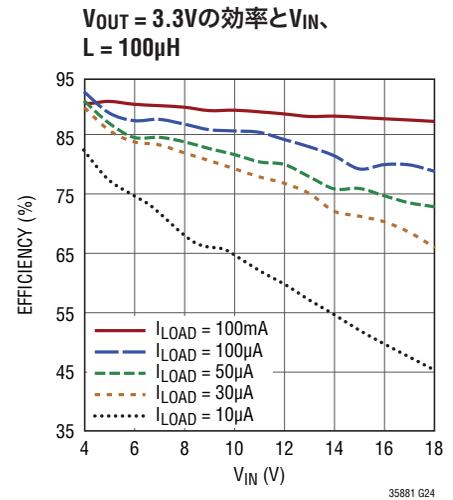
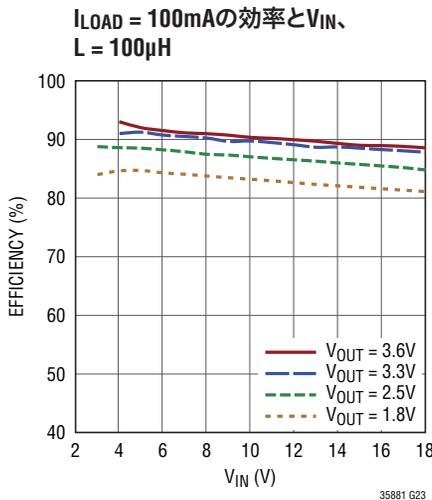
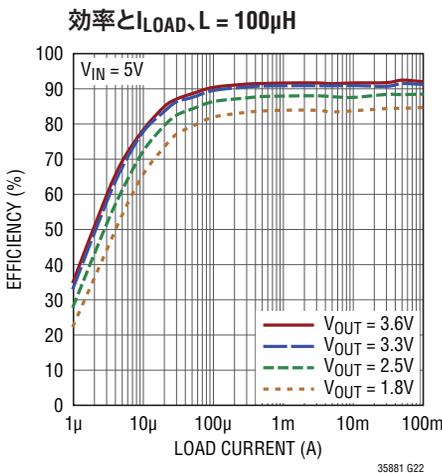
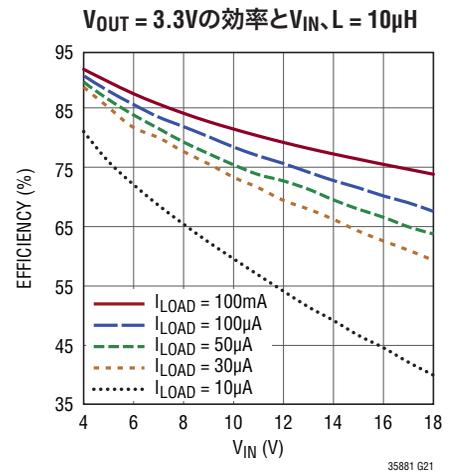
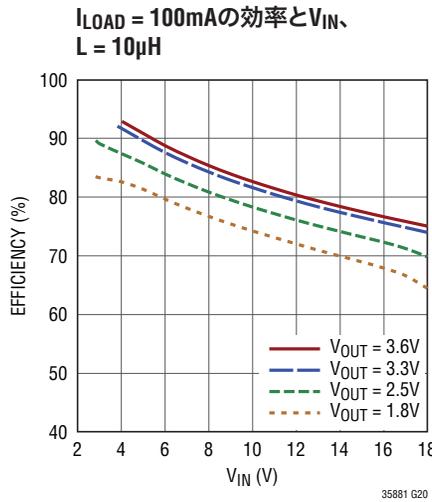
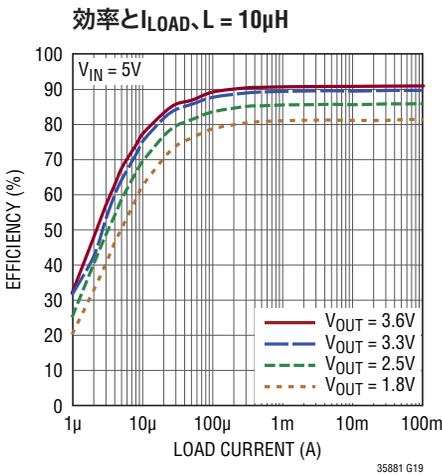
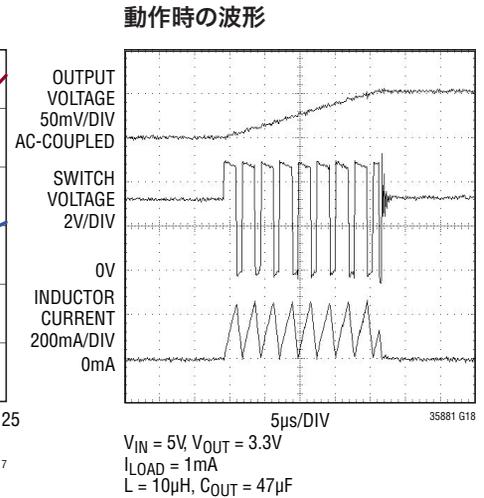
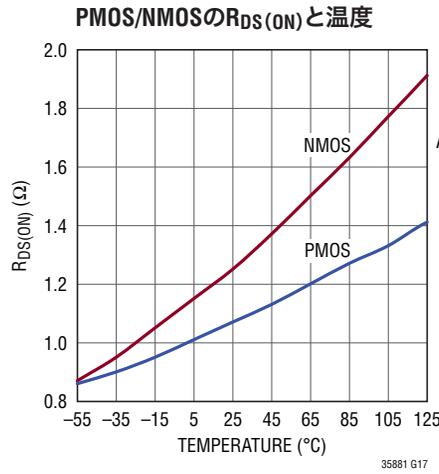
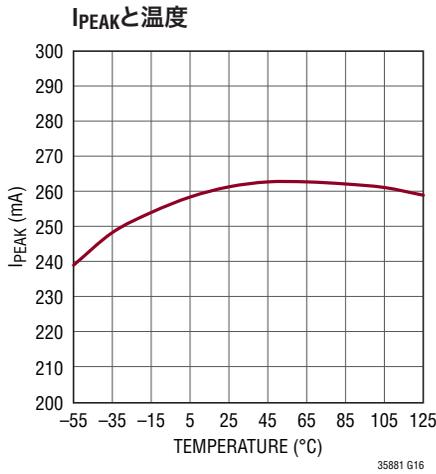
VOUTのライン・レギュレーション



IvOUTと温度



標準的性能特性



ピン機能

PZ1 (ピン1): 圧電素子などのAC電源の入力接続 (PZ2と併用)。

PZ2 (ピン2): 圧電素子などのAC電源の入力接続 (PZ1と併用)。

CAP (ピン3): V_{IN} を基準にした内部レールで、降圧PMOSスイッチのゲート・ドライブとして機能します。CAPと V_{IN} の間に $1\mu\text{F}$ のコンデンサを接続します。このピンは外部システム・レールとして使用するものではありません。

V_{IN} (ピン4): 整流された入力電圧。このピンに接続されたコンデンサは、エネルギー蓄電器と降圧レギュレータの入力電源として機能します。 V_{IN} 電圧は最大20V (標準)に内部クランプされます。

SW (ピン5): 降圧スイッチング・レギュレータのスイッチ・ピン。SWから V_{OUT} に $10\mu\text{H}$ 以上のインダクタを接続します。

V_{OUT} (ピン6): 出力電圧をモニタして内部帰還によって調整するのに使用される検出ピン。

V_{IN2} (ピン7): 降圧NMOSスイッチのゲート・ドライブとして機能する内部低電圧レール。出力電圧選択ビットD0およびD1のロジック“H”レールとしても機能します。 V_{IN2} からGNDに $4.7\mu\text{F}$ のコンデンサを接続します。このピンは外部システム・レールとして使用するものではありません。

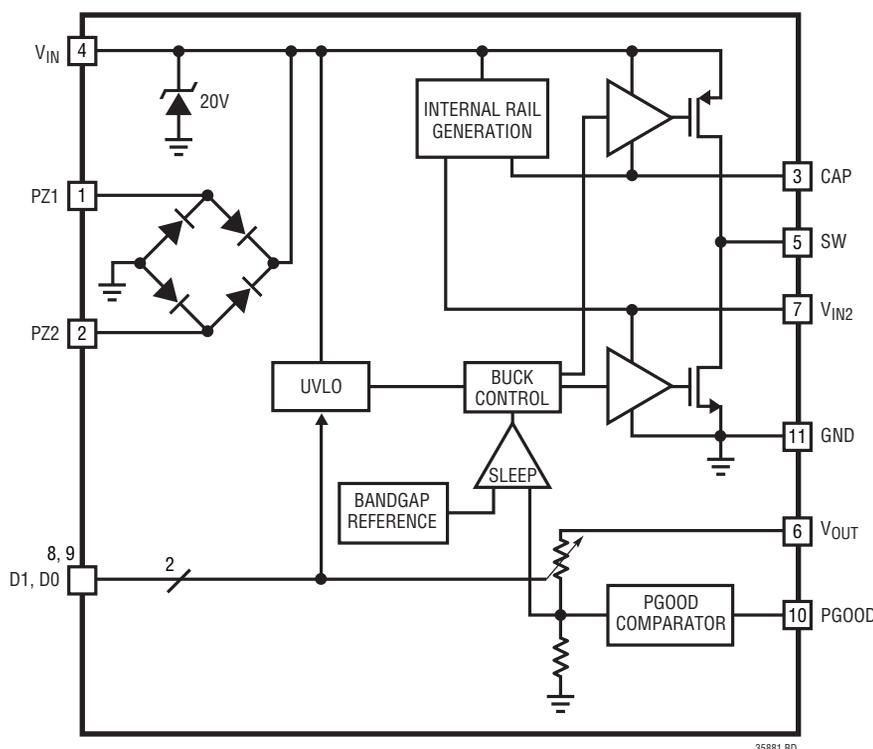
D1 (ピン8): 出力電圧選択ビット。D1を V_{IN2} に接続して“H”にするか、またはGNDに接続して“L”にすることにより、必要な V_{OUT} を選択します (表1を参照)。

D0 (ピン9): 出力電圧選択ビット。D0を V_{IN2} に接続して“H”にするか、またはGNDに接続して“L”にすることにより、必要な V_{OUT} を選択します (表1を参照)。

PGOOD (ピン10): V_{OUT} が目標値の92%を上回ると、パワーグッド出力はロジック“H”になります。ロジック“H”は V_{OUT} レールを基準にしています。

GND (露出パッド・ピン11): グランド。露出パッドは、LTC3588-1の直下に配置した複数のビアにより、プリント回路基板の2番目の層の連続したグランド・プレーンに接続します。

ブロック図



動作

LTC3588-1は超低消費電流の電源で、特に環境発電(エナジーハーベスト)アプリケーションや低電流降圧アプリケーション向けに設計されています。このデバイスは、圧電素子などの代替A/C電源と直接インタフェースするように設計されており、電圧波形を整流して取り込んだエネルギーを外付けコンデンサに蓄積します。余剰電力は内部シャント・レギュレータで処理し、ナノパワー高効率同期整流式降圧レギュレータによって安定した出力電圧を維持します。

内部ブリッジ整流器

LTC3588-1は、差動入力PZ1およびPZ2を介してアクセスできる全波ブリッジ整流器を内蔵しており、圧電素子などからのAC入力を整流します。整流された出力は V_{IN} ピンのコンデンサに蓄積され、降圧コンバータのエネルギー蓄電器として使用できます。標準的な圧電素子に生じる電流(約 $10\mu\text{A}$)による低損失ブリッジ整流器の全電圧降下は約 400mV です。ブリッジは最大 50mA を流すことができます。ブリッジの片側はシングルエンドのDC入力として動作させることができます。ブリッジを使用しているとき、決してPZ1とPZ2を一緒に短絡しないでください。

低電圧ロックアウト(UVLO)

V_{IN} の電圧がUVLOの立ち上がりスレッショルドを上回ると、降圧コンバータがイネーブルされ、電荷が入力コンデンサから出力コンデンサに転送されます。選択された安定化出力電圧を約 300mV 上回る下側スレッショルドには広い(約 1V)UVLOヒステリシス・ウィンドウが採用されており、降圧コンバータがパワーアップするときのショート・サイクリングを防止します。入力コンデンサの電圧がUVLOの立ち下がりスレッショルドを下回ると、降圧コンバータはディスエーブルされます。UVLO状態での消費電流が極めて少ない(標準 450nA)ので、エネルギーを低電力源から取り込まなければならない場合でもエネルギーを入力コンデンサに蓄積することができます。

内部レールの生成

2本の内部レールCAPおよび V_{IN2} は V_{IN} から生成され、それぞれ降圧コンバータのハイサイドPMOSおよびローサイドNMOSのドライブに使用されます。また、 V_{IN2} レールは、出力電圧選択ビットD0およびD1のロジック“H”としても機能します。 V_{IN2} レールはGNDより 4.8V 高い電圧に制御され、CAPレールは V_{IN} より 4.8V 低い電圧に制御されます。これらは外部レールとして使用するものではありません。CAPピンと V_{IN2} ピンにバイパス・コンデンサが接続され、降圧スイッチをドライブするためのエネルギー貯蔵装置として機能します。 V_{IN} が 4.8V を下回ると、 V_{IN2} が V_{IN} に等しくなってCAPがGND電位に保たれます。 V_{IN} 、 V_{IN2} 、CAPの理想的な関係を図1に示します。

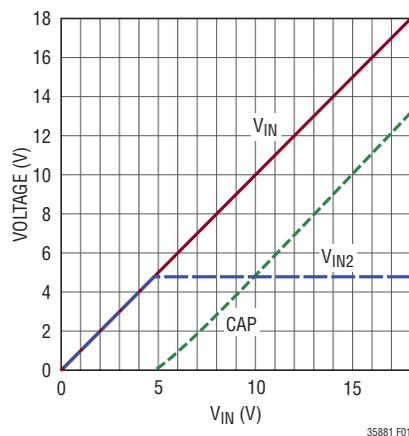


図1. V_{IN} 、 V_{IN2} 、CAPの理想的な関係

降圧動作

降圧レギュレータは、ヒステリシスをもった選択電圧アルゴリズムを使用して、 V_{OUT} 検出ピンからの内部帰還によって出力を制御します。降圧コンバータは、インダクタを介して出力コンデンサを安定化ポイントよりわずかに高い値まで充電します。これは、内部PMOSスイッチを介してインダクタ電流を 260mA までランプアップさせてから、内部NMOSスイッチを介して 0mA までランプダウンさせることによって行われます。これにより、エネルギーが出力コンデンサに効率的に供給されます。ランプレートは V_{IN} 、 V_{OUT} およびインダクタ値によって決まります。出力電圧が安定化に達する前に入力電圧がUVLOの立

動作

ち下がりスレッシュホールドを下回ると、降圧コンバータはシャットオフし、入力電圧が再度UVLOの立ち上がりスレッシュホールドを上回るまでオンしません。この間、出力電圧の負荷は100nA以下になります。降圧コンバータによって出力電圧が安定化すると、コンバータは低消費電流のスリープ状態になり、スリープ・コンパレータで出力電圧をモニタします。この動作モードの間、負荷電流は降圧コンバータの出力コンデンサによって供給されます。出力電圧が安定化ポイントを下回ると、降圧レギュレータが起動してサイクルが繰り返されます。安定した出力を供給するこのヒステリシス手法により、FETのスイッチングに関連する損失が低減され、軽負荷時の出力が維持されます。降圧コンバータは、スイッチング動作時には最小100mAの平均負荷電流を供給します。

出力がスリープ・スレッシュホールドに達したことをスリープ・コンパレータが通知するとき降圧コンバータがサイクルの途中で、インダクタを介して電流がまだ流れ続けている可能性があります。通常は、どちらの同期スイッチもオフして、インダクタ内の電流がNMOSのボディ・ダイオードを通してそのまましばらく流れてゼロになります。LTC3588-1の場合はこの間NMOSスイッチをオンに保ち、NMOSがオフであったとすればダイオードに生じるであろう導通損失を防止します。スリープ・コンパレータがトリップしたときにPMOSがオン状態であれば、NMOSは電流をランプダウンさせるためにすぐオンします。NMOSが既にオン状態であれば、電流がゼロに達するまでそのままオンに保たれます。

降圧コンバータのスイッチング時の消費電流はスリープ時の消費電流よりもはるかに大きくなりますが、平均インダクタ電流のほんの数パーセントに過ぎないので、ほとんどの負荷条件で高効率になります。降圧コンバータは入力コンデンサに十分なエネルギーが蓄積されているときしか動作しないので、コンバータが出力にエネルギーを転送するのに要する時間は、エネルギーを蓄積する時間よりもはるかに短くなります。このように、降圧動作時の消費電流は長時間平均したもので、全平均消費電流は小さくなります。この機能は少量の周囲エネルギーを取り込む電源に適応しています。

出力選択ビットD0およびD1をGNDまたは V_{IN2} に接続することにより、4つの電圧の1つを選択可能です。4つのD0/D1コードとこれらに対応する出力電圧を表1に示します。

表1. 出力電圧の選択

D1	D0	V _{OUT}	V _{OUT} の消費電流(I _{OUT})
0	0	1.8V	44nA
0	1	2.5V	62nA
1	0	3.3V	81nA
1	1	3.6V	89nA

表1に示すように、内部帰還ネットワークにV_{OUT}からの少量の電流が流れます。

パワーグッド・コンパレータ

コンバータが設定されたV_{OUT}のスリープ・スレッシュホールドに最初に達すると、パワーグッド・コンパレータはPGOODピンにV_{OUT}を基準にしたロジック“H”を生成して、出力が安定化されていることを通知します。PGOODピンはV_{OUT}が所期の安定化電圧の92%に低下するまで“H”に保たれます。この間、いくつかのスリープ・サイクルが生じることがあります。また、PGOODが“H”のときにV_{IN}がUVLOの立ち下がりスレッシュホールドを下回ると、PGOODはV_{OUT}が所期の安定化ポイントの92%に低下するまで“H”に保たれます。これにより、入力が遮断されても出力エネルギーを使用することができます。V_{OUT} = 3.6Vでの無負荷の動作を図2に示します。t = 75秒の時点でV_{IN}は高インピーダンスになり、LTC3588-1の消費電流によって放電されます。また、自己のリーク電流によって放電するV_{OUT}に電流を供給することによってもV_{IN}は放電されます。V_{IN}はUVLOの立ち下がりスレッシュホールドと交差しますが、PGOODはV_{OUT}が所期の安定化ポイントの92%に低下するまで“H”に保たれます。PGOODピンはマイクロプロセッサなどのデバイスのI/Oをドライブするために設計されているものであり、LEDなどの高電流負荷をドライブするためのものではありません。

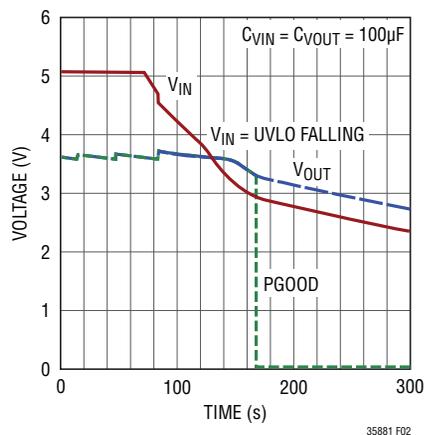


図2. UVLOへの移行時のPGOODの動作

動作

図3に示すように、安定化された状態のときにD0/D1入力を切り替えることができます。PGOODの立ち下がりスレッショルドが前の V_{OUT} より高い電圧に V_{OUT} が設定されると、PGOODは新たな安定化ポイントに達するまで“L”になります。 V_{OUT} がより低い電圧に設定されると、PGOODは遷移の間“H”に保たれます。

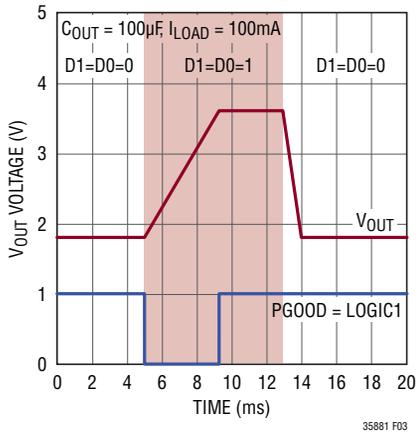


図3. D0/D1の遷移時のPGOODの動作

エネルギーの蓄積

取り込んだエネルギーは入力コンデンサまたは出力コンデンサに蓄積することができます。入力電圧範囲が広いので、コンデンサに蓄積されたエネルギーがコンデンサの電圧の2乗に比例するという事実を活用できます。出力電圧が安定化されると、入力コンデンサに全ての余剰エネルギーが蓄積されて入力コンデンサの電圧が上昇します。出力に負荷が接続されていると、降圧コンバータは高電圧で蓄積されたエネルギーを安定化された出力に効率的に転送することができます。入力でのエネルギー蓄積は入力を高い電圧にすることによって行われますが、負荷電流は降圧コンバータの供給能力に制限されます。大きな負荷に対応する必要がある場合、出力コンデンサをある程度の期間大きな電流に対応する大きさにすることができます。たとえば、PGOODが“H”になったときに電流バーストを開始し、PGOODが“L”になるまで出力コンデンサを放電し続けることができます。

アプリケーション情報

はじめに

LTC3588-1の主なアプリケーションでは、圧電素子を介して周囲の振動エネルギーを取り込みます。よく使用される圧電素子は、PZT (lead zirconate titanate - チタン酸ジルコン酸鉛) セラミック、PVDF (polyvinylidene fluoride - ポリフッ化ビニリデン) ポリマーなどの複合材料です。セラミック圧電素子はセラミックの結晶構造が圧縮されたときに圧電効果を生じるものであり、内部の分極によって電圧を生じます。ポリマー圧電素子は長鎖状分子で構成されており、曲げられたときに分子が互いに反発することによって電圧を生じます。セラミック圧電素子は直接圧力のかかるところによく使用され、ポリマー圧電素子は容易に曲げることができます。様々な圧電素子が使用可能であり、様々な開放電圧と短絡電流が得られます。図4に示すように、開放電圧と短絡電流は通常、得られる振動エネルギーに従って大きくなります。必要な開放電圧を得るため、圧電素子を直列または並列に接続することができます。

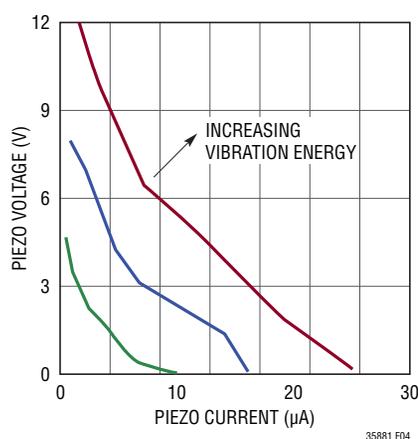


図4. 圧電システムT220-A4-503Xの標準的な圧電負荷曲線

LTC3588-1は圧電環境発電(エナジーハーベスト)アプリケーションに適しています。20Vの入力保護シャントは様々な圧電素子に対応することができます。LTC3588-1は消費電流が少ないので、数十マイクロアンペア程度の短絡電流を発生可能な圧電素子から効率的にエネルギーを蓄積することができます。圧電素子は表2に示す製造元から入手できます。

表2. 圧電素子の製造元

Advanced Cerametrics	www.advancedcerametrics.com
Piezo Systems	www.piezo.com
Measurement Specialties	www.meas-spec.com
PI (Physik Instrumente)	www.pi-usa.us
MIDE Technology Corporation	www.mide.com
Morgan Technical Ceramics	www.morganelectroceramics.com

LTC3588-1はエネルギーを取り込み、それをマイクロプロセッサ、ワイヤレス・センサやワイヤレス・トランスミッタに電力を供給するのに使用可能な出力電圧に変換します。このようなワイヤレス・センサのアプリケーションでは、圧電素子が生成可能な電力よりもはるかに大きなピーク電力を必要とする場合があります。ただし、LTC3588-1は長時間エネルギーを蓄積するので、短時間の電力バースト用に効率的に使用することができます。連続動作では、バースト時の全出力エネルギーがエネルギー蓄積サイクルで取り込まれた平均電源電力を超えないように、これらのバーストを低デューティ・サイクルで生じさせる必要があります。圧電入力では、サイクル間の時間は選択されたコンデンサの値と振動源の性質によって分単位、時間単位またはそれ以上になることがあります。

アプリケーション情報

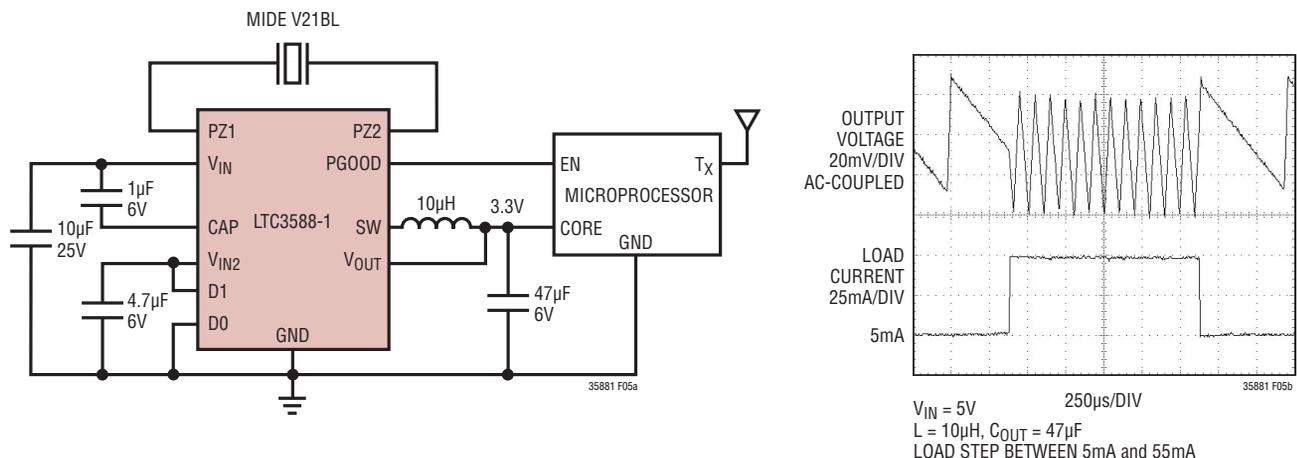


図5. ワイヤレス・トランスミッタを備えたマイクロプロセッサに電力を供給する3.3V電圧エネルギーハーベスタと50mAの負荷ステップ応答

PGOOD信号

図5に示すように、PGOOD信号を使用して、V_{OUT}が安定化に達するときにスリープ状態のマイクロプロセッサなどの回路をイネーブリングすることができます。通常、V_{IN}はこの時点でUVLOスレッシュホールド間の値であり、負荷は出力コンデンサだけで支えられている可能性があります。また、PGOODが“H”になった後でしばらく待機すると、入力コンデンサがより大きなエネルギーを蓄積できるので、降圧コンバータがそのエネルギーを出力に効率的に転送するときに負荷電流をより長く維持することができます。マイクロプロセッサがアクティブ状態のとき、センサの操作時に小さな負荷電流を流し、次いでデータを転送するために大きな負荷電流を流す場合があります。LTC3588-1がこのような負荷ステップにスムーズに対応する様子を図5に示します。

入力および出力コンデンサの選択

入力コンデンサと出力コンデンサは、アプリケーションのエネルギー要件と負荷要件に基づいて選択します。どの場合でも、V_{IN}コンデンサはV_{IN}に生じる最も高い電圧に耐える定格にします。100mA以下の負荷では、降圧コンバータが100mAの平均負荷電流を出力に効率的に供給できるので、入力でのエネルギーの蓄積に高電圧の入力を活用します。したがって、入力コンデンサは、出力電力を必要な時間供給するのに十分なエネルギーを蓄積できる大きさにします。これには、大きなコンデンサを使用するか、V_{IN}を高電圧に充電するか、またはその両方を行います。降圧コンバータが出力へのエネルギー転送

を停止するUVLOの立ち下がりスレッシュホールドに達しないように、入力に十分なエネルギーを蓄積します。通常、以下のようになります。

$$P_{LOAD} t_{LOAD} = \frac{1}{2} \eta C_{IN} (V_{IN}^2 - V_{UVLOFALLING}^2)$$

$$V_{UVLOFALLING} \leq V_{IN} \leq V_{SHUNT}$$

上式を使用して、入力コンデンサを必要な時間にわたり出力の電源要件を満たす大きさにすることができます。ここで、ηは降圧コンバータの全入力範囲の平均効率、V_{IN}は降圧コンバータがスイッチングを開始するときの入力電圧です。負荷電流によって出力コンデンサが下側のPGOODスレッシュホールドまで放電することができるので、この式では必要な入力コンデンサを過大に見積もることができます。また、充電する入力ソースの充電時の影響は無視できるものとしています。

レギュレータのスリープ時間は負荷電流と出力コンデンサの大きさに応じて変化します。スリープ時間は負荷電流の増加や出力コンデンサの容量低下に従って短くなります。DCのスリープ・ヒステリシス・ウィンドウは設定された出力電圧の±12mVです。理想的には、これはスリープ時間が次式によって決まることを意味しています。

$$t_{SLEEP} = C_{OUT} \frac{24mV}{I_{LOAD}}$$

アプリケーション情報

このことは約100 μ F以上の出力コンデンサに当てはまりますが、出力コンデンサが10 μ Fに向かって小さくなるに従い、内部スリープ・コンパレータの遅延と負荷電流により、V_{OUT}電圧が \pm 12mVのスレッシュホールドを短時間に通過してしまうことがあります。これにより、スリープ時間が長くなってV_{OUT}リップルが大きくなります。V_{OUT}リップルが好ましくないレベルまで大きくなる可能性があるため、10 μ F以下のコンデンサは推奨しません。

100mAを上回る過渡負荷電流が必要な場合には、出力にもっと大きなコンデンサを使用することができます。このコンデンサは負荷状態の間連続して放電するので、コンデンサは以下のようにV_{OUT}の電圧降下を許容できる大きさにすることができます。

$$C_{OUT} = (V_{OUT+} - V_{OUT-}) \frac{I_{LOAD} - I_{BUCK}}{t_{LOAD}}$$

ここで、V_{OUT+}はPGOODが“H”になったときのV_{OUT}の値、V_{OUT-}はV_{OUT}の望みの下限です。I_{BUCK}は降圧コンバータから供給されている平均電流で、通常、I_{PEAK}/2になります。

C_{OUT}には標準の表面実装セラミック・コンデンサを使用することができますが、アプリケーションによっては低リークのアルミ電解コンデンサやスーパーキャパシタが適しているものもあります。これらのコンデンサは、Vishay、Illinois Capacitor、AVX、CAP-XXなどの製造元から入手することができます。

インダクタ

降圧コンバータは10 μ H～22 μ Hの範囲のインダクタで動作するように最適化されていますが、アプリケーションの中にはこの範囲外のインダクタ値が有効なものもあります。標準的なアプリケーションでは、10 μ Hの値を推奨します。大きなインダクタは、PMOSスイッチのオン時間を長くし、ゲート充電損失を低減することによって効率を向上させるので、高電圧のアプリケーションに有効です。DC電流定格が350mA以上のインダクタを選択してください。インダクタのDCRは損失の要

因になるので効率に影響を及ぼす可能性があります。価格、寸法、DCRの間のトレードオフを評価する必要があります。LTC3588-1に適したインダクタのいくつかを表3に示します。

表3. LTC3588-1の推奨インダクタ

インダクタの種類	L (μ H)	最大 I _{DC} (mA)	最大 DCR (Ω)	寸法 (単位: mm) (L×W×H)	製造元
CDRH2D18/LDNP	10	430	0.180	3×3×2	Sumida
107AS-100M	10	650	0.145	2.8×3×1.8	Toko
EPL3015-103ML	10	350	0.301	2.8×3×1.5	Coilcraft
MLP3225s100L	10	1000	0.130	3.2×2.5×1.0	TDK
XLP2010-163ML	10	490	0.611	2.0×1.9×1.0	Coilcraft
SLF7045T	100	500	0.250	7.0×7.0×4.5	TDK

V_{IN2}コンデンサとCAPコンデンサ

V_{IN}とCAPの間に1 μ Fのコンデンサを接続し、V_{IN2}とGNDの間に4.7 μ Fのコンデンサを接続します。これらのコンデンサにより、降圧コンバータのスイッチング時に内部レールが保たれ、内部レール生成回路が補償されます。入力ソースが6V以下に制限されているアプリケーションでは、図6に示すように、CAPピンをGNDに接続してV_{IN2}ピンをV_{IN}に接続することができます。この場合、オプションの5.6Vツェナー・ダイオードをV_{IN}に接続してV_{IN}をクランプすることができます。自己のツェナー電圧を下回るツェナー・ダイオードのリーク電流は、LTC3588-1の消費電流と同程度になる可能性があるため考慮する必要があります。この回路ではV_{IN2}とCAPにコンデンサを接続する必要がないので、部品数が節約されて1個のV_{IN}コンデンサの電圧定格が小さくなります。

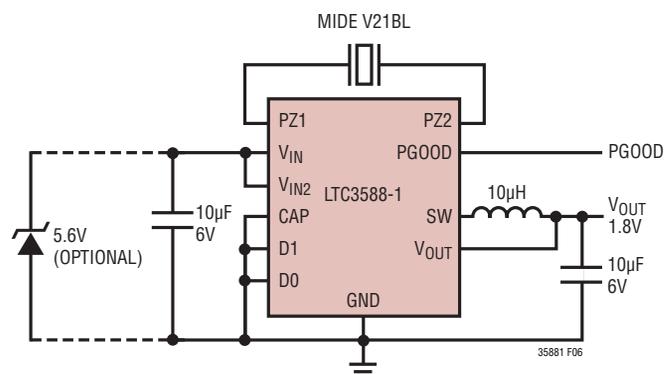


図6. 最小ソリューション・サイズの1.8Vの低電圧入力圧電電源

アプリケーション情報

圧電入力を使用したその他のアプリケーション

汎用性の高いLTC3588-1は様々な構成で使用することができます。図7に、2個のLTC3588-1に同時に電力を供給し、複数レール・システムを可能にする1個の圧電電源を示します。出力電圧が低い方(つまり、UVLOの立ち上がりスレッシュホールドが低い方)のLTC3588-1が最初に起動するように、この回路は自動電源シーケンス制御機能を備えています。圧電素子が入力に電力を供給するときに、最初は両方のVINレールが一緒に起動しますが、片方の出力が電力を供給し始めると、それぞれのLTC3588-1のブリッジが相互に絶縁しているので、対応するVINだけが低下します。入力圧電エネルギーはその後、両方のVINレールが再度等しくなるまでこの低い電圧のコンデンサに導かれます。この構成は、圧電素子が各LTC3588-1の消費電流の総量に対応できる限り、1個の圧電素子によって電力を供給されるLTC3588-1の数を増やすことが可能です。

図8に示すように、圧電素子から電力を供給されるLTC3588-1をVINに接続されたバッテリーと組み合わせて使用して、周囲の振動エネルギーがなくなったときにシステムを補完することができます。VINにバッテリーと直列にブロッキング・ダイオードを接続することにより、圧電電源がバッテリー電圧を超えてVINを充電したときのバッテリーの逆電流が防止されます。9Vのバッテリーが示されていますが、バッテリー・スタックの電圧が18Vを超えない限りどの種類のバッテリー・スタックも使用できます。この回路では、圧電エナジーハーベスタを接続することによってバッテリーの寿命を大幅に延長することができます。圧電電源を取り除くと、LTC3588-1はスタンドアロンのナノパワー降圧コンバータとして機能することができます。この場合、ブリッジは使用されず、ブロッキング・ダイオードは不要です。

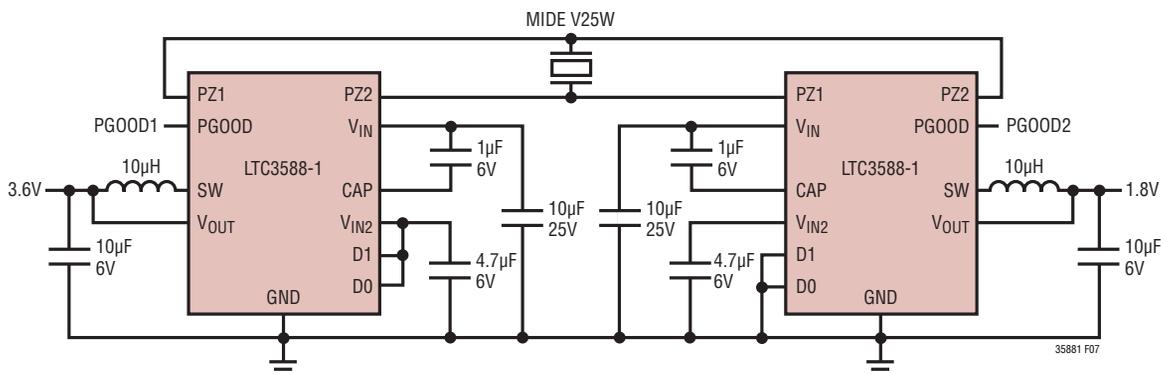


図7. 1個の圧電素子と自動電源シーケンス制御を使用したデュアル・レール電源

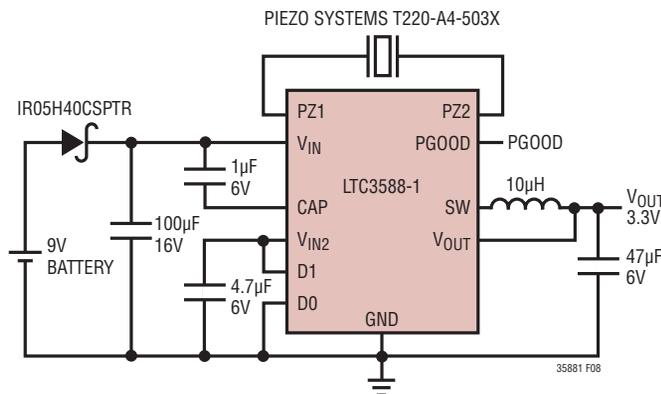
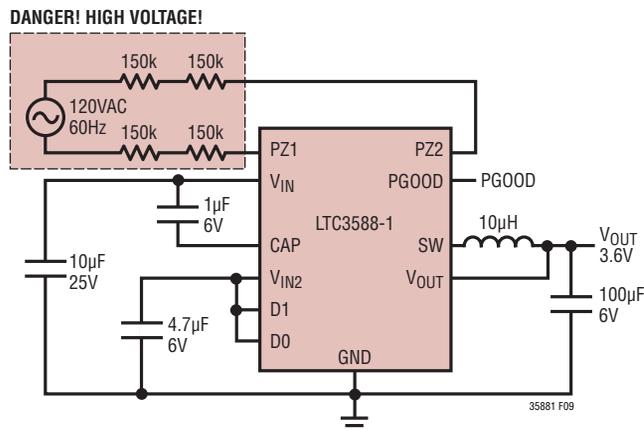


図8. バッテリー・バックアップ付き圧電エナジーハーベスタ

アプリケーション情報



オフライン回路には危険かつ致命的な電圧が生じる!作業を進める前に、オフライン回路の組み立て、テストおよび使用時には注意が必要であることを警告する。これらの回路での作業や接続を行うときには最大の注意を必要とする。再び警告する:オフライン回路にはACラインに接続された危険な高電圧が存在する。注意せよ。オフライン回路で行う全てのテストは、オフライン回路の入力とACラインの間に絶縁トランスを接続して行う必要がある。オフライン回路の使用や組み立ての際、回路にテスト装置を接続するときにはこの予防措置を遵守して電気ショックを防止する必要がある。再び警告する:何らかのテスト装置を接続する場合には、回路入力とACラインの間に絶縁トランスを接続する必要がある。

図9. 重負荷に対応するための大きな出力コンデンサを使用したACラインから電力を供給される3.6V降圧レギュレータ

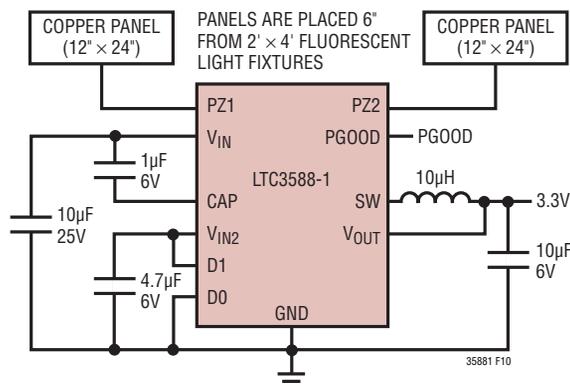


図10. 電界エネルギーハーベスタ

代替電源

LTC3588-1は圧電素子とともに使用されるだけでなく、得られる周囲エネルギーの種類に応じて様々な入力ソースに対応することができます。内部ブリッジ整流器が4本の150k電流制限抵抗と直列のACラインに接続されたLTC3588-1を図9に示します。これは高電圧のアプリケーションであり、適用されるUL規格に従い、電源線、接地線などの高電圧の部品の最小間隔を確保する必要があります。一般的なオフライン・アプリケーションについてはUL規則1012を参照してください。

図10に、銅板を通常の室内蛍光灯に近づけて、光の周囲の電界からエネルギーを容量的に取り込むアプリケーションを示します。放射周波数は磁気安定器の場合は120Hzになります

が、蛍光灯が電子安定器を使用している場合にはもっと高くなる可能性があります。LTC3588-1のブリッジ整流器は広範囲の入力周波数に対応することができます。

図11と図12に示すように、LTC3588-1はソーラー・パネルや熱電対などのDCソースをPZ1入力とPZ2入力のどちらか1つに接続することにより、これらのDCソースとともに使用するように構成することもできます。2つのソースをこのように接続することにより、各素子に逆電流が流れるのを防止します。PZ1ピンやPZ2ピンを保護するために電流制限抵抗を使用する必要があります。これは、ブロッキング・ダイオードを使ってVINに接続されたバッテリー・バックアップと併用することができます。

アプリケーション情報

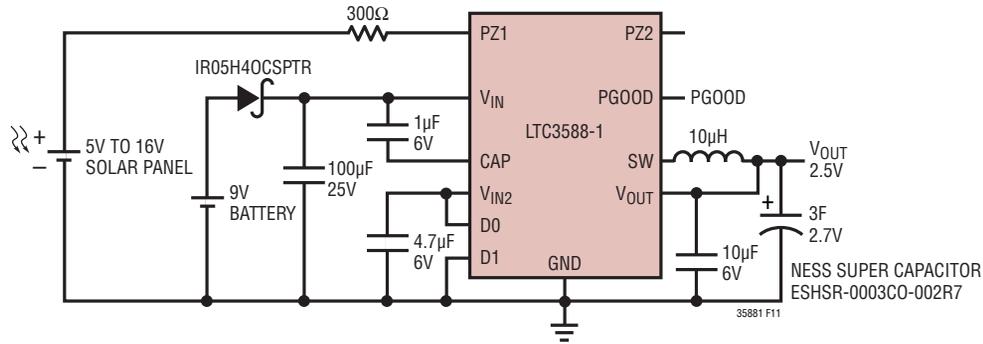


図11. 大きな出力エネルギーを蓄積するためのスーパーキャパシタとバッテリー・バックアップを使用した5V~16Vのソーラー駆動の2.5V電源

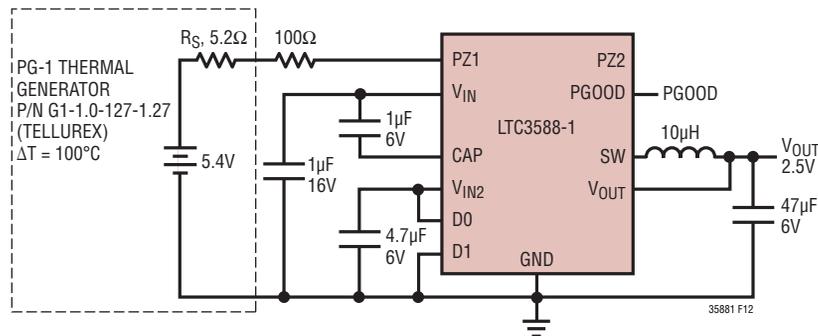
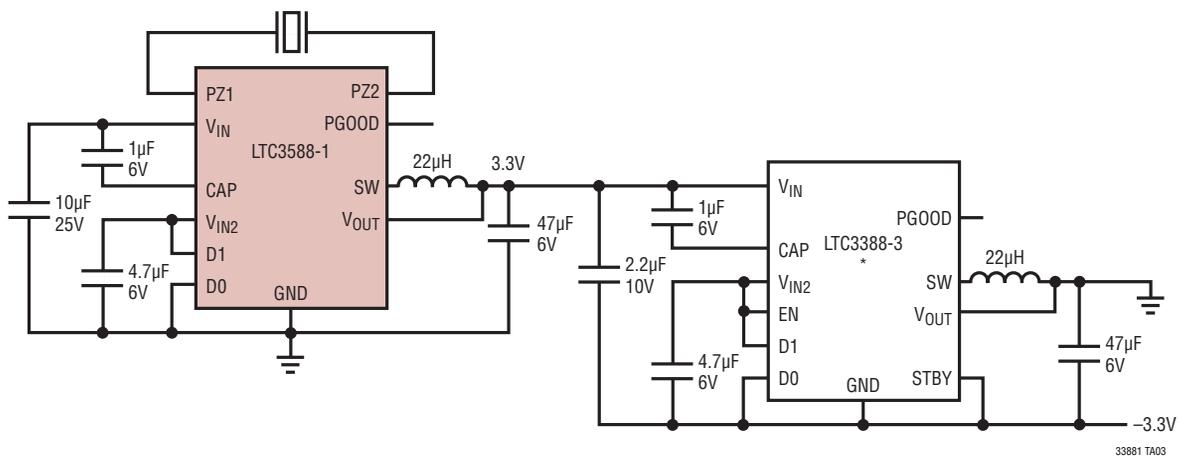


図12. 熱電エネルギーハーベスタ



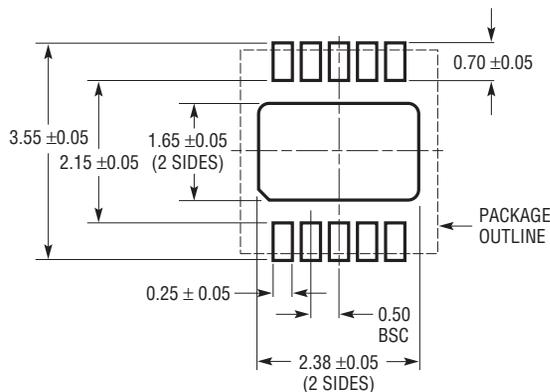
* EXPOSED PAD MUST BE ELECTRICALLY ISOLATED FROM SYSTEM GROUND AND CONNECTED TO THE -3.3V RAIL.

図13. ±3.3V出力を備えた圧電エネルギーハーベスタ

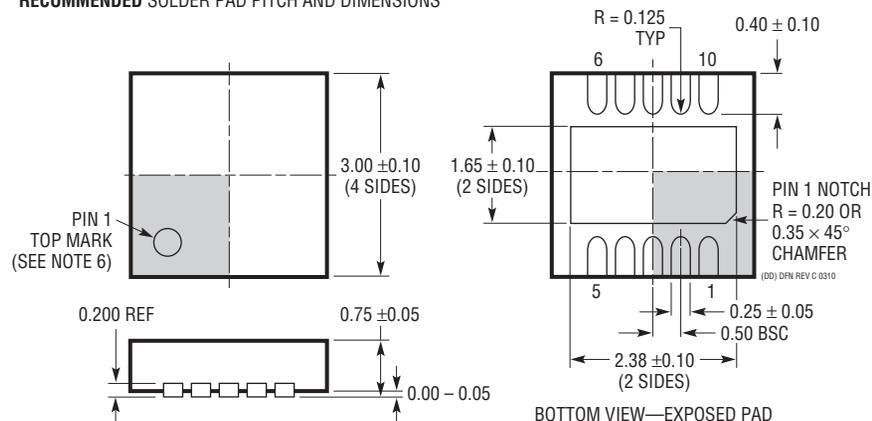
パッケージ

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

DD Package
10-Lead Plastic DFN (3mm × 3mm)
 (Reference LTC DWG # 05-08-1699 Rev C)



RECOMMENDED SOLDER PAD PITCH AND DIMENSIONS



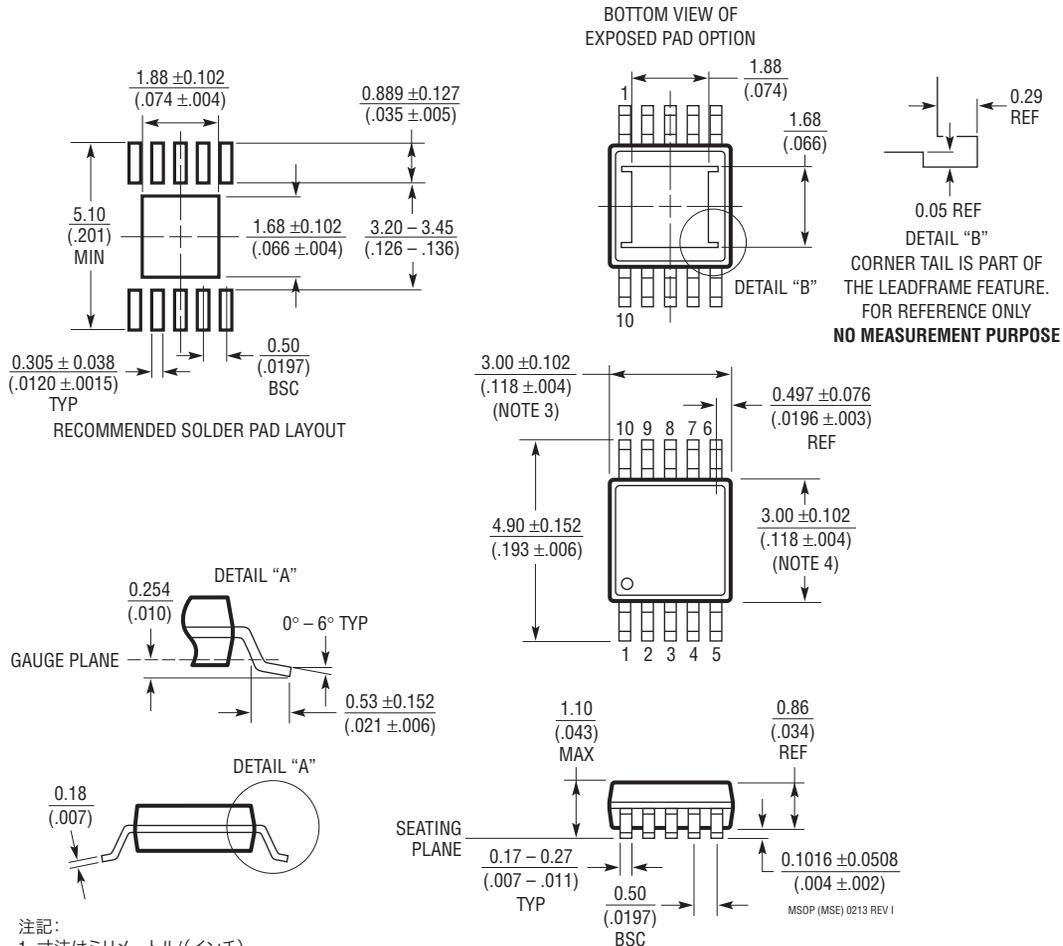
注記:

1. 図はJEDECのパッケージ外形MO-229のバリエーション(WEED-2)になる予定
バリエーションの指定の現状については、LTCのWebサイトのデータシートを参照
2. 図は実寸とは異なる
3. すべての寸法はミリメートル
4. パッケージ底面の露出パッドの寸法にはモールドのバリを含まない
モールドのバリは(もしあれば)各サイドで0.15mmを超えないこと
5. 露出パッドは半田メッキとする
6. 網掛けの部分はパッケージの上面と底面のピン1の位置の参考に過ぎない

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/> をご覧ください。

MSE Package 10-Lead Plastic MSOP, Exposed Die Pad (Reference LTC DWG # 05-08-1664 Rev I)



注記:

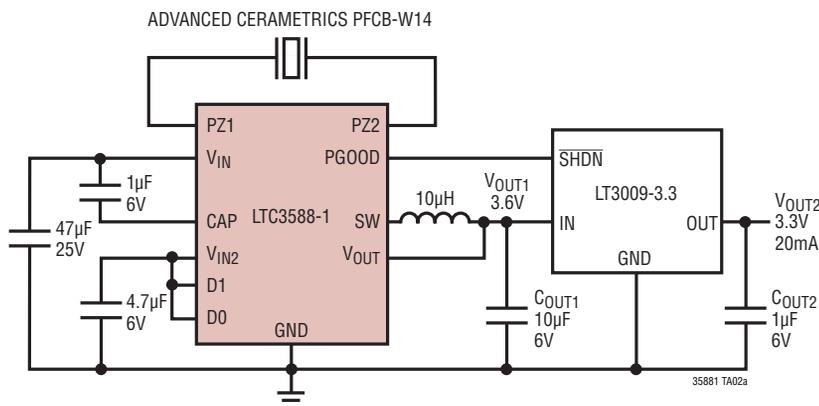
1. 寸法はミリメートル/(インチ)
2. 図は実寸とは異なる
3. 寸法にはモールドのバリ、突出部、またはゲートのバリを含まない
モールドのバリ、突出部、またはゲートのバリは各サイドで0.152mm (0.006") を超えないこと
4. 寸法には、リード間のバリまたは突出部を含まない
リード間のバリまたは突起は各サイドで0.152mm (0.006") を超えないこと
5. リードの平坦度 (成形後のリードの底面) は最大0.102mm (0.004") であること
6. 露出パッドの寸法にはモールドのバリを含まない
露出パッドのモールドのバリは各サイドで0.254mm (0.010") を超えないこと

改訂履歴 (Rev Aよりスタート)

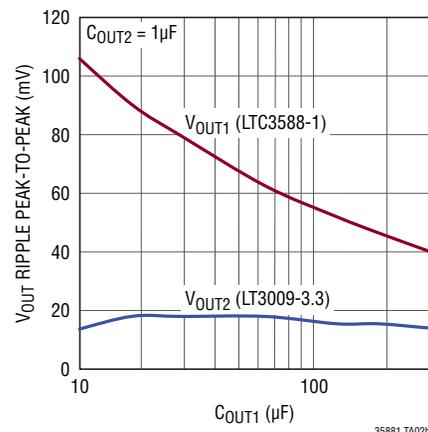
REV	日付	概要	ページ番号
A	9/10	最初と最後の頁の標準的応用例と図5、6、7において、圧電トランスデューサの製品番号を更新、追加 「発注情報」の温度範囲を変更 「電気的特性」の $T_J = 25^\circ\text{C}$ を $T_A = 25^\circ\text{C}$ に、 I_{LOAD} を I_{BUCK} に変更 Note2、3、4を更新 「標準的性能特性」のG21を更新 図13を追加 「関連製品」を更新	1、12、13、 14、20 2 3 4 6 16 20
B	7/14	タイトルと概要を明確化。 図1のX軸のラベルを明確化。 図8を明確化。 「関連製品」のリストを明確化。	1 8 14 20

標準的応用例

LDOポスト・レギュレータを備えた圧電
3.3V電源により出力リップルを低減



ピーク・トゥ・ピーク出力リップルとC_{OUT1}



関連製品

製品番号	説明	注釈
LT1389	ナノパワー高精度シャント電圧リファレンス	動作電流: 800nA, 1.25V/2.5V/4.096V
LTC1540	リファレンス付きナノパワー・コンパレータ	消費電流: 0.3µA, 0.01µFのコンデンサをドライブ、調整可能なヒステリシス、入力電圧範囲: 2V~11V
LT3009	消費電流3µAの20mA低損失リニア・レギュレータ	低消費電流: 3µA、入力電圧範囲: 1.6V~20V、出力電流: 20mA
LTC3388-1/ LTC3388-3	20V、高効率ナノパワー降圧レギュレータ	スリープ時の消費電流: 860nA、入力: 2.7V~20V、V _{OUT} : 1.2V~5.0V、イネーブル・ピンとスタンバイ・ピン
LTC3588-2	ナノパワー環境発電(エナジーハーベスト)電源	安定化時の消費電流: < 1µA、UVLOの立ち上がりスレッシュホールド=16V、UVLOの立ち下がりスレッシュホールド= 14V、V _{OUT} = 3.45V, 4.1V, 4.5V, 5.0V
LT3652	ソーラーパワー向けパワー・トラッキング2Aバッテリー・チャージャ	ソーラーパワー向けMPPT、入力電圧範囲: 4.95V~32V、充電電流: 最大2A
LT3970	消費電流2.5µAの40V、350mA降圧レギュレータ	昇圧ダイオードおよびキャッチ・ダイオードを内蔵、入力動作範囲: 4.2V~40V
LT3971	消費電流2.8µAの38V、1.2A、2MHz降圧レギュレータ	入力動作範囲: 4.3V~38V、低リップルBurst Mode®動作
LT3991	消費電流2.8µAの55V、1.2A、2MHz降圧レギュレータ	入力動作範囲: 4.3V~55V、低リップルBurst Mode動作
LTC3631	消費電流12µAの45V、100mA同期整流式降圧レギュレータ	入力動作範囲: 4.5V~45V、最大60Vの過電圧ロックアウト
LTC3642	消費電流12µAの45V、50mA同期整流式降圧レギュレータ	入力動作範囲: 4.5V~45V、最大60Vの過電圧ロックアウト
LTC3330	環境発電(エナジーハーベスト)バッテリー寿命延長回路を内蔵したナノパワー昇降圧DC/DCコンバータ	V _{IN} : 2.7V~20V、BAT: 1.8V~5.5V、I _Q = 750nA、5mm×5mm QFN-32パッケージ
LTC3331	環境発電(エナジーハーベスト)バッテリー・チャージャを内蔵したナノパワー昇降圧DC/DCコンバータ	V _{IN} : 2.7V~20V、BAT: 最大4.2V、シャント・チャージャ、バッテリー電圧低下時の切断機能、I _Q = 950nA、5mm×5mm QFN-32パッケージ