

# 超低電圧環境発電 (エネルギーハーベスト) 電源および 一次電池寿命延長回路

## 特長

- 熱発電補助機能を備えたパワー・マネージメント・システム
  - $V_{OUT}$  が一次電池の電圧に追従
  - LDO 出力: 2.2V
  - 予備エネルギー出力、4.3V にクランプ
- わずか 20mV の低入力電圧で動作
- バッテリー使用中インジケータ (BAT\_OFF)
- バッテリーから流れる  $I_Q$ :
  - 環境発電時は 80nA
  - 環境発電時以外は 6 $\mu$ A
- 標準的な小型昇圧トランス
- 熱特性が改善された小型 10ピン (3mm $\times$ 3mm) DFN パッケージ

## アプリケーション

- 産業用ワイヤレスセンシング
- リモート・センサおよび無線電源
- HVAC
- 自動計量
- ビル・オートメーション、セキュリティ
- 予知保全、状態監視

## 概要

LTC<sup>®</sup>3107 は、TEG (熱電発電機) やサーモパイルなどの超低入力電圧源から余剰エネルギーを収集して管理することにより、低消費電力の無線システムで一次電池の寿命を延ばす目的で設計された高集積 DC/DC コンバータです。この昇圧回路構成は、わずか 20mV の低入力電圧で動作します。

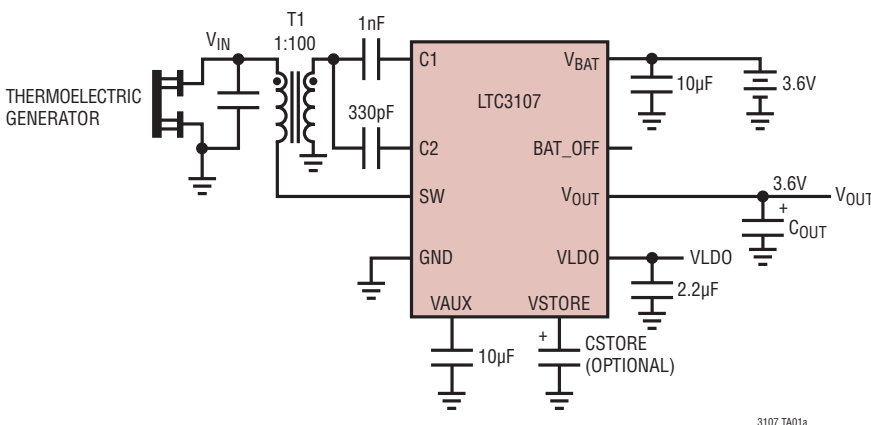
LTC3107 は、小型の昇圧トランスを使用して、一次電池で動作する標準的なワイヤレス・センサ・アプリケーション向けの包括的なパワー・マネージメント・ソリューションを実現します。2.2V の LDO を使用して外部のマイクロプロセッサに電力を供給できると同時に、メインの出力電圧は一次電池の電圧に一致するよう自動的に適合します。LTC3107 は、収集したエネルギーを利用できるときはいつでも、バッテリー電源から収集電源へ継ぎ目なく移行して、バッテリーの寿命を延ばします。BAT\_OFF インジケータを使用してバッテリー使用量を追跡することが可能です。オプションの蓄電コンデンサが余剰収集エネルギーを蓄積するので、バッテリーの寿命はさらに長くなります。

LTC3107 は、熱特性が改善された小型 10ピン (3mm $\times$ 3mm) DFN パッケージで供給されます。

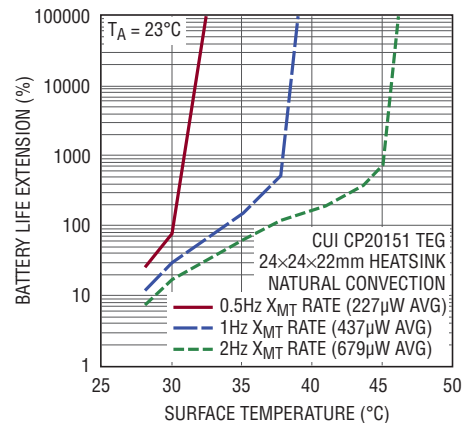
LT、LT、LTC、LTM、Linear Technology および Linear のロゴはリニアテクノロジー社の登録商標です。VLDO はリニアテクノロジー社の商標です。その他すべての商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。

## 標準的応用例

TEG から電力を供給される一次電池寿命延長回路付き熱発電電源



電池寿命延長率と TEG の表面温度



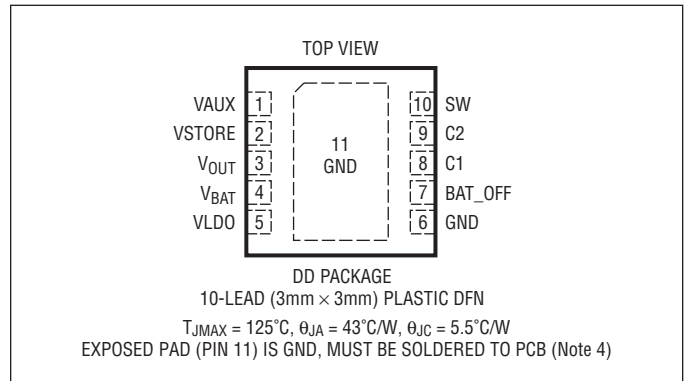
# LTC3107

## 絶対最大定格

### (Note 1)

SWの電圧.....	-0.3V ~ 2V
C1電圧 (Note 5) .....	-0.3V ~ (VAUX+0.6V)
C2の電圧 (Note 5) .....	-8V ~ 8V
VAUX .....	VAUXへ15mA
V <sub>BAT</sub> 、VSTORE .....	-0.3V ~ 4.5V
V <sub>OUT</sub> 、BAT_OFF .....	-0.3V ~ 4.5V
VLDO .....	-0.3V ~ 4.5V
動作接合部温度範囲 (Note 2) .....	-40°C ~ 125°C
保存温度範囲.....	-65°C ~ 150°C

## ピン配置



## 発注情報

無鉛仕上げ	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
LTC3107EDD#PBF	LTC3107EDD#TRPBF	LGMD	10-Lead (3mm×3mm) Plastic DFN	-40°C to 125°C
LTC3107IDD#PBF	LTC3107IDD#TRPBF	LGMD	10-Lead (3mm×3mm) Plastic DFN	-40°C to 125°C

更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。

無鉛仕上げ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。

テープアンドリールの仕様の詳細については、<http://www.linear-tech.co.jp/tapeandree/> をご覧ください。

## 電氣的特性

●は規定動作接合部温度範囲の規格値を意味する。それ以外は  $T_A = 25^\circ\text{C}$  の値 (Note 2)。注記がない限り、 $V_{AUX} = 4\text{V}$ 、 $V_{BAT} = 3.6\text{V}$ 。

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Minimum Harvester Start-Up Voltage	Using 1:100 Transformer Turns Ratio		20	30	mV	
Harvester No-Load Input Current	Using 1:100 Transformer Turns Ratio, $V_{IN} = 20\text{mV}$ , All Outputs Charged and in Regulation		3	5	mA	
Harvester Input Voltage Range	Using 1:100 Transformer Turns Ratio	●	$V_{STARTUP}$	500	mV	
$V_{BAT}$ Voltage Range		●	2.0	4.0	V	
$V_{BAT}$ Current Limit	$V_{OUT} = 0\text{V}$ , $V_{AUX} = 0\text{V}$ (Battery Insertion)	●	2	30	60	mA
	$V_{OUT} = (V_{BAT} - 0.4\text{V})$	●	30	70	100	mA
$V_{BAT}$ Quiescent Current	$V_{AUX} > V_{BAT}$ (Harvesting)		80	110	nA	
	$V_{AUX} < V_{BAT}$ (Not Harvesting)		6	7.5	$\mu\text{A}$	
$V_{BAT}$ Reverse Current	$V_{AUX} = 4\text{V}$ , $V_{BAT} = 2.0\text{V}$			0	nA	
$V_{OUT}$ Voltage (Average)	$V_{AUX} > V_{BAT}$ (Harvesting), Relative to $V_{BAT}$ $C_{OUT} \geq 47\mu\text{F}$	●	-70	-30	-15	mV
	$V_{AUX} < V_{BAT}$ (Not Harvesting), Relative to $V_{BAT}$ $C_{OUT} \geq 47\mu\text{F}$	●	-270	-220	-140	mV
LDO Output Voltage	0.5mA Load	●	2.134	2.2	2.266	V
LDO Load Regulation	$I_{VLDO} = 0\text{mA}$ to 2mA			0.8	1.5	%
LDO Line Regulation	For $V_{OUT}$ from 2.5V to 4V			0.1	0.2	%
LDO Dropout Voltage	$I_{VLDO} = 2\text{mA}$	●		100	200	mV
LDO Current Limit	$V_{LDO} = 0\text{V}$	●	10	20	40	mA
$V_{AUX}/V_{STORE}$ Clamp Voltage	Current Into $V_{AUX} = 1\text{mA}$	●	4.13	4.3	4.48	V
$V_{OUT}$ Quiescent Current	$V_{AUX} > V_{OUT} > V_{BAT}$			10	100	nA
$V_{STORE}$ Leakage Current	$V_{STORE} = 4\text{V}$ , $V_{AUX} > V_{STORE}$			10	100	nA
$V_{STORE}$ to $V_{OUT}$ Discharge Path Resistance	$V_{STORE} = 4\text{V}$ $V_{OUT} < V_{BAT} - 60\text{mV}$			120	200	$\Omega$
BAT_OFF Threshold (Falling)	Measured on $V_{OUT}$ Relative to $V_{BAT}$		-280	-230	-180	mV
BAT_OFF Threshold (Rising)	Measured on $V_{OUT}$ Relative to $V_{BAT}$		-60	-30	-15	mV
BAT_OFF $V_{OL}$	Sink Current = 100 $\mu\text{A}$			0.15	0.2	V
BAT_OFF $V_{OH}$	Source Current = 0			$V_{OUT}$		V
BAT_OFF Pull-Up Resistance			0.6	1	1.4	M $\Omega$
N-Channel MOSFET On-Resistance	$C2 = 5\text{V}$ (Note 3)			0.5		$\Omega$

**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:** LTC3107 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。LTC3107E は、 $0^\circ\text{C} \sim 85^\circ\text{C}$  の接合部温度で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。LTC3107I は  $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$  の動作接合部温度範囲で動作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。接合部温度 ( $T_J$ ) は、周囲温度 ( $T_A$ ) および電力損失 ( $P_D$ ) から次の式に従って計算される。 $T_J = T_A + (P_D \cdot \theta_{JA} / W)$ 、ここで  $\theta_{JA}$  はパッケージの熱インピーダンス。

**Note 3:** 仕様は設計によって保証されており、製造時に全数テストは行われず。

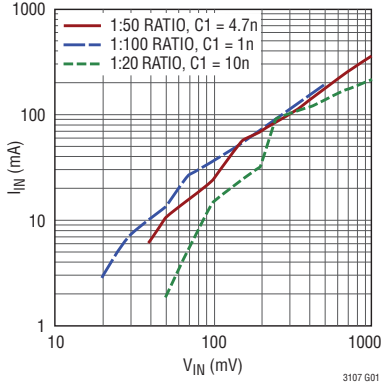
**Note 4:** パッケージの露出した裏面を PC 基板のグランド・プレーンに半田付けしないと、熱抵抗が  $43^\circ\text{C}/\text{W}$  よりもはるかに大きくなる。

**Note 5:** 絶対最大定格は、DC 定格である。示されているアプリケーションの特定の条件では、C1 ピンと C2 ピンのピーク AC 電圧は絶対最大定格を超える恐れがある。この振る舞いは正常であり、このピンへ流れ込む電流がカップリング・コンデンサのインピーダンスによって制限されるので許容できる。

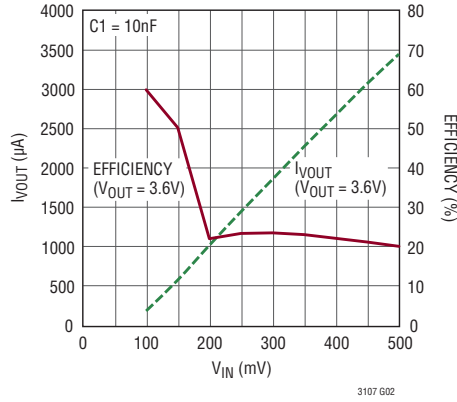
# LTC3107

標準的性能特性 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

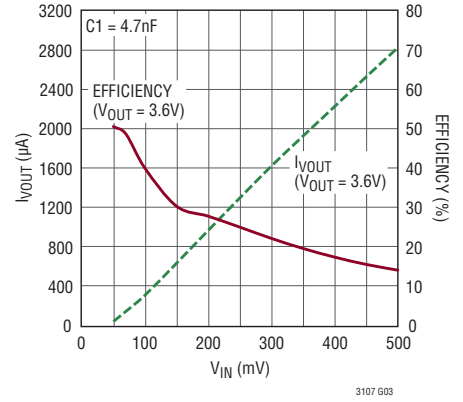
$I_{IN}$  と  $V_{IN}$ 、( $V_{OUT} = 0\text{V}$ )



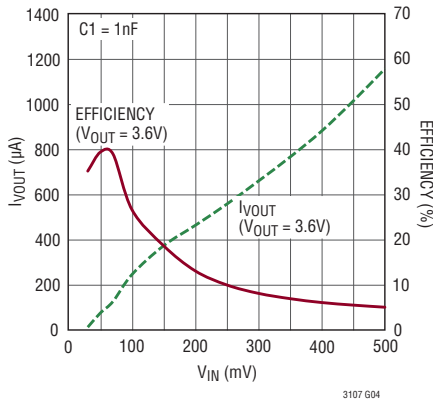
$I_{VOUT}$  および効率と  $V_{IN}$ 、  
巻線比 1:20 のトランス



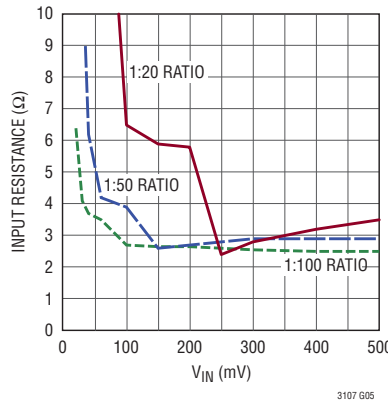
$I_{VOUT}$  および効率と  $V_{IN}$ 、  
巻線比 1:50 のトランス



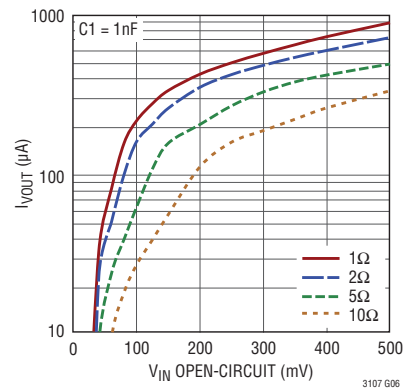
$I_{VOUT}$  および効率と  $V_{IN}$ 、  
巻線比 1:100 のトランス



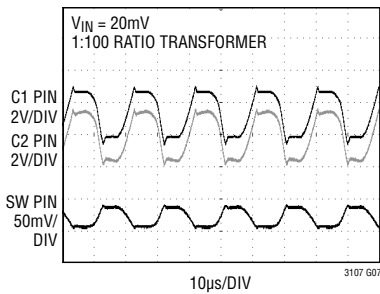
入力抵抗と  $V_{IN}$



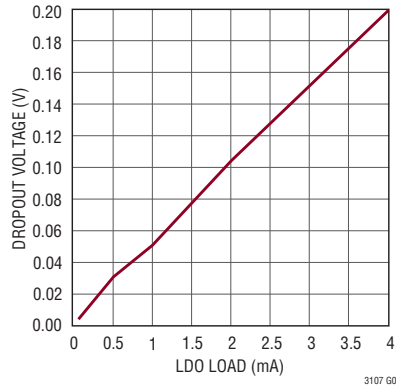
$I_{VOUT}$  と  $V_{IN}$  およびソース抵抗、  
1:100 の比



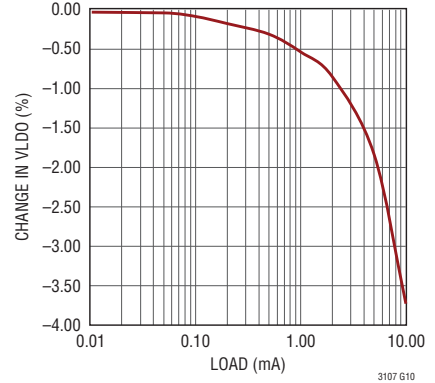
共振スイッチング波形



LDO の損失電圧

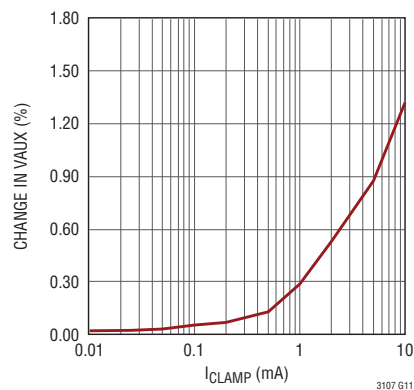


LDO の負荷レギュレーション

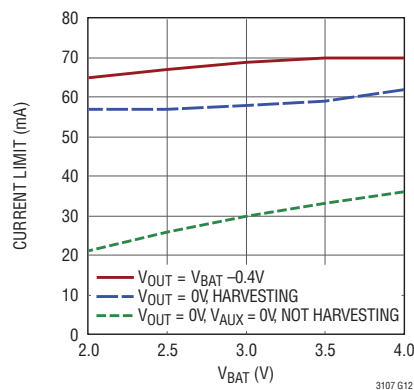


## 標準的性能特性 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

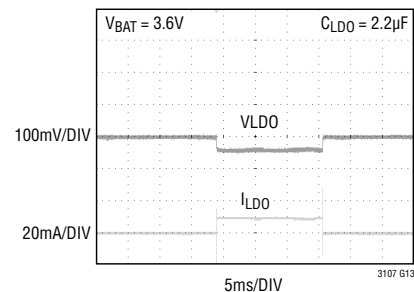
### VAUX 電圧とクランプ電流



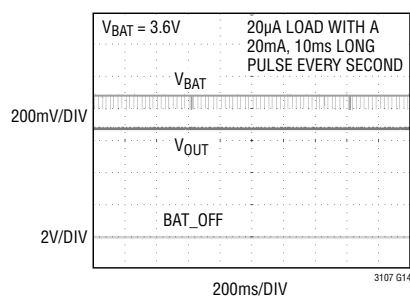
### I<sub>OUT</sub> 電流制限と V<sub>OUT</sub>



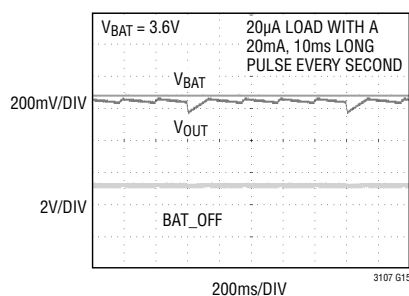
### LDO のステップ負荷に対する応答 (10 $\mu\text{A}$ ~ 10mA)



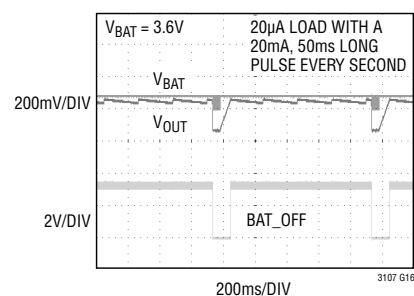
### V<sub>OUT</sub> のパルス負荷、 環境発電なし



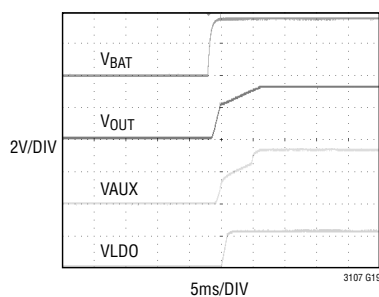
### V<sub>OUT</sub> のパルス負荷、環境発電時 (バッテリーを使用しない)



### V<sub>OUT</sub> のパルス負荷、環境発電時 に C<sub>OUT</sub> が不十分または収集した エネルギーが不十分



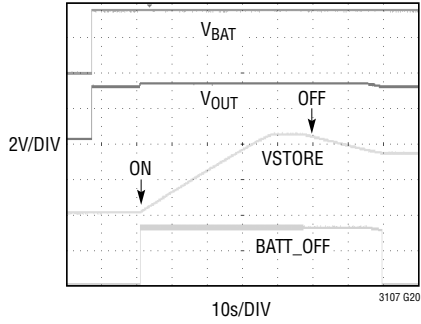
### バッテリー接続時の 電圧シーケンシング



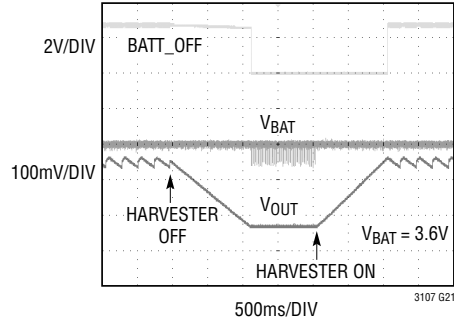
# LTC3107

標準的性能特性 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

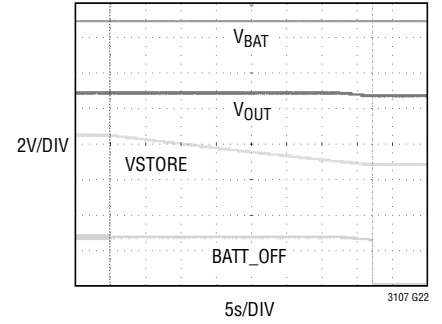
環境発電電源オン時および  
オフ時の電圧シーケンシング



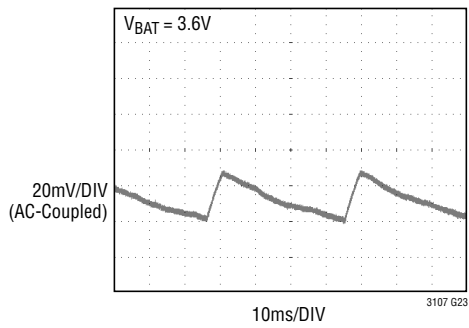
環境発電電源とバッテリー電源の  
間の  $V_{OUT}$  の遷移



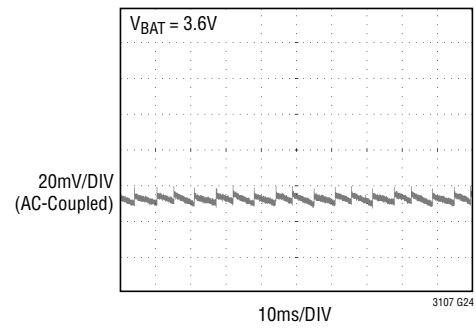
$V_{OUT}$  を保持する  $V_{STORE}$   
( $V_{BAT} = 3\text{V}$ ,  $C_{STORE} = 1300\mu\text{F}$ ,  
 $I_{OUT} = 50\mu\text{A}$ , 保持 = 37SEC)



$V_{OUT}$  のリップル、環境発電時



$V_{OUT}$  のリップル、環境発電時以外



## ピン機能

**VAUX (ピン1)**：内部整流回路の出力およびデバイスの  $V_{CC}$ 。VAUX を  $10\mu\text{F}$  の容量でバイパスします。アクティブ・シャント・レギュレータが VAUX を  $4.3\text{V}$  (標準) にクランプします。

**VSTORE (ピン2)**：オプションの蓄電コンデンサのための出力。大きなコンデンサをこのピンから GND に接続して余剰収集エネルギーを蓄電し、負荷が増えたときに更に電池寿命を延ばすことができます。最大 VAUX クランプ電圧まで充電されます。使わない場合、このピンはオープンのままにするか、VAUX に接続します。

**VOUT (ピン3)**：コンバータのメイン出力。収集したエネルギーが利用できる場合は、このピンの電圧は  $V_{BAT}$  ピンの電圧より  $30\text{mV}$  低い電圧に安定化されます。負荷への電力供給に、収集したエネルギーが利用できない(または不足している)場合は、 $V_{BAT}$  の電圧より約  $230\text{mV}$  低い電圧に安定化されます。バッテリーから電力を流さずに短時間の負荷トランジェントのライドスルーができるように、通常は  $V_{OUT}$  と GND の間に大きなデカップリング・コンデンサを接続する必要があります。あらゆるアプリケーションで、最小  $47\mu\text{F}$  の値を推奨します。コンデンサのサイズの詳細については、「アプリケーション情報」を参照してください。

**$V_{BAT}$  (ピン4)**：一次電池入力。このピンは一次電池に接続する必要があります。このピンは起動時に  $V_{OUT}$  (および VAUX と VLDO) を安定化するのに使用されます。起動後は、利用可能な収集電源が不足していない限り、この入力には  $V_{OUT}$  のリファレンス電圧としてのみ使用されます。収集電源が不足している場合は、この入力はデバイスと  $V_{OUT}$  および VLDO 上の

負荷に電力を供給します。 $V_{BAT}$  と GND の間に最小  $10\mu\text{F}$  のセラミック・デカップリング・コンデンサを接続することを推奨します。

**VLDO (ピン5)**： $V_{OUT}$  または VAUX のうち電圧の高い方から電力を供給される、 $2.2\text{V}$  LDO の出力。 $2.2\mu\text{F}$  以上のセラミック・コンデンサを VLDO から GND に接続します。使わない場合、このピンは VAUX に接続します。

**GND (ピン6および露出パッドのピン11)**：デバイスのグラウンド接続。露出パッドはプリント回路基板のグラウンド・プレーンに半田付けする必要があります。露出パッドは、グラウンド接続として、また熱をダイから外部に放散する手段として役立ちます。

**BAT\_OFF (ピン7)**：バッテリー・オフ出力。このピンはバッテリーが使用中であることを示すインジケータです。ロジック“L”は、 $V_{OUT}$  の安定化を補助するためにバッテリーが使用されていることを示します。 $V_{OUT}$  が安定化され、バッテリーが使用されなくなると、このピンは“H”に移行します。このピンは電流ソースとしては設計されていません。このピンは  $V_{OUT}$  への  $1\text{M}$  プルアップ抵抗を内蔵しています。

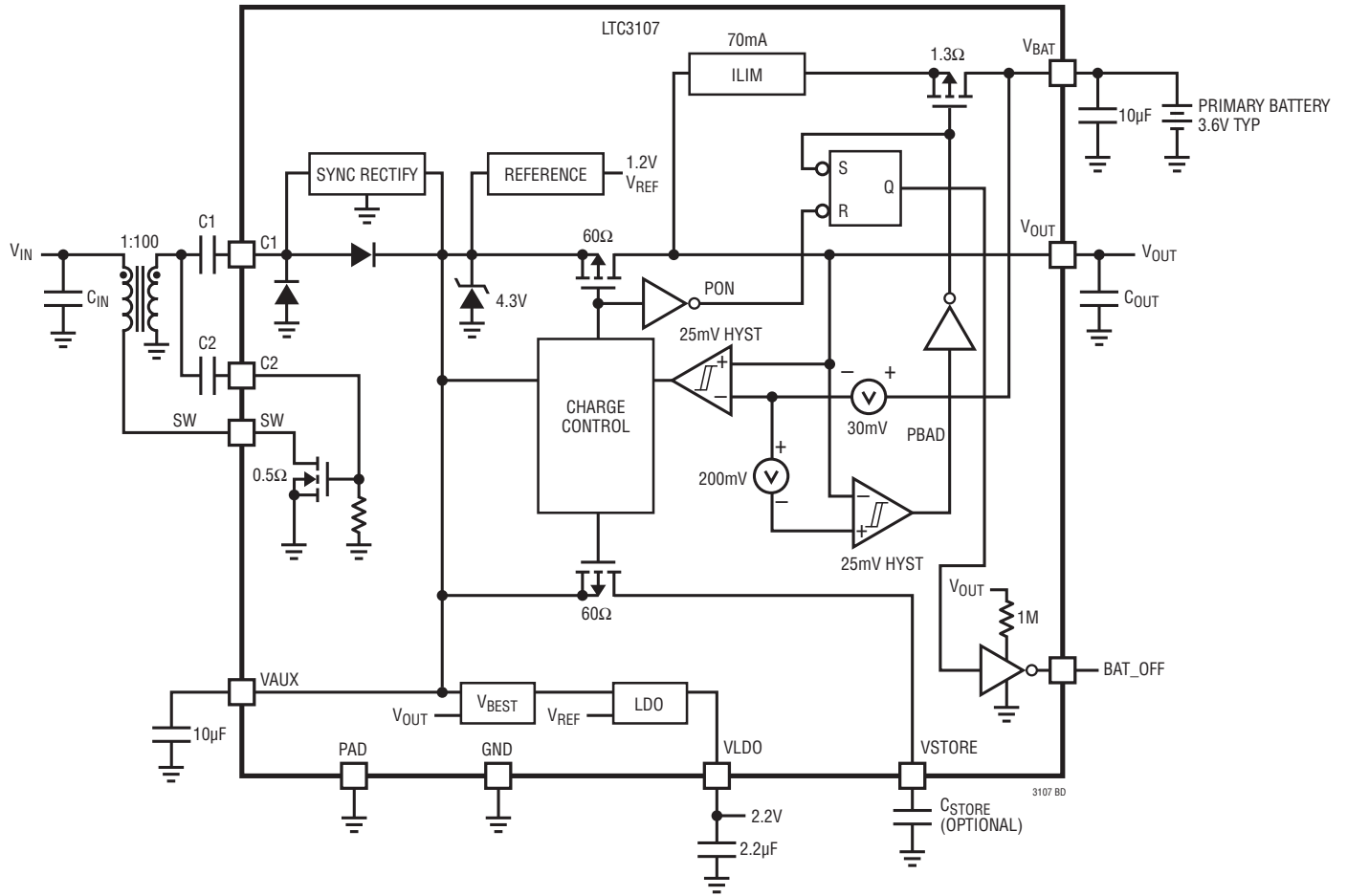
**C1 (ピン8)**：チャージ・ポンプと整流器回路の入力。コンデンサをこのピンから昇圧トランスの2次巻線に接続します。

**C2 (ピン9)**：Nチャネル・ゲート・ドライブ回路の入力。コンデンサをこのピンから昇圧トランスの2次巻線に接続します。

**SW (ピン10)**：内部Nチャネル・スイッチのドレイン。このピンはトランスの1次巻線に接続します。

# LTC3107

## ブロック図





## 動作

LTC3107は、低消費電力ワイヤレス・センサや一次電池を使用する他の低消費電力アプリケーションの一次電池の寿命を延ばす目的で設計された、超低入力電圧の昇圧DC/DCコンバータおよびパワー・マネージャです。LTC3107は、TEG(熱電発電機)などの電源から収集したエネルギーをインテリジェントに管理し、バッテリーの消費を最小限に抑えながら出力に給電し、バッテリーの寿命を最大限に延ばします。

現在一次電池によって電力を供給されているアプリケーションに環境発電を簡単に導入できるように、LTC3107は、 $V_{BAT}$ ピンの電圧を、収集した入力エネルギーが存在しない場合に出力に電力を供給するエネルギー源としてだけでなく、 $V_{OUT}$ を安定化するための電圧リファレンスとしても使用できるように設計されています。このようにして、LTC3107は、2V~4.0Vの範囲内で $V_{OUT}$ を自動的に調整し、アプリケーションの設計上のバッテリー電圧に追従させます。

LTC3107は、平均消費電力は非常に低いが、高い負荷電流パルスが間欠的に必要となることがあるシステムで、電池寿命を延ばす用途に適しています。これはワイヤレス・センサ・アプリケーションに特徴的であり、測定やデータ送信を行うため回路がパワーアップするときの送信バースト時を除く大半の時間は消費電力が非常に低くなります。

また、LTC3107を使用すると、標準的コンデンサまたはスーパーキャパシタをトリクル充電して余剰収集エネルギーを蓄電できます。これにより、負荷が大きい時間や、このコンデンサに収集したエネルギーが切れてからバッテリーに切り替えるまでの間、コンバータによるライドスルーが可能となるため、一次電池の寿命は更に長くなります。

### $V_{BAT}$ 入力

$V_{BAT}$ 入力は、2V~4.0Vの電圧の一次電池に接続します。代表的な例として、2個のアルカリ電池、1個の3Vリチウム・コイン電池、または3.6V塩化チオニル・リチウム・バッテリーが挙げられます。これらは、通常は環境発電のメリットを利用せずにアプリケーションに電力を供給する代表的なバッテリーです。

LTC3107は、バッテリーを使用してデバイスを起動し、収集したエネルギーを使用して、または使用せずに、 $V_{OUT}$ とVLDOに電力を供給するように設計されています。環境発電電源からの入力が存在しないか、負荷に電力を供給するには不十分な場合は、バッテリーからLTC3107に内蔵された電流制限スイッチを介して $V_{OUT}$ に電力が供給され、 $V_{OUT}$ はヒステリシスを使ってバッテリーの電圧より230mV低い電圧に安定化されます。VLDOの出力は、 $V_{BAT}$ が2.2Vを下回らない限り、2.2Vに固定されます。 $V_{BAT}$ が2.2Vを下回る場合は、 $V_{BAT}$ に追従します。収集したエネルギーが利用できない場合、LTC3107のバッテリーからの平均消費電流は標準で6 $\mu$ Aです。

十分な収集エネルギーが利用できる場合、 $V_{OUT}$ は $V_{BAT}$ の電圧より約30mV低い電圧に安定化され、バッテリーは $V_{OUT}$ への電力供給には使用されません。この場合、バッテリーの消費電流は標準で80nAまで減少します。

### 発振器

LTC3107は、MOSFETスイッチを使用して、外部昇圧トランスと小型カップリング・コンデンサを使用した共振昇圧発振器を形成しています。これにより、わずか20mVの入力電圧を十分高い値まで昇圧し、他の回路に給電する複数の安定化電圧を与えることができます。発振周波数はトランスの2次巻線のインダクタンスによって決まり、標準で10kHz~100kHzの範囲です。わずか20mVの入力電圧では、1次-2次巻数比が約1:100のトランスを推奨します。もっと高い入力電圧では、この比を小さくすることができます。トランスの選択に関する詳細については、「アプリケーション」を参照してください。

### チャージポンプと整流器

トランスの2次巻線で発生したAC電圧は、(2次巻線からピンC1に接続された)外部チャージポンプ・コンデンサとLTC3107内部の整流器を使用して昇圧され、整流されます。この整流回路は、VAUXピンに電流を供給し、外部のVAUXコンデンサに電荷を供給します。VAUXが2Vを超えると、各ダイオードに並列に接続された同期整流器が入力電圧を整流する役割を引き継いで、効率を改善します。

## 動作

### VAUX

LTC3107内部のアクティブ回路はVAUXから給電され、このVAUXは最低10 $\mu$ Fのコンデンサでバイパスする必要があります。

VAUXに流れる静止電流は標準でわずか6 $\mu$ Aです。収集エネルギーが利用できる場合は、この電流は収集電流源から供給されます。収集エネルギーが利用できない場合は、VAUX電源電流はV<sub>BAT</sub>から供給されます。

シャント・レギュレータは、VAUXの最大電圧を標準4.3Vに制限します。このレギュレータは、コンバータに負荷がないとき、または入力ソースが負荷に必要な量より多くの電力を発生しているとき、VAUXに流れ込む余分な収集電流をグラウンドにシャントします。オプションの蓄電コンデンサがVSTOREに接続されている場合は、余剰電流は蓄電コンデンサの充電に使用されるため、蓄電コンデンサが最大4.3Vのクランプ・レベルに充電されるまで、電流はグラウンドにシャントされません。

### 電圧リファレンス

LTC3107には、出力電圧の正確な安定化のための高精度マイクロパワー・リファレンスが内蔵されています。このリファレンスはVAUXが1.9Vを超えると直ちにアクティブになります。

### 低損失リニア・レギュレータ(LDO)

LTC3107は低電流LDOを内蔵しており、低消費電力のプロセッサに給電するための安定化された2.2V出力を供給します。LDOは、VAUXかV<sub>OUT</sub>のいずれか電圧の高い方によって給電されます。またLDOには、最小2.2 $\mu$ Fのセラミック・デカップリング・コンデンサが必要です。さらに大きな値のコンデンサも無制限で使用できます。

LDOを使用しない場合は、VLDOピンをVAUXに接続します。

### V<sub>OUT</sub>

LTC3107は、一次電池によって動作する既存のアプリケーションにシームレスに適合し、電池寿命を延ばす環境発電の利点を確保できるように設計されています。V<sub>OUT</sub>のメイン出力電圧は、V<sub>BAT</sub>上のバッテリー電圧に追従するように設計されています。収集したエネルギーが利用できない場合や、V<sub>OUT</sub>を維持するにはエネルギーが不足している場合は、V<sub>OUT</sub>は、V<sub>BAT</sub>に定期的に接続することにより、ヒステリシスを使ってV<sub>BAT</sub>より230mV低い電圧に安定化されます。

負荷に給電するのに十分な収集エネルギーが利用できる場合は、V<sub>OUT</sub>はヒステリシスによって標準でV<sub>BAT</sub>より30mV低い電圧に安定化され、バッテリーは使用されません。この状態では、バッテリーの電流消費は標準でわずか80nAです。

一般的なアプリケーションでは、バルク・デカップリング・コンデンサ(通常は数百 $\mu$ F)がV<sub>OUT</sub>に接続され、ワイヤレス・センサ・アプリケーションによく見られる周期的な小さな負荷トランジェントのライドスルーが可能になります。V<sub>OUT</sub>のコンデンサのサイズが適切であり(詳細は「アプリケーション情報」を参照)、平均収集入力電力が平均負荷電力を超えていれば、バッテリー電力が使用されることはありません。

### BAT\_OFF

BAT\_OFF出力は、V<sub>OUT</sub>への内部プルアップ抵抗を備えたデジタル出力です。BAT\_OFFは、V<sub>OUT</sub>を維持するためにバッテリーが使用されていることを示すインジケータです。BAT\_OFFが“H”の場合は、V<sub>OUT</sub>(およびVLDO)は収集された入力電力(VSTOREコンデンサを含む)によって完全に給電され、バッテリーは使用されていないことを示します。この場合、バッテリーの消費電流は標準でわずか80nAです。BAT\_OFFが“L”になると、V<sub>OUT</sub>とVLDOのレギュレーションを維持するためにバッテリーが使用されていることを示します。この状態は、収集エネルギーが利用できないか、負荷に十分に給電するには不足していることを示します。C<sub>OUT</sub>コンデンサのサイズが不適当な場合、BAT\_OFFインジケータはパルス負荷イベント中に“L”になり、バッテリーから電流が流れていることを示すことがあります。C<sub>OUT</sub>コンデンサのサイズの決定については、このデータシートの「アプリケーション情報」を参照してください。

### VSTORE

VSTORE出力を使用して、V<sub>OUT</sub>が安定化状態に達した後にオプションの蓄電コンデンサを充電できます。VSTOREコンデンサの値は、数百 $\mu$ F～数Fの範囲です。V<sub>OUT</sub>が安定化状態に達すると、余剰収集エネルギーが利用可能な場合は、VSTORE出力によりVAUXの最大電圧まで充電可能となります。また、入力ソースが失われたとき、V<sub>OUT</sub>およびVLDO上の負荷によって要求される電流を供給できないとき、あるいは単に負荷ステップ時にV<sub>OUT</sub>コンデンサを補助してV<sub>OUT</sub>のリップルを減らす目的で、VSTORE上の蓄電コンデンサを使用してシステムに給電できます。LTC3107は、バッテリーから電

## 動作

力を引き出す前に、自動的に VSTORE コンデンサから得られるエネルギーを使用して  $V_{OUT}$  のレギュレーションを維持します。大容量の VSTORE コンデンサを充電するには、利用可能な収集エネルギーと  $V_{OUT}$  および VLDO の負荷状態に応じて、長い時間を要する可能性があることに注意してください。

蓄電コンデンサを使用しない場合、VSTORE ピンは開放のままにするか、VAUX に接続します。

### 短絡保護

LTC3107 の全ての出力は電流制限されており、短絡から保護されます。

### 出力電圧のシーケンシング

環境発電電源を使用した起動時の標準的な出力電圧プロフィールを示す図を図 1 に示します。

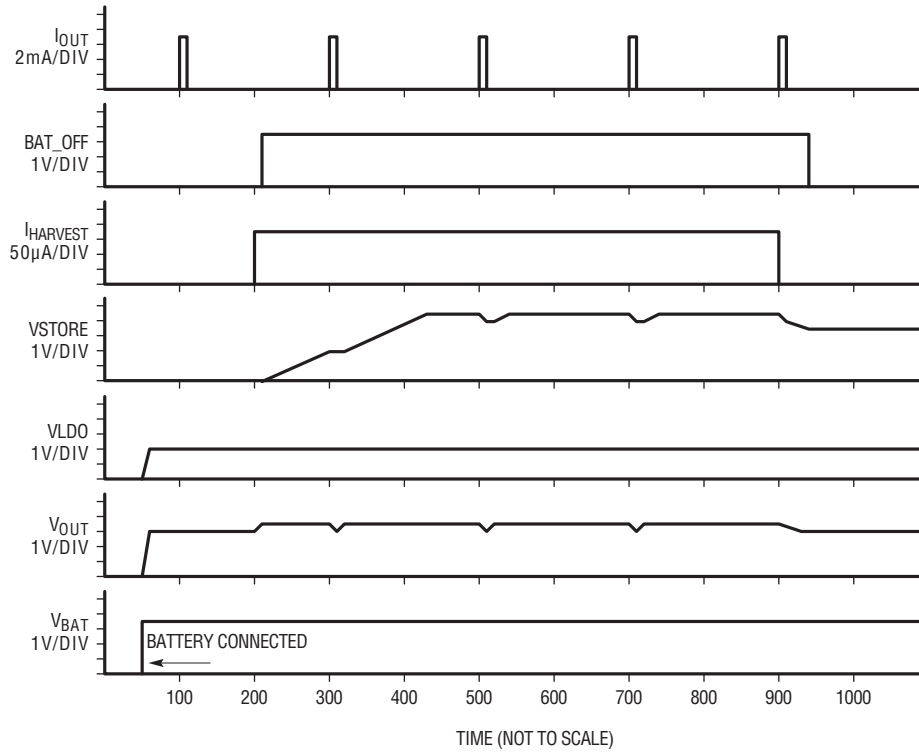
### 電池を取り外した状態での動作

LTC3107 は一次電池を  $V_{BAT}$  に接続するように設計されていますが、(メンテナンス時など) 電池を短時間取り外す場合もあります。

$V_{OUT}$  および VLDO の維持に十分な収集エネルギー (蓄電エネルギー) が利用できる場合、 $V_{BAT}$  上を流れる電流は  $80\text{nA} + V_{BAT}$  デカップリング・コンデンサからの漏れ電流にとどまり、非常に小さくなります (標準で  $1\mu\text{A}$  未満)。この場合、電池を取り外しても、 $V_{BAT}$  上のコンデンサが  $V_{BAT}$  の電圧を保持するため、 $V_{OUT}$  を安定化状態に維持できます。 $V_{BAT}$  の電圧が漏れ電流のためにゆっくりと低下すると、 $V_{OUT}$  はそれに追従します。例えば、 $V_{BAT}$  のデカップリング・コンデンサが公称  $20\mu\text{F}$  であり、 $V_{BAT}$  上の総漏れ電流が  $0.1\mu\text{A}$  である場合、 $V_{BAT}$  と  $V_{OUT}$  は 1 秒当たり  $5\text{mV}$  ずつ低下します。

$V_{OUT}$  と VLDO に給電できる収集エネルギーまたは蓄電エネルギーがない場合は、電池を取り外すとこれらの電圧は低下します。この場合、電圧低下の速度は、 $V_{OUT}$  上の容量 (一般的に VLDO のコンデンサよりはるかに大きい) と、 $V_{OUT}$  および VLDO 上の負荷電流の合計のみによって決まります。

## 動作



3107 F01

図1. 標準的な起動電圧波形

動作

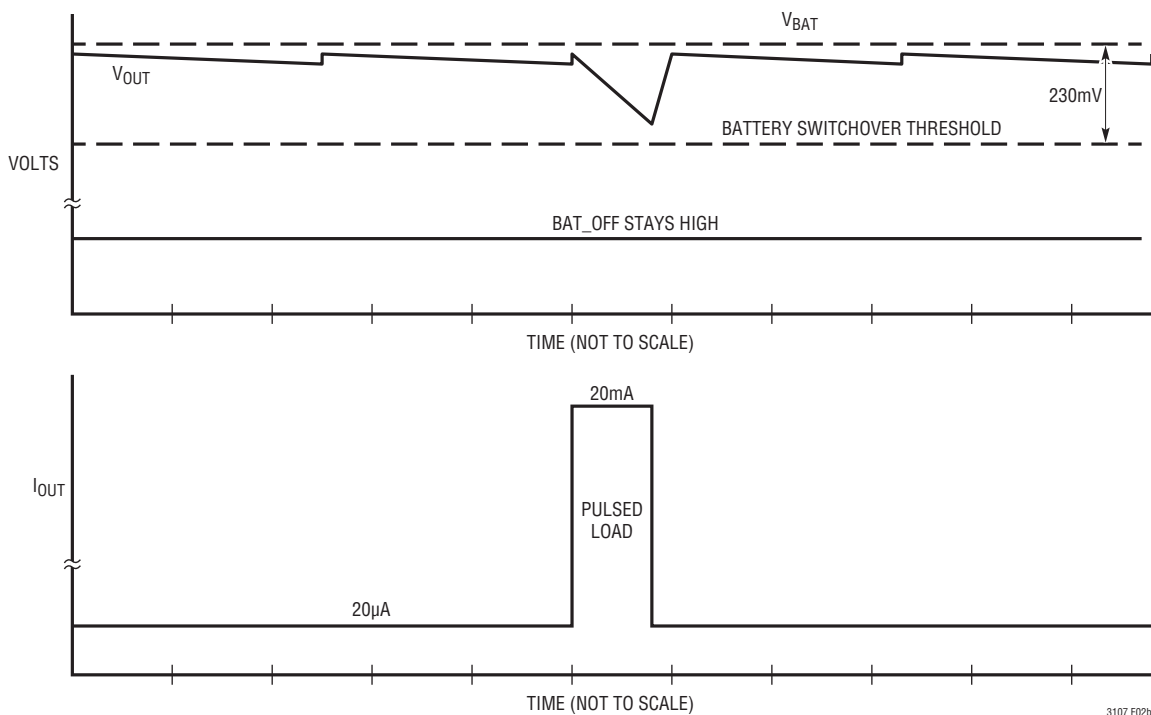


図 2a. パルス負荷発生時の  $V_{OUT}$  の波形、適切なサイズの  $C_{OUT}$  を使用、 $I_{HARVEST} > I_{LOAD}$  (平均)

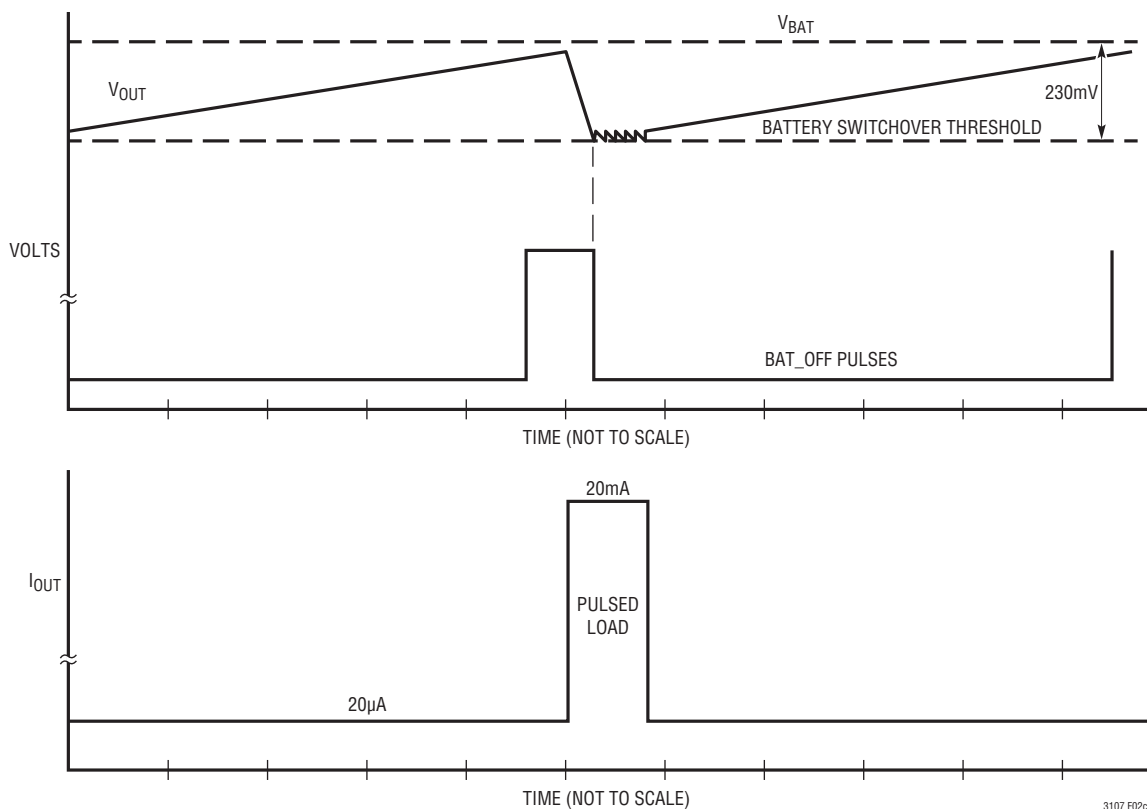
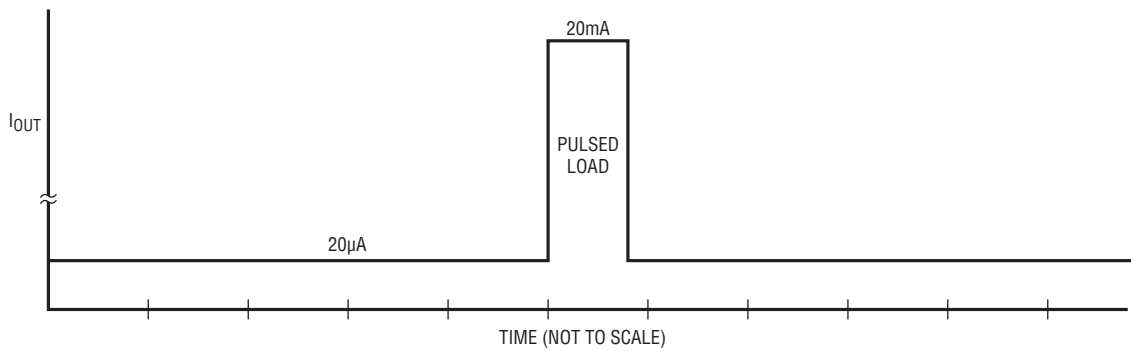
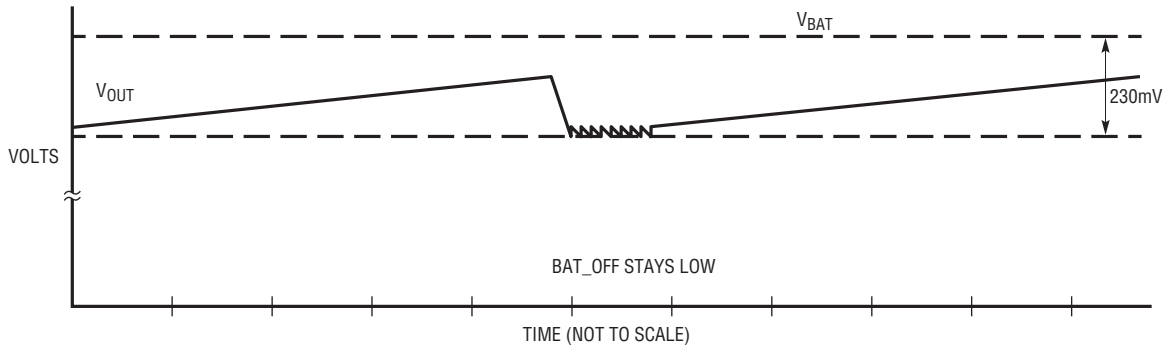


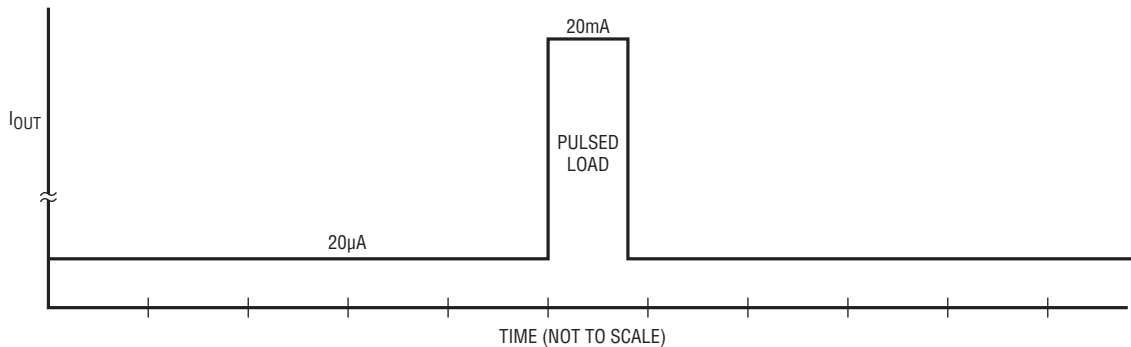
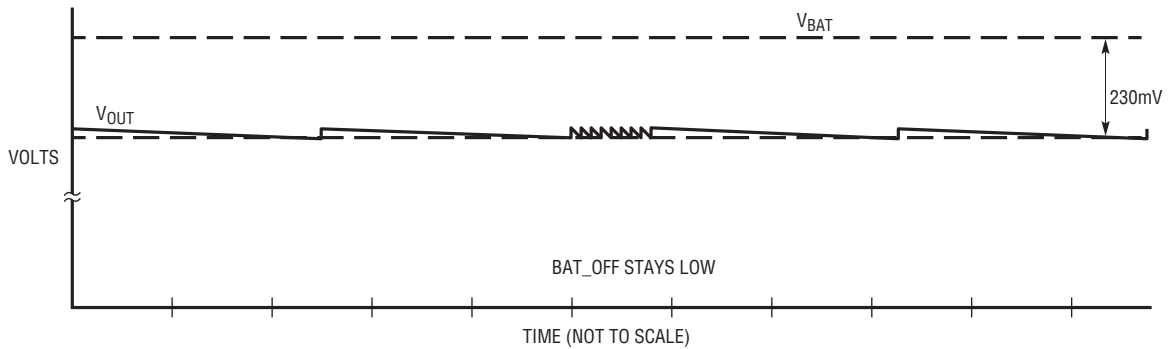
図 2b. パルス負荷発生時の  $V_{OUT}$  の波形、 $C_{OUT}$  の値が不十分な場合、 $I_{HARVEST} > I_{LOAD}$  (平均)

## 動作



3107 F02c

図2c. パルス負荷発生時のV<sub>OUT</sub>の波形、I<sub>HARVEST</sub> < I<sub>LOAD</sub> (平均)



3107 F02d

図2d. パルス負荷発生時のV<sub>OUT</sub>の波形、環境発電時以外

## アプリケーション情報

### はじめに

LTC3107は、非常に低い入力電圧源からエネルギーを収集し、それを使用してワイヤレス・センサなどのアプリケーションで一次電池の寿命を延ばすように設計されています。LTC3107は長時間かけてエネルギーを蓄積して管理し、データを収集して送信するための短い電力バーストを可能にするように設計されています。これらのバーストの間の総出力エネルギーがバーストとバーストの間の収集時間中に蓄電される平均ソース電力を上回らないように、十分低いデューティ・サイクルでバーストが発生する必要があります。これらの場合、バッテリーは全く使用されないため、バッテリーの寿命は最大でバッテリーの保管寿命まで延長されます。

### 入力電圧源の収集

LTC3107は、熱電発電機、サーモパイル、コイル・トランスデューサおよび磁気トランスデューサなど、各種の低入力電圧源で動作できます。特定のアプリケーションに必要な最小入力電圧は、トランスの巻数比、必要な負荷電力、および電圧源の内部DC抵抗(ESR)に依存します。ESRソースが小さいほど(標準で $10\Omega$ 未満)、低い入力電圧を使用することができ、出力電力能力が高くなります。

トランスの特定の巻数比に対して、過度に高い2次電圧とシャント・レギュレータ内の電力損失を避けるため、推奨最大電圧が存在します。最大入力電圧と巻数比の積が50を超えないことを推奨します。

ソースのESRと(数100mAに達することがある)ピーク1次スイッチング電流によって生じる大きな電圧垂下とリップルを防ぐため、低ESRのバルク・デカップリング・コンデンサが入力ソースの両端に必要であることに注意してください。フィルタ・コンデンサおよび電圧源のESRの時間定数は、共振スイッチング周波数の周期よりはるかに長くなければなりません。

### ペルチェ・モジュール(熱電発電機)

(熱電冷却器としても知られている)ペルチェ・モジュールは、並行する2枚のセラミック・プレートの中に挟まれた、多数の直列接続されたP-N接合で構成されています。ペルチェ・モジュールは多くの場合それらの入力にDC電圧を加えることにより冷却器として使用されますが、2枚のプレートが異なる温度に保たれる場合のゼーベック効果を利用してDC出力電圧を発生することもできます。出力電圧の極性はプレート間の温度差の極性に依存します。出力電圧の大きさはプレート間の温度差の大きさに比例します。このように使用されるとき、ペルチェ・モジュールは熱電発電機(TEG)と呼ばれます。

LTC3107の設計は低電圧能力を備えているので、わずか $1^{\circ}\text{C}$ ~ $2^{\circ}\text{C}$ の温度差を持つ標準的なTEGで動作させることができ、2つの表面の間、または表面と周囲温度の間に温度差が存在するアプリケーションでエネルギーを収集するのに最適です。ほとんどのTEGの内部抵抗(ACR)は $1\Omega$ ~ $10\Omega$ のため、適正な電力転送が可能です。図3の曲線は、温度差が $20^{\circ}\text{C}$ の範囲で、ACRが $2\Omega$ の標準的なTEGの開放回路の出力電圧と最大転送電力を示しています。小さな温度差で数百 $\mu\text{W}$ の出力電力が簡単に得られることがわかります。これは通常、低消費電力のワイヤレス・センサの平均所要電力を満たすのに十分です。

なお、ほとんどのTEGの熱抵抗は標準で非常に低い値( $2^{\circ}\text{K/W}$ ~ $20^{\circ}\text{K/W}$ )です。したがって、TEGの両側で大きな温度差を維持することは困難です。温度差は利用可能な熱伝達量に依存します。ほとんどのアプリケーションでは、これはTEG上で使用されるヒートシンクとエア・フローの量によって決まります。最適なパフォーマンスを得るには、ヒートシンクの熱抵抗は、使用されるTEGの熱抵抗と同じくらい低くなければなりません。

## アプリケーション情報

また、ほとんどのペルチェ・セルは約125°Cの最大絶対温度に制限されていることに注意してください。この温度を超える熱源を使用するアプリケーションでは、はるかに高い動作温度を想定して設計されるサーモパイル・ジェネレータの使用を検討してください。

### TEGの負荷の整合

LTC3107は、「標準的性能特性」の曲線に示されているように主に入力電圧とトランスの巻数比に依存して、 $2\Omega \sim 10\Omega$ の最小入力抵抗(負荷)を示すように設計されています。特定の巻数比では、入力電圧が低下するにつれて入力抵抗が増加します。この特長により、LTC3107は、標準的なTEGのようにソース抵抗が数 $\Omega$ のソースからの電力転送を最適化することができます。ソース抵抗が低いほど、コンバータに負荷がかけられた状態で入力電圧が高くなるため、(他の条件が全て等しい場合)常に大きな出力電流能力を与えることに注意してください。

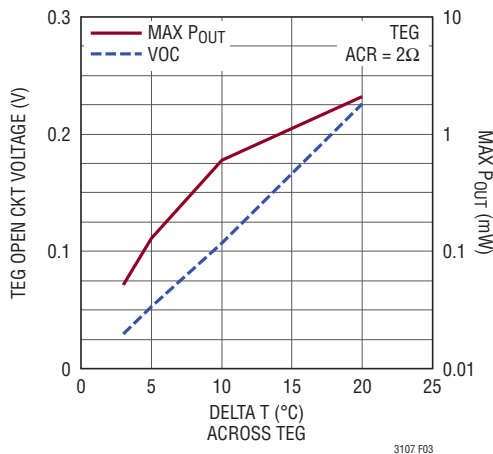


図3. 発電機として動作するペルチェ・モジュールの標準性能

### ペルチェ・モジュールのメーカー

ペルチェ・モジュールは $10\text{mm}^2$ から $50\text{mm}^2$ を超えるまで様々なサイズと電力能力で提供されています。厚さは一般に2mmから5mmです。LTC3107での使用が推奨されるペルチェ・モジュールのメーカーのリストを表1に示します。ペルチェ・モジュールの販売会社を表2に示します。

表1. ペルチェ・モジュールのメーカー

メーカー	Webアドレス
Marlow Industries	www.marlow.com
Nextreme	www.nextreme.com
Tellurex	www.tellurex.com
Ferro Tec	www.ferrotec.com
Z-Max	www.z-max.jp/peltier_en/peltier
CUI	www.cui.com
Laird Technologies	www.lairdtech.com

表2. ペルチェ・モジュールの販売会社

メーカー	Webアドレス
Digi-Key	www.digikey.com
Newark	www.newark.com
Farnell	www.farnell.com uk.farnell.com de.farnell.com

### サーモパイル・ジェネレータ

サーモパイル・ジェネレータ(パワーパイル・ジェネレータとも呼ばれる)は、メタルチューブに収納された多数の直列接続された熱電対によって構成されます。一般にガスバーナー・アプリケーションに使用され、炎の高温に曝されると数百mVのDC出力を発生します。代表的な例はHoneywellのCQ200とQ313です。これらのデバイスの内部直列抵抗は $3\Omega$ 未満で、最高定格温度では開放回路で最大750mVを発生することができます。従来のペルチェ熱電デバイスでは温度上昇が高すぎるアプリケーションでは、エネルギー源としてサーモパイルを使ってLTC3107に電力を供給できます。サーモパイル・ジェネレータはペルチェ・モジュールより高い出力電圧が可能なので、低い巻数比のトランスの使用を推奨します(アプリケーションに応じて標準で1:10または1:20)。

### 部品の選択

#### 昇圧トランス

昇圧トランスの巻数比により、どの程度低い入力電圧でコンバータを起動できるかが決まります。1:100の巻数比を使うと、起動電圧をわずか20mVにすることができます。性能に影響を与える他の要因は、トランス巻線のDC抵抗と巻線のインダ



## アプリケーション情報

クタンスです。DC抵抗が高いほど、効率は低下します。2次巻線のインダクタンスにより、次式に従って発振器の共振周波数が決まります。

$$\text{FREQ} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \text{ Hz}$$

ここで、Lはトランスの2次巻線のインダクタンス、Cは2次巻線の負荷容量です。これは、トランスの2次巻線のシャント容量に並列に接続されたピンC2の入力容量（標準30pF）で構成されます。推奨する共振周波数の範囲は10kHz～100kHzです。負荷状態も実効負荷容量を決める要因になるため、周波数に影響を与えることに注意してください。いくつかの推奨トランスについては、表3を参照してください。

表3. 推奨トランス

メーカー	製品番号
Coilcraft www.coilcraft.com	LPR6235-752SML (1:100 Ratio) LPR6235-123QML (1:50 Ratio) LPR6235-253PML (1:20 Ratio)
Würth www.we-online	74488540070 (1:100 Ratio) 74488540120 (1:50 Ratio) 74488540250 (1:20 Ratio)

### C1のコンデンサ

トランスの2次巻線からC1ピンに接続されたチャージポンプ・コンデンサは、コンバータの入力抵抗と最大出力電流能力に影響を与えます。1:100の比のトランスを使って非常に低い入力電圧で動作するときは、一般に、1nFの最小値を推奨します。コンデンサの値が大きすぎると、低入力電圧または高抵抗のソースで動作するときに性能が低下することがあります。入力電圧が高く巻数比が小さい場合、C1コンデンサの値を大きくして出力電流能力を上げることができます。与えられた巻数比に対する推奨値については、「標準的応用例」の回路図を参照してください。

### 間欠発振

LTC3107の共振発振器のようなトランス結合した発振器を含むあるタイプの発振器は、間欠発振と呼ばれる現象を示すことがあります。この用語は、発振周期よりはるかに長い時間発振が阻止または停止され、その結果バースト状に発振する状態を指します。この現象の例はブロッキング発振器で、間欠的に発振してバースト状の発振を生じるように設計されています。間欠発振は、RF発振器や再生受信機でも見られます。

LTC3107の場合、C2のゲート・カップリング・コンデンサに電荷が蓄積してDCバイアス・ポイントがシフトし、ある期間発振が停止し、その後コンデンサの電荷が流出して発振が再開可能になる場合、間欠発振が起きることがあります。与えられたアプリケーションで間欠発振が起きるかどうか、またいつ起きるかを予測することは困難です。間欠発振は有害ではありませんが、LTC3107の平均出力電流能力を下げます。

間欠発振は、C2ピンのカップリング・コンデンサにブリーダ抵抗を並列に追加することによって簡単に回避できます。性能に悪影響を与えずに間欠発振を除去するには、100k～1MΩの抵抗値で十分です。ほとんどのアプリケーションでC2に使われる330pFコンデンサの場合、499kのブリーダ抵抗を推奨します。例としては、「標準的応用例」の回路図を参照してください。

### 外部チャージポンプ整流器の利用

LTC3107の同期チャージポンプ整流器(C1ピンに接続)は、1:100から1:50の間の標準的トランス昇圧比と、10nF未満の標準的C1チャージポンプ・コンデンサを使って、非常に低い入力電圧源で動作するように最適化されています。

もっと高い入力電圧源(負荷を与えた状態で一般に250mV以上)での動作では、もっと低いトランス昇圧比(1:20や1:10など)と、もっと大きなC1コンデンサの値を使うことができるため、LTC3107の出力電流能力が向上します。ただし、これらのアプリケーションでは整流器の電流と発振器の共振周波数が増加するので、最適性能を得るため外部チャージポンプ整流器の使用を推奨します。

## アプリケーション情報

昇圧比が1:20以下でC1コンデンサが10nF以上のアプリケーションでは、C1ピンを接地し、2個の外部整流器(1N4148または1N914ダイオードなど)を使用します。これらはBAS31のように1個のパッケージに収められた2個のダイオードとして供給されています。(ショットキー整流器は、順方向電圧降下が低く、最小起動電圧が高くなるので使用しないでください。)例としては、「標準的応用例」の回路図を参照してください。

### V<sub>OUT</sub>のコンデンサ

パルス負荷が生じるアプリケーションで、V<sub>STORE</sub>コンデンサからのエネルギーを利用できない場合は、V<sub>OUT</sub>のコンデンサの大きさは、パルス負荷がオンするとき必要な電流を供給できる値にします。必要なコンデンサの値は、V<sub>OUT</sub>上およびVLDO上の負荷電流の合計(I<sub>LOAD</sub>)、負荷パルスの持続時間(t)、コンデンサ上の電圧垂下量(ΔV<sub>VOUT</sub>)によって決まります。できるだけ電池寿命を延ばす目的のためには、コンデンサ上の最大電圧垂下は、BAT\_OFFコンパレータをトリップさせる垂下量(これにより、V<sub>OUT</sub>を維持するためにバッテリーが接続される)より小さくなければなりません。したがって、パルス負荷が生じるアプリケーションでは、V<sub>OUT</sub>のコンデンサの最小推奨値は以下の式で計算されます。

$$C_{OUT}(\mu F) = \frac{I_{LOAD}(mA) \cdot t(ms)}{\Delta V_{VOUT}(V)}$$

ここで、ΔV<sub>VOUT</sub>は標準で200mVです。出力コンデンサの値が適切であっても、バッテリーを使用せずに済ますには、V<sub>OUT</sub>上の必要な平均負荷電力より大きな平均収集電力が存在する必要があります。全てのアプリケーションで(パルス負荷が発生しない場合でも)、C<sub>OUT</sub>のコンデンサの最小値は47μFを推奨します。

### V<sub>STORE</sub>のコンデンサ

収集した入力電力が失われたときや、負荷の要件が高いときでも蓄電エネルギーを供給できるように、V<sub>STORE</sub>のコンデンサ(C<sub>STORE</sub>)は、非常に大きな値(数千μF~数F)にすることができます。このコンデンサは、最大4.48Vまで充電可能なので、保持コンデンサは使用される温度で少なくとも4.5Vの動作電圧定格があるものにします。LTC3107は、バッテリーを使用する前に、V<sub>STORE</sub>コンデンサから得られるエネルギーを使用するように設計されています。

C<sub>STORE</sub>のサイズは以下の式を使って決定できます(収集したエネルギーは存在せず、バッテリーも使用しないとする)。

$$C_{STORE}(mF) = \frac{I_{LOAD}(mA) \cdot t(s)}{(4.3 - V_{BAT} - 0.2)(V)}$$

ここで、I<sub>LOAD</sub>はV<sub>OUT</sub>上およびVLDO上の平均負荷の合計です。この式は、蓄電コンデンサは最大で標準クランプ電圧の4.3Vまで充電されることを前提としています。

損失とコンデンサ充電時間を最小限に抑えるには、V<sub>OUT</sub>とV<sub>STORE</sub>に使われる全てのコンデンサに、アプリケーションの平均負荷電流に対して低リークの製品を選びます。推奨する蓄電コンデンサについては、表4を参照してください。一般に高温になるほど漏れ電流は大きくなるため、アプリケーションでのコンデンサの実際の動作温度を考慮に入れるように注意してください。

表4. 推奨する蓄電コンデンサ

メーカー	シリーズ
AVX	BestCap Series TAJ, TPS Series Tantalum
Cap-xx	G Series (Dual Cell) H Series (Dual Cell)
Cooper Bussmann	KR Series KW Series PA, PB, PM, PH Series
Illinois Capacitor	DCN Series
Vishay	293D Series (Tantalum) 595D Series (Tantalum) 153 CRV (Aluminum, Low Leakage) 150 CRZ (Aluminum, Low Leakage) 196 DLC (Double Layer Aluminum)

### PCBレイアウトのガイドライン

共振コンバータの低めのスイッチング周波数と使用される電力レベルが低いことにより、PCBのレイアウトは多くの他のDC/DCコンバータの場合ほど厳しくはありません。ただし、考慮すべきいくつかの事項があります。

## アプリケーション情報

回路は非常に低い入力電圧で動作する可能性があるため、 $V_{IN}$  への接続、トランスの1次側、LTC3107のSWピンとGNDピンは、浮遊抵抗による電圧降下を最小に抑え、最大500mAの電流を流せるように設計します。1次巻線の導通経路のどんな小さな電圧降下も効率を下げ、最小起動電圧を増加させます。

また、LTC3107の出力で利用可能な充電電流は小さいため、出力電圧ピンの漏れ電流源を最小限に抑える必要があります。基板レイアウトの一例を図4に示します。

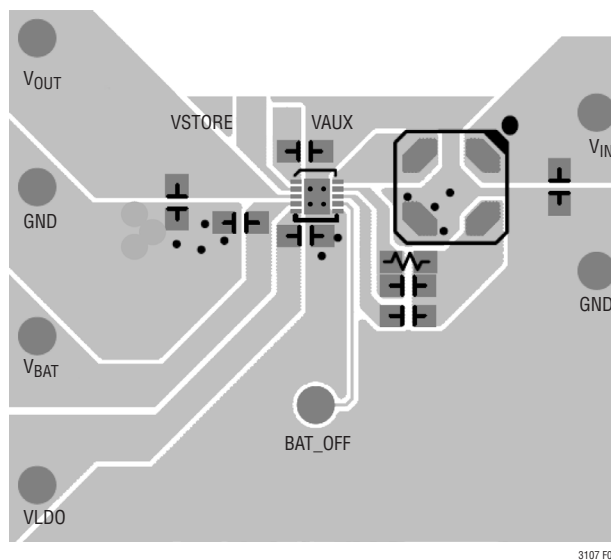
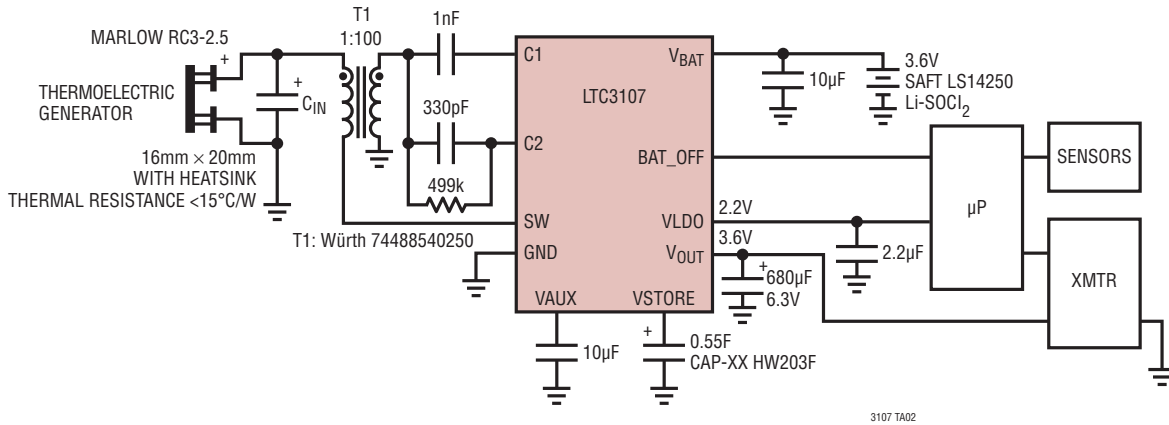


図4. 2層PC基板の部品配置の例

3107 F04

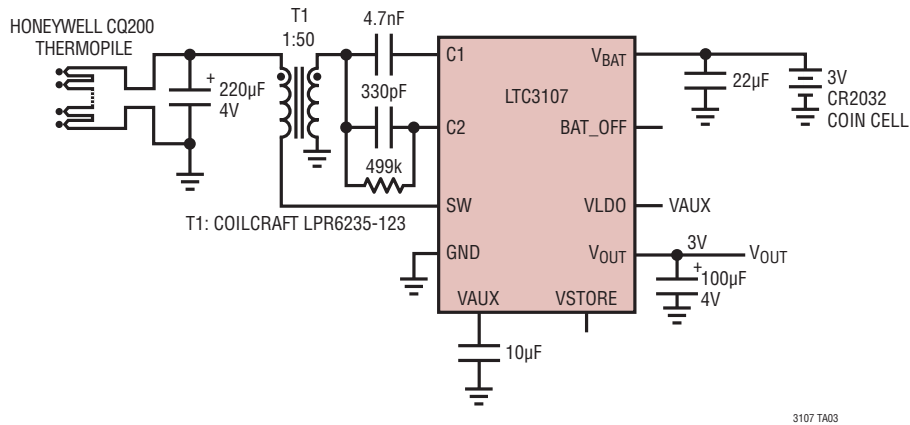
## 標準的応用例

### 熱発電を使用して一次電池寿命を延ばすリモート・センサ・アプリケーション



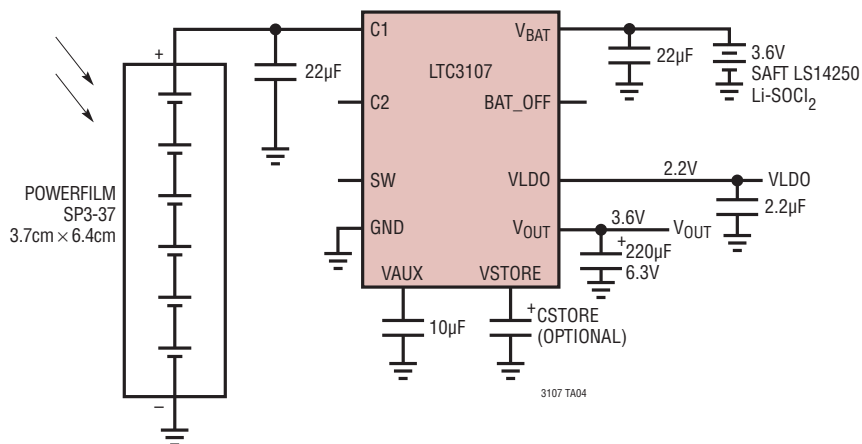
0.55FのVSTOREコンデンサにより、バッテリーを使用する前に200μWの平均負荷を6時間保持

### サーモパイルによって給電される電池寿命延長回路

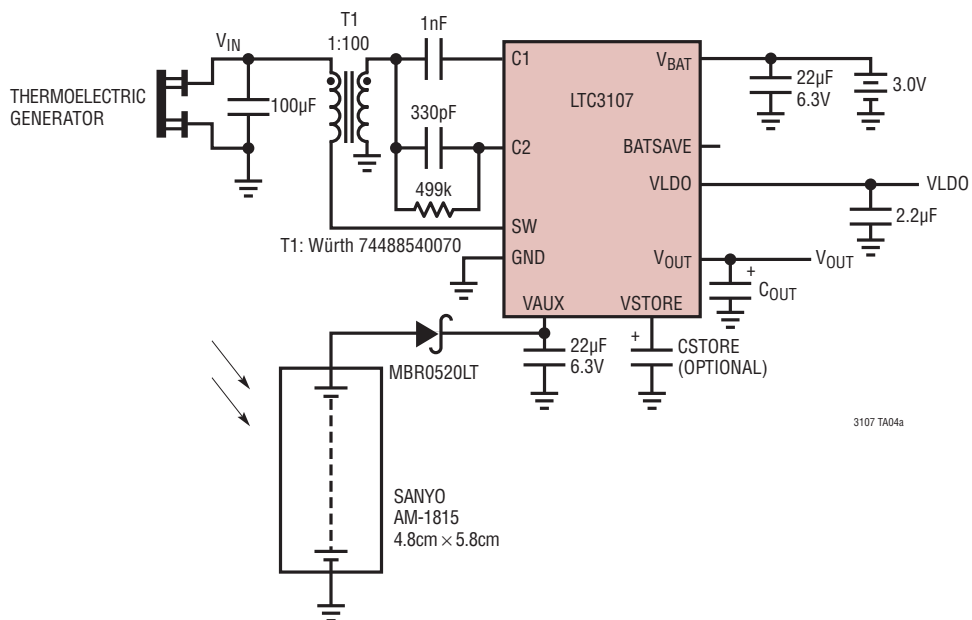


標準的応用例

室内照明によって機能する、3.6V太陽電池によって給電される電池寿命延長回路

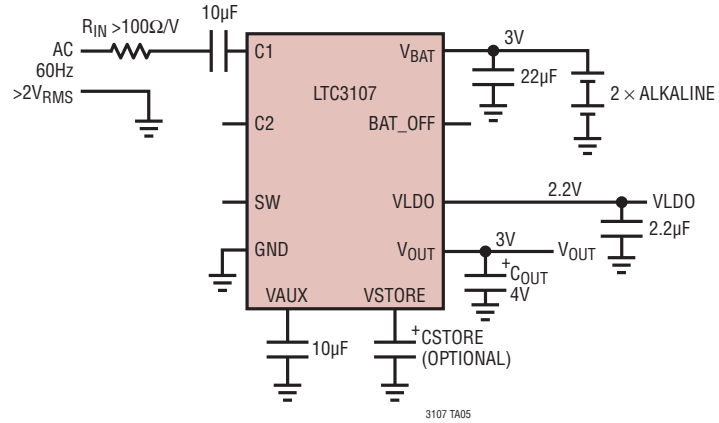


熱エネルギーと太陽エネルギーを利用したデュアル入力環境発電電源



## 標準的応用例

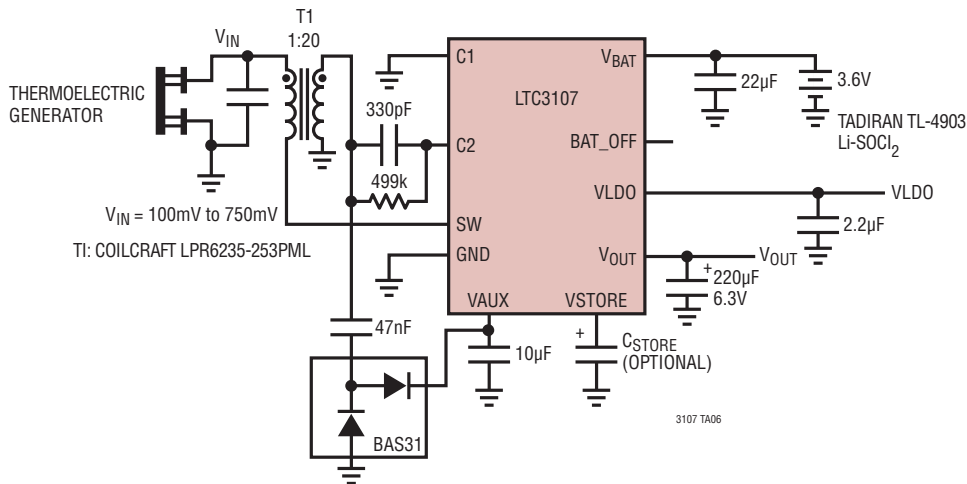
60Hz 捕集 AC 電源を利用した電池寿命延長回路





## 標準的応用例

外部整流器を使用した、入力電圧が高いアプリケーション向けの熱発電電源



## 関連製品

製品番号	説明	注釈
<a href="#">LT3009</a>	3µAのIQ、20mAのリニア・レギュレータ	V <sub>IN</sub> : 1.6V ~ 20V、V <sub>OUT(MIN)</sub> : 0.6V ~ 19.5V、1.2V、1.5V、1.8V、2.5V、3.3V、5V固定、I <sub>Q</sub> = 3µA、I <sub>SD</sub> < 1µA、2mm×2mm DFN-8およびSC70パッケージ
<a href="#">LTC3103</a> <a href="#">LTC3104</a>	超低静止電流の15V、300mA同期整流式降圧DC/DCコンバータ	V <sub>IN</sub> = 2.2V ~ 15V、V <sub>OUT</sub> = 0.8V ~ 13.8V、I <sub>Q</sub> = 1.8µA、I <sub>SD</sub> < 1µA、10mA LDO (LTC3104)、DFNおよびMSOPパッケージ
<a href="#">LTC3105</a>	起動電流250mV、MPPC付き400mA昇圧コンバータ	V <sub>IN</sub> : 0.2V ~ 5V、V <sub>OUT</sub> = 1.5V ~ 5.25V、I <sub>Q</sub> = 24µA、I <sub>SD</sub> < 1µA、3mm×3mm DFN-10/MSOP-12パッケージ
<a href="#">LTC3108</a> 、 <a href="#">LTC3108-1</a>	超低電圧昇圧コンバータおよびパワーマネージャ	V <sub>IN</sub> : 0.02V ~ 1V、V <sub>OUT</sub> = 2.5V、3V、3.7V、4.5V固定、I <sub>Q</sub> = 6µA、3mm×4mm DFN-12およびSSOP-16パッケージ
<a href="#">LTC3109</a>	Auto-Polarity、超低電圧昇圧コンバータ&パワーマネージャ	V <sub>IN</sub> : 0.03V ~ 1V、V <sub>OUT</sub> = 固定2.35V ~ 5V、I <sub>Q</sub> = 7µA、4mm×4mm QFN-20およびSSOP-20パッケージ
<a href="#">LTC3129/</a> <a href="#">LTC3129-1</a>	マイクロパワーの200mA同期整流式昇降圧DC/DCコンバータ	V <sub>IN</sub> : 2.42V ~ 15V、V <sub>OUT</sub> = 1.4V ~ 15.75V、I <sub>Q</sub> = 1.3µA、I <sub>SD</sub> < 100µA、3mm×3mm QFN-16およびMSOP-16Eパッケージ
<a href="#">LTC3330</a>	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 <sub>BAT</sub> : 1.8V ~ 5.5V、V <sub>IN</sub> : 3V ~ 19V、V <sub>OUT</sub> = 固定1.8V ~ 5V、I <sub>Q</sub> = 750nA、5mm×5mm QFNパッケージ
<a href="#">LTC3388-1/</a> <a href="#">LTC3388-3</a>	20V/50mA高効率、ナノパワー降圧レギュレータ	V <sub>IN</sub> : 2.7V ~ 20V、V <sub>OUT</sub> : 固定1.1V ~ 5.5V、I <sub>Q</sub> = 720nA、I <sub>SD</sub> = 400nA、3mm×3mm DFN-10およびMSOP-10パッケージ
<a href="#">LTC3588-1</a> <a href="#">LTC3588-2</a>	高効率降圧コンバータ内蔵の圧電発電モジュール	V <sub>IN</sub> : 2.7V ~ 20V、V <sub>OUT</sub> : 1.8V、2.5V、3.3V、3.6Vに固定、I <sub>Q</sub> = 950µA、3mm×3mm DFN-10およびMSOP-10Eパッケージ
<a href="#">LTC4070</a> 、 <a href="#">LTC4071</a>	マイクロパワー・シャント・リチウム・イオン電池チャージャ	µAソースによる充電を制御