

# 高精度クーロン・カウンタを内蔵した 一次電池 SOH モニタ

## 特長

- バッテリ入力電圧範囲: 1.8V~5.5V
- 静止電流: 100nA
- 8種類の一次電池ピーク入力電流制限値:  
5mA/10mA/15mA/20mA/25mA/50mA/75mA/100mA
- 一次電池用 SOH モニタ
  - クーロン・カウンタ (Q) を内蔵
  - バッテリ電圧 (V)、バッテリ・インピーダンス (Z)、  
温度 (T) 用のモニタ機能も内蔵
- 一次電池の電流 (BAT\_IN) または負荷電流 (BAT\_OUT) をカウント
- ±10mA のスーパーキャパシタ・バランスを内蔵
- 幅広いバッテリ・サイズに対応可能なプログラマブル・クーロン・カウンタ・プリスケアラ
- 割込み出力を伴うプログラマブル放電アラーム閾値
- I<sup>2</sup>C インターフェース
- 小型 12ピン 2mm × 2mm LFCSP

## アプリケーション

- 低消費電力の一次電池駆動システム  
(例えば 1× LiSOCl<sub>2</sub>、2~3× アルカリ電池)
- 産業用リモート・センサー (例: メータ、アラーム)
- 電子ドア・ロック
- キーブ・アライブ電源 / バッテリ・バックアップ
- SmartMesh<sup>®</sup> アプリケーション
- 汎用昇圧

## 概要

LTC<sup>®</sup>3337は、高精度のクーロン・カウンタを内蔵した一次電池用健全性 (SOH) モニタです。これは一次電池と直列に接続して使用しますが、直列接続時の電圧降下が最小限に抑えられるように設計されています。特許を取得した無限ダイナミック・レンジ・クーロン・カウンタがすべてのバッテリ放電を積算し、I<sup>2</sup>C インターフェースを介してアクセス可能な内部レジスタにその値を保存します。放電アラーム閾値は、この充電状態 (SOC) に基づいてプログラムすることができます。この閾値に達すると、 $\overline{\text{TRQ}}$  ピンに割込みが生成されます。クーロン・カウンタの精度は無負荷状態になるまで一定です。

LTC3337はこの他にも SOH モニタリング機能を内蔵しており、バッテリ電圧、バッテリ・インピーダンス、および温度を測定して I<sup>2</sup>C 経由でレポートします。

幅広い一次電池入力に対応するために、ピンにより 5mA~100mA の範囲でピーク入力電流制限値を選択することができます。

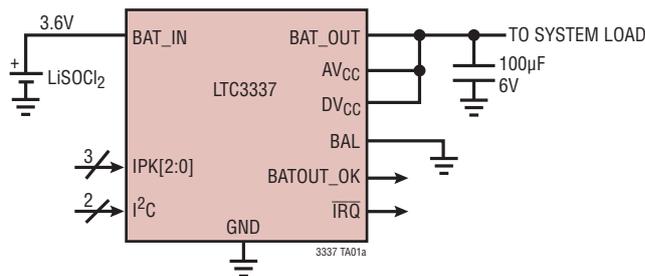
クーロン値は BAT\_IN ピンまたは BAT\_OUT ピンの値を計算でき、どちらにするかは AV<sub>CC</sub> ピンの接続によって決定します。

BAL ピンは、出力にスーパーキャパシタ 2 個のスタック (オプション) を接続する場合に使用します。

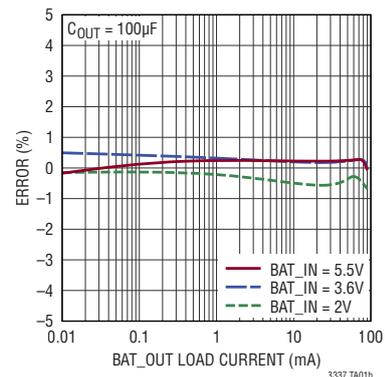
LTC3337は、12ピン 2mm × 2mm LQFN パッケージで提供されます。

全ての登録商標および商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。第 9312815 号を含む米国特許により保護されています。

## 標準的応用例



総合クーロン・カウンタ誤差 (100mA I<sub>PEAK</sub> 設定)



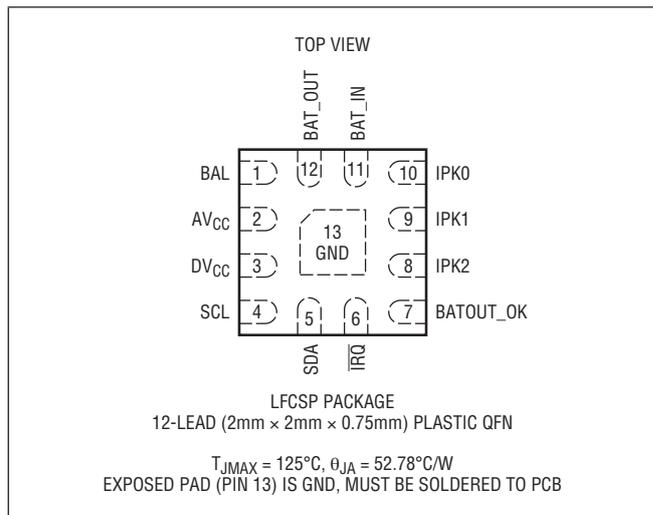
# LTC3337

## 絶対最大定格

(Note 1)

BAT_IN、BAT_OUT、AV <sub>CC</sub> 電圧 .....	-0.3V~6V
(BAT_OUT – BAT_IN) 差動電圧 .....	0.3V
DV <sub>CC</sub> 、SCL、SDA 電圧 .....	-0.3V~6V
IPK[2:0] 電圧 .....	-0.3V~
..... [(BAT_IN + 0.3V) または 6V のいずれか小さい方]	
BAL 電圧 .....	-0.3V~
..... [(BAT_OUT + 0.3V) または 6V のいずれか小さい方]	
IR <sub>Q</sub> 、BATOUT_OK 電流 .....	±1mA
BAT_OUT 電流 .....	150mA
SDA 電流 .....	5mA
動作ジャンクション温度 (Note 2, 3) .....	-40°C~125°C
保存温度範囲 .....	-65°C~150°C

## ピン配置



## 発注情報

部品番号	テープ&リール(ミニ)	部品マーキング		パッケージ タイプ	MSL レーティング	温度範囲
		デバイス	仕上げコード			
LTC3337ERC#TRPBF	LTC3337ERC#TRMPBF	LHMM	e4	12ピン(2mm × 2mm × 0.75mm) LFCSP	MSL1	-40°C~125°C

拡張動作温度範囲仕様の部品についてはアナログ・デバイスまでお問い合わせください。\*温度グレードは出荷容器のラベルに示されています。

テープ&リール仕様。一部のパッケージは、指定販売チャンネルを通じ500個入りのリールで購入できます。末尾に#TRMPBFという記号が付きま。

## 電氣的特性

●は、全動作ジャンクション温度範囲に適用される仕様であることを示します。それ以外の仕様は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値です (Note 2)。特に指定のない限り、 $\text{BAT\_IN} = \text{BAT\_OUT} = \text{AV}_{\text{CC}} = \text{DV}_{\text{CC}} = 3.6\text{V}$ 。

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Voltage Range (BAT_IN)	(Note 4)	●	1.8		5.5	V
AV <sub>CC</sub> Voltage Range		●	1.8		5.5	V
<b>Coulomb Counter</b>						
Input Current into BAT_IN	BAT_IN – BAT_OUT = 50mV			0		nA
	BAT_IN – BAT_OUT = 175mV (Current Source Turned On), 100mA I <sub>PEAK</sub> Setting	●	90 85	100 100	110 115	mA mA
	BAT_IN – BAT_OUT = 175mV (Current Source Turned On), 75mA I <sub>PEAK</sub> Setting	●	67.5 65	75 75	82.5 85	mA mA
	BAT_IN – BAT_OUT = 175mV (Current Source Turned On), 50mA I <sub>PEAK</sub> Setting	●	45 43	50 50	55 57	mA mA
	BAT_IN – BAT_OUT = 175mV (Current Source Turned On), 25mA I <sub>PEAK</sub> Setting	●	22.5 21.5	25 25	27.5 28.5	mA mA
	BAT_IN – BAT_OUT = 175mV (Current Source Turned On), 20mA I <sub>PEAK</sub> Setting	●	18 17	20 20	22 23	mA mA
	BAT_IN – BAT_OUT = 175mV (Current Source Turned On), 15mA I <sub>PEAK</sub> Setting	●	13.5 13	15 15	16.5 17	mA mA
	BAT_IN – BAT_OUT = 175mV (Current Source Turned On), 10mA I <sub>PEAK</sub> Setting	●	9 8.5	10 10	11 11.5	mA mA
	BAT_IN – BAT_OUT = 175mV (Current Source Turned On), 5mA I <sub>PEAK</sub> Setting	●	4.5 4.2	5 5	5.5 5.8	mA mA
	Start-Up: BAT_OUT = 0V, 25mA/50mA/75mA/100mA I <sub>PEAK</sub> Settings			25		mA
	Start-Up: BAT_OUT = 0V, 5mA/10mA/15mA/20mA I <sub>PEAK</sub> Settings			5		mA
AV <sub>CC</sub> Pin Input Quiescent Current	BAT_IN – BAT_OUT = 50mV			100	160	nA
q <sub>LSB</sub> (for Prescaler Setting M = 0) (Notes 5, 6)	100mA I <sub>PEAK</sub> Setting	●	14.17	14.91	15.66	mA • hr
	75mA I <sub>PEAK</sub> Setting			11.18		mA • hr
	50mA I <sub>PEAK</sub> Setting			7.457		mA • hr
	25mA I <sub>PEAK</sub> Setting			3.728		mA • hr
	20mA I <sub>PEAK</sub> Setting			2.983		mA • hr
	15mA I <sub>PEAK</sub> Setting			2.237		mA • hr
	10mA I <sub>PEAK</sub> Setting			1.491		mA • hr
	5mA I <sub>PEAK</sub> Setting			745.7		μA • hr
Full-Scale Coulomb Count (Battery Capacity)	5mA I <sub>PEAK</sub> Setting, M = 15 (Smallest Battery)			1.491		mA • hr
	100mA I <sub>PEAK</sub> Setting, M = 0 (Largest Battery)	●	928.5	977.3	1026	A • hr
Total Coulomb Counter Error (Note 6)	(Note 7)	●	-3 -5		3 5	% %
Coulomb Counter Turn-On Threshold	(BAT_IN – BAT_OUT), BAT_OUT Rising			0.6		V
Coulomb Counter Turn-Off Threshold	(BAT_IN – BAT_OUT), BAT_OUT Falling			1.2		V
BATOUT_OK Threshold	(BAT_IN – BAT_OUT), BAT_OUT Rising	●	88	110	132	mV
BATOUT_OK Threshold	(BAT_IN – BAT_OUT), BAT_OUT Falling	●	375	400	425	mV

## 電気的特性

●は、全動作ジャンクション温度範囲に適用される仕様であることを示します。それ以外の仕様は  $T_A = 25^\circ\text{C}$  での値です (Note 2)。特に指定のない限り、 $\text{BAT\_IN} = \text{BAT\_OUT} = \text{AV}_{\text{CC}} = \text{DV}_{\text{CC}} = 3.6\text{V}$ 。

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
$I_{\text{PEAK}}$ Turn-Off Threshold ( $V_{\text{OUT\_HIGH}}$ )	( $\text{BAT\_IN} - \text{BAT\_OUT}$ ), $\text{BAT\_OUT}$ Rising	●	88	110	132	mV
$I_{\text{PEAK}}$ Turn-On Threshold ( $V_{\text{OUT\_LOW}}$ )	( $\text{BAT\_IN} - \text{BAT\_OUT}$ ), $\text{BAT\_OUT}$ Falling	●	140	160	230	mV
$\text{BAT\_OUT}$ Hysteresis	$V_{\text{HYST}} = V_{\text{OUT\_LOW}} - V_{\text{OUT\_HIGH}}$	●	40			mV
<b>Voltage Monitor</b>						
$V_{\text{LSB}}$				1.465		mV
Total Voltage Error		●	-1.0 -2.5		1.0 2.5	%
Full-Scale Voltage (1111111111 Code)				6		V
Zero Voltage (0000000000 Code)				0		V
<b>Temperature Monitor</b>						
$T_{\text{LSB}}$				0.784		$^\circ\text{C}$
Code for Room Temperature $25^\circ\text{C}$			-5LSBs	01010101	+5LSBs	
Full-Scale Temperature (11111111 Code)				159		$^\circ\text{C}$
Zero-Scale Temperature (00000000 Code)				-41		$^\circ\text{C}$
Hot Die Temperature Warning Threshold (Die Temperature that Causes $\text{IRQ} = 0$ )	00000000 Code for Register Bits H[15:8] 11111111 Code for Register Bits H[15:8] (Default)			-41 159		$^\circ\text{C}$
Cold Die Temperature Warning Threshold (Die Temperature that Causes $\text{IRQ} = 0$ )	00000000 Code for Register Bits H[7:0] (Default) 11111111 Code for Register Bits H[7:0]			-41 159		$^\circ\text{C}$
<b>Supercapacitor Balancer</b>						
$V_{\text{SCAP}}$ ( $\text{BAT\_OUT}$ Pin)	Supercapacitor Balancer Input Range	●	2.5		5.5	V
$I_{\text{SCAP}}$ ( $\text{BAT\_OUT}$ Pin)	Supercapacitor Balancer Quiescent Current, $\text{BAT\_OUT} = 5\text{V}$ , $I_{\text{BAL}} = 0$			62	150	nA
Supercapacitor Balancer Max Source Current	$\text{BAT\_OUT} = 5.0\text{V}$ , $\text{BAL} = 2.4\text{V}$		10			mA
Supercapacitor Balancer Max Sink Current	$\text{BAT\_OUT} = 5.0\text{V}$ , $\text{BAL} = 2.6\text{V}$				-10	mA
Supercapacitor Balance Point ( $V_{\text{BAL}}$ )	Percentage of $\text{BAT\_OUT}$ Voltage	●	49	50	51	%
<b>Digital Inputs and Outputs</b>						
$\text{DV}_{\text{CC}}$ Voltage Range		●	1.8		5.5	V
Digital Input High Voltage ( $V_{\text{IH}}$ )	For Pins $\text{IPK}[2:0]$ For Pins $\text{SDA}$ , $\text{SCL}$	●	$\text{BAT\_IN} - 0.5$ 70			V % $\text{DV}_{\text{CC}}$
Digital Input Low Voltage ( $V_{\text{IL}}$ )	For Pins $\text{IPK}[2:0]$ For Pins $\text{SDA}$ , $\text{SCL}$	●			0.5 30	V % $\text{DV}_{\text{CC}}$
Digital Input High Current ( $I_{\text{IH}}$ )	For Pins $\text{IPK}[2:0]$ For Pins $\text{SDA}$ , $\text{SCL}$				10 10	nA nA
Digital Input Low Current ( $I_{\text{IL}}$ )	For Pins $\text{IPK}[2:0]$ For Pins $\text{SDA}$ , $\text{SCL}$				10 10	nA nA
Digital Output High Voltage ( $V_{\text{OH}}$ )	For Pins $\text{IRQ}$ , $\text{BATOUT\_OK}$ ; $1\mu\text{A}$ Out of Pin		$\text{DV}_{\text{CC}} - 0.5$			V
Digital Output Low Voltage ( $V_{\text{OL}}$ )	For Pins $\text{IRQ}$ , $\text{BATOUT\_OK}$ ; $1\mu\text{A}$ into Pin				0.5 0.4	V V
<b>I<sup>2</sup>C Timing Characteristics (See Figure 1)</b>						
I <sup>2</sup> C Read Address				11001001		
I <sup>2</sup> C Write Address				11001000		
Clock Operating Frequency	$f_{\text{SCL}}$				400	kHz

## 電气的特性

●は、全動作ジャンクション温度範囲に適用される仕様であることを示します。それ以外の仕様は  $T_A = 25^\circ\text{C}$  での値です (Note 2)。特に指定のない限り、 $BAT\_IN = BAT\_OUT = AV_{CC} = DV_{CC} = 3.6\text{V}$ 。

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Bus Free Time Between STOP/START	$t_{BUF}$	1.3			$\mu\text{s}$
Repeated START Set-Up Time	$t_{SU,STA}$	600			ns
Hold Time (Repeated) START Condition	$t_{HD,STA}$	600			ns
Set-Up Time for STOP Condition	$t_{SU,STO}$	600			ns
Data Set-Up Time (Input)	$t_{SU,DAT}$	100			ns
Data Hold Time (Input)	$t_{HD,DATI}$	0			$\mu\text{s}$
Data Hold Time (Output)	$t_{HD,DATO}$	0		0.9	$\mu\text{s}$
Clock/Data Fall Time	$t_f$	20		300	ns
Clock/Data Rise Time	$t_r$	20		300	ns
Clock LOW Period	$t_{LOW}$	1.3			$\mu\text{s}$
Clock HIGH Period	$t_{HIGH}$	0.6			$\mu\text{s}$
Spike Suppression Time	$t_{SP}$			50	ns

**Note 1:** 上記の絶対最大定格を超えるストレスを加えるとデバイスに恒久的な損傷を与えることがあります。デバイスを長時間絶対最大定格状態に置くと、デバイスの信頼性と寿命に影響を与えることがあります。

**Note 2:** LTC3337は  $T_J \approx T_A$  となるようなパルス負荷条件下でテストされています。 $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$  の動作ジャンクション温度範囲における仕様は、設計、特性評価、および統計的プロセス制御との相関付けによって確認されています。ここに示す仕様に見合った最大周囲温度は、具体的な動作条件と、ボード・レイアウト、パッケージの熱インピーダンス定格値、およびその他の環境条件の組み合わせによって決まります。

**Note 3:**  $T_J$  は、次式により周囲温度  $T_A$  と消費電力  $P_D$  から計算されます。

$$T_J = T_A + (P_D \cdot \theta_{JA})$$

**Note 4:** クーロン・カウンタとピーク電流制限の精度は、 $BAT\_IN$  電圧が2Vより高い場合の最良値です。電圧および温度モニタ精度は1.8V (下限値) まで最良値が得られます。動作のセ

クションのバッテリー範囲を2V未満まで拡大を参照してください。

**Note 5:** 累積電荷量レジスタ内のLSB等価電荷量は、 $I_{PEAK}$  の設定と内部プリスケールリング・ファクタMによって異なります。詳細についてはクーロン・カウンタ・プリスケールMの選択のセクションを参照してください。また、以下の関係に留意してください。

$$1\text{mA} \cdot \text{hr} = 3.6\text{A} \cdot \text{s} = 3.6\text{C}$$

**Note 6:** 仕様規定されたqLSBの精度(%)は、対応する $I_{PEAK}$ 値より良くなっています。これは、クーロン値の計算に使われている時間ベースが、実際の $I_{PEAK}$ 値に含まれる誤差を補償するために内部で調整されているからです。仕様規定された総合クーロン・カウンタ誤差には、qLSBの不正確さが含まれています。

**Note 7:** このパラメータの出荷テストは、 $I_{PEAK} = 100\text{mA}$  の設定でのみ行われています。他の $I_{PEAK}$ 設定については、内部的な設計アーキテクチャと動作の拡張によって確保されています。

## タイミング図

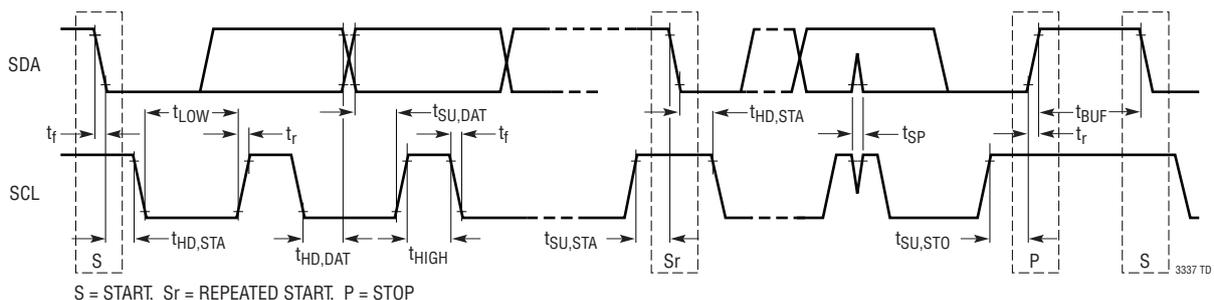
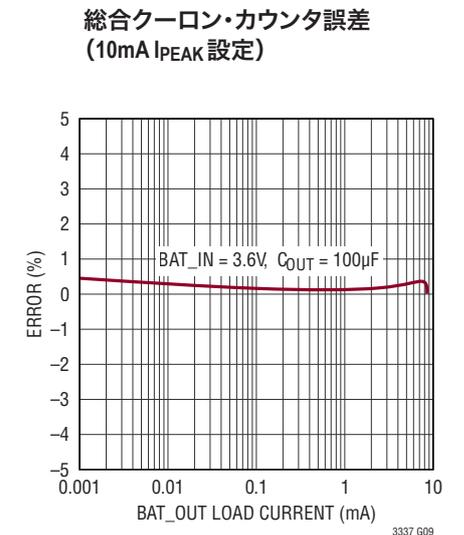
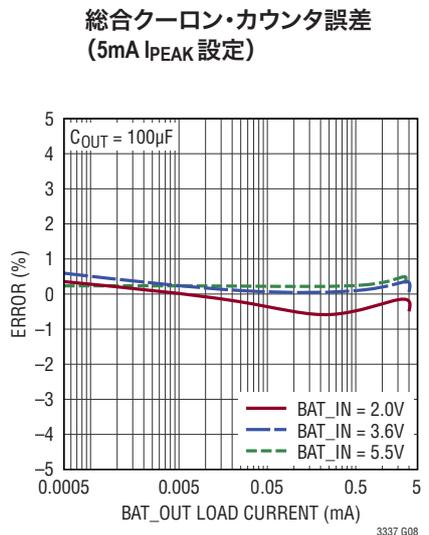
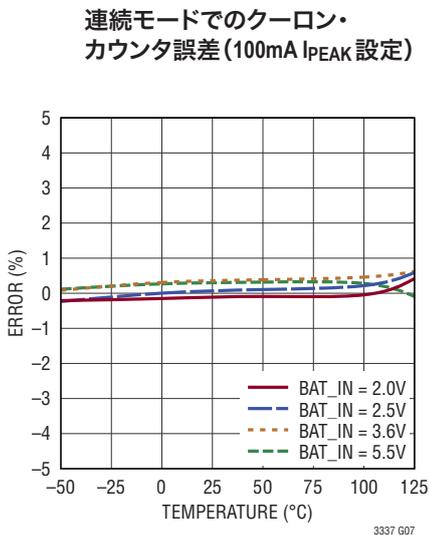
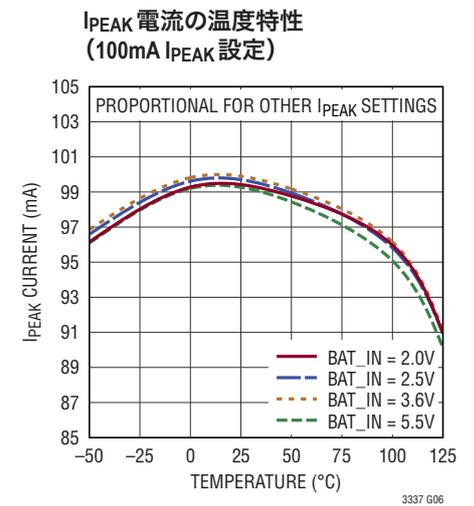
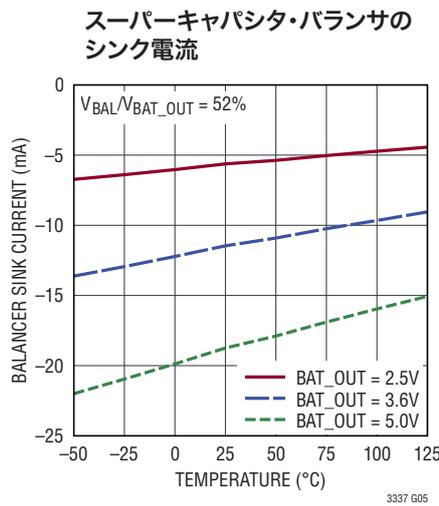
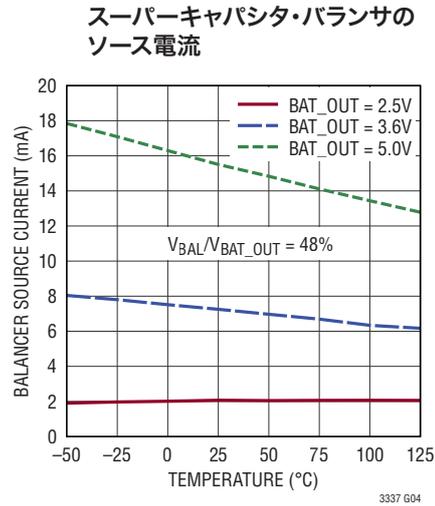
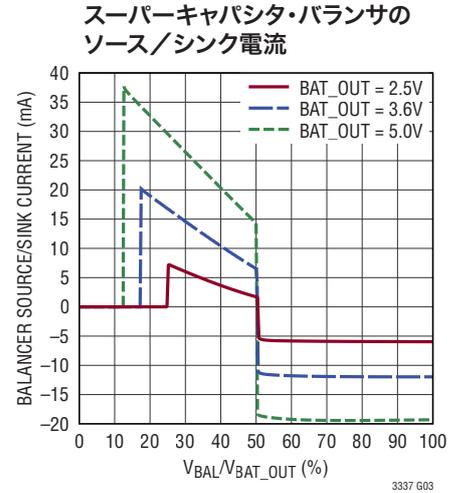
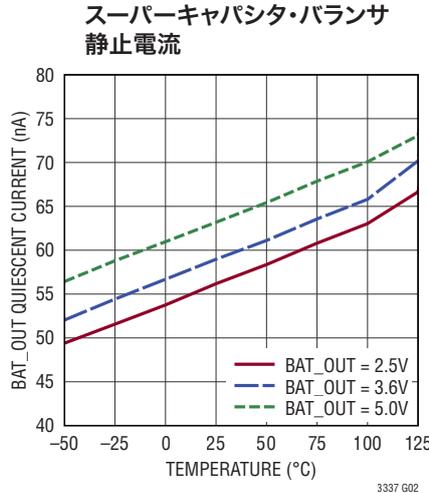
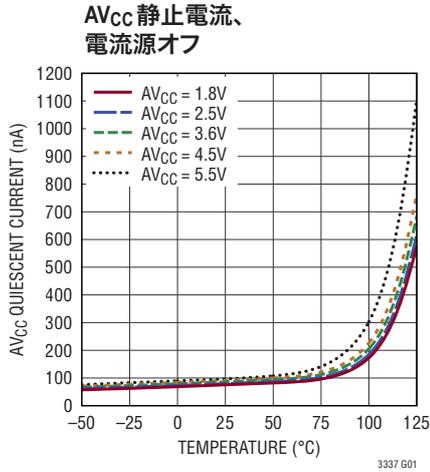


図1. I<sup>2</sup>Cバスのタイミング定義

## 代表的な性能特性

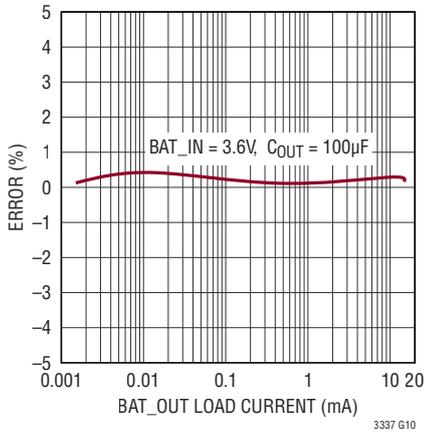
特に指定のない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $\text{BAT\_IN} = \text{BAT\_OUT} = \text{AV}_{\text{CC}} = \text{DV}_{\text{CC}} = 3.6\text{V}$ 、 $100\text{mA } I_{\text{PEAK}}$



代表的な性能特性

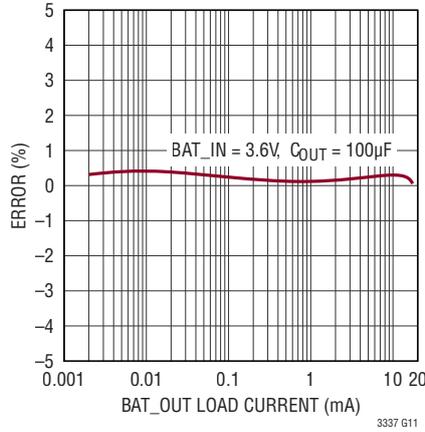
特に指定のない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $\text{BAT\_IN} = \text{BAT\_OUT} = \text{AV}_{\text{CC}} = \text{DV}_{\text{CC}} = 3.6\text{V}$ 、 $100\text{mA } I_{\text{PEAK}}$

総合クーロン・カウンタ誤差  
( $15\text{mA } I_{\text{PEAK}}$  設定)



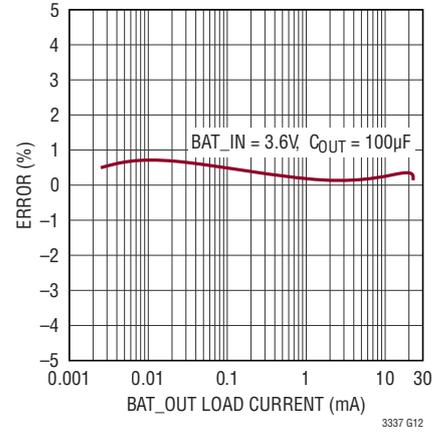
3337 G10

総合クーロン・カウンタ誤差  
( $20\text{mA } I_{\text{PEAK}}$  設定)



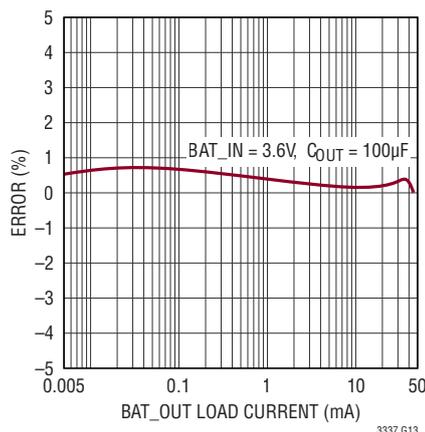
3337 G11

総合クーロン・カウンタ誤差  
( $25\text{mA } I_{\text{PEAK}}$  設定)



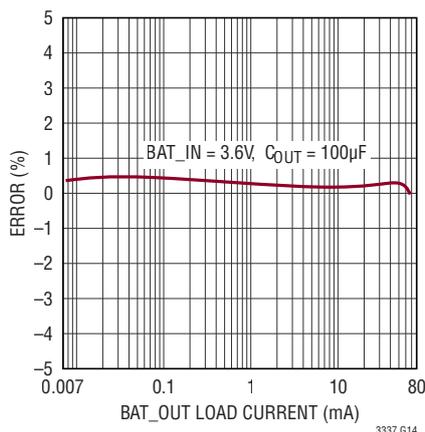
3337 G12

総合クーロン・カウンタ誤差  
( $50\text{mA } I_{\text{PEAK}}$  設定)



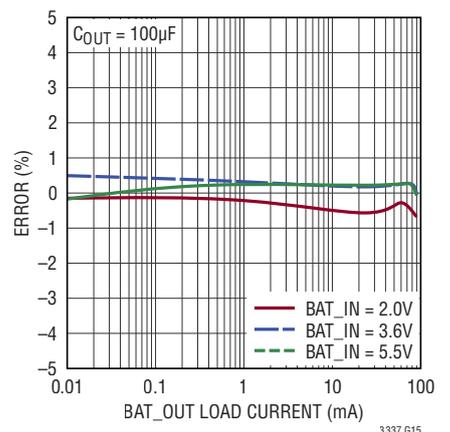
3337 G13

総合クーロン・カウンタ誤差  
( $75\text{mA } I_{\text{PEAK}}$  設定)



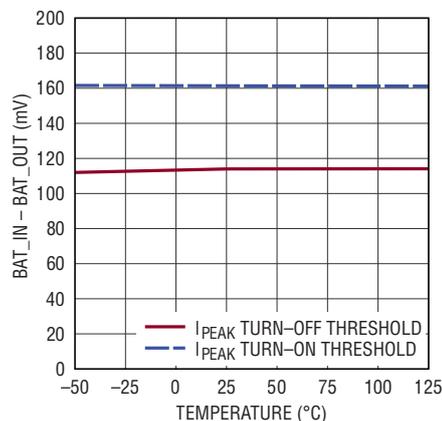
3337 G14

総合クーロン・カウンタ誤差  
( $100\text{mA } I_{\text{PEAK}}$  設定)



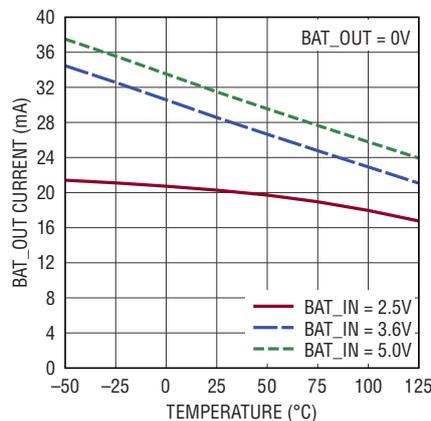
3337 G15

$I_{\text{PEAK}}$  ターンオン/オフ閾値



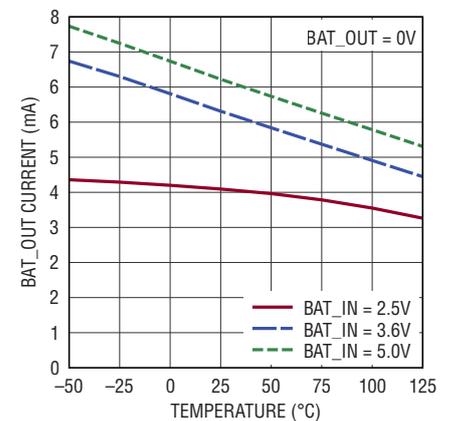
3337 G16

BAT\_OUTピンからの流出スタート  
アップ電流 ( $I_{\text{PK}[2]} = 1$  設定)



3337 G17

BAT\_OUTピンからの流出スタート  
アップ電流 ( $I_{\text{PK}[2]} = 0$  設定)

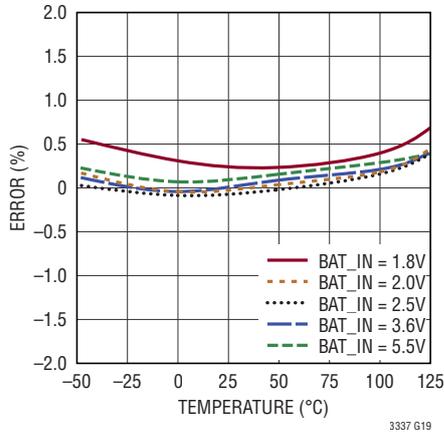


3337 G18

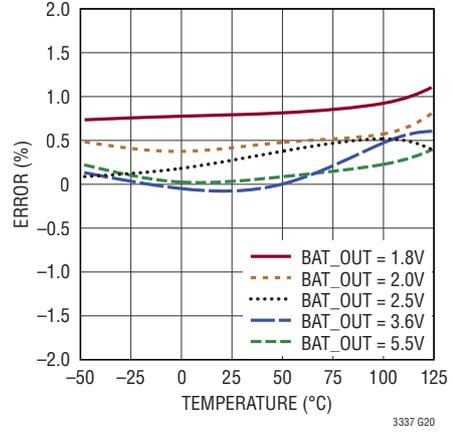
## 代表的な性能特性

特に指定のない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $\text{BAT\_IN} = \text{BAT\_OUT} = \text{AVCC} = \text{DVCC} = 3.6\text{V}$ 、 $100\text{mA I}_{\text{PEAK}}$

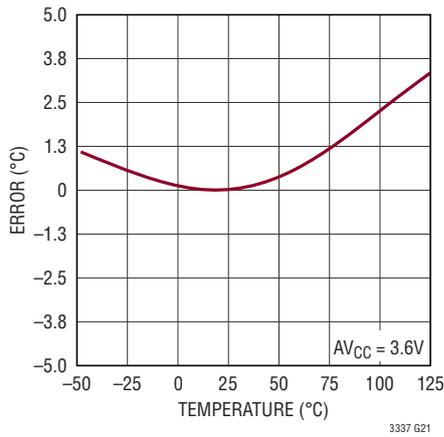
BAT\_IN 電圧誤差



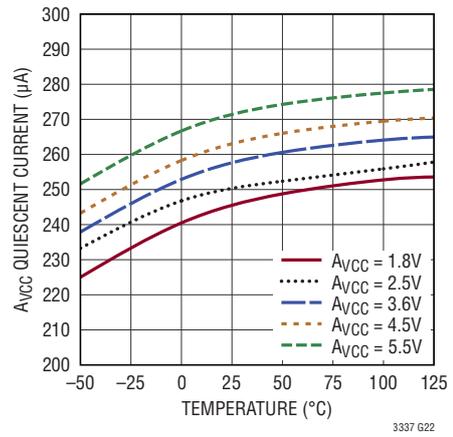
BAT\_OUT 電圧誤差



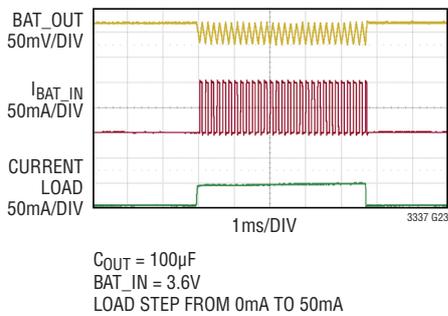
温度センサー誤差



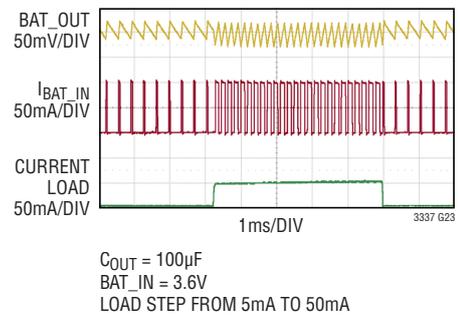
AVCC 静止電流、  
電流源オン



BAT\_OUT 負荷ステップ・トランジェント



BAT\_OUT 負荷ステップ・トランジェント



## ピン機能 (LFCSP)

**BAT\_IN (ピン11)**: バッテリ入力電圧。バッテリーは、できるだけこのピンに近付けて接続してください。

**BAT\_OUT (ピン12)**: バッテリ出力電圧。このピンには負荷を接続してください。

**IPK0 (ピン10)**: 入力電流制限値選択ビット (IPK1 と IPK2 も)。必要な  $I_{PEAK}$  をプログラムするには、IPK0 を BAT\_IN に接続してハイを選択するか、GND に接続してローを選択する必要があります (動作のセクションの表1を参照)。フロート状態にはしないでください。

**IPK1 (ピン9)**: 入力電流制限値選択ビット (IPK0 と IPK2 も)。IPK0 を参照。フロート状態にはしないでください。

**IPK2 (ピン8)**: 入力電流制限値選択ビット (IPK0 と IPK1 も)。IPK0 を参照。フロート状態にはしないでください。

**AV<sub>CC</sub> (ピン2)**: クーロン・カウンタおよび SOH 回路用の電源レール。AV<sub>CC</sub> は通常 BAT\_OUT に接続しますが、アプリケーションによっては BAT\_IN に接続する場合があります (アプリケーション情報のセクションを参照)。

**DV<sub>CC</sub> (ピン3)**: I<sup>2</sup>C シリアル・バス用、ならびに  $\overline{IRQ}$  および BATOUT\_OK 出力用の電源レール。DV<sub>CC</sub> は、I<sup>2</sup>C 準拠のために SDA ピンと SCL ピンのリファレンス・レベルを設定します。

SDA ピンと SCL ピンの外付け I<sup>2</sup>C プルアップ抵抗は、DV<sub>CC</sub> に接続してください。アプリケーションによっては、DV<sub>CC</sub> を AV<sub>CC</sub> に接続するか、別体の 1.8V ~ 5.5V 外部電源に接続できます。

**SCL (ピン4)**: I<sup>2</sup>C シリアルポート用シリアル・クロック入力。I<sup>2</sup>C 入力レベルは、I<sup>2</sup>C 準拠のために DV<sub>CC</sub> 基準でスケールリングできます。フロート状態にはしないでください。

**SDA (ピン5)**: I<sup>2</sup>C シリアルポート用シリアル・データ入出力。I<sup>2</sup>C 入力レベルは、I<sup>2</sup>C 準拠のために DV<sub>CC</sub> 基準でスケールリングできます。フロート状態にはしないでください。

**$\overline{IRQ}$  (ピン6)**: 割込み出力。DV<sub>CC</sub> 基準のロジック・レベル出力。アクティブ・ロー。通常このピンはロジック・ハイですが、クーロン・カウンタのアラーム・レベル、またはいずれかの温度警告レベルに達するとローに遷移します。

**BAL (ピン1)**: スーパーキャパシタ・バランス・ポイント。BAT\_OUT に接続したスーパーキャパシタ2個のスタック (オプション) の共通ノード。最大 ±10mA のソース/シンク・バランス電流を使用できます。バランスとそれに対応する静止電流をディスエーブルするには、BAL を GND に接続してください。

**BATOUT\_OK (ピン7)**: BATOUT\_OK コンパレータ出力。DV<sub>CC</sub> 基準のロジック・レベル出力。BAT\_OUT ピンがハイで通常動作範囲 (クーロン・カウンタが正しく動作する範囲) 内にある場合、このピンはロジック・ハイになります。

**GND (露出パッド・ピン13)**: グラウンド。露出パッドは PCB にハンダ付けする必要があります。

ブロック図

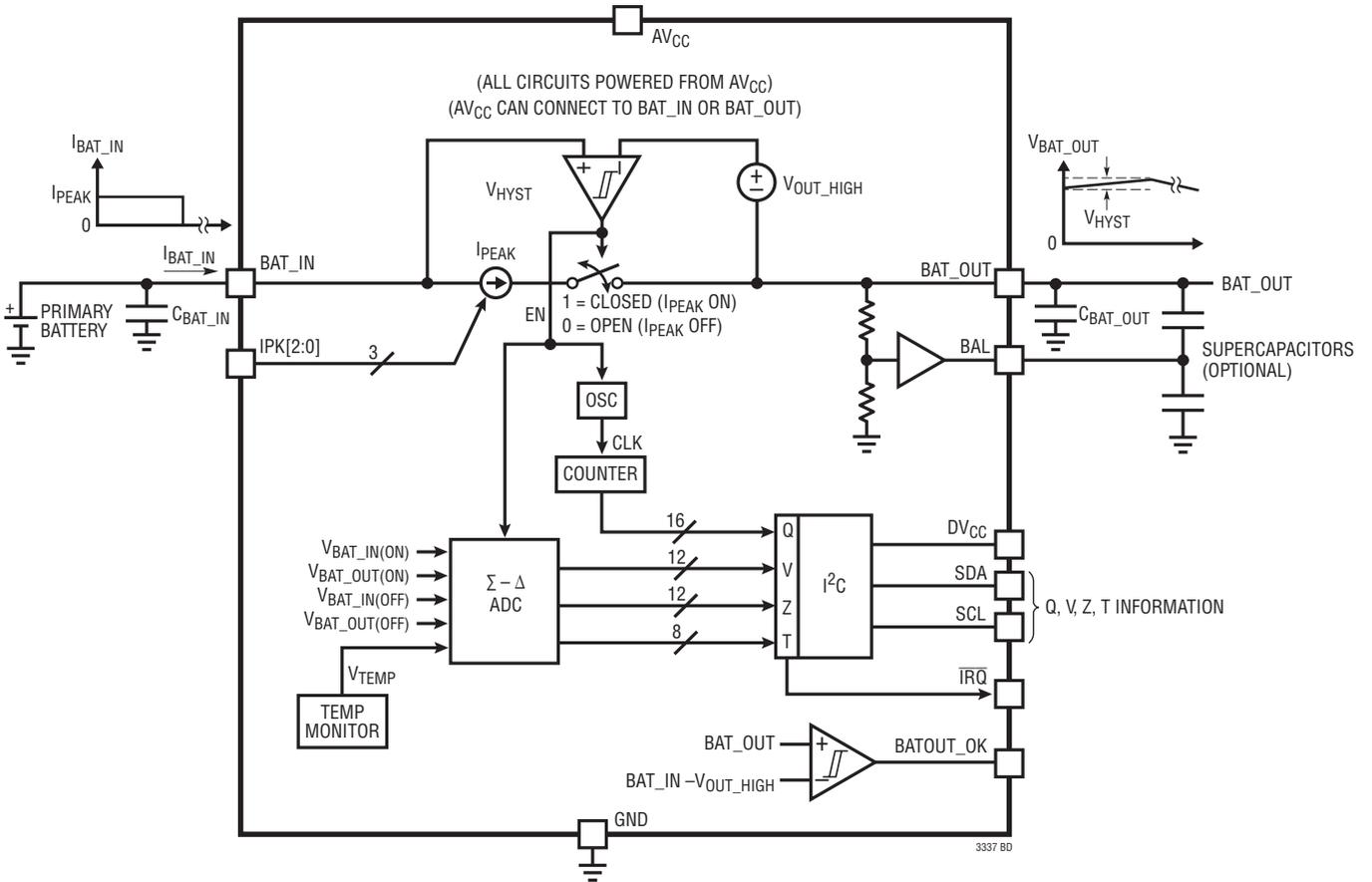


図2. ブロック図

## 動作

### クーロン・カウンタ(Q)

LTC3337は高精度のクーロン・カウンタを内蔵しています。このカウンタは、BAT\_INピンに接続された一次電池からBAT\_OUTピンに接続された出力負荷へ移動する電荷の累積量をモニタします。I<sub>PEAK</sub>は、BAT\_INとBAT\_OUTの間にある低ドロップアウト電流源です。この電流源の値は、入力電流制限値選択ピンIPK [2:0]を介して設定できます(表1を参照)。

表1. I<sub>PEAK</sub>の選択

IPK2	IPK1	IPK0	I <sub>PEAK</sub>
0	0	0	5mA
0	0	1	10mA
0	1	0	15mA
0	1	1	20mA
1	0	0	25mA
1	0	1	50mA
1	1	0	75mA
1	1	1	100mA

図3に示すように、BAT\_OUTがBAT\_IN - V<sub>OUT\_LOW</sub>より小さい場合(ここでV<sub>OUT\_LOW</sub>の公称値は160mV)、電流源がオンになってBAT\_INからBAT\_OUTへ電荷が送られます。BAT\_OUTがBAT\_IN - V<sub>OUT\_HIGH</sub>まで充電されると(ここでV<sub>OUT\_HIGH</sub>の公称値は110mV)、電流源はオフになります。

BAT\_OUTとグラウンドの間に接続するコンデンサは、電流源がオフの間に負荷をサポートします。I<sub>PEAK</sub>が100mAに設定されている場合、このコンデンサの容量は少なくとも100μFとする必要があります。アプリケーション情報セクションの表11を参照してください。

ヒステリシス・コンパレータは、両方の閾値を検出して電流源のタイミングを制御します。1つの状態におけるコンパレータの出力は、I<sub>PEAK</sub>に等しい電流をバッテリーが供給している時間(tp)を表します。この出力は、カウントのインクリメントに使用する周期T(代表値500ns)の発振器をイネーブルします。このカウンタの出力ビットはクーロン量のカウント値を表します。最後の2バイトはI<sup>2</sup>Cを介して読み出せます。

累積電荷量レジスタの最下位ビットによって表される電荷量(q<sub>LSB</sub>)を、8種類すべてのI<sub>PEAK</sub>設定について電気的

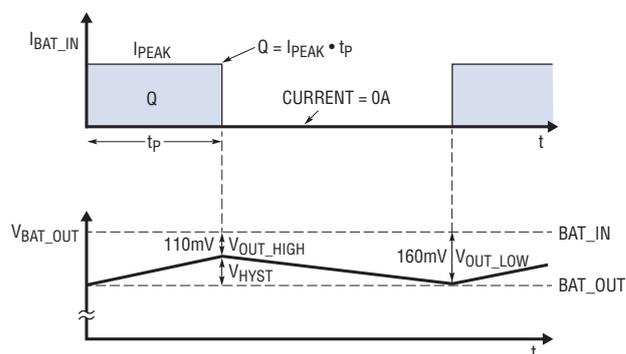


図3. クーロン・カウンタの動作

性の表に示します。プリスケアラ設定はデフォルトです(M = 0)。このデフォルトのプリスケアラ設定は、内部カウンタの最大長を使用します。(式1を参照)。

$$q_{LSB} (M = 0) = \frac{(2^{46} - 1) \cdot I_{PEAK} \cdot T}{65535} \quad (1)$$

### クーロン・カウンタ・プリスケアラMの選択

幅広いバッテリー容量とI<sub>PEAK</sub>電流値に対して適切なデジタル分解能を維持するために、LTC3337はプログラマブル・プリスケアラを内蔵しています。プリスケアラ値は、ビットA [3:0]へ書込みを行うことによって0~15の範囲に設定できます(表3を参照)。デフォルト値は0です。

累積電荷量レジスタBの範囲の大部分を使用できるようにするには、式2に基づき、与えられたバッテリー容量Q<sub>BAT</sub>に合わせてプリスケアラ値(M)を選ぶ必要があります。

$$M = \log_2 \left( \frac{q_{LSB} \cdot 65535}{Q_{BAT}} \right) \quad (2)$$

ここで、Q<sub>BAT</sub>はバッテリー容量、q<sub>LSB</sub>は、選択したI<sub>PEAK</sub>に対して電気的性質の表に示された代表値(M = 0の場合)です。Mは整数でなければならないので、式2の結果は、小数点以下を切り捨てて最も近い整数値に丸める必要があります。Mの最大値は15です。

## 動作

$I_{PEAK}$  値が同じ場合、容量の小さいバッテリーでは、容量の大きいバッテリーの場合よりプリスケール値を大きくする必要があります。同様に、バッテリー容量が同じ場合は、 $I_{PEAK}$  が小さいバッテリーでは、 $I_{PEAK}$  が大きいバッテリーよりプリスケール値  $M$  を小さくする必要があります。累積電荷量レジスタの最下位ビットによって表される電荷量 ( $q_{LSB\_M}$ ) は、式3で与えられます。

$$q_{LSB\_M} = \frac{q_{LSB}}{2^M} \quad (3)$$

ここで、 $q_{LSB}$  は選択した  $I_{PEAK}$  に対して電气的特性の表に示されている代表値です ( $M = 0$ )。

### AV<sub>CC</sub> ピンの接続

AV<sub>CC</sub> ピンは、LTC3337 のすべての内部回路の電源としての役割を果たし、BAT\_IN または BAT\_OUT に接続できます。AV<sub>CC</sub> を BAT\_OUT に接続した場合、クーロン・カウンタは、実質的に BAT\_OUT の出力負荷に匹敵する LTC3337 自体の静止電流に関連するものを含めて、バッテリーから放出されるすべてのクーロン値をカウントします。AV<sub>CC</sub> を BAT\_IN に接続する場合、LTC3337 自体の静止電流は、バッテリーから放出されるクーロン値の誤差となります。しかし、純粋に出力負荷だけに関係するクーロン値は、より正確にカウントされるようになります。これは、出力測定アプリケーションには有利な点となります。この2つめのオプションでは、クーロン・カウンタのすべての測定値に、マイナス1.6%のスケールリング・ファクタを適用する必要があります。

### バッテリー電圧 (V) とバッテリー・インピーダンスのモニタ

LTC3337 は 12 ビットの A/D コンバータ (ADC) を内蔵しており、これは、BAT\_IN ピンのバッテリー電圧、BAT\_OUT ピン電圧、および LTC3337 のダイ温度の測定に使われます。

BAT\_IN ピン電圧は、クーロン・カウンタが既知の  $I_{PEAK}$  パルスを供給しているときにサンプリングされます ( $V_{BAT\_IN(ON)}$ )。ADC は、このサンプル値を  $LSB = 1.465\text{mV}$  で 12 ビット値に変換します。変換時間は標準で 3.5ms です。BAT\_IN 電圧は、クーロン・カウンタが電流を出力していないときにもう一度サンプリングされます ( $V_{BAT\_IN(OFF)}$ )。2 回目の変換

後は、最後に保存された値をレジスタ D ( $V_{BAT\_IN(ON)}$ ) とレジスタ E ( $V_{BAT\_IN(OFF)}$ ) から読み出すことができます。表2、表6、および表7を参照してください。

電圧測定は、AV<sub>CC</sub> の静止電流を最小限に抑えるため 1024 オンサイクルごとに行われます。

バッテリー・インピーダンスは、レジスタ D と E に最後に保存された値に基づき、上に述べた2つの変換値から計算できます ( $Z = (V_{BAT\_IN(OFF)} - V_{BAT\_IN(ON)})/I_{PEAK}$ )。

BAT\_OUT 電圧も  $I_{PEAK}$  電流源がオンになったときにサンプリングされ ( $V_{BAT\_OUT(ON)}$ )、 $I_{PEAK}$  電流源がオフになったときにもう一度サンプリングされます ( $V_{BAT\_OUT(OFF)}$ )。この場合も、2 回目の変換後、最後に保存された値をレジスタ F ( $V_{BAT\_OUT(ON)}$ ) とレジスタ G ( $V_{BAT\_OUT(OFF)}$ ) から読み出すことができます。表2、表8、および表9を参照してください。BAT\_IN 電圧と同様に、これらの電圧測定は、AV<sub>CC</sub> の静止電流を最小限に抑えるため 1024 オンサイクルごとに行われます。

### 温度モニタ (T)

LTC3337 は、それ自体のダイ温度を測定して 8 ビット・レジスタに保存します。この温度測定も 1024 オンサイクルごとに行われます。最後に保存された値は、レジスタ C の 8MSB から読み出すことができます。表2と表5を参照してください。

### I<sup>2</sup>C インターフェース

LTC3337 の 7 ビット・ハード・ワイヤード I<sup>2</sup>C アドレスは、1100100 [R/W] です。LTC3337 はスレーブ専用デバイスです。これは、シリアル・クロック・ライン (SCL) が入力のみ、シリアル・データ・ライン (SDA) が双方向であることを意味します。

### 内部レジスタ

表2に示すように、LTC3337 はサブアドレスが指定された I<sup>2</sup>C レジスタを 8 個内蔵しています。表2～表10に示すように、レジスタ A と H は書込み専用、レジスタ B は読出し／書込み用、レジスタ C、D、E、F、G は読出し専用です。

## 動作

表2. レジスタ・マップ

サブアドレス	レジスタ名	レジスタの説明	R/W	デフォルト
01h	A	プリスケアラ選択、割込みのクリア、クーロン・カウンタのシャットダウン、グロス・テスト、およびクーロン・カウンタのアラーム閾値	W	FF00h
02h	B	累積電荷量、16ビット(読出し)、8ビット(書込み)	R/W	0000h
03h	C	ステータス・レジスタ、ダイ温度	R	0000h
04h	D	I <sub>PEAK</sub> オンのときのBAT_IN電圧	R	0000h
05h	E	I <sub>PEAK</sub> オフのときのBAT_IN電圧	R	0000h
06h	F	I <sub>PEAK</sub> オンのときのBAT_OUT電圧	R	0000h
07h	G	I <sub>PEAK</sub> オフのときのBAT_OUT電圧	R	0000h
08h	H	ダイの低温および高温アラーム	W	00FFh

表3. 書込みレジスタA(アドレス01h)

ビット	レジスタ名	動作	デフォルト
A[3:0]	プリスケアラ・ビット	クーロン・カウンタのプリスケアラリング・ファクタMを0~15に設定	0000
A[4]	Clear_Int	クリア割込み(アラーム・リセット)	0
A[5]	カウンタ・チェック	IRQピンを使用するカウンタ・チェック	0
A[6]	クーロン・カウンタのシャットダウン	バッテリーの範囲拡大	0
A[7]	クーロン・カウンタをオフにしたときのADC変換を設定	A[6]=1のときにバッテリー測定値と温度のADC変換を開始。このビットはADCの測定/変換が終了すると自動的にリセットされる。	0
A[15:8]	アラーム・レベル	バッテリー容量とI <sub>PEAK</sub> 電流の値に基づいてユーザが計算したクーロン・カウンタのアラーム・レベル閾値	FFh

表4. 読出し/書込みレジスタB(アドレス02h)

ビット	レジスタ名	動作	デフォルト
B[15:0]	累積電荷量	カウンタ・データの16MSBをリードバック、8MSB B[15:8]のみ書込み可能	0000h

表5. 読出しレジスタC(アドレス03h)

ビット	レジスタ名	動作	デフォルト
C[0]	クーロン・カウンタのオーバーフロー	プリスケアラの選択が不適切だったことによるクーロン・カウンタの動作異常によりリップル・カウンタがオーバーフロー	0
C[1]	アラーム・トリップ	アキュムレータ・レジスタBの値がレジスタAに設定されたアラーム閾値以上になった	0
C[2]	最小ダイ温度アラーム	ダイ温度がビットH[7:0]で設定した最小ダイ温度に達した	0
C[3]	最大ダイ温度アラーム	ダイ温度がビットH[15:8]で設定した最大ダイ温度に達した	0
C[4]	ADC測定の準備が完了	クーロン・カウンタをオフ(ビットA[7]=1およびビットA[6]=1)にした状態での読出し要求後にADC測定の準備が完了したことを示す このビットは、I <sup>2</sup> Cを介して読み出されると自動的にリセットされる	0
C[7:5]	ピンストラップされたIPIピン	IPK[2:0]ピンのリードバック(起動時のラッチを設定)	000
C[15:8]	DIE_TEMP	ダイ温度測定値の8MSBをリードバック	00h

ダイ温度DIE\_TEMPは式4を使って計算できます。

$$DIE\_TEMP = T_{LSB} \cdot COUNT_C - 41^{\circ}C \quad (4)$$

ここで、T<sub>LSB</sub>は電気的特性の表に示す代表値で、COUNT<sub>C</sub>はレジスタCの8MSBです。

表6. 読出しレジスタD(アドレス04h)

ビット	レジスタ名	動作	デフォルト
D[11:0]	V <sub>BAT_IN(ON)</sub>	I <sub>PEAK</sub> をオンにしたときにBAT_INピンの電圧測定値をリードバック	000000 000000
D[15:12]		未使用	0000

バッテリー電圧V<sub>BAT\_IN(ON)</sub>は、式5を使ってレジスタDのカウント数(COUNT<sub>D</sub>)から求めることができます。

$$V_{BAT\_IN(ON)} = V_{LSB} \cdot COUNT_D \quad (5)$$

ここで、V<sub>LSB</sub>は電気的特性の表に示す代表値です。

## 動作

表7. 読出しレジスタE(アドレス05h)

ビット	レジスタ名	動作	デフォルト
E[11:0]	V <sub>BAT_IN(OFF)</sub>	I <sub>PEAK</sub> をオフにしたときに BAT_IN ピンの電圧測定値をリードバック	000000 000000
E[15:12]		未使用	0000

バッテリー電圧 V<sub>BAT\_IN(OFF)</sub> は、式6を使ってレジスタEのカウンタ数(COUNT<sub>E</sub>)から求めることができます。

$$V_{\text{BAT\_IN(OFF)}} = V_{\text{LSB}} \cdot \text{COUNT}_E \quad (6)$$

ここで、V<sub>LSB</sub> は電気的特性の表に示す代表値です。

バッテリー・インピーダンスは、上に述べた2つの変換値から計算できます ( $Z = (V_{\text{BAT\_IN(OFF)}} - V_{\text{BAT\_IN(ON)}}) / I_{\text{PEAK}}$ )。

表8. 読出しレジスタF(アドレス06h)

ビット	レジスタ名	動作	デフォルト
F[11:0]	V <sub>BAT_OUT(ON)</sub>	I <sub>PEAK</sub> をオンにしたときに BAT_OUT ピンの電圧測定値 BAT_OUT をリードバック	000000 000000
F[15:12]		未使用	0000

BAT\_OUT 電圧 V<sub>BAT\_OUT(ON)</sub> は、式7を使ってレジスタFのカウンタ数(COUNT<sub>F</sub>)から求めることができます。

$$V_{\text{BAT\_OUT(ON)}} = V_{\text{LSB}} \cdot \text{COUNT}_F \quad (7)$$

ここで、V<sub>LSB</sub> は電気的特性の表に示す代表値です。

表9. 読出しレジスタG(アドレス07h)

ビット	レジスタ名	動作	デフォルト
G[11:0]	V <sub>BAT_OUT(OFF)</sub>	I <sub>PEAK</sub> をオフにしたときに BAT_OUT ピンの電圧測定値 BAT_OUT をリードバック	000000 000000
G[15:12]		未使用	0000

BAT\_OUT 電圧 V<sub>BAT\_OUT(OFF)</sub> は、式8を使ってレジスタGのカウンタ数(COUNT<sub>G</sub>)から求めることができます。

$$V_{\text{BAT\_OUT(OFF)}} = V_{\text{LSB}} \cdot \text{COUNT}_G \quad (8)$$

ここで、V<sub>LSB</sub> は電気的特性の表に示す代表値です。

表10. 書込みレジスタH(アドレス08h)

ビット	レジスタ名	動作	デフォルト
H[7:0]	ダイの低温アラーム・レベル	最小温度閾値	00h
H[15:8]	ダイ高温アラーム・レベル	最大温度閾値	FFh

## カウンタ・チェック・テスト

ビット A[5] = 1 に設定すると、累積電荷量レジスタが 0000h からインクリメントするのを待たなくても、クーロン・カウンタが正しく動作していることを確認できます。このモードでは、リップル・カウンタの入力クロックが  $\overline{\text{IRQ}}$  ピンに出力されます。 $\overline{\text{IRQ}}$  ピンの個々の遷移(2つの連続する立上がりエッジ間の時間)によって表されるクーロン値は、 $q_{\text{LSB\_M}}/2^{(24-M)}$  です。ここで、 $q_{\text{LSB}}$  は、I<sub>PEAK</sub> の設定値ごとに電気的特性の表に示されています。

## アラーム

アラームが発生すると、 $\overline{\text{IRQ}}$  ピンがローになります。アラームの原因は、レジスタCを読み出せば知ることができます。アラームは、ビット A[4] に 1 を書き込むことによってクリアできます。割込みクリア・ビット自体は  $\overline{\text{IRQ}}$  ピンで動作が実行された後、自動的にクリアされます。

前のアラームをクリア中に別のアラームが発生した場合は、 $\overline{\text{IRQ}}$  ピンが 1μs(代表値)だけハイになり、その後ローに戻ります。この時点で、割込みクリア・ビット A[4] もゼロにリセットされます。

フォルト/アラーム条件は4種類あります。

- プリスケアラ(M)の値選択が不適切だったことによってクーロン・カウンタがオーバーフローし(C[0]がハイ)、更にリップル・カウンタがオーバーフローした場合。アラームがクリアされた後は  $\overline{\text{IRQ}}$  ピンが 1μs だけ解放され、その後はレジスタCが低い値で上書きされない限り、再びローになります。
- リップル・カウンタの 8MSB がレジスタAの 8MSB(クーロン・カウンタのアラーム閾値)以上になって、プリセットされたアラーム・レベルに達した場合(C[1]がハイ)。アラームをクリアするには、A[15:8]のアラーム閾値を増やしてビット A[4] に 1 を書き込む必要があります。このアラーム閾値のチェックは、アキュムレータ・レジスタの LSB が変化した場合、あるいは I<sup>2</sup>C を介してレジスタBま

## 動作

たはレジスタAへの書込みが実行された場合のみ行われます。したがって、レジスタAまたはB、もしくはその両方を変更することなくビットA[4]を1に設定してアラーム割込みをクリアした場合で、なおかつI<sub>PEAK</sub>電流源が長時間オフになっている間にこれを行った場合は、 $\overline{\text{IRQ}}$ ピンがクリアされて、レジスタBのLSBビットが再び変更されるまでハイに戻ることはありません。これには複数のI<sub>PEAK</sub>サイクルが必要です。

3. C[15:8]の測定ダイ温度がレジスタHに設定された低温閾値以下になって、ダイ温度アラームの低温閾値に達した場合(C[2]がハイ)。
4. C[15:8]の測定ダイ温度がレジスタHに設定された高温閾値以上になって、ダイ温度アラームの高温閾値に達した場合(C[3]がハイ)。

### バッテリー範囲を2V未満まで拡大

クーロン・カウンタの動作中、BAT\_OUT電圧は、制御されている量(通常は110mV~160mV)だけBAT\_IN電圧より低くなります。クーロン・カウンタが正常に動作する下限の電圧は、BAT\_INが2V、BAT\_OUTが1.8Vですが、BAT\_INの範囲は、A[6] = 1に設定することによって2.0V未満まで多少広げることができます。この操作を行うとクーロン・カウンタとピーク電流制限値I<sub>PEAK</sub>がディスエーブルされ、BAT\_INとBAT\_OUTの間が低インピーダンスで接続されます。

このモードでは電流制限回路がディスエーブルされるので、BAT\_OUTピンの絶対最大電流定格を超えないよう注意が必要です。このモードは任意のBAT\_IN電圧で使用できますが、本来は、「最後の抵抗」として、寿命間際の2V以下に低下した電圧で動作を確保することだけを意図したものです(また、このためにだけ使用することを推奨します)。

温度モニタとBAT\_IN電圧モニタは、BAT\_INが1.8Vに低下するまで機能します。これらの値は、I<sup>2</sup>Cを介して読出しコマンドを送出することにより、要求に応じて読み出すことができます。

### スーパーキャパシタ・バランサ(オプション)

BAT\_OUTピンからの静止電流が62nAの内蔵スーパーキャパシタ・バランサを使用して、BAT\_OUTピンに接続したスーパーキャパシタ2個のスタックのバランスを取ることができます。BALピンはスタックの中央に接続され、10mAの電流をソースまたはシンクして、BALピン電圧をBAT\_OUTピン電圧の半分の電圧にレギュレーションすることができます。バランサとそれに伴う静止電流をディスエーブルするには、BALピンをグラウンドに接続します。

### スーパーキャパシタの利点

スーパーキャパシタは、急速な充電/放電サイクルを数多く必要とする様々なパワー・マネージメント・アプリケーションにおいて、短時間の電力需要に対応するために使われます。スーパーキャパシタには多くの利点があります。例えば、サイクル寿命が長いことや、等価直列抵抗が小さいので電力密度も負荷電流も大きく、数秒ですぐに充電できることなどです。

欠点の1つはエネルギー密度が小さいことです。したがって、継続的な電源として使用することはできません。また、1つのセルの最大電圧も通常は2.7Vに過ぎません。これより高い電圧が必要な場合は、もう1つのセルを直列に接続する必要があります。

## アプリケーション情報

## BAT\_OUT コンデンサの選択

BAT\_OUT とグラウンドの間には最小限の容量 ( $C_{OUT}$ ) が必要です。このコンデンサは  $I_{PEAK}$  パルスのオン時間とオフ時間を決定します。その値は、BAT\_OUT ピンの最大電流負荷と  $I_{PEAK}$  設定に基づいて選択する必要があります。クーロン・カウンタの精度を最大限に高めるには、 $I_{PEAK}$  の最小オン/オフ時間を  $50\mu\text{s}$  とすることを推奨します (式9を参照)。

$$I_{PEAK\_ON} \text{ time(min)} = \frac{C_{OUT} \cdot V_{HYST}}{I_{PEAK}}$$

$$I_{PEAK\_OFF} \text{ time(min)} = \frac{C_{OUT} \cdot V_{HYST}}{I_{LOAD(MAX)}} \quad (9)$$

ここで、 $V_{HYST}$  は、 $V_{OUT\_HIGH}$  と  $V_{OUT\_LOW}$  の間の電圧リップル値です。図3を参照してください。ヒステリシスの公称設定値は  $50\text{mV}$  です。

$I_{PEAK}$  設定が  $100\text{mA}$ 、最大負荷電流が  $100\text{mA}$  の場合は、 $100\mu\text{F}$  の  $C_{OUT}$  コンデンサが推奨されます。他の  $I_{PEAK}$  設定に対する推奨  $C_{OUT}$  値については、表11を参照してください。

表11. 各  $I_{PEAK}$  選択値に対する推奨最小  $C_{OUT}$  値

IPK2	IPK1	IPK0	$I_{PEAK}$	RECOMMENDED $C_{OUT}$
0	0	0	5mA	4.7 $\mu\text{F}$
0	0	1	10mA	10 $\mu\text{F}$
0	1	0	15mA	15 $\mu\text{F}$
0	1	1	20mA	22 $\mu\text{F}$
1	0	0	25mA	33 $\mu\text{F}$
1	0	1	50mA	47 $\mu\text{F}$
1	1	0	75mA	82 $\mu\text{F}$
1	1	1	100mA	100 $\mu\text{F}$

$V_{OUT\_HIGH}$  と  $V_{OUT\_LOW}$  の閾値はDCレベルです。ヒステリシス・コンパレータには有限の遅延があることから、アプリケーションに見られる実際のAC値はこれらのレベルとは異なったものとなります。

## バッテリーのESRと電圧リップル

BAT\_IN と BAT\_OUT 間のリップル電圧もバッテリーのESR値に影響されます。クーロン・カウンタの精度を最大限に高めるには、 $ESR \cdot I_{PEAK}$  の値がヒステリシスよりはるかに小さいバッテリーを選ぶことを推奨します。 $ESR \cdot I_{PEAK}$  がヒステリシスより大きい場合は、 $I_{PEAK}$  パルスの幅が非常に小さくなります。この幅が代表値で  $3\mu\text{s}$  より短い場合は、ADCがBAT\_IN と BAT\_OUT の電圧を正確に測定できなくなります。代替策の1つは、BAT\_IN コンデンサの容量を少なくとも  $10\mu\text{F}$  に増やすことです。入力コンデンサは、 $I_{PEAK}$  パルスの幅を増やす助けとなります。BAT\_IN コンデンサが大きすぎると、 $I_{PEAK}$  をオン/オフした場合のBAT\_IN電圧の変化率が低下するので、バッテリー・インピーダンスの測定精度が損なわれます。

## BAT\_OUTの最大負荷

BAT\_OUT の最大連続負荷を  $I_{PEAK}$  より大きくすることはできません。大きくすると出力のレギュレーションが失われます。ただし最大瞬間負荷については、全体的な平均負荷が既定値以下である限り、短時間であれば  $I_{PEAK}$  を超えても問題はありません。「バースト」時には、BAT\_OUT コンデンサによって余分な電流が流れ、BAT\_OUT電圧がわずかに低下します。このバーストの長さや許容できるBAT\_OUT電圧低下の大きさによって、BAT\_OUTコンデンサの必要サイズが決まります。

ビットA[6]=1の低電圧動作 (BAT\_INが約2V) の場合、最大負荷は  $I_{PEAK}$  によってではなく、BAT\_OUTピン自体の対最大定格によって制限されます。

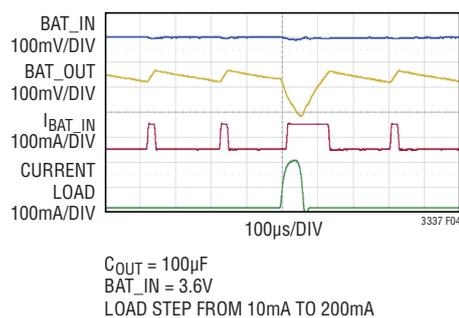


図4. 大きい瞬時電流が加わった場合のBAT\_OUT負荷ステップ・トランジェント

## アプリケーション情報

### I<sup>2</sup>C インターフェース

LTC3337は、標準的なI<sup>2</sup>C 2線式シリアル・インターフェースを使ってバス・マスタと通信します。バス上の信号間の関係をタイミング図(図1)に示します。

バスを使用していないときは、2つのバス・ラインSDAとSCLがハイになっていなければなりません。これらのラインには外付けのプルアップ抵抗が必要です。I<sup>2</sup>C制御信号SDAとSCLは、DV<sub>CC</sub>電源を内部的な基準として使用します。DV<sub>CC</sub>は、バスのプルアップ抵抗と同じ電源に接続する必要があります。

DV<sub>CC</sub>は、AV<sub>CC</sub>または別体の1.8V~5.5V外部電源に接続できます。

### バス速度

I<sup>2</sup>Cポートは、最大400kHzの速度で動作するように設計されています。ポートには、I<sup>2</sup>Cに準拠したマスタ・デバイスからアドレス指定された場合に正しく動作するように、遅延が組み込まれています。また、グリッチを抑制するように設計された入力フィルタも含まれています。

### START条件とSTOP条件

バス・マスタは、START条件を送信することによって通信開始を知らせます。START条件は、SCLがハイのときにSDAをハイからローに遷移させることによって生成されます。マスタは、スレーブ書込みアドレスまたはスレーブ読出しアドレスのどちらかを送信します。LTC3337にデータが書き込まれると、マスタは、新しいコマンド・セットに対応するようLTC3337に指示するSTOP条件を送信します。STOP条件は、SCLがハイのときにSDAをローからハイに遷移させることによって生成されます。

### バイト・フォーマット

LTC3337との間で送受信する各フレームは8ビット長でなければならず、最初に最上位ビット(MSB)を送る必要があります。この8ビットの後には、アクノレッジ・ビット用の追加クロック・サイクルが続きます。読出しデータや書込みデータは常に2バイトで、最下位バイトが最上位バイトより先に送られます。

### マスタおよびスレーブのトランスミッタとレシーバー

I<sup>2</sup>Cバスに接続されたデバイスは、マスタまたはスレーブのどちらかに分類できます。標準的なバスは、1つ以上のマスタ・デバイスと複数のスレーブ・デバイスで構成されます。

一部のデバイスはマスタまたはスレーブのどちらとしても動作できますが、トランザクションの進行中にその役割を変更することはできません。

トランスミッタとレシーバーの関係は、マスタとスレーブの関係とは異なるものです。トランスミッタは、各フレームの8ビット・データ部分が送信される間、SDAラインを制御します。レシーバーは、各フレームの9番目のビットと最後のアクノレッジ・クロック・サイクルが送信される間、SDAラインを制御します。

すべてのトランザクションは、マスタがSTART条件または反復START条件を使用して開始します。マスタは、そのステータスがトランスミッタなのかレシーバーなのかに関わらず、SCLの各クロック・パルスのアクティブ(立下がり)エッジを制御します。スレーブ・デバイスがSCLをローにすることはありません。

LTC3337はクロック・ストレッチを行わず、どのような状況でもSCLをローに保持することはありません。

マスタ・デバイスは、トランスミッタとして各I<sup>2</sup>Cトランザクションを開始し、スレーブ・デバイスはレシーバーとして各トランザクションを開始します。バス書込み動作の場合、そのトランザクションの間にマスタはトランスミッタとして動作し、スレーブはレシーバーとして動作します。バス読出し動作の場合、マスタとスレーブは、アドレス・フレーム後のトランザクションの残りの部分では送信/受信の役割を交換します。

### アクノレッジ

アクノレッジ信号(ACK)は、トランスミッタとレシーバーの間のハンドシェイクに使われます。LTC3337に書込みを行うと、LTC3337は、その書込みアドレスおよび後続のデータ・バイトに対しスレーブ・レシーバーとしてアクノレッジを返します。LTC3337から読出しを行うと、LTC3337は、その読出しアドレスに対しスレーブ・レシーバーとしてアクノレッジを返します。その後LTC3337はスレーブ・トランスミッタとなり、マスタ・レシーバーは必要に応じ、LTC3337から送られてくる後続データ・バイトに対して受信のアクノレッジを返します。

## アプリケーション情報

アクノレッジに関連するクロック・パルスは、必ずバス・マスタによって生成されます。トランスミッタ(マスタまたはスレーブ)は、アクノレッジ・クロック・サイクル中はSDAラインを解放します(ハイ)。

アクノレッジ・クロック・パルスがハイの間にSDAラインがロー状態で安定するよう、レシーバー(スレーブまたはマスタ)は、このクロック・パルス中はSDAラインをプルダウンします。

LTC3337から読出しを行う場合は、マスタがデータ受信のアクノレッジを返せるように、LTC3337は8番目のデータ・ビットの後でSDAラインを解放します。I<sup>2</sup>C仕様では、読出しトランザクション中の最後のデータ・バイトの後に、マスタ・レシーバーが否定応答(NACK)を送信する必要があります。NACKを受信すると、スレーブ・トランスミッタはバスの制御を解放するように指示されます。LTC3337はいかなる状況でも2バイトのデータを送信するので、マスタがLTC3337からの送信データにアクノレッジや否定応答を返しても何の結果ももたらしません。LTC3337は、どちらの場合も2バイトの後でバスを解放します。

### スレーブ・アドレス

LTC3337は7ビット・アドレスに対応しており、製造時に1100100[R/W]に設定されています。アドレス・バイトのLSBは読出し/書き込みビットと呼ばれ、LTC3337へデータを書き込むときは0、LTC3337からデータを読み出すときは1にします。アドレスを8ビット・ワードと考えると、書き込みアドレスは0xC8、読出しアドレスは0xC9です。

LTC3337は、読出しアドレスと書き込みアドレスの両方にアクノレッジを返します。

### サブアドレス・アクセス

LTC3337は、5つの読出しレジスタ、2つの書き込みレジスタ、1つの読出し/書き込みレジスタを備えています。これらのレジスタへのアクセスはI<sup>2</sup>Cポートによって行われ、それぞれのサブアドレス値がLTC3337内にある8つのレジスタのうちの1つを指定します。サブアドレスについては表2を参照してください。

サブアドレス・ポインタは、バス書き込み動作時にLTC3337の書き込みアドレスの直後に書き込まれる最初のバイトです。サ

FROM MASTER TO SLAVE  
FROM SLAVE TO MASTER

A: ACKNOWLEDGE (LOW)  
A: NOT ACKNOWLEDGE (HIGH)  
S: START CONDITION  
P: STOP CONDITION  
R: READ BIT (HIGH)  
W: WRITE BIT (LOW)

S	ADDRESS	W	A	REGISTER	A	S	LSBYTE				MSBYTE			
							ADDRESS	R	A	DATA	A	DATA	A	P
	1100100	0	0	02h	0		1100100	1	0	80h	0	01h	1	

EXAMPLE: READ REGISTER B (SUB-ADDR 02h) → DATA READ: 0180h → 00000001 10000000

S	ADDRESS	W	A	REGISTER	A	LSBYTE				MSBYTE			
						DATA	A	DATA	A	DATA	A	P	
	1100100	0	0	01h	0	F0h	0	01h	0				

EXAMPLE: WRITE REGISTER A (SUB-ADDR 01h) → DATA WRITTEN: 01F0h → 00000001 11110000

3337 F05

図5. I<sup>2</sup>Cの読出しおよび書き込みプロトコル

ブアドレス・ポインタ値はバス書き込み動作後も残り、後続のバス読出し動作時にLTC3337が返すデータ・バイトを決定します。図5を参照してください。

### バス書き込み動作

バス・マスタは、START条件とLTC3337の書き込みアドレスを使ってLTC3337との通信を開始します。

アドレスがLTC3337のアドレスと一致すると、LTC3337はアクノレッジを返します。バス・マスタは続いてサブアドレスを送ります。LTC3337がサブアドレスのアクノレッジ・ビットを返すと、サブアドレス値がLTC3337内の専用ポインタ・レジスタに転送されます。

マスタが書き込みトランザクションを続行する必要がある場合は、続いて2データ・バイトを送信します。LTC3337が両方のデータ・バイトにアクノレッジを返すと、このデータ・バイトはサブアドレス・ポインタの位置にある内部保留データ・レジスタに転送されます。アクノレッジ・ビットは各バイトの最後に送られます。この時点でLTC3337は新しいサブアドレスを受信できる状態になり、必要に応じて[サブアドレス][データ-バイト1][データ-バイト2]のサイクルを繰り返します。マスタは、反復START条件またはSTOP条件を使ってLTC3337との通信を終了します。マスタが反復START条件を開始した場合は、LTC3337のアドレス、またはI<sup>2</sup>Cバス上にあるその他のデバイスのアドレスを指定できます。

LTC3337は各サブアドレス位置で受信した有効データの最後の入力を記憶しますが、処理はしません。

## アプリケーション情報

このサイクルは無期限に続けることもできます。バス上のすべてのデバイスのアドレスが指定されて有効なデータが送られると、グローバル STOP 信号を送ることができます。この場合、LTC3337はそれ以前に受信した最新の保留データを使い、そのすべてのコマンド・レジスタを直ちに更新します。

### バス読出し動作

それぞれのバス読出し動作中にアクセスできるサブアドレス・データ・レジスタは、1つだけです。LTC3337が返すデータは、サブアドレス・ポインタ・レジスタの内容によって指定されたデータ・レジスタからのものです。ポインタ・レジスタの内容は前のバス書込み動作によって決まります。バス読出し動作を準備する場合は、バス・マスタがSTOP条件または反復START条件を使用して、書込みトランザクションを早めに終了した方が有利なことがあります。この場合、最後に送信されたバイトは、その後のバス読出し動作の対象となるレジスタへのポインタを表します。

バス・マスタは、START条件または反復START条件とそれに続くLTC3337の読出しアドレスを使って、LTC3337のステータス・データを読み出します。読出しアドレスがLTC3337のアドレスと一致すると、LTC3337はアクノレッジを返します。

読出しアドレスのアクノレッジに続き、LTC3337は、サブアドレス・ポインタによって選択されたレジスタからの次の8クロック・サイクルのそれぞれに対して、1ビットの状態情報を返します (LSBファーストのデータ・バイト)。最初の8ビット後とLTC3337が2つめのデータ・バイト (MSB) を返した後の1クロック・サイクルの間、SDAラインはハイのままになります。また、2データ・バイトが読み出された後のマスタからの追加クロック・サイクルの間も、SDAラインはハイのままになります。LTC3337は、その読出しアドレスを除いて、バス読出し動作時のバイトにはアクノレッジを返しません。

別のレジスタを読み出すには、読出しトランザクションを繰り返す前に、STARTまたは反復STARTと、それに続くLTC3337の書込みアドレスおよびサブアドレス・ポインタ・バイトを使って、書込みトランザクションを開始する必要があります。

サブアドレス・ポインタ・レジスタの内容が書込み専用レジスタ (A, H) をポイントしている場合、最後のSTOP条件以降にその位置にあるコマンド・データが変更されていれば、バス

読出し動作で返されるデータはその保留コマンド・データになります。STOP条件の後には、すべての保留データがコマンド・レジスタにコピーされて、直ちに有効になります。

サブアドレス・ポインタ・レジスタの内容が書込み／読出し可能なコマンド・レジスタBをポイントしている場合、バス読出し動作で返されるデータは、前の書込み動作の保留コマンド・データではなく、その位置のデータになります。STOP条件の後には、すべての保留データがコマンド・レジスタにコピーされて直ちに有効になり、その後の読出し動作で、それらの有効なデータを読み出すことができます。

サブアドレス・ポインタ・レジスタの内容が読出し専用レジスタ (C, D, E, F, G) をポイントしている場合、返されるデータは特定時点のLTC3337の状態を示すスナップショットになります。保留されている割り込み要求がない場合は、LTC3337がその読出しアドレスにアクノレッジを返す際、つまりバス読出し動作中にLTC3337がデータ送信を始める直前に、ステータス・データがサンプリングされます。ADC変換中またはI<sub>PEAK</sub>パルスの際に読出しアドレスにアクノレッジが返された場合、レポートされるステータス・データは、前のAC変換時のものか、最後のI<sub>PEAK</sub>パルス終了時のものになります。

アラーム／フォルトが発生すると $\overline{IRQ}$ ピンがローに駆動され、その時点でデータがアラーム・レジスタCのビットC[3:0]にラッチされます。その後のレジスタCからのすべての読出し動作では、このC[3:0]ビットの固定データが返されるので、割り込み要求の理由を特定するのが容易になります。

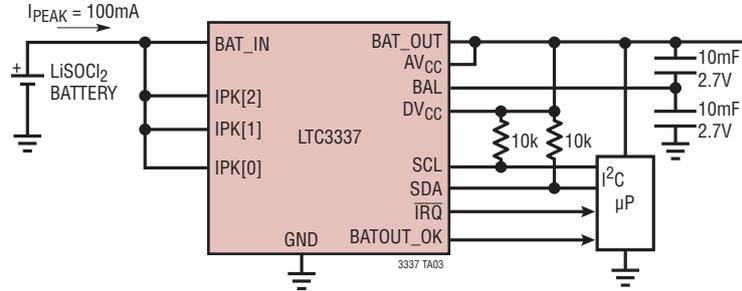
バス・マスタがLTC3337の割り込み要求をクリアすると、ビットC[3:0]のステータス・ラッチもクリアされます。その後のバス読出し動作でも、読出しアドレスにアクノレッジを返した時点、ADC変換後、I<sub>PEAK</sub>パルス後、または次の割り込みがアサートされた時点のうち、いずれか先に発生したケースにおけるデータのスナップショットが返されます。

### PCボード・レイアウト

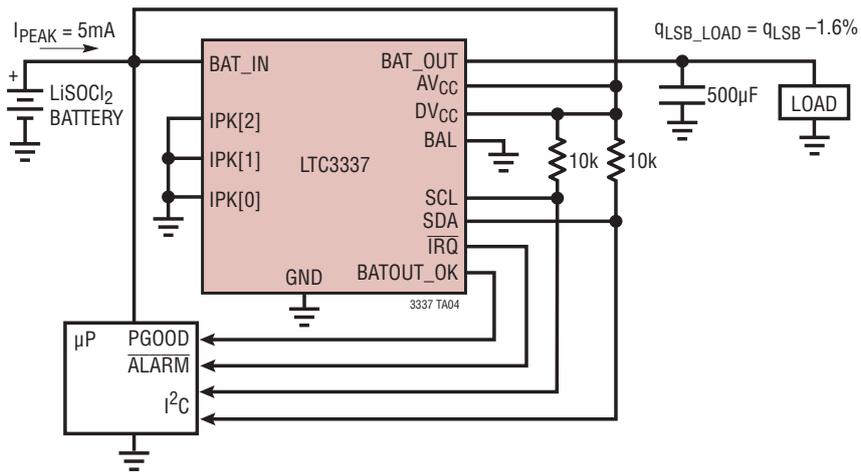
超低消費電流での動作が可能であるにも関わらず、LTC3337のすべての高インピーダンス・ノードはICに内蔵されているので、特別なレイアウトは必要ありません。入力コンデンサの正端子はBAT<sub>IN</sub>ピンに、出力コンデンサの正端子はBAT<sub>OUT</sub>ピンにできるだけ近付けて接続してください。負端子は、共にGNDピンにできるだけ近付けて接続します。

## 標準的応用例

スーパーキャパシタを使用した高負荷ピーク電流のマイクロプロセッサ・アプリケーション

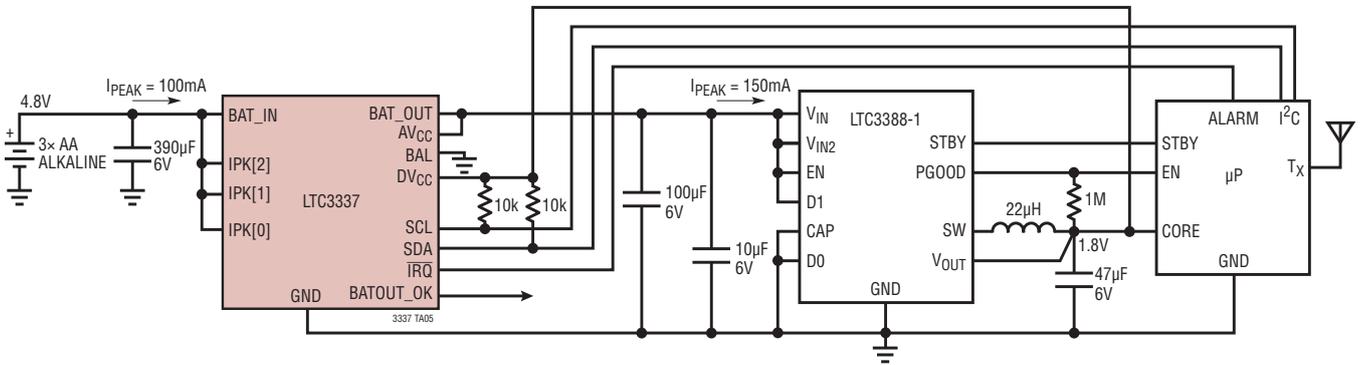


出力電力測定アプリケーション

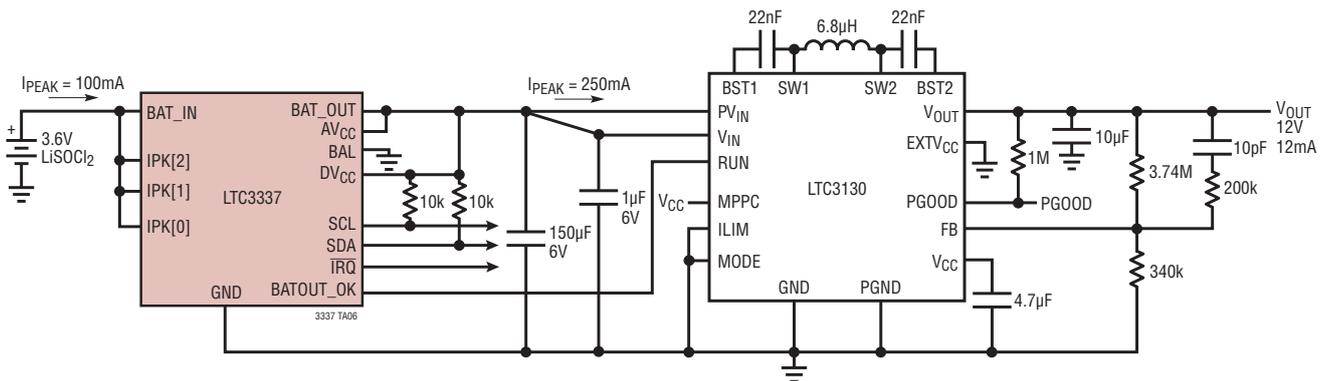


標準的応用例

降圧コンバータとマイクロプロセッサに電力を供給する高 ESR バッテリ、  
ワイヤレス・トランスミッタを使用、すべてのクーロン値をカウント

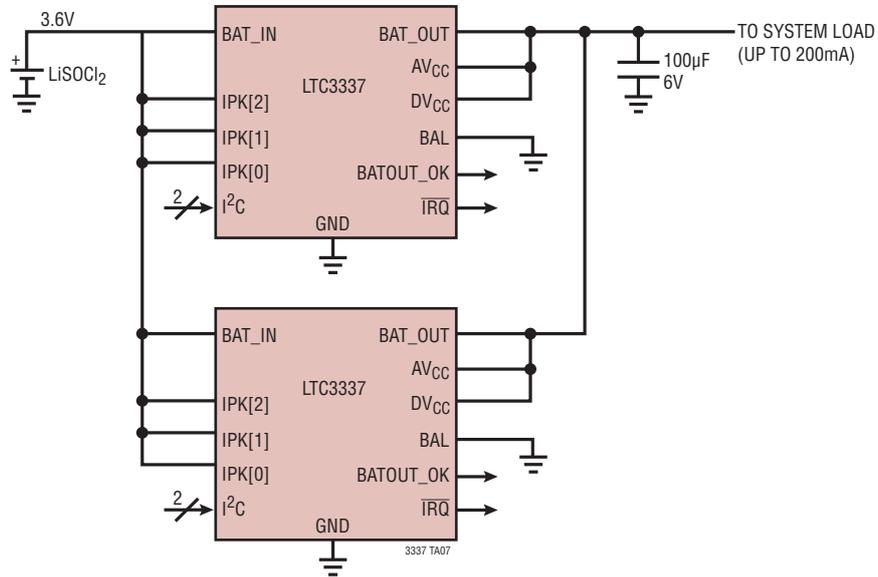


12V コンバータを使用した一次バッテリ SOH モニタ



## 標準的応用例

高電流負荷用に2つのLTC3337を並列接続

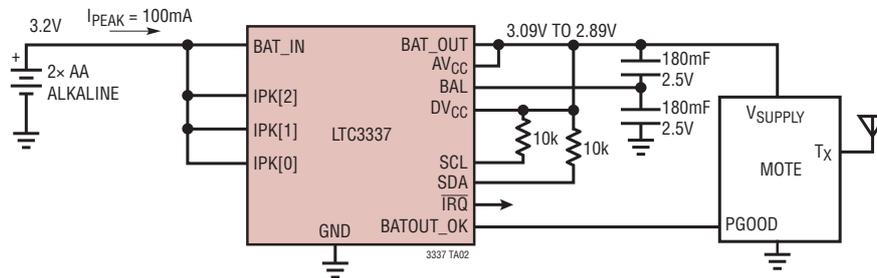


NOTE: SINCE THE TWO LTC3337 HAVE THE SAME I<sup>2</sup>C ADDRESS, EXTERNAL CHIP SELECT LOGIC MUST BE IMPLEMENTED TO INDIVIDUALLY ADDRESS THEM.



## 標準的応用例

### スーパーキャパシタを使用したワイヤレス・メッシュ・ネットワーク用 SmartMesh モード



## 関連製品

製品番号	概要	注釈
LTC2941	I <sup>2</sup> C インターフェースを備えたバッテリー・ガス・ゲージ	2.7V~5.5V 動作、ハイサイド R <sub>SENSE</sub> 、検出電圧範囲:±50mV、電荷量精度:1%
LTC2941-1	検出抵抗を内蔵した 1A I <sup>2</sup> C バッテリー・ガス・ゲージ	2.7V~5.5V 動作、50mΩ のハイサイド R <sub>SENSE</sub> を内蔵、検出電流範囲:±1A、電荷量精度:1%
LTC2942	温度、電圧測定機能付きバッテリー・ガス・ゲージ	14 ビット ΔΣ-ADC、LTC2941 とピン互換
LTC2942-1	温度/電圧測定機能を備えた検出抵抗内蔵型 1A バッテリー・ガス・ゲージ	14 ビット ΔΣ-ADC、LTC2941-1 とピン互換
LTC2943	温度、電圧、電流測定機能付きマルチセル・バッテリー・ガス・ゲージ	3.6V~20V 動作、ハイサイド R <sub>SENSE</sub> 、検出電圧範囲:±50mV、14 ビット ΔΣ-ADC、電圧/電流/電荷量精度:1%
LTC3129/ LTC3129-1	マイクロパワー 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~15V、I <sub>Q</sub> = 1.3μA、I <sub>SD</sub> = 10nA、MSOP-16E、3mm × 3mm QFN-16 パッケージ
LTC3130	25V、600mA、1.6μA 静止電流の昇降圧 DC/DC コンバータ	V <sub>IN</sub> : 2.4V~25V、V <sub>OUT</sub> : 1V~25V、I <sub>Q</sub> = 1.2μA、I <sub>SD</sub> = 500nA、20 ピン 3mm × 4mm QFN パッケージと 16 ピン MSOP パッケージ
LTC3330	エナジー・ハーベスティング・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>IN</sub> : 2.7V~20V、BAT: 1.8V~5.5V、750nA I <sub>Q</sub> 、5mm × 5mm QFN-32 パッケージ
LTC3331	エナジー・ハーベスティング・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 <sub>IN</sub> : 2.7V~20V、バッテリー・フロート電圧: 3.45V/4V/4.1V/4.2V、950nA I <sub>Q</sub> 、5mm × 5mm QFN-32 パッケージ
LTC3335	クーロン・カウンタを内蔵したナノパワー昇降圧 DC/DC コンバータ	V <sub>IN</sub> : 1.8V~5.5V、680nA I <sub>Q</sub> 、3mm × 4mm QFN-20 パッケージ
LTC3388-1/ LTC3388-3	20V、50mA の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、MSOP-10、3mm × 3mm DFN-10 パッケージ
LTC3588-1/ LTC3588-2	最大出力電流 100mA のナノパワー・エナジー・ハーベスティング電源	V <sub>IN</sub> : 2.7V~20V、V <sub>OUT</sub> : 固定 1.8V~5V、I <sub>Q</sub> = 950nA、I <sub>SD</sub> = 450nA、MSOP-10、3mm × 3mm DFN-10 パッケージ
LTC4150	クーロン・カウンタ/バッテリー・ガス・ゲージ	2.7V~8.5V 動作、ハイサイド R <sub>SENSE</sub> 、検出電圧範囲:±50mV