

INA2227 I²C インターフェイスを備えた 48V、デュアルチャネル、16 ビット、電流、電圧、電力、電力量モニタ

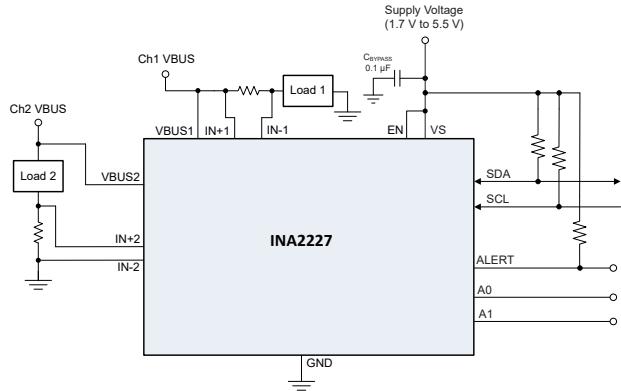
1 特長

- ハイサイドまたはローサイド電流センシング
- 1.7V～5.5V 電源で動作
- 電流、電圧、電力、電力量を報告
- プログラム可能なフルスケール レンジ: 20mV/80mV
- 入力同相範囲: -0.3V ~ 48V
- 電流監視精度:
 - 16 ビット ADC 分解能
 - ゲイン誤差 0.5% (最大値)
 - オフセット 75 μ V (最大値)
- 電力監視精度:
 - 1% フルスケール (最大値)
- 電力量監視精度:
 - 1.5% フルスケール (最大値)
- 低い入力バイアス電流: 5nA (最大値)
- 小さい無効化時電流: 50nA (最大値)
- 平均化オプションを構成可能
- アラート限界値による過電流および低電流イベント
- 1.2V 互換の I²C、SMBus インターフェイス
- ピンで選択可能な 16 つのアドレス
- DSBGA-16 パッケージ (1.5mm × 1.5mm)

2 アプリケーション

- ノート PC
- セキュリティ カメラ
- リテール オートメーション
- パワー・マネジメント
- バッテリ セル モニタとバランサ
- ラック サーバー
- eFuse 電流および電力の監視

代表的なアプリケーション



3 説明

INA2227 デバイスは、1.2V ~ 5V のデジタル バス電圧に対応した I²C/SMBus 互換インターフェイスを備えたデュアル チャネル 16 ビット デジタル電流モニタです。このデバイスは、外付けの検出抵抗の両端の電圧を監視し、各チャネルのシャント電圧、バス電圧、電流、電力、電力量の値を報告します。

INA2227 は、プログラム可能な ADC 変換時間と、すべてのチャネルに共通する平均化機能を特長としています。各チャネルはプログラム可能な較正値と内蔵乗算器を持っているため、電流 (A)、電力 (W)、電力量 (J) の数値を直接読み出すことができます。各チャネルにはバス電圧を監視するための専用 VBUS ピンがあり、過電流および低電流状態、ならびに過電圧および低電圧状態アラートでを発することができます。電流測定モードでは入力インピーダンスが高いため、値の小さいシステム電流を測定するのに必要とされる、より大きな電流検出抵抗を使用できます。

INA2227 は、電源電圧とは無関係に、-0.3V~48V の同相バス電圧の電流を検出できます。本デバイスは 1.7V~5.5V の単一電源で動作し、通常動作時に 400 μ A (標準値) の電源電流を消費します。本デバイスは、動作電流が 2.5 μ A (標準値) の低消費電力スタンバイ モードに移行させることができ、イネーブル ピンを使って完全に無効化することで、50nA 未満の消費電流を実現できます。このデバイスは -40°C~125°C の動作温度範囲で動作が規定されており、最大 16 つのアドレスをプログラム可能です。

パッケージ情報

部品番号	パッケージ ⁽¹⁾	パッケージ サイズ ⁽²⁾
INA2227	YBJ (DSBGA, 16)	1.5mm × 1.5mm

- (1) 供給されているすべてのパッケージについては、[セクション 11](#) を参照してください。
 (2) パッケージ サイズ (長さ × 幅) は公称値であり、該当する場合はピンを含みます。



このリソースの元の言語は英語です。翻訳は概要を便宜的に提供するもので、自動化ツール (機械翻訳) を使用していることがあり、TI では翻訳の正確性および妥当性につきましては一切保証いたしません。実際の設計などの前には、ti.com で必ず最新の英語版をご参照くださいますようお願いいたします。

目次

1 特長	1	6.5 プログラミング	16
2 アプリケーション	1	7 レジスタ マップ	18
3 説明	1	7.1 デバイスのレジスタ	18
4 ピン構成および機能	3	8 アプリケーションと実装	26
5 仕様	4	8.1 アプリケーション情報	26
5.1 絶対最大定格	4	8.2 代表的なアプリケーション	32
5.2 ESD 定格	4	8.3 電源に関する推奨事項	34
5.3 推奨動作条件	4	8.4 レイアウト	35
5.4 熱に関する情報	4	9 デバイスおよびドキュメントのサポート	36
5.5 電気的特性	5	9.1 デバイス サポート	36
5.6 タイミング要件 (I ² C)	7	9.2 ドキュメントのサポート	36
5.7 タイミング図	7	9.3 ドキュメントの更新通知を受け取る方法	36
5.8 代表的特性	8	9.4 サポート・リソース	36
6 詳細説明	12	9.5 商標	36
6.1 概要	12	9.6 静電気放電に関する注意事項	36
6.2 機能ブロック図	12	9.7 用語集	36
6.3 機能説明	12	10 改訂履歴	36
6.4 デバイスの機能モード	14	11 メカニカル、パッケージ、および注文情報	37

4 ピン構成および機能

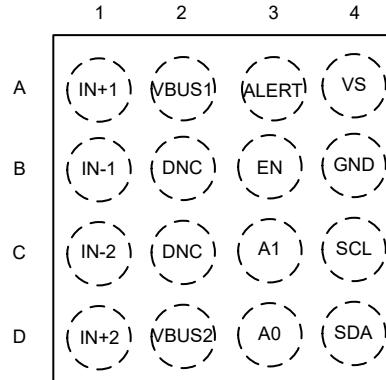


図 4-1. YBJ パッケージ 16 バンプ DSBGA (上面図)

表 4-1. ピンの機能

ピン		タイプ	説明
名称	YBJ (DSBGA)		
A0	D3	デジタル入力	アドレスピン。GND、SCL、SDA、または VS に接続します。ピンの設定と対応するアドレスの一覧を、表 6-1 に示します。
A1	C3	デジタル入力	アドレスピン。GND、SCL、SDA、または VS に接続します。ピンの設定と対応するアドレスの一覧を、表 6-1 に示します。
ALERT	A3	デジタル出力	多機能アラート、オープンドレイン出力。このピンは、アラートによりフォルト状態を通知するか、変換が完了したときにホストに通知するよう構成できます。
DNC	B2, C2	-	接続せず、フローティングのままにします。
EN	B3	デジタル入力	イネーブルピン。レベルでデバイスが有効になり、ロジック "Low" レベルでデバイスが無効になります。
GND	B4	グランド	アナログとデジタルの両方のグランド。
IN-1	B1	アナログ入力	チャネル 1 の電流検出負入力。ハイサイド アプリケーションの場合、検出抵抗の負荷側に接続します。ローサイド アプリケーションの場合、検出抵抗のグランド側に接続します。
IN+1	A1	アナログ入力	チャネル 1 の電流検出正入力。ハイサイド アプリケーションの場合、検出抵抗のバス電圧側に接続します。ローサイド アプリケーションの場合、検出抵抗の負荷側に接続します。
IN-2	C1	アナログ入力	チャネル 2 の電流検出負入力。ハイサイド アプリケーションの場合、検出抵抗の負荷側に接続します。ローサイド アプリケーションの場合、検出抵抗のグランド側に接続します。
IN+2	D1	アナログ入力	チャネル 2 の電流検出正入力。ハイサイド アプリケーションの場合、検出抵抗のバス電圧側に接続します。ローサイド アプリケーションの場合、検出抵抗の負荷側に接続します。
SCL	C4	デジタル入力	シリアルバスクロックライン、オープンドレイン入力。
SDA	D4	デジタル入力 / 出力	シリアルバスデータライン、オープンドレイン入出力。
VBUS1	A2	アナログ入力	チャネル 1 のバス電圧入力。
VBUS2	D2	アナログ入力	チャネル 2 のバス電圧入力。
VS	A4	電源	電源、1.7V~5.5V。

5 仕様

5.1 絶対最大定格

自由気流での動作温度範囲内 (特に記述のない限り) ⁽¹⁾

		最小値	最大値	単位
V_s	電源電圧		6	V
V_{IN+} , V_{IN-}	差動 (V_{IN+}) - (V_{IN-})	-26	26	V
	同相	GND - 0.3	50	V
V_{BUS}	バス電圧、VBUS1, VBUS2	GND - 0.3	50	V
V_{IO}	SDA, SCL, ALERT, A0, A1, EN	GND - 0.3	6	V
	各ピンの入力電流		5	mA
	オープン・ドレインのデジタル出力電流 (SDA, ALERT)		10	mA
T_A	動作温度	-55	150	°C
T_J	接合部温度		150	°C
T_{stg}	保存温度	-65	150	°C

- (1) 絶対最大定格を超えた動作は、デバイスに恒久的な損傷を与える可能性があります。絶対最大定格は、これらの条件において、または推奨動作条件に示された値を超える他のいかなる条件でも、本製品が正しく動作することを暗に示すものではありません。「絶対最大定格」の範囲内であっても「推奨動作条件」の範囲外で使用した場合、本デバイスは完全に機能するとは限らず、このことが本デバイスの信頼性、機能、性能に影響を及ぼし、本デバイスの寿命を縮める可能性があります。

5.2 ESD 定格

			値	単位
$V_{(ESD)}$	静電放電	人体モデル (HBM)、ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 に準拠、すべてのピン ⁽¹⁾	±3000	V
		デバイス帯電モデル (CDM)、ANSI/ESDA/JEDEC JS-002 に準拠、すべてのピン ⁽²⁾	±1000	

- (1) JEDEC のドキュメント JEP155 に、500V HBM では標準の ESD 管理プロセスで安全な製造が可能であると規定されています。
 (2) JEDEC のドキュメント JEP157 に、250V CDM では標準の ESD 管理プロセスで安全な製造が可能であると規定されています。

5.3 推奨動作条件

自由気流での動作温度範囲内 (特に記述のない限り)

		最小値	公称値	最大値	単位
V_{CM}	同相入力範囲	GND - 0.3	48	5.5	V
V_{BUS}	VBUS 入力範囲	GND - 0.3	48	5.5	V
V_s	動作電源電圧範囲	1.7	48	5.5	V
T_A	周囲温度	-40	125	150	°C

5.4 熱に関する情報

熱評価基準 ⁽¹⁾		INA2227	単位
		DSBGA	
		16 ピン	
$R_{\theta JA}$	接合部から周囲への熱抵抗	82.9	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	接合部からケース (上面) への熱抵抗	0.5	°C/W
$R_{\theta JB}$	接合部から基板への熱抵抗	21.7	°C/W
Ψ_{JT}	接合部から上面への特性パラメータ	0.3	°C/W
Ψ_{JB}	接合部から基板への特性パラメータ	21.1	°C/W
$R_{\theta JC(bot)}$	接合部からケース (底面) への熱抵抗	該当なし	°C/W

- (1) 従来および最新の熱評価基準の詳細については、『半導体および IC パッケージの熱評価基準』アプリケーション ノートを参照してください。

5.5 電気的特性

$T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_S = 3.3\text{V}$ 、 $V_{\text{SENSE}} = V_{\text{IN+}} - V_{\text{IN-}} = 0\text{mV}$ 、 $V_{\text{IN-}} = V_{\text{BUS}} = 12\text{V}$ 、全チャネル用 (特に記述のない限り)

パラメータ		テスト条件	最小値	標準値	最大値	単位
入力						
CMRR	同相除去	$V_{\text{CM}} = -0.3\text{V} \sim 48\text{V}$, $T_A = -40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$	110	120		dB
V _{os}	シャント電圧入力範囲	ADCRANGE = 0	-81.9175	81.92		mV
		ADCRANGE = 1	-20.4794	20.48		mV
V _{os}	シャントオフセット電圧	$V_{\text{CM}} = 12\text{V}$		±10	±75	μV
dV _{os} /dT	シャントオフセット電圧ドリフト	$T_A = -40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$		±0.1	±0.5	μV/°C
V _{os_b}	IN- バスのオフセット電圧			±5	±30	mV
dV _{os_b} /dT	IN- バスのオフセット電圧ドリフト	$T_A = -40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$		±10	±30	μV/°C
PSRR _{SH}	電源除去比 (電流の測定)	$V_S = 1.7\text{V} \sim 5.5\text{V}$, $T_A = -40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$		±0.2	±2.5	μV/V
PSRR _{BUS}	電源除去比 (電圧の測定)	$V_S = 1.7\text{V} \sim 5.5\text{V}$, $T_A = -40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$		±0.5	±2.5	mV/V
Z _{IN-}	IN- の入力インピーダンス	バス電圧の測定モード		1.14		MΩ
I _B	入力バイアス電流	IN+, IN-, 電流測定モード	0.1	5		nA
DC 精度						
R _{DIFF}	差動入力インピーダンス (IN+ から IN- へ)	$V_{\text{IN+}} - V_{\text{IN-}} < 82\text{mV}$	140			kΩ
	ADC 分解能	$T_A = -40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$	16			ビット
1LSB ステップ サイズ		シャント電圧、ADCRANGE = 0	2.5			μV
		シャント電圧、ADCRANGE = 1	625			nV
		バス電圧	1.6			mV
ADC 変換時間 ($T_A = -40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$)		CT ビット=000	140			μs
		CT ビット=001	204			μs
		CT ビット=010	332			μs
		CT ビット=011	588			μs
		CT ビット=100	1.100			ms
		CT ビット=101	2.116			ms
		CT ビット=110	4.156			ms
		CT ビット=111	8.244			ms
	内部発振器の周波数	$T_A = +25^\circ\text{C}$	500			kHz
	内部発振器の許容差	$T_A = +25^\circ\text{C}$		0.5		%
		$T_A = -40^\circ\text{C} \sim +125^\circ\text{C}$		1		%
G _{SERR}	シャント電圧のゲイン誤差		±0.04	±0.5		%
G _{S_DRFT}	シャント電圧のゲイン誤差ドリフト	$T_A = -40^\circ\text{C} \sim +125^\circ\text{C}$		50		ppm/°C
G _{BERR}	V _{IN-} 電圧のゲイン誤差		±0.05	±0.5		%
G _{B_DRFT}	V _{IN-} 電圧のゲイン誤差ドリフト	$T_A = -40^\circ\text{C} \sim +125^\circ\text{C}$		50		ppm/°C
P _{TME}	電力の合計測定誤差	フルスケール電圧および電流において	±0.04	±1		%
E _{TME}	エネルギーの合計測定誤差	フルスケール電圧および電流において	±0.3	±1.5		%
INL	積分非直線性	ADCRANGE = 0、直線性ベストフィット、 $T_A = -40^\circ\text{C} \sim +125^\circ\text{C}$	±2	±6		m%
DNL	微分非直線性		±0.1			LSB

$T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_S = 3.3\text{V}$ 、 $V_{\text{SENSE}} = V_{\text{IN+}} - V_{\text{IN-}} = 0\text{mV}$ 、 $V_{\text{IN-}} = V_{\text{BUS}} = 12\text{V}$ 、全チャネル用 (特に記述のない限り)

パラメータ		テスト条件	最小値	標準値	最大値	単位
イネーブル						
I_{EN}	入力リーク電流	$0\text{ V} \leq V_{\text{EN}} \leq V_S$	1	50	nA	
V_{IH}	ロジック入力レベル、High	$V_S = 1.7\text{V}$ から 3.6V 、 $T_A = -40^\circ\text{C}$ から $+125^\circ\text{C}$	1.1	5.5	V	
V_{IH}	ロジック入力レベル、High	$V_S = 3.6\text{V}$ から 5.5V 、 $T_A = -40^\circ\text{C}$ から $+125^\circ\text{C}$	1.3	5.5	V	
V_{IL}	ロジック入力レベル、Low	$V_S = 1.7\text{V}$ から 5.5V 、 $T_A = -40^\circ\text{C}$ から $+125^\circ\text{C}$	0	0.4	V	
V_{HYS}	ヒステリシス		125		mV	
電源						
I_Q	静止時電流		400	500	μA	
		I_Q と温度との関係、 $T_A = -40^\circ\text{C} \sim +125^\circ\text{C}$		600	μA	
		シャットダウン	2.5	4	μA	
I_Q	静止電流の無効化	$V_{\text{EN}} = 0\text{V}$	5	50	nA	
V_{POR}	パワーオンリセットのスレッショルド	V_S の立ち下がり	0.95		V	
SMBUS						
	SMBUS タイムアウト		28	35	ms	
	入力容量		3		pF	
デジタルインターフェイス						
V_{IH}	ロジック入力レベル、High	$V_S = 1.7\text{V}$ から 5.5V 、 $T_A = -40^\circ\text{C}$ から $+125^\circ\text{C}$	0.9	5.5	V	
V_{IL}	ロジック入力レベル、Low	$V_S = 1.7\text{V}$ から 5.5V 、 $T_A = -40^\circ\text{C}$ から $+125^\circ\text{C}$	0	0.4	V	
V_{HYS}	ヒステリシス		130		mV	
V_{OL}	ロジック出力レベル、Low	$I_{\text{OL}} = 3\text{mA}$ 、 $V_S = 1.7\text{V} \sim 5.5\text{V}$ 、 $T_A = -40^\circ\text{C} \sim +125^\circ\text{C}$	0	0.3	V	
	デジタルリーク入力電流	$0 \leq V_{\text{INPUT}} \leq V_S$		± 50	nA	

5.6 タイミング要件 (I²C)

		最小値	公称値	最大値	単位
I²C バス (ファスト モード)					
$F_{(SCL)}$	I ² C クロック周波数	1	400	400	kHz
$t_{(BUF)}$	STOP 条件と START 条件間のバス開放時間	600			ns
$t_{(HDSTA)}$	再スタート条件の後のホールド時間。この期間が経過した後、最初のクロックが生成されます。	100			ns
$t_{(SUSTA)}$	再スタート条件のセットアップ時間	100			ns
$t_{(SUSTO)}$	ストップ条件のセットアップ時間	100			ns
$t_{(HDDAT)}$	データホールド時間	10	900	900	ns
$t_{(SUDAT)}$	データセットアップ時間	100			ns
$t_{(LOW)}$	SCL クロックの Low 期間	1300			ns
$t_{(HIGH)}$	SCL クロックの High 期間	600			ns
t_F	データ立ち下がり時間		300	300	ns
t_F	クロック立ち下がり時間		300	300	ns
t_R	クロック立ち上がり時間		300	300	ns
t_R	クロック立ち上がり時間 (SCLK \leq 100kHz)		1000	1000	ns
I²C バス (ハイスピード モード)					
$F_{(SCL)}$	I ² C クロック周波数	10	2940	2940	kHz
$t_{(BUF)}$	STOP 条件と START 条件間のバス開放時間	160			ns
$t_{(HDSTA)}$	再スタート条件の後のホールド時間。この期間が経過した後、最初のクロックが生成されます。	100			ns
$t_{(SUSTA)}$	再スタート条件のセットアップ時間	100			ns
$t_{(SUSTO)}$	ストップ条件のセットアップ時間	100			ns
$t_{(HDDAT)}$	データホールド時間	10	125	125	ns
$t_{(SUDAT)}$	データセットアップ時間	20			ns
$t_{(LOW)}$	SCL クロックの Low 期間	200			ns
$t_{(HIGH)}$	SCL クロックの High 期間	60			ns
t_F	データ立ち下がり時間		80	80	ns
t_F	クロック立ち下がり時間		40	40	ns
t_R	クロック立ち上がり時間		40	40	ns

5.7 タイミング図

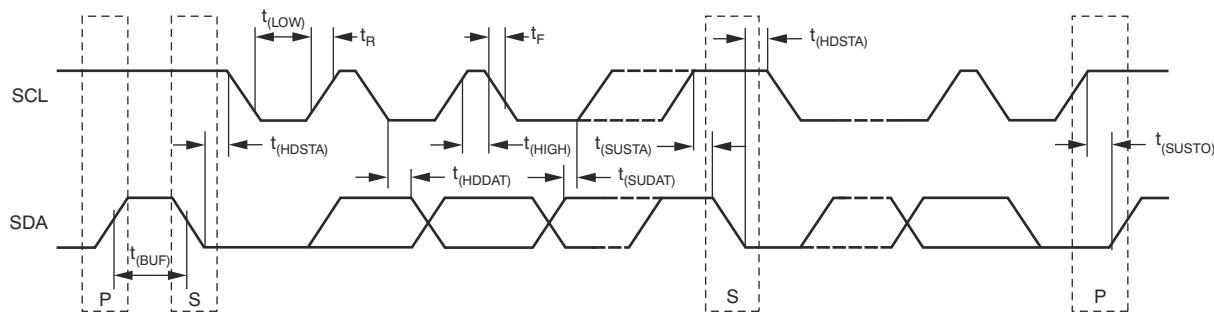


図 5-1. I²C のタイミング図

5.8 代表的特性

$T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{VS} = 3.3\text{V}$ 、 $V_{CM} = 12\text{V}$ 、 $V_{SENSE} = (V_{IN+} - V_{IN-}) = 0\text{mV}$ (特に記述のない限り)

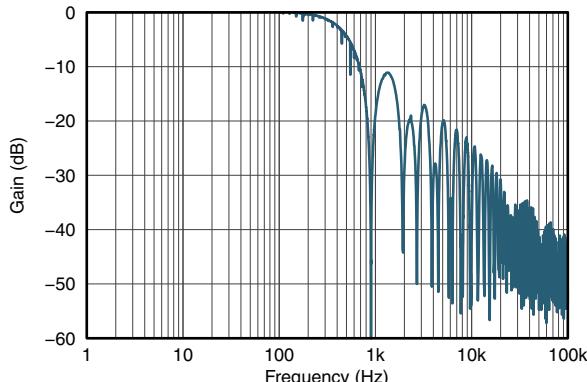


図 5-2. 周波数応答

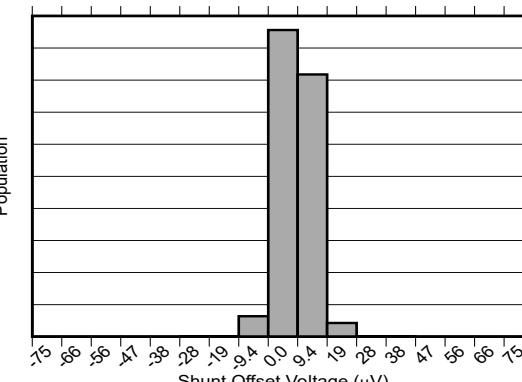


図 5-3. シャント入力オフセット電圧の製造分布

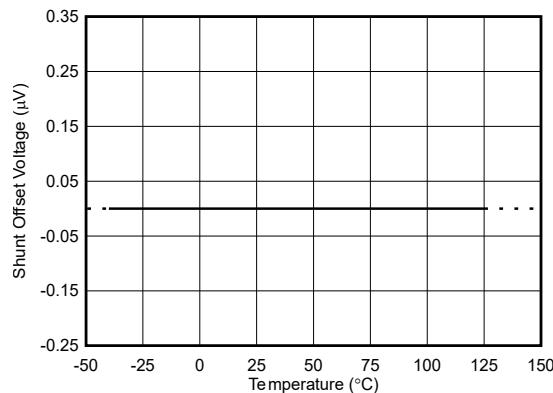


図 5-4. シャント入力オフセット電圧と温度の関係

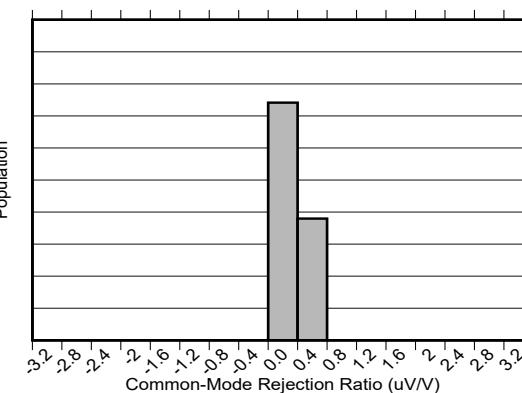


図 5-5. CMRR の製造分布

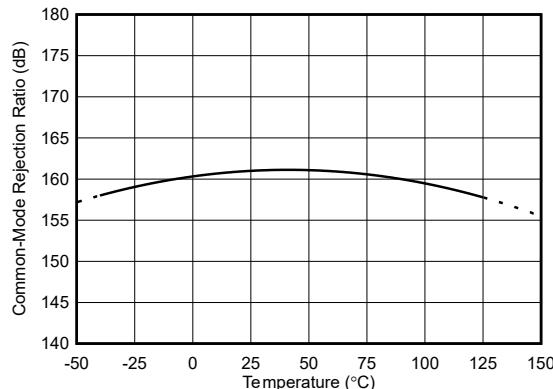


図 5-6. シャント入力 CMRR と温度との関係

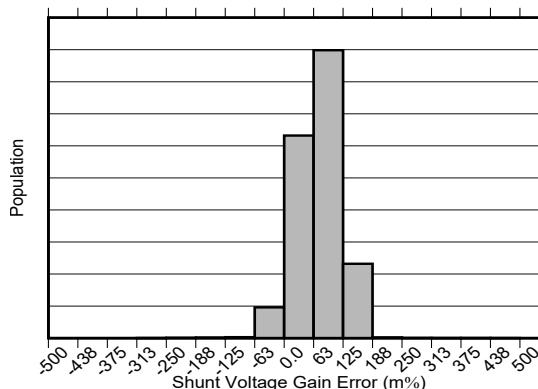


図 5-7. シャント電圧のゲイン誤差の製造分布

5.8 代表的特性 (続き)

$T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{VS} = 3.3\text{V}$ 、 $V_{CM} = 12\text{V}$ 、 $V_{SENSE} = (V_{IN+} - V_{IN-}) = 0\text{mV}$ (特に記述のない限り)

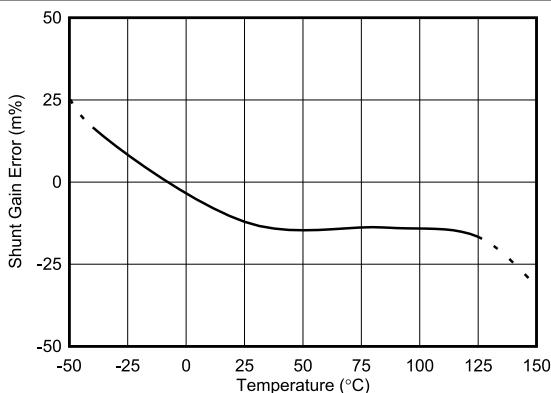


図 5-8. シャントのゲイン誤差と温度との関係

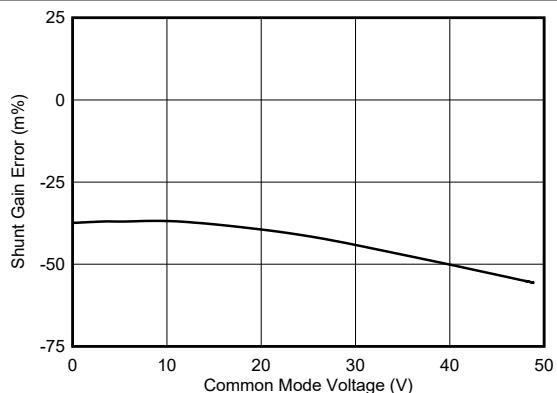


図 5-9. シャントのゲイン誤差と同相電圧の関係

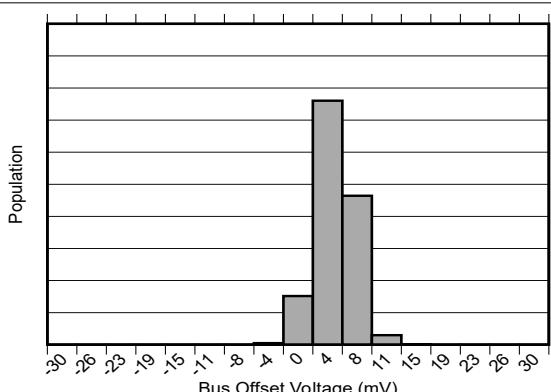


図 5-10. バスのオフセット電圧 (V_{IN}) の製造分布

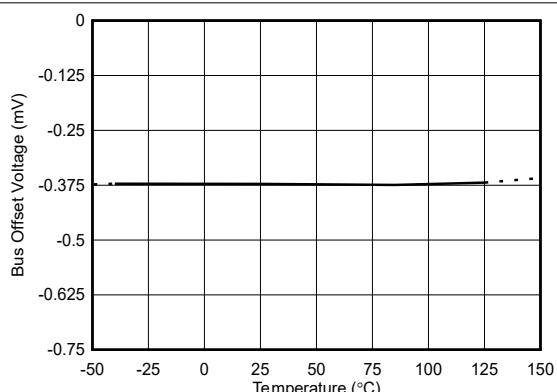


図 5-11. バスのオフセット電圧 (V_{IN}) と温度との関係

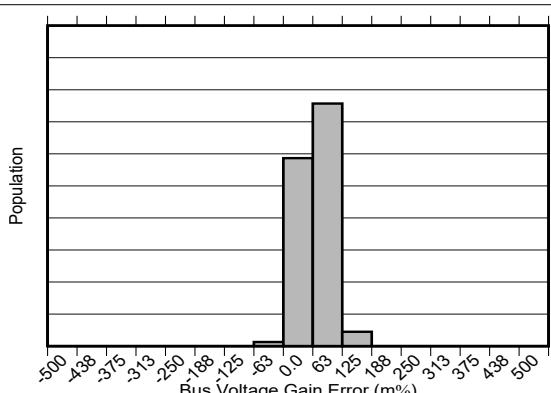


図 5-12. バス電圧 (V_{IN-}) のゲイン誤差の製造分布

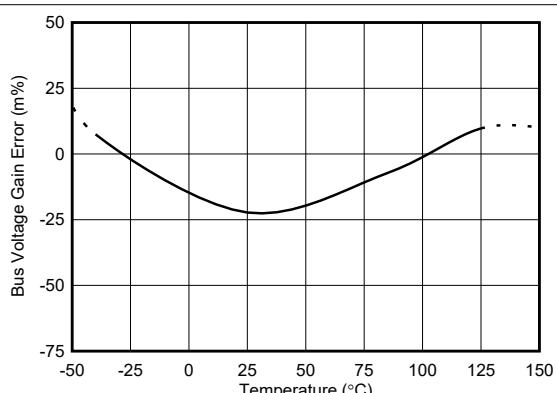


図 5-13. バス電圧 (V_{IN-}) のゲイン誤差と温度との関係

5.8 代表的特性 (続き)

$T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{VS}} = 3.3\text{V}$ 、 $V_{\text{CM}} = 12\text{V}$ 、 $V_{\text{SENSE}} = (V_{\text{IN+}} - V_{\text{IN-}}) = 0\text{mV}$ (特に記述のない限り)

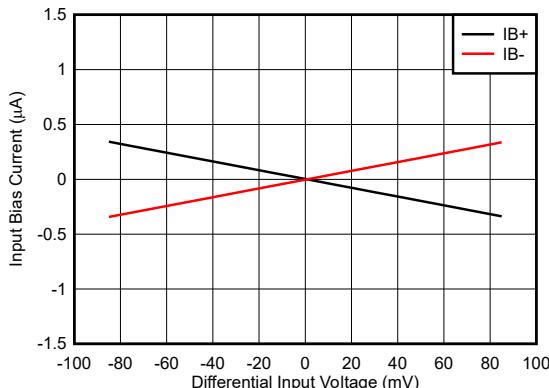


図 5-14. 入力バイアス電流と差動電圧との関係

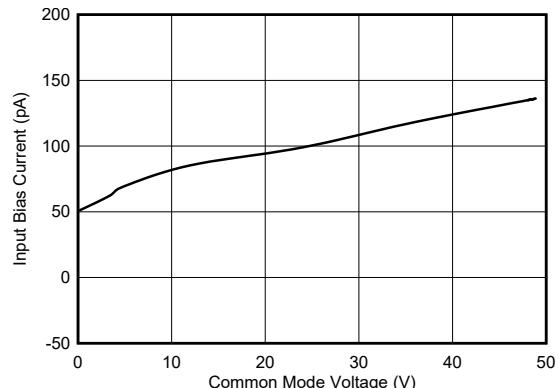


図 5-15. 入力バイアス電流と同相電圧との関係 (IB+、IB-)

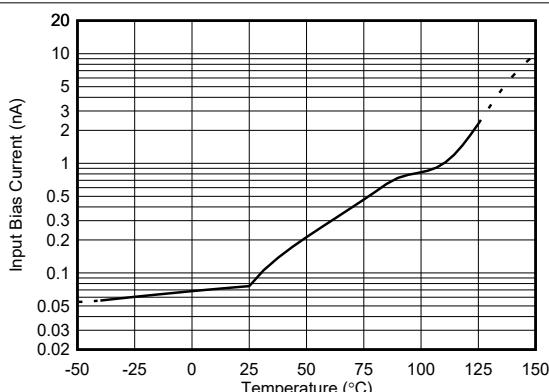


図 5-16. 入力バイアス電流と温度との関係

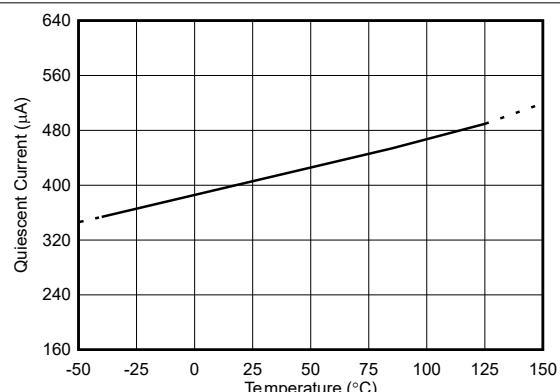


図 5-17. 静止電流と温度との関係

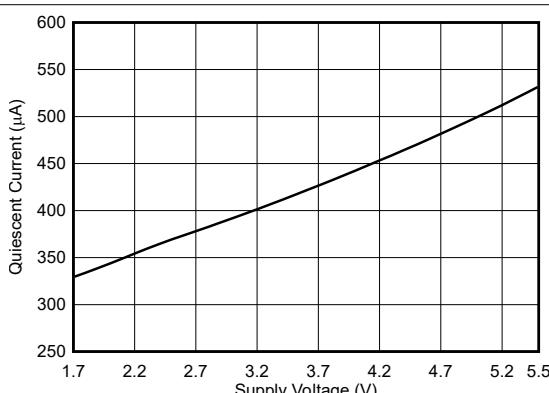


図 5-18. 静止電流と電源電圧との関係

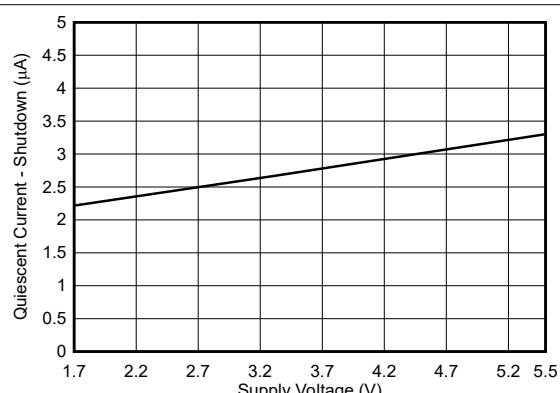


図 5-19. シャットダウン時の静止電流と電源電圧との関係

5.8 代表的特性 (続き)

$T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{VS}} = 3.3\text{V}$ 、 $V_{\text{CM}} = 12\text{V}$ 、 $V_{\text{SENSE}} = (V_{\text{IN+}} - V_{\text{IN-}}) = 0\text{mV}$ (特に記述のない限り)

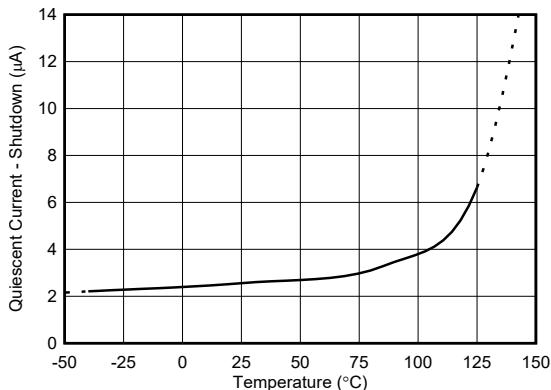


図 5-20. シャットダウン時の静止電流と温度との関係

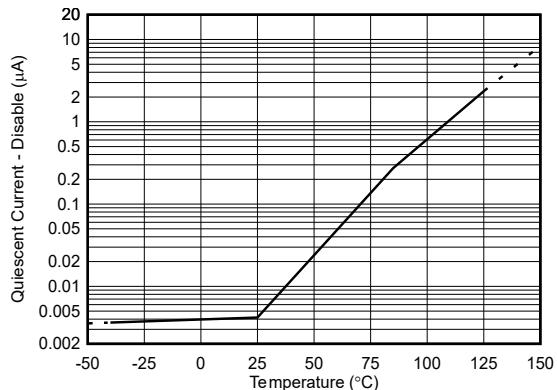


図 5-21. 静止電流 - 無効化と温度との関係

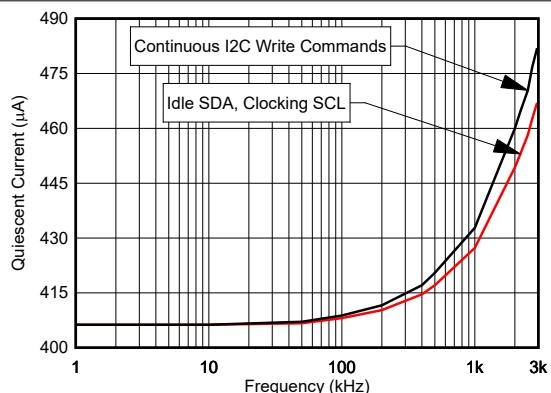


図 5-22. 静止電流とクロック (SCL) 周波数との関係

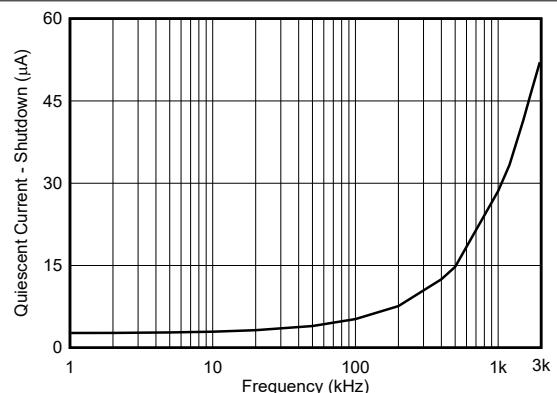


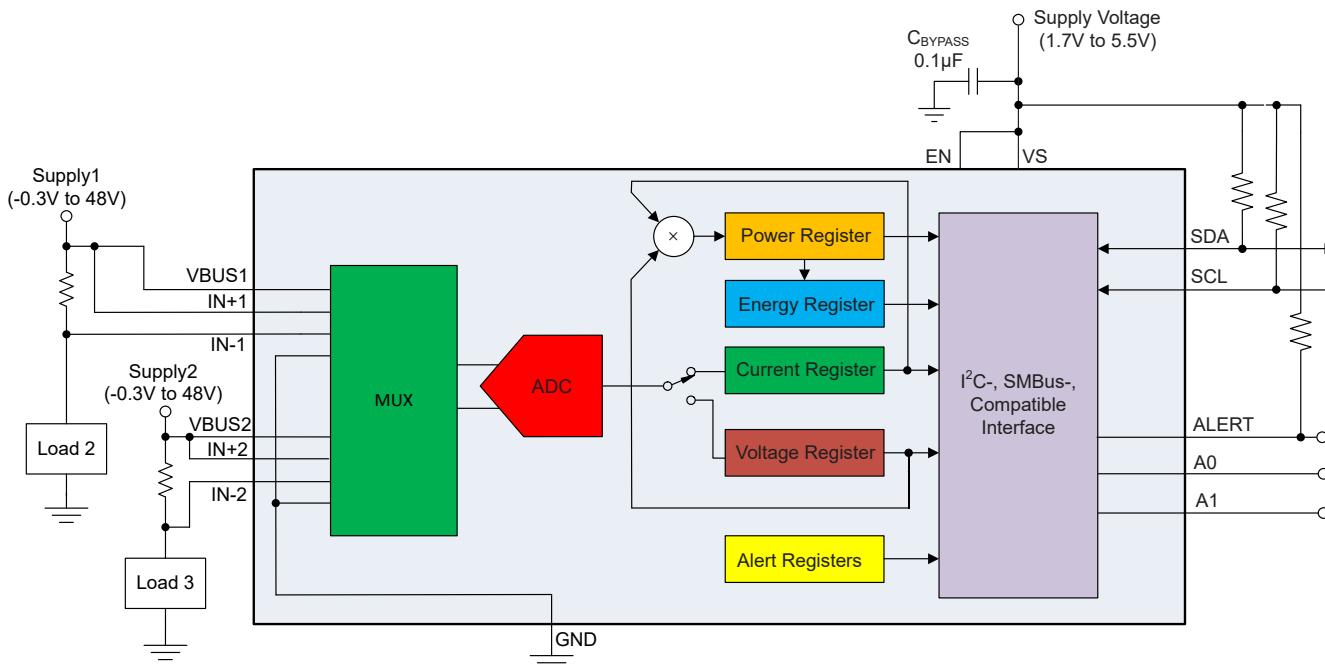
図 5-23. シャットダウン時の静止電流と SCL 周波数との関係

6 詳細説明

6.1 概要

INA2227 は、I²C および SMBus 互換のインターフェイスを搭載したデュアル チャンネル デジタル電流検出アンプです。このデバイスは、各チャネルの電流、電圧、電力、エネルギーを報告し、選択されたパラメータが通常の動作範囲外にある場合にアラートを発するプログラム可能な範囲外リミットを備えています。内蔵の A/D コンバータ (ADC) は、さまざまな平均化モードに設定でき、連続動作とトリガ動作のどちらにも構成できます。INA2227 のレジスタの詳細な情報を、「[デバイスのレジスタ](#)」に示します。

6.2 機能ブロック図



6.3 機能説明

6.3.1 内蔵アナログ/デジタルコンバータ (ADC)

INA2227 は、低オフセットの 16 ビットデルタシグマ ($\Delta\Sigma$) ADC を内蔵しています。この ADC は、シャント電圧とバス電圧の両方の測定を処理するために、チャネルに多重化されています。シャント電圧測定は、負荷電流が各チャネルの IN+ ピンと IN- ピンの間のシャント抵抗を流れた時に発生する電圧の差動測定です。シャント電圧測定の最大オフセット電圧はわずか $75\mu\text{V}$ で、最大ゲイン誤差は 0.5% です。シャント電圧測定のオフセット電圧が低いため、与えられたシャント抵抗値について、軽負荷条件での精度が向上します。低オフセットのもう 1 つの利点は、検出抵抗の両端のより小さい電圧降下を正確に検出できることです。そのため、より小さい値のシャント抵抗が使えます。シャント抵抗の値が小さいと、電流検出回路での電力損失が減少し、最終アプリケーションの電力効率が向上します。このデバイスはまた、ハイサイドとロー サイドの両方のセンシング アプリケーションで電力とエネルギーの測定を可能にする独立したバス電圧ピンを備えています。

電源シーケンシングには特別な考慮事項はありません。IN+ ピンと IN- ピンのバス同相と、VS ピンの電源電圧は互いに独立しているためです。したがって、電源電圧がオフのときでもバス同相電圧が存在する可能性があります。

6.3.2 内部測定および計算エンジン

INA2227 の内部ラウンドロビン測定方式を [図 6-1](#) を示します。各チャネルの電流、電力、エネルギーのレジスタは、シャント電圧とバス電圧の測定値から計算され、ADC 変換時間の影響を直接受けません。レジスタ値は、次のチャネルに進む前に各チャネルごとに更新されます。平均化が有効になっている場合は、平均化の回数が完了すると、各チャネルのレジスタが更新されます。�ルト状態は、ADC 変換時間に基づいて変換または計算の直後に比較され、設定された平均

化の回数とは無関係です。変換時間を短くするとアラート応答は速くなります、ノイズのために有効分解能は低くなります。変換時間が長いとアラートの応答が遅くなります、ノイズの影響を受けにくくなります。無効になっているチャネルまたは測定は、ラウンドロビン サイクルでスキップされます。変換準備完了フラグは、選択された平均化の回数が満たされた後の変換の終了時に設定されます。

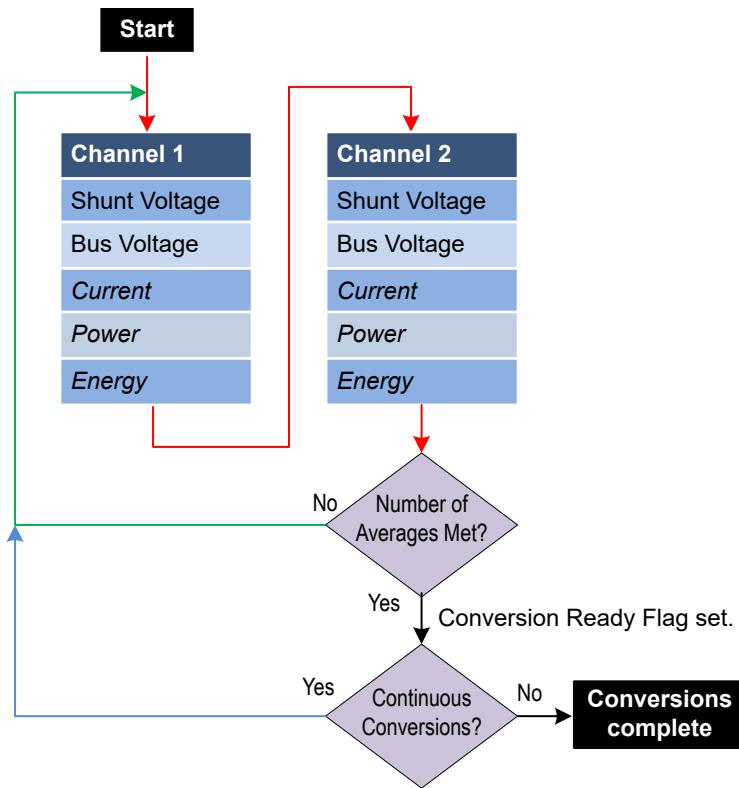


図 6-1. 内部測定および計算方式

図 6-1 では、斜体のレジスタは変換時間に依存しない計算値であり、バックグラウンドで発生します。レジスタは、平均化の回数に達すると各チャネルごとに個別に更新されます。フォルト レジスタの比較は、結果ごとに即座に行われます。平均値はアラートをトリガーしません。

電流は、シャント電圧測定値と対応する **Calibration** レジスタに入力された値から計算されます。電力は、前回の電流の計算結果と最新のバス電圧の測定値に基づいて計算されます。エネルギーは、前回の電力計算に現在のタイムベース間隔を乗じた値を加算することで蓄積されます。対応する **Calibration** レジスタにロードされた値がゼロの場合、電流、電力、およびエネルギー値もゼロとして報告されます。平均化が有効な場合、平均化の回数が満たされるとレジスタ値が更新されます。これらの計算はバックグラウンドで実行されるため、変換時間全体には追加されません。

6.3.3 小さいバイアス電流

INA2227 は非常に低い入力バイアス電流を特長としており、いくつかの利点があります。INA2227 は、入力バイアス電流が小さいため、アクティブ状態とシャットダウン状態の両方で消費電流を低減できます。バイアス電流が小さいことのもう 1 つの利点は、信号をデジタル データに変換する前に、入力フィルタを使用して高周波ノイズを除去できることです。従来のデジタル電流検出アンプでは、入力フィルタを追加すると精度が低下するという欠点がありました。しかし、バイアス電流が小さいため、入力フィルタによる精度の低下は最小限に抑えられます。バイアス電流が小さいと、大きなシャント抵抗を使用して、小さな電流を正確に検出できるという利点もあります。シャント抵抗に大きな値を使用すると、デバイスは mA 未満の範囲で電流を正確に監視できます。

INA2227 のバイアス電流は、検出された電流が 0 のときに最小となります。電流が増加し始めると、シャント抵抗の両端の差動電圧降下が増加し、結果としてバイアス電流も増加します (図 5-14 を参照)。

6.3.4 低電圧電源と広い同相電圧範囲

電源電圧範囲は INA2227 は 1.7V~5.5V です。1.7V での動作が可能なため、デバイスは 1.8V の電源レールでも使用できます。電源電圧が 1.7V であっても、デバイスは 48V という高い電圧レールの電流を監視することができます。この同相モード範囲により、同相モード電圧が電源電圧レールを超える多くのアプリケーションでデバイスを使用することができます。

6.3.5 ALERT ピン

INA2227 には、2 つの **Alert Configuration レジスタ** があり、必要に応じて 2 つのチャネルに割り当てることができます。Alert レジスタには、チャネル割り当てフィールドとアラート マスク フィールドがあります。アラート マスク フィールドは、アラートに使用可能な 5 つの機能の中から 1 つを選択することができます。監視対象の機能に基づいて、**Alert Limit レジスタ** に値を入力し、**ALERT** ピンのアサートに使用される、対応のスレッショルド値を設定します。

ALERT ピンを使用すると、利用可能な複数のアラート機能のいずれかを監視して、ユーザー定義のスレッショルドを超えたかどうかを判定できます。次の 5 つのアラート機能を監視できます。

- シャント電圧の上限 (SOL)
- シャント電圧の下限 (SUL)
- バス電圧の上限 (BOL)
- バス電圧の下限 (BUL)
- 電力の上限 (POL)

ALERT ピンはオープンドレイン出力です。このピンは、**Alert Configuration レジスタ** で選択されたアラート機能が、**Alert Limit レジスタ** にプログラムされた値を超えるとアサートされます。一度に最大 4 つのアラート機能を有効にし、監視することができます。

デバイスの変換準備完了状態を **ALERT** ピンで監視して、デバイスが以前の変換を完了し、新しい変換を開始する準備ができたことをユーザーに通知することもできます。変換準備完了フラグ (CVRF) ビットは、アラート機能の 1 つと同時に **ALERT** ピンで監視できます。

アラート機能を使用しない場合、**ALERT** ピンをフローティングのままにしても、デバイスの動作には影響しません。

アラート機能は、プログラムされたアラート制限値を、対応する各変換の結果と比較します。このため、信号の平均化された値がアラート制限を超えない変換サイクルでも、その途中にアラートが発行されることがあります。この中間変換に基づいてアラートをトリガすると、平均化された出力データ レジスタの更新よりも先に、範囲外のイベントを検出できます。この高速検出機能を使用すると、アラート機能を使用して、急速に変化する条件についてアラート制限を作成したり、平均化された出力値のソフトウェア監視により、長期間の条件に対して制限を作成したりできます。

6.4 デバイスの機能モード

6.4.1 連続動作とトリガ動作の比較

INA2227 には、連続モードとトリガ モードの 2 つの動作モードがあり、これらの変換後に ADC がどのように動作するかを決定します。INA2227 が通常動作モードのとき (つまり、**CONFIG1 レジスタ** の **MODE** ビットが「111」に設定されているとき)、デバイスは各チャネルのシャント電圧とバス電圧の読み取り値を連続的に変換します。

トリガ モードでは、トリガ変換モードのいずれかを [セクション 7.1.1](#) に書き込むと (すなわち、**CONFIG1 レジスタ** の **MODE** ビットが 001、010、011 のいずれかに設定されている)、選択されたパラメータのシングル ショット変換がトリガされます。この動作により、单一の測定セットが生成されます。次のシングル ショット変換をトリガするには、モードを変更しない場合でも、**Configuration レジスタ** に再度書き込みが必要です。

INA2227 はいつでも読み出し可能で、最後に行われた変換のデータは有効なまま保持されますが、シングル ショットまたはトリガ変換の調整を行うため、変換準備完了フラグ (**FLAG レジスタ** の **CVRF** ビット) が用意されています。CVRF ビットは、すべての変換、平均化、および乗算演算が 1 ラウンドロビン サイクル完了した後に設定されます。

CVRF ビットは、次の条件でクリアされます。

1. **CONFIG1 レジスタ**への書き込み (**MODE** ビットをパワーダウン モードに構成するものを除く)

2. FLAG レジスタを読み取り。

6.4.2 デバイス低消費電力モード

2つの動作モード(連続とトリガ)に加えて、INA2227には2つの低消費電力モードがあります。シャットダウン状態では、デバイスは静止電流と入力バイアス電流を減らしますが、I²Cバス通信を処理することができます。この状態では、静止電流消費は4 μ A未満に低減されます。シャットダウンモードからの完全復帰には40 μ sを要します。アクティブモード設定のいずれかが Configuration レジスタに書き込まれるまで、デバイスはシャットダウンモードのままです。さらに低消費電力のモードは、イネーブルピンを強制的にロジック Low にすることで開始されます。このモードでは静止電流が最も低く、デバイスは1 μ A(最大)の電源電流しか流しませんが、この状態ではデバイスはI²Cバス通信を認識しません。また、無効化状態ではデバイス構成がリセットされ、イネーブル時には再プログラムする必要があります。無効化状態からの復帰には、100 μ sを要します。

6.4.3 パワーオンリセット

パワーオンリセット(POR)は、V_Sが0.95V(標準値)を下回るとアサートされ、その時点ですべてのレジスタはそれぞれのデフォルト値にリセットされます。パワーアップレジスタのデフォルト値は、各レジスタの説明のリセット列に記載されています。

6.4.4 平均化と変換の時間についての検討事項

INA2227は、シャント電圧とバス電圧測定の両方にプログラム可能な変換時間を備え、全チャネルに適用されます。これらの測定の変換時間は、最短で140 μ s、最長で8.244msに設定できます。変換時間の設定と、プログラム可能な平均化モードにより、特定のアプリケーションのタイミング要件を最適化するようにINA2227を構成できます。INA2227は、シャントとバス電圧の測定に、それぞれ異なる変換時間を使用するよう構成することもできます。この種の方法は、バス電圧が比較的安定する傾向があるアプリケーションで一般的です。このような条件では、シャント電圧の測定と比べて、バス電圧の測定に必要な時間を短縮できます。

変換時間の設定と、使用する平均化モードには、トレードオフが存在します。平均化機能は、信号を効果的にフィルタリングすることで、測定精度を大幅に向上できます。この方法により、INA2227は信号へのノイズ結合によって生じる測定のノイズを低減できます。平均化の回数が多いほど、INA2227は測定のノイズ成分を効果的に低減できます。

選択した変換時間は、測定精度にも影響を及ぼすことがあります。図6-2には、ノイズが測定に及ぼす影響を明らかにするため、いくつかの変換時間の例を示しています。可能な限り最高精度の測定を実現するには、システムのタイミング要件に基づいて、許容される最長の変換時間と、最大の平均化回数の組み合わせを使用します。

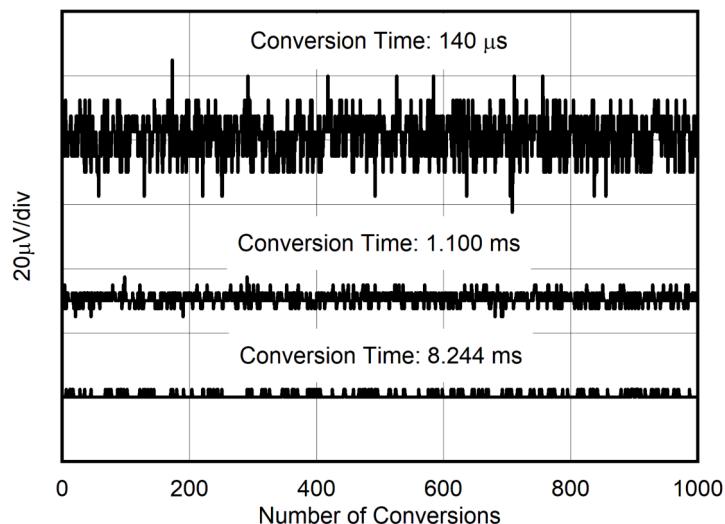


図 6-2. ノイズと変換時間との関係

6.5 プログラミング

6.5.1 I²C シリアルインターフェイス

INA2227 は、SMBus と I²C の両方のインターフェイスで、ターゲットとしてのみ動作します。バスへの接続は、オープンドレインの SDA と SCL ラインを介して行われます。SDA と SCL ピンは、スパイク抑制フィルタとシュミットトリガを内蔵し、入力スパイクとバスノイズの影響を最小限に抑えます。このデバイスは、デジタル I/O ラインにスパイク抑制フィルタを内蔵していますが、適切なレイアウト手法により、通信ラインへのカップリングの量を最小限に抑えることができます。このノイズは、2 つの通信ライン間の容量性カップリングの信号エッジから発生するか、またはシステムに存在する他のスイッチングノイズソースから発生します。通常、プリント基板 (PCB) の層の間でグランドと並列にパターンを配線すると、通信ライン間のカップリングの影響が低減されます。通信ラインにシールドを付けることにより、意図しないノイズカップリングがデジタル I/O ラインに発生して、スタートコマンドやストップコマンドが誤って解釈される可能性を低減します。

INA2227 は、転送プロトコルとして高速モード (1kHz~400kHz)、およびハイスピードモード (1kHz~2.94MHz) をサポートしています。データバイトはすべて、最上位バイトが最初に転送され、SMBus 3.0 転送プロトコルに従います。

INA2227 との通信を行うには、最初にコントローラがターゲットアドレスバイトでターゲットをアドレス指定する必要があります。ターゲットアドレスバイトは、7 つのアドレスビットと、動作が読み出しか書き込みかを示す 1 つの方向ビットで構成されます。

このデバイスには、A0 と A1 の 2 つのアドレスピンがあります。表 6-1 に、16 個の設定可能な各アドレスに必要なピン接続を示します。デバイスは、すべてのバス通信における A0 ピンと A1 ピンの状態をサンプリングします。インターフェイス上で動作が行われる前に、ピンの状態を確立します。

表 6-1. アドレスピンとターゲットアドレス

A1	A0	ターゲットデバイスのアドレス
GND	GND	1000000
GND	VS	1000001
GND	SDA	1000010
GND	SCL	1000011
VS	GND	1000100
VS	VS	1000101
VS	SDA	1000110
VS	SCL	1000111
SDA	GND	1001000
SDA	VS	1001001
SDA	SDA	1001010
SDA	SCL	1001011
SCL	GND	1001100
SCL	VS	1001101
SCL	SDA	1001110
SCL	SCL	1001111

6.5.2 I²C シリアルインターフェイスを使用した書き込みと読み取り

INA2227 の特定のレジスタにアクセスするには、適切な値をレジスタポインタに書き込みます。レジスタ、および対応のアドレスの一覧については、[レジスタマップ](#)を参照してください。ターゲットアドレスバイトの後に、R/W ビットが Low のとき転送される最初のバイトが、レジスタのポインタの値です (図 6-5 を参照)。本デバイスに対するすべての書き込み動作では、レジスタポインタ値を指定する必要があります。

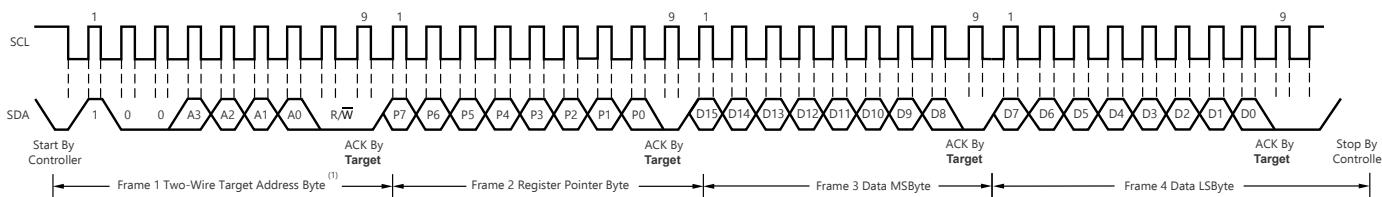
レジスタへの書き込みは、コントローラによって送信される最初のバイトから開始されます。このバイトはターゲットアドレスで、R/W ビットは Low です。有効なアドレスを受信すると、デバイスはアクノリッジします。コントローラから送信される次の

バイトは、アクセスされるレジスタのアドレスです。このレジスタのアドレス値により、レジスタのポインタは目的の内部デバイス レジスタに更新されます。次の 2 バイトは、レジスタのポインタによってレジスタ アドレスに書き込まれます。デバイスは、データ バイトを受信するたびにアクノリッジします。コントローラは、開始条件または停止条件を生成することによりデータ転送を終了できます。

本デバイスから読み出す場合、書き込み動作によってレジスタ ポインタに保存された最後の値が、読み出し動作中に読み出されるレジスタを決定します。読み出し動作のためにレジスタ ポインタを変更するには、新しい値をレジスタ ポインタに書き込む必要があります。この書き込みを行うには、ターゲット アドレス バイトを **R/W** ビット **Low** で発行し、続いてレジスタのポインタ バイトを送信します。追加のデータは必要ありません。次に、コントローラはスタート条件を生成し、ターゲットに **R/W** ビット **High** でアドレス バイトを送信して、読み取りコマンドを開始します。次のバイトはターゲットから送信され、レジスタのポインタで指定されるレジスタの最上位バイトです。このバイトに続いて、コントローラからアクノリッジがあります。次に、ターゲットは最下位バイトを送信します。2 番目のデータ バイトを受信したとき、コントローラはアクノリッジする場合としない場合があります。コントローラは、任意のデータ バイトを受信した後にノン アクノリッジを生成するか、スタート条件またはストップ条件を生成することにより、データ転送を終了できます。同じレジスタから繰り返し読み取りを行う場合、レジスタ ポインタ バイトを継続的に送信する必要はありません。デバイスは、次の書き込み操作によって値が変更されるまで、レジスタ ポインタの値を保持します。

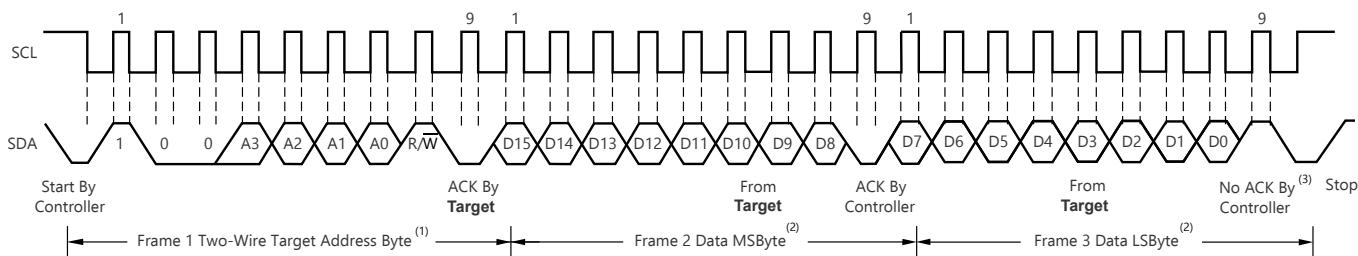
図 6-3 に、書き込み動作のタイミング図を示します。図 6-4 に、読み取り動作のタイミング図を示します。これらの図は、16 ビット レジスタに対する読み出し / 書き込みを示しています。

レジスタ バイトは、上位バイトが最初に送信され、その後、下位バイトが送信されます。



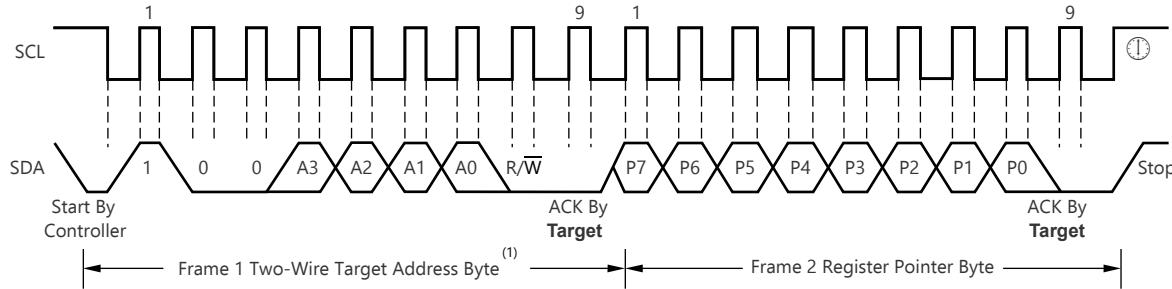
- A. ターゲット アドレス バイトの値は、A0 アドレス ピンの設定によって決まります。表 6-1 を参照してください。
- B. このデバイスは、パケット エラー チェック (PEC) はサポートしておらず、クロック ストレッチは動作しません。

図 6-3. ワード書き込み形式のタイミング図



- A. ターゲット アドレス バイトの値は、A0 アドレス ピンの設定によって決まります。表 6-1 を参照してください。
- B. 読み出しデータは、最後のレジスタ ポインタの位置から得られます。新たなレジスタを読み出す場合、レジスタ ポインタを更新する必要があります。図 6-5 を参照してください。
- C. コントローラからの ACK も送信できます。
- D. このデバイスは、パケット エラー チェック (PEC) はサポートしておらず、クロック ストレッチは動作しません。

図 6-4. ワード読み取り形式のタイミング図



A. ターゲットアドレスバイトの値は、A0 アドレスピンの設定によって決まります。[表 6-1](#) を参照してください。

図 6-5. 代表的なレジスタ ポインタのタイミング図

6.5.3 高速 I²C モード

バスがアイドルのときは、SDA ラインと SCL ラインの両方がプルアップ抵抗によって High にプルされます。コントローラはスタート条件を生成してから、ハイスピード (HS) コントローラコードの 00001XXX を含む、有効なシリアル バイトを続けます。この送信は、ファスト (400kHz) またはスタンダード (100kHz) (F/S) モードのときに、400kHz 以下の周波数で行われます。デバイスは HS コントローラコードをアクノリッジしませんが、このコードを認識し、2.94MHz での動作をサポートするよう内部フィルタを切り替えます。

次に、コントローラは再スタート条件を生成します (再スタート条件のタイミングはスタート条件と同じです)。この再スタート条件の後、プロトコルは F/S モードと同じですが、許容転送速度は最高 2.94MHz になります。バスを HS モードで維持するには、終了条件を使用する代わりに、再スタート条件を使用します。終了条件を使用すると HS モードは終了し、デバイスのすべての内部フィルタは F/S モードをサポートするよう切り換わります。

6.5.4 ゼネラル コール リセット

複数のデバイスへのゼネラル コール リセットは、ゼネラル コール アドレス 0000 000 をアドレス指定し、最後の R/W ビットを 0 にセットすることで実装されます。その後に、次のデータ バイト 0000 0110 (06h) が続きます。

この 2 バイト シーケンスを受信すると、ゼネラル コール アドレスに応答するように設計されているすべてのデバイスがリセットされます。バス上のすべての **INA2227** デバイスはソフトリセット動作を実行し、デフォルトの電源オン状態に戻ります。

6.5.5 SMBus のアラート応答

INA2227 は、SMBus のアラート応答アドレスに応答するよう設計されています。SMBus のアラート応答により、単純なターゲットのフォルトをすばやく識別できます。アラートが発生すると、コントローラは Read/Write ビットを High にセットして、アラート応答をターゲットのアドレス (0001 100) にブロードキャストします。このアラート応答の後で、アラートを生成したターゲットは、アラート応答をアクノリッジし、バス上のアドレスに送信することで特定されます。

I²C のゼネラル コールと同様に、アラート応答により、いくつかの異なるターゲット デバイスを同時にアクティブにできます。複数のターゲットが応答を試みた場合、バスアービトレーション ルールが適用されます。アービトレーション中に優先されなかったデバイスは、アクノリッジを生成しません。デバイスは、アービトレーションの結果、そのデバイスが優先されるまで、アラートラインを Low に保持し続けます。

7 レジスタ マップ

7.1 デバイスのレジスタ

[表 7-1](#) に、INA2227 レジスタの一覧を示します。表に記載されていないレジスタ位置はすべて予約済みと見なす必要があります。レジスタ内容は変更しないでください。

表 7-1. INA2227 レジスタの概要

レジスタ名	アドレス	レジスタ タイプ	レジスタ サイズ (ビット)	デフォルト値
CONFIG1	0x10	R/W	16	0xF127
CONFIG2	0x11	R/W	16	0x0000

表 7-1. INA2227 レジスタの概要 (続き)

レジスタ名	アドレス	レジスタ タイプ	レジスタ サイズ (ビット)	デフォルト値
CALIBRATION_(CH1 - CH2)	0x05, 0x0D	R/W	16	0x0000
ALERT_CONFIG(1 - 2)	0x07, 0x0F	R/W	16	0x0000
ALERT_LIMIT(1 - 2)	0x06, 0x0E	R/W	16	0x0000
SHUNT_VOLTAGE_(CH1 - CH2)	0x00, 0x08	R	16	0x0000
BUS_VOLTAGE_(CH1 - CH2)	0x01, 0x09	R	16	0x0000
CURRENT_(CH1 - CH2)	0x02, 0x0A	R	16	0x0000
POWER_(CH1 - CH2)	0x03, 0x0B	R	16	0x0000
ENERGY_(CH1 - CH2)	0x04, 0x0C	R	32	0x0000
FLAGS	0x12	R	16	0x0000
メーカー_ID	0x7E	R	16	0x5449 (ASCII では「TI」)
DEVICE_ID	0x7F	R	16	0x2350

表の小さなセルに収まるように、複雑なビット アクセス タイプを記号で表記しています。表 7-2 に、このセクションでアクセス タイプに使用しているコードを示します。

表 7-2. デバイスのアクセス タイプ コード

アクセス タイプ	コード	説明
読み取りタイプ		
R	R	読み出し
書き込みタイプ		
W	W	書き込み

7.1.1 CONFIG1 レジスタ (アドレス = 0x10h)

Configuration レジスタを、表 7-3 に示します。

表 7-3. CONFIG1 レジスタのフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
15-12	ACTIVE_CHANNEL	R/W	0011b	これらの 4 ビットは、どのチャネルが有効であるかを決定します。各チャネルを有効にするには、このビットを「1」に設定します。無効なチャネルは、ラウンドロビンサイクルでスキップされます。 ビット 15 = 予約済み。 ビット 14 = 予約済み。 ビット 13 = チャネル 2 測定の有効化/無効化。 ビット 12 = チャネル 1 測定の有効化/無効化。 電源投入時のデフォルト値: 0011b = 全チャネル アクティブ
11-9	AVG	R/W	000b	平均化する ADC 変換結果の数を設定します。読み戻しレジスタは、平均化が完了した後に更新されます。 000b = 1 001b = 4 010b = 16 011b = 64 100b = 128 101b = 256 110b = 512 111b = 1024

表 7-3. CONFIG1 レジスタのフィールドの説明 (続き)

ピット	フィールド	タイプ	リセット	説明
8-6	VBUSCT	R/W	100b	VBUS 測定の変換時間を設定します 000b = 140 μ s 001b = 204 μ s 010b = 332 μ s 011b = 588 μ s 100b = 1100μs 101b = 2116 μ s 110b = 4156 μ s 111b = 8244 μ s
5-3	VSHCT	R/W	100b	SHUNT 測定の変換時間を設定します 000b = 140 μ s 001b = 204 μ s 010b = 332 μ s 011b = 588 μ s 100b = 1100μs 101b = 2116 μ s 110b = 4156 μ s 111b = 8244 μ s
2-0	モード	R/W	111b	動作モード:シャットダウン モード、連続モード、トリガ モードのいずれかでデバイスを動作させるようにモードを選択できます。 また、このモードにより、ユーザーはマルチブレクサが、バス電圧および/またはシャント電圧測定を、連続またはトリガ モードで行うよう、設定できます。 000b=シャットダウン 001b=シャント電圧トリガ、シングル ショット 010b=バス電圧トリガ、シングル ショット 011b=シャント電圧とバス電圧トリガ、シングル ショット 100b=シャットダウン 101b=シャント電圧、連続 110b=バス電圧、連続 111b=シャント電圧とバス電圧、連続

[概略表](#)に戻ります。

7.1.2 CONFIG2 レジスタ (アドレス = 0x11h)

Configuration レジスタを、[表 7-4](#) に示します。

表 7-4. CONFIG2 レジスタのフィールドの説明

ピット	フィールド	タイプ	リセット	説明
15	RST	R/W	0b	このピットを「1」にセットすると、パワーオン リセットと同じシステムリセットが発生します。 すべてのレジスタをデフォルト値にリセットします。その後で、このピットはセルフクリアされます。
14-12	予約済み	R	000b	これらのピットの読み取り値は常に 0 です。

表 7-4. CONFIG2 レジスタのフィールドの説明 (続き)

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
11-8	ACC_RST	R/W	0000b	これらのビットに 1 を書き込むと、Energy レジスタがリセットされ、オーバーフロー フラグがクリアされます。 ビット 11 = 予約済み。 ビット 10 = 予約済み。 ビット 9 = チャネル 2 エネルギー リセット、オーバーフロー クリア。 ビット 8 = チャネル 1 エネルギー リセット、オーバーフロー クリア。 電源投入時のデフォルト値: 0000b = 全チャネル アクティブ 書き込み後、ビットは 0 にリセットされます。
7	CNVR_MASK	R/W	0b	このビットを High に設定すると、変換完了時に ALERT ピンがアサートされます。 0b = ALERT ピンの変換準備完了フラグをディセーブルにする 1b = ALERT ピンの変換準備完了フラグをイネーブルにする ALERT は、Flag レジスタの CVRF フィールドが読み出されるまでアサートされたままです。
6	ENOF_MASK	R/W	0b	1 に設定すると、有効なチャネルのいずれかでエネルギー オーバーフロー 状態が発生した時、Alert ピンがトグルします
5	ALERT_LATCH	R/W	0b	1 に設定するとフォルト状態の間、Alert ピンの状態はラッチされます。Alert をクリアするには、Alert Flag レジスタを読み出し、フォルト状態を解除する必要がある。
4	ALERT_POL	R/W	0b	このビットを 1 に設定すると、フォルト状態の間、Alert ピンは Low から High に切り替わります。0 (デフォルト) に設定すると、フォルト時に Alert ピンが High から Low に切り替わります。
3-0	RANGE	R/W	0000b	各チャネルのシャント フルスケール 入力範囲の選択を有効にします。 Bit3 = 予約済み。 Bit2 = 予約済み。 ビット 1 = チャネル 2 の範囲選択。 ビット 0 = チャネル 1 の範囲選択。 範囲選択ビット = 0 は $\pm 81.92\text{mV}$ を選択 範囲選択ビット = 1 は $\pm 20.48\text{mV}$ を選択 0000b = 全チャネルを $\pm 81.92\text{mV}$ 範囲に設定

[概略表](#)に戻ります。

7.1.3 CALIBRATION レジスタ

Calibration レジスタを [表 7-5](#) に示します。このレジスタは、最初の電源投入時、電力サイクル イベント後、または有効な電流および電力の結果を受信するようにプログラムする必要があります。

表 7-5. INA2227 較正レジスタ

アドレス	レジスタ名	レジスタ タイプ	レジスタ サイズ (ビット)
0x05	CALIBRATION_CH1	R/W	16
0x0D	CALIBRATION_CH2	R/W	16

このレジスタは、差動電圧の測定値の作成に使われるシャント抵抗の値をデバイスに示します。また、この Current レジスタの分解能も設定します。このレジスタをプログラムすると、Current_LSB と Power_LSB が設定されます。

表 7-6. Calibration レジスタのフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
15	予約済み	R	0h	

表 7-6. Calibration レジスタのフィールドの説明 (続き)

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
14-0	SHUNT_CAL	R/W	0000h	シャント電圧から電流への変換を行うために必要な、プログラムされた値。

[概略表](#)に戻ります。

7.1.4 Alert Configuration レジスタ

Alert Configuration レジスタを表 7-7 に示します。

表 7-7. INA2227ALERT_CONFIG レジスタ

アドレス	レジスタ名	レジスタタイプ	レジスタ サイズ (ビット)
0x07	ALERT1	R/W	16
0x0F	ALERT2	R/W	16

各 Alert Configuration レジスタのフォーマットを、表 7-8 に示します。

これらのレジスタは、各チャネルのアラートをトリガするものを設定します。アラート マスクフィールドは、有効なアラートを設定します。

表 7-8. アラート構成レジスタのフィールド説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
15 - 4	予約済み	R	0000000000000b	予約済み
4-3	チャネル	R/W	00b	選択 00b = チャネル 1 01b = チャネル 2 10b = 予約済み。 11b = 予約済み。
2-0	ALERT_MASK	R/W	000b	割り当てられたチャネルの有効なアラートを設定します。 000b = 予約済み、影響なし 001b = シャント電圧の上限 (SOL) 010b = シャント電圧の下限 (SUL) 011b = バス電圧の上限 (BOL) 100b = バス電圧の下限 (BUL) 101b = 電力の上限 (POL) 110b = 予約済み、影響なし 111b = 予約済み、影響なし

Alert configuration レジスタは、各チャネルに対してアラートをトリガするものを設定します。アラート マスクフィールドは、有効なアラートを設定します。アプリケーションのニーズに応じて、1 つのチャネルに最大 2 つのアラートを割り当てることも、すべてのチャネルに均等に割り当てることもできます。

[概略表](#)に戻ります。

7.1.5 Alert Limit レジスタ

表 7-9 に示す Alert Limit レジスタは、必要フォルトな制限スレッショルドを設定するようにプログラムする必要があります。

表 7-9. INA2227ALERT_LIMIT レジスタ

アドレス	レジスタ名	レジスタ タイプ	リセット	レジスタ サイズ (ビット)
0x06	LIMIT1	R/W	0000h	16

表 7-9. INA2227ALERT_LIMIT レジスタ (続き)

アドレス	レジスタ名	レジスタ タイプ	リセット	レジスタ サイズ (ビット)
0x0E	LIMIT2	R/W	0000h	16

Alert limit レジスタのフォーマットは、対応する結果レジスタのフォーマットに従います。

シャント電圧制限は符号付き 16 ビット、バス電圧制限は符号なしの 15 ビット、電力制限は符号なしの 16 ビット値で表されます。

[概略表](#)に戻ります。

7.1.6 Shunt Voltage レジスタ

シャント電圧レジスタには、電流シャント電圧の測定値 **SHUNT** が格納されます。各チャネルのシャント電圧測定には、[表 7-10](#) に示されるように固有のアドレスがあります。

表 7-10. INA2227SHUNT_VOLTAGE レジスタ

アドレス	レジスタ名	レジスタ タイプ	レジスタ サイズ (ビット)
0x00	SHUNT_VOLTAGE_CH1	R	16
0x08	SHUNT_VOLTAGE_CH2	R	16

Shunt Voltage レジスタのフォーマットを、[表 7-11](#) に示します。

平均化が有効な場合、これらのレジスタには平均化されたシャント電圧値が含まれます。

表 7-11. Shunt Voltage レジスタのフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
15-0	VSHUNT	R	0000h	シャント出力の両端で測定された差動電圧。2 の補数値。

負の値は、2 の補数形式で表記されます。負の値の 2 の補数を生成するには、バイナリ数の絶対値の補数を求めて、1 を足します。MSB が「1」のときは、負の値を示しています。

例: $V_{SHUNT} = -80mV$ の値なら:

- 絶対値を取得します: $80mV$
- この数値を、10 進の整数 $(80mV \div 2.5\mu V) = 32000$ に変換します
- この値を、バイナリに変換します=0111 1101 0000 0000
- バイナリの結果を補数形式にします=1000 0010 1111 1111
- 補数に「1」を加算し、2 の補数の結果にします=1000 0011 0000 0000 = 8300h

[概略表](#)に戻ります。

7.1.7 Bus Voltage レジスタ

Bus Voltage レジスタは、各チャネルのバスピンで測定された電圧を格納します。バス電圧測定は、[表 7-12](#) に示すように、固有のレジスタ アドレスに格納されます。

表 7-12. INA2227 BUS_VOLTAGE レジスタ

アドレス	レジスタ名	レジスタ タイプ	レジスタ サイズ (ビット)
0x01	BUS_VOLTAGE_CH1	R	16
0x09	BUS_VOLTAGE_CH2	R	16

Bus Voltage レジスタのフォーマットを、[表 7-13](#) に示します。

Bus Voltage レジスタは、正の値のみを返します。平均化がイネーブルなら、平均化された値がこのレジスタに示されます。

表 7-13. BUS_VOLTAGE レジスタのフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
15-0	VBUS	R	0000h	バス電圧出力。2 の補数値で、常に正の値となります。

[概略表](#)に戻ります。

7.1.8 CURRENT レジスタ

CURRENT レジスタには、各チャネルの計算された電流値を格納します。電流測定は、表 7-14 に示す固有のレジスタアドレスに格納されます。

表 7-14. INA2227 CURRENT レジスタ

アドレス	レジスタ名	レジスタ タイプ	レジスタ サイズ (ビット)
0x02	CURRENT_CH1	R	16
0x0A	CURRENT_CH2	R	16

各 Current レジスタのフォーマットを、表 7-15 に示します。

平均化がイネーブルなら、平均化された値がこのレジスタに示されます。Current レジスタの値は、Shunt Voltage レジスタの 10 進値に Calibration レジスタの 10 進値を乗算することで計算されます。

表 7-15. CURRENT レジスタ フィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
15-0	CURRENT	R	0000h	電流出力の計算値 (アンペア)。2 の補数値。

[概略表](#)に戻ります。

7.1.9 POWER レジスタ

POWER レジスタは、各チャネルのバス電圧と電流の乗算値を格納します。電力測定は、表 7-16 に示す固有のレジスタアドレスに格納されます。

表 7-16. INA2227 POWER レジスタ

アドレス	レジスタ名	レジスタ タイプ	レジスタ サイズ (ビット)
0x03	POWER_CH1	R	16
0x0B	POWER_CH2	R	16

各 Power レジスタのフォーマットを、表 7-17 に示します。

平均化がイネーブルなら、平均化された値がこのレジスタに示されます。Power レジスタは、Current レジスタの 10 進値に Bus Voltage レジスタの 10 進値を乗算することで、電力をワット単位で記録します。結果は符号なしです。

表 7-17. POWER レジスタ フィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
15-0	電源	R	0000h	このビットは、システムの電力の計算値を返します。 結果は符号なしです。

[概略表](#)に戻ります。

7.1.10 Energy レジスタ

Energy レジスタは Power レジスタからのデータを蓄積し、内部高精度タイムベースによって各チャネルのエネルギーを計算し、格納します。エネルギー測定は、表 7-18 に示す固有のレジスタ アドレスに格納されます。

表 7-18. INA2227 ENERGY レジスタ

アドレス	レジスタ名	レジスタ タイプ	レジスタ サイズ (ビット)
0x04	ENERGY_CH1	R	32
0x0C	ENERGY_CH2	R	32

各 Energy レジスタのフォーマットを、表 7-19 に示します。

Energy レジスタはエネルギーをジュール単位で記録し、高精度の発振器をタイムベースとして使用します。結果は符号なしです。

表 7-19. Energy レジスタ フィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
31-0	ENERGY	R	00000000h	このビットは、システムのエネルギーの計算値を返します。 結果は符号なしです。

[概略表](#)に戻ります。

7.1.11 Flag レジスタ

Flag レジスタを、表 7-20 に示します。

表 7-20. Flag レジスタ フィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
15	予約済み	R	0b	予約済み、0を返します。
14	予約済み	R	0b	予約済み、0を返します。
13	LIMIT2_ALERT	R	0b	2番目のアラート制限を超えたことを示します。このアラートは、チャネルとは独立しています。
12	LIMIT1_ALERT	R	0b	最初のアラート制限を超えたことを示します。このアラートは、チャネルとは独立しています。
11	予約済み	R	0b	予約済み、0を返します。
10	予約済み	R	0b	予約済み、0を返します。
9	ENERGYOF_CH2	R	0b	チャネル2の Energy レジスタがオーバーフローしたことを示します。
8	ENERGYOF_CH1	R	0b	チャネル1の Energy レジスタがオーバーフローしたことを示します。
7	CVRF (変換準備完了フラグ)	R	0b	デバイスはいつでも読み出せ、最後の変換のデータは保持されていますが、ワンショットまたはトリガ変換の調整のため、変換完了準備フラグがあります。 変換準備完了フラグ ビットは、すべての変換、平均化、乗算が完了した後にセットされます。 変換準備完了フラグ ビットは、以下の条件でクリアされます。 1.) Config1 レジスタへの書き込み (パワーダウンの選択を除く) 2.) Flag レジスタを読み取り
6	OVF (算術オーバーフロー)	R	0b	算術演算がオーバーフロー エラーに終わると、このビットは 1 に設定されます。このビットは、電流および電力データが無効である可能性があることを示しています。
5-0	予約済み	R	000000b	予約済み、0を返します。

概略表に戻ります。

7.1.12 Manufacturer ID レジスタ (アドレス = 7Eh)

Manufacturer ID レジスタを、表 7-21 に示します。

表 7-21. MANUFACTURE_ID レジスタのフィールドの説明

ピット	フィールド	タイプ	リセット	説明
15-0	MANUFACTURE_ID	R	5449h	読み出し値は ASCII コードの「TI」です

概略表に戻ります。

7.1.13 Device ID レジスタ (アドレス = 7Fh)

DEVICE_ID レジスタを、表 7-22 に示します。

表 7-22. DEVICE_ID レジスタ フィールドの説明

ピット	フィールド	タイプ	リセット	説明
15-4	DIE_ID	R	0x235	デバイス識別ビットを格納します
3-0	REV_ID	R	0h	デバイス リビジョン識別

概略表に戻ります。

8 アプリケーションと実装

注

以下のアプリケーション情報は、テキサス・インスツルメンツの製品仕様に含まれるものではなく、テキサス・インスツルメンツはその正確性も完全性も保証いたしません。個々の目的に対する製品の適合性については、お客様の責任で判断していただくことになります。また、お客様は自身の設計実装を検証しテストすることで、システムの機能を確認する必要があります。

8.1 アプリケーション情報

INA2227 は、I²C および SMBus 互換インターフェースを搭載したデュアル チャネル電流シャント モニタです。このデバイスは、シャント電圧降下をモニタして電流と VBUS ピンのバス電圧を計算し、最大 2 つの測定チャネルの電力とエネルギーを決定します。プログラム可能な較正值、変換時間、平均化(内蔵のマルチプライヤとの組み合わせ)により、電流 (アンペア)、電力 (ワット)、エネルギー (ジュール) を直接読み出すことができます。

8.1.1 デバイスの測定範囲と分解能

INA2227 デバイスは、各チャネルのシャント電圧測定用に 2 つの入力範囲をサポートしています。IN+ ピンと IN- ピンの間でサポートされているフルスケールの差動入力は、CONFIG2 レジスタ (アドレス = 0x11h) レジスタの範囲フィールドに応じて $\pm 81.92\text{mV}$ または $\pm 20.48\text{mV}$ のいずれかになります。IN- ピンでのバス電圧測定の範囲は 0V ~ 52.42V ですが、プロセス定格により最大動作電圧に制限されます。

シャント電圧とバス電圧のフルスケール測定値と、対応する分解能の説明を、表 8-1 に示します。

表 8-1. ADC のフルスケール値

パラメータ	フルスケール値	分解能
シャント電圧	$\pm 81.92\text{mV}$ (ADCRANGE = 0)	2.5 $\mu\text{V}/\text{ LSB}$
	$\pm 20.48\text{mV}$ (ADCRANGE = 1)	625nV/LSB
バス電圧	0V ~ 52.4V (使用可能範囲を推奨動作電圧に制限)	1.6mV/LSB

デバイスのシャント電圧とバス電圧の測定値は、それぞれ **Shunt Voltage** レジスタと **Bus Voltage** レジスタから読み取られます。シャント電圧およびバス電圧レジスタのデジタル出力は 16 ビットです。シャント電圧の測定値は、システムの双方向電流により正の値にも負の値にもなります。そのため、**Shunt Voltage** レジスタのデータ値は、正の値にも負の値にもできます。**Bus Voltage** レジスタのデータ値は常に正です。出力データは、対応する分解能サイズをデジタル値に乗算して、電圧に直接変換できます。

さらに、[電流と電力の計算](#) で説明しているように、計算された電流をアンペア単位で、電力をワット単位で報告する柔軟性も備えています。

8.1.2 電流と電力の計算

INA2227 が電流値をアンペア単位で通知するには、選択された **CURRENT_LSB** と各チャネルのアプリケーションで使用されるシャント抵抗に依存する、一定の変換値を各 **Calibration** レジスタに書き込む必要があります。キャリブレーションレジスタの値は、[式 1](#) に基づいて計算されます。**CURRENT_LSB** は、電流値が格納される **CURRENT** レジスタの LSB に選択されたステップ サイズです。[式 2](#) に示すように、**CURRENT_LSB** の最小値は、想定される最大電流に基づいており、この式は **CURRENT** レジスタの最大分解能を直接定義します。**CURRENT_LSB** 値が小さいほど分解能は高くなります。この値は **CURRENT** の変換を簡単にするため、**CURRENT_LSB** にはより大きな切りのいい数 (8× 以下) の値を選択するのが一般的です。

R_{SHUNT} は、IN+ ピンと IN- ピン間の差動電圧を生じさせるために使われる外部シャントの抵抗値です。ADCRANGE = 0 の場合、[式 1](#) を使用します。ADCRANGE = 1 の場合、**SHUNT_CAL** の値を 4 で除算する必要があります。

$$SHUNT_CAL = \frac{0.00512}{Current_LSB \times R_{SHUNT}} \quad (1)$$

ここで、

- 0.00512 は、スケーリングが適切に維持されているか検証するために使用される内部固定値です。
- **CURRENT_LSB** は、電流ステップ サイズに対して選択された値で、アンペア単位です。分解能の損失を減らすため、**CURRENT_LSB(minimum)** 以上で、 $8 \times \text{CURRENT_LSB(minimum)}$ 未満の必要があります。
- ADCRANGE = 1 の場合、**SHUNT_CAL** の値を 4 で除算する必要があります。

$$\text{CURRENT_LSB (minimum)} = \frac{\text{Maximum Expected Current}}{2^{15}} \quad (2)$$

電流は、**SHUNT_CAL** フィールドで設定される値に基づき、シャント電圧の測定値に従って計算されます。**SHUNT_CAL** フィールドにロードされる値が 0 の場合、**CURRENT** レジスタによって通知される電流値も 0 になります。

計算値を使用して **SHUNT_CAL** フィールドをプログラミングすると、**CURRENT** レジスタから電流の測定値をアンペア単位で読み取ることができます。[式 3](#) を使用して、**CURRENT_LSB** によってスケーリングされた最終的な値を計算します。

$$\text{Current [A]} = \text{CURRENT_LSB} \times \text{CURRENT} \quad (3)$$

ここで、

- **CURRENT** は、**CURRENT** レジスタからの読み取り値です

電力値は、**POWER** レジスタから符号なし 16 ビットの値として読み取ることができます。[式 4](#) を使用して、電力をワット単位に変換します。

$$\text{Power [W]} = 32 \times \text{CURRENT_LSB} \times \text{POWER} \quad (4)$$

ここで、

- POWER は、POWER レジスタからの読み取り値です。
- CURRENT_LSB は、選択されたチャネルのために選ばれた LSB サイズです。

エネルギーの値は、各 ENERGY レジスタから 32 ビット符号なし値として読み取ることができます。[式 5](#) 使用して、エネルギーをジュールに変換します。

$$\text{Energy [J]} = 32 \times \text{CURRENT_LSB} \times \text{ENERGY}$$

(5)

ここで、

- ENERGY は、各 ENERGY レジスタからの読み取り値です。
- CURRENT_LSB は、選択されたチャネルのために選ばれた LSB サイズです。

8.1.3 ADC の出力データ レートとノイズ特性

INA2227 のノイズ性能と有効分解能は、ADC 変換時間によって異なります。本デバイスは、デジタルノイズのさらなる低減に有効なデジタル平均化もサポートしています。本デバイスでは ADC 変換時間とデータ平均化回数を柔軟に選択できるため、優れた信号対雑音比を実現でき、最小限のオフセットで最大限のダイナミックレンジを達成できます。低信号レベルでのノイズプロファイルは、主に $1/f$ ノイズまたは白色ノイズから成るシステムノイズによって支配されます。ADC の有効分解能は、変換時間を長くし、平均化の数を増やすことにより、向上します。

デバイスでサポートされている出力データ レート変換設定を、[表 8-2](#) に示します。最も高速な変換設定は $140\mu\text{s}$ です。代表的なノイズフリー分解能は、デバイス測定データに基づく有効ビット数 (ENOB) として表現されます。ENOB は、ノイズのピークツーピーク値に基づいて計算されます。そうすることで、ノイズ分布全体が確実に考慮されるようにします。

表 8-2. INA2227 ノイズ性能、電流測定、シングルチャネル有効

ADC 変換時間 [μs]	出力サンプル平均化 [サンプル]	出力サンプル期間 [ms]	ノイズフリー ENOB ($\pm 81.92\text{mV}$) (ADCRANGE = 0)	ノイズフリー ENOB ($\pm 20.48\text{mV}$) (ADCRANGE = 1)
140	1	0.14	13.1	11.1
204	1	0.204	13.4	11.1
332	1	0.332	14.1	11.7
588	1	0.588	14.7	12.2
1100	1	1.1	14.7	12.5
2116	1	2.116	15.1	13.4
4156	1	4.156	15.7	14.1
8244	1	8.244	16.0	14.7
140	4	0.56	14.1	12.1
204	4	0.816	14.4	12.4
332	4	1.328	15.1	12.9
588	4	2.352	15.7	13.4
1100	4	4.4	15.7	13.7
2116	4	8.464	16.0	14.7
4156	4	16.624	16.0	14.7
8244	4	32.976	16.0	15.7
140	16	2.24	15.1	13.1
204	16	3.264	15.7	13.4
332	16	5.312	15.7	14.1
588	16	9.408	16.0	14.4
1100	16	17.6	16.0	15.1
2116	16	33.856	16.0	15.7
4156	16	66.496	16.0	15.7
8244	16	131.904	16.0	16.0

表 8-2. INA2227 ノイズ性能、電流測定、シングルチャネル有効 (続き)

ADC 変換時間 [μs]	出力サンプル平均化 [サンプル]	出力サンプル期間 [ms]	ノイズフリー ENOB ($\pm 81.92\text{mV}$) (ADCRANGE = 0)	ノイズフリー ENOB ($\pm 20.48\text{mV}$) (ADCRANGE = 1)
140	64	8.96	15.7	13.7
204	64	13.056	16.0	14.4
332	64	21.248	16.0	15.1
588	64	37.632	16.0	15.7
1100	64	70.4	16.0	15.7
2116	64	135.424	16.0	16.0
4156	64	265.984	16.0	16.0
8244	64	527.616	16.0	16.0
140	128	17.92	16.0	14.1
204	128	26.112	16.0	15.1
332	128	42.496	16.0	15.7
588	128	75.264	16.0	15.7
1100	128	140.8	16.0	16.0
2116	128	270.848	16.0	16.0
4156	128	531.968	16.0	16.0
8244	128	1055.232	16.0	16.0
140	256	35.84	16.0	14.7
204	256	52.224	16.0	15.7
332	256	84.992	16.0	15.7
588	256	150.528	16.0	16.0
1100	256	281.6	16.0	16.0
2116	256	541.696	16.0	16.0
4156	256	1063.936	16.0	16.0
8244	256	2110.464	16.0	16.0
140	512	71.68	16.0	15.1
204	512	104.448	16.0	15.7
332	512	169.984	16.0	16.0
588	512	301.056	16.0	16.0
1100	512	563.2	16.0	16.0
2116	512	1083.392	16.0	16.0
4156	512	2127.872	16.0	16.0
8244	512	4220.928	16.0	16.0
140	1024	143.36	16.0	15.7
204	1024	208.896	16.0	16.0
332	1024	339.968	16.0	16.0
588	1024	602.112	16.0	16.0
1100	1024	1126.4	16.0	16.0
2116	1024	2166.784	16.0	16.0
4156	1024	4255.744	16.0	16.0
8244	1024	8441.856	16.0	16.0

8.1.4 フィルタリングと入力についての考慮事項

電流の測定は多くの場合ノイズがあり、ノイズの定義も困難なことがあります。INA2227 では、Configuration レジスタ (0h) で変換時間と平均値の数を別々に選択でき、複数のフィルタリング オプションを選択できます。変換時間はシャント電圧とバス電圧の測定値に対して個別に設定できるため、電源バスの監視を柔軟に構成できます。

内部 ADC は、500kHz ($\pm 0.5\%$ 最大) のサンプリング レートを持つデルタシグマ ($\Delta\Sigma$) フロント エンドをベースにしています。このアーキテクチャは本質的にノイズ除去に優れていますが、サンプリング レートの高調波、またはその付近で発生する過渡が問題を起こす可能性があります。これらの信号は 1MHz 以上なので、デバイスの入力時にフィルタリングを組み入れることで管理できます。周波数が高いため、測定値の精度にほぼ影響を与えず、フィルタ上に値の小さい直列抵抗を使用できます。一般に、デバイス入力のフィルタリングは、500kHz ($\pm 0.5\%$ 最大) のサンプリング レートの正確な高調波 (1MHz より高い) で過渡が発生している場合にのみ必要です。可能な限り小さい値の直列抵抗 (標準で 100Ω 以下)

とセラミック コンデンサを使用して、フィルタリングを行います。このコンデンサの推奨値は、 $0.1\mu\text{F} \sim 1\mu\text{F}$ です。図 8-1 は、入力にフィルターを追加したデバイスを示しています。

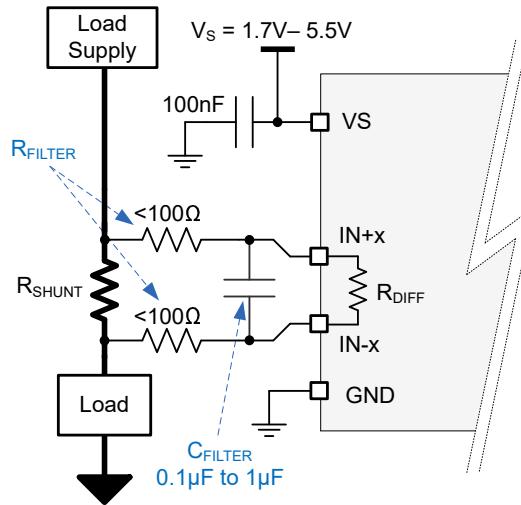


図 8-1. 入力フィルタリング

デバイス入力に対しては、さらに過負荷状態も考慮します。デバイス入力は、入力間で 26V を許容するよう規定されています。大きな差動シナリオでは、シャントの負荷側でグランドに短絡していることがあります。この種類のイベントが発生した場合、シャント両端にバスの電源電圧がフルに印加される可能性があります (電源またはエネルギー保存コンデンサがその電圧をサポートできる場合)。グランドへの短絡を除去すると、誘導性キックバックが発生して、デバイスの 26V の差動、または 48V の同相定格を超える可能性があります。誘導性キックバック電圧は、十分なエネルギー保存コンデンサと組み合わせたツエナー型過渡吸収デバイス (一般にトランゾーブといいます) によって最適に制御されます。**過渡堅牢性を備えた電流シャントモニタのリファレンスデザイン**では、電流検出抵抗の両端で発生する電圧を測定するために使用するハイサイド電流シャントモニタと、過渡過電圧状態から電流検出デバイスをより適切に保護する方法について説明しています。

シャントの片側または両側に、大容量のエネルギー保存用の電解コンデンサがないアプリケーションでは、入力に対して電圧の過剰な dV/dt が印加され、入力オーバーストレス状態が発生する可能性があります。このイベントの原因として最も多いのが物理的な短絡で、 dV/dt が過剰な場合は大電流によってシステムで ESD 保護がアクティブになる可能性があります。デバイスの各入力と直列に 10Ω の抵抗を追加すると、デバイスの定格である最大 48V までの dV/dt 障害に対して十分な保護を行えることが、テストにより示されています。これらの抵抗を記載されている範囲内で選択することにより、精度への影響を最小限に抑えることができます。

8.1.5 eFuse 電流および電力の監視

INA2227 の追加バスピンにより、デバイスをローサイドセンシング構成で使用することができます。この構成により、電力電流センス抵抗を追加することなく、eFuse アプリケーションの電力および電流を監視することができます。eFuse の電流を監視するには、図 8-2 に示すように、INA2227 の入力を CS または IMON ピンと直列の抵抗に接続します。

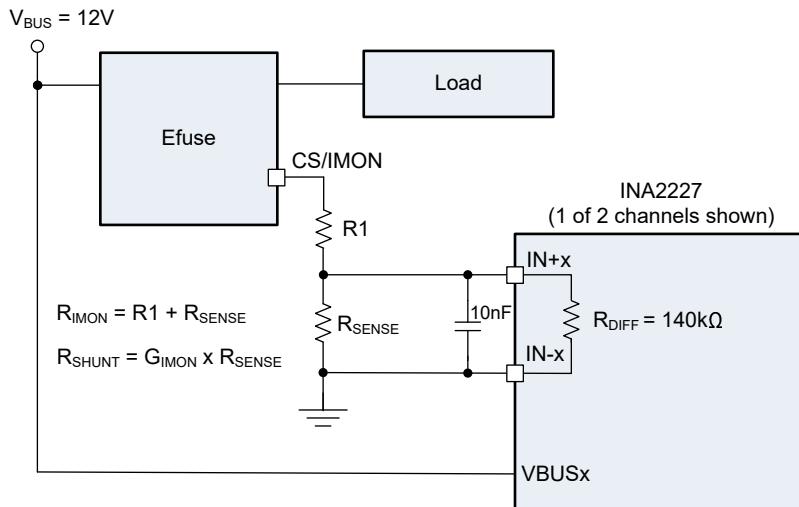


図 8-2. 電流および電力監視のための eFuse アプリケーション回路

R_{SENSE} 抵抗は、eFuse IMON の最大電流において、RANGE ビットで決定されるフルスケール入力範囲を超えないようなサイズに設定されます。IMON 抵抗の調整を可能にするため、 R_{SENSE} 抵抗の上に直列抵抗 $R1$ が追加されています。電源から供給される電力または負荷に供給される電力を監視するため、 V_{BUS} ピンは eFuse の入力または出力のいずれかに接続する必要があります。

INA2227 によって監視される電流は実際の負荷電流をスケールダウンしたものであるため、セクション 8.1.2 で使用される R_{SHUNT} の値は eFuse の電流モニターゲイン (G_{IMON}) に選択された R_{SENSE} 抵抗を乗算することで計算されます。

デバイスのフルスケール入力範囲を利用するため、 R_{SENSE} 抵抗の値は従来の電流センスアプリケーションで通常使用される値よりも大きくなっています。INA2227 の差動入力インピーダンス R_{DIFF} により、さらに測定誤差が生じます。典型的な誤差は、 $140\text{k}\Omega$ の内部 R_{DIFF} インピーダンスの並列加算による R_{SENSE} 値の変化の結果によるものです。例えば、 75Ω の R_{SENSE} 値を $140\text{k}\Omega$ の内部抵抗と並列に接続すると、 74.96Ω の実効センス抵抗となり、これは予想される抵抗値より 0.054% 低くなります。この追加誤差は、デバイスの全体的なゲイン誤差に追加されます。ほとんどのアプリケーションでは、eFuse 電流ゲインの許容誤差と比較すると、この誤差はごくわずかです。

標準的な R_{SENSE} 値よりも大きな ADC サンプリングによって誘発されるノイズとエラーを最小化するために、eFuse アプリケーションで使用する場合は、INA2227 の入力に 10nF のコンデンサを追加する必要があります。この追加コンデンサは、可能な限りデバイス入力ピンの近くに配置する必要があります。

8.2 代表的なアプリケーション

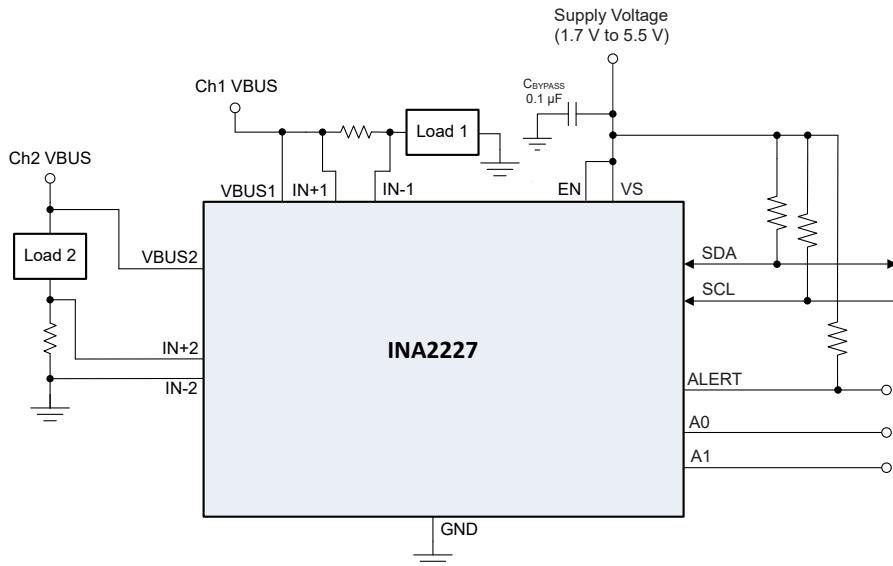


図 8-3. 代表的なローサイドセンシング回路の構成、INA2227

8.2.1 設計要件

INA2227 は、電流検出抵抗器 (R_{SHUNT}) に電流が流れたときに発生する電圧を測定する 2 つのチャネルを備えています。デバイスはバス電源電圧も測定し、各チャネルの電力とエネルギーを計算します。さらに、デバイスはアラート機能を備えており、ユーザー定義のイベントや変換準備通知に応答するようにアラートピンをプログラムすることも可能です。

表 8-3 は、図 8-3 に示す回路の 1 つのチャネルの設計要件を示します。

表 8-3. チャネル 1 の設計パラメータ

設計パラメータ	数値の例
電源電圧 (V_S)	3.3V
バス電源レール (V_{CM})	12V
平均電流	6A
過電流フォルトのスレッショルド	9A
監視できる最大電流 (I_{MAX})	10A
ADC 範囲の選択 (V_{SENSE_MAX})	±81.92mV
エネルギー累積期間	1 時間

8.2.2 詳細な設計手順

この設計例では、シャント抵抗の選択、キャリブレーション レジスタのプログラミング、正しいフォルト スレッショルドの設定、デバイスのチャネル 1 に対してデバイスから返された値を適切にスケーリングする方法について説明します。追加チャネルの構成も同様で、適切なチャネルに対応するレジスタに計算値をプログラムします。

8.2.2.1 シャント抵抗の選択

表 8-3 の値を使用して、シャント抵抗の最大値は、検出された電流の最大値 (I_{MAX}) と選択した ADC 範囲の最大許容検出電圧 (V_{SENSE_MAX}) に基づいて計算されます。最大電流で動作する場合、差動入力電圧はデバイスの最大フルスケール範囲 V_{SENSE_MAX} を超えることはできません。指定された設計パラメータに 式 6 を使用すると、 R_{SHUNT} の最大値は $8.192m\Omega$ と算出されます。算出された最大値より小さく、最も標準に近い抵抗値は $8.0m\Omega$ です。より小さな抵抗を使用すると、電力損失が最小限に抑えられますが、精度が低下します。選択するシャント抵抗は、目的の動作温度で最大負荷時の消費電力を処理するのに十分なワット数を備えている必要があります。

$$R_{SHUNT} < \frac{V_{SENSE_MAX}}{I_{MAX}} \quad (6)$$

8.2.2.2 デバイスの構成

INA2227 をプログラムする最初のステップは、Device configuration レジスタ CONFIG1 と CONFIG2 を適切に設定することです。最初の電源投入時に、構成レジスタはリセット値に設定されます (表 7-3 および 表 7-4 を参照)。デフォルトの電源投入状態では、デバイスは ADC が全チャンネルのシャント電圧とバス電圧を連続的に変換して、 $\pm 81.92\text{mV}$ の範囲で測定されるように設定されています。デフォルトの電源投入条件が設計要件を満たさない場合、これらのレジスタは各ディセーブルまたは V_S 電源サイクルイベント後に、正しく設定する必要があります。

8.2.2.3 Shunt Calibration レジスタのプログラム

各チャネルには 2 つの Shunt Calibration レジスタがあり、デバイスが電流に基づく結果を正しく報告するためには、各電源投入後に正しくプログラムする必要があります。Calibration レジスタの値を計算する最初のステップは、式 2 を使用して電流の最小 LSB 値を計算することです。この式に最大想定電流 10A を当てはめると、LSB サイズは $305.17578\mu\text{A}$ になります。INA2227 では、CURRENT_LSB を最小 LSB サイズの 8 倍まで選択できます。この例では、値として $500\mu\text{A}$ が使用されています。Current_LSB とシャント抵抗の選択値に式 1 を適用すると、Shunt calibration レジスタの設定は 1280d (500h) になります。Shunt calibration レジスタに不適切な値を設定すると、そのチャネルの電流に基づく結果はすべて 0 になります。シャント電圧とバス電圧の読み取りや、対応するアラート制限の設定には、これらのレジスタをプログラムする必要はありません。

8.2.2.4 目標のフォルト スレッショルドの設定

INA2227 には、Alert Configuration レジスタ で説明されているように、いくつかの異なるフォルト条件で Alert ピンをアサートする機能があります。アラート設定レジスタの ALERT MASK フィールドを適切にプログラムすることにより、アラートピンをアサートする希望のフォルト条件を選択する必要があります。フォルトスレッショルドは、Alert Limit レジスタに目標のトリップスレッショルドをプログラムすることで設定されます。

例えば、チャネル 1 は、ALERT1 レジスタ チャネル フィールドをチャネル 1 (00b) に設定し、ALERT MASK フィールドをシャント過電圧 (001b) に設定することで、過電流条件でアラートするように設定できます。過電流条件に必要なスレッショルドは、Limit1 レジスタでプログラムする必要があります。この例では、過電流スレッショルドは 9.0A で、電流検出抵抗の値は $8.0\text{m}\Omega$ なので、シャント電圧制限は 72mV です。シャント電圧制限を計算した後は、シャント電圧制限をシャント電圧の LSB サイズで除算して、Shunt Over Voltage Limit レジスタの値を求めます。

この場合、alert limit レジスタの計算値は $72\text{mV}/2.5\mu\text{V} = 28800\text{d}$ (7080h) です。

LIMIT1 および LIMIT2 レジスタに格納された値は、デバイスが無効化されるか、または V_S の電源を入れ直すと、デフォルト値に設定されます。

LIMIT レジスタにプログラムされたフォルトリミットは、1 つのチャネルに適用することも、2 つの測定チャネルそれぞれに分散して適用することもできます。例えば、バス電圧の監視がチャネル 1 でも必要な場合は、ALERT2 レジスタの CHANNEL フィールドをチャネル 1 (00b) に設定し、ALERT MASK フィールドをオーバーバス状態 (011b) を監視するように設定することもできます。過電圧フォルトの値は、LIMIT2 レジスタで任意に設定できます。

8.2.2.5 戻り値の計算

パラメータ値は、戻り値と LSB の値の乗算で求めます。次の 表 8-4 に、表 8-3 に示す設計要件を前提とした場合の、このアプリケーション例における戻り値を示します。

表 8-4. レジスタ値

登録	コンテンツ	LSB の値	計算結果
Shunt_Voltage_CH1 (00h)	19200d (4B00h)	$2.5\mu\text{V}$	$19200 \times 2.5\mu\text{V} = 0.048\text{V}$
Bus_Voltage_CH1 (01h)	7500d (1D4Ch)	1.6mV	$7500 \times 1.6\text{mV} = 12\text{V}$
Current_CH1 (02h)	12000d (2EE0h)	Current LSB = $500\mu\text{A}$	$12000 \times 500\mu\text{A} = 6\text{A}$
Power_CH1 (03h)	4500d (1194h)	Current LSB x 32 = 16mW	$4500 \times 16\text{mW} = 72\text{W}$

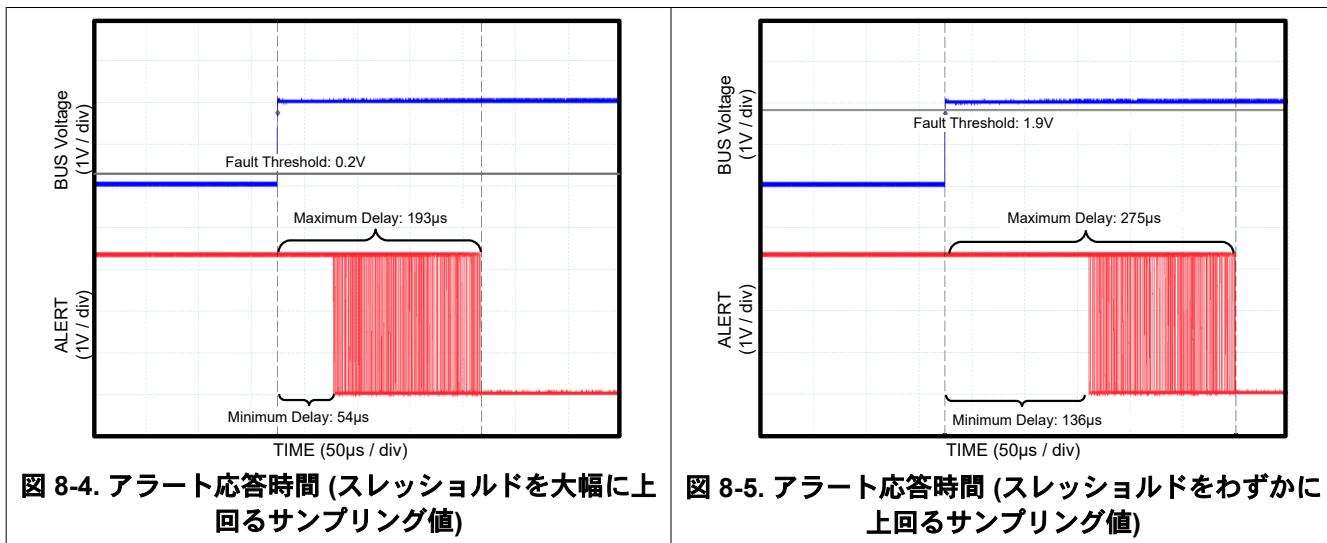
表 8-4. レジスタ値 (続き)

登録	コンテンツ	LSB の値	計算結果
Energy_CH1 (04h)	16200000d (00F7 3140h)	Current LSB x 32 = 16mJ	$16200000 \times 16mJ = 259.2kJ$

シャント電圧と電流の戻り値を、2の補数形式で表記します。2の補数形式では、バイナリの負の値は戻り値の最上位ビットが1になります。これらの値は、最初にすべてのビットを反転し、1を足して、符号なしバイナリ値にすることによって10進数に変換することができます。次に、この値に負の符号を付けて、10進数に変換する必要があります。

8.2.3 アプリケーション曲線

図 8-4 および 図 8-5 は、平均化を1に設定したバス電圧測定の変換時間 $140\mu s$ のバス過電圧フォルトに対する ALERT ピンの応答を示しています。これらのスコープショットでは、多くの連続フォルトイベントに対するアラート応答の変動を示すために、ALERT チャネルで永続性が有効になっています。アラート応答時間は、フォルトが発生する前の電流の値と、フォルト条件がプログラムされたフォルトしきい値をどれだけ超えたかに応じて変化することができます。図 8-4 は、故障状態がプログラムされたスレッショルドを大幅に超えた場合の過電流故障の応答時間を示しています。図 8-5 は、故障がプログラムされたスレッショルドをわずかに超えた場合の過電圧の応答時間を示しています。アラート応答の変動は、外部のフォルト イベントが内部の ADC 変換開始と同期していないために起こります。また、ADC は結果を取得するために定期的にサンプリングを行っているため、0から始まるフォルト イベントの応答時間は、設定されたフォルトスレッショルドに近い値から始まるフォルト イベントよりも遅くなります。アラートタイミングが重要なアプリケーションでは、最悪の場合のアラート応答は $2 \times (t_{conv_shunt} + t_{conv_voltage}) \times$ 有効チャネル数に等しくなります。過電力の条件下でアラートを生成する場合、バックグラウンドでの計算を可能にするために、追加の $60\mu s$ が必要になります。



8.3 電源に関する推奨事項

図 8-3 は、このデバイスの入力回路が、電源電圧 (V_S) を超える同相電圧の信号を正確に測定できることを示しています。たとえば、VS 電源ピンに印加される電圧は 5V ですが、監視対象のバス電源電圧 (コモンモード電圧) は 48V 程度まで高くなることがあります。また、デバイスの電源投入の有無に関係なく、入力ピンの -0.3V~48V の全範囲に耐えることができます。

必要な電源バイパスコンデンサは、安定性を確保するため、デバイスの電源ピンとグランドピンにできるだけ近づけて配置します。この電源バイパスコンデンサの標準値は $0.1\mu F$ です。ノイズが多い、またはインピーダンスが高い電源を使ったアプリケーションでは、デカップリングコンデンサの追加による電源ノイズの除去が必要な場合があります。

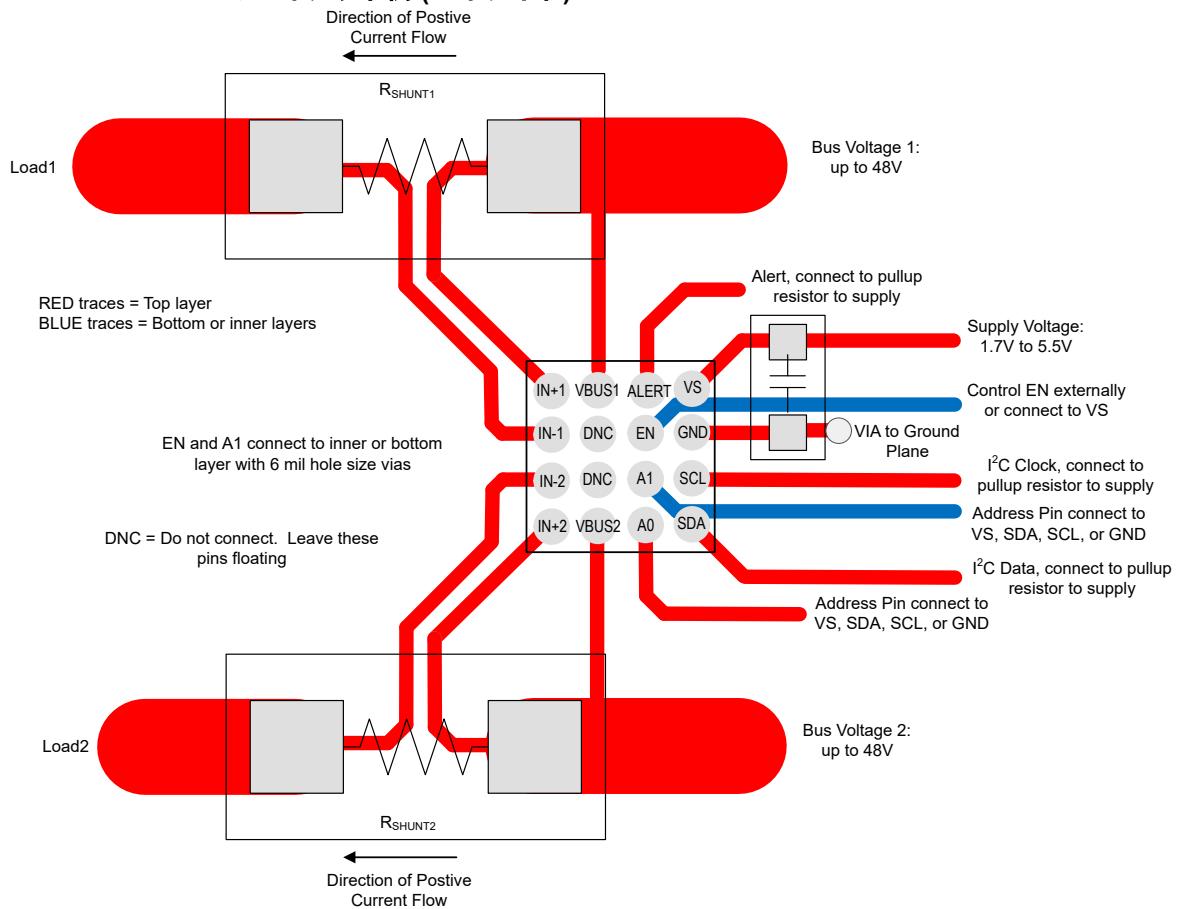
8.4 レイアウト

8.4.1 レイアウトのガイドライン

すべての入力ピン (IN+X と IN-X) は、各チャネルのケルビン接続 (4 線式接続) を使って検出抵抗に接続します。この接続方法により、入力ピン間の電流検出抵抗のインピーダンスのみが検出されることが検証されます。一般に、電流検出抵抗の配線に不備があると、入力ピン間の抵抗が増加します。電流検出抵抗の抵抗値は非常に小さいため、余分なインピーダンスに大電流が流れるとき大きな測定誤差が生じます。電源バイパスコンデンサは、電源とグランドのピンにできるだけ近づけて配置します。

8.4.2 レイアウト例

INA2227 DSBGA のレイアウト例 (ハイサイド)



9 デバイスおよびドキュメントのサポート

9.1 デバイス サポート

9.1.1 開発サポート

開発サポートについては、以下を参照してください。

『INA2227EVM ユーザー ガイド』

9.2 ドキュメントのサポート

9.2.1 関連資料

関連資料については、以下を参照してください。

- テキサス・インスツルメンツ、過渡堅牢性を備えた電流シャントモニタのリファレンスデザイン、デザイン ガイド
- テキサス インスツルメンツ、INA2227EVM ユーザー ガイド

9.3 ドキュメントの更新通知を受け取る方法

ドキュメントの更新についての通知を受け取るには、www.tij.co.jp のデバイス製品フォルダを開いてください。[通知] をクリックして登録すると、変更されたすべての製品情報に関するダイジェストを毎週受け取ることができます。変更の詳細については、改訂されたドキュメントに含まれている改訂履歴をご覧ください。

9.4 サポート・リソース

テキサス・インスツルメンツ E2E™ サポート・フォーラムは、エンジニアが検証済みの回答と設計に関するヒントをエキスパートから迅速かつ直接得ることができる場所です。既存の回答を検索したり、独自の質問をしたりすることで、設計で必要な支援を迅速に得ることができます。

リンクされているコンテンツは、各寄稿者により「現状のまま」提供されるものです。これらはテキサス・インスツルメンツの仕様を構成するものではなく、必ずしもテキサス・インスツルメンツの見解を反映したものではありません。テキサス・インスツルメンツの使用条件を参照してください。

9.5 商標

テキサス・インスツルメンツ E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

9.6 静電気放電に関する注意事項

 この IC は、ESD によって破損する可能性があります。テキサス・インスツルメンツは、IC を取り扱う際には常に適切な注意を払うことをお勧めします。正しい取り扱いおよび設置手順に従わない場合、デバイスを破損するおそれがあります。

ESD による破損は、わずかな性能低下からデバイスの完全な故障まで多岐にわたります。精密な IC の場合、パラメータがわずかに変化するだけで公表されている仕様から外れる可能性があるため、破損が発生しやすくなっています。

9.7 用語集

テキサス・インスツルメンツ用語集 この用語集には、用語や略語の一覧および定義が記載されています。

10 改訂履歴

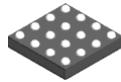
資料番号末尾の英字は改訂を表しています。その改訂履歴は英語版に準じています。

日付	改訂	注
June 2025	*	初版リリース

11 メカニカル、パッケージ、および注文情報

以降のページには、メカニカル、パッケージ、および注文に関する情報が記載されています。この情報は、指定のデバイスに使用できる最新のデータです。このデータは、予告なく、このドキュメントを改訂せずに変更される場合があります。本データシートのブラウザ版を使用されている場合は、画面左側の説明をご覧ください。

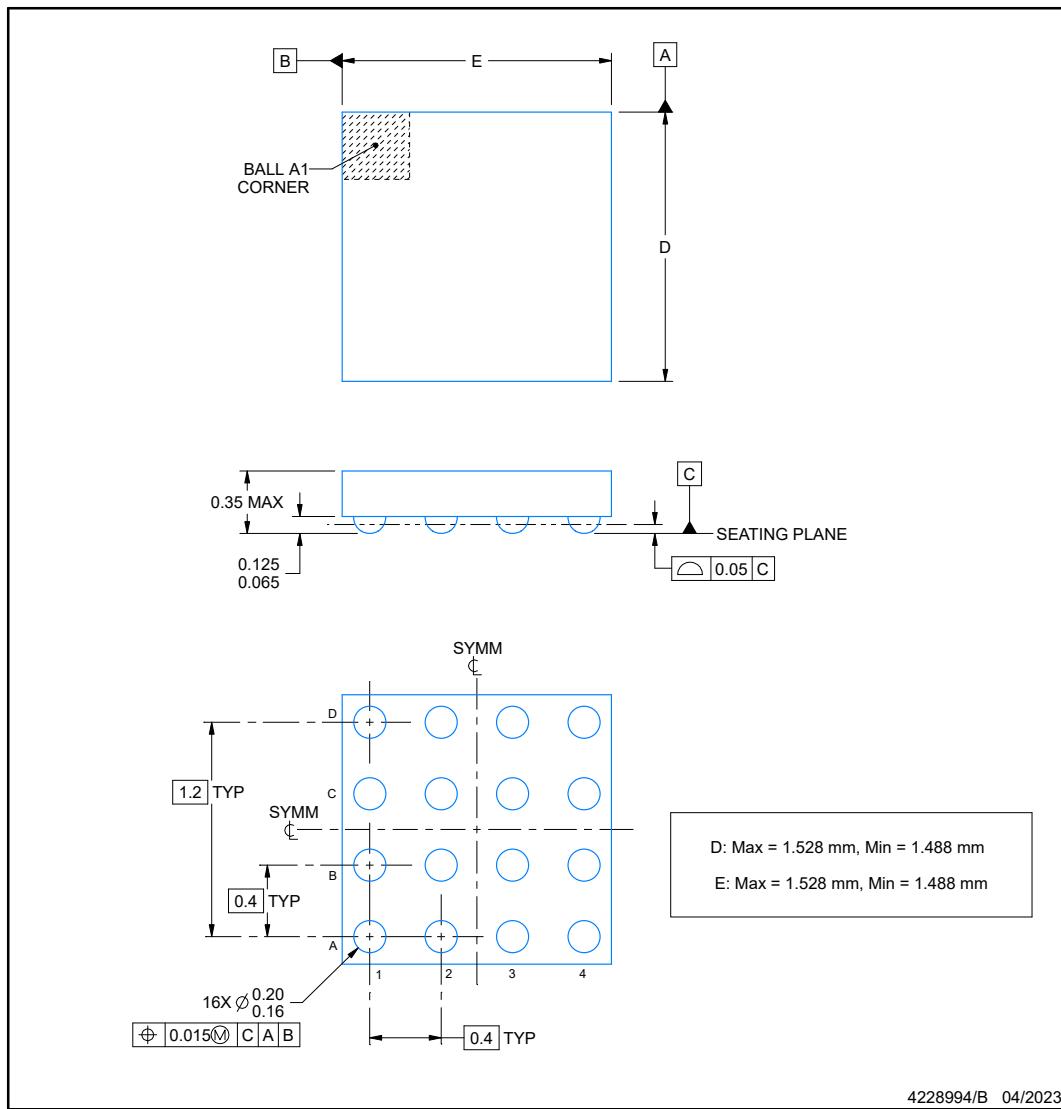
YBJ0016-C01



PACKAGE OUTLINE

DSBGA - 0.35 mm max height

DIE SIZE BALL GRID ARRAY



NOTES:

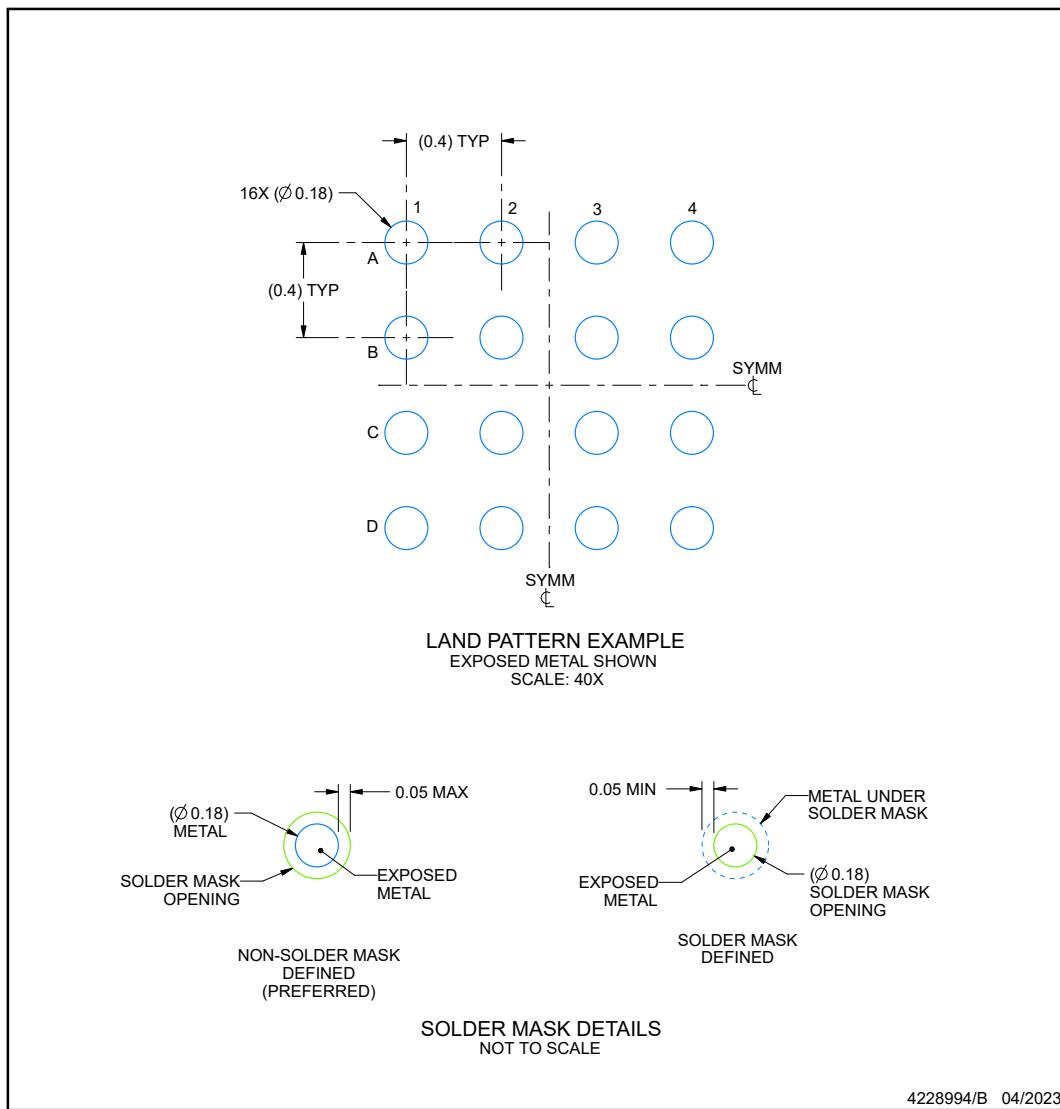
1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.

EXAMPLE BOARD LAYOUT

YBJ0016-C01

DSBGA - 0.35 mm max height

DIE SIZE BALL GRID ARRAY



NOTES: (continued)

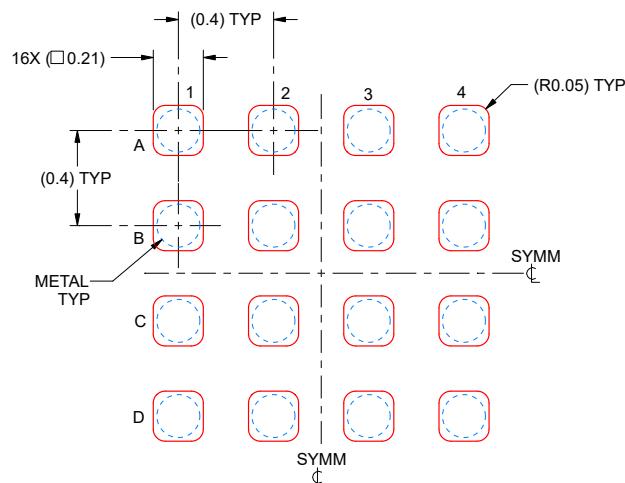
3. Final dimensions may vary due to manufacturing tolerance considerations and also routing constraints.
See Texas Instruments Literature No. SNVA009 (www.ti.com/lit/snva009).

EXAMPLE STENCIL DESIGN

YBJ0016-C01

DSBGA - 0.35 mm max height

DIE SIZE BALL GRID ARRAY



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.1 mm THICK STENCIL
SCALE: 40X

4228994/B 04/2023

NOTES: (continued)

4. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release.

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ（データシートを含みます）、設計リソース（リファレンス デザインを含みます）、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の默示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または默示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または ti.com やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいづれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ（データシートを含みます）、設計リソース（リファレンス デザインを含みます）、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の默示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または默示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適したテキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されているテキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または ti.com やかかるテキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所 : Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated