INA238 85V、16 ビット、高精度電力モニター、I²C インターフェイス付き

1 特長

- 高分解能、16 ビット デルタ シグマ ADC
- 電流監視精度:
  - オフセット電圧:±5μV (最大値)
  - オフセット ドリフト:±0.02μV/℃ (最大値)
  - ゲイン誤差:±0.1% (最大値)
  - ゲイン誤差ドリフト:±25ppm/℃ (最大値)
  - 同相モード リジェクション (除去比):140dB (最小値)
- 電力監視精度:
  - 0.7% フルスケール、-40℃～+125℃ (最大値)
- 高速アラート応答:75μs
- 広いコモン モード電圧範囲:-0.3V ～ +85V
- バス電圧検出入力:0V ～ 85V
- シャント フルスケール差動範囲:
  ±163.84mV / ±40.96mV
- 入力バイアス電流:2.5nA (最大値)
- 温度センサ:±1℃ (25℃時の最大値)
- プログラム可能な変換時間と平均化
- 2.94MHz 高速 I²C インターフェイス、16 ピンで選択可能なアドレス付き
- 2.7V～5.5V 電源で動作
  - 動作時電流:640μA (標準値)
  - シャットダウン電流:5μA (最大値)

2 アプリケーション

- DC/DC コンバーター と パワー・インバーター
- 産業用バッテリー・パック
- パワー・オーバー・イーサネット(PoE)
- 通信機器
- エンタープライズ・サーバー

3 説明

INA238 は、電流センシング アプリケーションに特化して設計された 16 ビットのデルタ - シグマ ADC を内蔵した、超高精度のデジタル電力モニタです。このデバイスは、抵抗性シャント センス素子の両端で ± 163.84mV または ± 40.96mV のフルスケール差動入力を測定でき、コモン モード電圧 -0.3V～+85 V でサポートされます。

INA238 は、を報告すると同時に、必要な計算をバックグラウンドで実行します。内蔵の温度センサはダイ温度測定の精度が ± 1 ℃ で、システムの周囲温度を監視するため役立ちます。

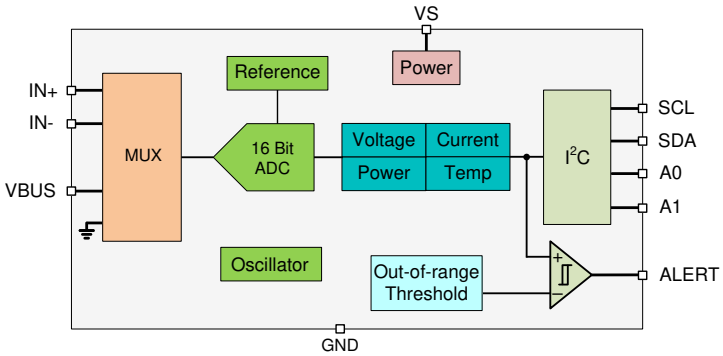
INA238 は低オフセットおよび低ゲイン ドリフト設計のため、このデバイスは製造時に複数の温度較正を行わない正確なシステムで使用できます。さらに、非常に低いオフセット電圧とノイズにより、A～kA のセンシング アプリケーションでの使用が可能になり、センシング シャント素子での大きな消費電力損失なしに、広いダイナミック レンジを実現できます。入力バイアス電流が低いことから、より大きな電流センス抵抗を使用できるため、μA の範囲で正確に電流を測定できます。

このデバイスでは、50μs から 4.12ms までの ADC 変換時間を選択でき、1x から 1024x までのサンプル平均化を行うことで、測定データのノイズをさらに減らすことができます。

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)
INA238	DGS (VSSOP、10)	3.00mm × 4.90mm

(1) 詳細については、セクション 10 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。



概略ブロック図

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
2 アプリケーション.....1
3 説明.....1
4 ピン構成および機能.....3
5 仕様.....3
5.1 絶対最大定格.....3
5.2 ESD 定格.....4
5.3 推奨動作条件.....4
5.4 熱に関する情報.....4
5.5 電気的特性.....5
5.6 タイミング要件 (I^2C).....8
5.7 タイミング図.....8
5.8 代表的特性.....9
6 詳細説明.....13
6.1 概要.....13
6.2 機能ブロック図.....13
6.3 特長の説明.....13
6.4 デバイスの機能モード.....18
6.5 プログラミング.....18
6.6 レジスタ マップ.....22
7 アプリケーションと実装.....30
7.1 アプリケーション情報.....30
7.2 代表的なアプリケーション.....34
7.3 電源に関する推奨事項.....37
7.4 レイアウト.....37
8 デバイスおよびドキュメントのサポート.....39
8.1 ドキュメントの更新通知を受け取る方法.....39
8.2 サポート・リソース.....39
8.3 商標.....39
8.4 静電気放電に関する注意事項.....39
8.5 用語集.....39
9 改訂履歴.....39
10 メカニカル、パッケージ、および注文情報.....40

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

4 ピン構成および機能

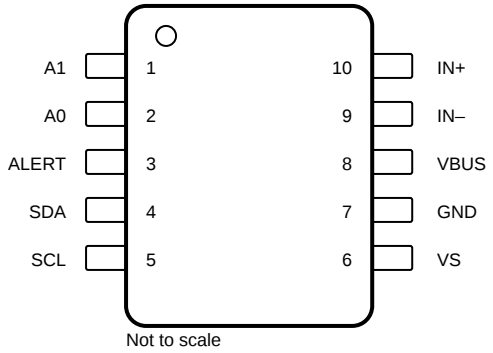


図 4-1. DGS パッケージ 10 ピン VSSOP 上面図

表 4-1. ピンの機能

ピン		タイプ	説明
番号	名称		
1	A1	デジタル入力	I^2C アドレス ピン。GND、SCL、SDA、または VS に接続します。
2	A0	デジタル入力	I^2C アドレス ピン。GND、SCL、SDA、または VS に接続します。
3	ALERT	デジタル出力	オープン ドレインのアラート出力で、デフォルト状態はアクティブ Low。
4	SDA	デジタル入力/出力	オープン ドレイン双方向 I^2C データ。
5	SCL	デジタル入力	I^2C クロック入力。
6	VS	電源	電源、2.7V～5.5V。
7	GND	グランド	グランド。
8	VBUS	アナログ入力	バス電圧入力。
9	IN-	アナログ入力	デバイスへの負入力。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。
10	IN+	アナログ入力	デバイスへの正入力。ハイサイド アプリケーションの場合、検出抵抗の電源側に接続します。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。

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-} (2)	差動 (V_{IN+}) - (V_{IN-})	-40	40	V
	同相	-0.3	85	V
V_{VBUS}		-0.3	85	V
V_{ALERT}	ALERT	-0.3	V_S + 0.3	V
V_{IO}	SDA、SCL	-0.3	6	V
I_{IN}	各ピンの入力電流		5	mA
I_{OUT}	デジタル出力電流		10	mA
T_J	接合部温度		150	℃
T_{stg}	保存温度	-65	150	℃

(1) 「絶対最大定格」の範囲外の動作は、デバイスの永続的な損傷の原因とな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意味する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」の範囲外で使用すると、デバイスが完全に機能しない可能性があり、デバイスの信頼性、機能、性能に影響を及ぼし、デバイスの寿命を縮める可能性があります。

(2) VIN+ と VIN- はそれぞれ IN+ ピンと IN- ピンの電圧です。

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)	±2000	V
		デバイス帯電モデル (CDM)、JEDEC 仕様 JESD22-C101 に準拠、すべてのピン (2)	±1000	

(1) JEDEC ドキュメント JEP155 には、500V HBM であれば標準的な ESD 管理プロセスにより安全な製造が可能であると記載されています。
(2) JEDEC ドキュメント JEP157 には、250V CDM であれば標準的な ESD 管理プロセスにより安全な製造が可能であると記載されています。

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	-0.3		85	V
V_S	動作電源電圧範囲	2.7		5.5	V
T_A	周囲温度	-40		125	℃

5.4 熱に関する情報

熱評価基準(1)		INA238 DGS 10 ピン	単位
$R_{\theta JA}$	接合部から周囲への熱抵抗	177.6	℃/W
$R_{\theta JC(top)}$	接合部からケース (上面) への熱抵抗	66.4	℃/W
$R_{\theta JB}$	接合部から基板への熱抵抗	99.5	℃/W
Ψ_{JT}	接合部から上面への特性パラメータ	9.7	℃/W
Y_{JB}	接合部から基板への特性パラメータ	97.6	℃/W
$R_{\theta JC(bot)}$	接合部からケース (底面) への熱抵抗	該当なし	℃/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。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

5.5 電気的特性

T_A = 25℃、V_S = 3.3V、V_{SENSE} = V_{IN+} - V_{IN-} = 0V、V_{CM} = V_{IN-} = 48V (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						
V_{CM}	同相入力範囲	T_A = –40℃～+125℃	-0.3		85	V
V_{VBUS}	バス電圧入力範囲		0		85	V
CMRR	同相除去	-0.3V < V_{CM} < 85V、T_A = -40℃～+125℃	140	160		dB
V_{DIFF}	シャント電圧入力範囲	T_A = -40℃～+125℃、ADCRANGE = 0	-163.84		163.84	mV
		T_A = -40℃～+125℃、ADCRANGE = 1	-40.96		40.96	mV
V_{os}	シャント オフセット電圧	V_{CM} = 48V		±1.5	±5	µV
		V_{CM} = 0V		±1.5	±5	µV
dV_{os}/dT	シャント オフセット電圧ドリフト	T_A = –40℃～+125℃		±2	±20	nV/℃
PSRR	シャント オフセット電圧と電源との関係	V_S = 2.7V から 5.5V、T_A = –40°C から +125°C		±0.1	±1	µV/V
V_{os_bus}	V_{BUS} オフセット電圧	V_{BUS} = 20mV		±1	±5	mV
dV_{os}/dT	V_{BUS} オフセット電圧ドリフト	T_A = –40℃～+125℃		±4	±40	µV/℃
PSRR	V_{BUS} オフセット電圧と電源	V_S = 2.7 V～5.5 V		±1.1		mV/V
I_B	入力バイアス電流	IN+ または IN- のいずれかの入力、V_{CM} = 85V		0.1	2.5	nA
Z_{VBUS}	VBUS ピンの入力インピーダンス	アクティブ モード	0.8	1	1.2	MΩ
I_{VBUS}	VBUS ピンのリーク電流	シャットダウン モード、V_{BUS} = 85V		10		nA
R_{DIFF}	入力差動インピーダンス	アクティブ モード、V_{IN+} - V_{IN-} < 164mV		92		kΩ
DC 精度						
G_{SERR}	シャント電圧のゲイン誤差			±0.01	±0.1	%
G_{S_DRFT}	シャント電圧のゲイン誤差ドリフト				±25	ppm/℃
G_{BERR}	V_{BUS} 電圧のゲイン誤差			±0.01	±0.1	%
G_{B_DRFT}	V_{BUS} 電圧のゲイン誤差ドリフト				±25	ppm/℃
P_{TME}	電力の合計測定誤差 (TME)	T_A = -40℃～+125℃、フル スケール時			±0.7	%
	ADC の分解能			16		ビット
	1LSB ステップ サイズ	シャント電圧、ADCRANGE = 0		5		µV
		シャント電圧、ADCRANGE = 1		1.25		µV
		バス電圧		3.125		mV
		温度		125		m℃
T_{CT}	ADC 変換時間(1)	変換時間フィールド = 0h		50		µs
		変換時間フィールド = 1h		84		
		変換時間フィールド = 2h		150		
		変換時間フィールド = 3h		280		
		変換時間フィールド = 4h		540		
		変換時間フィールド = 5h		1052		
		変換時間フィールド = 6h		2074		
		変換時間フィールド = 7h		4120		
INL	積分非直線性			±2		m%
DNL	微分非直線性			0.2		LSB
クロック ソース						
F_{OSC}	内部発振器の周波数			1		MHz

5.5 電気的特性 (続き)

T_A = 25℃、V_S = 3.3V、V_{SENSE} = V_{IN+} - V_{IN-} = 0V、V_{CM} = V_{IN-} = 48V (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
F_{OSC_TOL}	内部発振器の周波数公差	T_A = 25℃			±0.5	%
		T_A = –40℃～+125℃			±1	%

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

5.5 電気的特性 (続き)

T_A = 25℃、V_S = 3.3V、V_{SENSE} = V_{IN+} - V_{IN-} = 0V、V_{CM} = V_{IN-} = 48V (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
温度センサ						
	測定範囲		-40		+125	℃
	温度精度	T_A = 25℃		±0.15	±1	℃
		T_A = –40℃～+125℃		±0.2	±2	℃
電源						
V_S	電源電圧		2.7		5.5	V
I_Q	静止時電流	V_{SENSE} = 0V		640	750	µA
		V_{SENSE} = 0V、T_A = -40℃～+125℃			1.1	mA
I_{QSD}	静止時電流、シャットダウン	シャットダウン モード		2.8	5	µA
T_{POR}	デバイスの起動時間	パワーアップ (NPOR)		300		µs
		シャットダウン モードから		60		
デジタル入出力						
V_{IH}	ロジック入力レベル、High	SDA、SCL	1.2		5.5	V
V_{IL}	ロジック入力レベル、Low		GND		0.4	V
V_{OL}	ロジック出力レベル、Low	I_{OL} = 3mA	GND		0.4	V
I_{IO_LEAK}	デジタル リーク入力電流	0 ≦ V_{IN} ≦ V_S	-1		1	µA

(1) 発振器の精度とドリフトの影響を受けます

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)					
$F_{(SCL)}$	I²C クロック周波数	1		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	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	ns
t_F	クロック立ち下がり時間			300	ns
t_R	クロック立ち上がり時間			300	ns
I²C バス (ハイスピード モード)					
$F_{(SCL)}$	I²C クロック周波数	10		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	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	ns
t_F	クロック立ち下がり時間			40	ns
t_R	クロック立ち上がり時間			40	ns

5.7 タイミング図

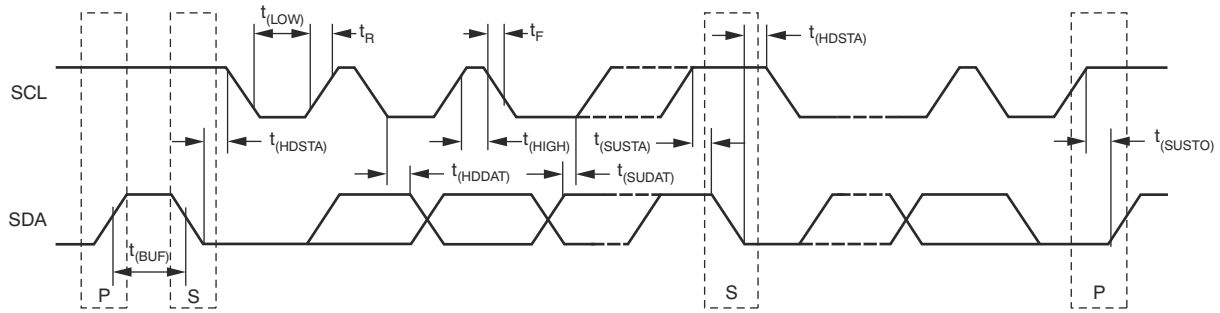


図 5-1. I²C タイミング図

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

5.8 代表的特性

T_A = 25℃、V_{VS} = 3.3V、V_{CM} = 48V、V_{SENSE} = 0、V_{VBUS} = 48V (特に記述のない限り)

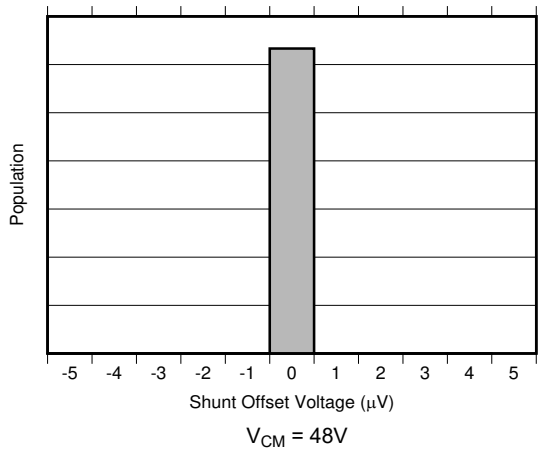


図 5-2. シャント入力オフセット電圧の製造分布

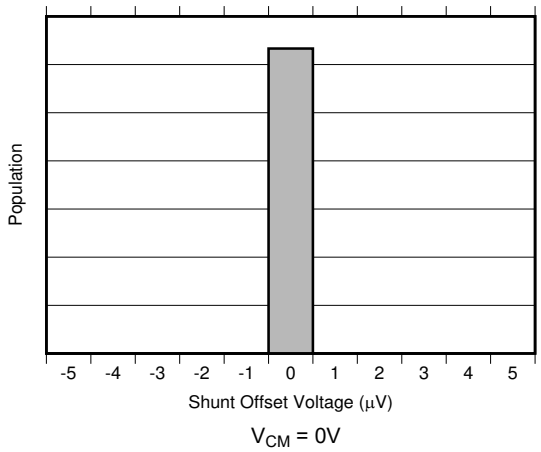


図 5-3. シャント入力オフセット電圧の製造分布

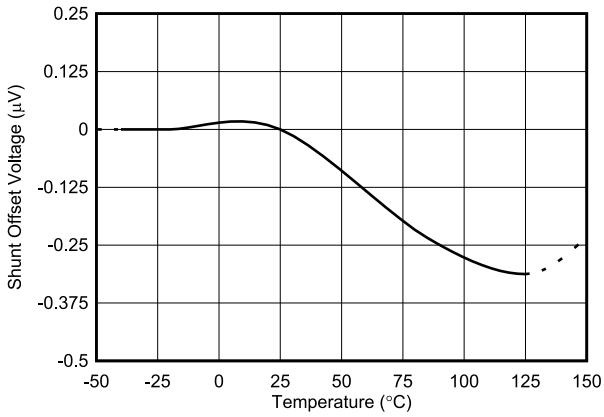


図 5-4. シャント入力オフセット電圧と温度との関係

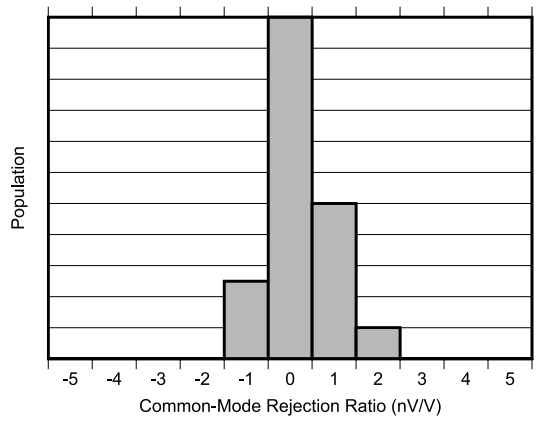


図 5-5. 同相信号除去比の製造分布

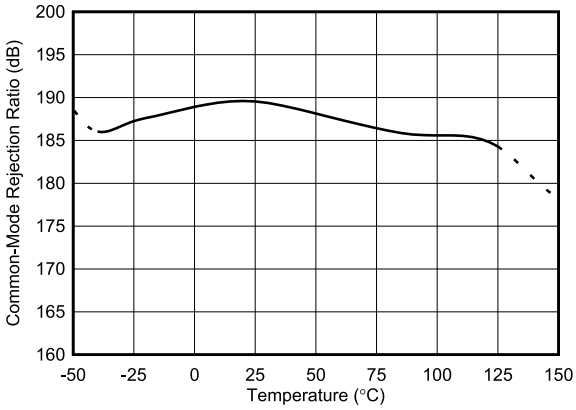


図 5-6. シャント入力同相信号除去比と温度の関係

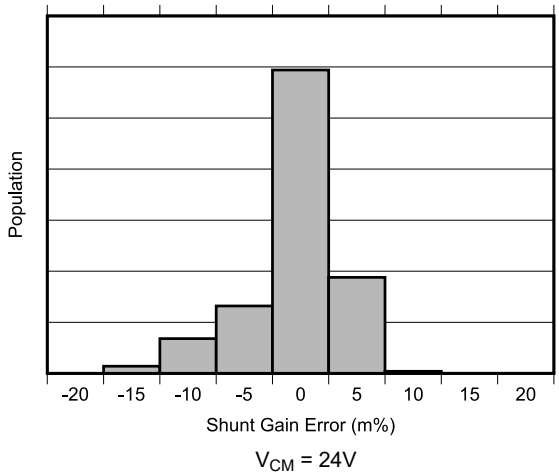
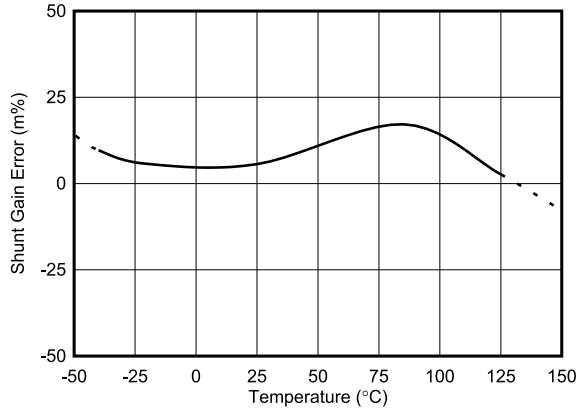


図 5-7. シャント入力ゲイン誤差の製造分布

5.8 代表的特性 (続き)

T_A = 25℃、V_{VS} = 3.3V、V_{CM} = 48V、V_{SENSE} = 0、V_{VBUS} = 48V (特に記述のない限り)



V_{CM} = 24V

図 5-8. シャント入力ゲイン誤差と温度の関係

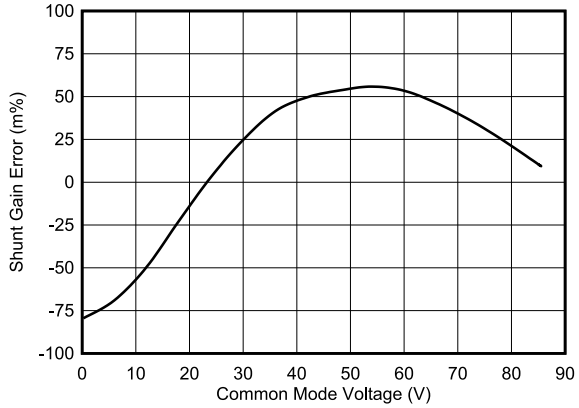
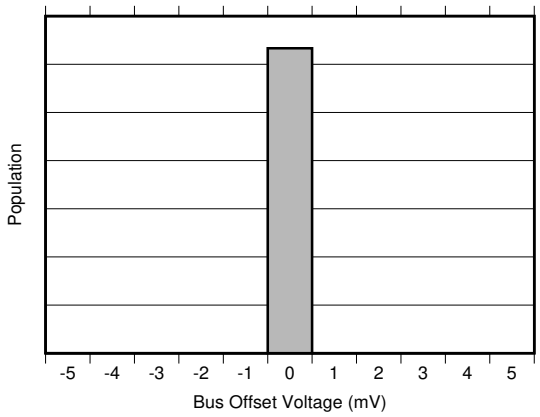
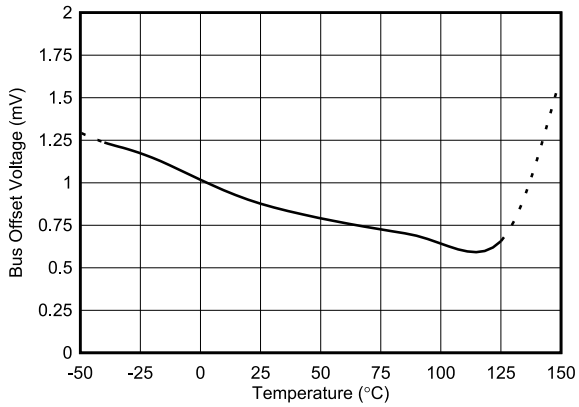


図 5-9. シャント入力ゲイン誤差と同相電圧の関係



V_{VBUS} = 20mV

図 5-10. バス入力オフセット電圧の製造分布



V_{VBUS} = 20mV

図 5-11. バス入力オフセット電圧と温度の関係

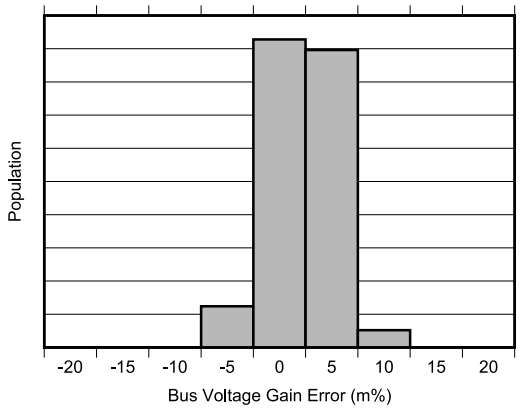


図 5-12. バス入力ゲイン誤差の製造分布

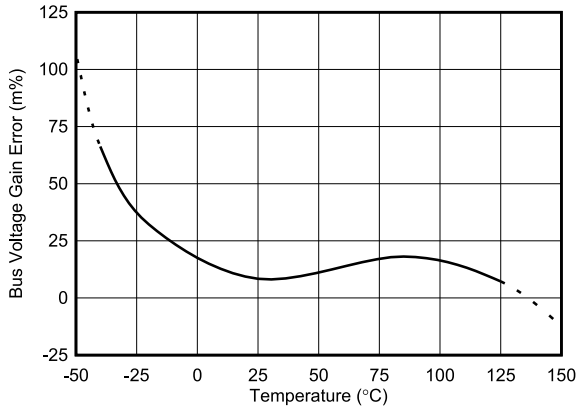


図 5-13. バス入力ゲイン誤差と温度の関係

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

5.8 代表的特性 (続き)

T_A = 25℃、V_{VS} = 3.3V、V_{CM} = 48V、V_{SENSE} = 0、V_{VBUS} = 48V (特に記述のない限り)

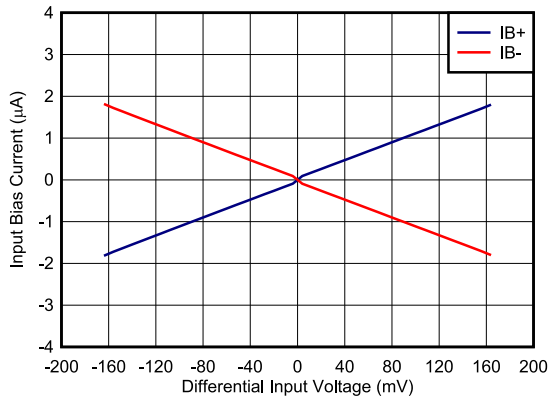


図 5-14. 入力バイアス電流と差動入力電圧との関係

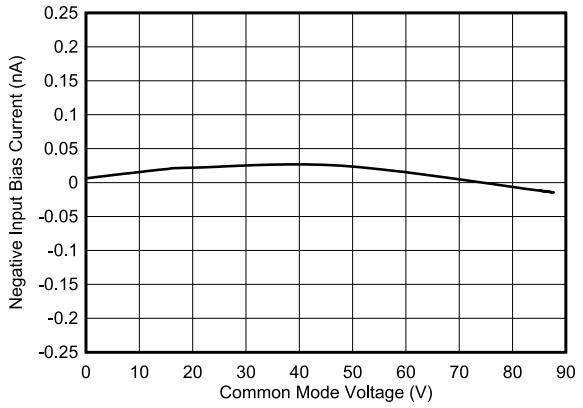


図 5-15. 入力バイアス電流 (IB+ または IB-) と同相電圧の関係

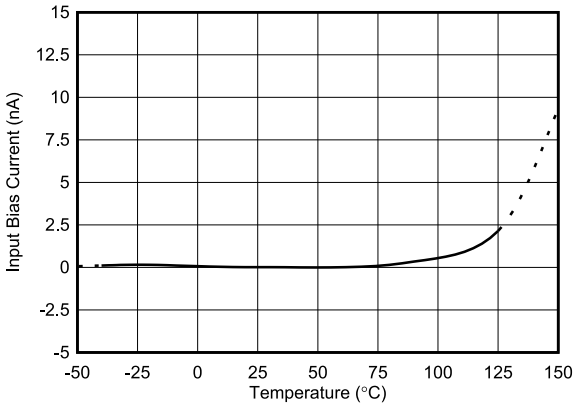


図 5-16. 入力バイアス電流と温度との関係

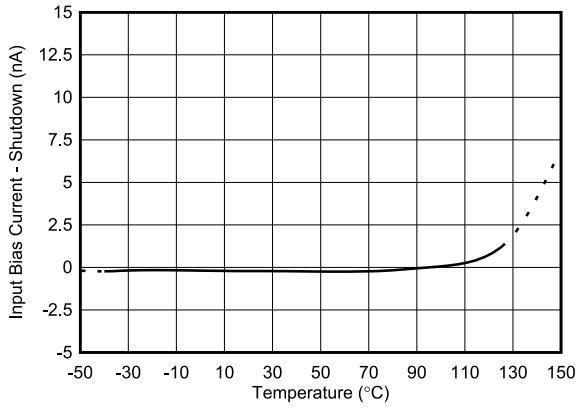


図 5-17. 入力バイアス電流と温度との関係、シャットダウン

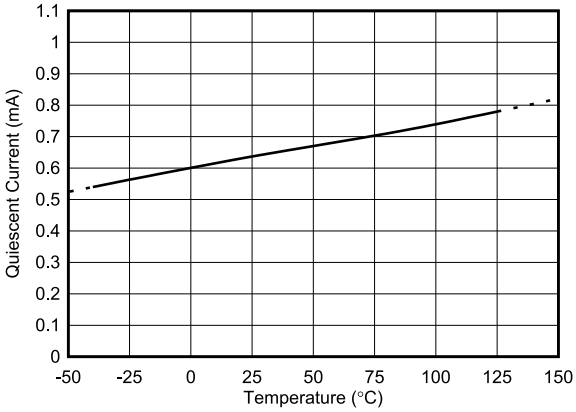


図 5-18. アクティブ I_Q と温度の関係

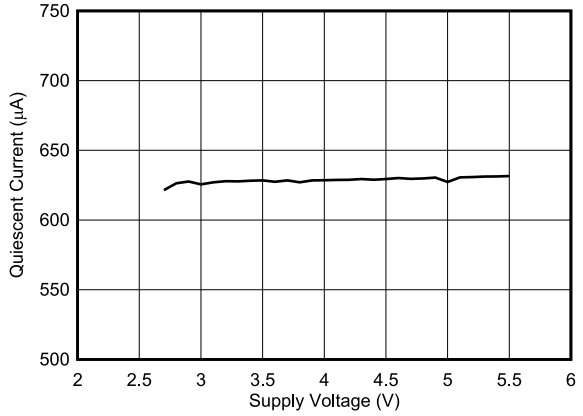


図 5-19. アクティブ I_Q と電源電圧の関係

5.8 代表的特性 (続き)

T_A = 25℃、V_{VS} = 3.3V、V_{CM} = 48V、V_{SENSE} = 0、V_{VBUS} = 48V (特に記述のない限り)

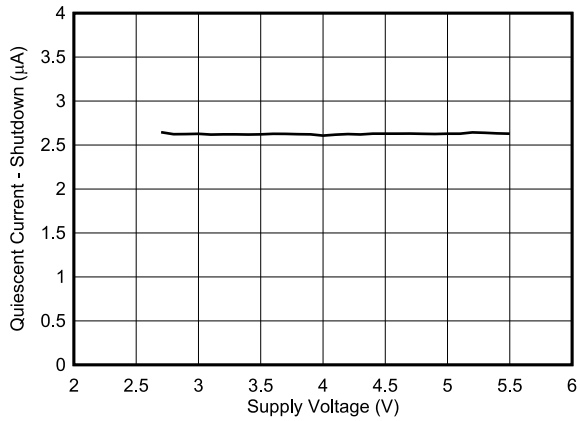


図 5-20. シャットダウン I_Q と電源電圧の関係

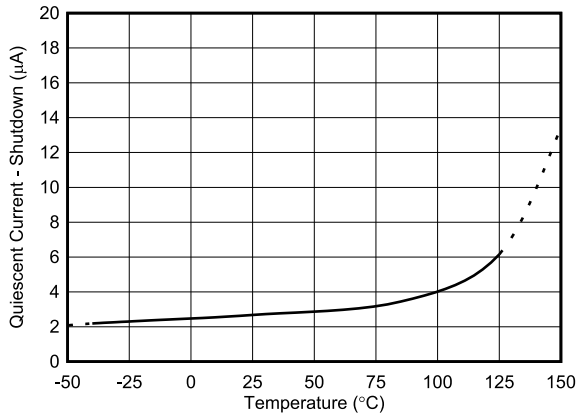


図 5-21. シャットダウン I_Q と温度の関係

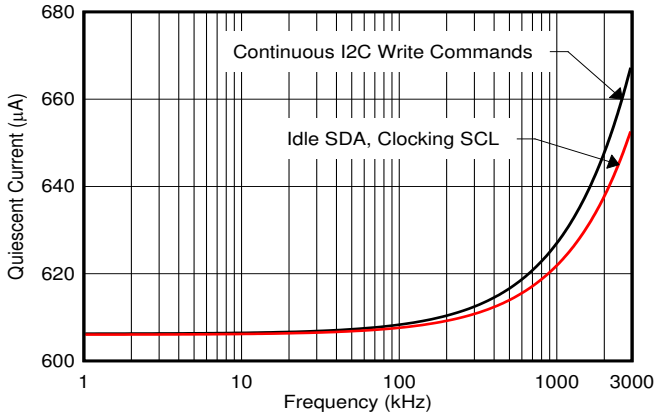


図 5-22. アクティブ I_Q とクロック周波数の関係

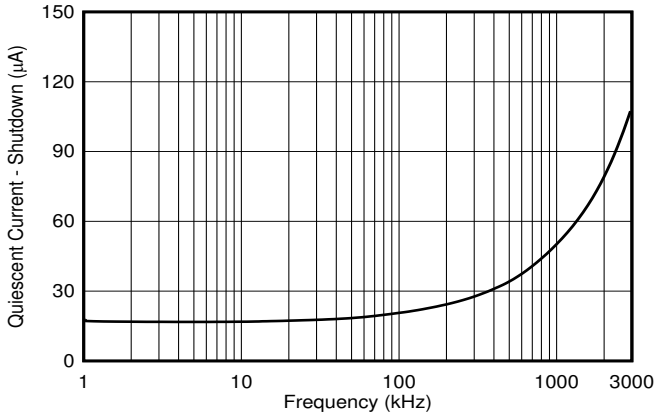


図 5-23. シャットダウン I_Q とクロック周波数の関係

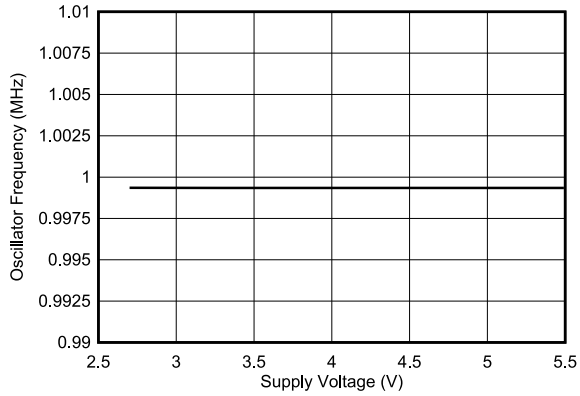


図 5-24. 内部クロック周波数と電源の関係

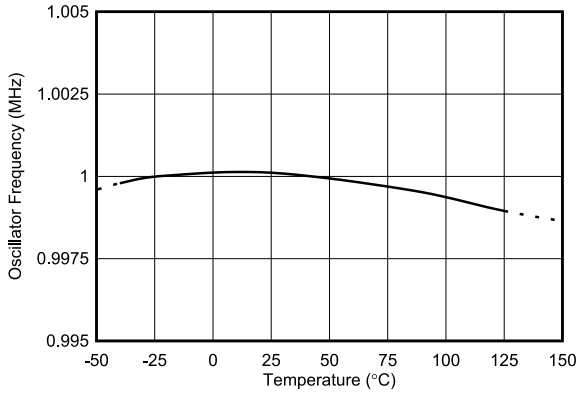


図 5-25. 内部クロック周波数と温度の関係

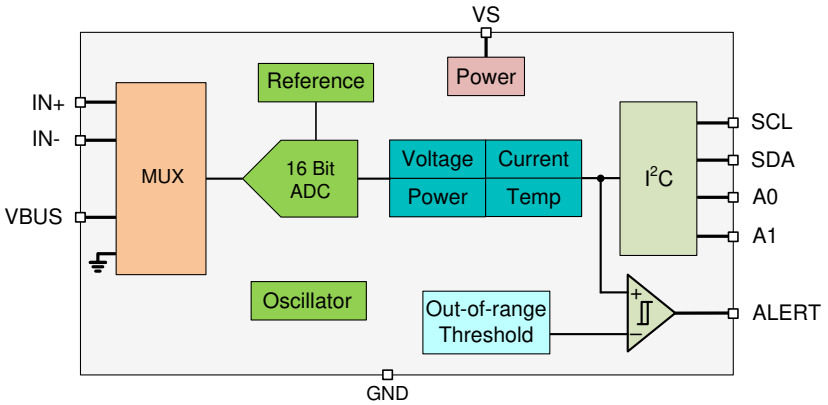
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6 詳細説明

6.1 概要

INA238 デバイスは、I²C デジタル インターフェイスを搭載したデジタル電流センス アンプです。このデバイスは、シャント電圧、バス電圧、内部温度を測定して、システムを精密に制御するための正確な判断を行うために必要な電流、電力を計算します。プログラマブル レジスタにより、測定の精度をフレキシブルに構成することができ、連続動作やトリガ動作も可能になります。レジスタ情報の詳細については、セクション 6.6 を参照してください。

6.2 機能ブロック図



6.3 特長の説明

6.3.1 多用途の高電圧測定機能

INA238 は 2.7V～5.5V の電源で動作しますが、最大 85V のレール上の電圧と電流を測定することができます。電流は、IN+ ピンと IN- ピンにある外部シャント抵抗の電圧降下を検出することにより測定します。INA238 の入力段は、入力の同相電圧がデバイスの電源電圧 V_S よりも高くなるように設計されています。入力ピンでサポートされている同相電圧の範囲は、-0.3V～+85V です。そのため、このデバイスは電流測定値の下限側と上限側のどちらにも最適です。同相入力範囲とデバイスの電源電圧は互いに独立しているため、電源シーケンスに関して特に考慮することはありません。したがって、バス電圧は電源電圧のオフ時およびオン時に発生するため、デバイスに損傷を与えることはありません。

また、このデバイスは、V_{BUS} ピンでバスの電源電圧を測定し、内蔵の温度センサで温度を測定します。差動シャント電圧は IN+ ピンと IN– ピンの間で測定され、バス電圧はデバイス グランドを基準に測定されます。監視対象となるバス電圧の範囲は 0V～85V で、監視対象の温度範囲は -40℃～+125℃ です。

シャント電圧、バス電圧、および温度の測定値は、図 6-1 に示すように、内部で 1 つの ADC に多重化されています。

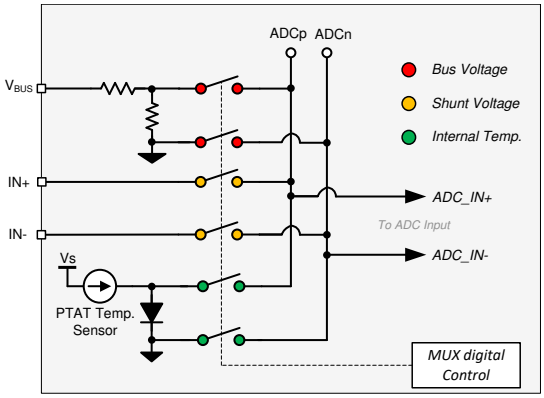


図 6-1. 高電圧入力マルチプレクサ

6.3.2 電力の計算

電流と電力の計算は、図 6-2 に示すように、シャント電圧とバス電圧の測定後に行われます。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。SHUNT_CAL レジスタにロードされる値が 0 の場合、通知される電力値も 0 になります。電流値と電力値は中間結果とみなされ (平均化が 1 に設定されていない限り)、内部の累積レジスタに格納されます。すべての測定サンプルの後で、新たに計算された電流値と電力値は、すべてのサンプルの測定と平均化が完了するまで、この累積レジスタに追加されます。すべてのサンプルが測定され、対応する電流と電力の計算が完了すると、これらの各パラメータの累積平均はそれぞれの出力レジスタにロードされ、そこから読み取りが可能となります。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。

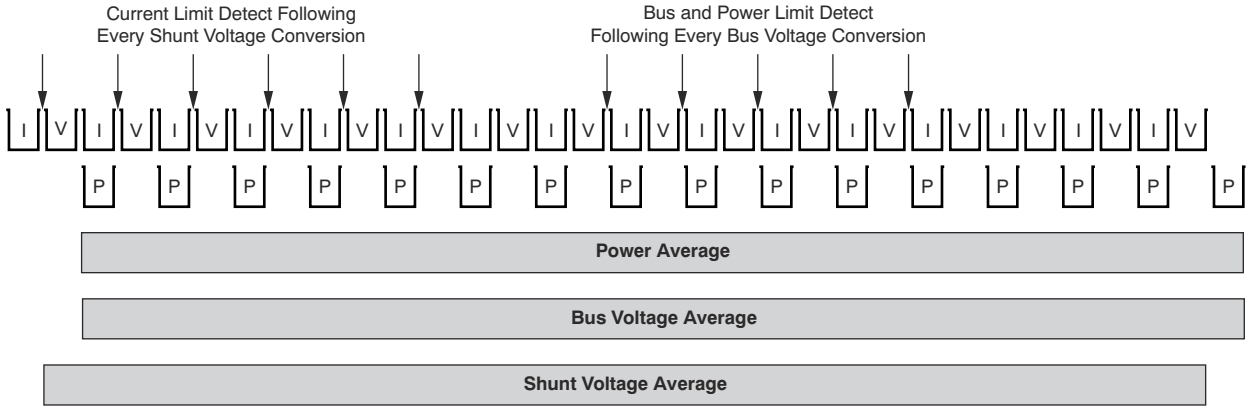


図 6-2. 電力の計算方式

6.3.3 小さいバイアス電流

INA238 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。INA238 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センス アンプでは、入力フィルタの追加に伴い、精度が低下していました。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。

INA238 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は増加し、その結果、図 5-14 に示すように、バイアス電流が増加します。

6.3.4 高精度デルタ シグマ ADC

内蔵 ADC は、シャント電圧測定チャネルで双方向電流をサポートするように設計された高性能、低オフセット、低ドリフトのデルタ シグマ ADC です。測定された入力は、図 6-1 に示す高電圧入力マルチプレクサを経由して選択され、ADC 入力に入ります。ADC アーキテクチャにより、温度範囲全体の低ドリフト測定と、同相電圧、温度、電源変動に対する安定したオフセット測定を実現しています。電流センシング アプリケーションでは、システムの実用的なダイナミック レンジを最大化する 0V 近くのオフセット電圧を供給する低オフセット ADC が推奨されます。

INA238 は、シャント電圧、バス電圧、ダイ温度、または ADC_CONFIG レジスタの MODE ビットで選択した設定に基づいた、これらの組み合わせを測定することができます。これにより、シャント電圧のみ、またはバス電圧のみを変換するモードを選択できるため、ユーザーは特定のアプリケーション要件を満たすように監視機能を設定することができます。 平均化が選択されていない場合、ADC 変換が完了すると、変換された値は対応するレジスタで個別に更新され、変換完了時にデジタル インターフェイスから読み出すことが可能です。シャント電圧、バス電圧、温度入力の変換時間は、ADC_CONFIG レジスタでプログラムされた値に応じて、50µs～4.12ms の範囲で個別に設定されます。有効な測定入力はシーケンシャルに変換されるため、すべての入力の総変換時間は、各入力の変換時間と有効な入力数によって異なります。平均化が使用されている場合、平均化アキュムレータに中間値が保存され、変換シーケンスは平均化の回数に到達するまで繰り返されます。すべての平均化が完了すると、最終的な値は対応のレジスタで更新され、読み出しが可能に

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

なります。これらの値は、次に変換が完了して結果が書き換えられるまで、データ出力レジスタに保持されます。この場合、データ出力レジスタの読み取りは、動作中の変換には影響しません。

ADC には、連続モードとトリガ モードの 2 種類の変換モードがあり、ADC_CONFIG レジスタの MODE ビットで設定されます。連続変換モードでは、前述のように、ADC は入力測定値の変換と出力レジスタの更新を無限ループで連続して行います。トリガ変換モードでは、ADC は上述のように入力測定値を変換した後、シャットダウン モードに移行し、MODE ビットに書き込むことで次の単発トリガが生成されるまでシャットダウン モードに入ります。MODE ビットを書き込むと、動作中のトリガ変換や連続変換は割り込みが入り、再始動します。デバイスはいつでも読み出すことが可能であり、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、トリガ変換の調整に使われる変換準備フラグ (DIAG_ALRT レジスタの CNVRF ビット) は使用することができます。このビットは、すべての変換と平均化が完了した後に設定されます。

変換準備フラグ (CNVRF) は、以下の条件でクリアされます。

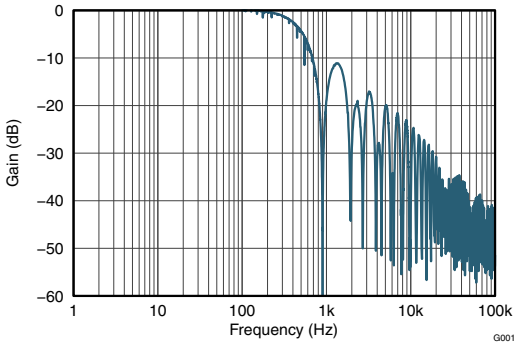
- ADC_CONFIG レジスタへの書き込み (シャットダウン モードの選択を除く)
- DIAG_ALRT レジスタを読み出す

INA238 デバイスは 2 つの変換モードのどちらかで使用されますが、専用デジタル エンジンがバックグラウンドの電流と電力の値は、セクション 6.3.2 に記載されているようになります。すべての計算はバックグラウンドで実行され、変換時間に影響しません。

システムの他のコンポーネントとの同期が必要なアプリケーションの場合、INA238 の変換時間は CONFIG レジスタの CONVDLY ビットをプログラミングすることにより、0 (遅延なし)～510ms の範囲で遅延する可能性があります。変換遅延のプログラミングにおける分解能は 2ms です。変換遅延は、デフォルトで 0 に設定されます。電圧や電流を監視する目的で使用される外部のデバイスが複数ある場合、変換遅延によって測定の同期が行われます。電圧と電流を測定する際に時間を合わせる必要があるアプリケーションの場合、外部の電圧と電流の測定がほぼ同時に行われるように、遅延している電流測定には 2 つのデバイスを使用することができます。ADC の内部時間のベースが正確でも、内部時間と外部時間のベースの不一致により、時間の経過とともに同期は失われていくことに注意してください。

6.3.4.1 低レイテンシのデジタル フィルタ

このデバイスは、ADC 出力データに対してデシメーションとフィルタリングの両方を行うローパス デジタル フィルタが内蔵しており、ノイズの軽減に役立ちます。デジタル フィルタは、さまざまな出力データ レートを自動的に調整して、常に 1 回の変換サイクル内に収まるようにします。ユーザーは、出力変換時間 T_{CT} を 50µs～4.12ms の間で柔軟に選択できます。この構成では、最初の振幅ノッチは選択された変換時間によって決定され、$f_{NOTCH} = 1 / T_{CT}$ として定義されます。これは、前述のようにフィルタのカットオフ周波数のスケーリングが、データ出力レートと比例することを意味しています。図 6-3 に、1.052ms の変換時間が選択されたときのフィルタ応答を示します。



変換時間 = 1.052ms、変換は 1 回のみ

図 6-3. ADC の周波数応答

6.3.4.2 フレキシブルな変換時間と平均化

シャント電圧、バス電圧、温度の ADC 変換時間は、50µs～4.12ms の間で個別に設定することができます。変換時間をフレキシブルに設定できることにより、さまざまなノイズの多い環境でも堅牢な動作が可能となります。また、このデバイスは、1 回の変換から 1024 回の変換までのすべての平均化時間をプログラム可能です。選択した平均の量は、アクティブなすべての測定入力に均一に適用されます。表 6-6 に示すように、ADC_CONFIG レジスタには、サポートされている変換時間と平均化モードのさらに詳細な内容が提供されています。INA238 の 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。図 6-4 と 図 6-5 に、入力信号が一定の場合の変換時間と平均化の影響について示します。

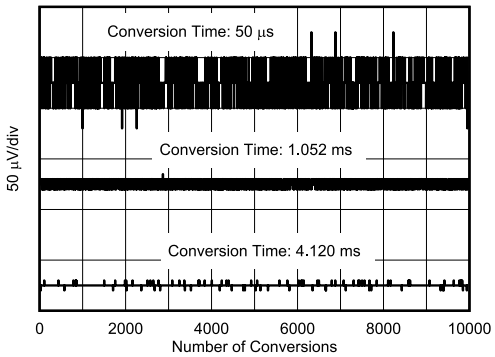


図 6-4. ノイズと変換時間の関係 (平均化 = 1)

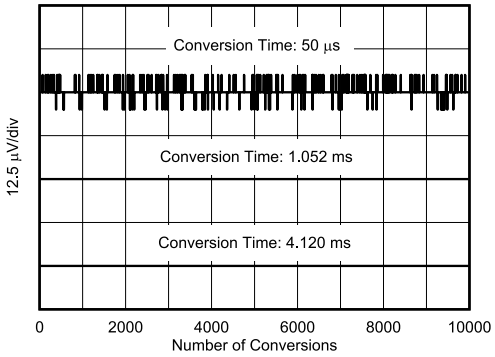


図 6-5. ノイズと変換時間の関係 (平均化 = 128)

変換時間と平均化を行う変換数の設定は、測定の有効分解能に影響します。平均化によるノイズの低減や有効ビット数 (ENOB) の増加の詳細については、セクション 7.1.3 を参照してください。

6.3.5 内蔵高精度発振器

デバイス内部のタイムベースは、室温において公差 0.5% 未満にトリムされた内部発振器から供給されます。高精度発振器は、ADC 変換のタイミング ソースされます。デジタル フィルタ応答は変換時間によって異なるため、高精度クロックによって、温度範囲全体にわたるフィルタ応答とノッチ周波数の一貫性が検証されます。電源投入時、内部発振器と ADC は約 300µs で 1% 未満の誤差安定性に到達します。クロックが安定すると、ADC のデータ出力は、セクション 5 に示す電気的仕様どおりの正確な値となります。

6.3.6 マルチアラート監視とフォルト検出

INA238 には、多目的のオープンドレイン ALERT 出力ピンがあり、複数の診断結果の通知や、デバイスがトリガ モードと連続変換モードの両方で動作しているときに、ADC 変換が完了したことを示すために使用することができます。表 6-1 に示す診断は定期的に監視され、監視された出力値が関連の範囲外スレッショルドを超えるたびに、ALERT ピンを経由して通知されます。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

表 6-1. ALERT 診断の説明

INA238 診断	DIAG_ALRT レジスタのステータス ビット (RO)	範囲外スレッショルド レジスタ (R/W)	レジスタのデフォルト値
シャント低電圧制限	SHNTUL	SUVL	0x8000 h (2 の補数)
シャント過電圧制限	SHNTOL	SOVL	0x7FFF h (2 の補数)
バス電圧制限超過	BUSOL	BOVL	0x7FFF h (2 の補数、正の値のみ)
バス電圧低電圧	BUSUL	BUVL	0x0000 h (2 の補数、正の値のみ)
温度制限超過	TMPOL	TEMP_LIMIT	0xFFFF h (2 の補数、正の値のみ)
電力制限超過	POL	PWR_LIMIT	0x7FFF h (2 の補数)

DIAG_ALRT レジスタからの読み取り値は、ALERT ピンでトリガされた診断の種類を判断するために使用されます。このレジスタは、表 6-13 に示すように、その他の関連診断を監視したり、ALERT ピンの一部の機能の構成にも使用することができます。

- アラート ラッチ イネーブル - ALERT ピンがトリガされた場合、この機能により、すべての診断状態がクリアされてもピンの値は保持されます。DIAG_ALRT レジスタの読み取りによって、ALERT ピンの状態はリセットされます。この機能は、ALATCH ビットを設定することによりイネーブルになります。
- 変換準備イネーブル - ADC 変換が完了して、デジタル インターフェイスから出力値を読み取る準備ができるとアサートされるように、ALERT ピンをイネーブルにします。この機能は、CNVR ビットを設定することによりイネーブルになります。CNVR ビットの設定に関係なく、CNVRF ビットからは変換完了イベントも読み取ることが可能です。
- 平均出力でのアラート比較 - ADC で生成された平均データ値と範囲外スレッショルド値を比較することができます。この機能により、範囲外スレッショルドと比較するときに、出力データからさらにノイズを除去して、ノイズに起因する誤アラートを防止できます。ただし、平均化に必要な時間があるため、診断は遅延します。この機能は、SLOWALERT ビットを設定するとイネーブルになります。
- アラート極性 - デバイスは ALERT ピンのアクティブ状態を反転させることができます。ALERT ピンはオープン ドレイン出力のため、抵抗によってプルアップする必要があります。ALERT ピンはデフォルトでアクティブ Low であり、APOL 制御ピンを使用してアクティブ High 機能に構成できます。

ALERT ピンで通知されないが DIAG_ALRT レジスタの読み取りによって利用可能なその他の診断機能:

- 算術オーバーフロー - MATHOF ビットにより示され、算術演算によって内部レジスタのオーバーフローが発生した場合に通知されます。
- メモリ ステータス - MEMSTAT ビットにより示され、デバイスの不揮発性トリム メモリの状態を監視します。デバイスが正常に動作している場合、このビットは常に 1 である必要があります。

ADC 変換完了イベントが通知されるように ALERT ピンを構成すると、ALERT ピンは多目的通知出力になります。図 6-6 は、INA238 デバイスがシャント過電圧 (過電流) イベント、バス低電圧イベント、過熱イベント、電力制限超過イベントの影響を受けているときに、デバイスが ADC 変換完了イベントを通知している例です。

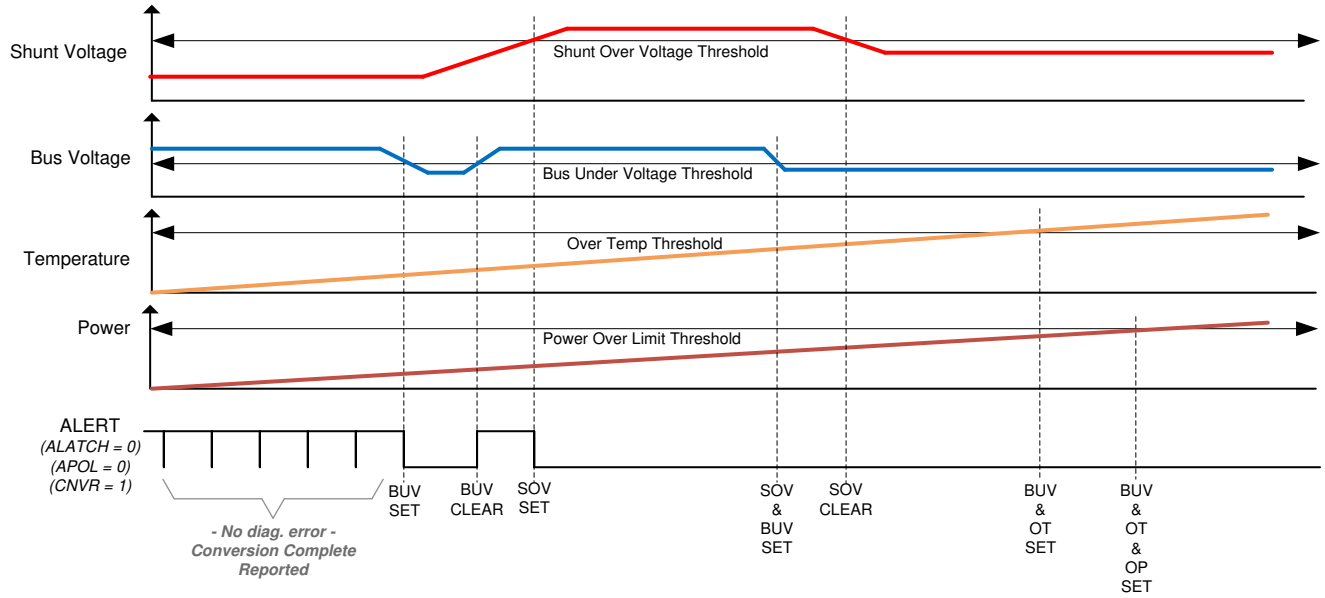


図 6-6. マルチアラートの構成

6.4 デバイスの機能モード

6.4.1 シャットダウンモード

2 つの変換モード (連続およびトリガ) に加えて、このデバイスにはシャットダウン モードがあり (ADC_CONFIG レジスタの MODE ビットで選択)、静止時電流を 5μA 未満に低減し、デバイス入力への電流をオフにして、デバイスが使用されていないときの電源ドレインへの影響を軽減します。デバイスのレジスタの書き込みと読み取りは、デバイスがシャットダウン モードのときに可能になります。デバイスは、他のトリガ変換のコマンドか連続変換のコマンドを受信するまで、シャットダウン モードを継続します。

シャットダウン モード中は、デバイスは変換を実行するためのトリガを行うことができます。変換がトリガされると、ADC は変換を開始します。変換が完了すると、デバイスはシャットダウン状態に戻ります。

シャットダウン電流は非アクティブな通信バスで規定されています。図 5-23 に示すように、アクティブ クロックとデータのアクティビティによって、消費電流はバス周波数の関数として増加します。

6.4.2 パワーオン リセット

パワーオン リセット (POR) は、V_S が 1.26V (標準値) を下回るとアサートされ、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。手動でのデバイス リセットは、CONFIG レジスタの RST ビットをセットすることで開始できます。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。各レジスタの説明へのリンクは、セクション 6.6 を参照してください。

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

INA238 は、SMBus と I²C の両方のインターフェイスでセカンダリ デバイス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、プリント回路基板 (PCB) 上のレイヤ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。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

INA238 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。

INA238 と通信するには、最初にメイン デバイスが、2 次デバイスのアドレス バイトを使用して、2 次デバイスのアドレッシングを行う必要があります。2 次デバイスのアドレス バイトは、7 ビットのアドレス ビットと、動作が読み出しか書き込みかを示す 1 ビットの方向ビットで構成されています。

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 6-2 に、16 個の設定可能な各アドレスのピン ロジックレベルを示します。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。SDA ピンを A0 または A1 に接続してデバイス アドレスを設定する場合、I2C アドレスの MSB には、適切なデバイス アドレッシングを検証するために、さらに 100ns のホールド時間が必要です。

表 6-2. アドレス ピンと 2 次デバイス アドレス

A1	A0	2 次デバイス 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

6.5.1.1 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

INA238 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、「セクション 6.6」を参照してください。レジスタのポインタの値 (図 6-9 を参照) は、R/$\overline{W}$ ビットが Low になっている 2 次デバイス アドレス バイトの後に送信される最初のバイトです。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。

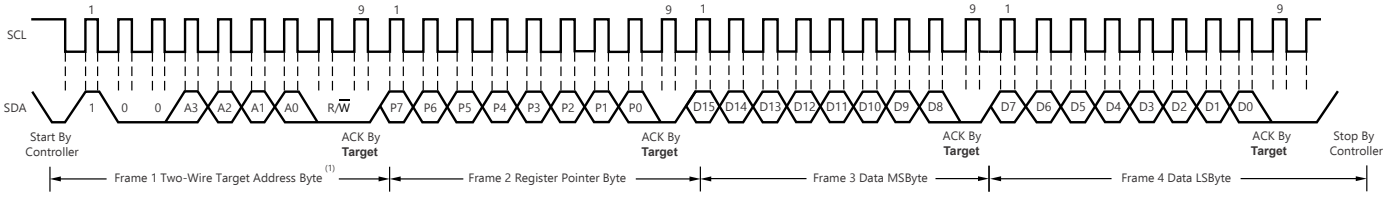
レジスタへの書き込みは、メイン デバイスによって送信される最初のバイトから開始されます。このバイトは 2 次デバイス アドレスで、R/$\overline{W}$ ビットは Low です。有効なアドレスを受信すると、デバイスはアクノリッジします。メイン デバイスによって送信される次のバイトは、アクセスされるレジスタのアドレスです。このレジスタのアドレス値により、レジスタのポインタは目的の内部デバイス レジスタに更新されます。次の 2 バイトは、レジスタのポインタによってレジスタ アドレスに書き込まれます。デバイスは、データ バイトを受信するたびにアクノリッジします。メイン デバイスは、開始条件または終了条件を生成することにより、データ送信を終了させることができます。

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、2 次デバイス アドレス バイトを R/$\overline{W}$ 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、メイン デバイスは開始条件を生成し、2 次デバイスに R/$\overline{W}$ 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実行します。セカンダリ デバイスから次のバ

イトが送信されます。これは、レジスタ ポインタによって指定されたレジスタの上位バイトです。このバイトに続いて、メインデバイスからアクノリッジ応答があります。次に、2 次デバイス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、メイン デバイスはアクノリッジ応答をする場合としない場合があります。メイン デバイスは、データ バイトの受信後に*アクノリッジなし* 応答を生成すること、または開始条件や終了条件を生成することにより、データ送信を終了させることができます。デバイスは、次の書き込み動作によって値が変更されるまでレジスタ ポインタ値を保持するので、同じレジスタからの読み取りを繰り返す場合、レジスタ ポインタ バイトを連続的に送信する必要はありません。

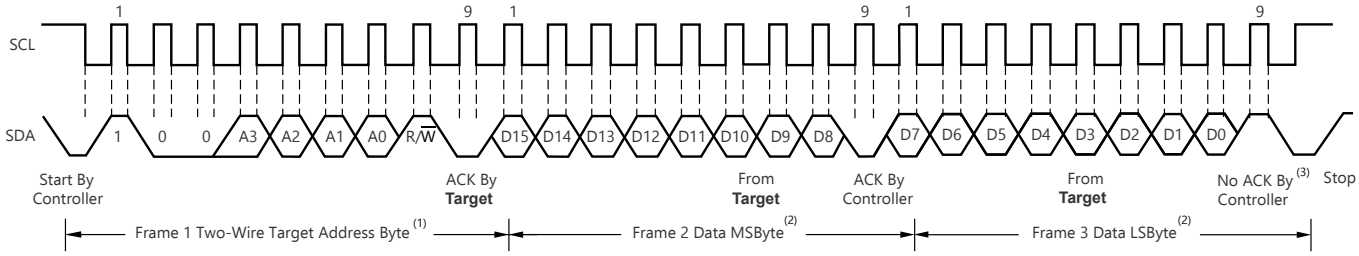
図 6-7 に、書き込み動作のタイミング図を示します。図 6-8 に、読み取り動作のタイミング図を示します。これらの図は、16 ビット レジスタに対する読み出し / 書き込みを示しています。

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。



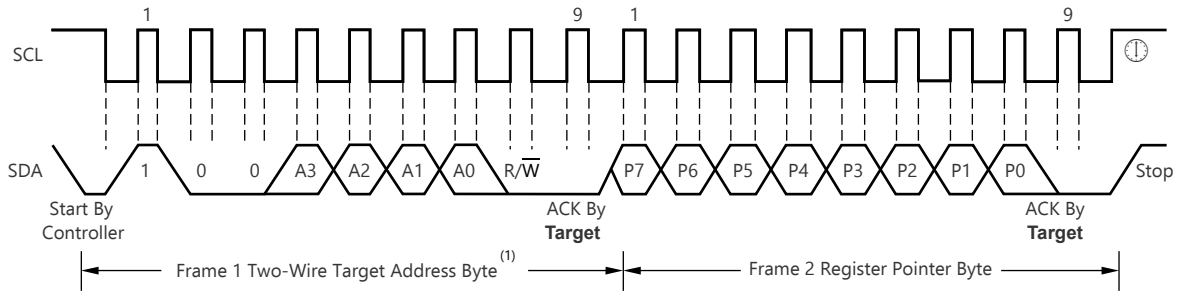
A. 2 次デバイス アドレス バイトの値は、A0 ピンと A1 ピンの設定によって決まります。表 6-2 を参照してください。
B. このデバイスは、パケット エラー チェック (PEC) はサポートしておらず、クロック ストレッチは動作しません。

図 6-7. ワード書き込み形式のタイミング図



A. 2 次デバイス アドレス バイトの値は、A0 ピンと A1 ピンの設定によって決まります。表 6-2 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 6-9 を参照してください。
C. メイン デバイスからの ACK も送信されます。
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 6-8. ワード読み取り形式のタイミング図



A. 2 次デバイス アドレス バイトの値は、A0 ピンと A1 ピンの設定によって決まります。表 6-2 を参照してください。

図 6-9. 代表的なレジスタ ポインタのタイミング図

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6.5.1.2 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。メイン デバイスは、後ろに高速 (HS) メイン デバイス コード 00001XXX を含む有効なシリアル バイトが付いている開始条件を生成します。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 メイン デバイス コードにはアクノリッジしませんが、このコードを認識し、その内部フィルタを切り替えて、2.94MHz での動作をサポートします。

次に、メイン デバイスは反復される開始条件を生成します (反復の開始条件のタイミングは開始条件と同じです)。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。

6.5.1.3 SMBus のアラート応答

INA238 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 アラート応答を使うと、シンプルなセカンダリ デバイスが迅速にフォルトを識別できます。アラートが発生すると、メイン デバイスは読み取り / 書き込みビットを High にセットして、アラート応答を 2 次デバイスのアドレス (0001 100) に送信します。このアラート応答に続いて、アラートを生成する任意のセカンダリ デバイスは、アラート応答にアクノリッジを返しバス上のアドレスを送信することで、デバイス本体を識別します。

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。負けたデバイスはアクノリッジを生成せず、デバイスがアービトレーションに勝つまでアラート ラインを Low に保持し続けます。

6.6 レジスタ マップ

6.6.1 INA238 レジスタ

表 6-3 に、INA238 レジスタの一覧を示します。表 6-3 にないレジスタ位置はすべて予約済みと見なすべきであり、レジスタ内容は変更しないでください。

表 6-3. INA238 レジスタ

アドレス	略称	レジスタ名	レジスタ サイズ (ビット)	セクション
0h	CONFIG	構成	16	表示
1h	ADC_CONFIG	ADC の構成	16	表示
2h	SHUNT_CAL	シャント キャリブレーション	16	表示
4h	VSHUNT	シャント電圧の測定値	16	表示
5h	VBUS	バス電圧の測定値	16	表示
6h	DIETEMP	温度測定	16	表示
7h	CURRENT	電流の結果	16	表示
8h	電源	電力の結果	24	表示
Bh	DIAG_ALRT	診断フラグとアラート	16	表示
Ch	SOVL	シャント過電圧スレッショルド	16	表示
Dh	SUVL	シャント低電圧スレッショルド	16	表示
Eh	BOVL	バス過電圧スレッショルド	16	表示
Fh	BUVL	バス低電圧スレッショルド	16	表示
10h	TEMP_LIMIT	温度制限超過スレッショルド	16	表示
11h	PWR_LIMIT	電力制限超過スレッショルド	16	表示
3Eh	MANUFACTURER_ID	メーカー ID	16	表示
3Fh	DEVICE_ID	デバイス ID	16	表示

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 6-4 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 6-4. INA238 のアクセス タイプ コード

アクセス タイプ	表記	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
リセットまたはデフォルト値		
-n		リセット後の値またはデフォルト値

6.6.1.1 構成 (CONFIG) レジスタ (アドレス = 0h) [リセット = 0h]

表 6-5 に、CONFIG レジスタを示します。

概略表に戻ります。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

表 6-5. CONFIG 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	RST	R/W	0h	リセット ビット。このビットを「1」に設定すると、パワーオン リセットと同じシステム リセットが発生する。 すべてのレジスタをデフォルト値にリセットします。 0H = 通常動作 1h = システム リセットにより、レジスタはデフォルト値に設定される このビットはセルフ クリアされます。
14	RESERVED	R/W	0h	予約済み。常に 0 を読み出す。
13-6	CONVDLY	R/W	0h	初期の ADC 変換の遅延を 2ms ごとに設定します。 0h = 0s 1h = 2ms FFh = 510ms
5	RESERVED	R/W	0h	予約済み。常に 0 を読み出す。
4	ADCRANGE	R/W	0h	IN+ と IN- の間のフルスケール レンジで選択してシャントする。 0h = ±163.84mV 1h = ±40.96mV
3-0	予約済み	R	0h	予約済み。常に 0 を読み出す。

6.6.1.2 ADC 構成 (ADC_CONFIG) レジスタ (アドレス = 1h) [リセット = FB68h]

表 6-6 に、ADC_CONFIG レジスタを示します。

概略表に戻ります。

表 6-6. ADC_CONFIG 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
15-12	モード	R/W	Fh	ユーザーは、MODE ビットによって、バス電圧、シャント電圧、温度測定に対して連続モードまたはトリガ モードを設定することができる。 0h=シャットダウン 1h = トリガ バス電圧、シングル ショット 2h = トリガ シャント電圧、シングル ショット 3h = トリガ シャント電圧およびバス電圧、シングル ショット 4h = トリガ温度、シングル ショット 5h = トリガ温度およびバス電圧、シングル ショット 6h = トリガ温度およびシャント電圧、シングル ショット 7h = トリガ バス電圧、シャント電圧および温度、シングル ショット 8h=シャットダウン 9h = 連続バス電圧のみ Ah = 連続シャント電圧のみ Bh = 連続シャントおよびバス電圧 Ch = 連続温度のみ Dh = 連続バス電圧および温度 Eh = 連続温度およびシャント電圧 Fh = 連続バス電圧、シャント電圧および温度

表 6-6. ADC_CONFIG レジスタ 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
11-9	VBUSCT	R/W	5h	バス電圧の測定値の変換時間を設定する。 0h = 50µs 1h = 84µs 2h = 150µs 3h = 280µs 4h = 540µs 5h = 1052µs 6h = 2074µs 7h = 4120µs
8-6	VSHCT	R/W	5h	シャント電圧の測定値の変換時間を設定する。 0h = 50µs 1h = 84µs 2h = 150µs 3h = 280µs 4h = 540µs 5h = 1052µs 6h = 2074µs 7h = 4120µs
5-3	VTCT	R/W	5h	温度の測定値の変換時間を設定する。 0h = 50µs 1h = 84µs 2h = 150µs 3h = 280µs 4h = 540µs 5h = 1052µs 6h = 2074µs 7h = 4120µs
2-0	AVG	R/W	0h	ADC サンプリング平均化カウントを選択する。平均化設定は、すべてのアクティブ入力に適用されます。 0h を超えている場合、平均化が完了した後に出力レジスタが更新される。 0h = 1 1h = 4 2h = 16 3h = 64 4h = 128 5h = 256 6h = 512 7h = 1024

6.6.1.3 シャント キャリブレーション (SHUNT_CAL) レジスタ (アドレス = 2h) [リセット = 1000h]

表 6-7 に、SHUNT_CAL レジスタを示します。

概略表に戻ります。

表 6-7. SHUNT_CAL 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	0h	予約済み。常に 0 を読み出す。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

表 6-7. SHUNT_CAL レジスタ 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	1000h	このレジスタは、電流値の計算に使用するシャント抵抗を表す変換定数をアンペア単位でデバイスに提供する。 また、CURRENT レジスタの分解能も設定する。 値は、セクション 7.1.2 に基づいて算出される。

6.6.1.4 シャント電圧測定値 (VSHUNT) レジスタ (アドレス = 4h) [リセット = 0h]

表 6-8 に、VSHUNT レジスタを示します。

概略表に戻ります。

表 6-8. VSHUNT 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	VSHUNT	R	0h	シャント出力の両端で測定された差動電圧。2 の補数値。 変換係数: ADCRANGE = 0 のとき、5µV/LSB ADCRANGE = 1 のとき、1.25µV/LSB

6.6.1.5 バス電圧測定値 (VBUS) レジスタ (アドレス = 5h) [リセット = 0h]

表 6-9 に、VBUS レジスタを示します。

概略表に戻ります。

表 6-9. VBUS 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	VBUS	R	0h	バス電圧出力。2 の補数で、常に正の値となる。 変換係数:3.125mV/LSB

6.6.1.6 温度測定値 (DIETEMP) レジスタ (アドレス = 6h) [リセット = 0h]

表 6-10 に、DIETEMP レジスタを示します。

概略表に戻ります。

表 6-10. DIETEMP 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
15-4	DIETEMP	R	0h	内部ダイ温度の測定値。2 の補数値。 変換係数:125m℃/LSB
3-0	予約済み	R	0h	予約済み。常に 0 を読み出す。

6.6.1.7 電流の結果 (CURRENT) レジスタ (アドレス = 7h) [リセット = 0h]

表 6-11 に、CURRENT レジスタを示します。

概略表に戻ります。

表 6-11. 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	0h	電流出力の計算値 (アンペア)。2 の補数値。 値については、セクション 7.1.2 で説明する。

6.6.1.8 電力の結果 (POWER) レジスタ (アドレス = 8h) [リセット = 0h]

表 6-12 に、POWER レジスタを示します。

概略表に戻ります。

表 6-12. 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
23-0	電源	R	0h	電力出力の計算値。 出力値 (ワット)。 符号なし表記。正の値。 値については、セクション 7.1.2 で説明する。

6.6.1.9 診断フラグおよびアラート (DIAG_ALRT) レジスタ (アドレス = Bh) [リセット = 0001h]

表 6-13 に、DIAG_ALRT を示します。

概略表に戻ります。

表 6-13. DIAG_ALRT 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	ALATCH	R/W	0h	アラート ラッチ イネーブル ビットが透過モードに設定されている場合、フォルトがクリアされると、アラート ピンとフラグ ビットはアイドル状態にリセットされる。 アラート ラッチ イネーブル ビットがラッチ モードに設定されている場合、DIAG_ALRT レジスタが読み出されるまで、アラート ピンとフラグ ビットはフォルト後もアクティブのままを維持する。 0h=透過 1h = ラッチ済み
14	CNVR	R/W	0h	このビットを High に設定すると、変換準備フラグ (ビット 1) がアサートされたときにアラート ピンがアサートされるように構成され、変換サイクルが完了したことを示す。 0h = ALERT ピンの変換準備完了フラグをディセーブルにする 1h = ALERT ピンの変換準備完了フラグをイネーブルにする
13	SLOWALERT	R/W	0h	イネーブルのとき、ALERT 機能は完了済みの平均値でアサートされる。これにより、平均値を超えるまで ALERT を柔軟に遅延させることができます。 0h = 平均化されていない (ADC) 値での ALERT 比較 1h = 平均化された値での ALERT 比較
12	APOL	R/W	0h	アラート極性ビットは、ALERT ピンの極性を設定します。 0h = 通常 (アクティブ Low、オープン ドレイン) 1h = 反転 (アクティブ High、オープン ドレイン)
11-10	予約済み	R	0h	予約済み。常に 0 を読み出す。
9	MATHOF	R	0h	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、電流および電力のデータが無効である可能性があることを示しています。 0h=通常 1h = オーバーフロー 他の変換をトリガするか、、手動でクリアする必要がある。
8	予約済み	R	0h	予約済み。常に 0 を読み出す。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

表 6-13. DIAG_ALRT レジスタ 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
7	TMPOL	R	0h	温度測定値が温度制限超過レジスタのスレッショルドを超えると、このビットは 1 にセットされる。 0h=通常 1h = 過熱イベント ALATCH = 1 の場合、このビットはこのレジスタを読み取ることまたは書き込むことによりクリアされます。
6	SHNTOL	R	0h	シャント電圧の測定値がシャント制限超過レジスタのスレッショルド制限を超えると、このビットは 1 にセットされる。 0h=通常 1h = シャント電圧超過イベント ALATCH = 1 の場合、このビットはこのレジスタを読み取ることまたは書き込むことによりクリアされます。
5	SHNTUL	R	0h	シャント電圧の測定値がシャント制限未満レジスタのスレッショルド制限を下回ると、このビットは 1 にセットされる。 0h=通常 1h = シャント電圧未満イベント ALATCH = 1 の場合、このビットはこのレジスタを読み取ることまたは書き込むことによりクリアされます。
4	BUSOL	R	0h	バス電圧の測定値が、バス制限超過レジスタのスレッショルド制限を超えると、このビットは 1 にセットされる。 0h=通常 1h = バス制限超過イベント ALATCH = 1 の場合、このビットはこのレジスタを読み取ることまたは書き込むことによりクリアされます。
3	BUSUL	R	0h	バス電圧の測定値が、バス制限未満レジスタのスレッショルド制限を下回ると、このビットは 1 にセットされる。 0h=通常 1h = バス制限未満イベント ALATCH = 1 の場合、このビットはこのレジスタを読み取ることまたは書き込むことによりクリアされます。
2	POL	R	0h	電力の測定値が電力制限レジスタのスレッショルド制限を超えると、このビットは 1 に設定される。 0h=通常 1h = 電力制限超過イベント ALATCH = 1 の場合、このビットはこのレジスタを読み取ることまたは書き込むことによりクリアされます。
1	CNVRF	R	0h	変換が完了すると、このビットは 1 にセットされる。 0h=通常 1h = 変換が完了 ALATCH = 1 の場合、このビットはこのレジスタを読み出すか書き込んで、新しいトリガ変換を開始することでクリアされる。
0	MEMSTAT	R	1h	デバイス トリム メモリ空間でチェックサム エラーが検出されると、このビットは 0 に設定されます。 0h= メモリ チェックサム エラー 1h=通常動作

6.6.1.10 シャント過電圧スレッショルド (SOVL) レジスタ (アドレス = Ch) [リセット = 7FFFh]

このレジスタに負の値が入力されると、シャント電圧の測定値 0V 時にこのアラームが作動します。シャントの低電圧スレッショルドおよび過電圧スレッショルドに負の値を使用する場合は、2 つの値の大きい方 (つまり負の値の小さい方) に過電圧スレッショルドを設定する必要があります。表 6-14 に、SOVL レジスタを示します。

概略表に戻ります。

表 6-14. SOVL 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	SOVL	R/W	7FFFh	シャント過電圧 (過電流保護) を検出するために、値を比較するためのスレッショルドを設定する。2 の補数値。変換係数: ADCRANGE = 0 のとき、5µV/LSB ADCRANGE = 1 のとき、1.25µV/LSB

6.6.1.11 シャント低電圧スレッショルド (SUVL) レジスタ (アドレス = Dh) [リセット = 8000h]

表 6-15 に、SUVL レジスタを示します。

概略表に戻ります。

表 6-15. SUVL 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	SUVL	R/W	8000h	シャント低電圧 (低電流保護) を検出するために、値を比較するためのスレッショルドを設定する。2 の補数値。変換係数: ADCRANGE = 0 のとき、5µV/LSB ADCRANGE = 1 のとき、1.25µV/LSB

6.6.1.12 バス過電圧スレッショルド (BOVL) レジスタ (アドレス = Eh) [リセット = 7FFFh]

表 6-16 に、BOVL レジスタを示します。

概略表に戻ります。

表 6-16. BOVL 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	0h	予約済み。常に 0 を読み出す。
14-0	BOVL	R/W	7FFFh	バス過電圧 (過電圧保護) を検出するために、値を比較するためのスレッショルドを設定する。符号なし表記、正の値のみ。変換係数: 3.125mV/LSB。

6.6.1.13 バス低電圧スレッショルド (BUVL) レジスタ (アドレス = Fh) [リセット = 0h]

表 6-17 に、BUVL レジスタを示します。

概略表に戻ります。

表 6-17. BUVL 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	0h	予約済み。常に 0 を読み出す。
14-0	BUVL	R/W	0h	バス低電圧 (低電圧保護) を検出するために、値を比較するためのスレッショルドを設定する。符号なし表記、正の値のみ。変換係数: 3.125mV/LSB。

6.6.1.14 温度制限超過スレッショルド (TEMP_LIMIT) レジスタ (アドレス = 10h) [リセット = 7FFFh]

表 6-18 に、TEMP_LIMIT レジスタを示します。

概略表に戻ります。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

表 6-18. TEMP_LIMIT 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
15-4	TOL	R/W	7FFh	温度超過の測定値を検出するために、値を比較するためのスレッショルドを設定する。2 の補数値。 このフィールドに入力された値は DIETEMP レジスタの値と直接比較され、温度超過状態かどうかを判断する。変換係数:125m℃/LSB
3-0	予約済み	R	0	予約済み、常に 0 を読み出す。

6.6.1.15 電力制限超過スレッショルド (PWR_LIMIT) レジスタ (アドレス = 11h) [リセット = FFFFh]

表 6-19 に、PWR_LIMIT レジスタを示します。

概略表に戻ります。

表 6-19. PWR_LIMIT 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	POL	R/W	FFFFh	電力制限超過の測定値を検出するために、値を比較するためのスレッショルドを設定する。符号なし表記、正の値のみ。 このフィールドに入力された値は POWER レジスタの値と直接比較され、電力超過状態かどうかを判断する。変換係数:256 × 電力 LSB

6.6.1.16 メーカー ID (MANUFACTURER_ID) レジスタ (アドレス = 3Eh) [リセット = 5449h]

表 6-20 に、MANUFACTURER_ID レジスタを示します。

概略表に戻ります。

表 6-20. MANUFACTURER_ID 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	MANFID	R	5449h	TI を ASCII コードで読み戻す。

6.6.1.17 デバイス ID (DEVICE_ID) レジスタ (アドレス = 3Fh) [リセット = 2381h]

表 6-21 に、DEVICE_ID レジスタを示します。

概略表に戻ります。

表 6-21. DEVICE_ID 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
15-4	DIEID	R	238h	デバイス識別ビットを格納する。
3-0	REV_ID	R	1h	デバイス リビジョン識別

7 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、TI の製品仕様に含まれるものではなく、TI ではその正確性または完全性を保証いたしません。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。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。

7.1 アプリケーション情報

7.1.1 デバイスの測定範囲と分解能

INA238 デバイスは、シャント電圧の測定に 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、CONFIG レジスタの ADCRANGE ビットに応じて、±163.84mV または ±40.96mV のいずれかになります。バス電圧の測定値の範囲は 0V～85V です。内部ダイ温度センサの範囲は、-256℃～+256℃ に拡張されますが、パッケージによって -40℃～125℃ に制限されます。

表 7-1 に、シャント電圧、バス電圧、温度のフルスケール測定値と、それぞれのステップ サイズを示します。

表 7-1. 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	±163.84mV (ADCRANGE = 0)	5µV/LSB
	±40.96mV (ADCRANGE = 1)	1.25µV/LSB
バス電圧	0V ～ 85V	3.125mV/LSB
温度	–40℃ ～ +125℃	125m℃/LSB

デバイスのシャント電圧、バス電圧、温度の測定値は、それぞれ VSHUNT、VBUS、DIETEMP レジスタから読み取ることが可能です。VSHUNT レジスタと VBUS 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、VSHUNT のデータ値は、正の値にも負の値にすることも可能です。VBUS のデータ値は常に正の値出力データは、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。DIETEMP レジスタのデジタル出力は 12 ビットで、上記の分解能サイズを掛けることにより、℃ に直接変換することができます。この出力値は、正の値にも負の値にもなります。

さらに、セクション 7.1.2 に示すように、このデバイスは計算された電流をアンペアで、電力をワットで通知する柔軟性も備えています。

7.1.2 電流および電力の計算

INA238 デバイスが電流値をアンペア単位で通知するには、SHUNT_CAL レジスタに一定の変換値を書き込む必要があります。この値は、アプリケーションで使用される電流およびシャント抵抗の測定された最大値によって異なります。SHUNT_CAL レジスタは、このセクションの最初の式に基づいて計算されます。CURRENT_LSB は、電流値がアンペア単位で格納される CURRENT レジスタの LSB のステップ サイズです。CURRENT_LSB の値は、このセクションの 2 番目の式に示すように、最大想定電流に基づいています。この値は、CURRENT レジスタの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が、CURRENT の変換を簡単にするため、CURRENT_LSB により大きな切りのいい数 (8× 以下) を選択するのが一般的です。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

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 には、次の式を使用します。ADCRANGE = 1 の場合、SHUNT_CAL の値は 4 倍にする必要があります。

$$\text{SHUNT_CAL} = 819.2 \times 10^6 \times \text{CURENT_LSB} \times R_{SHUNT} \quad (1)$$

ここで、

- 819.2 x 10^6 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。
- ADCRANGE = 1 の場合、SHUNT_CAL の値は 4 倍にする必要があります。

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

電流は、SHUNT_CAL レジスタ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 レジスタ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 レジスタ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。最終値は CURRENT_LSB でスケーリングされ、以下の式で計算されます。

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

ここで、

- CURRENT は、CURRENT レジスタからの読み取り値です

電力の値を POWER レジスタから 24 ビットの値として読み取り、次の式でワット (W) に変換することができます。

$$\text{Power [W]} = 0.2 \times \text{CURRENT_LSB} \times \text{POWER} \quad (4)$$

ここで、

- POWER は、POWER レジスタからの読み取り値です。
- CURRENT_LSB は、式 2 で定義されているように、電流計算の LSB サイズです。

これらの式を使用する設計例については、セクション 7.2.2 を参照してください。

7.1.3 ADC の出力データ レートとノイズ特性

INA238 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。INA238 の ADC の有効分解能は、変換時間を長くし、平均値を増やすことで向上できます。

表 7-2 に、本デバイスがサポートしている出力データ レート変換設定をまとめています。最も高速な変換設定は 50µs 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 7-2. INA238 ノイズ性能

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 (±163.84mV) (ADCRANGE = 0)	ノイズ フリー ENOB (±40.96mV) (ADCRANGE = 1)
50	1	0.05	12.5	9.9
84		0.084	12.7	10.5
150		0.15	13.4	11.4
280		0.28	13.7	12.2
540		0.54	14.1	12.4
1052		1.052	14.1	12.7
2074		2.074	15.7	13.1
4120		4.12	15.7	13.4
50	4	0.2	12.7	10.6
84		0.336	13.7	11.4
150		0.6	14.1	12.2
280		1.12	14.7	12.7
540		2.16	15.7	13.4
1052		4.208	15.7	14.1
2074		8.296	15.7	14.7
4120		16.48	15.7	14.7
50	16	0.8	13.7	11.5
84		1.344	15.7	12.7
150		2.4	15.7	13.4
280		4.48	15.7	13.7
540		8.64	15.7	14.1
1052		16.832	15.7	14.7
2074		33.184	15.7	15.7
4120		65.92	16.0	15.7
50	64	3.2	15.7	12.5
84		5.376	15.7	13.7
150		9.6	15.7	14.7
280		17.92	15.7	14.7
540		34.56	16.0	14.7
1052		67.328	16.0	15.7
2074		132.736	16.0	15.7
4120		263.68	16.0	15.7
50	128	6.4	15.7	13.1
84		10.752	15.7	14.1
150		19.2	15.7	14.7
280		35.84	16.0	15.7
540		69.12	16.0	15.7
1052		134.656	16.0	15.7
2074		265.472	16.0	15.7
4120		527.36	16.0	16.0

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

表 7-2. INA238 ノイズ性能 (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 (±163.84mV) (ADCRANGE = 0)	ノイズ フリー ENOB (±40.96mV) (ADCRANGE = 1)
50	256	12.8	15.7	13.7
84		21.504	15.7	14.7
150		38.4	15.7	15.7
280		71.68	16.0	15.7
540		138.24	16.0	15.7
1052		269.312	16.0	16.0
2074		530.944	16.0	16.0
4120		1054.72	16.0	16.0
50	512	25.6	15.7	14.1
84		43	16.0	15.7
150		76.8	16.0	15.7
280		143.36	16.0	15.7
540		276.48	16.0	15.7
1052		538.624	16.0	16.0
2074		1061.888	16.0	16.0
4120		2109.44	16.0	16.0
50	1024	51.2	15.7	14.7
84		86.016	15.7	15.7
150		153.6	16.0	16.0
280		286.72	16.0	16.0
540		552.96	16.0	16.0
1052		1077.248	16.0	16.0
2074		2123.776	16.0	16.0
4120		4218.88	16.0	16.0

7.1.4 入力フィルタリングに関する検討事項

これまでに説明したように、INA238 にはノイズ フィルタリングの複数のオプションが提供されており、ユーザーは ADC_CONFIG レジスタで変換時間と平均化の数を個別に選択することができます。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、電源バスの監視における柔軟性が向上します。

内部の ADC は本質的にノイズ除去が優れていますが、サンプリング レートの高調波と同じ、または近い周波数の過渡が問題を引き起こすことがあります。これらの信号は 1MHz 以上であるため、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。高周波信号をフィルタリングすることにより、測定値の精度にほぼ影響を与えずに、フィルタ上に値の低い直列抵抗を使用することができます。最良の結果を得るためには、可能な限り最小の直接抵抗 (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、0.1µF～1µF です。図 7-1 に、入力にフィルタを追加したデバイスを示します。

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、IN+ ピンと IN- ピンの両端で ±40V の差動に耐えられ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 40V の差動、または 85V の同相絶対最大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、十分なエネルギー蓄積容量を備えたツェナー タイプの過渡吸収デバイス (一般にトランゾーブと呼ばれます) によって最も良好に制御されます。電流が電流検出抵抗を流れた際にその両端に発生する電圧を測定するために使用されるハイサイド電流シャント モニタについては、*『電流シャント モニタの過渡的堅牢性』*リファレンス デザインを参照してください。

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 が印加されることにより、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。このイベントの主な原因は、物理的な短絡です。この問題は、大量の電流を流せるシステムのデバイスで、過剰な dV/dt によって ESD 保護が作動する可能性があることです。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 40V までの差動電圧の 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。

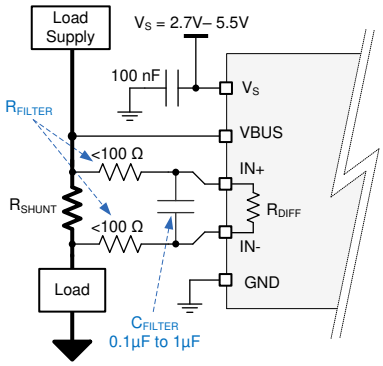


図 7-1. 入力フィルタリング

R_{FILTER} に、100Ω を超える値は使用しないでください。100Ω を上回る抵抗を使用すると、ゲイン誤差が低下し、非直線性が向上する可能性があります。

7.2 代表的なアプリケーション

INA238 のオフセット電圧と入力バイアス電流が低いため、電流を幅広い範囲で正確に監視することができます。電流を高分解能で正確に監視するには、結果のセンス電圧が最大許容差動入力電圧範囲 (抵抗の設定に応じて、±163.84mV または ±40.96mV のいずれか) の近似値になるように、シャント抵抗の値を選択します。図 7-2 に、下限側構成における電流監視のための回路を示します。

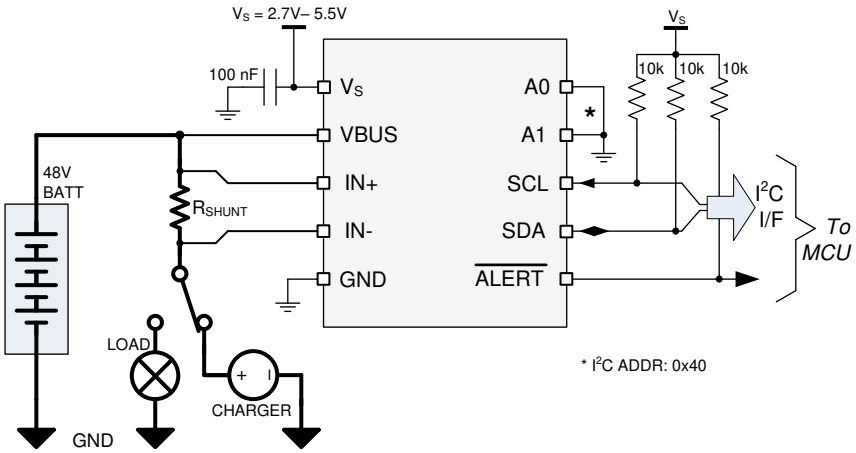


図 7-2. INA238 下限側センシング・アプリケーション図

7.2.1 設計要件

INA238 は、電流が電流検出抵抗 (R_{SHUNT}) を流れるときに、その抵抗の両端に生じる電圧を測定します。また、このデバイスはバス電源電圧も測定し、キャリブレーションが行われていれば電力を計算します。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。

図 7-2 に示す回路の設計要件を 表 7-3 に示します。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

表 7-3. 設計パラメータ

設計パラメータ	数値の例
電源電圧 (V_S)	5V
バス電源レール (V_{CM})	48V
バス電源レールの過電圧フォルト スレッショルド	52V
平均電流	6A
過電流フォルト スレッショルド (I_{MAX})	10A
ADC 範囲の選択 (V_{SENSE_MAX})	±163.84mV
温度	25℃

7.2.2 詳細な設計手順

7.2.2.1 シャント抵抗の選択

表 7-3 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 5 を使用すると、R_{SHUNT} の最大値は 16.38mΩ 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 16.2mΩ です。R_{SHUNT} は、最大負荷条件において、その抵抗の両端で消費される電力を処理する能力が必要です。

$$R_{SHUNT} < \frac{V_{SENSE_MAX}}{I_{MAX}} \tag{5}$$

7.2.2.2 デバイスの構成

INA238 をプログラムする最初のステップは、デバイスと ADC 構成レジスタを適切に設定することです。最初の電源投入時に、CONFIG レジスタと ADC_CONFIG レジスタは、それぞれ 表 6-5 と 表 6-6 に示すようなリセット値に設定されます。このデフォルトのパワーオン状態では、デバイスは ±163.84mV の範囲で測定されるように設定され、シャント電圧、バス電圧、温度を連続モードで ADC 変換します。デフォルトの電源投入条件が設計要件を満たしていない場合、各 V_S 電源サイクル イベント後に、これらのレジスタを正しく設定する必要があります。

7.2.2.3 シャント キャリブレーション レジスタのプログラム

シャント キャリブレーション レジスタは、デバイスが電流に基づいて結果を適切に通知できるように、各 V_S の電源投入時に正確にプログラムされる必要があります。このレジスタを適切に設定するには、まず 式 2 を使用して、電流の LSB 値を計算します。この式に最大想定電流 10A を当てはめると、LSB サイズは 305.1758µA になります。CURRENT_LSB とシャント抵抗に対して選択した値に 式 1 の式を当てはめると、シャント キャリブレーション レジスタの設定は 4050d (FD2h) になります。シャント キャリブレーション レジスタに不適切な値を設定すると、電流に基づく結果はすべて 0 になります。

7.2.2.4 目標のフォルト スレッショルドの設定

フォルト スレッショルドを設定するには、目標のトリップ スレッショルドを対応するフォルト レジスタにプログラムします。サポートされているフォルト レジスタを 表 6-1 に示します。

過電流スレッショルドを設定するには、シャント過電圧制限レジスタ (SOVL) をプログラムします。このレジスタにプログラムする必要のある電圧は、過電流スレッショルドにシャント抵抗を乗算して求めます。この例では、過電流スレッショルドは 10A で、電流センス抵抗の値は 16.2mΩ のため、シャント電圧制限は 162mV になります。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。

この例では、シャント過電圧制限レジスタの値は 162mV/5µV = 32400d (7E90h) となります。

バス電圧の過電圧フォルト スレッショルドを設定するには、バス過電圧制限レジスタ (BOVL) をプログラムします。この例では、目標の過電圧スレッショルドは 52V です。このレジスタにプログラムする必要のある電圧は、目標スレッショルド電圧をバス電圧フォルト制限の LSB 値 3.125mV で除算します。この例では、BOVL レジスタの目標値は、52V/3.125mV= 16640d (4100h) になります。

電力の上限値を設定する場合、制限レジスタに必要な値の計算に使用される LSB サイズは、電力 LSB の 256 倍になります。これは、電力レジスタの長さが 24 ビットで、電力フォルト制限レジスタが 16 ビットであるためです。

アラート制限レジスタに格納される値は、V_S 電力サイクル イベント後はデフォルト値にセットされ、電力が印加されるたびに再プログラムする必要があります。

7.2.2.5 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 7-4 に、表 7-3 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 7-4. 戻り値の計算

パラメータ	戻り値	LSB の値	計算結果
シャント電圧 (V)	19440d	5µV/LSB	0.0972V
電流 (A)	19660d	$10A/2^{15}$ = 305.176µA/LSB	5.9997A
バス電圧 (V)	15360d	3.125mV/LSB	48V
電力 (W)	4718604d	電流 LSB x 0.2 = 61.035156µW/LSB	288W
温度 (°C)	200d	125m°C/LSB	25°C

シャント電圧、電流、バス電圧 (正の値のみ)、、および温度の戻り値は、2 の補数形式で表現されています。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。たとえば、シャント電圧の測定値が 1011 0100 0001 0000 だとします。MSB が 1 なので、これは負の値です。ビットを反転して 1 を足すと、計算結果は 0100 1011 1111 0000 (19440d) になります。これは、表 7-4 のシャント電圧の例から 97.2mV の電圧と相関関係にあります。戻り値は負の値であるため、シャント電圧の測定値は -97.2mV です。

7.2.3 アプリケーション曲線

図 7-3 および 図 7-4 に、バス過電圧フォルトに対する ALERT ピンの応答を示します。ここでは、変換時間 50µs、平均化は 1、バスのみの変換に対して SLOWALERT ビットを 0 に設定しています。こうしたスコープ ショットでは、ALERT チャネルでの持続性はイネーブルになっており、多数のフォルト イベントが連続した場合のさまざまなアラート応答を示しています。フォルトが十分大きい場合、図 7-3 に示すように、ALERT 応答は ADC 変換の 1/4 の速度になります。制限スレッショルドを超過している瞬間のフォルト状態では、図 7-4 に示すように、ALERT ピンの応答時間は約 0.5～1.5 の変換サイクルで変動する可能性があります。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。アラートのタイミングを予測することは難しいため、アラートのタイミングが重要なアプリケーションでは、バス電圧やシャント電圧のみの変換については、アラート応答が ADC 変換時間の 1.5 倍になると予測します。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

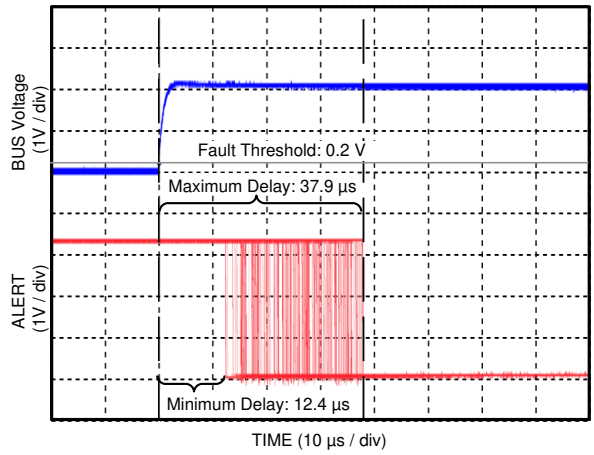


図 7-3. アラート応答時間 (スレッショルドを大幅に上回るサンプリング値)

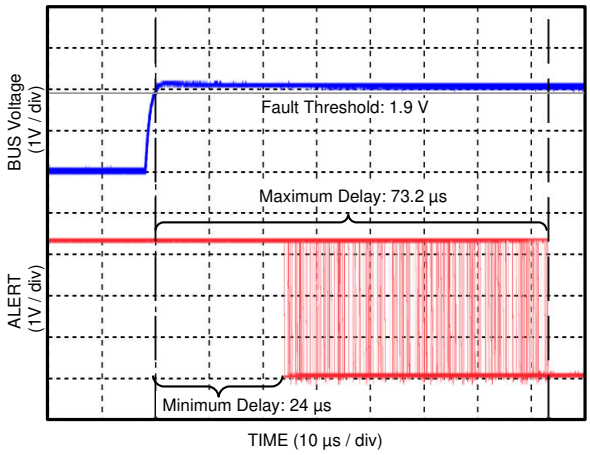


図 7-4. アラート応答時間 (スレッショルドをわずかに上回るサンプリング値)

7.3 電源に関する推奨事項

このデバイスの入力回路は、その電源電圧 V_S を超える同相電圧の信号を正確に測定できます。たとえば、電源端子 V_S には 5V の電圧を印加できますが、監視対象の負荷電源電圧 (同相電圧) は最大 85V まで可能です。このデバイスは、電源が投入されているかどうかに関係なく、0V～85V のすべての範囲で入力端子電圧に耐えることもできます。デバイスへの電源が投入されてアクティブなときに、GND ピンが切断されるアプリケーションは避けてください。

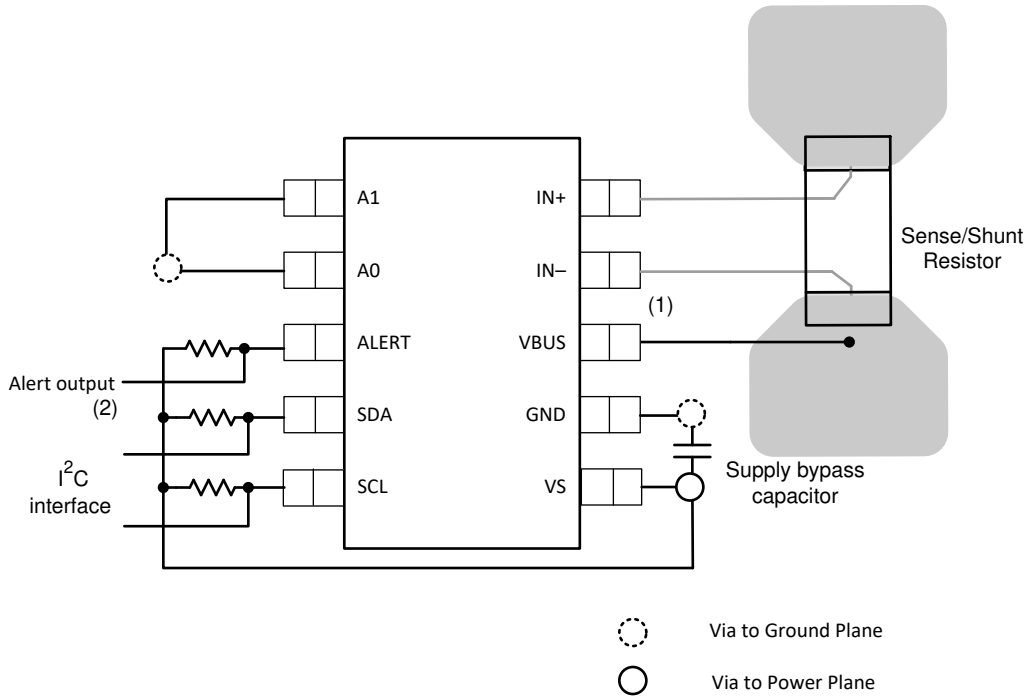
必要な電源バイパス コンデンサは、デバイスの電源端子とグランド端子にできるだけ近づけて配置します。この電源バイパス コンデンサの標準値は 0.1µF です。ノイズが多い、またはインピーダンスが高い電源を使ったアプリケーションでは、デカップリング コンデンサの追加による電源ノイズの除去が必要な場合があります。

7.4 レイアウト

7.4.1 レイアウトのガイドライン

入力ピン (IN+ と IN-) は、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。この接続技術により、入力ピン間の電流センシング抵抗のインピーダンスだけを検出することが確認されます。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。

7.4.2 レイアウト例



(1) 負荷電力計算のため、VBUS ピンを負荷への供給電圧に接続します。
(2) 未使用の場合はオープンのままにできます。

図 7-5. INA238 レイアウト例

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

8 デバイスおよびドキュメントのサポート

8.1 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。

8.2 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。

8.3 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。

8.4 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推奨します。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。

8.5 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。

9 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。

Changes from Revision A (May 2022) to Revision B (May 2025) — **Page**

- ドキュメント全体にわたって表、図、相互参照の採番方法を更新 1
- *低レイテンシ デジタル フィルタ*のノッチ周波数の計算式を更新 15
- DIAG_ALRT レジスタ表のビット 0 ～ 7 を R/W から R に変更 22

Changes from Revision * (January 2021) to Revision A (May 2022) — **Page**

- ドキュメント全体にわたって表、図、相互参照の採番方法を更新 1
- ドキュメントに記載されている図と数式のすべてを、商用データシートと一致するよう更新 1
- シャント キャリブレーション (SHUNT_CAL) レジスタの 14-0 ビット名を CURRLSB から SHUNT_CAL に変更 22
- デバイス ID (DEVICE_ID) レジスタのリセット値を変更 22
- TOL の 15-4 ビットのリセット値を 7FF0h から 7FFh に変更 22
- 「*電流計算*」セクションの式の定義の一覧を変更 30

10 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、指定のデバイスに対して提供されている最新のデータです。このデータは予告なく変更されることがあり、ドキュメントが改訂される場合もあります。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。

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黙示保証、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、明示的または黙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

PACKAGING INFORMATION

Orderable part number	Status (1)	Material type (2)	Package | Pins	Package qty | Carrier	RoHS (3)	Lead finish/ Ball material (4)	MSL rating/ Peak reflow (5)	Op temp (°C)	Part marking (6)
INA238AIDGSR	Active	Production	VSSOP (DGS) | 10	2500 | LARGE T&R	Yes	SN	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	238I
INA238AIDGSR.A	Active	Production	VSSOP (DGS) | 10	2500 | LARGE T&R	Yes	SN	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	238I
INA238AIDGST	Last Time Buy	Production	VSSOP (DGS) | 10	250 | SMALL T&R	Yes	SN	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	238I

(1) **Status:** For more details on status, see our product life cycle.

(2) **Material type:** When designated, preproduction parts are prototypes/experimental devices, and are not yet approved or released for full production. Testing and final process, including without limitation quality assurance, reliability performance testing, and/or process qualification, may not yet be complete, and this item is subject to further changes or possible discontinuation. If available for ordering, purchases will be subject to an additional waiver at checkout, and are intended for early internal evaluation purposes only. These items are sold without warranties of any kind.

(3) **RoHS values:** Yes, No, RoHS Exempt. See the TI RoHS Statement for additional information and value definition.

(4) **Lead finish/Ball material:** Parts may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead finish/Ball material values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

(5) **MSL rating/Peak reflow:** The moisture sensitivity level ratings and peak solder (reflow) temperatures. In the event that a part has multiple moisture sensitivity ratings, only the lowest level per JEDEC standards is shown. Refer to the shipping label for the actual reflow temperature that will be used to mount the part to the printed circuit board.

(6) **Part marking:** There may be an additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category of the part.

Multiple part markings will be inside parentheses. Only one part marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a part. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire part marking for that device.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

OTHER QUALIFIED VERSIONS OF INA238 :

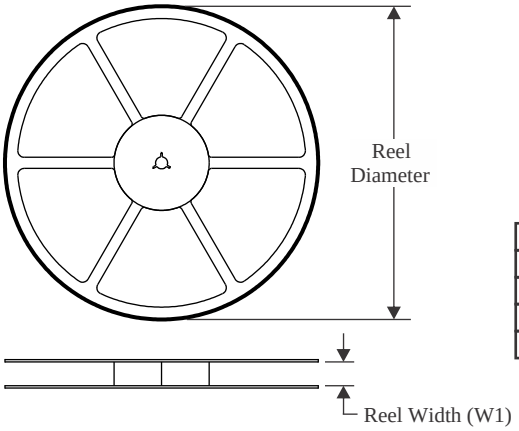
- Automotive : INA238-Q1

NOTE: Qualified Version Definitions:

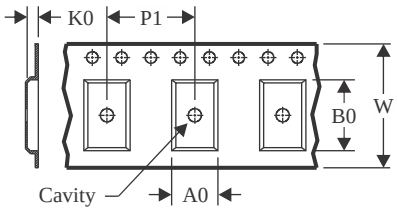
- Automotive - Q100 devices qualified for high-reliability automotive applications targeting zero defects

TAPE AND REEL INFORMATION

REEL DIMENSIONS

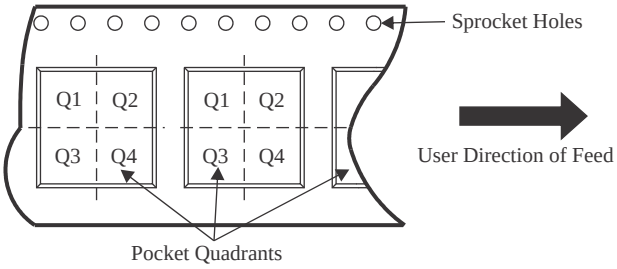


TAPE DIMENSIONS



A0	Dimension designed to accommodate the component width
B0	Dimension designed to accommodate the component length
K0	Dimension designed to accommodate the component thickness
W	Overall width of the carrier tape
P1	Pitch between successive cavity centers

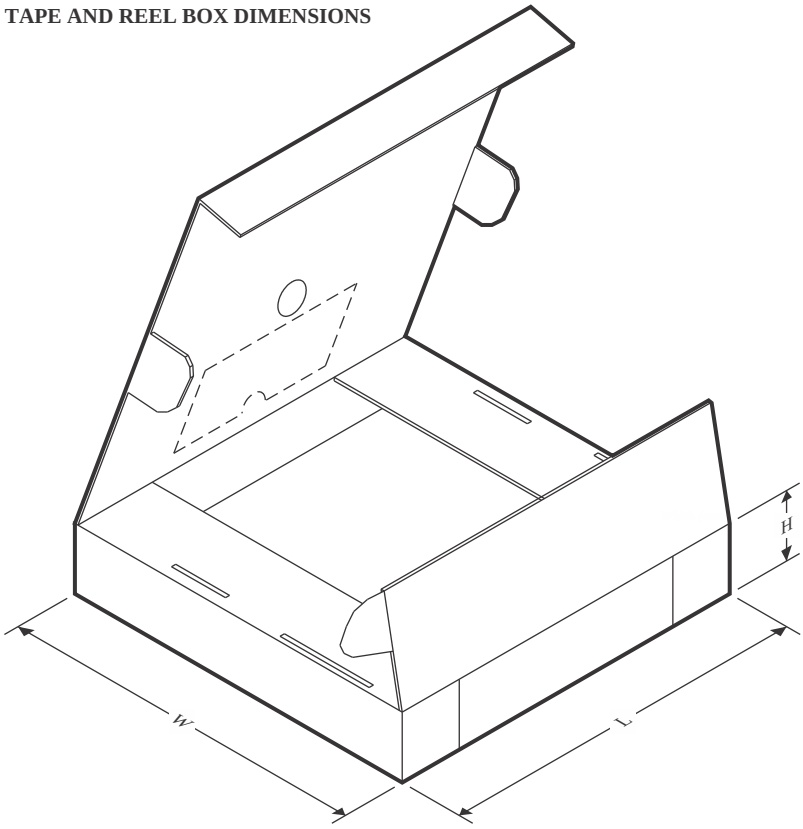
QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



*All dimensions are nominal

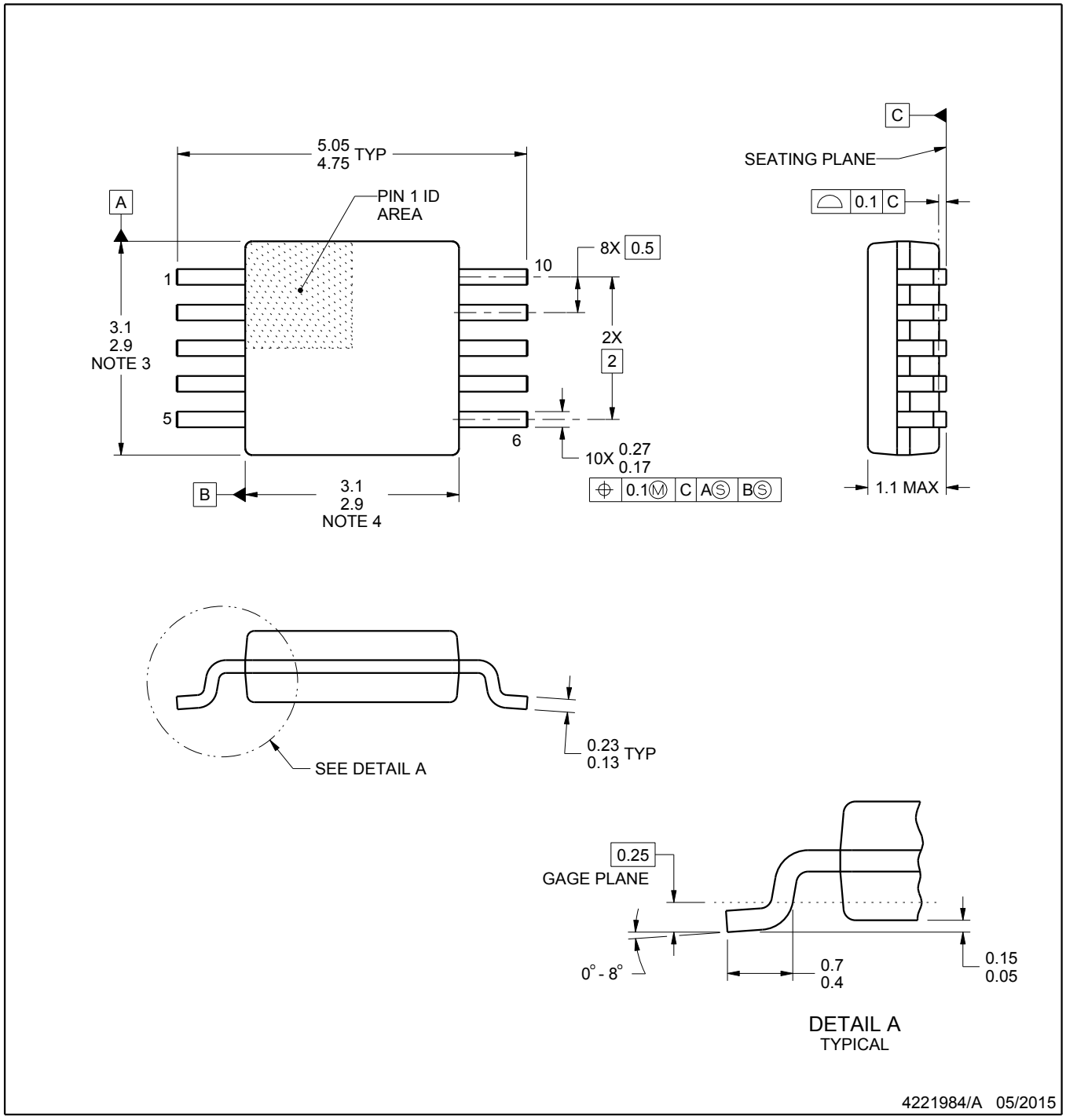
Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
INA238AIDGSR	VSSOP	DGS	10	2500	330.0	12.4	5.25	3.35	1.25	8.0	12.0	Q1
INA238AIDGST	VSSOP	DGS	10	250	330.0	12.4	5.25	3.35	1.25	8.0	12.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



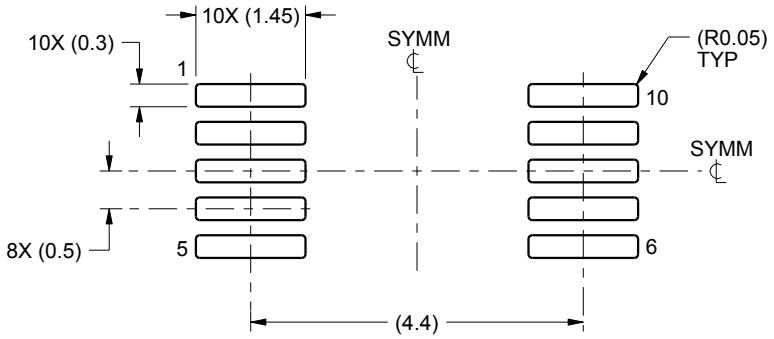
*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
INA238AIDGSR	VSSOP	DGS	10	2500	366.0	364.0	50.0
INA238AIDGST	VSSOP	DGS	10	250	366.0	364.0	50.0

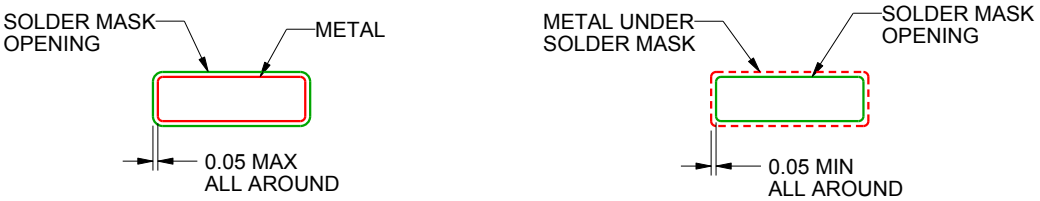


NOTES:

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.
3. This dimension does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0.15 mm per side.
4. This dimension does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0.25 mm per side.
5. Reference JEDEC registration MO-187, variation BA.



LAND PATTERN EXAMPLE
SCALE:10X



NON SOLDER MASK
DEFINED

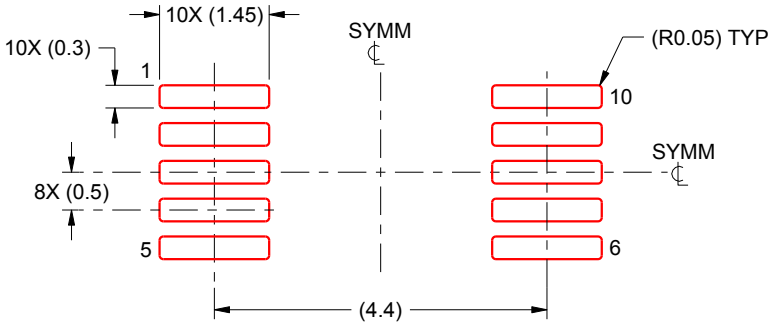
SOLDER MASK
DEFINED

SOLDER MASK DETAILS
NOT TO SCALE

4221984/A 05/2015

NOTES: (continued)

6. Publication IPC-7351 may have alternate designs.
7. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.125 mm THICK STENCIL
SCALE:10X

4221984/A 05/2015

NOTES: (continued)

8. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.
9. Board assembly site may have different recommendations for stencil design.

重要なお知らせと免責事項

TI 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黙示保証、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、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 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 TI 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 TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI 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。TI 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、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、 TI の販売条件 、 TI の総合的な品質ガイドライン 、 ti.com または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI 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。 TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月