



MAX40080

高精度で高速サンプリング・レートの デジタル電流センス・アンプ

概要

MAX40080 は、高精度で高速応答の双方向電流センス・アンプで、デジタル出力と -0.1V （グラウンド・センシング） $\sim 36\text{V}$ の非常に広い入力コモンモード電圧範囲を備えています。

$5\mu\text{V}$ の超低入力オフセットと、 0.2% の非常に低いゲイン・エラーを特長としています。低入力オフセット電圧が特に重要なのは、これによって小さいセンス抵抗が使用でき、消費電力の節約になるにも関わらず、計測精度を損なわないためです。更に、 $\pm 10\text{mV}$ から $\pm 50\text{mV}$ の間でプログラマブルな入力センシング範囲（または 125V/V から 25V/V の間でプログラマブルな入力ゲイン）という特徴もあり、これは低電流時の精度を向上させるのに非常に役立ちます。

内蔵の A/D コンバータはプログラマブルなサンプリング・レートと 12 ビットの分解能（電流計測用の符号ビットを含めて 13 ビット）を備えており、 I^2C に適合した SMBus 対応のインタフェースも特徴となっています。

ウェイクアップ電流スレッシュホールドと自動シャットダウン・モード（ I^2C が非アクティブの場合）も特徴として挙げられます。この両機能は、消費電力を最小限に抑えるよう設計されています。

デバイスは小型の 12 ピン WLP で（また、12 ピン TDFN でも）提供され、 $-40^\circ\text{C} \sim +125^\circ\text{C}$ の拡張動作温度範囲での動作がサポートされています。

アプリケーション

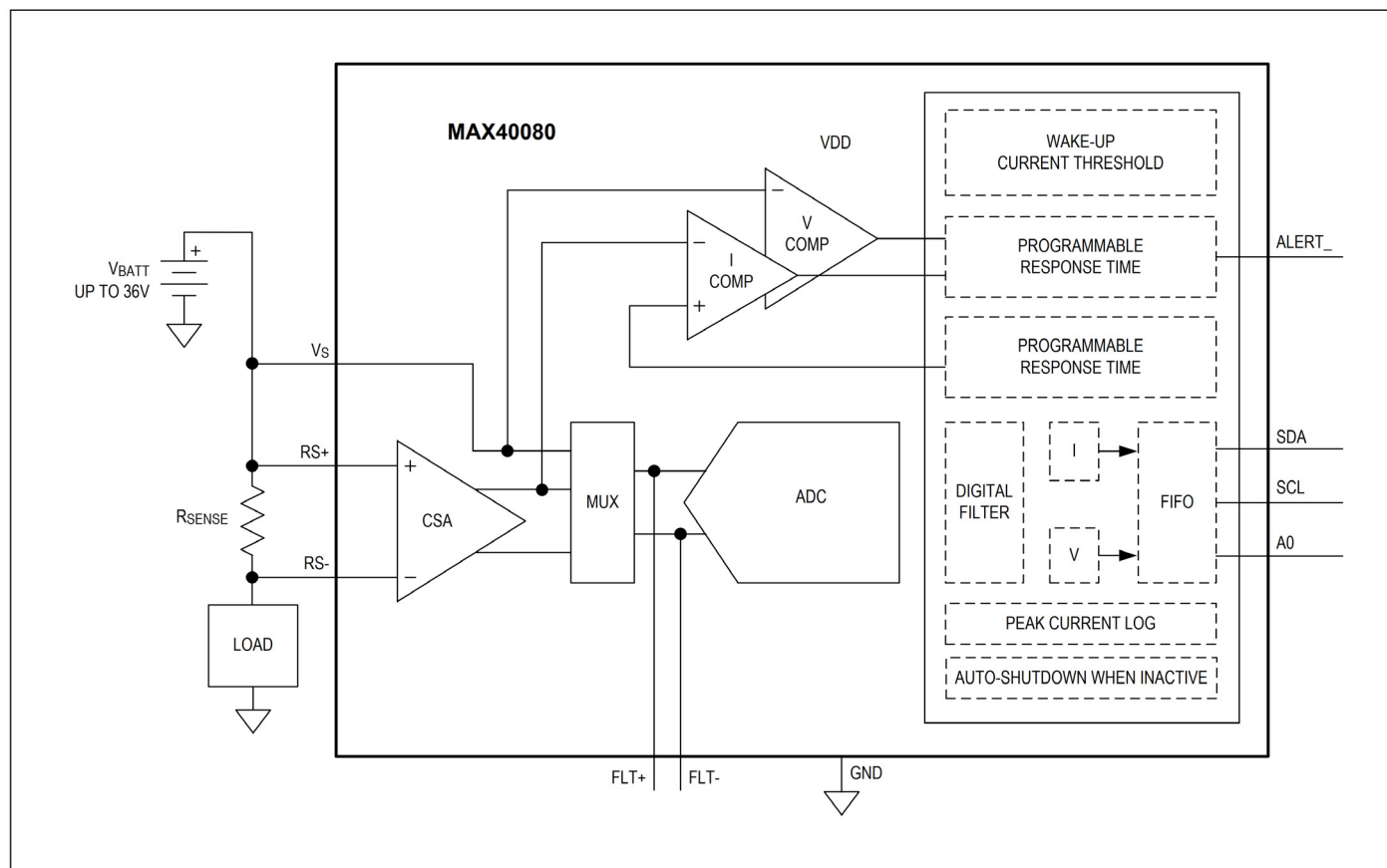
- サーバのバックプレーン
- 基地局の PA 制御
- テレコム機器
- バッテリ駆動デバイス
- 産業用の制御およびオートメーション

利点と特長

- プログラマブルなサンプリング・レート：最大 1MSPS
- 広い入力コモンモード電圧範囲：
 -0.1V （グラウンド・センシング） $\sim 36\text{V}$
- プログラマブルな入力センシング範囲
（ $\pm 10\text{mV}$ および $\pm 50\text{mV}$ ）
- 非常に低い $5\mu\text{V}$ の入力オフセット電圧によって小さいセンス抵抗が使用可能
- I^2C に適合した SMBus 対応のインタフェース（スマート・モードで電力を節約）：
 - ウェイクアップ電流スレッシュホールド
 - 低計測レート：4 回/秒
 - 自動シャットダウン（ I^2C が非アクティブの場合）
- 双方向の電流センシング
- コモンモード電圧を 36V までモニタリング
- スペースを節約する 12 バンプ WLP（ 0.4mm ピッチ）および 12 ピン TDFN
- ピーク電流の記録
- プログラマブルな過電流/過電圧スレッシュホールドおよび低電圧スレッシュホールド
- プログラマブルな応答時間を備えたアラート出力
- 深さが 64 セルの FIFO

型番はデータシート末尾に記載されています。

ブロック図



目次

概要.....	1
アプリケーション.....	1
特長と利点.....	1
ブロック図.....	2
絶対最大定格.....	7
パッケージ情報.....	8
WLP.....	8
TDFN*.....	9
電気的特性.....	11
標準動作特性.....	15
ピン配置.....	19
WLP-12.....	19
TDFN.....	19
端子説明.....	20
詳細.....	21
I ² Cに適合した SMBus 対応のバス・インタフェース.....	21
I ² C スレーブ・アドレス.....	24
I ² C 通信速度.....	25
最大 3.4MHz の動作に向けた HS モードの稼働.....	25
動作モード.....	26
クイック・コマンド :	26
アラート管理.....	26
内部レジスタ.....	27
設定レジスタ.....	28
動作モード.....	28
I ² C タイムアウト.....	28
アラート応答時間.....	28
PEC.....	28
入力範囲.....	29
HS モードの維持.....	29
ADC のサンプリング・レート.....	29
デジタル・フィルタ.....	29
ステータス・レジスタ.....	30
ウェイクアップ電流.....	30
変換完了.....	31
オーバーフロー電流.....	31
オーバーフロー電圧またはアンダーフロー電圧.....	31
I ² C タイムアウト.....	31
FIFO アラーム.....	31
FIFO オーバーフロー.....	31

目次（続き）	
FIFO データ・カウント	31
スレッシュホールド・レジスタおよびウェイクアップ電流レジスタ	31
MAX_Peak_Current	32
FIFO の設定	32
Store IV.....	32
Overflow_Threshold	32
RO.....	32
フラッシュ	33
FIFO からの電流および電圧の読出し.....	33
INT_EN	33
アプリケーション情報.....	34
フィルタの選択.....	34
FIFO のデータ読出しレート.....	34
型番.....	36
改訂履歴.....	37

図一覧

図 1. I²C/SMBus のタイミング図21

図 2. 2 バイトの書込み（ワード書込み）21

図 3. 2 バイトの書込み（PEC バイト有り）22

図 4. 2 バイトの読出し（ワード読出し）22

図 5. 2 バイトの読出し（PEC バイト有り）22

図 6. 1 バイトの読出し23

図 7. 1 バイトの読出し（PEC 有り）23

図 8. Read 3223

図 9. Read 32（PEC 有り）24

図 10. HS モードの稼働26

図 11. クイック・コマンド26

表一覧

表 1. I ² C スレーブ・アドレス	24
表 2. レジスタ機能と POR 状態	27
表 3. 動作モード	28
表 4. サンプリング・レートの選択	29
表 5. デジタル・フィルタの選択	30
表 6. 出力データ・レートとサンプリング・レートの関係	30
表 7. スレッシュホールド・レジスタおよびウェイクアップ電流レジスタ	31
表 8. フィルタ・コンデンサの選択	34
表 9. FIFO のデータ読出しレートと I ² C インタフェース速度の関係	34
表 10. 2 バイトの読出し	35
表 11. 4 バイトの読出し	35

絶対最大定格

V _{DD} 〜GND	-0.3V〜+2V	連続消費電力（多層基板）（T _A = +70°C、+70°C を超えると 13.73mW/°C でディレーティング）	1098.60mW
RS+〜RS-	±2V	動作温度範囲	-40°C〜125°C
V _S 、RS+、RS-〜GND	-0.3V〜+40V	ジャンクション温度	+150°C
他のすべてのピン〜GND	-0.3V〜V _{DD} + 0.3V	保存温度範囲	-40°C〜+150°C
入力ピンへの連続電流	10mA	はんだ処理温度（リフロー）	+260°C

上記の絶対最大定格を超えるストレスを加えるとデバイスに恒久的な損傷を与えることがあります。これらの規定はストレス定格のみを定めたものであり、この仕様の動作セクションに記載する規定値以上でデバイスが正常に動作することを意味するものではありません。デバイスを長時間絶対最大定格状態に置くとデバイスの信頼性に影響を与えます。

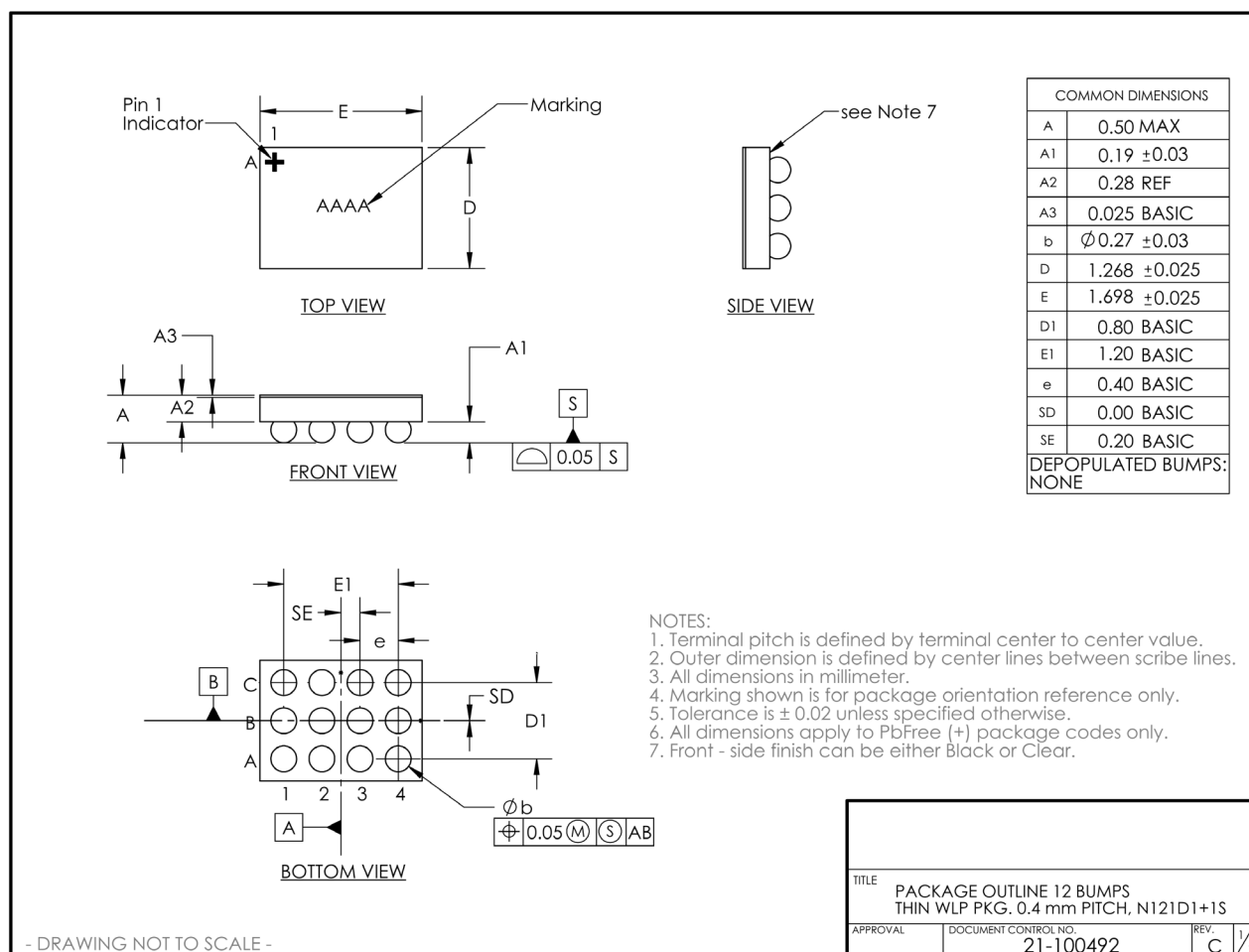
パッケージ情報

WLP

Package Code	N121D1+1S
Outline Number	21-100492
Land Pattern Number	Refer to Application Note 1891
Thermal Resistance, Four-Layer Board:	
Junction-to-Ambient (θ_{JA})	72.82°C/W
Junction-to-Case Thermal Resistance (θ_{JC})	17.90°C/W

最新のパッケージ外形図とランド・パターン（フットプリント）に関しては、www.maximintegrated.com/packages で確認してください。パッケージ・コードの「+」、「#」、「-」はRoHS対応状況のみを示します。パッケージ図面は異なる末尾記号が示されている場合がありますが、図面はRoHS状況に関わらず該当のパッケージについて図示しています。

パッケージの熱抵抗は、JEDEC 規格 JESD51-7 に記載の方法で4層基板を使用して求めたものです。パッケージの熱に対する考慮事項の詳細については、www.maxim-ic.com/thermal-tutorial を参照してください。

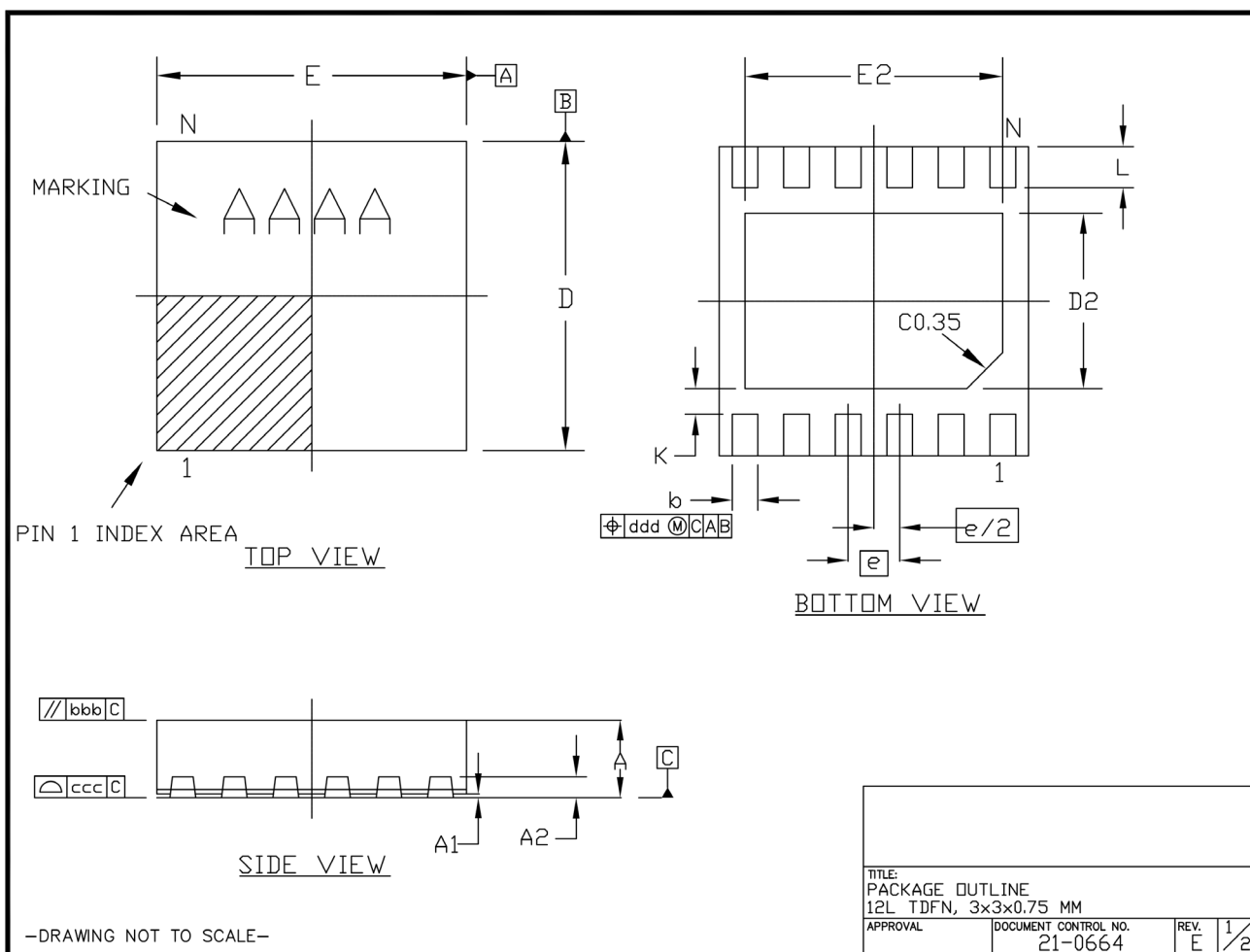


TDFN*

Package Code	TD1233+1C
Outline Number	21-0664
Land Pattern Number	90-0397
Thermal Resistance, Single-Layer Board:	
Junction-to-Ambient (θ_{JA})	63 °C/W
Junction-to-Case Thermal Resistance (θ_{JC})	8.5 °C/W
Thermal Resistance, Four-Layer Board:	
Junction-to-Ambient (θ_{JA})	41 °C/W
Junction-to-Case Thermal Resistance (θ_{JC})	8.5 °C/W

最新のパッケージ外形図とランド・パターン（フットプリント）に関しては、www.maximintegrated.com/packages で確認してください。パッケージ・コードの「+」、「#」、「-」は RoHS 対応状況のみを示します。パッケージ図面は異なる末尾記号が示されている場合がありますが、図面は RoHS 状況に関わらず該当のパッケージについて図示しています。

パッケージの熱抵抗は、JEDEC 規格 JESD51-7 に記載の方法で 4 層基板を使用して求めたものです。パッケージの熱に対する考慮事項の詳細については、www.maxim-ic.com/thermal-tutorial を参照してください。



DIMENSIONAL REFERENCES							
	SYMBOL	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX
TOTAL THICKNESS	A	0.7	0.75	0.8	0.7	0.75	0.8
STAND OFF	A1	0	0.035	0.05	0	0.035	0.05
L/F THICKNESS	A2	0.203 REF			0.203 REF		
LEAD WIDTH	b	0.2	0.25	0.3	0.2	0.25	0.3
BODY SIZE	D	2.9	3.0	3.1	2.95	3.00	3.05
	E	2.9	3.0	3.1	2.95	3.00	3.05
LEAD PITCH	e	0.5 BSC			0.5 BSC		
EP SIZE	D2	1.6	1.7	1.8	1.45	1.55	1.65
	E2	2.4	2.5	2.6	2.4	2.50	2.6
LEAD LENGTH	L	0.35	0.4	0.45	0.30	0.4	0.50
PACKAGE EDGE TOLERANCE	aaa	0.1			0.1		
MOLD FLATNESS	bbb	0.1			0.1		
COPLANARITY	ccc	0.08			0.08		
LEAD OFFSET	ddd	0.1			0.1		
EXP PAD TO LEAD EDGE	K	0.25 min			0.25 min		
LEAD COUNT	N	12			12		
PKG CODE ¹		TD1233+1, TD1233+1C			TD1233+2, TD1233+2C,		

NOTES:

1. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
2. WARPAGE SHALL NOT EXCEED 0.10 mm.
3. COPLANARITY APPLIES TO THE EXPOSED PAD AS WELL AS THE TERMINALS.
4. COPLANARITY SHALL NOT EXCEED 0.08 mm.
5. MARKING SHOWN IS FOR PACKAGE ORIENTATION REFERENCE ONLY.
6. ALL DIMENSIONS APPLY TO PbFREE (+) PKG. CODES ONLY.

—DRAWING NOT TO SCALE—

TITLE: PACKAGE OUTLINE 12L TDFN, 3x3x0.75 MM		
APPROVAL	DOCUMENT CONTROL NO. 21-0664	REV. E 2/2

電氣的特性

(特に指定のない限り、 $V_{DD} = 1.8V$ 、 $V_{RS+} = V_{RS-} = +12V$ 、 $V_{SENSE} = (V_{RS+} - V_{RS-}) = 0V$ 、 $V_S = +12V$ 、 $T_A = +25^\circ C$ での値であり、最小限界値および最大限界値は $T_A = -40^\circ C \sim +125^\circ C$ の範囲内の値です。(Note 1))

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
CURRENT MEASUREMENT						
Input Common Mode Range	V_{CM}		-0.1		36	V
Input Voltage Sense	V_{SENSE}	(RS+ - RS-), Option #1 programmable with I ² C		±50		mV
		(RS+ - RS-), Option #2 programmable with I ² C		±10		
CSA Gain	G	$V_{SENSE} = \pm 10mV$, Option #1 programmable with I ² C		125		V/V
		$V_{SENSE} = \pm 10mV$, Option #1 programmable with I ² C		25		
Input Offset Voltage (CSA only)	V_{OS}	$T_A = +25^\circ C$		5	20	μV
		$-40^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$		5	45	
Input Offset Voltage (CSA + ADC)	V_{OS}	$T_A = +25^\circ C$		5	25	μV
		$-40^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$		5	55	μV
Input Offset Drift	TCV_{OS}			50		nV/ $^\circ C$
Input Bias Current	I_B	$-40^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$		1	20	nA
Gain Error (CSA only)	GE	$T_A = +25^\circ C$		0.2	0.55	%
		$-40^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$		0.2	0.75	
Gain Error (CSA + ADC)	GE	$T_A = +25^\circ C$		0.05	0.5	%
		$-40^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$		0.05	1.05	
Common Mode Rejection Ratio (CSA only)	CMRR		123	140		dB
Common Mode Rejection Ratio (CSA + ADC)	CMRR		119	140		dB
Power Supply Rejection Ratio (CSA only)	PSRR		76	110		dB
Power Supply Rejection Ratio (CSA + ADC)	PSRR		76	110		dB
Input Voltage-Noise Density	V_N	$V_{SENSE} = (V_{RS+} - V_{RS-}) = 50mV$ $f = 1kHz$		47		nV/ \sqrt{Hz}
Small Signal Bandwidth	BW	$V_{SENSE} = (V_{RS+} - V_{RS-}) = \pm 50mV$		50		kHz
		$V_{SENSE} = (V_{RS+} - V_{RS-}) = \pm 10mV$		10		
Wake-up and Over-Current Thresholds Resolution		$V_{SENSE} = \pm 50mV$		0.78		mV
Wake-up Response Time		Sampling Rate = 15ksps		32.7		ms
Over-Current Response Time		Unfiltered (D4 = 0)		31		μs
		Filtered (D4 = 1), Sample Rate = 15ksps		294		
		Filtered (D4 = 1), Sample Rate = 60ksps		88		
		Filtered (D4 = 1), Sample Rate = 1Msps		35		

電気的特性（続き）

（特に指定のない限り、 $V_{DD} = 1.8V$ 、 $V_{RS+} = V_{RS-} = +12V$ 、 $V_{SENSE} = (V_{RS+} - V_{RS-}) = 0V$ 、 $V_S = +12V$ 、 $T_A = +25^{\circ}C$ の値であり、最小限界値および最大限界値は $T_A = -40^{\circ}C \sim +125^{\circ}C$ の範囲内の値です。（[Note 1](#)）

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
INPUT VOLTAGE MEASUREMENT						
Input Voltage Range	V_S		0		36	V
Voltage Buffer Gain	G			1/30		V/V
Input Offset Voltage (Voltage Buffer only)	V_{OS}	Referred to V_S , $V_S = 1.2V$		1.5	21	mV
Input Offset Voltage (Voltage Buffer + ADC)	V_{OS}	Referred to V_S , $V_S = 1.2V$		1.5	35	mV
Gain Error (Voltage Buffer only)	GE			0.05	0.4	%
Gain Error (Voltage Buffer + ADC)	GE			0.2	1.2	%
Input Voltage Signal Bandwidth	BW			1		kHz
Over/Under-Voltage Thresholds Resolution		Referred to V_S		0.586		V
Input Impedance	Z_{IN}			6.5		MΩ
Over/Under-Voltage Response Time		Unfiltered (D4 = 0) Filtered (D4 = 1), Sample Rate = 15ksps Filtered (D4 = 1), Sample Rate = 60ksps Filtered (D4 = 1), Sample Rate = 1Msps		31 294 88 35		μs
ADC CHARACTERISTICS						
Sample Frequency	f_S	Programmable through I ² C	15		1,000	Ksps
Resolution		(Note 2)		12		bits
Internal Reference Voltage	V_{REF}			1.25		V
Switching Time	t_S	From current to voltage measurement or vice-versa		1		ms
I²C TIMING (UP TO 1MHz) (Note 3)						
Serial Clock Frequency	f_{SCL}				1	MHz
Bus Free Time Between Start and Stop Conditions	t_{BUF}		0.5			μs
START Condition Hold Time	$t_{HD:STA}$		0.26			μs
STOP Condition Setup Time	$t_{SU:STO}$	90% of SCL to 10% of SDA	0.26			μs
Clock Low Period	t_{LOW}		0.5			μs
Clock High Period	t_{HIGH}		0.26			μs
START Condition Setup Time	$t_{SU:STA}$	90% of SCL to 90% of SDA	0.26			μs
Data Setup Time	$t_{SU:DAT}$	10% of SDA to 10% of SCL	50			ns
Data In Hold Time	$t_{HD:DAT}$	10% of SCL to 10% of SDA	0			μs

電気的特性（続き）

（特に指定のない限り、 $V_{DD} = 1.8V$ 、 $V_{RS+} = V_{RS-} = +12V$ 、 $V_{SENSE} = (V_{RS+} - V_{RS-}) = 0V$ 、 $V_S = +12V$ 、 $T_A = +25^{\circ}C$ の値であり、最小限界値および最大限界値は $T_A = -40^{\circ}C \sim +125^{\circ}C$ の範囲内の値です。（Note 1））

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Minimum Receive SCL/SDA Rise Time	t_R	(Note 3)		20 + 0.1 C_B		ns
Maximum Receive SCL/SDA Rise Time	t_R	(Note 3)		120		ns
Minimum Receive SCL/SDA Fall Time	t_F	(Note 3)		20 + 0.1 C_B		ns
Maximum Receive SCL/SDA Fall Time	t_F	(Note 3)		120		ns
Transmit SDA Fall Time	t_F	Bus capacitance = 550pF.			120	ns
Maximum Pulse Width of Spikes That Must Be Suppressed by the Input Filter				50		ns
Capacitive Load for Each Bus Line	C_B			550		pF
I²C TIMING (HS MODE UP TO 3.4MHz) (Note 3)						
Serial Clock Frequency	f_{SCL}				3.4	MHz
START Condition Hold Time	$t_{HD:STA}$		160			ns
START Condition Setup Time	$t_{SU:STA}$	90% of SCL to 90% of SDA	160			ns
Clock Low Period	t_{LOW}		160			ns
Clock High Period	t_{HIGH}		60			ns
Data Setup Time	$t_{SU:DAT}$	10% of SDA to 10% of SCL	10			ns
Data In Hold Time	$t_{HD:DAT}$	10% of SCL to 10% of SDA		35		ns
Minimum Receive SCL/SDA Rise Time	t_R	(Note 3)		20 + 0.1 C_B		ns
Maximum Receive SCL/SDA Rise Time	t_R	(Note 3)		120		ns
Minimum Receive SCL/SDA Fall Time	t_F	(Note 3)		20 + 0.1 C_B		ns
Maximum Receive SCL/SDA Fall Time	t_F	(Note 3)		120		ns
STOP Condition Setup Time	$t_{SU:STO}$	90% of SCL to 10% of SDA	160			ns
Capacitive Load for Each Bus Line	C_B			100		pF
Maximum Pulse Width of Spikes That Must Be Suppressed by the Input Filter				10		ns
LOGIC (SDA, SCL, A0, ALERT_) DC CHARACTERISTICS						
Input High Voltage	V_{IH}		0.7 x V_{DD}		$V_{DD} + 0.3$	V

電氣的特性（続き）

（特に指定のない限り、 $V_{DD} = 1.8V$ 、 $V_{RS+} = V_{RS-} = +12V$ 、 $V_{SENSE} = (V_{RS+} - V_{RS-}) = 0V$ 、 $V_S = +12V$ 、 $T_A = +25^\circ C$ での値であり、最小限界値および最大限界値は $T_A = -40^\circ C \sim +125^\circ C$ の範囲内の値です。（Note 1））

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Low Voltage	V_{IL}		-0.3		$0.3 \times V_{DD}$	V
Input High Leakage Current	I_{IH}	Logic Input to DV_{DD}	-1	± 0.005	+1	μA
Input Low Leakage Current	I_{IL}	Logic Input to 0V	-1	± 0.005	+1	μA
Input Capacitance	C_{IN}			5		pF
Output Low Voltage	V_{OL}	$I_{OL} = 3mA$	0		0.3	V
Output High Leakage Current		$V_{OUT} = V_{DD}$		± 0.005	1	μA
POWER SUPPLY						
Supply Voltage Range	V_{DD}	Guaranteed by PSRR	1.71		1.98	V
Active Power Supply Current	I_{ACTIVE}	Active mode, I^2C inactive	$-40^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$	2700	3500	μA
Low-Power Mode Supply Current	I_{LP}	I^2C inactive, ADC is shutdown, current-sense takes one measurement every 50ms	$-40^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$	52	85	μA
Average Supply Current in Selected Active Mode	I_{AVE}	I^2C inactive, 4 conversions/s	$-40^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$	41	65	μA
		I^2C inactive, 1 conversions/s	$-40^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$ (Note 3)	18	38	
		I^2C inactive, 0.25 conversions/s	$-40^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$ (Note 3)	14	27	
		I^2C inactive, 0.0625 conversions/s	$-40^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$ (Note 3)	13	23	
Standby Supply Current	I_{SDBY}	In Standby and between conversions, I^2C bus inactive	$-40^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$	2.7	15	μA
Turn-On Time	t_{EN}	In Low-Power Mode, analog current-sense wakes up every 50ms. Measured current is below programmed value in "Wakeup Current" register		300		μs
		From Low-Power Mode to Active Mode. From Standby to either Active Mode or Selected Active Mode or Single Measurement Mode		500		
Power-On Time	t_{ON}	$V_{DD} = 0V$ to $1.8V$		100		ms

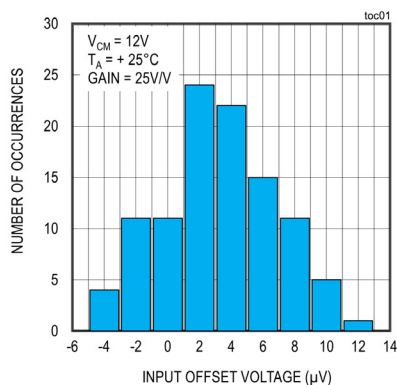
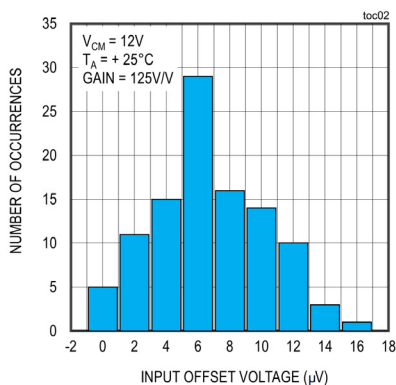
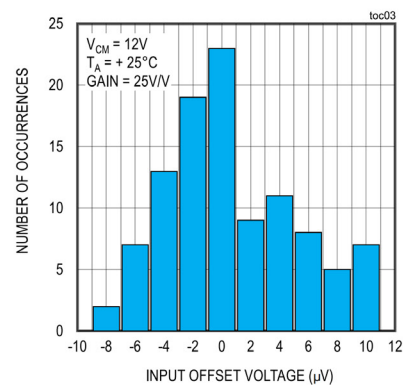
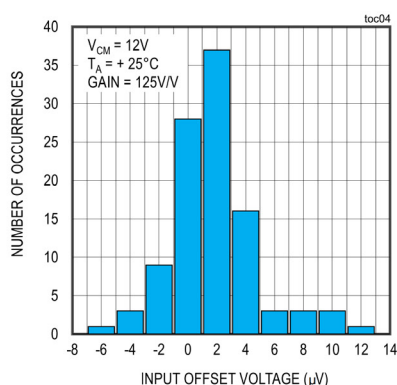
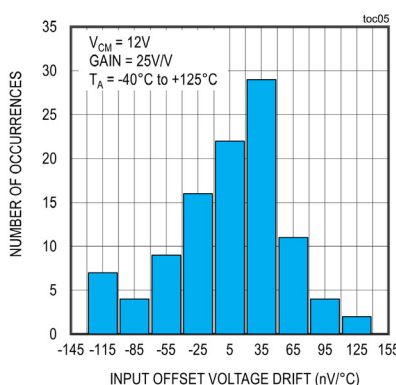
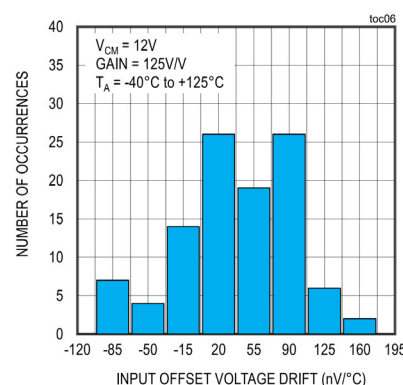
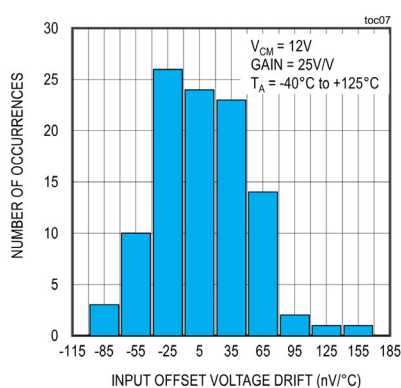
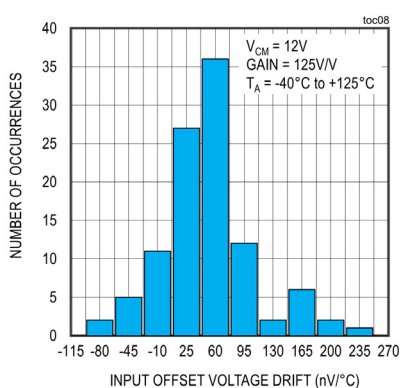
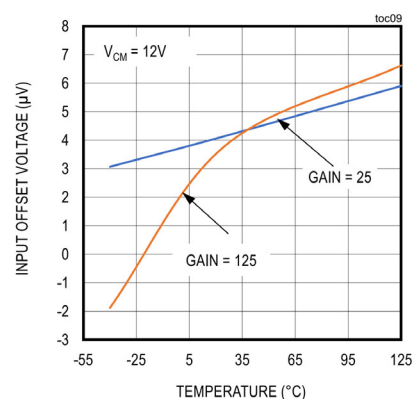
Note 1 : すべてのデバイスは、 $T_A = +25^\circ C$ で 100% 製造テストされています。温度制限範囲全体の仕様は、設計および特性評価によって裏付けられています。

Note 2 : 12 ビットのデータに電流計測用の符号ビットが 1 ビット追加されます。

Note 3 : 設計により裏付けられています。

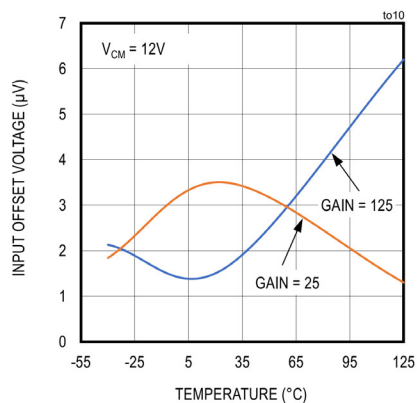
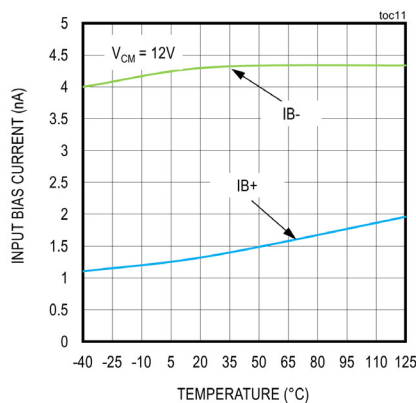
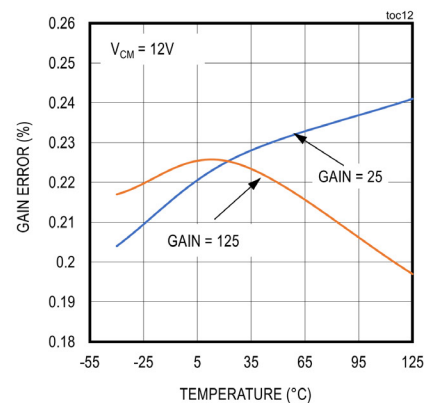
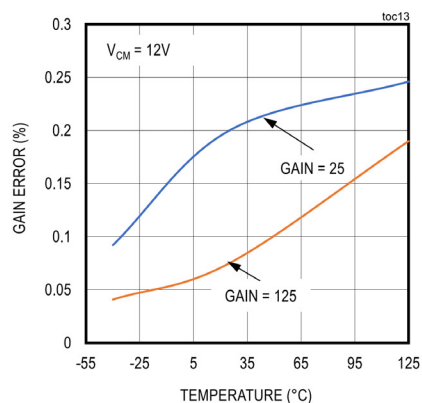
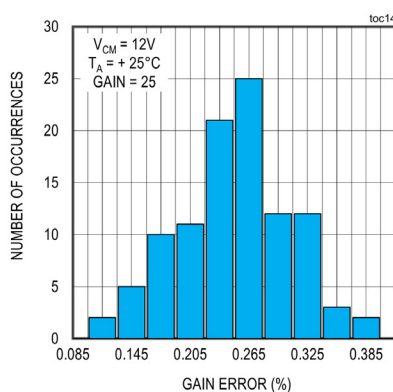
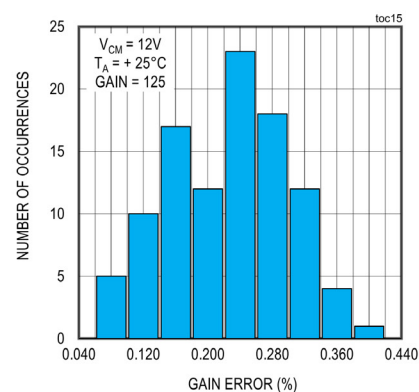
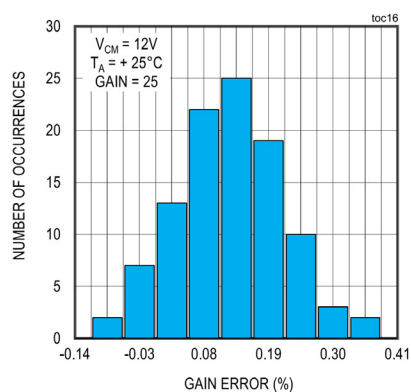
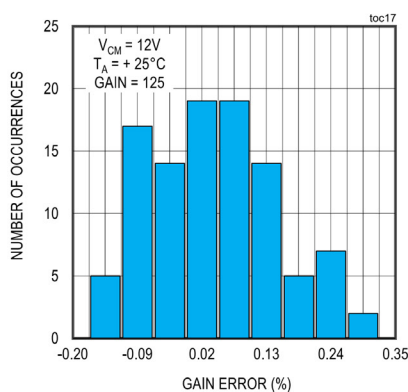
標準動作特性

(特に指定のない限り、 $V_{DD} = 1.8V$ 、 $V_{RS+} = V_{RS-} = +12V$ 、 $V_{SENSE} = (V_{RS+} - V_{RS-}) = 0V$ 、 $V_S = +12V$ 、 $T_A = +25^\circ C$ での値であり、最小限界値および最大限界値は $T_A = -40^\circ C \sim +125^\circ C$ の範囲内の値です。)

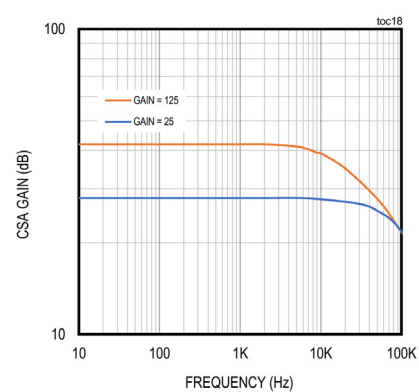
INPUT OFFSET VOLTAGE
HISTOGRAM (CSA ONLY)INPUT OFFSET VOLTAGE
HISTOGRAM (CSA ONLY)INPUT OFFSET VOLTAGE
HISTOGRAM (CSA + ADC)INPUT OFFSET VOLTAGE
HISTOGRAM (CSA + ADC)INPUT OFFSET VOLTAGE
DRIFT HISTOGRAM (CSA ONLY)INPUT OFFSET VOLTAGE
DRIFT HISTOGRAM (CSA ONLY)INPUT OFFSET VOLTAGE
DRIFT HISTOGRAM (CSA + ADC)INPUT OFFSET VOLTAGE
DRIFT HISTOGRAM (CSA + ADC)INPUT OFFSET VOLTAGE (CSA ONLY)
vs. TEMPERATURE

標準動作特性（続き）

（特に指定のない限り、 $V_{DD} = 1.8V$ 、 $V_{RS+} = V_{RS-} = +12V$ 、 $V_{SENSE} = (V_{RS+} - V_{RS-}) = 0V$ 、 $V_S = +12V$ 、 $T_A = +25^\circ C$ での値であり、最小限界値および最大限界値は $T_A = -40^\circ C \sim +125^\circ C$ の範囲内の値です。）

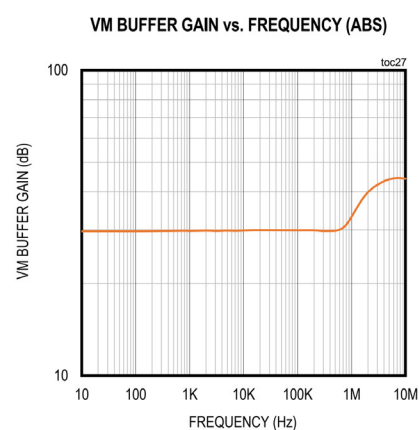
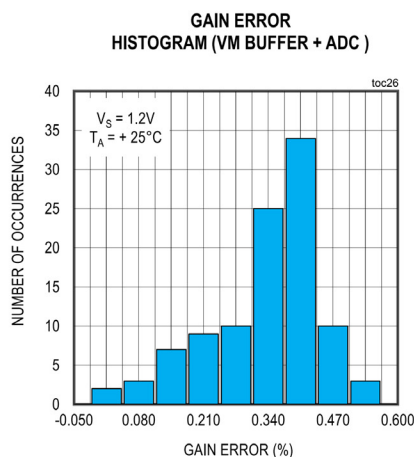
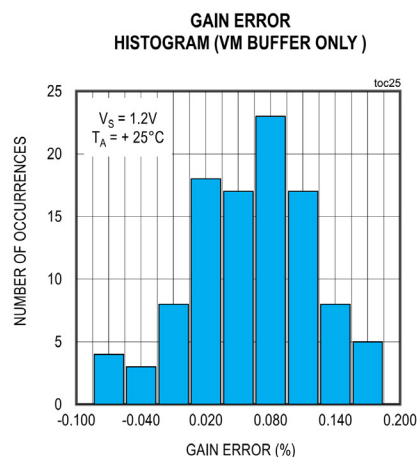
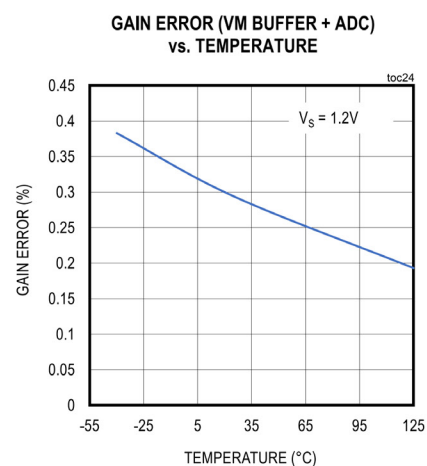
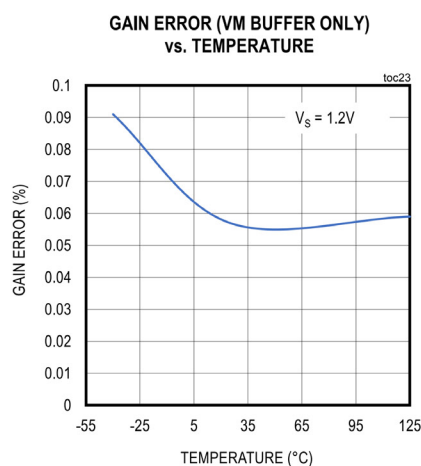
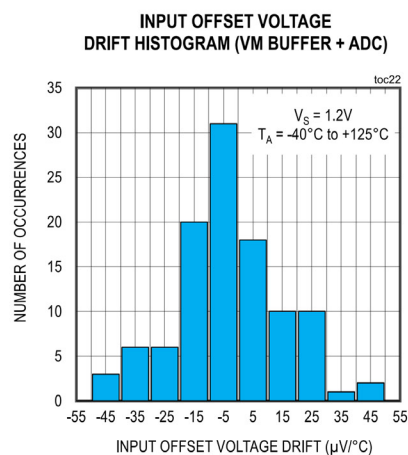
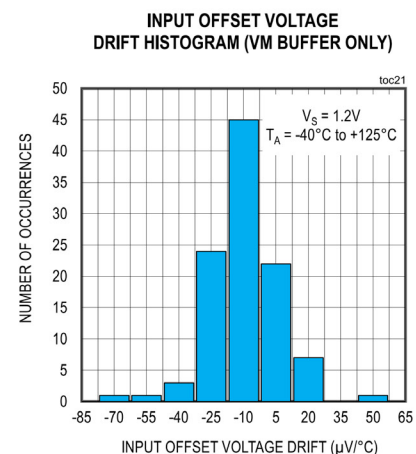
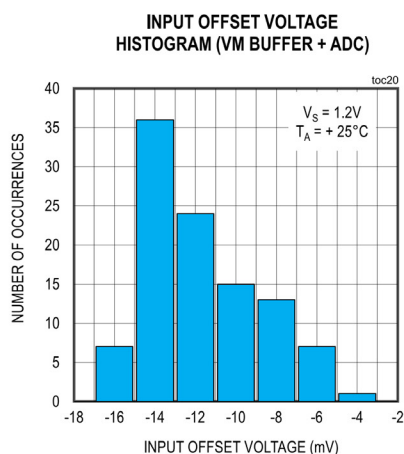
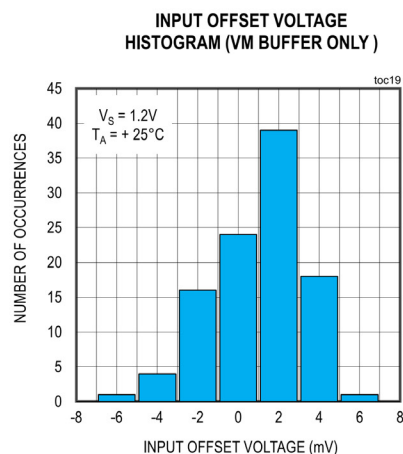
INPUT OFFSET VOLTAGE (CSA + ADC)
vs. TEMPERATUREINPUT BIAS CURRENT
vs. TEMPERATUREGAIN ERROR (CSA ONLY)
vs. TEMPERATUREGAIN ERROR (CSA + ADC)
vs. TEMPERATUREGAIN ERROR
HISTOGRAM (CSA ONLY)GAIN ERROR
HISTOGRAM (CSA ONLY)GAIN ERROR
HISTOGRAM (CSA + ADC)GAIN ERROR
HISTOGRAM (CSA + ADC)

CSA GAIN vs. FREQUENCY



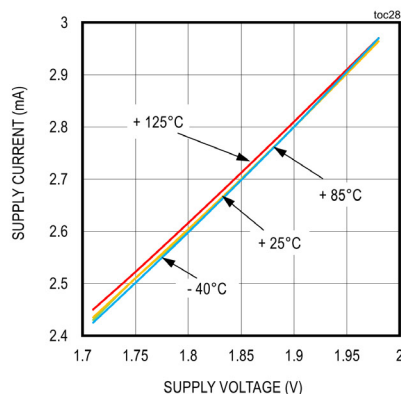
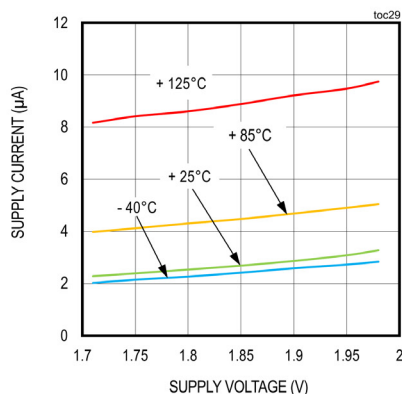
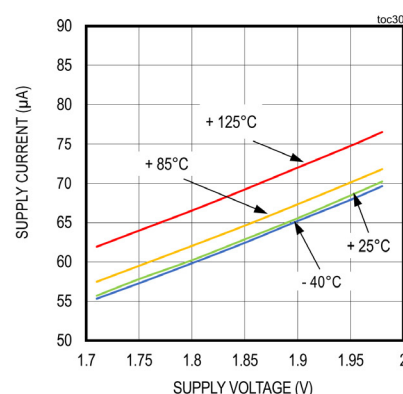
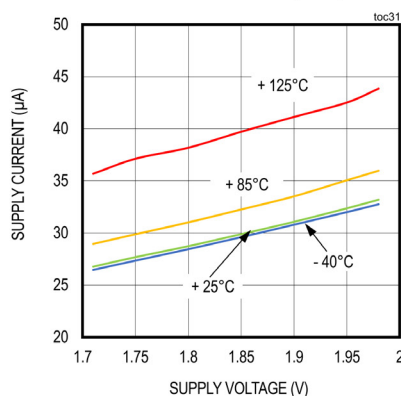
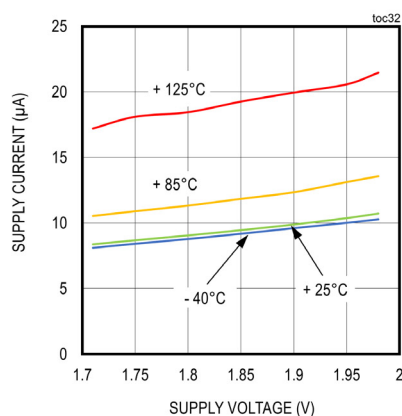
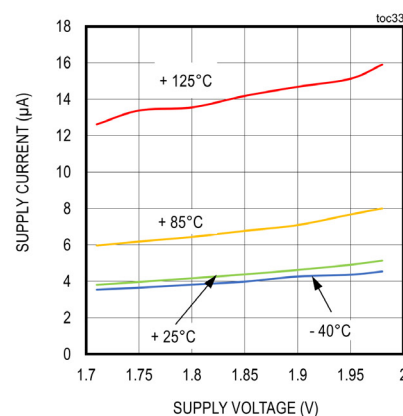
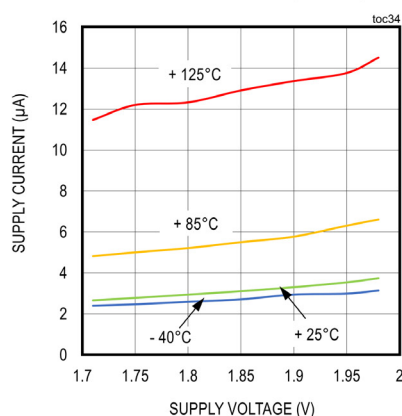
標準動作特性（続き）

（特に指定のない限り、 $V_{DD} = 1.8V$ 、 $V_{RS+} = V_{RS-} = +12V$ 、 $V_{SENSE} = (V_{RS+} - V_{RS-}) = 0V$ 、 $V_S = +12V$ 、 $T_A = +25^\circ C$ での値であり、最小限界値および最大限界値は $T_A = -40^\circ C \sim +125^\circ C$ の範囲内の値です。）



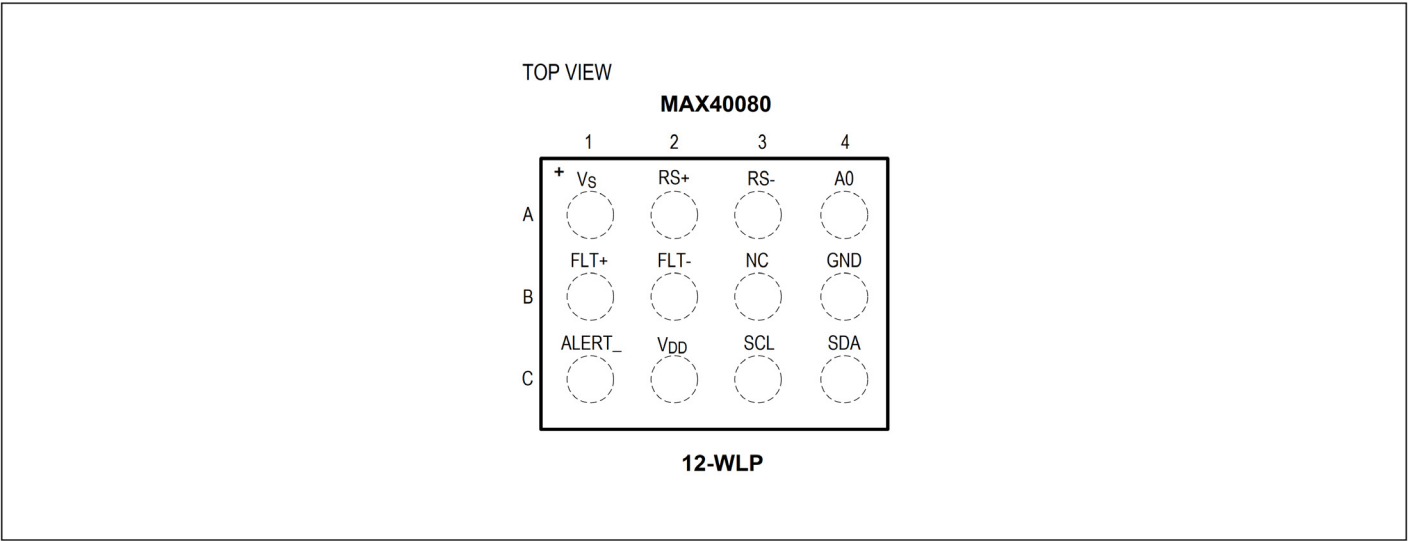
標準動作特性（続き）

（特に指定のない限り、 $V_{DD} = 1.8V$ 、 $V_{RS+} = V_{RS-} = +12V$ 、 $V_{SENSE} = (V_{RS+} - V_{RS-}) = 0V$ 、 $V_S = +12V$ 、 $T_A = +25^\circ C$ での値であり、最小限界値および最大限界値は $T_A = -40^\circ C \sim +125^\circ C$ の範囲内の値です。）

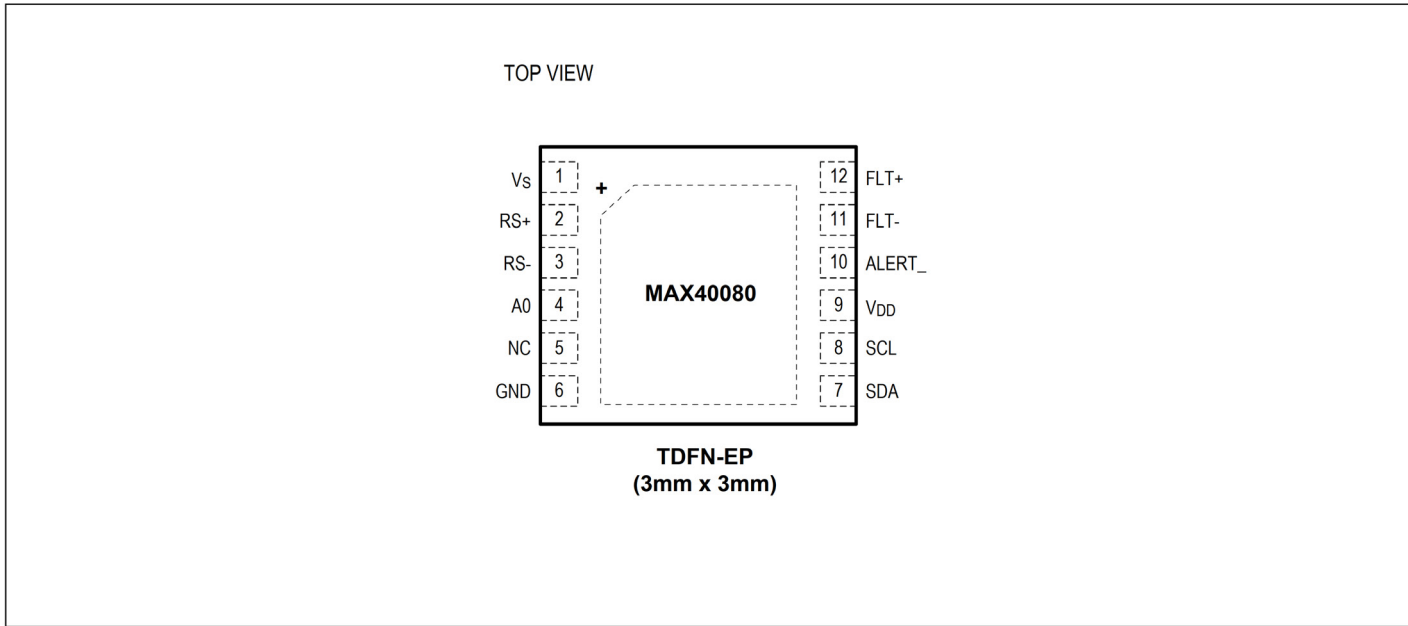
SUPPLY CURRENT IN ACTIVE MODE
vs. SUPPLY VOLTAGESUPPLY CURRENT IN STANDBY MODE
vs. SUPPLY VOLTAGESUPPLY CURRENT IN LOW POWER MODE
vs. SUPPLY VOLTAGESUPPLY CURRENT IN SELECTIVE ACTIVE MODE
vs. SUPPLY VOLTAGE (4SPS)SUPPLY CURRENT IN SELECTIVE ACTIVE MODE
vs. SUPPLY VOLTAGE (1SPS)SUPPLY CURRENT IN SELECTIVE ACTIVE MODE
vs. SUPPLY VOLTAGE (0.25SPS)SUPPLY CURRENT IN SELECTIVE ACTIVE MODE
vs. SUPPLY VOLTAGE (1/16SPS)

ピン配置

WLP-12



TDFN



端子説明

ピン		名称	説明
WLP-12	TDFN		
A1	1	V _s	入力電圧センス
A2	2	RS+	正の電流センス入力
A3	3	RS-	負の電流センス入力
A4	4	A0	アドレス入力。外付け抵抗に接続します。
B1	12	FLT+	FLT+と FLT-の間にコンデンサを接続して入力信号の帯域幅を制限します。
B2	11	FLT-	FLT+と FLT-の間にコンデンサを接続して入力信号の帯域幅を制限します。
B3	5	NC	接続不可
B4	6	GND	グランド
C1	10	ALERT_	I ² C 割込み／アラート出力（アクティブ・ロー）
C2	9	V _{DD}	アナログ正電源電圧
C3	8	SCL	I ² C クロック
C4	7	SDA	I ² C データ

詳細

MAX40080 は、電流とコモンモード電圧を計測し、そのデータをデジタル形式に変換します。変換結果へのアクセスを可能にするのが、I²C 対応の 2 線式シリアル・インタフェースです。標準的な I²C コマンドによって、データの読出しや他の動作特性の設定が可能になります。電流／電圧レジスタを読み出している間は、計測される電流および電圧に生じるどのような変化も、読出しが完了するまで無視されます。電流／電圧レジスタは、読出し動作が完了すると、次の計測のために更新されます。

I²C に適合した SMBus 対応のバス・インタフェース

標準的な I²C に適合した 2 線式シリアル・インタフェースで、電流および電圧のレジスタから電流／電圧を読み出します。設定レジスタとの間で、制御ビットの読出しや書き込みも行います。更にこのインタフェースは、選択可能なパケット・エラー・チェック（PEC）など、有益な SMBus 機能に対応しています。SMBus タイムアウトには対応していないため、この SMBus インタフェースは SMBus 対応であるものの、完全には適合していません。

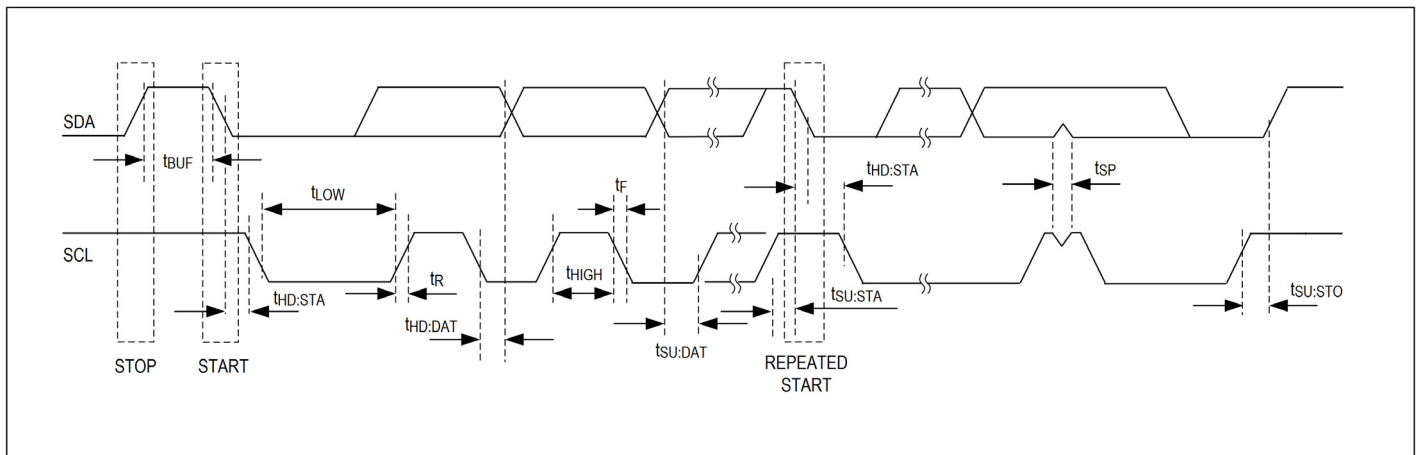


図 1. I²C/SMBus のタイミング図

通常のトランザクションは、それぞれ 2 バイトの書き込みおよび読出しで構成されています。しかし、レジスタによっては 1 バイトの読出しもあり、またあるレジスタは 4 バイトの読出しです。PEC が有効の場合、バイトが 1 つ追加されます。トランザクションを長くすることは推奨しません。トランザクションは常にスタート（S）条件で始まり、その後にスレーブ・アドレスと書き込み／読出しビットが続きます。

2 バイトの書き込みトランザクション（ワード書き込み）は、マスタがスタート条件を発生し、MAX40080 のスレーブ・アドレス、続いて書き込みビットをそれぞれ送信することから始まります。デバイスが ACK（A）ビットでアクノリッジし、マスタがターゲット・レジスタを送信した後、MAX40080 からの別の ACK が続きます。次に、マスタは 2 つのデータ・バイトを書き込み、MAX40080 はそれぞれに ACK で応答します。マスタは、ストップ（P）条件を発生してトランザクションを終了します。より多くのバイトを書き込むと（推奨しませんが）、単にレジスタが上書きされます（例えば、4 バイトの書き込みでは、データ・ロー、データ・ハイ、データ・ロー、データ・ハイのように上書きされます）。

DIRECTION	M→S	M→S	M→S	S→M	M→S	S→M	M→S	S→M	M→S	S→M	M→S
BITS	1	7	1	1	8	1	8	1	8	1	1
CONTENT	S	SLAVE ADDRESS	WR	A	REGISTER SELECT	A	DATA BYTE [7:0]	A	DATA BYTE [15:8]	A	P

図 2. 2 バイトの書き込み（ワード書き込み）

パケット・エラー・チェック（PEC）がイネーブルの場合、書き込みトランザクションは同様ですが、PEC バイト（SLAVE ADDRESS、REGISTER ADDRESS、DATA LOW、DATA HIGH を用いて計算）が、2 番目のデータ・バイトに続く ACK ビットの後に、マスタによって追加される点異なります。

3 バイトの倍数ではない書込みを試みても、すべて無視されます。3 バイトを複数セット書き込む場合、PEC バイトは上記のバイトに加えて、最初の PEC バイトと 2 番目のデータ・ローおよびデータ・ハイのバイトを用いて計算されます。ここでも、PEC が有効の 3 バイトを超える書込みは推奨しません。

DIRECTION	M→S	M→S	M→S	S→M	M→S	S→M	M→S	S→M	M→S	S→M	M→S	S→M	M→S
BITS	1	7	1	1	8	1	8	1	8	1	8	1	1
CONTENT	S	SLAVE ADDRESS	WR	A	REGISTER SELECT	A	DATA BYTE [7:0]	A	DATA BYTE [15:8]	A	PEC BYTE	A	P

図 3. 2 バイトの書込み（PEC バイト有り）

2 バイトの読出し（ワード読出し）は書込みより少し複雑です。マスタは、レジスタ・バイトを送信して本デバイスから ACK を受信した後、反復スタート（Sr）を発生し、アドレスと読出しビットを書き込みます。次に本デバイスは、アドレス／バイト読出しに ACK で応答し、2 つのデータ・バイトを送信します。マスタは、最初のデータ・バイトに ACK で応答し、2 番目のデータ・バイトに NACK で応答して、トランザクションが完了したことを通知し、次にストップ条件を発生します。

DIRECTION	M→S	M→S	M→S	S→M	M→S	S→M
BITS	1	7	1	1	8	1
CONTENT	S	SLAVE ADDRESS	WR	A	REGISTER SELECT	A

...

M→S	M→S	M→S	S→M	S→M	M→S	S→M	M→S	M→S
1	7	1	1	8	1	8	1	1
Sr	SLAVE ADDRESS	Rd	A	DATA BYTE [7:0]	A	DATA BYTE [15:8]	N	P

図 4. 2 バイトの読出し（ワード読出し）

パケット・エラー・チェック（PEC）が有効の場合、読出しトランザクションは同様ですが、2 番目のデータ・バイトに続く ACK ビットの後には、PEC バイトが本デバイスによって追加される点が異なります。

DIRECTION	M→S	M→S	M→S	S→M	M→S	S→M
BITS	1	7	1	1	8	1
CONTENT	S	SLAVE ADDRESS	WR	A	REGISTER SELECT	A

...

M→S	M→S	M→S	S→M	S→M	M→S	S→M	M→S	S→M	M→S	M→S
1	7	1	1	8	1	8	1	8	1	1
Sr	SLAVE ADDRESS	Rd	A	DATA BYTE [7:0]	A	DATA BYTE [15:8]	A	PEC BYTE	N	P

図 5. 2 バイトの読出し（PEC バイト有り）

図 6 および図 7 に示すように、PEC の有無に関係なく 1 バイトの読出しは上記のワード読出しに似ていますが、1 バイトだけが読み出されます。

DIRECTION	M→S	M→S	M→S	S→M	M→S	S→M
BITS	1	7	1	1	8	1
CONTENT	S	SLAVE ADDRESS	WR	A	REGISTER SELECT	A

...

M→S	M→S	M→S	S→M	S→M	M→S	M→S
1	7	1	1	8	1	1
Sr	SLAVE ADDRESS	Rd	A	DATA BYTE	N	P

図 6.1 バイトの読出し

DIRECTION	M→S	M→S	M→S	S→M	M→S	S→M
BITS	1	7	1	1	8	1
CONTENT	S	SLAVE ADDRESS	WR	A	REGISTER SELECT	A

...

M→S	M→S	M→S	S→M	S→M	M→S	S→M	M→S	M→S
1	7	1	1	8	1	8	1	1
Sr	SLAVE ADDRESS	Rd	A	DATA BYTE	A	PEC BYTE	N	P

図 7.1 バイトの読出し（PEC 有り）

Read 32 プロトコル : Read 32 プロトコルは、最大 32 ビット（4 バイト）のデータをスレーブ・デバイスから読み出すことが必要なコマンドと共に使用されます。MAX40080 の場合、これが適用されるのはレジスタ **Current_Voltage_Measurement** だけです。

このプロトコルを使用すると 32 ビット未満でも読出しは可能ですが、そのパケットをパディングして 32 ビットにする必要があります。データまたは意味のあるビットが下位ビットにパックされ、未使用の上位ビットはゼロで埋められます。例えば、20 ビットの値はビット [19:0]（最上位ビットはビット[19]）で送信されます。ビット[31:20]はすべてゼロです。

DIRECTION	M→S	M→S	M→S	S→M	M→S	S→M
BITS	1	7	1	1	8	1
CONTENT	S	SLAVE ADDRESS	WR	A	REGISTER SELECT	A

...

M→S	M→S	M→S	S→M	S→M	M→S	S→M	M→S
1	7	1	1	8	1	8	1
Sr	SLAVE ADDRESS	Rd	A	DATA BYTE [7:0]	A	DATA BYTE [15:8]	A

...

S→M	M→S	S→M	M→S	M→S
8	1	8	1	1
DATA BYTE [23:16]	A	DATA BYTE [31:24]	N	P

図 8. Read 32

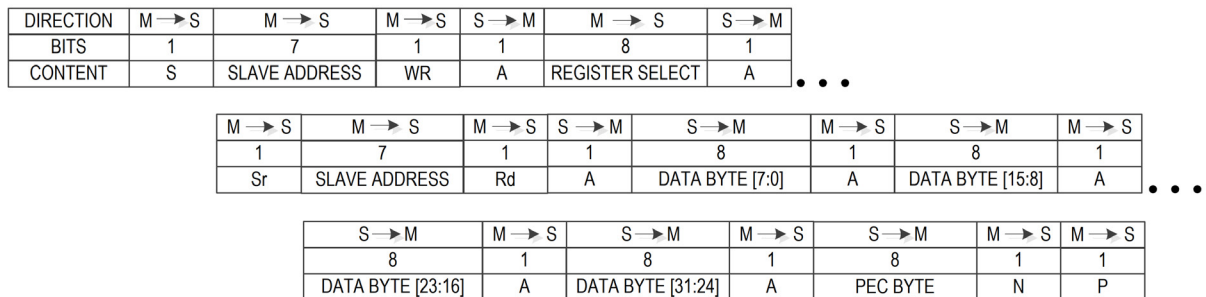


図 9. Read 32 (PEC 有り)

I²C スレーブ・アドレス

MAX40080 は、A0 入力ピンに接続された 1 本の抵抗に基づく独自の I²C スレーブ・アドレス選択方法を採用しています。抵抗に基づくそのような方法には多くの利点があります。例えば、コストが低くなり、サイズが小さくなることに加え、ユーザは在庫システムに 1 種類の部品だけを持ち、それを、標準的な 1% 精度の抵抗を 1 つ変えるだけで、異なる I²C アドレスを持つ複数のプロジェクトで使用できるようになります。目的の I²C アドレスを選んで抵抗値を選択します。表 1 を参照してください。

5 つの最下位ビットでエンコードされた 32 個のアドレスに対応する 32 通りの異なる抵抗値が示されています。アドレス・ワードの 2 つの最上位ビット (A₆、A₅) は固定されており、利用可能な 2 つのオプション (A₆=0、A₅=1 または A₆=1、A₅=0) が工場の最終テストで OTP を介して選ばれます。デフォルト値は、A₆=0、A₅=1 です。本デバイスは抵抗値を A0 ピンで常にモニタし、デバイスに電源を入れた後に抵抗値が変化した場合、I²C スレーブ・アドレスが変更されることに注意してください。

表 1. I²C スレーブ・アドレス

RESISTOR VALUE [Ω], 1%	SLAVE ADDRESS
115,000	A ₆ , A ₅ , 0_0000
100,000	A ₆ , A ₅ , 0_0001
86,600	A ₆ , A ₅ , 0_0010
75,000	A ₆ , A ₅ , 0_0011
64,900	A ₆ , A ₅ , 0_0100
56,200	A ₆ , A ₅ , 0_0101
48,700	A ₆ , A ₅ , 0_0110
42,200	A ₆ , A ₅ , 0_0111
36,500	A ₆ , A ₅ , 0_1000
30,900	A ₆ , A ₅ , 0_1001
26,100	A ₆ , A ₅ , 0_1010
21,500	A ₆ , A ₅ , 0_1011
16,900	A ₆ , A ₅ , 0_1100
12,400	A ₆ , A ₅ , 0_1101
8,060	A ₆ , A ₅ , 0_1110
3,740	A ₆ , A ₅ , 0_1111
2,870	A ₆ , A ₅ , 1_0000
2,490	A ₆ , A ₅ , 1_0001
2,150	A ₆ , A ₅ , 1_0010
1,870	A ₆ , A ₅ , 1_0011

表 1. I²C スレーブ・アドレス（続き）

1,620	A ₆ , A ₅ , 1_0100
1,400	A ₆ , A ₅ , 1_0101
1,210	A ₆ , A ₅ , 1_0110
1,050	A ₆ , A ₅ , 1_0111
909	A ₆ , A ₅ , 1_1000
768	A ₆ , A ₅ , 1_1001
649	A ₆ , A ₅ , 1_1010
536	A ₆ , A ₅ , 1_1011
422	A ₆ , A ₅ , 1_1100
309	A ₆ , A ₅ , 1_1101
200	A ₆ , A ₅ , 1_1110
95.3	A ₆ , A ₅ , 1_1111

I²C 通信速度

MAX40080 は、I²C リビジョン 3.0 対応（3.4MHz）のシリアル・インタフェースを備えています。リビジョン 3.0 I²C 対応のシリアル通信チャンネルは次のとおりです。

- 0Hz～100kHz（スタンダード・モード）
- 0Hz～400kHz（ファースト・モード）
- 0Hz～1MHz（ファースト・モード・プラス）
- 0Hz～3.4MHz（ハイスピード・モードまたは HS モード）
- I²C クロック・ストレッチングは利用せず

スタンダード・モード、ファースト・モード、ファースト・モード・プラスの動作に、特別なプロトコルは必要ありません。この範囲全体でバス速度を変更する場合の主な考慮事項は、バス容量とプルアップ抵抗の組み合わせです。バス容量とプルアップ抵抗で作られる時定数（C×R）が大きくなると、バス動作が遅くなります。したがって、バス速度を上げる場合は、適切な時定数を維持するために、プルアップ抵抗を下げる必要があります。プルアップ抵抗の選択に関する詳細な手引きについては、I²C リビジョン 3.0 仕様書の「プルアップ抵抗のサイジング」のセクションを参照してください。一般に、バス容量が 200pF の場合、100kHz のバスには 5.6kΩ、400kHz のバスには約 1.5kΩ、1MHz のバスには 680Ω のプルアップ抵抗が必要です。プルアップ抵抗は、オープン・ドレイン・バスが低い場合に電力を消費することに注意してください。プルアップ抵抗の値が低いほど、消費電力（V²/R）は大きくなります。

ハイスピード・モードの動作には、考慮事項がいくつか必要です。考慮事項の一覧については、I²C 3.0 仕様書を参照してください。MAX40080 に関する主な考慮事項は次のとおりです。

- I²C バス・マスタは、電流源プルアップを使用して信号の立上がり時間を短縮します。
- I²C スレーブは、SDA ラインと SCL ラインに対して異なるセットの入力フィルタを使用して、より高いバス速度に対応する必要があります。
- 通信プロトコルは、高速マスタ・コードを利用する必要があります。

電源投入時および各ストップ条件の後に、MAX40080 の入力フィルタは、設定レジスタのビット 7 がハイに設定されていない限り、スタンダード・モード、ファースト・モード、またはファースト・モード・プラス（すなわち、0Hz～1MHz）に設定されます。設定レジスタのビット 7 がハイにセットされている場合、一度 HS モードに入ると、本デバイスはこのビットがセットされたままの状態でそのモードにとどまり、その結果、ストップ条件は無視されます。

このビットがリセットされると、次のストップ条件で、MAX40080 は HS モードを終了します。

最大 3.4MHz の動作に向けた HS モードの稼働

図 10 は HS モード動作を稼働させるためのプロトコルを示しています。HS モード動作では、最大 3.4MHz のバス動作速度が可能です。HS モード・プロトコルの稼働は次のとおりです。

1. 1MHz 以下のバス速度で動作している間に、このプロトコルを開始します。
2. マスタはスタート・コマンド（S）を送信します。
3. マスタは 8 ビットのマスタ・コード 00001xxx_b（xxx_b はドント・ケア・ビット）を送信します。
4. アドレス指定されたスレーブは、ノット・アクノリッジ（NA）を発行します。
5. マスタはそのバス速度をこの時点で 3.4MHz まで上げて、読出し／書込み動作を発行できます。
6. マスタは、ストップ（P）を発行するまで、高速の読出し／書込み動作を発行し続けることができます。ストップ（P）を発行すると、バス入力フィルタは確実に 1MHz 以下の動作に設定されます。ストップ発行後は、上述したアルゴリズムのステップ 1～6 を省略しても構いません。

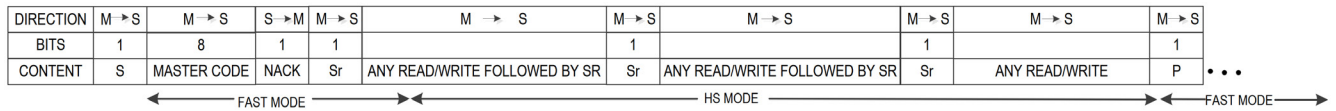


図 10. HS モードの稼働

I²C の HS モードは、本デバイスがアクティブ・モードで動作する場合に限り利用可能であることに注意してください。アクティブ・モードおよびその他の動作モードに関する詳細については、[設定レジスタ](#)の項目を参照してください。

動作モード

本デバイスは、「**設定 (Configuration)**」レジスタを通じてプログラムできる次の 5 つのモードの 1 つで動作します。

1. **スタンバイ・モード (Standby Mode)** : デバイスは、コマンドを受信できる I²C インタフェースを除いて、非アクティブです。
2. **低消費電力モード (Low-Power Mode)** : ADC は無効ですが、電流検出は部分的にアクティブであり、50ms ごとに 1 回の電流計測を行います。計測された電流は、「**Wake_Up_Current**」レジスタに設定されたスレッショルド未満です。計測された電流がそのスレッショルドに達すると、デバイスは「**アクティブ・モード (Active Mode)**」に入ります。デバイスが低消費電力モードにとどまっている限り、電圧計測は行われません。この理由から、電流だけを FIFO に保存することを推奨します (FIFO に何を保存すべきかを定めるには [FIFO 設定レジスタ](#)のセクションを参照してください)。しかしデバイスは、低消費電力モードからアクティブ・モードへとウェイクアップすると、FIFO 設定レジスタ内の Store V_I 設定に従って、電流計測または電圧計測のいずれかを行います。
3. **単一計測モード (Single-Measurement Mode)** : デバイスは基本的にスタンバイ・モードになっていますが、SM バスの「**クイック・コマンド (Quick Command)**」に応答する場合には、ウェイクアップして電流と電圧の計測を 1 回行い、その後次の「**クイック・コマンド**」まで再びスタンバイ・モードに入ります。
4. **アクティブ・モード** : デバイスは、その機能すべてにおいてアクティブであり、計測が常に行われます。
5. **選択されたアクティブ・モード (Selected Active Mode)** : デバイスは (サンプリング・レートの設定に従って) 毎秒複数回の計測を自動的に行い、各計測の間はスタンバイ状態になります。

本デバイスは、「**アクティブ・モード**」または「**選択されたアクティブ・モード**」のいずれかで動作している場合、I²C バスが 1 分もの間非アクティブであれば、自動的にスタンバイ・モードに入ります。

クイック・コマンド :

クイック・コマンドでは、スレーブ・アドレスの R/W#ビットがそのコマンドを表します。R/W#ビットは、単一計測モードの場合に限り、計測を行うのに使用されます。送受信されるデータはありません。

DIRECTION	M → S	M → S	M → S	S → M	M → S
BITS	1	7	1	1	1
CONTENT	S	SLAVE ADDRESS	R/W#	A	P

図 11. クイック・コマンド

アラート管理

MAX40080 は、次の状況のいずれかが発生した場合に通知するオープン・ドレインの ALERT_{OUT}出力を特徴としています。

- 過電流
- 過電圧
- 低電圧
- FIFO オーバーフロー警告（プログラマブルなスレッシュホールド）
- FIFO が満杯（64 個のデータを保存）
- 変換完了（単一計測モードのみ）
- ウェイクアップ電流スレッシュホールドに到達
- I²C バス（非アクティブ時）で 1 分間のタイムアウト時間が経過

上記の状態はいずれも、ステータス・レジスタにも通知されます。

ALERT_出力はラッチされ、ステータス・レジスタにおいて関連するフラグがクリアされた後に限り、デアサートされます。そのようなフラグは、ステータス・レジスタに書き込むことでクリアされます。詳細については、[ステータス・レジスタ](#)の説明を参照してください。

ALERT_の割込み出力（SMBALERT#とも呼ぶ）は、SMBus のアラート応答アドレス（ARA）と併用されるワイヤード AND 信号です。

スレーブ専用デバイスは、SMBALERT#を通じてホストに、通信を開始したい旨を信号で通知できます。ホストはその割込みを処理し、アラート応答アドレスによってすべての SMBALERT#デバイスに同時にアクセスします。SMBALERT#をローに引き下げたデバイスだけが、アラート応答アドレスを認識します。ホストは、修正されたバイト受信動作を行います。スレーブ送信デバイスにより提供された 7 ビットのデバイス・アドレスは、そのバイトの 7 つの最上位ビットに配置されます。8 番目のビットはゼロでも 1 でも構いません。

複数のデバイスが SMBALERT#をローに引き下げた場合、優先度が最も高い（アドレスが最も低い）デバイスが、スレーブ・アドレス転送時に標準のアービトラーションによって通信の権利を獲得します。

このデバイスは、そのアドレスに応答したマスタからアックノリッジ（ACK）を受信した後に、SMBALERT#信号に対するプルダウンを停止しなければなりません。ホストは、メッセージ転送が完了したときに SMBALERT#がまだローであることを検知した場合、再び ARA を読み出す必要があると認識します。

内部レジスタ

ポインタ・レジスタは、[表 2](#) に示すレジスタから選択します。ポインタ・レジスタは、I²C トランザクションごとに書き込みが必要です。

レジスタ・アドレスは、読出し中および書き込み中に自動インクリメントされません。最大ピーク電流レジスタは、読み出すとリセットされます。

スレーブ・アドレス・バイト、ポインタ・レジスタ・バイト（値は 00h）、データ・バイトを書き込むことにより、設定レジスタへの書き込みが行われます。他のすべてのレジスタには、スレーブ・アドレス・バイト、ポインタ・レジスタ・バイト（04h または 05h など）、および 2 つのデータ・バイトが必要です。データ・バイトを 1 つだけ書き込む場合、対応するレジスタのビット D[15:8] に保存されます。データ・バイトを 3 つ以上書き込む場合、追加のデータは同じレジスタに書き込まれます。

スレーブ・アドレス・バイト（書き込み）、ポインタ・バイト、反復スタート、別のスレーブ・アドレス・バイト（読出し）を発行し、データ・バイトを読み出すことによって、読出し動作を実行します。データ・バイトを 3 つ以上読み出す場合、追加の読出しは同じレジスタから行われます。[図 4](#) を参照してください。

表 2. レジスタ機能と POR 状態

REGISTER NAME	R/W	ADDRESS(HEX)	NUMBER OF BITS	POR STATE(HEX)	I2C READ TYPE
Configuration	R/W	00h	16	0060h	Read Word
Status	R	02h	14	0000h	Read Word
Threshold_Over_Current	R/W	04h	7	30h	Read Byte
Threshold_Over_Voltage	R/W	05h	6	30h	Read Byte
Threshold_Under_Voltage	R/W	06h	6	00h	Read Byte
Wake_Up_Current	R/W	07h	7	08h	Read Byte
Max_Peak_Current	R	08h	14	0000h	Read Word
FIFO_Configuration	R/W	0Ah	16	3400h	Read Word
Current_Measurement	R	0Ch	16	0000h	Read Word
Voltage_Measurement	R	0Eh	16	0000h	Read Word

表 2. レジスタ機能と POR 状態（続き）

Current_Voltage Measurement	R	10h	32	0000 0000h	Read 32
INT_EN	R/W	14h	8	FFh	Read Byte

設定レジスタ

設定レジスタには、次に示す 16 ビットのデータが含まれます。

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
Reserved	Digital Filter			ADC Sample Rate				Stay HS Mode	Input Range	PEC	Alert	I2C Timeout	Modes		

動作モード

次に示すデバイス動作モードの 1 つを選択するには、ビット D2、D1、D0 を設定します。

表 3. 動作モード

OPERATION MODE	D2	D1	D0	COMMENT
Standby Mode	0	0	0	Default mode at device power up
Low-Power Mode	0	0	1	
Single-Conversion Mode	0	1	0	
Active Mode	0	1	1	Continuous measurement
Selected Active Mode	1	0	0	Fixed sample rate at 4sps
	1	0	1	Fixed sample rate at 1sps
	1	1	0	Fixed sample rate at 0.25sps
	1	1	1	Fixed sample rate at 0.0625sps

変換が行われているときに、動作モードが変更された場合、その変換が完了してから変更が行われます。スタンバイ中も、I²C インタフェースはアクティブのままであり、すべてのレジスタはマスタにアクセス可能です。

本デバイスは、「**アクティブ・モード**」または「**選択されたアクティブ・モード**」のいずれかで動作している場合、I²C バスが 1 分もの間非アクティブであれば、自動的にスタンバイ・モードに入ります。

I²C タイムアウト

I²C タイムアウトを無効にするには、D3 に 1 を書き込みます。

I²C タイムアウトを有効にするには、D3 に 0 を書き込みます（リセット時および電源投入時のデフォルト状態）。本デバイスは、「**アクティブ・モード**」または「**選択されたアクティブ・モード**」のいずれかで動作している場合、I²C バスが 1 分もの間非アクティブであれば、自動的にスタンバイ・モードに入ります。そのような状態が起きた場合、ALERT₁ がローに引き下げられ、ステータス・レジスタにビットが設定されます。

アラート応答時間

ビット D4 でアラート割込みの応答時間を選択します。

- D4=0：フィルタリングなし。アラートは、検出されるとすぐに発行されます。
- D4=1：アラートは、4 回連続の ADC クロック・サンブル内で検出された後に発行されます（遅延時間は ADC のサンプリング周波数に応じて 4μs～266.4μs の範囲で変わります）。

PEC

パケット・エラー・チェックを有効（デフォルト）にするには、1 を書き込みます。パケット・エラー・チェックを無効にするには、0 を書き込みます。

パケット・エラー・チェック（PEC）を有効にするには、PEC ビットを設定します。有効にすると、各メッセージ転送の最後に PEC バイトが付加されます。これは、（アドレス／読出し／書き込みバイトを含む）すべてのメッセージ・バイトに対して計算される CRC-8 バイトです。データ・バイトを送信する最後のデバイスも、PEC バイトを送信するため、マスタは、書き込みトランザクション後に PEC バイトを送信し、本デバイスは、読出しトランザクション後に PEC バイトを送信します。

入力範囲

50mV（デフォルト）の範囲を選択するには D6 に 0 を書き込みます。

10mV の範囲を選択するには D6 に 1 を書き込みます。

HS モードの維持

本デバイスに HS モードを維持させるには、D7 を 1 に設定します。HS モードを終了するには、D7 を 0 に設定します（デフォルト）。このビットが 1 に設定された場合、デバイスの I²C 速度が（最大 3.4MHz の）HS モードに設定されているならば、デバイスは HS モードを維持し、したがってストップ条件を無視します。このビットが 0 にリセットされると、次のストップ条件で、デバイスは HS モードを終了します。

ADC のサンプリング・レート

表 4 は ADC の利用可能なすべてのサンプリング・レートを示しています。「FIFO からのデータ読出し（Data read from FIFO）」列はアクティブ・モードに限り有効であることに注意してください。単一計測モードおよび選択されたアクティブ・モードでは、どのサンプリング・レートでも FIFO からのデータ読出しが「電流と電圧の両方（Both Current and Voltage）」になります。

表 4. サンプリング・レートの選択

D11	D10	D9	D8	SAMPLE RATE (ksps)	DATA READ FROM FIFO
0	0	0	0	15	Either Current or Voltage
0	0	1	0	23.45	Either Current or Voltage
0	0	1	1	30	Either Current or Voltage
0	1	0	0	37.5	Either Current or Voltage
0	1	0	1	47.1	Either Current or Voltage
0	1	1	0	60	Either Current or Voltage
0	1	1	1	93.5	Either Current or Voltage
1	0	0	0	120	Either Current or Voltage
1	0	0	1	150	Either Current or Voltage
1	0	1	0	234.5	Either Current or Voltage
1	0	1	1	375	Either Current or Voltage
1	1	0	0	468.5	Either Current or Voltage
1	1	0	1	750	Either Current or Voltage
1	1	1	0	1,000	Either Current or Voltage
1	1	1	1	0.5	Both Current and Voltage

I²C インタフェースは、最大速度 3.4MHz でデータを読み出します。したがって、FIFO をオーバーフローすることなく、ADC のすべてのサンプリング・レートを常に本デバイスから引き出せるわけではありません。

ADC のサンプリング・レートが高い主な目的は、デジタル・フィルタリングを用いたオーバーサンプリングのためです。I²C が FIFO をオーバーフローすることなくデータを確実に読み出せるようにするのは、ユーザの責任です。

詳細については、[アプリケーション情報](#)のセクションの「FIFO のデータ読出しレート」を参照してください。

MAX40080 で電流もしくは電圧、またはその両方のいずれを保存すべきかを決定するには、[FIFO 設定レジスタ](#)も参照してください。MAX40080 がアクティブ・モードであり、かつ FIFO が電流と電圧の両方を保存するように設定されている場合、最も遅いサンプリング・レートの 0.5ksps のみが使用できます。本デバイスが単一計測モードおよび選択されたアクティブ・モードの場合、どのサンプリング・レートでも電流と電圧の両方が読出し可能であることに注意してください。

デジタル・フィルタ

このオプションでは、サンプル全体の平均値を計算します。表 5 を参照してください。そのような平均値は、次に挙げる動作モードに適用されます。

- アクティブ・モード
- 選択されたアクティブ・モード
- 単一計測モード

これらのモードのそれぞれには、フィルタを何も使用しないオプションもあります。

表 5. デジタル・フィルタの選択

D14	D13	D12	FUNCTION
0	0	0	No Average
0	0	1	Average among 8 samples
0	1	0	Average among 16 samples
0	1	1	Average among 32 samples
1	0	0	Average among 64 samples
1	0	1	Average among 128 samples

表 6 は、選択されたサンプリング周波数とフィルタ・オプションに応じた出力レートを示しています。

表 6. 出力データ・レートとサンプリング・レートの関係

Sample Rate	Output Data Rate [ksps]					
[ksps]	No Filter	x8	x16	x32	x64	x128
15	15	1.875	0.9375	0.46875	0.234375	0.1171875
18.75	19	2.34375	1.171875	0.5859375	0.29296875	0.146484375
23.45	23	2.93125	1.465625	0.7328125	0.36640625	0.183203125
30	30	3.75	1.875	0.9375	0.46875	0.234375
37.5	38	4.6875	2.34375	1.171875	0.5859375	0.29296875
47.1	47	5.8875	2.94375	1.471875	0.7359375	0.36796875
60	60	7.5	3.75	1.875	0.9375	0.46875
93.5	94	11.6875	5.84375	2.921875	1.4609375	0.73046875
120	120	15	7.5	3.75	1.875	0.9375
150	150	18.75	9.375	4.6875	2.34375	1.171875
234.5	235	29.3125	14.65625	7.328125	3.6640625	1.83203125
375	375	46.875	23.4375	11.71875	5.859375	2.9296875
468.5	469	58.5625	29.28125	14.640625	7.3203125	3.66015625
750	750	93.75	46.875	23.4375	11.71875	5.859375
1000	1000	125	62.5	31.25	15.625	7.8125

ステータス・レジスタ

ステータス・レジスタには、次に挙げる 6 つのフラグと 6 ビットの FIFO データ・カウントが含まれています。

D13-8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
FIFO Data Count	FIFO Overflow	FIFO Alarm	I ² C Timeout	Underflow_V	Overflow_V	Overflow_I	Conversion Ready	Wake-Up

ビット D7～D0 にあるフラグのそれぞれをクリアするために、読み出された同じワードによるこのレジスタへの書込みが必要になります。このフラグをクリアする場合、上位のバイトに書き込まれていることに意味はなく、このレジスタに影響を与えません。

例えば、過電流状態が発生したために過電流フラグが設定されたとします。FIFO には 4 つのデータがあるとします。

このレジスタを読み出すと、データ 0x0404 が得られます。

過電流フラグをクリアするには、このレジスタにデータ 0xXXX4 を書き込む必要があります。ここで上位バイトの X は、どの値でも構わないことを示しています。

ウェイクアップ電流

D0 は読み出し専用のステータス・ビットで、計測された電流がレジスタ「Wake_up_Current」にプログラムされた値を超えていることを示しています。

「Wake_up_Current」これは、本デバイスが低消費電力モードに設定されている場合に限り適用されます。割込みも発生します。

変換完了

D1 は読出し専用のステータス・ビットで、ADC 変換が完了していることを示しています。このビットは単一計測モードに限り使用され、そのようなモードでは割込みも発生します。

オーバーフロー電流

D2 は読出し専用のビットで、計測された電流がレジスタ「**Threshold_Over_Current**」にプログラムされた値を超えていることを示しています。そのような状態では割込みも発生します。このビットは単一変換モード、選択的アクティブ・モード、アクティブ・モードで使用され、FIFO が電圧のみを保存する場合には適用されません。FIFO が電流と電圧の両方を保存するアクティブ・モードにおいて、このビットが適用されるのは、ADC のサンプリング・レートが 0.5Ksps の場合に限りです。

オーバーフロー電圧またはアンダーフロー電圧

D3 は読出し専用のビットで、計測された電圧がレジスタ「**Threshold_Over_Voltage**」にプログラムされた値を超えていることを示しています。そのような状態では割込みも発生します。

D4 は読出し専用のビットで、計測された電圧がレジスタ「**Threshold_Under_Voltage**」にプログラムされた値を下回っていることを示しています。そのような状態では割込みも発生します。

D3 と D4 の両方は、単一変換モード、選択的アクティブ・モード、アクティブ・モードで使用できます。この 2 つのビットは、FIFO が電流計測値のみを保存する場合には適用されません。アクティブ・モードにおいて FIFO が電流計測値と電圧計測値の両方を保存する場合、この 2 つのビットが適用されるのは、ADC のサンプリング・レートが 0.5Ksps の場合に限りです。

I²C タイムアウト

D5 は読出し専用のビットで、本デバイスは、「**アクティブ・モード**」または「**選択されたアクティブ・モード**」のいずれかで動作している場合、I²C バスが 1 分間非アクティブであれば、自動的にスタンバイ・モードに入ることを示します。そのような状態では割込みも発生します。

FIFO アラーム

D6 は読出し専用のステータス・ビットで、ADC の FIFO がオーバーフローする直前であることを示しています。そのような状態が起きると、割込みも発生します。

FIFO の深さは 64 であり、N 個の場所が書き込み済みで、かつまだどれも読み出されていない場合、オーバーフロー警告が発行されます。数値 N は、FIFO 設定レジスタの **Overflow_Threshold** フィールドで決定されます。

FIFO オーバーフロー

1 に設定されると、FIFO が 64 個のデータで満杯であることを示します。割込みも発行されます。データの数 が 63 個以下となる他の状況ではいずれも、このビットが 0 になります。

FIFO データ・カウント

6 ビットのカウンタで、現在 FIFO 中にあるデータの数を示します。範囲は 0～63 です。

FIFO が満杯の場合、つまり FIFO に 64 個のデータがある場合、このカウンタは 0 になりますが、オーバーフロー・ビットは 1 に設定されます。

スレッシュホールド・レジスタおよびウェイクアップ電流レジスタ

表 7 は、**threshold_over_current** レジスタ、**threshold_over/under_voltage** レジスタ、**wake_up_current** レジスタのデータ形式を示しています。

表 7. スレッシュホールド・レジスタおよびウェイクアップ電流レジスタ

レジスタ名	レジスタ・アドレス	ビット 6	ビット 5～0
Threshold_Over_Current	0x04	sign	過電流スレッシュホールド。計測された電流がこの値より高い場合、ALERT_ ₁ にアラートが発行され、ステータス・レジスタ・ビットが 1 つ設定されます。
Threshold_Over_Voltage	0x05	n/a	過電圧スレッシュホールド。計測された電圧がこの値より高い場合、ALERT_ ₁ にアラートが発行され、ステータス・レジスタ・ビットが 1 つ設定されます。

表 7. 閾値レジスタおよびウェイクアップ電流レジスタ（続き）

Threshold_Under_Voltage	0x06	n/a	低電圧スレッシュホールド。計測された電圧がこの値より低い場合、ALERT_ ₁ にアラートが発行され、ステータス・レジスタ・ビットが1つ設定されます。
Wake_up_Current	0x07	sign	低消費電力モード時のウェイクアップ電流スレッシュホールド。計測された電流がこの値より高い場合、本デバイスはアクティブ・モードに切り替わります。更に、ALERT_ ₁ にアラートが発行され、ステータス・レジスタ・ビットが1つ設定されます。

MAX_Peak_Current

FIFO が保存した最大電流値を表示します。

FIFO の設定

BIT	D15	D14	D13-8	D7-2	D1-0
BIT NAME	Flush	RO	Overflow_Warning	Not_Used	Store_IV
DEFAULT	0	0	110100	000000	00

Store IV

この2つのビットで、本デバイスが電流もしくは電圧、またはその両方のいずれを計測して FIFO に保存するかを決定します。

- 2'b00：電流のみ
- 2'b01：電圧のみ
- 2'b10：電流と電圧
- 2'b11：不使用

FIFO の深さは 64、幅は 32 ビットです。この2つのビットで行われた選択に関わらず、電流と電圧の情報は次の表に示すデータ形式を常に使用します。

D31-D16	D15-D0
Voltage	Current

電流のみモード（2'b00）では、ADC は電流しか計測しないため、電圧ビット（D31～D16）は常に空になっており、意味はありません。

電圧のみモード（2'b01）では、ADC は電圧しか計測しないため、電流ビット（D15～D0）は常に空になっており、意味はありません。

電流と電圧モード（10）では、ADC は10回の電流計測と1回の電圧計測を常に交互に行います。すべてのビット（D31～D0）が書き込まれます。10 個連続した電流ビットごとに、電圧ビットが繰り返し挿入されます。このモードでは、電流または電圧の実際のサンプリング・レートは、設定レジスタに指定されている ADC サンプリング・レートを下回ります。

電流および電圧のデータは、Current_Measurement（0x0C）、Voltage_Measurement（0x0E）、Current_Voltage_Measurement（0x10）の各レジスタを介して FIFO から読み出されます。動作モードを常時監視するのはユーザの責任です。例えば、これらのビットが電流のみ（2'b00）に設定された場合、意味あるデータを提供するのはレジスタ Current_Measurement（0x0C）だけです。

すべてのデータは2の補数です。

Overflow_Threshold

これは6ビットのプログラマブルなスレッシュホールドで、これによりユーザは FIFO 内のどのデータ・カウントでオーバーフロー警告割込みを発行すべきかを設定できるようになります。

範囲は 0x00～0x3F です。

デフォルト値は 0x34 です（FIFO の 80% が満たされています）。

RO

RO（ロールオーバー）：

これによって、FIFO が満杯のときのロールオーバー動作が定義されます。RO がローに設定されている場合、FIFO が満杯のときは、新しいデータ・サンプルが FIFO に書き込まれずに失われます。RO がハイに設定されている場合、FIFO は先頭の場所にロールオーバーし、新しいデータ・サンプルが FIFO に書き込まれ、古いデータ・サンプルを上書きします。

フラッシュ

1に設定されている場合、FIFO内のデータ内容全体がリセットされます。

FIFOからの電流および電圧の読出し

電流と電圧のデータは、次のレジスタを通じてFIFOから読み出されます。

FIFO設定レジスタ（ビットStore V_I）によって、ユーザが電流のみもしくは電圧のみ、またはその両方のいずれを読み出したいのかを指定します。読出しポインタは、読み出すごとにインクリメントされます。

すべてのデータは2の補数です。

FIFOからの読出しが可能なレジスタは次のとおりです。

FIFO設定レジスタ：ビットStore IV：

- 2'b00：電流のみ（2バイト、読出し専用）

REGISTER NAME	REGISTER ADDRESS	D15	D14–D13	D12	D11–D0
Current_Measurement	0x0C	Data Valid	Current Sign Extension	Current Sign	Current Magnitude

- 2'b01：電圧のみ（2バイト、読出し専用）

REGISTER NAME	REGISTER ADDRESS	D15	D14–D13	D12	D11–D0
Voltage_Measurement	0x0E	Data Valid	Voltage Sign Extension	Voltage Sign	Voltage Magnitude

- 2'b10：電流と電圧（4バイト、読出し専用）

REGISTER NAME	REGISTER ADDRESS	D31	D30–D28	D27–D16	D15	D14–D12	D11–D0
Current_Voltage_Measurement	0x10	Data Valid	Voltage Sign (repeated 3x)	Voltage Magnitude	Reserved	Current Sign (repeated 3x)	Current Magnitude

- 11：不使用

Data Valid = 0：FIFOは空になっており、データに意味はありません。

Data Valid = 1：FIFOは空になっていないので、データは有効です。

電圧符号は、電圧計測値が常に正であるため、常に0でなくてはなりません。

INT_EN

このレジスタは、ステータス・レジスタのマスクです。つまり、各ビットがステータス・レジスタからの割込み発生を有効／無効にします。これらのビットは、ステータス・レジスタにおいて報告されているビットと同じ順序です。

1 = 割込み発生が有効（デフォルト）

0 = 割込み発生が無効

BIT	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
BIT NAME	Overflow Mask Enable	Alarm Mask Enable	I2C Timeout Mask Enable	Underflow_V Mask Enable	Overflow_V Mask Enable	Overflow_I Mask Enable	Conversion Ready Mask Enable	Wake-up Mask Enable
DEFAULT	1	1	1	1	1	1	1	1

アプリケーション情報

フィルタの選択

MAX40080は、2つのプログラマブルな入力範囲（ $\pm 10\text{mV}$ または $\pm 50\text{mV}$ ）を異なる帯域幅仕様（ 10kHz または 50kHz ）で実現します。フィルタ・ピン（FLT \pm ）には追加のコンデンサを付加することができ、これによって ADC の入力帯域幅が制限されます。 $\pm 50\text{mV}$ の範囲における、異なる値のフィルタ・コンデンサの入力帯域幅と代表的なセトリング時間については、表 8 を参照してください。通常、フィルタ・ピン（FLT \pm ）の間に 4.7nF のコンデンサが推奨されます。

表 8. フィルタ・コンデンサの選択

FILTER CAP	-3dB FREQUENCY	TYPICAL SETTLING TIME FOR A 1.25V STEP TO 0.5 LSB (12 bit)
4.7nF	45.6 kHz	25 μs
100nF	2.3 kHz	450 μs

FIFO のデータ読出しレート

I²C インタフェースは、最大速度 3.4MHz でデータを読み出します。したがって、FIFO をオーバーフローすることなく、ADC のすべてのサンプリング・レートを常に本デバイスから引き出せるわけではありません。

表 9 はこの状況を説明しています。ADC のサンプリング・レートが高い主な目的は、デジタル・フィルタリングを用いたオーバーサンプリングのためです。I²C が FIFO をオーバーフローすることなくデータを実際に読み出せるようにするのは、ユーザの責任です。

表 9. FIFO のデータ読出しレートと I²C インタフェース速度の関係

FIFO_READ [BITS]	I ² C_READ [BITS]	READ MODE	SAMPLE FREQUENCY [Ksps]	I ² C INTERFACE SPEED [MHz]
27	66	Current and Voltage	0.5	0.033
14	48	Either Current or Voltage	15	0.72
14	48	Either Current or Voltage	18.75	0.9
14	48	Either Current or Voltage	23.45	1.1256
14	48	Either Current or Voltage	30	1.44
14	48	Either Current or Voltage	37.5	1.8
14	48	Either Current or Voltage	47.1	2.2608
14	48	Either Current or Voltage	60	2.88
14	48	Either Current or Voltage	93.5	4.488
14	48	Either Current or Voltage	120	5.76
14	48	Either Current or Voltage	150	7.2
14	48	Either Current or Voltage	234.5	11.256
14	48	Either Current or Voltage	375	18
14	48	Either Current or Voltage	468.5	22.488

表 9. FIFO のデータ読出しレートと I²C インタフェース速度の関係（続き）

14	48	Either Current or Voltage	750	36
14	48	Either Current or Voltage	1000	48

電流と電圧の両方を読み出すには 4 バイトが必要ですが、その 2 つのいずれかを読み出すのに必要なのは 2 バイトだけです。表 10 および表 11 は、トランザクションの番号と両方の種類の読出しに関わるビットの数を示しています。

表 10. 2 バイトの読出し

TRANSACTION	READ 2 BYTES
1	START
2	SLAVE_ADDRESS + WR
3	ACK
4	REG_ADDRESS
5	ACK
6	RPT_START
7	SLAVE_ADDRESS + RD
8	ACK
9	DATA (1st Byte)
10	ACK
11	DATA (2nd Byte)
12	NACK
13	STOP
Total Bits	48

表 11. 4 バイトの読出し

TRANSACTION	READ 4 BYTES
1	START
2	SLAVE_ADDRESS + WR
3	ACK
4	REG_ADDRESS
5	ACK
6	RPT_START
7	SLAVE_ADDRESS + RD
8	ACK
9	DATA (1st Byte)
10	ACK
11	DATA (2nd Byte)
12	ACK
13	DATA (3rd Byte)
14	ACK
15	DATA (4th Byte)
16	NACK
17	STOP
Total Bits	66

MAX40080

高精度で高速サンプリング・レートの
デジタル電流センス・アンプ

型番

PART NUMBER	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE	TOP MARK
MAX40080ANC+	-40°C to +125°C	12 WLP	+AAS
MAX40080ANC+T	-40°C to +125°C	12 WLP	+AAS
MAX40080ATC+T*	-40°C to +125°C	12 TDFN	+AIO

+は鉛（Pb）フリー／RoHS 準拠のパッケージであることを示します。
T はテープ&リールを示します。
*は発売予定の製品であることを示します。

改訂履歴

版数	改訂日	説明	改訂ページ
0	10/21	市場投入のためのリリース	-