

TMP9R01-SP (QMLP RHA) および TMP9R01-SEP (耐放射線特性) 宇宙グレード I²C デジタル温度センサ、リモートおよびローカル (オンチップ) 温度センシング搭載

1 特長

- QMLP、放射線耐性保証 (RHA)
 - SMD **5962-17218**:
 - 100krad(Si) まで **TID** 特性を評価済み
 - TID RLAT/RHA ~ 100krad(Si)
 - SEL 耐性: LET = 75MeV×cm²/mg (125°C 時)
 - SEE 特性**: LET = 75MeV×cm²/mg
 - SEFI 特性: LET = 75MeV×cm²/mg
 - QMLV バージョンあり: **TMP461-SP**
- 耐放射線特性 (宇宙向け強化プラスチック)
 - ベンダー品目図面 (VID) **V62/24615**
 - TID 特性**: 最大 50krad(Si)
 - TID RLAT/RHA ~ 30krad(Si)
 - SEL 耐性: LET = 43MeV×cm²/mg (125°C 時)
 - SEE 特性**: LET = 43MeV×cm²/mg
 - SEFI 特性: LET = 43MeV×cm²/mg
- 温度精度および範囲:
 - 12 ビット分解能: 0.0625°C (LSB)
 - ローカル (オンチップ) 温度精度: ±2.0°C (最大値)
 - リモート接合部温度精度: ±1.5°C (最大値)
 - リモートレンジをテスト済み: -64°C ~ 191°C
 - 軍用温度範囲: -55 ~ 125°C
- 小型パッケージ: VSSOP-10、4.9mm × 3.0mm
- 内蔵キャリブレーション保護機能:
 - η 係数およびオフセット補正
 - 直列抵抗キャンセル
 - リモート BJT/ダイオードのフォルト検出
 - プログラマブル デジタル フィルタ
- 広い動作範囲、低消費電力:
 - 電源電圧範囲: 1.7V ~ 3.6V
 - I/O 電圧: 1.8V、2.5V、3.3V
 - スタンバイ/シャットダウン IQ: 15μA/3μA

2 アプリケーション

- 宇宙グレードの FPGA、ADC、DAC、ASIC に統合型の接合部温度センシング機能
- 通信ペイロード**
- レーダー画像処理ペイロード**
- 光学画像処理ペイロード**
- オンボード コンピュータ (OBC)
- コマンドとデータの処理 (C&DH)**

3 説明

TMP9R01-SP (QML Class P) および TMP9R01-SEP (耐放射線特性、宇宙用 EP) は、高精度デジタル I²C 温度センサで、12 ビット ADC、バイアス電流源、キャリブレーション回路を 10 ピン VSSOP プラスチック パッケージに内蔵しています。これらのデバイスは、外部 BJT、または FPGA、ADC、ASIC に内蔵されたダイオード / 接合部にバイアス電流を流すことでリモート温度測定を行います。その結果生じる ΔV_{BE} をデジタル化し、0.0625°C の分解能で温度を出力します。追加のオンチップ センサがローカル温度測定を提供します。

TMP9R01-SP および TMP9R01-SEP には、直列抵抗の相殺、プログラマブル非理想係数 (η 係数)、オフセット補正、プログラマブル デジタル フィルタなど、複数のキャリブレーションおよび保護機能が搭載されています。設計者は、過熱および低温過熱保護のために ALERT 出力を駆動する高温と低温の制限を設定できます。最大 9 つのピン選択可能な I²C/SMBus アドレスにより、同じ I²C バス上に複数のセンサを接続できます。これらのデバイスは、精密な温度センシングとさまざまなレベルの耐放射線性が求められる宇宙船の複数箇所におけるハウスキーピング (維持管理)、衛星テレメトリ、航空電子工学、その他の高信頼性アプリケーション向けに設計されています。

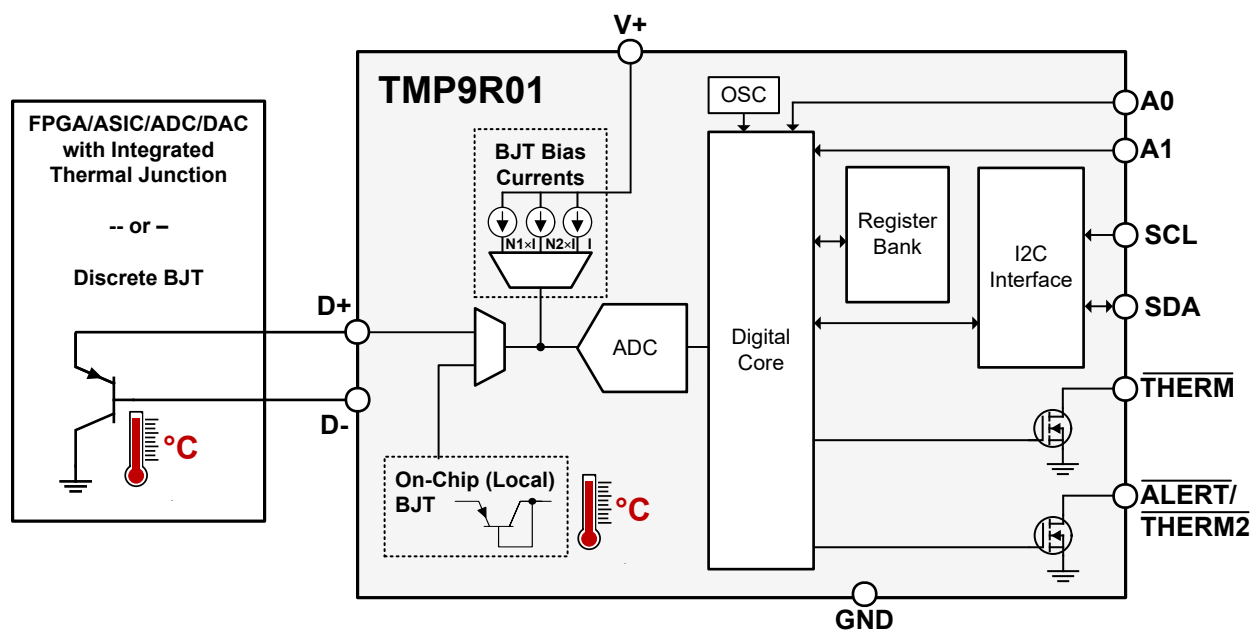
TMP9R01-SP は、機能的に同等の QMLV-RHA デバイス: **TMP461-SP** としても供給されます。

表 3-1. パッケージ情報

デバイス	グレード	パッケージ ⁽²⁾
5962R1721802PYE	QMLP RHA	24 ピン プラスチック
TMP9R01DGS/EM ⁽¹⁾	エンジニアリング サンプル	4.9mm × 3.0mm
TMP9R01MDGSTSEP	耐放射線特性	質量 = 99mg

- (1) ユニットの、技術的評価のみを意図しています
 (2) 質量は公称値であり、ボディ サイズ (長さ×幅) も公称値で、ピンを含みます。





機能ブロック図

目次

1 特長.....	1	7.4 デバイスの機能モード.....	21
2 アプリケーション.....	1	7.5 プログラミング.....	21
3 説明.....	1	8 レジスタ マップ.....	26
4 製品情報.....	4	8.1 レジスタ情報.....	27
5 ピン構成および機能.....	6	9 アプリケーションと実装.....	32
6 仕様.....	7	9.1 使用上の注意.....	32
6.1 絶対最大定格.....	7	9.2 代表的なアプリケーション.....	32
6.2 ESD 定格.....	7	9.3 放射線環境.....	35
6.3 推奨動作条件.....	7	9.4 電源に関する推奨事項.....	35
6.4 熱に関する情報.....	7	9.5 レイアウト.....	36
6.5 電気的特性.....	8	10 デバイスおよびドキュメントのサポート.....	38
6.6 I ² C インターフェイスのタイミング.....	10	10.1 ドキュメントの更新通知を受け取る方法.....	38
6.7 品質適合検査.....	10	10.2 関連資料.....	38
6.8 タイミング図.....	11	10.3 サポート・リソース.....	38
6.9 代表的特性.....	12	10.4 商標.....	38
7 詳細説明.....	15	10.5 静電気放電に関する注意事項.....	38
7.1 概要.....	15	10.6 用語集.....	38
7.2 機能ブロック図.....	16	11 改訂履歴.....	38
7.3 機能説明.....	17	12 メカニカル、パッケージ、および注文情報.....	39

4 製品情報

TMP9R01-SP および TMP9R01-SEP のデバイス製品情報

型番	発注型番	グレード
TMP9R01-SP	5962R1721802PYE	100krad RHA デバイス (近日発売予定)
	TMP9R01DGS/EM	エンジニアリング サンプル
TMP9R01-SEP	TMP9R01MDGSTSEP	耐放射線特性、宇宙用 EP

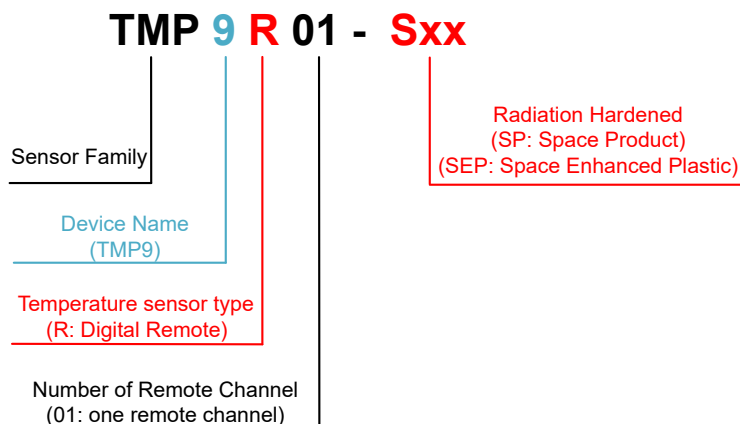


図 4-1. TMP9R01-SP および TMP9R01-SEP デバイスの命名規則

表 4-1. 5962R1721802PYE 注文番号の命名規則

フィールドの説明	フィールドの詳細
連邦政府の供給クラス	5962
RHA レベル指定子	-: RHA のないデバイス R: 100krad RHA デバイス
デバイス番号	17218
デバイス タイプ	02 : 放射線耐特性、リモートおよびローカル デジタル温度センサ
デバイス クラス指定子	P : PEM パフォーマンス環境向け MIL-PRF-38535 の認証と認定
パッケージ タイプ	Y : 10 ピン、超薄型シュリンク スモール アウトライン パッケージ (VSSOP)、1.1mm (max) 高さ
リード端子仕上げ	E : MIL-PRF-38535 で規定されている金フラッシュ バラジウム

表 4-2. TMP9R01DGS/EM 注文番号の命名規則

フィールドの説明	フィールドの詳細
センサ ファミリ	TMP : 温度センサ
デバイス名	9
温度センサのタイプ	R : リモート温度センサ
チャンネル数	01 : 1 つのリモート チャンネル
TI パッケージ タイプ	DGS : VSSOP パッケージ記号
デバイス クラス	EM : エンジニアリング モデル (デバイスは技術的な評価のみを目的としています)

表 4-3. TMP9R01MDGSTSEP 注文番号の命名規則

フィールドの説明	フィールドの詳細
センサ ファミリ	TMP : 温度センサ
デバイス名	9
温度センサのタイプ	R : リモート デジタル温度センサ

表 4-3. TMP9R01MDGSTSEP 注文番号の命名規則 (続き)

フィールドの説明	フィールドの詳細
リモート チャンネル数	01 : 1 つのリモート チャンネル
動作温度範囲	M : -55°C ~ 125°C
TI パッケージ タイプ	DGS : 10 ピン VSSOP パッケージ、高さ 1.1mm (最大)
T&R パッキング サイズ	T : 小型リール、SPQ = 250 ユニット
放射線耐性強化認定	SEP : 宇宙向けに強化されたプラスチック

5 ピン構成および機能

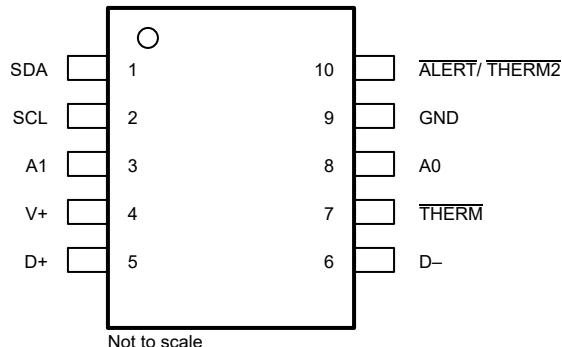


図 5-1. DGS パッケージ
10 ピン VSSOP
上面図

表 5-1. ピンの機能

ピン番号	ピン名	種類 ⁽¹⁾	説明
1	SDA	デジタル I/O	SMBus 用シリアル データライン。 オープンドレイン。1.7V ~ 3.6V の電圧へのプルアップ抵抗が必要です。
2	SCL	デジタル I	SMBus 用シリアル クロックライン。 入力。オープンドレイン出力で駆動される場合、1.7V ~ 3.6V の範囲の電圧へのプルアップ抵抗が必要です。
3	A1	デジタル I	アドレス選択。GND に接続するか、V+、フローティングのまま。
4	V+	P	正の電源電圧、1.7V ~ 3.6V。
5	D+	アナログ I	リモート温度センサへの正の接続。
6	D-	アナログ I	リモート温度センサへの負の接続。
7	THERM	デジタル O	サーマル シャットダウンまたはファン制御ピン。 オープンドレイン。1.7V ~ 3.6V の電圧へのプルアップ抵抗が必要です。
8	A0	デジタル I	アドレス選択。GND に接続するか、V+、フローティングのまま。
9	GND	G	電源グランド接続。
10	ALERT/ THERM2	デジタル O	割り込みまたは SMBus アラート出力。2 番目の THERM 出力として構成できます。 オープンドレイン。1.7V ~ 3.6V の電圧へのプルアップ抵抗が必要です。

(1) I: 入力、O: 出力、I/O: 入力または出力、P: 正の電源、G = グランド

6 仕様

6.1 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
電源	V+	-0.3	6	V
入力電圧	THERM、ALERT/THERM2、SDA、および SCL のみ	-0.3	6	V
	D+、A0、A1	-0.3	(V+) + 0.3	
	D- のみ	-0.3	0.3	
入力電流			10	mA
動作温度		-55	150	°C
接合部温度、T _J の最大値			150	°C
保管温度、T _{stg}		-60	150	°C

- (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。

6.2 ESD 定格

			値	単位
V _(ESD)	静電放電	人体モデル (HBM)、ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 準拠 ⁽¹⁾	±2000	V
		荷電デバイス モデル (CDM)、JEDEC 仕様 JESD22-C101 ⁽²⁾	±750	

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

6.3 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+	電源電圧	1.7	3.3	3.6	V
T _A	自由空気での動作温度	-55		125	°C

6.4 熱に関する情報

熱評価基準 ⁽¹⁾		TMP9R01-SP TMP9R01-SEP	単位
		DGS (VSSOP)	
		10 ピン	
R _{θJA}	接合部から周囲への熱抵抗	138.3	°C/W
R _{θJC(top)}	接合部からケース (上面) への熱抵抗	47.9	°C/W
R _{θJB}	接合部から基板への熱抵抗	73.4	°C/W
Ψ _{JT}	接合部から上面への特性パラメータ	2.0	°C/W
Ψ _{JB}	接合部から基板への特性パラメータ	72	°C/W
R _{θJC(bot)}	接合部からケース (底面) への熱抵抗	該当なし	°C/W

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

6.5 電気的特性

以下に示す仕様は、特に記述のない限り、それぞれ識別されたサブグループの温度に対応しています (セクション 6.7 を参照)。V+ = 1.7V ~ 3.6V、特に記述のない限り。

パラメータ			条件	サブグループ (1)	最小値	標準値	最大値	単位	
温度測定									
T _{LOCAL}	ローカル温度センサの精度			[1, 2, 3]	-2	±0.5	2	°C	
T _{リモート}	リモート温度センサ精度			[1, 2, 3]	-1.5	±0.125	1.5	°C	
T _{ERROR_PS}	温度誤差電源感度 (ローカルまたはリモート)		V+ = 1.7V ~ 3.6V	[1, 2, 3]	-0.3	±0.1	0.3	°C/V	
T _{RES}	温度分解能 (ローカルおよびリモート)				0.0625			°C	
	ADC の分解能			[4, 5, 6]	12			ビット	
t _{CONV}	ADC 変換時間		チャネルごとのワンショット モード (ローカルまたはリモート)	[9, 10, 11]	15			17 ms	
R _{SERIES}	リモート センサ ソース電流	High	直列抵抗 1kΩ、(max)	[1, 2, 3]	85	120	155	μA	
		中		[1, 2, 3]	30	45	60		
		Low		[1, 2, 3]	5	7.5	10		
η	リモートトランジスタの理想係数		TMP9R01-SEP/TMP9R01-SP の最適化された理想係数		1.008				
シリアル インターフェイス (SCL、SDA)									
V _{IH}	High レベル入力電圧			[1, 2, 3]	1.4				V
V _{IL}	Low レベル入力電圧			[1, 2, 3]				0.45	V
V _{HYST}	ヒステリシス				200				mV
	SDA 出力 low シンク電流			[1, 2, 3]	6				mA
V _{OL}	Low レベル出力電圧		I _O = -6mA	[1, 2, 3]	0.15			0.4	V
I _{IN}	シリアル バス入力リーク電流		0V ≦ V _{IN} ≦ 3.6V	[1, 2, 3]	-1	1			μA
C _{IN}	シリアル バス入力容量		SCL		3.5				pF
			SDA		5				
	シリアル クロック周波数			[9, 10, 11]				2.17	MHz
	シリアル バスのタイムアウト			[9, 10, 11]	20	25	30		ms
デジタル入力 (A0、A1)									
V _{IH}	High レベル入力電圧			[1, 2, 3]	0.9 × (V+)	(V+) + 0.3			V
V _{IL}	Low レベル入力電圧			[1, 2, 3]	-0.3	0.1 × (V+)			V
I _{IN}	入力リーク電流		0V ≦ V _{IN} ≦ 3.6V	[1, 2, 3]	-1	1			μA
C _{IN}	入力容量				4.5				pF
デジタル出力 (THERM1、ALERT/THERM2)									
	出力 low シンク電流			[1, 2, 3]	6				mA
V _{OL}	Low レベル出力電圧		I _O = -6mA	[1, 2, 3]	0.15			0.4	V
I _{OH}	High レベルの出力リーク電流		V _O = V+	[1, 2, 3]				1	μA
電源									
V+	指定電源電圧範囲			[1, 2, 3]	1.7	3.6			V

以下に示す仕様は、特に記述のない限り、それぞれ識別されたサブグループの温度に対応しています (セクション 6.7 を参照)。V+ = 1.7V ~ 3.6V、特に記述のない限り。

パラメータ		条件	サブグループ (1)	最小値	標準値	最大値	単位
I _Q	静止時電流	アクティブ変換、ローカル センサ	[1, 2, 3]		240	375	μA
		アクティブ変換、リモート センサ	[1, 2, 3]		400	600	
		スタンバイ モード (変換の間)、TMP9R01-SEP	[1, 2, 3]		15	35	
		スタンバイ モード (変換の間)、TMP9R01-SP	[1, 2, 3]		15	50	
		シャットダウン モード、シリアル バスが非アクティブ、TMP9R01-SEP	[1, 2, 3]		3	8	
		シャットダウン モード、シリアル バスが非アクティブ、TMP9R01-SP	[1, 2, 3]		3	25	
		シャットダウン モード、f _s = 400kHz			90		
		シャットダウン モード、f _s = 2.17MHz			350		
POR	パワーオン リセットのスレッシュホールド	立ち上がりエッジ	[1, 2, 3]		1.41	1.55	V

(1) 等価直列抵抗 5Ω 未満、差動入力容量 100pF 未満でテスト済み。

6.6 I²C インターフェイスのタイミング

–55°C ~ 125°C、V₊ = 1.7V ~ 3.6V、特に記述のない限り。

		高速モード		高速モード プラス		ハイスピード モード		単位
		最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	
f _(SCL)	SCL 動作周波数	0.001	0.4	0.001	1	0.001	2.17	MHz
t _(BUF)	STOP 条件と START 条件の間でのバス開放時間	1300	–	500		160	–	ns
t _(HDSTA)	反復 START 条件の後のホールド時間。 この期間の後で、最初のクロックが生成されます。	600	–	260		160	–	ns
t _(SUSTA)	反復 START 条件のセットアップ時間	600	–	260		160	–	ns
t _(SUSTO)	ストップ条件のセットアップ時間	600	–	260		160	–	ns
t _(HDDAT)	データ ホールド時間	0	900	0	150	0	130	ns
t _(SUDAT)	データ セットアップ時間	100	–	50		20	–	ns
t _(LOW)	SCL クロックの Low 期間	1300	–	500		320	–	ns
t _(HIGH)	SCL クロックの High 期間	600	–	260		60	–	ns
t _F - SDA	データ立ち下がり時間		300		120		130	ns
t _F , t _R - SCL	クロックの立ち下がりおよび立ち上がり時間		300	–	120		40	ns
t _R	SCL ≤ 100kHz の立ち上がり時間		1000					ms

6.7 品質適合検査

MIL-STD-883、方法 5005 - グループ A

サブグループ	説明	温度 (°C)
1	静的テスト	25
2	静的テスト	125
3	静的テスト	-55
4	動的テスト	25
5	動的テスト	125
6	動的テスト	-55
7	機能テスト	25
8A	機能テスト	125
8B	機能テスト	-55
9	スイッチング テスト	25
10	スイッチング テスト	125
11	スイッチング テスト	-55

6.8 タイミング図

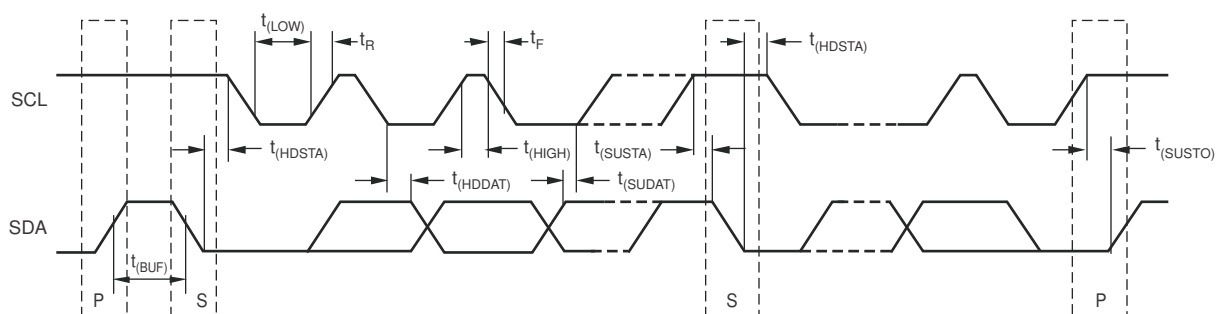
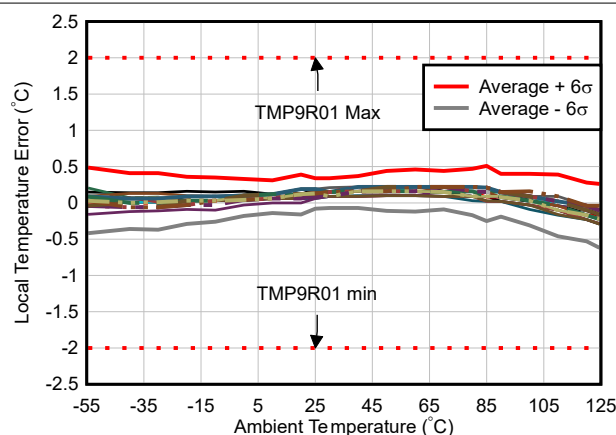


図 6-1.2 線式のタイミング図

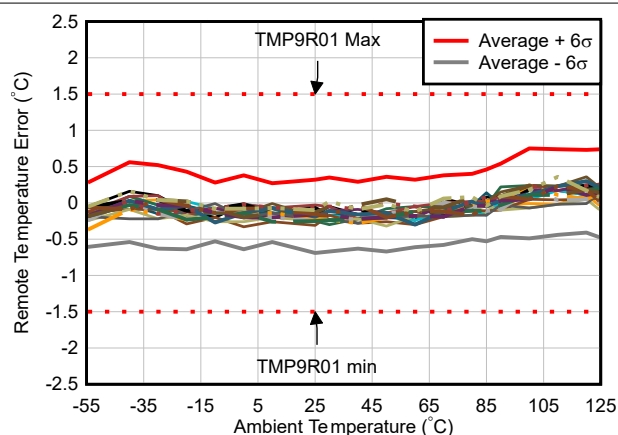
6.9 代表的特性

特に記述のない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_+ = 3.6\text{V}$



温度範囲全体で 20 個のデバイスの代表的な動作

図 6-2. ローカル温度誤差と周囲温度との関係



温度範囲全体で 20 個のデバイスの代表的な動作

図 6-3. リモート温度誤差と周囲温度との関係

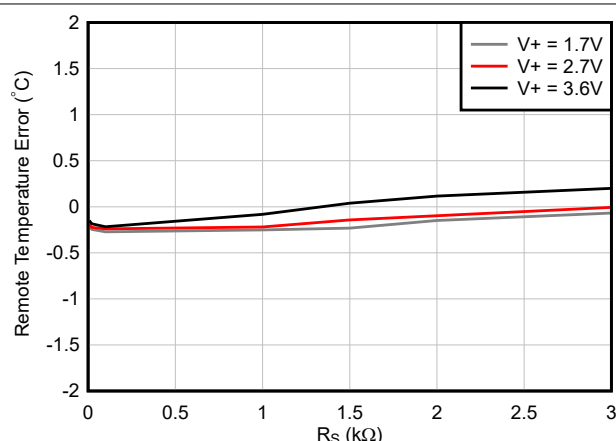


図 6-4. リモート温度誤差と直列抵抗との関係 (ダイオード接続 PNP トランジスタ、2N3906)

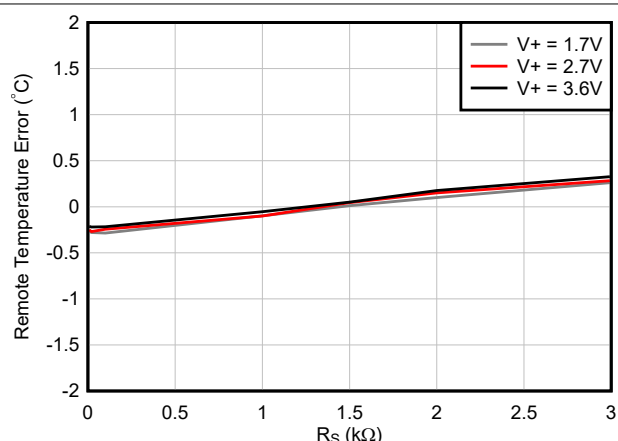


図 6-5. リモート温度誤差と直列抵抗との関係 (GND コレクタ接続 PNP トランジスタ、2N3906)

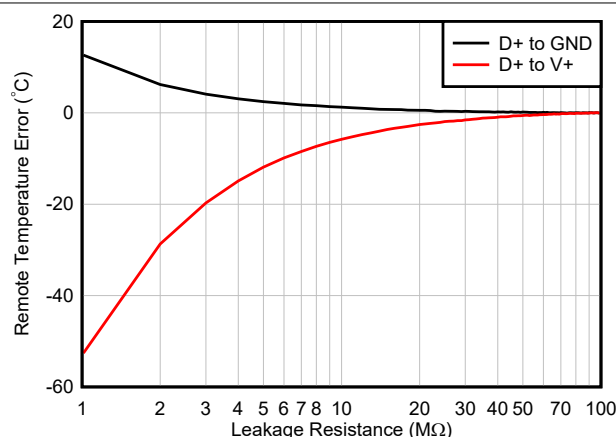


図 6-6. リモート温度誤差とリーク抵抗との関係

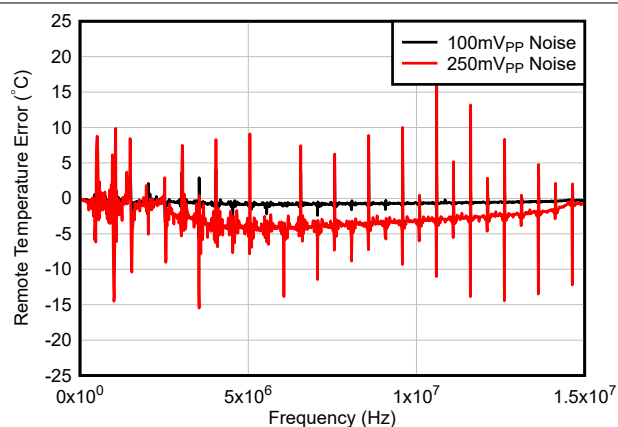
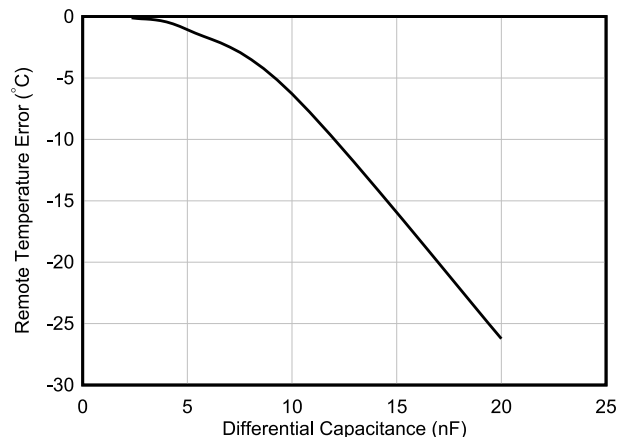


図 6-7. リモート温度誤差と電源ノイズ周波数との関係



測定中に D+ ピン、D- ピンに物理的な直列抵抗は存在しません

図 6-8. リモート温度誤差と差動容量との関係

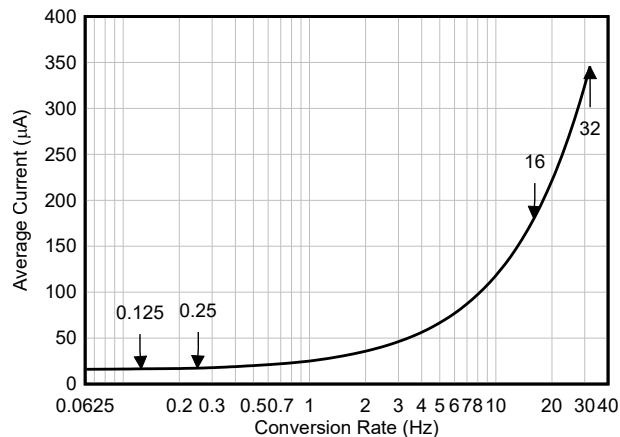


図 6-9. 平均電流と変換レートとの関係

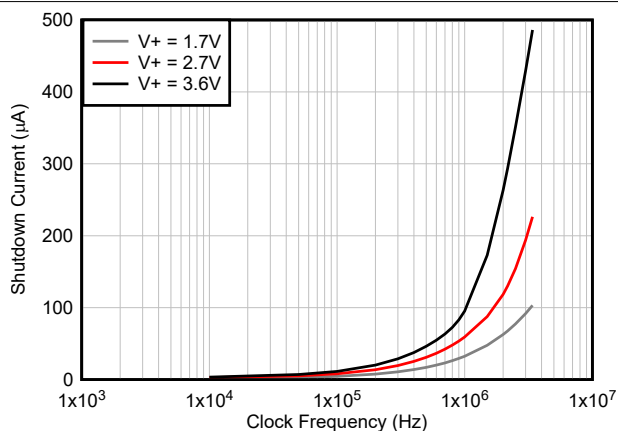


図 6-10. シャットダウン電流と SCL クロック周波数との関係

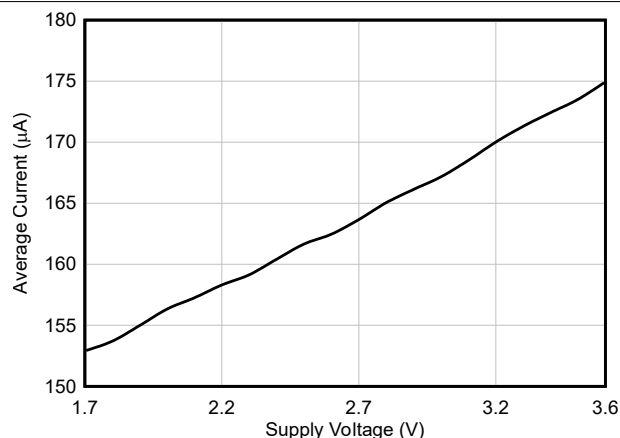


図 6-11. 平均電流と電源電圧との関係 (デフォルトの変換レート 16Hz 時)

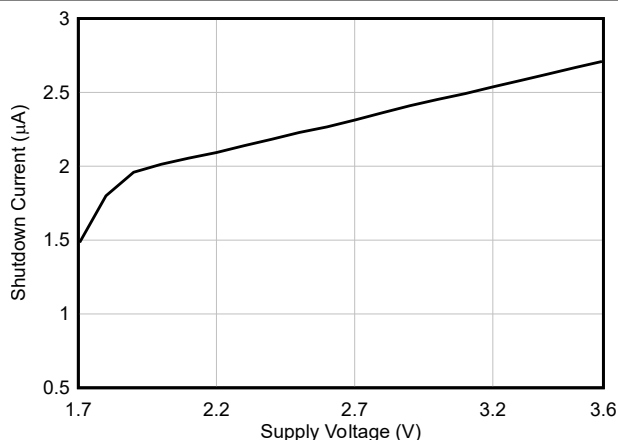


図 6-12. シャットダウン電流と電源電圧との関係 (シリアルバスが非アクティブ)

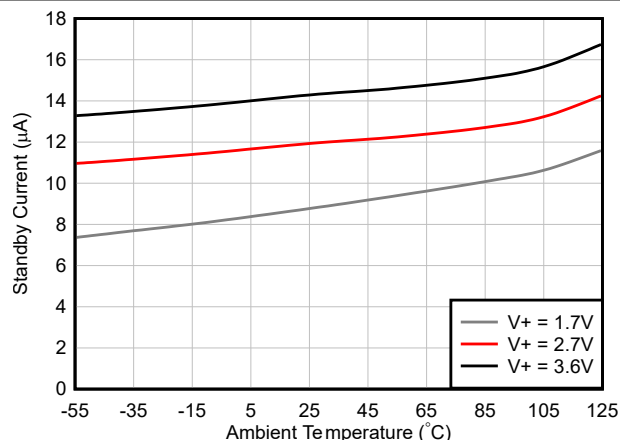


図 6-13. スタンバイ電流と温度との関係

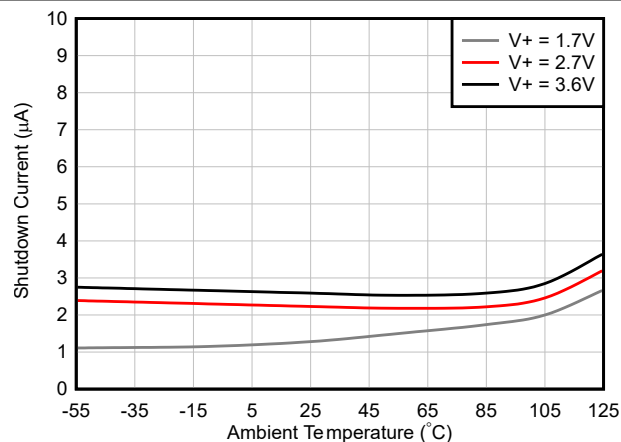


図 6-14. シャットダウン電流と温度との関係

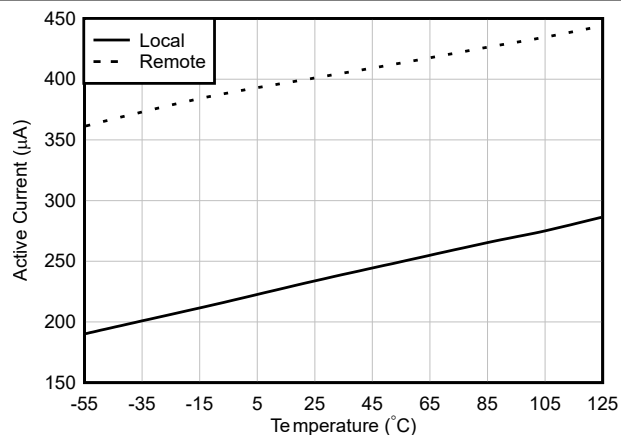


図 6-15. アクティブ電流と温度との関係 (ローカルおよびリモート)

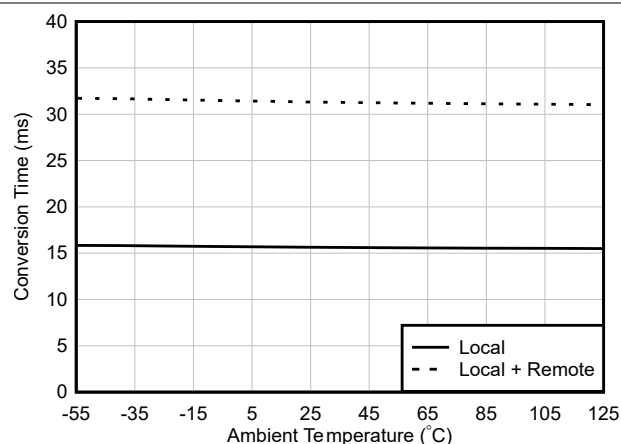


図 6-16. 変換時間と温度との関係 (ローカルおよびローカル + リモート)

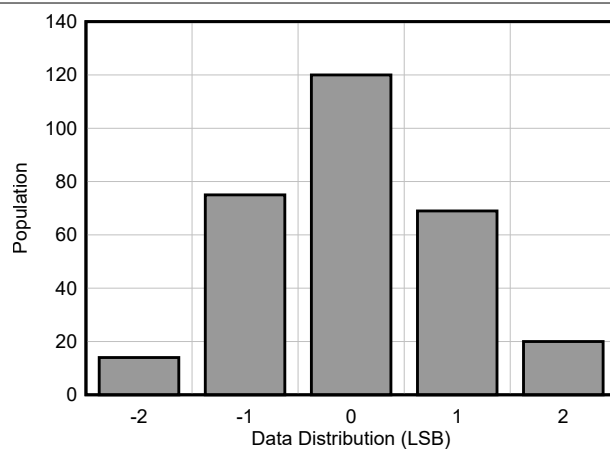
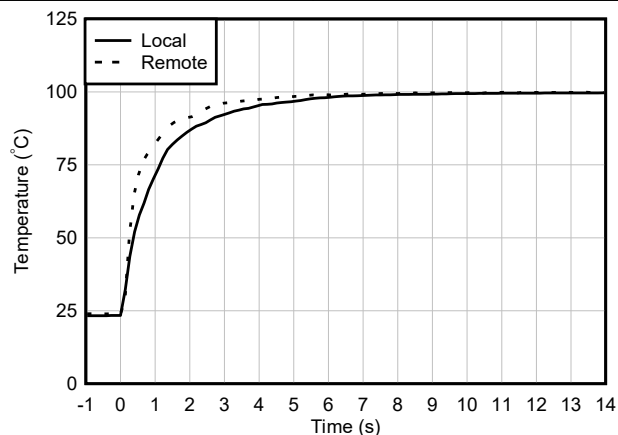


図 6-17. リモート温度のノイズデータ分布 (300 サンプル)



ローカル: 62mil 2 層 FR4 PCB 上に半田付けされたデバイス
 リモート: 2N3906 PNP トランジスタで特性評価されています

図 6-18. 温度熱応答 (攪拌液体)

7 詳細説明

7.1 概要

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスは、ローカル温度測定チャネルとリモート接合部温度測定チャネルを 1 つの VSSOP DGS-10 パッケージに組み合わせたデジタル温度センサです。デバイスは 2 線式および SMBus インターフェイスに対応し、9 つのピンによるプログラマブル バス アドレス オプションがあり、動作温度範囲は $-55^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$ と規定されています。TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスには、構成設定、温度制限、温度測定結果をプログラムおよび保持するための複数のレジスタが搭載されています。

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP では、リモート温度センシングを適切に動作させるために、D+ と D- の間にトランジスタを接続するだけで済みます。SCL および SDA インターフェイス ピンは、通信バスの一部としてプルアップ抵抗が必要である一方、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンと $\overline{\text{THERM}}$ ピンはプルアップ抵抗が必要なオープン ドレイン出力です。 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンと $\overline{\text{THERM}}$ ピンは、必要に応じて他のデバイスと共有して、ワイヤ OR 実装を行うことができます。TI では、ローカルでの良好なバイパスを実現するために、 $0.1\mu\text{F}$ の電源バイパス コンデンサの使用を推奨しています。図 7-1 に、TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP の代表的な構成を示します。

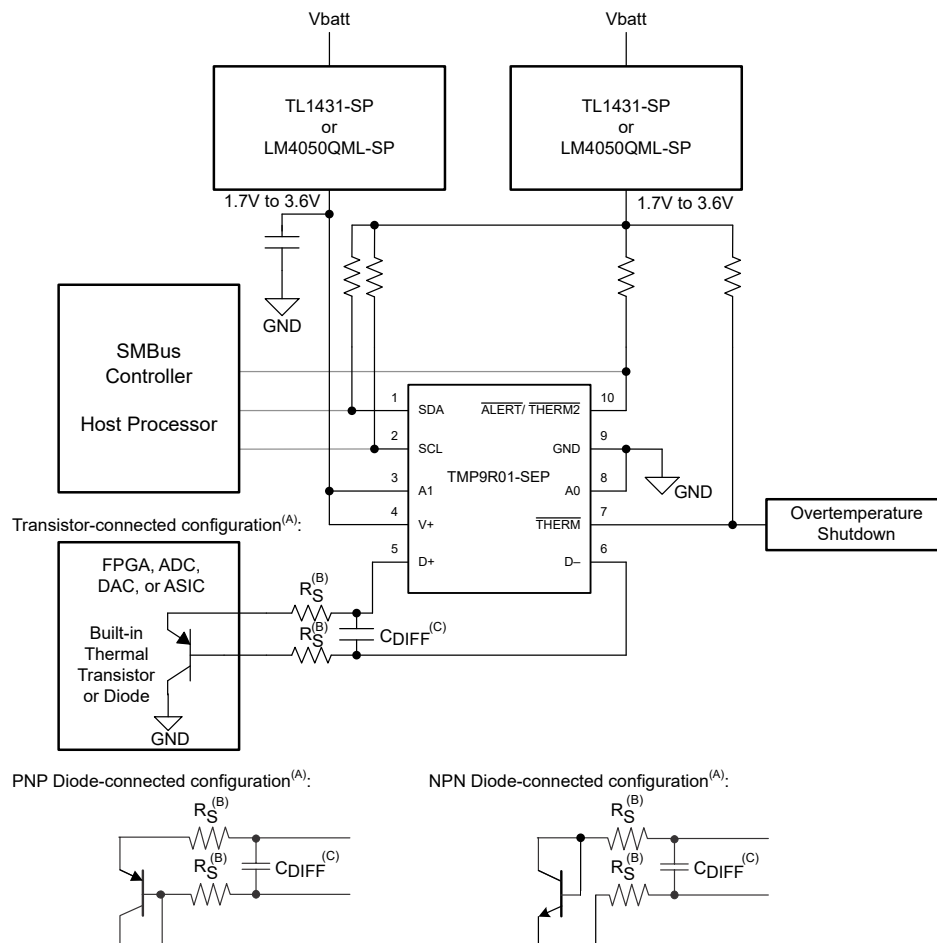


図 7-1. 基本的な接続

- A. ダイオード接続の構成により、セトリグ時間が向上します。トランジスタ接続の構成により、直列抵抗の相殺がより効果的になります。NPN トランジスタはダイオード接続する必要があります。PNP トランジスタは、トランジスタ接続でもダイオード接続でも問題ありません。NPN/PNP トランジスタの詳細については、『リモート温度センサ トランジスタ選択ガイド』アプリケーション ノートを参照してください。
- B. ほとんどのアプリケーションでは、 R_s (オプション) は $<1\text{k}\Omega$ でなければなりません。 R_s の選択は、アプリケーションによって異なります。セクション 7.3.5 を参照してください

- C. ほとんどのアプリケーションでは、 C_{DIFF} (オプション) は $<1000\text{pF}$ でなければなりません。 C_{DIFF} の選択は、アプリケーションによって異なります。
セクション 7.3.5 と 図 6-8 を参照してください。

7.2 機能ブロック図

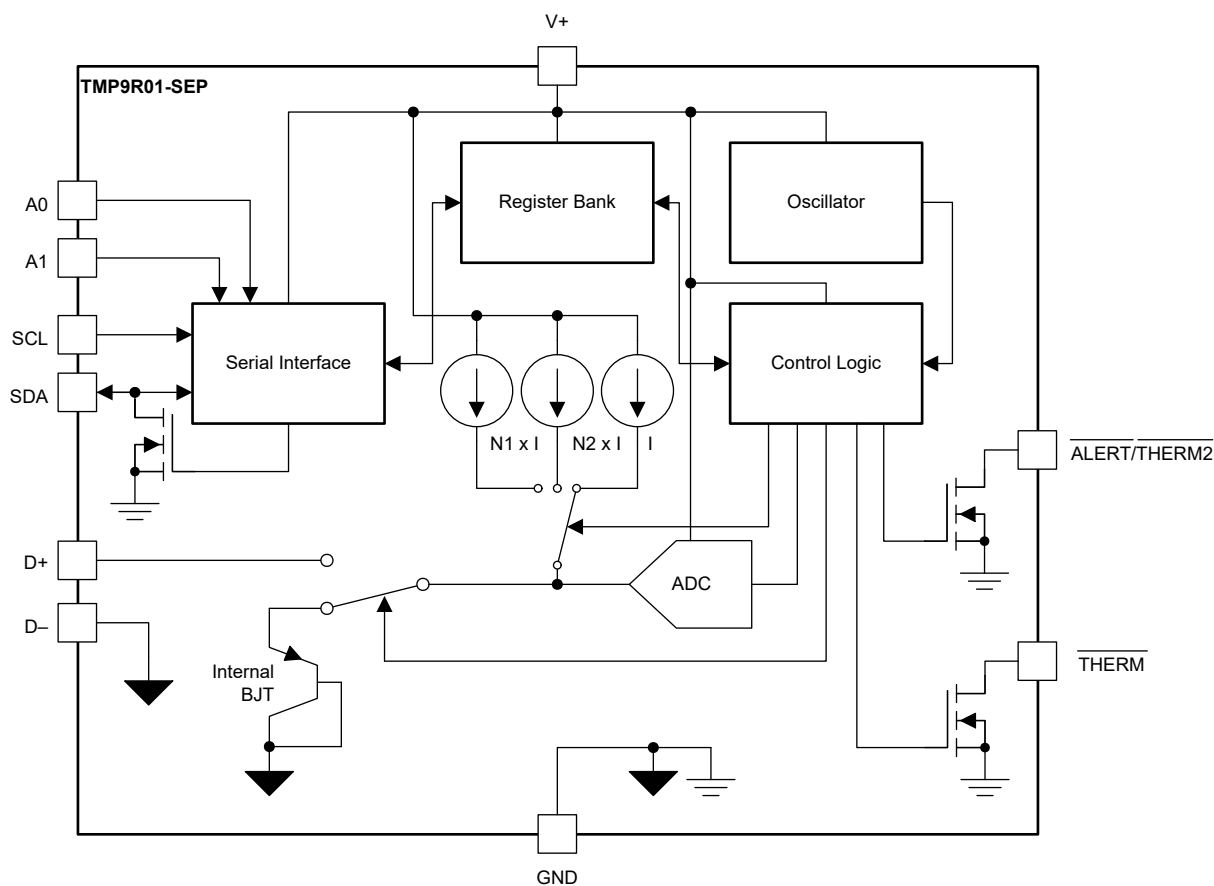


図 7-2. 機能ブロック図

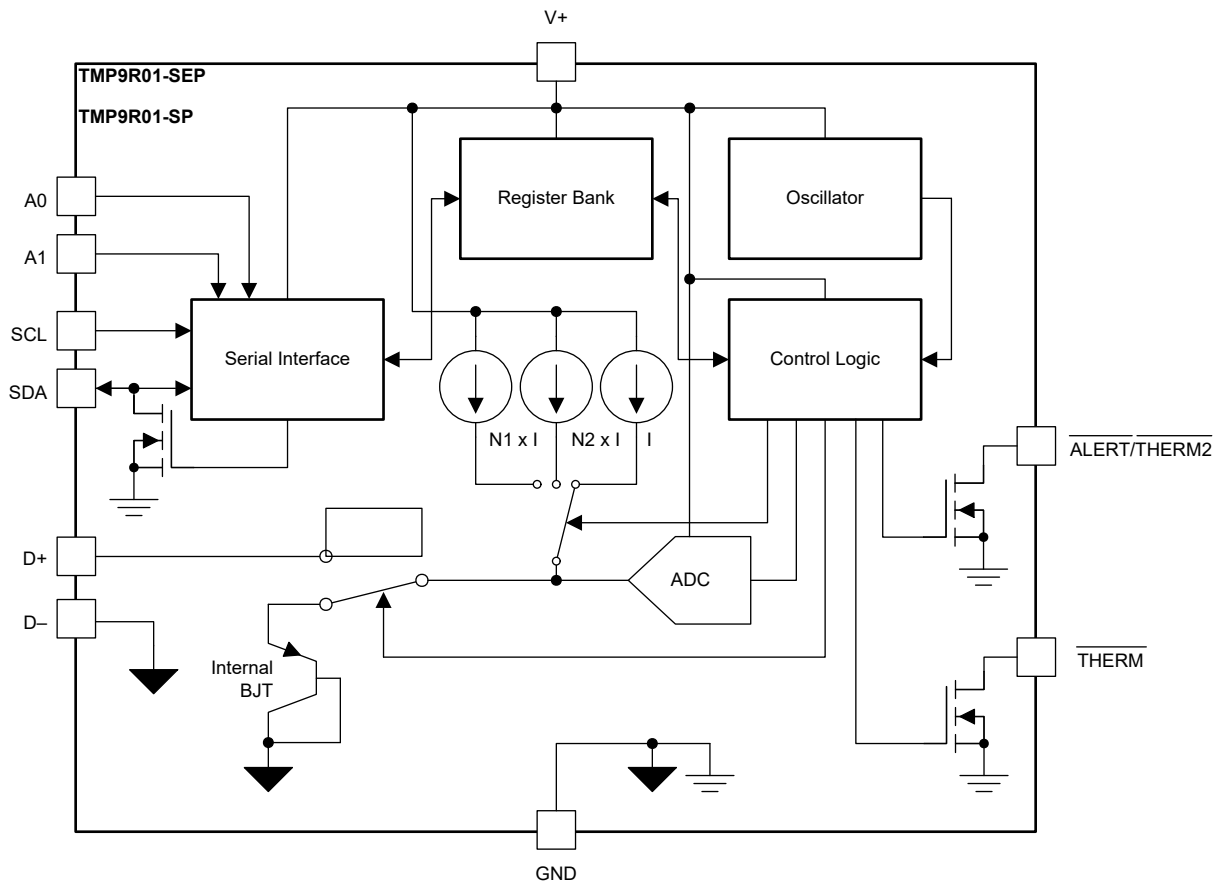


図 7-3.

7.3 機能説明

7.3.1 温度測定データ

ローカルおよびリモート温度センサの分解能は 12 ビット (0.0625°C) です。デフォルトの測定範囲内での変換による温度データは、表 7-1 の標準 2 進数の列に記載されているように、2 進数形式で表されます。127°C を超える温度は、127.9375 (7FFh) まで上昇します。デバイスは、構成レジスタのビット 2 (RANGE) を Low から High に変更することで、拡張温度範囲全体にわたる測定値を設定できます。温度変換が次に行われるときに、測定範囲とデータフォーマットが標準 2 進数から拡張 2 進数に変更されます。拡張温度範囲構成でキャプチャされたデータの場合、表 7-1 の拡張 2 進数の列に記載されているように、標準 2 進数値に対して 64 (40h) のオフセットが追加されます。この構成では、最低 -64°C から最高 191°C までの温度測定が可能です。ただし、ほとんどの温度検知ダイオードは -55°C ~ 150°C の範囲でのみ動作します。また、TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP は -55°C ~ 125°C の周囲温度範囲でのみ動作が規定されているため、セクション 6.1 の表に記載されているパラメータを遵守する必要があります。

表 7-1. 温度データの形式 (ローカルおよびリモート温度上位バイト)

温度 (°C)	ローカルおよびリモート温度レジスタ上位バイト値 (1°C 分解能)			
	標準 2 進数 ⁽¹⁾		拡張 2 進数 ⁽²⁾	
	2 進数	16 進	2 進数	16 進
-64	1100 0000	C0	0000 0000	00
-50	1100 1110	CE	0000 1110	0E
-25	1110 0111	E7	0010 0111	27
0	0000 0000	00	0100 0000	40
1	0000 0001	01	0100 0001	41
5	0000 0101	05	0100 0101	45
10	0000 1010	0A	0100 1010	4A
25	0001 1001	19	0101 1001	59
50	0011 0010	32	0111 0010	72
75	0100 1011	4B	1000 1011	8B
100	0110 0100	64	1010 0100	A4
125	0111 1101	7D	1011 1101	BD
127	0111 1111	7F	1011 1111	BF
150	0111 1111	7F	1101 0110	D6
175	0111 1111	7F	1110 1111	EF
191	0111 1111	7F	1111 1111	FF

(1) 分解能は 1°C /count です。負の数は 2 の補数形式で表されます。

(2) 分解能は 1°C /count です。すべての値は符号なしで、-64°C オフセットです。

ローカルおよびリモートの温度データは、いずれも 2 バイトでデータを格納します。上位バイトには、1°C 分解能で温度が保存されます。表 7-2 に示されているように、2 番目のバイト (下位バイト) は温度の小数部分の値を格納し、より高い測定分解能を実現します。ローカルおよびリモート チャンネルの測定分解能は 0.0625°C です。

表 7-2. 10 進分数温度データ形式 (ローカルおよびリモート温度下位バイト)

温度 (°C)	温度レジスタ下位バイト値 (0.0625°C 分解能) ⁽¹⁾	
	標準および拡張 2 進数	16 進
0	0000 0000	00
0.0625	0001 0000	10
0.1250	0010 0000	20
0.1875	0011 0000	30
0.2500	0100 0000	40
0.3125	0101 0000	50
0.3750	0110 0000	60
0.4375	0111 0000	70
0.5000	1000 0000	80
0.5625	1001 0000	90
0.6250	1010 0000	A0
0.6875	1011 0000	B0
0.7500	1100 0000	C0
0.8125	1101 0000	D0
0.8750	1110 0000	E0
0.9375	1111 0000	F0

(1) 分解能は 0.0625°C /count です。可能な値がすべて表示されます。

7.3.2 温度データのデコード

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP 温度レジスタは、12 ビット形式を使用します。12 ビットは、16 ビット ワードの左側 (最上位) に整列されます。4 つの未使用ビットは右側、または最下位にあります。このため、余分なビットを破棄するにはシフトが必要です。2 の補数は、負の温度を表すために使用されます。C コードは、データが型キャストされたときに、2 の補数データを正しい符号付きデータ型に簡単に変換できます。Q 表記は、小数結果を表すビット数を表します。Q4 として知られる 4 ビットのフラクショナル データは、0.0625°C の分解能を実現します。

表 7-3. 12 ビット Q4 エンコーディング パラメータ

パラメータ	値
ビット	12
Q	4
分解能	0.0625
距離 (+)	127.9375
距離 (-)	-128
最初のバイトの整数 C	有
25°C	0x1900

表 7-4. 12 ビット Q4 ビット値

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
符号	64	32	16	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	0.0625	-	-	-	-
-128	64	32	16	8	4	2	1	1/2	1/4	1/8	1/16	-	-	-	-
-2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	2 ⁻¹	2 ⁻²	2 ⁻³	2 ⁻⁴	-	-	-	-

```
/* 12-bit format has 4 bits discarded by right shift
   q4 is 0.062500 resolution
   the following bytes represent 24.5C */
uint8_t byte1 = 0x18;
uint8_t byte2 = 0x80;
float f = (((int8_t) byte1 << 8 | byte2) >> 4) * 0.0625f;
int mC = (((int8_t) byte1 << 8 | byte2) >> 4) * 1000 >> 4;
int C = (int8_t) byte1;
```

7.3.3 直列抵抗のキャンセル

直列抵抗補正機能により、リモートトランジスタへの配線抵抗や、オプションの外付けローパスフィルタの抵抗によって生じる温度誤差が自動的に補正されます。TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスでは、最大 1kΩ の直列抵抗の合計を相殺できるため、追加の特性評価や温度オフセット補正は不要です。直列抵抗が、検出されたリモート温度誤差に及ぼす影響の詳細については、[図 6-4](#) と [図 6-5](#) を参照してください。

7.3.4 差動入力容量

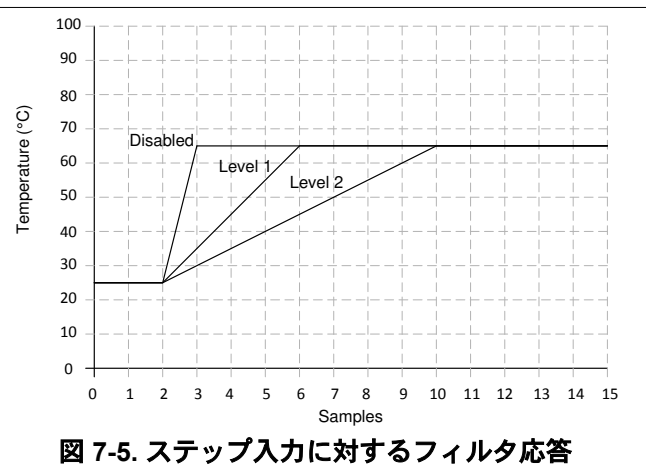
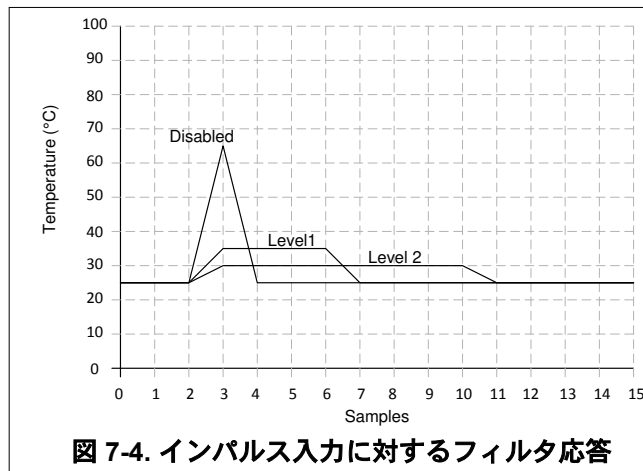
TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスは、温度誤差の変化を最小限に抑えながら、最大 1000pF の差動入力容量を許容できます。[図 6-8](#) (リモート温度誤差と差動容量との関係) に、検出されたリモート温度誤差に対する容量の影響を示します。

7.3.5 フィルタリング

リモート接合部温度センサは、通常は、ノイズの多い環境で実装されます。ノイズは主に高速なデジタル信号によって発生し、測定値を乱すことがあります。TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスは、ノイズの影響を最小限に抑えるために、D+ と D- 入力に 65kHz のフィルタを内蔵しています。ただし、アプリケーションが不要な結合信号に対して堅牢性を高めるため、リモート温度センサの入力間に差動でバイパスコンデンサを配置することを推奨します。このコンデンサ

の値については、差動で 100pF から 1nF の範囲で選択します。一部のアプリケーションでは、直列抵抗を追加することで全体的な精度を向上できます。ただし、この精度の向上はアプリケーションによって異なります。直列抵抗を追加する場合、合計値は 1k Ω を超えないようにしてください。フィルタリングが必要な場合、推奨される部品値は各入力に対して 100pF の差動コンデンサおよび 50 Ω の抵抗ですが、正確な値はアプリケーションによって異なります。

さらに、リモート温度測定用にデジタル フィルタが用意されており、ノイズの影響をさらに低減できます。このフィルタはプログラム可能で、イネーブルすると 2 つのレベルがあります。レベル 1 では、4 連続サンプルの移動平均を実行します。レベル 1 フィルタリングは、デジタル フィルタ制御レジスタ (読み取りアドレス 24h、書き込みアドレス 24h) を 01h に設定することで実現できます。レベル 2 では、8 連続サンプルの移動平均を実行します。レベル 2 フィルタリングは、デジタル フィルタ制御レジスタ (読み取りアドレス 24h、書き込みアドレス 24h) を 02h に設定することで実現できます。リモート温度結果レジスタに格納される値はデジタル フィルタの出力であり、**ALERT** 制限と **THERM** 制限と比較される値です。デジタル フィルタは、**ALERT** および **THERM** 出力におけるノイズやスパイクに対する耐性をさらに強化します。インパルス入力とステップ入力に対するフィルタ応答をそれぞれ 図 7-4 と 図 7-5 に示します。フィルタは、デジタル フィルタレジスタで目的のレベルをプログラムすることでイネーブルまたはディセーブルできます。表 8-1 を参照してください。デジタル フィルタは、POR のデフォルトで無効になっています。



7.3.6 センサの故障

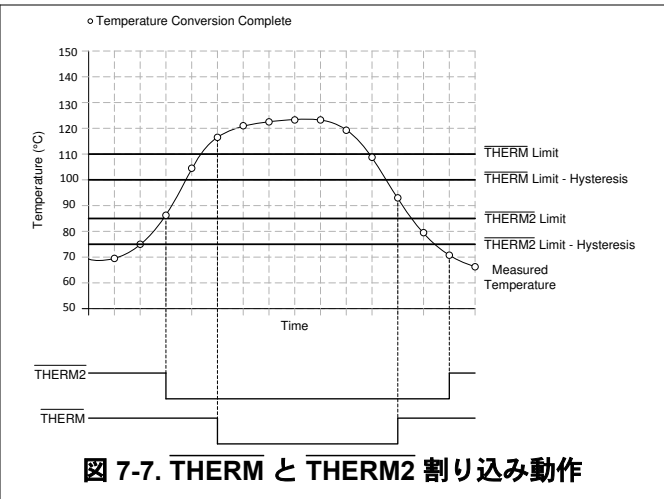
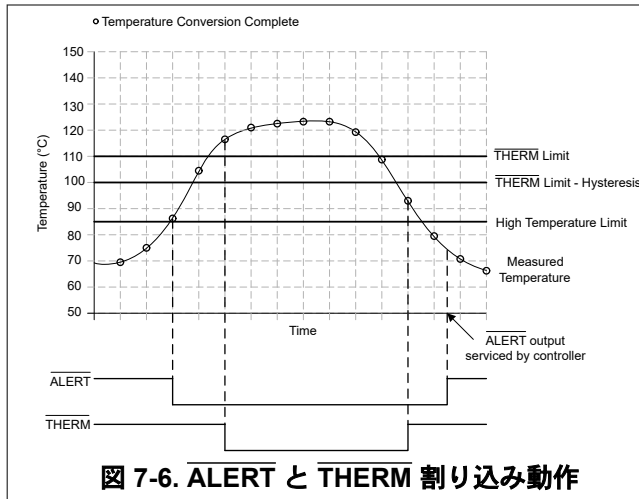
TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスは、誤ったダイオード接続に起因する D+ 入力の故障を検出できます。また、TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスは開路も検出します。短絡状態は -64°C の値を返します。検出回路は、D+ の電圧が (V+) - 0.3V (標準値) を超えるとトリップする電圧コンパレータで構成されます。変換中、コンパレータ出力は継続的に監視されます。フォルトが検出されると、ステータスレジスタの **OPEN** (ビット 2) が 1 にセットされます。

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスでリモート センサを使用しない場合、意味のないフォルト警告を避けるために D+ を D- または GND に接続する必要があります。

7.3.7 **ALERT** および **THERM** 機能

ALERT (ピン 10) および **THERM** (ピン 7) の割り込みの動作を 図 7-6 に示します。**THERM** (ピン 7) および **THERM2** (ピン 10) の割り込みの動作を 図 7-7 に示します。**ALERT** と **THERM** ピンの設定は、構成レジスタのビット 5 によって決定されます。

ヒステリシスの値は **THERM** ヒステリシス レジスタに保存され、**THERM** 割り込みと **THERM2** 割り込みの両方に適用されます。連続 **ALERT** レジスタ (表 8-1 を参照) の **CONAL[2:0]** ビットの値により、**ALERT** ピンがトリップするまでの制限違反の数が決定されます。デフォルト値は 000b で、1 つの違反に対応します。001b では 2 つの連続違反がプログラムされ、011b では 3 つの連続違反がプログラムされ、111b では 4 つの連続違反がプログラムされます。**CONAL[2:0]** ビットは、**ALERT** ピンの状態のための追加のフィルタリングを提供します。



7.4 デバイスの機能モード

7.4.1 シャットダウン モード (SD)

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP シャットダウン モードでは、シリアル インターフェイス以外のすべてのデバイス回路をシャットダウンし、消費電流を通常 $3\mu\text{A}$ 未満に低減することで、最大限の電力を節約できます。図 6-12「シャットダウン時の静止電流と電源電圧との関係」を参照してください。構成レジスタの SD ビット (ビット 6) が high のとき、シャットダウン モードがイネーブルになり、現在の変換が完了した後でデバイスはシャットダウンします。SD ビットが low にセットされているとき、デバイスは連続変換状態を維持します。

7.5 プログラミング

7.5.1 シリアル インターフェイス

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスは、2 線式バスまたは SMBus 上のターゲット デバイスとしてのみ動作します。どちらのバスへの接続は、オープンドレイン I/O ラインである SDA と SCL によって行われます。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。TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスは、転送プロトコルとして高速モード (1kHz ~ 400kHz) とハイスピード モード (1kHz ~ 2.17MHz) をサポートしています。すべてのデータ バイトは、MSB が最初に送信されます。

7.5.1.1 バスの概要

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスは、SMBus インターフェイスと互換性があります。SMBus プロトコルでは、転送を開始するデバイスをコントローラと呼び、コントローラによって制御されるデバイスをターゲットと呼びます。バスは、コントローラ デバイスにより制御されます。コントローラ デバイスはシリアル クロック (SCL) を生成し、バスへのアクセスを制御して、始動条件および停止条件を生成します。

特定のデバイスをアドレス指定するには、始動条件が開始されます。始動条件は、SCL が high の間にデータライン (SDA) を high から low のロジック レベルにプルダウンすることで示されます。バス上のすべてのターゲットは、ターゲット アドレス バイトでシフトし、最下位ビットは読み出し動作か書き込み動作かを示します。アドレス指定されたターゲットは、9 番目のクロック パルスのときアクノリッジビットを生成し、SDA を low にすることで、コントローラに応答します。

その後でデータ転送が開始され、8 つのクロック パルスに合わせて送信されてから、アクノリッジビットが続きます。データ転送中、SCL が high の間、SDA は安定した状態を維持する必要があります。SCL が high のときの SDA の変化は、制御信号として解釈されます。

すべてのデータ転送が完了後、コントローラは始動条件を生成します。停止条件は、SCL が high の間に SDA を low から high にプルダウンすることで示されます。

7.5.1.2 バスの定義

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスは、2 線式で SMBus と互換性があります。図 7-8 と 図 7-9 に、TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイス上のさまざまな操作のタイミングを示します。バスの定義は次のとおりです：

バス アイドル SDA ラインと SCL ラインが共に High です。

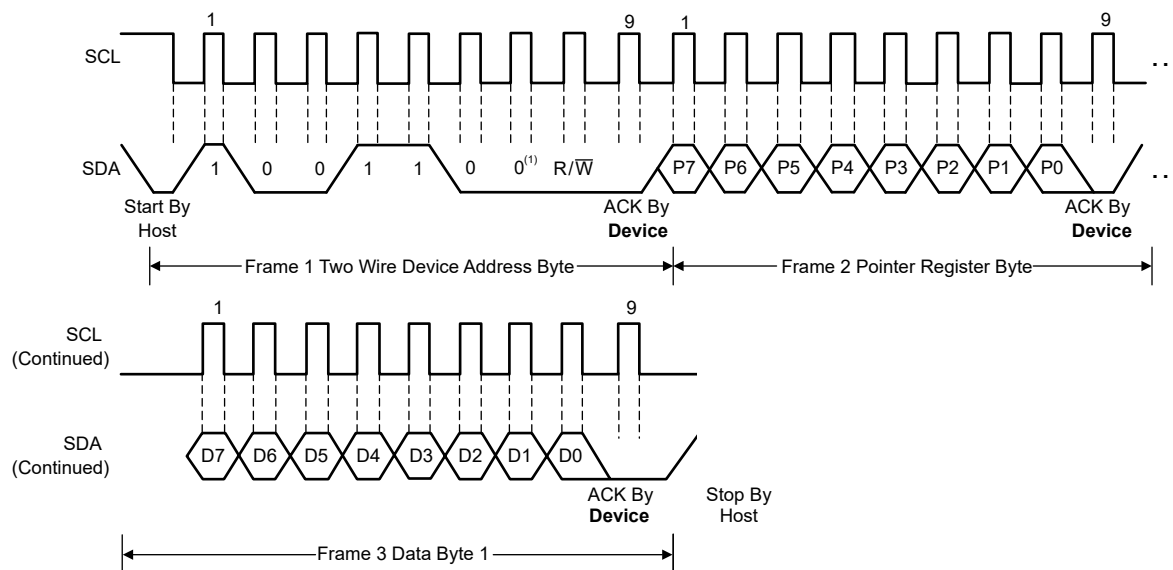
ル：

データ転送の開始： SCL ラインが high のとき、SDA ラインの状態が high から low に変化することで、始動条件が定義されます。始動条件によって、各データ転送が開始されます。

データ転送の終了： SCL ラインが High のとき、SDA ラインの状態が Low から High に変化することで、停止条件が定義されます。各データ転送は、始動条件または停止条件の繰り返しで終了します。

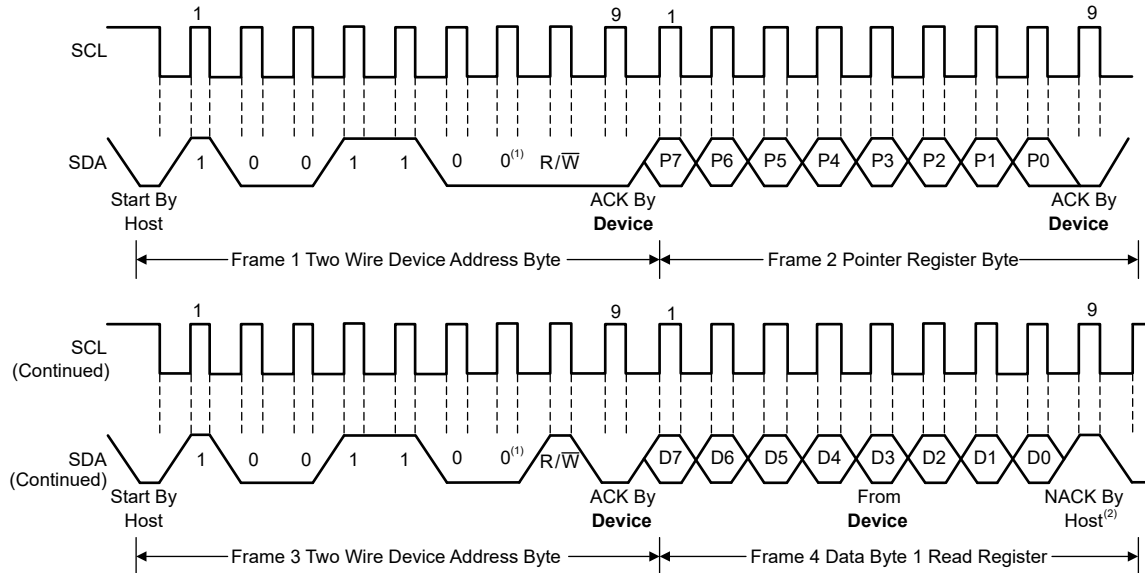
データ転送： 始動条件と停止条件の間に転送されるデータのバイト数は制限されておらず、コントローラ デバイスで決定されます。レシーバがデータ転送をアクノリッジします。

アクノリッジ： 受信側の各デバイスは、アドレス指定された場合、アクノリッジ ビットを生成する義務を負います。アクノリッジを行うデバイスは、アクノリッジ クロック パルスが HIGH の間、SDA ラインが安定して LOW を維持するように、SDA ラインをプルダウンする必要があります。セットアップおよびホールド時間を考慮してください。コントローラの受信では、コントローラがターゲットから送信された最後のバイトに対して非アクノリッジを生成することで、データ転送の終了を通知できます。



A. ターゲット アドレス 1001100 を示します。

図 7-8. ワード形式書き込みでの 2 線式タイミング図



- A. ターゲット アドレス 1001100 を示します。
B. 単一バイトの読み取り動作を終了するには、コントローラは SDA を High のままにする必要があります。

図 7-9. シングル バイト形式読み取りでの 2 線式タイミング図

7.5.1.3 シリアル バス アドレス

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスと通信するには、コントローラは最初にターゲット アドレス バイトを使用してターゲット デバイスをアドレス指定する必要があります。ターゲット アドレス バイトは、7 ビットのアドレスと、読み取りと書き込みのどちらを実行するかを示す方向ビットで構成されます。表 7-5 に示されているように、TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスは、A0、A1 ピンの接続に応じて、SMBus に最大 9 つのデバイスを接続することが可能です。A0 および A1 アドレス ピンは、これらのピンがフローティング状態に設定されているときに誤ったアドレス設定を避けるため、ノイズの多い信号や高周波信号のパターンから分離する必要があります。

表 7-5. TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP ターゲット アドレス オプション

A1 接続	A0 接続	ターゲット アドレス	
		2 進数	16 進
GND	GND	1001 000	48
GND	浮動	1001 001	49
GND	V+	1001 010	4A
浮動	GND	1001 011	4B
浮動	浮動	1001 100	4C
浮動	V+	1001 101	4D
V+	GND	1001 110	4E
V+	浮動	1001 111	4F
V+	V+	1010 000	50

7.5.1.4 読み取りおよび書き込み動作

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP の特定のレジスタにアクセスするには、ポインタ レジスタに対応する値を書き込みます。ターゲット アドレス バイトの後で、R/W ビットが Low のとき転送される最初のバイトが、ポインタ レジスタの値です。TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスでは、書き込み動作ごとにポインタ レジスタの値が必要です (図 7-8 を参照)。

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスから読み取りを行うときは、ポインタレジスタに最後に書き込まれた値により、どのレジスタを読み取るのか決定されます。読み取り操作で参照されるレジスタを変更するには、新しい値をポインタレジスタに書き込む必要があります。このトランザクションは、 $R/\overline{W}$ ビットを **Low** にしたターゲット アドレス バイトを送信し、その後にポインタレジスタのバイトを続けることで実行されます。追加のデータは必要ありません。その後、コントローラは始動条件を生成し、 $R/\overline{W}$ ビットを **High** に設定したターゲット アドレス バイトを送信して、読み取りコマンドを開始できます。このシーケンスの詳細については [図 7-9](#) を参照してください。

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスは、次の書き込み操作によって値が変更されるまで、ポインタレジスタ値を保持するため、同一のレジスタから繰り返し読み取りを行う場合は、ポインタレジスタ バイトをその都度送信する必要はありません。レジスタのバイトは、**MSB** から先に送信され、次に **LSB** が送信されます。ただし、シングル イベント アップセットやシングル イベント機能割り込みの影響を軽減するため、読み取り動作が実行されるたびに適切な値をポインタレジスタに書き込みます。ポインタレジスタに最後に格納された値に依存することで、1 つのイベントのアップセットによる読み取りが失敗する可能性が高くなります。

注

露出時間中は、すべての I^2C レジスタを連続的に読み出すことができます。しかし、毎回の読み取りの前に TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスをリセットすることを推奨します。デバイスをリセットしないと、TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスが予想どおりの精度で動作しない可能性があります。

読み取り操作を終了するには、最後に読み取るバイトの後に非アクノリッジコマンドを発行してください。シングル バイトの読み取り操作において、コントローラがターゲットから最初のバイトを読み取った際のアクノリッジ期間中、**SDA** ラインを **High** に保つ必要があることを示しています。

7.5.1.5 タイムアウト機能

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスは、**SCL** または **SDA** のいずれかが始動条件と停止条件の間に **25ms** (標準値) にわたって **Low** に保持されている場合、シリアル インターフェイスをリセットします。TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスがバスを **Low** に保持している場合、デバイスはバスを解放し、始動条件を待ちます。タイムアウト機能がアクティブになることを避けるため、**SCL** の動作周波数として、少なくとも **1kHz** の通信速度を維持する必要があります。

7.5.1.6 ハイスピード モード

2 線式バスを **1MHz** を超える周波数で動作させるため、コントローラ デバイスは、始動条件の後の最初のバイトとしてハイスピード (**HS モード**) モードのコントローラ コード (**0000 1xxx**) を発行し、バスをハイスピード動作に切り替える必要があります。TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスはこのバイトを認識しませんが、**SDA** ラインと **SCL** の入力フィルタ、**SDA** の出力フィルタが **HS** モードで動作するように切り替えることで、最大 **2.17MHz** での転送が可能になります。**HS** モードのコントローラ コードが発行された後、コントローラは 2 線式のターゲット アドレスを送信して、データ転送動作を開始します。バスは、停止条件が発生するまで **HS** モードで動作を継続します。停止条件を受信すると、TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスは入力と出力のフィルタを高速モード動作に戻します。

7.5.2 ゼネラル コール リセット

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスは、2 線式のゼネラルコール アドレス **00h (0000 0000b)** によるリセットをサポートしています。このデバイスは、ゼネラルコール アドレスをアクノリッジし、2 バイト目に応答します。2 バイト目が **06h (0000 0110b)** の場合、デバイスは [図 7-10](#) に示されているように、ソフトウェア リセットを実行します。このソフトウェア リセットは、すべてのレジスタにパワーオン リセット状態を復元し、進行中の変換をすべて中止します。TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスは、2 番目のバイトにある他の値に応答して、何も動作を行いません。

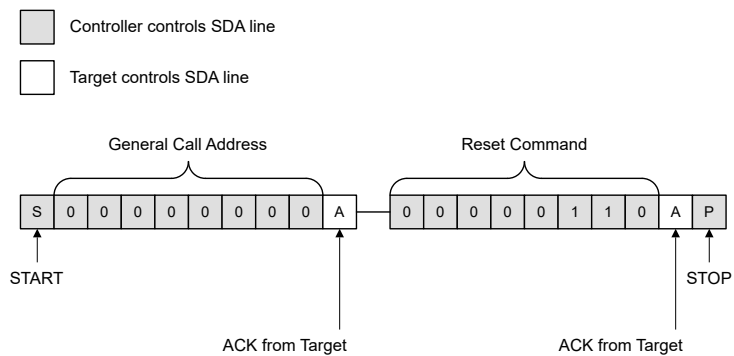


図 7-10. SMBus のゼネラル コールのリセット タイミング図

8 レジスタ マップ

表 8-1. レジスタ マップ

ポインタ読み取り (16 進数)	ポインタ書き込み (16 進数)	POR (16 進数)	ビットの詳細								レジスタの説明
			7	6	5	4	3	2	1	0	
00	該当なし	00	LT11	LT10	LT9	LT8	LT7	LT6	LT5	LT4	ローカル温度レジスタ (上位バイト)
01	該当なし	00	RT11	RT10	RT9	RT8	RT7	RT6	RT5	RT4	リモート温度レジスタ (上位バイト)
02	該当なし	該当なし	BUSY	LHIGH	LLOW	RHIGH	RLOW	オープン	RTHRM	LTHRM	ステータスレジスタ
03	09	00	MASK1	SD	ALERT/ THERM2	0	0	RANGE	0	0	構成レジスタ
04	0A	08	0	0	0	0	CR3	CR2	CR1	CR0	変換レートレジスタ
05	0B	7F	LTHL11	LTHL10	LTHL9	LTHL8	LTHL7	LTHL6	LTHL5	LTHL4	ローカル温度上限レジスタ
06	0C	80	LTLL11	LTLL10	LTLL9	LTLL8	LTLL7	LTLL6	LTLL5	LTLL4	ローカル温度下限レジスタ
07	0D	7F	RTHL11	RTHL10	RTHL9	RTHL8	RTHL7	RTHL6	RTHL5	RTHL4	リモート温度上限レジスタ (上位バイト)
08	0E	80	RTLL11	RTLL10	RTLL9	RTLL8	RTLL7	RTLL6	RTLL5	RTLL4	リモート温度下限レジスタ (上位バイト)
該当なし	0F	該当なし	X	X	X	X	X	X	X	X	ワンショット始動レジスタ (1)
10	該当なし	00	RT3	RT2	RT1	RT0	0	0	0	0	リモート温度レジスタ (下位バイト)
11	11	00	RTOS11	RTOS10	RTOS9	RTOS8	RTOS7	RTOS6	RTOS5	RTOS4	リモート温度オフセットレジスタ (上位バイト)
12	12	00	RTOS3	RTOS2	RTOS1	RTOS0	0	0	0	0	リモート温度オフセットレジスタ (下位バイト)
13	13	F0	RTHL3	RTHL2	RTHL1	RTHL0	0	0	0	0	リモート温度上限レジスタ (下位バイト)
14	14	00	RTLL3	RTLL2	RTLL1	RTLL0	0	0	0	0	リモート温度下限レジスタ (下位バイト)
15	該当なし	00	LT3	LT2	LT1	LT0	0	0	0	0	ローカル温度レジスタ (下位バイト)
16	16	03	0	0	0	0	0	0	REN	LEN	チャンネル イネーブル レジスタ
19	19	7F	RTH11	RTH10	RTH9	RTH8	RTH7	RTH6	RTH5	RTH4	リモート温度 THERM 制限レジスタ
20	20	7F	LTH11	LTH10	LTH9	LTH8	LTH7	LTH6	LTH5	LTH4	ローカル温度 THERM 制限レジスタ
21	21	0A	HYS11	HYS10	HYS9	HYS8	HYS7	HYS6	HYS5	HYS4	THERM ヒステリシス レジスタ
22	22	01	0	0	0	0	CONAL2	CONAL1	CONAL0	1	連続 ALERT レジスタ
23	23	00	NC7	NC6	NC5	NC4	NC3	NC2	NC1	NC0	η 係数補正レジスタ
24	24	00	0	0	0	0	0	0	DF1	DF0	デジタル フィルタ制御レジスタ
FE	該当なし	55	0	1	0	1	0	1	0	1	メーカー識別レジスタ

(1) X = 未定義。このレジスタに値を書き込むと、ワンショット開始が開始されます。「ワンショット変換」セクションを参照してください。

8.1 レジスタ情報

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスには、構成情報、温度の測定結果、ステータス情報を保持する複数のレジスタが含まれています。これらのレジスタについては、図 8-1 と 表 8-1 を参照してください。

8.1.1 ポインタ レジスタ

図 8-1 に、TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスの内部レジスタの構造を示します。8 ビットのポインタレジスタにより、データレジスタのアドレスを指定します。ポインタレジスタは、2 線式バス上の読み取り / 書き込みコマンドに対して、どのデータレジスタを応答させなければならないかを識別します。このレジスタは、書き込みコマンドごとに設定されます。読み取りコマンドを実行する前に、ポインタレジスタに適切な値を設定するために、書き込みコマンドを発行する必要があります。表 8-1 に、ポインタレジスタとレジスタの内部構造を示します。ポインタレジスタのパワーオン リセット (POR) 値は 00h (0000 0000b) です。

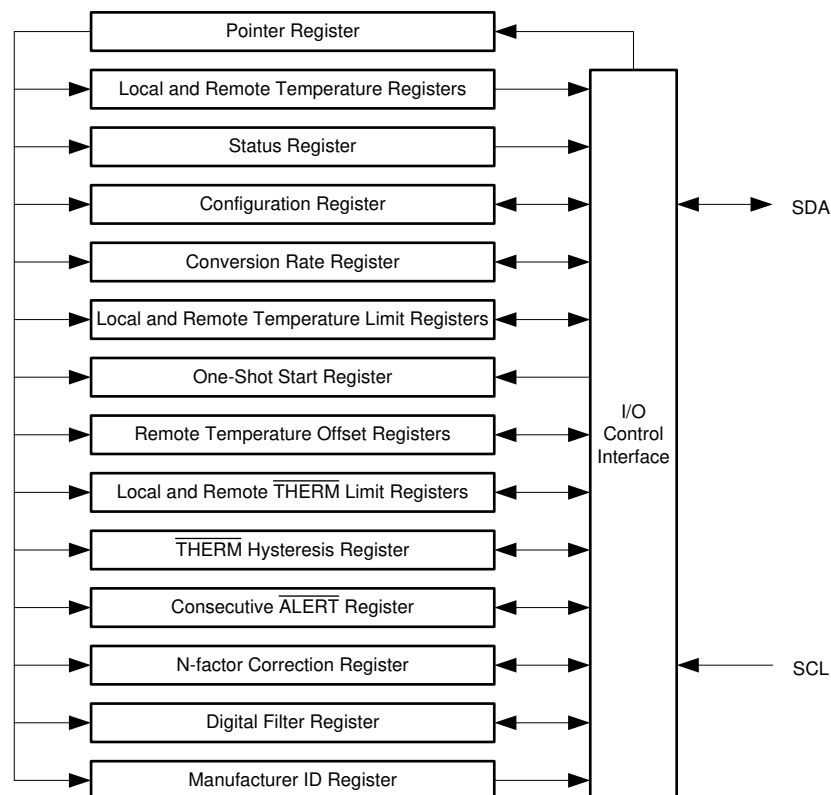


図 8-1. 内部レジスタの構造

8.1.2 ローカルおよびリモート温度レジスタ

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスには、温度測定結果を保持できる複数の 8 ビット レジスタがあります。ローカル温度センサの結果の上位 8 ビット (MSB) はレジスタ 00h に保存され、下位 4 ビット (LSB) はレジスタ 15h (レジスタ 15h の上位 4 ビット) に保存されます。リモート温度センサの結果の MSB 8 ビットはレジスタ 01h に保存され、4 つの LSB はレジスタ 10h (レジスタ 10h の上位 4 ビット) に保存されます。ローカル センサとリモート センサの下位 4 ビットは、10 進ポイントの後の温度値を示します (例えば、温度の結果が 10.0625°C の場合、上位バイトは 0000 1010、下位バイトは 0001 0000)。これらのレジスタは読み取り専用で、温度測定が完了するたびに ADC によって更新されます。

全温度の値が必要な場合、最初に MSB の値を読み取ると、LSB の値が読み取られるまで LSB の値がロックされます (ADC は値に書き込まれません)。最初に LSB 値を読み出したときも同じことが行われます (MSB の値は値が読み取られるまでロックされます)。このメカニズムは、読み取り操作の両方のバイトが同じ ADC 変換からのものであることを確認します。この保証は、別のレジスタが読み取られるまでのみ有効です。正常に動作させるには、最初に温度結果の上位バイト

を読み取ります。次の読み取りコマンドで下位バイトレジスタを読み取ります。LSB が不要な場合は、レジスタを読み取らないままにすることができます。すべての温度レジスタのパワーオンリセット値は 00h です。

8.1.3 ステータス レジスタ

ステータス レジスタは、温度 ADC、温度制限コンパレータ、およびリモート センサーへの接続の状態を報告します。表 8-2 に、ステータス レジスタのビットを示します。ステータス レジスタは読み取り専用であり、ポインタ アドレス 02h にアクセスすることによって読み取られます。

表 8-2. ステータス レジスタの形式

ステータス レジスタ (読み取り = 02h、書き込み = NA)		
ビット番号	ビット名	機能
7	BUSY	= 1 (ADC の変換中)
6	LHIGH ⁽¹⁾	= 1 (ローカル温度上限がトリップされた場合)
5	LLOW ⁽¹⁾	= 1 (ローカル温度下限がトリップされた場合)
4	RHIGH ⁽¹⁾	= 1 (リモート温度上限がトリップされた場合)
3	RLOW ⁽¹⁾	= 1 (リモート温度下限がトリップされた場合)
2	オープン ⁽¹⁾	= 1 (リモート センサが断線している場合)
1	RTHRM	= 1 (リモート THERM 制限がトリップした場合)
0	LTHRM	= 1 (ローカル THERM 制限がトリップした場合)

(1) ピン 10 が $\overline{\text{ALERT}}$ として構成されている場合、ステータス レジスタが読み取られるまで、または POR によってリセットされるまで、これらのフラグは high に維持されます。ピン 10 が $\overline{\text{THERM2}}$ として構成されている場合、ステータス レジスタが読み取られるまで、または POR によってリセットされるまで、ビット 2 (オープン) のみが high のままになります。

ADC が変換を行っている場合、BUSY ビット = 1 です。ADC が変換を行っていない場合、このビットは 0 に設定されます。

LHIGH および LLOW ビットは、それぞれローカル センサの過熱または低温イベントを示します。RHIGH および RLOW ビットは、それぞれリモート センサの過熱または低温イベントを示します。温度がアラート モードでサーム モードで上限を超えた場合に上位ビットがセットされ、アラート モードで温度が下限を下回ると下位ビットが設定されます。オープン ビットは、リモート センサの断線状態を示します。ピン 10 を $\overline{\text{ALERT}}$ 出力として構成した場合、5 つのフラグは互いに論理和されます。5 つのフラグのいずれかが high の場合、 $\overline{\text{ALERT}}$ 割り込みラッチがセットされ、 $\overline{\text{ALERT}}$ 出力が low になります。ステータス レジスタを読み取ると、これら 5 つのフラグは、フラグがセットされた原因となった条件がすでに解消されていればクリアされます (つまり、対応する結果レジスタの値が制限内にあり、リモート センサが正しく接続されて正常に動作している場合)。 $\overline{\text{ALERT}}$ 割り込みラッチ (および $\overline{\text{ALERT}}$ ピン) は、ステータス レジスタを読み取ってリセットされません。リセットは、コントローラが割り込みを処理するために温度センサ デバイスのアドレスを読み取ることで行われ、フラグがリセットされ、フラグが設定された原因となった状態が存在しなくなった場合にのみ行われます。

RTHRM および LTHRM フラグは、対応する温度がプログラムされた THERM 制限を超えるとセットされます。これらのフラグは、温度が制限範囲内に戻ると自動的にリセットされます。ローカルまたはリモート チャネルで過熱が発生すると、THERM 出力は low になり、測定値が再度制限範囲内になるとすぐに high になります。THERM ヒステリシス レジスタ (21h) を使用すると、ヒステリシスを追加できるので、温度が制限値からヒステリシス値を引いた値に戻ったとき、または下回ったときにフラグがリセットされ、出力が high になります。

ピン 10 を $\overline{\text{THERM2}}$ として構成している場合、上限のみが重要になります。それぞれの温度が制限値を超えると、LHIGH および RHIGH フラグが設定され、イベントを示すためにピンが low になります。LLOW および RLOW フラグは $\overline{\text{THERM2}}$ に影響を与えず、THERM として構成されている場合、出力は同じように動作します。

8.1.4 構成レジスタ

構成レジスタは温度範囲と $\overline{\text{ALERT}}/\text{THERM}$ モードを設定し、シャットダウン モードを制御します。構成レジスタは、ポインタ アドレス 09h に書き込むことによって設定され、ポインタ アドレス 03h から読み取ることによって読み取られます。構成レジスタのビットを、表 8-3 に示します。

表 8-3. 構成レジスタのビットの説明

構成レジスタ (読み取り = 03h、書き込み = 09h、POR = 00h)			
ビット番号	名称	FUNCTION	パワーオンリセット値
7	MASK1	0 = $\overline{\text{ALERT}}$ イネーブル 1 = $\overline{\text{ALERT}}$ マスク	0
6	SD	0 = 実行 1 = シャットダウン	0
5	$\overline{\text{ALERT}}/\text{THERM2}$	0 = $\overline{\text{ALERT}}$ 1 = THERM2	0
4:3	予約済み	—	0
2	RANGE	0 = $-40^{\circ}\text{C} \sim +127^{\circ}\text{C}$ 1 = $-64^{\circ}\text{C} \sim +191^{\circ}\text{C}$	0
1:0	予約済み	—	0

構成レジスタの MASK1 (ビット 7) は $\overline{\text{ALERT}}$ 出力をマスクします。MASK1 が 0 (デフォルト) の場合は、 $\overline{\text{ALERT}}$ 出力がイネーブルになります。MASK1 が 1 に設定された場合、 $\overline{\text{ALERT}}$ 出力は無効になります。この構成は、 $\overline{\text{ALERT}}/\text{THERM2}$ (ビット 5) の値が 0 (つまり、ピン 10 が $\overline{\text{ALERT}}$ 出力として構成されている場合) にのみ適用されます。ピン 10 が THERM2 出力として構成されている場合、MASK1 ビットの値は影響しません。

シャットダウン ビット (SD、ビット 6) は、温度測定回路をイネーブルまたはディセーブルにします。SD = 0 (デフォルト) の場合、TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスは、変換レート レジスタで設定されたレートで連続的に変換を行います。SD が 1 に設定されると、電流変換シーケンスが完了した際に、デバイスは変換を停止し、シャットダウン モードに移行します。SD が再度 0 に設定されると、デバイスは連続的な変換を再開します。SD = 1 の場合、ワンショット開始レジスタに書き込むことで単一の変換を開始できます。詳細については、[ワンショット始動レジスタ](#) セクションを参照してください。

$\overline{\text{ALERT}}/\text{THERM2}$ (ビット 5) はピン 10 の構成を設定します。 $\overline{\text{ALERT}}/\text{THERM2}$ ビットが 0 (デフォルト) の場合、ピン 10 は $\overline{\text{ALERT}}$ 出力として構成されます。このビットが 1 に設定されている場合、ピン 10 は THERM2 出力として構成されます。

温度範囲は、構成レジスタの RANGE (ビット 2) を構成することで設定されます。このビットを Low に設定する (デフォルト) と、TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスを標準測定範囲 ($-40^{\circ}\text{C} \sim +127^{\circ}\text{C}$) に構成し、温度変換は標準 2 進数形式で保存されます。ビット 2 を High に設定すると、デバイスが拡張測定範囲 ($-64^{\circ}\text{C} \sim +191^{\circ}\text{C}$) に構成され、温度変換は拡張 2 進数形式で保存されます (表 7-1 を参照)。構成レジスタの残りのビットは予約済みで、常に 0 に設定する必要があります。このレジスタのパワーオンリセット値は 00h です。

8.1.5 変換レート レジスタ

変換レート レジスタ (読み取りアドレス 04h、書き込みアドレス 0Ah) は、温度変換が実行されるレートを制御します。このレジスタは、変換間のアイドル時間を調整しますが、変換時間は調整せず、これによりデバイスの消費電力が温度レジスタの更新レートに合わせて調整されます。表 8-4 は変換レートのオプションとそれぞれの変換間の時間を一覧で示しています。レジスタのデフォルト値は 08h で、デフォルトレートは毎秒 16 回です。

表 8-4. 変換レート

値	秒あたりの変換数	時間 (秒)
00h	0.0625	16
01h	0.125	8
02h	0.25	4

表 8-4. 変換レート (続き)

値	秒あたりの変換数	時間 (秒)
03h	0.5	2
04h	1	1
05h	2	0.5
06h	4	0.25
07h	8	0.125
08h	16 (デフォルト)	0.0625 (デフォルト)
09h	32	0.03125

8.1.6 ワンショット始動レジスタ

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスがシャットダウン モード (構成レジスタで $SD = 1$) のとき、ワンショット開始レジスタ、ポインタ アドレス 0Fh に任意の値を書き込むことで、単一の変換が開始されます。この書き込み動作により、チャンネル イネーブル レジスタ (読み取りアドレス 16h、書き込みアドレス 16h) に設定されている LEN 値と REN 値に応じて、ローカル センサとリモート センサの両方、または一方または他方のセンサのみで、1 回の変換および比較サイクルが開始されます。デバイスは、サイクルが完了するとシャットダウン モードに戻ります。書き込みコマンドで送信されたデータの値は無関係であり、デバイスによって保存されることはありません。

8.1.7 チャンネル イネーブル レジスタ

チャンネル イネーブル レジスタ (読み取りアドレス 16h、書き込みアドレス 16h) は、リモートおよびローカル温度センサの温度変換をイネーブルまたはディセーブルにします。チャンネル イネーブル レジスタの LEN (ビット 0) は、ローカル温度の変換をイネーブル/ディセーブルします。チャンネル イネーブルレジスタの REN (ビット 1) は、リモート温度の変換をイネーブル/ディセーブルにします。LEN と REN の両方を 1 (デフォルト) に設定すると、ADC でローカルとリモートの両方の温度を変換できます。LEN が 0 に設定されている場合、ローカル温度変換はディセーブルになり、同様に REN が 0 に設定されている場合、リモート温度変換はディセーブルになります。

ローカル温度とリモート温度の両方が、デフォルト モードとして内部 ADC によって変換されます。チャンネル イネーブル レジスタは、リモートとローカルの両方の温度情報を必要としないアプリケーションの場合、ADC 変換の合計時間を半分に短縮することで消費電力を削減するように構成できます。

8.1.8 連続 ALERT レジスタ

連続 ALERT レジスタ (読み取りアドレス 22h、書き込みアドレス 22h) は、ALERT がアサートされるために必要な温度測定制限外回数を制御します。表 8-5 に、連続した ALERT レジスタの値を示します。連続した ALERT にプログラムされた値は、リモートとローカルの温度の結果の両方に適用されます。温度の結果が連続して上限レジスタ値を超える回数が、連続した ALERT レジスタに設定された値と等しくなると、ALERT がアサートされます。同様に、連続 ALERT レジスタ設定は下限レジスタにも適用されます。

表 8-5. 連続 ALERT

レジスタ値	ALERT をアサートするために必要な制限外測定の回数
01h	1 (デフォルト)
03h	2
07h	3
0Fh	4

8.1.9 η 係数補正レジスタ

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスでは、リモート チャンネルの測定値を温度に変換する際に、異なる η 係数の値を使用できます。リモート チャンネルはシーケンシャルな電流励起を使用して差動 V_{BE} 電圧測定を抽出し、リモート トランジスタの温度を決定します。式 1 に、この電圧と温度を示します。

$$V_{BE2} - V_{BE1} = \frac{\eta k T}{q} \ln\left(\frac{I_2}{I_1}\right) \quad (1)$$

式 1 内の値 η は、リモート チャネルに使用される特定のトランジスタの特性です。TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスのパワーオンリセット値は $\eta = 1.008$ です。 η 係数補正レジスタの値を使用して、式 2 と 式 3 に従って実効 η 係数を調整できます。

$$\eta_{\text{eff}} = \left(\frac{1.008 \times 2088}{2088 + N_{\text{ADJUST}}} \right) \quad (2)$$

$$N_{\text{ADJUST}} = \left(\frac{1.008 \times 2088}{\eta_{\text{eff}}} \right) - 2088 \quad (3)$$

η 係数の補正值は 2 の補数形式で格納する必要があり、これにより有効なデータ範囲は -128 から 127 となります。H 係数は、ポインタ アドレス 23h に書き込まれ、そこから読み取られます。レジスタのパワーオンリセット値は 00h であるため、レジスタに別の値が書き込まれない限り効果はありません。 η 係数レジスタの分解能は 0.000483 です。

表 8-6. η 係数範囲

N _{ADJUST}			η
2 進数	16 進	10 進数	
0111 1111	7F	127	0.950205
0000 1010	0A	10	1.003195
0000 1000	08	8	1.004153
0000 0110	06	6	1.005112
0000 0100	04	4	1.006073
0000 0010	02	2	1.007035
0000 0001	01	1	1.007517
0000 0000	00	0	1.008
1111 1111	FF	-1	1.008483
1111 1110	FE	-2	1.008966
1111 1100	FC	-4	1.009935
1111 1010	FA	-6	1.010905
1111 1000	F8	-8	1.011877
1111 0110	F6	-10	1.012851
1000 0000	80	-128	1.073829

8.1.10 リモート温度オフセット レジスタ

オフセット レジスタにより、TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスは高精度キャリブレーションによるシステム オフセット補償値を保存できます。レジスタの値は、温度の結果と同じ形式で保存され、変換時にリモート温度の結果に加算されます。 η 係数補正と組み合わせると、温度範囲全体にわたって正確なシステム キャリブレーションが可能になります。

8.1.11 メーカー識別レジスタ

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスでは、2 線式バス コントローラがデバイスのメーカー ID とデバイス ID を照会して、特定の 2 線式バス アドレスでデバイスのソフトウェア識別を有効にできます。メーカー ID は、ポインタ アドレス FEh から読み取ることで取得されます。デバイスは、メーカー コードの読み取り値が 55h です。

9 アプリケーションと実装

注

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

9.1 使用上の注意

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスでは、リモート温度測定用に D+ ピンと D- ピンの間にトランジスタを接続するだけです。リモート チャネルを使用せず、ローカル温度のみが測定される場合、D+ ピンを D- または GND に接続してください。SDA ピン、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピン、THERM ピン (オープンドレイン出力で駆動される場合は SCL も) には、通信バスの一部としてプルアップ抵抗が必要です。ローカル バイパス用に、0.1 μF の電源デカップリング コンデンサを使用することが推奨されています。TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP のプロセッサ内蔵リモート トランジスタを使用した基本的な接続 に、デバイスの代表的な構成を示します。

詳細については、以下のアプリケーション ノートを参照してください:『宇宙グレードの温度センシング設計を最適化する方法』。

9.2 代表的なアプリケーション

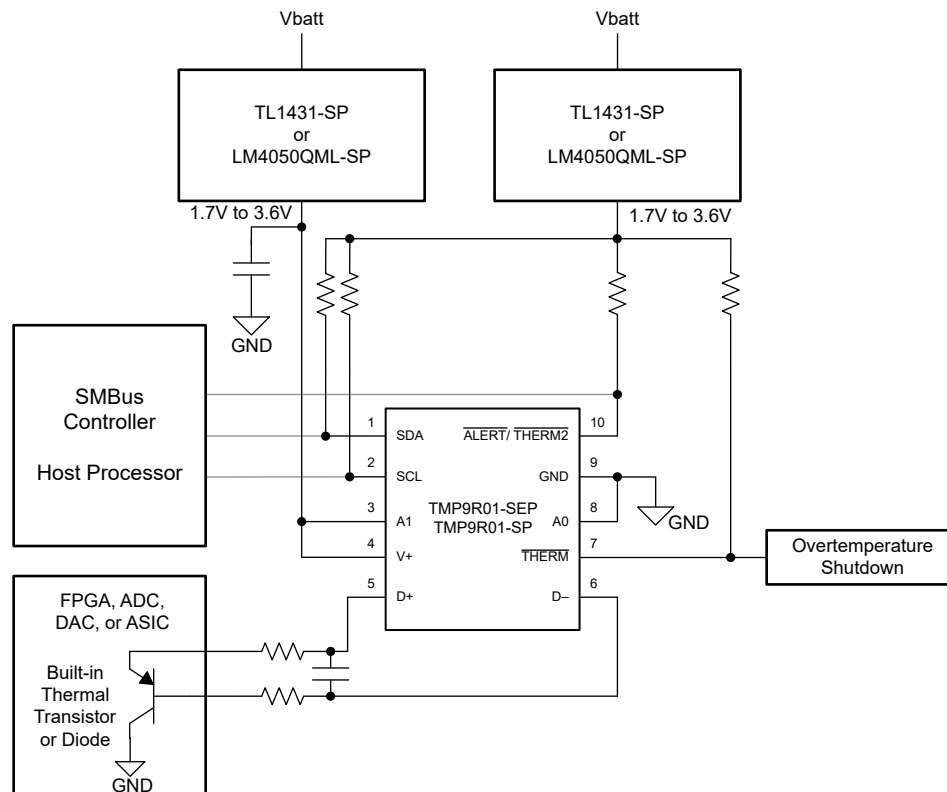


図 9-1. TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP のプロセッサ内蔵リモート トランジスタを使用した基本的な接続

9.2.1 設計要件

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスは、プロセッサ チップや特定用途向け集積回路 (ASIC) に組み込まれた個別のトランジスタまたはサブストレート トランジスタと組み合わせて使用するよう設計されています。ベース-エミッタ

接合をリモート温度感知として使用する限り、NPN または PNP トランジスタのいずれも使用できます。NPN トランジスタはダイオード接続する必要があります。PNP トランジスタは、トランジスタ接続でもダイオード接続でも問題ありません (図 7-1 を参照)。D+ ピンの波形を図 9-2 に示します。トランジスタは D+ ピンと D- ピンの間に接続します。図 7-2 に示すように 3 つの異なるソース電流があるため、温度変換中の D+ 波形には 3 つのレベルの電圧があります。

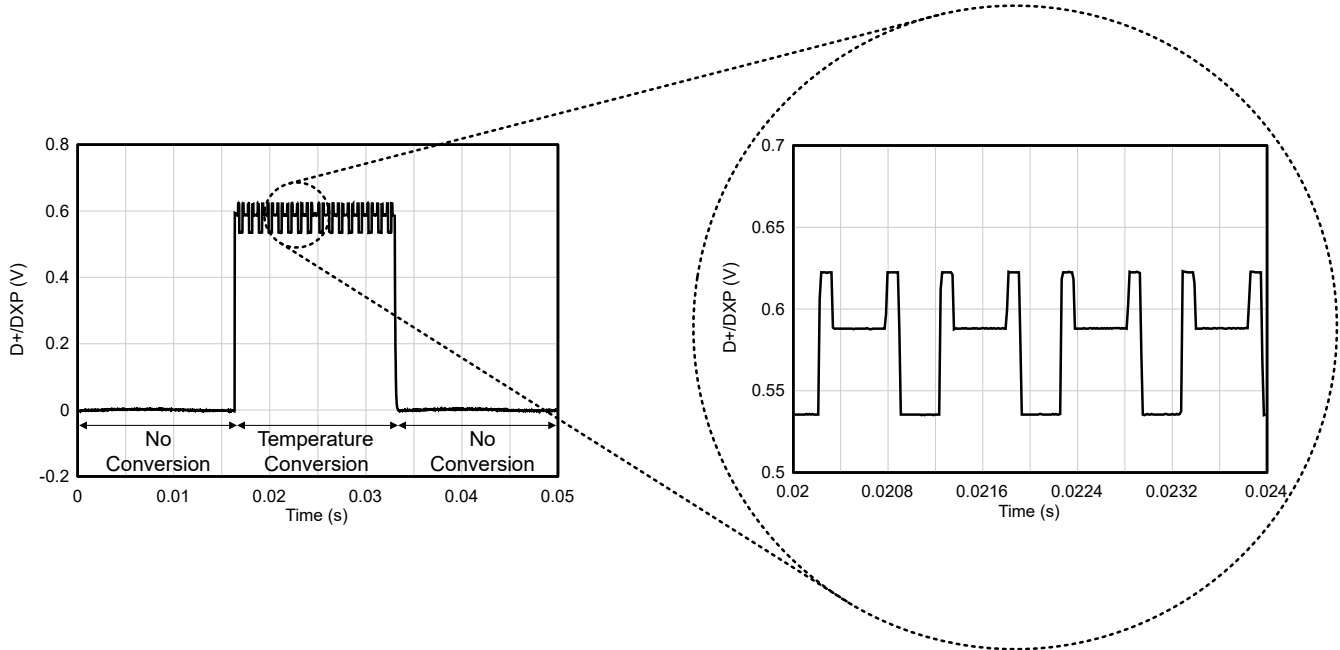


図 9-2. D+ 波形

リモート温度センサの読み取り値の誤差は、通常、デバイスで使用される理想係数と電流励起と、特定のトランジスタに対してメーカーが指定した動作電流の結果です。一部のメーカーでは、温度センシング用サブストレートトランジスタに高レベル電流と低レベル電流を指定しています。デバイスは、 I_{LOW} で $7.5\mu\text{A}$ 、 I_{HIGH} で $120\mu\text{A}$ を使用します。

理想係数 (η) とは、理想ダイオードと比較した場合のリモート温度センサのダイオードの特性を示す測定値です。TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスでは、さまざまな η 係数値を使用できます。「[η 係数補正レジスタ](#)」セクションを参照してください。

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスの理想係数は 1.008 にトリムされています。デバイスと一致しない理想係数を持つトランジスタの場合は、式 4 は、温度誤差を計算するために使用できます。

注

式 4 を正しく使用するには、実際の温度 (°C) をケルビン (K) に変換する必要があります。

$$T_{\text{ERR}} = \left(\frac{\eta - 1.008}{1.008} \right) \times (273.15 + T(^{\circ}\text{C})) \quad (4)$$

ここで、

- T_{ERR} = TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスの誤差 ($\eta \neq 1.008$ であるため)、
- η = リモート温度センサの理想係数、
- $T(^{\circ}\text{C})$ = 実際の温度、および

式 4 では、温度差は °C と °K で同じです。

$\eta = 1.004$ 、 $T(^{\circ}\text{C}) = 100^{\circ}\text{C}$ の場合:

$$T_{ERR} = \left(\frac{1.004 - 1.008}{1.008} \right) \times (273.15 + 100^\circ\text{C}) \quad T_{ERR} = -1.48^\circ\text{C} \quad (5)$$

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスのリモート温度センサとしてディスクリートトランジスタを使用する場合、以下の基準に従ってトランジスタを選択することで、最も高い精度を実現できます。

1. ベース エミッタ電圧 > 0.25V、7.5μA、最高検出温度時。
2. ベース エミッタ電圧 < 0.95V、120μA、最低検出温度時。
3. ベース抵抗は 100Ω 未満です。
4. わずかな h_{FE} 変動 (50~150) で示される V_{BE} 特性を厳密に制御する

この基準に基づいて推奨される 2 つの小信号トランジスタは、2N3904 (NPN) または 2N3906 (PNP) です。

9.2.2 詳細な設計手順

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイス内部のローカル温度センサは、デバイスの周囲気温を監視します。デバイスの熱時定数は約 1.1 秒です。この定数は、周囲気温が急速に 100°C 変化した場合、デバイスが最終的な温度に対して 1°C 以内に収束するまでに約 5.5 秒 (5 つの熱時定数に相当) にかかることを意味します。ほとんどのアプリケーションでは、TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP パッケージはプリント基板 (PCB) と電気的、および熱的に接触しており、強制 airflow にさらされています。測定温度の精度は、PCB と強制 airflow 温度が、デバイスが測定している温度をどれだけ正確に表しているかに直接依存します。さらに、デバイスの内部消費電力によって、温度が周囲温度や PCB 温度を上回る可能性があります。使用される電流が小さいため、リモート温度センサの励起による内部消費電力は無視できるほどわずかです。式 6 は、1 秒あたりの変換数と温度センサ チャネルが有効なことに基づいて、消費電力と自己発熱の平均変換電流を計算するために使用できます。代表的なアプリケーションに、ローカルとリモートのセンサ チャネルが有効で、毎秒 16 回の変換を行う例を示します。これらの計算に必要な標準値については、セクション 6.5 の表を参照してください。3.3V 電源で、毎秒 16 回の変換レートの場合、リモート チャネルとローカル チャネルの両方が有効になっているとき、TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスは 0.531mW ($PD_{IQ} = 3.3V \times 161\mu A$) を消費します。

$$\begin{aligned} \text{Average Conversion Current} = & (\text{Local ADC Conversion Time}) \times (\text{Conversions per Second}) \times (\text{Local Active } I_Q) \\ & + (\text{Remote ADC Conversion Time}) \times (\text{Conversions per Second}) \times (\text{Remote Active } I_Q) \\ & + (\text{Standby Mode } I_Q) \times [1 - (\text{Local ADC Conversion Time} + \text{Remote ADC Conversion Time}) \times (\text{Conversions per Second})] \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{Average Conversion Current} = (15\text{ms}) \left(\frac{16}{s} \right) \times (240\mu A) \quad (7)$$

$$+ (15\text{ms}) \times \left(\frac{16}{s} \right) (400\mu A) \quad (8)$$

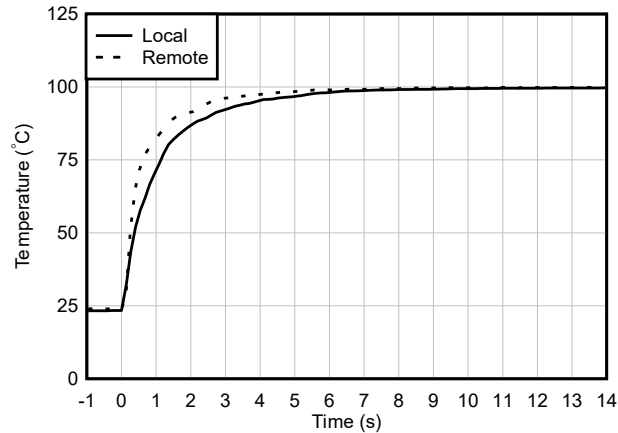
$$+ (15\mu A) \times \left[1 - (15\text{ms} + 15\text{ms}) \times \left(\frac{16}{s} \right) \right] \quad (9)$$

$$= 161\mu A \quad (10)$$

デバイスの温度測定精度は、リモート温度センサとローカル温度センサが監視対象のシステム ポイントと同じ温度にあるかどうかによって決まります。温度センサが監視対象のシステム部分と良好な熱接触をしていない場合、センサの応答とシステムの温度変化の間に遅延が生じます。この遅延は、通常、監視対象デバイスの近くに配置された基板トランジスタ (または小型の SOT23 トランジスタ) を使用するリモート温度検知アプリケーションでは問題になりません。

9.2.3 アプリケーション曲線

図 9-3 に室温 (25°C) で 100°C の油槽に浸けたときの TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスのステップ応答を示します。時定数、つまり出力が入力ステップの 63% に達するまでの時間は、ローカル センサの場合は約 1.1 秒、リモート ダイオード センサの場合は約 0.6 秒です。実際の時定数は、デバイスが実装されているプリント基板 (PCB) のサイズによって変わります。このテストでは、大きさ 0.5 インチ (1.27cm) × 0.5 インチ (1.27cm) の 2 層 PCB にデバイスを半田付けしています。



ローカル: 62mil 2層 FR4 PCB 上に半田付けされたデバイス
リモート: 2N3906 PNP トランジスタで特性評価されています

図 9-3. 温度ステップ応答

9.3 放射線環境

放射線環境で製品を使用する際は、環境条件に十分配慮する必要があります。

注

露出時間中は、すべての I²C レジスタを連続的に読み出すことができます。しかし、毎回の読み取りの前に TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスをリセットすることを推奨します。デバイスをリセットしないと、デバイスが予想どおりの精度で動作しない可能性があります。

9.3.1 シングル イベント ラッチアップ

EIA/JEDEC 規格、EIA/JEDEC57 に従って、ワンタイム シングル イベント ラッチアップ (SEL) テストを実施しました。「特長」に示す線形エネルギー転送スレッショルド (LET_{th}) は、LET でテストした最大値です。TMP9R01-SEP シングル イベント効果 (SEE) 放射線テスト レポート および TMP9R01-SP シングル イベント効果 (SEE) 放射線テスト レポートにテストレポートが記載されています。

9.3.2 シングル イベント機能割り込み

シングル イベント アップセットとシングル イベント機能割り込みの影響を軽減するため、読み取り動作が実行されるたびに適切な値をポインタレジスタに書き込みます。ポインタレジスタに最後に格納された値に依存することで、1つのイベントのアップセットによる読み取りが失敗する可能性が高くなります。

温度制限レジスタなど、他の機能を使用している場合は、時々これらのレジスタに書き込みを行う必要がある場合があります。

9.3.3 シングル イベント アップセット

シングル イベント アップセット (SEU) のレポートは、TMP9R01-SEP シングル イベント効果 (SEE) 放射線テスト レポートに掲載されています。

9.4 電源に関する推奨事項

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスは、電源電圧範囲 1.7V ~ 3.6V で動作します。このデバイスは 3.3V 電源で動作するように最適化されていますが、電源電圧範囲全体にわたって正確に温度を測定できます。

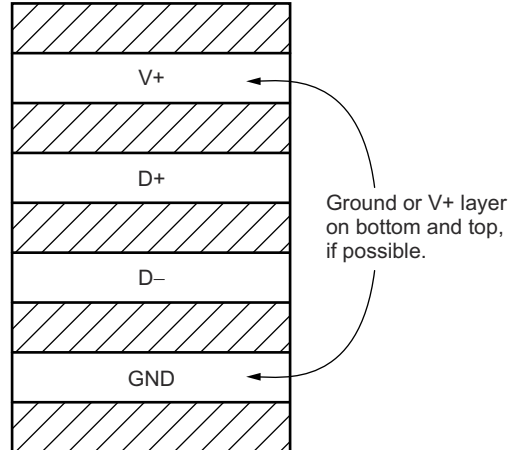
電源バイパス コンデンサを推奨します。このコンデンサは、デバイスの電源ピンとグランドピンにできるだけ近づけて配置します。この電源バイパス コンデンサの標準値は 0.1μF です。ノイズが多い、またはインピーダンスが高い電源を使ったアプリケーションでは、デカップリング コンデンサの追加による電源ノイズの除去が必要な場合があります。

9.5 レイアウト

9.5.1 レイアウトのガイドライン

TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスのリモート温度センシングは、非常に低い低電流を使用して非常に低い小さな電圧を測定するため、デバイス入力でのノイズを最小限に抑える必要があります。デバイスを使用するほとんどのアプリケーションは、ノイズ環境を引き起こす複数のクロックとロジックレベルの遷移を伴う高デジタル コンテンツを含んでいます。レイアウトは、以下のガイドラインに従う必要があります。

1. TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスは、リモート接合部センサのできるだけ近くに配置します。
2. 図 9-4 に示すように、D+ と D- のトレースは隣り合わせに配線し、グランドガードトレースを使用して隣接する信号から遮蔽します。多層 PCB を使用する場合は、グランド プレーンまたは V+ プレーンの間にこれらのトレースを埋め込んで、外来ノイズ源からプレーンを遮蔽します。5mil (0.127mm) の PCB パターンを推奨します。
3. 銅とはんだの接続によって生じる余分な熱電対接合を最小限に抑えます。これらの接合を使用する場合は、熱電対効果を打ち消すために、D+ と D- の両方の接続において、銅とはんだの接続を同じ数およびおおよその位置で行います。
4. デバイスの V+ と GND の間に、0.1μF のローカル バイパス コンデンサを直接接続します。最適な測定性能を得るには、D+ と D- 間のフィルタ容量を 1000pF 以下に最小限に抑えます。この容量には、リモート温度センサとデバイス間のケーブル容量も含まれます。
5. リモート温度センサとデバイス間の接続の長さが 8 インチ (20.32cm) 未満の場合は、ツイストペア接続を使用します。長さが 8 インチ (20.32cm) を超える場合は、ツイスト シールド ペアを使用し、シールドはデバイスの可能な限り近くで接地します。ループが接地されたり、60Hz のノイズを拾ったりしないように、シールドワイヤのリモート センサ接続端は空けておきます。
6. D+ と GND の間、または D+ と V+ の間のリーケージパスによる温度オフセットの読み取り値を回避するため、TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP デバイスのピン内とピン周辺のすべての磁束残留物を徹底的にクリーニングし、除去します。



注: 5mil 以上のパターンを 5mil (0.127mm) 以上の間隔を使用します。

図 9-4. 推奨される PCB 層の断面図

9.5.2 レイアウト例

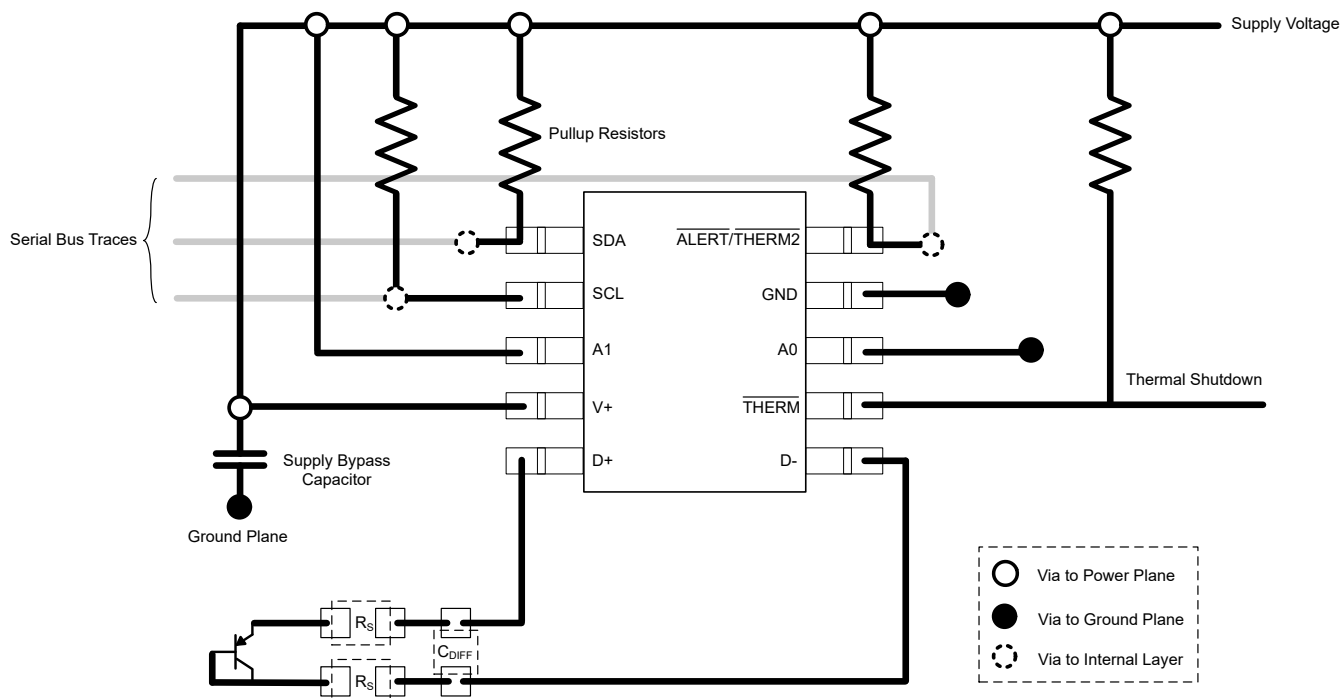


図 9-5. TMP9R01-SEP および TMP9R01-SP のレイアウト例

10 デバイスおよびドキュメントのサポート

10.1 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。

10.2 関連資料

関連資料については、以下を参照してください。

- テキサス インスツルメンツ、『[TMP461-SP 放射線耐性保証 \(RHA\)](#)、高精度リモート / ローカル温度センサ』、データシート
- テキサス インスツルメンツ、『[TMP9R01-SP シングル イベント効果 \(SEE\) 放射線テスト レポート](#)』、放射線レポート。
- テキサス インスツルメンツ、『[TMP9R01-SEP シングル イベント効果 \(SEE\) 放射線テスト レポート](#)』、放射線レポート。
- テキサス インスツルメンツ、『[TMP9R01-SEP 総電離線量 \(TID\) レポート](#)』、放射線レポート
- テキサス インスツルメンツ、『[TMP9R01 評価基板](#)』、評価基板ユーザー ガイド
- テキサス インスツルメンツ、『[リモート温度センサトランジスタの選択ガイド](#)』、アプリケーション ノート
- テキサス インスツルメンツ、『[宇宙グレードの温度センシング設計を最適化する方法](#)』、アプリケーション ノート
- テキサス インスツルメンツ、『[TI 宇宙認定温度センサ製品選択ガイド](#)』

10.3 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、設計に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。

10.4 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。

10.5 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。

10.6 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。

11 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 JULY 25, 2025 to JULY 8, 2026 (from Revision * (July 2025) to Revision A (May 2026))

Page

- | | Page |
|---|------|
| • リリースされた TMP9R01-SP デバイスを含めてドキュメントを更新..... | 1 |

12 メカニカル、パッケージ、および注文情報

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

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)
5962R1721802PYE	Active	Production	VSSOP (DGS) 10	250 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-55 to 125	Q802
TMP9R01DGS/EM	Active	Production	VSSOP (DGS) 10	3000 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-55 to 125	9REM
TMP9R01MDGSTSEP	Active	Production	VSSOP (DGS) 10	250 SMALL T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-55 to 125	9R01
V62/24615-01XE	Active	Production	VSSOP (DGS) 10	250 SMALL T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-55 to 125	9R01

⁽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.

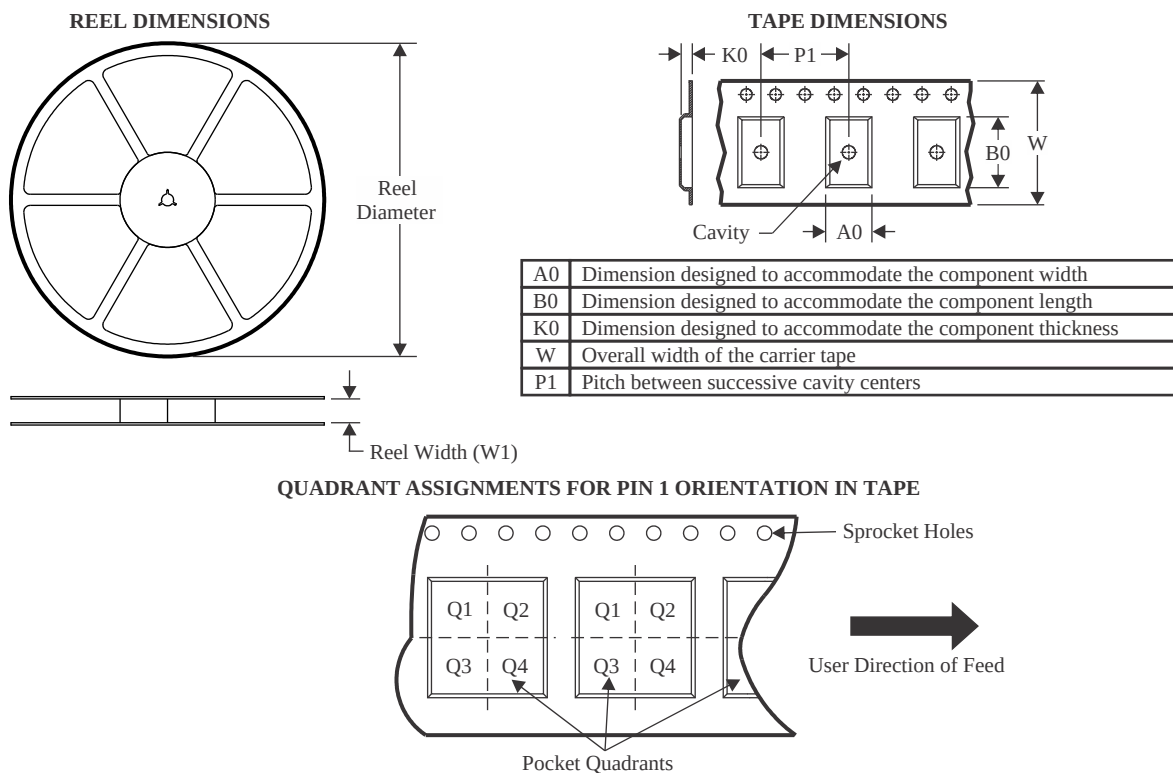
OTHER QUALIFIED VERSIONS OF TMP9R01-SEP, TMP9R01-SP :

- Catalog : [TMP9R01-SEP](#)
- Space : [TMP9R01-SP](#)

NOTE: Qualified Version Definitions:

- Catalog - TI's standard catalog product
- Space - Radiation tolerant, ceramic packaging and qualified for use in Space-based application

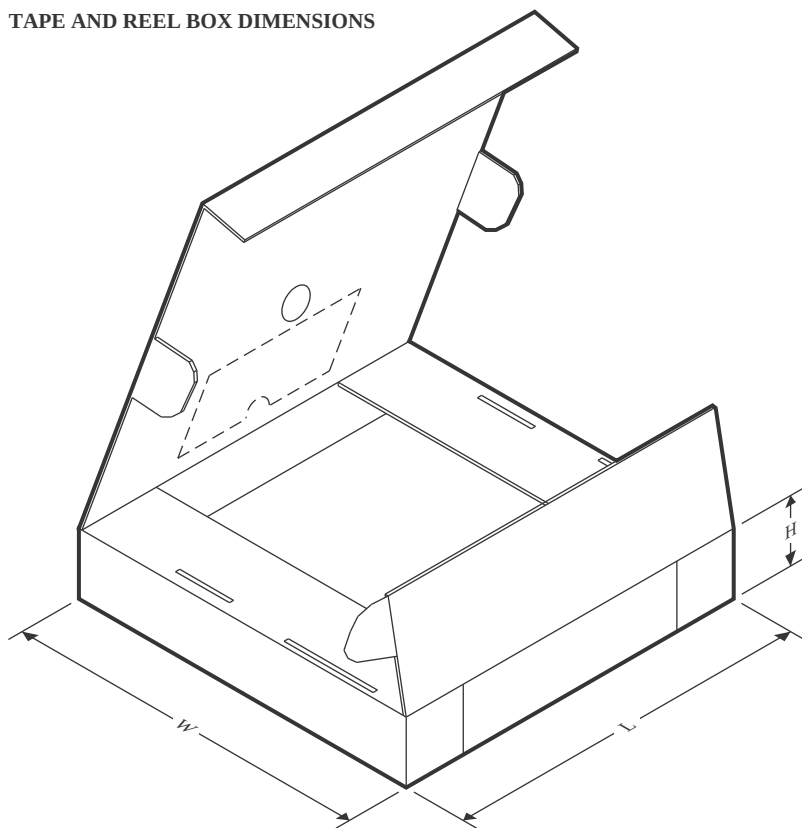
TAPE AND REEL INFORMATION



*All dimensions are nominal

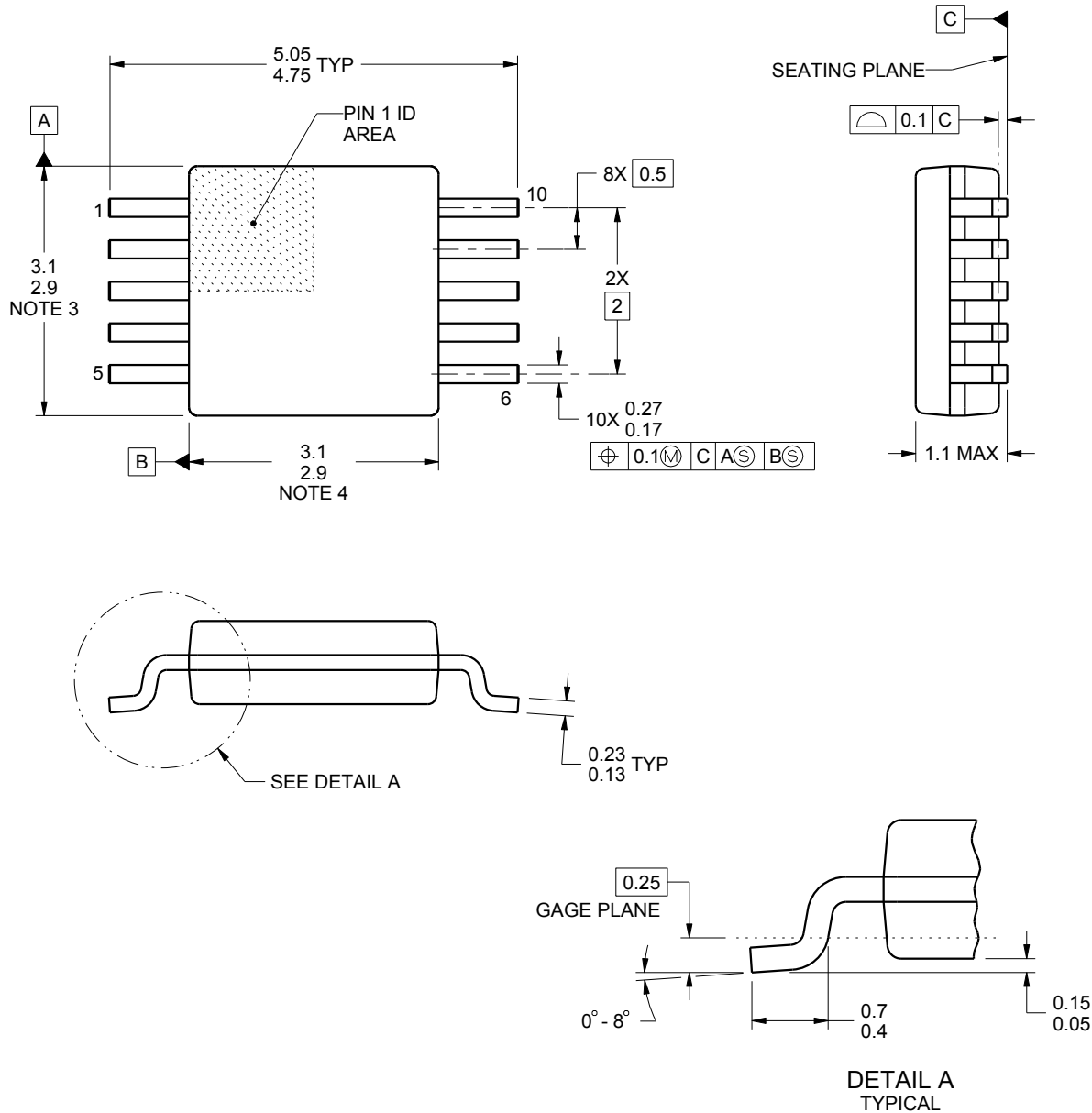
Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
5962R1721802PYE	VSSOP	DGS	10	250	178.0	12.4	5.3	3.4	1.4	8.0	12.0	Q1
TMP9R01DGS/EM	VSSOP	DGS	10	3000	178.0	12.4	5.3	3.4	1.4	8.0	12.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
5962R1721802PYE	VSSOP	DGS	10	250	208.0	191.0	35.0
TMP9R01DGS/EM	VSSOP	DGS	10	3000	208.0	191.0	35.0



4221984/A 05/2015

NOTES:

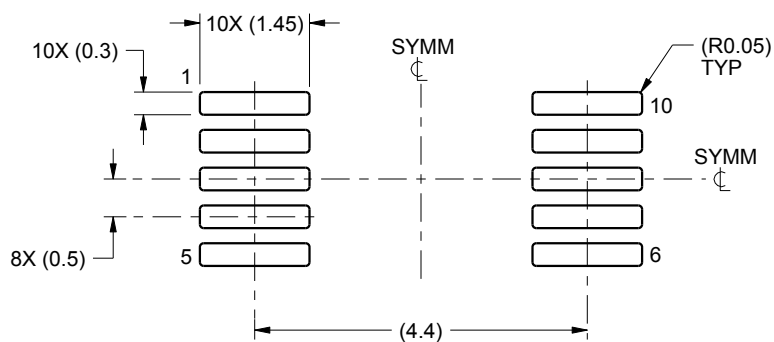
1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. This dimension does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or 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.

EXAMPLE BOARD LAYOUT

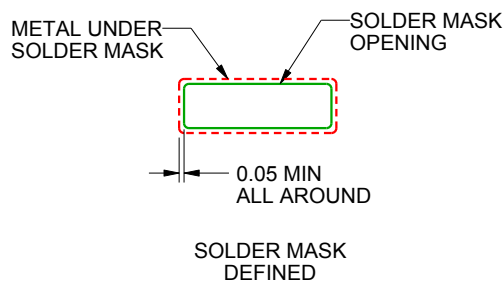
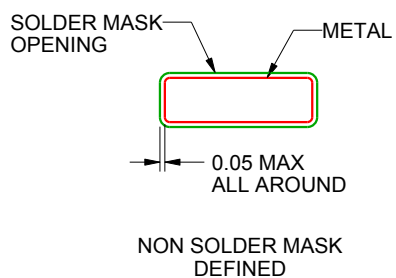
DGS0010A

VSSOP - 1.1 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



LAND PATTERN EXAMPLE
SCALE:10X



SOLDER MASK DETAILS
NOT TO SCALE

4221984/A 05/2015

NOTES: (continued)

6. Publication IPC-7351 may have alternate designs.

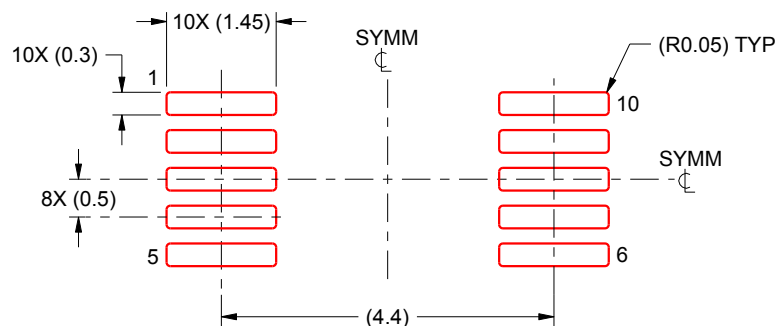
7. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.

EXAMPLE STENCIL DESIGN

DGS0010A

VSSOP - 1.1 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



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みいかなる保証も、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、TI は一切の責任を拒否します。

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](https://www.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 © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月