具有 N 因数和串联电阻校正的 TMP411-Q1 ±1°C 和 TMP411D-Q1 ±0.8°C 远程和本地温度传感器

1 特性

- 符合汽车应用要求
- 具有符合 AEC-Q100 标准的下列特性
  - 器件温度等级 1：–40°C 至 125°C 环境工作温度范围
  - 器件 HBM ESD 分类等级 H2
  - 器件 CDM ESD 分类等级 C4B
- **TMP411-Q1**：
  - ±1°C 本地（片上）温度精度
  - ±1°C 远程结温精度
  - 电源电压范围：2.7V 至 5.5V
  - 采用 8 引脚 VSSOP 封装
- **TMP411D-Q1**：
  - ±0.8°C 本地（片上）温度精度
  - ±0.8°C 远程结温精度
  - 电源电压范围：1.62V 至 5.5V
  - 采用 8 引脚 SOT-23 封装
- I^2C 接口（兼容 SMBus 接口）
  - 可编程分辨率：9 至 12 位
  - 多接口地址
- 集成校准/保护特性：
  - 可编程非理想因数
  - 串联电阻抵消
  - 远程 BJT/二极管故障检测
  - 警报功能
    - $\overline{\text{ALERT}}/\overline{\text{THERM2}}$ 引脚配置
  - 可编程阈值限制
  - 最小和最大温度监控器

2 应用

- 高级驾驶辅助系统 (ADAS)
- 车身电子装置和照明
- 信息娱乐系统与仪表组
  - 音响主机和数字驾驶舱
  - 汽车显示屏
- 混合动力、电动和动力总成系统
- 处理器和 FPGA 温度监测

3 说明

TMP411-Q1/TMP411D-Q1 是具有内置本地温度传感器的远程温度传感器监视器。用作远程温度传感器、采用二极管连接的晶体管通常是低成本、NPN 或 PNP 类型的晶体管或二极管，是微控制器、微处理器或 FPGA 必不可少的组成部分。

针对多个 IC 制造商的远程精度均为 ±1°C (TMP411-Q1) 或 ±0.8°C (TMP411D-Q1)，无需校准。两线制串行接口可接受 SMBus 写入字节、读取字节、发送字节和接收字节命令，以便对警报阈值进行编程并读取温度数据。

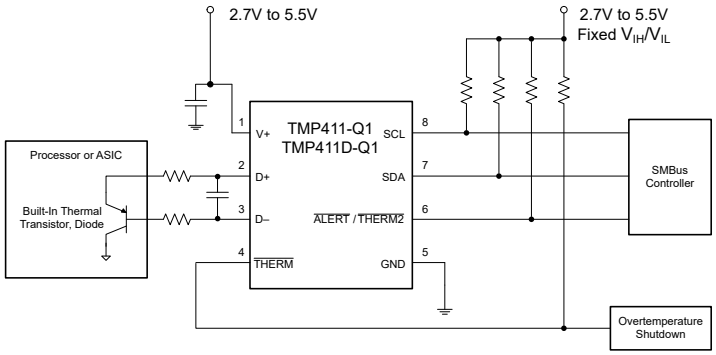
TMP411-Q1/TMP411D-Q1 中包括的功能是：串联电阻抵消、可编程非理想因数、可编程分辨率、可编程阈值限制、最小和最大温度监视器、宽远程温度测量范围（高达 150°C）、二极管故障检测和温度报警功能。

TMP411-Q1 采用 VSSOP-8 封装，TMP411D-Q1 采用 SOT23-8 封装。

封装信息

器件型号	封装(1)	封装尺寸(2)
TMP411-Q1	DGK（VSSOP，8）	3.00mm × 4.90mm
TMP411D-Q1	DDF（SOT23，8）	2.9mm × 2.8mm

(1) 有关所有可用封装，请参阅节 12。
(2) 封装尺寸（长 × 宽）为标称值，并包括引脚（如适用）。



简化版原理图

内容

1 特性 1
2 应用 1
3 说明 1
4 器件比较 3
5 引脚配置和功能 5
6 规格 6
6.1 绝对最大额定值 6
6.2 ESD 等级 6
6.3 建议运行条件 6
6.4 热性能信息 6
6.5 电气特性 (TMP411-Q1) 7
6.6 电气特性 (TMP411D-Q1) 9
6.7 计时特点 11
6.8 时序图 11
6.9 典型特性 (TMP411-Q1) 12
6.10 典型特性 (TMP411D-Q1) 16
7 详细说明 19
7.1 概述 19
7.2 功能方框图 20
7.3 特性说明 20
7.4 器件功能模式 24
7.5 编程 25
8 寄存器映射 30
8.1 寄存器信息 32
8.2 指针寄存器 32
8.3 温度寄存器 32
8.4 限值寄存器 32
8.5 状态寄存器 33
8.6 配置寄存器 34
8.7 分辨率寄存器 35
8.8 转换速率寄存器 35
8.9 N 因数校正寄存器 36
8.10 最小值和最大值寄存器 37
8.11 连续警报寄存器 37
8.12 $\overline{\text{THERM}}$ 迟滞寄存器 37
8.13 标识寄存器 38
9 应用和实施 39
9.1 应用信息 39
9.2 典型应用 39
9.3 电源相关建议 43
9.4 布局 43
10 器件和文档支持 45
10.1 文档支持 45
10.2 接收文档更新通知 45
10.3 支持资源 45
10.4 商标 45
10.5 静电放电警告 45
10.6 术语表 45
11 修订历史记录 46
12 机械、封装和可订购信息 48

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

4 器件比较

表 4-1. 器件比较

特性	TMP411-Q1	TMP411D-Q1 (2) (4)	TMP421-Q1	TMP451-Q1 (1) (4)
V_{DD} (V)	2.7 至 5.5	1.62 至 5.5	2.7 至 5.5	1.7 至 3.6
本地温度精度 (°C)				
-40°C (最大值)	±2.5 (2)	±1	±2.5 (2)	±2
-25°C (最大值)	±2.5 (2)	±0.8	±2.5 (2)	±2
-10°C (最大值)	±2.5 (2)	±0.8	±2.5 (2)	±2
0°C (最大值)	±2.5 (2)	±0.8	±2.5 (2)	±1
15°C (最大值)	±1 (1)	±0.8	±1.5 (1)	±1
70°C (最大值)	±1 (1)	±0.8	±1.5 (1)	±1
85°C (最大值)	±1 (1)	±0.8	±1.5 (1)	±2
100°C (最大值)	±2.5 (2)	±1	±2.5 (2)	±2
125°C (最大值)	±2.5 (2)	±1	±2.5 (2)	±2
远程温度精度 (°C)				
-40°C (最大值)	±3 (1) (3)	±1	±3 (1) (3)	±2
-25°C (最大值)	±3 (1) (3)	±0.8	±3 (1) (3)	±2
-10°C (最大值)	±3 (1) (3)	±0.8	±3 (1) (3)	±2
0°C (最大值)	±3 (1) (3)	±0.8	±3 (1) (3)	±1
15°C (最大值)	±1 (1) (3)	±0.8	±1 (1) (3)	±1
70°C (最大值)	±1 (1) (3)	±0.8	±1 (1) (3)	±1
75°C (最大值)	±1 (1) (3)	±0.8	±1 (1) (3)	±2
85°C (最大值)	±3 (1) (3)	±0.8	±1 (1) (3)	±2
100°C (最大值)	±3 (1) (3)	±1	±3 (1) (3)	±2
105°C (最大值)	±5 (1) (3)	±1	±5 (2), (3)	±4
125°C (最大值)	±5 (1) (3)	±1.25	±5 (2) (3)	±4
数字输入/输出				
分辨率 (位) (本地和远程)	L = 9 至 12 R = 12	L = 9 至 12 R = 12	L = 12 R = 12	L = 12 R = 12
V_{IH}/V_{IL}	2.1/0.8	2.1/0.8 和 70%/30% V_{DD}	2.1/0.8	1.4/0.45
电流消耗和转换时间 (典型条件：V_{DD} = 3.3V，25°C)				
T_{Conv} (ms) (每通道)	115÷2	17.7	115	31÷2
0.0625Hz 时的 I_{AVG} (µA)	28	1.5	32	27
I_{SB} (µA)	7.5	1	—	—
I_{SD} (µA)	3	0.6	3	3
特性：R_{Series} 抵消、N 因数校正、二极管故障检测				
I^2C 地址	4 个可订购器件	4 个可订购器件	9 (A1/A0 引脚)	3 个可订购器件
封装尺寸				
尺寸 [mm × mm × mm]	**VSSOP** (8 引脚) 3 × 4.9 × 1.1	**SOT-23** (8 引脚) 2.9 × 2.8 × 1.1	**SOT-23** (8 引脚) 2.9 × 2.8 × 1.1	**WSON** (8 引脚) 2 × 2 × 0.8 **WSON (WF)** (8 引脚) 2.5 × 2 × 0.8

(1) 在指定 V_{DD}= 3.3V 时的温度精度。
(2) 在指定整个电源范围内的温度精度。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

(3) 在指定 T_{DIODE} = -40°C 至 150°C 时的远程温度精度。
(4) 在指定 T_{DIODE} = -55°C 至 150°C 时的远程温度精度。

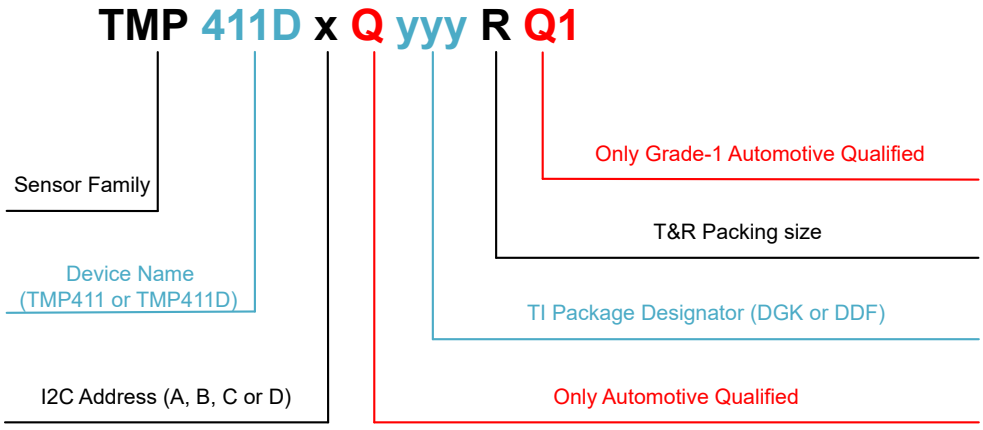


图 4-1. TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件命名规则

表 4-2. TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件命名规则说明

字段说明	字段详细信息
传感器系列	TMP: 温度传感器
器件名称	411 或 411D
I^2C 地址	• TMP411**A**-Q1/TMP411D**A**-Q1 - 4Ch/1001100'b - 85°C 默认本地/远程温度上限 • TMP411**B**-Q1/TMP411D**B**-Q1 - 4Dh/1001101'b - 85°C 默认本地/远程温度上限 • TMP411**C**-Q1/TMP411D**C**-Q1 - 4Eh/1001110'b - 85°C 默认本地/远程温度上限 • TMP411**D**-Q1/TMP411D**D**-Q1 - 4Ch/1001100'b - 110°C 默认本地/远程温度上限
已通过汽车认证	仅适用于符合汽车标准的器件
TI 封装标识符	**TMP411-Q1**： • DGK、VSSOP 封装，高度（最大）为 1.1mm
	TMP411D-Q1： • DDF、SOT23 封装，高度（最大）为 1.1mm
T 和 R 包装尺寸	大型 T 和 R、SPQ (**TMP411-Q1**) = 2,500 单位，SPQ (**TMP411D-Q1**) = 3,000 单位
符合车规 1 级标准	符合面向汽车应用的 AEC-Q100 标准

表 4-3. TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件命名规则详情

产品	OUT
TMP411**x**Q**yyy**RQ1	**x** 表示器件具有 **A**、**B**、**C** 或 **D** 型号。这些器件可以随附旧芯片（CSO：DM5）或新芯片（CSO：RFB）。卷带封装标签提供日期代码信息以区分正在使用的芯片。通篇对新芯片和旧芯片的器件性能进行了说明。 **yyy** 表示器件的封装类型为 **DGK**（VSSOP 8 引脚）。
TMP411D**x**Q**yyy**RQ1	**x** 表示器件具有 **A**、**B**、**C** 或 **D** 型号。TMP411D-Q1 只有 CSO：RFB。 **yyy** 表示器件的封装类型为 **DDF**（SOT23 8 引脚）。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

5 引脚配置和功能

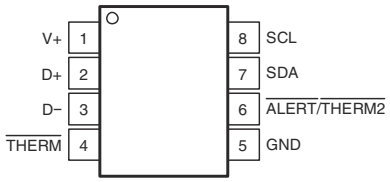


图 5-1. DGK 和 DDF 封装
8 引脚 VSSOP 和 SOT-23
（顶视图）

引脚功能

引脚	名称	类型(1)	说明
1	V+	P	正电源（**TMP411-Q1** 为 2.7V 至 5.5V）和（**TMP411D-Q1** 为 1.62V 至 5.5V）
2	D+	模拟输入	与远程温度传感器的正极连接
3	D−	模拟输入	与远程温度传感器的负极连接
4	$\overline{\text{THERM}}$	数字输出	热标志，低电平有效，开漏；需要将上拉电阻器连接至 V+
5	GND	G	接地
6	$\overline{\text{ALERT/THERM2}}$	数字输出	警报（可重新配置为第二个热标志），低电平有效，开漏；需要将上拉电阻器连接至 V+
7	SDA	数字 I/O	SMBus 的串行数据线，开漏；需要将上拉电阻器连接至 V+
8	SCL	数字输入	SMBus 的串行时钟线，开漏；需要将上拉电阻器连接至 V+

(1) O = 输出，I = 输入；I/O = 输入或输出；G = 接地；P = 正电源

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6 规格

6.1 绝对最大额定值

在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）(1)

			最小值	最大值	单位
输入电压	仅限 2、3、4 引脚	TMP411-Q1（旧芯片）	-0.5	(V+) + 0.5	V
	仅限 6、7、8 引脚		-0.5	7	
	仅限引脚 2、3	TMP411-Q1（新芯片） TMP411D-Q1	-0.5	2	V
	仅限引脚 4、6、7、8		-0.5	6	
输入电流				10	mA
电源，V+		TMP411-Q1（旧芯片）		7	V
		TMP411-Q1（新芯片） TMP411D-Q1		6	
工作温度范围			-55	127	°C
结温，$T_{J(max)}$				150	°C
贮存温度，T_{stg}			-60	130	°C

(1) 在 *绝对最大额定值* 范围外运行可能对器件造成永久损坏。*绝对最大额定值* 并不表示器件在这些条件下或在 *建议的工作条件* 以外的任何其他条件下能够正常运行。如果超出 *建议运行条件* 但在 *绝对最大额定值* 范围内使用，器件可能不会完全正常运行，这可能影响器件的可靠性、功能和性能并缩短器件寿命。

6.2 ESD 等级

				值	单位
$V_{(ESD)}$	静电放电	人体放电模型 (HBM)，符合 AEC Q100-002(1) HBM ESD 分类等级 2	TMP411-Q1（旧芯片）	±2000	V
			TMP411-Q1（新芯片） TMP411D-Q1	±3000	
		充电器件模型 (CDM)，符合 AEC Q100-011 CDM ESD 分类等级 C4B	TMP411-Q1（旧芯片）	±750	
			TMP411-Q1（新芯片） TMP411D-Q1	±1000	

(1) AEC Q100-002 指示应当按照 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 规范执行 HBM 应力测试。

6.3 建议运行条件

在自然通风条件下的温度范围内测得（除非另有说明）

		最小值	标称值	最大值	单位
V+	电源电压，TMP411-Q1	2.7	3.3	5.5	V
	电源电压，TMP411D-Q1	1.62	3.3	5.5	
T_A	自然通风条件下的工作温度	-40		125	°C

6.4 热性能信息

热指标(1)		TMP411-Q1		TMP411D-Q1	单位
		DGK (VSSOP) 旧芯片	DGK (VSSOP) 新芯片	DDF (SOT-23)	
		8 引脚	8 引脚	8 引脚	
$R_{\theta JA}$	结至环境热阻	150	161.5	182.4	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	结至外壳（顶部）热阻	不适用	71.1	98.9	°C/W
$R_{\theta JB}$	结至电路板热阻	不适用	96.6	99.1	°C/W

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6.4 热性能信息（续）

热指标(1)		TMP411-Q1		TMP411D-Q1	单位
		DGK (VSSOP) 旧芯片	DGK (VSSOP) 新芯片	DDF (SOT-23)	
		8 引脚	8 引脚	8 引脚	
ψ_{JT}	结至顶部特征参数	不适用	9.2	10.4	°C/W
ψ_{JB}	结至电路板特征参数	不适用	95.0	98.9	°C/W

(1) 有关新旧热指标的更多信息，请参阅半导体和 IC 封装热指标应用手册。

6.5 电气特性 (TMP411-Q1)

在 T_A = -40°C 至 +125°C 且 V+ = 2.7V 至 5.5V 时，在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）

参数			测试条件		最小值	典型值	最大值	单位
温度误差								
$T_{ERROR(LOCAL)}$	本地温度传感器		T_A = 15°C 至 85°C V+ = 3.3V		-1	±0.0625	1	°C
			T_A = -40°C 至 125°C		-2.5	±1.25	2.5	
$T_{ERROR(REMOTE)}$	远程温度传感器(1)		T_A = 15°C 至 75°C T_{DIODE} = -40°C 至 150°C V+ = 3.3V		-1	±0.0625	1	°C
			T_A = -40°C 至 100°C T_{DIODE} = -40°C 至 150°C V+ = 3.3V		-3	±1	3	
			T_A = -40°C 至 125°C T_{DIODE} = -40°C 至 150°C V+ = 3.3V		-5	±3	5	
T_{ERROR_PS}	温度误差电源灵敏度（本地和远程）		V+ = 2.7V 至 5.5V T_{DIODE} = -40°C 至 150°C		-0.5	±0.2	0.5	°C/V
温度测量								
t_{CONV}	转换时间（本地 + 远程）		单次触发模式	旧芯片	105	115	125	ms
				新芯片	30	35	40	
T_{RES}	分辨率	本地温度传感器（可编程）			9		12	位
		远程温度传感器				12		
R_{SERIES}	远程传感器拉电流	高	串联电阻：3kΩ（最大值）			120		μA
		中高				60		
		中低		仅旧芯片		12		
		低				6		
η	远程晶体管理想因数		优化的理想因数			1.008		
SMBus 接口								
V_{IH}	逻辑输入高电压（SCL、SDA）				2.1			V
V_{IL}	逻辑输入低电压（SCL、SDA）						0.8	V
V_{HYST}	迟滞					170		mV
	SMBus 输出低电平灌电流				6			mA
I_{LI} 和 I_{LO}	逻辑输入电流			旧芯片	-1		1	μA
				新芯片	-0.2		0.2	
C_{IN}	SMBus 输入电容（SCL、SDA）					3		pF

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6.5 电气特性 (TMP411-Q1)（续）

在 T_A = -40°C 至 +125°C 且 V+ = 2.7V 至 5.5V 时，在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）

参数		测试条件		最小值	典型值	最大值	单位
	SMBus 时钟频率					3.4	MHz
	SMBus 超时			25	30	35	ms
	SCL 下降沿至 SDA 有效时间					1	µs
数字输出							
V_{OL}	输出低电压	I_{OUT} = 6mA	旧芯片		0.15	0.4	V
			新芯片		0.3	0.4	
I_{OH}	高电平输出漏电流	V_{OUT} = V+	旧芯片		0.1	1	µA
			新芯片		0.05	0.2	
	$\overline{ALERT}$ 或 $\overline{THERM2}$ 输出低电平灌电流	$\overline{ALERT}$/$\overline{THERM2}$ 强制设置为 0.4V		6			mA
	$\overline{THERM}$ 输出低电平灌电流	$\overline{THERM}$ 强制设置为 0.4V		6			mA
电源							
V+	特定电压范围			2.7		5.5	V
I_{DD_AVG}	静态电流	0.0625Hz 转换 V+ = 3.3V	旧芯片		28	30	µA
			新芯片		1.5	8.2	
		8Hz 转换 V+ = 3.3V	旧芯片		400	475	
			新芯片		45	85	
I_{DD_SD}	关断电流	串行总线无效	旧芯片		3	10	µA
			新芯片		0.6	7	
		串行总线有效，f_s = 400kHz	旧芯片		90		
			新芯片		7		
		串行总线有效，f_s = 3.4MHz	旧芯片		350		
			新芯片		55		
	欠压锁定(2)		旧芯片	2.3	2.4	2.6	V
		此行为与上电复位 (POR) 同时出现。有关更多信息，请参阅节 7.3.6 和脚注(2)	新芯片				
POR	上电复位阈值		旧芯片		1.6	2.3	V
			新芯片		1.23	1.4	
	欠压检测		新芯片	1	1.14		V

(1) 在小于 5Ω 的有效串联电阻和 100pF 差分输入电容下进行了测试。T_A 是 TMP411-Q1 的环境温度。T_{DIODE} 是远程二极管传感器处的温度。

(2) 当未连接远程二极管时，应在电源斜升速率小于 240V/s 的情况下忽略第一次远程转换。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6.6 电气特性 (TMP411D-Q1)

在 T_A = -40°C 至 +125°C 且 V+ = 1.62V 至 5.5V 时，在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）

参数			测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
温度误差							
$T_{ERROR(LOCAL)}$	本地温度传感器		T_A = -25°C 至 85°C	-0.8	±0.1	0.8	°C
			T_A = -40°C 至 125°C	-1		1	
$T_{ERROR(REMOTE)}$	远程温度传感器(1)		T_A = -25°C 至 85°C T_{DIODE} = -55°C 至 150°C	-0.8	±0.25	0.8	°C
			T_A = -40°C 至 105°C T_{DIODE} = -55°C 至 150°C	-1		1	
			T_A = -40°C 至 125°C T_{DIODE} = -55°C 至 150°C	-1.25		1.25	
T_{ERROR_PS}	温度误差电源灵敏度（本地和远程）		V+ = 1.62V 至 5.5V T_{DIODE} = -55°C 至 150°C	-0.2	±0.1	0.2	°C/V
温度测量							
T_{RES}	分辨率	本地温度传感器（可编程）		9		12	位
		远程温度传感器			12		
T_{REPEAT}	可重复性	本地传感器	V+ = 3.3V，1Hz 转换周期		±1		LSB
R_{SERIES}	远程传感器拉电流	高	串联电阻：3kΩ（最大值）		120		µA
		中			60		
		低			6		
t_{CONV}	转换时间	仅限本地转换	单次触发模式		17.7		ms
		远程转换 + 本地转换		30	35	40	
t_{VAR}	时序差		转换周期	-15	±5	15	%
η	远程晶体管理想因数		优化的理想因数		1.008		
SMBus 接口							
C_{IN}	SMBus 输入电容（SCL、SDA）				3		pF
V_{IH}	逻辑输入高电压（SCL、SDA）		V+ ≥ 2.7V	2.1			V
			V+ < 2.7V	0.7×V+			
V_{IL}	逻辑输入低电压（SCL、SDA）		V+ ≥ 2.7V			0.8	V
			V+ < 2.7V			0.3×V+	
I_{LI} 和 I_{LO}	逻辑输入/输出电流			-0.2		0.2	µA
V_{HYST}	迟滞				170		mV
	SMBus 时钟频率		V+ ≥ 2.7V			3.4	MHz
	SMBus 超时			25	30	35	ms
	SCL 下降沿至 SDA 有效时间					1	µs
数字输出							
V_{OL}	输出低电压		I_{OUT} = 6mA V+ ≥ 2.7V		0.3	0.4	V
			I_{OUT} = 3mA V+ < 2.7V		0.17	0.4	
I_{OH}	高电平输出漏电流		V_{OUT} = V+		0.05	0.2	µA
电源							
V+	特定电压范围			1.62		5.5	V

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6.6 电气特性 (TMP411D-Q1)（续）

在 T_A = -40°C 至 +125°C 且 V+ = 1.62V 至 5.5V 时，在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）

参数			测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
I_{DD_ACTIVE}	有效转换电流	本地传感器			100	150	μA
		远程传感器			220	320	
I_{DD_SB}	待机电流		串行总线无效		1	7.5	μA
I_{DD_AVG}	平均电流消耗		0.0625Hz 转换 V+ = 3.3V		1.5	8.2	μA
			8Hz 转换 V+ = 3.3V		45	85	
I_{DD_SD}	关断电流		串行总线无效		0.6	7	μA
			串行总线有效，f_s = 400kHz		7		
			串行总线有效，f_s = 3.4MHz		55		
POR	上电复位阈值				1.23	1.4	V
	欠压检测			1	1.14		

(1) 在小于 5Ω 的有效串联电阻和 100pF 差分输入电容下进行了测试。T_A 是 TMP411D-Q1 的环境温度。T_{DIODE} 是远程二极管传感器处的温度。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6.7 计时特点

			快速模式		高速模式		单位
			最小值	最大值	最小值	最大值	
$f_{(SCL)}$	SCL 运行频率		0.001	0.4	0.001	3.4	MHz
$t_{(BUF)}$	停止条件和启动条件之间的总线空闲时间		600		160		ns
$t_{(HDSTA)}$	重复启动条件后的保持时间。在此周期后，生成第一个时钟。		100		100		ns
$t_{(SUSTA)}$	重复启动条件建立时间		100		100		ns
$t_{(SUSTO)}$	停止条件建立时间		100		100		ns
$t_{(HDDAT)}$	数据保持时间		0(1)		0(2)		ns
$t_{(SUDAT)}$	数据设置时间	TMP411-Q1（旧芯片）	100		10		ns
		TMP411-Q1（新芯片） TMP411D-Q1	100		20		
$t_{(LOW)}$	SCL 时钟低电平周期		1300		160		ns
$t_{(HIGH)}$	SCL 时钟高电平周期		600		60		ns
t_F	时钟和数据下降时间			300		160	ns
t_R	时钟和数据上升时间			300		160	ns
	SCLK ≤ 100kHz			1000			ns

(1) 如果 SCL 下降时间小于 20ns，或 SDA 上升或下降时间小于 20ns，则保持时间必须大于 20ns。
(2) 如果 SCL 下降时间小于 10ns，或 SDA 上升或下降时间小于 10ns，则保持时间必须大于 10ns。

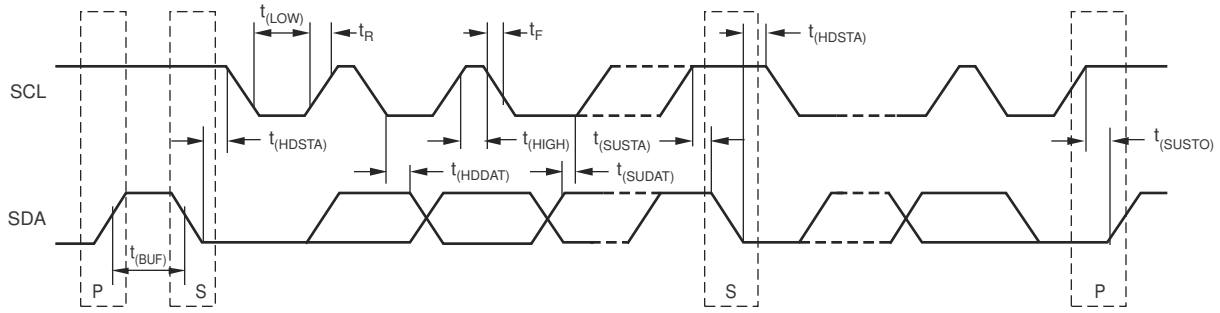


图 6-1. 两线制时序图

6.9 典型特性 (TMP411-Q1)

在 T_A = 25°C 且 V+ = V_S = 5V 时测得（除非另有说明）

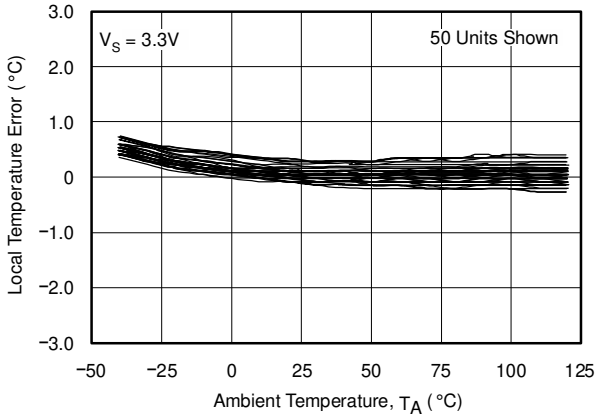


图 6-2. 本地温度误差与 TMP411-Q1 环境温度间的关系（旧芯片）

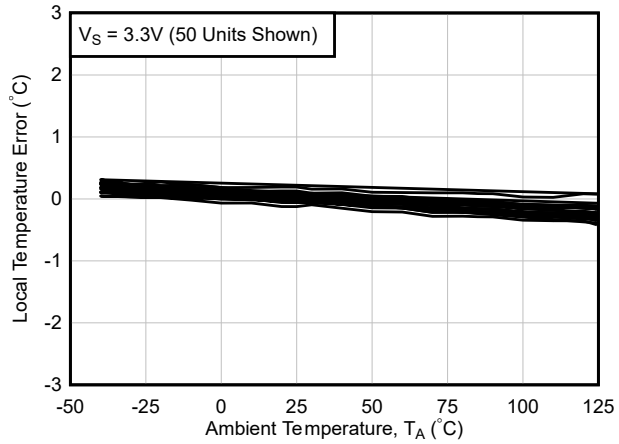


图 6-3. 本地温度误差与 TMP411-Q1 环境温度间的关系（新芯片）

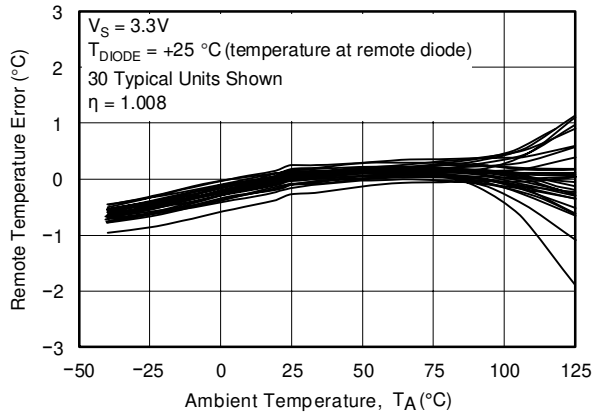


图 6-4. 远程温度误差与 TMP411-Q1 环境温度间的关系（旧芯片）

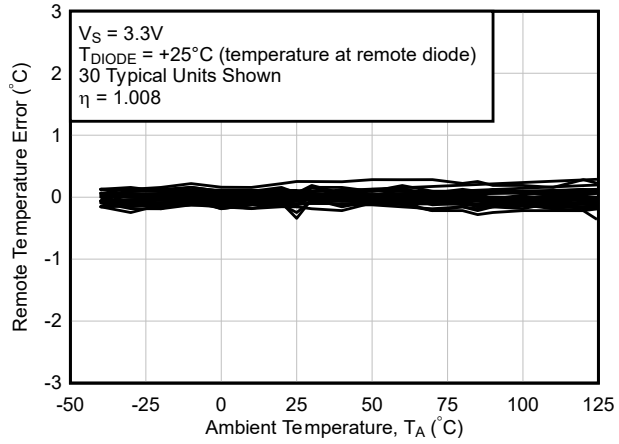


图 6-5. 远程温度误差与 TMP411-Q1 环境温度间的关系（新芯片）

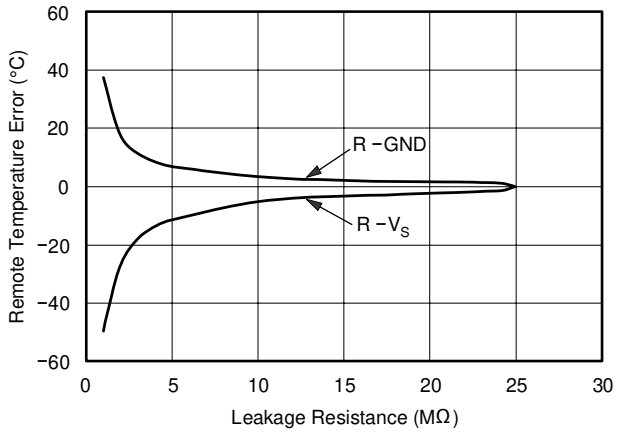


图 6-6. 远程温度误差与泄漏电阻间的关系（旧芯片）

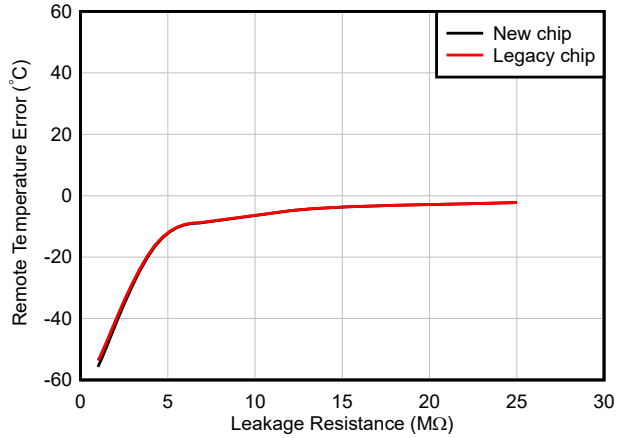


图 6-7. 远程温度误差与漏电阻间的关系（对比旧芯片和新芯片）

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6.9 典型特性 (TMP411-Q1)（续）

在 T_A = 25°C 且 V+ = V_S = 5V 时测得（除非另有说明）

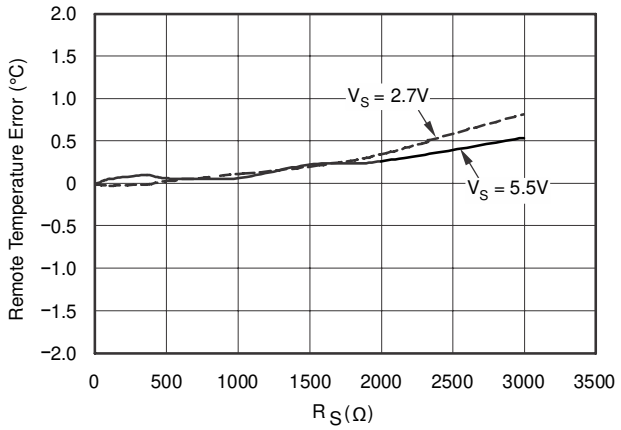


图 6-8. 远程温度误差与串联电阻间的关系（采用二极管连接的晶体管，2N3906 PNP）（旧芯片）

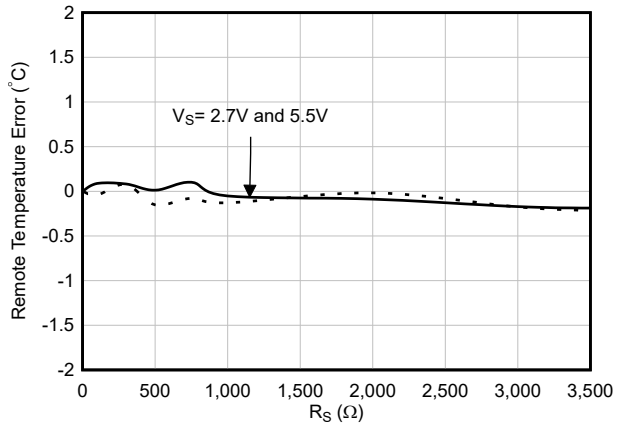


图 6-9. 远程温度误差与串联电阻间的关系（采用二极管连接的晶体管，2N3906 PNP）（新芯片）

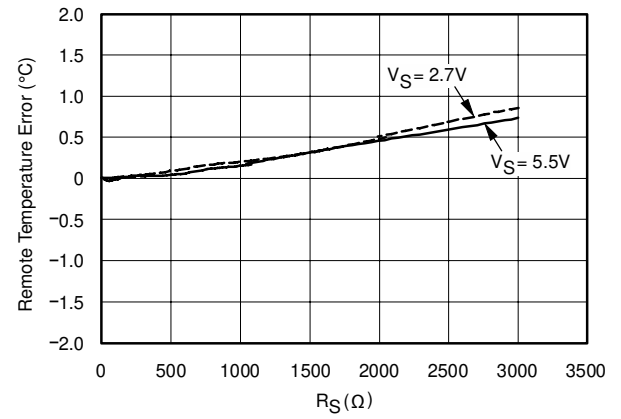


图 6-10. 远程温度误差与串联电阻间的关系（集电极与地线相连的晶体管，2N3906 PNP）（旧芯片）

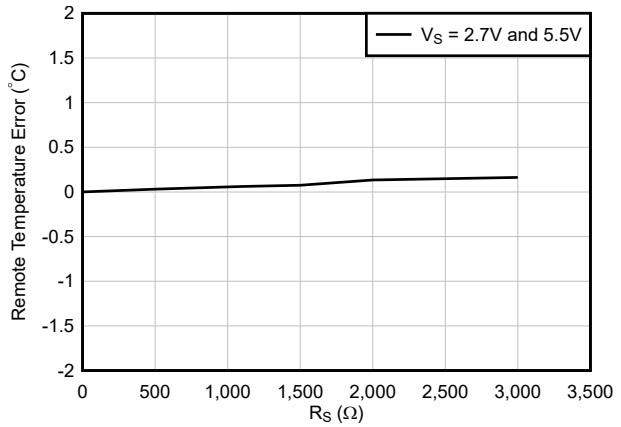


图 6-11. 远程温度误差与串联电阻间的关系（集电极与地线相连的晶体管，2N3906 PNP）（新芯片）

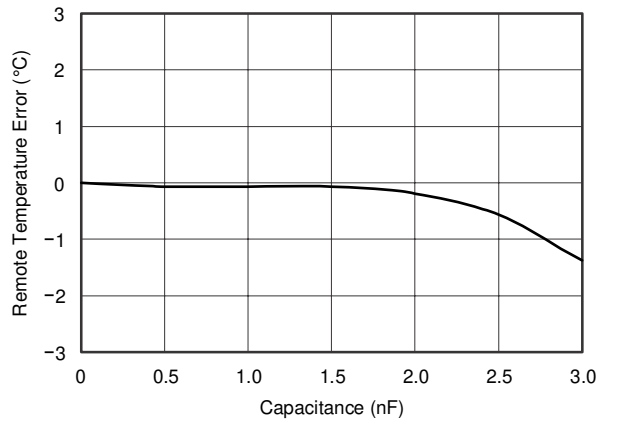


图 6-12. 远程温度误差与差分电容间的关系（旧芯片）

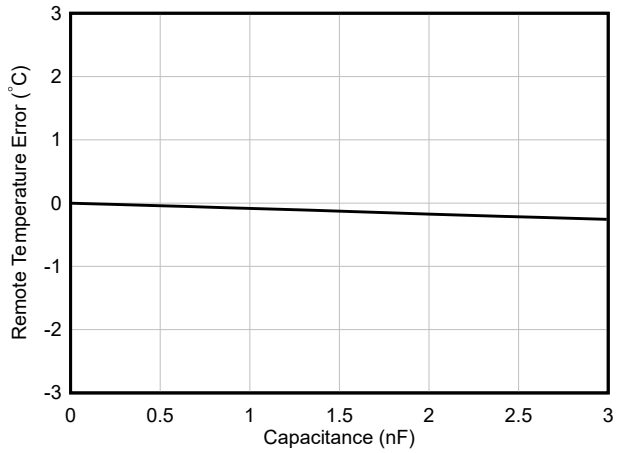


图 6-13. 远程温度误差与差分电容间的关系（新芯片）

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6.9 典型特性 (TMP411-Q1)（续）

在 T_A = 25°C 且 V+ = V_S = 5V 时测得（除非另有说明）

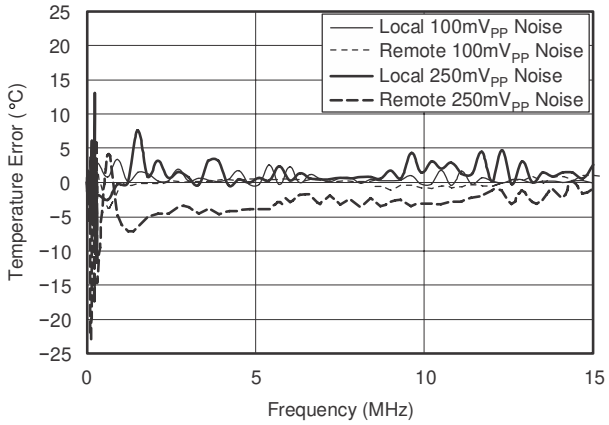


图 6-14. 温度误差与电源噪声频率间的关系（旧芯片）

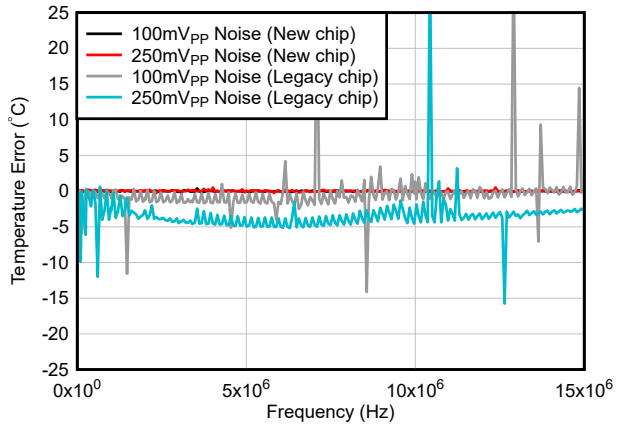


图 6-15. 远程温度误差与电源噪声频率间的关系（对比旧芯片和新芯片）

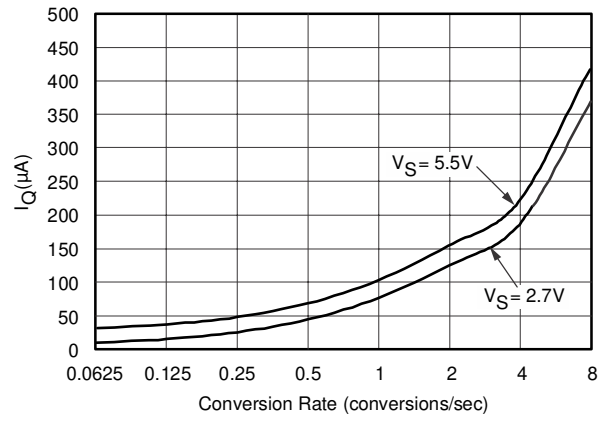


图 6-16. 静态电流与转换速率间的关系（旧芯片）

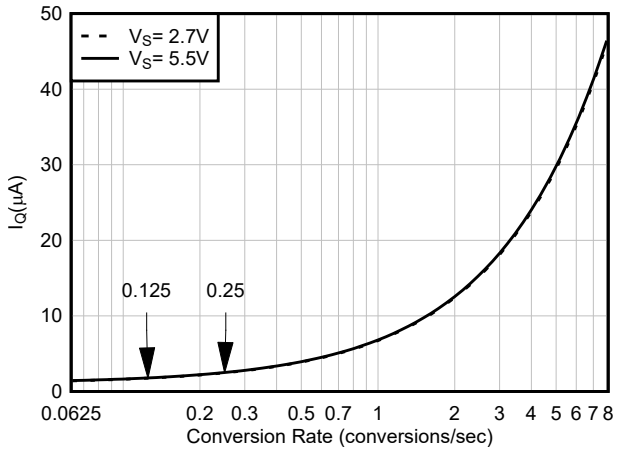


图 6-17. 静态电流与转换速率间的关系（新芯片）

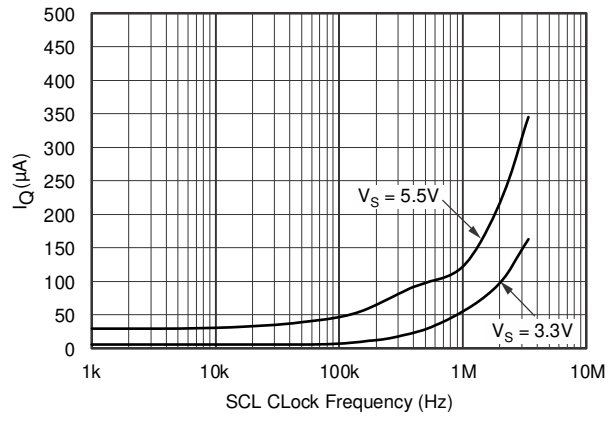


图 6-18. 关断静态电流与 SCL 时钟频率间的关系（旧芯片）

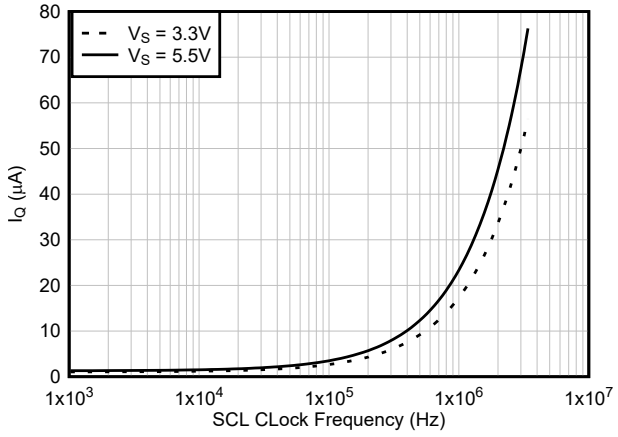


图 6-19. 关断静态电流与 SCL 时钟频率间的关系（新芯片）

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6.9 典型特性 (TMP411-Q1)（续）

在 T_A = 25°C 且 V+ = V_S = 5V 时测得（除非另有说明）

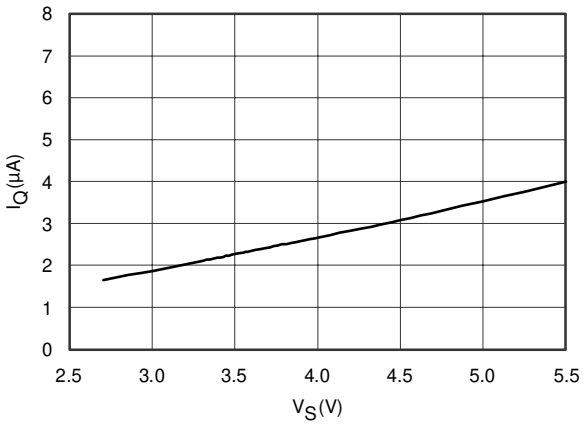


图 6-20. 关断静态电流与电源电压间的关系（旧芯片）

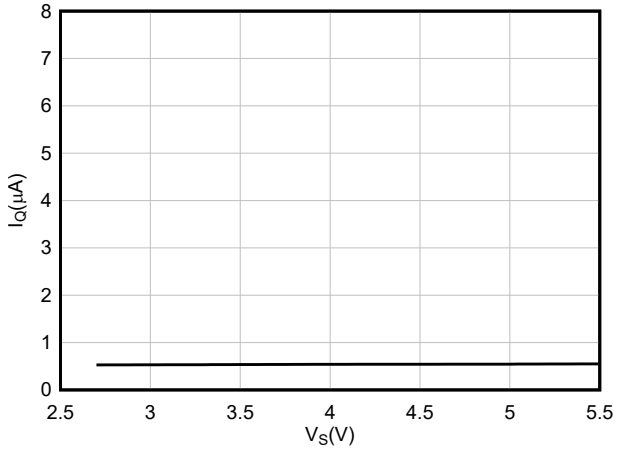


图 6-21. 关断静态电流与电源电压间的关系（新芯片）

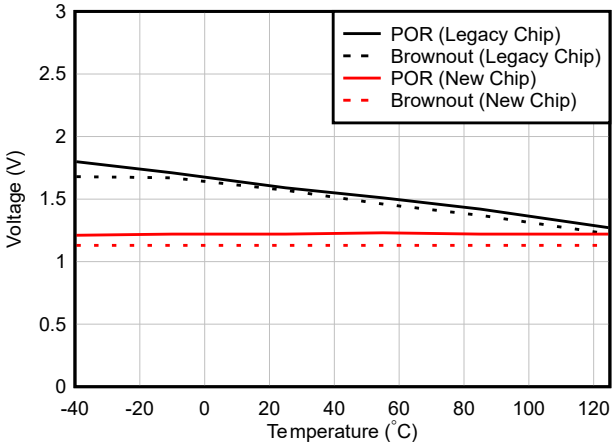


图 6-22. POR 阈值和欠压检测电压与温度间的关系（对比旧芯片和新芯片较）

6.10 典型特性 (TMP411D-Q1)

在 T_A = 25°C 且 V+ = 3.3V 时测得（除非另有说明）

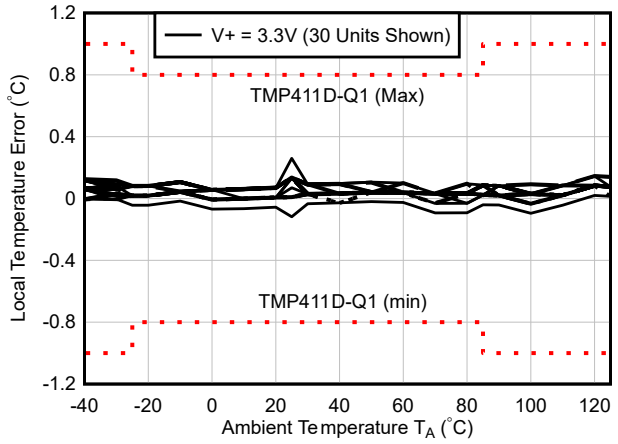


图 6-23. 本地温度误差与 TMP411D-Q1 环境温度间的关系

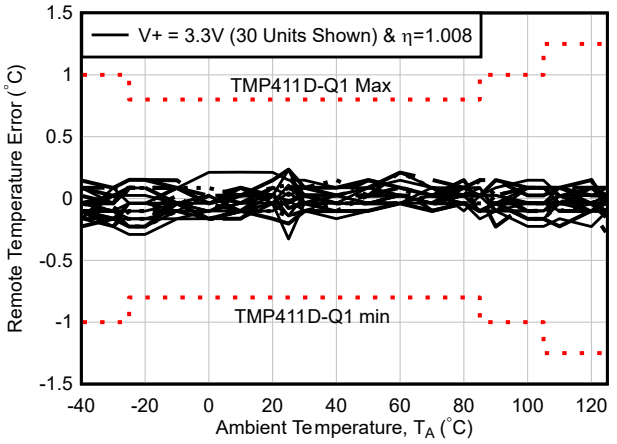


图 6-24. 远程温度误差与 TMP411D-Q1 环境温度间的关系

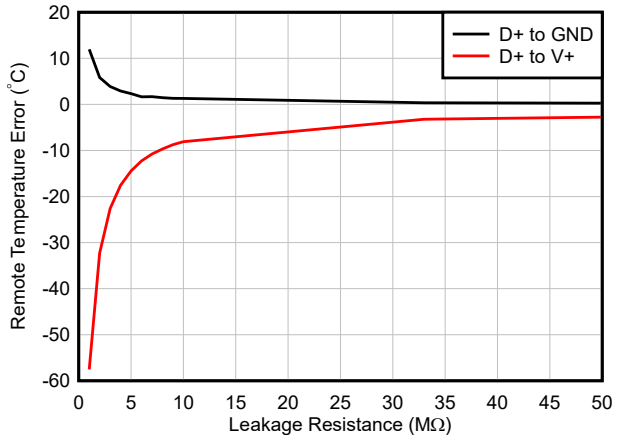


图 6-25. 远程温度误差与泄漏电阻之间的关系

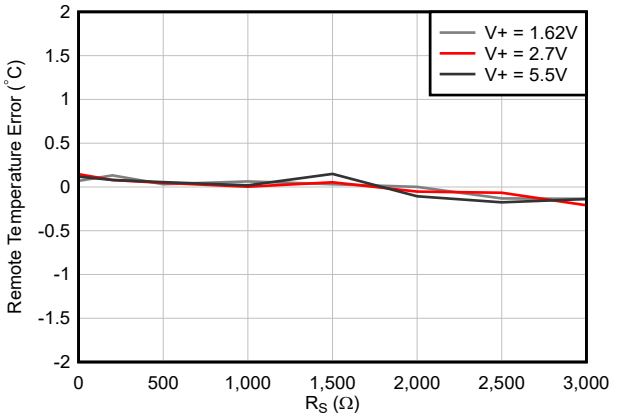


图 6-26. 远程温度误差与串联电阻间的关系（二极管连接晶体管，2N3906 PNP）

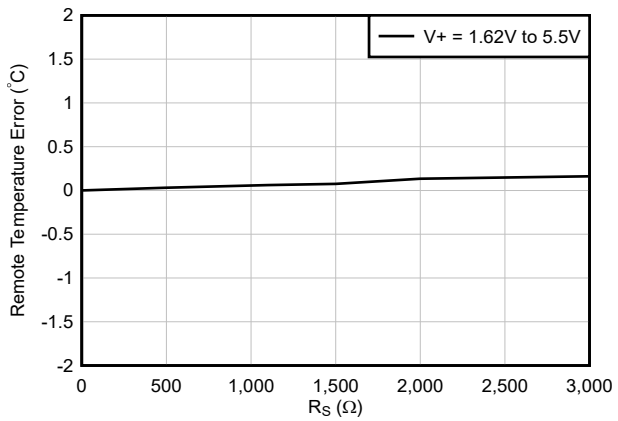


图 6-27. 远程温度误差与串联电阻间的关系（集电极与地线相连的晶体管，2N3906 PNP）

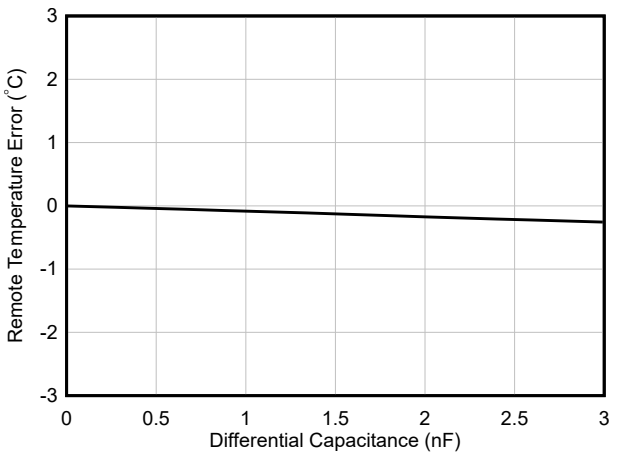


图 6-28. 远程温度误差与差分电容之间的关系

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6.10 典型特性 (TMP411D-Q1)（续）

在 T_A = 25°C 且 V+ = 3.3V 时测得（除非另有说明）

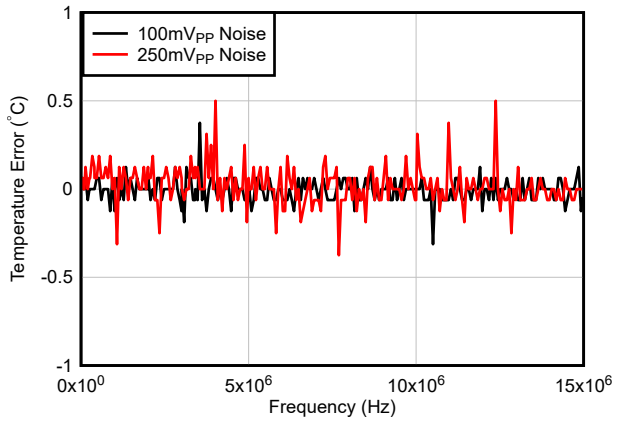


图 6-29. 温度误差与电源噪声频率间的关系

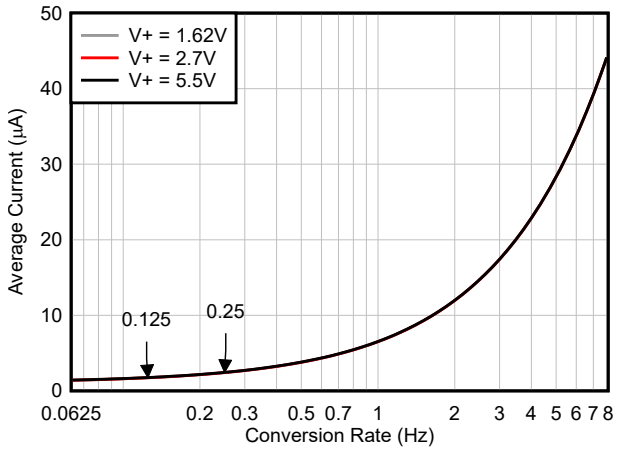


图 6-30. 平均电流与转换速率间的关系

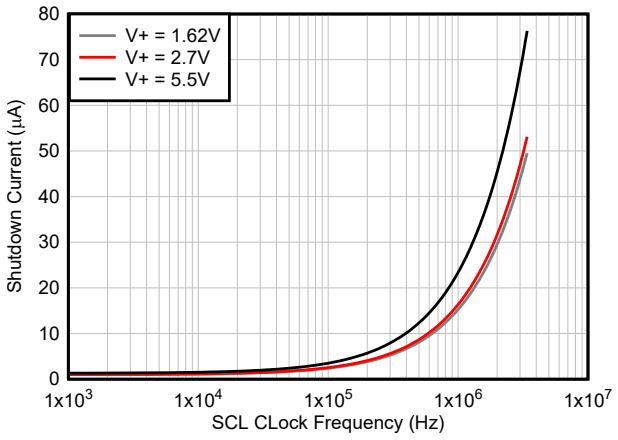


图 6-31. 关断电流与 SCL 时钟频率间的关系

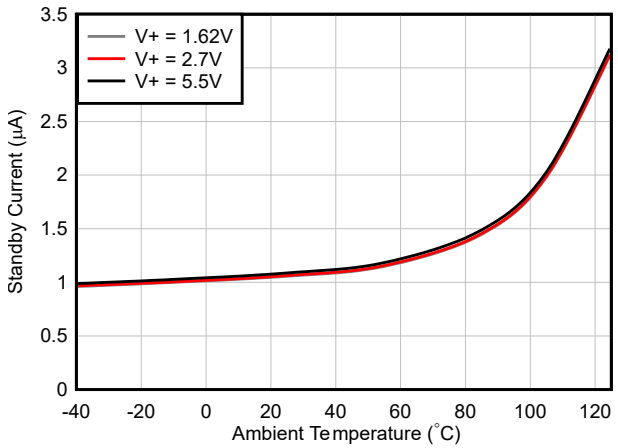


图 6-32. 待机电流与温度间的关系

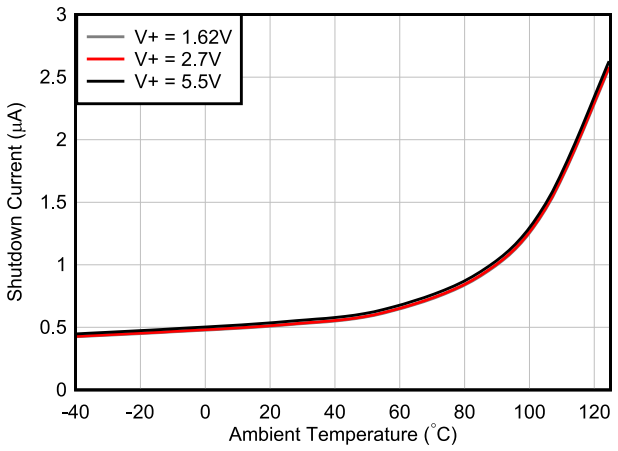


图 6-33. 关断电流与温度间的关系

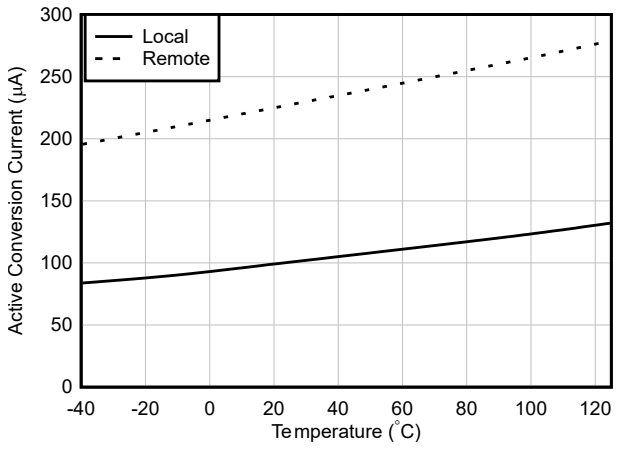


图 6-34. 有效电流与温度间的关系（本地和远程）

6.10 典型特性 (TMP411D-Q1)（续）

在 T_A = 25°C 且 V+ = 3.3V 时测得（除非另有说明）

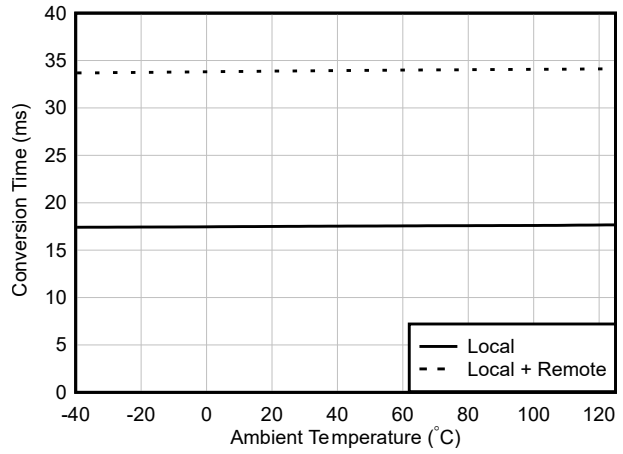


图 6-35. 转换时间与温度间的关系（本地和本地 + 远程）

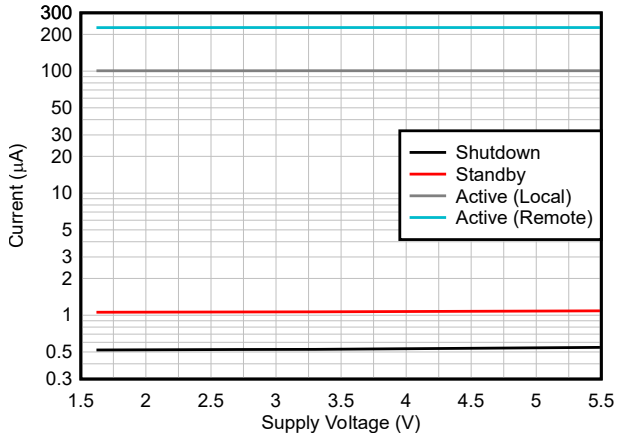


图 6-36. 关断、待机、有效（本地）和有效（远程）电流与电源电压间的关系（温度为 25°C）

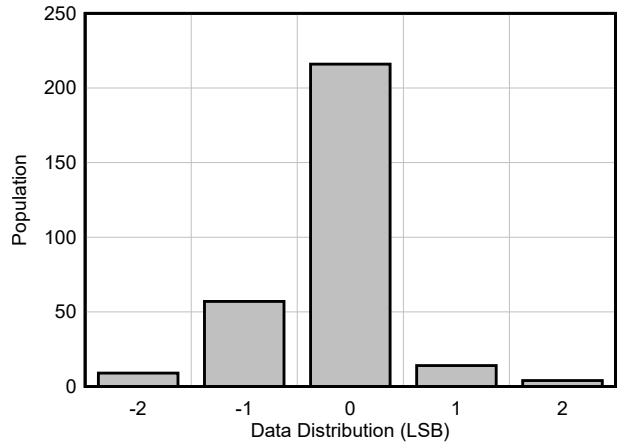


图 6-37. 远程温度噪声数据分布（300 个样本）

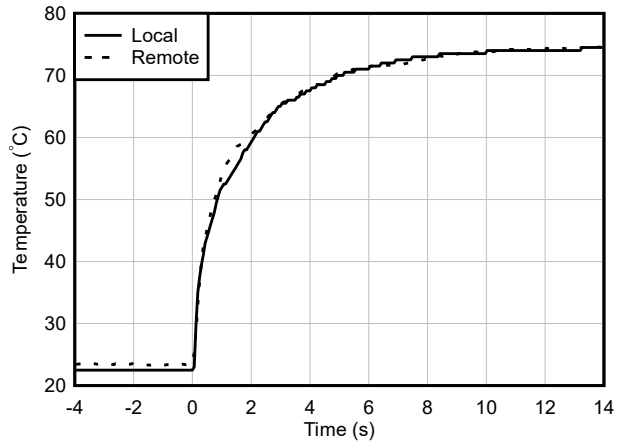


图 6-38. 温度响应时间（搅拌液体中，焊接在 62mil 2 层 FR4 PCB 上的器件和 2N3906 PNP 晶体管）

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

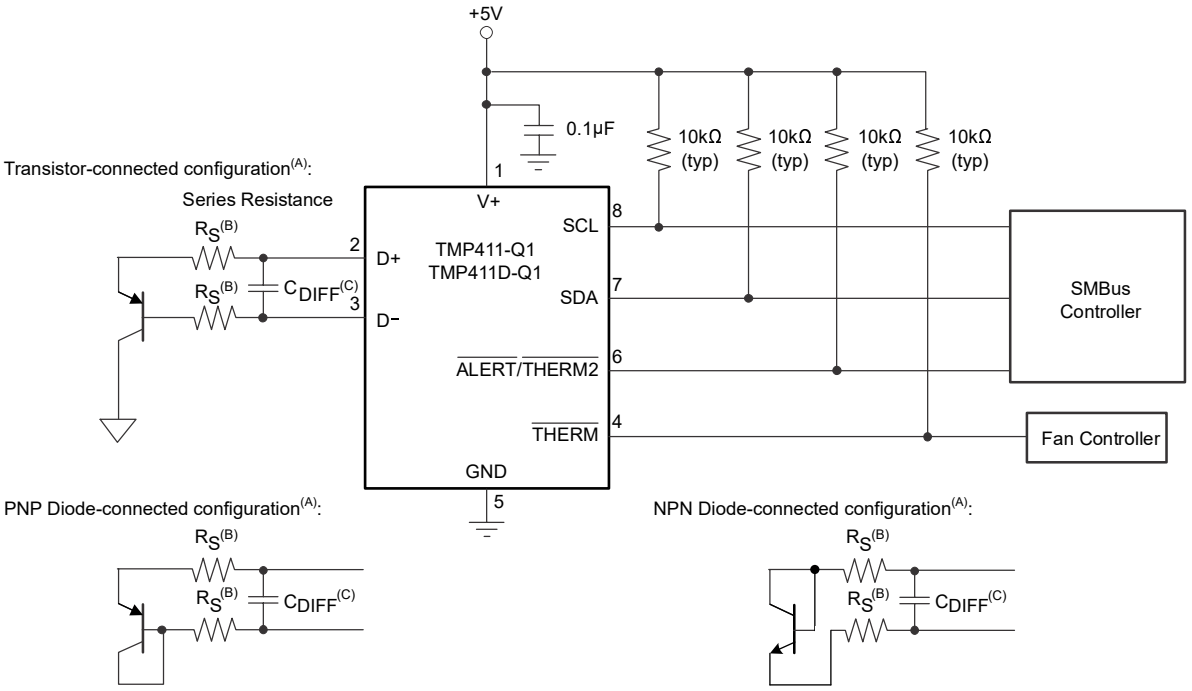
7 详细说明

7.1 概述

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件是双通道数字温度传感器，在单个 VSSOP-8 或 SOT23-8 封装内整合了一个本地芯片温度测量通道和一个远程结温测量通道。TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件可与两线制和 SMBus 接口兼容，并在 -40°C 至 125°C 的环境温度范围内运行。TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件包含多个寄存器，可用于保存配置信息、温度测量结果、温度比较器最大值/最小值限制以及状态信息。

存储在 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件中的用户编程温度上限值和下限值可用来对本地温度和远程温度触发过热警报 ($\overline{\text{ALERT}}$)。可以将额外的热限制编程到 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件中，并用来触发另一个标志 ($\overline{\text{THERM}}$) 以启动系统对上升温度的响应。

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件仅需要在 D+ 和 D- 之间连接一个晶体管，即可实现远程温度检测正常运行。SCL 和 SDA 接口引脚需要将上拉电阻器作为通信总线的一部分，而 $\overline{\text{ALERT}}$ 和 $\overline{\text{THERM}}$ 引脚也需要上拉电阻器的开漏输出。如果需要，可以与其他器件共享 $\overline{\text{ALERT}}$ 和 $\overline{\text{THERM}}$ 引脚以实现“线或”(wired-OR) 功能。建议使用 0.1 µF 电源旁路电容器来实现良好的本地旁路。图 7-1 展示了 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件的典型配置。



A. 二极管连接配置可提供更短的稳定时间。晶体管连接配置可更好地抵消串联电阻。NPN 晶体管必须采用二极管连接。PNP 晶体管可以采用晶体管连接，也可以采用二极管连接。TI 建议为 MMBT3906LP 和 MMBT3904LP 器件采用此布局。

B. 在大多数应用中，R_S（可选）必须小于 1.5kΩ。R_S 的选择取决于具体应用；请参阅滤波。

C. 在大多数应用中，C_{DIFF}（可选）必须小于 1000pF。C_{DIFF} 的选择取决于具体应用；请参阅滤波、图 6-12（对于新芯片，请参阅图 6-13）和图 6-28。

图 7-1. 基本连接

7.2 功能方框图

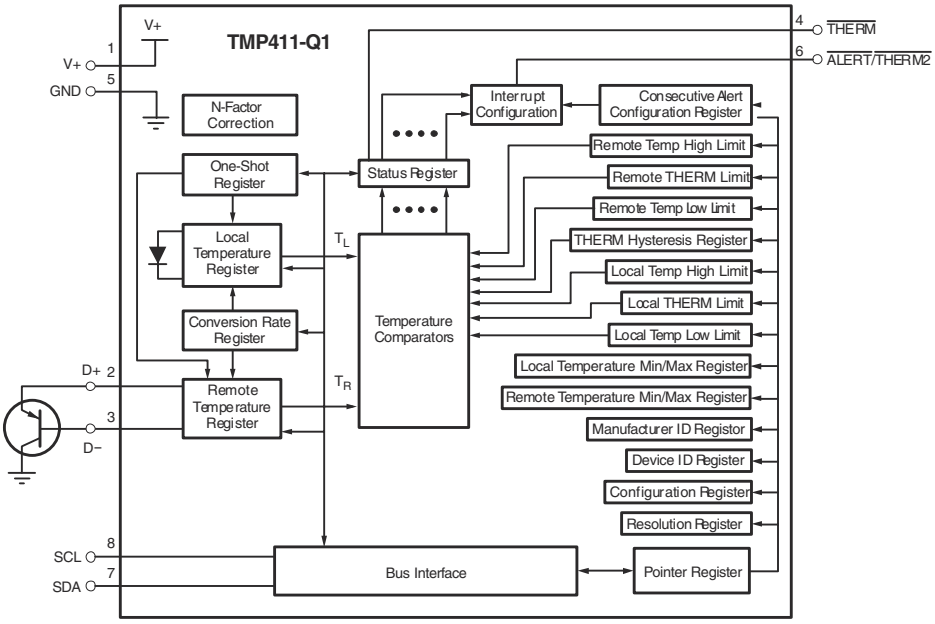


图 7-2. 功能方框图

7.3 特性说明

7.3.1 串联电阻抵消

图 7-1 展示了应用电路中由印刷电路板 (PCB) 布线电阻和远程线路长度产生的串联电阻。TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件会自动抵消该电阻，从而防止温度偏移。

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件可以抵消 3kΩ 的串联线路电阻，从而无需额外的表征和温度偏移校正。

有关串联电阻和电源电压对测得远程温度误差影响的详情，请参阅 图 6-8（新芯片请参阅 图 6-9）、图 6-10（新芯片请参阅 图 6-11）、图 6-26 和 图 6-27。

7.3.2 差分输入电容

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件可承受高达 1000pF 的差分输入电容，同时将温度误差变化降至最低。图 6-12（新芯片请参阅图 6-13）和 图 6-28 展示了电容对测得远程温度误差的影响。

7.3.3 温度测量数据

对于本地和远程位置，在默认的 0°C 至 127°C 范围内获取温度测量数据。根据扩展温度范围重新配置 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件，可以在本地和远程进行 –55°C 至 150°C 范围内的测量。要将 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 配置从标准温度范围更改为扩展温度范围，请将配置寄存器的位 2 (RANGE) 从低电平切换到高电平。

默认测量范围内转换得到的温度数据以二进制形式表示，如表 7-1 的标准二进制列中所示。请注意，任何低于 0°C 的温度都会导致数据值为零 (00h)。同样，高于 127°C 的温度会导致数据值为 127 (7Fh)。通过将配置寄存器的位 2 从低电平变为高电平，可以将器件设置为在工作温度范围内进行测量。在下一次温度转换时，测量范围和数据格式会从标准二进制变为扩展二进制。对于在扩展温度范围配置中捕获的数据，向标准二进制值中加入一个 64 (40h) 的偏移量，如表 7-1 中的扩展二进制列所示。使用此配置可测量低于 0°C 的温度。请注意，可以获得 -64°C 至 191°C 温度范围内的二进制值；不过大多数温度检测二极管在 -55°C 至 150°C 范围内测量。此外，TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件仅适用于 -40°C 至 125°C 范围内的本地环境温度。必须遵循绝对最大额定值表中的参数。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

表 7-1. 温度数据格式（本地和远程温度高字节）

温度 (°C)	本地/远程温度寄存器高字节值（1°C 分辨率）			
	标准二进制		扩展二进制	
	二进制	十六进制	二进制	十六进制
-64	0000 0000	00	0000 0000	00
-50	0000 0000	00	0000 1110	0E
-25	0000 0000	00	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

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件的温度传感器不使用二进制补码格式来读取温度值。因此，解码不会将它们转换为有符号类型。TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件表示负温度的方式是启用一个 RANGE 位，该位会将结果增加 64°C。在启用了 RANGE 的情况下，解码必须减去 64，这样原始值 0 变为 -64°C 输出。

表 7-2. 12 位 Q4 参数

参数	值
位	12
Q	4
分辨率	0.0625
范围 (+)	127.9375
范围 (–)	0
第一个字节整数 C	是
25˚C	0x1900

表 7-3. 以 °C 为单位的 12 位 Q4 位值

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
—	64	32	16	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	0.0625	—	—	—	—
—	64	32	16	8	4	2	1	1/2	1/4	1/8	1/16	—	—	—	—
—	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}	—	—	—	—

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

```
/* 12-bit format will have 4 bits discarded by right shift
 q4 is 0.062500 resolution
 the following bytes represent 24.5C
 there is no cast into signed type */
uint8_t byte1 = 0x18;
uint8_t byte2 = 0x80;
float f = ((byte1 << 8 | byte2) >> 4) * 0.0625f;
int mC = ((byte1 << 8 | byte2) >> 4) * 1000 >> 4;
int C = byte1;
```

备注

每当在标准温度范围和工作温度范围之间变化时，请注意，存储在温度限值寄存器中的温度不会自动重新格式化来对应于新的温度范围格式。这些温度限值必须以适当的二进制或扩展二进制格式重新编程。

本地和远程温度数据使用两个字节进行数据存储。高字节以 1°C 的分辨率存储温度。第二字节或低字节存储温度值的小数部分，支持更高的测量分辨率；请参阅表 7-4。远程通道的测量分辨率为 0.0625°C，不可调节。本地通道的测量分辨率可调；可通过设置分辨率寄存器中的 RES1 和 RES0 位将分辨率设置为 0.5°C、0.25°C、0.125°C 或 0.0625°C；请参阅表 8-4。

表 7-4. 小数部分温度数据格式（本地和远程温度低字节）

温度 (°C)	远程温度寄存器低字节值		本地温度寄存器低字节值							
	0.0625°C 分辨率		0.5°C 分辨率		0.25°C 分辨率		0.125°C 分辨率		0.0625°C 分辨率	
	标准和扩展二进制	十六进制	标准和扩展二进制	十六进制	标准和扩展二进制	十六进制	标准和扩展二进制	十六进制	标准和扩展二进制	十六进制
0.0000	0000 0000	00	0000 0000	00	0000 0000	00	0000 0000	00	0000 0000	00
0.0625	0001 0000	10	0000 0000	00	0000 0000	00	0000 0000	00	0001 0000	10
0.1250	0010 0000	20	0000 0000	00	0000 0000	00	0010 0000	20	0010 0000	20
0.1875	0011 0000	30	0000 0000	00	0000 0000	00	0010 0000	20	0011 0000	30
0.2500	0100 0000	40	0000 0000	00	0100 0000	40	0100 0000	40	0100 0000	40
0.3125	0101 0000	50	0000 0000	00	0100 0000	40	0100 0000	40	0101 0000	50
0.3750	0110 0000	60	0000 0000	00	0100 0000	40	0110 0000	60	0110 0000	60
0.4375	0111 0000	70	0000 0000	00	0100 0000	40	0110 0000	60	0111 0000	70
0.5000	1000 0000	80	1000 0000	80	1000 0000	80	1000 0000	80	1000 0000	80
0.5625	1001 0000	90	1000 0000	80	1000 0000	80	1000 0000	80	1001 0000	90
0.6250	1010 0000	A0	1000 0000	80	1000 0000	80	1010 0000	A0	1010 0000	A0
0.6875	1011 0000	B0	1000 0000	80	1000 0000	80	1010 0000	A0	1011 0000	B0
0.7500	1100 0000	C0	1000 0000	80	1100 0000	C0	1100 0000	C0	1100 0000	C0
0.8125	1101 0000	D0	1000 0000	80	1100 0000	C0	1100 0000	C0	1101 0000	D0
0.8750	1110 0000	E0	1000 0000	80	1100 0000	C0	1110 0000	E0	1110 0000	E0
0.9375	1111 0000	F0	1000 0000	80	1100 0000	C0	1110 0000	E0	1111 0000	F0

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7.3.4 THERM（引脚 4）和 ALERT/THERM2（引脚 6）

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件有两个专用于警报功能的引脚：THERM 和 ALERT/THERM2 引脚。这两个引脚都是开漏输出，每个引脚都需要一个连接到 V+ 的上拉电阻器。这些引脚可与系统的其他警报引脚通过“线或”(wire-OR) 方式连接在一起，用于监控多个传感器。THERM 引脚提供无法通过软件禁用的热中断。ALERT 引脚旨在用作早期的警告中断，可以通过软件禁用或屏蔽。ALERT/THERM2 引脚也可配置为用作 THERM2 引脚，这是第二个 THERM 引脚（配置寄存器：AL/TH 位 = 1）。默认设置将引脚 6 配置为用作 ALERT 引脚 (AL/TH = 0)。

当测得的本地或远程温度超出在相应的本地或远程 THERM 限值寄存器中编程的温度范围时，THERM 引脚会置为有效低电平。可对 THERM 温度限制范围进行编程，使其具有比限值寄存器更宽的范围，从而让 ALERT 引脚可以比 THERM 引脚更早提供警告。当测得的温度降至低于 THERM 温度限制范围减去 THERM 迟滞寄存器中存储的迟滞值时，THERM 警报会自动复位。表 8-8 中列出了允许的迟滞值。默认迟滞为 10°C。当 ALERT/THERM2 引脚配置为第二个热警报（配置寄存器：位 7 = 0，位 5 = 1）时，该引脚的功能与 THERM 引脚相同，但使用存储在本地/远程温度上限/下限寄存器中的温度来设置比较范围。

当 ALERT/THERM2（引脚 6）配置为 ALERT 引脚（配置寄存器：位 7 = 0，位 5 = 0）时，如果测得的本地或远程温度超出由相应的本地/远程温度上限/下限寄存器设置的范围限值，则该引脚置为有效低电平。此警报功能可配置为仅在连续超出范围达到指定次数（1、2、3 或 4）时才置为有效。连续违反限制在连续警报寄存器中设置。由于环境噪声而产生的误警报可以通过需要连续故障来防止。如果远程温度传感器开路，则 ALERT 引脚也置为低电平有效。当启用屏蔽功能（配置寄存器：位 7 = 1）时，禁用（即屏蔽）ALERT 引脚。只要导致警报的条件不再存在，并且状态寄存器已复位，那么当控制器读取器件地址时，ALERT 引脚就会复位。

7.3.5 传感器故障

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件检测由于二极管连接不正确或开路而导致 D+ 输入出现的故障。检测电路包含一个电压比较器，当 D+ 上的电压超过 (V+) - 0.6V（典型值）时，该比较器会跳变。在转换期间，会持续检查比较器输出。如果检测到故障，则最后一次有效测量温度是温度测量结果，OPEN 位（状态寄存器，位 2）设置为高电平，且如果启用了警报功能，则 ALERT 置为有效低电平。

D+ 和 D- 输入必须连接在一起，以便防止在未使用 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 远程传感器时出现无意义的故障警告。

7.3.6 欠压锁定（仅限 TMP411-Q1）

旧芯片：TMP411-Q1 检测电源电压何时达到 ADC 转换器工作所需的最低电压电平，如 图 7-3 所示。检测电路包含一个电压比较器，当电源电压 (V+) 超过 2.45V（典型值）时，该比较器会启用 ADC 比较器。在转换期间，检查比较器输出。在电源无效情况下，TMP411 不会执行温度转换。保留最后一次有效测量温度作为温度测量结果。请注意，当电源值介于上电复位 (POR) 和欠压锁定电压之间时，器件仍可以与主机通信。

新芯片：此行为与上电复位 (POR) 同时出现，用户必须考虑使用 POR 而非欠压锁定。当电源值高于如 图 7-4 所示 POR 电压时，新芯片既可以与主机通信，也可以进行温度转换。此外，当未连接远程二极管时，必须在电源斜升速率小于 240V/s 的情况下忽略第一次远程转换。

旧芯片和新芯片中的 POR 电压和欠压检测电压的差异如图 6-22 所示。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

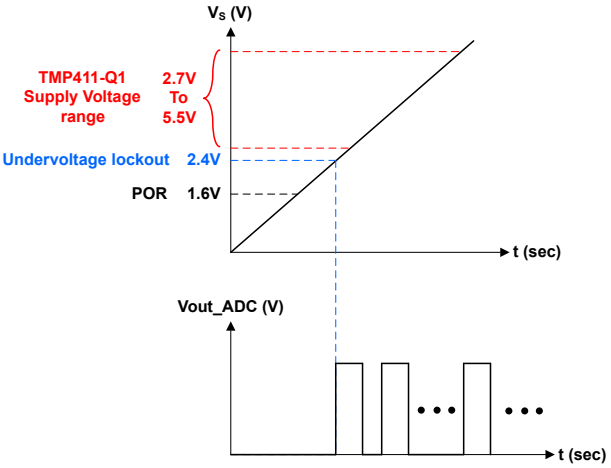


图 7-3. 欠压锁定行为（旧芯片）

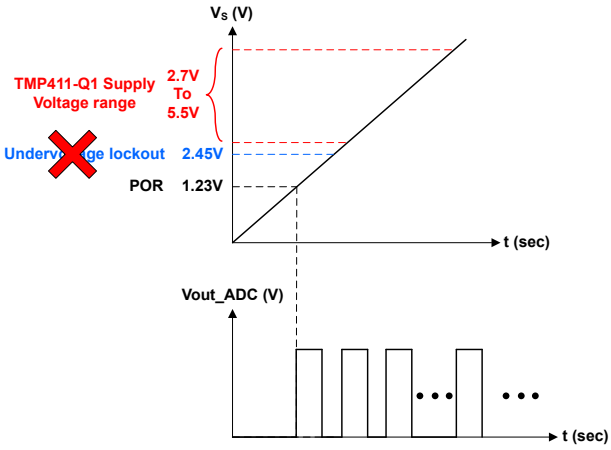


图 7-4. 欠压锁定行为（新芯片）

7.3.7 滤波

远程结温传感器通常在嘈杂的环境中实施，噪声通常由快速数字信号产生，噪声可能会破坏测量结果。TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件在 D+ 和 D- 输入端具有内置 65kHz 滤波器，可最大限度地降低噪声的影响。但是，建议在远程温度传感器的输入端采用差分方式放置一个旁路电容器，让应用免受不必要的耦合信号的影响，从而更加稳健。电容器的值必须介于 100pF 和 1nF 之间。某些应用通过额外的串联电阻获得更好的总体精度；然而，精度的提高程度取决于特定设置。加入串联电阻时，值不得大于 3kΩ。

如果需要滤波，每个输入端的建议元件值为 100pF 和 50Ω。确切值取决于特定应用。

7.4 器件功能模式

7.4.1 关断模式 (SD)

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 关断模式位通过关断除了串行接口之外的所有器件电路来尽可能降低功耗，电流消耗通常可降至 3μA 以下（TMP411-Q1 新芯片和 TMP411D-Q1 可降到 0.6μA）；具体请参阅 图 6-20（新芯片请参阅 图 6-21）。当配置寄存器的关断位 (SD) 配置为 1'b 时，启用关断模式。编程后，器件会立即进入关断模式并停止任何当前的温度转换。如果在本地温度转换期间进入关断模式，则不会更新本地/远程温度结果。如果在远程温度转换期间进入关断模式，则不会更新远程温度结果，但由于已完成本地温度转换，所以会更新本地温度结果。当关断位 (SD) 配置为 0’b 时，器件将保持连续转换状态。

7.4.2 单次转换

当 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件处于关断模式（配置寄存器中的 SD = 1）时，两个通道上的单次转换均通过先向单次触发启动寄存器（指针地址 0Fh）写入任何值开始。该写入操作会启动一次转换，当转换完成后，TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 恢复为关断模式。写入命令中发送的数据值无关紧要，TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 不会存储该数据值。当 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件处于关断模式时，在可以发出单次触发命令之前最初需要等待 200μs。（注意：发出关断命令后，TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 在关断前完成当前转换。）该等待时间仅适用于关断后的 200μs 内。在此之后无需延时，可以立即发出单次触发命令。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7.5 编程

7.5.1 串行接口

在两线制总线或 SMBus 上，TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件只作为目标器件运行。通过开漏 I/O 线路（SDA 和 SCL）实现与其中任一总线的连接。SDA 和 SCL 引脚特有的集成式峰值抑制滤波器和施密特触发器可大大减少输入峰值和总线噪声的影响。TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 支持针对快速（1kHz 至 400kHz）和高速（1kHz 至 3.4MHz）模式的传输协议。所有数据字节的传输都是 MSB 优先。

7.5.2 总线概述

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件兼容 SMBus 接口。在 SMBus 协议中，发起传输的器件被称为控制器，而受控制器控制的器件为目标。总线必须由一个控制器器件控制，以生成串行时钟 (SCL)，控制总线访问，并生成启动和停止条件。

要寻址特定器件，需启动一个启动条件。当 SCL 为高电平时，数据线 (SDA) 的逻辑电平从高电平拉为低电平，即为启动条件。总线移位中的所有目标器件进入目标地址字节，最后一位表明希望进行读取还是写入操作。在第九个时钟脉冲期间，被寻址的目标器件会生成一个确认位并将 SDA 下拉为低电平，对控制器做出响应。

随后会发起数据传输并发送 8 个时钟脉冲，后跟一个确认位。在数据传输期间，SDA 线路必须保持稳定，同时 SCL 为高电平，这是因为在 SCL 为高电平时，SDA 中的任何变化会被认为是一个控制信号。

传输完所有数据后，控制器会生成停止条件。SCL 线路为高电平时，将 SDA 线路从低电平拉至高电平即为停止条件。

7.5.3 时序图

TMP411-Q 和 TMP411D-Q1 器件可兼容两线制和 SMBus。图 7-5 至图 7-8 描述了 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 的多种操作。下面给出了总线定义：

总线空闲：SDA 和 SCL 线路都保持高电平。

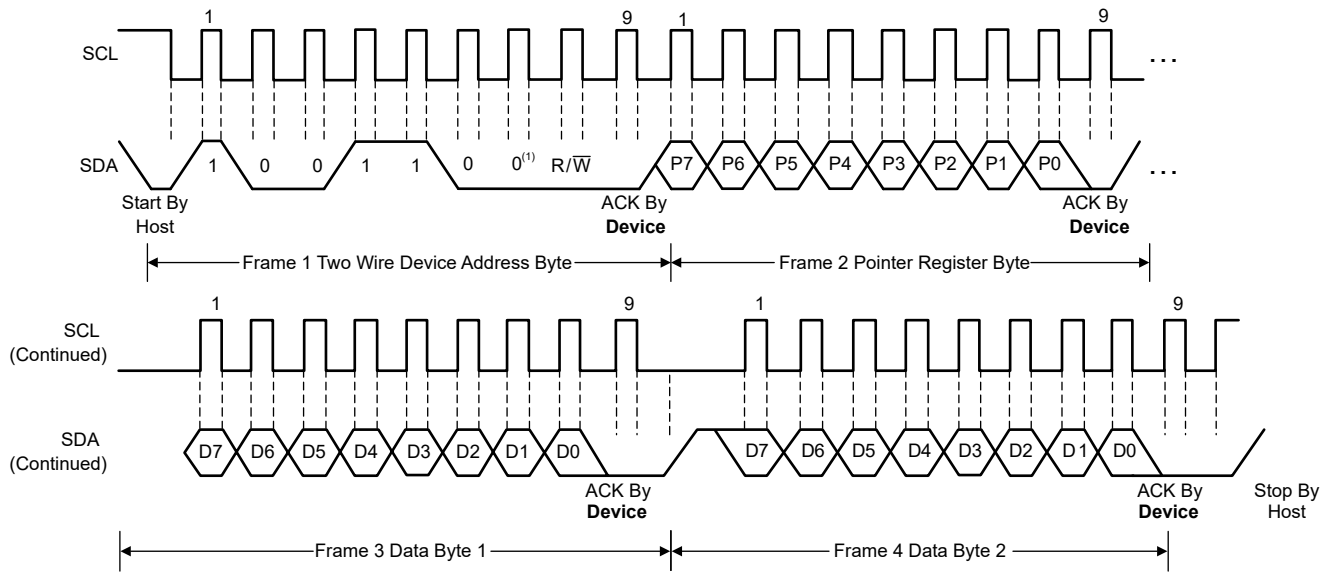
开始数据传输：SDA 线路从高电平到低电平（当 SCL 线路为高电平时）的状态变化将定义一个启动条件。通过启动条件来启动每个数据传输。

停止数据传输：SDA 线路从低电平到高电平（当 SCL 线路为高电平时）的状态变化将定义一个停止条件。停止或反复的启动条件会终止每个数据传输。

数据传输：在启动条件和停止条件之间传送的数据字节的数量没有限制，由控制器器件确定。接收器会确认数据传输。

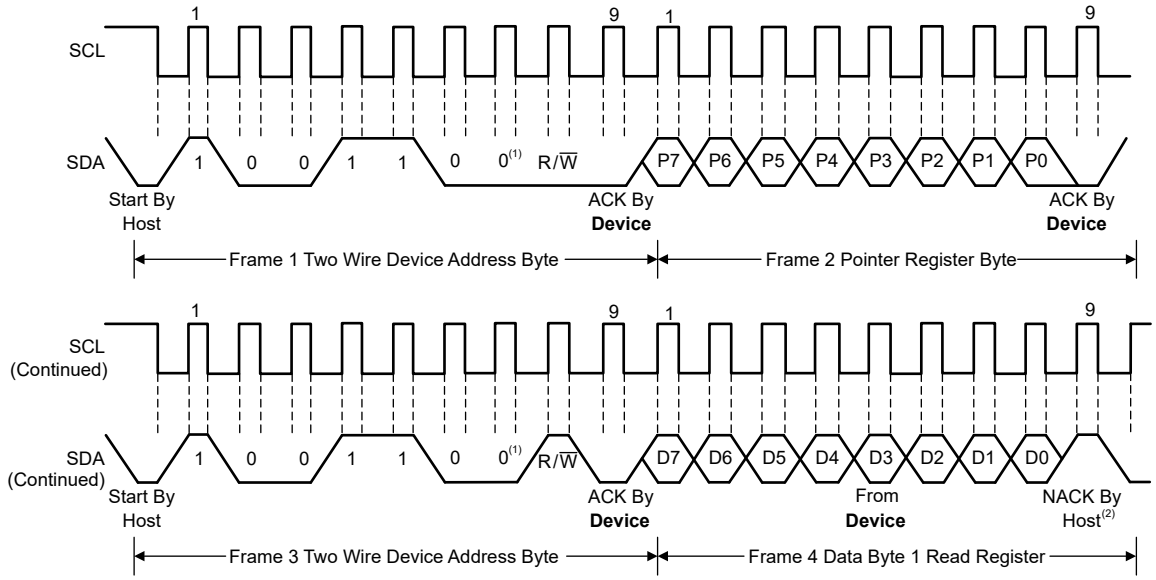
确认：每个接收器件（在寻址后）必须生成一个确认位。做出确认的器件必须在确认时钟脉冲期间下拉 SDA 线路，这样，在确认时钟脉冲的高周期，SDA 线路为稳定低电平。必须将建立和保持时间考虑在内。在控制器接收数据时，控制器通过生成由控制器发送的非确认位来发出数据传输终止信号。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated



A. 所示为目标地址 1001 100（TMP411**A**-Q1/TMP411D**A**-Q1 和 TMP411**D**-Q1/TMP411D**D**-Q1）。TMP411**B**-Q1/TMP411D**B**-Q1 和 TMP411**C**-Q1/TMP411D**C**-Q1 的目标地址变化。有关更多详细信息，请参阅*订购信息*表。

图 7-5. 针对写入字格式的两线制时序图

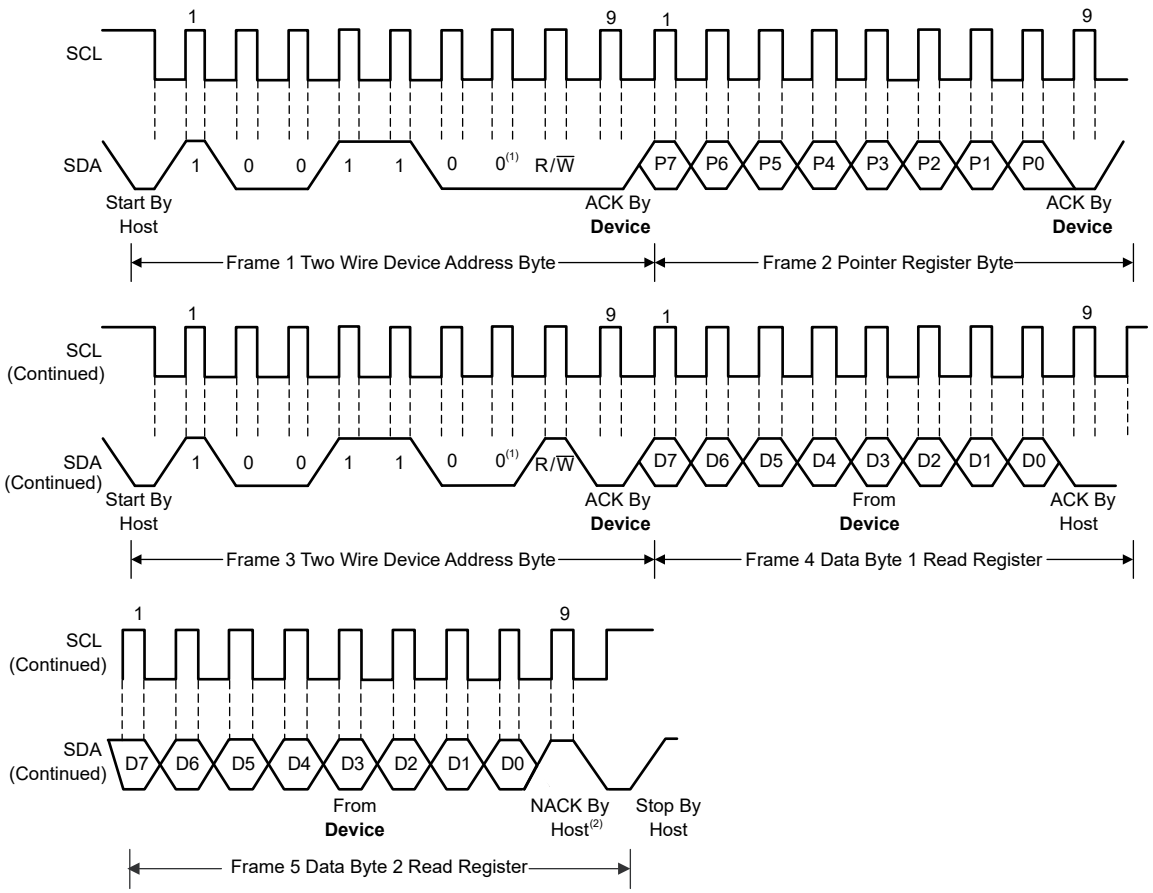


A. 所示为目标地址 1001 100（TMP411**A**-Q1/TMP411D**A**-Q1 和 TMP411**D**-Q1/TMP411D**D**-Q1）。TMP411**B**-Q1/TMP411D**B**-Q1 和 TMP411**C**-Q1/TMP411D**C**-Q1 的目标地址变化。有关更多详细信息，请参阅*订购信息*表。

B. 主机必须将 SDA 保持为高电平，以终止单字节读取操作。

图 7-6. 单字节读取格式的两线制时序图

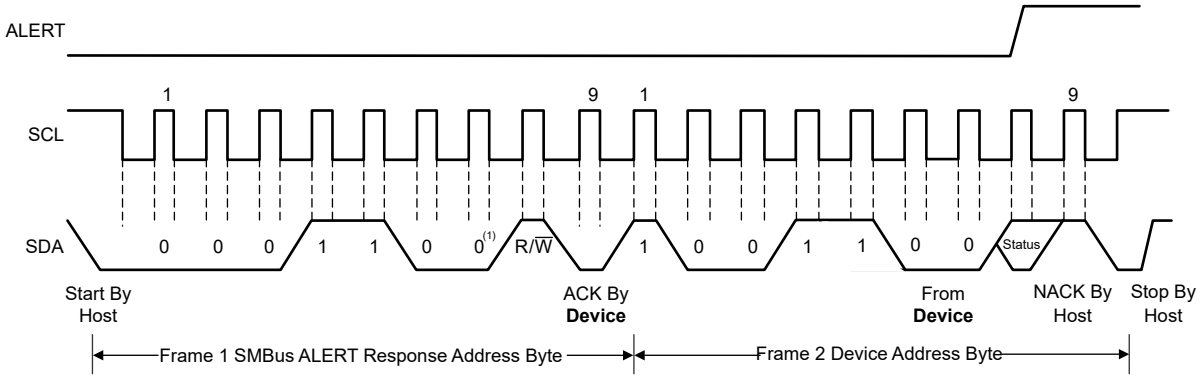
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated



A. 所示为目标地址 1001 100（TMP411**A**-Q1/TMP411D**A**-Q1 和 TMP411**D**-Q1/TMP411D**D**-Q1）。TMP411**B**-Q1/TMP411D**B**-Q1 和 TMP411**C**-Q1/TMP411D**C**-Q1 的目标地址变化。有关更多详细信息，请参阅 *订购信息*表。

B. 主机必须将 SDA 保持为高电平，以便终止双字节读取操作。

图 7-7. 双字节读取格式的两线制时序图



A. 所示为目标地址 1001 100（TMP411**A**-Q1/TMP411D**A**-Q1 和 TMP411**D**-Q1/TMP411D**D**-Q1）。TMP411**B**-Q1/TMP411D**B**-Q1 和 TMP411**C**-Q1/TMP411D**C**-Q1 的目标地址变化。有关更多详细信息，请参阅 *订购信息*表。

图 7-8. SMBus $\overline{\text{ALERT}}$ 的时序图

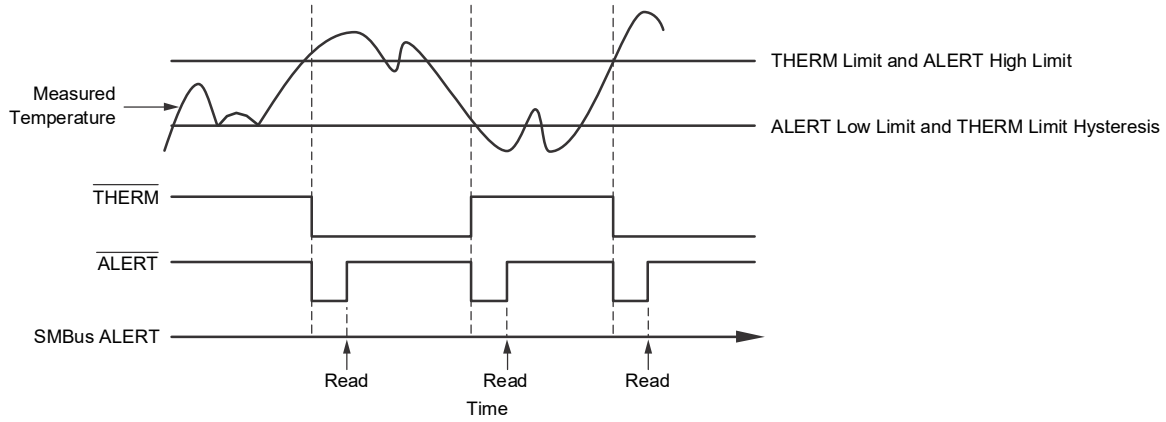


图 7-9. SMBus 警报时序图

7.5.4 串行总线地址

若要与 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 进行通信，控制器必须首先通过目标地址字节来对目标器件进行寻址。目标地址字节包括 7 个地址位和 1 个方向位，这个方向位指明操作是读取还是写入。TMP411A-Q1 和 TMP411DA-Q1 以及 TMP411D-Q1 和 TMP411DD-Q1 器件的地址为 4Ch (1001100b)。

表 7-5. TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件地址选项

器件名称	器件型号	I²C 二进制地址	I²C 十六进制地址	默认本地/远程温度上限
TMP411-Q1 (DGK 封装)	TMP411**A**QDGKRQ1	100 1100b	4Ch	+85°C
	TMP411**B**QDGKRQ1	100 1101b	4Dh	+85°C
	TMP411**C**QDGKRQ1	100 1110b	4Eh	+85°C
	TMP411**D**QDGKRQ1	100 1100b	4Ch	+110°C
TMP411D-Q1 (DDF 封装)	TMP411D**A**QDDFRQ1	100 1100b	4Ch	+85°C
	TMP411D**B**QDDFRQ1	100 1101b	4Dh	+85°C
	TMP411D**C**QDDFRQ1	100 1110b	4Eh	+85°C
	TMP411D**D**QDDFRQ1	100 1100b	4Ch	+110°C

7.5.5 读取/写入操作

要访问 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 上的特定寄存器，必须将适当的值写入指针寄存器。当读取和写入位为低电平时，指针寄存器的值是目标地址字节之后传输的第一个字节。对 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 的每次写入操作都需要一个指针寄存器值，如 图 7-5 所示。

从 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件读取时，写入操作存入指针寄存器的最后一个值用于确定读取操作会读取哪个寄存器。为了将寄存器指针更改为进行读取操作，必须在寄存器指针中写入一个新值。要完成此事务，应在 R/W 位为低电平时发出一个目标地址字节，后跟指针寄存器字节。无需额外的数据。然后，控制器生成一个启动条件，并在 R/W 位为高电平时发送目标地址字节，以启动读取命令。有关此序列的详细信息，请参阅图 7-6。如果需要从同一寄存器重复读取，则无需一直发送指针寄存器字节，因为 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件会保留指针寄存器值，直至下一次写入操作更改该值。请注意，MSB 先发送寄存器字节，然后是 LSB。

7.5.6 超时功能

当连续警报寄存器的位 7 设置为高电平时，启用 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 超时功能。在启动和停止条件之间，如果 SCL 或 SDA 中的任何一个保持为低电平 30ms (典型值) ，那么 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 将重置串行接口。如果 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件将总线保持在低电平，器件会释放总线并等待启动条件。为避免激活超时功能，必须为 SCL 运行频率保持至少 1kHz 的通信速度。超时功能的默认状态为启用 (位 7 = 高电平) 。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7.5.7 高速模式

为了使两线制总线的运行频率大于 400kHz，在一个启动条件将总线切换至高速运行后，控制器器件必须发出一个高速模式（Hs 模式）控制器代码 (00001XXX) 作为第一个字节。TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件并不确认这个字节，而是将 SDA 和 SCL 线路上的输入滤波器和 SDA 上的输出滤波器切换到 Hs 模式运行，从而支持最高 3.4MHz 的传输。在发出 Hs 模式控制器代码后，控制器会发送一个两线制目标地址，来启动数据传输操作。总线以 Hs 模式运行，直至总线上出现停止条件。TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件在收到停止条件后切换输入和输出滤波器。

7.5.8 通用广播复位

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件支持通过两线制通用广播地址 00h (0000 0000b) 进行复位。TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件可读取通用广播地址，并对第二个字节作出响应。如果第二个字节为 06h (0000 0110b)，则 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 执行软件复位。此软件复位会还原所有 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 寄存器的上电复位状态，中止正在进行的任何转换，并清除 $\overline{\text{ALERT}}$ 和 $\overline{\text{THERM}}$ 引脚。TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 不响应第二个字节中的其他值。

7.5.9 软件复位

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 可通过向指针寄存器 FCh 写入任意值来复位。这样会还原所有 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 寄存器的上电复位状态，中止正在进行的任何转换，并清除 $\overline{\text{ALERT}}$ 和 $\overline{\text{THERM}}$ 引脚。

7.5.10 SMBUS 警报功能

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 支持 SMBus 警报功能。当引脚 6 配置为警报输出时，TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 的 $\overline{\text{ALERT}}$ 引脚可以作为 SMBus 警报信号连接。当控制器检测到 ALERT 线路上存在警报条件时，控制器会在总线上发送 SMBus 警报命令 (0001 1001)。如果 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件的 $\overline{\text{ALERT}}$ 引脚有效，则器件会确认 SMBus 警报命令，并返回 SDA 线路上的目标地址。目标地址字节的第八位 (LSB) 表明警报条件的产生原因是温度超过其中一个温度上限设置还是低于其中一个温度下限设置。如果温度高于其中一个温度上限设置，则该位为高电平；如果温度低于或等于其中一个温度下限设置，则该位为低电平。有关此序列的详细信息，请参阅图 7-9。

如果总线上的多个器件对 SMBus 警报命令做出响应，SMBus 警报命令的目标地址部分的仲裁将确定哪一个器件清除警报状态。如果 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 在仲裁中胜出，则 $\overline{\text{ALERT}}$ 引脚在 SMBus 警报命令完成时变为无效。如果 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件未在仲裁中胜出，则 $\overline{\text{ALERT}}$ 引脚将保持有效。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

8 寄存器映射

表 8-1. 寄存器映射摘要

指针地址（十六进制）		A、B 和 C 的上电复位（十六进制）	D 的上电复位（十六进制）	位说明								寄存器说明
读取	写入			D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
00	不适用[1]	00	00	LT11	LT10	LT9	LT8	LT7	LT6	LT5	LT4	本地温度（高字节）
01	不适用	00	00	RT11	RT10	RT9	RT8	RT7	RT6	RT5	RT4	远程温度（高字节）
02	不适用	XX	XX	BUSY	LHIGH	LLOW	RHIGH	RLOW	断开	RTHRM	LTHRM	状态寄存器
03	09	00	00	MASK1	SD	AL/TH	0	0	范围	0	0	配置寄存器
04	0A	08	08	0	0	0	0	R3	R2	R1	R0	转换速率寄存器
05	0B	55	6E	LTH11	LTH10	LTH9	LTH8	LTH7	LTH6	LTH5	LTH4	本地温度上限（高字节）
06	0C	00	00	LTL11	LTL10	LTL9	LTL8	LTL7	LTL6	LTL5	LTL4	本地温度下限（高字节）
07	0D	55	6E	RTH11	RTH10	RTH9	RTH8	RTH7	RTH6	RTH5	RTH4	远程温度上限（高字节）
08	0E	00	00	RTL11	RTL10	RTL9	RTL8	RTL7	RTL6	RTL5	RTL4	远程温度下限（高字节）
不适用	0F	XX	XX	X[2]	X	X	X	X	X	X	X	单次触发启动
10	不适用	00	00	RT3	RT2	RT1	RT0	0	0	0	0	远程温度（低字节）
13	13	00	00	RTH3	RTH2	RTH1	RTH0	0	0	0	0	远程温度上限（低字节）
14	14	00	00	RTL3	RTL2	RTL1	RTL0	0	0	0	0	远程温度下限（低字节）
15	不适用	00	00	LT3	LT2	LT1	LT0	0	0	0	0	本地温度（低字节）
16	16	00	00	LTH3	LTH2	LTH1	LTH0	0	0	0	0	本地温度上限（低字节）
17	17	00	00	LTL3	LTL2	LTL1	LTL0	0	0	0	0	本地温度下限（低字节）
18	18	00	00	NC7	NC6	NC5	NC4	NC3	NC2	NC1	NC0	N 因数校正
19	19	55	6E	RTHL11	RTHL10	RTHL9	RTHL8	RTHL7	RTHL6	RTHL5	RTHL4	远程 $\overline{\text{THERM}}$ 限制
1A	1A	1C	1C	0	0	0	1	1	1	RES1	RES0	分辨率寄存器
20	20	55	6E	LTHL11	LTHL10	LTHL9	LTHL8	LTHL7	LTHL6	LTHL5	LTHL4	本地 $\overline{\text{THERM}}$ 限制
21	21	0A	0A	TH11	TH10	TH9	TH8	TH7	TH6	TH5	TH4	$\overline{\text{THERM}}$ 迟滞
22	22	81	81	TO_EN	0	0	0	C2	C1	C0	1	连续警报寄存器
30	30	FF	FF	LMT11	LMT10	LMT9	LMT8	LMT7	LMT6	LMT5	LMT4	本地温度最小值（高字节）
31	31	F0	F0	LMT3	LMT2	LMT1	LMT0	0	0	0	0	本地温度最小值（低字节）
32	32	00	00	LXT11	LXT10	LXT9	LXT8	LXT7	LXT6	LXT5	LXT4	本地温度最大值（高字节）
33	33	00	00	LXT3	LXT2	LXT1	LXT0	0	0	0	0	本地温度最大值（低字节）

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

表 8-1. 寄存器映射摘要（续）

指针地址（十六进制）		A、B 和 C 的上电复位（十六进制）	D 的上电复位（十六进制）	位说明								寄存器说明
读取	写入			D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
34	34	FF	FF	RMT11	RMT10	RMT9	RMT8	RMT7	RMT6	RMT5	RMT4	远程温度最小值（高字节）
35	35	F0	F0	RMT3	RMT2	RMT1	RMT0	0	0	0	0	远程温度最小值（低字节）
36	36	00	00	RXT11	RXT10	RXT9	RXT8	RXT7	RXT6	RXT5	RXT4	远程温度最大值（高字节）
37	37	00	00	RXT3	RXT2	RXT1	RXT0	0	0	0	0	远程温度最大值（低字节）
不适用	FC	XX	XX	X(2)	X	X	X	X	X	X	X	软件复位
FE	不适用	55	55	0	1	0	1	0	1	0	1	制造商 ID
FF	不适用	12	12	0	0	0	1	0	0	1	0	TMP411**A**-Q1/TMP411D**A**-Q1 的器件 ID
FF	不适用	13	13	0	0	0	1	0	0	1	1	TMP411**B**-Q1/TMP411D**B**-Q1 的器件 ID
FF	不适用	10	10	0	0	0	1	0	0	0	0	TMP411**C**-Q1/TMP411D**C**-Q1 的器件 ID

(1) NA = 不适用；寄存器为只写或只读
(2) X = 不可确定状态

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

8.1 寄存器信息

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 包含多个寄存器，用于保存配置信息、温度测量结果、温度比较器最大和最小限值以及状态信息。图 8-1 和表 8-1 说明了这些寄存器。

8.2 指针寄存器

图 8-1 所示为 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件的内部寄存器结构。8 位指针寄存器用于寻址一个给定的数据寄存器。指针寄存器可确定哪个数据寄存器必须响应两线制总线上的读取或写入命令。该寄存器会在每次写入命令时置位。在执行读取命令之前，必须发出写入命令，在指针寄存器中设置正确的值。表 8-1 描述了 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 中可用的寄存器的指针地址。请注意，A、B、C 与 D 的读取指针地址 0x05、0x07、0x19 和 0x20 具有不同的上电复位值。指针寄存器的上电复位 (POR) 值为 00h (0000 0000b)。

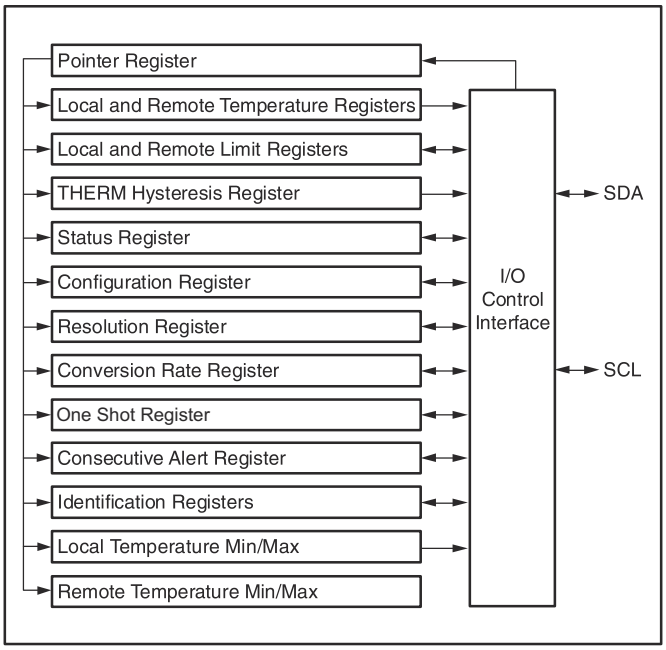


图 8-1. 内部寄存器结构

8.3 温度寄存器

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 有四个 8 位寄存器，用于保存温度测量结果。本地通道和远程通道有一个高字节寄存器，其中包含了温度模数转换器 (ADC) 结果的最高有效位 (MSB)，还有一个低字节寄存器，其中包含了温度 ADC 结果的最低有效位 (LSB)。本地通道高字节地址为 00h；本地通道低字节地址为 15h。远程通道高字节地址为 01h；远程通道低字节地址为 10h。这些寄存器为只读寄存器，每次温度测量完成后，ADC 都会更新这些寄存器。

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 包含了电路，可用来验证低字节寄存器读取命令会返回与前一个高字节读取命令相同的 ADC 转换中的数据。这一验证仅在读取另一个寄存器前才会保持有效。为确保正常运行，必须先读取温度寄存器的高字节。必须在下一个读取命令中读取低字节寄存器。如果不需要 LSB，低字节寄存器可保持未读状态。或者，使用单个双字节读取命令从地址 00h（对于本地通道结果）或地址 01h（对于远程通道结果）读取，温度寄存器可以作为 16 位寄存器来读取。先读取高字节，然后是低字节。此读取操作的两个字节来自同一 ADC 转换。两个温度寄存器的上电复位值均为 00h。

8.4 限值寄存器

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 有 11 个寄存器可用于为本地和远程测量通道设置比较器限制。这些寄存器支持读写。两个通道的上限和下限寄存器跨越两个寄存器，温度寄存器也是如此。可以通过将高字节写入指针地址 0Bh

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

并将低字节写入指针地址 16h，或使用单个两字节写入命令（先写入高字节）写入指针地址 0Bh 来设置本地温度上限。可以通过以下方法获得本地温度上限：从指针地址 05h 读取高字节并从指针地址 16h 读取低字节，或者使用单个两字节读取命令从指针地址 05h 读取。本地温度上限的上电复位值为 55h/6Eh/00h（TMP411A-Q1/TMP411DA-Q1 至 TMP411C-Q1/TMP411DC-Q1 在标准温度模式下为 85°C；TMP411D-Q1/TMP411DD-Q1 在标准温度模式下为 110°C，在扩展温度范围内为 21°C）。

同样，可以通过以下方法设置本地温度下限：将高字节写入指针地址 0Ch 并将低字节写入指针地址 17h，或者使用单个两字节写入命令写入指针地址 0Ch。通过以下方法读取本地温度下限：从指针地址 06h 读取高字节并从指针地址 17h 读取低字节，或者使用单个两字节读取命令从指针地址 06h 读取。本地温度下限寄存器的上电复位值为 00h/00h（在标准温度模式下为 0°C，在扩展温度模式下为 -64°C）。

通过以下方法设置远程温度上限：将高字节写入指针地址 0Dh 并将低字节写入指针地址 13h，或者使用单个两字节写入命令写入指针地址 0Dh。通过以下方法读取远程温度上限：从指针地址 07h 读取高字节并从指针地址 13h 读取低字节，或者使用单个两字节读取命令从指针地址 07h 读取。远程温度上限寄存器的上电复位值为 55h/6Eh/00h（TMP411A-Q1/TMP411DA-Q1 至 TMP411C-Q1/TMP411DC-Q1 在标准温度模式下为 85°C；TMP411D-Q1/TMP411DD-Q1 在标准温度模式下为 110°C，在扩展温度模式下为 21°C）。

通过以下方法设置远程温度下限：将高字节写入指针地址 0Eh 并将低字节写入指针地址 14h，或者使用单个两字节写入命令写入指针地址 0Eh。通过以下方法读取远程温度下限：从指针地址 08h 读取高字节并从指针地址 14h 读取低字节，或者使用单个两字节读取命令从指针地址 08h 读取。远程温度下限寄存器的上电复位值为 00h/00h（在标准温度模式下为 0°C，在扩展温度模式下为 -64°C）。

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 还具有用于本地和远程通道的 $\overline{\text{THERM}}$ 限值寄存器。这些寄存器为八位，可以将 $\overline{\text{THERM}}$ 限值设置为 1°C 分辨率。通过写入指针地址 20h 来设置本地通道 $\overline{\text{THERM}}$ 限制。通过写入指针地址 19h 来设置远程通道 $\overline{\text{THERM}}$ 限制。从指针地址 20h 读取本地通道 $\overline{\text{THERM}}$ 限制，从指针地址 19h 读取远程通道 $\overline{\text{THERM}}$ 限制。$\overline{\text{THERM}}$ 限值寄存器的上电复位值为 55h/6Eh/00h（TMP411A-Q1/TMP411DA-Q1 至 TMP411C-Q1/TMP411DC-Q1 在标准温度模式下为 85°C；TMP411D-Q1/TMP411DD-Q1 在标准温度模式下为 110°C，在扩展温度模式下为 21°C）。$\overline{\text{THERM}}$ 限值比较器也具有迟滞特性。通过写入指针地址 21h 来设置两个比较器的迟滞。通过从指针地址 21h 读取来获得迟滞值。迟滞寄存器值是（始终为正数）的无符号数。此寄存器的上电复位值为 0Ah (10°C)。

每当在标准温度范围和扩展温度范围之间变化时，请注意，存储在温度限值寄存器中的温度不会自动重新格式化来对应于新的温度范围格式。这些值必须以适当的二进制或扩展二进制格式重新编程。

8.5 状态寄存器

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 具有状态寄存器以报告温度比较器状态。表 8-2 显示了状态寄存器位。状态寄存器是只读的，可从指针地址 02h 读取。

如果 ADC 正在进行转换，则 BUSY 位读数为 1，如果 ADC 未进行转换，则该位读数为 0。

如果自上次读取状态寄存器后检测到远程晶体管为 OPEN，则 OPEN 位读数为 1。仅当 ADC 尝试转换远程温度时，才会检测到 OPEN 状态。

如果远程温度超过远程 $\overline{\text{THERM}}$ 限制，保持大于远程 $\overline{\text{THERM}}$ 限制，且小于共享迟滞寄存器中的值，则 RTHRM 位读数为 1，如图 7-9 所示。

如果本地温度超过本地 $\overline{\text{THERM}}$ 限制，保持大于本地 $\overline{\text{THERM}}$ 限制，且小于共享迟滞寄存器中的值，则 LTHRM 位读数为 1，如图 7-9 所示。

LHIGH 和 RHIGH 位的值取决于配置寄存器中 AL/TH 位的状态。如果 AL/TH 位为 0，则在自上次清除状态寄存器以来超过本地上限时，LHIGH 位读数为 1。如果自上次清除状态寄存器以来超过远程上限，则 RHIGH 位读数为 1。如果 AL/TH 位为 1，则使用远程上限和本地上限来实现 $\overline{\text{THERM2}}$ 功能。如果本地温度已超过本地上限并保持大于本地上限且小于迟滞寄存器中的值，则 LHIGH 位读数为 1。

如果远程温度已超过远程上限并保持高于远程上限且小于迟滞寄存器中的值，则 RHIGH 位读数为 1。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

LLOW 和 RLOW 位不受 AL/TH 位的影响。如果自上次清除状态寄存器以来超过了本地下限，则 LLOW 位读数为 1。如果自上次清除状态寄存器以来超过了远程下限，则 RLOW 位读数为 1。当未连接远程二极管且电源斜升速率小于 240V/s 时，也会设置 RLOW 标志并必须将其忽略。

锁存 LLOW、RLOW 和 OPEN 的值（以及当 AL/TH 为 0 时 LHIGH 和 RHIGH 的值）且其读数为 1，直至读取状态寄存器或发生器件复位。只要不再存在导致设置标志的条件，就可以通过读取状态寄存器来清除这些位。读取状态寄存器不会锁存和清除 BUSY、LTHRM 和 RTHRM 的值（以及当 $\overline{\text{ALERT}}$/$\overline{\text{THERM2}}$ 为 1 时 LHIGH 和 RHIGH 的值）。BUSY、LTHRM 和 RTHRM 的值始终表示当前状态，在相应的 ADC 转换结束时会适当地进行更新。清除状态寄存器位不会清除 $\overline{\text{ALERT}}$ 引脚的状态；必须使用 SMBus 警报响应地址命令来清除 $\overline{\text{ALERT}}$ 引脚。

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 对 LHIGH、LLOW、RHIGH、RLOW 和 OPEN 进行或非运算，因此这些标志中任何一个的状态从 0 变为 1 都会自动导致 $\overline{\text{ALERT}}$ 引脚变为低电平（仅当 $\overline{\text{ALERT}}$/$\overline{\text{THERM2}}$ 引脚配置为 $\overline{\text{ALERT}}$ 模式时才适用）。

表 8-2. 状态寄存器格式

状态寄存器（读取 = 02h，写入 = 不适用）								
位 #	**D7**	**D6**	**D5**	**D4**	**D3**	**D2**	**D1**	**D0**
位名称	BUSY	LHIGH	LLOW	RHIGH	RLOW	断开	RTHRM	LTHRM
POR 值	0(1)	0	0	0	0	0	0	0

(1) 在 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 开始第一次温度转换时，在上电后 BUSY 位几乎立即 (<< 100µs) 变为 1。只要 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件正在转换温度读数，BUSY 位就为高电平。

8.6 配置寄存器

配置寄存器设置温度范围、控制关断模式以及确定 $\overline{\text{ALERT}}$/$\overline{\text{THERM2}}$ 引脚的工作方式。通过写入指针地址 09h 以及从指针地址 03h 读取来设置配置寄存器。

如果 AL/TH = 0，则通过设置 MASK 位（位 7）可启用或禁用 $\overline{\text{ALERT}}$ 引脚输出。如果 AL/TH = 1，则 MASK 位不起作用。如果将 MASK 设置为 0，则当其中一个温度测量通道超过所选连续转换数的上限或下限时，$\overline{\text{ALERT}}$ 引脚变为低电平。如果 MASK 位设置为 1，TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 会保持 $\overline{\text{ALERT}}$ 引脚状态，但 $\overline{\text{ALERT}}$ 引脚不会变为低电平。

关断 (SD) 位（位 6）可启用或禁用温度测量电路。如果 SD = 0，TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 将以转换率寄存器中设置的速率连续转换。当 SD 设置为 1 时，TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 会立即停止转换，并进入关断模式。当 SD 再次设置为 0 时，TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 会恢复连续转换。当 SD = 1 时，可以通过写入单次触发寄存器开始单次转换。

AL/TH 位（位 5）控制 $\overline{\text{ALERT}}$ 引脚在 $\overline{\text{ALERT}}$ 模式或 $\overline{\text{THERM2}}$ 模式下是否起作用。如果 AL/TH = 0，则 $\overline{\text{ALERT}}$ 引脚作为中断引脚运行。在此模式下，$\overline{\text{ALERT}}$ 引脚在连续发生设定次数的超限温度测量后变为低电平。

如果 AL/TH = 1，则 $\overline{\text{ALERT}}$/$\overline{\text{THERM2}}$ 引脚实现 THERM 功能 ($\overline{\text{THERM2}}$)。在此模式下，$\overline{\text{THERM2}}$ 的功能与 $\overline{\text{THERM}}$ 引脚类似，不同之处在于本地上限和远程上限寄存器用于阈值。当设置 RHIGH 或 LHIGH 时，$\overline{\text{THERM2}}$ 变为低电平。

可以通过为配置寄存器配置位 2 来设置温度范围。将此位设置为低电平可将 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件配置为标准测量范围（0°C 至 127°C）。以标准二进制格式存储温度转换结果。将位 2 设置为高电平可将 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 配置为扩展测量范围（−55°C 至 150°C）。以扩展二进制格式存储温度转换结果（请参阅表 7-1）。

配置寄存器的其余位保留，必须始终设置为 0。此寄存器的上电复位值为 00h。表 8-3 总结了配置寄存器的各个位。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

备注

TMP411**x**-Q1/TMP411D**x**-Q1 器件系列默认设置为标准温度范围。因此，如果使用此功能，则始终需要在上电后将器件配置为扩展温度范围。

表 8-3. 配置寄存器位说明

配置寄存器（读取 = 03h，写入 = 09h，POR = 00h）			
位	名称	功能	上电复位值
7	MASK	0 = $\overline{\text{ALERT}}$ 已启用；1 = $\overline{\text{ALERT}}$ 已屏蔽	0
6	SD	0 = 运行；1 = 关断	0
5	AL/TH	0 = $\overline{\text{ALERT}}$ 模式；1 = $\overline{\text{THERM}}$ 模式	0
4、3	保留	—	0
2	温度范围	0 = 0°C 至 127°C；1 = –55°C 至 150°C	0
1、0	保留	—	0

8.7 分辨率寄存器

分辨率寄存器的 RES1 和 RES0 位（分辨率位 1 和 0）设置本地温度测量通道的分辨率。远程温度测量通道分辨率不受影响。更改本地通道分辨率也会仅影响 TMP411-Q1 的转换时间和速率。写入指针地址 1Ah 可设置分辨率寄存器，也可从指针地址 1Ah 读取。表 8-4 显示了分辨率寄存器的分辨率位。

表 8-4. 分辨率寄存器：本地通道可编程分辨率

分辨率寄存器（读取 = 1Ah，写入 = 1Ah，POR = 1Ch）				
RES1	RES0	分辨率	转换时间（典型值） TMP411-Q1（旧芯片）	转换时间（典型值） TMP411-Q1（新芯片） TMP411D-Q1
0	0	9 位 (0.5 °C)	12.5ms	17.7ms
0	1	10 位 (0.25 °C)	25ms	17.7ms
1	0	11 位 (0.125 °C)	50ms	17.7ms
1	1	12 位 (0.0625 °C)	100ms	17.7ms

分辨率寄存器的位 2 至位 4 必须设置为 1。分辨率寄存器的位 5 至位 7 必须设置为 0。此寄存器的上电复位值为 1Ch。

8.8 转换速率寄存器

转换速率寄存器控制执行温度转换的速率。该寄存器会调整转换之间的空闲时间，而不会调整转换时序，从而使 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 的功率耗散与温度寄存器更新速率之间保持平衡。表 8-5 显示了转换速率选项和相应的电流消耗。

表 8-5. 转换速率寄存器

转换速率寄存器（读取 = 04h，写入 = 0Ah，POR = 08h）											
R7	R6	R5	R4	R3	R2	R1	R0	每秒转换数	平均 IQ（典型值）(µA) TMP411-Q1（旧芯片）		平均 IQ（典型值）(µA) TMP411-Q1（新芯片） TMP411D-Q1
									V+ = 2.7V	V+ = 5.5V	V+ = 2.7V 和 5.5V
0	0	0	0	0	0	0	0	0.0625	11	32	1.5
0	0	0	0	0	0	0	1	0.125	17	38	1.8
0	0	0	0	0	0	1	0	0.25	28	49	2.5
0	0	0	0	0	0	1	1	0.5	47	69	3.8
0	0	0	0	0	1	0	0	1	80	103	6.5

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

表 8-5. 转换速率寄存器（续）

转换速率寄存器（读取 = 04h，写入 = 0Ah，POR = 08h）											
R7	R6	R5	R4	R3	R2	R1	R0	每秒转换数	平均 IQ（典型值）(µA) TMP411-Q1（旧芯片）		平均 IQ（典型值）(µA) TMP411-Q1（新芯片） TMP411D-Q1
									V+ = 2.7V	V+ = 5.5V	V+ = 2.7V 和 5.5V
0	0	0	0	0	1	0	1	2	128	155	12
0	0	0	0	0	1	1	0	4	190	220	23
07h 至 0Fh								8	373	413	45

8.9 N 因数校正寄存器

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 允许使用不同的 *n* 因数值将远程通道测量值转换为温度。远程通道使用顺序电流激励来提取差分 V_{BE} 电压测量值，用于确定远程晶体管的温度。方程式 1 将此电压与温度关联。

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

n 是用于远程通道的特定晶体管的一个特性值。TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 的默认值为 *n* = 1.008。N 因数校正寄存器中的值可用于根据方程式 2 和方程式 3 调整有效的 n 因数。

$$n_{eff} = \frac{1.008 \times 300}{300 - N_{ADJUST}} \quad (2)$$

$$N_{ADJUST} = 300 - \frac{300 \times 1.008}{n_{eff}} \quad (3)$$

n 校正值必须以二进制补码格式存储，这样可得到 -128 至 127 的有效数据范围，如 表 8-6 所示。可以将 n 校正值写入指针地址 18h 以及从这个地址读取该值。寄存器上电复位值为 00h，除非对该值进行写入，否则该值不受影响。

表 8-6. N 因数范围

N_{ADJUST}			N
二进制	十六进制	十进制	
0111 1111	7F	127	1.747977
0000 1010	0A	10	1.042759
0000 1000	08	8	1.035616
0000 0110	06	6	1.028571
0000 0100	04	4	1.021622
0000 0010	02	2	1.014765
0000 0001	01	1	1.011371
0000 0000	00	0	1.008
1111 1111	FF	-1	1.004651
1111 1110	FE	-2	1.001325
1111 1100	FC	-4	0.994737
1111 1010	FA	-6	0.988235
1111 1000	F8	-8	0.981818
1111 0110	F6	-10	0.975484
1000 0000	80	-128	0.706542

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

8.10 最小值和最大值寄存器

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 存储自从上电、芯片复位或本地和远程通道的最小值和最大值寄存器复位以来测得的最小和最大温度。读取本地温度最小值寄存器，从指针地址 30h 读取高字节，从指针地址 31h 读取低字节。使用一个两字节读取命令从指针地址 30h 读取本地温度最小值寄存器。通过执行芯片复位命令，或通过向指针地址 30h 至 37h 中的任何地址写入任何值，本地温度最小值寄存器会在上电时复位。这些寄存器的复位值为 FFh/F0h。

读取本地温度最大值寄存器，从指针地址 32h 读取高字节，从指针地址 33h 读取低字节。使用一个两字节读取命令从指针地址 32h 读取本地温度最大值寄存器。通过执行芯片复位命令，或通过向指针地址 30h 至 37h 中的任何地址写入任何值，本地温度最大值寄存器会在上电时复位。这些寄存器的复位值为 00h/00h。

读取远程温度最小值寄存器，从指针地址 34h 读取高字节，从指针地址 35h 读取低字节。使用一个两字节读取命令从指针地址 34h 读取远程温度最小值寄存器。通过执行芯片复位命令，或通过向指针地址 30h 至 37h 中的任何地址写入任何值，远程温度最小值寄存器会在上电时复位。这些寄存器的复位值为 FFh/F0h。

读取远程温度最大值寄存器，从指针地址 36h 读取高字节，从指针地址 37h 读取低字节。使用一个两字节读取命令从指针地址 36h 读取远程温度最大值寄存器。通过执行芯片复位命令，或通过向指针地址 30h 至 37h 中的任何地址写入任何值，远程温度最大值寄存器会在上电时复位。这些寄存器的复位值为 00h/00h。

8.11 连续警报寄存器

连续警报寄存器（地址 22h）中的值决定了必须在测量通道上连续进行多少次超限测量才会激活 $\overline{\text{ALERT}}$ 信号。此寄存器中的值不会影响状态寄存器中的位。可选择一次、两次、三次或四次连续转换的值；默认为一次转换。使用该功能可对 $\overline{\text{ALERT}}$ 引脚进行额外的滤波。表 8-7 展示了连续警报位。

表 8-7. 连续警报寄存器

连续警报寄存器（读取 = 22h，写入 = 22h，POR = 01h）			
C2	C1	C0	连续超限测量的次数
0	0	0	1
0	0	1	2
0	1	1	3
1	1	1	4

备注

连续警报寄存器的位 7 控制超时功能的启用/禁用。有关此功能的说明，请参阅超时功能部分。

8.12 $\overline{\text{THERM}}$ 迟滞寄存器

表 8-9 中所示的 $\overline{\text{THERM}}$ 迟滞寄存器存储用于 $\overline{\text{THERM}}$ 引脚警报功能的迟滞值。必须使用比本地温度上限寄存器值、远程温度上限寄存器值、本地 THERM 限值寄存器值或远程 THERM 限值寄存器值更小的值来对此寄存器进行编程；否则相应的温度比较器不会在测量温度的下降沿跳变。表 8-8 中显示了允许的迟滞值。无论器件是在标准模式设置还是在工作温度模式设置下运行，默认迟滞值均为 10°C。

表 8-8. 允许的 $\overline{\text{THERM}}$ 迟滞值

温度 (°C)	$\overline{\text{THERM}}$ 迟滞值	
	TH [11:4]（标准二进制）	（十六进制）
0	0000 0000	00
1	0000 0001	01
5	0000 0101	05
10	0000 1010	0A

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

表 8-8. 允许的 $\overline{\text{THERM}}$ 迟滞值（续）

温度 (°C)	$\overline{\text{THERM}}$ 迟滞值	
	TH [11:4] （标准二进制）	（十六进制）
25	0001 1001	19
50	0011 0010	32
75	0100 1011	4B
100	0110 0100	64
125	0111 1101	7D
127	0111 1111	7F
150	1001 0110	96
175	1010 1111	AF
200	1100 1000	C8
225	1110 0001	E1
255	1111 1111	FF

表 8-9. $\overline{\text{THERM}}$ 迟滞寄存器格式

$\overline{\text{THERM}}$ 迟滞寄存器（读取 = 21h，写入 = 21h，POR = 0Ah）								
位 #	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名称	TH11	TH10	TH9	TH8	TH7	TH6	TH5	TH4
POR 值	0	0	0	0	1	0	1	0

8.13 标识寄存器

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 允许两线制总线控制器查询器件的制造商和器件标识。利用此特性可在特定的两线制总线地址对器件进行软件标识。通过读取指针地址 FEh 来获得制造商 ID。TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 制造商代码为 55h。器件 ID 取决于具体型号；请参阅寄存器映射（表 8-1）。这些寄存器是只读的。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

9 应用和实施

备注

以下应用部分中的信息不属于 TI 器件规格的范围，TI 不担保其准确性和完整性。TI 的客 户应负责确定器件是否适用于其应用。客户应验证并测试其设计，以确保系统功能。

9.1 应用信息

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 只需要在 D+ 和 D- 引脚之间连接一个晶体管，便可进行远程温度测量。如果未使用远程通道且只需测量本地温度，请将 D+ 引脚连接到 D-。SDA、$\overline{\text{ALERT}}$ 和 $\overline{\text{THERM}}$ 引脚（如果由开漏输出驱动，则还有 SCL 引脚）需要将上拉电阻作为通信总线的一部分。TI 推荐使用 0.1µF 电源去耦电容器用于局部旁路。图 9-1 展示了 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 的典型配置。在如 图 9-1 所示的 V+ ≥ 2.7V 情况下，TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 数字引脚（4、6、7 和 8）可以连接到单独的 I^2C 上拉电阻和电源电压（由于采用固定逻辑输入电压）。但在 V+ < 2.7V 的情况下（如 图 9-2 所示），由于采用比例式逻辑输入电压（V+ 引脚的 30%/70%），TMP411D-Q1 数字引脚 (SCL、SDA) 必须连接到相等的 I^2C 上拉电阻和电源电压。

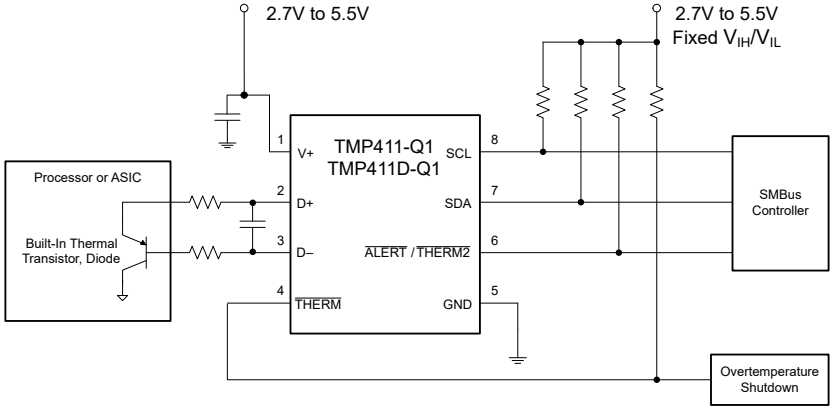


图 9-1. TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 简化方框图（在 V+ ≥ 2.7V 时采用单独的 I^2C 上拉电阻和电源电压设计）

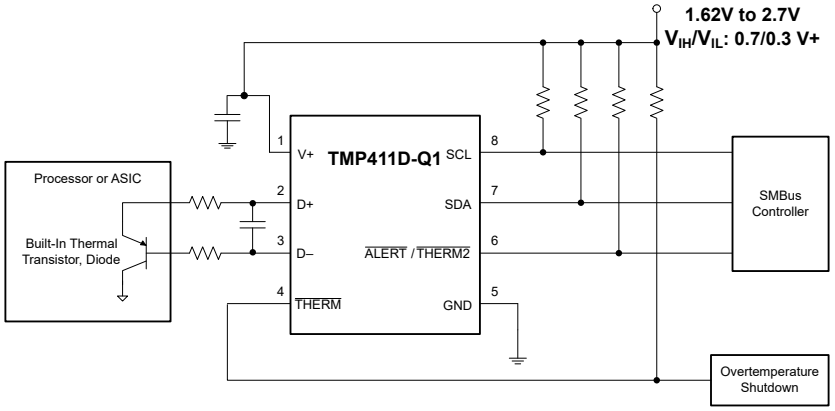


图 9-2. TMP411D-Q1 简化方框图（在 V+ < 2.7V 时采用相等 I^2C 上拉电阻和电源电压设计）

9.2 典型应用

9.2.1 设计要求

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件旨在与处理器芯片和 ASIC 中内置的分立晶体管或基板晶体管一起使用。只要将基极-发射极结用作远程温度传感器，就可以使用 NPN 或 PNP 晶体管。可以使用晶体管或二极管连接，如图

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7-1 所示。图 9-3 展示了在 D+ 和 D- 引脚之间连接一个晶体管时的 D+ 引脚波形。由于节 7.2 中使用的三个不同的源电流，D+ 波形在温度转换期间呈现三个电压电平。

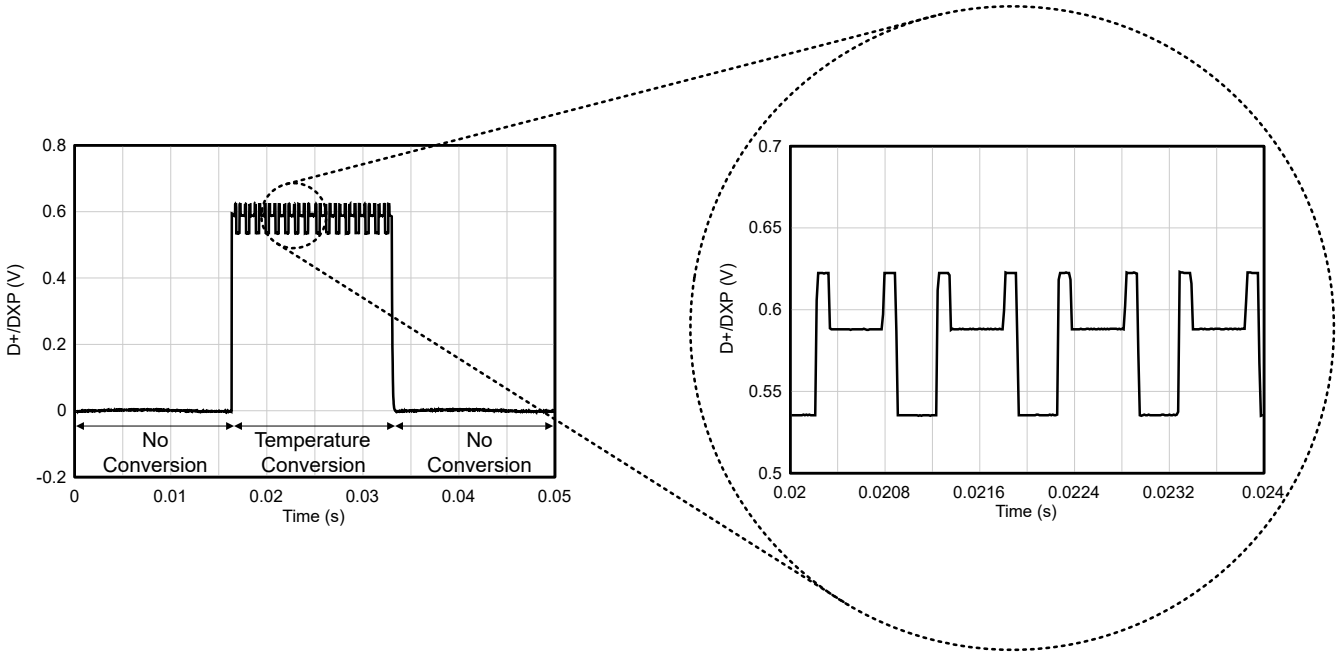


图 9-3. D+ 波形

远程温度传感器读数误差源于多个因素，包括理想因数和 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 的电流激励与制造商为给定晶体管指定的工作电流之间的差异。一些制造商为温度检测基板晶体管指定了高电平和低电平电流。TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 的 I_{LOW} 值为 6 µA，I_{HIGH} 值为 120 µA。TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 允许使用不同的 *n* 因数值，如 表 8-6 所示。

理想因数 (*n*) 是与理想二极管相比得出的远程温度传感器二极管的测量特性。理想因数减小为 1.008。如果晶体管的理想因数与 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 不匹配，则使用 方程式 4 计算温度误差。请注意，必须将公式中的实际温度 (°C) 转换为开尔文 (K) 才能得出正确结果。

$$T_{ERR} = \left(\frac{n - 1.008}{1.008}\right) \times \left(273.15 + T(^{\circ}C)\right) \quad \text{or} \quad T_{ERR} = \left(\frac{n_{actual} - n_{expected}}{n_{expected}}\right) \times \left(273.15 + T_{actual}(^{\circ}C)\right) \tag{4}$$

其中：

- n 或 n_{actual} = 远程温度传感器的理想因数
- T(°C) 或 T_{actual}(°C) = 实际温度
- $T_{ERR} = T_{reported} - T_{actual}$ = 由于 n 或 $n_{actual} \neq 1.008$ 而导致的器件读数误差
- °C 和 K 的温度变化幅度相同
- $n_{expected} = 1.008$

对于 n = 1.004 且 T(°C) = 100°C 的情况，请使用 方程式 5：

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

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

如果将分立式晶体管用作远程温度传感器，根据以下标准选择晶体管可获得出色的精度。

1. 在最高检测温度下，6 μA 时的基极-发射极电压 > 0.25V。
2. 在最低检测温度下，120 μA 时的基极-发射极电压 < 0.95V。
3. 基极电阻 < 100Ω
4. h_{FE} 的变化幅度很小（50 至 150），表示对 V_{BE} 特性的严格控制。

根据这些标准，请使用两个小信号晶体管，例如 2N3904 (NPN) 或 2N3906 (PNP)。

9.2.2 详细设计过程

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 的温度测量精度取决于远程或本地温度传感器与待监测系统点是否为相同的温度。如果温度传感器与受监控系统的器件之间的热接触不良，则传感器对系统中温度变化的响应存在延迟。对于使用靠近器件放置的基板晶体管（或小型 SOT-23 晶体管）的远程温度检测应用，这个延迟通常不是问题。

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 内的本地温度传感器可监测器件周围的环境空气。TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件的热时间常数约为两秒。此常数表明，如果环境空气快速变化 100°C，TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 大约需要 10 秒（即五个热时间常数）才能在最终值的 1°C 范围内稳定下来。在大多数应用中，TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 封装与印刷电路板 (PCB) 存在电气（和热）接触，并会受到强制气流的影响。温度测量的精度直接取决于 PCB 和强制气流温度能否准确反映器件测量的温度。此外，TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 的内部功率损耗会导致温度升高到环境温度或 PCB 温度以上。由于使用的电流较小，激励远程温度传感器所产生的内部功耗可以忽略不计。

TMP411-Q1（旧芯片）：对于 5.5V 电源和每秒八次转换的最大转换速率，TMP411-Q1 的功耗为 2.2mW (PD IQ = 5.5V × 400μA)。如果 $\overline{\text{ALERT}}$/ $\overline{\text{THERM2}}$ 和 THERM 引脚都灌入 1mA 电流，则会额外耗散 0.8mW 的功率 (PD OUT = 1mA × 0.4V + 1mA × 0.4V = 0.8mW)。总功率耗散等于 3mW (PD IQ + PD OUT)，并且（在 θ_{JA} 值为 150°C/W 时）会导致结温上升至比环境温度高大约 0.45°C。

TMP411-Q1（新芯片）：对于 5.5V 电源和每秒八次转换的最大转换速率，TMP411-Q1 的功耗为 0.248mW (PD IQ = 5.5V × 45μA)。如果 $\overline{\text{ALERT}}$/ $\overline{\text{THERM2}}$ 和 THERM 引脚都灌入 1mA 电流，则会额外耗散 0.8mW 的功率 (PD OUT = 1mA × 0.4V + 1mA × 0.4V = 0.8mW)。总功率耗散等于 1.048mW (PD IQ + PD OUT)，并且（在 θ_{JA} 值为 162°C/W 时）会导致结温上升至比环境温度高大约 0.170°C。

TMP411D-Q1：对于 5.5V 电源和每秒八次转换的最大转换速率，TMP411D-Q1 的功耗为 0.248mW (PD IQ = 5.5V × 45μA)。如果 $\overline{\text{ALERT}}$/ $\overline{\text{THERM2}}$ 和 THERM 引脚都灌入 1mA 电流，则会额外耗散 0.8mW 的功率 (PD OUT = 1mA × 0.4V + 1mA × 0.4V = 0.8mW)。总功率耗散等于 1.048mW (PD IQ + PD OUT)，并且（在 θ_{JA} 值为 182°C/W 时）会导致结温上升至比环境温度高大约 0.191°C。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

9.2.3 应用曲线

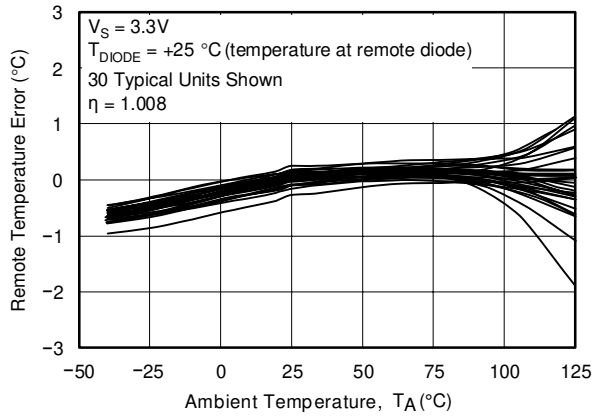


图 9-4. 远程温度误差与 TMP411-Q1 环境温度间的关系（旧芯片）

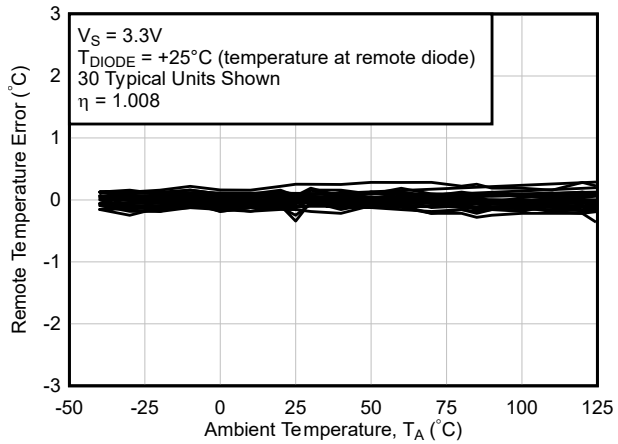


图 9-5. 远程温度误差与 TMP411-Q1 环境温度间的关系（新芯片）

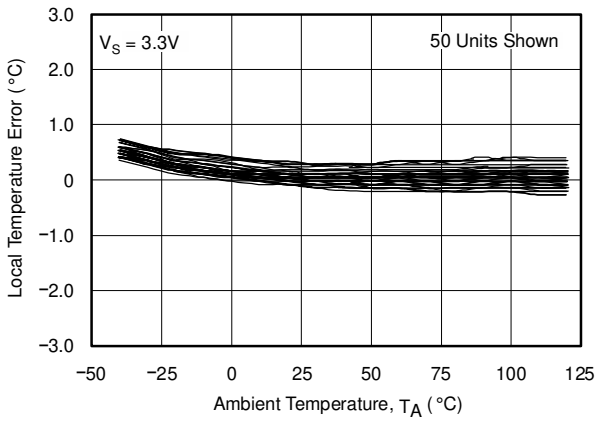


图 9-6. 本地温度误差与 TMP411-Q1 环境温度间的关系（旧芯片）

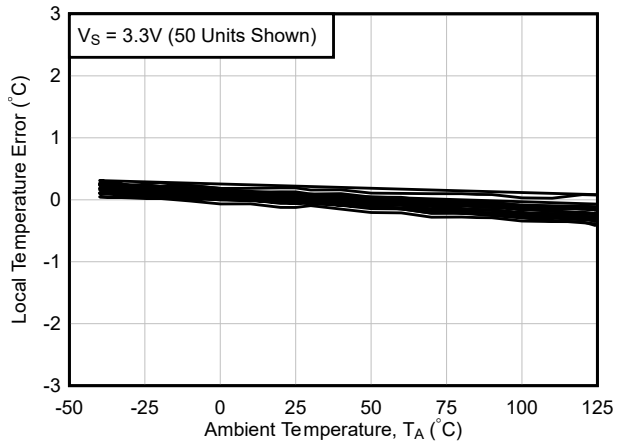


图 9-7. 本地温度误差与 TMP411-Q1 环境温度间的关系（新芯片）

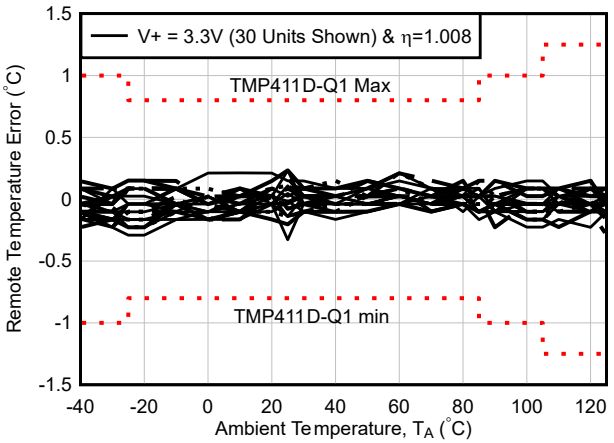


图 9-8. 远程温度误差与 TMP411D-Q1 环境温度间的关系

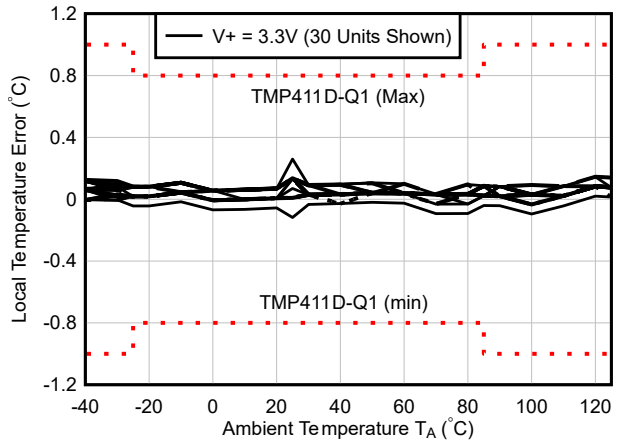


图 9-9. 本地温度误差与 TMP411D-Q1 环境温度间的关系

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

9.3 电源相关建议

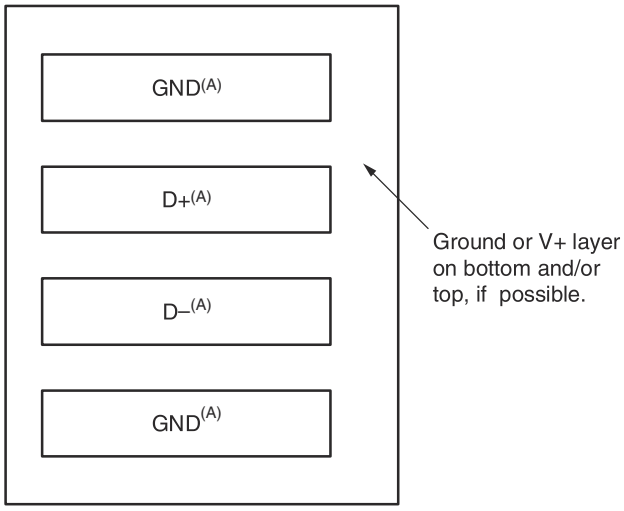
TMP411-Q1 的工作电源电压范围为 2.7V 至 5.5V，而 TMP411D-Q1 的电源电压范围为 1.62V 至 5.5V。该器件针对在 3.3V 电源下运行进行了优化，但可在整个电源电压范围内准确测量温度。TI 建议使用电源旁路电容器。应将电容器尽可能靠近该器件的电源引脚和大地引脚放置。电源旁路电容器的典型容值为 0.1µF。采用高噪声或高阻抗电源的应用可能需要额外的去耦电容器来抑制电源噪声。

9.4 布局

9.4.1 布局指南

TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件上的远程温度检测使用小电流测量小电压，因此必须更大限度地降低器件输入端的噪声。使用 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件的大多数应用都具有大量数字内容，具有多个时钟，会进行逻辑电平转换，从而形成有噪声的环境。布局必须遵循以下指导原则：

1. 将 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件尽可能放置在靠近远程结温传感器的位置。
2. 将 D+ 和 D- 布线紧密相邻，并使用接地防护布线屏蔽它们免受相邻信号的影响，如 图 9-10 所示。如果使用多层 PCB，请将这些布线埋在大地平面或 VDD 平面之间，从而屏蔽它们，以免受到外部噪声源的影响。建议使用 5mil (0.127mm) PCB 布线。
3. 更大限度地减少铜线与焊料连接导致的额外热电偶结点。如果使用这些结点，请在 D+ 和 D- 连接处进行相同数量的铜线与焊料连接，并在相似位置进行连接，以消除任何热电偶效应。
4. 在 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件的 V+ 和 GND 之间直接使用 0.1 µ F 的本地旁路电容器，如图 9-11 所示。尽可能减小 D+ 和 D- 之间的滤波电容，使之达到 1000pF 或更低，从而实现出色的测量性能。此电容包括远程温度传感器和 TMP411-Q1 及 TMP411D-Q1 器件之间的任何电缆电容。
5. 如果远程温度传感器与 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件之间的连接长度小于 8 英寸 (20cm)，请使用双绞线对连接。如果连接长度大于 8 英寸 (20cm)，请使用屏蔽层接地的屏蔽双绞线，尽可能靠近 TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件。使屏蔽线的远程传感器连接端保持开路，以避免接地回路和拾取 60Hz 噪声。



A. 5mil (0.127mm) 布线，间距为 5mil (0.127mm)

图 9-10. 示例信号布线

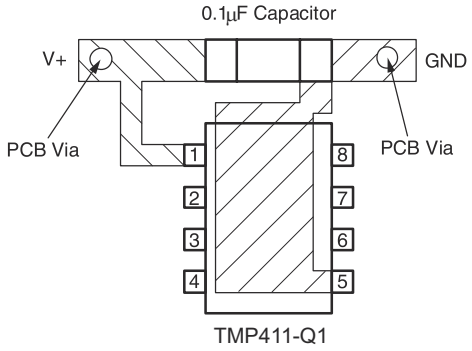


图 9-11. 建议的旁路电容器放置

9.4.2 布局示例

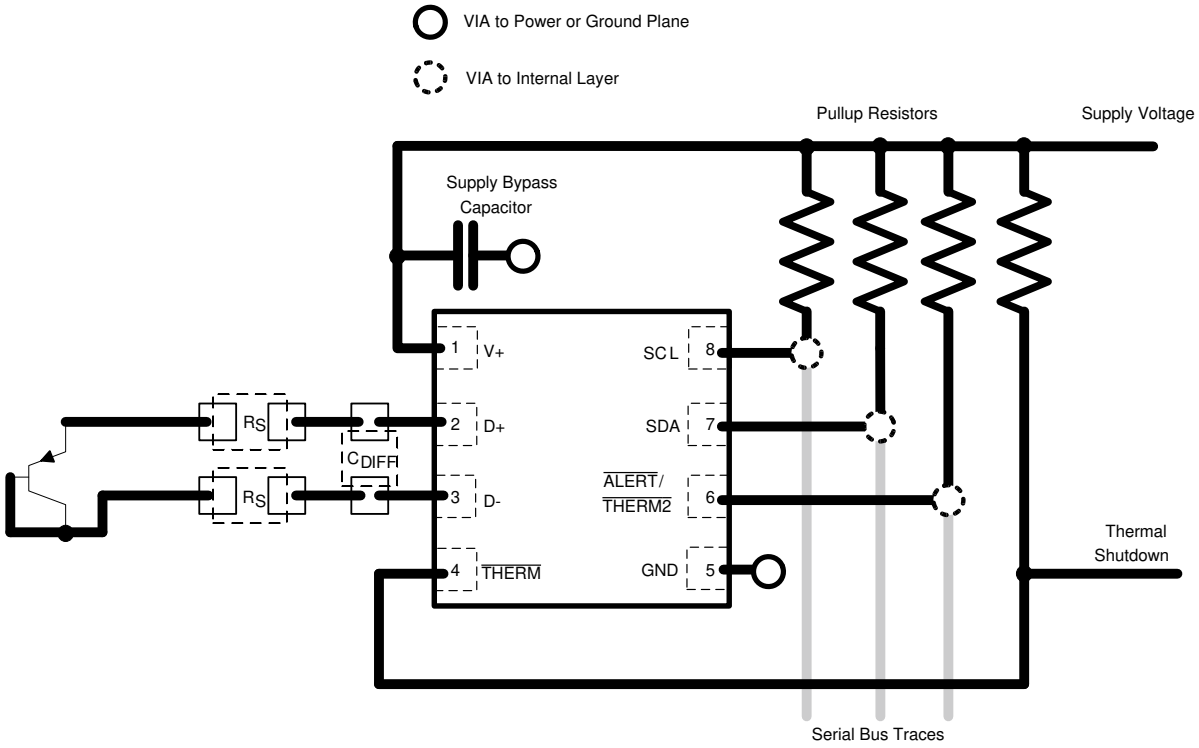


图 9-12. TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件布局（采用相等 I²C 上拉电阻和电源电压设计）

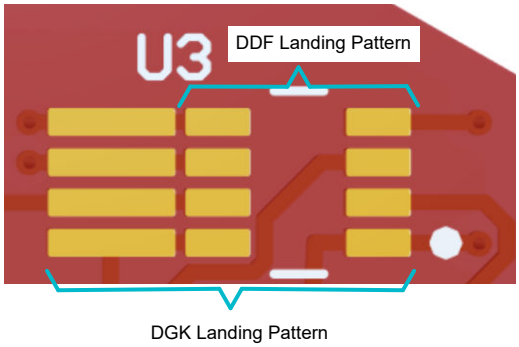


图 9-13. TMP411-Q1 (DGK) 和 TMP411D-Q1 (DDF) 器件封装

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

10 器件和文档支持

TI 提供广泛的开发工具。下面列出了用于评估器件性能、生成代码和开发解决方案的工具和软件。

10.1 文档支持

10.1.1 相关文档

- 德州仪器 (TI)，*优化远程温度传感器设计* 应用手册
- 德州仪器 (TI)，*TMP411-Q1 功能安全时基故障率、FMD 和引脚 FMA* 功能安全信息
- 德州仪器 (TI)，*具有 N 因数和串联电阻校正的 TMP411 ±1°C 和 TMP411D ±0.8°C 远程和本地温度传感器* 数据表
- 德州仪器 (TI)，*TMP451-Q1 具有 η 因数、偏移校正、串联电阻抵消和可编程数字滤波器的 ±1°C 远程和本地温度传感器* 数据表
- 德州仪器 (TI)，*远程温度传感器晶体管选型指南*，应用手册
- 德州仪器 (TI)，*TMP411 评估模块* EVM

10.2 接收文档更新通知

要接收文档更新通知，请导航至 ti.com 上的器件产品文件夹。点击*通知* 进行注册，即可每周接收产品信息更改摘要。有关更改的详细信息，请查看任何已修订文档中包含的修订历史记录。

10.3 支持资源

TI E2E™ 中文支持论坛是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题，获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的使用条款。

10.4 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.
所有商标均为其各自所有者的财产。

10.5 静电放电警告



静电放电 (ESD) 会损坏这个集成电路。德州仪器 (TI) 建议通过适当的预防措施处理所有集成电路。如果不遵守正确的处理和安装程序，可能会损坏集成电路。

ESD 的损坏小至导致微小的性能降级，大至整个器件故障。精密的集成电路可能更容易受到损坏，这是因为非常细微的参数更改都可能会导致器件与其发布的规格不相符。

10.6 术语表

TI 术语表　　本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

11 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision F (November 2013) to Revision G (September 2025) **Page**

- 通篇添加了 TMP411D-Q1 器件；更新了数据表标题 1
- 根据最新的德州仪器 (TI) 和行业数据表标准更新了文档的外观 1
- 向 *说明* 部分添加了“封装信息”表 1
- 添加了“器件比较”表、“器件命名规则”图和说明 3
- 通篇更新了“转换时间” 3
- 通篇更改了平均电流和关断电流 3
- 添加了 *引脚配置和功能* 部分 5
- 在 *引脚功能* 表中添加了“类型”列 5
- 更新了 D+/D- 引脚上的最大额定电压。 6
- 更新了 4、6、7、8 引脚上的最大额定电压。 6
- 更新了 V+ 引脚上的最大额定电压 6
- 更新了 TMP411-Q1 的人体放电模型 (HBM) 和充电器件模型 (CDM) 静电放电 6
- 向“热性能信息”部分中添加了 DGK 和 DDF 封装 6
- 更新了拼写错误，并将“T_A = 15°C 至 85°C、V+ = 3.3V”从“远程温度误差”移至“本地温度误差” 7
- 向温度误差电源灵敏度中添加了条件“T_{DIODE} = – 40°C 至 150°C” 7
- 在电气特性表中添加了新芯片的“转换时间” 7
- 更新了迟滞典型值的拼写错误，从 500mV 更新为 170mV 7
- 在电气特性表中添加了新芯片的“逻辑输入电流”。 7
- 在电气特性表中添加了新芯片的“输出低电压” 7
- 在电气特性表中添加了新芯片的“高电平输出漏电流”。 7
- 更新了拼写错误，并向“$\overline{\text{ALERT}}$ 或 $\overline{\text{THERM2}}$ 输出低电平灌电流”中添加了 6mA 最小值 7
- 在电气特性表中添加了新芯片的“静态电流”和所有测试条件 7
- 删除了对欠压锁定的限制 7
- 在电气特性表中添加了新芯片的“上电复位阈值”。 7
- 在电气特性表中添加了“欠压检测值” 7
- 将高速模式下的 t(SUDAT) 从 10ns 更改为 20ns。 11
- 添加了新芯片的“典型特性 (TMP411-Q1)”图 12
- 向 *详细说明* 部分中添加了概述 19
- 更新了“概述”部分中的“基本连接”图 19
- 添加了 *功能方框图* 部分 20
- 添加了 *特性说明* 部分，并将特性信息调整到此部分中 20
- 添加了“12 位 Q4 参数和位值”表及其 C 代码。 20
- 更新了 *欠压锁定*部分，因为新芯片的 POR 会删除欠压锁定电压 23
- 添加了 *器件功能模式* 部分 24
- 向关断模式 (SD) 部分添加了说明文字，以便与实际器件行为保持一致 24
- 通篇将术语“主器件”更改为“控制器”，将“从器件”更改为“目标” 25
- 将 *时序表* 添加到 *规格* 部分 25
- 添加了“TMP411-Q1 和 TMP411D-Q1 器件地址选项”表 28
- 将 *寄存器信息* 部分更改为 *寄存器映射* 部分，并将寄存器信息集中到此部分中 32
- 更新了“状态寄存器”部分，因为新芯片的 POR 会删除欠压锁定电压 33
- 添加了“应用信息”部分 39
- 在设计要求部分添加了 D+ 波形 39
- 更新了 *详细设计过程*部分 41

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

- 添加了*电源建议*部分 43
- 将*布局注意事项*更改为*布局指南* 43
- 添加了“布局示例”部分 44
- 添加了*器件和文档支持*部分及其子部分 45
- 添加了*机械、封装和可订购信息*部分 48

Changes from Revision E (December 2012) to Revision F (November 2013) **Page**

- 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式 1
- 将整个文档中的封装从 MSOP 更改为 VSSOP。 1
- 在第 1 部分列表项和“绝对最大额定值”表中将器件 CDM ESD 分类等级从 C3B 更改为 C4B。 6

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

12 机械、封装和可订购信息

以下页面包含机械、封装和可订购信息。这些信息是指定器件可用的最新数据。数据如有变更，恕不另行通知，且不会对此文档进行修订。有关此数据表的浏览器版本，请查阅左侧的导航栏。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

PACKAGING INFORMATION

Orderable part number	Status (1)	Material type (2)	Package | Pins	Package qty | Carrier	RoHS (3)	Lead finish/ Ball material (4)	MSL rating/ Peak reflow (5)	Op temp (°C)	Part marking (6)
TMP411AQDGKRQ1	Active	Production	VSSOP (DGK) | 8	2500 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU | NIPDAUAG	Level-3-260C-168 HR	125 to -40	411AQ
TMP411AQDGKRQ1.A	Active	Production	VSSOP (DGK) | 8	2500 | LARGE T&R	Yes	NIPDAUAG	Level-3-260C-168 HR	125 to -40	411AQ
TMP411BQDGKRQ1	Active	Production	VSSOP (DGK) | 8	2500 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU | NIPDAUAG	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	411BQ
TMP411BQDGKRQ1.A	Active	Production	VSSOP (DGK) | 8	2500 | LARGE T&R	Yes	NIPDAUAG	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	411BQ
TMP411CQDGKRQ1	Active	Production	VSSOP (DGK) | 8	2500 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU | NIPDAUAG	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	411CQ
TMP411CQDGKRQ1.A	Active	Production	VSSOP (DGK) | 8	2500 | LARGE T&R	Yes	NIPDAUAG	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	411CQ
TMP411DAQDDFRQ1	Active	Production	SOT-23-THIN (DDF) | 8	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	3O5F
TMP411DBQDDFRQ1	Active	Production	SOT-23-THIN (DDF) | 8	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	3O6F
TMP411DCQDDFRQ1	Active	Production	SOT-23-THIN (DDF) | 8	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	3O7F
TMP411DDQDDFRQ1	Active	Production	SOT-23-THIN (DDF) | 8	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	3O8F
TMP411DQDGKRQ1	Active	Production	VSSOP (DGK) | 8	2500 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU | NIPDAUAG	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	411DQ
TMP411DQDGKRQ1.A	Active	Production	VSSOP (DGK) | 8	2500 | LARGE T&R	Yes	NIPDAUAG	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	411DQ

(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 TMP411-Q1, TMP411D-Q1 :

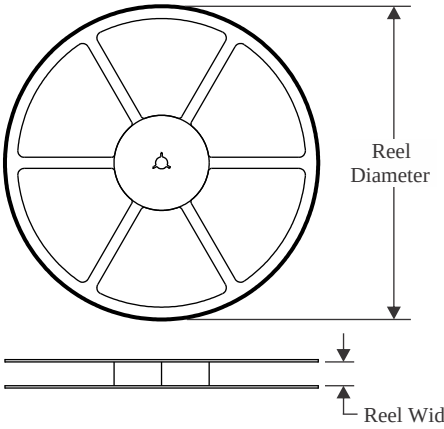
- Catalog : TMP411, TMP411D

NOTE: Qualified Version Definitions:

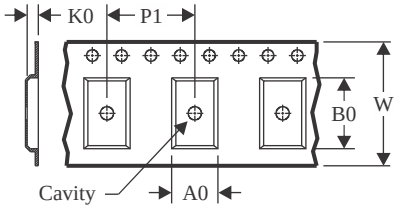
- Catalog - TI's standard catalog product

TAPE AND REEL INFORMATION

REEL DIMENSIONS

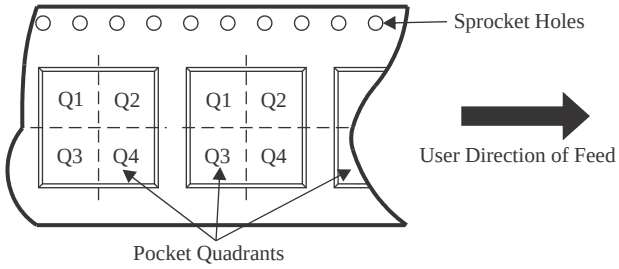


TAPE DIMENSIONS



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

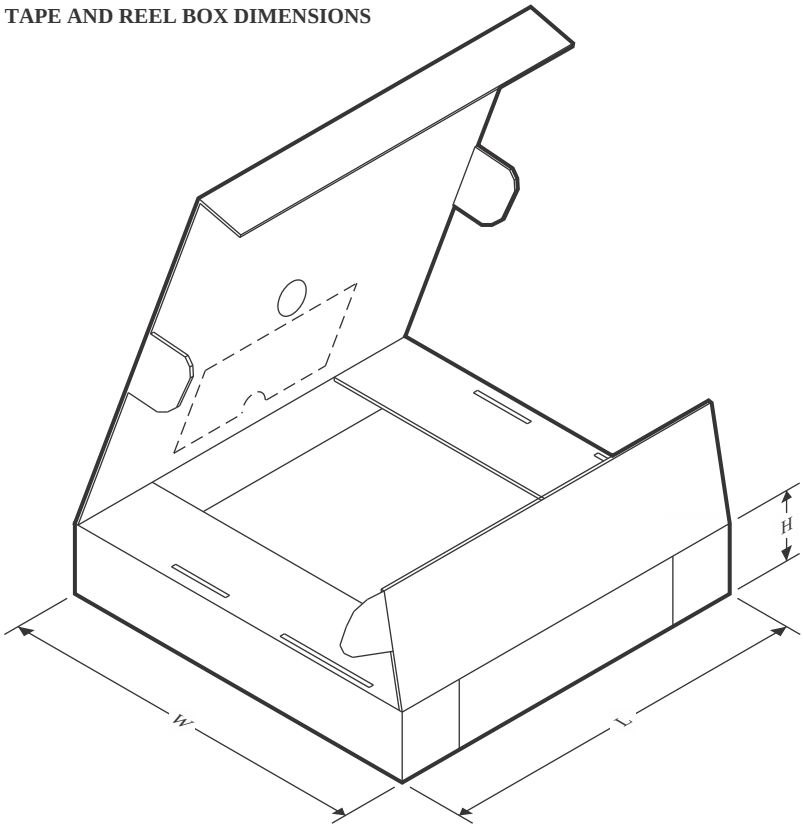
QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
TMP411AQDGKRQ1	VSSOP	DGK	8	2500	330.0	12.4	5.3	3.4	1.4	8.0	12.0	Q1
TMP411AQDGKRQ1	VSSOP	DGK	8	2500	330.0	12.4	5.3	3.3	1.3	8.0	12.0	Q1
TMP411BQDGKRQ1	VSSOP	DGK	8	2500	330.0	12.4	5.3	3.4	1.4	8.0	12.0	Q1
TMP411BQDGKRQ1	VSSOP	DGK	8	2500	330.0	12.4	5.3	3.4	1.4	8.0	12.0	Q1
TMP411CQDGKRQ1	VSSOP	DGK	8	2500	330.0	12.4	5.3	3.4	1.4	8.0	12.0	Q1
TMP411CQDGKRQ1	VSSOP	DGK	8	2500	330.0	12.4	5.3	3.4	1.4	8.0	12.0	Q1
TMP411DAQDDFRQ1	SOT-23-THIN	DDF	8	3000	180.0	8.4	3.2	3.2	1.4	4.0	8.0	Q3
TMP411DBQDDFRQ1	SOT-23-THIN	DDF	8	3000	180.0	8.4	3.2	3.2	1.4	4.0	8.0	Q3
TMP411DCQDDFRQ1	SOT-23-THIN	DDF	8	3000	180.0	8.4	3.2	3.2	1.4	4.0	8.0	Q3
TMP411DDQDDFRQ1	SOT-23-THIN	DDF	8	3000	180.0	8.4	3.2	3.2	1.4	4.0	8.0	Q3
TMP411DQDGKRQ1	VSSOP	DGK	8	2500	330.0	12.4	5.3	3.4	1.4	8.0	12.0	Q1
TMP411DQDGKRQ1	VSSOP	DGK	8	2500	330.0	12.4	5.3	3.3	1.3	8.0	12.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

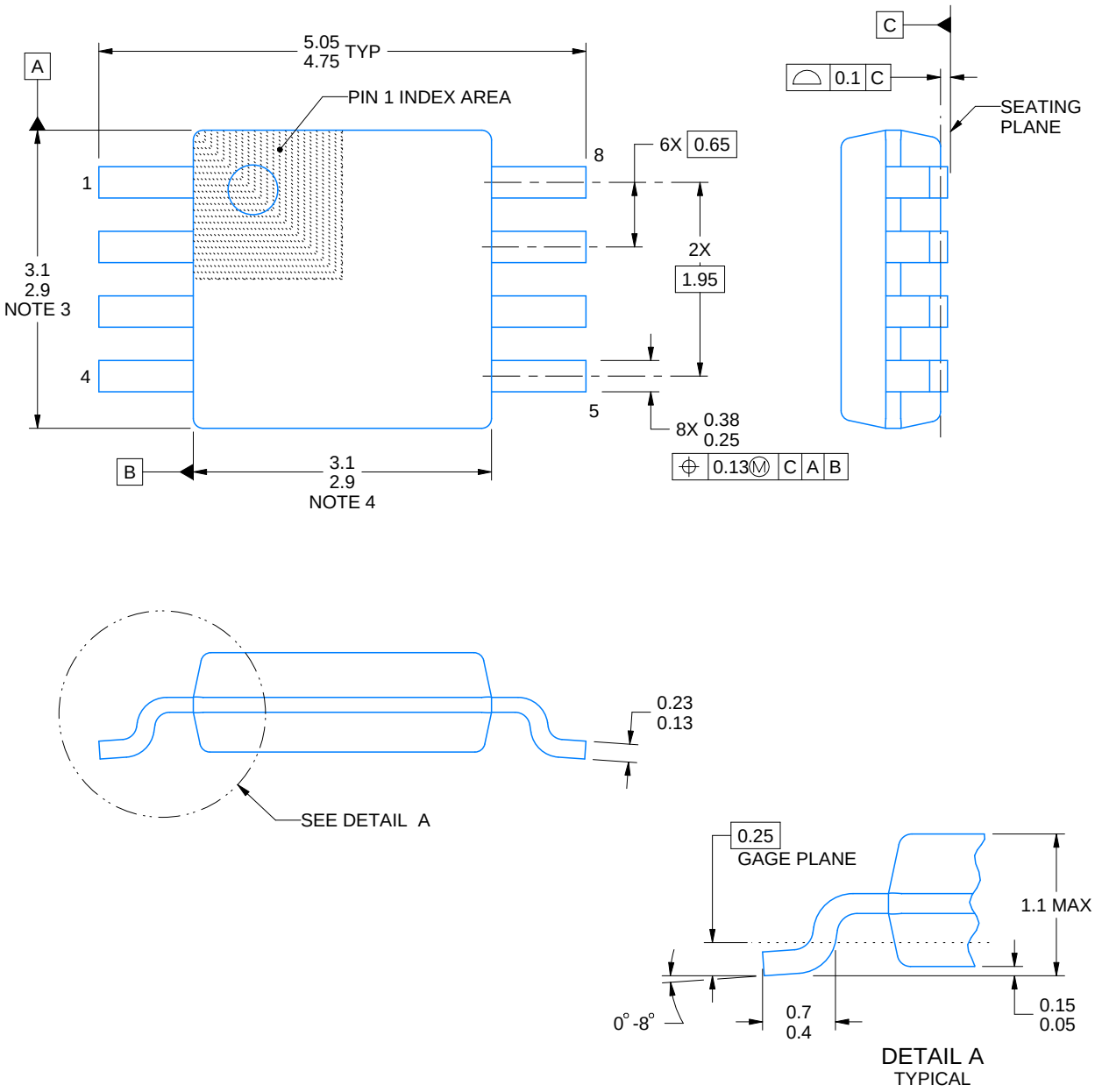
Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
TMP411AQDGKRQ1	VSSOP	DGK	8	2500	353.0	353.0	32.0
TMP411AQDGKRQ1	VSSOP	DGK	8	2500	367.0	367.0	38.0
TMP411BQDGKRQ1	VSSOP	DGK	8	2500	366.0	364.0	50.0
TMP411BQDGKRQ1	VSSOP	DGK	8	2500	353.0	353.0	32.0
TMP411CQDGKRQ1	VSSOP	DGK	8	2500	366.0	364.0	50.0
TMP411CQDGKRQ1	VSSOP	DGK	8	2500	353.0	353.0	32.0
TMP411DAQDDFRQ1	SOT-23-THIN	DDF	8	3000	210.0	185.0	35.0
TMP411DBQDDFRQ1	SOT-23-THIN	DDF	8	3000	210.0	185.0	35.0
TMP411DCQDDFRQ1	SOT-23-THIN	DDF	8	3000	210.0	185.0	35.0
TMP411DDQDDFRQ1	SOT-23-THIN	DDF	8	3000	210.0	185.0	35.0
TMP411DQDGKRQ1	VSSOP	DGK	8	2500	353.0	353.0	32.0
TMP411DQDGKRQ1	VSSOP	DGK	8	2500	367.0	367.0	38.0

PACKAGE OUTLINE

DGK0008A

VSSOP - 1.1 mm max height

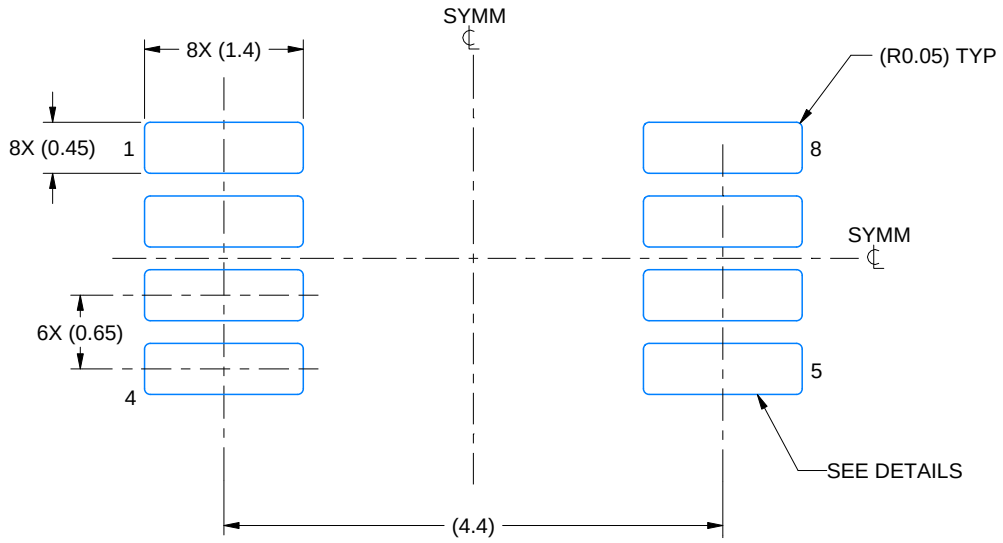
SMALL OUTLINE PACKAGE



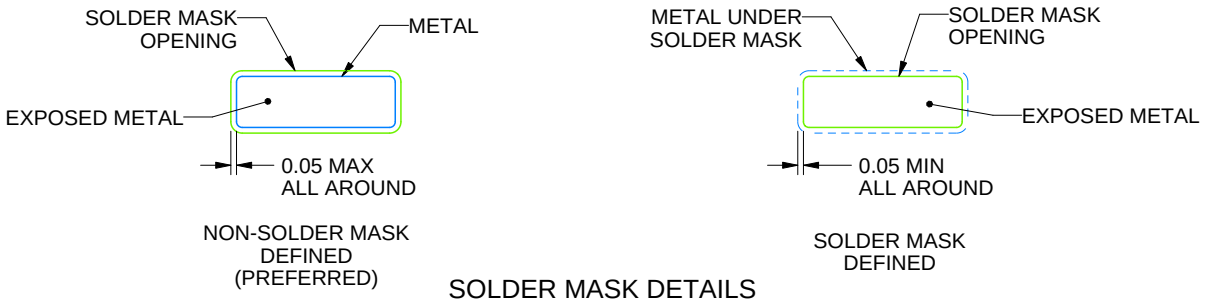
PowerPAD is a trademark of Texas Instruments.

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.



LAND PATTERN EXAMPLE
EXPOSED METAL SHOWN
SCALE: 15X

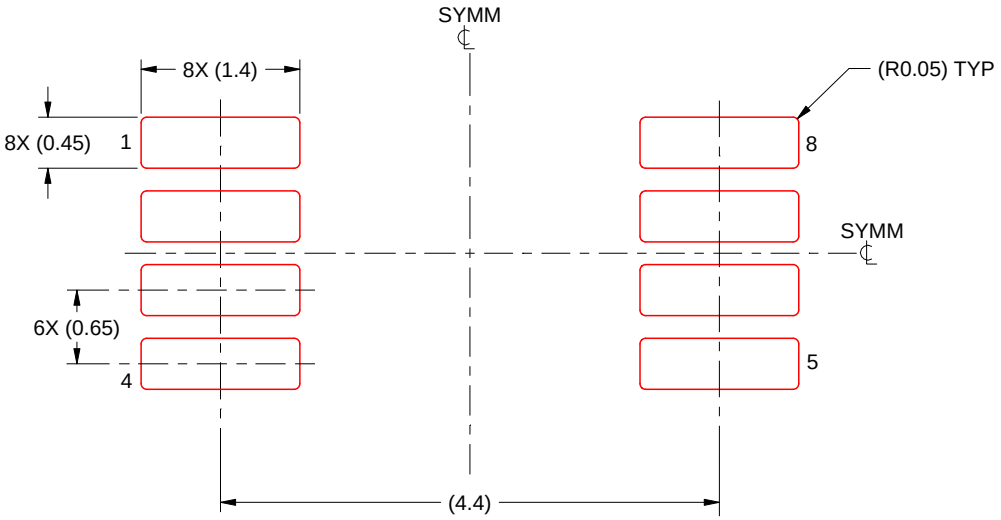


SOLDER MASK DETAILS

4214862/A 04/2023

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.
8. Vias are optional depending on application, refer to device data sheet. If any vias are implemented, refer to their locations shown on this view. It is recommended that vias under paste be filled, plugged or tented.
9. Size of metal pad may vary due to creepage requirement.



SOLDER PASTE EXAMPLE
SCALE: 15X

4214862/A 04/2023

NOTES: (continued)

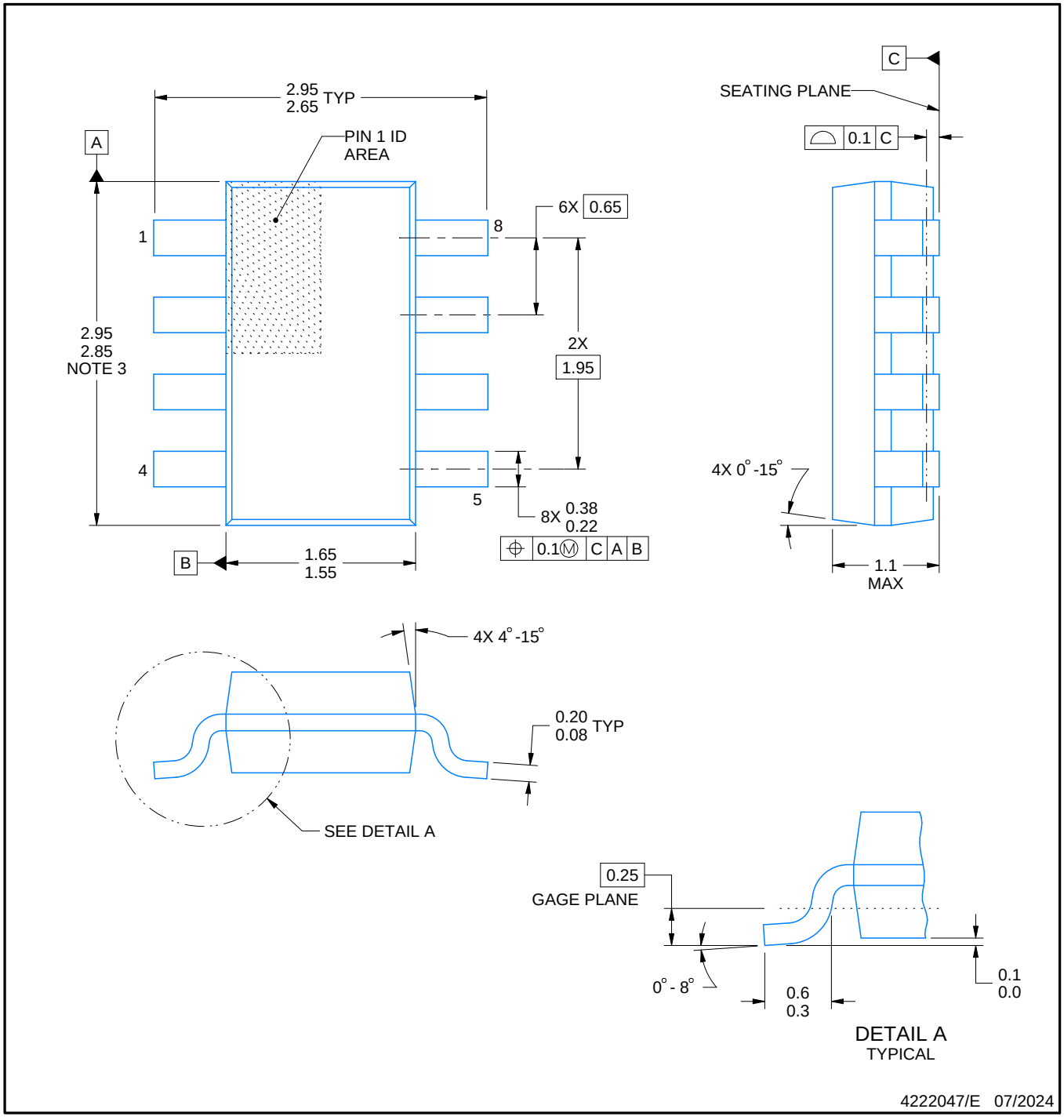
11. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.
12. Board assembly site may have different recommendations for stencil design.

PACKAGE OUTLINE

DDF0008A

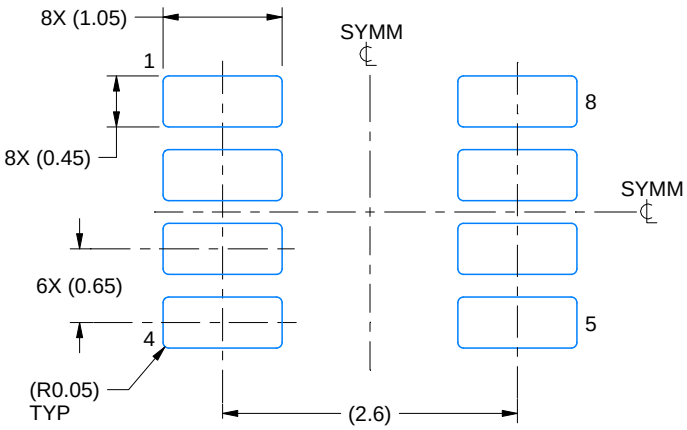
SOT-23-THIN - 1.1 mm max height

PLASTIC SMALL OUTLINE

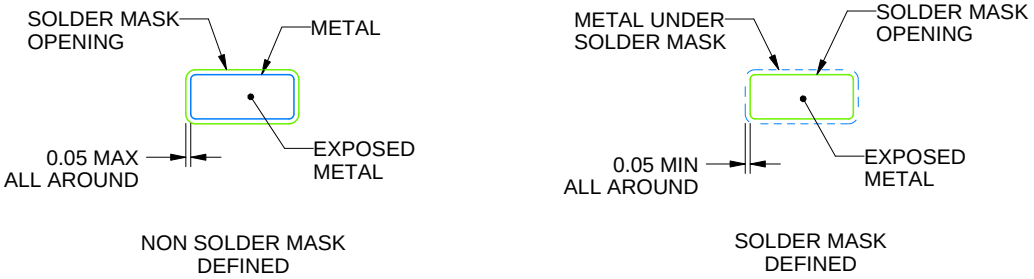


NOTES:

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.



LAND PATTERN EXAMPLE
EXPOSED METAL SHOWN
SCALE:15X



SOLDER MASK DETAILS

4222047/E 07/2024

NOTES: (continued)

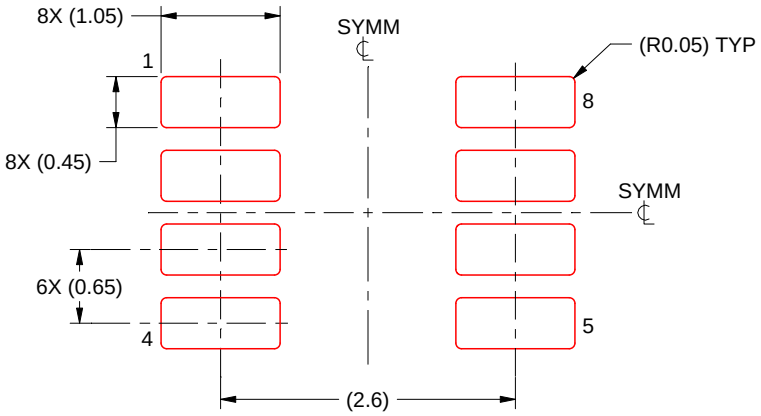
4. Publication IPC-7351 may have alternate designs.
5. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.

EXAMPLE STENCIL DESIGN

DDF0008A

SOT-23-THIN - 1.1 mm max height

PLASTIC SMALL OUTLINE



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.125 mm THICK STENCIL
SCALE:15X

4222047/E 07/2024

NOTES: (continued)

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

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做出任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 TI 销售条款)、TI 通用质量指南 或 ti.com 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。 除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月