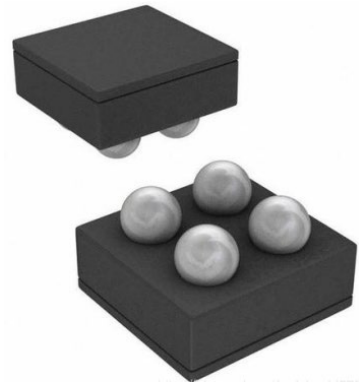
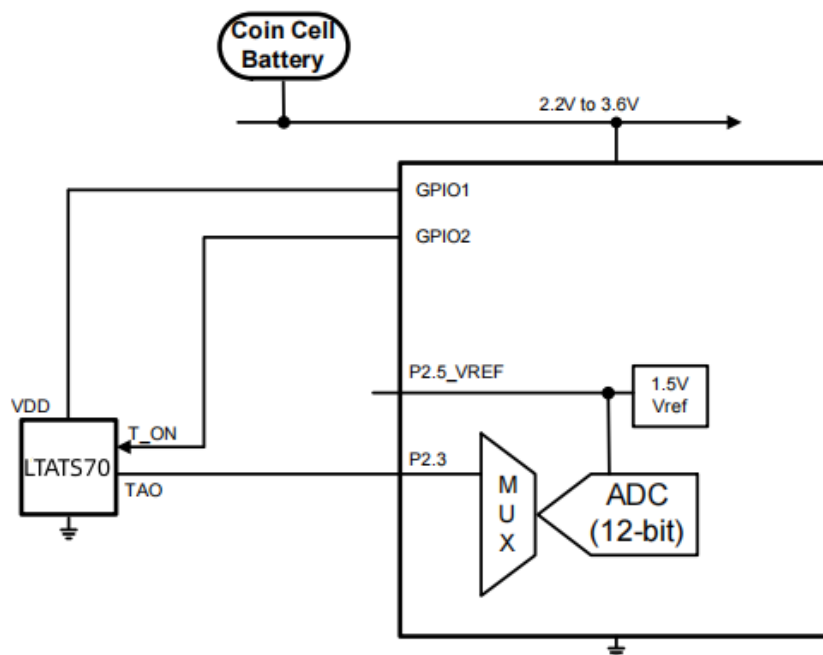


1. 特征

- 精确度：
 - 20°C至 42°C范围内为 $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ (典型值)或 $\pm 0.13^{\circ}\text{C}$ (最大值)
 - -20°C至 90°C范围内为 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ (最大值)
 - 90°C至 110°C范围内为 $\pm 0.23^{\circ}\text{C}$ (最大值)
 - -55°C至 150°C范围内为 $\pm 0.36^{\circ}\text{C}$ (最大值)
- 温度范围：-55°C 到 150°C
- 在卷带或托盘上的相邻芯片的匹配：
在 30°C时 0.1°C (最大值)
- 带有输出使能的高线性模拟温度传感器
- 负温度系数输出斜率：-4.52mV/°C
- 输出开关电阻 $R_{DS\ on} < 80\Omega$
- 电源范围：2.0V 至 5.5V
- 低功耗电流：11.5 μA (典型值)
13.5 μA (最大值)
- 超小型 1mm*1mm 的 4 凸点 WLCSP (DSBGA) 封装



典型应用



1. 特征	1
2. 产品综述	4
2.1. 产品简介	4
2.2. 引脚配置和功能	4
2.3. 测试版引脚说明	5
3. 规格说明	6
3.1. 绝对最大额定值	6
3.2. ESD 等级	6
3.3. 推荐工作条件	7
3.4. 热信息	7
4. 电气特性	8
4.1. 温度查找表 (LUT)	10
4.2. 开关特性	10
4.3. 典型的性能参数	11
5. 详细说明	12
5.1. 概述	12
5.2. 功能说明	13
5.2.1. 温度模拟输出 (TAO)	13
5.2.2. TAO 输出传递函数	13
5.2.3. TAO 噪声注意事项	13
5.2.4. TAO 电容负载	13
5.2.5. T_ON 数字输入	14
5.2.6. 光灵敏度	14
5.3. 传递函数说明	14
5.3.1. 一阶传递函数	14
5.3.2. 二阶传递函数	15
5.3.3. 三阶传递函数	15
5.4. 数字控制部分 (digital_top)	15
5.4.1. IBUS 总线地址划分	16
5.4.2. Efuse mem 的空间划分	16
5.4.3. SPI_SLAVE	17
5.4.4. EFUSE 控制器(efuse_ctrl)	19

5.4.5. 杂项控制模块(misc)	20
5.5. 应用信息	21
5.5.1. 典型应用	22
5.5.2. 温度算法选择	22
5.5.3. 查找表	23
5.6. 布局指南	24
5.6.1. 安装和温度导电率	24
5.6.2. 布局示例	25
6. 封装尺寸	25
7. 订货代码	26
8. 修订历史	26
9. 声明	26

2. 产品综述

2.1. 产品简介

LTATS70 是一个超小、高精度和低功耗 CMOS 模拟温度传感器并带有输出使能功能。对 RTD 和高精度 NTC/PTC 热敏电阻的可替换性温度传感器。

该产品的输出使能功能允许多个 LTATS70 使用同一个 ADC 通道，这样能简化 ADC 校准和减少包含高精度温度传感器系统的成本。同时，高线性度和低输出阻抗对于不同的 MCU 或 ADC 进行兼容使用。源于低至 38 μ W 以下的功耗，超低的温升支持高精度和宽范围的温度测量。

由于芯片间的高匹配性和高线性输出，同一托盘或卷带相邻的 LTATS70 可以使用同一函数表达式进行计算和替换，以简化其应用，如：

- 物联网 (IoT) 传感器节点
- 工业 RTD (AA 级) 或精密 NTC/PTC 热敏电阻的替换
- 医疗健身器材
- 医用温度计
- 人体温度监测器

2.2. 引脚配置和功能

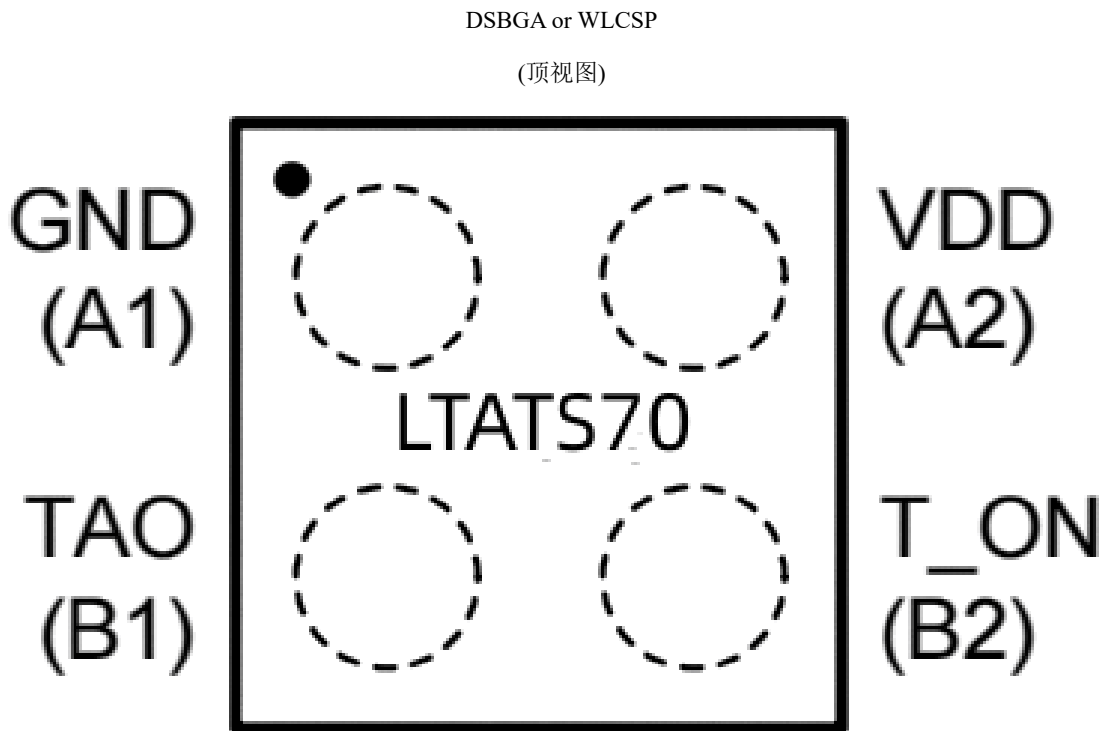
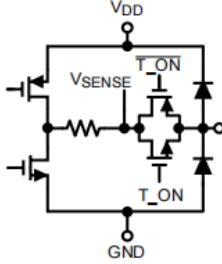
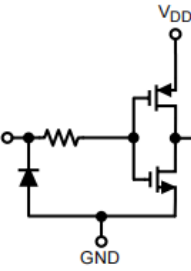


图 2-1 引脚示意图

表 2-1 引脚定义说明

引脚		类型	等效电路	说明
名字	编号			
GND	A1	参考地		整个器件的参考地
VDD	A2	电源		电源电压
TAO	B1	模拟输出		温度模拟值输出引脚
T_ON	B2	数字输入		<p>T_ON 引脚，高电平输入有效。</p> <p>如果 T_ON=0, TAO 输出开关断开。</p> <p>如果 T_ON=1,TAO 引脚被连接到温度传感器输出。</p> <p>如果不使用此功能，将 T_ON 连接到电源 VDD。</p>

2.3. 测试版引脚说明

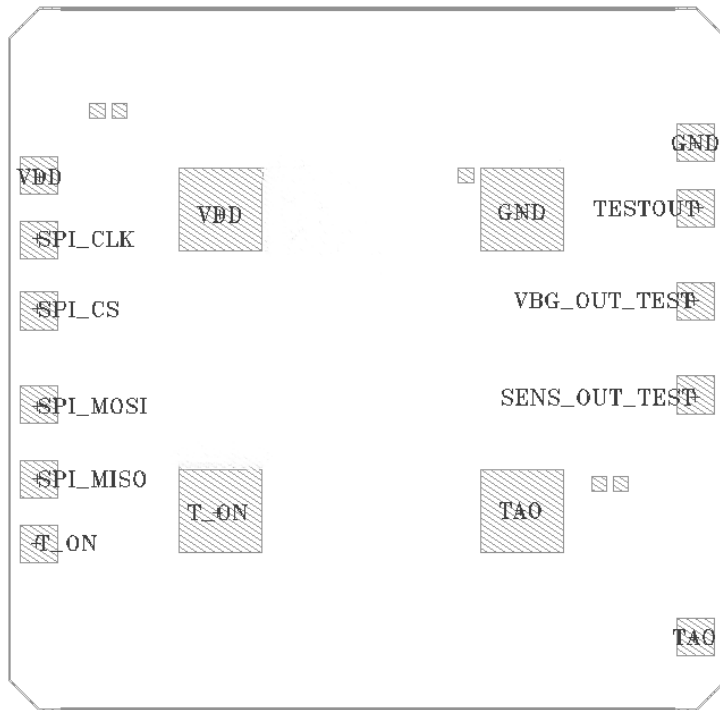


图 2-2 测试版引脚示意图

表 2-2 引脚定义说明

引脚 名字	坐标			类型	封装形 式	说明
	X	Y	尺寸			
T_ON	48.000	229.425	50 x 50	数字输	CP	T_ON 引脚, 高电平输入有效。
SPI_MISO	48.000	315.605	50 x 50	数字输	CP	SPI 数据接口, 主设备数据输入, 从设备数据输出
SPI_MOSI	48.000	414.635	50 x 50	数字输	CP	SPI 数据接口, 主设备数据输出, 从设备数据输入
SPI_CS	48.000	538.995	50 x 50	数字输	CP	SPI 片选信号, 从设备使能信号, 由主设备控制
SPI_CLK	48.000	632.930	50 x 50	数字输	CP	SPI 时钟信号, 由主设备产生
VDD	48.000	719.380	50 x 50	电源	CP	电源电压
GND	920.565	762.755	50 x 50	参考地	CP	整个器件的参考地
TESTOUT	920.565	675.710	50 x 50	模拟输	CP	测试输出端口
VBG_OUT_TEST	920.565	551.710	50 x 50	模拟输	CP	BANDGAP 输出测试端口
SENS_OUT_TEST	920.565	427.710	50 x 50	模拟输	CP	温度传感器测试端口
TAO	920.255	105.620	50 x 50	模拟输	CP	温度传感器缓冲器测试端口
TAO	689.265	273.755	110 x	模拟输	WLCSP	温度模拟值输出引脚
T_ON	289.265	273.755	110 x	数字输	WLCSP	T_ON 引脚, 高电平输入有效
VDD	289.265	673.755	110 x	电源	WLCSP	电源电压
GND	689.265	673.755	110 x	参考地	WLCSP	整个器件的参考地

3. 规格说明

3.1. 绝对最大额定值

	最小值	最大值	单位
电源电压	-0.3	6	V
在 T_ON 和 TAO 处的电压	-0.3	6	V
任何引脚处的电流		5	mA
储存温度 (T _{stg})	-65	150	C

(1) 超过绝对最大额定值表中所列的值可能会对设备造成永久性损坏。此值仅为标识强度等级, 这并不意味着设备在这些条件下或在超过推荐操作条件指示以外的任何其他条件下的进行运行。长时间工作于绝对最大额定条件可能会影响设备的可靠性。

(2) 焊接过程必须符合回流温度曲线规范。

3.2. ESD 等级

		数值	单位
V _(ESD) 静电放电	人体模型 (HBM), 根据 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 ⁽¹⁾	±2000	V
	带电器件模型 (CDM), 根据 JEDEC 规范 JESD22C101 ⁽²⁾	±750	

(1) JEDEC 文件中 JEP155 指出, 500V HBM 允许使用标准的 ESD 控制过程进行安全制造。

(2) JEDEC 文件中 JEP157 指出, 250V CDM 允许使用标准的 ESD 控制过程进行安全制造。

3.3. 推荐工作条件

	最小值	典型值	最大值	单位
规定温度 ($T_{\text{最小值}} \leq T_A \leq T_{\text{最大值}}$)	-55		150	°C
电源电压	2.0		5.5	V

3.4. 热信息

热度量		LTATS70	单位
$R_{\theta JA}$	结与环境的热阻	187	°C/W
$R_{\theta JC}$ (顶部)	结式 (顶部) 耐热阻	2.3	
$R_{\theta JB}$	结对板的热阻	105	
Ψ_{JT}	从结到顶的表征参数	10.9	
Ψ_{JB}	结对板的表征参数	104	
对搅拌油中最终值的 63% 的热响应时间 (以 PCB 为主, 见布局)		1.5	sec
静止空气中热响应时间为最终值的 63% (主要由 PCB 觉得, 见布局)		73	sec

4. 电气特性

限制适用于 $T_A=T_J=T_{\text{最小值}}$ 到 $T_{\text{最大值}}$ ，VDD 为 2.00V 到 5.5V 和 $VDD \geq V_{TAO}+1V$ ，除非另有说明。

参数		试验条件		最小值	典型值	最大值	单位
温度值精确度							
TAO 精度 (这精度是参照查找表确定。)		$T_A = -55^\circ\text{C}$	VDD= 2.7V	-0.33		0.33	°C
		$T_A = -40^\circ\text{C}$	VDD= 2.7V	-0.27		0.27	
		$T_A = -20^\circ\text{C}$	VDD= 2.7V	-0.20		0.20	
		$T_A = -10^\circ\text{C}$	VDD= 2.7V	-0.18		0.18	
		$T_A = 20^\circ\text{C}$ 至 42°C	VDD= 2.7V	-0.13	± 0.05	0.13	
		$T_A = 50^\circ\text{C}$	VDD= 2.7V	-0.15		0.15	
		$T_A = 90^\circ\text{C}$	VDD= 2.7V	-0.20		0.20	
		$T_A = 110^\circ\text{C}$	VDD= 2.7V	-0.23		0.23	
	$T_A = 150^\circ\text{C}$	VDD= 2.7V		-0.36		0.36	
ATC	温度系数的精确度	VDD=2.7V		-2.6		+2.6	m°C/°C
APSS	精确度与电源的灵敏度 (注意: 此值根据极端值计算)	$-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq 50^\circ\text{C}$	VDD=4.5V 至 5.5V	-40		-8	m°C/V
		$50^\circ\text{C} \leq T_A \leq 150^\circ\text{C}$	VDD=4.5V 至 5.5V	-20		-6	
		$-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq 150^\circ\text{C}$	VDD= 3.0V 至 4.5V	-9	0	+8	
		$-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq 150^\circ\text{C}$	VDD= 2.0V 至 3.0V	-20		-10	
V_{TAO}	输出电压	$T_A = 30^\circ\text{C}$	VDD= 2.7V	1151.606			mV
温度系数输出斜率				-4.42			mV/°C
卷带或托盘上的相邻芯片的匹配度	T_A 约 30°C	VDD=2.0V 至 3.6V	0.1			°C	
	$T_A = 30^\circ\text{C}$ 至 150°C		2.5				
	$T_A = 20^\circ\text{C}$ 至 30°C	VDD=2.0V 至 3.6V	-2.5			m°C/°C	
	$T_A = -55^\circ\text{C}$ 至 30°C	VDD=2.7V 至 3.6V	-2.5				
时间稳定性		90°C时 10K 小时		-0.1	± 0.01	0.1	°C
参数	试验条件		最小值	典型值	最大值	单位	
模拟输出							
工作输出电压随负载电流的变化		$0\mu\text{A} \leq I_L \leq 5\mu\text{A}$		0		0.3	mV
		$-5\mu\text{A} \leq I_L \leq 0\mu\text{A}$		-0.3		0	mV
R_{OUT}	输出电阻				40	80	Ω
TAO 关断时泄漏电流		$-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq 80^\circ\text{C}$, $V_{t_on} = \text{GND}$			0.1	1	nA
		$-80^\circ\text{C} \leq T_A \leq 150^\circ\text{C}$, $V_{t_on} = \text{GND}$		1		11	
输出负载电容				1000			pF
电源							
V_{DO}	输出电压(VDD - V_{TAO})		$-20^\circ\text{C} \leq T_A \leq 20^\circ\text{C}$		0.75		V
			$-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq -20^\circ\text{C}$		0.85		
电源工作电流					11.5	13.5	μA
电源关闭电流		$VDD \leq 0.4V$ (-55°C 至 $+110^\circ\text{C}$)		20			nA
		$VDD \leq 0.4V$ ($+110^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$)		110			nA
逻辑输入							
T_{ON} 逻辑的低输入阈值		-55°C 至 $+150^\circ\text{C}$		0.5	$0.33 * VDD$		V
T_{ON} 逻辑高输入阈值		-55°C 至 $+150^\circ\text{C}$			$0.66 * VDD$	$VDD - 0.5$	V

4.1. 温度查找表 (LUT)

下表中测试时 VDD 为 2.7V

温度 (°C)	V _{TAO} (mV)			温度系数输出斜率 (mV/°C)
	最小值	典型值	最大值	
-55		1519.089		-4.22
-50		1497.970		-4.23
-40		1455.509		-4.26
-30		1412.779		-4.29
-20		1369.803		-4.31
-10		1326.596		-4.33
0		1283.167		-4.35
10		1239.523		-4.38
20		1195.668		-4.40
30		1151.606		-4.42
40		1107.339		-4.44
50		1062.868		-4.46
60		1018.195		-4.48
70		973.321		-4.50
80		928.246		-4.52
90		882.970		-4.54
100		837.493		-4.56
110		791.816		-4.58
120		745.937		-4.60
130		699.857		-4.62
140		653.577		-4.64
150		607.102		-4.66

4.2. 开关特性

参数		试验条件	最小值	典型值	最大值	单位
t _{POWER}	至最终电压值的 99% 的通电时间	C _L =0pF 至 1100pF		12	15	ms
t _{T_ON}	至最终电压值的 99% 的 T _{ON} 时间	C _L =150pF		15	300	μs
C _{T_ON}	T _{ON} 数字输入电容		1			pF

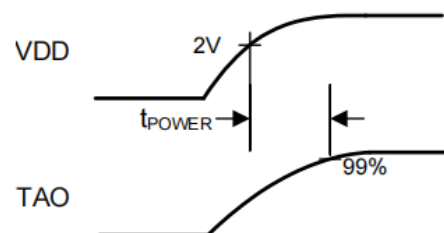
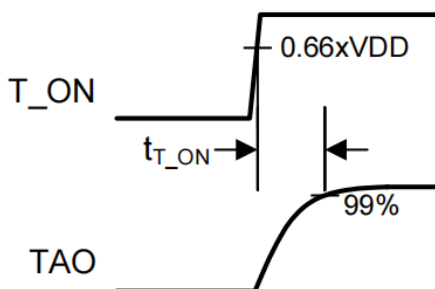


图 4-1 t_{r_on} 的定义

图 4-2 t_{POWER} 的定义

4.3. 典型的性能参数

在 VDD=2.7V 时，使用查找表对应其精确度的汇总如下图：

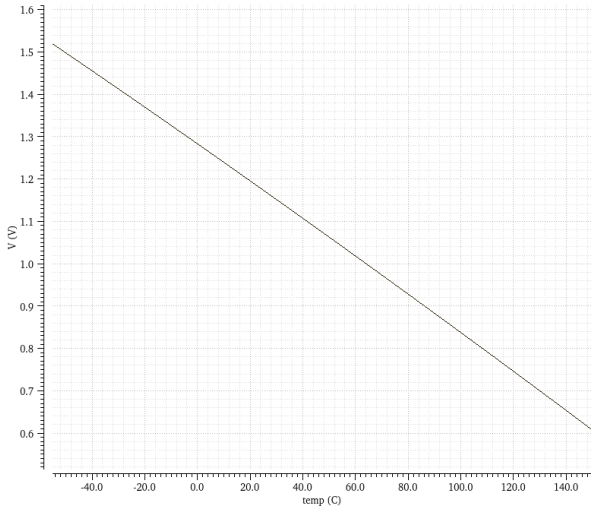


图 4-3 不同温度下 TA0 传输函数

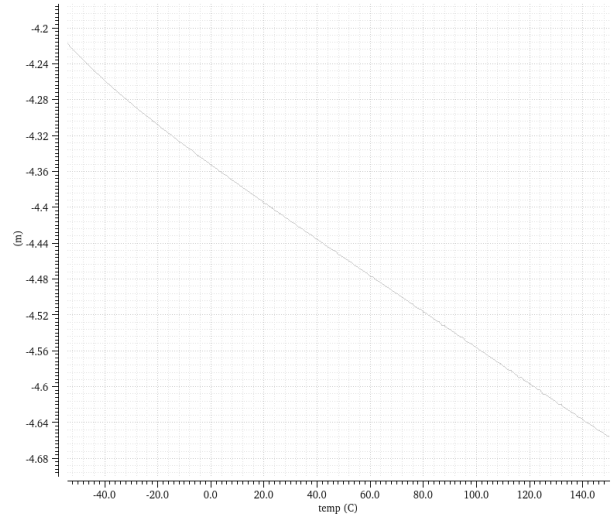


图 4-4 不同温度下 TA0 传输函数的斜率

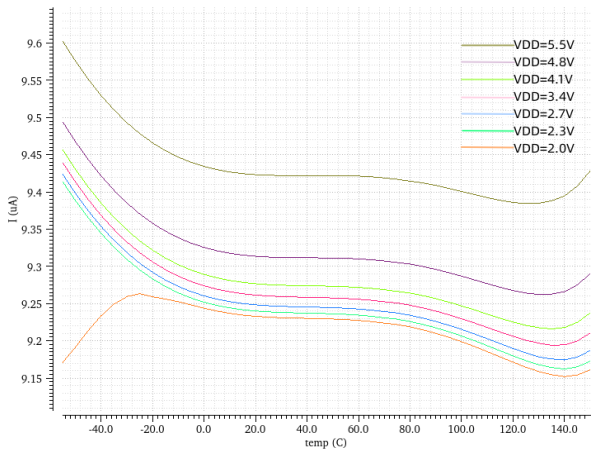


图 4-5 在不同 VDD 下 IDD 和温度的关系

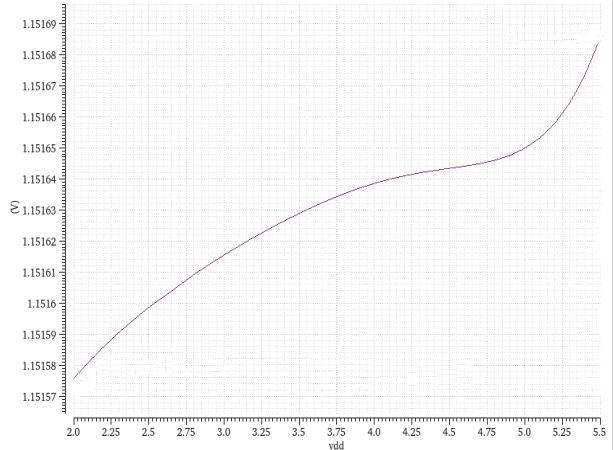


图 4-6 TA0 在不同电压下的变化 (T=30 C)

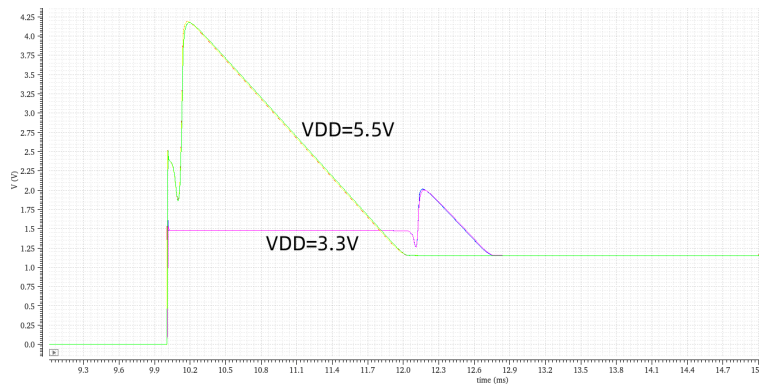


图 4-7 启动电路响应

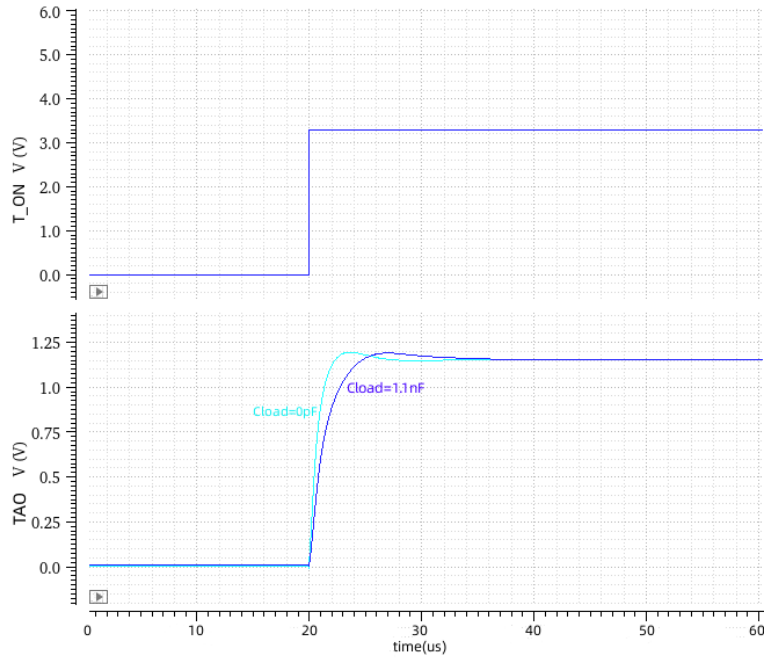


图 4-8 TAO 对应 T_ON 的响应

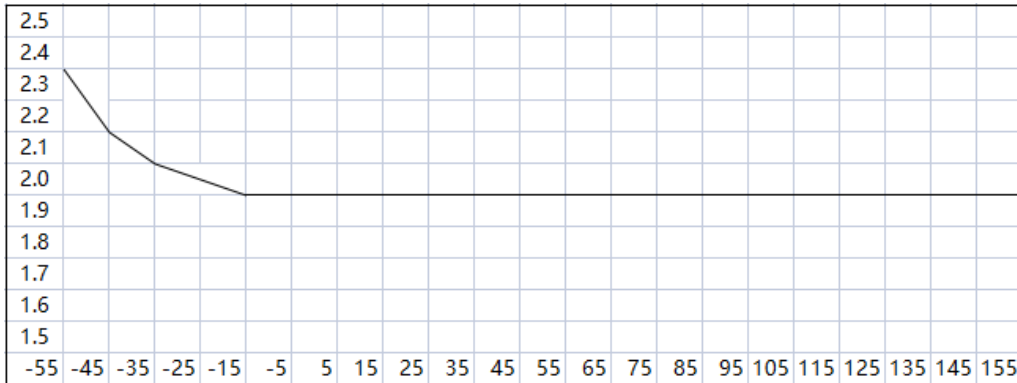


图 4-9 不同温度下最小推荐电源电压

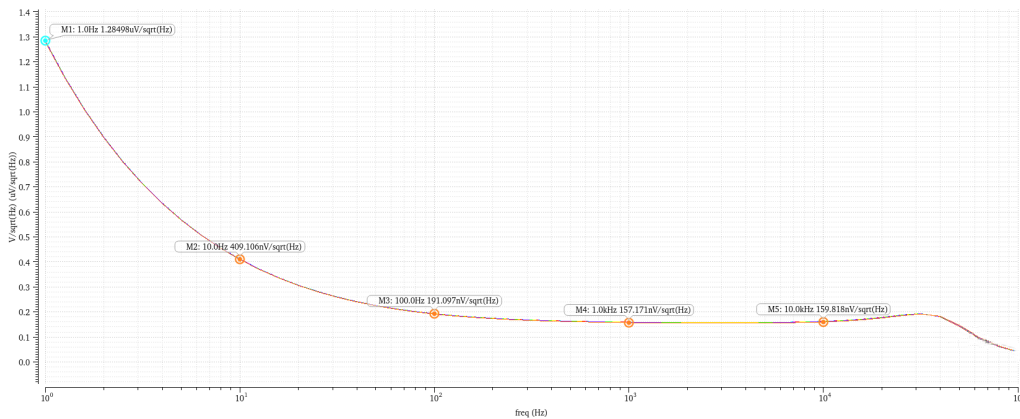


图 4-10 TAO 输出噪声

5. 详细说明

5.1. 概述

LTATS70 是一个高精度模拟输出温度传感器。它包括一个由 T_ON 数字输入控制 TAO 是否输出的开关。该输出开关使多个设备能够复用到单个 ADC 输入上，从而扩大了 ADC 输入多路复用的能力。

温度传感元件由简单的 BJT 的基极和发射极间电压堆叠组成。温度传感元件在连接到输出开关之前由高精度放大器缓冲。输出放大器有一个简单的 AB 类推挽输出级，使设备能够容易的从地和电源接收和泄放电流。

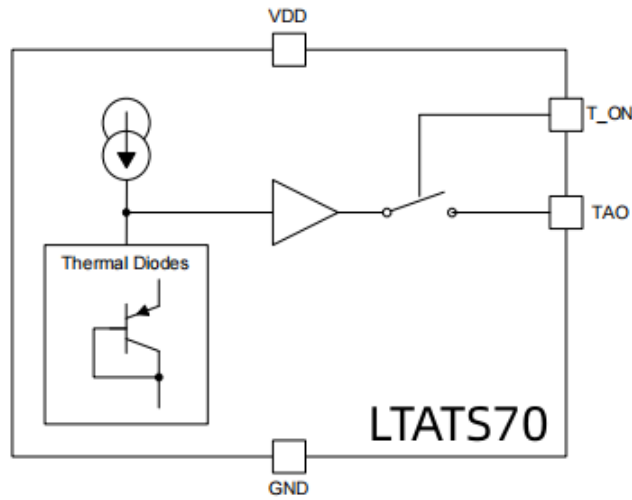


图 5-1 传感器功能框图

5.2. 功能说明

5.2.1. 温度模拟输出 (TAO)

TAO 的推挽输出提供了接收和泄放电流的能力，其有利于驱动模数转换器 (ADC) 上的输入级类似的动态负载。在这些应用中，需要电源电流来快速为 ADC 的输入电容充电。

5.2.2. TAO 输出传递函数

LTATS70 输出电压传递函数虽然具有高线性，但不是完全绝对线性，对传输函数进行求导，得出如图 4-4 所示，所有需要对其用二阶或三阶传递函数方程更好地描述。

5.2.3. TAO 噪声注意事项

V_{TAO} 引脚上的负载电容器可以帮助过滤噪声。对于有噪声的环境，建议至少将 100 nF 的电源退耦电容放置在芯片的 VDD 和 GND 引脚上。

5.2.4. TAO 电容负载

TAO 能很好的驱动电容式负载。在极其嘈杂的环境中，或者当在 ADC 上驱动切换采样输入时，可能需要进行滤波以最小化噪声耦合。在没有增加其它措施的情况下， V_{TAO} 能驱动一个小于或等于 1 nF 的电容性负载，如在图 5-2。对于大于 1 nF 的电容负载，输出端需要串联电阻，如图所示图 5-3，以保持稳定的条件。

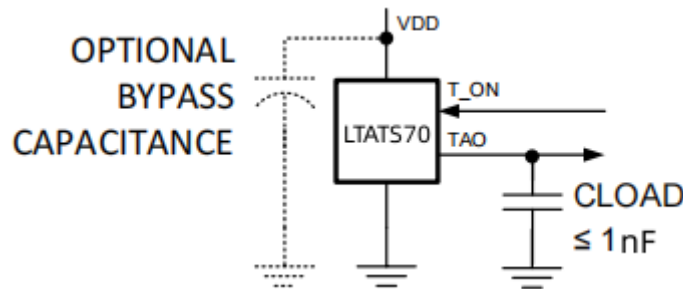


图 5-2 负载电容小于 1nF

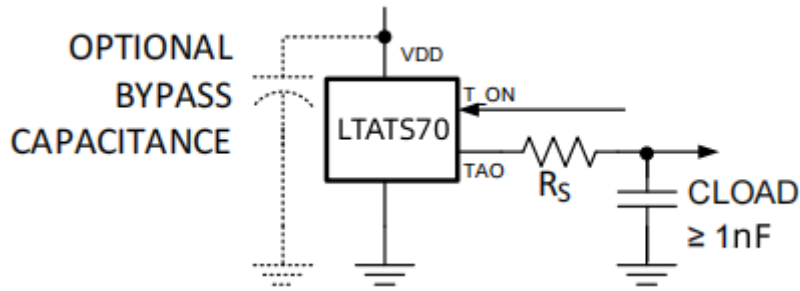


图 5-3 负载带电容大于 1nF 应有隔离电阻

表 5-1 上图中对应的 CLOAD 和 RS

CLOAD	Rs 最小值
1 至 90 nF	2.5 kΩ
60 至 600 nF	1.5 kΩ
0.6 至 1μF	350Ω

5.2.5. T_ON 数字输入

T_ON 数字输入通过控制与内部温度传感器电路输出串联的内部开关的状态，启用或禁用在 TAO 引脚上呈现模拟输出电压。当 T_ON 被驱动到一个逻辑“高”时，温度传感器的输出电压出现在 TAO 引脚上。当 T_ON 被设置为逻辑“低”时，TAO 引脚被设置为高阻抗状态。

5.2.6. 光灵敏度

尽管封装具有保护性的背面涂层，可以减少在模具上的光照量，但并非完全屏蔽，环境光仍将从封装的一侧到达设备的区域。不同应用中光照量的差异，导致温度误差将会增加。在环境光条件下的电路板测试中，可能不会观察到典型的误差增加，这取决于光接近封装的角度。LTATS70 对红外辐射也较为敏感。最终产品包装应注意在操作过程中提供可能的光源的屏蔽。

5.3. 传递函数说明

5.3.1. 一阶传递函数

一阶传递函数可用于计算温度转换的，但在一个广泛的温度范围内，它是最不准确的方法。使用 LUT（查找表）中的信息可以很容易地生成一个多阶方程。如在只有 10°C 温度范围内，一阶线性方程将产生非常准确的结果。实际上，建议在 10°C 的温度范围内使用线性插值来计算设备所感知的温度。

例如，由于在一个比较小的范围内线性度差别有限，在 20°C 到 30°C 之间得出的一阶方程可以使用在 20°C 到 50°C 之间：

表 5-2 输出电压 LUT

温度 (°C)	V _{TAO} (mV)			传感器转换系数 (mV/°C)
	最小值	典型值	最大值	
20		1195.668		-4.40
30		1151.606		-4.42
40		1107.339		-4.44
50		1062.868		-4.46

首先计算坡度：

$$m = (T_1 - T_2) \div [(V_{TAO}(T_1) - V_{TAO}(T_2))]$$

$$m = (20^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}) \div (1195.668\text{mV} - 1151.606\text{mV})$$

$$m = -0.226^{\circ}\text{C}/\text{mV}$$

然后计算 y 轴上的截距 b:

$$b = T_1 - (m \times V_{TAO}(T_1))$$

$$b = 20^{\circ}\text{C} - (-0.226^{\circ}\text{C}/\text{mV} \times 1195.668\text{mV})$$

$$b = 290.22^{\circ}\text{C}$$

因此，最终的方程用于计算测量的温度(T_M)，在 20°C 和 30°C 之间的范围为： $T_M = m \times V_{TAO} + b$

$$T_M = -0.226^{\circ}\text{C}/\text{mV} \times V_{TAO} + 290.22^{\circ}\text{C}$$

其中 V_{TAO} 的单位为 mV 和 T_M 的单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。

5.3.2. 二阶传递函数

二阶传递函数在更宽的温度范围内可以得到更好的结果。在 -55°C 到 $+150^{\circ}\text{C}$ 的全温度范围内，线性度误差会增加。利用最小二乘法，利用表中的值生成了一个最佳拟合的二阶传递函数:

$$T_M = a (V_{TAO})^2 + b (V_{TAO}) + c$$

其对应的值见下表:

	-55°C到 150°C的最佳值	-10°C至 110°C的最佳值
a	-1.1495E-5	-1.1448E-5
b	-0.20004	-0.20007
c	275.6019	275.5831

其中 V_{TAO} 的单位为 mV 和 T_M 的单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。

5.3.3. 三阶传递函数

在一个较宽的温度范围内，最精确的单个方程是一个三阶传递函数。利用最小二乘法，利用中的值生成了一个最佳拟合的三阶传递函数:

$$T_M = a (V_{TAO})^3 + b (V_{TAO})^2 + c(V_{TAO}) + d$$

其对应的值见下表:

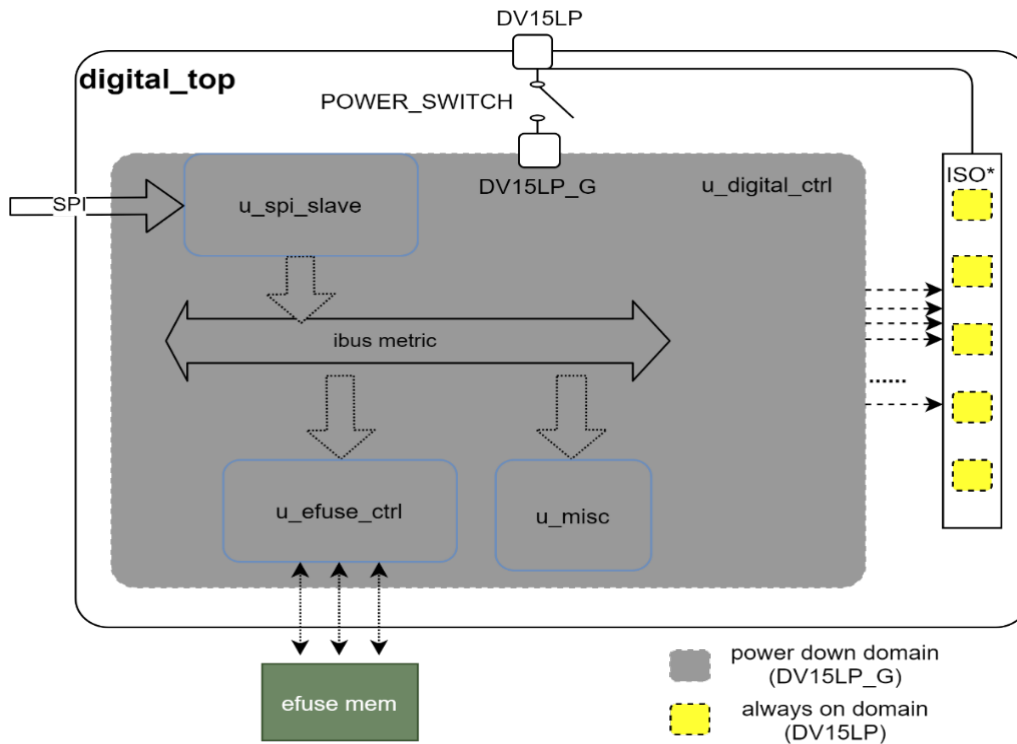
	-55°C到 150°C的最佳值	-10°C至 110°C的最佳值
a	-1.785E-9	-1.5888E-9
b	-5.8733E-6	-6.4181E-6
c	-0.20581	-0.20533
d	277.5335	277.3982

其中 V_{TAO} 的单位为 mV 和 T_M 的单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。

5.4. 数字控制部分 (digital_top)

`digital_top` 主要通过 SPI 接口可以实现在 CP 阶段配置 Efuse 内部的相关 `triming` 参数，该 SPI 接口不需要封装出来，后续芯片每次上电启动硬件自动从 Efuse 加载已有的 `triming` 值。此外还集成了测试相关的一些功能。

详细框架如下图：



5.4.1. IBUS 总线地址划分

BUS	Section	Address range	Note
IBUS(32KHz)	reserved	0x50-0xff	预留区间，不可访问
	misc	0x40-0x4f	杂项控制的区间，具体可访问参考寄存器描述
	efuse_ctrl reg	0x30-0x3f	efuse_ctrl 内部控制寄存器
	efuse mem	0x20-0x27	efuse 的主要 64bit 空间。超出区间访问无效
	reserved	0x10-0x1f	预留区间，不可访问
	reserved	0x00-0x0f	预留区间，不可访问

5.4.2. Efuse mem 的空间划分

Section	Efuse Address(PA[5:0])	Note
BGLP_TRIM<5:0>	0x00-0x05	低功耗 1.2V bandgap 电压修调信号 min: 100000 typ: 000000 max: 011111
OSC32K_TRIM<5:0>	0x06-0x0b	32K OSC 修调
TRIM_BG<4:0>	0x0c-0x10	Temp sensr bg trim
TRIM_OS<6:0>	0x11-0x17	Temp sensr TAO opa offset trim

TRIM_SENS<8:0>	0x18-0x20	Temp sensr core trim
CHIP_ID<29:0>	0x21-0x3e	CHIP_ID
EFUSE_VALID_FLAG<0>	0x3f	EFUSE 已经被正常的 program 过后，该区域的值为 1，只有当该区域为 1 时，其他区间的值才是可信的。 当芯片处于未 trimming 的状态时，测试其他功能需要确保软件配置 efuse_ctrl 的相关 TRIM 寄存器并软件设置 flag 来确保芯片可以正常工作。

5.4.3. SPI_SLAVE

Spi_slave 是芯片主要的访问接口，具有如下特性：

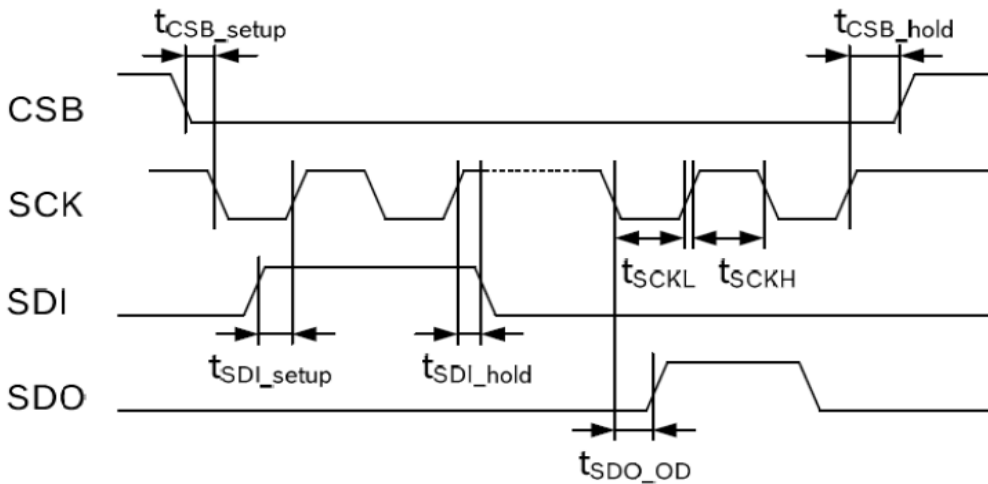
- 符合 spi 4 线协议的接口，全双工工作模式；
- 可访问所有的寄存器，可访问 efuse；
- 频率(spi_clk)最大可以达到 8KHz(系统时钟 32KHz)；
- 当 spi 的操作对象是 efuse 的写时，由于 efuse 的写入操作需要比较长的时间，需要在前面写数据发完最后一个后，等待>=2ms 后（efuse 的烧写已经完成）才能发下一个操作；
- 当 spi 的操作对象是 efuse 的读时，发送完最后一个地址后，需要等到>=1ms 的时间来保证 efuse 的值已经被读回来后，再发起数据传出的过程；

5.4.3.1. Spi 接口时序参数

Spi 接口时序参数如下：

标识	参数	条件	Min	Max	单位
fclk	时钟频率	最大负载 SDA or SDO=25pF		8	KHz
Tsclk_l	时钟低脉冲维持时间		2		μs
Tsclk_h	时钟高脉冲维持时间		2		μs
Tsdi_setup	SDA 建立时间		2		μs
Tsdi_hold	SDA 保持时间		2		μs
Tsdo_od	SDO 输出延时	负载=25pF		30	ns
		负载=250pF		40	ns
Tcsb_setup	CSB 建立时间		2		μs
Tcsb_hold	CSB 保持时间		2		μs

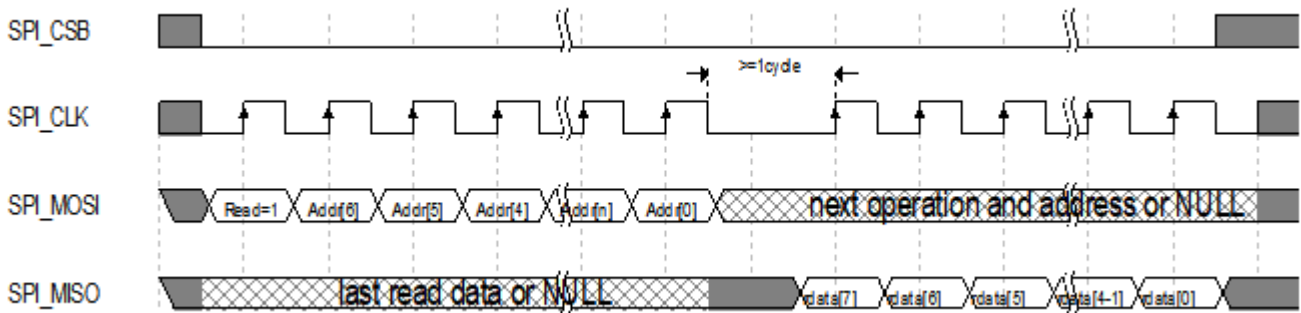
时序示意图如下：



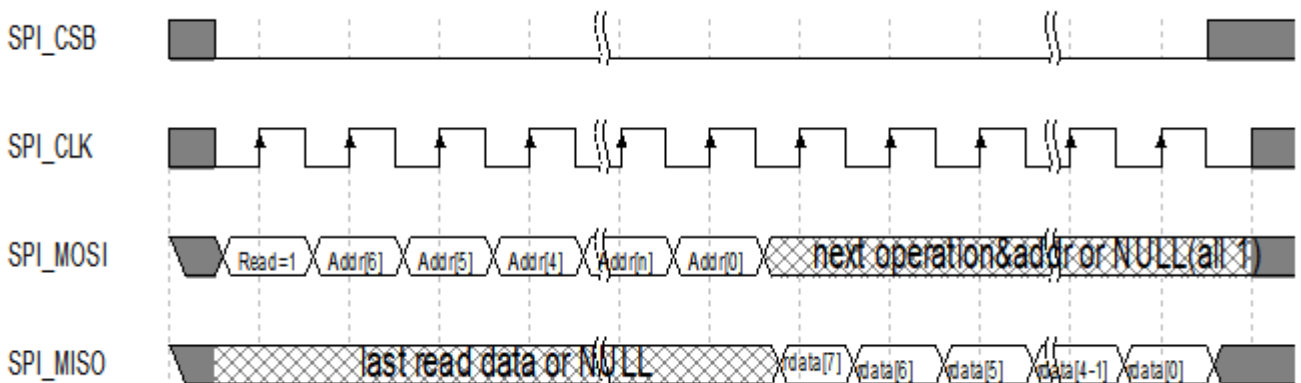
注意：SPI slave 仅支持 PHA/POL 为 0/0 的模式，建议使用一般 gpio 模拟 CSB 的行为，在 spi 访问期间一直保持有效。

5.4.3.2. SPI 读寄存器

a) SPI READ REGISTER (only support 7bits address, 8bits rdata) when $8KHz \geq SPI_CLK \geq 6KHz$

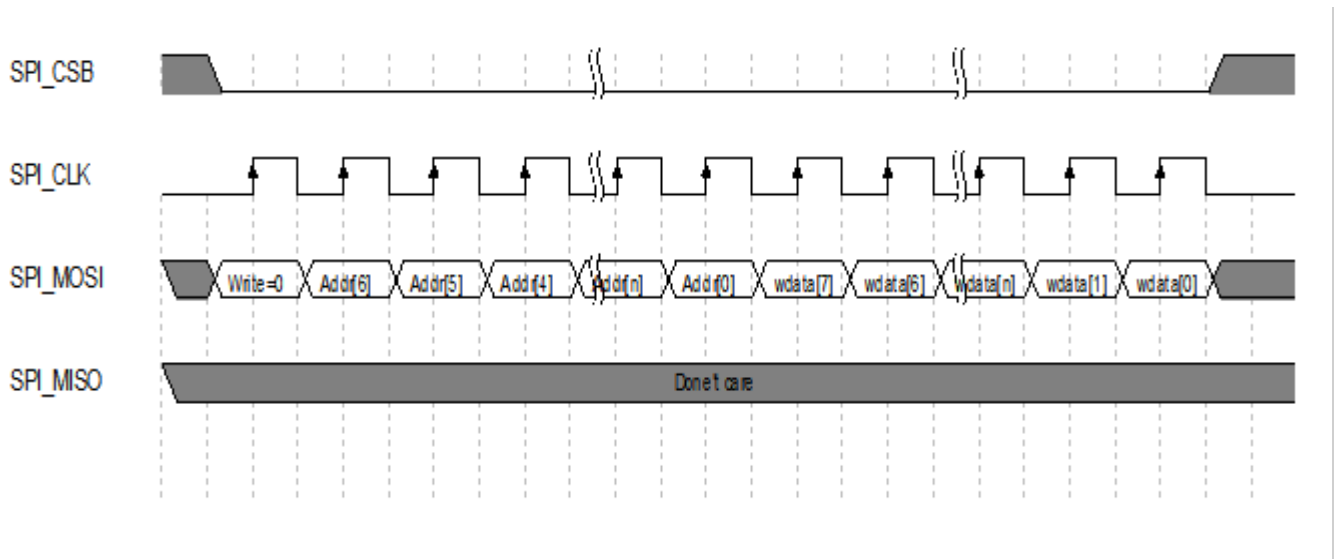


b) SPI READ REGISTER (only support 7bits address, 8bits rdata) when $SPI_CLK < 6KHz$



5.4.3.3. SPI 写寄存器

SPI WRITE REGISTER(only support 7bits address, 8bits wdata)



5.4.4. EFUSE 控制器(efuse_ctrl)

efuse_ctrl 主要实现 efuse 的烧入，读出的控制，可以通过 spi 的接口实现对 efuse 的操作。Efuse 存入的参数可以通过 efuse_ctrl 在芯片每次上电后自动读出配置到对应的模块去，具体有如下特性：

- 支持 spi 接口访问 efuse(烧入，读出)，其中烧入的时候必须保证芯片是 5v 的供电。
- EFUSE 64bit 的 trimming 内容，仅在上电复位 (por) 完成后自动 load 并更新寄存器值 (相应的寄存器也仅能被 por 复位)。
- 需要先确认读取 flag 的位置，如果 flag 无效，不需要读取其他的 mem 内容以节省功耗，triming 参数采用对应 trimming 寄存器可配置。
- 如果 flag 无效，triming 寄存器要求可写，flag 有效时，triming 寄存器写保护 (不可改其值)。
- error 寄存器会记录对 efuse 由 1 写为 0 的情况，addr 寄存器记录这个 efuse 地址，可以通过 error、addr 寄存器写 1 清 0

efuse_ctrl 内部寄存器列表如下图：

OFFSE T	REGISTER	BIT	POLORIT Y	FIELD	Reset Value	Descriptions
0x0	cycle	[4:0]	rw	cycle	5'h11	配置时钟周期,默认为 25KHz-33.33KHz 区间时钟可正常工作。
0x1	BGLP_TRIM_R	[5:0]	rw	BGLP_TRIM_R	6' h0	低功耗 1.2V bandgap 电压修调信号
0x2	OSC32K_TRIM	[5:0]	rw	OSC32K_TRIM_R	6' h20	32K OSC 修调
0x3	TRIM_BG	[4:0]	rw	TRIM_BG_R	5' h0	Temp sensor bg trim
0x4	TRIM_OS	[6:0]	rw	TRIM_OS_R	7' h0	Temp sensor os trim

0x5	TRIM_SENS	[7:0]	rw	TRIM_SENS_R	8' h0	Temp sensr TAO opa offset trim
0x6	TRIM_SENS	[8]	rw	TRIM_SENS_R	1' h0	Temp sensr TAO opa offset trim
0x7	CHIP_ID_R	[7:0]	rw	CHIP_ID_R	8' h0	Temp sensr core trim
0x8	CHIP_ID_R	[15:8]	rw	CHIP_ID_R	8' h0	Temp sensr core trim
0x9	CHIP_ID_R	[23:16]	rw	CHIP_ID_R	8' h0	Temp sensr core trim
0xa	CHIP_ID_R	[29:24]	rw	CHIP_ID_R	6' h0	Temp sensr core trim
0xb	Reserved	[7:0]	ro	/	/	预留区间，不可访问
0xc	EFUSE_VALID_FLAG_R	[0]	rw	EFUSE_VALID_FLAG_R	1' h0	EFUSE 已经被正常的 program 过后，该区域的值为 1，只有当该区域为 1 时，其他区间的值才是可信的。
0xd	error	[0]	rc_w1	error	1' h0	记录 efuse 对为 1 的存储位写 0 的错误
	addr	[6:1]	rc_w1	addr	6' h0	记录 efuse 对为 1 的存储位写 0 的地址

5.4.5. 杂项控制模块(misc)

misc 具有如下特性：

- 低功耗 debug；
- 寄存器控制可以实现 TESTMUX 的功能，供测试使用；
- 可以实现芯片数字部分的软件复位；

Misc 寄存器列表如下：

OFFSET	REGISTER	BIT	POLORITY	FIELD	Default Value	Descriptions
0x0	lpw_debug	[7:2]	ro	reserved	6'h0	
		[1]	rw	lpw_debug_en	1'b0	MISO 脚复用输出 lpw 信息的使能 0: 不复用 1: 复用为 lpw 信息输出。
		[0]	rw	lpw_debug_sel	1'b0	选择 MISO 脚可输出的低功耗控制寄存器： 0: psw_en(内部信号 OSC_EN) 1: iso_en

0x1	test_ctrl	[7:5]	ro	reserved	4'h0	
		[4]	rw	TESTMUX_BUF_EN	1'b0	TESTMUX 内部的 buffer 使能信号。 1: 开 buffer, 被选择的信号经过 buffer 输出到 TESTOUT 脚; 0: 不开 buffer.
		[3:1]	rw	TESTMUX_SEL<2:0>	3'h0	TESTMUX 输出信号选择。选择 8 个信号中的一个输出到 TESTOUT 脚。 000: SENS_OUT_T 001: VBG_T 010: GND 011: GND 100: DV15LP 101: GND 110: OSC32K_OUT_TEST 111: 10uA bias current. pmos output.
		[0]	rw	TESTMUX_EN	1'b0	TEST MUX 使能
0x2	soft_reset_clr	[7:1]	ro	reserved	4'h0	
		[1]	rw	power_gate_en	1'b1	芯片上电后确认 valid flag 后数字部分是否进入掉电状态: 0: 所有电压域保持正常供电。 1: 关闭 power switch,关闭数字 DV15LP_SW 域电源。 只有重新上电该寄存器才会被复位
		[0]	wo	soft_reset	1'b0	chip 整体软件复位, 写 1 触发该模块的复位, 复位完成后硬件自动清 0

5.5. 应用信息

LTATS70 的应用包括但不限于：基于物联网的温度传感器节点、医疗健身设备（如温度计、健身/智能手表、活动监测器和人体体温监测器）、AA 级或更低 RTD 替换、精密 NTC 或 PTC 热敏电阻替换、仪表温度补偿和计量温度补偿。

5.5.1. 典型应用

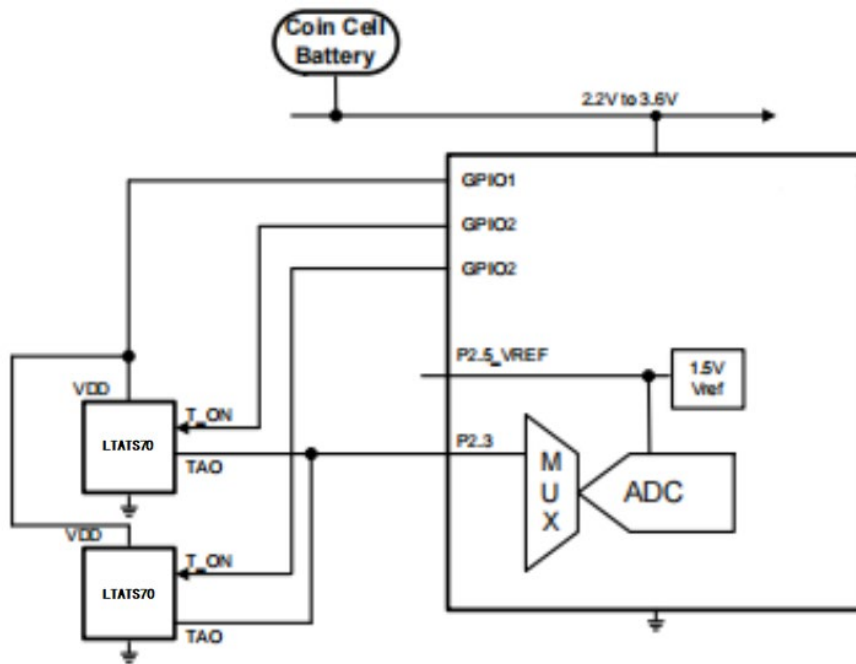


图 5-4 多传感器连接同一 ADC 的典型应用

电源旁路电容为可选的，如果电源线路有噪声，建议使用局部电源解耦电容来降低噪声。对于有噪声的环境，建议将 100 nF 的电源解耦电容放置在 LTATS70 的 VDD 和 GND 引脚上。

5.5.2. 温度算法选择

在 5.2 节中提出的三种算法中，线性插值、二阶传递函数和三阶传递函数，由用户的微控制器资源和将被感知的温度范围来确定。因此，这里给出了 LTATS70 的预期精度的比较。下面的曲线显示了给出的每种不同算法/方程对 LTATS70 的精度影响。图中红线为使用查找表对应的最大误差，绿线表示以对应的拟合方式设置时的最小/最大误差值，图中下面的方程为对应的拟合的具体方程。这些公式显示在每个图下，以供参考。

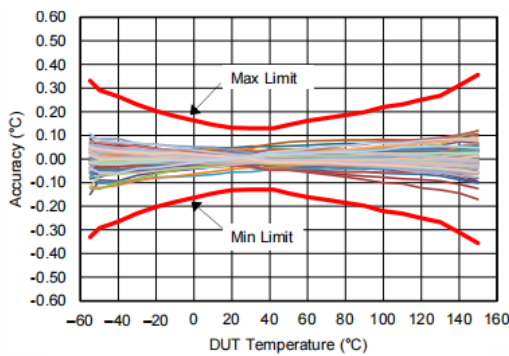
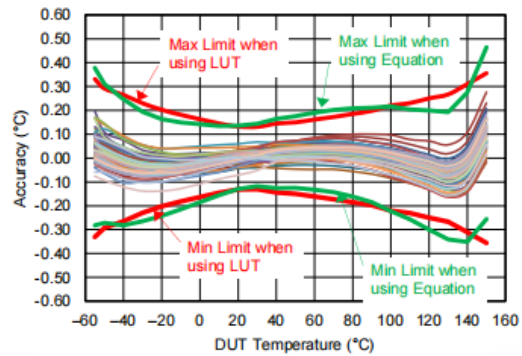
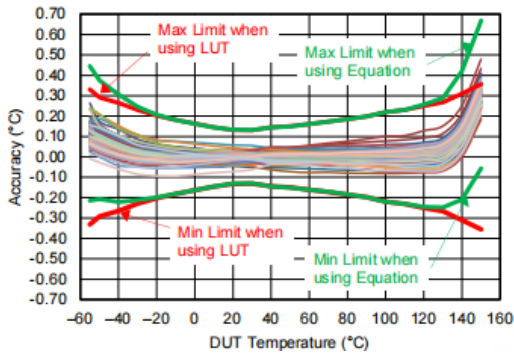


图 5-5 使用 LUT 和线性插值的性能



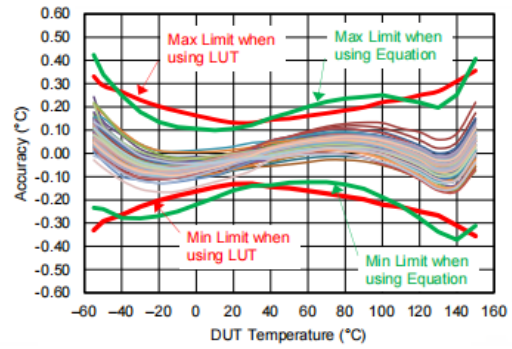
$$T_M = -1.785E-9 (V_{TAO})^3 - 5.8733E-6 (V_{TAO})^2 - 0.20581(V_{TAO}) + 277.5335$$

图 5-6 使用三阶传递函数最佳拟合 -55°C 到 +150°C



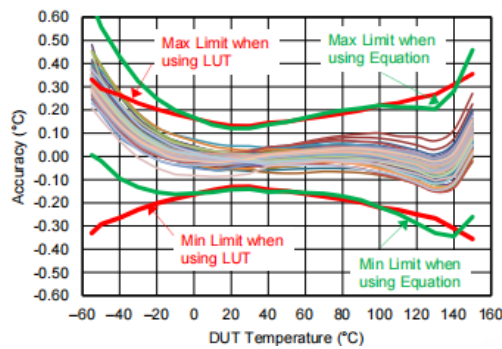
$$TM = -1.5888E-9 (V_{TAO})^3 - 6.4181E-6 (V_{TAO})^2 - 0.20533(V_{TAO}) + 277.3982$$

图 5-7 使用三阶传递函数最佳拟合-10°C到+110°C



$$TM = -1.1495E-5 (V_{TAO})^2 - 0.20004 (V_{TAO}) + 275.6019$$

图 5-8 用二阶传递函数进行最佳拟合-55°C至150°C



$$TM = -1.1448E-5 (V_{TAO})^2 - 0.20007 (V_{TAO}) + 275.5831$$

图 5-9 使用二阶传递函数，最佳拟合-10°C至110°C

5.5.3. 查找表

下表仅供参考，不打算用于计算目的。

T(°C)	V _{TAO}	T(°C)	V _{TAO}	T(°C)	V _{TAO}	T(°C)	V _{TAO}	T(°C)	V _{TAO}	T(°C)	V _{TAO}	T(°C)	V _{TAO}
-55	1.51909	-25	1.39132	5	1.26137	35	1.12950	65	0.99578	95	0.86026	125	0.72292
-54	1.51487	-24	1.38702	6	1.25701	36	1.12507	66	0.99129	96	0.85571	126	0.71831
-53	1.51065	-23	1.38272	7	1.25264	37	1.12064	67	0.98680	97	0.85116	127	0.71370
-52	1.50643	-22	1.37842	8	1.24827	38	1.11621	68	0.98231	98	0.84660	128	0.70909
-51	1.50220	-21	2.51909	9	1.24390	39	1.11177	69	0.97782	99	0.84205	129	0.70447
-50	1.49797	-20	1.36980	10	1.23952	40	1.10734	70	0.97332	100	0.83749	130	0.69986
-49	1.49374	-19	1.36549	11	1.23515	41	1.10290	71	0.96882	101	0.83293	131	0.69524
-48	1.48950	-18	1.36118	12	1.23077	42	1.09846	72	0.96432	102	0.82837	132	0.69062
-47	1.48526	-17	1.35686	13	1.22639	43	1.09402	73	0.95982	103	0.82381	133	0.68599
-46	1.48102	-16	1.35255	14	1.22201	44	1.08957	74	0.95531	104	0.81925	134	0.68137
-45	1.47677	-15	1.34823	15	1.21762	45	1.08513	75	0.95081	105	0.81468	135	0.67674
-44	1.47253	-14	1.34391	16	1.21323	46	1.08068	76	0.94630	106	0.81011	136	0.67211

-43	1.4682 8	-13	1.3395 8	17	1.2088 5	47	1.0762 3	77	0.9417 9	107	0.8055 4	137	0.6674 8
-42	1.4640 2	-12	1.3352 5	18	1.2044 6	48	1.0717 8	78	0.9372 8	108	0.8009 7	138	0.6628 5
-41	1.4597 7	-11	1.3309 3	19	1.2000 6	49	1.0673 2	79	0.9327 6	109	0.7963 9	139	0.6582 1
-40	1.4555 1	-10	1.3266 0	20	1.1956 7	50	1.0628 7	80	0.9282 5	110	0.7918 2	140	0.6535 8
-39	1.4512 5	-9	1.3222 6	21	1.1912 7	51	1.0584 1	81	0.9237 3	111	0.7872 4	141	0.6489 4
-38	1.4469 8	-8	1.3179 3	22	1.1868 7	52	1.0539 5	82	0.9192 1	112	0.7826 6	142	0.6443 0
-37	1.4427 2	-7	1.3135 9	23	1.1824 7	53	1.0494 9	83	0.9146 8	113	0.7780 7	143	0.6396 5
-36	1.4384 5	-6	1.3092 5	24	1.1780 7	54	1.0450 2	84	0.9101 6	114	0.7734 9	144	0.6350 1
-35	1.4341 8	-5	1.3049 1	25	1.1736 6	55	1.0405 6	85	0.9056 3	115	0.7689 0	145	0.6303 6
-34	1.4299 0	-4	1.3005 6	26	1.1692 5	56	1.0360 9	86	0.9011 0	116	0.7643 1	146	0.6257 1
-33	1.4256 2	-3	1.2962 2	27	1.1648 5	57	1.0316 2	87	0.8965 7	117	0.7597 2	147	0.6210 6
-32	1.4213 5	-2	1.2918 7	28	1.1604 3	58	1.0271 5	88	0.8920 4	118	0.7551 3	148	0.6164 1
-31	1.4170 6	-1	1.2875 2	29	1.1560 2	59	1.0226 7	89	0.8875 1	119	0.7505 3	149	0.6117 6
-30	1.4127 8	0	1.2831 7	30	1.1516 1	60	1.0181 9	90	0.8829 7	120	0.7459 4	150	2.5190 9
-29	1.4084 9	1	1.2788 1	31	1.1471 9	61	1.0137 2	91	0.8784 3	121	0.7413 4		
-28	1.4042 0	2	1.2744 5	32	1.1427 7	62	1.0092 4	92	0.8738 9	122	0.7367 4		
-27	1.3999 1	3	1.2701 0	33	1.1383 5	63	1.0047 5	93	0.8693 5	123	0.7321 3		
-26	1.3956 2	4	1.2657 3	34	1.1339 2	64	1.0002 7	94	0.8648 0	124	0.7275 3		

5.6. 布局指南

LTATS70 可以与其他集成电路温度传感器一样，布局非常简洁，它可以被粘合或粘结在一个表面上。地线的温度和到 LTATS70 的其他引线的轨迹也会影响温度读数。

5.6.1. 安装和温度导电率

同时，LTATS70 可以安装在密封端金属管内，然后可以浸入浴缸或拧入槽中的螺纹孔中。与任何集成电路一样，LTATS70 的布线和电路必须保持绝缘和干燥，以避免泄漏和腐蚀。如果电路在低温下工作，这一点尤其如此。如果湿气造成了从 TAO 输出到地或 VDD 的短路，则来自 LTATS70 的 V_{TAO} 输出将不正确。印刷电路涂层可以用于确保水分不会腐蚀导线或电路。

LTATS70 的结温度是实际测量的温度。环境热阻 ($R_{\theta JA}$) 是用于计算由于其功耗而引起的器件结温度的上升。方程 1 用于计算 LTATS70 的结温度的上升。

$$T_J = T_A + R_{\theta JA} [(V_{DD}I_Q) + (V_{DD} - V_{TEMP})I_L] \quad (1)$$

其中：

T_A 是环境温度。

I_Q 是静态电流。

I_L 为负载电流。

例如，在一个应用程序中， $T_A = 30^\circ\text{C}$ ， $V_{DD} = 3\text{ V}$ ， $I_{DD} = 12\mu\text{A}$ ， $V_{TAO} = 1.1516\text{V}$ 和 $I_L = 0\mu\text{A}$ ，其温度将上升 $[187^\circ\text{C/W} \times 3\text{V} \times 12\mu\text{A}] = 0.007^\circ\text{C}$ 。为了减少自己热量的产生， V_{TAO} 上应该使用最小的负载电流。

5.6.2. 布局示例

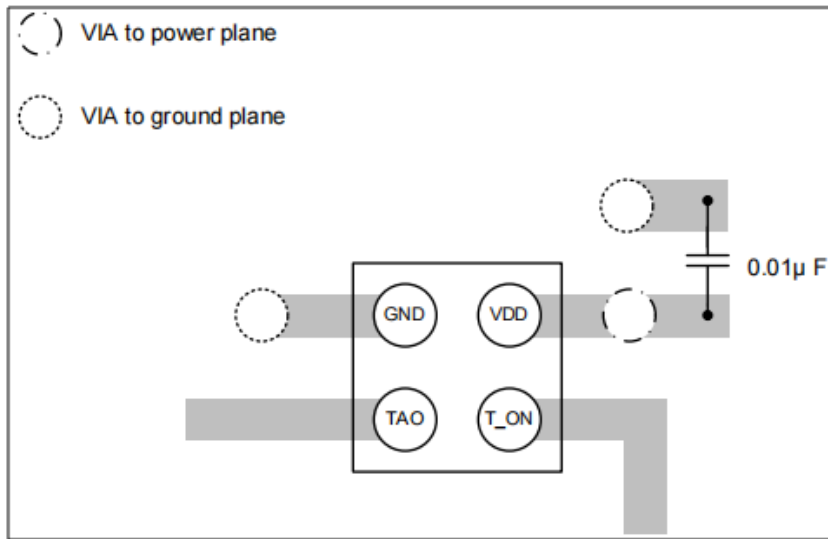
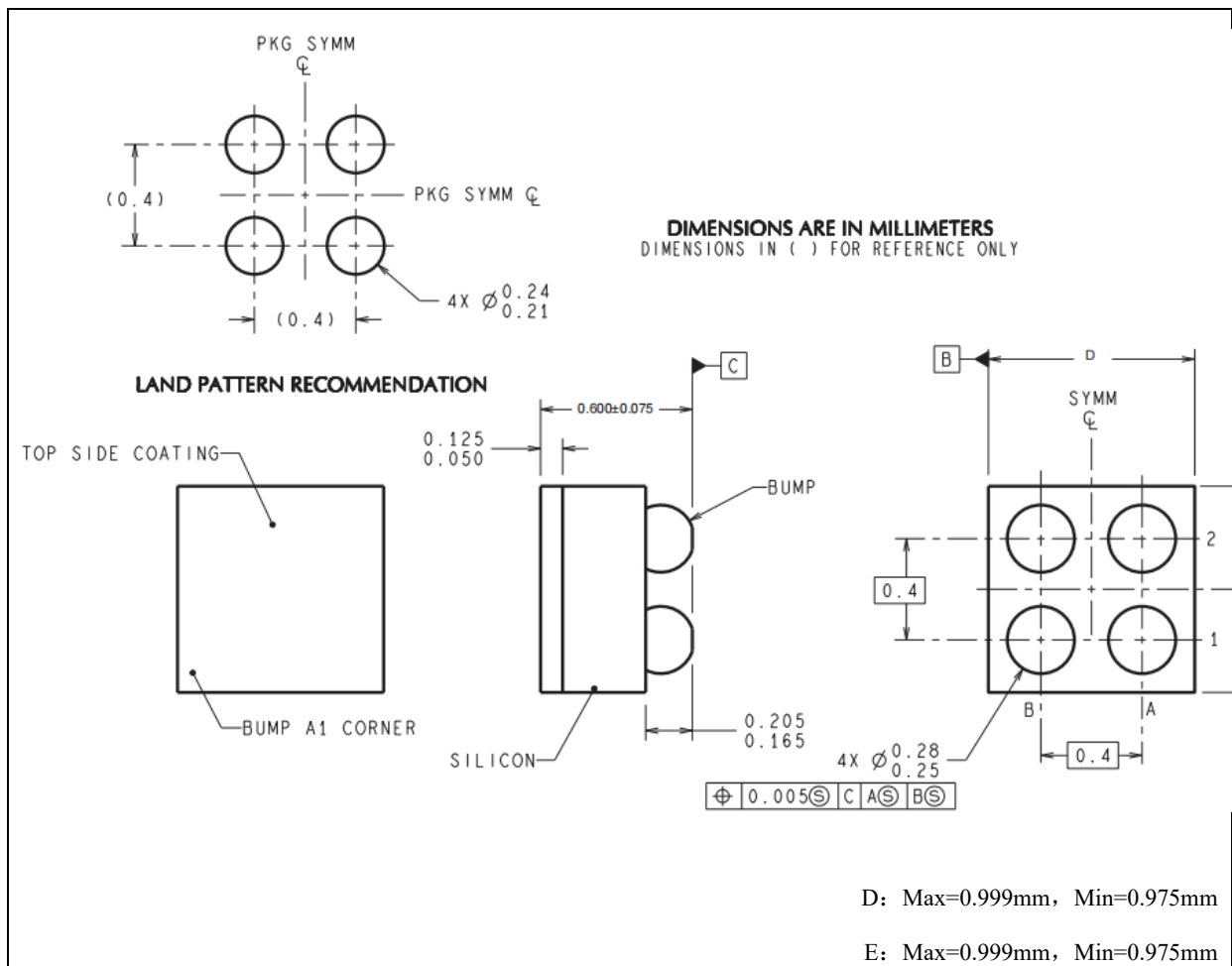


图 5-10 布局示例

6. 封装尺寸



注意事项:

- A. 所有线性尺寸均以毫米为单位。
- B. 本图纸如有更改，恕不另行通知。

7. 订货代码

具体型号	包装	最小包装量
LTATS70	卷带或托盘	

8. 修订历史

日期	版本	修订说明
2022-12-19	V1.0	初始版本
2022-12-20	V1.1	添加数字控制部分描述
2022-12-26	V1.2	修改部分模拟信息

9. 声明

在未经列拓科技同意下不得以任何形式或途径修改本公司产品规格和数据表中的任何部分以及子部份。列拓科技在以下方面保留权利：

修改数据单和/或产品、停产任一产品或者终止服务不做通知；建议顾客获取最新版本的相关信息，在下定订单前进行核实以确保信息的及时性和完整性。所有的产品都依据订单确认时所提供的销售合同条款出售，条款内容包括保修范围、知识产权和责任范围。

列拓科技保证在销售期间，产品的性能按照本公司的标准保修。公司认为有必要维持此项保修，会使用测试和其他质量控制技术。除了政府强制规定外，其他仪器的测量表没有必要进行特殊测试。

顾客认可本公司的产品的设计、生产的目的是不涉及与生命保障相关或者用于其他危险的活动或者环境的其他系统或产品中。出现故障的产品会导致人身伤亡、财产或环境的损伤（统称高危活动）。人为在高危活动中使用本公司产品，本公司据此不作保修，并且不对顾客或者第三方负有责任。

列拓科技将会提供与现在一样的技术支持、帮助、建议和信息，(全部包括关于购买的电路板或其他应用程序的设计，开发或调试)。特此声明，对于所有的技术支持、可销性或针对特定用途，及在支持技术无误下，电路板和应用程序可以操作或运行的，本公司将不作任何有关此类支持技术的担保，并对您在使用这项支持服务不负任何法律责任。