

LM64 具有 PWM 风扇控制和 5 个 GPIO 的 $\pm 1^\circ\text{C}$ 远程二极管温度传感器

1 特性

- 精确测温远程和本地二极管温度
- 集成式 PWM 风扇速度控制输出
- 用于使风扇安静的可编程 8 步查找表
- $\overline{\text{ALERT}}$ 和 $\overline{T_{\text{Crit}}}$ 开漏输出
- 用于测量风扇 RPM 的转速计输入
- 10 位加号远程二极管温度数据格式，具有 0.125°C 分辨率
- SMBus 2.0 兼容接口，支持 TIMEOUT
- 5 个通用输入/输出引脚
- 5 个通用默认输入引脚
- 24 引脚 WQFN 封装
- 主要规格：
 - 远程二极管温度精度（包括量化误差）
 - 环境温度
 - 30°C 至 50°C
 - 0°C 至 85°C
 - 二极管温度
 - 120°C 至 140°C
 - 25°C 至 140°C
 - 最大误差
 - $\pm 1.0^\circ\text{C}$ (最大值)
 - $\pm 3.0^\circ\text{C}$ (最大值)
 - 本地温度精度（包括量化误差）
 - 环境温度 25°C 至 125°C
 - 最大误差 $\pm 3.0^\circ\text{C}$ (最大值)
 - 电源要求
 - 直流电源电压 3.0V 至 3.6V
 - 直流电源电流： 1.1mA (典型值)

2 应用

- 计算机处理器热管理
- 图形处理器热管理
- 稳压器模块
- 电子仪表
- 电源
- 投影仪

3 说明

LM64 是一款具有 PWM 风扇控制的远程二极管温度传感器。LM64 能够准确测量自身和远程二极管的温度。LM64 远程温度精度在出厂时针对 MMBT3904 连接二极管的晶体管进行了调整，具有针对高温的 16°C 偏移。 $T_{\text{ACTUAL DIODE JUNCTION}} = T_{\text{LM64}} + 16^\circ\text{C}$

LM64 具有 1 个 PWM、开漏风扇控制输出、5 个 GPIO (通用输入/输出) 和 5 个 GPD (通用默认) 引脚。8 阶跃查找表允许使用非线性风扇速度与温度传递函数（通常用于降低风扇噪音）。



本资源的原文使用英文撰写。为方便起见，TI 提供了译文；由于翻译过程中可能使用了自动化工具，TI 不保证译文的准确性。为确认准确性，请务必访问 ti.com 参考最新的英文版本（控制文档）。

内容

1 特性	1	7 寄存器	20
2 应用	1	7.1 LM64 寄存器	20
3 说明	1	7.2 通用寄存器	30
4 引脚配置和功能	3	8 应用和实施	31
5 规格	5	8.1 应用信息	31
5.1 绝对最大额定值	5	8.2 典型应用	35
5.2 运行额定值	5	9 布局	36
5.3 DC 电气特性	6	9.1 尽可能降低噪声的 PCB 布局	36
5.4 工作电气特性	6	10 器件和文档支持	37
5.5 AC 电气特性	7	10.1 文档支持	37
5.6 数字电气特性	7	10.2 接收文档更新通知	37
5.7 SMBus 逻辑电气特性	7	10.3 支持资源	37
5.8 SMBus 数字开关特性	8	10.4 商标	37
6 详细说明	11	10.5 静电放电警告	37
6.1 概述	11	10.6 术语表	37
6.2 功能方框图	12	11 修订历史记录	38
6.3 特性说明	13	12 机械、封装和可订购信息	38

4 引脚配置和功能

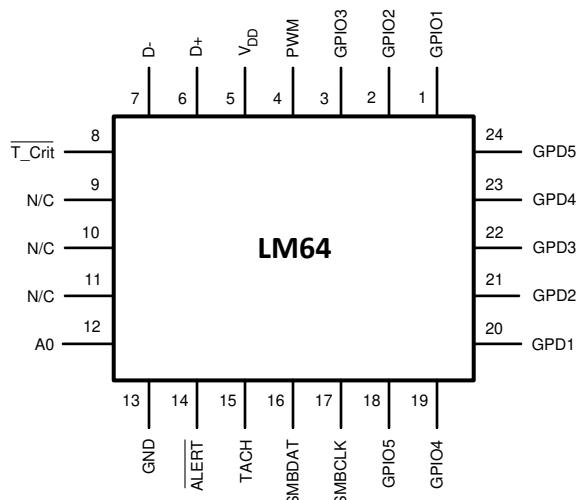


图 4-1. 24 引脚 WQFN 封装

表 4-1. 引脚说明

引脚	名称	输入/输出	功能和连接
1	GPIO1	数字输入/ 开漏输出	通用开漏数字输出或数字输入。连接到 V_{DD} 的典型上拉电阻器为 $10k\Omega$ 。
2	GPIO2	数字输入/ 开漏输出	通用开漏数字输出或数字输入。连接到 V_{DD} 的典型上拉电阻器为 $10k\Omega$ 。
3	GPIO3	数字输入/ 开漏输出	通用开漏数字输出或数字输入。连接到 V_{DD} 的典型上拉电阻器为 $10k\Omega$ 。
4	PWM	开漏 数字输出	开漏数字输出。连接到风扇驱动电路。此引脚的加电默认为低电平（引脚 4 拉至地）。
5	V_{DD}	电源输入	连接到低噪声 $+3.3 \pm 0.3$ VDC 电源，并使用与 $100pF$ 陶瓷电容器并联的 $0.1\mu F$ 陶瓷电容器旁路至 GND。LM64 的 V_{DD} 引脚附近需要放置一个 $10\mu F$ 的大容量电容器。
6	D+	模拟输入	连接到远程二极管的阳极（正极侧）。必须在引脚 6 和 7 之间连接一个 $2.2nF$ 陶瓷电容器。
7	D-	模拟输入	连接到远程二极管的阴极（负极侧）。必须在引脚 6 和 7 之间连接一个 $2.2nF$ 陶瓷电容器。
8	T_Crit	开漏 数字输出	开漏数字输出。连接到 V_{DD} 的典型上拉电阻器为 $3k\Omega$ 。
9	N/C	不适用	无连接。
10	N/C	不适用	无连接。
11	N/C	不适用	无连接。
12	A0	数字输入	SMBus 地址选择引脚。如果为高电平，SMBus 地址为 0x4E；如果为低电平，SMBus 地址为 0x18。连接到 V_{DD} 的典型上拉电阻器为 $10k\Omega$ 。
13	GND	接地	这是模拟和数字接地回路。
14	ALERT	开漏 数字输出	此引脚是开漏 ALERT 输出。连接到 V_{DD} 的典型上拉电阻器为 $3k\Omega$ 。
15	TACH	数字输入	此引脚是数字转速计输入。连接到 V_{DD} 的典型上拉电阻器为 $3k\Omega$ 。
16	SMBDAT	数字输入/ 开漏输出	这是双向 SMBus 数据线。连接到 V_{DD} 的典型上拉电阻器为 $1.5k\Omega$ 。
17	SMBCLK	数字输入	这是 SMBus 时钟输入。连接到 V_{DD} 的典型上拉电阻器为 $1.5k\Omega$ 。

表 4-1. 引脚说明 (续)

引脚	名称	输入/输出	功能和连接
18	GPIO5	数字输入/ 开漏输出	通用开漏数字输出或数字输入。连接到 V _{DD} 的典型上拉电阻器为 10kΩ。
19	GPIO4	数字输入/ 开漏输出	通用开漏数字输出或数字输入。连接到 V _{DD} 的典型上拉电阻器为 10kΩ。
20	GPD1	数字输入	通用默认输入引脚。连接到 V _{DD} 的典型上拉电阻器为 10kΩ。始终连接到逻辑高电平或低电平。
21	GPD2	数字输入	通用默认输入引脚。连接到 V _{DD} 的典型上拉电阻器为 10kΩ。始终连接到逻辑高电平或低电平。
22	GPD3	数字输入	通用默认输入引脚。连接到 V _{DD} 的典型上拉电阻器为 10kΩ。始终连接到逻辑高电平或低电平。
23	GPD4	数字输入	通用默认输入引脚。连接到 V _{DD} 的典型上拉电阻器为 10kΩ。始终连接到逻辑高电平或低电平。
24	GPD5	数字输入	通用默认输入引脚。连接到 V _{DD} 的典型上拉电阻器为 10kΩ。始终连接到逻辑高电平或低电平。

5 规格

5.1 绝对最大额定值

请参阅 [\(1\)](#) [\(2\)](#) [\(3\)](#)

电源电压, V_{DD}	-0.3V 至 6.0V	
SMBDAT、SMBCLK、ALERT、T_Crit、PWM 引脚上的电压	-0.5V 至 6.0V	
其他引脚上的电压	-0.3V 至 ($V_{DD} + 0.3V$)	
输入电流, D- 引脚	$\pm 1\text{mA}$	
所有其它引脚的输入电流 (4)	5mA	
封装输入电流 (4)	30mA	
封装功率耗散 SMBDAT、ALERT、T_Crit、PWM 引脚	请参阅 (5)	
输出灌电流	10mA	
贮存温度	-65°C 至 +150°C	
ESD 敏感性 (6)	人体放电模型	2000V
	机器放电模型	200V

SMT 焊接信息

有关采用 LLP 封装的 SMT 组装的信息，请参阅 [AN-1187 \(SNOA401Q\)](#)，“无引线框架封装”。

- (1) 绝对最大额定值表示超过之后可能对器件造成损坏的限值。运行额定值表示器件可正常工作的条件，但不保证性能限制。有关保证的规格和测试条件，请参阅“电气特性”。保证的规格仅适用于所列出的测试条件。当器件未在列出的测试条件下运行时，某些性能特性可能会降级。
- (2) 除非另有说明，否则所有电压均以 GND 为基准测量。
- (3) 如果需要军用/航天专用器件，请与 TI 销售办事处/经销商联系以了解供货情况和技术规格。
- (4) 如果任何引脚处的输入电压 (V_{IN}) 超过电源电压 ($V_{IN} < GND$ 或 $V_{IN} > V_+$)，则相应引脚处的电流不应超过 5mA。[表 5-1](#) 显示了 LM64 引脚的寄生元件和/或 ESD 保护电路，通过 "X" 表示它存在。请注意，不要对引脚 D+ 和 D- 上的寄生二极管 D1 进行正向偏置：如果正向偏置超过 50mV，可能会破坏温度测量结果。
- (5) 有关结至环境热阻，请参阅 [AN-1187 SNOA401](#)。
- (6) 人体放电模型，100pF 通过 1.5kΩ 电阻器放电。机器放电模型，直接对每个引脚进行 200pF 放电。有关 ESD 保护输入结构，请参阅 [图 5-2](#)。

5.2 运行额定值

请参阅 [\(1\)](#) [\(2\)](#)

LM64 工作温度范围	0°C ≤ T_A ≤ +85°C
远程二极管温度范围	25°C ≤ T_D ≤ +140°C
电气特性	T_MIN ≤ T_A ≤ T_MAX
电源电压范围 (V_{DD})	+3.0V 至 +3.6V

- (1) 绝对最大额定值表示超过之后可能对器件造成损坏的限值。运行额定值表示器件可正常工作的条件，但不保证性能限制。有关保证的规格和测试条件，请参阅“电气特性”。保证的规格仅适用于所列出的测试条件。当器件未在列出的测试条件下运行时，某些性能特性可能会降级。
- (2) 除非另有说明，否则所有电压均以 GND 为基准测量。

5.3 DC 电气特性

TEMPERATURE-TO-DIGITAL 转换器特性

除非在条件中另有说明，否则以下规格适用于 $V_{DD} = 3.0\text{VDC}$ 至 3.6VDC 以及所有模拟源阻抗 $R_S = 50\Omega$ 。粗体限值适用于 $T_A = T_{MIN}$ 至 T_{MAX} ；所有其他限值适用 $T_A = +25^\circ\text{C}$ 。

参数	条件		典型值 ⁽¹⁾	限值 ⁽²⁾	单位 (限值)
使用 MMBT3904 连接了二极管的晶体管时的温度误差。 $T_D = T_{LM64} + 16^\circ\text{C}$	$T_A = +30^\circ\text{C}$ 至 $+50^\circ\text{C}$	$T_D = +120^\circ\text{C}$ 至 $+140^\circ\text{C}$		±1	°C (最大值)
	$T_A = +0^\circ\text{C}$ 至 $+85^\circ\text{C}$	$T_D = +25^\circ\text{C}$ 至 $+140^\circ\text{C}$		±3	°C (最大值)
使用本地二极管时的温度误差	$T_A = +25^\circ\text{C}$ 至 $+125^\circ\text{C}$ ⁽³⁾		±1	±3	°C (最大值)
远程二极管分辨率			11		位
			0.125		°C
本地二极管分辨率			8		位
			1		°C
所有温度的转换时间	最快设置		31.25	34.4	ms (最大值)
D- 源极电压			0.7		V
二极管源极电流	$(V_{D+} - V_{D-}) = +0.65\text{V}$; 高电流		160	315	μA (最大值)
				110	μA (最小值)
	低电流		13	20	μA (最大值)
				7	μA (最小值)

(1) “典型值”都是在 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 条件下的值，表示最有可能达到的参数标准。它们用作一般参考值，不用于关键的设计计算。

(2) 限值保证达到 TI 的 AOQL (平均出厂质量水平)。

(3) 本地温度精度不包括自发热的影响。自发热引起的温度上升是 LM64 内部功耗与热阻的乘积。有关要在自发热计算中使用的热阻，请参阅 AN-1187 ([SNOA401](#))。

5.4 工作电气特性

参数	条件		典型值 ⁽¹⁾	限值 ⁽²⁾	单位
ALERT、 $\overline{T}_{\text{Crit}}$ 和 PWM 输出饱和电压	$\overline{\text{ALERT}}、\overline{T}_{\text{Crit}}$	PWM			
	I_{OUT}	4mA	6mA	0.4	V (最大值)
	I_{OUT}	6mA		0.55	V (最大值)
上电复位阈值电压				2.4	V (最大值)
				1.8	V (最小值)
电源电流 ⁽³⁾	SMBus 无效，16Hz 转换率		1.1	2.0	mA (最大值)
	STANDBY 模式		320		μA

(1) “典型值”都是在 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 条件下的值，表示最有可能达到的参数标准。它们用作一般参考值，不用于关键的设计计算。

(2) 限值保证达到 TI 的 AOQL (平均出厂质量水平)。

(3) 电源电流不会随 SMBus 事务大幅增加。

5.5 AC 电气特性

除非在条件中另有说明，否则以下规格适用于 $V_{DD} = 3.0\text{VDC}$ 至 3.6VDC 以及所有模拟源阻抗 $R_S = 50\Omega$ 。粗体限值适用于 $T_A = T_{MIN}$ 至 T_{MAX} ；所有其他限值适用 $T_A = +25^\circ\text{C}$ 。

符号	参数	条件	典型值 ⁽¹⁾	限值 ⁽²⁾	单位 (限值)
转速计精度					
	风扇控制精度			±10	% (最大值)
	风扇满量程计数			65535	(最大值)
	风扇计数器时钟频率		90		kHz
	风扇计数更新频率		1.0		Hz
风扇 PWM 输出					
	频率精度			±10	% (最大值)

(1) “典型值”都是在 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 条件下的值，表示最有可能达到的参数标准。它们用作一般参考值，不用于关键的设计计算。

(2) 限值保证达到 TI 的 AOQL (平均出厂质量水平)。

5.6 数字电气特性

符号	参数	条件	典型值 ⁽¹⁾	限值 ⁽²⁾	单位 (限值)
V_{IH}	逻辑高电平输入电压			2.1	V (最小值)
V_{IL}	逻辑低电平输入电压			0.8	V (最大值)
I_{IH}	逻辑高电平输入电流	$V_{IN} = V_{DD}$	0.005	+10	μA (最大值)
I_{IL}	逻辑低电平输入电流	$V_{IN} = \text{GND}$	-0.005	-10	μA (最大值)
C_{IN}	数字输入电容		20		pF

(1) “典型值”都是在 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 条件下的值，表示最有可能达到的参数标准。它们用作一般参考值，不用于关键的设计计算。

(2) 限值保证达到 TI 的 AOQL (平均出厂质量水平)。

5.7 SMBus 逻辑电气特性

除非在条件中另有说明，否则以下规格适用于 $V_{DD} = 3.0\text{VDC}$ 至 3.6VDC 以及所有模拟源阻抗 $R_S = 50\Omega$ 。粗体限值适用于 $T_A = T_{MIN}$ 至 T_{MAX} ；所有其他限值适用 $T_A = +25^\circ\text{C}$ 。

符号	参数	条件	典型值 ⁽¹⁾	限值 ⁽²⁾	单位 (限值)
SMBDAT 开漏输出					
V_{OL}	逻辑低电平输出电压	$I_{OL} = 4\text{mA}$		0.4	V (最大值)
I_{OH}	高电平输出电流	$V_{OUT} = V_{DD}$	0.03	10	μA (最大值)
SMBDAT、SMBCLK 输入					
V_{IH}	逻辑高电平输入电压			2.1	V (最小值)
V_{IL}	逻辑低电平输入电压			0.8	V (最大值)
V_{HYST}	逻辑输入迟滞电压		400		mV

(1) “典型值”都是在 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 条件下的值，表示最有可能达到的参数标准。它们用作一般参考值，不用于关键的设计计算。

(2) 限值保证达到 TI 的 AOQL (平均出厂质量水平)。

5.8 SMBus 数字开关特性

除非另有说明，否则这些规格适用于 $V_{DD} = +3.0\text{VDC}$ 至 $+3.6\text{VDC}$ ，输出线路上的 C_L （负载电容）= 80pF 。**粗体限值适用于 $T_A = T_J$ ； $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$** ；所有其他限值适用于 $T_A = T_J = +25^\circ\text{C}$ （除非另有说明）。LM64 的开关特性完全符合或超过已发布的 SMBus 规范 2.0 版。以下参数是与 LM64 相关的 SMBCLK 和 SMBDAT 信号之间的时序关系。它们遵循 SMBus 总线规范，但这并非必需。

符号	参数	条件	限值 ⁽¹⁾	单位 (限值)
f_{SMB}	SMBus 时钟频率		10 100	KHz (最小值) kHz (最大值)
t_{LOW}	SMBus 时钟低电平时间	从 $V_{IN(0)\ max}$ 到 $V_{IN(0)\ min}$	4.7	μs (最小值)
t_{HIGH}	SMBus 时钟高电平时间	从 $V_{IN(1)\ min}$ 到 $V_{IN(1)\ max}$	4.0 50	μs (最小值) ms (最大值)
t_R	SMBus 上升时间	请参阅 ⁽²⁾	1	μs (最大值)
t_F	SMBus 下降时间	请参阅 ⁽³⁾	0.3	μs (最大值)
t_{OF}	输出下降时间	$C_L = 400\text{pF}$, $I_O = 3\text{mA}$	250	ns (最大值)
$t_{TIMEOUT}$	串行接口复位时的 SMBData 和 SMBCLK 低电平时间。请参阅 ⁽⁴⁾		25 35	ms (最小值) ms (最大值)
$t_{SU:DAT}$	数据输入到 SMBCLK 高电平的建立时间		250	ns (最小值)
$t_{HD:DAT}$	SMBCLK 低电平后数据输出稳定时间		300 930	ns (最小值) ns (最大值)
$t_{HD:STA}$	(重复)启动条件的保持时间。在此周期后，生成第一个时钟。		4.0	μs (最小值)
$t_{SU:STO}$	停止条件 SMBCLK 高电平至 SMBDAT 低电平 (停止条件设置)		100	ns (最小值)
$t_{SU:STA}$	SMBus 重复启动条件建立时间，SMBCLK 高电平至 SMBDAT 低电平		4.7	μs (最小值)
t_{BUF}	停止条件和启动条件之间的 SMBus 空闲时间		4.7	μs (最小值)

(1) 限值保证达到 TI 的 AOQL (平均出厂质量水平)。

(2) 输出上升时间的测量范围为 $(V_{IL\ max} - 0.15\text{V})$ 至 $(V_{IH\ min} + 0.15\text{V})$ 。

(3) 输出下降时间的测量范围为 $(V_{IH\ min} + 0.15\text{V})$ 至 $(V_{IL\ min} - 0.15\text{V})$ 。

(4) 将 SMBData 和/或 SMBCLK 线路保持为低电平的时间间隔大于 $t_{TIMEOUT}$ 将复位 LM64 的 SMBus 状态机，从而将 SMBDAT 和 SMBCLK 引脚设置为高阻抗状态。

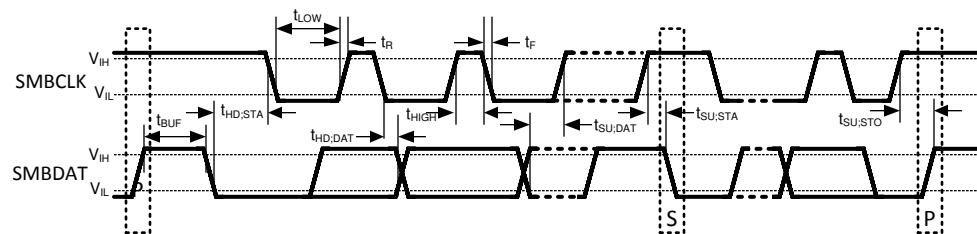


图 5-1. SMBCLK 和 SMBDAT 信号的 SMBus 时序图

表 5-1.

引脚名称	引脚编号	D1	D2	D3	D4	D5	D6	R1	SNP	ESD CLAMP
GPIO1	1						X	X	X	
GPIO2	2						X	X	X	
GPIO3	3						X	X	X	
PWM	4						X	X	X	
V _{DD}	5									X
D+	6	X	X			X	X	X		X
D-	7	X	X		X	X	X			X
T_Crit	8		X				X	X	X	
A0	12									X
ALERT	14		X				X	X	X	
TACH	15						X	X	X	
SMBDAT	16						X	X	X	
SMBCLK	17									X
GPIO5	18						X	X	X	
GPIO4	19						X	X	X	
GPD1	20									X
GPD2	21									X
GPD3	22									X
GPD4	23									X
GPD5	24									X

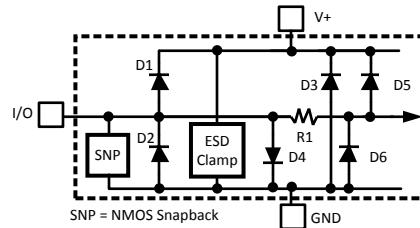


图 5-2. ESD 保护输入结构

6 详细说明

6.1 概述

集成风扇控制的 LM64 远程二极管温度传感器包含一个基于 ΔV_{BE} 的温度传感器，它使用本地或远程二极管和一个 10 位加号 $\Delta \Sigma$ ADC ($\Delta-\Sigma$ 模数转换器)。使用上拉电阻器的脉宽调制 (PWM) 开漏输出可以驱动开关晶体管以调制风扇。LM64 可以根据风扇集电极开路输出脉冲测量风扇速度，这些脉冲通过 $1.5\text{k}\Omega$ 电阻器上拉至 V_{DD} 。 $\overline{\text{ALERT}}$ 开漏输出在以下小节中介绍的某些条件下将被拉低。当超过 $\overline{T_{\text{Crit}}}$ 设定点温度限值时， $\overline{T_{\text{Crit}}}$ 开漏输出将被拉低。在没有任何锁存的情况下，这被用作一个典型的比较器功能。

LM64 的两线制接口与 SMBus 规范 2.0 兼容。有关更多信息，请访问 www.smbus.org。

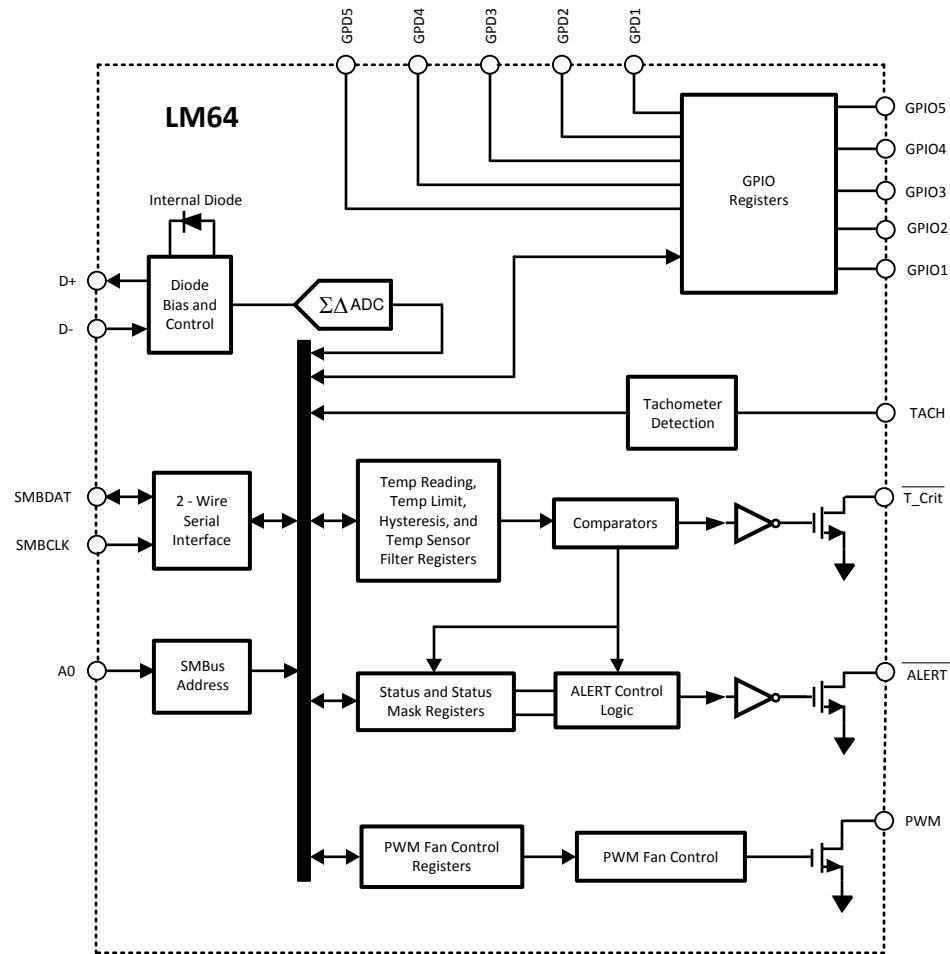
在 LM64 中，数字比较器用于比较测得的本地温度 (LT) 与本地高设定点用户可编程温度限值寄存器。测量的远程温度 (RT) 与远程高设定点 (RHS)、远程低设定点 (RLS) 和远程 T_{CRIT} 设定点 (RCS) 用户可编程温度限值进行数字比较。当测得的温度如下时， $\overline{\text{ALERT}}$ 输出将会发生：(1) 高于高设定点或 T_{CRIT} 设定点，或者 (2) 低于低设定点。 $\overline{\text{ALERT}}$ 屏蔽寄存器允许用户防止生成这些 $\overline{\text{ALERT}}$ 输出。

温度迟滞通过迟滞寄存器 (TH) 中存储的值设置。

通过设置配置寄存器中的待机位，可以将 LM64 置于低功耗待机模式。在待机模式下，停止连续转换。在待机模式下，用户可以通过对配置寄存器中的编程“待机时禁用 PWM”位，选择允许或不允许 PWM 输出信号继续。

本地温度读取和设定点数据寄存器为 8 位宽。11 位远程温度数据的格式为 16 位左对齐字。为每个设定点和温度读数提供了两个 8 位寄存器、高字节和低字节。两个远程温度偏移 (RTO) 寄存器：如果热二极管不同于图形处理器热二极管，则高字节和低字节 (RTOHB 和 RTOLB) 可用于校正温度读数，方法是根据热二极管的不同非理想因子加上或减去某个固定值。请参阅 [节 8.1.3.1](#)。

6.2 功能方框图



6.3 特性说明

6.3.1 转换序列

LM64 转换本地温度 (LT)、远程温度 (RT) 并更新其所有寄存器大约需要 31.25ms。转换率可通过转换速率寄存器进行修改。修改转换率时，会在两次转换之间插入一个延迟，实际转换时间仍为 31.25ms。不同的转换率将导致 LM64 汲取不同的电源电流，如 图 6-1 所示。

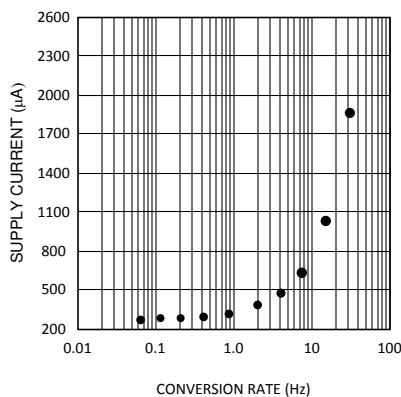


图 6-1. 电源电流与转换率间的关系

6.3.2 ALERT 输出

当为配置寄存器中的 ALERT 屏蔽位写入 0 时，就会启用 ALERT 中断。

LM64 的 ALERT 引脚用途广泛，可生成三种不同的使用方法，为系统设计人员提供最优质的服务：(1) 用作温度比较器 (2) 用作基于温度的中断标志 (3) 用作 SMBus ALERT 系统的一部分。下面进一步说明这三种使用方法。ALERT 和中断方法仅在用户与 LM64 交互的方式方面不相同。

远程温度 (RT) 读数与 T_CRIT 设定点寄存器关联，本地和远程温度 (LT 和 RT) 读数均与 HIGH 设定点寄存器 (LHS 和 RHS) 关联。RT 还与 LOW 设定点寄存器 (RLS) 关联。在每个温度读数结束时，数字比较会确定该读数是否高于其 HIGH 或 T_CRIT 设定点或低于其 LOW 设定点。如果是，ALERT 状态寄存器中的相应位被置位。如果 ALERT 屏蔽位为低电平，则在 ALERT 状态寄存器中设置的任何位 (Busy 或 Open 除外) 都将导致 ALERT 输出被下拉至低电平。任何超出温度设定点寄存器中定义的限值的温度转换都会触发 ALERT。此外，必须清除 ALERT 屏蔽位以在所有模式下触发 ALERT。

将在下面的小节中讨论三个不同的 ALERT 模式。

6.3.2.1 ALERT 输出作为温度比较器

当在不需要基于温度的中断的系统中使用 LM64 时，可将 ALERT 输出用作温度比较器。在此模式中，一旦触发 ALERT 变为低电平的条件不再存在，ALERT 将被取反 (图 6-2)。例如，如果 ALERT 输出是通过 LT > LHS 的比较激活，则当此条件不再成立时，ALERT 将恢复为高电平。在设置过程中配置所有寄存器后，此模式可以在没有软件干预的情况下运行。为了将 ALERT 用作温度比较器，必须将远程二极管温度滤波器和比较器模式寄存器中的比较器模式位置位。这不是加电默认状态。

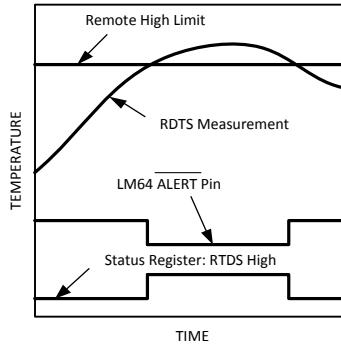


图 6-2. ALERT 输出作为温度比较器的响应图

6.3.2.2 ALERT 输出作为中断

当 LM64 的 ALERT 输出被用于触发一个中断服务例程时，可将它实现为一个简单的中断信号。在此类系统中，需要在中断服务例程完成期间或之前重复触发中断标志。根据这种操作方法，在读取 ALERT 状态寄存器期间，如果对 ALERT 状态寄存器中的任何位进行了置位，LM64 将设置配置寄存器中的 ALERT 屏蔽位，但 Busy 和 Open 除外。这将在主监控器在中断服务例程的末尾复位 ALERT 屏蔽位前防止进一步的 ALERT 触发。ALERT 状态寄存器位只在从主监控器读取命令时清除（请参见图 6-2），并且如果触发条件持续存在，将在下一个转换结束时重新置位。为了将 ALERT 用作专用的中断信号，必须将远程二极管温度滤波器和比较器模式寄存器中的比较器模式位设置为低电平。这是上电默认状态。以下序列描述了使用 ALERT 输出引脚作为中断标志的系统的响应：

1. 主监控器感测到 ALERT 低电平。
2. 主监控器读取 LM64 ALERT 状态寄存器，以确定引发 ALERT 的原因。
3. LM64 清除 ALERT 状态寄存器，将 ALERT 复位为高电平并设置配置寄存器中的 ALERT 屏蔽位。
4. 主监控器参与导致触发 ALERT 的条件。启动风扇，调整设定点限值等。
5. 主监控器复位配置寄存器中的 ALERT 屏蔽位。

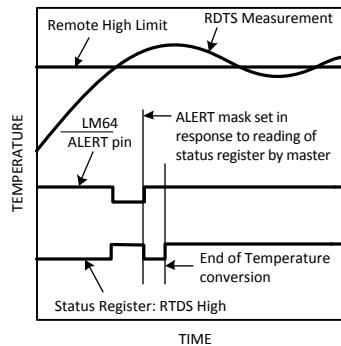


图 6-3. ALERT 输出作为中断温度响应图

6.3.2.3 ALERT 输出作为 SMBus ALERT

当 ALERT 输出的连接方式如下时，会创建 SMBus 警报线路：(1) 连接到其他 SMBus 兼容器件的一个或多个 ALERT 输出，以及 (2) 连接到主监控器。在此类实现下，LM64 的 ALERT 应使用 ARA (警报响应地址) 协议运行。SMBus 规范 2.0 中定义的 SMBus 2.0 ARA 协议是一个过程，旨在帮助主监控器确定哪个器件生成了中断并为该中断提供服务。

SMBus 警报线路连接到总线上所有器件的开漏端口，从而将它们连接在一起。ARA 方法允许 SMBus 主监控器使用一条命令来确定哪个器件正在将 SMBus 警报线路拉低。它还可防止器件在相同触发条件下再次将线路拉低。当总线上的所有器件接收到 ARA 命令时，器件会将 SMBus 警报线路拉低：(1) 将其地址发送到主监控器；(2) 在确认其地址后释放 SMBus 警报线路。

SMBus 规范 1.1 和 2.0 规定，为了响应 ARA (警报响应地址)，“确认从监控器地址后，器件必须断开其 ALERT 下拉。”此外，“如果主监控器在消息传输完成后仍然看到 ALERT 为低电平，它就知道需要再次读取 ARA。”此 SMBUS 解除 ALERT 要求可防止锁定 SMBus 警报线路。竞争对手的器件可能会以不同于 LM64 的方式解决“解除 ALERT”问题，或者根本不解决此问题。建议针对 LM64 实施 ARA 协议的 SMBus 系统将与所有竞争对手的器件完全兼容。

LM64 实现“解除 ALERT”方法是在发出其地址以响应 ARA 并释放 ALERT 输出引脚之后，设置配置寄存器中的 ALERT 屏蔽位。一旦激活 ALERT 屏蔽位，ALERT 输出引脚就会被禁用，直到通过软件启用。为了启用 ALERT，主监控器必须在中断服务例程期间读取 ALERT 状态寄存器，然后在中断服务例程结束时将配置寄存器中的 ALERT 屏蔽位复位为 0。

以下序列介绍 ARA 响应协议。

1. 主监控器感测 SMBus 警报线路低电平
2. 主监控器通过一条 Read 命令发送一个 START，后跟警报响应地址 (ARA)。
3. 发出警报的器件发送 ACK。
4. 发出警报的器件发送其地址。在传输其地址时，发出警报的器件会检测其地址是否已正确传输。（一旦成功发送其完整地址，LM64 将会复位其 ALERT 输出并设置 ALERT 屏蔽位。）
5. 主监控器/从监控器 NoACK
6. 主监控器发送 STOP
7. 主监控器参与导致触发 ALERT 的条件。读取 ALERT 状态寄存器并启动风扇、调整设定点等。
8. 主监控器复位配置寄存器中的 ALERT 屏蔽位。

ARA , 000 1100 是一个通用广播地址。不应将任何器件分配至该地址。

远程二极管温度滤波器和比较器模式寄存器中的 ALERT 配置位必须设置为低电平，LM64 才能响应 ARA 命令。

ALERT 输出可通过设置配置寄存器中的 ALERT 屏蔽位来禁用。默认情况下，加电时将 ALERT 屏蔽位和 ALERT 配置位设置为低电平。

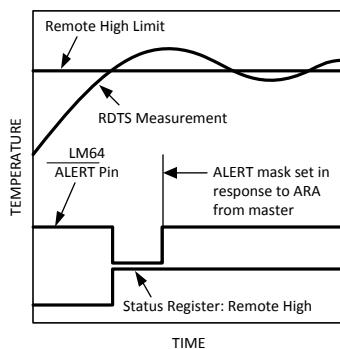


图 6-4. ALERT 输出作为 SMBus ALERT 温度响应图

6.3.3 SMBus 接口

由于 LM64 作为 SMBus 上的从监控器运行，因此 SMBCLK 线路是输入，SMBDAT 线路是双向线路。LM64 从不驱动 SMBCLK 线路，也不支持时钟延展。LM64 有两个硬件可选的 7 位从监控器地址。用户可以在 A0 地址引脚上输入逻辑高电平或低电平，以选择两个预编程 SMBus 从监控器地址中的一个。选项如下：

A0 引脚	SMBus 地址 0x[Hex]	SMBus 从监控器地址位						
		A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
0	18	0	0	1	1	0	0	0
1	4E	1	0	0	1	1	1	0

6.3.4 上电复位 (POR) 默认状态

有关 POR 默认状态的信息，请参阅节 7.1.2。

6.3.5 温度数据格式

温度数据只能从本地和远程温度寄存器中读取。High、Low 和 T_CRIT 设定点寄存器为读取/写入。

远程温度数据由 11 位二进制补码字表示，其中最低有效位 (LSB) 等于 0.125°C 。数据格式是 16 位左对齐字，并在两个 8 位寄存器中提供。下面显示了一些温度转换示例。

表 6-1. 实际与 LM64 远程温度转换⁽¹⁾

实际远程二极管温度 ($^{\circ}\text{C}$)	LM64 远程二极管温度寄存器 ($^{\circ}\text{C}$)	LM64 远程温度寄存器中的二进制结果	十六进制远程温度寄存器
120	+104	0110 1000 0000 0000	6800h
125	+109	0110 1101 0000 0000	6D00h
126	+110	0110 1110 0000 0000	6E00h
130	+114	0111 0010 0010 0000	7200h
135	+119	0111 0111 0000 0000	7700h
140	+124	0111 1100 0000 0000	7C00h

(1) 输出是 11 位二进制补码字。LSB = 0.125°C 。

表 6-2. 实际与远程 T_Crit 设定点示例

实际远程二极管 T_Crit 设定点 ($^{\circ}\text{C}$)	远程 T_Crit 高设定点 ($^{\circ}\text{C}$)	二进制远程 T_Crit 高设定点值	十六进制远程 T_Crit 高设定点值
126	+110	0110 1110	6Eh

本地温度数据由一个 8 位二进制补码字表示，LSB 等于 1°C ：

温度	数字输出	
	二进制	十六进制
+125°C	0111 1101	7D
+25°C	0001 1001	19
+1°C	0000 0001	01
0°C	0000 0000	00
-1°C	1111 1111	FF
-25°C	1110 0111	E7
-55°C	1100 1001	C9

6.3.6 开漏输出、输入和上拉电阻器

根据下表的建议，SMBDAT、 $\overline{\text{ALERT}}$ 、 $\overline{\text{T}_\text{Crit}}$ 、GPIO 和 PWM 开漏输出以及 GPD、TACH 和 A0 输入通过上拉电阻器上拉至 V_{DD} 。

引脚名称	引脚编号	建议的上拉电阻器	
		范围	典型值
SMBCLK	17	1k Ω 至 2k Ω	1.5k Ω
SMBDAT	16	1k Ω 至 2k Ω	1.5k Ω
ALERT	14	1k Ω 至 5k Ω	3k Ω
$\overline{\text{T}_\text{Crit}}$	8	1k Ω 至 5k Ω	3k Ω
A0	12	5k Ω 至 20k Ω	10k Ω
GPIOx	1-3 ; 18、19	5k Ω 至 20k Ω	10k Ω
GPDx	20-24	5k Ω 至 20k Ω	10k Ω
PWM	4	请参阅 (1)	请参阅 (1)
TACH	15	1k Ω 至 5k Ω	3k Ω

(1) 取决于连接到该引脚的风扇驱动电路。在没有风扇控制电路的情况下，使用 1k Ω 上拉电阻器上拉到 V_{DD} 。

6.3.7 二极管故障检测

LM64 可以检测由远程二极管引起的故障情况。如果检测到 D+ 引脚短接至 V_{DD} 或开路：(1) 远程温度高字节 (RTHB) 寄存器加载 127°C，(2) 远程温度低字节 (RTLB) 寄存器加载 0 且 (3) 状态寄存器中的 OPEN 位 (D2) 被置位。因此，如果远程 T_CRIT 设定点寄存器 (RCS)：(1) 设置为小于 +127°C 的值，并且 (2) ALERT 屏蔽处于禁用状态，则 $\overline{\text{ALERT}}$ 输出引脚将被下拉至低电平。如果远程高设定点高字节 (RHSHB) 设置为小于 +127°C 的值，并且 (2) ALERT 屏蔽处于禁用状态，则 $\overline{\text{ALERT}}$ 和 $\overline{\text{T}_\text{Crit}}$ 输出将被下拉至低电平。OPEN 位本身不会触发 ALERT。

如果 D+ 引脚短接至地或 D-，则远程温度高字节 (RTHB) 寄存器将加载 -128°C (1000 0000)，并且 ALERT 状态寄存器中的 OPEN 位不会被置位。-128°C 的温度读数表示 D+ 短接至地或 D-。如果远程低设定点高字节 (RLSHB) 寄存器中的值大于 -128°C，并且 ALERT 屏蔽处于禁用状态，则 $\overline{\text{ALERT}}$ 将被下拉至低电平。

6.3.8 与 LM64 通信

LM64 中的每个数据寄存器均属于四种用户可访问性类型之一：

1. 只读
2. 只写
3. 读取/写入相同地址
4. 读取/写入不同地址

对 LM64 的写入将始终包括地址字节和命令字节。对任何寄存器的写入都需要一个数据字节。

读取 LM64 寄存器可在必要的寄存器设置序列发生后进行。请参阅 [节 7.1.3.1](#)。

数据字节为最高有效位 (MSB) 优先。读取结束时，LM64 可以接受来自主监控器的确认或无确认。请注意，无确认通常用作从监控器的信号，表明主监控器已读取其最后一个字节。

6.3.9 数字滤波器

LM64 包含一个用户配置的数字滤波器，以抑制由于噪声而产生的错误远程温度读数。可以在远程二极管温度滤波器和比较器模式寄存器中访问该滤波器。可根据下表设置滤波器。

2 级是最大滤波。

表 6-3. 数字滤波器选择表

D2	D1	滤波器
0	0	无滤波器
0	1	1 级
1	0	1 级
1	1	2 级

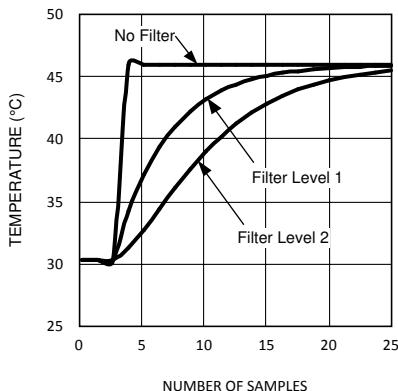


图 6-5. 数字滤波器的阶跃响应

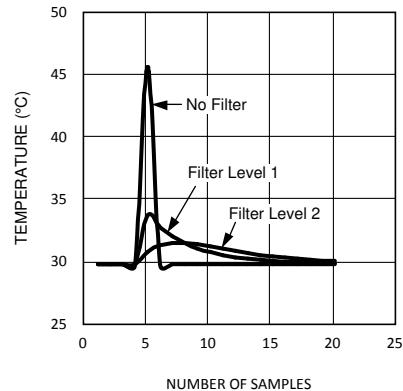
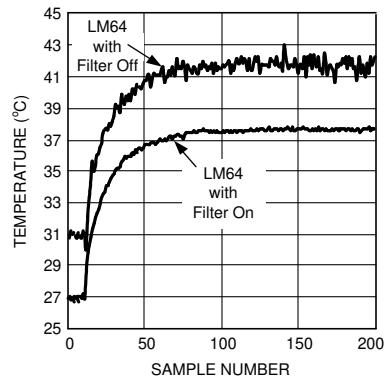


图 6-6. 数字滤波器的脉冲响应



有意偏移滤波器开启和关闭曲线以更好地显示噪声性能。

图 6-7. Intel Pentium 4 处理器系统中的数字滤波器响应

6.3.10 故障队列

LM64 采用故障队列来抑制错误的 ALERT 触发。故障队列通过要求三个连续的超出限值 HIGH、LOW 或 T_CRIT 温度读数来防止误触发。请参阅 图 6-8。上电时故障队列默认为关闭，可通过将配置寄存器中的 RDTS 故障队列位设置为 1 来激活故障队列。

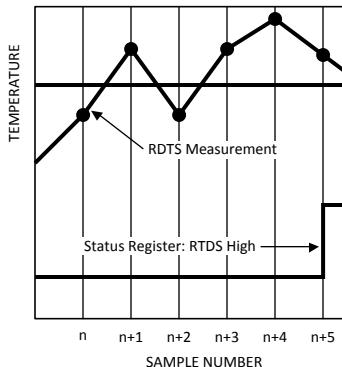


图 6-8. 故障队列温度响应图

6.3.11 单次触发寄存器

单次触发寄存器用于在器件处于待机模式时启动单次转换和比较周期，之后器件会返回待机模式。它不是数据寄存器。写入操作会导致单次转换。写入该地址的数据无关紧要，并且不会存储。始终会从该寄存器读取零。

6.3.12 串行接口复位

如果在 LM64 通过 SMBDAT 线路传输数据时 SMBus 主监控器复位，则必须将 LM64 返回到通信协议中的已知状态。这可通过以下两种方式来实现：

1. 当 SMBDAT 为低电平时，如果 SMBData 或 SMBCLK 保持低电平的时间超过 35ms (t_{TIMEOUT})，则 LM64 SMBus 状态机会复位为 SMBus 空闲状态。当 SMBCLK 或 SMBDAT 线路保持低电平 25ms 至 35ms 时，所有器件均超时。因此，为了确保总线上的所有器件都超时，SMBCLK 或 SMBData 线路必须保持低电平至少 35ms 。
2. SMBDAT 和 SMBCLK 都为高电平时，主监控器可以在 SMBDAT 线路上进行从高电平到低电平转换来启动 SMBus 启动条件。LM64 将在通信期间的任意时刻正确响应 SMBus 启动条件。启动后，LM64 将收到一个 SMBus 地址字节。

7 寄存器

7.1 LM64 寄存器

以下页面的内容如下：[节 7.1.1](#)，按十六进制顺序分组的寄存器映射，其中显示了所有寄存器及其位分配的摘要；[节 7.1.2](#)，按十六进制顺序分组的寄存器映射；[节 7.1.3](#)，每个寄存器的详细说明。没有说明未使用的或制造商的测试寄存器。

7.1.1 以十六进制顺序分组的 LM64 寄存器映射

下面是按十六进制地址顺序分组的寄存器映射。某些地址位置留空，以保持与 LM86 的兼容性。圆括号中的地址是“按原样”地址的镜像，用于获得与某些较旧软件的向后兼容性。读取或写入任一地址将访问同一个 8 位寄存器。

寄存器 0x[HEX]	寄存器名称	数据位							
		D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
00	本地温度	LT7	LT6	LT5	LT4	LT3	LT2	LT1	LT0
01	RMT 温度 MSB	RTHB±	RTHB14	RTHB13	RTHB12	RTHB11	RTHB10	RTHB9	RTHB8
02	ALERT 状态	BUSY	LHIGH	0	RHIGH	RLOW	RDFA	RCRIT	TACH
03	配置	ALTMSK	STBY	PWMDIS	0	0	ALT/TCH	TCRITOV	FLTQUE
04	转换率	0	0	0	0	CONV3	CONV2	CONV1	CONV0
05	本地高设定点	LHS7	LHS6	LHS5	LHS4	LHS3	LHS2	LHS1	LHS0
06	[保留]	未使用							
07	RMT 高设定点 MSB	RHSHB15	RHSHB14	RHHBS13	RHSHB12	RHSHB11	RHSHB10	RHSHB9	RHSHB8
08	RMT 低设定点 MSB	RLSHB15	RLSHB14	RLSHB13	RLSHB12	RLHBS11	RLSHB10	RLSHB9	RLSHB8
(09)	与 03 相同								
(0A)	与 04 相同								
(0B)	与 05 相同								
0C	[保留]	未使用							
(0D)	与 07 相同								
(0E)	与 08 相同								
0F	单次	只写。写入命令会触发一个温度转换周期。							
10	RMT 温度 LSB	RTLB7	RTLB6	RTLB5	0	0	0	0	0
11	RMT 温度偏移 MSB	RTOHB15	RTOHB14	RTOHB13	RTOHB12	RTOHB11	RTOHB10	RTOHB9	RTOHB8
12	RMT 温度偏移 LSB	RTOLB7	RTOLB6	RTOLB5	0	0	0	0	0
13	RMT 高设定点 LSB	RHSLB7	RHSLB6	RHSLB5	0	0	0	0	0
14	RMT 低设定点 LSB	RLSLB7	RLSLB6	RLSLB5	0	0	0	0	0
15	[保留]	未使用							
16	ALERT 屏蔽	1	ALTMSK6	1	ALTMSK4	ALTMSK3	1	ALTMSK1	ALTMSK0
17	[保留]	未使用							
18	[保留]	未使用							
19	RMT TCRIT 设定点	RCS7	RCS6	RCS5	RCS4	RCS3	RCS2	RCS1	RCS0

寄存器 0x[HEX]	寄存器名称	数据位							
		D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1A	通用输入	0	0	0	GPI5	GPI4	GPI3	GPI2	GPI1
1B	通用输出	0	0	0	GPO5	GPO4	GPO3	GPO2	GPO1
1C - 1F	[保留]	未使用							
20	[保留]	未使用							
21	RMT TCRIT 迟滞	RTH7	RTH6	RTH5	RTH4	RTH3	RTH2	RTH1	RTH0
22 - 2F	[保留]	未使用							
30 - 3F	[保留]	未使用							
40-45	[保留]	未使用							
46	转速计计数 LSB	TCLB5	TCLB4	TCLB3	TCLB2	TCLB1	TCLB0	TEDGE1	TEDGE0
47	转速计计数 MSB	TCHB13	TCHB12	TCHB11	TCHB10	TCHB9	TCHB8	TCHB7	TCHB6
48	转速计限值 LSB	TLLB7	TLLB6	TLLB5	TLLB4	TLLB3	TLLB2	未使用	未使用
49	转速计限值 MSB	TLHB15	TLHB14	TLHB13	TLHB12	TLHB11	TLHB10	TLHB9	TLHB8
4A	PWM 和 RPM	0	0	PWPGM	PWOUT \pm	PWCKSL	0	TACH1	TACH0
4B	风扇旋转配 置	0	0	SPINUP	SPNDTY1	SPNDTY0	SPNUPT2	SPNUPT1	SPNUPT0
4C	PWM 值	0	0	PWVAL5	PWVAL4	PWVAL3	PWVAL2	PWVAL1	PWVAL0
4D	PWM 频率	0	0	0	PWMF4	PWMF3	PWMF2	PWMF1	PWMF0
4E	[保留]	未使用							
4F	查找表迟滞	0	0	0	LOOKH4	LOOKH3	LOOKH2	LOOKH1	LOOKH0
50 - 5F	查找表	8 位寄存器中多达 8 个 PWM 和温度对的查找表							
60 - BE	[保留]	未使用							
BF	RMT 二极管 温度滤波器	0	0	0	0	0	RDTF1	RDTF0	ALTCOMP
C0 - FD	[保留]	未使用							
FE	制造商 ID	0	0	0	0	0	0	0	1
FF	步进/裸片修 订 ID	0	1	0	1	0	0	0	1

7.1.2 按功能顺序分组的 LM64 寄存器映射

以下是按功能顺序分组的寄存器映射。某些地址位置留空，以保持与 LM86 的兼容性。括号中的地址是已命名地址的镜像。读取或写入任一地址将访问同一个 8 位寄存器。首先列出了风扇控制和配置寄存器，因为需要按照顺序设置这些寄存器，然后设置其他寄存器。每个寄存器的详细说明将遵循下面所示的顺序。POR = 上电复位。

寄存器 [十六进制]	寄存器名称	读取/写入	POR 默认值 [十六进制]
风扇控制寄存器			
4A	PWM 和 RPM	R/W	20
4B	风扇旋转配置	R/W	3F
4D	PWM 频率	R/W	17
4C	PWM 值。 (如果设置了覆盖位，则为 R/W)	只读 (如果设置了覆盖位，则为 R/W)	00
50 - 5F	查找表	R/W	请见表
4F	查找表迟滞	R/W	04
配置寄存器			
03 (09)	配置	R/W	00
转速计数和限值寄存器			
46	转速计数 LSB	只读	不适用
47	转速计数 MSB	只读	不适用
48	转速计限值 LSB	R/W	FF
49	转速计限值 MSB	R/W	FF
本地温度和本地设定点寄存器			
00	本地温度	只读	不适用
05 (0B)	本地高设定点	R/W	46 (70°C)
远程二极管温度和设定点寄存器			
01	远程温度 MSB	只读	不适用
10	远程温度 LSB	只读	不适用
11	远程温度偏移 MSB	R/W	00
12	远程温度偏移 LSB	R/W	00
07 (0D)	远程高设定点 MSB	R/W	46 (70°C)
13	远程高设定点 LSB	R/W	00
08 (0E)	远程低设定点 MSB	R/W	00 (0°C)
14	远程低设定点 LSB	R/W	00
19	远程 TCRIT 设定点	R/W	55 (85°C)
21	远程 TCRIT 迟滞	R/W	0A (10°C)
BF	远程二极管温度滤波器	R/W	00
转换和单次触发寄存器			
04 (0A)	转换率	R/W	08
0F	单次触发	只写	不适用
ALERT 状态和屏蔽寄存器			
02	ALERT 状态	只读	不适用
16	ALERT 屏蔽	R/W	A4
ID 寄存器			
FE	制造商 ID	只读	01

寄存器 [十六进制]	寄存器名称	读取/写入	POR 默认值 [十六进制]
FF	步进/裸片修订 ID	只读	51
通用寄存器			
1A	通用输入	只读	请参阅 (1)
1B	通用输出	R/W	请参阅 (2)
[保留] 寄存器 - 未使用			
06	未使用	不适用	不适用
0C	未使用	不适用	不适用
15	未使用	不适用	不适用
17	未使用	不适用	不适用
18	未使用	不适用	不适用
1C - 1F	未使用	不适用	不适用
20	未使用	不适用	不适用
22 - 2F	未使用	不适用	不适用
30 - 3F	未使用	不适用	不适用
40 - 45	未使用	不适用	不适用
4E	未使用	不适用	不适用
60 - BE	未使用	不适用	不适用
C0 - FD	未使用	不适用	不适用

(1) 对于寄存器 0x1A，五个 LSB 的上电复位是 5 个 GPIOx 引脚上的逻辑状态。

(2) 对于寄存器 0x1B，五个 LSB 的上电复位是 5 个 GPDx 引脚上的逻辑状态。

7.1.3 LM64 初始寄存器序列和按功能顺序分组的寄存器说明

以下是按功能和序列顺序分组的寄存器映射。某些地址位置留空，以保持与 LM86 的兼容性。括号中的地址是已命名地址的镜像，用于实现与某些较旧软件的向后兼容性。读取或写入任一地址将访问同一个 8 位寄存器。

7.1.3.1 LM64 所需的初始风扇控制寄存器序列

重要！在使用任何风扇、转速计或 PWM 寄存器之前，BIOS 必须按照以下顺序为 LM64 配置以下风扇寄存器：

步骤	[寄存器] _{HEX} 和设置说明(1)
1	[4A] 写入位 0 和 1; 3 和 4。这包括转速计设置（如果使用）、PWM 内部时钟选择（1.4kHz 或 360kHz）和 PWM 输出极性。
2	[4B] 写入位 0 至 5，以便对旋转设置进行编程。
3	[4D] 写入位 0 至 4 以设定频率设置。这与 PWM 内部时钟选择一起工作。
4	选择，然后写入，只能执行以下操作之一： A. [4F - 5F] 查找表，或 B. [4C] PWM 值位 0 至 5。
5	如果选择并写入“步骤 4A，查找表”，则写入 [4A] 位 5 = 0。

(1) 在上述序列之后，所有其他寄存器都可以随时写入。

7.1.4 按功能顺序分组的 LM64 寄存器说明

7.1.4.1 风扇控制寄存器

地址 (十六进制)	读取/ 写入	位	POR 值	名称	说明
4A_{HEX} PWM 和 RPM 寄存器					
4A	R/W	7:6	00	PWM 编程	这些位未使用并且始终设置为 0。
		5	1		0 : PWM 值 (寄存器 4C) 和查找表 (50-5F) 是只读的。PWM 值 (0 至 100%) 由当前的远程二极管温度和查找表决定，可以从 PWM 值寄存器中读取。 1 : PWM 值 (寄存器 4C) 和查找表 (寄存器 50-5F) 启用读取/写入。写入 PWM 值寄存器将设置 PWM 输出。这也是可以写入查找表期间的状态。
		4	0	PWM 输出 极性	0 : PWM 输出引脚为 0V 以关闭风扇，开路以打开风扇。 1 : PWM 输出引脚开路以关闭风扇，为 0V 以打开风扇。
		3	0	PWM 时钟 选择	如果为 0，则主监控器 PWM 时钟为 360kHz 如果为 1，则主监控器 PWM 时钟为 1.4kHz。
		2	0	[保留]	始终向该位写入 0。
		1:0	00	转速计模式	00 : 传统转速计输入监控，在最小可检测 RPM 条件下出现错误读数。 01 : 传统转速计输入监控，在最小可检测 RPM 条件下出现 FFFF 读数。 10 : 最准确的读数，在最小可检测 RPM 条件下出现 FFFF 读数。 11 : 对风扇的编程 PWM 的工作最少，在最小可检测 RPM 条件下出现 FFFF 读数。 注意：如果 PWM 时钟为 360kHz，则无论这两个位的设置如何，都会使用模式 00。
4B_{HEX} 风扇旋转配置寄存器					
4B	R/W	7:6	0	快速 转速计 旋转	这些位未使用并且始终设置为 0
		5	1		如果此位为 0，则风扇旋转使用占空比和旋转时间位 0 - 4。 如果此位为 1，则 LM64 使用转速计输入将 PWM 输出设置为 100%，直至旋转加速超时（根据位 0 - 2）或达到所需的最小 RPM（根据转速计设定点设置），以先发生者为准。此位会覆盖 PWM 旋转占空比寄存器（位 4:3）— PWM 输出始终为 100%。 如果 PWM 旋转时间（位 2:0）= 000，则无论此位的状态如何，均会绕过旋转周期。
		4:3	11	PWM 旋转 占空比	00 : 绕过旋转周期（无旋转），除非设置了快速转速计终止旋转（位 5）。 01 : 50% 10 : 75%-81%，取决于 PWM 频率。请参阅 应用说明 。 11 : 100%
		2:0	111	PWM 旋转 时间	000 : 绕过旋转周期（不旋转） 001 : 0.05 秒 010 : 0.1 秒 011 : 0.2 秒 100 : 0.4 秒 101 : 0.8 秒 110 : 1.6 秒 111 : 3.2 秒
4D_{HEX} 风扇 PWM 频率寄存器					
4D	R/W	7:5	000	PWM 频率	这些位未使用并且始终设置为 0
		4:0	10111		PWM 频率 = PWM_Clock / 2n，其中 PWM_Clock = 360kHz 或 1.4kHz（由寄存器 4A 中的 PWM 时钟选择位确定），n = 寄存器的值。注意：n = 0 映射到 n = 1。请参阅此数据表末尾的 应用说明 。
4C_{HEX} PWM 值寄存器					

地址 (十六进制)	读取/ 写入	位	POR 值	名称	说明
4C	读取 (如果寄存器 4A 位 5 = 1，则 为只 写。)	7:6	00	PWM 值	这些位未使用并且始终设置为 0
		5:0	000000		如果 PWM 编程 (寄存器 4A, 位 5) = 0, 则该寄存器是只读的，并反映来自查找表的 LM64 的当前 PWM 值。 如果 PWM 编程 (寄存器 4A, 位 5) = 1, 则该寄存器是读取/写入的，并且所需的 PWM 值直接写入此寄存器，而不是从查找表写入，以便直接控制风扇速度。 此寄存器在旋转周期中读数为 0。 有关 PWM 值和占空比 (以 % 表示) 的更多信息，请参阅此数据表末尾的 应用手册 部分。
50_{HEX} 至 5F_{HEX} 查找表 (每个温度 7 位, 每个温度/PWM 对 6 位)					
50	读取。 (当寄 存器 4A 位 5 = 1 时 为只 写。)	7	0	查找表 温度 条目 1	此位未使用并且始终设置为 0
		6:0	0x7F		如果远程二极管温度超过此值, PWM 输出将为寄存器 51 中的值。
51		7:6	00	查找表 PWM 条目 1	这些位未使用并且始终设置为 0。
		5:0	0x3F		寄存器 50 中温度限值对应的 PWM 值。
52		7	0	查找表 温度 条目 2	此位未使用并且始终设置为 0。
		6:0	0x7F		如果远程二极管温度超过此值, PWM 输出将为寄存器 53 中的值。
53		7:6	00	查找表 PWM 条目 2	这些位未使用并且始终设置为 0。
		5:0	0x3F		寄存器 52 中温度限值对应的 PWM 值。
54		7	0	查找表 温度 条目 3	此位未使用并且始终设置为 0。
		6:0	0x7F		如果远程二极管温度超过此值, PWM 输出将为寄存器 55 中的值。
55		7:6	00	查找表 PWM 条目 3	这些位未使用并且始终设置为 0。
		5:0	0x3F		寄存器 54 中温度限值对应的 PWM 值。
56		7	0	查找表 温度 条目 4	此位未使用并且始终设置为 0。
		6:0	0x7F		如果远程二极管温度超过此值, PWM 输出将为寄存器 57 中的值。
57		7:6	00	查找表 PWM 条目 4	这些位未使用并且始终设置为 0。
		5:0	0x3F		寄存器 56 中温度限值对应的 PWM 值。
58		7	0	查找表 温度 条目 5	此位未使用并且始终设置为 0。
		6:0	0x7F		如果远程二极管温度超过此值, PWM 输出将为寄存器 59 中的值。
59		7:6	00	查找表 PWM 条目 5	这些位未使用并且始终设置为 0。
		5:0	0x3F		寄存器 58 中温度限值对应的 PWM 值。
5A		7	0	查找表 温度 条目 6	此位未使用并且始终设置为 0。
		6:0	0x7F		如果远程二极管温度超过此值, PWM 输出将为寄存器 5B 中的值。
5B		7:6	00	查找表 PWM 条目 6	这些位未使用并且始终设置为 0。
		5:0	0x3F		寄存器 5A 中温度限值对应的 PWM 值。
5C		7	0	查找表 温度 条目 7	此位未使用并且始终设置为 0。
		6:0	0x7F		如果远程二极管温度超过此值, PWM 输出将为寄存器 5D 中的值。
5D		7:6	00	查找表 PWM 条目 7	这些位未使用并且始终设置为 0。
		5:0	0x3F		寄存器 5C 中温度限值对应的 PWM 值。
5E		7	0	查找表 温度 条目 8	此位未使用并且始终设置为 0。
		6:0	0x7F		如果远程二极管温度超过此值, PWM 输出将为寄存器 5F 中的值。
5F		7:6	00	查找表 PWM 条目 8	这些位未使用并且始终设置为 0。
		5:0	0x3F		寄存器 5E 中温度限值对应的 PWM 值。

地址 (十六进制)	读取/ 写入	位	POR 值	名称	说明
4F_{HEX} 查找表迟滞					
4F	R/W	7:5	000	查找表 迟滞	这些位未使用并且始终设置为 0
		4:0	00100		应用到查找表的迟滞量。(1 LSB = 1°C)。

7.1.4.2 配置寄存器

地址 (十六进制)	读取/ 写入	位	POR 值	名称	说明
03 (09)_{HEX} 配置寄存器					
03 (09)	R/W	7	0	ALERT 屏蔽	当此位为 0 时，会启用 ALERT 中断。 当此位设置为 1 时，ALERT 中断将被屏蔽，ALERT 引脚始终处于高阻抗（开路）状态。
		6	0	STANDBY	如果此位为 0，则 LM64 处于工作模式，连续转换、比较和更新 PWM 输出。 当此位为 1 时，LM64 进入低功耗待机模式。 在 STANDBY 状态下，连续转换会停止，但转换/比较周期可通过将任意值写入寄存器 0x0F 来启动。在 STANDBY 状态下，PWM 输出是否工作取决于此寄存器位 5 的设置。
		5	0	在 STANDBY 状态 下 禁用 PWM	如果此位为 0，LM64 的 PWM 输出在 STANDBY 状态下继续输出当前的风扇控制信号。 如果此位为 1，则在 STANDBY 状态下禁用 PWM 输出（由 PWM 极性位定义）。
		4:1	0000		这些位未使用并且始终设置为 0。
		0	0	RDT 故障 队列	0：如果任何远程二极管转换结果高于远程高设定点或低于远程低设定点，则会生成 ALERT。 1：仅当连续三次远程二极管转换结果高于远程高设定点或低于远程低设定点时，才会生成 ALERT。

7.1.4.3 转速计计数和限值寄存器

地址 (十六进制)	读取/写入	位	POR 值	名称	说明
47_{HEX} 转速计计数 (MSB) 和 46_{HEX} 转速计计数 (LSB) 寄存器					
(16 位：首先读取 LSB 以锁定 MSB，并确保 MSB 和 LSB 来自同一个读数)					
47	只读	7:0	不适用	转速计 计数 (MSB)	这些寄存器包含了当前的 16 位转速计计数，代表转速计脉冲之间的时间周期。请注意，16 位转速计的 MSB 和 LSB 与 16 位温度读数相反
	只读	7:2	不适用	转速计 计数 (MSB)	位： 00 : 保留 - 未使用 01 : 2 10 : 2 11 : 5
46	只读	1:0	00	转速计 边沿计数	4 2 1 注意：如果 PWM_Clock_Select = 360kHz，则无论这些位的设置如何，Tach_Count_Multiple = 1。
49_{HEX} 转速计限值 (MSB) 和 48_{HEX} 转速计限值 (LSB) 寄存器					

地址 (十六进制)	读取/写入	位	POR 值	名称	说明
49	R/W	7:0	0xFF	转速计限值 (MSB)	这些寄存器包含了当前的 16 位转速计数，代表转速计脉冲之间的时间周期。风扇 RPM = (f * 5,400,000)/(转速计数)，其中 f = 1 表示 2 个脉冲/转速风扇；f = 2 表示 1 个脉冲/转速风扇；f = 2/3 表示 3 个脉冲/转速风扇。有关转速计的更多信息，请参阅 应用说明 一节。请注意，16 位转速计的 MSB 和 LSB 与 16 位温度读数相反。
48	R/W	7:2	0xFF	转速计限值 (LSB)	
	R/W	1:0		[保留]	未使用。

7.1.4.4 本地温度和本地高设定点寄存器

地址 十六进制	读取/ 写入	位	POR 值	名称	说明
00_{HEX} 本地温度寄存器 (8 位)					
00	只读	7:0	不适用	本地温度读数 (8 位)	LM64 的 8 位温度。
05 (0B)_{HEX} 本地高设定点寄存器 (8 位)					
05	R/W	7:0	0x46 (70°)	本地高设定点	内部二极管的高设定点。

7.1.4.5 远程二极管温度、偏移和设定点寄存器

地址 (十六进制)	读取/ 写入	位	POR 值	名称	说明
01	只读	7:0	不适用	远程二极管温度读数 (MSB)	这是 LM64 远程二极管温度值的 MSB，采用二进制补码格式。位 7 是符号位，位 6 具有 64°C 权重，位 0 具有 1°C 权重。 首先读取这个字节 。实际远程二极管温度是 16°C，高于寄存器 0x01 和 0x10 中的值。
10	只读	7:5	不适用	远程二极管温度读数 (LSB)	这是 LM64 远程二极管温度值的 LSB，采用二进制补码格式。位 7 具有 0.5°C 权重，位 6 具有 0.25°C 权重，位 5 具有 0.125°C 权重。实际远程二极管温度是 16°C，高于寄存器 0x01 和 0x10 中的值。
		4:0	00		始终为 00。
11	R/W	7:5	00	远程温度偏移 (MSB)	这些寄存器包含加到远程二极管读数中或从远程二极管读数中减去的偏移值，以补偿不同的处理器、二极管等的不同非理想因子。这些寄存器中的二进制补码值加到 LM64 ADC 的输出中，以形成寄存器 01 和 10 中包含的温度读数。
12	R/W	7:5	00	远程温度偏移 (LSB)	始终为 00。
		4:0	00		
07 (0D)	R/W	7:0	0x46 (70°C)	远程 HIGH 设定点 (MSB)	远程二极管的高设定点温度。与 远程温度读数 的格式相同（寄存器 01 和 10）。
13	R/W	7:5	00	远程 HIGH 设定点 (LSB)	
		4:0	00	始终为 00。	
08 (0E)	R/W	7:0	00 (0°C)	远程 LOW 设定点 (MSB)	远程二极管的低设定点温度。与 远程温度读数 的格式相同（寄存器 01 和 10）。
14	R/W	7:5	00	远程 LOW 设定点 (LSB)	
		4:0	00	始终为 00。	
19	R/W	7:0	0x55 (85°C)	远程二极管 T_CRIT 限值	存储 T_Crit 限值的这个 8 位整数最初为 85°C (101°C 实际远程 T_Crit 限值)。上电后可随时更改该值。
21	R/W	7:0	0x0A (10°C)	远程二极管 T_CRIT 退滞	存储 T_Crit 退滞的 8 位整数。T_Crit 保持激活状态，直到远程二极管温度降至低于 [(T_Crit 限值)-(T_Crit 退滞)]。

地址 (十六进制)	读取/ 写入	位	POR 值	名称	说明
BF	R/W	7:3	00000		这些位未使用并且始终应设置为 0。
		2:1	00	远程二极管 温度 滤波器	00：滤波器禁用 01：滤波器级别 1 (最小滤波，与 10 相同) 10：滤波器级别 1 (最小滤波，与 01 相同) 11：滤波器级别 2 (最大滤波)
		0	0	比较器 模式	0： ALERT 引脚用作中断或 ARA 模式。 1： ALERT 引脚作为比较器，在存在 ALERT 条件时自行置为有效，在 ALERT 条件消失时自行置为无效。

7.1.4.6 ALERT 状态和屏蔽寄存器

地址 (十六进制)	读取/ 写入	位	POR 值	名称	说明
02_{HEX} ALERT 状态寄存器 (8 位) (所有警报在读取前都被锁存，如果读取时警报条件消失，则清除。)					
0x02	只读	7	0	Busy	当此位为 0 时，ADC 未在转换。 当此位设置为 1 时，ADC 正在执行转换。此位不影响 ALERT 状态。
		6	0	本地 高警报	当此位为 0 时，LM64 的内部温度等于或低于本地高设定点。 当此位为 1 时，LM64 的内部温度高于本地高设定点，并触发 ALERT。
		5	0		此位未使用并且读数始终为 0。
		4	0	远程 高报警	当此位为 0 时，远程二极管的温度等于或低于远程高设定点。 当此位为 1 时，远程二极管的温度高于远程高设定点，并触发 ALERT。
		3	0	远程 低报警	当此位为 0 时，远程二极管的温度等于或高于远程低设定点。 当此位为 1 时，远程二极管的温度低于远程低设定点，并触发 ALERT。
		2	0	远程二极管 故障报警	当此位为 0 时，远程二极管视为已正确连接。 当此位为 1 时，远程二极管可能断开或短接。此报警不会触发 ALERT。
		1	0	远程 T_CRIT 报警	当此位为 0 时，远程二极管的温度等于或低于 T_CRIT 限值。 当此位为 1 时，远程二极管的温度高于 T_CRIT 限值，并触发 ALERT。
		0	0	转速计报警	当此位为 0 时，转速计数低于或等于转速计限值 (风扇的 RPM 大于或等于所需的小 RPM)。 当此位为 1 时，转速计数高于转速计限值 (风扇的 RPM 小于所需的小 RPM)，并触发 ALERT。

16_{HEX} ALERT 屏蔽寄存器 (8 位)

16	R/W	7	1		此位未使用并且读数始终为 1。
		6	0	本地高 报警屏蔽	当此位为 0 时，本地高报警事件将生成 ALERT。 当此位为 1 时，本地高报警不会生成 ALERT
		5	1		此位未使用并且读数始终为 1。
		4	0	远程 高报警屏蔽	当此位为 0 时，远程高报警事件将生成 ALERT。 当此位为 1 时，远程高报警事件不会生成 ALERT。
		3	0	远程 低报警 屏蔽	当此位为 0 时，远程低报警事件将生成 ALERT。 当此位为 1 时，远程低报警事件不会生成 ALERT。
		2	1		此位未使用并且读数始终为 1。
		1	0	远程 T_CRIT 报警屏蔽	当此位为 0 时，远程 T_CRIT 事件将会生成 ALERT。 当此位为 1 时，远程 T_CRIT 事件不会生成 ALERT。
		0	0	转速计 报警屏蔽	当此位为 0 时，转速计报警事件将会生成 ALERT。 当此位为 1 时，转速计报警事件不会生成 ALERT。

7.1.4.7 转换速率和单次触发寄存器

地址 (十六进制)	读取/ 写入	位	POR 值	名称	说明
04 (0A)_{HEX} 转换率寄存器 (8 位)					
04 (0A)	R/W	7:0	0x08	转换率	设置 LM64 的转换率。 00000000 = 0.0625Hz 00000001 = 0.125Hz 00000010 = 0.25Hz 00000011 = 0.5Hz 00000100 = 1Hz 00000101 = 2Hz 00000110 = 4Hz 00000111 = 8Hz 00001000 = 16Hz 00001001 = 32Hz 所有其他值 = 32Hz
04 (0A)_{HEX} 单次触发寄存器 (8 位)					
0F	只写	7:0	不适用	单次触发	当 LM64 处于 STANDBY 模式时，对此寄存器的单次写入操作将启动一个完整的温度转换周期。

7.1.4.8 ID 寄存器

地址 (十六进制)	读取/ 写入	位	POR 值	名称	说明
FF_{HEX} 步进/裸片修订 ID 寄存器 (8 位)					
FF	只读	7:0	0x51	步进/裸片 修订 ID	LM64 的版本
FE_{HEX} 制造商 ID 寄存器 (8 位)					
FE	只读	7:0	0x01	制造商 ID	0x01 = 德州仪器 (TI)

7.2 通用寄存器

地址 (十六进制)	读取/ 写入	位	POR 值	名称	说明
1A_{HEX} 通用输入寄存器 (8位)					
1A	只读	7:5	000		这些位未使用并且始终设置为 0。
		4:0	请参阅 (1)	通用输入	这 5 位反映 GPIOx 引脚的逻辑状态。
1b_{HEX} 通用输出寄存器 (8位)					
1B	R/W	7:5	000		这些位未使用并且始终设置为 0。
		4:0	请参阅 (2)	通用输出	这 5 位反映了 GPI 寄存器位 [4:0]，加电默认值除外（当它们是通用默认 (GPD) 输入引脚的 5 个逻辑状态时）。

(1) 对于寄存器 0x1A，五个 LSB 的上电复位是 5 个 GPIOx 引脚上的逻辑状态。

(2) 对于寄存器 0x1B，五个 LSB 的上电复位是 5 个 GPDx 引脚上的逻辑状态。

8 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。

8.1 应用信息

8.1.1 风扇控制占空比与寄存器设置和频率

PWM 频率 4D [4:0]	步长 分辨率， %	PWM 值 4D [5:0] (100% 时)	PWM 值 4C [5:0] (约 75% 时)	PWM 值 4C [5:0] (50% 时)	360kHz 内部 时钟下的 PWM 频率 kHz	1.4kHz 内 部时钟下的 PWM 频率 Hz	选择 75% 时 的实际占空比 %
0	地址 0 映射到地址 1						
1	50	2	1	1	180.0	703.1	50.0
2	25	4	3	2	90.00	351.6	75.0
3	16.7	6	5	3	60.00	234.4	83.3
4	12.5	8	6	4	45.00	175.8	75.0
5	10.0	10	8	5	36.00	140.6	80.0
6	8.33	12	9	6	30.00	117.2	75.0
7	7.14	14	11	7	25.71	100.4	78.6
8	6.25	16	12	8	22.50	87.9	75.0
9	5.56	18	14	9	20.00	78.1	77.8
10	5.00	20	15	10	18.00	70.3	75.0
11	4.54	22	17	11	16.36	63.9	77.27
12	4.16	24	18	12	15.00	58.6	75.00
13	3.85	26	20	13	13.85	54.1	76.92
14	3.57	28	21	14	12.86	50.2	75.00
15	3.33	30	23	15	12.00	46.9	76.67
16	3.13	32	24	16	11.25	43.9	75.00
17	2.94	34	26	17	10.59	41.4	76.47
18	2.78	36	27	18	10.00	39.1	75.00
19	2.63	38	29	19	9.47	37.0	76.32
20	2.50	40	30	20	9.00	35.2	75.00
21	2.38	42	32	21	8.57	33.5	76.19
22	2.27	44	33	22	8.18	32.0	75.00
23	2.17	46	35	23	7.82	30.6	76.09
24	2.08	48	36	24	7.50	29.3	75.00
25	2.00	50	38	25	7.20	28.1	76.00
26	1.92	52	39	26	6.92	27.0	75.00
27	1.85	54	41	27	6.67	26.0	75.93
28	1.79	56	42	28	6.42	25.1	75.00
29	1.72	58	44	29	6.21	24.2	75.86
30	1.67	60	45	30	6.00	23.4	75.00
31	1.61	62	47	31	5.81	22.7	75.81

8.1.1.1 计算给定频率的占空比

从第一列中选择一个与列 6 或列 7 中所需的实际频率相对应的 PWM 频率。记下 100% 占空比的 PWM 值。

通过获取寄存器 4C 的 PWM 值并进行计算来查找占空比：

$$\text{DutyCycle_}(%) = \frac{\text{PWM_Value}}{\text{PWM_Value_for_100\%}} \times 100\% \quad (1)$$

示例：对于值为 24 的 PWM 频率，100% 时的 PWM 值 = 48，实际 PWM 值 = 28，则占空比为 $(28/48) \times 100\% = 58.3\%$ 。

8.1.2 使用非线性 PWM 值与温度间关系的查找表

查找表（寄存器 50 至 5F）可用于创建非线性 PWM 与温度间的关系曲线，该曲线可用于降低线性或阶跃传递函数引起的处理器风扇噪声。下面提供了一个示例：

示例：

在特定系统中，当 PWM 与温度间传递函数曲线的形状为抛物线时，会出现最佳风扇噪声性能。

从 25°C 至 105°C，风扇从 20% 到 100%。由于查阅表有 8 个阶跃，我们将温度范围分为 8 个独立的温度。80°C 分为 8 个阶跃 = 每个阶跃 10°C。将温度放在 x 轴。

对于 PWM 值，我们首先选择 PWM 频率。在本例中，我们使 PWM 频率（寄存器 4C）为 20。

然后，对于 100% 占空比，PWM 值为 40。对于 20% 占空比，最小值为 $40 \times (0.2) = 8$ 。

然后，我们可以按抛物线方式排列 PWM、温度对，格式为 $y = 0.005 \cdot (x - 25)^2 + 8$

温度	计算所得 PWM 值	最接近的 PWM 值
25	8.0	8
35	8.5	9
45	10.0	10
55	12.5	13
65	16.0	16
75	20.5	21
85	26.0	26
95	32.5	33
105	40.0	40

然后，我们可以使用本示例所需曲线需要的温度和最接近的 PWM 值，对查找表进行编程。

8.1.3 非理想因子和温度精度

LM64 可像其他集成电路温度传感器一样应用到远程二极管。它可以焊接到印刷电路板上，并且由于最佳导热路径位于芯片和引脚之间，因此其温度实际上就是焊接到它的引脚的印刷电路板焊盘和布线的温度。假设环境空气温度几乎与印刷电路板的表面温度相同。如果空气温度远高于或低于表面温度，LM64 芯片的实际温度将是表面温度与空气温度之间的中间温度。同样，主要的热传导路径是通过引脚，因此电路板表面温度对芯片温度的影响远大于空气温度。

要测量芯片的外部温度，请使用远程二极管。该二极管可以位于目标 IC 的裸片上，如 CPU 处理器芯片，从而能够独立于 LM64 的温度来测量 IC 的温度。LM64 已经过优化，可与 MMBT3904 连接了二极管的晶体管一起使用。

也可使用分立二极管来感测外部物体或环境空气的温度。请记住，分立二极管的温度将受到影响，并且通常主要受其引脚温度的影响。

大多数硅二极管不适合此应用。建议使用 MMBT3904 连接了二极管的晶体管。晶体管基极与集电极相连，形成阳极。发射极是阴极。

8.1.3.1 二极管非理想性

当晶体管连接到二极管时， V_{be} 、 T 和 I_F 具有以下关系：

$$I_F = I_S \cdot \left[e^{\left(\frac{V_{be}}{\eta \cdot V_T} \right)} - 1 \right] \quad (2)$$

其中

$$V_T = \frac{kT}{q} \quad (3)$$

- $q = 1.6 \times 10^{-19}$ 库仑 (电子电荷)
- T = 以开尔文为单位的绝对温度
- $k = 1.38 \times 10^{-23}$ 焦耳/K (玻尔兹曼常数)
- η 是用于制造热敏二极管的制造工艺的非理想因子
- I_s = 饱和电流，与工艺相关
- I_f = 流经基极发射极结的正向电流
- V_{be} = 基极发射极压降

在活动区域，-1 项可以忽略不计，可以消除，从而得到以下公式

$$I_F = I_S \cdot \left[e^{\left(\frac{V_{be}}{\eta \cdot V_T} \right)} \right] \quad (4)$$

在上面的公式中， η 和 I_s 取决于制造特定二极管所用的工艺。通过以严格控制的比率 (N) 强制两个电流并测量产生的电压差，有可能可以消除 I_s 项。求解正向电压差可得到以下关系：

$$\Delta V_{be} = \eta \left(\frac{kT}{q} \right) \cdot \ln(N) \quad (5)$$

非理想因子 η 是唯一一个未考虑的参数，具体取决于用于测量的二极管。由于 ΔV_{be} 与 η 和 T 均成正比，因此无法将 η 的变化与温度的变化区分开来。由于温度传感器不控制非理想因子，因此它会直接增加传感器的不准确性。

例如，如果处理器制造商指定每个器件的 η 变化为 $\pm 0.1\%$ 。作为示例，假设温度传感器在 25°C 的室温下的精度规格为 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。得到的精度将为：

$$T_{ACC} = \pm 1^\circ\text{C} + (298^\circ\text{K} \text{ 的 } \pm 0.1\%) = \pm 1.3^\circ\text{C}$$

如果每个温度传感器都要针对将与其配对的远程二极管进行校准，则可以消除由 η 导致的温度测量额外误差。有关非理想因子的相关信息，请参阅处理器数据表。

8.1.3.2 补偿二极管非理想性

为了补偿由非理想性引入的误差，温度传感器针对特定处理器进行了校准。德州仪器 (TI) 的温度传感器始终针对特定处理器类型的典型非理想性进行校准。

LM64 针对 MMBT3904 连接二极管的晶体管进行了校准。

当将针对特定处理器类型进行了校准的温度传感器与另一种处理器类型搭配使用，或者给定处理器类型具有偏离典型值的非理想性时，会引入误差。

在特定的关注温度范围内，与非理想性关联的温度误差可能会通过使用温度偏移寄存器 11_{HEX} 和 12_{HEX} 引入。

鼓励用户向 hardware.monitor.team@nsc.com 发送电子邮件，以进一步获取我们针对不同处理器类型建议的偏移寄存器设置相关信息。

8.1.4 从 TACH 计数计算风扇的 RPM

转速计数寄存器 46_{HEX} 和 47_{HEX} 对 LM64 中 90kHz 转速计时钟的周期数进行计数，用于计算风扇的转速计输入，假定风扇转速计每转有 2 个脉冲，例如 Pentium 4 盒装处理器提供的风扇。风扇的 RPM 可以通过转速计数寄存器 46_{HEX} 和 47_{HEX} 计算得出。最好通过一个示例来展示这一点。

示例：

假设：使用的风扇有转速计输出，每转 2 个脉冲。

让：

寄存器 46 (LSB) 为 $BF_{HEX} =$ 十进制 $(11 \times 16) + 15 = 191$ 且

寄存器 47 (MSB) 为 $7_{HEX} =$ 十进制 $(7 \times 256) = 1792$ 。

以十进制表示的总转速计数为 $191+1792 = 1983$ 。

RPM 的计算公式为：

$$Fan_RPM = \frac{f \times 5,400,000}{Total_Tach_Count_(\text{Decimal})}, \quad (6)$$

其中

$f = 1$ ，表示 2 个脉冲/转速风扇转速计输出；

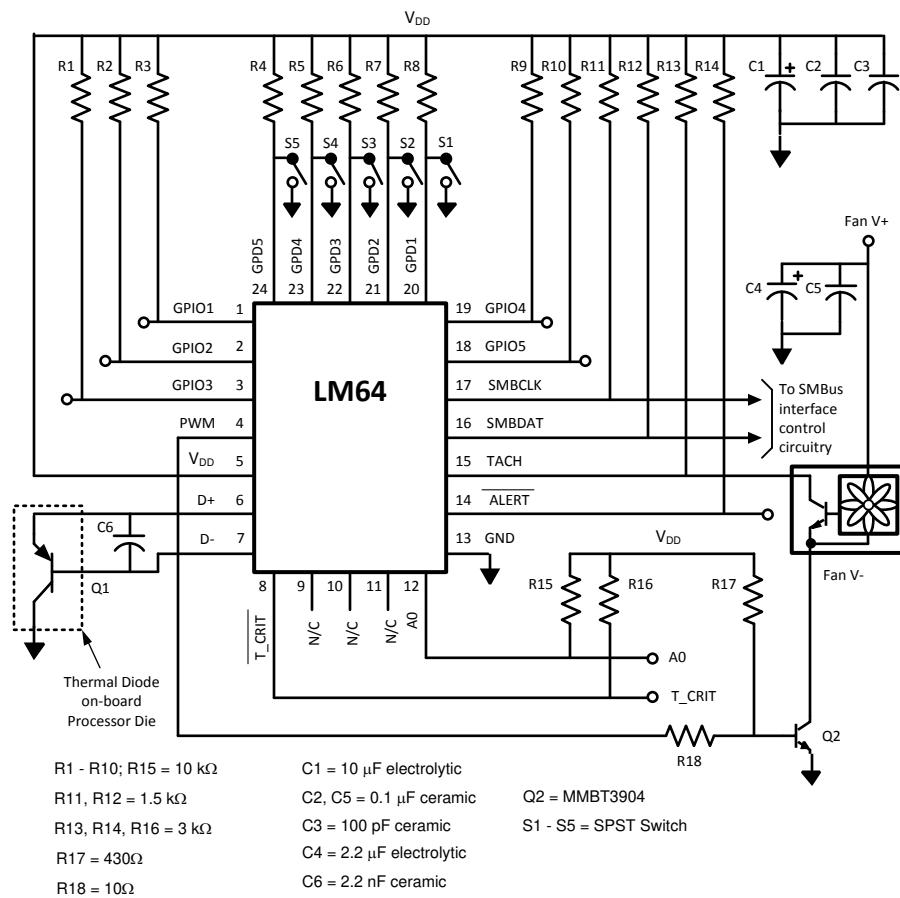
$f = 2$ ，表示 1 个脉冲/转速风扇转速计输出；并且

$f = 2/3$ ，用于 3 个脉冲/转速风扇转速计输出

在我们的示例中

$$Fan_RPM = \frac{1 \times 5,400,000}{1983} = 2723_RPM \quad (7)$$

8.2 典型应用



9 布局

9.1 尽可能降低噪声的 PCB 布局

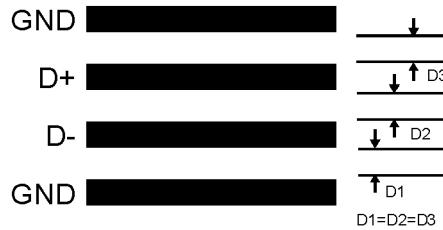


图 9-1. 理想二极管布线布局

在处理器主板等高噪声环境中，布局注意事项非常关键。远程温度二极管传感器和 LM64 之间布线上产生的噪声可能会导致温度转换错误。请记住，LM64 尝试测量的信号电平以微伏为单位。应遵循以下指导原则：

1. 将 $0.1\mu\text{F}$ 电源旁路电容器尽可能靠近 V_{DD} 引脚放置，并将推荐的 2.2nF 电容器尽可能靠近 LM64 的 D+ 和 D- 引脚放置。确保到 2.2nF 电容器的布线是匹配的。
2. 理想情况下，LM64 应置于距离处理器二极管引脚 10cm 的范围内，布线应尽可能平直、短且相同。 1Ω 的布线电阻可能导致高达 1°C 的误差。此误差可以通过使用远程温度偏移寄存器进行补偿，因为放置在这些寄存器中的值将自动从远程温度读数中减去或加到远程温度读数中。
3. 二极管布线的两侧（如果可能的话，上方和下方）应由 GND 保护环包围。该 GND 保护电路不应位于 D+ 和 D- 线路之间。如果噪声确实耦合到二极管线路，那么最好采用耦合共模。这相当于 D+ 和 D- 线路。
4. 避免靠近电源开关或滤波电感器放置二极管布线。
5. 避免靠近或平行于高速数字线路和总线放置二极管布线。二极管布线应与高速数字布线至少保持 2cm 的距离。
6. 如果需要跨越高速数字布线，二极管布线和高速数字布线应以 90 度角交叉。
7. 连接 LM64 GND 引脚的理想位置是尽可能靠近与检测二极管关联的处理器 GND。
8. D+ 和 GND 之间的漏电流应尽可能小。1 纳安的漏电流可能会导致二极管温度读数出现高达 1°C 的误差。保持印刷电路板尽可能清洁可以更大限度地减少漏电流。

如果耦合到数字线路的噪声大于 400mVp-p （典型迟滞）且下冲低于 GND 500mV ，可能会阻止与 LM64 成功进行 SMBus 通信。SMBus 不确认是最常见的现象，这会导致总线上出现不必要的流量。尽管 SMBus 的最大通信频率相当低（最大 100kHz ），但仍需要注意确保总线上有多个器件且印刷电路板布线较长的系统内实现正确端接。LM64 的 SMBCLK 输入中包含一个 3dB 转角频率约为 40MHz 的 RC 低通滤波器。可以添加额外的电阻与 SMBData 和 SMBCLK 线路串联，进一步帮助滤除噪声和振铃。通过将数字布线远离开关电源区域，并确保包含高速数据通信的数字线路与 SMBData 和 SMBCLK 线路呈直角交叉，从而更大限度地减少噪声耦合。

10 器件和文档支持

10.1 文档支持

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。

10.2 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。

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 A (March 2013) to Revision B (January 2024)	Page
---	------

- | | |
|---|---|
| • 更新了格式以匹配新的 TI 布局和流程。整个文档中的表、图和交叉参考使用新的编号顺序..... | 1 |
|---|---|

Changes from Revision * (May 2004) to Revision A (March 2013)	Page
---	------

- | | |
|-------------------------------|---|
| • 将美国国家数据表的版面布局更改为 TI 格式..... | 1 |
|-------------------------------|---|

12 机械、封装和可订购信息

下述页面包含机械、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。

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)
LM64CILQ-F/NOPB	Active	Production	WQFN (NHW) 24	1000 SMALL T&R	Yes	SN	Level-3-260C-168 HR	0 to 125	64CILQF
LM64CILQ-F/NOPB.A	Active	Production	WQFN (NHW) 24	1000 SMALL T&R	Yes	SN	Level-3-260C-168 HR	0 to 125	64CILQF

⁽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.

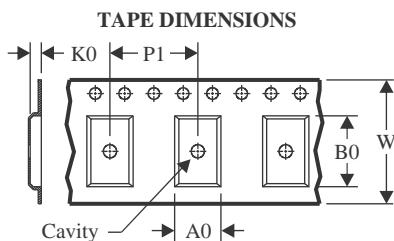
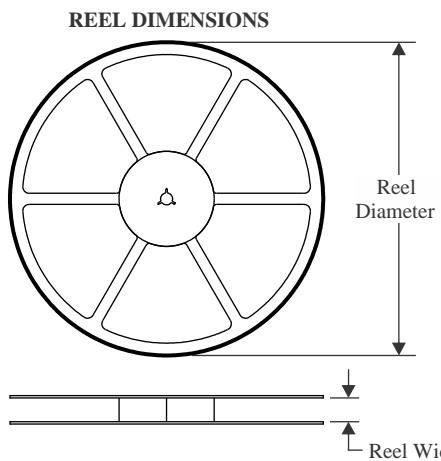
⁽⁶⁾ **Part marking:** There may be an additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category of the part.

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.

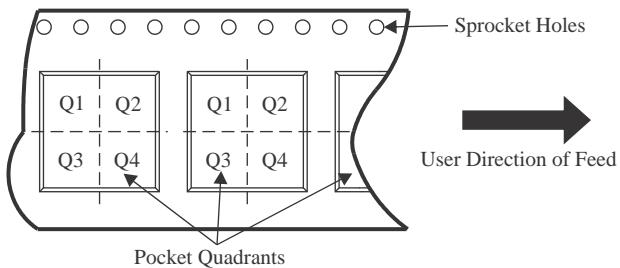
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

TAPE AND REEL INFORMATION



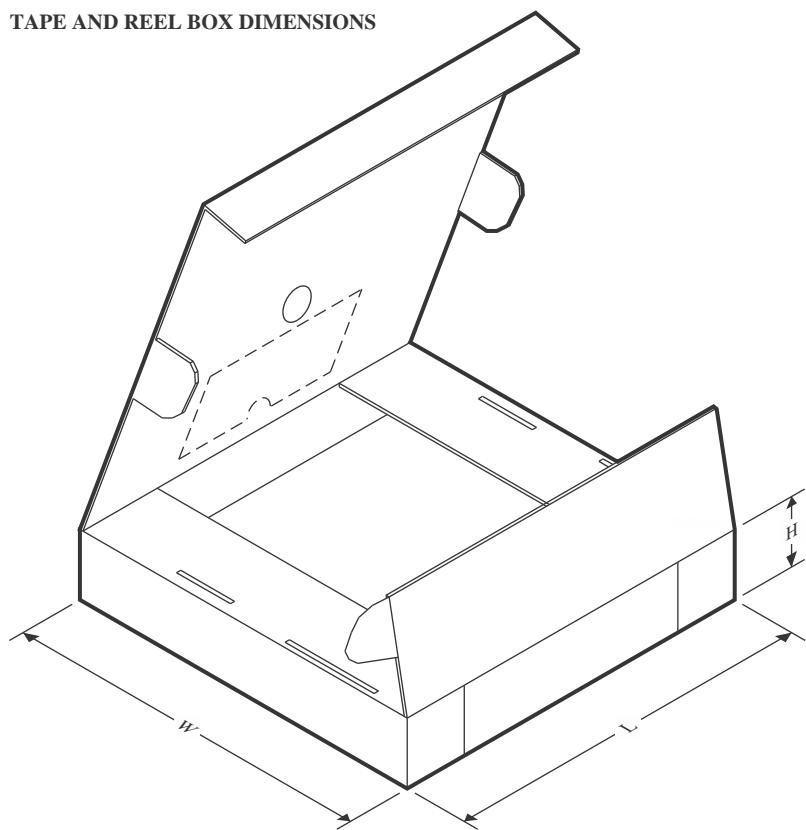
A0	Dimension designed to accommodate the component width
B0	Dimension designed to accommodate the component length
K0	Dimension designed to accommodate the component thickness
W	Overall width of the carrier tape
P1	Pitch between successive cavity centers

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
LM64CILQ-F/NOPB	WQFN	NHW	24	1000	177.8	12.4	4.3	5.3	1.3	8.0	12.0	Q1

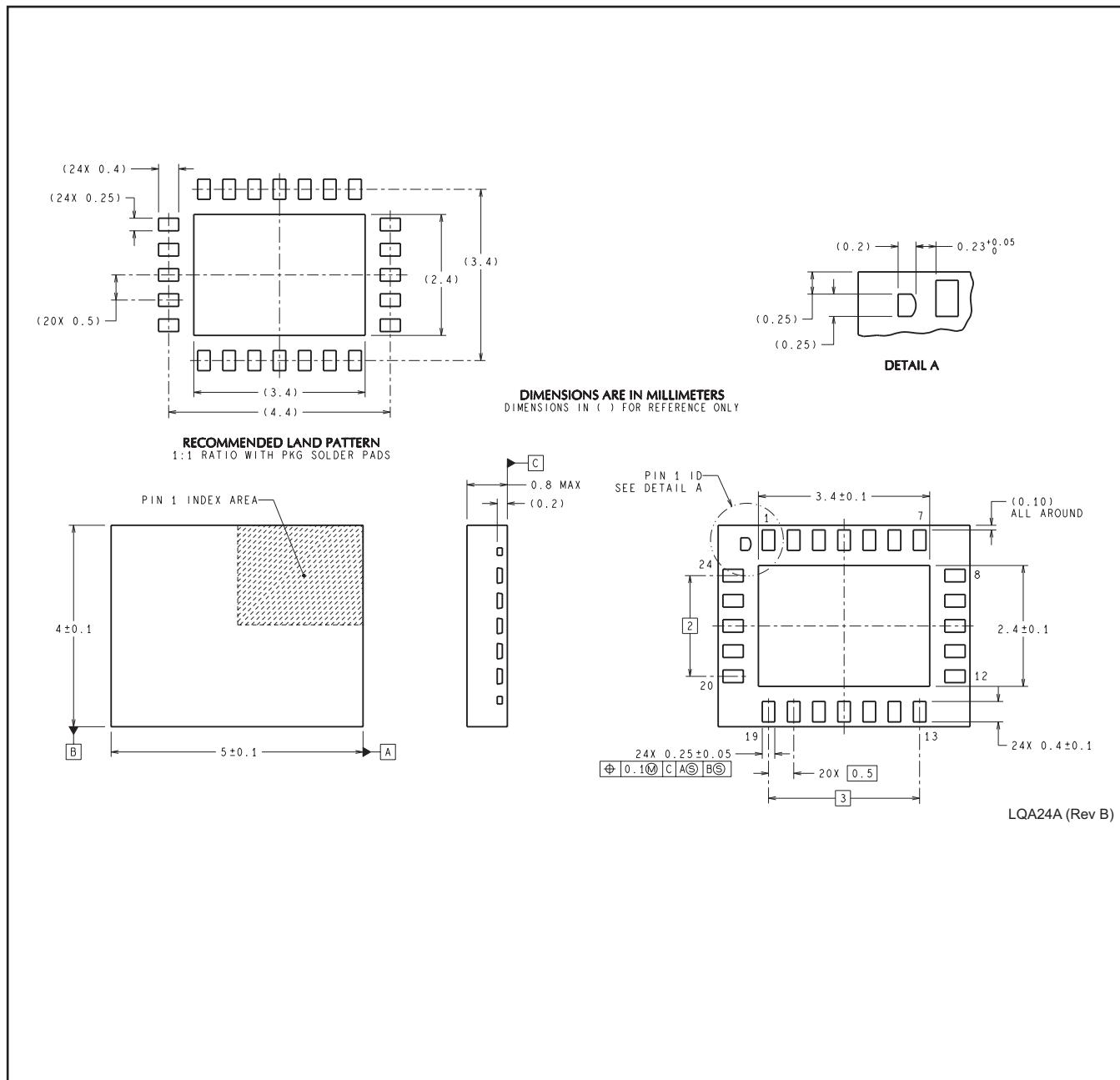
TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS


*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
LM64CILQ-F/NOPB	WQFN	NHW	24	1000	208.0	191.0	35.0

MECHANICAL DATA

NHW0024B



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 © 2025 , 德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期 : 2025 年 10 月