MS1991 数据手册

2026 年 02 月
V1.4

八路 I²C 电压、电流和温度监测器

1.0 概述

MS1991 是一颗适用于板级系统电压、电流以及温度监控的测量芯片。单端电压分辨率低至 305.18μV，差分电压分辨率低至 19.075μV，温度分辨率低至 0.0625℃。-40℃~125℃范围内，电压测量精度优于 0.25%，电流测量精度优于 0.75%，温度测量精度优于 1.8℃，非常适合电压、电流、温度的单一或者混合系统应用要求。

MS1991 支持 8 路单端电压与 4 路差分电压两种方式输入，可以实现电压测量、电流测量或远端 BJT 温度测量。MS1991 支持标准 I²C 双线接口，支持标准 I²C 协议，具备 3 个硬件可选配地址位，可实现最多 8 颗芯片的扩展。MS1991 内部分别集成了一个温度传感器及电压传感器，用以监控芯片自身的工作温度及工作电压。

MS1991 内部集成了一个温漂为 10ppm/℃的高精度基准，无需外部基准参考，因此相比较于其他方案，使用 MS1991 减少了工程应用所需元件数量以及物料成本，更减少了 PCB 占用面积，提高板卡的集成度。MS1991 还支持根据 V7,V8 通道接入 BJT 测温输出 PWM 信号。根据工程应用需求，使用此 PWM 输出信号可以控制风扇转速或者加热器发热量。

MS1991 支持 FPGA、MCU 或 DSP 等控制器通过 I²C 接口访问。MS1991 采用 16 管脚 MSOP 封装，工作温度-40℃~125℃。

2.0 应用

- 温度测量
- 电源电压监测
- 电流测量
- 远端数据采集
- 环境监测

3.0 特点

- 可测 8 路单端电压或 4 路差分电压（电流）或 4 路远端温度
- 可测电压、电流、温度的单一项或任意组合
- 可测芯片自身工作电压、温度
- 优于 0.75%的单端电压测量精度、305.18μV 分辨率
- 优于 0.75%的差分电压和电流测量精度、19.075μV 分辨率
- 优于 2.0℃的远端测温精度、0.0625℃分辨率
- 优于 1.5℃的内部测温精度、0.0625℃分辨率
- 14 位 ADC 测量电压/电流
- PWM 动态调节输出
- 2.9V 至 5.5V 电源工作范围
- I²C 接口，8 个地址可选，可最多 8 颗共用总线
- 内部 10ppm/℃电压基准
- V1~V8 模拟输入引脚的 ESD 额定保护等级为 6kV HBM

4.0 主要性能指标

- 本地测温精度 $T_{INT(TUE)}$： ±1.5 ℃ (典型值)
- 远端测温精度 $T_{RMT(TUE)}$： ±2.0 ℃ (典型值)
- V_{CC}、单端电压测量精度 $V_{CC(TUE)}$,$V_{N(TUE)}$： ±0.75 % (最大值)
- 差分电压测量精度 $V_{DIFF(TUE)}$： ±0.75 % (最大值)
- 远端温度测量噪声 T_{NOISE}： 0.4 °RMS (典型值)
- 测量延时 T_{INT},T_{R1},T_{R2},T_{R3},T_{R4}： 34 ms (典型值)
- 工作电流： 0.64 mA (典型值)

5.0 简化框图

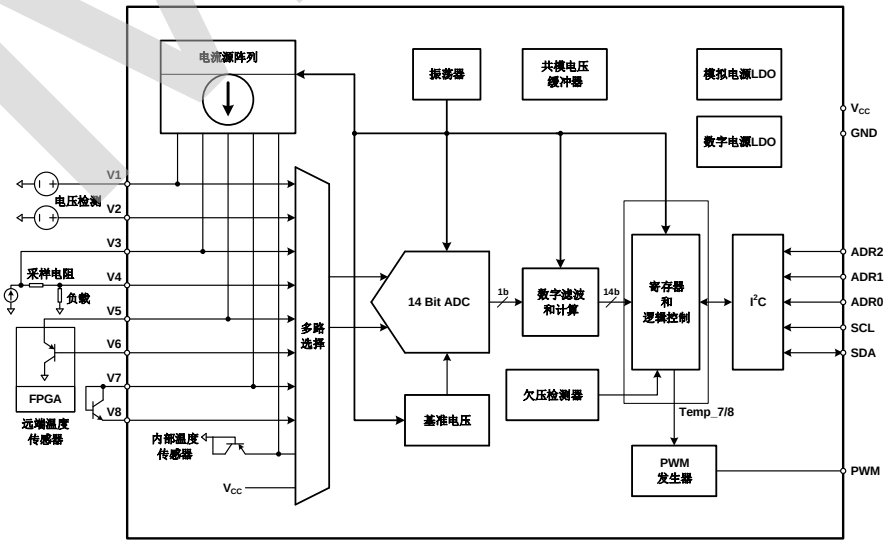


图 1. MS1991 系统框图

6.0 技术规格

除非另有说明，-40℃≤T_A≤125℃，2.9V≤V_{CC}≤5.5V。

表 1-a. 电特性

参数	测试条件/注释	最小值	典型值	最大值	单位
常规					
电源电压（V_{CC}）		2.9		5.5	V
正常电流（I_{CC}）	转换期间，I^2C 不工作		0.64		mA
待机电流（I_{STBY}）	待机模式，I^2C 不工作		0.36		mA
欠压锁定阈值电压（$V_{CC(UVL)}$）		2.1	2.3	2.5	V
测量精度					
内部温度不可补偿误差（$T_{INT(TUE)}$ [b]）	V_{CC}=3.3V		±1.5	±4.5	℃
远端温度不可补偿误差（$T_{RMT(TUE)}$ [a]）	V_{CC}=3.3V，η=1.004		±2.0	±5.5	℃
V_{CC} 电压不可补偿误差（$V_{CC(TUE)}$）	2.9V≤V_{CC}≤5.5V		±0.25	±0.75	%
V1~V8 不可补偿误差（$V_{N(TUE)}$）	0V≤V1~V8≤4.9V 且 V1~V8≤V_{CC}		±0.25	±0.75	%
差分电压不可补偿误差（$V_{DIFF(TUE)}$）	V_{DIFF}≤±300mV，V_{CM}=1.65V		±0.25	±0.75	%
最大差分输入电压（$V_{DIFF(MAX)}$）		-312.5		312.5	mV
差分失调误差（V_{OFFSET_DIFF}）	V1~V8=0V	-9	-2	9	LSB
单端失调误差（V_{OFFSET_SE}）	V1~V8=0V	-6	-2	6	LSB
差分电压共模范围（$V_{DIFF(CMR)}$）		0		V_{CC}	V
差分电压量化分辨率（$V_{LSB(DIFF)}$）			19.075		μV
单端电压量化分辨率（$V_{LSB(SE)}$）			305.18		μV
温度量化分辨率（$V_{LSB(TEMP)}$）	开尔文或摄氏温度		0.0625		度
晶体管电压量化分辨率（$V_{LSB(DIODE_VOLTAGE)}$）	包括串联电阻引起的压降		38.15		μV
远端温度噪声（T_{NOISE}）	开尔文或摄氏温度过滤器关闭		0.4		°RMS
本地温度噪声（T_{NOISE}）	开尔文或摄氏温度过滤器关闭		0.2		°RMS
无失码（Res[a]）		14			Bits
积分非线性（INL[a]）	单端输入模式	-4		4	LSB
积分非线性（INL[a]）	差分输入模式，$V_{IN(CM)}$=1.5V	-4		4	LSB
V1~V8 输入采样电容（C_{IN}[a]）			0.35		pF
V1~V8 输入采样电流（$I_{IN(AVG)}$ [a]）	0V≤V1~V8≤4.9V		0.6		μA
V1~V8 输入漏电流（$I_{DC_LEAK(VIN)}$）	0V≤V1~V8≤V_{CC}	-10		10	nA
PWM					
PWM 周期（F_{PWM}）		0.8		1.2	ms
占空比（DC_{PWM}）		0		99.8	%
0%~100% PWM 温度范围（$SCALE_{PWM}$）			32		度
测量延时					
每通道温度测量延时（T_{INT},T_{R1},T_{R2},T_{R3},T_{R4}）		27	34	45	ms
单端电压测量延时（T_{V1}~T_{V8}）		0.9	1.2	1.5	ms
差分电压测量延时（T_{V1-V2}~T_{V7-V8}）		0.9	1.2	1.5	ms
V_{CC} 测量延时（T_{VCC}）		0.9	1.2	1.5	ms

参数	测试条件/注释	最小值	典型值	最大值	单位
最大延时（T_{Max_Delay}）	Mode[4:0]=11101, T_{INT},T_{R1},T_{R2},T_{R3},T_{R4},V_{CC}		177	227	ms
V1,V3,V5,V7 输出（仅远端晶体管测温模式）					
最大输出电流（I_{OUT_MAX}）			211		μA
输出电压（V_{OUT}）		0		V_{CC}	V
I^2C 接口					
ADR 输入低电压阈值（$V_{ADR(L)}$）	下降			0.3*V_{CC}	V
ADR 输入高电压阈值（$V_{ADR(H)}$）	上升	0.7*V_{CC}			V
SDA 低电平最大电压（V_{OL1}）	I_O=-3mA			0.4	V
SDA,SCL 最大低电平输入电压（V_{IL}）				0.3*V_{CC}	V
SDA,SCL 最小高电平输入电压（V_{IH}）		0.7*V_{CC}			V
SDA,SCL 输入电流（$I_{SDAI,SCLI}$）	0<$V_{SDA,SCL}$<V_{CC}			±1	μA
ADR 输入电流（$I_{ADR(MAX)}$）	ADR0，ADR1，ADR2 接 V_{CC} 或 GND			±1	μA

[a] 该参数设计保证

表 1-b. 绝对最大额定值

参数	额定值
电源电压（V_{CC}）	-0.3V~6V
输入电压V1~V8,SCL,ADR0,ADR1,ADR2	-0.3V~V_{CC} + 0.3 V
PWM输出电压	-0.3V~V_{CC} + 0.3 V
SDA输出电压	-0.3V~6V
工作温度范围	-40℃~+125℃
存储温度范围	-65℃~+150℃
耐焊接温度T_h（10s）	245℃
ESD（所有引脚）	3.5kV
ESD（V1~V4模拟输入引脚）	6kV

MECS

7.0 时序规格

除非另有说明，-40℃≤T_A≤125℃，2.9V≤V_{CC}≤5.5V。

表 2. 时序规格

参数	测试条件/注释	最小值	典型值	最大值	单位
I^2C 时序					
最大 SCL 频率（$f_{SCL\ (MAX)}$）		400			kHz
SCL 低脉宽最小时间（t_{LOW}）				1.3	μs
SCL 高脉宽最小时间（t_{HIGH}）				600	ns
最小总线空闲时间（$t_{BUF(MIN)}$）				1.3	μs
最小保持时间（$t_{HD,STA(MIN)}$）				600	ns
最小建立时间（$t_{SU,STA(MIN)}$）				600	ns
停止建立时间（$t_{SU,STO(MIN)}$）				600	ns
数据输入最小保持时间（$t_{HD,DATI(MIN)}$）				0	ns
数据输出最小保持时间（$t_{HD,DATO(MIN)}$）		300		900	ns
数据输入最小建立时间（$t_{SU,DAT(MIN)}$）				100	ns
尖峰抑制脉宽（$t_{SP\ (MAX)}$）		50		250	ns
SCL，SDA 输入电容（C_X[a]）				10	pF

[a] 该参数设计保证

MECS

8.0 引脚图

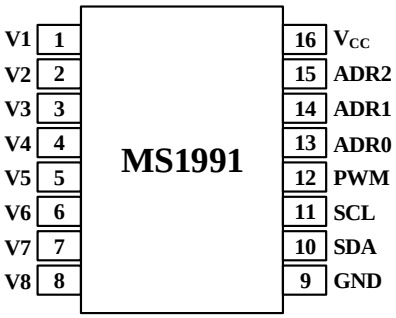


图 2. MS1991 引脚图

表 3. 引脚列表

引脚编号	引脚名称	描述
1	V1	监测器输入第 1 通道。此引脚可以配置为单端输入（0V 至 4.9V）用于监测电压，或者（结合 V2）配置为用于电流或者温度测量的差分输入正极。差分共模范围为 0V 至 V_{CC}，最大差分输入电压为±312.5mV。当配置为远端晶体管测温模式，该引脚将输出电流。
2	V2	监测器输入第 2 通道。此引脚可以配置为单端输入（0V 至 4.9V）用于监测电压，或者（结合 V1）配置为用于电流或者温度测量的差分输入负极。差分共模范围为 0V 至 V_{CC}，最大差分输入电压为±312.5mV。当配置为远端晶体管测温模式且芯片处于测量状态时，该引脚可吸收 V1 输出的电流。
3	V3	监测器输入第 3 通道。此引脚可以配置为单端输入（0V 至 4.9V）用于监测电压，或者（结合 V4）配置为用于电流或者温度测量的差分输入正极。差分共模范围为 0V 至 V_{CC}，最大差分输入电压为±312.5mV。当配置为远端晶体管测温模式，该引脚将输出电流。
4	V4	监测器输入第 4 通道。此引脚可以配置为单端输入（0V 至 4.9V）用于监测电压，或者（结合 V3）配置为用于电流或者温度测量的差分输入负极。差分共模范围为 0V 至 V_{CC}，最大差分输入电压为±312.5mV。当配置为远端晶体管测温模式且芯片处于测量状态时，该引脚可吸收 V3 输出的电流。
5	V5	监测器输入第 5 通道。此引脚可以配置为单端输入（0V 至 4.9V）用于监测电压，或者（结合 V6）配置为用于电流或者温度测量的差分输入正极。差分共模范围为 0V 至 V_{CC}，最大差分输入电压为±312.5mV。当配置为远端晶体管测温模式，该引脚将输出电流。
6	V6	监测器输入第 6 通道。此引脚可以配置为单端输入（0V 至 4.9V）用于监测电压，或者（结合 V5）配置为用于电流或者温度测量的差分输入负极。差分共模范围为 0V 至 V_{CC}，最大差分输入电压为±312.5mV。当配置为远端晶体管测温模式且芯片处于测量状态时，该引脚可吸收 V5 输出的电流。
7	V7	监测器输入第 7 通道。此引脚可以配置为单端输入（0V 至 4.9V）用于监测电压，或者（结合 V8）配置为用于电流或者温度测量的差分输入正极。差分共模范围为 0V 至 V_{CC}，最大差分输入电压为±312.5mV。当配置为远端晶体管测温模式，该引脚将输出电流。
8	V8	监测器输入第 8 通道。此引脚可以配置为单端输入（0V 至 4.9V）用于监测电压，或者（结合 V7）配置为用于电流或者温度测量的差分输入负极。差分共模范围为 0V 至 V_{CC}，最大差分输入电压为±312.5mV。当配置为远端晶体管测温模式且芯片处于测量状态时，该引脚可吸收 V7 输出的电流。
9	GND	芯片地。通过低阻抗连接将该引脚连接至系统地。
10	SDA	I^2C 串行数据输入输出引脚。在发送模式（读取），转换结果通过 SDA 引脚输出，而在接收模式（写入），设备配置寄存器位通过 SDA 引脚输入。在发送模式（读取），该引脚为高阻，在接收模式（写入），它是一个开漏 N 沟道驱动器，因此该引脚需要外部上拉电阻或电流源到 V_{CC}。
11	SCL	I^2C 串行时钟输入引脚。MS1991 只能用作从设备，故 SCL 引脚只能做输入端口。
12	PWM	PWM 输出。远端晶体管接到 V7、V8 引脚时，该引脚可以提供 CMOS 电平输出，输出占空比和远端晶体管的温度成比例。
13	ADR0	串行总线地址控制输入，ADR 引脚是用于设备 I^2C 地址的地址控制位，见表 4。
14	ADR1	串行总线地址控制输入，ADR 引脚是用于设备 I^2C 地址的地址控制位，见表 4。
15	ADR2	串行总线地址控制输入，ADR 引脚是用于设备 I^2C 地址的地址控制位，见表 4。
16	V_{CC}	芯片电源。此引脚连接 2.9V 至 5.5V 低噪声电源，同时需要连接一个 0.1μF 的去耦电容到 GND。

9.0 典型性能参数

除非另有说明，T_A=25℃，V_{CC}=3.3V。

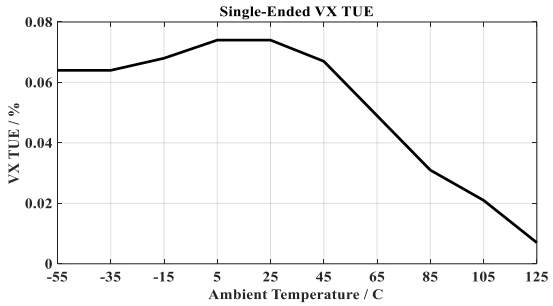


图 3. 单端电压测量精度

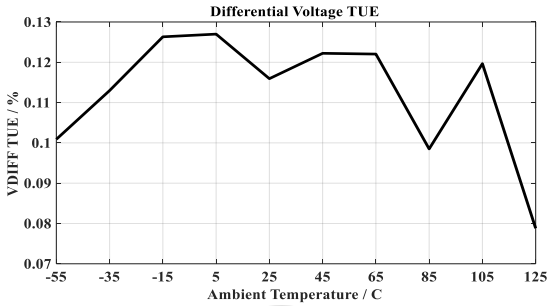


图 4. 差分电压测量精度

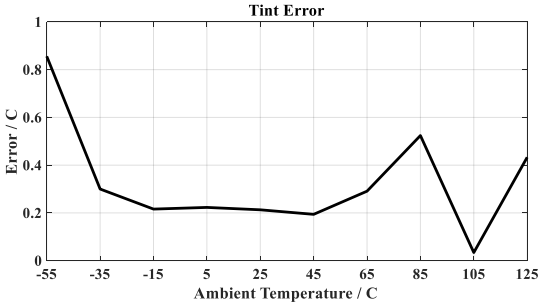


图 5. 本地温度测量精度

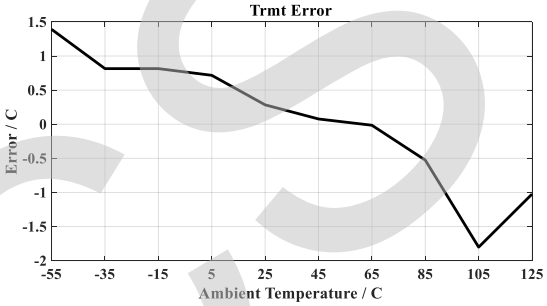


图 6. 远端温度测量精度

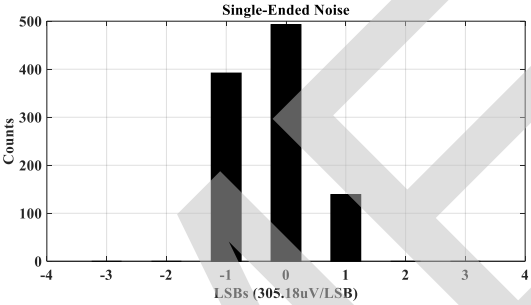


图 7. 单端电压测量噪声

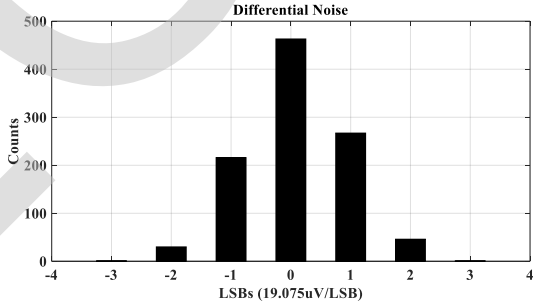


图 8. 差分电压测量噪声

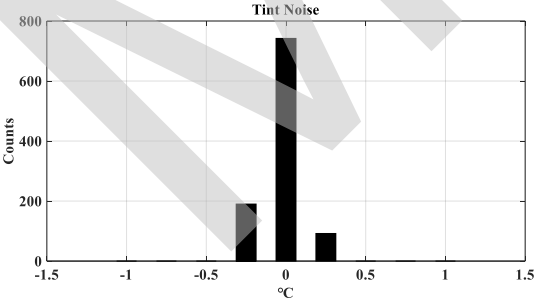


图 9. 本地温度测量噪声

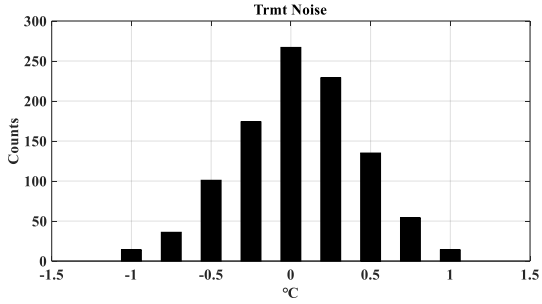


图 10. 远端温度测量噪声

MECS

10.0 工作原理

MS1991 可用于监测电压、电流、本地和远端温度。通过 I²C 接口配置其不同通道的工作模式。它可以配置为单次或重复采集。在远端温度测量应用中，可使用晶体管作为温度传感器，这些远端温度传感器可以是分立 NPN（例如 MMBT3904）或者微处理器和 FPGA 中内置的 PNP 器件（见表 19）。此外，内部集成高精度、低温漂基准，最大限度地缩减了方案实现所需元件数量。

如图 1 所示，MS1991 系统框图展示了器件的主要功能电路。输入信号由控制逻辑模块控制的输入 MUX 进行选择。控制逻辑模块使用控制寄存器中的模式位来管理数据采集的顺序和类型。此外，控制逻辑模块还在远端温度采集期间控制电流源。数据采集的顺序是固定的：V1，V2，V3，V4，V5，V6，V7，V8，$T_{INTERNAL}$，然后 V_{CC}。采集完成后 ADC 执行必要的转换并将数据提供给控制逻辑模块以路由到适当的数据寄存器。电流和温度测量值 V1-V2、V3-V4、V5-V6 或 V7-V8 由内部 ADC 进行差分采样。通过 I²C 接口可实现对控制、状态和数据寄存器的访问。ADR2、ADR1 和 ADR0 引脚可硬件配置为表 4 中的任意一个 I²C 地址。当 V_{CC} 低于指定的欠压保护阈值时，数字电路全部复位，I²C 无法通信。在欠压条件下，欠压检测器处于复位状态，数据和控制寄存器处于默认状态 00h。

为了解决传感器与输入通道间串联电阻带来的测量误差，MS1991 采用了重复转换和电流源补偿技术。如果配置用于温度测量，MS1991 的 V2、V4、V6 或 V8 端口与晶体管 PN 结相连。这些引脚也可以接地，但温度测量时可能会增加噪声。MS1991 针对一个理想因子为 1.004 的远端晶体管进行校准以产生正确的温度值。请参阅“应用信息”章节，了解使用理想因子不为 1.004 的测温晶体管时需要采取的补偿方法。

MS1991 通过 I²C 串行接口进行通信。串行接口提供对控制、状态和数据寄存器的访问。I²C 定义了一个在单个总线上支持多个从器件和主器件的漏极开路双线接口。MS1991 在标准模式下支持 100kbit/s 的传输速率，在快速模式下支持高达 400kbit/s 的传输速率。MS1991 支持 8 个物理地址，如表 4 所示。I²C 接口用于触发单次转换，或通过写入专用触发寄存器来启动重复转换。数据寄存器包含读取状态位（数据有效位），该状态位用来确认重复采集模式下寄存器的内容是否先前已被读取。该状态位在寄存器写入新数据时置位，在读取时清零。

MEGA

11.0 应用信息

MS1991 的基本应用电路如图 11 所示。

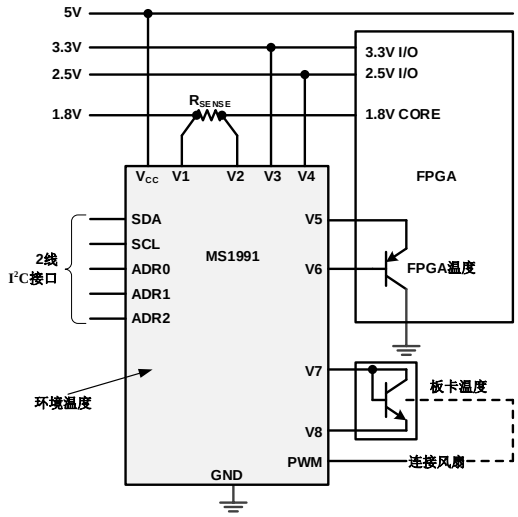


图 11. MS1991 基本应用电路

上电

V_{CC} 引脚上的供电范围为 2.9V~5.5V，芯片具有 V_{CC} 引脚欠压检测功能，当 V_{CC} 引脚电压低于 2.5V 时芯片处于复位状态，当 V_{CC} 引脚电压高于 2.5V 时芯片退出复位状态，上电复位将清零所有数据寄存器和控制寄存器。

温度测量

MS1991 可以测量内部温度和最多 4 个外部晶体管传感器。在温度转换期间，电流从 V1，V3，V5 或 V7 引脚流出以正向偏置远端传感器晶体管。温度变化对应的传感器电压变化量是几百 uV/℃，所以环境噪声必须最小化。推荐的屏蔽处理和 PCB 布局布线如下图所示。

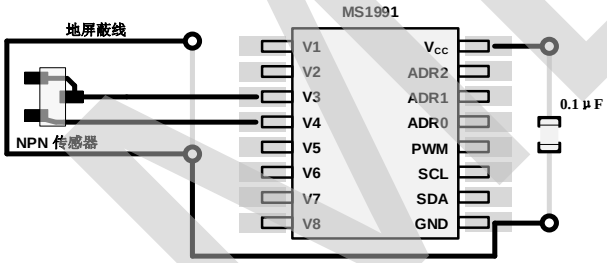


图 12. 推荐的 PCB 布局布线

晶体管等式：

$$V_{BE} = \eta \bullet \frac{k \bullet T}{q} \bullet \ln(\frac{I_C}{I_S})$$

可以求解 T，其中 T 是开尔文温度，IS 为是工艺相关的因子（1E-13 量级），η 为晶体管理想因子，k 是玻尔兹曼常数，q 为电子电荷量。

$$T = \frac{V_{BE} \bullet q}{\eta \bullet k \bullet \ln(\frac{I_C}{I_S})}$$

MS1991 对晶体管进行差分电压测量来计算远端温度。针对差分输入通道上串联电阻引起的误差，设计了专有技术进行误差消除。

理想因子缩放

MS1991 内部进行了出厂校准，来适配理想因子为 1.004 的远端测温晶体管。实际使用过程中，即使目标晶体管的实际理想因子与 1.004 存在微小的偏差，都会导致较大的温度测量误差。晶体管的理想因子可以看作温度测量时的缩放系数，即 1%的理想因子偏差最终导致 1%的温度测量误差（开尔文）。因此，在 25℃或 298K 温度下，1%的理想因子偏差将产生 2.98K 的温度测量误差。在 85℃或 358K 温度下，1%的理想因子偏差将产生 3.6K 的温度测量误差。当用户在远端温度测量时使用的晶体管理想因子不为 1.004 时，可以将 MS1991 测量的开尔文或摄氏度温度结果按比例进行缩放以得到正确的测量结果。具体的操作如下所述，用户可以在微处理器或微控制器中使用 16 位定点数进行数学运算。

理想因子出厂校准值：

$$\eta_{CAL} = 1.004$$

实际传感器的理想因子：

$$\eta_{ACT}$$

开尔文温度补偿：

$$T_{K_COMP} = \frac{\eta_{CAL}}{\eta_{ACT}} \bullet T_{K_MEAS}$$

摄氏度温度补偿：

$$T_{C_COMP} = \frac{\eta_{CAL}}{\eta_{ACT}} \bullet (T_{C_MEAS} + 273.15) - 273.15$$

η_{CAL}/η_{ACT}的比值可以使用 16 位无符号数（将分数比乘以 2^15）表示，范围在 0.00003 至 1.99997。这一范围足以覆盖主流的温度传感晶体管理想因子波动范围。校准完成后，定点化截断误差最坏会在 125℃时引入约 0.01 度的温度误差。将此 16 位无符号数与测量的开尔文温度（16 位无符号数）相乘，得到一个 32 位无符号数。若需要将结果归一化回温度测量标准的 13 位格式（9 位整数部分和 4 位小数部分），将该数除以 2^15 即可。类似地，使用上述等式，可以使用 16 位定点数对摄氏度编码的温度值进行类似缩放处理。在这两种情况下，缩放后的结果将具有 9 位整数（d[12:4]）和 4 位小数（d[3:0]）。若要将校正后的温度测量结果转换为十进制，将最终结果除以 2^4（或 16）即可。建议在此步处理时将 MS1991 的温度转换结果配置为开尔文温度表示，这样有助于减少目标处理器中所需的数学运算量。

$$T_{K_COMP} = \frac{（\text{unsigned}）\left(\frac{\eta_{CAL}}{\eta_{ACT}} 2^{15}\right) T_{K_MEAS}}{2^{15}}$$

$$T_{C_COMP} = \frac{（\text{unsigned}）\left(\frac{\eta_{CAL}}{\eta_{ACT}} 2^{15}\right) (T_{C_MEAS} + 273.15 \bullet 2^4)}{2^{15}}$$

$$-273.15 \bullet 2^4$$

采样电流

单端电压测量通过内部 ADC 直接进行采样。ADC 平均输入电流是与输入电压相关的函数：

$$I_{SAMPLE} = (V_{IN} - 1.49) \bullet 0.17[\mu A/V]$$

对于 14 位的转换精度，输入源阻抗小于 500 欧姆会产生 0.5LSB 的满摆幅增益误差。单端电压转换的正常转换时间为 1.5ms。

电流测量

MS1991 能够通过外加电流采样电阻来实现 14 位精度的电流测量，如图 13。

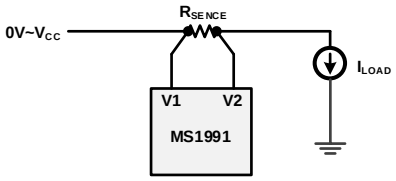


图 13. 简易电流检测示意图

为了实现 13 位精度电流测量，一些细节必须考虑。差分电压或电流测量值由内部 ADC 直接采样获得。在转换期间，每个支路的差分输入信号输入 ADC 的平均电流为：

$$I_{SAMPLE} = (V_{IN} - 1.49) \bullet 0.34[\mu A/V]$$

实现 14 位精度，1/2LSB 满量程误差的最大源阻抗为 50Ω。

为了实现 14 位精度，有必要采用 4 线或开尔文连接来实现检测电阻差分电压的测量。

在电流测量时，外部采样电阻值一般都很小，其大小由 MS1991 的满摆幅差分输入电压（312.5mV）决定。外部采样电阻可以表示为最大可测量电流的函数 R_{EXT_MAX}=312.5mV/I_{MAX}。比如测量±5A 电流范围，那么分流电阻最大值为 312.5mV/5A≈60mΩ。

通过 MS1991 可以改善采样电阻的精度：MS1991 可以同时测量差分电压和远端温度，所以在软件中可以补偿采样电阻精度的绝对误差容限和采样电阻的温度系数。电阻值可以通过在分立电阻上施加校准后的测试电流进行测量。MS1991 将同时测量电阻两端的电压差和电阻的温度。通过上述测量可以知道以下公式中的 R_0 和 T_0。通过这两个方程，处理器可以同时补偿绝对误差容限和电阻温度系数（TCR）。

$$R_T = R_0 \bullet [1 + \alpha(T - T_0)]$$

$$I = (V1 - V2)/R_T$$

其中，对于铜线 α=3930ppm/℃，对于分立电阻 α=±2~200ppm/℃。

器件配置

MS1991 通过串行接口写通道控制寄存器进行配置。控制寄存器比特位定义见表 8、表 9 和表 10。该器件具有多种应用配置，包括电压、温度和电流测量。MS1991 可以配置为单次或重复采集。对于重复采集，仅需要一次触发，其后新数据就会不停地刷新数据寄存器。对于单次采集，单次触发后即可按照配置完成所有测量。当 MS1991 配置为多次测量时，测量的顺序是固定的。随着每个新数据结果准备就绪，相应数据寄存器的 MSB 就会置位，同样相应的状态寄存器位也会置位。当相应的数据寄存器被寻址时，这些位将清零。上电时的配置寄存器的初始值使器件在触发时仅测量内部温度传感器和 V1~V8 单端电压。除非被另外配置并且触发测量，8 个输入引脚 V1 至 V8 将处于高阻态。请注意，当器件被配置用于远端温度测量时（使用控制寄存器 0x06 或 0x07），温度数据（Trx 温度）分别储存在 V1、V3、V5 和 V7 中，具体取决于所使用的通道。类似地，在该配置期间，晶体管电压（Trx 电压）被存储在 V2、V4、V6 和 V8 寄存器中。

数据格式

数据寄存器分为 8 位高字节和 8 位低字节。电压电流转换精度为 14 位，温度转换精度为 13 位。转换结果的有效位同时存放在寄存器的两个位置，其一为 00h 和 01h 寄存器，其二为 MSB 寄存器的最高位。读 00h 或 01h 不会影响有效位的值，读 MSB 则会清除有效位。必须先读 00h 或 01h 确定该转换结果有效，再读 MSB+LSB 获得转换结果同时清除有效位。不能在未确定有效位的情况下直接读 MSB。

温度

温度转换结果以摄氏度或开尔文温度表示，见表 14 和表 15，每个 LSB 权重为 0.0625 度。格式由控制寄存器控制。温度 MSB 数据寄存器最高有效位（b7）是数据有效位，表示自从结果写入寄存器后，当前寄存器的内容是否已被访问。当新数据写入寄存器时，该比特位将置位，并在该寄存器被访问后清零。温度 MSB 数据寄存器 b6 和 b5 为保留位。温度 MSB 数据寄存器的 b4 到 b0 表示转换结果位 D[12：8]，格式为二进制补码。注意，在开尔文结果中，此结果将总是为正。温度 LSB 数据寄存器包含温度结果位 D[7：0]。要将寄存器内容转换为温度，请使用以下公式：

$$T = D[12:0]/16$$

有关转换值示例，请参见表 18。远端晶体管的 PN 结在 50uA 偏置电流下的压降值也可以被测量得到，对应的 LSB 值约为 38.15uV。该 LSB 电压值仅适用于远端晶体管，而不适用于内部传感器。该码值是 13 位无符号数，超出量程时绕回零值（比如当前电压的码值为 1FFFh，若继续增大电压则码值绕回 0000h）（见表 16 和表 17）。该模式适用于使用-2.1mV/℃的电压与温度的近似关系来测试温度的微小相对变化。已知 LSB 权重为 38.15μV，晶体管 PN 结电压温度关系为-2.1mV/℃，可得出温度分辨率约为 0.018 度。对于涉及加热器的传感器应用，以低噪声感知温度的微小变化可以显著节省电量，使加热器减少功率。

表 18 有一些各种晶体管电压转换结果的示例。

电压/电流

电压结果保存在两个相应的寄存器（MSB 和 LSB 寄存器）中。电压 MSB 数据寄存器最高有效位（b7）是数据有效位，表示自从结果写入寄存器以后当前寄存器的内容是否已被访问。该位在寄存器内容未被访问时置位，在访问后清零。电压 MSB 数据寄存器的 b6 是符号位，电压 MSB 数据寄存器 b5 至 b0 表示二进制补码转换结果位 D[13：8]。电压 LSB 数据寄存器保存转换位 D[7：0]。单端电压测量值 V1 至 V8 和差分（电流测量值）V1-V2、V3-V4、V5-V6、V7-V8 的 LSB 值不同。单端电压被限制在 0V 至 4.9V 或 V_{CC}+0.2V 范围内的正值，以较小者为准。差分输入电压值在-312.5mV 至 312.5mV 的范围内。

使用以下公式对寄存器值进行转换（示例见表 18）：

$$V_{SINGLE_ENDED} = D[13:0] \bullet 305.18\mu V$$

$$V_{DIFFERENTIAL} = D[13:0] \bullet 19.075\mu V \ (sign = 0)$$

$$V_{DIFFERENTIAL} = (\overline{D[13:0]} + 1) \bullet 19.075\mu V \ (sign = 1)$$

$$Current = D[13:0] \bullet 19.075\mu V / R_{SENSE} \ (sign = 0)$$

$$Current = \left(\overline{D[13:0]} + 1\right) \bullet -19.075\mu V / R_{SENSE} \ (sign = 1)$$

其中，R_{SENSE}为电流采样电阻，其阻值一般小于 1Ω。

V_{CC}

MS1991 可以测量 V_{CC}，使用下面公式将 V_{CC} 结果寄存器的值转换为电压值：

$$V_{CC} = 2.5 + D[13:0] \bullet 305.18\mu V$$

PWM 输出

PWM 输出为 9 位 1KHz 方波信号，其占空比与 V7、V8 采用远端晶体管方式测得的温度值成比例。PWM 输出可用于控制风扇风速或者加热器发热量。PWM_Threshold 是一个 LSB 权重为 1 度（开尔文）的 9 比特寄存器值。从 V7 中减去 PWM_Threshold，并且产生与该差值成比例的脉冲宽度。注意，PWM 阈值划分在在两个寄存器中，其中 PWM_Threshold[8:1] 在寄存器 09h[7:0] 中，PWM_Threshold[0]在寄存器 08h[7]中。等式 9 显示了所涉及的寄存器。PWM 频率约为 1kHz。PWM 输出可以分别通过寄存器 08h 中的 PWM 使能和 PWM 反相位被禁用或反相。图 14 显示了 PWM 传递函数，占空比的方程式为：

$$PWM_DUTY_CYCLE(\%) = \frac{100 \bullet (REG7 - PWM \bullet 16)}{512}$$

其中，REG7=bits[12:0]，PWM=PWM_Threshold[8:0]

例如，如果 PWM 阈值设置为 10h（16℃），并且寄存器 V7（MSB）和 V7（LSB）的值为 200h（32℃），则产生的 PWM 占空比为 50%。如果通道 7 被配置为开尔文温度，PWM 阈值也必须是开尔文温度。寄存器值是二进制补码。在计算高于摄氏度温度的占空比时，应注意对寄存器 V7（MSB）、V7（LSB）和 PWM 阈值进行符号扩展。对于低于 PWM 阈值的温度，PWM 输出引脚将为恒定逻辑电平 0。对于高于 PWM 阈值 32 度的温度，PWM 输出引脚将为恒定逻辑电平 1。

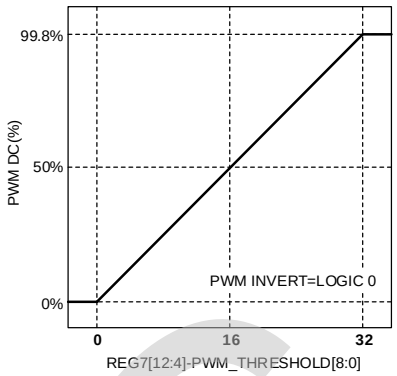


图 14. PWM 传递函数

如果设置了 PWM 反转位，则此关系相反。如果为 V7/V8 差分对启用滤波器，则经过过滤的最终结果更新到 PWM 模块；否则，将未经过过滤的最终结果更新到 PWM 模块。PWM CMOS 输出驱动器将经过缓冲，以驱动外部大电容（>100pF）或电阻（<10k）。推荐的缓冲器是 NC7SZ125，以提高 PWM 信号的驱动能力。

数字滤波

每个转换结果都可以使用片上数字滤波器进行滤波。滤波器方程为：

$$OUTPUT[X] = (15 \bullet (OUTPUT[X-1]) + SAMPLE[X])/16$$

其中 OUTPUT[X]是启用时的寄存器值。关闭滤波器并触发一次未滤波的转换，再重新使能滤波器，可使滤波器的初始值快速收敛到该未滤波的转换结果。针对每个通道对和内部温度测量可以启用或禁用滤波器。V_{CC} 测量值无法滤波。

数字接口

MS1991 使用 I²C 总线与主机通信。

MS1991 是读写从器件，支持 I²C 总线按字节或者连续字节进行数据读、写，这些命令的数据格式如图 16 至图 19 所示。

已连接的器件只能将总线线路拉低，而不能将总线驱动为高电平。总线线路通过电流源或上拉电阻从外部连接到正电源。当总线空闲时，两条线都为高电平。I²C 总线上的数据可以在标准模式下以高达 100kbit/s 的速率传输，在快速模式下以高达 400kbit/s 的速率传输。I²C 总线上的每个器件都由该器件的地址进行识别，并且可以根据器件的功能作为主机或从机工作。主器件是在总线上启动数据传输并生成时钟信号以允许该传输的器件。同时，任何被寻址的器件都被认为是从器件。

MS1991 只能作为从器件被寻址。一旦被寻址，它可以接收配置信息或发送最后的转换结果。因此，串行时钟线 SCL 仅是输入，而数据线 SDA 是双向的。该器件支持标准模式和快速模式，数据传输速度高达 400kbit/s。时序

图 15 显示了 I²C 总线上快速/标准模式器件的时序定义。为降低转换延迟，在 I²C 读操作期间，内部状态机仍可以更新内部数据寄存器。

启动和停止条件

当总线空闲时，SCL 和 SDA 必须为高电平。当 SCL 为高电平时，总线主控通过将 SDA 从高电平转换为低电平作为启动条件开始传输信号。当总线在使用时，如果产生重复的启动（SR）而不是停止条件，总线保持忙态。重复的启动（SR）条件在功能上与启动（S）相同。当主器件完成与从器件的通信时，通过在 SCL 为高电平时将 SDA 从低电平转换为高电平作为停止条件。然后该总线可用于另一次传输。

I²C 器件地址

使用 ADR0-ADR2 引脚可配置 8 个不同的总线地址。表 4 显示了 ADR0-ADR2 引脚状态和地址之间的对应关系。此外，在 EEh 还有一个全局同步地址，该地址提供了一种在同一 I²C 总线上同步多片 MS1991 的简单方法。从而允许只对同一总线上的所有的 MS1991 进行只写操作以便同时触发。

应答（ACK）

应答信号用于实现发送器和接收器之间的握手，以指示接收到数据的最后一个字节。发送器在确认时钟脉冲期间总是释放 SDA 线。当从器件作为接收器时，它必须下拉 SDA 线，使其在此脉冲期间保持低电平，从而确认数据的接收。如果 SDA 保持高电平令从器件不能确认数据的接收，则主器件可以通过产生停止条件来中止传输。当主器件接收从器件数据时，主器件在时钟脉冲期间必须下拉 SDA 线以表明接收到数据。在接收到最后一个字节之后，主机将使 SDA 线路为高电平（不应答），并发出停止条件以终止传输。

写操作

主器件发送开始（S）信号表示数据传输开始，接着发送 7 位从器件地址和 1 位读写位（置零）。被寻址的 MS1991 确认地址，然后主器件发送一个命令字节，指示主器件希望写入的目标寄存器。MS1991 确认命令字节，将命令字节的低五位锁存到其内部寄存器地址指针中。然后主器件发送数据字节，MS1991 再次确认并将数据锁存到其内部寄存器中。当主器件发送停止条件时，传输结束。如果主器件继续发送第二个数据字节，如写字命令，第二个数据字节将由 MS1991 确认，如果该寄存器具有写入访问权限，则顺序写入下一个寄存器。

读操作

主器件发送开始（S）信号表示数据传输开始，接着发送 7 位从器件地址和 1 位读写位（置零）。被寻址的 MS1991 确认地址，然后主器件发送一个命令字节，指示主器件希望读取的内部目标寄存器。MS1991 确认命令字节，将命令字节的低五位锁存到其内部寄存器地址指针中。当该 7 位地址相同且 R/W#位设置为 1 时主器件发送重复启动条件。MS1991 确认并发送所请求寄存器的内容。当主器件发送停止条件时，传输结束。在读取完每个字节后寄存器指针自动递增。连续读模式，如果主器件确认已发送的数据字节，MS1991 将发送下一个顺序寄存器的内容作为第二个数据字节，寄存器 1Dh 的下一个顺序寄存器是状态寄存器（地址 00h）。

控制寄存器

控制寄存器（表 8 到表 11）确定器件的所选采集模式。可配置 MS1991 测量电压，电流和温度。这些测量可以是单次或重复采集。温度测量结果可以设置为摄氏度或开尔文温度表示。根据通道使能指定的配置寄存器（表 7）的配置，MS1991 可以运行特定的测量或所有可能的测量。控制寄存器的上电默认配置为 00h，该配置意味着被触发转换的通道工作在单端电压测量模式。此模式防止上电时引脚 V1、V3、V5 和 V7 输出电流，引脚 V2、V4、V6 和 V8 吸收电流，用以保护单端电压或差分电压测量应用的前级电路。

状态寄存器

状态寄存器（表 6 和表 7）给出特定转换结果的状态。当新数据写入特定结果寄存器时，相应的数据有效位置位。当寄存器通过 I²C 接口被寻址时，状态位（以及相应寄存器中的数据有效位）清零。然后主机可以确定当前可用寄存器的数据是新的还是过时的。当忙（busy）位为高电平时，表示单次转换正在进行中。在重复采集模式下初始转换被触发后，忙（busy）位一直为高电平。

MEAS

时序图

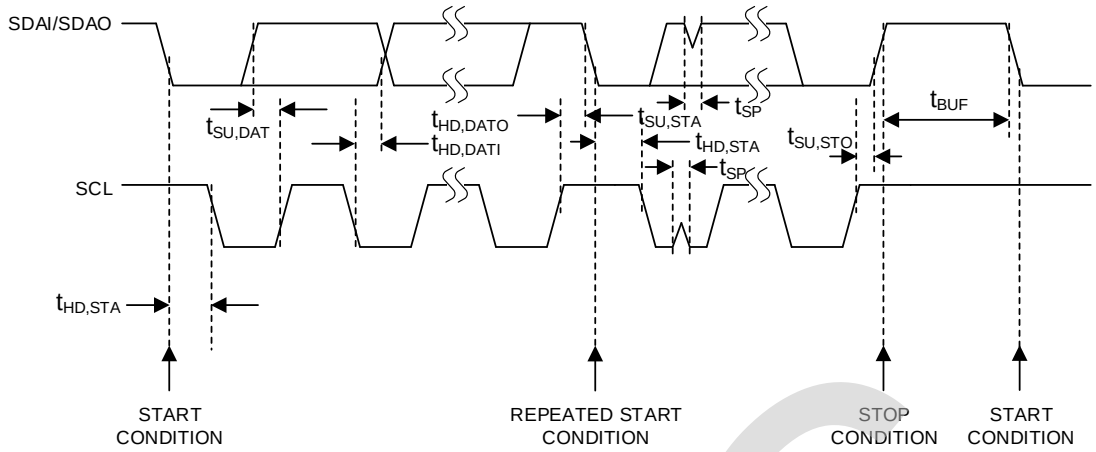
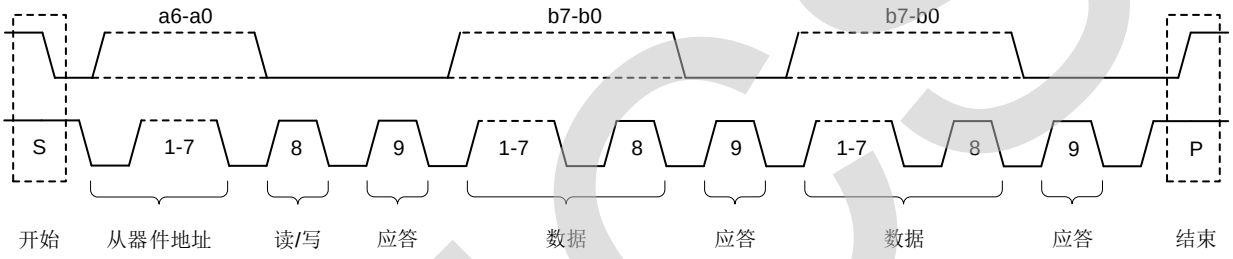


图 15. 工作时序图



S	ADDRESS	W#	A	COMMAND	A	DATA	A	P
	1001 a2:a0	0	0	XXXXb4:b0	0	b7:b0	0	

主器件到从器件
从器件到主器件
A: 应答信号（低）
A#: 无应答（高）
R: 读控制（高）
W#: 写控制（低）
S: 开始信号
P: 停止信号

图 16. 写时序

S	ADDRESS	W#	A	COMMAND	A	DATA	A	DATA	A	P
	1001 a2:a0	0	0	XXXXb4:b0	0	b7:b0	0	b7:b0	0	

图 17. 连续写字节时序

S	ADDRESS	W#	A	COMMAND	A	S	ADDRESS	R	A	DATA	A#	P
	1001 a2:a0	0	0	XXXXb4:b0	0		1001 a2:a0	1	0	b7:b0	1	

图 18. 读时序

S	ADDRESS	W#	A	COMMAND	A	S	ADDRESS	R	A	DATA	A	DATA	A#	P
	1001 a2:a0	0	0	XXXXb4:b0	0		1001 a2:a0	1	0	b7:b0	0	b7:b0	1	

图 19. 连续读字节时序

表 4. I²C 器件地址

I²C 器件地址（16 进制）	I²C 器件地址（2 进制）	ADR2	ADR1	ADR0
90h	1001000X 注	0	0	0
92h	1001001X 注	0	0	1
94h	1001010X 注	0	1	0
96h	1001011X 注	0	1	1
98h	1001100X 注	1	0	0
9Ah	1001101X 注	1	0	1
9Ch	1001110X 注	1	1	0
9Eh	1001111X 注	1	1	1
EEh	11101110	全局同步地址		

注: X 为比特位 R/W#。

表 5. MS1991 寄存器地址和内容

寄存器地址[注1]	寄存器名字	读/写	描述
00h	状态低字节	R	V1~V8 转换结果有效指示位
01h	通道使能，状态高字节，触发[注2]	R/W	通道使能，V_{CC} 和本地温度转换结果有效指示位，触发转换
02h	保留	N/A	保留
03h	保留	N/A	保留
04h	保留	N/A	保留
05h	保留	N/A	保留
06h	V1, V2 ,V3, V4 控制	R/W	V1~V4 控制
07h	V5, V6 , V7, V8 控制	R/W	V5~V8 控制
08h	PWM 阈值(LSB), V_{CC}, $T_{INTERNAL}$ 控制	R/W	PWM 阈值 LSB，**重复采集使能**，V_{CC} 和本地温度控制
09h	PWM 阈值(MSB)	R/W	PWM 阈值 MSB
0Ah	V1(MSB)	R	V1 电压或者远端温传 T_{R1} 温度 MSB
0Bh	V1(LSB)	R	V1 电压或者远端温传 T_{R1} 温度 LSB
0Ch	V2(MSB)	R	V2，V1-V2 或者远端温传 T_{R1} 的 PN 结结电压 MSB
0Dh	V2(LSB)	R	V2，V1-V2 或者远端温传 T_{R1} 的 PN 结结电压 LSB
0Eh	V3(MSB)	R	V3 电压或者远端温传 T_{R2} 温度 MSB
0Fh	V3(LSB)	R	V3 电压或者远端温传 T_{R2} 温度 LSB
10h	V4(MSB)	R	V4，V3-V4 或者远端温传 T_{R2} 的 PN 结结电压 MSB
11h	V4(LSB)	R	V4，V3-V4 或者远端温传 T_{R2} 的 PN 结结电压 LSB
12h	V5(MSB)	R	V5 电压或者远端温传 T_{R3} 温度 MSB
13h	V5(LSB)	R	V5 电压或者远端温传 T_{R3} 温度 LSB
14h	V6(MSB)	R	V6，V5-V6 或者远端温传 T_{R3} 的 PN 结结电压 MSB
15h	V6(LSB)	R	V6，V5-V6 或者远端温传 T_{R3} 的 PN 结结电压 LSB
16h	V7(MSB)	R	V7 电压或者远端温传 T_{R4} 温度 MSB
17h	V7(LSB)	R	V7 电压或者远端温传 T_{R4} 温度 LSB
18h	V8(MSB)	R	V8，V7-V8 或者远端温传 T_{R4} 的 PN 结结电压 MSB
19h	V8(LSB)	R	V8，V7-V8 或者远端温传 T_{R4} 的 PN 结结电压 LSB
1Ah	$T_{INTERNAL}$(MSB)	R	本地温度 MSB
1Bh	$T_{INTERNAL}$(LSB)	R	本地温度 LSB
1Ch	V_{CC}(MSB)	R	V_{CC} MSB
1Dh	V_{CC}(LSB)	R	V_{CC} LSB

注 1: 忽略寄存器地址 MSB 的比特位 b7-b5。上电复位使所有寄存器清零至 00h。

注 2: 寄存器（01h）写入任何值触发一次转换。

表 6. 状态低字节寄存器

地址：00h		
比特位	**名字**	**操作**
b7	V8, T4, V7 – V8 有效位	1：V8 寄存器包含新数据；0：V8 寄存器数据过时。
b6	V7, T4, V7 – V8 有效位	1：V7 寄存器包含新数据；0：V7 寄存器数据过时。
b5	V6, T3, V5 – V6 有效位	1：V6 寄存器包含新数据；0：V6 寄存器数据过时。
b4	V5, T3, V5 – V6 有效位	1：V5 寄存器包含新数据；0：V5 寄存器数据过时。
b3	V4, T2, V3 – V4 有效位	1：V4 寄存器包含新数据；0：V4 寄存器数据过时。
b2	V3, T2, V3 – V4 有效位	1：V3 寄存器包含新数据；0：V3 寄存器数据过时。
b1	V2, T1, V1 – V2 有效位	1：V2 寄存器包含新数据；0：V2 寄存器数据过时。
b0	V1, T1, V1 – V2 有效位	1：V1 寄存器包含新数据；0：V1 寄存器数据过时。

表 7. 通道使能，状态高字节，触发寄存器

地址：01h，默认值：00h			
比特位	**名字**	**读/写**	**操作**
b7	V7 和 V8, V7 – V8, T_{R4} 使能	R/W	1：V7 和 V8，或者 V7 – V8，或者 T_{R4} 使能； 0：V7 和 V8，或者 V7 – V8，或者 T_{R4} 关闭（默认）。
b6	V5 和 V6, V5 – V6, T_{R3} 使能	R/W	1：V5 和 V6，或者 V5 – V6，或者 T_{R3} 使能； 0：V5 和 V6，或者 V5 – V6，或者 T_{R3} 关闭（默认）。
b5	V3 和 V4, V3 – V4, T_{R2} 使能	R/W	1：V3 和 V4，或者 V3 – V4，或者 T_{R2} 使能； 0：V3 和 V4，或者 V3 – V4，或者 T_{R2} 关闭（默认）。
b4	V1 和 V2, V1 – V2, T_{R1} 使能	R/W	1：V1 和 V2，或者 V1 – V2，或者 T_{R1} 使能； 0：V1 和 V2，或者 V1 – V2，或者 T_{R1} 关闭（默认）。
b3	$T_{INTERNAL}$ 和 V_{CC} 使能	R/W	1：$T_{INTERNAL}$ 和 V_{CC} 使能； 0：$T_{INTERNAL}$ 和 V_{CC} 关闭（默认）。
b2	BUSY	R	1：转换中； 0：睡眠模式（默认）。
b1	$T_{INTERNAL}$ 有效位	R	1：$T_{INTERNAL}$ 寄存器包含新数据； 0：$T_{INTERNAL}$ 寄存器数据过时（默认）。
b0	V_{CC} 有效位	R	1：V_{CC} 寄存器包含新数据； 0：V_{CC} 寄存器数据过时（默认）。

注:重复采集模式下 BUSY=1。

表 8. V1, V2 ,V3, V4 控制寄存器

地址：06h，默认值：00h		
比特位	**名字**	**操作**
b7	V3, V4 滤波使能	1：使能 V3 和 V4，或者 V3 – V4，或者 T_{R2} 的滤波器； 0：关闭 V3 和 V4，或者 V3 – V4，或者 T_{R2} 的滤波器（默认）。
b6	T_{R2} 开尔文	1：T_{R2} 温度转换结果以开尔文温度表示； 0：T_{R2} 温度转换结果以摄氏度温度表示（默认）。
b5	V3, V4 温度模式	**b5=1, b4=X：**V3(MSB)和 V3(LSB)寄存器（地址：0Eh, 0Fh）中存储远端温传 T_{R2} 的温度；V4(MSB)和 V4(LSB)寄存器（地址：10h, 11h）中存储远端温传 T_{R2} 的电压。 **b5=0, b4=0：**V3(MSB)和 V3(LSB)寄存器（地址：0Eh, 0Fh）中存储 V3 引脚上的单端电压；V4(MSB)和 V4(LSB)寄存器（地址：10h, 11h）中存储 V4 引脚上的单端电压。 **b5=0, b4=1：**V3(MSB)和 V3(LSB)寄存器（地址：0Eh, 0Fh）中存储 V3 引脚上的单端电压；V4(MSB)和 V4(LSB)寄存器（地址：10h, 11h）中存储 V3、V4 引脚上的差分电压 V3 – V4。
b4	V3, V4 差分模式	
b3	V1, V2 滤波使能	1：使能 V1 和 V2，或者 V1 – V2，或者 T_{R1} 的滤波器； 0：关闭 V1 和 V2，或者 V1 – V2，或者 T_{R1} 的滤波器（默认）。
b2	T_{R1} 开尔文	1：T_{R1} 温度转换结果以开尔文温度表示； 0：T_{R1} 温度转换结果以摄氏度温度表示（默认）。
b1	V1, V2 温度模式	**b1=1, b0=X：**V1(MSB)和 V1(LSB)寄存器（地址：0Ah, 0Bh）中存储远端温传 T_{R1} 的温度；V2(MSB)和 V2(LSB)寄存器（地址：0Ch, 0Dh）中存储远端温传 T_{R1} 的电压。 **b1=0, b0=0：**V1(MSB)和 V1(LSB)寄存器（地址：0Ah, 0Bh）中存储 V1 引脚上的单端电压；V2(MSB)和 V2(LSB)寄存器（地址：0Ch, 0Dh）中存储 V2 引脚上的单端电压。 **b1=0, b0=1：**V1(MSB)和 V1(LSB)寄存器（地址：0Ah, 0Bh）中存储 V1
b0	V1, V2 差分模式	

地址：06h，默认值：00h		
比特位	**名字**	**操作**
		引脚上的单端电压；V2(MSB)和 V2(LSB)寄存器（地址：0Ch, 0Dh）中存储 V1、V2 引脚上的差分电压 V1 – V2。

表 9. V5, V6 , V7, V8 控制寄存器

地址：07h，默认值：00h		
比特位	**名字**	**操作**
b7	V7, V8 滤波使能	1：使能 V7 和 V8，或者 V7 – V8，或者 T_{R4} 的滤波器； 0：关闭 V7 和 V8，或者 V7 – V8，或者 T_{R4} 的滤波器（默认）。
b6	T_{R4} 开尔文	1：T_{R4} 温度转换结果以开尔文温度表示； 0：T_{R4} 温度转换结果以摄氏度温度表示（默认）。
b5	V7, V8 温度模式	**b5=1, b4=X：**V7(MSB)和 V7(LSB)寄存器（地址：16h, 17h）中存储远端温传 T_{R4} 的温度；V8(MSB)和 V8(LSB)寄存器（地址：18h, 19h）中存储远端温传 T_{R4} 的电压。 **b5=0, b4=0：**V7(MSB)和 V7(LSB)寄存器（地址：16h, 17h）中存储 V7 引脚上的单端电压；V8(MSB)和 V8(LSB)寄存器（地址：18h, 19h）中存储 V8 引脚上的单端电压。 **b5=0, b4=1：**V7(MSB)和 V7(LSB)寄存器（地址：16h, 17h）中存储 V7 引脚上的单端电压；V8(MSB)和 V8(LSB)寄存器（地址：18h, 19h）中存储 V7、V8 引脚上的差分电压 V7 – V8。
b4	V7, V8 差分模式	
b3	V5, V6 滤波使能	1：使能 V5 和 V6，或者 V5 – V6，或者 T_{R3} 的滤波器； 0：关闭 V5 和 V6，或者 V5 – V6，或者 T_{R3} 的滤波器（默认）。
b2	T_{R3} 开尔文	1：T_{R3} 温度转换结果以开尔文温度表示； 0：T_{R3} 温度转换结果以摄氏度温度表示（默认）。
b1	V5, V6 温度模式	**b1=1, b0=X：**V5(MSB)和 V5(LSB)寄存器（地址：12h, 13h）中存储远端温传 T_{R3} 的温度；V6(MSB)和 V6(LSB)寄存器（地址：14h, 15h）中存储远端温传 T_{R3} 的电压。 **b1=0, b0=0：**V5(MSB)和 V5(LSB)寄存器（地址：12h, 13h）中存储 V5 引脚上的单端电压；V6(MSB)和 V6(LSB)寄存器（地址：14h, 15h）中存储 V6 引脚上的单端电压。 **b1=0, b0=1：**V5(MSB)和 V5(LSB)寄存器（地址：12h, 13h）中存储 V5 引脚上的单端电压；V6(MSB)和 V6(LSB)寄存器（地址：14h, 15h）中存储 V5、V6 引脚上的差分电压 V5 – V6。
b0	V5, V6 差分模式	

表 10. PWM 阈值(LSB), V_{CC}, $T_{INTERNAL}$ 控制寄存器

地址：08h，默认值：00h		
比特位	**名字**	**操作**
b7	PWM[0]	PWM 阈值最低有效位（默认值：0），同 PWM 阈值(MSB)寄存器（地址：09h）组合成一个 9 比特的 PWM 阈值配置寄存器。
b6	PWM 反向[注1]	1：PWM 反向； 0：PWM 不反向（默认）。
b5	PWM 使能[注2]	1：PWM 使能； 0：PWM 关闭（默认）。
b4	重复采集	1：重复采集模式，重复采集模式生效需要配置 0x01 寄存器来触发一次转换。 0：单次采集模式（默认）。
b3	$T_{INTERNAL}$ 滤波	1：使能 $T_{INTERNAL}$ 的滤波器； 0：关闭 $T_{INTERNAL}$ 的滤波器（默认）。
b2	$T_{INTERNAL}$ 开尔文	1：$T_{INTERNAL}$ 温度转换结果以开尔文温度表示； 0：$T_{INTERNAL}$ 温度转换结果以摄氏度温度表示（默认）。
b1	保留	保留
b0	保留	保留

注 1: 不反向时，PWM 占空比随温度成正比。

注 2: 关闭且不反向，则 PWM 输出逻辑低电平。关闭且反向，则 PWM 输出逻辑高电平。

表 11. PWM 阈值(MSB)寄存器格式

地址：09h，默认值：00h							
Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1

注: PWM 阈值寄存器由两部分组成，D8~D1 比特位由 PWM 阈值(MSB)寄存器（地址：09h）表示，D0 比特位由 PWM 阈值(LSB), VCC, TINTERNAL 控制寄存器（地址：08h）的最高位表示。

表 12. 电压、电流测量 MSB 数据寄存器格式

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
DV 注	Sign	D13	D12	D11	D10	D9	D8

注: 寄存器中的“DV”比特位禁用，读取转换数据时使用寄存器 00h 和 01h 中的数据有效位来判定数据状态。

表 13. 电压、电流测量 LSB 数据寄存器格式

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

表 14. 温度测量 MSB 数据寄存器格式

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
DV 注 1	X 注 2	X 注 2	D12	D11	D10	D9	D8

注 1: 寄存器中的“DV”比特位禁用，读取转换数据时使用寄存器 00h 和 01h 中的数据有效位来判定数据状态。

注 2: “X”为保留位。

表 15. 温度测量 LSB 数据寄存器格式

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

表 16. 晶体管 PN 结电压测量 MSB 数据寄存器格式

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
DV 注 1	X 注 2	X 注 2	D12	D11	D10	D9	D8

注 1: 寄存器中的“DV”比特位禁用，读取转换数据时使用寄存器 00h 和 01h 中的数据有效位来判定数据状态。

注 2: “X”为保留位。

表 17. 晶体管 PN 结电压测量 LSB 数据寄存器格式

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

表 18. 转换格式

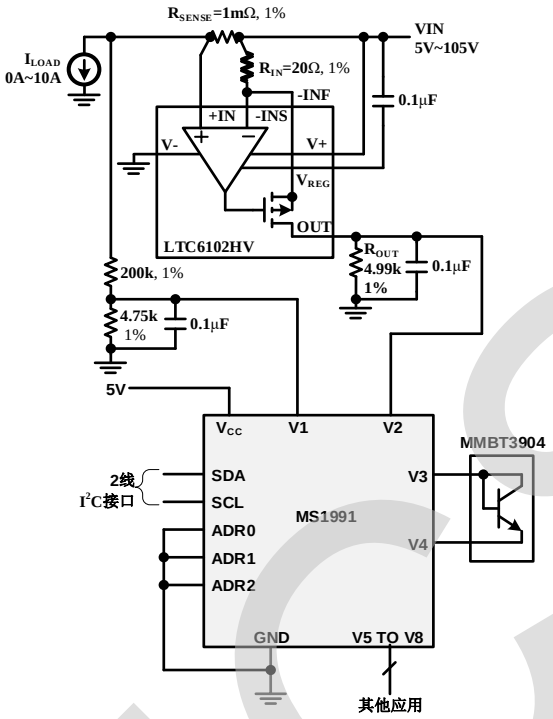
电压格式	符号	二进制值 D[13:0]	电压（V）
单端 LSB = 305.18μV = 2.5/2^{13}	0	11111111111111	>5
	0	10110011001101	3.5000
	0	01111111111111	2.5000
	0	00000000000000	0.0000
	1	11110000101001	–0.3000
差分 LSB = 19.075μV = 2.5/2^{17}	0	11110101101111	0.300
	0	10000010001111	0.159
	0	00000000000000	0.0000
	1	01111101110001	–0.159
	1	00001010010001	–0.300
V_{CC} = Result + 2.5V LSB = 305.18μV = 2.5/2^{13}	0	10110011001101	V_{CC} = 6.0
	0	10000000000000	V_{CC} = 5.0
	0	00001010001111	V_{CC} = 2.7
温度格式	格式	**二进制值 D[12:0]**	**温度**
内部温度 T_{INT}, 远端温度 T_{R1}、T_{R2}、T_{R3}、T_{R4}, LSB = 0.0625	摄氏度	0011111010000	125.0000
	摄氏度	0000110010001	25.0625
	摄氏度	0000110010000	25.0000
	摄氏度	1110110000000	–40.0000
	开尔文	1100011100010	398.1250
	开尔文	1000100010010	273.1250
	开尔文	0111010010010	233.1250
	开尔文	0010011010000	77.0000
晶体管 PN 结电压格式	符号	**二进制值 D[12:0]**	**电压（V）**
晶体管 PN 结电压 T_{R1}、T_{R2}、T_{R3}、T_{R4}, LSB = 38.15μV	0	0000000000000	0.0000
	0	1111111111111	0.31249
	0	0000000000000	0.31252
	0	1111111111111	0.62501
	0	0000000000000	0.62505
	0	1001100110010	0.99999

表 19. 推荐用作温度传感器的晶体管

制造商	器件型号	封装形式
Fairchild Semiconductor	MMBT3904	SOT-23
Fairchild Semiconductor	FMMT3904	SOT-23
Fairchild Semiconductor	2N3904	TO-92
Central Semiconductor	CMPT3904	SOT-23
Central Semiconductor	CET3904E	SOT-883L
Diodes, Inc.	MMBT3904	SOT-23
On Semiconductor	MMBT3904LT1	SOT-23
NXP	MMBT3904	SOT-23
Infineon	MMBT3904	SC-70
Rohm	UMT3904	SOT-23

12.0 典型应用

高压、大电流、温度监测

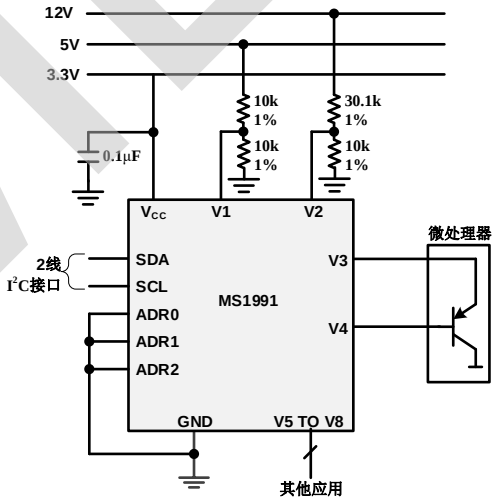


电压、电流和温度测量配置:

控制寄存器：0x06=0xA0

环境温度($T_{AMBIENT}$):	REG 1A,1B	0.0625℃/LSB
负载电压(V_{LOAD}):	REG 0A,0B	13.2mV/LSB
负载电流(I_{LOAD}):	REG 0C,0D	1.223mA/LSB
处理器温度($T_{PROCESSOR}$):	REG 0E,0F	0.0625℃/LSB
电源电压(V_{CC}):	REG 1C,1D	2.5V+305.18μV/LSB

计算机电压、温度监测



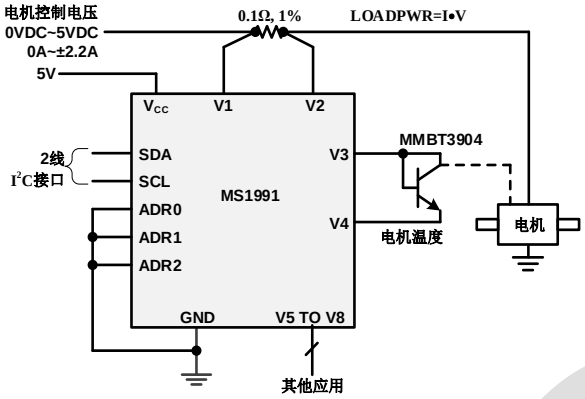
电压和温度测量配置:

控制寄存器：0x06=0x0A

环境温度($T_{AMBIENT}$):	REG 1A,1B	0.0625℃/LSB
电压V1(+5):	REG 0A,0B	610μV/LSB
电压V2(+12):	REG 0C,0D	1.22mV/LSB
处理器温度($T_{PROCESSOR}$):	REG 0E,0F	0.0625℃/LSB
电源电压(V_{CC}):	REG 1C,1D	2.5V+305.18μV/LSB

MECS

电机保护和调节

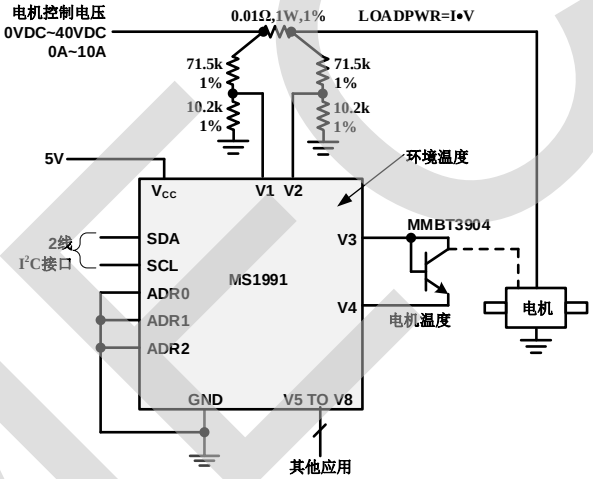


电压、电流和温度测量配置:

控制寄存器：0x06=0xA1

环境温度($T_{AMBIENT}$):	REG 1A,1B	0.0625℃/LSB
电机电压(V_{MOTOR}):	REG 0A,0B	305.18μV/LSB
电机电流(I_{MOTOR}):	REG 0C,0D	190.75μA/LSB
电机温度(T_{MOTOR}):	REG 1A,1B	0.0625℃/LSB
电源电压(V_{CC}):	REG 1C,1D	2.5V+305.18μV/LSB

大功率电机保护和调节



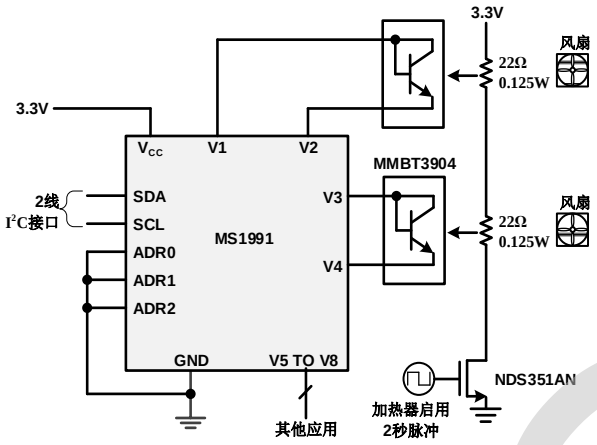
电压、电流和温度测量配置:

控制寄存器：0x06=0xA1

环境温度($T_{AMBIENT}$):	REG 1A,1B	0.0625℃/LSB
电机电压(V_{MOTOR}):	REG 0A,0B	2.44mV/LSB
电机电流(I_{MOTOR}):	REG 0C,0D	15.54mA/LSB
电机温度(T_{MOTOR}):	REG 0E,0F	0.0625℃/LSB
电源电压(V_{CC}):	REG 1C,1D	2.5V+305.18μV/LSB

MECS

风扇、空气过滤器温度报警

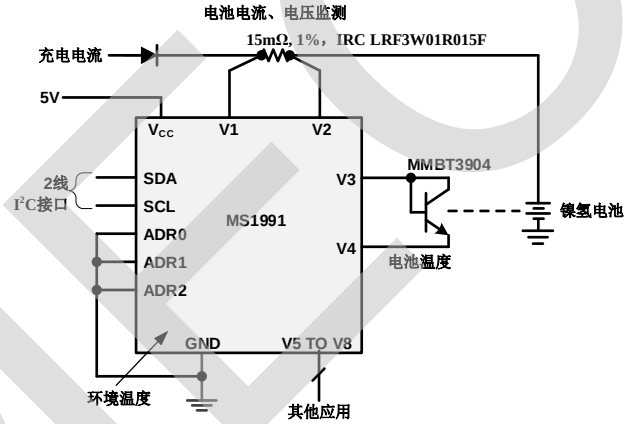


电压和温度测量配置:

控制寄存器：0x06=0xAA

环境温度($T_{AMBIENT}$):	REG 1A,1B	0.0625℃/LSB
风扇1温度(T_{FAN1}):	REG 0A,0B	0.0625℃/LSB
风扇2温度(T_{FAN2}):	REG 0C,0D	0.0625℃/LSB
电源电压(V_{CC}):	REG 1C,1D	2.5V+305.18μV/LSB

电池监控



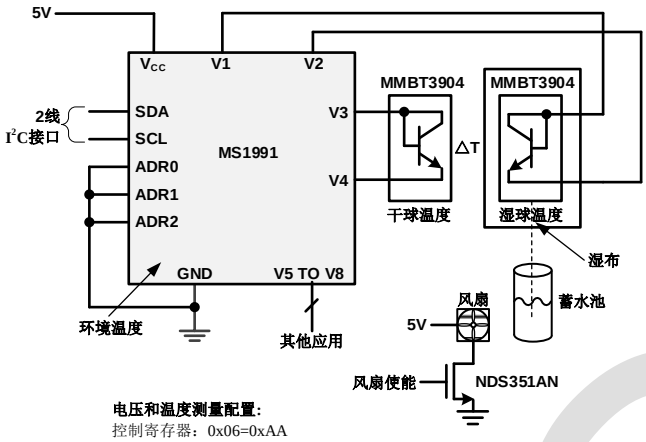
电压、电流和温度测量配置:

控制寄存器：0x06=0xA1

环境温度($T_{AMBIENT}$):	REG 1A,1B	0.0625℃/LSB
电池电压(V_{BAT}):	REG 0A,0B	305.18μV/LSB
电池电流(I_{BAT}):	REG 0C,0D	190.75μA/LSB
电池温度(T_{BAT}):	REG 0E,0F	0.0625℃/LSB
电源电压(V_{CC}):	REG 1C,1D	2.5V+305.18μV/LSB

MECS

湿度计

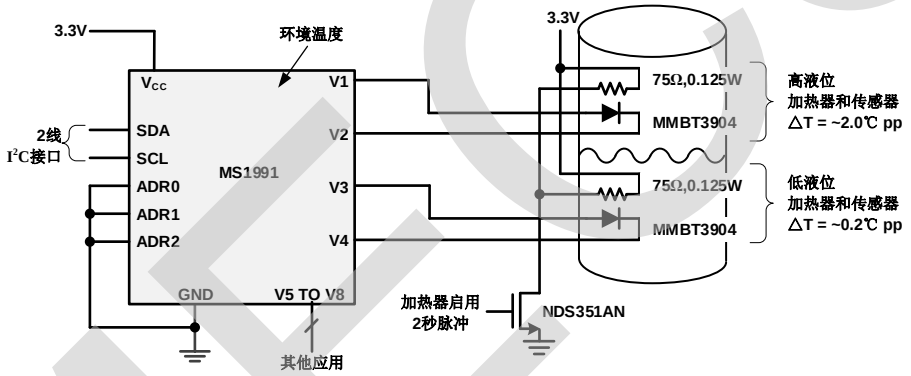


电压和温度测量配置:

控制寄存器：0x06=0xAA

环境温度($T_{AMBIENT}$)：	REG 1A,1B	0.0625℃/LSB
湿球温度(T_{WET})：	REG 0A,0B	0.0625℃/LSB
干球温度(T_{DRY})：	REG 0C,0D	0.0625℃/LSB
电源电压(V_{CC})：	REG 1C,1D	2.5V+305.18μV/LSB

液位指示器

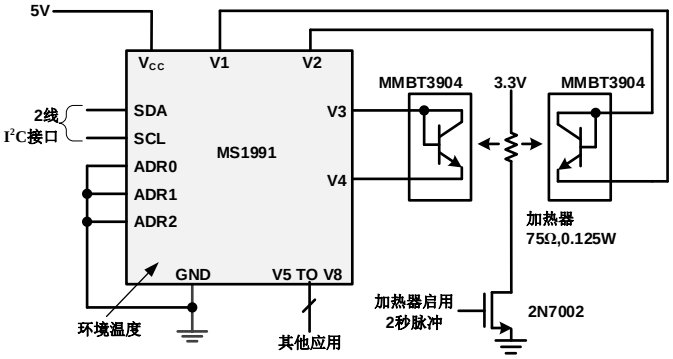


电压和温度测量配置:

控制寄存器：0x06=0xAA

环境温度($T_{AMBIENT}$)：	REG 1A,1B	0.0625℃/LSB
低液位温度(T_{LO})：	REG 0C,0D	0.0625℃/LSB
高液位温度(T_{HI})：	REG 0A,0B	0.0625℃/LSB
电源电压(V_{CC})：	REG 1C,1D	2.5V+305.18μV/LSB

风向仪表

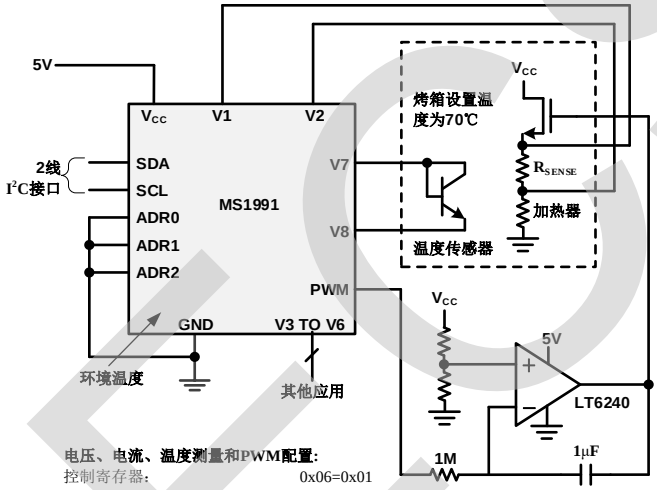


电压和温度测量配置:

控制寄存器：0x06=0xAA

环境温度($T_{AMBIENT}$):	REG 1A,1B	0.0625℃/LSB
传感器1温度(T_{R1}):	REG 0A,0B	0.0625℃/LSB
传感器2温度(T_{R2}):	REG 0E,0F	0.0625℃/LSB
电源电压(V_{CC}):	REG 1C,1D	2.5V+305.18μV/LSB

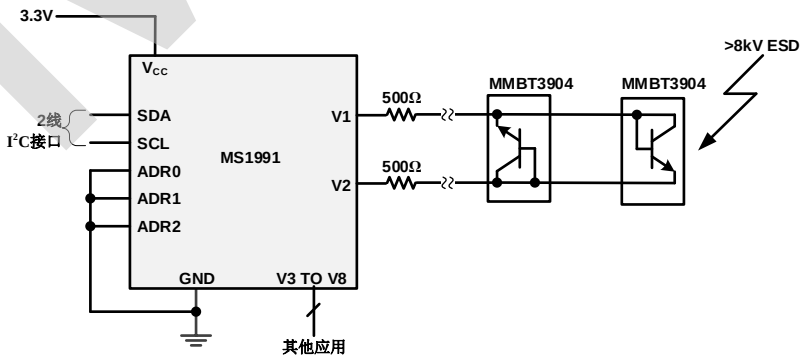
带功率监测的烤箱控制



电压、电流、温度测量和PWM配置:

控制寄存器:	0x06=0x01	
	0x07=0xA0	
PWM,TINTERNAL,VCC寄存器:	0x08=0x50	
PWM寄存器:	0x09=0x1B	
环境温度($T_{AMBIENT}$):	REG 1A,1B	0.0625℃/LSB
加热器电压(V_{HEATER}):	REG 0A,0B	305μV/LSB
加热器电流(I_{HEATER}):	REG 0C,0D	19.075μV/R_{HEATER}/LSB
烤箱温度(T_{OVEN}):	REG 16,17	0.0625℃/LSB
电源电压(V_{CC}):	REG 1C,1D	2.5V+305.18μV/LSB

更高 ESD 等级的远端温传方案



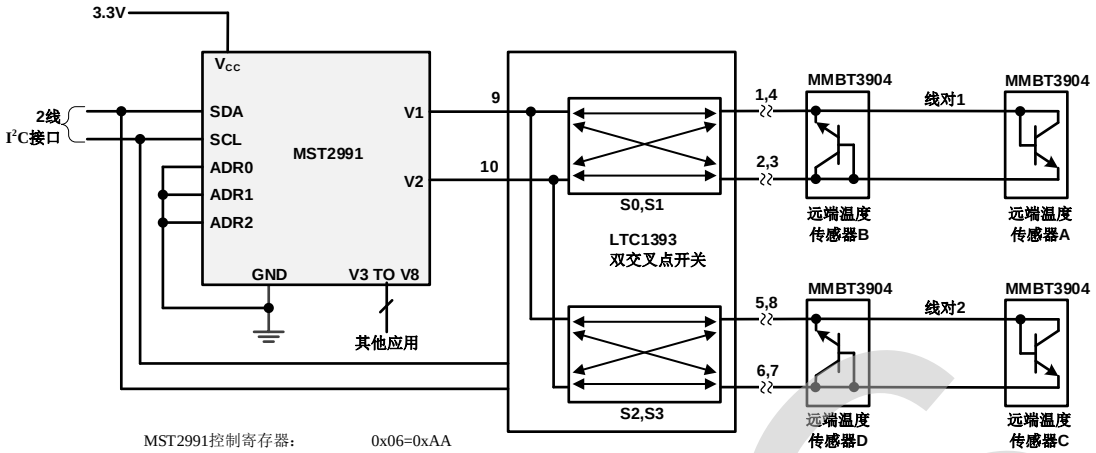
温度测量配置:

控制寄存器：0x06=0xAA

远端温度(T_{REMOTE}):	REG 0B,0B	0.0625℃/LSB

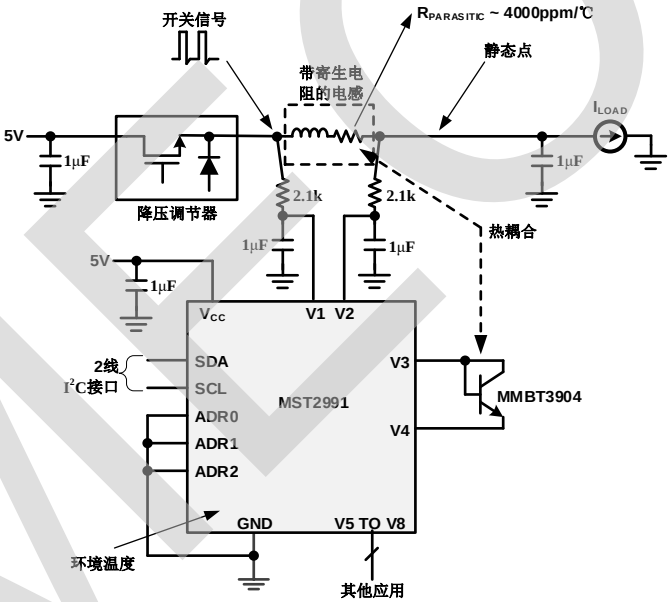
MECS

MS1991 单通道实现双线 4 路远端温度监测



MST2991控制寄存器：	0x06=0xAA	
LTC1393控制字节：	传感器A=0x0B	
LTC1393控制字节：	传感器B=0x0A	
LTC1393控制字节：	传感器C=0x0C	
LTC1393控制字节：	传感器D=0x0E	
MST2991远端温度(T_{REMOTE})：	REG 0B,0B	0.0625℃/LSB

带温度补偿的寄生电阻电压和电流监测



电压、电流和温度测量配置：

控制寄存器：0x06=0xA1		
环境温度($T_{AMBIENT}$)：	REG 1A,1B	0.0625℃/LSB
负载电压(V_{LOAD})：	REG 0A,0B	305μV/LSB
负载电流(I_{LOAD})：	REG 0C,0D	190.75μA/LSB
寄生电阻温度($T_{RPARASITIC}$)：	REG 1A,1B	0.0625℃/LSB
电源电压(V_{CC})：	REG 1C,1D	2.5V+305.18μV/LSB

MECS

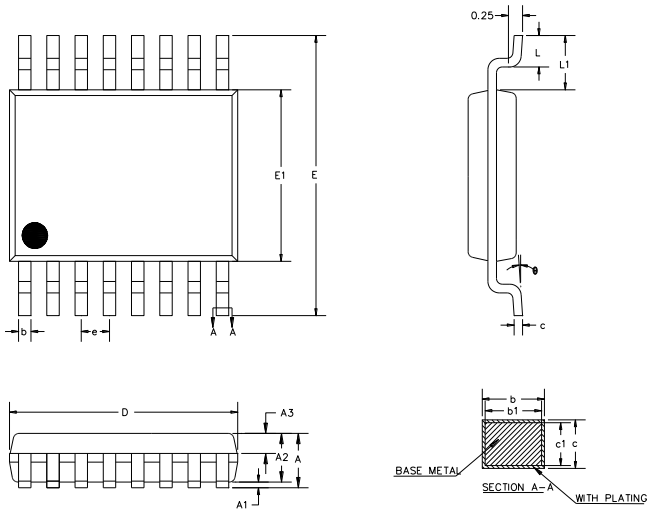
13.0 使用说明

1） 数据寄存器中的“DV”比特位禁用，读取转换数据时使用寄存器 00h 和 01h 中的数据有效位来判定数据状态。

2） 从应用的角度，需先配置所有控制寄存器（0x06,0x07,0x08）后再配置通道使能寄存器（0x01）来触发转换。

MECS

14.0 外形尺寸



尺寸符号	最小值	公称值	最大值	单位
A	–	–	1.10	mm
A1	0.05	–	0.15	mm
A2	0.75	0.85	0.95	mm
A3	0.30	0.35	0.40	mm
b	0.18	–	0.26	mm
b1	0.17	0.20	0.23	mm
c	0.15	–	0.19	mm
c1	0.14	0.15	0.16	mm
D	3.937	4.039	4.141	mm
E	4.70	4.90	5.10	mm
E1	2.90	3.00	3.10	mm
e	0.50 BSC			mm
L	0.40	–	0.70	mm
L1	0.95 REF			mm
θ	0	–	8	(°)

图 20. 塑封 MSOP16

15.0 订货信息

订货型号	工作温度	封装形式	执行标准（质量等级）
MS1991	-40℃~+125℃	塑封 MSOP16	工业级

MEGS