

霍尼韦尔 HAF2XXX 系列流量传感器

主要特征

- 外形更加小巧紧凑，有效节省客户产品的内部空间尺寸
- 全量程校准和温度补偿，有效简化客户产品的系统设计
- 数字信号与模拟信号同时输出，提供客户产品设计的更高安全等级
- 提供气体温度测量(可选配置)，为客户系统设计创造附加值
- 高可靠性与稳定性，助力客户产品的长期稳定表现
- 本地制造和本土研发团队，供应链更安全，技术支持更快捷

产品摘要

霍尼韦尔HAF2XXX系列流量传感器是基于霍尼韦尔新一代流量芯体而设计。传感器同时提供数字和模拟输出，用于读取气体流量测量结果和气体温度测量结果。传感器可用于测量(干燥)空气和其他非腐蚀性气体，如氧气(O₂)、一氧化二氮(N₂O)等。

HAF2XXX系列流量传感器在全量程校准并且进行温度补偿。传感器在0°C至60°C的温度范围内具有线性流量输出，在-20°C至85°C范围内具有线性温度输出(可选配置)。

HAF2XXX系列流量传感器根据热传导原理来测量空气质量。它为客户提供了高可靠性、高精度、高可重复性测量，并具有多种可定制选项，以满足许多特定的应用需求。

产品规格

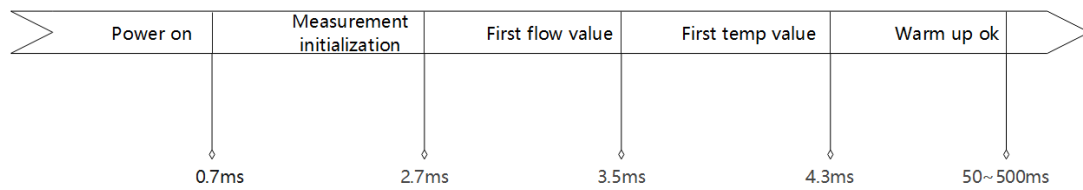
霍尼韦尔 HAF2XXX 系列流量传感器的产品规格，将另行提供规格书文档。

测量模式

上电和预热

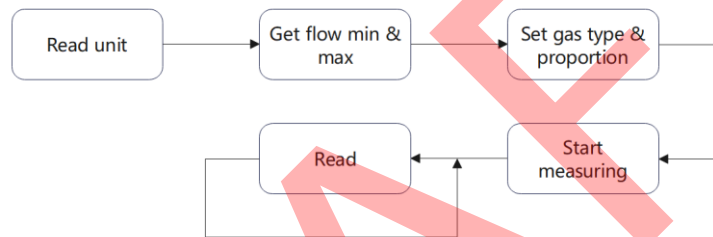
HAF系列流量传感器典型的上电时间约0.7ms，这是由系统硬件决定的。在此之后，MCU开始初始化，内部加热器自动打开并准备测量。传感器响应数字通讯请求的时间约2.7ms。

从上电开始，约3.5ms我们能够得到第一个流量值，约4.3ms我们能够得到第一个温度值。由于热量测量的原理，完整的传感器预热时间约50~500ms，在此之后能够得到更好的测量精度。



连续测量

传感器启动之后，建议的测量步骤如下图所示。通过命令A2读取流量单位，通过命令A0、A1读取传感器量程，如果事先知道传感器的规格可以忽略上述两步。默认的气体类型是空气（详细的气体类型定义在章节“I²C命令”），默认的混合气体占比是100%，也就是纯空气。如果我们测量的是空气流量，就不需要设置气体类型和混合气体占比。当传感器重新上电或者软件复位，气体类型和混合气体占比将会恢复默认值。



我们可以在任何时间改变混合气体占比，但是测量需要重新启动。我们也可以在任意时间改变气体类型，但是混合气体占比会被恢复默认值，这意味着我们需要设置混合气体占比并重新启动测量。

当传感器接收到测量命令，如04、05、06(更多细节请见章节“I²C命令”)，传感器进入相应的连续测量模式并且每0.5ms执行一次测量。

发送任意除04、05、06之外的命令，传感器会停止连续测量。如果气体类型和混合气体占比没有发生改变，我们可以重新发送测量命令，而无需重新设置气体参数。

低功耗模式

在低功耗模式下传感器执行最小的电流消耗，这非常有利于电池供电的设备延长电池寿命。在通讯建立后，传感器可以通过I²C命令08进入低功耗模式。在低功耗模式下，传感器关闭内部加热器并且停止ADC测量。

当传感器接收到有效的I²C地址，传感器将会被唤醒退出低功耗模式，此时需要重新发送测量命令开始连续测量。典型的唤醒时间小于1ms。

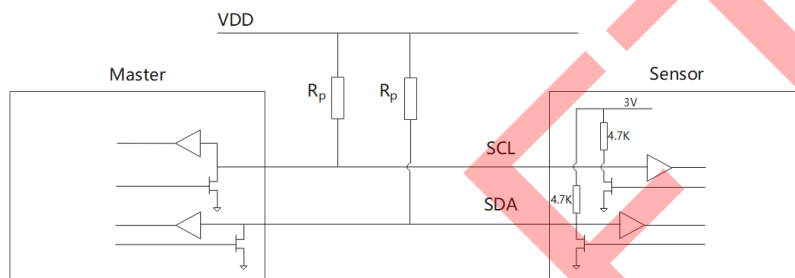
数字接口描述

传感器数字接口兼容I²C标准。

接口连接

I²C数据使用串行两线通讯，数据线SDA和时钟线SCL。SDA和SCL必须是双向的，并且通过上拉电阻连到正向电压上。建议的上拉电阻值取决于系统设置(电路或电缆的电容和总线时钟频率)。在大多数情况下，10k Ω 是一个合适的选择。

霍尼韦尔HAF系列流量传感器提供内部4.7k Ω 上拉电阻。



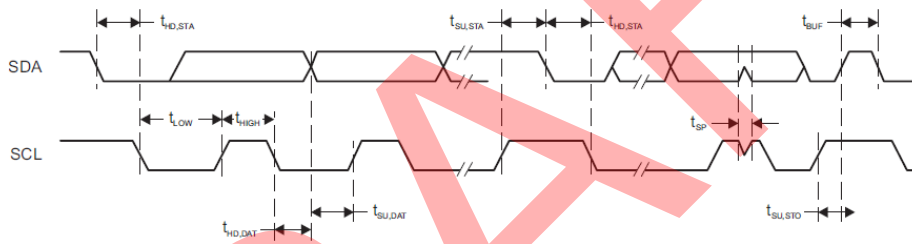
I²C 地址

霍尼韦尔HAF系列流量传感器I²C接口使用7-bits地址，默认的I²C地址是0x48。7-bits地址后是一位R/W位，写bit(0)读bit(1)。R/W位的值决定了数据传输序列其余部分的数据方向。如果R/W = 0，数据方向保持主到从，如果R/W = 1，在地址字节后数据方向变为从到主。

为了更多定制化需求，我们可以在出厂时改变传感器的I²C地址(1~127)并存储到Flash中。如果产品已经出厂，更改I²C地址请联系霍尼韦尔。

I²C Timing

PARAMETER	TEST CONDITIONS	V _{CC}	MIN	TYP	MAX	UNIT
f _{eUSCI}	eUSCI input clock frequency			f _{SYSTEM}		MHz
f _{SCL}	SCL clock frequency	2.2 V, 3 V	0		400	kHz
t _{HD,STA}	Hold time (repeated) START	f _{SCL} = 100 kHz f _{SCL} > 100 kHz	4.8 1.2			μs
t _{SU,STA}	Setup time for a repeated START	f _{SCL} = 100 kHz f _{SCL} > 100 kHz	4.9 1.26			μs
t _{HD,DAT}	Data hold time		0.12			μs
t _{SU,DAT}	Data setup time	f _{SCL} = 100 kHz f _{SCL} > 100 kHz	4.7 1.08			μs
t _{SU,STO}	Setup time for STOP	f _{SCL} = 100 kHz f _{SCL} > 100 kHz	4.9 1.18			μs
t _{SP}	Pulse duration of spikes suppressed by input filter	UCGLITx = 0 UCGLITx = 1 UCGLITx = 2 UCGLITx = 3	75 35 15 10	110 50 25 15	160 80 40 20	ns
t _{TIMEOUT}	Clock low timeout	UCCLTOx = 1 UCCLTOx = 2 UCCLTOx = 3		33 37 41		ms



I²C 序列

在I²C协议中，数据以字节包的形式传输，也就是8-bits帧。每个字节后面跟着一个确认位。数据最高位(MSB)首先传输。如果正确寻址的传感器识别到一个有效的命令，并授予对该命令的访问权，则在随后的SCL脉冲中拉下SDA线用于确认信号(ACK)，否则它将离开SDA线的控制(NACK)。

在下列图表中，

S: 起始条件

P: 停止条件

W: 写

R: 读

A: 确认

N: 非确认

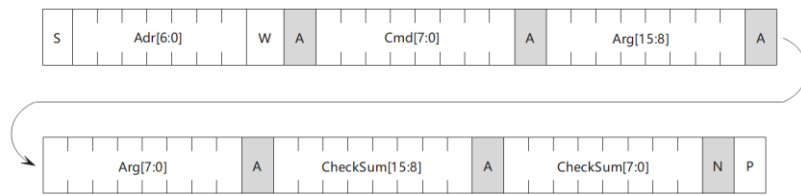
阴影区域: 传感器控制SDA线

每个I²C命令的长度为8bits，如下图所示。命令的具体描述在下列章节“I²C命令”。

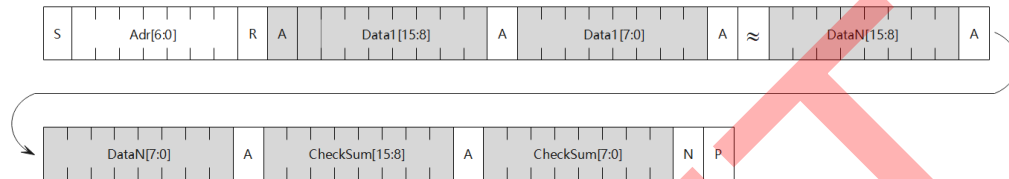


如果命令需要带参数，16bits后需要外加16bits和校验位Checksum，校验位仅对参数

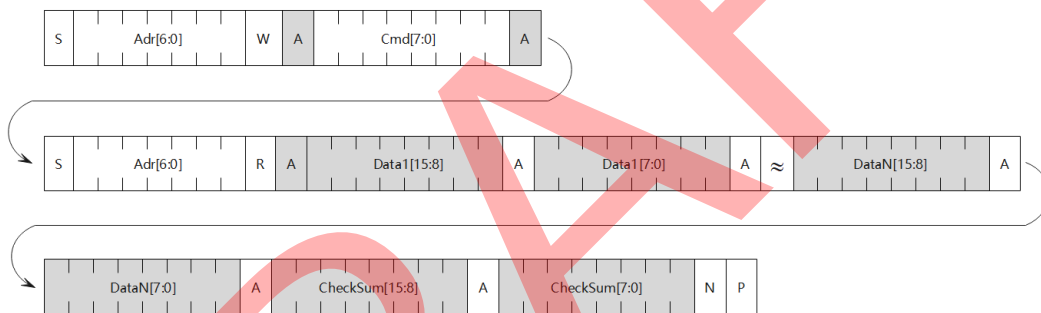
校验，并不包含I²C命令本身。



在这之后，可以从传感器读取数据。数据以16 bits的倍数的形式发出，数据帧的最后是16 bits和校验，以确保通信的可靠性。I²C序列可以通过NACK和P(停止条件)中止。



SDA上数据流的方向可以由主设备改变，而无需停止传输，只需发出重复的S起始条件，这叫重复起始条件。重复起始条件后，从地址再次被发送出去，数据方向由R/W位指定。因此，我们可以在发送命令后直接读取数据，如下图所示。



I²C 命令

下表描述了I²C命令码的具体定义。所有参数和返回值为大端模式。

Command code (Hex)	Description	Command argument	Length of return (Byte)
01	Get serial number		4(SN)+2(Checksum)
02	Soft reset		--
04	Get flow		2(Flow)+2(Checksum)
05	Get temperature		2(Temp)+2(Checksum)
06	Get flow and temperature		2(Flow)+2(Temp)+2(Checksum)
08	Enter low power		--
A0	Get flow min		2(Min)+2(Checksum)
A1	Get flow max		2(Max)+2(Checksum)
A2	Get unit		2(Unit)+2(Checksum)
A7	Get gas type		2(Type)+2(Checksum)

A8	Get gas proportion		2(Proportion)+2(Checksum)
A9	Set gas type	Air, O ₂ , N ₂ O, O ₂ _Air, N ₂ O_Air, O ₂ _N ₂ O	2(Error code)
AA	Set gas proportion	Volume fraction of mixed gas (in %)	2(Error code)

下表描述了16bits气体流量的单位。

Gas unit	Code (Hex)
SCCM	0x0010
SLM	0x0011

下表描述了16bits气体类型的定义。

Gas type	Code (Hex)
Air	0x0000
O ₂	0x0001
N ₂ O	0x0002
O ₂ mixed with air	0x000A
N ₂ O mixed with air	0x000B

如果我们设置气体类型为空气、氧气(O₂)、笑气(N₂O)，这意味着被测气体是非混合的。如果我们设置气体类型是混合气体，如“氧气空气混合(O₂ mixed with air)”，并且设置气体占比为30，即氧气O₂的体积分数为混合气体的30%。

当我们使用命令代码0xA9、0xAA时，我们可以读取16bits的命令执行结果，不附加校验和。命令执行结果如下表所示。

Error code (Hex)	Description
0xFFFE	Correct
0xFFFD	Command error
0xFFFC	Argument error
0xFFFA	Checksum error

转换公式

从传感器读出的校准的气体流量值为16bits无符号整型(0 to 65535)。我们可以通过命令04获得传感器采样的气体流量，整型值可以通过如下公式转换成物理量。Flow max和Flow min对应传感器量程的上下限，可以通过命令A1、A0读取。流量的物理单位是SLM或者SCCM(详细说明请参见章节“单位定义”)，可以通过命令A2读取。

$$Flow = \frac{(Flow\ max - Flow\ min) \times \left(\frac{Digital\ output}{65535} - 0.1 \right)}{0.8} + Flow\ min$$

从传感器读出的温度值为16bits有符号整型(-32768 to 32767)。我们可以通过命令05获得传感器采样的温度，整型值可以通过如下公式转换成物理量。温度的单位是℃。

$$Temperature(^{\circ}C) = \frac{Sensor\ output}{100}$$

此外，我们可以通过命令06同时读取流量和温度值。

模拟接口描述

传感器的默认模拟输出范围为0.3-2.7V。

流量输出

流量的默认输出曲线如下图所示。流量0%FS 对应0.3V(10% *3V)，流量100%FS对应2.7V(90% *3V)。

$$Flow = K \times (Analog\ output - B) \times abs(Analog\ output - B)$$

如果 $Flow\ min \geq 0$,则

$$K = \left(\frac{\sqrt{Flow\ max} - \sqrt{Flow\ min}}{2.7 - 0.3} \right)^2$$

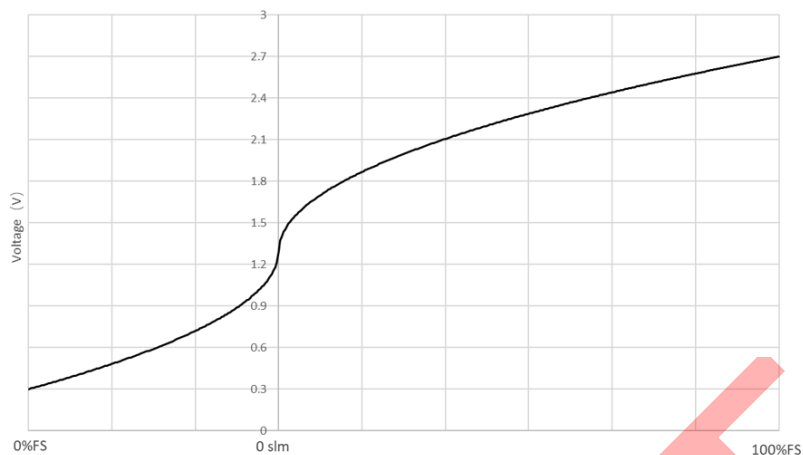
$$B = 0.3 - \sqrt{\frac{Flow\ min}{K}}$$



如果 $Flow\ min < 0$,则

$$K = \left(\frac{\sqrt{Flow\ max} + \sqrt{-Flow\ min}}{2.7 - 0.3} \right)^2$$

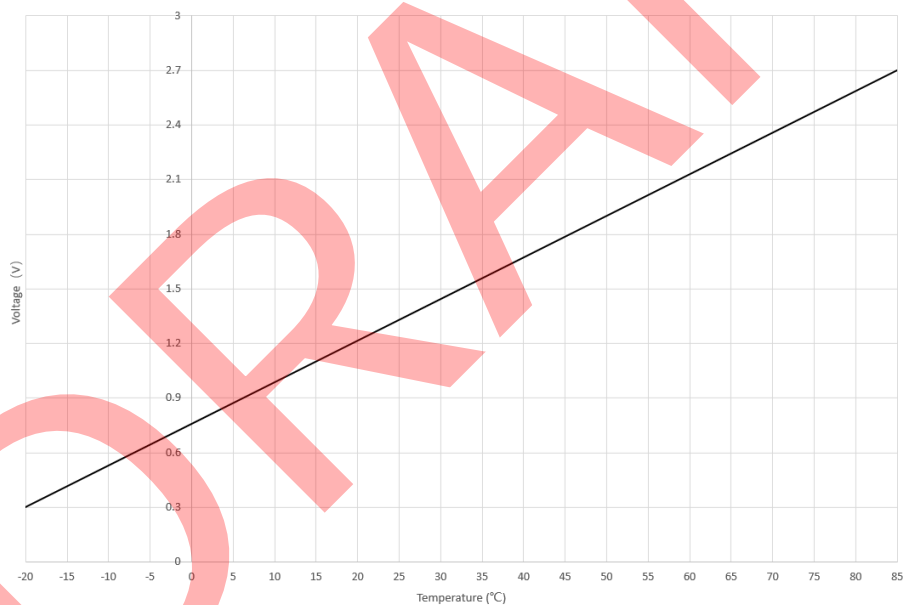
$$B = 0.3 + \sqrt{\frac{-Flow\ min}{K}}$$



温度输出

温度的默认输出曲线如下图所示。-20°C对应0.3V(10% *3V), 85°C对应2.7V(90% *3V)。

$$\text{Temperature} = \frac{105 \times (\text{Analog output} - 0.3)}{2.7 - 0.3} - 20$$



单位定义

质量流量是以克/分钟为单位测量的动态质量/时间单位。在标准（参考）条件下，以体积流量单位来指定质量流量在行业中很常见。通过参考标准温度和压力的体积流量，可以从体积流量计算出精确的质量流量（g/min）。

“SCCM”或“SLM”表示的参考条件没有行业标准，必须明确确定。霍尼韦尔质量流量传感器一直遵循在 0 °C 和 1 个大气压的标准参考条件下定义体积流量单位。这在带有“S”前缀的体积单位上表示。例如：

SCCM: "Standard cubic centimeters (per) minute" , 参考条件: 0 °C, 1 atm

SLM: "Standard liters (per) minute" , 参考条件: 0 °C, 1 atm

当不同厂商的质量流量单位的参考条件有所不同时，若客户需对不同单位进行换算，则一个具体换算过程提供如下，如想了解更多详情，请参考 Honeywell Technical Note about Unit Conversions。

Equation 7: Solving for Qx yields:

$$Q_x = Q_s \cdot \frac{P_s}{P_x} \cdot \frac{T_x}{T_s}$$

Equation 7

Equation 7 calculates volumetric flow (Qx) at "X" conditions from volumetric flow (Qs) at reference conditions of 0 °C and 1 atm.

Given:

Qs = 200 SCCM

Ps = 1 atm

Px = 1 atm

Ts = 273.15 °K (0 °C)

Tx = 298.15 °K (25 °C)

Answer:

$$Q_x = Q_s \cdot \frac{P_s}{P_x} \cdot \frac{T_x}{T_s} = 218.3 \text{ cm}^3/\text{min}$$