

硬件_X20AI1744 使用指导手册

2023 贝加莱技术团队

发布日期 2023 年 2 月 9 日

版本号 1.0.1

1. 硬件_X20AI1744 使用手册

目录

- [X20AI1744 系列模块介绍](#)
- [X20AI1744 使用配置方法](#)
- [例程](#)

下载目录

序号	编写人	文档链接	说明
1	李沛卿	X20AI1744 测量应变计信号	深度剖析 AI1744 模块的工作原理
2	吕兆聪	AI1744 模块测试文档	模块使用现场测试文档
3	王宇鑫	AI1744 样例程序	简易 AI1744 模块使用 Demo 程序

点赞与反馈

如果觉得好用，请扫一扫我们一个反馈。

- 【腾讯文档】贝加莱中文 CHM 调查表
- <https://docs.qq.com/form/page/DYIJISkdIYUp6dm9o>



- 内部维护链接：<https://confluence.br-automation.com/pages/viewpage.action?pageId=198012213>

1.1. 更新日志

版本号	变更日志	修改人	修改日期
V1.00.1	按照已有的资料做整理，并整合贝加莱帮助信息，完成初版	WangYuxin	2023.02.09



1.2. X20AI1744 系列模块介绍

X20AI1744 - Data sheet V4.25

X20AI1744 系列模块介绍内容如下（内容主要来源于 AS Help）：

- [通用信息](#)
- [带涂层模块](#)
- [订单数据](#)
- [技术数据](#)
- [LED 状态指示](#)
- [引脚分布](#)
- [接线实例](#)
- [输入电路图](#)
- [A/D 转换器的有效分辨率](#)
- [计算实例](#)
- [Σ-Δ 型 A/D 转换器的滤波器特性](#)
- [软件滤波器](#)
- [硬件配置](#)
- [寄存器配置说明](#)

本指导手册将基于 X20(c)AI1744 硬件版本高于 H0 的产品进行介绍。

1.2.1. 通用信息

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

X20AI1744 模块可与 4 线和 6 线应变片（6 线制连接不提供线损补偿功能）称重传感器配合使用。在模块实际应用种，需要在测量系统中进行一些补偿，该补偿消除了测量电路中的绝对不确定性，例如元件公差、有效电桥电压或零点偏移。测量精度是指绝对（补偿）值，该值只会随着工作温度的变化而变化。

该模块具有如下特点：

- 1 个全桥应变片输入；
- 数据输出速率可配置在 0.1 Hz 至 7.5 kHz；
- 特殊操作模式（同步模式和多重采样）；
- 可配置的滤波器等级（部分产品支持）。

X20AI1744 系列模块，包含三种产品：X20(c)AI1744、X20(c)AI1744-3 和 X20AI1744-10。三者硬件设计、部分认证上有所不同，主要表现在以下几点：



Show all attributes



X20AI1744



X20AI1744-10



X20AI1744-3

General information ^			
B&R ID code	Ox1CDE	OxF1A7	OxA4EF
Power consumption - Internal I/O	0.5 W	0.65 W	0.5 W
Additional power dissipation caused by actuators (resistive) [W]	Max. +0.36	Max. +0.68	Max. +0.36
Certifications - HazLoc	cCSAus 244665 Process control equipment for hazardous locations Class I, Division 2, Groups ABCD, T5		cCSAus 244665 Process control equipment for hazardous locations Class I, Division 2, Groups ABCD, T5
Certifications - KC	Yes		Yes
Full-bridge strain gauge ^			
Input filter - Cutoff frequency	5 kHz	5 kHz	5 Hz
Operating range / Measurement sensor	85 to 5000 Ω	162 to 5000 Ω	85 to 5000 Ω
Strain gauge supply - Voltage	5.5 VDC / Max. 65 mA	10.5 VDC / Max. 65 mA	5.5 VDC / Max. 65 mA

具体可见 BR 官网: [Compare | X20 System | B&R Industrial Automation \(br-automation.com\)](https://www.br-automation.com/compare/x20-system)

1.2.2. 带涂层模块

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

带涂层模块是指电子元件上有保护涂层的 X20 模块。这种涂层可以保护 X20c 模块免受冷凝水和腐蚀性气体的影响。这些模块的电子元件与相应的 X20 模块完全兼容。

为简化起见，本数据表中只使用了无涂层模块的图像和模块 ID。

该涂层已根据以下标准进行了认证。

- 凝结。BMW GS 95011-4, 2x 1 周期
- 腐蚀性气体。EN 60068-2-60, 方法 4, 暴露 21 天



起始温度

起始温度描述的是在开启涂层模块时关闭电源时允许的最低环境温度。这允许低至-40°C。在运行期间，技术数据中规定的条件继续适用。

重要信息：

使用时，绝对保证在封闭的控制柜中没有气流的强制冷却，例如使用风扇或通风槽。

1.2.3. 订单数据

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

以 X20AI1744, X20(c)AI1744 为例。

模块号	简述	模块图示
	模拟量输入	

X20AI1744	X20 模拟输入模块，1 个全桥应变计输入，24 位 AD 转换器分辨率，5kHz 输入滤波器	
X20cAI1744	X20 模拟输入模块，带涂层，1 个全桥应变计输入，24 位 AD 转换器分辨率，5kHz 输入滤波器	
	必要的附件	
	总线模块	
X20BM11	X20 总线模块，24 VDC 键控，内部 I/O 连续供电	
X20BM15	X20 总线模块，带节点编号开关，24 VDC 键控，内部 I/O 连续供电	
X20cBM11	X20 总线模块，带涂层，24 VDC 键控，内部 I/O 连续供电	
	端子板	
X20TB12	X20 端子台，12 针，24 VDC 键控	

表: X20AI1744, X20cAI1744 - 订单数据

1.2.4. 技术数据

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

Model number	X20AI1744
--------------	-----------



		2
		2
Short description		
I/O module	1 full-bridge strain gauge input	
General information		
B&R ID code	0x1CDE	0 x 1 C D E
Status indicators	Channel status, operating status, module status	
Diagnostics		
Module run/error	Yes, using status LED and software	
Open circuit	Yes, using status LED and software	
Input	Yes, using status LED and software	
Power consumption		
Bus	0.01 W	
Internal I/O	0.5 W	
Additional power dissipation caused by actuators (resistive) [W]	Max. +0.36 1)	
Certifications		
CE	Yes	
ATEX	Zone 2, II 3G Ex nA nC IIA T5 Gc IP20, Ta (see X20 user's manual) FTZÚ 09 ATEX 0083X	
UL	cULus E115267 Industrial control equipment	
HazLoc	cCSAus 244665	

	Process control equipment for hazardous locations Class I, Division 2, Groups ABCD, T5
EAC	Yes
KC	Yes
Full-bridge strain gauge	
Strain gauge factor	2 to 256 mV/V, configurable using software
Connection	4- or 6-wire connections 2)
Input type	Differential, used to evaluate a full-bridge strain gauge
Digital converter resolution	24-bit
Conversion time	Depends on the configured data output rate
Data output rate	0.1 - 7500 samples per second, configurable using software (fDATA)
Input filter	
Cutoff frequency	5 kHz
Order	3
Slope	60 dB
ADC filter characteristics	Sigma-delta, see section "Filter characteristics of the sigma-delta A/D converter"
Operating range / Measurement sensor	85 to 5000 Ω
Influence of cable length 3)	See section "Calculation example".
Input protection	RC protection
Common-mode range	0 to 3 VDC Permissible input voltage range (with regard to the potential strain gauge GND) on inputs "Input +" and "Input -"
Isolation voltage between input and bus	500 Veff
Conversion procedure	Sigma-delta

Output of digital value	
Broken bridge supply line	Value approaches 0
Broken sensor line	Value approaching $\pm$ end value (status bit "Line status monitoring" is set in register "Module status")
Valid range of values	0xFF800001 to 0x007FFFFFF (-8,388,607 to 8,388,607)
Strain gauge supply	
Voltage	5.5 VDC / max. 65 mA
Short-circuit and overload resistant	Yes
Voltage drop for short-circuit protection	Max. 0.2 VDC at 65 mA and 25°C
Quantization 4)	
LSB value (16-bit)	
2 mV/V	336 nV
4 mV/V	671 nV
8 mV/V	1.343 μ V
16 mV/V	2.686 μ V
32 mV/V	5.371 μ V
64 mV/V	10.74 μ V
128 mV/V	21.48 μ V
256 mV/V	42.97 μ V
LSB value (24-bit)	
2 mV/V	1.31 nV
4 mV/V	2.62 nV
8 mV/V	5.25 nV
16 mV/V	10.49 nV

32 mV/V	20.98 nV
64 mV/V	41.96 nV
128 mV/V	83.92 nV
256 mV/V	167.85 nV
Max. gain drift	12 ppm/°C 5)
Max. offset drift	2 ppm/°C 6)
Nonlinearity	<10 ppm 6)
Electrical properties	
Electrical isolation	Bus isolated from analog input and strain gauge supply voltage Channel not isolated from I/O power supply
Operating conditions	
Mounting orientation	
Horizontal	Yes
Vertical	Yes
Installation elevation above sea level	
0 to 2000 m	No limitations
>2000 m	Reduction of ambient temperature by 0.5°C per 100 m
Degree of protection per EN 60529	IP20
Ambient conditions	
Temperature	
Operation	
Horizontal mounting orientation	-25 to 60°C
Vertical mounting orientation	-25 to 50°C
Derating	See section "Hardware configuration"

Starting temperature	-	Y e s , - 4 C C
Storage	-40 to 85°C	
Transport	-40 to 85°C	
Relative humidity		
Operation	5 to 95%, non-condensing	U P t c 1 C C s , c c r c e r s i r g
Storage	5 to 95%, non-condensing	
Transport	5 to 95%, non-condensing	
Mechanical properties		
Note	Order 1x terminal block X20TB12 separately Order 1x bus module X20BM11 separately	C R c e r

		1 x t e r r i r a l t l c c p z z C T H 1 2 s 6 F a r a t e l y C r c e r 1 x t r s r c c l
--	--	--



Pitch	12.5+0.2 mm

Table: X20AI1744, X20cAI1744 - Technical data

- 1)Depends on the full-bridge strain gauge being used.
- 2)With 6-wire connections, line compensation does not function (see section "Connection examples").
- 3)Sensor cable with twisted and shielded conductors, cable length as short as possible, cable routing separate from load circuits, without intermediate terminal to the sensor.
- 4)Quantization depends on the strain gauge factor.
- 5)Based on the current measured value.
- 6)Based on the entire measurement range.

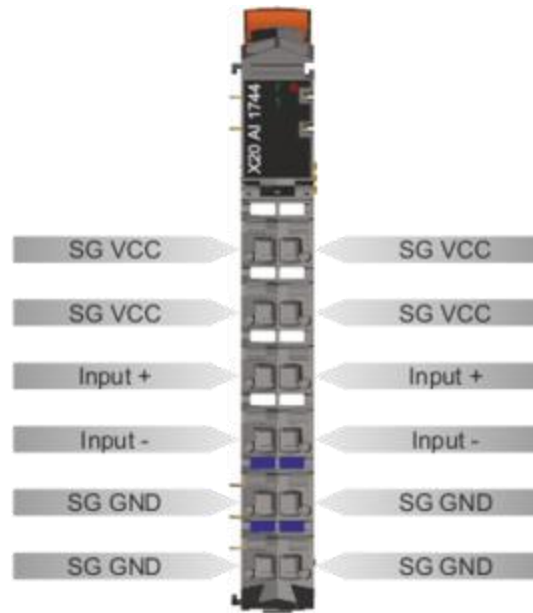
1.2.5. LED 状态指示

图示	LED	颜色	闪烁状态	含义
	r	绿色	不亮	模块无电源
			单次闪光	RESET 模式
			双闪	BOOT 模式（在固件更新期间） ¹⁾
			闪烁	预运行模式
			常量	运行模式
	e	红色	不亮	模块无电或一切正常
			常量	错误或复位状态
	1	绿色	不亮	可能的原因： • 开路 • 传感器断开连接 • 转换器繁忙
			常量	模拟/数字转换器运行，数值正常

¹⁾ 根据配置的不同，固件更新可能需要数分钟。

1.2.6. 引脚分布

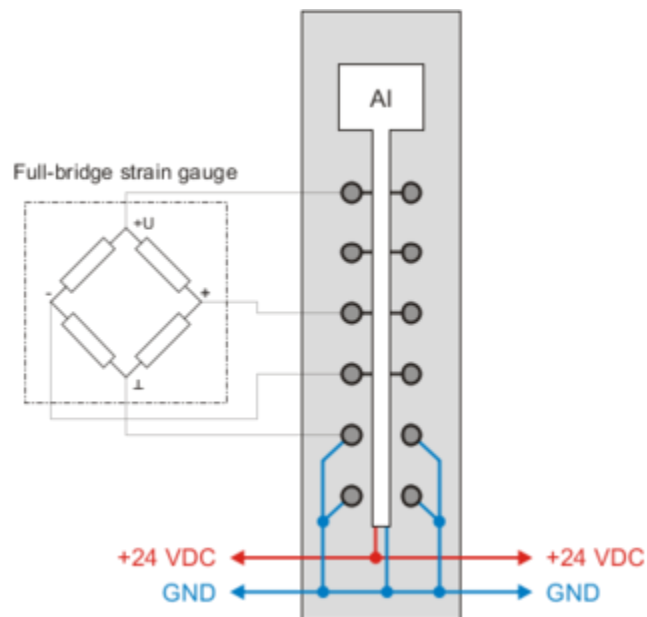




1.2.7. 接线实例

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

四线制连接的全桥式应变仪

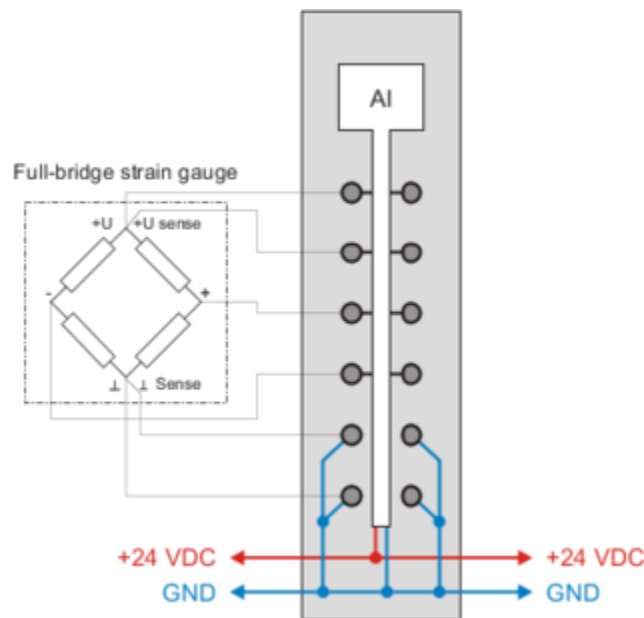


六线制连接的全桥式应变仪

全桥应变片可以用 6 线连接到该模块。然而，该模块不支持线路补偿。感应线被内部连接的应变片 VCC 和 GND 连接所短路（见 [输入电路图](#)）。因此，测量精度会受到工作温度变化的影响。较长的电缆长度和较小的电缆横截面也会增加测量系统的潜在误差。

为了减少电缆电阻，感应线应与应变片供应线平行连接。通过使用屏蔽双绞线可以获得最佳的信号质量。应变仪供应线、传感器线和电桥差分电压线的连接应各使用一条双绞线。

如果实在无法避免线损，可以使用计算的方法，利用软件消除线损造成的影响，可见[实际桥式电压计算](#)。

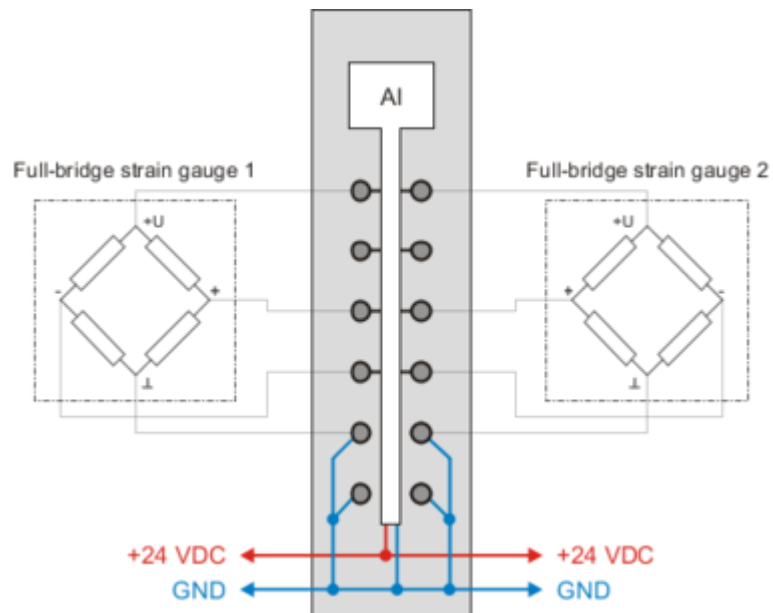


双全桥应变片的平行连接（四线制连接）

如果需要将全桥应变片并联，必须按照应变片制造商的说明书来进行接线。

将两个电桥并联连接，可以达到以下作用：

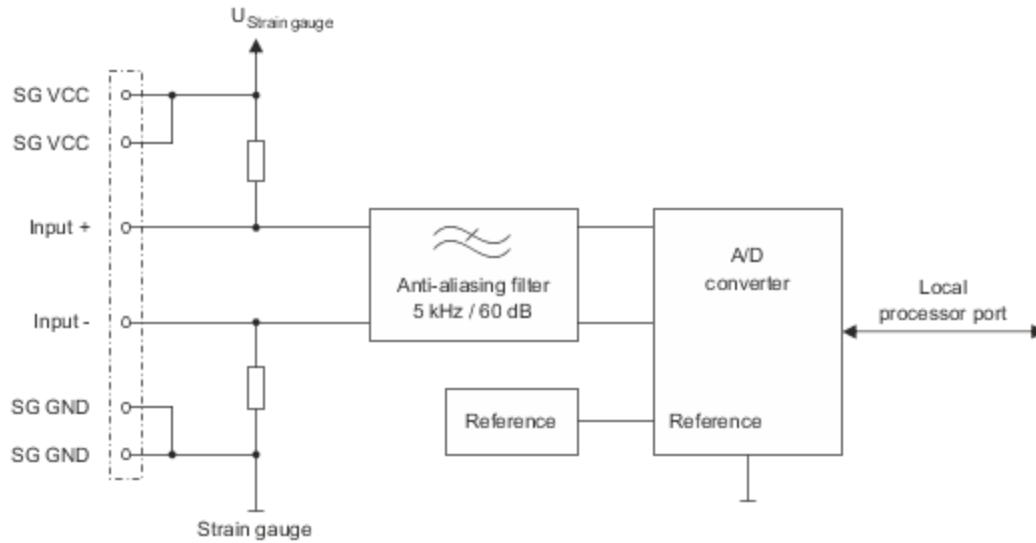
- 总量程变为两个应变片量程之和。例如，两个 50kg 量程的应变计，经过并联接入模块后，总量程可变为 100kg；
- 可以从物理层面减小秤台偏心的影响。



当并联 3 个或更多的全桥应变片时，2 条线必须在 X20 端子板上连接在一起。

1.2.8. 输入电路图

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25



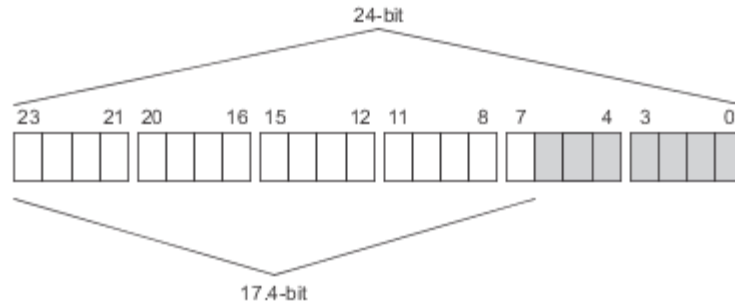
1.2.9. A/D 转换器的有效分辨率

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

模块上的 A/D 转换器提供一个 24 位分辨率的测量值。然而，实际可达到的无噪声分辨率总是小于 24 位。这个“有效分辨率”取决于模块在实际使用种的数据采样速率和测量范围。

举例说明：

根据转换方法，2.5Hz 的数据采样速率和 2mV/V 的指定测量范围，最终有效分辨率为 17.4 比特。



低位（图中灰色部分）只包含噪声而不是有效值，因此不允许被评估和使用。

特别的：在[功能模式 1 - Multisampling](#) 中，只有高 16 位是有效值。

1.2.10. 计算实例

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

下面的例子显示了测量电缆的长度对模块的桥式电压和用它计算的量化的影响。

包含以下信息:

- [实际桥式电压计算](#)
- [Quantization](#)

1.2.10.1. 实际桥式电压计算

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

传感器测量电缆长度对测量的准确性有影响，这源于测量桥的电源线上的电压降。因此，测量桥上的应变片电源电压不再是完整的 5.5V（X20AI1744-10 则为 10.5V）。电桥电压的降低也对具体的电压数值量化产生了影响。

举例说明:

所用测量设备的特点与测量条件:

- 带有四线制连接的全桥式应变仪配 X20AI1744 模块
- 与材料有关的电缆的导电性（铜， $12 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$ ）
- 电缆的横截面：22 AWG = 0.34 mm²
- 电缆的长度：5 m
- 测量桥的额定电流：15 mA
- 模块的电桥电压：5.5 V

考虑到测量线上的电压降，实际的电桥电压为：

$$5.5V - \frac{2 \cdot 5m}{12 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2}} \cdot 0.015A = 5.463V$$

量化必须使用实际计算的桥接电压来计算（见 [量化计算](#)）。

1.2.10.2. 量化计算

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

在实际的称重应用场景中，位于连接的称重传感器上的相应重量应从模块得出的数值中确定。

举例

应变式称重传感器的特性如下：

- 额定载荷：1000kg
- 应变仪系数：4 mV/V
- 实际电桥电压：5.463 V

最大量化：

将应变片式称重传感器的桥式系数与模块的桥式电源电压相乘，可得出在规定的额定载荷为 1000kg 时的正向满量程偏转值。

$$4mV/V \cdot 5.5V = 22mV$$

实际量化：

考虑到测量线上的电压降，实际桥接电压为 5.463 V（计算方法见 [实际桥接电压计算](#) 部分）。如果该电压乘以应变系数 4 mV/V，则实际量化结果如下：

$$4mV/V \cdot 5.463V = 21.85mV$$

这 21.85 mV 对应于最大可能测量范围的 99.3%。

信息：

如果量化程度降低，最大可能的有效分辨率也会降低（见 [A/D 转换器的有效分辨率](#)）。

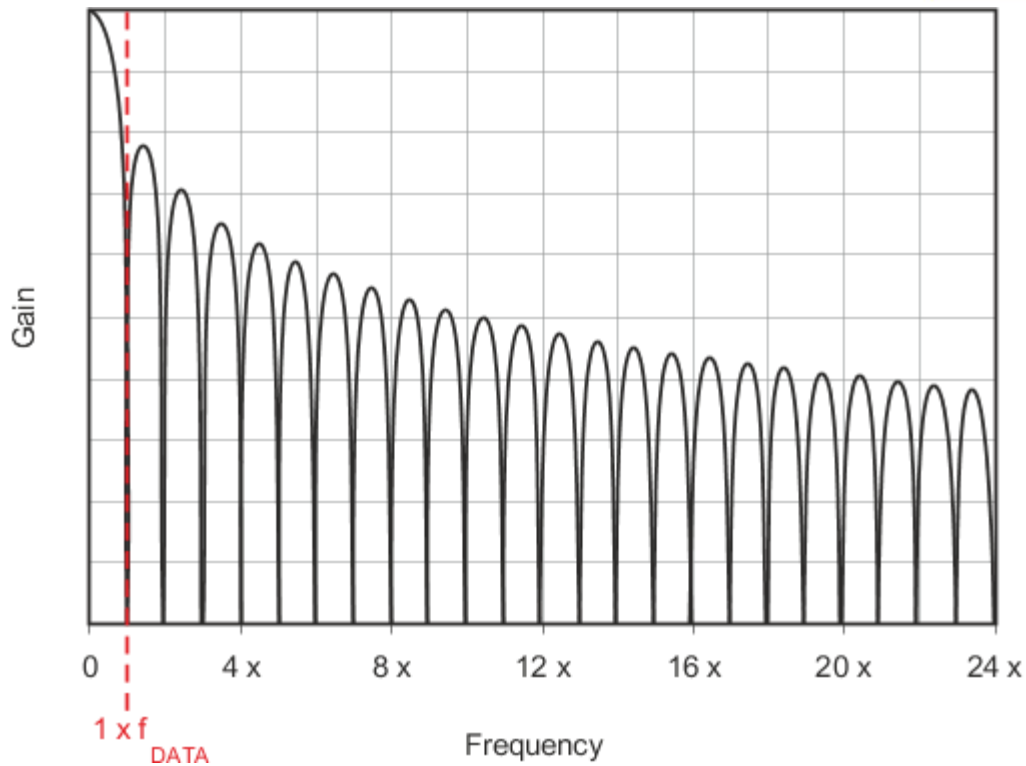
通过简单的三则计算，可以从重量到转换器的值中计算出相应的值（如表中所示），反之亦然。这种简化的理论方法只对理想的测量系统有效。建议对整个测量系统进行校准，因为不仅是模块，特别是应变片桥表现出公差（偏移、增益）。在校准时，梯度偏移要重新计算，线性方程的增益要在归一化后确定。除了表格中显示的计算外，这些计算也必须在应用中进行。

模块的 24 位值		量化	对应重量
0x007F FFFF	8,388,607	21.85 mV	1000 kg
0x0000 0001	1	2.61 nV	0.119 g
0x0000 20C3	8387	21.85 μ V	1 kg
0x0001 0000	65536	170.7 μ V	7.81 kg

1 个 LSB 的值 也包含在模块技术数据的“量化”项下（16 位 和 24 位 各 1 个 LSB）。

1.2.11. Σ - Δ 型 A/D 转换器的滤波器特性

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25



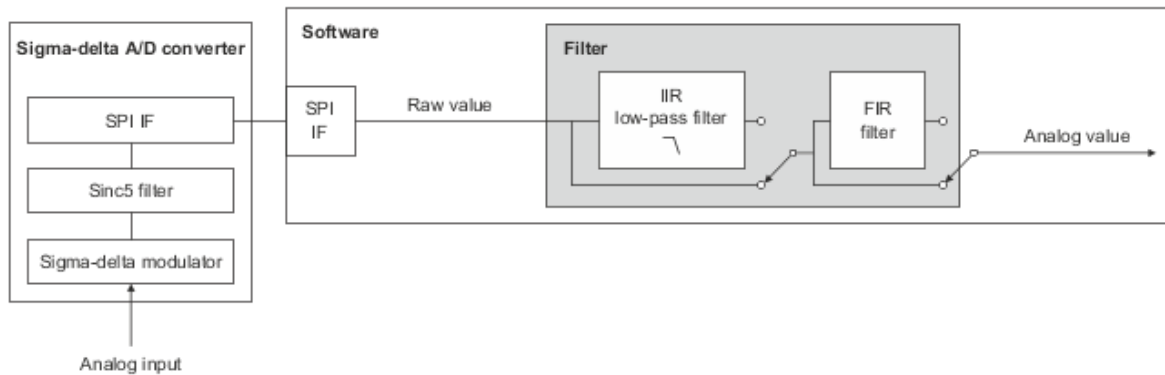
1.2.12. 软件过滤器

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

在 X20(c)AI1744 硬件版本高于 H0，X20(c)AI1744-3 版本高于 G0 的版本中，AI1744 模块在内部放置了 2 个软件过滤器，为 IIR（Infinite Impulse Response filters）和 FIR（Finite Impulse Response filters）。它们可以在运行时被单独启用和配置。默认情况下，当设备被打开时，两个过滤器都被禁用。滤波器的控制和配置使用[功能模式 2 - Extended filter](#)。

为了使滤波器的行为适应测量情况或机器周期（高动态和低精度或低动态和高精度），IIR 低通滤波器以及 FIR 滤波器的滤波器特性可以在任何时候同步改变。通过改变两个滤波器的参数，可以根据应用需要在响应速度和检测精度上进行取舍。通常滤波时间越长，精度越高，信号延时越大。

滤波器级联关系图



包含一下信息:

- [IIR 低通滤波器](#)
- [FIR 滤波器](#)

1.2.12.1. IIR 低通滤波器

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

包含以下内容:

- [通用信息](#)
- [一阶 IIR 低通滤波器特性](#)

1.2.12.1.1. 通用信息

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

IIR 低通滤波器一般用于平滑模拟量信号，并提高模拟量的分辨率，添加 IIR 滤波器后，会使得数据更平滑，同时提高数据的精度，IIR 滤波器的阶数越高，数据的精度越高，理论上每增加 1 阶，数据的精度可以提高 1bit，实际应用中由于 IIR 与 FIR 滤波器是串联的，两者都会影响精度，当 FIR 滤波器的频率较低时，IIR 对精度的影响将会有所下降。

该滤波器根据以下公式工作：

$$y = y_{Old} + \frac{x - y_{Old}}{2^{Filterlevel}}$$

x ...

yOld ...

y ...

当前的滤波器输入值

旧的滤波器输出值

新的滤波器输出值

该滤波器只有一个参数，即，滤波器的阶数“Filter level”。该参数通过寄存器 [ConfigCommonOutput01](#) 配置，其取值范围为 0~8。取值为 0 时公式变为 $y = x$ ，此时 IIR 滤波器功能关闭。

总体来讲，Filter level 值越大，滤波效果越好，延迟越大。

1.2.12.1.2. 一阶 IIR 低通滤波器特性

限制频率 f_c

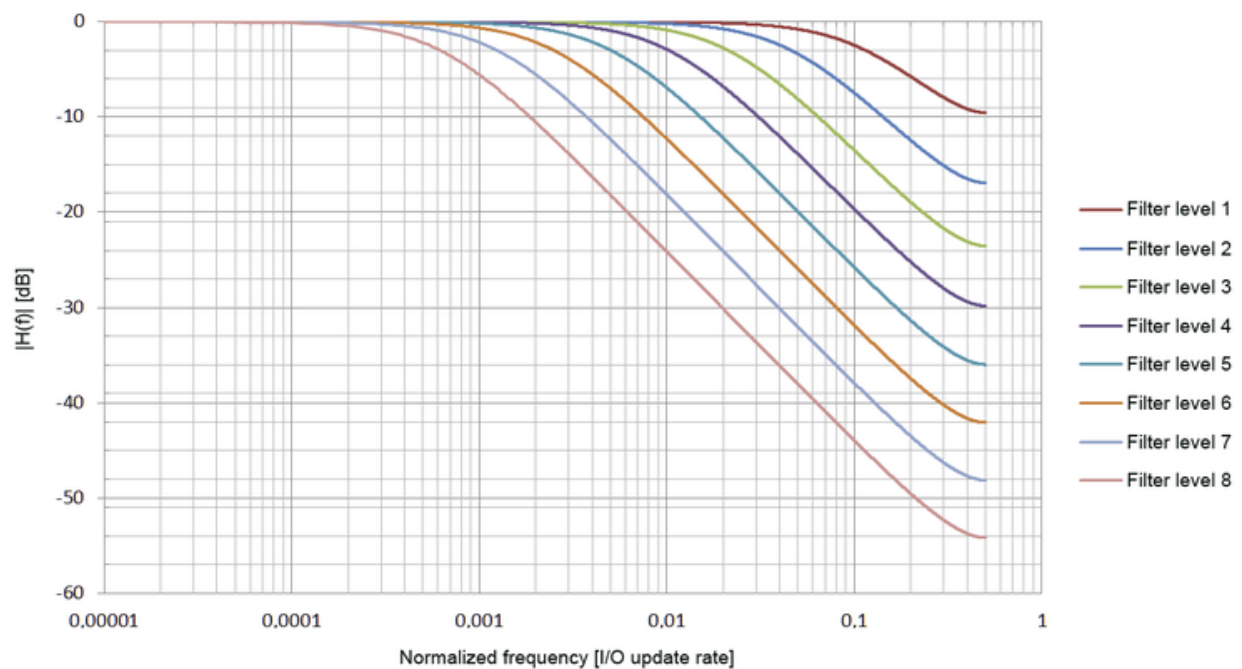
下表提供了不同滤波等级（Filter level）配置下，3dB 极限频率 f_c 的概况。

滤波等级（Filter level）	归一化 f_c [I/O 刷新率]	f_c [Hz] I/O 刷新率 = 15000/s	f_c [Hz] I/O 刷新率 = 20000/s
1	0.11476	1721.4	2295.2

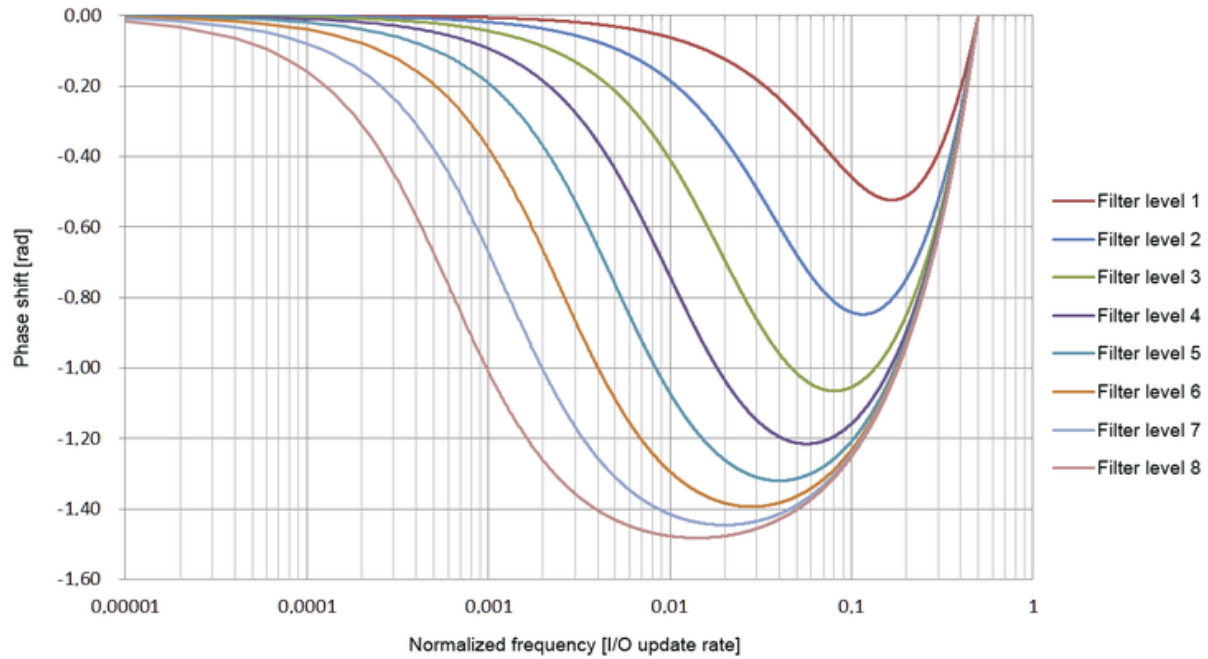


2	0.046	690	920
3	0.02124	318.6	424.8
4	0.01026	153.9	205.2
5	0.00504	75.6	100.8
6	0.0025	37.5	50
7	0.00124	18.6	24.8
8	0.00062	9.3	12.4

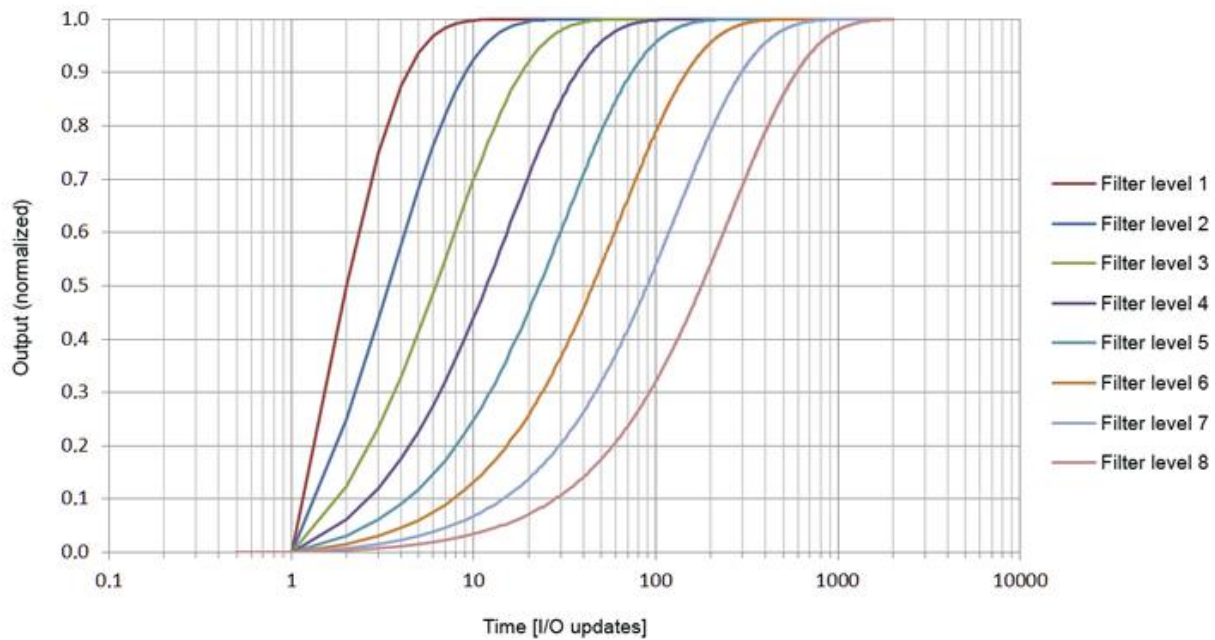
IIR 低通滤波器的增益



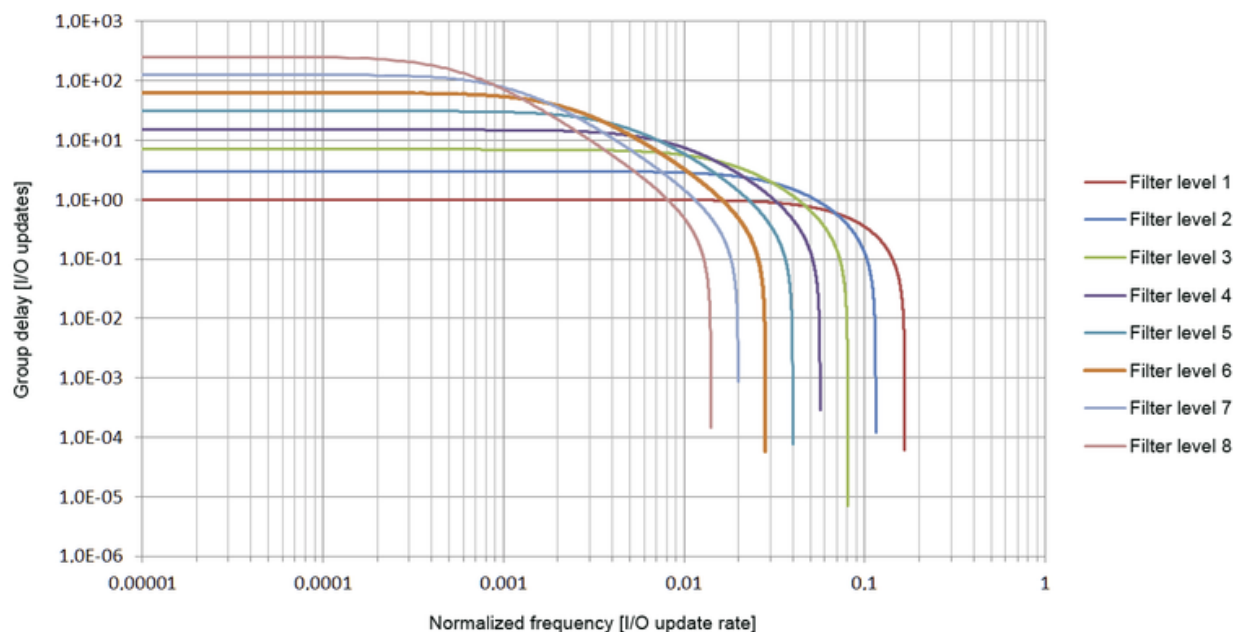
IIR 低通滤波器的相移



IIR 低通滤波器的阶跃响应



IIR 低通滤波器的群延迟



1.2.12.2. FIR 滤波器

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

与 IIR 低通滤波器一样，FIR 滤波器也可用于平滑信号并提高其分辨率。此外，相应地配置滤波器的长度，可以有针对性地有效过滤掉个别干扰频率。这些干扰频率的来源可能是机械或电磁。这些频率的倍数也会被过滤掉（只要它们是数据输出率的整数倍）。

根据总部的解释，FIR 滤波器的实现是一个滑动均值滤波器，该滤波器取一段时间 T 内的数据进行算术平均作为滤波器的输出。FIR 滤波器的参数为数据的刷新率，数据刷新率通过寄存器来修改，该寄存器通过 IO mapping 与程序中的变量关联。

举例：

当数据输出率= 15000 /s 时，设置 Notch 为 1kHz，则对 15 个值进行平均值。

当重新配置滤波器时，需要 1/数据速率（FIR 滤波器在“Selectable data rate”模式下）或 1/滤波器频率（FIR 滤波器在“High-resolution data rate”模式下），直到滤波器被调谐。在调谐过程中，寄存器 [StatusInput01](#) 的第 5 位 将被设置。

包含以下内容:

- [“Selectable data rate”模式下的 FIR 滤波器特性](#)
- [“High-resolution data rate”模式下的 FIR 滤波器特性](#)
- [举例说明 FIR filter 的增益特性](#)

1.2.12.2.1. “Selectable data rate”模式下的 FIR 滤波器特性

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

AI1744 内部 ADC 与 FPGA 之间的数据更新有一个数据更新频率（Selectable Data Rate）,同时 AI1744 与 CPU 之间也存在一个数据刷新频率（I/O Update Rate）, 同时还有一个 FIR 滤波器的陷波频率（fNotch）,最后还有一个数据更新频率（Data Rate）, 这几个频率与寄存器设置的数值如下表所示。

下表适用于 [功能模式 0 - Standard](#) 和 [功能模式 254 - Bus ontroller](#), 以及[功能模式 2 - Extended filter](#) 的“Selectable data rate”模式。

			I/O 更新率[Hz]		I/O 更新时间[ms]	
设定值 1) 2)	数据率 (fData) [Hz] 3) 4)	fNotch [Hz]	功能模式 0 和 254	功能模式 2 (模式 “Selectable data rate”)	功能模式 0 和 254	功能模式 2 (模式 “Selectable data rate”)
0000	2.5	2.5	2.5	15000	400	0.0667
0001	5	5	5	15000	200	0.0667
0010	10	10	10	15000	100	0.0667
0011	15	15	15	15000	66.6667	0.0667
0100	25	25	25	15000	40	0.0667

0101	30	30	30	15000	33.3333	0.0667
0110	50	50	50	15000	20	0.0667
0111	60	60	60	15000	16.6667	0.0667
1000	100	100	100	15000	10	0.0667
1001	500	500	500	15000	2	0.0667
1010	1000	1000	1000	15000	1	0.0667
1011	2000	2000	2000	20000	0.5	0.05
1100	3750	3750	3750	15000	0.2667	0.0667
1101	7500	7500	7500	15000	0.1333	0.0667
1110	Reserved					
1111	Reserved					

- 1)功能模式 0 和 254：寄存器 [ConfigOutput01](#) 的第 0 至 3 位
- 2)功能模式 2：寄存器 [ConfigDataRateOutput01](#) 的第 0 至 3 位
- 3)功能模式 0 和 254：数据速率=1/滤波器长度[s] (fNotch) = I/O 更新速率
- 4)功能模式 2：数据速率=1/滤波器长度[s](fNotch)

从上表可知，数据的刷新率 fData 即为滤波器的陷波频率 fNotch，也是模式 0 下数据变化的频率。

首先，数据从 ADC 到 AI1744 内部 FPGA 之间的数据刷新率为上表中的“Selectable data rate”该值大部分配置下为 15000Hz，只有在配置为 1011 时，频率为 20000Hz，即，FPGA 上每秒从 ADC 上读取 15000 个（设置为 1011 时为 20000，为了能除尽）数据，在 MCU 上通过软件对这些数据进行滤波。

在模式 0（default）/254（bus controller）下面 CPU 上读到的数据的更新频率为设定的数据频率（Data rate）。例如设置为 0000 时，FPGA 上每秒从 ADC 上读取到 15000

个数据，然后以 2.5Hz 的频率进行滤波，滤波器的窗口时间为 $1/f_{\text{Notch}} = 0.4\text{s}$ ，即，滑动均值滤波器每次取 $15000 \times 0.4 = 6000$ 个数据进行平均，计算得到滤波器的输出，滤波器的输出结果每 0.4 秒更新一次，即，在 CPU 上每 0.4s 才能读到一个新的数据。

在模式 2（Extended filter 或叫 Advanced filter）下，CPU 上读到的数据的刷新率与 CPU 的任务周期和 X2X 的总线周期有关，数据在每个 X2X 周期都会更新。通过设置数据刷新率，来设置 FIR 滤 2.5Hz 的频率进行滤波，滤波器的窗口时间为 $1/f_{\text{Notch}} = 0.4\text{s}$ ，即，滑动均值滤波器每次取 $15000 \times 0.4 = 6000$ 个数据进行平均，计算得到滤波器的输出，每次 FPGA 从 ADC 上读到一个新的数据，滤波器的输出结果都会更新，即，在 CPU 上每个任务周期都会读到新的数据（需要任务周期 $\geq$ X2X 周期）。

总体来讲，数据刷新率越小，滤波效果越好，延迟越大。

1.2.12.2.2. “High-resolution data rate”模式下的 FIR 滤波器特性

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

高精度数据率（High-resolution data rate）模式为 FIR 设置的一个高级模式。该模式下可以对 FIR 滤波器设置更宽范围的频率（0.1Hz~6553.5Hz），可以根据应用需要有更灵活的选择。

下表适用于[功能模式2 - Extended filter](#)

设定点[0.1 Hz] 1)	Date rate (fData) [Hz]	fNotch [Hz]	I/O 更新时间 [μs]
1 to 65535	Setpoint / 10	= Data rate	≈ 50s 2)

- 1)来自寄存器
[ConfigHighResolutionOutput01](#) 的设定值
- 2)该值在 42 和 56 微秒之间变化（也见下一节
"I/O 更新时间"）。

I/O 更新时间

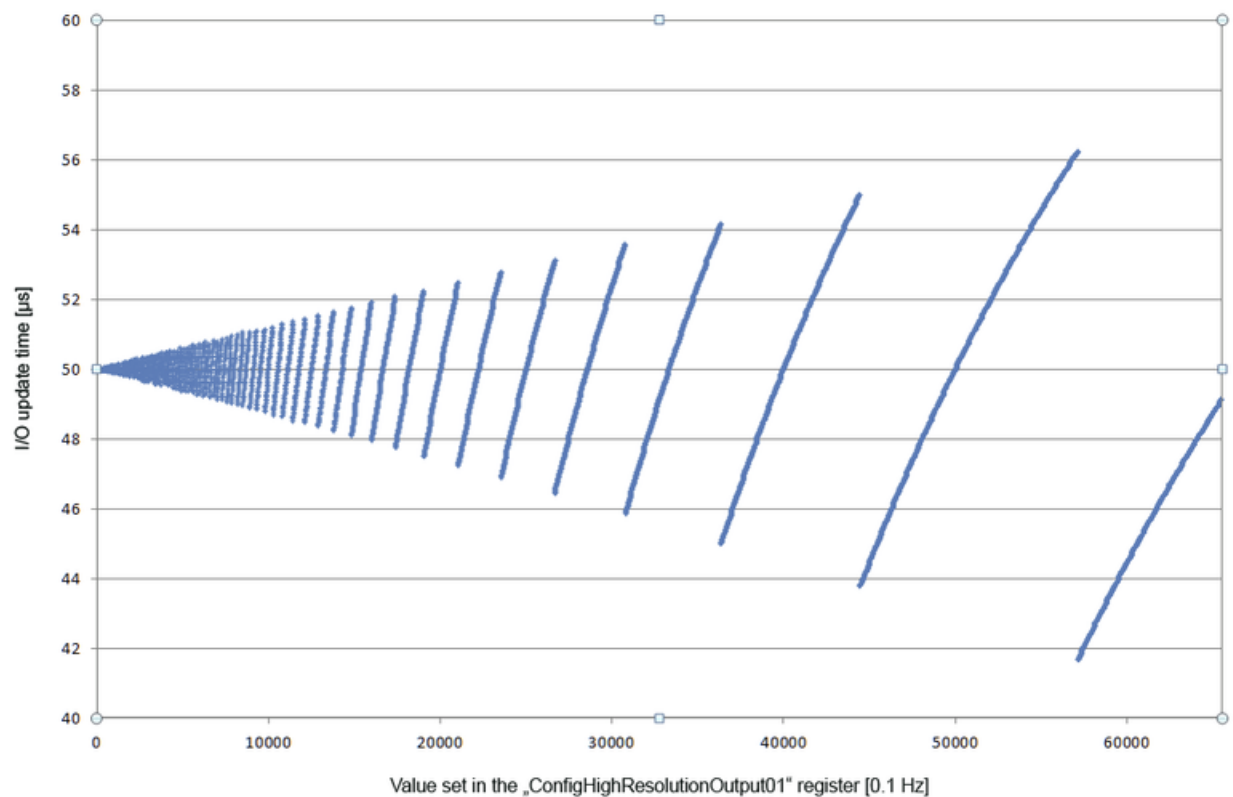
I/O 更新时间的值取决于设定值，在 42 和 56 微秒之间变化。下面的公式可以用来精确计算 I/O 更新时间：

$$\text{I/O update time} = 1e^6 \cdot \left(\frac{1e^{-4} - 10}{(\text{Setpoint} \cdot \lceil \frac{10}{5e^{-5} \cdot \text{Setpoint}} \rceil)} \right)$$

图 上述公式中的方括号意味着计算值必须四舍五入到整数。

例：

下图显示了取决于设定值的 I/O 更新时间：



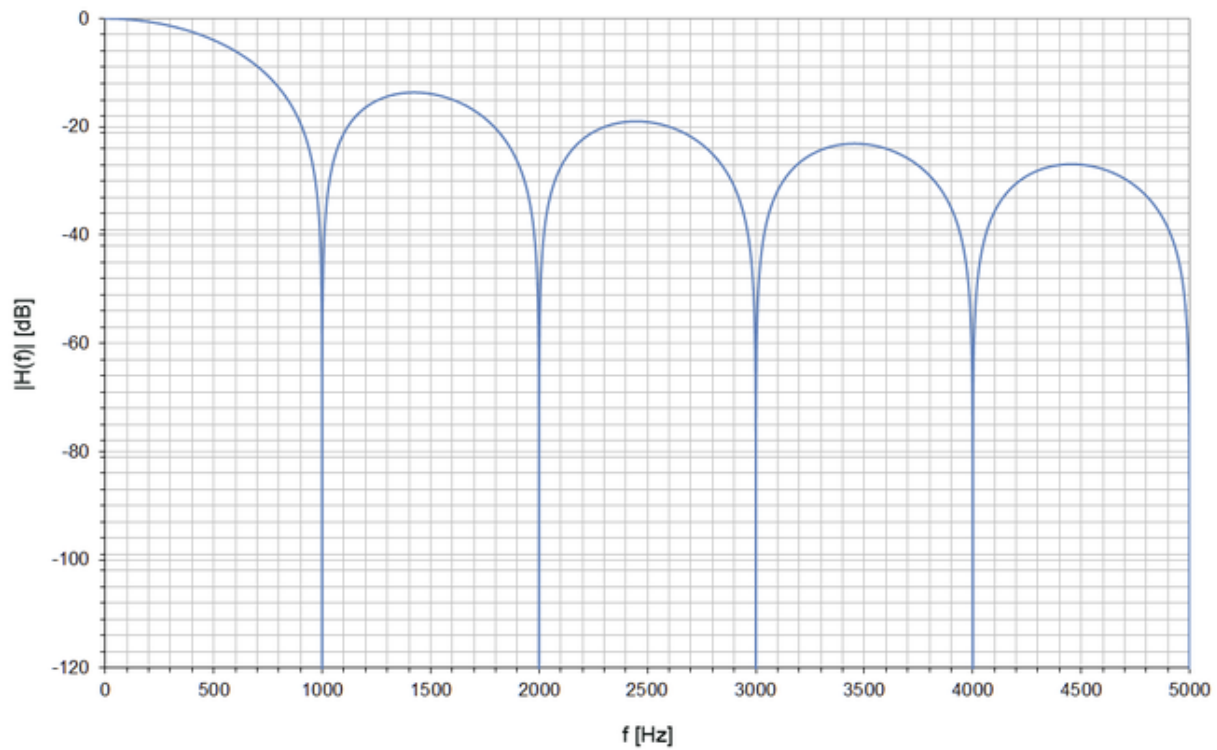
1.2.12.2.3. 举例说明 FIR filter 的增益特性

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

例程 1

Filter setting = 10:

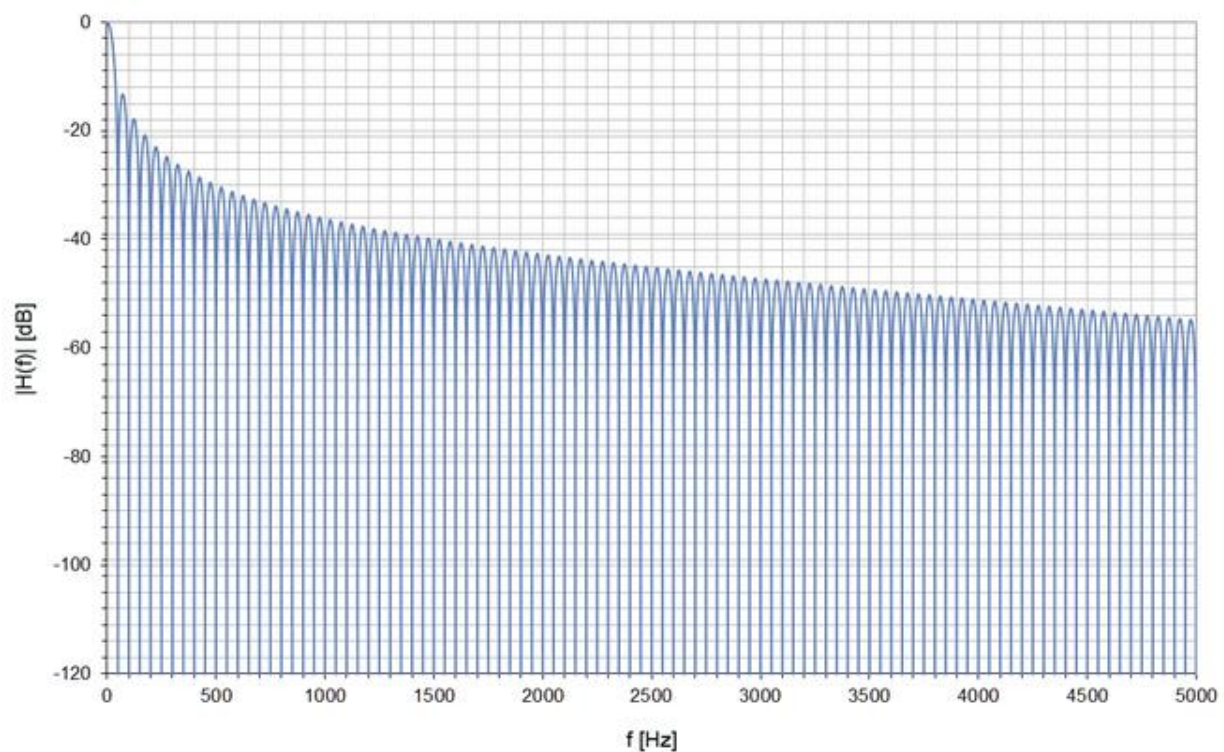
- $f_{\text{Notch}} = 1000 \text{ Hz}$
- $f_c = 439.3 \text{ Hz}$



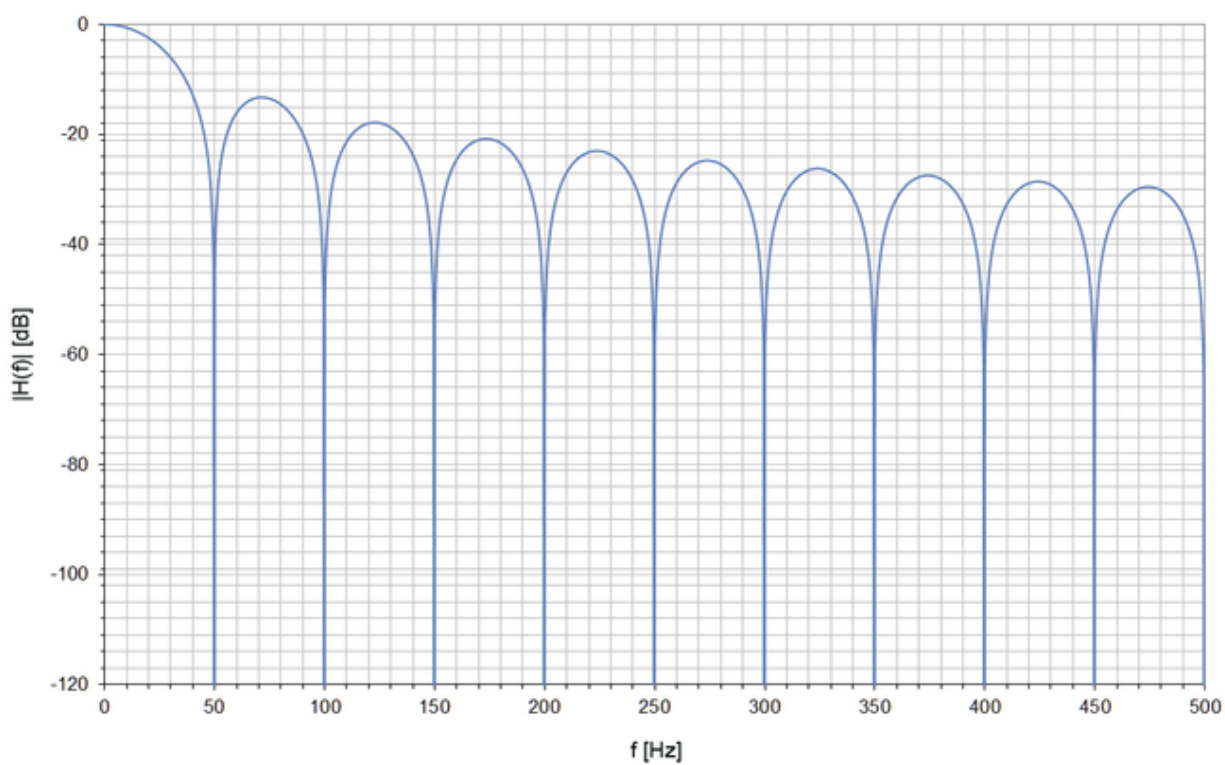
例程 2

Filter setting = 6:

- $f_{\text{Notch}} = 50 \text{ Hz}$
- $f_c = 21.8 \text{ Hz}$



上图所示过滤曲线的详细摘录



1.2.13. 硬件配置

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

包含以下部分:

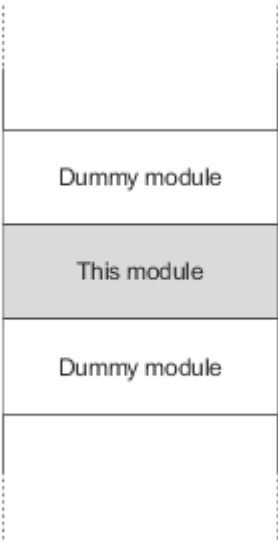
- [Hardware configuration for horizontal installation starting at 55°C ambient temperature](#)
- [Hardware configuration for vertical installation starting at 45°C ambient temperature](#)

1.2.13.1. 环境温度为 45 °C 时开始垂直安装的硬件配置

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

Operating a strain gauge module

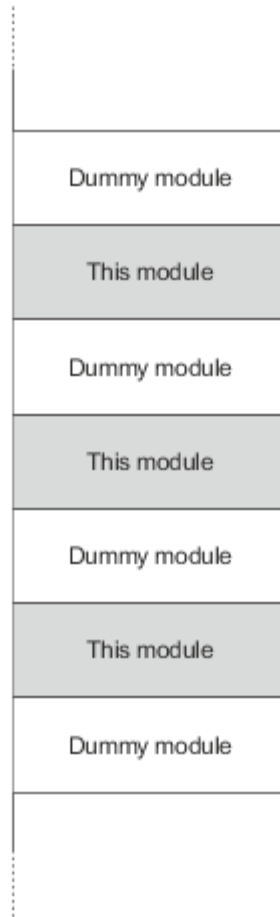
从环境温度 45°C 开始，必须在垂直安装方向的应变仪模块的左右两边连接一个空模块。



并排操作多个应变仪模块

如果2个或更多的垂直应变仪模块在一个集群中运行，必须遵守以下模块的安排。



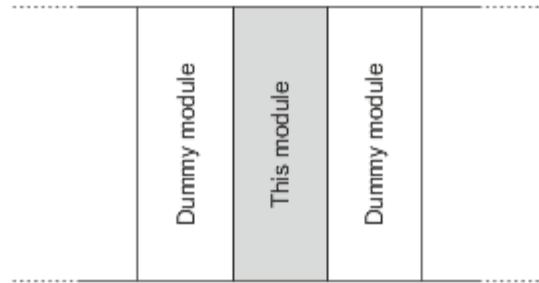


1.2.13.2. 环境温度为 55 °C 时开始水平安装的硬件配置

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

安装一个应变仪模块

从环境温度 55°C 开始，在水平安装方向上，必须在应变仪模块的左右两边各连接一个空模块。



并排操作多个应变仪模块

如果 2 个或更多的水平应变仪模块在一个集群中运行，必须遵守以下模块的安排。



1.2.14. 寄存器配置说明

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

包含以下内容：

- [通用数据点](#)
- [功能模式 0 - Standard](#)
- [功能模式 1 - Multisampling](#)
- [功能模式 2 - Extended filter](#)
- [功能模式 254 - Bus controller](#)
- [功能模式"0 - Standard"和"254 - Bus controller"寄存器](#)

- [功能模式“1 - Multisampling”寄存器](#)
- [功能模式“2 - Extended filter”寄存器](#)
- [最小循环时间](#)
- [最小 I/O 更新时间](#)

1.2.14.1. 通用数据点

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

除了在寄存器描述中描述的寄存器外，模块还有额外的通用数据点。这些数据点不是针对模块的，而是包含一般信息，如序列号和硬件变体。

一般数据点的描述见[通用数据点](#)部分：

名称	描述
Firmware Version 固件版本	模块的固件版本可以通过这个数据点来读取； 最后两个位置对应于小数点后的数字。
Hardware Variant 硬件 变体	模块的硬件变体可以通过这个数据点来读取。
ModuleID 模块 ID	使用该数据点可以读取模块的模块 ID。关于模块的硬件 ID，请参见相应的模块文件。此外，每个电子模块上都印有一个序列号；模块的硬件 ID 与序列号的前四个位置相对应。
ModuleOK 模块是否 到位	模块是否实际存在于插槽中，可以从该寄存器中读取。

SerialNumber 序列号	使用这个数据点可以读取模块的唯一序列号。 完整的序列号是由 ModelID 和 SerialNumber 组成的，序列号=（硬件ID*1E+7）+序列号 序列号以十进制形式印在模块的外壳上。
StaleData	传输的数据是来自于当前周期还是前一个周期，可以通过这个数据点来读取。 这种错误可能是由于周期时间太短或模块通信的干扰造成的。

1.2.14.2. 功能模式 0 - Standard

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

Register	Name	Data type	Read		Write	
			Cyclic	Acyclic	Cyclic	Acyclic
Analog signal - Configuration						
16	ConfigOutput01 (A/D converter configuration)	USINT			●	
18	ConfigCycleTime01	UINT				●
32	AdcClkFreqShift01	USINT				●

Analog signal - Communication						
2	StatusInput01	USINT	●			
4	AnalogInput01	DINT	●			

1.2.14.3. 功能模式 1 - Multisampling

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

在这个功能模型中，A/D 转换器与 X2X Link 同步运行，并有一个预定的 A/D 转换器周期时间。该值可配置为 50 或 100 μ s。

根据配置，该模块 在每个 X2X 周期 返回 3 到 10 个测量值。如果 X2X 周期时间为 400 μ s，A/D 转换器周期时间为 50 μ s，正好 进行 8 次测量，模块可以返回 8 个值（应变仪值 01 到应变仪值 08）。

如果使用较长的周期时间，返回的数值与最后的测量值相对应。如果使用的 X2X 周期时间不是 A/D 转换器周期时间的整数倍，那么转换不能与 X2X Link 同步。在这种情况下，模块会输出无效的值 0x8000。

举例 1

如果使用 800 μ s 的 X2X 周期时间，如果 A/D 转换器周期时间等于 50 μ s，则 每个 X2X 周期 可以进行 16 次测量。前 6 个测量值 被丢弃；后 10 个测量值 由模块提供。

在 X2X 周期时间较短的情况下，测量值的数量不应超过实际可测量的数量。所有其他测量值都是无效的（0x8000）。为了尽量减少 X2X 链接网络的负载，可以禁用这些不需要的寄存器（见 [测量值的数量](#)）。

举例 2

如果使用 300 μ s 的 X2X 周期时间，如果 A/D 转换器周期时间等于 50 μ s，则 每个 X2X 周期 可以进行 6 次测量。由于这个原因，只有前 6 个寄存器 是有效的。第 7 到第 10 个

测量值的寄存器（AnalogInput07 到 AnalogInput10）应该通过 在 I/O 配置中把 [测量值的数量](#) 设置 为 "6 个测量值 "而 被禁用。

Register	Name	Data type	Read		Write	
			Cyclic	Acyclic	Cyclic	Acyclic
Analog signal - Configuration						
1601	ConfigGain01_MultiSample	USINT			●	
1603	ConfigCycleTime01_MultiSample	USINT				●
Analog signal - Communication						
2	StatusInput01	USINT	●			
1534 + N * 4	AnalogInput0N (N = 1 to 10)	INT	●			

1.2.14.4. 功能模式 2 - Extended filter

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

这个功能模式下，允许启用 IIR 低通滤波器和 FIR 滤波器。

Register	Name	Data type	Read		Write	
			Cyclic	Acyclic	Cyclic	Acyclic

Analog signal - Configuration

272	ConfigCommonOutput01 (A/D converter and IIR filter configuration)	USINT			●	
288	ConfigFilterOutput01	UINT				●
273	ConfigDataRateOutput01	USINT			●	
274	ConfigHighResolutionOutput01	UINT			●	

Analog signal - Communication

2	StatusInput01	USINT	●			
4	AnalogInput01	DINT	●			
256	AdcConversionStampInput01	DINT	●			

1.2.14.5. 功能模式 254 - Bus controller

在功能模型 "254-总线控制器 "中，模块的行为与 [功能模式 0 - Standard](#) 中的行为一样，但例外的是，即使在寄存器 [ConfigOutput01](#) 中启用了同步模式，它也不会与 X2X 链接网络同步。相反，该模块的行为就像设定的 A/D 转换器周期时间不是 X2X 周期时间的因素或倍数一样，并试图尽可能精确地保持设定的 A/D 转换器周期时间。

Register	Offset1)	Name	Data type	Read		Write	
				Cyclic	Acyclic	Cyclic	Acyclic
Analog signal - Configuration							
16	0	ConfigOutput01 (A/D converter configuration)	USINT			●	
18	18	ConfigCycleTime01	UINT				●
32	32	AdcClockFrequencyShift01	USINT				●
Analog signal - Communication							
2	4	StatusInput01	USINT	●			
4	0	AnalogInput01	DINT	●			

1)偏移量指定了寄存器在 CAN 对象中的位置。

包含以下内容:

- [在总线控制器上使用该模块](#)
- [CAN I/O 总线控制器](#)

1.2.14.5.1. 在总线控制器上使用该模块

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

功能模型 254 "总线控制器"在默认情况下只被非可配置的总线控制器使用。所有其他总线控制器可以使用其他寄存器和功能，这取决于所使用的现场总线。

详细情况请参见 [在总线控制器上使用 I/O 模块](#)。

1.2.14.5.2. CAN I/O 总线控制器

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

该模块将占据了CAN I/O上的1个模拟逻辑槽。

1.2.14.6. 功能模式"0 - Standard"和"254 - Bus controller"寄存器

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

包含以下内容:

- [A/D 转换器配置](#)
- [A/D 转换器周期时间](#)

- [A/D 转换器的时钟频率转换](#)
- [模块状态](#)
- [应变计值](#)

1.2.14.6.1. A/D 转换器配置

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

寄存器名称:

ConfigOutput01

A/D 转换器的数据速率和测量范围可以在这个寄存器中进行配置。

Data type	Values	Bus controller default setting
USINT	See bit structure.	13

Bit structure:

Bit	Description	Value	Information
0 - 3	数据率 Data rate fDATA (每秒采样个数):	0000	2.5
		0001	5
		0010	10
		0011	15
		0100	25
		0101	30
		0110	50

		0111	60
		1000	100
		1001	500
		1010	1000
		1011	2000
		1100	3750
		1101	7500 (bus controller 默认配置)
		1110	同步模式
		1111	预留
4 - 6	标准测量范围 (bit 6 = 0)	000	16 mV/V (bus controller 默认配置)
		001	8 mV/V
		010	4 mV/V
		011	2 mV/V
	扩展测量范围 (bit 6 = 1)	100	256 mV/V
		101	128 mV/V
		110	64 mV/V
		111	32 mV/V
7	预留	0	(must be 0)

包含以下内容:

- [同步模式](#)

1.2.14.6.1.1. 同步模式

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

该模块的模拟/数字转换器（A/D 转换器）可以选择与 X2X Link 网络同步操作和读取。通过在寄存器 [ConfigOutput01](#) 中选择相应的操作模式，可以启用同步模式。为此必须在寄存器 [ConfigCycletime01](#) 中设置一个 200 到 2000µs 的时间。如果这个时间是 X2X Link 配置的周期时间的整数倍，那么 A/D 转换器就会与 X2X Link 同步读取。

信息:

A/D 转换器的周期时间必须 $\geq 1/4$ 的 X2X 周期时间!
模块状态中的第 2 位被设置（即 A/D 转换器没有同步运行）...

- ...如果配置的 A/D 转换器周期时间不能与 X2X 链接同步。
- ...如果模块仍处于沉淀阶段。

抖动、死区时间和稳定时间。

抖动		Max. $\pm 1 \mu s$ Max. $\pm 4 \mu s$
	A/D 转换器的周期时间 <1500 μs	
	A/D 转换器周期时间 >1500 μs	
X2X link 死区时间		$50 \mu s + \frac{X2X \text{ cycle time}}{128}$
稳定时间		150 x X2X cycle time



沉淀时间相当于启用同步模式后或 A/D 转换器周期时间转换后，直到 A/D 转换器可以运行所需的时间。

1.2.14.6.2. A/D 转换器周期时间

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

寄存器名称:

ConfigCycletime01

该寄存器仅在[同步模式](#)下使用。如果在 A/D 转换器配置中启用了同步模式，那么模块就会尝试让 A/D 转换器尽可能地与 X2X 链路网络同步运行（基于该寄存器中设置的 A/D 转换器周期时间）。当然，X2X 链接周期时间和 A/D 转换器周期时间必须有一定的比例。必须遵守以下条件：

- A/D 转换器周期时间 $\geq 1/4$ X2X 周期时间
- A/D 转换器的周期时间对应于 X2X 周期时间的整数倍或倍数
- A/D 转换器的周期时间必须在 50 到 2000s 之间

Data type	Values	Information
UINT	50 to 2000	Bus controller 默认: 400

1.2.14.6.3. A/D 转换器的时钟频率转换

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

寄存器名称:

AdcClkFreqShift01

在极少数情况下，连接到相邻插槽的应变仪模块会相互影响。这可能会导致测量值出现暂时的、最小的偏差。只有在相邻的应变仪模块上的 Σ - Δ A/D 转换器以完全相同的时钟频率运行时，才会发生这种情况。

在大多数情况下，这些时钟频率由于零件的差异而略有不同。然而，当它们相同时，应变仪模块上的这个寄存器为应用提供了一个安全的方法来防止这种类型的相互影响。

Data type	Values	Information
SINT	-128 to 127	Bus controller 默认值: 127

这个寄存器可以用来改变时钟频率，增量为 200ppm。设置值从 -50 到 50 涵盖了 -10000 ppm 到 10000 ppm 的范围。这对应于 -1% 到 1%。

超出这个范围的值将导致默认模式的激活。频移是由模块固件从序列号的最后 2 位数字得出的。这节省了编程所需的时间，前提是相邻模块的序列号的最后两位数字不相同。

Register value	Frequency shift in ppm	Example of a sampling rate1)
127	$((\text{SerialNo. modulo } 100) - 50) * (-200) \text{ ppm}$	根据序列号
...	...	...
51	$((\text{SerialNo. modulo } 100) - 50) * (-200) \text{ ppm}$	根据序列号
50	10000	505
49	9800	504.9
...	...	...
2	400	500.2
1	200	500.1
0	0	500
-1	-200	499.9
-2	-400	499.8

...	...	...
-50	-10000	495
-51	$((\text{SerialNo. modulo } 100) - 50) * (-200) \text{ ppm}$	Based on the serial number
...	...	...
-128	$((\text{SerialNo. modulo } 100) - 50) * (-200) \text{ ppm}$	Based on the serial number

1)标称采样率为每秒 500 个样本

重要的是：

如上表所示，移动 A/D 转换器的时钟频率将同样移动 A/D 转换器的采样率。改变 A/D 转换器的时钟频率太多可能会导致干扰抑制的问题，特别是当定义了一个非常具体的采样率来抑制现有的干扰时（例如，50Hz 来抑制 50Hz 的嗡嗡声）。请参见 [Σ-ΔA/D 转换器的滤波特性](#)。

在这种情况下，应该利用 I/O 配置或 ASIOACC 库中的手动转移频率的选项，而不是依靠基于序列号的默认频率转移。

如下图所示的频率移动足以防止模块之间的相互影响，并且不会对滤波器的特性造成任何明显的差异。

槽位	1	2	3	4	5	6	...
A/D 转换器 时钟频率移动	0	2	-1	1	-2	0	...

信息。

- 该寄存器在同步模式下没有作用，因为固件调节 A/D 转换器时钟频率的方式是 A/D 转换器周期与 X2X 周期同步。
- 当使用 ASIOACC 库向该寄存器写入时，只接受写入值的最低字节值。例如，数值 256（=0x100）与数值 0（=0x00）是相同的。



1.2.14.6.4. 模块状态

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

寄存器名称:

StatusInput01

该寄存器中显示了模块的当前状态。

Data type	Values
USINT	See the bit structure.

Bit structure:

Bit	Description	Value	Information
0	A/D 转换器值	0	有效的 A/D 转换器值
		1	无效的 A/D 转换器值 (模拟值 = 0xFF800000)。可能的原因。 • 应变仪供应错误 • I/O 电源错误 • A/D 转换器尚未配置
1	线路监测	0	正常
		1	开路
2	仅在同步模式下有效	0	A/D 转换器与 X2X 链接同步运行

		1	A/D 转换器不与 X2X 链接同步运行
3 - 7	预留	-	

1.2.14.6.5. 应变计值（模拟量输入）

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

寄存器名称:

AnalogInput01

该寄存器包含由 A/D 转换器确定的全桥应变仪的原始值，分辨率为 24 位。

Data type	Values	Information
DINT	-8,388,608	负的无效值
	-8,388,607	负的满量程偏转/下溢
	-8,388,606 to 8388606	有效范围
	8,388,607	正的满量程偏转/溢出/开路

有效分辨率

原则上，A/D 转换器的有效分辨率取决于数据速率和测量范围（见 [A/D 转换器的有效分辨率](#)）。

下表显示了应变仪数值的有效分辨率（位）或有效范围如何取决于模块配置（数据速率、测量范围）。

	Measurement range							
	±16 mV/V		±8 mV/V		±4 mV/V		±2 mV/V	
Data rate	Bits	Range of values	Bits	Range of values	Bits	Range of values	Bits	Range of values



fDATA [Hz]								
2.5	19.9	±489,000	19.1	±281,000	18.0	±131,000	17.4	±86,500
5	19.4	±346,000	18.2	±151,000	17.5	±92,700	16.4	±43,200
10	18.5	±185,000	17.8	±114,000	16.8	±57,100	15.9	±30,600
15	18.2	±151,000	17.3	±80,700	16.4	±43,200	15.4	±21,600
25	17.8	±114,000	16.9	±61,100	16.0	±32,800	14.9	±15,300
30	17.8	±114,000	16.8	±57,100	15.9	±30,600	14.8	±14,300
50	17.4	±86,500	16.3	±40,300	15.4	±21,600	14.4	±10,800
60	17.4	±86,500	16.2	±37,600	15.3	±20,200	14.1	±8,780
100	16.9	±61,100	15.9	±30,600	14.8	±14,300	13.8	±7,130
500	15.5	±23,200	14.5	±11,600	13.5	±5,790	12.5	±2,900
1000	15.0	±16,400	14.1	±8,780	13.1	±4,390	11.9	±1,910
2000	14.5	±11,600	13.4	±5,400	12.6	±3,100	11.4	±1,350
3750	14.1	±8,780	13.1	±4,390	12.1	±2,190	11.1	±1,100
7500	13.8	±7,130	12.7	±3,330	11.8	±1,780	10.6	±776

表:测量范围为 2 至 16 mV/V 时, 应变仪数值的有效分辨率比特

Measurement range			
±256 mV/V	±128 mV/V	±64 mV/V	±32 mV/V

Data rate fDATA [Hz]	Bits	Range of values	Bits	Range of values	Bits	Range of values	Bits	Range of values
2.5	22.0	±2,100,000	22.0	±2,100,000	21.2	±1,200,000	20.5	±741,000
5	21.7	±1,700,000	21.4	±1,380,000	20.8	±913,000	20.3	±645,000
10	20.8	±913,000	20.8	±913,000	20.2	±602,000	19.4	±346,000
15	20.7	±852,000	20.5	±741,000	19.9	±489,000	19.3	±323,000
25	20.1	±562,000	19.9	±489,000	19.7	±426,000	18.9	±245,000
30	19.9	±489,000	19.9	±489,000	19.4	±346,000	18.8	±228,000
50	19.8	±456,000	19.2	±301,000	19.2	±301,000	18.2	±151,000
60	19.5	±371,000	19.2	±301,000	19.0	±262,000	18.2	±151,000
100	19.0	±262,000	18.8	±228,000	18.5	±185,000	17.6	±99,300
500	17.8	±114,000	17.5	±92,700	17.1	±70,200	16.4	±43,200
1000	17.2	±75,300	17.1	±70,200	16.7	±53,200	15.8	±28,500
2000	16.7	±53,200	16.5	±46,300	16.1	±35,100	15.2	±18,800

3750	16.2	±37,600	16.1	±35,100	15.8	±28,500	14.9	±15,300
7500	15.9	±30,600	15.8	±28,500	15.3	±20,200	14.6	±12,400

表:测量范围为 32 至 256 mV/V 时，应变仪数值的有效分辨率比特

1.2.14.7. 功能模式“1 - Multisampling”寄存器

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

包含以下内容

- [A/D 转换器配置](#)
- [A/D 转换器周期时间](#)
- [测量值的数量](#)
- [模块状态](#)
- [应变仪值 - 多重](#)

1.2.14.7.1. A/D 转换器配置

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

寄存器名称:

ConfigGain01_MultiSample

A/D 转换器的测量范围可以在这个寄存器中进行配置。

Data type	Values
USINT	See the bit structure.

Bit structure:

Bit	Description	Value	Information
0 - 2	标准测量范围（位 2=0）	000	16 mV/V
		001	8 mV/V
		010	4 mV/V
		011	2 mV/V
	扩展测量范围（位 2=1）	100	256 mV/V
		101	128 mV/V
		110	64 mV/V
		111	32 mV/V
3 - 7	预留	0	(must be 0)

1.2.14.7.2. A/D 转换器周期时间

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

寄存器名称:

ConfigCycleTime01_MultiSample

A/D 转换器的周期时间可以在这个寄存器中进行配置。

为了使多采样工作，X2X 周期时间必须能被 A/D 转换器周期时间除以整数。

Data type	Value	Information
USINT	0	50 μ s (default)
	1	100 μ s
	2 to 255	预留

1.2.14.7.3. 测量值的数量

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

如果 X2X 周期时间太短，那么就不能进行全部 10 次测量。为了减少 X2X Link 的负荷，只传输可以进行的测量值是有意义的。这就是为什么可以配置要传输的测量值的数量（见[功能模型 1 - Multisampling](#)）。

例子。A/D 转换器周期时间=50μs

X2X cycle time	要传输的测量值的数量
250 μs	5
300 μs	6
350 μs	7
400 μs	8
450 μs	9
≥ 500 μs	10

例子。A/D 转换器周期时间=100μs

X2X cycle time	要传输的测量值的数量
300 μs	3
400 μs	4
500 μs	5
600 μs	6
700 μs	7

800 μ s	8
900 μ s	9
≥ 1 ms	10

1.2.14.7.4. 模块状态

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

寄存器名称:

StatusInput01

该寄存器包含了模块的当前状态。

Data type	Values
USINT	See the bit structure.

Bit structure:

Bit	Description	Value	Information
0	A/D 转换器值	0	有效的 A/D 转换器值
		1	无效的 A/D 转换器值
1	线路监测	0	准确
		1	开路 在这个 X2X 周期中，至少有一次测量发现开路。如果在纠正这个错误后，所有的测量都是 OK 的，那么这个位就会被重置，

			也就是说，它不需要被确认。
2	同步模式	0	A/D 转换器与 X2X 链接同步运行
		1	A/D 转换器不与 X2X 链接同步运行
3 - 7	预留	-	

1.2.14.7.5. 应变仪值 - 多重

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

寄存器名称:

AnalogInput01 to AnalogInput10

该寄存器包含由 A/D 转换器确定的全桥应变仪的原始值，分辨率为 16 位。根据配置的不同，该模块每个 X2X 周期返回 3 到 10 个测量值。

有效分辨率

原则上，A/D 转换器的有效分辨率取决于数据速率和测量范围（见 [A/D 转换器的有效分辨率](#)）。

下表显示了应变仪数值的有效分辨率（位）或有效范围如何取决于模块配置（数据速率、测量范围）。

Measurement range							
±16 mV/V		±8 mV/V		±4 mV/V		±2 mV/V	
Bits	Range of values	Bits	Range of values	Bits	Range of values	Bits	Range of values
13.4	±5,240	12.3	±2,510	11.3	±1,300	10.3	±630

表:测量范围为 2 至 16 mV/V 时，应变仪数值的有效分辨率比特

Measurement range							
± 256 mV/V		± 128 mV/V		± 64 mV/V		± 32 mV/V	
Bits	Range of values	Bits	Range of values	Bits	Range of values	Bits	Range of values
15.5	$\pm 23,200$	15.0	$\pm 16,400$	15.0	$\pm 16,400$	14.1	$\pm 8,490$

表:测量范围为 32 至 256 mV/V 时, 应变仪数值的有效分辨率比特

1.2.14.8. 功能模式“2 - Extended filter”寄存器

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

包含以下内容:

- [A/D 转换器和 IIR 滤波器配置](#)
- [数据速率配置](#)
- [模块状态](#)
- [A/D 转换器转换时间戳](#)

1.2.14.8.1. A/D 转换器和 IIR 滤波器配置

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

寄存器名称:

ConfigCommonOutput01

A/D 转换器的 IIR 低通滤波器和测量范围可以在这个寄存器中进行配置。

Data type	Values
-----------	--------

USINT	See the bit structure.
-------	------------------------

Bit structure:

Bit	Description	Value	Information
			Filter level
0 - 3	IIR low-pass filter	0000	0: 关闭 IIR 低通滤波器
		0001	1
		0010	2
		0011	3
		0100	4
		0101	5
		0110	6
		0111	7
		1000	8
		1001 - 1111	模拟输入值显示无效的范围.
4 - 6	默认测量范围	000	16 mV/V
		001	8 mV/V
		010	4 mV/V
		011	2 mV/V
	扩展测量范围	100	256 mV/V

		101	128 mV/V
		110	64 mV/V
		111	32 mV/V
7	预留	0	(must be 0)

1.2.14.8.2. 数据速率配置

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

寄存器名称:

ConfigFilterOutput01

在这个寄存器中可以配置 FIR 滤波器是使用可选择的数据速率还是高分辨率的数据速率。

Data type	Values	Information
UINT	0	模式 "Selectable data rate"。 一个可选择的数据率用于 FIR 滤波器（默认）。配置在寄存器 ConfigDatarateOutput01 中进行。
	1	模式 "High resolution"。 FIR 滤波器使用高分辨率的数据率。配置在寄存器 ConfigHighResolutionOutput01 中进行。

寄存器名称:

ConfigDatarateOutput01

在 "Selectable data rate"模式下，FIR 滤波器的数据速率被配置在这个寄存器中。

Data type	Values
USINT	See the bit structure.

Bit structure:

Bit	Description	Value	Information
0 - 3	数据率	0000	2.5
	Data rate	0001	5
	fDATA	0010	10
	(每秒采样个数):	0011	15
		0100	25
		0101	30
		0110	50
		0111	60
		1000	100
		1001	500
		1010	1000
		1011	2000
		1100	3750
		1101	7500
		1110 - 1111	模拟输入值显示无效的范围。

4 - 7	预留	0	(must be 0)
-------	----	---	-------------

寄存器名称:

ConfigHighResolutionOutput01

FIR 滤波器的数据速率以 0.1Hz 为单位在该寄存器中进行配置（0.1 至 6553.5Hz）。

Data type	Values	Information
UINT	0	禁用 FIR 滤波器
	1 to 65,535	0.1 to 6553.5 Hz

1.2.14.8.3. 模块状态

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

寄存器名称:

StatusInput01

该寄存器包含了模块的当前状态。如果模块电源或应变片供应出现故障，模拟输入值显示为无效范围，启用的滤波器的缓冲区被重置。

Data type	Values
USINT	See the bit structure.

Bit structure:

Bit	Description	Value	Information
0	A/D 转换器值	0	有效的 A/D 转换器值
		1	无效的 A/D 转换器值
1	线路监测	0	OK
		1	开路

2	保留	-	
3	模块电源	0	OK
		1	模块电源出错
4	应变仪电源	0	OK
		1	应变仪的误差
5	FIR 滤波器准备就绪	0	OK
		1	FIR 滤波器尚未准备好
6 - 7		-	

1.2.14.8.4. A/D 转换器转换时间戳

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

寄存器名称:

AdcConvTimeStampInput01

该寄存器持有最后一次模拟转换的时间戳。这始终是最新的 A/D 转换器原始值转换完成的时间点，单位是[μs]。

Data type	Values	Explanation
DINT	-2,147,483,648 to 2,147,483,647	最后一次模拟转换的时间戳 [s]。

1.2.14.9. 最小循环时间

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

最小循环时间规定了在不发生通信错误的情况下，总线循环可以减少到的时间。需要注意的是，非常快的循环会减少用于处理监测、诊断和非循环命令的空闲时间。

最小循环时间

250 μ s

1.2.14.10. 最小 I/O 更新时间

X20(c)AI1744 - Data sheet V4.25

最小 I/O 更新时间规定了总线周期可以减少到什么程度，以便在每个周期中进行 I/O 更新。

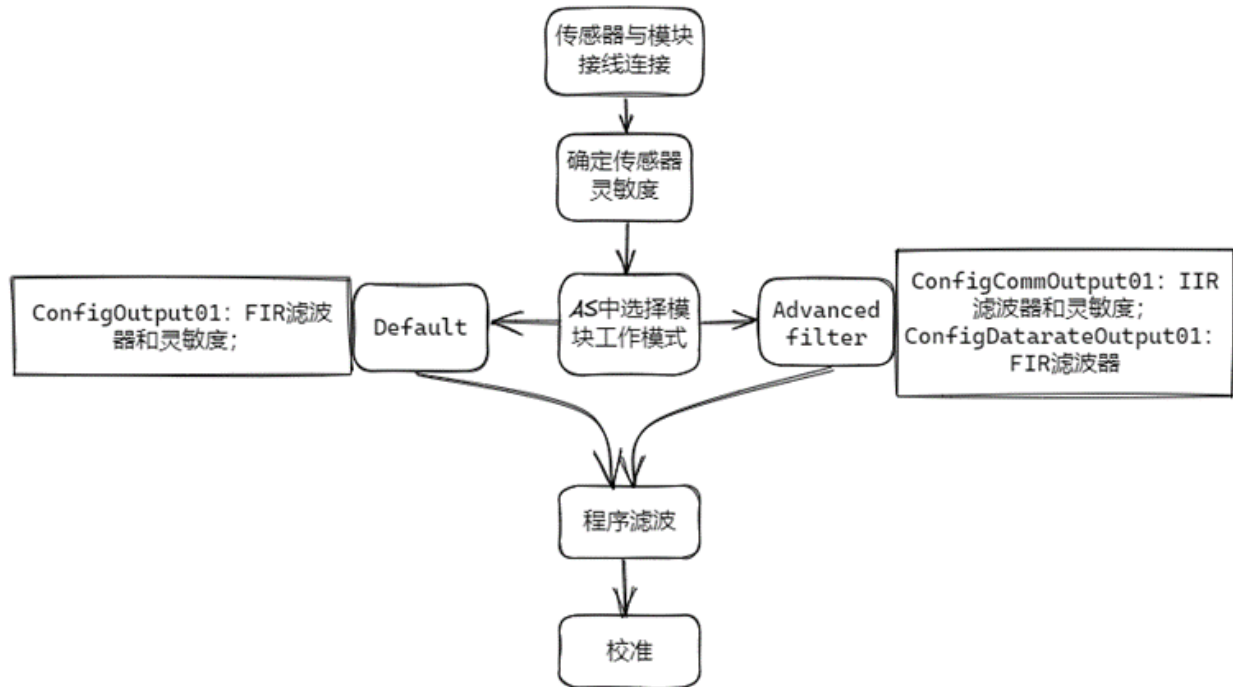
关于 "0 - Standard"、"2 - Extended filter" 和 "254 - Bud controller" 的 I/O 更新时间，见 ["Selectable data rate" 模式下 FIR 滤波器的特性](#)。

根据寄存器 [ConfigCycletime01_MultiSample](#) 的设置，"功能模型 1-多采样" 的 I/O 更新时间为 50 或 100 μ s。

1.3. X20AI1744 使用配置方法

本小节将介绍 X20AI1744 模块在实际项目中的使用和配置方法，给出一个 step-by-step 的配置流程，方便实际使用。

模块的总体使用流程为：



包含以下内容:

- [传感器与模块接线连接](#)
- [确定传感器灵敏度](#)
- [AS 中选择工作模式与配置](#)
- [程序滤波](#)
- [校准](#)

1.3.1. 传感器与模块接线连接

接线可参考 [引脚分布](#) 和 [接线实例](#)。

1.3.2. 确定传感器灵敏度

在使用模块前，需要确认所连接传感器的灵敏度大小和量程，通过查询所使用传感器的技术手册即可获得。

下图为某家应变计传感器的参数信息表，其中要关注的值为应变计的灵敏度和量程。

SPECIFICATIONS

Type			PW10A...					
Accuracy class ¹⁾			C3 Multi Range (MR)					
Number of load cell verification intervals	n _{LC}		3000					
Maximum capacity ²⁾	E _{max}	kg	50	100	150	200	250	300
Minimum load cell verification interval Accuracy class C3MR	v _{min}	g	5	10	10	20	20	20
Temperature coefficient of zero signal Accuracy class C3MR	TC ₀	% of C _N /10 K	±0.0140	±0.0140	±0.0093	±0.0140	±0.0112	±0.0093
Ratio of minimum verification interval Y	Y		10,000		15,000	10,000	12,500	15,000
Maximum platform size		mm	600 x 500					
Rated output (nominal)	C _N	mV/V	2.0 ±0.2 (Option 6: A = 2 mV/V ±0.1 %)					
Zero signal			0 ±0.1					
Temperature coefficient of sensitivity ³⁾	TC _S	% of C _N /10 K	±0.0175					
Temperature range +20 ... +40 °C -10 ... +20 °C			±0.0117					
Relative reversibility error ³⁾	d _{hy}	% of C _N	±0.0166					
Non-linearity ³⁾	d _{lin}		±0.0166					
Minimum dead load output return	DR		±0.0166					
Off-center load error ⁴⁾			±0.0233					

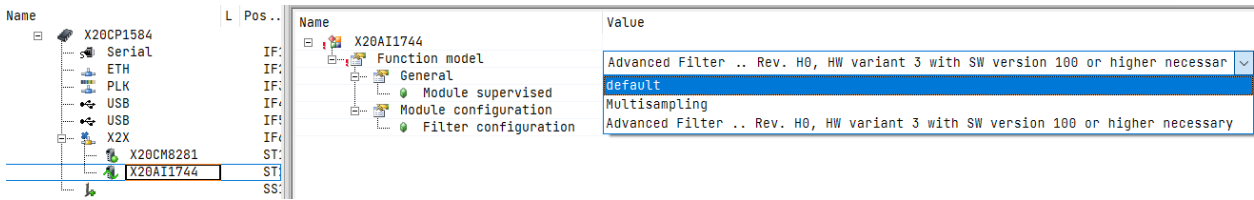
以 Maximum capacity 是 50kg 为例进行说明：

- 50kg 是传感器的检测量程；
- 2.0mV/V 为传感器的灵敏度（标称值 2mV/V，暂时不考虑误差）。

即，在负载为 50kg 的重物时，传感器输出最大的电压约为 2.0mV/V。注意，该输出是一个比值，因为输出信号的大小与输入的电压成正比。所以，对于该传感器，如果输入电压为 1V，则负载 50kg 时，输出电压为 2.0mV。灵敏度是一个重要的参数，在 [AS 中选择工作模式与配置](#) 中的模块配置过程中，起到重要作用。

1.3.3. AS 中选择工作模式与配置

在 AS 的硬件树中添加 X20AI1744 模块，右键模块后，选择“Configuration”，出现模块的配置页面。



选择模块的 Function model，有三种：

- Default（对应 [功能模式 0 - Standard](#)）；
- Multisampling（对应 [功能模式 1 - Multisampling](#)）；
- Advanced filter（对应 [功能模式 2 - Extended filter](#)）。

下面介绍如何在不同模式下进行配置：

- [功能模式 - “Default”配置](#)
- [功能模式 - “Advanced filter”配置](#)

注：推荐使用 Advanced filter 模式下的默认 FIR-Filter default 模式。

1.3.3.1. 功能模式 - “Default”配置

选择 Default 模式后，I/O mapping 表如图所示，相关参数含义可见 [功能模式 0 - Standard](#)：

Channel Name	Process Variable	Data Type
Module0k	::gIOCtrl.HWConfig.AI1744.Module0k	BOOL
SerialNumber	::gIOCtrl.HWConfig.AI1744.SerialNumber	UDINT
ModuleID	::gIOCtrl.HWConfig.AI1744.ModuleID	UINT
HardwareVariant	::gIOCtrl.HWConfig.AI1744.HardwareVariant	UINT
FirmwareVersion	::gIOCtrl.HWConfig.AI1744.FirmwareVersion	UINT
AnalogInput01	::gIOCtrl.HWConfig.AI1744.AnalogInput01	DINT
StatusInput01	::gIOCtrl.HWConfig.AI1744.StatusInput01	USINT
ConfigOutput01		USINT

有 2 个参数需要注意：

- AnalogInput01，模拟信号通过模块内部 A/D 转换器转换后的原始信号，24 位；

- ConfigOutput01, 配置 FIR 滤波器的采样率 Data rate 和 A/D 转换器的测量范围（根据传感器灵敏度配置），见 [A/D 转换器配置](#)。在此模式下，IIR 低通滤波器不再工作，只有 FIR 滤波器还在工作。

以下举例说明：

Bit	Description	Value	Information
0 - 3	数据率 Data rate fDATA (每秒采样个数):	0000	2.5
		0001	5
		0010	10
		0011	15
		0100	25
		0101	30
		0110	50
		0111	60
		1000	100
		1001	500
		1010	1000
		1011	2000
		1100	3750
		1101	7500 (bus controller 默认配置)
		1110	同步模式
		1111	预留

4 - 6	标准测量范围 (bit 6 = 0)	000	16 mV/V (bus controller 默认配置)
		001	8 mV/V
		010	4 mV/V
		011	2 mV/V
	扩展测量范围 (bit 6 = 1)	100	256 mV/V
		101	128 mV/V
		110	64 mV/V
		111	32 mV/V
7	预留	0	(must be 0)

例如，该值为 48，代表寄存器为 00110000，表示传感器分辨率为 2mV/V，FIR 数据更新率为 2.5Hz。

在模式 0 (default) /254 (bus controller) 下面 CPU 上读到的数据的更新频率为设定的数据频率 (Data rate)。例如设置为 0000 时，FPGA 上每秒从 ADC 上读取到 15000 个数据，然后以 2.5Hz 的频率进行滤波，滤波器的窗口时间为 $1/f_{\text{Notch}} = 0.4\text{s}$ ，即，滑动均值滤波器每次取 $15000 \times 0.4 = 6000$ 个数据进行平均，计算得到滤波器的输出，滤波器的输出结果每 0.4 秒更新一次，即，在 CPU 上每 0.4s 才能读到一个新的数据。

1.3.3.2. 功能模式 - “Advanced filter”配置

选择 Advanced filter 模式后，I/O mapping 表如图所示，相关参数含义可见 [功能模式 2 - Extended filter](#)：

Channel Name	Process Variable	Data Type
• ModuleOk	::gIOCtrl.HWConfig.AI1744.ModuleOk	BOOL
• SerialNumber	::gIOCtrl.HWConfig.AI1744.SerialNumber	UDINT
• ModuleID	::gIOCtrl.HWConfig.AI1744.ModuleID	UINT
• HardwareVariant	::gIOCtrl.HWConfig.AI1744.HardwareVariant	UINT
• FirmwareVersion	::gIOCtrl.HWConfig.AI1744.FirmwareVersion	UINT
• AnalogInput01	::gIOCtrl.HWConfig.AI1744.AnalogInput01	DINT
• AdcConvTimeStamp01	::gIOCtrl.HWConfig.AI1744.AdcConvTimeStamp01	DINT
• StatusInput01	::gIOCtrl.HWConfig.AI1744.StatusInput01	USINT
• ConfigCommonOutput01	::gIOCtrl.HWConfig.AI1744.ConfigCommonOutput01	USINT
• ConfigDatarateOutput01	::gIOCtrl.HWConfig.AI1744.ConfigDatarateOutput01	USINT

有 3 个参数需要注意：

- AnalogInput01，模拟信号通过模块内部 A/D 转换器转换后的原始信号，24 位；
- ConfigCommOutput01，配置 IIR 低通滤波器的滤波 level（0~8）和 A/D 转换器的测量范围（根据传感器灵敏度配置），见 [A/D 转换器和 IIR 滤波器配置](#)
- ConfigDatarateOutput01，在“可选模式下”配置 FIR 滤波器的采样率 Data rate，见 [数据速率配置](#)。

以下举例说明：

Bit	Description	Value	Information
			Filter level
0 - 3	IIR low-pass filter	0000	0: 关闭 IIR 低通滤波器
		0001	1
		0010	2
		0011	3
		0100	4
		0101	5
		0110	6

		0111	7
		1000	8
		1001 - 1111	模拟输入值显示无效的范围.
4 - 6	默认测量范围	000	16 mV/V
		001	8 mV/V
		010	4 mV/V
		011	2 mV/V
	扩展测量范围	100	256 mV/V
		101	128 mV/V
		110	64 mV/V
		111	32 mV/V
7	预留	0	(must be 0)

对于 ConfigCommOutput01, 设置为 56, 代表寄存器为 00111000, 传感器分辨率为 2mV/V, IIR 低通滤波选择 8 阶。

Bit	Description	Value	Information
0 - 3	数据率	0000	2.5
	Data rate	0001	5
	fDATA	0010	10
	(每秒采样个数):	0011	15
		0100	25

		0101	30
		0110	50
		0111	60
		1000	100
		1001	500
		1010	1000
		1011	2000
		1100	3750
		1101	7500
		1110 - 1111	模拟输入值显示无效的范围。
4 - 7	预留	0	(must be 0)

对于 ConfigDataRateOutput01，该值设置为 0，代表寄存器为 00000000，表示 FIR 数据更新率为 2.5Hz。

在模式 2（Extended filter 或叫 Advanced filter）下，CPU 上读到的数据的刷新率与 CPU 的任务周期和 X2X 的总线周期有关，数据在每个 X2X 周期都会更新。通过设置数据刷新率，来设置 FIR 滤 2.5Hz 的频率进行滤波，滤波器的窗口时间为 $1/f_{\text{Notch}} = 0.4\text{s}$ ，即，滑动均值滤波器每次取 $15000 \times 0.4 = 6000$ 个数据进行平均，计算得到滤波器的输出，每次 FPGA 从 ADC 上读到一个新的数据，滤波器的输出结果都会更新，即，在 CPU 上每个任务周期都会读到新的数据（需要任务周期 $\geq$ X2X 周期）。

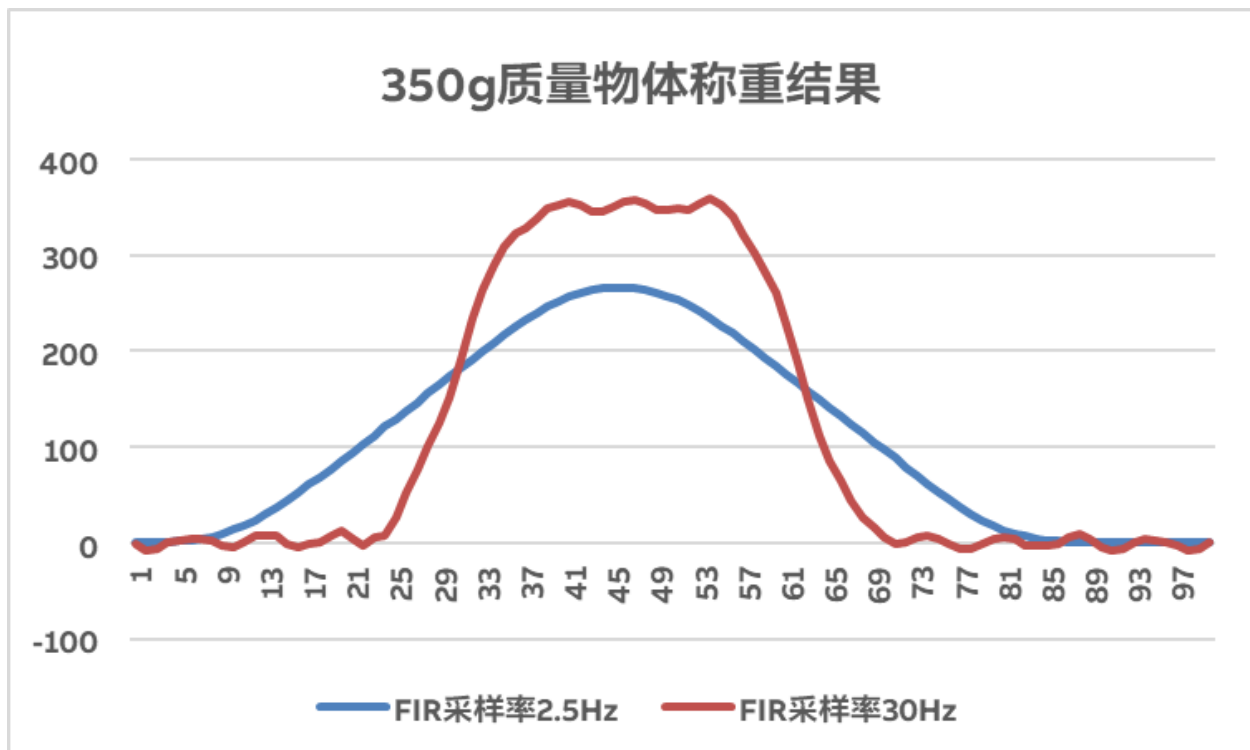
1.3.4. 程序滤波

经过软件配置后，可以从 AnalogInput01 中获取实时的原始 DINT 数据，如果 [软件过滤器](#) 中的模块软件滤波效果不够，可以通过编写程序进一步滤波。这里介绍两种简单的方法：

- 滑动均值滤波，MTFilterMovingAverage()功能块，WindowLength 设置的越大，滤波效果越好，延时也越大，延时为 $0.5 * WindowLength * CyclicTime$ （当前程序块的扫描周期）。
- 一阶延迟滤波，LCRPT1()功能块，时间常数 t 设置的越大，滤波效果越好，延迟也越大，延时为 t。

注意事项：

特别注意，程序滤波和 [软件过滤器](#) 中的模块内的软件滤波在使用时要结合实际场景，经过测试获取一个合适的滤波参数，达到滤波效果和延时的一个合适的折衷值。如果一味地追求滤波效果，会造成较大延迟，对于某些特殊的场景，例如检重（物体在某个速度下通过称重秤体），过大的延迟导致滤波器无法达到稳定状态，因而无法获取真实的重量，如下图所示。



1.3.5. 校准

经过程序滤波后，滤波后的 DINT 数据需要通过单位转换进行校准，才能获得实际的重量数据，如 g 或 kg。这里给出一个参考流程，包括两部分：

- 零点校准：实际现场应用时，称重环节需要外围机械辅助，会有一些额外的设备也安装在传感器上（例如秤台、安装支架、料斗等等），需要进行清零操作，得到皮重 W_0 ；
- 重量校准：DINT 数据跟实际重量有一个对应关系，需要一个转换系数，将 DINT 变为实际的克重。在完成零点校准后，将一个标准质量的砝码 m_s 放置在秤体上，输入该砝码的标称值 m_s ，得到一个 DINT 数值 W_i ，通过简单计算即可得到转换系数 K_w ，如下公式：

$$K_w = \frac{W_i - W_0}{m_s}$$

经过校准后，每一次都可以得到实际重量：

$$m_{act} = \frac{W_{act} - W_0}{K_w}$$

W_{act} 为实时的原始 DINT 信号。

在实际应用过程中，会出现线损和零漂问题，影响测量精度，需要进一步的校准工作：

- [线损计算](#)
- [零点漂移计算](#)

1.3.5.1. 线损计算

由于线缆电阻的影响，实际加在传感器输入引脚上的电压会比 X20AI1744 模块输出的电压 5.5V 要低，这就会导致传感器输出的信号电压比标准的 5.5V 对应的电压要低，最终导致测量结果偏小。

实际使用中通常采用两个测量点的方法对整个测量系统（AI1744 模块，线缆，传感器等）进行校准。对信号的斜率以及零点偏移进行校正。通常的做法是取一个质量在传感器量程 1/5 到 1/3 的标准砝码，分别测量无砝码和有砝码时的测量数据，根据两次的结果对测量数据进行校正，为了保证数据的准确性可以多次测量取平均值。

对于无法进行校准的应用，可以通过计算的方法对线损进行补偿可见 [实际桥式电压计算](#)，线损主要在传感器的供电线缆上。

以下举例说明：

- 首先，计算供电线缆上的电流，AI1744 模块输出的激励电压为 $V = 5.5V$ ，根据传感器的输入阻抗 R_{in} 可以计算出供电线缆上的电流 $A = \frac{V}{R_{in}}$ ，例如输入电阻为 378Ω ，则电流为 $A = \frac{5.5}{378} = 0.01455A$ 。
- 然后，根据线缆的电导率计算线缆的电阻，可以取铜的电导率 $\rho = 12 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$ （注：多股铜线的电导率，不是纯铜的电导率）。导线的及面积 S ，例如 0.15mm^2 ，线长取两倍的实际线缆的长度（0V 和 5.5V 线缆都要计算）。

例如 5 米长的线缆，对应的电阻：

$$R = \frac{1.5}{12 * 0.15} = 5.56\Omega$$

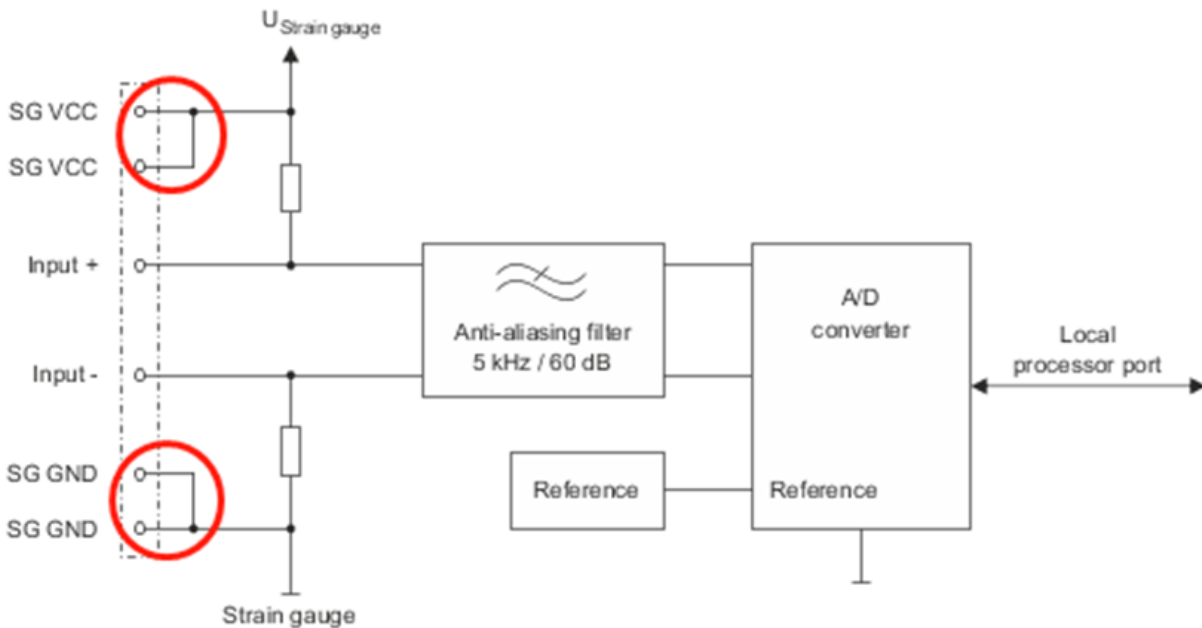
- 接着，计算实际加在传感器两端的电压：

$$V' = 5.5V - 0.01455A * 5.56\Omega = 5.419V$$

- 最后，对 AI1744 的数据 X 进行修正：

$$X' = X \frac{V}{V'} = X * \frac{5.5}{5.419} = 1.015X$$

需要注意的是上述计算对应的是 4 线接法。对于 AI1744 采用 6 线接法无法对线缆的压降进行校准，见 [接线实例](#)，在 AI1744 的模块内部两个供电引脚的短路的，如下图：

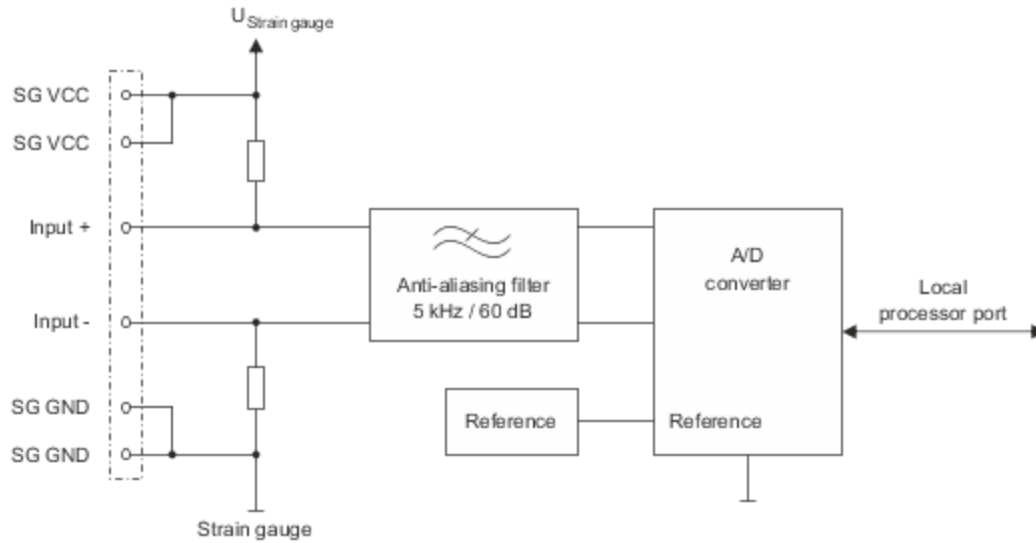


但是，采用六线接法时可以减小线缆上的压降，提高整体测量的准确度，采用六线接法在计算压降的影响时需要对线缆的直径取 2 倍大小。

1.3.5.2. 零点漂移

零点漂移产生原因

如图所示，为了对 Input+和 Input-上的信号线进行断线检测，AI1744 模块内部设置了上拉电阻和下拉电阻，导致了零点漂移现象。根据 B&R 总部提供的信息，这两电阻的阻值为 10MΩ。

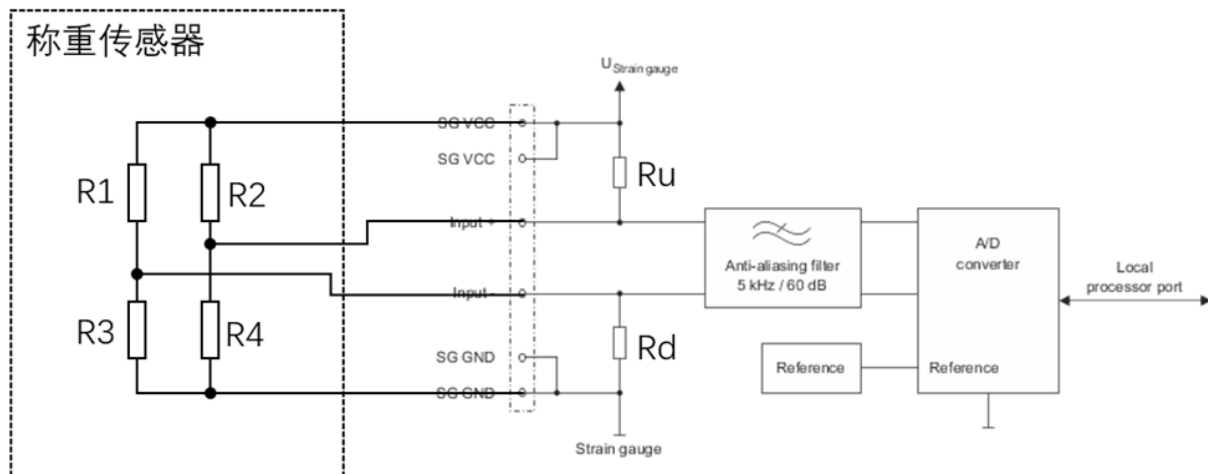


零点漂移计算

传感器的参数如下:

- 量程: 2mV/V, 3000kg
- 输入阻抗: $387 \pm 20 \Omega$
- 输出阻抗: $350 \pm 5 \Omega$

传感器与模块连接后原理图如下:



由于传感器的输入阻值和输出阻值接近, 为了简化计算, 在无负载的情况下, 取传感器的四个电阻阻值相同 $R1=R2=R3=R4=350 \Omega$ 。

用 R_u 表示 Input+ 的上拉电阻, R_d 表示 Input- 的下拉电阻, 阻值为 $10M\Omega$ 。

由于上拉电阻 R_u 的存在, 相当于给 R_2 并联的一个电阻, 使得 R_2 的阻值变小, 从而电桥的右半边输出的电压比平衡时电压略大。电桥平衡时 R_2 , R_4 的阻值相同, Input+ 上的电压应该为 $0.5V/V$ 。

由于上拉电阻, R_2 的阻值等效变化为:

$$R'_2 = \frac{R_2 * R_u}{R_2 + R_u}$$

此时 Input+ 上的电压为:

$$U' = \frac{R_4}{R'_2 + R_4}, \text{ 单位为 } V/V$$

右边半桥的电压变化为:

$$dU = U' - 0.5, \text{ 单位为 } V/V; \text{ 换算为 } mV/V \text{ 则为 } dU = 1000(U' - 0.5)$$

$$dU \text{ 为电信号的零漂值, 换算为质量零漂值为 } dm = \frac{dU * M}{U_a}$$

其中 M 为传感器的质量量程, U_a 为传感器的电信号量程。

可见:

- 传感器的电信号量程对零漂的影响是反比例的 (计算 dm 时, U_a 在分母上), 即, U_a 越大, 零漂越小。
- 传感器的质量量程对零漂的影响是成正比例的 (计算 dm 时, M 在分子上), 即, 质量量程越大, 零漂越大。
- 传感器的阻值对零漂的影响是近似正比例的, 即传感器的阻值越大, 零漂越大。

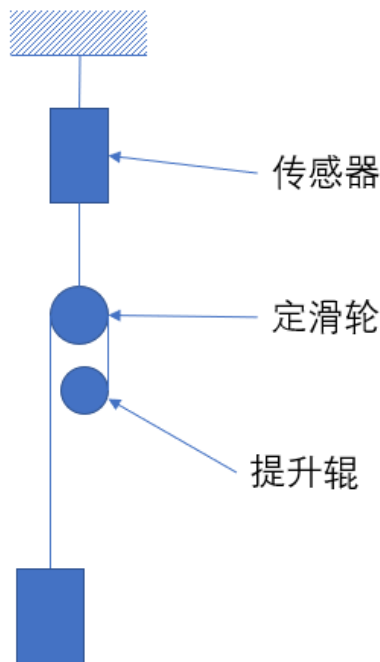
案例计算

提供了单晶炉称重案例的计算过程:

[案例: 单晶炉硅棒称重](#)

1.3.5.2.1. 案例: 单晶炉硅棒称重

单晶炉的机械结构如下:



对于传感器说，图中的定滑轮相当于一个动滑轮，负载的拉力会传递在钢丝绳上，定滑轮的左右两侧会有相同的拉力作用在定滑轮上，从而导致传感器上的受力是两倍的负载重量（忽略定滑轮和钢丝绳的重量）。

当负载重量为 1500kg 时，传感器收到的拉力为 3000kg 的拉力，对应传感器满量程的重量。所以传感器满量程时，对应的负载质量为 1500kg。

根据现场数据，代入上述计算过程，由于机械结构上的滑轮机构，导致传感器的质量量程减半，为 $M=1500\text{kg}$ ，电压量程 $U_a=2\text{mV/V}$ ，计算流程如下：

$$R'_2 = \frac{R_2 * R_u}{R_2 + R_u} = \frac{350 * 10000000}{350 + 10000000} = 349.9877504\Omega$$

$$U' = \frac{R_4}{R'_2 + R_4} = \frac{350}{350 + 349.9877504} = 0.50000875\text{V/V}$$

$$dU = 1000(U' - 0.5) = 1000 * (0.50000875 - 0.5) = 0.00875\text{mV/V}$$

$$dm = \frac{dU * M}{U_a} = 0.00875 \frac{1500}{2} = 6.5625\text{kg}$$

同理，由于下拉电阻 R_d ，导致 R_3 的阻值偏小， R_1 ， R_3 之间的信号电压会偏小，从而导致 Input+和 Input-之间的压差增大，导致结果偏大。由于 R_2 与 R_3 相等， R_d 与 R_u 相等，所以计算得到的质量偏差相同。

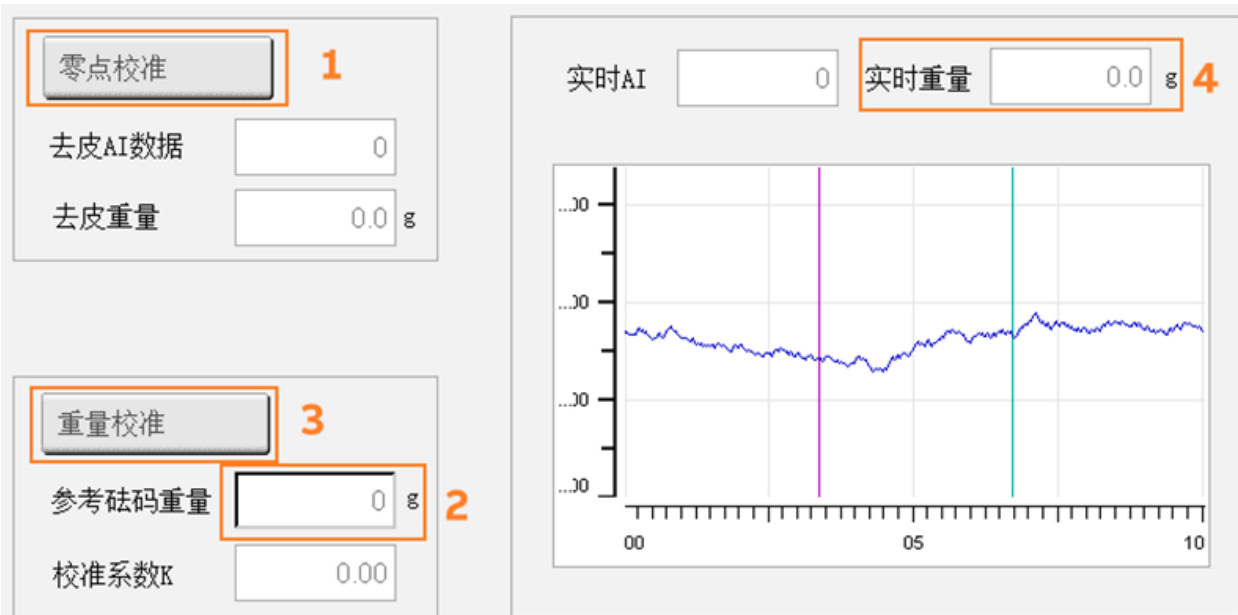
即, $dM = 2dm = 2 * 6.5625 = 13.125kg$ 。

现场实际测量零漂值对应的质量为 12.95kg, 理论计算与实际测量结果基本吻合, 误差为 1.35%。

1.4. 例程

测试程序使用:

提供了样例下载程序, 可回到主页进行下载: [硬件 X20AI1744 使用手册](#)



(1) 零点校准

- 点击“零点校准”按钮 (框 1), 执行去皮操作, 对应变量 `gCalibrationCtrl.Cmd.ScaleZero`。

(2) 重量校准

- 先在框 2 中, 输入校准所需要的标准砝码质量, 对应变量 `gCalibrationCtrl.Para.WeightRef`;
- 将标准砝码放置在秤体上, 等待稳定;
- 点击“重量校准”按钮 (框 3), 执行校准操作, 获取校准系数, 对应变量 `gCalibrationCtrl.Cmd.ScaleCheck`。

(3) 重量显示

- 完成步骤 1 和步骤 2 后，在框 4 中会显示传感器检测到的实时重量；