

Input Shaping(输入整形)

伺服驱动器 CMMT-AS/CMMT-ST

振动补偿功能

使用 Festo Automation Suite (FAS) 软件，演示如何设置和实现
伺服驱动器 CMMT-AS 和 CMMT-ST 振动补偿功能

CMMT

标题	Input Shaping - 伺服驱动器 CMMT-AS 和 CMMT-ST 振动补偿
版本	1.10
文件编号	100494
原文语言	de
作者	Festo
上次保存时间	02.04.2025

版权声明

本文件的知识产权及独家版权归 Festo SE & Co. KG 所有。未经 Festo SE & Co. KG 明确许可，不得对本文件的内容进行任何修改、复制或重印，或将本文件分发给第三方。

Festo SE & Co. KG 保留对本文件全部或部分内容进行修改的权利。所有品牌和产品名称均为其各自所有者的商标或注册商标。

法律声明

硬件、软件、操作系统和驱动程序仅用于所述应用，并且只能与 Festo SE & Co. KG 推荐的元件配套使用。

对于因使用本文件中包含的任何不正确或不完整的信息或任何信息缺失所造成的损害，Festo SE & Co. KG 概不负责。

因设备和模块处理不当而导致的缺陷不在保修范围内。

本文件中的数据和信息不得用于实施与人员和机械保护相关的安全功能。

对于因故障或功能缺陷引起的损害索赔，我们不承担任何责任。在其他方面，应适用 Festo SE & Co. KG 的软件交付、付款和使用条款和条件中有关责任的规定（相关文件可访问 www.festo.com 获取，也可按要求提供）。

本文件中包含的所有数据均不代表保证规格，尤其是法律意义上功能、状况或质量方面的保证规格。

本文件中的信息仅作为实施特定假设应用的基本信息，绝非意在替代各制造商的操作说明，也决不能替代用户对各应用的设计和测试工作。

关于 Festo 产品的操作说明，请访问 www.festo.com 获取。

本文件（应用说明）的用户必须验证本文件所描述的所有功能在相关应用中是否也能正常工作。在阅读本文件并遵循其中包含的规范的同时，用户也要对其自己的应用负全部责任。

目 录

1.软件	4
1.1 文档.....	4
2. 引言	5
2.1 机械轴系统和固有频率	5
2.2 影响.....	5
2.3 措施.....	5
3. “Input Shaping”是什么?	6
3.1 Input Shaping 输入整形的工作原理是什么?	6
4. 确定固有频率	8
4.1 通过 Festo Automation Suite 记录电机电流.....	8
4.2 通过外部测量系统记录	8
4.3 加速度计	8
4.4 通过声学测量设备测量	8
4.5 使用智能手机应用程序	8
4.6 传输来自 HGO 的产品参数	8
4.7 手动设置	9
5. Festo Automation Suite 设置	10
6. 实例	11
7. 关于“Input Shaping 输入整形的视频”	15
8. 链接	16

1. 软件

类型/名称	软件/固件版本	货号
Automation Suite	>= V2.5.0.635	
CMMT-AS 插件	>= V2.5.1.2	
CMMT-ST 插件	>= V2.5.1.2	

[Festo Automation Suite 和插件](#)

1.1 文档

类型/名称	版本/日期	货号
手册 CMMT-AS-SW-EN		8195473
手册 CMMT-ST-SW-EN		8196476

[文档伺服驱动器 CMMT-AS](#)

[文档伺服驱动器 CMMT-ST](#)

2. 引言

2.1 机械轴系统和固有频率

机械轴系统在移动过程会引起各种元件（比如同步皮带），产生振动。但是，导轨、轴承、丝杠、齿轮、机器框架、运动负载/结构设计等，同样会影响整个系统在一个或多个频率下产生振动和振荡，具体取决于其几何特性和材料属性。系统结构的质量越低（因此阻尼越低），其固有频率越高，稳定性越低。

2.2 影响

负载在加速或减速时，可能会激发系统的固有频率，进而引发振动，对于不同的自动化生产任务，可能造成不同的后果：

- 定位时间会被延长，直至达到所需的定位偏差窗口或振动达到可接受水平。
- 振动会对所有移动部件（轴承、导轨、丝杠、齿形带、离合器、齿轮等）施加额外载荷，这通常会导致其使用寿命缩短。
- 能量需求会增加。

2.3 措施

以下措施有助于避免/减少振动：

- 加加速度（Jerk）：更改加加速度可以在一定程度上减少振动。但是，该值通常会因为机械受限或驱动器规格受限，从而导致定位时间延长。
- 陷波滤波器(Notch filter)：在某些频率（通常高于 200 Hz）会对驱动器性能造成破坏性影响并且无法被驱动器的控制回路抑制。
- 作为进一步措施，我们的驱动器可通过控制技术减小振动。该功能称为 Input Shaping 输入整形。

“Input Shaping”是什么？

3. “Input Shaping”是什么？

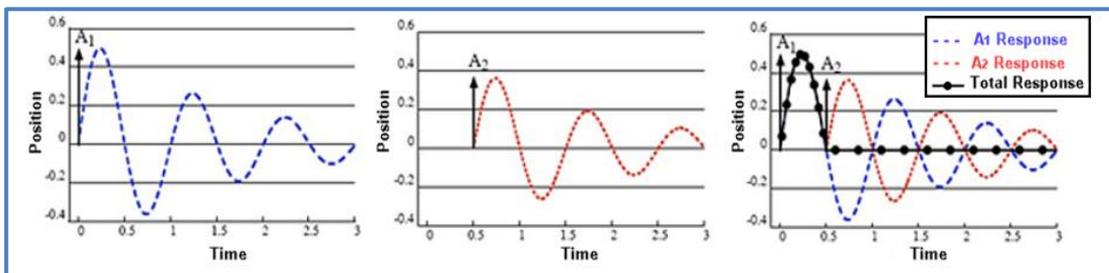
Input Shaping--输入整形，对应Festo Automation Suite 软件中的Vibration Compensation“振动补偿”功能，它是一种控制策略，用于补偿机械系统的固有频率。

3.1 Input Shaping 输入整形的工作原理是什么？

借助**Input Shaping输入整形**功能，任何与时间相关的控制信号（如位置、速度、加速度、减速度或力信号）都可以通过叠加的方式进行修改，从而使系统的激发的自然振荡相互补偿。

Input Shaping输入整形的基本理念是，通过激发第二个振荡来叠加已激发的系统固有振荡，使两个振荡在系统的整体响应中相互抵消。这里的决定性因素是第二个脉冲激励在时间和振幅方面的设计。

脉冲的振幅和时间位置由系统的固有频率和阻尼条件得出。

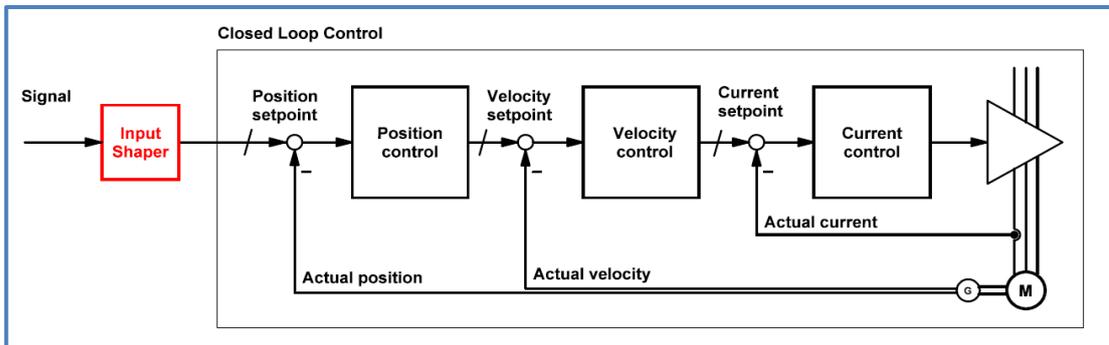


注意：修改控制信号会使定位时间变长！

这种情况可以通过提高加速度和/或加加速度进行补偿，但是在任何情况下，都必须基于实验确定。

如下框图，**Input Shaping 输入整形器**位于控制回路外部，因此，不会影响闭环系统的稳定性。此外，该功能还适用于开环控制（步进）电机。

信号的整形功能可以比较可靠的实现，即便系统参数存在偏差。（大约 +/- 15% 的固有频率偏差仍可以消除超过 90% 的振动）。



为了实现所需的结果，必须将系统的固有频率传达给 **Input Shaping 输入整形器**。

注意：

在多轴系统中，通常会出现不同的轴固有频率，其中一些会叠加。一般来说，补偿主要的轴通常足以充分稳定系统。

说明：

- 对于 CMMT-AS/ST-... 控制器，**Input Shaping输入整形**仅适用于“定位模式”工作模式。
- 陷波滤波器（Notch/Block滤波器）：该滤波器功能作用于控制回路**内部**，因此会对控制系统设计和控制稳定性产生很大影响。
例如，需要在以下情况下使用陷波滤波器：某一速度导致驱动器系统在控制信号中产生高频振荡，而速度控制无法抑制这些振荡。
- 自整定（Auto-tuning）功能：用来确定位置控制器和速度控制器的参数。为此，必须事先设计好电流控制器、且位置控制器和速度控制器的启动参数及励磁信号的振幅必须合适。位置控制器和速度控制器的启动参数会由驱动器根据具体配置自动确定。另外，自整定功能无法完成驱动器的故障检测。

4. 确定固有频率

要让 **Input Shaping 输入整形** 功能可用，必须先确定系统的固有频率。可通过如下不同的方式确定机械系统的固有频率（范围通常在 2 Hz 到 10 Hz 之间，包括 10 Hz）。下面是一些示例：

4.1 通过 Festo Automation Suite 采集电机电流

使用 **Festo Automation Suite** 软件的曲线采集功能，记录电机的实际电流。请参阅 [第 6 章](#)。

4.2 通过外部测量系统记录

将合适的测量系统直接耦合到传动机构，这会增加机械和电气安装的工作量。

4.3 加速度计

使用检测加速度的传感器测得的加速度数据，得出机构的共振频率值。

4.4 通过声学测量设备测量

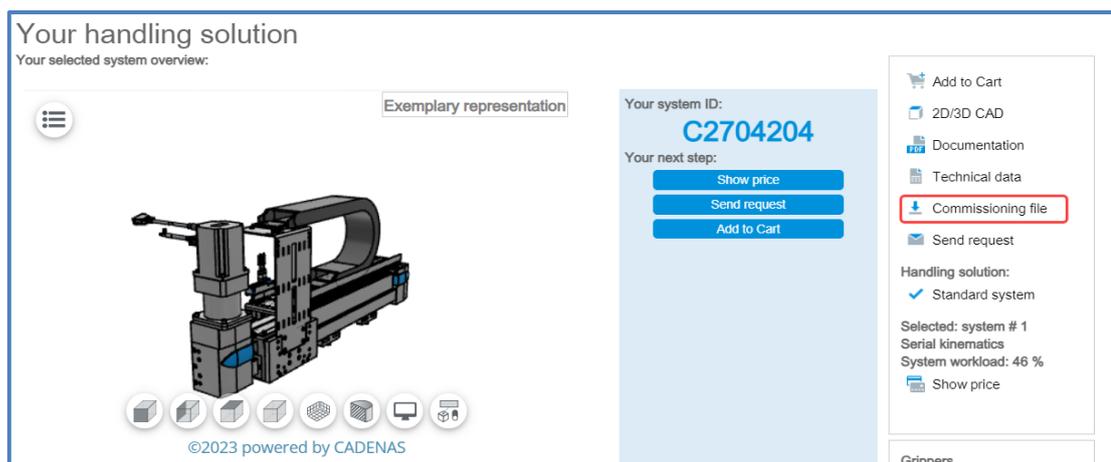
专用设备通过麦克风和精密的评估电子元件确定频谱。但是，此类设备采购成本高，偶尔使用的话并不合适。此外：可听频率因振幅小，衰减高，通常不在临界频谱范围内。

4.5 使用智能手机 app

不同智能手机操作系统的适用 app 不同。这些所谓的频谱分析软件可以测量系统振动，得到比较满意的结果。

4.6 传输来自 HGO 的产品参数

如果机械轴系统是通过 Festo 设计软件 **HGO**（抓取系统在线选型工具）设计的，则可基于各个元件的已知数据，计算预期谐振频率。该频率可随整个参数集一起传输到 **Festo Automation Suite**，以对系统进行调试：



注意：“EDGE”浏览器 (Microsoft) 默认激活弹出窗口阻止程序。请先将其禁用，然后才能将文件保存在下载目录中。

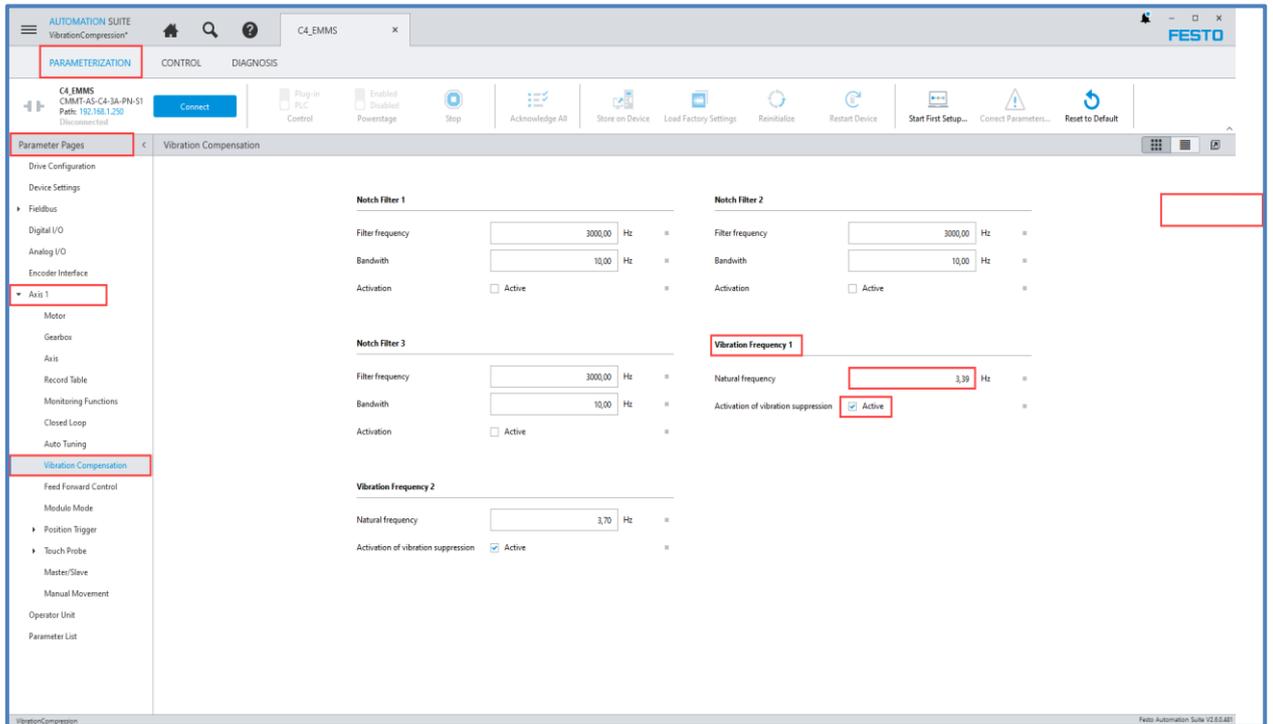
4.7 手动设置

经验表明，机械系统中出现的谐振频率，通常在非常低的频率范围内（ $2 < f \leq 10$ Hz）。尝试几个值，就可以快速找到如何通过设定一些参数，达到比较满意的 **Input Shaping** 输入整形效果。

5. Festo Automation Suite 设置

按照如下步骤，可以激活 **Input Shaping 输入整形功能**

- 在“PARAMETERIZATION/Parameter pages”下选择所需轴。
- 选择“Vibration compensation”
- 填入相应的“Vibration frequency 1”和/或“Vibration frequency 2”值
- 激活相应的振动抑制



6. 实例

实验设置旨在演示如何使用 **Festo Automation Suite** 确定轴机构的固有频率，以及需要执行哪些操作。下面是所用的元件和应用程序参数：

硬件：

CMMT-AS-C4-3A-PN-S1

EMMS-AS-70-M-LS-RM

EGC-80-960-TB-KF-0H-GK

应用数据：

移动质量 10 kg

速度 0.7 m/s

加速度 1 m/s²

减速度 5 m/s²

加加速度 500 m/s³

曲线采集功能的配置：

可在“DIAGNOSIS/Trace Configuration”中，对各种记录通道以及所需的记录持续时间进行参数设置。

The screenshot displays the 'DIAGNOSIS' tab in the Festo Automation Suite. The 'Trace Configuration' window is active, showing a list of trace channels. A 'New Trace Channel' dialog box is open, allowing the user to select a category for the new channel. The 'Trace duration' field is set to 0.002125 s.

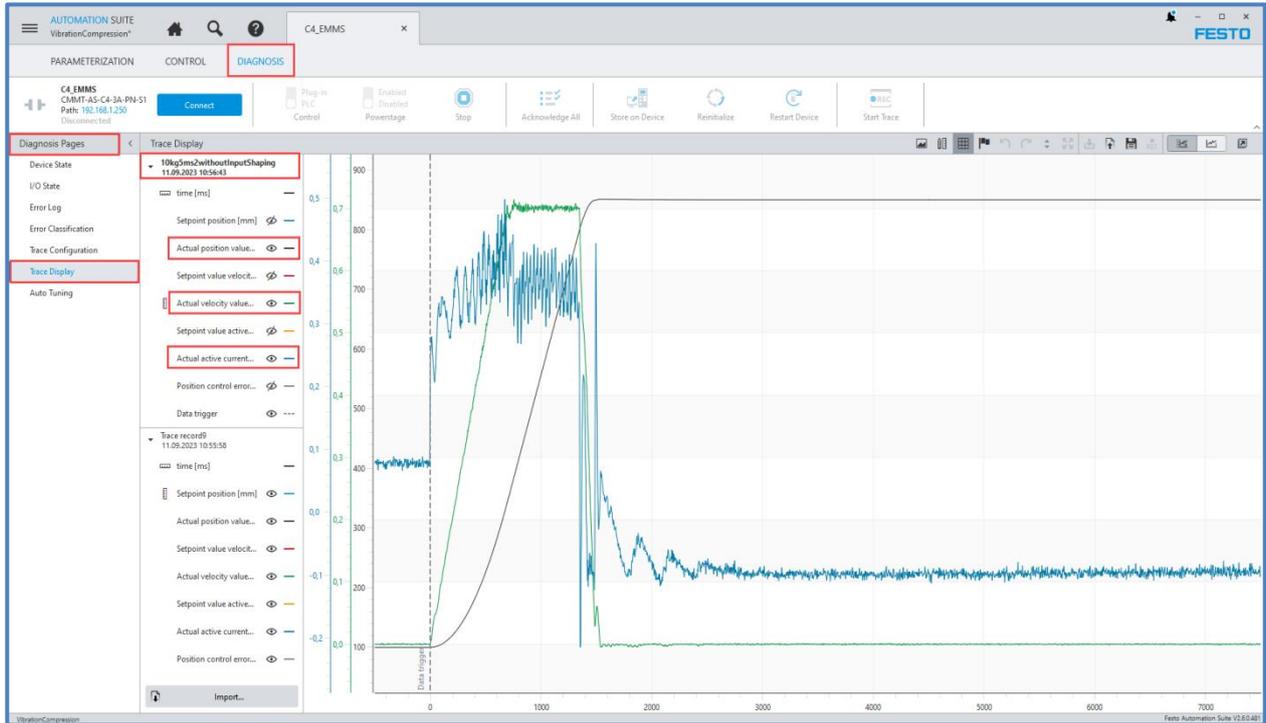
ID	Active	ID	Signal
0	<input checked="" type="checkbox"/>	P1.90.0.0	Setpoint position
1	<input checked="" type="checkbox"/>	P1.128.0.0	Actual position value: encoder channel 1
2	<input checked="" type="checkbox"/>	P1.2216.0.0	Setpoint value velocity controller
3	<input checked="" type="checkbox"/>	P1.1210.0.0	Actual velocity value encoder channel 1
4	<input checked="" type="checkbox"/>	P1.86.0.0	Setpoint value active current
5	<input checked="" type="checkbox"/>	P1.814.0.0	Actual active current value
6	<input checked="" type="checkbox"/>	P1.2217.0.0	Position control error

Record Settings:

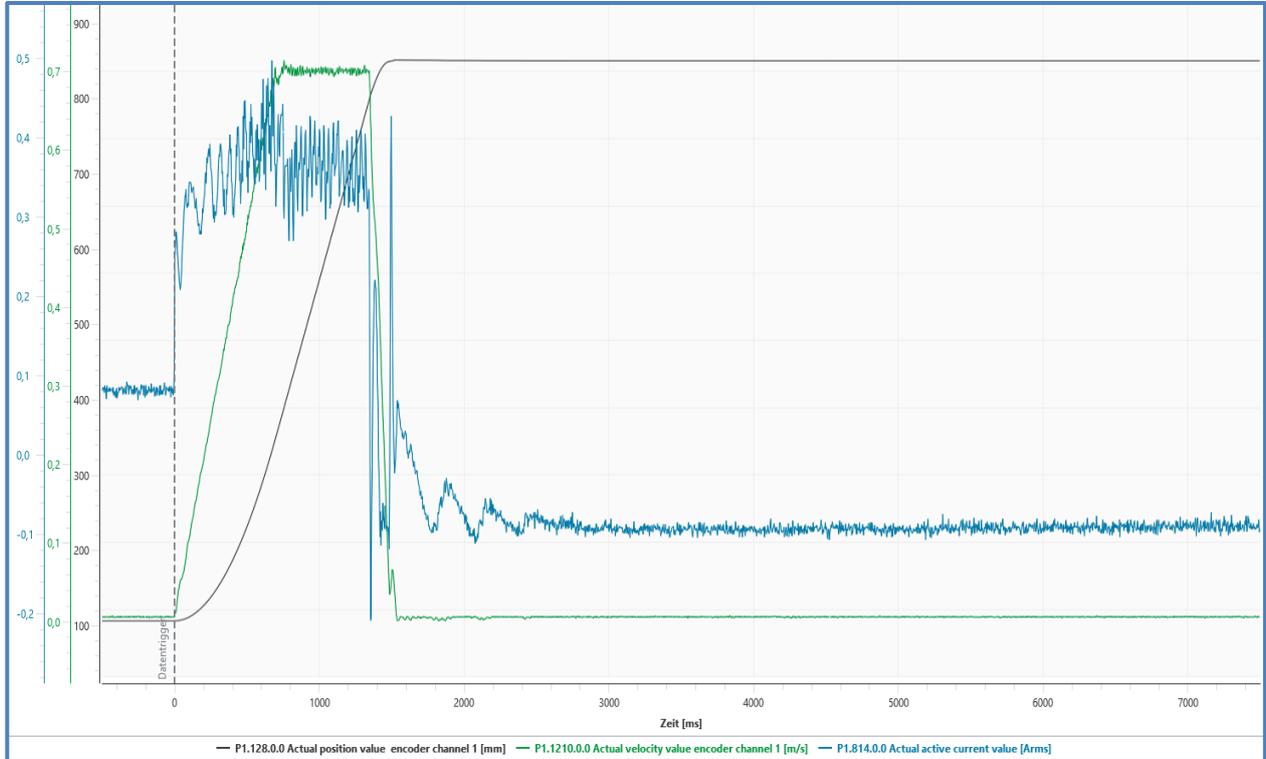
- Trace duration: 0.002125 s
- Trace resolution: 0.00375 s

实例

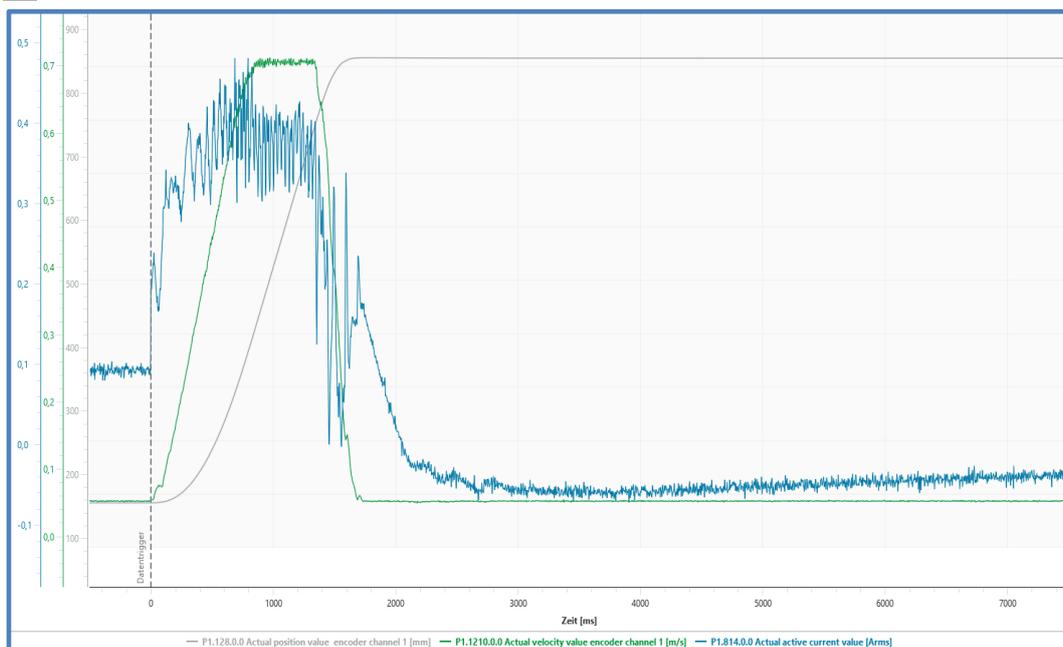
在选择需要的曲线后，“DIAGNOSIS/Trace Display”页面会提供所需的记录通道以供查看。



不带 Input Shaping 输入整形的曲线



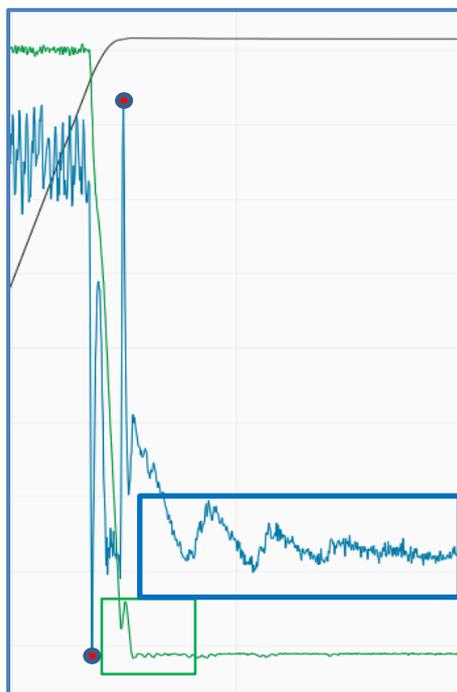
带 Input Shaping 输入整形的曲线



请注意，加速度 (1m/s^2) 和减速度 (5m/s^2) 会显著影响此图形。

下图为不带/带 Input Shaping 输入整形的比较，放大后可以看到更多的细节。

不带 Input Shaping 输入整形功能



带 Input Shaping 输入整形功能



可以看到，带 Input Shaping 输入整形的曲线中，有如下特征：



电流峰值显著降低



速度曲线更加平滑（更均衡）



电流信号峰值减少，电流值降低

基于不带 Input Shaping 输入整形的曲线来确定固有频率：

测量第一个电机电流峰值的时间：



测量下一个电机电流峰值，我们选择第 4 个峰值：



计算固有频率：

$$\left(\frac{1}{\frac{Timemax - Timemin}{Numberpeaks}} \right) * 1000$$

在本例中：

$$\left(\frac{1}{\frac{2423.25 - 1539.00}{3}} \right) * 1000 = 3.39 \text{ Hz}$$

在 Vibration compensation-》Vibration frequency 1 中填入值 **3.39** Hz。在 3.39Hz 基础上，向上或向下进行小范围调整并测试，可以在一定程度上优化实际效果。

7. 关于“Input Shaping 输入整形的视频”

[Input Shaping.mp4](#)

[Without With Input Shaping.mp4](#)

8. 链接

[Festo Automation Suite + 插件 DE](#)



[Festo Automation Suite + 插件 EN](#)



[文档 CMMT-AS DE](#)



[文档 CMMT-AS EN](#)



[文档 CMMT-ST DE](#)



[文档 CMMT-ST EN](#)

