

# 智能现场仪器仪表—— 迈向工业4.0的智能之路

Christoph Käemmerer  
ADI公司

科技和工业的发展不断将人类进步推向新的高度。技术发展历史上的巨大飞跃（或里程碑）称之为工业革命。现在，我们已经迈入一个新阶段：工业4.0。

第一次、第二次和第三次工业革命分别带来蒸汽动力和水利生产、大规模电气化生产以及计算机技术，第四次革命的重点则转向了数字自动化工厂。企业全面广泛运用数字自动化技术，通过自动控制提高效率。不仅可实现预测性维护，还可以提高产量和供货效率。通过完全联网的操作，可以更好地规划供应路线，降低仓储成本，确保提高利用率。在需求不断上升的时代，机器停机的代价非常高昂。联网控制工厂有利于规划，从而有助于预防生产中断。

工业4.0时代的重点不仅仅是发展新设施。如何继续充分利用和扩充现有基础设施，以实现数字工厂的快速摊销，是从成本角度考虑的另一个重要因素。对于智能工厂的运营者来说，收购成本（越低越好）和是否需要重大结构性变更（最好是不需要）是在成本效益分析中必须评估的重要标准。实现智能工厂的一个关键方面是采用拥有智能处理能力的现场仪器仪表（即所谓的智能变送器）以支持工厂监测和诊断，以及与其他新增现场仪器仪表联网。这些智能变送器可以分布在整个工厂中，不同的传感器可以互连，并且可以对以前没有联网的部件进行监控。现场仪器仪表是实现工业4.0的通用基本智能单元。这些单元需进行更周详的考虑，以仪器仪表为例，它可以与各种传感器（如电阻温度计、热电偶和压力传感器）配合使用。

智能变送器是由当今常用的现场仪器仪表发展而来的智能现场仪器仪表，它完全由环路供电，或者由辅助电源补充供电。智能

变送器除了所含的其他组件之外，主要利用微处理器，包含使变送器智能化的软件。然而，现场仪器仪表的智能功能并非只能存储在微控制器的软件中。诊断和其他安全功能也可以集成到其他半导体模块（例如，模数转换器ADC）中，这样微控制器就可以包含更多处理软件。智能变送器通常使用标准的4 mA至20 mA的电流环路，这限制了变送器的最大功耗。因此，各个元件的功耗必须受到严格的限制。如果使用低至3.2 mA的报警电流，此限值为3.2 mA。对智能变送器的发展趋势包括低功耗、小尺寸空间、更多功能、更好的性能、安全考虑和预测性维护（图 1）。

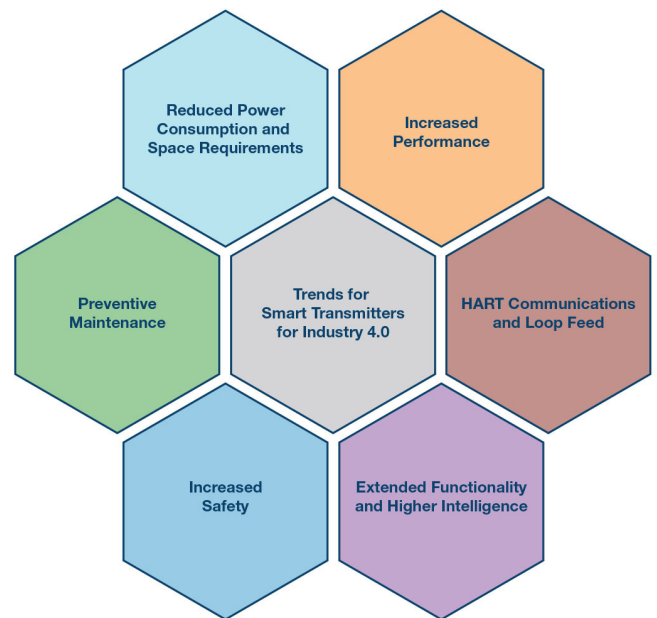


图1. 面向工业4.0的智能变送器的发展趋势。

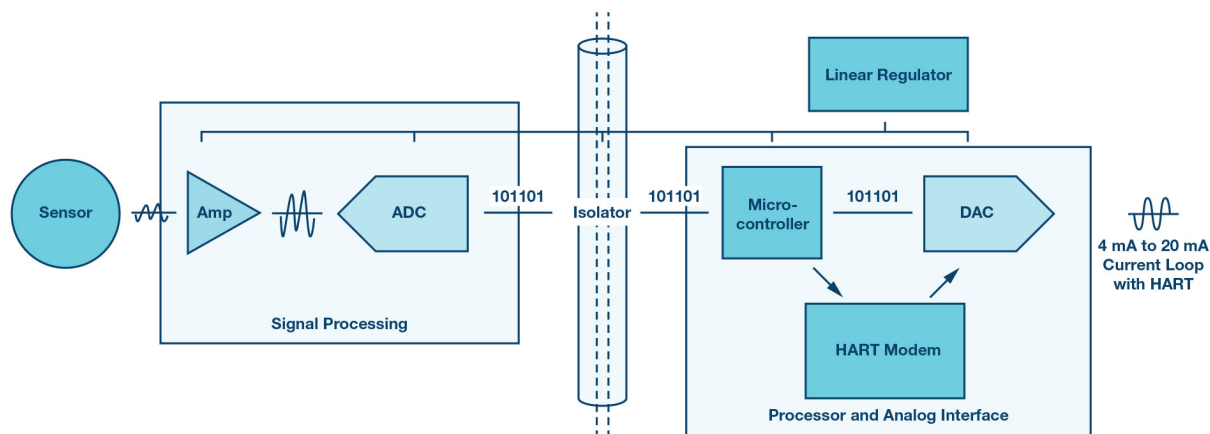


图2 智能变送器框图。

典型的智能变送器信号链如图2所示。这个仪器包含一个传感器和一个ADC，通常由模拟前端和模拟预处理单元组成。数字信号从ADC经过隔离栅送入微处理器，然后进入接口。在当今的工厂自动化中，通常采用一个4 mA至20 mA接口的2线解决方案。这需要一个数模转换器（DAC）。可寻址远程传感器高速通道（HART）协议允许双向使用该接口。如果控制室也兼容HART，则可以通过HART协议传输更复杂的流程，从而通过现场仪器仪表可实现更多应用。

下文详细介绍了每个元件的作用，并展示了一个特别高效并可节省空间的范例电路。该电路采用ADI公司的模块构建，可满足工业4.0的所有要求，具有高精度、低功耗的特点。图3显示的是电路框图原理图（上图）和实物图片电路图（下图）。

传感器连接至模数转换器；本例中为AD7124 24位 $\Sigma$ - $\Delta$  ADC。该ADC是一个高度集成的模块。它集成了节省空间的模拟前端，无需外部仪表放大器和运算放大器。AD7124可灵活设计为具有4个或8个差分输入，与各种传感器搭配使用。此外，这款ADC具有可编程电源，这一点非常重要，例如，无源温度传感器需要三种不同的电源模式。这使得功耗设计非常灵活多变。

输出数据的精度和速率取决于电源模式的选择。因此，现场仪器仪表也有可能3.2 mA的功率限制以下工作，与功能更强大的微处理器或其他传感器连接以实现并行测量。AD7124还具有各种诊断功能，包括：

- ▶ 将所有数据读取/写入有效寄存器
- ▶ 仅将有效数据读入寄存器
- ▶ 验证电压调节器（LDO）彻底去耦
- ▶ 验证ADC调制器和滤波器性能是否符合规格
- ▶ 验证是否过压或欠压

这些防范措施不仅有助于轻松达到安全设计标准，而且还可以通过HART协议传送信息，提前规划现场仪器仪表的维护工作。由于提高了可用性和降低了维护要求，工业4.0意味着效率的大幅提高。

现场仪器仪表的绝缘是另一个关键因素。绝缘不充分会产生接地回路和过压，这不仅会损坏仪表，而且在通过2线连接传输时，

还会损坏连接的可编程逻辑控制器（PLC）。而良好的绝缘通常能够抗衡环路供电型现场仪器仪表的电流限值；本例中使用的是ADuM1441数字隔离器。低数据速率时，该器件所需功率比以前的解决方案要小很多，因此在给定的功耗限值内可以提供充分的绝缘。

除了AD7124和ADuM1441单元之外，另一个现场仪器仪表元件是微控制器。通常使用基于ARM®的微控制器，如ADuCM3027/ADuCM3029。它们的有源功耗小于38  $\mu$ A/MHz，是智能变送器的理想之选。ARM微控制器广泛应用于工业领域，同时也非常适合安全相关的应用。ADuCM3027/ADuCM3029还具有AES-128/AES-256加密技术，可以启用额外的安全功能。这些微处理器还集成了智能软件，可通过编程执行诊断，例如对AD7124进行校准以确保现场仪器仪表提供精准的测量。

HART协议允许对现场仪器仪表进行智能设计，而无需太多基础设施要求。它可用于4 mA和20 mA电流环路，当然这需要一个HART主设备和一个HART从设备。用户利用HART可以在现场仪器仪表和PLC之间建立数字连接。这将在控制室和现场仪器仪表之间创建一个智能连接。为了实施HART，需要有一个HART调制解调器连接至兼容HART的DAC。这些器件必须高度集成并且功耗极低。这两个因素——小尺寸和低功耗是实现工业4.0的前提条件。

HART可以在现有的电流环路上实现数字通信，但需要HART调制解调器将信号调制为干净的电流信号。AD5700超低功耗HART调制解调器专门针对此用途而开发。

现代现场仪器仪表的最后一个主要元件是数模转换器。在工业4.0的场景中，这个器件也必须具有低功耗和高集成度。DAC是整个电路的关键组成部分，要尽量将周边器件集成到DAC中，而不是占用更多PCB空间。为整个现场仪器仪表供电的线性调节器就是一个例子。它还可以与PLC通信，从而执行仪表的控制和监控。AD5421是一个可与HART调制解调器很好地协同工作的DAC。

本文所描述的信号链是兼容工业4.0的环路供电型现场仪器仪表的一种可能设计，可用于压力或温度测量。这个智能变送器可用于智能监测、控制和反馈，特别适合于满足小尺寸空间和低功耗要求。ADI公司的精选模块的能够满足当前和未来的新挑战。

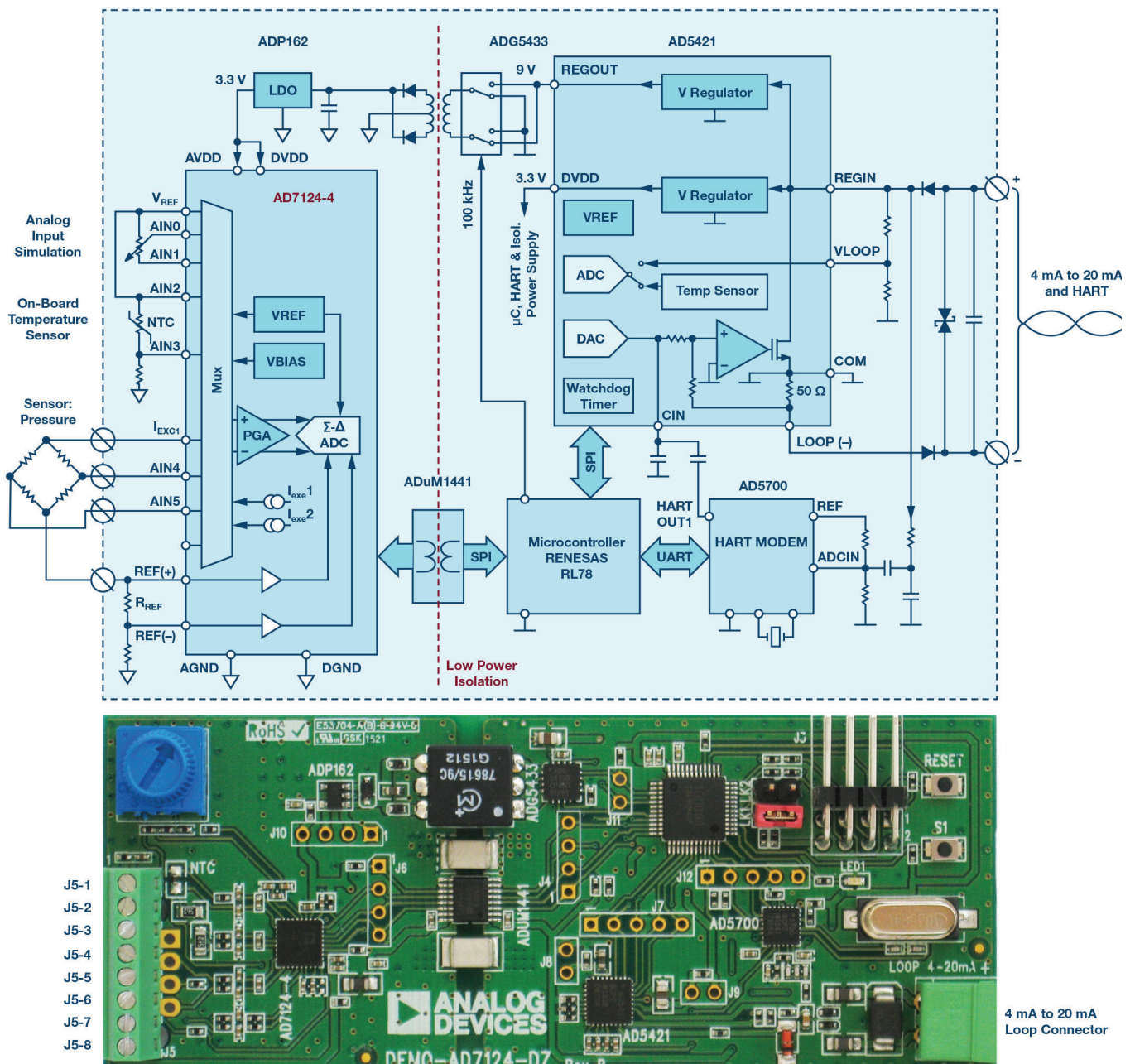


图3. 参考电路的原理图 (上图) 和实物图片示意图 (下图)。

## 作者简介

自2015年2月至今, Christoph Käemmerer一直在德国ADI公司任职。他于2014年毕业于埃尔朗根-纽伦堡大学, 获得物理学硕士学位。他曾在利默里克市ADI公司担任工艺开发实习生。2016年12月培训生项目结束后, Christoph正式成为ADI公司的现场应用工程师, 专门针对新兴应用领域。联系方式: [christoph.kaemmerer@analog.com](mailto:christoph.kaemmerer@analog.com)。

## 在线支持社区

访问ADI在线支持社区, 与ADI技术专家互动。

提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答, 或参与讨论。

请访问 [ezchina.analog.com](http://ezchina.analog.com)



世健系统(香港)有限公司  
世健国际贸易(上海)有限公司  
[www.excelpoint.com.cn](http://www.excelpoint.com.cn)  
[info@excelpoint.com.hk](mailto:info@excelpoint.com.hk)

香港 +852 2503 2212  
成都 +86 28 8652 7611  
济南 +86 531 8096 5769  
深圳 +86 755 8364 0166  
西安 +86 29 8765 1058  
合肥 +86 139 2377 2952  
无锡 +86 185 5103 2234

上海 +86 21 2220 3188  
福州 +86 591 8335 7003  
南京 +86 25 8689 3130  
苏州 +86 512 6530 8103  
重庆 +86 136 2830 7074  
惠州 +86 136 8076 4680  
烟台 +86 155 5222 0532

北京 +86 10 6580 2113  
广州 +86 20 3893 9561  
宁波 +86 574 8386 5759  
武汉 +86 27 8769 0883  
大连 +86 156 4083 6155  
沈阳 +86 156 0405 4122  
郑州 +86 138 0384 6359

长沙 +86 731 8220 4725  
杭州 +86 571 8528 2185  
青岛 +86 532 8502 6539  
厦门 +86 592 504 2386  
东莞 +86 158 8963 8656  
天津 +86 139 2065 6573  
珠海 +86 137 2622 4480