利用IO-Link™技术实现小型高能效工业现场传感器

Suhel Dhanani，ADI公司工业和医疗健康事业部业务开发总监

简介

无法过去还是现在，在许多情况下，工业传感器都是使用模拟型。其中包含检测元件，以及将检测数据传输至控制器的某种方式。数据采用单向模拟方式进行传输。之后出现了二进制传感器，该传感器提供数字开/关信号，包含检测元件（电感、电容、超声波、光电等）和半导体开关元件。其输出可能是：高端(HS)开关(PNP)或低端(LS)开关(NPN)，或者是推挽式(PP)。但数据仍然受到限制，只能从传感器单向传输至主机，不提供错误控制，且仍然需要现场技术人员来执行手动校准等任务。

所以需要更好的解决方案来满足“工业4.0”、智能传感器和可重新配置的厂区部署等需求。该解决方案就是IO-Link协议，这是一种相对较新的工业传感器标准，呈现出迅速增长的态势。

IO-Link相关组织估计，到目前为止，现场使用的支持IO-Link标准的节点超过1600万个。这个数字还在上升。

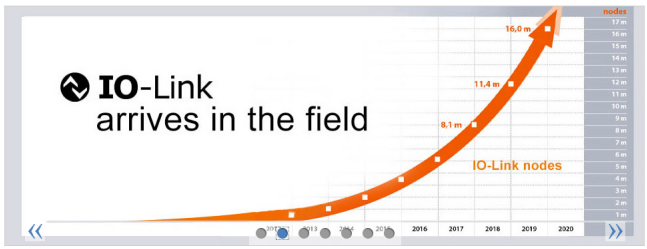

图1. 据IO-Link联盟跟踪显示，IO-Link协议应用快速增长（https://io-link.com/en/）。

IO-Link是一种标准化技术(IEC 61131-9)，规定工业系统中的传感器和执行器如何与控制器交互。IO-Link是一种点对点通信链接，采用标准连接器、电缆和协议。IO-Link系统设计用于工业标准3线传感器和执行器基础设施，由IO-Link主机和IO-Link器件产品组成。

IO-Link通信在一个主机和一个器件（传感器或执行器）之间进行。通信采用二进制（半双工）形式，使用非屏蔽电缆时，通信距离限制在20米内。进行通信需要使用三线式接口（L+、C/Q和L-）。在IO-Link系统中，主机的供电范围为20V至30V，器件（传感器或执行器）的供电范围为18至30V。

ADI公司的IO-Link手册[1]介绍了IO-Link的优势：

“IO-Link是一种技术，能够将传统的二进制或模拟传感器变成智能传感器，不再只是收集数据，还允许用户根据获取的有关线上其他传感器的健康和状态的实时反馈，以及需要执行的操作，在远程更改其设置。IO-Link技术通过一个通用物理接口，使传感器变得可以互换，该接口使用协议栈和IO器件描述(IODD)文件来实现可配置的传感器端口。它切实做到即插即用，并且能够实时重新配置参数。”

在工厂网络层次结构中，IO-Link协议位于边缘，该位置通常部署传感器和驱动器，如图2所示。很多时候，边缘器件与网关通信，网关将IO-Link协议转换为所选的现场总线。

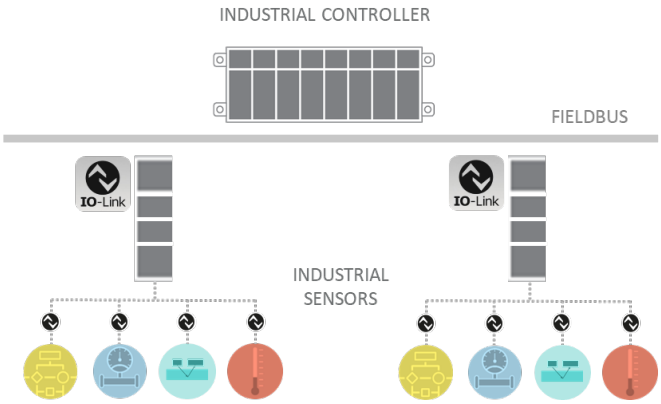

图2. IO-Link协议用于将智能边缘器件连接至工厂网络。

有关IO-Link如何助力实现下一代制造环境或工业物联网（有时称为IoT）的更多信息，请参阅之前对此详细说明的文章[2]。

设计IO-Link传感器

工业现场传感器必须坚固、小巧且节能，以尽可能降低散热需求。大多数IO-Link传感器包含以下组件：

- 带有相关模拟前端(AFE)的检测元件
- 用于处理数据的微控制器，在使用IO-Link传感器的情况下，也运行轻量级协议栈。
- 作为物理层的IO-Link收发器。
- 电源，以及在许多情况下提供的保护功能（用于提供浪涌保护的TVS、EFT/突发、ESD等）。

散热（能效）

了解这些典型组件之后，我们来看看考虑如何预估假定传感器的功率。参见图3。所有这些数值都是估算值。图中数值表明，在考虑传感器的总系统功耗预算时，收发器（输出级）的功耗很重要。

最左侧代表较早一代IO-Link传感器。从图中可以看出，多年来微控制器(MCU)和输出级（例如收发器）的技术进步对于降低系统总功耗所做的贡献。

最初的或第一代IO-Link收发器的功耗为400mW或更高。ADI公司新推出的低功耗IO-Link收发器的功耗低于100mW。此外，MCU也有助于降低功耗。传统MCU的功耗高达180mW，但较新的低功耗MCU的功耗可降至50mW。

先进的IO-Link收发器与低功耗MCU配合使用，可以将传感器的总功率预算保持在400mW到500mW之间。

功耗与散热直接相关。传感器越小，功耗规格越严格。据估计，直径为8mm (M8)的封闭式圆柱形IO-Link传感器的最大功耗为400mW，直径为12mm (M12)的封闭式圆柱形IO-Link传感器的最大功耗为600mW。

技术一直在不断进步。MAX14827A是ADI公司推出的一款新型IO-Link收发器，在驱动100mA负载时，其功耗非常低，仅70mW。这是通过优化技术，提供非常低的2.3Ω（典型值）导通电阻R_{ON}来实现的。

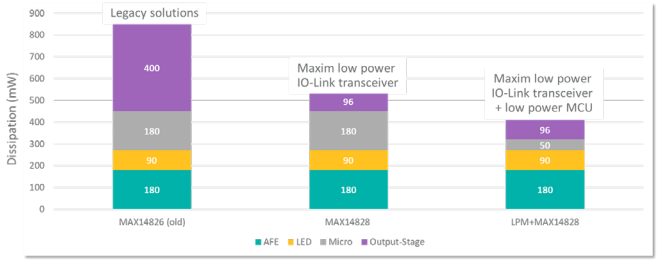

图3. 假设的IO-Link工业传感器功率预算。

对于工作电流非常低（例如3到5mA）并且要求使用3.3V和/或5V电源的传感器；可以通过LDO提供稳压电源。事实上，ADI公司的IO-Link收发器集成了一个LDO。但随着所需的电流增加到30mA，LDO很快会成为系统中主要的供电/散热源。在30mA时，LDO的功耗可能高达600mW。

30mA时，LDO功率 = (24-3.3) x 30mA = 621mW

相比之下，为30mA传感器提供3V输出电压的DC-DC降压转换器的功耗仅为90mW。假设该转换器的效率为90%（仅损失9mW功率），那么总功耗仅为90 + 9 = 99mW[3]。

如图4所示，ADI公司新推出的IO-Link收发器集成了一个高效DC-DC稳压器。

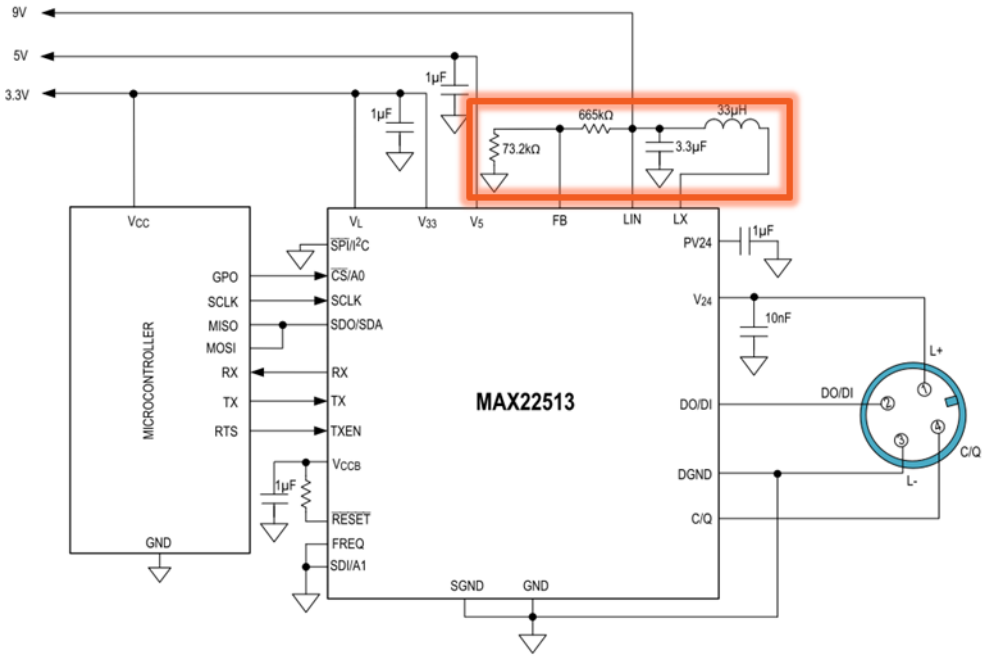

图4. ADI公司新推出的IO-Link收发器集成了一个高效DC-DC稳压器。

IO-Link传感器的尺寸

除了散热之外，工业传感器的第二关注点是尺寸，新IO-Link传感器也是如此。随着我们逐渐转向更小的外形尺寸，板空间变得越来越重要。

图5显示，对于直径为12mm的外壳，收发器（采用晶圆级封装-WLP -封装）和DC-DC可以并排部署在宽度为10.5mm的标准PCB上。在同一侧还有空余空间，可以部署通孔和走线。如果传感器外壳直径为6mm，那么PCB宽度可以减小至4.5mm。在这种情况下，即使采用小型WLP封装，芯片也必须安装在PCB两侧。

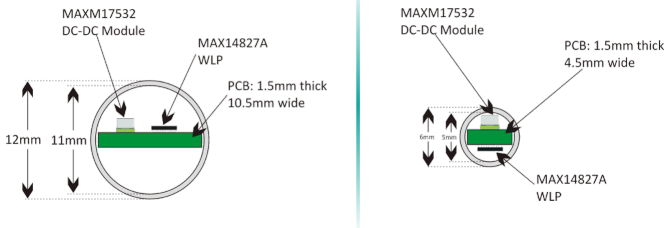

图5. 在新型IO-Link传感器设计中，尺寸是另一大问题。

要实现这些尺寸，收发器必须采用晶圆级封装(WLP)，以实现更小尺寸。这种尺寸限制也是我们在新型IO-Link收发器（如之前所示）中集成DC-DC的原因之一。

但大多数工业传感器必须设计为能够在严苛的环境中工作，因此必须包含保护电路，例如TVS二极管（图5中未显示）。所以，我们需要注意IO-Link收发器的绝对最大额定值规格。

我们来看看：为什么IO的绝对最大额定电压为65V有助于减小传感器子系统的尺寸？通常，传感器需承受4个引脚之间的浪涌脉冲：GND、C/Q、DI、DO。ADI公司IO-Link收发器的绝对最大额定电压为65V。如果我们以C/Q和GND之间的24V浪涌下1KV为例。

C/Q和GND之间的电压 = TVS箝位电压 + TVS正向电压

绝对最大额定电压较高时，设计人员可以使用小型TVS二极管，例如SMAJ33，其箝位电压为60V/24A，TVS正向电压为1V/24A。

C/Q和GND之间的电压 = 61V

以上数值在ADI公司收发器的绝对最大额定值范围内。

但是，如果绝对最大额定值更低，行业中一般在45V左右，就需要一个更大的TVS二极管，例如SMCJ33，用于将电压箝位到可接受的水平。此二极管的尺寸比ADI公司收发器所需的尺寸大3倍以上。

如果收发器绝对最大(Abs Max)额定值较低，那么整个传感器设计中较大TVS二极管尺寸的影响会比较明显。表1显示PCB面积的估算差异。此处假设传感器必须能够承受±1KV/24A高电平浪涌。

表1. 65V绝对最大额定值对传感器尺寸的优势

	绝对最大额定值为65V的IO-Link收发器	绝对最大额定值为45V的IO-Link收发器
最小的TVS二极管	SMAJ33	SMCJ33
最大电压	61V	45V
总PCB面积	40.5mm^2	144mm^2

下一代IO-Link收发器在此基础上进行了改进。ADI公司新推出的IO-Link收发器在IO-Link线路接口引脚（V24、C/Q、DI和GND）上集成了保护功能。所有引脚集成±1.2kV/500Ω浪涌保护。此外，所有引脚也提供反向电压保护、短路保护和热插拔保护。

即使具有所有集成保护功能和集成式DC-DC降压稳压器，这些器件也可以采用微型WLP封装(4.1mm x 2.1mm)，实现非常小巧的IO-Link传感器设计。

结论

图6显示了ADI公司IO-Link收发器的技术进展情况。

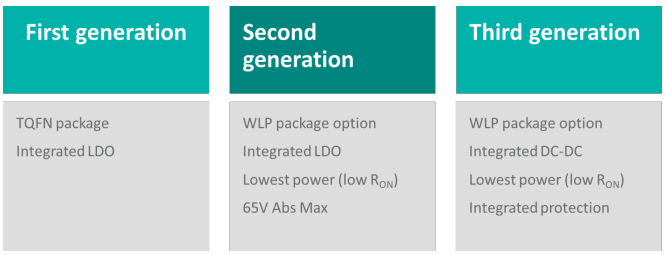

图6. IO-Link收发器的技术进展。

第一代IO-Link收发器技术采用易于使用的TQFN封装，集成LDO，可以满足小型传感器设计的需求。基于功率和尺寸考虑，第二代收发器技术优化了功耗，采用一种可以降低R_{ON}的技术来进一步降低功耗，且可以使用更小的WLP封装。

最新一代收发器考虑到需要集成保护和高效DC-DC降压稳压器，以进一步减小传感器子系统的尺寸和散热。

随着越来越多的工业传感器采用IO-Link技术，这些器件规格成为实现小型、坚固、节能传感器的关键。

参考资料

[1] https://www.maximintegrated.com/content/dam/files/design/technical-documents/handbooks/io-link-handbook.pdf

[2] https://www.eletimes.com/io-link-enables-industrial-iot

[3] https://www.maximintegrated.com/en/design/technical-documents/app-notes/6/6908.html

在线支持社区

ADI EngineerZone™ 中文技术论坛

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ez.analog.com/cn

©2022 Analog Devices, Inc. 保留所有权利。商标和注册商标属各自所有人所有。

"超越一切可能"是ADI公司的商标。