Implementierung von kleinen und energieeffizienten Sensoren mit IO-Link

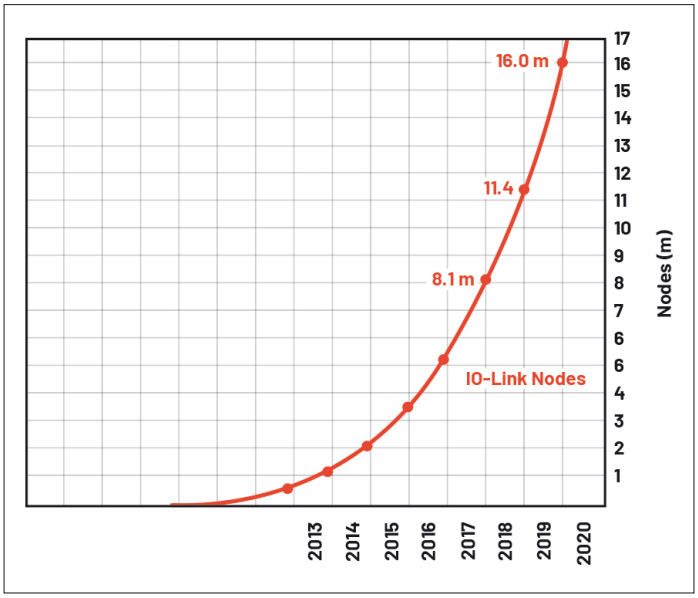

Bild 1: Schnelles Wachstum des IO-Link-Protokolls, nachverfolgt vom IO-Link-Konsortium (https://io-link.com/en/)

In der Vergangenheit waren industrielle Sensoren in vielen Fällen analog. Das ist auch heute noch so. Sie umfassen ein Sensorelement und eine Methode zur Übermittlung der Sensordaten an eine Steuerung. Die Datenübertragung erfolgte unidirektional analog. Dann kamen binäre Sensoren auf, die ein digitales Ein/Aus-Signal lieferten und ein induktives, kapazitives, fotoelektrisches oder ultraschallbasiertes Sensorelement sowie ein Halbleiterschaltelement enthielten. Der Ausgang konnte dabei High-Side (HS) schaltend (PNP) oder Low-Side (LS) schaltend (NPN) oder als Push-Pull (PP)-Ausgang ausgeführt sein. Allerdings waren die Daten immer noch auf die unidirektionale Kommunikation vom Sensor zum Master beschränkt, es gab keine Fehlerkontrolle, und für Aufgaben wie die manuelle Kalibrierung war immer noch ein Techniker vor Ort erforderlich.

IO-Link-Protokoll als Lösung

Um den Anforderungen von „Industrie 4.0“, intelligenten Sensoren und rekonfigurierbaren Fabriken gerecht zu werden, wurde eine bessere Lösung benötigt. Diese Lösung ist das IO-Link-Protokoll, ein relativ neuer Standard für industrielle Sensoren, der ein rasantes Wachstum aufweist. Die IO-Link-Organisation schätzt, dass bis heute mehr als 16 Millionen IO-Link-fähige Knoten in der Praxis eingesetzt werden. Diese Anzahl nimmt kontinuierlich zu (Bild 1).

Was ist IO-Link?

IO-Link ist eine standardisierte Technologie (IEC 61131-9), die das Zusammenwirken von Sensoren und Aktoren in industriellen Systemen mit einer Steuerung regelt. IO-Link ist eine Punkt-zu-Punkt-Kommunikationsverbindung mit standardisierten Steckverbindern, Kabeln und Protokollen. Das IO-Link-System ist für den Einsatz in einer branchenüblichen 3-Leiter-Sensor- und Aktuator-Infrastruktur konzipiert und umfasst einen IO-Link-Master und IO-Link-Geräte.

Die IO-Link-Kommunikation findet zwischen einem Master und einem Gerät (Sensor oder Aktuator) statt. Die Kommunikation erfolgt binär (Halbduplex) und ist auf eine Entfernung von 20 m begrenzt, wobei ungeschirmte Kabel verwendet werden. Die Kommunikation erfordert eine 3-Leiter-Schnittstelle (L+, C/Q, und L-). Der Versorgungsspannungsbereich in einem IO-Link-System beträgt 20 bis 30 V für den Master und 18 bis 30 V für das Gerät (Sensor oder Aktuator).

Das IO-Link-Handbuch [1] von Analog Devices beschreibt die Vorteile von IO-Link wie folgt:

„IO-Link ist eine Technologie, mit der ein herkömmlicher binärer oder analoger Sensor zu einem intelligenten Sensor wird, der nicht mehr nur Daten sammelt, sondern dem Benutzer die Möglichkeit gibt, seine Einstellungen aus der Ferne zu ändern, und zwar auf der Grundlage von Echtzeit-Rückmeldungen über

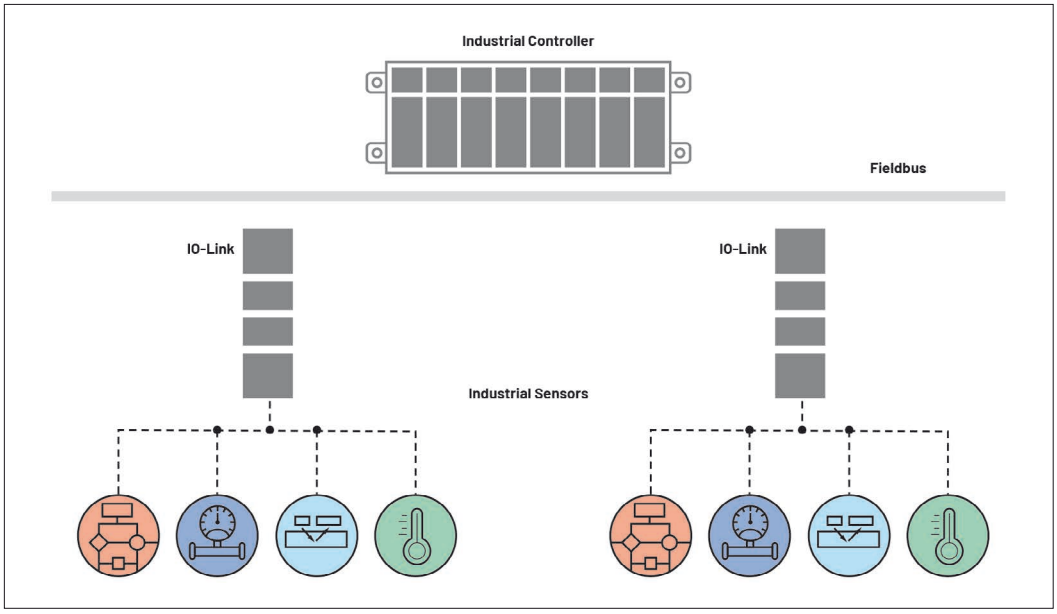

Bild 2: Das IO-Link-Protokoll wird verwendet, um intelligente Edge-Geräte mit dem Fabriknetzwerk zu verbinden

Autor:
Suhel Dhanani,
Director of Business Development
für den Geschäftsbereich
Industrial & Healthcare
Analog Devices
www.analog.com

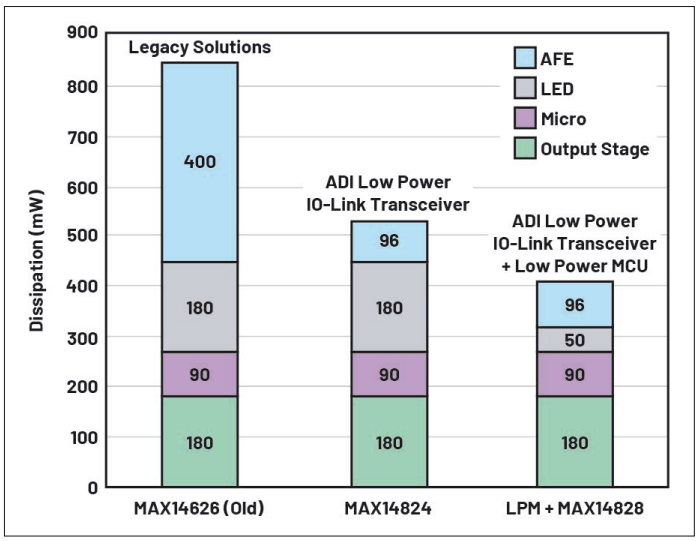

Bild 3: Ein hypothetisches Leistungsbudget für industrielle IO-Link-Sensoren

den Zustand und den Status anderer Sensoren in der Anlage sowie über den auszuführenden Fertigungsvorgang selbst. Die IO-Link-Technologie ermöglicht die Austauschbarkeit von Sensoren durch eine gemeinsame physische Schnittstelle, die einen Protokollstack und eine IO Device Description (IODD)-Datei verwendet, um einen konfigurierbaren Sensoranschluss zu ermöglichen. Sie ist uneingeschränkt Plug-and-Play-fähig und bietet gleichzeitig die Möglichkeit, Parameter im laufenden Betrieb neu zu konfigurieren."

Innerhalb der Netzwerkhierarchie in der Fabrik befindet sich das IO-Link-Protokoll an den Endpunkten, typischerweise in Sensoren und Aktuatoren, wie in Bild 2 dargestellt. In vielen Fällen kommunizieren die Edge-Geräte mit einem Gateway, das das IO-Link-Protokoll in den Feldbus der Wahl übersetzt.

Weitere Informationen darüber, wie IO-Link Fertigungsumgebungen der nächsten Generation oder das industrielle Internet der Dinge (Industrial IoT) ermöglicht, finden sich in einem früheren Artikel, in dem dies ausführlich erläutert wird [2].

Entwurf von IO-Link-Sensoren

Sensoren im Industriebereich müssen robust, klein und äußerst energieeffizient sein, damit die Wärmeabgabe auf ein Minimum reduziert wird. Die meisten IO-Link-Sensoren bestehen aus den folgenden Komponenten:

- Sensorelement mit zugehörigem Analog Front End (AFE)
- Ein Mikrocontroller, der Daten verarbeitet und im Falle eines IO-Link-Sensors auch den leichtgewichtigen Protokollstack ausführt.
- Ein IO-Link-Transceiver, der die physikalische Schicht darstellt.
- Stromversorgung und in vielen Fällen Schutzeinrichtungen (TVS-Dioden als Schutz gegen Überspannungen, EFT/Burst, ESD, usw.).

Wärmeableitung (Wirkungsgrad)

Nachdem wir die typischen Komponenten kennen, können wir uns ansehen, wie sich der Leistungsbedarf eines hypothetischen Sensors aufteilt, siehe Bild 3. Alle diese Zahlen sind Abschätzungen. Sie zeigen, dass die Leistungsaufnahme des Transceivers (Ausgangsstufe) bei der Budgetierung der gesamten Leistungsaufnahme eines Sensorsystems eine Rolle spielt.

Wir beginnen mit der ganz linken Seite, die eine ältere Generation von IO-Link-Sensoren darstellt. Auf diese Weise wird deutlicher, wie die technologischen Fortschritte bei Mikrocontrollern (MCU) und bei der Ausgangsstufe (d. h. dem Transceiver) im Laufe der Jahre zur Senkung der Gesamtleistung des Systems beigetragen haben.

Die ursprünglichen IO-Link-Transceiver der ersten Generation verbrauchten 400 mW oder mehr. Die neuesten energieeffizienten IO-Link-Transceiver verbrauchen weniger als 100 mW. Dazu haben auch die Mikrocontroller beigetragen. Ältere MCUs verbrauchen bis zu 180 mW, während neuere energieeffiziente MCUs den Verbrauch bis auf 50 mW senken. Ein hochmoderner IO-Link-Transceiver in Verbindung mit einer stromsparenden MCU kann das Gesamtleistungsbudget des Sensors im Bereich von 400 mW bis 500 mW halten.

Die Verlustleistung

steht in direktem Zusammenhang mit der Wärmeabfuhr. Je kleiner der Sensor ist, desto strenger sind die Vorgaben hinsichtlich der Verlustleistung. Als Schätzwert darf ein geschlossener, zylindrischer IO-Link-Sensor mit 8 mm Durchmesser (M8) eine maximale Verlustleistung von 400 mW und ein geschlossener, zylindrischer IO-Link-Sensor mit 12 mm Durchmesser (M12) eine maximale Verlustleistung von 600 mW aufweisen.

Und die Technologie wird ständig besser. Einer der neuen IO-Link-Transceiver hat nur noch eine Verlustleistung von 70 mW bei einer Last von 100 mA. Dies wird durch die Optimierung der Technologie erreicht, die einen äußerst niedrigen On-Widerstand R_{ON} von typischerweise 2,3 Ω ermöglicht.

Für Sensoren mit 3,3-V- und/oder 5-V-Versorgungsspannung die einen sehr geringen Betriebsstrom, z. B. im Bereich von 3 bis 5 mA benötigen, kann die Leistung über einen LDO bereitgestellt werden. Der LDO kann bereits in den IO-Link-Transceiver integriert sein. Wenn jedoch der Strombedarf auf beispielsweise 30 mA ansteigt, wird der LDO schnell zur dominierenden Quelle für die Verlustleistung/Abwärme im System. Zum Vergleich: Bei 30 mA kann die Leistungsaufnahme eines LDO bis zu 600 mW betragen.

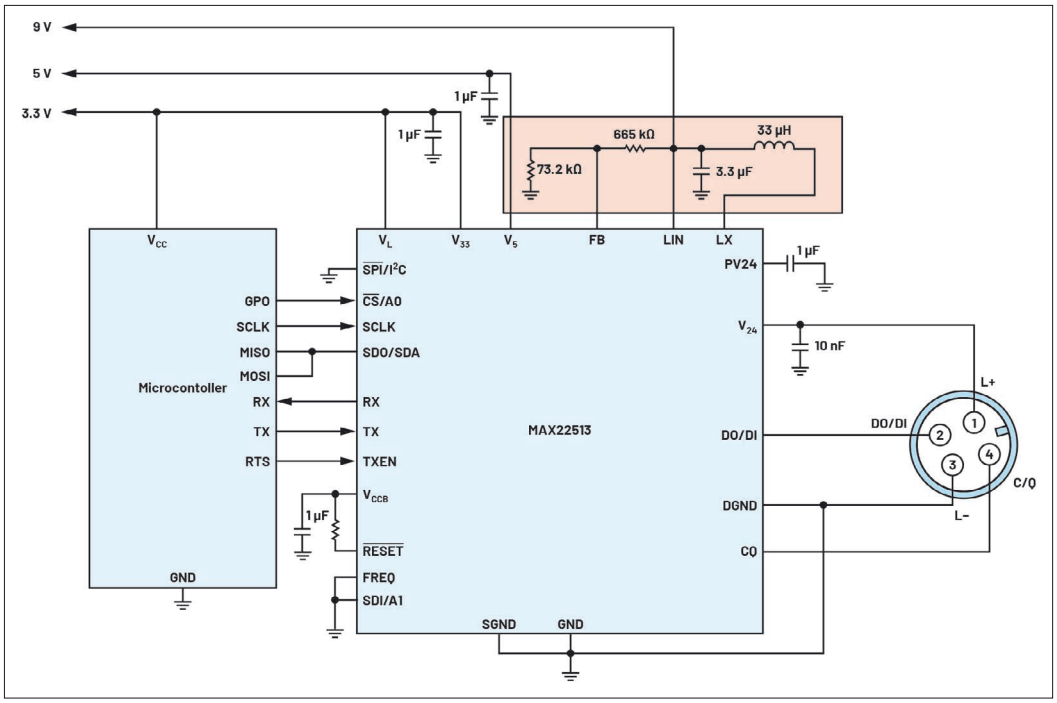

Bild 4: Der neueste IO-Link-Transceiver von Analog Devices verfügt über einen integrierten hocheffizienten DC/DC-Regler

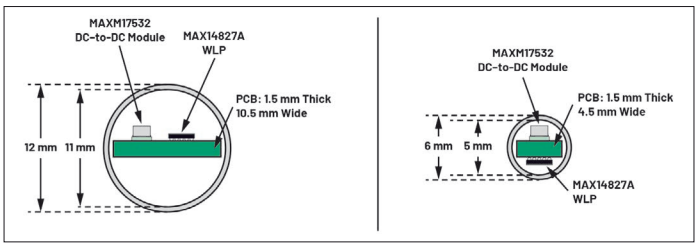

Bild 5: Die Größe ist ein weiteres zentrales Problem bei den neuesten IO-Link-Sensordesigns

LDO-Leistung @30 mA = (24-3,3) x 30 mA = 621 mW

Im Vergleich dazu verbraucht ein DC/DC-Abwärtswandler, der einen 30 mA-Sensor mit einer Ausgangsspannung von 3 V versorgt, nur 90 mW. Unter der Annahme, dass der Wandler einen Wirkungsgrad von 90 % hat (nur 9 mW Verlustleistung), beträgt die Gesamtleistungsaufnahme nur 90 + 9 = 99 mW [3].

Die neuesten IO-Link-Transceiver von Analog Devices haben einen hocheffizienten DC/DC-Regler integriert, wie in Bild 4 dargestellt.

Baugröße von IO-Link-Sensoren

Neben der Wärmeableitung ist die Baugröße das nächstgrößte Problem bei allen industriellen Sensoren, was auch für die neuen IO-Link-Sensoren gilt. Der Platinenplatz wird immer knapper, da zunehmend zu kleineren Formfaktoren übergegangen wird.

Bild 5 zeigt, dass bei einem Gehäuse mit einem Durchmesser von 12 mm der Transceiver (in einem Wafer-Level-Package (WLP)-Gehäuse) und der DC/DC-Wandler nebeneinander auf einer normalen Leiterplatte mit 10,5 mm Breite untergebracht werden können. Es ist noch Platz für Durchkontaktierungen und Anschlüsse auf derselben Seite vorhanden. Wenn das Sensorgehäuse 6 mm breit ist, verringert sich die Leiterplattenbreite auf 4,5 mm. Die Chips müssen auch bei kleinen WLP-Gehäusen auf beiden Seiten der Leiterplatte bestückt werden.

Wafer-Level-Package (WLP)-Gehäuse

Um diese Baugrößen zu ermöglichen, muss der Transceiver in einem Wafer-Level-Package (WLP)-Gehäuse verfügbar sein, das die kleinstmögliche Bauform zulässt. Diese Größenbeschränkung ist auch einer der Gründe, warum wir einen DC/DC-Wandler in unseren neuesten IO-Link-Transceiver integriert haben.

Die meisten industriellen Sensoren müssen jedoch auch für den Einsatz in rauen Umgebungen ausgelegt sein, was bedeutet, dass sie mit Schutzschaltungen wie TVS-Dioden ausgestattet sein müssen, die in Bild 5 nicht dargestellt sind. An dieser Stelle ist es wichtig, die spezifizierten Grenzwerte der IO-Link-Transceiver zu beachten.

Lassen Sie uns das näher beleuchten: Warum verringert eine maximale Nennspannung von 65 V an den IOs die Größe des Sensor-Subsystems? Üblicherweise muss der Sensor Überspannungsimpulse zwischen den folgenden 4 Pins überstehen: GND, C/Q, DI, DO. Die IO-Link-Transceiver von Analog Devices sind für eine maximale Spannung von 65 V ausgelegt. Nehmen wir als Beispiel einen Spannungsstoß von 1 kV bei 24 A zwischen C/Q und GND.

Spannung zwischen C/Q und GND = TVS-Klemmspannung + TVS-Durchlassspannung

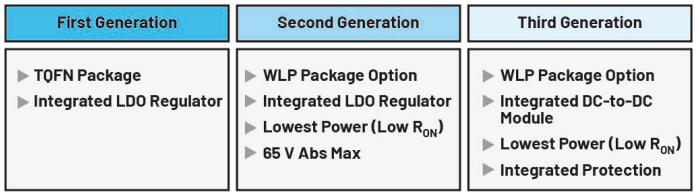

Bild 6: Weiterentwicklung der IO-Link-Transceiver-Technologie

Mit der höheren maximalen Nennspannung kann der Entwickler eine kleine TVS-Diode wie die SMAJ33 verwenden, die eine Klemmspannung von 60 V bei 24 A und eine TVS-Durchlassspannung von 1 V bei 24 A aufweist.

Spannung zwischen C/Q und GND = 61 V

Dieser Wert liegt innerhalb der spezifizierten Grenzwerte des Transceivers von Analog Devices.

Wenn jedoch die maximale Nennspannung niedriger spezifiziert ist – in der Industrie liegt sie typischerweise bei 45 V – ist eine viel größere TVS-Diode erforderlich, um die Spannung auf ein akzeptables Niveau zu klemmen. Diese Diode ist mehr als dreimal so groß wie die für den Transceiver von Analog Devices erforderliche Diode.

Der Einfluss einer größeren TVS-Diode auf die Gesamtgröße des Sensordesigns ist erheblich, wenn die maximale Nennspannung (Abs Max) des Transceivers niedriger liegt. Tabelle 1 zeigt den abgeschätzten Unterschied hinsichtlich der Platinenfläche. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Sensor einem Hochspannungsstoß von ±1 kV/24 A standhalten muss.

Bei der nächsten Generation von IO-Link-Transceivern wurde dies sogar noch verbessert. Die neueren IO-Link-Transceiver von Analog Devices verfügen jetzt über einen integrierten Schutz an den Schnittstellenpins der IO-Link-Leitung (V24, C/Q, DI und GND). Alle Pins verfügen über einen integrierten ±1,2 kV/500 Ω-Überspannungsschutz. Darüber hinaus sind alle Pins verpolungssicher, kurzschluss- und Hot-Plug-fest.

Trotz aller integrierten Schutzfunktionen und des integrierten DC/DC-Abwärtsreglers sind diese Bausteine in einem winzigen WLP-Gehäuse (4,1 mm x 2,1 mm) erhältlich und ermöglichen ein wirklich kleines IO-Link-Sensordesign.

Schlussfolgerung

Bild 6 zeigt die kontinuierliche Weiterentwicklung der IO-Link-Transceiver-Technologie von Analog Devices. Die IO-Link-Transceiver-Technologie der ersten Generation bestand aus einfach zu handhabenden TQFN-Gehäusen mit integrierten LDOs, die den Anforderungen eines kleinen Sensordesigns entsprachen. Nachdem Verlustleistung und Platzbedarf an Bedeutung gewannen, wurde mit der zweiten Generation von Transceivern der Stromverbrauch optimiert, indem man zu einer Technologie mit niedrigerem RON-Widerstand überging, um den Stromverbrauch weiter zu senken, dabei wurden noch kleinere WLP-Gehäuse verwendet.

Die neueste Generation von Transceivern trägt der Notwendigkeit Rechnung, sowohl die Schutzfunktion als auch einen hocheffizienten DC/DC-Abwärtsregler zu integrieren, um die Größe und die Verlustleistung des Sensor-Subsystems weiter zu reduzieren.

Da die IO-Link-Technologie in immer mehr industriellen Sensoren zum Einsatz kommt, sind diese Gerätespezifikationen der Schlüssel zur Implementierung kleiner, robuster und energieeffizienter Sensoren.

	IO-Link-Transceiver mit absolut maximaler Nennspannung 65 V	IO-Link-Transceiver mit absolut maximaler Nennspannung 45 V
Kleinste TVS-Diode	SMAJ33	SMCJ33
Max. Spannung	61 V	45 V
Gesamte Platinenfläche	40,5 mm^2	144 mm^2

Tabelle 1: Vorteile einer maximalen Nennspannung von 65 V in Bezug auf die Sensorgröße

Literatur

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 ◀