

## Lösungsansätze und Struktur

# Sensorsignale einfach konditionieren und sicher übertragen

Die Erfassung von unterschiedlichen physikalischen Größen über spezialisierte Sensoren ermöglicht es Mensch und Maschine bessere Entscheidungen zu treffen bzw. Prozesse zu optimieren. Qualität und Sicherheit der Sensorik ist daher oft von entscheidender Bedeutung für die gewünschten Resultate. Was die dem Sensor folgende Signalkonditionierung dabei leisten muss, zeigt *elektronik industrie* hier.

Die Umsetzung der physikalischen Messgröße sollte möglichst genau und elektrisch einfach auszuwerten sein. Diese Forderungen und auch eine sichere Übertragung zur zentralen Verarbeitung stellt eine große Herausforderung an die Sensorik-Entwicklung. Geht es doch darum, kleine Signale mit meist nicht-linearen und temperaturabhängigen Kennlinien mit akzeptablem Aufwand so zu verstärken und aufzubereiten, dass sie in einer industriell rauen Umgebung sicher über größere Leitungslängen übertragbar sind. Auch gilt es zu erkennen, ob ein Sensor generell funktioniert und ob die Einzelwerte logisch vom Empfänger überprüfbar sind. Dies gilt nicht nur für Safety-Anwendungen, sondern auch allgemein für das Steuern, Regeln und Überwachen von Prozessen. Der nachfolgende Artikel beschreibt Lösungsansätze und die Struktur eines universell ausgelegten integrierten programmierbaren Signalkonditionierers (iC-TW3), der die gegensätzlichen Anforderungen flexibel und kostenoptimal für Industrieanwendungen verbindet.

### Signalqualität und Fehlersicherheit entscheidend

Um die unterschiedlichen Sensorelemente zur Messung von z. B. Temperatur, Kraft/ Druck, Beschleunigung, Position oder auch Lichtstärke optimal anzupassen und auszuwerten, bedarf es eines flexibel einstellbaren hochohmigen Instrumentenverstärkers und der Möglichkeit Fertigungstoleranzen auszugleichen, die einen Offset erzeugen. Ebenso sind Nichtlinearitäten

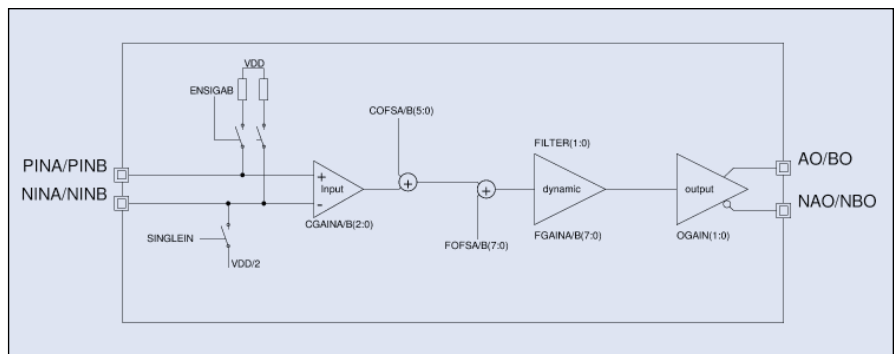


Bild 1: Signalpfad für die Sensorsignalkonditionierung.

(Alle Bilder: iC-Haus)

durch Temperatur oder Temperatur-Drifts möglichst bei der Signalkonditionierung schon zu berücksichtigen. Am Sensor eingekoppeltes Rauschen oder auch Störungen gilt es zu vermeiden, zu unterdrücken oder herauszufiltern. Sensorbrückenanordnungen sind hier besonders geeignet, Gleichtaktstörungen zu unterdrücken und auch bei kleinen Spannungsänderungen eine ausreichende Signalqualität zu liefern. Bei den möglichen Fehlerquellen im gesamten Signalpfad müssen verschiedene Fälle bewertet werden, wie z. B.:

- ▶ Erkennung von Leitungsbruch oder Kurzschluss,
- ▶ Einkoppelte Störungen auf der Sensorseite oder bei der Signalübertragung,
- ▶ Störung der Versorgungsspannung oder auch Masseverlust,
- ▶ Überschreitung der maximalen Betriebstemperatur.

Bei hohen Anforderungen an die Fehlersicherheit bietet sich z. B. eine redundante Ausführung des Signalpfades an. Dies verdoppelt aber auch die Kosten für den Sensoranschluss. Ein guter Kompromiss einfache Fehler zu erkennen, bietet die differenzielle Aufbereitung der Sensorsignale in Kombination mit einer integrierten Temperaturerfassung sowie mit Spannungs- und Sensorfunk-

tionsüberwachung. Für die Übertragung der Sensorsignale gibt es die Alternative, die Digitalisierung der Werte direkt nach der Signalkonditionierung vorzunehmen und digital mit sicheren Protokollen zu übertragen. Dies bedingt aber für höhere Auflösungen auch aufwändige A/D-Wandler an jedem Sensor. Die höheren Kosten für komplexe Protokolle einer Feldbus-Anbindung kommen noch dazu. Weit verbreitet sind deshalb einfache Spannungs- (z. B. 0 bis 10V) oder Stromschnittstellen (z. B. 4 bis 20mA), die aber zunächst keine Möglichkeit einer Überwachung bieten. Deshalb geht man zu einer differenziellen Übertragung der analogen Messwerte über, wodurch sich das Sensorsignal auf der Steuerungsseite logisch überprüfen lässt und Gleichtaktstörungen auch bei langen Anschlusskabeln unterdrückt werden. Unter diesen Gesichtspunkten wurde eine programmierbare Signalkonditionierung mit drei Kanälen konzipiert, die komplett differenziell aufgebaut ist und auch differenzielle Leitungstreiber für abgeschlossene 100 Ω Leitungen besitzt.

### PGA mit Filter und Treiber

**Bild 1** zeigt den differenziellen Signalpfad des universellen Signalkonditionierers iC-TW3. Er besteht aus dem programmierbaren

#### AUTOR



Marko Hepp, Vertrieb und Applikation ASSP, iC-Haus GmbH

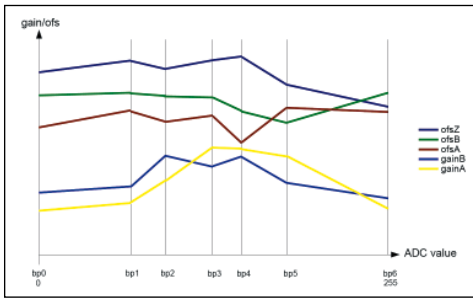


Bild 2: Temperaturkompensation von Verstärkung und Offset durch Interpolation.

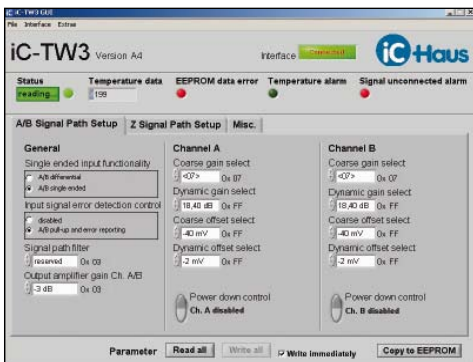


Bild 3: Signalkonditionierung über USB-Schnittstelle für Entwicklung und Produktion.

Eingangverstärker, der Offset-Kompensationsstufe, dem dynamischen Filter- und dem differentiellen Ausgangsverstärker. Im Signalpfad sind der Eingangs-Offset, die Verstärkung und die Tiefpass-Filterfrequenzen einstellbar. Insgesamt ist bei der Verstärkung über alle 3 Stufen ein Bereich von  $-6$  bis  $+57$  dB, in  $0,08$  dB Schritten, einstellbar. Für den Eingangverstärker ist ein Offset von  $\pm 1240$  mV in  $40$  mV Schritten programmierbar. Vor dem dynamischen Filterverstärker ist die Offset-Kompensation von  $\pm 254$  mV in  $2$  mV Schritten einstellbar. Der Ausgangsverstärker beinhaltet auch den differentiellen Leitungstreiber und verstärkt das konditionierte Sensorsignal so, dass auch ein niederohmiger Leitungsabschluss (z. B.  $100 \Omega$ ) bei einem  $1V_{SS}$ -Signal zur direkten Übertragung benutzt werden kann.

Der Eingangverstärker kann auch „single ended“ betrieben werden. Dazu wird der Minus-Eingang des Verstärkers auf  $V_{DD}/2$  gelegt. Ein Leitungsbruch zum Sensorelement kann optional durch Hinzuschaltung interner  $2 M\Omega$  Pull-Up Widerstände überwacht werden. Im Fehlerfall meldet der Signalkonditionierer iC-TW3 dann einen abgerissenen Sensor durch einen LOW-Pegel am NERR-Ausgang.

### Temperaturkompensation automatisch

Oft erfolgt keine Kompensation eines Temperaturfehlers im Sensor sondern im zentralen Rech-

ner. Dies hat aber zur Folge, dass die Temperatur direkt am Sensor gemessen werden muss und der Wert zusätzlich zu übertragen ist. Im iC-TW3 wurde ein anderer Weg beschritten. Er macht eine getrennte Messung und Übertragung überflüssig und lässt gleichzeitig die Überwachung eines Grenzwertes am Sensor zu. Grundlage dieser Methode ist die lineare Interpolation zwischen zwei Temperaturmesspunkten. Insgesamt lässt der iC-TW3, über einen Bereich von  $0$  bis  $255$ ,  $16$  frei wählbare Stützpunkte zu (unterer Punkt ist „ $0$ “ und oberer Punkt „ $255$ “). Dies entspricht mit dem integrierten Temperatursensor etwa einem Bereich von  $-50^\circ\text{C}$  bis  $+150^\circ\text{C}$ . Der Abstand zwischen zwei Stützpunkten einer Sensortemperaturkurve ist quasi frei wählbar und kann daher recht flexibel an jede Kurve angepasst werden. Zwischen den Stützpunkten interpoliert der iC-TW3 automatisch die in einer Tabelle gespeicherten Linearisierungswerte für die Verstärkung und den Offset für Kanal A und B, sowie einen Offset für den Kanal Z. Für die  $16$  möglichen Stützpunkte gibt es also insgesamt fünf  $8$  Bit Werte, die in einer Tabelle im angeschlossenen  $I^2C$ -EEPROM abgespeichert werden. Bild 2 zeigt ein Beispiel mit sieben definierten Stützpunkten, zur Korrektur eines angeschlossenen Sensors in Bezug auf Nichtlinearität im Offset und der Verstärkung (Empfindlichkeit) über der Temperatur.

Der iC-TW3 sieht auch den Anschluss eines externen Temperatursensors für den Fall vor, dass der Sensor räumlich von der Elektronik entfernt und damit anderen Umgebungstemperaturen ausgesetzt ist. Die Überwachung einer frei wählbaren Grenztemperatur, bei der ein Alarm ausgelöst werden soll, wird als  $8$  Bit Wert zwischen  $-50^\circ\text{C}$  und  $+150^\circ\text{C}$  definiert. Der Alarm erscheint als LOW-Pegel am NERR-Ausgang von iC-TW3. Er kann auch zum Treiben einer allgemeinen Fehler-LED verwendet werden.

### Konditionierung – per Mikrocontroller oder am PC

Eine bidirektionale und PWM-modulierte 1-Draht-Schnittstelle am iC-TW3 ermöglicht den R/W-Zugriff auf alle Register und den angeschlossenen Parameterspeicher (Standard  $I^2C$ -EEPROM). Sie lässt sich sehr einfach in der Anwendung über einen Mikrocontroller-Port direkt für den Abgleich nutzen. Der Anschluss kann auch als optischer Write-Only-Link erfolgen, wenn verkapselte Sensoren quasi wireless über ein Lichtfenster abgeglichen werden sollen. Für die Entwicklungsphase bietet sich ein Adapter an, der an die ►

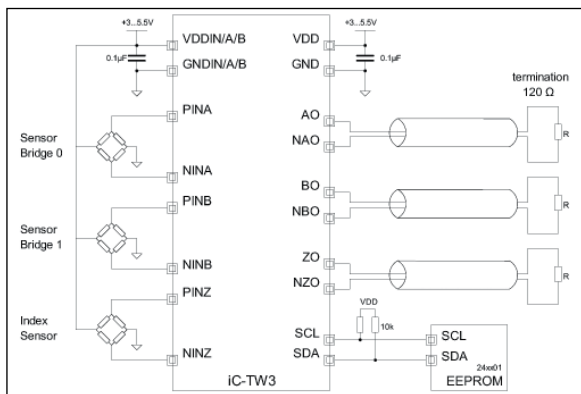


Bild 4: Bewegungssensor mit Sinus/Cosinus-Signalaufbereitung und Übertragung mit dem iC-TW3.

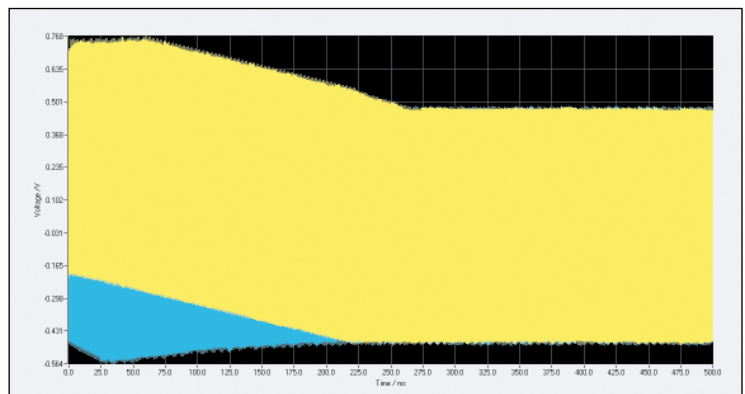


Bild 5: Automatische Offset- und Amplituden-Kompensation für zyklische Sensorsignale.

USB-Schnittstelle von einem normalen PC oder Notebook anschließbar ist. Bild 3 zeigt die Benutzeroberfläche der iC-TW3 GUI für die Konditionierung der Signalpfade A und B. Während der Entwicklung lassen sich so alle Parameter für die Verstärkung und den Offset des Vorverstärkers, des Filters und des Ausgangsverstärkers bestimmen. Auch die Einstellung der Betriebsarten (differenziell oder unipolar) und die Sensorfehlerüberwachung sind so einfach programmierbar. Alle neuen Einstellungen werden von der Software direkt in das am iC-TW3 angeschlossene EEPROM geschrieben, falls diese Option ausgewählt wurde. Die von iC-TW3 aktuell gemessene Temperatur wird ebenso visualisiert wie die Alarmmeldungen für EEPROM-Prüfsummen-, Übertemperatur- und Sensorfehler. Jeder einzelne Signalverstärkerpfad kann in den Power Down Mode gesetzt werden, um Verlustleistung zu sparen.

Ähnliche Funktionen sind im dritten Kanal für den Z-Signalfeld einstellbar. Er kann z.B. für die Abtastung von Referenzspuren bei der Winkel- oder Bewegungsmessung verwendet werden oder auch als einstellbarer Komparator mit Verstärkungs- und Offset-Einstellungen für Alarmmeldungen. Die Auswahl der automatischen Offset-Kompensation für zyklische Signale, wie z.B. von Sinus/Cosinus-Abtastungen mit der gewünschten Anpassungsrate und Regelamplitude (intern  $\frac{1}{2} V_{pp}$  oder extern vorgegeben), erfolgt für alle Sensorsignalkanäle unter dem Auswahlmenü „Misc.“. Dort kann auch die Temperaturkompensation ein- und ausgeschaltet, bzw. die obere Temperaturgenze gesetzt werden. Die Eingabe der Stützpunkte und der Parameter für die Temperaturkompen-

sation der Kennlinien (bis zu 16 Look-Up-Tabellen) erfolgt über einen integrierten Editor (abrufbar unter „Extras“).

### Sensorbrückenanwendung

Bild 4 zeigt das Anschlusschema für einen Bewegungssensor, der zwei Inkrementalspuren über magnetische (oder optische) Sensorbrücken abtastet und die periodischen Sinus-/Cosinus signale konditioniert, auf  $1V_{SS}$  verstärkt und sie dann differenziell über das Verbindungskabel an einen 120-Ohm-Leitungsabschluss überträgt. Optional kann über den dritten Kanal von iC-TW3 auch ein Index-Sensorsignal konditioniert und übertragen werden. Der Vorteil dieses Ansatzes ist es, dass die differenzielle Sinus-/Cosinusübertragung sehr störresistent ist und aufgrund der logischen Überprüfbarkeit auch funktionale Sicherheit für kritische Anwendungen bietet. Auf der Empfängerseite kann dann das konditionierte Sensorsignal auch mit einer sehr hohen Auflösung digitalisiert werden. Es lässt sich ein Leitungsbruch oder ein Kurzschluss auf der Empfängerseite leicht überprüfen.

Nach einem Power-Up bezieht iC-TW3 seine Betriebsart und Abgleichdaten aus dem EEPROM und füllt das interne RAM. Der Zugriff über die 1-Draht-Schnittstelle ist weiterhin möglich um z.B. einen Neuausgleich oder auch eine Betriebsartenänderung durchzuführen. Die Änderungen kann iC-TW3 wiederum ins EEPROM schreiben. Wird ein Fehler durch iC-TW3 erkannt (z.B. Übertemperatur, EEPROM-Prüfsummenfehler, oder Leitungsbruch des Sensorelements), so wird der NERR-Ausgang aktiviert. Dieser Alarm kann dann über einen digitalen Ausgangstreiber (z.B. über den

strombegrenzten Schalter iC-DP) auch über längere Leitungen übertragen werden.

### Option automatische Offset- und Amplitudenregelung

Der Signalkonditionierer iC-TW3 besitzt für periodische Signale (z.B. Sinus/Cosinus) die Option, den Offset und die Amplitude automatisch zu korrigieren. Ist diese Option ausgewählt, wird mit einer einstellbaren Abtastrate ( $5\mu s$ ,  $50\mu s$  oder  $500\mu s$ ) der Offset und die Verstärkung nachgeführt, um am Ausgangstreiber ein stabiles Signal zu liefern. Bild 5 zeigt den Ablauf dieses Regelungsprozesses. Es wurde der Offset von Signalpfad A (gelb dargestellt) von 2,3V auf 2,5V erhöht und nach 250 ms hat iC-TW3 diesen Offset-Sprung automatisch kompensiert. Normalerweise verändern sich die Offset-Spannungen der angeschlossenen Sensoren nur langsam über die Zeit (Alterung), Temperatur oder Versorgungsspannung, sodass eher eine langsame Regelung angebracht ist.

### Schlussbemerkung

Wie gezeigt wurde, kann der Signalkonditionierer iC-TW3 verschiedenste Sensorsignale einfach und flexibel korrigieren und gleichzeitig die funktionale Sicherheit der Signalübertragung unterstützen, sodass tatsächlich zuverlässigere Aussagen über die Sensorfunktion und das Messergebnis möglich sind. (sb)

**infoDIRECT** **423ei0410**

▶ [Link zu iC-Haus](#)

▶ [Link zum Datenblatt iC-TW3](#)

[www.elektronik-industrie.de](http://www.elektronik-industrie.de)