

PRAXIS ELEKTRONIK

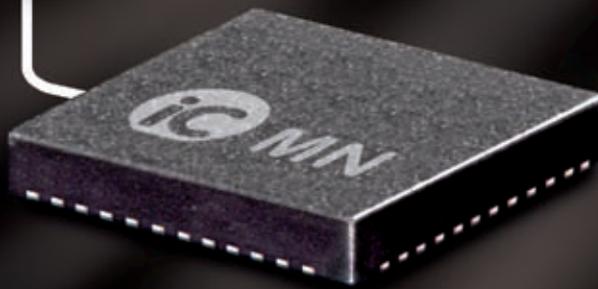
18 B19126
17. Sept. 2008
€ 9,20
 **VOGEL**

Seite 22 Titel: Analoge Sinussignale interpolieren

Optisches Nonius-System



 **iC-Haus**



QMEMS-Prozess für Quarze und Oszillatoren

Seite 30 **Miniaturisierung von Quarzen**

Relais-Konstruktion und -Werkstoffauswahl

Seite 34 **Energieeffizienz bei Sicherheitsrelais**

Synchronmaschinen im Hybrid-Antrieb

Seite 48 **Anforderungen an Magnete für Hybridautos**

Steuer- und Leistungselektronik auf einer Leiterplatte

Seite 66 **Stromschienen in den Innenlagen**

**NIMM
MICH MIT**

Melden sie sich
an und gewinnen sie
eine 2008 Corvette!
electronica 2008 A5,576



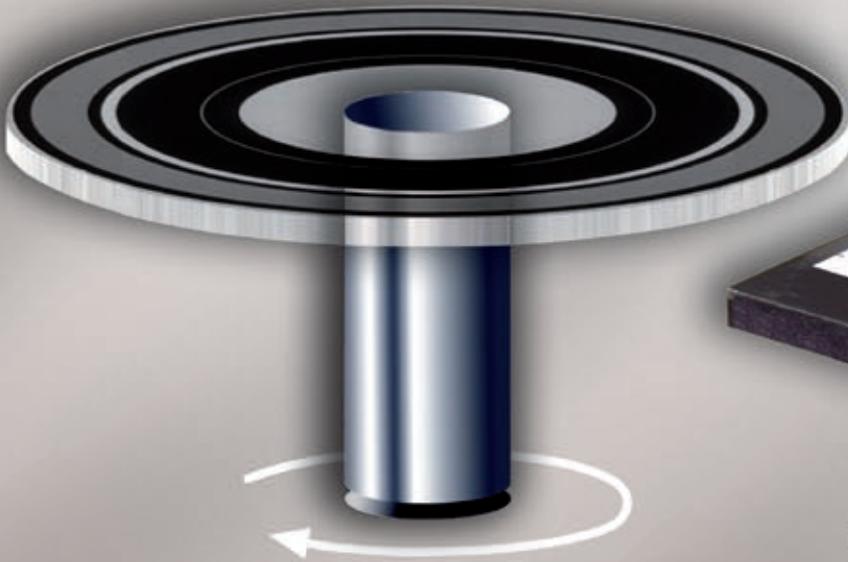
de.digikey.com



www.elektronikpraxis.de – das Magazin als ePaper lesen

Interpolation analoger Sinussignale

Auflösung von Winkelmessungen erhöhen



Die Interpolation analoger Sinussignale ist eine Standard-Auswertefunktion bei Positionssensoren. Mit einem speziellen Verfahren ist es möglich, mehrere Messskalen auszuwerten und zu einem Positionswert zu kombinieren. Damit sind Messsysteme möglich, die eine hohe integrale Genauigkeit oder sehr hohe Auflösungen mit guter differentieller Genauigkeit bieten. Für die Abtastung genügt ein kleiner optischer Sensor.

Joachim Quasdorf*

■ Aktuelle Mixed-Signal-Sub- μ m-CMOS-Technologien ermöglichen hochleistungsfähige System-on-Chip-Designs mit integrierten Sensoren, z.B. mit Fotodioden oder Hall-Elementen zur Positionserfassung. Während optische Drehgeber bereits seit 1992 von Opto-ASICs profitieren und aufgrund feiner Maßverkörperungen auf Glas hohe Auflösung und Präzision bieten, musste für

*Dipl.-Ing. Joachim Quasdorf studierte an der TH-Darmstadt Elektrotechnik, Fachrichtung Festkörperelektronik. 1989 trat er bei iC-Haus ein als ASIC-Entwickler und Designer, speziell von Opto-Sensoren und Opto-Encodern, und übernahm vier Jahre später Aufgaben der Applikationsentwicklung. Im ASSP-Vertrieb und -Marketing ist er heute in leitender Position für die technische Kundenbetreuung zuständig.

Magnetfeldsensoren die passende Auswerteschaltung erst gefunden werden. Inzwischen ist die Interpolation analoger Sinussignale eine Standardfunktion, mit der zum Beispiel lineare Wegmesssysteme Auflösungen unter $1 \mu\text{m}$ erreichen. Wendet man dieses Verfahren räumlich versetzt mehrfach an, ist eine weitere Erhöhung der Ablesegenauigkeit möglich – ähnlich wie beim Messschieber, dessen Skalenprinzip der französische Mathematiker Pierre Vernier schon im 17. Jahrhundert vorgestellt hat. Das als Nonius bekannte Prinzip erlebt nunmehr seine „elektronische Renaissance“ in integrierter Form: die Interpolationsschaltung iC-MN kann zwei oder drei Messskalen auswerten und zu einem Positionswert kombinieren.

Die Maßverkörperung selbst lässt sich dabei magnetisch oder optisch lesen, sie kann grob oder fein sein – die Auswertung bleibt gleich. Damit ergeben sich Alternativen zu etablierten Lösungen für lineare und rotative Positionsmessgeräte. Die reine Abtastung erfolgt vollkommen analog auf kleiner Fläche.

Einen präzisen Ablesewert durch den Vergleich einer Haupt- und einer Teilskala zu generieren, hilft nicht nur dem menschlichen Auge – das Prinzip ist vollständig auf elektronische Sensoren übertragbar und kann die Abtastung mehrerer aufgereihter digitaler Spuren vermeiden (Bild 1).

Der Schaltkreis iC-MN definiert die absolute Winkelposition über die Phasenlage dreier Sinussignale, an die jeweils geringere Genauigkeitsanforderungen gestellt werden, als dies bei nur zwei Skalen der Fall wäre. Die Masterspur α_1 liefert die Feinauflösung und ist verantwortlich für die absolute Systemgenauigkeit, während die Noniusspur (α_3) und die

Segmentspur (α_s) die Informationen zum Bestimmen des Intervalls liefern (Bild 2). Das schrittweise Berechnen erhöht die zulässige Toleranz für Signalfehler, sodass an die Maßverkörperung und die Encoder-Mechanik geringere Anforderungen gestellt sind – oder der Spielraum für kleinere Bauformen genutzt werden kann (Bild 3).

Die auftretenden Signalfrequenzen sind alle in etwa gleich groß, sodass unterschiedliche Phasenlaufzeiten durch analoge Schaltungsteile mit Tiefpass-Charakteristik vernachlässigbar sind.

Hauptfunktionen des Chip werden überwacht und sind für Alarme konfigurierbar

Der Chip verfügt in jedem Kanal über eine separat einstellbare Signalkonditionierung mit Sample-&Hold-Stufe, die das aufbereitete Analogsignal für die anschließende sequenzielle Digitalisierung festhält. Dafür steht ein hochgenauer SAR-A/D-Wandler zur Verfügung, der eine einstellbare Interpolationsauflösung von 8 bis 13 Bit bietet.

Bereits im Analogpfad werden der Signal-Offset als Referenz der Kalibrierung ermittelt sowie Signalamplituden bewertet und optional die Energieversorgung der Sensoren nachgeführt. Dadurch bleiben bei Raumtemperatur eingestellte Konditionierungsparameter im gesamten Einsatztemperaturbereich gültig.

Der nicht lineare A/D-Wandler verwendet die Tangensfunktion und wertet Sinus- und Cosinuswerte gleichzeitig aus.

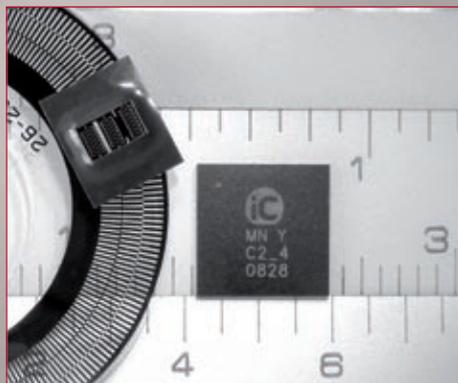
Ein frequenzabhängiger Winkelfehler, den ein Regler als Geschwindigkeitsfehler interpretieren würde, entsteht hierbei nicht.

Zum Berechnen hochauflöser Winkelpositionen sind 2- und 3-Spur-Nonius-Berechnungen konfigurierbar, die Auflösungen bis 25 Bit ermöglichen (0,04" aus 360°).

Der 7 mm × 7 mm große Wandler im QFN48-Gehäuse ist kabelseitig gegen Verpolen und Falschanschluss geschützt und beinhaltet den RS422-Transceiver für die serielle Datenschnittstelle. Die Ausgabe erfolgt im SSI- oder BiSS-Protokoll mit Taktraten von bis zu 10 MBit/s.

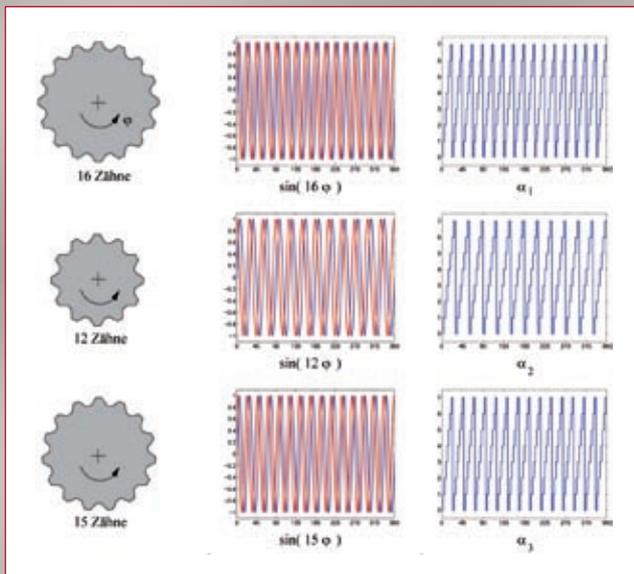
Alle Hauptfunktionen des Chips werden überwacht und sind für Alarmmeldungen konfigurierbar. Typische Sensorfehler wie beispielsweise Signalverlust durch Drahtbruch, Kurzschluss, Verschmutzung oder Altern werden erkannt und der Steuerung gemeldet.

Optische Drehgeber nutzen eine präzise Maßverkörperung und profitieren von der System-on-Chip-Integration bezüglich Auflösung und kleiner Bauform. Dabei werden neben mehrspuriger Abtastung digitaler Codes analoge Signale interpoliert, um Zwischenwerte zu generieren.

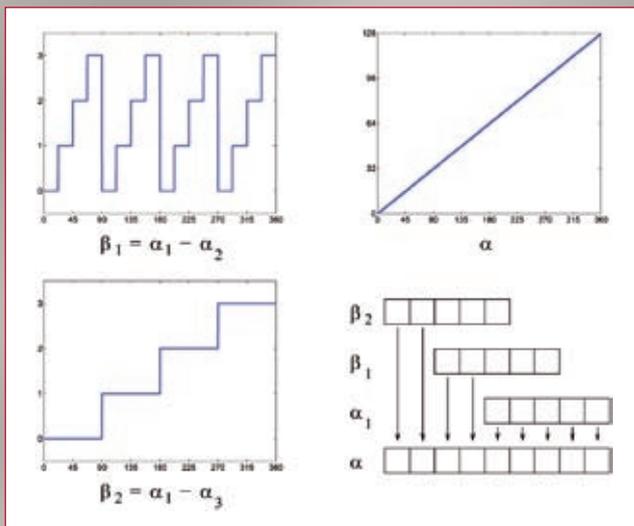


■ Bild 1:
Optisches
Nonius-System
mit Interpolation
auf drei Signal-
spuren

■ Bild 2:
Drei Sinus-/Cosinus-
Eingangssignale
werden separat digitalisiert (Phasen-
winkel α_1 bis α_3)



■ Bild 3:
Der Winkelwert α
wird aus den Phasen-
beziehungen β_1 und
 β_2 berechnet, wobei
 α_1 die Feinauflösung
liefert



► Nach dem Durchlichtverfahren aufgebaute optische Geber arbeiten mit einer LED als Beleuchtung, einer Codescheibe mit mehreren Spuren sowie einem lichtempfindlichen Sensor-IC, der sowohl den Fotodetektor, die Signalaufbereitung als auch Schaltkreise zur Interpolation in einem System-on-Chip kombiniert.

Standardtechnik mit digitalem Absolutcode

Eine sehr feine Grundauflösung wird durch eine hohe Anzahl von Teilungsperioden erzielt, die auf den Umfang der Codescheibe verteilt sind. So unterteilt beispielsweise der System-on-Chip-Positionssensor iC-LG eine Umdrehung zunächst in 2048 gleiche Intervalle. Bei einer Codescheibe mit einem Durchmesser von 42 mm ergeben sich somit

Strukturbreiten auf der Codescheibe um 27 μm .

Um über eine volle Umdrehung die absolute Position zu erhalten, müssen die Teilungsperioden voneinander unterschieden werden. Dazu dienen bis zu 13 weitere Spuren auf der Codescheibe, die einen digitalen Absolutcode liefern, als eindeutige Information über das Intervall. Die weitere Verfeinerung der Position wird durch Interpolation der Teilungsperioden erreicht, wofür jede Teilung ein Sinus- sowie Cosinus-Signal bereitstellt. Durch die Berechnung der Tangensfunktion lässt sich hieraus der momentane Phasenwinkel innerhalb eines Intervalls bestimmen. Dieser kann dann mit dem digitalen Absolutcode verrechnet werden, um eine weitaus feinere absolute Positionsinformation von bis zu 21 Bit zu erhalten.

Für eine feine Grundauflösung unterscheidet auch die Nonius-Auswertung Teilungsperioden, verwendet dafür aber weitere Sinussignale anstelle digitaler Absolutcodes. Der Maßverkörperung genügen damit drei an Stelle von bisher mindestens 12 Spuren – Sensor, LED und Linse passen jetzt in viel kleinere Gerätebauformen, die neue Anwendungsfelder erschließen können (Bild 4). Gleichzeitig bieten aktive Fotosensor-Arrays wie iC-LSH hysteresefreie und klirrarmer Sinussignale in HiFi-Qualität. Dies ermöglicht eine feinere Interpolation, sodass die Nonius-Auswertung auf einer reduzierten Anzahl von Teilungsperioden basieren kann.

Winkelfehler erkennen und kompensieren

Sensorsignale sind niemals fehlerfrei – für ein besseres Interpolationsergebnis ist es wichtig, relevante Signalfehler zu kennen und zu kompensieren. Typische Fehlerquellen sind ein Offset-behafteter Sensor (O_S und O_C), eine unterschiedliche Empfindlichkeit zwischen Sinus- und Cosinus-Sensor (Amplituden A_S und A_C), eine von 90° abweichende Phasenlage zwischen Sinus- und Cosinus-Signal (φ_{SERR} bzw. φ_{CERR}) sowie Nichtlinearitäten in der Kennlinie des Sensors (Abweichungen der Sinusform F_{SIN} bzw. F_{COS}). Weitere Fehler der Maßverkörperung können hinzukommen, zum Beispiel eine Breitenschwankung der Teilungsperiode, wodurch die Länge der Sinus- bzw. Cosinus-Perioden variiert. Allgemein lässt sich der Winkel innerhalb einer Teilungsperiode aus dem Arcustangens des Quotienten von Sinus- und Cosinus-Signal gemäß Gleichung 1 berechnen.

$$\varphi = \arctan \frac{A_S F_{SIN} (\varphi_S + \varphi_{SERR}) + O_S}{A_C F_{COS} (\varphi_C + \varphi_{CERR}) + O_C} \quad (\text{Gl. 1})$$

Dieser Winkel wird durch die Interpolationsschaltung quantisiert. Erst aufgrund der Feinunterteilung der Teilungsperiode sind Positionsgeber mit Auflösungen von über 20 Bit pro Umdrehung möglich. Als kurzweiliger Winkelfehler wird der Fehler innerhalb einer Teilungsperiode bezeichnet. Je nach Anzahl der Teilungsperioden hat dieser Fehler einen unterschiedlich großen Einfluss auf die absolute Winkelmessgenauigkeit. Der langweilige Winkelfehler wiederholt sich einmal pro Umdrehung der Achse. Die Ursache dieses Fehlers liegt zumeist in der Justage der Codescheibe, auch die

Bild 4:
Ein Verzicht auf digitale Absolutcodes halbiert den Platzbedarf und ermöglicht kleinere Drehgeber. Gleichzeitig erlaubt die hohe Interpolationstiefe von iC-MN eine Erhöhung der Winkelauflösung, oder alternativ, den Einsatz größerer Maßverkörperungen.

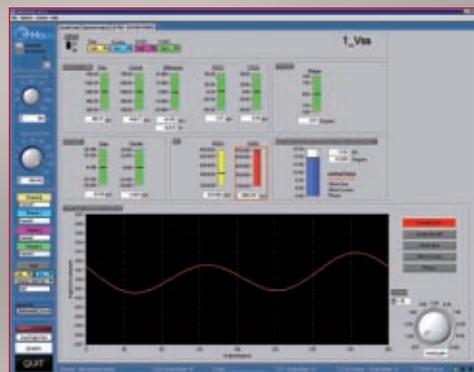
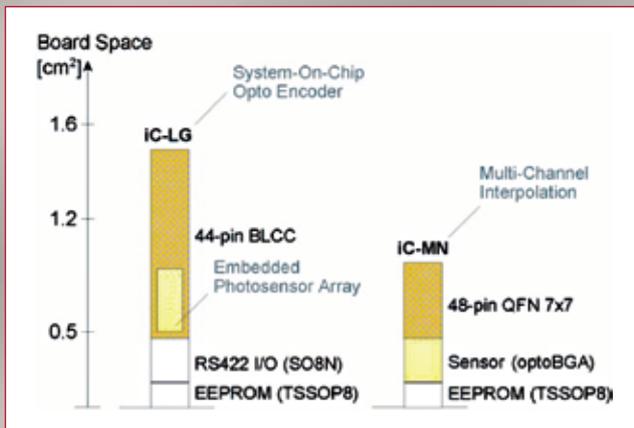


Bild 5:
SinCosYzer Encodersignal-Analyse-Modul

Genauigkeit der Maßverkörperung ist bestimmend. Im Gesamtsystem sind ferner Winkelfehler durch den Anbau des Positionsgebers an die Achse möglich (exzentrischer Anbau, Kraftwirkungen auf Achse und Lagerungen).

Spezifiziert man für einen optischen Drehgeber den Absolutfehler über eine volle Umdrehung mit kleiner 0,014° (50"), würde dies bei 2048 Teilungsperioden einen Fehler von ca. 28° bezogen auf die 360° einer elektrischen Signalperiode entsprechen. Interpolationsschaltungen bieten problemlos zehnfach höhere Genauigkeiten, sodass die Anzahl der Teilungsperioden entsprechend verringert werden kann.

Allerdings muss die geringere Auflösung der Maßverkörperung durch bessere Signale mit höherer Interpolierbarkeit ausgeglichen werden. Zudem kommt es auf die Signalkonditionierung an, die

sehr feine Korrekturen erlauben muss, um einen Absolutfehler in oben genannter Größenordnung zu erhalten. Ferner wirken sich im Sensorsignal vorhandene Oberwellenanteile ebenfalls auf das Interpolationsergebnis aus und reduzieren die maximal mögliche Winkelgenauigkeit. Die mit aktuellen Fotosensor-Arrays erreichten Klirrfaktoren von deutlich unter 0,4% (bei 256 Teilungsperioden) stellen jedoch keine dominante Fehlerquelle dar.

Messtechnik-Werkzeuge: ohne PC-Messkarten geht nichts

Volldifferenzielle Messtechnik mit einer Auflösung von 16 Bit ist keine Grundfunktion aktueller Oszilloskope – auf PC-Messkarten kann deshalb nicht verzichtet werden. Eine elegante Lösung ist das Encoder-Analyzer-Modul der SinCosYzer

Workstation, das die erreichbare Interpolationsgenauigkeit unter Berücksichtigung primärer Signalfehler vorausbestimmt. Farbbalken identifizieren die Fehlerquelle und erleichtern dem Benutzer den Signalabgleich (Bild 5).

Dank der Nonius-Interpolation sind Messsysteme mit skalierbarer Leistungsfähigkeit möglich, die hohe integrale Genauigkeit für Winkelgeber oder sehr hohe Auflösungen mit guter differenzieller Genauigkeit für digitales Motorfeedback bieten können.

Für die Abtastung der Positionsinformation, repräsentiert durch die Phasenlage weniger Signale, genügt ein relativ kleiner optischer Sensor – das vereinfacht die Ausleuchtung, benötigt weniger Energie und spart Platz. Eine Lösung, die nicht nur Systemkosten reduziert, sondern sich auch neue Anwendungen erschließen kann. (kr)

iC-Haus
Tel. +49(0)6135 9292300

Literatur
Schermer, H.; Hepp, M.; Quasdorf, J.; Dr. Flocke, H.: Magnetische und optische Encoder-Technologien im Vergleich (VDE Mikrosystemtechnik-Kongress 2007, Dresden).
Dr. Lin, D.: Hochauflösende Dreh- und Winkelmessung mit Hall-Sensoren (Elektronik Heft 9, 2007).
Stritzke, B.; Dr. Velling, P.: Ein robuster und hochauflösender Absolutwertgeber (Elektronik Heft 24, 2006).
Quasdorf, J.: A Case Study: MR vs. Hall Effect for Position Sensing (Sensors Magazine Nov, 2005).
iC-Haus Datenblätter iC-MN, iC-LSH, iC-LG, SinCosYzer Workstation Manual.

Eckdaten	iC-LG SOC Encoder	iC-MN Nonius-Enc. mit iC-LSH
Sensorzahl	62+	12+
Spurzahl	11 digital, 2048 PPR Sinus	3 × Sinus (255, 256, 240 PPR)
Sensorfeld (B × H)	3 mm × 7 mm (radial)	1,9 mm × 3,1 mm (radial)
Blendenöffnung	27 µm	133 µm
Arbeitsabstand	30 bis 70 µm	50 bis 200 µm
Sinusfrequenz	400 kHz @12.000 U/min	50 kHz @12.000 U/min
Wandlungszeit	4,5 µs @ 8 Bit	7 µs @ 13 Bit
Signalkonditionierung	Offset, Amplitude	Offset, Amplitude, Phase
Winkelauflösung	19 Bit (8 Bit interpoliert)	21 Bit (13+4+4 Bit interpoliert)
Systemgenauigkeit	± 2 LSB (20")	± 4 LSB (20")
Schnittstellen	8 Bit Controller, parallel, seriell, Sinus 250 mV	seriell, Sinus 1 V _{ss} an 100 Ω
Justageanforderungen		
Verdrehung	± 0,7°	± 0,2°
Radiale Spurlage	± 30 µm	± 5 µm
Externe Komponenten		
aktive	EEPROM, RS422-Transceiver, OPV für 1 V _{ss} Verpolungsschutz	EEPROM
passive	ca. 20	ca. 5

www.elektronikpraxis.de

- Zum Produktdatenblatt
- Alle Daten auf einen Blick
- Das Noniusprinzip

InfoClick 265974