

Ein robuster und hochauflösender Absolutwertgeber

Drehgeber mit magneto-resistiver Sensorik und Nonius-Algorithmus

Ein neuartiger Absolutwertgeber kombiniert hohe Auflösung und Genauigkeit mit den Vorteilen der magnetischen Sensor-Technik. Erreicht wird dies mit einer ferromagnetischen Maßverkörperung, die mit üblicher Belichtungs- und Ätztechnik strukturiert wird. Die Signalspuren werden durch magneto-resistive Sensoren (MR) abgetastet, deren Signale in einem ASIC ausgewertet und aufbereitet werden.

Von Burkhard Stritzke und Dr. Peter Velling

Für Standard-Anwendungen in der Automatisierung konkurrieren inkrementale und absolute Drehgeber nach dem optischen oder magnetischen Messprinzip. Neben den Kosten sprechen bei der Systemauswahl Robustheit und Langlebigkeit für die magnetischen Systeme, während die hohe Auflösung und Genauigkeit bislang ein Merkmal der optischen Systeme war. Der hier vorgestellte magnetische Absolutwertgeber bietet die Vorteile der magnetischen Systeme und gleichzeitig eine Auflösung von 16 bit pro Umdrehung mit einer Genauigkeit besser als 0,1 Grad.

Das Herzstück des Drehgebers ist eine neuartige metallische Codescheibe, die mit magneto-resistiven Sensorelementen (MR) abgetastet und nach dem Nonius-Verfahren ausgewertet wird. Mit seinem Flanschmaß von 58 mm eignet sich der Absolutwertgeber für viele Anwendungen in der Automatisierung. Er bietet dabei die Robustheit, Langlebigkeit und Taupunktfestigkeit magnetischer Sensoren. Ein wesentliches konstruktives Detail der magnetischen Drehgeber – eine formschlüssig mit der Geberwelle verpresste metallische Maßverkörperung – wurde auch für den neuen Absolutwertgeber übernommen (Bild 1).

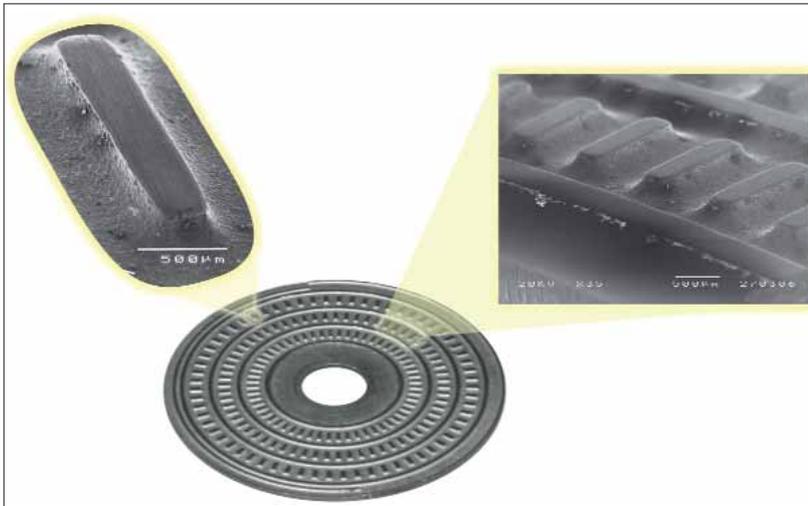


Bild 1. Ein kompaktes Industriegehäuse mit 58 mm Durchmesser bei 47 mm Gehäuselänge für Singleturn und Multiturn mit mechanischem Getriebe. Die Aufsteckhohlwelle hat einen Innendurchmesser von 15 mm.

Metallische Codescheibe

Als Maßverkörperung wird bei dem neuen Absolutwertgeber eine ferromagnetische Stegscheibe mit magneto-resistiven Sensor-Elementen abgetastet. Die absolute Winkelposition ist auf der hochpräzisen Stegscheibe in drei Signalspuren codiert. Das Oberflächenprofil wird mit konventionellen Belichtungs- und Ätzverfahren erzeugt, dabei liegen die kleinsten relevanten Strukturgrößen im Bereich einiger 10 bis 100 μm , der Stegscheibendurchmesser beträgt dabei etwa 50 mm. Diese Strukturgrößen werden durch moderne Verfahrenstechniken aus der Halbleitertechnik sicher beherrscht. Hierbei wird die gesamte Oberflächenstruktur der Stegscheibe in einem Schritt erzeugt, wodurch hohe Maßhaltigkeit, Strukturtreue und Homogenität erreicht werden. Im Vergleich zu optischen Codescheiben, die mit lichtdurchlässigen Glas- oder Kunststoffscheiben realisiert werden, können die relevanten Strukturgrößen auf der Stegscheibe deutlich größer dimensioniert werden. Die metallischen Stegscheiben sind daher absolut unkritisch in der Handhabung. Die einfache Montage der Stegscheibe auf der metallischen Achse sorgt durch eine selbstjustierende Technik für einen geringen exzentrischen Fehler und bringt gerade in der Serienfertigung entscheidende Vorteile (Bild 2).

Mit einem Zentrierelement, das in die innere Kreisstruktur der Stegscheibe greift, wird diese mit der Geberwelle formschlüssig verpresst und dabei automatisch zentriert (Bild 3). Dadurch entfällt die aktive Messtechnik zur Justage einer Codescheibe, wie sie bei optischen Systemen vor einem Klebprozess und zum Teil noch während der Trocknungszeit erforderlich ist. In der Serienfertigung liefert



! Bild 2. Elektronenmikroskopische Aufnahme der einzelnen Signalspuren und Stege auf der Stegscheibe aus ferro-magnetischem Stahl.

die selbstjustierende Technik der metallischen Stegscheibe reproduzierbare Ergebnisse und kurze Montagezeiten. Die Anwendung dieser etablierten Verfahrenstechnik auf eine metallische Maßverkörperung bietet folgende Vorteile:

- ▶ Die rotierenden Komponenten des GEL 235 bilden eine formschlüssig verpresste metallische Einheit, die höchsten mechanischen Beanspruchungen und Temperaturunterschieden von weit über 125 °C standhält.
- ▶ Die Stegscheibe weist die hohe Präzision einer mittels optischer Lithographie hergestellten Maßverkörperung auf.

Ein weiterer nützlicher Nebeneffekt: Sowohl Stegscheibe als auch Achse bestehen aus dem gleichen Material – bessere thermische Eigenschaften sind die Folge. Da die thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Geberwelle, Stegscheibe und Zentrierelement identisch sind, werden Materialspannungen und thermisch bedingte Alterungseffekte konstruktiv vermieden. Der Drehgeber ist für den Betriebstemperaturbereich von -40 bis +85 °C ausgelegt, die Freigabe für +105 °C ist in Vorbereitung.

Die typischen Probleme mit mehrspurigen, hochauflösenden optischen Codescheiben, etwa der Verlust einzelner Spursignale durch thermisch bedingte Ausdehnung oder reduzierte Signalintensitäten aufgrund von Alterung, Verschmutzung oder Kondensa-

tion, sind bei diesem Drehgeber konstruktionsbedingt ausgeschlossen.

■ Magnetisches Messprinzip bietet Vorteile

Durch das magnetische Messprinzip leidet die berührungslose Abtastung nicht unter Alterungseffekten. Ein deutlich längerer Anlagenbetrieb ist die Folge, was besonders bei Anwendungen mit schwer zugänglichen Bauorten von Vorteil ist. Mit den gewählten Strukturgrößen auf der Stegscheibe ist die magnetische Abtastung unempfindlich gegenüber starken Vibrationen und Schockbelastungen sowie Verschmutzung und Betauung. Der Drehgeber ist taupunktfest und temperaturunempfindlich und kann daher auch in Bereichen mit stark wechselnder Temperatur und/oder Luftfeuchte dauerhaft betrieben werden.

Taupunkt-Effekte, also die Kondensation von Feuchte auf den funktionalen Einheiten des Sensors, können bereits bei Umgebungstemperaturen von deutlich über 10 °C auftreten. Bei Anwendungen im Außenbereich wird selbst in gemäßigten Breitengraden grundsätzlich mit dem Unterschreiten des Taupunkts gerechnet. Aber auch in Werkshallen und Prozesslinien wird der Taupunkt immer häufiger unterschritten. Hochdynamische Anlagensteuerungen und immer höhere Drehzahlen bewirken eine signifikante Eigenerwärmung der Drehgeber, schon aufgrund der Lagerreibung. Bei Drehzahlen ab etwa

5000 min⁻¹ kann die Eigenerwärmung der Drehgeber 25 K betragen. Bei hoher Betriebstemperatur kann sich eine hohe Luftfeuchtigkeit langsam im Gebergehäuse anreichern, die dann bei sinkenden Temperaturen kondensiert.

Um eine hohe Lebensdauer auch in chemisch aggressiven Umgebungen wie permanentem Salznebel bei küstennahen bzw. „Off-shore“-Standorten zu erreichen, wird die metallische Codescheibe mit einer Oberflächenbeschichtung dauerhaft geschützt. Diese Beschichtung schützt auch vor chlorhaltigen Reinigungsmitteln, die in der Lebensmittelindustrie bei hohen Temperaturen eingesetzt werden.

■ Auflösung und Genauigkeit

Mit der magnetischen Abtastung einer hochpräzisen Maßverkörperung ist der neue Drehgeber den Absolutwertgebern, die nur die Feldlinienorientierung eines Stabmagneten (Permanentmagnet) abtasten, deutlich überlegen. Solche Systeme benötigen keine Maßverkörperung und zeichnen sich daher durch eine einfache Konstruktion aus. Sie erreichen allerdings in der Praxis nur eine Genauigkeit von etwa 1 Grad bei einer Singleturn-Auflösung von 12 bit. Mit einem berührungslos arbeitenden elektronischen Getriebe mit ebenfalls 12 bit Auflösung kann dann eine Gesamtauflösung von 24 bit erreicht werden. Solche Systeme sind jedoch nur für Anwendungen in rauen Umgebungen eine Alternative zu optischen Drehgebern.

Die Gesamtauflösung des neuen Multiturn-Absolutwertgebers steht mit 28 bit der Auflösung optischer Sensoren in nichts nach. Die Singleturn-Auflösung ist einstellbar von 8 bit bis 16 bit, die Genauigkeit beträgt dabei stets 0,1 Grad.



! Bild 3. Geberwelle, Stegscheibe und Zentrierelement des magnetischen Absolutwertgebers vor der Montage.

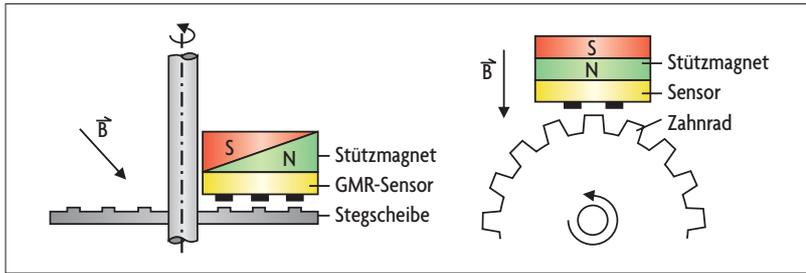


Bild 4. Magnetkreis des neuen Drehgebers mit Stegscheibe und GMR-Sensoren (links) im Vergleich zum klassischen Aufbau mit Messzahnrad (Evolverten-Verzahnung) und Feldplatte.

Neben einer Singleturn-Ausführung steht auch eine Multiturn-Ausführung zur Verfügung, die über ein ebenfalls magneto-resistiv abgetastetes mechanisches Getriebe mit 12 bit Auflösung verfügt.

Der neue Absolutwertgeber liefert seine Informationen im Binär- oder Gray-Code über eine schnelle SSI-Schnittstelle mit 2 MHz Taktrate. Wahlweise steht auch eine BiSS-Schnittstelle mit bis zu 10 MHz zur Verfügung. Die minimale Taktpause zur Abfrage neuer Positionsdaten über die SSI-Schnittstelle beträgt $16 \mu\text{m}$ und kann für eine noch schnellere Rückführung auf $1 \mu\text{m}$ im BiSS-Modus reduziert werden. Zusätzlich wird ein hoch interpolierbares Sinus-/Cosinus-Signal mit 64 Perioden pro Umdrehung ausgegeben. Darüber hinaus sind kundenspezifische Anpassungen der Ausgangssignale möglich, womit eine flexible Anpassung an bestehende Komponenten erreicht wird. Über die programmierbare SSI-Schnittstelle (SSI-P) lassen sich die Singleturn- und Multiturn-Auflösung, der Ausgabe-code, die Zählrichtung sowie Preset-Werte vorgeben. Die Programmierung erfolgt mit einer einfachen Parametrier-Software und einer USB-Schnittstellenkarte. Die Sensor-Daten werden über einen axialen Übergabestecker an Feldbus-Hauben weitergeleitet. Die Feldbus-Profile Profibus-DP und CANopen befinden sich in der abschließenden Qualifizierung.

Das Messprinzip

Das auf dem Hall-Effekt basierende Feldplatten-Verfahren hat über Jahrzehnte neue Entwicklungen bei magnetischen Sensoren vorangetrieben. Die dominierenden Anwendungsgebiete der Feldplatten lagen jedoch im-

mer bei der konventionellen Dieselmotoren-Technik. Mit der Einführung neuer Dieselmotoren werden die Feldplatten hier nicht mehr benötigt; ihre Produktion wurde eingestellt.

Zur Auswahl geeigneter magnetischer Sensor-Elemente für den neuen Drehgeber wurden daher zu Entwicklungsbeginn die erforderlichen technische Eigenschaften alternativer Elemente definiert. Für die Entwicklung kamen magneto-resistive Sensoren in Betracht, die den GMR- (Giant Magneto-Resistance) und den AMR-Effekt (Anisotropic Magneto-Resistance) nutzen. Diese MR-Sensoren sind empfindlicher als gängige Feldplatten und weisen eine bessere Linearität auf. Zudem ist die Bauform kompakter und ihre Temperaturdrift ist geringer. Da sie nur wenig Chipfläche benötigen, sind GMR-Elemente als Vollmessbrücke mit zwei konstanten und zwei magnetisch modulierbaren Widerstandsstrukturen verfügbar. Auf diese Weise werden thermische Effekte in optimaler Weise kompensiert. GMR-Elemente werden seit fast 20 Jahren in Schreib-/Leseköpfen von Festplatten verbaut, so dass Fragen der Langzeitstabilität, Serienreife und Verfügbar-

keit außer Diskussion stehen. Der neue Drehgeber nutzt somit auch eine zukunftssichere Technologie, die über mehrere unabhängige Lieferanten gesichert ist.

Der prinzipielle Aufbau eines Magnetkreises zur Abtastung einer passiven Maßverkörperung besteht aus einem Stützmagneten, einem Sensor-Element und einer Maßverkörperung (**Bild 4**). In einem Abstand von wenigen $100 \mu\text{m}$ sind Maßverkörperung und Sensor-Element so zueinander angeordnet, dass das Oberflächenprofil der rotierenden Maßverkörperung das permanente Magnetfeld des Stützmagneten moduliert. Für die Optimierung des Magnetkreises sind die geometrische Dimensionierung sowie die Auslegung von Feldstärke und Orientierung des Magnetfeldes des Stützmagneten relativ zum Sensor-Element erforderlich.

GMR-Elemente weisen aufgrund ihres Aufbaus als Mehrschichtsystem eine Besonderheit gegenüber Feldplatten auf. Der GMR-Effekt ist ein Grenzschichteffekt, und nur eine symmetrische Magnetfeld-Modulation relativ zu diesen parallelen Grenzschichten bewirkt eine symmetrische Änderung des elektrischen Widerstands. In detaillierten Simulationen zur Magnetfeld-Orientierung zeigte sich, dass ein magnetisches Schrägfeld eine symmetrische Grenzschichtmodulation sicherstellt.

Nonius-Algorithmus für eindeutige Positionsbestimmung

Auf die Stegscheibe sind drei inkrementelle Spuren mit 56, 63 und 64

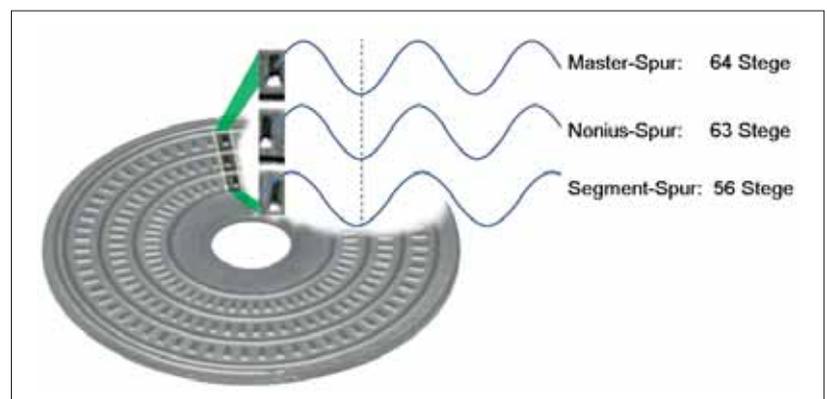


Bild 5. Mit einer eindeutigen Stegposition über die drei Signalspuren ist die Nonius-Bedingung erfüllt und definiert eine eindeutige Phasenbeziehung der korrespondierenden Sinussignale.



Bild 6. Bei der Multiturn-Variante folgen dem Eingangszahnrad mit separater Kugellagerung drei Hauptachsen mit jeweils 16-facher Untersetzung, damit wird eine Auflösung von $16^3 = 2^{12}$ Umdrehungen erreicht.

Stegen aufgebracht, die durch drei GMR-Sensoren abgetastet werden. Entsprechend der Stegzahl werden Sinus-Signale mit korrespondierender Periodenanzahl pro Umdrehung erzeugt. Mit einem hochintegrierten ASIC wird aus der Phasenbeziehung dieser Sinussignale zueinander die eindeutige absolute Position innerhalb einer Umdrehung bestimmt (**Bild 5**). Die Stegscheibe ist so dimensioniert, dass sich die drei unabhängigen Spuren trotz der engen Lage zueinander magnetisch nicht beeinflussen.

Die wesentliche Designregel besteht natürlich in der Einhaltung der Noniusbedingung auf der kreisrunden Stegscheibe, analog zum linearen, mechanischen Messschieber. Auf der Stegscheibe befinden sich in der äußeren Masterspur 64 Stege (2^n , $n = 6$) mit einer Periodenlänge von etwa 2 mm. Die mittlere Noniusspur weist 63 Stege ($2^n - 1$) und die innere Segmentspur 56 Stege ($2^n - 2^{n/2}$, $n = n_{\text{Master}}$) auf. Diese Regel gewährleistet die eindeutige Position der Stege bzw. der Phasenlage der korrespondierenden Sinussignale. Mit dieser Stegscheibe ist mit nur drei Signalspuren eine Auflösung bis 16 bit möglich. Die Auswertung der Phasenlage ist bereits für magnetische Systeme mit 128 Stegen sowie für optische Systeme mit 4096 Strichen bzw. einer Periodenlänge von $50 \mu\text{m}$ nachgewiesen. Mit einem hochintegrierten ASIC wird neben der Nonius-Auswertung und diversen Überwachungsfunktionen auch der

elektronische Abgleich der GMR-Sensoren durchgeführt. Mechanische Fertigungstoleranzen in der Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) sowie dem vollautomatischen bleifreien SMD-Prozess werden so ohne manuellen Eingriff abgeglichen.

Bei der Multiturn-Variante wird für die Singleturn-Stufe das Nonius-Verfahren auf eine dreispurige Stegscheibe angewandt und innerhalb

der Multiturn-Stufe auf ein dreistufiges, mechanisches Getriebe aufgesetzt (**Bild 6**). Das mechanische Getriebe ist kompakt und flach in den Gehäuseboden konstruiert, die Stützmagnete sind dabei bereits vergossen in die Hauptachsen integriert. Durch eine Direktabtastung der Magnetfeld-Orientierung mit MR-Elementen wird eine Auflösung von 12 bit bzw. 4096 Umdrehungen erreicht. Die Multiturn-Variante basiert somit vollständig auf einer magnetischen Abtastung mit elektronisch abgeglichenen MR-Sensoren und Nonius-Auswertung. Zusätzliche Regelschleifen bzw. Potentiometer zum Amplituden-, Phasen- und Offsetabgleich von insgesamt sechs Sensorelementen entfallen, wodurch weitere Bauelemente eingespart werden und

die MTBF (Mean Time Between Failure) weiter verbessert wird.

Der Hersteller Lenord + Bauer bietet zudem eine hochauflösende Variante (GEL 235) und eine Ausführung mit Direktabtastung (GEL 2035) an. Dabei wird sowohl eine mechanische als auch eine elektronische Multiturn-Stufe mit jeweils 12 bit Auflösung eingesetzt. Der Kunde kann damit selbst entscheiden, welches Verfahren er bevorzugt bzw. welche Lösung für seine spezielle Anwendung die besten Ergebnisse liefert.

■ Aufbau- und Verbindungstechnik

Die mechanischen und elektronischen Komponenten des neuen Drehgebers sind hinsichtlich der Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) für die Serienfertigung optimiert. Der Aufbau der Singleturn- und Multiturn-Absolutwertgeber in einem Gehäuse von nur 47 mm Länge wurde dabei ohne Schraub- und Steckverbindungen sowie Kabel realisiert. Die einzelnen Komponenten sind über widerstandsfähige, flexible Leiterbahnen fest miteinander verbunden (**Bild 7**). Auch die Verbindung zum Steckerabgang erfolgt kabellos über eine flexible Leiterbahn. Neben den Steck- und Kabelverbindungen gehören auch interne Schraubverbindungen bei dieser neuen Gebergeneration der Vergangenheit an. Nur der M23-Ausgangsstecker bzw. der Kabelabgang werden noch mit dem Grundgehäuse verschraubt.



Bild 7. Nach der Montage der Starr-Flex-Starr-Platinen auf den Gehäuseboden wird das mechanische Getriebe vollständig geprüft und abgeglichen, dann folgt der Test der Singleturn-Elektronik. Die spätere Position der Stegscheibe ist schematisch gezeigt.



Bild 8. Der Kabeldeckel axialflex mit nur 9 mm Aufbauhöhe hält auch hohen Belastungen stand. Der eingelassene Preset-Taster im Gehäuseboden (oben links) erlaubt das Setzen eines vordefinierten Wertes im eingebauten Zustand.

Geeignete Zentrierpunkte und großflächige Klemmverbindungen erleichtern die Montage. Die mechanische Auslegung erlaubt für die Singleturn-Variante des GEL 235 eine Drehzahl von $12\,000\text{ min}^{-1}$, und auch das mechanische Getriebe der Multiturn-Variante ist kurzzeitig bis $12\,000\text{ min}^{-1}$ belastbar.

Es steht eine breite Palette mechanischer Varianten mit Klemm- und Synchroflansch sowie eine Aufsteck-Hohlwelle mit axialen oder radialen Stecker-/Kabelabgängen zur Verfügung. Neben konventionellen Kabelverschraubungen mit etwa 2 cm Aufbauhöhe ist für den Typ GEL 235 ein besonders flach bauender, axial montierter Kabeldeckel von nur 9 mm Höhe verfügbar. Dieser „axialflex“-Kabeldeckel widersteht hohen Zugbelastungen (IP67) und schützt vor einem Abscheren des Kabels (**Bild 8**).

■ Einsatzgebiete und Anwendungen

Die neuen Drehgeber sind für ein breites Anwendungsspektrum geeignet, da sie robust sind und hohe Auflösung mit hoher Genauigkeit kombinieren. Die Absolutposition kann über eine schnelle SSI-Schnittstelle ausgelesen werden, zudem wird ein hoch interpolierbares Sinus-/Cosinus-Differenzsignal mit 1 V_{ss} ausgegeben. Die Auflösung von 16 bit unterstützt über die schnellen digitalen und analogen Ausgangssignale dynamische Regelkreise ebenso wie präzise Gleichlaufregelun-

gen mit extrem langsamen Bewegungen.

So sind in der Folien-, Papier- und Verpackungsindustrie sehr hohe Takt-raten bei hoher Präzision gefordert, und auch permanente Feinstäube dürfen die Sensor-Technik nicht beeinflussen. In Windkraftanlagen mit über 70 m Höhe sind die Drehgeber starken Temperatur- und Feuchte-Schwankungen ausgesetzt, in Küstennähe bzw. „Off-shore“ zusätzlich permanentem Salznebel. In der Stahlindustrie eignet sich der neue Drehgeber für die Regelung von Abluftklappen oder die Überwachung von Schrägaufzügen unmittelbar am Hochofen ebenso wie bei der Weiterverarbeitung in Walzstraßen und Pressen mit hohen Vibrations- und Schockbelastungen.

Dank einer für Singleturn- und Multiturn-Ausführung gleichen Baulänge (47 mm) kann der Drehgeber im Maschinen- und Apparatebau sowie in Antrieben eingesetzt werden. Mit der Aufsteckhohlwelle lassen sich Einbauraum und Montagezeit minimieren, da der Geber nur auf ein Wellenende aufgesteckt und gegen Verdrehen gesichert wird. Kupplungen und ggf. Montageglocken oder -winkel für die Montage von Vollwellen-Gebern entfallen. Mit Aufsteck-Hohlwelle hat der GEL

235 diese Vorzüge bereits an leistungsstarken Antriebsmotoren in der Bahntechnik als Geber für die Motor-Rückführung unter Beweis gestellt. Selbst starke äußere Magnetfelder beeinflussen die Funktion des neuen Drehgebers dank des optimierten Magnetkreises nicht. Für die hohen Hygiene-Anforderungen der Lebensmittelindustrie und Reinigungsprozeduren mit chlorhaltigen Substanzen im 80 °C heißen Dampfstrahl sind beständige Dichtungen aus Viton verfügbar, auf Kundenwunsch auch ein Gehäuse aus Edelstahl.

Das verwendete Messverfahren zeichnet sich durch eine hohe Skalierbarkeit aus. Sensor-Geometrie und Strukturgrößen der Stegscheibe lassen sich flexibel dimensionieren und die Periodenlänge der Signalspuren sowie die Stegzahl in einem relativ weiten Bereich frei wählen. So können in Zukunft Drehgeber individuell auf spezielle Kundenbedürfnisse zugeschnitten werden. Große Hohlwellendurchmesser sind dabei ebenso möglich wie sehr kompakte Gehäuseabmessungen. Für Torque-Motoren und andere Anwendungen mit großen Hohlwellen lassen sich hochauflösende Einbaugeber mit absoluten und inkrementalen Positionssignalen realisieren. jw



Burkhard Stritzke

hat an der Ruhr-Universität Bochum Elektrotechnik mit dem Schwerpunkt Halbleiterbauelemente studiert. Nach einer Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für mikroelektronische Schaltungen und Systeme in Duisburg wechselte er in die Industrie. Seit 1990 arbeitet er bei der Lenord, Bauer & Co. GmbH in der Sensor-Entwicklung, mittlerweile als Leiter dieser Abteilung. Seine fachlichen Schwerpunkte liegen im Bereich der Magnetfeld-Sensoren für die Industrie-Automatisierung.

bstritzke@lenord.de



Dr. Peter Velling

studierte in Duisburg Mikroelektronik. Für seine Dissertation zu schnellen opto-elektronischen Bauelementen und Schaltungen im Jahr 2001 erhielt er den VDE-Landespreis und die Auszeichnung der Universität. Bis 2005 war er u.a. in der Entwicklung und Vermarktung opto-elektronischer Komponenten tätig und schloss 2006 ein Studium zum gewerblichen Rechtsschutz als Patent-Ingenieur ab. Bereits 1988 arbeitete er ein Jahr bei Lenord, Bauer & Co. GmbH und ist seit 2006 Produktmanager im Bereich Sensoren.

pveling@lenord.de