



Worte und Taten

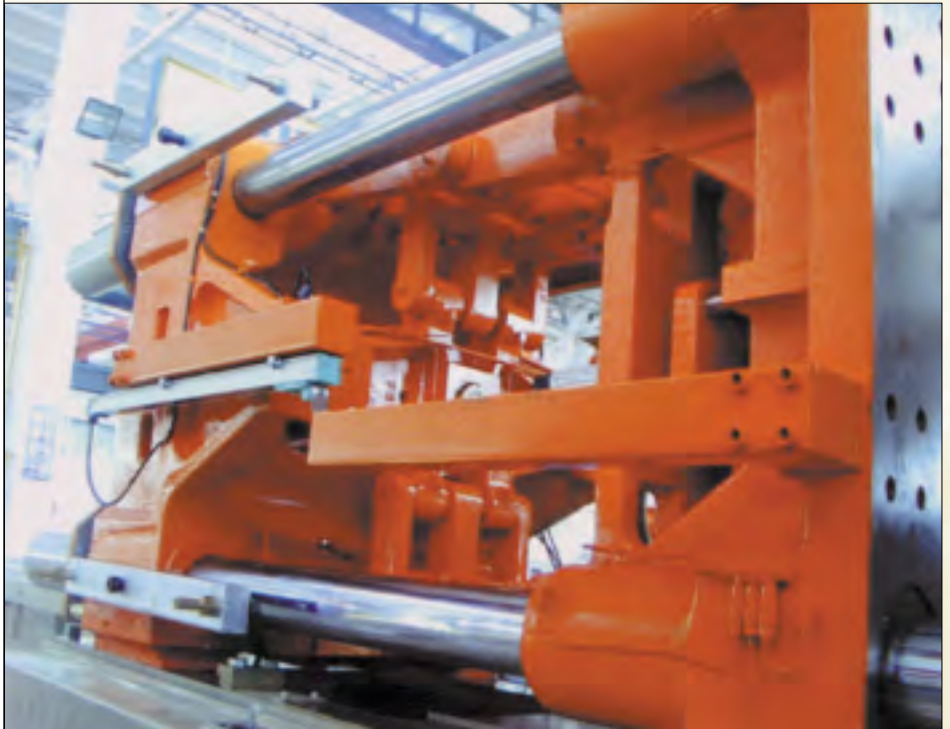
Vertrauen entsteht da, wo Worte und Taten eines Menschen zusammen passen, sprich, wenn einer tut, was er sagt. RS Components handelt nach diesem Grundsatz. Wir versprechen Ihnen „Kompetenz in Technik + Service“, und das setzen wir in die Tat um. Einen Beweis halten Sie in Ihren Händen: Die peRSpektive – diese stellt nützliches Wissen zu aktuellen technischen Themen zusammen. Konkrete Unterstützung für die Praxis.

Ein sichtbarer Beweis für die Kompetenz im Service steht in Bad Hersfeld: das neue RS Components Distributionszentrum. Wir haben unser Lager in der Zeit zwischen Weihnachten und Neujahr dorthin verlegt. Dank der um Faktor 4 größeren Infrastruktur des neuen Standortes und seiner optimalen geographischen Lage können wir Ihnen noch mehr Service bieten. Zum Beispiel mit einer weiter erhöhten Produktverfügbarkeit, damit Sie auf die Zuverlässigkeit von RS Components auch unter immer extremeren Zeitanforderungen vertrauen können.

Am effizientesten nutzen Sie den RS Service per E-Commerce. Auch dafür finden Sie bei uns die wirtschaftliche Lösung – bis hin zum kostenlosen E-Procurement mit dem RS PurchasingManager™. Es lohnt sich, mit RS Components zusammen zu arbeiten, weil wir darauf achten, dass bei „Kompetenz in Technik + Service“ Worte und Taten zueinander passen.

Viel Spaß bei der Lektüre wünscht

Ihr Dr. Bernhard Biergans
Geschäftsführer



Wegmesstechnik

Die Erfassung von Längen, Positionen, Drehzahlen und Winkeln ist eine Standardaufgabe in der Automation und Prozesstechnik. Je nach Messsituation dienen entweder optoelektronische Drehgeber oder lineare Wegaufnehmer als Informationsquelle für die übergeordnete Steuerung. Im fünften Teil unserer Reihe über Automation finden Sie beide weit verbreiteten Sensortypen in ihrer Funktionsweise beschrieben.

Bei der Wegmesstechnik innerhalb der Automatisierungstechnik wird die physikalische Größe „Bewegung“ in elektrische Signale umgesetzt. Dabei gibt es zwei typische Messaufgaben: zum einen die Erfassung von rotatorischen Bewegungen, zum anderen die Messung translatorischer (linearer) Bewegungen. Bei den entsprechenden Sensoren unterscheidet man folglich zwischen Drehgebern und Lineargebern bzw. linearen Wegaufnehmern. Die Abgrenzung ist in der Praxis insofern nicht ganz streng zu ziehen, als sich Drehgeber zur Messung linearer Bewegungen nutzen lassen, wenn man beispielsweise ein Laufrad in das Messsystem integriert und somit zunächst die mechanische Messgröße „linearer Vorschub“ (etwa eines Werkstoffes) in die mechanische Größe „Rotation“ umsetzt.

► Lineare Wegaufnehmer

Lineare Positionen und Wege können in mehrererlei Weise erfasst und in elektrische Signale gewandelt werden. Gebräuchlich sind das potentiometrische Prinzip mit Widerstandselement und Schleifer sowie das magnetostruktive Prinzip. In beiden Fällen wird die Bewegung des zu messenden Aktors vom Sensor mit vollzogen

(entweder direkt eingebaut oder über eine Schubstange) und so an einen Positionsgeber übertragen.

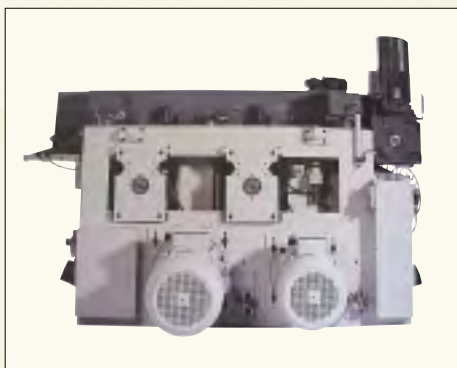
- **Magnetostruktive Wegaufnehmer** -
Das Messelement besteht hier aus einem NiFe-Wellenleiter, in den ein Kupferleiter eingefädelt ist. Zur Messung werden kurze Erregerstromimpulse durch den Cu-Leiter geschickt. Diese Stromimpulse erzeugen um den Leiter herum ein Magnetfeld, das von dem äußeren Wellenleiter gebündelt wird. Die zu erfassende Bewegung verschiebt einen Positionsgeber mit Permanentmagneten entlang des Wellenleiters. Die Feldlinien der Magneten verlaufen rechtwinklig zum Feld des Stromimpulses und werden ebenfalls vom Wellenleiter gebündelt. An der Stelle, wo beide Felder sich überlagern, entsteht im Mikrobereich des Wellenleitergefüges eine elastische Verformung durch Magnetostruktion, die je eine mechanische Welle in die entgegengesetzten Richtungen des Wellenleiters aussendet. Die Welle in Flussrichtung des Erregerstromimpulses interessiert dabei nicht. Sie wird am Ende des Wellenleiters weggedämpft. Die gegenläufige Welle aber wird mit einem Signalwandler abgegriffen, der den magnetostruktiven Effekt in ein elektrisches Signal umkehrt. Da sich die mecha-

nische Welle mit einer bekannten Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 2830 m/s bewegt, kann man durch Messung der Wellenlaufzeit vom Entstehungsort der Welle bis zum Signalwandler den Abstand zwischen Permanentmagnet und Signalwandler bestimmen. Mit einer Auflösung von 1 µm ist damit die Position des Positionsgebers auf der Messstrecke bekannt. Wie häufig diese Information aktualisiert wird, kann der Anwender aus der sogenannten Messwertrate ablesen. Eine hohe Messwertrate ist Voraussetzung für den Einsatz des Wegaufnehmers in zeitkritischen Prozessen. Es gibt jeweils Wegaufnehmer zum Einbau, etwa in Hydraulikzylinder bis 600 bar, und Ausführungen im Profilgehäuse, die zum Anbau gedacht sind.

► **Praxis-Tipps:**

- Magnetostriktive Wegaufnehmer weisen eine sehr gute Störfestigkeit auf, weil das Funktionsprinzip weitgehend unempfindlich gegen Temperaturschwankungen, Erschütterungen, Vibrationen, Feuchtigkeit, Verschmutzung und Störfelder ist.
- Sensoren dieses Typs arbeiten berührungslos und sind damit verschleiß- und wartungsfrei.
- Sie liefern ein absolutes Ausgangssignal, sodass keine Referenzfahrt nach Spannungsunterbrechung erforderlich ist.
- Auflösung, Reproduzierbarkeit und Linearität sind hoch.
- Aktuelle Wegaufnehmer mit Magnetostriktion passen sich selbsttätig an die Feldstärken der Positionsgeber an und erhöhen damit die Toleranzbereiche. Die Anforderungen an die Präzision der Führung sinken.

- **Potentiometrische Wegaufnehmer** -
Solche Wegaufnehmer gibt es seit Jahrzehnten in vielen industriellen Prozessen. Herkömmliche Bauformen verfügen über eine externe Schub-



stange, die den Schleifer im Sensor bewegt. Inzwischen gibt es jedoch potentiometrische Wegaufnehmer, bei denen Schleifer und externer Wegaufnehmer magnetisch gekoppelt sind und deren Koppelung Beschleunigungskräften von bis zu 20 g standhält. Durch diese Trennung kann der Aufnehmer beispielsweise in einen Hydraulikzylinder eingebaut werden, und das Sensorelement bleibt dennoch jederzeit zugänglich. Das Ausgangssignal von potentiometrischen Wegaufnehmern wird durch einen Schleifer verändert, der sich auf einer Leitplastik bewegt. Das Potentiometer ist dabei nicht als veränderlicher Widerstand beschaltet (kein Rheostat), sondern als Spannungsteiler. Die Schleifer-Spannung wird belastungsfrei mit einem als Spannungsfolger geschalteten Operationsverstärker oder einem anderen Bauteil mit hoher Eingangsimpedanz abgenommen. Die Güte eines potentiometrischen Wegaufnehmers zeigt sich an der Glätte seiner Ausgangswertkurve. Die maximale Linearitätsänderung (der maximale Fehler gegenüber der theoretischen Spannungsausgangskurve) innerhalb eines Weg- oder Winkelinkrements (meist 1% des elektrischen Bereichs) wird als Mikrolinearität angegeben. Aussagen über wechselnde Gradienten (= Schwankungen der Empfindlichkeit) innerhalb des definierten elektrischen Bereichs macht die relative Gradientenvariation (RGV). Liegt der RGV-Wert über dem Grundgradient, ist die Ringverstärkung an dieser Stelle höher, was zu einer Regelschwingung führen kann. Liegt der RGV-Wert unter dem Grundgradient, so wird die Reproduzierbarkeit schlechter und die Regengenauigkeit kleiner. Messungen zeigen, dass die Gradientenschwankungen von Leitplastik-Potentiometern bis zu Inkrementen von unter 1 µm statistisch verteilt sind.

► **Praxis-Tipps:**

- Potentiometrische Wegaufnehmer unterliegen zwar einem gewissen Verschleiß, eine Lebensdauer von 100 Millionen Hüben (entsprechend 25000 km Weg) und ein Linearitätsfehler von nur 0,05 % sowie ihr sehr gutes Preis-Leistungsverhältnis machen sie jedoch populär.
- Die Linearität und Konformität eines Potentiometers kann man nur dann wirklich nutzen, wenn Wellen- und Winkelversatz vermieden oder zumindest klein gehalten wird.
- Temperatur, Feuchte, mechanische und chemische Einflüsse beeinflussen die Lebensdauer eines Potentiometers. Eine Norm für die Lebensdauer gibt es bislang nicht. Die Hersteller testen üblicherweise sowohl kleinste Schleiferbewegungen (Zittertest: Kontaktsicherheit und Mikrogradienten) als auch halbe Hübe (Halbhübetest: Linearität, Nullpunktverschiebung und Schleiferabnutzung).

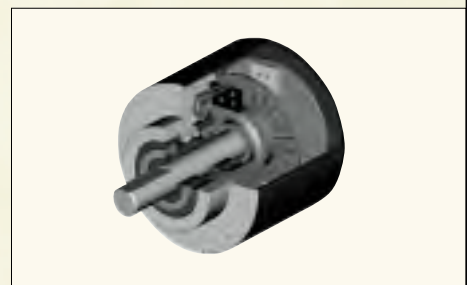
► **Optoelektronische Drehgeber**

Die Erfassung von Längen, Positionen, Drehzahlen und Winkeln ist zumindest in Teilen mit dem Beitrag über Optosensorik im letzten Heft

(Herbst 2002) verbunden, denn optoelektronische Drehgeber arbeiten nach dem Prinzip der Lichtschranke. Bei Sensoren dieses Typs wird durch die Drehbewegung der Aufnehmerwelle oder der Hohlwelle eine transparente Scheibe (typischerweise Glas oder Kunststoff) im Drehgebergehäuse in Rotation versetzt. Auf dieser Scheibe befindet sich bei der inkrementalen Geberausführung ein regelmäßiges Radialstrichgitter, bei der absoluten Bauform sind mehrere solche Strichgitter in konzentrischen Spuren aufgebracht. Die Scheibe rotiert zwischen einer Lichtquelle (meist einer LED), der davor liegenden Blende und einer gegenüberliegenden Fotozelle. Das optische System des Drehgebers entspricht damit einer Lichtschranke. Je nach Gebertyp erfolgt entweder ein Zählvorgang durch die Änderung des Lichtstroms oder eine Erkennung des binären Musters bzw. Strichcodes, die einer definierten Position der Scheibe zugeordnet werden können.

- **Inkrementale Drehgeber** -

In der einfachsten Variante als **einkanalige Drehgeber** dienen diese Sensoren z. B. zur Drehzahl- und Längenmessung. Die lichtundurchlässigen Striche auf der Scheibe unterbrechen den Lichtstrom zwischen LED und Fotoempfänger, was zu einer Veränderung des Empfänger-Ausgangssignales führt. Dieses elektrische Signal kann zwar vereinzelt direkt ausgewertet werden, meist findet jedoch geräteintern zunächst eine Impulsumformung in Rechtecksignale (Gegentaktschaltung) statt. Einkanalige Drehgeber zählen Impulse (Inkremente), erkennen aber weder die Richtung der Bewegung noch die absolute Position der Scheibe.



Aufbau eines Inkremental-Drehgebers



Glasscheibe eines Inkremental-Drehgebers

► Reihe Sensoren

Will man zusätzlich die Richtung der Drehbewegung erfassen, benötigt man dazu einen **zweikanaligen Drehgeber**, der mit einem zweiten, um 90° elektrisch versetzten Fotoempfänger ausgerüstet ist. Wegen der Phasenverschiebung liefert der Fotoempfänger ein sogenanntes **Quadratursignal**, anhand dessen die Auswertelektronik die Drehrichtung ermittelt. Zweikanalige Drehgeber zählen Impulse und erkennen die Drehrichtung, nicht jedoch die absolute Position der Scheibe. Sie eignen sich beispielsweise für Positionieraufgaben.

Erst mit einem dritten Kanal lässt sich auch die absolute Position der Scheibe bestimmen. **Dreikanalige Drehgeber** verfügen zu diesem Zweck über einen separaten optischen Sensor, der eine Einzelmarkierung auf der Scheibe abtastet und als Referenzsignal (auch **Indexsignal**) nutzt. Damit ist ein Nullimpuls vorhanden, der einmal pro Umdrehung auftritt. Verfügt ein dreikanaliger Drehgeber über einen (batterie-)gepufferten Positionsspeicher, dann kann er eine automatische Referenzfahrt von Maschinen nach Wegfall der Versorgungsspannung unterstützen.

Ausgangssignale

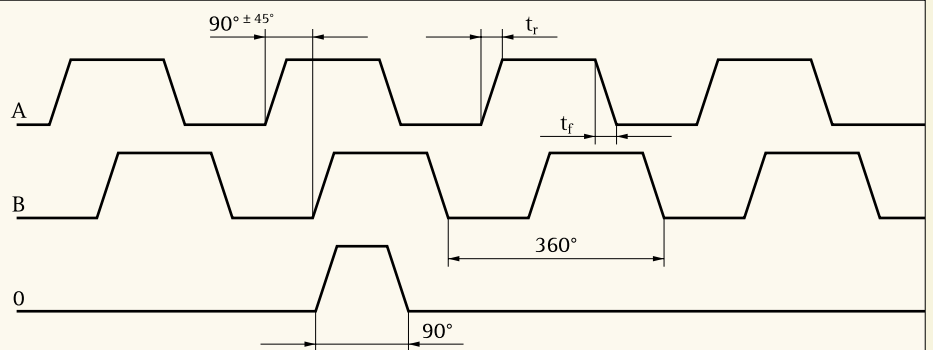
Inkrementale Drehgeber können je nach Ausführung unterschiedliche Signale liefern.

- **Sinusförmiges Spannungssignal** mit oder ohne Invertierung. Mit Invertierung sind Übertragungswege bis zu max. 50 m möglich.
- **Gegentakt**: Standard-Rechtecksignal, das in der Folgeelektronik vielfältig weiterverarbeitet werden kann. Die maximale Kabellänge beträgt hier frequenzabhängig 100 m. Durch Interpolation der beiden um 90° verschobenen Signale (2- und 3-Kanalgeber) lassen sich sehr hohe Auflösungen erzielen.
- **Line-driver** (Gegentakt mit Invertierung): Hier wird das Signal jedes einzelnen Kanals zusätzlich invertiert. Die Übertragung solcher Signale ist weniger anfällig für den Einfluss elektrischer Störfelder. Frequenzabhängig sind so Übertragungswege von bis zu 250 Meter möglich.
- **Push-pull**: Komplementärer Ausgang für höhere Betriebsspannungen und größere Treiberleistungen.

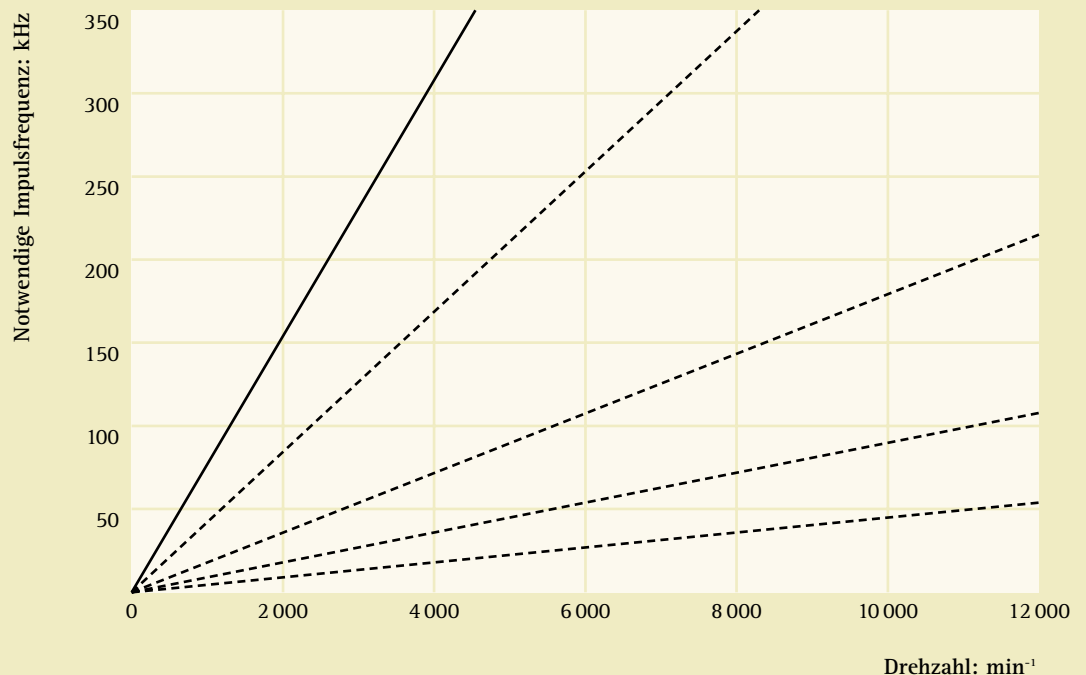
Wellenbelastungen

Bei aller Zuverlässigkeit im Industriefeld sind Drehgeber hochpräzise mechatronische Messsysteme, die empfindlich auf mechanische Fehler bei Montage und Betrieb reagieren. Fluchtungsfehler, Versätze, hohe Temperaturen und zu hohe Achslasten können zu vorzeitigem Verschleiß und im Extremfall zum Versagen des Gerätes führen. Bei Drehgebern in Wellenausführung dürfen vor allem die axialen und radialen Belastungen nicht überschritten werden. Grundsätzlich empfehlen die Hersteller, eine Kupplung zwischen Drehgeberwelle und Antriebswelle zu installieren, um so die Übertragung vorhandener Wellenbelastungen auf den Drehgeber zu mindern. Bei sehr hohen Belastungen (z. B. bei Riemenantrieben) genügt die Kupplung allein unter Umständen nicht. Hier sollte die Montage mit einer Lagerbox erfolgen. Selbstverständlich sollte es sein, einen Drehgeber nicht mit dem Hammer zu montieren. Auch eignet sich das einmal installierte Instrument trotz seines robusten Gehäuses und Äußeren nicht als Abstützhilfe beim Einsteigen in eine Maschine...

3-kanaliger Drehgeber:
Welle im Uhrzeigersinn drehend,
mit Blick auf die Welle,
der 0-Impuls ist mit den
Kanälen A und B UND verknüpft;
 t_r = Flankenanstiegszeit
 t_f = Flankenabfallzeit



Zur Abschätzung der notwendigen
Impulsfrequenz kann auch ein
Diagramm benutzt werden.



Welcher Drehgeber im Einzelfall für eine Anwendung geeignet ist, hängt von den Parametern Auflösung, Impulsfrequenz und Grenzdrehzahl ab. Zur Bemessung eines geeigneten Gerätes legt man die benötigte Winkelauflösung zugrunde und bestimmt dadurch die Anzahl der Impulse pro Umdrehung. Dazu ein Beispiel: Ein Drehgeber ist mit einem Messrad ausgerüstet. Pro Umdrehung ergibt sich eine Strecke von 200 mm Umfang (U). Die Messgenauigkeit (G) soll 0,1 mm betragen. Die erforderliche Auflösung (A) errechnet sich nach der Formel:

$$\text{Auflösung } A = \frac{U}{G} = \frac{200\text{mm}}{0,1\text{mm}} = 2\,000$$

Die auftretende Impulsfrequenz (f_{\max}) ergibt sich aus der Auflösung (A) pro Umdrehung und der maximalen Drehzahl (n) der Anwendung. Der geeignete Geber wird dann nach seiner gerädetypischen, maximal möglichen Abtastfrequenz bestimmt. Als Beispiel nehmen wir eine Drehzahl von $3\,000 \text{ min}^{-1}$ an.

$$f_{\max} = \frac{n \times A}{60} = \frac{3\,000 \times 1\,000}{60} = 50 \text{ kHz}$$

Ein geeigneter Drehgeber muss in diesem Fall also eine Abtastfrequenz von mindestens 50 kHz haben.

Praxis-Tipps:

Die Genauigkeit eines Drehgebers wird beeinflusst von:

- Richtungsabweichungen der Radialgitterteilung
- Exzentrizität der Scheibe zur Lagerung
- Rundlaufabweichungen der Lagerung
- Fehler bei der Ankoppelung der Welle
- Interpolationsabweichungen bei der Weiterverarbeitung der Messsignale in der internen oder externen Interpolations- und Digitalisierungselektronik.
- Es sollten grundsätzlich geschirmte Kabel zum Anschluss von Drehgebern verwendet werden.
- Wellenbelastungen haben einen großen Einfluss auf die Lebensdauer der Lagerungen und die Signalgüte! (Vgl. dazu den Kasten.)
- Werden Drehgeber über Zahnräder angetrieben, sollten es gespannte Zahnräder sein, um das Flankenspiel auszugleichen.
- Verwendet man einen Inkremental-Drehgeber zur absoluten Positionsbestimmung, muss man den absoluten Teilungsfehler berücksichtigen. Er entsteht durch die reale Abweichung einer beliebigen Impulsflanke von ihrem theoretischen, geometrischen Ort. Dieser Fehler kann allgemein bis zu 12 Prozent einer Impulslänge (= 360° elektrisch) betragen. 360° el. entsprechen dem mechanischen Verstellwinkel einer Welle, der genau einen Zyklus des Ausgangssignals bewirkt.
- Drehgeber in Hohlwellenausführung sind zwar für sich gesehen etwas teurer als die vergleichbaren Wellenausführungen, in der Gesamt-

schau ist die Hohlwellenversion jedoch um bis zu 20 Prozent günstiger (weil Montagevorrichtungen entfallen) und spart außerdem bis zu 50 Prozent Einbauraum.

- Absolutdrehgeber -

Auf der Scheibe eines Absolutdrehgebers sind mehrere Spuren mit Gitterlinien bzw. Flächen konzentrisch angeordnet. Für jedes radiale Segment der Scheibe existiert dadurch ein charakteristisches Strichmuster, das einer absolut definierten Lage der Scheibe entspricht. Dieses Muster wird parallel ausgelesen und ergibt diskrete Zahlenwerte, die jeweils einer exakten Winkelposition entsprechen. Anders als beim inkrementalen Geber, erkennt der Absolutdrehgeber immer die absolute Position der Scheibe – auch wenn die Versorgungsspannung unterbrochen und die Welle währenddessen bewegt wurde. Bei solchen Sensoren sind bei der Wiederinbetriebnahme also keine Referenzfahrten erforderlich. Die Auflösung eines Absolutdrehgebers hängt von der Zahl der konzentrischen Spuren auf der Scheibe ab: Jede Spur entspricht einem Bit. Da die Spuren die Fläche der Scheibe unterteilen, spricht man bei Absolutdrehgebern von Teilungen. Aktuell werden bis zu 19 Bit (also 19 Spuren) Teilung realisiert. Um den Verkabelungsaufwand zu begrenzen, kann man bei Absolutdrehgebern serielle Datenformate (RS 232, RS 422, SSI u. a.) wählen. Die Signalwandlung erfolgt geräteintern, entweder durch eine Hardware-Logikschaltung oder einen Mikroprozessor.

Absolutdrehgeber können eine einzige Umdrehung oder mehrere Umdrehungen erfassen. **Singleturn-Geräte** liefern je nach Teilung eine definierte Anzahl von Positionen und beginnen nach einer vollen Umdrehung wieder mit der Startposition. Bei einer Teilung von 14 Bit beispielsweise erfasst der Geber 16 384 eindeutige Positionen, was einer Winkelauflösung von $0,022^\circ$ entspricht.

Multiturn-Geräte erfassen pro Umdrehung bis zu 8 192 eindeutige Winkellagen (13 Bit). Gleichzeitig zählen sie die Anzahl der Umdrehungen: Am Ausgang stehen 12 Bit und damit 4 096 eindeutige Umdrehungen zur Verfügung. Insgesamt liefern Absolutdrehgeber damit 13×12 Bit Auflösung, was 33,5 Millionen Positionen entspricht.

Praxis-Tipps:

- Um die Multiturn-Funktion auch bei abgeschalteter Spannung aufrecht zu erhalten, puffert eine Stützbatterie die Rundenzählung.
- Je nach Ausgangsschaltung, Störquellen und Kabelart sind folgende Übertragungswege möglich:
 - Parallel CMOS/TTL bis zu 2 m
 - Parallel Gegentakt bis zu 100 m
 - SSI bis zu 1 200 m
 - RS 422/RS 485 bis zu 1 200 m

CHB



Glasscheibe eines Absolutdrehgebers

▶ Reihe Sensoren

Code Arten

Natürlicher Binär Code

Der natürliche Binär Code ist EDV-technisch einfach zu verarbeiten. Bei der optischen Abtastung kann es jedoch zu Lesefehlern kommen, da die Bitwechsel mehrerer Spuren (LSB, LSB+1...) nicht exakt zeitsynchron erfolgen und somit ohne weitere Maßnahmen eine falsche Positionszuordnung erfolgen kann.



Codemuster Binär Code

Gray Code

Der Gray Code ist ein einschrüttiger Code, bei dem gewährleistet ist, dass sich von Position zu Position jeweils nur 1 Bit ändert. Dies führt zu einer zuverlässigen Abtastung des Codes und somit der Positionen.



Codemuster Gray Code

Symmetrisch gekappter Gray Code

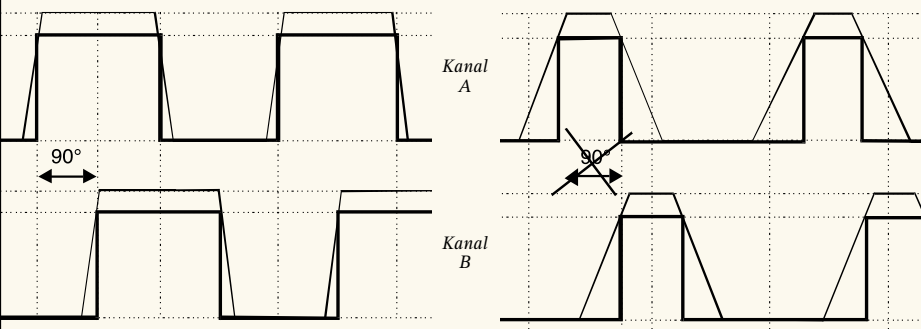
Nimmt man aus dem vollständigen Gray Code einen bestimmten Ausschnitt heraus, ergibt sich der so genannte Gray Excess Code. Dies ermöglicht geradzählige Teilungen, z. B. 360, 720, 1000, 1440.



Codemuster Gray ExcessCode

Alterungskompensation

Jede LED verliert im Laufe der Zeit einen Teil ihrer Leuchtkraft. Dies führt dazu, dass am Ausgang keine einwandfreien Signale mehr zur Verfügung stehen. Der für eine Drehrichtungserkennung notwendige Phasenversatz von 90° geht verloren. Diesem Effekt wird durch eine spezielle Schaltungstechnik vorgebeugt.



Signale eines neuwertigen Drehgebers

Signale eines Drehgebers nach längerer Laufzeit ohne Alterungskompensation.

Nutzen: Die Alterungskompensation gewährleistet auch nach vielen Betriebsjahren noch ein präzises Signal. Die Ausfallzeiten der Maschinen durch fehlerhafte Gebersignale verkürzen sich erheblich. Die Betriebssicherheit nimmt zu.



▶ Aktuell

Kapitel 58 im RS Katalog



▶ www.rsonline.de

Suchworte
Differenzial-Wandler • Drehgeber
• Sensoren • (lineare) Wegaufnehmer



▶ RS INGfo-Line Technische Beratung

Telefon: 0 61 05/401 - 222
Telefax: 0 61 05/401 - 200
E-Mail: technische.beratung@rs-components.com



▶ Partner

Wir danken den Firmen Gefran (Lineare Wegaufnehmer) und Kübler (Drehgeber) für die Informationen und das Bildmaterial.