

Hallsensoren

# Drehzahlen einfach erfassen

Ein einfaches Beispiel für die berührungslose Drehzahlerfassung begegnet uns im Alltag in Form des verschmutzungsunempfindlichen und robusten Fahrradtachometers. Dieses Zubehör zeigt neben der aktuellen Fahrgeschwindigkeit noch weitere Daten wie zurückgelegte Distanz, Gesamtkilometer oder Fahrzeit an. Auch Anwendungen im Maschinenbau, Industrie und Straßenverkehr können von der berührungslosen magnetischen Signalerfassung profitieren.

Das Wirkprinzip eines Fahrradtachometers beruht auf der Erfassung der Drehzahl des Vorderrades, aus dessen bekanntem Durchmesser dann die Fahrgeschwindigkeit  $V$  abgeleitet wird. Ein an einer Speiche montierter kleiner Dauermagnet  $M$  bewegt sich bei jeder Radumdrehung einmal an einem Sensor  $S$  (im einfachsten Fall ein Reed-Relais, das an der Vorderradgabel befestigt ist) vorbei und löst damit einen elektrischen Zählimpuls aus (Bild 1). Aus dem zeitlichen Abstand  $T$  zwischen den Zählimpulsen ergibt sich dann die mittlere Drehzahl.

Einfache Anordnungen gemäß Bild 1 sind aber häufig nicht ausreichend genau, insbesondere, wenn sich die Drehzahl innerhalb einer Umdrehung bereits merklich ändert. Hier verbessert die Unterteilung des Drehwinkels in kleine Inkremente die Genauigkeit der ermittelten aktuellen Drehgeschwindigkeit, indem pro Umdrehung entsprechend mehr Zählimpulse bereitgestellt werden. Im übertragenen Sinne würde man am Beispiel des Fahrradtachometers hierzu an jede Speiche einen Dauermagneten anbringen und so die Zählimpulse pro Umdrehung erhöhen. In der Praxis werden zu diesem Zwecke Polräder verwendet, die als ringförmige Anordnung einzelner Magnete betrachtet werden können. In regelmäßiger Abfolge befinden sich hier die magnetischen Nord- und Südpole in größerer Anzahl periodisch auf dem Umfang verteilt.

### Magnetempfindliche Halbleiter

Auf der Sensorseite werden häufig integrierte magnetempfindliche Halbleitersensorelemente eingesetzt. Diese basieren auf Hallsensoren, die sich leicht in bestehende CMOS-Prozesse zusammen mit elektronischer Verstärkung und Auswertung integrieren lassen.

Für die Polradabtastung ist von iC-Haus eine solche integrierte Lösung in Form des Bausteins iC-MZ verfügbar (Bild 2). Auf dem Chip sind zwei Hallsensoren integriert, die die lokale Magnetfelddifferenz am Polradumfang bewerten und in ein digitales Signal umwandeln, welches über die integrierten Leitungstreiber über lange Kabelstrecken übertragen werden kann.

Die differentielle Abtastung bietet außerdem den Vorteil, dass homogene magnetische Störfelder von den beiden Hallsensoren als Gleichtaktsignale erfasst und durch die Differenzbewertung wirksam unterdrückt werden können. Damit auch die elektrischen Ausgangssignale gegen äußere Störungen weitgehend immun werden, besitzt der iC-MZ komplementäre Leitungstreiber, so dass beim Empfänger ebenfalls eine differentielle Signalauswertung ermöglicht wird und so Kabelübertragungslängen von über hundert Metern erreichen werden. Durch immer feineren Polunterteilungen am Umfang des Polrades erhöht sich die Drehzahlgenauigkeit, aber auch die erzeugte Impulsfolgefrequenz. Mit einer magnetischen Eingangsfrequenz von Null bis 40 kHz kann der iC-MZ beispielsweise bei einem Polrad mit 120 Polen (60 Polpaaren) Drehzahlen von Stillstand bis zu 40 000 U/min erfassen.

### Zahnräder

Häufig möchte der Entwicklungsingenieur bereits vorhandene Konstruktionselemente für die Drehzahlerfassung nutzen. Warum einen zusätzlichen Magneten an die Fahr-

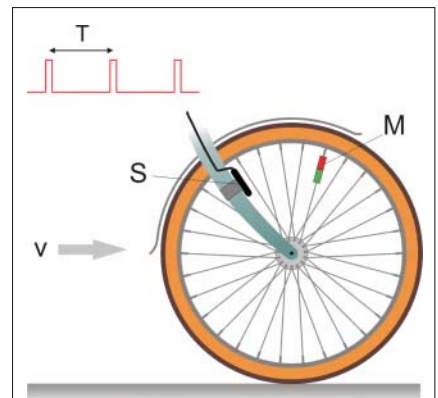


Bild 1: Prinzip der berührungslosen Drehzahlerfassung am Beispiel des Fahrradtachometers.

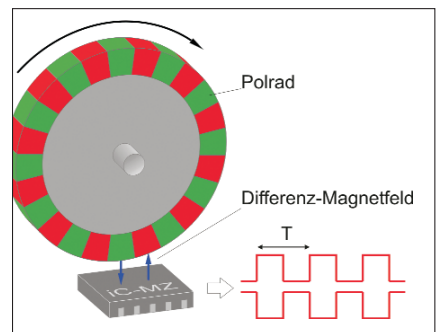


Bild 2: Abtastung eines magnetischen Polrades mit einem Differenz-Hallsensor und Ausgabe einer komplementären Impulsfolge.

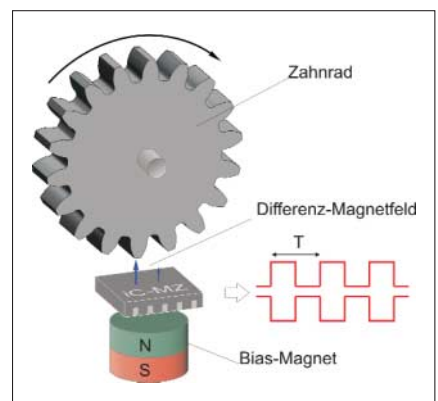


Bild 3: Abtastung eines magnetisch vorgespannten Zahnrades mit einem Differenz-Hallsensor.

**AUTOR**



Dr. David Lin ist bei iC-Haus im Bereich Vertrieb und Applikation zuständig für die technische Kundenbetreuung von magnetischen ASSP-Bauelementen

radspeiche anbringen, anstatt die Speichen direkt magnetisch zu erfassen? Denn oftmals sind in Antrieben die Zahnräder leicht zugänglich und können unmittelbar oder über ein bekanntes Übersetzungsverhältnis Auskunft über die gesuchte Drehzahl liefern. Sofern die Zahnräder, was im Maschinenbau fast immer der Fall ist, aus magnetisierbaren Stahl bestehen, können diese mit einem magnetischen

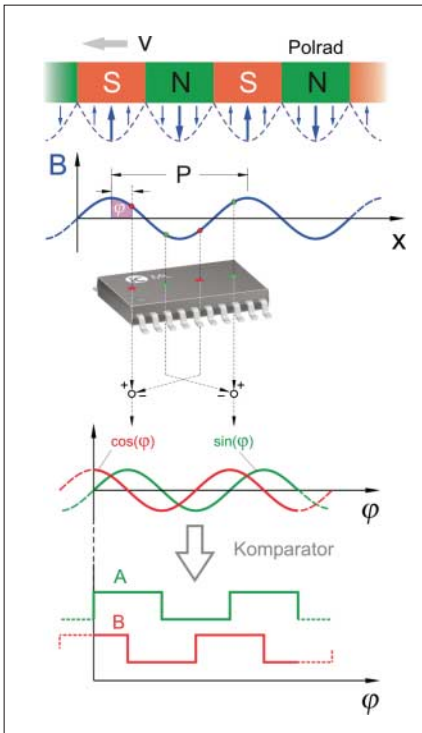


Bild 4: Prinzip der magnetischen Abtastung mit dem Linear-Hall-Encoder iC-ML.

Hilfsfeld beaufschlagt werden und der dadurch magnetisierte Zahnradumfang abgetastet werden (Bild 3).

Durch die geometrische Ausformung des Umfangs in Form von Zähnen und Zahnlücken wird das durch den Bias-Magneten aufgespannte Stützfeld in seiner Intensität moduliert. Im Bereich der Zähne konzentrieren sich die magnetischen Feldlinien besonders stark, so dass hier eine deutlich höhere Feldstärke herrscht als in den Zahnlücken. Diese Feldstärkedifferenz zwischen Zahn und Zahnlücke wird von dem iC-MZ erfasst und in die bereits erwähnte komplementäre Impulsfolge umgewandelt. Hier wird auch deutlich, dass eine differentielle Signalerfassung notwendig ist, um den Gleichanteil des magnetischen Stützfeldes in der Auswertung zu eliminieren.

### Drehrichtung

Bislang ist nur die Möglichkeit erörtert worden, die Genauigkeit der Drehzahl-erfassung durch weitere Unterteilung des Geberrades (Pol- oder Zahnrad) zu erhöhen. Auch fehlt dem einfachen Differenzsensor die Möglichkeit, die Drehrichtung zu erkennen, d.h. ein vorwärts- oder rückwärts drehendes Rad erzeugt gleichartige Impulsfolgen. Verwendet man jedoch vier äquidistant in einer Linie angeordnete Hallensensoren und tastet damit ein hierfür geeignetes Polrad ab, so kann aus den daraus gewonnenen Signalen neben der Richtungserkennung durch Signalinterpolation eine erhebliche höhere Winkelunterteilung erreicht und so die Genauigkeit verbessert werden. Dieses Prinzip wird anhand des Linear-Hall-Encoders iC-ML im Bild 4 dargestellt.

Am Polradumfang lässt sich der Feldstärkeverlauf in guter Näherung durch eine harmonische Funktion gemäss

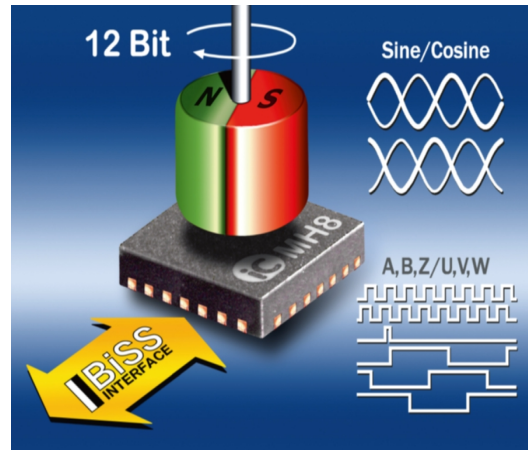
$$B(x) = B_0 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot x / P)$$

beschreiben, wobei x die Wegstrecke entlang des Umfangs, P die Länge der magnetischen Periode (Abstand von einem Pol zu nächsten gleicher Polarität) und B<sub>0</sub> die Amplitude der Magnetfeldstärke ist. Die ortsabhängige Feldstärke weist jeweils Extrema an den Polen auf, während sie an den Polgrenzen verschwindet. Nord- und Südpole unterscheiden sich hierbei im Vorzeichen der Magnetfeldrichtung.

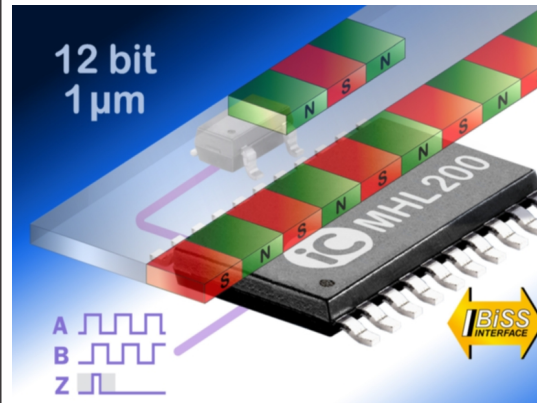
Durch die Hallensensoren des iC-ML wird der Polradumfang jeweils im Abstand von einem Viertel einer Magnetperiode abgetastet. Aus den Signaldifferenzen von je zwei Sensoren erhält man die Signalgrößen cos(φ) und sin(φ). Das Argument dieser Funktionen ist ein direktes Maß für die Lageänderung des Polradumfangs in Bezug zum iC-ML.

Die zeitliche Änderung von ist identisch mit der Umfangsgeschwindigkeit V des Polrades, so dass sich aus der Gesamtanzahl der Polpaare die Drehzahl ergibt. Im einfachsten Fall können zur Erzeugung von Zählimpuls die Signalgrößen cos(φ) und sin(φ) durch zwei nachgeschaltete Komparatoren in die Quadratursignale A und B umgewandelt werden. Bei Verwendung der Flanken als Zeitmarken kann somit

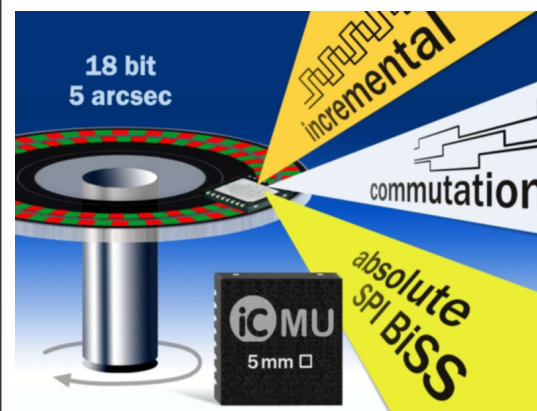
### Weitere Lösungen:



12-Bit Magnetic Rotary Encoder iC



12-Bit Linear/Rotary Magnetic Encoder iC



18-Bit Linear/Rotary Off-Axis Mag. Encoder iC

Application Notes Magnetic Sensors

Product Selector Magnetic Sensor iCs

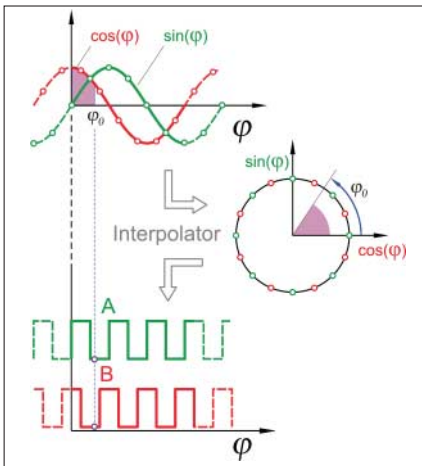


Bild 5: Interpolation von Winkelwerten zur Erzeugung der Quadratur-signale A und B.

eine magnetische Periode  $P$  um den Faktor 2 besser aufgelöst werden als bei der einfachen Differenzabtastung nach Bild 2. Zudem ist nun eine Unterscheidung der Drehrichtung anhand der Reihenfolge der Flankenwechsel von A und B möglich.

### Höhere Winkelauflösung

Eine wesentlich höhere Auflösung des Winkels ist durch das Verfahren der Interpolation nach Bild 5 möglich. Die graphische Darstellung von  $\sin(\varphi)$  gegen  $\cos(\varphi)$  ergibt als Sonderfall einer Lissajous-Figur einen Kreis, aus dem der Winkel hieraus direkt ersichtlich wird. Der Interpolator vergleicht nun den aktuellen Winkelwert 0 mit vordefinierten diskreten Winkelpositionen und liefert als Ergebnis die zugehörigen Quadratur-signale A und B.

Der iC-ML beinhaltet neben den vier Hallsensoren einen Interpolator mit einstellbarer Auflösung von 6, 7 oder 8 bit und erlaubt damit die Unterteilung einer

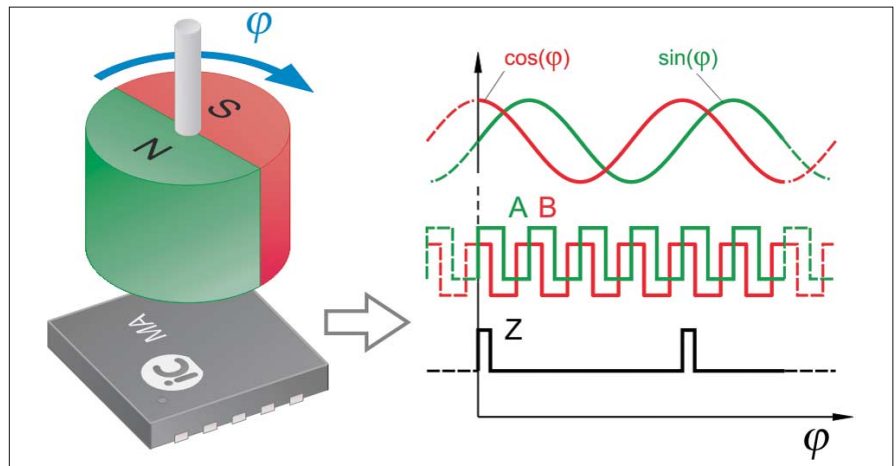


Bild 6: Abtastung eines Diametralmagneten mit dem Hall-Winkelencoder iC-MA sowie Ausgangssignalen.

magnetischen Periode in 64, 128 oder 256 Inkremente, so dass ein Winkelinkrement (bezogen auf eine  $360^\circ$ -Magnetperiode  $P$ )  $5,6^\circ$ ,  $2,8^\circ$  oder auch nur  $1,4^\circ$  beträgt. Um die absolute Winkelauflösung auf die mechanische Umdrehung des Polrades zu beziehen, muss noch durch die Anzahl der Polpaare dividiert werden. So erhält man mit dem vorhin erwähnten Polrad mit 60 Polpaaren bei 8-bit Auflösung insgesamt  $256 \times 60 = 15\,360$  Winkelschritte von je  $0,023^\circ$  ( $1,4$  Bogenminuten).

### Geringe Polzahl und kleiner Durchmesser

Häufig ist eine geringere Auflösung schon ausreichend, so dass man die Polpaaranzahl kleiner halten kann. Polräder mit sehr geringer Polzahl und damit kleinem Durchmesser lassen sich aber aufgrund der großen Umfangskrümmung nicht mehr mit dem iC-ML abtasten. Hier kommt der iC-MA zum Einsatz, der funktionell baugleich

ist zum iC-ML, jedoch die Hallsensoren nicht in einer Linie, sondern auf einem Kreisumfang angeordnet hat. Senkrecht über dem Kreismittelpunkt ist in einem Abstand ein Diametralmagnet angeordnet, der als Grenzfall eines Polrades mit einem Polpaar angesehen werden kann.

Da beim iC-MA eine Magnetperiode auch einer Umdrehung des Magneten entspricht, ist die mechanische Winkelauflösung identisch mit der Interpolatorauflösung und beträgt bei 8 bit somit  $1,4^\circ$ .

Neben den Quadratur-signalen liefern iC-MA und iC-ML auch noch die zugehörigen Indexsignale (Z- oder Null-Impulse) am Anfang jeder Periode. In der Anwendung nach Bild 6 kann so mit dem iC-MA ein Umdrehungszähler realisiert werden. (jj)

	<b>infoDIRECT</b>	<b>559ei0708</b>
<a href="http://www.elektronik-industrie.de">www.elektronik-industrie.de</a> ► Link zu iC-Haus		