

Weiterführende Auswertemöglichkeiten von Inkrementalgebersignalen

Whitepaper

Inkrementalgeber werden in nahezu allen Bereichen der Industrie eingesetzt, wenn es darum geht Wege, Winkel, Geschwindigkeiten, Drehzahlen und weitere aus einer zusätzlichen Zeitmessung abgeleitete Größen zu messen. In einem vorangegangenen White-Paper wurden die Funktionsweisen und Basisauswertemöglichkeiten von Inkrementalgebern mit nur einer Spur behandelt. Wie dort schon erwähnt, ist es häufig nicht nur interessant zu wissen mit welcher Geschwindigkeit sich etwas bewegt, sondern auch in welche Richtung es sich bewegt. Aus diesem Grund besitzen viele Inkrementalgeber eine zweite Spur, deren Funktion im Folgenden noch ausführlich beschrieben wird. Üblicherweise werden die Signale von Inkrementalgebern in digitaler Form verarbeitet, wodurch sich auch durch Verfahren wie die Impulsvervielfachung nur eine begrenzte Auflösungserhöhung erzielen lässt. Ist eine Auflösung darüber hinaus erforderlich, gibt es Inkrementalgeber, die zwei um örtlich 90° versetzte sinusförmige Signale erzeugen. Mit diesem sogenannten SinCos-Geber lassen sich, wie im Folgenden noch beschrieben wird, weitaus höhere Auflösungen erreichen. Auch weitere Möglichkeiten der Genauigkeitserhöhung bei der Geschwindigkeitsmessung sollen hier behandelt werden. Abschließend werden noch verschiedene Möglichkeiten der Zeitmessung erläutert, die komfortable Encoder-Interfaces zur Verfügung stellen.

Erkennung der Bewegungsrichtung

Für eine Richtungserkennung werden von den zuvor erwähnten Zweispur-Inkrementalgebern zwei digitale Signale mit einem Tastverhältnis von 1:1 erzeugt. Das Tastverhältnis ist die zeitliche Folge des Zustandes von logisch 1 (High) und des logisch 0 (Low). Da die Flankenwechsel der digitalen Signale von Low zu High bei der zweiten Spur (Y-Spur) dieser Inkrementalgeber abhängig von der Bewegungsrichtung entweder eine viertel Teilung vor oder eine Viertel Teilung nach dem Flankenwechsel bei der ersten Spur (X-Spur) erfolgen, kann daran die Bewegungsrichtung erkannt werden.

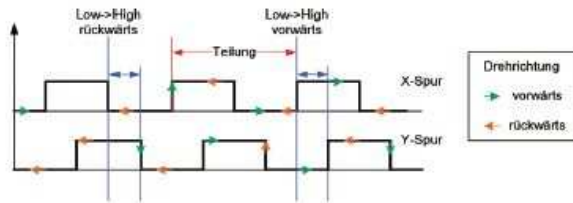


Abbildung 1: Drehrichtungserkennung beim Zweispur Inkrementalgeber

Auflösungserhöhung durch Impulsvervielfachung

Die Flankenwechsel beider Spuren werden häufig auch zur Impulsvervielfachung verwendet, um die Auflösung weiter zu steigern. Ausgehend von dem oben genannten Tastverhältnis des digitalen Signals bei beiden Spuren wird aus jedem Flankenwechsel (High->Low, Low -> High) jeweils ein Impuls erzeugt. Das dadurch entstandene Impulsschema hat eine um den Faktor 4 erhöhte Anzahl von auswertbaren Impulsen. Dadurch ergibt sich auch eine Auflösungserhöhung um den Faktor 4.

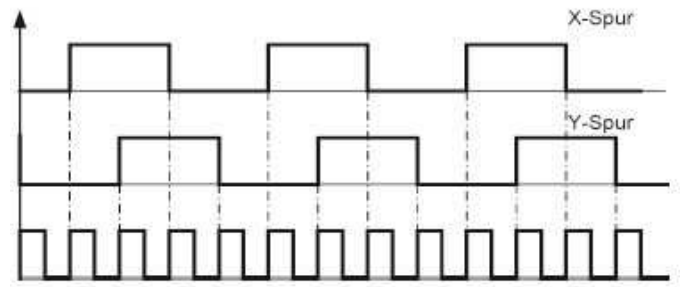


Abbildung 2: Impulsvervielfachung durch Umwandeln aller Flankenwechsel in Impulse

Diese Art der Auflösungserhöhung kann aber schnell zu Fehlern führen, wenn das Tastverhältnis nicht exakt 1:1 beträgt oder der Versatz der beiden Spuren von der gleichmäßigen (viertel) Teilung abweicht. Tritt eines dieser Probleme oder gar beide zusammen auf, wird ein Impulsschema erzeugt, welches gerade bei der Geschwindigkeitsmessung zu großen Fehlern führen kann. Durch ein unsymmetrisches Pulsschema entstehen verkürzte und verlängerte Impulsabstände innerhalb einer Periode. Gerade bei der Geschwindigkeitsmessung, die aus der gemessenen Zeit zweier aufeinander folgenden Impulse bestimmt wird, führt dieser Umstand zu ständig wechselnden Ergebnissen. Beispiel:

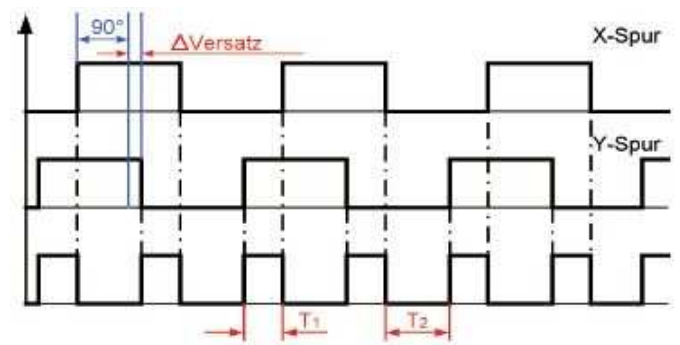


Abbildung 3: Unsymmetrisches Impulsschema durch Versatzdifferenz

Auflösungserhöhung durch die Auswertung analoger Zwischenwerte

Eine Auflösungserhöhung durch die Auswertung analoger Zwischenwerte liefert weitaus bessere Ergebnis- und Einsatzmöglichkeiten als die Impulsvervielfachung durch Auswertung aller Flanken. Für diese Art der Auflösungserhöhung werden Inkrementalgeber verwendet, die zwei um 90° versetzte sinusförmige Signale ausgeben. Jede Periode eines Sinus entsteht durch den sich kontinuierlich verändernden Einfluss der Inkrement Markierung auf die Signalausgabe des Sensors während der Bewegung. Diese Inkrementalgeber werden als SinCos-Geber bezeichnet. Für die Erklärung gehen wir von einem rotatorischen Inkrementalgeber aus, dessen Winkelinkremente aus der gleichmäßigen Unterteilung einer Kreisscheibe bestehen. Durch Abtasten der beiden Spuren erhält man für jeden Abtastpunkt die genaue Winkelposition des sich drehenden Messobjektes. In ein orthogonales System mit den Kreisfunktionen Sinus und Cosinus, wie es vom SinCos-Geber erzeugt wird, lässt sich jeder Punkt dieses Kreises darstellen. Die sin-/cos-förmigen Signale unterteilen das jeweilige Winkelinkrement in 4 Quadranten (90°). Durch gleichzeitiges Erfassen beider Signale kann der jeweilige Quadrant eindeutig bestimmt werden.

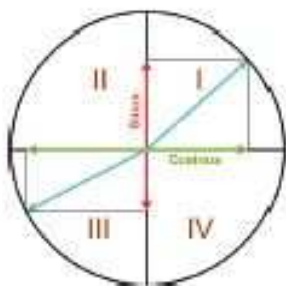


Abbildung 4: Orthogonales System zur Positionsbestimmung im Kreis

Für eine hohe Auflösung müssen möglichst linear verlaufende Signalabschnitte ausgewertet werden. Aus diesem Grund werden von

den beiden Spannungssignalen des SinCos-Gebers die hier im Bild markierten Abschnitte für die Auflösungserhöhung abgetastet, da dort das sinusförmige Signal eine genaue Zuordnung des Weges bei hoher Auflösung zulässt.

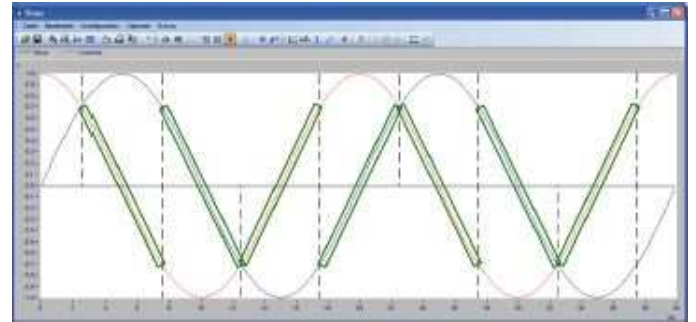


Abbildung 5: Für die Auswertung analoger Zwischenwerte benutzte Signalabschnitte

Abgetastet werden zu jedem Zeitpunkt beide Signale. Allein schon durch die Information über den aktuellen Quadranten erreicht man eine vierfach höhere Auflösung für die Positionsbestimmung als durch das Zählen eines Impulses bei einem einspurigen Inkrementalgeber. Durch den sich aus dem Vergleich der beiden Werte des Sinus mit dem des Cosinus ergebenden Tangens wird eine Amplitudenunabhängigkeit erreicht. Diese ist notwendig, um auch Inkrementalgeber mit unbekannter Amplitude hochauflösend einsetzen zu können, da sich diese durch Verschleißerscheinungen ändern kann. Zudem gibt es viele SinCos-Geber deren Signalverlauf frequenzabhängig ist. Bei optoelektronischen SinCos-Gebern tritt mit steigender Frequenz eine Bandbreitenbegrenzung des Signals auf und durch sinkenden Oberwellenanteil ändert sich seine Form von einer Dreiecksform hin zu einer Sinusform. Ein weiteres Problem liegt in der Asymmetrie des Sensorsignals durch Fertigungstoleranzen bei der Herstellung der Sensoren. Bei Verschleißerscheinungen oder Fertigungstoleranzen von SinCos-Gebern empfiehlt sich eine Kalibrierung des Gebers. Das bekannte Auslaufverhalten einer Welle mit

großer Massenträgheit könnte verwendet werden, um den genauen Signalverlauf über dem Winkel aufzunehmen und zu speichern. Schon früh wurden SinCos-Geber zur Auflösungserhöhung verwendet, allerdings zu Zwecken der Impulsvervielfachung und nicht um die analogen Zwischenwerte auszuwerten. Für diese Art der Auswertung werden die beiden Signale gewichtet verglichen. Durch passende Wichtung können bei idealem Verlauf Impulse zu jedem Winkel (φ) erzeugt werden. Außerdem ist die Vergleichsposition unabhängig von der Signalamplitude.

$$\sin(\varphi + \theta) = \sin(\varphi) \cdot \cos(\theta) - \cos(\varphi) \cdot \sin(\theta)$$

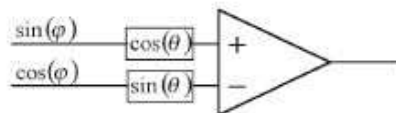


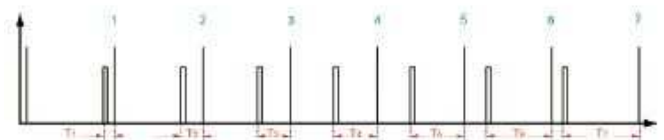
Abbildung 6: Komparator Schaltung für Wichtung der Ausgangssignale eines SinCos-Gebers

Die Auswertung der analogen Zwischenwerte bringt in der Realität immer eine niedrigere Auflösungserhöhung als theoretisch mit einer hohen Abtastfrequenz möglich wäre. Die Hauptursache dafür ist, dass das von SinCos-Gebern erzeugte Signal in seiner Form nie exakt einem Sinus entspricht. Dadurch wird eine Auflösungserhöhung um den Faktor 256 und eine Genauigkeitserhöhung um den Faktor 10 erreicht. Ein großer Vorteil in der Verwendung von SinCos-Gebern und der Auswertung von analogen Zwischenwerten ist die statische Auflösungserhöhung; es liegen auch im Stillstand Zwischenwerte vor. Gerade bei regelungstechnischen Anwendungen ist diese Information von Vorteil, da Steuerungsmodul dadurch einen präzisen Ist-Wert vorgegeben bekommen und somit ein Restschwingen vermieden wird, welches zu erhöhtem Verschleiß führt.

Für die Wegmessung an Objekten wie großen Antriebswellen mit ausreichender Massenträgheit, gibt es für eine Genauigkeitserhö-

hung die Möglichkeit der dynamischen Wegmessung. Bei der dynamischen Wegmessung wird aus den vorangegangenen Abtastintervallen die Geschwindigkeit der Drehbewegung ermittelt. Es kann dafür eine Extrapolation verschiedener Ordnung durchgeführt werden, je nach verfügbarer Rechenleistung. Mit einer Extrapolation erster Ordnung aus den vergangenen zwei ermittelten Geschwindigkeiten kann für das nächste Abtastintervall aus der gemessenen Zeit zwischen Impuls und Abtastzeitpunkt der Weg, der in dieser Zeit zurückgelegt wurde, bestimmt werden. Mit dieser Information lässt sich bei Objekten mit ausreichender Massenträgheit eine enorme Auflösungserhöhung erreichen.

Ein Beispiel:



Durch die aus den ersten zwei Abtastintervallen extrapolierte Geschwindigkeit kann aus der gemessenen Zeit (im Beispiel T_4) der in dieser Zeit zurückgelegte Weg bestimmt werden. Dieser zusätzliche Weg, den das Messobjekt zwischen dem Zeitpunkt des Impulses und dem Abtastzeitpunkt zurückgelegt hat, wird in diesem Abtastintervall zu dem Weg, der sich aus der Anzahl der Impulse ergibt, hinzuaddiert. Ohne dieses Verfahren würde bei der reinen Impulszählung der Messfehler bis zum Abtastzeitpunkt sieben kontinuierlich steigen, da die zeitliche Differenz zwischen Eintreffen der Positionsinformation (Impuls) und Ausgabe dieser (Abtastzeitpunkt) zunimmt. Bei dieser Art der Wegmessung muss bei sinkender Geschwindigkeit berücksichtigt werden, dass die Anzahl auswertbarer Impulse pro Abtastintervall abnimmt und damit auch die Genauigkeit der Messung.

Die Ermittlung der Geschwindigkeit und dem sich aus der Zeit zwischen Impuls und Abtastzeitpunkt ergebenden Weg wird auch bei Inkrementalgebern gebraucht, die statt einer separaten Nullimpuls-Spur den Nullimpuls durch das Auslassen eines Inkrements kennzeichnen. Dieses fehlende Inkrement bildet dann den Nullimpuls. Die aufgrund des fehlenden Impulses entstehende kurzzeitige Geschwindigkeitsänderung wird vom Encoder-Interface als Nullimpuls erkannt und dementsprechend verarbeitet. Dabei ist darauf zu achten, dass die Anzahl der eintreffenden Impulse innerhalb eines Abtastintervalls möglichst groß ist, damit die angezeigte Geschwindigkeitsänderung durch das fehlende Inkrement möglichst klein bleibt.

Komfortable Encoder-Interfaces bieten meist zusätzliche Möglichkeiten zur Messung verschiedener Signalzeiten. Dabei lassen sich High-Zeiten, Low-Zeiten oder das Verhältnis beider zueinander messen. Diese Eigenschaft von Encoder-Interfaces wird vor allem zur Pulsweiten-Messung eingesetzt, um aus dem pulswidenmodulierten Signal den entsprechenden Soll-Wert zu ermitteln. Im hier gezeigten Beispiel wird vereinfacht durch die Länge des Impulses der Ausgabewert eingestellt. Gerade bei der Regelung von elektrischen Maschinen sind pulswidenmodulierte Signale zum Ansteuern der Maschinen im Einsatz und eine Pulsweitendemodulation besonders interessant.

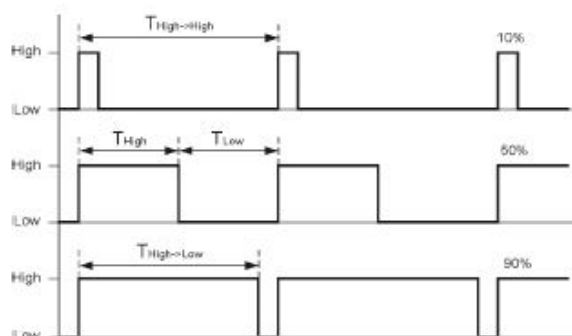


Abbildung 7: Messung verschiedener Impulszeiten

Die hier beschriebenen Auswertemöglichkeiten von Inkrementalgebersignalen erweitern das Einsatzfeld von Inkrementalgebern erheblich. Doch sind diese Möglichkeiten teils nicht bekannt und teils ihre Realisierung nur mit entsprechendem technischen Know-How zu bewerkstelligen, was nicht überall gegeben ist. In der Regel werden nur einzelne dieser hier beschriebenen Möglichkeiten von einem Encoder-Interface angeboten und zufriedenstellend umgesetzt. Ein Encoder-Interface, das alle hier beschriebenen zusätzlichen Auswertemöglichkeiten bietet, ist da die Ausnahme. Diese Ausnahme findet man wie erwartet bei der Firma imc in Form des HRENC-4 (High Resolution-Encoder-Interface).



Abbildung 8: High Resolution Encoder-Interface (HRENC-4) und Universalmessgerät
imc CRONOS-PL 4

Autoren: Dipl.-Ing. Kamil Pogorzelski und Dr.-Ing. Franz Hillenbrand

Weitere Informationen erhalten Sie unter:

imc Test & Measurement GmbH

Voltastr. 5
D-13355 Berlin

Telefon: +49 (0)30-46 7090-0
Fax: +49 (0)30-46 31 576
E-Mail: hotline@imc-tm.de
Internet: <http://www.imc-tm.de>

Die imc Test & Measurement GmbH ist Hersteller und Lösungsanbieter von produktiven Mess- und Prüfsystemen für Forschung, Entwicklung, Service und Fertigung. Darüber hinaus konzipiert und produziert imc schlüsselfertige Elektromotorenprüfstände. Passgenaue Sensor- und Telemetriesysteme ergänzen unser Produktportfolio.

Unsere Anwender kommen aus den Bereichen Fahrzeugtechnik, Maschinenbau, Bahn, Luftfahrt und Energie. Sie nutzen die imc-Messgeräte, Softwarelösungen und Prüfstände, um Prototypen zu validieren, Produkte zu optimieren, Prozesse zu überwachen und Erkenntnisse aus Messdaten zu gewinnen. Rund um die imc Geräte steht dafür ein umfassendes Dienstleistungsspektrum zur Verfü-

gung, das von der Beratung bis zur kompletten Prüfstandsautomatisierung reicht. Auf diese Weise verfolgen wir konsequent das imc Leistungsversprechen „produktiv messen“.

National wie international unterstützen wir unsere Kunden und Anwender mit einem starken Kompetenz- und Vertriebsnetzwerk.

Wenn Sie mehr über die imc Produkte und Dienstleistungen in Ihrem Land erfahren wollen oder selbst Distributor werden möchten, finden Sie auf unserer Webseite alle Informationen zum imc Partnernetzwerk:

<http://www.imc-tm.de/partner/>



Nutzungshinweis:

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Dieser Bericht darf ohne Genehmigung weder bearbeitet, abgewandelt noch in anderer Weise verändert werden. Ausdrücklich gestattet ist das Veröffentlichung und Vervielfältigen des Dokuments. Bei Veröffentlichung bitten wir darum, dass der Name des Autors, des Unternehmens und eine Verlinkung zur Homepage www.imc-tm.de genannt werden. Trotz inhaltlicher sorgfältiger Ausarbeitung, kann dieser Bericht Fehler enthalten. Sollten Ihnen unzutreffende Informationen auffallen, bitten wir um einen entsprechenden Hinweis an: marketing@imc-tm.de. Eine Haftung für die Richtigkeit der Informationen wird grundsätzlich ausgeschlossen.