

Inkrementalgeber - Funktionsprinzip und grundsätzliche Auswertemöglichkeiten ihrer Signale

Whitepaper

Der Einsatz von Inkrementalgebern ist aus nahezu allen Bereichen der Industrie nicht mehr wegzudenken. Allein für die Wegmessung wird er an Fließbändern, Fräsen, Robotern etc. eingesetzt. Weitere Bereiche sind die Drehzahlmessung an rotierenden Maschinen, Positionsbestimmungen und Geschwindigkeitsmessungen. Es gibt sowohl bei den Sensoren (Inkrementalgebern) als auch bei den Messmodulen (Encoder-Interfaces), mit denen die Signale der Inkrementalgeber ausgewertet werden, wesentliche Unterschiede. Diese Unterschiede entscheiden häufig über die Einsatztauglichkeit eines Messsystems für die gewünschte Applikation. Daher sollen der Aufbau und die Funktionsweise dieser unentbehrlich gewordenen Sensoren und die Weise, wie deren Signale in den Encoder-Interfaces der Firma imc verarbeitet und ausgewertet werden, in diesem Artikel erläutert werden.

Das im Folgenden beschriebene Prinzip lässt sich sowohl auf rotatorische als auch translatorische Bewegungen anwenden. Die Aufgabe einer gleichmäßig unterteilten Scheibe im rotatorischen Fall übernimmt ein gleichmäßig unterteilter Maßstab im Falle einer linearen Bewegung. Außerdem werden oft Zahnräder oder andere Elemente, die den Umfang gleichmäßig aufteilen, als Geber-elemente genutzt. Bezeichnet man eine, in einem bestimmten Raster aufgebrachte Teilung als Spur, so erhält man durch Aufbringen mehrerer Spuren mit unterschiedlicher Teilung eine Information über die absolute Winkel- bzw. Wegposition. Die nachfolgenden Ausführungen beschränken sich auf die Betrachtung einspuriger Geber, bei denen durch Aufsummieren der einzelnen Inkremente die Position bestimmt. Da das Prinzip bei rotatorischen und translatorischen Gebern gleich ist, wird in den folgenden Beschreibungen nur noch auf die Messung von Winkeln eingegangen.

Inkrementalgeber

Prinzipiell dienen die Segmente dem Erzeugen eines Signals bei Fortschreiten eines Winkelinkrementes. Diese eingetroffenen Impulse werden vom Encoder-Interface gezählt und daraus der insgesamt zurückgelegte Winkel bestimmt. Es handelt sich dabei um eine relative Winkelbestimmung, da der Inkrementalgeber keine Auskunft darüber gibt, wo genau er sich zu Beginn der Messung befindet. Die Umsetzung dieses Prinzips besteht immer aus einem Sensor, der die an ihm vorbeilaufenden Segmente in ein Spannungssignal umwandelt. Dieses Spannungssignal kann in analoger oder digitaler Form erzeugt werden. Eine häufig in der Fahrzeugindustrie eingesetzte Art von Inkrementalgebern arbeitet nach dem induktiven Prinzip mit Zahnrädern als Geberelement. Durch die Anzahl der Zähne eines Zahnrades wird dieses in eine entsprechende Anzahl von Segmenten unterteilt, die an einem Sensor vorbeilaufen, der durch die Änderung des induktiven Widerstandes ein Signal erzeugt. Bei entsprechender Form der Zähne lässt sich ein sinusähnlicher Spannungsverlauf erzeugen. Der große Vorteil dieses Inkrementalgebers liegt darin, dass er ohne bewegliche Kontakte arbeitet und deshalb an Stellen mit starken Erschütterungen und raueren Umgebungsbedingungen wie beispielsweise in Fahrzeugen eingesetzt wird.

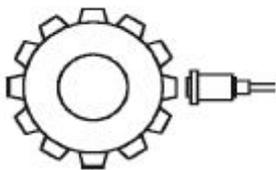


Abbildung 1: Inkrementalgeber nach induktivem Prinzip

Ein anderes Prinzip ist das optoelektronische Prinzip. Beim optoelektronischen Prinzip wird mit einer Photozelle (Sensor) das entweder durch Schlitze scheinende (Durchlichtprinzip) oder an einer Spiegelfläche reflektierte (Auflichtprinzip) Licht einer LED in ein Spannungs-

signal umgewandelt. Die Schlitze bzw. die Spiegelflächen bilden in diesem Fall die Segmente. Aufgrund von Lichtstreuung entsteht beim Durchlaufen jedes Schlitzes zwischen Photozelle und LED statt eines dreieckigen ein nahezu sinusförmiger Spannungsverlauf. Zusammen mit dem induktiven Prinzip sind sie die am häufigsten verwendeten Inkrementalgeberarten. Weitere Inkrementalgebertypen arbeiten nach anderen physikalischen Prinzipien.

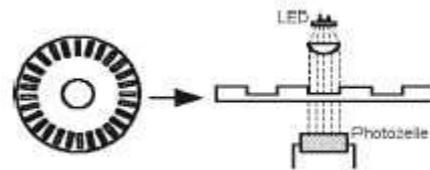


Abbildung 2: Inkrementalgeber nach optoelektronischem Prinzip

Der Zähler in einem Encoder-Interface reagiert auf den Flankenwechsel eines Signals von einem zuvor definierten Low-Pegel (Logisch 0) auf einen definierten High-Pegel (Logisch 1). Bei einem digitalisierten Signal ist dieser Flankenwechsel für den Zähler leichter zu erkennen, da keine undefinierten Zwischenzustände beim Übergang von Low auf High entstehen. Die Digitalisierung eines Signals erfolgt mit Hilfe einer Komparator Schaltung.

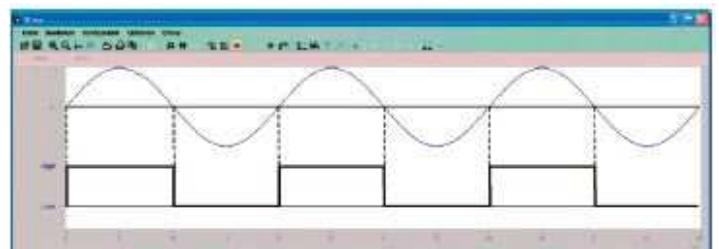


Abbildung 3: Digitalisierung eines sinusförmigen Inkrementalgebersignals

Üblicherweise werden die analogen Signale noch innerhalb des Sensors zur einfacheren Verarbeitung digitalisiert. In Fällen, in denen das nicht passiert, wird der Unterschied zwischen den verschiedenen Encoder-Interfaces deutlich. Um ein analoges Signal richtig auszuwerten, bedarf es eines qualitativ hochwertigen Verstärkers. Im Folgenden wird be-

schrieben, warum welche Eigenschaften einen Verstärker für einen Bereich besonders auszeichnen.

Verstärker eines Encoder-Interfaces



Abbildung 4: Encoder-Interface ENC-4 und Universalmessgerät imc CRONOSPL 4

Für die Messung eines Sensors mit längeren Leitungen und die wirksame Unterdrückung von Gleichtaktstörungen und Erdschleifen wird zunächst ein hochohmiger Differenzverstärker benötigt. Das Rauschen, das den analogen Signalen in der Regel anhaftet, erfordert zudem verschiedene Filter, deren Grenzfrequenz unterschiedlich einstellbar sein muss, je nachdem welche maximale Frequenz das zu erwartende Signal des Inkrementalgebers hat. Da hier Flankenwechsel gezählt werden müssen, gibt es für die Umwandlung der analogen Signale in zählbare digitale Signale Schwellenwert-Bedingungen innerhalb des Encoder-Interfaces. Entscheidend ist dabei eine frei definierbare Hysterese für die Schwellenwerte, die verhindert, dass dem Signal überlagerte Störungen, die um eine Schwelle schwingen, mehrfach gezählt werden und durch Mehrfachzählung zu unechten Spitzen oder Einbrüchen beispielsweise bei Drehzahlmessungen führen. Um den optimalen Einsatz verschiedener Inkrementalgeber an einem Encoder-Interface zu gewährleisten, sollten die verschiedenen Filter und die Hysterese Kanal individuell einstellbar sein. Gerade auch bei Inkrementalgebern, bei denen die Amplitude des von ihnen erzeugten Signals nicht konstant ist und mit sinkender Amplitude das Signalrauschverhältnis immer schlechter wird, gewährleistet eine einstellbare Hysterese die

korrekte Funktion des Zählers. Beispielsweise erhöhen Drehgeber, die mit Permanentmagneten (Segmente) eine Spannung in einer Spule (Sensor) induzieren, mit der Drehzahl ihre Amplitude durch die Proportionalität zwischen Geschwindigkeit und induzierter Spannung.

Nullimpuls

Die meisten Inkrementalgeber erzeugen durch ein ausgezeichnetes Inkrement am Umfang einen sogenannten Nullimpuls. Ein Messsystem, das diesen auswertet, weiß nach dem ersten Nullimpuls, in welcher Position sich der Drehgeber befindet, und vermeidet zudem Fehler in der Messung durch eventuell nicht erfasste Impulse.

Die meisten Encoder-Interfaces sind in der Lage diese Information zu verarbeiten.

Auflösung

Die Genauigkeit, mit der eine Inkrementalgeber-Messung durchgeführt werden kann, hängt nicht allein von der Anzahl der Segmente ab. Allgemein wird die Feinheit der Winkelinkremente, die durch die Anzahl der Segmente bestimmt wird, als Auflösung bezeichnet. Ein Aspekt, der häufig nicht berücksichtigt wird, ist der Einfluss der Anzahl von Segmenten und somit der Anzahl von Impulsen pro Umdrehung auf die Grenzfrequenz einer Messung mit Inkrementalgebern.

Ein Beispiel aus der Praxis:

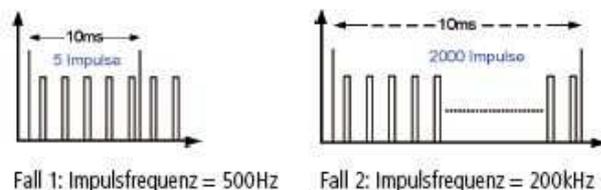
Sie messen die Drehzahl eines Verbrennungsmotors am Schwungrad. Was sie aber wirklich sehen wollen, sind Drehzahländerungen. Ein Inkrementalgeber mit nur einem Impuls pro Umdrehung bietet bei 3000 U/min eine Messfrequenz von 50Hz. Entsprechend dem Abtast-Theorem können so nur Signale mit einer Fre-

quenz $\leq 25\text{Hz}$ gemessen werden. Bei einem Vierzylinder-Motor erhalten sie allein während einer Umdrehung 4 Anregungsimpulse. Dadurch erhält die zu messende Drehzahländerung schon eine Grundfrequenz von 200Hz . Sollen dann noch deren Oberschwingungen mitgemessen werden, sind Inkrementalgeber mit einer Auflösung im Bereich von Zehntel oder Hundertstel eines Winkelgrades erforderlich.

Ein weiterer Aspekt, der die Auflösung einer Messung bestimmt, liegt in der Art wie die eingehenden Signale in einem Encoder-Interface ausgewertet werden. Dies gilt für Messgrößen, die aus einer zusätzlichen Zeitmessung abgeleitet werden wie Geschwindigkeits-, Frequenz- oder Drehzahlmessungen. In Bezug auf die Auflösung sollen hier drei Möglichkeiten der Geschwindigkeitsmessung verglichen werden, um den Unterschied zu verdeutlichen. Wir betrachten für die drei Möglichkeiten jeweils den Fall eines langsamen Signals und den Fall eines schnellen Signals.

Geschwindigkeitsmessung: Methode 1

Hier wird die Geschwindigkeit ganz einfach aus der Anzahl der eingegangenen Impulse innerhalb eines Abtastintervalls gebildet. Das Abtastintervall ist 10ms lang. Im Fall 1 wird ein Inkrementalgeber verwendet, der 1 Impuls pro Umdrehung erzeugt und im Fall 2 ein Inkrementalgeber, der 400 Impulse pro Umdrehung erzeugt.

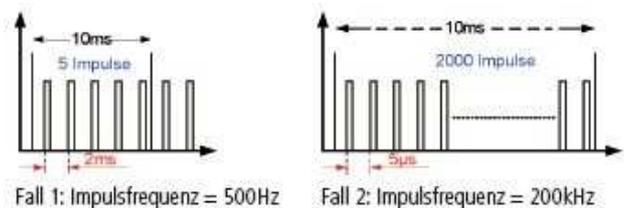


Bei dieser Messart ergibt sich die Auflösung aus der Anzahl der Impulse innerhalb des Abtastintervalls. Die Auflösung im Fall 1 liegt demnach bei $1:5$ was einer Auflösung von weniger als 3 Bit entspricht. Dagegen steigt

die Auflösung in Fall 2 auf $1:2000$ was bereits einer Auflösung von fast 11 Bit entspricht. Bei dieser Methode steigt die Auflösung mit der Anzahl der Impulse (Segmente) innerhalb eines Abtastintervalls. Es ergibt sich dadurch ein enorm eingeschränkter Einsatzbereich.

Geschwindigkeitsmessung: Methode 2

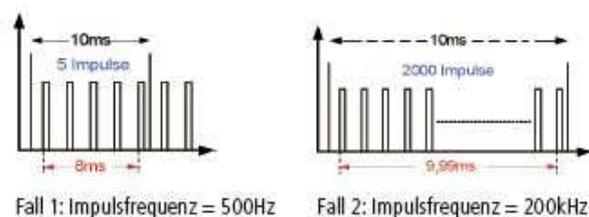
Die am häufigsten verbreitete Methode, Geschwindigkeit zu messen, besteht darin, die Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden Impulsen zu messen und daraus die Geschwindigkeit zu ermitteln. Auf das Zählen der Impulse wird verzichtet. Diese Methode ist im Gegensatz zu der ersten vollständig unabhängig von der Länge des Abtastintervalls und hängt einzig von der Auflösung der Zeitmessung ab. Wird die Zeit mit Hilfe eines Zählers gemessen, der mit zwei aufeinander folgenden Impulsen gestartet und gestoppt wird, so bestimmt die Zählerfrequenz die zeitliche Auflösung. Die Zählerfrequenz beträgt in diesem Beispiel 32MHz .



Die Auflösung bei dieser Methode ergibt sich aus der Impulsfrequenz und der Zählerfrequenz. Im Fall 1 liegt diese bei $1:64.000$, was einer Auflösung von knapp unter 16 Bit entspricht. Und im Fall 2 ergibt sich eine Auflösung von $1:160$, womit diese auf unter 8 Bit sinkt. Hier hätte die Geschwindigkeitsmessung nach Methode 1 ein besseres Ergebnis gebracht. Die Schwäche dieser Geschwindigkeitsmessung wird demnach erst bei hohen Impulsfrequenzen sichtbar.

Geschwindigkeitsmessung: Methode 1

Eine andere Methode, die im Encoder-Interface der Firma imc (ENC-4) eingesetzt wird, besteht in einer Kombination aus Zeitmessung und dem Zählen der Impulse. In diesem Fall wird aber nicht die Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden Impulsen gemessen, sondern die Zeit zwischen dem ersten und dem letzten Impuls innerhalb eines Abtastintervalls. Zusammen mit der Anzahl der Impulse innerhalb dieses Abtastintervalls wird die Geschwindigkeit bestimmt. Die Zählerfrequenz beträgt in diesem Beispiel 32Mhz.



Die Auflösung im Fall 1 liegt bei 1:256.000 und liegt somit knapp unter 18 Bit. Im Fall 2 verbessert sich aufgrund der höheren Impulsfrequenz die Auflösung, da erster und letzter Impuls jetzt bedeutend näher an den Abtastintervallgrenzen liegen und die gemessene Zeit gegenüber Fall 1 steigt. Somit ergibt sich eine Auflösung von 1:319.680, was einer Auflösung von über 18 Bit entspricht. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass sie über weite Bereiche von enorm niedrigen bis extrem hohen Impulsfrequenzen eine hohe und vor allem stabile Auflösung bietet. Auflösung ist nicht gleich Auflösung:

Das Wissen über die verschiedenen Methoden, wie ein Encoder-Interface die Signale verwerten kann, erlaubt es einem überhaupt erst, diese objektiv miteinander vergleichen und bewerten zu können. Die Zählerfrequenz allein ist wie gezeigt kein eindeutiges Maß für die Auflösungsgüte eines Encoder-Interfaces. Nur der angepasste Einsatz einer hohen Zählerfrequenz, wie er im Encoder-Interface der Firma imc geschieht, kann eine hohe Auflö-

sung in jedem Anwendungsbereich garantieren.

Im Grunde soll dies verdeutlichen, dass die reinen technischen Daten nicht unbedingt ein Kriterium für die Qualität eines Encoder-Interfaces sind. Hintergrundwissen zu vermitteln, ist Ziel dieses und weiterer White-Papers, die wir Ihnen zur Verfügung stellen möchten. Zum Abschluss noch eine kurze Beschreibung zweispuriger Inkrementalgeber und damit eine Aussicht auf ein weiterführendes WhitePaper zum Thema Weiterführende Auswertemöglichkeiten von Inkrementalgebersignalen.

Zweispurige Inkrementalgeber

In den meisten Fällen ist es nicht nur wichtig zu wissen, wie schnell sich etwas bewegt, sondern ob es sich in Vorwärtsrichtung oder rückwärts bewegt. Aus diesem Grund verfügen viele Inkrementalgeber über eine zweite Spur (Y-Spur), die einen um eine Viertel Teilung gegenüber der ersten Spur (X-Spur) versetzten Impuls erzeugt. Je nachdem welcher Impuls zuerst kommt, kann daraus die Drehrichtung ermittelt werden. Manche Encoder-Interfaces, wie auch der ENC-4, nutzen dieses dadurch entstandene Impulsschema für eine Impulsvervielfachung zu Gunsten der Auflösung. Dabei wird aus jedem Flankenwechsel (High \rightarrow Low, Low \rightarrow High) beider Spuren ein Impuls erzeugt. Dadurch wird eine Impulsvervielfachung um den Faktor 4 erreicht. Sensoren, die über ihre zwei Spuren analoge, sinusförmige Signale liefern, die um 90° zueinander versetzt sind werden als SinCos-Geber bezeichnet. Diese stellen eine Besonderheit dar, da sie mit ihrem orthogonalen System die Möglichkeit einer enormen Auflösungssteigerung bieten. Wie diese Auflösungssteigerung funktioniert und welche Voraussetzungen ein Encoder-Interface erfüllen muss, um diese

realisieren zu können, wird in einem weiterführenden WhitePaper ausführlich behandelt.

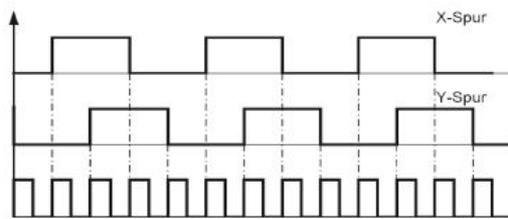


Abbildung 5: Impulsvervielfachung durch Impulserzeugung bei Flankenwechseln beider Spuren (X,Y)

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.