

Massenträgheitsloses Messsystem für Winkel- und Drehzahlmessung in hochdynamischen Antrieben

In der Industrie sowie im Auto oder gar im Haushalt gibt es einen stetigen Anstieg von eingesetzten elektrischen Motoren, beschleunigt durch aktuelle Entwicklungen wie zum Beispiel der Trend zu Elektromobilität in Form von E-Bikes, Elektro-Autos, More Electric Aircraft sowie Industrie 4.0. Dieser Trend wird begleitet von verstärkten Bemühungen um erhöhte Energieeffizienz. Gleichzeitig werden höhere Leistungsdichten bei elektrischen Antrieben angestrebt, was wiederum mit höheren Betriebsdrehzahlen verbunden ist. Diese Trends stellen neue Anforderungen an Messsysteme für die Erfassung der Winkelstellung und Drehgeschwindigkeit von elektrischen Motoren.

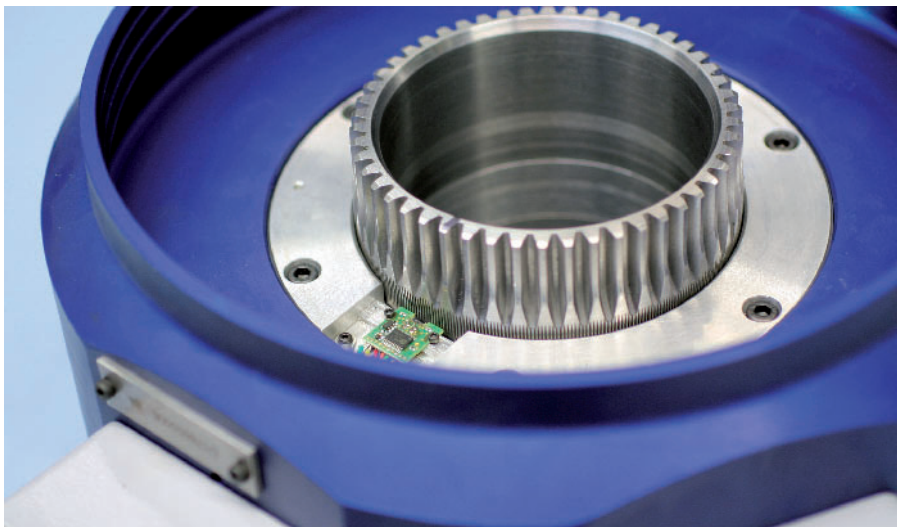


Bild 1
Direkte Abtastung einer Motorwelle mittels GMR-Zahnsensoren.

Üblicherweise bestehen solche Messsysteme aus einer Maßverkörperung, die auf der Motorwelle fixiert wird, und einer elektronischen Auswertung, welche im Motorgehäuse fixiert wird. Das Massenträgheitsmoment der Maßverkörperung muss mit der Motorwelle beschleunigt werden und trägt dadurch zum Energiebedarf bei. Drei Mitglieder der Innovationsplattform für Magnetische Mikrosysteme – Inno-mag e.V. – haben gemeinsam ein neuartiges massenträgheitsloses Messsystem entwickelt, welches nicht nur den

Energiebedarf von elektrischen Motoren signifikant reduzieren kann, sondern auch eine deutlich bessere Dynamik als auch viel höhere Betriebsdrehzahlen ermöglicht. Dadurch werden ganz neue Leistungseigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten für elektrischen Maschinen geöffnet.

Neue Anforderungen an Sensoren für hochdynamische Antriebe

Motoren benötigen einen Messumformer, zum Beispiel Resolver oder Drehgeber, zur Wandlung der Winkel-lage des Rotors in eine elektrische Größe, zwecks Ansteuerung und Regelung. Diese Lösungen benötigen ein zusätzliches Bauteil, welches auf der Motorwelle fixiert wird. Das Massenträgheitsmoment dieses Bauteils hat oft einen wesentlichen Anteil am gesamten Massenträgheitsmoment, welches bei jedem Anfahren oder Anhalten des Motors beschleunigt oder abgebremst werden muss. Es gibt auch mechanische Grenzen bei der Belastbarkeit von zum

Beispiel Encoderscheiben aus Glas, die hoher dynamischer Belastung bei hohen Drehzahlen nicht standhalten können. Ideal wäre es, wenn man die Motorwelle selbst als Maßverkörperung für das Messsystem nutzen könnte. Da Motorwellen überwiegend aus ferromagnetischen Werkstoffen (Stahl) hergestellt werden, können magnetische Prinzipien angewandt werden. Eine massenträgheitslose Lösung wurde jetzt von drei Mitgliedern des Netzwerks Innomag entwickelt.

Grundlage für die neue Lösung: Zahnsensoren auf GMR-Basis

Neuartige Zahnsensoren tasten ein zahnähnliches Profil, welches direkt in der Motorwelle eingearbeitet wird, ab. In Kombination mit einem neuen Signalverarbeitungs-ASIC kann eine absolute Winkelmessung berührungslos durchgeführt werden.

Die Motorwelle direkt als Maßverkörperung für einen Rotorlagegeber zu nutzen, ist ein komplett neuer Ansatz. Diese Lösung wird ermöglicht durch Zahnsensoren, basierend auf dem GMR-Effekt (Giant Magnetoresistive Effect), für deren Entdeckung Prof. Peter Grünberg vom Forschungszentrum Jülich in 2007 den Nobelpreis für Physik erhielt. Diese Sensoren tasten sehr feine zahnähnliche Strukturen ab, die direkt in der Motorwelle eingearbeitet sind (**Bild 1**).

Seit mehreren Jahren beschäftigt sich Sensitec damit, die GMR-Technologie auch für Anwendungen der industriellen und medizinischen Messtechnik, also für analoge Sensoren, anzupassen und weiterzuentwickeln. Als besonders interessant und erfolgreich hat sich dabei ein Anwendungsgebiet erwiesen, bei dem die periodische Modulation eines starken Magnetfelds durch ferromagnetische Funktionsbauteile (Zahn-

Autor

Dr. Rolf Slatter
CEO bei Sensitec

Kontakt:

Sensitec GmbH
Georg-Ohm-Straße 11
35633 Lahnau
www.sensitec.com

räder oder Zylinderstangen) zur berührungslosen und dynamischen Erfassung von Bewegungen genutzt wird. **Bild 2** zeigt die Simulation des Feldverlaufs einer durch einen Stützmagnet aufmagnetisierten weichmagnetischen Zahnstruktur.

Eine Modulation der Feldstärke ist klar ersichtlich. In einer optimal aufeinander abgestimmten Konfiguration werden sowohl der GMR-Zahnsensorchip als auch der Stützmagnet untergebracht und gegen Fremdeinflüsse geschützt. Der starke Magnet erzeugt

eine sehr hohe Feldstärke, was die Störfempfindlichkeit dieses Moduls deutlich reduziert und ein sehr gutes Signal/Rauschverhalten gewährleistet. Die GMR Zahnsensormodule sind in verschiedenen Ausführungen erhältlich, um die einfache Nutzung mit unterschiedlichen Zahnteilungen (1, 2 und 3 mm) oder Zahnmodulen (0,3 und 0,5) zu ermöglichen. Die Sensoren können bei Umgebungstemperaturen zwischen -40 und $+125$ °C eingesetzt werden und liefern ein klirrarmses Sinus/Kosinus Signal mit hohem Signal-Rausch-Verhältnis. Die hohe Signalgüte macht eine sehr präzise 100-fache Interpolation möglich, welche lineare Geschwindigkeiten von mehr als 100 m/s bei einer Auflösung von 10 μm oder die Erfassung von Drehzahlen von mehr als 100.000 min^{-1} bei Auflösungen im Winkelminutenbereich zulässt.

Anhand des Nonius-Prinzips kann eine absolute Winkelinformation berechnet werden, welche für die Motorkommutierung oder Positionsregelung benutzt werden kann. Es werden zwei oder drei Spuren mit unterschiedlichen Zahnteilungen benutzt, und der Winkel wird durch die unterschiedlichen Phasenlagen der Signale der jeweiligen Sensoren (ein Sensor pro Spur) berechnet (**Bild 3** und **Bild 4**).

Der Nonius-Algorithmus wird von einem speziellen ASIC benutzt, welches in einem BMBF-geförderten Verbundprojekt erarbeitet wurde (**Bild 5**). Die Lösung wurde gemeinsam von den Innomag Mitgliedern Lenord + Bauer, Gemac und Sensitec entwickelt. Da sie kein weiteres Bauteil benötigt, besteht die neue Lösung nunmehr nur aus einer Elektronik, welche im Motorgehäuse fixiert wird (**Bild 6**). Da der elektrische Motor nur sein eigenes Massenträgheitsmoment beschleunigen und abbremsen muss, kann der Energiebedarf deutlich reduziert werden. Es gibt weitere Vorteile bezüglich Robustheit, Zuverlässigkeit und Kosten.

Vorteile im Vergleich zu bisherigen Lösungen

Das herausragende Merkmal der neuen Lösung ist das „fehlende“ Massenträgheitsmoment durch eine direkte Abtastung der Motorwelle selbst. Um dieses Verfahren zu realisieren, mussten zwei wesentliche technische Hürden überwunden werden. Erstens wurde eine Optimierung des GMR Zahnsensors erforderlich, um

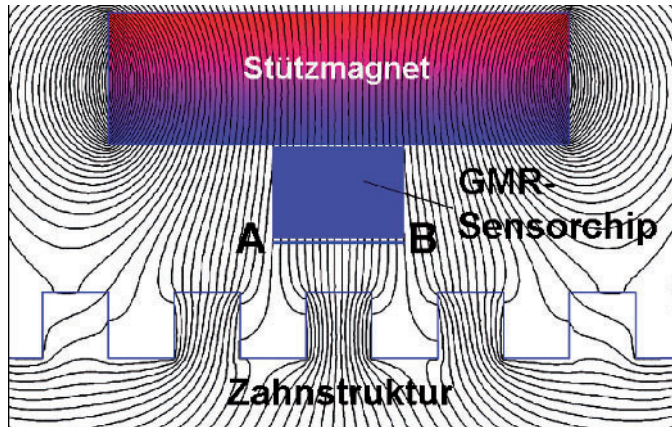


Bild 2
Prinzip des GMR Zahnsensors.

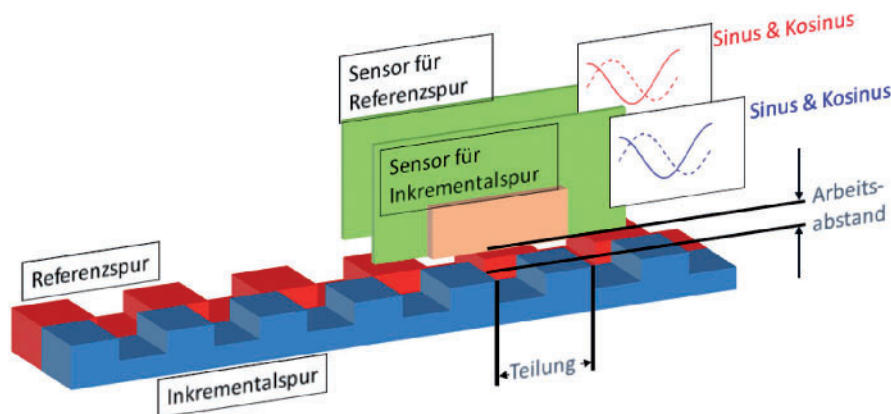


Bild 3
Funktionsprinzip der Absolut-Messsysteme.

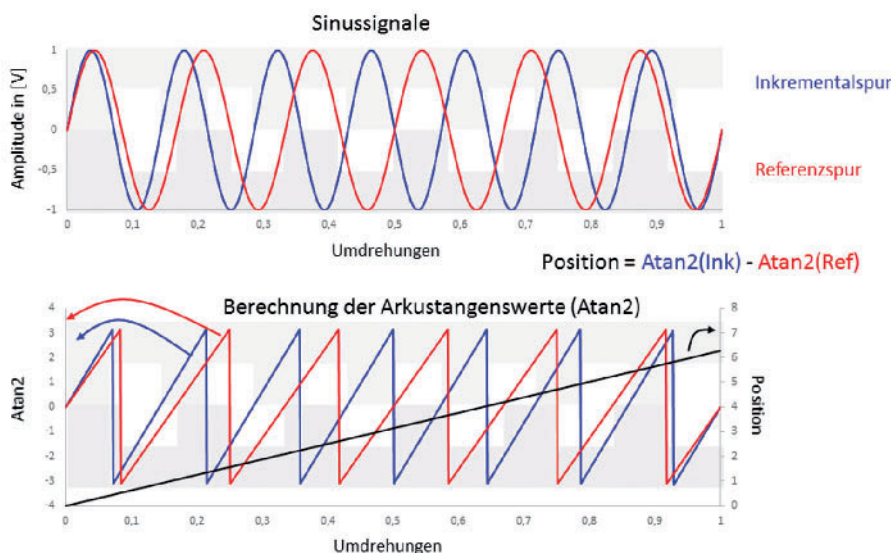


Bild 4
Nonius-Prinzip.

Messen und Prüfen

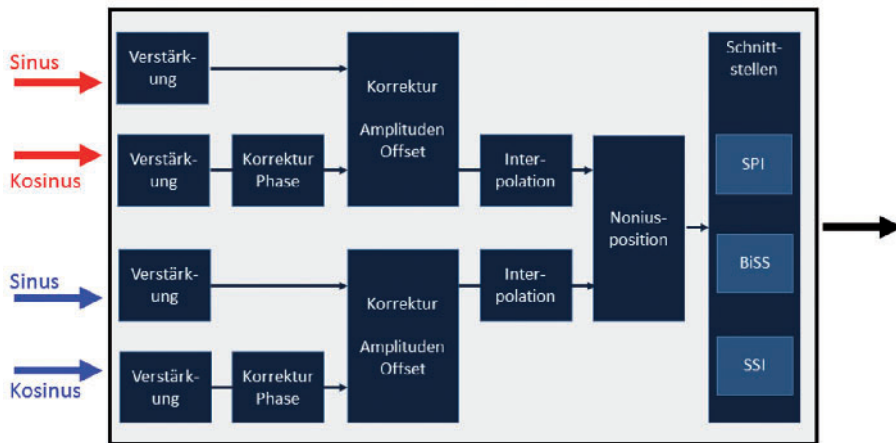


Bild 5
Blockschaltbild der GC-IP ASIC.

(Bild © Gemac)



Bild 6
GLM++-Absolut-Winkelmesssystem.

(Bilder 1 bis 4 und 6 © Sensitec)

feine Strukturen auf der Motorwelle zu erfassen bei einem vergleichsweise großen Luftspalt zwischen Sensor und Motorwelle. Zweitens musste ein neues Signalverarbeitungs-ASIC entwickelt werden, um eine Absolut-Winkelmessung über 360° anhand des Nonius-Prinzips zu ermöglichen.

Die neue Lösung bietet zahlreiche Vorteile für sowohl Entwickler als auch Anwender von elektrischen Antrieben:

- Geringerer Energiebedarf durch Reduzierung des Massenträgheitsmoments, welches beschleunigt und abgebremst werden muss
- Höhere zulässige Drehzahlen und/oder Beschleunigungen
- Kleinere Dimensionierung der erforderlichen Leistungselektronik möglich, da die Motorströme bei einer gegebenen Beschleunigung niedriger sind
- Geringere Kosten durch Materialersparnisse und reduzierter Montageaufwand
- Höhere Robustheit und gesteigerte Zuverlässigkeit durch den Wegfall eines zusätzlichen Bauteils.

Anwendungsmöglichkeiten

Erste Pilotanwendungen sind in 2014 angelaufen und auf der Hannover Messe 2015 wurde erstmals eine voll-qualifizierte Ausführung vorgestellt. Da einige Pilotkunden während der Produktentwicklung direkt eingebunden waren, konnte sichergestellt werden, dass das Produkt den Marktanforderungen gerecht werden würde. Neben einer Vielzahl von Industriekunden konnten auch mehrere Forschungseinrichtungen und Hochschulen das Messsystem in sehr fortgeschrittenen Entwicklungen einsetzen. Das Anwendungsgebiet für die neue Lösung ist vielfältiger Natur unter anderem:

- Industrieautomatisierung
- elektrische Fahrzeuge (Autos, E-Bikes usw.)
- More Electric Aircraft
- regenerative Energietechnik.

In allen diesen Anwendungen ermöglicht die neue Lösung den Nutzern entweder komplett neue Entwicklungen oder steigert die Funktionalität des Endprodukts.

Es gibt schon erste Referenzen im Bereich Industrieautomatisierung als auch im Bereich Fahrzeugtechnik. Ein Pilotkunde baut Hochfrequenzspindeln. Eine weitere Pilotanwendung ist in einer neuartigen Lösung für den Antrieb von einzelnen Ventilen im Verbrennungsmotor zwecks deutlich reduziertem CO₂-Ausstoß.

Diese Anwendungen machen die Vorteile der neuen Lösung deutlich. Bei der Spindel wird eine hohe Geschwindigkeit von bis zu 100.000 min⁻¹ zugelassen, was mit anderen Messsystemen nicht zu realisieren war. Beim Ventiltrieb gibt es einen extrem schnellen Drehrichtungswechsel beim Öffnen und Schließen des Ventils. Es gab extreme Bemühungen, um das Massenträgheitsmoment des Rotors zu minimieren, um den Strombedarf des Motors zu reduzieren und die thermische Belastung des Motors zu verringern. Höhere Beschleunigungen werden ermöglicht, welche andere Ventilhubprofile ermöglichen. Dadurch werden die Emissionen des Verbrennungsmotors optimiert.