

Alles dreht sich um Hall-Sensoren

Rotationsbewegungen mit Hall-Sonden erfassen. Gaspedal, Drosselklappe, Lenkrad – viele Fahrzeugfunktionen beruhen auf der präzisen Messung von Drehwinkeln, etwa unter Ausnutzung des Hall-Effekts. Die Anforderungen an den Sensor steigen dabei mit dem Winkel.

Mechanische Bewegungen – Translationen oder Rotationen – lassen sich mit Potentiometern, induktiven Sensoren, optischen Sensoren, magnetoresistiven Sensoren und Hall-Sensoren detektieren. Bei der Messung von Drehwinkeln mittels Hall-Effekt (Messprinzip im **Wissenskasten**) spielt neben dem Sensor auch die Auswahl und die Anordnung des Magneten eine entscheidende Rolle. Im Fall der Side-Shaft-Anordnung (oben in **Bild 1**) ist der diametral magnetisierte Magnet neben dem Hall-Sensor platziert. Diese Situation wird aus mechanischen Gründen oft bevorzugt, erzeugt aber für größere Drehwinkel bei 1D-Hall-Sensoren ein nicht eindeutiges Messsignal. Die End-of-Shaft-Anordnung (unten) wird häufig bei Motoren oder Drehgebern verwendet. Der Diametralmagnet befindet sich in diesem Fall oberhalb des Sensors, womit bei idealer Magnetpositionierung ein direkter linearer Bezug von Magnetfeldwinkel und Drehwinkel der Motorachse besteht. Winkel bis 360° können auf diese Weise erfasst werden.

Das Messsignal eines Hall-Elements zeigt einen sinusähnlichen Verlauf (blau in **Bild 2**), der für Drehwinkel bis $\pm 90^\circ$ monoton ist. Bei der Erfassung von Drehbewegungen ist also zu klären, ob bei dem maximal zu messenden Drehwinkel das Hall-Signal eines einzelnen Hall-Elements eine Mehrdeutigkeit aufweisen kann. Ist

dies der Fall, muss ein 3D-Hall-Sensor verwendet werden, da er zwei Magnetfeldkomponenten in der Sensorebene auswerten kann.

Fall 1: Kleiner Drehwinkel

Für kleine Drehwinkel bis typischerweise $\pm 30^\circ$ ist das Signal in guter Näherung linear, da die Hall-Spannung proportional zum Drehwinkel des Magneten ist. In diesem Fall kann die Linearisierung des Messsignals häufig entfallen. Zur Programmierung des Sensors auf vorgegebene Minimal- und Maximalwerte des Ausgangssignals genügen zwei Kalibrierstellen.

Eine typische Anwendung mit kleinen Drehwinkeln ist das Gaspedal in einem Kraftfahrzeug, dessen Drehwinkel maximal 20° beträgt (**Bild 3**). Aufgrund des geringen Drehwin-

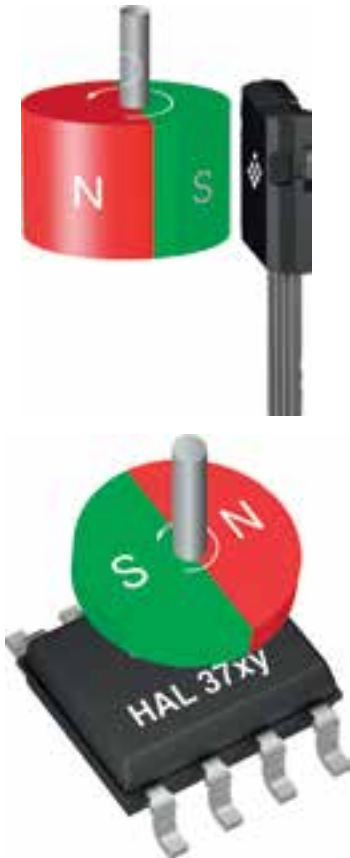
kels lässt sich jedem Messwert des 1D-Sensors eine eindeutige Pedalposition zuordnen. Für diese Anwendung eignet sich der HAL835-Sensor von Micronas (Produktkatalog im **Online-Service**) für die Messung von Linear- und Drehbewegungen unter 60° . Das analoge 12-Bit-beziehungswise das 11-Bit-PWM-Ausgangssignal bietet dem Anwender Freiheit in der Signalauswertung. Der Betriebsbereich ist innerhalb der Magnetfeldgrenzen zwischen ± 15 und ± 150 mT programmierbar. Der Hall-Sensor ist intern temperaturkompensiert. Für die Temperaturdrift des Magnetmaterials lässt sich dessen Temperaturkoeffizient in dem nicht flüchtigen Speicher ablegen. Dabei wird angenommen, dass die Temperatur des Magneten der des Hall-Sensors entspricht.

Die Kalibrierung des HAL835 erfolgt über zwei Setpoints, die üblicherweise durch die beiden Endpunkte der Pedalbewegung gegeben sind. Dank des kleinen Drehwinkels ist keine Linearisierung des Hall-Signals erforderlich.



KONTAKT

Endrich Bauelemente
Vertriebs GmbH,
Hauptstraße 56,
72202 Nagold,
E-Mail endrich@endrich.com,
www.endrich.com



1 | **Magnet-Sensor-Anordnung:** Bei der Side-Shaft-Geometrie ist der Sensor seitlich neben dem sich drehenden Magneten platziert (oben), bei der End-of-Shaft-Anordnung befindet sich der Magnet am Ende der Welle direkt über dem Hall-Sensor (unten)

Fall 2: Drehung im monotonen Bereich

Zu Winkeln zwischen $\pm 30^\circ$ und $\pm 90^\circ$ verhält sich das Magnetfeld und damit die Hall-Spannung zwar nicht linear, ihnen lässt sich jedoch eine eindeutige Hall-Spannung zuordnen. Durch eine Linearisierungsprozedur, beispielsweise mittels 16 Setpoints, kann die Drehbewegung in ein lineares Ausgangssignal verwandelt werden.

Ein Anwendungsbeispiel stellt die Messung der Drosselklappenposition dar. In dieser Anwendung liegt der Drehwinkel zwischen 0° und 90° . Damit bestehen größere Anforderungen an die Linearität als in Fall 1. Diese erfüllen die Sensoren der HAL24xy-Familie.

Im Rahmen der Programmierung wird zunächst eine Kalibrierung durchgeführt, bei der die maximalen Feldwerte ermittelt und die internen Gain-Werte berechnet werden. Beim HAL2425 und HAL2455 kann zusätzlich eine Linearisierung erfol-

FAZIT

Für alle Winkel. Die Hall-Spannung als Funktion des Drehwinkels hat einen sinusähnlichen Verlauf. In einem Bereich von etwa $\pm 30^\circ$ ist das Hall-Signal annähernd linear. In diesem Fall ist ein 1D-Hallsensor mit einer Zweipunktkalibrierung ausreichend. Für den monotonen, aber nicht linearen Bereich bis $\pm 90^\circ$ ist eine Linearisierung des Ausgangssignals mithilfe von Setpoints notwendig. Bei Rotationen über $\pm 90^\circ$ ist die Hall-Spannung nicht mehr eindeutig einem Drehwinkel zuzuordnen. Dafür ist ein 3D-Hall-Sensor mit drei Hall-Elementen erforderlich, um zusätzlich zur magnetischen Flussdichte auch den Winkel des Magnetfelds in der Sensorebene zu messen. Das Micronas-Portfolio bei Endrich enthält Sensorvarianten, die all diese Fälle abdecken.

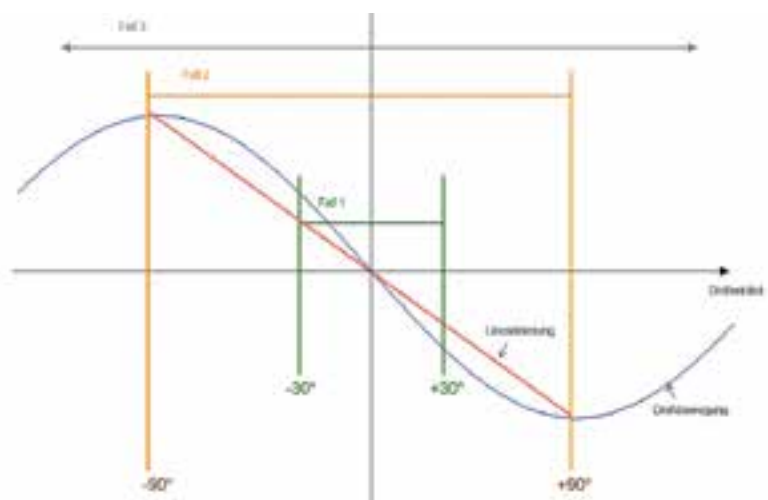
gen, indem bis zu 16 Setpoints angefahren werden. Die Sensoren dieser Familie sind speziell für Anwendungen mit hohen Anforderungen hinsichtlich der Messgenauigkeit ausgelegt. Wie bei allen programmierbaren Sensoren von Micronas können Toleranzen, etwa bezüglich der Magnetpositionierung oder Exemplarstreuungen vom Magneten, in der Applikation kompensiert und dadurch eine vollständige Anpassung an die Anforderungen der Kundenapplikation sichergestellt werden. Auch bei der HAL24xyx-Familie speichert ein nicht flüchtiger Speicher mit Lock-Funktion die programmierten Einstellungen dauerhaft.

Fall 3: Drehung über den monotonen Bereich hinaus

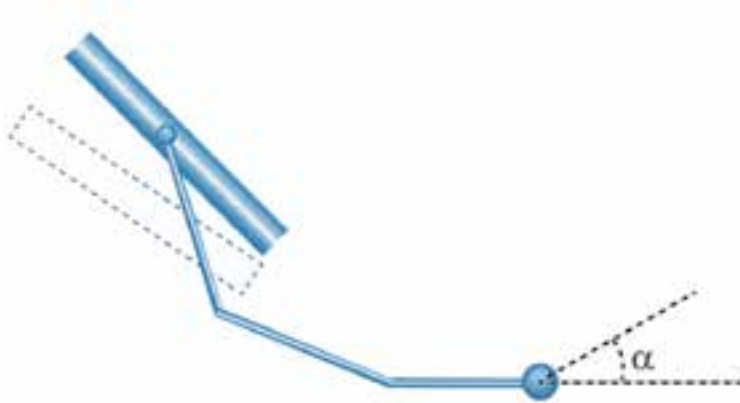
Ab einem Messbereich von typischerweise über $\pm 90^\circ$ ist ein Hall-Sensor, der ausschließlich eine Komponente zur Messung des Magnetfeldes nutzt, nicht mehr ausreichend, da sich diese nicht mehr eindeutig einem Drehwinkel zuordnen lässt. Stattdessen sind Hall-Sensoren erforder-

lich, die mehrere Komponenten zur Messung des Drehwinkels heranziehen. Die 3D-Sensoren von Micronas messen zwei der drei Komponenten des Magnetfelds, um den Winkel des Magnetfelds in der durch diese Komponenten aufgespannten Ebene zu bestimmen. Dies ist ausreichend, um ein eindeutiges Messergebnis zu erhalten und erfordert weniger Rechenaufwand als die Auswertung aller drei Komponenten. Die Linearisierung des Messsignals kann anhand von bis zu 33 Setpoints erfolgen.

Ein typisches Beispiel für Fall 3 ist der Lenkwinkelsensor. Für diesen Zweck eignet sich die HAL37xy-Reihe. Alle Sensoren dieser Familie verwenden eine sogenannte Pixelzelle auf dem Siliziumchip, die aus vertikalen Hall-Elementen zur Messung von B_x , B_y und einem horizontalen Hall-Element zur Ermittlung von B_z besteht. Innerhalb eines sehr kleinen Volumens kann der Sensor so alle drei Komponenten des Magnetfeldvektors messen. Allerdings wertet er nur zwei Raumrichtungen aus und ermittelt damit über den



2 | **Hall-Signal:** Drehbewegungen mit Drehwinkel bis $\pm 30^\circ$ (Fall 1), bis $\pm 90^\circ$ (Fall 2) und über $\pm 90^\circ$ (Fall 3) stellen unterschiedliche Anforderungen an den Hall-Sensor



3 | Pedalwinkelerfassung im Fahrzeug: Der Drehwinkel des Gaspedals beträgt maximal 20°



4 | Redundanz: In einem SOIC8-Gehäuse befinden sich zwei identische, aufeinander gestapelte Halbleiterchips, die gegeneinander um 180° verdreht sind. Dadurch können die Anschlüsse der zwei Chips jeweils auf den gegenüberliegenden Seiten des Gehäuses herausgeführt werden

Arkustangens ausschließlich den Winkel des Magnetfelds in dieser Ebene.

Auch bei den 3D-Sensoren wird der optimale Arbeitsbereich über eine Kalibrierprozedur eingestellt. Im Fall einer exakten End-of-Shaft-Positionierung ist eine Linearisierung nicht nötig. Falls der Magnet sich nicht direkt über dem Sensorelement befindet oder eine Side-Shaft-Anordnung vorliegt, ist der gemessene Magnetfeldwinkel keine lineare Funktion des Winkels der Drehachse, sodass eine Linearisierung des Ausgangssignals erfolgen muss.

Störfestigkeit und Redundanz

Um die steigenden Ansprüche der Automobilindustrie hinsichtlich Sicherheit und Zuverlässigkeit zu erfüllen, hat Micronas zwei neue Features entwickelt: Die Integration von Kondensatoren im Sensorgehäuse der Familien HAC830 und HAC37xy reduziert die Empfindlichkeit gegen elektromagnetische Störeinflüsse von außen drastisch. Für kurze Leitungs-

wege befinden sich die Kondensatoren sehr nah am Chip, und sie schützen die VDD- sowie OUT-Pins. Das Gehäuse der

HAC-Familien wurde, aufgrund der gegen Masse eingebauten Kondensatoren der Größe 1 mit 100 nF, auf die TO92UF-beziehungswise UP-Varianten vergrößert (**Titelbild**).

Redundanz ist die zweite wichtige Eigenschaft für sicherheitskritische Applikationen im Automobil. Die beiden identischen, gegeneinander isoliert übereinander gestapelten Chips im HAR37xy-Sensor (**Bild 4**) messen das magnetische Feld unabhängig voneinander ohne lateralen Versatz. Beim 1D-Sensor HAR24xy beträgt der laterale Versatz 0,42 mm in y-Richtung. Die Chips sind gegeneinander um 180° verdreht, sodass die Kontakte jeweils zu einer der beiden Seiten des SOIC8-Gehäuses gebondet werden können. Damit ist eine elektrische Entkopplung der beiden Chips gewährleistet.

Die aufgeführten Situationen und Überlegungen lassen sich bis zu einem gewissen Grad auf Linearbewegungen übertragen. Hierbei gilt die Faustregel, dass für übliche Magnetdimensionen mit weniger als 30 mm Länge ein Verschiebeweg von höchstens 40 mm gemessen werden kann. skr

Autorin

Tatjana Kübler ist Produktmanagerin für Hall-Sensoren bei Endrich.

Online-Service

Produktkatalog mit Hall-Sensoren von Micronas (PDF-Download)

www.elektronik-informationen.de/40060

WISSENSWERT

Hall-Sensoren bestehen aus einem leitenden Element (Hall-Element), durch das ein definierter Strom fließt. Ein Magnetfeld lenkt die Elektronen senkrecht zu ihrer Bewegungsrichtung und zu den magnetischen Feldlinien ab. Dadurch entsteht zwischen den zur Stromrichtung parallelen Kanten des Elements eine Potenzialdifferenz. Diese Hall-Spannung ist proportional zur magnetischen Flussdichte, sodass sich aus gegebenem Strom und gemessener Hall-Spannung die magnetische Flussdichte berechnen lässt.

Die auf Silizium-CMOS-Technologie basierenden Hall-Sensoren von Micronas enthalten neben dem Hall-Element eine Verstärkerschaltung und je nach Typ auch eine digitale Signalauswertung. Das Ausgangssignal liegt entweder als analoge Spannung beziehungsweise in digitaler Form als PWM-Signal oder über eine digitale Schnittstelle vor. Ein Hall-Element misst immer nur die senkrechte Komponente des Magnetfelds. Um zwei oder drei Komponenten messen zu können, sind Hall-Sensoren mit drei senkrecht zueinander angeordneten Hall-Elementen (3D-Hall-Sensoren) nötig.

Sowohl bei 1D- als auch bei 3D-Hall-Sensoren gibt es programmierbare Versionen, bei denen zwei Kalibrierpunkte die minimalen und maximalen Werte des Ausgangssignals festlegen können beziehungsweise dieses mithilfe sogenannter Setpoints linearisiert werden kann.