

POSITIONSSENSOR VON HELLA

Digitale Positionsmessung mit CIPOS

Weitaus häufiger als die Messung vieler anderer physikalischer Größen stellt sich im Automobil die Aufgabe, die Position in Form eines Weges oder Winkels zu bestimmen. Die Hauptgründe hierfür sind einerseits die häufig vorkommende Eingabe von Bedienwünschen durch den Menschen sowie andererseits die Rückmeldung der Ist-Position in Lageregelkreisen. In diesem Kontext entwickelte der Automobilzulieferer Hella einen induktiven, universellen Positionssensor in Leiterplattentechnologie.

In vielen Bereichen unseres Alltags überwiegen die Vorteile der digitalen Übertragung. Vereinfacht gesagt, bietet die digitale Übertragung insgesamt eine rausch- und störungsfreie Übertragungsqualität sowie einen Mehrwert in Form von Zusatzinformationen. Diese Vorteile machten sich die Entwickler von Hella auch bei der Positionssensorik zu nutze.

Besonderes Augenmerk lag bei der unter dem Acronym CIPOS (Conductless Inductive Position Sensor) bekannt gewordenen Technologie auf einer sehr hohen Robustheit und Fehlertoleranz sowie auf guter Auflösung und Genauigkeit. Messwege im mm- und cm-Bereich sowie Winkel von wenigen Grad bis hin zu 360° wurden in diversen automobilen Applikationen realisiert und in Serie gebracht. Hohe Stückzahlen dieser Sensorik im dreistelligen Millionenbereich sind unter anderem in Fahrpedalgebern, Getriebe- und Fahrzeugniveausensoren zu finden. Im Falle des sehr präzisen Kombinationssensors für Lenkwinkel und Lenkmoment führt die Lenksäule durch das Sensorelement hindurch, eine Anordnung am Wellenende ist damit nicht mehr erforderlich.

Funktionsweise

Induktive Winkelsensoren gehören zusammen mit Potenziometern zu den ältesten industriell eingesetzten Posi-

tionsgebern. Vor allem in puncto Störfestigkeit gelten Resolver bis heute als ungeschlagen.

CIPOS nimmt diese Tradition auf, vereinfacht den Aufbau durch planare Spulengeometrien in Leiterplattentechnik und ermöglicht mit integrierter Auswerteelektronik in ASICs eine Verbesserung der Sensor-Performance bei deutlich reduzierten Kosten. Am Beispiel des rotatorisch ausgeführten CIPOS mit sechsflügeligem Rotor soll das Messprinzip erklärt werden.

Die üblicherweise als Träger und Verbindungselement elektronischer Bauelemente eingesetzte Leiterkarte wird als Sensorelement genutzt. Dazu werden planare Spulengeometrien in Form von speziell angeordneten Leiterbahnen realisiert (Bild 1).

Ein Empfangsspulensatz aus drei mäanderförmig gestalteten Leiterbahnzügen (Bild 1a gelb+blau) bildet die Basis des Prinzips. Die Empfangsspulen sind um 20° (1/3 des eindeutigen Messbereichs von 360°/6 = 60°) gegeneinander versetzt und durchwoben und werden zu einem Stern zusammenschaltet (Bild 1c). Eine weitere Spule umschließt den Empfangsspulensatz und erzeugt eine konzentrische Erregung (Bild 1a, 1c rot). Ohne Hinzunahme eines Rotors ist die Anordnung so rotationssymmetrisch aufgebaut, dass die Differenzspannungen $U_{x,y}$ ($x,y=0,1,2$) gleich Null sind. Hinzu kommt ein Rotor in

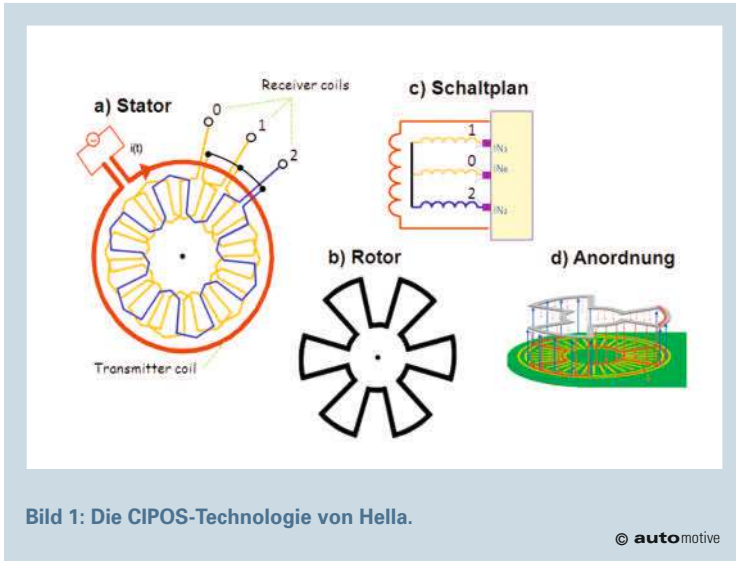


Bild 1: Die CIPOS-Technologie von Hella.

© automotive

einen guten Mikrogradienten. Die Auflösung gibt den kleinsten Betrag der Eingangsgröße an, für den sich der Ausgang noch eindeutig ändert. Dies bedeutet, dass die Eingangssignale einen möglichst großen Gradienten (Steigung) aufweisen sollten. Für CIPOS wurde aus diesen Gründen die sin/cos-Anordnung des Resolvers um eine weitere Spule auf insgesamt drei Empfangsspulen erweitert. Mittels einer Bereichsumschaltung wird ein 2-aus-3-Entscheid durchgeführt, der jeweils die Spule mit geringer Signaländerung ausblendet. Auch kann die Signalauswertung, die bei sin/cos-Signalgebern wie dem Resolver in den meisten Fällen durch eine Arcus-Tangens-Bildung mittels des Cordic-Algorithmus (COordinate Rotation Digital Computer) vereinfacht und zeitoptimiert werden.

einzüger Mäanderform (Bild 1b), der als einfaches Blechstanzeil hergestellt ist. Platziert man den Rotor über dem Stator, fließt in diesem ein Strom, der seiner Erregung entgegenwirkt (Lenz'sche Regel). Aufgrund der Mäanderform erhöht oder verringert der Rotor durch Induktion die Empfangsspannungen $U_{x,y}$ entsprechend seiner Winkelposition. Die Differenzspannungen $U_{1,2}$, $U_{2,3}$, $U_{3,1}$ und ihre invertierten Spannungen sind in **Bild 2** dargestellt.

Bei der Auswertung der Differenzspannungen verwendet CIPOS einige Prinzipien, die auch im kontaktbehafteten Potentiometer vorkommen. Dessen Temperaturverhalten, die Sensorgenauigkeit und das zeitliche Alter der Information sind als gut zu bewerten. Jedoch wirken sich Verschleiß und Vibrationsempfindlichkeit nachteilig auf die Zuverlässigkeit aus. Eine wesentliche Gemeinsamkeit zwischen Potentiometer und CIPOS ist die verhältnisbildende (ratiometrische) Messung. So ist ein Potentiometer ein positionsabhängiger Spannungsteiler, bei dem sich die Ausgangsspannung U_{out} aus der angelegten Spannung U_{vcc} durch folgende Formel berechnet:

$$U_{out} = U_{vcc} \cdot R_1 / (R_1 + R_2).$$

Hierbei steckt die Positionsinformation in dem Term $R_1 / (R_1 + R_2)$, der spannungsteilenden Eigenschaft. Sollte U_{vcc} über z. B. Temperatur, Lebensdauer oder Chargenabhängigkeiten variieren, gibt U_{out} dennoch das korrekt der Position entsprechend heruntergeteilte Ergebnis wieder.

CIPOS verarbeitet die induzierten Spannungen wie das Potentiometer auf ratiometrische Weise (**Bild 3**). Das Messergebnis wird aus dem Verhältnis $U_{x,y} / (U_{x,y} + U_{u,v})$ ($x, y, u, v = 0, 1, 2$) gebildet, die Vorteile bleiben wie beim Potentiometer erhalten, indem sich faktoriell wirkende Störungen herauskürzen. Weitere Kompensationsprinzipien sorgen dafür, dass auch additiv auf die Induktionsspannungen wirkende Gleichtaktstörungen eliminiert werden.

Jedoch gilt es in der automobilen Positionsmesstechnik nicht nur die Genauigkeit zu verbessern. Vielmehr erfordern zahlreiche Anwendungen eine hohe Auflösung und

Mehr Sicherheit durch digitale Schnittstellen

Schnittstellen an Steuergeräten sollen universell und mit verschiedenen Technologien bestückbar sein. Für kontaktlose Positionssensoren galt es daher im letzten Jahrzehnt, abwärtskompatibel zum Potentiometer zu sein. Nachrichtentechnisch ist das suboptimal, da alle marktführenden

kontaktlosen Positionssensoren eine frühe AD-Wandlung besitzen. Die Signalaufbereitung erfolgt digital, anschließend wird die Information mittels DA-Wandlung auf die Übertragungsstrecke gegeben, um im Steuergerät wieder AD-gewandelt zu werden. Diese Zickzack-Wandlungen zwischen analog und digital sowie die analoge Übertragungsstrecke an sich führen zwangsläufig zu einer Verschlechterung der Signalqualität. Die digitale Übertragung wird dadurch abgesichert, dass der Netto-Inhalt der Information mittels Algorithmen, um eine ausreichende Checksumme ergänzt wird. Was hier als ausreichend gelten soll, wird durch die erreichte Hamming-Distanz beschrieben, die angibt, wie viele gleichzeitig auftretende Fehler erkannt oder korrigiert werden können.

Die Anforderungen an die Schnittstelle variieren in Abhängigkeit von der Anwendung (Lenkung, Bremse, Getriebe, etc.) sehr stark. So gelang es nicht, eine bereits im Automobil bestehende Schnittstelle zu übernehmen oder zu variieren. Für Applikationen wie die elektronische Drosselklappe und andere Regelkreise ist LIN zu langsam. Der CAN-Bus, eine etablierte Schnittstelle zwischen Steuergeräten, ist für die Anbindung einfacher Sensoren zu komplex und zu teuer. Aus dieser Situation heraus wurde im Rahmen der SAE J2716 eine neue Schnittstelle namens SENT (Single Edge Nibble Transmission) entwickelt (Bild 4).

Die Codierung erfolgt durch Pulse unterschiedlicher Pulsdauer. Die digitale Basiseinheit ist ein Nibble (=1/2 Byte =4 Bit) und nimmt die Wertigkeit 0 ... 15 an. Die nominale Dauer des Pulses beträgt je nach Dateninhalt des Nibbles $36 \mu s + 3 \mu s \cdot (0 \dots 15)$. So wird z. B. die Zahl 5 in einem Puls von $36 \mu s + 3 \mu s \cdot 5 = 51 \mu s$ übertragen. Gemessen wird die Zeit zwischen zwei folgenden, fallenden Flanken (single edge). Die steigenden Flanken werden nicht ausgewertet, wodurch ein Unterschied zwischen steigender und fallender Flanke keinen zusätzlichen Fehler erzeugt. In der weiteren Entwicklung von SENT wurden im Wesentlichen zwei weitere Protokollvarianten hinzugefügt. Zum

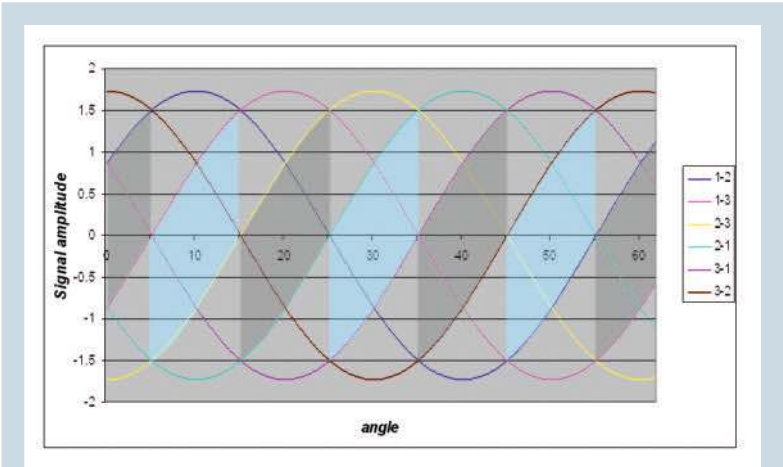


Bild 2: Die Differenzspannungen $U_{1,2}$ $U_{2,3}$ $U_{3,1}$ und ihre invertierten Spannungen.

© automotive

einen das äquidistante Pause-Pulse-SENT für schnelle Regelsysteme, die die Information in einem festen Zeitraum erwarten. Zum anderen das Double-Speed-SENT, das auf eine noch schnellere Übertragung abzielt und dadurch weitere Applikationen, wie die Kommutierung bürstenloser Motoren, erschließt.

Zukünftig werden digitale Schnittstellen als Verbindung zwischen Positionssensoren und übergeordneten Steuergeräten weiter an Bedeutung gewinnen und für mehr Zuverlässigkeit in Systemen wie der elektronischen Servolenkung, dem elektronischen Gaspedal oder der Bremse sorgen.

Elektromagnetische Verträglichkeit

Je mehr Information und je schneller die Information zu senden ist, umso mehr Spannungs- oder Stromflanken werden generiert, die potenziell zu einer hohen elektromagnetischen Abstrahlung führen und die Einhaltung der im Automobil üblichen Normen zur Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) erschweren.

Die Entwickler von SENT wünschten weder eine teure verdrehte (twisted pair) noch geschirmte Verkabelung, noch eine differenzielle Übertragung wie beim CAN-Bus. Daher mussten geeignete Maßnahmen zur Erreichung einer guten EMV durch das Design der als SENT-Transmitter fungierenden CIPOS-Sensoren erzielt werden. Durch spezielle Techniken, wie die gezielte Formung der steigenden und fallenden Flanken in den CIPOS-ICs, sind heute hohe Datenraten und eine gute EMV-Performance gleichzeitig möglich.

Neben SENT ist PSI5 für die Sensor-Steuergeräte-Verbindung eine weitere digitale Schnittstelle. Zwar ist PSI5 derzeit noch nicht so weit verbreitet wie SENT, bietet aber einige Vorteile. Die Verkabelung für PSI5 erfordert zwar verdrehte Leitungen, aber mit der Realisierung als Stromschnittstelle sind nur zwei Adern notwendig, womit die Systemkosten optimiert werden. Außerdem ermöglicht PSI5 verglichen

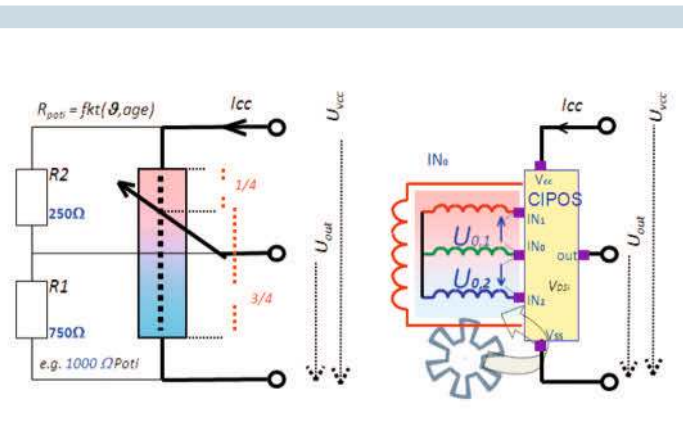


Bild 3: Radiometrie der Messprinzipien.

© automotive

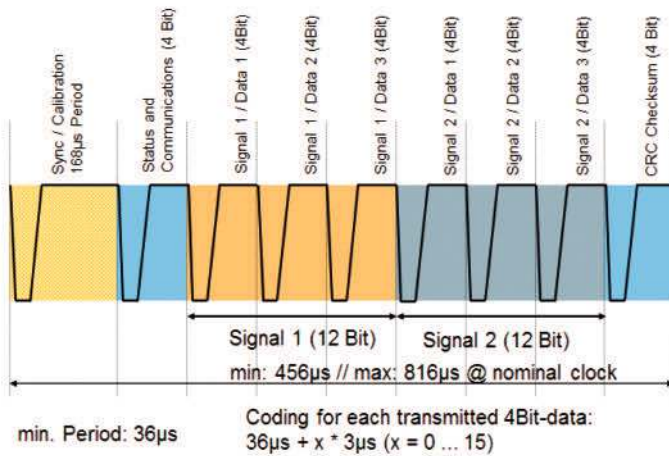


Bild 4: Codierung der digitalen Schnittstelle SENT.

© automotive

Um die Lage des Rotors exakt zu messen und das Drehfeld im Stator ideal vorgeben zu können, wird meist ein Positionssensor eingesetzt. Auch im Automobil, wie z. B. bei der elektrischen Servolenkung oder für den Elektro-Antrieb in Hybrid- oder Elektrofahrzeugen, fällt die Wahl häufig auf einen Resolver, der Wechselwirkungen mit den durch den Motor erzeugten Magnetfeldern weitestgehend ausschließt und hierdurch Vorzüge gegenüber jedem magnetostatischen Messprinzip bietet. Da CIPOS die gleiche Wirkweise wie der Resolver aufweist und zudem bei deutlich höheren Frequenzen als der Resolver betrieben wird, werden CIPOS-Sensoren durch die z. T. 100 A und mehr starken Ströme im BLDC-Motor nicht gestört. Systemisch betrachtet entfällt für die Steuergeräte durch die CIPOS-ICs die notwendige Peripherie zum Betrieb eines klassischen Resolvers. Der Energiebedarf von CIPOS ist mit 10 mA bei 5 V deutlich geringer als klassisch anzusetzen, Vorteile, die CIPOS für BLDC-Anwendungen sehr attraktiv machen. (oe)

mit SENT noch schnellere Datenraten und Busarchitekturen. Allerdings wird zusätzlich ein spezieller Treiber und PSI-5 Empfänger-IC im Steuergerät erforderlich. Welche der beiden Lösungen über das Gesamtsystem betrachtet kostengünstiger realisiert werden kann, ist derzeit jedoch schwer einzuschätzen.

Sensoren für BLDC

Mit den optimierten CIPOS-ICs bieten sich neue Applikationen wie die Kommutierung von bürstenlosen (BLDC-) Motoren. Bei dieser Motorbauform wird der Rotor durch Magnetwerkstoffe permanent erregt und durch Vorgabe eines Drehfeldes in den drei Statorwicklungen zum Rotieren gebracht.



Henning Irlle arbeitet bei Hella maßgeblich an der Entwicklung und Verbesserung der innovativen Sensortechnologie CIPOS mit.

Hella KGaA Hueck & Co
www.hella.com