

SENSOREN IM AUTO

ANWENDUNGEN UND NEUE LÖSUNGEN

Autoren

Bernd Hoffelder | Field Application Engineer

Martin Rieder | Advanced Engineering

Benjamin Ziegler | Product Marketing Manager

Kontakt

John Ennin | Head of Product Marketing EMEA

eMail: john.ennin@te.com

SENSOREN IM AUTO

ANWENDUNGEN UND NEUE LÖSUNGEN

SENSOREN LEISTEN EINEN BEITRAG DAZU, KRAFTFAHRZEUGE (PKW UND NFZ) SICHERER, EFFIZIENTER UND KOMFORTABLER ZU MACHEN. WEGEN DER HOHEN ANFORDERUNGEN AN DIE PERFORMANCE VON SENSOREN IM AUTO HAT SICH DIESES FELD ZU EINEM ANSPRUCHSVOLLEN SPEZIALGEBIET ENTWICKELT.

TE Connectivity Transportation Solutions gehört hier zu den führenden Lösungsanbietern. Mit mehreren Hundert Millionen Sensoren im Fahrzeug und einem umfassenden Portfolio an Technologien ist TE ein Komplettanbieter, der vom getesteten Sensor über das Packaging bis zur elektrischen Schnittstelle und die Applikationsberatung alles aus einer Hand liefert. Als Innovator hat TE Sensortechnologien wiederholt in neuen automobilen Anwendungsfeldern etabliert. Aktuell sind weitere Sensorinnovationen serienreif bzw. haben den Sprung in die Serie gemacht. Dieses Whitepaper gibt einen Überblick über den Stand der Entwicklung und deren Anwendungsspektrum.

Inhalt

Einleitung	3
Lage, Zustand, Präsenz, Bewegung	4
PLCD	4
(2D/3D) Hall	5
Funktion und Eigenschaften	6
3D Hall Getriebesensorik	8
Effiziente Elektrifizierung	9
Multi Coil Resolver (MCR)	10
Single Coil Resolver (SCR)	11
Drehzahlmessung	12
Druckmessung	15
Sensorlösungen für Hochdruckanwendungen (> 100 bar)	16
Sensorlösungen für Mitteldruckanwendungen (5...50/100 bar)	17
Ausblick	18
Anwendungen bestimmen die Technologien	18
Impressum	19

EINLEITUNG

„Lead, not follow“ – nach diesem Prinzip hat TE Connectivity (nachfolgend: TE) wiederholt neue Sensoreinsatzfelder im Fahrzeug eröffnet. Eine Schlüsselrolle spielen dabei berührungslos messende (magnetbasierte) Sensoren, die heute ein breites Anwendungsspektrum im Fahrzeug haben. Zu den Erstanwendungen von TE zählen beispielsweise Turbolader mit verstellbarer Turbinenschaufelgeometrie (VTG-Lader). Während die Pionierlösungen PLCDs nutzen, ist mittlerweile eine Sensorgeneration mit innovativer 3D Hall-Messung serienreif. Weitere Pionierfelder im Fahrzeug sind Doppelkupplungs- und Automatikgetriebe sowie das ABS (Raddrehzahl). Andere Anwendungen finden sich in elektro-hydraulischen Bremssystemen, bei der Rekuperation (Umwandlung kinetischer Energie in Strom während Verzögerungsphasen), in der Kupplungsbetätigung, in aktiven Hinterachssteuern (Pkw und Nfz) sowie bei Stopp-Start-Automatiken.

Großen Einfluss auf die Nutzbarkeit berührungslos arbeitender Sensoren hat die Auslegung aller Komponenten für die jeweilige Anwendung. Je nach Anwendung, Messweg und Bauraumverhältnissen appliziert TE daher sämtliche Sensorlösungen anwendungsspezifisch. So lassen sich nicht nur die Vorteile der einzelnen Sensortypen optimal nutzen, sondern kostenrelevante Faktoren, wie die Bemessung von Permanentmagneten als Geber, lassen sich ebenfalls gezielt einstellen.

Was bei TE vor weit über einem Jahrzehnt mit den ersten Einzelanwendungen bei Automobilsensoren begann, ist inzwischen zu einem umfassenden Lösungsportfolio gewachsen. Die anfängliche Konzentration auf magnetbasierte Sensoren stellt inzwischen keine Limitierung mehr dar: Es sind vielmehr die Anwendungsanfragen der OEM, die das weitere Wachstum des TE Technologieportfolios im Bereich Kfz-Sensorik bestimmen. Daher erstreckt sich die langjährige TE Applikationserfahrung verstärkt auch auf neue Anwendungsfelder, etwa die Messung von Drehzahlen, Drücken und zukünftig auch auf Temperaturen.

LAGE - ZUSTAND - PRÄSENZ - BEWEGUNG

Berührungslos arbeitende Sensoren auf Magnetbasis haben ihre Stärken überall dort, wo kompakte, vollständig gekapselte, leistungsfähige Messfühler benötigt werden, die nicht in Interaktion mit dem Zielsystem treten sollen. Je nach Ausführung arbeiten solche Sensoren mit oder ohne Gebermagnet.

Viele Erstanwendungen im Fahrzeug erfolgten mit PLCD Technologie von TE. Inzwischen gewinnt jedoch die 2D/3D Hall Technologie stärker an Bedeutung.

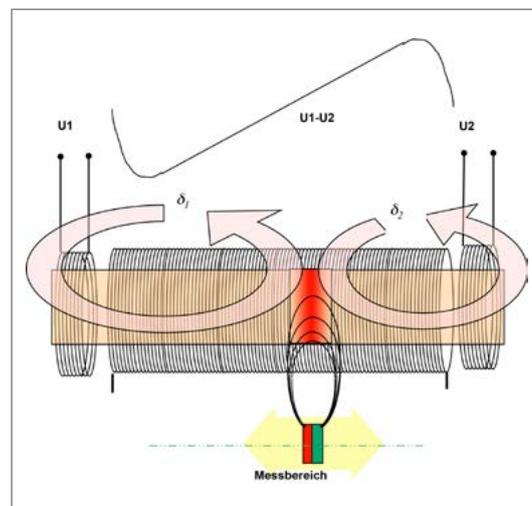


Bild 1

PLCD-Sensoren

PLCD Sensoren basieren auf dem Messprinzip des “Permanentmagnetic Linear Contactless Displacement” (PLCD). Diese Spulensysteme mit Gebermagnet (Permanentmagnet) dienen vorrangig dazu, lineare Bewegungen und Positionen zu erfassen, können jedoch auch zur Erfassung von Bewegungen auf einer Kreisbahn mit begrenztem Winkelradius dienen. PLCD Sensoren haben zwei zentrale Vorteile:

- Zum einen sind sie besonders robust und arbeiten auch unter schwierigsten Anwendungsbedingungen mit hohen Temperaturen, Vibrationen und ferromagnetischen Störeinflüssen.
- Zum anderen lassen sich mit PLCD lange Messwege von bis zu 180 mm erfassen.

Bild 1 zeigt schematisch den Aufbau und die Funktionsweise eines PLCD Sensors. Im Inneren befindet sich ein weichmagnetischer Kern in einem Kunststoffkörper. Dieser magnetisch hoch permeable Kern ist über seine gesamte Länge mit der Primärspule aus Lackdraht umwickelt. An den beiden Enden des Kerns befindet sich je eine Sekundärspule (S1 und S2) als Auswertespule.

Wird der Gebermagnet in den Messbereich bewegt, so erzeugt er eine Sättigungszone im weichmagnetischen Kern unter der Primärwicklung. In der Folge wirkt nun ein Teilbereich der Primärwicklung auf S1, der andere Teilbereich auf S2. Aus der Differenz der beiden Spannungssignale U_1 und U_2 (= Rohsignal) kann die Auswerteelektronik mit einer Genauigkeit von plus minus 1% die Position des Gebermagneten über der Längsachse des Sensors (X-Achse) ermitteln. Nach demselben Prinzip arbeiten auch die Ausführungen für Schwenkbewegungen. Sie erfassen Winkellagen auf einem Bogensegment mit einem Radius von $\pm 60^\circ$.

Das TE eigene ASIC zur Signalverarbeitung liefert entweder ein PWM Signal oder einen analogen Ausgang. Zusätzlich bietet der ASIC die Möglichkeit, die PWM-Frequenz, den Offset des Sensors, seine Steigung sowie die Linearisierung auf die Anwendung abzustimmen. Die Kalibrierung erfolgt in der aktuellen, dritten Generation der Auswerteelektronik über ein Polynom 3. Grades, das sogar eine S-förmige Rohsignalkurve mittels einer S-för-

migen Inverskurve linearisieren kann. Damit liefert der PLCD Sensor die Genauigkeit für so anspruchsvolle Anwendungen wie eine Hinterachssteuerung.

Dank ihres berührungslosen Messprinzips lassen sich PLCD Sensoren vollständig kapseln und erfüllen den Schutzgrad IP6K9K. Damit sind Anwendungen möglich, bei denen der Sensor von heißem Getriebeöl umspült wird oder dem metallischen Abrieb einer Kupplung ausgesetzt ist. Je nach Umgebungstemperatur oder Bauraumanforderung ist die Auswertelektronik entweder im Sensor integriert, oder separat platziert. Die integrierte Lösung eignet sich für Temperaturen von $-40...+150^{\circ}\text{C}$. Wird die Elektronik als separates Modul räumlich entfernt vom Sensor platziert, so eignet sich der passive Sensoraufbau kurzfristig für bis zu 180°C .

Da das Messprinzip auf der Sättigung des weichmagnetischen Kerns der Primärspule beruht, reagiert der Sensor relativ unempfindlich auf Schwankungen in der magnetischen Feldstärke, solange der magnetische Fluss ausreicht, um die Sättigung herbei zu führen. Daher erlauben PLCD Sensoren von TE Connectivity Abstände zwischen Gebermagnet und Sensor von bis zu 20 mm. Gegenüber Abstandsveränderungen auf der Y- und Z-Achse (etwa durch Montage oder Betriebseinflüsse) sind PLCD Sensoren folglich nur wenig empfindlich.

Ein großer Vorteil der TE Connectivity PLCD Sensoren ist die Möglichkeit, sie bei gleicher Baugröße redundant aufzubauen: Zu diesem Zweck wird über die erste Primärspule eine zweite Primärspule gewickelt, die auf denselben Kern wirkt. Sie wird mit einem separaten Spannungssignal versorgt. Zwei zusätzliche Auswertespulen und ein zweiter ASIC erfassen das redundante Spannungssignal. In Verbindung mit einer weiteren Komponente kann der Sensor auch ein SENT-Protokoll bereitstellen.

Wegen ihrer akkuraten und zuverlässigen Positionsbestimmung unter harten Umgebungsbedingungen haben sich die PLCD Sensoren inzwischen seit mehr als einem Jahrzehnt bewährt.

TE Connectivity liefert derzeit mehrere Millionen Stück pro Jahr aus. Mit dieser Sensortechnologie hat TE als erster berührungslose Sensoren für Doppelkupplungsgetriebe und Automatikgetriebe in Serie gebracht hat. Zusätzlich werden PLCDs von TE Connectivity in Stopp-Start-Systemen eingesetzt.

(2D/3D) Hall Sensoren

Bereits seit 1998 finden sich Hall Sensoren und Hall Schalter von TE in immer mehr Chassis-Anwendungen, im Antriebsstrang und in der Pedalzustandserkennung. Sie erfassen Wege, Drehbewegungen, Schaltzustände und Geschwindigkeiten. Zu den Stärken dieser Hall Sensoren gehört ihre besonders kompakte Bauweise.

Bei den hier besprochenen Sensoren befinden sich die Hall Platten direkt auf einem integrierten Schaltkreis, der die Bereitstellung des Steuerstroms, die relativ komplexe Signalauswertung sowie die anschließende Digitalisierung übernimmt. *Bild 2* zeigt das grundsätzliche Messprinzip, das auf der nach ihrem Entdecker Edwin Hall benannten Hall Spannung (UH) beruht. Sie ist proportional zur Stärke des einwirkenden magnetischen Feldes und zum Stromfluss.

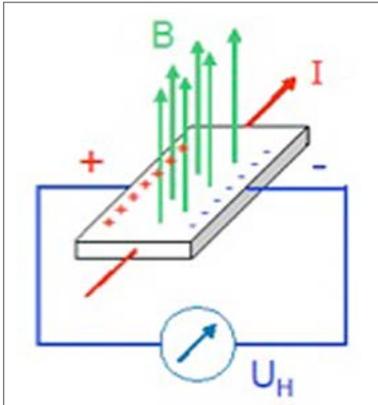


Bild 2

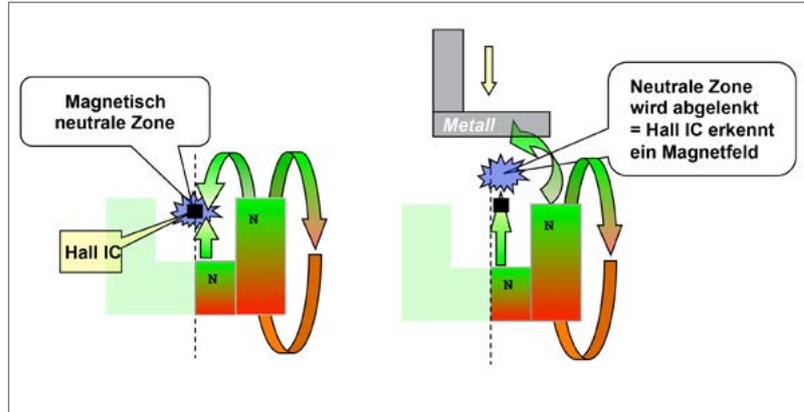


Bild 3

Bei Hall Schaltern kann der Gebermagnet in den Sensoraufbau integriert sein (Bild 3). Solche Systeme kann man als vorgespannte Hall Schalter bezeichnen. Hier befindet sich die Hall Platte ausbalanciert in der Mitte zwischen den Feldlinien zweier magnetischer Nordpole.

Funktion und Eigenschaften der 3D Hall Sensoren von TE Connectivity

Während sich der Hall Effekt gut eignet, um die Anwesenheit eines Objekts zu erfassen, ist es anspruchsvoller, mit Hall Sensoren lineare Bewegungen und Winkel/Drehbewegungen zu sensieren, weil die Signalhöhe in den Randbereichen des linearen Verfahrwegs nur wenig über dem Rauschen liegt. Die Auswertung bei längeren Wegen ist daher schwierig.

Für aktuelle Anwendungen nutzt TE Connectivity daher zunehmend eine On-chip Bauweise auf Basis der 3D-Magnetfeldmesstechnik, wie sie vom Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen (IIS) in Erlangen erarbeitet und als HallinOne Technologie eingeführt wurde. Das Sensorelement besteht in der von TE Connectivity entwickelten Lösung aus zwei Hall Platten, die auf einem ASIC integriert sind. Die beiden Hall Platten erfassen einwirkende Magnetfelder nicht nur auf einer Achse, sondern lateral und vertikal (Y- und Z-Achse). Dieser TE Connectivity 3D Hall Sensor ist für Betriebstemperaturen bis zu 150° C ausgelegt (Bild 4). Anders als bei herkömmlichen Hall Verfahren misst der TE Connectivity 3D Hall Sensor nicht den absoluten Wert der Magnetfeldstärke, sondern den Vektor der einwirkenden Magnetfeldlinien. Damit ist das Ausgangssignal deutlich

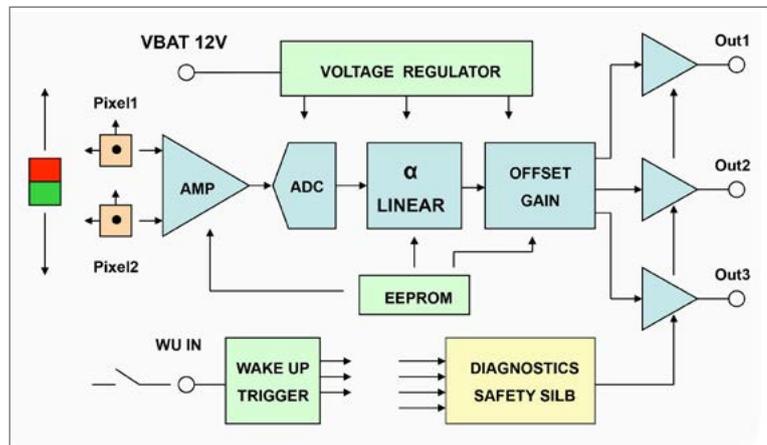


Bild 4: Block-Diagramm des TE Connectivity 3D-Hall-Bausteins.

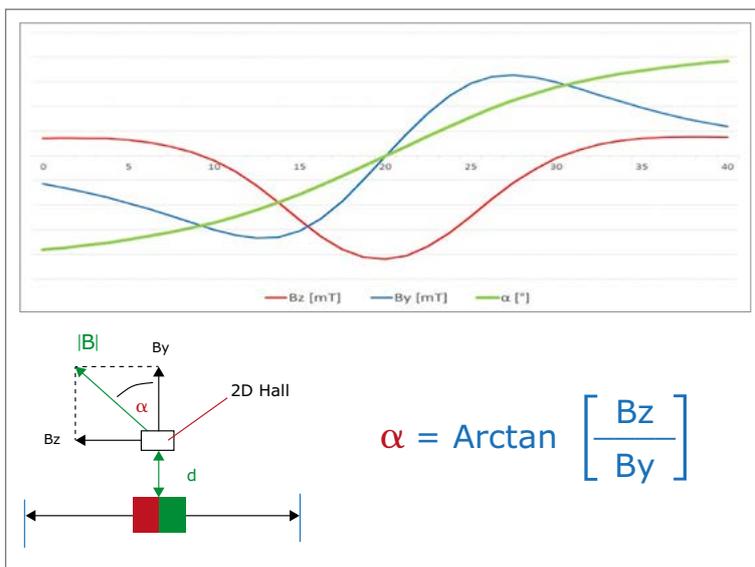


Bild 5: 2D Hall. Die Arctan-Berechnung wird im TE Connectivity 3D Hall ASIC bei jedem Messwert durchgeführt.

unabhängiger von Schwankungen der absoluten Feldstärke. Bild 5 zeigt die komplementären Ausgangssignale der beiden Hall-Platten sowie das nach dem Prinzip der trigonometrischen Arcus-Tangens Umkehrfunktion integrierte Summensignal. Diese Form des Summensignals erlaubt einen größeren Messbereich: Während eine Faustregel besagt, dass ein Permanentmagnet für eine Hall-Anwendung mindestens 60% der Länge des Fahrweges aufweisen sollte, ist es TE Connectivity mit der 3D Hall-Technik gelungen, dies bis nahezu auf die Größe eines

PLCD-Gebermagneten zu reduzieren (z.B. 6 mm Magnet für 30 mm Messweg).

Unter Nominalbedingungen erreicht die auf dem Chip des 3D-Hall-Sensors von TE Connectivity integrierte Auswertung Linearitätsfehler von deutlich unter 1%. Der Rechenkern im ASIC gibt die Weginformation binnen <1 ms aus. Zusätzlich besitzt der Sensor parametrierbare EEPROM-Speicher, mit denen er an die jeweilige Anwendung angepasst werden kann. Der Sensor stellt bis zu drei programmierbare Ausgangssignale als pulswidenmoduliertes Signal (PWM) und/oder diskrete Schaltausgänge bereit. Da die Positionserkennung eines Aktors eine sicherheitsrelevante Information sein kann, erfüllt der TE 3D-Hall-Sensor die Anforderungen der ASIL-B-Norm (ASIL-Norm ISO 26262 - funktionale Sicherheit).

Anders als bei verbreiteten Hall-Sensoren arbeitet der neue 3D-Hall-Sensor von TE nicht nur mit einer separaten Versorgungsspannung, sondern kann auch direkt mit 12 V Bordnetzspannung betrieben werden. Ein Schlafmodus erlaubt es, den Sensor dauernd an der Fahrzeugbatterie zu betreiben, da er in diesem Modus nur wenige Mikroampere Strom benötigt.

Eingesetzt zur Sensierung einer Kolbenstange in einer Kupplung beispielsweise lässt sich mit TE Connectivity 3D-Hall-Sensoren auch dann ein gutes lineares Ausgangssignal erzielen, wenn die Wandstärke des Gehäuses einen größeren Abstand zum Sensor erzwingt und im Inneren des Aktors kein Raum für einen großen Ansteuer-magneten ist. So lassen sich trotz kleinem Gebermagneten Fahrwege von bis zu 40 mm detektieren, aber auch Drehbewegungen und Winkelmessungen im Bereich von 0...360°.

Getriebesensorik mit 3D Hall Messung

Für die Getriebesensorik bietet TE eine komplette Plattform für alles vom reinen Hall-Schalter bis zum innovativen All Gear Position Sensor an (Bild 6). Dieser vollständig gekapselte Messfühler nutzt das 3D Hall-Prinzip, um insbesondere die Neutralposition des Getriebes zu erkennen – bei einem Start-Stopp-System die Voraussetzung für den automatischen Motorstart.

Der All Gear Position Sensor bietet darüber hinaus einen erheblichen Mehrwert im Hinblick auf moderne Motormanagement-Funktionen: Das liegt daran, dass die Hall-Elemente auf seinem Chip sowohl eine laterale Verschiebung als auch eine Rotation des Gebermagneten am Schaltgestänge erfassen.

Damit lassen sich Schaltwege und Schaltwinkel so vollständig auflösen, dass bei Bedarf alle Gänge einschließlich des Rückwärtsgangs mit nur einem Sensor erkannt werden können. Diese umfassende Auflösung der Getriebestellung lässt sich beispielsweise bei automatisierten Schaltgetrieben nutzen sowie für Schaltpunktempfehlungen an den Fahrer im Rahmen von Downspeeding-Konzepten zur Verringerung des CO₂-Ausstoßes. Inzwischen gibt es diesen 3D Hall Sensor auch in einer Variante, die Ferrit anstatt seltener Erden für den Gebermagneten verwendet. Zusätzlich läuft die Entwicklung einer induktiven Lösung mit vier miniaturisierten magnetisch vorgespannten Messspulen in SMD-Bauweise, die gänzlich ohne Magnet im Getriebe auskommen wird.



Bild 6: All Gear Position Sensor

Effiziente Elektrifizierung

Elektromotoren gewinnen als Bestandteil von Antriebssträngen in Pkw und leichten Nutzfahrzeugen stetig an Bedeutung. Verwendet werden hier entweder Permanentmagneterregte Synchronmaschinen (PMSM), Asynchron- oder Reluktanzmotoren. Sie alle werden von einer Leistungselektronik mit den Drehstrommotorphasen angesteuert, die Drehzahl und Drehmoment bestimmen. Bei bürstenlosen DC-Motoren des Typs PMSM erfolgt die Kommutation über einen Inverter. Der Schaltzeitpunkt für die Bestromung der einzelnen Spulen auf dem Stator hängt von der Rotorwellenlage ab. Nur wenn diese bekannt ist, kann ein relativ zur Rotorlage voreilendes Spulenfeld erzeugt werden, das den Motor anlaufen lässt bzw. ein nacheilendes Spulenfeld, das den Motor verzögert.

Um die Rotorlageposition von E-Motoren in elektrifizierten Fahrzeugen präzise auflösen zu können, hat TE die innovativen Reluktanzresolver entwickelt. Sie nutzen den magnetischen Widerstand (= Reluktanz) als Auslöser für eine Spannungsmodulation, die als Messgröße dient. Im Prinzip sind diese Resolver Differenztransformatoren mit variabler Kopplung zwischen Geber und Resolver.

Einer der Vorteile der TE Resolver ist ihr Wickelschema, welches die Reluktanzresolver besonders unempfindlich gegenüber statischen elektromagnetischen Störeinflüssen sowie mechanischen Toleranzen, wie einer dynamischen oder statischen Exzentrizität macht. Das symmetrische Wickelschema kompensiert nahezu alle elektromagnetischen Störfelder, die den Resolver durchdringen, in ihrer Wirkung. Solche Störeinflüsse haben somit keinen Einfluss auf das Signal.

Eine weitere Stärke der TE Resolver liegt in ihrem hohen Maß an Flexibilität: Die Zahl der Polpaare (= Speed Zahl) kann bei allen Ausführungen flexibel an die Polzahl der elektrischen Maschine angepasst werden, um eine optimale Funktionalität zu erreichen. Daher sind alle TE Connectivity Resolver mit 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12 und 18 Polen erhältlich.

Inzwischen bietet TE Connectivity seine Resolver in zwei Bauformen für unterschiedliche Einsatzzwecke an:

- Der Multi Coil Resolver (MCR) dient in erster Linie als Lösung für Traktionsmotoren in Elektrofahrzeugen sowie für Stand-alone E-Maschinen. TE Connectivity MCR sind in mehreren elektrifizierten Fahrzeugmodellen in Serie.
- Der 2014 vorgestellte Single Coil Resolver (SCR) unterscheidet sich vom MCR in seiner verringerten axialen Länge, die ohne Gehäuse lediglich 10,3 mm beträgt und somit die Integration des Sensors in der Applikation erleichtert. Der Single-Coil-Resolver (SCR) wurde speziell zur Inline-Integration zwischen Verbrennungsmotor und Getriebe in Hybridfahrzeugen entwickelt (sogenannte „nasse“ Anwendungen).

Beide Bauformen sind typischerweise mit einer oder zwei Abdeckungen gekapselt und können als montagefertiges, voll funktionsgetestetes Modul mit Kabel und Steckverbinder geliefert werden.

Multi Coil Resolver (MCR)

Ein MCR besteht aus einem äußeren mehrpoligen Stator mit Spulen sowie einem innen liegenden Rotorblech als Geber, der über seinen Umfang mit einem noppenförmigen Profil versehen ist (Bild 7). Das Rotorblech wird auf der Welle des Elektromotors fixiert. Die Noppen des Rotors verkleinern zyklisch den Luftspalt zwischen Rotor und Stator und erzeugen durch den so bewirkten Verlauf der magnetischen Induktion das Winkelsignal. Die Anzahl der Noppen auf dem Rotor bestimmt, wie oft das elektrische Signal bei einer mechanischen Umdrehung des Rotors moduliert wird (= Speed-Zahl).

Die kreisförmig über den Umfang des eigentlichen Resolvers (= Stator) angeordneten Spulen kann man nach ihrer Funktion einteilen: Sie sind entweder Primärspulen (EXC), die mit einer Erregerspannung gespeist werden (rote Pfeile in Bild 8), oder Sekundär- bzw. Mess-Spulen (grüne Pfeile in Bild 8), in denen eine Spannungsänderung induziert wird. Die Pfeilrichtung im Bild gibt das Vorzeichen der Induktion an.

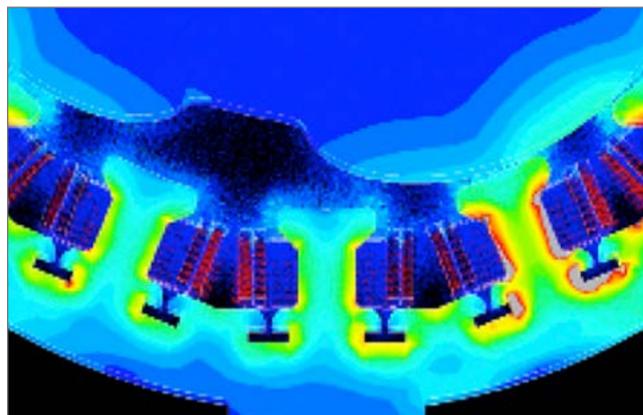


Bild 7

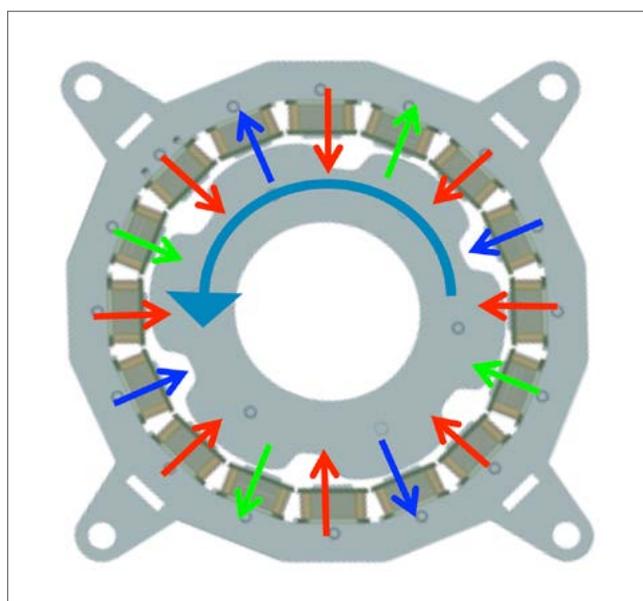


Bild 8

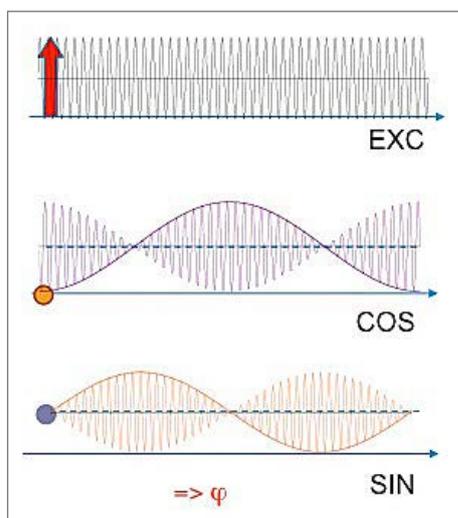


Bild 8b

Die Anordnung erfolgt so, dass stets eine Gruppe Sekundärspulen eine sinusförmige Modulation der Erregerspannung erfährt, eine zweite Gruppe eine kosinusförmige Modulation. Das jeweilige Verhältnis der SIN und COS Amplituden zueinander entspricht einer eindeutigen Winkellage und liefert das Ausgangssignal (Bild 8b). Aus dem modulierten Rohsignal werden im Steuergerät des Resolvers die SIN- und COS-Signale durch phasenempfindliche Gleichrichtung demoduliert und über die Arcustangens-Funktion in einen Winkel umgerechnet.

Da die Winkellage im Synchronmotor präzise bekannt sein muss, sind die Resolver für hohe Auflösung und Genauigkeit ausgelegt. Das verwendete Messprinzip erzeugt mit einer Erregerspannung von 7 Veff ohne jede Verstärkung ein Nutzsignal von 2 Veff. Damit ist ein günstiges Signal-Rauschen-Verhältnis gegeben, das die Auswirkung von Störeinflüssen in der magnetisch aktiven Umgebung eines E-Motors sowie mechanischer Toleranzen minimiert und gleichzeitig eine wirkungsvolle Unterdrückung von Gleichtaktfehlern ermöglicht. Für eine möglichst große Toleranzunempfindlichkeit ist die Anordnung der Spulengruppen entscheidend. Die Symmetrie ist so gewählt, dass einer +COS-Spule (Wickelsinn rechts) immer auch eine +COS-Spule gegenüber liegt. Wird durch eine Exzentrizität der Luftspalt vor der einen Spule verkleinert, so ist er vor der gegenüber liegenden Spule vergrößert. Die Summe der beiden Signale bleibt dennoch nahezu konstant.

Der MCR erfasst Drehzahlen von bis zu 20.000 min⁻¹ in einem Temperaturbereich von -40...150°C, wobei die Rotorlage mitunter $\pm 1^\circ$ Abweichung aufgelöst wird. Die extrem dynamische Anforderung an die Signalverfügbarkeit lässt sich durch eine Kombination der Signalmessung mit einem Tracking-Loop Verfahren erreichen. Entsprechende ASIC Bausteine mit Tracking Loop sind unter der Bezeichnung Resolver-to-Digital Konverter (RDC) verfügbar.

Die Verschaltung und Zuweisung der Spulenfunktion (EXC, SIN, COS) erfolgt über eine herkömmliche Leiterplatte. Spulenpins sowie die Litzen der Signalleitung werden über automatisierte Selektivlötung kontaktiert. Die abschließend montierte Schutzkappe dient zugleich als Zugentlastung für den Kabelanschluss. Der MCR kann daher als komplett abgedichtetes System im thermoplastischen Kunststoffgehäuse inklusive Kabel und Stecker geliefert werden. Das Montagekonzept unterstützt den Übergang von halbautomatischen Produktionsprozessen am Anfang der Stückzahlkurve zur zunehmenden Verkettung von Anlagenteilen bis zu einer vollautomatischen Produktion.

Single Coil Resolver (MCR)

Um den wesentlich härteren Temperatur- und Vibrationsanforderungen einer Integration des Resolvers zwischen Verbrennungsmotor und Getriebe gerecht zu werden, arbeitet der SCR ohne Leiterplatte (PCB), wodurch die sonst mit einer PCB einhergehenden Lötstellen entfallen. Daher ist dieser Resolver bei Temperaturen bis zu 170° C und in nassen Applikationen (Kontakt mit Ölen oder anderen Medien) problemlos einsetzbar. Die Spulen werden beim SCR nicht separat gewickelt und anschließend auf den Stator montiert (wie beim MCR) sondern direkt auf den Stator gewickelt (Bild 9).



Bild 9: Single Coil Resolver

Da solche Sensoren grundsätzlich an die individuelle Applikation angepasst werden, unterstützt TE Connectivity seine Kunden beim Design-In und kann Mustertypen dank der frei

gegebenen Basistechnologien kurzfristig liefern. Sollte bei einer Anwendung nur die Stirnfläche der Motorwelle für die Detektion der Rotorlage vorhanden sein (End-of-Shaft Applikation) und somit kein Resolver zum Einsatz kommen, bietet TE Connectivity alternativ ebenfalls Lösungen mit Hall Encoder an.

Drehzahlmessung

Typische Anwendungen für die Drehzahlmessung sind die Erfassung der Raddrehzahl (Wheel Speed Sensor) als Regelgröße für das Antiblockiersystem (ABS) sowie die Erfassung von Getriebedrehzahlen in allen Arten von automatisierten Getrieben. Im Motor stellen die Drehzahlen von Kurbelwelle und Nockenwelle wichtige Messgrößen dar. Neben einer hohen Temperaturfestigkeit von -40°C bis zu 150°C müssen gerade Getriebedrehzahlsensoren außerdem gegen alle Arten von Automatic Transmission Fluid (ATF) einschließlich der relativ aggressiven Öle in Doppelkupplungsgetrieben (DCT) sowie Manual Transmission Fluid (MTF) gekapselt sein. Das berührungslose Wirkprinzip ist in der Drehzahlmessung auch deshalb besonders vorteilhaft. Zusätzlich unterzieht TE seine Drehzahlsensoren einer 100-prozentigen Dichtheitsprüfung sowie einer 100-prozentigen End-of-Line Prüfung der Funktion.

Bild 10 zeigt einen montagefertig geprüften Wheel Speed Sensor auf Hall-Basis.

TE nutzt für die Aufgabenstellungen der Drehzahlmessung einerseits Sensoren auf Basis des Hall-Effektes, andererseits anisotrope magneto-resistive Sensoren (AMR-Sensoren). Bei beiden ist das berührungslose, auf Magnetkräften basierende, Wirkprinzip ähnlich. Grundsätzlich lassen sich alle oben genannten Anwendungen auch mit beiden Sensortypen erfüllen, allerdings finden sich Hall-Sensoren eher im Getriebe, während die etwas genaueren AMR-Sensoren in jüngster Zeit verstärkt als Wheel Speed Sensor eingesetzt werden.

Bei einem Hall Geschwindigkeitssensor (= Drehzahlsensor) besteht entweder die Möglichkeit, den Aufbau des vorgespannten Sensors zu wählen oder auf dem zu detektierenden Körper ringförmig abwechselnd Nord- oder Süd-gepolte Magnete anzubringen.

Bei der Auslegung eines Drehzahlsensors spielt die Formgebung des „Zahnrad“ oder Polrades eine große Rolle. *Bild 11* zeigt den Idealfall einer 90° Verzahnung, die wegen ihrer senkrechten Zahnflanke beim Passieren des Sensors einen klaren Signalhub liefert.

Je nach Anwendung kann jedoch auch eine andere Zahngeometrie vorgegeben sein. In diesem Fall wird durch Simulation ermittelt, ob und wie eine bestimmte Zahngeometrie als Teil eines Sensorsystems nutzbar ist, um das Lastenheft des OEM zu erfüllen (*Bild 12*).



Bild 10: Wheel Speed Sensor

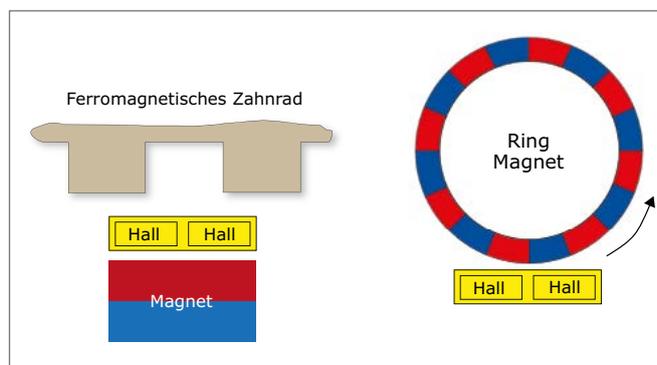


Bild 11: Zwei Möglichkeiten, die Rotation einer Welle zu messen.

Gegebenenfalls werden in der Simulation geeignete Modifikationen getestet.

Weil der Luftspalt (Air Gap) zwischen Zahnrad und Sensor die Stärke des Magnetfelds beeinflusst – und damit auch die Funktion des Sensors – kann es für manche Anwendungen von Vorteil sein, wenn zur Auswertung des Sensorsignals ein lernfähiger IC verwendet wird, der sich selbsttätig an den individuellen Air Gap in der Installation adaptiert.

In einem anisotropen magnetoresistiven Sensor (AMR-Sensor) reagiert eine dünne Schicht eines ferromagnetischen Materials auf die Anwesenheit eines Gebermagneten, der sich bei der Drehzahlmessung an einem Geberrad befindet. Unter dem Einfluss des Gebermagnetfelds verändert sich der elektrische Widerstand in der ferromagnetischen Schicht, weil sich die Elementarmagnete im ferromagnetischen Material unter dem Einfluss des Gebermagnetfeldes geordnet ausrichten und damit den elektrischen Widerstand beeinflussen (*Bild 13*).

In einem AMR Sensor, der als Wheel Speed Sensor genutzt wird, sind typischerweise vier Widerstände zu einer Brücke verschaltet. In der Brücke wird die Widerstandsänderung in eine Spannungsänderung umgesetzt, die wiederum nach der Signalaufbereitung von einem Komparator in ein Stromsignal übertragen wird, das als Ausgangswert der übergeordneten Anwendung zur Verfügung gestellt wird.

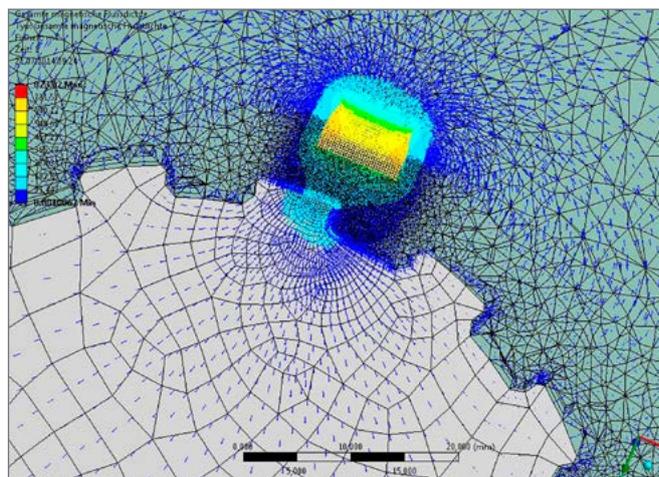


Bild 12

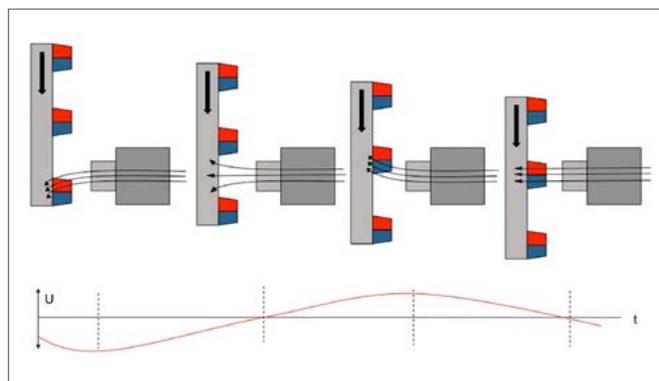


Bild 13

Druckmessung (SemSG)

Viele automobile Systeme benötigen für ihre Steuer- oder Regelfunktion Informationen über Mediendrucke als Eingangsgröße. Zu den zahlreichen Anwendungsbereichen von TE Druckensensoren gehören beispielsweise der Bremsdruck (Hydraulik oder Pneumatik) sowie die Druckmessung im ottomotorischen Direkteinspritzsystem (Gasoline Direct Injection, GDI).

Anders als die im Markt als gängige Standardtechnologien erhältlichen piezoresistiven oder piezoelektrischen Drucksensoren hat TE mit der Semiconductor Strain Gauge (SemSG) ein eigenständiges Druckmessverfahren entwickelt. Der Vorteil dieser Konstruktion auf der Grundlage einer Dehnungsmesstreifen-Vollbrücke (DMS-Brücke) liegt in den breiten Anwendungsmöglichkeiten bei einem gleichzeitig wirtschaftlichen Produktionsverfahren.

Die eigentlichen SemSG Sensorelemente werden direkt auf einem 6“-Wafer (150 mm) erzeugt (Bild 14).

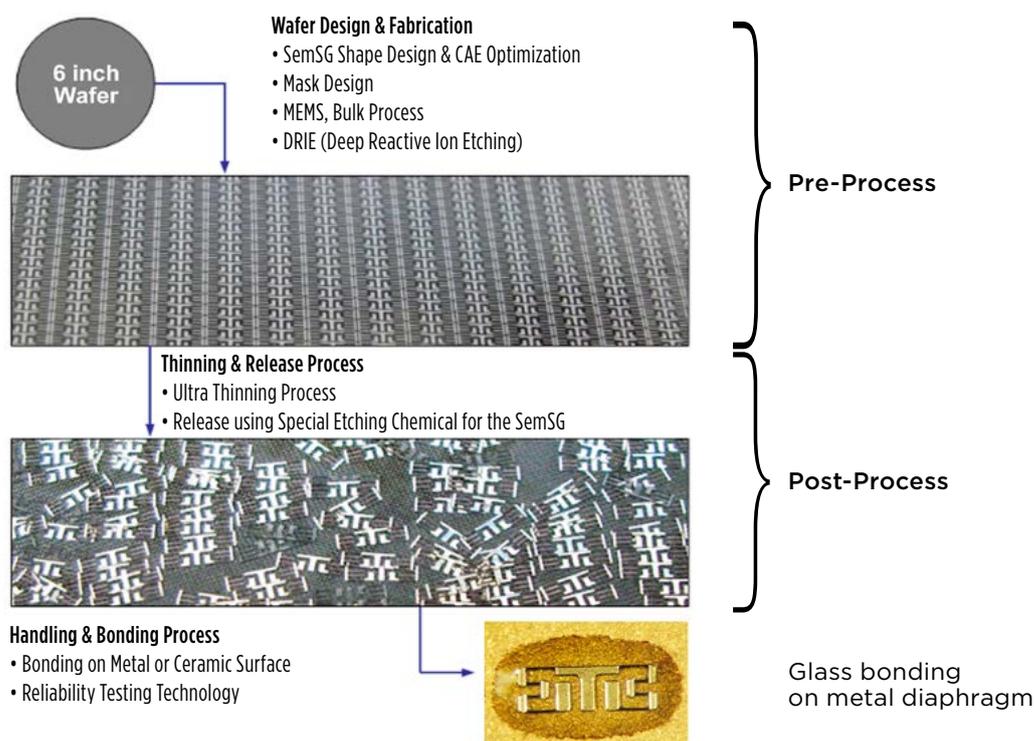


Bild 14

Bild 15 zeigt die erhabenen, goldfarbenen Kontaktierungsstrukturen einer vereinzelt Sensorzelle sowie die zwischen ihnen verlaufenden, eingetätzten, dunklen Widerstandsbahnen. Pro Hochdrucksensor werden zwei SemSGs mittels Glass-Frit-Bonding auf der Membran eines Sensorkörpers befestigt und zu einer Vollbrücke mit insgesamt vier Wider-

ständen verschaltet. Durch Einstellung des Biegeverhaltens dieser Membran lassen sich SemSG für ganz unterschiedliche Druckbereiche nutzen.

In das Siliziumsubstrat, auf dem diese DMS-Struktur aufgebracht wird, sind piezo-elektrische Strukturen eingebracht.

Sensordesign für Hochdruckanwendungen (>100 bar)

Die Trennung zwischen Sensorkonstruktionen für den Hochdruck- und Mitteldruckbereich im Automobil lässt sich nicht ganz scharf ziehen. So können in der Spanne zwischen 50 und 100 bar je nach Randbedingungen sowohl Edelstahl- und Keramikmembranen genutzt werden, als auch Membranen, die Teil einer gedrehten Stahlkomponente sind. Ein solches Hochdrucksensordesign für den Bereich >100 bar ist hier dargestellt. Der beschriebene

Sensoraufbau eignet sich zur Ermittlung eines Bremsdrucks ebenso wie für die Überwachung des im Rail anliegenden Kraftstoffdrucks in der Benzindirekteinspritzung.

Die Einstellung der Sensorempfindlichkeit auf den benötigten Druckbereich erfolgt durch passende Dimensionierung des Sensorkörpers aus gedrehtem Stahl. Seine Wandstärken bestimmen die Auslenkung der Stahlmembran mit den beiden darauf befindlichen SemSGs.

Von den Sensorzellen erfolgt mittels Al-Drahtbonding die Kontaktierung einer Adapterplatine (im Bild blau, *Bild 16*). Von dieser stellen vier Kontaktstifte die Verbindung zur darüber liegenden Funktionsleiterplatte (im Bild hellgrün) mit der Auswerte-Elektronik her. Je nach Kundenanforderung wird

die Auswertung der piezoelektrisch modifizierten Widerstandssignale mit einem TE ASIC, einem Application Specific Standard Product (ASSP) oder einem kundenspezifischen IC gelöst.

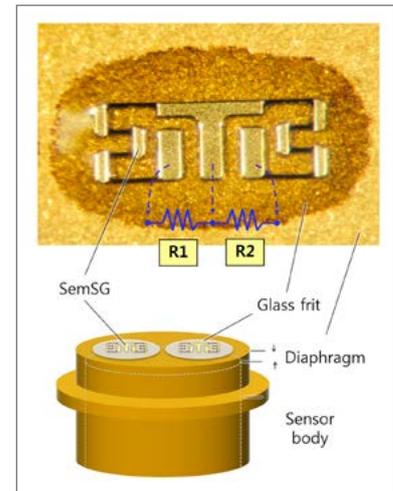


Bild 15

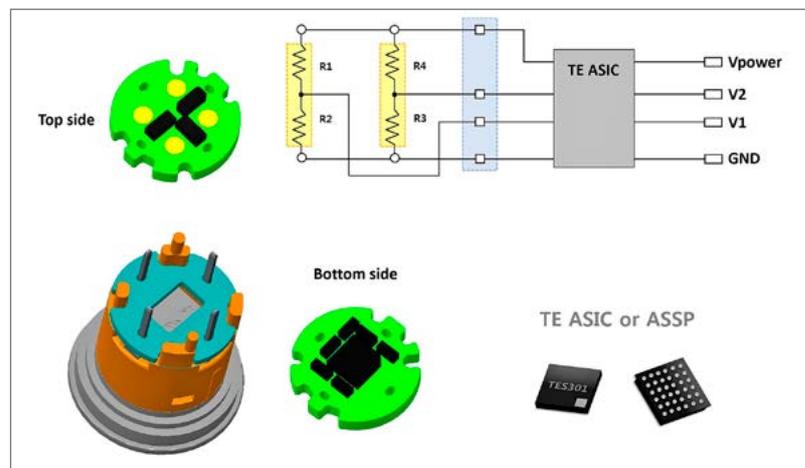


Bild 16

**Sensordlösung für
Mitteldruckanwendungen
(5...50/100 bar)**

Als Membran eines Sensors für Mitteldruckanwendungen lässt sich entweder ein dünnes Edelstahlblech nutzen oder eine Keramikmembran. Bei der Edelstahlvariante muss das dünne Blech in einem verhältnismäßig aufwändigen Prozess allseitig absolut dicht mit dem Grundkörper des Sensors verschweißt werden. TE bevorzugt deshalb die Nutzung von Keramik und entwickelt derzeit eine Lösung für eine Knopfzelle mit Keramikmembran (Bild 17 und 18).

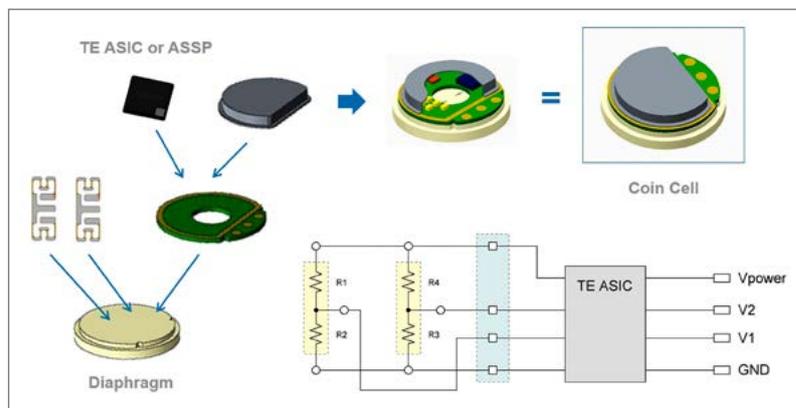


Bild 17

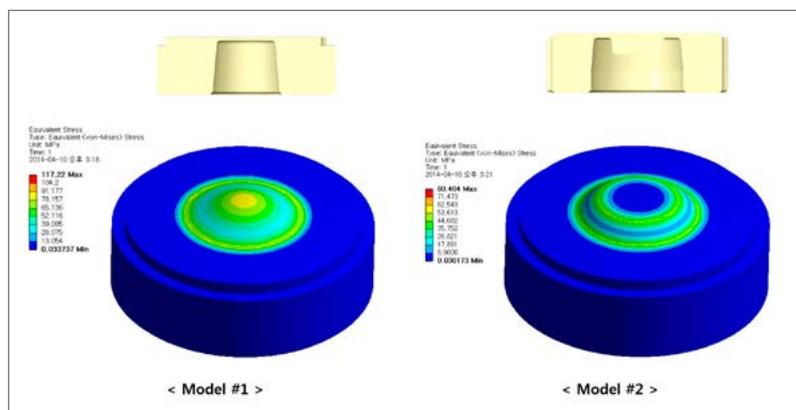


Bild 18

Ausblick

Anwendungen bestimmen die Technologien

TE Connectivity zählt zu den führenden Anbietern von automobilen Sensorlösungen. Die Kompetenz deckt einerseits die gesamte Kette von der Auslegung des Sensors über die Umsetzung des Konzeptes, den Musteraufbau und die Serienherstellung ab. Gerade Fertigungsprozesse mit Schritten wie Vereinzelung, Gießen, Lötten/-Schweißen, Kontaktieren und Einhausen sind ein wichtiger Qualitätsfaktor. Andererseits kommt zu jeder Sensortechnologie noch detailliertes Applikationswissen hinzu, das zur optimalen Nutzung des gewählten Sensorprinzips oft unerlässlich ist – etwa bei der Auslegung eines Magnetkreises.

Je nach Messaufgabe umfasst das Portfolio sowohl Stand-alone Sensoren als auch komplexe Sensormodule. Im Zuge der bereits begonnenen und kontinuierlich weiter laufenden Portfolioausweitung werden sukzessive Sensorlösungen für alle wesentlichen physikalischen Größen, beispielsweise auch für Temperaturmessungen, hinzukommen.

Informationen zu TE Connectivity

TE Connectivity (NYSE: TEL) ist ein weltweit führendes Unternehmen in Verbindungstechnologie mit einem Gesamtumsatz von 13 Milliarden USD. Das Unternehmen entwickelt und fertigt Produkte auf dem Gebiet der elektronischen Verbindungsteile für die weltweit führenden Industrien, einschließlich der Automobilindustrie, Energiewirtschaft und Industrie, Breitbandkommunikationstechnik, Konsumer-Geräte, Medizintechnik und der Luftfahrtindustrie und Verteidigungstechnik. Das dauerhafte Engagement von TE Connectivity bei der Herstellung innovativer und ausgereifter Produkte hilft den Kunden, ihren Bedarf nach mehr Energieeffizienz, Always-on-Verbindungen und wachsender Produktivität zu decken. Mit nahezu 90.000 Mitarbeitern in mehr als 50 Ländern schafft TE Connectivity weltweit Verbindungen, auf die jederzeit Verlass ist. Setzen Sie sich mit dem Unternehmen in Verbindung auf: www.TE.com.

**Tyco Electronics AMP GmbH,
a TE Connectivity Ltd. company**

AMPèrestraße 12-14
64625 Bensheim



www.te.com | www.te.com/transportationsensors

© 2014 TE Connectivity Gesellschaften. Alle Rechte vorbehalten.

TE, TE Connectivity und TE Connectivity (Logo) sind Marken.

Andere hier aufgeführte Produkt- oder Firmennamen können Marken der jeweiligen Inhaber sein.

DISCLAIMER Auch wenn TE Connectivity (TE) bemüht ist, die Korrektheit der Informationen in diesem Beitrag sicherzustellen, übernimmt TE keinerlei Gewährleistung dafür, dass diese fehlerfrei, zutreffend, korrekt, verlässlich oder aktuell sind. TE behält sich das Recht vor, die genannten Informationen jederzeit ohne Ankündigung zu ändern. TE weist ausdrücklich jegliche Gewährleistung hinsichtlich der genannten Informationen zurück, einschließlich der implizierten Gewährleistung der Marktgängigkeit oder Eignung für bestimmte Zwecke.