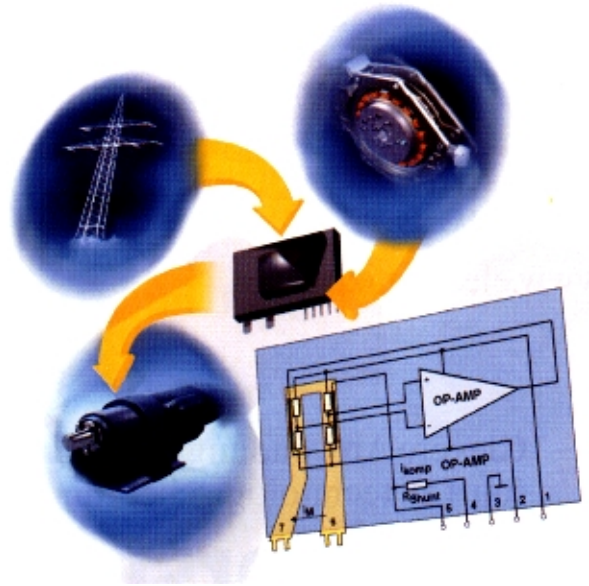


Helmuth Lemme

Ein Modul für alle Strombereiche

Magneto-resistive Stromsensoren kompakt wie noch nie



Stromstärken zu messen, ist nicht immer so einfach, wie man meinen könnte. Speziell dann, wenn das Meßsignal elektronisch weiterverarbeitet werden soll. Denn dazu muß es vom zu überwachenden Stromkreis galvanisch getrennt sein. Derartige Meßeinrichtungen sind bisher meist großvolumig und technisch aufwendig. Eine neue Generation von Stromsensoren, basierend auf dem magneto-resistiven Effekt, hat jetzt äußerst kompakte Abmessungen, enge Meßtoleranz und hohe Bandbreite und das alles zu einem niedrigen Preis.

Einfach ein Amperemeter in den Stromkreis zu schalten und den Wert abzulesen, entspricht nicht mehr den heutigen Bedürfnissen. Sehr häufig soll der Strom als Meßgröße einem Rechner zugeführt werden. Hierfür finden Stromsensoren Einsatz, die ihn mit minimaler Rückwirkung auf den Meßkreis in eine proportionale Spannung umformen. Gefordert ist dabei eine galvanische Trennung, außerdem auch eine möglichst hohe Bandbreite – in der Praxis meist von Gleichstrom bis mindestens 100 kHz.

Die älteste von allen Methoden besteht darin, den Spannungsabfall an einem in die Meßleitung eingefügten Widerstand zu messen. Um die Verluste niedrig zu halten, macht man diesen sehr klein; die Meßspannung braucht deshalb eine hohe Verstärkung. Der Verstärker muß eine möglichst geringe Offsetspannung haben und erfordert eine Versorgung auf dem Potential des Meßkreises (häufig 230 V Netzspannung, mit Störspitzen verseucht); sein Ausgang muß aber davon isoliert sein. Das alles treibt die Kosten in die Höhe.

Ein anderes weitverbreitetes Prinzip, der Stromwandler, ist im Aufbau sehr viel einfacher. Im Grunde ist er nichts anderes als ein Transformator, er erfährt deshalb keine Gleichströme. Isolation zwischen Primär- und Sekundärseite ist grundsätzlich gegeben. Ein Problem ist der begrenzte Frequenzumfang.

Schon praktikabler: Hall-Stromsensoren

Diese registrieren ebenfalls das den Leiter umgebende Magnetfeld, im Gegensatz zu den Stromwandlern erfassen sie jedoch auch Gleichströme. Um den Leiter herum ist ein ringförmiger Kern aus weichmagnetischem Material gelegt, der das Feld konzentriert. In einem Luftspalt sitzt das Hall-Element, das als Meßsignal eine Spannung proportional zum gemessenen Strom abgibt. Auch dieser Sensor bietet eine galvanische Trennung.

Die sehr kleine Ausgangsspannung des Hall-Elements muß hoch verstärkt werden; die Empfindlichkeit ist temperaturabhängig und benötigt eine entsprechende Kompensation. Problematisch ist bei den praktischen Ausführungen der unvermeidliche Offset, d.h. eine kleine Gleichspannung beim Strom 0. Deren Höhe und Temperaturkoeffizient unterliegen erheblichen Exemplarstreuungen, die Beseitigung gelingt auch mit hohem Aufwand erfahrungsgemäß nur unvollkommen. Je schwächer der zu messende Strom, um so größer wird der dadurch verursachte relative Fehler. Ein weiteres Problem ist die Empfindlichkeit für kurzzeitige Stromspitzen im Meßkreis: Diese können bei hoher Aus-

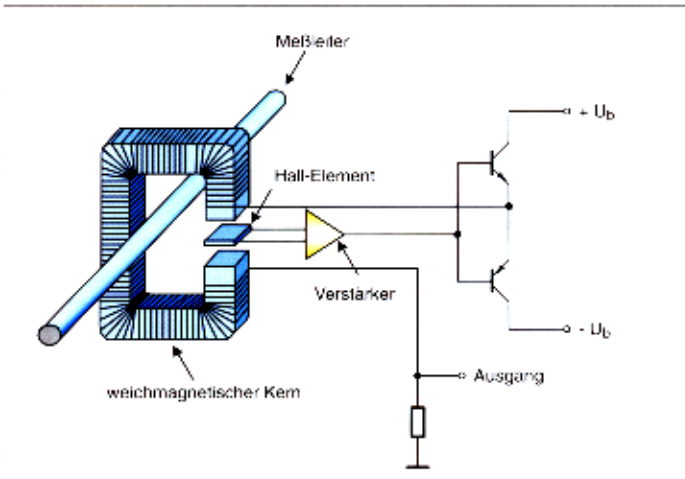


Bild 1. Hall-Stromsensor mit geschlossener Regelschleife, sehr viel genauer als der direktabbildende, dafür aber teuer .

steuerung des Kerns entsprechend seiner Hysterese-Eigenschaften eine statische Magnetisierung des Kernmaterials hervorrufen, die eine bleibende Remanenz zur Folge hat und zu Offset-Änderungen des Hall-Elements führt.

In der Praxis unterscheidet man zwei Arten von Halleffekt-Stromsensoren: „direktabbildende“ und solche mit geschlossener Regelschleife. Bei den ersteren wird das verstärkte Ausgangssignal des Hall-Elements unmittelbar als

Meßsignal verwendet. Die Linearität hängt von der des magnetischen Kerns ab, Offset und Drift werden vom Hall-Element und vom Verstärker bestimmt. Solche Sensoren sind kostengünstig, dafür ist ihre Genauigkeit aber nicht sehr hoch.

Sehr viel präziser sind Hall-Sensoren mit geschlossener Schleife. Hier erhält die Hall-Spannung zunächst eine sehr hohe Leerlaufverstärkung; der Ausgangsstrom des Verstärkers fließt dann durch eine Kompensationswicklung auf dem magnetischen Kern (Bild 1). In diesem erzeugt er eine Magnetisierung der gleichen Stärke, aber entgegengesetzter Richtung wie der stromführende Leiter, so daß der magnetische Fluß im Kern auf annähernd Null ausgeregelt wird. (Das Prinzip ähnelt einem im invertierenden Betrieb arbeitenden Operationsverstärker, bei dem die Eingangsspannung auch immer dicht bei Null bleibt.) Die Nichtlinearität und die Temperaturabhängigkeit des Hall-Elements fallen bei diesem Meßprinzip heraus, der Offset bleibt allerdings. In dieser Weise aufgebaute Stromsensoren eignen sich für Frequenzen bis etwa 150 kHz. Sie sind jedoch nicht billig, und für hohe Ströme werden sie sehr klobig.

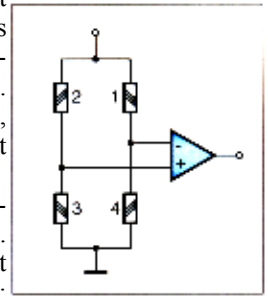


Bild 2. Magnetoresistive Sensorbrücke mit Geradenverstärker, empfindlich für homogene Fernfelder, mit Linearität nur in einem engen Bereich.

Optimal: Das magnetoresistive Prinzip

Praktische Magnetfeldsensoren auf Basis des magnetoresistiven Effekts (s. *Kasten* „Der magnetoresistive Effekt“) lassen sich in Dünnschichttechnik mit Längen und Breiten im μm -Bereich leicht herstellen, sie sind seit Jahren in zahllosen verschiedenen Ausführungen in Produktion 31. Um die Temperaturabhängigkeit zu verringern, führt man sie meist als Halb- oder Vollbrücke aus; die Barberpole-Streifen sind über beiden Widerständen einer Halb-brücke gegensinnig angeordnet, so daß sich im Magnetfeld der eine erhöht, der andere erniedrigt (Bild 2).

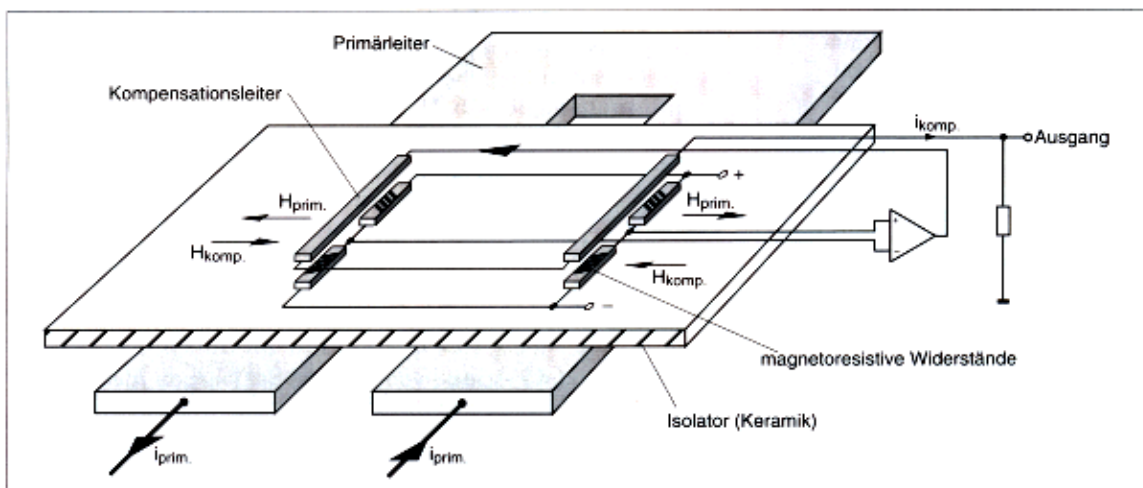


Bild 3. Magnetoresistiver Stromsensor, nur empfindlich für Differenzfelder, nicht für homogene Felder. Dazu ist die Richtung der Barberpole-Streifen auf den beiden Brücken-zweigen gegenüber Bild 2 geändert.

Hochwertige Sensoren sollen eine möglichst gute Linearität zwischen Meßgröße (Magnetfeld) und Ausgangssignal haben. Trotz der Verbesserung durch die Barberpole-Streifen ist diese bei MR-Sensoren nicht besonders hoch. Man verwendet daher vielfach das beim Hall-Sensor bereits erwähnte Kompensationsprinzip mit geschlossener Regel-schleife. Dazu wird unmittelbar über die Permalloy-Widerstände auf demselben Substrat eine weitere, elektrisch isolierte Leiterbahn aus Aluminium gelegt (Bilder 3 und 4).

Der durch diese fließende Strom erzeugt ein Magnetfeld, welches das des Meßleiters gerade eben kompensiert. So arbeiten die MR-Elemente immer in unmittelbarer Nähe ihres Nullpunktes; ihre Nichtlinearität spielt damit praktisch keine Rolle mehr. Auch die Temperaturabhängigkeit fällt fast vollständig heraus. Der Strom im Kompensationsleiter ist streng proportional zur gemessenen Feldstärke; der am Arbeitswiderstand auftretende Spannungsabfall dient als elektrisches Ausgangssignal.

Der magnetoresistive Effekt

Der anisotrope magnetoresistive Effekt tritt auf bei metallischen ferromagnetischen Werkstoffen, wenn diesenauf-

hängt von der einwirkenden magnetischen Feldstärke und vom Winkel θ zwischen Magnetisierungsrichtung und

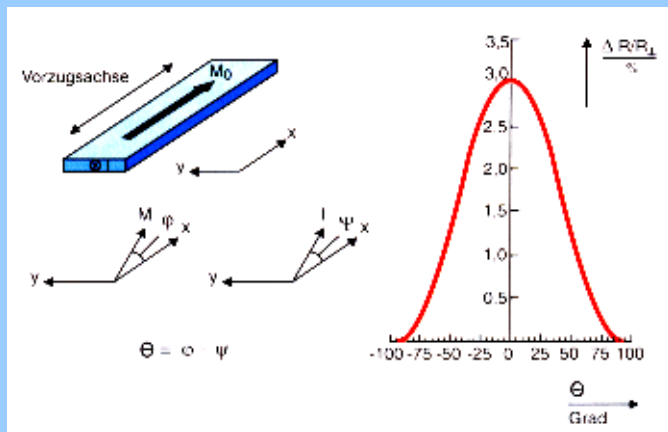


Bild A. Unbehandelter Permalloy-Streifen, links Definition der Winkel von Magnetisierung M und Stromrichtung I rechts $\Delta R/R_0$ verlauf in Abhängigkeit von Winkel $\theta = \phi - \psi$

grund ihrer Kristallgitterstruktur oder auch durch gezielte Formgebung eine bestimmte magnetische Vorzugsrichtung der Magnetisierung, also Kristall- oder Form-Anisotropie, eingeprägt ist. Das günstigste Material hierfür ist Mu-Metall (Permalloy, ca. 81 % Nickel, 19 % Eisen) in Schichtdicken von ca. 20 bis 30 nm. Bei langen, schmalen Streifen bildet sich infolge der Form-Anisotropie eine innere Magnetisierung M_0 in Längsrichtung aus. Wirkt jetzt ein externes Magnetfeld ein, dann wird die Gesamtmagnetisierung M gegenüber der x-Richtung um den Winkel ϕ verdreht (Bild A, links). Der elektrische Widerstand eines solchen Streifens

hängt von der einwirkenden magnetischen Feldstärke und vom Winkel θ zwischen Magnetisierungsrichtung und Stromrichtung ab, er zeigt den rechts im Bild dargestellten glockenförmigen Verlauf. Wenn beide parallel verlaufen, ist der Widerstand am größten, bei einem rechten Winkel zwischen beiden am kleinsten. Die maximale Widerstandsänderung liegt in der Größenordnung von einigen Prozent vom Gesamtwiderstand. Sie ist proportional zum Quadrat der magnetischen Feldstärke die Polung spielt demnach keine Rolle. Dieser Zusammenhang gilt bis zu einer bestimmten Materialstärke H_0 ; bei höheren Werten ändert sich der Widerstand nicht weiter.

Wenn der Strom genau in

Richtung des Streifens fließt, ist der Winkel $\psi = 0$, also $\theta = \phi$. Um den Effekt praktisch besser nutzen zu können, bedampft man den Widerstandsstreifen mit gut leitfähigen Streifen aus Aluminium („Barberpole“), ausgerichtet im Winkel von 45° (Bild B, links), so daß der Strom in einem Winkel $\psi = 45^\circ$ zur Längsrichtung durch das Permalloy fließt. So ergibt sich ein günstiger Arbeitspunkt mit eindeutiger Richtungsabhängigkeit und verbesserter Linearität. Ohne externes Feld hat der Widerstand letz einen mittleren Wert bei der einen Feldrichtung erhöht er sich bei der entgegengesetzten sinkt er Innerhalb eines gewissen Bereiches ist der Zusammenhang halbwegs linear (Bild B, rechts). Um die innere Ma-

gnetisierungsrichtung eindeutig festzulegen, werden kleine Permanentmagnete neben dem Sensorstreifen angeordnet die ein Feld in Längsrichtung vorgeben; die Empfindlichkeitsrichtung verläuft dagegen quer. Magnetoresistive Sensoren arbeiten bis zu sehr viel höheren Frequenzen als alle anderen (wie etwa Hall-Sensoren), typisch bis etwa 1 MHz. Damit eignen sie sich auch für viele EMV-Untersuchungen. Sie halten im Dauerbetrieb 150°C und kurzzeitig sogar 190°C aus, damit sind sie problemlos im Motorbereich von Kraftfahrzeugen einsetzbar Ihr Offset ist deutlich kleiner als der von Hall-Sensoren, sie sind wesentlich empfindlicher und damit für schwache Felder bis in den nT Bereich herab geeignet

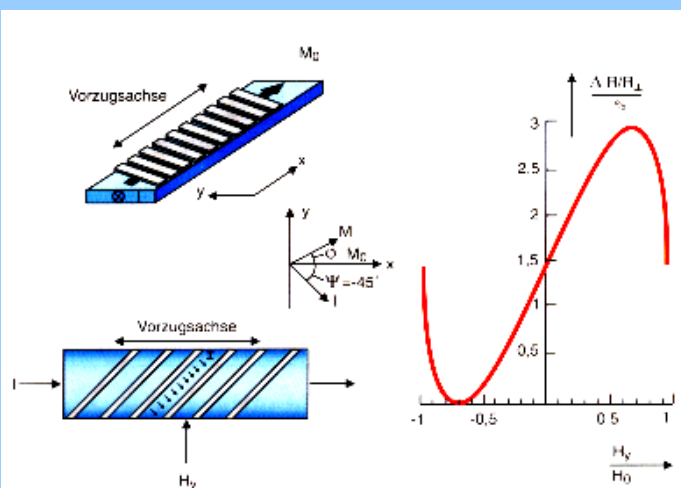


Bild 8. Im Winkel von 45° schräg verlaufende, gut leitende Aluminiumstreifen („Barberpoles“) auf der Permalloy Schicht (links) bringen den Widerstand (rechts) ohne externes Magnetfeld auf einen mittleren Wert so daß die Feldrichtung erkennbar wird.

Magnetoresistive Sensoren lassen sich mit Erfolg ähnlich wie Hall-Elemente als Stromsensoren einsetzen. Wichtig ist dabei, daß externe Magnetfelder den Meßwert nicht verfälschen. Dazu bildet man eine Vollbrücke aus vier Einzelwiderständen, wobei beide Brückenarme räumlich etwas auseinandergerückt und so ausgeführt sind, daß aus der Ferne kommende Magnetfelder, die beide gleich stark durchfluten, keine Brücken-Ausgangsspannung erzeugen.

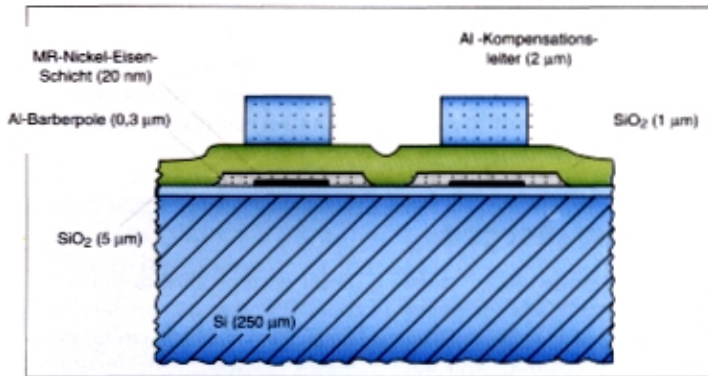


Bild 4. Querschnitt durch einen magnetoresistiven Sensor mit Kompensation. Der dafür notwendige zusätzliche Stromleiter liegt isoliert über den Barberpole-Streifen.

Indem die Barberpole-Streifen auf beiden Brückenarmen gleichsinnig angeordnet sind, hat nur die Differenz der Felder zwischen beiden Positionen eine Wirkung. Gegen homogene Störfelder aus weiter Entfernung ist die Anordnung unempfindlich. Der Stromleiter ist unter dem Substrat U-förmig gebogen, so daß er unter beiden Brückenarmen betragsmäßig gleiche, aber entgegengesetzt gepolte Magnetfelder erzeugt. Damit addieren sich die von beiden Halbbrückenarmen abgegebenen Signalspannungen.

Derartige Stromsensoren sind bereits seit einigen Jahren in Produktion *Bild 5 a/b* zeigt ein typisches Exemplar der Fa. Sensitec, einer Ausgründung aus der Lust Antriebs-technik in Lahnau bei Wetzlar. Als Substrat dient eine Keramikplatte; der Meßleiter ist auf der Unterseite des Substrats angebracht, so daß eine Isolationsfestigkeit im kVBereich erreicht wird.

Diese Sensoren brauchen weder einen Eisenkern noch eine magnetische Abschirmung, damit lassen sie sich äußerst kompakt und preiswert aufbauen. Sie erreichen hohe Genauigkeit: der Linearitätsfehler liegt unter 0,1 %, der Verstärkungsfehler unter 0,2 %, die Offsetspannung unter 10 mV, der Temperaturkoeffizient der Verstärkung unter 100 ppm/K. Das Ausgangssignal wird durch Laserabgleich des Arbeitswiderstandes auf 2,5 V bei Nennstrom eingestellt. Die Anstiegszeit von 10 % auf 90 % ist etwa 1,7 µs, entsprechend einer Grenzfrequenz über 50 kHz bei

1 dB Abfall; dieser Wert resultiert aus der Einstellgeschwindigkeit der Regelschleife. Der Sensor benötigt eine übliche Versorgungsspannung von ±15 V und nimmt je nach Meßwert 320 bis 640 mW Leistung auf.

Der eigentliche MR-Chip mit vier Permalloy-Streifen auf Silizium ist 1 x 2 mm² groß, die Brückenarme haben einen Abstand von 1,6 mm (*Bild 6*). Er ist zusammen mit der zugehörigen Elektronik auf einer 35 x 23 mm² großen

Single-in-line-Hybridschaltung montiert, die sich denkbar einfach bestücken läßt. Die Baureihe CMS2000 umfaßt Ausführungen für Nennströme von 5, 15, 25 und 50 A.

Die Vorteile der MR-Stromsensoren:

- deutlich geringeres Bauvolumen und Gewicht im Vergleich zu herkömmlichen Stromsensoren, dadurch erhöhte Freiheit beim Gerätedesign,
- keine Remanenz bei Überlastung,
- verlustfreie Messung von Gleich- und Wechselströmen,
- großer Frequenzumfang dank niederinduktivem Aufbau,
- keine Hilfsenergie auf dem Potential des zu messenden Stromes erforderlich, dadurch einfache Anwendung,
- geringe Systemkosten.

Die Anwendungsfelder sind breit gestreut: Energieverteilung, leistungselektronische Baugruppen wie Umrichter und Netzgeräte, Batterie-Management (Lade- und Entladeströme), Solarstromanlagen, Elektrofahrzeuge, Notstromanlagen, Robotik, Automobiltechnik („Drive by wire“), Sicherheitstechnik

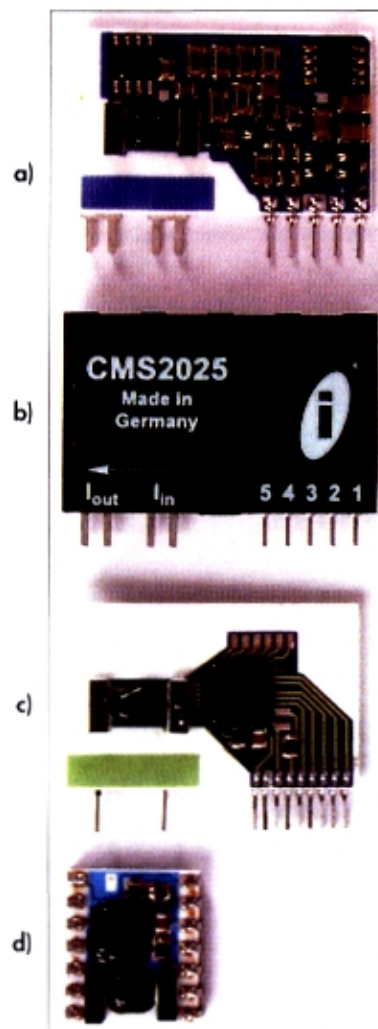
usw. Natürlich finden die Sensoren auch Anwendung in den Antriebsreglern der Lust Antriebs-technik, denn dafür wurden sie ja ursprünglich einmal entwickelt (*Bild 7*).

Wird der gewonnene Meßwert einem Rechner zugeleitet, dann kann dieser unter Einberechnung der Spannung die Wirk-, Blind- und Scheinleistung sowie den Leistungsfaktor ermitteln sowie auch bei Überschreitung von Grenzwerten eine Abschaltung auslösen.

Ist die Signalaufbereitungs-Elektronik bei der Reihe CMS2000 noch diskret aufgebaut, so ist sie bei den 1999 neu eingeführten Reihen CMS1000 und CDS3000 in einem ASIC zusammengefaßt (*Bild 5c*). Dieses arbeitet schneller als die diskrete Schaltung und reicht bis 100 kHz, damit deckt der Sensor ein breites Anwen-

Bild 5. Praktische Ausführung von magnetoresistiven Stromsensoren:

- a) offene Hybridschaltung (1993); b) geschlossenes Standardelement (1993); c) neue Bauform mit ASIC (1999); d) SMD-Ausführung zur freien Verwendung mit beliebigen Stromleitern (1999).



(Foto: Sensitec)

nungsspektrum ab. Die Ausgangsspannung ist zwecks optimaler Anpassung an einen nachfolgenden AID-Wandler skalierbar. Zusätzliche Funktionen sind ein Komparator mit einstellbarem Schwellwert für Kurz- und Erdschlußüberwachung (verkettbar für dreiphasige Netze) sowie ein Schaltungsteil zur Ermittlung des Effektivwertes. Diese Sensoren kommen mit einer einfachen Spannungsversorgung von +5 V aus, kompatibel zu vielen Digitalschaltungen. Der eisenlose Aufbau kennt keine Remanenz, Überströme verursachen keine bleibenden Veränderungen beim Offset. Die auch hier verwendete Kompensationsmethode gewährleistet hohe Linearität. Der Flächenbedarf auf der Leiterplatte ist klein, die Montage denkbar einfach.

Durch das ASIC kann das Strommeßsystem auch nach dem Einbau per Software abgeglichen werden. Die Kali-

brierparameter werden auf dem Chip abgespeichert. Der MR-Sensor befindet sich nach wie vor auf einem separaten Siliziumträger. Eine gemeinsame Integration von beiden ist möglich, aber zur Zeit noch weitaus teurer.

Ein Hauptanwendungsfeld wird in der Automobilelektronik liegen (s. *Kasten* „Stromsensoren im Auto von morgen“), daneben sind auch im Maschinen- und Anlagenbau, der Automation sowie der Gebäudetechnik zahllose Einsatzmöglichkeiten zu erwarten.

Die bisherigen Standard-Typen sind durch die direkte Verbindung mit dem Primärstromleiter für jeweils definierte Strommeßbereiche ausgelegt. Wie neue Applikationen aus dem Automobilbereich (s. *Kasten*) und eine zur HMI

Stromsensoren im Auto von Morgen

Kraftstoffeinsparung mit allen Mitteln – unter diesem Motto steht zur Zeit die Automobilentwicklung.

Nicht nur der Verbrennungsmotor selbst wird dazu immer weiter durchoptimiert, auch sämtliche mit ihm verbundenen Nebenaggregate. Auf diesem

Wege wird vieles, was derzeit noch direkt vom Motor angetrieben wird, elektrifiziert – z.B. Klimakompressorpumpe, Wasserpumpe, Ölpumpe usw. Diese Elemente arbeiten bisher infolge der stark

schwankenden Motor-drehzahl zum Teil mit ex-trem schlechten Wirkungsgraden. Mit den vielen zusätzlichen Verbrauchern wäre allerdings das derzeitige 12-V-Bordnetz völlig überfordert. Besser als Ströme und Kabelquerschnitte zu vergrößern, ist ein Übergang zu einer höheren Systemspannung. Sie wird in Zukunft einheitlich 42 V betragen. Das wichtigste neue Aggregat, das in einigen Jah-

ren in die Serien-PKWs einziehen soll, ist der „Kurbelwellen-Starter-Generator“ (KSG), der von der Mannesmann Sachs AG auf der diesjährigen IAA in Frankfurt präsentiert wird. Er ist eine permanenterregte

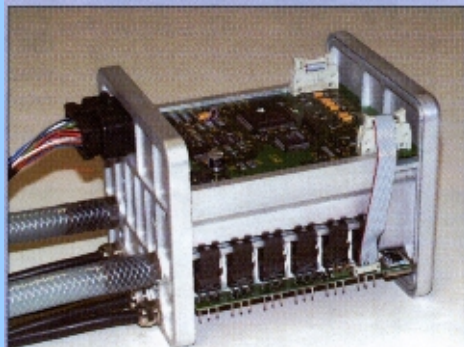


Bild 1. Dreiphasen-Wechselrichter für den Kurbelwellen-Starter-Generator. Hierbei sind Stromsensoren in den drei Strängen unerlässlich. Dieser kombinier- te Starter-Generator wird von Mannes- mann-Sachs auf der diesjährigen inter- nationalen Automobil-Ausstellung (IAA) man sie immer innerst- mals vorgestellt.

den optimalen Betriebspunkt bringen, unabhängig von der Drehzahl des Verbrennungsmotors.

Mit den vielen zusätzlichen Verbrauchern wäre allerdings das derzeitige 12-V-Bordnetz völlig überfordert. Besser als Ströme und Kabelquerschnitte zu vergrößern, ist ein Übergang zu einer höheren Systemspannung. Sie wird in Zukunft einheitlich 42 V betragen.

Das wichtigste neue Aggregat, das in einigen Jah-

Dreiphasen-Synchronmaschine, die in das Schwungrad der Kupplung integriert ist und Starter und Lichtmaschine vereint. In beiden Betriebsweisen erhöht sich der Wirkungsgrad ganz wesentlich. Der Motor-start erfolgt mit höherer Drehzahl, anschließend wird eine beträchtlich gesteigerte elektrische Leistung erzeugt, ohne daß die dafür erforderliche mechanische Leistung ansteigt. Damit wird sich dann ein effektives Start-Stop-

System realisieren lassen: Bei jedem Halt wird der Motor abgestellt und erst zur Weiterfahrt wieder gestartet – automatisch durch Druck aufs Kupplungspedal, der Fahrer merkt kaum etwas davon. Die Summe aller dieser neuen Maßnahmen soll Kraftstoffeinsparungen bis zu 30 % möglich machen.

Die erforderliche Leistungselektronik ist ein klassischer dreiphasiger MOSFET-Wechselrichter. *Bild 1* zeigt einen Prototyp von Mannesmann-Sachs. Für eine optimale Steuerung müssen die Betriebsströme in zwei Strängen gemessen werden; im dritten lassen sie sich dann errechnen. Hier finden

Stromleiter. Dieser wird als Busbar in Form eines 0,8 mm dicken Kupferblechs vom Hersteller selbst gefertigt. An der Stelle, wo der Sensor sitzt, erhält der Busbar eine U-förmige Schleife, um das notwendige differentielle Magnetfeld zu erzeugen. Der Sensor ist als SMD-Bauelement auf einer konventionellen Leiterplatte unmittelbar oberhalb der U-Schleife fixiert (*Bild 2*). Um ihn präzise zu positionieren, haben Busbar und Platine je ein kleines Zentrierloch. Nach dem Einbau wird der Sensor dann elektronisch kalibriert.

Vorteilhaft bei dieser Anordnung ist einerseits, daß der stromführende Leiter nicht unterbrochen oder durch den Sensor hindurchgesteckt werden muß, wodurch sich die Fertigung deutlich vereinfacht. Andererseits ergeben sich Kostenvorteile dadurch, daß unabhängig von der Größe des zu messenden Stroms (1 bis 1000 A) immer der gleiche Sensorchip eingesetzt werden kann. Je nach gewünschtem Strombereich muß nur die

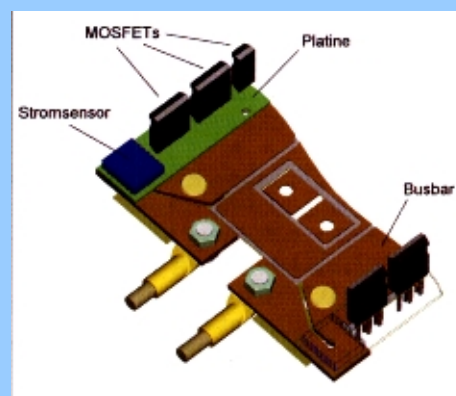


Bild 2. Die Stromsensoren — hier SMD-Ausführungen ohne eigenen Stromleiter — werden über einer U-Schleife im Busbar montiert.

(Bilder: Mannesmann-Sachs, www.sachs-ag.de)

Stromsensoren von Sensitec Einsatz. Es handelt sich um eine kundenspezifische Version aus dem reinen Sensorteil, ohne anmontierten

U-förmige Busbar-Schleife darunter anders ausgeformt werden. Das vereinfacht natürlich die ganze Logistik.

und PCIM vorgestellte Studie zu einem neuen Universalbauelement zeigen, muß das aber nicht so sein. Hier wird im übrigen ein wesentlicher Vorteil der neuen Stromsensorik auf Basis des magnetoresistiven Effektes erst richtig sichtbar. Die Hochstromverbindung muß nicht mehr, wie von den herkömmlichen Hall-Wandlern gewohnt, unterbrochen oder sonstwie durch einen Durchsteckwandler geführt werden. Statt dessen kann sie in Form einer Busbarverbindungsplatte ausgebildet werden. Ein in SMD-Ausführung aufgebautes Sensormodul (Bild 5d) kann auf der Leistungs-Leiterplatte montiert und so zur Busbar-Platte angeordnet werden, daß der Stromfluß direkt in dieser gemessen werden kann.

Eine ausgesprochen clevere und kostengünstige Lösung für die Messung hoher Ströme, insbesondere in Serienanwendungen, wurde in Form einer Studie zur PCIM in Nürnberg vorgestellt und erregte dort große Aufmerksamkeit. Bei dieser Bauform wird der Strom direkt im Primärleiter (Flachleiter, Leiterplatte) gemessen; dieser ist mit einem Schlitz versehen, in den das Sensormodul eingeklippt wird (Bild 8). Es ist auch wieder als Gradientenmeßsystem ausgebildet und dadurch unempfindlich gegen äußere Störfelder. Auf einem

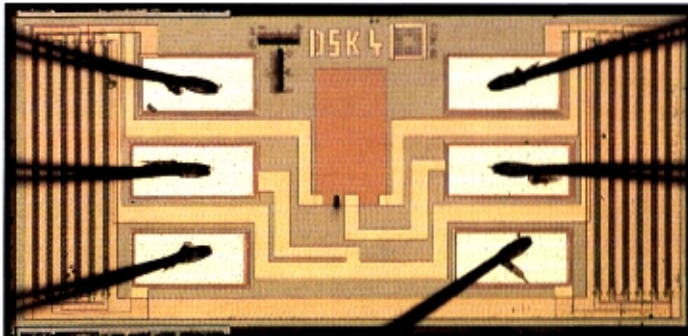


Bild 6. Das eigentliche Sensorelement: magnetoresistive Permalloy-Streifen auf Silizium-Träger

(Foto: Sensitec, www.)

geeignet geformten Träger sind Feldsensor und ASIC montiert, das ganze wird in eine Kunststoffmasse eingebettet. Bild 9 zeigt den Aufbau im Querschnitt. Mit diesem Meßelement läßt sich durch einfache Anpassung der Primärleitergeometrie ein sehr weiter Strommeßbereich abdecken. Eventuell vorhandene asymmetrische Störfelder können einfach abgeschirmt werden.

Die Vorteile liegen auf der Hand: Dieses Strommeßsystem ist nicht nur klein, kompakt und leicht, sondern auch kostengünstig und leicht montierbar; dazu vereinfacht es die Lagerhaltung. Der Stromleiter kann hier Teil des Endgerätes sein und muß nicht separat angebracht werden. Damit eröffnen sich völlig neue Konstruktionsmöglichkeiten für die Entwickler von leistungselektronischen Baugruppen und Geräten, wie zum Beispiel Netzgeräten und Frequenzumrichtern. Erste Lösungen aus dem Automobilbereich (s. Kasten) zeigen, was möglich ist. Man kann gespannt sein, welche aufbautechnischen Lösungen in Kürze in der Leistungselektronik zum Thema Strommessung mit den Sensoren von Sensitec auftauchen werden. Die Kreativität der Entwickler solcher Geräte ist auf jeden Fall neu herausgefordert.

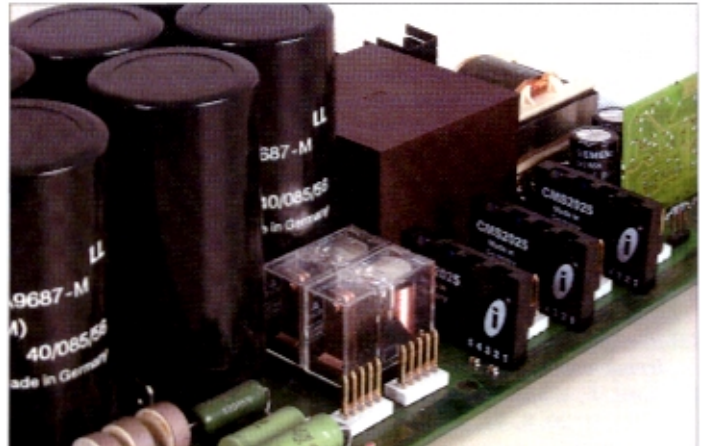


Bild 7. Anwendung von drei Stromsensoren in einem Frequenzumrichter.

(Foto: Lust Antriebstechnik, www. lust-tec.de)

Zukunftsmusik:

Höchste Präzision durch Flippen

Der Offset bei der Sensorreihe CMS2000 ist mit maximal 10 mV angegeben. Bei 50 A Nennstrom entspricht das einem Strom von ± 200 mA und einem Fehler von 0,4 %. Das ist im Vergleich mit anderen Sensoren ein kleiner Fehler. Denkt man jedoch an Batterie-Management oder die Erfassung von sehr kleinen und sehr großen Strömen mit ein und derselben Sensoranordnung, so stößt man an die Grenzen herkömmlicher Sensoren. Die dafür erforderliche hohe Präzision ist über die Verbesserung der Herstellungsverfahren oder Maßnahmen der Signalauswerteverfahren nicht erreichbar. Deshalb wurde in einem vom BMBF geförderten Förderprojekt namens FEMTO (Projektpartner:

IMO/ Wetzlar, Lust Antriebs-technik GmbH! Lahnu, Philips! Hamburg, Siebert TFT/Hermsdorf) eine neue Technologie ent-

wickelt. Bei dieser kann durch einen zusätzlichen Flip-Leiter die Empfindlichkeitsrichtung der Sensordomänen umgeschaltet werden [7].



Bild 8. Neuester Typ mit geschlitztem Stromleiter (einfache Kupferschiene, hier für 200 A), in den das Sensormodul eingeklippt wird.

(Foto: Sensitec)

Diese Sensoren sind bisher nicht käuflich, sondern befinden sich noch im Entwicklungsstadium. Die Labormuster zeigen

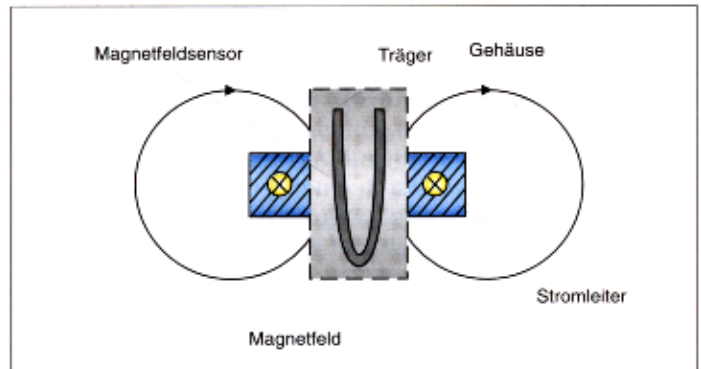
aber vielversprechende Eigenschaften: Der durch den Offset verursachte Meßfehler konnte im Vergleich zu den derzeitigen Typen um einen Faktor von mindestens 10 bis deutlich unter 0,1 % verringert werden, und die Temperaturdrift ist nahezu vollständig beseitigt. Die wesentlich höhere Empfindlichkeit bringt feinere Auflösung und gesteigerte Genauigkeit bei schwachen magnetischen Nutzsensoren. Der Flip-Impuls hat aufgrund seiner geringen Dauer nur geringen Einfluß auf das dynamische Verhalten.

Auch dieser Sensor erfasst Signalfrequenzen bis 100 kHz (-1 dB). Damit werden in naher Zukunft Sensorchips zur Verfügung stehen, mit denen weitere Anwendungsfelder erschlossen werden können.

literatur

- [1] Lemme, H.: Magnetfeld-Sensoren – vielseitige Helfer. *Elektronik* 1998, H. 3, S. 40.
- [2] Petersen, A.: Magneto-resistive Sensoren im Kfz. *Elektronik* 1985, H. 10, S. 99 bis 102.
- [3] Reiniger, G.: Drehwinkel-messung mit Magnetfeldsensoren. *Elektronik* 1986, H. 23, S. 129.
- [4] Bühl, J.; Walther, T.: Stromsensor als Mikrosystem. *Elektronik* 1993, H. 20, S. 42.
- [5] Göpel, W.; Hesse, J.; Zemel, J.N.: Sensors – A Comprehensive Survey, Bd. 5. VCH-Verlag, Weinheim 1989.
- [6] Kunze, J.: Magneto-resistive Sensoren mit verbesserter Nullpunktstabilität. Symposium Magneto-resistive Sensoren IV, IMO eV., Wetzlar 1997.
- [7] Kunze, J.; Schepp, G.: Entwicklung und Anwendung von magneto-resistiven Sensoren für die hochpräzise potentialfreie Strommessung. Symposium Magneto-resistive Sensoren V, IMO eV., Wetzlar 1999.
- [8] Drafts, B.: Survey of Current Sensors. Powersystems World '97, Baltimore, 6. bis 12. 9. 1997.

Bild 9. Querschnitt durch den Hochstromsensor,



Verlauf der magnetischen Feldlinien und Platzierung der beiden Sensorelemente. Die ganze Anordnung wird in Kunststoffmasse gekapselt.

Dipl.-Phys. Helmuth Lemme ist freier Mitarbeiter der *Elektronik* und betreut u a die Fachbereiche Sensorik Photovoltaik HF Technik und Optoelektronik
E Mail hewlemme@aol.com