

Langlebige gute Beziehungen

Von Messungen mit Stromsensoren in der industriellen Leistungselektronik

Ströme messen kann ein Ingenieur mit Shunts oder Open- und Closed-Loop-Sensoren. Welche kleinen Hinterhalte die verschiedenen Verfahren aufweisen, was Strommesstechnik eigentlich leisten muss, und welche Sensoren sich an welche Applikation richten, zeigt VAC im folgenden Beitrag. *Autor: Klaus Reichert*

Wer in der Leistungselektronik Betriebsströme misst, hat es in der Regel mit Gleich- oder Wechselströmen bis zu einigen hundert Hertz und hoher Amplitude zu tun. Sie sind überlagert von den Taktströmen der Leistungshalbleiter, die sich im ein- bis mittleren zweistelligen Kilohertzbereich bewegen und Oberwellen bis in den dreistelligen Bereich aufweisen. Deren Amplitude liegt um eine Größenordnung niedriger. Die Stromerfassung hat dabei eine Reihe anspruchsvoller Aufgaben zu erfüllen, etwa die stetige präzise Abbildung der momentanen Größe des Gleichstroms bis mindestens zur Grenzfrequenz des Regelkreises, die typischerweise bei 30 kHz liegt. Zum Erkennen einer Überlast muss der Sensor innerhalb von 1 bis 3 μ s reagieren. Eine große Bandbreite von beispielsweise 200 kHz und eine Reaktionszeit unter 1 μ s verbessern die Regelgüte und die sichere Erfassung von Kurzschlüssen. Manche Anwendung braucht eine Genauigkeit unter 0,5 % bei hoher Temperaturstabilität.

Die Stromerfassung muss zwischen Last- und Signalstromkreis fast immer galvanisch isoliert sein, wobei sich die Anforderungen je nach Norm (EN61800, UL508 oder UL1741) unterscheiden. Ebenfalls bedeutend sind die Umwelтанforderungen, zum Beispiel an Temperaturen und Vibrationen. Anwendung findet diese Art der Strommesstechnik in der gesamten Bandbreite der getakteten Leistungselektronik, vom Erfassen der Motorströme in Frequenzumrichtern über die DC-, AC- und Fehlerstromerfassung in Photovoltaik-Wechselrichtern bis hin zur Stromerfassung in Schweißinvertern und unterbrechungsfreien Stromversorgungen.

Zu unterscheiden sind resistive und magnetische Messverfahren. Beim resistiven Verfahren (Shunt) wird der Spannungsabfall über einen vom Messstrom durchflossenen Widerstand ermittelt.

Auf einen Blick

Besondere Charakteristiken

Für das Messen von Betriebsströmen gibt es viele Sensoren. Aber nicht jeder eignet sich für jede Applikation. Die hier vorgestellten Stromsensorenfamilien unterscheiden sich durch ihre Grundfläche, ihre Montage, die Nennströme und den Messbereich, der sich mit ihnen erfassen lässt.

i infoDIREKT www.all-electronics.de
➤ Halle 7, Stand 119

265ejl0213



© peshova - Fotolia.com

Bei magnetischen Messverfahren gibt es Open- und Closed-Loop-Sensoren auf der einen Seite, bei denen man den vom Stromfluss angeregten magnetischen Fluss in einem weichmagnetischen Kern auswertet, und magnetoresistiven Verfahren auf der anderen Seite, bei denen man die Abhängigkeit des Widerstandes eines Leiters von einem angelegten Magnetfeld nutzt. Alle Messverfahren ermitteln zunächst eine Hilfsgröße, also zum Beispiel eine Spannung oder eine magnetische Feldstärke.

Von Shunts und magnetischen Verfahren

Bei kleinen Strömen von wenigen Ampere sind Shunts am gebräuchlichsten. Sie sind klein und kostengünstig, arbeiten zwar nicht verlustfrei, aber das ist erst bei höheren Stromstärken relevant. In jedem Amperebereich muss man aber zwischen Verlustleistung und Messfehler abwägen. Shunts bieten zudem keine galvanische Trennung, diese lässt sich über einen Isolationsverstärker herstellen. Die Auswahl des Operationsverstärkers, seine Versorgung, die Art der galvanischen Trennung, das Vermeiden von Frequenz- und Phasenfehlern durch die Induktivität des Widerstandes, dessen Kühlung und weitere wichtige Randbedingungen machen den Shunt-Einsatz zur anspruchsvollen Aufgabe. Die Genauigkeit von Messsystemen mit Shunts reicht für viele Aufgaben, erreicht aber in der Regel nicht diejenige hochwertiger magnetischer Sensoren.



Bild 1: N4646-X7xx – eine kleine Bauform für große Ströme.



Bild 2: N4646-X2xx für die Printmontage, aber mit Durchstecköffnung.

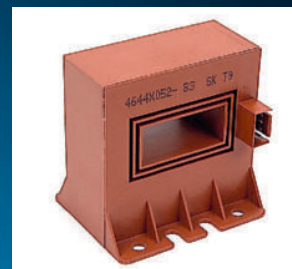


Bild 3: Auf dem Chassis montierte Sensoren für hohe Ströme.



Bild 4: Auf das Chassis montierte Sensoren für sehr hohe Ströme, Baureihe P4640-X1xx.



Bild 5: Die Differenzstromsensoren aus der Baureihe N4646-X9xx.

Bei magnetischen Verfahren sind die direkt abbildenden Sensoren (Open-Loop) und Kompensationssensoren (Closed-Loop) am gebräuchlichsten. Closed-Loop-Sensoren können sich noch in der Art der Feldsonde unterscheiden. Open-Loop-Sensoren messen die magnetische Feldstärke im Luftspalt des Magnetkerns per Hallsonde. Die erzeugt eine kleine, zur Feldstärke proportionale Ausgangsspannung, die nur noch verstärkt wird. Vorteile sind die niedrige Stromaufnahme und die kompakte Bauform, Nachteile die mäßige Bandbreite (etwa 10 oder 30 kHz) und die hohe Anstiegszeit. Problematisch ist der Abbildungsfehler, besonders dessen Temperaturabhängigkeit. Über einen weiten Anwendungstemperaturbereich wie von -25 bis +85 °C betrachtet, kann der Fehler sogar im zweistelligen Prozentbereich liegen. Open-Loop-Sensoren eignen sich daher für weniger anspruchsvolle Anwendungen.

Geschlossene Schleife

Bei Closed-Loop-Sensoren (Bild 6) erweitert sich der Grundaufbau des Open-Loop-Typs um eine Kompensationsspule. Die Elektronik des Sensors wertet das SONDENSIGNAL aus, leitet daraus einen Kompensationsstrom ab und treibt ihn mit umgekehrter Polarität durch die Kompensationsspule. Das regelt den magnetischen Fluss im Kern, welcher durch den Primärstrom erzeugt würde, auf Null. Die Feldsonde fungiert also nur noch als Nullfelddetektor und läuft nicht mehr im linearen Bereich, was die Genauigkeit erhöht.

Die Bandbreite des Regelkreises liegt unter 10 kHz. Sie ist für die Bandbreite des gesamten Sensors jedoch nicht entscheidend, denn bei höheren Frequenzen funktioniert der Magnetkreis als Stromtransformator. In der Konsequenz bildet der Kompensationsstrom, beziehungsweise die über dem Messwiderstand daraus abfallende Spannung den Primärstrom präzise ab, und zwar im Frequenzbereich von Gleichstrom bis typischen 100 oder 200 kHz. Als Feldsonde fungiert bei Closed-Loop-Sensoren häufig ein Hall-Element. Dessen Nachteile, wie höherer Temperaturdrift, kleines Ausgangssignal und geringe Langzeitstabilität, wirken sich hier nur in abgemilderter Form aus.

Die Magnetsonde

Besser ist es, eine Magnetsonde, auch Fluxgate-Sonde genannt, zu verwenden. Bei der von Vacuumschmelze (VAC) entwickelten Sonde handelt es sich um eine Anwendung des Fluxgate- oder Sättigungskernsonden-Prinzips. Sie erfasst das Feld im Luftspalt des Magnet-

Nachdruck mit freundlicher Genehmigung von elektronik Journal

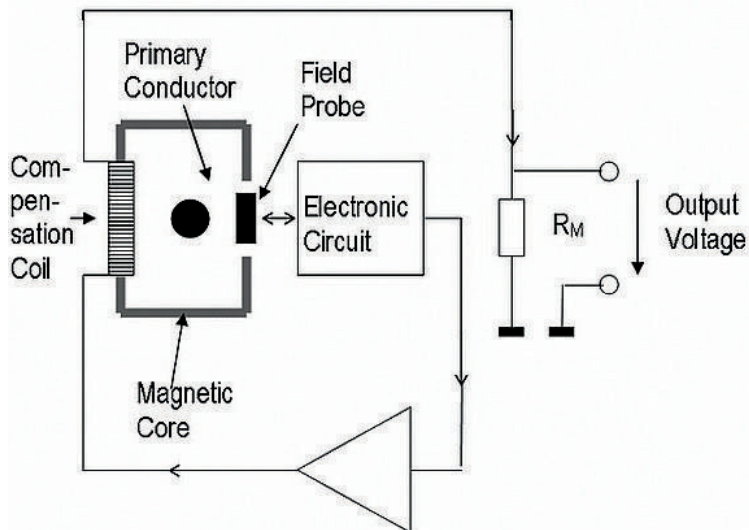


Bild 6: Das Blockschaltbild eines Closed-Loop-Stromsensors zeigt, wie eine elektronische Schaltung den Kompensationsstrom gewinnt.

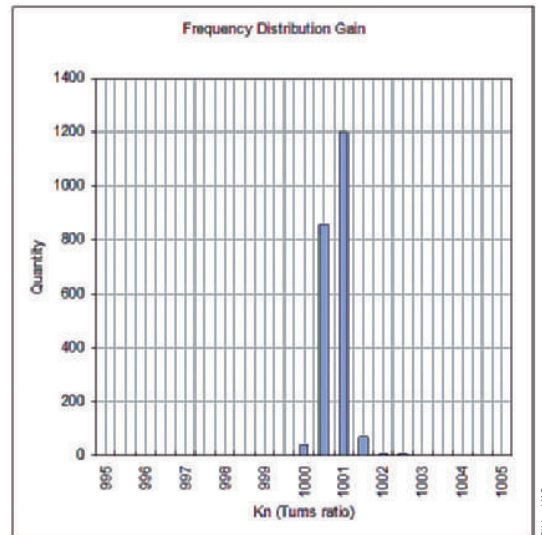


Bild 7: Die statistische Verteilung der Ausgangsgröße von typischen Sensoren mit 25 A.

kerns von einer Spule auf einem kurzen Streifen amorphen Magnetmaterials, die Teil eines selbstschwingenden Kreises ist und deren Kern wechselseitig in die Sättigung getrieben wird. Ein auf sie einwirkendes externes Feld verschiebt die magnetische Symmetrie des Kerns und ändert damit das Tastverhältnis eines abgeleiteten PWM-Signals. Hieraus lässt sich der Kompensationsstrom gewinnen. Die Arbeitsfrequenz der Sonde liegt bei 400 kHz oder höher. Ihr Ausgangssignal hat eine hohe Amplitude, benötigt also keine signifikante Verstärkung. Die Genauigkeit der Sonde hängt außerdem von der physikalisch bedingt immer perfekten Symmetrie der Hystereseschleife ab und nicht von ihrer Steigung oder der Sättigungsinduktion des Materials. Diese Eigenschaften unterliegen einer geringen Temperaturabhängigkeit.

Closed-Loop-Sensoren mit magnetischer Sonde arbeiten im relevanten Temperaturbereich etwa doppelt so genau wie Closed-Loop-Sensoren mit Hall-Element. Ihr Gesamtfehler bei Raumtemperatur liegt bei 0,1 %, die Temperatur- und Langzeitstabilität der Offsetgrößen liegt bei einigen 100 ppm. Bild 7 erläutert die Verteilung der gemessenen Ausgangsströme von mehr als 2000 Exemplaren eines 25-A-Sensors, ausgedrückt als Übersetzungsverhältnis mit Nennwert 1:1000. Die Fertigungsstreuung liegt im Promillebereich, der CpK-Wert ist größer als 5. Der Offset liegt unter einem Tausendstel des Nennstroms. Die Closed-Loop-Sensoren mit magnetischer Sonde stellen das hochwertigste unter den kostengünstigen, in hohen Stückzahlen gefertigten Messverfahren dar. Solche Sensoren sind immer Plug&Play-Varianten, die ohne großen Engineering-Aufwand schnell zu Entwicklungen führen.

Mehr Platz und erhöhte Zuverlässigkeit

Die Elektronik der Sensoren ist fast vollständig in einem applikationsspezifischen Schaltkreis integriert. Der enthält die Signalverarbeitung, einen Differenzverstärker für das Ausgangssignal, eine hochpräzise Referenzspannungsquelle, sowie eine Reihe von Kontroll- und Überwachungsfunktionen. VAC liefert Stromsensoren mit 5-V-Versorgung und Spannungssignal am Ausgang sowie mit +12- bis +15-V-Versorgung und Stromausgang. Der am Eingang des A/D-Wandlers der Anwendung benötigte Pegel lässt sich entweder durch Auswählen des geeigneten Sensortyps oder durch Auslegen des Messwiderstandes anpassen. Die Bauformen erstrecken sich von primär- und sekundärseitig printmontierten Typen

über Ausführungen, die primärseitig über eine Durchstecköffnung verfügen bis hin zu Panel-Mount-Typen, die sich direkt auf dem Gerätechassis montieren lassen. Der Normenbezug erfolgt dort meist nach der Antriebstechnik-Norm EN61800; der Löwenanteil der Standard-Typen ist auch nach UL508 zugelassen.

Der N4646-X7xx (Bild 1) belegt auf der Leiterplatte eine Grundfläche von nur 22,2 x 13,7 mm². Er kann Ströme von 50 A_{eff} verkräften und erfasst diese im Messbereich von +150 A. In gleicher Auflösung lässt sich auch ein Messbereich von nur +5 A abdecken. Die Sensoren weisen gute Isolationseigenschaften auf. Luft- und Kriechstrecken von 9,6 oder 10,6 mm ermöglichen zusammen mit einem CTI 600-Gehäusewerkstoff beispielsweise eine Arbeitsspannung von 1060 V nach EN61800 unter den üblichen Bedingungen.

Hohe Ströme

Da Ströme über 100 A nicht mehr über Leiterplatten laufen, gibt es für Nennströme bis 200 A_{eff} und Messbereiche über 400 A die Bauformen N4646-X1xx und die -X2xx (Bild 2). Die Reihe N4646-X0xx eignet sich sogar für Nennströme bis 700 A_{eff} und Messbereiche von +1250 A (Bild 3). Die Abmessungen (56 x 56 x 26 mm³ ohne Fußwinkel) sind kompakt und die Durchstecköffnung ist mit 30 x 13 mm² ausreichend groß für die hier üblichen Stromschienen. Beim T60404-P4640-X1xx (Nennstrom 1000 A_{eff} und Messbereichen bis ±2500 A, Bild 4) nutzt VAC das Prinzip des Kompensationssensors mit Magnetsonde zum ersten Mal für sehr hohe Ströme. Bei markttypischen Außenabmessungen haben sie eine Durchstecköffnung von 40,5 x 40,5 mm (mit Schrägen).

Eine besondere Anwendung des VAC-Erfassungsprinzips ist der Differenzstromsensor (Bild 5), er eignet sich unter anderem für transformatorlose Solarwechselrichter. Eine wichtige Sicherheitsfunktion der Geräte ist das Überwachen des Ableitstroms des gesamten System. Da dieser Gleich- und Wechselkomponenten enthalten kann, ist ein allstromsensitives Überwachen notwendig. Die niedrigste Auslöseschwelle nach der Norm EN62109 beträgt 30 mA. Der Differenzstromsensor bildet sie sicher ab – und das bei einem Betriebsstrom bis zu 50 A. (rao)



Der Autor: Klaus Reichert ist Leiter Produktmarketing Industrieanwendungen bei Vacuumschmelze in Hanau.



VACUUMSCHMELZE GMBH & CO. KG

GRÜNER WEG 37
D 63450 HANAU / GERMANY
PHONE +49 6181 38 0
FAX +49 6181 38 2645
INFO@VACUUMSCHMELZE.COM
WWW.VACUUMSCHMELZE.COM

VAC SALES USA LLC

2935 DOLPHIN DRIVE
SUITE 102
ELIZABETHTOWN, KY 42701
PHONE +1 270 769 1333
FAX +1 270 765 3118
INFO-USA@VACUUMSCHMELZE.COM

VACUUMSCHMELZE SINGAPORE PTE LTD

1 TAMPINES CENTRAL 5, #06-10/11
CPF TAMPINES BUILDING
SINGAPORE 529508
PHONE +65 6391 2600
FAX +65 6391 2601
VACSINGAPORE@VACUUMSCHMELZE.COM

VACUUMSCHMELZE CHINA MAGNETICS

SHANGHAI SALES OFFICE
ROOM 06, 19F
ZHONGRONG HENGRUI INTERNATIONAL PLAZA
620 ZHANGYANG ROAD, PUDONG DISTRICT
SHANGHAI, PRC 200122
PHONE +86 21 58 31 98 37
FAX +86 21 58 31 99 37
VAC_CHINA@VACUUMSCHMELZE.COM

© VACUUMSCHMELZE GmbH & Co. KG 2013. All rights reserved.



DER FORTSCHRITT BEGINNT BEIM WERKSTOFF