

Sensor-Chip für Kfz-Batteriemanagement und universelle Messaufgaben

Eine Kombination aus Präzisions-Widerstand und CMOS-ASIC bildet ein komplettes Messsystem mit 16 bit Auflösung, das nicht nur Gleichströme von mA bis kA sehr präzise messen, sondern gleichzeitig auch Spannungen und Temperaturwerte erfassen kann. Anwendung findet das Konzept z.B. im Kfz-Batteriemanagement, aber auch vielfältige Aufgaben der allgemeinen Messtechnik sind damit realisierbar

In Zukunft wird im Kfz ein elektronisches Batteriemanagement (EBM) zur Überwachung des Ladezustandes der Batterie (SOC, State of Charge) mit kontrollierter Regelung der Stromentnahme sowie des Ladevorgangs für jeden Automobilhersteller zum „Muss“ werden, um die Funktionsfähigkeit der Batterie (SOH, State of Health) und somit letztlich die ständige Verfügbarkeit des Fahrzeugs sicherzustellen. Für ein effektives Batteriemanagement ist die genaue und schnelle Erfassung der drei Parameter Temperatur, Spannung sowie Lade-/Entladestrom erforderlich. Für die Anwendung in 12- und den künftigen 42-V-Bordnetzen empfiehlt sich dabei die Strommessung in der Masseleitung. Wegen der geforderten Dynamik und des extrem weiten Messbereiches kommt dieser Strommessung eine besondere Bedeutung zu, denn beim Anlassen muss ein Spitzenstrom von mehr als 1000 A mit einer Abtastfrequenz von über 10 kHz erfasst werden, wogegen für die Erfassung des Ruhestromes Messfrequenzen von 10 Hz ausreichend sind. Im Normalbetrieb wird zwischen 100 und 300 A ein Fehler von unter 1 % gefordert, im Standby-Betrieb des Fahrzeuges soll das System aber kleinste Ströme von nur wenigen mA ausreichend genau auflösen können.

Kernelement: der Präzisions-Shunt-Widerstand

Die Erfassung des Stromes über einen Präzisionswiderstand bietet gegenüber den magnetischen Sensoren wesentliche Vorteile hinsichtlich Genauigkeit, Stabilität, Temperaturkoeffizient (TK), Baugröße und Preis. Ein Widerstandswert von 100 bis 200 $\mu\Omega$ stellt einen Kompromiss bezüglich niedriger Verlustwärme und möglichst hohem Signalpegel dar. Die Güteanforderungen an Messwiderstand und Auswerte-Elektronik sind aufgrund der geforderten Auflösung im mA-Bereich extrem hoch, denn die Elektronik kann Thermospannungen am Shunt sowie Offset, Rauschen und Einstreuungen am Messverstärker nicht von einem Spannungsabfall unterscheiden, der durch einen Strom im Präzisionswiderstand verursacht wird.

Der Einsatz von Konstantan (CuNi44) als Widerstandsmaterial für die Präzisions-Strommessung ist von vornherein zum Scheitern verurteilt, da dieses Material eine Thermospannung von 40 $\mu\text{V}/\text{K}$ gegen Kupfer entwickelt. Eine Temperaturdifferenz von nur 1 K täuscht beim 100- $\mu\Omega$ -Widerstand bereits einen Stromfluss von 400 mA vor. Verschlimmert wird die Situation durch den Einfluss des sog. Peltier-Effektes, der bei den hohen DC-Strömen eine solche Temperaturdifferenz durch einseitiges Kühlen/Heizen der Kontaktstelle selbst erzeugt. Werte von 5 bis 10 K, die einem Strom von 2 bis 4 A entsprechen, sind durchaus möglich.

Die Präzisionswiderstands-Legierung Manganin der Isabellenhütte (www.isabellenhuetten.de), die sowohl diese Shunts wie auch das in diesem Beitrag beschriebene Mess-ASIC entwickelt hat, vermeidet diesen Effekt vollständig, da diese Legierung dem Kupfer thermoelektrisch optimal angepasst ist. Zudem garantiert sie optimale Werte für die gewünschten, materialbedingten Eigenschaften des Shunts wie Stabilität und TK. Neue, elektronenstrahlgeschweißte Verbundmaterialien aus Cu-Manganin-Cu ermöglichen eine großtechnisch kostengünstige Herstellung von sehr niederohmigen Präzisions-Widerständen in Stanztechnik sowie eine Anpassung an die Anwendung und die Optimierung weiterer – durch die Geometrie bestimmter – Eigenschaften der Bauteile.

Die Auswerte-Elektronik im ASIC

Bei einem Strom von 1000 A liefert ein 100- $\mu\Omega$ -Shunt eine Messspannung von 100 mV ($1000\text{ A} \times 0,0001\ \Omega = 0,1\text{ V}$), was für Standard-Low-Offset-Verstärker einen idealen Eingangsspannungswert darstellt. Die Offset-Spannung sowie EMV-Einflüsse und Einstreuungen über die stark verrauschte Versorgungsspannung im Kfz haben in diesem Fall einen nur geringen Einfluss auf die Messgenauigkeit. Eine 20- μV -Rausch- oder Offsetspannung verursacht hier z.B. nur einen Fehler von 0,02 %.

Völlig anders ist die Situation, wenn mit demselben Messwiderstand ein Strom von nur 1 A oder weniger mit hoher Genauigkeit gemessen werden soll. Jetzt beträgt der Spannungsabfall nur noch 100 μV , und ein 20- μV -Fehlersignal bedeutet bereits einen Messfehler von 20 %.

Die Auflösung von 10 mA und darunter kann daher normalerweise nur durch die Verwendung der besten (und teuersten) Chopperverstärker mit einem Offset im unteren μV -Bereich und geringstem Eigenrauschen erreicht werden. Zur Minimierung der Einstreuung sollte außerdem die Auswerteelektronik kompakt aufgebaut sein und möglichst nahe am Entstehungsort der Spannung – also am Messwiderstand selbst – platziert werden.

Bei genauerer Analyse der Aufgabenstellung kommt man schnell zu der Erkenntnis, dass diese Problematik nur mit einem speziell für diese Anwendung konzipierten ASIC optimal gelöst werden kann. Dieses ASIC dient dann in Verbindung mit dem Präzisionswiderstand als intelligentes „Front-end“, das die ermittelten Messdaten über einen seriellen Bus an den übergeordneten EBM-Mikrocontroller (μC) zur Berechnung der Batteriedaten (SOC, SOH u.a.) weiterleitet (Bild 1). Die Schaltung zur vollständigen Erfassung aller Messgrößen kann hiermit sehr kompakt mit nur wenigen Komponenten realisiert werden (Bild 2), so dass sogar eine Integration der gesamten Elektronik in die Polklemme eines Batterieanschlusses möglich wird.



Bild 1. Gesamtkonzept und prinzipieller Aufbau des "intelligenten Stromsensors" zur Anwendung im Batteriemangement. Das Grundprinzip lässt natürlich auch andere Präzisions-Strom-, Spannungs- und Temperaturmessaufgaben in der allgemeinen Messtechnik zu. (Quelle aller Bilder: Isabellenhütte)

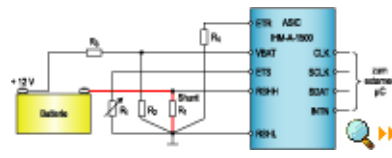


Bild 2. Blockschaltung des Anschlusses an den Batteriestromkreis im Kfz. Die Messung in der Minusleitung bringt viele Vorteile.

Dieser kürzlich als CMOS-ASIC vorgestellte integrierte Baustein der Isabellenhütte („ISA-ASIC“) ist das Ergebnis einer mehr als zweijährigen Entwicklungsarbeit in Zusammenarbeit mit verschiedenen Automobilherstellern und Zulieferern. Das ASIC stellt im Prinzip ein vollständiges 16-bit-Datenerfassungssystem im SOIC16-Gehäuse dar und ist für die Erfassung extrem kleiner Spannungen im μV -/ mV -Bereich optimiert. Mit einer extern zur Verfügung gestellten Taktfrequenz von 8 MHz kann das ASIC über vier programmierbare Eingangskanäle Strom, Spannung und Temperatur mit hoher Auflösung und Genauigkeit bei einer maximalen Wandlungsrate von 16 kHz (in einem speziellen Modus sogar bis 64 kHz) messen. Der Baustein benötigt nur eine Versorgungsspannung von +5 V, kann aber dennoch massebezogene Eingangssignale mit positivem und negativem Vorzeichen erfassen. Die Eingänge (Blockschaltung siehe Bild 3) werden über den Eingangsmultiplexer separat auf einen programmierbaren Verstärker (PGA) geschaltet. Die Verstärkung des PGA kann in fünf Stufen zwischen 1 und 100 eingestellt werden, was den Messbereichen von 7 bis 700 mV entspricht.

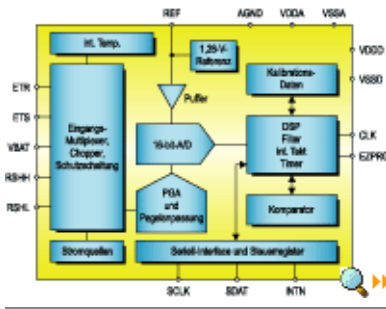


Bild 3. Blockschaltung des ASIC-Bausteins zur universellen Strom-, Spannungs- und Temperaturmessung. Die Strommessung wird als Spannungsmessung an einem Präzisions-Shunt-Widerstand realisiert.

Das ASIC wird beim Einschalten bzw. einem externen Reset mit intern abgelegten Kalibrierdaten (Default-Werten) geladen und arbeitet dann selbstständig im Dauerbetrieb als eigenständiger A/D-Wandler, dessen Ergebnis zu jeder Zeit über den bidirektionalen SPI-Bus gelesen werden kann (read-only-converter). Die Wahl des Messkanals und der Messparameter erfolgt durch einfaches Überschreiben der Daten zweier Steuerregister. Besonderes Augenmerk wurde bei der Entwicklung auf eine geringe Leistungsaufnahme gelegt. So liegt die Stromaufnahme im Normalbetrieb unter 5 mA, im Sleep-Modus sogar unter 50 μA . Die Kalibrierdaten von ASIC, Widerstand und peripherer Beschaltung werden nach der Kalibrierung im IC gespeichert, sodass die Messergebnisse vor der Ausgabe am seriellen SPI-Bus korrigiert werden können. Bild 4 zeigt den Baustein auf dem Shunt-Widerstand mit einer kleinen Platine montiert.

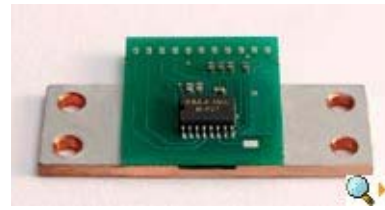


Bild 4. Der ASIC-Baustein auf einer kleinen Platine, die ihrerseits auf dem 100- Ω -Shunt-Widerstand montiert ist. Diese "Baugruppe" (genauer: nur der Shunt-Widerstand) wird dann unmittelbar an der Batterie in die Minusleitung geschaltet.

Das Rauschen eliminieren

Das ASIC enthält als Besonderheit einen analog/digitalen Chopper-Dechopper für eine aktive Offsetkompensation, der den Eingangsoffset des Systems und seine Temperaturabhängigkeit nahezu völlig eliminiert (Offset unter 0,5 μV). Durch die sehr hohe Chopperfrequenz wird hierdurch gleichzeitig das bei üblichen CMOS-Verstärkern nicht zu vermeidende $1/f$ -Rauschen so weit unterdrückt, dass trotz der Integration von digitaler Signalverarbeitung und hochempfindlicher Analog-Messtechnik auf einem Chip eine extrem niedrige Rauschdichte von nur 35 $\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ bis in den DC-Bereich realisiert werden kann. Diese Werte sind vergleichbar bzw. sogar besser als die des zur Zeit besten, weltweit verfügbaren diskreten Chopperverstärkers.

Ein weiteres Highlight ist das programmierbare digitale Messwert-Filter, über das Wandlungsraten von 2 Hz bis 16 kHz eingestellt werden können. Da es physikalisch unumgänglich ist, dass bei höherer Messfrequenz auch das Rauschen ansteigt, muss zur Verbesserung der Auflösung im μV -Bereich die Bandbreite über das Filter oder über eine externe Mittelwertbildung im μC

limitiert werden. Das 0-bis-10-Hz-Rauschen des ISA-ASIC liegt unter $0,2 \mu\text{V}$, womit tatsächlich die für die Ruhestrommessung im Fahrzeug geforderte Auflösung von wenigen mA ermöglicht wird.

Die technischen Parameter im einzelnen

Für die kontinuierliche Überwachung des Bordnetzes und der angeschlossenen Verbraucher werden seitens der Automobilhersteller für ein EBM erweiterte Funktionen spezifiziert, die bisher nur durch zusätzliche, diskret aufgebaute Module realisiert werden konnten. Bei der Konzeption des ASICs wurden bereits viele dieser nachfolgend beschriebenen Anforderungen implementiert, sodass das System sehr flexibel und kosteneffektiv sowohl in EBM-Systemen als auch für vielfältige Industrieanwendungen, z.B. im Bereich MSR, einsetzbar sein wird.

Dual-Modus

In diesem Modus schaltet das ASIC automatisch nach einer vom Anwender vorgegebenen Anzahl von Messungen (1 bis 16) zwischen der Strommessung und einem der Messkanäle VBAT, ETS, ETR (siehe Bild 3) oder auf die interne Temperaturmessung um, was eine nahezu gleichzeitige Messung von z.B. Strom und Spannung ermöglicht. Die Auswahl von Messkanal, Messfrequenz oder Verstärkung erfolgt dabei vor Beginn der Messung durch Beschreiben der entsprechenden ASIC-Register. Der Modus ist besonders nützlich zur gleichzeitigen Überwachung von Strom und Spannung während des Anlassvorganges (Bild 5), zur Diagnose von einzelnen Verbrauchern oder zur Bestimmung des dynamischen Innenwiderstandes der Batterie im Betrieb aus den normalen Schwankungen von Strom und Spannung.

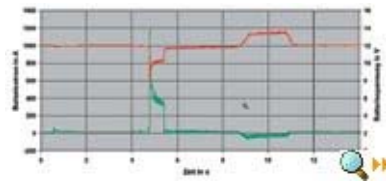


Bild 5. Messbeispiel während eines Anlassvorganges. Zu erkennen sind die hohen Stromspitzen, die korrelierenden Spannungseinbrüche und sogar die einzelnen (sich in kleinen Stromschwankungen ausdrückenden) Umdrehungen des Anlassers. All diese Signaldetails lassen sich – neben der Übergabe an einen zentralen Mikrocontroller – mit einer speziellen PC-Software auch extrahieren und optisch übersichtlich darstellen (siehe Bild 6).

Programmierbare Stromquelle

Die interne Stromquelle ist über den SPI-Bus im Bereich 0 bis $248 \mu\text{A}$ in Stufen einstellbar und kann zur Aktivierung der angeschlossenen Sensoren (z.B. Temperatursensoren wie PTC-, NTC-Widerstände) wahlfrei auf einen der Eingänge VBAT, ETR und ETS geschaltet werden.

Digitaler Komparator

Der Komparator kann auf alle Eingangskanäle geschaltet werden. In diesem Modus dient das ASIC als eigenständiges Überwachungsmodul, das einen Störfall durch einen Interrupt an den übergeordneten μC meldet.

Interne Temperaturmessung

Die Auflösung beträgt $0,01 \text{ K}$, die Genauigkeit ist nach Kalibrierung im gesamten Messbereich besser als $0,5 \text{ K}$. Besteht eine gute thermische Kopplung mit der Batterie (z.B. bei Montage in der Batterieklemme), kann das ASIC direkt die Batterietemperatur messen. Somit kann auf einen separaten Fühler verzichtet werden.

Präzisions-Referenzspannung

Die Referenzspannung ist auch nach außen für andere Anwender verfügbar oder kann bei Bedarf abgeschaltet oder durch eine extern bereitgestellte Referenz ersetzt werden. Absolutwert und insbesondere Temperaturkoeffizient sind über den seriellen Bus zur Korrektur von Fertigungsstreuungen einstellbar.

Sleep-Modus

Im Sleep-Modus werden der externe Takt und die meisten internen Funktionen zur Minimierung der Stromaufnahme abgeschaltet. Der eingebaute 100-kHz-Oszillator wird automatisch aktiviert. Bei Ausfall des externen Takts kann das ASIC mit dem internen Oszillator mit reduzierter Messfrequenz weiter betrieben werden.

Aktiver Wake-Up

Dieser Modus ist speziell zur Leckstrom-Überwachung im Ruhezustand des Fahrzeuges konzipiert. Das ASIC befindet sich im Sleep-Modus, hat aber den internen Oszillator aktiviert. Ein ebenfalls implementierter Timer aktiviert den A/D-Wandler im Abstand von einer Sekunde, wodurch eine Messung an einem vorprogrammierten Eingang und mit vorgegebenen Parametern gestartet wird. Bei Überschreitung der Komparatorschwelle wird der externe μC zur genauen Untersuchung des Störfalles „geweckt“. Die Grenzwerte sind für Strom, Spannung oder Temperatur frei programmierbar.

Fühlerbruch-Überwachung

Die freie Programmierbarkeit der internen Stromquellen ermöglicht die effektive Überwachung aller Eingangskanäle auf Fühlerbruch. Das ist besonders wichtig für die Sense-Leitungen des Widerstandes, da ein falscher Messwert hier in besonderem Maß zu katastrophalen Fehlinterpretationen führen kann.

Wie geht es weiter?

Für erste Tests und die Prototypenentwicklung stellt die Isabellenhütte zum ISA-ASIC ein mit allen Funktionen ausgestattetes Testboard inklusive umfangreicher Windows-Software zur Verfügung, das an jedem PC über den parallelen Druckerport betrieben werden kann (Bild 6). Das Board ist vollständig montiert und mit allen notwendigen Peripheriekomponenten wie 100- $\mu\Omega$ -Präzisionswiderstand, Spannungsteiler für die Batteriespannung und Temperaturfühler versehen und kann sogar direkt im Fahrzeug betrieben werden. Die mitgelieferte Software erlaubt die Inbetriebnahme des ASICs und die ersten Messungen innerhalb weniger Minuten. Das ISA-ASIC ist in Kürze auch als separater Baustein oder fertig montiert und kalibriert mit dem 100- $\mu\Omega$ -Widerstand verfügbar, so dass der Anwender den Sensor flexibel in ein System integrieren kann. Weitere Ausbaustufen für die High-Side-Strommessung sowie mit alternativen Schnittstellen (CAN, LIN-Bus) sind in Zukunft möglich.



Bild 6. Für Entwicklungsaufgaben gibt es ein komplettes Testboard inklusive ASIC, 100- Ω -Präzisionswiderstand und mit umfangreicher Windows-Mess- und Visualisierungssoftware, das an jedem PC über den parallelen Druckerport betrieben werden kann.

Alle Informationen sind direkt abrufbar von der eigenen ISA-ASIC Homepage unter www.isa-asic.de. Selbstverständlich sind auch viele Anwendungen in der industriellen Messtechnik, in komplexen und hochwertigen Stromversorgungen sowie im Gebiet der Antriebstechnik machbar. Mit seinen vier Eingängen und der internen Temperaturmessung kann das ASIC z.B. sofort als hochempfindliches 4-Kanal-Messsystem zur Temperaturmessung mit Thermoelementen konfiguriert werden. Eine Parallelschaltung mehrerer ASICs wird sehr einfach durch Multiplexen der Taktleitung der SPI-Schnittstelle ermöglicht, sodass auch Vielkanalmessungen preiswert realisiert werden können.

Technische Daten des ISA-ASIC-Bausteins

Messgrößen:

Strom:	bis ± 1500 A, 1 mA Auflösung
Spannung:	10 bis 50 V(DC), 0,1 mV Auflösung
Temperatur:	-50 bis +150 °C, 0,01 K Auflösung
Messfrequenz:	2 bis 16 000 Hz

Messbereiche:

Bereich	Grenzen	Auflösung	Fehler	Messfrequenz (1)	Rauschen
Strom 1	± 70 A	16 bit	1 %	15,6 Hz	<0,5 mV (2)
Strom 2	± 140 A	16 bit	1 %	125 Hz	<1 mV
Strom 3	± 300 A	16 bit	0,5 %	1 kHz	<3 mV
Strom 4	+500/-1500 A	16 bit	2 %	16 kHz	<10 mV
externe Spannung	U_{bat}	85 db	0,5 %	1 kHz	<1 mV
Spg. über Spannungsteiler	.	0,4 mV bei 14 V	.	.	.
externe Temperatur	.	0,01 K	bis 0,2 K	62,5 Hz (abh. vom Fühler)	.
interne Temperatur	-50 bis +85 °C	0,05 K	2 K	125 Hz	.
	85 bis 150 °C	.	3 K	125 Hz	.

(1) typische Vorgabewerte, die Messfrequenz kann in allen Bereichen von 2 bis 16 000 Hz eingestellt werden

(2) 0,1 μ V bei externer Mittelwertbildung (ca. 1 Hz)

Temperaturbereich:

Arbeitstemperaturbereich -40 bis +85 °C

Lagerung -50 bis +150 °C

Ausgänge:

digitale 3-Draht-Schnittstelle (SPI); Konstantstromquelle 8 bis 240 μ A, programmierbar für externen Temperaturfühler; aktive Weckfunktion und Komparator (active low)

A/D-Wandler:

16 bit Auflösung bei 16 kS/s

Sonstige Funktionen und Daten:

Programmierbare Stromquelle von 8 bis 240 μ A, interne Präzisions-Referenzspannung, quasi Echtzeit-Betrieb auf zwei Kanälen mit 8 kHz, Stromverbrauch im Normalbetrieb unter 5 mA, im Sleep-Modus unter 100 μ A, interne Kalibrierfunktionen, Fühlerbruch-Überwachung auf allen Eingängen, alle Messfunktionen über 3-Draht-Schnittstelle gesteuert, Sleep-Modus über externen Takt deaktiviert, alle Ein- und Ausgänge mit ESD-Schutz, eine Versorgungsspannung +5 V.

Autoren



Dr. Ullrich Hetzler studierte Festkörper-Physik mit Schwerpunkt

Dr. Drago Strle schloss an der Universität seiner Geburtsstadt Ljubljana,



Halbleitertechnologie an der TU Karlsruhe und promovierte 1976 auf dem Gebiet „Ferroelektrischer Feldeffekt in Halbleitergrenzschichten“. Es folgte ein einjähriger Forschungsaufenthalt bei IBM/USA mit anschließender Forschungstätigkeit am Institut für angewandte Physik in Karlsruhe. Seit 1978 ist er Leiter der Forschung und Entwicklung bei der Isabellenhütte Heusler GmbH KG.
E-Mail: hetzler@Isabellenhuette.de

Slowenien, das Studium der Elektrotechnik mit dem B.S.-, M.S- und PhD-Diplom ab und ist auch heute noch an dieser Universität tätig. Zu seinen Aufgaben zählen u.a. die Forschung und Entwicklung von verschiedenen VLSI-Mixed-Signal-ICs, A/D- sowie D/A-Wandlern, sehr rauscharmen Analog-Interface-Schaltungen und Schaltungen für gemischte analog-digitale Signalverarbeitung.

Dipl.-Ing. Bernd Wille studierte Elektrotechnik an der Universität der Bundeswehr in München. Er ist seit 1991 für den Vertrieb der Firma Isabellen-hütte in Süddeutschland verantwortlich.



Wolfgang Hascher, Elektronik 02/2003

© 2004 WEKA Fachzeitschriften-Verlag GmbH
Alle Rechte vorbehalten.