

elektronik.de

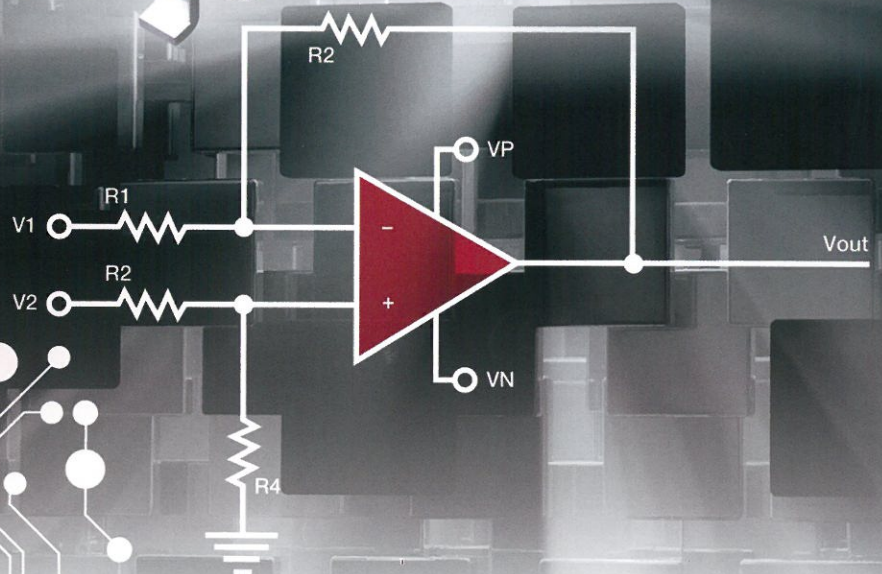
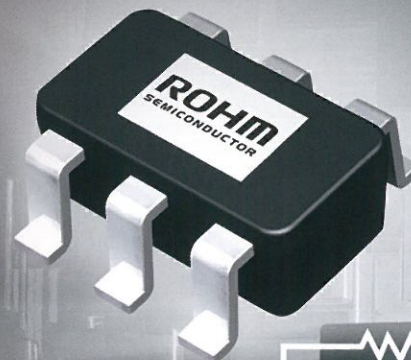
# Elektronik

Fachmedium für industrielle Anwender und Entwickler

Rauscharme Operationsverstärker:

## CMOS-OPVs für präzise Sensorik

>> ab Seite 22



„An einem Thema kommt man 2018 nicht vorbei: Internet of Everything“

>> Seite 16

 **Multicore-Software im Team entwickeln**

>> Seite 26

 **Leistungsschub bei neuen Oszilloskopen**

>> Seite 36

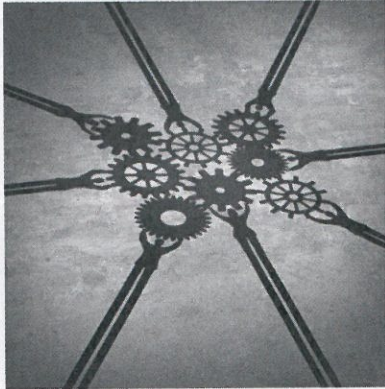


Über 8,3 Millionen Produkte Online

**DIGIKEY.DE**

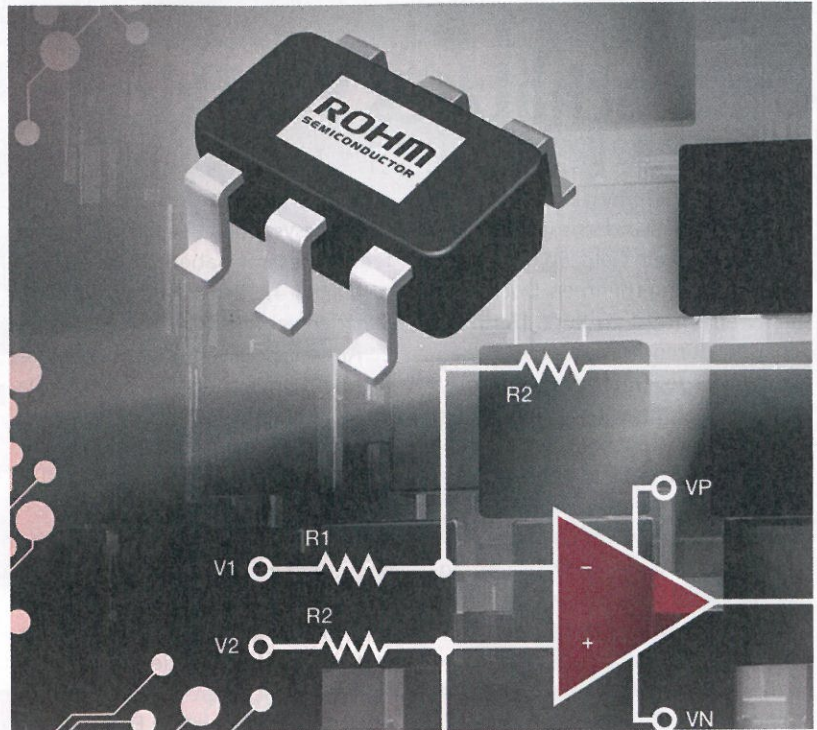
Angela Marten, Projektleiterin Electronica der Messe München





## Multicore-Software in Teams entwickeln

Multicore-Software für Steuergeräte unterliegt vielen Randbedingungen, damit sie sicher funktioniert: Ressourcen-Zuweisung, Timing-Verhalten, Ablaufreihenfolge – viele Bedingungen müssen eingehalten werden. Die offene Plattform APP4MC sorgt dafür, dass Teams alles im Blick behalten, selbst ohne den Quellcode der anderen zu kennen. >> 26



## Rauscharme Operationsverstärker

Auch die Digitalisierung braucht Operationsverstärker, z. B. um analoge Sensorsignale zu verstärken. CMOS-OPVs bieten die Chance, sie zusammen mit der Logik zu integrieren. Allerdings stellen Sensoranwendungen hohe Anforderungen – z. B. sehr niedriges Rauschen. >> 22

# PERSONEN



>> 11

**Thomas Rudel**, Rutronik, zum diesjährigen Electronica-Auftritt



>> 16

**Angela Marten**, Messe München, benennt die Electronica-Top-Themen



>> 42

**Dr. Hannes Voraberger**, AT&S, über zukunftsorientierte Elektronikfertigung

## Editorial

- 3 **Cyber-Sicherheit:** Unterschätztes Stiefkind

## Impulse » Wirtschaft

- 6 **Konsolidierungswelle in der Halbleiterindustrie geht weiter:** Renesas übernimmt IDT
- 7 **Personen:** Steve Douglass, Lattice Semiconductor Corporation
- 7 **Terminkalender:** Top-Veranstaltungen im November

## » GMM-News

- 8 **Workshop Mikro-Nano-Integration:** Brücke zwischen Forschung und Fertigung

## » Forschung

- 10 **Solarthermische Heizungssysteme:** KI-Regelung für höheren Solarertrag

## » Distribution

- 11 **Rutronik fokussiert sich auf Branchen-Themen:** Absoluter Höhepunkt im Kalenderjahr
- 12 **Elektronik-Distributor des Jahres 2018:** 21 Gewinner trafen sich auf Gut Ising

## » Trends

- 16 **Electronica 2018:** Im Trend und den Trends voraus
- 20 **Sensorikstudie:** Sensor-Technologien 2022

## Werden Sie Teil unserer Community!



**Facebook:** [www.facebook.com/Elektronik.de](http://www.facebook.com/Elektronik.de)



**Twitter:** [twitter.com/ElektronikTweet](https://twitter.com/ElektronikTweet) (oder auch: @ElektronikTweet)



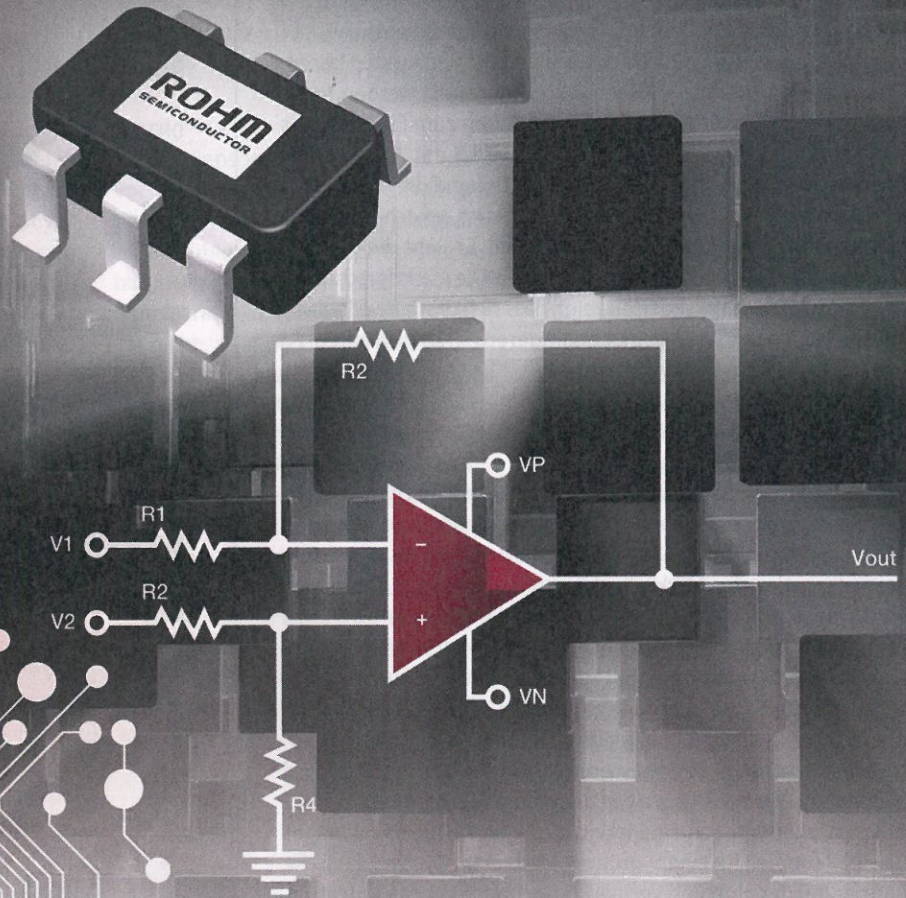
**Xing:** [www.xing.com/news/pages/elektronik-711](http://www.xing.com/news/pages/elektronik-711)



Rauscharme Operationsverstärker:

(Bild: Rohm)

# CMOS-OPVs für präzise Sensorik



**Auch die Digitalisierung braucht Operationsverstärker, z. B. um analoge Sensorsignale zu verstärken. CMOS-OPVs bieten die Chance, sie zusammen mit der Logik zu integrieren. Allerdings stellen Sensoranwendungen hohe Anforderungen – z. B. sehr niedriges Rauschen.**

Von Raimund Wagner

Zahlreiche IoT-Innovationen der vergangenen Jahre basieren auf immer mehr Sensoren. Sie erweitern in einer Vielzahl von Anwendungen den Funktionsumfang sollen eine fortschrittlichere Steuerung erreichen – von Mobilgeräten und Fahrzeugen bis hin zu industriellen Anlagen und medizinischen Geräten. Dadurch soll eine Gesellschaft entstehen, die durch Billionen von Sensoren verbunden sein wird.

Ein Sensor ist ein Gerät, das Umwelt- und physikalische Veränderungen in

elektrische Signale wandelt. Sie werden meist mit Operationsverstärkern verschaltet, um das Signal am Ausgang des Sensors zu verstärken. Soll die Leistungsfähigkeit sensorgestützter Anwendungen verbessert werden, müssen Operationsverstärker mit höherer Genauigkeit genutzt werden.

Zum Beispiel verstärkt ein rauscharmer Operationsverstärker bei Entfernungsmessungen wie Sonar die Signale der reflektierten Wellen. Im Vergleich zu herkömmlichen Operationsverstär-

kern ist bei rauscharmen OPVs der Messbereich bis zum reflektierenden Gegenstand größer. Denn bei herkömmlichen Operationsverstärkern gehen kleine Sensorsignale im Rauschen unter, rauscharme Operationsverstärker haben einen geringeren Rauschpegel, der es ermöglicht, auch kleinere Signale zu verstärken (Bild 1).

Wie reflektierte Sonarwellen sind Sensorausgangssignale oft winzige Analogsignale, die rauscharme Operationsverstärker benötigen, um fehlerfrei verstärkt zu werden. Die steigende Nutzung von Sensoren dürfte somit die Nachfrage nach rauscharmen CMOS-Operationsverstärkern wie dem LM-R1802G-LB von Rohm erhöhen. Er erreicht mit einer von Rohm entwickelten Technik sehr rauscharme Eigenschaften. Zu den Hauptmerkmalen des LM-R1802G-LB gehören:



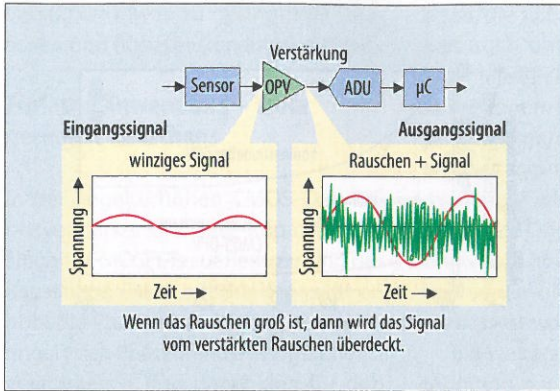


Bild 1. Erzeugt ein Operationsverstärker zu viel Rauschen, gehen winzige Signale im Rauschen unter – trotz Verstärkung. Die nachfolgenden Stufen können das Signal nicht fehlerfrei verarbeiten. (Quelle: Rohm)

- Extrem rauscharmes Verhalten (auf den Eingang bezogene Rauschspannungsdichte), weit besser als bei konventionellen Operationsverstärkern.
- Geringeres Rauschen, sowohl bei niedrigen als auch bei hohen Frequenzen: 7,8 nV/√Hz bei 10 Hz, 2,9 nV/√Hz bei 1 kHz.
- Niedriger Eingangsstrom (0,5 pA) und niedrige Offsetspannung (max. ±450 µV)
- Ein Phasenrand von 68 ° und eine hohe kapazitive Lasttoleranz minimieren unerwünschte Oszillation.

**Rauschklassifikation für Operationsverstärker**

Es gibt verschiedene Arten von Rauschen. Eine Art ist das Stör-rauschen, das elektromagnetische Wellen von außerhalb des IC und Funkwellen (HF-Rauschen) von elektronischen Geräten wie Mobiltelefonen umfasst. Diese elektro-

erzeugt werden (Emission), sowie EMS-Gegenmaßnahmen (EMS – Elektromagnetische Störfestigkeit), die verhindern, dass elektromagnetische Wellen sich störend auswirken können (Immunität). Die von Rohm im letzten Jahr vorgestellten Operationsverstärker der Serie BA8290xYxx-C zeichnen sich durch eine hohe Beständigkeit gegen elektromagnetische Störungen aus.

Eine andere Art von Rauschen ist farbiges Rauschen, das vom Operationsverstärker selbst erzeugt wird und von den Transistoren und Widerständen stammt, aus denen sich das IC zusammensetzt (Bild 2). Farbiges Rauschen umfasst frequenzabhängiges Rauschen, das als rosa Rauschen – auch 1/f-Rauschen oder Flickerauschen – bezeichnet wird, und gleichmäßig über das gesamte Frequenzband verteiltes Rauschen, das weißes Rauschen – auch thermisches Rauschen – genannt wird. Diese beiden Arten von Rauschen werden in der Spezifikation

magnetischen Wellen können in die Signal- und/oder Versorgungsleitungen eingekoppelt werden und Schwankungen im Ausgang oder Fehlfunktionen verursachen.

Es gibt EMI-Gegenmaßnahmen (EMI – Elektromagnetische Interferenz), die verhindern, dass elektromagnetische Störungen durch elektronische Geräte

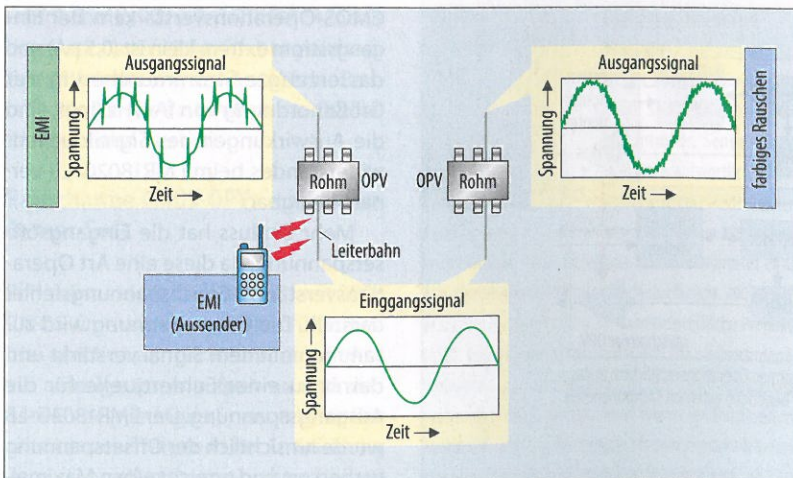
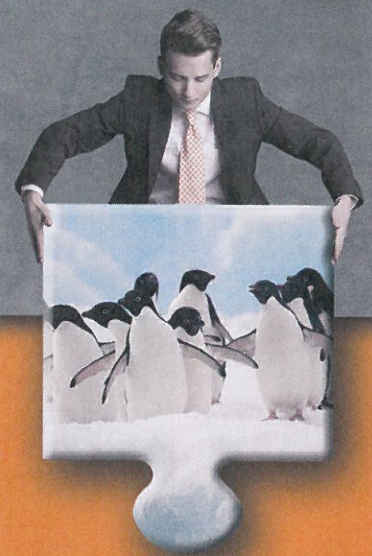
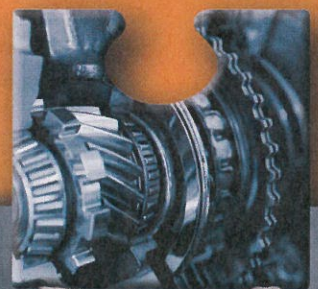


Bild 2. Das Ausgangssignal eines Operationsverstärkers wird durch Stör-rauschen von außen (links) und farbiges Rauschen der internen Schaltungsteile (rechts) verfälscht. (Quelle: Rohm)



**Custom Linux**

- Pre-Built
- Industry proven
- Realtime (optional)
- Secure Boot
- Custom Add-Ons
- Update (OTA)
- Life Cycle Support



**LINUTRONIX**  
LINUX FOR INDUSTRY

Bahnhofstraße 3  
D-88690 Uhldingen  
Telefon +49 7556 25999 0  
sales@linutronix.de  
www.linutronix.de





Bild 3. Um das Rauschen bei Operationsverstärkern wirksam zu reduzieren, hat Rohm drei Techniken zu einem Optimum kombiniert. Halbleitertechnik, Fertigungstechnik und Schaltungstechnik. (Quelle: Rohm)

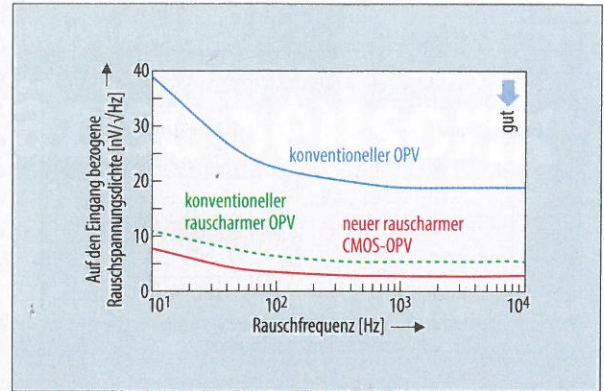


Bild 4. Vergleich der auf den Eingang des Operationsverstärkers bezogenen Rauschspannungsdichte normaler OPVs, rauscharmer OPVs und des neuen LMR1802G-LB von Rohm. (Quelle: Rohm)

für die auf den Eingang bezogene Rauschspannungsdichte wiedergegeben.

Für Analogschaltungen, die Signale mit hoher Präzision verarbeiten müssen, ist es notwendig, die Auswirkungen von Störuschen zu minimieren und zusätzlich auch das im Operationsverstärker selbst erzeugte Rauschen (auf den Eingang bezogene Rauschspannungsdichte) so weit wie möglich zu reduzieren.

### Optimierte Transistoren für geringes Rauschen

Im Juli 2018 stellte Rohm den CMOS-Operationsverstärker LMR1802G-LB vor. Er basiert auf einer proprietären analogen Schaltungstechnik, die mit Rohms Halbleiterfertigungsprozess integriert wurde. Das Ergebnis ist ein Operationsverstärker mit dem besten Rauschverhalten der Branche, was ihn ideal für

industrielle Anwendungen und Sensorensysteme macht.

Um das Rauschverhalten (auf den Eingang bezogene Rauschspannungsdichte) verbessern zu können, ist es notwendig, den Teil der Operationsverstärkerschaltung zu identifizieren, in dem das Rauschen auftritt. Nach einer gründlichen Überprüfung des Halbleiterfertigungsprozesses wurde ein hinsichtlich seines Rauschverhaltens optimierter Transistor entwickelt.

Darüber hinaus konnte mit einer Schaltungskonfiguration, die die Rauschunterdrückung maximiert, ein sehr rauscharmer Betrieb erreicht werden (Bild 3). Bei 10 Hz und 1 kHz, den Standardfrequenzen für Rauschkennwerte, wie die auf den Eingang bezogene Rauschspannungsdichte, reduzieren die neuen Operationsverstärker von Rohm das Rauschen im Vergleich zu herkömmlichen rauscharmen OPVs:

- um ein Drittel bei 10 Hz – 7,8 nV/√Hz gegenüber 11 – 20 nV/√Hz und
- um die Hälfte bei 1 kHz – 2,9 nV/√Hz gegenüber 4 – 7,5 nV/√Hz (Bild 4).

### Eingangsoffsetspannung und Eingangsstrom minimieren

Wenn der Strom, der in den Eingang eines Operationsverstärkers fließt, wie bei herkömmlichen rauscharmen bipolaren OPVs groß ist, kann das durch den Stromfluss erzeugte Stromrauschen problematisch werden. Dieses Stromrauschen wird durch den Widerstand der Signalquelle in eine Rauschspannung umgewandelt. Je größer der Widerstand der Signalquelle, desto größer sind die Auswirkungen des Stromrauschens.

Bei einem großen Signalquellenwiderstand kann dieses Stromrauschen größer werden als das Verstärkerrauschen – die auf den Eingang bezogene Rauschspannung – und das Verhalten des Verstärkers dominieren. Da bei CMOS-Operationsverstärkern der Eingangsstrom extrem klein ist (0,5 pA) und das erzeugte Stromrauschen in der Größenordnung von fA/√Hz liegt, sind die Auswirkungen des Signalquellenwiderstandes beim LMR1802G-LB vernachlässigbar.

Mehr Einfluss hat die Eingangsoffsetspannung, da diese eine Art Operationsverstärker-Gleichspannungsfehler darstellt. Die Offsetspannung wird zusammen mit dem Signal verstärkt und damit zu einer Fehlerquelle für die Ausgangsspannung. Der LMR1802G-LB wurde hinsichtlich der Offsetspannung verbessert und erreicht einen Maximalwert von ±450 µV im Vergleich zu ±2 mV (max.) bei herkömmlichen Operations-

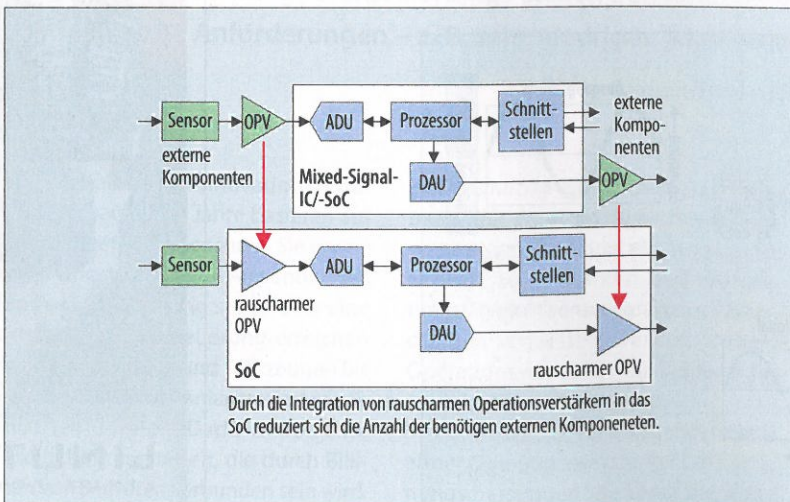


Bild 5. Rauscharme CMOS-Operationsverstärker werden nicht nur als eigenständige ICs benötigt, sie eignen sich für die Integration in ein SoC, z. B. für Sensoranwendungen. (Quelle: Rohm)



verstärkern, was zu geringerem Rauschen und höherer Genauigkeit führt.

**Einfache Anwendung – trotz geringen Rauschens**

In der Regel erhöhen CMOS-Operationsverstärker die Gate-Kapazität der EingangsmosFETs zur Reduzierung des Rauschens. Diese höhere Kapazität erhöht die Phasenverschiebung und verringert den Phasenrand des Operationsverstärkers – und damit den für den Verstärkerbetrieb nutzbaren Bereich bis zum Schwingen der Schaltung.

Zudem ist der Ausgangswiderstand von CMOS-OPVs tendenziell gering, sodass rauscharme Operationsverstärker je nach Einsatzbedingungen eher zum Schwingen neigen, insbesondere, wenn sie eine kapazitive Last wie einen Kondensator treiben. Wenn also eine kapazitive Last direkt an den Ausgang eines CMOS-Operationsverstärkers angeschlossen wird, besteht die Möglichkeit, dass die Operationsverstärkerschaltung aufgrund der oben beschriebenen Phasenverschiebung schwingt.

Als Maßnahme gegen das Oszillieren von Operationsverstärkern kann ein Widerstand in den Ausgang in Reihe zur kapazitiven Last geschaltet werden oder es wird eine Kapazität zur Phasenkompensation hinzugefügt. Allerdings erhöhen diese Maßnahmen die Anzahl der Bauteile.

Der LMR1802G-LB gewährleistet einen Phasenrand von 68° ohne Last. Er kann an seinem Ausgang kapazitive Lasten bis zu 500 pF treiben – zwei- bis fünfmal mehr als herkömmliche rauscharme Operationsverstärker. Diese Eigenschaften ermöglichen eine einfachere Handhabung – ähnlich wie bei Standardoperationsverstärkern – bei gleichzeitiger Minimierung der Anzahl der Bauteile, die für das Verhindern der Oszillation benötigt werden.

**Rauscharme CMOS-OPVs – ideal für Sensor-SoCs**

Rohm entwickelt und vertreibt seit 2008 CMOS-Operationsverstärker für Industrie- und Konsumergeräte mit dem Fokus auf niedrige Stromaufnahme und den Betrieb bei niedrigen Spannungen. Die seit über zehn Jahren in der Entwicklung von universellen Operationsverstärkern in Automobilqualität praktizierte Technik ermöglicht es Rohm, OPVs zu fer-

tigen, die sich durch hohe Zuverlässigkeit auch unter rauen Bedingungen einschließlich hoher Temperaturen auszeichnen. Die Entwicklung von leistungsfähigen Operationsverstärkern wird vorangetrieben, indem Schlüsselmerkmale wie geringeres Rauschen, niedrigere Offsetspannung, hohe Bandbreite und hohe Anstiegsgeschwindigkeit sowie niedrige Stromaufnahme verbessert werden.

Ein weiterer Schwerpunkt ist die Integration rauscharmer Operationsverstärker in größere ICs und SoCs. Wie eingangs erwähnt, hat die Forderung nach höherer Genauigkeit in den letzten Jahren den Bedarf an Operationsverstärkern erhöht, die in Sensoranwendungen geringeres Rauschen bieten können. Gleichzeitig erschwert jedoch das erhöhte Rauschen durch die Miniarisierung von Transistoren die Integration von Operationsverstärkern in CMOS-Logik-ICs und SoCs.

Als Reaktion darauf hat Rohm die Ursache der Rauschentwicklung in CMOS-ICs und SoCs gründlich untersucht, um eine Technik für den Entwurf und die Integration rauscharmer CMOS-OPVs zu entwickeln. Damit ist es gelungen, nicht nur leistungsstarke Universal-Operationsverstärker-ICs zu entwickeln, sondern auch rauscharme Operationsverstärker, die in SoCs integriert werden können. Bei Rohm wird diese Technik für rauscharme OPVs zukünftig auch in SoCs für Sensoranwendungen eingesetzt (Bild 5). *hs*



**Dipl.-Ing. Raimund Wagner**

ist als Produktmanager bei Rohm Semiconductor für Mikrocontroller, Sensoren und Treiber verantwortlich. Er hat Mikroelektronik an der Univer-

sität Kaiserslautern studiert und sein Studium 1999 erfolgreich beendet. Seine berufliche Laufbahn startet er als ASIC-Entwickler bei Oki Semiconductor Europe. 2003 wurde er stellvertretender Leiter für kundenspezifische Produkte (ASICs und µC) und 2006 wurde ihm das stellvertretende Produktmanagement für ASICs, µC und Sicherheitsapplikationen anvertraut. Mit der Übernahme von Oki Semiconductor durch Rohm 2009 wurde Wagner Produkt-Supportingenieur für Mikrocontroller und Sensoren und seit 2010 ist er als Produktmanager für Rohm Semiconductor tätig. [raimund.wagner@de.rohmeurope.com](mailto:raimund.wagner@de.rohmeurope.com)



**INDIVIDUELL.**

Wir analysieren Ihr Projekt und entwickeln bzw. liefern genau das, was Sie dafür benötigen – egal ob Markenprodukt, Individualisierung oder Sonderlösung.

**BIDIREKTIONALE HOCHLEISTUNGS-STROMVERSORGUNG**

Delta Elektronika SM-Serie 15 kW



- › Bidirektionale Leistungsstufe mit Netzurückspeisefunktion
- › Ausgangsspannung bis 1.500 V
- › Wirkungsgrad bis zu 96 %
- › Großer Eingangsspannungsbereich

electronica 2018  
13. – 16. November 2018  
Neue Messe München  
Halle A5, Stand 218



Schulz-Electronic GmbH

Dr.-Rudolf-Eberle-Straße 2 · D-76534 Baden-Baden  
Fon +49.7223.9636.0 · [vertrieb@schulz-electronic.de](mailto:vertrieb@schulz-electronic.de)  
[www.schulz-electronic.de](http://www.schulz-electronic.de)