

# Elektronik Informationen

05  
2007

39. Jahrgang · € 7,-

FACHZEITSCHRIFT FÜR DEN PROFESSIONELLEN ENTWICKLER

## Titelstory:

### Design von Audioverstärkern

*Chipsatz für Class-D ermöglicht  
höheren Wirkungsgrad als Class-AB*

Seite 24

## Sensortechnik:

### Time-to-Digital-Converter

*Durchlaufzeit von CMOS-Gattern  
als Quantisierungsmaßstab*

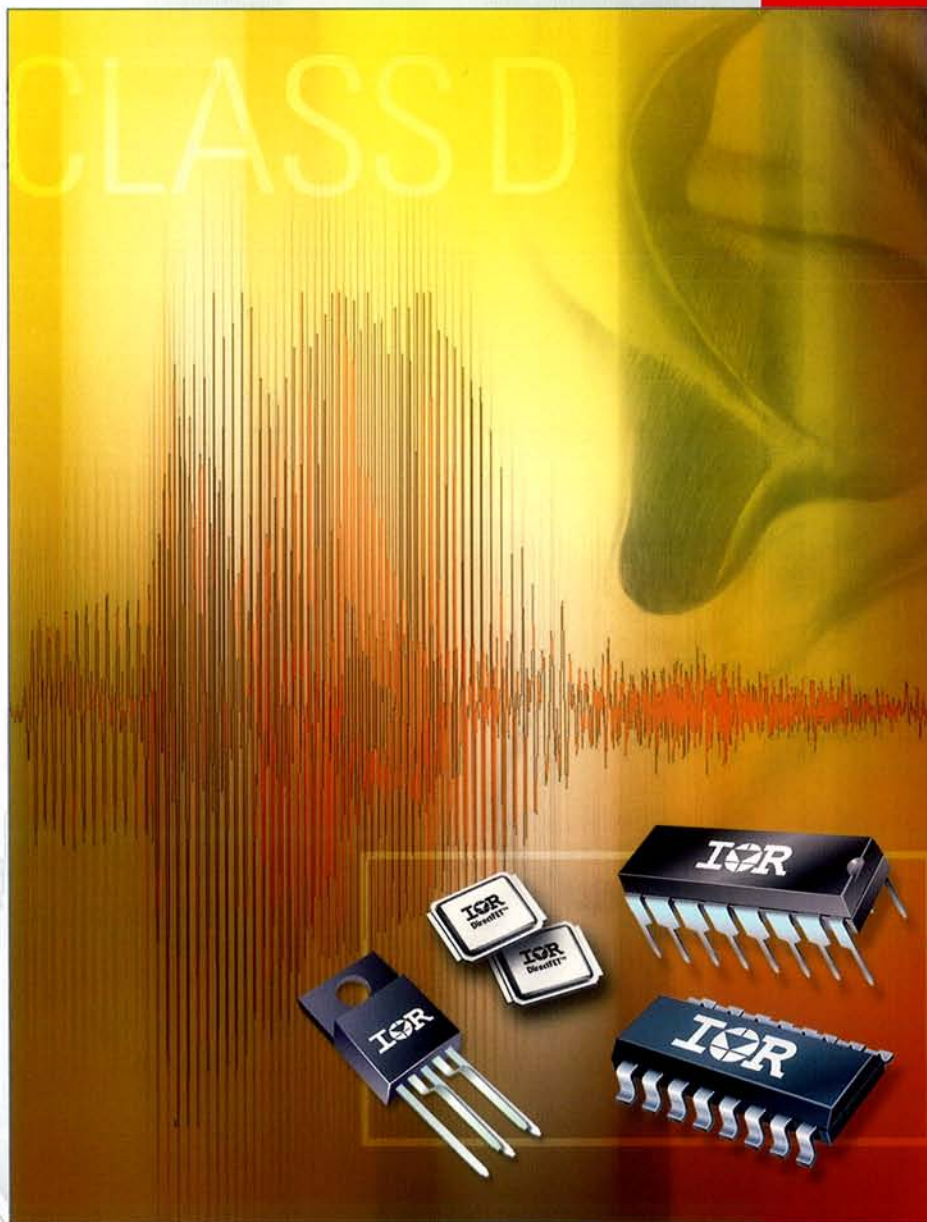
Seite 50

## Messtechnik:

### Logikanalyse

*Mixed-Signal-Oszilloskope als  
Alternative zum Logik-Analysator*

Seite 70



## Interview:

### Referenz-Designs vom Distributor

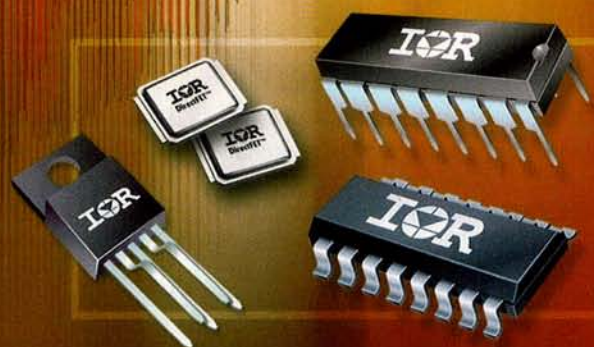
*Service spart Zeit und Geld  
bei der Applikations-Entwicklung*

Seite 12



# Leistungsstarker Chipsatz für Class-D

Alex Mihalka, International Rectifier



Class-D Audioverstärkerschaltungen gibt es bereits seit Jahrzehnten. Sie liefern im Vergleich zu der weiter verbreiteten linearen Class-AB Topologie einen höheren Wirkungsgrad bei kleinen Abmessungen. Die Spannung über dem Ausgangsbaustein eines Class-AB Verstärkers ist gleich der Differenz zwischen der Lautsprecher- und der Rail-Spannung und verändert sich entsprechend dem Audiosignal. Deshalb ergibt sich der Leistungsverlust aus dieser Spannung multipliziert mit dem Ausgangsstrom. Typische Wirkungsgrade liegen bei 30 %.

In Gegensatz dazu dominieren in einem Class-D Leistungsverstärker die Schalt- und Leitungsverluste der Ausgangsbausteine. Diese Transistoren – normalerweise in Sättigung betriebene Leistungs-MOS-FETs – liefern routinemäßig Wirkungsgrade von über 90 %. Ein passives LC-Filter glättet den Rail-to-Rail Ausgang der Leistungsstufe, um das Audiosignal wieder herzustellen. Class-D Kopfhörerverstärker tragen zur Verlängerung der Batteriebensdauer und zu geringen Abmessungen in vielen tragbaren Systemen bei. Hochleistungsanwendungen verwenden Class-D Topologien zur Reduzierung von Größe, Gewicht und Kosten.

## Performance

Das Verhalten mehrerer Schaltkreise wirkt sich auf die Class-D Audio-Performance aus. Besonders hervorzuheben sind die Anstiegs- und Abfallzeiten der Schaltvorgänge, die Verzögerungsunterschiede durch die High-Side- und Low-Side-Brückenschalter, die Totzeit zwischen High- und Low-Leitungsintervallen sowie Jitter beim Schaltzeitakt. Die Anstiegs- und Abfallzeiten hängen von der ausgangsseitigen Strombelastbarkeit des FET-Treibers und der Gesamt-Gateladung des FET ab. Die Totzeit erzeugt einen signalabhängigen Verstärkungsfehler, der eine Verzerrung am Ausgang zur Folge hat. Rauschen, welches die Schaltzeiten des FET beeinträchtigt, verursacht Jitter, der sich beträchtlich auf den Gesamtklirrfaktor und die akustische Performance auswirkt.

Zur Reduzierung von THD und Rauschen bieten Halbleiterhersteller wie International Rectifier Halbleitertreiber, die einen Strom von 1 A oder mehr zur Gateansteuerung liefern, der mit  $\pm 100$  V zur Ansteuerung von Halbbrückentopologien auf Leistungspegel von 500 W an 8 Ohm belastbar ist. Diese Treiber können eine mit Laser abgeglichene Abstimmung des Throughput-Delay von maximal 20 ns zwischen den High-Side- und Low-Side-Schaltern enthalten. In jüngerer Zeit haben Hersteller Treiber entwickelt, die programmierbare feste Totzeiten aufweisen, um gleichzeitig drei Ursachen von THD zu lösen: Totzeitgenauigkeit, Delay-Matching und Schalt-Jitter. Bei diesen Bausteinen legt das Laser-Trimmen nicht nur Totzeiten für mehrere getrennte Zeiträume fest, sondern es macht darüber hinaus das Delay-Matching unnötig.

Nach dem Abschalten eines FET minimiert der Treiber den Schalt-Jitter, indem er eine programmierbare Totzeit erzwingt, ehe er den gegenüberliegenden Schalter einschaltet. In der Zwischenzeit weist das System Rauschsignale ab, welche den Schalttakt beeinflussen könnten. Mithilfe der Totzeit-Programmierbarkeit kann der Anwender den



Zeittakt des Treibers so einstellen, dass er auf die Anforderungen der Brücken-FETs der Schaltung abgestimmt ist. Wenn Entwickler die maximale Ausgangsleistung für eine gegebene Topologie erhöhen, müssen sie größere Brücken-FETs einsetzen, die eine höhere Gesamt-Gateladung aufweisen. Bei einem gegebenen Gate-Ansteuerstrom braucht ein größerer Verstärker eine längere Totzeit.

Die am weitesten verbreitete objektive Bewertung der Verstärker-Performance ist die THD+N-Messung (Gesamtklirrfaktor plus Rauschen). Ein Class-D Halbbrückentreiber-IC mit den oben erwähnten Features sowie ein sorgfältiges Layout führen zu einem ausgezeichneten THD+N (Bild 1). Bei dem Treiber handelt es sich um eine selbst schwingende 400 kHz Entwicklung mit einem Rückkopplungspfad vom Schaltknoten. Der resultierende THD+N-Wert ist gleich oder besser als einige der besten Werte, die durch hoch entwickelte Class-AB Verstärker erzielt werden können.

## Schutzmerkmale

Eine der Herausforderung bei der Audioverstärkerentwicklung ist der Fehlerschutz, insbesondere gegen die Überstrom-(OC-) Bedingungen, die ein kurzgeschlossener Ausgang häufig während der Installation oder Neukonfigurierung des Systems verursacht. Diskrete robuste Schutzsysteme verwenden eine große Zahl von Komponenten, die Platz auf der Leiterplatte beanspruchen und die Zuverlässigkeit beeinträchtigen. Sie erfordern außerdem einen beträchtlichen technischen Aufwand, wenn sie während des Normalbetriebs akustisch transparent bleiben sollen.

Durch Einschalten eines programmierbaren OC-Schutzes sowohl für die High-Side- als auch für die Low-Side-Schalter kann ein Halbbrückentreiber wie der IRS209545 diese Schutzfunktion verbessern, klangliche Transparenz sicherstellen und sowohl das Risiko als auch die Zykluszeit bei der Verstärkerentwicklung verringern (Bild 2). Die Schutzschaltung verwendet den RDS(on) jedes Schalters als Element zur Strommessung. Aus diesem Grund sind nur ein paar wenige externe Teile erforderlich, um den kompletten OC-Schutz zu konfigurieren.

Bild 3 zeigt den OC-Schutz im Betrieb. Die Ausgänge schalten als Folge einer Überstrombedingung ab. Die Ausgangsspule entlädt ihre gespeicherte Energie sicher und der Ausgang bleibt bei Null Volt stehen.

Die Unterspannungssperre (Under-Voltage-Lock-Out) stellt ein weiteres wichtiges Schutzmerkmal dar. Wenn die Stromversorgung unter die minimale Betriebsspannung

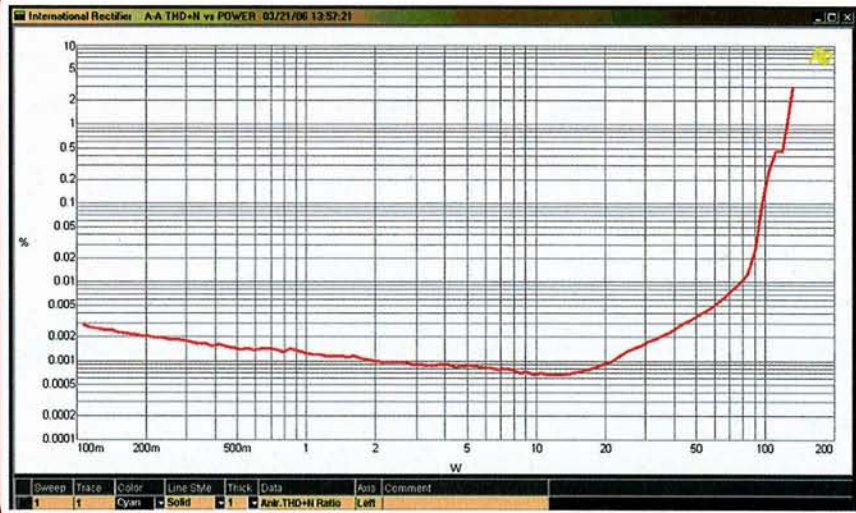


Bild 1. IC-Gatetreiber tragen zur Vereinfachung der Entwicklung von Class-D Verstärkern bei und bieten eine den besten Class-AB Verstärkern ebenbürtige THD+N-Performance

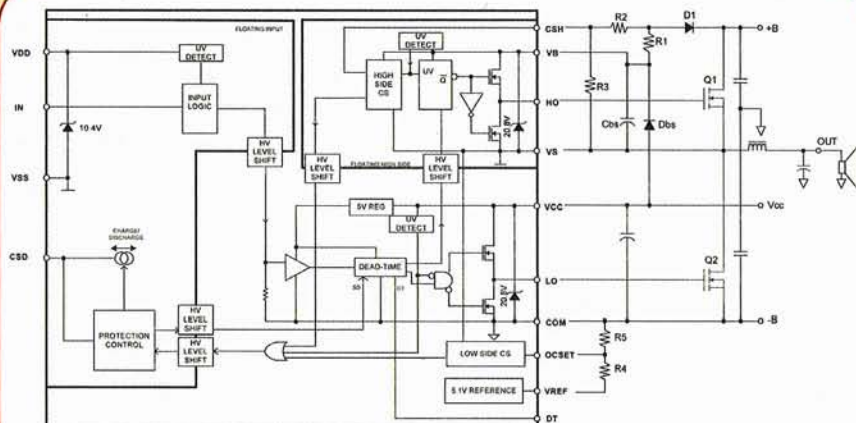


Bild 2. Der IC-Treiber bietet konfigurierbare Überstrom-Abschaltung, Unterspannungssperre und eine potenzialfreie eingangsseitige Schnittstelle

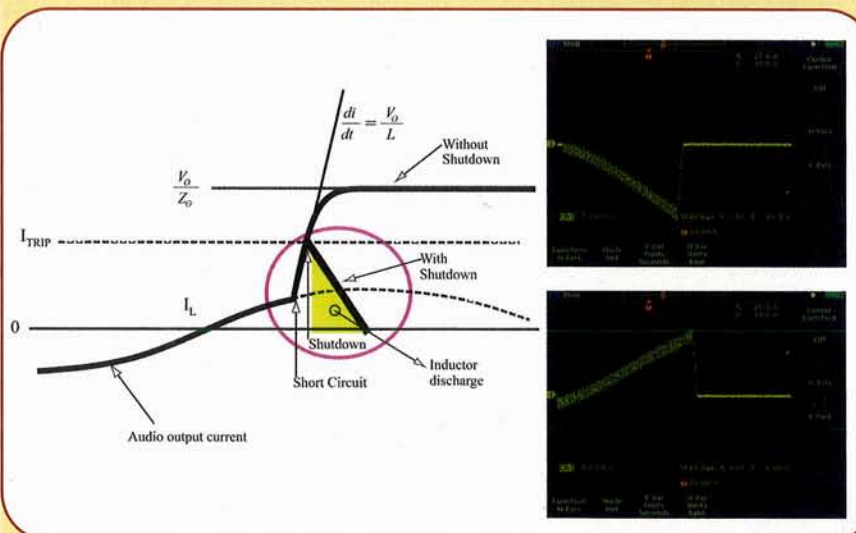


Bild 3. Die Überstromabschaltung entlädt die Filterspule kontrolliert und bringt dabei die Ausgangsspannung auf Null



nung der ICs abfällt, ist sie nicht in der Lage, die Gates sauber anzusteuern, was zu Brückenkurzschlüssen in den Brücken-FETs führen kann. Unter diesen Voraussetzungen schaltet der UVLO des Treibers beide Gatter ab. Zum Zwecke einer Unterspannungserfassung misst der Treiber-IC die Regelleistung zur Gateansteuerung zwischen VB und VS beim High-Side-Potential und zwischen VCC und COM beim Low-Side-Potential.

Entwickler können mithilfe des CSD-Pins das Fehlverhalten des Treibers programmieren. Der Pin stellt folgende fünf Funktionen zur Verfügung: selbst-rückstellender Zeitgeber, Abschaltung, latchinger Schutz, Abschaltstatus-Ausgang sowie Einschalt-Verzögerungstaktgeber. Der selbst-rückstellende Zeitgeber verwendet einen externen Zeittakt-Kondensator zur Einstellung des Abschalt-Intervalls, nach dessen Ablauf der Treiber neu startet. Diese Funktion sorgt auch für die Einschaltverzögerung, so dass sich Stromversorgungspegel stabilisieren können, ehe der Verstärker mit der Ansteuerung der Lautsprecher beginnt.

Der CSD-Pin kann auch als Eingang zur Fernabschaltung dienen. Wenn ein externer Baustein, beispielsweise der Open-Drain I/O-Pin eines Mikrocontrollers, den CSD-Pin auf low zieht, schaltet der Treiber ab. Sobald der externe Baustein den Pin freigibt, fährt eine interne Stromquelle den externen Zeittaktkondensator wie zuvor beschrieben hoch. Ein Widerstand und ein FET können einen Ausfallschutz-Latch implementieren, der ein ausdrückliches Reset-Signal benötigt, ehe der Treiber neu startet. Nur wenige zusätzliche Bauteile erweitern die latching Schaltung so, dass sie einen Fehlerstatus-Ausgang enthält.

## Potenzialfreier Eingang

Klangliche Verbesserungen und ein integrierter Fehlerschutz reichen noch nicht aus. Heutige Class-D Treiber bieten auch noch potentialfreie Regeleingänge. Diese Struktur vereinfacht die Wechselwirkung zwischen dem Verstärker und der Eingangsstufe des Systems in hohem Maße.

Der IC in Bild 2 ist durch drei isolierte Spannungssenken gekennzeichnet. Das IC-Substrat dient als COM auf der Low-Side-Schiene, die High-Side Schiene hat VS und der potenzialfreie Eingang VSS als Referenz. Überwachungsschaltungen können Systemerde oder die Low-Side-Schiene als Referenz haben. Der IC enthält fünf Level-Shifters, drei davon übernehmen Schutzschaltungssignale und zwei davon sind für Gate-Ansteuersignale vorgesehen. Das Blockschaltbild zeigt die drei isolierten Spannungssenken und die fünf Level-Shifters.

## Class-D MOSFETs

Geringe parasitäre Effekte beim Layout und bei den Komponenten sind zum Erreichen von besten Resultaten in jedem Hochfrequenzsystem unumgänglich. DirectFET-MOSFETs enthalten keine Bonddrähte und weisen kleine Anschlussinduktivitäten auf. Diese Bausteinausführung, zum Beispiel der IRF6645, reduziert die Schaltungsinduktivitäten sowohl vom Gate als auch vom Versorgungsstrang. Eine niedrigere Gateschaltungsinduktivität verringert beispielsweise Schaltverzögerungen. Eine geringere Gehäuseinduktivität in den Drain- und Source-Anschlüssen ermöglicht höheres dV/dt mit weniger EMI als ein TO-220 Gehäuse. Das DirectFET-Gehäuse bietet die zusätzlichen Vorteile geringer thermischer Impedanzen und

## ZU DEN AUTOREN

### Alex Mihalka

ist Technical Education Engineer bei International Rectifier in El Segundo.



von beidseitiger Wärmeableitung, was das thermische Design vereinfachen kann.

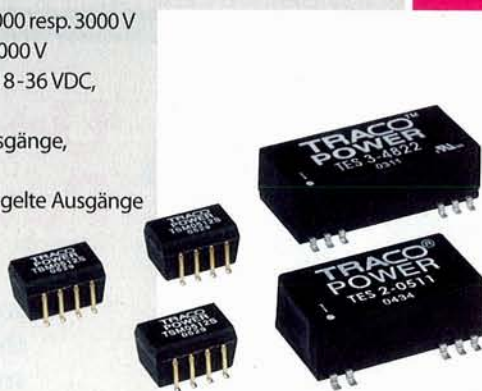
Eine Optimierung der Schaltcharakteristika erzielt den höchsten Wirkungsgrad. Größe und Kosten der Stromversorgung sinken mit zunehmender Schaltfrequenz. Bei 400 kHz erzielt ein einstufiges Zweielemente-LC-Ausgangsfilter die in Bild 1 gezeigten Ergebnisse. Der beste MOSFET für die Applikation muss nicht notwendigerweise den niedrigsten  $R_{DS(on)}$  haben. Schaltverluste spielen angesichts steigender Frequenzen eine zunehmend wichtigere Rolle. Deshalb müssen die Entwickler die Gesamt-Gateladung gegen den  $R_{DS(on)}$  abwägen, um die beste Kombination zu finden. Die Ergebnisse von Bild 1 hängen ebenfalls von einer geringen MOSFET-Gehäuseinduktivität ab. Dieses 120 W/4 Ohm Design benötigt weder einen Kühlkörper noch Fremdbelüftung. Heute sind MOSFETs für spezifische Class-D Anwendungen mit hohen Spannungen und Schaltfrequenzen kompatibel. (jo)

- International Rectifier
- Kennziffer: 001
- Webcode: 05001

## Low Power DC/DC-Konverter im SMD Gehäuse

### Für bleifreien Reflow Lötprozess

- **1W TSM/TSV Serie** 5, 12 oder 24 VDC Eingang, E/A-Isolation 1000 resp. 3000 V
- **2W TSH Serie** 5, 12 oder 24 VDC Eingang, E/A-Isolation 1000 V
- **2W TES-2N Serie** Weite Eingangsbereiche 4.5-9, 9-18 und 18-36 VDC, geregelte Ausgänge, E/A-Isolation 1500 V
- **3W TES-3 Serie** Weite 2:1 Eingangsbereiche, geregelte Ausgänge, E/A-Isolation 1500 V
- NEU** • **5W TES-5 Serie** 9-18, 18-36 und 36-75 VDC Eingang, geregelte Ausgänge
- Einsetzbar für den Reflow Lötprozess mit Temperaturen bis +250°C
- Verfügbar in Stangen oder auf Rollen
- **3 Jahre Produktgewährleistung**
- Ab Lager Ismaning bei München lieferbar



# TRACO POWER

TRACO ELECTRONIC GmbH

D-85729 Ismaning · Tel. 089/96 11 82 0 · info@traco-electronic.de · www.traco-electronic.de

T 3837 D

www.tracopower.com