



A/D-Wandler

Benchmark ADC1

Der universell einsetzbare zweikanalige ADC1 von Benchmark bietet höchste Audioqualität und eine sehr professionelle Ausstattung zum verträglichen Preis

In der modernen Studio- und Recording-Technik sind AD-Wandler – oder besser gesagt AD-Umsetzer – eine der wichtigsten Baugruppen. Da nahezu alle Aufzeichnungen heute in digitaler Form erfolgen, ob nun auf einer DAW oder einem Bandmedium, ist die Qualität der Umsetzung von der analogen Ebene auf die digitale von substanzieller Bedeutung. Was hier verloren geht, ist mit nichts in der Welt mehr zu retten.

Was macht einen guten Wandler aus?

Worauf sollte man also achten und welche Arten von AD-Umsetzern gibt es überhaupt? Weit verbreitet sind heute für kleines Geld

mehrkanalige, d. h. in der Regel 8-kanalige, AD-Umsetzer ohne oder mit Preamps, die über FireWire oder andere Interfaces die digitalisierten Audiodaten in den Rechner spielen. Dank der rasenden Entwicklung bei den ADC- und DAC-Bausteinen liefern diese Geräte Messwerte, von denen man vor 10 Jahren kaum zu träumen wagte. Trotz allem bleibt das Bessere der Feind des Guten und viele ADC-Chips liefern heute Möglichkeiten,

die auch von der Analogtechnik im Signalweg vor der AD-Umsetzung und von der Peripherie absolute Bestwerte verlangen, wenn ihre Qualitäten zur Geltung kommen sollen. Es reicht also nicht, den besten AD-Chip von Crystal oder AKM herauszusuchen und damit mal schnell mit einer Standardschaltung ein Gerät zu designen. Genau hier setzt man bei Benchmark an, hochwertigste Geräte mit ganz speziellen Aufgaben zu entwickeln, die den ADC- und DAC-Bausteinen optimale Bedingungen bieten.

Kommen wir zum hier vorgestellten ADC1, dann ist der Kern des Gerätes ein AKM-Chip 5394 ADC, der nach Datenblatt sehr gute technische Daten zu bieten hat, die sich in einem Signal to Noise von 123 dB und einem Signal to Noise+Distortion von -110 dB manifestieren. Bei Benchmark versucht man dem AKM 5394 eine möglichst perfekte Umgebung mit einem extrem stabilen Takt (siehe Kasten zum Thema „Ultra Lock Technology“) und feinsten analoger Schaltungstechnik zu geben. Hier fiel die Wahl auf Operationsverstärker OP27, die mit zum Besten

Ultra Lock Technology

Als eine herausragende Besonderheit des ADC-1 wird von Benchmark die Ultra Lock Technology herausgestellt. Ultra Lock eliminiert einfach ausgedrückt die durch Takt-Jitter entstehenden Probleme. Diese können im AD-Umsetzer immer dann auftreten, wenn der Takt zur Synchronisation extern vorgegeben wird. Taktschwankungen durch die vorherigen Geräte oder große Kabellängen können dann direkt auf den AD-Umsetzer durchschlagen und zu erheblichen Verzerrungen und einer drastischen Verschlechterung der Stopbandunterdrückung der digitalen Filter führen. Ultra Lock macht dagegen die AD-Umsetzung unabhängig vom Takt des digitalen Eingangssignals und sorgt durch eine sich ständig anpassende präzise Abtaststratenwandlung für eine gleich bleibend hohe Qualität der AD-Umsetzung, was an dieser Stelle besonders wichtig ist, da Fehler, die hier in der Signalverarbeitung entstehen, nicht mehr rückgängig zu machen sind.

Profil

Konzept: Zweikanaliger AD-Umsetzer mit Ultra Lock Technology, 24 Bit Auflösung, Samplerate von 44,1 bis 192 kHz einstellbar

Hersteller/Vertrieb: Benchmark Media Systems/ Analog Audio

Internet: www.benchmarkmedia.com
www.analogonline.de

UVP: € 1.798,-

- + sehr gute Verarbeitung
- + hochwertige Bauteile
- + übersichtliche und sinnvoll gestaltete Bedienung
- + sehr gute Messwerte
- + günstiger Preis

gehören, was die Halbleiterhersteller zu bieten haben. Die analoge Eingangsstufe des ADC1 ist zweistufig aufgebaut, wobei die erste Stufe mit Schaltern auf feste Verstärkungsstufen von 0, 10 oder 20 dB eingestellt werden kann. Die zweite Stufe wird in ihrer Verstärkung durch ein Poti zwischen -6 und +18 dB eingestellt. Über einen Schalter kann das Poti deaktiviert und durch einen über Trimmer einzustellenden Wert ersetzt werden, dessen Einstellung werksseitig auf 0 dB voreingestellt ist. Abbildung 1 zeigt die daraus resultierenden Werte der Gesamtverstärkung, wenn man die Einstellung mit beiden Stufen auf 0 dB als Bezugswert nimmt. Für diese Einstellung wird Vollaussteuerung bei einer Eingangsspannung von +23 dBu erreicht. Mit den beiden Verstärkerstufen lässt sich dieser Eckwert von -15 dBu bis +29 dBu (= 30 V_s) verschieben, womit eine Anpassung an fast alle gebräuchlichen Quellen vom High-Voltage-Preamp bis zum schlecht ausgesteuerten Uralt-Tonbandgerät mit -10 dBV Nennausgangsspannung oder auch einem Instrumenten-Pickup möglich sein sollte. Um auch Letztere (mit der kleinen Ausnahme der Piezo-Pickups) problemlos anschließen zu können, haben die Eingänge des ADC1 einen Eingangswiderstand von 200 kOhm symmetrisch bzw. 100 kOhm unsymmetrisch gegen Masse.

Mit welcher Präzision der ADC1 ans Werk geht zeigen die beiden Frequenzgänge in Abbildung 2, die zwischen 20 Hz und 20 kHz eine Welligkeit von gerade einmal 0,015 dB und einen Kanalunterschied von 0,014 dB aufzuweisen haben.

Um ständig den notwendigen Überblick über die Aussteuerung der AD-Umsetzer zu haben, kann die neunstellige LED-Kette in ihrer Skalierung von 1 dB-Schritten auf 6 dB-Schritte umgeschaltet werden, womit man sich entweder einen groben Überblick verschaffen oder ganz genau den Bereich vor der Clip-Grenze beobachten kann. Zusätzlich kann noch eine Peakhold-Funktion aktiviert werden. Die Werte für die Pegelanzeige werden im ADC1 auf digitaler Seite abgegriffen, wo jedes auch nur einen Sample lange Erreichen der 0 dBfs-Clipgrenze sicher erkannt und angezeigt wird! Weitere Bedienelemente des ADC1 sind die Auswahlmöglichkeiten der Samplerate von 44,1 bis 192 kHz auf allen Normabtastraten und die Konfiguration des digitalen Aux-Output sowie des optischen Ausgangs. Während der Main-Out (einmal auf XLR und einmal auf

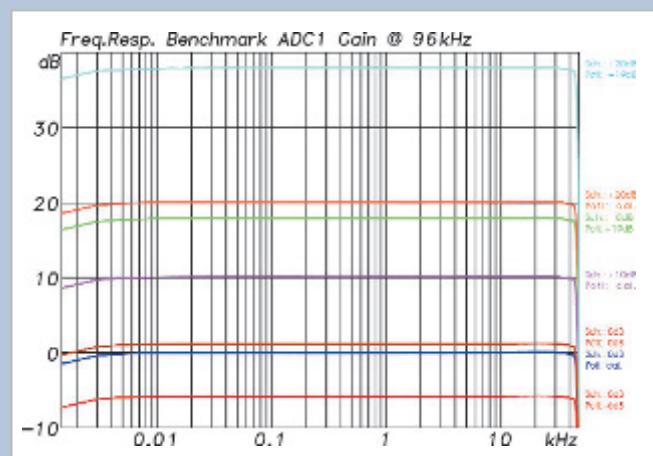


Abb. 1: Frequenzgang und Verstärkungswerte für unterschiedliche Gain-Einstellungen von -6 dB bis +38 dB. Die erste Verstärkerstufe kann per Schalter (Sch.) auf 0, 10 oder 20 dB eingestellt werden, die zweite mit Hilfe eines Potis zwischen -6 und +18 dB. In der Stellung „Calibrated“ ist die zweite Verstärkerstufe auf 0 dB eingestellt und das Poti wirkungslos.

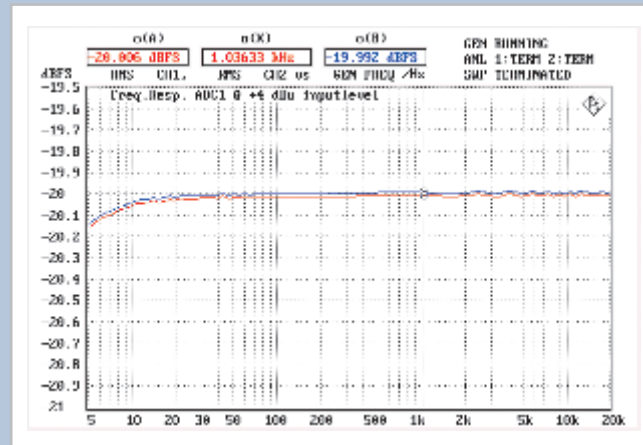


Abb. 2: Frequenzgang beider Kanäle bei +4 dBu Eingangssignal und 0 dB Gain. Verstärkerstufe 1 auf 0 dB Gain und Stufe 2 auf Calibrated. Die Gain-Werte des linken und rechten Kanals weichen nur um 0,014 dB voneinander ab.

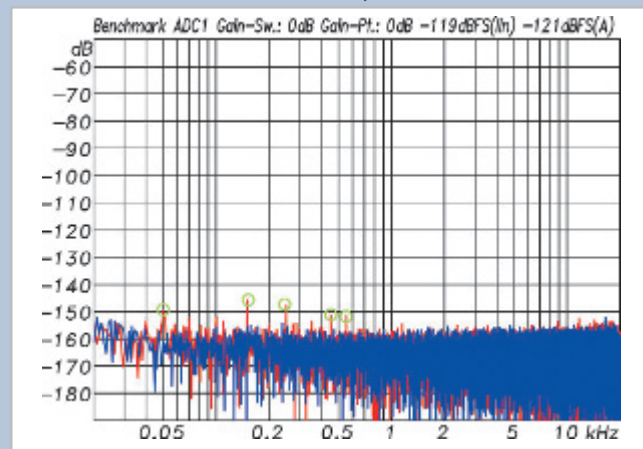


Abb. 3: Störpektrum gemessen mit einer 64K FFT bei 0 dB Gain. Der Gesamtpegel von 20 Hz bis 20 kHz liegt linear bewertet bei sehr guten -119 dBfs und A-bewertet bei -121 dBfs. Der größte monofrequente Anteil (grüne Kreise) liegt bei -145 dBfs.

BNC) immer mit der eingestellten Abtastrate bei voller 24-Bit-Auflösung arbeitet, kann der Aux Output völlig unabhängig mit 48 oder 44,1 kHz ein 16 Bit quantisiertes mit Dither versehenes Signal ausgeben oder aber auch eine 1:1-Kopie des Main-Outs liefern. Zum Stichwort Dither im digitalen Datenstrom verweisen wir an dieser Stelle auf den Grundlagenartikel aus SOUND & RECORDING 3/2006 S. 66 ff mit dem Titel: „Digitale Signalverarbeitung im Zeitalter von VST & Co“ von Christian Budde.

Der optische Ausgang arbeitet immer mit 24-Bit-Auflösung und kann das Signal mit allen Abtastraten bis 192 kHz im AES/EBU-Format ausgeben. Alternativ dazu können die Modi ADAT, ADAT S/MUX2 und ADAT S/MUX4 gewählt werden (siehe Kästen zum Thema ADAT S/MUX). Sämtliche Bedienelemente und Schnittstellen des ADC1 wären damit schon beschrieben. Auf besondere Gimmicks wie Röhrenstufen oder Ähnliches wurde verzichtet, was an dieser Stelle auch sehr zu begrüßen ist, da solche Effekte, wenn sie denn gewünscht werden, nicht in den AD-Umsetzer gehören. Hierfür gibt es bei Bedarf zuzuschaltende Geräte oder man verwendet einen der vielen Mic-Preamps, die schon von Hause aus mit Röhrenkompressoren und ähnlichen Dingen ausgestattet sind. Einen vollwertigen Mic-Preamp gibt es im ADC1 nicht, wenngleich man bei den möglichen Verstärkungswerten durchaus schon ein fremd gespeistes Kondensatormikrofon gut anschließen könnte. Mic-Preamps in vierkanaliger Ausführung mit adäquaten Qualitäten zum ADC1 hat man bei Benchmark unter der Typenbezeichnung MP400 oder MP402 im Angebot.

Messwerte

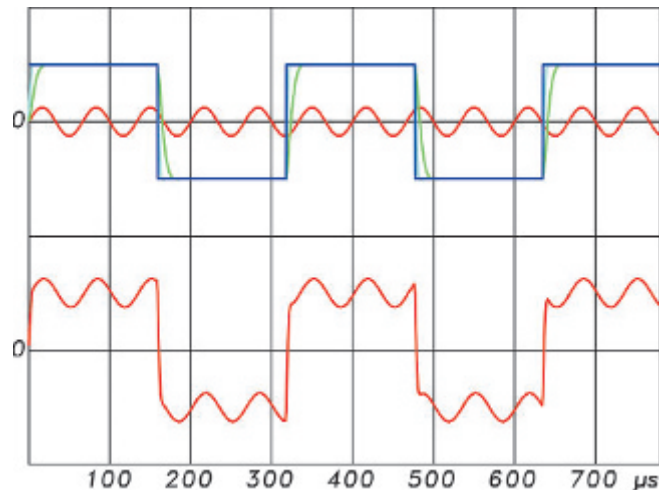
Nachdem die schnurgeraden Frequenzgänge des ADC1 nun schon reichlich gelobt wurden, kann man sich den Rauschwerten und Verzerrungen widmen. Abbildung 3 zeigt das Störspektrum bei 0 dB Gain. Der Gesamtpegel aller Spektrallinien der 64k FFT berechnet sich zu sehr guten -119 dBFS (bezogen auf Vollaussteuerung am digitalen Ausgang = 0 dBFS). Wie die spektrale Verteilung erkennen lässt, handelt es sich bei den Störanteilen fast ausschließlich um gleichmäßig verteiltes weißes Rauschen. Die höchsten monofrequenten Linien reichen gerade einmal

Was sind transiente Intermodulationsverzerrungen?

„Bei den Dynamischen Intermodulationen (DIM100) besteht das Messsignal aus einem 3,15 kHz-Rechtecksignal und einem Sinussignal mit 15 kHz in einem Pegelverhältnis von 4:1, die über einen 100 kHz-Tiefpass bandbegrenzt werden. Der Messwert setzt sich zusammen aus der Quadratsumme der 9 Intermodulationsprodukte im Hörbereich bezogen auf den Effektivwert des Sinussignals. Insbesondere für Rückschlüsse auf die klanglichen Qualitäten bei transienten Musiksignalen scheint dieser Wert deutlich besser geeignet zu sein als die harmonischen Verzerrungen, die im eingeschwungenen Zustand gemessen werden.“ So lautet die fachliche Erklärung für die DIM100-Messung der transienten Intermodulationsverzerrungen. Was steckt nun dahinter?

Herkömmliche Verzerrungsmessungen erfolgen mit reinen Sinussignalen im eingeschwungenen Zustand. Der Begriff des eingeschwungenen Zustandes bezieht sich dabei auf die in allen Verstärkerstufen vorhandene Gegenkopplung. Die Gegenkopplung vergleicht das Ausgangssignal einer Verstärkerstufe mit dem Eingangssignal und greift bei Ab-

sich verschiedene Schaltungstypen und Halbleiter, wo die einen schnell und präzise reagieren, die anderen jedoch nur träge folgen können und somit transiente Verzerrungen verursachen. Um dieses Verhalten messtechnisch zu erfassen, wurde ein spezielles Signal kreiert, das sich aus einem normalen Sinussignal und einem Rechtecksignal zusammensetzt. Die steilen Flanken des Rechtecks setzen die Schaltung unter „Stress“ und die daraus resultierenden Verzerrungen des Sinussignals können ausgewertet werden. Die Steilheit des Rechtecks und damit der Stressfaktor für die gestestete Schaltung kann über ein Tiefpassfilter eingestellt werden. Bei der DIM100 Messung setzt dieser Tiefpass bei 100 kHz ein, für die DIM30 Messung entsprechend bei 30 kHz. Die Grafik zeigt im oberen Teil die einzelnen Komponenten des Testsignals. In blau das ungefilterte Rechtecksignal mit sehr steilen Flanken. In hellblau das mit einem 100 kHz-Tiefpass gefilterte Rechteck mit einer entsprechend leicht abgeschwächten Flankensteilheit. Dann noch in grün das mit einem 30 kHz-Tiefpass gefilterte Rechteck mit schon deut-



Mess-Signal DIM100 und seine Bestandteile

weichung, „sprich Verzerrungen“ korrigierend ein. Ein sich ständig gleichmäßig wiederholendes Signal wie ein Sinus, stellt hier keine besonderen Ansprüche. Gänzlich anders sieht es dagegen bei schnell wechselnden Impulsen und Signalsprüngen aus, die von der Gegenkopplung eine sehr schnelle Reaktion verlangen. Genau hier unterscheiden

lich reduzierter Flankensteilheit. Zu diesem 3,15 kHz-Rechtecksignal wird ein 15 kHz Sinus (obere rote Kurve) mit einem Pegelverhältnis von 1:4 hinzu addiert. Daraus entsteht ein Signal entsprechend der unteren roten Kurve, die sich für die DIM100 Messung aus der Summe des mit 100 kHz-Tiefpass gefilterten Rechtecks mit dem 15 kHz-Sinussignal ergibt.

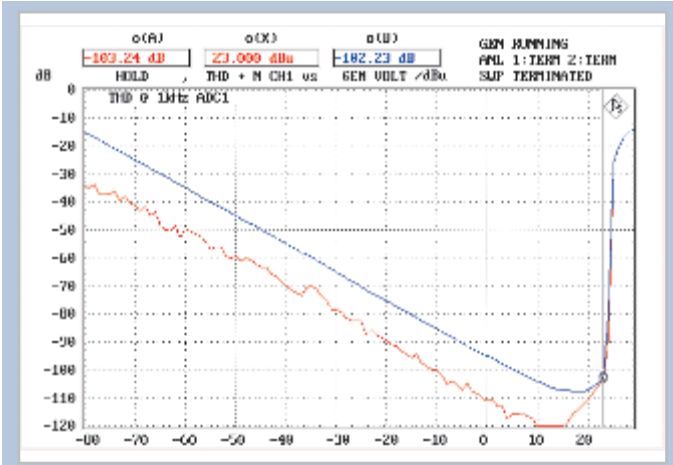


Abb. 4: THD (rot) und THD+N (blau) bei 0 dB Gain gemessen. Die Verzerrungswerte fallen bis unter die -120 dB (0,0001 %) Linie. Kurz vor der Clippinggrenze liegt die Kurve immer noch bei sehr guten -103 dB.

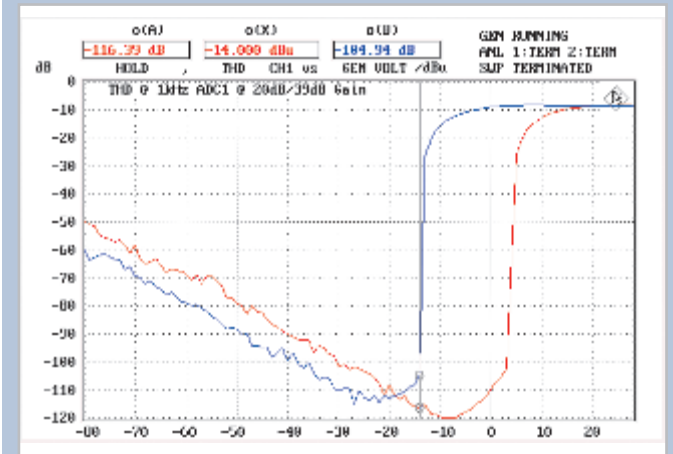


Abb. 5: THD bei 20 dB Gain (rot) und beim Maximalwert von 39 dB Gain (blau) gemessen

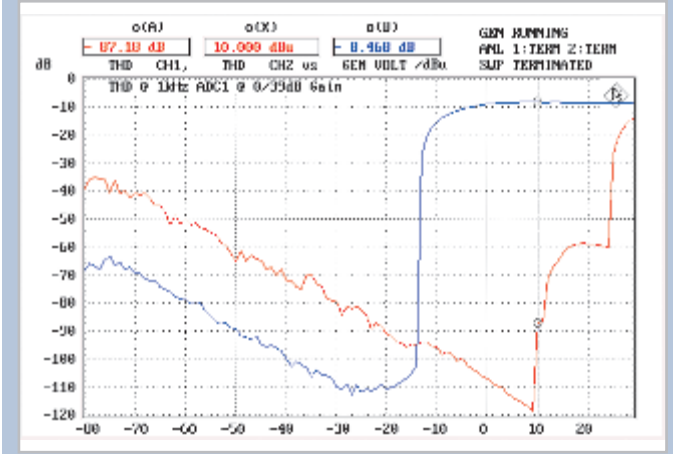


Abb. 6: THD bei 0 dB Gain auf Kanal 1 gemessen (rote Kurve), während Kanal 2 mit 39 dB Gain ab -14 dBu Eingangsspannung schon ins Clipping gerät. Erst wenn die Übersteuerung sehr kräftig wird, sprechen die Verzerrungen auf den anderen noch nicht übersteuerten Kanal über.

bis -145 dBFS. Deren Ursache zeigt sich in der Verteilung als ganzzahlige Vielfache von 50 Hz, was ein eindeutiges Indiz für Netzteilstreuungen ist. Die weiteren Noise-Werte für höhere Gain-Werte finden sich in der Tabelle.

Gain in dB	Noise dBFS	Noise dBFS(A)
0	-119	-121
10	-119	-121
20	-118	-102
39	-105	-108

Noise-Werte für unterschiedliche Gain-Einstellungen

Bis ca. 20 dB dominiert das Rauschen der AD-Umsetzer. Für noch höhere Verstärkungswerte nimmt dann das Rauschen der Vorverstärker überhand.

Bei den Verzerrungswerten wurde zunächst eine Messreihe mit einem 1 kHz-Sinussignal für 0 dB Gain ausgeführt. In Abbildung 4 gibt es dazu zwei Kurven mit den reinen Verzerrungswerten (THD in rot) und den Verzerrungs- plus Noise-Werten (THD+N in blau). Die THD-Werte fallen hier für Eingangsspannungen über +10 dBu unter die -120 dB-Linie und sind damit natürlich über alle Zweifel erhaben. Auch beim weiteren Anstieg des Eingangspegels bis zur Clippinggrenze steigt die Kurve nur bis maximal -103 dB an. Die gleiche Messung wurde anschließend noch für 20 dB und 39 dB Gain durchgeführt. Die Werte in Abbildung 5 fallen ähnlich gut aus, so dass der ADC1 völlig unkritisch auch mit höheren Gain-Werten betrieben werden kann, wenn es erforderlich ist. In einer weiteren Messung wurde dann geprüft, wie stark ein versehentlich übersteuertes Kanal sich auf den zweiten nicht übersteuerten Kanal auswirkt. Abbildung 6 zeigt dazu zwei THD-Kurven. Kanal 1 (rot) wurde mit 0 dB Gain betrieben und Kanal 2 (blau) mit maximalem Gain von 39 dB. Kanal 2 erreicht daher erwartungsgemäß bei -14 dBu Eingangsspannung seine Clippinggrenze und beginnt zu verzerren. Gleichzeitig springt auch die THD-Kurve des nicht übersteuerten Kanal 1 ganz minimal um 2 dB nach oben. Das ist das Übersprechen der Verzerrungen. Erst wenn Kanal 1 ganz extrem ins Clipping getrieben wird bei mehr als 20 dB Übersteuerung, schlagen die Verzerrungen auch kräftig auf Kanal 2 durch, wo die Kurve dann um 60 dB nach oben springt. Dieser Fall dürfte

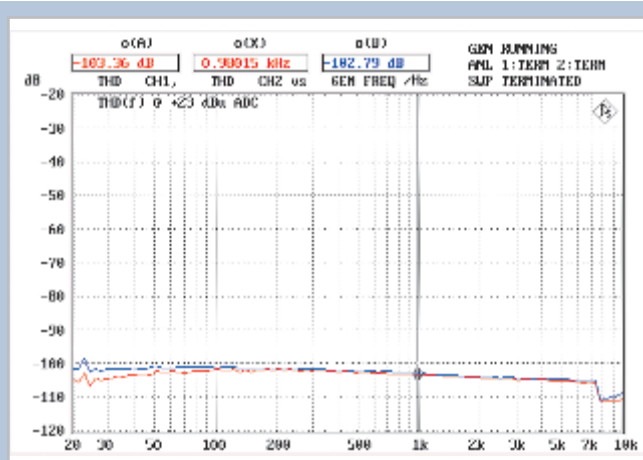


Abb. 7: Verzerrungen in Abhängigkeit von der Frequenz bei +23 dBu Eingangspegel und 0 dB Gain. Die guten Werte der 1 kHz-Messung bestätigen sich hier für den gesamten Frequenzbereich.

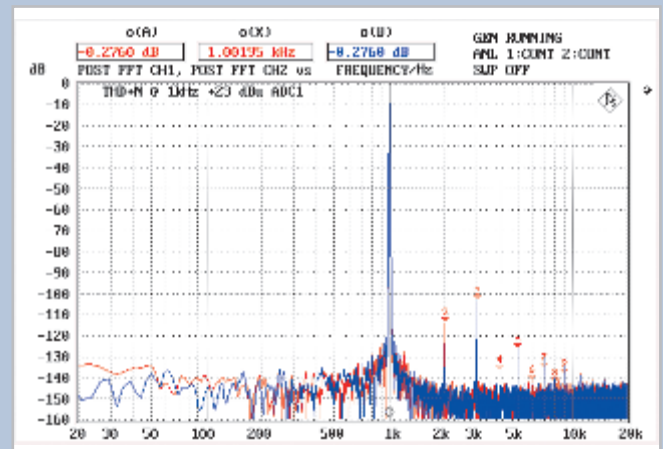


Abb. 8: Klirrspektrum bei +23 dBu Eingangspegel und 0 dB Gain. Kurz vor der Clipgrenze überwiegen die ungeraden Verzerrungskomponenten (k_3 , k_5 , ...).

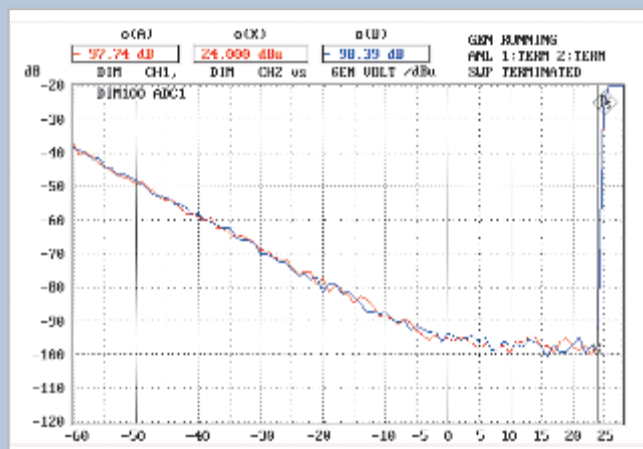


Abb. 9: Transiente Intermodulationsverzerrungen (DIM100) bei 0 dB Gain in Abhängigkeit von der Eingangsspannung (x-Achse). Der ADC1 erreicht mit annähernd -100 dB absolute Bestwerte.

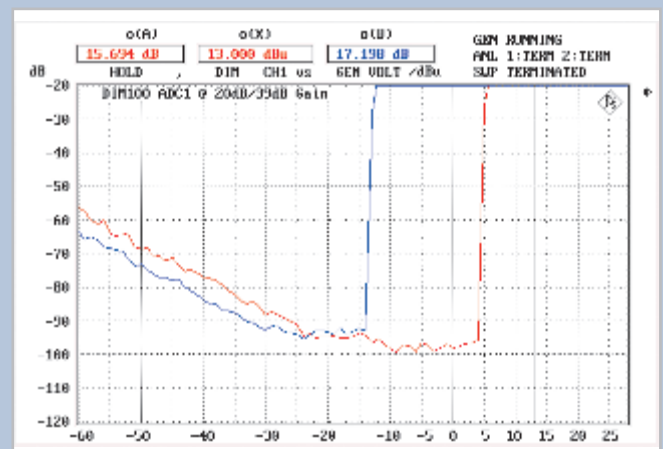


Abb. 10: Transiente Intermodulationsverzerrungen (DIM100) bei 20 dB (rot) und 39 dB (blau) Gain in Abhängigkeit von der Eingangsspannung (x-Achse). Auch für höhere Verstärkungen bleiben die extrem guten Werte erhalten.

aber eher pathologisch und somit für die Praxis nicht relevant sein. Neben dem eigentlichen Wert der Verzerrungen interessiert vor allem deren Zusammensetzung aus geradzahligen (k_2 , k_4 , k_6 , ...) und ungeradzahligen (k_3 , k_5 , k_7 , ...) Komponenten. Auch wenn eigentlich alle Arten von Verzerrungen unter den Aspekten einer unverfälschten AD-Umsetzung unerwünscht sind, kann man zumindest den geradzahligen noch einen gewissen Wohlklang nachsagen, so dass diese weniger kritisch zu betrachten sind als die hässlich klingenden ungeradzahligen Komponenten. Es sollten also möglichst eher geradzahlige Verzerrungskomponenten auftreten als ungeradzahlige und beide sollten

zu den höheren Ordnungen hin zügig abfallen. D. h., k_7 sollte deutlich kleiner sein als k_5 und k_5 wiederum kleiner als k_3 . Sehen wir uns unter diesem Aspekt das Klirrspektrum des ADC1 aus Abbildung 8 an, dann ist Letzteres sowohl für die geradzahligen wie auch für die ungeradzahligen Komponenten sehr schön erfüllt. k_3 fällt zwar um ca. 10 dB höher aus als k_2 , was sich allerdings auf einem insgesamt so niedrigen Verzerrungslevel abspielt und zudem noch direkt an der Clipgrenze gemessen wurde, dass man diese Feststellung nicht zu sehr in die Waagschale legen sollte.

Da die Verzerrungswerte nicht nur bei 1 kHz interessieren, wurde in einer weiteren Messung

der THD-Wert in Abhängigkeit von der Frequenz bei +23 dBu Eingangspegel und 0 dB Gain gemessen. Die beiden Kurven in Abbildung 7 beweisen, dass der ADC1 seine Qualitäten auf für höhere Frequenzen beibehält. Alle Messungen mit Sinussignalen betrachten das Testobjekt lediglich im eingeschwungenen Zustand und berücksichtigen nicht sein Verhalten bei transienten schnell wechselnden Vorgängen, wie sie in Musik naturgemäß häufig vorkommen. Die Messreihen mit Sinussignalen werden daher immer durch weitere Messungen der transienten Intermodulationsverzerrungen (DIM100) ergänzt. Details zum Messverfahren finden sich im Info-Kasten. Die DIM100-Kurven des ADC1

Alternative Verbindung mit ADAT S/MUX

Digitale Audiosignale können auf herkömmlichem Wege mit symmetrischen (AES/EBU) oder unsymmetrischen (SPDIF) Kabelverbindungen übertragen werden. Je nach Art der verwendeten Sender und Empfänger sind bei maximal 24 Bit Wortbreite Abtastraten von bis zu 192 kHz für eine zweikanalige Übertragung möglich. Alternativ dazu können diese Signale über ein optisches Kabel (TOSLINK) übertragen werden. Mit Sendern und Empfängern entsprechender Bandbreite sind auch hier Abtastraten bis 192 kHz möglich. Neben dem zweikanaligen optischen Format gibt es noch das achtkanalige ADAT-Format, das acht Kanäle mit 24 Bit Auflösung bei maximal 48 kHz Abtastrate zu übertragen vermag. In Zeiten höherer Abtastraten haben sich hier zwei neue Formate etabliert, die ohne „Übertaktung“ der Leitung nur durch Kanalbündelung

Signale mit 96 oder 192 kHz übertragen. Im S/MUX2-Format können Signale mit bis zu 96 kHz Abtastrate übertragen werden, wo dann pro Kanal zwei Standard-ADAT-Kanäle genutzt werden. Effektiv bleiben dann noch vier Kanäle. Noch einen Schritt weiter geht das S/MUX4-Format, wo vier Standard-Kanäle für die Übertragung eines 192 kHz-Kanals benutzt werden. Hier bleiben dann effektiv noch zwei Kanäle. Die mit 96 oder 192 kHz abgetasteten Signale können so nicht nur übertragen, sondern auch auf Standard-ADAT-Medien aufgezeichnet werden. Wichtig ist dabei nur, dass man bei der Wiedergabe darauf achtet, dass die empfangenden Geräte auch in der Lage sind, die Datenströme entsprechend zu erkennen und auszuwerten. Ansonsten ist weder eine weitere Bearbeitung noch eine Wiedergabe möglich.

stellung, dass diese Spitzenwerte nicht nur als ein lokales Minimum erreicht werden, sondern bis zur Clippgrenze Gültigkeit haben.

Fazit

Die Beurteilung des ADC1 kann ebenso kurz wie eindeutig ausfallen: Wir haben es hier mit einem unter allen Aspekten in der absoluten Spitzenklasse agierenden AD-Umsetzer höchster Güte zu tun. Feinste Bauteile in ausgefeilten Schaltungen liefern beste Messwerte und in Sachen Ausstattung und Bedienung gibt es auch kaum Wünsche. Äußerlich bleibt der ADC1 dabei angenehm bescheiden und unauffällig. Gleiches gilt auch für den Preis von ca. 1.800 €, der in Anbetracht des gebotenen Gegenwertes sehr günstig erscheint. →

für 0 dB, 20 dB und 39 dB Gain zeigen die Abbildungen 9 und 10. Mit Minima von -100 dB stößt der ADC für alle Verstär-

kungswerte sogar bis zur Messgrenze unseres Messplatzes Rohde & Schwarz UPD vor. Fast ebenso wichtig ist auch noch die Fest-

Text & Messungen: Anselm Goertz

Fotos: Dieter Stork

www.soundandrecording.de