

---

# Messungen an A/D-Wandlern mit den Audio Analysatoren UPL oder UPD

---

Application Note 1GA30\_0D

Klaus Schiffner, Tilman Betz, 2/98

Änderungen vorbehalten

Produkte:

**Audio Analyzer UPL**

**Audio Analyzer UPD**



**ROHDE & SCHWARZ**

## **Inhalt:**

### **1. Zusammenfassung**

### **2. Einleitung**

### **3. Vorbereitung und Start der Applikations-Software**

- 3.1. Erforderliche Geräte und Hilfsmittel
- 3.2. Installation der Software
- 3.3. Meßaufbau
- 3.4. Starten der Applikations-Software
- 3.5. Konfiguration der Applikation
- 3.6. Setup Konvertierung bei Firmware-Updates

### **4. Bedienkonzept**

- 4.1. Softkey F5: CONFIG
- 4.2. Softkey F6: DUT
- 4.3. Softkey F11: RESULTS

### **5. Messungen**

- 5.1. Meßvorschriften
- 5.2. Hinweise zu den einzelnen Messungen
- 5.3. Ermittlung der Klipp-Grenze
- 5.4. Wandlerlinearität / Linearitätsabweichung
- 5.5. Frequenzgang
- 5.6. Dämpfung im Sperrbereich
- 5.7. Leerkanal-Rauschen
- 5.8. Ausgangsspektrum bei unterschiedlicher Aussteuerung
- 5.9. Klirrabstand über Frequenz
- 5.10. Klirrpegel über Pegel
- 5.11. Übersprechen

### **6. Weiterverarbeitung der Meßergebnisse**

- 6.1. Ausdrucken, Abspeichern und Anzeigen der Meßergebnisse
- 6.2. Taskwechsel automatische Selbststeuerung / manuelle Bedienung

### **7. Beendigung der Applikation**

## **1. Zusammenfassung**

A/D-Wandler sind aus den modernen Tonstudios nicht mehr wegzudenken, sie sind eine wichtige Komponente bei jeder Aufnahme und unmittelbar für die Qualität der Musikaufzeichnung mitbestimmend. Die vorliegende Applikationsschrift beschreibt ein Meßprogramm, womit unter Verwendung der Audio Analytoren UPD oder UPL alle wichtigen Parameter dieser Tonstudiogeräte automatisch bestimmt werden können.

Die Messung von Wandler-Chips mit ihren nicht standardisierten, zumeist seriellen Schnittstellen, ist nicht Thema dieser Abhandlung.

## **2. Einleitung**

Mit dem zunehmenden Einsatz der Digitaltechnik in der Tonstudioteknik wurden A/D-Wandler zu wichtigen Komponenten. Unmittelbar nach den Aufnahme-Mikrofonen eingesetzt, bestimmen sie die Qualität der Aufnahme maßgeblich mit. Alle namhaften Firmen der professionellen Audio-Technik bieten A/D-Wandler an, wobei der Trend zu immer höherer Auflösung geht; inzwischen sind bereits 24-bit-Wandler auf dem Markt. Je höher die Auflösung des Wandlers (in bit) ist, umso größer ist der verfügbare Dynamikbereich. Zunehmende bit-Zahlen stellen damit auch immer höhere Anforderungen an die Meßgeräte, so ist es notwendig, extrem reine Testsignale zu erzeugen und diese dann, am Ausgang des Wandlers, mit entsprechender Auflösung zu analysieren. Mit den Audio-Analysatoren UPD und UPL stehen Meßgeräte zur Verfügung, die diese Anforderungen erfüllen.

Zur vollständigen Charakterisierung von A/D-Wandlern sind eine ganze Reihe von Messungen erforderlich, diese können selbstverständlich der Reihe nach manuell durchgeführt werden. Häufig ist es jedoch bequemer, ganze Meßsequenzen programmgesteuert ablaufen zu lassen. Unter Verwendung der als Option erhältlichen Selbststeuerung UPD-K1 bzw. UPL-B10 ist dies möglich, die vorliegende Applikationsschrift nutzt diese Eigenschaft.

Ein BASIC-Programm ist Bestandteil dieser Applikation, die Messungen an A/D-Wandlern werden automatisch ausgeführt, die Ergebnisse können ausgedruckt werden oder für weitere Verwendung ab gespeichert werden.

## **3. Vorbereitung und Start der Applikations-Software**

### **3.1. Erforderliche Geräte und Hilfsmittel**

Für die Messungen wird ein Audio-Analyzer UPD oder UPL benötigt, der mit dem Low-Distortion-Generator UPD-B1 bzw. UPL-B1, sowie der digitalen Schnittstellen-Option UPD-B2 bzw. UPL-B2 ausgerüstet sein muß. Die Option -B2 enthält die standardisierten digitalen Schnittstellen AES/EBU, S/P DIF sowie das optische Interface. Die Option -B1 ist ein extrem klirrarmer Sinus-Generator, der die benötigte Signal-Qualität sicherstellt.

Außerdem wird eine externe Tastatur benötigt, um entsprechende Eingaben für den Protokoll-Ausdruck durchführen zu können. Beim UPD wird die Tastatur außerdem für den Ablauf des Meßprogramms benötigt, beim Audio Analyzer UPL können seit der Firmware-Version 1.01 auch ohne externe Tastatur Ablaufprogramme aufgerufen werden.

Das für den automatischen Ablauf erforderliche BASIC-Programm befindet sich auf einer Diskette, die Sie bei Ihrer örtlichen Rohde & Schwarz-Niederlassung erhalten. Folgende Firmware-Voraussetzungen müssen vom Audio Analysator erfüllt sein:

- UPD-Firmware Version 3.04 oder höher,
- UPL-Firmware Version 1.21 oder höher,
- Selbststeueroption UPD-K1 / UPL-B10 installiert,
- der UPD/UPL ist für die automatische Ablaufsteuerung mit 64 kBytes Programm- und 64 kBytes Datenspeicher konfiguriert (mittels Konfigurationstool UPDSET bzw. UPLSET Einstellung 5).

### **3.2. Installation der Software**

Die Installation der Applikations-Software erfolgt mit Hilfe des Installationsprogramms ADCINST.BAT, das ebenfalls auf der gelieferten Floppy enthalten ist:

- Verlassen der Meß-Software mit der Taste "SYSTEM" am Gerät oder Ctrl F9 auf der Tastatur
- Begleitdiskette einlegen
- Umschalten auf Diskettenlaufwerk (Eingabe A:)
- Aufrufen des Installationsprogramms (Eingabe ADCINST)
- Rückkehr zum UPD/UPL-Programm (Eingabe C:\UPD bzw. C:\UPL)

Das Programm ADCINST erzeugt auf dem Audio Analysator die Directory C:\ADC (falls diese noch nicht vorhanden ist) und kopiert das BASIC-Programm sowie die für die Applikation notwendigen Setups in diese Directory.

### **3.3. Meßaufbau**

Neben dem Audio Analyser UPD bzw. UPL wird evtl. ein Drucker zur Dokumentation der Ergebnisse benötigt.

Der Eingang des A/D-Wandlers für den linken Kanal ist an den Generatorausgang 1 des UPD/UPL anzuschließen, der rechte Kanal wird mit Ausgang 2 verbunden. Der Ausgang des Wandlers wird mit dem digitalen Eingang des UPD/UPL verbunden.

### **3.4. Starten der Applikations-Software**

Das Applikationsprogramm wird unter der automatischen Selbststeuerung ausgeführt. Der Audio Analysator wird mittels der Taste F3 (auf der externen Tastatur) auf die Selbststeuer-Funktion umgeschaltet (beim UPL ist diese Umschaltung auch über die BACKSPACE-Taste möglich).

Hierbei sollte beachtet werden, daß die Logging-Funktion abgeschaltet ist, wie man am Schriftzug "logging off" erkennen kann, der am rechten unteren Rand des Bildschirms eingeblendet wird. Bei eingeschaltener Logging-Funktion würden im Handbetrieb eingegebene Befehle an das Programm angehängt werden und so unnötig Speicherplatz beanspruchen. Das Ein- bzw. Ausschalten des Logging-Modes geschieht mit der Taste F2 auf der externen Tastatur.

Die Applikationsprogramme müssen aus dem Pfad C:\ADC aufgerufen werden, da alle Programmteile und Setups in diesem Pfad gesucht werden. Der Pad kann auf eine der folgenden Arten umgestellt werden:

- von der manuellen Gerätebedienung aus mit dem Befehl "Working Dir" im FILE-Panel
- durch Aufruf eines der für die A/D-Wandler Messungen benötigten Setups
- von der Ablaufsteuerung aus durch die BASIC-Befehlszeile  
UPD OUT "MMEM:CDIR \ADC", bzw.  
UPL OUT "MMEM:CDIR \ADC"
- unter BASIC über den SHELL-Befehl mittels Eingabe von CD ADC und anschließendem EXIT
- auf DOS-Ebene durch Eingabe von CD ADC

Die Programmdiskette enthält das BASIC-Programm ADCTEST.BAS für die Messungen an den A/D-Wandlern. Es wird geladen und gestartet durch Eingabe von:

- LOAD"ADCTEST"
- RUN

Hierzu können natürlich auch die entsprechenden Softkeys verwendet werden, die beim Aufruf der automatischen Ablaufsteuerung am unteren Bildschirmrand eingeblendet werden.

### 3.5. Konfiguration der Applikation

Zur Durchführung der Messungen werden eine Reihe von Setups verwendet, die ebenfalls auf der Applikations-Diskette enthalten sind. Alle Setups sind wie folgt benannt:

AD\_XXXX.SAC

Aus dem unter XXXX verwendeten Kürzel ist die Meßfunktion erkennbar, so steht "FREQ" für Frequenzgang, "THDN" für THD+Noise-Messung, "CROS" für Übersprechmessung (Crosstalk), usw. Es werden nur die sogenannten "Actual Setups" verwendet. Im Gegensatz zu den "Complete Setups" werden hier nur die Einstellungen des für die Applikation verwendeten Generators und Analysators, sowie die Einstellungen von Display- und File-Panel gespeichert. Der Vorteil liegt darin, daß diese Setups in deutlich kürzerer Zeit aufgerufen werden als die Complete Setups, die sämtliche Einstellungen des Meßgeräts beinhalten.

Bei Auslieferung der Setups ist im Option-Panel "Default-Printer" eingestellt. Dies bedeutet, daß die Drucker-Konfiguration nicht durch das Setup bestimmt wird, sondern der zuletzt vom Audio Analyzer verwendete Drucker konfiguriert bleibt. Hier ist also keine Neueinstellung durch den Benutzer erforderlich. Der Bildschirm des UPD/UPL ist auf Farbwiedergabe eingestellt, ein externer Monitor wird angesteuert. Diese Einstellungen können natürlich den Gegebenheiten des Anwenders angepaßt werden, hierzu müssen die Einstellungen im OPTION-Panel geändert werden.

Diese Applikationsschrift richtet sich zwar in erster Linie an die Anwender professioneller Studioteknik, so daß in aller Regel wohl die analogen symmetrischen Wandlereingänge benötigt werden, sowie auf der digitalen Seite der symmetrische AES/EBU-Eingang verwendet werden wird. Eine Beschaltung mit anderen Schnittstellen ist aber ebenfalls möglich. Die analogen Pegel werden in dBu angegeben, die Meßwerte für THD+N in dB angezeigt. Alle Messungen werden zweikanalig ausgeführt.

Sollen weitere Veränderungen an den Einstellungen vorgenommen werden, so müssen die Setups aufgerufen werden und nach Beendigung der Änderungen unter demselben Namen wieder abgespeichert werden. Als zusätzliche Änderungen kommen in Frage:

- Eingabe eines eventuellen Kommentartextes in die grafischen Darstellungen ("Comment" im DISPLAY-Panel)
- Definieren von Toleranzkurven/-werten ("Limit Check" im DISPLAY-Panel)
- Wahl der Einstellungen, die im STATUS-Panel erscheinen sollen ("Anhaken")

**WICHTIG:** bei Änderung von nicht hier aufgeführten Einstellungen ist der einwandfreie Ablauf der Software nicht sichergestellt!

### 3.6. Setup Konvertierung bei Firmware-Updates

Bei einem Firmware-Update des UPD/UPL müssen die Setups möglicherweise konvertiert werden. Beim Laden der Setups geschieht dies automatisch, hierdurch ergeben sich jedoch geringe Wartezeiten bei jedem Ladevorgang. Um dies zu vermeiden, können die Setups vor dem Start der Applikationssoftware konvertiert und dann neu abgespeichert werden. Hierfür gibt es zwei Möglichkeiten:

- auf DOS-Ebene durch Aufruf des Konverterprogramms des UPD/UPL:  
DO\_CONV \UPD\ADC bzw. DO\_CONV \UPL\ADC  
hierbei werden alle Setups in der Directory ADC konvertiert
- auf Meßgeräte-Ebene durch Laden jedes Setups und anschließendem Speichern.

## 4. Bedienkonzept

Um in den Ablauf des Programms eingreifen zu können, werden am unteren Rand des Bildschirms Softkeys eingeblendet. Diese sind auch auf die Funktionen der externen Tastatur übertragen, sodaß auch hierüber die einzelnen Programmteile ausgewählt werden können.

Nach dem Starten des Programms wird das Titelbild "Measurement of A/D-Converters with Audio Analyzers UPD or UPL" eingeblendet, sowie vier Softkeys angezeigt: F5:CONFIG, F6: DUT, F11: RESULTS und F12: RUN.

### 4.1. Softkey F5: CONFIG

Vor Beginn der ersten Messung müssen einige Angaben zum Meßablauf gemacht werden. Hierzu wird der Softkey F5: CONFIG aufgerufen, es erscheint folgendes Bild:

Configuration for A/D Measurements	
Digital Interface:	<i>balanced</i>
Sample Rate:	<i>48 kHz</i>
Reference Level in dBu:	<i>21.2</i>
Display as Linearity Error	<i>Yes</i>
Autorun	<i>Yes</i>

Bild 1: Eingabemenü CONFIG

Unter "Digital Interface" muß angegeben werden, an welchen Schnittstellen der Wandler angeschlossen ist; zur Wahl stehen symmetrische (balanced), unsymmetrische (unbalanced) oder optische (Toslink) Schnittstellen. Zwischen den einzelnen Auswahlpunkten wird mittels der Page up / Page down-Tasten umgeschaltet.

Als Abtastrate kann eine der drei Standardwerte 32kHz, 44,1 kHz oder 48 kHz gewählt werden, auch hier geschieht die Auswahl mit Hilfe der Page up / Page down-Tasten.

Unter "Reference Level" wird der analoge Eingangsspiegel in dBu eingegeben, bei dem der Wandler voll angesteuert ist. Mit den numerischen Tasten am Gerät oder der externen Tastatur erfolgt die Eingabe, sie muß mit ENTER abgeschlossen werden. Diese Eingabe ist lediglich als grobe Orientierung zu betrachten, unter dem Meßpunkt CLIPP wird die Klipp-Grenze vor Beginn der eigentlichen Messungen noch genau bestimmt (siehe Punkt 5.3: Ermittlung der Klipp-Grenze). Der dort ermittelte Wert dient als Bezugswert für alle Messungen.

Die Wandler-Linearität kann zusätzlich auch als Abweichung von der Idealkurve dargestellt werden, wunschgemäß ist der entsprechende Punkt im CONFIG-Menü mit "Yes" oder "No" zu beantworten.

Im nächsten Punkt "Autorun" kann nun ein automatischer Meßablauf ausgewählt werden (Eingabe "Yes"), oder aber jeder Meßschritt wird einzeln angefahren (Eingabe "No"). Die Yes / No-Entscheidungen werden ebenfalls mit den Page up / Page down-Tasten durchgeführt.

Nach Abschluß dieser Eingaben erscheinen die Softkeys F6:OK und F7: CHANGE. Mit letzterem kann erneut in das Config-Menü verzweigt werden, um die Eingaben zu korrigieren.

#### 4.2. Softkey F6: DUT

Mit dem Softkey F6: DUT können einige Angaben zum Prüfling gemacht werden, die auf dem Prüfprotokoll mit ausgedruckt werden. Es sind dies die Typenbezeichnung und Seriennummer des zu prüfenden A/D-Wandlers und der Name des Prüfers. Die Eingaben erfolgen über die externe Tastatur. Datum und Uhrzeit werden automatisch von der Systemuhr des Meßgerätes übernommen. Bild 2 zeigt das Eingabemenü:

Device under Test	<i>Type 12345</i>
Manufacturer	<i>Audio Company</i>
Serial No.:	<i>999999</i>
Tested by	<i>Mike Measureman</i>

Bild 2: Eingabemenü DUT

Auch hier kann nach erfolgter Eingabe über die Softkeys F6:OK und F7: CHANGE zum Hauptmenü zurückgeschaltet werden oder aber die Eingabe wiederholt werden.

Sind alle Eingaben erfolgt, bzw. wenn die bei der letzten Messung verwendeten Eingaben nicht verändert werden müssen, so wird der Softkey F12:RUN betätigt. Wurde im CONFIG-Menü ein automatischer Meßablauf gewählt, so wird dieser unmittelbar gestartet.

Wurde die Einzelschrittausführung gewählt, so wird mit Betätigung des Softkey F12:RUN die Messung zur Ermittlung der Klipp-Grenze gestartet, wie sie unter Punkt 5.3 beschrieben wird.

Ist dies geschehen, so erscheinen die folgenden Softkeys

F5: LINEAR,                      F6: FRQ-RESP,                      F7: ALIASING,                      F8: NOISE,  
F9: SPECTRUM,                      F10: THDN-FRQ,                      F11: THDN-LEV und                      F12: CRSSTLK

mit denen die gewünschten Messungen aufgerufen werden.

### **4.3. Softkey F11: RESULTS**

Mit dem Softkey F11: RESULTS ist es möglich, abgespeicherte Meßergebnisse aufzurufen. Hierzu werden alle im aktuellen Verzeichnis gespeicherten Meßwert-Dateien aufgelistet, das gewünschte File kann nun eingegeben werden. Die Meßgrafiken bzw. Ergebnissaufstellungen werden am Bildschirm der Reihe nach angezeigt, wobei mit den Tasten Page up und Page down zwischen den einzelnen Darstellungen gewechselt werden kann.

## **5. Messungen**

### **5.1. Meßvorschriften**

Die normgerechte Messung von Komponenten mit analog/digitalen Schnittstellen ist in der AES17, "Measurement of Digital Audio Equipment", festgelegt. Soweit möglich, entsprechen die hier beschriebenen Messungen dieser Vorschrift.

### **5.2. Hinweise zu den einzelnen Messungen**

Im folgenden werden die einzelnen Messungen der Reihe nach beschrieben, wie sie im Rahmen des automatischen Meßablaufes durchgeführt werden.

Um die Messungen einzeln zu starten, werden sie mit den jeweiligen Softkeys bzw. den entsprechenden Funktionstasten auf der externen Tastatur aufgerufen. Nach Beendigung der Messung bleiben die Ergebnisse auf dem Display stehen, außerdem wird der Softkey F6:CONTINUE eingeblendet, mit dem zu den Auswahl-Softkeys zurückgeschaltet werden kann. DieSPACE-Taste der externen Tastatur bzw. die SELECT-Taste des Audio Analyzers schaltet ebenfalls zum Meß-Menü zurück, um die nächste Messung aufrufen zu können.

### **5.3. Ermittlung der Klipp-Grenze**

Alle Audio-Komponenten, die intern mit digitaler Signalverarbeitung arbeiten, dürfen nicht übersteuert werden, da bei Überschreitung des digitalen Wertebereichs das Signal sofort stark verzerrt werden würde (Clipping). Dem Punkt der digitalen Vollaussteuerung kommt daher eine weit größere Bedeutung zu als im analogen Bereich, weshalb dieser Punkt in der AES17 entsprechende Beachtung findet.

Auch bei A/D-Wandlern muß diese Klippgrenze ermittelt werden. Da die digitalen Ausgänge zugänglich sind, geschieht dies, indem der Eingangspegel bei Anlegen eines 997Hz-Signals so lange erhöht wird, bis der Spitzenwert des digitalen Ausgangssignals das größte Datenwort erreicht hat (Full Scale).

Der so erhaltene Pegel definiert die Vollaussteuerung des digitalen Systems, er dient als Bezugswert für alle weiteren Messungen.

Immer wenn das Meßprogramm gestartet wird - unabhängig ob als Meßsequenz oder in Einzelschritten - wird in eine Routine verzweigt, die die Klipp-Grenze automatisch ermittelt. Beginnend bei einem Pegel, der 10 dB unter dem im CONFIG-Menü eingegebenen Pegel liegt, wird das Eingangssignal des A/D-Wandlers für beide Kanäle schrittweise erhöht, und der jeweils resultierende digitale Ausgangspegel gemessen, bis die Klipp-Grenze erreicht wird. Als Referenzwert für die folgenden Messungen wird der kleinere der beiden Klipp-Werte aus den beiden Meßkanälen verwendet.

Sowohl die beiden ermittelten Klipp-Werte, wie auch der verwendete Referenzwert werden wie im folgenden Bild angezeigt.

Differenzen zwischen den Klippwerten der beiden Eingangskanäle lassen auf unterschiedliche Aussteuerung der analogen Schaltungsteile im Wandler schließen.

Measurement of Clipping Level	
Clipping Level Left	10.85 dBu
Clipping Level Right	10.42 dBu
Reference Level for Measurements	10.42 dBu

Bild 3: Ermittlung der Klipp-Grenze

#### 5.4. Wandlerlinearität / Linearitätsabweichung

Zur Messung der Wandlerlinearität wird an die Eingänge ein Sinussignal von 997Hz angelegt. Dieses Testsignal wird im Pegel von Volllaussteuerung beginnend, in 5dB-Stufen bis -130 dBr abgesenkt. Das Ausgangssignal wird gemessen und grafisch über dem Eingangssignal aufgezeichnet. Da das Signal mit kleiner werdendem Pegel im Rauschen verschwindet, wird die Messung schmalbandig mit einem Terz-Bandpaß durchgeführt.

Zeigt der Wandler lineares Verhalten, so ergibt sich in der grafischen Darstellung eine Diagonale, wie in Bild 4 zu sehen ist.

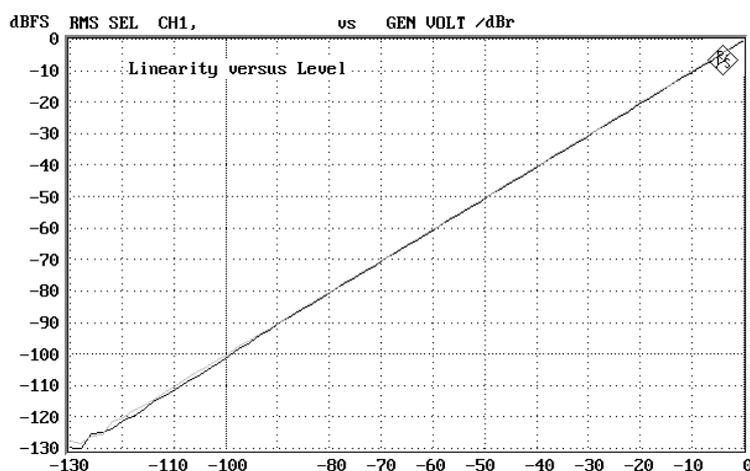


Bild 4: Messung der Wandler-Linearität

Die Messung der Linearität ist in der AES17 nicht beschrieben, dennoch ist sie ein gebräuchliches Verfahren zur Bestimmung der Wandler-Qualität. Allerdings sind bei dieser Art der Darstellung die Abweichungen von der Idealkurve nur schwer zu erkennen. Dies gelingt besser, wenn man die Abweichung von der Pegellinearität mißt. Diese Messung ist in der AES17 festgelegt, sie wird dort als "level-dependent logarithmic gain" bezeichnet. Sie wird wie die Linearitätsmessung durchgeführt, allerdings wird bei jedem Meßschritt die logarithmische Verstärkung bestimmt, also das Verhältnis der Ausgangsamplitude zur Eingangsamplitude. Dieses wird grafisch über dem Eingangspegel aufgetragen.

Die Darstellung zeigt damit die Abweichungen des Wandlerübertragungsverhaltens von der Soll-Linearitätskurve. Abweichend zur hier durchgeführten Messung fordert die AES17 den ersten Meßpunkt erst bei -5 dBFS aufzuzeichnen. Auch die Linearitätsabweichung wird selektiv mit einem Terzbandpaß gemessen.

Zur Darstellung der Linearitätsabweichung wird im hier vorgestellten Applikationsprogramm keine neue Messung gestartet, die Meßkurve wird aus den zuvor in der Linearitätsmessung ermittelten Ergebnissen abgeleitet. Hierzu muß im CONFIG-Menü die Frage "Display as Linearity Error" mit Yes beantwortet sein. Die Linearitäts-Messung wird mit dem Softkey F6:LINEAR gestartet. Nachdem diese Messung beendet ist kann mit der SPACE-Taste der externen Tastatur bzw. der SELECT-Taste des Audio Analyzers oder mit dem Softkey F6: CONTINUE die Darstellung der Linearitätsabweichung abgerufen werden.

Bild 5 zeigt ein Beispiel, in der grafischen Darstellung ergibt sich im Idealfall eine gerade Linie, die Abweichung vom idealen Wandlerverhalten kann in dB abgelesen werden.

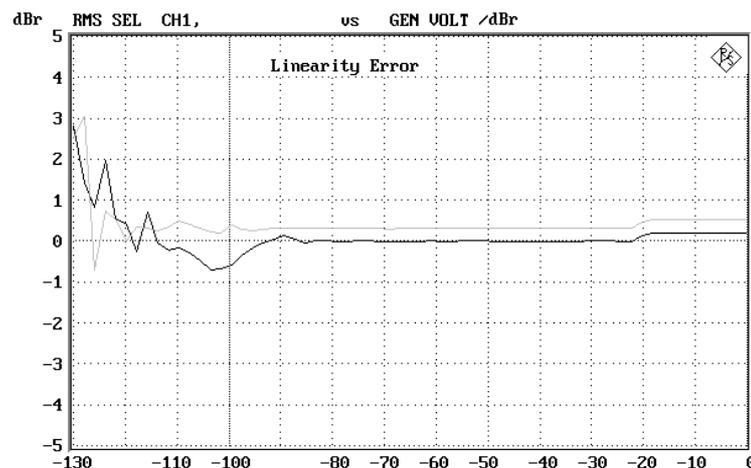


Bild 5: Messung der Linearitätsabweichung

Heutige in der Studioteknik eingesetzte A/D-Wandler verwenden in aller Regel kaskadierte Wandlerschaltungen, bei denen meist zwei Wandler-Bausteine im Pegelbereich überlappend eingesetzt werden, d.h. mit kleiner werdendem Eingangspegel wird auf den zweiten Baustein umgeschaltet. Bei nicht exaktem Wandlerverhalten ist dieses "Umschalten" als Stufe in der Grafik der Linearitätsabweichung erkennbar. Auch der in Bild 5 vermessene Wandler verwendet diese Schaltungsvariante, ca. 20dB unter Volllaussteuerung wird auf den zweiten Wandler-IC umgeschaltet.

## 5.5. Frequenzgang

Die Messung des Amplitudenfrequenzgangs ist eine Standard-Meßaufgabe in der Audio-Technik. Meist wird nur vom "Frequenzgang" gesprochen, nachdem sie weit häufiger durchgeführt wird als die Messung des Phasenfrequenzgangs.

Gemäß AES 17 wird der Frequenzgang von digitalen Komponenten bei 20dB unter Volllaussteuerung gemessen. Das Eingangssignal wird bei konstantem Pegel über dem Frequenzbereich gesweept, der Ausgangspegel wird grafisch in dB über der Frequenz aufgetragen, bezogen auf den Pegelwert bei 997 Hz.

Im vorliegenden Applikationsprogramm erfolgt die Messung (Softkey F7:FRQ-RESP) von 20 Hz bis 20 kHz, der Sweep wird in 100 Punkten logarithmisch weitergeschaltet. Ein Meßbeispiel zeigt Abbildung 6. Auch hier wird zweikanalig gemessen. Eine eventuell unterschiedliche Aussteuerung der beiden Stereo-Kanäle ist in der Grafik erkennbar, da beide Meßkurven auf den gleichen Referenzwert bezogen werden. Es handelt sich hierbei um den als Klipp-Pegel ermittelten Wert minus 20dB, da ja der Frequenzgang 20 dB unter Vollaussteuerung gemessen wird.

Heutige A/D-Wandler zeigen kaum Auffälligkeiten im Frequenzgang, dennoch wird diese Messung praktisch immer mit durchgeführt.

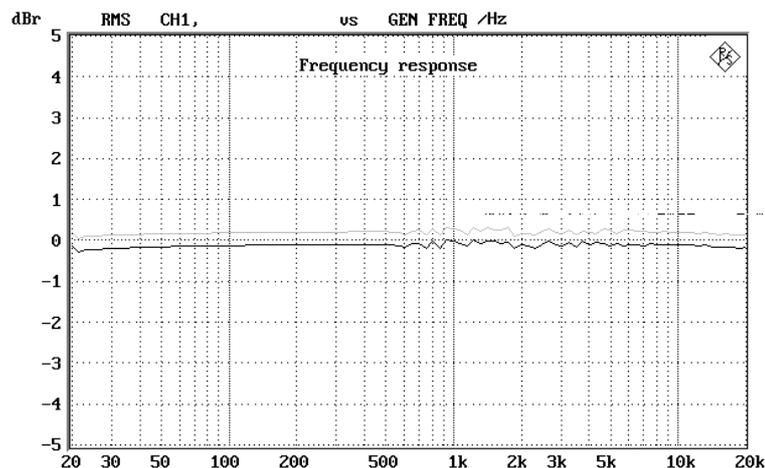


Bild 6: Frequenzgang eines A/D-Wandlers

## 5.6. Dämpfung im Sperrbereich

Mit dieser Messung wird die Fähigkeit des Wandler-Eingangs spezifiziert, Signalanteile oberhalb der Aliasing-Frequenz zu unterdrücken. Gemäß AES17 wird hierzu zuerst ein Sinussignal von 997Hz und Vollaussteuerung an den Prüfling angelegt um den Bezugswert für die Ausgangsspannung zu ermitteln. Dann wird das Eingangssignal von 20kHz bzw. der oberen Grenzfrequenz des Prüflings (je nachdem, welche tiefer liegt) bis zur vierfachen Abtastfrequenz, aber maximal bis 192kHz gesweept. Die verbleibenden Signalanteile werden effektivwertrichtig gemessen und in dB bezogen auf den oben ermittelten Bezugswert über der Eingangsfrequenz grafisch aufgezeichnet.

Der Softkey F8: ALIASING startet die Messung. Der Audio Analyzer sweept das Testsignal von 10kHz bis 110 kHz logarithmisch in 100 Schritten, die Meßwerte des Ausgangssignals werden grafisch dargestellt wie in Abbildung 7 gezeigt. Die Ermittlung des Bezugswertes bei 997Hz (wie in der AES 17 beschrieben) kann hier entfallen, da dieser Bezugswert ja bereits bei der Messung der Klipp-Grenze ermittelt wurde.

Eine ausreichende Dämpfung höherfrequenter Eingangssignale ist wichtig, da diese Signale ansonsten Intermodulationsprodukte mit der Abtastfrequenz bilden können, die in den Hörbereich zurückgefaltet werden. Diese Aliasing-Produkte können vom Original-Tonsignal nicht mehr getrennt werden, stören also den Musik-Genuß. Die Dämpfung des A/D-Wandlers sollte im Sperrbereich mindestens 60dB betragen und sich auch nicht zu höheren Frequenzen hin verschlechtern.

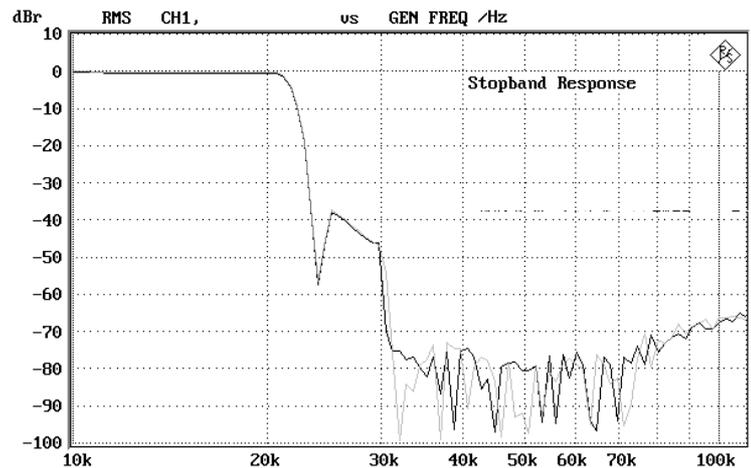


Bild 7: Sperrdämpfung des Antialiasing-Filters im Wandler-Eingang

### 5.7. Leerkanal-Rauschen

Nach AES 17 wird das Leerkanalrauschen (Idle Channel Noise) wie folgt gemessen. Der Wandler wird ohne Eingangssignal mit Abschlußwiderstand betrieben. Das verbleibende Restsignal am Ausgang wird gemessen, wobei das in der AES 17 definierte Standard-Bewertungsfilter vorgeschaltet wird. Der Pegel wird in dBFS angegeben.

Das o.a. Standard-Bewertungsfilter entspricht in seinem Frequenzgang dem Bewertungsfilter gemäß CCIR 468-3, ist in seiner Verstärkung aber so eingestellt, daß der 0dB-Punkt nicht bei 1 kHz, sondern bei 2 kHz liegt. Außerdem wird es zusammen mit einem Effektivwertgleichrichter eingesetzt und nicht mit dem von der CCIR spezifizierten Quasi-Peak-Gleichrichter. Dieses Bewertungsfilter wird üblicherweise als CCIR-ARM-Filter oder als CCIR-2k-Filter bezeichnet.

Measurement of Noise		
RMS A-weighted	Left <i>-114.1 dBFS</i>	Right <i>-115.5 dBFS</i>
RMS unweighted	Left <i>-110.4 dBFS</i>	Right <i>-110.3 dBFS</i>
RMS CCIR-2k-weighted	Left <i>-110.9 dBFS</i>	Right <i>-111.3 dBFS</i>
Quasi-Peak CCIR-weighted	Left <i>-100.4 dBFS</i>	Right <i>-101.0 dBFS</i>
Quasi-Peak unweighted	Left <i>-106.7 dBFS</i>	Right <i>-107.3 dBFS</i>
Continue with < SPACE >		

Bild 8: Leerkanalrauschen - Ergebnisse verschiedener Meßverfahren

Die Diskussionen zur Definition eines gehörrichtigen Bewertungsfilters sind nach wie vor nicht abgeebbt. Als ein Lösungsvorschlag wurde das CCIR-2k-Filter von der Firma Dolby vorgeschlagen. Außerdem wartete die BBC mit Ergebnissen auf, wonach RMS-Detektoren den Gehöreigenschaften näherkommen als die Quasi-Peak-Bewertung und wonach die CCIR-Kurve nicht die genaueste Annäherung sei. Bei der AES einigte man sich daraufhin auf den Kompromiß des CCIR-2k-Filters in Verbindung mit der RMS-Bewertung. Doch auch diese Entscheidung hat nicht zu größerer Vereinheitlichung beigetragen. Nach wie vor sind die unterschiedlichsten Bewertungen im Einsatz. Um nun jedem Anwender "sein" Ergebnis zu liefern, wird in diesem Applikationsprogramm die Messung des Leerkanalrauschens mit allen gebräuchlichen Filtern und Gleichrichtern durchgeführt. Das Meßbeispiel in Bild 8 zeigt die große Bandbreite der dB-Werte in Abhängigkeit vom verwendeten Meßverfahren.

Nach dem Start der Rausch-Messungen mit dem Softkey F9:NOISE wird zuerst das Spektrum des Leerkanalrauschens angezeigt. Das Weiterschalten mit derSPACE-Taste der externen Tastatur bzw. der SELECT-Taste des Audio Analyzers oder mit dem Softkey F6:CONTINUE führt zur oben gezeigten Anzeige. Hierbei ist allerdings zu beachten, daß die Rauschmessungen etwas Zeit in Anspruch nehmen, da allein die Einschwingzeit des Quasi-Peak-Gleichrichters gemäß der CCIR-Spezifizierung pro Messung 3 Sekunden beträgt.

## 5.8. Ausgangsspektrum bei unterschiedlicher Aussteuerung

Unter diesem Meßpunkt wird der Wandler mit einem Sinussignal von 997Hz angesteuert, und zwar bei den Pegeln -0.5 dB, -60 dB und -100 dB. Das jeweilige Ausgangsspektrum wird dargestellt, weitergeschaltet wird mit derSPACE-Taste der externen Tastatur bzw. der SELECT-Taste des Audio Analyzers oder mit dem Softkey F6:CONTINUE.

Die Darstellung der Ausgangsspektren ist in der AES17 nicht beschrieben. Hierbei zeigen sich jedoch sehr anschaulich eventuell erzeugte Klirrrprodukte bzw. andere nichtlineare Verzerrungen, weshalb diese Darstellung eine gute Ergänzung zur Messung des Klirrpegels über dem Pegel bildet.

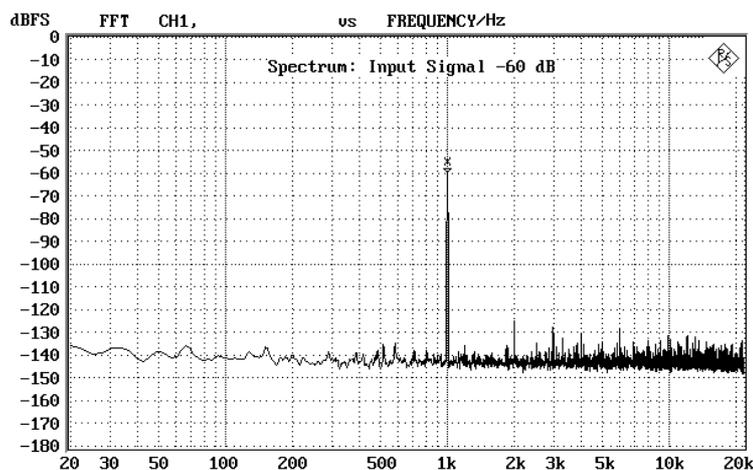


Bild 9: Ausgangsspektrum bei -60 dB Aussteuerung

Heutige A/D-Wandler erreichen hervorragende Werte bezüglich Signal to Noise und Klirrabstand. Bei den Messungen kommt daher der Erzeugung des Testsignals besondere Bedeutung zu. Immer wenn Ausgangsspektren des Wandlers aufgezeichnet werden, so zeigen sich darin sowohl die vom Wandler erzeugten Störlinien, als auch die bereits vom Testsignal herrührenden Klirrrprodukte und Rauschanteile. Bei allen diesbezüglich kritischen Messungen wird daher in diesem Applikationsprogramm der "Low-Distortion-Generator" des Audio Analyzers UPL bzw. UPD verwendet. Dieser erzeugt auf rein analogem Weg extrem reine Sinussignale, wobei sämtliche Störkomponenten deutlich unter den Störungen liegen, die heutige Wandler erzeugen.

## 5.9. Klirrabstand über Frequenz

Nach AES 17 wird hierzu ein Sinussignal von -1 dBFS an den Prüfling angelegt und der THD+N-Wert gemessen. Die Messung soll bei -20 dBFS wiederholt werden.

Für die Messung wird das Prüfsignal im Ausgangssignal unterdrückt, das Restsignal soll auf die obere Grenzfrequenz bzw. auf 20 kHz bandbegrenzt werden. Der Pegel des so gefilterten Signals wird gemessen und als Verhältnis zum ungefilterten Signalpegel angegeben. Das Testsignal wird von 20 Hz bis zur halben oberen Grenzfrequenz gesweept.

Im vorliegenden Applikationsprogramm wird die Messung wie oben beschrieben durchgeführt, allerdings über die halbe obere Grenzfrequenz hinaus bis zu einer Frequenz von 20 kHz. Hiermit ist sichergestellt, daß auch Störungen erfaßt werden, die sich aufgrund von Spiegelfrequenzen vor allem im oberen Frequenzbereich zeigen.

Durch die Bandbegrenzung des gemessenen Signals werden mit steigender Testfrequenz immer weniger Klirrprodukte gemessen. Bei einer Signalfrequenz von beispielweise 8 kHz wird nur noch die 2. Harmonische von 16 kHz bei der Messung berücksichtigt, alle anderen Oberwellen sind bereits außerhalb der Meßbandbreite von 20 kHz. Mit steigender Signalfrequenz fällt der THD+N-Wert daher ab, oberhalb einer Signalfrequenz von 10 kHz werden keine Harmonischen mehr gemessen. Fehlt dieser Abfall der Kurve, so deutet dies darauf hin, daß Rauschen und/oder andere Störkomponenten höher sind als die eigentlichen Klirrkompnenten. Steigt die Kurve oberhalb von 10 kHz an, so sind in aller Regel Mischprodukte aus den Oberwellen der Signalfrequenz mit der Taktfrequenz daran schuld, was auf unzureichende Antialiasing-Filterung im Wandlereingang zurückzuführen ist.

## 5.10. Klirrpegel über Pegel

Auch die Darstellung des THD+N-Wertes über dem Eingangspegel ist in der AES17 beschrieben. Im Prinzip wird die Messung wie im vorigen Punkt beschrieben durchgeführt. Als Signalfrequenz wird 997 Hz verwendet, das Testsignal soll von 0 dBFS bis -80 dBFS gesweept werden.

Nachdem das gefilterte Ausgangssignal immer auf das ungefilterte Signal bezogen wird, steigen die THD+N-Werte mit kleiner werdendem Signalpegel an, da das Rauschen nicht mitabgesenkt wird und sich somit der Signal-/Rauschabstand verschlechtert.

Im vorliegenden Applikationsprogramm wird nicht der auf das ungefilterte Signal bezogene THD+N-Wert dargestellt, sondern der THD+N-Pegel aufgezeichnet. Hierdurch ist die Veränderung der eigentlichen Störprodukte leichter zu erkennen. Außerdem wurden die Messgrenzen erweitert, das vorliegende Programm führt den Sweep von 0 dBFS bis -100 dBFS durch.

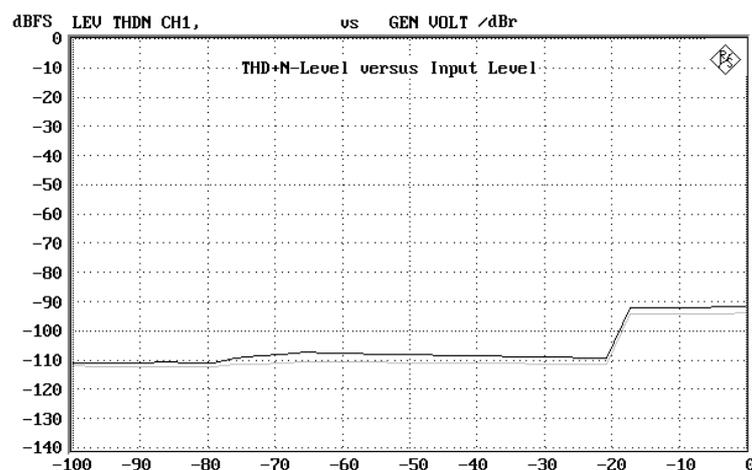


Bild 10: THD+N-Pegel aufgetragen über dem Eingangspegel

Um den in der Studio-Technik geforderten Dynamikbereich bewältigen zu können, werden häufig kaskadierte Wandler-schaltungen verwendet. Hierbei werden in aller Regel zwei Wandler-Bausteine überlappend eingesetzt. Bei dieser als "gain ranging" bekannten Schaltung wird bei kleineren Eingangsspegeln auf eine Wandlerstufe mit höherer Vorverstärkung umgeschaltet. Im obigen Meßbeispiel ist dieser Umschalt-punkt deutlich am Sprung im Klirrpegel erkennbar. Da dieser "Schalt-punkt" bei Musiksignalen je nach Pegel sehr häufig durchfahren wird und daher mitunter hörbar wird, wird diese Umschalt-schwelle in neueren Schaltungen gleitend ausgeführt.

## 5.11. Übersprechen

Das Übersprechen zwischen den beiden Stereo-Kanälen wird gemessen, indem nur ein Kanal mit einem Pegel von -20 dBFS angesteuert wird. Der Ausgangspegel dieses Kanals wird gemessen. Der Ausgangspegel des unbetönten Kanals wird über ein Dritteloktavbandpaßfilter gemessen und zum betönten Kanal in Bezug gesetzt. Die AES17 sieht diese Messung von 10 Hz bis zur oberen Grenzfrequenz des Wandlers vor.

Das hier vorgestellte Applikationsprogramm führt die Messung gemäß AES17 durch. Die Messung erfolgt dabei in beide Richtungen, d.h. das Übersprechen wird sowohl von Kanal 1 auf 2, wie auch von Kanal 2 auf 1 gemessen. Hierbei können sich Unterschiede ergeben, da der Schaltungsaufbau in aller Regel nicht symmetrisch ausgeführt ist. Abbildung 11 zeigt ein Beispiel.

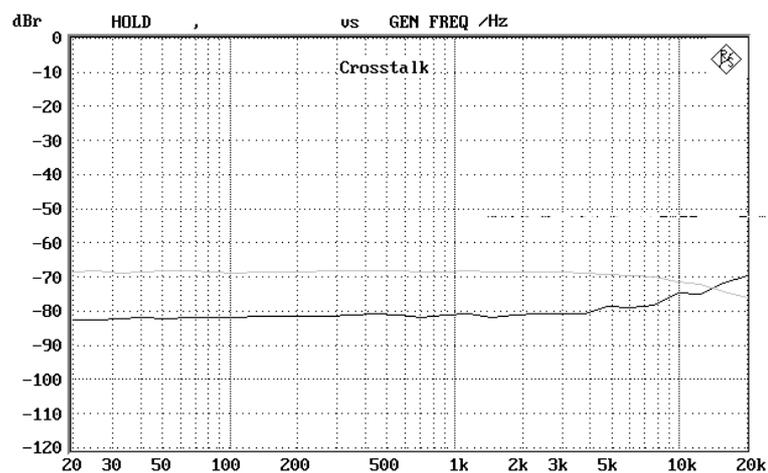


Bild 11: Übersprechen gemessen in beiden Richtungen

## 6. Weiterverarbeitung der Meßergebnisse

### 6.1. Ausdrucken, Abspeichern und Anzeigen der Meßergebnisse

Für die Weiterverarbeitung der Meßergebnisse gibt es vielfältige Möglichkeiten. Sobald der automatische Meßablauf beendet ist, erscheint ein Auswahlmenü, mit dessen Hilfe die Meßergebnisse ausgedruckt oder abgespeichert werden können. Es ist auch möglich, die Meßergebnisse der Reihe nach erneut am Bildschirm darzustellen, wobei mit den Tasten Page up und Page down zwischen den einzelnen Darstellungen gewechselt werden kann.

Auch nach jeder Einzelmessung kann in dieses Auswahlmenü verzweigt werden, und zwar über den Softkey F7: RESULTS.

### 6.2. Taskwechsel automatische Selbststeuerung / manuelle Bedienung

Am Ende jeder Einzelschritt-Messungen wird der Softkey F5:GOTO UPL angeboten. Hiermit kann zur manuellen Bedienung des UPD/UPL gewechselt werden, ohne das BASIC-Programm zu beenden. Dies kann verwendet werden, um zum Beispiel:

- die Grafik-Skalierung zu ändern,
- Grafik-Cursor ein- oder auszuschalten bzw. zu verschieben,
- in die Grafik einen Kommentar einzugeben,
- eine Teilbildgrafik mit hierzu modifiziertem Status-Panel auszudrucken,
- Meßwerte oder Limit-Überschreitungen tabellarisch darzustellen.

Die Rückkehr zum Applikationsprogramm erfolgt über die F3-Taste der externen Tastatur (beim UPL auch über die BACKSPACE-Taste), und zwar zu der Stelle, an der das BASIC-Programm verlassen wurde. Beim automatischen Meßablauf des A/D-Wandler-Tests wird diese Unterbrechungsmöglichkeit nicht angeboten.

## 7. Beendigung der Applikation

Durch Betätigung der Escape-Taste auf der externen Tastatur bzw. der Cancel-Taste am UPD/UPL wird in die vorhergehende Menü-Ebene zurückgewechselt. Aus der obersten Menü-Ebene bewirkt die gleiche Taste die Beendigung des Programms, d.h. durch mehrmaliges Drücken kann das Programm aus jeder Menü-Ebene heraus beendet werden.

Um ein versehentliches Beenden zu verhindern, wird allerdings zuvor eine entsprechende Abfrage aktiviert.

Ein Abbruch der Software unter BASIC ist jederzeit über die Tastenkombination "CTRL BREAK" möglich. Die Eingabe von "CONT" setzt das Programm fort, "RUN" führt einen Neustart aus.



**ROHDE & SCHWARZ**

ROHDE & SCHWARZ GmbH & Co. KG · P.O.B. 80 14 69 · D-81614 München  
Telephone +49 1805 124242 · Fax +49 89 4129 - 3777 · Internet: <http://www.rsd.de>