
Lautsprechermessungen mit den Audio Analysatoren UPD oder UPL

Application Note 1GA16_1D

ersetzt 1GPAN16D Änderungen vorbehalten
M. Schlechter 07.97

Produkte:

Audio Analyzer UPD
Audio Analyzer UPL



ROHDE & SCHWARZ

Inhalt

1 EINLEITUNG	1
2 VORBEREITUNG	2
2.1 HARD- UND SOFTWAREVORAUSSETZUNGEN	2
2.2 INSTALLATION DER SOFTWARE	2
2.3 STARTEN DER APPLIKATIONSSOFTWARE	2
2.4 KONFIGURATION DER APPLIKATION	3
2.4.1 SETUP- UND KONFIGURATIONSDATEIEN	3
2.4.2 VORKONFIGURATION DER SETUP-DATEI	4
2.5 SETUP-KONVERTIERUNG BEI SOFTWARE-UPDATES	4
3 BEDIENKONZEPT	5
3.1 ÜBERBLICK	5
3.2 SOFTKEY-EBENEN	5
3.3 GEMEINSAME SOFTKEYS ALLER EBENEN	6
3.4 PARAMETEREINGABEN	6
3.5 GEMEINSAME SOFTKEYS ZUR NACHBEARBEITUNG	6
4 MEßVERFAHREN	7
4.1 METHODEN DER FREQUENZGANGANALYSE	7
4.2 FREQUENZSWEEP	8
4.2.1 VORTEILE	8
4.2.2 SETUP- UND PROGRAMMEINSTELLUNGEN	8
4.3 FFT-RAUSCHEN	9
4.3.1 VORTEILE, EINSCHRÄNKUNGEN UND EINSATZSCHWERPUNKTE	9
4.3.2 SETUP- UND PROGRAMMEINSTELLUNGEN	9
4.4 GESWEEPTER BURSTMESSUNG	10
4.4.1 VORTEILE UND EINSATZSCHWERPUNKTE	10
4.4.2 PROGRAMMEINSTELLUNGEN	11
4.5 GO-/NOGO- TESTS	11
4.6 WAHL DES MEßVERFAHRENS	11
5 MESSUNGEN	12
5.1 SCHEINWIDERSTAND UND ABGELEITETE PARAMETER	12
5.1.1 MEßANORDNUNG	13
5.1.2 BESONDERHEITEN BEI DER PARAMETEREINGABE	14
5.1.3 GLEICHSTROMWIDERSTAND	14
5.1.4 FREQUENZGANG DES SCHEINWIDERSTANDS	15
5.1.5 RESONANZFREQUENZ UND RESONANZIMPEDANZ	16
5.1.6 ABSOLUTES MINIMUM UND MAXIMUM DER IMPEDANZ	16
5.1.7 ABSTIMMFREQUENZ	17
5.1.8 GESAMTGÜTE	17

5.1.9 ÄQUIVALENTES VOLUMEN	18
5.1.10 GO/NOGO-TEST	18
5.2 SCHALLDRUCKMESSUNGEN	18
5.2.1 MEßANORDNUNG	19
5.2.2 EINSTELLUNG DER AUSGANGSLEISTUNG	20
5.2.3 EINGABE DER MIKROFON- UND RAUMPARAMETER	21
5.2.4 WAHL DER SCHALLDRUCK-EINHEIT	22
5.2.5 EMPFINDLICHKEITSMESSUNG UND ABSTRAHLWINKEL	23
5.2.6 FREQUENZGANG DES SCHALLDRUCKPEGELS UND ÜBERTRAGUNGSBEREICH	23
5.2.7 WAHL DER KOMBINIERTEN NAH-/FERNFELDMESSUNG	26
5.3 PHASE UND ABGELEITETE PARAMETER	27
5.3.1 MEßANORDNUNG	27
5.3.2 FREQUENZGANG DER PHASE	28
5.3.3 LINEARITÄTSABWEICHUNG UND GRUPPENLAUFZEIT	29
5.4 POLARITÄT	30
5.4.1 MEßFUNKTION POLARITY FÜR ELEKTRISCHE SYSTEME	30
5.4.2 POLARITÄTSPRÜFUNG DURCH VERGLEICH MIT REFERENZ-PHASENMESSUNG	30
5.4.3 POLARITÄTSPRÜFUNG DURCH VERGLEICH MIT REFERENZ-SCHALLDRUCKVERLAUF	31
5.5 KLIRRFAKTOR	32
5.5.1 BESONDERHEITEN BEI DER THD+N-MESSUNG (MIT POST-FFT)	33
5.5.2 BESONDERHEITEN BEI DER ZOOM-FFT	33
6 VERKETTUNG MEHRERE MESSUNGEN	34
6.1 MAKRO-BETRIEB	34
6.1.1 AUFZEICHNUNG EINES MAKROS	34
6.1.2 WIEDERGABE EINES MAKROS	35
6.1.3 VORDEFINIERTER MAKROS	35
6.2 ERSTELLEN UND BENUTZEN VERSCHIEDENER KONFIGURATIONSDATEIEN	36
6.3 BESCHRIFTUNG DER MAKRO- UND KONFIGURATIONSSPEICHERPLÄTZE	37
7 NACHBEARBEITUNG EINER MESSUNG	38
7.1 TASK-WECHSEL APPLIKATION/BEDIENOBBERFLÄCHE	38
7.2 AUSDRUCKEN	38
7.2.1 AUSDRUCKEN AUS DER BEDIENOBBERFLÄCHE	39
7.2.2 AUSDRUCKEN BEI LAUFENDER APPLIKATION	39
7.3 NEUSTART	39
7.3.1 NEUSTART EINER MESSUNG	39
7.3.2 NEUSTART DER APPLIKATION	39
8 BEENDIGUNG DER APPLIKATION	40

1 Einleitung

Die Audio-Analysatoren UPD und UPL stellen mit ihrer immensen Funktionsvielfalt fast alle in der Audiotechnik vorkommenden Meßverfahren zur Verfügung. Durch die als Option erhältliche Universelle Ablaufsteuerung UPD-K1 bzw. UPL-B10 hat jeder Benutzer die Möglichkeit, diese Funktionsvielfalt für seine individuellen Belange drastisch zu erweitern. So ist es z.B. möglich, ganze Meßfunktionen - wie z.B. Messung von ohmschen Widerständen - hinzuzufügen, oder Sweep-Ergebnisse auszulesen, umzurechnen, wieder zurückzuladen und mit neuen Achsenbeschriftungen zu versehen (z.B. Gruppenlaufzeit). Als weiteres Beispiel sei die Möglichkeit genannt, eine aufgenommene Sweepkurve zu analysieren und die Ergebnisse in einem Benutzerfenster neben der Grafik auszugeben. Auch die Bedienung der Ablaufsteuerungsprogramme kann - wie die hier vorliegende Applikation - optisch und funktionell an die Softkey-Steuerung der UPD/UPL-Grafik angelehnt werden.

Diese Applikation beinhaltet ein BASIC-Programm, das die automatisierte Messung von Lautsprecherparametern ermöglicht und dabei die oben beschriebenen Features ausnutzt. Das Programm ist sowohl auf einem UPD mit UPD-K1 als auch auf einem UPL mit UPL-B10 lauffähig. Folgende Messungen bzw. Meßabläufe werden von der Applikationssoftware unterstützt:

- Messung des Impedanzverlaufs mit Berechnung von Abstimmfrequenz, Resonanzfrequenz und -impedanz, Gleichstromwiderstand, Minimum und Maximum der Impedanz, Gesamtgüte und Äquivalentes Volumen.
- Messung des Schalldruckverlaufs mit Berechnung des Übertragungsbereiches, sowie Messung der Empfindlichkeit und des maximalen Schalldruckes.
- Messungen des Klirrfaktors bei festen Frequenzen oder des Klirrfaktorverlaufs über der Frequenz, mit unterschiedlichen Meßverfahren und Darstellungen.
- Messung der Phasenlinearität und der Gruppenlaufzeit und
- verschiedene Polaritätsmeßmethoden.

Die Software liefert nicht nur hochgenaue Ergebnisse für die Entwicklung von Lautsprechern, sondern unterstützt auch den Einsatz im Produktionstest:

- Impedanz- und Frequenzgangkurven können auf Referenzdaten einer "golden unit" bezogen werden, so daß für jedes getestete Device ein "GO-/NOGO"-Ergebnis geliefert wird.
- Die Bedienung von Meßabläufen kann vom Programm aufgezeichnet ("gelernt") werden, um dann auf Tastendruck ohne weiteres Zutun abzulaufen. Auf diese Art ist es möglich, mehrere Messungen zu einer Komplettmessung zu verketteten (Makro-Betrieb).

Grundlage für die hier beschriebenen Messungen und Berechnungen ist die DIN IEC 268, Teil 5.

2 Vorbereitung

2.1 Hard- und Softwarevoraussetzungen

Auf der Begleitdiskette befinden sich BASIC-Programmmodule und 1 "Complete"-Setup (SPEAKER.SCO), mit denen die vorbereitete Applikationssoftware unter der UPD/UPL-Ablaufsteuerung (UPD-K1 bzw UPL-B10) sofort lauffähig ist. Hardwaremäßig genügt ein UPD/UPL in Grundausstattung; zur Bedienung der Ablaufsteuerung ist ein externes Keyboard notwendig.

Folgende Softwarevoraussetzungen müssen erfüllt sein:

- UPD-Software Version ab 3.03 oder UPL ab 1.01,
- Universelle Ablaufsteuerungsoption UPD-K1 bzw. UPL-B10,
- Konfiguration 3 (64 KBytes Programm- und 32 KBytes Datenspeicher), für besonders lange Sweeps (über 400 Punkte) oder kombinierte Nah-/Fernfeldmessungen evtl. Konfiguration 5 (64 KBytes Daten).

Hinweis: Die Konfiguration erfolgt mit Hilfe der Dienstprogramme UPDSET bzw. UPLSET. In der Konfiguration 5 läuft das Programm allerdings geringfügig langsamer.

2.2 Installation der Software

Die Installation der Applikationssoftware erfolgt ähnlich wie die der UPD/UPL-Software mit Hilfe eines Installationsprogramms namens APPINST.BAT:

- Verlassen des UPD/UPL (Taste "SYSTEM" oder Ctrl F9)
- Einlegen der Begleitdiskette
- Umschalten auf das Diskettenlaufwerk (A:)
- Aufruf des Installationsprogramms (APPINST)

Das Installationsprogramm legt eine Subdirectory namens SPEAKER an (sofern noch nicht vorhanden) und kopiert dorthin die BASIC-Programmmodule und Setups, die für die Applikation benötigt werden.

Nach der Installation kann das Setup "SPEAKER.SCO" auf bestimmte Benutzerpräferenzen und die zur Verfügung stehende externe Hardware (Drucker, Monitor) angepaßt werden (siehe 2.4.2 Vorkonfiguration der Setup-Datei).

2.3 Starten der Applikationssoftware

Die Applikationssoftware wird unter der Ablaufsteuerung geladen und gestartet. Es muß also erst die Gerätesoftware gestartet werden (entweder durch Einschalten des Gerätes oder durch Aufruf des UPD/UPL aus der DOS-Ebene) und dann mit der Taste F3 (externes Keyboard) auf die Ablaufsteuerung umgeschaltet werden.

Hinweis: Beim Umschalten auf die Ablaufsteuerung ist darauf zu achten, daß der Logging-Mode ausgeschaltet ist (Schriftzug "logging off" am rechten Rand der Bedienhinweiszeile), weil sonst Befehle, die im Handbetrieb eingegeben werden, an das Applikationsprogramm angehängt werden und so den Basic-Programmspeicher zum Überlauf bringen können. Mit der Taste F2 wird der Logging-Mode ein- und ausgeschaltet.

Die Applikationssoftware muß aus dem Pfad

⇒ "\SPEAKER"

gestartet werden, da sie alle Programmmodule im aktuellen Pfad sucht. Dazu muß entweder der Pfad explizit umgestellt oder das Applikationssetup "\SPEAKER\SPEAKER.SCO" geladen werden.

Das Umstellen des Pfades kann auf einer von drei Arten erfolgen:

- aus der Gerätesoftware über den Menüpunkt "Working Dir" im FILE-Panel
- aus der Ablaufsteuerung durch die entsprechende BASIC-Befehlszeile

⇒ UPD OUT "MMEM:CDIR '\SPEAKER'".

Hinweis: UPL OUT und UPD OUT sind synonym; das vorliegende BASIC-Programm verwendet immer UPD OUT.

- auf DOS-Ebene (über die SHELL der Ablaufsteuerung) mit CHDIR

Danach wird das BASIC-Programm "SPK.BAS" geladen und gestartet; dazu sind folgende Eingaben nötig:

- Softkey "LOAD"
- SPK ("return")
- Softkey "RUN"

2.4 Konfiguration der Applikation

2.4.1 Setup- und Konfigurationsdateien

Den von der Applikationssoftware veranlaßten Geräte-Einstellungen liegen 2 verschiedenen Quellen zugrunde:

SPEAKER.CFG: Konfigurationsdatei, die alle Benutzereingaben (siehe 3.4 Parametereingaben) bzw. beim erstmaligen Aufruf Default-Werte enthält. Beim Starten der Applikation wird diese Datei geladen; beim Verlassen via Softkey "EXIT" (siehe 7. Beendigung der Applikation) wird sie mit aktualisierten Werten abgespeichert, so daß beim Neustart der Applikation die Benutzereingaben vom letzten Lauf weiterhin gültig sind. Sollte das Abspeichern der Benutzereingaben im Ausnahmefall nicht erwünscht sein, dann muß die Applikation mit "CTRL BREAK" verlassen werden.

SPEAKER.SCO: Setup-Datei, auf der alle Befehle der Applikationssoftware aufbauen. Die meisten der hierin enthaltenen Einstellungen müssen unverändert bleiben oder werden durch die Applikationssoftware überschrieben. Einige wenige Punkte jedoch dürfen (bzw. müssen) vom Benutzer angepaßt werden. Das Setup selbst wird vom Programm nur gelesen, also nicht mehr geändert. Die endgültige Fassung kann daher zum Schutz vor versehentlichem Überschreiben mit dem Attribut READ ONLY versehen werden.

Hinweis: Unter dem Menüpunkt UTILITY -> CONFIG können alternative Konfigurationsdateien abgespeichert und wieder geladen werden. Diese Möglichkeit ist besonders beim Makro-Betrieb (siehe Kap. 6. Verkettung mehrerer Messungen) beachtenswert.

Das Setup SPEAKER.SCO enthält u.a. Einstellungen, die für alle Meßverfahren und Messungen gleich sind:

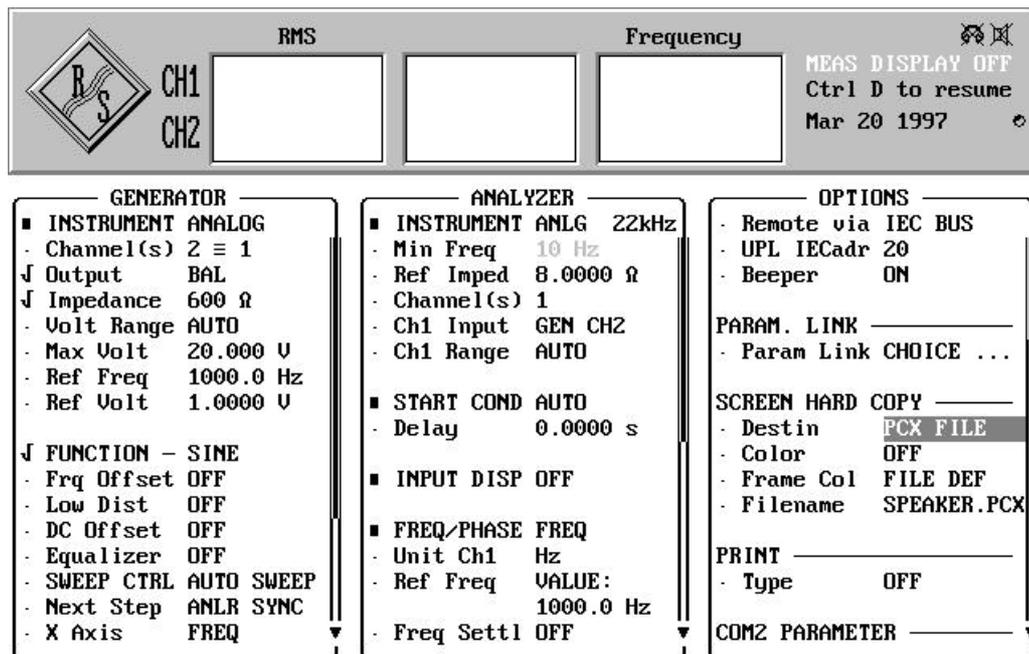


BILD 1: Generator-, Analysator- und Display-Panel des Setups SPEAKER.SCO

2.4.2 Vorkonfiguration der Setup-Datei

Folgende Modifikationen der Setup-Datei SPEAKER.SCO sind erlaubt:

- Anpassung der Druckerschnittstelle (SCREEN HARD COPY im OPTIONS-Panel),
- Festlegung der maximalen Generator-Spannung zum Schutz der Meßobjekte,
- Ansteuerung eines externen Monitors (Extrn Disp im OPTIONS-Panel),
- Umstellung von logarithmischer auf lineare Teilung der X-Achse (Spacing LIN POINTS im GENERATOR-Panel und X-AXIS->Spacing LIN im DISPLAY-Panel),
- Umstellung von linearer auf logarithmische Teilung der Y1-Achse (TRACE A->Spacing LOG im DISPLAY-Panel), nur wirksam bei der Impedanzmessung.
- Wahl der Befehle, die im Status-Panel erscheinen sollen ("Anhaken"),
- Grafik-Kommentartext (Text im DISPLAY-Panel) und Info-Text (Text im FILE-Panel)
- Kommentartext für das Ausdrucken (Dialogbox von Hardkey HCOPY),
- Definieren von Toleranzkurven/-werten und -prüfungen (LIMIT CHECK im DISPLAY-Panel).

Die Applikationssoftware ist ausgelegt auf den Audio-Bereich, d.h. auf die Instrumente Generator 25 kHz und Analysator 22 kHz. Im UPD können aber auch Instrumente für höhere Frequenzen gewählt werden, es müssen dann aber u.a. folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- die untere Frequenzgrenze des Analysators liegt höher,
- die Auflösung der 8-k-FFT beträgt nur noch 41.67 Hz (100 kHz-Analysator) bzw. 125 Hz (300 kHz-Analysator),
- die Meßgeschwindigkeit ist geringer.

Nach Abschluß der Vorkonfiguration muß das Setup unter demselben Namen (als Complete Setup) wieder abgespeichert werden, wobei als Attribut READ ONLY gewählt werden darf.

WICHTIG: es dürfen nur die hier aufgeführten Einstellungen modifiziert werden, weil sonst ein einwandfreier Betrieb der Software nicht gewährleistet ist.

2.5 Setup-Konvertierung bei Software-Updates

Wird ein Update der Geräte-Software durchgeführt, so muß SPEAKER.SCO - wie auch alle anderen Setups - möglicherweise konvertiert werden. Dies geschieht zwar automatisch beim Laden des Setups. Um überflüssige Wartezeiten bei jedem Ladevorgang zu vermeiden, sollte SPEAKER.SCO aber als konvertiertes Setup abgespeichert werden. Dies kann auf 2 Weisen geschehen:

- auf DOS-Ebene durch Aufruf des Batch-Konverters:

⇒ UPD_CONV \SPEAKER\SPEAKER.SCO bzw.
⇒ UPL_CONV \SPEAKER\SPEAKER.SCO

- auf UPD/UPL-Ebene durch Laden und Speichern von SPEAKER.SCO

WICHTIG: bei auf READ ONLY gesetzten Setups muß auf DOS-Ebene das "r"-Attribut gelöscht werden:

⇒ ATTRIB -r \SPEAKER\SPEAKER.SCO

3 Bedienkonzept

3.1 Überblick

Die Bedienung der Applikation erfolgt über Softkeys, die in 4 Hierarchieebenen gegliedert sind. Nach dem Start der Applikationssoftware wird die 1. (oberste) Softkey-Ebene sichtbar; durch Betätigen eines Softkeys wird eine Aktion ausgeführt und/oder eine andere Softkey-Ebene betreten. Jede Ebene kann bis zu 8 aktive Softkeys haben; nicht aktive Softkeys bleiben unbeschriftet. Den Softkeys #1 bis #8 entsprechen - wie auch in der UPD/UPL-Geräte-Software - die Funktionstasten F5 bis F12.

Nach jedem (Softkey-)Tastendruck wird die Softkey-Leiste gelöscht. Während das Applikationsprogramm mit Einstellsequenzen oder Berechnungen beschäftigt ist oder auf das Ende einer Messung wartet, sind keine Benutzereingaben möglich; die Softkeys bleiben leer. Erst wenn die Softkeys wieder mit den (Applikations-) Tastenbezeichnungen beschriftet werden, können weitere Eingaben gemacht werden.

3.2 Softkey-Ebenen

Die 4 Hierarchieebenen der Softkeys haben folgende Funktionen:

- Softkey-Ebene 1 (Hauptebene): Auswahl der Messung; dabei implizites Laden des Meßmoduls;
- Softkey-Ebene 2: Auswahl der Meßmethode (Frequenz-Sweep oder FFT-Rauschen, siehe 4. Meßverfahren); dabei implizites (Neu-) Laden des Setups SPEAKER.SCO;
- Softkey-Ebene 3: Parameter-Eingaben und Start des Meßablaufs;
- Softkey-Ebene 4: Nachbearbeitung und Neustart des Meßablaufs.

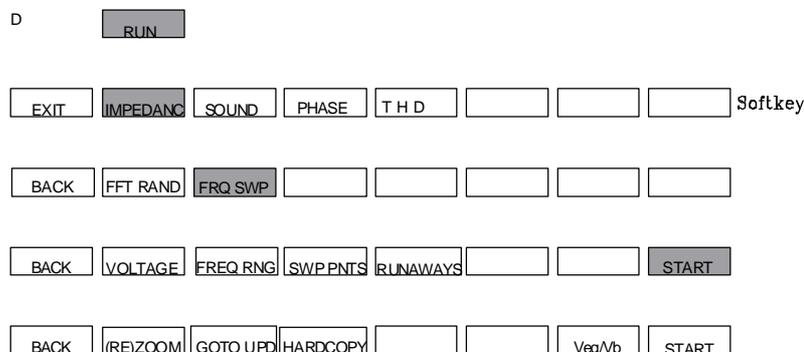


BILD 2: Bedienung der Applikationssoftware über Softkey-Menüs

3.3 Gemeinsame Softkeys aller Ebenen

2 der insgesamt 8 Softkeys haben in allen Ebenen dieselbe Funktion und liegen auf festen Positionen:

- der linke Softkey (#1, F5) führt in die nächsthöhere Ebene ("BACK"); ist die oberste Ebene erreicht, dann wird hiermit die Applikation verlassen ("EXIT", siehe 7. Beendigung der Applikation);
- der rechte Softkey (#8, F12) ist nur in den Ebenen 3 und 4 aktiv und startet den Meßablauf; am Ende des Meßablaufs befindet sich die Applikation immer in der Ebene 4.

3.4 Parametereingaben

Alle Parametereingaben erfolgen in der Ebene 3 und werden durch Softkeys ausgelöst. Die Eingabe von Strings, Integer- und Float-Zahlen erfolgt dann im Dialog, eine Auswahl 1-aus-N über eine weitere Softkey-Ebene.

Für Dialogeingaben gilt:

- In der Eingabezeile wird der Titel des Parameters (z.B. Voltage) dargestellt, ggf. mit Einheit (z.B. V).
- Rechts der Cursorposition wird der z. Zt. gültige Wert dargestellt; dieser kann überschrieben oder durch Betätigung der RETURN-Taste übernommen werden.
- Float-Eingaben müssen in der jeweils angegebenen Einheit erfolgen; eingegeben wird nur der Zahlenwert.
- Wird der zulässige untere oder obere Grenzwert überschritten, so wird auf diesen Wert begrenzt und erneut zur Eingabe aufgefordert.

Für 1-aus-N-Eingaben gilt:

- Die Wahl einer 1-aus-N-Eingabe öffnet eine 1-aus-N-Auswahlebene, in der die möglichen Auswahlpunkte auf den Softkeys angeboten werden.
- Nach Betätigen des Softkeys für die gewünschte Auswahl wird dieser sofort gültig; die 1-aus-N-Auswahlebene wird wieder geschlossen.

Die Parameter, die so eingegeben werden können, sind für die meisten Messungen gleich und sollen deshalb hier kurz erläutert werden. Spezielle Parameter werden bei der jeweiligen Messung erklärt. Die hier genannten Meßverfahren FFT-Rauschen und Frequenzsweep werden in Kapitel 4 ausführlich erklärt.

- VOLTAGE (F6, Ebene 3): Gesamtspannung (FFT-Rauschen) bzw. Sinusspannung (Frequenzsweep), gleichzeitig DC-Spannung für die Messung des DC-Widerstandes.
- FREQ RNG (F7, Ebene 3): Lower Freq (in Hz) und Upper Freq (in Hz): Frequenzbereich, in dem Sinuslinien erzeugt (FFT-Rauschen) bzw. Sweeppunkte eingestellt werden (Frequenzsweep). Beim FFT-Rauschen wird durch die Einschränkung des Frequenzbereichs die Anzahl der Sinuslinien verkleinert und so die Zeit für die Generierung des Rauschsignals verkürzt. Beim Frequenzsweep wird dadurch (bei konstanter Anzahl der Sweeppunkte) die Auflösung erhöht.
- SWP PNTS (F8, Ebene 3): Anzahl der Sweeppunkte (nur Frequenzsweep). Eine Reduzierung verkürzt die Sweepzeit, eine Erhöhung hingegen verbessert die Auflösung.
- FFT SIZE: Anzahl der FFT-Linien; bestimmt die Auflösung der FFT und somit des FFT-Rauschens. Eine Verkleinerung verschlechtert die Auflösung, verringert aber sowohl die Zeit für die Generierung des Rauschsignals als auch die Meßzeit der FFT.

3.5 Gemeinsame Softkeys zur Nachbearbeitung

Die Softkeys zur Nachbearbeitung befinden sich in der Softkey-Ebene 4. Einige davon sind in allen Messungen verfügbar und haben stets dieselbe Funktion (und Beschriftung):

- Softkey #2 (F6): $o \leftrightarrow O$ wechselt zwischen Teil- und Vollgrafik hin und zurück.
- Softkey #3 (F7): GOTO UPD wechselt temporär zur UPD/UPL-Bedienoberfläche (siehe 7.1 Task-Wechsel Applikation/Bedienoberfläche)
- Softkey #4 (F8): HARDCOPY gibt den Bildschirminhalt auf Drucker oder Datei aus (siehe 7.2.2 Ausdrucken bei laufender Applikation);

4 Meßverfahren

4.1 Methoden der Frequenzganganalyse

Von zentraler Bedeutung sowohl in der Entwicklung als auch im Produktionstest sind Untersuchungen der Frequenzabhängigkeit diverser Parameter. Dazu gehören beispielsweise:

- elektrische Übertragungsfunktion von Frequenzweichen,
- akustische Übertragungsfunktion von Lautsprechern,
- Impedanzverlauf,
- Schalldruckverlauf,
- Phasenverlauf und Gruppenlaufzeit
- Klirrfaktor.

Alle diese Parameter können mittels Frequenzsweep eines Sinussignals gemessen und - tabellarisch oder graphisch - dargestellt werden. Dabei kann jede Kurve aus bis zu 1024 Einzelmessungen bestehen, wobei die Schrittweise wahlweise linear oder logarithmisch sein kann.

Aus physikalischen Gründen sind Frequenzgangsweps allerdings sehr zeitaufwendig, da für jeden einzelnen Meßpunkt die Summe aus Generatorstellzeit, Einschwingzeit des Meßobjekts, Meßzeit und ggf. Signallaufzeit (bei akustischen Messungen) benötigt wird. Vor allem bei tiefen Frequenzen addieren sich Einschwingzeit und Meßzeit zu erheblichen Werten. Für Abgleichvorgänge und Produktionstests sind aber lange Meßzeiten nicht akzeptabel.

Alle Messungen, die auf Spannungsmessungen zurückgeführt werden, können auch mittels Rauschgenerator und FFT-Analysator durchgeführt werden. Der (Quasi-)Rauschgenerator des UPD/UPL arbeitet mit diskreten Sinuslinien und kann auf die FFT synchronisiert werden, d.h. die vom Generator erzeugten Sinustöne liegen im selben Frequenzraster wie die der FFT (im folgenden als FFT-Rauschen bezeichnet). Das Meßsignal ist somit an der Ausschnittgrenze der FFT ohne Sprung fortsetzbar, so daß eine Fensterfunktion zur Unterdrückung des FFT-Fortsetzungsfehlers entfallen kann und eine optimale Frequenz- und Pegelgenauigkeit der FFT möglich ist.

Meßzeit und Frequenzauflösung sind abhängig von der Wahl der FFT-Größe bzw. von der Frequenzschrittweite des Rauschgenerators.

Die kleinste Schrittweite im 25 kHz-Generator beträgt 5.86 Hz. Das ist somit auch die maximal zulässige Auflösung des FFT-Analysator, obwohl dieser (mittels ZOOM-FFT) noch weit feiner auflösen könnte. Es empfiehlt sich die Wahl einer 8 k-FFT, wobei die Meßgeschwindigkeit immer noch bei mehreren Messungen pro Sekunde liegt. Durch Verringern der Frequenzauflösung bzw. der FFT-Größe kann die Meßgeschwindigkeit noch gesteigert werden.

Auf der Generatorseite ist die Erzeugung und Phasenoptimierung des Rauschsignals sehr viel rechenintensiver als die Erzeugung eines einfachen Sinussignals. Werden alle verfügbaren Sinuslinien verwendet, dauert es ca. 1 min bis das Rauschsignal zur Verfügung steht. Diese Zeit ist aber nur ein einziges Mal erforderlich; danach können beliebig viele Messungen mit höchster Geschwindigkeit durchgeführt werden. Durch Verringerung der FFT-Größe (Analysator) oder Einschränkung des Frequenzbereichs (Generator) kann die Anzahl der einzelnen Sinustöne reduziert und die Signalgenerierungszeit drastisch verkürzt werden.

Hinweis: Die höchste Auflösungsstufe (2,9296875 Hz bei 8 k-Zoom-FFT) ist nur beim UPL sinnvoll, da der UPD wegen der höheren internen Generatortaktrate auf eine Resolution $< 5,859375$ Hz nicht mehr tracken kann.

Frequenzgang-Sweep und FFT-Rauschen haben also ihre Vor- und Nachteile; in der Applikation werden deshalb für alle Meßaufgaben (soweit möglich) beide Verfahren angeboten.

Ein weiteres speziell für die Messung des Übertragungsbereiches implementiertes Meßverfahren ist die gesweepete Burstmessung. Die Meßzeit ist zwar länger als beim normalen (Sinus-) Sweep, dafür ist aber ab einer raumabhängigen unteren Grenzfrequenz eine echofreie Messung auch ohne schalltoten Raum möglich.

4.2 Frequenzsweep

4.2.1 Vorteile

- Es ist eine logarithmische Frequenzteilung möglich; dadurch erhält man eine sehr hohe Frequenzauflösung bei tiefen Frequenzen. Die FFT hingegen ist nur linear skalierbar.
- Die Frequenzauflösung ist durch Einschränkung des Frequenzbereiches beliebig steigerbar; bei der FFT liegt die kleinste Schrittweite fest bei 5.86 Hz (UPD) bzw. 2.93 Hz (UPL).
- Die Generator-Stellzeit pro Sweeppunkt ist sehr kurz, während beim FFT-Rauschen eine zeitintensive Generierung des Rauschsignals erforderlich ist;
- Der Frequenzsweep ist bei allen Messungen möglich, das FFT-Rauschen nur bei Spannungsmessungen.

4.2.2 Setup- und Programmeinstellungen

Bei Auswahl des Meßverfahrens Frequenz-Sweep (siehe 4.6 Wahl des Meßverfahrens) wird das Setup "SPEAKER.SCO" mit folgenden Einstellungen aktiv:

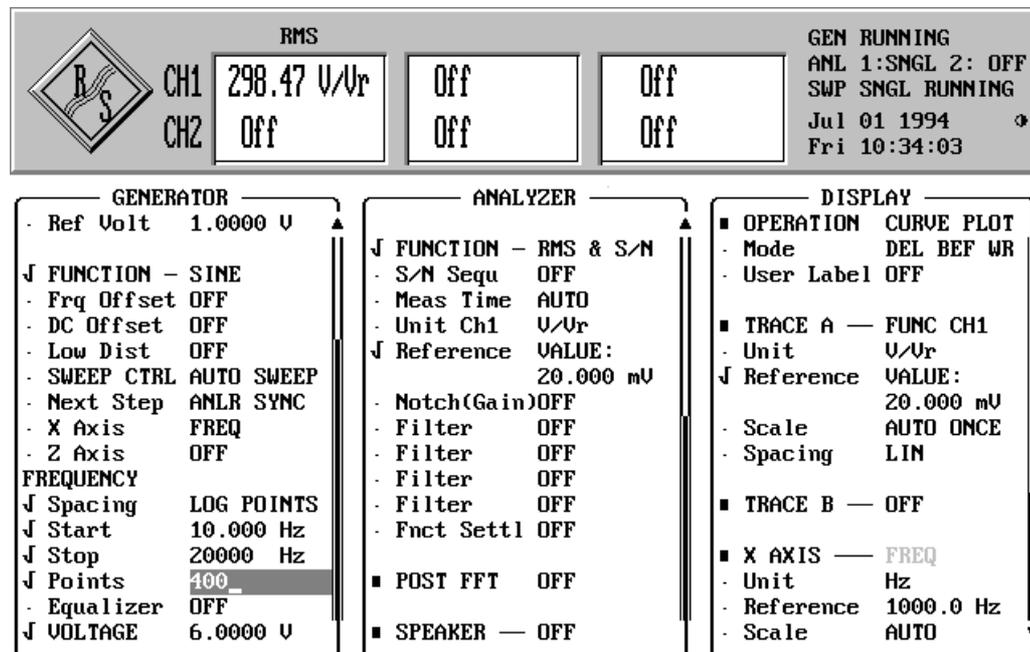


BILD 3: Beispiel des Setups SPEAKER.SCO für das Meßverfahren Frequenz-Sweep

Die Zahlenwerte für Start, Stop, Points und Voltage werden aus Benutzerangaben generiert bzw. aus der Konfigurationsdatei SPEAKER.CFG entnommen.

4.3 FFT-Rauschen

4.3.1 Vorteile, Einschränkungen und Einsatzschwerpunkte

- Die reine Meßzeit - ohne Signalgenerierungszeit - ist sehr kurz ("online"-Verhalten).
- Die Meßzeit wird durch eine Erhöhung (Verdoppelung) der Frequenzauflösung nur unwesentlich länger.
- Es können bis zu 3712 Meß-"Punkte" - beim UPL sogar 7424 - aufgenommen werden (Sweep: 1024); bei linearer Frequenzrastrung über den gesamten Tonfrequenzbereich ist somit eine höhere Frequenzauflösung möglich.

In der vorliegenden Applikation ist das FFT-Rauschen anwendbar für die Ermittlung des Impedanzverlaufs und des Schalldruckverlaufs. Bevorzugte Einsatzgebiete sind:

- Produktionstests (GO/NOGO-Tests)
- Abgleichvorgänge
- Schallmessungen in nicht schalltoten Räumen.

4.3.2 Setup- und Programmeinstellungen

Bei Auswahl des Meßverfahrens FFT-Rauschen (siehe 4.6 Wahl des Meßverfahrens) wird das Setup "SPEAKER.SCO" mit folgenden Einstellungen aktiv:

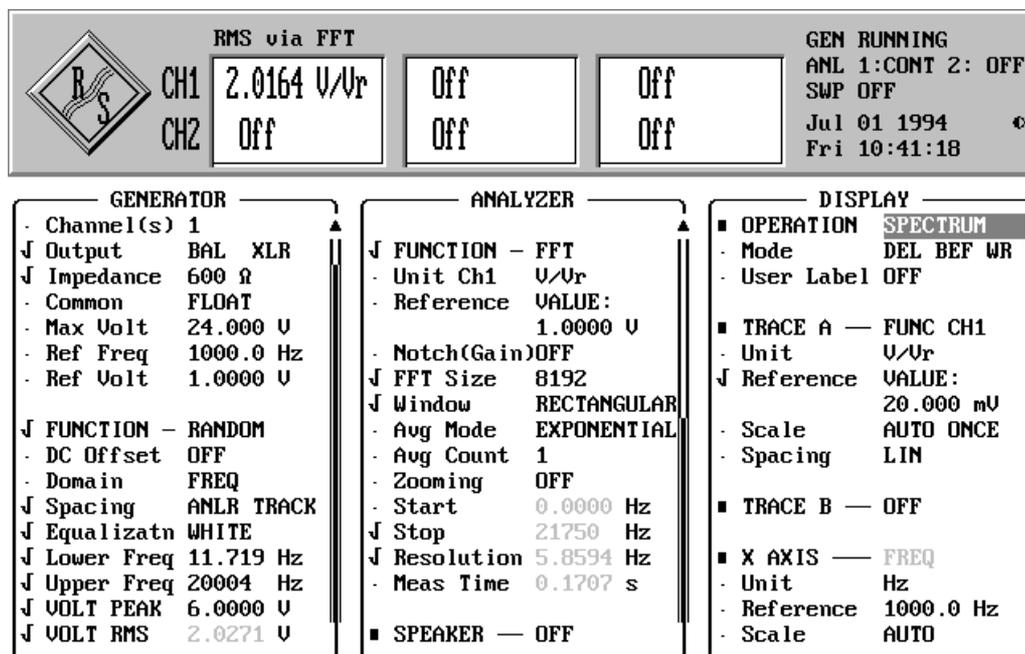


BILD 4: Beispiel des Setups SPEAKER.SCO für das Meßverfahren FFT-Rauschen

Die Zahlenwerte für Lower Freq, Upper Freq, VOLT RMS und FFT Size werden aus Benutzerangaben generiert bzw. aus der Konfigurationsdatei SPEAKER.CFG entnommen.

Bemerkungen:

- Sobald eine Eingabe im GENERATOR-Panel erfolgt, die eine Neugenerierung des Rauschsignals nötig macht, beginnt der Generator mit der sehr zeitaufwendigen Berechnung des Rauschsignals (GEN BUSY in der Statusanzeige). Im Gegensatz zur Handbedienung, wo durch Betätigen einer beliebigen Taste der Generierungsvorgang abgebrochen werden kann, ist unter der Kontrolle der Ablaufsteuerung ein Abbruch der Rauschgenerierung jedoch nicht möglich.
- "Window RECTANGULAR" schaltet die Fensterfunktion aus.
- "Zooming ON" (mit Zoom-Faktor 2) ist nur beim UPL möglich, weil der UPD-Generator Frequenzauflösungen unter 5.8584 Hz nicht mehr einstellen kann.

4.4 Gesweepte Burstmessung

Bei diesem Meßverfahren wird nicht ein Dauersinus, sondern ein gebursteter Sinus gesweept, also in der Frequenz variiert. Gemessen werden jeweils ganze Perioden; die Burstdauer ist um 1 Periode länger als die Meßzeit. Eingesetzt wird dieses Verfahren zur Messung des Übertragungsbereiches, weil damit auf einfachem Weg Raumreflexionen ausgeschaltet werden können.

Für die Zeitspanne zwischen Echolaufzeit und Signallaufzeit liegt am Mikrofon nur das direkte Meßsignal an. Diese Zeit definiert die untere Grenzfrequenz für den echofreien Betrieb: alle Frequenzen, deren Periodendauer kürzer als diese Zeitspanne ist, können somit echofrei gemessen werden. Eine genauere Erklärung des Meßverfahrens folgt in Kapitel 5.2.6.

4.4.1 Vorteile und Einsatzschwerpunkte

- echofreie Messung ab einer unteren Grenzfrequenz auch ohne schalltoten Raum,
- Messung wird nicht durch den Nachhall des vorherigen Sweeppunktes gestört,
- Die kurzen Burstimpulse sind angenehmer zu ertragen als kontinuierliche Sinus-Signale.

Wegen der gegenüber den anderen Meßverfahren längeren Meßzeit und der Anfälligkeit auf Störgeräusche bleibt dieses Verfahren auf den Einsatz im Entwicklungslabor beschränkt.

4.4.2 Programmeinstellungen

Der Burstsweep kann als Meßverfahren nicht direkt in der Gerätesoftware gewählt werden, daher muß jeder Sweeppunkt von der Applikationssoftware eingestellt werden:

- Als Generatorsignal wird der SINE BURST gewählt.
- Der Analysator wird auf einen speziellen RMS-Mode gestellt (TRIGGERED), bei dem die Messung automatisch mit Erkennen des Signalpegels getriggert wird.
- Die Frequenz wird wie beim Sinus-Sweep gemäß der Vorgabe von Start, Stop, Points und Spacing variiert.
- Die Meßzeit beträgt ein Vielfaches einer ganzen Periode; mindestens jedoch eine. Nach oben ist die Anzahl der Perioden so limitiert, daß die Messung beendet ist, bevor das erste Echo eintrifft.
- Die Burstdauer ist um eine Periode länger als die Meßzeit und (zur Vermeidung von DC-Anteilen) ebenfalls ganzzahlig.
- Die Burst-on-delay ist konstant und soll die interne Meßverzögerung ausgleichen.
- Der Eingangspegelbereich wird fest eingestellt und für alle Sweep-Punkte beibehalten. Eine automatische Routine legt den Pegelbereich so, daß die Bezugsfrequenz (SNS FREQ) optimal angesteuert ist.
- Die Triggerschwelle, bei der die RMS-Messung gestartet wird, ist wählbar (Softkey TRGLEVEL). Sie sollte so gewählt werden, daß sie einerseits von allen Sweep-Punkten überschritten wird, andererseits aber weit genug vom Umgebungslärm entfernt liegt. Sinnvoll sind Werte um 1%.

4.5 GO-/NOGO- Tests

Für den Einsatz in der Produktion besteht die Möglichkeit, Impedanzverlauf und Übertragungsbereich eines Referenzlautsprechers aufzuzeichnen, Toleranzwerte zu definieren und die Testobjekte auf das Einhalten dieser Toleranzen zu prüfen (GO-/NOGO-Tests).

Dazu wird die gemessene Kurve dieser "golden unit" als Trace abgespeichert und für die Testobjekte als Referenztrace im Display-Panel geladen; die Toleranz"kurven" sind dann waagerechte Linien in dem eingegebenen Abstand ober- und unterhalb der 0 dB-Linie. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, daß die Abweichung von der Idealkurve (0 dB-Linie) direkt in dB abgelesen werden kann; ein ideales Testobjekt würde also eine waagerechte Linie von genau 0 dB ergeben.

Werden die Toleranzwerte (Limits) vom Testobjekt eingehalten, dann erscheint die Anzeige "DUT passed". Liegt mindestens ein Meßwert außer Toleranz, dann wird der Schriftzug "DUT failed" ausgegeben; läuft die Messung im Makrobetrieb, dann wird das Makro angehalten und auf einen Tastendruck gewartet.

Das Abspeichern einer solchen Referenzkurve geschieht nach Ablauf der Messung mit dem Softkey "STO REF" und der Angabe eines Dateinamens. Das Laden dieser Referenzkurve sowie die Eingabe der Toleranzgrenzen erfolgt durch den Softkey "REF SPK".

4.6 Wahl des Meßverfahrens

Die Wahl des Meßverfahrens erfolgt in der Softkey-Ebene 2.

Impedanz-Messung:

- Softkey #2 (F6, FFT RAND) wählt das FFT-Rauschen zur Ermittlung des Impedanzverlaufs,
- Softkey #3 (F7, FRQ SWP) wählt den Frequenzsweep zur Ermittlung des Impedanzverlaufs.

Sound-Messung:

- Softkey #2 (F6, FFT RAND) wählt das FFT-Rauschen zur Ermittlung der Übertragungsfunktion,
- Softkey #3 (F7, FREQ SWP) wählt den Frequenzsweep zur Ermittlung der Übertragungsfunktion,
- Softkey #4 (F8, SNS RAND) wählt das FFT-Rauschen zur Ermittlung der Empfindlichkeit,
- Softkey #5 (F9, SNS SNGL) wählt eine feste Frequenz zur Ermittlung der Empfindlichkeit.
- Softkey #6 (F10, BRST SWP) wählt den Burst-Sweep zur Ermittlung der Übertragungsfunktion

Phasen-Messung:

- Softkey #2 (F6, SINGLE) wählt eine feste Frequenz zur Ermittlung der Phasendrehung,
- Softkey #3 (F7, FRQ SWP) wählt den Frequenzsweep zur Ermittlung des Phasenverlaufs.

THD(N)-Messung: ZOOM FFT

- Softkey #2 (F6, THD TOTL) wählt die THD-Messung *aller* Harmonischen (d2 .. d9) zur Ermittlung des Klirrfaktors; Darstellung als BARGRAPH (bei Einzelmessung) oder Sweep-Kurve.
- Softkey #3 (F7, THD d2) wählt die THD-Messung der *ersten* Oberwelle zur Ermittlung der Klirrfaktors; Darstellung als BARGRAPH (bei Einzelmessung) oder Sweep-Kurve.
- Softkey #4 (F8, THD d3) wählt die THD-Messung der *zweiten* Oberwelle zur Ermittlung der Klirrfaktors; Darstellung als BARGRAPH (bei Einzelmessung) oder Sweep-Kurve.
- Softkey #5 (F9, THD+N) wählt die THD+N-Messung (Oberwellen+Rauschen) zur Ermittlung der Klirrfaktors; Darstellung als BARGRAPH (bei Einzelmessung) oder Sweep-Kurve.
- Softkey #6 (F10, POST FFT) wählt ebenfalls die THD+N-Messung, stellt aber jeden Meßpunkt numerisch und als FFT-Spektrum dar.
- Softkey #7 (F11, ZOOM FFT) stellt die FFT-Meßfunktion ein und erlaubt die Eingabe aller verfügbaren FFT-Größen und Zoom-Faktoren. Jeder Meßpunkt wird als FFT-Spektrum dargestellt.

Dabei wird das Setup SPEAKER.SCO (neu) geladen und die jeweils nötigen Einstellungen gemacht. Die Daten der Konfigurationsdatei sowie Benutzereingaben, die seit Programmstart in dem Applikationsprogramm gemacht wurden (siehe 3.4 Parametereingaben), werden hierbei berücksichtigt. Hingegen werden Benutzereingaben, die während der Nachbearbeitung gemacht erfolgen (siehe 7.1 Task-Wechsel Applikation/Bedienoberfläche), überschrieben.

5 Messungen

Die SPEAKER-Applikationssoftware bietet verschiedenste Lautsprechermessungen an, die nach Aufruf des Programms in der Softkey-Leiste (1. Softkeyebene) angeboten werden.

- IMPEDANC zur Messung aller relevanten Widerstandswerte und dazugehöriger Frequenzen und zur Ermittlung der daraus abgeleitete Eigenschaften.
- PHASE zur Messung von Phasenlinearität und Detektierung von Verpolungen.
- SOUND zur Messung des Schalldruckverlaufs und der Empfindlichkeit eines Lautsprechers.
- THD zur Messung und Darstellung von THD+N, THD total, d2 oder d3, u ä.

Die Betätigung des START-Softkeys (F12) startet für die jeweils gewählte Messung den gesamten hier beschriebenen Meßablauf.

5.1 Scheinwiderstand und abgeleitete Parameter

Aus der Scheinwiderstandskurve eines Lautsprecherchassis oder -Systems lassen sich wichtige Parameter entnehmen, die dessen tieffrequentes Verhalten in ausreichendem Maße kennzeichnen. Zu diesen Parametern gehören die Gesamtgüte Q , die Resonanzfrequenz f_r und das Äquivalente Volumen V_{eq} . Die hier verwendeten Formeln sind der DIN IEC 268, Teil 5 entnommen.

Da der UPD und der UPL sowohl über einen DC-Generator als auch über eine DC-Meßfunktion verfügt, kann der Gleichstromwiderstand ohne weitere Zusatzgeräte ermittelt werden.

Die Impedanz-Messung wird durch den Softkey IMPEDANC (F6) ausgewählt.

5.1.1 Meßanordnung

Zur Messung des Betrages des (komplexen) Scheinwiderstands eines Lautsprecherchassis oder -systems wird dieses an den XLR-Ausgang *Kanal 2* des Generators (+ und -) angeschlossen und der Spannungsabfall U_1 am Generatorausgang (via GEN-Kopplung) gemessen.

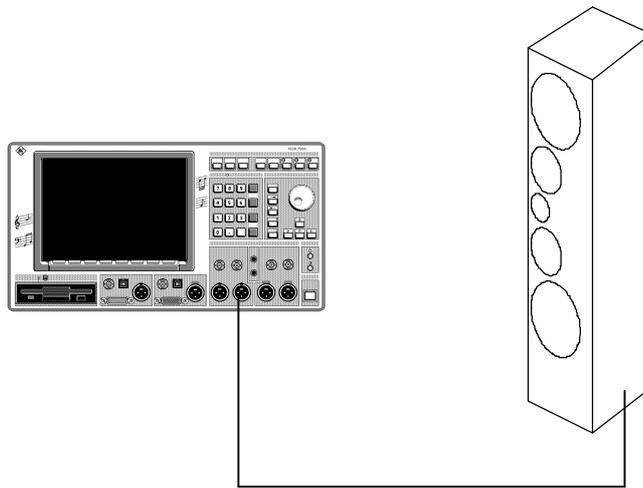


Bild 5 Meßaufbau zur Impedanzmessung

Die Leerlauf-Generatorspannung U_q ist bekannt, nach der Spannungsteiler-Regel ergibt sich somit:

$$U_q / |Z+R| = U_1 / |Z|$$

Wegen dem komplexen Scheinwiderstand kann die Spannungsteiler-Regel nicht nach $|Z|$ aufgelöst werden; für $|Z| \ll R$ kann aber der Generator als Stromquelle

$$I_q = U_q / R$$

betrachtet werden, so daß gilt:

$$|Z| = U_1 / I_q$$

Für die in Lautsprechern vorkommenden Impedanzen ist die Bedingung $|Z| \ll R$ erfüllt, wenn der Generator-Innenwiderstand 600Ω gewählt wird. Dieser ist jedoch nur für die XLR-Ausgänge verfügbar, daher müssen die symmetrischen Ausgänge verwendet werden.

Trägt man den Wert

$$I_q = U_q / 600 \Omega$$

als Referenzwert für die RMS- bzw. DC-Messung ein und wählt als Anzeigeeinheit V/V, dann kann der Betrag von Z direkt als Meßergebnis in Ω abgelesen werden.

5.1.2 Besonderheiten bei der Parametereingabe

Unter dem Softkey RUNAWAYS (F9, Ebene 3) kann bestimmt werden, wieviele Meßwertausreißer der Algorithmus zur Extremwertbestimmung (Resonanz- und Abstimmfrequenz) toleriert.

Bei diesen Messungen müssen relative Maxima bzw. Minima bestimmt werden. Z.B. bei der Maxima-Suche - besonders bei sehr flachen Impedanzverläufen - kann es vorkommen, daß trotz geringfügig ansteigendem Verlauf ein kleinerer Meßwert auftritt. Um eine Fehlinterpretation zu vermeiden, reagiert der Algorithmus erst dann, wenn auch die "N_ausreisser" nächsten Werte eine absteigende Tendenz haben.

Der empfohlene Zahlenwert beträgt 2; deutlich höhere Werte vergrößern die Suchzeit und können außerdem zur Verdeckung von schmalen Extrema führen. Bei Frequenzsweeps können auch kleinere Werte (auch 0) ausreichen; dies muß empirisch ermittelt werden.

Unter dem Softkey "REF SPK" kann der GO-/NOGO-Testmode ein- und ausgeschaltet, die Kurve des Referenzgerätes geladen und die Toleranzgrenzen eingegeben werden. Bei Betätigen dieses Softkeys folgt die Auswahl "OFF" (kein GO-/NOGO-Test), "TRACE A" (nur GO-/NOGO-Test), oder "TRACE B" (Impedanzkurve auf Trace A, GO-/NOGO-Test auf Trace B)

5.1.3 Gleichstromwiderstand

Der Gleichstromwiderstand R_{dc} wird zur Berechnung der Güte benötigt (s. 5.1.7 Gesamtgüte). Die Messung erfolgt mit der Meßfunktion DC.

Als DC-Signal wird der bei fast allen Generator-Signalen einstellbare Offset verwendet; der AC-Signalpegel wird dabei auf 0 gestellt. Der Low-Distortion-Generator muß ausgeschaltet werden, damit die Offset-Funktion aktiv ist. Bei einer DC-Spannung von z.B. 6.0 V ergibt sich ein Strom von 10 mA, der als Referenzwert im ANALYZER-Panel eingetragen wird.

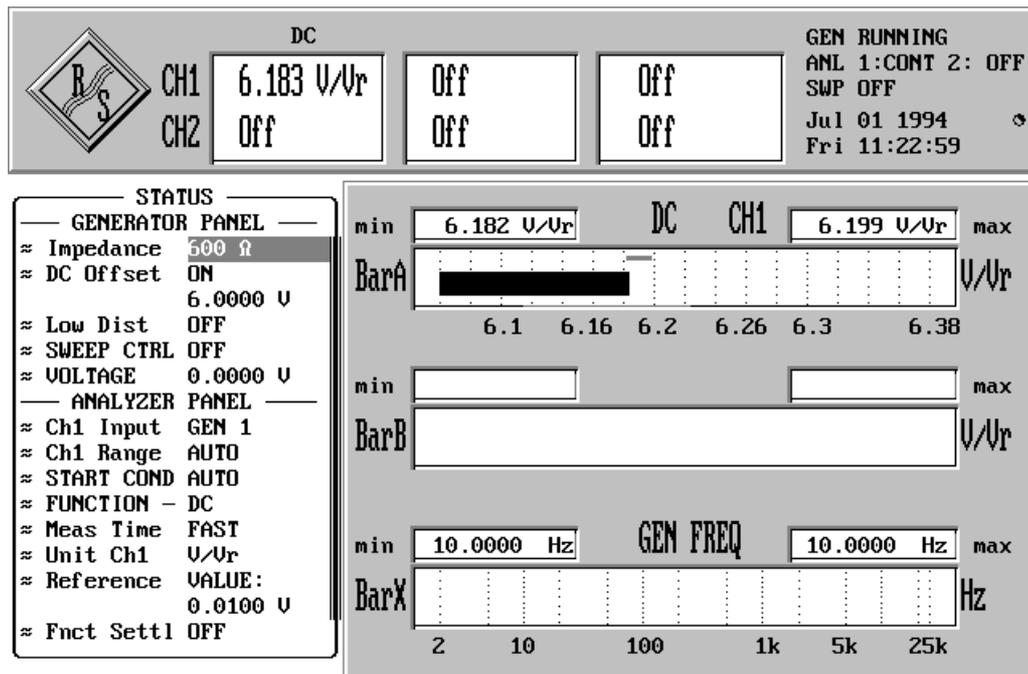


BILD 6: Einstellung zur Messung des Gleichstromwiderstands

5.1.4 Frequenzgang des Scheinwiderstands

Der Frequenzgang des Scheinwiderstands wird zur Dokumentation sowie zur Bestimmung aller weiteren Parameter (siehe 5.1.5 - 5.1.9) benötigt. Laut DIN IEC 268 ist er mindestens in dem Bereich von 20 Hz bis 20 kHz anzugeben. Als Meßverfahren sind sowohl logarithmischer Frequenzsweep als auch (lineares) FFT-Rauschen möglich; die Darstellung sollte in jedem Fall logarithmisch erfolgen. Wenn keine besonderen Gründe für das FFT-Rauschen vorliegen (z.B. Online-Verhalten), dann ist allerdings der Frequenzsweep zu bevorzugen, da er wegen der logarithmischen Teilung mit weniger Punkten auskommt und zudem bei höheren Frequenzen nicht die Ungenauigkeit des Rauschsignals aufweist. Die geringere Anzahl von Sweep-Punkten macht sich bei den anschließenden Suchvorgängen durch kürzere Programmlaufzeiten bemerkbar.

Um eine maximale Meßgeschwindigkeit zu bekommen, ist die Frequenzmessung ausgeschaltet; es wird nur 1-kanalig gemessen und der (schnellere) Funktionsgenerator verwendet (Low-Distortion-Generator inaktiv). Eine weitere Reduzierung des Meßzeit (allerdings bei Genauigkeitseinbußen) ist möglich durch Wahl von AUTO FAST.

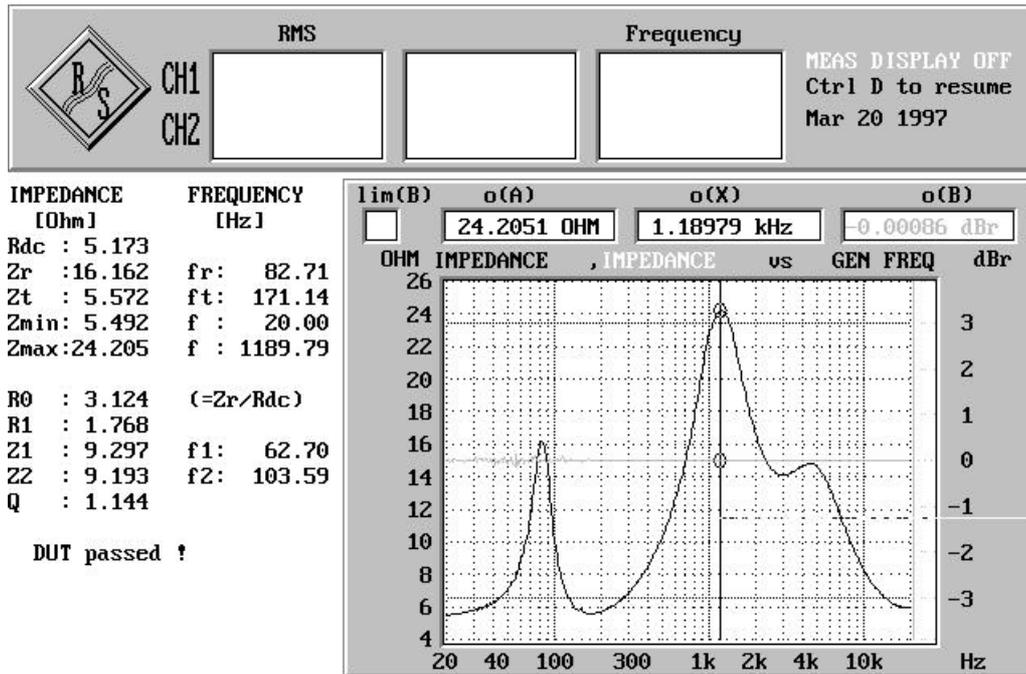


BILD 7: Impedanzverlauf und Auswertung eines Mehrwegelautsprechers (Trace B stellt den Impedanzverlauf bezogen auf eine "golden unit" dar)

5.1.5 Resonanzfrequenz und Resonanzimpedanz

Die Resonanzimpedanz Z_r ist das erste Hauptmaximum der Scheinwiderstandskurve, die Resonanzfrequenz f_r der dazugehörige Frequenzwert. Beide Größen können direkt aus der Scheinwiderstandskurve mit Hilfe eines der Grafikcursor abgelesen werden. Programmtechnisch werden sie gewonnen durch eine Aufwärtssuche über das gewonnene Impedanzdaten-Array; das Maximum gilt als gefunden, wenn $N_{\text{ausreisser}} + 1$ (siehe 5.1.2 Besonderheiten bei der Parametereingabe) aufeinanderfolgende Werte in absteigender Größe gefunden wurden.

5.1.6 Absolutes Minimum und Maximum der Impedanz

Das absolute Maximum der Impedanz Z_{max} ist normalerweise nicht identisch mit der Resonanzimpedanz. Mit den Softkeys

⇒ "Cursor" --> "set to" --> "max A"

wird der (aktive) Grafikcursor auf das Maximum gestellt und der Impedanzwert sowie die zugehörige Frequenz können abgelesen werden. Entsprechend kann mit

⇒ "Cursor"-->"set to"-->"min A"

das absolute Minimum ermittelt werden. Dieses Verfahren wird auch programmtechnisch angewandt.

5.1.7 Abstimmfrequenz

Die Abstimmfrequenz ist diejenige Frequenz, bei der die Impedanzkurve bei aufsteigendem Frequenzmaßstab nach der Resonanzfrequenz ihr erstes Hauptminimum hat. Sie kann direkt aus der Scheinwiderstandskurve mit Hilfe eines der Grafikkursor abgelesen werden. Programmtechnisch wird sie gewonnen durch eine Aufwärtssuche über das Impedanzdaten-Array beginnend bei f_r ; das Minimum gilt als gefunden, wenn $N_{\text{ausreisser}} + 1$ (siehe 5.1.2 Besonderheiten bei der Parametereingabe) aufeinanderfolgende Werte in aufsteigender Größe gefunden wurden.

5.1.8 Gesamtgüte

Die Gesamtgüte Q_t wird aus der Scheinwiderstandskurve nach folgender Gleichung abgeleitet (BASIC-Syntax):

$$Q_t = \frac{f_r}{(f_2 - f_1)} \cdot \frac{R_0 \cdot \sqrt{R_0^2 - R_1^2}}{\sqrt{R_1^2 - 1}}$$

Darin bedeuten:

Z_r, f_r : Resonanzimpedanz und Resonanzfrequenz (siehe 5.1.5)

Z_t, f_t : Abstimm-Impedanz und Abstimmfrequenz (siehe 5.1.7)

R_0 : Die auf R_{dc} (siehe 5.1.3 Gleichstromwiderstand) normierte Resonanzimpedanz
 $R_0 = Z_r / R_{dc}$.

R_1 : Ein auf R_{dc} normierter Widerstand zwischen Z_r und Z_a (siehe 5.1.7 Abstimmfrequenz);
 $R_1 = \sqrt{R_0}$.

f_1 : Frequenz unterhalb der Resonanzfrequenz, bei der die Impedanz $Z_1 = R_1 R_{dc}$ beträgt.

f_2 : Frequenz oberhalb der Resonanzfrequenz, bei der die Impedanz $Z_2 = R_1 R_{dc}$ beträgt.

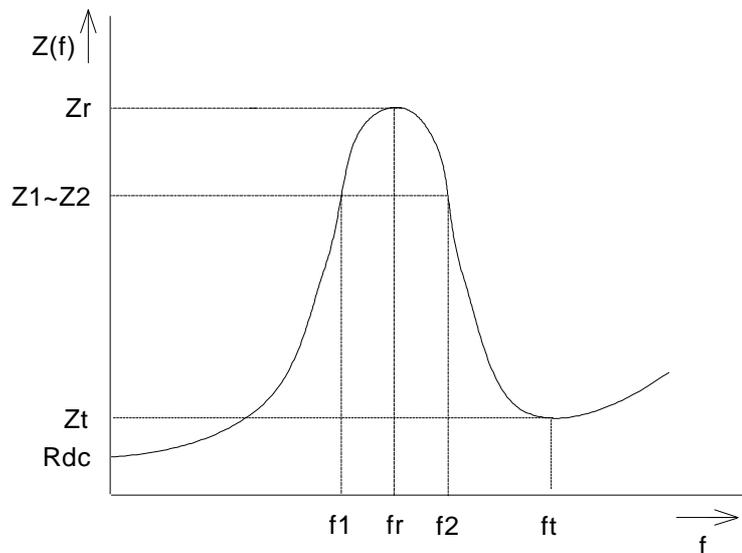


BILD 8: Parameter der Impedanzkurve zur Bestimmung von Q_t

5.1.9 Äquivalentes Volumen

Für ein Lautsprecherchassis gibt das äquivalente Volumen V_{eq} das Luftvolumen an, dessen Nachgiebigkeit gleich der dieses Lautsprecherchassis ist.

Zunächst wird die Impedanzmessung für dieses Lautsprecherchassis im nichteingebauten Zustand durchgeführt. Dann wird dasselbe Chassis in ein kleines, steifes Lautsprechergehäuse ohne weitere Öffnungen und ohne Dämmmaterial eingebaut und durch den Softkey "Veq/Vb" (F11, Ebene 4) eine neue Messung gestartet. Mit der neu gefundenen Resonanzfrequenz f_b ($>f_r$) ergibt sich nach der Formel

$$\frac{V_{eq}}{V_b} = \left(\frac{f_b}{f_r} \right)^2 - 1 \quad \text{das auf } V_b \text{ bezogen äquivalente Volumen } \frac{V_{eq}}{V_b}.$$

V_b ist das Innenvolumen des Lautsprechergehäuses abzüglich des Volumens des Lautsprecherchassis.

5.1.10 Go/Nogo-Test

Der Impedanzverlauf eines Referenzlautsprechers kann am Ende des Sweep als Referenz-Trace abgespeichert werden (Softkey STO REF) und steht dann bei weiteren Messungen als "golden unit" zur Verfügung. Dazu muß für die folgenden DUTs über den Softkey REF SPK der zuvor abgespeicherte Referenzverlauf geladen und der Toleranzbereich angegeben werden. Es kann dann zwischen 3 Darstellungsarten gewählt werden kann:

- "TRACE A" stellt nur den bezogenen Impedanzverlauf dar
- "TRACE B" stellt den bezogenen Impedanzverlauf auf Trace B dar, während gleichzeitig auf Trace A der absolute Impedanzverlauf gezeichnet wird (siehe Bild 7).
- "OFF" schaltet den Referenzbezug aus und stellt nur den absoluten Impedanzverlauf dar.

5.2 Schalldruckmessungen

Der Verlauf des Schalldrucks über der Frequenz erlaubt wichtige Rückschlüsse auf das Klangverhalten eines Lautsprechers. Ohne diese Kenntnis ist eine Dimensionierung von Frequenzweichen unmöglich. Außerdem ist aus dem Schalldruckverlauf eines Systems die Verpolung einzelner Chassis erkennbar, wenn der Schalldruckverlauf eines unverpoltes Referenz-System verfügbar ist (siehe 5.4.3 Polaritätsprüfung durch Vergleich mit Referenz-Schalldruckverlauf).

Durch Messung des Schalldrucks bei einer festen Frequenz kann der maximale Schalldruck eines Lautsprechers (bei Nennleistung) und die Empfindlichkeit (bei 1 W), jeweils in 1 m Entfernung, gemessen werden. Die gemessene Empfindlichkeit (in dBspl bei 1 W und 1 m Mikrofonabstand) kann als Referenz für die Messung des Frequenzganges abgespeichert werden (siehe 5.2.5 Empfindlichkeitsmessung und Abstrahlwinkel).

Mit dem Softkey SOUND (F7) werden die Schalldruckmessungen (Empfindlichkeitsmessung und Schalldruck-Frequenzganges) gewählt.

5.2.1 Meßanordnung

Benötigt werden ein Leistungsverstärker, ein Meßmikrofon und evtl. ein Mikrofonverstärker.

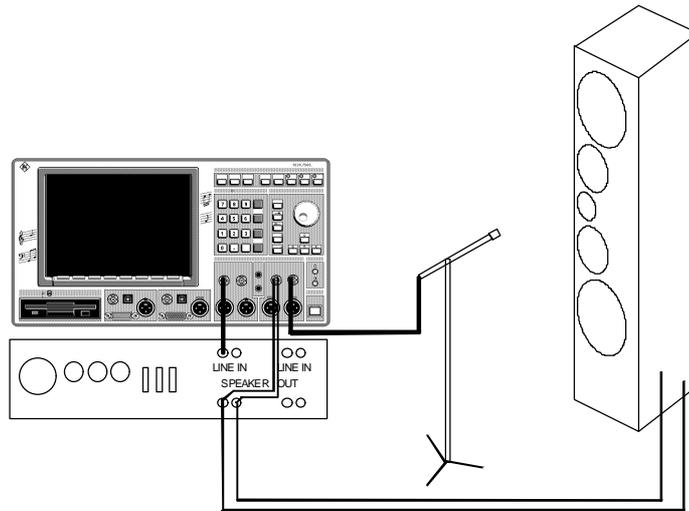


BILD 9: Meßaufbau zur Schalldruckmessung

Der Eingang des Leistungsverstärkers wird mit dem XLR-Ausgang des UPD/UPL-Generators (Kanal 1) verbunden, der Ausgang des Leistungsverstärkers führt parallel auf Meßobjekt und XLR-Eingang des UPD/UPL-Analysators Kanal 1; damit kann die Ausgangsleistung des Leistungsverstärkers ermittelt werden. Das Meßmikrofon wird (ggf. über den Mikrofonverstärker) mit dem XLR-Eingang Kanal 2 des UPD/UPL-Analysators verbunden, um den Schalldruck(-verlauf) zu messen.

Die Durchführung der Schallmessungen erfolgt bevorzugt in einem schalltoten Raum, bei dem eine Verfälschung der Messungen durch indirekten Schall ausgeschlossen ist. Steht ein solcher Raum nicht zur Verfügung, kann es durch Reflexionen der Wände, des Bodens und der Raumdecke zu Schallverstärkung oder -abschwächung einzelner Frequenzen kommen, die bei exakt gleich- bzw. gegenphasiger Überlagerung am stärksten sind. Diese Effekte können zwar nicht vollständig vermieden, aber doch begrenzt werden durch folgende Maßnahmen:

- Dämmmaterial an allen Raumwänden (Teppiche, Vorhänge, etc.): Dadurch wird der Echopegel schwächer.
- Minimierung des Mikrofonabstandes: dadurch wird der Direktschallpegel höher und der Echoeinfluß relativ gesehen schwächer.
- Maximierung des Echopfades durch geeignete Positionierung von Meßmikrofon und Lautsprecher: Dadurch wird der Echopegel schwächer und die Zeit, in der echofrei gemessen werden kann, länger. Insbesondere für höhere Frequenzen kann im Idealfall erreicht werden, daß die Messung bereits beendet ist, bevor das Echo am Mikrofon ankommt.
- Verwendung von Rausch- oder Burstsignalen statt kontinuierlichen Sinus-Signalen: Dadurch kann eine Beeinflussung der Messung durch den Nachhall der vorhergehenden Messung vermieden werden.

Schalldruck-Messungen können als Fernfeldmessungen, Nahfeldmessungen oder als kombinierte Nah-/Fernfeldmessungen durchgeführt werden.

5.2.1.1 Nahfeldmessung

Bei der Nahfeldmessung wird das Mikrofon so dicht wie möglich an den Lautsprecher herangeführt. Dadurch ergibt sich ein extrem hoher Signalpegel; Reflexionen können meist vernachlässigt werden. Mikrofon und Lautsprecher sollten im Mittelpunkt einer möglichst großen gedachten Kugel aufgestellt werden, deren Oberfläche von der nächststehenden Wand berührt wird.

Die Nahfeldmessung ist auch in nicht-schalltoten Räumen sehr gut durchführbar, die Gültigkeit der Meßergebnisse ist aber auf niedrige Frequenzen beschränkt. Wegen der Bedingung

$$2 \cdot p \cdot r < l \quad \text{mit} \quad l = c / f$$

ergibt sich als Grenzfrequenz

$$f_{\max} = \frac{c}{2 \cdot p \cdot r}$$

mit r =Radius des Lautsprechers

5.2.1.2 Fernfeldmessung

Bei der Fernfeldmessung sollte der Mikrofonabstand mindestens das 3-fache der Lautsprechergröße sein, in der Praxis wählt man meist 1 m.

Mikrofon und Lautsprecher sollten in den Brennpunkten eines möglichst großen gedachten Elipsoides aufgestellt werden, dessen Oberfläche von der nächststehenden Wand berührt wird.

Die Fernfeldmessung ist sehr echoempfindlich und sollte im Freifeld oder schalltoten Raum erfolgen. Empfehlenswert ist auch eine zeitselektive Messung mit Burstsignalen.

5.2.2 Einstellung der Ausgangsleistung

Das Einstellen der Ausgangsleistung erfolgt über den Softkey "POWERAMP" (F11, Ebene 3), der ein Softkeymenu öffnet, in dem der Benutzer zwischen manueller und automatischer Einstellung wählen und die erforderlichen Eingaben machen kann.

In beiden Fällen muß die Nennimpedanz des Lautsprechers eingegeben werden ("REF IMPE", F6). Die Wahl zwischen manuellem und automatischem Verfahren erfolgt durch die Softkeys "MANU" (F11) und "AUTO" (F12), wobei implizit die Messung bzw. Regelung gestartet wird. Nach dem Start öffnet sich eine neue Softkey-Ebene, die als einzigen Softkey "STOP" (F10) anbietet; hiermit wird die gewählte Messung beendet.

Bei der manuellen Methode muß der Benutzer nach dem Starten der Leistungsmessung den Verstärker genau auf die gewünschte Leistung einstellen, wobei der Generator die unter "VOLTAGE" (F6, Ebene 3) gewählte konstante Spannung ausgibt. Die vom Verstärker ausgegebene Leistung wird vom Analysator kontinuierlich gemessen und als Bargraph (Trace B) und numerischer Wert (Funktionsmeßfenster von Kanal 1) angezeigt.

Bei der automatischen Methode erfolgt das Einstellen der gewünschten Ausgangsleistung durch Regelung der Generator-Ausgangsspannung. Der Benutzer muß dazu gewünschte Leistung ("POWER", F8) und maximal zulässige Verstärker-Eingangsspannung ("MAX VOLT", F9, zum Schutz des Leistungsverstärkers) angeben. Nach dem Starten ("AUTO", F12) wird mit diesen Vorgaben (beginnend bei 1 mV) die Generator-Ausgangsspannung solange geregelt, bis der STOP-Softkey betätigt wird. Die aktuelle Ausgangsleistung (Ist-Wert) kann währenddessen im Display oder Bargraph abgelesen werden. Das Einstellen des Leistungsverstärkers kann wahlweise vor und/oder während des Laufs der Routine erfolgen.

Empfehlung: Zuerst mit "MANU" den Leistungsverstärker auf etwa den gewünschten Leistungswert einstellen (vorzugsweise knapp darüber), dann mit "AUTO" die Feineinstellung der Generatorausgangsspannung veranlassen.

Hinweise:

1. Nach 10 Messungen wird die Regelungsroutine auch ohne Betätigen des STOP-Softkeys beendet; dies gilt auch dann, wenn die gewünschte Ausgangsleistung mit der als "MAX VOLT" definierten Generatorspannung nicht erreicht werden kann.
2. Bei Beendigung der Regelungsroutine wird die aktuelle Generator-Spannung zur neuen Default-Spannung und als solche beim Verlassen der Applikation ebenso abgespeichert wie alle anderen Einstellungen des "POWERAMP"-Softkeymenüs.

Durch die Anwahl des "POWERAMP"-Menüs wird außerdem bewirkt, daß die folgende Hauptmessung (Response oder Sensitivity) auf dem Trace B die Leistungsmessung als Kurve bzw. Bargraph darstellt. Sollte dies nicht erwünscht sein (z.B. weil die 2. Skalierung am rechten Rand der Grafik oder die 2 Kurve stören), so muß der Trace B wieder auf OFF geschaltet werden:

- vor der ersten Hauptmessung durch kurzzeitige Rückkehr zur Ebene 2 und erneute Wahl des Meßverfahrens (bei FFT-Rauschen nicht empfehlenswert wegen der dabei erforderlichen Rauschgenerierungszeit) oder
- nach der ersten Hauptmessung durch Task-Wechsel zum Display-Panel der Gerätesoftware (siehe 7.1 Task-Wechsel Applikation/Bedienoberfläche) und manuellem OFF-Schalten von Trace B.

5.2.3 Eingabe der Mikrofon- und Raumparameter

Der Softkey "MICROPHN" bzw. "MIC&ROOM" (F10, Ebene 3) öffnet ein Softkeymenü (Ebene 4) zur Eingabe der Mikrofon- und (bei Sweep-Messungen) der Raumparameter. Dazu gehören:

- die Empfindlichkeit des Meßmikrofons in mV/Pa ("SENSITIV", F6);
- das Verstärkungsmaß des Mikrofonverstärkers in dB ("GAIN", F7); ist kein Mikrofonverstärker angeschlossen, dann muß GAIN auf 0 dB gestellt werden;
- der Abstand Meßmikrofon - Lautsprecher in Meter ("DISTANCE", F8) zur Berücksichtigung der Schalllaufzeit.

Zusätzlich werden hier bei den Sweep-Messungen ("FREQ SWP" oder "BRST SWP" die Raumparameter eingegeben:

- Länge des kürzester Echopfades in Meter ("ECHOPATH", F9). Die Aufstellung von Lautsprecher und Meßmikrofon (in nicht-schalltoten Räumen) sollte so erfolgen, daß sich ein möglichst langer Echopfad ergibt (siehe 5.2.1 Meßanordnung)
- Nachhallzeit in Millisekunden ("REVERBER", F10). Um diese Zeit wird der Beginn einer neuen Burstmessung verzögert, um Echoeinflüsse der vorhergehenden Messung auszuschließen.

Die Nachhallzeit läßt sich anschaulich mit der WAVEFORM-Funktion ermitteln. Der Generator wird auf Sinus-Burst gestellt mit ein paar wenigen Perioden Einschaltzeit und langer Intervallzeit (z.B. 60 s). Das Ergebnis einer (Einzel-) Messung der Waveform zeigt dann die Burst-Perioden und das Ausschwingen des Halls. Mit Hilfe der Grafikcursor und der "*"-"o"-Funktion läßt sich die Zeit zwischen Burstende und Verschwinden des Nachhalls direkt ablesen.

Aus den hier eingegebenen Mikrofonparametern werden bei der Wahl der Schalldruck-Einheit (siehe 5.2.4) die Referenzwerte für die RMS-Messung und die Display-Skalierung gebildet.

Hinweis: Beim Verlassen der Applikation werden die Mikrofonparameter abgespeichert (SPEAKER.CFG) und beim nächsten Aufruf wieder geladen; die Defaultwerte betragen 50 mV/Pa für übliche 1/2"-Mikrofone wie z.B. B&K oder Microtech Gefell, 0 dB (ohne zusätzliche Mikrofonverstärkung) und 1 m Meßabstand.

5.2.4 Wahl der Schalldruck-Einheit

Mit dem Softkey "UNITS" (F9, Ebene 3) kann gewählt werden, in welcher Einheit der Schalldruck als Meßergebnis und in der Kurvendarstellung angezeigt werden soll. Implizit wird dabei festgelegt, wie groß der Referenzwert ist und wie auf diesen Bezug genommen wird (linear in V/V oder logarithmisch in dBr). Zur Auswahl stehen die Einheiten:

linearer Bezug:

- μBar (F6): Referenz = sensitivity+gain-20dB;
- Pascal (F7): Referenz = sensitivity+gain;

logarithmischer Bezug:

- dBspl (F8): Referenz = sensitivity+gain-94dB;
0 dBspl (sound pressure level) entspricht 0.0002 μBar (= 20 μPascal);
 $20 \cdot \lg(0.00002) \text{ dB} = -93.98 \text{ dB}$
- SENSITIV (F9) Referenz = abgespeicherte Empfindlichkeit des Lautsprechers
(siehe 5.2.5 Empfindlichkeitsmessung und Abstrahlwinkel)
- dBr (F10) Referenz in dBV eingebbar;
- REF SPK (F11) Referenz ist der Frequenzgang einer "golden unit";
hiermit erfolgt implizit das Einschalten des GO-/NOGO-Modes sowie die Eingabe des Dateinamens und der Toleranzwerte.

"sensitivity" ist die Empfindlichkeit des Meßmikrofons in dBV/Pa, "gain" das Verstärkungsmaß des Meßverstärkers (siehe 5.2.3 Eingabe der Mikrofonparameter).

Die Eingabemöglichkeit in dBr (F10) wird z.B. dann gebraucht, wenn die Empfindlichkeit des Schalldruckmessers angegeben wird als

$$\Rightarrow 1 \text{ V} \overset{\Delta}{=} 0 \text{ dBV bei } 94 \text{ dBspl} \quad \Rightarrow \quad \text{Referenz} = -94 \text{ dBV}$$

oder wenn ein bestimmter vom Mikrophon erzeugter Spannungswert als 0 dB-Linie abgespeichert werden soll.

Hinweis: Bei der Empfindlichkeitsmessung sind die Einheiten μBar und Pascal nicht eingebbar. Falls sie (über eine Response-Messung) eingestellt worden sind, wird als Einheit zwangsweise dBspl gesetzt.

5.2.5 Empfindlichkeitsmessung und Abstrahlwinkel

Bei der Empfindlichkeitsmessung handelt es sich um die Schalldruckmessung bei einer festen Frequenz (Meßverfahren SNS SNGL) oder in einem definierten Frequenzband (Meßverfahren SNS RAND).

Nach Wahl des Meßverfahrens kann neben den bisher genannten Eingaben (siehe 5.2.2 bis 5.2.4) und der obligatorischen Wahl der Generator-Spannung noch die Meßfrequenz bzw. das Frequenzband eingegeben werden (SNS FREQ bzw. SNS RNG). Die hier eingegebene Frequenz dient auch als Bezugsfrequenz für die 0 dB-Linie bei der Messung der Übertragungsfunktion. Werden keinerlei Eingaben gemacht, dann gelten die Eingaben der letzten Schalldruckmessung.

Die Empfindlichkeit wird gewöhnlich in dBspl bei 1 W und 1 m angegeben. Daher sollte zunächst der Leistungsverstärker auf 1 W eingestellt (siehe 5.2.2 Einstellung der Ausgangsleistung) und die Einheit dBspl (siehe 5.2.4 Wahl der Schalldruck-Einheit) gewählt werden.

Beim Betätigen des "START"-Softkeys wird eine Pegeldauermessung (ohne grafische Meßwertaufzeichnung) gestartet, dessen Ergebnis in V/V_r oder dBr angezeigt wird und in der unter 5.2.4 (Wahl der Schalldruck-Einheit) gewählten Einheit zu interpretieren ist.

Die gemessene Empfindlichkeit kann als Referenz für die Messung des Frequenzganges oder des Abstrahlwinkels abgespeichert werden. Dies geschieht durch Betätigen des "STO SENS"-Softkeys (F10). Diese Messung kann auch zur Ermittlung des Abstrahlwinkels angewendet werden. Dazu ist während der laufenden Pegeldauermessung das Meßmikrofon (bei konstantem Abstand zum Lautsprecher) in horizontaler Richtung soweit von der Bezugsachse zu entfernen, bis der Schalldruckpegel um 10 dB abgesunken ist. Sollen die -10 dB direkt im Display abgelesen werden, dann muß (nach Abspeichern des Meßwertes bei 0°) auf die Schalldruck-Einheit "SENSITIV" umgeschaltet werden.

5.2.6 Frequenzgang des Schalldruckpegels und Übertragungsbereich

Zur Ermittlung des Schalldruck-Frequenzganges stehen 3 unterschiedliche Meßmethoden zur Auswahl:

- FFT RAND ist eine FFT mit einem speziellen Rauschsignal, geeignet für schnelle Messungen des gesamten Frequenzbereichs.
- FREQ SWP ist ein Frequenzsweep mit Sinus-Signalen, geeignet für Messungen unter Freifeldbedingungen (z.B. im schalltoten Raum) und Nahfeldmessungen.
- BRST SWP ist ein Frequenzsweep mit Burstsignalen, geeignet für Fernfeldmessungen (auch in nicht-schalltoten Räumen)

Obwohl das **FFT-Rauschen** ein sehr schnelles Verfahren zur *Darstellung* des Übertragungsbereiches ist, kann es zur numerischen *Berechnung* des Übertragungsbereiches nur bedingt herangezogen werden:

- Wird eine *kleine FFT* gewählt (1 oder 2 k FFT), dann erhält man nur eine grobe Frequenzauflösung und besonders im unteren Frequenzbereich meist zu wenig Information.
- Bei *größeren FFTs* ist zwar die eigentliche Meßzeit immer noch sehr gering, dafür müssen aber sehr viel mehr Punkte zur Ermittlung des Übertragungsbereiches untersucht werden als beim Sweep, so daß der Geschwindigkeitsvorteil des FFT-Rauschens mit zunehmender FFT-Größe verschwindet.
- Bei einer *Änderung der Frequenzgrenzen* muß das Rauschsignal neu berechnet werden, wodurch je nach gewählter FFT-Größe und Frequenzbandbreite eine Totzeit von mehreren Sekunden bis zu einer Minute entsteht.
- Bei einer *Änderung der FFT-Größe* muß auch die Sensitivität neu berechnet werden.

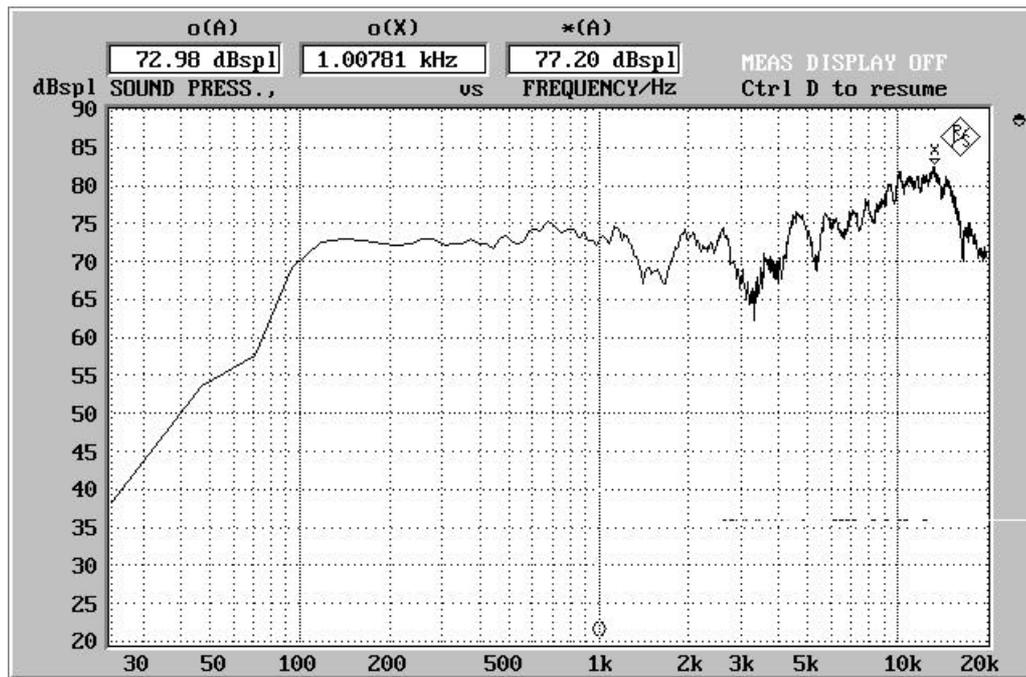


BILD 10: Messung des Schalldruckpegels mittels FFT-Rauschen

Da der **Burstsweep** nicht direkt als Meßfunktion im UPD oder UPL verfügbar ist, soll seine Funktion hier kurz erläutert werden:

Als Meßsignale dienen geburstete Sinus-Signale, die (zur Vermeidung von DC-Anteilen) eine Länge von ganzzahligen Perioden der jeweiligen Sweepfrequenz haben. Die Anzahl der Burstperioden wird so gewählt, daß nach Meßende keine weiteren Perioden mehr folgen. Gemessen wird mit einem Spezialmodus der RMS (TRIGGERED), der nach dem Meßstart auf das Eintreffen des Burstsignals wartet (d.h. auf das Überschreiten einer wählbaren Triggerschwelle) und dann die RMS-Messung durchführt.

Die Meßzeit muß dabei so gewählt werden, daß

- immer ganzzahlige Vielfache einer Periode (mindestens eine) gemessen werden, um keine Abbruchfehler zu verursachen;
- möglichst viele Perioden gemessen werden, um höhere Genauigkeit zu erzielen;
- möglichst nur so lange gemessen wird, bis das erste Echo eintrifft.

Für den echofreien Fall steht als Meßzeit nur die Zeitdifferenz von Echolaufzeit und Signallaufzeit zur Verfügung. Die theoretische untere Grenzfrequenz ist demnach diejenige Frequenz, die in dieser Zeit genau eine Meßperiode hat.

$$f_{\min} = \frac{1}{T_e - T_a} = \frac{330m/s}{L_e - L_a}$$

mit L_a =Mikrofonabstand, L_e =kürzester Echopfad

Unterhalb der Grenzfrequenz wird das Echo also teilweise mitgemessen; trotzdem bleibt auch für tiefe Frequenzen gegenüber dem Sinus-Sweep der Vorteil, daß durch das Abschalten des Signals nach der Messung und dem Abwarten der Nachhallzeit ("REVERBER", F10 unter "MIC&ROOM") eine Beeinflussung der Messung durch das Echo der vorhergehenden entfällt. In der praktischen Anwendung liegt die Grenzfrequenz durch den verzögerten Meßstart noch etwas höher.

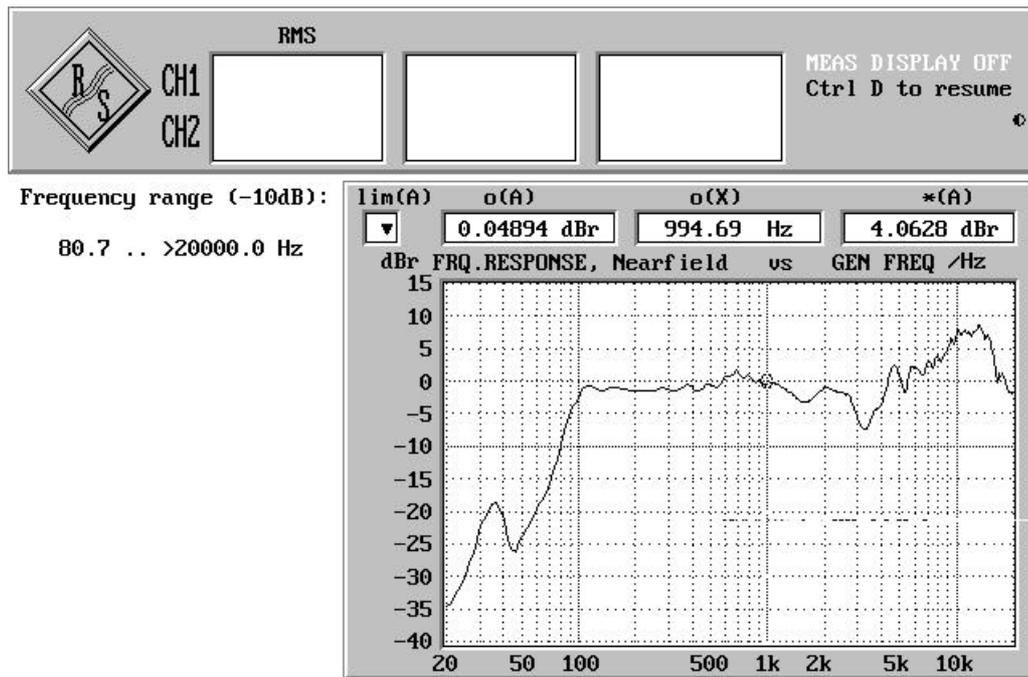


BILD 11: Messung des Übertragungsbereichs mittels Burst- (Fernfeld) und Sinus-Sweep (Nahfeld)

Der **Sinussweep** ist immer dann zu bevorzugen, wenn keine signifikanten Echos zu befürchten sind, wie z.B. im Nahfeld oder in schalltoten Räumen. Bei der kombinierten Nah-/Fernfeldmessung wird das Nahfeld deshalb immer mit Sinus-Sweep gemessen.

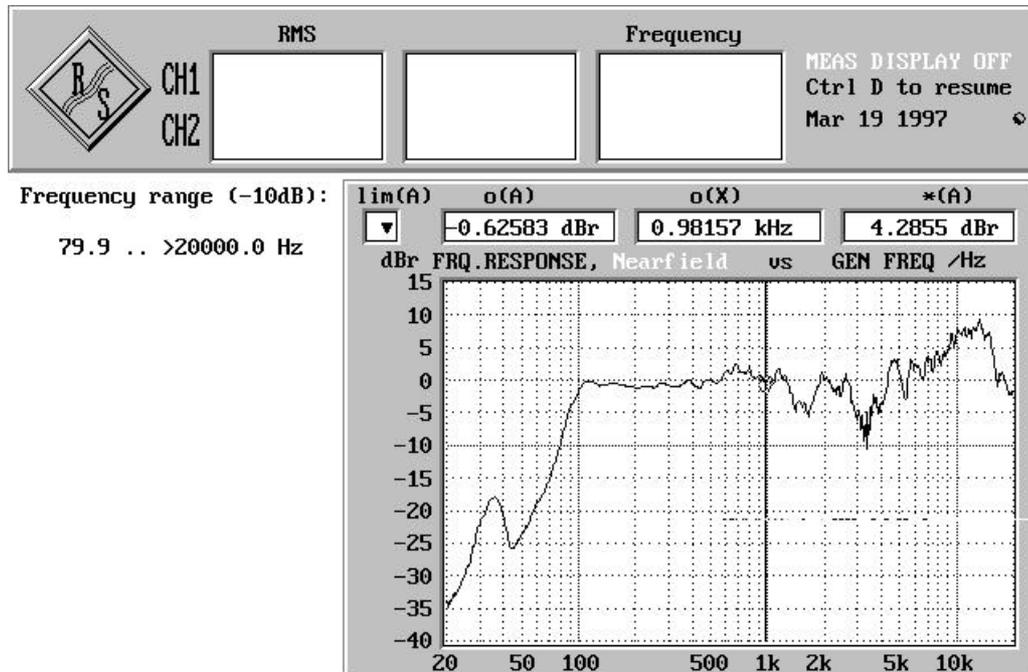


BILD 12: Messung des Übertragungsbereichs mittels Sinus-Sweep im schalltoten Raum

Beim Betätigen des "START"-Softkeys wird ein Pegelsweep bzw. eine FFT gestartet; die grafische Darstellung erfolgt in der unter 5.2.4 (Wahl der Schalldruck-Einheit) gewählten Einheit.

Soll nach der Messung automatisch der Übertragungsbereichs ermittelt werden, dann muß als Unit "SENSITIV" gewählt werden; außerdem darf nicht die Vollbild-Darstellung aktiv sein, weil sonst kein Platz für die Ausgabe ist. Nach der Aufzeichnung des Frequenzganges erfolgt die Berechnung des Übertragungsbereiches, definiert durch ein unteres Limit von -10 dB. Wird dieses Limit an einer Stelle für mehr als 1/3-Terz (1/9 Oktave) unterschritten, so ist dort die Grenze des Übertragungsbereiches erreicht; kürzere Einbrüche bleiben unberücksichtigt. Der vom Applikationsprogramm gefundene Übertragungsbereich wird neben der Grafik angezeigt.

Die Ermittlung des Übertragungsbereiches beginnt bei der unter SNS FREQ angegebenen Frequenz. Liegt der Pegel bei dieser Frequenz schon unterhalb von -10 dB, dann wird die Berechnung abgebrochen und eine entsprechende Fehlermeldung ausgegeben.

5.2.7 Wahl der kombinierten Nah-/Fernfeldmessung

Bei den beiden Sweep-Messungen besteht die Möglichkeit, Fernfeld und Nahfeld getrennt zu konfigurieren, bei unterschiedlichem Meßaufbau zu bestimmen und die Frequenzgangkurven zusammenzufügen.

Unter "CFG FAR" (F7) wird der Frequenzbereich und die Anzahl der Sweep-Punkte für das Fernfeld festgelegt. Soll keine zusätzliche Nahfeldmessung erfolgen, dann erfolgt die Gesamt-Frequenzgangmessung nach den hier gemachten Angaben.

Unter "CFG NEAR" (F8) wird der Frequenzbereich und die Anzahl der Sweep-Punkte für das Nahfeld festgelegt. Soll keine zusätzliche Nahfeldmessung erfolgen, dann kann diese hier abgeschaltet werden (F6, Status "ON" oder "OFF" wird im Softkey angezeigt). Darüber hinaus kann hier die Übergangsfrequenz zwischen Nah- und Fernfeld ("TRANSFRQ", F9) numerisch voreingestellt werden. Die Nahfeldmessung läuft immer als Sinus-Sweep ab.

Ist eine zusätzliche Nahfeldmessung erwünscht, dann empfiehlt es sich, eine genügend große Überlappung von Nahfeld und Fernfeld vorzusehen, und die optimale Transition-Frequenz am Ende der Messung grafisch zu ermitteln.

War die Nahfeldmessung "ON"-geschaltet worden (F6 unter "CFG NEAR"), dann erfolgt nach dem (Fernfeld-) Sweep die Frage

⇒ "Continue with near field measurement? - [y]/n".

Jetzt kann der Meßaufbau geändert, d.h. das Mikrofon ins Nahfeld gebracht werden; ein (von "N" oder "n" verschiedener) beliebiger Tastendruck startet dann den Nahfeld-Sinussweep. Während der Nahfeldmessung werden beide Messungen grafisch dargestellt (die Fernfeldmessung im Trace B); der Grafikkursor steht auf der voreingestellten Transition-Frequenz und kann am Ende der Messung mit den Richtungstasten links und rechts verschoben werden. Durch Betätigen einer beliebigen anderen Taste wird die derzeitige Übergangsfrequenz bestätigt und die beiden Kurven zusammengefügt, wobei an der Transition-Frequenz die Nahfeldmessung auf den Pegelwert der Fernfeldmessung herunterskaliert wird.

Hinweise:

- Auch nach dem Zusammenfügen der beiden Kurven liegen die Einzelkurven noch als Datensätze vor und können durch Eingabe einer neuen "TRANSFRQ" (F11 in Ebene 4) neu zusammengefügt werden.
- Bei GO/NOGO-Test (wählbar durch UNIT REF SPK, siehe 5.2.4 Wahl der Schalldruckeinheit) ist eine kombinierte Nah-/Fernfeldmessung nicht möglich.
- Die Nahfeldmessung erfolgt auch beim BRST SWP als normaler Sinussweep, da im Nahfeld Echos praktisch nicht auftreten.

5.3 Phase und abgeleitete Parameter

Die Forderung nach Phasenlinearität von Audio-Komponenten ist in den letzten Jahren immer stärker in den Vordergrund getreten. Die gilt nicht zuletzt auch auf dem Gebiet der Lautsprecher, wo bereits einzelne Hersteller versuchen, durch Einsatz von Einwege-Systemen - und damit unter Verzicht auf Frequenzweichen - Phasendrehungen zu vermeiden.

Der Nachweis von Phasen-Nichtlinearitäten geschieht gewöhnlich mit einem *linearen* Frequenzsweep (siehe 5.3.2 Frequenzgang der Phase). Aus der Phasenverzögerung bei einer festen Frequenz sind außerdem Rückschlüsse auf die Polarität eines Lautsprecherchassis oder -systems möglich (siehe 5.4.2 Polaritätsprüfung durch Vergleich mit Referenz-Phasemessung).

Mit dem Softkey PHASE (F8) werden die Phasenmessungen ausgewählt; in der nächsten Softkeyebene (2) kann dann zwischen Einzelmessung (SINGLE, F6), z.B. für Polaritätsprüfungen und (linearem) Sweep (SWEEP, F7) gewählt werden.

5.3.1 Meßanordnung

Es kann derselbe Versuchsaufbau wie bei der Schalldruckmessung verwendet werden (siehe 5.2.1), der Leistungsverstärker ist jedoch nicht zwingend erforderlich. Wird auf diesen verzichtet, so sind die Generator-Ausgänge parallel mit dem Lautsprecher und dem XLR-Eingang des UPD/UPL-Analysators Kanal 1 zu verbinden.

Das Meßmikrofon wird (ggf. über den Mikrofonverstärker) mit dem Kanal 2 des UPD/UPL-Analysators (XLR-Eingang) verbunden.

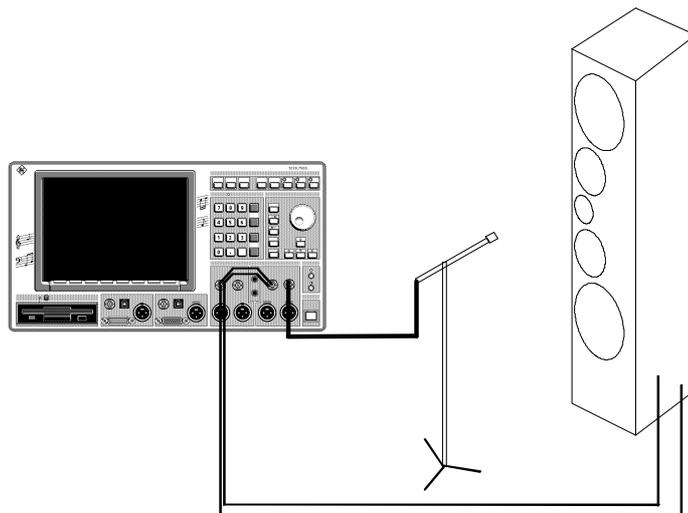


BILD 13: Meßaufbau zur Phasenmessung

5.3.2 Frequenzgang der Phase

Zum Überprüfen der Phasen-Linearität eignet sich ein linearer Frequenzsweep, bei dem die Phase zwischen dem Lautsprechereingang und der erzeugten Schallwelle gemessen wird. Bei einem linearen Phasengang würde sich eine ideale Gerade mit negativer Steigung ergeben. Um einen kontinuierlichen Phasengang ohne 360°-Sprünge zu erhalten, müssen die aufgenommenen Sweep-Punkte, die im Bereich von 0..360° liegen, nachbearbeitet werden. Der Algorithmus der Applikationssoftware fordert dazu, daß die Phasenmeßergebnisse zweier benachbarter Sweeppunkte um weniger als 180° voneinander abweichen. Bei gegebenem Mikrofonabstand d ist die Signallaufzeit

$$t / s = \frac{d / m}{330}$$

Aus der Forderung

$$j_2 - j_1 = 360^\circ \cdot (f_2 - f_1) \cdot t < 180^\circ$$

folgt für das Frequenzinkrement

$$(f_2 - f_1) / \text{Hz} < \frac{1}{2 \cdot t / s}$$

oder nach Einsetzen der Signallaufzeit

$$(f_2 - f_1) / \text{Hz} < \frac{165}{d / m}$$

Die Eingabe des Mikrofonabstand erfolgt - wie bei der Schalldruckmessung - über das "MICROPHN"-Menü (F10, Ebene 3) mit dem Softkey "DISTANCE" (F8, Ebene 4). Es wird als Default derselbe Abstand wie dort eingegeben benutzt (siehe DISTANCE, 5.2.3 Eingabe der Mikrofonparameter). Aus dem Mikrofonabstand errechnet das Programm die mögliche Schrittweite des Sweeps nach der Formel

$$(f_2 - f_1) / \text{Hz} = \frac{150}{d / m}$$

Man beachte, daß der Mikrofonabstand nicht zu groß werden darf, weil sonst der gewünschte Frequenzbereich mit den maximal möglichen Sweeppunkten (1024) nicht mehr abgedeckt werden kann. Es muß erfüllt sein

$$\left| f_{\text{stop}} - f_{\text{start}} \right| / \text{Hz} < 1023 \cdot \frac{150}{d / m}$$

oder für den Mikrofonabstand

$$d / m < \frac{153450}{\left| f_{\text{stop}} - f_{\text{start}} \right| / \text{Hz}}$$

Beispiel: Für einen Mikrofonabstand von 1 m und einem Frequenzbereich von 20..20000 Hz ergibt sich ein Frequenzinkrement von 150 Hz und somit ein Sweep mit 135 Punkten. Wie das Beispiel zeigt, ist diese Einschränkung nur von theoretischer Bedeutung.

Soll der Sweep mit einer größeren Punktzahl gemacht werden, als durch den Mikrofonabstand erforderlich ist, so kann dies durch die Angabe von "SWP PNTS" (F8, Ebene 3, siehe 3.4 Parametereingaben) erzwungen werden.

Die Darstellungsart des Sweeps kann entweder vor dem Start oder nach dessen Beendigung gewählt werden (siehe 5.3.3 Linearitätsabweichung und Gruppenlaufzeit).

Hinweis: Bei den Phasenmessungen wird in dem "MICROPHN"-Menü nur der Menüpunkt DISTANCE angeboten; die anderen Mikrofonparameter sind hier irrelevant.

5.3.3 Linearitätsabweichung und Gruppenlaufzeit

Die Beurteilung der Phasenlinearität im Sweep-Diagramm erweist sich als problematisch, weil in Y-Richtung ein Bereich von bis zu 180000° ($1024 \cdot 180^\circ$) linear skaliert dargestellt werden muß. Übersichtlicher sind 2 alternative Darstellungsarten, nämlich die Linearitätsabweichung und die Gruppenlaufzeit. Die Auswahl erfolgt mit den Softkeys F9 bis F11 in der Softkey-Ebene 3 oder 4, also wahlweise vor dem Sweep oder im nachhinein.

- "PHASE" (F9) stellt das Sweep-Ergebnis unverändert mit absoluten Phasenwerten dar.
- "LINEAR" (F10) stellt die Abweichungen von einer idealen Geraden dar. Die Steigung dieser Geraden wird in dem Bereich zwischen 2 Frequenzen ermittelt, die als REF AREA eingegeben werden können.
- "GRP DEL" (F11) stellt die Gruppenlaufzeit über der Frequenz dar.

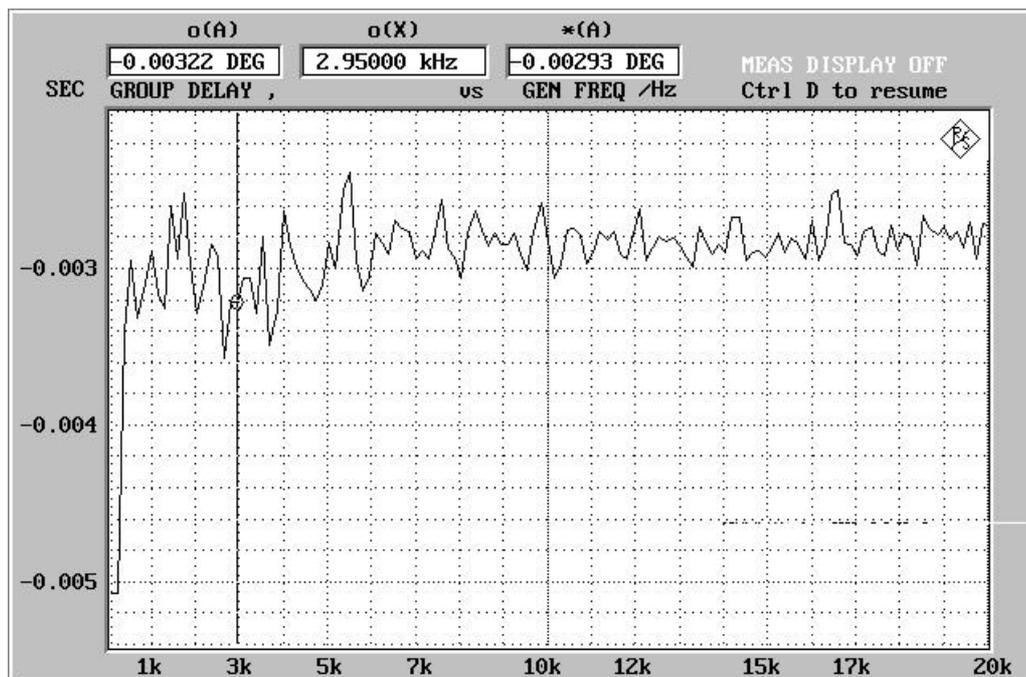


BILD 14 Gruppenlaufzeit, abgeleitet aus dem Phasenverlauf

5.4 Polarität

Korrekte Polung von Frequenzweichen, Lautsprecherchassis und Lautsprechersystemen ist immer dann besonders wichtig, wenn mehrere Einzellautsprecher mit - teilweise oder völlig - identischen Signalen betrieben werden. Während ein verpolter Mono-Breitbandlautsprecher wohl kaum jemandem auffallen würde, führt die Überlagerung der um 180° versetzten Schallwellen zweier Stereolautsprecher unweigerlich zu hörbaren Auslöschungen. Dies gilt auch bei verpolten Einzelsystemen innerhalb eines Mehrwege-Lautsprechers, wo es im Übergangsbereich der Frequenzweiche ebenfalls zu Auslöschungen kommt.

5.4.1 Meßfunktion POLARITY für elektrische Systeme

Für elektrische Systeme (Kabel, Frequenzweichen) stellen der UPD und der UPL eine Meßfunktion sowie eine passende Generator-Funktion zur Polaritätsmessung zur Verfügung. Dazu wird ein (DC-behafteter) Sinusquadrat-Puls generiert und die Polarität als +Pol (korrekte Polung) oder -Pol (falsche Polung) als Meßergebnis dargestellt.

Für die Lautsprecher selbst ist dieses Verfahren nicht anwendbar.

5.4.2 Polaritätsprüfung durch Vergleich mit Referenz-Phasenmessung

Diese Verfahren beruht auf der Tatsache, daß die Verpolung eines Systems eine Phasendrehung um 180° verursacht. Dazu wird ein (unverpoltes) Referenzsystem in einer genau definierten Entfernung vom Meßmikrofon (Meßabstand) aufgestellt und die Phase zwischen dem Generatorsignal und dem Ausgang des Meßmikrofons (bzw. des Mikrofonverstärkers) gemessen. Dieser Phasenmeßwert wird als Referenzwert abgespeichert und ein oberer und unterer Limit-Wert von $\pm 45^\circ$ definiert.

Ist der Referenzwert kleiner als 45°, dann wird der Phasenmeßmode -180 .. +180 gewählt, im anderen Fall der Mode 0 .. 360. Anschließend wird das Meßobjekt in demselben Meßabstand aufgestellt, und die Phase (bei gleicher Frequenz) gemessen. Liegt das Meßergebnis außerhalb der gewählten Toleranz, dann ist der Lautsprecher verpolt.

Die Unsicherheit in der Entfernung Lautsprecher-Meßmikrofon darf maximal 1/8-Wellenlänge (45/360) betragen. Deshalb ist das Verfahren bei hohen Frequenzen nicht anwendbar; es gilt für die obere Grenzfrequenz f_{gr} die Beziehung

$$f_{gr} = \frac{v}{l} \cdot \frac{45}{360} = 300 \frac{m}{s} \cdot \frac{0.125}{l} = \frac{41.25m/s}{l}$$

mit

- v = Schallgeschwindigkeit (Einheit: m/s)
- l = max. Abweichung des Meßabstandes (Einheit: m)

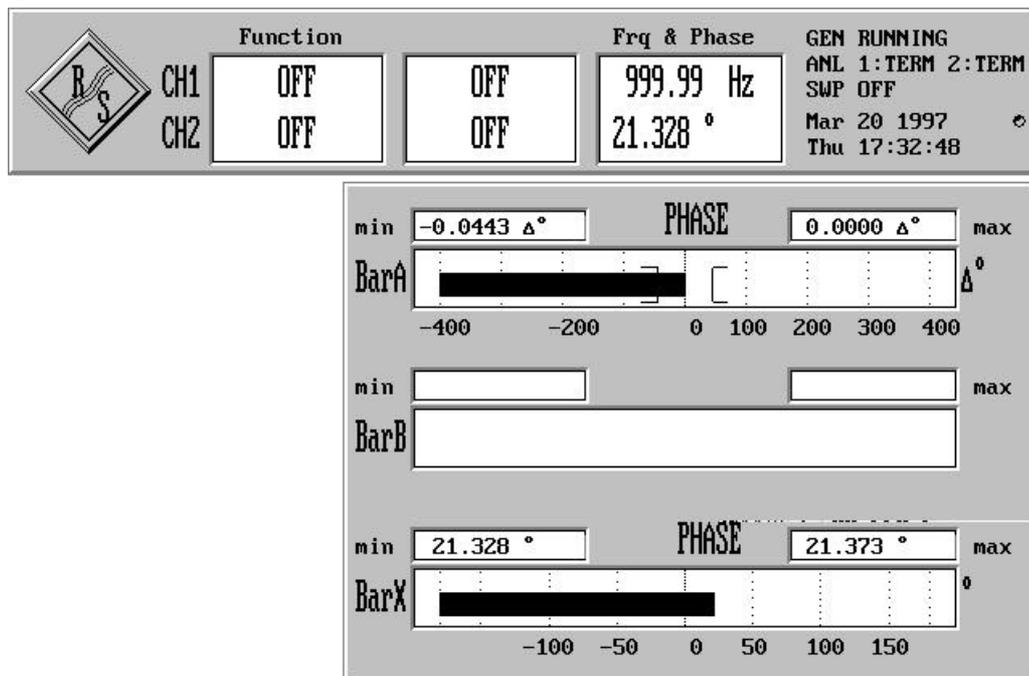


BILD 15 Polaritätsprüfung durch Phasenvergleich mit unverpoltem Referenzlautsprecher (eine Phasendifferenz ca. 0° bedeutet richtige Polung, die absolute Phase hat keine Bedeutung)

Diese Messung kann unter "PHASE" (F8, Ebene 1) als Meßverfahren "SINGLE" (F6, Ebene2) gewählt werden.

5.4.3 Polaritätsprüfung durch Vergleich mit Referenz-Schalldruckverlauf

Dieses Verfahren beruht auf der Überlagerung von Frequenzen im Übergangsbereich der Frequenzweichen. Ist eines der beteiligten Lautsprecherchassis verpolt, so löschen sich hier Frequenzanteile aus, was im Frequenzgang des Schalldruckpegels (besonders bei Vergleich mit dem unverpolten Referenz-Lautsprechers) deutlich zu erkennen ist.

Zur Prüfung der korrekten Polarität von Hoch- und Mittelhochtönern ist dieses Verfahren zu bevorzugen.

5.5 Klirrfaktor

Die Gerätesoftware von UPD und UPL stellt bereits mehrere Möglichkeiten zur Verfügung, um den Klirrfaktor eines Signals - also auch des von einem Lautsprecher erzeugten Schalldrucks - zu beurteilen. Dies sind zum Beispiel:

- Meßfunktion THD für den Gesamtklirrfaktor oder einer beliebigen Kombination der einzelnen Harmonischen, wahlweise mit Liniendiagramm-Darstellung der Harmonischen. Diese Meßfunktion läßt das Rauschen unberücksichtigt; zur Messung des in der DIN IEC 268 Teil 5 geforderten Klirrfaktoren 2. und 3. Ordnung sind d2 bzw. d3 zu selektieren.
- Meßfunktion THD+N, wahlweise mit Post-FFT des Gesamtsignals
- Meßfunktion FFT, wahlweise als Zoom-FFT zur Vergrößerung der Frequenzauflösung.

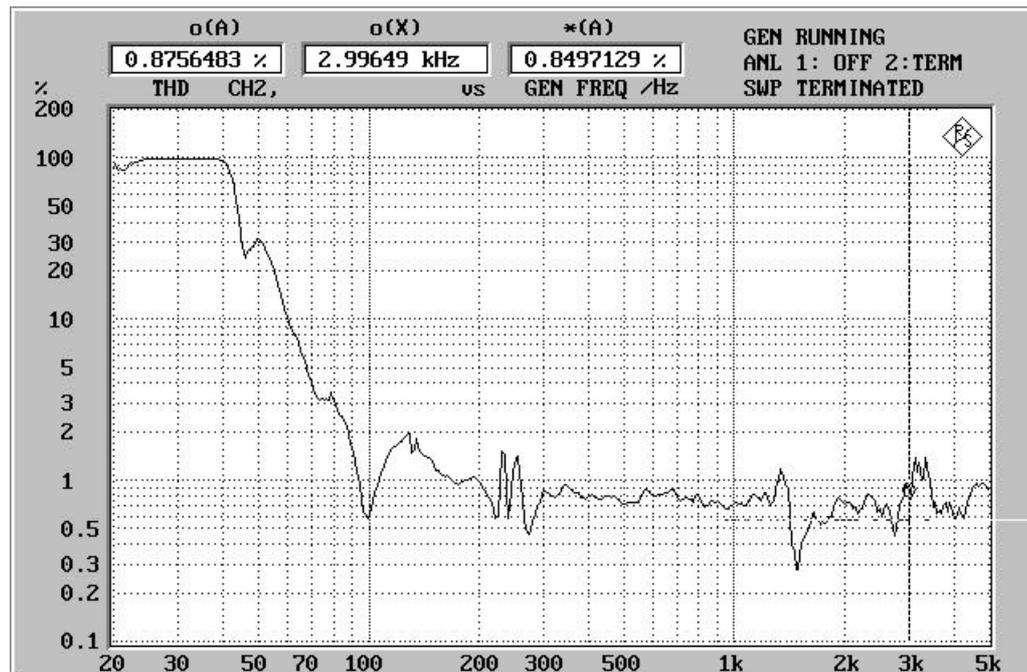


BILD 16 Klirrfaktorverlauf (THD total) über der Frequenz

Obwohl diese Meßfunktionen von der Bedienoberfläche aus direkt zugänglich sind, wurden die wichtigsten auch in die Applikationsebene integriert und können in der Hauptebene über den Softkey "THD" (F9) gewählt werden. In der nächsten Softkey-Ebenen kann dann unter verschiedenen Meßverfahren ausgewählt werden:

- THD TOTL (F6) mißt den Gesamtklirrfaktor (all di);
- THD d2 (F7) mißt den Klirrfaktor 2. Ordnung;
- THD d3 (F8) mißt den Klirrfaktor 3. Ordnung;
- THD+N (F9) mißt den Gesamtklirrfaktor mit Rauschen;
- POST FFT (F10) mißt THD+N und stellt das Gesamtsignal als Post-FFT dar;
- ZOOM FFT (F11) stellt das Gesamtsignal mit Zoomfaktoren von 2 bis 128 dar.

Mit Ausnahme der ZOOM-FFT können alle Messungen nicht nur als Einzelmessungen ("SINGLE", gestartet mit F11), sondern auch als "SWEEP" (gestartet mit F12) gefahren werden. Unter dem Softkey "SNGL FRQ" (F10) wird die Frequenz der Einzelmessung eingegeben, mit "FREQ RNG" (F7) der Frequenzbereich des Sweeps. Als "UNIT" (F9) kann zwischen % und dB gewählt.

Bei den Einzelmessungen werden die Meßwerte auch numerisch dargestellt, bei den Sweeps ist die Meßwertanzeige zur Steigerung der Sweepgeschwindigkeit standardmäßig ausgeschaltet. Um sie einzuschalten, genügt es, vor dem Starten des Sweep einmal eine Einzelmessung durchzuführen.

Vor jedem "RESTART" der Einzelmessung kann die Frequenz des Nutzsymbols in der Nachbearbeitungsebene geändert werden ("SNGL FRQ", F10).

Die DIN IEC 268 Teil 5 schlägt Frequenzsweeps bis 5 kHz vor; höhere Frequenzen sind nicht sinnvoll, da der 22 kHz-Analysator den Klirrfaktor 3.Ordnung z.B. nur bei Signalen bis etwa 7 kHz messen kann.

5.5.1 Besonderheiten bei der THD+N-Messung (mit Post-FFT)

Der relativ große Klirrfaktor von Schallwandlern erlaubt es, im sogenannten FAST-Mode zu messen. In diesem Meßmode der THD+N-Messung wird auf die Präzisionsmessung mit Nutzsymbolsunterdrückung verzichtet, wodurch die Meßzeit halbiert wird, was insbesondere bei gesweepen Messungen wichtig ist. Da das Nutzsymbols in Originalgröße vorliegt, gibt die Post-FFT die korrekten Größenverhältnisse von Harmonischen und Nutzsymbols wieder.

Um eine zusätzliche Meßgeschwindigkeitssteigerung zu erzielen, wird bei Messungen ohne Post-FFT-Darstellung die FFT-Size für die *Berechnung* des THDN-Wertes von 8 auf 1k reduziert.

5.5.2 Besonderheiten bei der Zoom-FFT

Die Meßfunktion FFT wird hier nur als Zoom-FFT angeboten, weil eine normale FFT ja als Post-FFT der THD+N-Messung dargestellt (und gesweep) werden kann.

Über Softkey-1-aus-N-Auswahl können FFT-Size und Zoom-Faktor eingestellt werden, der Zoom-Faktor als ganzzahlige 2er-Potenzen von 2^1 (2) bis 2^7 (128).

Die Darstellung der FFT geschieht normalerweise in Volt, während der Klirrfaktor (auch in der Post-FFT) in den dimensionslosen Größen % oder dB erscheint. Um bei der FFT auf die gleiche Skalierung wie bei der Post-FFT zu kommen, wird die FFT nach der 1. Messung entsprechend nachbearbeitet:

- Der Grafikcursor wird auf das Maximum (also das Nutzsymbols) gesetzt.
- Der dort gefunden Spannungswert wird ausgelesen und als Referenzwert für die Display-Skalierung abgespeichert.
- Auf diesen Referenzwert wird nun Bezug genommen entsprechend der gewählten Unit:
 - % V/V_r , wenn als UNIT % gewählt wurde;
 - dBr, wenn als UNIT dB gewählt wurde.

6 Verkettung mehrere Messungen

In vielen Fällen besteht der Wunsch, Bedienschritte oder ganze Meßabläufe mit einem einzigen Knopfdruck zu starten. Ist eine bestimmte Meßreihenfolge ausgetestet und muß öfter wiederholt werden, dann ist es eine Forderung der Bequemlichkeit, die Einzelschritte nicht jedesmal manuell durchführen zu müssen. Soll das Meßprogramm in der Produktion eingesetzt werden, dann ist ein solcher automatischer Meßablauf eine absolute Notwendigkeit, um Fehlbedienungen auszuschließen und die Durchlaufzeit zu verkürzen.

Die zur Verkettung von Messungen erforderlichen Tools sind unter dem Softkey "UTILITY" (Softkey-Ebene 1) zu finden.

6.1 Makro-Betrieb

Die einfachste Art zur Erzeugung und Anwendung automatischer Meßabläufe ist der Makro-Betrieb. Tastendrucke werden aufgezeichnet und bei Bedarf in genau der gleichen Reihenfolge wiedergegeben. Der Makrobetrieb simuliert also gewissermaßen einen Benutzer, der immer wieder dieselben Bedienschritte auszuführen hat.

Bei der *Aufzeichnung* eines Makros werden die Tastendrucke auf eine Datei geschrieben, die bei Beendigung der Aufzeichnung geschlossen und unter einem reservierten ("MACRO #0" bis "MACRO #5") oder einem frei definierbaren Namen ("USER MAC") abgespeichert.

Bei der *Wiedergabe* eines Makros werden diese Dateien auf Softkey-Druck (bei "USER MAC" nach Eingabe des Dateinamens) geladen und die Tastendrucke sequentiell simuliert, bis die Datei keine weiteren Tasteninformationen mehr enthält oder (bei einem GO-/NOGO-Test) ein "DUT failed" aufgetreten ist.

Damit das Verfahren funktioniert, müssen Aufnahme und Wiedergabe an derselben Stelle beginnen; dies stellt die Applikationssoftware sicher, indem der gemeinsame Ausgangspunkt im Menü unter UTILITY -> MACRO liegt.

Es können beliebig viele Makros definiert werden. 7 Makros ("SPEAKER0" bis "SPEAKER6") sind bereits (beispielhaft) vordefiniert und liegen auf den Softkeys "MACRO #0" bis "MACRO #5" bzw. können über "USER MAC" aufgerufen werden. Selbstverständlich können sie jederzeit überschrieben werden. Über den Softkey "USER MAC" können Makros mit beliebigen Namen erzeugt werden.

6.1.1 Aufzeichnung eines Makros

Der Start einer Makro-Aufzeichnung erfolgt durch den Softkey "STRT REC" und die Angabe eines Makro-Speicherplatzes ("MACRO #0" .. "MACRO #5") oder eines Dateinamens ("USER MAC"). Der Aufzeichnungsmodus wird durch den Schriftzug "MACRO REC" angezeigt. Dann werden wie unter normaler Bedienung beliebige Softkeys betätigt, wobei auch mehrere verschiedene Messungen nacheinander durchgeführt ("verkettet") werden können. Um das Makro zu beenden, gibt es 2 Möglichkeiten:

- die ESC-Taste an einer beliebigen Stelle im Programm betätigen, das Makro wird sofort beendet und der Anwender kann an dieser Stelle manuell weitermachen (z.B. die aktuelle Messung "Restarten", einen Bildschirmausdruck veranlassen, etc.)
- über das Softkey-Menü zum Ausgangspunkt zurückkehren und dort den Softkey "STOP REC" betätigen; dies hat den Vorteil, daß sofort wieder ein neues Makro (oder auch dasselbe) gestartet werden kann.

In beiden Fällen wird mit der Beendigung der Aufzeichnung das Makro unter dem zuvor gewählten Namen oder Softkey abgespeichert..

Hinweise:

- Sollen Parameter während dem Makro-Lauf (z.B. zwischen 2 Messungen) verändert werden, so geschieht dies am einfachsten durch Laden einer neuen Konfigurationsdatei (s. 6.2).
- Wird nach dem Softkey "STRT REC" sofort die "BACK"-Taste gedrückt, dann erfolgt keine Makro-Aufzeichnung, da kein Makro-Speicherplatz definiert worden ist. Die Applikation befindet sich im normalen Bedienmodus, was auch an dem Fehlen des "MACRO REC"-Schriftzug erkennbar ist.

6.1.2 Wiedergabe eines Makros

Der Start einer Makro-Wiedergabe erfolgt durch eine der START-Softkeys im Makro-Menü:

- **VIEW RUN** startet das Makro und erwartet als erstes die Angabe eines (vordefinierten oder expliziten) Makro-Namens; danach läuft es genauso ab, als wenn jemand die Softkeys manuell betätigen würde.
- **FAST RUN** arbeitet ähnlich wie "VIEW RUN", nur mit dem Unterschied, daß die Softkey-Schriftzüge nicht angezeigt werden. Dadurch läuft das Makro etwas schneller ab.
- **RE-RUN** startet das zuletzt gelaufene Makro neu, ohne daß der Makro-Name nochmals angegeben werden müßte. Der dabei gewählte Mode ("VIEW" oder "FAST", ggf. auch "single step", s.u.) bleibt erhalten.

Mit der Angabe von **STEP MOD** kann der Benutzer für die nachfolgenden Makro-Wiedergaben den "single step mode" ein- oder wieder ausschalten. Ein im "single step mode" gestartetes Makro erwartet nach jedem von der Makrodatei gelesenen und ausgeführten Softkey die Eingabe eines beliebigen Zeichens. Dieser Modus dient zum Überprüfen der Funktion eines Makros.

Der Makro-Betrieb wird durch den Schriftzug "MACRO RUN" angezeigt. Tritt ein "DUT failed" auf, dann stoppt das Makro und wartet auf einen Tastendruck. Tritt ein allgemeiner Fehler auf, dann wird das Makro abgebrochen.

6.1.3 vordefinierte Makros

Die 6 auf den Softkeys "MACRO #0" (F6) bis MACRO #5 (F11) sind mit folgenden Funktionen vorbelegt:

MACRO #0: Go/Nogo-Test: Eingabe und automatischer Einstellung der Ausgangsleistung (bei 4Ω), Frequenzgang-Messung eines Referenzlautsprechers via Sinus-Sweep mit Darstellung des Schalldruckverlaufs (in dBspl) und der Ausgangsleistung (in W), Abspeichern des Schalldruckverlaufs des Referenz-Lautsprecher, Umschalten der "UNIT" auf "REF SPK", dabei Eingabe von oberem und unterem Grenzwert, Messung eines Testlautsprechers und Überprüfung auf Einhaltung der Toleranzen, Ausdruck, Beendigung des Makros.

MACRO #1: Frequenzgang-Messung via FFT-Rauschen mit automatischer Einstellung der Ausgangsleistung auf 1 W (bei 4Ω) und Ermittlung des Sensitivität in dem Frequenzband von 500 Hz bis 1,5 kHz.

MACRO #2: Frequenzgang-Messung via Burst-Sweep. Wahlweise kann eine zusätzliche Nahfeldmessung erfolgen.

MACRO #3: Sweep der THD-Messung (d2 bis d9) mit Kurven-Darstellung.

MACRO #4: Sweep der THDN-Messung mit Darstellung der Post-FFT für jeden Meßpunkt

MACRO #5: Phasenmessung zwischen Verstärkerausgang und Mikrophoneingang, Ausdruck, Phasengang-Messung via Sinus-Sweep, Darstellung als absolute Phase, Linearitätsabweichung und Gruppenlaufzeit.

Ein 7. Makro kann über den Softkey "USER MAC" und der Angabe des Dateinamens "SPEAKER6.MAC" gestartet werden und führt eine Impedanzmessung mit Analyse durch:

- Darstellung des Impedanzverlaufs und Berechnung der Thiele-Small-Parameter einer "golden unit" und Abspeichern des Kurvenverlaufs als Referenz-Trace.

- Messung eines weiteren Lautsprechers und Darstellung der Abweichung von dem Referenzlautsprecher
- Messung eines weiteren Lautsprechers und Darstellung des Impedanzverlaufs und der Abweichung von dem Referenzlautsprecher; diese Messung wird ausgedruckt
- Umschaltung auf das Meßverfahren FFT-Rauschen, Darstellung des Impedanzverlaufs und Berechnung der Thiele-Small-Parameter
- Beendigung des Makros

Jedes dieser Makros lädt zunächst die zugehörige Konfigurationsdatei (SPEAKERx.CFG, x=0..6, s. 6.2). Ausnahme: SPEAKER6.MAC geht über "USER CFG" und erlaubt so die Eingabe verschiedener Konfigurationsdateinamen. Am Ende jeder Messung wird das Ergebnis ausgedruckt, sofern ein Drucker angeschlossen und konfiguriert wurde. (Im Auslieferungszustand erfolgt die Druckausgabe auf die PCX-Datei "SPEAKER.PCX").

Hinweis: Beim Installieren der SPEAKER-Software prüft das Installationsprogramm, ob die Makros "SPEAKER0.MAC" bis "SPEAKER6.MAC" bereits existieren. Ist dies der Fall, dann werden die Makros nicht neu installiert, um ggf. die vom Benutzer definierten Makros nicht zu überschreiben. Sollte dies dennoch gewünscht werden, dann müssen die Makros in der Directory "SPEAKER" zuvor gelöscht werden. Kommandozeile (auf Betriebssystem-Ebene):

⇒ DEL C:\SPEAKER\SPEAKER?.MAC

6.2 Erstellen und Benutzen verschiedener Konfigurationsdateien

Sämtliche Einstellungen, die für die Applikation benötigt werden, sind in der Default-Konfigurationsdatei "SPEAKER.CFG" abgelegt und werden beim Starten der Applikation geladen. In manchen Fällen ist es wünschenswert, bei laufender Applikation diesen Datensatz mit anderen Einstellungen zu überschreiben, z.B. wenn ein anderer Typ von Meßobjekt benutzt werden soll. Dadurch entfällt das Aufsuchen der entsprechenden Eingabe-Menüpunkte und das Eintippen der neuen Parameter. Wichtig sind solche Voreinstellungen auch beim Makro-Betrieb, wo eine manuelle Eingabe von Parametern meist sehr lästig ist.

Das *Abspeichern der aktuellen Konfiguration* geschieht über die Softkey-Folge

⇒ UTILITY -> CONFIGUR -> STORE -> xxxx

wobei xxxx entweder

- ein vordefinierter Speicherplatz "CONFIG 0" bis "CONFIG 5" oder
- (über "USER CFG") ein expliziter Dateiname

sein kann.

Das *Laden einer Konfiguration* - und somit das Überschreiben der aktuellen - erfolgt über die Softkey-Folge

⇒ UTILITY -> CONFIGUR -> LOAD -> xxxx

wobei xxxx dieselbe Bedeutung hat wie beim Speichern.

Hinweise:

- Durch "USER CFG" kann ein Makros mit verschiedenen Konfigurationsdateien verwendet werden.
- Durch das Laden einer Konfigurationsdatei wird die aktuelle Konfiguration überschrieben. Soll die aktuelle Konfiguration weiterhin erhalten bleiben, so empfiehlt es sich, diese zuvor auf eine der Konfigurationsdateien abzuspeichern und später wieder zu laden.
- Wurde versehentlich eine Konfiguration geladen, die nicht zur neuen Default-Konfiguration werden soll, dann kann dies vermieden werden, indem die Applikation mit "CTRL C" verlassen wird.
- Standardmäßig sind die installierten Konfigurationsdateien für den Betrieb mit den gleichnamigen Makros vorgesehen. Sie sollten aber vom Benutzer auf das verwendete Meßobjekt angepaßt werden. Dazu muß jedes einzelne geladen, durch Eingabe der gewünschten Parameter (über den Softkey-Baum und ggf. die erforderlichen Werteingaben) modifiziert und wieder abgespeichert werden.
- Beim Installieren der SPEAKER-Software prüft das Installationsprogramm, ob die Konfigurationsdateien "SPEAKER0.CFG" bis "SPEAKER5.CFG" bereits existieren. Ist dies der Fall, dann werden diese nicht neu installiert, um ggf. die vom Benutzer definierten Dateien nicht zu überschreiben. Sollte dies dennoch gewünscht werden, dann müssen die Konfigurationsdateien in der Directory "SPEAKER" zuvor gelöscht werden. Kommandozeile (auf Betriebssystem-Ebene):

⇒ DEL C:\SPEAKER\SPEAKER?.CFG

6.3 Beschriftung der Makro- und Konfigurationsspeicherplätze

Um die anonymen Bezeichnungen der Makro- und Konfigurationsspeicherplätze durch selbstdefinierte Schriftzüge zu ersetzen, müssen die BASIC-Zeilen 10110 bzw. 10180 in dem Modul UTILITY.BAS geändert werden. Für jeden Softkey stehen genau 8 Zeichen zur Verfügung; die Gesamtlänge des Strings darf nicht verändert werden.

7 Nachbearbeitung einer Messung

Nach Beendigung einer Messung ist in den meisten Fällen wünschenswert, das Ergebnis auszudrucken und dazu in eine etwas andere Form zu bringen. Um allen Anforderungen gerecht werden zu können, bietet die Applikation die Möglichkeit, beliebige Modifikationen (z.B. an der Grafik) direkt auf der Bedienoberfläche der Gerätesoftware durchzuführen, dann wieder zur Ablaufsteuerung zurückzukehren und das Programm fortzusetzen. Auch zum Ausdrucken der Meßergebnisse gibt es mehrere Alternativen. Diese Features werden in der Softkey-Ebenen 4 angeboten, wo die Applikation nach Beendigung jeder Messung hingelangt.

7.1 Task-Wechsel Applikation/Bedienoberfläche

Am Ende einer Messung wird der Softkeys "GOTO UPD" (F7) angeboten. Damit ist es möglich, temporär zur UPD- bzw. UPL-Bedienoberfläche zu wechseln, um z.B.

- die Grafik-Skalierung zu ändern,
- weitere Meßarten (Frequenzmessung, Input-Peak-Messung) einzuschalten
- den 2.Trace ein-, aus oder umzuschalten (z.B. auf Frequenzdarstellung),
- GrafikCursor ein-/auszuschalten oder zu verschieben
- einen Kommentar in die Grafik einzutragen
- einen Druckkommentar einzugeben,
- die Druckerschnittstelle umzukonfigurieren,
- die Teilbildgrafik mit einem speziell zusammengestellten Status-Panel und Kommentartext auszudrucken.
- Limit-Überschreitungen tabellarisch darzustellen (OPERATION LIM REP)

Die Rückkehr zur Applikationssoftware erfolgt durch Betätigen der F3-Taste; danach stehen wieder die Softkeys der Applikation zur Verfügung.

7.2 Ausdrucken

Um Ausgaben auf einen Drucker machen zu können, muß ein Drucker an den UPD/UPL angeschlossen und konfiguriert werden. Insbesondere ist ein passender Druckertreiber zu wählen; Informationen hierzu sind dem Bedienhandbuch von UPD und UPL zu entnehmen. Im Auslieferungszustand der Applikationssoftware ist das Setup SPEAKER.SCO so eingestellt, daß die Bildschirmausdrucke auf eine Datei "SPEAKER.PCX" gemacht werden, die bei jedem Ausdruck wieder überschrieben wird.

Die Ausgabe des Bildschirminhalts (auf Drucker oder Datei) kann entweder auf der Bedienoberfläche oder direkt aus der Applikationssoftware heraus erfolgen.

Von der Applikation aus können folgende Darstellungen gedruckt werden:

- Meßergebnisse der Applikationssoftware zusammen mit der Teilbildgrafik;
- Vollbildgrafik mit oder ohne Druckkommentar.

Das Ausdrucken von Geräte-Bedienpanels (z.B. um Einstellungen zu dokumentieren) ist nur von der Bedienoberfläche aus möglich:

- 1 Panel mit Teilbildgrafik, mit oder ohne Druckkommentar;
- 3 Panels (ohne Teilbildgrafik), mit oder ohne Druckkommentar

Weiterhin können die Trace-Daten und ggf. die Limit-Überschreitungen ausgedruckt werden (siehe 7.2.1 Ausdrucken aus der Bedienoberfläche).

7.3 Ausdrucken aus der Bedienoberfläche

Durch den Softkey "GOTO UPD" (F7) muß die Applikation zunächst verlassen werden (siehe 7.1 Task-Wechsel Applikation/Bedienoberfläche). Wie bei normalem Geräte-Betrieb kann nun der Ausdruck durch Betätigen des Hardkey "HCOPY" ausgelöst werden; hierbei ist die Eingabe eines beliebigen Druckkommentars möglich.

Zum Ausdrucken von Trace-Daten oder Limit-Überschreitungen ist der Befehls

⇒ PRINT-->Type

im OPTIONS-Panel vorgesehen:

- Type TRACE A (für Trace-Daten) oder
- Type LIM REPORT (für Limit-Überschreitungen)

druckt eine ASCII-Liste mit den entsprechenden Zahlenwerten aus.

7.3.1 Ausdrucken bei laufender Applikation

Am Ende einer Messung werden in der Applikation die Softkeys "HARDCOPY"(F8) und "o <--> O" (F6) angeboten. Damit ist es möglich, wahlweise Meßergebnisse mit Teilbildgrafik oder nur Vollbildgrafik anzuzeigen und auszudrucken. Ein Druckkommentar kann nicht eingegeben werden, wird aber mit ausgedruckt, wenn dies im OPTIONS-Panel eingestellt wurde.

7.4 Neustart

7.4.1 Neustart einer Messung

Nach Beendigung einer Messung kann eine weitere Messung durch Betätigung des entsprechenden START-Softkeys (F12) ausgelöst werden. Dabei bleiben Modifikationen, die nach der Beendigung der 1. Messung auf der Bedienoberfläche gemacht wurden (wie z.B. eine spezielle Grafik-Skalierung) solange erhalten, bis in die Softkey-Ebene "Meßverfahren" (oder "Messung") zurückgegangen wird (siehe 3.2 Softkey-Ebenen).

7.4.2 Neustart der Applikation

Der Neustart der Applikation ist ohne Reload möglich. D.h. es genügt die Betätigung des Softkeys "RUN" (bei regulär beendeter Applikation) oder die Eingabe des BASIC-Befehls RUN.

8 Beendigung der Applikation

Regulär beendet wird die Applikationssoftware über den Softkey "EXIT" (F5), der in der obersten Softkey-Ebene zu finden ist (siehe 3. Bedienkonzept). Da in den tieferen Softkey-Ebenen auf dem linken Softkey (F5) die "BACK"-Funktion liegt, kann aus jeder Softkey-Ebene heraus durch mehrmaliges Drücken des F5-Softkeys die Applikation beendet werden. Dabei werden alle verwendeten Variablen gelöscht und die ursprüngliche Softkey-Beschriftung und -Funktion restauriert. Außerdem wird die Konfigurationsdatei SPEAKER.CFG mit den letzten Benutzereingaben aktualisiert.

Darüber hinaus kann die Applikation an jeder beliebigen Stelle verlassen werden durch Betätigen der ESC-Taste. Um ein versehentliches Beenden der Applikation zu vermeiden, erfolgt vor dem Verlassen die Sicherheitsabfrage

⇒ "Exit this application? - y/[n]"

die mit "Y" bestätigt werden muß; jede andere Eingabe setzt die Applikation an der jeweiligen Stelle fort.

Abgebrochen werden kann die Applikation jederzeit durch die Tastenkombination "CTRL BREAK". Die Softkeys und die Variablen bleiben unverändert; ebenso die Konfigurationsdatei SPEAKER.CFG. Auf diese Art kann also vermieden werden, daß die Konfigurationsdatei überschrieben wird. Durch die Eingabe des Schriftzuges

⇒ "CONT <CR>"

kann in diesem Zustand das Programm fortgesetzt werden.

Hinweis: Nach einem Programmabbruch (durch "CTRL BREAK" oder bei Auftreten eines Fehlers) kann die Original-Beschriftung und -Funktion der Softkeys durch den BASIC-Befehl "SOFTKEY" restauriert werden.



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>