

Exposé zur Magisterarbeit

Hörbarkeit und klangliche Bewertung nichtlinearer Verzerrungen

Tobias Werner

toby_werny@gmx.de

Matrikelnr. 301949

3. Juni 2009

Mikrofonschaltungen haben einen weitgehend linearen Amplitudenfrequenzgang. Sie unterscheiden sich aber in Hinblick auf ihre Nichtlinearitäten. In der Magisterarbeit wird die Bewertung unterschiedlicher Schaltungstypen anhand von vier bestehenden Mikrofonschaltungen untersucht. Neben der messtechnischen Dokumentation werden in einem 3AFC-Versuch Schwellwerte für die Hörbarkeit der nichtlinearen Verzerrungen bestimmt. Anschließend werden mit der *Repertory Grid* Technik klangliche Merkmale ermittelt und mit einem Semantischen Differential beurteilt.

Einleitung

Eine nichtlineare Kennlinie des Übertragungssystems lässt zusätzliche Frequenzen im Ausgangssignal entstehen. Bei harmonischen Verzerrungen entstehen nur ganzzahlige Vielfache bei der Speisung mit einer einzelnen Frequenz. Zu Intermodulationsverzerrungen kommt es bei der Speisung mit mehreren Frequenzen. Die entstehenden Frequenzen stehen dann nicht mehr nur in einem harmonischen Verhältnis zum Eingangssignal (vgl. Weinzierl 2008, S. 1143-1146).

Bei unterschiedlichen Mikrofonschaltungen ist der Amplitudenfrequenzgang weitgehend linear. Es gibt aber Unterschiede in Art und Ausmaß der nichtlinearen Verzerrungen. Besonders in nicht-wissenschaftlichen Quellen werden bestimmten Schaltungstypen spezielle klangliche Eigenschaften zugesprochen. So wird z.B. Röhrenschaltungen eine angebliche *Wärme* nachgesagt. Die Bewertung verschiedener Schaltungstypen soll in der Magisterarbeit auf eine wissenschaftliche Grundlage gestellt werden.

Stand der Forschung

Psychoakustische Untersuchungen der nichtlinearen Verzerrungen des menschlichen Gehörs (Fastl u. Zwicker 2007, S. 277-291) haben für praktische Fragen eine geringe Aussagekraft. Dabei wurden keine natürlichen Audioinhalte sondern nur einzelne Sinustöne als Stimuli verwendet.

Die Messung konventioneller technischer Maße, wie Klirrfaktor oder Intermodulation, ist ebenfalls unzureichend. Sie entspricht nicht der Wahrnehmung und hängt kaum mit der subjektiven Bewertung zusammen. Alternative Ansätze verwenden z.B. Multisinus-Signale und psychoakustische Modelle, um einen höheren Zusammenhang mit der subjektiven Bewertung zu erreichen. Der Schwerpunkt bei diesen Untersuchungen liegt oft bei der Bewertung von Lautsprechersystemen. Eine ausführliche historische Auflistung von Messverfahren für nichtlineare Verzerrungen findet sich in Czerwinski u. a. (2000).

Die Untersuchung *Zur Hörbarkeit von digitalen Clipping-Verzerrungen* (Schultz u. a. 2008) zeigt einen methodischen Ansatz zur Bestimmung der Erkennungsschwellen für nichtlineare Verzerrungen.

Methode und Quellen

Für die Untersuchung stehen vier unterschiedliche Schaltungstypen zur Verfügung. Sie können gegebenenfalls nach den ersten Ergebnissen noch variiert werden. Die Schaltungen werden von der GEORG NEUMANN GMBH bereitgestellt.

Messungen

Die Messungen an den Schaltungen werden rein elektrisch vorgenommen. Besonders in Hinblick auf Anforderungen an die Klirrarmlut ist eine akustische Messung der Mikrofone mit Kapsel unpraktisch. Neben

- Frequenz- und Phasengang
- und Dynamikumfang (SNR)

werden folgende Maße für nichtlineare Verzerrungen erfasst (maßgeblich nach AES17-1998 2004; DIN EN 60268-3 2001):

- Harmonische Verzerrungen (THD+N)
 - über Frequenz
 - über Pegel
- Intermodulationsverzerrungen (IMD)
- Dynamische Intermodulation mit 100 kHz Tiefpass (DIM100)

Zusätzlich können neuere Maße für nichtlineare Verzerrungen, R_{nonlin} bzw. Distortion Score (DS), ermittelt werden (Tan u. a. 2003, 2004). Sie benutzen verschiedene psychoakustische Prinzipien und Modelle. Daraus ergibt sich ein höherer Zusammenhang mit der subjektiven Bewertung.

Hörversuche

Zur Durchführung der Hörversuche kann die Software WHISPER eingesetzt werden. Die verwendeten Versuchsmethoden sind dort bereits implementiert. Die Stimuli werden mit typischem Programmmaterial erzeugt, um den Praxisbezug zu gewährleisten. Die Versuchspersonen sind Experten Hörer mit praktischem Bezug zur Forschungsfrage – z.B. Tonmeisterstudenten.

Schwellwerte Um Schwellwerte für die Hörbarkeit von nichtlinearen Verzerrungen zu bestimmen, wird ein adaptiver *Forced Choice*-Versuch mit 3 Alternativen (3AFC) durchgeführt. Dabei wird der Pegel des Eingangssignals bei den Schaltungen variiert. Die Schrittgrößen werden automatisch angepasst (*Parameter Estimation by Sequential Testing* – PEST) um die Versuchsdauer zu verringern. Der Versuch wird mit ungefähr 20 Personen durchgeführt.

Klangliche Merkmale Um gültige Konstrukte für die Bewertung zu erhalten, wird die *Repertory Grid* Technik verwendet. Der Versuch findet mit vier Versuchspersonen statt. Anschließend wird ein Semantisches Differential mit den gefundenen Konstrukten erstellt und von ungefähr 20 Versuchspersonen beurteilt.

Arbeits- und Zeitplan

Zeit	Arbeitsschritt
Mai	Exposé und Literaturrecherche
Juni	Messung der Schaltungen 3AFC, Schwellwerte
Juli	RGT und SD, klangliche Bewertung
August	schriftliche Ausarbeitung

Literatur

Czerwinski u. a. 2000

CZERWINSKI, Eugene ; VOISHVILLO, Alexander ; ALEXANDROV, Sergei ; TEREKHOV, Alexander: Multitone Testing of Sound System Components – Some Results and Conclusions, Part 1: History and Theory. In: *109th Convention* Audio Engineering Society, 2000, S. 1011–1048

Fastl u. Zwicker 2007

FASTL, Hugo ; ZWICKER, Eberhard: *Psychoacoustics – Facts and Models*. Dritte Auflage. Berlin : Springer, 2007

Schultz u. a. 2008

SCHULTZ, Frank ; CHOLAKOV, Vladimir ; MAEMPEL, Hans-Joachim: Zur Hörbarkeit von digitalen Clipping-Verzerrungen. In: *25. Tonmeistertagung* Verband Deutscher Tonmeister, 2008, S. 479–486

Tan u. a. 2003

TAN, Chin-Tuan ; MOORE, Brian C. J. ; ZACHAROV, Nick: The Effect of Nonlinear Distortion on the Perceived Quality of Music and Speech Signals. In: *Journal of the Audio Engineering Society* 51 (2003), November, Nr. 11, S. 1012–1031

Tan u. a. 2004

TAN, Chin-Tuan ; MOORE, Brian C. J. ; ZACHAROV, Nick ; MATTILA, Ville-Veikko: Predicting the Perceived Quality of Nonlinearly Distorted Music and Speech Signals. In: *Journal of the Audio Engineering Society* 52 (2004), Juli/August, Nr. 7/8, S. 699–711

Weinzierl 2008

WEINZIERL, Stefan (Hrsg.): *Handbuch der Audiotechnik*. Berlin : Springer-Verlag, 2008

Normen und Standards

AES17-1998 2004

AES standard method for digital audio engineering – Measurement of digital audio equipment. März 2004

DIN EN 60268-3 2001

Norm DIN EN 60268-3 Oktober 2001. *Elektroakustische Geräte – Teil 3: Verstärker*