

Laboraufgaben

Ein 2-Weg Aktivmonitor (ADAM A7) soll mittels eines digitalen Lautsprecher-Controllers bzgl. Amplitudenfrequenzgang im Hörbereich mit IIR-Filtern möglichst perfekt entzerrt werden. Dazu ist auf Grundlage der reflexionsfreien on-axis Frequenzgangmessungen aller Teilsysteme ein Crossover-Filternetzwerk und eine Lautsprecherentzerrung aus parametrischen Equalizern zu entwerfen. Die Wahl der Crossover-Frequenz wird anhand der akustischen und elektrischen Messungen gestützt. Das Entzerrungsergebnis soll perzeptiv im direkten Vergleich mit einer baugleichen Serienbox mit Entzerrung vom Hersteller beurteilt werden.

Ablauf:

1. Einarbeitung in den Messaufbau im reflektionsarmen Raum
2. Kompensation des Messsystems Monkey Forrest
3. Impedanzmessung von Hoch- und Tieftöner
4. Nahfeldmessung von Bassreflextunneln und Tieftonmembran
5. Rechnerische Bestimmung der Fernfeldmessposition
(Hausaufgabe 1, VOR dem Labortermin zu erledigen)
6. Messung Frequenzgänge („Sensitivity“) der Einzelwege im Fernfeld
7. Messung des THD
8. Herstellung der Ausgangsdateien für die Hausaufgabe 2 IIR-Entzerrung: Fensterung und gegebenenfalls pegelrichtige Kombination von Nah- und Fernfeldfrequenzgängen
9. IIR-Filterentwurf und Messungen mit dem Behringer Ultradrive Pro Lautsprecher Controller:
 - a. Arbeitsbereiche der Teilsysteme (Tiefmittel- und Hochtöner) anhand Freq- /THD- /Imp.-messung festlegen
 - b. Parametrische Equalizer für die Teilsysteme bestimmen
 - c. Crossover-Netzwerk bestimmen
 - d. Kontrollmessung und ggf. Wiederholung von a) und b)
10. Hörvergleich zwischen Labor- und Werksentzerrung

Hausaufgabe: 1. Fernfeldkriterium

Die Einhaltung des Fernfeldkriteriums nach Gl. 10 des Skripts ist bzgl. der relevanten Treiberausdehnung h zu belegen. Stellen Sie Gleichung 10 in eine direkte Formulierung der oberen Grenzfrequenz f_0 um. Plotten Sie den Verlauf von f_0 über einer Strahlerausdehnung h von 0.01-1m in 1cm-Schritten. Legen sie $f_0(h)$ -Kurven für die Messabstände 1, 3, 5 und 10m übereinander. **VOR DEM LABORTERMIN ZU ERLEDIGEN!**

Hausaufgabe: 2. Virtuelle Frequenzgangsentzerrung in Matlab

Aufgabenstellung

Erarbeiten Sie unter Verwendung der finalen im Labor gemessenen Frequenzgänge der Einzelsysteme eine virtuelle Entzerrung des Gesamtlautsprechers. Benutzen Sie dafür maximal:

- einen Linkwitz-Riley Hoch- und Tiefpass [1] bis jeweils maximal 4-ter Ordnung je Teilsystem,
- einen Gain-Faktor je Teilsystem,
- einen parametrischen Equalizer [2] je Teilsystem und
- eine Änderung der Polarität und/oder einen Allpass erster Ordnung [4] zur Anpassung der Phase im Übergangsbereich.

Stellen Sie die unentzerrten sowie die entzerrten Teilsysteme dar, addieren sie beide Wege zum Gesamtfrequenzgang. Dokumentieren Sie die Filterung (Parametrische Equalizer, Frequenzweichendesign, Amplituden- und Phasen Anpassung der Wege). Vergleichen Sie die Betragsfrequenzgänge der virtuellen Entzerrung mit der Herstellereinstellung aus dem Downloadbereich und mit der im Labor erreichten Entzerrung.

Empfohlene Vorgehensweise:

- a) Schreiben Sie je eine Matlab Funktion, die Filterkoeffizienten für einen parametrischen Equalizer und für einen Allpass erster Ordnung berechnet:
 - $[b, a] = \text{peq}(fs, fm, G, Q)$
 - $[b, a] = \text{allpass}(fs, fm)$

mit: fs = Samplingfrequenz, fm = Mittenfrequenz, G = Gain, Q = Güte
- b) finale Frequenzgangsmessungen der zwei Einzelwege aus dem Labor laden
- c) im potentiellen Übernahmebereich der Einzelwege die Phasenlagen korrigieren
- d) Wege einzeln parametrisch filtern
- e) Wege einzeln hoch- und tiefpassfiltern (Frequenzweichendesign)
- f) Pegeloffsets der Einzelwege feststellen und korrigieren
(Die Reihenfolge von d, e und f kann nach belieben variiert werden)
- g) entzerrte Frequenzgänge komplex zu einem Gesamtfrequenzgang addieren

Protokollinhalte

Erstellen Sie das Laborprotokoll nach Maßgabe der auf der Labor-Webseite veröffentlichten Richtlinien des Fachgebiets. Dokumentieren Sie Messaufbauten, Arbeitsschritte, Zwischenergebnisse und Endresultate anhand der relevanten Messdaten. Der Hergang der gesamten Messungen und Entzerrung ist zu dokumentieren. Die Messergebnisse sind zu diskutieren, eine theoretische Erörterung der auftretenden physikalischen Phänomene ist aber nicht notwendig. Außerdem ist zu zeigen:

1. Die Voraussetzung für eine valide Nahfeldmessung sowie deren Gültigkeitsbereich.
2. Die Einhaltung der relevanten Fernfeldkriterien für die gemessene Treiberausdehnung.
3. Der spektrale Gültigkeitsbereich gefensterter Messungen ist numerisch abzuschätzen und durch Kurvenvergleiche zu belegen.
4. Welche Kriterien zur gewählten Trennfrequenz zwischen Tief- und Hochtöner führten ist anhand der entsprechenden Kennwerte (mech. Resonanzfrequenz, THD, etc.) zu dokumentieren.
5. Gehen Sie **kurz** auf die Unterschiede zwischen FIR- und IIR-Entzerrung ein.
6. Plotten Sie Betrags- und Phasenspektrum, sowie die Gruppenlaufzeit der von Ihnen programmierten Allpass-, PEQ- und Linkwitz-Riley-Cross-Over-Funktionen für verschiedene Parameter.

Im Downloadbereich finden Sie

- das Skript zum Labor, sowie weiterführende Literatur und dieses Aufgabenblatt,
- die Funktion `spk2mat.m` zum Einlesen von MonkeyForest `spk`-Files,
- die Funktion `hp.m` zum einfachen und schnellen Darstellung der Messdaten
- das Skript `plot_example.m`, in dem die Benutzung von `spk2mat.m` und `hp.m` beispielhaft gezeigt wird
- Eine Messung der A7 mit Werkseinstellung als `spk`-file für den Vergleich mit der Entzerrung aus Labor und Hausaufgabe

Wählen Sie sinnvolle Wertebereiche für alle Plots und eindeutige Achsenbeschriftungen. Plotten Sie nur Grafiken, die Sie auch diskutieren.

Die selbst geschriebenen Matlab-Funktionen sowie das zur Frequenzgangsentzerrung benutzte `m`-File sollen mit dem Protokoll abgegeben werden, müssen aber nicht in dessen Anhang geführt sein.

Hilfreiche Matlabfunktionen:

`semilogx`, `hold`, `legend`, `xlabel`, `ylabel`, `title`, `axis`, `filter`, `fft`,
`ifft`, `abs`, `angle`, `butter`, `freqz`, `impz`, `grpdelay`, `circshift`

Literatur:

- [1] Bohn, D. (2005) Linkwitz-Riley Crossovers: A primer. Rane Note 160, Rane Corporation.
- [2] Bristow-Johnson, R.: Cookbook formulae for audio EQ biquad filter coefficients. <http://www.musicdsp.org/files/Audio-EQ-Cookbook.txt>
- [3] Lindau, A. (2009) Labor Kommunikationstechnik: Lautsprechertechnik. Kap. 1 – 2.
- [4] Zölzer, U. (2002) DAFX: Digital audio effects. Wiley & Sons. Kap. 2.2.2.

Weiterführende Literatur:

- [5] Bristow-Johnson, R (1994) The equivalence of various methods of computing biquad coefficients for audio parametric equalizers. In: 97th AES Convention, San Francisco, USA.
- [6] Linkwitz, S H (1976) Active crossover networks for noncoincident drivers. In: J. Audio Eng. Soc. 24(1):2-8.

Weitere siehe [3].