

Nichtlinearitäten – Wirkungen - Lösungen



© Leo Z





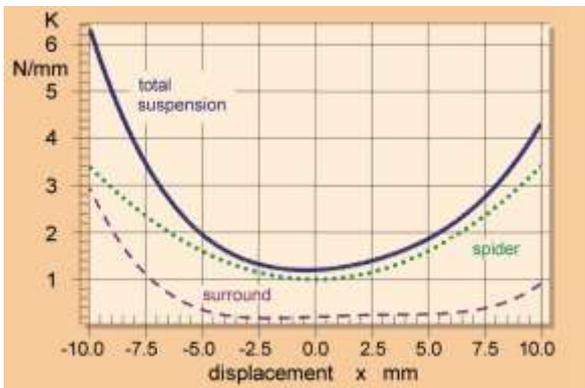
Inhalt

- Ursache von Nichtlinearitäten
- Wirkung von Nichtlinearitäten
- Lösungen für das Problem



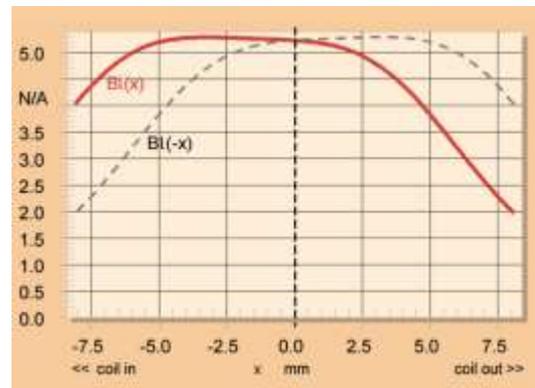
Ursache von Nichtlinearitäten

- Hauptsächlich im elektroakustischen Wandler (Lautsprecher)
- Alle anderen Glieder der Wiedergabekette sind um teils mehrere Zehner-Potenzen linearer
- Gut bekannte Ursachen (Beispiele - es gibt mehr) - Quelle Klippel



Steifigkeit der Lautsprecher-Aufhängung

Stark Nichtlinear



Strom-Kraft-Wandlung (BI-Produkt)

Nichtlinear

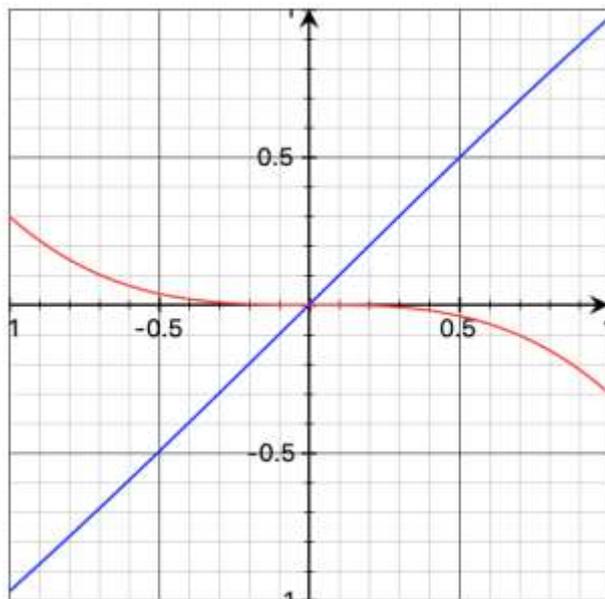


Induktivität der Schwingspule

Nichtlinear

Wirkung von Nichtlinearitäten 1

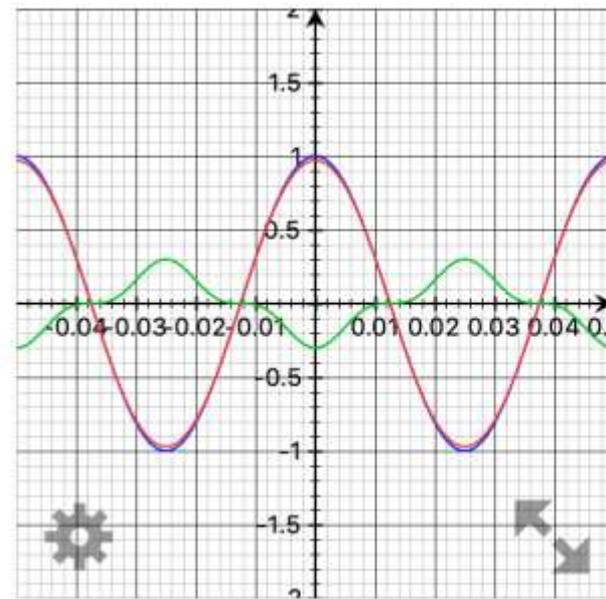
- Veranschaulichung an einer sehr einfachen Nichtlinearität: $y = x - k \cdot x^3$
- Im Beispiel $k = 3\%$, schwacher nichtlinearer Anteil, zunächst eine Frequenz $f=20$ Hz



Nichtlinearität

$$y = x - k \cdot x^3$$

$$y = -k \cdot x^3 \cdot 10$$



Zeitfunktion

$$y = s(x)$$

$$y = w(x)$$

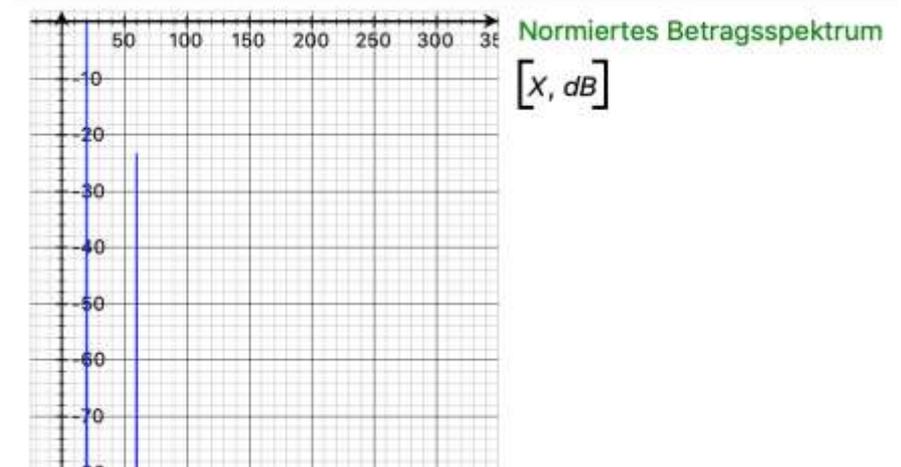
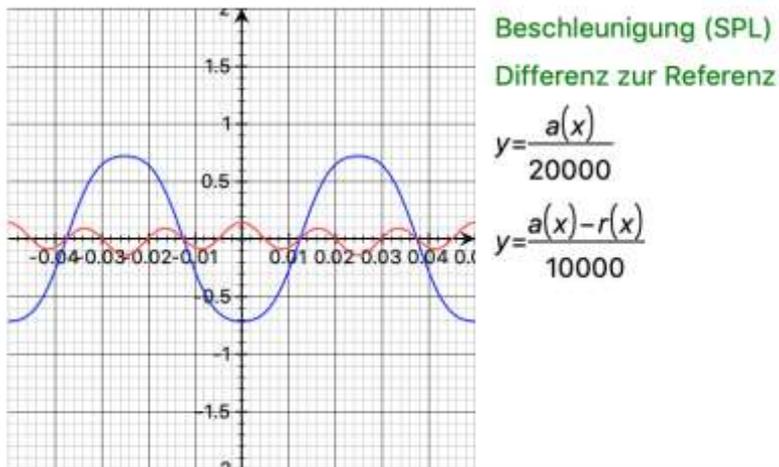
$$y = (w(x) - s(x)) \cdot 10$$

Blau: Normierte nichtlineare
Übertragungsfunktion
Rot: Fehler x 10

Membranweg:
Blau: Ideale Zeitfunktion
Rot: Verzerrte Zeitfunktion
Grün: Fehler x 10

Wirkung von Nichtlinearitäten 2

- Veranschaulichung an einer sehr einfachen Nichtlinearität: $y = x - x^3$
- Im 1. Beispiel $k = 3\%$, schwacher nichtlinearer Anteil, zunächst eine Frequenz $f=20$ Hz

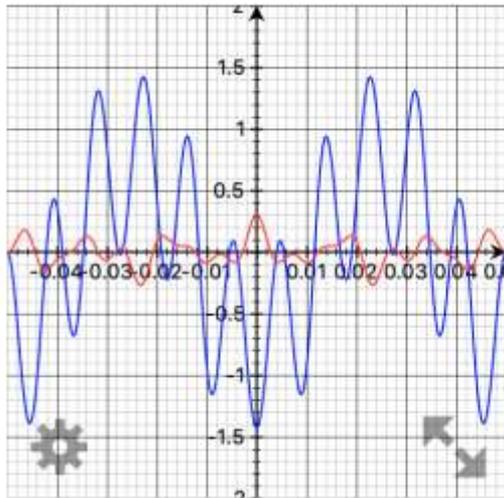


Beschleunigung (proportional zu SPL)
Blau: Verzerrte Zeitfunktion
Rot: Fehler x 10

Blau: Betragsspektrum
 $k_3 = -23$ dB \leftrightarrow 7% Klirrfaktor
aus 3% Nichtlinearität

Wirkung von Nichtlinearitäten 3

- Im 2. Beispiel $k = 3\%$, schwacher nichtlinearer Anteil, **Zwei Frequenz** $f=20$ Hz & $f = 110$ Hz

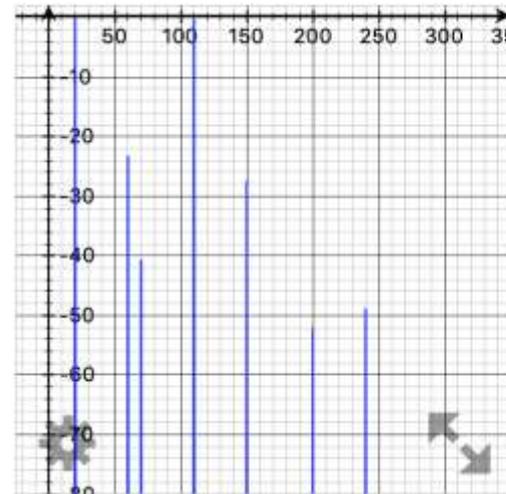


Beschleunigung (SPL)

Differenz zur Referenz

$$y = \frac{a(x)}{20000}$$

$$y = \frac{a(x) - r(x)}{10000}$$



Normiertes Betragsspektrum

[X, dB]

Beschleunigung (proportional zu SPL)

Blau: Verzerrte Zeitfunktion

Rot: Fehler x 10

Blau: Betragsspektrum

Nicht-harmonische

Misch-Frequenzen entstehen!

Intermodulation

Wirkung von Nichtlinearitäten

Ergebnis dieser Veranschaulichung mit einer sehr „einfachen“ und schwachen (3%) Nichtlinearität mit einer ungeraden Funktion welche nur ungerade harmonische Frequenzen erzeugt:

Dieselbe Nichtlinearität erzeugt auch nicht-harmonische Mischfrequenzen

Diese Mischfrequenzen (viele Töne -> sehr viele Mischfrequenzen) heben die Mithörschwelle an. Die Transparenz des Klangbildes geht verloren.

Konsequenz:

Glauben Sie nicht den Versicherung einiger Lautsprecher-Hersteller, welche Ihnen erklären, dass ein höherer Klirrfaktor im Bassbereich kein Problem wäre (da die Musikinstrumente auch harmonische Frequenzen erzeugen).

Die ebenfalls generierten nicht-harmonische Mischfrequenzen quälen das Ohr des Hörers und decken die musikalischen Details zu.

Lösungen des Problems „Nichtlinearität“

Neuartige Ansätze zur Linearisierung von Lautsprechern:

1. Stromspeisung

1. Beschleunigungsregelung

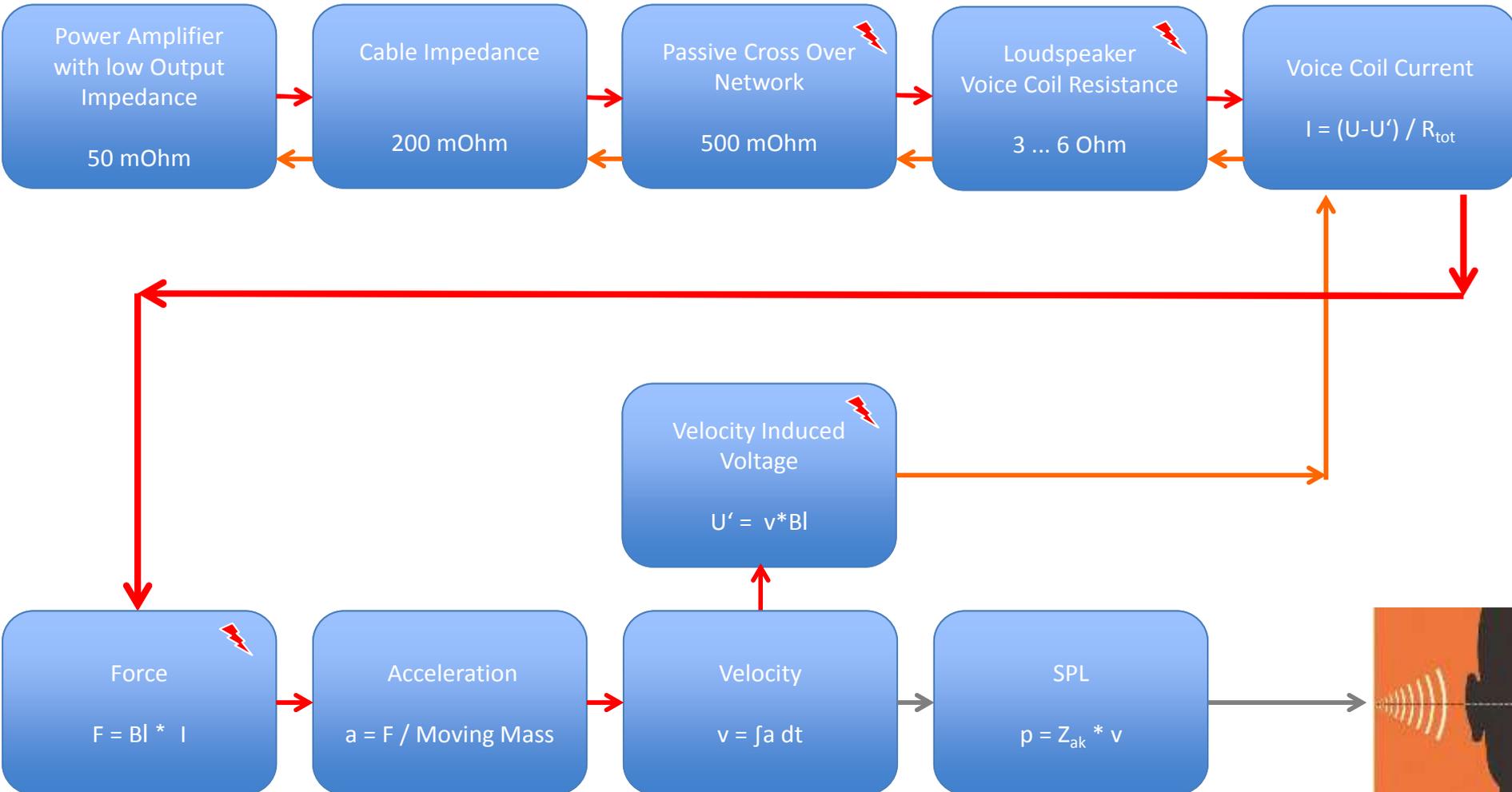
2. Nichtlineare Vorverzerrung

1. Doppler-Kompensation

Seit mehr als 50 Jahren ...

 Main Sources of Non-Linearity

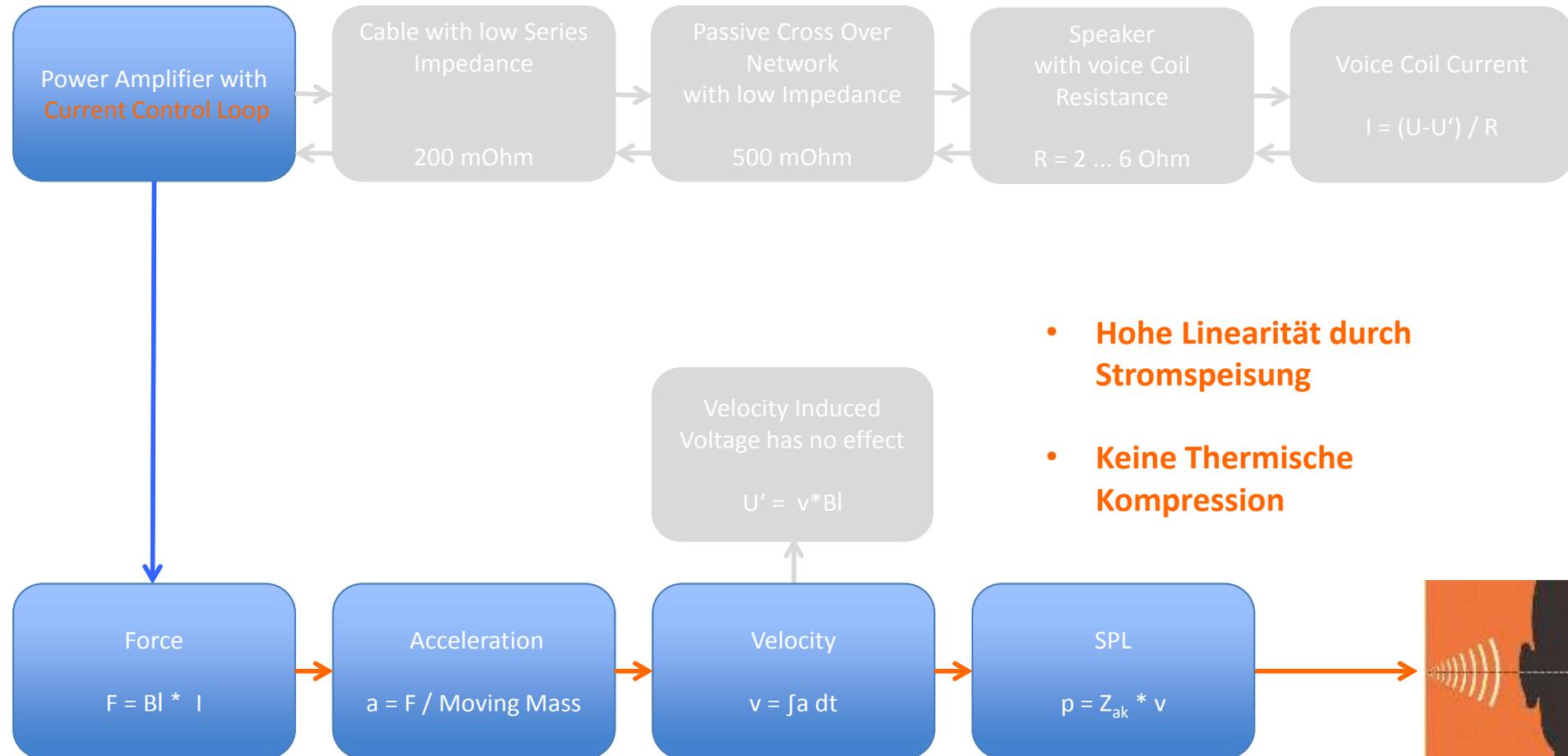
Linearisierung der Übertragungsfunktion und Dämpfung der Resonanz durch Spannungsspeisung



Veranschaulichung über der Resonanzfrequenz

Alternative: i-Control (Stromspeisung)

Vermeiden vieler Nichtlinearitäten:
Perfekt für akustisch gedämpfte Hochtöner



Power Amplifier AC-PAZ 75 with i-Control

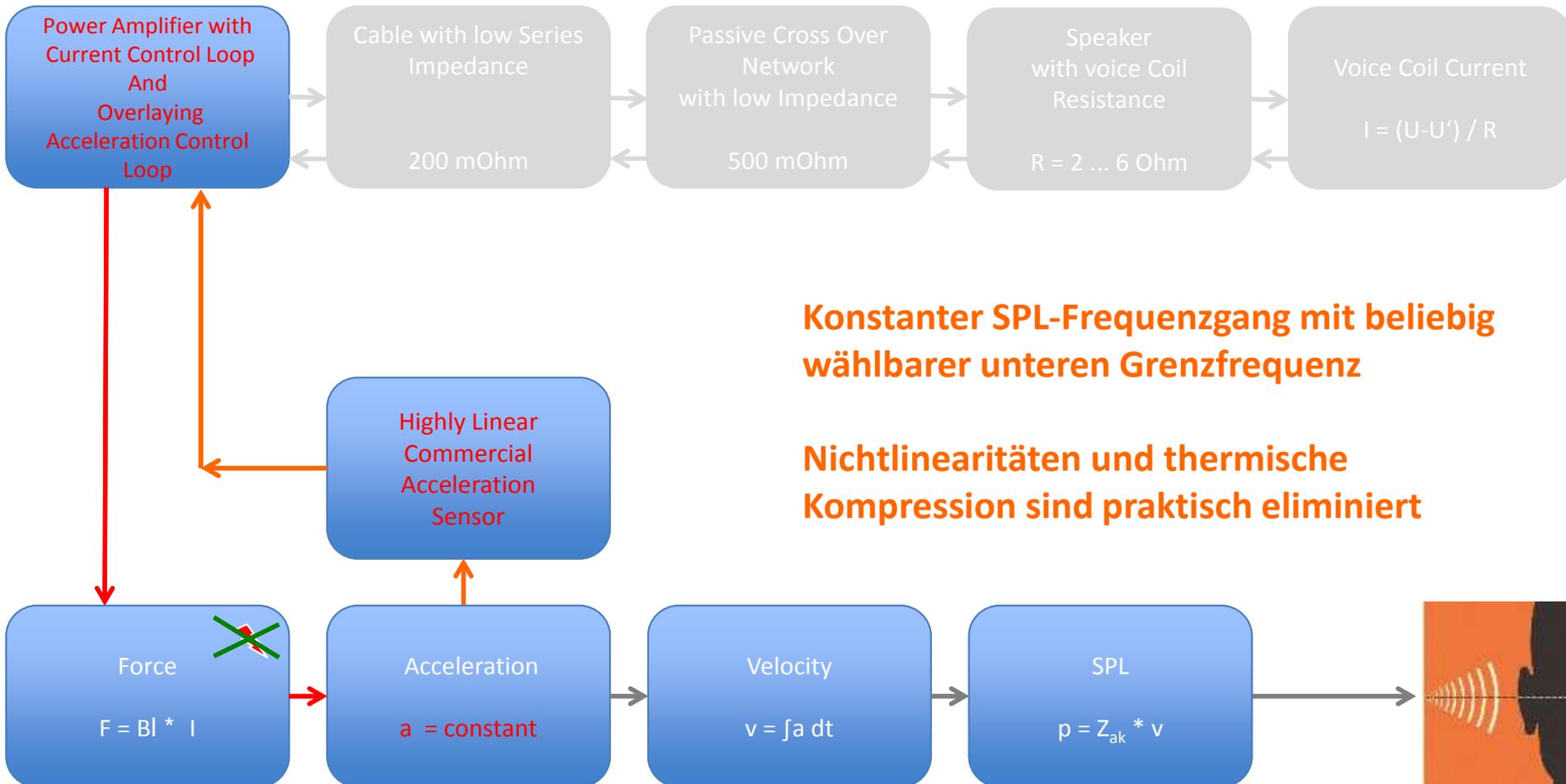


Kompakter Leistungsverstärker mit vollständiger System-Schutzfunktion

- Keine thermische Kompression
- Keine induktivitäts-abhängigen Nichtlinearitäten
- **Mit guten Hochtönern sind 0,1 % Klirrfaktor üblich**

Perfekte Lösung: a-Control (Beschleunigung-Regelung)

Linearisierung durch Bewegungs-Regelung der Membran <-> Perfekt für Konuslautsprecher



Power Amplifier AC-PAR 75 mit integriertem MFB*-Regler

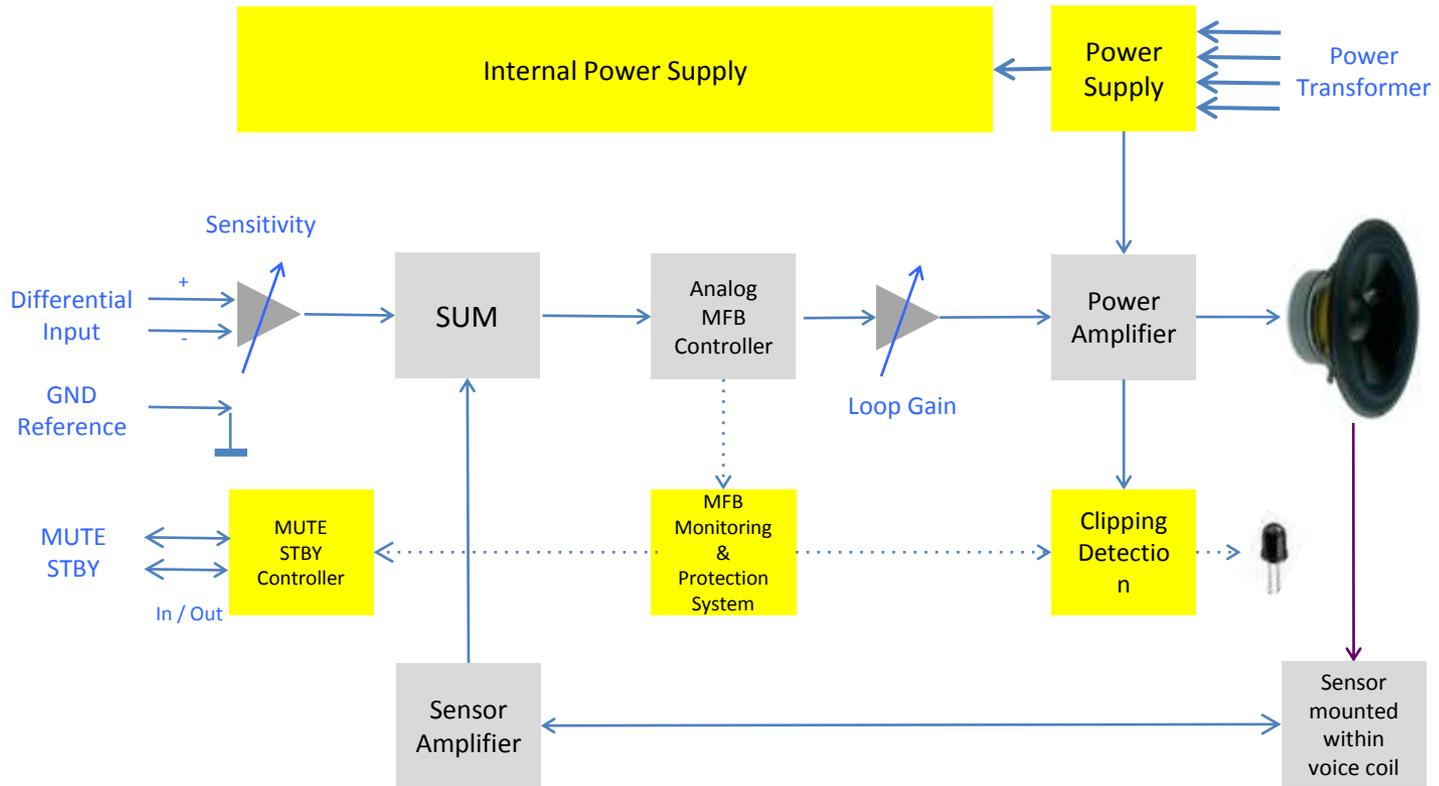


|
Beschleunigungs- (a)-
Sensor
montiert in der
Schwingspule



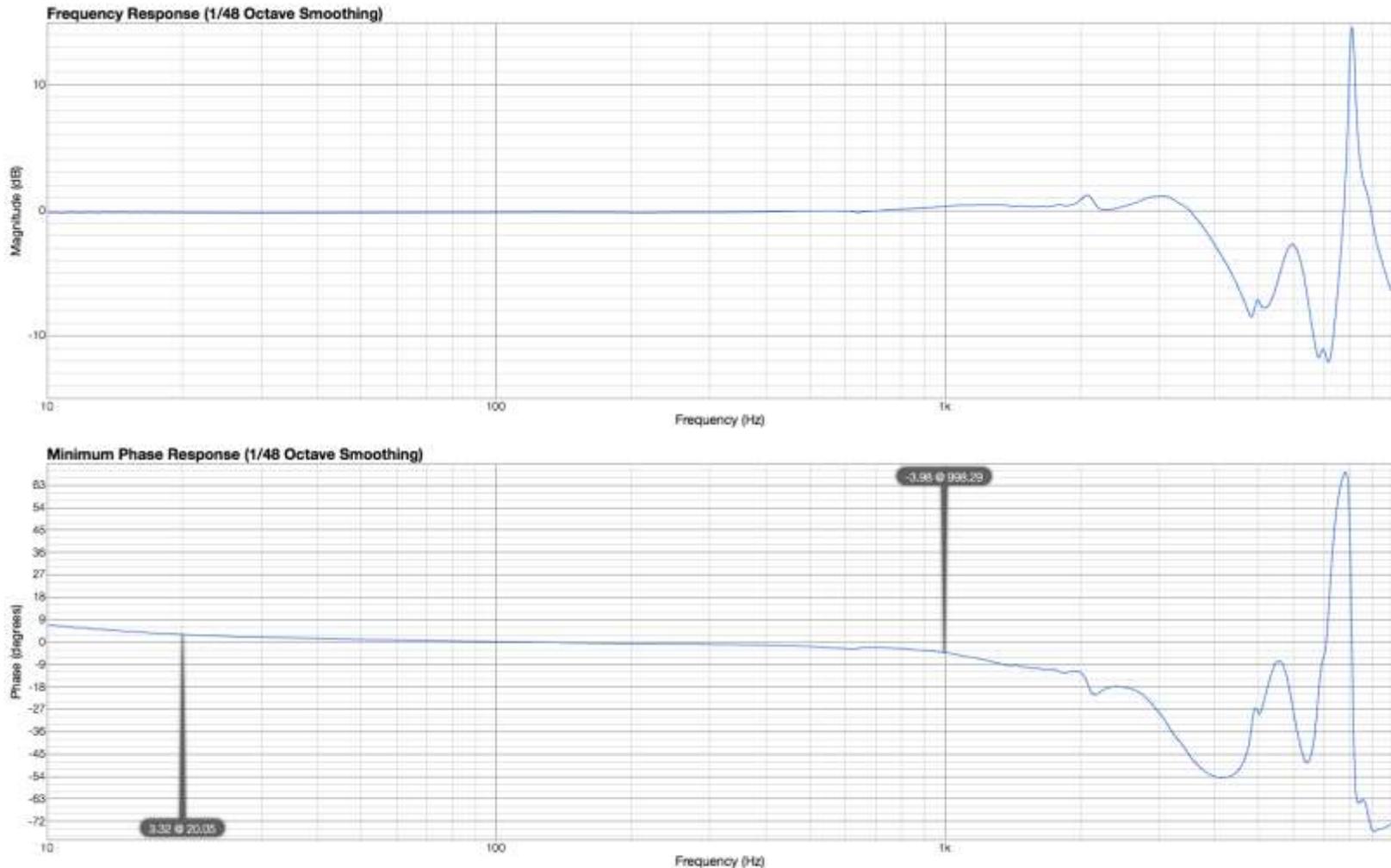
* MFB: Motion Feed Back = Bewegungs-Gegenkopplung. Hier Beschleunigungs-Gegenkopplung

Power Amplifier AC-PAR 75 mit integriertem MFB-Regler



Excellent Performance • Compact • User-Friendly • Full System Protection

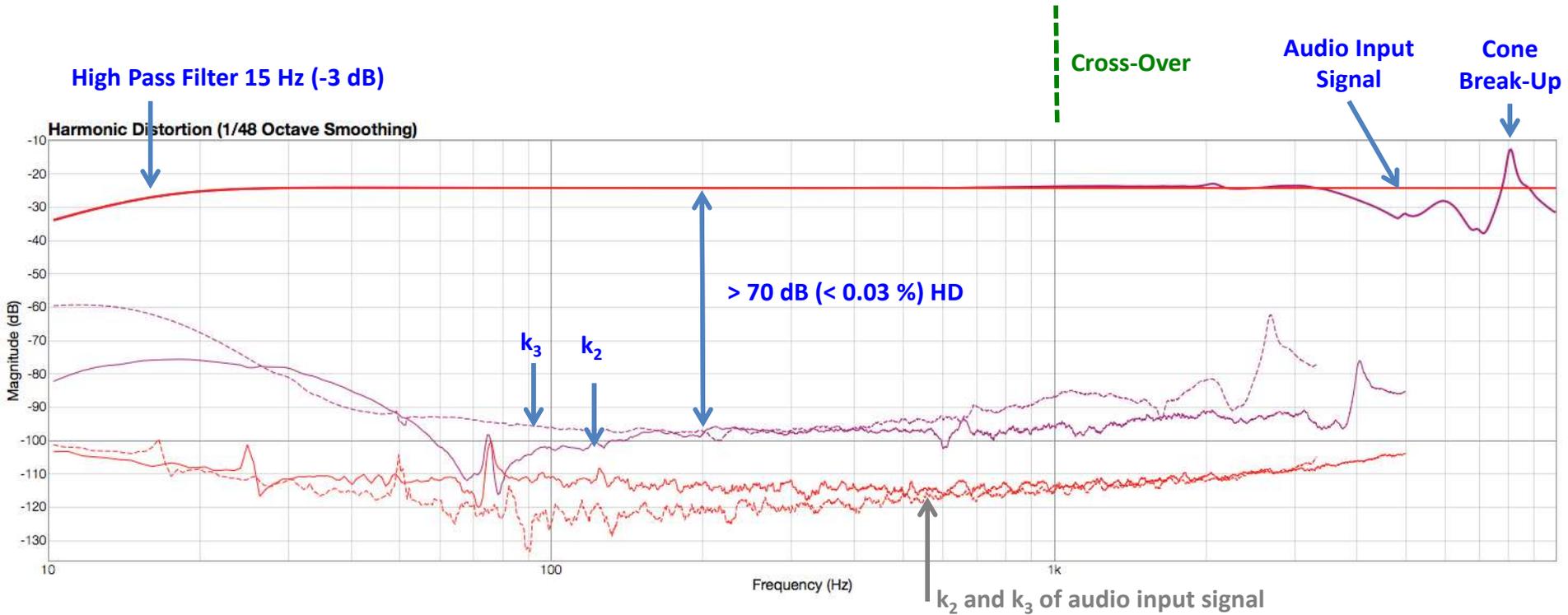
Beispiel Leistungswerte: AC-PAR 75 mit SEAS L15RLY Speaker



SEAS L15 RLY used between 16 Hz and 1 kHz

Unsurpassed Frequency Response (amplitude and phase) of the Membrane Acceleration

Beispiel Leistungswerte des AC-PAR 75 mit SEAS L15RLY



Unübertroffene Linearität des Beschleunigungssignals, welches dem Schalldruck proportional ist

Nichtlineare Vorverzerrung

Der Lautsprecher habe die nichtlineare Übertragungsfunktion $y = f(x)$

Die nichtlineare Vorverzerrung habe die Übertragungsfunktion $z = g(y)$

Die Kette hat dann die Übertragungsfunktion $z = g(f(x))$

Mit der Forderung: $z = x$, also $g(f(x)) = x$

Diese nichtlineare Gleichung ist nicht allgemein exakt lösbar, aber gute Näherungen sind möglich

Problem:

Kompensations-System: Für 1% Genauigkeit muss auch $f(x)$ und $g(y)$ entsprechend genau bekannt und zeitlich stabil sein.

$f(x)$ ist temperatur- und alterungsabhängig. Ohne Messung und Modellierung dieser Zustandsgrößen kann $g(y)$ nicht genau genug bestimmt werden.

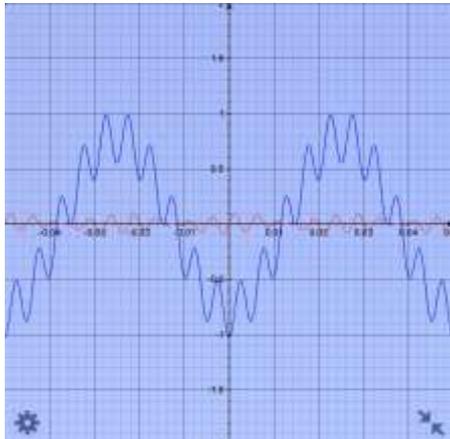
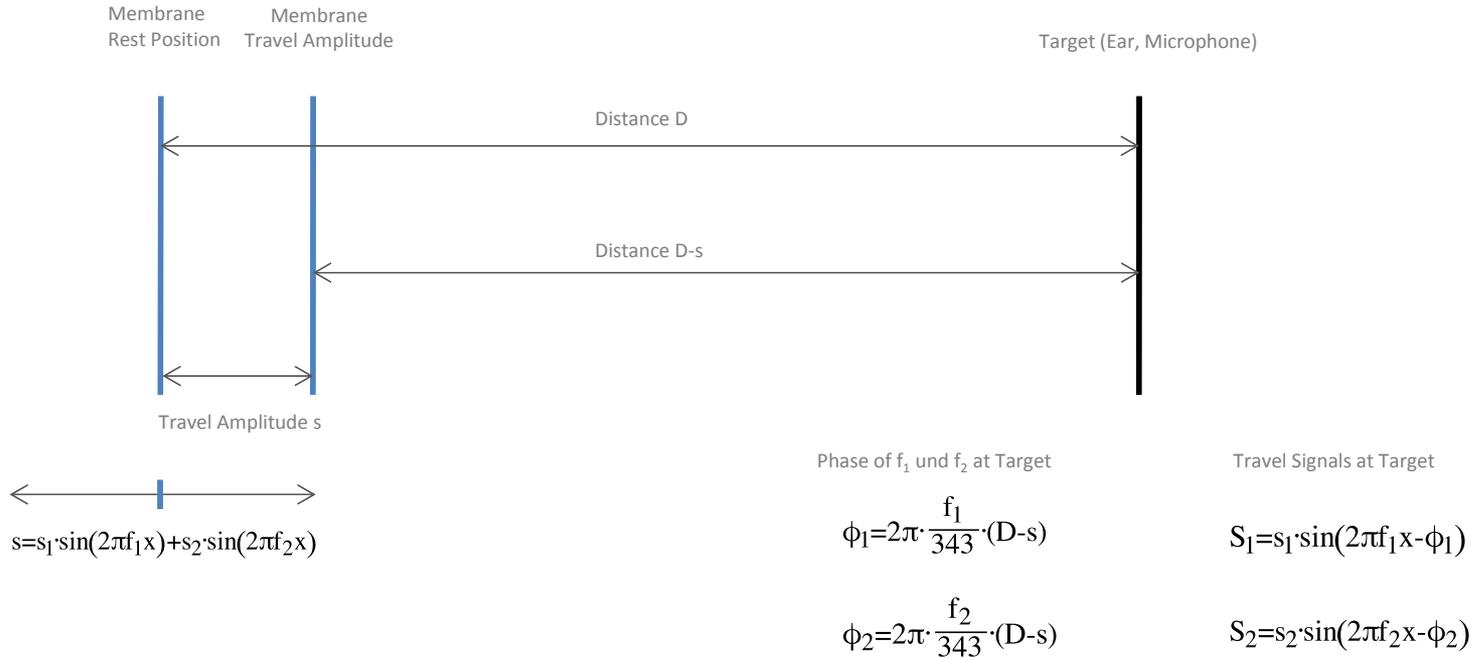
Das Verfahren wird hier aus Komplexitäts- und Performancegründen nicht weiter betrachtet

„There is one more Thing“

**Die dargestellten Lösungen erlauben
Linearitätsverbesserungen herkömmlicher Lautsprecher in
den Bereich von 0,1% Klirrfaktor und darunter**

**Wenn da die Phasenmodulation (der Dopplereffekt) nicht
wäre, welche jede bewegte Membran erzeugt**

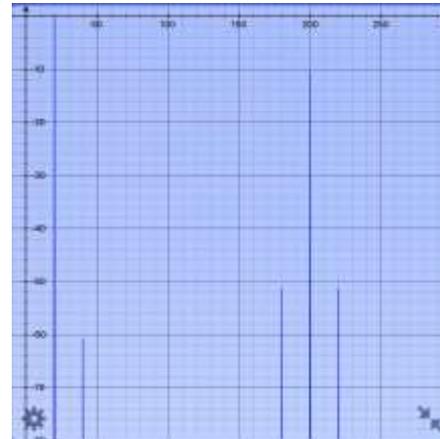
Phasenmodulation durch die Membranbewegung



20 Hz & 200 Hz

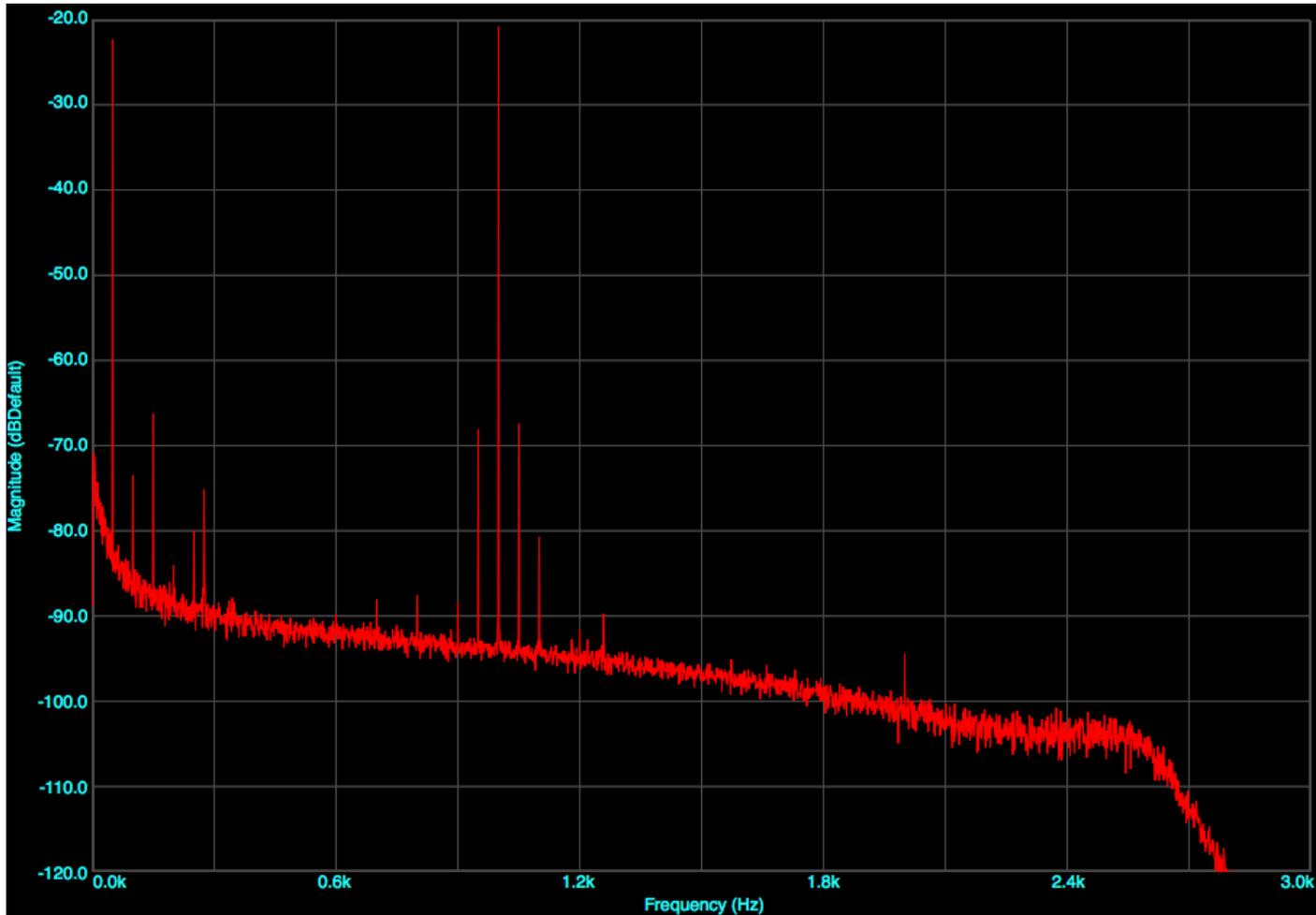
Fourier

←→
Zeit ↔ Frequenz

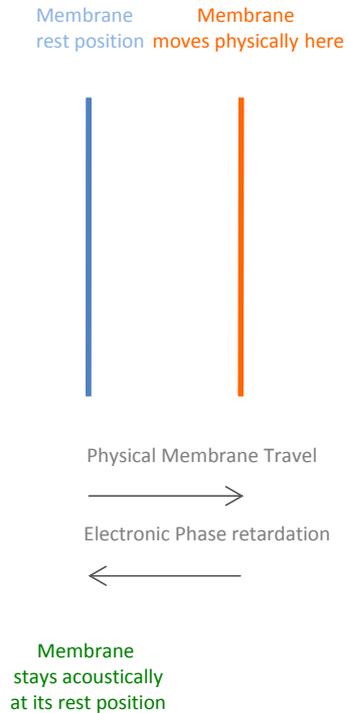


PM (Doppler) Acoustical Measurement

Two Frequencies: 1 kHz and 50 Hz: NLAM + PM spectral lines at - 45 dB



Elimination der Phasenmodulation



Scheinbar stillstehende Membran

Ohne Bewegung kein Dopplereffekt

Entweder nutzt man sehr große Membranflächen, um die Membranamplitude klein zu halten und damit den Dopplereffekt zu verringern,

oder besser:

man eliminiert den Dopplereffekt durch die Dopplerkompensation, die in jedem der Analogen Audio Prozessoren von AudioChiemgau implementiert ist.

Problem des Dopplereffektes:

Er ist entfernungs-unabhängig, bleibt also bei allen Hörentfernungen gleich stark

Aktive High-End Lautsprecher

Alle elektronischen Komponenten sind vorhanden



2-Way
Analog Audio
Processor
with Doppler
Compensation

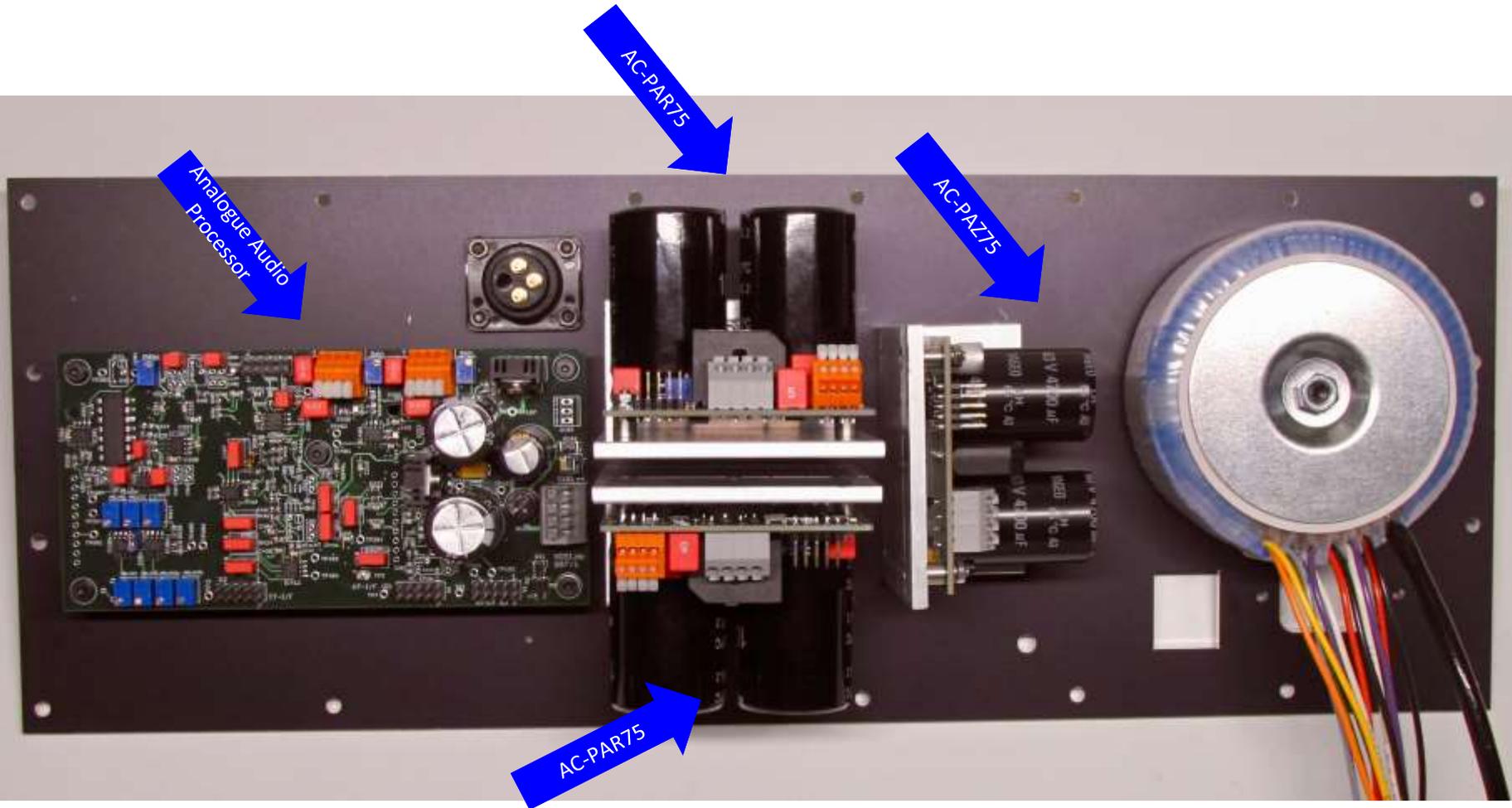


i-and z-Controlled
Power Amplifier

MFB-Controlled
Power Amplifier



Beispiel der Rückwand eines Zweiweg-Testlautsprechers



**Zweiweg Test-Box mit i-Control und a-Control:
T29CF001 und 2 x L15RLY -> 16 Hz (-3dB)**

