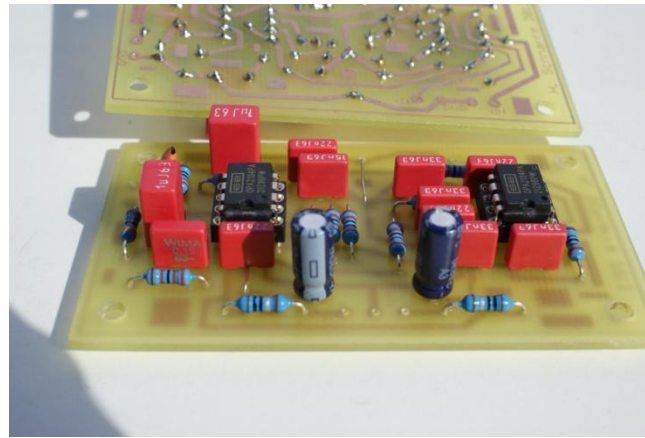


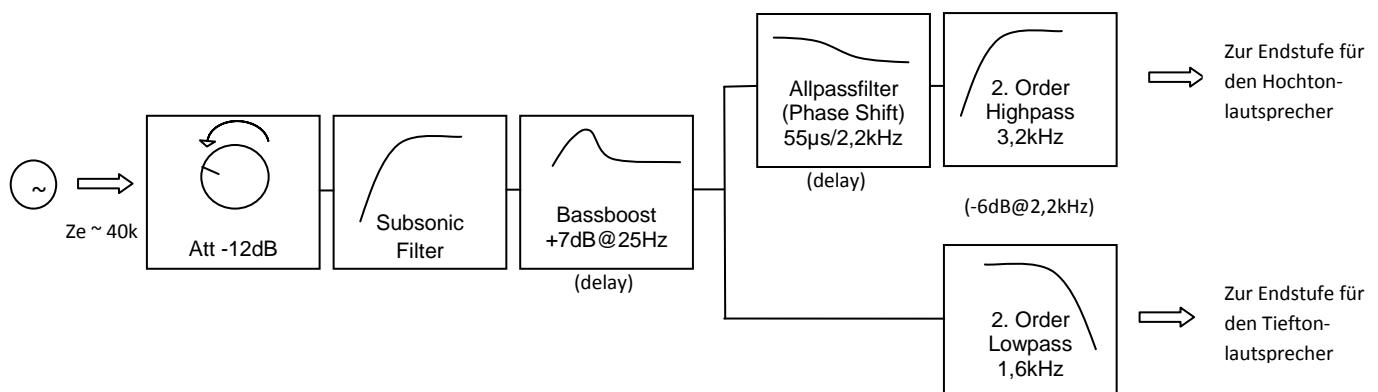
Aktives LR12-Filter mit Bassentzerrung und Hochpassdelay



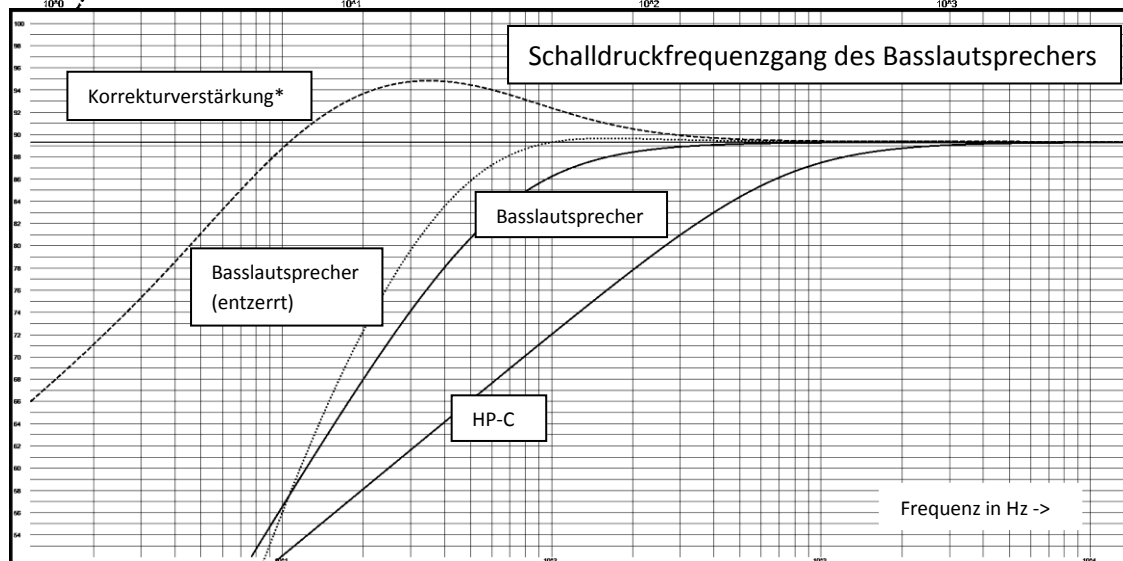
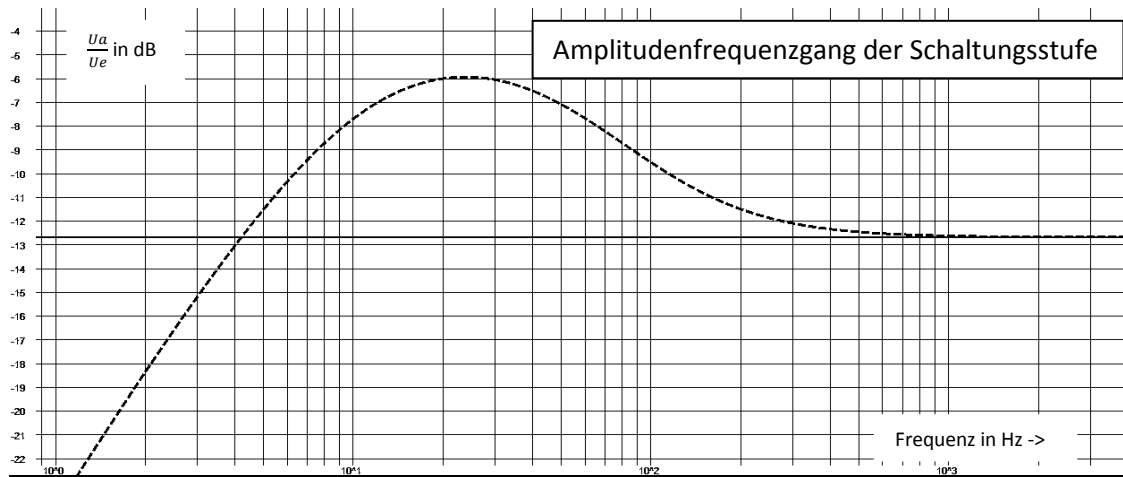
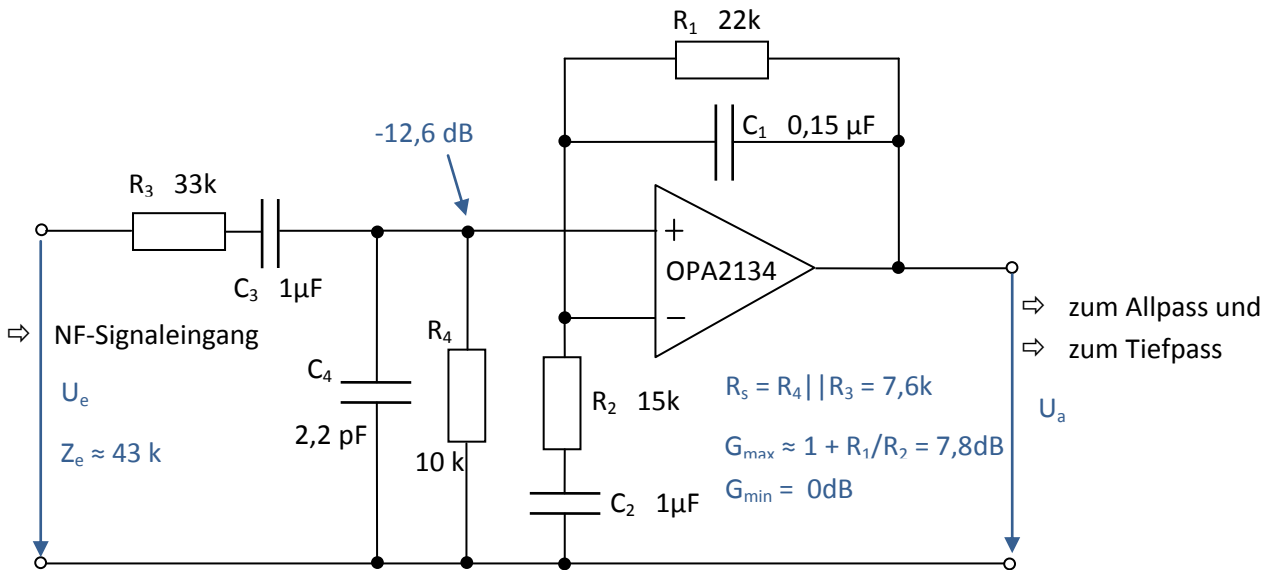
Dieses Filter trennt das Signal eines Stereokanals in einen Hochpasszweig und einen Tiefpasszweig 2. Ordnung nach Linkwitz-Riley auf. Die Trennfrequenz liegt bei 2,2 kHz. Dem Hochpass ist eine Delayschaltung, ein sogenannter Phasenschieber oder Allpass 1. Ordnung vorgeschaltet, um die durch den Versatz des Basslautsprechers bedingte nachteilige Phase gegenüber dem Hochtonlautsprecher etwas anzugleichen. Die Eingangsstufe besteht aus einer 12dB-Dämpfung, einem Subsonic-Filter und einer Bassanhebung um 7dB bei 25Hz.

Insgesamt werden zwei Doppel-OPV vom Typ OPA2134 eingesetzt, alternativ könnte auch der NE5532 oder ähnliches verwendet werden.

Blockschaltbild des Filters (für einen Kanal)



Eingangsschaltung mit 12dB Muting, Subsonicfilter und aktiver 7 dB Bassanhebung



Die Bassentzerrung gleicht den Bassabfall der geschlossenen Box aus.

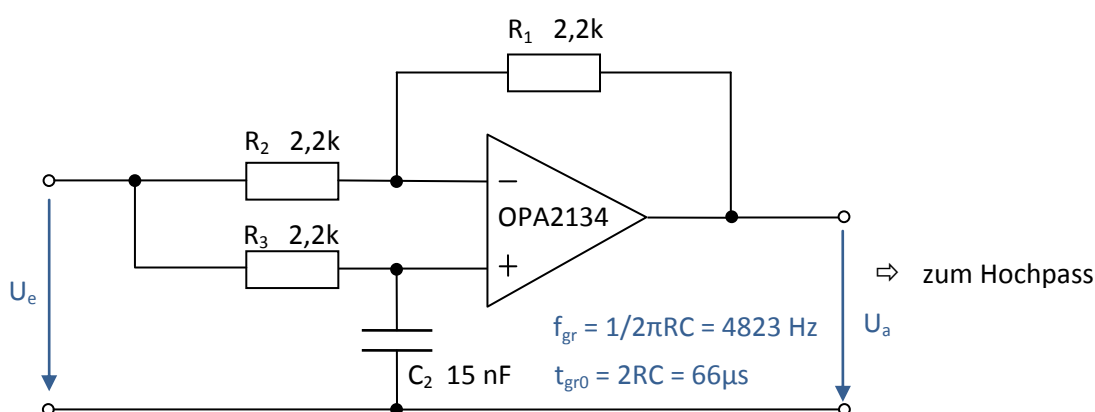
*(Die Basskorrekturverstärkung ergibt sich aus der Eingangsschaltung von oben und dem Hochpass der Verstärkerstufe (9,4µF GGK,fg25Hz))

Allpass 1. Ordnung zur Anpassung der Phase des Hochtonlautsprechers an den Tieftonlautsprecher

Der Tiefenversatz der Schallzentren zwischen dem Visaton KE25SC und dem Audax HM170Z18 ist bei bündigem Schallwandeinbau etwa 4–5cm. Der Hochtonlautsprecher wird jedoch gegenüber dem Basslautsprecher um 2,4 cm nach hinten versetzt eingebaut, so dass noch 2 cm Versatz mit entsprechender frequenzabhängiger Phasenverschiebung bzw. konstanter Gruppenlaufzeit von etwa

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v_{\text{schall}}} = \frac{2 \text{ cm}}{345 \text{ m/s}} = 58 \mu\text{s}$$

übrig bleibt. Diesen Rest eliminiert folgender Allpass, damit beide Lautsprecher auf Achse in Phase sind.



Formeln für Allpass 1.Ordnung Linkwitz:

$$\frac{U_a}{U_e} = \frac{1-j\omega RC}{1+j\omega RC} \quad t = \frac{2RC}{1+(f/f_{gr})^2} \quad f_{gr} = \frac{1}{2\pi RC} \quad \omega_n = \frac{\omega}{\omega_{gr}}$$

$$T_{gr} = f_{gr} t_{gr0} \approx 0,3 \text{ (1. Ordng. Linkwitz)}$$

t = Gruppenlaufzeit bei f

f_{gr} = Eckfrequenz mit der Phasenverschiebung -90° (ω_n = 1)

ω_n = Normierte Gruppenlaufzeit

Beispiel R= 2,2k; C = 15nF:

Niederfrequenter Grenzwert

der Gruppenlaufzeit:

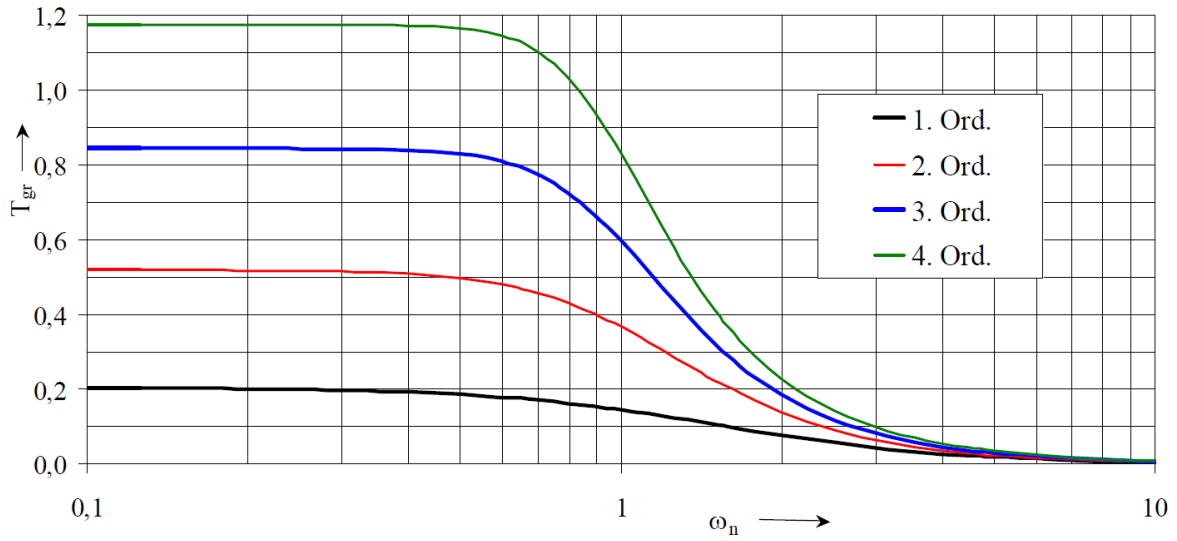
$$t_{gr0} = 2RC = 66 \mu\text{s} \text{ (0°, 2,3 cm Schallweg)}$$

Gruppenlaufzeit bei 2200 Hz: t = 55 μs (-49°, 1,9 cm Schallweg)

Gruppenlaufzeit bei 4823 Hz: t = 33 μs (-90°, 1,1 cm Schallweg)

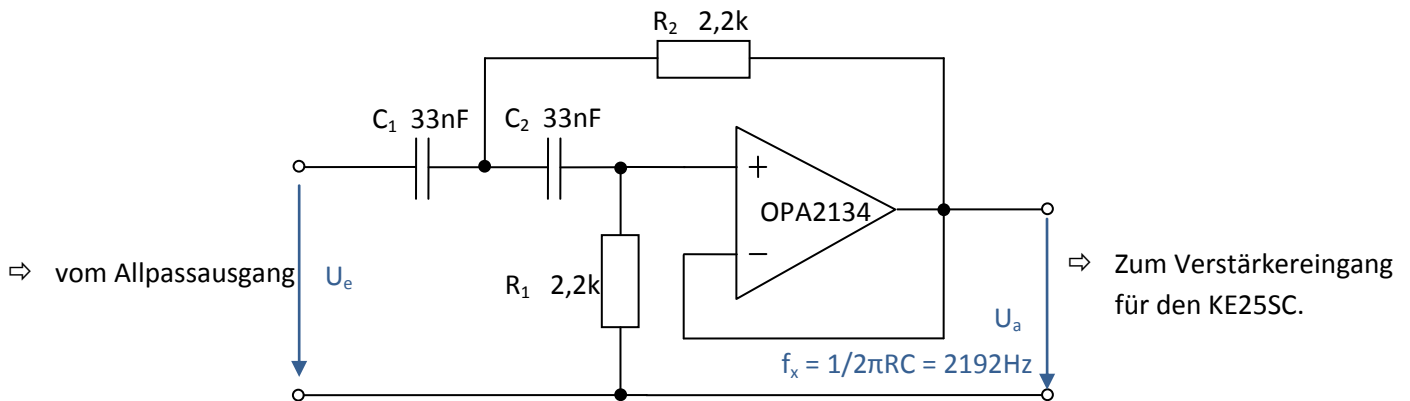
Gruppenlaufzeit bei 12kHz: t = 9 μs (-136°, 0,3 cm Schallweg)

Ein mechanischer Versatz eines Lautsprechers hat eine konstante Gruppenlaufzeit für alle Frequenzen dieses Lautsprechers und folglich eine linear steigende Phasenverschiebung über der Frequenz zur Folge. Leider hat der elektrische Phasenschieber nur bei tiefen Frequenzen eine annähernd konstante Gruppenlaufzeit und kommt nur für Eckfrequenzen in Frage, die wesentlich größer sind, als die Trennfrequenz. Je höher jedoch seine Eckfrequenz ist, desto kleiner ist die Gruppenlaufzeit. D. h. eine große Gruppenlaufzeit lässt sich nicht erreichen. Entweder man kombiniert mehrere Phasenschieber oder kombiniert el. und mech. Versatz.



Normierte Gruppenlaufzeit von Allpässen 1. bis 4. Ordnung

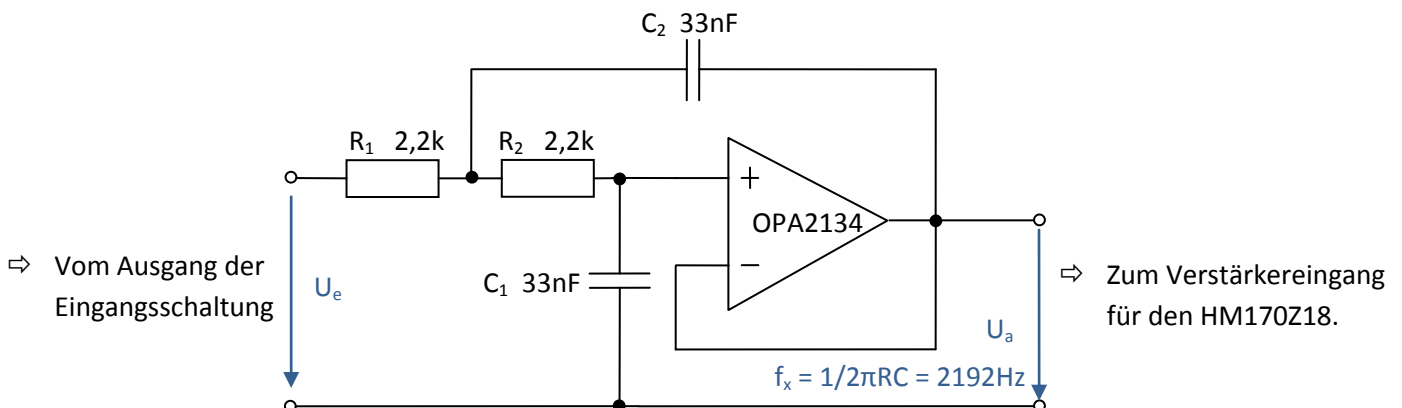
Sallenkey Hochpassfilter 2. Ordnung (LR12) ohne Verstärkung



Komplexe Übertragungsfunktion:

$$\frac{U_a}{U_e} = \frac{1}{1 + \frac{R_2 * (C_1 + C_2)}{j * R_1 * R_2 * C_1 * C_2 * 2\pi f} - \frac{1}{R_1 * R_2 * C_1 * C_2 * (2\pi f)^2}}$$

Sallenkey Tiefpassfilter 2. Ordnung (LR12) ohne Verstärkung



Komplexe Übertragungsfunktion:

$$\frac{U_a}{U_e} = \frac{1}{1 - R_1 * R_2 * C_1 * C_2 * (2\pi f)^2 + j * C_1 * (R_1 + R_2) * 2\pi f}$$

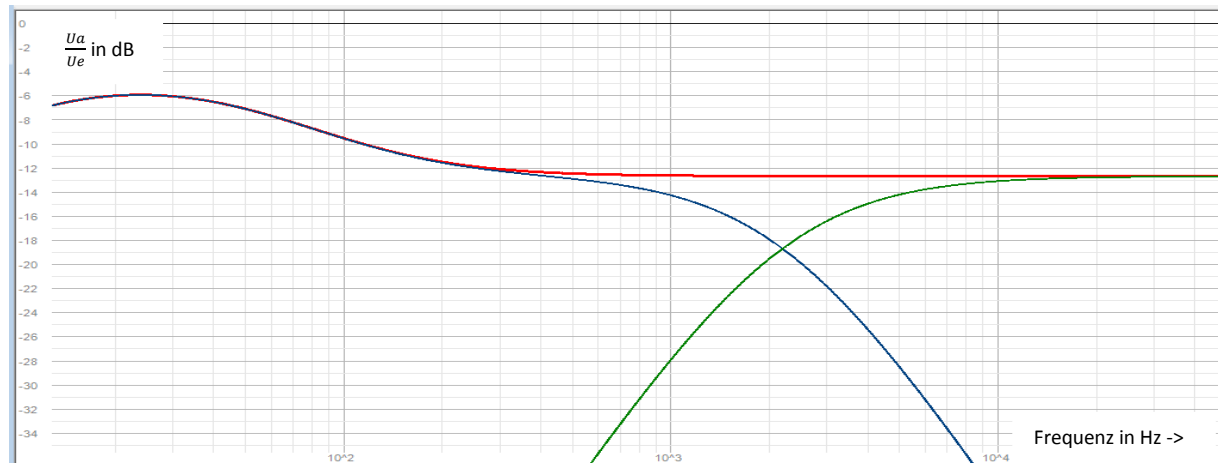
Formel für die Trennfrequenz mit Filterabstimmung nach Linkwitz-Riley (LR12):

$$f_x = \frac{1}{2\pi RC} ; C=C_1=C_2; R=R_1=R_2$$

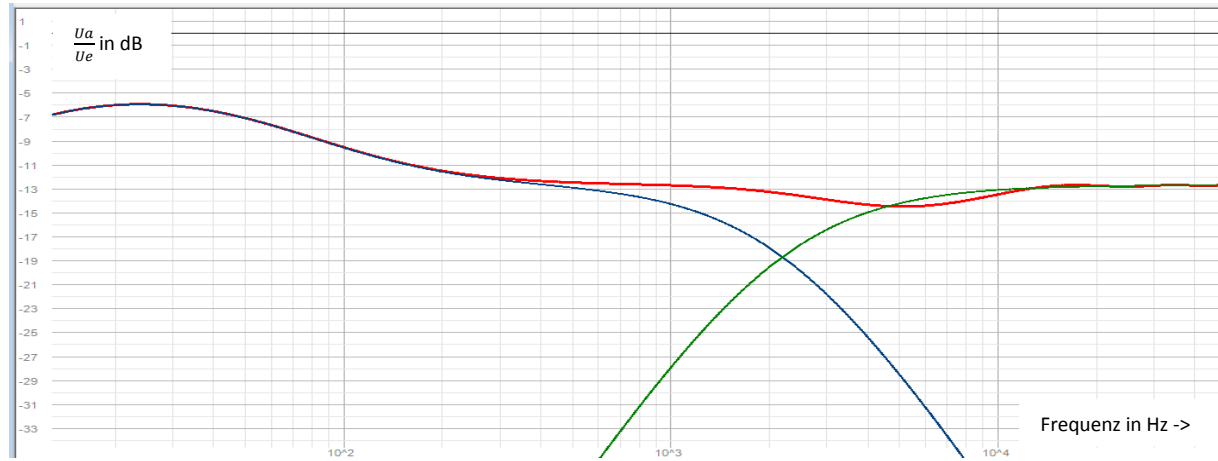
Bei f_x ist der Pegel um 6dB abgefallen und die Phasenverschiebung beträgt 90° für Hoch- und Tiefpass. Die gesamte Phasenverschiebung beträgt 180° (Tiefpass nachteilend).

⇒ **Der Hochtöner wird daher verpolt angeschlossen und ist dann bei jeder Frequenz in Phase mit dem Tieftöner, jedoch für jede Frequenz 180° voreilend. Und das gilt nur dann, wenn der Tiefenversatz der akustischen Zentren eliminiert ist.**

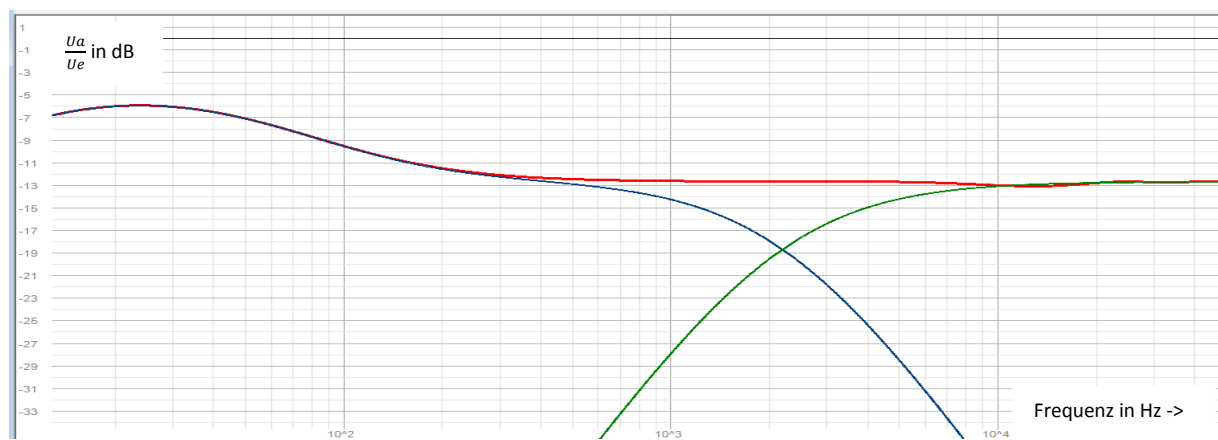
Amplitudenfrequenzgang von Hoch- und Tiefpass mit Bassentzerrung und der Summenfrequenzgang mit inversem Hochpass, jedoch ohne mechanischen Versatz



Amplitudenfrequenzgang von Hoch- und Tiefpass mit Bassentzerrung und 2cm nach hinten versetztem Basslautsprecher (entsprechend 58µs Gruppenlaufzeit)

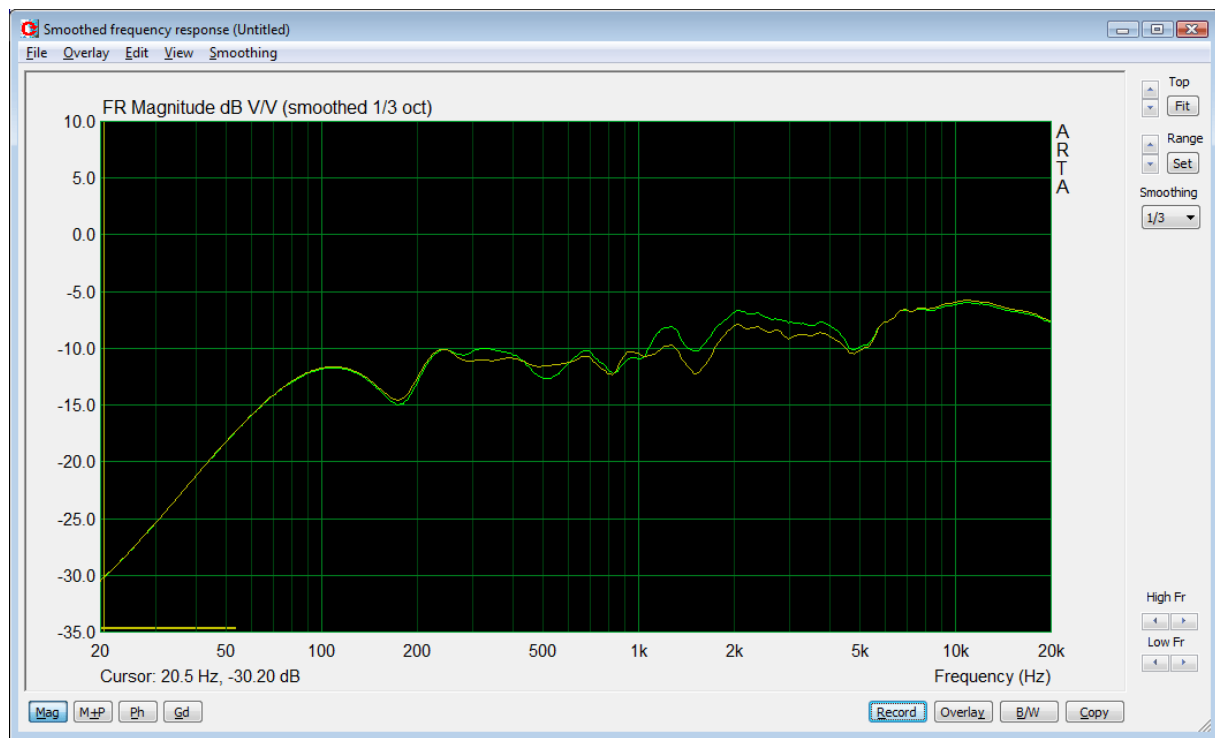


Amplitudenfrequenzgang von Hoch- und Tiefpass mit Bassentzerrung und 2 cm nach hinten versetztem Basslautsprecher sowie dem Hochtöner vorgeschalteten 55µs-Allpass



Die Simulation der roten Schalldrucksumme berücksichtigt sowohl den integrierten Phasenschieber als auch die Phasendrehung aufgrund des mechanischen Versatzes der Schallzentren zwischen Basslautsprecher und Hochtöner. Außerdem ist der Hochpass invertiert, das einer Verpolung des Hochtöners entspricht. Es wurde ein mechanischer Versatz des Basslautsprechers von 2cm angenommen, entsprechend einer konstanten Gruppenlaufzeit von 58µs. Die resultierende frequenzabhängige Phasenverschiebung ergibt sich aus $\Delta p = 2\pi f \Delta t$ und beträgt bei der Trennfrequenz $\Delta p = 360^\circ * 2200/s * 58\mu s = 46^\circ$. Das gleicht der Phasenschieber nur teilweise wieder aus. Dieser hat zwar bei der Trennfrequenz 49°, seine Gruppenlaufzeit ist aber über der Frequenz nicht konstant, d.h der Phasenverlauf über der Frequenz entspricht nicht perfekt dem inversen Phasenverlauf des mechanischen Versatzes. Aufgrund der Filterordnung ergeben sich bei der Trennfrequenz ca. 180° Phasenverschiebung, daher muß der Hochtöner verpolt angeschlossen werden.

Die Wirkung des Phasenschiebers bei meiner Box zeigt folgende ARTA-Messung mit Phasenschieber (grün) und ohne Phasenschieber (gelb). Unabhängig von einer Frequenzgangdiskussion ist zumindest eine höhere Schalldruckaddition und folglich die gewünschte geringere Phasenverschiebung gegeben:



Platine

