DAGA 2014/000114: Neue Ansätze zur Weiterentwicklung von Kompakt-Lautsprechern mit ventiliertem Resonanzgehäuse

Drazenko Sukalo

DSLab-Device Solution Laboratory, 80809 München, E-Mail: d.sukalo@dslab.de

1. Einleitung

Ein Resonanzgehäuse bewirkt passive Bassanhebung und reduziert maximale Membranauslenkung bei gleicher akustischer Leistung, sodass eine ausreichende Dynamik und Tieftonwidergabe (als Zielvorgabe @40Hz –3dB) auch mit einem Kompakt-Lautsprecher (Luftvolumen kleiner 5 Liter) zu erreichen sind? Im Beitrag sind einige neue Ansätze zur Lösung dieser Aufgabe von Autor vorgestellt.

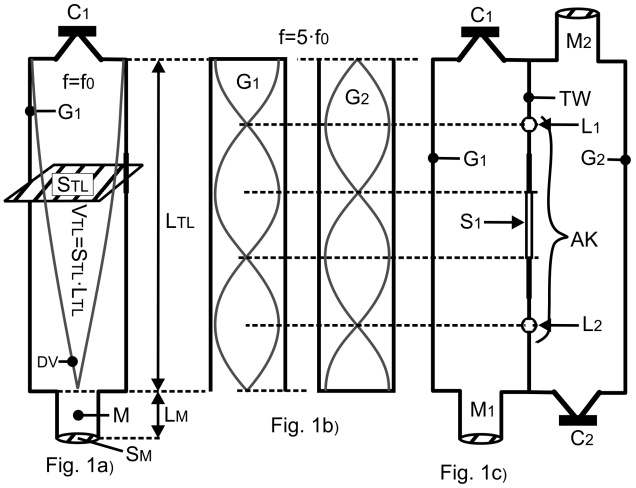

Fig. 1: Design 2 nach dem Prinzip von zwei akustisch gekoppelten TL-Segmenten zur Abschwächung von Oberton-Resonanzen ohne Schallanteile von der Rückseite der Membranen im Inneren des Gehäuses zu absorbieren (Verringerung des Wirkungsgrades): Zwei identische TL-Gehäuse (G1 und G2) sind antiparallel positioniert und miteinander akustisch verbunden durch diverse Öffnungen (L1, L2 und S1) an einer gemeinsamen Trennwand (TW).

Jedes ventilierte Lautsprechergehäuse besteht funktionell aus zwei folgenden Elementen: einem Hohlraum- und einer Luftauslassöffnung. Davon ausgegangen kommt folgende Generalisierung von Gehäuse-Bauarten zustande, abhängig davon, ob diese Elemente mit konzentrierten oder verteilten Parametern behaftet sind: Design 1 ist bekannte Bassreflex-Box (sowohl Volumen als auch beiderseitig offenes BR-Rohr mit konzentrierten Parametern). Das Gehäuse bildet ein Helmholtz-Resonator mit einer Grundton-Resonanzfrequenz, ohne Raummoden, jedoch mit dem Nachteil, dass für eine tiefe Abstimmung im Kompakt-Lautsprecher ein zu langes BR-Rohr erforderlich wäre. Design 2 ist bekannte Transmission-Line-Gehäuse (Volumen mit verteilten und Luftauslassmund mit konzentrierten Parametern) Es bildet sich Raummoden. Wenn man nun die akustische Verhältnisse umkehrt, entsteht eine neue Gehäuseart, nämlich Design 3, genannt Quasi-BR-Box (Volumen mit konzentrierten und quasi BR-Rohr mit verteilten Parametern): Ein langes, halbgeschlossenes Rohr (HGR) funktioniert als ein λ/4-Resonator, wobei die Grundton-Resonanzfrequenz etwa der Freiluft-Resonanzfrequenz des Tiefton-Chassis (C_1) entspricht. Die Ausführung ist hervorragend geeignet für einen flachen und kompakten Lautsprecher. Störende Oberton-Resonanzen (Raummoden) in einem Quasi-BR-Lautsprechersystem können durch akustische Anregung genannt „Multi Point Transmission Line Excitation" abgeschwächt werden. Mit der Technik lassen sich sehr kompakte Lautsprechersysteme realisieren, welche Tieftöne widergeben können. Design 4 ist ein ventiliertes Lautsprechersystem genannt Quasi-Transmission-Line-Box (Volumen und quasi BR-Rohr mit verteilten Parametern).

2. Quasi Bassreflex-Box

Bei der Anordnung in Fig. 2 können bezüglich einer passiven Bassanhebung folgende zwei Designziele verfolgt werden: a) die Grundton-Resonanz der T-Line aus Rohr (HGR), f_0, für passive Bassanhebung auszunutzen und Oberton-Resonanzen, f_1, f_2 usw., zu unterdrücken, und b) alle Resonanzen der T-Line aus dem Rohr (HGR) zu unterdrücken und das Rohr (HGR) als eine reine Induktivität zu behandeln (reines Bassreflex-Lautsprechersystem). Weil das Volumen des Gehäuses (FG) klein ist, wird die Designvorgabe unter a) bevorzugt.

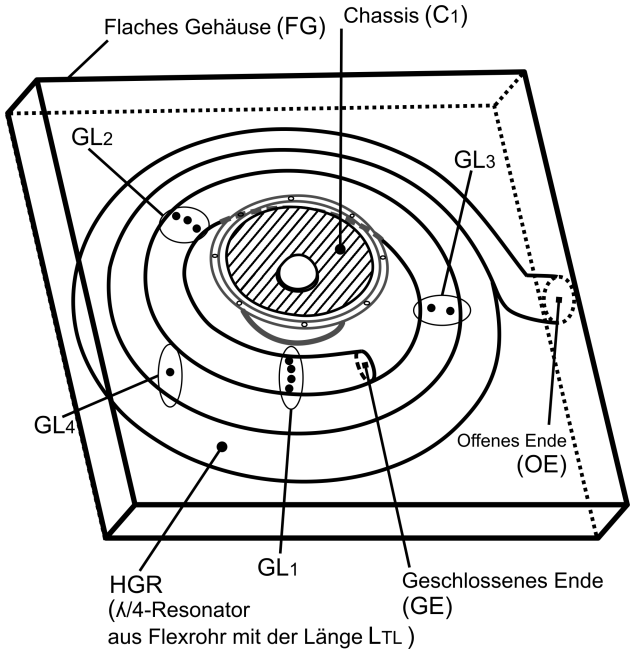

Fig. 2: Design 3: Quasi-Bassreflex-Box ist ein ventiliertes Lautsprechersystem mit unterdrückten Raummoden mit einem in mehreren Punkten akustisch angeregten λ/4-Resonator, der als ein quasi BR-Rohr funktioniert.

Design 3 sieht also zunächst eine Abschwächung von den Oberton-Resonanzen vor, z. B. im Bereich f_1 bis f_7, oder f_1

bis maximal f_{10}, indem eine „Multiple Point Excitation“, d. h. eine akustische Anregung des TL-Resonators (HGR) in mehreren Punkten, welche alle auf der Längsachse des Rohrs (HGR) angeordnet sind, folgenderweise stattfindet: An jeder Stelle entlang des Rohres (HGR), an welcher die Druckkurve bei der gewünschten Störresonanz (z. B. f_1 bis f_{10}) gleich Null ist, wird jeweils eine Öffnung in Form einer Gruppe von mehreren, identischen, runden Löchern (GL_1, GL_2, GL_3, GL_4 usw.), alle mit gleicher Längsposition (senkrecht auf Längsachse) auf der T-Line, angebohrt. Der λ/4-Resonator wird also „ortabhängig“ durch mehrere Öffnungen angeregt. Die Öffnungen sind diskontinuierlich, also bei einer ausgewählten Oberton-Resonanzfrequenz gleichermaßen am Rohr (HGR) an den Nullstellen der zugehörigen Druckkurve entlang des Rohrs angeordnet. Je höhere die Frequenz eines Obertones, desto dichter werden die Öffnungen entlang des Rohrs (HGR).

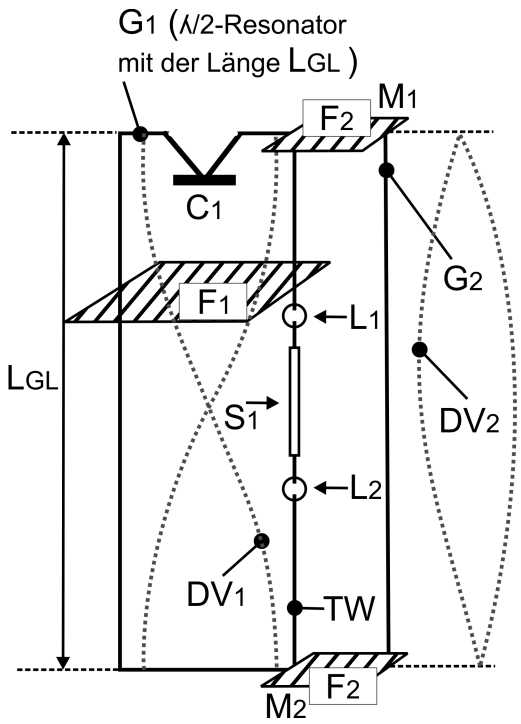

Fig. 3: Design 4: Quasi-TL-Box ist ein ventiliertes Lautsprechersystem mit unterdrückten Raummoden aus zwei akustisch gekoppelten λ/2-Resonatoren

3. Quasi-Transmission-Line Box

Fig. 3 zeigt ein säulenförmiges, geschlossenes Gehäuse (G1) mit einer Länge L_{GL} und mit einem quaderförmigen Querschnitt mit der Fläche F_1. Die Anordnung bildet ein beiderseitig geschlossenes Rohr, das als ein λ/2-Resonator mit einer Grundton-Resonanz bei der Frequenz f_1, $f_1 = c/(2 \cdot L_{GL})$, wobei c=Schallgeschwindigkeit, angeregt wird. Der Druckverlauf bei der Frequenz f_1 zeigt die Kurve DV_1. Oberton-Resonanzen entstehen bei den Frequenzen $f_2=2 \cdot f_1$, $f_3=3 \cdot f_1$, $f_4=4 \cdot f_1$ usw. Es wird angenommen, dass die Freiluft-Resonanzfrequenz vom Chassis C_1 3-4 Mal tiefer liegt als die Grundtonresonanz f_1, weil das Gehäuse G_1 meisten nicht so hoch sein wird. Aus dem Grund und weil das Volumen vom Gehäuse G_1 groß genug ist, ist es sinnvoll, die Unterdrückung von allen Gehäuse-Resonanzen infolge von stehenden Schallwellen als Designvorgabe zu definieren und das LS-System als reines BR-System mit einer Resonanz im Bereich der Freiluft-Resonanzfrequenz des Chassis C_1 zu betreiben.

Zu dem Zweck ist ein zweites Gehäuse (G_2) in Form eines beiderseitig offenen Rohrs mit der gleichen Länge wie das Gehäuse G_1 vorgesehen, welches als ein BR-Rohr funktioniert, und welches mit dem Gehäuse G_1 über eine gemeinsame Trennwand (TW) verbunden ist. Das Gehäuse G2 hat eine identische Länge (L_{GL}) wie das Gehäuse G_1, aber die Fläche F_2 des Schallaustrittsmundes (M_1 und M_2) ist gleich oder kleiner als die Fläche F_1. Das Gehäuse G_2 bildet einen BR-Kanal, der durch entsprechende Öffnungen in der gemeinsamen Trennwand (TW) mit dem Gehäuse G_1 akustisch gekoppelt ist. Die Öffnungen können in Form von einzelnen Löchern (L_1 und L_2) oder in Form eines Schlitzes (S_1) gewesen sein. Die Positionierung der Öffnungen ist im Beschreibungsteil zum Design 3 bereits beschrieben. Der Kanal G_2 bildet ein beiderseitig offenes Rohr, das als ein λ/2-Resonator angeregt werden kann, und besitzt die Raummoden bei den gleichen Resonanz-Frequenzen wie das Gehäuse G_1. Der Druckverlauf im Kanal bei der Frequenz f1 zeigt die Kurve DV_2. Die BR-Resonanzfrequenz wird mit der Dimensionierung der Fläche F_2 bestimmt.

5. Zusammenfassung

Passive Bassanhebung in einem herkömmlichen Bassreflex-Lautsprechergehäuse beruht auf dem Prinzip eines Helmholz-Resonators, der aus einem Hohlraum und einem BR-Rohr besteht. In der Analyse geht man davon aus, dass im System nur eine Grundton-Resonanzfrequenz existiert, also dass die größte Abmessung des Hohlraumes und/oder des BR-Rohrs klein gegen die Wellenlänge ist. In dem Fall stellt das Volumen des Hohlraums eine mechanische Kapazität (Luft-Nachgiebigkeit) und das BR-Rohr eine mechanische Induktivität (Luftmasse) dar. Bei der Konstruktion eines kompakten Gehäuses ist das Volumen sehr klein, sodass für eine BR-Abstimmung im Tieftonbereich die notwendige Länge des BR-Rohrs im Bereich der λ/4-Wellenlänge liegt. Die Folge davon ist, dass das BR-Rohr diverse Raummoden besitzt. Es wurde gezeigt, wie störende Resonanzen in einer Quasi-BR-Box durch eine akustische Anregung, genannt „Multi Point Transmission Line Excitation“, abgeschwächt werden können. Mit der Technik lassen sich extrem kompakte „full range“ Lautsprechersysteme realisieren. Die Quasi-BR-Box erhält ihre Bedeutung bei flachen Panel-Lautsprechersystemen, welche in Verbindung mit dem HD-Flat-TV betrieben werden. Bisher sei die bescheidene Tiefbasswiedergabe auf die dünnen LS-Gehäuse zurückzuführen.

Literatur:

[1] Patentschrift DE 10 2013 012 889: D. Sukalo, “Ventiliertes Lautsprechergehäuse mit unterdrückten Raummoden”