

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ САБВУФЕРА НА ЕГО ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

© 2016 г. Т.В. ЧЕРНЫШЕВА, И.В. СОБОЛЕВ

Московский технический университет связи и информатики

В настоящее время с повышением технического и культурного уровня общества становится востребованным всё более высокое качество воспроизведения разнообразных программ (музыка, кинофильмы), что в свою очередь повышает запрос на качественные бытовые акустические системы. Если для среднечастотных и высокочастотных составляющих систем выполнение не составляет труда, то для низкочастотных ситуация усложняется. Ниже рассмотрено применение метода электромеханических аналогий для расчетов параметров и характеристик сабвуферов конструкции банд-пасс 4-го порядка. Данная конструкция рассматривается по двум причинам. Во-первых, в связи с тем, отсутствует методика расчета параметров и характеристик для многокамерных сабвуферов, в том числе и банд-пасса 4-го порядка. Во-вторых, потому что, исходя из анализа, банд-пасс 4-го порядка является наиболее простой для расчета и внесения изменений многокамерная конструкция.

Сабвуфер – это часть акустической системы, предназначенная для воспроизведения низких частот. Именно они дают ощущение объема, глубины звучания, воспроизводят впечатляющие звуковые спецэффекты. Поэтому сабвуферы представляют особый интерес для широкого круга пользователей.

В зависимости от конструкции и типа акустического оформления характеристики сабвуфера меняются. Существуют следующие типы акустического оформления бытовых сабвуферов:

- закрытый ящик (рис. 1, а), а также ящик с пассивным излучателем;
- ящик с фазоинвертором (рис. 1, б), в том числе двухкамерная полосовая акустическая система (рис. 1 в, г) и трехкамерная полосовая акустическая система;

Для каждого сабвуферного динамика необходимо подбирать свой тип корпуса исходя из конструкционных, механических и электрических параметров. Наличие или отсутствие закрытого объема воздуха по одну сторону диффузора существенно влияет на звучание конкретного динамика. Также важно, что одни динамики по характеристикам подходят больше для оформления в закрытом корпусе, другие для ящика с фазоинвертором.

Для расчета рабочих объемов сабвуфера, размеров фазоинвертора, исходя из модели громкоговорителя, используют параметры Тилля-Смолла[3]. Для оптимизации расчетов и возможности моделирования сложных систем рекомендуется использовать специализированное программное обеспечение.

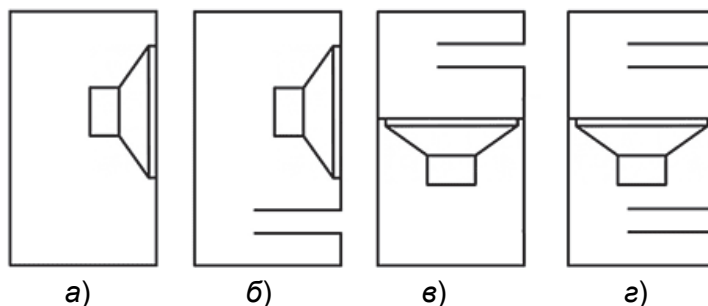


Рис. 1. Основные типы конструкции сабвуферов:
а – закрытый ящик, б – фазоинвертор, в – банд-пасс 4-го порядка, г – банд-пасс 6-го порядка.

Исходя из выше перечисленного, вытекает проблема расчета характеристик сабвуфера исходя из выбора типа оформления, конструкции и соблюдения определенной полосы воспроизводимых частот. Поскольку рекомендации по выбору элементов, расчетов для бытовых сабвуферов отсутствуют, тема считается актуальной.

В расчете параметров и характеристик сабвуфера используют метод электро-механических аналогий[5], согласно которому составляется сначала эквивалентная акустическая схема системы, затем эквивалентная электрическая схема.

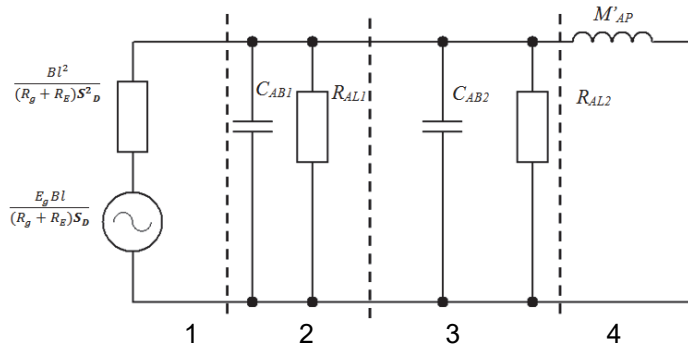


Рис. 2. Упрощенная эквивалентная акустическая схема банд-пасса 4-го порядка: 1 – источник сигнала, 2 – корпус 1, 3 – корпус 2, 4 – фазоинвертор.

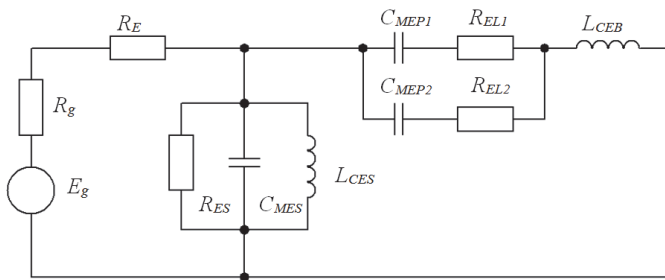


Рис. 3. Эквивалентная электрическая схема банд-пасса 4-го порядка.

Конструкции банд-пасс 4-го порядка соответствует эквивалентная акустическая схема, представленная на рис. 2. А также эквивалентная электрическая схема (рис. 3), которую можно использовать для математического моделирования с целью получения частотных характеристик.

Эти схемы упрощены в связи с тем, что активная составляющая сопротивления излучения фронтальной поверхности диффузора, масса воздуха, соколеблющаяся фронтальной поверхностью диффузора, масса воздуха, соколеблющаяся с тыловой поверхности диффузора, активная составляющая сопротивления излучения отверстия фазоинвертора в низкочастотной области имеют пренебрежимо малое значение на характеристику объемной скорости [4].

Исходя из параметров Тилля-Смолла, рассчитываются номиналы элементов схемы такие, как суммарная добротность системы $Q_{ТС}$, нормированная частота настройки фазоинвертора h , соотношение гибкостей подвеса и воздуха α , резонансная частота громкоговорителя f_s , добротность потерь в корпусе Q_L . По сколько в данном случае речь идет о банд-пассе 4-го порядка, т.е. двухкамерном сабвуфере, то добротность потерь в корпусе Q_L определяется потерями в обеих камерах.

Нормированная передаточная функция банд-пасса с малыми потерями будет выглядеть следующим образом:

$$H_{A4}(s) = \frac{s^4 T_0^4}{s^4 T_0^4 + \alpha_1 s^3 T_0^3 + \alpha_2 s^2 T_0^2 + \alpha_3 b_1 s T_0 + 1} \quad (1)$$

где $T_0 = \sqrt{T_B T_S} = T_S / \sqrt{h}$,

$\alpha_1 = \frac{Q_L + h Q_{TS}}{\sqrt{h} Q_L Q_{TS}}$, $\alpha_2 = \frac{h + (\alpha + 1 + h^2) Q_L Q_{TS}}{h Q_L Q_{TS}}$, $\alpha_3 = \frac{h Q_L + Q_{TS}}{\sqrt{h} Q_L Q_{TS}}$, - безразмерные коэффициенты;

$h = \frac{f_B}{f_s} = \frac{T_S}{T_B}$ - нормированная относительно f_s частота настройки фазоинвертора;

$\omega_B = 2\pi f_B = \frac{T_S}{T_B} = \frac{1}{\sqrt{C_{AB} M_{AP}}} = \frac{1}{\sqrt{C_{MEP} L_{CEB}}}$ - круговая частота настройки фазоинвертора,

$Q_L = \frac{Q_{L1} Q_{L2}}{Q_{L1} + Q_{L2}}$ - добротность, характеризующая щелевые потери;

$Q_{L1} = \omega_{B1} C_{AB1} R_{AL1} = \frac{1}{\omega_{B1} C_{MEP1} R_{EL1}}$ - добротность, характеризующая щелевые потери в первой камере с громкоговорителем;

$Q_{L2} = \omega_{B1} C_{AB1} R_{AL1} = \frac{1}{\omega_{B1} C_{MEP1} R_{EL1}}$ - добротность, характеризующая потери во второй камере с фазоинвертором;

$\alpha = \frac{C_{AS}}{C_{AH}} = \frac{L_{CES}}{L_{CEB}}$ - отношение гибкостей подвеса и воздуха в корпусе;

$Q_{TS} = \frac{1}{\omega_B C_{AS} R_{AT}}$ - полная добротность громкоговорителя;

$R_{AT} = R_{AS} + \frac{(BL)^2}{(R_g + R_E) S_D^2}$ - сопротивление потерь;

$\omega_S = 2\pi f_S = \frac{1}{T_S} = \frac{1}{\sqrt{C_{AS} M_{AS}}} = \frac{1}{\sqrt{C_{MES} L_{CES}}}$ - резонансная частота громкоговорителя;

$Q_{ES} = \omega_S C_{MES} R_E = \frac{\omega_S R_E M_{AS} S_D^2}{(BL)^2}$ - электрическая добротность громкоговорителя;

$Q_{MS} = \omega_S C_{MES} R_{ES} = \frac{1}{\omega_S C_{AS} R_{AS}}$ - механическая добротность громкоговорителя.

$$C_{MES} = \frac{M_{AS} S_D^2}{(BL)^2}, R_{ES} = \frac{(BL)^2}{R_{AS} S_D^2}, L_{CEB} = \frac{(BL)^2}{C_{AB} S_D^2}, R_{EL} = \frac{(BL)^2}{R_{AL} S_D^2},$$

$$C_{MEP} = \frac{M_{AP} S_D^2}{(BL)^2}, L_{CEB} = \frac{C_{AS} (BL)^2}{S_D^2}.$$

Для моделирования и изучения характера изменения передаточной и частотной характеристик в зависимости от изменения объема второй камеры, а значит и добротности щелевых потерь, произведем расчеты элементов эквивалентной электрической схемы (рис. 3) на примере громкоговорителя 25 ГД-26. Его параметры:

$f_s = 33,2$ Гц, $Q_{TS} = 0,503$, $Q_{MS} = 5,31$, $Q_{ES} = 0,563$, $M_{MS} = 25,6 \cdot 10^{-3}$ кг, $V_{AS} = 50,6 \cdot 10^{-3}$ м³, $S_d = 2,01 \cdot 10^{-2}$ м², $X_{D \text{ MAX}} = 6$ мм, $V_D = 1,21 \cdot 10^{-4}$ м³, $R_E = 3,5$ Ом. Зададимся $Q_{L1} = 7$ для первой камеры с громкоговорителем. Согласно таблице 4.3 из [4] выбираем параметры α , h и f_s/f_s , соответствующие аппроксимации по Баттерворту: $\alpha = 1,06$, $h = 1$, $f_s/f_s = 1$ [4].

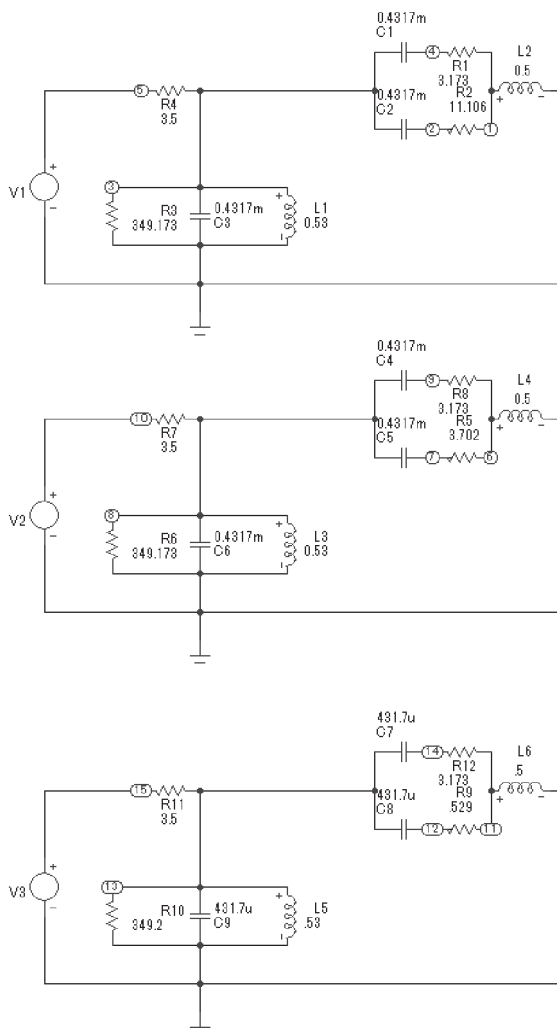


Рис. 4. Эквивалентные электрические схемы банд-пасса 4-го порядка для трех случаев добротности потерь во второй камере: а) $Q_{L2} = 1$, б) $Q_{L2} = 3$, в) $Q_{L2} = 21$.

$$C_{MES} = \frac{M_{AS} S_D^2}{(BL)^2} = 0,4317$$

$$R_{ES} = \frac{(BL)^2}{R_{AS} S_D^2} = 349,173 \text{ Ом}$$

$$L_{CES} = \frac{C_{AS} (BL)^2}{S_D^2} = 0,53 \text{ Гн}$$

$$C_{MEP1} = C_{MEP2} = \frac{M_{AP} S_D^2}{(BL)^2} = 0,4317 \text{ мкФ}$$

$$R_{EL1} = \frac{(BL)^2}{R_{AL1} S_D^2} = 3,173 \text{ Ом}$$

$$L_{CEB} = \frac{C_{AS} (BL)^2}{S_D^2} = \frac{L_{CES}}{\alpha} = 0,5 \text{ Гн}$$

Номинал резистора R_{EL2} , характеризующего активные потери в щелях ящика, зависит от добротности щелевых потерь Q_{L2} , поэтому рассчитаем значение номинала для трех значений добротности потерь:

$$R_{EL2} = 11,106 \text{ Ом при } Q_{L2} = 1;$$

$$R_{EL2} = 3,702 \text{ Ом при } Q_{L2} = 3;$$

$$R_{EL2} = 0,529 \text{ Ом при } Q_{L2} = 21.$$

Согласно полученным значениям элементов были составлены эквивалентные электрические схемы с рассчитанными номиналами (рис. 4). Данные схемы были введены в программу для моделирования электрических схем. Там же были получены

частотные характеристики каждой схемы (рис. 5). Верхний график соответствует случаю с максимальным значением добротности потерь в камере фазоинвертором, нижний – случаю с минимальным значением добротности потерь. На рис. 6 представлены результаты математического моделирования нормированной передаточной функции бандпасса характеристики с малыми потерями для трех значений добротности щелевых потерь (1).

Исходя из графиков (рис. 5, 6) следует вывод о том, при увеличении добротности щелевых потерь второй камеры, а значит и её объема, передаточная и амплитудно-частотная характеристика расширяется в сторону более низких частот, что увеличивает полосу воспроизводимых сабвуфером частот.

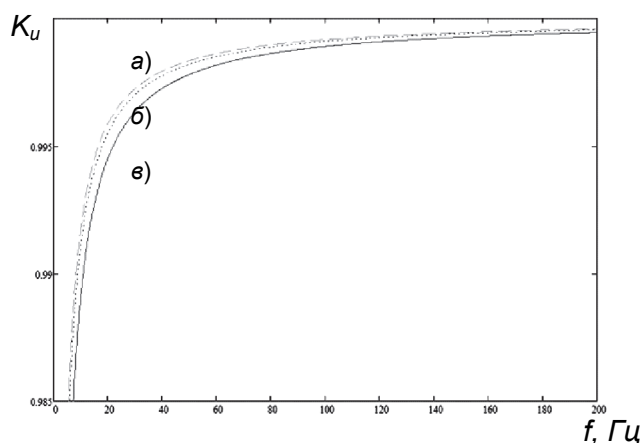


Рис. 6. Передаточная характеристика корпуса: а) $Q_{L2}=1$, б) $Q_{L2}=3$, в) $Q_{L2}=21$

На основании исследования и полученных результатов предлагается методика, позволяющая рассчитать частотные характеристики сабвуфера, исходя из заданных условий, а также позволяющая определить наиболее подходящий тип оформления, линейные размеры и соотношения внутренних размеров конструкции сабвуфера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шихатов А.И. Концертный зал на колесах. – М.: ДМК пресс, 2005. – 464 с.:
2. Вологдин Э.И. Основы электроакустики: методическое пособие / Э.И.Вологдин, ГОУВПО СПбГУТ. – СПб, 2008, - 42 С.
3. Small R.H. Direct-Radiator Loudspeakers System Analysis /Richard H. Small // IEEE Transactions on audio and electroacoustic. – 1971. – vol. Au-19 № 4. – С.269-281.
4. Алдошина И.А., Войшвилло А.Г. Высококачественные акустические системы и излучатели. – М.: Радио и связь, 1985. – 168 С.
5. Ефимов А.П. Усилительные устройства домашних звуковоспроизводящих устройств. Учебное пособие – М.: МТУСИ, 2002.- 43 С.
6. Под ред. Гитлица М.В. Радиовещание и электроакустика / Выходец А. В., Гитлиц М.В., Ковалгин Ю.А., Никонов А.В., Однолько В.В. - М.: Радио и связь, 1989. – 432 С.
7. Под ред. Саложкова М.А. Справочник «Акустика» – М.: Радио и связь, 1989 – 336 С.

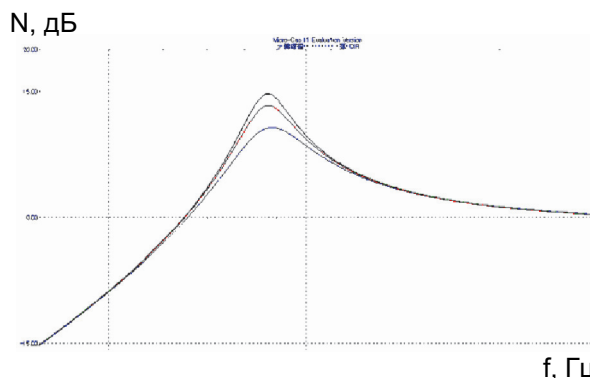


Рис. 5. Частотные характеристики, полученные в результате математического моделирования: а) $Q_{L2}=1$, б) $Q_{L2}=3$, в) $Q_{L2}=21$.

результаты, полученные при моделировании эквивалентной электрической схемы точнее и достовернее, т.к. учитывают большее количество физических процессов и явлений, больше параметров громкоговорителя и конструкции.

Также подбором номиналов элементов схемы можно получить оптимальную по заданным критериям частотную характеристику, например, более плоскую или более выпуклую частотную характеристику (рис. 5). Но более важно то, что с помощью моделирования электрических схем, эквивалентных другим оформлениям, имеется возможность выбрать наиболее подходящую конструкцию.