

Низкочастотное оформление громкоговорителя Акустический монополь

Идея

В основе моей идеи «Акустического монополя»¹ лежит принцип ортогонализации излучения фронтальной стороны диффузора головки громкоговорителя и излучения, рожденного внутри корпуса акустической системы (далее – АС) [1], [2]. Для снижения нижней граничной частоты, корпус АС выполнен в виде разновидности резонатора Гельмгольца. Если два указанных потока направить перпендикулярно друг другу, то их взаимодействие будет выражаться не в изменении отдачи АС в зависимости от разности фаз излучения головки громкоговорителя и резонатора (здесь и далее речь идет о низкочастотном звуковом диапазоне), а лишь в изменении формы результирующей волны в области сложения двух потоков. Такое сложение волн возможно, если одна из волн будет плоской, а вторая цилиндрической, причем первый поток проходит внутри второго, в продольном направлении. Излучение фронтальной стороны диффузора можно считать плоской волной на расстояниях от диффузора меньших, чем его геометрические размеры (см. рис. 1). Для получения цилиндрической волны в предлагаемой АС используется порт (тоннель) резонатора специальной, потокообразующей конструкции (см. рис.2). На расстояниях, меньших, чем геометрические размеры выходного отверстия порта, излучение можно считать цилиндрическим. Если эти два источника расположить на расстоянии друг от друга меньшим, чем их геометрические размеры, то результатом взаимодействия явится «коническая» волна изменяющейся формы в зависимости от разности фаз складываемых волн, но уже на расстояниях сопоставимых с геометрическими размерами источников эта результирующая волна становится обычной сферической волной.

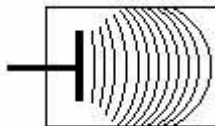


Рис.1 На малых расстояниях от колеблющейся мембраны, волну можно считать плоской. На больших расстояниях волна «превращается» в сферическую.

Преимущества

У предлагаемой АС имеется несколько преимуществ перед другими типами оформления. Отсутствует резкий спад отдачи АС ниже частоты резонанса головки и резонатора (как правило, эти частоты совпадают или расположены близко друг к другу), что характерно для акустического оформления в виде фазоинвертора (18 дБ/окт). При этом сохраняются преимущества фазоинвертора (высокая чувствительность, не повышается частота основного резонанса головки и т.д.) перед другими типами закрытого и открытого оформления. Искажения групповой задержки, из-за более пологого спада частотной характеристики (<12 дБ/окт) ниже частоты резонанса, при прочих равных условиях у предлагаемой системы меньше, чем у фазоинвертора, что снижает заметность фазовых искажений в области частоты основного резонанса головки АС [3].

На расстояниях больших, чем геометрические размеры излучающих поверхностей, т.е. на расстояниях, на которых обычно происходит прослушивание, излучение АС

происходит за счет единственного источника – ортогональной системы излучателей, в отличие от других акустических систем двойного действия (фазоинвертор, открытый ящик, трансмиссионная линия и т.д.). В предлагаемой системе, как и в фазоинверторе, имеется два излучателя, сама головка и порт резонатора. Резонатор имеет протяженные размеры, поэтому представляет собой систему с распределенными параметрами, из-за чего излучение от этих двух источников (головка и порт) не когерентны. В предлагаемой системе это приводит лишь к изменению формы результирующей волны в пространстве вблизи излучателей, поэтому если фазоинвертор в месте прослушивания представляет собой источник двух некогерентных сферических волн, то ортогональная система излучателей представляет собой единственный источник сферической волны. По указанным причинам звучание предлагаемой АС отличается от звучания фазоинвертора в басовом регистре «собранностью», естественностью и отсутствием «размазанности».

Реализация

Акустическая система содержит корпус с размещенной в ней диффузорной головкой громкоговорителя, закрепленной в кольцевой панели, которая крепится к корпусу акустической системы в одной или в нескольких точках внутри или снаружи акустической системы, наружу или внутрь магнитной системой, с воздушным зазором между передней панелью акустической системы и кольцевой панелью головки громкоговорителя, при этом ось головки громкоговорителя и ось отверстия акустической системы совпадают (см. рис. 2).

Для реализации описанного принципа применена система, напоминающая систему, предложенную французской фирмой Рибе-Дежарден в 60-х годах [4] и сегодня забытая, видимо не в последнюю очередь потому, что конструкция была защищена авторскими правами, а до ее широкого промышленного производства дело так и не дошло. Кроме того, принцип работы конструкции в то время был ясен не до конца, что не позволяло уйти от защищенной авторским правом конструкции и создавать другие системы, основанные на этом же принципе, разместив, например, панель с головкой снаружи корпуса АС или применив панель головки в виде кольца.

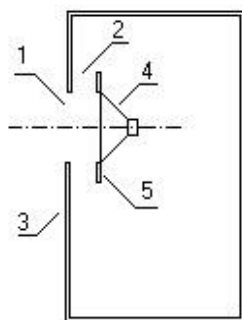


Рис.2 АС с головкой размещенной внутри корпуса, магнитной системой внутрь: 1 – отверстие акустической системы, 2 – воздушный зазор, 3 - передняя панель акустической системы, 4 – головка громкоговорителя, 5 – кольцевая панель громкоговорителя.

При работе корпус АС с панелью громкоговорителя образует резонатор. В области соприкосновения излучающих поверхностей излучение фронтальной стороны

диффузора в виде плоской волны и пространственно ортогональное излучение резонатора в виде цилиндрической волны складываются, при этом модуль суммарной объемной скорости увеличивается и не зависит от разности фаз между излучениями громкоговорителя и резонатора. В идеальном случае, модуль объемной скорости увеличивается в 1,41 раза. На практике, из-за весьма сложного характера распределения звукового давления вблизи колеблющейся мембраны, следует ожидать, что суммарная объемная скорость окажется несколько ниже, однако не настолько, чтобы эффект от сложения заметно уменьшился, особенно на низких частотах и на расстояниях, мылах по сравнению с размерами излучающих поверхностей [5].

Расчет

Для правильной работы АС необходимо, чтобы резонатор и головка в оформлении имели одну и ту же резонансную частоту. Для этого производят предварительный расчет АС по известным методикам расчета **фазоинвертора**, для чего используют номограммы, формулы или соответствующие компьютерные программы для расчета фазоинвертора с щелевым портом. Задавшись необходимыми параметрами головки (частота основного резонанса, добротность, эквивалентный объем и т.д.), размером корпуса или частотой резонанса **фазоинвертора**, производят расчет конструкции предлагаемой АС. При этом необходимо учитывать, что порт резонатора представляет собой кольцевую щель. Длина щели (в нашем случае - длина окружности отверстия в передней панели АС), ширина кольцевой панели громкоговорителя и ее расстояние до передней панели АС – параметры, определяющие размеры порта резонатора и соответственно его частоту. При расчете следует придерживаться следующих рекомендаций:

- ✓ так как фазовые искажения наиболее заметны на частоте 40 Гц, при расчете следует избегать эту резонансную частоту и ориентироваться на частоты 20 Гц или 60 Гц [3],
- ✓ радиус отверстия в панели АС должен быть меньше радиуса диффузора на половину ширины гофра;
- ✓ ширина кольца должна быть минимальной, в этом случае добротность резонатора будет меньше, и вероятность появления «бубнения» будет сведена к минимуму;

Сборка

Конструкция АС позволяет крепить панель громкоговорителя к передней панели АС в минимально возможном количестве точек, при этом устойчивость и надежность крепления будет обеспечена, если крепление осуществить хотя бы в трех точках. В этом случае корпусу АС будет передаваться минимум механической энергии от головки громкоговорителя, поэтому будет сведено к минимуму переизлучение звуковой энергии стенками АС и вероятность рождения паразитных резонансов, которые приводят к появлению «волчьих нот», «размазыванию» и окраске звучания на низких частотах [6], [7]. В металлические или пластмассовые трубки сквозь отверстия в панели громкоговорителя вставляются шурупы, с помощью которых кольцевую панель с головкой крепят к передней панели АС, при этом длина трубок определяет расстояние между панелями.

Налаживание

Произведя расчет и собрав АС, приступают к настройке системы, которая ничем не отличается от настройки фазоинвертора. Меняя расстояние между кольцевой панелью громкоговорителя и панелью АС (используя комплекты трубок различной длины), добиваются совпадения резонансных частот резонатора и головки громкоговорителя, контроль ведут по Z-характеристике или другими методами.

Применение

Описанное оформление применено мною в качестве низкочастотной секции акустической системы, построенной в соответствии с принципами «Бескомпромиссной АС»². Акустическая система содержит два динамика: широкополосную головку 10ГД36К(4Ом), работающую в диапазоне частот от 100 Гц до 25 кГц, подключенную непосредственно к 4-омному выходу усилителя и низкочастотную головку 100ГДН3(8 Ом), установленную в описанное оформление и работающую в диапазоне от 28 Гц до 100 Гц. Низкочастотная головка подключена к 8-омному выходу усилителя синфазно с широкополосной головкой, через индуктивность, намотанную на стальном незамкнутом сердечнике. Монтаж акустической системы и ее подключение к усилителю выполнены медным одножильным проводом, смотанным со вторичной обмотки выходного трансформатора от довоенного приемника фирмы Telefunken, как обладающим наибольшей звуковой и музыкальной точностью [8]. Эзотерическое направление проводов выбрано в соответствии с наиболее ясным и собранным звучанием системы, в соответствии с эмпирическими правилами, опубликованными в [9]. Звучание акустической системы отличается мощным, собранным и одновременно прозрачным и натуральным басом, который не маскирует другие частотные диапазоны.

Благодарности

Я выражаю благодарность А. М. Лихницкому, прочитавшему статью и обсудившему со мной ее основные положения, А. Ю. Соколову, который потратил не один час в обсуждении со мной принципов работы предложенной АС, а также всем, кто написал мне письма с просьбой подробнее раскрыть принцип работы АС, способы ее расчета и налаживания. Именно благодаря письмам, пришедшим ко мне по электронной почте, появилась эта короткая статья.

Литература

1. Гайдаров А.С. Патент РФ № 2102838 (1998.01.20) Малогабаритный громкоговоритель. Рефераты российских патентных документов.
2. Носов В. Акустическое короткое замыкание в громкоговорителе и его преодоление. – Радио, 2003, № 1, с. 14
3. Демидов Ф., Ишуткин Ю., Лихницкий А. Восприятие фазовых искажений в области частоты основного резонанса головки громкоговорителя. – ВНИИРПА, октябрь 1980г.
4. Бессон Р. Все о стереофонии. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963, с. 57.
5. Скучик Е. Основы акустики. Том 2. – М.: Мир, 1976, с. 278
6. James Moir. Structural Resonances in Loudspeaker Cabinets. Journal of the British Sound Recording Association. 1961, vol. 6, pp. 183-187.
7. James K. Iverson. The Theory of Loudspeaker Cabinet Resonances. JAES, April 1973, Vol. 21, # 3, p.p. 177-180.

8. [Лихницкий А. "Telefunken" – жизнь после смерти. - АудиоМагазин № 2\(31\) 2000, с. 121-124.](#)
9. [Степичев А. Построение усилителя с учетом направлений электрических компонентов. – Интернет ресурс «Сквозь асфальт. О музыке, звукозаписи и звуковоспроизведении», 2005 г.](#)

¹ Заявка на изобретение №2003124604/28 от 2003.08.11

² Принципы построения «Бескомпромиссной АС» [заявлены А. Лихницким на Интернет форуме AML](#)

[С. Шабәд](#)
Москва
26.07.05.