

ФОРМИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО КОЛЕБАНИЯ ЗАДАННОГО ПРОФИЛЯ ГРУППОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ, ПРЕДСТАВЛЯЮЩИХ СОБОЙ ЧЛЕНЫ РЯДА ФУРЬЕ

Г.И. Сокол, канд.техн.наук, доцент

Днепропетровский национальный университет

Разработан способ, позволяющий получить в заданной точке акустического поля акустическое колебание в виде импульса или колебания в виде последовательности импульсов predeterminedного профиля. Способ наиболее эффективен для воспроизведения кусочно-разрывных функций (последовательностей прямоугольных, треугольных и других импульсов). Реализация способа не зависит от типа акустических возбудителей в рамках линейной акустики. Генерирование колебания производится формированием вспомогательных гармонических колебаний с амплитудами, частотами и фазами, равными амплитудам, частотам и фазам - составляющим ряда Фурье.

С помощью акустических полей, генерирующих акустические колебания различного профиля, производят очистку труднодоступных поверхностей, например, внутренних поверхностей труб и котлов. Здесь требуется сформировать акустические колебания в виде отдельного импульса или последовательности из импульсов с заданными характеристиками.

Пути решения данной проблемы были частично представлены в научных работах [см. 1]. Nakamura Toshiaki, Nakamura Akir разработали метод генерации синусоидальных звуковых импульсов конечной амплитуды синусоидальным звуком в свободном пространстве. В работе не определен качественный и количественный вклад отдельных составляющих. Возбуждение акустических импульсов распределенными источниками, движущимися с трансзвуковой скоростью описано у В.Э. Гусева и А.А. Карабутова. Возбуждение импульса, длительно генерируемого в определенной точке пространства в данном случае проблематично. Предложены способы получения звукового импульса в отдаленной точке акустического поля в линейной постановке задачи. Представленные способы отличаются сложностью исполнения. Например, в способе, представленном Я. А. Кумченко с соавторами генерирование колебания низкой частоты производится формированием вспомогательных гармонических акустических колебаний разных частот в волновые пакеты. Недостатком предложенного метода является отсутствие возможности профилировать импульс любой формы.

Целью настоящей работы является создание способа формирования акустического колебания в виде отдельного импульса или последовательности импульсов практически любой формы в заданной точке пространства и разработка устройства, осуществляющего этот способ.

Предпосылками для создания нового способа стала низкая эффективность генерирования низкочастотных акустических колебаний с помощью отдельного излучателя. Отличительной особенностью единичных излучателей низких частот является малая активная составляющая акустической мощности. Сферичность фронта низкочастотного акустического поля предполагает значительное уменьшение уровня звукового давления с расстоянием из-за действия гиперболического закона. Использование рупоров неэффективно из-за проявления нелинейных явлений при распространении вдоль рупора волны большой амплитуды [2].

Интерес представляет создание не просто акустического колебания в дальнем поле, уровень звукового давления в котором соответствует начальной амплитуде единичного излучателя в виде импульса, а еще и насыщенного низкочастотными составляющими [3].

Процесс формирования повторяющегося импульса заданной формы в определенной точке акустического поля является типичным периодическим колебательным процессом.

Общее математическое выражение периодического процесса задают функцией $f(t)$ от времени t , имеющей свойство повторять свое значение через интервалы, равные периоду T . Это свойство выражают в форме соотношения [4]

$$f(t) = f(t + T).$$

Если периодическая функция с периодом T в интервале $t, t + T$ имеет конечное число максимумов и минимумов, а в точках разрывов удовлетворяет условию Дирихле

$$f(t) = \frac{f(t - 0) + f(t + 0)}{2},$$

то она может быть представлена в виде ряда Фурье [5], который часто записывают в форме:

$$f(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} A_m \cos \left(\frac{2m\pi t}{T} - \alpha_m \right),$$

здесь где m — номер гармоники, A_0, A_m — коэффициенты ряда, α_m — фаза.

В работе [6] представлены функции, описывающие импульсы различного вида (треугольного, колокообразного, прямоугольного, треугольного и так далее). При использовании компьютерных вычислительных средств легко расчетным путем по стандартным формулам теории антенных решеток получить необходимые значения амплитуд, частот и фаз задаваемого профиля [7, 8]. Импульс любой конкретной формы характеризуется спектром, который начинается с нулевой моды и стремится к бесконечности. Из разложения в ряд Фурье прямоугольного импульса с периодом T и длительностью импульса T/n ($n > 1$) и амплитудой h имеем для амплитуд и фаз отдельных гармонических составляющих.

$$A_m = \frac{2h}{m\pi} \sin \frac{m\pi}{n}, \quad \alpha_m = \frac{m\pi}{n}. \quad (1)$$

С увеличением n (с уменьшением частоты повторения прямоугольного импульса) увеличивается число спектральных компонент, с помощью которых может быть представлена функция. В пределе, когда $n \rightarrow \infty$, линейчатый спектр обратится в сплошной.

Разработанный способ формирования акустического колебания [3] заключается в генерировании, фокусировании и локализации в заданной области пространства акустических сигналов от N первичных источников с определенными амплитудами, частотами и фазами. Для синтезирования акустического колебания заданной формы генерирование колебания производят формированием вспомогательных гармонических акустических колебаний с частотами, амплитудами и фазами, равными частотным, амплитудным и фазовым составляющим, соответствующим первым N коэффициентам ряда Фурье.

Реализация способа не зависит от типа акустических возбудителей в рамках линейной акустики. Отдельные возбудители могут быть расположены вдоль линии или с целью улучшения фокусировки на поверхности зеркала любой приемлемой для фокусировки формы, например, параболической. Согласно [9] для осуществления направленного излучения системы акустические излучатели должны быть расположены, например, на прямой линии на одинаковом расстоянии d друг от друга, равном $d = \lambda / 2$ (λ — длина волны). На большом расстоянии разница пробега между сферическими лучами, излучаемыми источником N и источником $N-1$, будет составлять: $\Delta r = d \sin \gamma$ (γ — угол между направлением наблюдения и направлением, перпендикулярным к поверхности излучения).

Рассчитаем звуковое поле, создаваемое системой из пяти диффузорных

громкоговорителей, расположенных на одной прямой в пределах плоскости, проходящей через оси излучателей. Каждый излучатель на низких частотах обычно излучает сферическую волну.

Звуковое давление p гармонической акустической волны на расстоянии r от одиночного источника описывается выражением:

$$p = \frac{p_1}{r} \exp \left[j\omega \left(t - \frac{r}{c} \right) \right] = p_m \exp \left[j\omega \left(t - \frac{r}{c} \right) \right] \quad (1),$$

где: $p = p_m / r$, где: p_m - начальная амплитуда, c - скорость распространения звука в среде, r - расстояние, ω - круговая частота.

Форма диаграммы направленности $R(\Theta)$ группового излучателя, состоящего из n диффузных громкоговорителей, определена согласно [9].

В заданной точке на оси группового излучателя давления p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 от каждого из сферических излучателей суммируются на основе принципа суперпозиции. В результате в заданной точке наблюдения имеем: $p_N = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5$. Точку формирования импульса помещаем в область дальнего акустического поля, начинающегося с расстояния r_{min} , большего, чем длина волны звука λ_l от излучателя, представляющего первую из составляющих ряда Фурье: $r_{min} \geq \lambda_l$. На рисунке 1 представлены спектральные составляющие разложения последовательности из импульсов прямоугольной формы (для $n = 2$), определенные согласно (1).

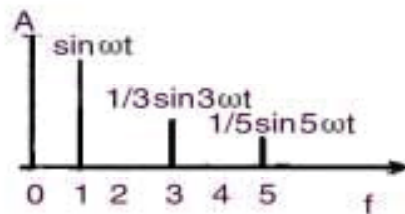


Рис. 1. Спектральные составляющие разложения последовательности из импульсов прямоугольной формы.

Рассмотрим схему устройства, реализующего способ. На рис.2 представлена схема акустической системы, реализующей способ синтеза акустического колебания.

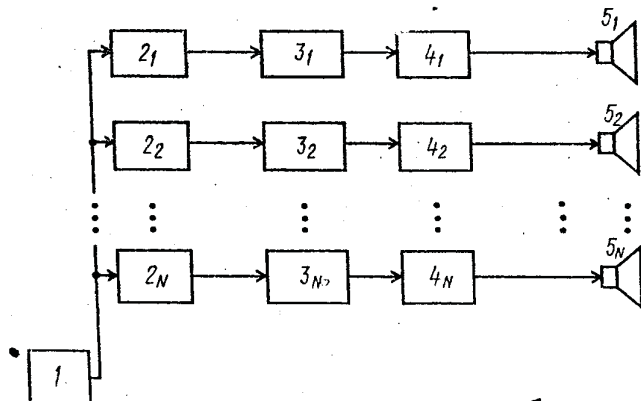


Рис. 2. Схема устройства, реализующего способ.

Устройство состоит из схемы начального запуска 1, генераторов $2_1 - 2_N$ гармонических колебаний, фазовращателей $3_1 - 3_N$, усилителей $4_1 - 4_N$ и излучателей звука $5_1 - 5_N$.

Работу устройства рассмотрим на примере первого канала системы.

По сигналу генерируемому схемой 1 начального запуска генератором $2_1 - 2_N$ начинают создавать гармонические колебания с частотами $\omega_1 \dots \omega_N$, с соответствующими частотам первых «N» Фурье - гармоник задаваемого сигнала. На выходе генераторов сигналы имеют вид: $U_{11} = \sin(\omega_1 t)$. Сигналы поступают дальше на фазовращатели $3_1 - 3_N$, формирующие необходимые сдвиги и сигнал приобретает вид: $U_{12} = \sin(\omega_1 t + \varphi_1)$ где φ_1 - необходимый фазовый сдвиг. Сигналы U_{12} поступают на усилители $4_1 - 4_N$, которые формируют необходимое соотношение между амплитудами гармоник, соответствующим коэффициентам разложения Фурье. Таким образом на выходе усилителей присутствует сигнал вида: $U_{13} = A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi)$. С учетом фазовых искажений тракта соотношение имеет вид $U_{13} = A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1 + \delta\varphi_1)$, где $\delta\varphi_1$ - коррекция фазовых искажений тракта формирования гармоник.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработаны новый способ и устройство, предназначенные для формирования низкочастотного акустического колебания в виде импульса с использованием теории разложения функций в ряды Фурье.
2. Рассчитаны амплитуды, частоты и фазы для отдельных излучателей акустической системы, осуществляемой способ. Посредством компьютерного моделирования сформирована последовательность импульсов прямоугольной формы в дальнем акустическом поле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сокол Г.И. Особенности инфразвуковых процессов в инфразвуковом диапазоне частот. – Днепропетровск: Промінь, 2000. — 136 с.
2. G. Sokol. Some Aspects in Low Frequency Acoustic Processes // Вісн. Дн-кого ун-ту, Механіка, 1, вип.3. — 2000. — С.87 - 92.
3. Способ формирования акустического колебания. А. с. №. 1693631, СССР. // Авт. изобр. Бондарев В.Д., Сокол Г.И., Козловский И.А., Шамровский Д.А. – 1978.
4. Липендин В.А. Акустика. – М.: Наука, 1980. – 546с.
5. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. — М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит. 1986.—554 с.
6. Pitoonov L. Les infra - sons. – Paris: CNRS, 1976. – 277 p.
7. Сокол Г.И., Савчук В.Н. Способ формирования акустического колебания. // Друга Всеукр. Молодіжна науково-практ. конф. з міжнар. участю “Людина і космос”, Дн-ськ: НЦАОМУ, 2000. . — С.247.
8. Сокол Г.И., Савчук В.Н. Проектирование системы акустических излучателей, предназначенной для моделирования колебаний заданного профиля. // В кн. Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки,– Дн-к: Навчальна книга, т.3. — 2001. — С. 35 - 45.
9. В.К Иоффе , В.Г. Корольков, М.А. Сапожков. Справочник по акустике. — М.: Связь, 1979. — 312 с.