



УДК: 534.23

С. А. Башарин, Ш. Я. Вахитов, В. Ю. Карельский  
Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения

## Повышение качества звука акустических систем на основе учета нелинейных искажений магнитного поля

*Предлагаются результаты исследования возможностей улучшения качества звукового сопровождения в кинотеатрах и киноконцертных залах, проведенного на основе моделирования процессов электромагнитного взаимодействия переменного поля звуковой катушки и постоянного поля магнитного зазора при формировании силы, управляющей подвижной системой громкоговорителя. Предлагается методика компьютерного моделирования звуковоспроизводящих систем и результаты исследования магнитного поля в зазоре магнитной системы громкоговорителя.*

### Повышение качества звука, моделирование магнитного поля, пространственные звуковые образы, показатели нелинейных искажений, акустический фронт импульса

Современные кинотеатры и концертные залы предъявляют высокие требования к качеству воспроизведения звукового сопровождения видеоизображения. Звукоряд несет половину, если не больше, художественной и эстетической нагрузки всего кинопроизведения. К художественной стороне относятся тонкие нюансировки голосов актеров, а к эстетической – не только проработанность вокальных фрагментов, но и реалистичность динамической и пространственной структур звуковых образов. Во многом это достигается путем совершенствования конструкции динамических громкоговорителей и акустических систем, основой правильной работы которых является взаимодействие постоянного магнитного поля зазора магнитной цепи и переменного поля, наведенного током звуковых частот посредством звуковой катушки. Формирование силы, которая воздействует на подвижную систему и обеспечивает создание соответствующего фонограмме звукового сигнала в упругой воздушной среде, является прямым следствием этого процесса. Исследованию подобных явлений посвящают свои теоретические и экспериментальные исследования многие зарубежные и отечественные фирмы [1], [2].

Кроме зарубежных производителей акустических систем, которые являются ведущими в этом направлении, таких как *MeyerSound*, *Electrovoice*, *JBL*, *MartinAudio* и др., аналогичными исследованиями занимается российская компания «Референс Тест» в тесном сотрудничестве с учеными и препода-

вателями института кино и телевидения. На основе результатов этих исследований компания занимается научно-исследовательской и конструкторской работой с последующим производством на заказ мониторов и измерительного оборудования для звуковой и промышленной индустрии.

«Референс Тест» много лет создает акустические системы с уникальными электроакустическими характеристиками, о чем свидетельствуют многочисленные дипломы и кубки победителей международных тендеров, соревнований и выставок. Многие отечественные концертные залы и кинотеатры оборудованы акустическими комплексами, созданными специалистами этой фирмы. На рис. 1 показан зал Театра комедии в Санкт-Петербурге с установленным оборудованием фирмы «Референс Тест».



Рис. 1

Проводимые в рамках прикладных проектов исследования физических процессов преобразования электрических сигналов в звуковые колебания позволяют создавать воспроизведение пространственных звуковых образов в качественно новом звучании.

В настоящей статье предлагаются новые результаты исследований, полученные путем моделирования процессов электромагнитного взаимодействия переменного поля звуковой катушки и постоянного магнитного поля зазора при формировании силы, управляющей подвижной системой громкоговорителя.

Как известно [3], [4], в динамике происходит взаимодействие магнитного потока, создаваемого постоянным магнитом, с потоком, создаваемым в результате протекания тока в катушке.

Согласно закону Ампера на элемент проводника с током, помещенным в магнитное поле, действует сила, определяемая выражением

$$F = IB\Delta l \sin \varphi,$$

где  $I$  – ток, вызванный звуковым сигналом;  $B$  – индукция магнитного поля в зазоре сердечника;  $\Delta l$  – элемент проводника с током;  $\varphi$  – угол между вектором магнитной индукции и направлением тока в проводнике.

Эта сила стремится изменить геометрическую координату проводника с током относительно силовых линий магнитного зазора и скорость смещения проводника с током, которая определяется массой подвижной системы, присоединенной к звуковой катушке. В свою очередь, силовые линии поля в зазоре под действием магнитного поля, наведенного звуковой катушкой, изменяют свое положение. В постоянном магнитном поле полная сила, действующая на проводник с током, представляет собой векторную сумму элементарных сил, действующих на единицу длины проводника [1].

Изменение координаты проводника влечет за собой изменение конфигурации линий магнитного поля, которое определяется результатом суперпозиции полей, создаваемых постоянным магнитом динамика и протеканием тока в движущемся проводнике.

На рис. 2, а представлен результат компьютерного расчета магнитного поля в зазоре магнитной цепи динамического громкоговорителя без внесения проводника в зазор магнитной цепи. Расчет выполнен с помощью компьютерной программы расчета магнитных полей *Elcut*.

При внесении проводника с током в постоянное магнитное поле в зазоре магнитной цепи результаты расчета будут отражать деформацию силовых линий магнитного поля относительно случая отсутствия проводника с током (рис. 2, б).

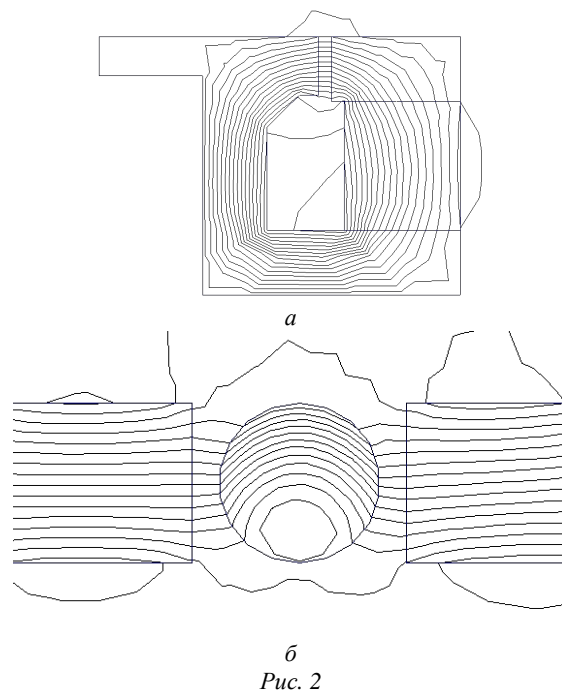


Рис. 2

Как показывают результаты экспериментов, вследствие инерции покоя подвижной системы громкоговорителя в начальный момент времени

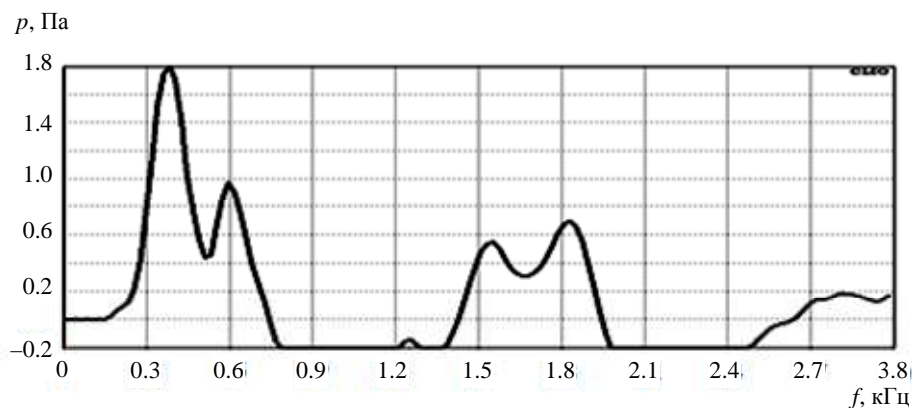


Рис. 3

проводник неподвижен, а его магнитное поле вытесняет постоянное поле из зазора. Это приводит к плавному нарастанию скорости подвижной системы, причем ускорение при этом будет зависеть от массы подвижной системы и напряженности магнитного поля в зазоре. Последнее обстоятельство приводит к уменьшению крутизны акустического фронта по сравнению с крутизной фронта соответствующего электрического сигнала, что можно наблюдать на начальном участке импульсного отклика по давлению  $p$  в среде (см. рис. 3).

Для получения акустического фронта импульса, соответствующего исходному электрическому сигналу, при расчетах динамических процессов в генераторе в схеме замещения акустического динамика необходимо учесть результаты наложения полей.

Для уточненного расчета снимаются количественные показатели нелинейных искажений по общей картине поля (рис. 4).

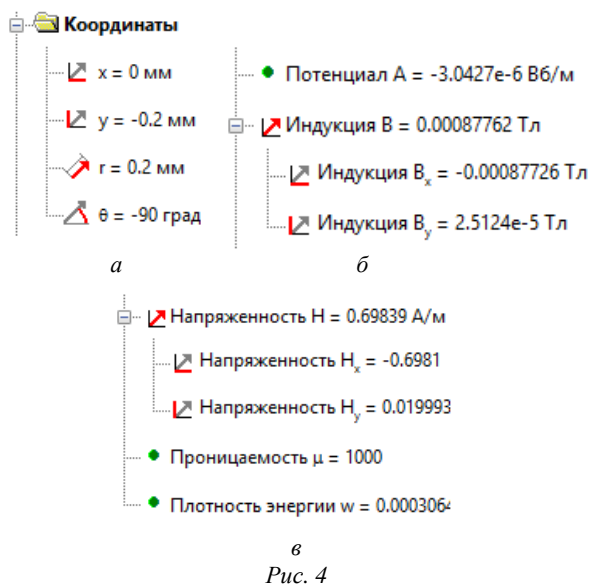


Рис. 4

Они включают массив мгновенных значений положений координат точек измерения, выраженных в декартовых и полярных координатах (рис. 4, а), массивы значений потенциала точек измерения и массивы значений индукции в дискретных точках, включая проекции вектора индукции на оси абсцисс и ординат (рис. 4, б), и массивы напряженности магнитного поля магнитной проницаемости и плотности энергии (рис. 4, в).

Сила Ампера определяет электродвижущую силу источника переменного сигнала, имитирующего входной звуковой сигнал в схеме замещения электродинамического громкоговорителя. Сила, действующая со стороны магнитного поля на про-

водник с током, изменяется произвольно по мере изменения входного звукового сигнала и представляется нелинейной функцией, зависящей от индукции магнитного поля в зазоре, силы тока, протекающего в проводнике, и от их взаимодействия.

Для получения уточненной картины изменения действующей на проводник силы необходимо массив полученных значений тока и индукции представить в виде нестационарного массива рассчитанных значений электродвижущей силы источника входного сигнала. Очевидно, результирующий массив значений электродвижущей силы будет определять нелинейную функцию, интерполяция которой позволит подробно в численном виде описать входной звуковой сигнал и соответствующий ему силовой фактор.

Поскольку массивы значений входных индукции и тока могут иметь большую размерность, вычисление результирующего массива значений электродвижущей силы можно выполнить с помощью компьютерной программы визуального программирования Multisim. Программа позволяет с помощью источника напряжения управляемого током (ИНУТ) и простейшей схемы с мультиплексором в автоматизированном режиме формировать необходимый выходной массив (рис. 5).

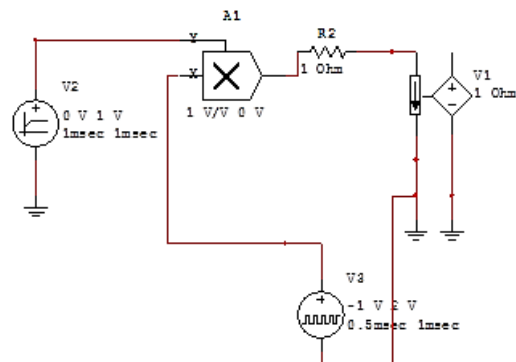


Рис. 5

В представленной схеме на входе ИНУТ в результате мультиплексирования формируется сигнал, имитирующий нелинейное изменение силы Ампера, вызванное переменным входным звуковым сигналом. Источник V2 отражает массив мгновенных значений тока в проводнике катушки подвижной системы. Он характеризует массив значений магнитной индукции, а источник V1 определяет нелинейные изменения силы Ампера.

В результате предложенная методика уточненного расчета изменений нелинейного характера воздействий в схеме замещения электродинамического громкоговорителя позволяет получить

полную картину изменений электрических сигналов в схеме замещения электродинамического громкоговорителя и, как следствие, получить в ней подробную картину распределения звуковых давлений в упругой среде. Кроме того, проведенные расчеты позволяют определить параметры схемы

замещения, эквивалентные скоростям колебаний элементов подвижной системы. Учет полученных результатов при проектировании и изготовлении акустических систем в конечном итоге повышает качество воспроизводимого звука.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Башарин С. А., Федоров В. В. Теоретические основы электротехники. М.: Академия, 2013.

2. Панкин А. М. Введение в теорию диагностирования электротехнических систем. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2012.

S. A. Basharin, Sh. Ya. Vakhitov, V. Yu. Karelian  
*Saint Petersburg State Institute of Film and Television*

#### IMPROVING THE SOUND QUALITY OF ACOUSTIC SYSTEMS ON THE BASIS OF NONLINEAR DISTORTION OF THE MAGNETIC FIELD

*The results of the research of improving the quality of sound in movie theaters, concert halls, performed on the basis of modeling of processes of electromagnetic interaction of the alternating field of the voice coil and the permanent magnetic field of the gap in the formation of the force, of the management of the movable loudspeaker system. The technique of computer simulation of sound systems and the results of the study of the magnetic field in the gap of the magnetic system of the loudspeaker.*

**The increase in sound quality, modeling of the magnetic field, spatial sound images, indicators of harmonic distortion, acoustic pulse front**