РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ИОНОФОНА С ПЛАЗМЕННЫМ ШАРОМ В ЕДИНОМ КОРПУСЕ

Сесюгин З.Д.

г. Вологда, МОУ СОШ № 5, 7 «Г» класс

Научный руководитель: Биловол Е.О., г. Вологда, учитель физики, МОУ СОШ № 5

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что привычные устройства с одной стороны, могут работать на совершенно других принципах, а с другой быть много функциональными. Так, известен способ получения звука с помощью ионного громкоговорителя [1-5]. Данное устройство отличается тем, что обладает более высоким кпд преобразования и малыми габаритами, по сравнению с известными громкоговорителями.

Объект – принципиальная схема получения разряда для ионофона.

Предмет – синтез схем для ионофона и плазменного шара с увеличенной эффективностью.

Целью работы является разработка конструкции ионного громкоговорителя, с возможностью переключения в режим плазмошара.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

– поиск литературы по теме проекта, анализ и синтез различных точек зрения устройства и создания ионофона;

– изготовление печатной платы ионофона;

– получение звука с помощью ионофона;

– разработка конструкции с возможность подключения плазмошара;

– оценка безопасного расстояния до работающего стационарно прибора.

Практическая значимость заключается в том, что данное устройство может воспроизводить как чистый звук, так и выполнять функцию светильника (плазмошар), что по стоимости может быть ниже, чем каждая функция в отдельности.

Следующая часть работы заключается в исследовании физических параметров полученного устройства, улучшения их эффективности и оценки себестоимости проекта.

Генерация звуковых колебаний

Первый громкоговоритель был изобретен Беллов в 1876 г. [6]. На сегодняшний день принцип работы электродинамических громкоговорителей не изменился. Однако подобный громкоговоритель обладает рядом недостатков, вследствие чего актуален вопрос исследования альтернативных методов электро-акустического преобразования энергии. В подобной роли могут выступать акустические устройства на основе плазмы и коронного разряда, которые имеют важное преимущество прямого преобразования электрического сигнала в звуковой.

Способы создания звука

Источником звука могут быть любые явления, вызывающие возмущения упругой среды, то есть местное отклонение давления от равновесного значения. В создаваемых искусственно излучателях звука для этой цели используются колебания твердых тел (диффузоры громкоговорителей, пьезоэлектрические пластины, мембраны телефонов) или ограниченные объемы воздушной среды (органные трубы и свистки). В природе звуки возбуждаются при обтекании твердых тел потоком воздуха, за счет образования и отрыва вихрей, например при обдувании ветром углов зданий или гребней морских волн. Звуки низких и инфранизких частот возникают при взрывах, обвалах и землетрясениях.

Низкочастотные колебания возникают во время землетрясений, штормов, смерчей, торнадо. Для человека восприятие подобных колебаний лежит в субсенсорной области. Субсенсорные воздействия, неосознаваемые человеком, вызывают изменения в его электроэнцефалограмме, электрической активности кожи и других биологических параметрах. Используя систему мониторинга с применением биологической обратной связи (БОС), можно научить человека осознавать колебания инфранизкой частоты, определять мощность и направление излучения.

Основные способы создание звука

1. Электромеханический принцип действия. На столь низких частотах промышленные электромеханические преобразователи типа низкочастотных громкоговорителей, основанные на взаимодействии магнитного поля, создаваемого мощным магнитом, с подвижной катушкой обтекаемой током, оказываются неэффективными из-за низкого КПД. Основной недостаток громкоговорителей – относительно низкий кпд (порядка – 3–10%). Громкоговорители подразделяют на электродинамические, электростатические, пневматические и ионные. Расчеты показывают, что средний уровень звукового давления должен соответ-

ствовать примерно 100 Па (уровень 140 дБ). Для получения необходимой мощности ход катушки должен составлять несколько десятков сантиметров, что в принципе труднореализуемо. Кроме того, мощность подводимая к катушке, должна составлять несколько сотен ватт, что также создает дополнительные трудности. Для создания портативного генератора большей акустической мощности можно использовать небольшой турбокомпрессор. Возможна следующая структурная схема устройства: основным элементом должен быть осевой компрессор высокой производительности с давлением порядка $2\text{-}3\times10^5$ Па, далее используется электромеханический клапан, позволяющий частично перекрывать выходное сопло с требуемой частотой 1-20 Гц. Для повышения эффективности такой системы и уменьшения габаритов рабочее давление можно повысить до $5\text{-}6\times10^5$ Па. Таким образом, мощный выходной поток воздуха модулируется клапаном и изменение давления воздуха составит 100-200 Па на расстоянии в один метр. Кроме того, к механическим средствам возбуждения электрических колебаний следует отнести использование пневматических и гидравлических линейных преобразователей. Пневматические системы более быстродействующие и достаточно просто обеспечивают скорость перемещения мембраны, связанной с поршнем, до нескольких метров в секунду. Создаваемое усилие легко регулируется изменением давления или подбором необходимых параметров цилиндра. Другой возможный принцип – использование коллекторного электродвигателя постоянного тока с редуктором и преобразователя вращательного движения в линейное. Регулируя напряжение, можно преобразовать номинальную частоту вращения в возвратно-поступательное движение мембраны. Мощность электродвигателя должна составлять 100-200 Вт.

2. Плазменный метод. Основная идея метода заключается в использовании высокотемпературного плазменного разряда конденсаторной батареи напряжением в 3–5 кВ и более, в течение короткого промежутка времени (10-20 мкс). Это эквивалентно взрыву небольшой мощности и сопровождается значительным повышением давления воздуха до 10 МПа. Частота таких последовательных микровзрывов может доходить до 40 Гц. Основное достоинство метода–получение высоких звуковых давлений, соответствующих уровню более 150 дБ. Недостатки: использование дорогих платиновых электродов и конденсаторных батарей высокого напряжения.

3. Ионный метод. Для получения мощных низкочастотных колебаний и создания требуемого звукового давления можно использовать поток ионизированного воздуха. Для ионизации воздуха используется система из двух групп электродов, одна из которых представляет собой набор игольчатых проводников, а вторая группа электродов – сетку. Метод аналогичен принципу ионного двигателя, используемого в ракетостроении, экранопланах и пр. Достоинства: кпд порядка 20-25%, маленькая толщина излучателя. Недостатки: необходимость использования высоких напряжений и большая площадь мембраны для низкочастотных колебаний.

4. Пьезоэлектрические преобразователи. К основным достоинствам пьезоэлектрических преобразователей следует отнести достаточно большой коэффициент преобразования электрических колебаний в звуковые. Наиболее высокий КПД (до 90%) получается на резонансных частотах излучателей. При этом подводимая мощность измеряется десятками ватт, а среднее звуковое давление составляет 90–140 дБ (сигнальные сирены, автосигнализация). На низких частотах пьезопреобразователи менее эффективны из-за высокой сжимаемости воздуха, и требуют большей площади излучающих пластин. Для создания колебаний инфранизкой частоты целесообразно использовать два метода: метод вибрато и метод интерференции. Существует три основных типа вибрато: амплитудное, частотное и фазовое. При использовании первого метода создается стоячая волна, играющая роль виртуальной мембраны.

Интерференция или метод акустических биений двух высоких частот, например 20,000 кГц и 19,990 кГц, дает частоту биений 10 Гц. Очевидно, что эти методы являются перспективными для формирования акустических волн, так как они обладают высоким кпд преобразования и малыми габаритами. Для получения большой выходной мощности необходимо использовать несколько сотен пьезоэлементов, работающих параллельно. Это приводит к определенным затруднениям, т.к. пьезоэлементы могут иметь некоторый разброс резонансных частот. Недостатком вышеописанных пьезоэлектрических преобразователей является наличие мощного ультразвукового излучения, что может быть исключено при использовании метода фазовой решетки. С целью повышения мощности излучения можно использовать биморфный способ включения излучателей (два излучателя на одной мембране).

Создание звуковых волн через ионизацию воздуха

Идея, использовать движение ионизированных частиц в электрическом поле для создания звуковых волн, возникла еще в конце XIX века. В 1900 году Дуделл продемонстрировал научному сообществу поющую дугу. В 1946 году французский изобретатель Зигфрид Клейн предложил электрическую дугу ограничить и поместить ее внутрь небольшой кварцевой трубки, соединенной с рупором. Именно Клейн предложил назвать это устройство ионофоном. В его излучателе коронный разряд создавался между анодом, помещенным в кварцевую трубку, и металлическим цилиндрическим катодом вокруг ее внешней стороны. При подаче на электроды высокого напряжения частотой 100 кГц, промодулированного аудиосигналом, вокруг свободного конца анода образовывалось облачко ионизированных молекул воздуха. Температура при этом достигала 1700 °С.

Сжатие и расширение объема ионизированного воздуха приводило к возникновению звуковой волны. Рупор в первой конструкции ионофона использовался для повышения эффективности излучения (объем облака был достаточно мал и интенсивность звуковой волны получалась низкой). Клейн предложил использовать анод, изготовленный из комбинации платины, фосфата алюминия, иридия и графита, однако, это было не лучшим решением, так как платина под воздействием температуры быстро распылялась на стенки кварцевой трубки, что приводило к появлению в воспроизводимом звуке шорохов и треска. Анод должен был не только эффективно ионизировать воздух, но и быть устойчивым к коронному разряду и высокой температуре, вызывающей окисление. В более поздних моделях ионофонов эта проблема была решена применением специального сплава из железа, хрома и алюминия, который стал называться «кантал». Для устранения свиста, сопровождающего коронный разряд, частота генератора была увеличена до 2-3 МГц. Позже по этой же причине частота была увеличена еще в десять раз.

Теоретически, ионофон является идеальным излучателем, поскольку в нем, в принципе, отсутствует подвижная система, а, значит, нет проблем с переходными искажениями и резонансами. Амплитудно-частотная характеристика должна быть идеально равномерной, а частотный диапазон должен достигать очень высоких частот. Эксплуатация ионофонов показала, что они действительно создают чистое, прозрачное звучание с очень низким уровнем искажений. Однако, они не получили промышленного распространения из-за существенных недостатков. Во-первых, высокое напряжение – это всегда опасно, во-вторых, ионизация быстро распространяется далеко за пределы излучателя, что приводит к раздражению глаз, легких и появлению сильного запаха озона.

Для излучателей этого типа существует несколько названий – ионофон, плазмотрон, плазмофон.

Суть работы любого громкоговорителя – это преобразование электрической энергии в колебания давления воздуха. Такая трансформация может быть прямой или косвенной. Прямое преобразование осуществляется, когда электрическая энергия преобразуется в движение макроскопических объемов в газовой среде, создающей локальное изменение плотности газа. Косвенное преобразование связано с локальным изменением внутренней энергии газа, т. е. рассеивание тепловой энергии Джоулевых потерь и соответствующим термодинамическим процессом изменения давления. При этом подразумевается, что оба процесса в техническом смысле слова, по отношению к мембранным преобразователям, являются механизмами прямой трансформации электрической энергии в звуковую. Тепловой же механизм генерации звука является типичным для высокочастотных коронирующих и плазменных источников [4, 6, 7]. Говоря о характере распространения акустического излучения, следует отметить, что существуют акустические диполи, у которых два полюса излучения с противофазными колебаниями, и акустические монополи у которых излучение во все стороны когерентно. Физика излучения без мембранных нетепловых преобразователей, являющихся акустическим диполями, также хорошо изучена [2].

Возможность реализации режима акустического монополя в нетепловых преобразователей была отмечена в работе [Béquin, Ph. Modelling of negative point-to-plane corona loudspeaker]. Так называемый «SLT-Ионофон», предложенный F. Fransson [9, 10], видимо отображает такую возможность. Тот факт, что разряд не чувствителен к магнитному полю означает, что эффект ионного ветра не имеет значения для генерации звука. К сожалению, авторами не приведены какие-либо конкретные объяснения физических процессов и возможности их реализации.

В процессе работы катушки Тесла можно наблюдать четыре вида разрядов:

– Стримеры – тускло светящиеся тонкие разветвленные каналы, которые содержат ионизированные атомы газа и отщепленные от них свободные электроны. Протекает от терминала (или от наиболее острых,

искривленных ВВ-частей) катушки прямо в воздух, не уходя в землю, так как заряд равномерно стекает с поверхности разряда через воздух в землю.

– Спарк – это искровой разряд. Идет с терминала (или с наиболее острых, искривленных ВВ частей) непосредственно в землю или в заземленный предмет. Представляет собой пучок ярких, быстро исчезающих или сменяющих друг друга нитевидных, часто сильно разветвленных полосок – искровых каналов. Также имеет место особый вид искрового разряда – скользящий искровой разряд.

– Коронный разряд – свечение ионов воздуха в электрическом поле высокого напряжения. Создает красивое голубоватое свечение вокруг ВВ-частей конструкции с сильной кривизной поверхности.

– Дуговой разряд образуется во многих случаях. Например, при достаточной мощности трансформатора, если к его терминалу близко поднести заземленный предмет, между ним и терминалом может загореться дуга (иногда нужно непосредственно прикоснуться предметом к терминалу и потом растянуть дугу, отводя предмет на большее расстояние).

Практическая часть

Разработка схемы платы для ионофона

Основная часть конструкции ионофона является плата (рис. 1).

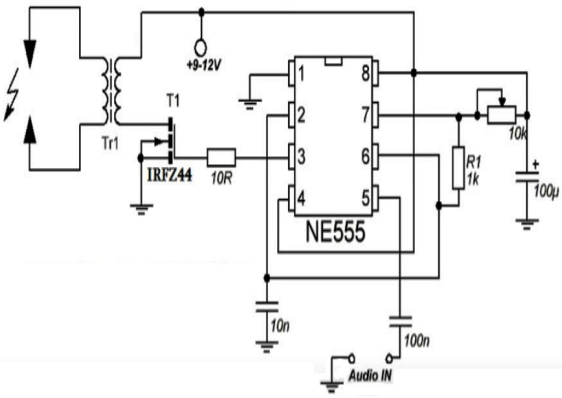

Рис. 1. Принципиальная электрическая схема ионофона

Согласно представленной схеме взяты следующие компоненты: конденсатор на 10 нФ ( ), 100 нФ ( ), электролитический 100 мкФ ( ), резистор на 10 Ом, 1 кОм, подстроечный резистор на 10 кОм, НЕ555, полевой транзистор irfz44 и трансформатор строчной развертки ТВС.

Печатная плата изготовлена в домашних условиях на фольгированном стеклотекстолите.

Процесс создания устройства

1. Создание дорожек платы в специальной программе.

2. Изготовление печатной платы, травление.

Рис. 2.

3. Монтирование радио элементов

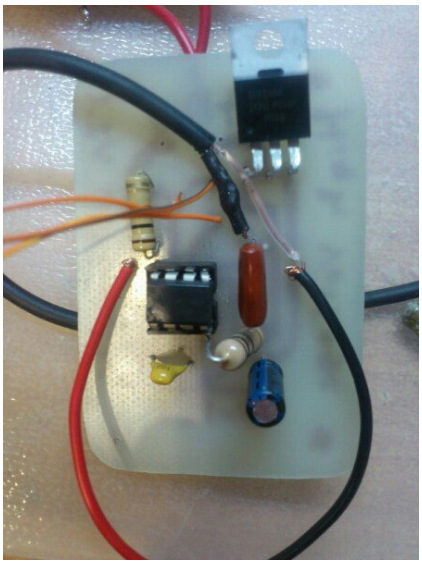

Рис. 3.

4. Проверка работоспособности

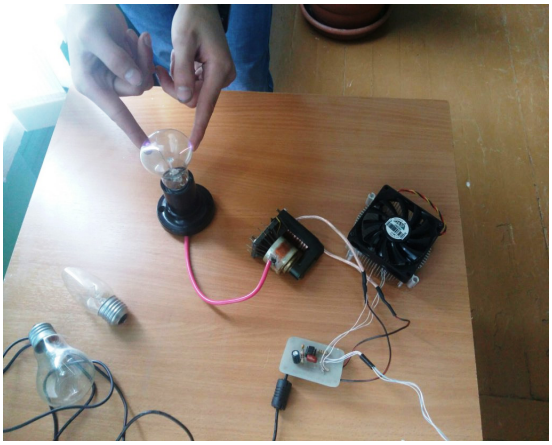

Рис. 4.

5. Создание корпуса и системы охлаждения.

Генерация звуковых волн

Питание в схеме за счет импульсного блока питания 12 В, 2,5 А. Подача импульсов для генерация звуковых волн на электродах происходит с помощью звукового входа, который подключается к телефону.

Принцип работы ионофона

Работу резонансного трансформатора, или катушки Тесла, можно объяснить на примере обыкновенных качелей. Если их раскачивать в режиме принудительных колебаний, то максимально достигаемая амплитуда будет пропорциональна прилагаемому усилию. Если раскачивать в режиме свободных колебаний, то при тех же усилиях максимальная амплитуда возрастает многократно. В нашем случае в роли «качелей» выступает вторичный колебательный контур, а в роли прилагаемого усилия – генератор. Их согласованность («подталкивание» строго в нужные моменты времени) обеспечивает первичный контур или задающий генератор.

Благодаря качеру Бровина создается высокое напряжение (до нескольких миллионов вольт), и на вторичной катушке образуются разряды, которые можно наблюдать. При изменении частоты устройства с помощью музыкального инструмента или аудиоплеера разряды пронизывают пространство на разной частоте. Из-за этого мы слышим звуки, которые составляют мелодию. Вдобавок к звуку на небольшом расстоянии от устройства начинают светиться лампы, что опять же добавляет устройству интереса со стороны целевой аудитории.

Принцип действия подобных устройств одинаков: генератор высокой частоты модулируется звуковым сигналом. Выходной сигнал генератора повышается резонансным трансформатором и возбуждает «звучащий» коронный разряд. Коронный разряд возбуждается напряжением частотой 27 МГц и амплитудой 2 кВ. Полоса воспроизводимых частот 2–20 кГц, не линейные искажения – менее 0,5%. При работе наблюдается голубоватое свечение плазмы и характерный запах озона.

Себестоимость проекта

Стоимость проекта
Плата 40 руб.
NE555 с колодкой 27 руб.
Резисторы 10 руб.
Многожильные провода 50 руб.
Конденсаторы 25 руб.
Полевой транзистор 42 руб.
Блок питания 500 руб.
ТВС 500 руб.
Дополнительно: система охлаждения – 460 руб.
Блок питания 390 руб.
Итого: 1200 руб. (ионофон) и 850 руб. (система охлаждения).

В сравнении с минимальная цена на плазменный шар (светильник) составляет 1500 руб. Стоимость ионофоном неизвестна.

Заключение

В соответствии с поставленной целью получены следующие результаты. Произведен анализ и синтез литературы по теме проекта. Успешно разработано устройство совмещающее в себе функции ионофона и плазмошара. Произведена первичная оценка его стоимости. Дана физическая модель генерации звуковой волны. С помощью стандартного тестера определено безопасное расстояние до работающего плазмошара – 20 см.

Перспективы работы

Измерение физических величин ионофона:

– определение спектра звука, который воспроизводит ионофон;

– определение безопасного расстояния до устройства в режиме ионофон, плазмошар и в процессе работы;

– построение вольт-амперной характеристики;

– оценка магнитное поле (его характеристик) работающего ионофона;

– оценка степени озонирования помещения;

– оценка стоимости проекта;

– сравнение с известными ионофонами и плазмошарами;

– оценка КПД устройства.

Список литературы

1. В.Г.Галалу, П.В.Хало К вопросу создания мощного акустического генератора инфранизских частот / Известия ТРТУ. – 2005. С. 151-155.

2. Matsuzawa, K. Sound sources with corona discharges [Text] / K. Matsuzawa // The Journal of the Acoustical Society of America. – 1973. – Vol. 54, Issue 2. – P. 494–498. doi: 10.1121/1.1913605

3. Lim, M. K. A corona-type point source for model studies in acoustics [Text] / M. K. Lim // Applied Acoustics. – 1981. – Vol. 14, Issue 4. – P. 245–252. doi: 10.1016/0003-682x(81)90020-7

4. Bastien, F. Acoustics and gas discharges: applications to loudspeakers [Text] / F. Bastien // Journal of Physics D: Applied Physics. – 1987. – Vol. 20, Issue 12. – P. 1547–1557. doi: 10.1088/0022-3727/20/12/001

5. Декларационный патент Украины на изобретение 96912. Устройство для генерирования акустических волн; H04R 23/00/ [Текст] / Чижов М. В., Юн К. М. – № a 2011 07018; Заявл. 03.06.2011; Опубл. 25.08.2011, бюл. № 16.

6. Чижов М.В. Стабильная генерация звуковых волн в слабо ионизированной среде / Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. С. 45-51.