

На правах рукописи



ШИШКИНА Анна Федоровна

**ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА ПОВЫШЕНИЯ
УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИХ
СИСТЕМ**

(развитие теории, исследования и разработка)

Специальность 05.13.05 – Элементы и устройства
вычислительной техники и систем управления

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Стерлитамак – 2011

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Стерлитамакская государственная педагогическая академия им. Зайнаб Биишевой» и филиале ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» в г. Стерлитамаке

Научный руководитель:	доктор технических наук, профессор Галиев Анвар Лутфрахманович
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, доцент Фетисов Владимир Станиславович кафедра информационно-измерительной техники ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» доктор технических наук, профессор Каяшев Александр Игнатьевич кафедра автоматизированных технологических и информационных систем филиала ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Стерлитамаке
Ведущее предприятие:	ФГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)»

Защита состоится 28 декабря 2011 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д-212.288.02 при Уфимском государственном авиационном техническом университете по адресу: 450000, г. Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12, УГАТУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного авиационного технического университета.

Автореферат разослан 24 ноября 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, доцент



А.В. Месропян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Несмотря на быстрый научно-технический прогресс, на сегодняшний день проблема повышения устойчивости электроакустических систем остается по-прежнему актуальной. Об этом свидетельствуют материалы компаний Siemens, Phonak, Исток-Аудио, Widex, ReSound, Behringer, Nady Systems и др., занимающихся разработкой слуховых аппаратов, звукоусилителей и других электроакустических систем, а также исследования отечественных и зарубежных ученых: Алдошиной И.А., Приттса Р., Анерта В., Галиева А.Л., Лисовского В.А., Елисеева В.А., Freed D., Soli S., Hellgren J., Lunner T. и др.

Ключевую роль в деле повышения устойчивости играют устройства, позволяющие подавлять процессы самовозбуждения в электроакустических системах. Одной из основных причин, приводящих к самовозбуждению системы, является наличие акустической обратной связи (АОС), которое приводит к ухудшению качества звучания речевого сигнала на выходе электроакустической системы и появлению «свистов». Поэтому в электроакустические системы необходимо включать специальное оборудование, позволяющее оптимизировать восприятие звука, в том числе подавители шума и устройства ослабления акустической обратной связи.

Вопрос повышения устойчивости особенно остро встает в случае аппаратов индивидуального пользования, в частности, слуховых аппаратов (СА). Во многих случаях неудобства, вызванные АОС, превосходят преимущества от применения слухового аппарата и оказываются одной из основных причин, по которым слабослышащие люди отказываются от его использования. Между тем, в Российской Федерации только по официальным данным число больных, нуждающихся в слухопротезировании, превышает три миллиона человек.

Главная задача любого устройства подавления акустической обратной связи – нейтрализовать многократное усиление сигнала до того, как его последствия создадут дискомфорт слушателю, и при этом свести к минимуму изменения в звучании речи. Вместе с этим, для аппаратов индивидуального пользования (АИП) и СА требуются высокоэкономичные устройства ослабления АОС, поскольку энергопотребление системы является важным параметром и влияет на срок службы элементов питания.

В современном слухопротезировании наибольшее распространение получило адаптивное подавление обратной связи. С различными модификациями и под разными названиями эту технологию используют все ведущие производители слуховых аппаратов, представленных на российском рынке: «Исток-Аудио» (Россия, технология не имеет маркетингового названия), Phonak (Швейцария, технология WhistleBlock), «GN ReSound» (Дания, система Dual Stabilizer), Siemens (Германия, системы FeedbackBlocker и FeedbackStopper) и другие. С целью оценки АОС в современных СА производится высокоразрешающий корреляционный анализ сигналов, поэтому в слуховых аппаратах применяется сложная адаптивная технология, реализовать которую можно лишь при помощи микропроцессоров, дополнительных модулей к ним и слож-

ных программных продуктов, что повышает габариты, стоимость и энергопотребление аппарата.

Промышленностью также выпускаются супрессоры – подавители акустической обратной связи. Производители супрессоров используют несколько принципов ослабления *АОС*: сдвиг частоты выходного сигнала; добавление к выходному сигналу скрытого (неслышимого) шумового сигнала; применение адаптивных фильтров для исключения из спектра сигнала «проблемных» частот. Однако все супрессоры имеют существенные габариты, массу около трех килограммов и сравнительно высокое энергопотребление, поэтому не могут использоваться в слуховых аппаратах и других локальных электроакустических системах.

Таким образом, несмотря на значительный прогресс в области разработки устройств ослабления *АОС*, проблема остается актуальной. Решение научных и технических задач, связанных с поиском альтернативных подходов к ослаблению *АОС* и с дальнейшим развитием существующих систем подавления *АОС*, позволит разработать эффективные маломощные устройства подавления и ослабления *АОС* с возможностью интегральной реализации, в которых не требуется использование сложных дорогостоящих технических решений.

Актуальность работы подтверждается также тем, что она получила финансовую поддержку Фонда поддержки малых форм предприятий в научно-технической сфере (грант по программе «У.М.Н.И.К.», весенняя сессия 2011 года).

Цель работы: усовершенствование существующих и разработка новых способов повышения устойчивости электроакустических систем; разработка схемных решений цифровых устройств ослабления *АОС* и устройств шумоподавления, которые позволят улучшить устойчивость электроакустических систем (в частности, *СА*) и повысить их экономичность.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. Исследовать факторы, влияющие на устойчивость электроакустических систем.
2. Изучить концептуальные возможности ослабления акустической обратной связи.
3. Предложить методы и разработать устройства ослабления акустической обратной связи, отличные от существующих.
4. Разработать установку для количественных измерений параметров систем и устройств ослабления *АОС*.
5. Провести экспериментальные исследования разработанных устройств.

Методы исследования. Для получения научных результатов в диссертационной работе были использованы методы теории сигналов, методы теории устойчивости, методы теории и экспериментальные исследования формантных, частотных и фазовых свойств речи, теории акустической обратной связи, теории электрических цепей, методы экспериментального исследования. При этом имитационное моделирование и исследование свойств рассматриваемых схем выполнялось с помощью прикладных программных пакетов *MathCad Professional* и *Micro Cap v.8.1*.

На защиту выносятся:

1. Результаты исследования факторов, влияющих на устойчивость электроакустических систем.
2. Концепции повышения устойчивости электроакустических систем с обратной связью.
3. Структурные схемы устройств ослабления АОС методом анализа скважности импульсной последовательности, методом компандирования огибающей речевого сигнала, методом транспонирования спектра сигнала, путем манипуляций фазой сигнала, на основе анализа огибающей сигнала и непосредственного сжатия периода колебаний сигнала, а также устройств шумоподавления.
4. Схема установки, позволяющей проводить количественные измерения параметров любых систем и устройств ослабления паразитной АОС и методика проведения экспериментов по оценке устойчивости ЛЭАС.
5. Результаты исследований разработанных устройств, полученные с помощью их математических моделей, компьютерного моделирования и экспериментальным путем.

Научная новизна исследований, проведенных в работе, заключается в следующем:

- развита теория акустической обратной связи, сформулированы частные критерии устойчивости электроакустических систем;
- на основе анализа концепций повышения устойчивости впервые разработана математическая модель частотно-фазового портрета модуля коэффициента передачи электроакустической системы, позволяющая установить диапазон частот, на которых наблюдается самовозбуждение;
- предложены новые методы и разработаны оригинальные устройства ослабления паразитной акустической обратной связи, отличающиеся от существующих экономичностью при сравнимых качественных параметрах.

Практическая ценность работы.

Разработаны структурные и принципиальные схемы устройств ослабления АОС и устройств шумоподавления, которые могут быть использованы в СА и других локальных электроакустических системах. Проведены экспериментальные исследования разработанных устройств. Разработана установка, которая позволяет проводить количественные измерения параметров любых систем и устройств ослабления ЛАОС.

Результаты теоретических, экспериментальных исследований и практические разработки используются в:

- СГПА им. Зайнаб Бишевой – в учебном процессе при чтении лекций и проведении лабораторного практикума, а также при выполнении курсовых, дипломных и студенческих научно-исследовательских работ;
- филиале УГАТУ в г. Стерлитамаке – в учебном процессе при чтении лекций и проведении лабораторного практикума, а также при выполнении курсовых и студенческих научно-исследовательских работ.

Апробация работы. Основные вопросы, рассматриваемые в диссертации, докладывались и обсуждались на: Десятой Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых (Екатеринбург-Красноярск, 2004 г.); Всероссийской научной конференции «Современные проблемы физики и математики» (Стерлитамак, 2004 г.); IV Российско-украинском научно-техническом и методическом симпозиуме «Информационно-вычислительные технологии и их приложения» (Пенза, 2006 г.); Межвузовской научно-практической конференции молодых ученых «Роль классических университетов в формировании инновационной среды регионов» (Уфа, 2009 г.); VI Международной конференции «Автоматизированные, информационные и управляющие системы: от А до Я – 2011» (Москва, 2011 г.); VII Международной научно-практической конференции «Актуальные достижения европейской науки – 2011» (г. София, Болгария, 2011 г.); Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (Томск, 2011 г.); III Международной научно-практической конференции «Достижения молодых ученых в развитии инновационных процессов в экономике, науке, образовании» (Брянск, 2011 г.).

Публикации. Основные научные результаты по теме диссертации изложены в 15 статьях, опубликованных в журналах и сборниках научных трудов, из них 3 в изданиях, входящих в список рекомендованных ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав основного текста, заключения и списка литературы. Общий объем диссертационной работы составляет 157 листов машинописного текста. Работа содержит 73 иллюстрации и 3 таблицы. Список литературы содержит 123 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выполненной научной работы, сформулированы цели и задачи исследований, дана характеристика работы, описана ее структура, приведены научные результаты, выносимые на защиту, указана их научная новизна и практическая ценность. Приводятся сведения о внедрении результатов работы и публикациях.

В первой главе рассмотрены принципы построения речи и ее характеристики, особенности структуры речевых сигналов и методы их обработки. Показано, что при манипуляциях с речевым сигналом существенную роль играют вопросы сохранения высокой разборчивости речи. Рассмотрены факторы, влияющие на разборчивость речи, а также методы ее оценки. Проведен обзор существующих методов ослабления акустической обратной связи (АОС).

Рассмотрение структуры речевых сигналов, методы и способов их обработки и анализ существующих методов ослабления акустической обратной связи (управлением фазой, транспонированием спектра сигнала, с использованием анализатора частоты, с использованием радиоканала) позволили сформули-

ровать задачи исследования, решение которых будет способствовать достижению поставленной цели.

Во второй главе исследованы факторы, влияющие на устойчивость электроакустической системы (ЭАС).

Выяснено, что устойчивость электроакустических систем, которые не имеют специальных устройств усреднения, определяется мгновенными значениями мощности звукового сигнала в исследуемой точке пространства. При этом время запаздывания копии и значение начальной фазы сигнала определяют число наиболее «активных» частот и степень их «активности». С увеличением времени запаздывания вероятность самовозбуждения возрастает за счет копий сигнала. Помещения с большим временем реверберации являются менее благоприятным для обеспечения устойчивости электроакустической системы.

Для упрощения рассуждений рассматривалась линейная система с обратной связью, структурная схема которой приведена на рисунке 1.

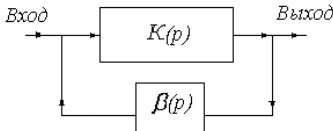


Рисунок 1 – Структурная схема линейной системы с обратной связью

Система состоит из двух звеньев – активного звена с передаточной функцией $K(p)$, представляющего собой основной элемент системы, и пассивного звена с передаточной функцией $\beta(p)$ (элемент обратной связи). На входе основного элемента имеется устройство, суммирующее входной сигнал и сигнал на выходе элемента обратной связи. Предполагается, что внешний входной сигнал отсутствует, т.е. система автономна.

Напряжение выходного сигнала в таком случае определяется следующим образом:

$$U_{\text{вых}}(p) = K(p)\beta(p)U_{\text{вых}}(p),$$

откуда

$$[1 - \beta(p)K(p)] \cdot U_{\text{вых}}(p) = 0. \quad (1)$$

При самовозбуждении системы $U_{\text{вых}}(p) \neq 0$, тогда равенство (1) справедливо лишь при тех значениях p , которые являются корнями характеристического уравнения

$$1 - \beta(p)K(p) = 0. \quad (2)$$

В общем случае выходной сигнал можно представить как:

$$u_{\text{вых}}(t) = U_1 e^{p_1 t} + U_2 e^{p_2 t} + \dots, \quad (3)$$

где $p_1, p_2, p_3, \dots$ – корни уравнения (2). Так как рассматриваемая система линейна, то сигнал (3) будет ограниченным, если все корни характеристического уравнения (2) имеют отрицательные вещественные части, т.е. если располагаются в левой полуплоскости переменной p . Цепь с обратной связью, обладающая такими свойствами, будет устойчива. В противном случае она склонна к

самовозбуждению на тех частотах, которые определяются корнями этого уравнения.

С помощью упрощенной модели линейной системы (рисунок 1) проанализированы алгебраические и геометрические критерии устойчивости систем с обратной связью. Определен наиболее подходящий критерий для применения при анализе устойчивости электроакустических систем – критерий Найквиста. Рассмотрены частные критерии устойчивости для локальных электроакустических систем. Проанализированы пространственные частотно-фазовые портреты модуля коэффициента передачи усилителя. На основе анализа математической модели показано, что для локальных электроакустических систем (*ЛЭАС*) наступление самовозбуждения наиболее вероятно в диапазоне частот от 1,5 до 3 кГц.

Третья глава посвящена разработке устройств ослабления акустической обратной связи на основе анализа частных критериев устойчивости. Предложено устройство ослабления акустической обратной связи методом анализа скважности импульсной последовательности (рисунок 2). В схеме приняты следующие сокращения: *ГТИ* – генератор тактовых импульсов, *ФИ* – формирователь импульсов, *СУ* – сравнивающее устройство, *ПУ* – программно управляемый усилитель, *Ин* – инвертор, блок *КСС и УПР* – контроллер состояния счетчика и управления. Разница между числом отсчетов в течение длительности импульса N_H и числом отсчетов в течение паузы $N_H - \Delta$.

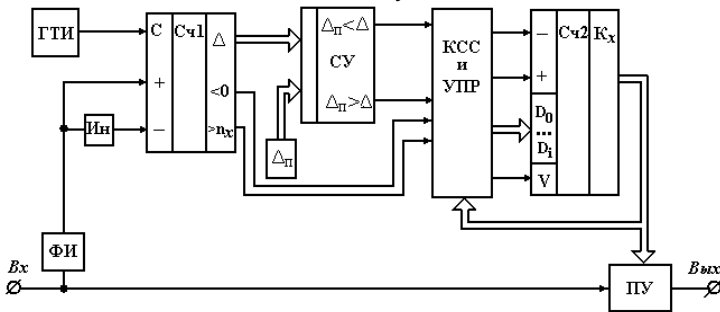


Рисунок 2 – Структурная схема устройства ослабления АОС методом анализа скважности импульсной последовательности

Идея организации рассматриваемого устройства ослабления паразитной акустической обратной связи (*ПАОС*) заключается в том, чтобы постепенно уменьшать коэффициент усиления усилителя при появлении признаков начала самовозбуждения системы и увеличивать – при их отсутствии.

Выведение системы из состояния самовозбуждения при помощи предложенного устройства будет сопровождаться незначительным уменьшением громкости звука. При этом разборчивость речи не будет уменьшаться, поскольку не происходит изменений в структуре речевого сигнала.

На рисунке 3 предложено устройство ослабления АОС методом компандирования огибающей речевого сигнала. Идея организации системы ослабления паразитной акустической обратной связи заключается в том, что пока есть переменные составляющие огибающей сигнала, коэффициент усиления усилителя определяется амплитудой этой составляющей, а во время самовозбуждения, когда огибающая сигнала имеет только постоянную составляющую, коэффициент усиления усилителя уменьшается до минимально возможного значения. В схеме введены условные обозначения: ВД – входной делитель; К – компрессор; Э – экспандер; УМ – усилитель мощности; ФО, ДО, УВО, УО, ВО, ФВО – соответственно фильтр, детектор, устройство выделения переменной составляющей, усилитель, выпрямитель и фильтр выпрямителя сигнала огибающей; СВПС – схема восстановления постоянной составляющей.

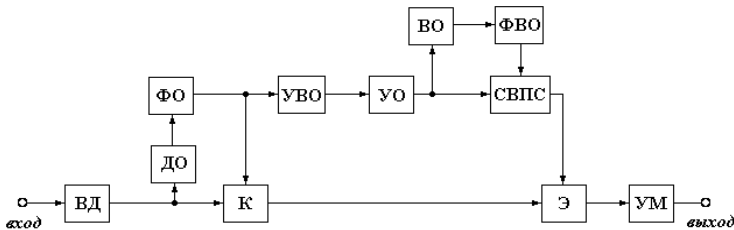


Рисунок 3 – Структурная схема устройства ослабления АОС методом компандирования огибающей речевого сигнала

Паразитная генерация наблюдается в течение времени, которое определяется переходными процессами и постоянной времени цепей выделения переменной составляющей огибающей. В предположении, что речевой сигнал амплитудно-модулированный с глубиной модуляции m , амплитуду напряжения огибающей речевого сигнала $U_{ог}$ можно представить как:

$$U_{ог} = a(U_c^{1/\alpha} - c^{1/\alpha})^\alpha, \quad U_c > 0, \alpha > 1$$

где U_c – амплитуда напряжения сигнала, $a = Km$; K – модуль коэффициента передачи ОУ с обратной связью; $c \approx 0,1$ мВ, $\alpha = 2$ – параметры, определяемые экспериментально.

Зависимости коэффициента передачи ДО от напряжения сигнала для различных значений коэффициента модуляции показаны на рисунке 4.

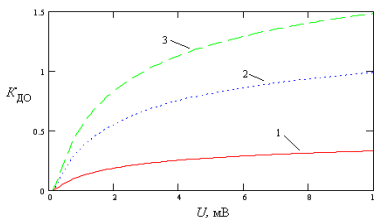


Рисунок 4 – Зависимости коэффициента передачи ДО от напряжения сигнала при коэффициентах модуляции: 0,2 (кривая 1); 0,6 (кривая 2) и 0,9 (кривая 3)

Проведен анализ узлов системы ослабления *ПАОС*, цепей управления компрессора динамического диапазона речевого сигнала, элементов в цепи выделения переменной составляющей огибающей сигнала. Получено выражение для характеристики регулирования компрессора в виде:

$$K_{\text{КП}} = \frac{K_0}{1 + \chi \cdot u_p(t)},$$

где χ – коэффициент регулирования, K_0 – коэффициент передачи системы без компрессора, $u_p(t)$ – напряжение регулирования.

Как показали экспериментальные исследования, разработанное устройство ослабления влияния акустической обратной связи позволяет получить выигрыш в усилении сигнала по мощности до 10 дБ.

Также разработаны оригинальные схемы шумоподавителей и дана оценка вносимых ими нелинейных искажений.

В четвертой главе описана установка, позволяющая проводить количественные измерения параметров устройств ослабления паразитной акустической обратной связи. Принцип работы установки основан на измерении обобщенного выигрыша в усилении усилителя электроакустической системы. Разработаны и исследованы устройства ослабления *АОС* методом анализа периодов соседних колебаний, инверсии фазы и транспонирования спектра сигнала (умножитель частоты), построенные на базе асинхронного адаптивного дельта-модулятора, а также устройства ослабления *ПАОС* на основе анализа огибающей сигнала и непосредственного сжатия периода колебаний сигнала.

Способ измерения с помощью разработанной установки основывается на следующем принципе: чем выше запас коэффициента устойчивого усиления, тем в большей степени электроакустическая система устойчива к паразитной генерации, то есть к самовозбуждению. В результате обобщенный выигрыш в усилении электроакустической системы $B_{\text{АПОС}}$ можно выразить следующим образом:

$$B_{\text{АПОС}} = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot K_{\text{ПУ2}} \cdot \alpha_{11} \cdot \alpha_{22} \cdot \beta_1}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_{\text{ПУ1}} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \beta}.$$

В данном выражении K_1 , K_2 , K_{11} , K_{22} – это коэффициенты усиления микрофонного усилителя и каскада усиления мощности соответственно до и после введения *ЭМУОС*; $K_{\text{ПУ1}}$, $K_{\text{ПУ2}}$ – граничные значения коэффициента усиления программируемого усилителя до и после введения *ЭМУОС*; β и β_1 – коэффициенты передачи канала акустической обратной связи до и после введения *ЭМУОС*, α_1 , α_{11} – коэффициент преобразования электрического сигнала в акустические (звуковые) колебания до и после введения *ЭМУОС*, α_2 , α_{22} – коэффициент преобразования звукового сигнала в электрические колебания до и после введения *ЭМУОС*.

Характеристики электроакустической системы достаточно линейны, поэтому можно сделать предположение, что все коэффициенты в формуле остаются постоянными в диапазоне напряжений усиливаемых сигналов (кроме ко-

эфициента усиления программируемого усилителя). При этом выигрыш в усилении по мощности в децибелах будет составлять:

$$B_p = 10 \lg \frac{K_{\text{ПУ}2}^2}{K_{\text{ПУ}1}^2} \text{ дБ.}$$

Экспериментально было установлено, что наибольший обобщенный выигрыш достигается при использовании устройства с транспонированием спектра речевого сигнала (B_{max} до 15 дБ) с фильтром нижних частот, обеспечивающим ослабление около 30 дБ/октава (рисунок 6). Остальные способы ослабления *ПАОС* позволяют получить выигрыш от 6 до 10 дБ.

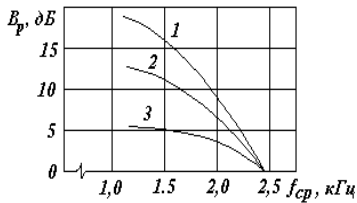


Рисунок 6 – Характерные зависимости обобщенного выигрыша B_p от частоты среза фильтра нижних частот в устройстве с транспонированием спектра речевого сигнала: 1 – ослабление сигнала $\Delta = 28$ дБ/октава; 2 – $\Delta = 20$ дБ/октава; 3 – $\Delta = 10$ дБ/октава

На рисунке 7 приведены графики частотно-фазового портрета петлевого коэффициента усиления акустической системы, полученные с помощью математической модели (а) и экспериментальным путем (б).

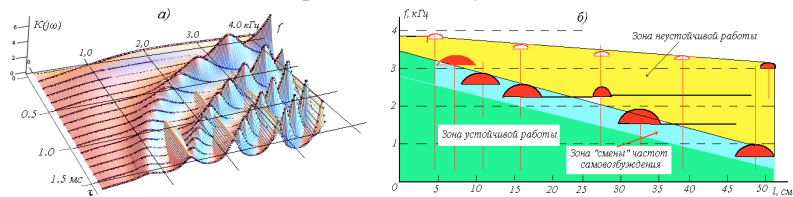


Рисунок 7 – Графики частотно-фазового портрета петлевого коэффициента усиления ЭАС, построенные по математической модели (а) и на основе экспериментальных исследований (б)

На рисунке 8 приведена схема устройства ослабления акустической обратной связи с асинхронным АДМ, в котором происходит скачкообразное изменение (переключение) фазы сигнала через промежутки времени, равные периоду импульсов управляющего генератора $T_{\text{упр}}$, таким образом, независимо от наличия сигнала, фазочастотная характеристика усилительного тракта находится в постоянном изменении.

С целью снижения помех, обусловленных частотой переворота фазы, в схеме предусмотрено адаптивное управление периодом следования импульсов управляющего генератора УГ в зависимости от частоты усиливаемого сигнала. При этом длительность времени, в течение которого наблюдается постоянство

фазы, тем меньше, чем больше частота сигнала. С этой целью в структуру УГ введены формирователь импульсов $\Phi И$ и счетчик $Сч$ числа периодов колебаний N усиленного сигнала.

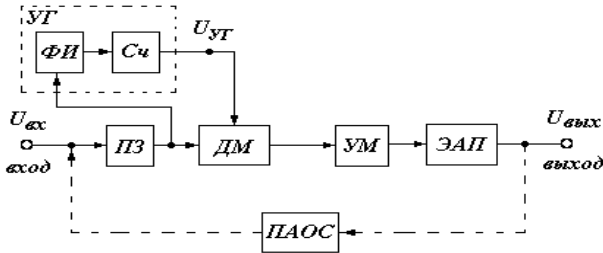


Рисунок 8 – Структурная схема устройства ослабления АОС с асинхронным АДМ

Эксперименты показали на возможность появления дополнительных гармоник из-за отклонения амплитуды управляющего напряжения, так как отклонение управляющего напряжения на 10% приводит к отклонению амплитуды инвертированного сигнала на 5-7% (рисунок 9).

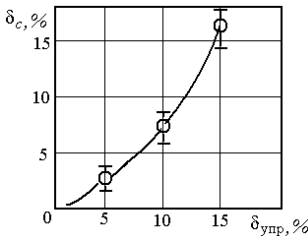


Рисунок 9 – Зависимость относительной погрешности амплитуды сигнала от погрешности управляющего напряжения

Структурная схема устройства ослабления влияния паразитной обратной связи, работа которого основана на анализе огибающей сигнала, приведена на рисунке 10.

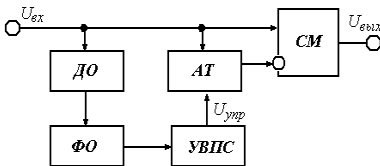


Рисунок 10 – Структурная схема устройства ослабления АОС на основе анализа огибающей сигнала

Входной сигнал поступает на вход детектора огибающей $ДО$. С выхода $ДО$ выпрямленный сигнал поступает на фильтр огибающей $ФО$, а затем на устройство выделения переменной составляющей $УВПС$. Сигнал с выхода $УВПС$ (переменная составляющая) $U_{упр}$ управляет аттенуатором $АТ$.

Принципиальная схема AT приведена на рисунке 11. Она построена в предположении, что сопротивление канала полевого транзистора меняется по линейному закону $R_{VT} = R_{VT0} + sU_{зи}$ (коэффициент $s = 2 \cdot 10^3$ Ом/В определялся экспериментальным путем) в заданном диапазоне входных напряжений. Тогда коэффициент передачи AT можно представить как

$$K_{AT} = 1 + \frac{R_2}{R_4 + R_{VT0} + s \cdot U_{зи}} = 1 + \frac{R_2}{R_4^* + s \cdot U_{зи}},$$

где $U_{зи} = U_{оп} - U_{упр}$, R_{VT0} – сопротивление канала сток-исток полевого транзистора, при нулевом напряжении на затворе, $R_4^* = R_4 + R_{VT0}$.

Опытным путем было установлено, что значение $R_{VT0} = 20-40$ Ом. Тогда номинал сопротивления R_4 , ограничивающего коэффициент передачи AT следует выбрать в пределах 30-40 Ом.

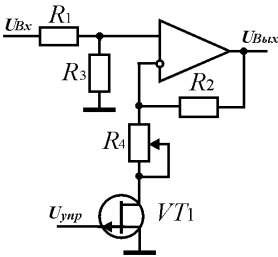


Рисунок 11 – Принципиальная схема аттенуатора в цепи управления коэффициентом усиления суммирующего усилителя

График функции управления коэффициентом передачи AT приведен на рисунке 12.

В устройстве ослабления паразитной акустической обратной связи с транспозитором спектра, работающим путем стробирования речевого сигнала, осуществляется непосредственное сжатие периодов сигнала. Периоды колебаний речевого сигнала вычисляются стробированием импульсами тактового генератора ($ГТИ$).

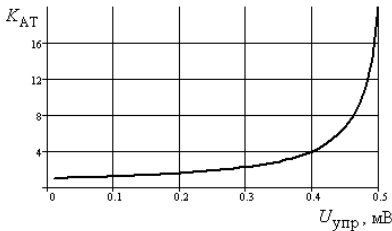


Рисунок 12 – Функция управления коэффициентом передачи AT

Частота $ГТИ$ выбирается из условия оптимального преобразования верхних частот обрабатываемого участка спектра речевого сигнала. В предположении, что нелинейные искажения, возникающие при подсчете длительности импульса $ФИ$, являются допустимыми для коэффициента искажений, не пре-

вышающего δ , т.е. $K_{\text{И}} \leq \delta$, в первом приближении можно записать $K_{\text{И}} \approx \frac{\Delta t}{T_{\text{И}}}$,

где $T_{\text{И}} = \frac{1}{f_{\text{В}}}$ – минимальная длительность импульса на выходе формирователя импульсов, $\Delta t = 1/f_{\text{ГТИ}}$ – длительность импульса ГТИ. Тогда должно выполняться требование $\frac{\Delta t}{T_{\text{И}}} \leq \delta$, то есть $\Delta t \leq \delta T_{\text{И}}$ или $f_{\text{ГТИ}} \geq f_{\text{В}} / \delta$.

В экспериментах рассматривали способ ослабления акустической обратной связи, когда транспонирование спектра первой форманты речевого сигнала осуществляется в область второй форманты.

Исходный сигнал рассматривали в виде последовательности прямоугольных импульсов переменной длительности τ с одинаковым периодом следования T :

$$\tau = \tau_0 + \tau_m \cdot \cos(\Omega_0 n T) .$$

Максимальная девиация длительности импульса τ_m , частота модулирующего низкочастотного сигнала Ω_0 , n – номер импульса.

Спектральная плотность рассматриваемой последовательности импульсов можно представить как:

$$S(\omega) = \sum_n S_n(\omega) = \sum_n \frac{2U}{\omega} \sin \frac{\omega \tau_n}{2} \cos \omega(nT + \frac{\tau_n}{2}) - \\ - j \sum_n \frac{2U}{\omega} \sin \frac{\omega \tau_n}{2} \sin \omega(nT + \frac{\tau_n}{2})$$

Исследовались зависимости спектральной плотности сигнала от количества импульсов в последовательности, длительности импульсов, максимальной девиации длительности импульса, скважности последовательности.

Выраженность и обособленность максимумов спектральной плотности зависит от количества импульсов в последовательности. При малом числе импульсов n максимумы менее выражены и при незначительных изменениях n значительно смещаются относительно положения гармоник (рисунок 13).

При числе импульсов больше 55 смещения максимумов относительно частот гармоник становятся пренебрежительно малыми, то есть для обеспечения преобразования сигнала без значительного смещения частот основного тона достаточно организовать регистр памяти с числом разрядов более 50. При этом общая задержка сигнала в регистре не превышает 5 мс.

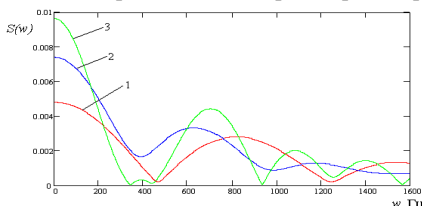


Рисунок 13 – Сравнительные графики спектральных плотностей для различного числа импульсов: 10 (кривая 1), 15 (кривая 2) и 20 (кривая 3)

На рисунке 14 показан участок графика спектральной плотности сигнала с максимумом функции, соответствующим основной гармонике.

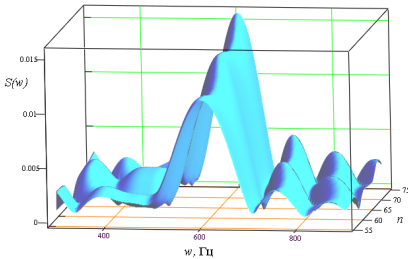


Рисунок 14 – Участок графика спектральной плотности от частоты при различных значениях числа импульсов, содержащий первую гармонику

При увеличении числа импульсов не происходит смещения частоты основного максимума функции спектральной плотности сигнала.

В главе также приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований разработанных схем, даны рекомендации по их применению.

В заключении сформулированы основные научные результаты и выводы диссертационной работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Главным итогом диссертационной работы является разработка и исследование устройств ослабления акустической обратной связи, которые предназначены для использования в электроакустических системах, в частности, в слуховых аппаратах.

В ходе теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в диссертационной работе, получены следующие основные научные и практические результаты и сделаны выводы:

1. Исследованы факторы, влияющие на устойчивость электроакустической системы: интерференционные эффекты, распределение звукового давления, фазовый сдвиг. Выявлено, что устойчивость электроакустических систем без специальных устройств усреднения определяется мгновенными значениями мощности звукового сигнала в исследуемой точке пространства, а время запаздывания копии сигнала и значение начальной фазы сигнала определяют число наиболее «активных» частот, на которых возможно самовозбуждение системы.

2. Проанализированы пространственные частотно-фазовые портреты модуля коэффициента передачи усилителя. На основе анализа математической модели показано, что для локальных электроакустических систем наступление самовозбуждения наиболее вероятно в диапазоне частот от 1,5 до 3 кГц.

3. На основе анализа частных критериев предложены устройства ослабления акустической обратной связи методом анализа скважности импульсной последовательности, методом компандирования огибающей речевого сигнала,

методом транспонирования спектра сигнала, путем манипуляций фазой сигнала, методом анализа периодов соседних колебаний.

Впервые разработано и исследовано устройство ослабления акустической обратной связи путем инверсии фазы сигнала, построенное на базе асинхронного адаптивного дельта-модулятора (*ААДМ*), осуществляющего скачкообразное изменение фазы сигнала на 180° при смене полярности управляющего напряжения, а также установлено, что изменение частоты следования импульсов на выходе *ААДМ* происходит с частотой, в два раза превышающей частоту модулирующего сигнала. На основе анализа математической модели адаптивного дельта-модулятора, а также экспериментальных исследований показана возможность использования *ААДМ* в качестве транспозитора спектра сигнала без дополнительных линий задержки в тракте обработки основной гармоники.

Разработано и исследовано устройство ослабления акустической обратной связи на основе анализа огибающей сигнала. Показана возможность использования разработанной схемы в качестве экспандера (расширителя динамического диапазона) в устройствах подавления акустической обратной связи с компандированием огибающей без «разрушения» структуры речевого сигнала.

4. Разработана оригинальная установка, позволяющая проводить количественные измерения параметров любых систем и устройств ослабления паразитной акустической обратной связи независимо от того, какой способ построения был использован для их создания. Установка также позволяет исследовать фазовые характеристики, петлевой коэффициент усиления усилителя, выбирать оптимальные параметры элементов местных и общих цепей обратной связи.

5. В результате экспериментов были установлены зоны устойчивой и неустойчивой работы электроакустической системы, а также возможность появления третьей зоны – зоны смещения частот. В этой зоне наблюдаются непрерывные сигналы самовозбуждения в диапазоне 1,7-2,3 кГц, резко переходящие на другие значения на расстояниях между микрофоном и телефоном сопоставимых с длиной волны.

Экспериментальные исследования показали также, что наибольший обобщенный выигрыш достигается при использовании устройства с транспонированием спектра речевого сигнала (B_{max} до 15 дБ) с фильтром нижних частот, обеспечивающим ослабление около 30 дБ/октава. Остальные способы ослабления *АОС* позволяют получить выигрыш от 6 до 10 дБ.

С точки зрения "качества" сигнала, т.е. полосы пропускаемых частот и минимального коэффициента гармоник, предпочтительным является фазовый метод ослабления акустической паразитной обратной связи. Устройства с транспонированием спектра сигнала с шумоподавителем предпочтительнее использовать в аппаратах индивидуального пользования, в частности в переговорных устройствах, предназначенных для работы в условиях повышенных шумов.

Разработанные устройства могут быть реализованы в интегральном исполнении в виде многофункциональной микросхемы, а также же «специализированного» микропроцессора.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

В изданиях из перечня ВАК:

1. Галиев А.Л., Шишкина А.Ф. Анализ синхронного адаптивного дельта-модулятора // Приборы и системы: управление, контроль, диагностика. – 2008. – № 8. – С. 23-25.

2. Галиев А.Л., Галиева Р.Г., Шишкина А.Ф. Об одном способе ослабления паразитной акустической обратной связи // Приборы и системы: управление, контроль, диагностика. – 2010. – № 2. – С. 32-35.

3. Галиев А.Л., Шишкина А.Ф. Устройство ослабления акустической обратной связи с компандированием огибающей речевого сигнала // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2011. – № 6. – С. 48-50.

В других изданиях:

4. Шишкина А.Ф. Об одном способе повышения устойчивости электроакустических систем // Десятая Всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых ученых: Сб. науч. трудов. В 2 томах. Том 2. – Екатеринбург – Красноярск: изд-во АСФ России, 2004. – 656 с. – С. 987-989.

5. Шишкина А.Ф. Транспозитор спектра сигнала с минимальным временем задержки // Современные проблемы физики и математики: Труды Всероссийской научной конференции (16-18 сентября 2004 г., г. Стерлитамак)/Отв. ред. К.Б. Сабитов. – Уфа: Гилем, 2004. – Т. 2. – 203 с. – С. 200-203.

6. Шишкина А.Ф. Динамика изменения спектральной характеристики ДМ-сигнала // Региональная школа-конференция молодых ученых: Сб. науч. трудов. – Уфа: Гилем, 2006. – 204 с. – С. 69-71.

7. Галиев А.Л., Шишкина А.Ф. Исследование шумфакторов в адаптивном дельта-модуляторе // Труды Стерлитамакского филиала Академии Наук Республики Башкортостан: Серия «Физико-математические и технические науки». Выпуск 4 / Под общей ред. К.Б. Сабитова, С.С. Салаватовой. – Уфа: Гилем, 2006. – 184 с. – С. 124-127.

8. Шишкина А.Ф., Галиев А.Л. Синхронный адаптивный дельта-модулятор // Информационно-вычислительные технологии и их приложения: Сборник статей IV Российско-украинского научно-технического и методического симпозиума. – Пенза: РИО ПГСХА, 2006. – 288 с. – С. 267-270.

9. Шишкина А.Ф., Галиев А.Л. Цифровое устройство сжатия сигнала во времени // Вузовская наука: Инновационные подходы и разработки: Сборник научных трудов профессорско-преподавательского состава Стерлитамакской государственной педагогической академии им. Зайнаб Бишевой / Под общ. ред. А.Л. Галиева; отв. ред. Л.М. Линецкая. – Стерлитамак: Стерлитамак. гос. пед. академия, 2008. – 160 с. – С. 39-42.

10. Шишкина А.Ф., Галиев А.Л. Минимизация уровня шумов при адаптивной дельта-модуляции // Роль классических университетов в формировании инновационной среды регионов. Фундаментальное естественно-научное образование — генерация знаний на базе научных исследований: Материалы Меж-

дународной научно-практической конференции. 2-5 декабря 2009 г. Т. II. Ч. 1. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2009. – 334 с. – С. 194-198.

11. Шишкина А.Ф., Галиев А.Л. Анализ влияния интерференционных эффектов на устойчивость электроакустической системы // Электронные устройства и системы: Межвузовский научный сборник. – Уфа: УГАТУ, 2010. – 323 с. – С. 64-68.

12. Галиев А.Л., Шишкина А.Ф. Система ослабления акустической обратной связи методом анализа скважности импульсной последовательности // Электроника, автоматика и измерительная техника: Межвузовский сборник научных трудов с международным участием. – Уфа: УГАТУ, 2011. – 331 с. – С. 119-122.

13. Галиев А.Л., Галиева Р.Г., Шишкина А.Ф. Концептуальные вопросы обеспечения устойчивости электроакустических систем // Актуальные достижения европейской науки – 2011: Материалы 7-й международной научно-практической конференции. Том 42: Технологии. – София: Бял ГРАД-БГ, 2011. – 64 с. – С. 46-50.

14. Шишкина А.Ф. Шумоподаватель в импульсных усилителях с линейной дельта-модуляцией // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Труды Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2 т. Т.1: Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. – Томск, 6-8 октября 2011 г.: Томский политехнический университет. – 340 с. – С. 56-60.

15. Шишкина А.Ф. Умножитель частоты сигнала на асинхронном адаптивном дельта-модуляторе // Достижения молодых ученых в развитии инновационных процессов в экономике, науке, образовании: Материалы III Международной научно-практической конференции. В 2 ч. / Под ред. И.А. Лагерева. – Брянск: БГТУ, 2011. – Ч. 1. – 268 с. – С. 146-147.

Диссертант



А.Ф. Шишкина

ШИШКИНА Анна Федоровна

ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА ПОВЫШЕНИЯ
УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИХ
СИСТЕМ

(развитие теории, исследования и разработка)

Специальность 05.13.05 – Элементы и устройства
вычислительной техники и систем управления

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 23.11.2011 г.

Бумага ксероксная. Печать оперативная. Формат 60х84_{1/16}.

Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № /11.

Отпечатано в полиграфическом участке Стерлитамакской
государственной педагогической академии им. Зайнаб Бишевой:
453103, Стерлитамак, пр. Ленина, 49.

