

следствие оперативность мониторинга их инфраструктуры, оперативность реагирования на экстремальные ситуации и общую безопасность эксплуатации водных путей.

**Список литературы:**

- [1] Кодексы и законы Российской Федерации. Электронный ресурс: Кодекс внутреннего водного транспорта РФ [Режим доступа:] [http://kzrf.ru/kvvtvf\\_head\\_06.html](http://kzrf.ru/kvvtvf_head_06.html)
- [2] Гарант сервис. Электронный ресурс. Кодекс внутреннего водного транспорта РФ [Режим доступа]: <http://base.garant.ru/12122218/6/>
- [3] Леонид Черняк. Платформа Интернета вещей. Открытые системы. СУБД, №7, 2012.
- [4] Bonomi F., Milito R., Zhu J., Addepalli S. Fog Computing and Its Role in the Internet of Things (англ.). SIGCOMM'2012. ACM (19 June 2012).

**П.И. Грушин**

*Арзамасский филиал НГТУ им. Р.Е. Алексеева*

**В.И. Логинов**

*ФБОУ ВПО «ВГАВТ»*

## **КОГНИТИВНОЕ РАДИО – МЕТОДИКА НАЗНАЧЕНИЯ ЧАСТОТ КАНАЛОВ СВЯЗИ С УЧЕТОМ ПОДАВЛЕНИЯ КОМБИНАЦИОННЫХ ПОМЕХ**

Оптимальное назначение частот связи в сложных системах нелинейного преобразования частот позволяет решить задачу повышения эффективности их использования и пропускной способности. Рассматриваются вопросы повышения эффективности алгоритмов анализа комбинационных частот при нелинейном преобразовании частот для использования в технологии когнитивного радио.

Одной из важных задач, как проектирования, так и эксплуатации приемопередающей аппаратуры является надежность и эффективность использования существующих каналов связи. Выдвинутая в начале XXI века идея когнитивного (интеллектуального) метода организации беспроводных каналов связи [1] является в условиях дефицита доступных радиочастотных ресурсов весьма продуктивной. Если учитывать, что интенсивность использования частотных ресурсов напрямую зависит от плотности населения, то в местах с низкой плотностью населения доступные частотные ресурсы вообще не используются.

Эксплуатация этой идеи открывает путь перехода от статического назначения и распределения частотных ресурсов к динамическому, что позволит в будущем рационально использовать статически назначенные, а также свободные частотные ресурсы, если они не используются в данном регионе.

Современный этап развития телекоммуникационных технологий характеризуется интенсивным развитием и внедрением когнитивного радио [2–4], что позволит решить первоочередные задачи эффективного использования диапазонов, отведенных для телерадиовещания [4]. Функционирование устройств когнитивного радио выполняется в режиме реального времени, что позволяет решать основные задачи использования выделенного частотного ресурса и замены его другим частотным ресурсом в случае его занятости радиотехнической службой с более высоким приоритетом. Это ограничение требует от используемого программного обеспечения управления в контроллерах когнитивного радио максимального быстродействия для анализа частотного распределения, определения основных параметров каналов связи, выбора способов модуляции для решения главной задачи

Типовое устройство функционирующее по технологии когнитивного радио должно иметь связь с базой данных текущего состояния частотных ресурсов, иметь уст-

ройство определения местоположения и широкодиапазонный анализатор спектра с большим динамическим диапазоном. Основное требование при переходе с одной рабочей частоты на другую должно осуществляться без потери информации передаваемой по каналу связи.

Применение в устройстве когнитивного радио анализаторов спектра позволяет решать задачи отстройки от помех, оптимизации структур приемников с целью уменьшения влияния собственных продуктов нелинейного преобразования частот на параметры каналов связи. Таким образом, передать некоторые функции проектирования приемопередающих устройств в их устройства управления.

Для реализации технологии когнитивного радио в такой постановке задачи требуется разработка методов анализа и проектирования систем нелинейного преобразования частот с максимальным быстродействием и они по возможности должны быть безитерационными.

Одной из первостепенных задач предлагаемой методики состоит в анализе комбинационных помех в так называемой «ближней» зоне, которая определяется соседними пораженными точками. Ближайшие пораженные точки «ближней» зоны определяются из условия фильтрации комбинационных помех заданного порядка. Этим достигается решения задачи фильтрации побочных комбинационных составляющих в частотном плане.

Вторая задача предлагаемой методики состоит в определении уровня паразитных комбинационных частот. Основная задача этого этапа вычисления уровня комбинационных составляющих попадающих в «ближнюю» зону. Предлагаемые алгоритмы должны быть безитерационными и с возможностью из использования с несколькими процессорами.

Решение первой задачи определения «ближней» зоны к рабочему соотношению смешиваемых частот в системе нелинейного преобразования частоты состоит в выборе двух ближайших членов ряда Фарея [5, 6] к рабочему соотношению смешиваемых частот. Ряды Фарея описывают образование помех при нелинейном преобразовании частоты и образуют базис для запрещенных соотношений смешиваемых частот.

Основу предполагаемой методики методов составляет проверка заданного соотношения смешиваемых частот предполагаемых каналов связи системы преобразования частот в базисе дробей Фарея с помощью аппарата цепных дробей [7], используя механизм подходящих и промежуточных дробей для нахождения двойного диофантова приближения используемых каналов связи.

Для решения второй задачи предлагается модифицированная модель расчета уровней комбинационных составляющих на основе известных эмпирических моделей преобразователей частоты. Анализируется алгоритмическая сложность предлагаемых алгоритмов.

Согласно теореме Дирихле теории диофантовых приближений, для заданного соотношения смешиваемых частот преобразователя  $q$  всегда существует такая дробь  $R/Q$ , что разность между ними может удовлетворять любой наперед заданной точности. Для отыскания первого приближения заданного соотношения смешиваемых частот  $q$  дробью Фарея (или первой границы «ближней» зоны) воспользуемся аппаратом цепных дробей [7, 8].

Максимальное количество итераций алгоритма поиска первого приближения (рис. 1) можно определить по формуле

$$N' = 2 \log_2 k + 1 \quad (1)$$

Второй задачей в определении ближайших дробей Фарея к заданному соотношению смешиваемых частот  $q$ , а следовательно второй границы «ближней» зоны является определение второго диофантова приближения. Найденная по алгоритму рис. 1 дробь Фарея может удовлетворять условию

$$\frac{R_i}{Q_i} \leq q \quad (2)$$

либо условию

$$\frac{R_i}{Q_i} > q \quad (3)$$

где  $i = \overline{1, N_k}$  – номер дроби Фарея в ее последовательности.

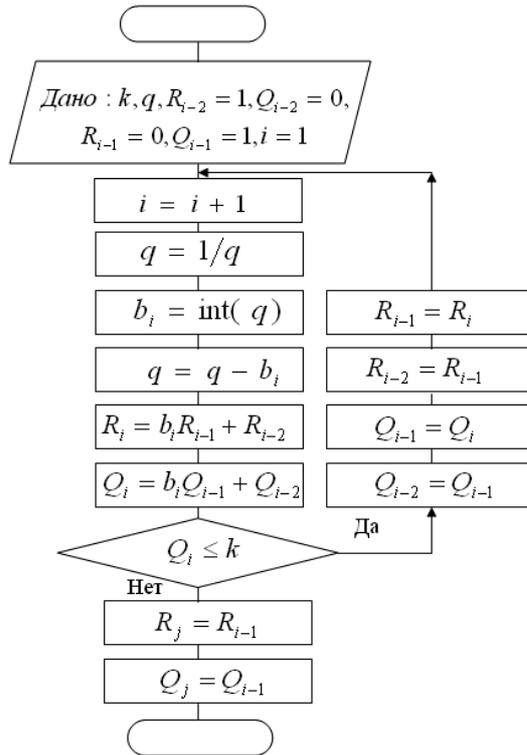


Рис. 1. Алгоритм нахождения диофантова приближения действительного числа  $q$  дробью Фарея, основанный на механизме подходящих дробей

Алгоритм нахождения второго диофантова приближения можно реализовать с использованием нескольких алгоритмов:

- на основе связи соседних дробей Фарея, используя прямую и обратную теорему Фарея-Коши. Использование этой теоремы позволяет создать независимые алгоритмы решения задачи отыскания первого и второго диофантовых приближений. Алгоритмическая сложность этих реализаций вычислительного процесса линейно зависит от порядка ряда Фарея  $k$ ;

- на основе механизма промежуточных дробей, как продолжение алгоритма поиска первого диофантова приближения с использованием подходящих дробей. Основу алгоритма составляет механизм промежуточных дробей;

- на основе связи отдельных уровней дерева Фарея предлагается безитерационный алгоритм поиска второго диофантова приближения [9, 10], но его использование без алгоритма рис. 1. невозможно.

Для оценки эффективности и быстроты действия анализа комбинационных состав-

ляющих с использованием рядов Фарея приведена в [9, 11, 12] и представляет собой параболическую зависимость от индекса ряда Фарея  $k$ .

Вторую задачу предлагаемой методики составляет задача расчета уровней комбинационных составляющих на выходе систем нелинейного преобразования частот задачу. Уровни комбинационных составляющих на выходе систем нелинейного преобразования частоты зависят от типа нелинейности, уровня мощности сигналов и гетеродина и наличия фильтрующих элементов или специальных систем подавления помех.

Существующие инженерные методики расчета уровня комбинационных составляющих при нелинейном преобразовании частот в основном носят двусигнальный безинерционный характер (без учета эффекта памяти и вторичного взаимодействия смешиваемых компонент). Вольтамперная характеристика нелинейных элементов обычно представляется степенным рядом.

1. В основе одной из самых распространенных методик расчета уровней комбинационных составляющих является, представленный у Манасевича В., табличный способ учета, основанный на использовании эмпирических данных производителей устройств. Реализация метода состоит в предоставлении двумерных массивов данных об уровне комбинационных составляющих при заданных фиксированных уровнях рабочей и опорной частот. Производители смесителей и преобразователей частоты приводят относительные (к сигналу промежуточной частоты, а это обычно суммарная или разностная частота) уровни комбинационных составляющих. Могут быть представлены данные для нескольких значений уровней рабочей и опорных частот.

Эта модель расчета продуктов нелинейного преобразования частот имеет один существенный недостаток – при преобразовании вниз (вычитание частот) и вверх (суммирование частот) в общем случае уровни комбинационных составляющих близки, но различаются. Поэтому применение этой модели можно ограничить только рамками предварительного моделирования и оценки уровня продуктов нелинейного преобразования.

2. Для повышения точности моделирования преобразователей частоты необходимо использовать более сложную эмпирическую модель [6] – Global Mixer Model (GMM), основу которой составляет описание поведения комбинационных продуктов преобразования смесителей с учетом ассиметричного отклика на входные воздействия при преобразовании сигнала вверх (суммирование частот) или вниз (вычитание частот). Модель строится на основе измерений интермодуляционных продуктов и использует программное обеспечение для интерполяции результатов измерений. Для определения уровней комбинационных составляющих при уровнях входных сигналов отсутствующих в базе данных GMM выбранного смесителя используется линейная интерполяция и интерполяция сплайнами. Предлагаемая модель предназначена для оценки и оптимизации поведения смесителей в системах при изменении мощности и частот входных сигналов в широких пределах. Использование этой модели позволит повысить точность моделирования продуктов нелинейного преобразования смесителей.

К недостаткам этой модели можно отнести то, что в основе этой модели лежит следующее ограничение – рабочая частота смесителя всегда меньше, чем частота гетеродина ( $F_{Rf} < F_{Lo}$ ). На практике можно столкнуться с тем, что уровни комбинационных составляющих при  $F_{Rf} > F_{Lo}$  могут отличаться от тех, которые заложены в модели при проведении экспериментальных исследований.

Исходя из анализа данных приведенных в [6] можно сделать следующие замечания:

Недостаток ассиметричной GMM модели состоит в том, что она имеет ограниченное применение при соотношениях смешиваемых частот около 1 и при частотах гетеродина больших частот сигнала рис. 2. (две правые области помеченные кружками).

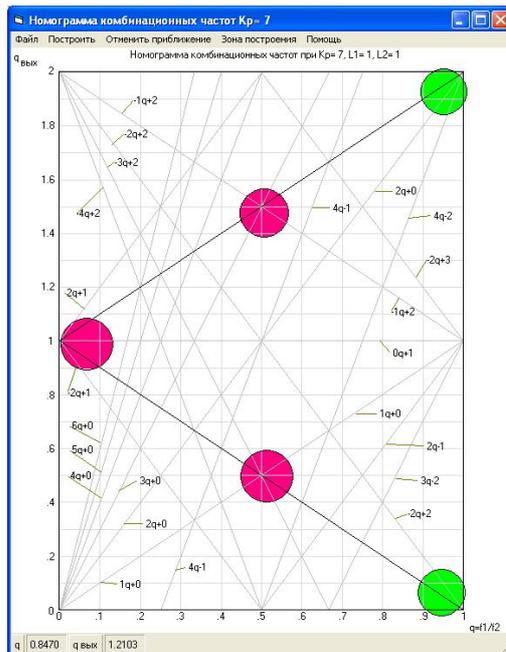


Рис. 2. Области действия модели GMM (правая часть) и модели SPEMM (все помеченные области)

Для исправления недостатков вышеприведенных моделей требуется их доработка в направлении увеличения точек аппроксимации вместо двух по крайней мере до пяти по числу основных зон номограммы комбинационных частот ( $q_{ex} = 0$ ,  $q_{ex} = 0,5$  для суммирования и вычитания частот) добавляются еще три зоны). Дальнейшее усложнение модели асимметричного нелинейного преобразования частот потребует ввод информации о подавлении продуктов нелинейного преобразования частот при различных соотношениях смешиваемых частот как для случая, когда частота сигнала меньше, чем частота гетеродина так и наоборот.

Предлагается пятиточечная модель эмпирическая преобразователя частоты (Five Point Empirical Mixer Model (SPEMM)), учитывающая характер соотношения частот гетеродина и сигнала.

Следующей задачей является определение уровня подавления комбинационных частот в «ближней» зоне с учетом прохождения сигнала через фильтр промежуточных частот. Основу этой модели составляет асимметричная модель фильтрующих элементов системы преобразования частот, которая позволяет определить подавления частот за полосой пропускания системы преобразования с учетом формы фильтров.

**Заключение:** Реализация предлагаемой методики на основе входных ограничений.

**Входные параметры системы преобразования частот:** диапазон преобразуемых частот; диапазон промежуточных частот; минимальные требования на параметры фильтрующих элементов преобразователя частоты.

**Определить:** диапазон частот гетеродина; уровень подавления комбинационных частот в ближней зоне; параметры фильтрующих элементов преобразователя частоты.

Результатом данного подхода можно определить подходят ли выделенные частоты канала связи для реализации требуемой пропускную способность этого канала связи (если имеются данные с анализатора спектра и параметры отношения сигнал/шум). Проверка возможности реализации каналов связи с заданными параметрами в данном месте на требуемом удалении от базовых станций.

**Список литературы:**

- [1] Joseph Mitola III. Cognitive Radio. An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio // Doctor of Technology Dissertation, Royal Institute of Technology, Sweden, May 2000.
- [2] Simon Haykin. Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications // IEEE Journal on selected areas and communications, vol. 23, No. 2, February 2005, p. 213.
- [3] Авдонин Д.В., Рындык А.Г. Интеллектуальные радиосистемы: Когнитивное радио. Электронный ресурс: Электронный журнал «Вычислительные сети. Теория и практика» («Network journal. Theory and practice»), Сети и системы беспроводной связи, 2006, №1 (8): 6.1. Режим доступа: <http://network-journal.mpei.ac.ru/cgi-bin/main.pl?l=ru&n=8&pa=6&ar=1>
- [4] Гурьянов И.О. Когнитивное радио: Новые подходы к обеспечению радиочастотным ресурсом перспективных радиотехнологий. Электросвязь, № 8, 2012, С. 5–8.
- [5] Манассевич В. Синтезаторы частот (теория и проектирование): Пер. с англ./ Под ред. А.С. Галина. - М.: Связь, 1979. 384 с.
- [6] Liu J., Dunleavy L.P., Svensen T.B. A Table-Based Asymmetric System Mixer Model. European Microwave Conference 2003. [Электронный ресурс] Monolithics. Precision Measurements and Models You Trust. Режим доступа: <http://www.modelithics.com/paper/633.pdf>
- [7] Логинов В.И., Маркова С.А. Номограмма комбинационных частот - алгоритмический подход. Ж. «Радиотехника», 1989, № 1, С. 44–46.
- [8] Логинов В.И. Номограмма комбинационных частот – алгоритмический подход с учетом преобразования на гармониках сигнала и гетеродина. - ж. Радиотехника, № 4, 2011, С. 61–66.
- [9] Грушин П.И., Логинов В.И., Ямпурин Н.П. Сравнительные характеристики алгоритмов расчета комбинационных составляющих на основе рядов Фарея /Труды нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2010, № 2(81), С. 21–29.
- [10] Грушин П.И., Логинов В.И. Эффективность расчета комбинационных составляющих на основе цепных дробей. Всероссийский научно-технический семинар «Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов для связи и вещания».- Н. Новгород: 2010. – С. 29–32.
- [11] Александров Е.В., Логинов В.И. Эффективность расчета частотного распределения нелинейного преобразования частот с использованием рядов Фарея. Радиопромышленность. 2013. № 1. С. 100–105.
- [12] Грушин П.И., Логинов В.И., Ямпурин Н.П. Интеллектуальный анализ помех нелинейного преобразования частоты в ближней зоне и формулировка требований к элементной базе //Труды 1-ой Российско-Белорусской научно-технической конференции элементная база отечественной радиоэлектроники. Том 1. Нижний Новгород, 11–14 сентября 2013. С. 233–235.

**А.В. Преображенский, А.В. Романов**  
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## **ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ УПРОЩЕННЫХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЯЕМОГО НА КУРСЕ СУДНА**

Проведена оценка адекватности линейной с четырьмя коэффициентами математической модели водоизмещающего судна при движении заданным курсом.

Управление объектом с учетом ожидаемой реакции, оцениваемой на математической модели, является одним из способов повышения качества управления. Характеристики управляемости судна, особенно речного, зависят от условий движения (скорости, глубины воды, силы и направления ветра) и существенно отличаются от рассчитанных теоретически. Поэтому объект необходимо оперативно идентифицировать, используя базовую модель с возможно меньшим числом коэффициентов. В литературе рассматриваются разные модели [1], в том числе нейросетевые [2]. Актуальна оценка адекватности моделей и времени наблюдения за объектом, достаточного для его идентификации.