

С. А. Белобородов, В.И. Логинов  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ С ПЕРЕСТРАИВАЕМЫМ ПРЕСЕЛЕКТОРОМ

Развитие современных систем связи и телекоммуникаций переживает этап катастрофической нехватки частотных ресурсов при одновременном ухудшении электромагнитной обстановки, особенно в крупных городах [1, 3]. Борьба с этими тенденциями возможно двумя путями:

- замены лицензирования частот на свободное безлицензионное их использование и сочетание этих способов распределения частот,
- совершенствование способов фильтрации [2] для улучшения параметров ЭМС современных систем связи.

Задача расчета и оптимизации частотного распределения преобразователей частоты с перестраиваемым преселектором заключается в определении частот и диапазонов их перестройки при условии подавления продуктов нелинейного преобразования частот до необходимого уровня, заданного техническими условиями.

Конечной целью функционального проектирования является определения уровня помех нелинейного преобразования частот, который основан на использовании эмпирических методов. Применение современных методов анализа продуктов нелинейного преобразования частот на основе рядов Фарея [4] позволяет увеличить эффективность методов функционального проектирования преобразователей частоты по сравнению с программными средствами основанными на полном переборе комбинационных составляющих [7–8] и как альтернатива аналитическим методам расчета и оптимизации частотного распределения [11, 12].

В рамках госбюджетной работы разработана и зарегистрирована программа расчета и оптимизации частотного распределения нелинейного преобразователя частоты с перестраиваемым преселектором «FDM v. 1.0» [10]. Основу этой программы составляет программа расчета и построения номограммы комбинационных частот с учетом преобразования на гармониках сигнала и гетеродина с использованием рядов Фарея «Nomogram-Farey v.2.0» [9]. Разработанные программные средства могут быть использованы при проектировании современных средств связи, а также в учебном процессе для решения задач функционального проектирования систем преобразования частот в курсах «Спутниковые и радиорелейные системы связи» и в дипломном проектировании.

Программа FDM v.1 работает в двух режимах: расчета и оптимизации параметров частотного распределения при учете всех возможных ограничений, которые могут возникать при формулировке задачи. Основная особенность модели преобразователя частоты с перестраиваемым преселектором состоит в том, что в этой программе реализуется безитерационный алгоритм оптимизации параметров его частотного распределения.

### Описание интерфейса программы FDM v.1.0

Основное окно (Рис. 1) используется для отображения результатов расчета в абсолютном масштабе частотной области на трех уровнях: частотное распределение входных сигналов, промежуточная частота и частотное распределение ближайших четырех комбинационных составляющих к полосе выходного фильтра.

Второе окно номограммы комбинационных частот (Рис. 2) отображает область фильтруемых частот в относительном частотном масштабе на номограмме комбинационных частот и после выполнения расчета в этом окне отображается область фильтруемых частот преобразователя частоты. Это окно используется для автоматизации ввода параметра начального соотношения смешиваемых частот  $q$  и задания операции суммирования или вычитания частот. Ввод  $q$  осуществляется кликом левой кнопки мыши в любом месте рабочей области этого окна.

Третье окно (Рис. 3) используется для ввода параметров преобразователя частоты и управления ограничениями на эти параметры.



Рис. 1. Результат оптимизации параметров преобразователя частоты с перестраиваемым преселектором при вычитании частот  $Kp=5$

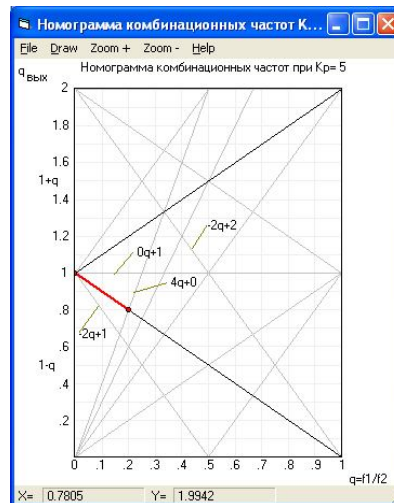


Рис. 2. Номограмма комбинационных частот

Окно определения и учета уровня комбинационных составляющих (рис. 4) осуществляется с применением эмпирического подхода, применяя одноточечную модель (согласно Манассевича В.), двухточечную GMM или пятиточечную 5PEMM модель. Основной характеристикой приведенных моделей является их быстрдействие и вы-

сокая точность, основанная на результатах измерений параметров преобразователя частоты в реальных условиях его эксплуатации.

В программном комплексе реализована возможность учета и использования для расчета уровней комбинационных составляющих всех трех моделей.

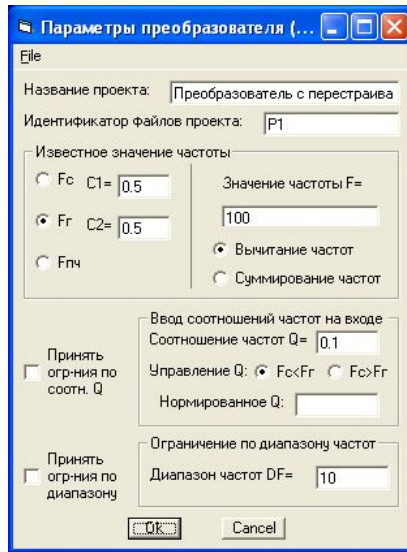


Рис. 3. Ввод параметров и ограничений преобразователя частоты с перестраиваемым преселектором



Рис. 4. Эмпирическая модель учета уровней комбинационных составляющих

Проведем сравнительное моделирование преобразователя частоты с перестраиваемым преселектором с использованием программы FDM v.1.0 и данных полученных с использованием аналитической методики Шарипова

*Пример 1.* Определить частотное распределение преобразователя частоты с перестраиваемым преселектором при учете комбинационных частот 7-го порядка. Приближенное соотношение смешиваемых частот – 0.35,  $F_c > F_r$ , при вычитании частот.

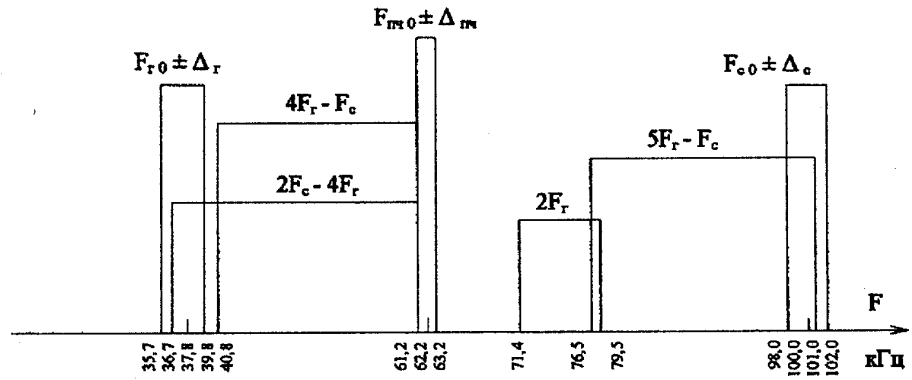


Рис. 5. Результат расчета по [11] стр. 141 рис 4.1

Результат моделирования в программе FDM v.1.0

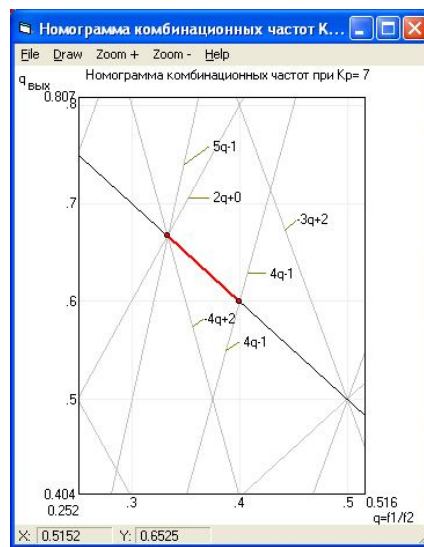


Рис. 6. Область фильтруемых частот и ближайшие комбинационные частоты

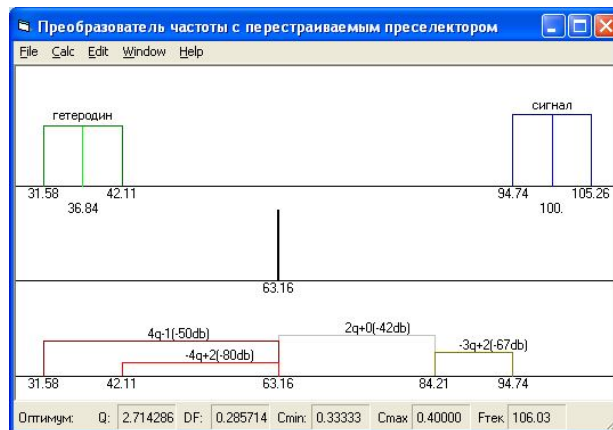


Рис. 7. Частотное распределение преобразователя частоты с перестраиваемым преселектором

Анализ результата показывает:

1. Расчет преобразователя по методике Шарапова имеют гарантированную полосу пропускания 4.1 МГц, а по программе FDM v1.0 – 10.53 МГц. Эта разница в результатах с основным определяется тем, что методика Шарапова (см. Рис. 5) справа от фильтра ПЧ имеется свободная зона, следовательно, расчет по этой методике выдает неоптимальные значения частотного распределения, а по программе FDM v.1.0 – определяются оптимальные параметры (с несколько завышенными значениями, определяемыми нулевым значением полосы пропускания выходного фильтра ПЧ, а у Шарапова это значение ненулевое)

2. На рис. 7 вместо частоты  $5F_r - F_c$  (уровень подавления -16 дБ) присутствует частота  $-3F_r + 2F_c$  (-80дБ). Это можно объяснить тем, что (см. Рис. 6) комбинационная частота  $2F_r$  и  $5F_r - F_c$  проходят через пораженную точку с  $q=0.3333$ , а согласно [4] при анализе комбинационных помех большим приоритетом обладают комбинационные частоты с меньшим порядком (частоты с большим порядком всегда «маскируются» частотами имеющими более низкий порядок).

**Пример 2.** Определить частотное распределение преобразователя частоты с перестраиваемым преселектором при учете комбинационных частот 7-го порядка. Приближенное соотношение смешиваемых частот – 0.29,  $F_c > F_r$ , при суммировании частот.

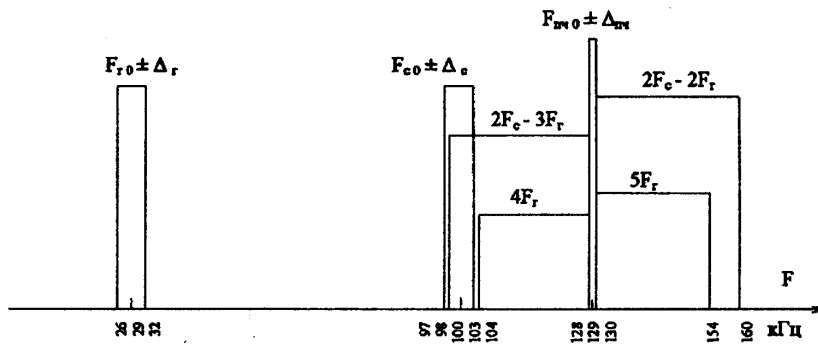


Рис. 8. Результат расчета по [11] стр. 159 рис 4.3

Результат моделирования в программе FDM v.1.0

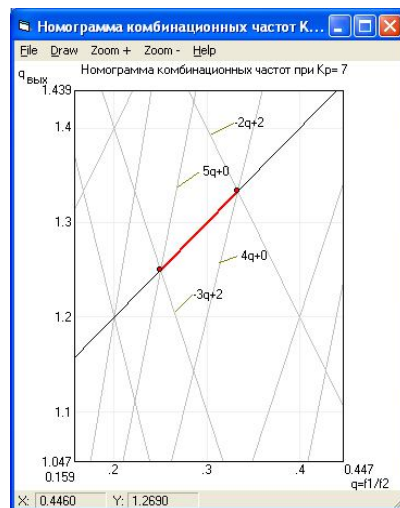


Рис. 9. Область фильтруемых частот и ближайшие комбинационные частоты



Рис. 10. Частотное распределение преобразователя частоты с перестраиваемым преселектором

Анализ результата показывает, что расчет преобразователя по методике Шарапова и с использованием программы FDM v.1.0 совпадают. Незначительное расхождение в результатах определяется разницей в полосах пропускания выходного фильтра ПЧ по этим методикам.

Представленная программа FDM v.1.0 позволяет решать весь спектр задач расчета и оптимизации частотного распределения преобразователей частоты с перестраиваемым преселектором и составляет базу для их автоматизированного проектирования.

#### 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] Benzacar S. Interference: The Creeping Menace, – President, Anatech Electronics. Microwave product digest. July, 2014.
- [3] Европейская директива ЭМС 2004/108/ЕС. Электронный ресурс: Официальный Журнал Европейского Сообщества 31.12.2004.. Режим доступа: [http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/electrical/emc/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/electrical/emc/index_en.htm) перевод с английского [http://www.ce-certificate.eu/storage/Dir.2004-108-EC\\_ed.%2022.06.2011.pdf](http://www.ce-certificate.eu/storage/Dir.2004-108-EC_ed.%2022.06.2011.pdf)
- [4] Логинов В.И. Номограмма комбинационных частот – алгоритмический подход с учетом преобразования на гармониках сигнала и гетеродина. – ж. Радиотехника, № 4, 2011, С. 61-66.
- [5] Грушин П.И., Логинов В.И., Ямпурин Н.П. Использование ПЛИС в системах автоматизированного распределения частот. – Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – № 7(31), 2011. – С. 28-35.
- [6] Грушин П.И., Логинов В.И. Проектирование полосового фильтра с минимальными требованиями к реализации для подавления помех в ближней зоне.- Радиотехнические и телекоммуникационные системы. №4, 2012.- С. 4-9.
- [7] Flores J. L. The Distances Chart: A New Approach to Spurs Calculation.- Microwave J., Vol. 53, № 2, February 2010, Page 86.
- [8] Gandhi D., Lyons C. Mixer Spur Analysis with Concurrently Swept LO, RF and IF: Tools and Techniques. Microwave Journal, Vol. 46, № 5, May 2003, p. 212.
- [9] Логинов В.И. Программа расчета и построения номограммы комбинационных частот с учетом преобразования на гармониках сигнала и гетеродина с использованием рядов Фарея «Nomogramma-Farey v.2.0». Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2010615947 от 10 сентября 2010 г.
- [10] Логинов В.И. Расчет и оптимизация частотного распределения нелинейного преобразователя частоты с перестраиваемым преселектором «FDM v. 1.0». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015613019 от 02 марта 2015 г.
- [11] Шарапов Ю.И., Крылов Г.М., Пантелеев Ю.П. Преобразование сигнала без комбинационных частот.- М.: ИПРЖР: 2001. – 288 с., ил.

[12] Шарапов Ю.И. Преобразование сигнала без комбинационных частот в специальных приемниках. - М.: САЙНС-ПРЕСС, 2009. – 256 с.

*Т.И. Гаврилова, Е.Н. Поселенов, А.В. Чернышов, М.М. Чиркова*  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

## ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ КАЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ УПРАВЛЯЕМОСТИ СУДОВ

Рассматривается возможность введения новых показателей управляемости судов.

Необходимые для обеспечения хорошей управляемости свойства речных водоизмещающих судов в разные моменты развития судостроения и у разных ученых, а также в правилах надзорных (контролирующих эту область деятельности) органов трактовались по-разному.

В работах Н.Я. Першца в качестве одного из простых критериев устойчивости судна на курсе рассматривалось количество переключений руля в единицу времени. В отношении поворотливости имелось в виду то, что при максимальной переключке руля (рулей) и необходимом использовании подруливающих насадок, судно должно быть в состоянии выполнить необходимый маневр. По результатам испытаний составлялись (и составляются сейчас) таблицы маневренности – проверенное средство, позволяющее судоводителю ориентироваться в том, какие действия нужно предпринять при необходимости выполнения того или иного маневра при некоторой начальной скорости поступательного движения судна с учетом времени одерживания при различных углах переключки руля на повороте.

Спустя некоторое время, после большой работы по подготовке требований Российского речного регистра к управляемости судов, были сформулированы новые критерии поворотливости и устойчивости на прямом курсе. Так, в качестве критерия поворотливости рассматривается наименьший относительный диаметр установившейся циркуляции  $(D_y / L)_{\min}$ , полученный при максимально допустимой переключке руля  $\alpha_{\max}$ . Судно отвечает требованию поворотливости, если выполняется условие  $(D_y / L)_{\min} \leq 2$ , где  $L$  – длина судна по конструктивной ватерлинии. Критерием устойчивости судна на курсе является относительный диаметр установившейся циркуляции при нулевом угле переключки рулей. Причем судно считается устойчивым на курсе, если диаметр установившейся самопроизвольной циркуляции удовлетворяет условию  $(D_y / L)_0 \rightarrow \infty$  [1].

Речные водоизмещающие суда являются весьма сложными объектами управления. Их особенности таковы, что они являются объектами с нелинейной динамикой. Статическая характеристика по управлению для них является нелинейной и имеет зону неоднозначности реакции на малые управляющие воздействия (рис. 1). Такие суда не могут удовлетворить вышеуказанным требованиям и являются неустойчивыми на курсе с неустойчивостью типа «седло».