

**В.И. Логинов**  
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТ ТРАНСПОРТНОГО РАДИООБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ УЧЕТА НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ПРОИЗВОЛЬНОГО ПОРЯДКА

Задача автоматизации частотного распределения встает, как на этапе проектирования приемопередающих устройств транспортного радиооборудования, так и на этапе его эксплуатации. Эта задача особенно актуальна в группировках радиоэлектронных средств при решении задачи электромагнитной совместимости.

Основная задача частотного распределения приемно-передающих устройств проектирования структурных схем систем преобразования частот состоит в определении соотношений смешиваемых частот всех ступеней преобразования [1] с целью обеспечения фильтрации комбинационных составляющих любого заданного порядка [2] при условии обеспечения: конструктивных ограничений на промежуточные частоты, получения заданных номиналов входных и выходных частот и т.д.

Модель преобразователя частоты с перестраиваемым преселектором состоит из смесителя СМ (см. рис. 1), входного перестраиваемого полосового фильтра Ф1 (преселектора), выходного не перестраиваемого полосового фильтра Ф2, перестраиваемого генератора Г. Входные фильтр Ф1 и Ф2 имеют АЧХ следующего вида:

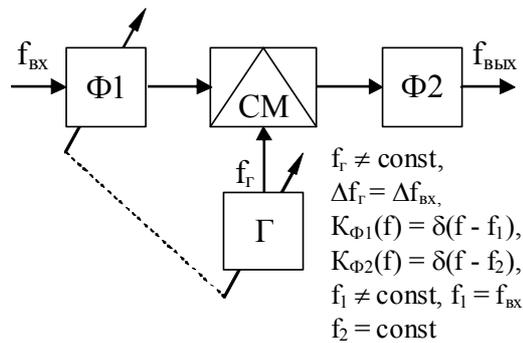


Рис. 1. Модель преобразователя частоты с перестраиваемым преселектором

$$K_{\Phi 1}(f) = \delta(f - n \cdot f_{\text{ВХ}}), K_{\Phi 2}(f) = \delta(f - n \cdot f_{\text{ВЫХ}}) \quad (1)$$

Входной и гетеродинный сигналы изменяются в диапазоне от своих нижних до своих верхних значений частот:  $f_{\text{ВХ}} \in (f_{\text{ВХн}}, f_{\text{ВХв}})$ ,  $f_{\Gamma} \in (f_{\Gamma н}, f_{\Gamma в})$ , причем диапазон изменения частоты входного и гетеродинного сигналов равны:

$$\Delta f_{\text{ВХ}} = \Delta f_{\Gamma} = \Delta f, \quad (2)$$

$$\text{где } \Delta f_{\text{ВХ}} = f_{\text{ВХв}} - f_{\text{ВХн}}, \Delta f_{\Gamma} = f_{\Gamma в} - f_{\Gamma н}. \quad (3)$$

Сигнал на выходе  $f_{\text{ВЫХ}}$  остается неизменным при любом значении входного сигнала:

$$f_{\text{ВЫХ}} = \text{const} \quad (4)$$

Сложение частот при  $f_{\text{ВХ}} < f_{\Gamma}$   
Введем в рассмотрение коэффициенты:

$$C_1 = \frac{f_C - f_{Cн}}{\Delta f}, \quad C_2 = \frac{f_\Gamma - f_{\Gammaн}}{\Delta f},$$

и запишем для нижних и верхних частот входного сигнала и гетеродина следующие выражения:

$$\begin{cases} f_{ВХн} = f_{ВХ} - C_1 \cdot \Delta f \\ f_{ВХв} = f_{ВХ} + (1 - C_1) \cdot \Delta f \\ f_{\Gammaн} = f_\Gamma - C_2 \cdot \Delta f \\ f_{\Gammaв} = f_\Gamma + (1 - C_2) \cdot \Delta f \end{cases}.$$

Далее, приравняв  $C_{min}$  и  $C_{max}$  (ближайшие пораженные точки с недопустимым порядком комбинационных частот) отношениям нижних и верхних частот входного сигнала и гетеродина получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} C_{min} = \frac{f_{Cн}}{f_{\Gammaв}} = \frac{f_1 - C_1 \cdot \Delta f}{f_2 + (1 - C_2) \cdot \Delta f} \\ C_{max} = \frac{f_{Cв}}{f_{\Gammaн}} = \frac{f_1 + (1 - C_1) \cdot \Delta f}{f_2 - C_2 \cdot \Delta f} \end{cases}$$

Разделив числитель и знаменатель каждого уравнения системы на  $f_\Gamma$ , получим следующее:

$$\begin{cases} C_{min} = \frac{q - C_1 \cdot \Delta f^{норм}}{1 + (1 - C_2) \cdot \Delta f^{норм}} \\ C_{max} = \frac{q + (1 - C_1) \cdot \Delta f^{норм}}{1 - C_2 \cdot \Delta f^{норм}} \end{cases} \quad (5)$$

где  $q = \frac{f_{ВХ}}{f_\Gamma}$ ,  $\Delta f^{норм} = \frac{\Delta f}{f_\Gamma}$

Решив систему (5), получим выражения для определения оптимальных параметров преобразования:

$$\Delta f_{opt}^{норм} = \frac{(C_{max} - C_{min})}{1 + C_{min} + C_2 \cdot (C_{max} - C_{min})}$$

$$q_{opt} = \frac{C_1 \cdot (C_{max} - C_{min}) + C_{min} \cdot (1 + C_{max})}{1 + C_{min} + C_2 \cdot (C_{max} - C_{min})}$$

Аналогичные выражения получены для вычитания частот при  $f_{ВХ} < f_\Gamma$ , а также для сложения и вычитания частот при  $f_{ВХ} > f_\Gamma$ . В случае использования преобразователя частоты с непереключаемым преселектором число уравнений (5) и их решений будет четыре, а для случая преобразователя со сложением диапазонов входных частот

число уравнений девять. В этом случае необходимо выбрать из решений уравнений такое которое имеет минимальное значение  $\Delta f_{опт}^{норм}$ .

Для проверки результатов оптимизации параметров частотного распределения используем программу «Расчета и оптимизации параметров частотного распределения преобразователя с перестраиваемым преселектором» (FAM with ITF. Frequency Allocation Mixer with Input Tunable Filter. Адрес разработчика: E-mail: Loginov@aqua.sci-ppov.ru). В основе алгоритма этой программы лежит идеализированная модель преобразователя частоты с перестраиваемым преселектором, описанная выше.

Программа FAM with ITF имеет два основных окна и одно окно для ввода параметров преобразователя.

1. Основное окно, приведено на рис. 2, используется для отображения результатов расчета в абсолютном масштабе частотной области на трех уровнях: частотное распределение входных сигналов (верхняя треть рисунка), промежуточная частота (средняя часть) и частотное распределение ближайших четырех комбинационных составляющих к полосе выходного фильтра (нижняя часть). Программа работает в двух режимах: расчета и оптимизации параметров частотного распределения. Ввод параметров преобразователя осуществляется через меню Configuration подменю Options. Основные параметры преобразователя, такие как соотношение смешиваемых частот  $q$  и знаки преобразования можно вводить, используя номограмму комбинационных частот (рис. 4). Для выполнения этой операции достаточно щелкнуть указателем мыши в нужной точке номограммы комбинационных частот.

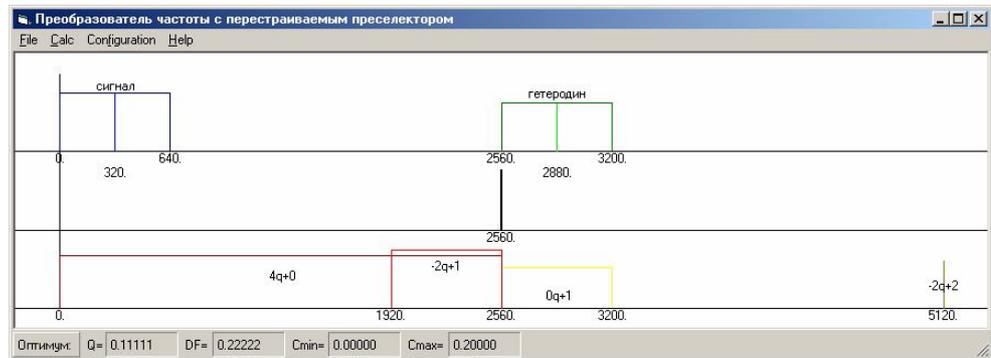


Рис. 2. Оптимальные параметры частотного распределения для зоны  $C_{min}=0.0$  и  $C_{max}=0.20$  при вычитании частот при  $Kp=5$ .

2. Окно номограммы комбинационных частот (рис. 3), в котором отображаются область фильтруемых частот (жирная линия на прямой  $1-q$ ) в относительном частотном масштабе. Область фильтруемых частот не должна пересекать комбинационные прямые недопустимого порядка. Входным параметром номограммы является порядок допустимых в полосу пропускания комбинационных частот  $Kp$  (на рис. 3 номограмма комбинационных частот для  $Kp=4$ ).

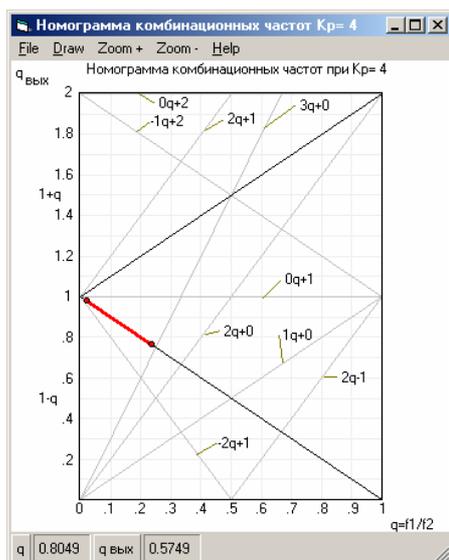


Рис. 3. Номограмма комбинационных частот при  $K_p=4$

3. Окно ввода и корректировки параметров преобразователя (рис. 4) позволяет в режиме диалога вводить все параметры преобразователя.

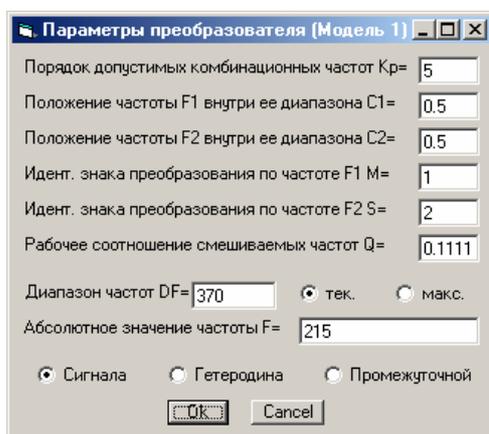


Рис. 4. Окно ввода параметров преобразователя частоты.

Разработана методика и программные средства автоматизации определения оптимального частотного распределения приемопередающего радиооборудования.

**Список литературы:**

[1] Шарапов Ю.И., Крылов Г.М., Пантелеев Ю.П. Преобразование сигнала без комбинационных частот. – М.: ИПРЖР, 2001. – 288 с.  
 [2] Логинов В.И., Маркова С.А. Номограмма комбинационных частот – алгоритмический подход. – ж. Радиотехника. – 1989, №1. С. 44-46.