

*Е.В. Александров, В.И. Логинов*  
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## **АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА РАСЧЕТА КОМБИНАЦИОННЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПРИ НЕЛИНЕЙНОМ ПРЕОБРАЗОВАНИИ ЧАСТОТЫ НА ОСНОВЕ РЯДОВ ФАРЕЯ**

В статье приведена идеализированная модель преобразователя частоты в перестраиваемом преселекторе. Разработаны алгоритмы и программные средства расчета частотного распределения при учете комбинационных составляющих произвольного порядка.

При нелинейном преобразовании сигналов, широко используемом в современных приемо-передающих устройствах, возникают паразитные комбинационные составляющие, приводящие к искажениям принимаемого или излучаемого сигнала. На этапе проектирования приемопередающей аппаратуры для борьбы с ними применяют два подхода: схемотехнический и функциональный.

Рассмотрим наиболее ответственный этап функционального проектирования. На этом этапе производится расчет параметров частотного распределения структурных схем, который состоит в определении соотношений смешиваемых частот всех ступеней преобразования с целью обеспечения фильтрации комбинационных составляющих заданного порядка при условии обеспечения: конструктивных ограничений на промежуточные частоты, получения заданных номиналов входных и выходных частот и т.д.

В работе [1] приводится инженерная графо-аналитическая методика с использованием номограммы комбинационных частот, предназначенная для решения задачи оптимизации частотного распределения на основе решения системы неравенств, связывающих комбинационные составляющие с частотой основного преобразования. Основным недостатком предложенной методики – приведенные системы неравенств зависят от порядка учитываемых комбинационных частот, соотношений смешиваемых частот и полосы пропускания проектируемого устройства нелинейного преобразования частот.

Известный алгоритмический подход к анализу комбинационных составляющих на основе рядов Фарея [2] позволяет эффективно решать задачу нахождения уравнений комбинационных составляющих к заданным соотношениям смешиваемых частот. Это позволяет автоматизировать процесс формирования неравенств на основе знания рабочих соотношений смешиваемых частот и порядка учитываемых комбинационных частот. Что в конечном итоге полностью автоматизирует этап оптимизации частотного распределения систем нелинейного преобразования частот.

Предлагается методика, алгоритмы, и программные средства оптимизации частотного распределения преобразователей частоты с перестраиваемым преселектором (см. рис. 1). Для упрощения математического описания и формул предполагается, что функциональная схема идеализирована ( $\Delta f_{\text{вых}} = 0$ ).

Основная задача поиска оптимального частотного распределения состоит в подборе входного рабочего соотношения смешиваемых частот и полосы их перестройки, чтобы выходной фильтр обеспечивал фильтрацию комбинационных частот заданного порядка.

Основными критериями поиска оптимальных параметров структурных схем на этапе функционального проектирования являются обеспечение максимальной полосы пропускания проектируемой системы при условии фильтрации отстроек от комбинационных частот заданного порядка с целью обеспечения их фильтрации комбинаци-

онных частот заданного порядка с учетом технических ограничений на параметры гетеродинных частот, параметры фильтров преселектора и ПЧ.

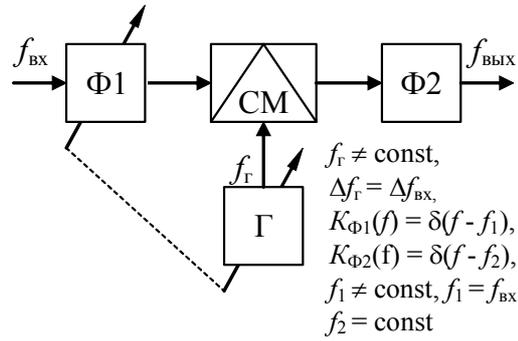


Рис. 1. Модель преобразователя частоты с перестраиваемым преселектором

Модель преобразователя частоты с перестраиваемым преселектором состоит из смесителя CM (см. рис. 1), входного перестраиваемого полосового фильтра Φ1 (преселектора), выходного не перестраиваемого полосового фильтра Φ2, перестраиваемого генератора Г. Входные фильтр Φ1 и Φ2 имеют идеализированную АЧХ следующего вида:

$$K_{\Phi 1}(f) = \delta(f - f_1), K_{\Phi 2}(f) = \delta(f - f_2) \quad (1)$$

Входной и гетеродинный сигналы изменяются в диапазоне от нижних до верхних значений частот соответственно:  $f_{\text{BX}} \in (f_{\text{BXн}}, f_{\text{BXв}})$ ,  $f_{\Gamma} \in (f_{\Gammaн}, f_{\Gammaв})$ , причем диапазон изменения частоты входного и гетеродинного сигналов равны:

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

$$\Delta f_{\text{BX}} = f_{\text{BXв}} - f_{\text{BXн}}, \Delta f_{\Gamma} = f_{\Gammaв} - f_{\Gammaн} \quad (3)$$

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

Введем в рассмотрение вспомогательные коэффициенты положения частот в их собственном спектре:

$$C_1 = \frac{f_{\text{BX}} - f_{\text{BXн}}}{\Delta f}, C_2 = \frac{f_{\Gamma} - f_{\Gammaн}}{\Delta f}$$

Для сложения частот при  $f_{\text{BX}} < f_{\Gamma}$  запишем нижние и верхние частоты входного сигнала и гетеродина с использованием следующие выражения:

$$\begin{cases} f_{\text{BXн}} = f_{\text{BX}} - C_1 \cdot \Delta f \\ f_{\text{BXв}} = f_{\text{BX}} + (1 - C_1) \cdot \Delta f \\ f_{\Gammaн} = f_{\Gamma} - C_2 \cdot \Delta f \\ f_{\Gammaв} = f_{\Gamma} + (1 - C_2) \cdot \Delta f \end{cases}$$

Далее, приравняем  $C_{\text{min}}$  и  $C_{\text{max}}$  (это ограничения – абсциссы соседних пораженных точек номограммы комбинационных частот, два ближайших члена ряда Фарея [2]) к отношениям нижних и верхних частот входного сигнала и гетеродина получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} C_{\min} = \frac{f_{BXH}}{f_{\Gamma e}} = \frac{f_1 - C_1 \cdot \Delta f}{f_2 + (1 - C_2) \cdot \Delta f} \\ C_{\max} = \frac{f_{BXe}}{f_{\Gamma H}} = \frac{f_1 + (1 - C_1) \cdot \Delta f}{f_2 - C_2 \cdot \Delta f} \end{cases}$$

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

$$\begin{cases} C_{\min} = \frac{q - C_1 \cdot \Delta f^{\text{норм}}}{1 + (1 - C_2) \cdot \Delta f^{\text{норм}}} \\ C_{\max} = \frac{q + (1 - C_1) \cdot \Delta f^{\text{норм}}}{1 - C_2 \cdot \Delta f^{\text{норм}}} \end{cases} \quad (4)$$

где  $q = \frac{f_{BX}}{f_{\Gamma}}$ ,  $\Delta f^{\text{норм}} = \frac{\Delta f}{f_{\Gamma}}$ .

Решив систему (4), получим выражения для определения оптимальных параметров преобразования:

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

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

Аналогично получаем соотношения для вычитания частот при  $f_{BX} < f_{\Gamma}$

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

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

Для сложения частот при  $f_{BX} > f_{\Gamma}$

$$\Delta f_{\text{опт}}^{\text{норм}} = \frac{(C_{\max} - C_{\min})}{1 + C_{\min} + C_1 \cdot (C_{\max} - C_{\min})}$$

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

Для вычитания частот при  $f_{BX} > f_{\Gamma}$

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

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

На основе предложенной методики для преобразователя с перестраиваемым преселектором разработаны программные средства оптимизации параметров частотного распределения «Расчет и оптимизация параметров частотного распределения преобразователя с перестраиваемым преселектором» (FAM with ITF. Frequency Allocation Mixer with Input Tunable Filter. Адрес разработчика: E-mail: Loginov@aquasci-nnov.ru). Применение идеализированной модели фильтрующих элементов позволяет получить предельные параметры частотного распределения.

Программа FAM with ITF работает в двух режимах: расчета и оптимизации параметров частотного распределения. Основное окно 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 отображает область фильтруемых частот в относительном частотном масштабе на номограмме комбинационных частот.

#### 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.

*Т.И. Гаврилова, Р.Н. Гурьяшова*  
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

### **ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ НА ЯЗЫКЕ СИ В РАМКАХ ДИСЦИПЛИНЫ «ИНФОРМАТИКА» ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ**

Рассматриваются проблемы преподавания языка программирования Си. Обсуждаются трудности освоения языка в условиях ограниченного количества лекционных занятий. Предлагаются пути решения ряда проблем.

Язык программирования Си – основа таких популярных на сегодняшний день языков как Си++ и Си#. Эти языки широко востребованы в настоящее время и используются для разработки современных программных средств как системного, так и прикладного характера. Язык Си преподается на младших курсах инженерных специальностей электромеханического факультета совсем недавно: два года для студентов специальности «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования», и впервые в этом году – для студентов, обучающихся по специальности «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики».

Цель курса – приобретение студентами умения алгоритмически мыслить, самостоятельно ориентироваться в среде разработки Visual Studio 2008, а также опыта написания простейших пользовательских программ. Эти навыки будут в дальнейшем использоваться студентами при изучении таких дисциплин, как «ЭВМ в системах управления», «Микропроцессорные системы управления» и ряда других.

Новые учебные планы электромехаников предусматривают изучение дисциплины «Информатика» в течение двух семестров. При этом на весь курс запланировано всего 26 часов лекций, что меньше, чем количество лекционных часов ранее приходившихся только на один семестр (34 часа). В то же время, количество лабораторных работ в