

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СИГНАЛОВ ЦИФРОВОЙ АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Рыжков С.А.

Ильинков В.А. – к.т.н., доцент

Телекоммуникации являются наиболее динамичной областью науки и техники, которая, в частности, характеризуется использованием современных методов формирования, модуляции и передачи сигналов, все большим расширением функциональных возможностей и уменьшением времени жизни производимых моделей телекоммуникационной техники. С учетом сформировавшихся тенденций развития, основным методом исследования, проектирования и разработки систем телекоммуникаций (СТК) является математическое моделирование.

Известные программы математического моделирования сигналов цифровой модуляции (общего и специального назначения) обладают рядом существенных недостатков, не позволяющих полноценно применять их в научных исследованиях и учебном процессе. Поэтому весьма актуально создание программы математического моделирования основных функциональных преобразований при формировании сигналов цифровой модуляции, которые весьма широко применяются в современных СТК.

## Разработка математических моделей функциональных преобразований сигналов

Сравнительный анализ методов и устройств формирования сигналов цифровой амплитудной модуляции (ASK-M, QAM-M) [1] показывает, что общая процедура преобразования исходного (модулирующего) сигнала в выходной (модулированный) распадается на следующие последовательно выполняемые этапы (процедуры): формирование временной реализации модулирующего сигнала и его огибающей амплитудного спектра; амплитудная компрессия; дискретизация модулирующего сигнала, включая формирование массива отсчетных значений; преобразование дискретных значений в цифровой код, включая формирование упорядоченной цифровой последовательности; формирование четной, нечетной последовательностей и блоков символов; преобразование блоков символов из двоичного кода в код Грея; формирование радиосимволов и образование сигнала цифровой амплитудной модуляции, включая формирование таблицы истинности, формирование радиосимволов ASK-M и QAM-M, отображение сигнальных созвездий; формирование операторной передаточной функции высокочастотного тракта; моделирование реализации прохождения модулированного сигнала через высокочастотный тракт.

С учетом ограниченного объема работы рассмотрим только некоторые процедуры функциональных преобразований.

### 1. Процедура формирования огибающей амплитудного спектра исходного сигнала

Все модулирующие сигналы обладают существенно неравномерным амплитудным спектром, огибающая которого непрерывно спадает, с ростом частоты (например, ТВ сигнал), либо имеет максимальное значение на некоторой центральной частоте  $f_0$  (например, речевой сигнал). С учетом изложенного, целесообразно огибающую амплитудного спектра исходного сигнала представить зависимостью

$$c(f) = 1 - (1 - \operatorname{sgn}(f - f_0))A_L(f - f_0) - (1 + \operatorname{sgn}(f - f_0))A_U(f - f_0), \quad (1)$$

$$\text{где } \operatorname{sgn}(f - f_0) = \begin{cases} 1, & f \geq f_0 \\ -1, & f < f_0 \end{cases}; \quad A_{L(U)} = \frac{1 - 1/N}{2(f_{L(U)} - f_0)^2}; \quad f_L(f_0, f_U) - \text{нижняя граничная}$$

частота (центральная частота, верхняя граничная частота);  $N$  – коэффициент уменьшения уровней спектральных компонент на граничных частотах  $f_L$  и  $f_U$ .

Варьируя параметрами  $f_L$ ,  $f_U$ ,  $f_0$  и  $N$ , можно задавать различные виды огибающей амплитудного спектра сигнала.

### 2. Формирование временной реализации модулирующего сигнала

Известно, что: реальные исходные сигналы представляют собой нестационарный случайный процесс, математическое моделирование которого весьма затруднительно [2]. Учитывая это, для упрощения, в качестве модулирующего сигнала используем полигармонический сигнал вида

$$U_{\text{ex}}(t) = \sum_{z=1}^z C(zf_1)U_m \cos(2\pi z f_1 t + \varphi), \quad (2)$$

где  $f_1$  – частота первой гармоники (целесообразно  $f_1 = f_L$ );  $U_m$  – амплитуда гармоники на частоте  $f_0$ ;  $\varphi$  – начальная фаза;  $Z$  – количество гармонических составляющих;  $C(f_1)$  – огибающая, представленная моделью (1).

Такой сигнал является периодическим с периодом повторения  $T = \frac{1}{f_1}$ , что весьма удобно для реализации последующих процедур. Варьируя параметрами  $Z$ ,  $f_1$  и  $U_m$ , можно получить различные реализации близкие по частотным и временным свойствам к реальному модулирующему сигналу.

#### Разработка программы моделирования функциональных преобразований сигналов

В соответствии с построенными математическими моделями разработаны схема программы-оболочки и схемы всех программ-процедур. Написана и отлажена (в среде .NET, системе программирования C#) моделирующая программа, которая работает в операционной системе Windows XP и её последующих версиях. Для работы требуется предустановленная платформа .NET Framework 4.0.

Программа реализована в виде файла с расширением “.exe”, занимает на жестком диске объем менее 2 Мбайт, поддерживает интерактивный режим работы, обладает интуитивно-понятным и дружелюбным интерфейсом. Она характеризуется высокой скоростью выполняемых операций и наглядно отображает результаты моделирования.

Навигация по моделям осуществляется с помощью подменю расположенного у верхнего края рабочей поверхности. Большинство моделей требует от пользователя выбора параметров или их ввода, для построения графиков сигналов необходимо нажатие соответствующей кнопки.

В разработанной программе предусмотрен механизм обработки исключений, который защищает пользователя от возможных ошибок и неверных шагов.

В меню справки находится необходимая информация для работы с каждой из моделей.

Скриншоты работы программы представлены на рис. 1.

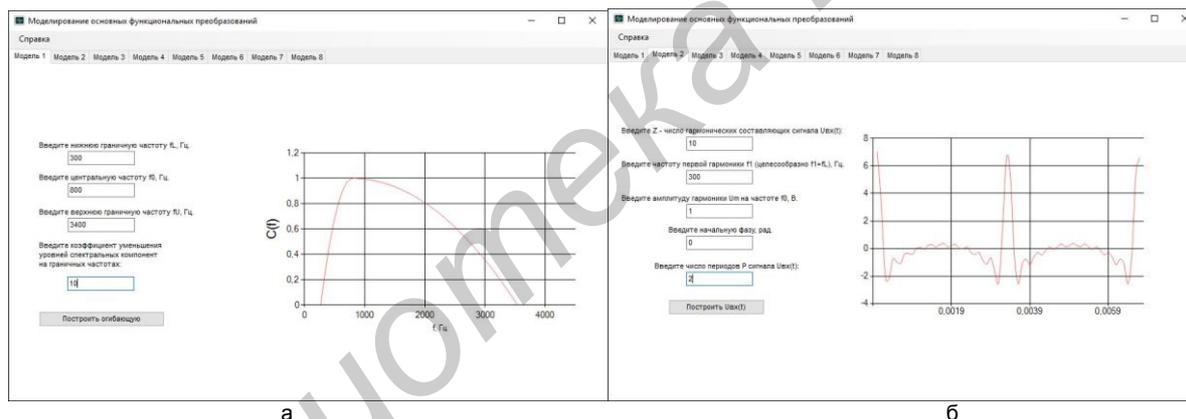


Рис. 1 – Моделирование огибающей амплитудного спектра (а) и моделирование исходного сигнала во временной области (б)

Для проверки работоспособности моделирующей программы, выполнено несколько циклов моделирования, при существенно различных конкретных значениях параметров. Результаты моделирования полностью подтвердили правомерность использования предложенных математических моделей.

Список использованных источников:

1. Прокис, Дж. Цифровая связь / Дж. Прокис ; пер. с англ. ; под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 800с.
2. Электроакустика и звуковое вещание. Учебное пособие для ВУЗов / И.А. Алдошина [и др.]; под общ. ред. Ю.А. Ковалгина. – М.: Радио и связь, 2007. – 872с.