

# АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АДАПТИВНОГО ТРАНСВЕРСАЛЬНОГО ФИЛЬТРА

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

Юлов Г.А.

Давыденко И.Н. – к.т.н., доцент

В этой работе рассматриваются методы имитационного моделирования процесса компенсации помех в автокомпенсаторах мешающих излучений и исследования влияния различных декоррелирующих факторов на эффективность компенсации. Приводятся алгоритмы, используемые при математическом моделировании помех, элементов функциональной схемы автокомпенсатора, алгоритмы функционирования автокомпенсатора помех.

Для имитационного моделирования выбран наиболее простой метод – метод z-преобразования. Метод z-преобразования одинаково хорошо подходит для моделирования как непрерывных аналоговых, так и дискретных цифровых систем. Поэтому в качестве метода моделирования в работе выбран метод z-преобразования. Кроме того, для моделирования передаточной характеристики системы в этом случае удобно использовать метод рекуррентных разностных уравнений.

Входной сигнал  $u(t)$  в этом случае заменяется модулированной по амплитуде последовательность  $\delta$ -функций, следующих с шагом дискретизации  $\Delta t$ . Шаг дискретизации  $\Delta t$  для обеспечения высокой точности моделирования должен выбираться на порядок более малым, чем ширина спектра моделируемого сигнала. В этом случае импульсный сигнал имеет вид:

$$u^*(t) = \Delta t \cdot u[n] \cdot \delta(t - n\Delta t) \quad (1)$$

Для имитационного моделирования была выбрана следующая система, структурная схема которой приведена на рисунке 1.

На представленной структурной схеме моделируются следующие элементы:

- источник внешней шумовой помехи;
- источники внутренних шумов приёмников основного и компенсационного каналов;
- приёмные каналы автокомпенсатора с частотными характеристиками  $k_0(j\omega)$  и  $k_1(j\omega)$ ;
- автокомпенсатор мешающих излучений (АКМИ).

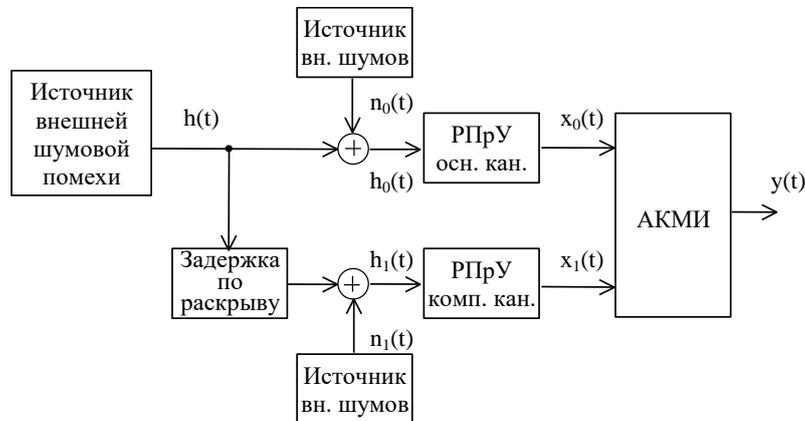


Рис. 1 – Структурная схема системы имитационного моделирования

Где  $h(t)$  – сигнал шумовой помехи,  $n_0(t)$  и  $n_1(t)$  – внутренние шумы приёмных каналов,  $h_0(t)$  и  $h_1(t)$  – входные сигналы приёмных каналов,  $x_0(t)$  и  $x_1(t)$  – выходные сигналы приёмных каналов,  $y(t)$  – выходной сигнал автокомпенсатора мешающих излучений.

В качестве сигнала помехи при моделировании использовался непрерывный комплексный шумовой процесс с экспоненциальной корреляционной функцией с заданным временем корреляции (или шириной энергетического спектра). Для формирования  $i$ -го отсчёта сигнала помехи использовался следующий алгоритм формирования:

$$\xi[i] = a_0 \cdot \eta[i] + b_1 \cdot \xi[i-1] \quad (2)$$

Так как реально помехопостановщик не будет находиться на нормали к раскрытию, то необходимо при моделировании также имитировать разность хода сигнала. Это достигается путём использования следующей

процедуры сдвига начальной фазы сигнала помехи между каналами на величину  $\varphi_{\text{зад}}$ :

$$h_1[i] = h_0[i] \cdot \exp(-j\varphi_{\text{зад}}) \quad (3)$$

При моделировании использовалась следующая схема приёмных устройств каналов, приведенная на рисунке 2.

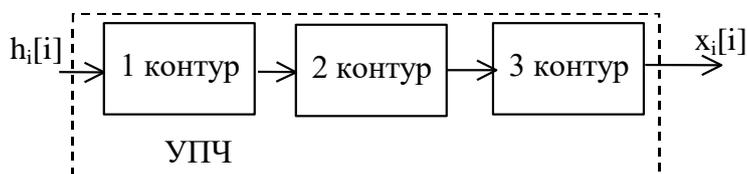


Рис. 2 – Структурная схема приёмных устройств каналов

Формирование частотной характеристики канала осуществляется в усилителе промежуточной частоты (УПЧ), содержащего 3 каскада усиления. УПЧ настроен на центральную частоту помехи  $f_0$ . В зависимости от центральной частоты настройки контуров и их полосы пропускания моделировались две ситуации:

- все контура настроены на одну и ту же центральную частоту (УПЧ с колоколообразной АЧХ);
- УПЧ с расстроенными контурами (УПЧ на тройке контуров), где центральные частоты и полосы пропускания контуров выбираются из расчёта обеспечения требуемой полосы пропускания канала.

При моделировании автокомпенсатора мешающих излучений в модели моделировалось параллельно 3 автокомпенсатора помех:

- автокомпенсатор без коррекции частотных характеристик приёмных каналов;
- автокомпенсатор с классическим корректором частотных характеристик на основе трансверсального фильтра;
- автокомпенсатор с предлагаемым в работе малопараметрическим корректором частотных характеристик.

Исходными данными для программной модели являются:

- ширина спектра помехи;
- отношение помеха/внутренний шум приёмника по мощности;
- вид реализуемой частотной характеристики приёмных каналов;
- расстройка резонансных контуров в компенсационном канале относительно соответствующих в основном приёмном канале;
- величина расстройки параметров корректирующего фильтра относительно требуемых.

Расстройка по полосе пропускания задавалась в процентах от требуемой полосы пропускания  $\Delta F, \% = \Delta F / \Delta F_k \cdot 100\%$ . Расстройка по центральной частоте задавалась в виде приведенной к полосе пропускания расстройки по частоте  $\Delta f_0, \% = \Delta f_0 / \Delta F_k \cdot 100\%$ . Такое задание расстройки по центральной частоте обусловлено тем, что центральная частота задавалась на порядок выше, чем ширина спектра помехи и полос пропускания колебательных контуров.

В результате моделирования получены максимально возможные значения коэффициента подавления помехи для трёх видов автокомпенсаторов (без коррекции частотных характеристик, с трансверсальным фильтром и малопараметрическим корректором соответственно) при различных видах частотных характеристик приёмных каналов и параметрах расстройки частотных характеристик одиночных контуров в компенсационном канале относительно основного.

По результатам имитационного моделирования можно сделать выводы:

- в случае отсутствия неидентичностей у частотных приёмных каналов эффективность у всех трёх автокомпенсаторов примерно равна и близка к максимально возможной;
- эффективность малопараметрической коррекции при расстройках частотных характеристик до 20% незначительно уступает эффективности коррекции при использовании трансверсального фильтра;
- при значительных расстройках (30% и более) малопараметрическая коррекция начинает значительно проигрывать классической, но сохраняет выигрывать не менее 8 дБ по сравнению со схемой без коррекции;
- расстройка корректирующего фильтра влияет на эффективность компенсации, причём при расстройке корректирующего фильтра в противоположном направлении относительно расстройки канала эффективность даже возрастает.

Список использованных источников:

1. Лосев Ю.И., Бердников А.Г., Гойхман Э.Ш. и др. /Под ред. Ю.И. Лосева. Адаптивная компенсация помех в каналах связи. - М.: Радио и связь, 1988.
2. Арзамасов С. Н., Мальцев А. А. Анализ работы адаптивной антенной системы с двумя компенсирующими элементами // Радиотехника и электроника. – 1980.
3. Васин В.И., Каплун И.В., Пятибратов В.В. Оценка качества адаптивной пространственной обработки с учётом декорреляции сигналов в приёмных каналах антенной решётки // Радиотехника. – 1990.
4. Охрименко А.Е., Олейников О.А. Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба. Ч.1. Основы радиолокации: Учеб. для высших училищ ПВО. – М.: Воениздат., 1983.