

УДК 621.396.98

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОКОМПЕНСАТОРОВ ПОМЕХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ КОРРЕКЦИИ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЕМНЫХ КАНАЛОВ

А.Г. АГИШЕВ, И.Н. ДАВЫДЕНКО

Военная академия Республики Беларусь  
ВА РБ, Минск, 220057, Беларусь

Поступила в редакцию 1 октября 2003

В статье рассматриваются вопросы сравнительного анализа эффективности компенсации мешающих излучений при использовании различных способов коррекции частотных характеристик приемных каналов по результатам имитационного моделирования. Результаты моделирования показывают области возможного применения малопараметрических методов коррекции частотных характеристик, значительно снижающих сложность системы коррекции при незначительной потере в обеспечиваемой эффективности компенсации.

*Ключевые слова:* подавление мешающих излучений, коррекция частотных характеристик, эффективность компенсации мешающих излучений, имитационное моделирование.

### Введение

Широко используемые в радиолокационных, связных и навигационных системах автокомпенсаторы мешающих излучений во многих практически важных случаях не обеспечивают требуемую эффективность [1]. Одним из направлений дальнейшего повышения эффективности компенсации помех является использование систем коррекции частотных характеристик приемных каналов автокомпенсаторов. Существует несколько способов реализации корректоров частотных характеристик приемных каналов, но наиболее предпочтительными на практике являются корректоры, основанные на трансверсальных фильтрах [2], и малопараметрические корректоры [3].

Целью статьи является сравнительный анализ эффективности применения различных систем коррекции частотных характеристик с помощью результатов имитационного моделирования.

### Модель компенсатора с корректором частотных характеристик

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

На представленной структурной схеме моделируются следующие элементы:

- источник внешней шумовой помехи;
- источники внутренних шумов приемников основного и компенсационного каналов;
- приемные каналы автокомпенсатора с частотными характеристиками  $k_o(j\omega)$  и  $k_{ij}(\omega)$ ;
- автокомпенсатор мешающих излучений (АКМИ).

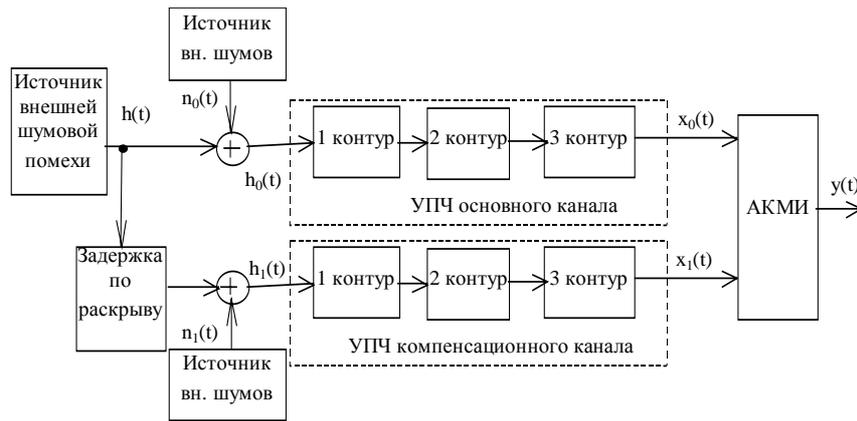


Рис. 1. Структурная схема системы для имитационного моделирования:  $h(t)$  — сигнал шумовой помехи;  $n_0(t)$  и  $n_1(t)$  — внутренние шумы приемных каналов;  $h_0(t)$  и  $h_1(t)$  — входные сигналы приемных каналов;  $x_0(t)$  и  $x_1(t)$  — выходные сигналы приемных каналов;  $y(t)$  — выходной сигнал автокомпенсатора мешающих излучений

Шумовая помеха и внутренние шумы приемника моделировались в виде комплексного гауссовского экспоненциально коррелированного случайного процесса на центральной частоте  $f_0$ .

Формирование частотной характеристики канала осуществляется в усилителе промежуточной частоты (УПЧ), содержащем 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 контуры 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 расчета обеспечения требуемой полосы пропускания канала.

При моделировании мешающих излучений в модели создавалось параллельно три автокомпенсатора помех:

- автокомпенсатор без коррекции частотных характеристик приемных каналов;
- автокомпенсатор с классическим корректором частотных характеристик на основе 16-отводного трансверсального фильтра;
- автокомпенсатор с предлагаемым в работе [3] малопараметрическим корректором частотных характеристик в виде однопараметрического квазиоптимального корректора.

При моделировании автокомпенсаторов полагалось, что цепи корреляционной обратной связи для вычисления весовых коэффициентов включены идеальные интеграторы. Это необходимо для снижения влияния ошибок фильтрации весовых коэффициентов при фиксированной задержке распространения по раскрытию антенной системы.

Программная модель реализована с использованием моделирующих алгоритмов, рассмотренных в [4]. Исходными данными для программной модели являются:

- ширина спектра помехи и полосы пропускания приемных каналов;
- отношение шумовая помеха/внутренний шум приемника по мощности;
- вид реализуемой частотной характеристики приемных каналов;
- расстройки резонансных контуров в компенсационном канале относительно соответствующих им в основном приемном канале.

Расстройка каждого контура по полосе пропускания задавалась в процентах от ширины 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  $\Delta f_0, \% = (\Delta f_0 / \Delta F_K) \cdot 100\%$ . Необходимость такого задания расстройки по центральной частоте обусловлена тем, что центральная частота задавалась на порядок выше, чем ширина спектра помехи и полос пропускания колебательных контуров.

### Результаты имитационного моделирования

Коэффициент подавления помехи оценивался как отношение мощности помехи на выходе основного приемного канала к мощности помехи на выходе автокомпенсатора.

Некоторые результаты имитационного моделирования приведены в таблице для автокомпенсатора без коррекции частотных характеристик, для автокомпенсатора с 16-отводным трансверсальным фильтром и для автокомпенсатора с однопараметрическим корректором соответственно. В строках таблицы буквой "К" обозначена зависимость коэффициента подавления для УПЧ с колоколообразной АЧХ и буквой "П" для УПЧ на тройке контуров (прямоугольной АЧХ). Приведены числовые значения полученного максимального коэффициента подавления в децибелах для различных параметров неидентичностей приемных каналов автокомпенсатора. Значения расстроек частотных характеристик, приведенные в таблице, соответствуют общей расстройке частотных характеристик трехконтурных УПЧ и отношению помеха/внутренний шум 30 дБ.

Результаты имитационного моделирования

$\Delta F, \%$	0				10				20			
$\Delta f_0, \%$	0	10	20	30	0	10	20	30	0	10	20	30
Автокомпенсатор без коррекции частотных характеристик												
К	24	14	9	6	19	12	10	6	15	10	7	5
П	22	13	8	6	18	12	9	6	14	11	7	5
Автокомпенсатор с 16-отводным трансверсальным фильтром												
К	26	25	19	17	26	24	18	17	25	24	20	18
П	25	23	19	16	25	24	18	17	24	24	19	17
Автокомпенсатор с однопараметрическим корректором												
К	26	21	17	15	26	25	16	14	24	23	18	16
П	25	21	16	14	25	24	16	13	24	23	17	15

Результаты имитационного моделирования более наглядно можно отобразить в виде графика зависимости коэффициента подавления от величины расстроек каналов для различных автокомпенсаторов. На рис. 2 для примера приведены зависимости коэффициента подавления для трех автокомпенсаторов при расстройке по полосе  $\Delta F=20\%$  от величины расстройки по центральной частоте для колоколообразной АЧХ.

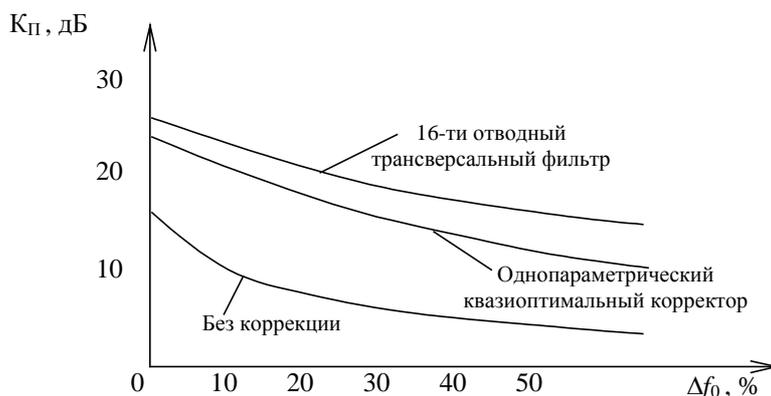


Рис. 2. Зависимость коэффициента подавления для автокомпенсаторов при расстройке по полосе  $\Delta F=20\%$  от величины расстройки по центральной частоте

## Заключение

При анализе результатов моделирования можно сделать следующие выводы.

1. Зависимость эффективности компенсации помех от вида АЧХ канала проявляется незначительно, однако при этом канал с прямоугольной АЧХ более критичен к неидентичностям и хуже поддается коррекции.

2. Для автокомпенсатора без коррекции частотных характеристик при величине расстройек более 20% эффективность подавления помехи становится очень низкой (менее 6 дБ).

3. При отсутствии неидентичностей частотных характеристик приемных каналов эффективность у всех автокомпенсаторов примерно равна и близка к максимально возможной.

4. Эффективность малопараметрической коррекции при расстройках частотных характеристик до 20% незначительно уступает эффективности коррекции при использовании трансверсального фильтра.

5. При значительных расстройках (30% и более) малопараметрическая коррекция начинает значительно проигрывать классической, но сохраняет выигрыш не менее 8 дБ по сравнению со схемой без коррекции частотных характеристик.

## MODELING OF CANCELLATION OF JAMMERS AT USE OF VARIOUS WAYS OF CORRECTION FREQUENCY OF THE CHARACTERISTICS OF RECEIVING CHANNELS

A.G. AGISHEV, I.N. DAVYDZENKO

### Abstract

The questions of the comparative analysis of efficiency of cancellation of interfering radiations are considered at use of various ways of correction frequency of the characteristics of reception channels by results of imitating modeling. The results of modeling show areas of possible application little parameter of methods of correction frequency of the characteristics ensuring significant decrease of complexity of system of correction at insignificant loss in provided efficiency of cancellation.

### Литература

1. Ефименко В.С., Харисов В.Н. // Радиотехника. 2002. № 7. С. 82–87.
2. Монзинго Р.А. Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки: Пер. с англ. М., 1986.
3. Агишев А.Г., Ивлев И.И., Давыденко И.Н. // Радиотехника и электроника. Респ. межвед. сб. науч. тр.: Вып. 24. Мн., 1999. С. 122–125.
4. Ефименко В.С., Харисов В.Н., Давыденко И.Н., Папушой В.И. // Радиотехника. 2003. № 7. С. 62–68.