

*Сатыбалдинов Р.М.,*

*Курсант*

*4 курс, факультет «Радиотехнические комплексы»*

*Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны*

*Россия, г. Ярославль*

*Научный руководитель: Павлов Ю.Ю.,*

*старший преподаватель*

*Старший преподаватель кафедры «Радиотехнического вооружения»*

*Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны*

*Россия, г. Ярославль*

## **АНАЛИЗ УСТРОЙСТВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЗАЩИТУ ОТ АКТИВНЫХ ШУМОВЫХ ПОМЕХ В РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ**

**Аннотация:** В статье рассматриваются автокомпенсаторы, обеспечивающие защиту от активных шумовых помех в радиоэлектронных системах, принцип их работы и проведен анализ их эффективности. Делается вывод о целесообразности их применения. В качестве примера радиоэлектронных систем используются радиолокационные станции войск противовоздушной обороны. Показано влияние активных шумовых помех на радиолокационные станции войск противовоздушной обороны.

**Ключевые слова:** защита от помех, радиоэлектронные системы, компенсация помех, активные шумовые помехи, автокомпенсаторы, радиолокационные станции.

**Annotation:** The article discusses autocompensators, which provide protection against active noise interference in electronic systems, the principle of their operation and an analysis of their effectiveness. The conclusion about the feasibility of their use.

*As an example of electronic systems used radar air defense troops. The effect of active noise interference on the radar stations of air defense troops is shown.*

**Key words:** *interference protection, radio-electronic systems, interference compensation, active noise interference, auto-compensators, radar stations.*

Значение средств воздушного нападения в современной войне огромно, и военные конфликты последних десятилетий это подтверждают. Количество военных летательных аппаратов, крылатых и баллистических ракет стран возрастает, а вместе с тем возрастают и средства их защиты, а именно средства радиоэлектронной борьбы. Средства радиоэлектронной борьбы создают опасность для любой системы ПВО, так как они могут создать “дыру” в воздушной обороне, для нанесения удара по жизненно важным объектам государства. В системе ПВО любой страны важное значение имеют радиолокационные станции. Они выполняют множество задач по обеспечению безопасности, в том числе ведение радиолокационной разведки воздушного пространства. Затруднив работу радиолокационным станциям, противник создаст себе благоприятные условия для ведения дальнейших боевых действий. Одним из способов затруднения работы РЛС являются активные маскирующие помехи. Активные маскирующие помехи создают на входе приемника подавляемой РЛС фон, который затрудняет обнаружение полезных сигналов, их распознавание и определение параметров. Использование маскирующих помех приводит к уменьшению вероятности правильного обнаружения полезного сигнала, увеличению вероятности ложной тревоги и снижению точности измерения характеристик. Так, при приеме сигналов от одной цели и отсутствии помех на индикаторе кругового обзора образуется одна отметка (рис 0 а.) Помеха вызывает образование вдоль всей развертки дальности флуктуирующих отметок, затрудняющих обнаружение сигнала (рис 0 б.)

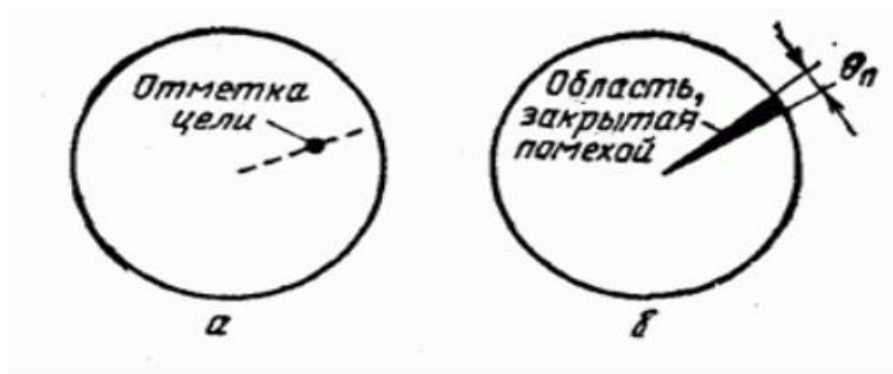


Рис 0.

Общее выражение для описания модели помехи имеет вид:

$$n(t) = \text{Re} \left\{ A_n(t) \times \exp \left[ j \left( 2\pi \times f_0 \times t + \int_0^t \omega_n(t) dt \right) \right] \right\},$$

где  $A_n(t), \omega_n(t)$  – модулирующие функции

Оно является математическим описанием амплитудно-частотной-модулированной непрерывной помехи, если функции  $A_n(t), \omega_n(t)$  не случайны, или амплитудно-частотно-модулированного шума (АЧМШ), если модулирующие функции являются реализациями случайных процессов.

Так как наибольшее маскирующее воздействие на радиотехническую систему оказывают активные шумовые помехи (АМШ, ЧМШ, АЧМШ, ПШ), то остановимся на примерах их моделирования средствами ППП MATLAB. Для моделирования используем зондирующий сигнал в виде ЛЧМ радиоимпульса. Выполнив моделирование принимаемого РЛС сигнала, являющегося аддитивной смесью отраженного от цели сигнала, активной помехи в виде АЧМШ и собственных шумов приемника РЛС, были получены графические

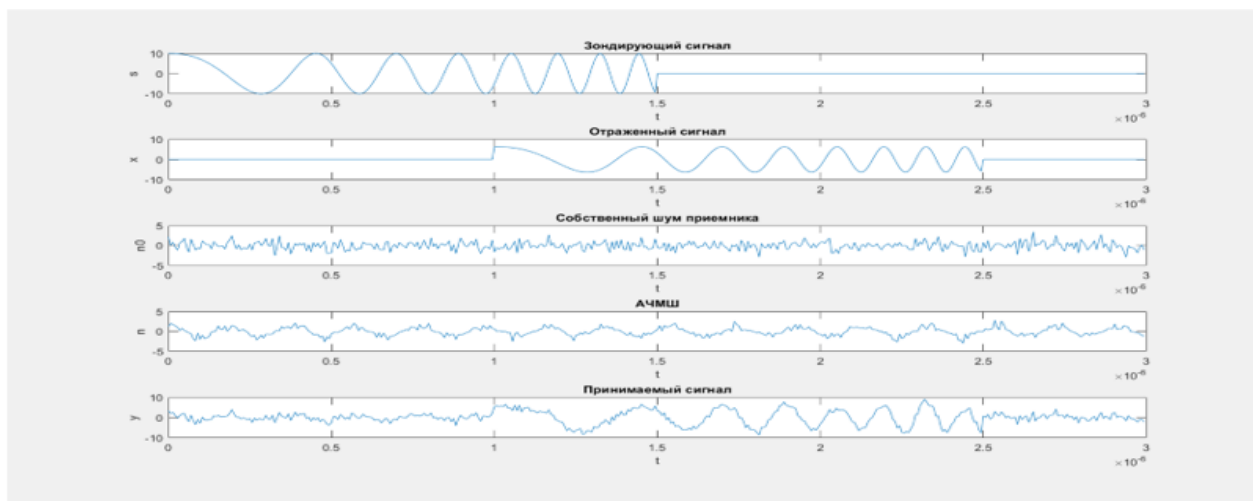


Рис 1. Модель сигналов, построенная в ППП MATLAB.

Из построенных графических представлений, можно сделать вывод о том, что после приема сигнала с помехой возможны различные негативные последствия, такие как перегрузка приемной системы, маскировка сигнала, отраженного от цели и появление ложных целей вместе с истинной целью на индикаторе.

Основные методы защиты от активных помех можно разделить на две группы:

- методы защиты, препятствующие проникновению помехи в приемный тракт РЛС;

- методы защиты от помех, проникших в приемный тракт РЛС;

К первым методам относятся различные виды селекции сигналов, такие как пространственная, частотная и поляризованная. Ко вторым методам относятся различные устройства, обеспечивающие подавление помех, а также методы, основанные на различии параметров сигнала цели и помехи по спектральным характеристикам, частоте повторения, длительности, амплитуде и т.д. Рассмотрим устройства, обеспечивающие защиту РЛС от проникших в приемный тракт АПП. Основными устройствами используемыми в РЛС для защиты от АПП являются автокомпенсаторы(АК).

Первым получил широкое распространение гетеродинный автокомпенсатор, его структурная схема представлена на рис 2.

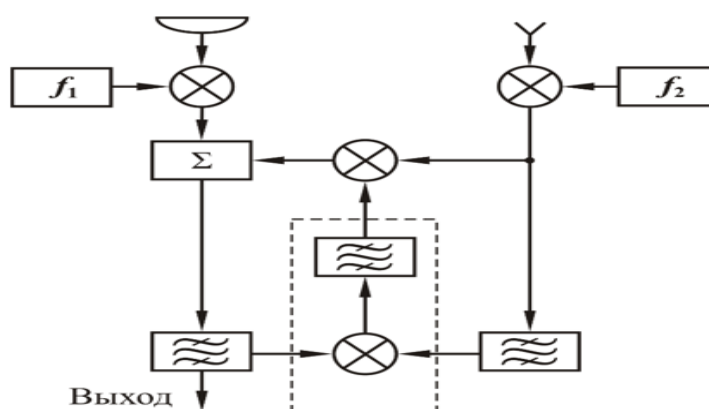


Рис 2. Структурная схема гетеродинного АК.

Основной приемный канал состоит из направленной антенны, смесителя, гетеродина, сумматора и усилителя промежуточной частоты. Компенсационный канал включает в себя всенаправленную антенну, перекрывающую по уровню боковые лепестки основной направленной антенны, смеситель, гетеродин и УПЧ. Выходы каналов подключены к коррелятору, состоящему из смесителя и узкополосного фильтра, настроенного на частоту, равную разности частот гетеродинов  $f_1 - f_2$ . В уставившемся режиме соотношение между сигналами помех в основном и компенсационном канале, образует на входе сумматора комплексно-сопряженную пару. В результате уровень помехи на выходе автокомпенсатора будет минимальным. Остаток помехи после компенсации равен

$$V_r = V_m - V_a W(1),$$

где  $V_m$ -помеха в основном канале;  $V_a$ -помеха в компенсационном канале;  $W$ -комплексный коэффициент.

На рис 2. в петле с отрицательной обратной связью

$$W = \overline{GV_r V_a^*}(2),$$

где  $G$ - усиление в петле;  $V_a^*$ - сопряженное  $V_a$ .

Перемножив (1) на  $V_a^*$  и усреднив получим

$$\overline{V_r V_a^*} = \overline{V_m V_a^*} - \overline{W V_a V_a^*}(3)$$

И из (2) и (3) получим

$$W = G\overline{V_m V_a^*} (1 + G\overline{V_m V_a^*}) \quad (4)$$

Из (4) и (1) после усреднения следует

$$V_r = \overline{V_m} - \frac{G\overline{V_m |V_a|^2}}{1+G|V_a|^2} \quad (5)$$

При условии полной корреляции  $V_m$  и  $V_a$  формула (5) приводится к виду

$$V_r = \frac{V_m}{(1+G|V_a|^2)} \quad (6)$$

Видно, что остаток будет равен нулю, только если  $G|V_a| = \infty$ .

Замкнутая петля генерирует при большом усилии, поэтому в устойчивом режиме подавление ограничено. Таким образом, один из главных недостатков этого автокомпенсатора ограниченный динамический диапазон. Также стоит отметить что практическая реализация гетеродинного автокомпенсатора при использовании интегральных микросхем затруднена, так как требуется реализовать усилитель с изменяемым комплексным коэффициентом передачи. Поэтому в РЛС применяются в основном, квадратурные автокомпенсаторы, в которых компенсационный канал содержит четыре квадратурных со сдвигом фазы 0,90,180,270. Для квадратурного АК существует ограничение, которое необходимо учитывать при его использовании: для точной настройки компенсатора на входе антенной системы должна присутствовать только помеха, поэтому в каждом угловом положении луча предусмотрено время, в течение которого приемное устройство работает, а излучение сигнала не производится. После настройки АК переходит в режим памяти, сформированные управляющие коэффициенты сохраняются до перевода луча в следующее угловое положение. Один АК эффективно компенсирует помеху с одного углового направления, для компенсации помех с нескольких направлений используются многоканальные АК, например, трехканальные автокомпенсаторы, имеющие в своем составе один основной канал от основной антенны и три компенсационных от различных антенн. Квадратурный АК неэффективен против помех, действующих в главном лепестке диаграммы направленности(ДН). В случае самоприкрытия (цель сама

ставит активную помеху) , РЛС может определить только ее угловые координаты.

Дальнейшие усовершенствования АК стали возможны благодаря развитию техники цифровой обработки радиосигналов. Цифровые АК имеют зависимости усиления и эффективной полосы пропускания кольца слежения от уровня помехи. Главным отличием построения цифрового АК от аналогового является разомкнутая петля слежения. Использование цифровой техники позволило создать практическую реализацию такого АК рис 3.

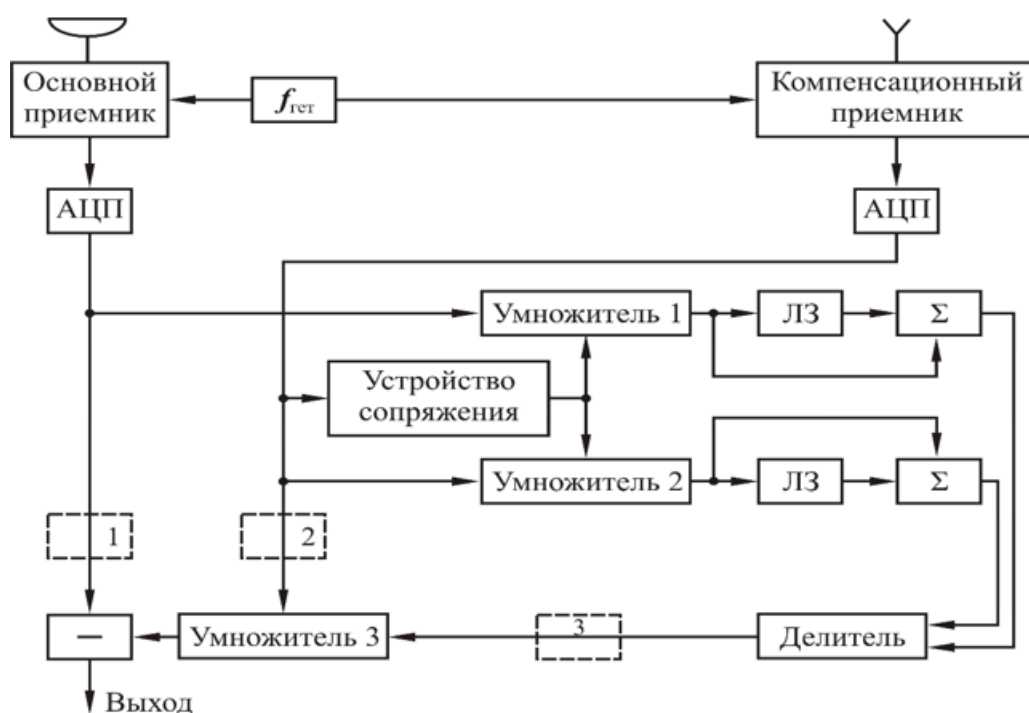


Рис 3. Структурная схема цифрового автокомпенсатора

Выходные сигналы основного и компенсационного каналов на промежуточной частоте расщепляются на синфазную и квадратурную составляющие и преобразуются в цифровую форму. Основное уравнение для цифрового АК такое же, что и для аналогового когерентного АК. Цифровые компоненты действительной и мнимой части сигнала основного канала поступают к первому умножителю и вычитающему устройству. Аналогичные компоненты компенсационного сигнала поступают к второму и третьему умножителям, а также к устройству комплексного сопряжения, где мнимая часть умножается на 1. На выходе первого умножителя получаем произведение  $V_m V_a$ ,

поступающее на первый отсчетный сумматор, который суммирует  $N$  отсчетов от  $N$  ячеек дальности. Двухотсчетный сумматор включает в себя линию задержки (ЛЗ) и сумматор. Первый сигнал задерживается на один период сравнения в ЛЗ, а затем складывается со вторым отсчетом в сумматоре. На выходе второго умножителя получаем произведение  $V_a V_a^*$ , которое поступает на аналогичный двухотсчетный сумматор. Выходные сигналы сумматоров рассматриваются как часть процесса усреднения. Обычно для усреднения выходные суммы должны быть разделены на число отсчетов. Однако, поскольку они поступают на делитель, число отсчетов которого одинаково для каждого из сумматоров, то необходимость в отдельном делителе отпадает.

На выходе делителя получаем  $\overline{V_m V^* / V_a V_a^*}$ . Это и есть требуемая величина веса  $W$ , которая определяет коэффициент передачи третьего умножителя и обеспечивает на выходе напряжения, вычитаемое из  $V_m$ . Оптимальное подавление происходит в момент, когда два отсчета усредняются с результатом, лишь слегка изменяющимся с ростом усредненных отсчетов. С увеличением числа усредненных импульсов компенсируется меньше некоррелированных компонент сигнала и уменьшается подавление цели. Цифровой АК с разомкнутой петлей может быть также использован для компенсации пассивных помех.

Различные построения автокомпенсаторов, являются одним из самым распространенным способом защиты РЛС от АШП. Возможность построения различных вариаций автокомпенсаторов делает их перспективными устройствами в области защиты радиолокационных станций. Из проведенного анализа можно сделать вывод о целесообразности использования цифровых автокомпенсаторов, так как они обеспечивают больший динамический диапазон и точность компенсации по сравнению с аналоговыми.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максимов М.В. Защита от радиопомех. 1976. 495с



2. Лаврентьев А.М., Пискунов А.В. Основы компьютерного проектирования и моделирования РЭС. Моделирование процессов и полей средствами пакетов прикладных программ MATLAB и MathCAD: Учебное пособие/ ЯВЗРУ ПВО. 2008. 134с

3. Тяпкин В.Н. Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск. 2017. 525с.