

Тема №1. Теоретические основы построения систем вооружения зенитных ракетных войск

Занятие № 12. Принципы защиты от помех, используемые в системах вооружения ЗРВ

1. Источники и классификация помех.
2. Принципы и методы защиты от активных помех.
3. Принципы и методы защиты от пассивных помех.

1. ИСТОЧНИКИ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПОМЕХ

Радиоэлектронные помехи – это непоражающие электромагнитные излучения, которые ухудшают качество функционирования радиоэлектронных средств, управляемого оружия, систем обработки и передачи информации.

Различают естественные и искусственные помехи.

Естественными являются помехи природного происхождения. Их источниками являются электромагнитные излучения Солнца, звезд, потоков заряженных частиц в ионосфере; радиоизлучения атмосферных грозовых разрядов; отражения от метеорологических образований (дождя, снега, града, облаков), земной и водной поверхностей.

Искусственные помехи создаются либо устройствами, излучающими электромагнитные колебания, либо отражателями, рассеивающими энергию падающих радиоволн. В первом случае говорят об *активных* помехах, во втором – о *пассивных*.

В зависимости от источника образования искусственные помехи делятся на непреднамеренные и преднамеренные. Первые из них чаще всего возникают в результате работы собственных источников радиоизлучений. Вторые специально создаются противником для подавления наших радиоэлектронных средств.

Постановка преднамеренных помех и защита от них являются лишь частью радиоэлектронной борьбы (РЭБ), охватывающей целый ряд организационных мероприятий, тактических и технических решений. РЭБ направлена на подавление радиоэлектронных средств противника и создание возможностей для максимально эффективной работы своих средств.

При ведении противником боевых действий в воздушном пространстве обязательно используются различные приемы и способы радиоэлектронной борьбы, в том числе и постановка помех, для максимального затруднения работы РЛС противовоздушной обороны.

Рассмотрим преднамеренные помехи. Наиболее распространенными являются активные радиопомехи, создаваемые в диапазоне от 1,5 МГц до 20 ГГц ($\lambda = 200 \div 0,005$ м). Средства создания активных помех входят в штатное оборудование самолетов РЭБ, тактической и стратегической авиации, беспилотных летательных аппаратов (БЛА) предназначенных для ведения РЭБ, а также могут размещаться на наземных (надводных) носителях и даже забрасываться непосредственно в места расположения РЛС.

По эффекту воздействия на подавляемые РЛС различают маскирующие и имитирующие помехи.

Маскирующие активные помехи – это радиоизлучения, затрудняющие процессы обнаружения полезного сигнала и измерения координат цели.

Средства создания таких помех могут излучать шумовые колебания как непрерывно в течение некоторого времени (непрерывные шумовые помехи), так и только в ответ на принимаемые зондирующие сигналы подавляемой РЛС (ответно-импульсные шумовые помехи). Длительность ответного шумового излучения находится в пределах от сотен микросекунд до значения периода повторения импульсов подавляемой РЛС.

Шумовые помехи представляют собой электромагнитные колебания с хаотическим изменением по случайному закону амплитуды, частоты и фазы. Напряжение шумовой помехи на входе приемника представляет собой случайный процесс, имеющий нормальный закон распределения мгновенных

значений и равномерный частотный спектр в пределах полосы пропускания приемного устройства подавляемой РЛС. Равномерность спектра очевидно соответствует отсутствию корреляции между отсчетами помехи на временной оси. Такой шум подобен собственным шумам приемника, но имеет намного большую мощность, поэтому он обладает максимальными маскирующими свойствами среди других видов помех.

Другой вид маскирующих активных помех - *хаотические импульсные помехи* (ХИП). Они используются для подавления средств связи, линий передачи данных, нарушения работы систем опознавания, а также для усложнения воздушной обстановки. Длительность импульсов ХИП, как правило, много меньше длительности ЗС подавляемой РЛС.

В зависимости от точности наведения по частоте, маскирующие помехи подразделяются на *прицельные* и *заградительные*.

Прицельные помехи ставятся на известных, разведанных частотах, поэтому они имеют ширину спектра, соизмеримую с шириной спектра сигнала подавляемой РЛС, и характеризуются высоким уровнем мощности в пределах полосы пропускания ее приемника ($f_{П1}$ рис. 1).

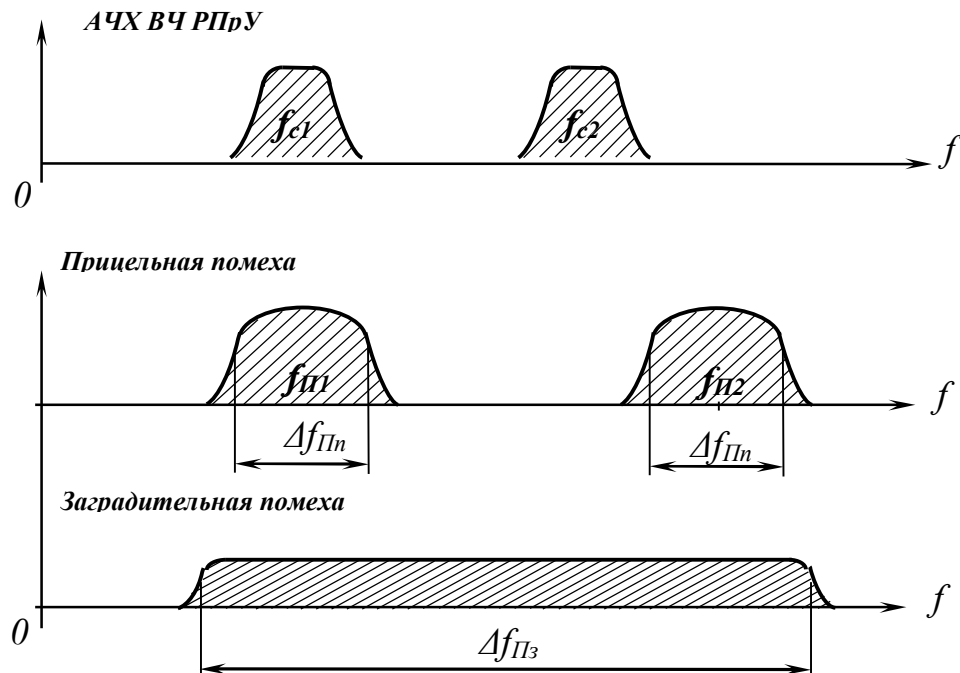


Рис. 1. Прицельная и заградительная активные помехи.

Если рабочая частота РЛС не известна противнику, то прицельная помеха не будет эффективной ($f_{П2}$ рис. 1) и противник будет вынужден ставить *заградительную* помеху в диапазоне частот, значительно превышающем полосу, занимаемую полезным сигналом (рис. 1). Это позволяет одновременно влиять на работу несколько РЛС, но приводит к существенному снижению уровня мощности помехи в пределах полосы пропускания приемников РЛС.

Имитирующие активные радиопомехи – это излучения, несущие ложную информацию о числе, координатах и параметрах движения целей.

Одной из разновидностей имитирующих помех, используемых для подавления РЛС наведения ракет, являются *уводящие помехи*.

Помехи, уводящие по дальности, вызывают срыв слежения за целью в РЛС наведения ракет, которые имеют режим автоматического сопровождения целей по дальности.

Помехи, уводящие по скорости, применяются для подавления доплеровских РЛС имеющих режим автоматического сопровождения по скорости.

Помехи, уводящие по угловым координатам, создаются для подавления РЛС, использующих сканирование луча для измерения углов.

Принцип действия всех уводящих помех один – станция постановки помех (СПП) принимает зондирующий сигнал РЛС и излучает ответный, соответствующий сигналу, отражаемому от цели. Так как излученный ответный сигнал имеет заведомо большую интенсивность, чем отраженный целью, приемник и следящие системы РЛС настраиваются на него. После этого начинается собственно этап «увода» следящих систем. В излучаемый ответный сигнал плавно вводится ложная информация о параметрах цели (например, доплеровской частоте или времени запаздывания). По окончании

этапа «увода» помеха выключается, что вызывает срыв автоматического сопровождения (рис.2).

Пассивные помехи создаются за счет энергии собственного излучения РЛС, отраженной от множества элементарных отражателей. Мешающее действие пассивных помех проявляется в подавлении полезных сигналов и маскировке наблюдаемой цели.

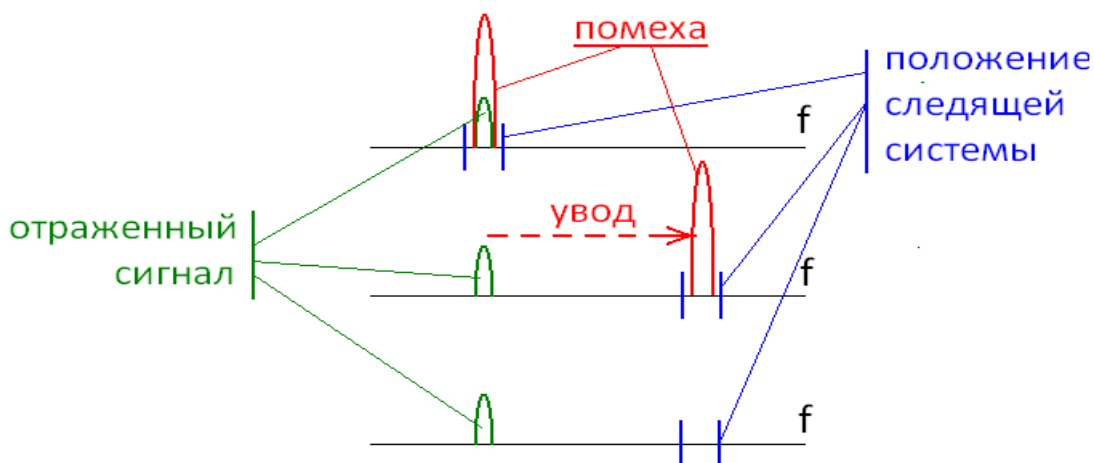


Рис. 2. Принцип действия уводящей помехи.

Одним из основных их видов являются *маскирующие пассивные помехи*, создаваемые с помощью дипольных отражателей (ДО).

Дипольные отражатели - это пассивные вибраторы, представляющие собой полосы из металлизированной ленты, алюминиевой фольги или металлизированного стекловолокна. Длина этих полос примерно равна половине длины волны подавляемой РЛС.

Применяются ДО в виде пачек, которые сбрасываются с самолета – постановщика или выстреливаются специальными автоматами с интенсивностью от единиц до десятков пачек на сто метров пути. Каждая пачка имеет массу от 50 до 500 гр. и может содержать до нескольких сотен тысяч отражателей.

При полном их раскрытии размеры облака ДО могут достигать в вертикальной и горизонтальной плоскостях протяженность до единиц

километров. Время разлета и снижения ДО зависит в общем случае от скорости движения постановщика, скорости ветра и высоты разворачивания пачки. В целом полосы дипольных отражателей, обеспечивая достаточную плотность пассивных помех на трассе полета постановщика, могут иметь протяженность до нескольких сотен километров, находясь в воздухе до нескольких часов.

Пассивные помехи применялись уже во время Второй мировой войны, например, на территорию Германии в виде отражателей было сброшено 20 тысяч тонн алюминиевой фольги.

Следует рассмотреть еще один вид ПП, не относящийся к преднамеренным помехам, но представляющий серьезную проблему при обнаружении целей на малых высотах или больших дальностях. Это отражения от подстилающей поверхности.

Подстилающая поверхность - это область земной или водной поверхности вокруг РЛС, облучаемая основным или боковыми лепестками ДН.

Опасность отражений от подстилающей поверхности обусловлена их большой ЭПР и малой дальностью. Эти помехи, принятые по боковым лепесткам ДН, присутствуют в РЛС всегда (рис. 3).

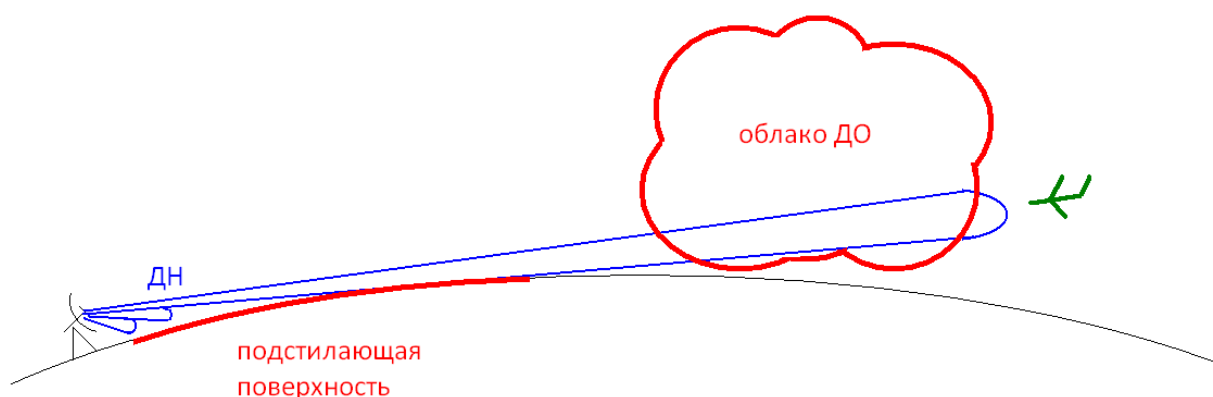


Рис. 3. Основные источники маскирующих пассивных помех.

Другим видом *пассивной помехи* является *имитирующая помеха*. Она представляет собой простейший носитель (например, неуправляемую ракету)

на котором размещен малоразмерный, но эффективный отражающий элемент (угловой отражатель или линза Люниберга).

Угловой отражатель - устройство в виде прямоугольного тетраэдра со взаимно перпендикулярными отражающими плоскостями. Излучение, попавшее в угловой отражатель, отражается в строго обратном направлении (рис. 4).

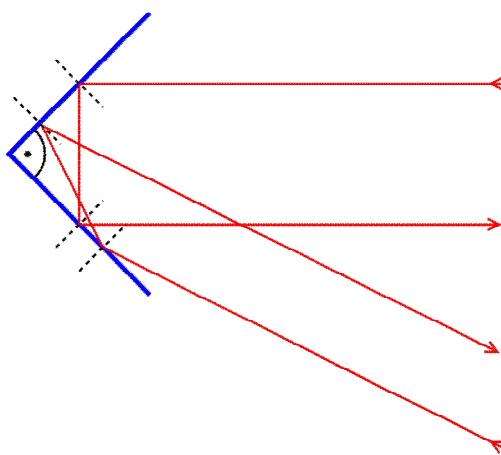


Рис. 4. Угловой отражатель: принцип действия и внешний вид.

Линза Люниберга — линза, в которой коэффициент преломления не является постоянным, а подбирается таким образом, чтобы при прохождении линзы параллельные лучи фокусировались в одной точке на поверхности линзы, а испущенные точечным источником на поверхности — формировали параллельный пучок. Линза Люниберга, одна сторона которой покрыта токопроводящим материалом, обладает огромной (относительно истинных размеров) ЭПР в широких углах облучения (рис. 5).

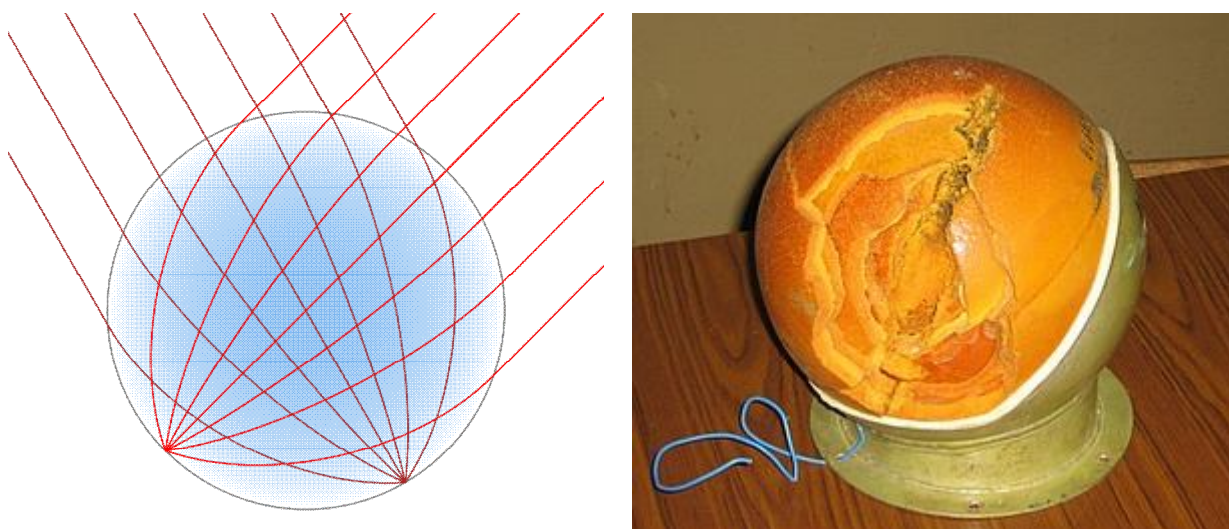


Рис. 5. Линза Люниберга: принцип действия и внешний вид «в расколе»
(после воздействия поражающих элементов ЗУР).

Эффективная поверхность рассеивания такого объекта равна или больше чем у прикрываемой цели. Использование подобных ложных целей служит для усложнения воздушной обстановки наблюдаемой на индикаторах РЛС и маскировки отметки от реальной цели. Кроме того, подобные цели используются в качестве мишеней для стрельбы ЗРК, на полигонах.

2. ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ АКТИВНЫХ ПОМЕХ

В реальных условиях полезная информация всегда поступает на вход радиолокационных приемников на фоне помеховой, что затрудняет процесс обнаружения сигналов и измерения их параметров. Однако даже в наихудших условиях радиолокатор должен осуществлять решение этих задач с требуемым качеством. Для этого во всех РЛС предусматриваются разнообразные защитные меры, общее назначение которых - обеспечить выделение отраженного от цели сигнала на фоне помех. Технически все они опираются на различия в физических свойствах целевых и помеховых сигналов. Кроме того, для защиты от помех необходимо использовать особенности формирования тех или иных помеховых сигналов.

Так, например, эффективность активной прицельной помехи тем выше, чем точнее по своим характеристикам она соответствует зондирующему

сигналу РЛС. Для ее постановки СПП должна принять ЗС и определить его параметры. Поэтому меры защиты от прицельных помех включают повышение скрытности работы РЛС.

Следует особо отметить, что для защиты от помех наряду с техническими широко используются и организационные меры. К ним можно отнести различные ограничения на выход в эфир, организацию смены частотных литеров РЛС (плановые изменения номиналов их несущих частот), взаимодействие нескольких РЛС и так далее.

Организационные меры борьбы с помехами будут рассмотрены подробнее в дисциплинах «Тактика ЗРВ» и «Боевое применение ЗРК», а на нынешней лекции основное внимание следует уделить техническим методам помехозащиты.

Основными из них являются:

- рациональный выбор параметров и формы ЗС;
- перестройку несущей частоты ЗС;
- работу на нескольких несущих частотах;
- устранение перегрузки приемника;
- селекцию сигналов по направлению прихода и частоте.

Выбор формы и параметров ЗС с одной стороны должны обеспечить максимальную скрытность работы локатора, а с другой стороны они должны обеспечить возможность «силового противодействия» постановщику активной помехи (ПАП). «Силовое противодействие» основывается на том, что энергетические возможности ПАП ограничены мощностью бортовых источников питания летательного аппарата, тогда как энергетические возможности РЛС зависят от более мощных наземных источников питания.

Перестройка несущей частоты и работа локатора на нескольких несущих частотах повышают скрытность его работы, затрудняют противнику управление процессом постановки помех и позволяют оперативно отстраиваться по частоте от созданной помехи. Чем больше время наведения помехи по отношению ко времени перестройки частоты

РЛС тем эффективнее этот метод. Для его реализации в РЛС может использоваться как один приемо-передающий канал, обеспечивающий оперативную перестройку по частоте, так и несколько приемо-передающих каналов, каждый из которых настроен на фиксированную частоту. Первый способ используется в трехкоординатных импульсных РЛС, где требования к стабильности частоты передатчика невысоки, а второй способ применяется в доплеровских РЛС, где требуется высокая стабильность частоты.

Отсутствие перегрузки приемника РЛС является необходимым условием защиты от помех любых видов. Для *устранения перегрузки приемника* его входные каскады строятся на элементах обеспечивающих максимальный динамический диапазон (ЛБВ, ЛОВ), а в тракте промежуточной частоты для расширения динамического диапазона используются усилители с логарифмической амплитудной характеристикой и цепи быстрого автоматического регулирования усиления (БАРУ).

Селекция сигналов по частоте позволяет повысить помехозащиту доплеровских РЛС. Это достигается за счет сужения эквивалентной полосы пропускания приемника до нескольких сотен герц, что существенно снижает уровень помехи на выходе приемного тракта по сравнению с более широкополосными приемниками трехкоординатных РЛС.

Пространственная селекция активных помех основана на их сильной пространственной корреляции и предусматривает компенсацию помехового сигнала на входе основного приемного канала.

Пространственная корреляция характеризует связь (похожесть) сигналов принятых разными антеннами с подключенными к ним приемниками. Если эта связь велика, появляется возможность построить вспомогательный приемный канал со своей антенной (он называется компенсационным) и использовать сигнал с него для компенсации помехи в основном канале.

Простейшее устройство, реализующее указанный принцип называется автокомпенсатором помех (АКП) с корреляционной обратной связью (рис 6).

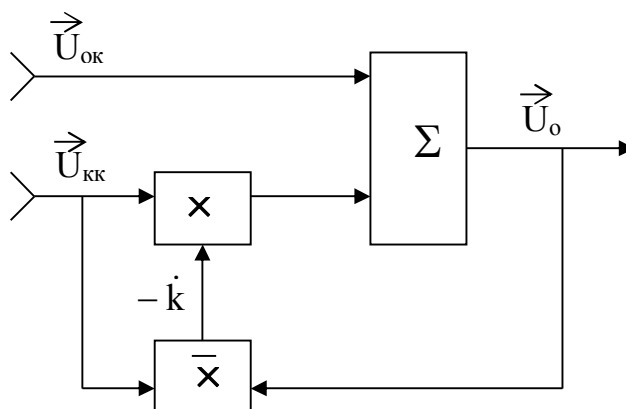


Рис. 6. АКП с корреляционной обратной связью.

Для работы АКП используется компенсационная слабонаправленная антенна, охватывающая главным лепестком своей ДН боковые лепестки основной антенны (рис. 7).

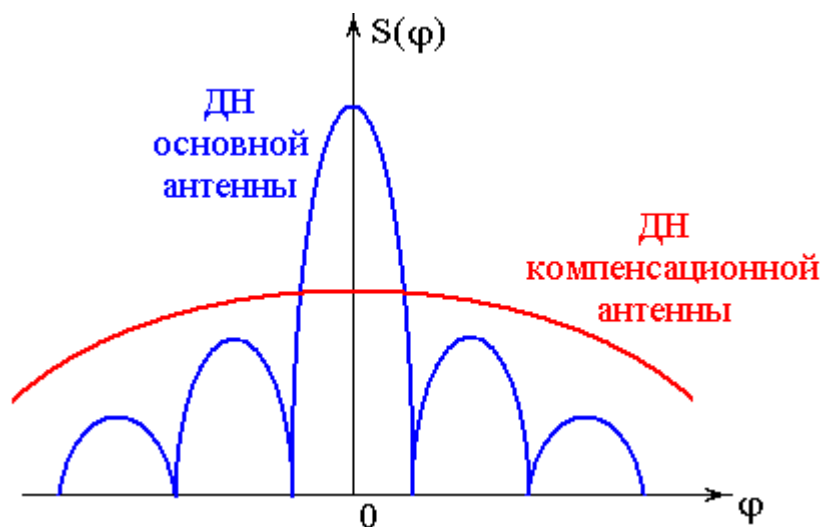


Рис. 7. ДН основной и компенсационной антенн.

Сигналы помехи, принятые основным каналом $\vec{U}_{ок}(t)$, и компенсационным каналом $\vec{U}_{кк}(t)$, поступают на сумматор (рис.2). На выходе сумматора формируется напряжение

$$\vec{U}_o(t) = \vec{U}_{ок}(t) - \dot{k} \cdot \vec{U}_{кк}(t). \quad (1)$$

Для формирования значения управляющего множителя \dot{k} используется цепь корреляционной обратной связи. Она позволяет вычислить корреляционный момент $\overline{\vec{U}_o(t)\vec{U}_{\text{кк}}(t)}$, характеризующий связь выходного сигнала АКП $\vec{U}_o(t)$ и сигнала помехи $\vec{U}_{\text{кк}}(t)$, принятого компенсационным каналом. Очевидно, что этот момент обратится в ноль при условии полной компенсации помехи.

Вычисленный корреляционный момент с точностью до постоянного множителя χ и используется в качестве управляющего множителя \dot{k}

$$\dot{k} = \chi \cdot \overline{\vec{U}_o(t)\vec{U}_{\text{кк}}(t)}. \quad (2)$$

Подставив выражение (2) в (1) несложно найти выражение для выходного сигнала АКП

$$\vec{U}_o(t) = \vec{U}_{\text{ок}}(t) - \frac{\chi \cdot \overline{\vec{U}_{\text{ок}}(t)\vec{U}_{\text{кк}}(t)}}{1 + \chi |\vec{U}_{\text{кк}}(t)|^2} \cdot \vec{U}_{\text{кк}}(t). \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, что при $\chi \rightarrow \infty$ и достаточной корреляции между $\vec{U}_{\text{ок}}(t)$ и $\vec{U}_{\text{кк}}(t)$ (например $\vec{U}_{\text{кк}}(t) = C \vec{U}_{\text{ок}}(t)$, где $C = \text{const}$) происходит полная компенсация помехи, то есть $\vec{U}_o(t)$ обращается в ноль.

Работа АКП эквивалентна формированию диаграммы направленности, максимум которой направлен на цель, а минимум сориентирован в направлении на источник помехи, поэтому принято говорить, что автокомпенсатор формирует провал в боковом лепестке ДН в направлении действия активной помехи.

Практическая реализация схемы АКП представленной на рис.2 в аналоговом приемном тракте затруднена, так как она требует реализации усилителя с изменяемым комплексным коэффициентом передачи. Поэтому в РЛС реализуются, как правило, квадратурные АКП, в которых компенсационный канал содержит четыре квадратурных со сдвигом фазы 0, 90, 180 и 270°.

Существует ряд *ограничений*, важных для понимания порядка использования АКП:

Для точной настройки компенсатора на входе антенной системы должна присутствовать только помеха, поэтому в каждом угловом положении луча предусмотрено время (порядка 100 мкс) в течение которого приемное устройство работает, а излучение зондирующего сигнала не производится.

По окончании настройки АКП переходит в режим памяти, сформированные управляющие коэффициенты сохраняются до перевода луча в следующее угловое положение.

Один АКП может эффективно компенсировать помеху с одного углового направления, что следует из принципа его работы (помехи приходящие с разных угловых направлений не имеют пространственной корреляции) поэтому используются многоканальные устройства, например трехканальный автокомпенсатор, содержит один основной канал от основной антенны и три компенсационных, использующих различные антенны.

Рассмотренный АКП неэффективен против помех действующих в главном лепестке ДН.

Если цель сама ставит активную помеху (так называемый случай «самоприкрытия»), то РЛС может определить только ее угловые координаты (пеленг).

Кроме рассмотренных методов помехозащиты, используемых в большинстве РЛС, могут применяться и специальные методы, эффективные при борьбе с конкретным видом помехи.

Для защиты импульсных локаторов от ХИП используются схемы ШОУ (**Ш**ирокополосный **У**силитель, **О**граничитель, **У**зкополосный **Ф**ильтр) и ШОФС (**Ш**ирокополосный **У**силитель, **О**граничитель, **Ф**ильтр **С**огласованный). Принцип действия этих схем основывается на использовании различий в длительности отраженного от цели импульса и импульса помехи, рассмотрим его на примере схемы ШОУ (рис. 8).

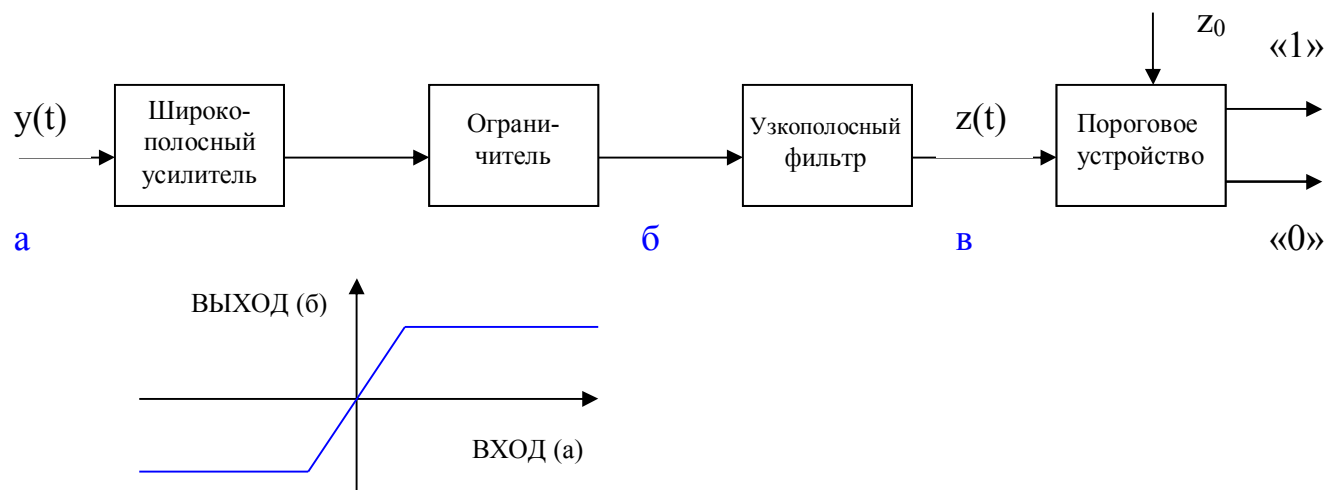


Рис. 8. Обнаружитель со схемой ШОУ

Принятая реализация смеси сигнала и помехи $y(t)$ показана на рисунке 5 а. У импульса помехи амплитуда много больше, а длительность много меньше соответствующих параметров простого прямоугольного импульса. Обнаружитель содержит узкополосный фильтр, полоса пропускания которого согласована с длительностью импульса сигнала. Даже без детального анализа его работы очевидно, что амплитуда напряжения на его выходе пропорциональна амплитуде входного сигнала и степени его коррелированности с ожидаемым. Основное отличие ХИП и полезного сигнала это разница длительностей τ_n и $\tau_{и}$, поэтому степень ослабления ХИП в фильтре определяется отношением $\tau_{и}/\tau_n$. Однако импульсы помехи могут оказаться настолько мощными, что этого ослабления будет недостаточно, для обнаружения сигнала на их фоне.

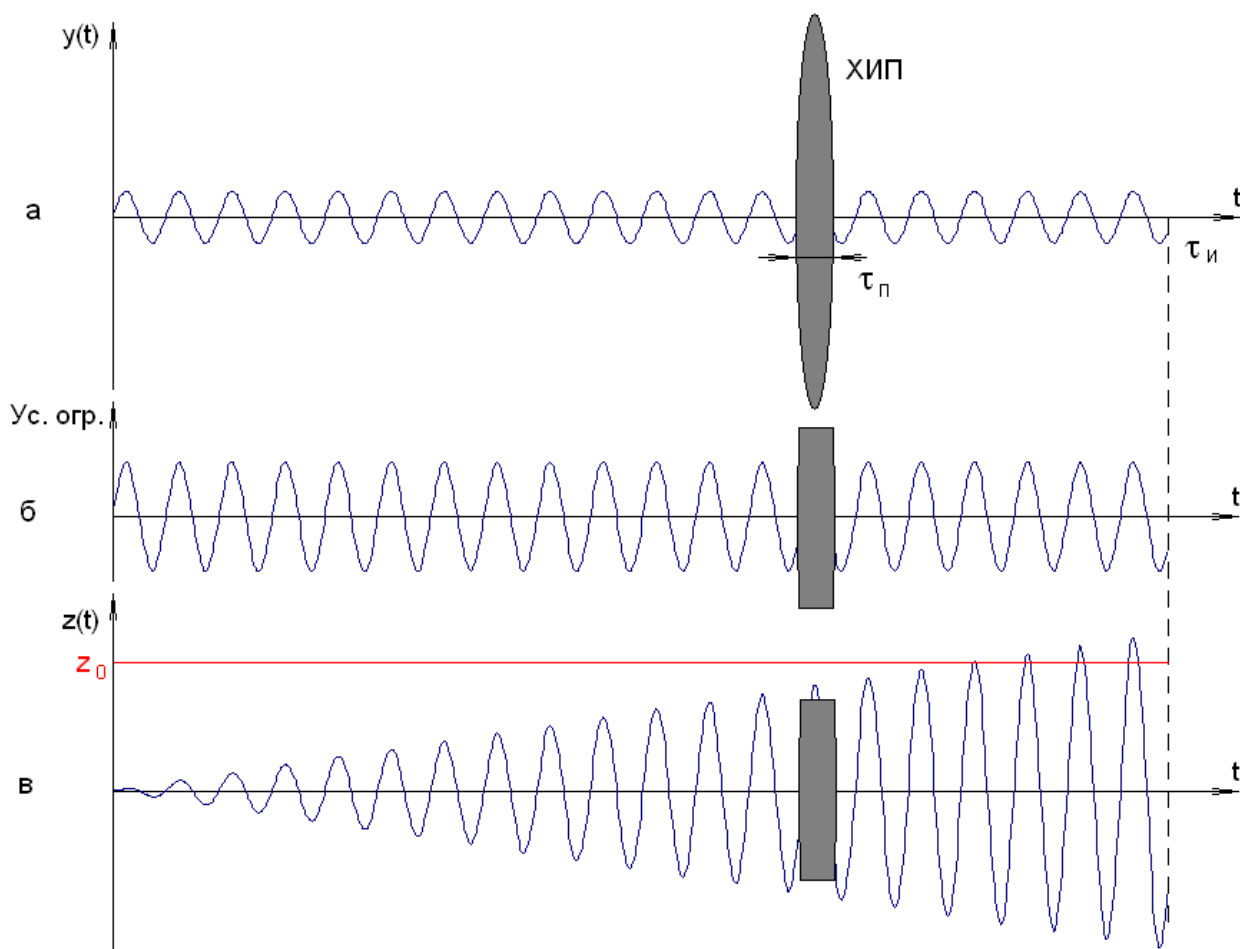


Рис. 9. Принцип работы схемы ШОУ.

Поэтому на входе фильтра установлены широкополосный усилитель и ограничитель (их амплитудная характеристика приведена на рис. 4), обеспечивающие выравнивание амплитуд помехи и сигнала. При этом на выходе фильтра накопленный сигнал будет превосходить помеху, и превышать порог обнаружения z_0 .

Схема ШОФС работает аналогично. Ее отличие от ШОУ заключается в том, что она рассчитана на прием сложных сигналов, поэтому узкополосный фильтр заменен на согласованный.

Другим примером специальных методов защиты является использование методов траекторного анализа для борьбы с уводящими активными помехами. Реализация такого метода защиты требует наличия в РЛС вычислительных средств, для анализа траектории цели. Суть метода заключается в том, что уводом признается такое изменение одной из

координат, которое не соответствует изменению остальных (например, резкое увеличение скорости, при постоянном изменении дальности), сопровождение по этой координате ведется на основании экстраполированных данных до окончания увода.

3. ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ ПАССИВНЫХ ПОМЕХ

Методы защиты от пассивных помех условно можно разделить на три группы:

1. Прямые методы, при которых параметры сигналов РЛС выбираются из условия наилучшего соотношения между определенными характеристиками полезного и помехового сигналов. При этом за счет оптимальной когерентной обработки принимаемых сигналов подавление мешающих отражений достигает нескольких десятков дБ (50-70).

Контрольный вопрос: Укажите физический смысл этой единицы измерения - дБ.

Бел (Б) - логарифм безразмерного отношения одной физической величины к одноименной физической величине, принимаемой за исходную.

Для “энергетических” величин - мощности, энергии, плотности потока энергии и т.д., - $1\text{Б} = \lg (P_2/P_1)$ при $P_2 = 10P_1$.

На практике используют величину в десять раз меньшую - децибел (дБ): $1\text{дБ} = 0,1\text{Б}$.

Таким образом, снижение уровня помехового сигнала на 50 дБ означает его ослабление в сто тысяч раз.

2. Специальные регулировки в приемном тракте, позволяющие исключить перегрузки в каскадах приемников РЛС.

3. Методы селекции, основанные на использовании частотных, временных и поляризационных различий между полезным и помеховым сигналами.

Примером использования *прямого метода защиты* является применение непрерывного зондирующего сигнала. Эффективность когерентной обработки при этом такова, что РЛС с непрерывным сигналом способны обнаруживать цели с ненулевыми радиальными скоростями на фоне пассивных помех с плотностью до 10 пачек на сто метров пути.

Вторая группа методов борьбы с пассивными помехами имеет целью защиту приемного тракта от перегрузок и предполагает применение тех же регулировок, что и для защиты от активных помех. Различные комбинации регулировок, каждая из которых эффективна для определенных условий наблюдения, может рассматриваться только как вспомогательное средство борьбы с пассивной помехой (ПП). К этому выводу несложно прийти, анализируя сходство и различия между полезным сигналом и ПП. Поскольку форма сигналов и их временные параметры совпадают, а интенсивность помехи много больше, чем сигнала, очевидно, что никакие регулировки усиления приемного тракта не позволят скомпенсировать помеху и сохранить сигнал.

Наиболее эффективными для борьбы с ПП следует признать методы селекции, относящиеся к *третьей группе*. В основу большинства методов селекции ПП положены частотные, частотно-временные и поляризационные различия помехи и сигнала.

Поляризационная селекция предполагает выбор такой поляризации ЗС, чтобы получить максимальный отраженный сигнал от цели и минимальный от источника мешающих отражений.

В РЛС для борьбы с гидрометеорами (снег, дождь, град и т.д.) используется круговая поляризация. Степень подавления отражений от гидрометеоров составляет в среднем для дождя 20 ... 25 дБ, а для снега – 8 ... 12 дБ.

Частотные и частотно-временные методы защиты от ПП используют скоростные (частотные) отличия цели и помехи. Абсолютное большинство аэродинамических целей характеризуется высокой скоростью

движения. Следовательно, спектр отраженного от таких объектов сигнала смещается по частотной оси относительно спектра ЗС на величину доплеровской добавки $F_d = 2V_r/\lambda$, где V_r радиальная скорость цели, λ длина волны ЗС. ПП собственной радиальной скорости не имеет и может лишь незначительно перемещаться под действием ветра, ее доплеровская добавка близка к нулю.

Наиболее просто и эффективно селекция по частоте реализуется в доплеровских РЛС (то есть в РЛС измеряющих F_d).

Например, в станциях с непрерывным ЗС для эффективной защиты достаточно установить режекторный (вырезающий) фильтр на частоте, соответствующей $F_d = 0$ (рис. 10).

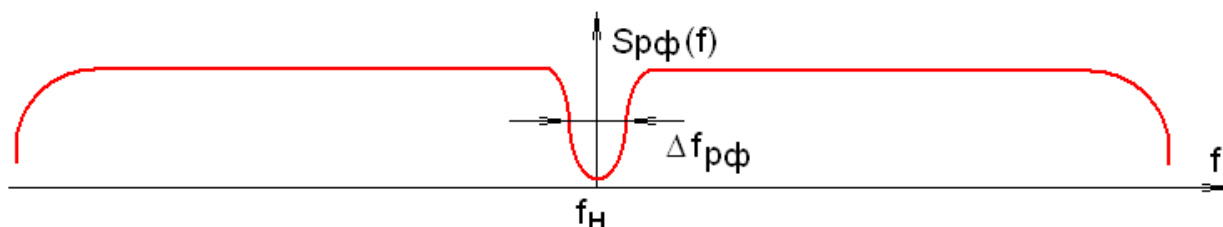


Рис. 10. Амплитудно-частотная характеристика режекторного фильтра.

Характеристика режекторного фильтра подобрана так, чтобы без потерь пропускать сигналы целей во всем диапазоне возможных доплеровских частот и обеспечивать подавление ПП в пределах зоны режекции с шириной $\Delta f_{рф}$. Эффективность защиты составляет не менее 60 дБ или более 10 пачек на 100 метров.

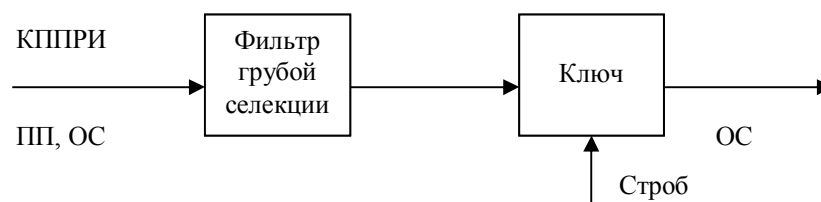


Рис. 11. Схема частотно-временной селекции.

В РЛС с квазинепрерывным ЗС для защиты от пассивной помехи одного режекторного фильтра недостаточно. Это обусловлено гребенчатой

формой спектра КППРИ. Дополнительно к РФ используется схема частотно-временной селекции (ЧВС). Она состоит из фильтра грубой селекции (ФГС) и ключа (рис.11). АЧХ ФГС расположена между 1 и 2 лепестками спектра пассивной помехи (ПП), что позволяет наилучшим образом отстроиться от нее (рис. 12).

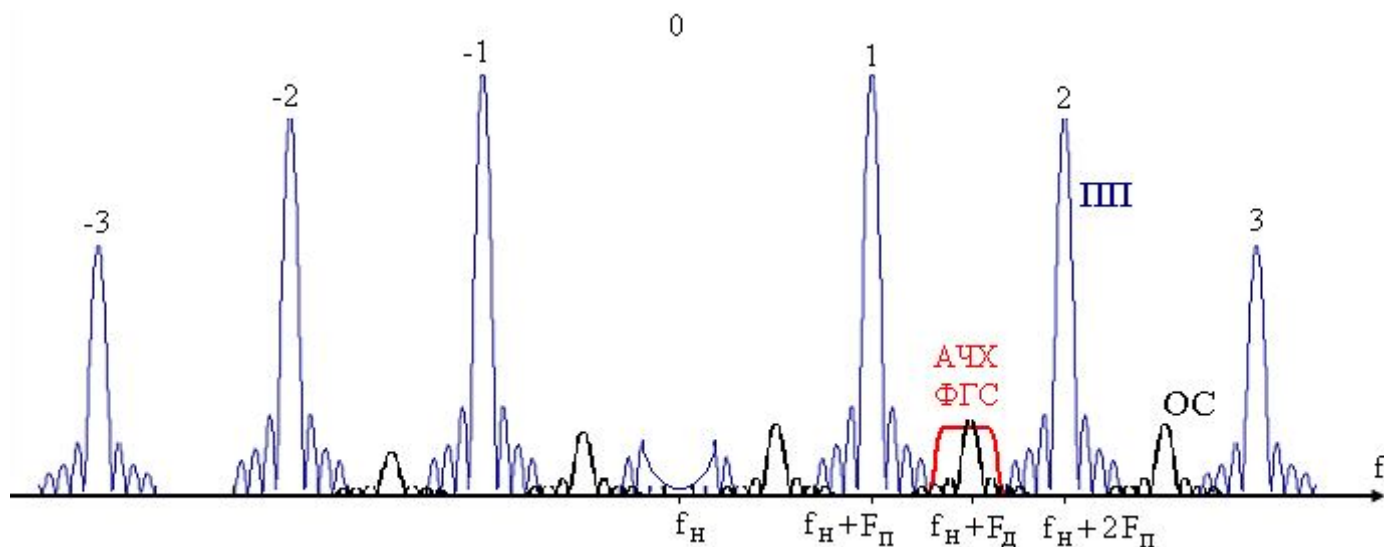


Рис. 12. АЧХ ФГС.

При попадании в полосу пропускания ФГС одного из лепестков спектра отраженного сигнала, этот лепесток выделяется, т.е. за счет накопления сигнала фильтр преобразует КППРИ в прямоугольный радиоимпульс, длительность которого равна длительности всей пачки.

Ключ, стоящий на выходе ФГС осуществляет временную селекцию для подавления помеховых сигналов, возникающих при приеме первых импульсов ПП. Ключ открывается прямоугольным стробом длительностью $t_{обр}$, задержанным относительно начала зондирования на $t_{зад}$. За время задержки затухают переходные процессы, возникающие при попадании в полосу пропускания ФГС спектральных составляющих первых принятых импульсов ПП (так называемое «ударное возбуждение фильтра внеполосной помехой»).

Процессы, происходящие в схеме ЧВС (без учета времени запаздывания) представлены на рис. 13.

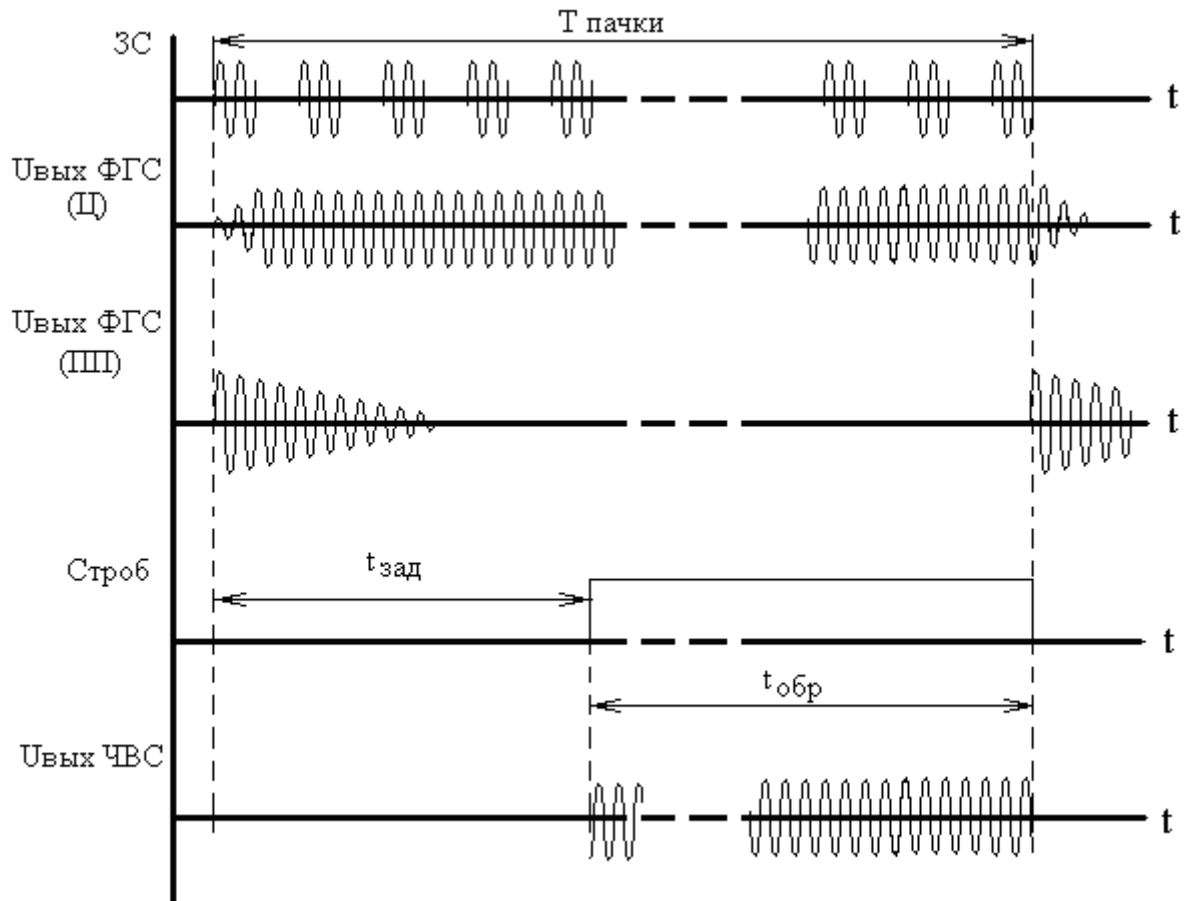


Рис. 13. Принцип работы ЧВС.

Ударное возбуждение обусловлено тем, что спектр ПП принимает гребенчатую форму, совпадающую с формой спектра ЗС лишь после накопления всей пачки помеховых импульсов. При приеме же первого импульса пачки спектр ПП определяется спектром принятого одиночного импульса, т.е. сплошной спектр, изменяющийся по закону $|\sin x/x|$. Ширина этого спектра обратно пропорциональна длительности импульса и равна ширине огибающей спектра КПРИ, а, следовательно, перекрывает полосу пропускания ФГС.

Эффективность схем ЧВС весьма высока, коэффициент подавления ПП достигает величины 60 дБ или 10 пачек на 100 метров.

Защита импульсных РЛС, используя тот же принцип выделения скоростных различий между сигналом и ПП, отличается реализацией устройств помехозащиты. Это обусловлено низкой разрешающей способностью импульсных станций по скорости.

В качестве основных устройств защиты импульсных РЛС от ПП применяются различные варианты схем черезпериодного вычитания (ЧПВ). Принцип их действия рассмотрим на примере простейшей схемы однократного ЧПВ (рис. 14).

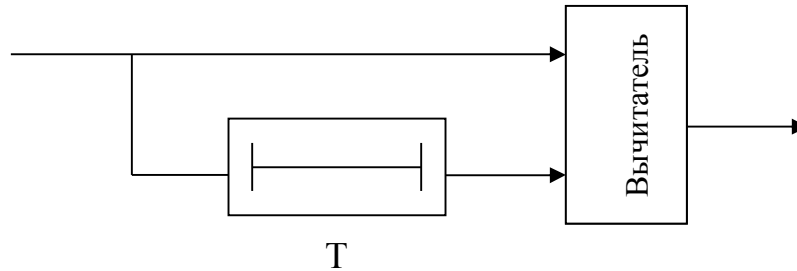


Рис. 14. Однократная ЧПВ.

Компенсация основана на высокой повторяемости помеховых сигналов, полученных в смежных периодах повторения:

если в n -ом периоде амплитуда помехи $\dot{U}_{n\text{ПП}} = U_{\text{ПП}} e^{-j\varphi}$,

то в $n+1$ -ом периоде $\dot{U}_{n+1\text{ПП}} = U_{\text{ПП}} e^{-j(\varphi + \Omega_{\text{дПП}} T)}$;

где $\Omega_{\text{дПП}} \approx 0$ – доплеровская добавка частоты пассивной помехи;

φ - начальная фаза помехового сигнала.

В то же время сигналы цели изменяются за период повторения следующим образом:

если в n -ом периоде амплитуда сигнала $\dot{U}_{n\text{Ц}} = U_{\text{Ц}} e^{-j\psi}$,

то в $n+1$ -ом периоде $\dot{U}_{n+1\text{Ц}} = U_{\text{Ц}} e^{-j(\psi + \Omega_{\text{дЦ}} T)}$;

где $\Omega_{\text{дЦ}} \neq 0$ – доплеровская добавка частоты сигнала цели;

ψ - начальная фаза сигнала цели.

Принцип работы схемы наглядно поясняется векторной диаграммой (рис. 15 а, б).

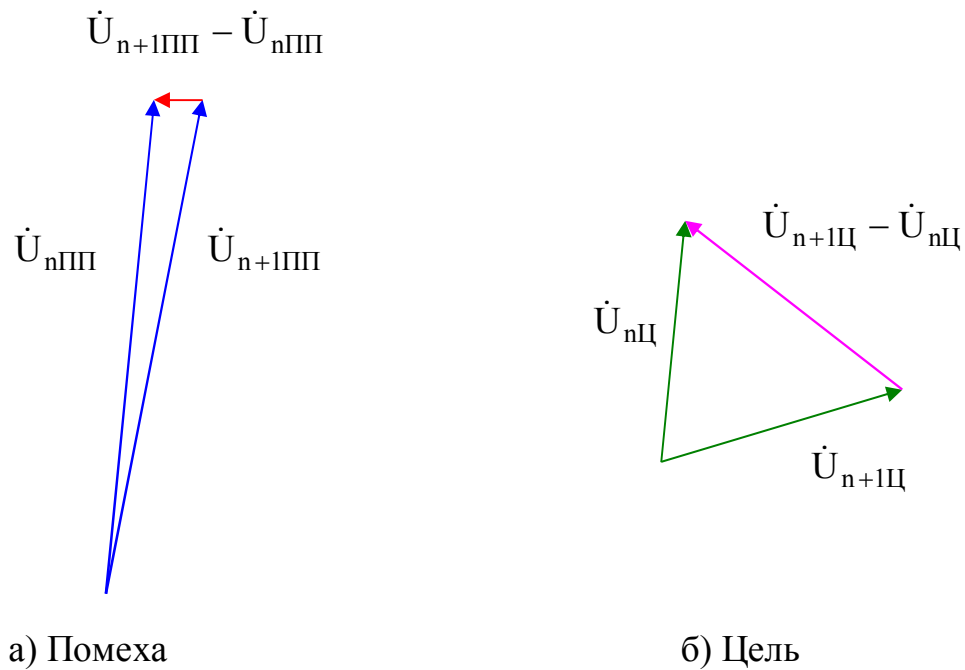


Рис. 15. Принцип работы схемы однократного ЧПВ.

Очевидно, что эффективность систем ЧПВ растет, с уменьшением $\Omega_{дПП}$ и с ростом $\Omega_{дЦ}$, поэтому такие системы имеют и другое название - системы селекции движущихся целей (СДЦ).

Эффективность схем ЧПВ существенно ниже, чем у систем защиты доплеровских РЛС она достигает значений 20 дБ или 0,6-0,8 пачек на 100 метров.

Выводы:

все принципы помехозащиты, реализованные в технических устройствах основаны на различиях во временных, частотных и пространственных свойствах полезных и помеховых сигналов;

при отсутствии указанных отличий (например, воздействие АШП по главному лепестку ДН) применение технических средств защиты малоэффективно, поэтому используются организационные меры защиты, такие как передача цели на сопровождение РЛС другого типа, специальные алгоритмы стрельбы по пеленгу и так далее;

эффективная защита средств получения радиолокационной информации от помех возможна только в случае комплексного использования нескольких РЛС различных типов.

ЗАДАНИЕ НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ:

Повторить материал лекции.