



Теоретические основы радиолокации

ПОМЕХИ РАДИОЛОКАЦИОННОМУ НАБЛЮДЕНИЮ И БОРЬБА С НИМИ

Учебные вопросы

1. Основные виды помех средствам активной радиолокации
2. Влияние различных помех на работу РЛС
3. Общие методы защиты от помех

Вид занятия: Лекция

Литература:

Перевезенцев Л.Т. Огарков В.Н. Радиолокационные системы аэропортов. М; Транспорт. 1991, с. 297-319.

Радиопомехой называется любое внешнее радиоизлучение, препятствующее приему полезной информации, содержащейся в принятой реализации, или содержащее ложную информацию.

Принятая реализация при отсутствии внешних помех записывается в виде

$y(t) = n(t) + x(t)$, где $x(t)$ - полезный сигнал; $n(t)$ - внутренний шум.

В условиях воздействия внешних помех принятая реализация несколько видоизменяется

$$y(t) = n(t) + x(t) + \sum_{i=1}^k u_{n_i}(t),$$

где $u_{n_i}(t)$ - колебания внешней помехи;
 k - число источников помех.

По способу создания помехи делятся на активные и пассивные.

Активные создаются специальными передатчиками, сигналы которых воздействуют на РЛС и затрудняют радиолокационное наблюдение целей или создают ложную информацию.

Пассивные - возникают за счет отражения энергии излучаемого РЛС сигнала от специальных или естественных отражателей и сред (такими объектами являются «местные предметы», гидрометеоры (облака, дождь, град, снег), другие объекты естественного происхождения, а также специально создаваемые помеховые сигналы).



Теоретические основы радиолокации

Общие методы защиты от помех

Методы защиты от активных помех

С точки зрения воздействия активных помех на системы РЛС методы защиты станций можно разделить на две основные группы:

- методы препятствующие попаданию помехи в приемную систему и устройство обработки сигнала.**
- методы борьбы с помехами, проникшими в приемную систему.**

Методы защиты от активных помех

Различия между сигналом и помехой которые могут быть использованы в целях защиты РЛС от активных помех:

1. Различия в спектральном составе сигнала и помехи, которые реализуются с помощью различных фильтрующих схем.

Методы защиты: - перестройка по несущей частоте РЛС;
- оптимальная фильтрация сигналов.

2. Различия во временной структуре сигналов и помех, которые сами по себе представляют частный случай различий в спектрах.

Методы защиты – селекция импульсных сигналов по:

- длительности;
- частоте следования;
- временному интервалу;
- временному коду.

3. Различия в амплитудах сигналов и помех.

Методы защиты с помощью схем селекции по амплитуде и при компенсационном методе.

4. Различия в пространственном положении цели и источника помех.

Методом защиты является повышение разрешающей способности по направлению и уменьшения уровня побочного излучения и приема по боковым и задним лепесткам диаграммы направленности антенны РЛС.

5. Различия в поляризационной структуре сигнала и помех, учитывая, что помехи имеют круговую или эллиптическую поляризацию, а волна, отраженная от цели, является плоскополяризованной.



Перестройка несущей частоты – при реализации этого метода защиты РЛС от активных помех используется различие несущих частот полезного сигнала и помех (**частотная селекция сигналов**).

Этот метод может осуществляться либо применением нескольких приемо-передающих каналов, разнесенных по частоте, либо использованием одного приемо-передающего канала, у которого предусмотрена перестройка рабочей частоты. Величина перестройки рабочей частоты РЛС должна быть не менее, чем сумма удвоенной промежуточной частоты и ширины полосы пропускания приемника ($2f_{по} + f_{пр}$).

Методы перестройки несущей частоты РЛС:

- несущая частота изменяется в заданной полосе частот от группы к группе излучаемых импульсов, каждая из которых состоит из нескольких импульсов;
- несущая частота изменяется от импульса к импульсу;
- несущая частота меняется в пределах длительности каждого импульса;
- несущая частота меняется в пределах длительности каждого импульса относительно средней величины, которая в свою очередь изменяется в течении времени всей последовательности импульсов.

Основным недостатком этого метода защиты является возможность разведки новой несущей частоты или закона ее изменения и электронное подавление РЛС на новой частоте.

Оптимальная фильтрация – сводится к построению передаточной функции фильтра, при которой на выходе фильтра отношение мощности сигнала и помехи достигает максимальной величины. Реализация оптимальных фильтров в современных РЛС осуществляется с помощью схем на линиях задержки с отводами.

Автоматическая регулировка усиления – предназначена для выделения полезного сигнала, принимаемого на фоне мощной помехи большой напряженности, принцип работы состоит в том, чтобы за время действия импульса помехи не произошло перегрузки приемной системы.

Селекция по амплитуде – используется для подавления помех различных видов, амплитуда которых превышает пороговое значение.

Селекция по длительности сигнала – схема производит селекцию таких импульсов, длительность которых равна длительности сигнала, отраженных от цели, и обеспечивает защиту РЛС от синхронных импульсных помех, длительность которых не совпадает с длительностью сигнала РЛС.

Селекция по частоте повторения сигнала – обеспечивает подавление несинхронной импульсных помех, имеющих период повторения, отличных от периода следования импульсов РЛС.

Вывод:

1. Методы защиты РЛС от активных помех подразделяются на методы препятствующие попаданию помехи в приемную систему и методы борьбы с помехами, проникшими в приемную систему.
2. Способы защиты основаны на различиях между сигналом и помехой в спектральном составе, во временной структуре, в амплитудах, в пространственном положении и в поляризационной структуре.



Основное усиление эхо - сигналов в приемнике осуществляется на промежуточной частоте.

Особенностью тракта промежуточной частоты является то, что в нем обеспечивается амплитудная и когерентная обработка принимаемых сигналов в условиях значительно меняющихся по амплитуде импульсных и шумовых помех. Такие условия усиления и обработки сигналов требуют согласования динамических диапазонов устройств и адаптации к помехам.

Согласование динамических диапазонов приемника и эхо сигналов осуществляется применением следующих регулировок усиления в тракте УПЧ:

- **мгновенной автоматической регулировки усиления (МАРУ);**
- **временной автоматической регулировки усиления (ВАРУ);**
- **шумовой автоматической регулировки усиления (ШАРУ);**
- **устройства с малой постоянной времени (дифференцирования).**



Радиоэлектронные средства наблюдения

Радиоприемные устройства РЛС. Устройства адаптации

Сибирский федеральный университет

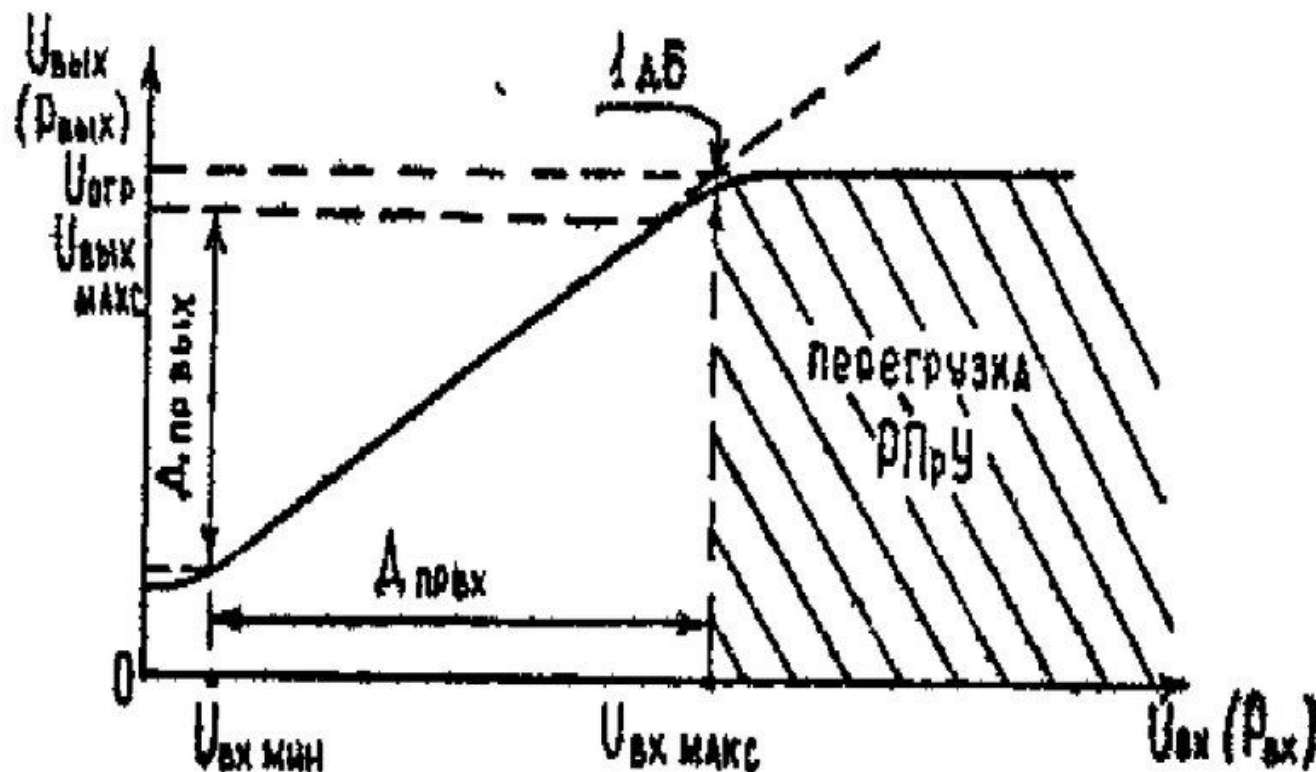


Рис. 8.1.

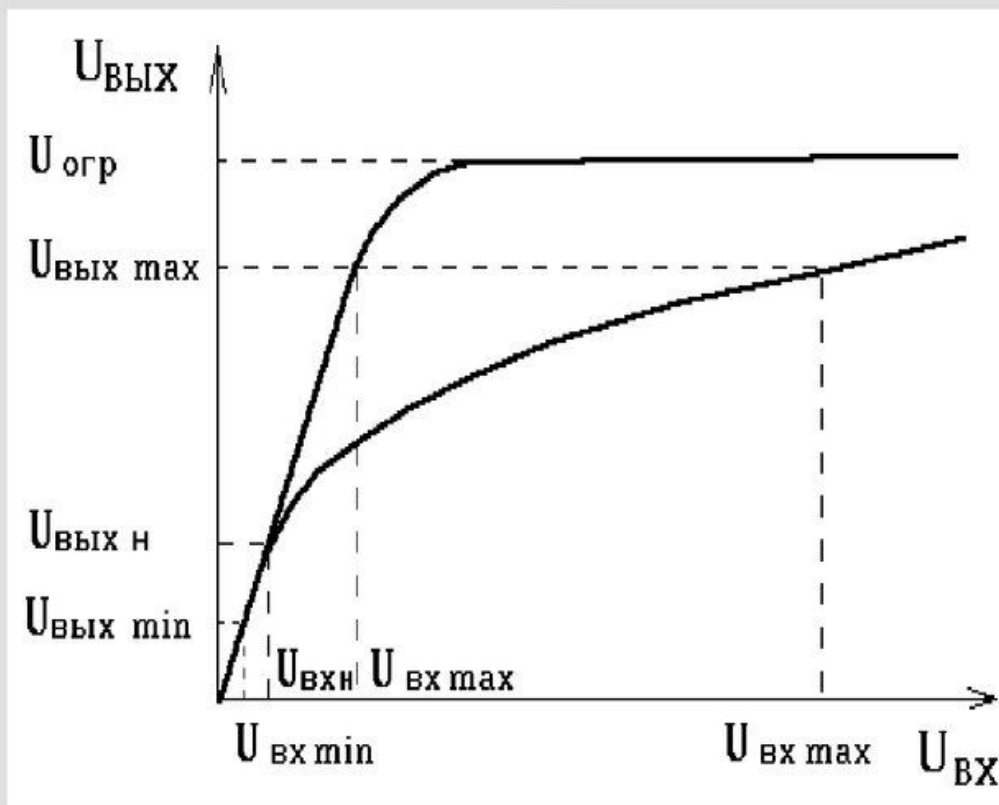
Амплитудная характеристика приемника(АХ)



Радиоэлектронные средства наблюдения

Радиоприемные устройства РЛС. Устройства адаптации

Сибирский федеральный университет



Амплитудная характеристика приемника:

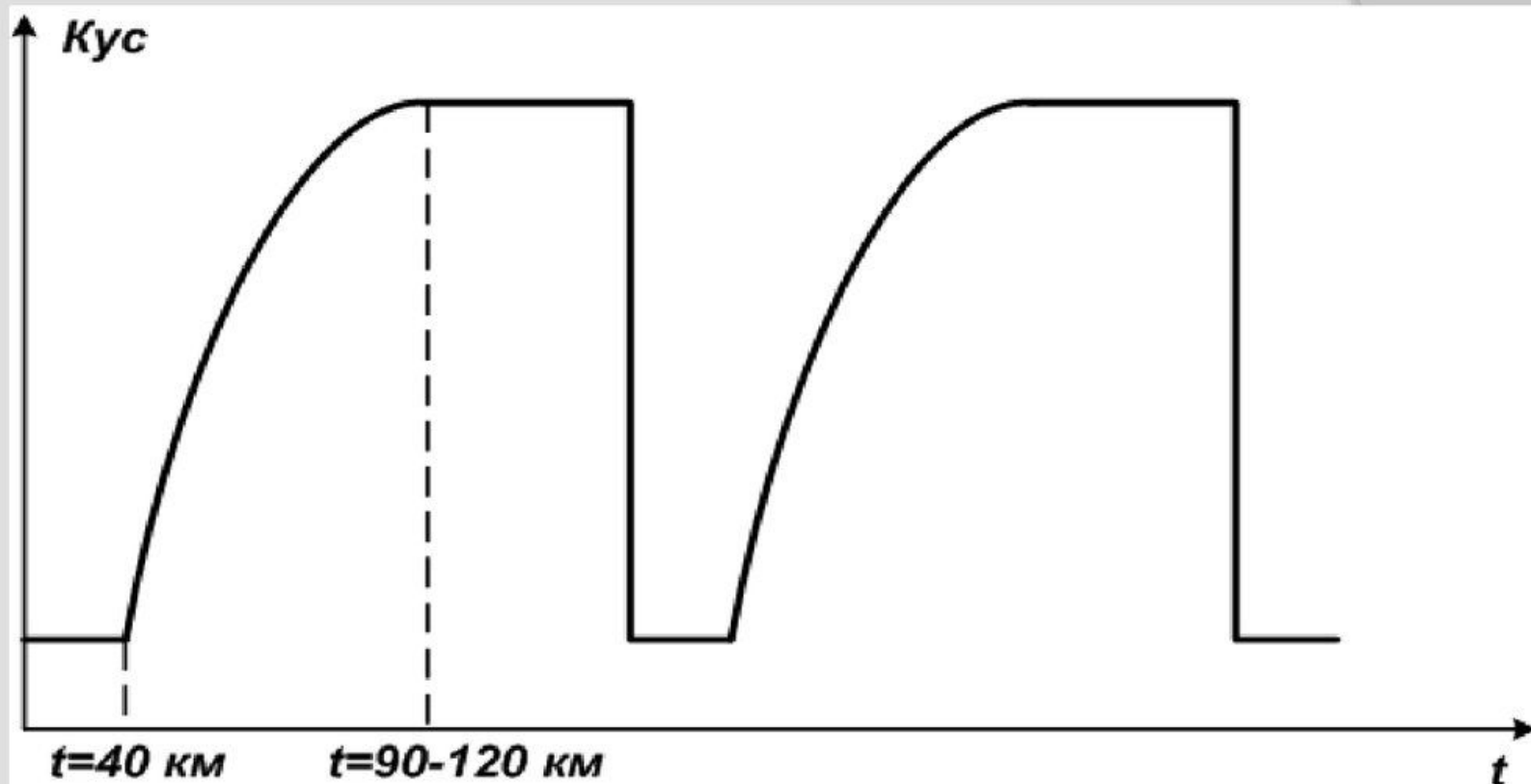
1 – без АРУ; 2 - с АРУ



Радиоэлектронные средства наблюдения

Радиоприемные устройства РЛС. Устройства адаптации

Сибирский федеральный университет



Зависимость коэффициента усиления
приемника при работе схемы ВАРУ



Радиоэлектронные средства наблюдения

Радиоприемные устройства РЛС. Устройства адаптации

Схема ВАРУ позволяет путем изменения коэффициента усиления УПЧ во времени по определенному закону ослабить помехи, величина которых регулярным образом зависит от расстояния.

К ним относятся пассивные помехи, создаваемые отражениями от поверхности земли, моря и некоторых метеообразований, расположенных на малых дальностях.

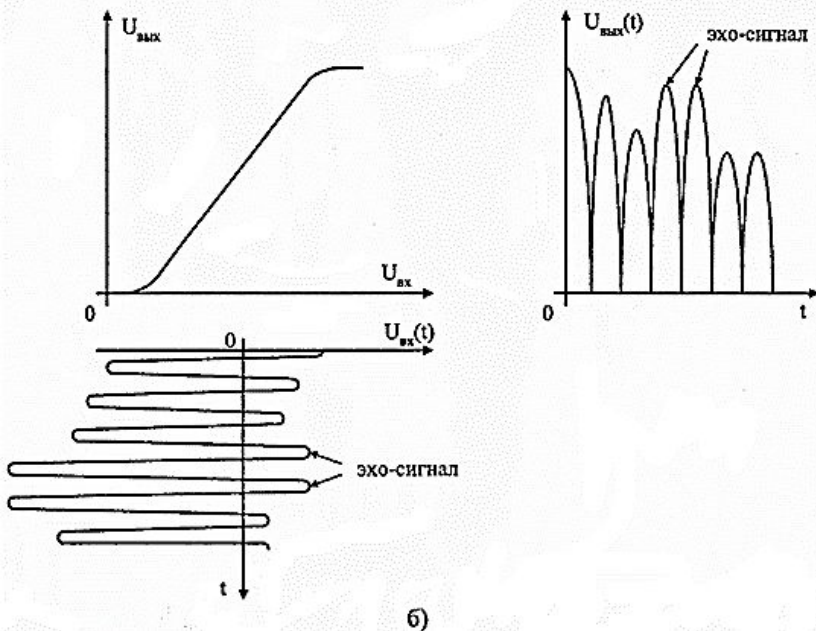
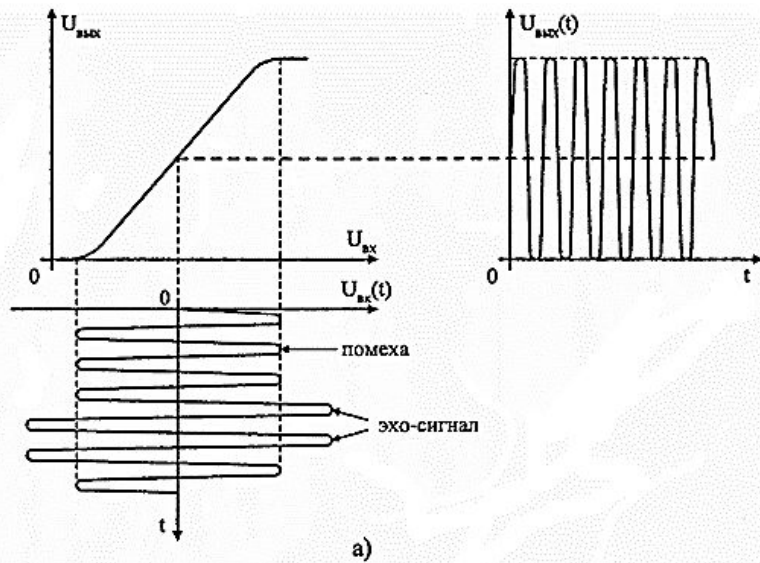
Управляющее напряжение ВАРУ, а значит и коэффициент усиления УПЧ, имеет такую временную зависимость, что усиление приемника для близко расположенных целей минимальное, а для наиболее удаленных максимальное.

Использование ВАРУ позволяет повысить различимость полезных целей на фоне отражений от местных предметов и метеообразований за счет исключения перегрузки отдельных цепей приемника. ВАРУ также помогает ослабить сигналы, принимаемые за счет бокового и заднего излучения антенны.



Радиоэлектронные средства наблюдения

Радиоприемные устройства РЛС. Устройства адаптации



На рисунке **а**. показано действие на УПЧ мощной импульсной помехи, имеющей длительность $T_{\text{пом}} > T_c$. При совпадении помехи и сигнала происходит перегрузка каскада суммарным сигналом: наблюдается ограничение сверху и снизу усиливаемого сигнала.

Необходимость **МАРУ** вызвана тем, что на вход приемного устройства, помимо отраженных от целей сигналов, приходят различного рода помехи естественного и искусственного происхождения, мощность и длительность которых значительно больше, чем у отраженных сигналов. Наблюдение сигналов цели на фоне таких помех на экране индикатора может оказаться невозможным из-за перегрузки каскадов УПЧ амплитудного канала.

Схема **МАРУ** обеспечивает защиту УПЧ амплитудного канала от перегрузки. В течение времени $T_{\text{мару}}$, которое выбирается из условия $T_c < T_{\text{мару}} < T_{\text{пом}}$, схема МАРУ смещает рабочую точку на статической проходной характеристике регулируемых каскадов влево (Рисунок **б**), так чтобы происходило линейное усиление сигнала.

Система шумовой автоматической регулировки усиления (ШАРУ) обеспечивает стабилизацию вероятности ложных тревог. При отсутствии такой системы увеличение интенсивности шумов на выходе приемника при постоянном пороге срабатывания устройства обнаружения РЛС приводит к увеличению вероятности ложных тревог при обнаружении целей.

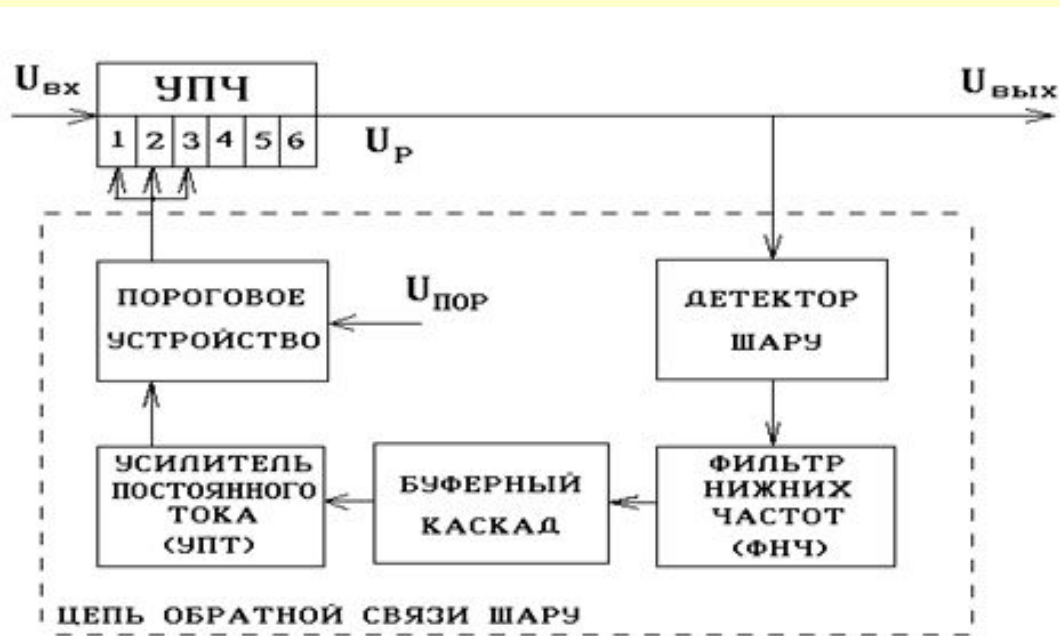
Для того чтобы обеспечить изменение коэффициента усиления УПЧ амплитудного канала только по шумам, напряжение на выходе приемника, полученное после амплитудного детектирования, стробируется (выделяется) на таком участке дальности, на котором наличие полезных сигналов и сигналов пассивных помех исключено. Такой участок располагается, обычно, в конце периода повторения зондирующих импульсов.



Теоретические основы радиолокации

Шумовая автоматическая регулировка усиления

Схема шумовой автоматической регулировки усиления (ШАРУ) предназначена для поддержания неизменным среднего уровня шумового напряжения на выходе приемного устройства при значительном изменении интенсивности АШП на его входе. **Нормирующее действие ШАРУ достигается** подачей отрицательного смещения на каскады УПЧ, при этом рабочая точка смещается в область характеристики с малой крутизной.



Структурная схема ШАРУ непрерывного действия представлена на рис. Она состоит из регулируемого усилителя и цепи обратной связи (цепи ШАРУ). Схема ШАРУ непрерывного действия применяется в условиях воздействия на РЛС АШП с резко выраженной нестационарностью.

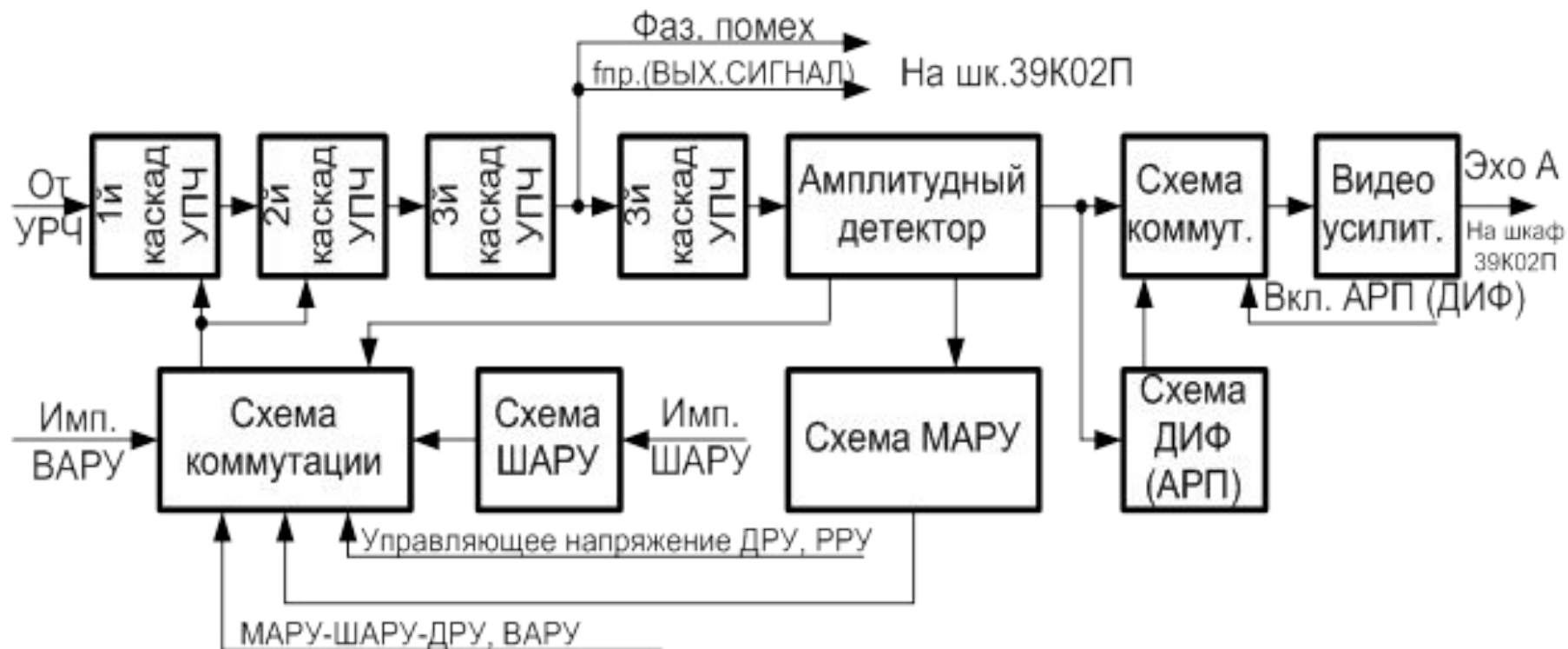


Радиоэлектронные средства наблюдения

Радиоприемные устройства РЛС. Устройства адаптации

Схема функциональная ячейки Д2УР038

МАРУ и дифференцирование протяженных по длительности эхо-сигналов осуществляется при амплитудной обработке. ВАРУ и ШАРУ используются как при амплитудной, так и при когерентной обработках. Схемы МАРУ и ШАРУ реализованы в ячейке Д2УР038





Радиоэлектронные средства наблюдения

Радиоприемные устройства РЛС. Устройства адаптации

Включение схемы МАРУ производится дистанционно с блока 394ЮП01 расположенного в шкафу 395УА01М в выносном оборудовании специальной командой **+27В МАРУ-ШАРУ-ДРУ**. В режиме МАРУ обеспечивается уровень шумов на выходе детектора ячейки и пределах (0,8...1,5) В при наличии на входе ячейки активной помехи, значительно превышающий уровень собственных шумов. Задержка срабатывания схемы МАРУ устраняет уменьшение чувствительности приёмного тракта при прохождении коротких сигналов, близких по времени существования к длительности рабочих импульсов РЛС. Принцип работы схемы ШАРУ заключается в том, что она вырабатывает управляющее напряжение, пропорциональное среднему уровню шумов на выходе амплитудного детектора ячейки, которое воздействует на первый и второй каскады УПЧ и регулирует усиление тракта промежуточной частоты так, чтобы при длительной работе исходный, заранее установленный уровень собственных шумов на выходе детектора оставался постоянным.

На схему ШАРУ поступает напряжение детектора и сформированные в ячейке управления Д2ГП018 импульсы ИМП. ШАРУ, с помощью которых производится дискретное регулирование усилителя УПЧ.

Включение ручной регулировки усиления осуществляется схемой коммутации с помощью команды -27В МАРУ-ШАРУ-ДРУ.

Включение режима ВАРУ производится командой +27В, при которой импульсы ВАРУ, вырабатываемые в ячейке Д2ГП018, поступают через схему коммутации на регулировку усилителя УПЧ.



Аппаратура для борьбы с пассивными помехами основана на априорном знании отличий свойств помех от свойств полезных сигналов.

Основные различия сигналов целей и пассивных маскирующих помех

1. Распределенный характер мешающих отражателей и близкий к сосредоточенному — блестящих элементов цели.

2. Отличия в поляризации отраженных сигналов

3. Различия в скорости перемещения мешающих отражателей и цели.

Основное различие сигналов заложено в частотах отраженных сигналов и обусловлено разными радиальными составляющими скоростей движения цели и источников пассивных помех. Различия в радиальных скоростях целей и отражателей имеются и могут быть использованы для селекции по скорости.

Селекцию по скорости (иначе по эффекту движения цели) называют *селекцией движущихся целей (СДЦ)*.

Основным признаком, по которому отличаются движущиеся и неподвижные объекты, является различная **величина доплеровского сдвига частоты высокочастотного заполнения отраженного сигнала.**



Теоретические основы радиолокации

Методы защиты от пассивных маскирующих помех

Для того чтобы сравнить фазы отраженного и зондирующего сигналов, необходимо сформировать опорное или когерентное колебание, позволяющее запомнить фазу зондирующего сигнала по крайней мере на тот интервал дальности, где имеются пассивные помехи. Опорное колебание обычно формируют на промежуточной частоте, на которой происходит основное усиление сигналов.

Когерентный канал обработки предназначен для подавления сигналов, отраженных от протяженных пассивных помех («местных» предметов) и метеообразований.

В основу обработки положен эффект Доплера, заключающийся в изменении частоты отраженных сигналов по отношению к частоте сигналов излученных. Такой эффект возникает в случае если воздушный объект движется и есть радиальная составляющая скорости, соответствующая изменению дальности от объекта до РЛС. Изменение дальности приводит, в свою очередь, к изменению фазовых соотношений сигналов излученных и отраженных.



Различают несколько видов обеспечения когерентности колебаний.

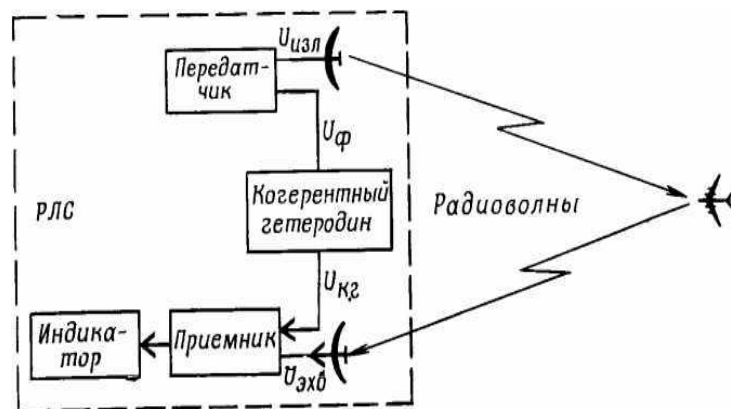
Истинная внутренняя когерентность достигается тем, что колебания создаются стабильным задающим генератором, после которого стоит усилитель мощности с устойчивой фазовой характеристикой.

Эквивалентная внутренняя когерентность достигается тем, что генератор с самовозбуждением вырабатывает последовательность импульсов постоянной несущей частоты со случайными начальными фазами. Начальная фаза каждого зондирующего импульса запоминается на время приема отраженных сигналов до следующего зондирования. Путем соответствующей обработки принимаемого колебания эта фаза исключается и принимаемые колебания оказываются практически такими же, как и в случае истинной когерентности.

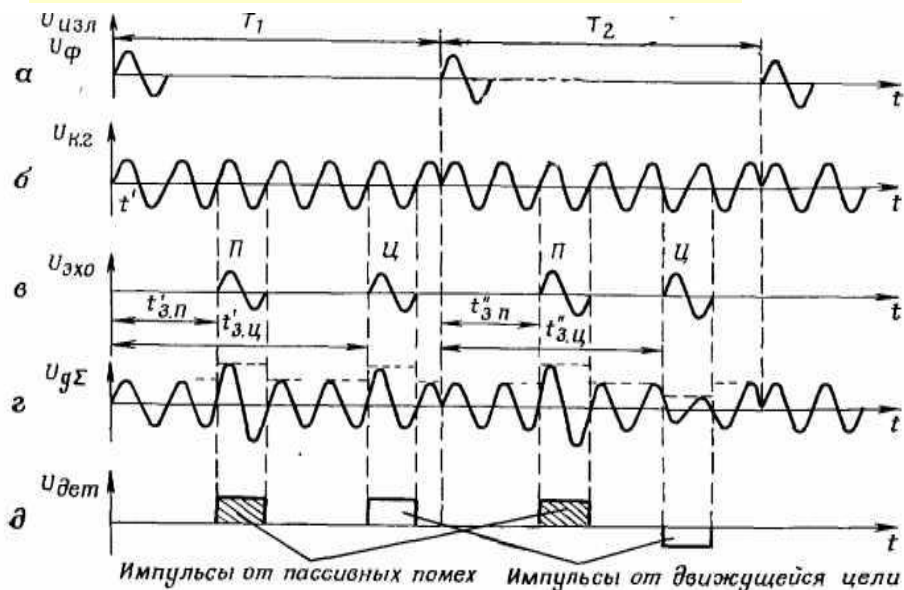
Внешняя когерентность достигается тем, что информация о случайной начальной фазе зондирующего импульса извлекается из проходящих от пассивных отражателей колебаний.

Когерентно-импульсный метод радиолокации

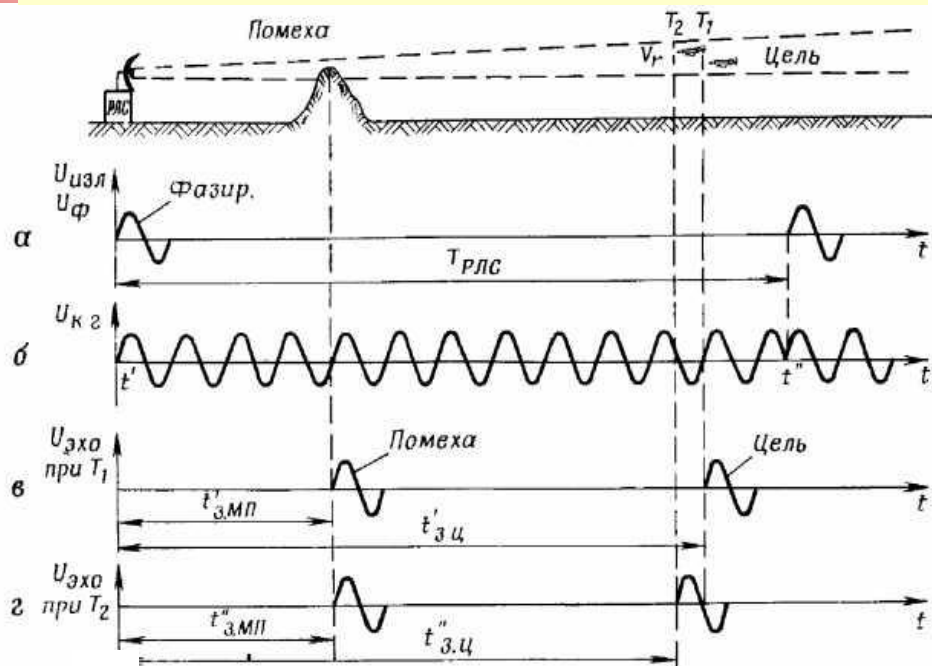
1. Схема РЛС, работающей когерентно-импульсным методом



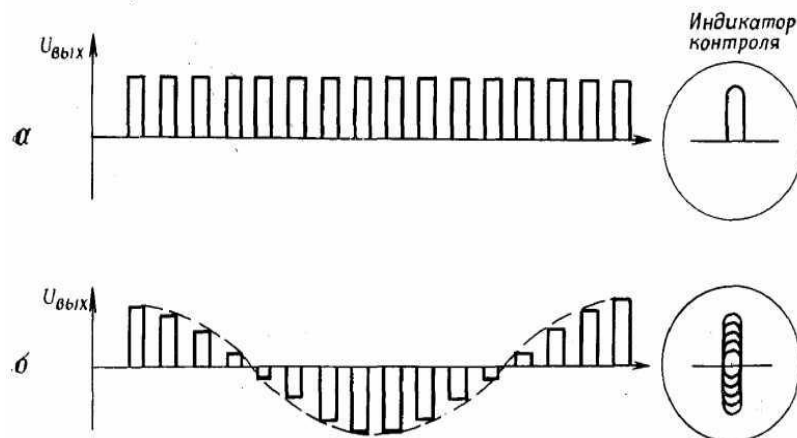
3. Эпюры сигналов при когерентно-импульсном методе радиолокации



2. Фазовые соотношения между когерентным напряжением и эхо-импульсами



4. Выходные сигналы фазового детектора

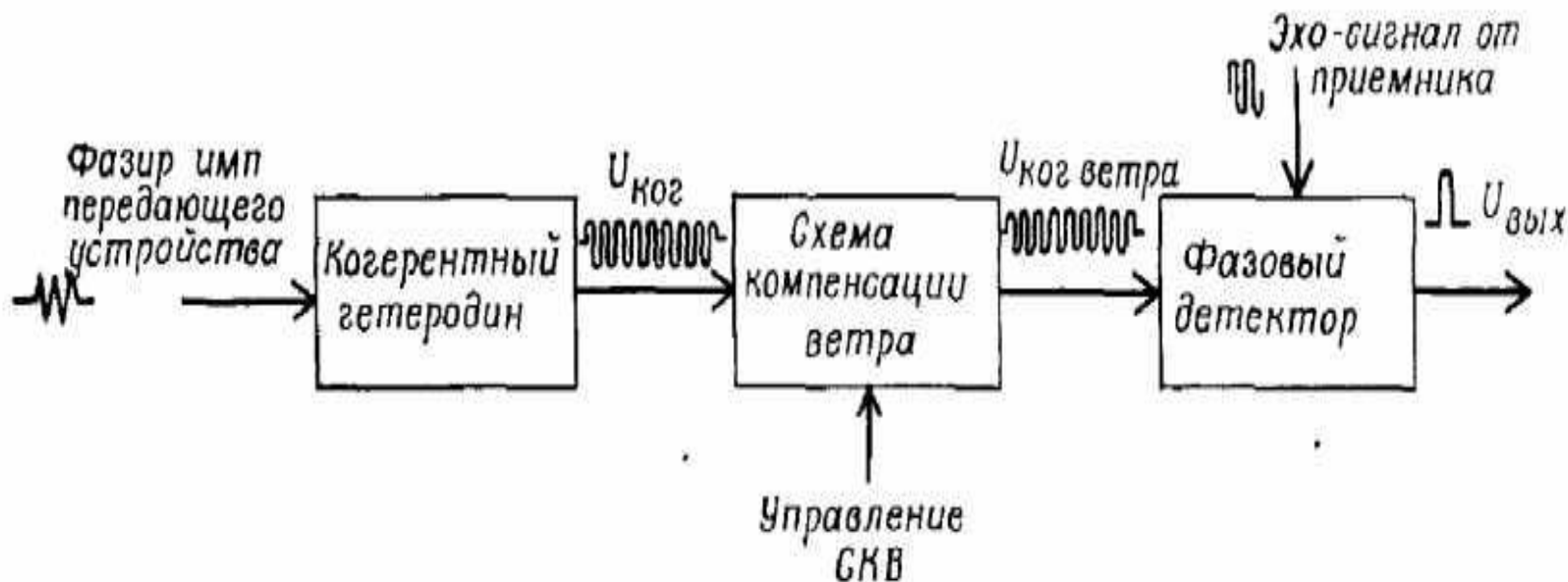




Теоретические основы радиолокации

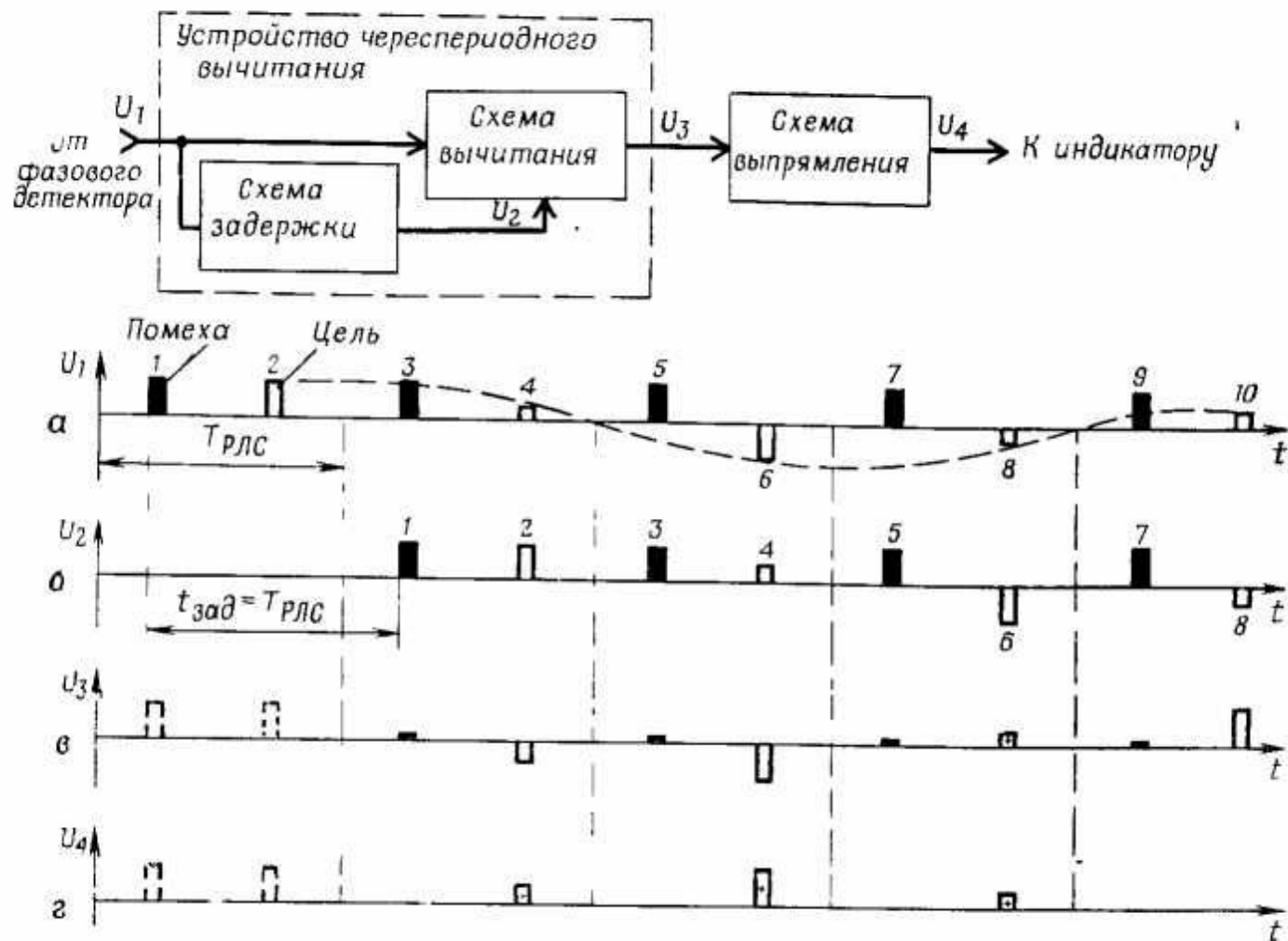
СИСТЕМЫ СЕЛЕКЦИИ ДВИЖУЩИХСЯ ЦЕЛЕЙ

Облака движущиеся под действием ветра, дают некоторое (небольшое) доплеровское смещение частоты эхо-сигналов. Это приводит к изменению амплитуды сигналов на выходе когерентно-импульсного устройства, т. е. пропадает качественное различие сигналов от подвижных целей и помех. Такое проявление действия ветра может быть компенсировано с помощью специальной **схемы компенсации ветра (СКВ)**, которая включается между когерентным гетеродином и фазовым детектором и которая «корректирует» частоту когерентного гетеродина.



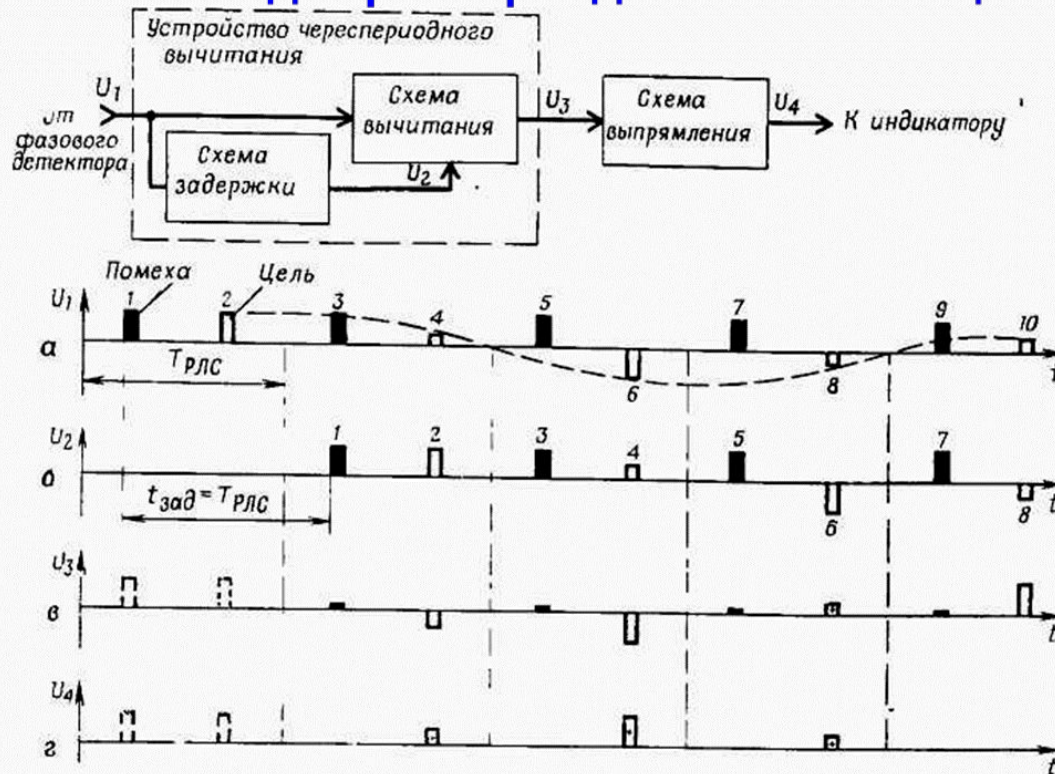
Метод череспериодной компенсации

Тот факт, что на выходе **когерентно-импульсного устройства** амплитуда видеоимпульсов от движущихся целей непрерывно изменяется, а от неподвижных - остается неизменной, позволяет оставить в тракте эхо-сигналов первые и устранить вторые. Устройство череспериодной компенсации включается между когерентно-импульсным устройством и индикатором .





Метод череспериодной компенсации



Выходные импульсы фазового детектора поступают на схему вычитания и схему задержки. Каждый эхо-сигнал, задержанный на время, равное периоду работы РЛС, также поступает на схему вычитания. В схеме вычитания из импульса данного периода работы станции вычитается импульс предыдущего периода.

В результате такого череспериодного вычитания импульсы от неподвижных целей, имеющие одинаковую амплитуду, компенсируют друг друга, а импульсы от движущихся целей, амплитуда которых непрерывно изменяется, остаются. Для использования оставшихся сигналов на индикаторах их преобразуют в однополярные.



Одним из основных недостатков когерентно-импульсного метода являются так называемые **«слепые» скорости цели**, т. е. такие значения радиальной составляющей скорости цели, при которых запаздывание эхо-сигналов в каждом очередном периоде работы станции будет изменяться на целое число периодов излученных колебаний (фаза эхо-сигналов изменится на $n \times 360^\circ$, где n - целое число). В этом случае на выходе фазового детектора амплитуда видеоимпульсов также не будет изменяться, и эхо-сигналы через устройство ЧПК не пройдут.

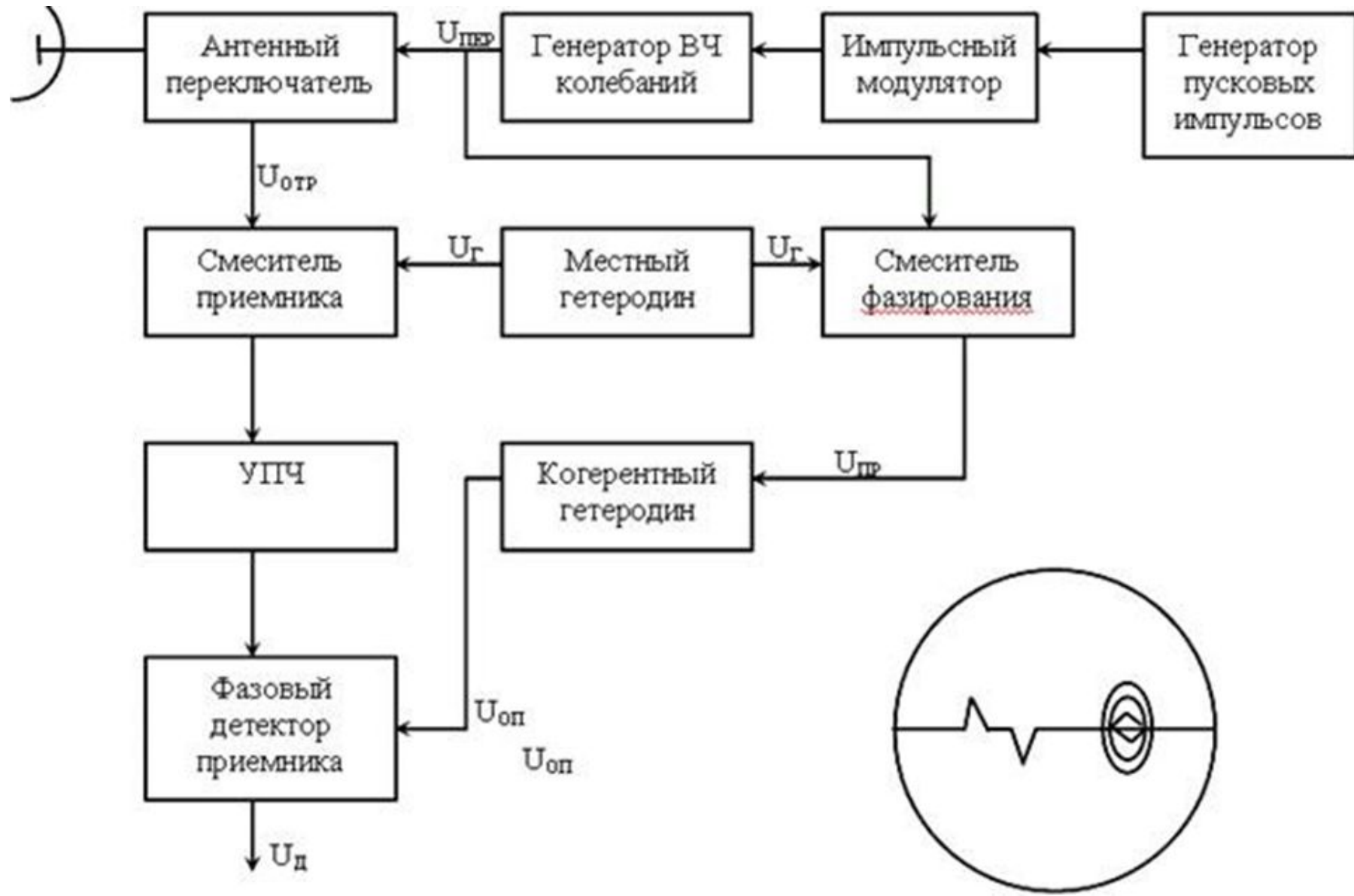
Для борьбы со «слепыми» скоростями цели используется **несимметричный запуск** станции. При таком запуске в каждых двух соседних периодах повторения изменение расстояния до цели от РЛС будет различным, следовательно, будет различным и фазовый сдвиг, что обеспечит выделение сигналов движущихся целей.



Теоретические основы радиолокации

СИСТЕМЫ СЕЛЕКЦИИ ДВИЖУЩИХСЯ ЦЕЛЕЙ

Система СДЦ с внутренней когерентностью

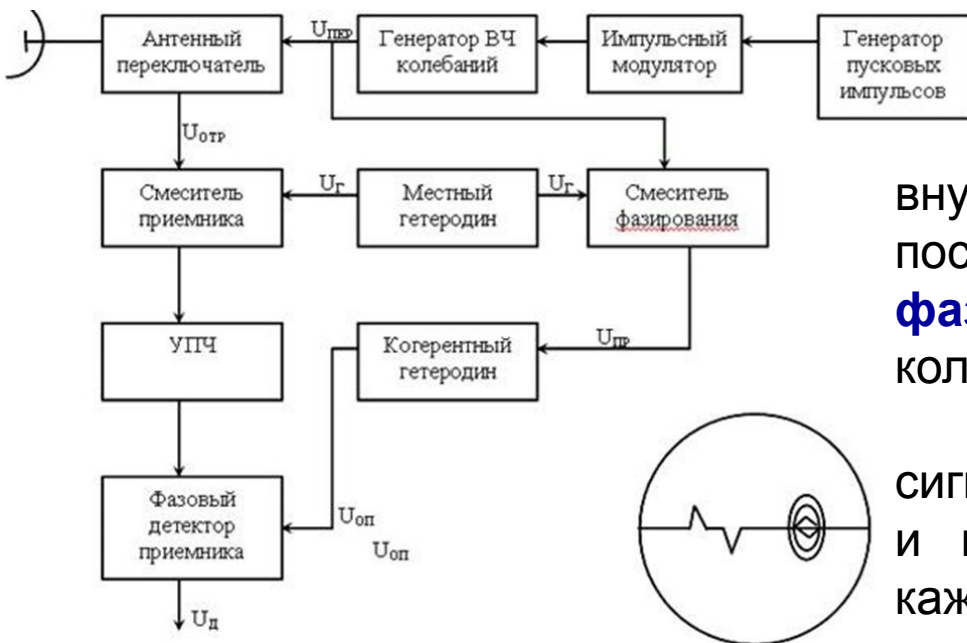




Теоретические основы радиолокации

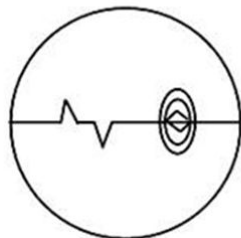
СИСТЕМЫ СЕЛЕКЦИИ ДВИЖУЩИХСЯ ЦЕЛЕЙ

Система СДЦ с внутренней когерентностью



Система генерирует опорные импульсы внутри РЛС. Сигналы **передатчика** поступают в **антенну** и на вход **смесителя фазирования**, где они смешиваются с колебаниями **гетеродина** приемника.

На **ФД** поступает также принятый сигнал промеж. частоты $f_{пр}$. Фазы опорного и принятого сигналов сравниваются при каждом излучении зондирующих импульсов.



В результате биений $U_{пр}$ и $U_{оп}$ на выходе **ФД** образуются видеоимпульсы, амплитуда и полярность которых зависят от разности фаз этих напряжений. Изменения амплитуды выходных сигналов ФД приводит к тому, что отметки движущихся целей пульсируют с частотой Доплера.

Амплитуды отметок, образуемых неподвижными целями, не изменяются, т.к. разность фаз напряжений $U_{оп}$ и $U_{пр}$ от периода к периоду следования импульсов остается неизменной. Это позволяет различать отметки движущихся и неподвижных объектов.



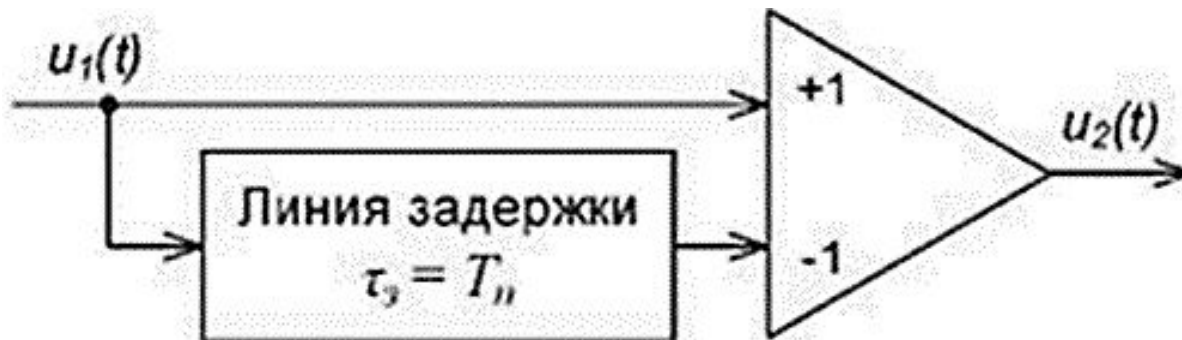
Теоретические основы радиолокации

СИСТЕМЫ СЕЛЕКЦИИ ДВИЖУЩИХСЯ ЦЕЛЕЙ

В системах с внешней когерентностью в качестве когерентных используются колебания, отраженные от неподвижных целей (внешнего фона), относительно которого движется наблюдаемая цель.

Наиболее простым фильтром подавления пассивных помех является череспериодный компенсатор (ЧПК), в котором осуществляется череспериодное вычитание сигнала, т. е. из отраженных сигналов, принимаемых в текущий период повторения, вычитаются сигналы, задержанные с помощью линии задержки на время

$$\tau_z = T_{\Pi}.$$



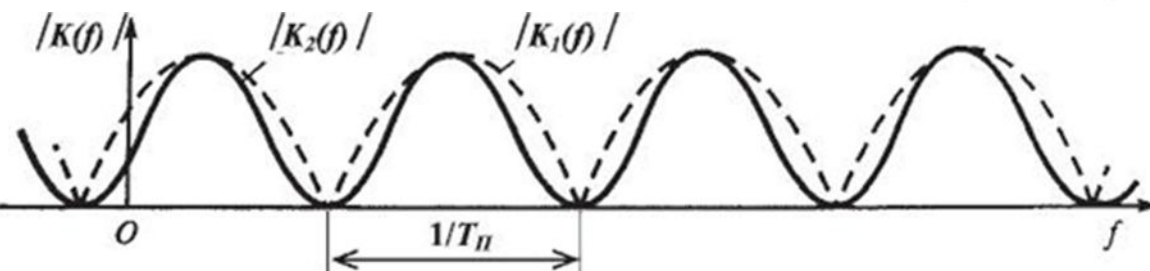
При вычитании сигналы неподвижных объектов, амплитуда которых за период повторения не меняется, компенсируются, а сигналы движущихся, амплитуда которых изменяется с доплеровской частотой f_d , дают на выходе компенсирующего устройства разность, значение которой определяется набегом фазы за период повторения:

$$\Delta\varphi = 2\pi f_d T_{\Pi}.$$

СИСТЕМЫ СЕЛЕКЦИИ ДВИЖУЩИХСЯ ЦЕЛЕЙ

Такой череспериодный компенсатор представляет собой гребенчатый фильтр с амплитудно-частотной характеристикой

$$|K_1(f)| = 2|\sin \pi f T_n|.$$



Отсюда следует, что АЧХ $|K_x(f)|$ обращается в нуль на частотах кратных F .

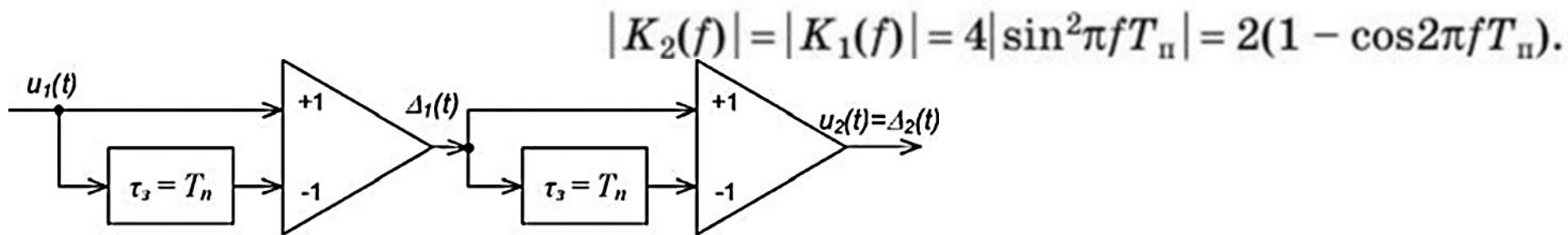
Таким образом, при периодическом сигнале мешающие отражения от неподвижных объектов полностью подавляются. Следовательно, если сигнал движущейся цели имеет доплеровское смещение частоты

$$f_D = \frac{2V_R}{\lambda_u} = nF_n,$$

то он подавляется фильтром, т. е. скорости цели будут «слепыми»:

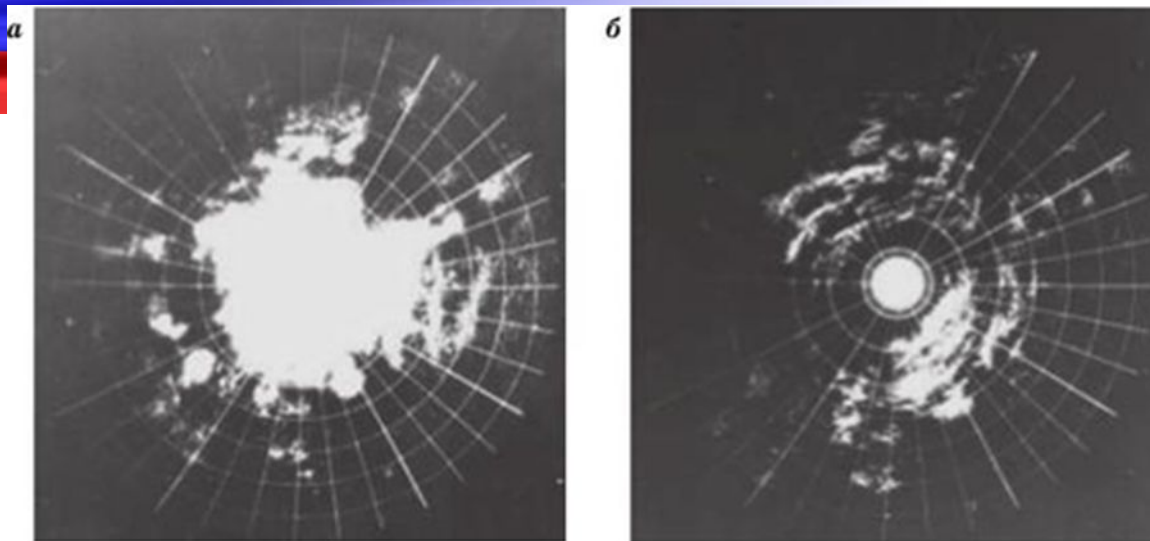
$$V_{Рсл} = \frac{\lambda_u n F_n}{2}.$$

В реальных РЛС отдельные спектральные линии расплываются и полного подавления отражений от неподвижных объектов ЧПК не обеспечивает. Для лучшего согласования ширины провалов АЧХ фильтра подавления со спектром помехи используют схему двукратного вычитания. При включении последовательно двух схем ЧПК результирующая АЧХ





СИСТЕМЫ СЕЛЕКЦИИ ДВИЖУЩИХСЯ ЦЕЛЕЙ



На рисунке **а** представлен вид экрана индикатора кругового обзора обзорной РЛС типа «Онега». **В ближней зоне (несколько десятков километров)** отражения от местных предметов дают интенсивные «засветки» и выделить отметку цели (самолета) практически невозможно.

На рисунке **б** представлен вид экрана индикатора в случае прохождения отраженных сигналов через аппаратуру СДЦ, реализующую неадаптивные алгоритмы череспериодной компенсации. Отражения от местных предметов существенно подавлены, но видны **не скомпенсированные отражения от движущихся гидрометеоров**.

Улучшить изображение можно только путем применения адаптивных алгоритмов обработки и цифровых карт зон действия и параметров мешающих отражений.