



### Учебные вопросы

1. СИСТЕМЫ СЕЛЕКЦИИ ДВИЖУЩИХСЯ ЦЕЛЕЙ
2. Технические решения, обеспечивающие помехозащиту РЛС методами пространственной и поляризационной селекции
3. Устройства защиты РЛС от импульсных помех

**Вид занятия: Лекция**

### Литература:

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

**В когерентно-импульсных РЛС различают несколько видов фазовой когерентности опорного и зондирующего сигналов.**

**Истинная внутренняя когерентность** достигается тем, что опорное колебание на промежуточной частоте и колебание гетеродина на СВЧ создаются с помощью стабильных задающих генераторов, а зондирующий сигнал получается смешиванием этих сигналов, выделением сигнала на разностной (или суммарной) частоте с последующей импульсной модуляцией и усилением мощности с помощью СВЧ усилителя со стабильной фазовой характеристикой. Формирование всех указанных сигналов осуществляется в передающем устройстве РЛС.

**Псевдокогерентность** достигается тем, что генератор передатчика РЛС с самовозбуждением (например, магнетрон) вырабатывает некогерентную последовательность радиоимпульсов с постоянной несущей частотой и со случайными начальными фазами. В каждом периоде повторения начальная фаза высокочастотного заполнения зондирующего импульса запоминается на промежуточной частоте с помощью специального генератора, называемого когерентным гетеродином, на время приема отраженных сигналов до следующего зондирования. Когерентный гетеродин обычно составляет часть приемного устройства РЛС и фазируется каждым зондирующим импульсом, поступающим из УПЧ АПЧ.

**Внешняя когерентность** достигается тем, что в качестве опорного колебания используется колебание когерентного гетеродина, фазируемого принимаемым сигналом, отраженным неподвижными и малоподвижными объектами. Передатчик РЛС с внешней когерентностью может быть построен по любому из указанных способов.



# Теоретические основы радиолокации

## СИСТЕМЫ СЕЛЕКЦИИ ДВИЖУЩИХСЯ ЦЕЛЕЙ

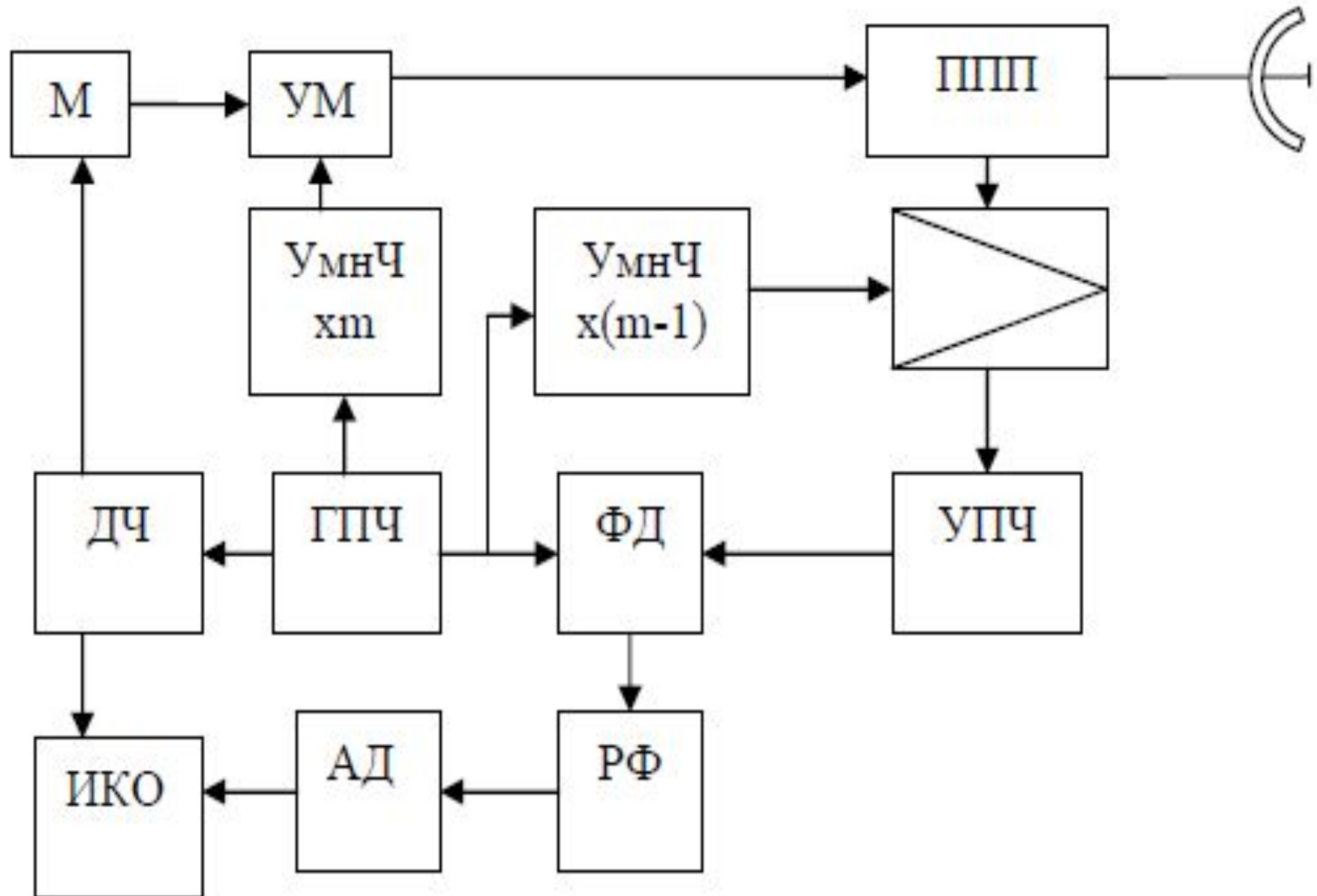
При использовании в РЛС истинной внутренней когерентности, когда излучается когерентная пачка, необходимость в применении специальных устройств, обеспечивающих когерентность сигналов при приеме, отпадает. Система СДЦ в этом случае состоит из **режекторного фильтра (РФ)** и **устройства переноса спектра сигнала в область его рабочих частот**.

При других способах обеспечения когерентности в состав системы СДЦ кроме режекторного фильтра должно входить и так называемое **когерентно-импульсное устройство (КИУ)**, которое обеспечивает когерентность импульсов в пачке и перенос их спектра в область рабочих частот РФ. Поэтому в общем случае структурная схема системы СДЦ имеет вид:



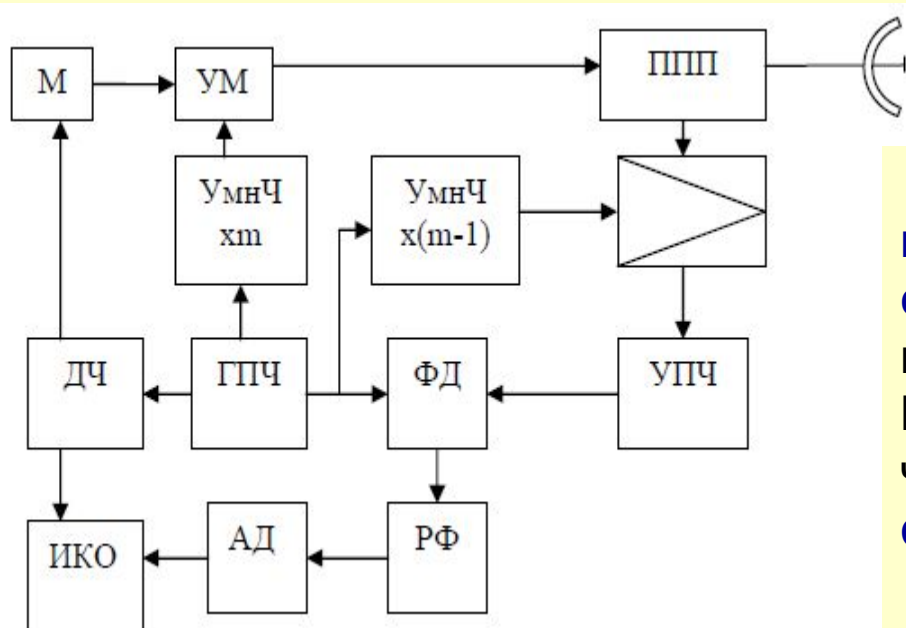
Упрощенная структурная схема системы СДЦ

# Структурная схема истинно-когерентной РЛС



## Структурная схема истинно-когерентной РЛС

Истинно-когерентные РЛС излучают в пространство когерентную последовательность радиоимпульсов, заполнение которых представляет собой отрезки одного и того же высокочастотного сигнала, поэтому начальные фазы всех импульсов одинакова. Когерентность зондирующих сигналов определяется стабильностью генератора промежуточной частоты ГПЧ. Его частота  $F_{np}$  умножается умножителем УмнЧ в  $m$  раз и используется в качестве несущей. Усилитель мощности УМ усиливает несущее колебание и с помощью сигналов модулятора формирует из него импульсную последовательность. Частота повторения импульсов задается делителем частоты ДЧ, связанного с ГПЧ.



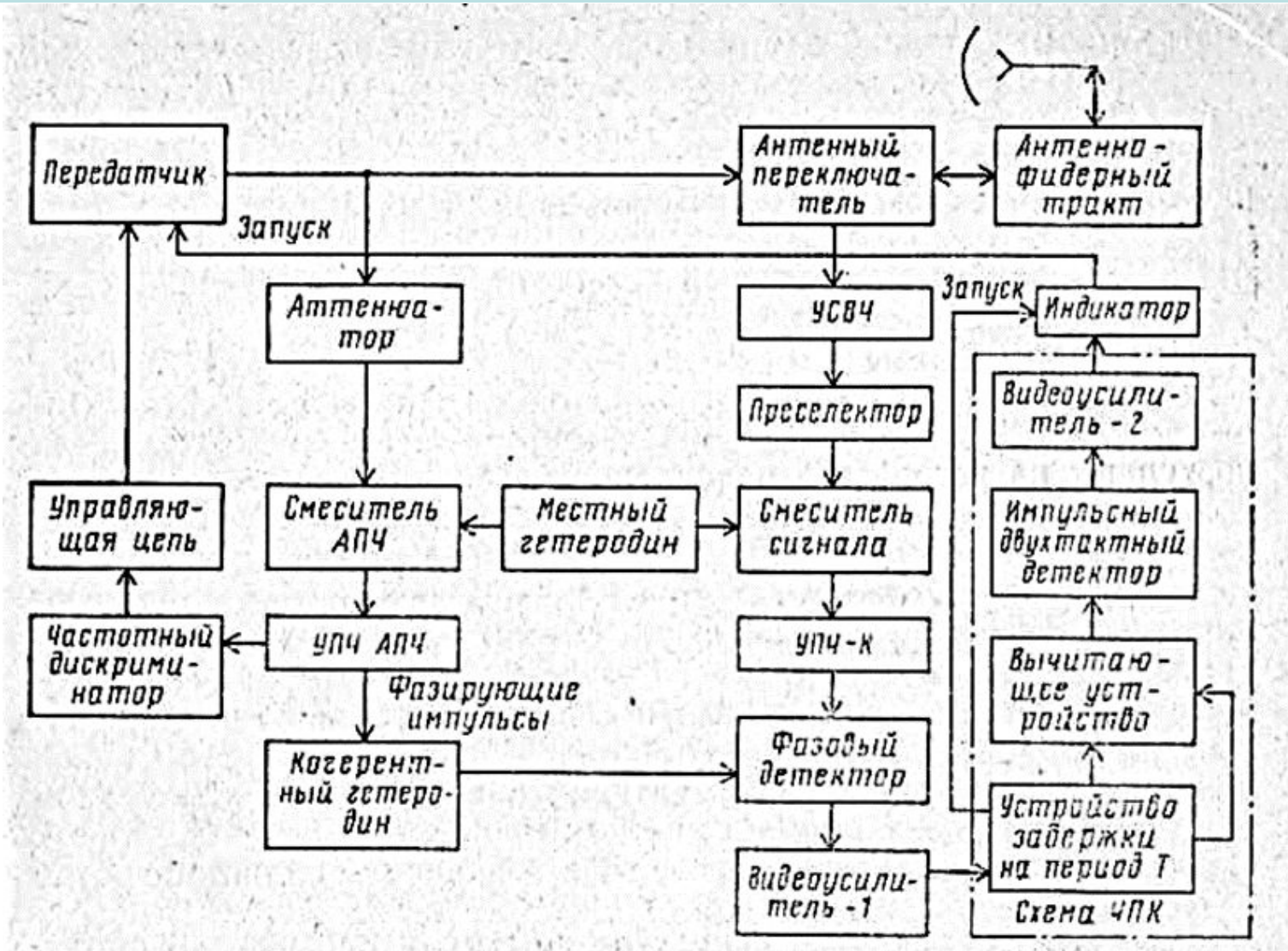
Принятый сигнал через переключатель ППП поступает на смеситель, на второй вход которого подается с умножителя частота  $F_{np}(n-1)$ . Выделенный УПЧ сигнал промежуточной частоты переводится на видеочастоту фазовым детектором ФД.

РФ-режекторный фильтр

АД-амплитудный детектор

# Теоретические основы радиолокации

## Селекция движущихся целей в псевдокогерентных РЛС с внутренней когерентностью



## Селекция движущихся целей в псевдокогерентных РЛС с внутренней когерентностью

Передатчик РЛС магнетронного типа излучает некогерентную последовательность коротких зондирующих импульсов со случайной начальной фазой. Для поддержания постоянства промежуточной частоты используется электромеханическая система АПЧ с подстройкой частоты передатчика и стабильным местным гетеродином.

Небольшая часть мощности при излучении отводится через **аттенюатор** на **вход систем АПЧ**. Импульсный СВЧ радиосигнал преобразуется в сигнал промежуточной частоты и после усиления в УПЧ АПЧ подается на **когерентный гетеродин для фазирования его в начале каждого периода зондирования.**

Отраженные сигналы принимаются антенной, усиливаются в УПЧ когерентного канала и подаются на **фазовый детектор**. Видеоимпульсы с выхода фазового детектора через видеоусилитель поступают на **устройство подавления пассивных помех**, выполненное в данном случае в виде простейшей системы однократной череспериодной компенсации (ЧПК).

**В системе ЧПК осуществляются задержка видеосигналов строго на период повторения зондирующих импульсов и сравнение их по амплитуде в двух соседних периодах с помощью вычитающего устройства.** На выходе вычитающего устройства видеосигналы могут иметь различную полярность, а на индикаторное устройство требуется подавать импульсы одной полярности, поэтому после вычитания видеоимпульсы целей приводятся к одной полярности импульсным **двухтактным детектором.** С выхода видеоусилителя видеосигнал транслируется на индикатор для отображения.



Ее отличие от устройства СДЦ с эквивалентной внутренней когерентностью состоит в том, что **когерентный гетеродин фазировается не зондирующим импульсом, а принятым помеховым колебанием.** При таком фазировании в когерентное напряжение вводится как случайная начальная фаза сигнала так и регулярное изменение фаз помехи, обусловленное перемещением облака отражателей под действием ветра. При этом отпадает необходимость в СКДВ, что является существенным достоинством устройств СДЦ с внешней когерентностью.



# Технические решения, обеспечивающие помехозащиту РЛС методами пространственной и поляризационной селекции

## Уменьшение угловых размеров главного лепестка ДНА и снижение уровня боковых лепестков

Пространственная селекция является универсальным методом защиты от помех, так как обеспечивает защиту от любых типов помех, источники которых не совмещены по угловым координатам с источником полезных сигналов. Она реализуется: **уменьшением угловых размеров главного лепестка ДН приемной антенны; снижением уровня боковых лепестков ДН приемной антенны; уменьшением уровня приема в направлениях на постановщики активных помех.**

В первом случае затрудняются условия создания АШП по главному лепестку ДНА в режиме внешнего прикрытия цели, а во втором и третьем случаях – ослабляется мешающее (маскирующее) действие помех.

Ширина ДНА по уровню половинной мощности  $\theta_{0,5p}^{\circ}$ , как известно, определяется соотношением  $\theta_{0,5p}^{\circ} = C_{рас} \lambda / L_{ант}$ , где  $C_{рас}$  – коэффициент, числовое значение которого лежит в пределах 50-80 и определяется видом амплитудного распределения поля в раскрыве антенны,  $L_{ант}$  – линейный размер антенны в соответствующей плоскости,  $\lambda$  – длина волны.

Из данного соотношения следует, что для уменьшения угловых размеров главного луча ДНА необходимо уменьшать рабочую длину волны РЛС и увеличивать размер антенны.

Первый путь приводит к ухудшению помехозащищенности РЛС в условиях пассивных помех и увеличению потерь энергии в атмосфере, а второй – к увеличению массы и габаритов РЛС и снижению ее мобильности.

Поскольку при уменьшении угловых размеров ДНА возрастают уровни боковых лепестков, возникает необходимость оптимизации ДН по различным критериям. Например, обеспечить наименьшую ширину ДН при заданном уровне боковых лепестков (и наоборот).

# Технические решения, обеспечивающие помехозащиту РЛС методами пространственной и поляризационной селекции

## Снижение уровня боковых лепестков

Уровень боковых лепестков ДНА можно уменьшить за счет соответствующего выбора формы распределения поля в раскрыве антенны, путем уменьшения влияния облучателя (использованием антенн с несимметричным раскрывом), уменьшения влияния краевых эффектов (нанесение на кромки раскрыва радиопоглощающего материала) и уменьшения влияния местных предметов.



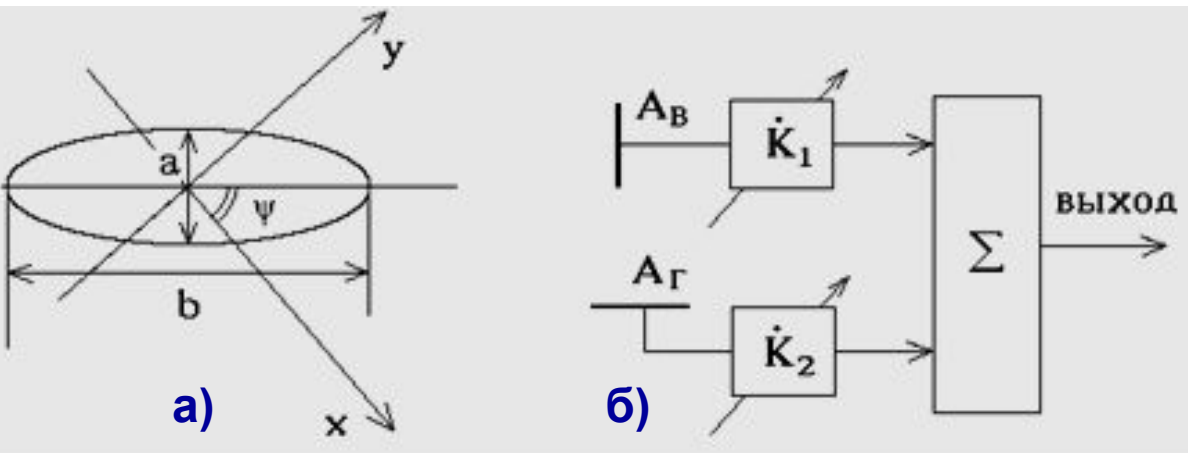
# Теоретические основы радиолокации

## СИСТЕМЫ СЕЛЕКЦИИ ДВИЖУЩИХСЯ ЦЕЛЕЙ

### Поляризационная селекция

Поляризационную структуру ЭМВ определяют следующие параметры (рис.):

- угол пространственной ориентации эллипса поляризации  $j$ ;
- коэффициент эллиптичности сигнала  $K_{эл} = a/b \leq 1$ ;
- направление вращения вектора напряженности электрического поля.



Параметры эллипса поляризации ЭМВ (а) и упрощенная структурная схема поляризационного селектора (б). Выбором указанных параметров, а также их соответствующим изменением можно добиться существенного ослабления воздействия активных помех.

**Принцип поляризационной селекции состоит в следующем.**

Антенная система РЛС настраивается на прием сигнала определенной поляризации, в общем случае эллиптической. Помеха максимально ослабляется, если поляризация антенной системы будет ортогональна поляризации помехи: для вертикальной поляризации помехи – горизонтальная, для круговой поляризации – круговая с противоположным вращением вектора напряженности поля, для эллиптически поляризованной волны ортогональным является также эллиптически поляризованное колебание, но со сдвинутым на 90 градусов положением осей.



# Теоретические основы радиолокации

## ПОМЕХИ РАДИОЛОКАЦИОННОМУ НАБЛЮДЕНИЮ И БОРЬБА С НИМИ

### Устройства защиты РЛС от импульсных помех

На работу РЛС обнаружения могут оказывать влияние следующие виды импульсных помех:

- хаотические импульсные помехи (ХИП);
- ответные импульсные помехи (ОИП);
- взаимные импульсные помехи (ВИП).

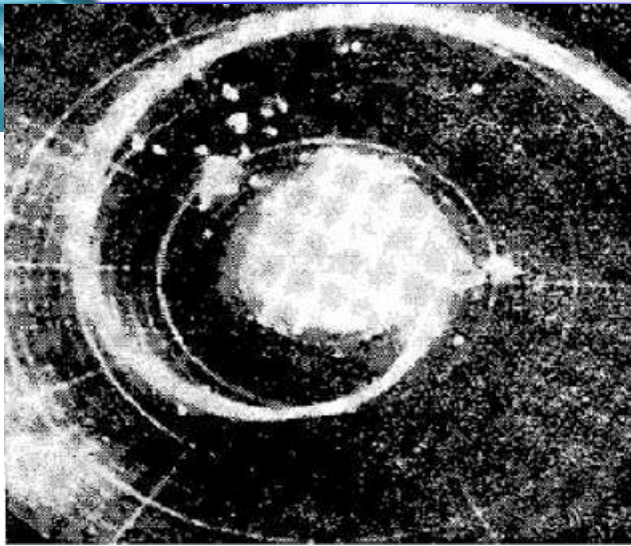
При воздействии **ХИП** полезный сигнал маскируется хаотически перемещающимися по экрану индикатора импульсами помехи.

**ОИП** предназначены для внесения ложной радиолокационной информации. Основным видом ОИП является многократные ответные помехи, создаваемые путем переизлучения зондирующего сигнала с размножением и задержкой.

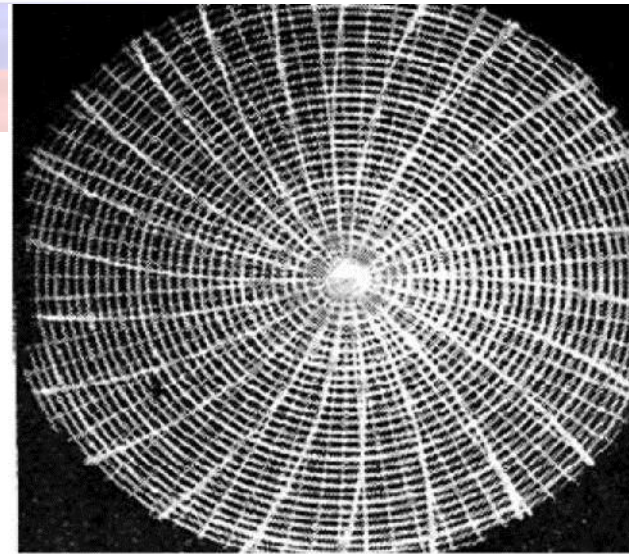
При достаточно близком взаимном расположении РЭС излучаемые сигналы проходят в приемные тракты соседних РЛС и создают на экранах индикаторов так называемые **ВИП**.

Для защиты РЛС от импульсных помех используются различия импульсных помех и полезных сигналов: спектральные; амплитудные; пространственные; поляризационные и т.д.

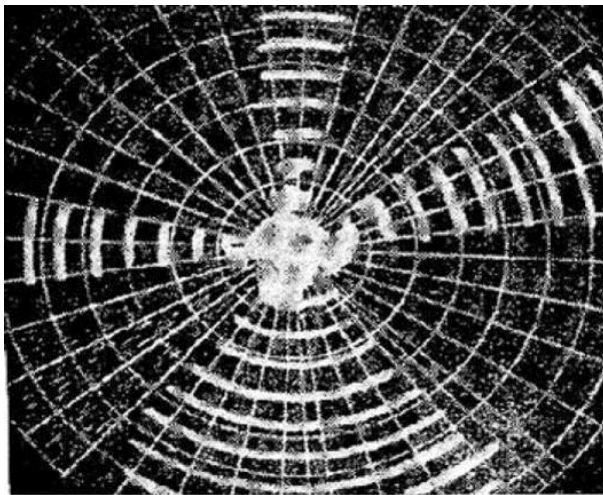
# ПОМЕХИ РАДИОЛОКАЦИОННОМУ НАБЛЮДЕНИЮ И БОРЬБА С НИМИ



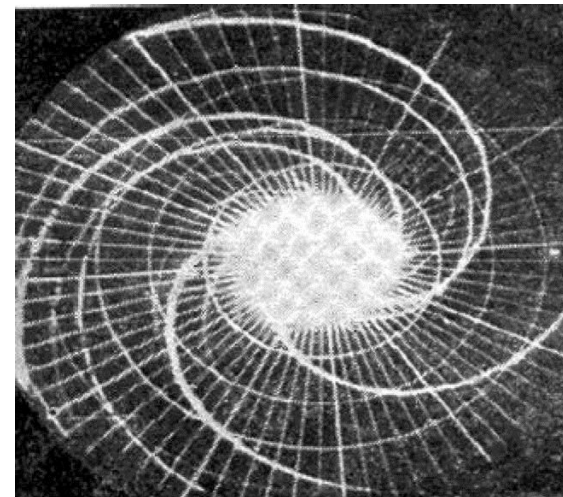
Экран ИКО при воздействии несинхронной импульсной помехи



Экран ИКО при воздействии несинхронной импульсной помехи



Экран ИКО при воздействии ответной импульсной помехи



Экран ИКО при воздействии несинхронной импульсной помехи от нескольких одностипных РЛС



# Теоретические основы радиолокации

## ПОМЕХИ РАДИОЛОКАЦИОННОМУ НАБЛЮДЕНИЮ И БОРЬБА С НИМИ

### Устройства защиты от узкополосных импульсных помех

Для защиты РЛС от узкополосных импульсных помех можно использовать в приемном канале **фильтры верхних частот**, обеспечивающие подавление частот от нуля до некоторой граничной частоты. Короткие импульсы, имеющие спектр частот, значительно выходящей за граничную полосу фильтра, проходят с некоторым ослаблением, в то время как длительная помеха, обладающая более узким спектром, будет в значительной мере подавлена (рис.а). В качестве фильтра верхних частот можно использовать **дифференцирующую цепочку** или **усилитель с быстродействующей регулировкой усиления (БРУ)**.

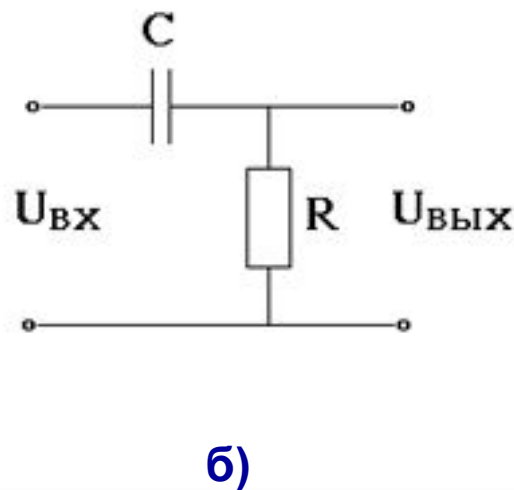
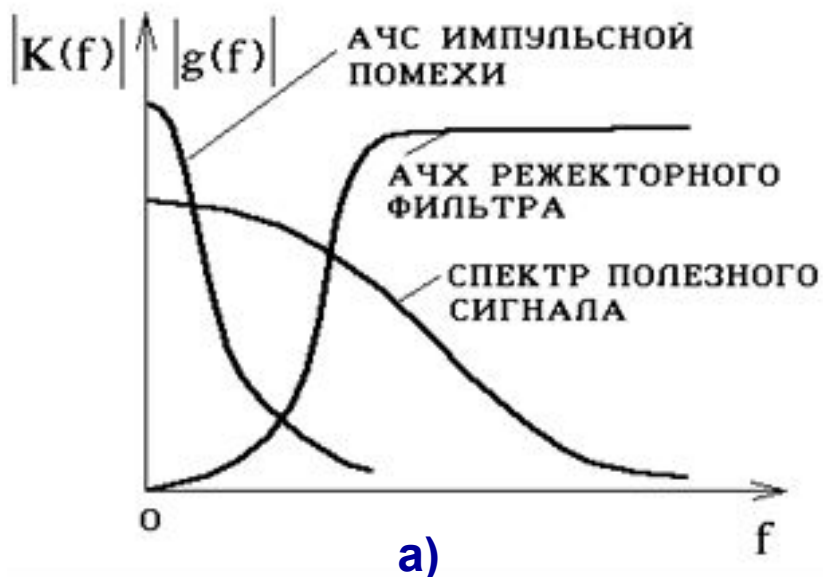


Иллюстрация принципа защиты РЛС от узкополосных импульсных помех (а) и схема дифференцирующей цепочки (б)



# Теоретические основы радиолокации

## ПОМЕХИ РАДИОЛОКАЦИОННОМУ НАБЛЮДЕНИЮ И БОРЬБА С НИМИ

### Устройства защиты от узкополосных импульсных помех

#### Усилитель с БАРУ

Принцип работы БАРУ аналогичен принципу работы инерционной АРУ. Разница между ними состоит в скорости срабатывания. Скорость изменения усиления системы БАРУ должна соответствовать скорости изменения амплитуды импульсной помехи. Вместе с тем БАРУ не должна реагировать на полезные сигналы. В этом смысле усилитель с БАРУ эквивалентен фильтру верхних частот.

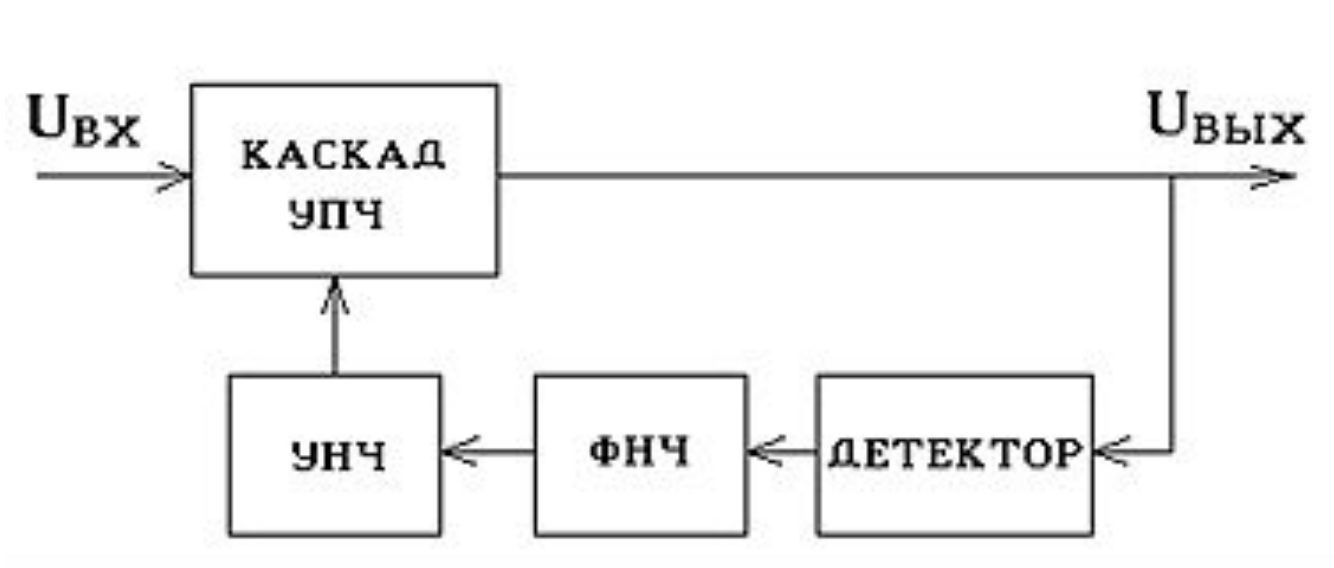


Схема усилителя с БАРУ



# Теоретические основы радиолокации

## ПОМЕХИ РАДИОЛОКАЦИОННОМУ НАБЛЮДЕНИЮ И БОРЬБА С НИМИ

### Устройства защиты от широкополосных импульсных помех

Для борьбы с импульсными помехами, длительность которых меньше длительности полезного сигнала, применяется **схема ШОУ**. Она обычно размещается на входе приемника. В ее состав (рис.) входят три элемента: **широко-полосный усилитель; двухсторонний симметричный амплитудный ограничитель; узкополосный усилитель.**



Схема ШОУ

Название системы образовано начальными буквами наименований этих элементов.

### Недостатки схемы ШОУ:

- при воздействии АШП ухудшается отношение сигнал/помеха;
- возникновение перекрестных искажений при одновременном воздействии на ограничитель полезного сигнала и помехи;
- наличие дополнительных потерь при ограничении на уровне эффективного значения собственных шумов приемника, если  $P_{ш\text{у}}/P_{\text{ш}\text{у}} < 10$ .





# Теоретические основы радиолокации

## ПОМЕХИ РАДИОЛОКАЦИОННОМУ НАБЛЮДЕНИЮ И БОРЬБА С НИМИ

### Устройства защиты от широкополосных импульсных помех

Для устранения этих недостатков вместо схемы ШОУ можно использовать схему ШПУ, где вместо амплитудного ограничителя применяется управляемый прерыватель (ключ). Принимаемый сигнал анализируется с помощью схемы выделения помехи. Если входное напряжение имеет характеристики помехи, то указанная схема вырабатывает управляющее напряжение, которое, воздействуя на прерыватель, приводит к запиранию приемного тракта на время действия импульсной помехи (рис.).



Схема ШПУ



# Теоретические основы радиолокации

## ПОМЕХИ РАДИОЛОКАЦИОННОМУ НАБЛЮДЕНИЮ И БОРЬБА С НИМИ

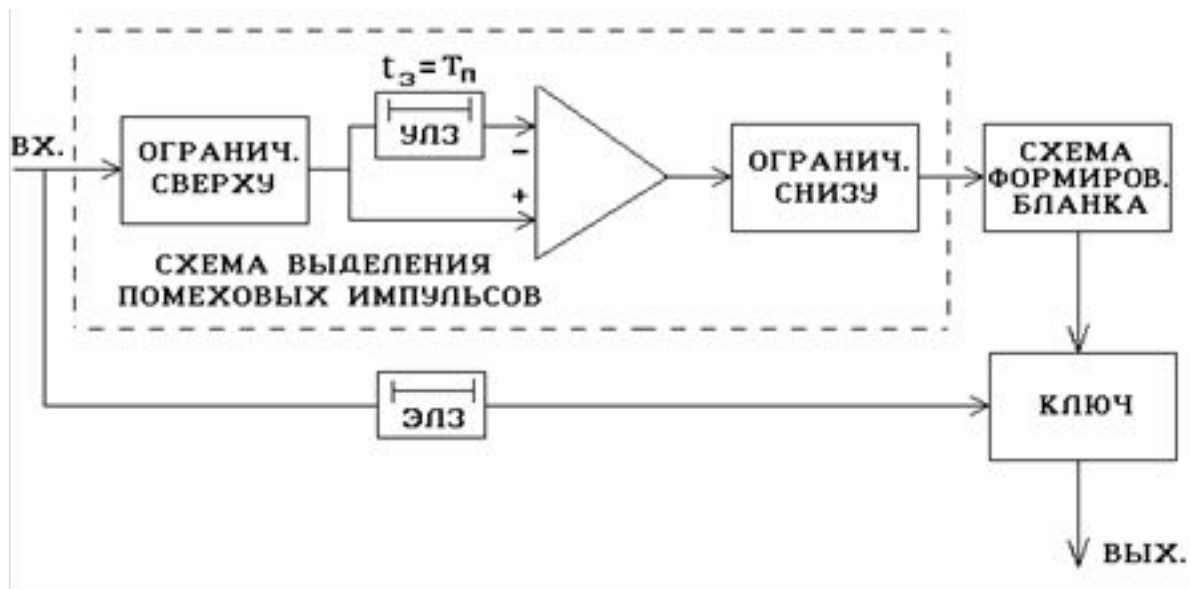
### Устройства защиты от НИП

Для защиты РЛС от помех, частота следования которых не совпадает с частотой повторения импульсов РЛС, можно использовать схему типа ограничитель – накопитель (**схема ШОУ для пачки импульсов**).

Ограничение входных сигналов производится с целью исключения влияния на выходной сигнал накопителя их амплитуды. Уровень ограничения выбирается из условия допустимых потерь в отношении сигнал/шум. В качестве накопителя могут быть применены **рециркуляторы, интегрирующие потенциалоскопы и т.д.**

При использовании для защиты от НИП схемы ШПУ селектор помехи может быть выполнен на основе устройства ЧПК.

*Схема ШПУ для пачки импульсов*





# Теоретические основы радиолокации

## ПОМЕХИ РАДИОЛОКАЦИОННОМУ НАБЛЮДЕНИЮ И БОРЬБА С НИМИ

### Устройства защиты РЛС от ответных импульсных помех

Задачу защиты от ОИП можно разделить на две части:  
защиту от опережающих ОИП;  
защиту от ОИП по боковым лепесткам ДНА.

Защита от опережающих ОИП может быть осуществлена двумя способами.

**Первый способ** основан на использовании быстрой поимпульсной перестройки рабочей частоты РЛС.

Если скорость перестройки  $V_{\text{спс}} \geq \Pi_{\text{пр}}/T_{\text{п}}$ , где  $\Pi_{\text{пр}}$  – полоса пропускания приемного устройства,  $T_{\text{п}}$  – период повторения импульсов РЛС, то опережающие импульсы ОИП не попадут в тракт ввиду того, что их несущая частота будет соответствовать частоте РЛС в предыдущем цикле излучения.

**Второй способ** основан на использовании переменного запуска и аппаратуры защиты от НИП. При изменении  $T_{\text{п}}$  от периода к периоду опережающие импульсы ОИП приобретают свойства НИП и подавляются в аппаратуре защиты от НИП.



# Теоретические основы радиолокации

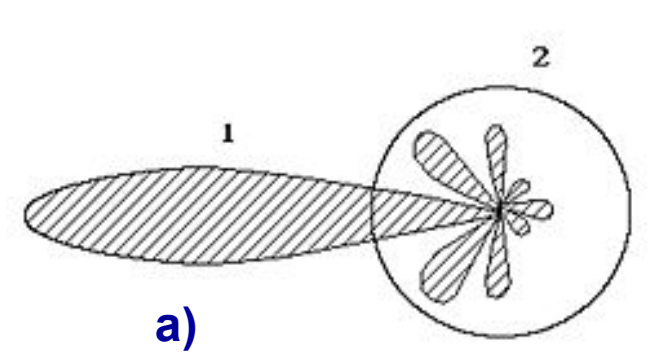
## ПОМЕХИ РАДИОЛОКАЦИОННОМУ НАБЛЮДЕНИЮ И БОРЬБА С НИМИ

### Устройства защиты РЛС от ответных импульсных помех

#### Защита от ОИП по боковым лепесткам ДНА

Для подавления ОИП, принятых по боковым лепесткам ДНА, применяются системы подавления бокового ответа (ПБО), состоящие из дополнительной приемной антенны, диаграмма направленности которой огибает боковые лепестки диаграммы направленности основной антенны (рис.а) и канала обработки выходных сигналов этой антенны. (рис.б)

Упрощенная структурная схема РЛС с устройством подавления бокового ответа



Форма ДН основной (1) и дополнительной (2) антенн

