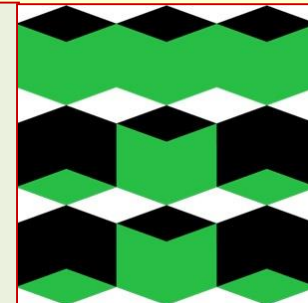




# **Военный учебный центр при Томском политехническом университете**



**Цикл  
№2**

**«Боевое применение подразделений,  
вооружённых зенитными артиллерийскими  
самоходными установками с радиоприборными  
комплексами»**

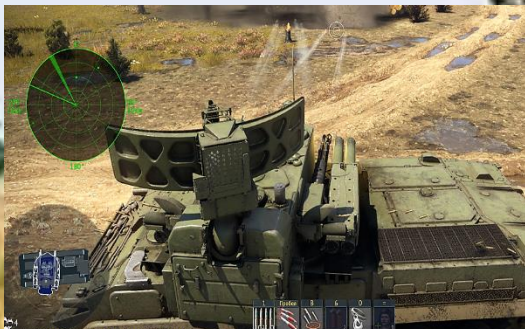


## **КУРС ЛЕКЦИЙ**

**Автор: преподаватель 2 цикла  
*подполковник запаса Гаврилов А. А.***



**Дисциплина:**  
**«Устройство и эксплуатация ЗСУ»**  
**Раздел 1:**  
**«Основы построения ЗАК»**



**Тема №2**  
**Основы радиолокации**

**Контрольные вопросы**



**Занятие №8**  
**Приемные устройства**  
**РЛС**

# **Цели занятия:**

## **Изучить:**

- структурную схему и ТХ радиоприемного устройства, преобразователи частоты и детекторы.

# **Актуальность занятия:**

## **Обусловлено:**

- необходимостью иметь глубокие и твердые знания по структурной схеме радиоприемного устройства, преобразователям частоты и детекторам.

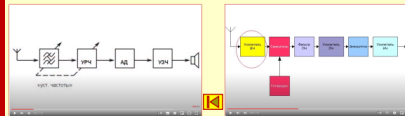
**ВИД ЗАНЯТИЯ: - ГРУППОВОЕ, 2 часа.**

# Вопросы занятия:

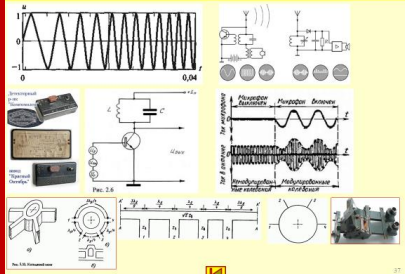
1. Структурные схемы приемных устройств РЛС.
2. Технические характеристики приемной системы, ПРМС.
3. Преобразователи частоты.
4. Детекторы.

**Дополнительные материалы**

№	Название	Ссылка
1	Примеры прямого усилки - Чип и Дип.	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=3E08XMDLQs">https://www.youtube.com/watch?v=3E08XMDLQs</a>
2	Супергетеродинный приемник - Чип и Дип.	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=PMS5t8kKc">https://www.youtube.com/watch?v=PMS5t8kKc</a>
3	Двухполосный смеситель: теория и практика	<a href="https://es.me/diode-rp-mos/">https://es.me/diode-rp-mos/</a>
4		
5		
6		
7		



**Дополнительные материалы**



В.А. Подгорный



**ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ  
ЗЕНИТНЫХ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ  
КОМПЛЕКСОВ**



## Литература:

1. Учебное пособие  
«Основы построения ЗАК»-2013 г.,  
стр. 88-93
2. Учебное пособие  
«Основы построения РЛС  
обнаружения и РЭБ» ТУСУР - 2003  
г., стр. 29-36.

И.Л. Богатырёв, В.В. Тухланен, А.Н. Покладов

**ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ  
РАДИОЛОКАЦИОННЫХ  
СТАНЦИЙ ОБНАРУЖЕНИЯ  
И РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ БОРЬБА**



# Вопрос 1

# Структурные схемы приёмных устройств РЛС

## Радиоприемное устройство

Радиоприемное устройство (РПУ) - служит для преобразования принятых радиосигналов в сообщение с допустимой потерей информации.

РПУ выполняет следующие функции:

- 1) приемники прямого усиления
- 2) супергетеродин



## 1. Приемник прямого усиления

Состав:

- 1) входное устройство;
- 2) усилитель высокой частоты;
- 3) детектор (амплитудно-частотный);
- 4) усилитель низкой частоты;
- 5) оконечное устройство.

## 1. Приемник прямого усиления



Входные устройства обеспечивают избирательность приема сигнала. Представлены в виде усилителей высокой частоты сигнала до 100 МГц. В качестве УВЧ применяются настроенные на частоту сигнала.

Детектор: - служит для выделения огибающей сигнала. В качестве детектора применяется амплитудно-частотный детектор. Усилитель низкой частоты усиливает сигнал до уровня, необходимого для работы оконечного устройства.

## 2. Супергетеродинный приемник РЛС

### Элементы Супергетеродинного приемника

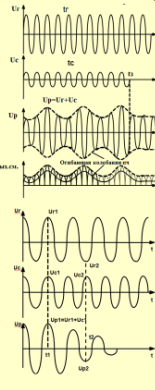
1) Усилитель высокой частоты (УВЧ) - служит для выделения огибающей сигнала.



Состав:

- 1) усилитель высокой частоты;
- 2) преобразователь частоты;
- 3) усилитель промежуточной частоты;
- 4) детектор;
- 5) видеоусилитель;
- 6) индикатор кругового обзора;
- 7) источник питания.

### Преобразование частоты



Преобразование частоты основано на явлении биений при сложении колебаний разной частоты.

### Преобразование частоты



### Элементы Супергетеродинного приемника



### Элементы Супергетеродинного приемника



Частота биений называется промежуточной частотой. Для выделения колебаний промежуточной частоты используется контур. При изменении частоты сигнала изменяется частота гетеродина. Такая работа супергетеродинного приемника позволяет избежать наводок и излучения.

- 3) УПЧ - усилитель промежуточной частоты. Необходим для усиления сигнала промежуточной частоты. Подобно усилителю высокой частоты, усиление должно быть линейным. В приемнике используются следующие элементы:
- 5) Видеоусилитель: - для усиления видеоимпульсов, создаваемых детектором, до величины, достаточной для воспроизведения их на экране индикатора; - для обеспечения нормальной работы других устройств, подключенных к выходу приемника.
- 6) Индикатор кругового обзора (ИКО) - служит для отображения воздушной информации на экране.

- 4) Детектор: - служит для выделения огибающей сигнала. В качестве детектора применяется амплитудно-частотный детектор. Диод (емкость).
- 7) Источники питания - служат для питания радиоламп, необходимых для их работы: - анодным, экранным и накальным напряжениями.
- 8) Вспомогательные цепи ПРМ - служат для повышения надежности и качества работы приемника. К ним относятся: - автоматическая регулировка усиления (АРУ); - автоматическая подстройка частоты гетеродина (АПЧ); - устройство для уменьшения влияния помех (ППШ) и др.

# Радиоприемное устройство

**Радиоприемное устройство (РПУ)** - служит для преобразования принятых радиосигналов в сообщение с допустимой потерей информации.

**РПУ** выполняет эту задачу путем: - улавливания, преобразования, усиления радиосигналов и извлечения из них информации.

## По особенностям схемы различают:

- 1) приемники прямого усиления;
- 2) супергетеродинные приемники.

**1. Приемник прямого усиления**

Состав:

- входное устройство;
- усилитель высокой(радио) частоты (УВЧ);
- детектор(амплитудный);
- усилитель низкой(звуковой) частоты (УНЧ);
- оконечное устройство.

5

**2. Супергетеродинный приемник РАС**

Состав:

- усилитель высокой частоты;
- преобразователь частоты;
- усилитель промежуточной частоты (УПЧ);
- детектор;
- видеоусилитель ;
- индикатор кругового обзора (ИКО);
- источники питания.

Достоинства:

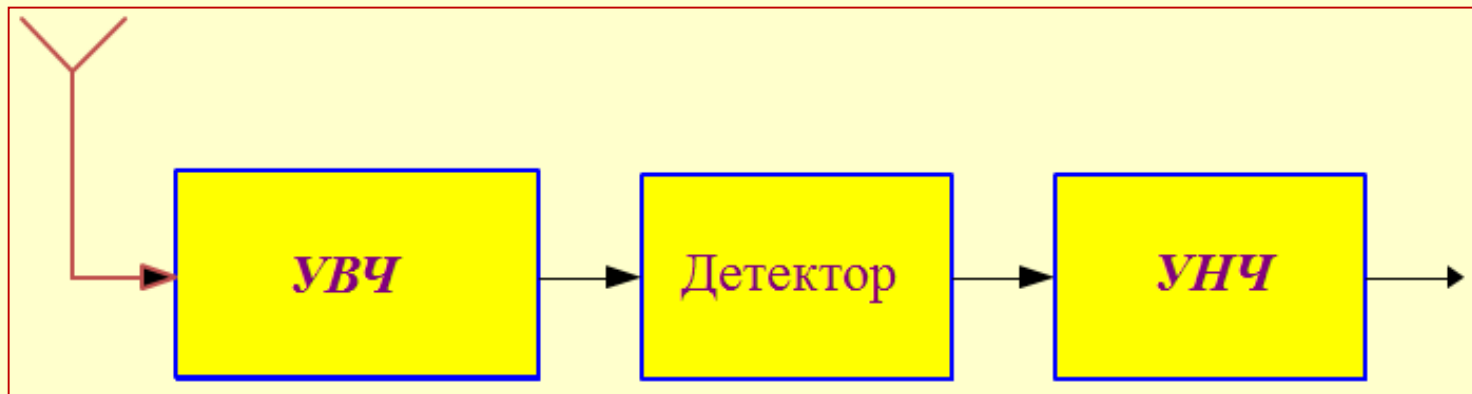
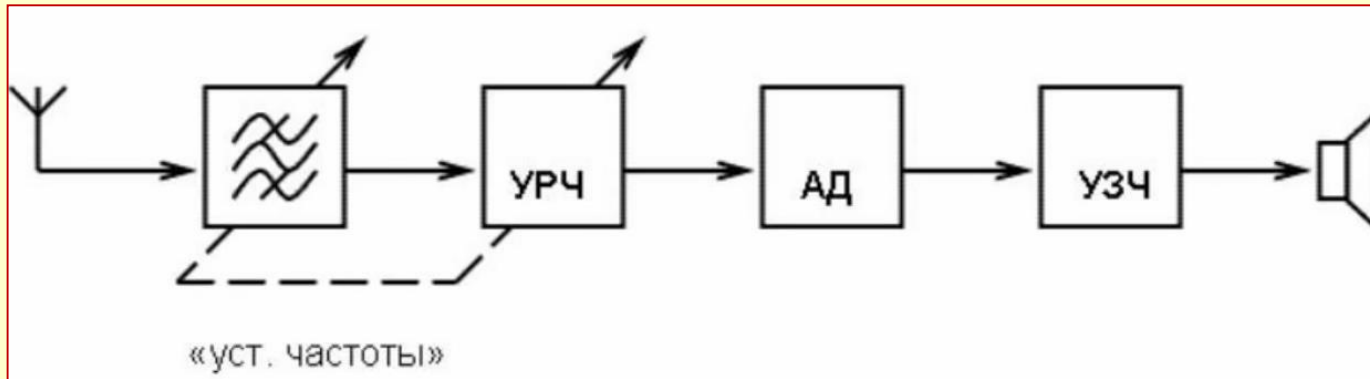
- высокая избирательность;
- малая степень частотных искажений;
- большая степень усиления.

7

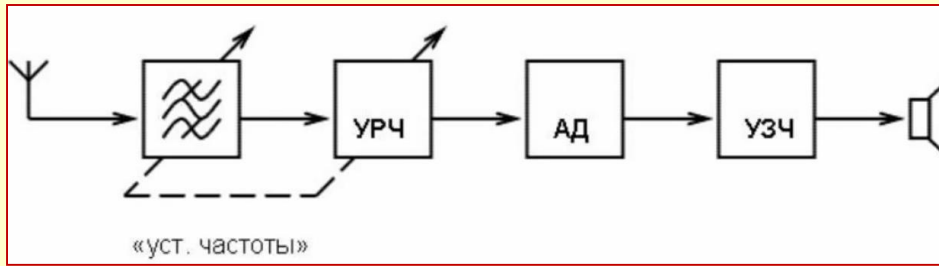
# 1. Приемник прямого усиления

Состав:

- 1) входное устройство;
- 2) усилитель высокой (*радио*) частоты (УВЧ);
- 3) детектор (*амплитудный*);
- 4) усилитель *низкой*(*звуковой*) частоты (УНЧ);
- 5) оконечное устройство (громкоговоритель).



# 1. Приемник прямого усиления



**Входные устройства:** - служат для осуществления избирательности приемника и настроены на частоту принимаемого сигнала. Представляют собой:- антенны СВЧ, отрезки волноводов.

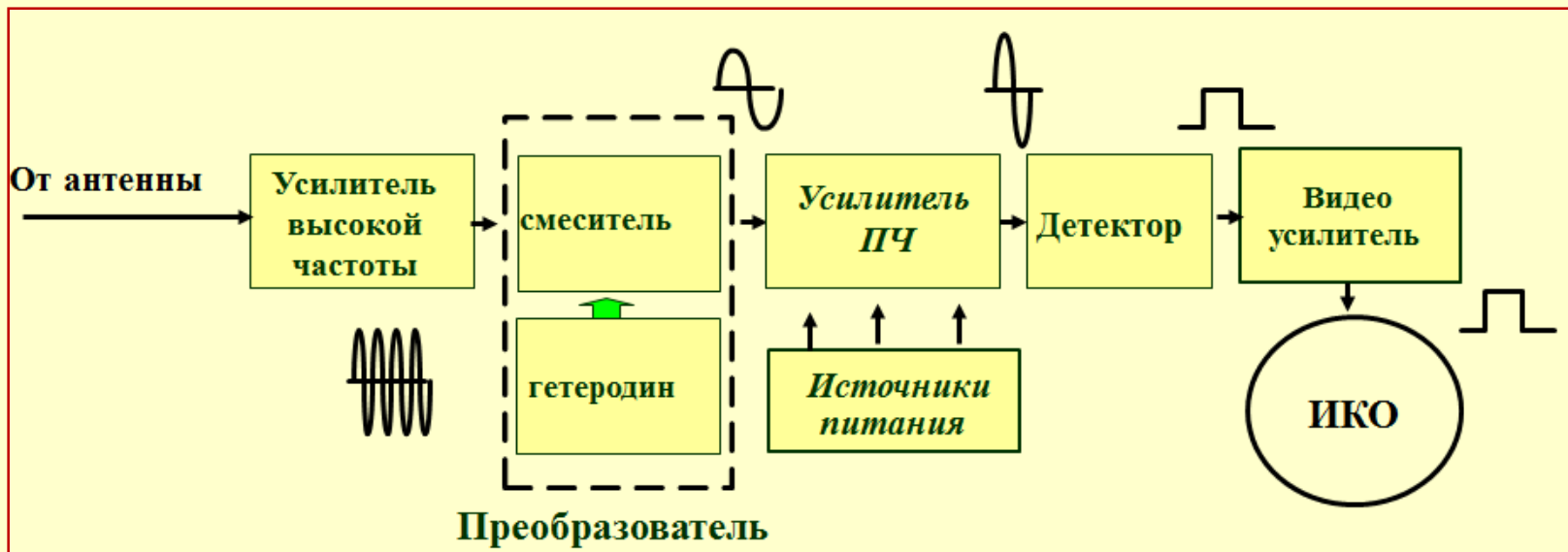
**Усилители высокой частоты (УВЧ):** - усиливают несущую частоту сигнала до величины, необходимой для работы **детектора**. В качестве УВЧ применяются резонансные усилители, настроенные на частоту СВЧ сигнала.

**Детектор:** - служит для преобразования ВЧ сигнала в низкочастотный, несущий полезную информацию и по закону которого меняется амплитуда ВЧ сигнала.

**Усилитель низкой частоты:** - служит для усиления НЧ сигнала до величины необходимой для работы конечных устройств.



## 2. Супергетеродинный приемник РЛС



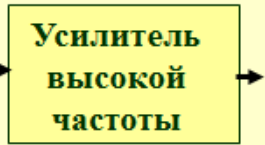
### Состав:

- 1) усилитель высокой частоты (УВЧ);
- 2) преобразователь частоты;
- 3) усилитель промежуточной частоты, УПЧ;
- 4) детектор;
- 5) видеоусилитель;
- 6) индикатор кругового обзора (ИКО);
- 7) источник питания.

### Достоинства:

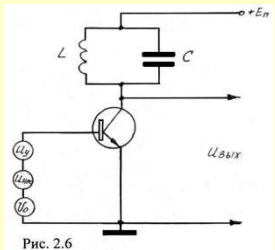
- высокая избирательность;
- малая степень частотных искажений;
- большая степень усиления.

# Элементы Супергетеродинного приемника



1) **Усилитель высокой частоты (УВЧ)** - служит для выделения полезного сигнала из всех сигналов и помех, поступающих из антенны, и для начального усиления сигнала.

В качестве УВЧ применяются **резонансные усилители**, т.е. усилители с колебательными контурами, (обладают способностью выделять и усиливать полезные сигналы, на частоту которых настроены их контуры, и подавлять помехи, имеющие другие частоты).



2) **Преобразователь частоты** - преобразует напряжение частоты принимаемого сигнала в напряжение промежуточной частоты. Он состоит: из смесителя и маломощного генератора высокой частоты (*гетеродина*). Для преобразования частоты на вход смесителя подаются два переменных напряжения:

- напряжение с частотой сигнала;
- напряжение с частотой гетеродина, несколько отличающейся от частоты сигнала.



# Преобразование частоты

Преобразование частоты основано на явлении **биений** при сложении колебаний разных частот.

**Гетеродин** - непрерывно вырабатывает ВЧ колебания (с напряжением  $U_2$  и частотой  $F_2$ )

Входной сигнал имеет: напряжение  $U_c$  и частоту  $F_c$ .

В **смесителе** происходит сложение и вычитание этих колебаний, в результате чего формируется **результатирующее напряжение**.

Так как напряжения имеют неодинаковые частоты, то сдвиг фаз между ними непрерывно меняется:

- в момент времени  $t_1$ :

напряжения совпадают по фазе и результирующее напряжение равно их сумме;

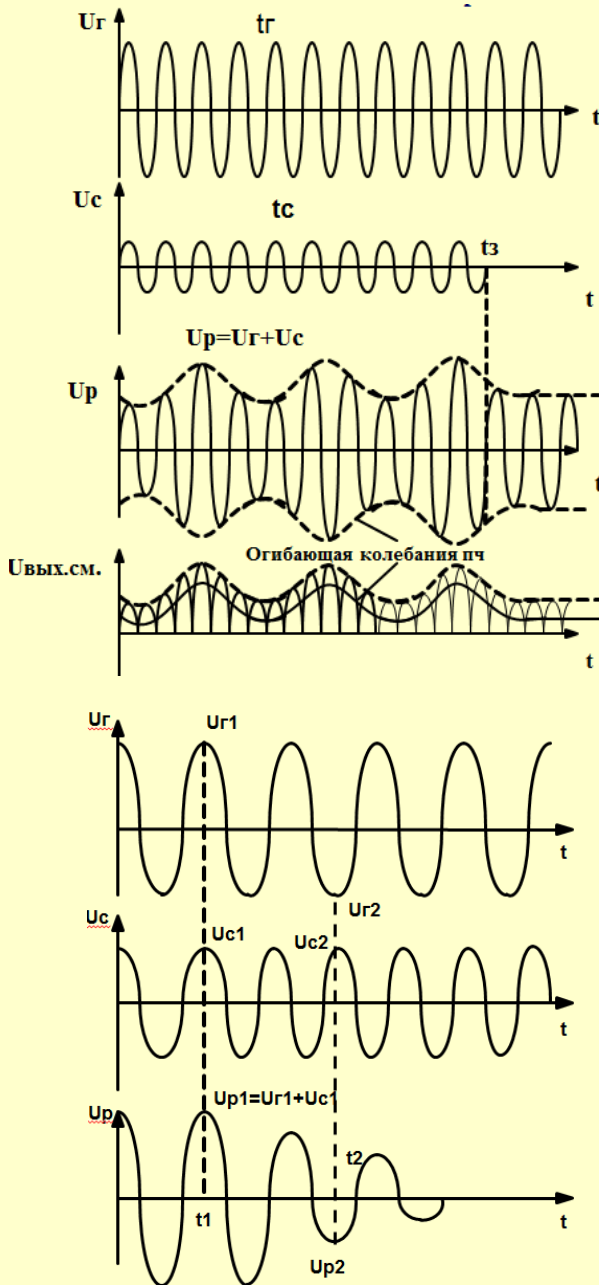
- в момент времени  $t_2$ :

напряжения оказываются в противофазе и

результатирующее напряжение равно их разности и т.д.

Таким образом, амплитуда **результатирующего напряжения** периодически изменяется.

Изменения амплитуд результирующего напряжения и называются **биениями**.



# Преобразование частоты

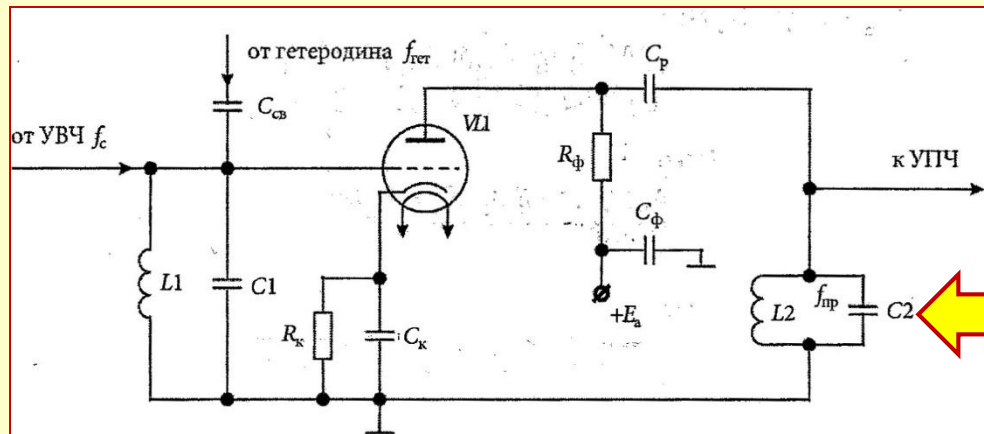
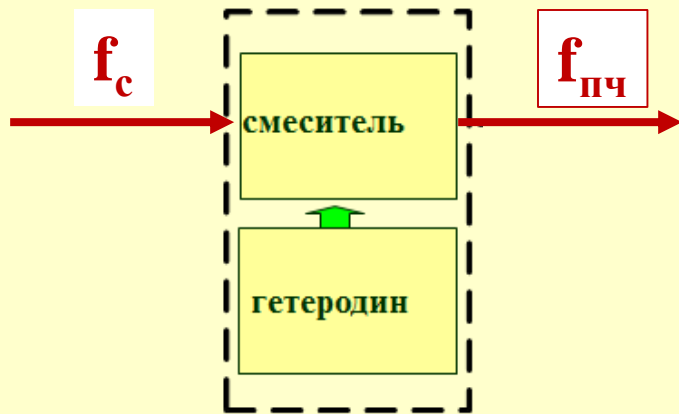


Схема односеточного преобразователя частоты

**Частота биений** значительно ниже частоты сигнала, равна разности между частотами сигнала и гетеродина ( $f_{ПЧ} = f_c - f_{Г}$ ) и называется **промежуточной частотой,  $f_{ПЧ}$** .

Для выделения колебаний  $f_{ПЧ}$  на выходе смесителя включают: колебательный контур, настроенный на  $f_{ПЧ}$ .

При изменении частоты передатчика и принимаемых сигналов изменяют частоту гетеродина таким образом, чтобы  $f_{ПЧ}$  не изменялась.

Такая работа супергетеродинного приемника облегчает задачу настройки и изготовления контуров УПЧ.

# Элементы Супергетеродинного приемника

## Усилитель ПЧ

3) **УПЧ** - служит для усиления напряжения  $f_{нч}$  до величины, необходимой для нормальной работы **детектора**, и в то же время обеспечивает основную избирательность приемника. Подобно УВЧ, в качестве УПЧ применяются **резонансные усилители**. Контуры УПЧ настраиваются на  $f_{нч}$ . Линейка (каскады) УПЧ осуществляют гораздо большее усиление на  $f_{нч}$ , чем каскад УВЧ.

В приемниках различных РЛС применяют 3-9 каскадов УПЧ, которые усиливают сигналы до нескольких сотен тысяч раз.

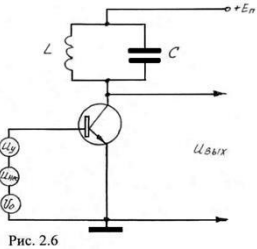


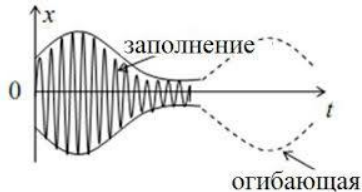
Рис. 2.6

## Детектор

4) **Детектор** - преобразует импульсы  $f_{нч}$  в видеоимпульсы, которые имеют форму огибающей ВЧ импульсов.

**Детектор** представляет собой выпрямитель и состоит из диода, и сглаживающего фильтра.

Диод выпрямляет переменное напряжение, а фильтр (емкость) сглаживает пульсации выходного напряжения.



# Элементы Супергетеродинного приемника



- 5) **Видеоусилитель:** - для усиления видеоимпульсов, создаваемых детектором, до величины, достаточной для воспроизведения их на экране **индикатора**;  
- для обеспечения нормальной работы других устройств, подключенных к выходу приемника.
- 6) **Индикатор кругового обзора (ИКО)** - служит для отображения воздушной информации на экране.

7) **Источники питания** - служат для питания радиоламп необходимыми для их работы:

- анодным, экранным и накальным напряжениями.

8) **Вспомогательные цепи ПРМ** - служат для повышения надежности и качества работы приемника.

К ним относятся:

- автоматическая регулировка усиления (**АРУ**);

- автоматическая подстройка частоты гетеродина (**АПЧ**);

- устройство для уменьшения влияния помех (**ПШ**) и др.



# Вопрос 2

# Технические характеристики приемной системы

## Основные характеристики приемного устройства

### Характеристики РПУ:

- 1) чувствительность;
- 2) избирательность;

### 2. Избирательность

**Избирательность** – это способность приемника выделять полезный сигнал из всех совокупностей сигналов и помех.

**Избирательность** обуславливается резонансными свойствами входных цепей фильтра.



Рис. 2. Принцип частотной селекции в супергетеродинном РПУ

**Избирательность** - показывает полезного сигнала в условиях помех.

**Виды Избирательности:** про

**Частотную избирательность** характеризует амплитудно-частотная характеристика модуля коэффициента усиления.

**Амплитудно-частотная характеристика** модуля коэффициента усиления.

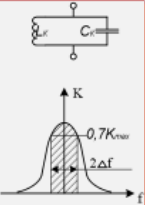
**1. Чувствительность приемника** – это минимальная мощность сигнала, при которой формируется преобразованная мощность, достаточной для индикации.

**Чувствительность приемника** – это минимальное напряжение полезного сигнала, обнаруживаемое на фоне внутренних помех.

### 3. Полоса пропускания

**Полоса пропускания,  $2\Delta f$**  – область частот, на границах которой искажения сигнала достигают заданного уровня.

Чем шире полоса пропускания, тем больше искажения сигнала.



### 4. Частотный диапазон

**Частотный диапазон** - характеристика приемника, определяющая диапазон частот, в котором он способен работать в определенном диапазоне частот.

**ЧД** определяет помехозащитные свойства приемника. Количественно **ЧД** характеризуется отношением частот, на которые может быть передан сигнал.

Чем больше  **$K_p$** , тем лучше защита от помех.

**Причиной внутренних шумов** при приеме являются: сопротивление проводников, лампы, непостоянство напряжения, внутренние шумы приемника, увеличение коэффициента усиления.

Следовательно, существенное влияние на шумовые свойства приемника оказывают входные цепи и УВЧ приемника, так как они определяют коэффициент усиления.

Поэтому входные цепи и каскады УВЧ приемника должны быть рассчитаны на прием сигнала в дециметровой и сантиметровой диапазонах. Измеряется в ваттах и децибелах. Чаще всего в приемниках измеряют коэффициент усиления.

### 5. Коэффициент шума приемника

**Коэффициент шума** - это отношение мощности сигнала/шум на входе приемника к мощности сигнала/шум на входе антенны.

### 6. Динамический диапазон

**Динамический диапазон** - определяет способность приемника работать без перегрузки при воздействии сильных и слабых сигналов.

**Динамический диапазон** (по входному сигналу  $D_{вх}$ ) – это отношение максимального напряжения  $U_{вх.макс.}$  при котором отсутствует перегрузка приемника, к минимальному входному напряжению  $U_{вх.мин.}$ , соответствующему предельной чувствительности приемника:

$$D_{вх} = \frac{U_{вх.макс.}}{U_{вх.мин.}}$$

Аналогично определяется динамический диапазон по выходному сигналу:

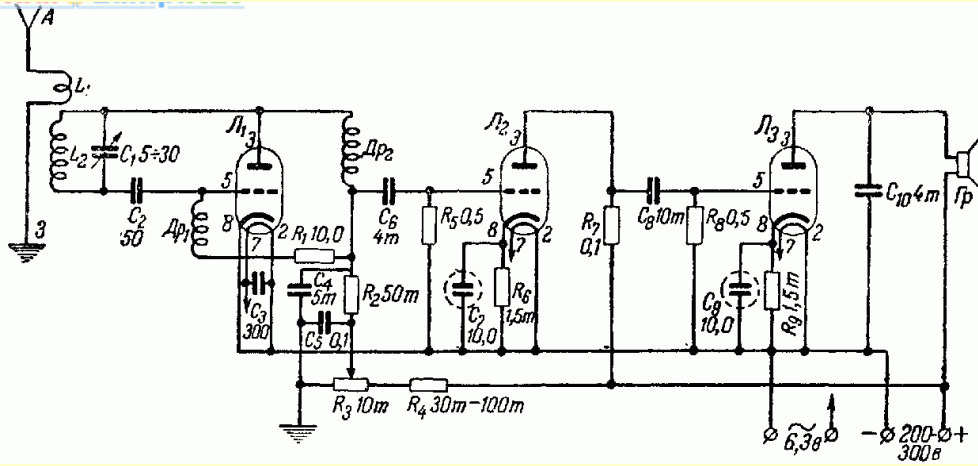
$$D_{вх} = \frac{U_{вых.макс.}}{U_{вых.мин.}}$$

В современных приемниках должно быть:  $D_{вх} \geq 70-80$  дБ. На практике для расширения **ДД** применяют различные схемы регулировки усиления:

- ручная регулировка усиления (**РРУ**), автоматическая РУ (**АРУ**);
- быстродействующая автоматическая РУ (**БАРУ**);
- шумовая автоматическая РУ (**ШАРУ**) и др.



# Основные характеристики приемного устройства



## Характеристики РПУ:

- 1) чувствительность;
- 2) избирательность;
- 3) полоса пропускания;
- 4) коэффициент шума ПРМ;
- 5) частотный диапазон;
- 6) динамический диапазон.

## 1. Чувствительность

### Чувствительность приемника, $R_{пр.мин.}$

— это минимальная мощность сигнала на входе приемника, при которой на его выходе формируется преобразованный сигнал мощностью, достаточной для отображения на индикаторах.

**Чувствительность приемника** - наименьшее напряжение полезного сигнала, при котором его можно обнаружить на фоне *внутренних шумов приемника*.





## 2. Избирательность

**Избирательность** – это способность приемника выделять полезный сигнал из всех совокупностей сигналов и помех.

**Избирательность** - обуславливается резонансными свойствами входных цепей фильтров в усилительных каскадах.

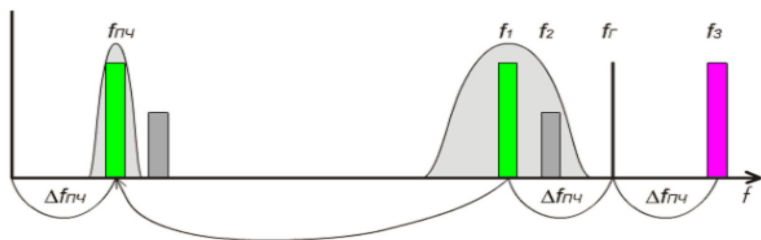


Рис. 2. Принцип частотной селекции в супергетеродинном РПрУ.

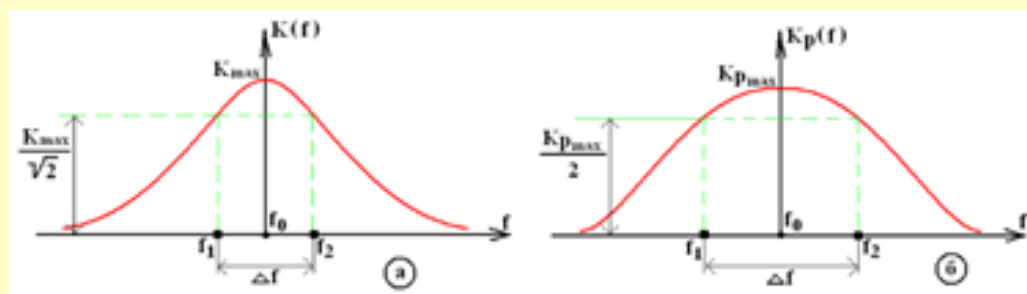


Рис.4. Амплитудно-частотная характеристика

**Избирательность** - показывает возможность устойчивого приема полезного сигнала в условиях наличия других сигналов.

**Виды Избирательности:** пространственная, частотная, временная и т. п.

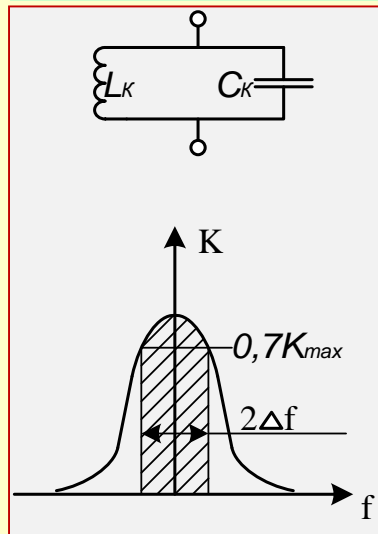
**Частотную избирательность** позволяет оценить ширина его амплитудно-частотной характеристики.

**Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)** – это зависимость модуля коэффициента усиления от частоты.

### 3. Полоса пропускания

**Полоса пропускания,  $2\Delta f$**  – область частот, на границах которой коэффициент усиления  $K$  уменьшается до  $0.707$

Чем шире **полоса пропускания**, тем меньше искажений получает принимаемый сигнал.



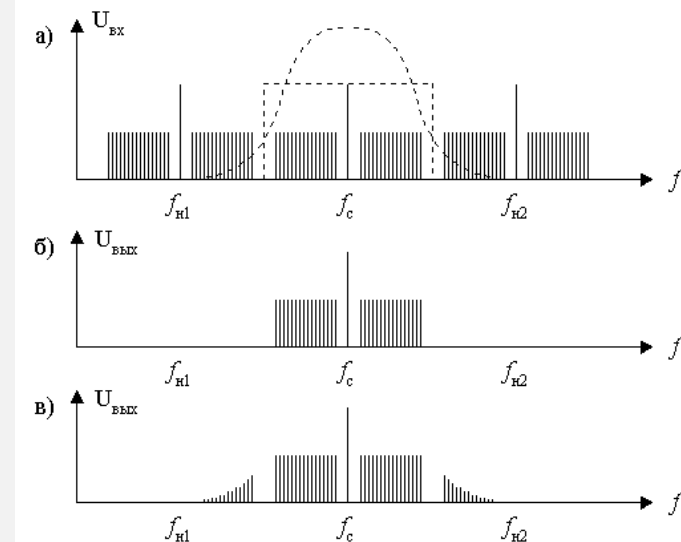
### 4. Частотный диапазон

**Частотный диапазон** - способность приемника работать в определенном диапазоне частот.

**ЧД** определяет помехозащищенность **РПУ** при воздействии активных помех.

**ЧД** определяется коэффициентом перестройки по частоте  $K_f$ , равным отношению максимальной и минимальной частот, на которые может быть настроен данный приемник.

Чем больше  $K_f$ , тем лучше защищен приемник от активных помех.



## 5. Коэффициент шума приемника

**Коэффициент шума** - это отношение мощности сигнал/шум на входе приемника к мощности с/ш. на его выходе:

$$N = \frac{(P_c / P_{ш})_{вх}}{(P_c / P_{ш})_{вых}}$$

Причиной **внутренних шумов приемника** являются:

- тепловые движения электронов в проводниках,
- бомбардировка электронами элементов электронных ламп,
- непостоянство напряжения питания и другие явления.

Влияние **внутренних шумов приемника**:

- ограничение чувствительности, так как с увеличением коэффициента усиления приемника усиливается не только полезный сигнал, но и шумы. Следовательно, существенное влияние на **чувствительность** оказывают:

- шумы входных цепей и УВЧ приемника, так как они усиливаются последующими каскадами.

Поэтому входные цепи и каскады УВЧ должны быть малошумящими.

В дециметровом и сантиметровом диапазонах чувствительность приемника измеряется в ваттах и децибелах, а в метровом диапазоне – в вольтах.

Чаще всего в приемниках измеряют не чувствительность, а коэффициент шума.



## 6. Динамический диапазон

**Динамический диапазон** - определяет способность приемника работать без перегрузки при воздействии сильных и слабых сигналов.

**Динамический диапазон** (по входному сигналу  $D_{вх}$ ) – это отношение максимального напряжения  $U_{вх.макс}$ , при котором отсутствует перегрузка приемника, к минимальному входному напряжению  $U_{вх.мин}$ , соответствующему предельной чувствительности приемника:

$$D_{вх} = \frac{U_{вх.макс.}}{U_{вх.мин.}}$$

Аналогично определяется динамический диапазон по выходному сигналу:

$$D_{вх} = \frac{U_{вых.макс.}}{U_{вых.мин.}}$$

В современных приемниках должно быть:  $D_{вх} \geq 70-80$  дБ.

На практике для расширения **ДД** применяют различные схемы регулировки усиления:

- ручная регулировка усиления (**РРУ**), автоматическая РУ (**АРУ**);
- быстродействующая автоматическая РУ (**БАРУ**);
- шумовая автоматическая РУ (**ШАРУ**) и др.

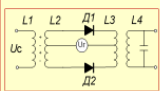


# Вопрос 3

# ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ

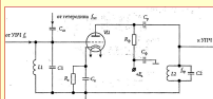
## Преобразователь частоты

**Преобразователь частоты** приемника РЛС - служит для понижения частоты радиоимпульсов без изменения их формы и длительности.

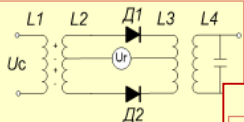


Для Р  
диоды  
детек

В качестве гетеродина

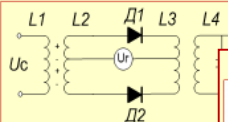


### 1. Двухтактный преобразователь частоты



В схеме ПЧ Диоды включены так, что:  
- напряжение  $U_r$  воздействует на них в одинаковой фазе,  
- напряжение  $U_c$  приложено к ним в

### 1. Двухтактный преобразователь частоты



3) Если в схеме действуют оба напряжения, то в результате сложения  $U_c$  и  $U_r$  на входе

### 2. Кольцевой балансный смеситель (КБС)



Волноводно-кольцевые мосты, обладают малым волновым сопротивлением. Применяются в качестве ПЧ в

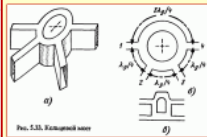
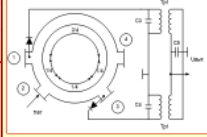
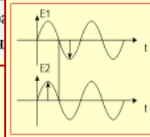
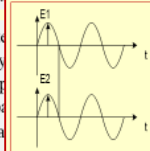
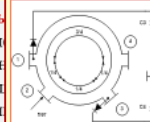


Рис. 5.13. Кольцевой мост

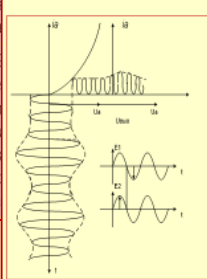
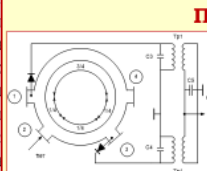


Кольцо прямое, сверх, кольцо, Плечи на ра, В плечу нагру, Пере напря, состав, Вто напря, с кон



### Принцип работы КБС

1) Если в плечо 2 подать напряжение  $U_{гет}$ , то при этом в плечах 1 и 3 возникнет синфазная волна



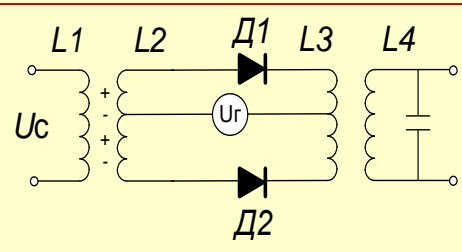
### Принцип работы КБС

3) Если возбудить плечо 2 напряжением гетеродина, а плечо 4 напряжением сигнала одновременно, то на выходе плеча 1 и 3 появятся напряжения с частотой **биений** в противофазе т.к. противофазные напряжения сигнала.

После детектирования противофазные сигналы промежуточной частоты складываются, а синфазные сигналы (шумы) гетеродина компенсируются, подобно схеме двухтактного преобразователя частоты.

# Преобразователь частоты

**Преобразователь частоты** приемника РЛС - служит для понижения частоты радиоимпульсов без изменения их формы и длительности.

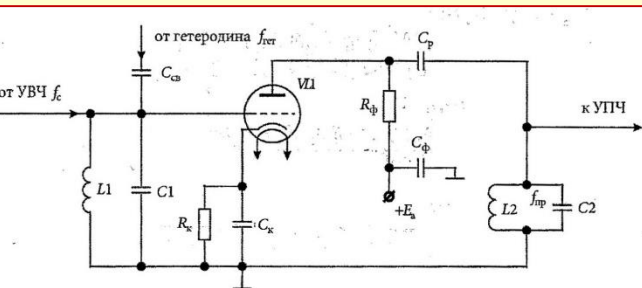


Для РЛС см-диапазона характерно применение диодных преобразователей частоты. В качестве детектора применяются ВЧ п/пр. диоды.

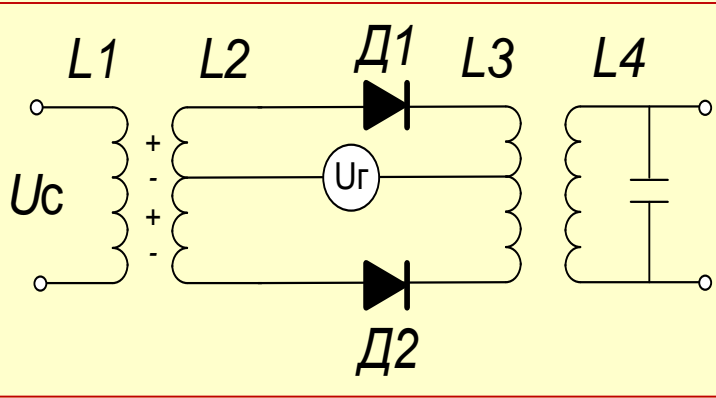
В качестве гетеродина ( $U_g$ ) в ПЧ обычно используют **клистрон**.

*В приемнике РЛС 1РЛ33 отсутствует УВЧ, в связи с затруднением усиления сигнала на частоте принимаемых колебаний и 1-м каскадом является **преобразователь частоты**.*

*Для повышения чувствительности такого приемника необходимо, чтобы ПЧ обладал малым уровнем внутренних шумов.*



# 1. Двухтактный преобразователь частоты



В схеме ПЧ Диоды включены так, что:

- напряжение  $U_r$  воздействует на них в одинаковой фазе,
- напряжение  $U_c$  приложено к ним в противофазе. Верхняя и нижняя половины схемы симметричны.

## Принцип работы:

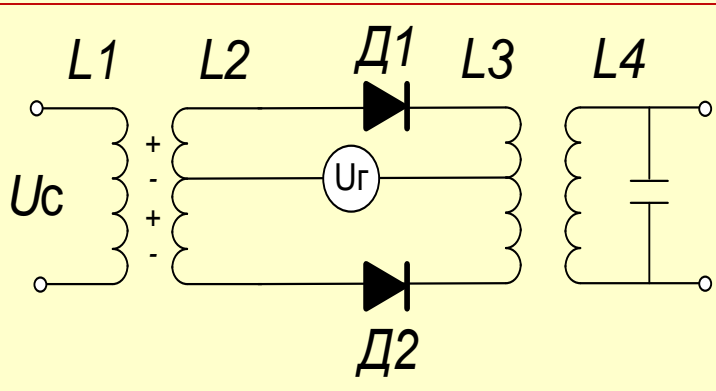
1) При работающем гетеродине и отсутствии сигнала  $U_c$  происходит детектирование  $U_r$ . Поскольку токи обоих диодов в катушке L3 протекают навстречу друг другу, то на выходе схемы напряжения нет.

Таким образом происходит компенсация любой гармоники гетеродина, а следовательно и всех его шумовых составляющих.

2) Если действует на входе схемы только сигнал  $U_c$ , то диоды работают поочередно и происходит двухполупериодное выпрямление сигнала и токи в катушке L3 протекают в одном направлении.

В выходном контуре при этом сигнала нет, т. к. он настроен на  $f_{пр}$ .

# 1. Двухтактный преобразователь частоты

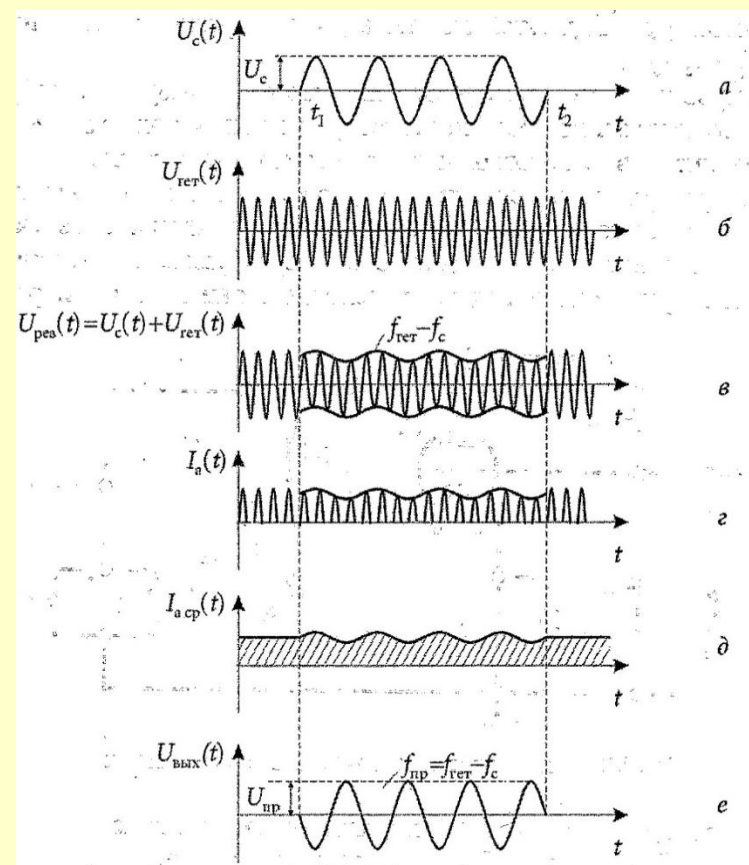


3) Если в схеме действуют оба напряжения, то в результате сложения  $U_r$  и  $U_c$  на входе диодов возникают **биения** сигнала гетеродина с частотой  $f_{np}$ , которые затем детектируются.

4) Напряжение  $U_c$  подводится к диодам в противофазе, то переменная составляющая  $f_{np}$  так же проходит через диоды в противофазе.

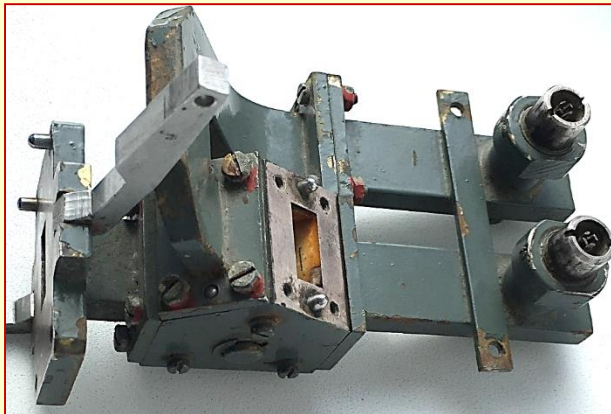
Это означает, что в катушке L3 переменные составляющие  $f_{np}$  обоих диодов протекают в одном направлении и складываются, наводя в катушке L4 ЭДС, а переменные составляющие синфазного напряжения гетеродина  $U_r$  компенсируются.

Контур LC настроен на  $f_{np}$ , поэтому на выходе схемы действует напряжение  $f_{np}$ , которое в дальнейшем передается на УПЧ. ❌





## 2. Кольцевой балансный смеситель (КБС)



**Волноводно-кольцевые мосты**, обладают малым волновым сопротивлением. Применяются в качестве **ПЧ** в приемнике РЛС 1РЛ33 ЗСУ-23-4.

**Кольцевой балансный смеситель** - прямоугольный волновод длиной  $6/4\lambda$ , свернутый в плоскости вектора  $E$  э/м поля в кольцо, от которого отходят 4-е плеча. Плечи расположены на полуокружности кольца на расстоянии  $\lambda/4$  друг от друга.

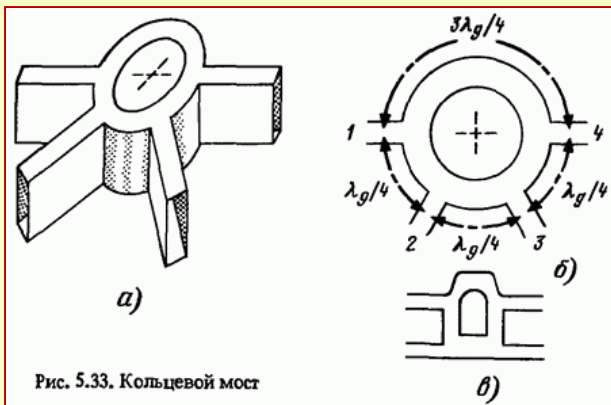
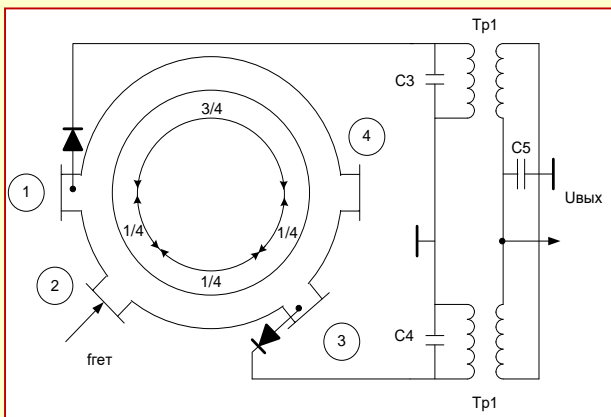


Рис. 5.33. Кольцевой мост

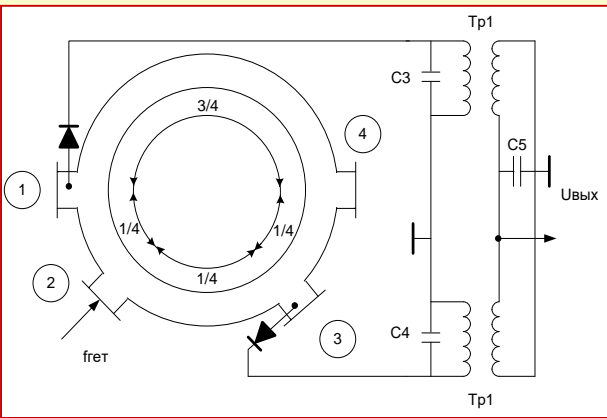
В плече 1,3 установлены ВЧ диоды, которые нагружены на ВЧ трансформаторы  $Tr1$  и  $Tr2$ .

Первичные обмотки  $Tr$  имеют разное направление намотки, с конденсаторами  $C3,4$  составляют **КК** настроенные на  $f_{пр}$ .

Вторичные обмотки с одинаковым направлением витков соединены параллельно и с конденсатором  $C5$  составляют **КК** настр. на  $f_{пр}$ .



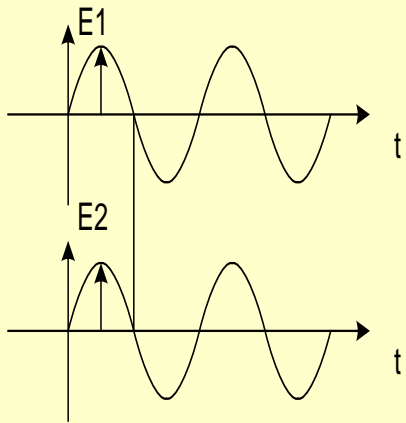
# Принцип работы КБС



1) Если в плечо 2 подать напряжение  $U_{\text{гет}}$ , то в плече 1 и 3 возбуждятся синфазные волны т.к. расстояние до этих плеч от плеча 2 одинаковы и равны  $\lambda/4$ .

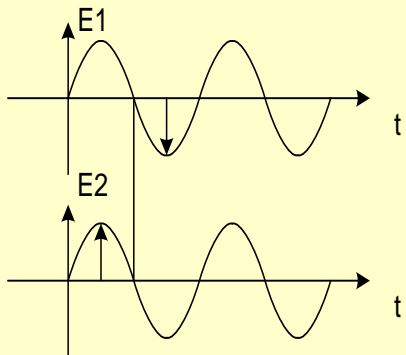
На выходе плеч 1,3 напряжения  $U_{\text{гет}}$  детектируются и поступают на первичные обмотки Tr1 и Tr2.

Поскольку эти напряжения синфазны, а первичные обмотки намотаны встречно, то и токи в них будут иметь встречное направление и компенсируются, тем самым устраняя шумовые составляющие гетеродина.



2) Если возбудить плечо 4 напряжением  $U_c$ , то плечи 1 и 3 будут возбуждаться противофазными волнами.

После детектирования эти напряжения попадают в первичные катушки Tr1 и Tr2, имеющие встречные намотки и наводят в них токи с одинаковыми направлениями.



# Принцип работы КБС

3) Если возбудить плечо 2 напряжением гетеродина, а плечо 4 напряжением сигнала одновременно, то на выходе плеча 1 и 3 появятся напряжения с частотой **БИЕНИЙ** в противофазе т.к. противофазны напряжения сигнала.

После детектирования противофазные сигналы промежуточной частоты складываются, а синфазные сигналы (шумы) гетеродина компенсируются, аналогично схеме двухтактного преобразователя частоты.



# Вопрос 4

# Детекторы

## Детекторы

**Детектирование** – процесс преобразования модулированного сигнала с целью выявления передаваемого сообщения.

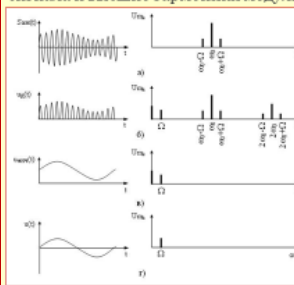
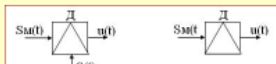
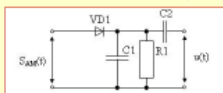
**Детектирование** – это процесс, обратный модуляции.

Детектор, демодулятор (лат. *de* – элемент электрической цепи, в видимых, ультрафиолетовых и **Детектирование** - происходит от несущей составляющей.

Разновидности детекторов:

- Амплитудный детектор
- Частотный детектор
- Фазовый детектор
- Видеодетектор

### Амплитудный детектор на диоде



### Фазовый детектор

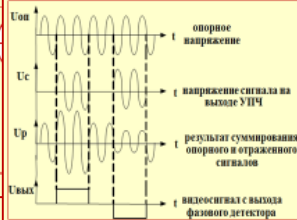
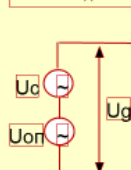
При **фазовой модуляции** информация о сообщении передается в законе изменения фазы ВЧ колебания.

Изменяющаяся во времени фаза ВЧ колебания представляет собой скорость

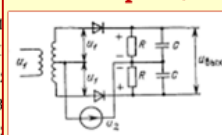
Для измерения скорости отношения

Поэтому для выявления необходимо сравнивать фазу другого колебания

схема одноконтурного

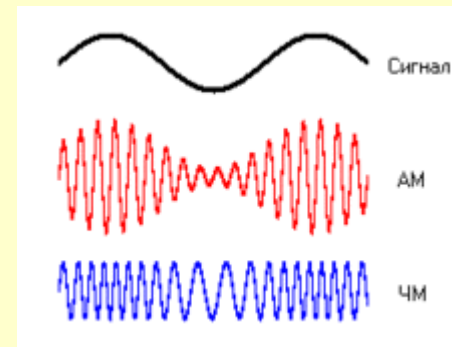
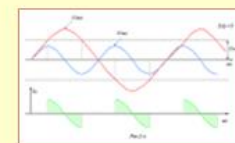
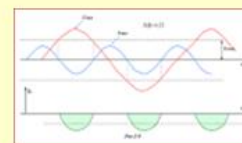
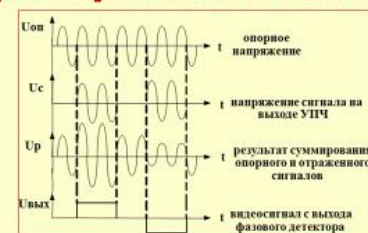


### Принцип работы Фазового детектора

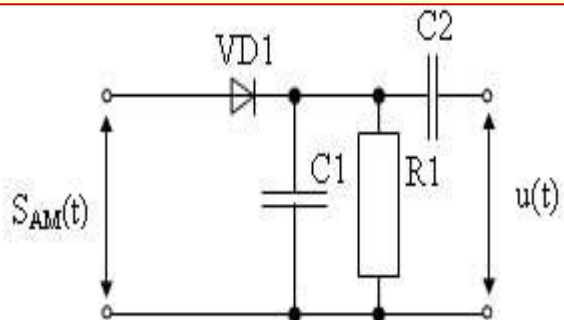


**Фазовое детектирование (ФД)** включает два процесса:  
- сложение фазомодулированного  $U_c$  и опорного колебания  $U_{оп}$   
- амплитудное детектирование колебания.

### Принцип работы Фазового детектора



# Детекторы

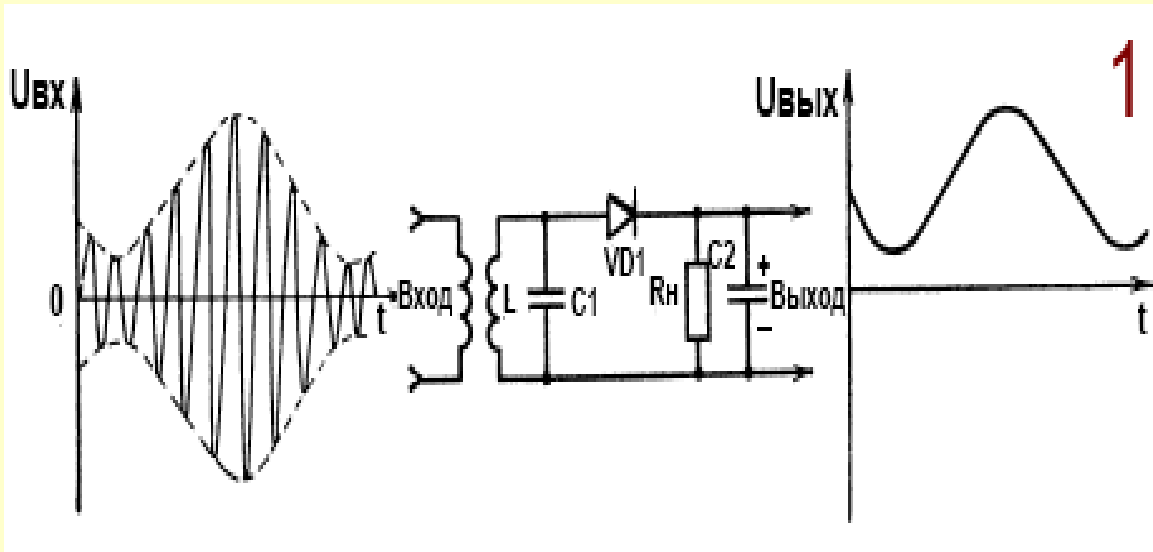


**Детектор, демодулятор** ([лат. detector](#) — открыватель, обнаружитель) - элемент электрической цепи, в котором происходит обнаружение электромагнитных колебаний с целью их индикации.

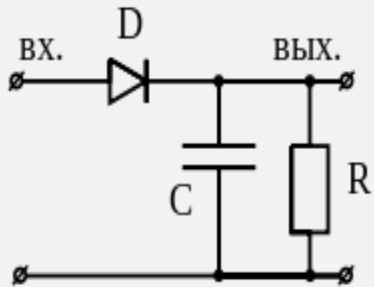
**Детектирование** – процесс преобразования модулированного сигнала с целью выявления передаваемого сообщения. **Детектирование** – это процесс, обратный модуляции, который происходит отделением полезного (модулирующего) сигнала от несущей составляющей.

Разновидности детекторов:

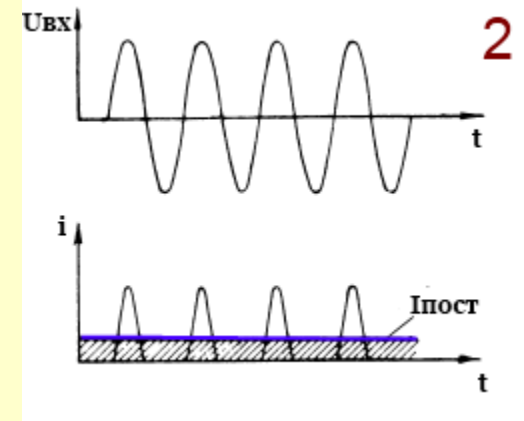
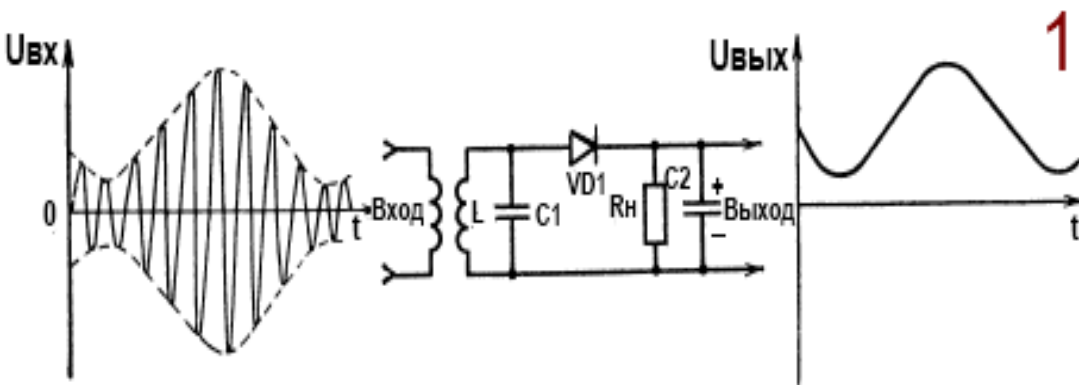
- [Амплитудный детектор](#)
- [Частотный детектор](#)
- [Фазовый детектор](#)
- [Видеодетектор](#)



# Амплитудный детектор



**АД** – это демодулятор амплитудно-модулированного ВЧ колебания. Простейший **АД** представляет собой - однополупериодный выпрямитель на одном диоде с выходным R,C-фильтром.

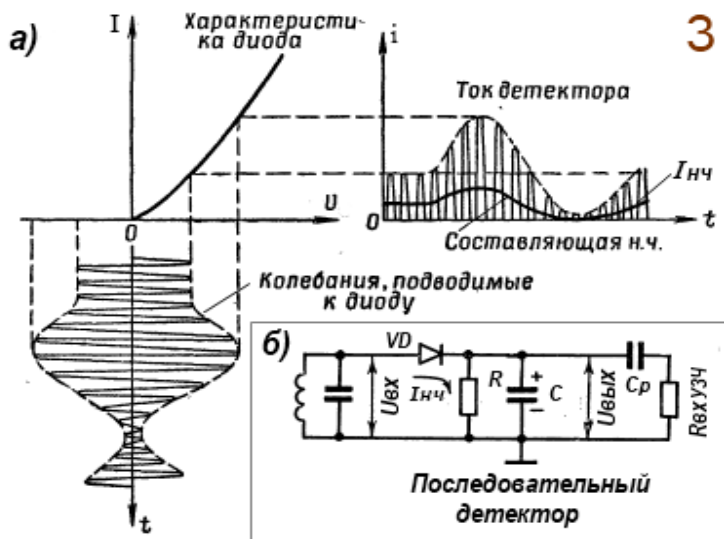


Если на вход детектора поступает напряжение высокой частоты с постоянной амплитудой  $u = U \cos \omega t$ , то в цепи диода возникает пульсирующий ток, величина импульсов которого будет неизменной во времени.

Среднее значение выпрямленного тока показано прямой линией.

# Амплитудный детектор

На рис.3а показано детектирование (АМС), который уже, кроме составляющей высокой частоты, содержит составляющую низкой частоты.



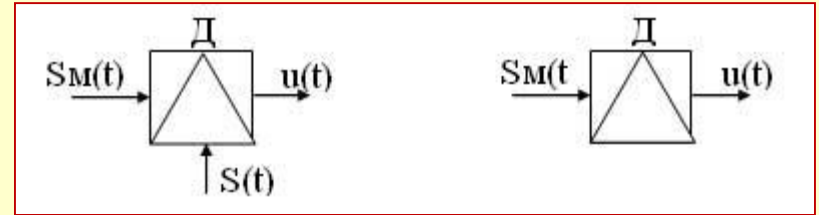
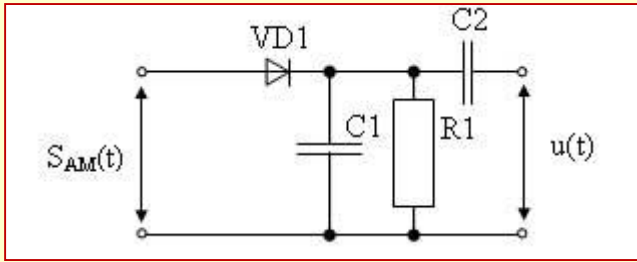
3 Схема детектора на рис.3б имеет нагрузочное сопротивление  $R$ , включенное последовательно с диодом  $VD$ . Модулированное ВЧ напряжение, снимаемое с входного контура, подается на диод, который пропустит только положительную волну сигнала. Амплитуда среднего значения тока ( $I_{нч}$ ), проходящего через диод, будет изменяться как промодулированный НЧ сигнал. Этот ток создаст на резисторе  $R$  пульсирующее НЧ напряжение.

Чтобы напряжение на резисторе  $R$  изменялось по закону, близкому к закону модуляции, его шунтируют конденсатором  $C$ . Положительные полупериоды будут заряжать конденсатор и напряжение на нем будет близким к амплитуде детектированного сигнала. В отрицательные полупериоды небольшой обратный ток диода будет перезаряжать конденсатор и несколько уменьшать на нем напряжение, возникшее во время положительной полуволны сигнала. В результате этого напряжение на конденсаторе, а значит, на нагрузке детектора во время отрицательной полуволны сохранится почти постоянным, т.е. близким к амплитуде детектированного сигнала.

Этот продетектированный сигнал через разделительный конденсатор  $C_p$ , емкостью в несколько тысяч пикофарад, чтобы легко пропускал НЧ сигнал, подается далее на вход усилителя низкой частоты приемника.



# Амплитудный детектор на диоде

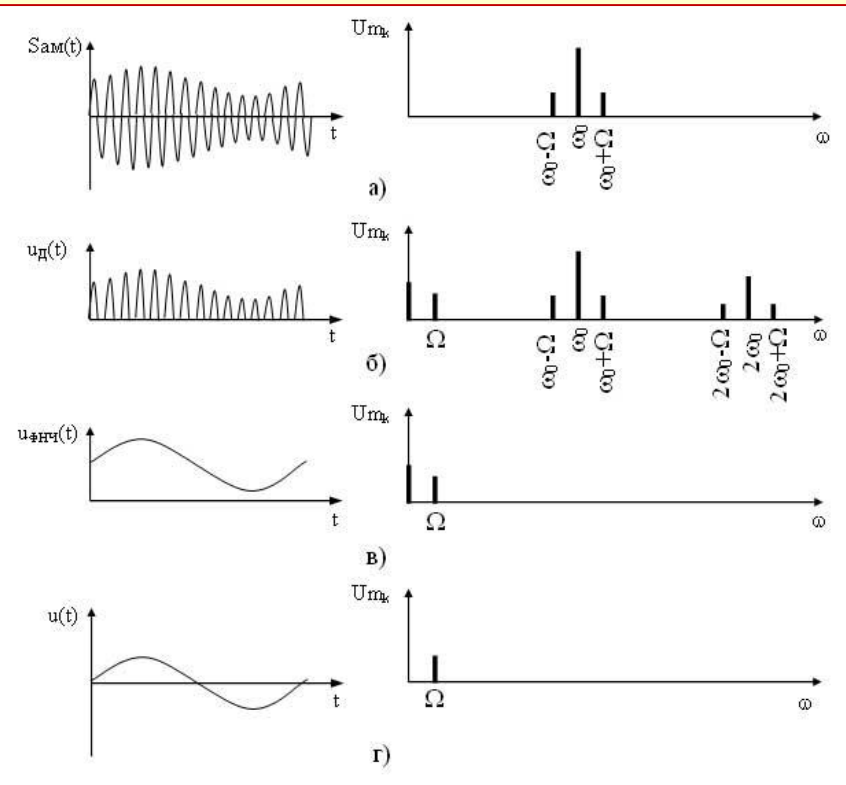


На диод поступает АМ сигнал  $S_{AM}(t)$ , в спектре которого имеются составляющая несущего сигнала и боковые составляющие. В спектре отклика диода  $u_d(t)$  появляются новые составляющие: постоянная, составляющая модулирующего сигнала и высшие гармоники модулированного сигнала.

Элементы **R1**, **C1** - образуют фильтр низких частот, который шунтирует высокочастотные составляющие спектра отклика и тем самым выделяют составляющую модулирующего сигнала и постоянную составляющую  $u_{ФНЧ}(t)$ .

Разделительный конденсатор **C2** - задерживает постоянную составляющую спектра и в спектре выходного сигнала присутствует только составляющая модулирующего сигнала  $u(t)$ .

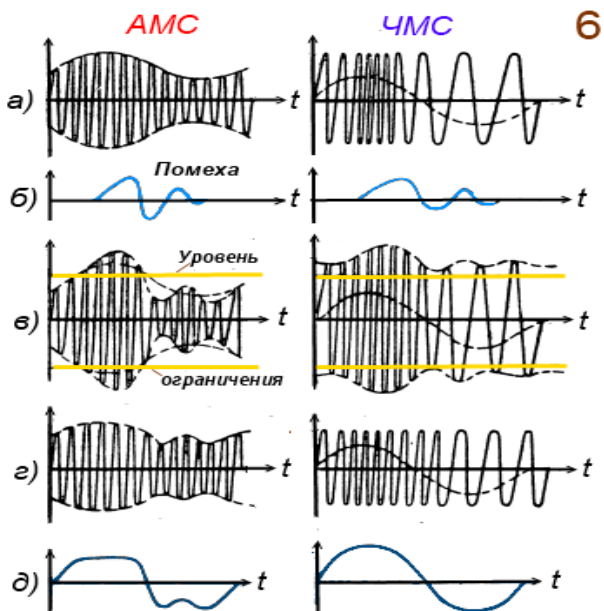
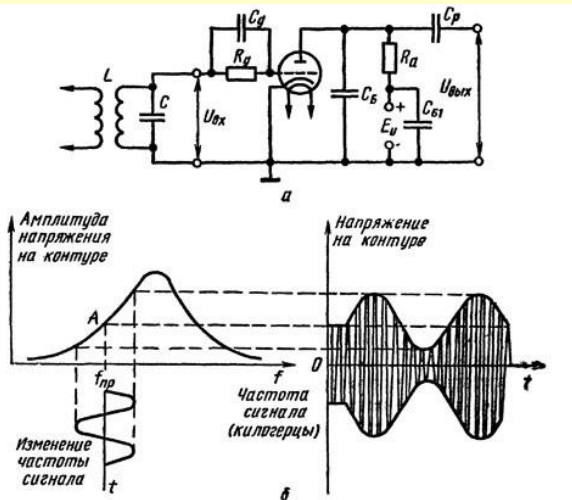
<http://conture.by/post/470>





# Частотный детектор

**Частотным детектированием** называется преобразование ЧМ сигнала в колебания низкой частоты.



Для этого в ЧД модулированный по частоте сигнал преобразуется в АМ сигнал. Затем он при помощи амплитудного детектора детектируется в НЧ сигнал. На изменение амплитуды ЧМ сигналов (рис.6) влияют помехи и внутриприемные шумы. Сигналы шумов, которые мало отличаются по частоте от модулирующего сигнала, усиливают амплитуду этого сигнала. Если сам детектор ЧМ сигнала чувствителен к изменениям амплитуды, тогда в приемном устройстве перед детектором включают ограничитель амплитуды (рис.6в). При ЧМС действие ограничителя по амплитуде устраняет изменения сигнала без нарушения НЧ колебаний. При ограничении АМС (рис.6в) устраняется только частично амплитудное изменение сигнала от помех (рис.6г) и, в конечном счете, приводит к нелинейным искажениям низкой частоты (рис.6д).

## Фазовый детектор

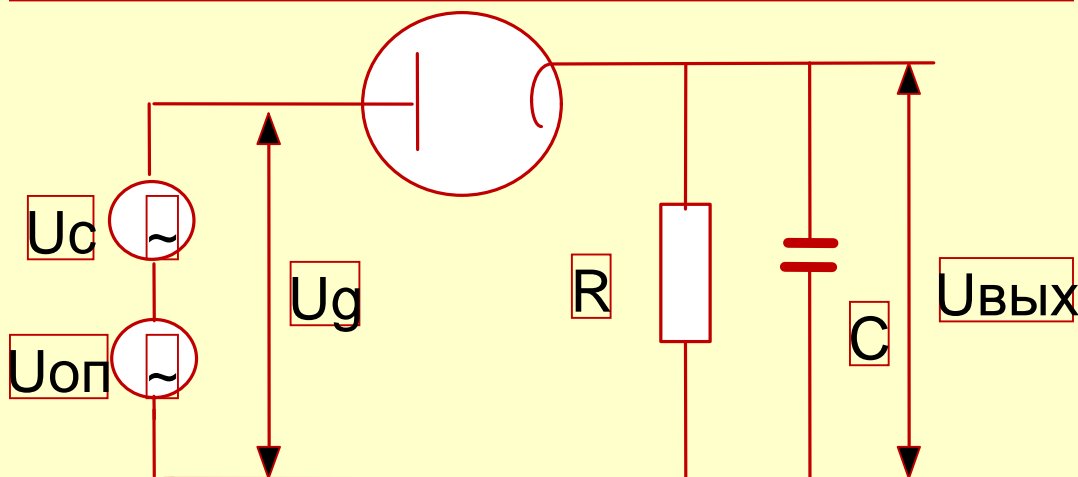
При *фазовой модуляции* информация о сообщении передается в законе изменения фазы ВЧ колебания.

Изменяющаяся во времени фаза ВЧ колебания представляет собой скорость изменения частоты.

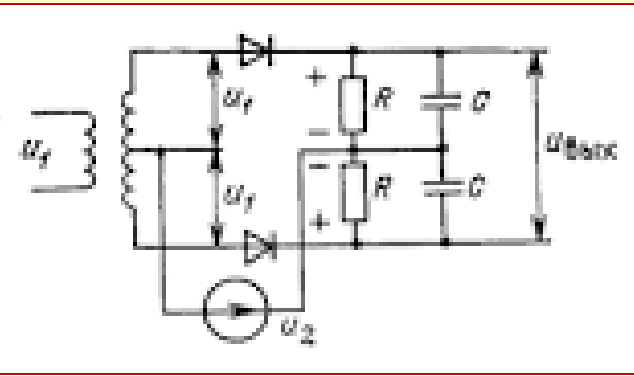
Для измерения скорости необходимо производить отсчет по отношению к другому объекту.

Поэтому для выявления информации об изменении фазы необходимо сравнивать фазу модулированного колебания с фазой другого колебания, принимаемого за опорное.

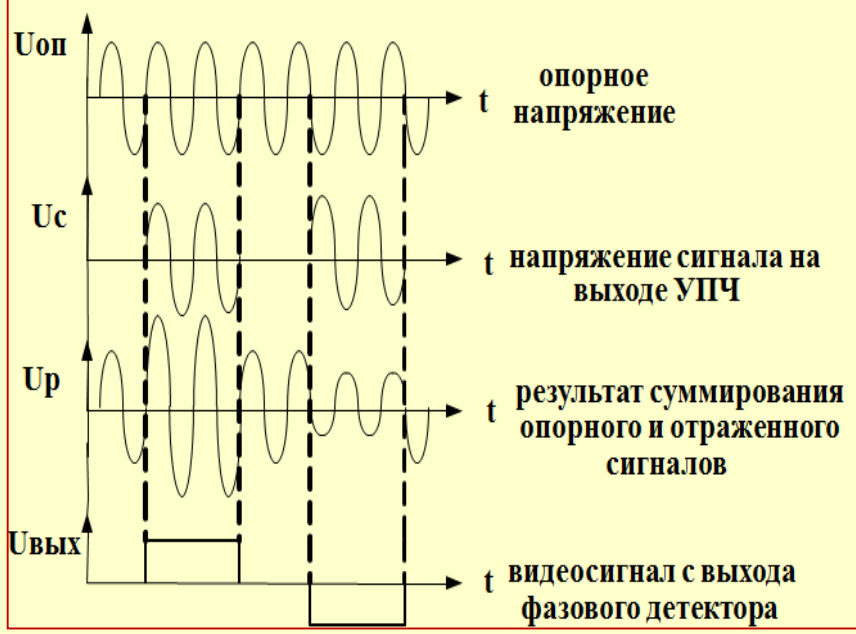
схема однотактного фазового детектора



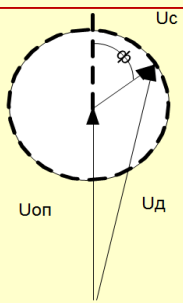
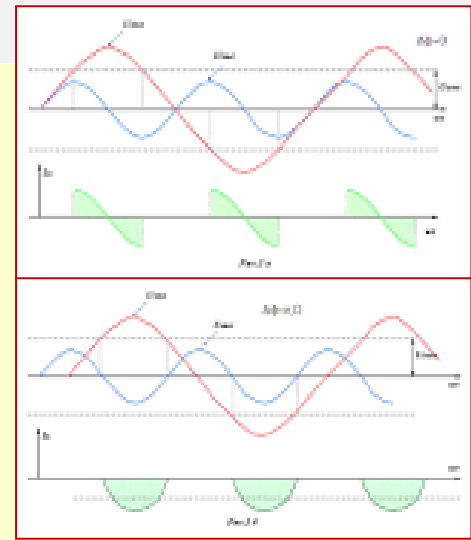
# Принцип работы Фазового детектора



**Фазовое детектирование (ФД)** это 2 процесса:  
 - сложение фазомодулированного  $U_c$  и опорного колебания  $U_{оп}$ , в результате чего образуется амплитудно-фазомодулированное колебание;  
 - амплитудное детектирование полученного колебания.



Сложение колебаний аналогично образованию биений на входе смесителя. **Фазовый детектор** характеризуется крутизной амплитудно-фазовой характеристики  $S_{фд}$ , показывающей, насколько вольт изменится напряжение на выходе при изменении фазы на один градус.



векторная диаграмма сложения колебаний на входе ФД



# ЗАДАНИЕ НА САМОПОДГОТОВКУ:

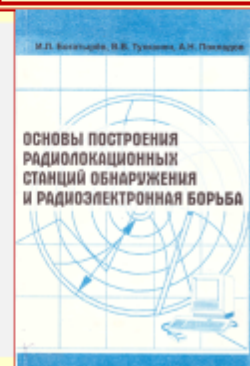
Изучить материал занятия  
по конспекту и учебному пособию.

## Вопросы занятия:

1. Структурные схемы приемных устройств РЛС.
2. Технические характеристики приемной системы, ПРМС.
3. Преобразователи частоты.
4. Детекторы.



- Литература:**
1. Учебное пособие «Основы построения ЗАК»-2013 г., стр. 88-93
  2. Учебное пособие «Основы построения РЛС обнаружения и РЭБ» ТУСУР - 2003 г., стр. 29-36.



## Конец занятия

# Контрольные вопросы

1. Двухэлектродная лампа.
2. Трехэлектродная лампа, многоэлектродные лампы.
3. Усилитель низкой (звуковой) частоты.
4. Усилители высокой частоты и промежуточной частоты.
5. Назначение, состав и работа мультивибратора.
6. Назначение, состав и работа блокинг-генератора.
7. Ограничители импульсов.
8. Тиратрон.
9. Линии передачи электромагнитной энергии.
10. Антенные устройства. Устройство и действие двухзеркальной поляризованной антенны.
11. Структурная схема радиопередающего устройства.
12. Магнетронный генератор.
13. Клистронный генератор.

**Вопрос 2** **Антенные устройства**

Антенные устройства  
Антенные устройства - системы, преобразующие электромагнитную энергию в радиоволны и наоборот.  
Классификация антенн  
Типы антенн (по конструкции)  
Параметры антенн  
Устройство антенны

**Передачик**

**Передачик** - служит для формирования кратковременных импульсов СВЧ энергии.

**Источник питания** - состоит из первичного источника (промышленная сеть или ДЭС) и высоковольтного выпрямителя (ВИП).  
**Высоковольтный выпрямитель** - повышает первичное переменное напряжение до десятков киловольт с последующим выпрямлением.

**Синхронизатор запуска** - обеспечивает одновременный запуск передатчика, разверток индикаторов, системы селекции движущихся целей (СДЦ), а также других систем РЛС. **Синхронизатор** определяет период повторения зондирующих импульсов.

**Модулятор** - является накопителем энергии в паузах между импульсами синхронизатора.

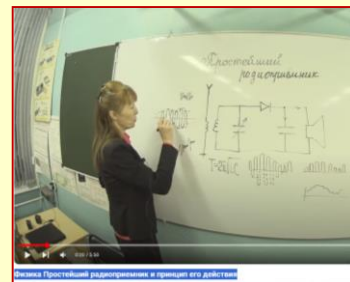
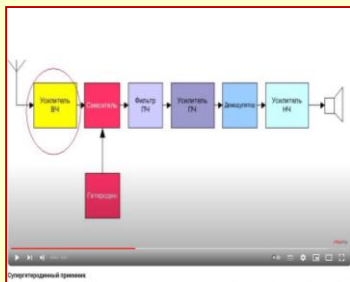
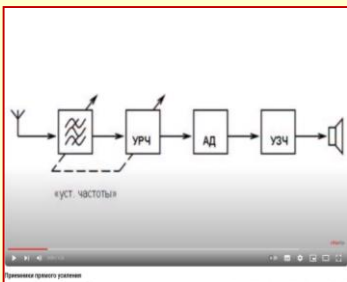
**Подмодулятор** - усиливает импульсы запуска до величины, необходимой для включения **модулятора**.

**Вопрос 2** **Магнетронный генератор**

Магнетронный генератор  
Устройство магнетрона  
Работа магнетронного генератора  
Применение магнетронного генератора

# Дополнительные материалы

№	Название	Ссылка	
1	Приемники прямого усиления - Чип и Дип.	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=3EQ6BXdDLQs">https://www.youtube.com/watch?v=3EQ6BXdDLQs</a>	
2	Супергетеродинный приемник - Чип и Дип.	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=xPtM5dIh-Kc">https://www.youtube.com/watch?v=xPtM5dIh-Kc</a>	
3	Диодный кольцевой смеситель: теория и практика	<a href="https://eax.me/diode-ring-mixer/">https://eax.me/diode-ring-mixer/</a>	
4	Супергетеродин. Для начинающих. Что это такое и как работает такой радиоприёмник. Ликбез.	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=rCpyEosCFnc">https://www.youtube.com/watch?v=rCpyEosCFnc</a>	
5	Физика Простейший радиоприемник и принцип его действия	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=wAnD9_qnA1c">https://www.youtube.com/watch?v=wAnD9_qnA1c</a>	
6			
7			



# Дополнительные материалы

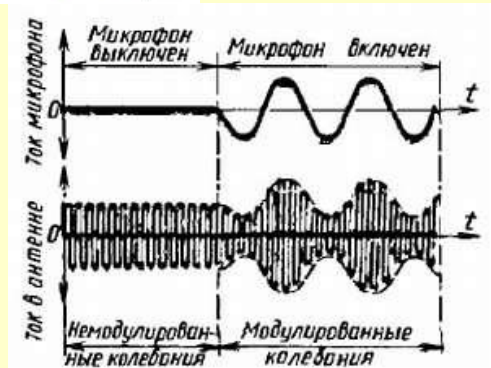
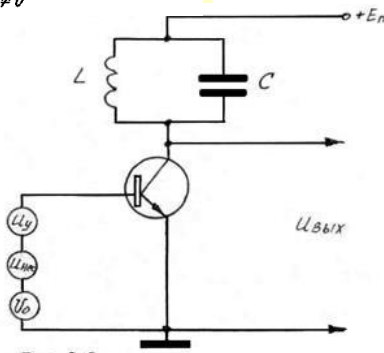
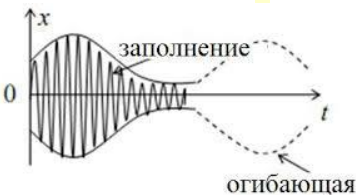
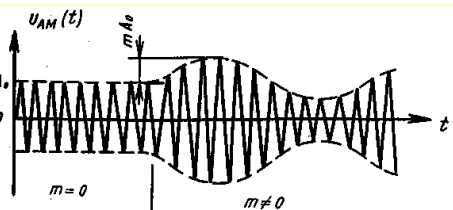
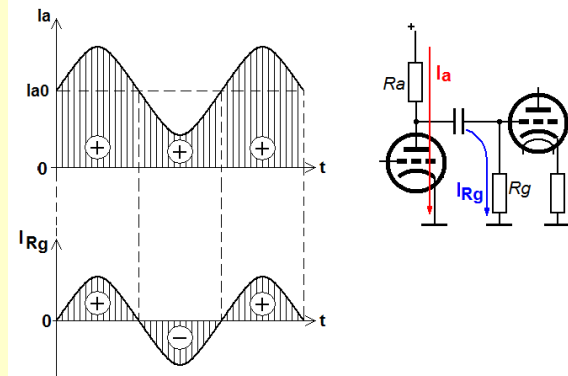
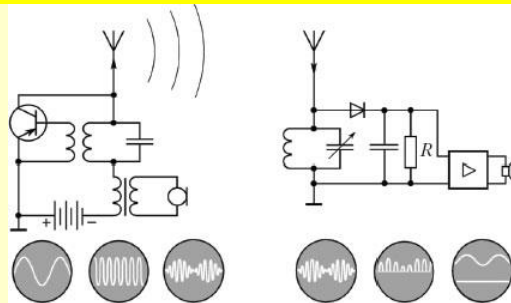
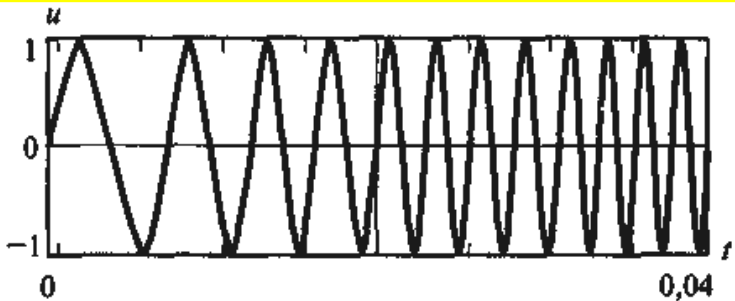


Рис. 2.6

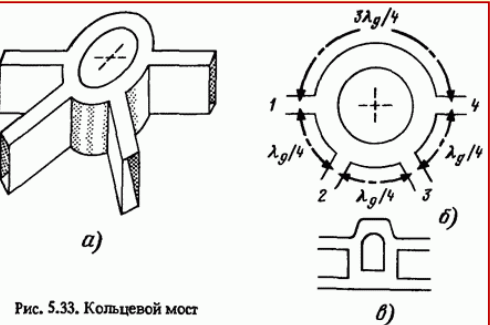


Рис. 5.33. Кольцевой мост

