



УГТУ-УПИ

**Инновационная
образовательная
программа**



Устройства приема и обработки сигналов

Частотные детекторы

Кафедра РЭИС
Доцент Никитин Н.П.
2009



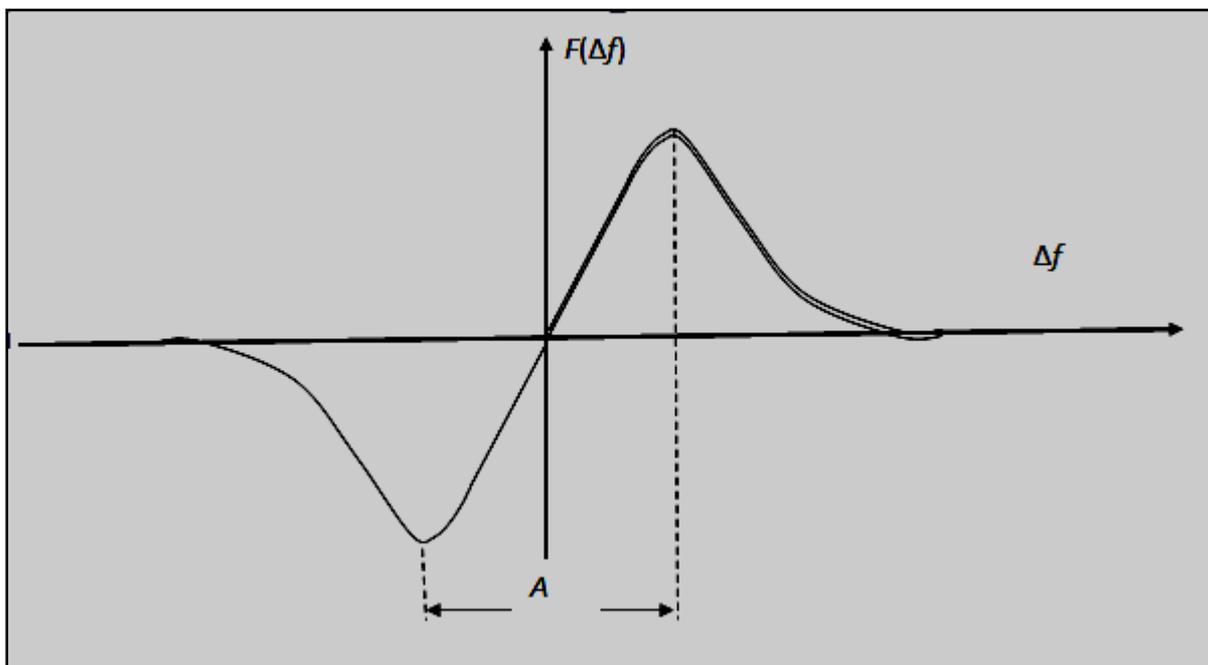
Частотные детекторы

- **Определение и назначение**
- *Частотным детектором* называется устройство, выходное напряжение которого определяется отклонением мгновенной частоты сигнала от номинального значения.
- Выходное напряжение детектора определяется его детекторной характеристикой $U_E = F(\Delta f)$

$$\text{где } \Delta f = f_c - f_{\text{ном}} \cdot$$



Типовая форма детекторной характеристики





Крутизна детекторной характеристики

- Частотный детектор преобразует частотно-модулированный сигнал в низкочастотный, напряжение которого изменяется по закону модуляции входного сигнала. Если на вход детектора с линейной детекторной характеристикой подать испытательный частотно-модулированный сигнал с гармоническим законом модуляции

$$u_{\text{ВХ}} = U_0 \cos\{[\omega_0 + \Delta\omega_{\text{max}} \cos(\Omega t + \theta)]t + \varphi\}$$

то на выходе выделится гармонический сигнал

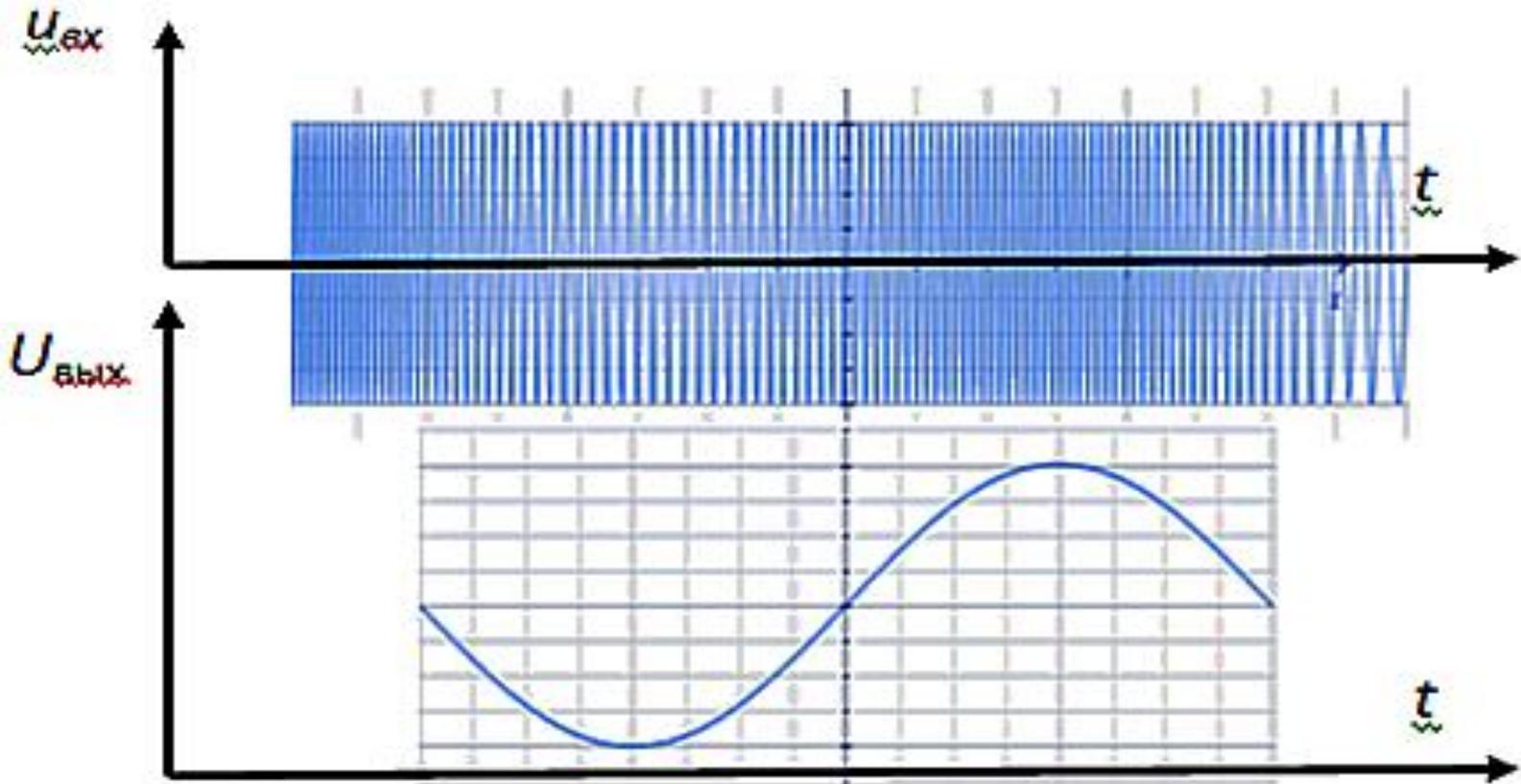
$$u_{\text{ВЫХ}} = S_{\text{чд}} \Delta f_{\text{max}} \cos(\Omega t + \theta).$$

Здесь $S_{\text{чд}} = dU_{\text{в}}/df|_{f=f_0}$ - крутизна детекторной характеристики. Этот параметр играет роль размерного коэффициента передачи с размерностью В/Гц. В пределах апертюры детекторной характеристики принимают

$$u_{\text{ВЫХ}}(t) = S_{\text{чд}} \Delta f(t)$$



Детектирование частотно-модулированного сигнала





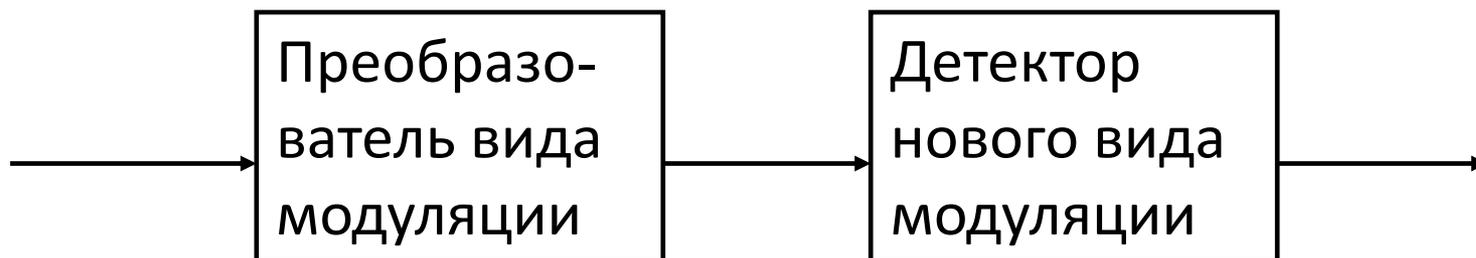
Основные требования к частотному детектору

- Большой коэффициент передачи (большая крутизна характеристики $S_{чд}$);
- минимальный уровень вносимых при детектировании линейных и нелинейных искажений;
- высокое входное сопротивление;
- минимальное напряжение сигнальной частоты на выходе.



Классификация частотных детекторов

- Демодуляция частотно-модулированных колебаний производится в два этапа. На первом этапе осуществляется преобразование вида модуляции, на втором этапе осуществляется демодуляция колебаний нового вида модуляции.



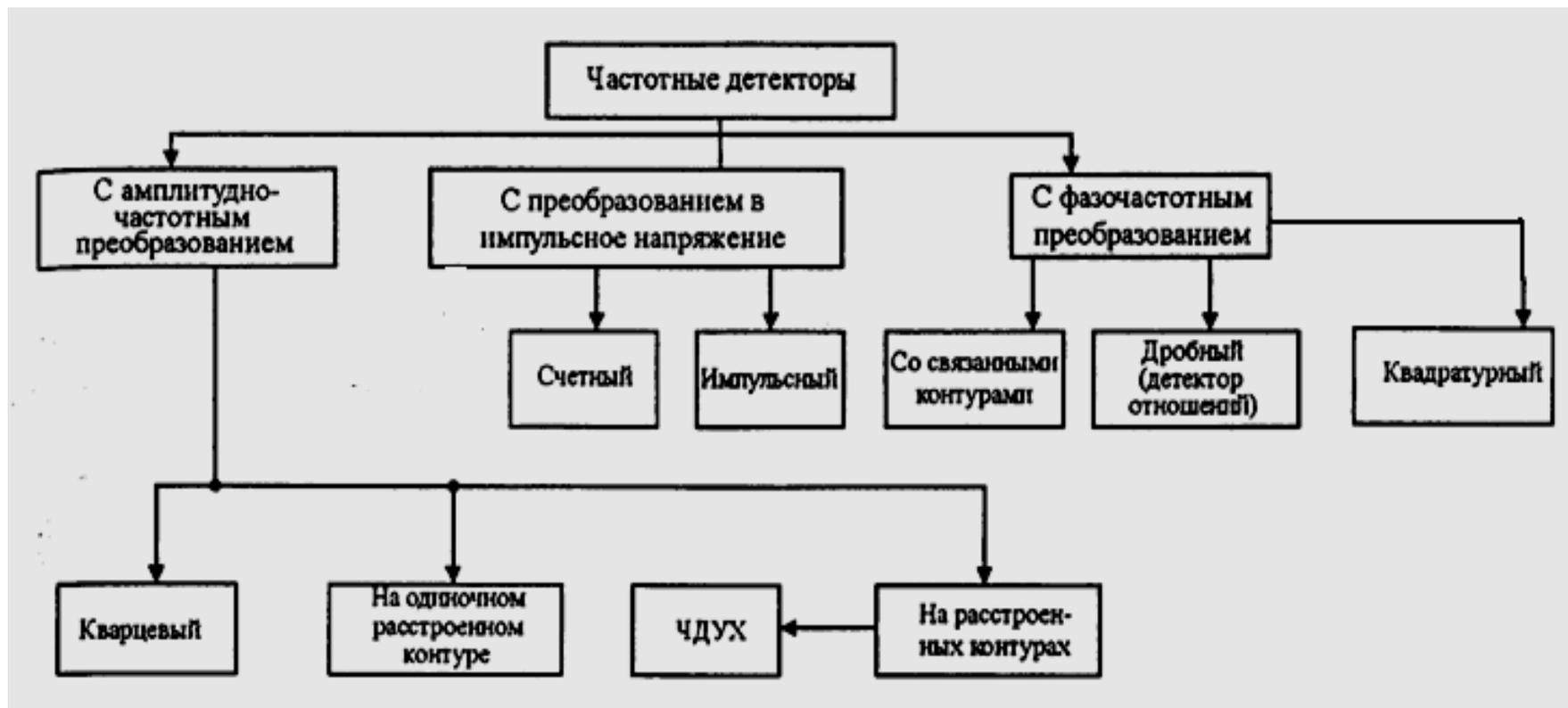


Классификация частотных детекторов

- В связи с тем, что частотная модуляция может быть преобразована в несколько различных видов модуляции (амплитудная, фазовая, импульсная), а также возможно использование разных видов детекторов каждого нового вида модуляции, существует большое разнообразие частотных детекторов.
- В зависимости от того, в какой новый вид модуляции осуществляется преобразование, различают частотные детекторы с преобразованием отклонений частоты в отклонения амплитуды, с преобразованием отклонений частоты в отклонения фазы и с преобразованием частотной модуляции в импульсную.



Классификация частотных детекторов





- Преобразование отклонений частоты в отклонения амплитуды можно выполнить на одиночном колебательном контуре, используя скат его амплитудно-частотной характеристики, но более линейное преобразование производится на базе двух расстроенных контуров.
- Для преобразования отклонений частоты в отклонения фазы можно использовать либо одиночный колебательный контур, либо систему связанных контуров.
- При преобразовании отклонений частоты в параметры импульсного колебания используют либо подсчет числа импульсов сигнала в эталонном интервале (частотомер), либо подсчет числа эталонных импульсов в одном периоде колебаний сигнала (периодомер), либо модификации этих методов.

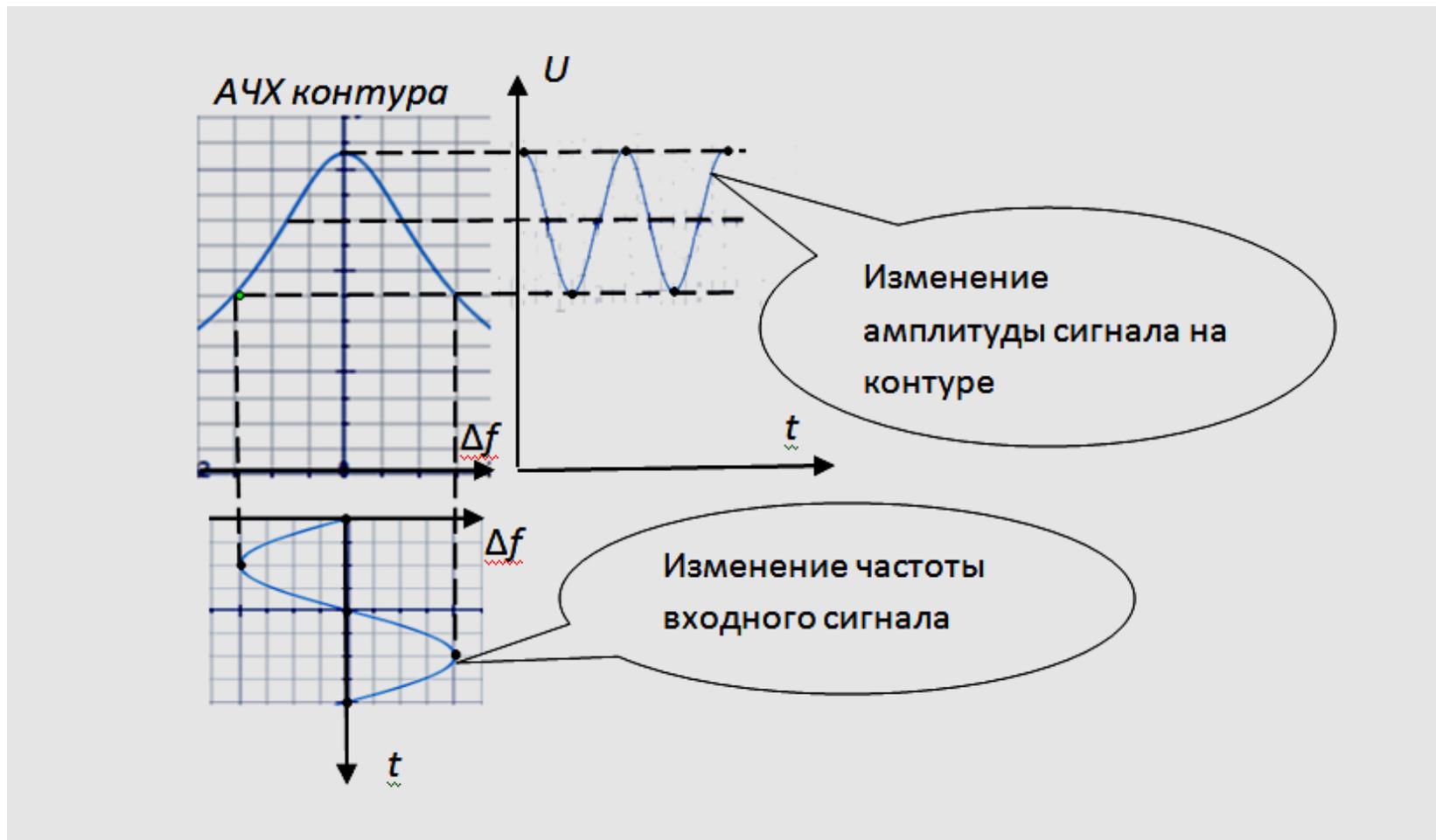


Паразитная амплитудная модуляция и ее устранение

- При формировании, усилении и преобразовании частотно-модулированного сигнала неизбежно возникает паразитная амплитудная модуляция (сопутствующая ПАМ).
- Механизм возникновения ПАМ можно проследить, рассматривая прохождение частотно-модулированного сигнала через колебательный контур .



Возникновение сопутствующей ПАМ





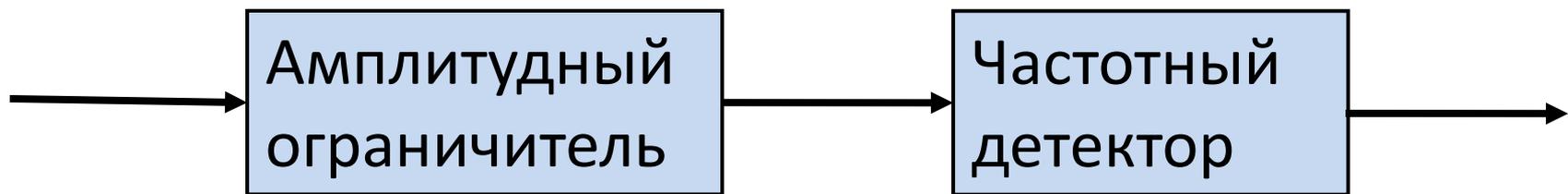
За время одного периода колебания частоты модуляции вследствие неравномерности амплитудно-частотной характеристики контура возникает два периода паразитной амплитудной модуляции.

Обычно частотные детекторы чувствительны к изменениям амплитуды входного сигнала (крутизна детекторной характеристики изменяется пропорционально уровню входного сигнала), поэтому за счет ПАМ при детектировании возникают нелинейные искажения закона модуляции.

Сопутствующая ПАМ в первую очередь приводит к появлению второй гармоники частоты модуляции в выходном сигнале детектора.



Для того, чтобы устранить нелинейные искажения при детектировании частотно-модулированных сигналов, паразитная амплитудная модуляция устраняется путем применения амплитудного ограничителя перед частотным детектором.

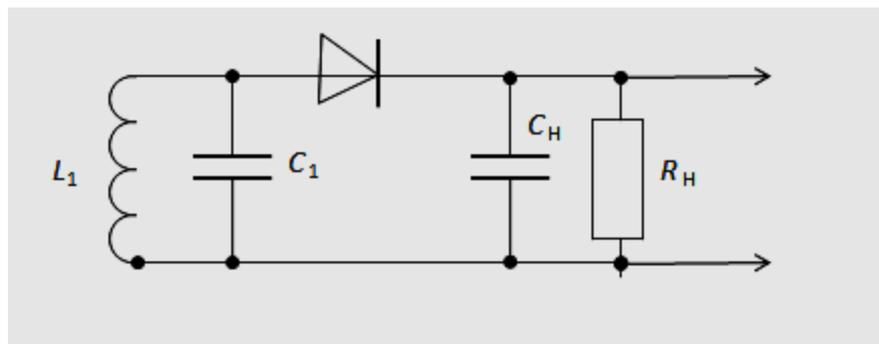




Частотные детекторы на расстроенных контурах

- Простой преобразователь вида модуляции типа ЧМ-АМ может быть выполнен на одиночном расстроенном колебательном контуре.
- Для этого следует установить настройку контура таким образом, чтобы частота немодулированной несущей соответствовала середине наиболее линейного участка спада амплитудно-частотной характеристики контура.
- При изменении частоты несущего колебания под воздействием модуляции амплитуда напряжения на контуре будет изменяться в соответствии с законом модуляции. Подключив к контуру обычный амплитудный детектор, можно выделить модулирующее колебание.

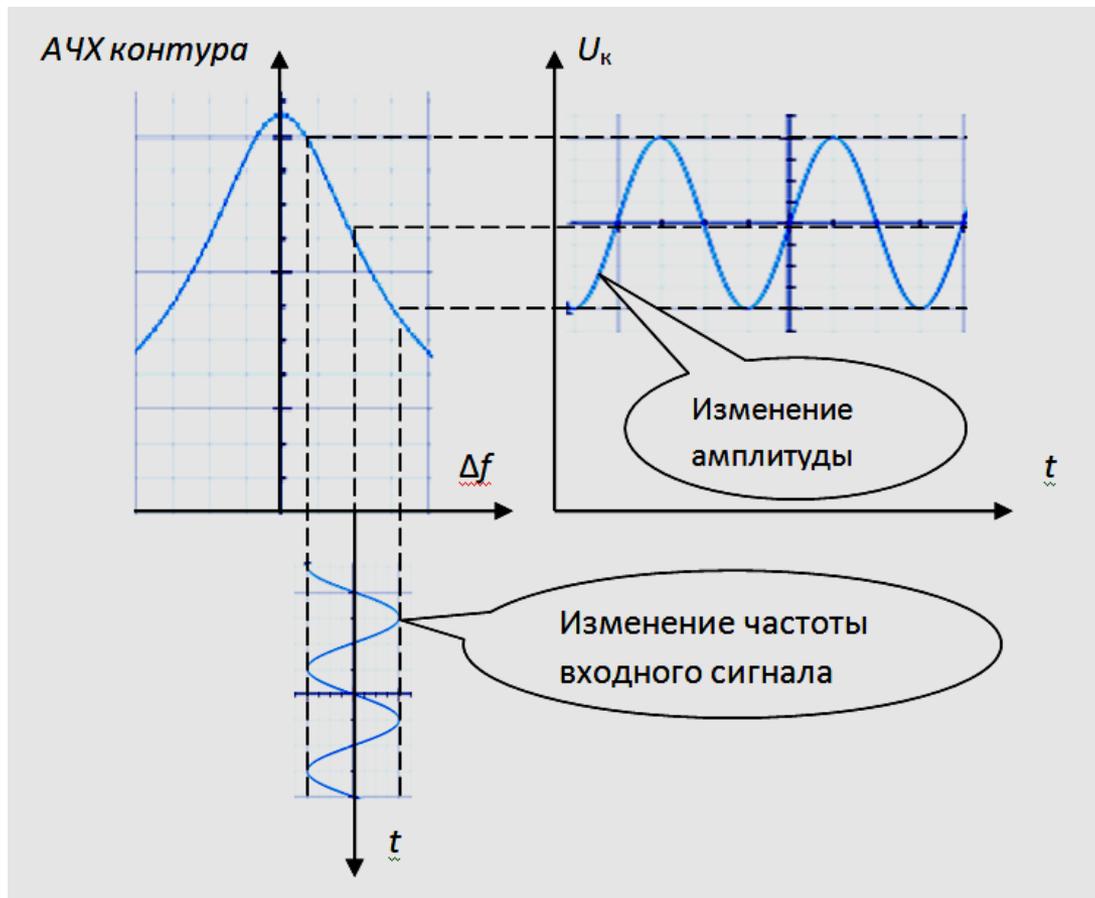
Частотный детектор на расстроенном контуре



- **Достоинством** такого детектора является его простота, **недостатком** – большие нелинейные искажения, вызванные нелинейностью детекторной характеристики

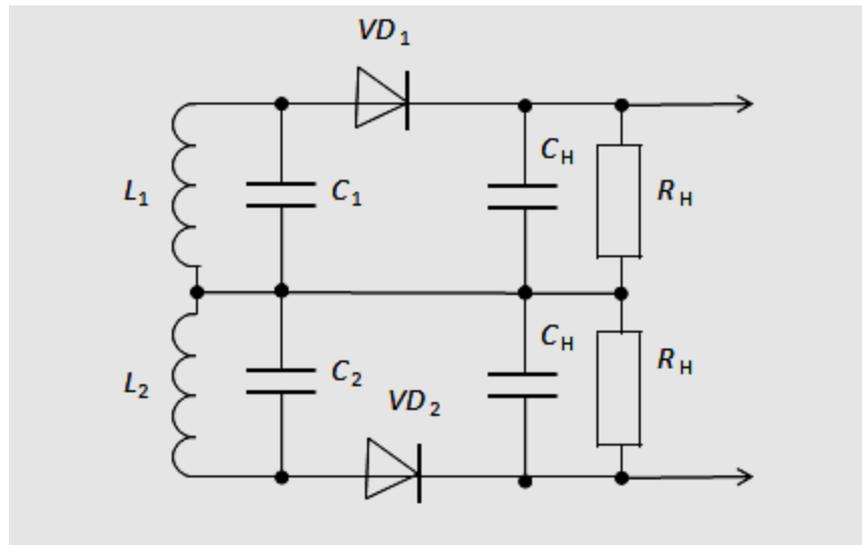


Преобразование ЧМ-АМ на расстроенном колебательном контуре



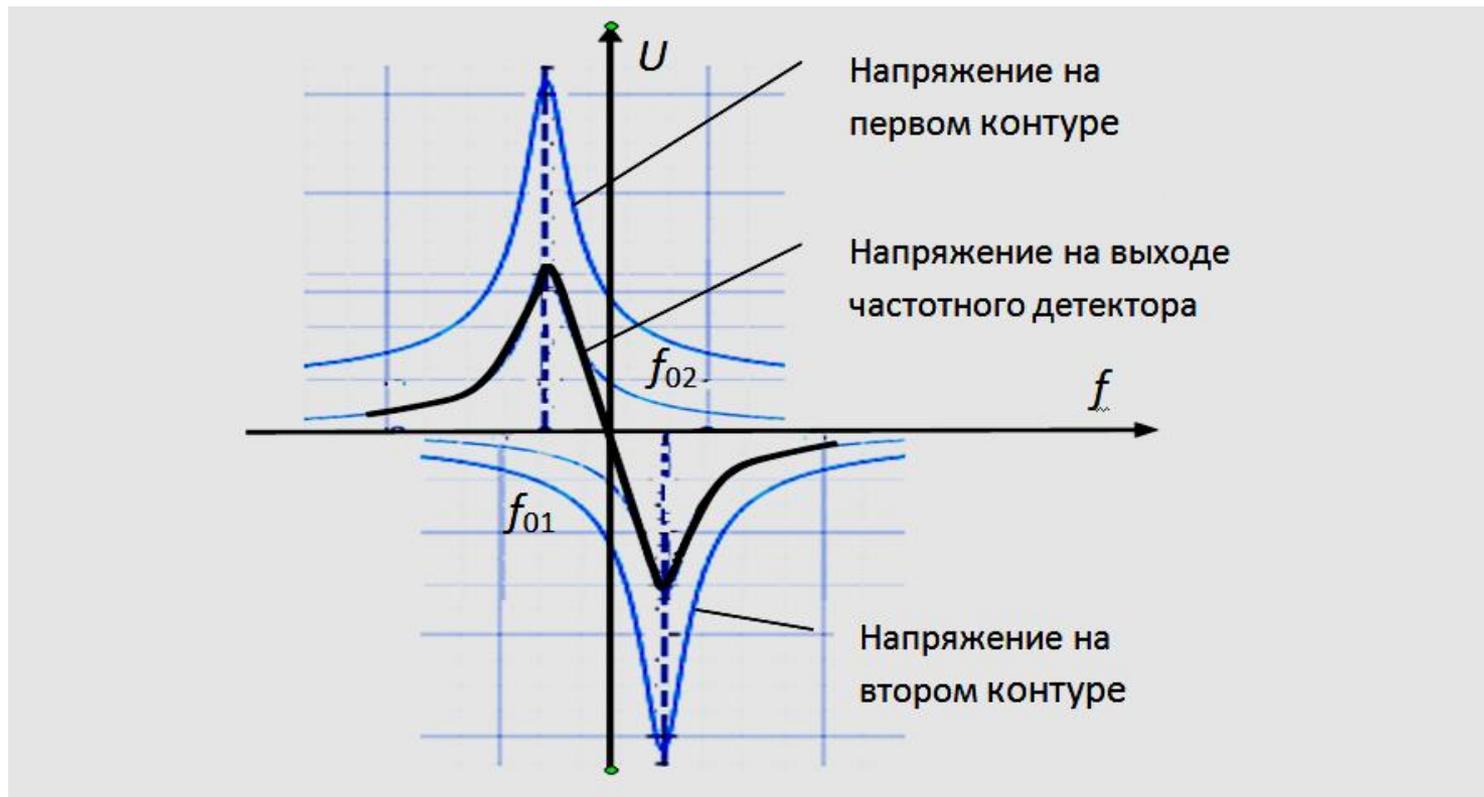
Балансный частотный детектор с взаимно расстроенными контурами

- В преобразователе используется два расстроенных в разные стороны колебательных контура.





Формирование характеристики преобразования ЧМ-АМ в балансном частотном детекторе



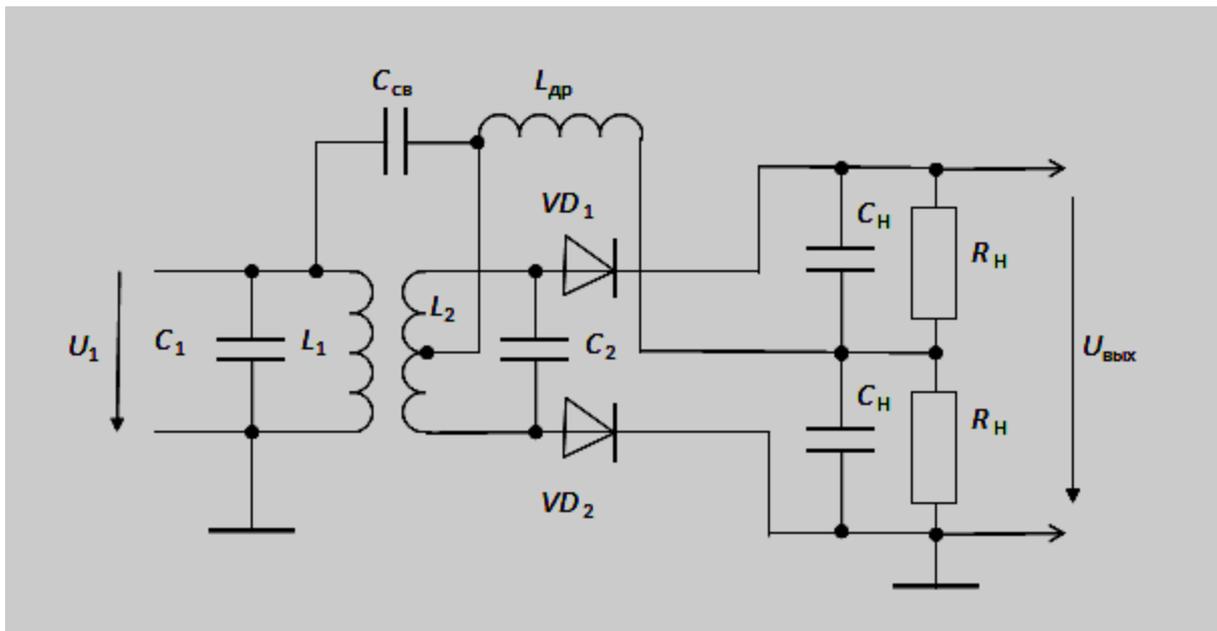


Балансный частотный детектор с взаимно расстроенными контурами

- Выходные напряжения амплитудных детекторов вычитаются при формировании выходного напряжения частотного детектора. В результате получается **достаточно протяженный и линейный участок детекторной характеристики с высокой крутизной** .
- К **недостаткам** балансного частотного детектора на расстроенных контурах относятся:
 - **чувствительность к ПАМ** (перед детектором необходим амплитудный ограничитель);
 - **повышенная сложность настройки двух контуров на разные частоты**.

Частотный детектор на связанных контурах

- Схема частотного детектора на связанных контурах





Два контура с индуктивно-емкостной связью, настроенные на частоту несущего колебания, представляют собой преобразователь вида модуляции типа ЧМ-ФМ.

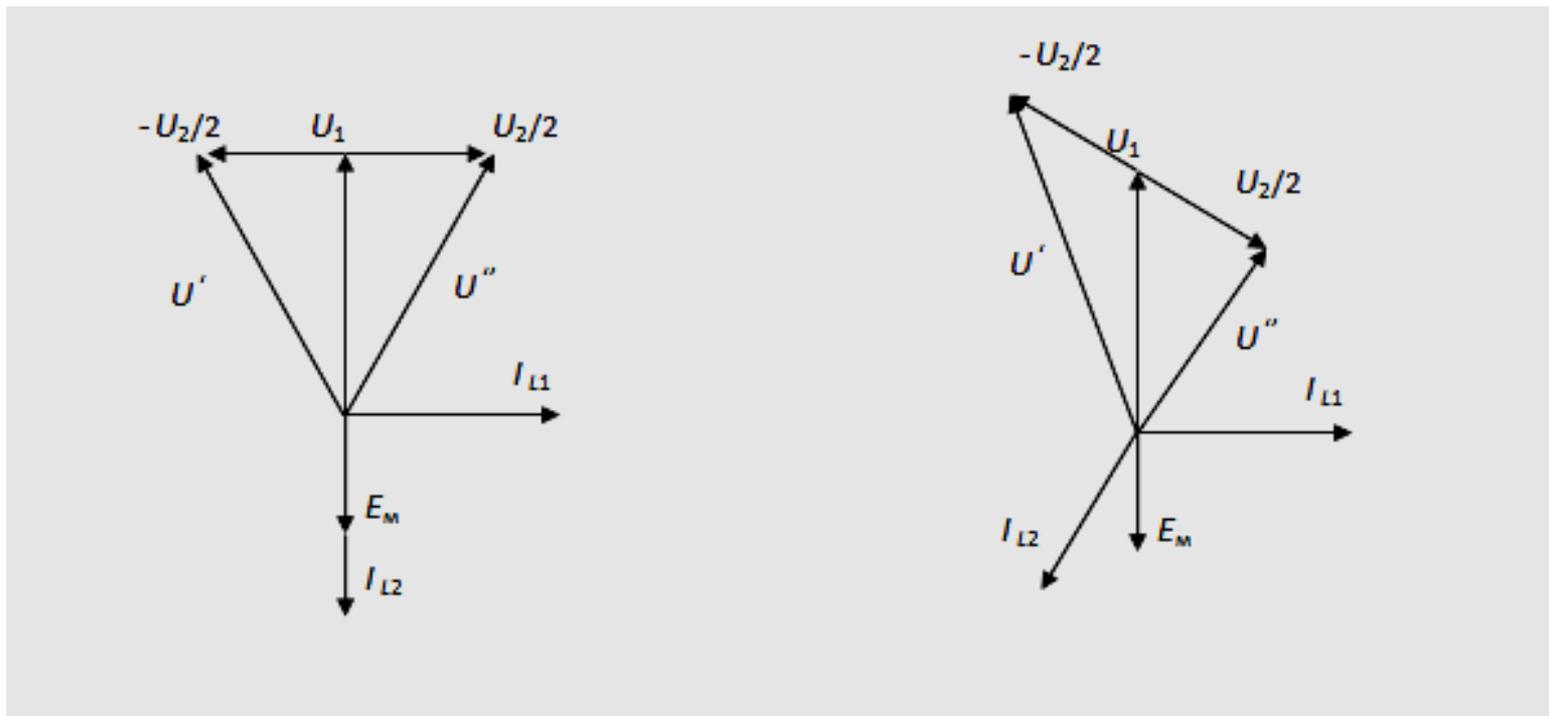
Для детектирования полученного сигнала с фазовой модуляцией используется балансный фазовый детектор.

Частотно-селективные цепи образованы контурами L_1C_1 и L_2C_2 , настроенными на частоту f_0 . Средняя точка индуктивности L_2 соединяется через конденсатор связи $C_{св}$ большой емкости с контуром L_1C_1 . Выходные напряжения каждой частотно-селективной цепи являются геометрической суммой двух составляющих: напряжения на контуре L_1C_1 и половины напряжения на контуре L_2C_2 .



Принцип действия частотного детектора со связанными контурами

- Векторные диаграммы работы частотного детектора со связанными контурами





Рассмотрим случай, когда частота входного сигнала равна частоте настройки контуров

- При действии напряжения U_1 ток через индуктивность L_1 отстает от напряжения по фазе на 90° . ЭДС взаимной индукции E_M в контуре L_2C_2 отстает по фазе от тока I_{L1} также на 90° (может иметь опережение по фазе на 90° , что не меняет результата в принципе).
- Ток I_{L2} в последовательном контуре L_2C_2 совпадает по фазе с вызвавшей его ЭДС, так как настроен на частоту сигнала.
- Напряжения на верхней и нижней половине катушки L_2 сдвинуты по отношению к току I_{L2} на 90° и противоположны по знаку.
- Напряжения на диодах U' и U'' , получаемые суммированием векторов, оказываются равными по величине, и выходное напряжение частотного детектора при одинаковых коэффициентах передачи амплитудных детекторов равно нулю, так как оно определяется разностью их выходных напряжений.



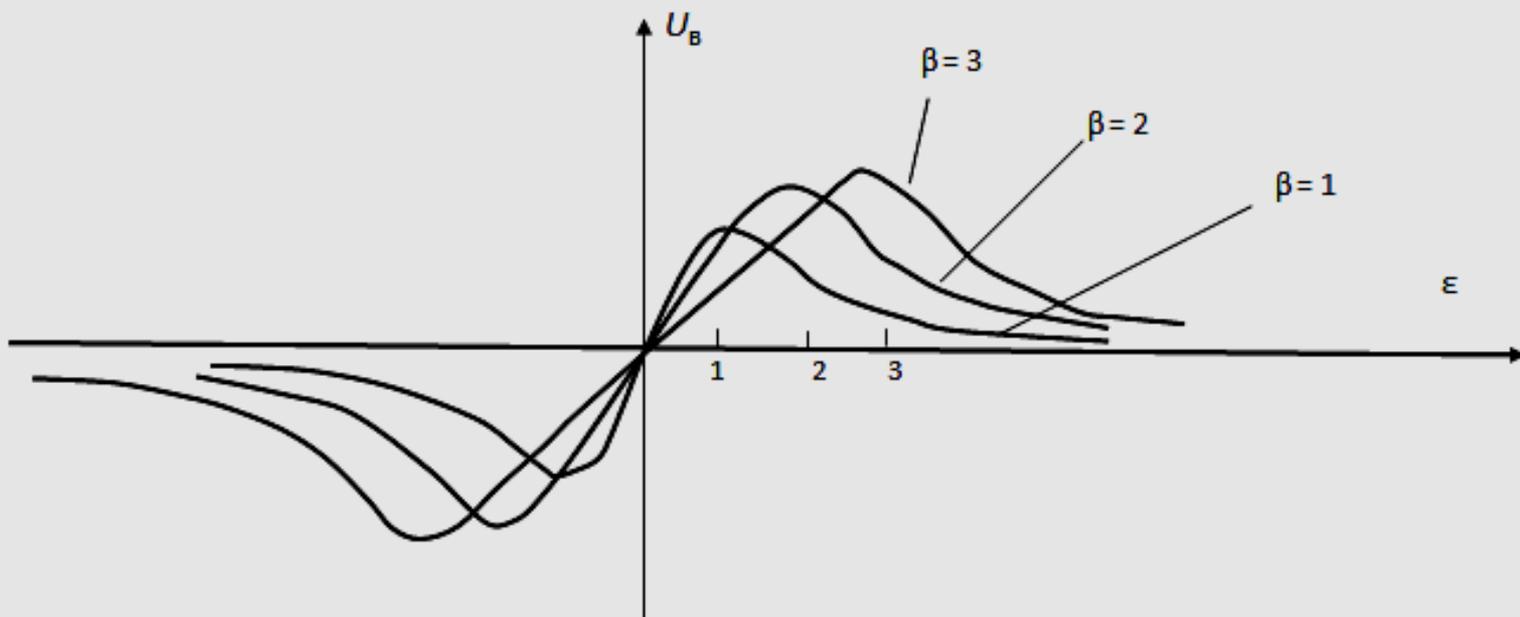
Если частота входного сигнала несколько выше частоты настройки контуров

- В первом приближении величины и фазы векторов U_1 , I_{L1} и E_M останутся такими же, как и при резонансе.
- В отличие от ранее рассмотренного случая, ток I_{L2} в последовательном контуре L_2C_2 не совпадает по фазе с вызвавшей его ЭДС (сопротивление контура носит индуктивный характер). Поэтому напряжения на диодах оказываются различной величины, продетектированные амплитудными детекторами напряжения также различны, и в выходном напряжении частотного детектора появляется постоянная составляющая $U_B = K_D(U' - U'')$.



Форма детекторной характеристики частотного детектора со связанными контурами

$$F(\varepsilon) = \frac{\sqrt[2]{1 + (\varepsilon + 0.5\beta)^2} - \sqrt[2]{1 + (\varepsilon - 0.5\beta)^2}}{\sqrt[2]{(1 + \beta^2 - \varepsilon^2)^2 + 4\varepsilon^2}}$$



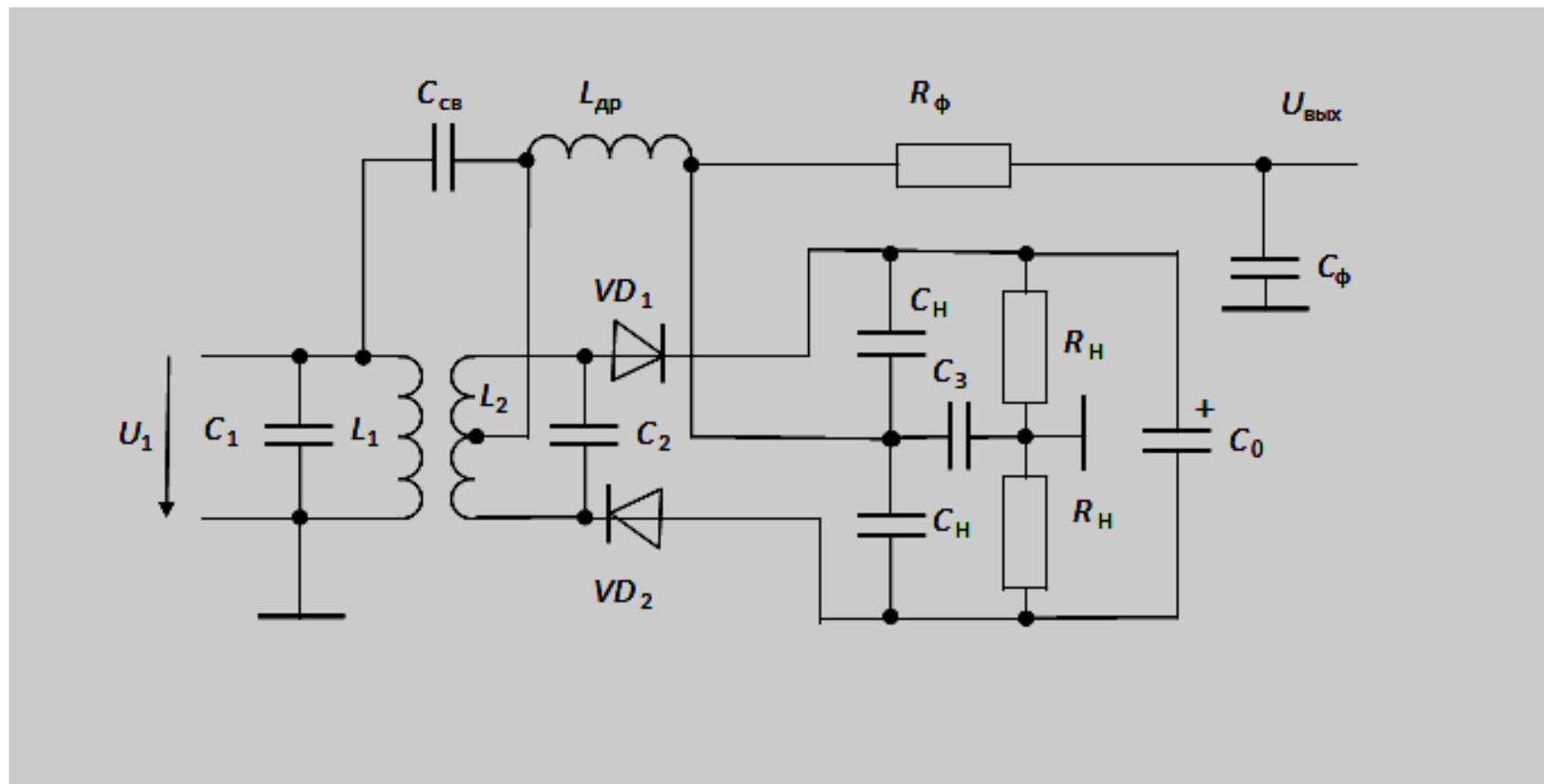


Детектор отношений

- В детекторе отношений используется такой же преобразователь вида модуляции, как и в детекторе на связанных контурах. Поэтому его можно считать модификацией ранее рассмотренной схемы.
- Видоизменение схемы позволяет сделать детектор отношений **нечувствительным к паразитной амплитудной модуляции**. Вследствие того, что в его работе сочетаются процессы амплитудного ограничения и детектирования, отпадает необходимость в отдельном амплитудном ограничителе.



Схема детектора отношений





Изменения в схеме

По сравнению со схемой частотного детектора на связанных контурах вводятся следующие изменения:

- изменяется полярность включения одного из диодов;
- параллельно сопротивлениям нагрузки детекторов включается большая емкость C_0 ;
- общая точка соединения сопротивлений нагрузки заземляется;
- вводится дополнительная емкость C_3 , с которой снимается выходное напряжение.



- Величина емкости C_0 выбирается таким образом, чтобы постоянная времени цепей заряда-разряда этой емкости была много больше периода паразитной амплитудной модуляции сигнала. В этом случае на емкости устанавливается практически постоянной напряжение E_0 . Это напряжение зависит от среднего уровня сигнала и определяет величину постоянного смещения на диодах.
- При изменении амплитуды сигнала, вызванном паразитной амплитудной модуляцией, изменяется угол отсечки напряжения диодами и их входное сопротивление.



- При **временном увеличении амплитуды, вызванном ПАМ**, угол отсечки увеличивается, и это приводит к уменьшению коэффициентов передачи детекторов и уменьшению входного сопротивления диодов.
- Возрастает шунтирование колебательного контура детекторами, и его добротность и резонансное сопротивление уменьшаются.
- Уменьшение резонансного сопротивления контура приводит к уменьшению коэффициента усиления каскада, нагруженного на детектор.
- Уменьшение добротности приводит к снижению крутизны фазовой характеристики контура и, следовательно, к уменьшению крутизны преобразования отклонений частоты в отклонения фазы.
- В сумме эти факторы уменьшают коэффициент передачи детектора при увеличении амплитуды сигнала.

При **уменьшении амплитуды** сигнала коэффициент передачи, наоборот, увеличивается.

При соответствующем выборе параметров можно получить значительное подавление паразитной амплитудной модуляции сигнала.



При неправильном выборе параметров детектора возможно либо переограничение, либо недоограничение амплитуды сигнала. Чтобы избежать этих явления в схему вводятся регулирующие и симметрирующие сопротивления.

При паразитной амплитудной модуляции напряжения на емкостях нагрузки $C_{н1}$ и $C_{н2}$ меняются согласованно. При частотной модуляции соотношение напряжений на емкостях изменяется. Выходное напряжение детектора зависит от отношения напряжений на емкостях нагрузки (это определило название детектора)

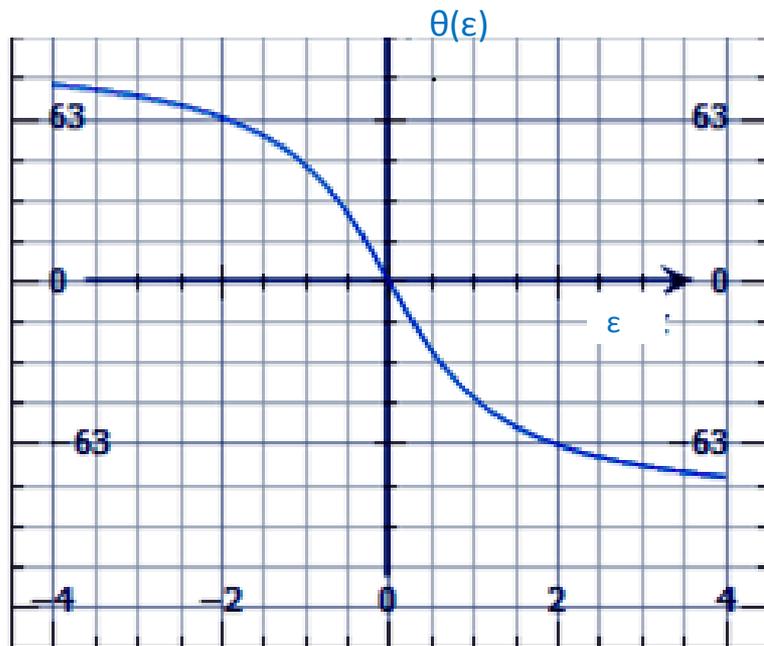
$$U_{\text{вых}} = \frac{E_0 (u_{c1}/u_{c2}) - 1}{2 (u_{c1}/u_{c2}) + 1}.$$

Недостатком детектора отношений по сравнению с обычным детектором на связанных контурах является пониженное вдвое значение коэффициента передачи.



Квадратурный частотный детектор

- Для преобразования отклонений частоты в отклонения фазы может быть использована фазочастотная характеристика колебательного контура $\theta(\varepsilon) = -\arctg(\varepsilon)$.



Характеристика достаточно линейна в области обобщенных расстройек $|\varepsilon| < 0,5$.



Структура частотного детектора

- Вслед за преобразователем вида модуляции стоит фазовый детектор.
- Для того, чтобы на частоте настройки контура (при $\varepsilon = 0$) фазовый детектор давал выходное напряжение, равное нулю, необходимо ввести дополнительный фазовый сдвиг между напряжениями, подаваемыми на два входа детектора, на 90° (в квадратуре).

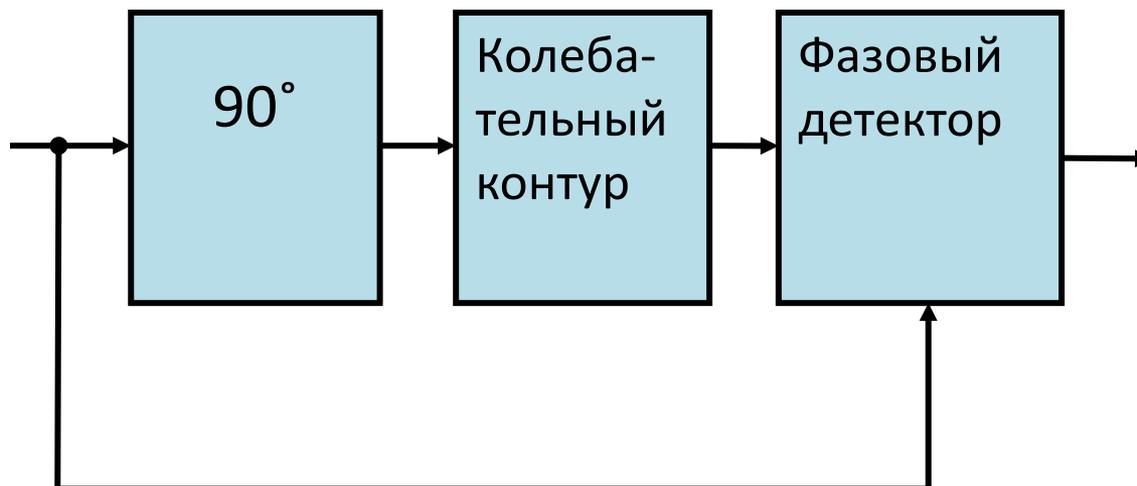
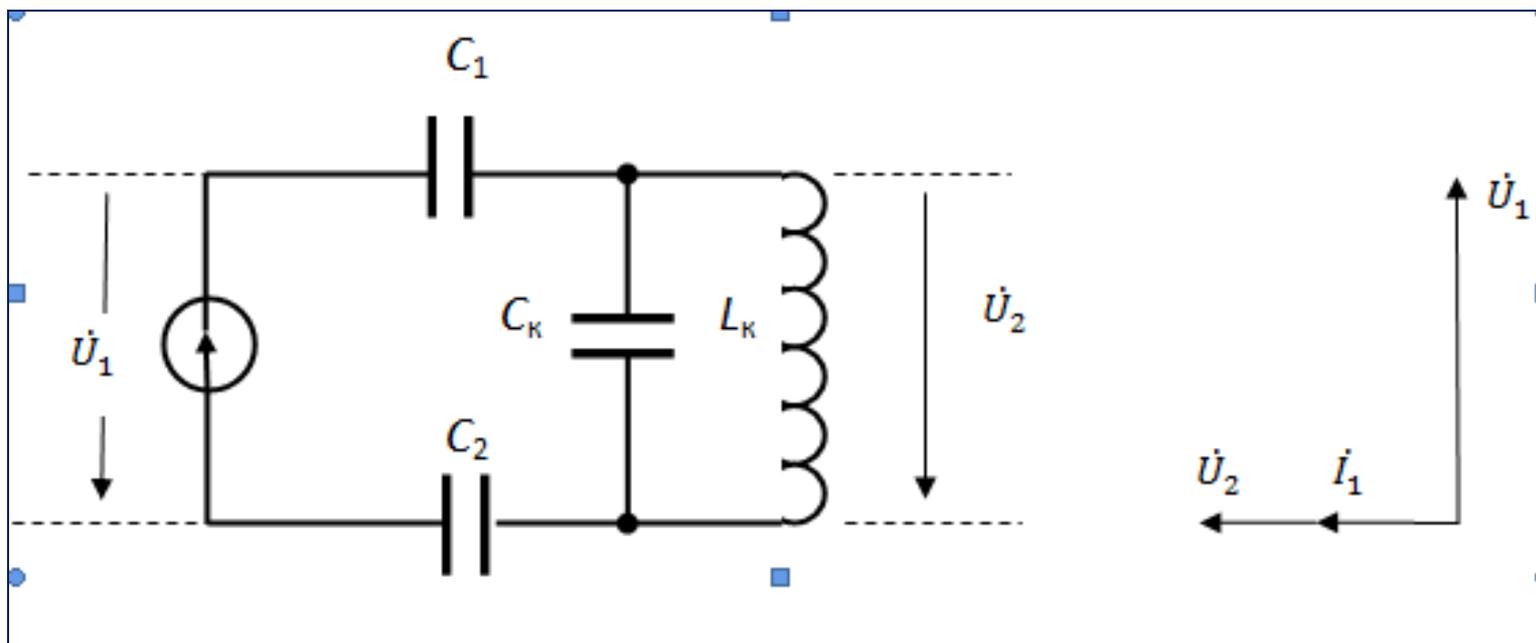




Схема фазосдвигающей цепи и диаграмма напряжений





Емкости $C_1 = C_2$ выбираются таким образом, чтобы общее сопротивление цепи носило емкостный характер. Тогда общий ток в цепи опережает напряжение U_1 на 90° .

При резонансе колебательный контур $C_k L_k$ имеет чисто активное сопротивление. Поэтому напряжение на контуре U_2 совпадает по фазе с протекающим через него током, а, следовательно, находится в квадратуре с входным напряжением.

При отклонениях частоты, вызванных модуляцией сигнала, сопротивление контура принимает соответственно знаку отклонения либо индуктивный, либо емкостный характер, в результате чего фаза выходного напряжения изменяется по закону частотной модуляции входного сигнала.

Для устранения паразитной амплитудной модуляцией перед детектором ставится амплитудный ограничитель.

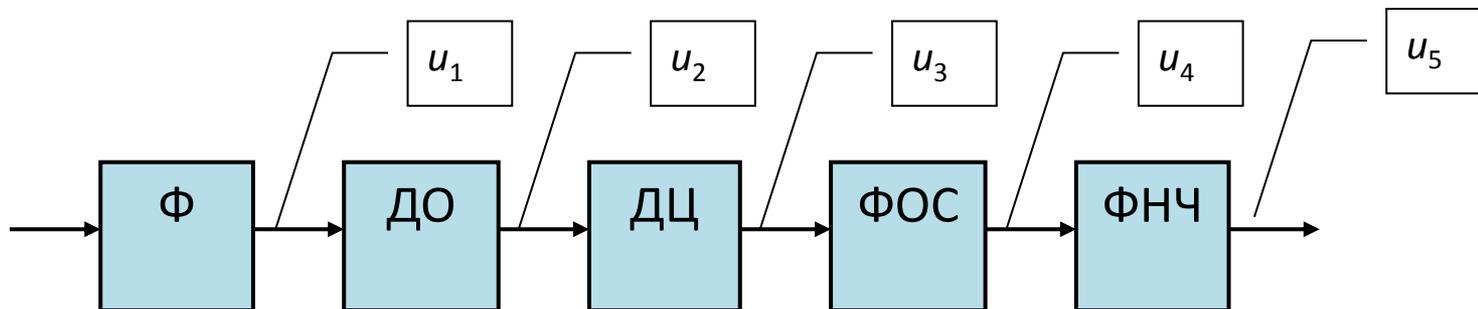


Частотно-импульсный детектор

- Частотно-импульсный детектор содержит преобразователь вида модуляции, преобразующий частотно-модулированный сигнал в последовательность видеоимпульсов.
- В качестве демодулятора последовательности видеоимпульсов может использоваться фильтр нижних частот.
- Такой детектор **не имеет колебательных LC контуров** (не содержит индуктивностей) и **не требует настройки**. Поэтому он часто применяется в микросхемах.



Функциональная схема частотно-импульсного детектора



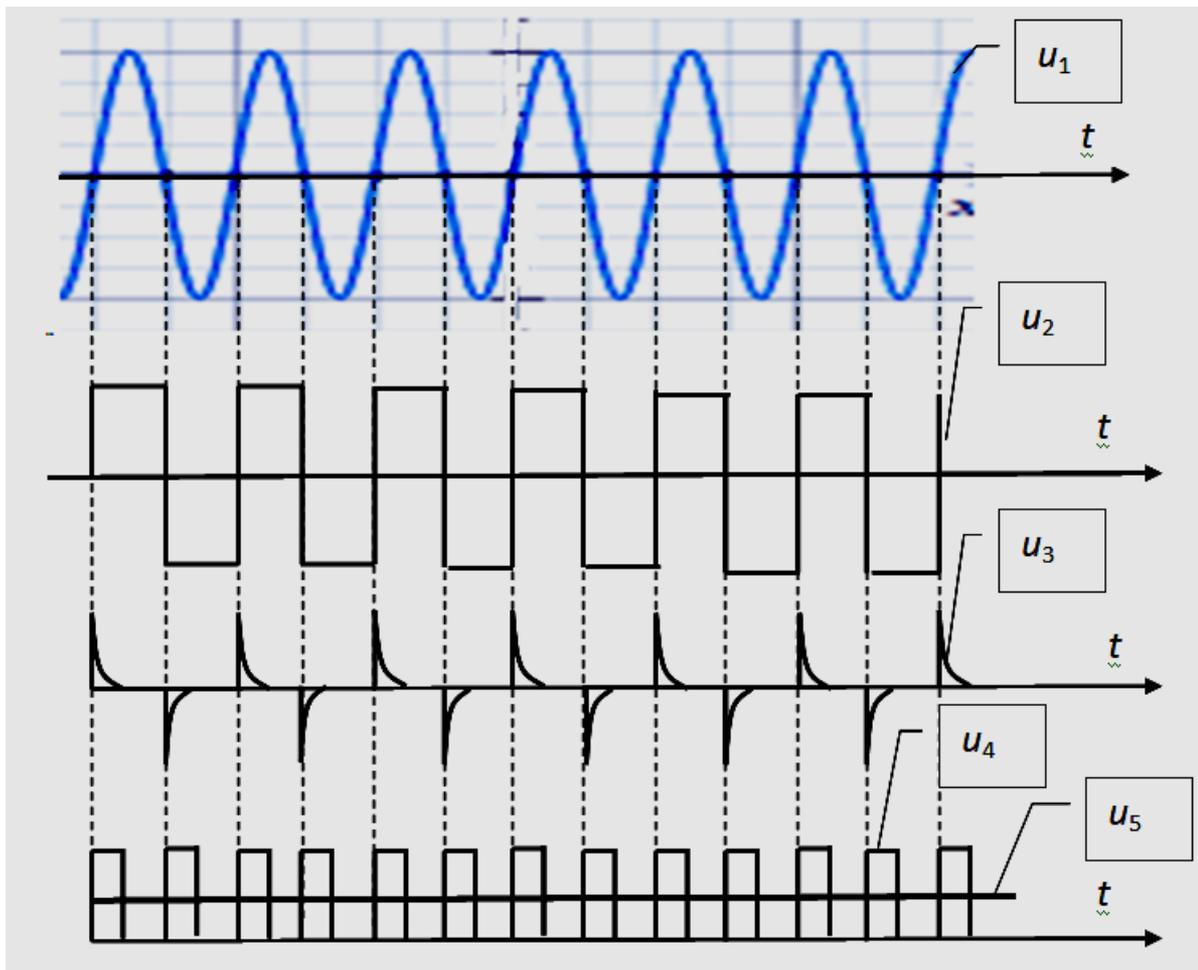
- Ф – фильтр, ограничивающий полосу частот входного сигнала;
- ДО – двухсторонний ограничитель;
- ДЦ – дифференцирующая цепь;
- ФОС – формирователь однополярного сигнала;
- ФНЧ – фильтр нижних частот.



- **Фильтр Φ** выделяет из помех спектр принимаемого сигнала.
- **Двухсторонний ограничитель ДО** преобразует квазигармонический сигнал в **последовательность видеоимпульсов**.
- **Дифференцирующая цепь ДЦ** формирует короткие импульсы в моменты перехода входного сигнала через ноль.
- **Формирователь однополярного сигнала ФОС** формирует однополярные импульсы стандартной амплитуды и длительности. Период следования этих импульсов соответствует полупериоду гармонического колебания на входе.
Число импульсов, приходящееся на единицу времени, прямо пропорционально частоте принимаемого сигнала. Поэтому изменение постоянной составляющей импульсов соответствует закону модуляции.
- **Фильтр нижних частот ФНЧ** выделяет постоянную составляющую последовательности импульсов.



Диаграммы напряжений в последовательных точках схемы



Частотно-импульсный детектор имеет линейную детекторную характеристику в широкой полосе частот



Контрольные вопросы

- Какое устройство называют частотным детектором?
- Какими параметрами характеризуется частотный детектор?
- Что такое сопутствующая паразитная амплитудная модуляция?
- Какие виды частотных детекторов Вам известны?





Спасибо
за
ВНИМАНИЕ

Конец