

ТЕМА 10

АМПЛИТУДНАЯ МОДУЛЯЦИЯ И ДЕТЕКТИРОВАНИЕ

Модуляция - процесс наложения сигнала низкой частоты на электромагнитные волны или процесс управления колебаниями высокой частоты при передаче речи, музыки или телевизионных сигналов.

Ток несущей частоты - переменный ток высокой частоты, протекающий в антенне передатчика при отсутствии сигнала

$$i = I_{m0} \sin(\omega_0 t + \varphi_0),$$

Передаваемые сигналы могут воздействовать на одну из этих величин, поэтому различают *амплитудную, частотную и фазовую модуляцию*.

Амплитудная модуляция (АМ).

Глубина модуляции - степень изменения амплитуды высокочастотного колебания (зависит от силы звука). Чем громче звук, тем больше глубина модуляции.

Коэффициент модуляции - показывает отношение прироста амплитуды тока несущей частоты к амплитуде тока до модуляции. Коэффициент модуляции обычно выражают в процентах.

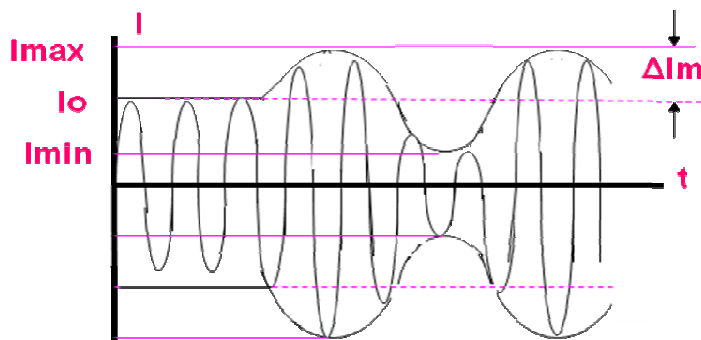


Рис.1

$$m = \frac{\Delta I_m}{I_{m0}} * 100\%$$

Коэффициент модуляции можно представить в другом виде:

$$\mu = \frac{\Delta I_m}{I_0} = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

Выделяют несколько случаев глубины модуляции: $\mu = 0$; $\mu = 1$; $0 < \mu < 1$; $\mu > 1$.

Пусть высокочастотное колебание частотой $\omega = 2\pi f$ описывается выражением $u_\omega = U_{\omega m} \sin(\omega t + \varphi_\omega)$. Под действием управляющего низкочастотного сигнала $u_\Omega = U_{\Omega m} \sin(\Omega t + \varphi_\Omega)$ происходит пропорциональное ему изменение амплитуды высокочастотного колебания

$\Delta U_{\omega m}(t) = \Delta U_{\Omega m} \sin(\Omega t + \varphi_{\Omega})$. Тогда высокочастотное модулированное колебание может быть представлено в виде:

$u_{\omega} = [U_{\omega m} + \Delta U_{\omega m}(t)] \sin(\omega t + \varphi_{\omega})$, где $U_{\omega m}$ – амплитуда немодулированного сигнала, ω – циклическая частота колебаний, $\Delta U_{\omega m}(t)$ – изменение амплитуды сигнала. Или

$$u_{\omega} = (U_{\omega m} + \Delta U_{\omega m} \sin(\Omega t + \varphi_{\Omega})) \sin(\omega t + \varphi_{\omega}) =$$

$$= U_{\omega m} \sin(\omega t + \varphi_{\omega}) + \frac{1}{2} m U_{\omega m} \cos((\omega - \Omega)t + (\varphi_{\omega} - \varphi_{\Omega})) - \frac{1}{2} m U_{\omega m} \cos((\omega + \Omega)t + (\varphi_{\omega} + \varphi_{\Omega}));$$

$$\sin(x) \sin(y) = \frac{1}{2} [\cos(x - y) - \cos(x + y)]$$

Где $m = \Delta U_{\omega m} / U_{\omega m}$ – глубина модуляции.

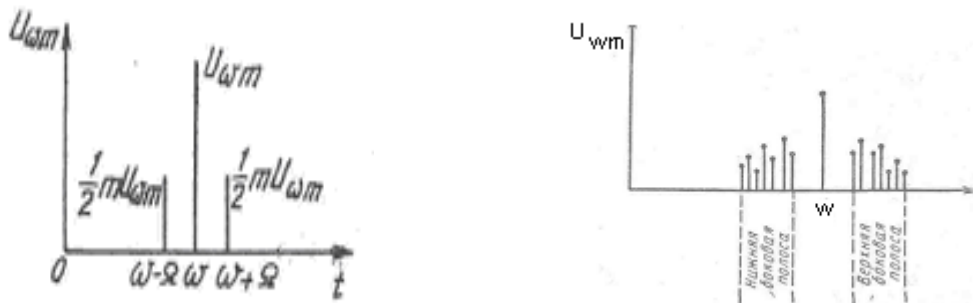


Рис.2 (а,б)

На рис.2,а показана спектральная диаграмма АМ колебания при модуляции одним тоном. Видно, что модулированное колебание содержит три составляющие:

колебание *несущей* частоты ω и амплитудой $U_{\omega m}$;

колебание *верхней боковой* частоты $\omega + \Omega$ и амплитудой $\frac{1}{2} m U_{\omega m}$

колебание *нижней боковой* частоты $\omega - \Omega$ и амплитудой $\frac{1}{2} m U_{\omega m}$

При модуляции сложным звуком, каждый простой звук (т.е. тон), даст свою пару боковых частот, образуя верхнюю и нижнюю боковые полосы частот (рис.2,б). Очевидно, что ширина спектра будет зависеть от наивысшей частоты модуляции, т.е. будет равна удвоенной верхней частоте модуляции 2Ω .

Базовая АМ смещением.

Устройство базовой амплитудной модуляции смещением (рис. 3) является нелинейным резонансным генератором (рис.3,а) (или усилителем (рис.3,б))

гармонических высокочастотных колебаний с контуром LC в цепи коллектора, катушкой положительной обратной связи L_{oc} , и транзистором.

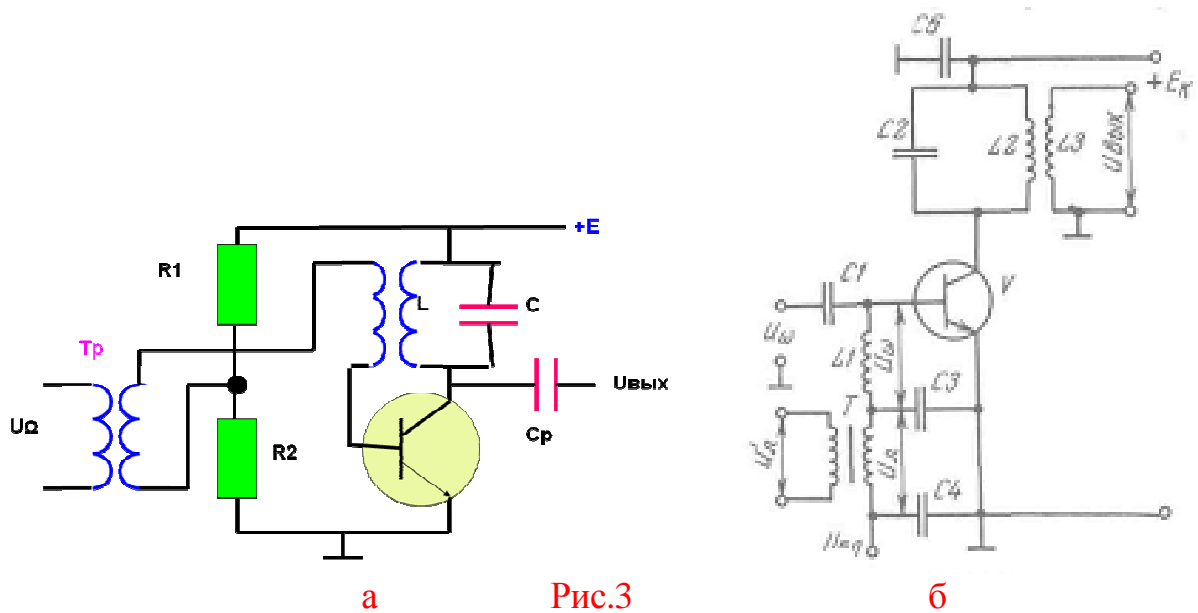


Рис.3

Добротность контура и не должна быть слишком низкой, иначе контур потеряет свои фильтрующие свойства.

Работа устройства рис. 3б. К базе транзистора подводится постоянное напряжение U_{bn} напряжение высокой частоты U_{ω} и управляющий сигнал низкой частоты U_{Ω} . Конденсатор $C1$ является разделительным, конденсаторы $C3$ и $C4$ — блокировочными. Через конденсатор $C3$ на корпус устройства в обход трансформатора T замыкаются токи высокой частоты, через конденсатор $C4$ в обход источника питания — токи низкой частоты. Катушка $L1$ препятствует короткому замыканию по высокой частоте базы транзистора на корпус устройства. Сопротивление катушки $L1$ переменному току низкой частоты невелико, напряжение U_{Ω} оказывается приложенным к переходу база — эмиттер транзистора.

Работа устройств модуляции. Устройства работают с отсечкой коллекторного тока. Графики на рисунке показывают изменения тока коллектора.

К базе транзистора подводится напряжение u_{Ω} амплитудой $U_{\Omega m}$. В зависимости от значения u_{Ω} изменяется амплитуда импульсов

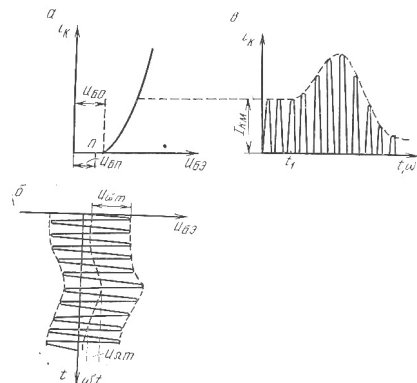


Рис.4

коллекторного тока $I_{км}$.

С целью определения оптимального значения напряжения смещения $U_{БПонт}$ и пределов изменений напряжения u_{Ω} строят статическую модуляционную характеристику (рис. 5), для чего к базе транзистора подводят напряжение определенной амплитуды $U_{ом}$. Изменяя напряжение базы $U_{БП}$, измеряют амплитуду напряжения на контуре $U_{кон.м}$. Отсутствию искажений при модуляции соответствует линейный участок модуляционной характеристики (участок AB).

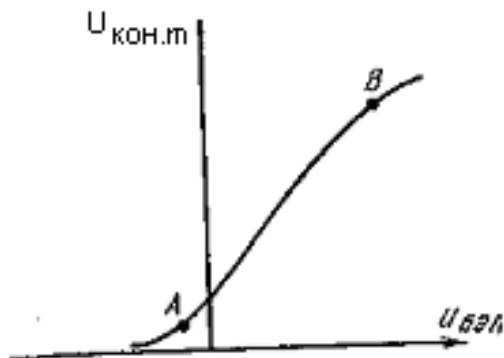


Рис.5

Коллекторная амплитудная модуляция.

Устройство коллекторной модуляции представляет собой резонансный генератор (рис.б,а) или усилитель (рис.бб), работающий в нелинейном режиме, в котором напряжение питания цепи коллектора является пульсирующим.

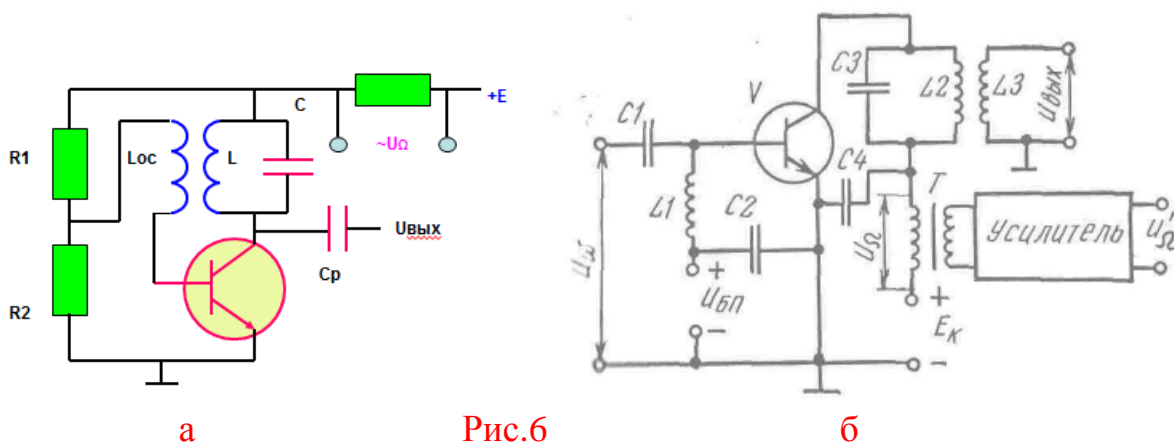


Рис.6

Статическая модуляционная характеристика устройства коллекторной модуляции показывает зависимость амплитуды напряжения на контуре $U_{кон.м}$ от напряжения E_K . Линейность характеристики невысокая.

Детектирование амплитудно-модулированных сигналов.

Детектированием или демодуляцией называется процесс выделения из модулированного высокочастотного колебания сигнала низкой частоты, соответствующего модулирующему сигналу. Детектирование сопровождается преобразованием спектра сигнала и может быть реализовано лишь в нелинейных или параметрических цепях.

При детектировании амплитудно-модулированного сигнала высокочастотное промодулированное колебание $U_{вх}$ преобразуется в напряжения и токи, соответствующие огибающей кривой сигнала $U_{вых}$ низкой частоты (рис. 7).

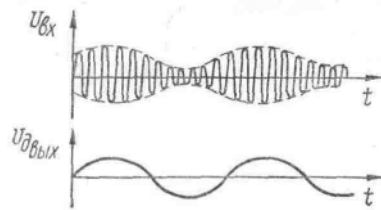
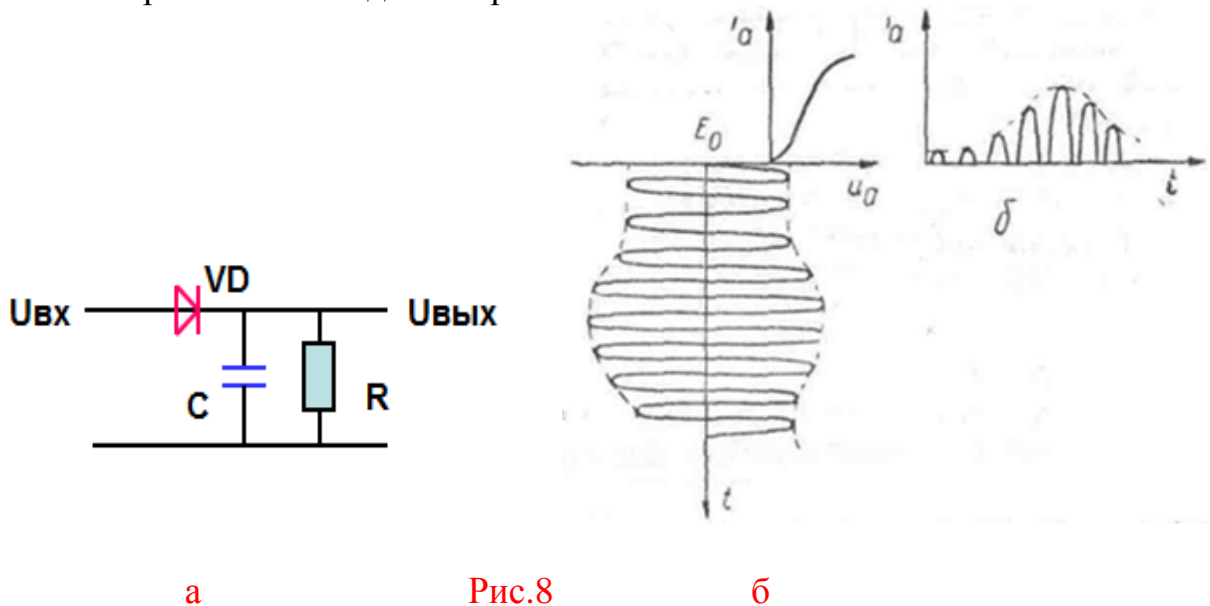


Рис.7

Нелинейный элемент, в котором происходит процесс детектирования, называется детектором.

Диодный детектор (рис.8,а). VD - диод, R —сопротивление нагрузки, C — блокировочный конденсатор.



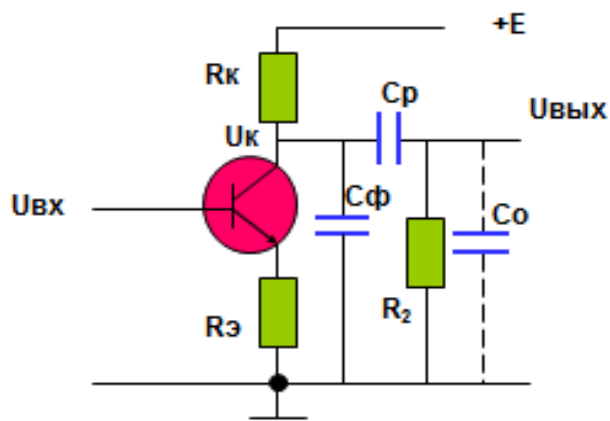
а

Рис.8

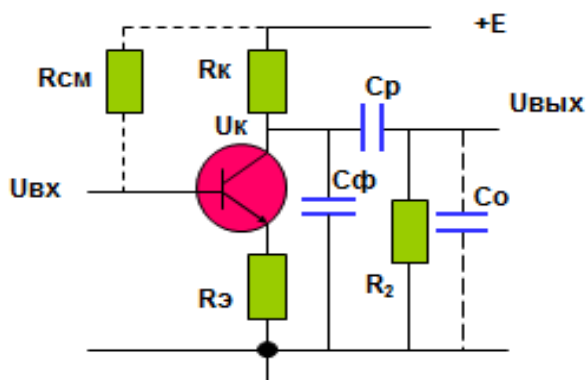
б

Назначение нелинейного элемента — диода — преобразование входного сигнала так, чтобы в нем появилась постоянная составляющая, изменяющаяся по закону огибающей.

Коллекторный детектор сильных (рис. 9,а) и слабых (рис.9,б) сигналов.



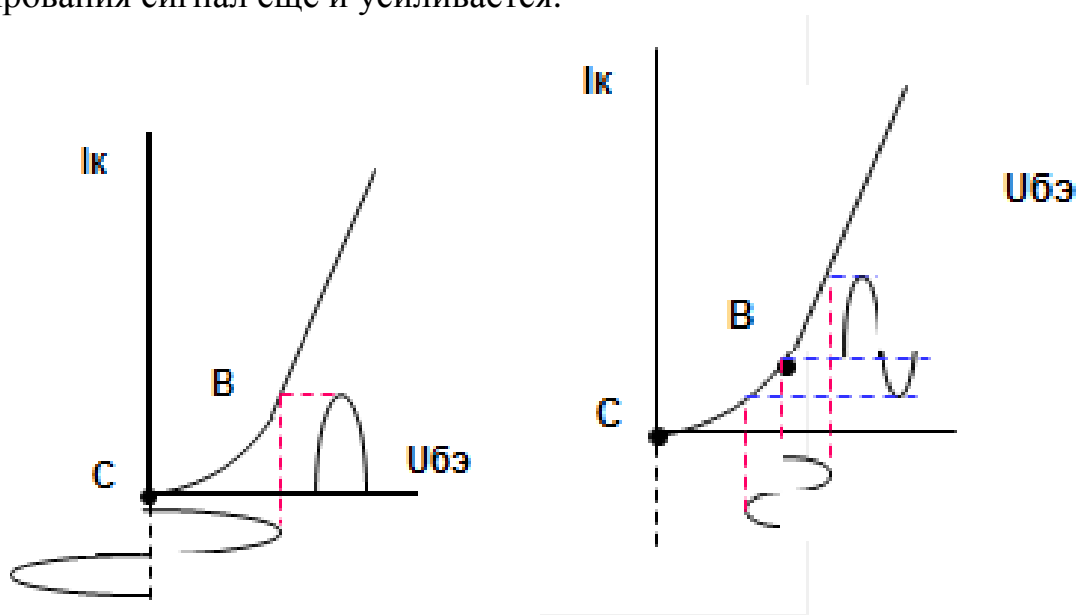
а



б

Рис.9

Работа детектора определяется режимом класса усиления. При детектировании сильных сигналов $R_{см}$ отсутствует и транзистор работает в режиме класса С (рис.10,а). Преимущество в том, что помимо детектирования сигнал еще и усиливается.



а

Рис.10

б

При детектировании слабых сигналов в схему коллекторного детектора вкл. $R_{см}$, перемещающий рабочую точку в класс В (рис.10б).

Частотная модуляция (ЧМ).

Изменение частоты несущих колебаний под воздействием частоты управляющего сигнала называется *частотной модуляцией*.

Из (рис. 11) видно, что при отсутствии сигнала в антенне передатчика протекает немодулированный ток высокой частоты (ток несущей частоты). При воздействии сигнала частота (период) колебания меняется. В течение одного полупериода частота тока в антенне больше несущей частоты, в течение другого — меньше.

Глубина модуляции, т.е. степень воздействия сигнала на несущую частоту, в этом случае оценивается девиацией частоты.

Девиация частоты - наибольшее отклонение ее от среднего значения (от несущей частоты).

На графике рис. 11 показан только принцип частотной модуляции.

Индекс частотной модуляции (m_f) - отношение девиации частоты $\Delta\omega$ к модулирующей частоте Ω

$$m_f = \frac{\Delta\omega_{\max}}{\Omega}$$

Преимущество ЧМ: значительно ослабляет помехи в радиоприемнике.

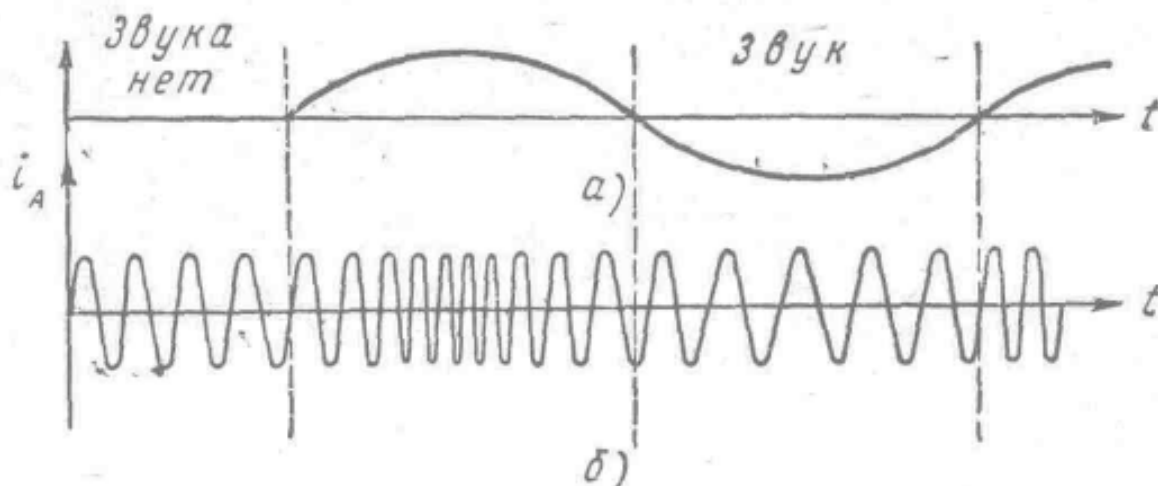


Рис.11

Недостаток: при передаче сигнала длинных, средних и даже коротких волн излучает более широкую полосу частот, чем передатчик АМ. Боковые частоты образуют целый спектр частот кратных Ω .

ЧМ применяется лишь в передающих устройствах диапазона метровых и более коротких волн.

Схема частотной модуляции

Транзистор, колебательный контур в коллекторной цепи, $L_{св}$ образуют генератор гармонических колебаний (рис.12).

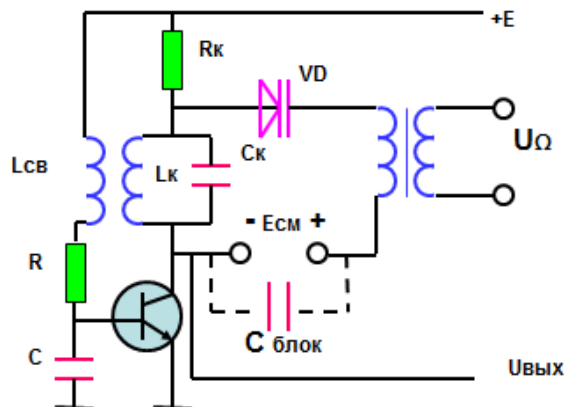
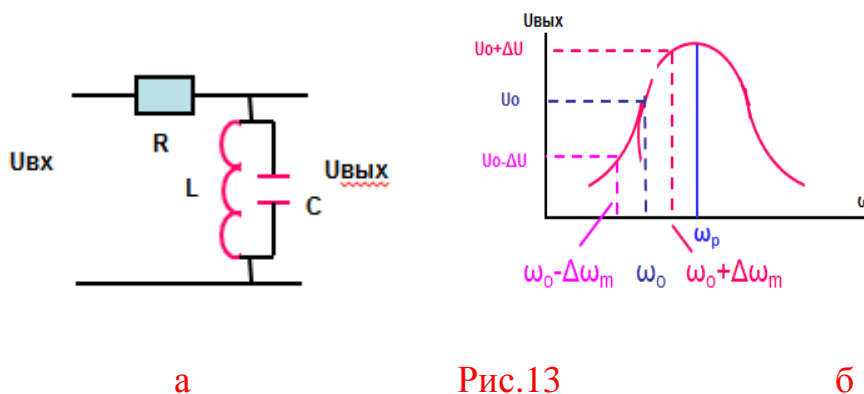


Рис.12

Частота генерации определяется резонансной частотой контура.

Детектирование частотно-модулированных сигналов.

Процесс частотного детектирования фактически состоит из двух процессов: преобразования ЧМ в АМ и детектирования амплитудно-модулированных колебаний. Простейшее устройство преобразования ЧМ в АМ состоит в применении фильтра с колебательным контуром (рис.13,а), резонансная частота которого ω_p несколько отличается от среднего значения частоты ω_0 модулированных колебаний (рис.13,б).



а

Рис.13

б

При изменении частоты в контуре в пределах от $\omega_0 - \Delta \omega_m$ до $\omega_0 + \Delta \omega_m$, амплитуда колебаний в контуре будет также изменяться.

Если приходящее на контур напряжение подать на амплитудный детектор (преобразователь ЧМ в АМ сигнал с амплитудным детектором называется фазовым дискриминатором, рис.14), то на его выходе появится напряжение, изменяющееся по закону отклонения частоты колебаний от среднего значения.

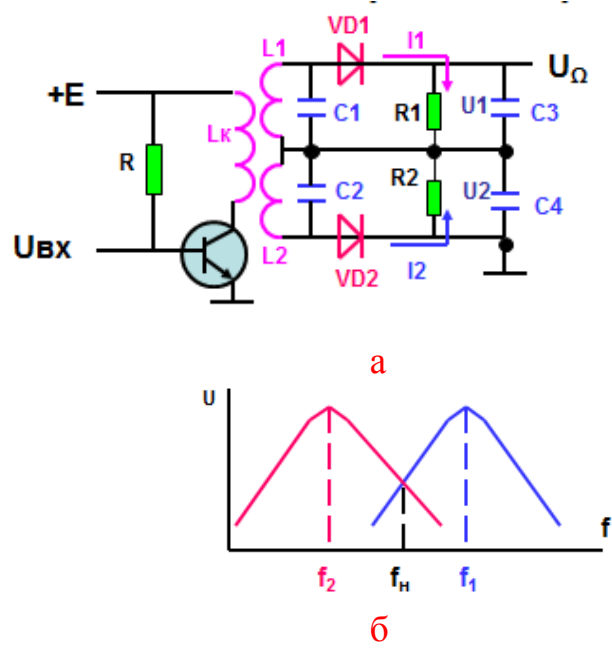


Рис.14

При поступлении на вход дискриминатора модулированного сигнала на выходе получим гармонический сигнал звуковой частоты, которым осуществлялась частотная модуляция.