

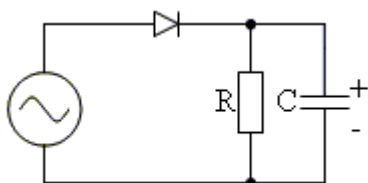
Лекция №12.

Диодный, частотный и фазовый детектор.

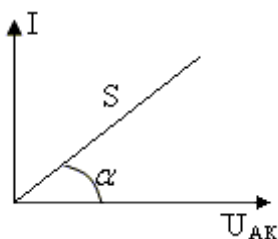
([1] стр. 246-252)

Диодный детектор

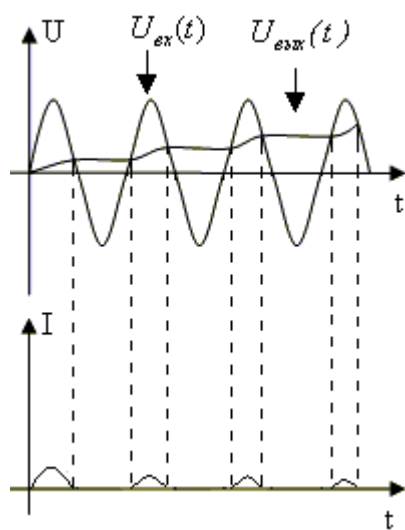
Работа детектора при подаче на вход гармонического немодулированного сигнала.



Принципиальная схема диодного детектора изображена на рисунке. Это одна из самых простых схем, используемых в радиотехнике. Но ее роль трудно переоценить. Эту схему вы найдете в каждом приемнике. Диодный детектор состоит из диода и RC цепочки. Разберем, как работает эта схема при подаче на вход гармонического сигнала $U_{\text{вх}}(t) = E \sin \omega_0 t$.



ВАХ диода можно аппроксимировать линейно-ломаной функцией. Из рисунка видно, что ток через диод протекает тогда, когда $U_{AK}(t) > 0$, то есть когда потенциал анода больше потенциала катода. В этом случае говорят, что диод открыт. Если же потенциал анода не превосходит потенциала катода, то есть $U_{AK}(t) \leq 0$, то ток через диод не течет. В этом случае говорят, что диод закрыт.



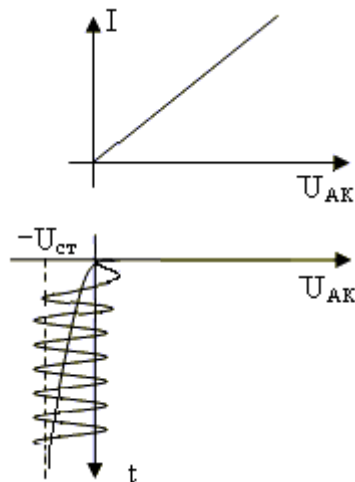
Из схемы видно, что потенциал катода равен напряжению на конденсаторе, которое является выходным напряжением, а потенциал анода – входному напряжению. Предположим, что в начальный момент времени заряд, а, следовательно, и напряжение на конденсаторе равно нулю. Тогда с подачей на вход гармонического напряжения потенциал анода будет больше потенциала катода, диод откроется, и конденсатор будет заряжаться. Напряжение на конденсаторе, как это видно на рисунке, будет увеличиваться. Цепь заряда конденсатора содержит источник сигнала, открытый диод и собственно конденсатор. Постоянная времени заряда конденсатора $\tau_{\text{зар}} = R_i C$, где R_i внутреннее сопротивление открытого диода. В то же время входное напряжение, меняясь по гармоническому закону, в какой-то момент времени начнет уменьшаться и наконец сравняется с

напряжением на конденсаторе. Диод закроется, и конденсатор будет разряжаться через резистор R . Постоянная времени разряда конденсатора $\tau_{\text{раз}} = RC$. Причем конденсатор будет

разряжаться гораздо медленнее, чем заряжаться, то есть $\tau_{\text{зар}} \ll \tau_{\text{раз}}$. Тогда конденсатор не будет разряжаться до конца и на нем будет увеличиваться среднее значение напряжения. Но при этом время, когда конденсатор заряжается, будет уменьшаться, а время разряда – увеличиваться. В конце концов, схема окажется в таком состоянии, что за время заряда конденсатор зарядится ровно на столько, насколько разрядится за время разряда. То есть схема перейдет в стационарный режим. При этом из рисунка видно, что ток через диод будет носить импульсный характер. В [1] показано, что угол отсечки тока в диодном детекторе в

стационарном режиме определяется из соотношения $\frac{\text{tg} \Theta - \Theta}{\pi} = \frac{R_i}{R}$. Следовательно, он

зависит от отношения $\frac{R_i}{R}$ и стремится к нулю, т.к. $R_i \ll R$. Обозначим среднее значение напряжения на конденсаторе в стационарном режиме через U_{cm} . Напомним, что угол отсечки определяется соотношением $\cos \Theta = \frac{U_3 - U_0}{E}$, где U_3 - напряжение запираения, U_0 -



напряжение смещения. Из графика ВАХ диода видно, что $U_3 = 0$, а $U_0 = -U_{cm}$. Поясним последнее равенство. В этой схеме в роли напряжения смещения выступает напряжение на конденсаторе в стационарном режиме. Напряжение на конденсаторе направлено навстречу входному напряжению и поэтому вычитается из него.

Тогда имеем

$$\left. \begin{aligned} \cos \Theta &= \frac{U_3 - U_0}{E} \\ U_3 &= 0 \\ U_0 &= -U_{cm} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \cos \Theta = \frac{U_{cm}}{E}.$$

Поскольку диодный детектор работает при малых углах отсечки, то из условия $\left. \begin{aligned} \cos \Theta &= \frac{U_{cm}}{E} \\ \Theta &\rightarrow 0 \end{aligned} \right\}$

получим, что $U_{cm} \approx E$. Если во входном сигнале амплитуда медленно изменяется во времени, то по аналогичному закону будет изменяться и U_{cm} . Следовательно, выходной сигнал будет повторять закон изменения огибающей входного сигнала. Мы показали, что данное устройство может работать как амплитудный детектор. Его основной элемент – диод. Поэтому устройство и назвали диодным детектором. В [1] показано, что входное сопротивление диодного детектора определяется из соотношения $R_{ex} = \frac{R}{2}$.

II. Прохождение АМ колебания через диодный детектор

Для правильной работы детектора постоянная времени RC цепи должна выбираться из следующего выражения:

$$1) \frac{2\pi}{\omega_0} \ll RC \ll \frac{2\pi}{\Omega_{\max}}, \text{ где}$$

ω_0 – частота несущего сигнала;

Ω_{\max} – максимальная частота спектра огибающей АМ колебаний.

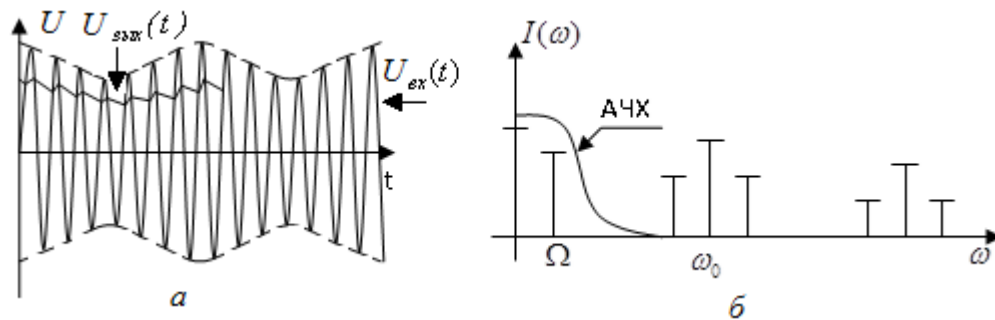


Рис.12.1

На рисунке 12.1 а изображены графики входного АМ колебания и выходного напряжения, снимаемого с нагрузки детектора. А на рисунке 12.1 б - спектр тока и АЧХ. Это оптимальный режим работы детектора. Как следует из рисунка, при этом режиме на выходе детектора формируется сигнал, который с точностью до постоянного коэффициента повторяет форму огибающей входного сигнала.

$$2) RC \approx \frac{2\pi}{\omega_0} \text{ – слишком быстрый разряд}$$

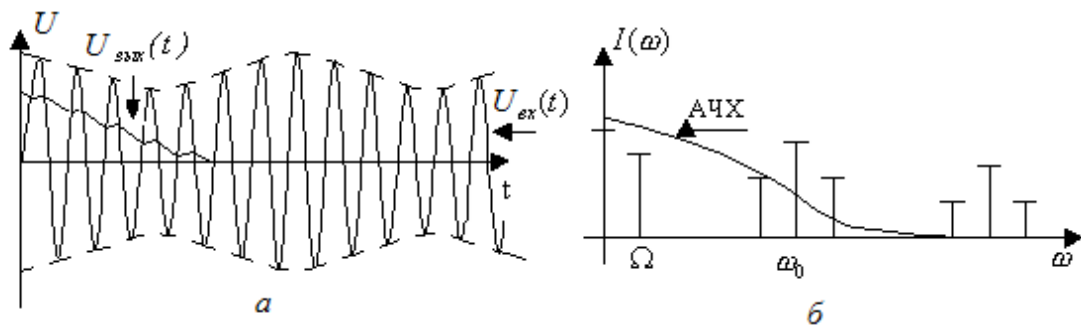


Рис.12.2

На рисунке 12.2 а изображены графики входного АМ колебания и выходного напряжения, снимаемого с нагрузки детектора. А на рисунке 12.2 б - спектр тока и АЧХ. Это неоптимальный режим. Как следует из рисунка, иллюстрирующего спектр тока и АЧХ нагрузки, при этом режиме на выходе детектора формируется сигнал, в котором содержатся ВЧ составляющие, искажающие выходной сигнал.

3) $RC \approx \frac{2\pi}{\Omega_{\max}}$ - слишком медленный разряд

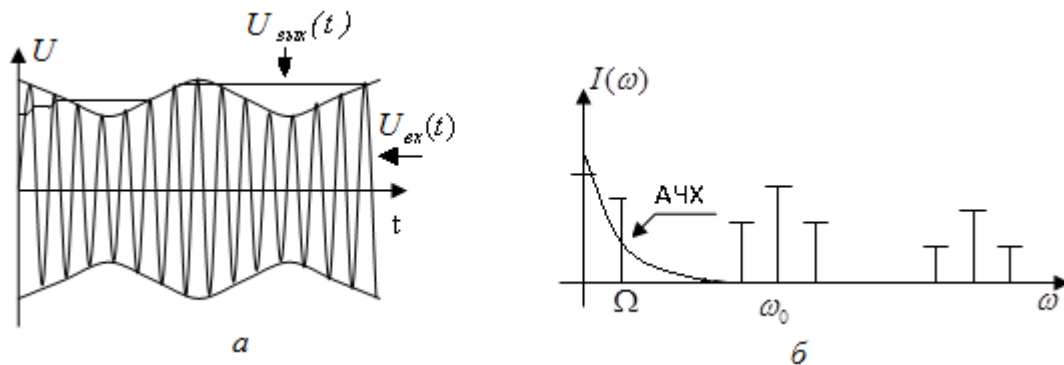


Рис.12.3

На рисунке 12.3 а изображены графики входного АМ колебания и выходного напряжения, снимаемого с нагрузки детектора. А на рисунке 12.3 б - спектр тока и АЧХ. Это неоптимальный режим. Как следует из рисунка, иллюстрирующего спектр тока и АЧХ нагрузки, при этом режиме на выходе детектора формируется сигнал, в котором практически отсутствует НЧ составляющая, которая несет информацию об огибающей входного сигнала.

Слишком быстрый и слишком медленный разряд - нерабочие режимы детектора.

Поэтому для оптимальной работы детектора постоянную времени его нагрузки следует

выбирать из условия $\frac{2\pi}{\omega_0} \ll RC \ll \frac{2\pi}{\Omega_{\max}}$.

II. Частотный и фазовый детектор.

Частотный детектор – это устройство, на входе которого ЧМ колебания, а на выходе сигнал, с точностью до постоянного коэффициента, повторяющий закон изменения мгновенной частоты входного сигнала.

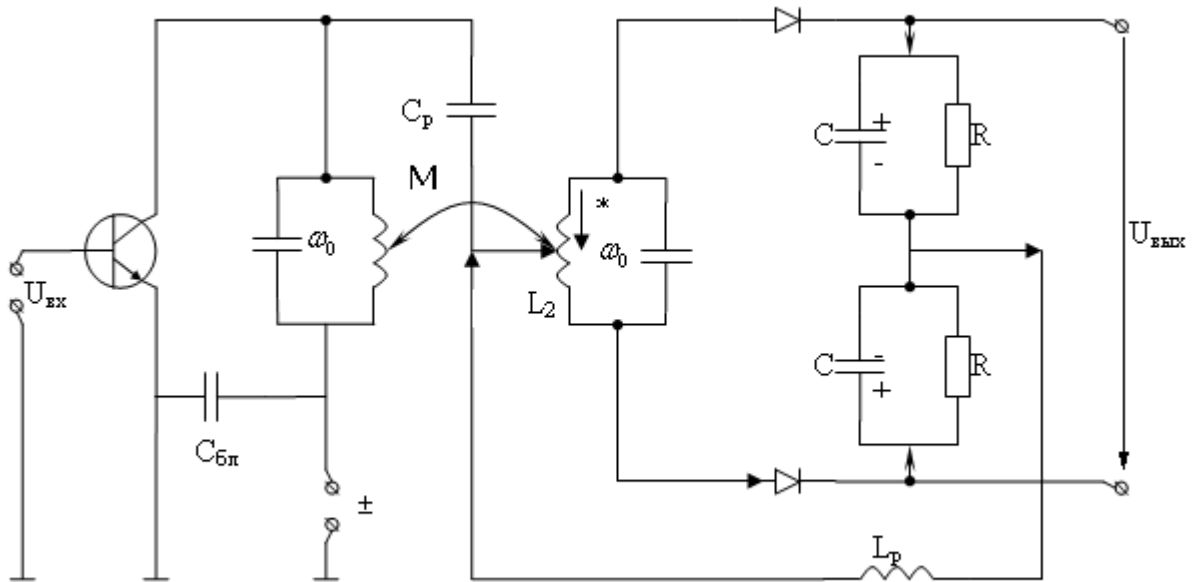


Рис.12.4

На рисунке 12. приведена схема двухконтурного частотного детектора. Резонансные частоты контуров равны несущей частоте входного сигнала. Поэтому данный детектор удобно настраивать на несущую частоту.

$C_{бл}$ – служит для защиты источника питания от высокочастотного сигнала.

C_p – не пропускает постоянную составляющую на выход.

L_p – замыкает низкочастотную составляющую сигнала с выхода на вход диодной части детектора и не пропускает высокочастотную составляющую.

$$\dot{I}_{L_2} = \frac{M}{L_2} \cdot \dot{U}_1 \quad (12.1) \text{ - ток, протекающий через катушку индуктивности второго контура.}$$

\dot{U}_1 – напряжение на первом контуре.

Z_2 – сопротивление второго контура.

L_2 – катушка индуктивности второго контура.

M – коэффициент взаимной индукции между катушками.

$$\dot{U}_2 = \dot{I}_{L2} \cdot j\omega L_2 = \dot{I}_{L2} \cdot \omega L_2 \cdot e^{j\pi/2} \quad (12.2) - \text{напряжение на втором контуре}$$

Рассмотрим принцип работы двухконтурного частотного детектора. Разберем два случая. В первом случае на вход подадим гармонический сигнал с частотой равной несущей частоте, а во втором случае – гармонический сигнал с частотой больше несущей частоты.

Случай 1:

$$\omega(t) = \omega_0 = \omega_p$$

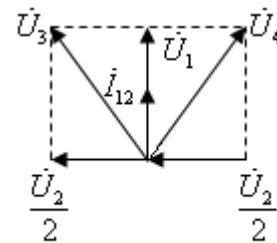
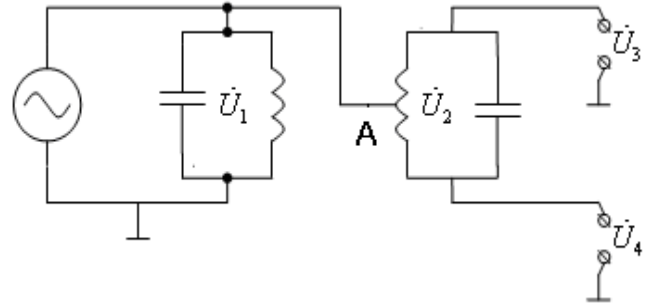
в этом случае $Z_2 = R_{рез}$

Тогда, используя формулы 12.1 и 12.2, имеем

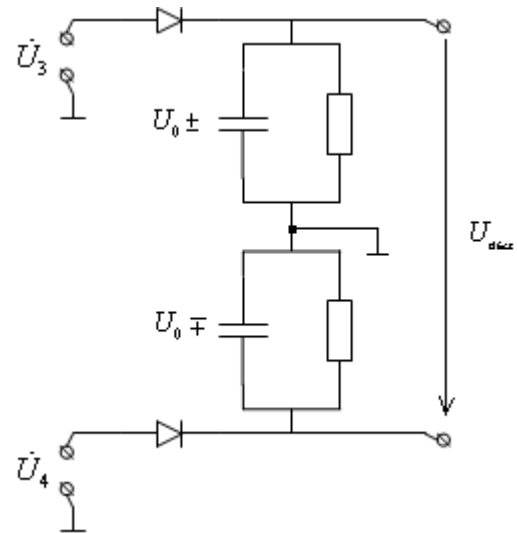
$$\dot{U}_2 = \frac{M}{L_2} \dot{U}_1 \frac{\omega_p L_2 e^{j\frac{\pi}{2}}}{R_{рез}} = \frac{M\omega_p}{R_{рез}} \dot{U}_1 e^{j\frac{\pi}{2}}$$

Т.е. \dot{U}_2 опережает \dot{U}_1 на 90° . На схеме замещения высокочастотной части частотного детектора точка «А» - середина катушки L_2 второго контура. Тогда

$$\dot{U}_3 = \dot{U}_1 + \frac{U_2}{2} \quad \dot{U}_4 = \dot{U}_1 - \frac{U_2}{2}$$

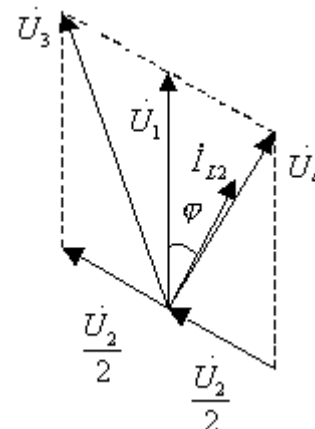


Если $\omega(t) = \omega_0 = \omega_{рез}$, то есть на вход поступает немодулированный сигнал, то из векторной диаграммы видно, что на входы верхнего и нижнего диодного детекторов поступают высокочастотные колебания с одинаковой амплитудой $|\dot{U}_3| = |\dot{U}_4|$ и, следовательно, на низкочастотных нагрузках детектора будут выделены одинаковые постоянные напряжения U_0 . Эти напряжения направлены навстречу друг другу. Тогда $U_{вых} = 0$



Случай 2:

Если $\omega(t) > \omega_0 = \omega_p$, то сопротивление второго контура z_2 будет комплексным. Тогда возникает сдвиг по фазе на φ между током I_{L_2} и напряжением U_1 , что приведёт к изменению угла между U_1 и U_2 , тогда $|\dot{U}_3| > |\dot{U}_4|$. Следовательно, на вход верхнего детектора будет подано ВЧ колебание с большей амплитудой, чем на вход нижнего. Таким образом, на верхнем конденсаторе будет выделено постоянное напряжение больше, чем на нижнем, и выходной сигнал будет больше нуля. Из этого следует, что данное устройство реагирует правильно на увеличение частоты входного сигнала и является частотным детектором по определению.



Принцип работы фазового детектора изучите самостоятельно, используя [1] стр. 251-252.

Контрольные вопросы

1. Объясните назначение элементов в принципиальной схеме диодного детектора.
2. Объясните, как работает диодного детектор при подаче на вход гармонического колебания
3. С какими углами отсечки работает диодный детектор и почему?
4. Из каких соображений выбираются параметры RC цепочки в диодном детекторе?
5. Каким будет сигнал на выходе диодного детектора, если в качестве нагрузки будет только резистор?
6. Каким будет сигнал на выходе диодного детектора, если в качестве нагрузки будет только конденсатор?
7. Дайте определение частотному детектору.
8. Объясните назначение элементов в принципиальной схеме частотного детектора.
9. Объясните, как работает частотный детектор.
10. Объясните принцип работы фазового детектора.

Типовые задачи к экзамену

1. На вход диодного детектора подан сигнал $S(t) = 2(1 + 0,6 \cos(2\pi \cdot 10^3 t)) \cos(4\pi \cdot 10^5 t)$. Определите параметры RC цепочки, обеспечивающие детектирование этого сигнала