

Лекция №3

Резонансный усилитель

([1] стр. 156-158, 177-180, 192-195)

Принципиальная схема резонансного усилителя

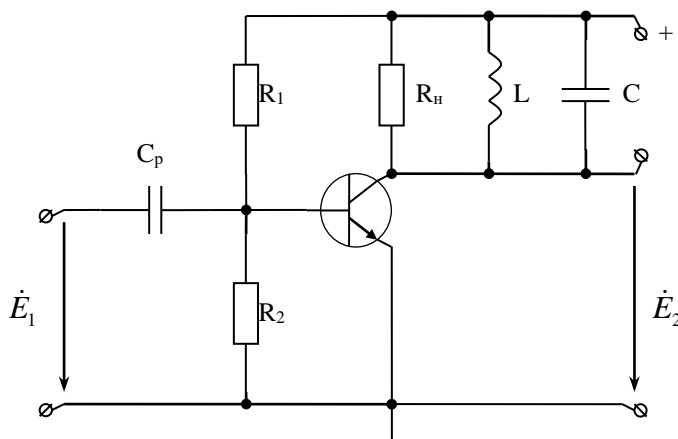


Рис.3.1

В отличие от усилителя низких частот, резонансный усилитель в качестве нагрузки использует колебательный контур (см. рис. 3.1). У такой нагрузки АЧХ больше нуля в узкой полосе частот вблизи резонансной частоты (см. лекцию 7 по электротехнике и электронике ч.1). Поэтому резонансный усилитель способен усиливать сигналы, спектры которых сосредоточены в узкой полосе частот вблизи резонансной частоты. Такие сигналы называются узкополосными радиосигналами и служат для передачи информации с помощью высокочастотных колебаний. При этом провода не используются, а носителем информации является электромагнитное колебание.

Основные характеристики резонансного усилителя

Резонансный усилитель служит для усиления узкополосных радиосигналов (АМ-, ЧМ-колебаний). Влияние разделительной емкости на характеристики усилителя осуществляется в диапазоне до 5 кГц, а паразитная емкость по переменной составляющей оказывается параллельна емкости C , входящей в нагрузку усилителя, и в силу своей малости не оказывает влияния на характеристики усилителя. Поэтому в схеме замещения обе емкости исключены.

Тогда $\dot{U}_1 = \dot{E}_1$, $\dot{I} = S \cdot \dot{E}_1$, $h_{22} + G_H \approx G_H$ и схема замещения (рис.3.2.) примет вид

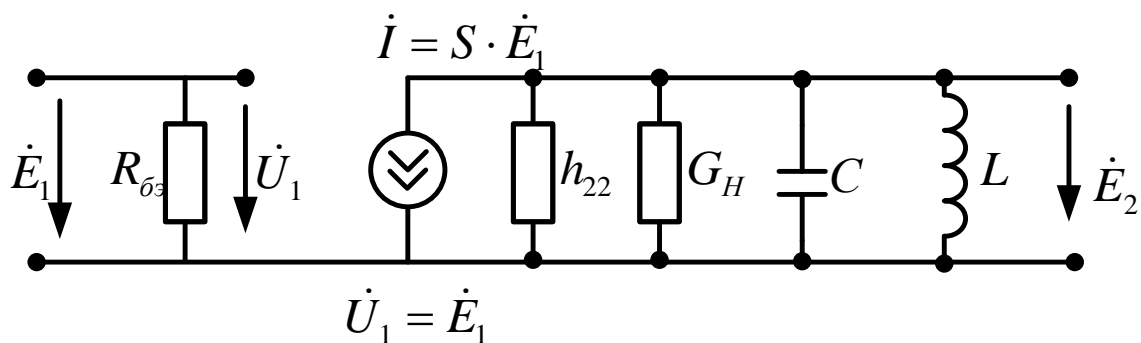


Рис.3.2

Найдем КЧХ, АЧХ, ФЧХ и импульсную характеристику резонансного усилителя.

$$\begin{aligned} \dot{E}_2 &= -\frac{S \cdot \dot{E}_1}{h_{22} + G_n + j\omega C + \frac{1}{j\omega L}} \\ K(j\omega) &= \frac{\dot{E}_2}{\dot{E}_1} = -\frac{S}{\frac{1}{R_n} + j\omega C - \frac{j}{\omega L}} = -\frac{S \cdot R_n}{1 + jR_n C \left(\omega^2 - \frac{1}{LC} \right) \cdot \frac{1}{\omega}} = \frac{-k_{max}}{1 + j \frac{\tau_\kappa}{2} (\omega^2 - \omega_p^2) \cdot \frac{1}{\omega}} \approx \\ &\approx \frac{-k_{max}}{1 + j \frac{\tau_\kappa}{2} (\omega - \omega_p) (\omega + \omega_p) \frac{1}{\omega}} \approx \frac{k_{max}}{1 + j \frac{\tau_\kappa}{2} (\omega - \omega_p) \cdot 2\omega \cdot \frac{1}{\omega}} \approx \frac{k_{max}}{1 + j\tau_\kappa (\omega - \omega_p)} \end{aligned}$$

Где $k_{max} = R_n \cdot S$; $\tau_\kappa = 2R_n \cdot C$; $\omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, а при $\omega \rightarrow \omega_p$ $\omega + \omega_p \approx 2\omega$.

Тогда КЧХ резонансного усилителя

$$K(j\omega) = -\frac{k_{max}}{1 + j\tau_\kappa (\omega - \omega_p)};$$

АЧХ резонансного усилителя

$$AЧХ = \frac{k_{max}}{\sqrt{1 + (\tau_\kappa (\omega - \omega_p))^2}};$$

ФЧХ резонансного усилителя

$$\PhiЧХ = -\pi - \arctg(\tau_\kappa (\omega - \omega_p)).$$

Графики АЧХ и ФЧХ усилителя приведены на рисунке 3.3

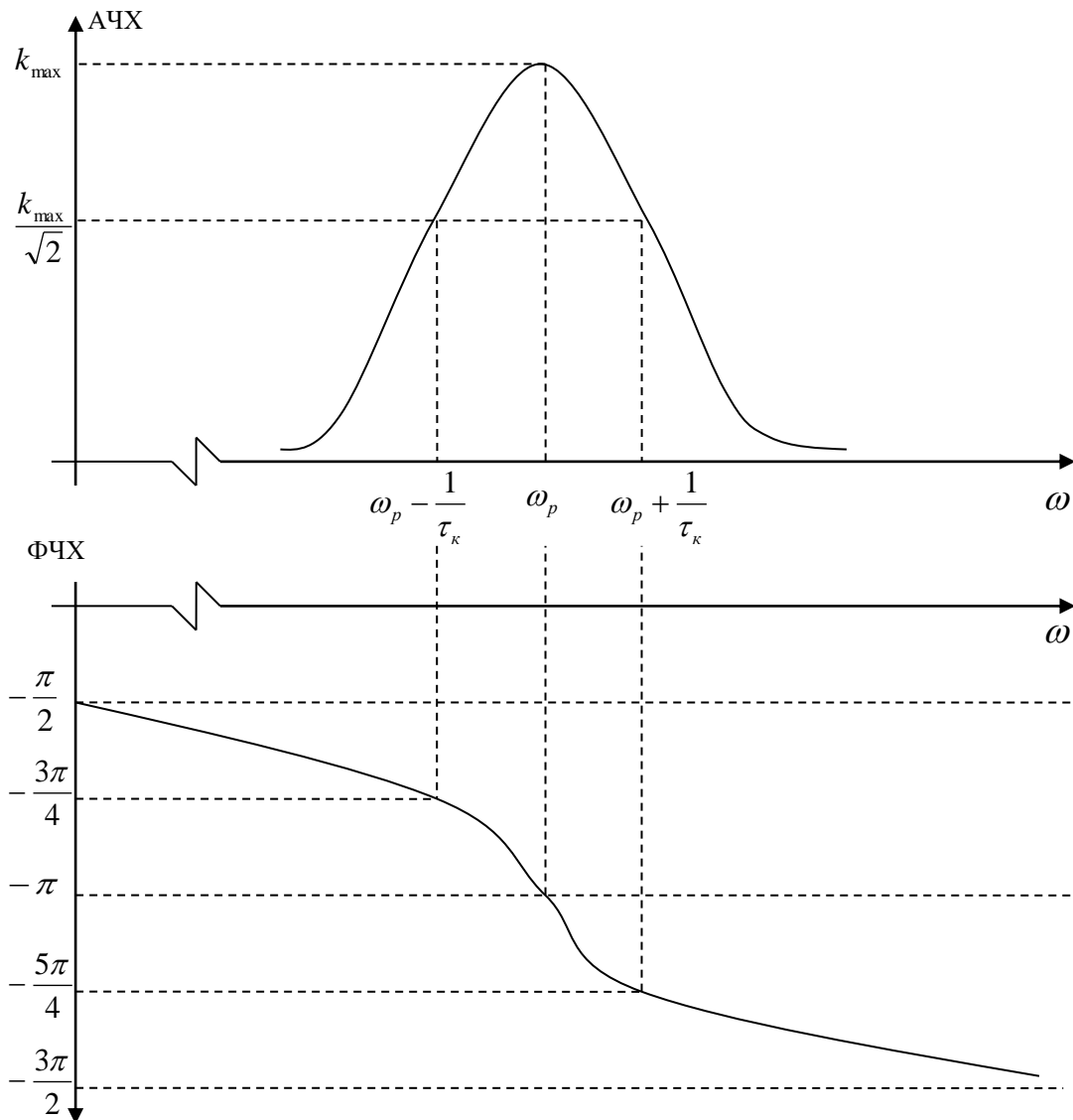


Рис.3.3

С увеличением сопротивления нагрузки R_n максимальный коэффициент усиления K_{max} увеличивается, а полоса пропускания ($2\Delta\omega$) уменьшается. Выясним влияние добротности контура Q на полосу пропускания.

Вспомним, что $Q = \frac{R_n}{\sqrt{\frac{L}{C}}} = \frac{R_n \sqrt{C}}{\sqrt{L}} = \frac{R_n C}{\sqrt{LC}} = \frac{\tau_k \omega_p}{2} = \frac{\omega_p}{2\Delta\omega}$. Тогда $2\Delta\omega = \frac{\omega_p}{Q}$. То есть с

увеличением добротности контура полоса пропускания уменьшается.

Найдем импульсную характеристику резонансного усилителя. При этом используем, свойство преобразования Фурье об умножении сигнала на гармоническую функцию.

$$K_{\text{без СР}}(j\omega) = \frac{-K_{\text{max}}}{1 + j\omega\tau_0} \Rightarrow g_{\text{унч}}(t) = -\frac{K_{\text{max}}}{\tau_0} e^{-\frac{t}{\tau_0}} \cdot 1(t)$$

$$K_{\text{py}}(j\omega) = -\frac{K_{\text{max}}}{1 + j\tau_{\kappa}(\omega - \omega_p)} \stackrel{\text{св-с012}}{\Rightarrow} g_{\text{py}}(t) = -\frac{K_{\text{max}}}{\tau_{\kappa}} e^{-\frac{t}{\tau_{\kappa}}} \cos(\omega_p t) \cdot 1(t)$$

С увеличением R_n импульсная характеристика затухает медленнее, поскольку добротность контура увеличивается. График импульсной характеристики резонансного усилителя приведён на рисунке 3.4.

Другие характеристики при анализе резонансного усилителя используются гораздо реже.

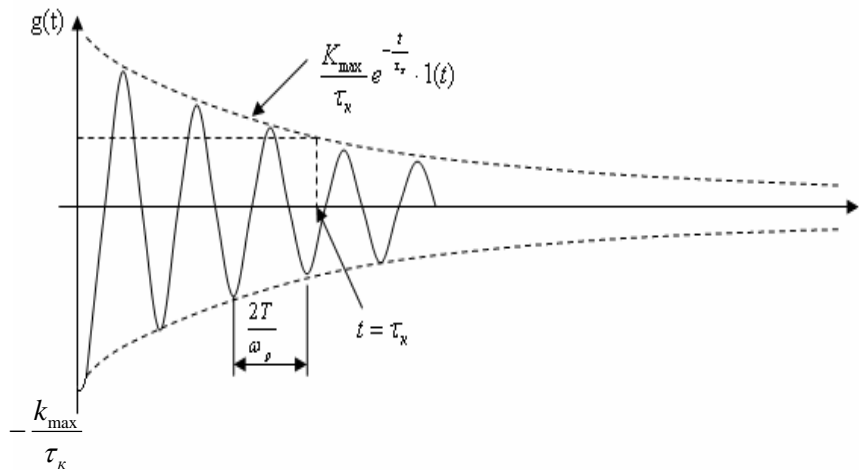


Рис.3.4

Исследуем прохождение АМ колебаний с тональной модуляцией через резонансный усилитель при $\omega_0 = \omega_p$.

$$S_{\text{ex}} = A_0(1 + M \cos(\Omega t)) \cdot \cos(\omega_0 t) = \frac{A_0 M}{2} \cos((\omega_0 - \Omega)t) + A_0 \cos(\omega_0 t) + \frac{A_0 M}{2} \cos((\omega_0 + \Omega)t)$$

, где

A_0 – Амплитуда несущего колебания;

M – Коэффициент глубины модуляции;

Ω Частота модулирующего сигнала;

ω_0 – частота несущего сигнала;

Исследуем изменение амплитуд гармоник входного сигнала, при прохождении через резонансный усилитель.

Ниже на рисунках 3.5 друг под другом изображены графики одностороннего амплитудного спектра входного сигнала, АЧХ резонансного усилителя и одностороннего амплитудного спектра выходного сигнала. Амплитуды гармоник выходного сигнала получаются умножением амплитуд гармоник входного сигнала на соответствующие значения АЧХ.

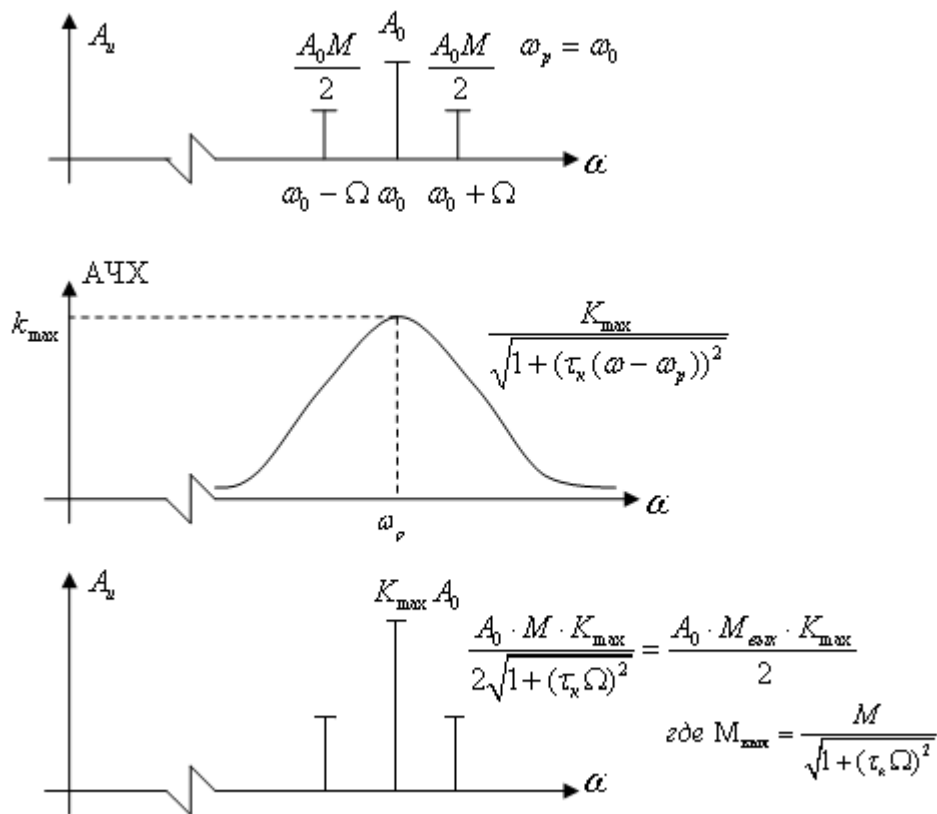


Рис.3.5

Из графиков видно, что амплитуда центральной несущей гармоники выходного сигнала увеличивается больше, чем амплитуды боковых гармоник выходного сигнала. Поэтому при прохождении АМ колебания через резонансный усилитель, помимо усиления сигнала произойдет уменьшение глубины модуляции. Этот эффект называется демодуляцией и он снижает эффективность работы усилителя. Поскольку информация о модулирующем сигнале содержится в боковых составляющих, то их меньшее усиление приводит к меньшей помехозащищенности передаваемой информации. Изобразим кривую демодуляции.

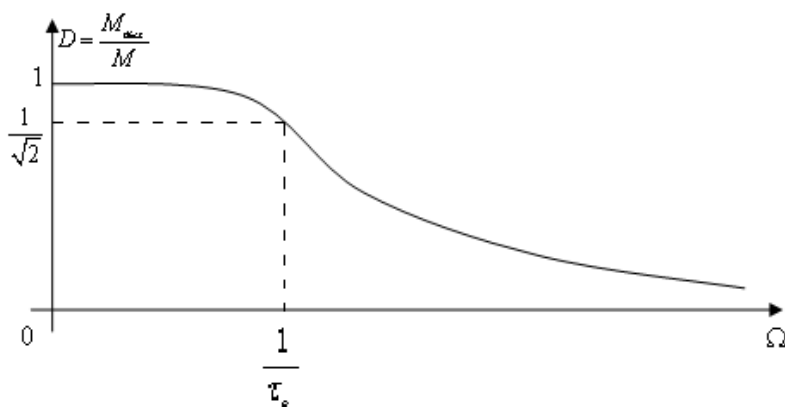


Рис.3.6

На рисунке 3.6 приведена зависимость коэффициента демодуляции $D = \frac{M_{\text{вых}}}{M}$ от частоты модулирующего сигнала Ω . Здесь $M_{\text{вых}}$ – коэффициент глубины модуляции выходного сигнала, а M – входного.

Контрольные вопросы

1. Укажите назначение основных элементов схемы резонансного усилителя (РУ).
2. Для чего нужен резонансный усилитель?
3. Как изменятся характеристики РУ при увеличении разделительной емкости C_p ?
4. Как изменятся характеристики РУ при увеличении сопротивления нагрузки R_n ?
5. Объясните с физической точки зрения изменение этих характеристик.
6. Какой усилитель вы бы выбрали с большим или с меньшим сопротивлением нагрузки и почему?
7. Что происходит с АМ колебанием при прохождении через РУ?
8. Объясните, почему происходит демодуляция АМ колебания при прохождении через РУ?
9. Демодуляция это хорошо или плохо? Поясните ответ.
10. Что произойдет с АМ колебанием на входе и выходе усилителя при увеличении частоты модулирующего колебания?
11. Что произойдет с АМ колебанием на выходе усилителя при увеличении емкости колебательного контура?

Типовые задачи к экзамену

1. Изобразите принципиальную схему резонансного усилителя и объясните назначение элементов схемы.
2. Исследуйте влияние сопротивления нагрузки на основные характеристики усилителя АЧХ и импульсную характеристику.
3. На входе резонансного усилителя действует сигнал $S_{вх}(t)=10(1+\cos(4\pi 10^3t))\cos(2\pi 10^5t)$. Определите сигнал на выходе усилителя, параметры которого $f_p=10^5$; $\tau_k=1/(4\pi 10^3)$; $K_{\max}=4$.
4. Постройте зависимость коэффициента демодуляции резонансного усилителя D от частоты модулирующего сигнала F_m . Используя эту зависимость, найдите значение коэффициента модуляции выходного сигнала $M_{вх}$ при увеличении частоты модулирующего сигнала в два раза. Объясните полученный результат.
5. Исследуйте влияние расстройки несущей частоты входного сигнала относительно резонансной частоты усилителя. Для этого решите пример 3 при условии, что $S_{вх}(t)=10(1+\cos(4\pi 10^3t))\cos(2\pi \cdot 1,02 \cdot 10^5t)$.