

Усилители электрических сигналов.

Классификация усилителей. Основные технические характеристики

Классификация по диапазону усиливаемых частот.

Диапазон усиливаемых частот – это разность между верхней и нижней частотами усиления усилителя

$$D = f_B - f_H$$

- *Усилители низких частот (УНЧ)*, предназначены для усиления непрерывных периодических сигналов, частотный спектр которых лежит в пределах от десятков Гц до десятков кГц.

- *Усилители постоянного тока (УПТ)*, усиливают электрические сигналы в диапазоне частот от нуля до сотен МГц.

- *Избирательные усилители* (полосовые, селективные, резонансные) – усиливают сигналы в узкой полосе частот $f_B / f_H < 1,1$

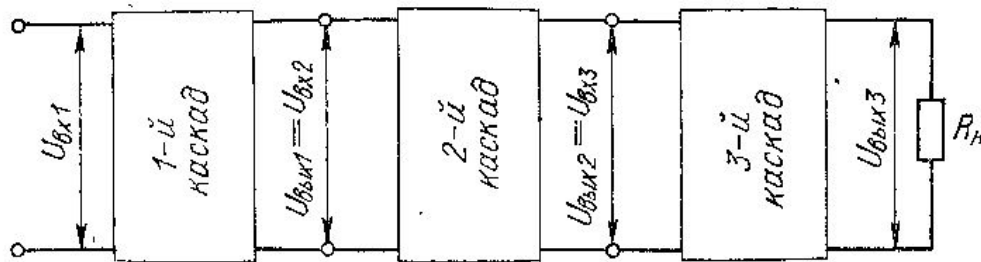
- *Широкополосные усилители* – усиливают очень широкую полосу частот (от кГц до сотен МГц) - видеоусилители, радиолокационные.

Основные технические характеристики усилителей

Коэффициент усиления

Коэффициент усиления по напряжению – показывает во сколько раз Напряжение сигнала на выходе усилителя больше, чем на его входе.

$$K_u = U_{\text{ВЫХ}} / U_{\text{ВХ}}$$



$$K_u = K_1 K_2 K_3 \dots K_n \quad K_u = U_{\text{ВЫХ3}} / U_{\text{ВХ1}}$$

$$K_{\text{дБ}} = 20 \lg \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = 20 \lg K. \quad K = 10^{\frac{K_{\text{дБ}}}{20}}$$

$$K_{\text{дБ}} = K_{1\text{дБ}} + K_{2\text{дБ}} + \dots + K_{n\text{дБ}}$$

Коэффициент усиления по току

$$K_I = I_{\text{ВЫХ}} / I_{\text{ВХ}}$$

Коэффициент усиления по мощности

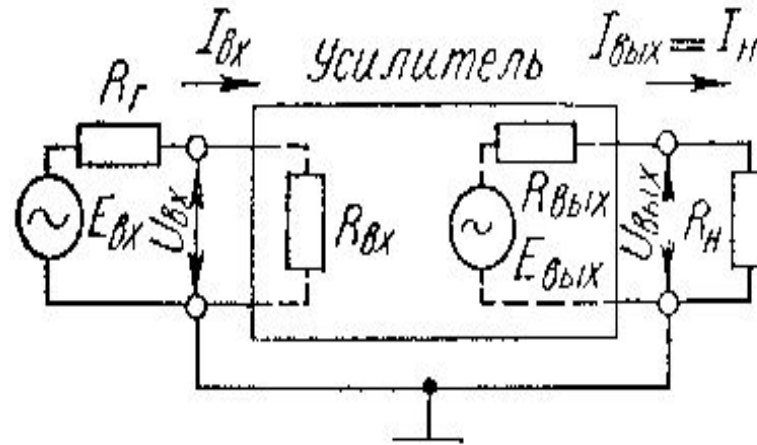
$$K_P = P_{\text{ВЫХ}} / P_{\text{ВХ}}$$

$$K_{PdB} = 10 \lg P_{\text{ВЫХ}} / P_{\text{ВХ}}$$

Входное и выходное сопротивление

$$R_{BX} = U_{BX} / I_{BX}$$

$$R_{ВЫХ} = U_{ВЫХ} / I_{ВЫХ}$$

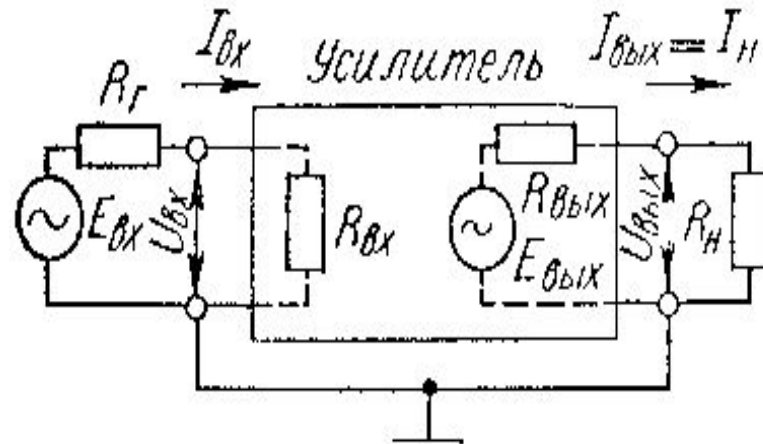


$$U_{BX} = E_{\Gamma} \frac{R_{BX}}{R_{BX} + R_{\Gamma}}$$

$$R_{BX} \gg R_{\Gamma} \quad U_{BX} = E_{\Gamma}$$

$$R_{BX} \ll R_{\Gamma} \quad U_{BX} = E_{\Gamma} \frac{R_{BX}}{R_{BX} + R_{\Gamma}}$$

Входное и выходное сопротивление



$$R_{ВХ} = U_{ВХ} / I_{ВХ}$$

$$R_{ВЫХ} = U_{ВЫХ} / I_{ВЫХ}$$

Выходное сопротивление определяют между выходными зажимами Усилителя при отключенном сопротивлении нагрузки

Для входной цепи: $R_{ВХ} \gg R_{\Gamma}$ - Режим «холостого хода»

$R_{ВХ} \ll R_{\Gamma}$ - Режим короткого замыкания

$R_{ВХ} \approx R_{\Gamma}$ - Режим согласования

Для выходной цепи: $R_{н} \gg R_{ВЫХ}$ - Режим «холостого хода»

$R_{н} \ll R_{ВЫХ}$ - Режим короткого замыкания

$R_{н} \approx R_{ВЫХ}$ - Режим согласования

Выходная мощность

При активном характере сопротивления нагрузки выходная мощность усилителя

$$P_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ}}^2 / R_{\text{Н}}$$

Коэффициент полезного действия

Определяет экономичность усилителя

$$\eta = P_{\text{ВЫХ}} / P_0$$

P_0 - мощность, потребляемая усилителем от всех источников питания

Чувствительность усилителя (номинальное входное напряжение)

Это такое минимальное напряжение, которое нужно подвести к входу, чтобы получить на выходе заданную мощность усилителя. Чем меньше величина такого напряжения, тем выше чувствительность.



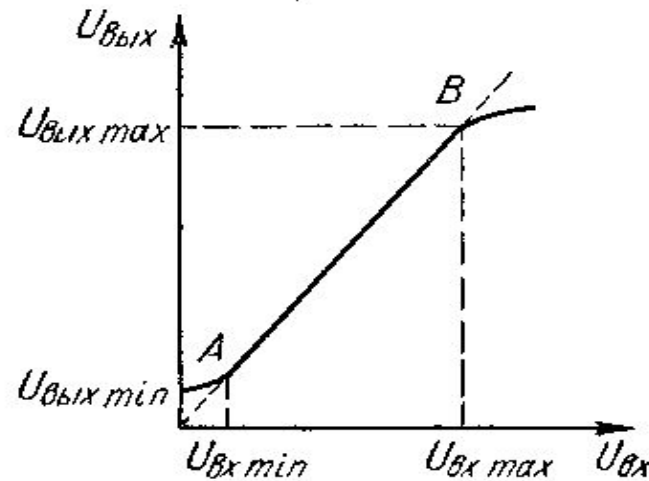
Уровень собственных помех (шумов) усилителей

- тепловые шумы
- шумы усилительных элементов
- помехи из-за пульсаций напряжения питания и наводок от электрических полей

$$U_{\text{Ш0}} = 0,13\sqrt{(f_B - f_H)R}$$

Амплитудная характеристика

АХ – графическая зависимость амплитуды выходного напряжения усилителя от амплитуды его входного напряжения на некоторой постоянной частоте сигнала

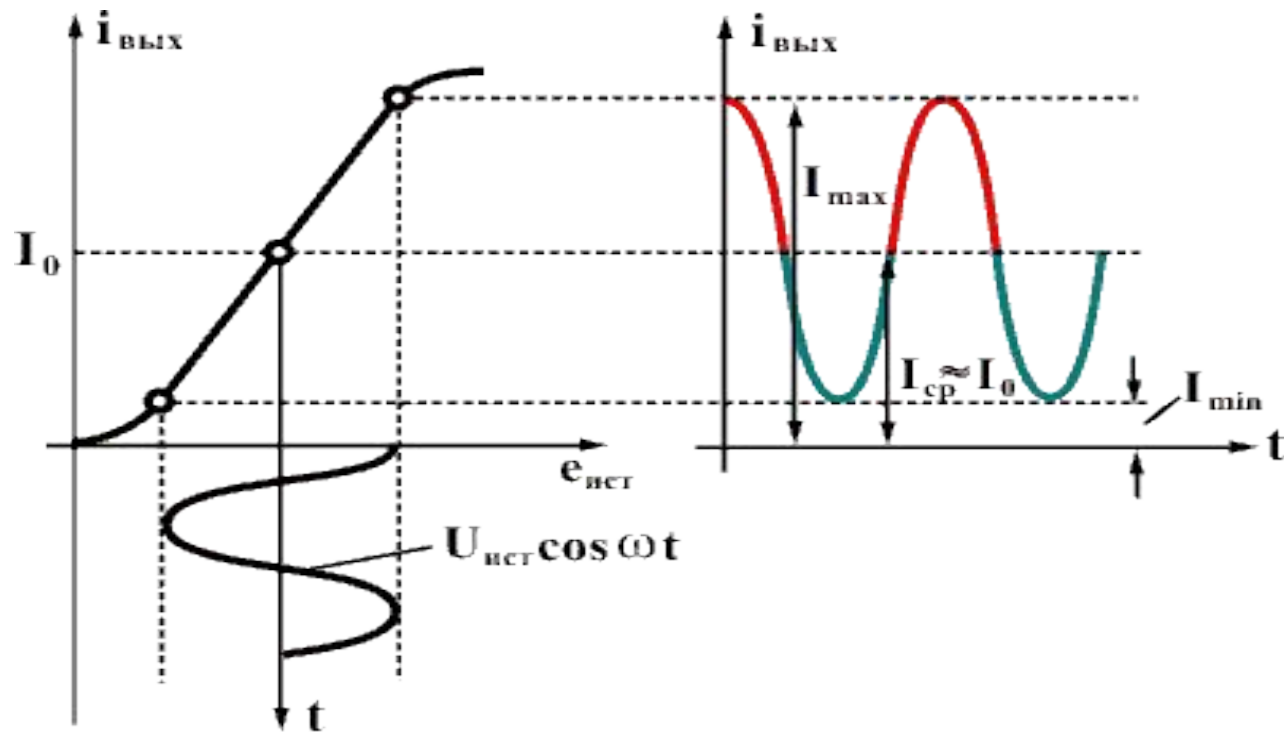


Отношение амплитуд максимального и минимального значений напряжения входного сигнала наз. *динамическим диапазоном усилителя*

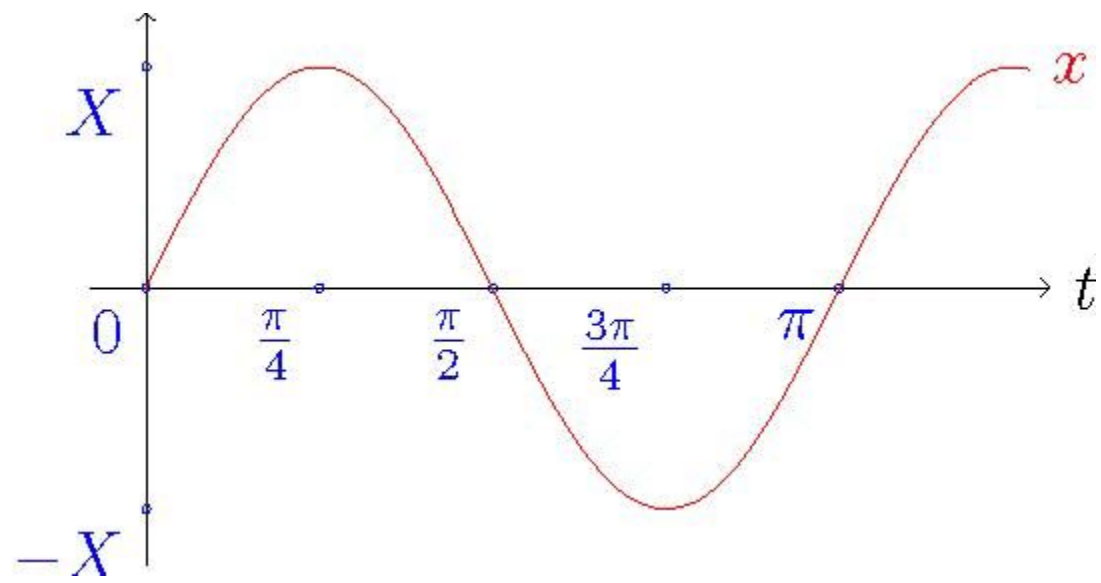
$$D_{dB} = 20 \lg U_{\text{ВХmax}} / U_{\text{ВХmin}}$$

Искажения в усилителях

При усилении электрических сигналов могут возникать *нелинейные, частотные и фазовые искажения*



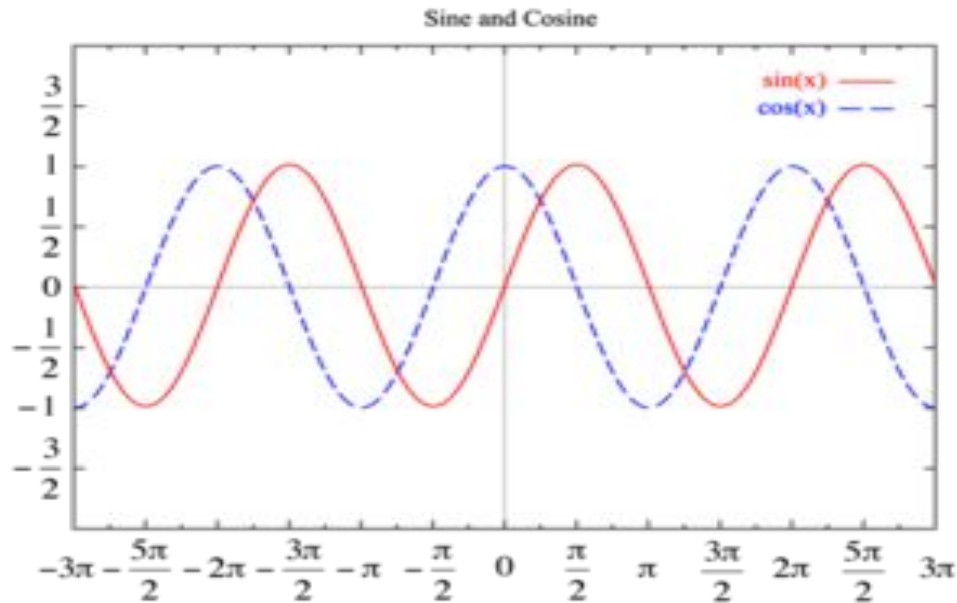
Нелинейные искажения представляют собой изменение формы кривой усиливаемого сигнала, вызванное нелинейными свойствами цепи, через которые проходит сигнал.



Преобразование Фурье

Гармонические колебания — колебания, при которых физическая (или любая другая) величина изменяется с течением времени по синусоидальному или косинусоидальному закону. Уравнение гармонических колебаний имеет вид

$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi) \quad x(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$$



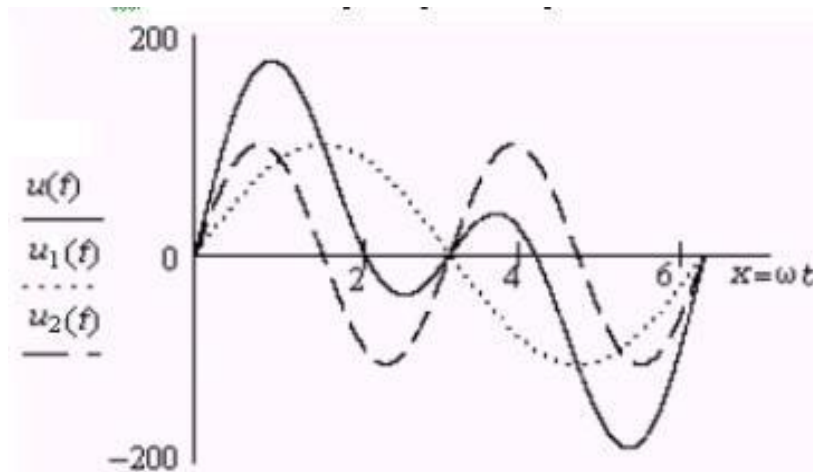
Методика Фурье. Всегда можно подобрать ряд гармонических (т.е. синусоидальных) сигналов с такими амплитудами, частотами и начальными фазами, алгебраическая сумма ординат которых в любой момент времени равна ординате исследуемого несинусоидального сигнала.

$$u_1 = U_{m1} \sin \omega_1 t = U_{m1} \sin \frac{2\pi}{T_1} t$$

$$T_1 = T \quad T_2 = T/2$$

$$u_2 = U_{m2} \sin \omega_2 t = U_{m2} \sin \frac{2\pi}{T_2} t$$

$$u(t) = u_1(t) + u_2(t)$$



Ряд Фурье

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx)$$

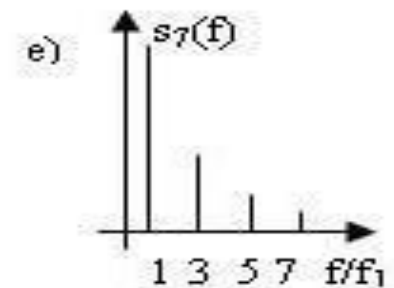
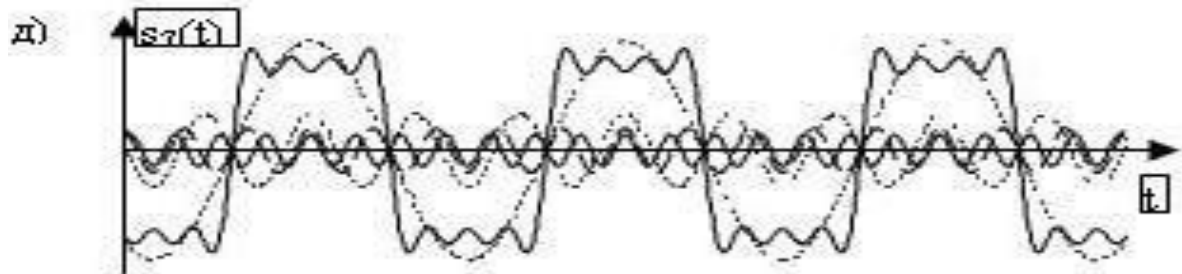
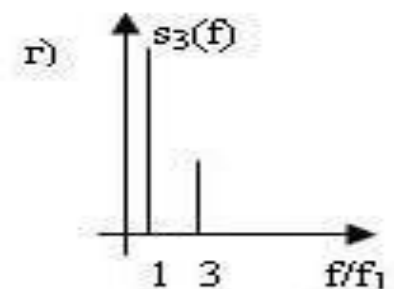
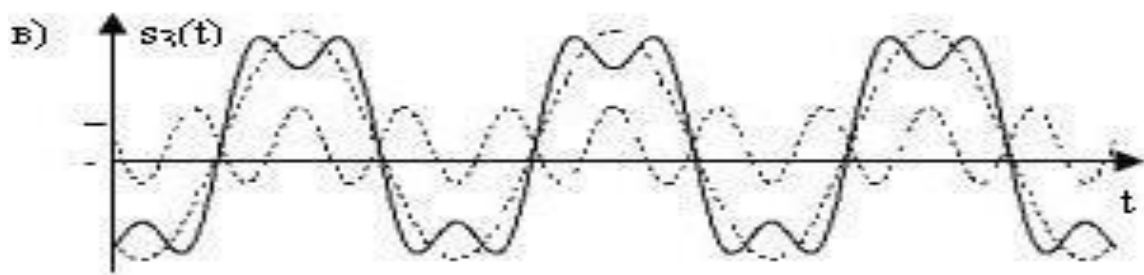
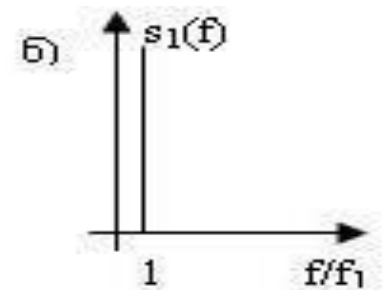
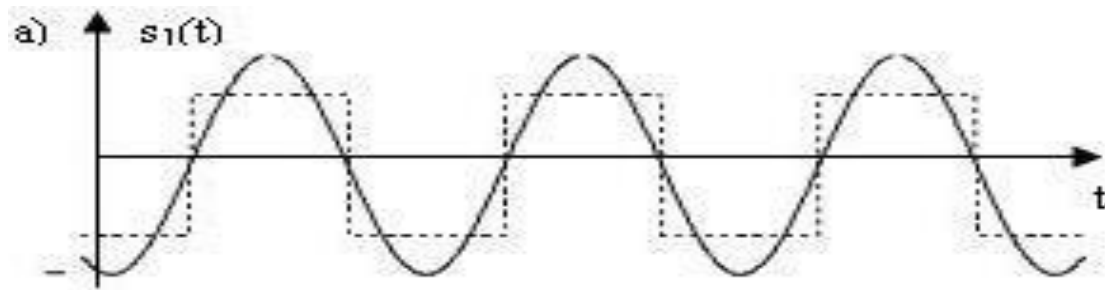
Согласно теореме Фурье, любую периодическую функцию можно представить в виде суммы гармонических (синусоидальных) функций кратного периода.

Гармоническая составляющая, период которой равен периоду негармонического сигнала, называется **первой или основной гармоникой сигнала**.

Любой периодический сигнал представляется суммой синусоидальных сигналов различной амплитуды и частотой кратной основной (больше в 2,3,4....n) раз. **Эти сигналы и называются гармониками.**

Когда говорят о наличии гармоник, это значит что форма сигнала отличается от синусоиды.

Все остальные составляющие называются высшими гармоническими составляющими. Гармоника, частота которой в k раз больше первой гармоники (а период, соответственно, в k раз меньше) , называется k - ой гармоникой.



Ряд Фурье

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx)$$

Коэффициент нелинейных искажений

Степень нелинейных искажений усилителя оценивается величиной *коэффициента нелинейных искажений (коэффициента гармоник)*

$$K_{\Gamma} = \sqrt{\frac{P_2 + P_3 + \dots + P_n}{P_1}}$$

P_1 - мощность первой гармоники

$$K_{\Gamma} = \sqrt{\frac{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}{U_1^2}}$$

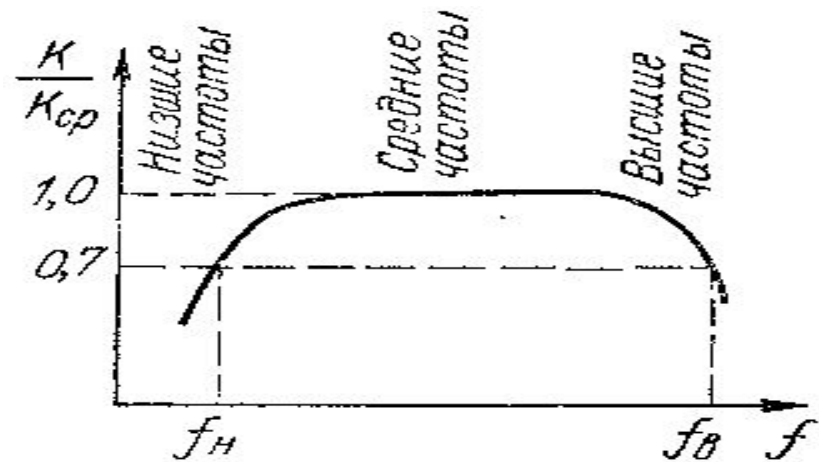
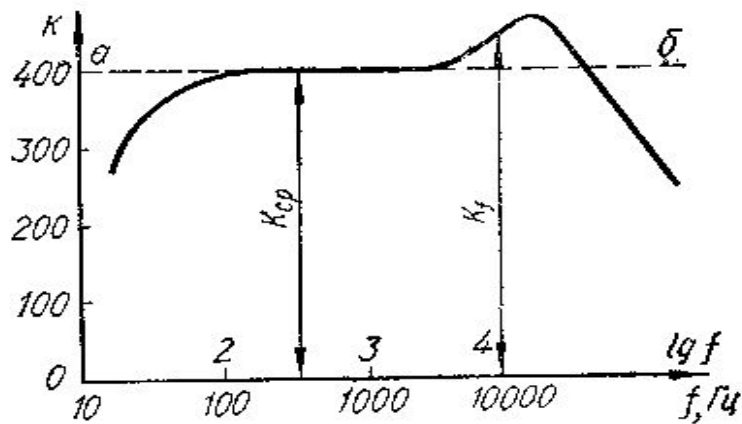
$$K_{\Gamma} = \sqrt{\frac{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}{I_1^2}}$$

$$K_{\Gamma.\text{общ}} = K_{\Gamma_1} + K_{\Gamma_2} + \dots + K_{\Gamma_n},$$

Частотные искажения

Обусловлены изменением коэффициента усиления на различных частотах

Оцениваются по амплитудно-частотной характеристике усилителя (АЧХ), представляющей собой зависимость коэффициента усиления от частоты усиливаемого сигнала.



Степень искажений оценивается коэффициентом частотных искажений M , равным отношению коэффициента усиления на средней частоте к коэффициенту усиления на заданной частоте.

$$M = K_{\text{ср}} / K_f$$

$$M_H = K_{CP} / K_H$$

$M > 1$ - Завал АЧХ

$$M_B = K_{CP} / K_B$$

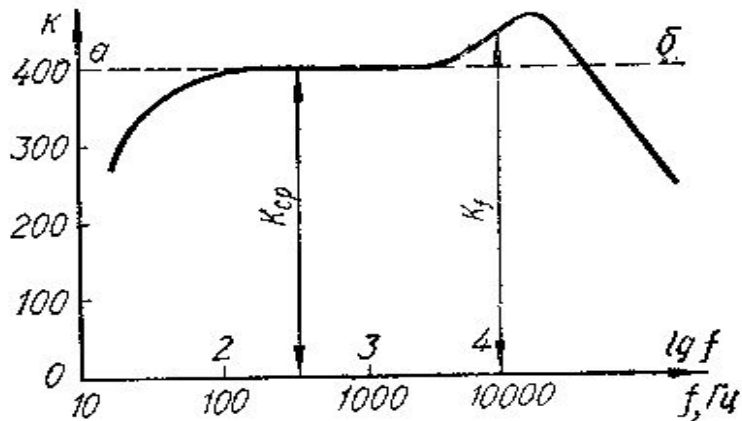
$M < 1$ - Подъем АЧХ

Для многокаскадного усилителя

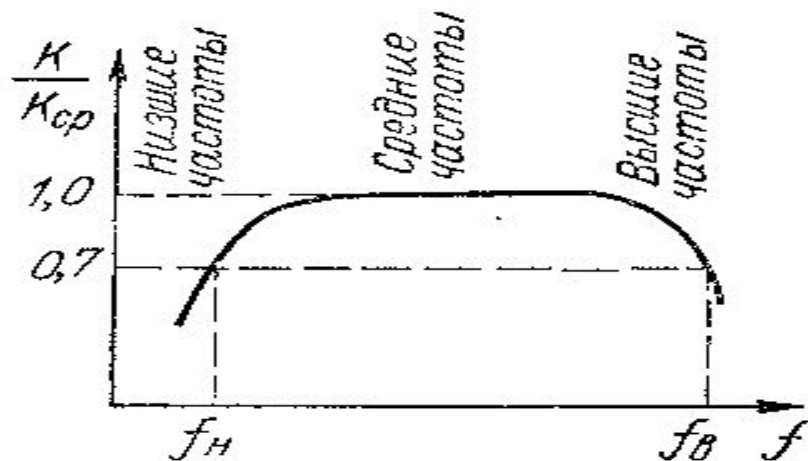
$$M = M_1 M_2 M_3 \dots M_n.$$

$$M_{дБ} = 20 \lg M.$$

$$M_{дБ} = M_{1дБ} + M_{2дБ} + \dots + M_{nдБ}.$$



Полоса пропускания усилителя

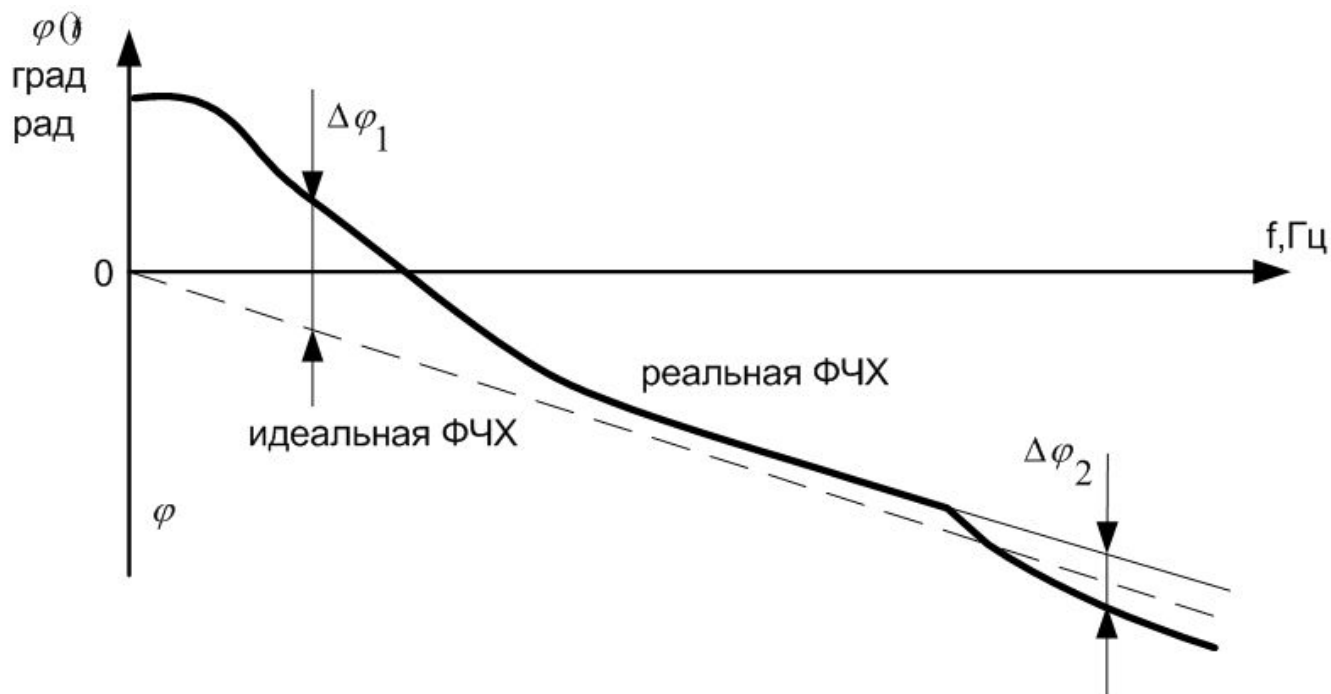


$$F_{0,7} = f_B - f_H$$

Полосой пропускания (диапазоном усиливаемых частот) называется та область частот входного сигнала в которой коэффициент усиления изменяется не больше, чем допустимо по техническим условиям. Обычно выбирается уровень 0,707 (-3дБ) по нормированной АЧХ.

Фазовые искажения

Фазовые искажения, вносимые усилителем оцениваются по его фазо-частотной характеристике (ФЧХ), представляющей собой зависимость угла сдвига фазы между входным и выходным напряжениями усилителя от частоты входного сигнала



Фазо-частотная характеристика усилителя

Что такое «Идеальный усилитель»

1. $K_u, K_I \rightarrow \max$

2. $R_{BX} \rightarrow \infty$

3. $R_{ВЫХ} \rightarrow 0$

4. $КПД \rightarrow 100\%$

5. Отсутствуют, внутренние шумы, нелинейные, частотные и фазовые искажения.