

Исследование усилителя низкой частоты

Усилитель низкой частоты – это электронный прибор, предназначенный для усиления электрических колебаний, соответствующих слышимому человеком звуковому диапазону частот, таким образом к данным усилителям предъявляется требование усиления в диапазоне частот от 20 до 20 000 Гц по уровню -3 дБ, простейшие УЗЧ имеют более узкий диапазон воспроизводимых частот.

Усилители низкой частоты наиболее широко применяются для усиления сигналов, несущих звуковую информацию, в этих случаях они называются также усилителями частоты. Кроме этого УНЧ используются для усиления информационного сигнала в различных сферах: измерительной технике и дефектоскопии; автоматике, телемеханике и аналоговой вычислительной технике; в других отраслях электроники.

Классификация

По схемотехнике выходного каскада

- Однотактный
- Двухтактный

По типу применения в конструкции усилителя активных элементов

- Ламповые – на электронных лампах.
- Транзисторные – на биполярных или полевых транзисторных.
- Интегральные – на интегральных микросхемах (ИМС)
- Гибридные – часть каскадов собрана на полупроводниковых элементах, а часть электронных лампах.
- На магнитных усилителях.
- Пневматические

По виду согласования выходного каскада с нагрузкой

- Трансформаторные — в основном такая схема согласования применяется в ламповых усилителях.
- Бестрансформаторные — в силу дешевизны, малого веса и большой полосы частот бестрансформаторные усилители получили наибольшее распространение.

По полосе усиливаемых частот

- Усилители постоянного тока (УПТ) – усилители медленно изменяющихся напряжений или токов.
- Усилители переменного тока усиливают только переменную составляющую тока в необходимой спектральной полосе.

Основные характеристики усилителя низкой частоты

Основное назначение УНЧ – усиливать мощность сигнала, т.е. при подаче на вход УНЧ электрического сигнала малой мощности получать на нагрузке сигнал той же формы, но большей мощности. Для усиления мощности УНЧ преобразует энергию источника питания с помощью усилительных приборов. В некоторых случаях УНЧ имеет и вспомогательное значение – осуществляет коррекцию формы сигнала.

Для оценки УНЧ кроме коэффициента усиления, АЧХ и ФЧХ часто используются следующие электрические параметры:

Рабочий диапазон частот – интервал значений (от нижней частоты до верхней), в котором коэффициент усиления изменяется по определенному закону с известной степенью точности.

Неравномерность частотной характеристики – наибольшее отклонение коэффициента усиления в заданном диапазоне частот от значения K_0 , определённого для средней частоты.

Коэффициент частотных искажений M характеризует неравномерность АЧХ. M – отношение коэффициента усиления в области средних частот K_0 к коэффициенту усиления на границе заданного диапазона частот.

Различаются коэффициенты частотных искажений в области нижних частот и верхних частот.

Коэффициент нелинейных искажений определяет степень искажения входного синусоидального сигнала усилителем и оценивается как квадратный корень из отношения мощностей всех высших гармоник выходного сигнала к полной выходной мощности:

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

или близким к нему коэффициентом гармоник:

$$K_G = \sqrt{\frac{P_2 + P_3 + \dots + P_N}{P_1}}$$

Номинальная выходная мощность $P_{\text{НОМ}}$ – мощность, выделяемая УНЧ в нагрузку и заданная техническими требованиями.

Номинальное выходное напряжение $U_{\text{НОМ}}$ – напряжение на нагрузке, соответствующее номинальной выходной мощности.

Номинальное входное напряжение ном $U_{\text{вх}}$ – напряжение, подаваемое на вход УНЧ, при котором на выходе создается номинальная мощность. Напряжение ном $U_{\text{вх}}$ соответствует чувствительности УНЧ.

Входное сопротивление $Z_{\text{вх}}$ – сопротивление для токов низкой частоты, измеренное между входными зажимами УНЧ. В области средних частот входное сопротивление обычно оказывается активным $R_{\text{вх}}$.

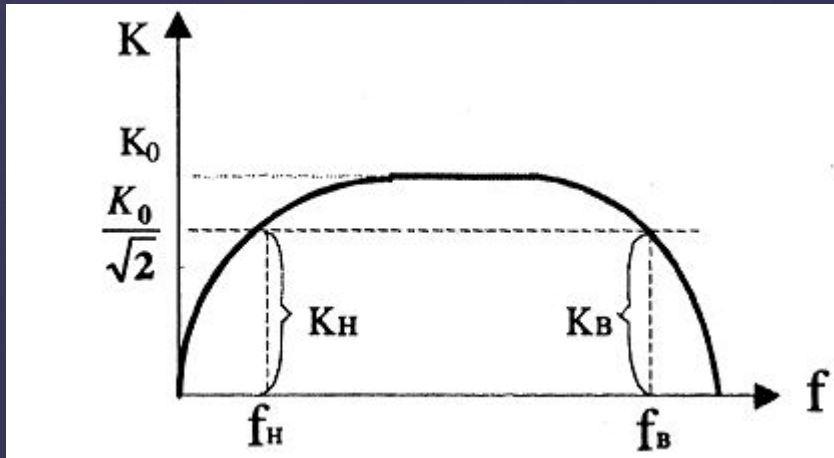
Выходное сопротивление $Z_{\text{вых}}$ – сопротивление для токов низкой частоты, измеренное между выходными зажимами УНЧ (при условии, что источник сигнала включен, но его напряжение равно нулю).

Общая потребляемая мощность P_0 – мощность, потребляемая УНЧ от источников питания, при номинальной выходной мощности $P_{\text{ном}}$.

Номинальная выходная мощность определяет верхний предел выходной мощности, при котором все характеристики качества звучания по электрическому напряжению соответствуют нормам.

Линейные искажения и полоса пропускания.

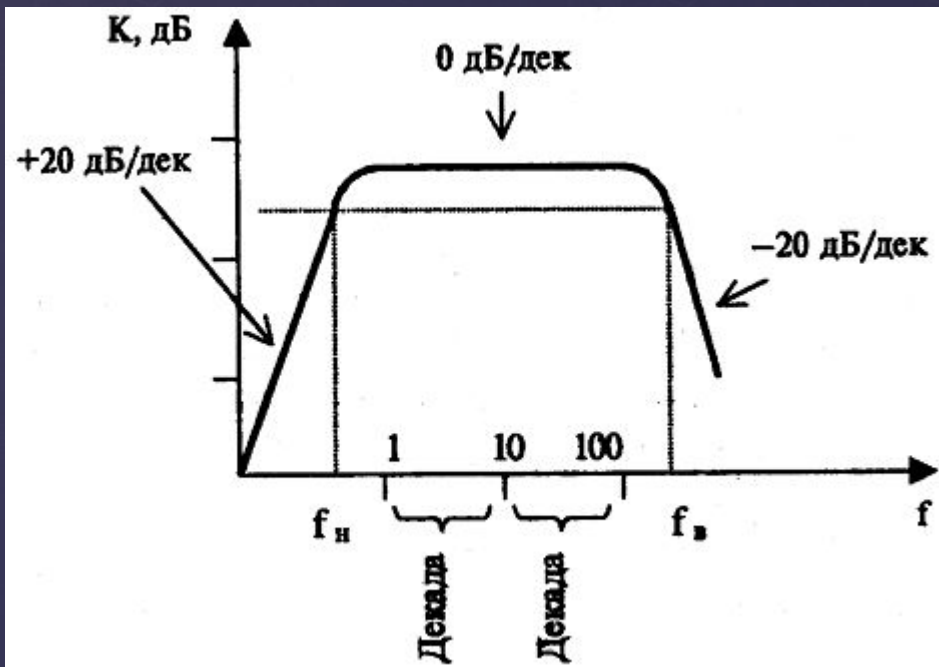
Коэффициент усиления K идеального усилителя не зависит от частоты, но в реальной жизни это далеко не так. Зависимость амплитуды от частоты называют **амплитудно-частотной характеристикой** — **АЧХ** и часто изображают в виде графика, где по вертикали откладывают коэффициент усиления по напряжению, а по горизонтали частоту. Изобразим на графике АЧХ типичного усилителя.



Снимают АЧХ, последовательно подавая на вход усилителя сигналы разных частот определённого уровня и измеряя уровень сигнала на выходе.

Диапазон частот ΔF , в пределах которого мощность усилителя уменьшается не более, чем в два раза от максимального значения, называют **полосой пропускания усилителя**.

Значения частоты и уровня сигналов, с которыми работает УНЧ, могут изменяться очень существенно, поэтому АЧХ обычно строят в логарифмических координатах, иногда его называют при этом ЛАЧХ.

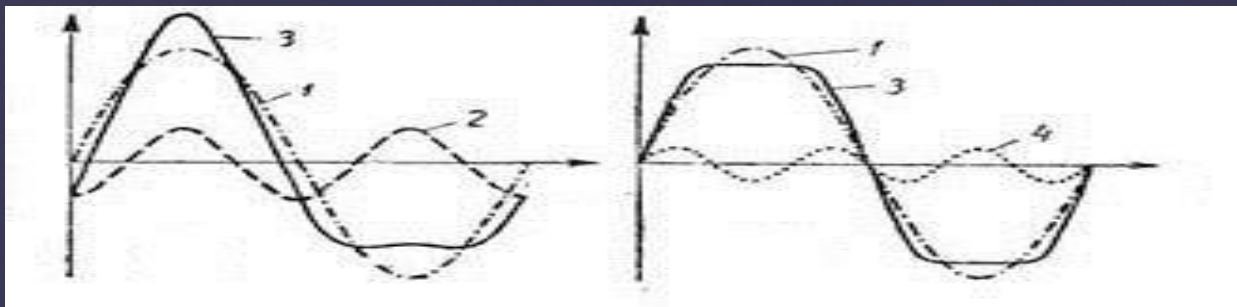


Коэффициент усиления усилителя выражают в децибелах, а по оси абсцисс откладывают частоты через декаду (интервал частот отличающихся между собой в десять раз). Не правда ли так график выглядит не только симпатичнее, но и информативнее?

Усилитель не только неравномерно усиливает сигналы разных частот, но ещё и сдвигает фазу сигнала на разные значения, в зависимости от его частоты. Эту зависимость отражает фазочастотная характеристика усилителя.

Нелинейные искажения. КНИ, КГИ, THD.

Нелинейные искажения добавляют в сигнал ранее не существовавшие гармоники и, в результате, изменяют исходную форму сигнала. Пожалуй самым наглядным примером таких искажений может служить ограничение синусоидального сигнала по амплитуде, изображённое ниже.



На левом графике показаны искажения, вызванные наличием дополнительной чётной гармоники сигнала — ограничение амплитуды одной из полуволн сигнала. Исходный синусоидальный сигнал имеет номер 1, колебание второй гармоники 2, а полученный искажённый сигнал 3. На правом рисунке показан результат действия третьей гармоники — сигнал «обрезан» с двух сторон.

Коэффициент гармонических искажений (КГИ)

$$K_{\text{Н}} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots + U_n^2 + \dots}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2 + \dots}}$$

Такая методика будет работать только в том случае, если входной сигнал будет идеальным и содержать только основную гармонику. Это условие удаётся выполнить не всегда, поэтому в современной международной практике гораздо большее распространение получил другой параметр оценки степени нелинейных искажений — КНИ.

Коэффициент нелинейных искажений (КНИ)

$$K_{\text{Н}} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots + U_n^2 + \dots}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2 + \dots}}$$

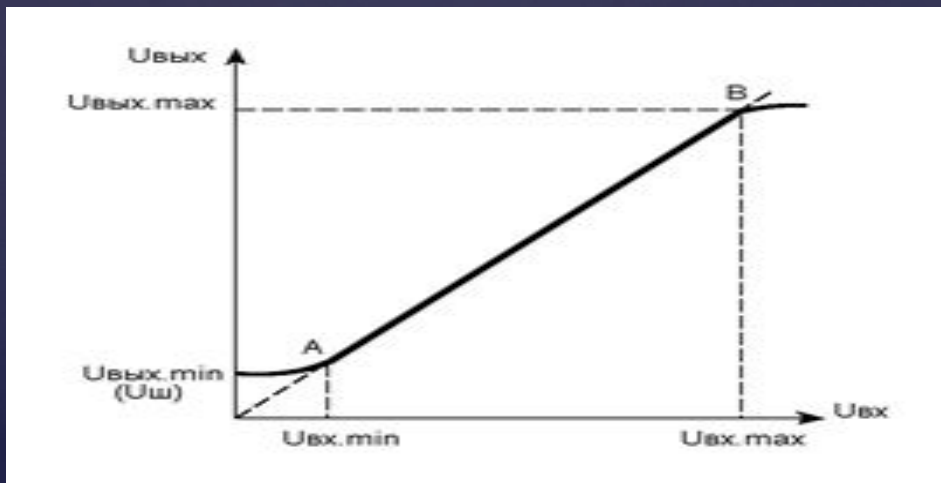
КНИ — величина равная отношению среднеквадратичной суммы спектральных компонент выходного сигнала, отсутствующих в спектре входного сигнала, к среднеквадратичной сумме всех спектральных компонент входного сигнала.

Амплитудная характеристика. Совсем коротко о шумах и помехах.

Зависимость выходного напряжения усилителя от его входного, при фиксированной частоте сигнала (обычно 1000Гц), называется амплитудной характеристикой.

Амплитудная характеристика идеального усилителя представляет из себя прямую, проходящую через начало координат, поскольку коэффициент его усиления является постоянной величиной при любых входных напряжениях.

На амплитудной характеристике реального усилителя имеется, как минимум, три разных участка. В нижней части она не доходит до нуля, так как усилитель имеет собственные шумы, которые становятся на малых уровнях громкости соизмеримы с амплитудой полезного сигнала.



В средней части (АВ) амплитудная характеристика близка к линейной. Это рабочий участок, в его пределах искажения формы сигнала будут минимальными.

В верхней части графика амплитудная характеристика также имеет изгиб, который обусловлен ограничением по выходной мощности усилителя.

Если амплитуда входного сигнала такова, что работа усилителя идет на изогнутых участках, то в выходном сигнале появляются нелинейные искажения. Чем больше нелинейность, тем сильнее искажается синусоидальное напряжение сигнала, т.е. на выходе усилителя появляются новые колебания (высшие гармоники).

Шумы в усилителях бывают разных видов и вызываются разными причинами.

Белый шум

Белый шум — это сигнал с равномерной спектральной плотностью на всех частотах. В пределах рабочего диапазона частот усилителей низкой частоты примером такого шума можно считать тепловой, вызванный хаотичным движением электронов. Спектр этого шума равномерен в очень широком диапазоне частот.

Розовый шум

Розовый шум известен также как мерцательный (фликкер-шум). Спектральная плотность мощности розового шума пропорциональна отношению $1/f$ (плотность обратно пропорциональна частоте), то есть он является равномерно убывающим в логарифмической шкале частот. Розовый шум генерируется как пассивными так и активными электронными компонентами, о природе его происхождения до сих пор спорят учёные.

Фон от внешних источников

Одна из основных причин шума — фон наводимый от посторонних источников, например от сети переменного тока 50 Гц. Он имеет основную гармонику в 50 Гц и кратные ей.

Самовозбуждение

Самовозбуждение отдельных каскадов усилителя способно генерировать шумы, как правило определённой частоты.