

Амплитудно-частотная характеристика

Аббревиатура **АЧХ** расшифровывается как *амплитудно-частотная характеристика*. На английском этот термин звучит как «frequency response», что в дословном переводе **означает** «частотный отклик». Амплитудно-частотная характеристика цепи показывает зависимость уровня сигнала на выходе данного устройства от частоты передаваемого сигнала при постоянной амплитуде синусоидального сигнала на входе этого устройства. АЧХ может быть определена аналитически через формулы, либо экспериментально. Любое устройство предназначено для передачи (или усиления) электрических сигналов. АЧХ устройства определяется по зависимости коэффициента передачи (или коэффициента усиления) от частоты.

Классическим методом измерения АЧХ является подача на вход исследуемого объекта гармонического сигнала измеряемой частоты с постоянной или известной для каждой частоты сигнала амплитудой. В этом случае измеряется отношение модулей амплитуды выходного и входного сигналов (коэффициента передачи) исследуемой системы для разных частот.

Проще, на вход устройства подаем сигнал с заданной частотой и известной амплитудой, на выходе этого устройства частота будет такая же, что и на входе, а вот амплитуда этого сигнала изменится. Отношение выходного значения амплитуды к значению на входе и будет являться амплитудно-частотной характеристикой.

Фазо-частотная характеристика (ФЧХ) – зависимость разности фаз между выходным и входным сигналами от частоты сигнала, функция, выражающая (описывающая) эту зависимость, также – график этой функции.

Для линейной электрической цепи - зависимость сдвига по фазе между гармоническими колебаниями на выходе и входе этой цепи от частоты гармонических колебаний на входе. Часто ФЧХ используют для оценки фазовых искажений формы сложного сигнала, вызываемых неодинаковой задержкой во времени его отдельных гармонических составляющих при их прохождении по цепи.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) представляет собой график, демонстрирующий разницу величин амплитуд выходного и входного сигналов во всем диапазоне воспроизводимых частот. Получают этот график путем подачи синусоидального сигнала неизменной амплитуды при изменении его частоты.

Коэффициент передачи (или усиления) – это отношение напряжения на выходе цепи к напряжению на ее входе.

$$K_U = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}$$

где $U_{\text{ВЫХ}}$ — напряжение на выходе цепи,
 $U_{\text{ВХ}}$ — напряжение на входе цепи.



В усилительных устройствах коэффициент передачи больше единицы. Если устройство вносит ослабление передаваемого сигнала, то коэффициент передачи меньше единицы.

Коэффициент передачи может быть выражен через децибелы:

$$K_U = 20 \lg \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}$$

Построим АЧХ цепи (например, RC-цепи) в программе Proteus

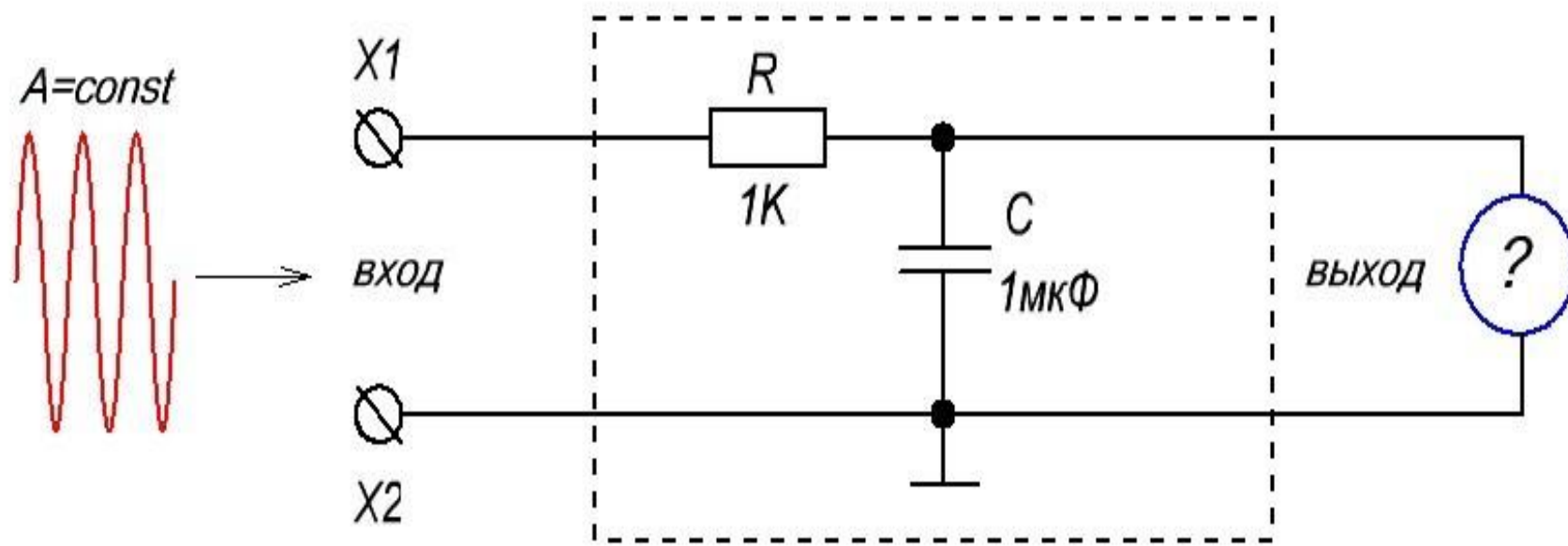
Для того, чтобы разобраться, что такое АЧХ, давайте рассмотрим рисунок ниже.

Итак, имеем «черный ящик», на вход которого мы будем подавать синусоидальный сигнал, а на выходе черного ящика мы будем снимать сигнал. Должно соблюдаться условие: нужно менять частоту входного синусоидального сигнала, но его амплитуда должна быть **постоянной**.



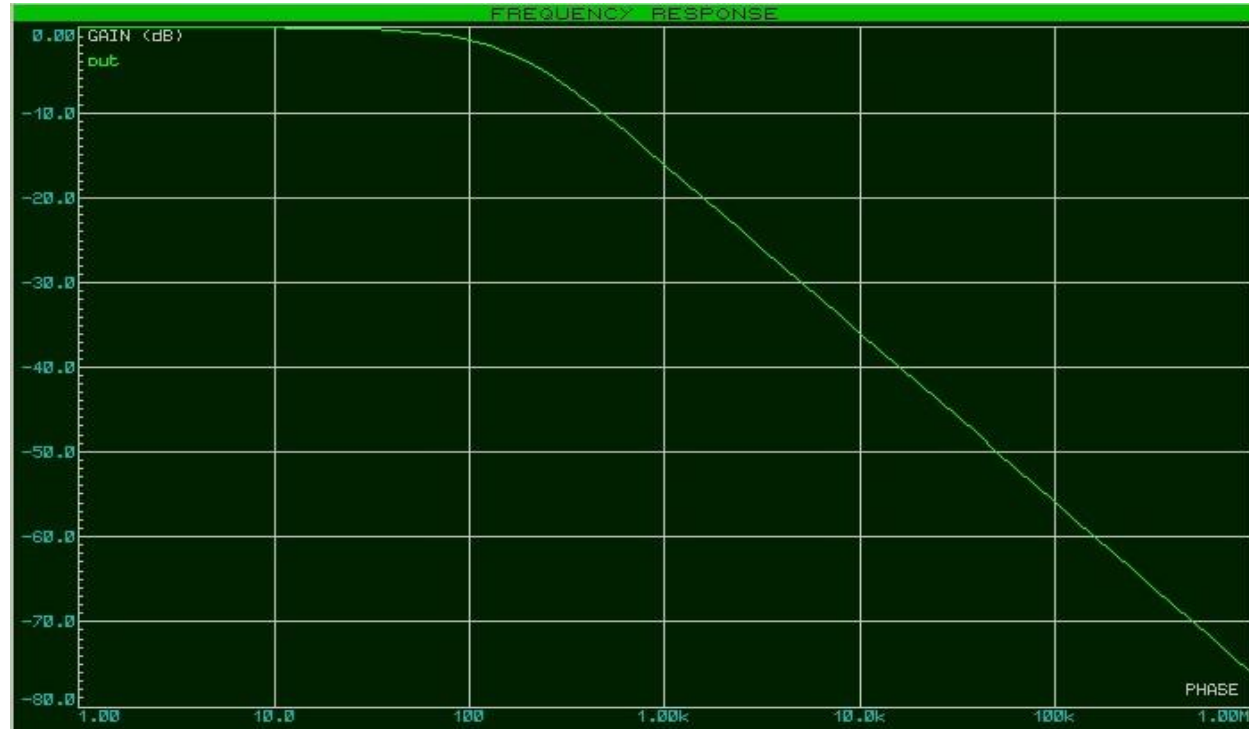
Надо измерить амплитуду сигнала на выходе после черного ящика при интересующих нас значениях частоты входного сигнала. Т.е. мы должны изменять частоту входного сигнала от 0 Герц (постоянный ток) до какого-либо конечного значения, которое будет удовлетворять нашим целям, и смотреть, какая амплитуда сигнала будет на выходе при соответствующих значениях на входе.

Давайте разберем все это дело на примере. Пусть в черном ящике у нас будет самая простая RC-цепь с уже известными номиналами радиоэлементов.



Выбираем диапазон частоты, который будем «загонять» на вход нашей цепи. В данном случае это диапазон от 1 Гц и до 1 МГц.

Получаем картинку на выходе:

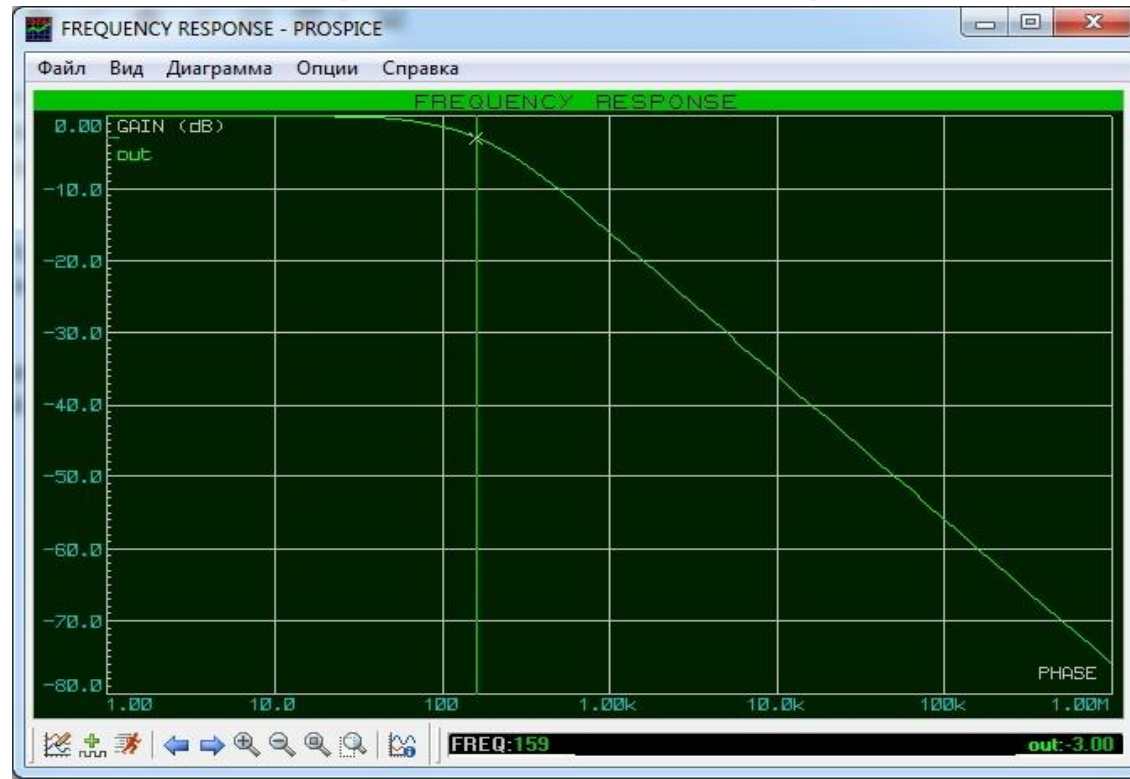


Что мы увидим на нашей АЧХ? Амплитуда на выходе цепи падает с увеличением частоты. Это означает, что наша RC-цепь является своеобразным частотным фильтром. Такой фильтр пропускает низкие частоты, в нашем случае до 100 Герц, а потом с ростом частоты начинает их «давить». И чем больше частота, тем больше он ослабляет амплитуду выходного сигнала. Поэтому, в данном случае, наша RC-цепь является самым простейшим **фильтром низкой частоты (ФНЧ)**.

Полоса пропускания

Полоса пропускания — это диапазон частот, в пределах которого АЧХ радиотехнической цепи или устройства достаточно равномерна, чтобы обеспечить передачу сигнала без существенного искажения его формы.

Как же определить полосу пропускания? Достаточно на графике АЧХ найти уровень в -3 дБ от максимального значения АЧХ и найти точку пересечения прямой с графиком. В нашем случае достаточно развернуть нашу диаграмму на весь экран и с помощью встроенного маркера посмотреть частоту на уровне в -3 дБ в точке пересечения с нашим графиком АЧХ. Как мы видим, она равняется 159 Герц.



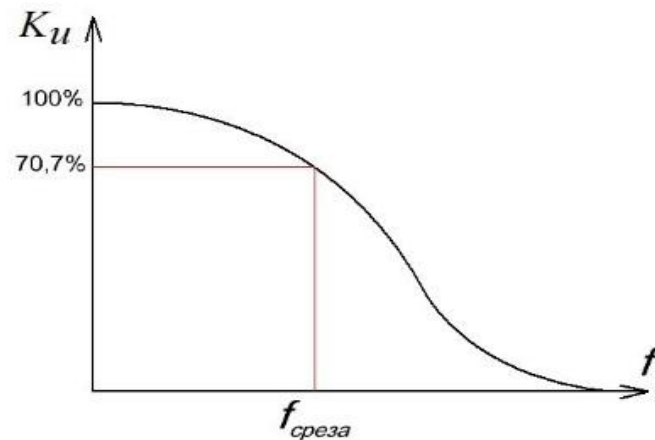
Частота, которая получается на уровне в -3 дБ, называется *частотой среза*. Для RC-цепи ее можно найти по формуле:

$$f_{\text{среза}} = \frac{1}{2\pi RC}$$

Для нашего случая расчетная частота получилась 159,2 Гц, что подтверждает и Proteus.

$$f_{\text{среза}} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 10^3 \cdot 10^{-6}} = 159,2 \text{ Гц}$$

Если не связываться с децибелами, то можно провести линию на уровне 0,707 от максимальной амплитуды выходного сигнала и посмотреть пересечение с графиком. В данном примере взяли максимальную амплитуду за уровень в 100%.



Фазо-частотная характеристика

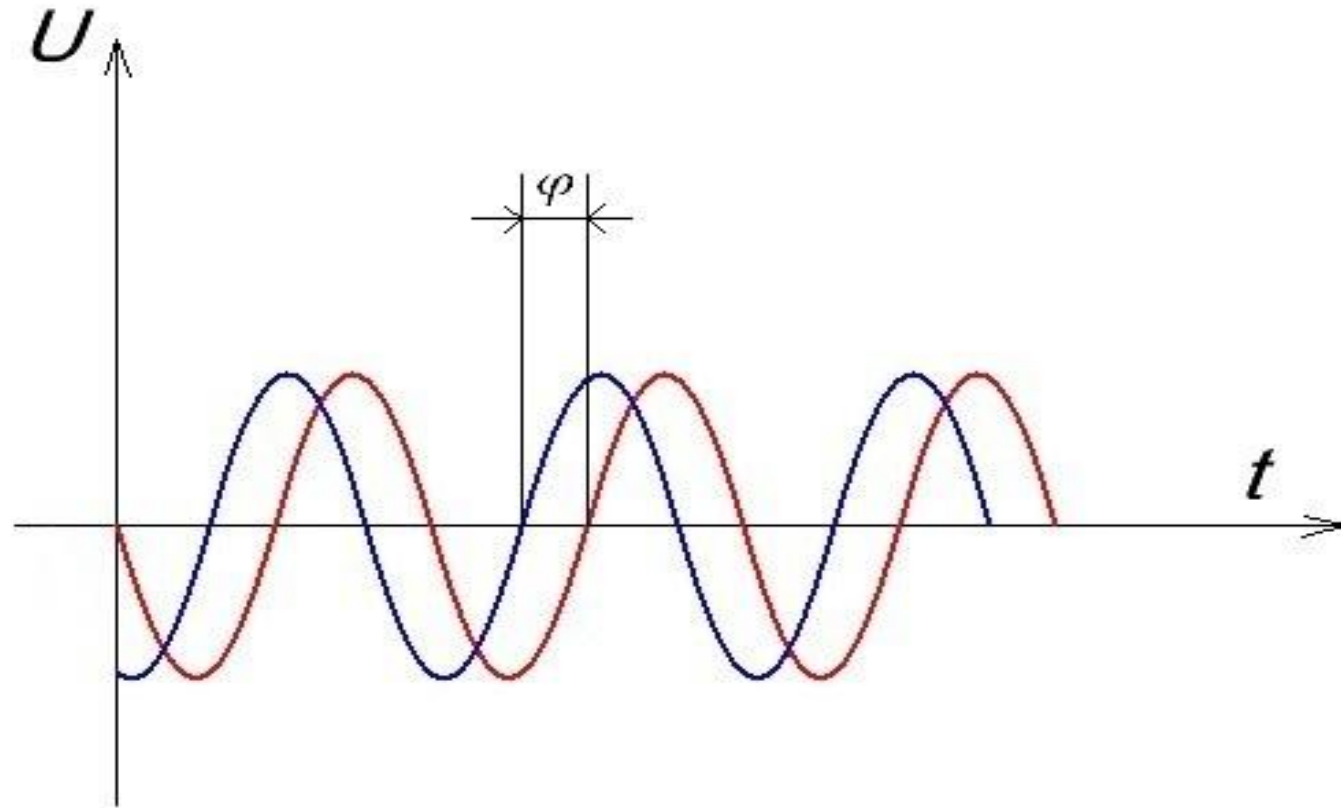
ФЧХ расшифровывается как фазо-частотная характеристика, phase response — фазовый отклик. Фазо-частотная характеристика — это зависимость сдвига по фазе между синусоидальными сигналами на входе и выходе устройства от частоты входного колебания.

Разность фаз

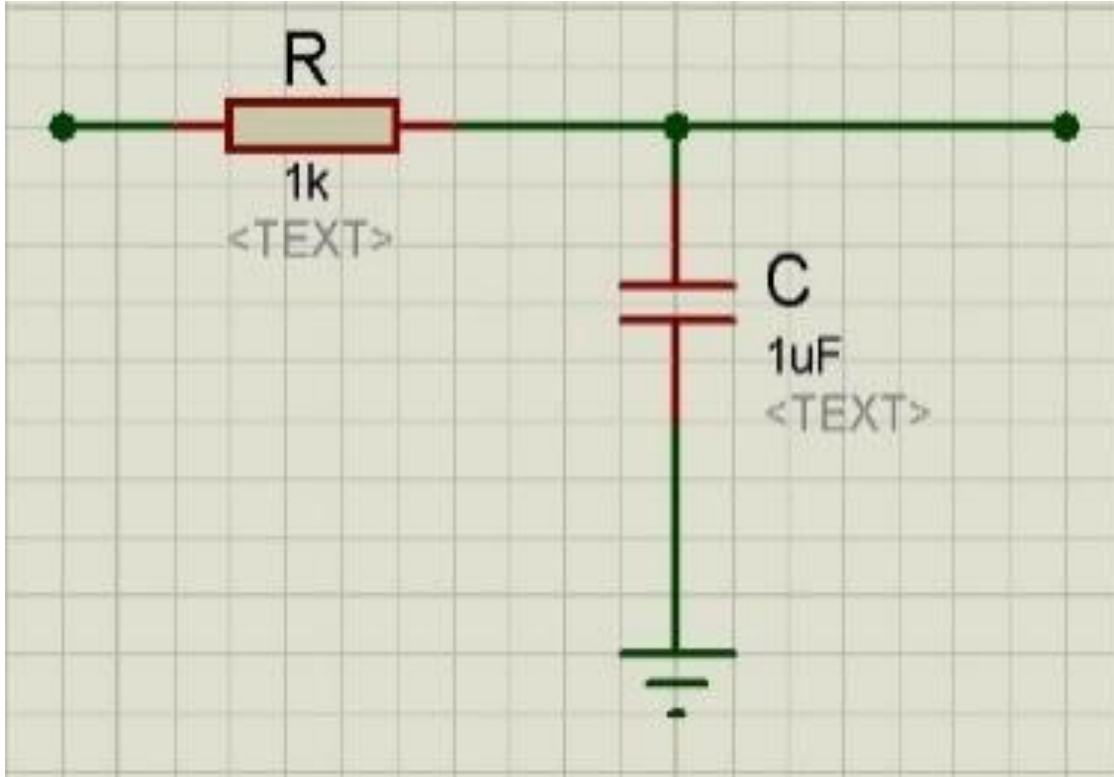
Разницу между фазами сигналов в электронике называют **разностью фаз**. Вроде бы «загоняем» на вход какой-либо сигнал, а выходной сигнал ни с того ни с сего взял и сдвинулся по времени, относительно входного сигнала.

Для того, чтобы определить разность фаз, должно выполняться условие: *частоты сигналов должны быть равны*. Пусть даже один сигнал будет с амплитудой в Киловольт, а другой в милливольт. Неважно! Лишь бы соблюдалось равенство частот. Если бы условие равенства не соблюдалось, то сдвиг фаз между сигналами все время бы изменялся.

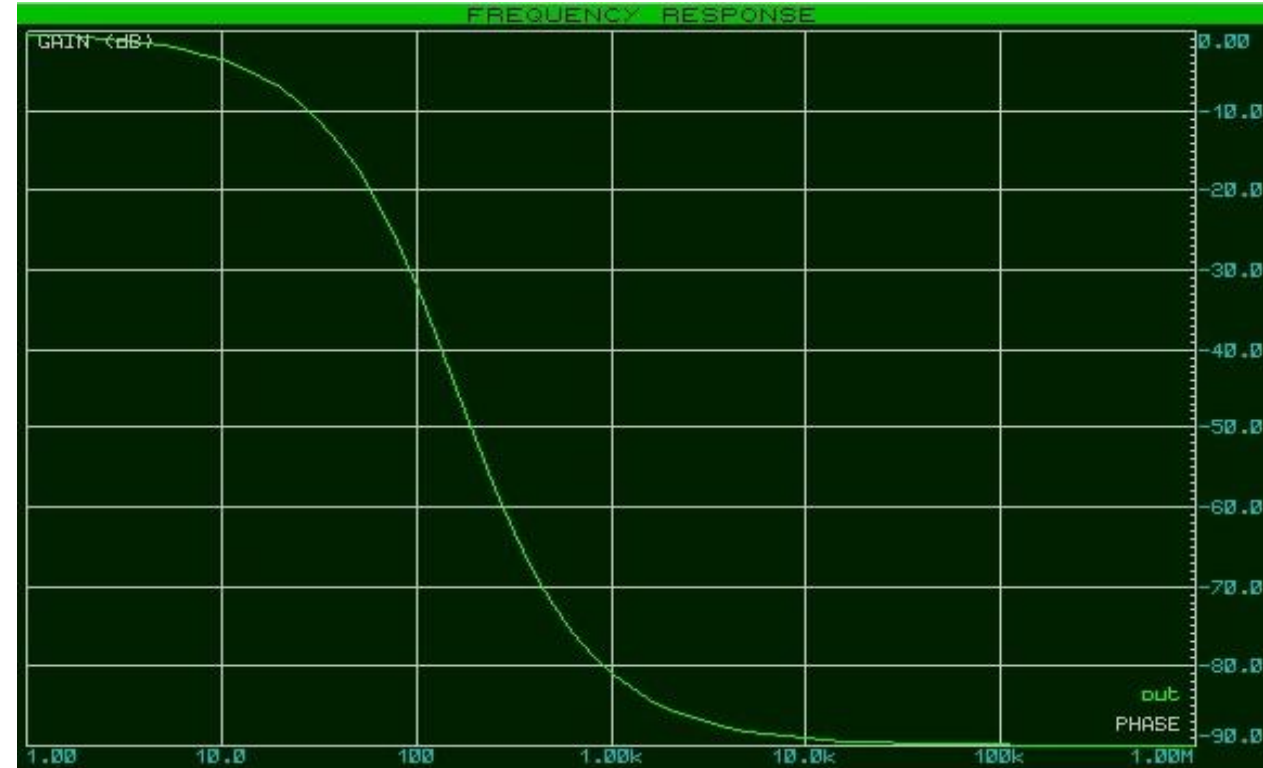
Для определения сдвига фаз используют двухканальный осциллограф. Разность фаз чаще всего обозначается буквой φ и на осциллограмме это выглядит примерно так:



Строим ФЧХ RC-цепи в Proteus
для нашей исследуемой цепи.



Не забываем проставлять
испытываемый диапазон частот:



Две характеристики можно объединить на одном графике:



На частоте среза сдвиг фаз между входным и выходным сигналом составляет 45 градусов или в радианах $\pi/4$:



В данном опыте при частоте более 100 КГц разность фаз достигает значения в 90 градусов (в радианах $\pi/2$) и уже не меняется.

Резюме

Амплитудно-частотная характеристика цепи показывает зависимость уровня сигнала на выходе данного устройства от частоты передаваемого сигнала при постоянной амплитуде синусоидального сигнала на входе этого устройства.

Фазо-частотная характеристика — это зависимость сдвига по фазе между синусоидальными сигналами на входе и выходе устройства от частоты входного колебания.

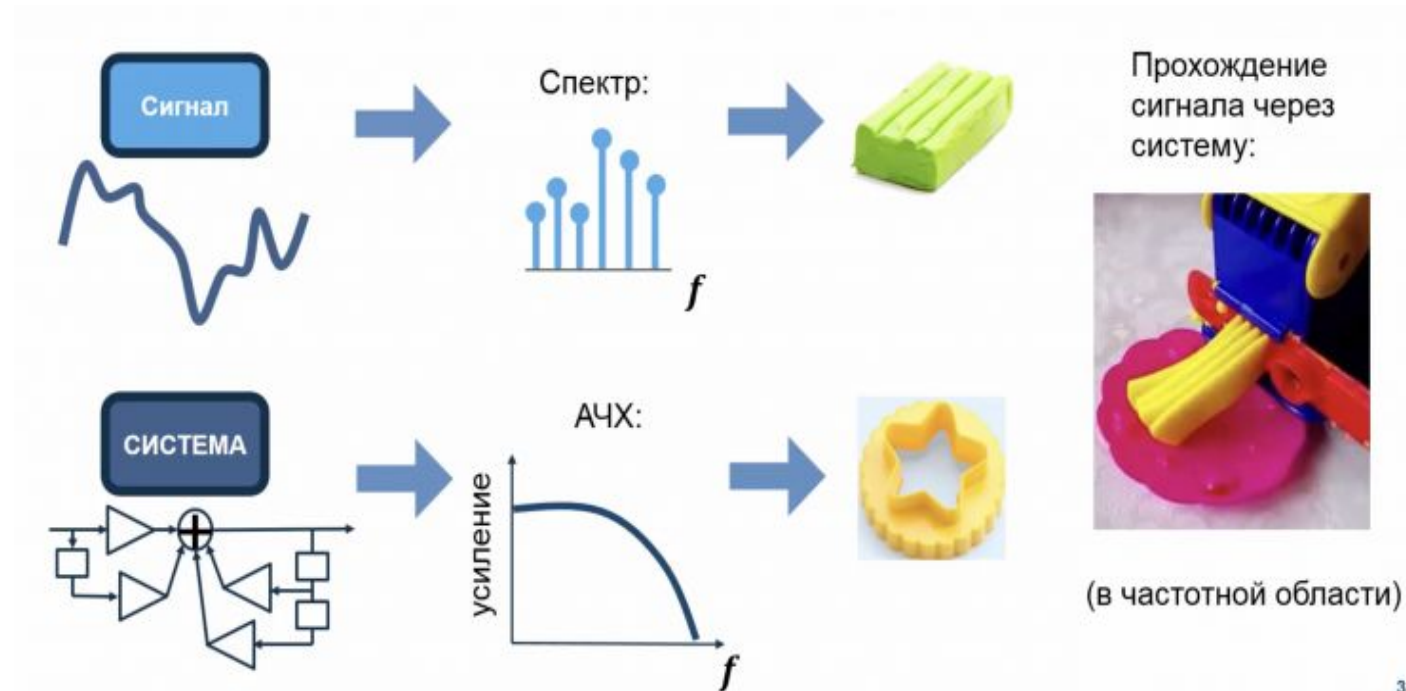
Коэффициент передачи — это отношение напряжения на выходе цепи к напряжению на ее входе. Если коэффициент передачи больше единицы, то электрическая цепь усиливает входной сигнал, если же меньше единицы, то ослабляет.

Полоса пропускания — это диапазон частот, в пределах которого АЧХ радиотехнической цепи или устройства достаточно равномерна, чтобы обеспечить передачу сигнала без существенного искажения его формы. Определяется по уровню 0,707 от максимального значения АЧХ.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) представляет собой график, демонстрирующий разницу величин амплитуд выходного и входного сигналов во всем диапазоне воспроизводимых частот. Получают этот график путем подачи синусоидального сигнала неизменной амплитуды при изменении его частоты.

Коэффициент передачи – это отношение напряжения на выходе цепи к напряжению на ее входе.

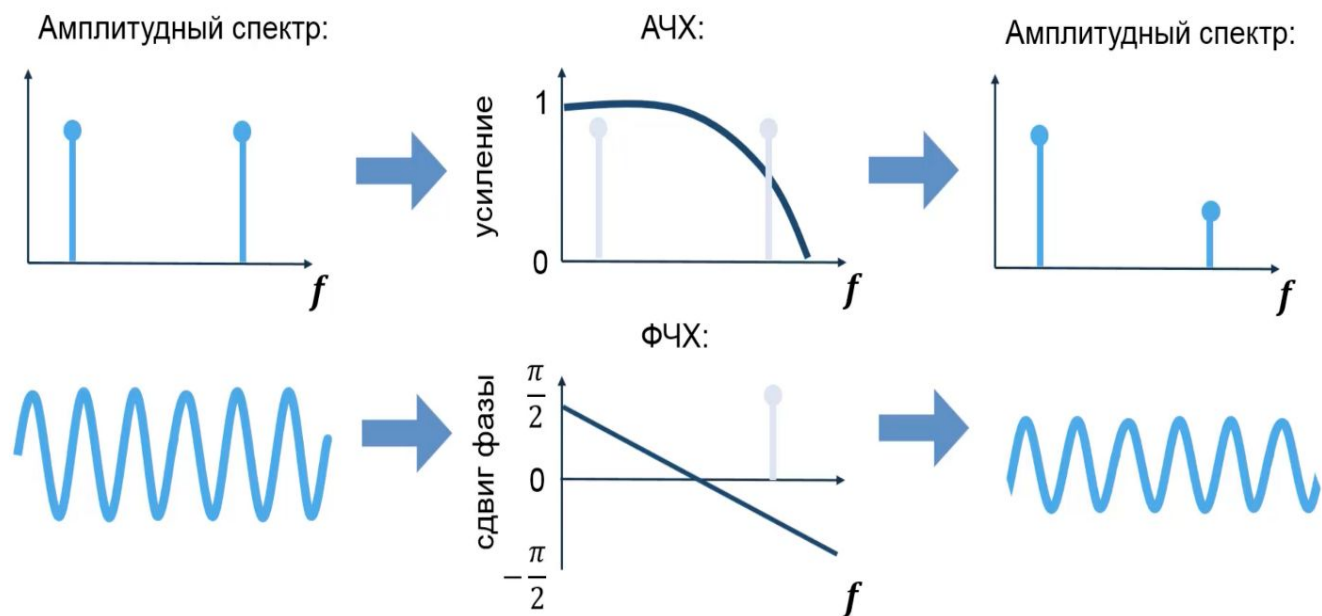
У сигнала есть амплитудный спектр, то есть зависимость энергии сигнала в зависимости от частоты. А у системы есть АЧХ, говоря простыми словами, зависимость коэффициента усиления от частоты.



В частотной области спектр сигнала должен пройти через АЧХ системы, при этом его спектр исказится, подобно тому, как брусок пластилина изменит своё сечение при прохождении через определённую формочку.

Давайте рассмотрим влияние АЧХ и ФЧХ на отдельные спектральные составляющие сигнала, или синусоиды. Допустим, у нас есть сигнал, состоящий из двух отдельных синусоид. При прохождении через систему с АЧХ представленной формы, синусоида меньшей частоты не изменит своей амплитуды, в то время как синусоида большей частоты станет меньше по уровню, так как этой частоте соответствует коэффициент усиления меньше единицы. АЧХ системы может усиливать сигнал в одних полосах и подавлять в других.

Фазочастотная характеристика показывает зависимость фазового сдвига от частоты. Подобно тому, как мы можем отразить фазовый спектр сигнала. Но в случае с ФЧХ, к начальной фазе сигнала на конкретной частоте добавится сдвиг, определяемый ФЧХ. Проще говоря, синусоида не только изменит свою амплитуду, но и сдвинется на временной оси.



Задачи линейных стационарных систем:
модифицировать амплитуду и/или фазу входного сигнала

Этот процесс называется **фильтрацией**



Для описания любого фильтра достаточно знать два вектора его коэффициентов -

$$b = [b_0 \ b_1 \ \dots \ b_M] \quad a = [a_0 \ a_1 \ \dots \ a_N]$$

АЧХ и ФЧХ наглядно демонстрируют нам, как система изменяет проходящий через неё сигнал. Но откуда мы получаем эти характеристики, и связаны ли они с разностным уравнением, или передаточной функцией? На самом деле да, связаны.

Задачи линейных стационарных систем – изменять амплитуду и фазу входных сигналов. И процесс этот называется **фильтрацией**. К примеру, удаление нежелательной высокочастотной составляющей в сигнале и усиление полезной низкочастотной – типичная задача для линейной стационарной системы. В дальнейшем мы будем называть такие системы **фильтрами**.