

## Модуль 1 – «Основы радиотехники»

### Практическая работа 4. Тема – «Фильтр верхних частот»

**Задание:** Составить схему двухзвенного ФВЧ на основе рисунка 1. построить АЧХ однозвенного и двухзвенного фильтра верхних частот в соответствии с рисунком 1 и полученным двухзвенным ФВЧ, используя программу моделирования схем Electronics Workbench. Последовательно откомментируйте выполнение задания, сделав соответствующие скрин шоты.

#### **Теоретические сведения:**

В радиоэлектронных устройствах широкое применение находит такой вид линейных цепей, как электрические фильтры, предназначенные для выделения (пропускания) или подавления (ослабления) сигналов с заданным спектром частот. Область частот, в которой фильтры обладают малым ослаблением (затуханием), называется полосой пропускания. Область частот, в которой фильтры существенно ослабляют сигнал, определяется как полоса заграждения.

Электрические фильтры - это устройства, которые пропускают на выход сигналы одних частот и не пропускают сигналы других частот.

По характеру расположения полосы пропускания и полосы заграждения различают следующие типы фильтров: фильтр нижних частот (ФНЧ), верхних частот (ФВЧ), полосовой (полосно-пропускающий) и режекторный (полосно-заграждающий). По виду [АЧХ](#) фильтры разделяются на фильтры нижних частот (НЧ), верхних частот (ВЧ), полосовые фильтры (ПЧ) и др.

Фильтры могут быть однозвенные (первого порядка), двухзвенные (второго порядка) и многозвенные (n-го). Чем выше порядок фильтра, тем круче его амплитудно-частотная характеристика и тем более она похожа на его идеальную характеристику. Фильтр любого порядка можно построить путем каскадного соединения фильтров первого и второго порядков.

#### **Фильтры верхних частот**

Принцип работы фильтров верхних частот противоположен принципу работы [фильтров нижних частот](#): они эффективно пропускают частотный спектр сигнала выше

некоторой частоты (частоты среза), и уменьшают (подавляют) частоты сигнала ниже этой частоты. Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что конструкции индуктивного и емкостного фильтров верхних частот противоположны соответствующим конструкциям [фильтров нижних частот](#):

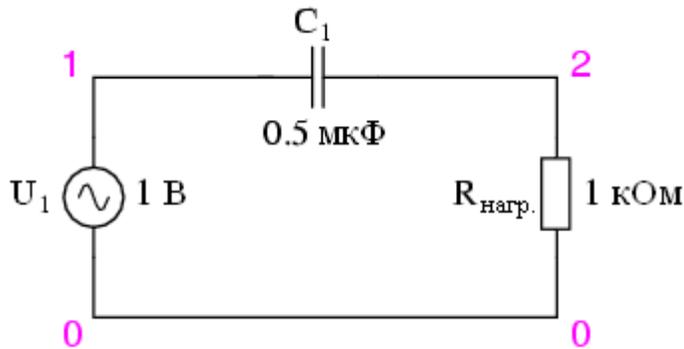


Рисунок 1. Емкостной фильтр верхних частот

На рис. 1 показан делитель напряжения, состоящий из конденсатора и резистора. Согласно закону Ома для комплексных величин,

$$\mathbf{I} = \mathbf{U}_{вх} / \mathbf{Z}_{полн} = \mathbf{U}_{вх} / \mathbf{R} - (\mathbf{j} / \omega \mathbf{C}) = \mathbf{U}_{вх} [\mathbf{R} + \mathbf{j} / \omega \mathbf{C}] / \mathbf{R}^2 + 1 / \omega^2 \mathbf{C}^2. \quad (5)$$

(Окончательный результат получек после умножения числителя и знаменателя на комплексное число, сопряженное знаменателю.) Итак, напряжение на резисторе R равно

$$\mathbf{U}_{вых} = \mathbf{I} \mathbf{Z} \mathbf{R} = \mathbf{I} \mathbf{R} = \mathbf{U}_{вх} [\mathbf{R} + (\mathbf{j} / \omega \mathbf{C}) \mathbf{R}] / \mathbf{R}^2 + 1 / \omega^2 \mathbf{C}^2. \quad (6)$$

Чаще всего нас интересует не фаза, а амплитуда  $U_{вых}$ :

$$U_{вых} = (U_{вых} U_{вых}^*)^{1/2} = U_{вх} \mathbf{R} / [\mathbf{R}^2 + (1 / \omega^2 \mathbf{C}^2)]^{1/2}. \quad (7)$$

Сравните полученный результат с выражением для резистивного делителя:

$$U_{вых} = U_{вх} \mathbf{R}_1 / (\mathbf{R}_1 + \mathbf{R}_2). \quad (8)$$

Если не принимать во внимание сдвиг фаз, а рассматривать только модули комплексных амплитуд, то «отклик» схемы будет определяться следующим образом:

$$U_{вых} = U_{вх} \mathbf{R} / [\mathbf{R}^2 + (1 / \omega^2 \mathbf{C}^2)]^{1/2} = U_{вх} 2\pi f \mathbf{R} \mathbf{C} / [1 + (2\pi f \mathbf{R} \mathbf{C})^2]^{1/2}. \quad (9)$$

График этой зависимости представлен на рис. 2. Такой же результат мы бы получили, если бы определили отношение модулей импедансов как и в примере перед этим упражнением; числитель представляет собой модуль импеданса нижнего плеча делителя R, а знаменатель - модуль импеданса последовательного соединения R и C.

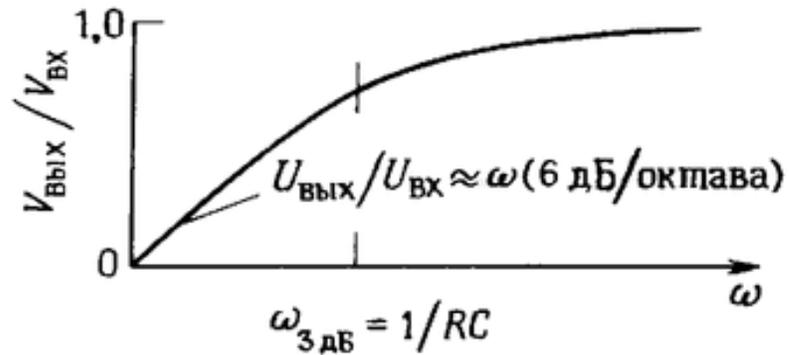


Рис. 3. Частотная характеристика фильтра высоких частот. б

Видно, что на высоких частотах выходное напряжение приблизительно равно входному ( $\omega > 1/RC$ ), а на низких частотах выходное напряжение уменьшается до нуля. Мы пришли к важному результату, запомните его. Подобная схема, по понятным причинам, называется фильтром высоких частот. На практике ее используют очень широко. Например, в осциллографе предусмотрена возможность связи по переменному току между исследуемой схемой и входом осциллографа. Эта связь обеспечивается с помощью фильтра высоких частот, имеющего перегиб характеристики в области 10 Гц (связь по переменному току используют для того, чтобы рассмотреть небольшой сигнал на фоне большого напряжения постоянного тока). Инженеры часто пользуются понятием «точки излома» -3 дБ для фильтра (или любой другой схемы, которая ведет себя как фильтр)! В случае простого RC - фильтра высоких частот точка излома -3 дБ определяется выражением:

$$f_{3дБ} = 1/2\pi RC.$$

Обратите внимание, что конденсатор не пропускает ток ( $f = 0$ ). Самый распространенный пример использования конденсатора - это использование его в качестве блокирующего конденсатора постоянного тока. Если возникает необходимость обеспечить связь между усилителями, то почти всегда прибегают к помощи конденсатора. Например, у любого усилителя звуковой частоты высокого класса все входы имеют емкостную связь, так как заранее не известно, какой уровень постоянного тока будут иметь входные сигналы. Для обеспечения связи необходимо подобрать R и C таким образом, чтобы все нужные частоты (в данном случае 20 Гц - 20 кГц) поступали на вход без потерь (без деления на входе).

1. Фильтр нижних частот пропускает только низкочастотные сигналы (рис. 3 и 5). Как видно из сравнения полученных графиков, крутизну амплитудно-частотной характеристики можно увеличить за счет применения каскадного включения однозвенных фильтров, в нашем случае – двух. При этом граничная частота остается той же, а подавление высоких частот происходит лучше. Фазовый сдвиг при этом за счет вклада второй емкости увеличивается до двух раз (рис. 4 и 6).

2. Комбинации фильтров нижних и верхних частот позволяют создавать полосовые фильтры, с помощью которых из всего спектра выделяется только определенная область частот. Эта возможность продемонстрирована на примере фильтра Вина (рис. 7). Максимальный коэффициент усиления, в отличие от ФНЧ, равен  $1/3$ .

3. Простые фильтры хорошо поддаются теоретическому описанию, как видно из полученных экспериментальных характеристик и сравнения с математическими выкладками. Неравномерность погрешностей связана с нелинейными законами распределения частот и измерительной шкалы.