

ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра электропривода, автоматики
и управления в технических системах

ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению курсовой работы
на тему «Исследование фильтрующих свойств
линейных электрических цепей синусоидального тока»
по дисциплине
«Электротехника»
для студентов направления 28.03.01
«Нанотехнологии и микросистемная техника»
профиля
"Компоненты микро- и наносистемной техники"
очной формы обучения



Воронеж 2022

Составитель: старший преподаватель Ж.А. Ген

УДК 621.313

Задания и методические указания к выполнению курсовой работы на тему «Исследование фильтрующих свойств линейных электрических цепей синусоидального тока» по дисциплине «Электротехника» для студентов направления 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника», профиля «Компоненты микро- и наносистемной техники» очной формы обучения/ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Ж.А. Ген. Воронеж, 2022, 35 с.

Методические указания к выполнению курсовой работы «Исследование фильтрующих свойств линейных электрических цепей синусоидального тока» по дисциплине «Электротехника» содержат требования по оформлению курсовой работы, задания, а также теоретические и практические сведения, необходимые для выполнения этой работы. Предназначено для студентов второго курса.

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе MS PDF и содержатся в файле 28.03.01_кр_ЭТ.doc.

Ил. 18. Библиогр.: 7 назв.

Рецензент канд. техн. наук, доц. Д.А.Тонн.

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. В.Л. Бурковский.

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

©ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный
технический университет», 2022

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Требования к оформлению курсовой работы изложены в «Положении о курсовых проектах и работах по программам высшего образования», размещенном на сайте ВГТУ: ВГТУ → Университет → Документы → Учебный процесс. Высшее образование - бакалавриат, специалитет, магистратура. → Положение о курсовых проектах и работах по программам высшего образования - программам бакалавриата, специалитета, магистратуры.pdf

1. Курсовую работу выполняют на одной стороне листа белой бумаги формата А4, соблюдая следующие размеры полей: верхнее – 20 мм, нижнее – 10 мм, левое - 20 мм; правое - 10 мм.

Текст набирают в редакторе Microsoft Word шрифтом Times New Roman, кегль 14, черного цвета с межстрочным интервалом 1,5 и абзацным отступом первой строки 1,25 см. Текст необходимо отформатировать по ширине страницы.

2. Работа должна быть сброшюрована, страницы пронумерованы арабскими цифрами в центре нижней части страницы без точек, нумерация – сквозная по всему документу, включая приложения.

Номер страницы на титульном листе не указывают, хотя она включается в общую нумерацию страниц.

3. Текст курсовой работы содержит следующие структурные элементы:

- титульный лист;
- задание на курсовую работу;
- содержание;
- введение;
- основная часть;
- заключение;
- библиографический список;
- приложения.

Каждый структурный элемент начинают с новой страницы. Страница должна быть заполнена не менее, чем на третью часть.

Заголовки структурных элементов печатают прописными буквами, располагают по центру строки без точки в конце. Расстояние между заголовками и текстом равно одной строке.

4. Титульный лист является первой страницей, номер на титульном листе не проставляется. Форма титульного листа приведена в приложении 1. Допускается заполнять форму титульного листа либо на компьютере, либо от руки четким почерком чернилами или пастой только одного цвета (черного, синего или фиолетового).

На титульном листе приводят следующие данные:

полное название университета и кафедры, где студент проходит обучение по дисциплине;

наименование работы, название дисциплины, тема работы.

В центре строки указывают номер варианта.

В строке «Выполнил» студент указывает шифр и номер группы, свои инициалы и фамилию; в строке «Принял» - указывают должность, инициалы и фамилию преподавателя.

В строке «Курсовая работа защищена» после защиты работы будет проставлена дата защиты, а в строке «Оценка» - проставлена оценка.

Внизу посередине указываются название города и год выполнения работы.

5. Форму задания на курсовую работу заполняют на компьютере или от руки четким почерком пастой только одного цвета (черного, фиолетового или синего). В начале работы записывают данные для расчета, приводят чертеж исходной схемы и пункты задания курсовой работы.

6. Содержание включает все структурные элементы курсовой работы с указанием номеров страниц, с которых они начинаются. Для основной части приводятся наименования всех разделов, подразделов, пунктов (если они имеют наименова-

ние). Приложения указываются с их наименованием. Пример оформления содержания приведен в приложении 2.

7. Во введении показывают актуальность темы курсовой работы. Введение не нумеруют как раздел.

8. Основную часть делят на разделы, подразделы и пункты.

Разделы и подразделы имеют заголовки. Разделы должны иметь порядковую нумерацию в пределах всего текста работы, за исключением приложений.

Пример - 1,2,3 и т.д.

Номер подраздела или пункта включает номер раздела и порядковый номер подраздела или пункта, разделенные точкой.

Пример - 1.1, 1.2, 1.3 и т.д.

Номер подпункта включает номер раздела, подраздела, пункта и порядковый номер подпункта, разделенные точкой

Пример-1.1.1.1, 1.1.1.2, 1.1.1.3 и т.д.

После номера раздела, подраздела, пункта и подпункта в тексте точку не ставят.

Если раздел или подраздел имеет только один пункт, или пункт имеет только один подпункт, то нумеровать его не следует.

Заголовки основной части работы (разделов и подразделов) следует печатать с абзацного отступа, с прописной буквы, шрифт Times New Roman, кегль 14, не выделяя их полужирным шрифтом, без точки в конце. Переносы в заголовках не допускаются.

Расстояние между заголовком и текстом должно быть равно одной строке.

В начале основной части представляют развернутую схему с указанными на ней направлениями токов и напряжений.

Далее выполняют расчеты. Единицы измерений должны соответствовать системе СИ.

Формулы и уравнения записывают в общем виде, затем

производят подстановку числовых значений, указывают результат вычисления и единицу измерения, которая проставляется без скобок.

При многократном вычислении по одной формуле приводят только пример единичного расчёта.

Математические формулы и уравнения набирают в редакторе формул. Их следует выделять в отдельную строку и располагать по центру строки. Выше и ниже каждой формулы или уравнения должно быть оставлено не менее одной свободной строки.

Пояснение символов и числовых коэффициентов следует приводить непосредственно под формулой. Пояснение каждого символа следует давать с новой строки в той же последовательности, в которой символы приведены в формуле.

Первая строчка пояснения должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него, с абзацного отступа, как показано в примере.

Пример.

Плотность ρ , кг/ м³ каждого образца, вычисляют по формуле (1)

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

где m — масса образца, кг;

V - объем образца, м³.

Все вычисления и преобразования сопровождают пояснениями, а также проводят анализ полученных результатов.

Таблицу и иллюстрацию следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые, или на следующей странице. Расстояние между ними и текстом должно быть равно одной строке. На все таблицы и иллюстрации должны быть ссылки в тексте.

Таблицы и иллюстрации следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией или нумерацией в пределах раздела.

Наименование таблицы (при его наличии) следует по-

мешать над таблицей слева, без абзацного отступа через тире с ее номером.

Пример.

Таблица I - Основные единицы СИ

Пример.

Рисунок 1 или Рисунок 1.1

Иллюстрации могут иметь пояснительные данные - подрисуночный текст и наименование, которые располагают ниже иллюстрации по центру строки и помещают после пояснительных данных.

Пример.

- 1 - манометр; 2 - гидравлическая мессдоза;
- 3 - верхний зуб; 4 - нижний зуб;
- 5 - диск винтового механизма; 6 - щелевой упор;
- 7 - корпус прибора

Рисунок I - Механический индикатор прочности камня

Иллюстрации (схемы, графики, диаграммы, таблицы) выполняют карандашом с помощью чертежных инструментов или на компьютере по Госстандарту.

При построении диаграмм вычисляют масштабы, например, напряжений, токов и т.д. Полученные результаты округляют до значений $1 \cdot 10^n$, $2 \cdot 10^n$ или $5 \cdot 10^n$, где n – любое целое положительное или отрицательное число или ноль.

По осям графиков следует наносить деления с числовыми обозначениями физических величин. В конце оси через запятую указывается размерность.

12. Заключение - самостоятельная часть курсовой работы, оно должно содержать краткие выводы по выполнению задания, оценку полноты решений поставленных задач, предложения и рекомендации по использованию полученных резуль-

татов. Заключение не должно содержать пересказ содержания исследования. Заключение не нумеруется как раздел.

13. Библиографический список должен содержать сведения об источниках, использованных при выполнении курсовой работы в количестве не менее 6. Их следует располагать в порядке появления ссылок в тексте работы, нумеровать арабскими цифрами без точки, печатать с абзацного отступа.

14. Приложения являются продолжение курсовой работы.

В конце работы и на титульном листе необходима подпись студента и дата выполнения задания.

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

К источнику синусоидальной ЭДС $e(t)=E_m \sin\omega t$ подключен четырехполюсник (рис.1), схема которого согласно варианту выдается преподавателем.

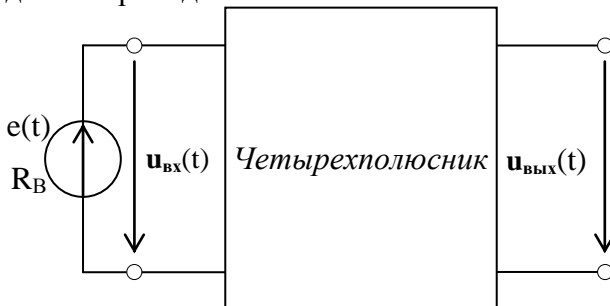


Рис.1

Амплитудное значение ЭДС $E_m = 10 \text{ В}$;
внутреннее сопротивление источника $R_B=0,5\text{кОм}$;
значение частоты ω задается преподавателем
($2\cdot 10^3 \text{ рад/с}$, $2,5\cdot 10^3 \text{ рад/с}$, $4\cdot 10^3 \text{ рад/с}$, $5\cdot 10^3 \text{ рад/с}$);
активные сопротивления схемы $R=1 \text{ кОм}$;
значение емкостей конденсаторов задается преподавателем ($C=0,5 \text{ мкФ}$, $C=0,4 \text{ мкФ}$, $C=0,25 \text{ мкФ}$, $C=0,2 \text{ мкФ}$).

1. Изобразите схему электрической цепи согласно своему варианту, обозначьте токи и напряжения на всех элементах, задайте их положительные направления.

2. Определите токи и напряжения на всех элементах схемы, пользуясь методом: 1) эквивалентных преобразований; 2) контурных токов; 3) узловых потенциалов. Сравните полученные результаты, сделать вывод – какой метод оказался наиболее рациональным.

Составьте и проверьте энергетический баланс.

В работе приведите описание расчетов. Результаты расчетов представьте в виде таблицы. Проанализируйте сдвиги фаз между напряжениями и токами на элементах схемы и всей схемы в целом.

3. По результатам расчетов токов и напряжений исследуемой схемы постройте векторную диаграмму всех токов и топографическую диаграмму, предварительно рассчитав потенциалы точек схемы, укажите на ней напряжения на всех элементах, а так же входное и выходное напряжения, проверьте соблюдение второго закона Кирхгофа для независимых контуров схемы.

Проанализируйте соотношение между выходным и входным напряжениями и их взаимное расположение.

4. Запишите выражения для комплексных действующих значений входного и выходного напряжений в зависимости от частоты ЭДС источника питания $U_{вх}(\omega)$, $U_{вых}(\omega)$. Для исследуемого четырехполюсника составьте выражение для передаточной функции по напряжению в комплексной форме $K_U(j\omega)$.

Постройте графики АЧХ и ФЧХ, проверьте правильность расчетов, сравнив соотношение между выходным и входным напряжениями и их взаимное расположение, полученные в (п.3) задания.

Проанализируйте фильтрующие свойства цепи и определите ширину полосы прозрачности.

5. Оцените влияние на АЧХ сопротивления нагрузки $R_H=100$ кОм, подключенное к выходу цепи.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

ЧАСТОТНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРЫ

Электрическим фильтром называют совокупность элементов, служащую для получения заданного частотного спектра выходного напряжения или тока при заданном напряжении на входе.

На входные зажимы 1–1' электрического фильтра подается некоторое воздействие, а с сопротивления нагрузки, подключенного к выходным зажимам 2–2', снимается отклик (полезный сигнал).

Таким образом, электрический фильтр представляет собой четырехполюсники или цепные схемы, устанавливаемые между источником питания и нагрузкой.

Фильтр служит беспрепятственному протеканию токов одного диапазона частот и задержке токов всех остальных частот, то есть электрический фильтр обладает частотной избирательностью.

Зоной прозрачности фильтра называют область, в которой лежат частоты токов, пропускаемых фильтром, а область частот токов, не пропускаемых фильтром, - **зоной затухания**.

В зоне прозрачности идеальный фильтр должен пропускать токи всех частот без ослабления, т.е. ток в выходном контуре должен равняться току во входном контуре. Иными словами, в этой зоне коэффициент затухания β должен равняться нулю. В реальных фильтрах происходит малое затухание токов.

В зоне затухания фильтр должен задерживать токи всех частот, и его коэффициент затухания β в этой зоне должен равняться бесконечности. В реальных электрических фильтрах токи получаются с большим затуханием.

Практически эти условия выполняются для одной или нескольких частот, потому для получения высокого затухания в

области затухания пользуются многосвязными фильтрами или фильтрами с более сложными схемами.

Диапазон частот, встречающийся в технических применениях очень широк – от десятков до миллиардов Герц.

Электрические фильтры можно классифицировать по спектру пропускаемых частот:

- Фильтры, пропускающие к приёмнику токи, частоты которых лежат в пределах от 0 до ω_0 называют **низкочастотными**.

- **Высокочастотные** фильтры пропускают токи с частотами от ω_0 до ∞ .

- **Полосовые** фильтры пропускают токи с частотами от ω_1 до ω_2 ;

- **многополосовые** фильтры – токи одновременно нескольких диапазонов частот – от ω_1 до ω_2 , от ω_3 до ω_4 и так далее.

- **Заграждающие фильтры** пропускают токи с частотами от 0 до ω_1 и от ω_2 до ∞ .

В энергетических устройствах применяют низкие частоты. В России и Европе в электроэнергетике принята стандартная частота 50 Гц, в США – 60 Гц.

В различных областях промышленного применения переменных токов встречаются частоты от 10 до $2,5 \cdot 10^9$ Гц, в радиотехнике и электронике - до $3 \cdot 10^{10}$ Гц.

Но к приемнику допускаются только частоты заданных диапазонов.

Так, в радиоприемнике из сигналов многих радиостанций фильтры выделяют сигнал одной станции.

В энергетических системах при передаче сигналов телеуправления, телеизмерения и автоконтроля по линиям электропередачи высокого напряжения фильтры отделяют эти сигналы от тока промышленной частоты 50 Гц.

На газопроводе фильтры выделяют сигналы управления, предназначенные каждому объекту.

При передаче по воздушным линиям электропередач одновременно несколько телефонных разговоров на приемной станции устанавливают фильтры для разделения телефонных сигналов отдельных абонентов.

В зависимости от характера элементов, из которых состоят фильтры, различают:

фильтры LC (из катушки индуктивности и конденсатора). Фильтры, составленные из чисто реактивных элементов (**L, C**) называют идеальными. Такие фильтры практически создать нельзя, так как в реальных элементах существуют потери. Но если применить катушки и конденсаторы с большими добротностями (соответственно больше 1000 и 50), то потерями в катушках и конденсаторах можно пренебречь и считать фильтр идеальным;

безиндукционные (не содержащие катушки индуктивности),

резонаторные (кварцевые с пьезоэлектрическими резонаторами и с магнестрикционными резонаторами).

По виду процессов, происходящих в электрических фильтрах, последние можно разделить на фильтры, сглаживающие пульсации и резонансные фильтры.

По структуре схем фильтры делят на цепочечные и мостиковые. Цепочечные фильтры выполнены по Т-, П- Г-образно-мостиковым схемам.

По наличию в схеме фильтров источников энергии различают пассивные и активные фильтры.

В активных фильтрах содержатся активные элементы – лампы или транзисторы.

Принцип работы электрических фильтров основывается на основных положениях:

во-первых, индуктивное сопротивление **ПРЯМО** пропорционально, а ёмкостное сопротивление – **ОБРАТНО** пропорционально частоте (рис. 3);

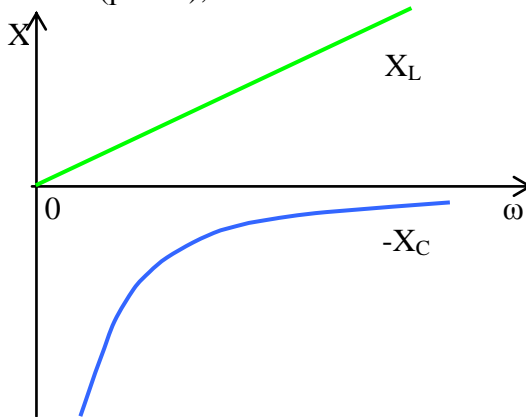


Рис. 3

во-вторых, ток в индуктивности **ОТСТАЁТ** от напряжения на угол $\frac{\pi}{2}$ радиан, а в ёмкости – настолько же **ОПЕРЕЖАЕТ** (рис. 4).

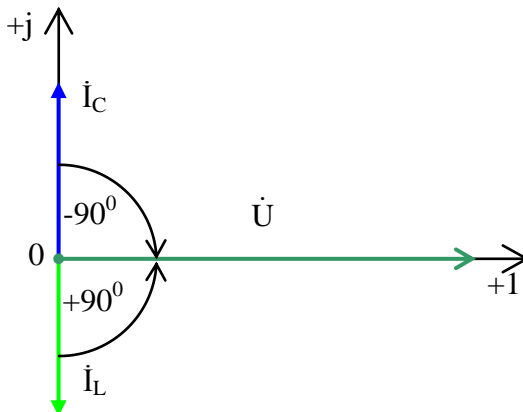


Рис. 4

Признаками наилучшего фильтра являются:

минимальное количество элементов в схеме фильтра;
 возможность работы в различных диапазонах;
 возможность простой и плавной регулировки полосы пропускания и ее ширины;
 минимальное и постоянное затухание в зоне прозрачности;
 максимальное постоянство характеристического сопротивления в зоне прозрачности;
 большое затухание в зоне затухания;
 максимальная крутизна характеристики затухания;
 линейная фазовая характеристика;
 постоянство характеристик, не зависящих от температуры окружающей среды и влажности; от напряжений, действующих на входе фильтра; от влияния посторонних электрических и магнитных помех;
 стоимость фильтра, габариты, вес должны быть минимальными.

ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ

Поскольку фильтр – частный случай четырёхполюсника, то его передаточная функция определяется как отношение лапласовых изображений выходного и входного напряжений:

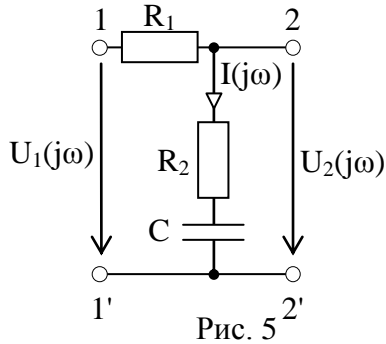
$$K(p) = \frac{U_{\text{ВЫХ}}(p)}{U_{\text{ВХ}}(p)} = \frac{U_2(p)}{U_1(p)},$$

где $U_2(p)$ и $U_1(p)$ - операторные изображения выходного напряжения $u_2(t)$ и входного напряжения $u_1(t)$.

Полагая, что оператор $p = j\omega$, получаем передаточную функцию в комплексной форме:

$$K(j\omega) = \frac{U_2(j\omega)}{U_1(j\omega)}.$$

Рассмотрим пример определения передаточной функции четырехполюсника, показанного на рис. 5.



С помощью операторных изображений входного и выходного напряжений четырехполюсника записываем передаточную функцию:

$$K(p) = \frac{U_2(p)}{U_1(p)}.$$

Выражение для операторного изображения тока в цепи получаем согласно закону Ома:

$$I(p) = \frac{U_1(p)}{Z(p)} = \frac{U_1(p)}{R_1 + R_2 + \frac{1}{pC}},$$

где $Z(p)$ – операторное изображение комплексного сопротивления цепи (рис. 5);

$\frac{1}{pC}$ - изображение комплексного емкостного сопротивления $\frac{1}{j\omega C}$.

Записываем выражение изображения выходного напряжения с помощью изображения входного напряжения:

$$U_2(p) = I(p) \left(R_2 + \frac{1}{pC} \right) = \frac{U_1(p)}{R_1 + R_2 + \frac{1}{pC}} \cdot \left(R_2 + \frac{1}{pC} \right)$$

и передаточную функцию:

$$K(p) = \frac{U_1(p) \left(R_2 + \frac{1}{pC} \right)}{\left(R_1 + R_2 + \frac{1}{pC} \right) U_1(p)} = \frac{R_2 + \frac{1}{pC}}{R_1 + R_2 + \frac{1}{pC}} \cdot \frac{pC}{pC} = \frac{pCR_2 + 1}{pC(R_1 + R_2) + 1}$$

Получим передаточную функцию в комплексной форме, подставив $p=j\omega$, то есть частотную характеристику четырехполюсника, которая равна отношению частотных спектров выходного и входного напряжений:

$$K(j\omega) = \frac{U_2(j\omega)}{U_1(j\omega)} = \frac{j\omega CR_2 + 1}{j\omega C(R_1 + R_2) + 1} = A(\omega) e^{j\varphi(\omega)},$$

где $A(\omega)$ – амплитудно-частотная характеристика (АЧХ);

$\varphi(\omega)$ – фазо-частотная характеристика (ФЧХ).

Для записи АЧХ и ФЧХ избавляемся от комплексного числа в знаменателе дроби, для этого умножаем числитель и знаменатель на комплексно-сопряженное знаменателю число раскрываем скобки в числителе:

$$\begin{aligned} \frac{1 + j\omega CR_2}{1 + j\omega C(R_1 + R_2)} &= \frac{(1 + j\omega CR_2) [1 - j\omega C(R_1 + R_2)]}{1 + \omega^2 C^2 (R_1 + R_2)^2} = \\ &= \frac{1 + j\omega CR_2 - j\omega C(R_1 + R_2) + \omega^2 C^2 R_2 (R_1 + R_2)}{1 + \omega^2 C^2 (R_1 + R_2)^2} = \end{aligned}$$

приводим подобные члены:

$$= \frac{1 + \omega^2 C^2 R_2 (R_1 + R_2) - j\omega C [(R_1 + R_2) - R_2]}{1 + \omega^2 C^2 (R_1 + R_2)^2} =$$

получаем действительную и мнимые части:

$$= \frac{1 + \omega^2 C^2 R_2 (R_1 + R_2)}{1 + \omega^2 C^2 (R_1 + R_2)^2} - j \frac{\omega C R_1}{1 + \omega^2 C^2 (R_1 + R_2)^2} =$$

переводим число в показательную форму записи:

$$= \sqrt{\frac{[1 + \omega^2 C^2 R_2 (R_1 + R_2)]^2 + [-\omega C R_1]^2}{[1 + \omega^2 C^2 (R_1 + R_2)^2]^2}} e^{j \arctg \frac{-\omega C R_1}{1 + \omega^2 C^2 R_2 (R_1 + R_2)}} =$$

где модуль числа - это АЧХ $A(\omega)$, а аргумен - ФЧХ $\varphi(\omega)$:

$$= \frac{\sqrt{[1 + \omega^2 C^2 R_2 (R_1 + R_2)]^2 + \omega^2 C^2 R_1^2}}{1 + \omega^2 C^2 (R_1 + R_2)^2} e^{-j \arctg \frac{\omega C R_1}{1 + \omega^2 C^2 R_2 (R_1 + R_2)}};$$

здесь:

$$A(\omega) = \frac{\sqrt{[1 + \omega^2 C^2 R_2 (R_1 + R_2)]^2 + \omega^2 C^2 R_1^2}}{1 + \omega^2 C^2 (R_1 + R_2)^2};$$

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{\omega C R_1}{1 + \omega^2 C^2 R_2 (R_1 + R_2)}.$$

Упростить выражения для модуля и аргумента передаточной функции можно с помощью функции simplify программы MathCad.

ФИЛЬТРЫ ТИПА RC

Как показывает название, фильтры типа RC не содержат катушек индуктивностей и состоят из конденсаторов и резисторов.

Эти фильтры применяются в основном в низкочастотном диапазоне, так как фильтр LC на низких частотах должен иметь

катушку с большой индуктивностью ($\omega_0 = \frac{2}{\sqrt{LC}}$). Но такие катушки сложны в изготовлении и обладают плохими электрическими характеристиками.

При высокоомной нагрузке применяют также высокочастотные, полосовые и заграждающие фильтры.

Различают Г-, Т-, П- схемы фильтров. На рис. 6 показаны Г-, Т-, П- схемы **низкочастотного** RC фильтра.

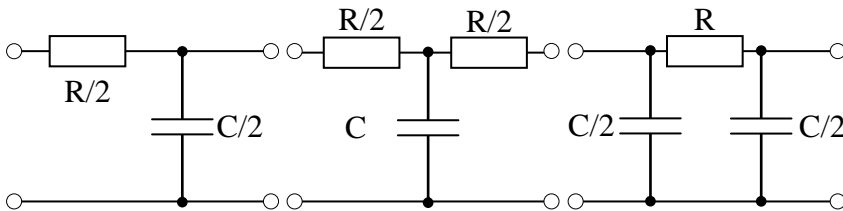


Рис. 6

Принцип действия такого фильтра: на низких частотах сопротивление конденсаторов максимально ($X_C = \frac{1}{\omega C}$) и ток через них не проходит, а на высоких частотах их сопротивления минимальны и шунтируют токи на корпус.

На рис. 7 приведена АЧХ фильтра низких частот (ФНЧ). Частота ω_C называется **частотой среза**. На этой частоте происходит спад амплитуды выходного сигнала $A(\omega)$ фильтра до значения $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,7$ от входного сигнала. Диапазон частот от 0 до ω_C есть зона прозрачности.

Для обеспечения точности фильтра необходимо, чтобы значение сопротивления элементов фильтра было приблизительно на два порядка меньше (в 100 раз) сопротивления нагрузки, подключаемой к фильтру.

Если не нужна высокая точность, то эту разницу можно снизить в 10 раз. Обычно нагрузкой фильтра служит усилитель с бо́льшим, по сравнению с входным, сопротивлением.

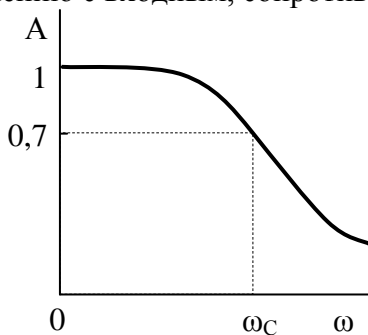


Рис. 7

На рис. 8 приведены Г-, Т-, П- схемы **высокочастотного** RC фильтра.

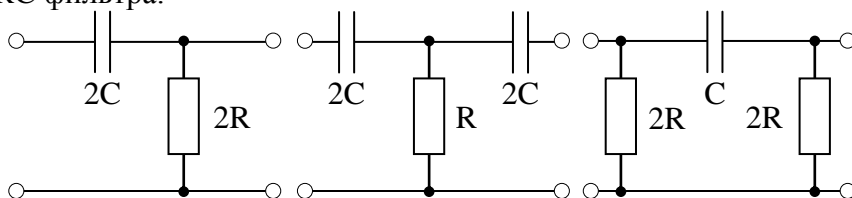


Рис. 8

Принцип действия такого фильтра: на низких частотах сопротивления конденсаторов велико и ток не поступает в нагрузку, при увеличении частоты емкостные сопротивления уменьшаются и напряжение на выходе фильтра растет.

На рис. 9 приведена АЧХ фильтра верхних частот (ФВЧ). Диапазон пропускаемых фильтром частот - от частоты среза ω_c до бесконечности.

Если нужно пропустить к нагрузке определенную полосу частот, то используют **полосовой** RC-фильтр. Одна из возможных схем состоит из двух полувеньев ФВЧ и ФНЧ. Первое Г-образное полувено ФВЧ обеспечивает пропускание высоких

частот, а второе Г-образное полузвено ФНЧ – низких частот (рис. 10). АЧХ такого фильтра представлена на рис. 11.

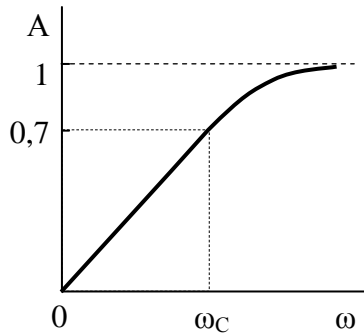


Рис. 9

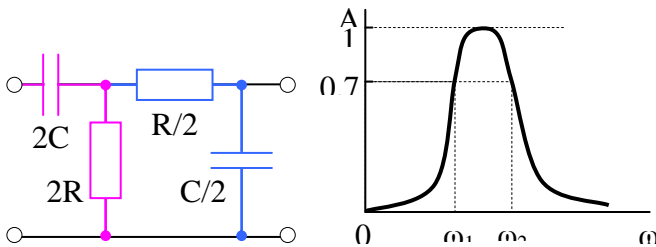


Рис. 10

Рис. 11

Зона прозрачности представляет собой диапазон частот от ω_1 до ω_2 .

Одна из возможных схем **заграждающего** RC-фильтра приведена на рис. 12. Она состоит из параллельно соединенных Т-образных **высоко-** и **низко**частотного RC-фильтров. Подбирая параметры этой схемы можно на некоторой частоте получить ток нагрузки, равный нулю. АЧХ данной схемы представлена на рис. 13.

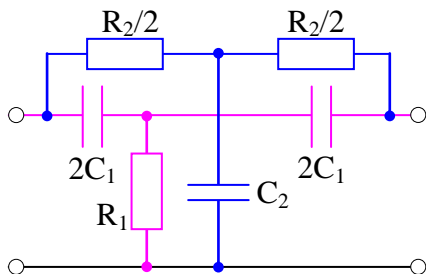


Рис. 12

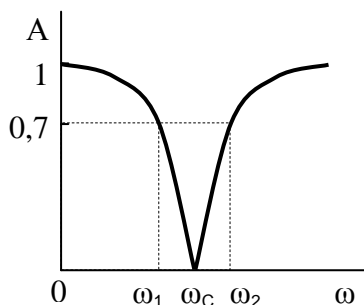


Рис. 13

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

1. Пример изображения схемы электрической цепи показан на рис.14.

2. В работе приведите описание расчетов. Результаты расчетов представьте в виде таблицы. Проанализируйте сдвиги фаз между напряжениями и токами на элементах схемы и всей схемы в целом.

Расчете токов и напряжений проведите, используя ранее изученные методы: метод законов Кирхгофа, метод эквивалентных преобразований, метод контурных токов (МКТ), метод узловых потенциалов (МУП). Для схемы своего варианта необходимо выбрать наиболее рациональный метод расчета.

Пример: для схемы рис.14 целесообразно использовать метод узловых потенциалов. Приведем основные формулы, позволяющие определить токи во всех ветвях электрической схемы, пользуясь этим методом.

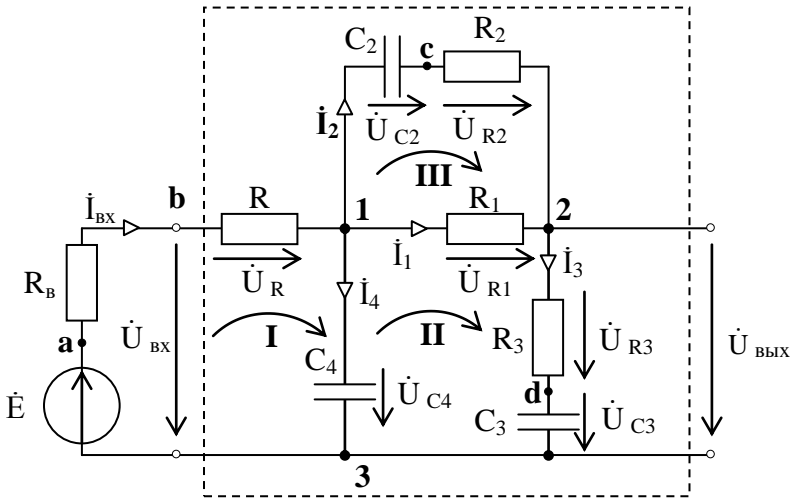


Рис.14

Примем потенциал третьего узла, к которому подключен один из полюсов источника, равным нулю ($\dot{\phi}_3 = 0$). Тогда система уравнений для определения потенциалов первого и второго узлов имеет вид:

$$\begin{cases} Y_{11}\dot{\phi}_1 + Y_{12}\dot{\phi}_2 = J_{11}; \\ Y_{21}\dot{\phi}_1 + Y_{22}\dot{\phi}_2 = J_{22}, \end{cases}$$

где

$$Y_{11} = \frac{1}{R_a + R} + \frac{1}{-jX_{C4}} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2 - jX_{C2}} \quad \text{- сумма комплексных проводимостей ветвей, подходящих к первому узлу;}$$

где R_a - сопротивление источника тока E .

$$Y_{22} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2 - jX_{C2}} + \frac{1}{R_3 - jX_{C3}} \quad \text{- сумма комплексных проводимостей ветвей, подходящих ко второму узлу;}$$

где R_1 - сопротивление ветви, соединяющей узлы 1 и 2.

$$Y_{12} = Y_{21} = -\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2 - jX_{C2}} \right) \quad \text{- сумма комплексных проводимостей ветвей, включенных непосредственно между первым и вторым узлами, взятая со знаком минус.}$$

где R_2 - сопротивление ветви, соединяющей узлы 1 и 2, а X_{C2} - реактивное сопротивление конденсатора C_2 .

$$\dot{J}_{11} = \frac{\dot{E}}{R_{\dot{a}} + R}, \dot{J}_{22} = 0 - \text{сумма условных узловых токов,}$$

отдаваемых источниками ЭДС ветвей, подходящих соответственно к первому и второму узлам.

Полученная система уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{1}{R_{\dot{a}} + R} + \frac{1}{-jX_{C4}} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2 - jX_{C2}} \dot{\phi}_1 - \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2 - jX_{C2}} \right) \dot{\phi}_2 = \frac{\dot{E}}{R_{\dot{a}} + R}; \\ - \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2 - jX_{C2}} \right) \dot{\phi}_1 + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2 - jX_{C2}} + \frac{1}{R_3 - jX_{C3}} \dot{\phi}_2 = 0. \end{cases}$$

Решив полученную систему уравнений, найдем значения потенциалов $\dot{\phi}_1$ и $\dot{\phi}_2$.

Токи в ветвях схемы определяем по закону Ома, учитывая, что потенциал $\dot{\phi}_3 = 0$:

$$\dot{I}_{\dot{a}\dot{o}} = \frac{\dot{\phi}_3 - \dot{\phi}_1 + \dot{E}}{R_{\dot{a}} + R} = \frac{-\dot{\phi}_1 + \dot{E}}{R_{\dot{a}} + R};$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2}{R_1};$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2}{R_2 - jX_{C2}};$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{\phi}_2 - \dot{\phi}_3}{R_3 - jX_{C3}} = \frac{\dot{\phi}_2}{R_3 - jX_{C3}};$$

$$\dot{I}_4 = \frac{\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_3}{-jX_{C4}} = \frac{\dot{\phi}_1}{-jX_{C4}}.$$

Напряжения на участках схемы находят как разность потенциалов:

$$\dot{U}_{\dot{a}\dot{o}} = \dot{U}_{13} = \dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_3 = \dot{\phi}_1;$$

$$\dot{U}_{\dot{a}\dot{o}\dot{o}} = \dot{U}_{23} = \dot{\phi}_2 - \dot{\phi}_3 = \dot{\phi}_2;$$

$$\dot{U}_{12} = \dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2.$$

Напряжения на каждом из элементов схемы будут определяться по закону Ома:

$$\dot{U}_R = R\dot{I}_{\text{вх}}; \dot{U}_{R1} = \dot{U}_{12} = R_1\dot{I}_1; \dot{U}_{R2} = R_2\dot{I}_2; \dot{U}_{R3} = R_3\dot{I}_3;$$

$$\dot{U}_{C2} = -jX_{C2}\dot{I}_2; \dot{U}_{C3} = -jX_{C3}\dot{I}_3; \dot{U}_{C4} = -jX_{C4}\dot{I}_4.$$

3. Построим на комплексной плоскости векторную диаграмму токов, совмещенную с топографической диаграммой, выбрав соответствующие масштабы по току и напряжению (рис. 15).

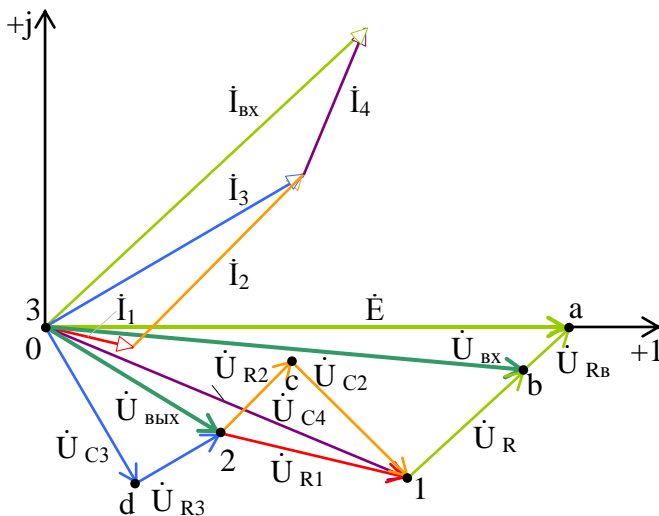


Рис.15

Пример: Как в расчетах, принимаем потенциал $\phi_3 = 0 \text{ В}$ (рис.14). Вычисляем потенциалы точек a, b, c, d.

По полученным численным значениям выбираем масштабы: для токов- 0,1 А/см, для напряжений –10 В/см.

Строим в соответствии с расчетами вектора токов и вектора потенциалов точек схемы (рис.14), подписываем вектора напряжений элементов схемы (рис.15).

В начале проверим правильность полученных результатов расчета токов и напряжений на элементах схемы, проведя анализ сдвигов фаз между векторами токов и напряжений как на отдельных элементах схемы, как и на ее участках, а также всей схемы электрической цепи.

Полученная диаграмма (рис. 15) позволяет проверить выполнение законов Кирхгофа для узлов и контуров.

Так, при сложении векторов токов \dot{I}_1 и \dot{I}_2 согласно первому закону Кирхгофа для узла 2:

$$\dot{I}_3 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2,$$

получаем ток \dot{I}_3 .

Согласно первому закону Кирхгофа для узла 1:

$$\dot{I}_{\text{ВХ}} = \dot{I}_4 + \dot{I}_3$$

получаем вектор тока в ветви с источником $\dot{I}_{\text{ВХ}}$ (рис.15).

Далее в соответствии с выражением:

$$\dot{U}_{\text{СЗ}} + \dot{U}_{\text{RЗ}} = \dot{U}_{\text{IЗ}}$$

складываем векторы напряжений элементов, для чего из конца вектора напряжения $\dot{U}_{\text{СЗ}}$ проводим вектор напряжения $\dot{U}_{\text{RЗ}}$. Вектор, соединяющий начало первого вектора и конец второго, равен вектору напряжения между узлами 2 и 3, а также вектору выходного напряжения четырехполюсника $\dot{U}_{\text{ВЫХ}}$ (рис. 14).

Затем на основании выражения, записанного для III контура:

$$\dot{U}_{\text{R2}} + \dot{U}_{\text{C2}} = \dot{U}_{\text{I2}}$$

аналогично получаем вектор напряжения между узлами 1 и 2, который равен напряжению на элементе R_1 .

Используя выражение для II контура:

$$\dot{U}_{\text{I2}} + \dot{U}_{\text{ВЫХ}} = \dot{U}_{\text{I3}}$$

получаем вектор напряжения между узлами 1 и 3, который равен напряжению на элементе C_4 .

Далее в соответствии выражение:

$$\dot{U}_{13} + \dot{U}_R = \dot{U}_{ВХ}$$

получаем вектор входного напряжения.

И, наконец, получаем вектор ЭДС схемы (рис. 14) как сумму векторов: $\dot{U}_{\text{R}\dot{a}} + \dot{U}_{\dot{a}\dot{o}} = \dot{E}$, величина и направление которого соответствуют заданному значению. Делаем вывод: расчет произведен верно, законы Кирхгофа для цепи (рис. 14) выполняются.

4. Передаточная функция по напряжению для RC-фильтров определяется при работе четырехполюсника в режиме холостого хода.

Составить выражение для передаточной функции можно аналогично примеру, показанному выше или упростив процедуру, перейдя к операторной форме записи введением оператора $p = j \omega$:

$$K(p) = \frac{U_{\dot{a}\dot{o}}(p)}{U_{\dot{a}\dot{o}}(p)}$$

Изобразите операторную схему четырехполюсника, работающего в режиме холостого хода.

Для нее получите выражение передаточной функции по напряжению.

Пример: для схемы (рис.14) операторная схема четырехполюсника показана на рис.16, где введены операторные изображения токов, напряжений и емкостных элементов.

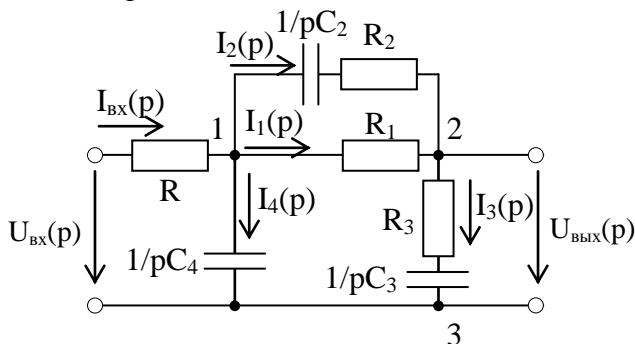


Рис.16

Получим выражение для передаточной функции по напряжению для рассматриваемой схемы.

Входное напряжение четырехполюсника определяем как:

$$U_{\text{вх}}(p) = Z_{\text{вх}}(p)I_{\text{вх}}(p).$$

Выходное напряжение четырехполюсника можно определить:

$$U_{\text{вых}}(p) = \left(R_3 + \frac{1}{pC_3}\right)I_3(p).$$

Тогда

$$K(p) = \frac{U_{\text{вых}}(p)}{U_{\text{вх}}(p)} = \frac{\left(R_3 + \frac{1}{pC_3}\right)I_3(p)}{Z_{\text{вх}}(p)I_{\text{вх}}(p)}.$$

Определим операторное входное сопротивление четырехполюсника. Сопротивления второй и первой ветвей соединены параллельно, тогда их эквивалентное сопротивление:

$$Z_{12}(p) = \frac{R_1\left(R_2 + \frac{1}{pC_2}\right)}{R_1 + R_2 + \frac{1}{pC_2}}.$$

Сопротивление третьей ветви и полученное эквивалентное сопротивление второй и первой ветвей соединены последовательно:

$$Z_{1-3}(p) = Z_3(p) + Z_{12}(p) = R_3 + \frac{1}{pC_3} + \frac{R_1\left(R_2 + \frac{1}{pC_2}\right)}{R_1 + R_2 + \frac{1}{pC_2}}.$$

Полученное сопротивление соединено параллельно с сопротивлением четвертой ветви:

$$Z_{1-4}(p) = \frac{Z_{1-3}(p)Z_4(p)}{Z_{1-3}(p) + Z_4(p)} = \frac{\left[R_3 + \frac{1}{pC_3} + \frac{R_1(R_2 + \frac{1}{pC_2})}{R_1 + R_2 + \frac{1}{pC_2}} \right] \frac{1}{pC_4}}{R_3 + \frac{1}{pC_3} + \frac{R_1(R_2 + \frac{1}{pC_2})}{R_1 + R_2 + \frac{1}{pC_2}} + \frac{1}{pC_4}}.$$

Входное операторное сопротивление будет определяться, как:

$$Z_{\hat{a}\hat{o}}(p) = R + Z_{1-4}(p) = R + \frac{\left[R_3 + \frac{1}{pC_3} + \frac{R_1(R_2 + \frac{1}{pC_2})}{R_1 + R_2 + \frac{1}{pC_2}} \right] \frac{1}{pC_4}}{R_3 + \frac{1}{pC_3} + \frac{R_1(R_2 + \frac{1}{pC_2})}{R_1 + R_2 + \frac{1}{pC_2}} + \frac{1}{pC_4}}.$$

Ток третьей ветви определим через входной ток из соотношения:

$$\dot{U}_{13} = \dot{I}_{\hat{a}\hat{o}} Z_{1-4} = \dot{I}_{\hat{a}\hat{o}} \frac{Z_4 Z_{1-3}}{Z_4 + Z_{1-3}} = \dot{I}_3 Z_{1-3},$$

тогда

$$\dot{I}_3 = \dot{I}_{\hat{a}\hat{o}} \frac{Z_4}{Z_4 + Z_{1-3}}.$$

Передаточная функция по напряжению с учетом всего вышеизложенного будет определяться:

$$\begin{aligned}
 K(p) &= \frac{U_{\text{вх}}(p)}{U_{\text{вх}}(p)} = \frac{(R_3 + \frac{1}{pC_3})I_3(p)}{Z_{\text{вх}}(p)I_{\text{вх}}(p)} = \\
 &= \frac{(R_3 + \frac{1}{pC_3})I_{\text{вх}}(p) \frac{Z_4}{Z_4 + Z_{1-3}}}{Z_{\text{вх}}(p)I_{\text{вх}}(p)} = \frac{(R_3 + \frac{1}{pC_3}) \frac{Z_4}{Z_4 + Z_{1-3}}}{Z_{\text{вх}}(p)}.
 \end{aligned}$$

Подставив в полученное выражение формулы для определения операторных сопротивлений всех участков, и преобразовав его, получим выражение для передаточной функции в операторной форме.

Получим аналитическое выражение для амплитудно-частотной (АЧХ) и фазо-частотной (ФЧХ) характеристик. Для этого в выражении для передаточной функции по напряжению, полученном в предыдущем пункте, заменяем оператор p на $j\omega$. Учитывая, что активные сопротивления всех участков цепи и емкости всех конденсаторов равны, преобразуем полученное выражение и запишем его в показательной форме записи:

$$K(j\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)},$$

где модуль этой комплексной функции $A(\omega)$ представляет собой АЧХ; показатель этой комплексной функции $\varphi(\omega)$ - ФЧХ.

По полученным выражениям построим графики АЧХ и ФЧХ, используя специальные компьютерные программы.

При построении характеристик частоту входного сигнала изменяем в пределах от нуля до $10^4 \div 10^5$ рад/с.

Используя амплитудно-частотную характеристику, проанализируем фильтрующие свойства заданной схемы. Диапазон частот, при которых модуль передаточной функции больше чем $\frac{A_{\text{max}}}{\sqrt{2}}$, является полосой прозрачности с граничной частотой ω_1 (рис.17).

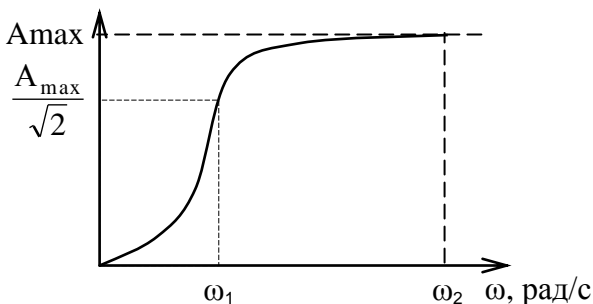


Рис. 17

По виду АЧХ можно судить о том является ли четырехполосник фильтром.

5. Рассмотрим влияние на форму АЧХ и фильтрующие свойства четырехполосника сопротивления нагрузки R_H , подключенной к выходу четырехполосника, для чего составляем новое выражение для передаточной функции по напряжению и строим новую серию АЧХ.

Операторная схема четырехполосника, работающего под нагрузкой, представлена на рис. 18.

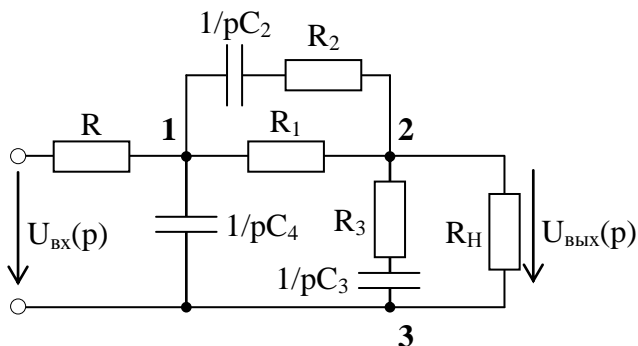


Рис. 18

Выражение для передаточной функции по напряжению, получение аналитического выражения для амплитудно-частотной (АЧХ), построение графиков АЧХ выполняется аналогично п. 4.

По полученным результатам делаем выводы о том, как изменение параметров схемы и подключение нагрузки влияет на фильтрующие свойства заданной схемы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Серия: "Бакалавр" / Л. А. Бессонов. - 11-е изд. – Юрайт, 2013. – 704 с.

2. Атабеков Г. И. Основы теории цепей: учебник [Электронный ресурс] / Г. И. Атабекова. – 3-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2009. – 432 с.

3. Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники: в 2-х т. / К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровин. – 4-е изд. – СПб.: Питер, 2004. – 463с.

4. Сборник задач по теоретическим основам электротехники / под ред. Л.А. Бессонова. – М.: Высш.шк., 2000. – 528 с.

5. Шебес М.Р. Задачник по теории линейных электрических цепей / М.Р. Шебес, М.В. Каблукова – М. :Высшая школа, 1990.–327 с.

6. Основы теории цепей / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Нетушил, С.В.Страхов. – М: Энергоатомиздат, 1989. – 528с.

7. Электрические фильтры :
<http://electricalschool.info/spravochnik/electroteh/838-jelektricheskie-filtry.html>
<http://toehelp.ru/theory/toe/lecture15/lecture15.html>

СОДЕРЖАНИЕ

Требования к оформлению курсовой работы	3
Задание на курсовую работу	9
Краткие теоретические сведения	11
Частотные электрические фильтры.....	11
Передаточная функция	15
Фильтры типа RC	18
Методические указания к выполнению курсовой работы..	22
Библиографический список	33
Приложения	34

ПРИЛОЖЕНИЕ

Бланк титульного листа курсовой работы

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГТУ», ВГТУ)

Кафедра электропривода, автоматики и управления в технических системах

КУРСОВАЯ РАБОТА по дисциплине «ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ»

Тема _____

Вариант _____

Выполнил студент группы _____
(подпись, дата) (инициалы, фамилия)

Принял _____
(должность преподавателя) (инициалы, фамилия)

Курсовая работа защищена « ____ » _____ 20 ____ г.

ОЦЕНКА _____
Подпись _____

Воронеж _____

ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению курсовой работы на тему
“Исследование фильтрующих свойств
линейных электрических цепей синусоидального тока»
по дисциплине «Электротехника»
для студентов направления
28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»,
профиля «Компоненты микро- и наносистемной техники»
очной формы обучения

Составители: Ген Жанна Александровна

В авторской редакции

Подписано к изданию 28.02.2022.

Уч.- изд.л. 2,0.

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический
университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»

СПРАВОЧНИК МАГНИТНОГО ДИСКА

(Кафедра электропривода, автоматики
и управления в технических системах)

ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению курсовой работы на тему
“Исследование фильтрующих свойств
линейных электрических цепей синусоидального тока»
по дисциплине «Электротехника»
для студентов направления
28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»,
профиля «Компоненты микро- и наносистемной техники»
очной формы обучения

Составители: Ген Жанна Александровна

28.03.01_кр_ЭТ.doc, 518 Кб
(наименование файла) (объем файла)

28.02.2022
(дата)

2 уч.-изд.л.
(объем издания)