

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра промышленной электроники
и информационно-измерительной техники

С.С. Фролов

РЕАКТИВНЫЕ LC-ФИЛЬТРЫ

Методические указания
к лабораторной работе

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет»

Оренбург
ИПК ГОУ ОГУ
2010

УДК 621.382.002.56(07)

ББК 32.852я7

Ф18

Рецензент – доцент, кандидат технических наук С.Н. Бравичев

Фролов, С.С.

Ф18 Реактивные LC-фильтры : методические указания к лабораторной работе по курсу «Теоретические основы электротехники» / С.С. Фролов; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2010. – 20 с.

Основное содержание: варианты заданий и руководства по выполнению аналитической и экспериментальной части, требования к оформлению отчёта, рекомендуемая литература.

Методические указания являются основным учебным руководством при выполнении лабораторных работ по курсу «ТОЭ» студентами специальности 210106.

УДК 621.382.002.56(07)

ББК 32.852я7

© Фролов С.С., 2010

© ГОУ ОГУ, 2010

Содержание

1	Задание на подготовку к лабораторной работе	4
2	Аналитическая часть работы	4
3	Экспериментальная часть работы	8
3.1	Подготовка к измерениям	8
3.2	Измерение частотной характеристики в режиме холостого хода	9
3.3	Измерение частотной характеристики при заданной нагрузке.....	10
3.4	Измерение экспериментальных избирательных характеристик.....	10
4	Заключение (выводы)	11
5	Правила оформления отчёта	12
6	Литература, рекомендуемая для изучения темы	12
	Список использованных источников	13
	Приложение А. Избирательные характеристики фильтра	14
	Приложение Б. Таблички для экспериментальных частотных характеристик ФНЧ. 15	
	Приложение В. Таблички для экспериментальных частотных характеристик ФВЧ. 16	
	Приложение Г. Таблички для экспериментальных частотных характеристик ПФ ... 17	
	Приложение Д. Таблички для экспериментальных частотных характеристик ЗФ.... 18	
	Приложение Е. Пример качественного построения частотных характеристик	19

1 Задание на подготовку к лабораторной работе

Цели работы:

- 1) Закрепление теоретических знаний, а также представлений об избирательных свойствах реактивных LC-фильтров.
- 2) Закрепление практических навыков качественного, расчётного и экспериментального анализа характеристик реактивных LC-фильтров.

Работа рассчитана на 10 академических часов

Выполнению данной работы должна предшествовать предварительная подготовка, состоящая в следующем:

- a) Изучение темы и цели лабораторной работы.
- b) При изучении теоретического материала в объеме материала лекций, учебных пособий и теоретического введения обратить внимание на следующие основные вопросы:
 - 1) назначение и классификацию избирательных фильтров;
 - 2) особенности избирательных свойств и характеристических параметров реактивных LC-фильтров, особенности параметров реактивных четырёхполюсников в полосах пропускания и задерживания;
 - 3) особенности избирательных свойств k- и m-фильтров.
- c) Изучение устройства приборов лабораторного рабочего места: монтажных стендов фильтров, генератора низкочастотных гармонических сигналов ГЗ-109 и осциллографа С1-114/1 (С1-114) [1].
- d) Оформление заготовки для отчета (см. раздел 5).

2 Аналитическая часть работы

Преподаватель выдает бригадам варианты схем из таблицы 2.1 с двумя вариантами значений параметров реактивных элементов сопротивлений нагрузки и генератора из таблицы 2.2. Фильтры №3, №4, №9 и №10 в экспериментальной части ра-

боты будут собираться из звеньев рисунка 2.1, фильтры №5 - №8 – могут выполняться как из звеньев рисунка 2.1, так и иным способом.

Таблицы 2.1 – Варианты схем фильтров

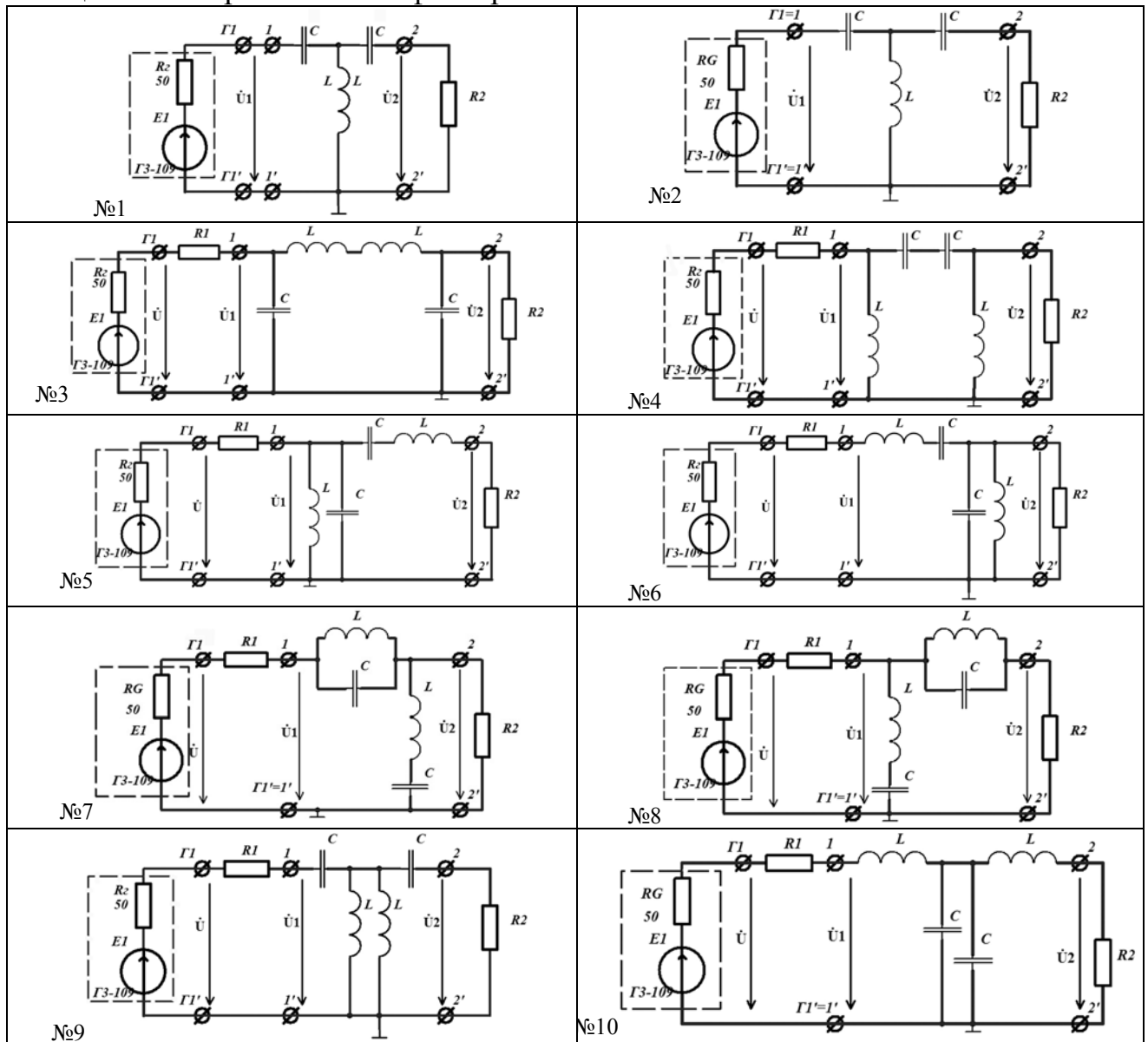


Таблица 2.2 – Варианты значений

№ варианта Параметров	$R1, \text{Ом}$	$R2, \text{Ом}$	$L, \text{мГн} / r_L, \text{Ом}$	$C, \text{мкФ}$
1	-	400	10.9/0	0.068
2	-	800	10.9/0	0.068
3	$R1 = R2 = \sqrt{\frac{L}{C}}$		11.7/0	0.2
4			137/0	0.068
5			7.17/55	0.22



Рисунок 2.1 – LC-сборка

Необходимо выполнить следующие задачи:

а) Качественно определить принадлежность фильтра к соответствующему типу по характеру частотных характеристик (ЧХ) – к фильтрам нижних частот (ФНЧ), высоких частот (ФВЧ), полосовым (ПФ) или заграждающим (ЗФ). Пример качественного построения ЧХ – в приложении Е.

б) Определив структуру реактивной части фильтра (с отсоединёнными нагрузкой и источником сигнала) в соответствие с одной из структур рисунка 2.2, получить выражения для частотных зависимостей сопротивлений $Z_1(\omega)$ и $Z_2(\omega)$.

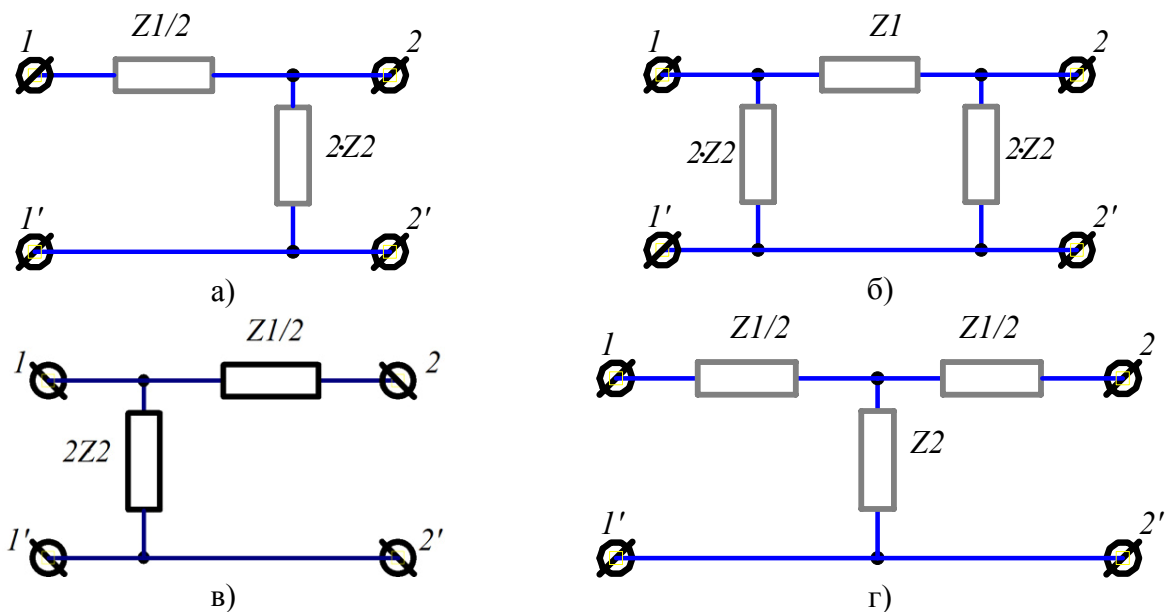


Рисунок 2.2 – Типовые схемы реактивных фильтров: а,в) Г-образные; б) П-образная; г) Т-образная

с) Используя систему для определения полосы пропускания LC-фильтров

$$\begin{cases} 1 + \frac{Z_1(\omega)}{4Z_2(\omega)} > 0 \\ \frac{Z_1(\omega)}{4Z_2(\omega)} < 0 \end{cases} \quad (2.1)$$

определить её граничные частоты ω_n , $\omega_в$, f_n и $f_в$ (в общем виде и численно).

Для полосовых и задерживающих фильтров определить центральные частоты ω_0 и f_0 полос пропускания или задерживания соответственно

$$\omega_0 = \sqrt{\omega_n \cdot \omega_s}$$

в общем виде и численно. Значения всех частот зафиксировать в таблицу А.1

d) Вывести выражение для частотной зависимости одного или нескольких характеристических параметров из таблиц 2.3 или 2.4 (по указанию преподавателя).

e) Построить диаграммы соответствующих характеристик из таблиц 2.3 или 2.4 (по указанию преподавателя), проверить соответствующие признаки полосы пропускания или задерживания.

Таблица 2.3 –Таблица для определения полос пропускания и задерживания не-симметричных фильтров

Характеристика	Полоса пропускания	Полоса задерживания
№1. $0.5 \cdot a(\omega)$	$0.5 \cdot a(\omega) = 0$	$sh[0.5 \cdot a(\omega)] = \sqrt{A_{11}(\omega)A_{22}(\omega)} $
№2. $b(\omega)$	$\cos(0.5b(\omega)) = \sqrt{A_{11}(\omega)A_{22}(\omega)}$	$b(\omega) = \pm\pi$
№3. $Z_{c1}(\omega), Z_{c2}(\omega)$	$\text{Im}(Z_{c1}(\omega)) = \text{Im}(Z_{c2}(\omega)) = 0$	$\text{Re}(Z_{c1}(\omega)) = \text{Re}(Z_{c2}(\omega)) = 0$

Таблица 2.4 –Таблица для определения полос пропускания и задерживания симметричных фильтров

Характеристика	Полоса пропускания	Полоса задерживания
№1. $a(\omega)$	$a(\omega) = 0$	$ch[a(\omega)] = A_{11}(\omega) $
№2. $b(\omega)$	$\cos(b(\omega)) = A_{11}(\omega)$	$b(\omega) = 0$ при $A_{11}(\omega) > 0$, $b(\omega) = \pm\pi$ при $A_{11}(\omega) < 0$
№3. $Z_c(\omega)$	$\text{Im}(Z_c(\omega)) = 0$	$\text{Re}(Z_c(\omega)) = 0$
№4. $A_{11}(\omega)$	$ A_{11}(\omega) < 1$	$ A_{11}(\omega) > 1$

f) Получить выражение для частотной зависимости коэффициента передачи по напряжению в режиме ХХ

$$\dot{\mathbf{H}}_{U_x}(\mathbf{f}) = \frac{\dot{\mathbf{U}}_2}{\dot{\mathbf{U}}_1} \Big|_{\dot{\mathbf{i}}_2=0},$$

а также выражения ЛАЧХ - $H_{U_x, \partial B}(f)$ и ФЧХ - $\Delta\varphi_{U_x}(f)$. Построить в логарифмическом масштабе их диаграммы в соответствующем диапазоне:

$$- \text{ для ФНЧ } - f = 0.1f_{\epsilon}, 0.11f_{\epsilon}, \dots, 100f_{\epsilon}; \quad (2.2)$$

$$- \text{ для ФВЧ } - f = 0.01f_{\eta}, 0.11f_{\eta}, \dots, 10f_{\eta}; \quad (2.3)$$

$$- \text{ для ПФ } - f = 0.01f_{\eta\eta}, 0.11f_{\eta\eta}, \dots, 100f_{\eta\eta}; \quad (2.4)$$

$$- \text{ для ПФ } - f = 0.1f_{\zeta\eta}, 0.11f_{\zeta\eta}, \dots, 20f_{\zeta\eta}. \quad (2.5)$$

g) По диаграмме ЛАЧХ $H_{Ux,\delta B}(f)$ определить граничные частоты полос пропускания f_{η} и f_{ϵ} по уровню $\alpha = -3$ дБ, результаты зафиксировать в таблице А.1. Уровень α отсчитывать относительно установившегося значения $H0_{Ux,\delta B}$ в полосе пропускания:

$$- \text{ для ФНЧ } - H0_{Ux,\delta B} = H_{Ux,\delta B}(0);$$

$$- \text{ для ФВЧ } - H0_{Ux,\delta B} = \lim_{f \rightarrow \infty} H_{Ux,\delta B}(f);$$

$$- \text{ для ПФ } - H0_{Ux,\delta B} = H_{Ux,\delta B}(f_0);$$

$$- \text{ для ЗФ } - H0_{Ux,\delta B} = H_{Ux,\delta B}(0) \text{ и } H0_{Ux,\delta B} = \lim_{f \rightarrow \infty} H_{Ux,\delta B}(f).$$

h) Получить выражение коэффициента передачи по напряжению

$$\dot{H}_U(\mathbf{f}) = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1}$$

при заданном в таблице 2.2 значении сопротивления нагрузки $Z_{\eta} = R2$, а также выражения ЛАЧХ - $H_{U,\delta B}(f)$ и ФЧХ - $\Delta\varphi_U(f)$. Построить их диаграммы в одном из диапазонов (2.2) – (2.5), в логарифмическом масштабе.

i) По диаграмме ЛАЧХ $H_U(f)$ определить граничные частоты полос пропускания f_{η} и f_{ϵ} по уровню $\alpha = -3$ дБ, результаты зафиксировать в таблице А.1

3 Экспериментальная часть работы

3.1 Подготовка к измерениям

Вычислить значения частот контрольных точек по соотношениям:

- из таблиц Б.1 и Б.2 приложения Б – для ФНЧ;

- из таблиц В.1 и В.2 приложения В – для ФВЧ;
- из таблиц Г.1 и Г.2 приложения Г – для ПФ;
- из таблиц Д.1 и Д.2 приложения Д – для ЗФ.

Результаты вычислений зафиксировать в соответствующие таблицы.

3.2 Измерение частотной характеристики в режиме холостого хода

а) В зависимости от конструкции лабораторного макета:

1) либо установить переключатель типа фильтра в положение, соответствующее вашему варианту (ФНЧ, ФВЧ, ПФ или ЗФ), переключатель режима нагрузки – в положение «ХХ»;

2) либо собрать схему фильтра из сборок рисунка 2.1, резисторов $R1$ и $R2$ на выданной монтажной плате; один из зажимов нагрузки $R2$ отсоединить.

б) Подключить синусоидальный генератор ГЗ-109 к входным гнездам «Г1» и «Г1'» фильтра, один из каналов осциллографа – к гнездам «1» и «1'».

в) Подключить ко второму каналу осциллографа гнезда «2» и «2'» фильтра.

г) Настроить на генераторе Г первую частоту, вычисленную в пункте 1.

д) Настроить амплитуду напряжения $U1_m = 1\text{ В}$, зафиксировать её соответствующую графу таблицы для режима холостого хода (ХХ), соответствующую вашему фильтру.

е) Измерить по осциллографу амплитудное значение выходного напряжения $U2_m$ и времени задержки Δt_3 между выходным и входным сигналами; измеренные значения занести в таблицу для режима ХХ соответствующего приложения. Те же измерения выполнить для всех остальных частот.

ж) По измеренным значениям $U2_m$ и $U1_m$ вычислить экспериментальные значения АЧХ - $H_U = U2_m / U1_m$ и ЛАЧХ - $H_{U,дБ} = 20 \cdot \lg(H_U)$, результаты зафиксировать в ту же таблицу.

з) По измеренным значениям Δt_3 вычислить экспериментальные значения сдвига фаз $\Delta\varphi = 360 \cdot \Delta t_3 / T = 360 \cdot \Delta t_3 \cdot f$ и зафиксировать в таблицу.

i) По полученным экспериментальным значениям в программной среде MathCad построить диаграммы ЛАЧХ и ФЧХ на тех же графиках, где построены аналитические ЧХ, вычисленные для режима ХХ в пункте f) раздела 2.

3.3 Измерение частотной характеристики при заданной нагрузке

a) В зависимости от конструкции лабораторного макета:

1) либо переключатель режима нагрузки – в положение «Rн», установить переключатель значения нагрузке в положение, соответствующее вашему варианту («400 Ом» или «800 Ом»);

2) либо подсоединить резистор нагрузки R_2 к зажимам «2» и «2'».

b) Выполнить действия пунктов d) – h) подраздела 3.2, фиксируя результаты в таблицу для частотной характеристики в нагруженном режиме одного из соответствующих приложений Б – Д.

c) В программной среде MathCad построить диаграммы экспериментальных ЛАЧХ и ФЧХ на тех же графиках, где построены аналитические ЧХ, вычисленные для режима работы под нагрузкой в пункте h) раздела 2.

3.4 Измерение экспериментальных избирательных характеристик

По экспериментальным диаграммам ЛАЧХ в режиме ХХ и в режиме под нагрузкой определить экспериментальные границы полос пропускания по уровню $\alpha=3$ дБ и также зафиксировать в таблицу А.1.

4 Заключение (выводы)

а) По построенным в пунктах 4, 5 раздела 2 диаграммам характеристических параметров сделать качественное заключение об их поведении в полосе пропускания.

б) Сравнить результаты определения границ полосы пропускания f_n и f_v по критерию (2.1) и по уровню $\alpha=-3$ дБ в пунктах 7 и 9 раздела 2 (если отличаются, указать относительное расхождение).

в) Аналогично сравнить границы полос пропускания, полученные теоретически по критерию (2.1) и по уровню $\alpha=-3$ дБ по экспериментальным диаграммам ЛАЧХ в трёх режимах (если отличаются, указать, на сколько процентов отличается каждая граничная частота).

г) По полученным аналитическим диаграммам ЛАЧХ в режиме ХХ и в нагруженном режиме сделать экспертное заключение о качестве фильтрации в каждом режиме по следующим критериям:

1) по степени неравномерности в полосе пропускания (определённой по уровню α)

$$\Delta H_{\text{дБ}} = 20 \lg \left(\frac{H_{\text{min}}}{H_{\text{max}}} \right)$$

где H_{min} , H_{max} - минимальное и максимальное значение АЧХ в полосе пропускания;

2) по скорости затухания ЛАЧХ за пределами полосы пропускания (в течение первых октав после граничных частот, вторых октав, третьих, в течение вторых декад)¹.

¹ 1. Октава – диапазон частот $f_1 \dots f_2$, где $f_2 = 2 f_1$. Для ПФ «первые схемы фильтра с параметрами элементов. Октавы после полосы пропускания» - это октавы $0.5 f_n \dots f_n$ и $f_v \dots 2 f_v$, вторые - $0.25 f_n \dots 0.5 f_n$ и $2 f_v \dots 4 f_v$.

2. Декада - диапазон частот $f_1 \dots 10 f_1$. Для ПФ «вторые декады после полосы пропускания» - декады $0.01 f_n \dots 0.1 f_n$ и $10 f_v \dots 100 f_v$.

5 Правила оформления отчёта

а) Оформлять работу в электронном виде в программной среде MatchCad или MicrosoftWord, согласно правилам оформления расчётно-графических работ, рефератов или отчётов по практике, указанным в приложениях Ц или Ю в [2].

б) На второй странице (после титульного листа) – цель лабораторной работы и схема фильтра.

в) Все требуемые результаты аналитических расчётов, объём пояснений хода вычислений – по степени надобности самому студенту, все требуемые диаграммы из программной среды MathCad.

г) По экспериментальной части – таблица приложения В.

д) Таблица А.1 и выводы.

6 Литература, рекомендуемая для изучения темы

6.1 Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник / Л.А. Бессонов- 11-е изд., испр. и доп. – М. : Гардарики, 2007. - 701 с. - ISBN 5-8297-0159-6.

6.2 Прянишников, В. А. Теоретические основы электротехники: Курс лекций / В.А. Прянишников.- 3-е изд., перераб. и доп. - СПб. : Корона принт, 2000. – 368 с. : ил. - Библиогр.: с. 366. - ISBN 5-7931-0104-7.

6.3 Матханов, П. Н. Основы анализа электрических цепей: линейные цепи: учеб. для вузов / П. Н. Матханов .- 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Высш. шк., 1990. - 400 с. : ил. - ISBN 5-06-000679-4.

6.4 Зевеке, Г. В. Основы теории цепей / Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов.- 4-е изд., перераб. - М. : Энергия, 1975. - 752 с. : ил.

6.5 Нейман, Л. Р. Теоретические основы электротехники : в 2 т.: учеб. для вузов / Л. Р. Нейман, К. С. Демирчян. - 3-е изд., перераб. и доп. - Л. : Энергоиздат, 1981. - Т.1 . - 536 с. : ил.

Список использованных источников

1. Анализ линейных реактивных цепей синусоидального тока : методические указания к лабораторной работе / С.С. Фролов; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2010. – 27 с.
2. Стандарт предприятия. Общие требования и правила оформления выпускных квалификационных работ, курсовых проектов (работ), отчетов по РГР, по УИРС, по производственной практике и рефератов: СТП 101-00. – введ. 2002-12-25. - Оренбург: ОГУ, 2002. – 62 с.

Приложение А

(обязательное)

Избирательные характеристики фильтра

Таблица А.1 - Избирательные характеристики фильтра

Способы определения	Полоса пропускания		Ширина полосы Δf , кГц	Центральна частота f_0 , кГц (для ПФ и ЗФ)
	f_n , кГц	f_v , кГц		
На основании теоретического критерия (2.1)				
По уровню $\alpha = -3$ дБ, по аналитическим ЛАЧХ:				
– в режиме ХХ				
– под нагрузкой, при $R1 = \dots, R2 = \dots$				
По уровню $\alpha = -3$ дБ, по экспериментальным ЛАЧХ:				
– в режиме ХХ				
– под нагрузкой, при $R1 = \dots, R2 = \dots$				

Приложение Б (обязательное)

Таблички для экспериментальных частотных характеристик ФНЧ

Таблица Б.1 – В режиме ХХ

f	$0.1f_0=$	$0.3f_0=$	$0.5f_0=$	$0.8f_0=$	$0.9f_0=$	$f_0=$	$1.1f_0=$	$1.25f_0=$	$2f_0=$	$3.33f_0=$	$10f_0=$	$30f_0=$	$100f_0=$
$U1_m, В$													
$U2_m$													
Δt_3													
$\Delta\phi$													
H_u													
$H_w, дБ$													

Таблица Б.2 – Режим под нагрузкой при $R1=$, $R2=$

f	$0.1f_0=$	$0.3f_0=$	$0.5f_0=$	$0.8f_0=$	$0.9f_0=$	$f_0=$	$1.1f_0=$	$1.25f_0=$	$2f_0=$	$3.33f_0=$	$10f_0=$	$30f_0=$	$100f_0=$
$U1_m, В$													
$U2_m$													
Δt_3													
$\Delta\phi$													
H_u													
$H_w, дБ$													

Приложение В (обязательное)

Таблички для экспериментальных частотных характеристик ФВЧ

Таблица В.1 – В режиме ХХ

f	$0.01f_n=$	$0.03f_n=$	$0.1f_n=$	$0.3f_n=$	$0.5f_n=$	$0.8f_n=$	$0.9f_n=$	$f_n=$	$1.1f_n=$	$1.25f_n=$	$2f_n=$	$5f_n=$	$10f_n=$
$U1_m, В$													
$U2_m$													
Δt_3													
$\Delta \phi$													
H_u													
$H_u, дБ$													

Таблица В.2 – Режим под нагрузкой при $R1=$, $R2=$

f	$0.01f_n=$	$0.03f_n=$	$0.1f_n=$	$0.3f_n=$	$0.5f_n=$	$0.8f_n=$	$0.9f_n=$	$f_n=$	$1.1f_n=$	$1.25f_n=$	$2f_n=$	$5f_n=$	$10f_n=$
$U1_m, В$													
$U2_m$													
Δt_3													
$\Delta \phi$													
H_u													
$H_u, дБ$													

Приложение Г (обязательное)

Таблички для экспериментальных частотных характеристик ПФ

Таблица Г.1 – В режиме ХХ

f	$0.1f_u=$	$0.5f_u=$	$0.7f_u=$	$0.9f_u=$	$f_u=$	$0.8f_0=$	$f_0=$	$1.25f_0=$	$1.4 f_0=$	$f_e=$	$1.1f_e=$	$2f_e=$	$10f_e=$
$U1_m, В$													
$U2_m$													
Δt_3													
$\Delta \phi$													
H_u													
$H_u, дБ$													

Таблица Г.2 – Режим под нагрузкой при $R1=$, $R2=$

f	$0.1f_u=$	$0.5f_u=$	$0.7f_u=$	$0.9f_u=$	$f_u=$	$0.8f_0=$	$f_0=$	$1.25f_0=$	$1.4 f_0=$	$f_e=$	$1.1f_e=$	$2f_e=$	$10f_e=$
$U1_m, В$													
$U2_m$													
Δt_3													
$\Delta \phi$													
H_u													
$H_u, дБ$													

Приложение Д (обязательное)

Таблички для экспериментальных частотных характеристик ЗФ

Таблица Д.1 – В режиме ХХ

f	$0.1f_{zn} =$	$0.5f_{zn} =$	$0.7f_{zn} =$	$0.9f_{zn} =$	$f_{zn} =$	$0.8f_0 =$	$f_0 =$	$1.25f_0 =$	$1.4 f_0 =$	$f_{3\phi} =$	$1.1f_{3\phi} =$	$2f_{3\phi} =$	$10f_{3\phi} =$
$U1_m, В$													
$U2_m$													
Δt_3													
$\Delta \phi$													
H_u													
$H_w, дБ$													

Таблица Д.2 – Режим под нагрузкой при $R1 =$, $R2 =$

f	$0.1f_{zn} =$	$0.5f_{zn} =$	$0.7f_{zn} =$	$0.9f_{zn} =$	$f_{zn} =$	$0.8f_0 =$	$f_0 =$	$1.25f_0 =$	$1.4 f_0 =$	$f_{3\phi} =$	$1.1f_{3\phi} =$	$2f_{3\phi} =$	$10f_{3\phi} =$
$U1_m, В$													
$U2_m$													
Δt_3													
$\Delta \phi$													
H_u													
$H_w, дБ$													

Приложение Е (рекомендуемое)

Пример качественного построения частотных характеристик

Задача: для схемы Т-образного k-фильтра нижних частот (ТкФНЧ) рисунка Е.1,а необходимо качественно построить диаграммы:

- АЧХ - $K_u(w) = \left| \dot{H}_u(w) \right| = \frac{|\dot{U}_2|}{|\dot{U}_{ex}|}$;
- и ФЧХ - $\Delta\varphi(w) = \arg(\dot{H}_u(w)) = \varphi_{0,u2} - \varphi_{0,uex}$.

Решение:

1) В области НЧ - $\omega \rightarrow 0 \Rightarrow Z2 = \frac{1}{j\omega C} \rightarrow -j\infty$ (схема рисунка Е.1,б) \Rightarrow

$$\Rightarrow \dot{I}_1 = \dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{ex}}{R1+R2} \Rightarrow \dot{U}_2 = \dot{I}_2 \cdot R2 = \frac{\dot{U}_{ex} \cdot R2}{R1+R2} \Rightarrow \dot{H}_u(0) = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_{ex}} = \frac{\dot{U}_{ex} \cdot R2}{(R2+R1)\dot{U}_{ex}} = \frac{R2}{R2+R1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow K_u(0) = \left| \dot{H}_u(0) \right| = \frac{R2}{R1+R2}, \Delta\varphi(0) = 0.$$

2) В области ВЧ - $\omega \rightarrow \infty \Rightarrow \frac{Z1}{2} \rightarrow j\infty, Z2 \rightarrow 0$ (схема рисунка Е.1,в).

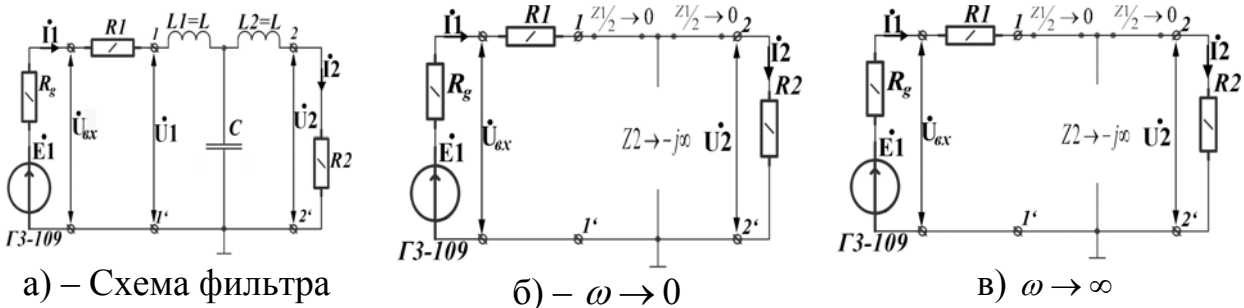


Рисунок Е.1 – Т-образный ФНЧ типа k

а) Определение значения АЧХ: $U2 \rightarrow 0 \Rightarrow K_{u,\infty} \rightarrow 0$.

б) Определение значения ФЧХ на ВЧ сопровождаем построением векторной диаграммы (рисунок Е.2,а):

- откладываем вектор входного напряжения $\dot{U}_{ex} = 1$ (рисунок Е.2,а);
- так как $\frac{Z1}{2} \rightarrow j\infty$ и $Z2 \rightarrow 0$ то входной ток $\dot{I}_1 \rightarrow 0$ течёт по фактически по цепи $\dot{E}_1 - R_g - R1 - L1 - C$, в которой преобладает индуктив-

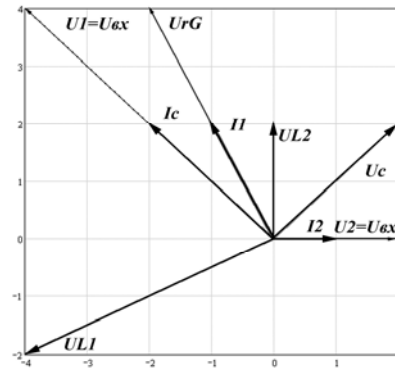
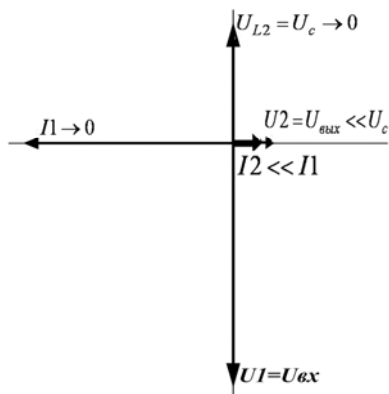
ный характер поведения, при этом $\dot{I}_c = \dot{I}_1 \rightarrow 0$ и отстаёт на 90° относительно \dot{U}_{ex} ;

- напряжение \dot{U}_c отстаёт от тока \dot{I}_c на 90° или на 180° относительно \dot{U}_{ex} ;

- так как в цепи $L2 - R2 - \frac{Z1}{2} \rightarrow j\infty$, то она также имеет фактически индуктивный характер, в которой ток $\dot{I}_2 \rightarrow 0$ отстаёт от \dot{U}_c на 90° или на 270° от \dot{U}_{ex} ;

- В итоге током \dot{I}_2 на резистивной нагрузке $R2$ создаётся выходное напряжение $\dot{U}_2 \rightarrow 0$, которое с этим током имеет одну фазу \Rightarrow оно на 270° отстаёт от \dot{U}_{ex} (то же самое – на 90° опережает \dot{U}_{ex}).

3) В характерной точке - при $\omega = \omega_g = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{LC}}$, $\frac{Z1}{2} = j \cdot \rho$, $Z2 = \frac{-j\rho}{2} \Rightarrow Ku = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{R2}{R2+R1+RG}$, $\Delta\varphi \rightarrow -135^\circ$ (Векторная диаграмма рисунка Е.2,б).



а) Токи и напряжения в схеме ФНЧ на ВЧ ($\omega \rightarrow \infty$)

б) Токи и напряжения в схеме ФНЧ при $\omega = \omega_g = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{LC}}$

Рисунок Е.2 – Векторные диаграммы