

Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и
информатики»
(СибГУТИ)

Ю.С. Черных
Е.В. Дежина

Теория электрических цепей

*Методические указания к лабораторным работам
по дисциплине «Теория электрических цепей».*
Часть 1

Новосибирск
2025

Ю.С. Черных, Е.В. Дежина

В методических указаниях описан цикл лабораторных работ по дисциплине "Теория электрических цепей" для студентов заочной формы обучения с применением дистанционных образовательных технологий

Кафедра Инфокоммуникационных систем и сетей

Общие указания к выполнению лабораторных работ

В процессе выполнения лабораторных работ по курсу «Теория электрических цепей» студенты должны изучить соответствующие разделы теоретического курса, выполнить требуемые расчеты (исследования), научиться оценивать достоверность получаемых результатов.

Каждый студент представляет отчет по лабораторной работе. В отчете необходимо представить исходные схемы, требуемые расчеты в соответствии с целью выполнения работы и заданием по вариантам, построить необходимые графики, заполнить таблицы, обязательно сделать подробные выводы по результатам исследования.

Лабораторная работа № 1

Электрические цепи при гармоническом воздействии

1. Цель работы: изучение электрических цепей, содержащих резисторы R , индуктивности L и емкости C при гармоническом (синусоидальном) воздействии.

2. Подготовка к выполнению работы

При подготовке к работе необходимо изучить поведение R , L , C при различных способах включения (тема 3 электронного конспекта лекций).

3. Теоретическое исследование

3.1. Исследование работы последовательной RL – цепи (рисунок 1.1)

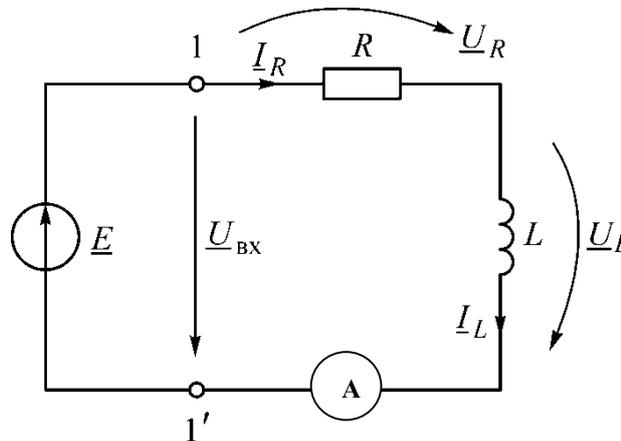


Рисунок 1.1 – Последовательная RL – цепь

3.2. Задать значения сопротивления резистора $R = 100 + N \cdot 10$ Ом, где N – номер варианта (последняя цифра пароля); индуктивности $L = 2$ мГн.

3.3. Задать действующее напряжение источника $E = 10$ В, начальную фазу $\varphi_E = (10 + N \cdot 5)^\circ$, частоту $f_E = 5$ кГц.

3.4. Рассчитать значение сопротивления индуктивности

$$X_L = \omega L = 2\pi f_E L, \text{ Ом}$$

Определить символическим методом по закону Ома ток в цепи.

$$\underline{I} = \frac{\underline{E}}{R + jX_L} = \frac{E e^{j\varphi_E}}{R + jX_L}, \text{ мА}$$

Показание амперметра (действующее значение тока) записать в таблицу 1.1.

3.5. Рассчитать значения напряжений на резисторе \underline{U}_R и катушке индуктивности \underline{U}_L (по закону Ома). Записать показания вольтметров (действующие значения напряжений) в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Показания измерительных приборов в RL – цепи

f_E , кГц	E , В	U_R , В	U_L , В	I_A мА
5				
10				

При правильных расчетах должно выполняться равенство

$$E = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$$

т.к. векторы U_R и U_L сдвинуты по фазе на 90° (на $\pi/2$). Убедитесь в правильности полученных вами значений.

Представить полученные результаты:

- в символической форме

$$\begin{aligned}\underline{I} &= I e^{\varphi_i}, \text{ мА} \\ \underline{U}_R &= U_R e^{\varphi_{U_R}}, \text{ В} \\ \underline{U}_L &= U_L e^{\varphi_{U_L}}, \text{ В}\end{aligned}$$

- через мгновенные значения

$$\begin{aligned}i(t) &= I_m \sin(\omega t + \varphi_i) = I\sqrt{2} \sin(2\pi f_E t + \varphi_i), \text{ мА} \\ u_R(t) &= U_{Rm} \sin(\omega t + \varphi_{U_R}) = U_R \sqrt{2} \sin(2\pi f_E t + \varphi_{U_R}), \text{ В} \\ u_L(t) &= U_{Lm} \sin(\omega t + \varphi_{U_L}) = U_L \sqrt{2} \sin(2\pi f_E t + \varphi_{U_L}), \text{ В}\end{aligned}$$

3.6. Увеличить частоту $f_E = 5$ кГц в два раза (т.е. установить $f_E = 10$ кГц) и произвести все расчеты аналогично п. 3.4 и 3.5. Результаты расчетов также занести в таблицу 1.1.

Обратить внимание на изменение тока и напряжений на элементах цепи, обусловленное увеличением в 2 раза сопротивления X_L .

3.7. Исследование работы последовательной RC-цепи (рисунок 1.2). Задать значения сопротивления резистора $R = 100 + N \cdot 10$ Ом, где N – номер варианта (последняя цифра пароля); емкости $C = 100$ нФ. Задать значения источника \underline{E} согласно п. 3.3.

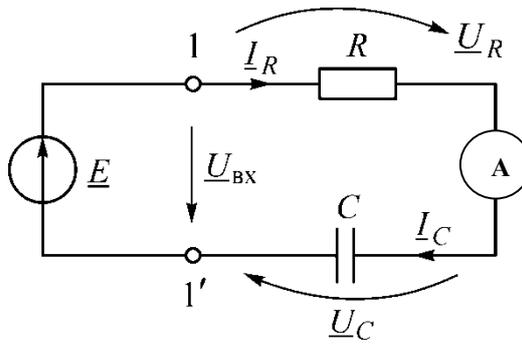


Рисунок 1.2 – Последовательная RC – цепь

3.8. Рассчитать значение сопротивления емкости

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f_E C}, \text{ Ом}$$

Определить символическим методом по закону Ома ток в цепи.

$$\underline{I} = \frac{\underline{E}}{R - jX_C} = \frac{E e^{j\varphi_E}}{R - jX_C}, \text{ мА}$$

Показание амперметра (действующее значение тока) записать в таблицу 1.2.

3.9. Рассчитать значения напряжений на резисторе \underline{U}_R и емкости \underline{U}_C (по закону Ома). Записать показания вольтметров (действующие значения напряжений) в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Показания измерительных приборов в RC – цепи

f_E , кГц	E , В	U_R , В	U_C , В	I_A мА
5				
10				

При правильном расчете должно выполняться равенство

$$E = \sqrt{U_R^2 + U_C^2}$$

т.к. векторы U_R и U_C сдвинуты по фазе на -90° (на $-\pi/2$). Убедитесь в правильности полученных вами значений.

Представить полученные результаты:

- в символической форме

$$\begin{aligned} \underline{I} &= I e^{j\varphi_i}, \text{ мА} \\ \underline{U}_R &= U_R e^{j\varphi_{U_R}}, \text{ В} \\ \underline{U}_C &= U_C e^{j\varphi_{U_C}}, \text{ В} \end{aligned}$$

- через мгновенные значения

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi_i) = I\sqrt{2} \sin(2\pi f_E t + \varphi_i), \text{ мА}$$

$$u_R(t) = U_{Rm} \sin(\omega t + \varphi_{U_R}) = U_R \sqrt{2} \sin(2\pi f_E t + \varphi_{U_R}), \text{ В}$$

$$u_C(t) = U_{Cm} \sin(\omega t + \varphi_{U_C}) = U_C \sqrt{2} \sin(2\pi f_E t + \varphi_C), \text{ В}$$

3.10. Увеличить частоту $f_E = 5$ кГц в два раза (т.е. установить $f_E = 10$ кГц) и произвести все расчеты аналогично п. 3.8 и 3.9. Результаты расчетов также занести в таблицу 1.2.

Обратить внимание на изменение тока и напряжений на элементах цепи, обусловленное уменьшением в 2 раза сопротивления X_C .

3.11. Исследование схемы RLC-цепи (рис. 1.3). Добавить последовательно в схему предыдущего опыта (рис. 1.2) катушку индуктивности $L = 2$ мГн. Задать значения источника E согласно п. 3.3.

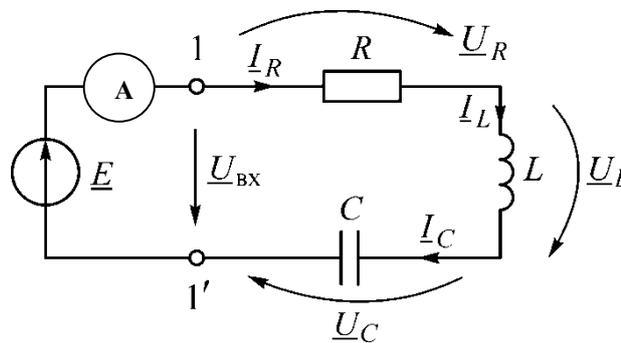


Рисунок 1.3 – Последовательная RLC – цепь

3.12. Определить символическим методом по закону Ома ток в цепи.

$$\underline{I} = \frac{\underline{E}}{R + jX_L - jX_C} = \frac{E e^{j\varphi_E}}{R + jX_L - jX_C}, \text{ мА}$$

Показание амперметра (действующее значение тока) записать в таблицу 1.3. Рассчитать значения напряжений на элементах схемы. Записать показания вольтметров (действующие значения напряжений) в таблицу 1.3.

Таблица 1.3 – Показания измерительных приборов в RLC – цепи

$f_E, \text{ кГц}$	$E, \text{ В}$	$U_R, \text{ В}$	$U_C, \text{ В}$	$U_L, \text{ В}$	$I_A, \text{ мА}$
5					
10					

Учесть, что в данной цепи $E = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$. Выполнить проверку расчетов.

Представить полученные результаты в символической форме записи, а также мгновенные значения $i(t)$, $u_R(t)$, $u_C(t)$, $u_L(t)$ (аналогично п.3.5 и п. 3.9).

3.13 Увеличить частоту $f_E = 5$ кГц в два раза (т.е. установить $f_E = 10$ кГц) и произвести все расчеты аналогично п. 3.11 и 3.12. Результаты расчетов также занести в таблицу 1.3.

Обратить внимание и уметь объяснить изменения напряжений и тока в цепи, обусловленные частотной зависимостью сопротивлений X_L и X_C .

4. Требования к отчету

Отчет должен содержать:

- схемы с указанием элементов и измерительных приборов;
- данные элементов схемы;
- таблицы значений напряжений и токов;
- теоретический расчет тока и напряжений для каждой из 3-х схем на частотах $f=5$ кГц и 10 кГц, выполненный символическим методом;
- векторные диаграммы напряжений для каждой из трех схем, построенные по результатам расчета для $f_E = 10$ кГц.
- подробные выводы по результатам исследования.

Лабораторная работа №2

Резонансы напряжений и токов в электрических цепях

1. Цель работы

Исследование явления резонанса в последовательном и параллельном контурах, их частотных характеристик, влияния нагрузки на свойства контуров.

2. Подготовка к выполнению работы

При подготовке к работе необходимо изучить явления электрического резонанса в последовательном и параллельном контурах, основные расчетные соотношения, частотные характеристики контуров, влияние нагрузки на свойства контуров (тема 4 электронного конспекта лекций).

3. Теоретическое исследование

3.1. Исследовать работу схемы последовательного колебательного контура, подключенного к источнику переменного напряжения \underline{E} (рис. 2.1).

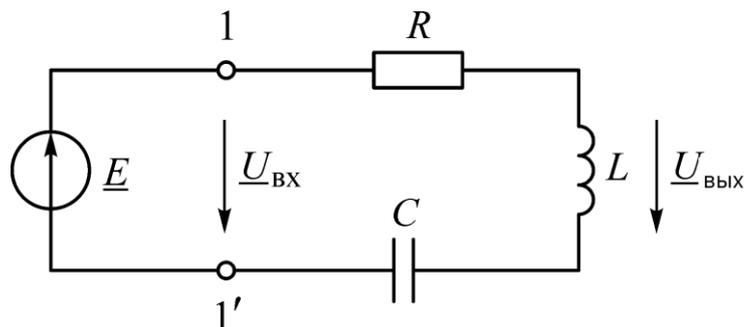


Рисунок 2.1 – Последовательный контур

3.2. Задать значения элементов: сопротивление $R = 25 \text{ Ом}$, индуктивность $L = 2 \text{ мГн}$, емкость $C = 60 + N \cdot 5 \text{ нФ}$, где N – номер варианта (последняя цифра пароля).

3.3. Задать напряжение источника переменного напряжения $E = 100 \text{ мВ}$ (частота источника задается в соответствии с пунктом 3.4).

3.4. Определить (рассчитать) частотную характеристику напряжения на выходе **ненагруженного** последовательного контура в диапазоне частот, включающем в себя резонансную частоту f_0 .

Резонансная частота f_0 определяется по формуле

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ Гц}$$

Остальные значения частот можно получить, изменяя частоту f в обе стороны от резонансной с шагом 0,5 кГц. При исследовании необходимо взять 5 значений частот ниже частоты резонанса и пять значений выше частоты резонанса.

Рассчитать частотную характеристику напряжения на выходе ненагруженного последовательного контура $U_L(f)$.

$$U_L(f) = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2}} 2\pi fL$$

Данные расчета записать в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Частотные характеристики напряжения последовательного контура

Частота, кГц	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9	f_{10}	f_{11}
	$f_0 - 2,5$	$f_0 - 2,0$	$f_0 - 1,5$	$f_0 - 1,0$	$f_0 - 0,5$	f_0	$f_0 + 0,5$	$f_0 + 1,0$	$f_0 + 1,5$	$f_0 + 2,0$	$f_0 + 2,5$
Ненагруженный последовательный контур $R_H \rightarrow \infty$											
$U_L(f)$											
Последовательный контур с нагрузкой $R_H = 1 \text{ кОм}$											
$U_{LH}(f)$											

По результатам расчетов построить график зависимости $U_L(f)$, определить по ней абсолютную полосу пропускания S_A контура (на уровне $0,707U_L(f_0)$) и рассчитать значение добротности полученного ненагруженного контура

$$Q = \frac{U_L(f_0)}{E}$$

3.5. Рассчитать частотную характеристику нагруженного последовательного контура. Для этого к выходу контура (параллельно индуктивности L) подключается сопротивление нагрузки $R_H = 1 \text{ кОм}$ (рисунок 3.2).

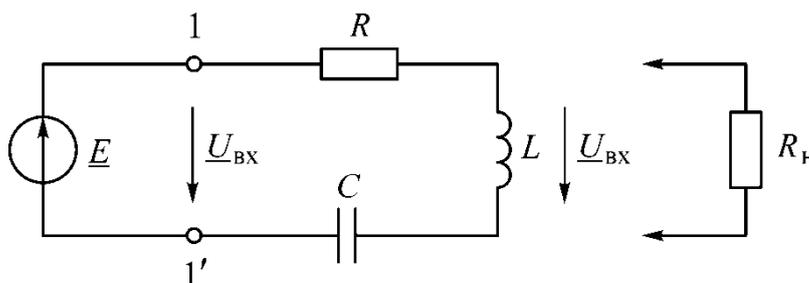


Рисунок 2.2 – Последовательный контур с нагрузкой

$$U_{LH}(\omega) = \frac{E}{|Z_{\text{ЭКВ}}|} \left| \frac{j2\pi fL \cdot R_H}{j2\pi fL + R_H} \right|,$$

где $Z_{\text{ЭКВ}}$ – эквивалентное сопротивление нагруженного последовательного контура.

Данные расчетов занести в таблицу 2.1. По результатам расчета построить график и определить абсолютную полосу пропускания и добротность согласно п. 3.4.

По полученным результатам сделать выводы о влиянии R_H на избирательные свойства последовательного контура, его эквивалентную добротность, полосу пропускания.

3.6. Исследовать работу схемы параллельного колебательного контура, подключенного к источнику тока J с большим внутренним сопротивлением (рисунок 2.3)

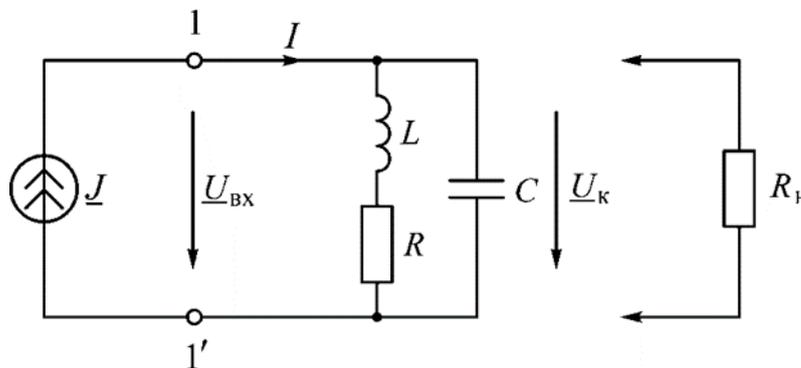


Рисунок 2.3 – Параллельный контур с нагрузкой

3.7. Задать значения элементов:

сопротивление $R = 25$ Ом, индуктивность $L = 2$ мГн,

емкость $C = 60 + N \cdot 5$ нФ, где N – номер варианта (последняя цифра пароля).

3.8. Задать ток источника переменного тока $J = 10$ мА (частота источника задается в соответствии с пунктом 3.4).

3.9. Рассчитать частотную характеристику тока $I_C(f)$ **ненагруженного** параллельного контура в диапазоне частот, включающем в себя резонансную частоту f_p . Расчет резонансной частоты произвести по формуле:

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{L/C - R^2}{L/C}}$$

Остальные частоты определяются аналогично п. 3.4.

Рассчитать значения частотной характеристики контура $I_C(f)$ на каждой частоте.

$$I_C(f) = J \frac{\sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}}{\sqrt{R^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2}}$$

Данные расчета записать в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Частотные характеристики тока $I_C(f)$ параллельного контура

Частота, кГц	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9	f_{10}	f_{11}
	$f_p - 2,5$	$f_p - 2,0$	$f_p - 1,5$	$f_p - 1,0$	$f_p - 0,5$	f_p	$f_p + 0,5$	$f_p + 1,0$	$f_p + 1,5$	$f_p + 2,0$	$f_p + 2,5$
Ненагруженный параллельный контур $R_H \rightarrow \infty$											
$I_C(f)$											
Параллельный контур с нагрузкой $R_H = 1 \text{ кОм}$											
$I_{CH}(f)$											

По результатам расчетов построить график зависимости $I_C(f)$, определить по ней абсолютную полосу пропускания S_A контура (на уровне $0,707I_C(f_p)$) и рассчитать значение добротности полученного ненагруженного контура

$$Q = \frac{I_C(f_p)}{J}$$

3.10. Рассчитать частотную характеристику тока $I_C(f)$ нагруженного параллельного контура. Для этого подключить параллельно к контуру (рисунок 2.3) сопротивление нагрузки $R_H = 1 \text{ кОм}$.

$$I_C(f) = J \left| \frac{\underline{z}_H}{\underline{z}_H - j \frac{1}{2\pi fC}} \right|,$$

где \underline{z}_H – эквивалентное сопротивление двух параллельных ветвей контура RL и R_H .

Данные расчетов занести в таблицу 2.2. По результатам расчета построить график и определить абсолютную полосу пропускания и добротность согласно п. 3.9.

По полученным результатам сделать вывод о влиянии R_H на избирательные свойства параллельного контура, его эквивалентную добротность, полосу пропускания.

4. Требования к отчету

Отчет должен содержать:

- схемы исследуемых цепей;
- данные элементов схемы;
- теоретический расчет параметров и характеристик исследуемых последовательного и параллельного колебательных контуров (ненагруженных и нагруженных);
- таблицы рассчитанных частотных характеристик;
- графики частотных характеристик ненагруженного и нагруженного последовательного и параллельного контуров;
- подробные выводы по результатам исследования, в том числе оценка влияния генератора и нагрузки на избирательные свойства контуров.

Лабораторная работа № 3

Исследование реактивных двухполюсников

1. Цель работы: Исследование зависимости входного сопротивления реактивного двухполюсника от частоты.

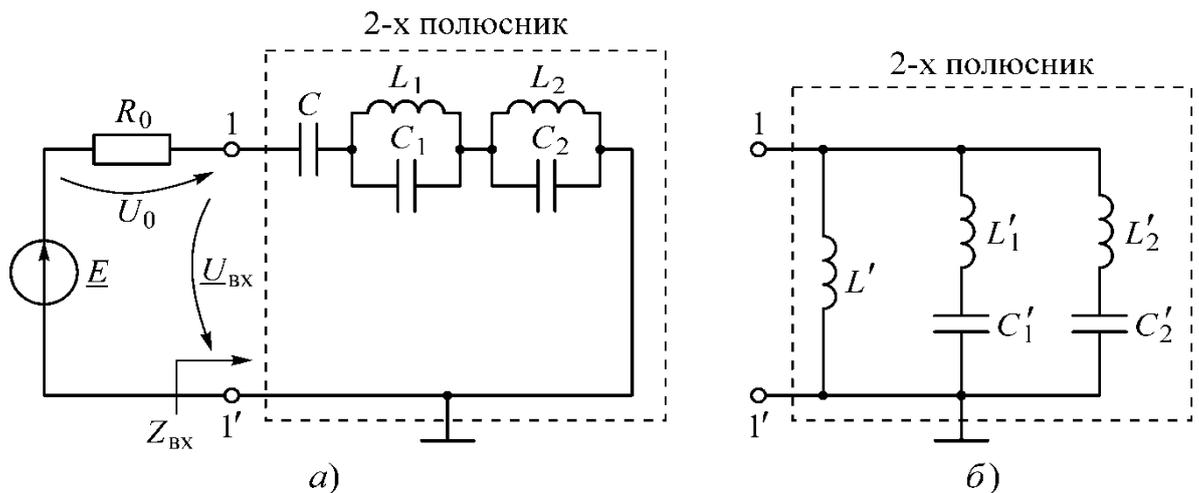
2. Подготовка к выполнению работы

При подготовке к работе необходимо изучить теорию реактивных двухполюсников, методы их анализа и синтеза (тема 16 электронного конспекта лекций).

3. Теоретическое исследование

3.1. Исследовать работу схемы реактивного двухполюсника, реализованного по 1-й форме Фостера (рисунок 3.1, а).

Задать $E = 1$ В, $R_0 = 10$ кОм, $L_1 = L_2 = 1$ мГн, $C_1 = 63,536$ нФ, $C_2 = 15,831$ нФ, $C = (100+N \times 5)$ нФ, где N - номер варианта (последняя цифра пароля).



3.2. Определить частоты резонансов напряжений и токов схемы 2-х полюсника (рис 3.1, а). Для определения резонансных частот необходимо рассчитать нули и полюсы выражения эквивалентного сопротивления схемы $z_{вх}(jf)$.

$$z_{вх}(jf) = \left(\frac{j2\pi f L_1 \cdot \frac{1}{j2\pi f C_1}}{j2\pi f L_1 - j \frac{1}{2\pi f C_1}} \right) + \left(\frac{j2\pi f L_2 \cdot \frac{1}{j2\pi f C_2}}{j2\pi f L_2 - j \frac{1}{2\pi f C_2}} \right) - j \frac{1}{2\pi f C}$$

Таблица 3.1 – Резонансные частоты 2-х полюсников

Вид схемы	Резонансы напряжений		Резонансы токов	
	$\omega_{рез.}, \text{ рад/с}$	$f_{рез.}, \text{ кГц}$	$\omega_{рез.}, \text{ рад/с}$	$f_{рез.}, \text{ кГц}$
Схема а				
Схема б				

3.3. В диапазоне частот 0,1 мГц – 80 кГц на частотах резонансов и по одной частоте между резонансами рассчитать входное сопротивление $Z_{вх}(jf)$ и записать в таблицу 3.2 его значения.

Таблица 3.2 – Частотная характеристика двухполюсника

$f, \text{ кГц}$	f_1	f_2	$f_{рез1}$	f_4	$f_{рез2}$	f_6	$f_{рез3}$	f_8	$f_{рез4}$	f_{10}	f_{11}
	0										80
$Z_{ex}(jf)$											

3.4. Записать выражение $Z_{вх.}(j\omega)$ через резонансные частоты в виде

$$Z_{вх.}(j\omega) = \frac{H (\omega_1^2 - \omega^2)(\omega_3^2 - \omega^2)}{j\omega (\omega_2^2 - \omega^2)(\omega_4^2 - \omega^2)}$$

где H - последовательное соединение емкостей C_1, C_2 и C.

3.5. Рассчитать параметры элементов обратного двухполюсника (рисунок 4.1, б) по формулам:

$$L' = C \cdot R_0^2 \quad L'_1 = C_1 \cdot R_0^2 \quad L'_2 = C_2 \cdot R_0^2 \quad C'_1 = \frac{L_1}{R_0^2} \quad C'_2 = \frac{L_2}{R_0^2}$$

3.6. Рассчитать входное сопротивление $Z_{обр.}(jf)$ обратного двухполюсника (рисунок 4.1, б) и записать в таблицу, аналогичную таблице 3.2.

$$Z_{обр.}(jf) = \left(\frac{\left(j2\pi f L'_1 + \frac{1}{j2\pi f C'_1} \right) \cdot \left(j2\pi f L'_2 + \frac{1}{j2\pi f C'_2} \right)}{j2\pi f L'_1 - j \frac{1}{2\pi f C'_1} + j2\pi f L'_2 - j \frac{1}{2\pi f C'_2}} \right) // (j2\pi f L')$$

3.7. Записать выражение $Z_{обр.}(j\omega)$ через резонансные частоты в виде

$$Z_{обр.}(j\omega) = j\omega H' \frac{(\omega_2^2 - \omega^2)(\omega_4^2 - \omega^2)}{(\omega_1^2 - \omega^2)(\omega_3^2 - \omega^2)}$$

где H' - параллельное соединение индуктивностей L', L'_1 и L'_2

3.8. По результатам расчета построить в масштабе (с учетом знака реактивности) графики зависимости входного сопротивления исходного и обратного реактивных двухполюсников от частоты и указать на них частоты резонансов напряжений и токов.

4. Требования к отчету

Отчет по работе должен содержать:

- цель работы;
- исследуемые схемы с указанием элементов и их величин;
- выражения $Z_{\text{экв.}}(j\omega)$, записанные через резонансные частоты;
- таблицы 3.1 и 3.2 (для исходного двухполюсника и обратного) рассчитанных величин;
- два графика зависимости $Z_{\text{вх}}(jf)$ – исходного и обратного двухполюсников, построенные в масштабе с учетом знака реактивности;
- подробные выводы по работе.