

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 2*

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

Исследование пассивных четырехполюсников

1. Цель работы: исследование свойств пассивных линейных четырехполюсников.

2. Подготовка к выполнению работы

При подготовке к работе необходимо усвоить типы четырехполюсников, уравнения передачи в различных формах, параметры-коэффициенты, характеристические параметры, рабочие меры передачи, методы их расчета (тема 10 электронного конспекта лекций).

3. Теоретическое исследование

3.1. Исследовать схему пассивного резистивного четырехполюсника (рисунок 1.1).

Задать $E = 10 \text{ В}$, $f = 1 \text{ кГц}$, $R_1 = 100 \text{ Ом}$, $R_2 = 200 \text{ Ом}$, $R_3 = 300 \text{ Ом}$, $R_4 = (100 + N \times 10) \text{ Ом}$,

где N – номер варианта (последняя цифра пароля).

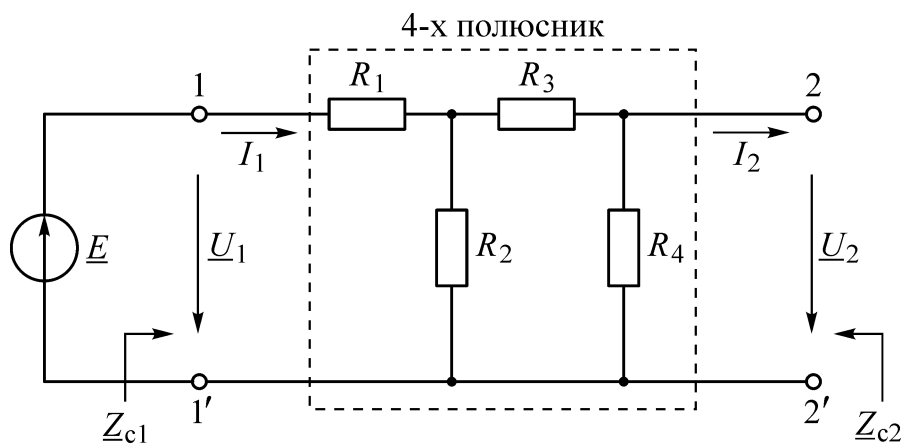


Рисунок 1.1 – Исследуемая схема четырехполюсника

3.2 Определить A -параметры четырехполюсника, исходя из их физического смысла, создавая в схеме режимы холостого хода (ХХ) и короткого замыкания (КЗ).

Параметры A_{11} и A_{21} можно определить в режиме ХХ (рисунок 1.1), зная заданное напряжение $\underline{U}_1$ на входных (1-1') и рассчитав напряжение $\underline{U}_2$ на выходных зажимах (2-2') четырехполюсника, а также входной ток $\underline{I}_1$

Результаты измерений записать в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

Опыт ХХ ($I_2 = 0$)			Опыт КЗ ($U_2 = 0$)		
$\underline{U}_1$, В	$\underline{U}_2$, В	$\underline{I}_1$, мА	$\underline{U}_1$, В	$\underline{I}_1$, мА	$\underline{I}_2$, мА

В результате в режиме ХХ параметры $\underline{A}_{11}$ и $\underline{A}_{21}$ четырехполюсника определяются по формулам:

$$\underline{A}_{11} = \left. \frac{\underline{U}_1}{\underline{U}_2} \right|_{I_2=0} \quad \underline{A}_{21} = \left. \frac{\underline{I}_1}{\underline{U}_2} \right|_{I_2=0}$$

Параметры $\underline{A}_{12}$ и $\underline{A}_{22}$ можно определить в режиме КЗ. Для этого замкнуть зажимы 2-2' (рисунок 1.1) проводом и рассчитать напряжение на входе $\underline{U}_1$ (точки 1-1') ток $\underline{I}_1$ (на входе) и ток $\underline{I}_2$ (на выходе). Результаты измерений также записываются в таблицу 1.1. В результате в режиме КЗ определяются параметры $\underline{A}_{12}$ и $\underline{A}_{22}$:

$$\underline{A}_{12} = \left. \frac{\underline{U}_1}{\underline{I}_2} \right|_{U_2=0} \quad \underline{A}_{22} = \left. \frac{\underline{I}_1}{\underline{I}_2} \right|_{U_2=0}$$

Необходимо проверить правильность определения А-параметров, используя соотношение:

$$\underline{A}_{11} \cdot \underline{A}_{22} - \underline{A}_{12} \cdot \underline{A}_{21} = 1.$$

Если погрешность превышает 5%, то необходимо расчеты повторить вновья.

3.3 По найденным А-параметрам рассчитать параметры холостого хода и короткого замыкания $\underline{Z}_{1x}$, $\underline{Z}_{1к}$, $\underline{Z}_{2x}$, $\underline{Z}_{2к}$, характеристические сопротивления $\underline{Z}_{c1}$, и $\underline{Z}_{c2}$ и собственное ослабление четырехполюсника A_c по формулам

$$\underline{Z}_{1x} = \frac{\underline{A}_{11}}{\underline{A}_{21}} \quad \underline{Z}_{1к} = \frac{\underline{A}_{12}}{\underline{A}_{22}} \quad \underline{Z}_{2x} = \frac{\underline{A}_{22}}{\underline{A}_{21}} \quad \underline{Z}_{2к} = \frac{\underline{A}_{12}}{\underline{A}_{11}}$$

$$\underline{Z}_{c1} = \sqrt{\frac{\underline{A}_{11} \cdot \underline{A}_{12}}{\underline{A}_{21} \cdot \underline{A}_{22}}} \quad \underline{Z}_{c2} = \sqrt{\frac{\underline{A}_{22} \cdot \underline{A}_{12}}{\underline{A}_{21} \cdot \underline{A}_{11}}}$$

$$A_c = 8,69 \ln(\sqrt{\underline{A}_{11} \cdot \underline{A}_{22}} + \sqrt{\underline{A}_{12} \cdot \underline{A}_{21}}) = 20 \lg(\sqrt{\underline{A}_{11} \cdot \underline{A}_{22}} + \sqrt{\underline{A}_{12} \cdot \underline{A}_{21}}), \text{ дБ}$$

3.4. Исследуйте рабочий режим работы четырехполюсника.

Для расчета рабочего ослабления задайте нагрузку со стороны генератора $\underline{Z}_г$ в два раза меньше, чем $\underline{Z}_{c1}$ (рассогласование по входу), а нагрузку на выходе четырехполюсника $\underline{Z}_н$ в 2 раза больше, чем $\underline{Z}_{c2}$

(рассогласование по выходу).

Приведите схему включения исходного четырехполюсника с нагрузками.

Рассчитайте рабочее ослабление четырехполюсника в режиме несогласованного включения

$$A_p = A_c + \Delta A_1 + \Delta A_2 + \Delta A_3, \text{ дБ}$$

где A_c – характеристическое ослабление четырехполюсника;

$\Delta A_1, \Delta A_2$ – дополнительные ослабления из-за несогласованностей на входе и выходе четырехполюсника;

$$\Delta A_1 = 20 \lg \left| \frac{Z_{c1} + Z_r}{2\sqrt{Z_{c1} \cdot Z_r}} \right|, \quad \Delta A_2 = 20 \lg \left| \frac{Z_{c2} + Z_n}{2\sqrt{Z_{c2} \cdot Z_n}} \right|$$

ΔA_3 – дополнительное ослабление за счет многократного отражения энергии от входных и выходных зажимов четырехполюсника, рассчитываемое как

$$20 \lg \left| 1 - \frac{Z_{c1} - Z_r}{Z_{c1} + Z_r} \cdot \frac{Z_{c2} - Z_n}{Z_{c2} + Z_n} \cdot e^{2\Gamma_c} \right|$$

Сделайте вывод о влиянии режима работы на величину ослабления A .

Требования к отчету

Отчет должен содержать:

- цель работы
- исследуемую схему и данные элементов схемы;
- схемы режимов ХХ и КЗ,
- теоретический расчет A -параметров и собственного ослабления A_c четырехполюсника;
- таблицы измеренных величин и рассчитанные A -параметры, $Z_{c1}, Z_{c2}, A_c, Z_{1x}, Z_{1k}, Z_{2x}, Z_{2k}$;
- схемы четырехполюсника, включенного между генератором и нагрузкой в согласованном и несогласованном режимах
- расчет A_c (при согласованном) и A_p (при несогласованном) режимах работы;
- подробные выводы по результатам исследования.

Лабораторная работа № 2

Исследование активных RC-фильтров

1. Цель работы: исследование амплитудно-частотных характеристик фильтра нижних частот третьего порядка, реализованного на пассивных и активных RC-звеньях.

2. Подготовка к выполнению лабораторной работы

Изучить по учебной литературе теорию электрических фильтров и методику их синтеза (тема 17 электронного конспекта лекций).

3. Теоретическое исследование

3.1. Осуществить синтез ARC-фильтра нижних частот в соответствии с исходными данными своего варианта (последней цифре пароля) (табл. 2.1)

Таблица 2.1 – Исходные данные

Вариант	ΔA , дБ	$A_{\min}$, дБ	f_2 , кГц	f_3 , кГц	Вариант	ΔA , дБ	$A_{\min}$, дБ	f_2 , кГц	f_3 , кГц
0	3,0	35	20	54	5	1,0	28	25	65
1	1,0	30	25	62,5	6	0,5	23	30	81
2	0,5	25	30	79	7	0,2	21	15	42
3	0,2	20	15	37,5	8	3,0	33	20	53
4	3,0	32	20	50	9	1,0	29	25	68,7

– выполнить нормирование:

$$\Omega_3 = \frac{f_3}{f_2}$$

– из таблицы 2.2 выписать нормированные полюсы передаточной функции, считая, что порядок фильтра равен 3:

$$S_1 = -\sigma_1; \quad S_{2,3} = -\sigma_2 \pm j\Omega_2,$$

Таблица 2.2 – Нормированные полюсы передаточной функции

A, дБ	n = 3		
	S_1	S_2	S_3
0,2	-0,814634	-0,407317 + j1,11701	-0,407317 - j1,11701
0,5	-0,626457	-0,313228 + j1,021928	-0,313228 - j1,021928
1,0	-0,494171	-0,247085 + j0,965999	-0,247085 - j0,965999
3,0	-0,29862	-0,14931 + j0,903813	-0,14931 - j0,903813

– для комплексно-сопряженной пары полюсов $S_{2,3}$ определить добротность Q и частоту полюса Ω_n :

$$Q = \frac{\sqrt{\sigma_2^2 + \Omega_2^2}}{2\sigma_2}; \quad \Omega_n = \sqrt{\sigma_2^2 + \Omega_2^2};$$

– сформировать нормированную передаточную функцию фильтра:

$$H(S) = \frac{\sigma_1}{S + \sigma_1} \cdot \frac{\sigma_2^2 + \Omega_2^2}{S^2 + 2\sigma_2 \cdot S + \sigma_2^2 + \Omega_2^2} = \frac{\sigma_1}{S + \sigma_1} \cdot \frac{\Omega_n^2}{S^2 + \frac{\Omega_n}{Q}S + \Omega_n^2};$$

– осуществить денормирование, подставляя в выражение $H(S)$

$$S = \frac{P}{2\pi \cdot f_2},$$

где f_2 – граничная частота полосы эффективного пропускания.

Итак, получена передаточная функция фильтра нижних частот в виде произведения двух сомножителей:

$$H(P) = H_1(P) \cdot H_2(P) = \frac{b_1}{P + a_1} \cdot \frac{b_2}{P^2 + a_2P + a_{20}}.$$

Реализовать полученную $H(P)$ (рис. 2.3) в виде каскадного соединения звеньев 1-го и 2-го порядка, используя схемы, изображенные на рис. 2.1 и рис. 2.2, соответственно.

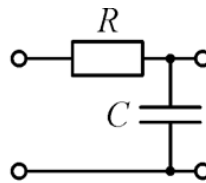


Рисунок 2.1 – Звено первого порядка

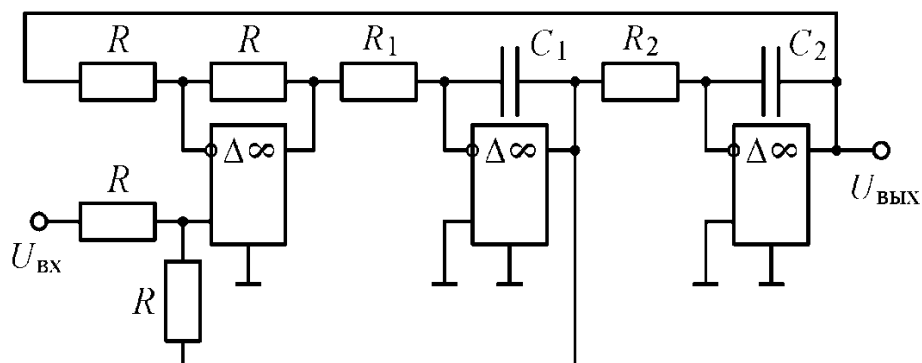


Рисунок 2.2 – Звено второго порядка (ARC2)

3.3. По результатам расчета построить графики $H(f)$ и $A(f)$ отдельно для каждого звена и для всего фильтра. На графиках показать полосу пропускания и полосу непропускания фильтра. Сделать вывод о том, удовлетворяют ли полученные характеристики заданным требованиям.

4. Требования к отчету

Отчет должен содержать:

- цель работы;
- расчеты, выполненные в соответствии с п. 3.1;
- схему полученного фильтра и значения ее элементов.
- графики зависимостей $H(f)$ и $A(f)$ отдельно для каждого звена и фильтра в целом с указанием полос пропускания и полос непропускания фильтра
- подробные выводы по работе.

Лабораторная работа № 3

«Исследование пассивных амплитудных корректоров»

1. **Цель работы:** исследование частотной характеристики ослабления и структуры пассивного амплитудного корректора.

2. Подготовка к выполнению работы

При подготовке к работе изучить теорию амплитудных и фазовых корректоров, методы расчета параметров элементов и частотных характеристик (тема 18 электронного конспекта лекций).

3. Теоретическое исследование

3.1 Задание 1

Нечетные варианты (номер варианта – 1,3,5,7,9 – определяется по последней цифре пароля)

По заданной функции ослабления цепи построить требуемую функцию ослабления амплитудного корректора, если $A_0 = 18 + N \times 0,2$ дБ, где N – номер варианта

Таблица 3.1 – Ослабление цепи

f, кГц	0	5	10	15	20	25	30	35	40
A _ц , дБ	17,9	17,4	16,1	14,6	13,1	11,8	10,7	9,7	8,1

Четные варианты (номер варианта – 0,2,4,6,8 – определяется по последней цифре пароля)

Известна требуемая характеристика ослабления амплитудного корректора $A_k(f)$. Постройте зависимость ослабления цепи, если известно, что $A_{\max \text{ ц.}} = 13 + N \times 0,2$ дБ, где N – номер варианта

Таблица 3.2 – Ослабление корректора

f, кГц	0	5	10	15	20	25	30	35	40
A _к , дБ	0,6	2,5	5,2	7,2	8,4	9,2	9,6	10,2	10,4

В решении необходимо привести условия задания, графики и пояснения.

3.2. Задание 2

Нечетные варианты (номер варианта – 1,3,5,7,9 – определяется по последней цифре пароля)

Определить максимально возможное ослабление корректора $A_{\text{кmax}}$. Качественно построить график ослабления искажающей цепи. Рассчитать значения R_2 , C_2 , L_2 , если $R = 200 + N \times 10$ Ом, где N – номер варианта.

$$R_1 = 1000 \text{ Ом}, L_1 = 2 \text{ мГн}, C_1 = 50 \text{ нФ}, R = 200 \text{ Ом}$$

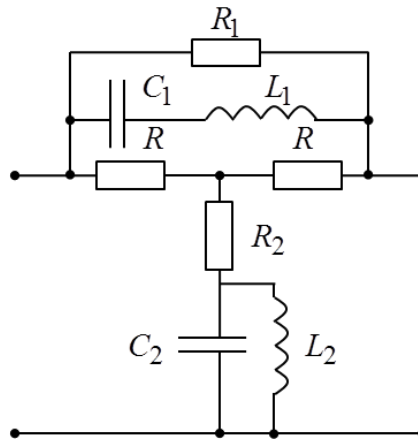


Рисунок 3.1 – Схема амплитудного корректора второго порядка

Четные варианты (номер варианта – 0,2,4,6,8 – определяется по последней цифре пароля).

Определить максимально возможное ослабление корректора $A_{\text{кmax}}$. Качественно построить график ослабления искажающей цепи.

$$R_1 = 1000 \text{ Ом}, L_1 = 4 \text{ мГн}, C_1 = 100 \text{ нФ}, R = 200 \text{ Ом}$$

Рассчитать значения R_2 , C_2 , L_2 , если $R = 200 + N \times 10$ Ом, где N – номер варианта.

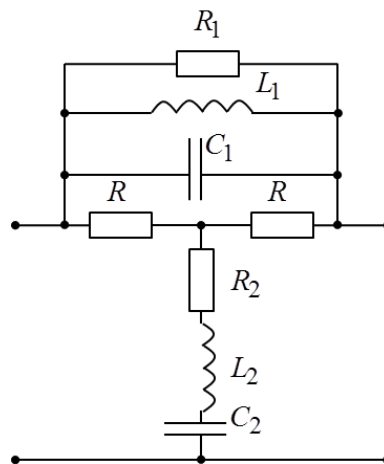


Рисунок 3.2 – Схема амплитудного корректора второго порядка

В решении необходимо привести условие задания, график, расчеты и пояснения.

3.3. Задание 3

Нечетные варианты (номер варианта – 1,3,5,7,9 – определяется по последней цифре пароля)

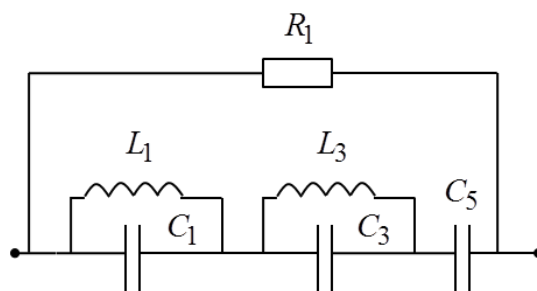


Рисунок 3.3 – Схема продольного плеча корректора

Построить схему амплитудного корректора и ожидаемую характеристику ослабления корректора, если

$$R_1 = 500 \text{ Ом}, L_1 = 2 \text{ мГн}, L_3 = 4 \text{ мГн}, C_1 = 50 \text{ нФ}, C_3 = 100 \text{ нФ}, C_5 = 75 \text{ нФ}.$$

Рассчитать значения параметров элементов в поперечном плече корректора, если $R = 200 + N \times 10 \text{ Ом}$, где N – номер варианта.

Четные варианты (номер варианта – 0,2,4,6,8 – определяется по последней цифре пароля)

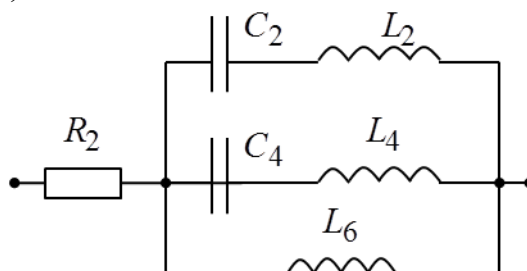


Рисунок 3.4 – Схема поперечного плеча корректора

Построить схему амплитудного корректора и ожидаемую характеристику ослабления корректора, если

$$R_2 = 40 \text{ Ом}, L_2 = 2 \text{ мГн}, L_4 = 4 \text{ мГн}, C_2 = 50 \text{ нФ}, C_4 = 100 \text{ нФ}, L_6 = 6 \text{ мГн}.$$

Рассчитать значения параметров элементов в продольном плече корректора, если $R = 200 + N \times 10 \text{ Ом}$, где N – номер варианта.

В решении нужно привести условие задания, схему корректора, характеристику ослабления, расчеты параметров элементов корректора и пояснения.

4. Требования к отчету

Отчет должен содержать:

- решения трех заданий (индивидуальные требования к оформлению решения каждого задания приведены в их описании).
- подробные выводы по работе.