



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

А.А. Илюхин

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных работ № 1-5

для студентов I курса
специальности 10.05.02
очной формы обучения

Москва
2019

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ (МГТУ ГА)»**

Кафедра основ радиотехники и защиты информации

А.А. Илюхин

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных работ №№ 1-5

*для студентов I курса
специальности 10.05.02
очной формы обучения*

Москва
2019

ББК 6П2.12

И-49

Рецензент:

Яманов Д.Н. – канд. техн. наук

Илюхин А.А.

И-49 Теория электрических цепей: учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ №№ 1-5./ А.А. Илюхин. – Воронеж: ООО «МИР», 2019. – 36 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Теория электрических цепей» по учебному плану для студентов I курса специальности 10.05.02 очной формы обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры 23.04.2019 г. и методического совета 23.04.2019 г.

В авторской редакции.

Подписано в печать 14.06.2019 г.

Формат 60x84/16 Печ.л. 2,25 Усл. печ. л. 2,09

Заказ 484/5083 Тираж 50 экз.

Московский государственный технический университет ГА

125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д.20

Отпечатано ООО «МИР»

394033, г. Воронеж, Ленинский пр-т 119 А, лит. Я, оф. 215

© Московский государственный
технический университет ГА, 2019

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Экспериментальная проверка основных законов токопрохождения

1. Цель работы - экспериментально убедиться в верности закона Ома, первого и второго законов Кирхгофа.

2. Краткие теоретические сведения

Закон Ома для участка цепи гласит: сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна электрическому сопротивлению данного участка цепи: $I = U/R$, где U – напряжение на концах проводника, I – ток, протекающий по проводнику, R – сопротивление проводника.

Сопротивление проводника является его физической характеристикой и измеряется в Омах (Ом).

Также используется обратная сопротивлению величина, называемая проводимостью, обозначается буквой G и измеряется в Сименсах (См): $G = 1/R$.

Тогда закон Ома может быть записан в следующем виде: $I = GU$.

Законы Кирхгофа позволяют составить систему уравнений для расчета электрической цепи постоянного тока любой сложности.

Для формулировки законов Кирхгофа в электрической цепи выделяются узлы (точки соединения трёх и более проводников) и контуры (замкнутые пути из проводников). При этом каждый проводник может входить в несколько контуров.

Закон токов Кирхгофа (первый закон Кирхгофа): для любого узла цепи алгебраическая сумма токов равна нулю: $\sum_{k=1}^n I_k = 0$.

Закон напряжений Кирхгофа (второй закон Кирхгофа): алгебраическая сумма падений напряжений на отдельных участках замкнутого контура, произвольно выделенного в сложной разветвленной цепи, равна алгебраической сумме ЭДС в этом контуре: $\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{i=1}^m I_i R_i$, где n – число источников ЭДС, m – число ветвей в замкнутом контуре, I_i , R_i – ток и сопротивление i -й ветви.

Перед составлением уравнений по второму закону Кирхгофа произвольно выбирается направление обхода каждого контура цепи.

Знаки перед членами составленных уравнений определяются по следующим правилам:

- ЭДС положительна, если ее направление совпадает с направлением произвольно выбранного обхода контура;

- падение напряжения на сопротивлении положительно, если направление тока в нем совпадает с направлением обхода.

3. Подготовка к работе

3.1. Используя закон Ома, рассчитать токи в цепи, представленной на рис.1, при различных ЭДС источника и сопротивлениях ветви в соответствии с заданным преподавателем вариантом. Результаты расчетов занести в табл.1,2.

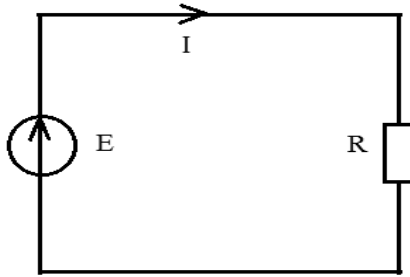


Рис.1

3.2. Используя законы Кирхгофа, рассчитать токи и напряжения ветвей в цепи, представленной на рис.2, при различных ЭДС источников, токах источника тока и сопротивлениях ветвей в соответствии с заданным преподавателем вариантом. Результаты расчетов занести в табл.3,4.

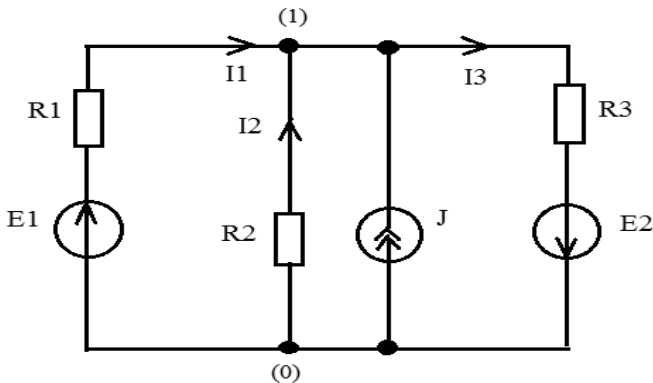


Рис.2

4. Порядок выполнения лабораторной работы

4.1. Убедитесь, что рабочая станция **NI ELVIS II** включена (выключатель питания станции находится в положении **I**).

4.2. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **O**.

4.3. Из главного меню выберите **Закон Ома**. Откроется заранее подготовленное изображение электрической схемы с размещенными на ней полями компонентов и приборов (рис.3).

Используемые приборы и компоненты:

- резисторы (зона резисторов на плате);
- источник напряжения E (**VPS+**);
- вольтметр $V1$;

- амперметр A1.

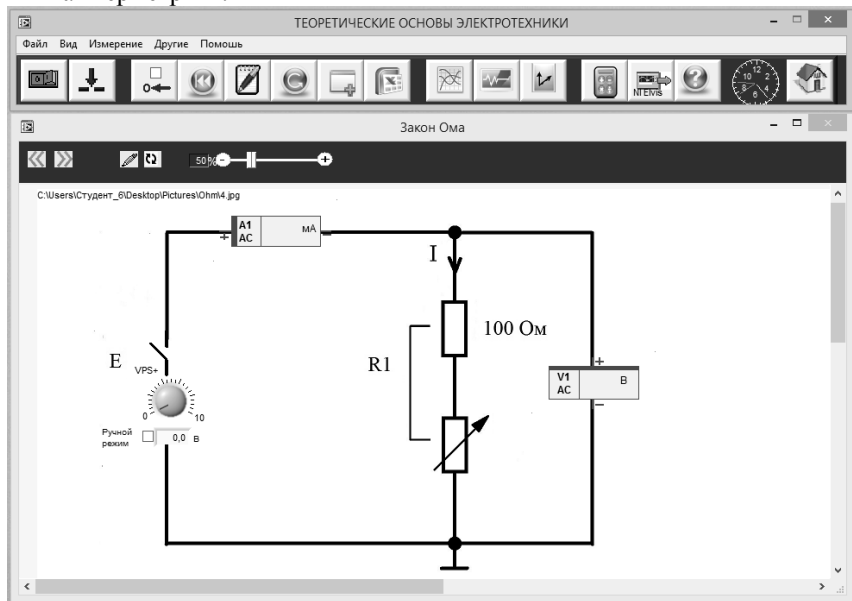


Рис.3

4.4. Соберите на плате цепь в соответствии со схемой на рис. 3. Установите первое значение сопротивления R_1 , соответствующее заданному варианту.

4.5. Введите в поле значения **R1 (Ом)** на рабочем поле лицевой панели величину, соответствующую номиналу установленного на плате резистора.

4.6. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **I**. Загорятся светодиод **Питание** на плате и индикатор включения питания на панели **NI ELVIS II**.

4.7. Чтобы начать измерения нажмите на панели управления кнопку **Старт/Стоп**, затем поставьте галочку в поле **Смещ. 0**.

4.8. Исследование зависимости $I = f(U)$ при $R = \text{const}$.

4.8.1. Установите начальное значение E (**VPS+**) равным 1 В.

4.8.2. Увеличивайте ЭДС источника от 1 В до 10 В с шагом 1 В и зафиксируйте показания приборов V_1 , A_1 .

4.8.3. По окончании установите значение E (**VPS+**) равным нулю.

4.8.4. Установите на плате второе значение сопротивления R_1 , соответствующее заданному варианту.

4.8.5. Введите эту же величину сопротивления в **поле значения R1** на рабочем поле лицевой панели.

4.8.6. Повторите пункты 4.8.1 – 4.8.3 для второго значения сопротивления R_1 .

4.8.7. Установите на плате третье значение сопротивления R_1 , соответствующее заданному варианту.

4.8.8. Введите эту же величину сопротивления в **поле значения R1** на рабочем поле лицевой панели.

4.8.9. Повторите пункты 4.8.1 – 4.8.3 для третьего значения сопротивления R1, соответствующее заданному варианту.

4.8.10. Заполните табл.1, сравните рассчитанные и измеренные значения токов и постройте графики $I = f(U)$ при $R = \text{const}$ для трех заданных значений сопротивления R1.

Таблица 1

R1= Ом	E, В		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	U, В											
	I, mA	Рас.										
Изм.												
R1= Ом	E, В											
	U, В											
	I, mA	Рас.										
Изм.												
R1= Ом	E, В											
	U, В											
	I, mA	Рас.										
Изм.												

4.9. Исследование зависимости $I = f(R)$ при $U = \text{const}$.

4.9.1. Используйте схему на плате в соответствии с рис.3.

4.9.2. Вращая ручку потенциометра **x100 Ом** на плате, установите переменное сопротивление в положение «0». Введите в **поле значения R1** на рабочем поле величину полного сопротивления цепи - 100 Ом.

4.9.3. Вращая ручку **VPS+** на рабочем поле, установите соответствующее заданному варианту ЭДС E.

4.9.4. Потенциометром **x100 Ом** пошагово увеличивайте сопротивление цепи (от 100 до 1000 Ом с шагом 100 Ом). На каждом шаге вводите в **поле значения** величину получившегося сопротивления цепи и фиксируйте показания приборов.

4.9.5. По окончании переведите потенциометр **x100 Ом** в положение «0».

4.9.6. Повторите пп.4.9.2 – 4.9.5 для разных значений ЭДС E.

4.9.7. По данным эксперимента заполните табл.2, сравните рассчитанные и измеренные значения токов и постройте графики $I = f(R)$ при $U = \text{const}$ для трех различных значений U.

4.10. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **О**.

4.11. Из главного меню выберите **Законы Кирхгофа**. Откроется заранее подготовленное изображение электрической схемы с установленными на ней полями компонентов и приборов (рис.4).

Таблица 2

E=	R1, Ом		100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
	U, В											
B	I, mA	Рас.										
		Изм.										
E=	R1, Ом											
	U, В											
B	I, mA	Рас.										
		Изм.										
E=	R1, Ом											
	U, В											
B	I, mA	Рас.										
		Изм.										

Используемые приборы и компоненты:

- сопротивления (зона резисторов на плате);
- источники напряжения E1 (VPS+), E2 (VPS-);
- источник тока J (CS);
- амперметры A1, A2, A3;
- вольтметры V1, V2, V3.

4.12. Соберите на плате цепь в соответствии со схемой, показанной на рис.4. Установите номиналы сопротивлений, соответствующие заданному преподавателем варианту.

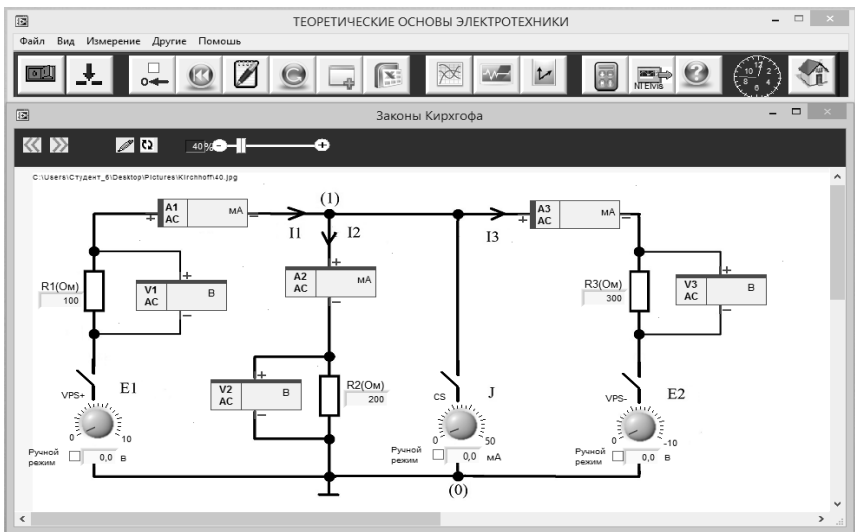


Рис.4

4.13. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **I**.

4.14. Чтобы начать измерения нажмите на панели управления кнопку **Старт/Стоп**, затем поставьте галочку в поле **Смещ. 0**.

4.15. Установите соответствующие заданному преподавателем варианту значения источников напряжения E_1 (**VPS+**), E_2 (**VPS-**) и тока J (**CS**), зафиксируйте показания приборов.

4.16. Заполните табл.3,4, сравните рассчитанные и измеренные значения токов и напряжений, рассчитайте сумму токов в узле 1, сумму ЭДС и падений напряжений для контура E_1, R_1, R_3, E_2 и сравните с расчетными значениями.

Таблица 3

E1, В	E2, В	J, мА	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом	I1, мА		I2, мА		I3, мА		$\sum I_{(1)}, \text{мА}$	
						Рас.	Изм.	Рас.	Изм.	Рас.	Изм.	Рас.	Изм.

Таблица 4

E1, В	E2, В	J, мА	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом	V1, В		V2, В		V3, В		$\sum_k E_k = \sum_i U_i$	
						Рас.	Изм.	Рас.	Изм.	Рас.	Изм.	Рас.	Изм.

5. Содержание отчета

5.1. Принципиальные схемы исследуемых цепей, используемые при подготовке к лабораторной работе и исследуемые в работе.

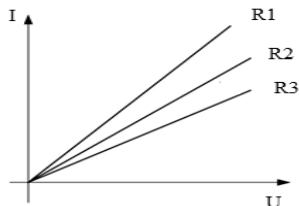
5.2. Расчеты, выполненные при подготовке к лабораторной работе.

5.3. Результаты измерений и расчеты, выполненные по ним.

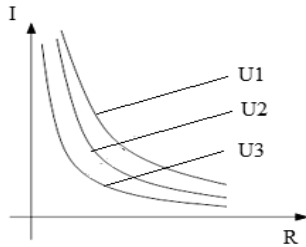
5.4. Анализ результатов расчетов и экспериментальных данных.

6. Контрольные вопросы

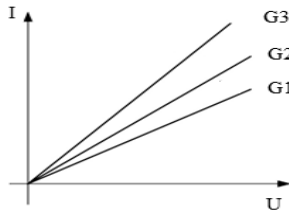
6.1. Исходя из графика вольтамперных характеристик, установите соотношение между значениями сопротивлений R_1, R_2, R_3 .



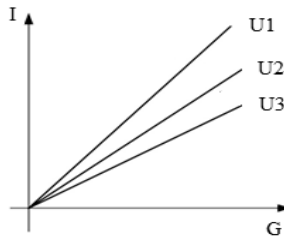
6.2. Исходя из приведенного графика установите соотношение между значениями напряжений U_1 , U_2 , U_3 .



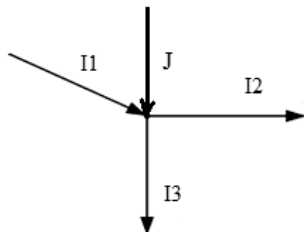
6.3. Исходя из графика вольтамперных характеристик установите соотношение между значениями проводимостей G_1 , G_2 , G_3 .



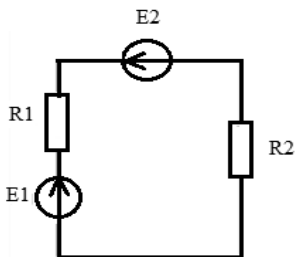
6.4. Исходя из приведенного графика установите соотношение между значениями напряжений U_1 , U_2 , U_3 .



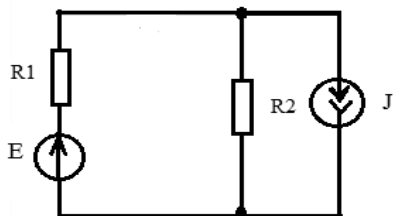
6.5. Чему равен ток I_3 , если $I_1 = 10$ мА, $I_2 = 3$ мА, $J = 2$ мА?



6.6. Чему равно падение напряжения на сопротивлении R_2 , если $E_1 = 6 \text{ В}$, $E_2 = -1 \text{ В}$, $R_1 = 4 \text{ кОм}$ и $R_2 = 1 \text{ кОм}$?



6.7. Чему равно падение напряжения на сопротивлении R_2 , если $E_1 = 6 \text{ В}$, $J = 2 \text{ мА}$, $R_1 = 4 \text{ кОм}$ и $R_2 = 1 \text{ кОм}$?



Литература

1. Попов В.П. Основы теории цепей: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2007.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Исследование RC - и RL - цепей первого порядка

1. Цель работы – изучение основных свойств, законов и режимов работы электрических цепей синусоидального тока, содержащих последовательно соединенные сопротивление и емкость, сопротивление и индуктивность.

2. Краткие теоретические сведения

Рассмотрим цепь, принципиальная электрическая схема которой показана на рис. 5.

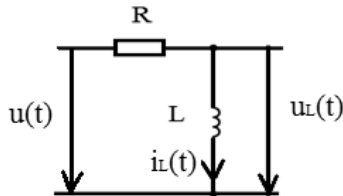


Рис. 5

Мгновенное значение напряжения на индуктивности: $u_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt}$.

Если ток представлен выражением $i_L(t) = I_{mL} \sin(\omega t + \varphi_{iL})$, то напряжение на катушке будет равно $u_L(t) = I_{mL} \omega L \cos(\omega t + \varphi_{iL}) = U_{mL} \sin(\omega t + \varphi_{iL} + 90^\circ)$, где $U_{mL} = I_{mL} \omega L$, $\varphi_{uL} = \varphi_{iL} + 90^\circ$.

Как видно из уравнения, ток в индуктивности отстает от напряжения на индуктивности на 90° . Величину $X_L = \omega L = 2\pi fL$ называют индуктивным сопротивлением. Мгновенная мощность: $p_L(t) = u_L(t)i_L(t) = U_L I_L \sin(2\omega t + 2\varphi_{iL})$. Временные диаграммы $i_L(t)$, $u_L(t)$, $p_L(t)$ при $\varphi_{iL} = 0$ для индуктивности приведены на рис. 6.

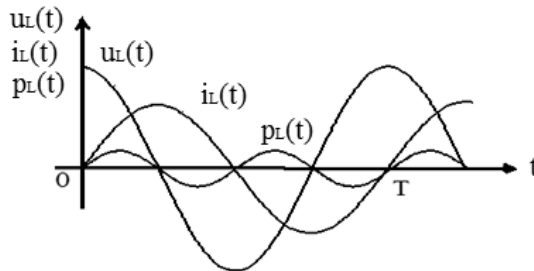


Рис. 6

Комплексные амплитуды тока и напряжения на индуктивности:

$$\dot{I}_{mL} = I_{mL} e^{j\varphi_i}, \quad \dot{U}_{mL} = U_{mL} e^{j(\varphi_i + 90^\circ)}.$$

Векторы тока и напряжения индуктивности на комплексной плоскости приведены на рис. 7.

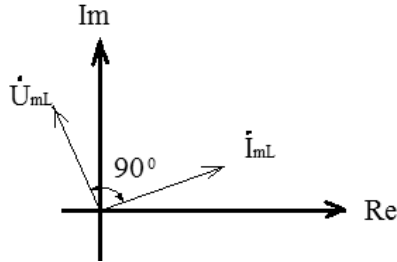


Рис. 7

Мгновенное значение тока в цепи:

$$i(t) = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \cos(\omega t + \varphi_u - \arctg \frac{\omega L}{R}), \text{ где } I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} - \text{зависи-}$$

мость амплитуды тока цепи от частоты, $\varphi_i = -\arctg \frac{\omega L}{R}$ – зависимость начальной фазы тока цепи от частоты при $\varphi_u = 0$.

Рассмотрим цепь, принципиальная электрическая схема которой показана на рис. 8.

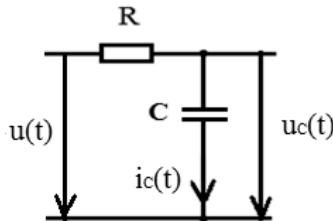


Рис. 8

Мгновенное значение тока емкости: $i_c(t) = C \frac{du_c(t)}{dt}$.

Если напряжение на емкости представлено выражением $u_c(t) = U_{mc} \sin(\omega t + \varphi_{uc})$, то ток емкости будет равен $i_c(t) = U_{mc} \omega C \cos(\omega t + \varphi_{uc})$, где $I_{mc} = U_{mc} \omega C$, $\varphi_{ic} = \varphi_{uc} + 90^\circ$.

Как видно из уравнения, ток в емкости опережает напряжение на емкости на 90° . Величину $x_c = 1/\omega C = 1/2\pi f C$ называют емкостным сопротивлением. Мгновенная мощность: $p_c(t) = u_c(t) i_c(t) = U_c I_c \sin(2\omega t + 2\varphi_{uc})$.

Временные диаграммы $i_c(t)$, $u_c(t)$, $p_c(t)$ при $\varphi_{u_c} = 0$ для емкости приведены на рис. 9.

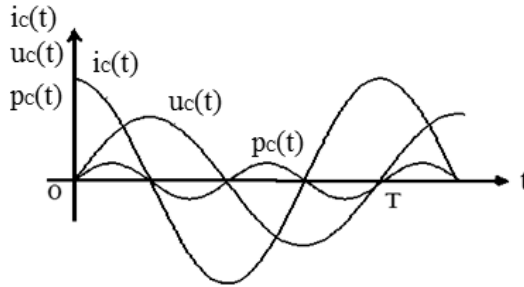


Рис. 9

Комплексные амплитуды тока и напряжения на емкости:

$$\dot{I}_{mc} = I_{mc} e^{j(\varphi_{u_c} + 90^\circ)}, \quad \dot{U}_{mc} = U_{mc} e^{j\varphi_{u_c}}.$$

Векторы тока и напряжения на емкости на комплексной плоскости приведены на рис. 10.

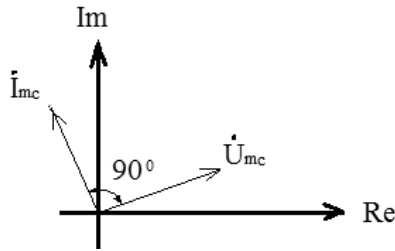


Рис. 10

Мгновенное значение тока в цепи:

$$i(t) = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (1/\omega C)^2}} \cos(\omega t + \varphi_u + \arctg \frac{1}{\omega CR}),$$
 где $I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (1/\omega C)^2}}$ – зависимость амплитуды тока цепи от частоты, $\varphi_i = \arctg \frac{1}{\omega CR}$ – зависимость начальной фазы тока цепи от частоты при $\varphi_u = 0$.

3. Подготовка к работе

3.1. Используя рис.5, рассчитать и построить зависимости амплитудного значения и начальной фазы (при $\varphi_u = 0$) тока в RL – цепи от частоты в диапазоне от 1 до 20 кГц при исходных данных в соответствии с заданным преподавателем вариантом.

3.2. Используя рис.8, рассчитать и построить зависимости амплитудного значения и начальной фазы (при $\varphi_u = 0$) тока в RC – цепи от частоты в

диапазоне от 1 до 20 кГц при исходных данных в соответствии с заданным преподавателем вариантом.

4. Порядок выполнения лабораторной работы

4.1. Убедитесь, что рабочая станция **NI ELVIS II** включена (выключатель питания станции находится в положении **I**).

4.2. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **O**.

4.3. Из главного меню выберите лабораторную работу **Исследование RL – цепи синусоидального тока**. Откроется заранее подготовленное изображение электрической схемы с размещенными на ней полями компонентов и приборов (рис.11).

Используемые приборы и компоненты:

- резисторы (зона резисторов на плате);
- индуктивная катушка (зона индуктивных катушек на плате);
- источник синусоидального напряжения (функциональный генератор $\sim E$);
- вольтметры V1, V3;
- амперметр A1.

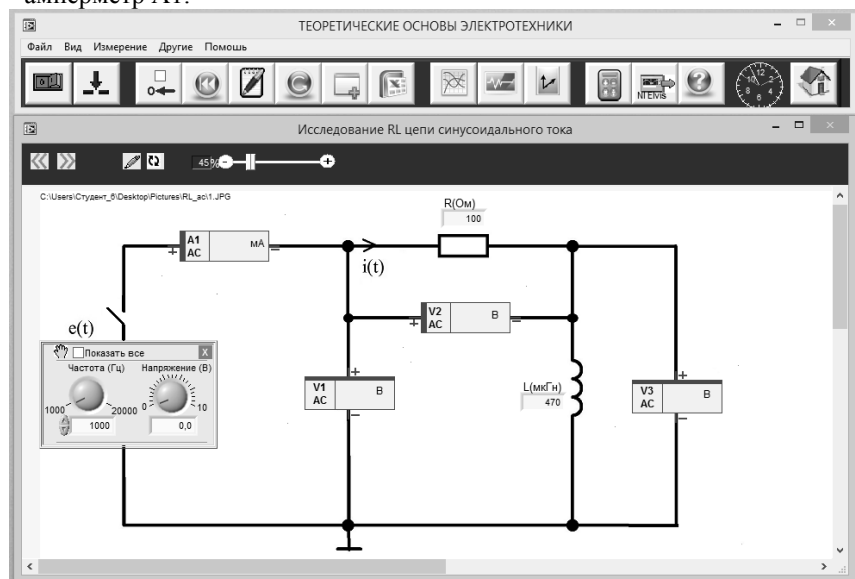


Рис. 11

4.3.1. Соберите на плате цепь в соответствии со схемой на рис.11. Установите номиналы сопротивления и индуктивности в соответствии с заданным преподавателем вариантом.

4.3.2. Введите в **поле значения R** и **поле значения L** на рабочем поле лицевой панели величины, соответствующие номиналам установленных на плате сопротивлений и индуктивности.

4.3.3. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **I**. Загорятся светодиод **Питание** на плате и индикатор включения питания на панели **NI ELVIS II**.

4.3.4. Чтобы начать измерения нажмите на панели управления кнопку **Старт/Стоп**, затем поставьте галочку в поле **Смещ. 0**.

4.3.5. Установите ЭДС E (поле **Напряжение**) источника, соответствующее заданному преподавателем варианту.

4.3.6. Вызовите и настройте инструмент **Векторная диаграмма** для наблюдения напряжений, измеряемых соответственно вольтметрами $V1$ и $V3$, и тока, измеряемого амперметром $A1$. При работе с окном **Векторные диаграммы** необходимо включить синхронизацию от напряжения, измеряемого вольтметром $V1$. Устанавливайте частоты ЭДС E (поле **Частота**) в диапазоне от 1 до 20 кГц с шагом 1 кГц и измеряйте амплитуды и фазы векторов (A , φ) в окне **Векторная диаграмма**. Результаты измерений занести в табл. 5. Убедитесь в том, что угол между вектором напряжения на индуктивности и вектором тока составляет примерно 90° . Сохраните изображение векторной диаграммы. Постройте графики по данным табл.5.

$E =$, В	Таблица 5																			
F , кГц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
U_{m3} , В																				
I_m , мА																				
φ_i , град.																				

4.3.7. Вызовите и настройте инструмент **Осциллограмма** для наблюдения напряжений $u_1(t)$, $u_3(t)$ и тока $i(t)$ и сохраните изображение. При работе с окном **Осциллограмма** необходимо включить синхронизацию от напряжения $u_1(t)$, измеряемого вольтметром $V1$.

4.4. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **O**.

4.5. Из главного меню выберите лабораторную работу **Исследование RC – цепи синусоидального тока**. Откроется заранее подготовленное изображение электрической схемы с размещенными на ней полями компонентов и приборов (рис.12).

Используемые приборы и компоненты:

- резисторы (зона резисторов на плате);
- конденсатор (зона конденсаторов на плате);
- источник синусоидального напряжения (функциональный генератор $\sim E$);
- вольтметры $V1$, $V3$;
- амперметр $A1$.

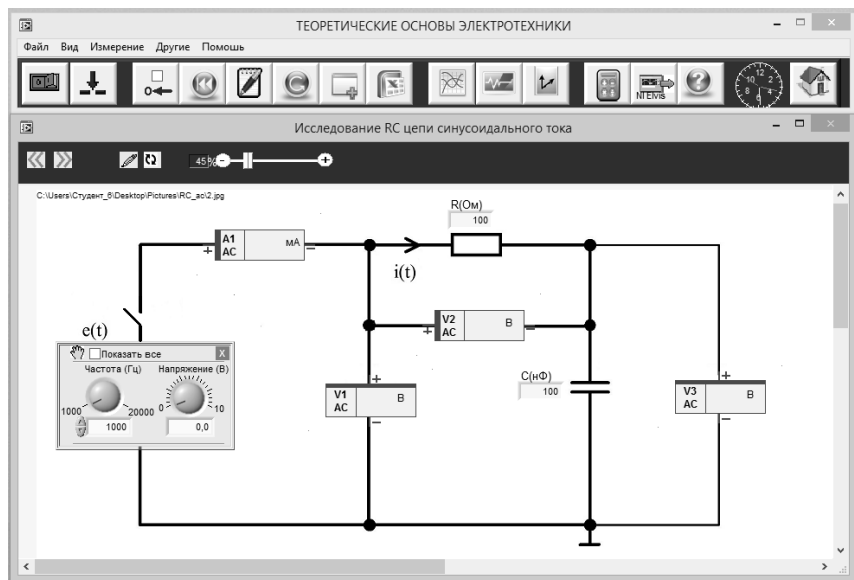


Рис. 12

4.5.1. Соберите на плате цепь в соответствии со схемой на рис.12. Установите номиналы сопротивления и емкости в соответствии с заданным преподавателем вариантом.

4.5.2. Введите в **поле значения R** и **поле значения C** на рабочем поле лицевой панели величины, соответствующие номиналам установленных на плате сопротивления и емкости.

4.5.3. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **I**. Загорятся светодиод **Питание** на плате и индикатор включения питания на панели **NI ELVIS II**.

4.5.4. Чтобы начать измерения нажмите на панели управления кнопку **Старт/Стоп**, затем поставьте галочку в поле **Смещ. 0**.

4.5.5. Установите ЭДС E (поле **Напряжение**) источника, соответствующее заданному преподавателем варианту.

4.5.6. Вызовите и настройте инструмент **Векторная диаграмма** для наблюдения напряжений, измеряемых соответственно вольтметрами $V1$ и $V3$, и тока, измеряемого амперметром $A1$. При работе с окном **Векторные диаграммы** необходимо включить синхронизацию от напряжения, измеряемого вольтметром $V1$. Установивайте частоты ЭДС E (поле **Частота**) в диапазоне от 1 до 20 кГц с шагом 1 кГц и измеряйте амплитуды и фазы векторов (A , φ) в окне **Векторная диаграмма**. Результаты измерений занести в табл. 6. Убедитесь в том, что угол между вектором тока и вектором напряжения на емкости составляет примерно 90° . Сохраните изображение векторной диаграммы. Постройте графики по данным табл.6.

Таблица 6

E= , В																				
F, кГц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
U_{m3} , В																				
I_m , мА																				
φ_i , град.																				

4.5.7. Вызовите и настройте инструмент **Осциллограмма** для наблюдения напряжений $u_1(t)$, $u_3(t)$ и тока $i(t)$ и сохраните изображение. При работе с окном **Осциллограммы** необходимо включить синхронизацию от напряжения $u_1(t)$, измеряемого вольтметром V1.

5. Содержание отчета

5.1. Принципиальные схемы цепей, используемые при подготовке и исследуемые в лабораторной работе.

5.2. Расчеты и графики, выполненные при подготовке к лабораторной работе.

5.3. Результаты измерений и графики, построенные по ним.

5.4. Осциллограммы и векторные диаграммы напряжений и токов в RL – и RC – цепях.

5.5. Анализ результатов расчетов и экспериментальных данных.

6. Контрольные вопросы

6.1. Как влияет частота входной гармонической ЭДС на амплитуду и начальную фазу тока в RL – цепи?

6.2. Как влияет сопротивление на зависимости амплитуды и начальной фазы тока от частоты в RL – цепи?

6.3. Как влияет индуктивность на зависимости амплитуды и начальной фазы тока от частоты в RL – цепи?

6.4. Как влияет частота входной гармонической ЭДС на амплитуду и начальную фазу тока в RC – цепи?

6.5. Как влияет сопротивление на зависимости амплитуды и начальной фазы тока от частоты в RC – цепи?

6.6. Как влияет емкость на зависимости амплитуды и начальной фазы тока от частоты в RC – цепи?

6.7. Каков сдвиг фаз между током и напряжением на емкости?

6.8. Каков сдвиг фаз между током и напряжением на индуктивности?

Литература

1. Попов В.П. Основы теории цепей: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2007.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Исследование частотных характеристик RL – и RC - цепей первого порядка

1. Цель работы – изучение частотных характеристик и овладение методикой их экспериментального получения RL – и RC - цепей первого порядка.

2. Краткие теоретические сведения

Основными задачами теории цепей являются задачи анализа и синтеза цепи. Первая задача состоит в определении реакции цепи $s(t)$ на заданное внешнее воздействие $x(t)$. Вторая задача заключается в нахождении цепи по заданной реакции цепи $s(t)$ на некоторое внешнее воздействие $x(t)$. В частном случае задача анализа может сводиться к нахождению соотношения между реакцией цепи $s(t)$ и воздействием $x(t)$. Такое соотношение называется характеристикой (системной функцией) цепи. Если аргументом данной характеристики является частота, то она называется частотной. При этом определение и исследование частотных характеристик представляет собой задачу анализа цепи в частотной области.

При гармоническом внешнем воздействии от соотношения между мгновенными значениями реакции цепи и внешнего воздействия можно перейти к соотношению между их комплексными изображениями. При этом определяется комплексная частотная характеристика (КЧХ):

$$H_{kv}(j\omega) = \frac{\dot{S}_{mk}}{\dot{X}_{mv}} = \frac{\dot{S}_k}{\dot{X}_v},$$
 где \dot{S}_{mk} , \dot{S}_k – комплексные амплитуда и действующее значения реакции цепи, \dot{X}_{mk} , \dot{X}_k – комплексные амплитуда и действующее значения внешнего воздействия, k – номер выходных зажимов, v – номер входных зажимов. КЧХ цепи может быть записана в показательной форме $H_{kv}(j\omega) = H_{kv}(\omega)e^{j\varphi_{Hkv}}$, где $H_{kv}(\omega) = \frac{S_{mk}}{X_{mv}} = \frac{S_k}{X_v}$ – модуль КЧХ, равный отношению амплитуд или действующих значений, или амплитудно-частотная характеристика цепи (АЧХ), $\varphi_{Hkv} = \varphi_{S_k} - \varphi_{X_v}$ – аргумент КЧХ, равный разности начальных фаз отклика цепи и внешнего воздействия, или фазочастотная характеристика цепи (ФЧХ).

КЧХ цепи делятся на входные и передаточные. Если отклик цепи и внешнее воздействие рассматриваются на одних и тех же зажимах цепи, то КЧХ называется входной. Если отклик цепи и внешнее воздействие рассматриваются на разных зажимах цепи, то КЧХ называется передаточной. Различают два вида входных и четыре вида передаточных характеристик.

Входные КЧХ:

- комплексное входное сопротивление $Z_{vv}(j\omega) = \frac{\dot{U}_v}{\dot{I}_v}$, где \dot{U}_v – комплексное действующее значение отклика цепи, \dot{I}_v – комплексное действующее значение внешнего воздействия;

- комплексная входная проводимость $Y_{vv}(j\omega) = \frac{\dot{I}_v}{\dot{U}_v}$, где \dot{I}_v – комплексное действующее значение отклика цепи, \dot{U}_v – комплексное действующее значение внешнего воздействия.

Передачные КЧХ:

- комплексный коэффициент передачи по напряжению $K_{kv}(j\omega) = \frac{\dot{U}_k}{\dot{U}_v}$, где \dot{U}_k – комплексное действующее значение отклика цепи, \dot{U}_v – комплексное действующее значение внешнего воздействия;

- комплексный коэффициент передачи по току $\dot{G}_{kv}(j\omega) = \frac{\dot{I}_k}{\dot{I}_v}$, где \dot{I}_k – комплексное действующее значение отклика цепи, \dot{I}_v – комплексное действующее значение внешнего воздействия;

- комплексное передаточное сопротивление $Z_{kv}(j\omega) = \frac{\dot{U}_k}{\dot{I}_v}$, где \dot{U}_k – комплексное действующее значение отклика цепи, \dot{I}_v – комплексное действующее значение внешнего воздействия;

- комплексная входная проводимость $Y_{kv}(j\omega) = \frac{\dot{I}_k}{\dot{U}_v}$, где \dot{I}_k – комплексное действующее значение отклика цепи, \dot{U}_v – комплексное действующее значение внешнего воздействия.

КЧХ линейных цепей не зависят от амплитуды и начальной фазы внешнего воздействия, а определяются структурой цепи и параметрами входящих в нее элементов.

Далее в качестве примера найдем АЧХ и ФЧХ цепи рис. 13 от ЭДС на входе к напряжению на индуктивности.

$$\text{КЧХ: } K_{uLu}(j\omega) = \frac{\dot{U}_L}{\dot{U}} = \frac{j\omega L}{iR + j\omega L} = \frac{j\omega L}{R + j\omega L} = \frac{\omega L}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} e^{j(90^\circ - \arctg \omega L/R)},$$

$$\text{ФЧХ: } \varphi_{K_{uLu}}(\omega) = 90^\circ - \arctg \omega L/R.$$

Одним из параметров рассматриваемых в работе цепей является граничная частота $\omega_{гр.}$, определяемая на уровне $\frac{K_{kvmax}}{\sqrt{2}} \approx 0,707 K_{kvmax}$, где K_{kvmax} – максимальное значение АЧХ. Для рассматриваемой цепи найдем зависимость граничной частоты от значений R и L :

$$K_{uLu}(\infty) = K_{uLu max} = 1, \text{ тогда } \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\omega_{гр.}}{\sqrt{R^2 + (\omega_{гр.}L)^2}}.$$

$$\text{Решая уравнение, получим } \omega_{гр.} = R/L.$$

Другим важнейшим параметром рассматриваемых цепей, у которых с изменением частоты от 0 до ∞ АЧХ монотонно убывает, является полоса пропускания цепи, определяемая так $\Delta\omega_p = \omega_{гр.} - 0 = \omega_{гр.}$.

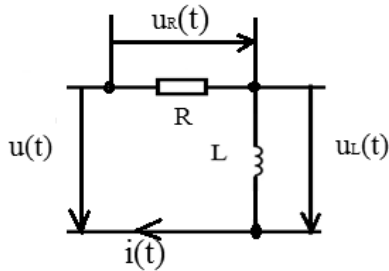


Рис. 13

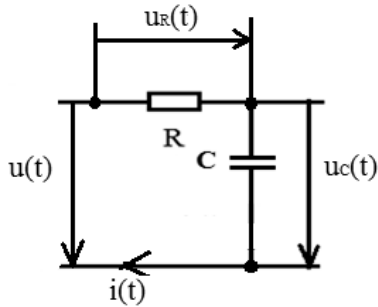


Рис. 14

3. Подготовка к работе

3.1. Используя рис.13, рассчитать и построить амплитудно-частотные (АЧХ) и фазочастотные (ФЧХ) характеристики цепи от входного напряжения $u(t)$ к напряжению на сопротивлении $u_R(t)$ и от входного напряжения $u(t)$ к напряжению на индуктивности $u_L(t)$ в диапазоне от 1 до 20 кГц, рассчитать граничные частоты и полосы пропускания при исходных данных в соответствии с заданным преподавателем вариантом.

3.2. . Используя рис.14, рассчитать и построить амплитудно-частотные (АЧХ) и фазочастотные (ФЧХ) характеристики цепи от входного напряжения $u(t)$ к напряжению на сопротивлении $u_R(t)$ и от входного напряжения $u(t)$ к напряжению на емкости $u_C(t)$ в диапазоне от 1 до 20 кГц, рассчитать граничные частоты и полосы пропускания при исходных данных в соответствии с заданным преподавателем вариантом.

4. Порядок выполнения лабораторной работы

4.1. Убедитесь, что рабочая станция **NI ELVIS II** включена (выключатель питания станции находится в положении **I**).

4.2. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **O**.

4.3. Из главного меню выберите лабораторную работу **Исследование RL – цепи синусоидального тока**. Откроется заранее подготовленное изображение электрической схемы с размещенными на ней полями компонентов и приборов (рис.15).

Используемые приборы и компоненты:

- резисторы (зона резисторов на плате);
- индуктивная катушка (зона индуктивных катушек на плате);
- источник синусоидального напряжения (функциональный генератор $\sim E$);
- вольтметры V1, V2, V3;
- амперметр A1.

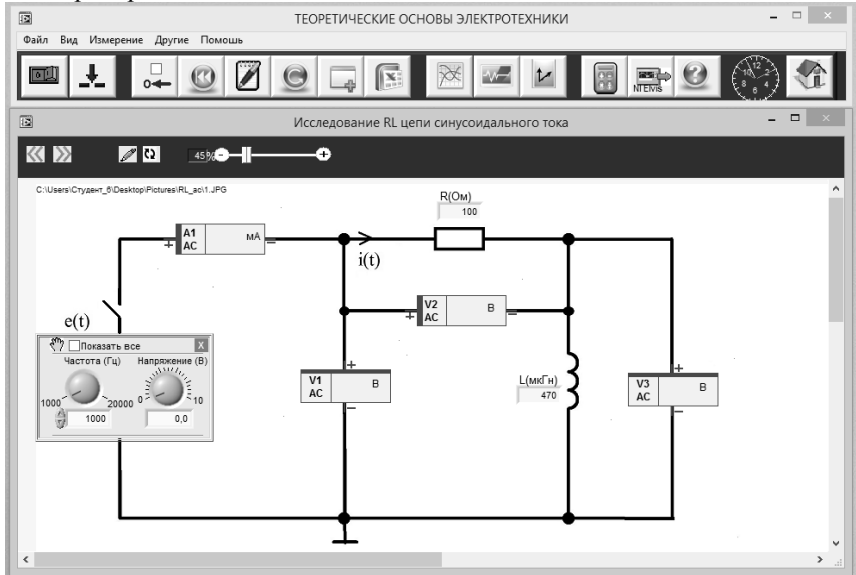


Рис. 15

4.3.1. Соберите на плате цепь в соответствии со схемой на рис.15. Установите номиналы сопротивления и индуктивности в соответствии с заданным преподавателем вариантом.

4.3.2. Введите в **поле значения R** и **поле значения L** на рабочем поле лицевой панели величины, соответствующие номиналам установленных на плате сопротивления и индуктивности.

4.3.3. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **I**. Загорятся светодиод **Питание** на плате и индикатор включения питания на панели **NI ELVIS II**.

4.3.4. Чтобы начать измерения нажмите на панели управления кнопку **Старт/Стоп**, затем поставьте галочку в поле **Смещ. 0**.

4.3.5. Установите ЭДС E (поле **Напряжение**) источника, соответствующее заданному преподавателем варианту.

4.3.6. Вызовите и настройте инструмент **Векторная диаграмма** для наблюдения напряжений, измеряемых соответственно вольтметрами V1, V2, V3. При работе с окном **Векторные диаграммы** необходимо включить синхронизацию от напряжения, измеряемого вольтметром V1. Устанавливайте частоты ЭДС E (поле **Частота**) в диапазоне от 1 до 20 кГц с шагом 1 кГц и измеряйте амплитуды и фазы векторов напряжений $u_1(t)$, $u_2(t)$, $u_3(t)$ (A, φ) в окне **Векторная диаграмма**. Результаты измерений занести в табл. 7. Рассчитайте значения АЧХ и ФЧХ. Постройте графики по данным табл.7. Сохраните изображение векторной диаграммы.

E= , В	Таблица 7																				
F, кГц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
U_{m1} , В																					
U_{m2} , В																					
$K_{u_2u_1}$																					
$\varphi_{K_{u_2u_1}}$, град.																					
U_{m3} , В																					
$K_{u_3u_1}$																					
$\varphi_{K_{u_3u_1}}$, град.																					

4.3.7. Вызовите и настройте инструмент **Оциллограмма** для наблюдения напряжений $u_1(t)$, $u_2(t)$, $u_3(t)$ и сохраните изображение. При работе с окном **Оциллограммы** необходимо включить синхронизацию от напряжения $u_1(t)$, измеряемого вольтметром V1.

4.4. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **О**.

4.5. Из главного меню выберите лабораторную работу **Исследование RC – цепи синусоидального тока**. Откроется заранее подготовленное изображение электрической схемы с размещенными на ней полями компонентов и приборов (рис.16).

Используемые приборы и компоненты:

- резисторы (зона резисторов на плате);
- конденсатор (зона конденсаторов на плате);
- источник синусоидального напряжения (функциональный генератор $\sim E$);
- вольтметры V1, V2, V3;
- амперметр A1.

4.5.1. Соберите на плате цепь в соответствии со схемой на рис.16. Установите номиналы сопротивления и емкости в соответствии с заданным преподавателем вариантом.

4.5.2. Введите в поле значения **R** и поле значения **C** на рабочем поле лицевой панели величины, соответствующие номиналам установленных на плате сопротивления и емкости.

4.5.3. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **I**. Загорятся светодиод **Питание** на плате и индикатор включения питания на панели **NI ELVIS II**.

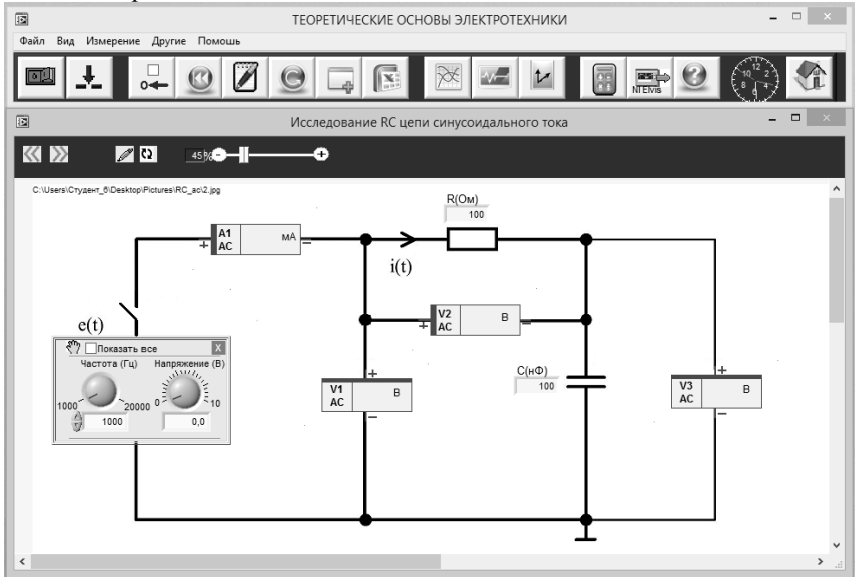


Рис. 16

4.5.4. Чтобы начать измерения нажмите на панели управления кнопку **Старт/Стоп**, затем поставьте галочку в поле **Смещ. 0**.

4.5.5. Установите ЭДС E (поле **Напряжение**) источника, соответствующее заданному преподавателем варианту.

4.5.6. Вызовите и настройте инструмент **Векторная диаграмма** для наблюдения напряжений, измеряемых соответственно вольтметрами V_1 , V_2 , V_3 . При работе с окном **Векторные диаграммы** необходимо включить синхронизацию от напряжения, измеряемого вольтметром V_1 . Устанавливайте частоты ЭДС E (поле **Частота**) в диапазоне от 1 до 20 кГц с шагом 1 кГц и измеряйте амплитуды и фазы векторов напряжений $u_1(t)$, $u_2(t)$, $u_3(t)$ (А, φ) в окне **Векторная диаграмма**. Результаты измерений занести в табл. 7. Рассчитайте значения АЧХ и ФЧХ. Постройте графики по данным табл.8. Сохраните изображение векторной диаграммы.

4.5.7. Вызовите и настройте инструмент **Осциллограмма** для наблюдения напряжений $u_1(t)$, $u_2(t)$, $u_3(t)$ и сохраните изображение. При работе с окном **Осциллограммы** необходимо включить синхронизацию от напряжения $u_1(t)$, измеряемого вольтметром V_1 .

$E=$, В	Таблица 8																			
F, кГц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
U_{m1} , В																				
U_{m2} , В																				
$K_{u_2u_1}$																				
$\varphi_{K_{u_2u_1}}$, град.																				
U_{m3} , В																				
$K_{u_3u_1}$																				
$\varphi_{K_{u_3u_1}}$, град.																				

5. Содержание отчета

5.1. Принципиальные схемы цепей, используемые при подготовке и исследуемые в лабораторной работе.

5.2. Расчеты и графики, выполненные при подготовке к лабораторной работе.

5.3. Результаты измерений и графики, построенные по ним.

5.4. Осциллограммы и векторные диаграммы напряжений и токов в RL – и RC – цепях.

5.5. Анализ результатов расчетов и экспериментальных данных.

6. Контрольные вопросы

6.1. Как влияет сопротивление на граничные частоты и полосу пропускания RL – цепи?

6.2. Как влияет индуктивность на граничные частоты и полосу пропускания RL – цепи?

6.3. Как влияет сопротивление на частотные характеристики RL – цепи?

6.4. Как влияет индуктивность на частотные характеристики RL – цепи?

6.5. Как влияет сопротивление на граничные частоты и полосу пропускания RC – цепи?

6.6. Как влияют емкость на граничные частоты и полосу пропускания RC – цепи?

6.7. Как влияет сопротивление на частотные характеристики RC – цепи?

6.8. Как влияет емкость на частотные характеристики RC – цепи?

Литература

1. Попов В.П. Основы теории цепей: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2007.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Исследование последовательного колебательного контура

1. Цель работы – исследование резонансных свойств и частотных характеристик последовательного колебательного контура и овладение методикой их экспериментального получения.

2. Краткие теоретические сведения

Последовательный колебательный контур представляет собой электрическую цепь, содержащий индуктивную катушку и конденсатор, включенные последовательно с источником энергии. Для анализа процессов, протекающих в контуре, используется схема замещения реальной схемы (рис. 17). Параметры индуктивность L , емкость C и сопротивление потерь R являются первичными параметрами контура, которые определяют его вторичные параметры, такие, как

резонансная частота $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, характеристическое сопротивление $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$, добротность $Q = \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot \frac{1}{R}$.

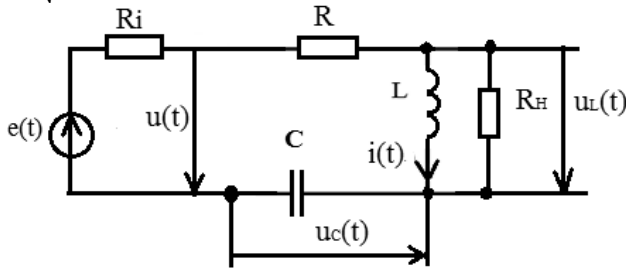


Рис. 17

Из частотных характеристик рассматриваются входные сопротивление $Z(j\omega)$ и проводимость $Y(j\omega)$ контура, а также коэффициенты передачи от напряжения на входе контура к напряжению на емкости $K_C(j\omega)$ и от напряжения на входе контура к напряжению на индуктивности $K_L(j\omega)$.

Для примера рассмотрим зависимости от частоты входного сопротивления контура $Z(j\omega)$ и коэффициента передачи по напряжению $K_L(j\omega)$ при внутреннем сопротивлении источника $R_i=0$.

$$Z(j\omega) = \frac{\dot{U}}{I} = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = R + j\rho\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right) = R\left[1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)\right], \text{ где } Q = \frac{\rho}{R}.$$

Модуль (АЧХ) и аргумент (ФЧХ) сопротивления $Z(j\omega)$ равны

$$Z(\omega) = R \sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^2} \text{ и } \varphi_Z(\omega) = \arctg Q \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right).$$

Из анализа формул для $Z(\omega)$ и $\varphi_Z(\omega)$ можно сделать заключение, что на резонансной частоте входное сопротивление контура равно его сопротивлению потерь R , а аргумент равен нулю, то есть сдвиг фаз между током и входным напряжением контура равен нулю.

$$K_L(j\omega) = \frac{\dot{U}_L}{\dot{U}} = \frac{j\omega L}{R \left[1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \right]} = \frac{j\omega L \frac{\omega_0}{\omega}}{R \left[1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \right]} = \frac{j\rho \frac{\omega}{\omega_0}}{R \left[1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \right]} = \frac{jQ \frac{\omega}{\omega_0}}{1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)}.$$

Модуль (АЧХ) и аргумент (ФЧХ) коэффициента передачи по напряжению $K_L(j\omega)$ равны

$$K_L(\omega) = \frac{Q \frac{\omega}{\omega_0}}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^2}} \text{ и } \varphi_{K_L}(\omega) = 90^\circ - \arctg Q \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right).$$

Из анализа формул для $K_L(\omega)$ и $\varphi_{K_L}(\omega)$ можно сделать заключение, что на резонансной частоте напряжение на индуктивности в Q раз больше напряжения на входе контура (резонанс напряжений) и опережает его по фазе на 90° . Можно показать, что на резонансной частоте напряжение на емкости в Q раз больше напряжения на входе контура (резонанс напряжений) и отстает от него по фазе на 90° .

Далее рассмотрим влияние внутреннего сопротивления источника R_i и сопротивления нагрузки R_H на полосу пропускания $\Delta\omega_{\Pi}$ и добротность Q контура.

Полоса пропускания и добротность контура с учетом R_i :

$$\Delta\omega_{\Pi R_i} = \frac{R + R_i}{L} = \frac{R}{L} \left(1 + \frac{R_i}{R} \right) = \Delta\omega_{\Pi} \left(1 + \frac{R_i}{R} \right),$$

$$Q_{R_i} = \frac{\omega_0}{\Delta\omega_{\Pi R_i}} = \frac{\omega_0}{\Delta\omega_{\Pi}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_i}{R}} = \frac{Q}{1 + \frac{R_i}{R}},$$

то есть внутреннее сопротивление источника увеличивает полосу пропускания контура и уменьшает его добротность.

Полоса пропускания и добротность контура с учетом R_H :

$$\Delta\omega_{\Pi R_H} = \frac{R + \frac{\rho^2}{R_H}}{L} = \frac{R}{L} \left(1 + \frac{\rho^2}{R \cdot R_H} \right) = \Delta\omega_{\Pi} \left(1 + \frac{\rho^2}{R \cdot R_H} \right),$$

$$Q_{R_H} = \frac{\omega_0}{\Delta\omega_{\Pi R_H}} = \frac{\omega_0}{\Delta\omega_{\Pi}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\rho^2}{R \cdot R_H}} = \frac{Q}{1 + \frac{\rho^2}{R \cdot R_H}},$$

то есть сопротивление нагрузки увеличивает полосу пропускания контура и уменьшает его добротность.

3. Подготовка к работе

3.1. Используя рис.17, рассчитать и построить амплитудно-частотные (АЧХ) и фазочастотные (ФЧХ) характеристики цепи от входного напряжения $u(t)$ к напряжению на емкости $u_C(t)$ и от входного напряжения $u(t)$ к напряжению на индуктивности $u_L(t)$ в диапазоне от 1 до 20 кГц при исходных данных в соответствии с заданным преподавателем вариантом. Рассчитать полосу пропускания и добротность контура.

3.2. Используя рис.17, рассчитать и построить зависимости амплитудного значения и начальной фазы (при $\varphi_u = 0$) тока в контуре от частоты в диапазоне от 1 до 20 кГц при исходных данных в соответствии с заданным преподавателем вариантом.

4. Порядок выполнения лабораторной работы

4.1. Убедитесь, что рабочая станция **NI ELVIS II** включена (выключатель питания станции находится в положении **I**).

4.2. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **O**.

4.3. Из главного меню выберите лабораторную работу **Резонанс напряжений в цепи синусоидального тока**. Откроется заранее подготовленное изображение электрической схемы с размещенными на ней полями компонентов и приборов (рис.18).

Используемые приборы и компоненты:

- резисторы (зона резисторов на плате);
- индуктивная катушка (зона индуктивных катушек на плате);
- конденсатор (зона конденсаторов на плате);
- источник синусоидального напряжения (функциональный генератор $\sim E$);
- вольтметры V1, V2, V3;
- амперметр A1.

4.4. Соберите на плате цепь в соответствии со схемой на рис.18. Установите номиналы сопротивлений, емкости и индуктивности в соответствии с заданным преподавателем вариантом.

4.5. Введите в поле значения **R**, поле значения **L** и поле значения **C** на рабочем поле лицевой панели величины, соответствующие номиналам установленных на плате сопротивлений, индуктивности и емкости.

4.6. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **I**. Загорятся светодиод **Питание** на плате и индикатор включения питания на панели **NI ELVIS II**.

4.7. Чтобы начать измерения нажмите на панели управления кнопку **Старт/Стоп**, затем поставьте галочку в поле **Смещ. 0**.

4.8. Установите ЭДС E (поле **Напряжение**) источника, соответствующее заданному преподавателем варианту.

4.9. Вызовите и настройте инструмент **Векторная диаграмма** для наблюдения напряжений, измеряемых соответственно вольтметрами V1, V2, V3, и

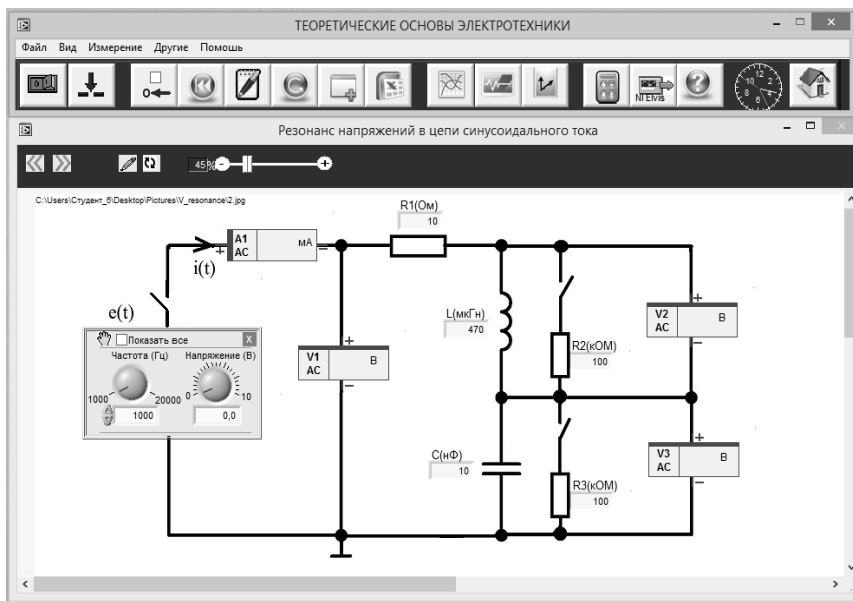


Рис. 18

тока, измеряемого амперметром А1. При работе с окном **Векторные диаграммы** необходимо включить синхронизацию от напряжения, измеряемого вольтметром V1. Устанавливайте частоты ЭДС E (поле **Частота**) в диапазоне от 1 до 20 кГц с шагом 1 кГц и измеряйте амплитуды и фазы векторов напряжений $u_1(t)$, $u_2(t)$, $u_3(t)$ и тока $i(t)$ (А, φ) в окне **Векторная диаграмма**. Результаты измерений занести в табл.9. Рассчитайте значения АЧХ и ФЧХ. Постройте графики по данным табл.9. Сохраните изображение векторной диаграммы.

4.10. Вызовите и настройте инструмент **Осциллограмма** для наблюдения напряжений $u_1(t)$, $u_2(t)$, $u_3(t)$ и тока $i(t)$ и сохраните изображение. При работе с окном **Осциллограммы** необходимо включить синхронизацию от напряжения, измеряемого вольтметром V1.

4.11. Увеличьте сопротивление $R1$ в соответствии с заданным преподавателем вариантом. Измерьте полосу пропускания и рассчитайте добротность контура.

4.12. Подключите к индуктивности сопротивление $R2$ в соответствии с заданным преподавателем вариантом. Измерьте полосу пропускания и рассчитайте добротность контура.

4.13. Подключите к емкости сопротивление $R3$ в соответствии с заданным преподавателем вариантом. Измерьте полосу пропускания и рассчитайте добротность контура.

Таблица 9

$E=$, В																				
F, кГц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
U_{m1} , В																				
U_{m2} , В																				
$K_{u_2 u_1}$																				
$\varphi_{K_{u_2 u_1}}$, град.																				
U_{m3} , В																				
$K_{u_3 u_1}$																				
$\varphi_{K_{u_3 u_1}}$, град.																				
I_{m1} , мА																				
φ_{i_1} , град.																				

5. Содержание отчета

5.1. Принципиальные схемы цепей, используемые при подготовке и исследуемые в лабораторной работе.

5.2. Расчеты и графики, выполненные при подготовке к лабораторной работе.

5.3. Результаты измерений и графики, построенные по ним.

5.4. Осциллограммы и векторные диаграммы напряжений и тока в контуре.

5.5. Анализ результатов расчетов и экспериментальных данных.

6. Контрольные вопросы

6.1. Как влияет частота входной гармонической ЭДС на амплитуду и начальную фазу тока в контуре?

6.2. Как влияет сопротивление R_1 на полосу пропускания и добротность контура?

6.3. Как на основании эксперимента определяется полоса и добротность контура?

6.4. Как влияет сопротивления R_2 , R_3 на полосу пропускания и добротность контура?

6.5. Каков сдвиг фаз между током и напряжением на входе контура при резонансе?

6.6. Методика измерения АЧХ и ФЧХ контура?

Литература

1. Попов В.П. Основы теории цепей: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2007.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Исследование параллельного колебательного контура

1. Цель работы – исследование резонансных свойств и частотных характеристик параллельного колебательного контура и овладение методикой их экспериментального получения.

2. Краткие теоретические сведения

Параллельный колебательный контур представляет собой электрическую цепь, содержащий индуктивную катушку и конденсатор, включенные параллельно с источником энергии. Для анализа процессов, протекающих в контуре, используется схема замещения реальной схемы (рис.19). Параметры индуктивность L , емкость C и сопротивление потерь R являются первичными параметрами контура, которые определяют его вторичные параметры, такие, как резонансная частота $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, характеристическое сопротивление $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$, добротность $Q = \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot \frac{1}{R}$.

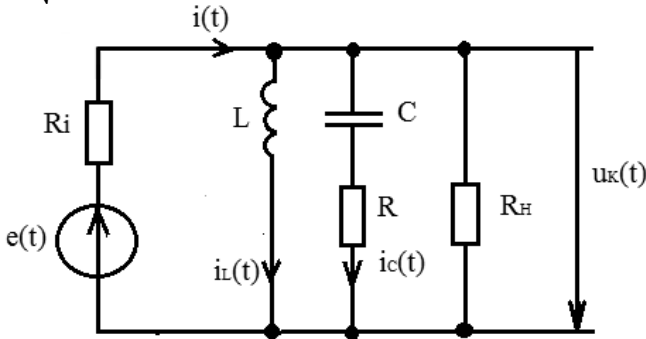


Рис. 19

Из частотных характеристик рассматриваются входные сопротивление контура $Z(j\omega)$ и проводимость $Y(j\omega)$, а также коэффициенты передачи от тока на входе контура к току через емкость $G_{i_c i}(j\omega)$ и от тока на входе контура к току через индуктивность $G_{i_L i}(j\omega)$.

Для примера рассмотрим зависимости от частоты входного сопротивления контура $Z(j\omega)$ и коэффициента передачи по току $G_{i_L i}(j\omega)$ без учета влияния внутреннем сопротивлении источника.

$$Z(j\omega) = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{j\omega L \left(\frac{1}{j\omega C} + R \right)}{j\omega L + \frac{1}{j\omega C} + R} = \frac{\frac{L}{C} + j\omega LR}{R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}.$$

На частотах, близких к резонансной частоте

$$Z(j\omega) \approx \frac{\frac{L}{C}}{R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)} = \frac{\rho^2}{R \left[1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)\right]} = \frac{R_0}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)},$$

где $R_0 = \frac{\rho^2}{R}$ - сопротивление контура на резонансной частоте.

Модуль (АЧХ) и аргумент (ФЧХ) сопротивления $Z(j\omega)$ равны

$$Z(\omega) = \frac{R_0}{\sqrt{1 + Q^2\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}} \quad \text{и} \quad \varphi_Z(\omega) = -\operatorname{arctg} Q\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right).$$

Из анализа формул для $Z(\omega)$ и $\varphi_Z(\omega)$ можно сделать заключение, что на резонансной частоте входное сопротивление контура равно R_0 , а аргумент равен нулю, то есть сдвиг фаз между входным током и напряжением на контуре равен нулю.

$$G_{iLi}(j\omega) = \frac{i_L}{i} = \frac{\dot{U}_K}{j\omega L} = \frac{i}{i} \cdot \frac{Z(j\omega)}{j\omega L} = \frac{R_0}{j\rho\omega_0 \left[1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)\right]} = -\frac{jQ\frac{\omega_0}{\omega}}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}.$$

Модуль (АЧХ) и аргумент (ФЧХ) коэффициента передачи по току $G_{iLi}(j\omega)$ равны

$$G_{iLi}(\omega) = \frac{Q\frac{\omega_0}{\omega}}{\sqrt{1 + Q^2\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}} \quad \text{и} \quad \varphi_{G_{iLi}}(\omega) = -90^\circ - \operatorname{arctg} Q\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right).$$

Из анализа формул для $G_{iLi}(\omega)$ и $\varphi_{G_{iLi}}(\omega)$ можно сделать заключение, что на резонансной частоте ток через индуктивности в Q раз больше тока на входе контура (резонанс токов) и отстает от него по фазе на 90° . Можно показать, что на резонансной частоте ток через емкость в Q раз больше тока на входе контура (резонанс токов) и опережает его по фазе на 90° .

Далее рассмотрим влияние внутреннего сопротивления источника R_i и сопротивления нагрузки R_H на полосу пропускания $\Delta\omega_{\Pi}$ и добротность Q контура. Полоса пропускания и добротность контура с учетом R_i :

$$\Delta\omega_{\Pi R_i} = \frac{R + \frac{\rho^2}{R_i}}{L} = \frac{R}{L} \left(1 + \frac{\rho^2}{R R_i}\right) = \Delta\omega_{\Pi} \left(1 + \frac{R_0}{R_i}\right),$$

$$Q_{R_i} = \frac{\omega_0}{\Delta\omega_{\Pi R_i}} = \frac{\omega_0}{\Delta\omega_{\Pi}} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{R_0}{R_i}\right)} = \frac{Q}{\left(1 + \frac{R_0}{R_i}\right)},$$

то есть внутреннее сопротивление источника увеличивает полосу пропускания контура и уменьшает его добротность.

Полоса пропускания и добротность контура с учетом сопротивления R_H :

$$\Delta\omega_{\Pi R_H} = \frac{R + \frac{\rho^2}{R_H}}{L} = \frac{R}{L} \left(1 + \frac{\rho^2}{R \cdot R_H}\right) = \Delta\omega_{\Pi} \left(1 + \frac{R_0}{R_H}\right),$$

$$Q_{R_H} = \frac{\omega_0}{\Delta\omega_{\Pi R_H}} = \frac{\omega_0}{\Delta\omega_{\Pi}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_0}{R_H}} = \frac{Q}{1 + \frac{R_0}{R_H}},$$

то есть сопротивление нагрузки увеличивает полосу пропускания контура и уменьшает его добротность.

3. Подготовка к работе

3.1. Используя рис.19, рассчитать и построить амплитудно-частотные (АЧХ) и фазочастотные (ФЧХ) характеристики цепи от тока $i(t)$ к току через индуктивность $i_L(t)$ и от тока $i(t)$ к току через емкость $i_C(t)$ в диапазоне от 1 до 20 кГц при исходных данных в соответствии с заданным преподавателем вариантом.

3.2. Используя рис.19, рассчитать и построить зависимость амплитуды и начальной фазы тока $i(t)$ от частоты в диапазоне от 1 до 20 кГц при исходных данных в соответствии с заданным преподавателем вариантом.

4. Порядок выполнения лабораторной работы

4.1. Убедитесь, что рабочая станция **NI ELVIS II** включена (выключатель питания станции находится в положении **I**).

4.2. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **O**.

4.3. Из главного меню выберите лабораторную работу **Резонанс токов в цепи синусоидального тока**. Откроется заранее подготовленное изображение

электрической схемы с размещенными на ней полями компонентов и приборов рис.20.

Используемые приборы и компоненты:

- резисторы (зона резисторов на плате);
- индуктивная катушка (зона индуктивных катушек на плате);
- конденсатор (зона конденсаторов на плате);
- источник синусоидального напряжения (функциональный генератор $\sim E$);
- вольтметр $V1$;
- амперметры $A1, A2, A3$.

4.3.1. Соберите на плате цепь в соответствии со схемой на рис.20. Установите номиналы сопротивлений, емкости и индуктивности в соответствии с заданным преподавателем вариантом.

4.3.2. Введите в **поле значения $R1, R2$, поле значения L и поле значения C** на рабочем поле лицевой панели величины, соответствующие номиналам установленных на плате сопротивлений, индуктивности и емкости.

4.3.3. Установите переключатель **PROTOTYPING BOARD POWER** на рабочей станции **NI ELVIS II** в положение **I**. Загорятся светодиод **Питание** на плате и индикатор включения питания на панели **NI ELVIS II**.

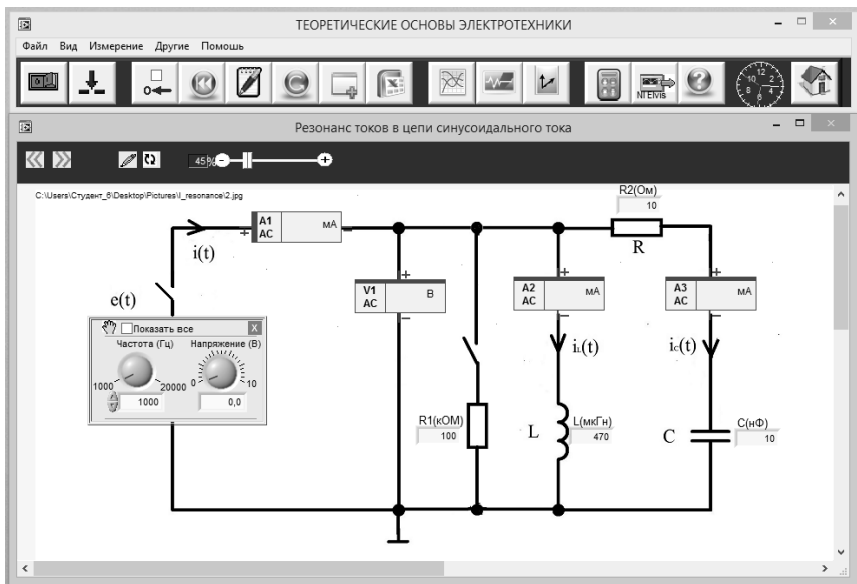


Рис. 20

4.3.4. Чтобы начать измерения нажмите на панели управления кнопку **Старт/Стоп**, затем поставьте галочку в поле **Смещ. 0**.

4.3.5. Установите ЭДС E (поле **Напряжение**) источника, соответствующее заданному преподавателем варианту.

4.3.6. Вызовите и настройте инструмент **Векторная диаграмма** для наблюдения напряжения $u_1(t)$ и токов $i_1(t)$, $i_2(t)$, $i_3(t)$. При работе с окном **Векторные диаграммы** необходимо включить синхронизацию от напряжения, измеряемого вольтметром V1. Устанавливайте частоты ЭДС E (поле **Частота**) в диапазоне от 1 до 20 кГц с шагом 1 кГц и измеряйте амплитуды и фазы векторов напряжения $u_1(t)$ и токов $i_1(t)$, $i_2(t)$, $i_3(t)$ (A, φ) в окне **Векторная диаграмма**. Результаты измерений занести в табл. 10. Рассчитайте АЧХ и ФЧХ. Постройте графики по данным табл.10. Сохраните изображение векторной диаграммы.

E= , В	Таблица 10																			
F, кГц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
U_{m1} , В																				
φ_{u_1} , град.																				
I_{m1} , mA																				
φ_{i_1} , град.																				
I_{m2} , mA																				
φ_{i_2} , град.																				
$G_{i_2 i_1}$																				
$\varphi_{G_{i_2 i_1}}$, град.																				
I_{m3} , mA																				
φ_{i_3} , град.																				
$G_{i_3 i_1}$																				
$\varphi_{G_{i_3 i_1}}$, град.																				

4.3.7. Подключите к контуру сопротивление R1 в соответствии с заданным преподавателем вариантом. Измерьте полосу пропускания и рассчитайте добротность контура.

4.3.8. Увеличьте сопротивление R2 в соответствии с заданным преподавателем вариантом. Измерьте полосу пропускания и рассчитайте добротность контура.

4.3.9. Вызовите и настройте инструмент **Оциллограмма** для наблюдения напряжения $u_1(t)$ и токов $i_1(t)$, $i_2(t)$, $i_3(t)$ и сохраните изображение. При работе с окном **Оциллограммы** необходимо включить синхронизацию от напряжения, измеряемого вольтметром V1.

5. Содержание отчета

- 5.1. Принципиальные схемы цепей, используемые при подготовке и исследуемые в лабораторной работе.
- 5.2. Расчеты и графики, выполненные при подготовке к лабораторной работе.
- 5.3. Результаты измерений и графики, построенные по ним.
- 5.4. Осциллограммы и векторные диаграммы напряжения и токов в цепи.
- 5.5. Анализ результатов расчетов и экспериментальных данных.

6. Контрольные вопросы

- 6.1. Как влияет частота входной гармонической ЭДС на амплитуду и начальную фазу входного тока контура?
- 6.2. Как влияет сопротивление R_1 на полосу пропускания и добротность контура?
- 6.3. Как на основании эксперимента определяется полоса и добротность контура?
- 6.4. Как влияет сопротивление R_2 на полосу пропускания и добротность контура?
- 6.5. Каков сдвиг фаз между входным током и напряжением на контуре при резонансе?
- 6.6. Методика измерения АЧХ и ФЧХ контура?

Литература

1. Попов В.П. Основы теории цепей: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2007.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Лабораторная работа № 1. Экспериментальная проверка основных законов токопрохождения.....	3
2. Лабораторная работа № 2. Исследование RC - и RL - цепей первого порядка.....	11
3. Лабораторная работа № 3. Исследование частотных характеристик RL – и RC - цепей первого порядка.....	18
4. Лабораторная работа № 4. Исследование последовательного колебательного контура.....	25
5. Лабораторная работа № 5. Исследование параллельного колебательного контура.....	30