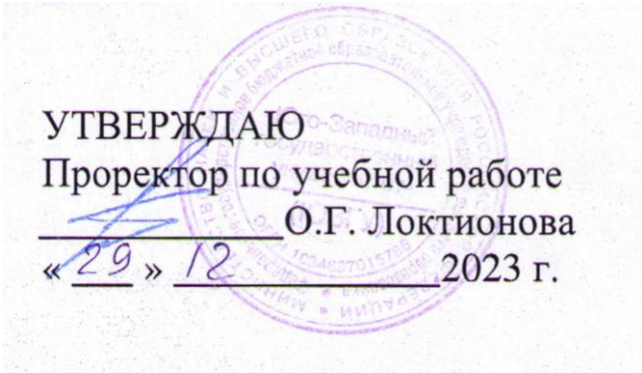
МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра инфраструктурных энергетических систем



ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ. РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ

Методические указания по выполнению лабораторной работы
по теоретическим основам электротехники

Курск 2023

УДК 621.3 (076.1)

Составители: А. С. Романченко, И. А. Башмакова

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент *А. С. Чернышёв*

Исследование резонансных явлений в последовательной цепи. Резонанс напряжений : методические указания по выполнению лабораторной работы по теоретическим основам электротехники для студентов технических специальностей и направлений подготовки / Юго-Зап. гос. ун-т ; сост.: А. С. Романченко, И. А. Башмакова. - Курск, 2023. - 10 с.: ил. 4, табл. 2. - Библиогр.: с. 10.

Методические указания содержат сведения по исследованию электрических цепей синусоидального тока с последовательным соединением индуктивных и емкостных сопротивлений, в которых наблюдается явление резонанса напряжений. Указывается порядок выполнения лабораторной работы, правила оформления отчета. Лабораторная работа относится к разделу электрических цепей синусоидального тока, включая измерение параметров электрической цепи и простейшие методы её расчета.

Методические указания соответствуют требованиям рабочей программы дисциплины «Теоретические основы электротехники».

Предназначены для студентов технических специальностей и направлений подготовки при проведении лабораторных занятий.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. . Уч.-изд.л. . Тираж 50 экз. Заказ . Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является изучение резонанса напряжения в цепи с последовательным соединением индуктивного и емкостного участков. Для этого проводится измерение до резонансного, резонансного и после резонансного режимов работы цепи, состоящей из последовательно соединенных индуктивной катушки и батареи конденсаторов с переменной емкостью. По данным измерений выполняется расчет и построение резонансных кривых и векторных диаграмм.

2. ПОДГОТОВКА К ИССЛЕДОВАНИЯМ

2.1. Изучить по конспекту лекций и рекомендованному учебнику в разделе «Электрические цепи однофазного синусоидального тока» вопросы анализа цепей синусоидального тока с последовательным соединением участков, содержащих индуктивные и емкостные сопротивления, в том числе резонансных явлений в последовательных цепях.

2.2. Освоить методику выполнения лабораторной работы по настоящим методическим указаниям.

2.3. Заготовить таблицу для экспериментальных данных.

3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

В цепи, состоящей из последовательно соединенных элементов *R, L* и *C* (рисунок 1), при равенстве реактивных сопротивлений $X_L=X_C$ наступает состояние цепи, называемое резонансом напряжений. Поэтому такая цепь называется последовательным резонансным контуром.

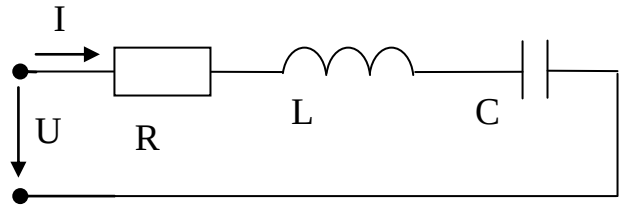


Рисунок 1. Последовательный контур

При резонансе ток в цепи *I* совпадает по фазе с приложенным напряжением *U*, и вся цепь по отношению к источнику ведет себя как активное сопротивление, т.е.:

$\varphi = arctg[(X_L - X_C)/R] = 0$.

При этом напряжения на реактивных элементах равны $U_L = U_C$, а величина тока при неизменном значении приложенного напряжения достигает наибольшего значения, равного:

$$I_0 = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{U}{R}. \qquad (3.1)$$

Напряжение на активном сопротивлении U_a равно приложенному к цепи напряжению: $U_a = U = RI_0$. Так как $X_L = \omega L$ и $X_C = 1/\omega C$, то состояние резонанса можно получить, изменяя одну из трех величин: индуктивность L, емкость C или частоту ω. Например, частота, при которой наступает резонанс напряжений в цепи на рисунке 1, определяется выражением:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \qquad (3.2)$$

Величина сопротивлений реактивных элементов при резонансе будет равна:

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \frac{1}{\sqrt{LC}} L = \frac{\sqrt{LC}}{C} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \rho, \qquad (3.3)$$

где $\rho = \sqrt{L/C}$ имеет размерность сопротивления и носит название характеристического или волнового сопротивления. Обычно в резонансных контурах волновое сопротивление во много раз больше, чем активное сопротивление R.

При резонансе действующие значения напряжения на индуктивности или емкости определяются значениями:

$U_{L0} = \omega_0 L I_0 = \rho I_0 = (\rho/R)U = Q_K U$,

$U_{C0} = I_0 \cdot 1/(\omega_0 C) = \rho I_0 = (\rho/R)U = Q_K U$,

Они равны по величине и могут при определенных условиях значительно превысить приложенное напряжение.

Отношение напряжения на индуктивности или емкости при резонансе к напряжению на зажимах цепи определяется выражением:

$$U_{L0}/U = U_{C0}/U = \rho/R = Q_K, \qquad (3.4)$$

где Q_K – добротность контура, которая показывает во сколько раз при резонансе напряжение на индуктивности или на емкости больше напряжения на зажимах контура. Так, добротность колебательных контуров, широко применяемых в радиотехнике, колеблется в пределах

50-200, достигая в отдельных случаях 400-600. Величина, обратная добротности контура, называется затуханием контура: $d = 1/Q_K = R/\rho$.

Векторная диаграмма последовательной *RLC*–цепи при резонансе изображена на рисунке 2 для случая, когда активное сопротивление цепи является сопротивлением только индуктивной катушки *R*. Тогда вектор напряжения, определяемый как $U_K = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$, является напряжением на катушке при резонансе, а векторы U_L и U_C равны и противоположны.

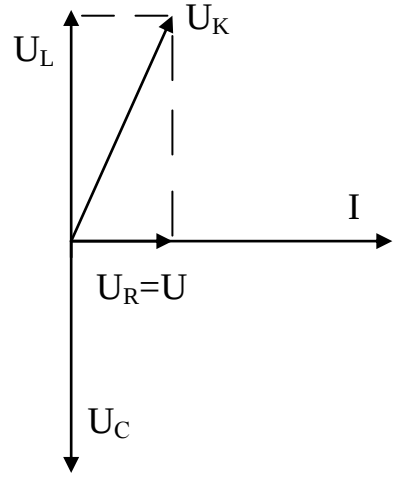
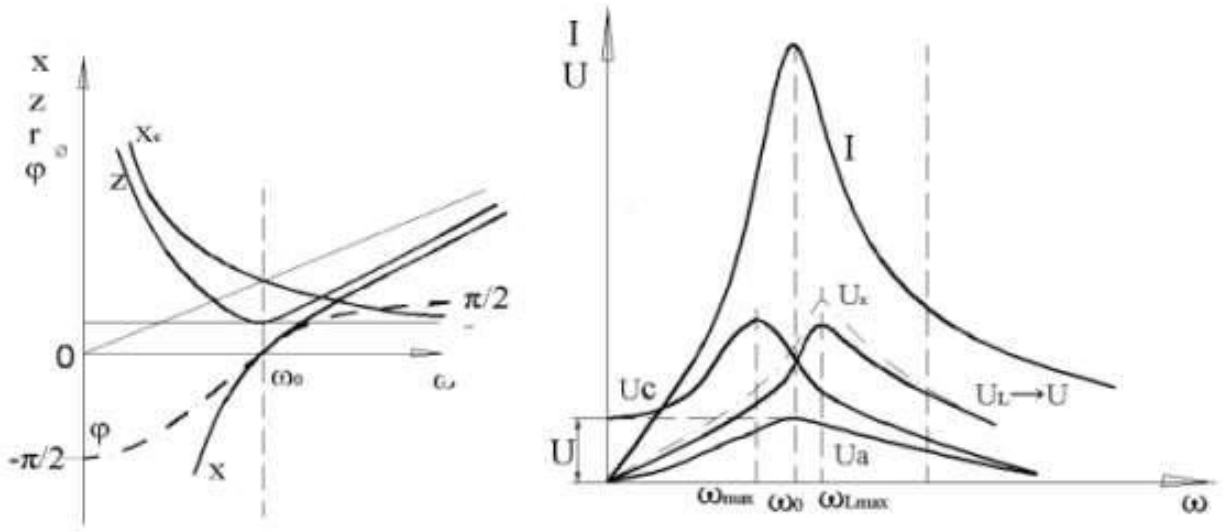


Рисунок 2. Векторная диаграмма *RLC*–цепи при резонансе



а) б)

Рисунок 3. Изменение сопротивлений X_L, X_C, X, Z и угла сдвига фаз φ (а) и резонансные кривые (б) при изменении частоты ω.

Из приведенных на рисунке 3 кривых видно, что напряжения на реактивных элементах при резонансе равны между собой. Однако, наибольшего значения они могут достигать не при резонансе: напряжение на емкости достигает максимального значения до резонанса

(при ω_{min}), напряжение на индуктивности – после резонанса (при ω_{max}).

При добротности Q_K<1 напряжения на реактивных элементах при резонансе будут меньше приложенного напряжения. При Q_K>1 напряжение источника может создавать при резонансе высокие напряжения на индуктивности и емкости. Следовательно, такой контур служит усилителем входного сигнала (приложенного напряжения). Коэффициентом усиления является добротность Q_K, поэтому в радиоэлектронике добротность колебательных контуров повышают до трехсот и более.

В электроэнергетике могут возникать условия, когда система попадает в режим, близкий к резонансу напряжений. При этом возможны перенапряжения на отдельных участках сети, что может привести к пробою изоляции и выходу из строя электрооборудования.

4. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

Источником питания в работе является лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) АТ, установленный внутри стенда (зажимы 0 ... 250 В) и подключаемый тумблером ЛАТР. Перед сборкой схемы тумблер ЛАТР должен быть в положении ВЫКЛ, а ручка регулировки напряжения автотрансформатора – в нулевом положении, т.е. против часовой стрелки до упора.

Рабочая цепь представляет собой последовательное соединение индуктивной катушки стенда L1, имеющей несколько зажимов, и батареи конденсаторов переменной емкости. Номера присоединяемых зажимов указывает преподаватель. Рекомендуемый для различных пар зажимов катушки ряд значений общей емкости конденсаторов для отдельных этапов исследования и соответствующий диапазон напряжений питания представлены в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные для проведения исследований

Зажимы катушки L1	Ряд значений емкости С, мкФ	Напряжение питания, В
1-3	10; 12; 14; 14,5; 15; 15,5; 16; 16,5; 18; 24; 28	50-70
1-4	3; 4; 5; 5,25; 5,5; 6; 6,5; 10; 14	50-70
2-3	10; 20; 22; 24; 26; 30; 34; 44; 54	50-60
2-4	4; 5; 7; 7,5; 8; 8,5; 9; 9,5; 10; 14; 20	55-70

Используемые измерительные приборы: амперметр электромагнитной системы на 1 А, три вольтметра электромагнитной системы на 150 В и 300 В, фазометр электродинамической системы (пределы измерения тока 5 А и напряжения 127 В и 220 В).

5. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1. Ознакомиться с используемыми приборами и аппаратурой, определить цену деления измерительных приборов.

5.2. Собрать электрическую схему (рисунок 4, активное сопротивление *R* является собственным сопротивлением индуктивной катушки) и дать её проверить лаборанту или преподавателю. При этом все выключатели блока конденсаторов должны находиться во включенном состоянии (верхнее положение), а тумблер ЛАТР должен находиться в выключенном состоянии (нижнее положение) и регулятор автотрансформатора АТ – в положении до упора против часовой стрелки.

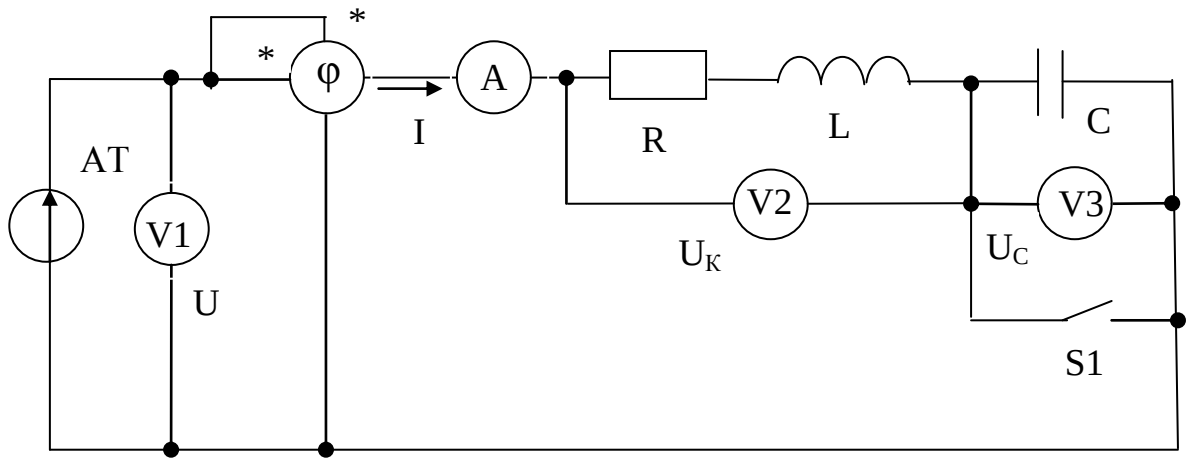


Рисунок 4. Рабочая схема для исследования последовательной *RLC*–цепи

5.3. Включить стенд (тумблер ЛАТР установить в положение "Вкл.") и подать с помощью автотрансформатора АТ на исследуемую схему напряжение, указанное преподавателем в зависимости от используемых зажимов индуктивной катушки.

5.4. Произвести измерения при закороченной батарее конденсаторов (тумблер *S1* в верхнем положении) и занести их результаты в таблицу 2. По данным этого опыта в дальнейшем определить параметры индуктивной катушки Z_K, R, X_L, которые будут постоянными при любых значениях ёмкости конденсаторов.

5.5. Изменяя ёмкость батареи конденсаторов, выключая их, при неизменном напряжении на зажимах цепи выполнить четыре-пять измерений до резонанса, измерение при резонансе (при $\varphi = 0$) и четыре-пять измерений после резонанса. Значение емкости изменять так, чтобы угол φ изменялся примерно на $10\text{-}15^0$. При этом можно руководствоваться данными таблицы 1. Результаты измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2. Экспериментальные и расчетные данные исследования параллельной цепи

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Примечание
C, мкФ													из опытов при U=___ В
I, А													
$U_К$, В													
U_C, В													
φ, град													
Вычислено:													
Z_K, Ом													При закороченных конденсаторах
R, Ом													
X_L, Ом													
$cos\varphi$													
X_C, Ом													U_C/ I
Z, Ом													U/ I
X, Ом													$X_L - X_C$
U_R, В													IR
U_L, В													IX_L
P, Вт													$UI\cos\varphi = I^2R$
Q_L, ВАр													I^2X_L
Q_C, ВАр													$I^2X_C = IU_C$
Q, ВАр													$Q_L - Q_C$
S, ВА													$U I$

5.6. По завершению измерений выключить стенд, привести выключатели и регуляторы в исходное состояние и, не разбирая цепи, дать проверить результаты измерений преподавателю.

6. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА

6.1. По данным первого опыта (при закороченных конденсаторах) вычислить параметры катушки и занести в таблицу 2:

$Z_K=U/I$, $R=Z_K\cos\varphi_к$, $X_L=Z_K\sin\varphi_к$, где $\varphi_к$ – угол, измеряемый в первом опыте (при закороченных конденсаторах).

6.2. Для каждого опыта произвести необходимые вычисления и их результаты занести в таблицу 2.

6.3. Используя условие резонанса токов $X_L = X_C$, определить резонансное значение емкости конденсатора по формуле $C = 1/(2\pi f X_C)$ и сравнить с резонансным значением емкости в таблице 2, когда было получено экспериментально $\varphi=0$.

6.4. Определить добротность контура по формулам $Q_K= U_{Lрез}/U$, $Q_K= U_{Cрез}/U$ и вычислить её среднее арифметическое значение.

6.5. Начертить на одном общем графике зависимости I, U_C, U_L, U_R от X_C, на другом общем графике – зависимости Z, X, X_L от X_C, на третьем общем графике – зависимости $\cos\varphi$, P, Q, S от X_C.

6.6. Построить в масштабе три векторные диаграммы для трех случаев: $X_L>X_C$ (до резонанса, $\varphi>0$), $X_L=X_C$ (при резонансе, $\varphi=0$), $X_L<X_C$ (после резонанса, $\varphi<0$). Рекомендуется использовать данные из начала таблицы (кроме 1-го столбца), из конца таблицы и при резонансе.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем отличается цепь (или часть цепи), в которой возможен резонанс напряжений? Каковы условие и признаки этого режима?

2. Какими способами достигается режим резонанса? Как установить по приборам, что в цепи имеет место резонанс?

3. Изменится ли условие резонанса, если параллельно катушке или конденсатору подключить резистор?

4. Каким образом в условиях рабочей цепи (рисунок 4) можно измерить индуктивность катушки?

5. Почему резонанс в последовательной *RLC*–цепи называется резонансом напряжений?

6. Поясните смысл понятий добротности, затухания и полосы пропускания резонансных контуров.

7. Почему при резонансе напряжений ток в цепи будет максимальным?

8. В каком случае при последовательном соединении индуктивной катушки и батареи конденсаторов ток будет отставать по фазе от напряжения и в каком случае будет опережать его?

9. От каких факторов зависит коэффициент мощности всей цепи и при каком условии он будет равен единице?

10. Почему резонансные кривые $U_C(\omega)$, $U_L(\omega)$ имеют максимумы на разных частотах, не совпадающих с частотой резонанса?

11. Потребляется или нет электрическая энергия от источника питания на создание магнитного и электрического полей при резонансе напряжений?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебник / Л. А. Бессонов. – 10-е изд. – М.: Гардарики, 2002. – 638 с. – Текст непосредственный.

2. Попов, В. П. Основы теории цепей : учебник для вузов / В. П. Попов. - 3-е изд., испр. - М. : Высшая школа, 2000. - 575 с. – Текст непосредственный.

3. Бакалов, В. П. Основы теории электрических цепей и электроники : учебник для вузов / В. П. Бакалов, А. Н. Игнатов, Б. И. Крук. – М.: Радио и связь, 1989. – 525 с. – Текст непосредственный.

4. Основы теории цепей : учебник для вузов / Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил, С. В. Страхов. – 5-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с. – Текст непосредственный.