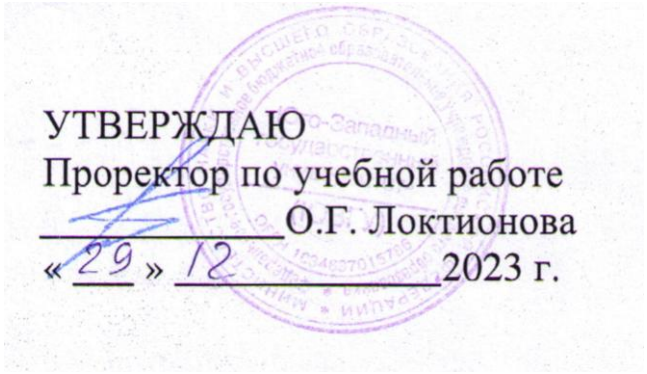
МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра инфраструктурных энергетических систем



ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ПАРАЛЛЕЛЬНОМ RLC КОНТУРЕ. РЕЗОНАНС ТОКОВ

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 параллельном RLC контуре. Резонанс токов : 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. 2, табл. 2. - Библиогр.: с. 9.

Методические указания содержат сведения по исследованию электрических цепей синусоидального тока с параллельным соединением индуктивного и емкостного участков, в которых наблюдается явление резонанса токов. 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 60x84 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 резонансных явлений в цепи с параллельным соединением индуктивной и емкостной ветвей. Для этого проводится измерение резонансного и ряда других режимов цепи, состоящей из параллельно 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

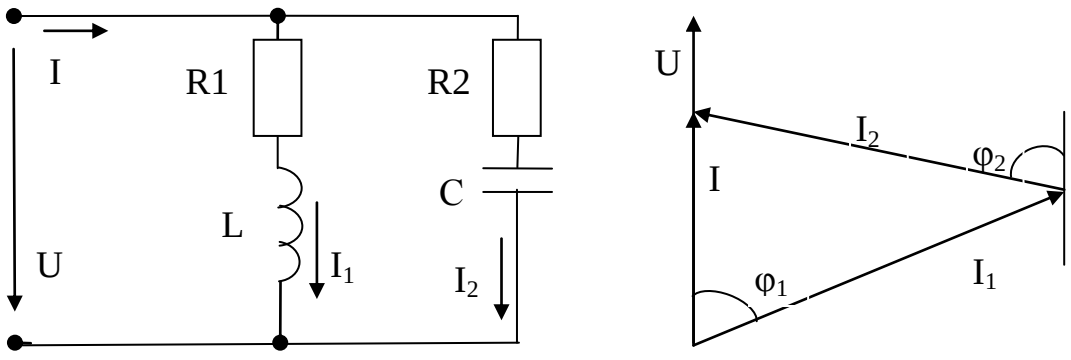
2.1. Изучить по конспекту лекций и рекомендованному учебнику в разделе «Электрические цепи однофазного синусоидального тока» вопросы анализа цепей синусоидального тока с параллельным соединением ветвей, содержащих индуктивные и емкостные сопротивления, в том числе резонансных явлений в параллельных цепях.

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

2.3. Заготовить таблицу для экспериментальных данных.

3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Рассмотрим цепь с двумя параллельными ветвями: одна – активно-индуктивная, другая – активно-емкостная (рисунок 1).



а) б)

Рисунок 1. Параллельное соединение индуктивной и емкостной ветвей (а) и его векторная диаграмма (б) при резонансе токов

Такую цепь часто называют простым параллельным контуром. Для нее наступает резонанс, когда входная реактивная проводимость:

$B = B_1 + B_2 = 0$ или $B_2 = -B_1$, (3.1)

где B_1 и B_2 – реактивные проводимости ветвей, имеющие разный знак.

При $B_2 = -B_1$ противоположные по фазе реактивные составляющие токов равны по величине, при этом ток I на входе цепи, как правило, значительно меньше токов в ветвях, поэтому резонанс в рассматриваемой цепи получил название резонанса токов. В теоретическом случае при $R_1=R_2=0$ токи I_1 и I_2 сдвинуты по фазе относительно напряжения на углы $+\pi/2$ и $-\pi/2$ и суммарный ток $\underline{I}=\underline{I}_1+\underline{I}_2=0$. Входное сопротивление цепи при этом бесконечно велико.

Подставим в соотношение (3.1), являющееся условием резонанса, значения B_1 и B_2 для схемы на рисунке 1, выраженные через параметры цепи и частоту. Тогда получим равенство:

$X_L /(R_1^2+X_L^2) = X_C /(R_2^2+X_C^2)$ или

$$\frac{\omega L}{R_1^2+(\omega L)^2} = \frac{1/(\omega C)}{R_2^2+1/(\omega C)^2} \cdot \qquad (3.2)$$

Изменением одной из величин (ω, L, C, R_1, R_2) при остальных четырех заданных величинах не всегда может быть достигнут резонанс. Резонанс отсутствует, когда значение изменяемой величины при ее определении из уравнения (3.2) получается мнимым или комплексным. Для L или C могут получаться и по два различных вещественных значения, удовлетворяющих уравнению (3.2). В таких случаях изменением L и C можно достичь двух различных резонансных режимов.

Решая уравнение (3.2) относительно ω, найдем следующее значение для резонансной угловой частоты параллельной цепи:

$$\omega_{0p} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{\frac{L}{C}-R_1^2}{\frac{L}{C}-R_2^2}} = \omega_0 \sqrt{\frac{\rho^2-R_1^2}{\rho^2-R_2^2}} , \qquad (3.3)$$

где $\rho = \sqrt{L/C}$ - характеристическое сопротивление контура.

Для получения резонанса сопротивления R_1 и R_2 должны быть оба больше или оба меньше ρ. Если это условие не соблюдается, получается мнимая частота ω_{0p}, т.е. не существует такой частоты, при которой имел бы место резонанс.

При $R_1=R_2\neq\rho$ резонансная частота $\omega_{0p} = \omega_0$, т.е. такая же, как и при резонансе напряжений в последовательном контуре.

При $R_1=R_2=\rho$ резонансная частота $\omega_{0p} = 0 / 0$, т.е. имеет любое значение, что означает, что резонанс наблюдается на любой частоте.

Заметим, что на практике обычно применяются контуры с малыми потерями, т.е. в них R_1 и R_2 малы по сравнению с ρ. В таких условиях резонансную частоту можно вычислять по формуле:

$$\omega_{0p} = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0, \qquad (3.4)$$

Поведение цепи при постоянном приложенном напряжении и изменении любой из величин, от которых зависит наступление резонанса, характеризуют резонансные кривые. Это зависимости от *L, C* или ω (а для схемы на рисунке 1 также и от R_1 и R_2) параметров цепи: токов, сопротивлений, проводимостей, мощностей и других.

Для радиоэлектроники из резонансных кривых наиболее интересны зависимости от частоты – частотные характеристики, показывающие, например, насколько проявляется свойство параллельной резонансной цепи повышать токи параллельных ветвей с приближением к частоте резонанса (свойство частотной избирательности).

В резонансном контуре с малыми потерями при изменении частоты от 0 до резонансной частоты ω_0 входная проводимость $B>0$, т.е. является индуктивной и изменяется от □ до 0. При $\omega=\omega_0$ наступает резонанс токов, при этом $B=0$, $I=0$, $I_1=U/(\omega_0 L)=U/\rho$ и $I_2=\omega_0 CU=U/\rho$.

При возрастании частоты от ω_0 до □ входная проводимость $B<0$, т.е. является емкостной и изменяется от 0 до –□.

В общем случае, когда сопротивление R_1 и R_2 не равны нулю, входная активная проводимость цепи отлична от нуля при любой частоте, поэтому ток *I* ни при одном значении частоты не равен нулю. При условии $R_1=R_2=\rho$ и $U=$const ток *I* при любой частоте одинаков. Поэтому зависимость $I=f(\omega)$ не имеет ни максимума, ни минимума и графически представляется прямой, параллельной оси абсцисс.

Анализ показывает, что при условии $R_1>\rho$ и $R_2>\rho$ кривая $I=f(\omega)$ при некотором значении частоты достигает максимума.

В электротехнике важна, например, зависимость *I(C)*, показывающая, как уменьшается ток неразветвленной части цепи при подходе к резонансному значению $C_{рез}$. Свойство уменьшать общий ток при подключении параллельно активно-индуктивной нагрузке конденсаторов используется на практике для повышения коэффициента мощности $\cos\varphi$ электрических нагрузок. При этом за счет компенсации реактивной составляющей тока уменьшается общий ток, потребляемый нагрузкой, а значит снижаются потери мощности и напряжения в линиях передачи электрических сетей.

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.

Индуктивную ветвь рабочей цепи представляет индуктивная катушка стенда L1, имеющая несколько зажимов. 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	4, 8, 10, 12, 13, 14, 16, 18, 20, 24	60-105
1-4	1; 2; 4; 5; 5,5; 6,5; 7; 8; 10; 12	160-210
2-3	10, 14, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 38, 42	30-50
2-4	2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16	140-190

Используемые измерительные приборы: три амперметра электромагнитной системы на 0,5 А и 1 А, вольтметр 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 2, активное сопротивление *R* является собственным сопротивлением индуктивной катушки) и дать её проверить лаборанту или преподавателю. При этом все выключатели блока конденсаторов и тумблер ЛАТР должны находиться в выключенном состоянии (нижнее положение), а регулятор автотрансформатора АТ в положении до упора против часовой стрелки.

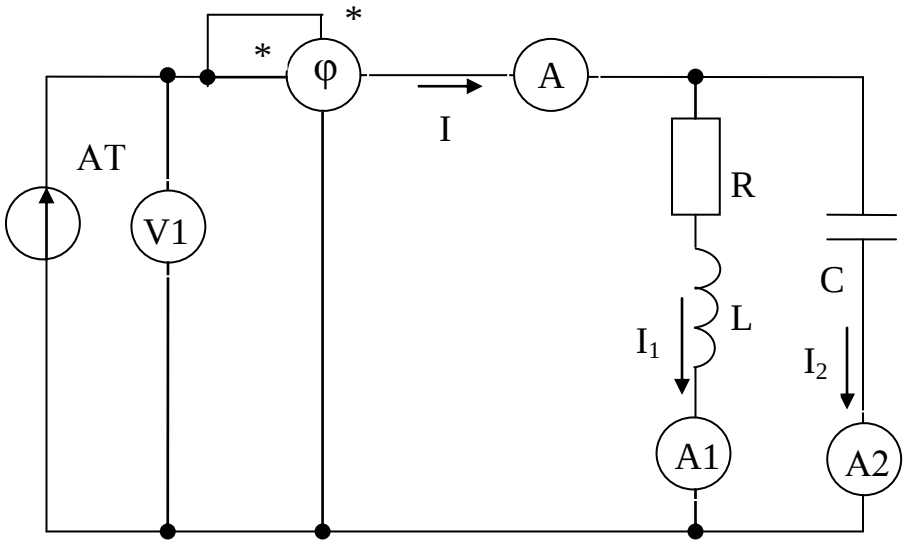


Рисунок 2. Рабочая схема для исследования параллельной цепи

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 отключении всех конденсаторов (все тумблеры блока конденсаторов в нижнем положении) и занести их результаты в таблицу 2. По данным этого опыта в дальнейшем определить параметры индуктивной катушки Y_1, G_1, B_1, которые будут постоянными при любых значениях емкости конденсаторов.

5.5. Изменяя ёмкость батареи конденсаторов, включая 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 намерений занести в таблицу 2, указав, какой характер нагрузки в каждом измерении имела исследуемая цепь (индуктивный, резонансный, емкостный).

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 отключенных конденсаторах вычислить параметры катушки и занести в таблицу 2:

$Y_1 = I_1/U$, $G_1 = Y_1\cos\varphi_к$, $B_L = Y_1\sin\varphi_к$, $I_L = I_1 sin\varphi_к$ $Q_L = U^2 B_L$, где $\varphi_к$ – угол, измеряемый в первом опыте (при отключенных конденсаторах).

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													
I_1, А													
I_2, А													
φ, град													
Вычислено:													
Y_1, 1/Ом													Только при отключенных конденсаторах
G_1, 1/Ом													
B_L, 1/Ом													
Q_L, ВАр													
I_L, А													
Y, 1/Ом													I/U
B_C, 1/Ом													I_2/U
B, 1/Ом													$B_L - B_C$
$cos\varphi$													
I_a, А													$I cos\varphi$
I_p, А													$I sin\varphi$
P, Вт													$UI\cos\varphi$
Q_C, ВАр													$U^2 B_C$
Q, ВАр													$Q_L - Q_C$
S, ВА													$U I$

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

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

6.4. Начертить на одном общем графике зависимости I, I_2, I_a, I_p от значения емкости C, на другом общем графике – зависимости Y, B, B_C от C, на третьем общем графике – зависимости φ, $\cos\varphi$, Q, S от C.

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

При построении векторных диаграмм и заполнении расчетной части таблицы 2 считают, что ветвь с емкостью обладает только емкостной проводимостью B_C без активной проводимости.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

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

2. Какими способами достигается режим резонанса токов? В чем заключается отличие в способах его достижения от резонанса напряжений?

3. Как установить по приборам, что в цепи имеет место резонанс токов?

4. В каком случае условие резонанса токов совпадает с условием резонанса напряжений?

5. Каким образом в условиях рабочей цепи (рисунок 2) можно измерить индуктивность катушки?

6. Где используется явление резонанса токов?

7. Поясните значение и способ повышения коэффициента мощности.

8. Когда ток в неразветвленной части цепи отстает по фазе от напряжения и когда опережает напряжение?

9. Могут ли токи в ветвях параллельной электрической цепи превышать ток в неразветвленной части этой же цепи? Что для этого необходимо?

10. Как будет изменяться активная мощность цепи при параллельном соединении реальной индуктивной катушки и активно-емкостного участка при увеличении емкости?

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.