

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»
(Самарский университет)

РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет) в качестве методических указаний к лабораторной работе для студентов, обучающихся по основной образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Составитель А.В. Паршина

САМАРА
Издательство Самарского университета
2017

УДК 621.3 (075)

ББК 32.84я7

Р 345

Составитель ***А.В. Паришина***

Рецензент канд. техн. наук, доц. С.А. А к у л о в

Резонанс напряжений: метод. указания / сост. *А.В. Паришина*. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. – 12 с.

Приведены основные теоретические сведения по условиям наступления резонанса напряжений в цепях переменного тока. Рассмотрены выражения для расчета основных параметров цепей.

Рекомендованы в качестве методических указаний к лабораторной работе для студентов института авиационной техники, обучающихся по направлению подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств.

УДК 621.3 (075)

ББК 32.84я7

Цель работы

Исследование цепи, состоящей из последовательно включённых активного сопротивления, катушки индуктивности и ёмкости; изучение явления резонанса напряжений в последовательных цепях переменного тока.

Основные теоретические положения

Резонансом напряжений в цепи с последовательно соединёнными индуктивностью и ёмкостью называется режим, при котором ток совпадает по фазе с напряжением, приложенным к цепи.

Для последовательной цепи (рис. 1), состоящей из активного сопротивления R , катушки индуктивности z_k (с активным r_k и реактивным x_L сопротивлениями) и ёмкости C , реактивное сопротивление которой x_C , согласно второму закону Кирхгоффа, можно составить следующее уравнение:

$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_{R_K} + \dot{U}_{x_L} + \dot{U}_{x_C} = \dot{U}_a + \dot{U}_{x_L} - \dot{U}_{x_C},$$

где \dot{U}_a – вектор активной составляющей падения напряжения, совпадающей по фазе с вектором тока. Модуль этого вектора:

$$U_a = I(R_P + R_K) = IR.$$

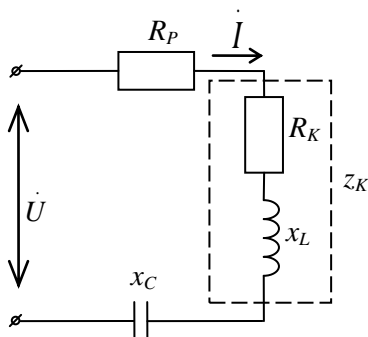


Рис 1. Цепь с последовательно соединёнными R, L, C

Вектор индуктивной составляющей напряжения \dot{U}_{x_L} опережает вектор тока на угол $\pi/2$. Его модуль $U_{x_L} = Ix_L = I\omega L$.

Вектор емкостной составляющей падения напряжения \dot{U}_{x_C} отстает от вектора тока на угол $\pi/2$. Модуль этого вектора $U_{x_C} = Ix_C = I\frac{1}{\omega C}$.

На основании изложенного построена векторная диаграмма (рис. 2).

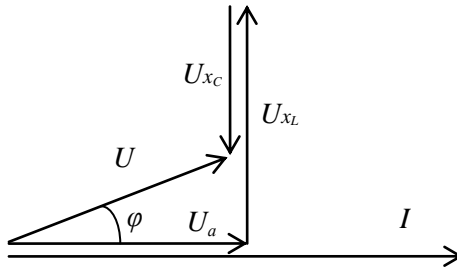


Рис. 2. Векторная диаграмма цепи с последовательно соединенными R, L, C

Из векторной диаграммы видно, что модуль общего напряжения:

$$U = \sqrt{U_a^2 + (U_{x_L} - U_{x_C})^2} = I\sqrt{(R_P + R_K)^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2},$$

$$\text{откуда } I = \frac{U}{\sqrt{(R_P + R_K)^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}}.$$

Вектор приложенного к цепи напряжения \dot{U} сдвинут по фазе относительно вектора тока \dot{I} на угол $\varphi = \arctg \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R_P + R_K}$.

Угол φ положителен, если в цепи преобладает индуктивное сопротивление $x_L = \omega L > \frac{1}{\omega C}$, при этом вектор напряжения опережает по фазе вектор тока (рис. 2).

Если в цепи преобладает ёмкостное сопротивление $x_c = \frac{1}{\omega C} > \omega L$, то угол φ отрицателен, т.е. вектор напряжения отстаёт от вектора тока.

При равенстве индуктивного и ёмкостного сопротивлений $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ вектор тока совпадает по фазе с вектором напряжения, приложенного к цепи. Векторная диаграмма представлена на рис. 3.

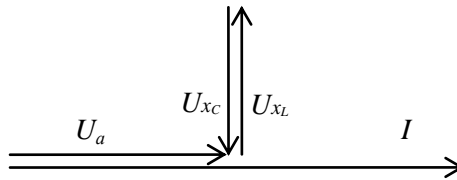


Рис. 3. Векторная диаграмма цепи с последовательно соединенными R, L, C в режиме резонанса

Таким образом, возникновение резонанса в последовательной цепи обусловлено равенством нулю её реактивного сопротивления $x = \omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$. Следовательно, условием наступления резонанса напряжений является равенство индуктивного и ёмкостного реактивных сопротивлений: $x_L = x_c$.

Резонанс может быть достигнут путем изменения частоты приложенного напряжения ω , индуктивности L или ёмкости C . Значения угловой частоты, индуктивности и ёмкости, при которых наступает резонанс, определяются по формулам:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad L_0 = \frac{1}{\omega^2 C}, \quad C_0 = \frac{1}{\omega^2 L}.$$

Полное сопротивление цепи при резонансе минимально и равно её активному сопротивлению:

$$Z_0 = \sqrt{(R_p + R_k)^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = R,$$

а ток цепи, ограничиваемый только активным сопротивлением, достигает максимального для данной цепи значения $I = \frac{U}{Z_0} = \frac{U}{R}$.

Сопротивление реактивных элементов цепи на резонансной частоте называется характеристическим сопротивлением цепи и обозначается:

$$\rho = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Напряжения на ёмкости C и на индуктивности L при резонансе равны между собой:

$$U_{x_L}^0 = U_{x_C}^0 = I_0 \omega L = I_0 \frac{1}{\omega C} = I_0 \rho.$$

Если активное сопротивление цепи мало, т.е. $r \ll \rho$, то эти напряжения могут во много раз превышать напряжение, приложенное к цепи:

$$U_{x_L}^0 = U_{x_C}^0 \gg U.$$

Поэтому резонанс в последовательной цепи называется *резонансом напряжений*.

Отношение напряжения на индуктивности или ёмкости при резонансе к напряжению, приложенному к цепи, называется добротностью контура

$$\frac{U_{x_L}^0}{U} = \frac{U_{x_C}^0}{U} = \frac{I_0 \rho}{I_0 (R + R_k)} = \frac{\rho}{R} = Q.$$

Явление резонанса напряжений находит широкое применение в радиотехнике и автоматике (в «слаботочных» цепях). В энергетических (т.е. в «сильноточных» цепях) непредусмотренный резонансный режим опасен, так как он может вызвать повреждение изоляции в результате резкого повышения напряжения на индуктивности и ёмкости.

Схема установки и порядок выполнения работы

1. Исследовать электрическую цепь экспериментальной установки по схеме, представленной на рис. 4.

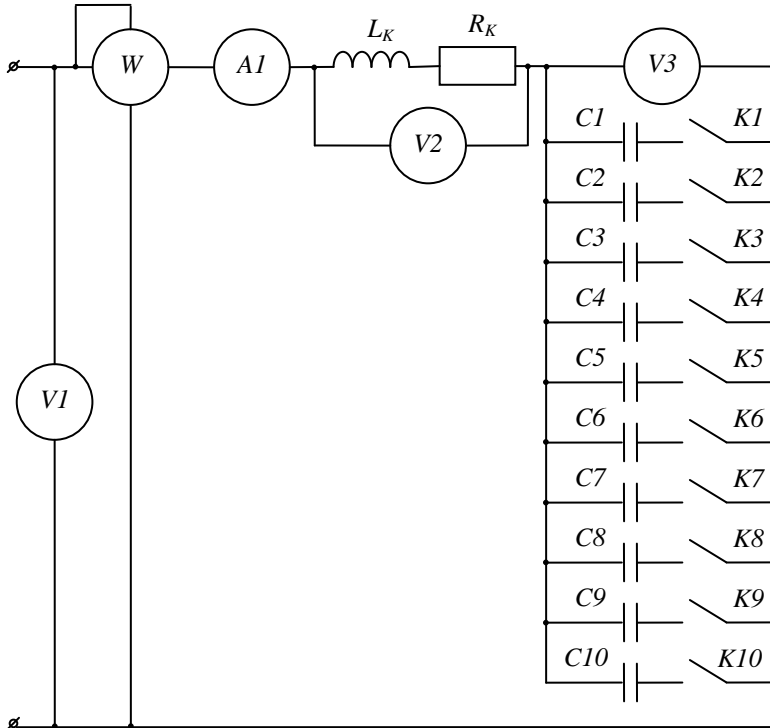


Рис. 4. Схема экспериментальной установки

2. Произвести измерения токов, напряжения и мощности по данным измерительных приборов при отключенных конденсаторах.

3. Изменяя емкость батареи конденсаторов, добиться наступления в цепи резонанса напряжений. Измерить величины токов, напряжения и мощности по данным измерительных приборов.

4. Повторить измерения при меньших и больших (относительно резонансной емкости) значениях емкости.

5. Результаты всех измерений внести в табл. 1.

Таблица 1. Результаты измерений

№	Изменяемые величины	I	P	U ₁	U ₂	U ₃	C
	Прибор	A1	W	V1	V2	V3	
	Размерность	A	Вт	B	B	B	мкФ
1							0
2							
3							
4							
5							C _{рез}
6							
7							
8							

6. Рассчитать параметры цепи в момент резонанса.

- 1) Привести величину емкости цепи, при которой в цепи наблюдается резонанс напряжений.
- 2) Рассчитать величину емкостного сопротивления x_C .
- 3) Определить активную составляющую сопротивления всей цепи R :

$$R = \frac{P}{I^2}.$$

- 4) Найти величину падения напряжения U_a на активном сопротивлении всей цепи пользуясь законом Ома.
- 5) Определить сопротивление реостата, согласно выражению:

$$R_p = \frac{U_1}{I}.$$

- 6) Привести условие наступления резонанса напряжений через величины реактивных сопротивлений цепи.
- 7) Общее индуктивное сопротивление Z_K , включающее R_K и x_L определить по закону Ома:

$$Z_K = \frac{U_2}{I}.$$

- 8) Активная составляющая общего индуктивного сопротивления Z_K определяется из треугольника сопротивлений:

$$R_K = \sqrt{Z_K^2 - X_L^2}.$$

- 9) Определить величины напряжений на элементах R_K , L , C : U_{R_K} , U_L , U_C , пользуясь найденными величинами реактивных сопротивлений x_C , x_L . Для определения напряжения на индуктивности L воспользоваться треугольником напряжений U_L , U_{R_K} , U_2 .

7. В одной координатной сетке построить совмещенные графики I , U_1 , U_2 , U_3 от C .

8. Сделать выводы о проделанной работе.

Содержание отчёта

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Схема экспериментальной установки.
4. Результаты измерений (табл. 1).
5. Результаты расчетов.
6. Совмещённые графики зависимостей I , U_1 , U_2 , U_3 от C .
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Как рассчитать полное сопротивление последовательной цепи r, L, C и ток в ней?
2. Каково условие возникновения резонанса напряжений?
3. Каким образом можно добиться резонанса в цепи r, L, C ?
4. Чему равна резонансная частота последовательного контура?
5. По показаниям каких приборов можно определить возникновение резонанса?
6. Чему равен коэффициент мощности при резонансе?
7. Почему напряжение на реальной катушке индуктивности при резонансе не равно напряжению на конденсаторе?
8. В каком случае напряжение на индуктивности и ёмкости при резонансе больше напряжения, приложенного к цепи?
9. Какой вид имеют резонансные кривые последовательного контура?
10. Что называется добротностью и характеристическим сопротивлением колебательного контура?
11. В каких случаях в технике используется явление резонанса напряжений?

Учебное издание

РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ

Методические указания к лабораторной работе

Составитель

Паршина Александра Валерьевна

Редактор И.И. Спиридонова

Доверстка И.И. Спиридонова

Подписано в печать 9.06.2017. Формат 60 × 84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 0,75.

Тираж 25 экз. Заказ . Арт. 65/2017.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика С.П. КОРОЛЕВА (САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Издательство Самарского университета. 443086 Самара, Московское шоссе, 34.

