

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ
МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

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

Кафедра электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной
работе

О.Г. Локтионова



« 3 » *август* 2017 г.

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ЯВЛЕНИЙ В
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ. РЕЗОНАНС
НАПРЯЖЕНИЙ.**

методические указания к выполнению лабораторной работы
по дисциплине "Теоретические основы электротехники"
для студентов направления подготовки «Электроэнергетика и
электротехника»

Курск 2017

УДК 621.301

Составитель Л.В. Плесконос

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры
электрооборудования

А.Л. Овчинников

Исследование резонансных явлений в последовательной цепи. Резонанс напряжений. методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине "Теоретические основы электротехники" для студентов направления подготовки «Электроэнергетика и электротехника» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Л.В. Плесконос. г. Курск, 2017, 13с.: ил. 8, табл. 2. Библиогр.: с.13.

Излагаются методические указания и теоретический материал, необходимый для выполнения работы.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *3.04.17* Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. *0,8* Уч.-изд. л. *0,7* Тираж 150 экз. Заказ *153* Бесплатно

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Цель работы

Целью работы является изучение резонанса напряжения в цепи с последовательным соединением индуктивного и емкостного участков.

Содержание работы

В работе проводится измерение резонансного, до резонансного и после резонансного режимов цепи, состоящей из последовательных катушки индуктивности и батареи конденсаторов с переменной емкостью. По данным измерений выполняется расчет и построение резонансных кривых и векторных диаграмм.

1. Основные теоретические положения

В цепи, состоящей из последовательного соединения элементов R , L и C (рис.1.1), при равенстве реактивных сопротивлений $X_L = X_C$ наступает состояние цепи, называемое резонансом напряжений.

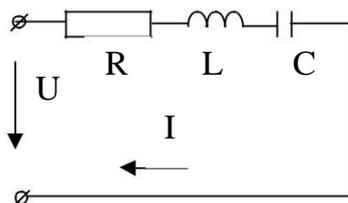


Рис.1.1 Последовательный контур.

Ток в цепи I в этом случае совпадает по фазе с приложенным напряжением U , и вся цепь по отношению к источнику ведет себя как активный элемент, т.е.:

$$\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R} = 0.$$

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

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

Напряжение на активном сопротивлении равно приложенному к цепи напряжению, $U_a = U = RI_0$. Так как $X_L = \omega L$ и $X_C = \frac{1}{\omega C}$, то состояние резонанса можно получить, изменяя одну из трех величин: индуктивность L , емкость C или частоту ω .

Например, изменяя ω - частоту приложенного к цепи напряжения (рис.1.1). Частота, при которой наступает резонанс напряжений, определяется выражением:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Величина сопротивлений реактивных элементов при резонансе будет равна:

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

где $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ имеет размерность сопротивления, носит название характеристического или волнового сопротивления.

Обычно в контурах волновое сопротивление ρ , как правило, во много раз больше, чем активное сопротивление R .

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

$$\left. \begin{aligned} U_{L_0} &= \omega_0 L I_0 = \rho I_0 = \frac{\rho}{R} U = QU, \\ U_{C_0} &= \frac{1}{\omega_0 C} I_0 = \rho I_0 = \frac{\rho}{R} U = QU. \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

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:

$$\frac{U_L}{U} = \frac{U_{C_0}}{U} = \frac{\rho}{R} = Q.$$

Величину Q называют добротностью контура. Добротность показывает во сколько раз при резонансе напряжения на индуктивности или на емкости больше напряжения на зажимах контура. 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

$$d = \frac{1}{Q} = \frac{R}{\omega L}$$

Векторная диаграмма цепи (рис.1.1) изображена на рис.1.2 в том случае, когда активное сопротивление цепи является сопротивлением только реактивной катушки R , вектор напряжения

$$U_K = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$$

является напряжением на катушке при резонансе.

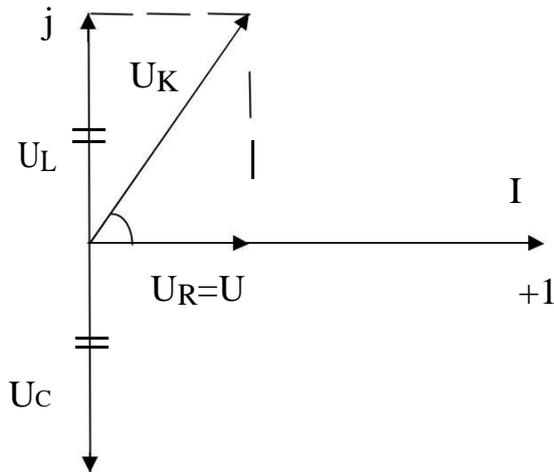


Рис. 1.2. Векторная диаграмма цепи

На рисунках (1.3 а, б), (1.4 а, б), (1.5 а, б) показано изменение сопротивления, угла сдвига фаз φ и резонансные кривые при изменении L, C и ω .

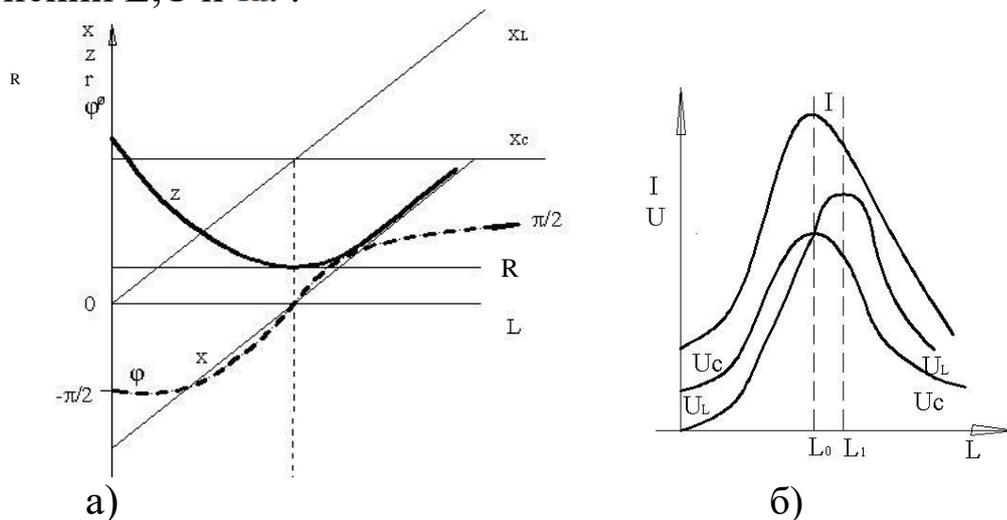


Рис. 1.3 Изменение сопротивления, угла сдвига фаз φ и резонансные кривые при изменении L .

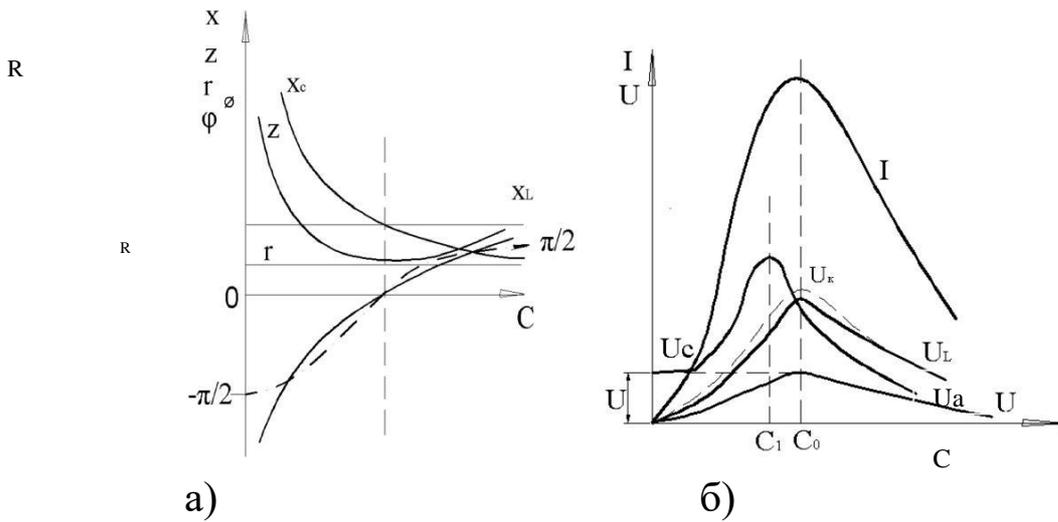


Рис. 1.4 Изменение сопротивления, угла сдвига фаз φ и резонансные кривые при изменении C .

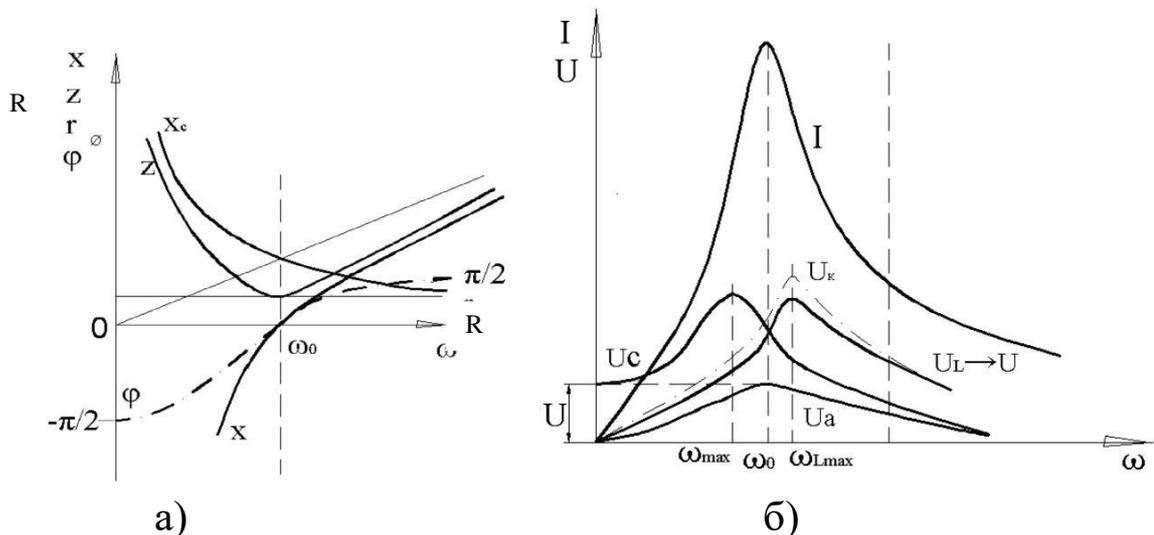


Рис. 1.5 Изменение сопротивления, угла сдвига фаз φ и резонансные кривые при изменении L .

Из приведенных кривых видно, что напряжения на реактивных элементах при резонансе равны между собой. Однако, наибольшего значения они могут достигать не при резонансе.

При изменении индуктивности цепи L напряжение на емкости U_C имеет максимальное значение при резонансе, напряжение на индуктивности U_L - при $L = L_0$ (рис 1.3 а, б).

При изменении емкости цепи C напряжение на индуктивности имеет максимальное значение при резонансе, а напряжение на емкости - при $C = C_0$ (рис. 1.4 а, б).

При изменении частоты (ω), как следует из рис. 1.5 а, б, напряжение на емкости достигает максимального значения при

$C_1 C_2 \omega^2 \ll C_1 R^2$, напряжение на индуктивности при $C_1 \omega L_{max} \gg C_2 \omega L$.

Наибольший интерес, с практической точки зрения, представляют резонансные кривые при изменении частоты приложенного напряжения ω , при этом, величина приложенного напряжения поддерживается неизменной. (рис 1.5 б).

В этом случае, при добротности $Q \gg 1$ напряжения на реактивных элементах при резонансе будут меньше приложенного напряжения, как это следует из системы уравнений (1.1).

При $Q \gg 1$, 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 .

В электроэнергетике могут возникать непредусмотренные условия, когда система попадает в режим, близкий к резонансу. Например, при обрыве линии передачи, питающей ненагруженный трансформатор (рис.1.6), может случиться резонанс между емкостью

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2},$$

где C_1 и C_2 - емкости на землю двух участков линии, и индуктивностью L первичной обмотки трансформатора.

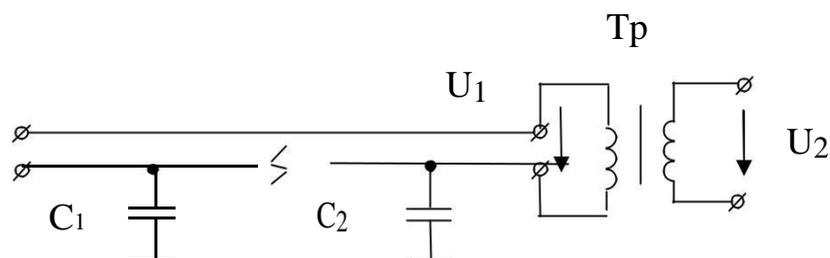


Рис. 1.6 Схема рабочей цепи

Активные сопротивления в таких системах малы, и поэтому резонансный ток, а следовательно, и напряжения на обмотках трансформатора могут достигать весьма больших значений, опасных для

изоляции электрической установки.

В технике слабых токов, наоборот, часто желательным является наибольшее повышение напряжений реактивных элементов. С этой целью добротность колебательных контуров, применяемых, например, в радиотехнике, повышают до трехсот и более.

Для удобства сравнения различных резонансных контуров переходят к резонансным кривым в относительных единицах. К примеру, на рис. 1.7 приведено семейство кривых, где $\eta = (\omega / \omega_0)$ - относительная частота.

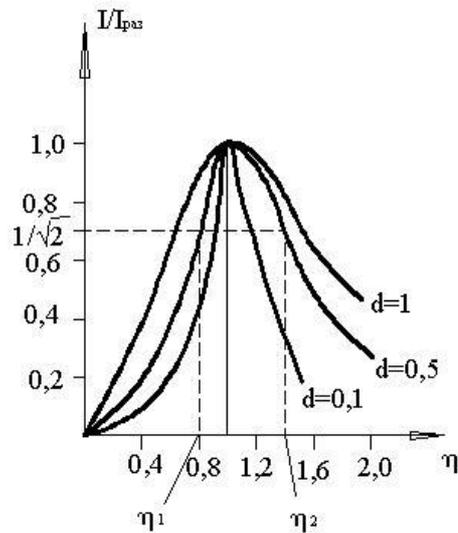


Рис. 1.7 Кривые в относительных единицах

Оказывается, форма таких кривых, («острота резонансных кривых») зависит только от добротности Q (или затухания d). Удобной характеристикой кривых (а заодно - и колебательного контура) является ширина резонансной кривой или полоса пропускания контура, определяемая как $\Delta\eta = \eta_2 - \eta_1$, где $\eta_1 = (\omega_1 / \omega_0)$ и $\eta_2 = (\omega_2 / \omega_0)$ - значения относительных частот, при которых ток в цепи в $\sqrt{2}$ раз меньше, чем $I_{рез}$. Можно показать, что при этом $\Delta\eta = d = (1/Q)$. Следовательно, при известных добротности контура Q и резонансной частоте ω_0 определяются и границы полосы пропускания $\omega_1 = \omega_0 \eta_1$ и $\omega_2 = \omega_0 \eta_2$.

При энергетическом рассмотрении оказывается, что в режиме резонанса суммарная энергия, запасенная в электрическом и магнитном полях цепи, - величина постоянная. Это означает, что если в магнитном поле катушки энергия уменьшается, то настолько же она

возрастает в электрическом поле конденсатора. Происходят колебания энергии между индуктивностью и ёмкостью, и такой обмен является причиной повышенных напряжений реактивных элементов. Энергия, поступающая из сети, поскольку $\cos \varphi = 0$, целиком поглощается активным сопротивлением R .

2. Порядок выполнения работы

Схема рабочей цепи приведена на рис.2.1.

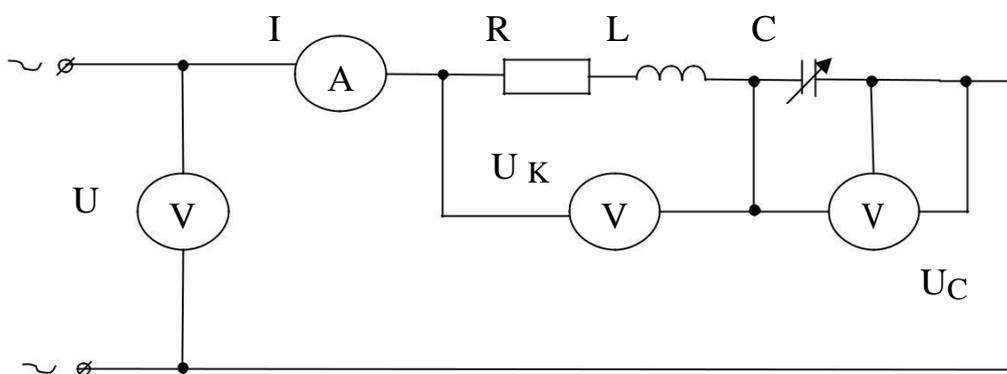


Рис. 2.1 Схема рабочей цепи

Источником питания является ЛАТР, подключаемый к сети 50 Гц. Характеристики используемых элементов стенда, приборов и рекомендуемый диапазон напряжений питания указаны в приложении. Установленное в начале работы напряжение поддерживается постоянным до окончания всех опытов.

Выполнить следующее.

1. Собрать рабочую цепь.
2. Снять резонансные кривые при изменении ёмкости. Опыты провести при неизменном напряжении на зажимах цепи, изменяя ёмкость от нуля до предельного значения, причём, вблизи резонанса— через малые ступени (см. Приложение). Данные опытов внести в таблицу 1.

Таблица 1. $f=50$ Гц, $U=$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
	№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Примечание	
из опытов	C, мкФ												
	I, А												
	U _K , В												
	U _C , В												
из расчетов	Z, Ом											U/I	
	Z _K , Ом											U _K /I	
	R, Ом											U/I _{рез}	
	X _L , Ом											$\sqrt{Z_K^2 - R^2}$	
	X _C , Ом											U _C /I	
	X, Ом											X _L -X _C	
	φ, град											arctg (X/R)	
	U _a , В												RX
	U _L , В												X _L I
	Q												U _{Lрез} /U

3. Обработка результатов опытов

3. По результатам измерений найти значения всех расчётных величин таблицы 1.

4. Начертить на одном общем графике линию $U = const$ и резонансные кривые $I(C), U_a(C), U_C(C)$ и $U_L(C)$ на другом - кривые $Z(C), R(C), X_L(C), X_C(C)$ и $\varphi(C)$.

5. Построить (с указанием масштабов) векторные диаграммы для случаев $\varphi < 0, \varphi = 0$ и $\varphi > 0$.

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 рис. 2.1 можно измерить индуктивность катушки?
5. Начертите резонансные кривые $F(\omega)$, $Z(\omega)$, $I(\omega)$, $U_C(\omega)$, $U_L(\omega)$, $U_R(\omega)$, $P(\omega)$, $Q(\omega)$. Дайте им объяснение на основе соответствующих алгебраических выражений.
6. Поясните смысл понятий добротности, затухания и полосы пропускания резонансных контуров.

Литература

1. Л.Р. Нейман, К.С. Демирчян. Теоретические основы электротехники. М. – Л., Энергия, 1966г. С. 163-173, 177-180.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники (электрические цепи). – М.: Высшая школа, 1978г. С. 81-84

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Значения R и L в схеме рабочей цепи (рис.2.1) представляют параметры катушки индуктивности L₁ стенда.

Изменение емкости C осуществляется подключением или отключением параллельного конденсатора батареи. Рекомендуемый ряд значений общей емкости батареи для различных пар присоединяемых зажимов катушки, а также соответствующие пределы выбора напряжения питания цепи даны в таблице 1:

Таблица 1. Пределы выбора напряжения питания

Выводы	1-3	1-4	2-3	2-4
Напряжение питания, В	50-70	50-70	50-60	55-70
№ опыта	С, мкф	С, мкф	С, мкф	С, мкф
1	10	3	10	4
2	12	4	20	5
3	14	5	22	7
4	14,5	5,25	24	7,5
5	15	5,5	26	8
6	15,5	6	30	8,5
7	16	6,5	34	9
8	16,5	10	44	9,5
9	18	14	54	10
10	24			14
11	28			20

Измерительные приборы:

амперметр электромагнитный класса 0,5 на 1А/
типа Э514/-1 шт.;

вольтметры электромагнитные класса 0,5 на 150 и
300В/ типа Э516/-3 шт.