

Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана

**С.А. Васюков, А.Б. Красовский, О.И. Мисеюк**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ  
СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА (РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ)**

*Учебно - методическое пособие*

**Москва  
ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МГТУ им. Н.Э. Баумана  
2023**

УДК 621.3

ББК 31.2

Рецензент

**Васюков С.А.**

Исследование линейных электрических цепей синусоидального тока (резонанс напряжений): учебно-методическое пособие (методические указания к выполнению лабораторной работы) по дисциплинам «Электротехника», «Электротехника и электроника» С.А. Васюков, А.Б. Красовский, О.И. Мисеюк – М.: Изд. – во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2023 – ,[] с.: ил.

В методических указаниях изложены основные теоретические сведения о цепях синусоидального тока, даны определения резонанса напряжений и токов. Приведены частотные характеристики последовательного колебательного контура. Представлены задание, порядок выполнения и методические указания к проведению работы, а также контрольные вопросы.

Для студентов 2 – 4 курсов МГТУ им. Н.Э.Баумана, обучающихся по программам бакалавриата и специалитета и изучающих дисциплины «Электротехника», «Электротехника и электроника» на кафедре «Электротехника и промышленная электроника»

© Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ .....	5
Последовательный колебательный контур.....	6
Частотные характеристики последовательного .....	7
колебательного контура .....	7
ЗАДАНИЯ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.....	10
Задание 1. Измерение активного сопротивления катушек индуктивности .....	10
Задание 2. Построение схемы последовательного .....	11
колебательного контура на наборном поле.....	11
Задание 3. Активация виртуальных измерительных приборов .....	13
Задание 4. Измерение резонансных частот при различных.....	15
параметрах элементов схемы.....	15
Задание 5. Измерение частотных характеристик резонансного контура .....	1
ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ .....	4
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ .....	4
Литература.....	5

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Современное высшее техническое образование, ориентированное на формирование профессиональных компетенций, уделяет большое внимание подготовке специалистов, владеющих как теоретическими знаниями, так и современными методами исследования. Особо выделяется способность проводить исследования физических процессов и свойств объектов с выбором технических средств, методов измерений, обработки и представления результатов. А эта способность во многом формируется в результате выполнения лабораторных практикумов.

Цепи синусоидального тока широко применяются как в промышленности, так и в повседневной жизни. Их расчет, особенно с использованием комплексного метода – составная часть подготовки современного инженера. Резонансные явления в цепях синусоидального тока можно встретить при проектировании фильтров, корректирующих устройств автоматики, электронных генераторов и т.п. Именно

поэтому лабораторная

работа по изучению цепей синусоидального тока – одна из базовых работ курса «Электротехника» и «Электротехника и электроника».

Цель выполнения лабораторной работы по изучению синусоидального тока:

- закрепление на практике основных положений дисциплин «Электротехника» и «Электротехника и электроника»;
- приобретение студентами навыков работы с электроизмерительными приборами;
- приобретение навыков самостоятельного изучения основных свойств, законов и режимов работы линейных электрических цепей синусоидального тока, а также умений и навыков экспериментального определения значений параметров элементов, входящих в исследуемую цепь;
- изучение влияния параметров цепей на режим их работы;
- овладение навыками экспериментального исследования режима резонанса напряжений.

## **ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

Резонанс представляет собой такой режим пассивной электрической цепи, содержащей катушку с индуктивностью  $L$  и конденсатор с емкостью  $C$ , при которых ток и напряжение на входе цепи совпадают по фазе. При резонансе реактивное сопротивление и реактивная проводимость цепи равны нулю; соответственно равна нулю реактивная мощность на выводах цепи.

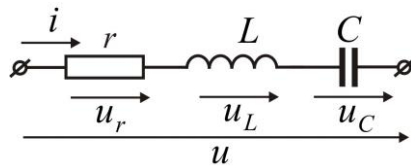
*Резонанс напряжений* наблюдается в электрической цепи с последовательным соединением участков, содержащих индуктивности и емкости. При резонансе напряжений индуктивное сопротивление одной части цепи компенсируется емкостным сопротивлением другой ее части, последовательно соединенной с первой. В результате реактивное сопротивление и реактивная мощность на выводах цепи равны нулю.

*Резонанс токов* наблюдается в электрической цепи с параллельным соединением участков, содержащих индуктивности и емкости. При резонансе токов индуктивная проводимость одной части цепи компенсируется емкостной проводимостью другой ее части, параллельно соединенной с первой. В результате реактивная проводимость и реактивная мощность на выводах цепи равны нулю.

Частоты, при которых наблюдается явление резонанса, называются *резонансными частотами*.

## Последовательный колебательный контур

*Резонанс напряжений.* Резонансная цепь с последовательным соединением  $r$ ,  $L$  и  $C$  (рис. 1) является простейшей цепью для изучения явления резонанса напряжений.



**Рис. 1.** Последовательный колебательный контур:  $i$  – ток в контуре;  $r$  – сопротивление;  $u$  – напряжение;  $u_r, u_L, u_C$  – напряжения на элементах  $r, L, C$

Рассмотрим комплексное сопротивление  $Z$  такой цепи, которое зависит от частоты  $\omega$ :

$$Z = r + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right). \quad (1)$$

Резонанс напряжений наступает при частоте  $\omega_0$  когда

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (2)$$

Резистивное сопротивление контура  $Z_0$  при резонансе будет равно активному сопротивлению  $r$ :

$$Z_0 = r.$$

Определим реактивные сопротивления на индуктивности  $X_{L_0}$  и емкости  $X_{C_0}$  при резонансе:

$$X_{L_0} = \omega_0 L = \frac{1}{\sqrt{LC}} L = \sqrt{\frac{L}{C}};$$

$$X_{C_0} = \frac{1}{\omega_0 C} = \frac{\sqrt{LC}}{C} = \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Видно, что сопротивления  $X_{L_0} = X_{C_0} = \sqrt{L/C} = \rho$  – характеристическое (волновое) сопротивление контура.

Резонансные свойства контура можно охарактеризовать добротностью последовательного колебательного контура  $Q$ , которую можно определить из выражения:

$$Q = \frac{\omega_0 L}{r} = \frac{1}{r \omega_0 C} = \frac{\rho}{r}. \quad (3)$$

Величину, обратную добротности,  $d = \frac{1}{Q}$  принято называть затуханием.

### Частотные характеристики последовательного колебательного контура

Зависимости параметров электрической цепи, токов и напряжений на элементах от частоты называются *частотными характеристиками*.

Сопротивление контура согласно формуле (1) можно представить в виде

$$Z = z(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)}, \quad (4)$$

где  $z(\omega)$  – амплитудно-частотная характеристика сопротивления контура,

$$z(\omega) = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}; \quad (5)$$

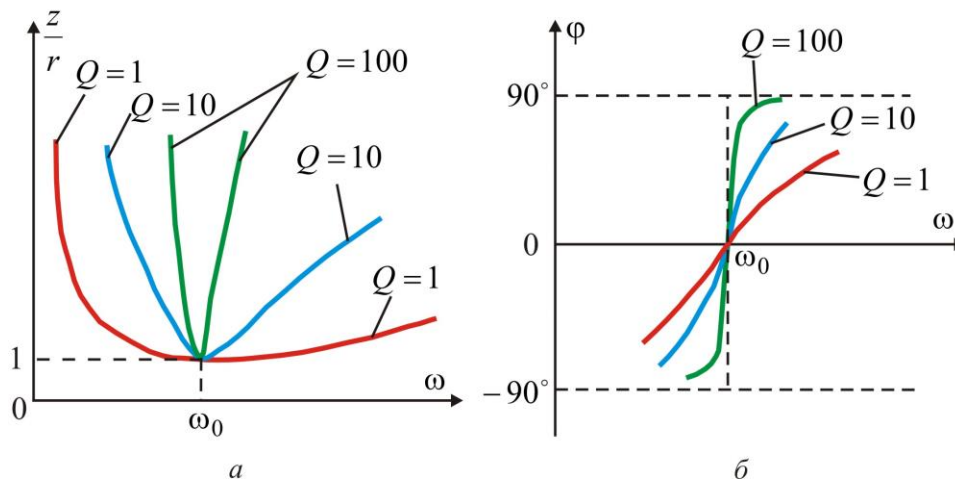
$\varphi(\omega)$  – фазо-частотная характеристика сопротивления контура.

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}{R} \quad (6)$$

С учетом (4–6), можно определить ток в цепи по формуле

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z} = \frac{\dot{U}}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} e^{-j \arctg \frac{\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}{R}}.$$

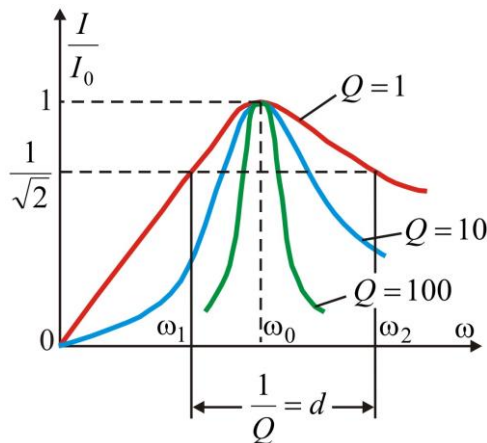
На рис. 2 приведены частотные сопротивления  $z(\omega)$  и угла сдвига по фазе  $\varphi(\omega)$  между напряжением и током. По оси абсцисс отложена частота  $\omega$ , а по оси ординат – отношение полного сопротивления  $z$  к активному сопротивлению  $r$ , (рис. 2, а), и угол сдвига по фазе  $\varphi$  (рис. 2, б).



**Рис. 2.** Частотные зависимости сопротивления (а) и угла сдвига по фазе (б)

Полное сопротивление цепи минимально при резонансе напряжений; при этом ток в цепи достигает своего максимального значения  $I_0$ .

На рис. 3 изображены частотные зависимости тока в цепи: по оси абсцисс, как и на рис. 2, отложены значения  $\omega$ , по оси ординат – отношения токов  $I$  к максимальному току при резонансе  $I_0$ .



**Рис. 3.** Резонансные кривые тока в относительных единицах

Чем выше добротность цепи  $Q$ , тем острее резонансные кривые. Таким образом, величина  $Q$  характеризует остроту резонансной кривой.

Полосу частот вблизи резонанса, на границах которой ток снижается до  $I_0/\sqrt{2} = 0,707I_0$ , принято называть полосой пропускания резонансного контура. При токе  $I = I_0/\sqrt{2}$  мощность, расходуемую в сопротивлении  $r$ , можно вычислить следующим образом:

$$r \left( \frac{I_0}{\sqrt{2}} \right)^2 = \frac{1}{2} r I_0^2,$$

т.е. она составляет половину мощности, расходуемой при резонансе. Поэтому границы полосы пропускания соответствуют половине максимальной мощности на резонансе.

На границах полосы пропускания резонансного контура активное и реактивное сопротивления равны  $r = |x|$ . Угол сдвига по фазе  $\varphi$  между напряжением на выводах цепи и током составляет  $\pm 45^\circ$ ; на нижней границе комплексное сопротивление цепи имеет емкостный характер (ток опережает напряжение) и  $\varphi = -45^\circ$ ; на верхней границе комплексное сопротивление цепи имеет индуктивный характер (ток отстает от напряжения) и  $\varphi = 45^\circ$ .



По определению полосы пропускания  $\Delta\omega$  резонансного контура находится из соотношений

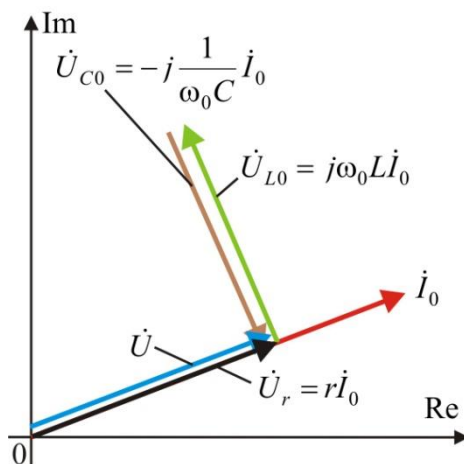
$$\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 = \frac{\omega_0}{Q}.$$

На частотах, близких к резонансной, напряжения на индуктивности и емкости могут быть весьма велики и превышать входное напряжение, что необходимо учитывать во избежание повреждения изоляции.

На рис. 4 показана векторная диаграмма тока и напряжений при резонансе. Напряжения на реактивных элементах при резонансе можно определить из выражения

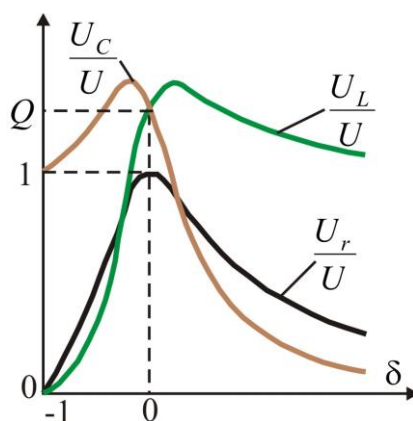
$$\dot{U}_{L_0} = -\dot{U}_{C_0} = \frac{\dot{U}}{r} j\omega_0 L = j\dot{U}Q, \quad (7)$$

Которое свидетельствует о том, что добротность рассматриваемой цепи можно рассчитать как кратность перенапряжения на  $L$  и  $C$  при резонансной частоте.



**Рис. 4.** Векторная диаграмма при резонансе напряжений

Частотные зависимости напряжений на индуктивности и емкости изображены на рис. 5



**Рис. 5.** Частотные зависимости напряжений на индуктивности и емкости  
в относительных единицах

При  $Q > 1$  эти напряжения превышают напряжение  $U$ , приложенное к резонансному контуру. Однако значения, получаемые на основании формулы (7), не являются максимальными: максимум напряжения  $U_L$  располагается несколько выше (правее), а максимум  $U_C$  – ниже (левее) резонансной частоты (см. рис. 5).

## ЗАДАНИЯ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Перед началом выполнения лабораторной работы изучите описание лабораторного стенда (см.: Васюков С.А., Мисеюк О.И. «Стенд и приборы для исследования электрических цепей»: учеб.-метод. пособие по выполнению лабораторных работ по дисциплинам «Электротехника» и «Электротехника и электроника». М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018.).

2. Исследуйте линейную электрическую цепь при последовательном соединении катушки индуктивности  $L$  и конденсатора  $C$ .

В лабораторной работе используются следующие мини-блоки:

- катушка индуктивности 33 мГн (номинальный ток 50 мА);
- катушка индуктивности 100 мГн (номинальный ток 50 мА);
- конденсатор 0,47 мкФ (номинальное напряжение 63 В);
- конденсатор 1,0 мкФ (номинальное напряжение 63 В);
- резисторы 100 Ом, 220 Ом, 330 Ом (номинальная мощность 2 Вт).

### Задание 1. Измерение активного сопротивления катушек индуктивности

Для проведения измерений включите общее питание стенда и компьютера, тумблер питания однофазного источника и питание блока мультиметров. После этого выберите любой из четырех мультиметров. Затем подсоедините к выбранному мультиметру измерительные провода: красный ко входу  $V\Omega$ , черный – ко входу COM). Затем установите переключатель мультиметра в положение  $\Omega$  (предел измерения 200). Далее смонтируйте мини блоки 33 мГн и 100 мГн на наборном поле в соответствии с рис. 6.

Подсоедините измерительные провода в любой полярности к точкам ① и ②, измеренное значение активного сопротивления катушки индуктивности занесите в графу  $R_{K1}$  табл. 1. Проведите те же измерения с мини блоком 100 мГн (точки ③ и ④) и занесите результат в графу  $R_{K2}$  табл. 1.

Таблица 1

### Параметры катушек индуктивности

Мини-блок, мГн	Катушка индуктивности, мГн		Резистор, Ом	
	$L_{K1}$	$L_{K2}$	$R_{K1}$	$R_{K2}$
33	33	—		—
100	—	100	—	

Примечание. Сопротивление резистора  $R_{K1}$  должно быть около 60 Ом,  $R_{K2}$  – около 190 Ом.

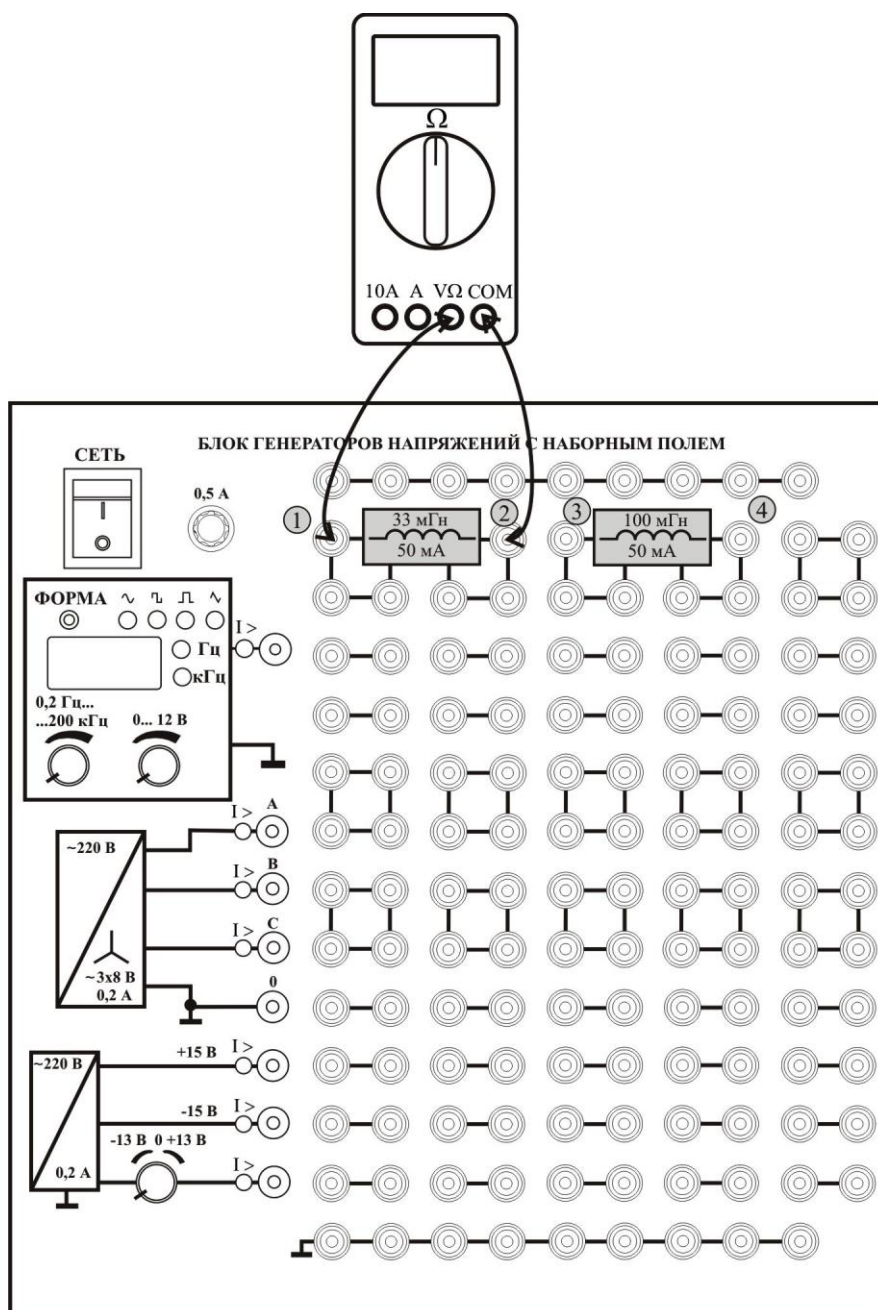


Рис. 6. Измерение активного сопротивления катушек индуктивности

### Задание 2. Построение схемы последовательного колебательного контура на наборном поле

Электрическая схема цепи приведена на рис. 7. На схеме показан генератор синусоидального напряжения  $\dot{U}$  (точка ①), балластный резистор  $R_6$  (он необходим для устойчивой работы виртуальных приборов), резистор  $R_1$ , мини-блок катушки индуктивности  $L_K, R_K$  и конденсатор  $C$ . Мини-блоки необходимо выбирать по номеру стенда (табл. 2).

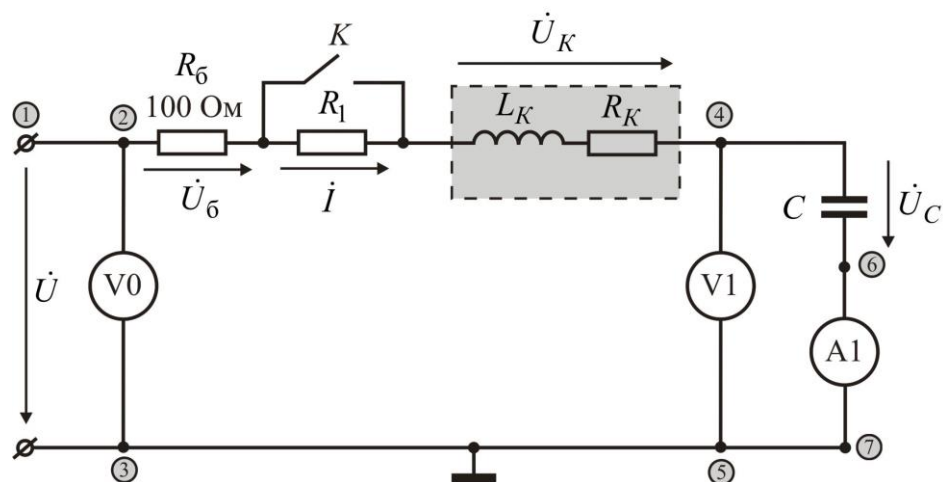


Рис. 7. Электрическая схема цепи

Таблица 2

Параметры элементов на стендах

Номер стенда	Резистор $R_1$ , Ом	Катушка индуктивности $L_K$ , мГн	Конденсатор $C$ , мкФ
1; 11	220	33	0,47
2; 12	330	33	0,47
3; 13	220	33	1,0
4; 14	330	33	1,0
5; 15	220	100	0,47
6; 16	330	100	0,47
7; 17	220	100	1,0
8; 18	330	100	1,0
9; 19	220	33	0,47
10; 20	330	100	0,47

В схему включены:

- виртуальный вольтметр V0, измеряющий выходное напряжение генератора;
- виртуальный вольтметр V1, измеряющий напряжение на конденсаторе;
- виртуальный амперметр A1, измеряющий ток в цепи.

Параллельно резистору  $R_1$  включен ключ  $K$ , при замкнутом ключе резистор  $R_1$  исключается из схемы.

Для монтажа исследуемой схемы на наборном поле рекомендуется на первом этапе смонтировать только мини-блоки, а затем подключить генератор и измерительные приборы (рис. 8).

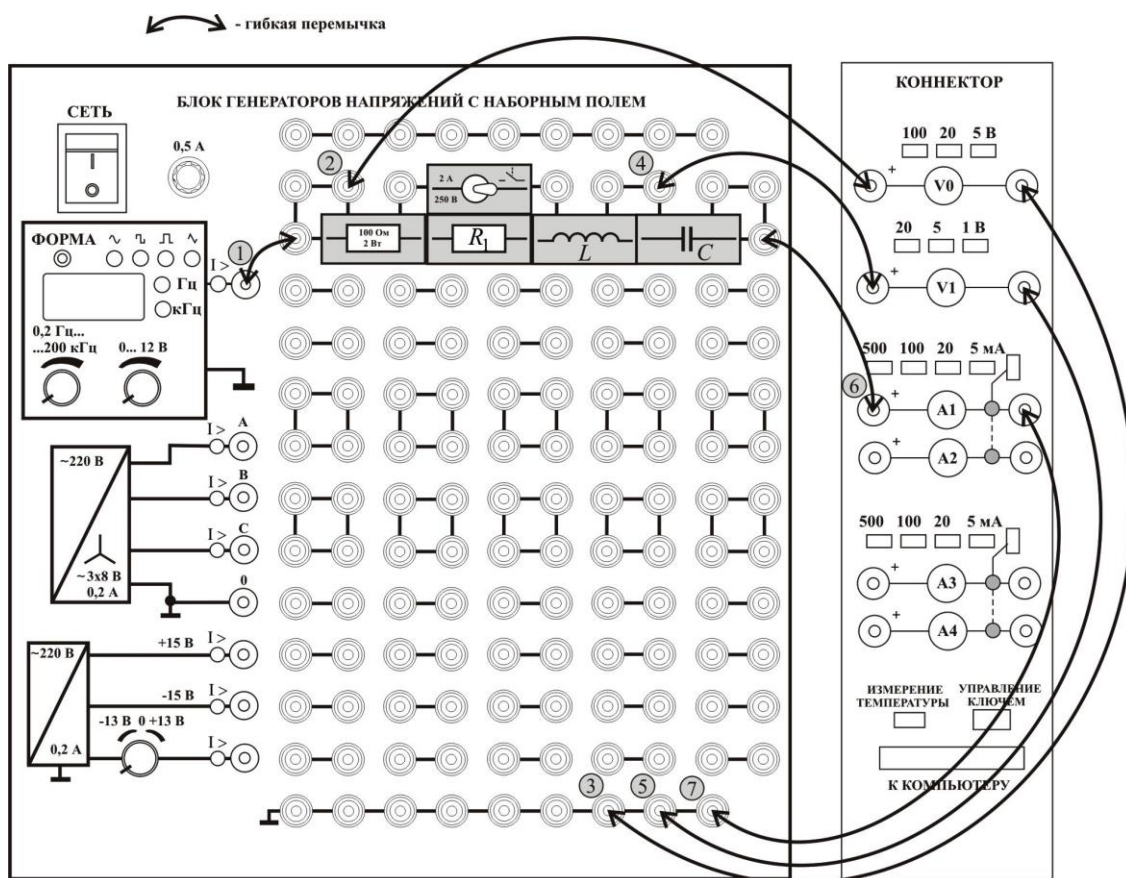


Рис. 8. Монтажная схема

Клеммы красного цвета вольтметров V0, V1 и амперметра A1 подключены к точкам ②, ④ и ⑥ соответственно. Клеммы синего цвета вольтметров V0, V1 и амперметра A1 подключены к любым вводам земляной шины.

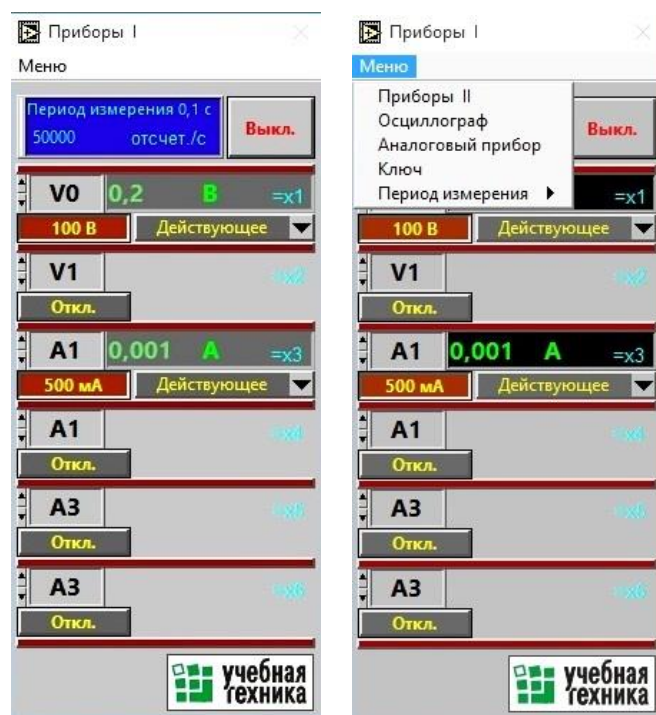
### Задание 3. Активация виртуальных измерительных приборов

Активируйте левой кнопкой мыши иконку «ВП ТОЭ» на рабочем столе компьютера. В открывшейся вкладке Приборы I (рис. 9, а), установите приборы V0, V1, A1 для измерения действующего значения. Нажмите указателем мыши на вкладку Меню и в раскрывшемся списке (рис. 9, б), последовательно активируйте Приборы II, Осциллограф и Аналоговый прибор (рис. 10).

Измените вкладку **Активное сопротивление R (Приборы II)** на **Угол сдвига фаз**, далее номер входа **Аналогового прибора** с 1 на 7. Виртуальные приборы готовы для измерения напряжений, тока и угла сдвига фаз между входным напряжением и



ТОКОМ.



а

б

Рис. 9. Активация виртуальных измерительных приборов

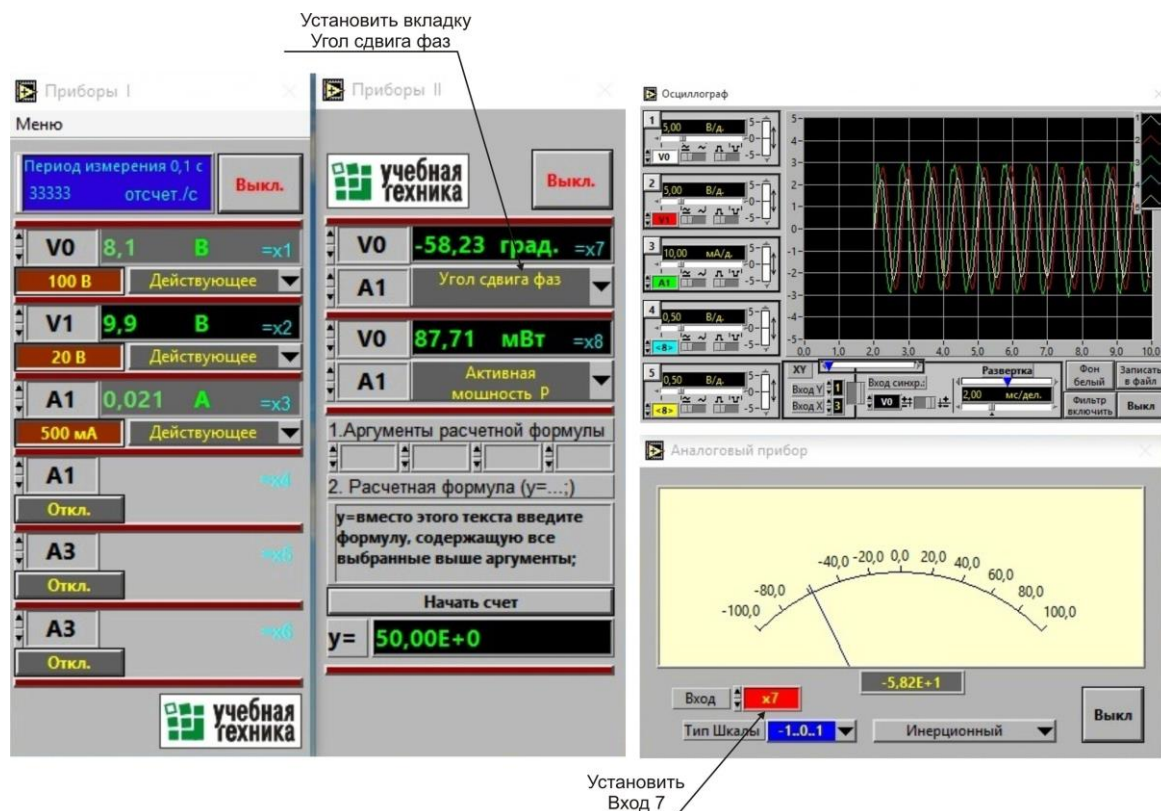


Рис. 10. Набор виртуальных приборов

#### Задание 4. Измерение резонансных частот при различных параметрах элементов схемы

Внесите значения параметров в шапку «**Конфигурация цепи**» (табл. 3) в соответствии с номером стенда (см. табл. 2), а в столбец  $R_K$  – значения сопротивления мини блоков индуктивностей 33 и 100 мГн, измеренные ранее (см. табл. 1).

При замкнутом положении ключа  $K$  (см. рис. 7) сопротивление  $R_1 = 0$ , при разомкнутом –  $R_1$  равно значению, указанному в табл. 2.

При заполнении столбцов «Результаты вычислений» для каждой строки используйте расчетные соотношения:

– общее активное сопротивление цепи  $R = 100 + R_1 + R_K$ ;

– резонансная частота  $f_0 = 1/(2\pi\sqrt{L_K C})$ , где  $L_K$  – индуктивность катушки, Гн;

$C$  – емкость конденсатора, Ф;

– емкостное сопротивление рассчитайте по выражению

$$x_C = 1/(\omega_0 C),$$

где  $\omega_0 = 2\pi f_0$ ;

– ток при резонансе  $I_0$  вычислите как  $I_0 = V_0 / R = 8 / R$ ;

– добротность  $Q$  вычислите как  $Q = x_C / R$ .

Кнопкой **Форма** (см. рис. 8) выберите синусоидальную форму сигнала генератора.

Таблица 3

**Форма для заполнения результатов измерений и вычислений параметров исследуемой цепи**

Вариант _____. Конфигурация цепи: $V_0 = 8 \text{ В}$ , $R_1 =$ Ом*, $L_K =$ мГн*, $C =$ мкФ*.												
Результаты вычислений						Результаты измерений					Результаты, вычисленные по экспериментальным данным	
Положение ключа $K$	$R$ , Ом	$f_0$ , Гц	$x_C$ , Ом	$I_0$ , А	$Q$	$V_0$ , В	$V_1$ , В	$A_1$ , А	$\varphi$ , град	$f_0$ , Гц	$x_C$ , Ом	$Q$
Замкнут ( $R_1 = 0$ )												
Разомкнут												
* Задается по номеру стенда (см. табл. 2).												



Вращая ручку регулировки амплитуды, установить напряжение генератора  $V_0 = 8 \text{ В}$  и занести в столбец  $V_0$  (табл. 3). Напряжение контролируйте по виртуальному вольтметру  $V_0$ . При проведении измерений необходимо поддерживать это напряжение неизменным.

Установите ключ  $K$  в замкнутое состояние, для этого переведите подвижный элемент ключа (см. рис. 8) влево. Изменяя частоту генератора, добейтесь резонанса, который достигается при минимальном сдвиге фаз (показания виртуального фазометра) и максимальном токе (показания виртуального амперметра  $A_1$ ). Используя показания приборов, заполните сначала строку 1 табл. 3.

Установите ключ  $K$  в разомкнутое состояние, для этого переведите подвижный элемент ключа (см. рис. 8) вправо. Проведите измерения для второй строки табл. 3.

По результатам измерений для каждой строки вычислите емкостное сопротивление  $x_C = V_1 / A_1$  и добротность  $Q = V_1 / V_0$ .

Сделать выводы о влиянии сопротивления  $R_1$  на резонансную частоту, резонансный ток и добротность. При расхождении теоретических расчетов и экспериментальных данных, необходимо объяснить возникшее расхождение.

### **Задание 5. Измерение частотных характеристик резонансного контура**

Переведите ключ  $K$  в замкнутое положение ( $R_1 = 0$ ). Изменяя частоту генератора, добейтесь резонанса (по минимальному абсолютному значению угла сдвига по фазе  $\varphi$ ). Далее занесите в табл. 4 резонансную частоту  $f_0$ , резонансный ток  $I_0$ , угол сдвига фаз и напряжение на конденсаторе  $V_1$ .

Изменяя частоту в меньшую сторону от  $f_0$ , добейтесь уменьшения тока до уровня  $I_0 / \sqrt{2}$ . Затем запишите полученную частоту  $f_1$ , ток, угол сдвига фазе  $\varphi$  и напряжение на конденсаторе  $V_1$  в столбец  $f_1$ . Изменяя частоту в большую от  $f_0$  сторону, добейтесь значение тока  $I_0 / \sqrt{2}$ . Далее внесите следующие данные в столбец  $f_2$ : полученную частоту  $f_2$ , ток, угол и напряжение на конденсаторе.

Вычислите шаг  $\Delta_1$  изменения частоты для частот меньших резонансной частоты  $f_0$ , и шаг  $\Delta_2$  — для частот больших резонансной частоты. Запишите вычисленные значения в первую строку табл. 4.

Проведите необходимые измерения для остальных частот. Вычислите для всех частот отношение текущего тока к резонансному  $I / I_0$ , полное сопротивление  $z = 8 / I$ ,

отношение полного сопротивления к сопротивлению на резонансе  $z/z_0$  и также занесите полученные значения в таблицу 4.

Определите ширину полосы пропускания  $\Delta f = f_2 - f_1$  и результат занесите в табл. 4.

**Разомкните ключ  $K$**  и проделайте все указанные выше измерения, записав результаты в табл. 5.

*Таблица 4*

### Амплитудные и фазочастотные характеристики тока и входного сопротивления цепи при $R_1 = 0$

Величина	Вариант _____. Конфигурация цепи (ключ К замкнут): $V_0 = 8 \text{ В}, R_1 = 0, R_K = \quad \text{Ом}, L_K = \quad \text{мГн}^*, C = \quad \text{мкФ}^*, R = R_K + 100 \quad \text{Ом}.$ Вычисление шага: $\Delta_1 = (f_0 - f_1)/3 = \quad \text{Гц}; \Delta_2 = (f_2 - f_0)/3 = \quad \text{Гц}; \Delta f = f_2 - f_1 \quad \text{Гц}.$										
	$f_1 - 2\Delta_1$	$f_1 - \Delta_1$	$f_1$	$f_0 - 2\Delta_1$	$f_0 - \Delta_1$	$f_0$	$f_0 + \Delta_2$	$f_0 + 2\Delta_2$	$f_2$	$f_2 + \Delta_2$	$f_2 + 2\Delta_2$
	$f, \text{Гц}$										
$I, \text{А}$			$\frac{I_0}{\sqrt{2}} =$			$I_0 =$			$\frac{I_0}{\sqrt{2}} =$		
$I / I_0$						1					
$\varphi, \text{град}$											
$z, \text{Ом}$						$z_0 =$					
$z / z_0$						1					
$V_1, \text{В}$											
* Задается по номеру стенда (см. табл. 2).											

*Таблица 5*

### Амплитудные и фазочастотные характеристики тока и входного сопротивления цепи при наличии $R_1$

Величина	Вариант _____. Конфигурация цепи (ключ К замкнут): $V_0 = 8 \text{ В}, R_1 = \quad \text{Ом}, R_K = \quad \text{Ом}, L_K = \quad \text{мГн}^*, C = \quad \text{мкФ}^*, R = R_1 + R_K + 100 \quad \text{Ом}.$ Вычисление шага: $\Delta_1 = (f_0 - f_1)/3 = \quad \text{Гц}; \Delta_2 = (f_2 - f_0)/3 = \quad \text{Гц}; \Delta f = f_2 - f_1 \quad \text{Гц}.$										
	$f_1 - 2\Delta_1$	$f_1 - \Delta_1$	$f_1$	$f_0 - 2\Delta_1$	$f_0 - \Delta_1$	$f_0$	$f_0 + \Delta_2$	$f_0 + 2\Delta_2$	$f_2$	$f_2 + \Delta_2$	$f_2 + 2\Delta_2$
$f, \text{Гц}$											
$I, \text{А}$			$\frac{I_0}{\sqrt{2}} =$			$I_0 =$			$\frac{I_0}{\sqrt{2}} =$		
$I / I_0$						1					
$\varphi, \text{град}$											
$z, \text{Ом}$						$z_0 =$					
$z / z_0$						1					
$V_1, \text{В}$											
* Задается по номеру стенда (см. табл. 2).											

2.2.5.12. Постройте графики  $I/I_0$ ,  $z/z_0$  и  $\varphi$  в функции частоты по данным табл. 4 и 5 в единой системе координат (см. файл отчета по лабораторной работе).

Постройте векторную диаграмму напряжений для частот  $f_0, f_1, f_2$  по данным табл. 4 (рис. 11). Диаграмма должна отображать взаимное расположение входного напряжения  $\dot{U}$ , напряжения на балластном резисторе  $\dot{U}_6$ , напряжения на конденсаторе  $\dot{U}_C$  и напряжения на катушке индуктивности  $\dot{U}_K$ , соблюдая масштаб и направление. Вектор тока  $\dot{I}$  строится без соблюдения масштаба и ориентирован горизонтально вправо.

Для облегчения построений, по данным табл. 4 заполните табл. 6 и вычислите напряжение на балластном резисторе.

Таблица 6

Результаты измерений

Величины	Частота $f$		
	Резонансная частота $f_0$	Граничная частота полосы пропускания	
		$f_1$	$f_2$
Ток $I$ , А			
Входное напряжение $U$ , В	8	8	8
Напряжение на конденсаторе $U_C = V_1$ , В			
Напряжение на балластном резисторе $U_6 = I \cdot 100$ , В			
Угол сдвига по фазе $\varphi$ , град			

Пример построения векторной диаграммы показан на рис. 11:

- отложите под углом  $\varphi$  вектор входного напряжения  $\dot{U}$  (рис. 11, а);
- отложите вектор  $\dot{U}_6$  по направлению тока  $\dot{I}$ , а вектор  $\dot{U}_C$  отстающим от тока на  $90^\circ$  так, чтобы стрелки векторов  $\dot{U}$  и  $\dot{U}_C$  сходились в одной точке (рис. 11, б);
- дополните систему векторов вектором  $\dot{U}_K$  так, чтобы выполнялось уравнение  $\dot{U} = \dot{U}_6 + \dot{U}_K + \dot{U}_C$  (рис. 11, в).

После выполнения всех расчетов результаты показать преподавателю и, получив его разрешение, выключить питание стенда.

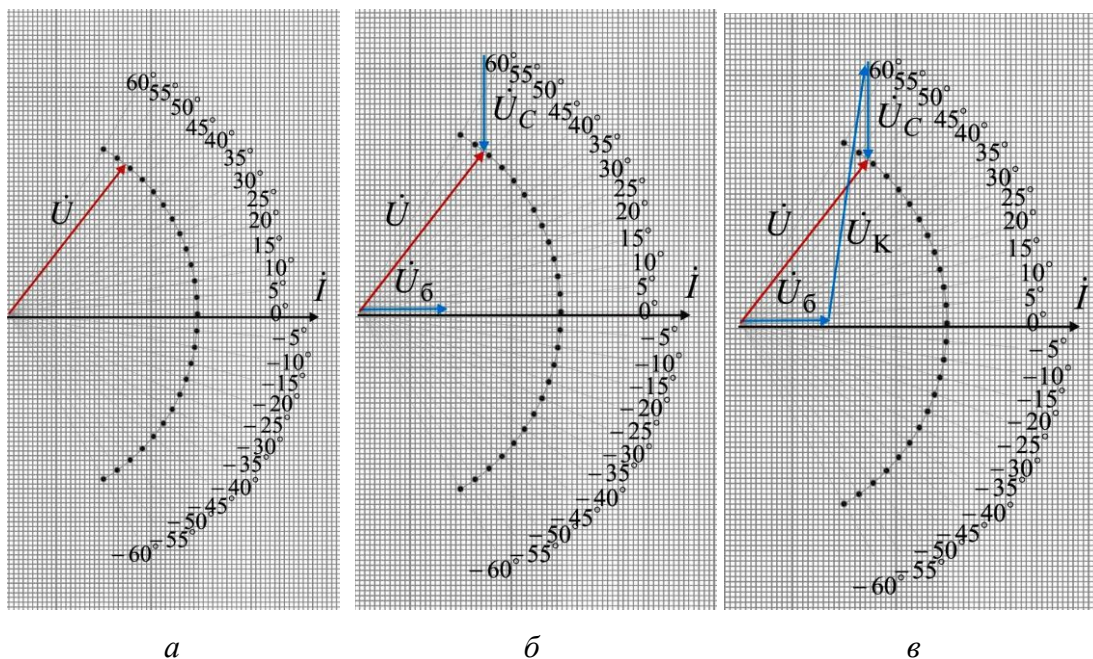


Рис. 11. Порядок построения векторной диаграммы

### ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Форма отчета предоставляется студентам в электронном виде лектором потока или копируется и распечатывается с сайта кафедры <http://fn.bmstu.ru/learning-work-fs-7/laboratory-works-fs-7>.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему в последовательной цепи  $R-L-C$  изменение емкости конденсатора приводит к изменению значения тока  $I$ , коэффициента мощности  $\cos\varphi$ , активной  $P$  и полной  $S$  мощностей?

2. Как добиться резонанса при последовательном соединении  $R-L-C$  элементов, и по каким признакам убедиться, что в цепи наступил резонанс?

3. В последовательной цепи  $R-L-C$  цепи установлен режим резонанса напряжений. Сохранится ли резонанс, если активное сопротивление подключить:

- а) параллельно конденсатору;
- б) параллельно катушке индуктивности;
- в) последовательно?

4. В последовательной цепи  $R-L-C$  установлен режим резонанса напряжений. Как изменится активная мощность, если:

- а) последовательно включить активное сопротивление, конденсатор;
- б) параллельно зажимам источника подключить активное сопротивление,

конденсатор?

5. Как примерно изменятся графики  $I/I_0(\omega)$ ;  $z/z_0(\omega)$ , если уменьшить сопротивление  $R_K$ ?

6. Объясните, как качественно изменится векторная диаграмма напряжений, если увеличить частоту питающего напряжения?

7. Объясните, как качественно изменится векторная диаграмма напряжений, если увеличить емкость  $C$ ?

8. Что такое добротность резонансного контура? Объясните, как найти добротность по экспериментальным данным и по графикам.

9. Как изменится добротность последовательного контура (см. рис. 7) при замыкании ключа  $K$ ?

10. Объясните, почему при резонансе напряжений, ток принимает максимальное значение?

### Литература

1. Борисов Ю.М., Липатов Д.Н., Зорин Ю.Н. Электротехника. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 551 с.
2. Васюков С.А., Мисеюк О.И. Стенд и приборы для исследования электрических цепей: учебно-методическое пособие по дисциплинам «Электротехника» и «Электротехника и электроника». Москва: Изд-во МГТУ им Н.Э.Баумана, 2018. 29 с.
3. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. Центр «Академия», 2010. 544 с.