

Московский государственный технический университет
Имени Н.Э. Баумана

С.А. Васюков, О.И. Мисеюк

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

Методические указания к выполнению лабораторной работы

Москва
ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ им. Н.Э. Баумана
2018

УДК 621.3

Рецензент

Васюков С.А., Мисеюк О.И.

Исследование линейных электрических цепей синусоидального тока (резонанс токов): методические указания к выполнению лабораторной работы по курсам «Электротехника», «Электротехника и электроника» С.А.Васюков, О.И.Мисеюк – М.: Изд – во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2018 – 27,[2] с.: ил.

В методических указаниях изложены основные теоретические сведения по цепям синусоидального тока, даны определения резонанса напряжений и токов. Приведены нормированные частотные характеристики последовательного и параллельного 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, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ	5
1.1. Последовательный колебательный контур. Резонанс напряжений	5
1.2. Частотные характеристики последовательного колебательного контура	6
1.3. Параллельный колебательный контур. Резонанс токов	9
2. ЗАДАНИЯ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	11
2.1. Изучите описание лабораторного стенда (методические указания «Стенд и приборы для исследования электрических цепей»)	11
2.2. Исследование линейной электрической цепи при параллельном соединении катушки индуктивности L и конденсатора C (резонанс токов).....	11
2.2.1. Соберите схему на наборном поле	12
2.2.2. Активация виртуальных измерительных приборов.....	13
2.2.3. Измерение частоты резонанса	15
2.2.4. Частотные характеристики параллельного резонансного контура	16
ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ	1
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	2
ЛИТЕРАТУРА.....	3

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.

При выполнении лабораторных работ по электротехнике преследуются две основные цели. Первая цель – закрепление на практике основных положений курса. Вторая цель – научить студента навыкам работы с электроизмерительными приборами. Цепи синусоидального тока нашли широкое применение как в промышленности, так и в повседневной жизни. Их расчет, особенно с применением комплексного метода, является составной частью подготовки современного инженера. Резонансные явления в цепях синусоидального тока встречаются при проектировании фильтров, корректирующих устройств автоматики, электронных генераторов и т.п. Именно поэтому лабораторная работа по изучению цепей синусоидального тока является одной из базовых работ курса электротехники.

Цель лабораторной работы – изучение основных свойств, законов и режимов работы линейных электрических цепей синусоидального тока. Экспериментальное определение значений параметров элементов, входящих в исследуемую цепь, изучение их влияния на режим ее работы; экспериментальное исследование режима резонанса токов.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Резонанс представляет собой такой режим пассивной электрической цепи, содержащей индуктивности и емкости, при котором ток и напряжение 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.

В свою очередь **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.

1.1. Последовательный колебательный контур. Резонанс напряжений

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

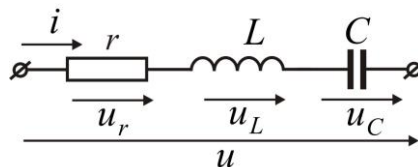


Рис. 1. Последовательный колебательный контур.

Комплексное сопротивление такой цепи зависит от частоты:

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

Резонанс напряжений наступает при частоте ω_0 когда

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

Резистивное сопротивление контура при резонансе $Z_0 = r$.

Определим реактивные сопротивления на индуктивности и емкости при резонансе:

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

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

Резонансные свойства контура характеризуются добротностью Q .

Величина, обратная добротности, $d = \frac{1}{Q}$ называется затуханием.

Добротность последовательного колебательного контура:

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

1.2. Частотные характеристики последовательного колебательного контура

Условимся называть относительной расстройкой частоты по отношению к резонансной частоте контура величину

$$\delta = \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} = \frac{\omega}{\omega_0} - 1. \quad (4)$$

Сопротивление контура согласно (1) и с учетом (3)

$$Z = r \left[1 + j \frac{\omega_0 L}{r} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{1}{\omega \omega_0 LC} \right) \right] = r \left[1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \right],$$

откуда, используя (4), $\frac{\omega}{\omega_0} = \delta + 1$ или $\frac{\omega_0}{\omega} = \frac{1}{\delta + 1}$, получаем:

$$Z = r \left[1 + jQ \left(\delta + 1 - \frac{1}{\delta + 1} \right) \right] = r \left(1 + jQ\delta \frac{\delta + 2}{\delta + 1} \right) = ze^{j\varphi}. \quad (5)$$

Следовательно, полное сопротивление и фазовый угол цепи

$$z = r \sqrt{1 + Q^2 \delta^2 \left(\frac{\delta + 2}{\delta + 1} \right)^2}; \quad \varphi = \arctg Q\delta \frac{\delta + 2}{\delta + 1}. \quad (6)$$

Ток в цепи

$$\dot{I} = \frac{\dot{E}}{Z} = \frac{\dot{E}}{r \left(1 + jQ\delta \frac{\delta + 2}{\delta + 1} \right)}. \quad (7)$$

На рис. 2 приведены зависимости от частоты сопротивления и сдвига фаз между напряжением и током. Кривые даны в относительных значениях: по оси абсцисс

отложена относительная расстройка частоты δ , а по оси ординат – отношение полного сопротивления z к активному сопротивлению r , рис. 2 а, и угол φ , рис. 2 б.

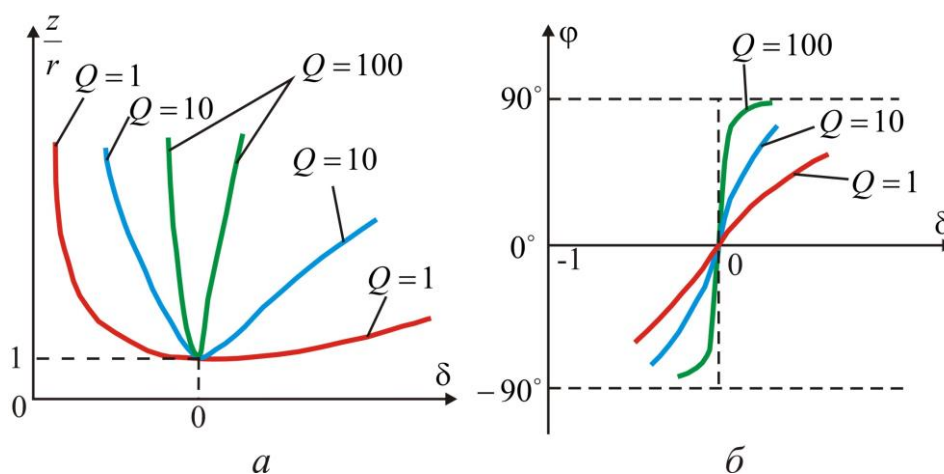


Рис. 2. Частотные зависимости сопротивления (а) и угла (б).

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

На рис. 3 изображены резонансные кривые тока в относительных значениях: по оси абсцисс, как и на предыдущих графиках, отложены значения δ , по оси ординат – отношения токов к максимальному току при резонансе:

$$\frac{I}{I_0} = \frac{E}{z} : \frac{E}{r} = \frac{r}{z} = \frac{1}{\sqrt{1+Q^2\delta^2\left(\frac{\delta+2}{\delta+1}\right)^2}}. \quad (8)$$

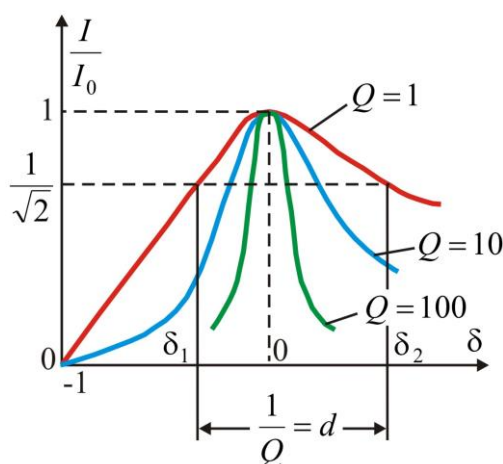


Рис. 3. Резонансные кривые тока в относительных единицах.

Чем выше добротность цепи Q , тем острее резонансные кривые. Таким образом, величина Q характеризует остроту резонансной кривой («остроту настройки»).

Полосу частот вблизи резонанса, на границах которой ток снижается до $1/\sqrt{2} = 0,707$ максимального (резонансного) значения I_0 , принято называть полосой пропускания резонансного контура. При токе $I = I_0/\sqrt{2}$ мощность, расходуемая в сопротивлении r , равна:

$$r\left(\frac{I_0}{\sqrt{2}}\right)^2 = \frac{1}{2}rI_0^2,$$

т.е. составляет половину мощности, расходуемой при резонансе. Поэтому полосу пропускания характеризуют как полосу, границы которой соответствуют половине максимальной мощности. На границах полосы пропускания резонансного контура активное и реактивное сопротивления равны $r = |x|$. Фазовый сдвиг между напряжением на выводах цепи и током составляет 45° ; 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 $\varphi = 45^\circ$.

На основании (8) условие для границы полосы пропускания записывается в следующем виде:

$$\sqrt{1 + Q^2 \delta^2 \left(\frac{\delta + 2}{\delta + 1}\right)^2} = \sqrt{2} \Rightarrow Q\delta \frac{\delta + 2}{\delta + 1} = \mp 1 \Rightarrow \delta_{1,2} = -1 \mp \frac{1}{2Q} + \sqrt{1 + \frac{1}{4Q^2}} \quad (9)$$

(знак минус перед корнем, получающийся в результате решения квадратного уравнения, опускается, как не имеющий смысла). Индексы 1 и 2 и соответственно знаки минус и плюс в выражении (9) относятся к границам ниже и выше резонанса.

По определению полоса пропускания $\Delta\omega$ резонансного контура находится из условия

$$\delta_2 - \delta_1 = \frac{1}{Q} \Rightarrow \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_0} = \frac{1}{Q} = d \Rightarrow \Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 = \frac{\omega_0}{Q}. \quad (10)$$

В условиях, близких к резонансу, напряжения на индуктивности и емкости могут быть весьма велики, что необходимо учитывать во избежание повреждения изоляции.

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

$$\dot{U}_{L0} = -\dot{U}_{C0} = \frac{\dot{U}}{r} j\omega_0 L = j\dot{U}Q. \quad (11)$$

Последняя формула показывает, что добротность рассматриваемой цепи определяется как кратность перенапряжения на L и C при резонансной частоте.

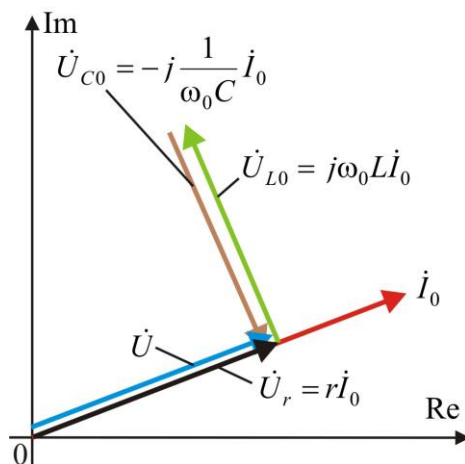


Рис. 4. Векторная диаграмма при резонансе напряжений.

При $Q > 1$ эти напряжения превышают напряжение U , приложенное к резонансному контуру. Однако значения, получаемые на основании (11), не являются максимальными: максимум напряжения U_L располагается несколько выше (правее), а максимум U_C - ниже (левее) резонансной частоты, рис. 5.

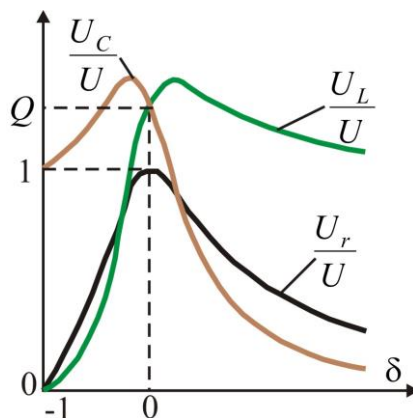


Рис. 5. Частотные зависимости напряжений на индуктивности и емкости в относительных единицах.

1.3. Параллельный колебательный контур. Резонанс токов

Явление резонанса токов будем изучать применительно к электрической цепи с параллельно соединенными r , L и C , рис. 6, так как при этом можно непосредственно воспользоваться результатами, полученными для резонанса напряжений.

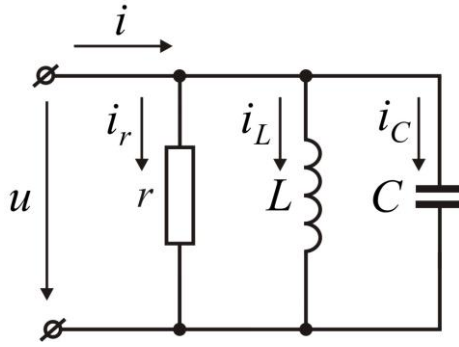


Рис. 6. Параллельный колебательный контур.

Действительно, выражение для комплексной проводимости такой цепи по своей структуре аналогично выражению (1)

$$Y = g - j \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C \right). \quad (12)$$

При резонансе:

$$Y = g, \quad \omega_0 = 1/\sqrt{LC}, \quad f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}.$$

$$b_{C_0} = \omega_0 C = \frac{1}{\sqrt{LC}} C = \sqrt{\frac{C}{L}} = b,$$

$$b_{L_0} = \frac{1}{\omega_0 L} = \frac{\sqrt{LC}}{L} = \sqrt{\frac{C}{L}} = b,$$

где b – характеристическая проводимость контура.

Добротность определяется как отношение реактивной проводимости индуктивности или емкости при резонансе к активной проводимости:

$$Q = \frac{\omega_0 C}{g} = \frac{1}{g \omega_0 L} = \frac{b}{g}.$$

Проводя те же операции, что и для последовательного контура, получим:

$$Y = g \left(1 + jQ\delta \frac{\delta + 2}{\delta + 1} \right).$$

Сравнивая полученный результат с (5), убеждаемся в том, что выражение Y/g для схемы рис. 6 имеет тот же вид, что и выражение Z/r для схемы рис. 1.

Поэтому кривые рис. 2 применимы и в данном случае: кривые рис. 2 а выражают зависимость от δ отношения y/g , а кривые рис. 2 б - зависимость угла $-\varphi$ от δ .

Кривые рис. 2 а показывают, что при резонансе токов полная проводимость цепи минимальна, т. е. входное сопротивление достигает максимума.

При заданном напряжении \dot{U} на выводах цепи ток, идущий от источника в цепь, равен:

$$\dot{I} = Y\dot{U} = g\dot{U}\left(1 + jQ\delta\frac{\delta+2}{\delta+1}\right).$$

Этот ток достигает минимума при резонансной частоте, так как при этом

$$\dot{I}_0 = g\dot{U}.$$

Следовательно, отношение токов I_0 и I определяется из выражения

$$\frac{I_0}{I} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2\delta^2\left(\frac{\delta+2}{\delta+1}\right)^2}},$$

правая часть которого полностью совпадает с (8).

В связи с этим резонансные кривые рис. 3 выражают применительно к схеме рис. 6 зависимость I_0/I от δ .

В случае резонанса токи в индуктивном и емкостном элементах схемы рис. 6 равны и противоположны по знаку:

$$\dot{I}_{C0} = -\dot{I}_{L0} = j\omega C\dot{U} = j\dot{I}_0Q.$$

Полученное выражение показывает, что добротность рассматриваемой цепи определяется как кратность токов в L и C по отношению к суммарному току I_0 . При $Q > 1$ эти токи превышают I_0 .

2. ЗАДАНИЯ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Изучите описание лабораторного стенда (методические указания «Стенд и приборы для исследования электрических цепей»)

2.2. Исследование линейной электрической цепи при параллельном соединении катушки индуктивности L и конденсатора C (резонанс токов)

В лабораторной работе используются следующие мини блоки (таблица 1):

- катушки индуктивности 33 мГн и 100 мГн (номинальный ток 50 мА);
- конденсаторы 0,22 мкФ, 0,47 мкФ и 1,0 мкФ (номинальное напряжение 63 В).

Таблица 1

№ стенда	L_K мГн	C мкФ
1 или 11	33	0,22
2 или 12	33	0,47

3 или 13	33	1,0
4 или 14	100	0,22
5 или 15	100	0,47
6 или 16	100	1,0
7 или 17	33	0,22
8 или 18	33	0,47
9 или 19	100	0,22
10 или 20	100	0,47

2.2.1. Соберите схему на наборном поле

Электрическая схема цепи приведена на рис. 7. Она содержит генератор синусоидального напряжения \dot{U} , катушку индуктивности и конденсатор. Индуктивность катушки L_K и емкость конденсатора C выбираются по номеру стенда. Катушка имеет активное сопротивление R_K , а конденсатор – сопротивление утечки R_C . Эти параметры определяются при проведении эксперимента.

В схему включен виртуальный вольтметр V0, измеряющий выходное напряжение генератора. Виртуальный амперметр A1 включается поочередно в различные ветви схемы, позволяя измерять общий ток I , ток катушки I_K и ток конденсатора I_C .

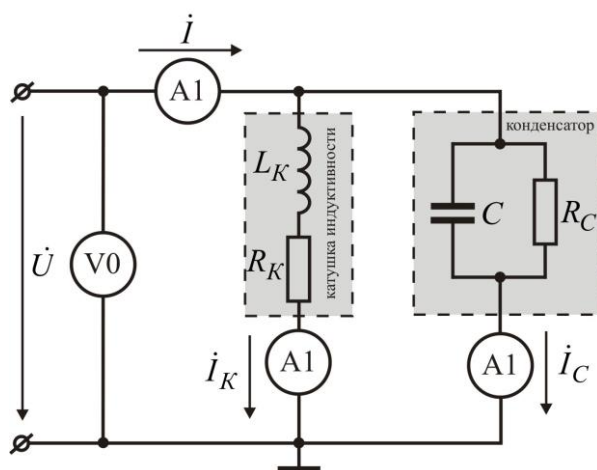


Рис. 7. Электрическая схема.

Для монтажа исследуемой схемы на наборном поле (рис. 8), рекомендуется на первом этапе смонтировать только мини блоки и жесткие перемычки, а затем гибкими перемычками провести остальные соединения.

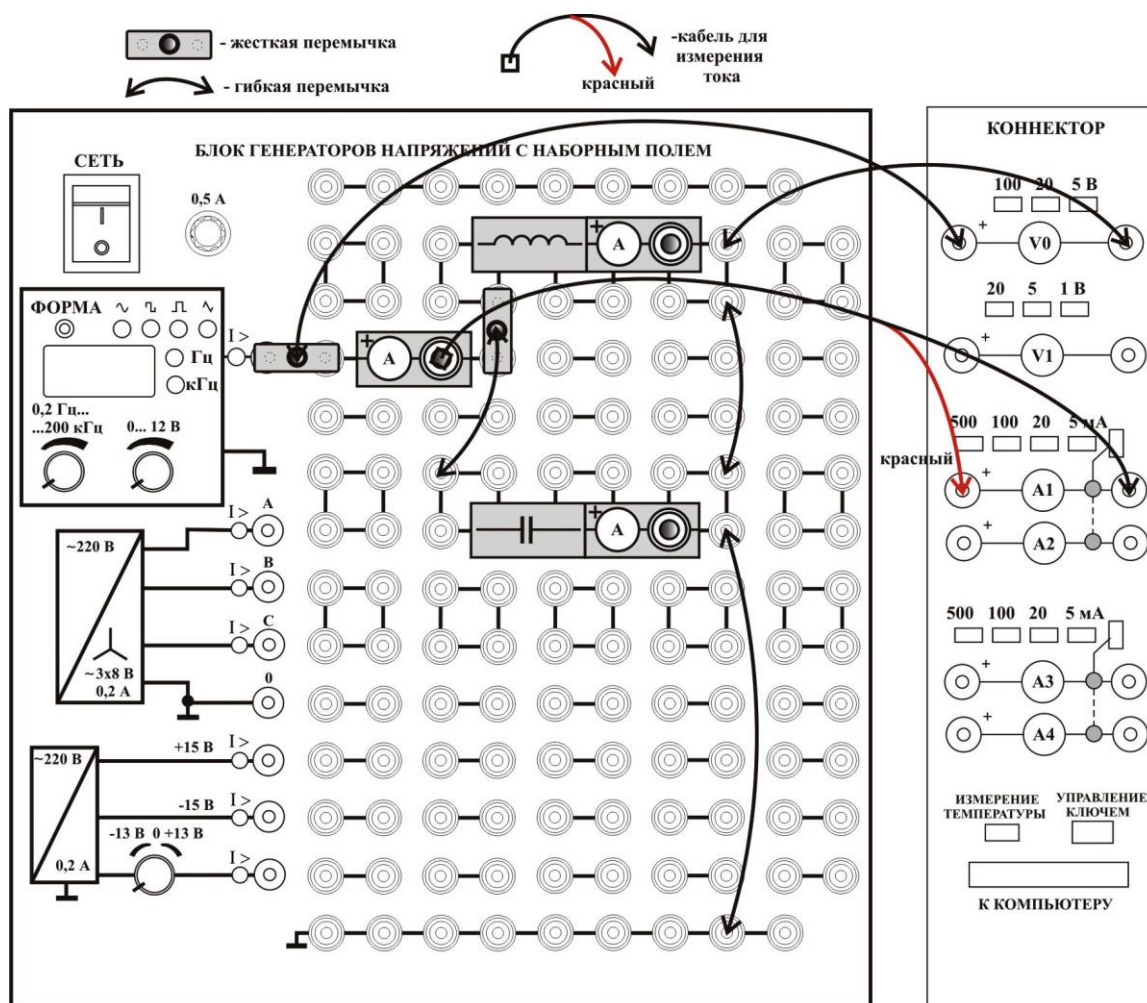


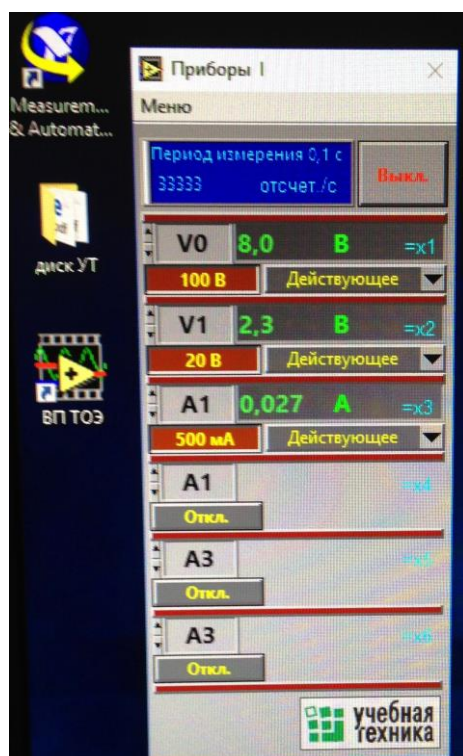
Рис. 8. Монтажная схема.

2.2.2. Активация виртуальных измерительных приборов

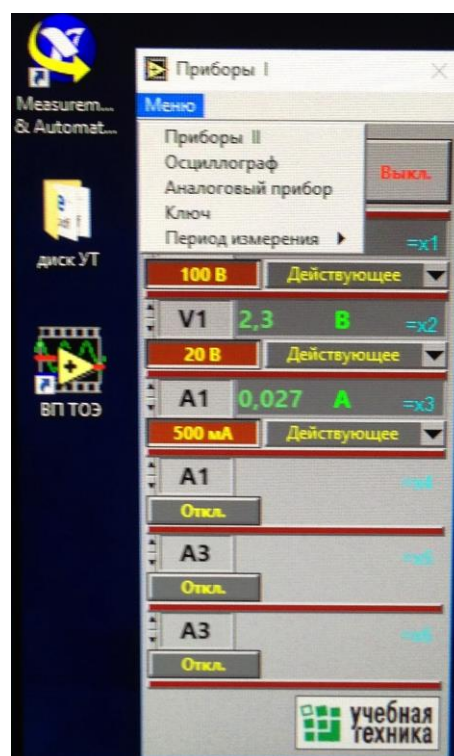
Включите питание стенда и компьютера.

Активируйте левой кнопкой мыши иконку «ВП ТОЭ» на рабочем столе компьютера. В открывшейся вкладке **Приборы I**, рис. 9 а, установите приборы V0 и 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 (рис. 10) вкладку **Активное сопротивление R (Приборы II)** на **Угол сдвига фаз**. Измените номер входа **Аналогового прибора** с 1 на 7. Виртуальные приборы готовы для измерения напряжений, тока и угла сдвига фаз и активной мощности.



а



б

Рис. 9. Активация виртуальных приборов.

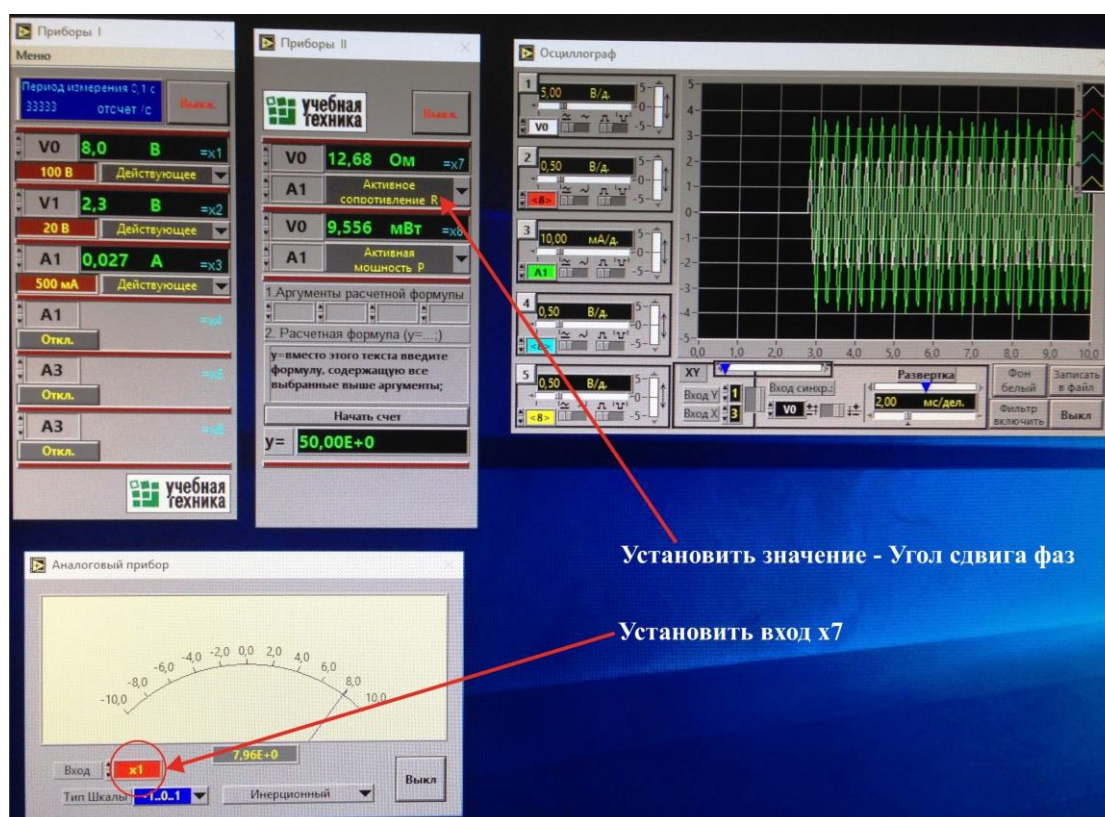


Рис. 10. Набор виртуальных приборов.

2.2.3. Измерение частоты резонанса

Установите по вольтметру V0 напряжение генератора синусоидального сигнала $U = 8 \text{ В}$.

Изменяя частоту генератора, добейтесь резонанса токов. Резонанс достигается на частоте f_0 при минимальном токе I_0 (показания виртуального амперметра A1) и минимальном (близком к нулю) сдвиге фаз φ между входным напряжением и током (контролируется стрелочным виртуальным прибором). Занесите показания в таблицу 2.

Таблица 2

Стенд №...			$U = 8 \text{ В}$			$L_K = \dots\dots$			$C = \dots\dots$		
Измерено									Вычислено		
f_0 , Гц	I_0 , мА	φ , град	I_K , мА	φ_K , град	P_K , мВт	I_C , мА	φ_C , град	P_C , мВт	R_K , Ом	R_C , Ом	$f_{0 \text{ расч}}$, Гц

Перенесите штекер кабеля измерения тока на мини блок амперметра катушки индуктивности. Измерьте по виртуальным приборам ток катушки I_K , сдвиг фаз между током и напряжением катушки φ_K и активную мощность катушки P_K . Занесите показания в таблицу 2.

Перенесите штекер кабеля измерения тока на мини блок амперметра конденсатора. Измерьте по виртуальным приборам ток конденсатора I_C , сдвиг фаз между током и напряжением конденсатора φ_C и активную мощность конденсатора P_C . Занесите показания в таблицу 2.

По результатам эксперимента вычислите активное сопротивление катушки

$$R_K = \frac{P_K}{I_K^2}; (P_K \text{ в ваттах}). \text{ Активное сопротивление утечки конденсатора } R_C = \frac{U^2}{P_C}; (P_C \text{ в ваттах}).$$

$$\text{Резонансную частоту } f_{0\text{расч}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_K C} - \frac{R_K^2}{L_K^2}}; (L_K \text{ в генри, } C - \text{ в фарадах}).$$

Объясните, почему для расчетов используются именно такие формулы.

Сравните расчетные данные с экспериментальными.

Постройте векторную диаграмму токов. На диаграмме с соблюдением масштаба отобразить взаимное расположение вектора входного напряжения \dot{U} и векторов токов $\dot{I}_0, \dot{I}_K, \dot{I}_C$. При построении используйте заготовку, рис. 11.

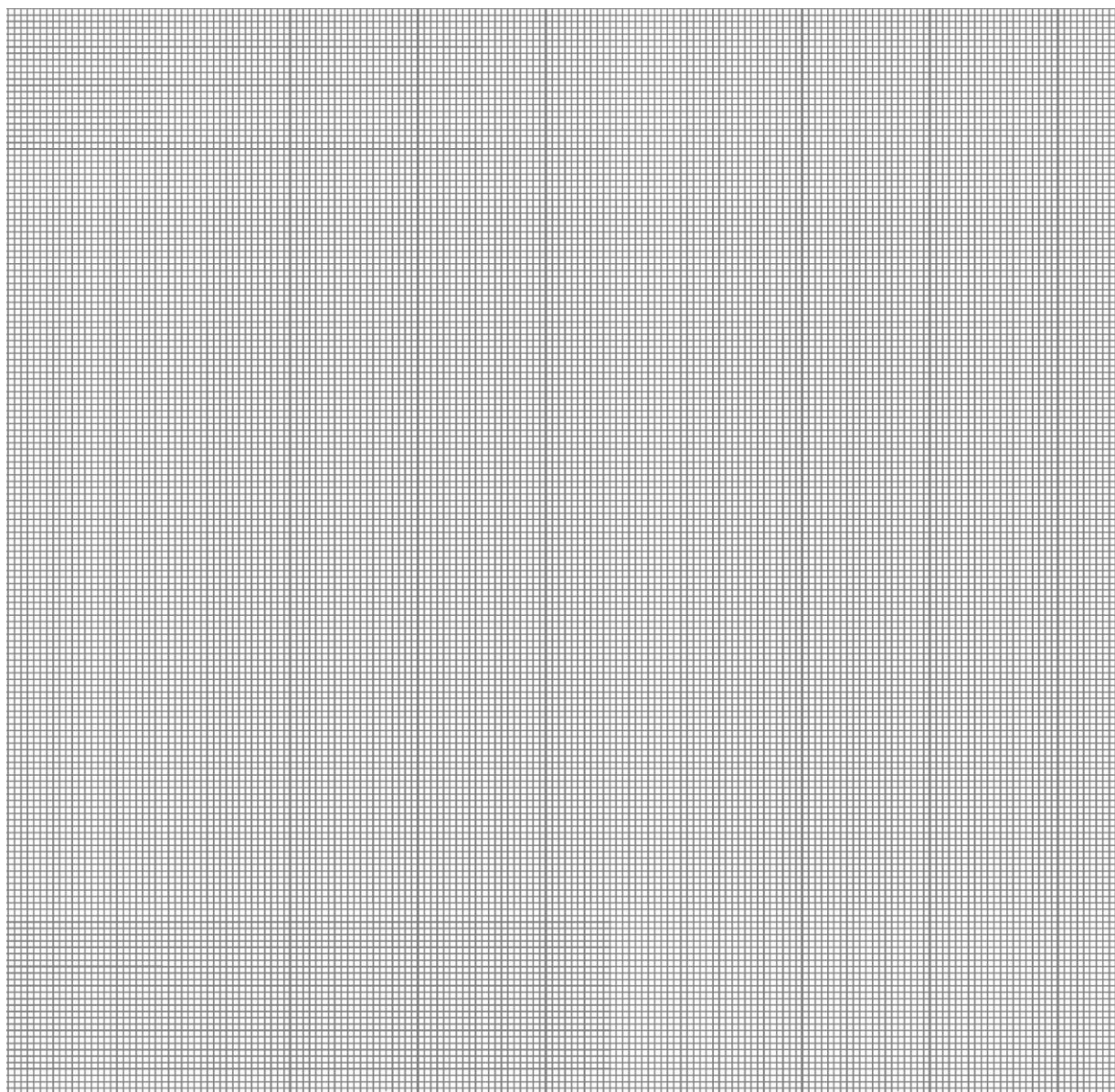


Рис. 11. Заготовка для построения векторной диаграммы токов при резонансе.

2.2.4. Частотные характеристики параллельного резонансного контура

2.2.4.1. Изменяя частоту в меньшую сторону, добейтесь увеличения тока до уровня $I_0\sqrt{2}$. Запишите полученную частоту f_1 и ток в столбец f_1 таблицы 3.

2.2.4.2. Изменяя частоту в большую от f_0 сторону, добейтесь увеличения тока до уровня $I_0\sqrt{2}$. Запишите полученную частоту f_2 и ток в столбец f_2 таблицы 3.

2.2.4.3. Вычислите шаг Δ_1 изменения частоты для частот меньших резонансной частоты f_0 , и шаг Δ_2 для частот больших резонансной частоты. Занесите вычисленные значения в первую строку таблицы 3.

2.2.4.4. Проведите необходимые измерения для остальных рекомендуемых частот.

2.2.4.5. Вычислите для всех частот отношение текущего тока к резонансному $\frac{I}{I_0}$ и занесите полученные значения в таблицу 3.

2.2.4.6. Вычислите ширину полосы пропускания $\Delta f = f_2 - f_1$ и занесите результат в таблицу 3.

2.2.4.7. Постройте график $\frac{I}{I_0}$ в функции частоты. Заготовка графика на рис. 12.

Примечание. При необходимости измените разметку оси частот.

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

Таблица 3.

$\Delta_1 = (f_0 - f_1)/3 = \quad \Gamma_{\text{ц}} \quad \Delta_2 = (f_2 - f_0)/3 = \quad \Gamma_{\text{ц}} \quad \Delta f = f_2 - f_1 = \quad \Gamma_{\text{ц}}$											
$f, \Gamma_{\text{ц}}$	$f_1 - 2\Delta_1$	$f_1 - \Delta_1$	f_1	$f_0 - 2\Delta_1$	$f_0 - \Delta_1$	f_0	$f_0 + \Delta_2$	$f_0 + 2\Delta_2$	f_2	$f_2 + \Delta_2$	$f_2 + 2\Delta_2$
I, A			$I_0\sqrt{2} =$			$I_0 =$			$I_0\sqrt{2} =$		
$\frac{I}{I_0}$						1					

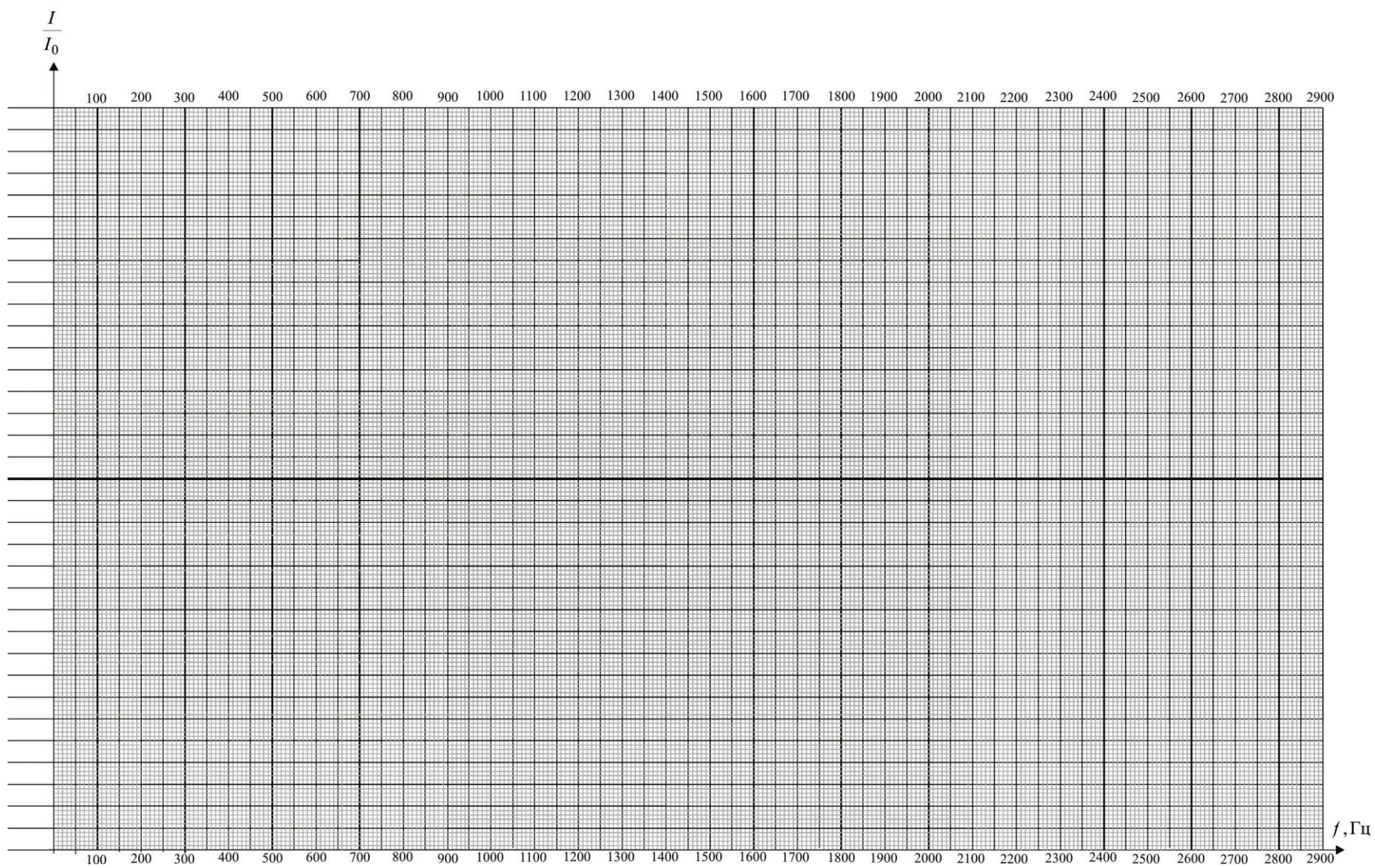


Рис. 12. Заготовка для построения частотной характеристики параллельного резонансного контура.

ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Форма отчета или 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 параллельной L - C цепи изменение емкости конденсатора приводит к изменению значения тока I , коэффициента мощности $\cos \varphi$, активной P и полной S мощностей?
2. Как добиться резонанса при параллельном соединении L - C элементов, и по каким признакам убедиться, что в цепи наступил резонанс?
3. В параллельной L - C цепи установлен режим резонанса токов. Сохранится ли резонанс, если:
 - а) параллельно конденсатору подключить активное сопротивление;
 - б) последовательно с катушкой подключить дополнительное активное сопротивление;
 - в) последовательно с конденсатором включить активное сопротивление?
4. В параллельной L - C установлен режим резонанса токов. Как изменится активная мощность, если параллельно зажимам источника подключить активное сопротивление, конденсатор?
5. Как примерно изменятся графики, рис. 12, если уменьшить сопротивление R_K ?
6. Объясните, как качественно изменится векторная диаграмма токов, построенная при резонансе увеличить частоту питающего напряжения?
7. Объясните, как качественно изменится векторная диаграмма токов, построенная при резонансе, если увеличить емкость C ?
8. Что такое добротность резонансного контура? Объясните, как найти добротность по экспериментальным данным и по графикам.
9. Объясните, почему при резонансе токов, ток принимает минимальное значение?

ЛИТЕРАТУРА

Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники: учебник для вузов. В трех частях. Часть первая. М.: Издательство «Энергия», 1970. 592 с.

Борисов Ю.М., Липатов Д.Н., Зорин Ю.Н. Электротехника. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 551 с.

Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника центр «Академия», 2010. 544 с.