

**Поволжский Государственный университет
телекоммуникаций и информатики**

Кафедра ТОРС

**Методическое пособие
Лабораторный практикум
по 1-й части курса Основы Теории Цепей**

**Составители:
к.т.н., доц. Михайлов В.И.**

Самара, 2008

РАБОТА 1-1

Методические указания ПО ИЗУЧЕНИЮ УНИВЕРСАЛЬНОГО СТЕНДА ЛКТЦ

1. ЦЕЛЬ УКАЗАНИЙ

Изучить структурную схему универсального лабораторного стенда ЛКТЦ, его элементную базу, измерительные приборы и правила работы с ними.

Предназначена для самостоятельного изучения студентами

2. УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

1. Изучить по приведенному описанию универсального стенда ЛКТЦ его устройство, состав и назначение отдельных блоков, органы их управления, измерительные приборы, схемы их включения и правила работы с ними.

2. Приобрести практические навыки работы на изученном оборудовании, выполнив задание, приведенное после описания стенда ЛКТЦ.

3 СТРУКТУРА СТЕНДА ЛКТЦ, ЕГО БЛОКИ, НАЗНАЧЕНИЕ И ОРГАНЫ УПРАВЛЕНИЯ

Стенд ЛКТЦ, общий вид которого показан на рис. 1. 1, состоит из генератора сигналов различной формы, двухлучевого осциллографа с автоматической синхронизацией, анализатора спектра сигналов, фазометра, трех высокочастотных вольтметров, устройства для умножения частоты, источников напряжения и тока. Стенд также содержит многочисленные пассивные и активные, как линейные, так и нелинейные элементы, из которых собираются цепи, подлежащие исследованию.

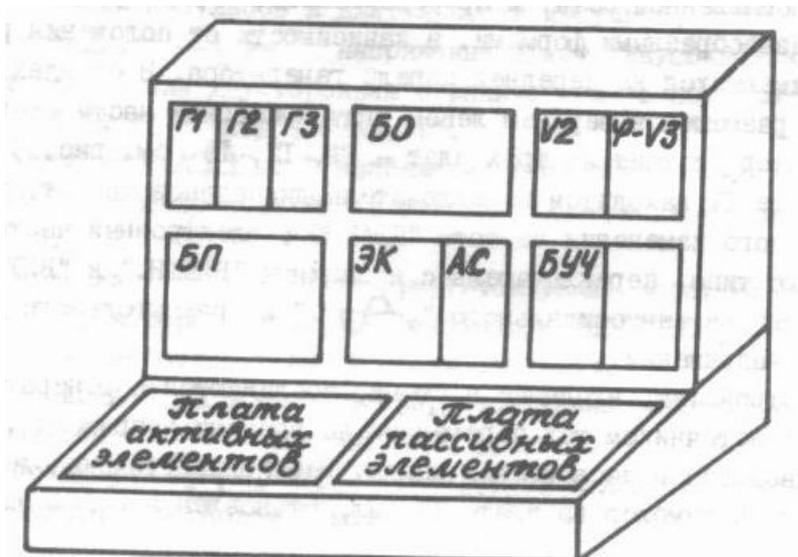


Рис. 1.1 Общий вид стенда ЛКТС

3.1 БЛОК ПИТАНИЯ

Блок питания (БП), расположенный в левом нижнем углу приборной части стенда, предназначен для обеспечения работоспособности всех остальных блоков. Входящих в состав стенда. Справа на панели БП расположен тумблер “СЕТЬ”, при установке которого в положение “Вкл.” Слева на панели загораются пять индикаторов, указывающие на то, что все необходимые для работы блоков стенда напряжения имеются. Кроме этого, на панели расположены тумблер “ГЕНЕРАТОР”, “КОММУТАТОР-ОСЦИЛЛОГРАФ”, “V2”, “φ - V3”, “АНАЛИЗАТОР СПЕКТРА”, “УМНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ”. При установке каждого из них в верхнее положение соответствующий блок стенда приводится в рабочее состояние, о чем свидетельствует светящийся индикатор на панели данного блока. При включении тумблера “ПЛАТА ЭЛЕМЕНТОВ” обеспечивается подача необходимых напряжений на плату активных элементов, расположенную слева на наклонной части стенда.

Для выполнения работы первым включается тумблер “СЕТЬ”, а затем тумблеры, относящиеся к тем блокам, которые необходимо использовать в работе. Выключение стенда производится в обратном порядке.

3.2 БЛОК ГЕНЕРАТОРА

Электронные устройства, вырабатывающие переменные напряжения с

мгновенными значениями, изменяющимися по различным законам, называются генераторами, Генераторы потребляют энергию, поступающую от промышленной сети, и преобразовывают эту энергию в напряжения с разнообразными формами, в зависимости от положения регуляторов, имеющихся на передней панели генератора. В стендах ЛКТС генератор размещен в верхнем левом углу приборной части стенда.



Генератор состоит из трех плат - Г1,Г2, Г3 (см. рис. 1.1).

На плате Г1 находится переключатель диапазонов частот, регулятор плавного изменения частоты “ПЛАВНО”, электронный частотомер стрелочного типа, переключатель с позициями “ВНЕШН.” и “ВНУТР.”, выходные гнезда синусоидального “” и прямоугольного “” напряжений.

Все устройства, входящие в стенд, соединяются с генератором, являющимся источником тех переменных во времени напряжений, которые подводятся к исследуемым цепям. Необходимо только следить за тем, чтобы тумблер на плате Г1 был установлен в положение “ВНУТР.”.

На плате Г2 размещены переключатель формы сигналов и три регулятора, изменяющие параметры сигналов, называемые: “ПОДСТРОЙКА 1”, “ПОДСТРОЙКА 11” и “ПОДСТРОЙКА 111”. Переключатель формы сигналов имеет 11 позиций. В позиции « f-var» генерируются напряжения синусоидальной формы с переменной частотой от 200Гц до 200кГц, в зависимости от положений переключателя диапазонов и плавного регулятора частоты, размещенных на плате Г1: первый диапазон 0,2-2 кГц (периоды 5- 0,5 мс); второй диапазон 2 - 20 кГц (500 - 50 мкс) и третий диапазон 20 - 200 кГц (50 - 5 мкс). В позиции « f-var» генерируются напряжения прямоугольной

формы с теми же длительностями, что и у синусоидальных сигналов.

В следующих семи позициях генерируются сигналы с различными формами, но одинаковыми частотами следования, равными 2 кГц, т.е. с периодами, равными 500 мкс. В некоторых позициях переключателя около регуляторов “ПОДСТРОЙКА” загораются световые индикаторы. Это означает, что при повороте регулятора “ПОДСТРОЙКА”, около которого загорается индикатор, форма сигнала в определенных пределах будет изменяться.

В позиции “” генерируется напряжение синусоидальной формы с постоянной частотой 2 кГц.

В позиции “” сигнал имеет треугольную форму, При этом поворотом регулятора “ПОДСТРОЙКА 11” изменяются наклоны фронтов и напряжение может превратиться в пилообразное.

В позиции “” напряжение имеет прямоугольную форму. При повороте регулятора “ПОДСТРОЙКА 11” по часовой стрелке меняется скважность сигнала от 2 до 20. Скважность - это отношение периода следования импульсов к длительности импульса.

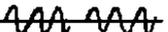
В позиции “” напряжение имеет синусоидальную форму с односторонним или двусторонним ограничением с помощью регуляторов “ПОДСТРОЙКА 1” и “ПОДСТРОЙКА 11”.

В позиции “” напряжение с помощью регулятора “ПОДСТРОЙКА 11” плавно изменяется от однополупериодного до двухполупериодного.

В позиции “” генерируются узкие короткие двусторонние импульсы, у которых с помощью регулятора “ПОДСТРОЙКА 11” можно менять положение отрицательной части импульса.

В позиции “” генерируются узкие короткие односторонние импульсы с изменением крутизны фронтов.

В позиции “” генерируются двусторонние прямоугольные импульсы с периодом 5 мс.

В позиции “” генерируются радиоимпульсы длительностью 5 мс с высокочастотным заполнением 2 - 20 кГц.

На плате ГЗ размещены регулятор выходного напряжения и вольтметр V1, подключенный к выходным зажимам генератора. Пределы измерений вольтметра устанавливаются с помощью тумблера, имеющего два положения - “1 В” и “10 В”. Вольтметр дает показания действующих значений только для гармонически изменяющихся напряжений.



3.3 ОСЦИЛЛОГРАФ

Прибор, с помощью которого можно визуально наблюдать мгновенные значения в зависимости от времени, т.е. видеть форму переменных напряжений, называется осциллографом. Индикатором в осциллографе является электронно-лучевая трубка. Если ко входу осциллографа подвести переменное напряжение, то на экране будет видна кривая мгновенных значений этого напряжения в функции времени, т.е. форма исследуемого сигнала.

Осциллограф находится в средней части универсального стенда и состоит из двух блоков: блока осциллографа (БО), на котором смонтирована электронно-лучевая трубка, и электронного коммутатора (ЭК), на котором смонтированы все регуляторы, управляющие работой осциллографа. На рисунке 1.2 для наглядного примера показаны графики импульсного и гармонического (синусоидального) сигналов.

Напомним несколько электротехнических понятий. Все сигналы делятся на периодические и непериодические. Периодическими называются сигналы, мгновенные значения которых повторяются через определенное время, называемое периодом T . У непериодических сигналов подобное повторение отсутствует

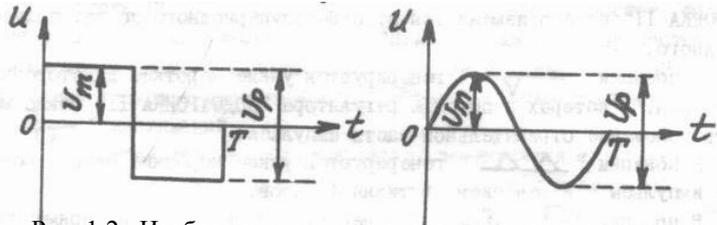


Рис. 1.2. Изображения импульсного и гармонического сигналов

. Значение между наибольшим и наименьшим мгновенными

значениями называется размахом напряжения U . Если кривые симметричны относительно горизонтальной оси, то половина размаха напряжения называется максимальным значением U_m (см. рис. 1.2).

Размер изображения на экране осциллографа по вертикали пропорционален напряжению измеряемого сигнала, а по горизонтали - времени, поэтому кривая на экране осциллографа дает возможность судить о форме исследуемого напряжения, его периоде, значениях напряжения в различные моменты времени, а также о его размахе.

Блок осциллографа (БО) расположен в верхней средней части стенда (см. рис. 1.1). На передней панели блока находится собственно электронно-лучевая трубка. Справа от нее расположены регулятор "ФОКУС", с помощью которого достигается наибольшая резкость изображения; регуляторы с изобра-

жениями "  - " и " \leftrightarrow ", позволяющие перемещать изображение на экране вверх-вниз и вправо-влево.

Под БО расположен электронный коммутатор. На передней панели блока электронного коммутатора находятся регуляторы, с помощью которых производят установку изображений на экране осциллографа. Все устройства, а также регуляторы, изменяющие в осциллографе размер изображения по вертикали, принято называть каналом Y (регуляторами Y), а по горизонтали соответственно - каналом X (регуляторами X). Размер изображения по вертикали на осциллографе можно изменять скачкообразно с помощью тумблера с позициями "1:10", "1:1" и плавно с помощью регулятора "УСИЛ". В положении "1:1" измеряемое напряжение подводится к усилителю вертикального канала без ослабления, а в позиции "1:10" - уменьшается в 10 раз. Плавно размер изображения изменяют переменным резистором, причем при повороте регулятора по часовой стрелке размер изображения увеличивается, а против часовой стрелки - уменьшается. Начинать измерения, как правило, следует при положении тумблера "1:10" и плавного регулятора, повернутого по часовой стрелке на угол, близкий к максимальному.

Для изменения размера изображения по горизонтали имеется только плавный регулятор "УСИЛ." Если повернуть этот регулятор до отказа против часовой стрелки, то усиление по горизонтали оказывается равным 0, на экране при этом получается горизонтальная линия, длина которой пропорциональна размаху напряжения, приложенного к входным зажимам "Y" осциллографа. По мере поворота регулятора "УСИЛ." по часовой стрелке усиление в горизонтальном канале осциллографа возрастает и размер изображения по горизонтали увеличивается. Регулятор "УСИЛ." следует устанавливать в такие положения, при которых изображения находятся в пределах сетки на экране.

В горизонтальном канале имеется еще один плавный регулятор "РАЗВЕРТКА". При повороте этого регулятора горизонтальный размер светящейся части экрана остается неизменным, поскольку этот размер

определяется положением регулятора “УСИЛ”, но изменяется число периодов кривой, укладываемых на светящейся части трубки. Как правило, наблюдать изображения удобнее всего, если на экране укладывается 1,5 - 2 периода измеряемого напряжения, хотя в некоторых случаях изображение придется растягивать или, наоборот, сжимать.

Чтобы определить количественно значения напряжений по вертикали и времени по горизонтали, на экран трубки одевают специальную сетку, разделенную на клетки. Размах напряжения, подведенного к входу осциллографа, определяют как произведение цены деления клетки, получающейся при данном положении регуляторов усиления, на число клеток, занимаемых изображением по вертикали.

Аналогично определяют время, занимаемое изображением по горизонтали. Следовательно, чтобы измерить напряжения с помощью осциллографа не только качественно, но и количественно, необходимо определить цену деления клетки по вертикали и по горизонтали при данном положении соответствующих регуляторов. Для этого в нижней части блока ЭК имеются две кнопки, обозначенные “ТАРИР.” от слова “Тарировка”, т.е. определение цены деления. При нажатии каждой кнопки изображение, имеющееся на экране, исчезает, вместо него появляется калибровочный импульс прямоугольной формы, и вольтметр V1, находящийся на плате Г 3 генератора стенда, показывает напряжение, равное размаху калибровочного сигнала.

Между кнопками “ТАРИР.” имеется регулятор “ТАРИР.НАПР.”, с помощью которого можно изменять напряжение тарировочного сигнала. Зная показание вольтметра V1 и число клеток, занимаемых калибровочным прямоугольным импульсом, определяют цену деления клетки. По цене деления клетки и числу клеток, занимаемых изображением, определяют размах измеряемого напряжения. Необходимо только помнить, что после того, как цена деления клетки определена, не следует изменять положение регуляторов усиления вертикального канала.

У осциллографов, установленных в стендах ЛКТЦ, имеется два вертикальных канала \square гнезда “Вх.1” и “Вх.2”, поэтому на экране светятся одновременно два луча, ими можно измерять одновременно два напряжения, например, на входе и выходе цепи.

В верхней части блока ЭК имеется переключатель каналов с тремя положениями: среднее, “1” и “2”. В среднем положении включены оба канала одновременно, и при отсутствии входных напряжений на экране светятся две горизонтальные линии. В положении “1” включен только первый канал, светится горизонтальная линия первого канала. В положении “2” включен только второй канал, светится горизонтальная линия второго канала. Чтобы наблюдать форму измеряемого напряжения на втором канале, необходимо корпусной вывод генератора соединить с корпусным зажимом осциллографа, а потенциальный зажим генератора - с гнездом “Вх.2” канала осциллографа.

При этом, если переключатель каналов установить в среднее положение, то горизонтальная ось первого канала будет светиться, но никакого изображения на ней не будет. На втором канале будет кривая той формы напряжения, которое подведено к входу второго канала. Все регулировки по вертикали следует производить регуляторами второго канала.

Если переключатель каналов перевести в положение “2”, то горизонтальная ось канала исчезнет, а изображение второго канала остается. Если переключатель перевести в положение “1”, то снова появится горизонтальная ось первого канала, но исчезнет изображение, имеющееся на втором канале.

При работе на первом канале имеются две возможности: если тумблер первого канала установлен в позицию “ВНЕШН.”, то на вход “У” первого канала осциллографа будет подаваться напряжение, подведенное между гнездом “Вх.1” и корпусом. В этом случае все происходит аналогично тому, как было разобрано при описании работы второго канала. Но если тумблер первого канала перевести в позицию “ВНУТР.”, то вход усилителя первого канала отключается от гнезда “Вх.1” и подключается к выходу генератора, установленного в данном стенде. Никаких внешних соединений делать при этом не требуется. Таким образом, если переключатель каналов установлен в среднее положение (или “1”), то при позиции “ВНУТР.” на экране будет кривая напряжения, вырабатываемого генератором, а при позиции “ВНЕШН.” - напряжение, подведенное между гнездом “Вх.1” и корпусом.

С помощью регулятора “РАСХОЖДЕНИЕ”, находящегося в средней части блока ЭК, можно изменять расстояние между горизонтальными осями (или изображениями) каналов.

Для определения принадлежности оси к определенному каналу во входное гнездо второго канала “Вх.2” включают проводник, до свободного конца которого дотрагиваются пальцами. Вокруг горизонтальной оси второго канала при этом появляются хаотические кривые. Если проводник подключить в гнездо “Вх.1”, а тумблер первого канала установить в позицию “ВНЕШН.”, то таким же приемом можно убедиться в принадлежности оси к первому каналу. Если тумблер перевести в положение “ВНУТР.”, то при включенном генераторе на первом канале появятся кривые напряжения, снимаемого с генератора.

В осциллографах, используемых в стендах ЛКТС, синхронизация производится автоматически, поэтому регуляторы “СИНХРОНИЗАЦИЯ” (делающие изображения неподвижными) отсутствуют.

Покажем, каким образом производят калибровку по горизонтали, т.е. определяют время, за которое луч перемещается на экране слева направо на одну клетку. Чтобы определить цену деления клетки по горизонтали, необходимо включить генератор, переключатель вида сигналов на плате Г2 установить в позицию “ ” 2 кГц”, переключатель каналов на осциллографе установить в среднее (или левое) положение, тумблер первого канала - в

положение “ВНУТР.” При этом на одной оси появится изображение синусоидальной кривой с периодом $T = 1/f$. Зная число клеток по горизонтали, занимаемых периодом, можно определить цену деления клеток по горизонтали. Регулятор “РАЗВЕРТКА” удобно установить в такое положение, при котором период изображения на экране осциллографа занимает целое число клеток.

В горизонтальном канале под гнездом “Вход X” находится тумблер с позициями “ВНЕШН.” и “ВНУТР.”. Если данный тумблер установить в позицию “ВНУТР.”, то на экране будут изображения в функции времени, т.е. кривые мгновенных значений исследуемого напряжения. Если необходимо, чтобы изображения были в функции какой-либо иной величины, то тумблер “Вход X” необходимо перевести в позицию “ВНЕШН.”, а к гнезду “Вход X” подвести напряжение, изменяющееся по тому закону, в функции которого необходимо получить изображение на экране.

3.4. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ СТЕНДА

Помимо частотомера стрелочного типа и вольтметра V1, находящихся, соответственно, на платах Г1 и Г3, на стенде также имеются вольтметр V 2 и комбинированный прибор, фазометр и вольтметр - “φ - V3”, расположенные в правом верхнем углу приборной (вертикальной) части стенда.

Вольтметр V 2 измеряет действующее значение гармонического напряжения. При сигналах другой формы вольтметр показывает не действующее значение, а некоторые условные деления. Особенностью вольтметра V2 является автоматическое переключение пределов измерения. Для подключения измеряемого напряжения на панели под вольтметром расположены гнезда “ВХОД”. Если измеряемое напряжение имеет действующее значение не более 0,1 В, то на передней панели светится индикатор с надписью “100 мВ”. При напряжениях от 0,1В до 1 В прибор автоматически переключается на одновольтный предел, от 1 до 10 В - на десятивольтный, от 10 до 100 В – на стовольтовый предел. О том, какой предел в данный момент времени используется, свидетельствует светящийся индикатор. На передней панели также расположена кнопка “ЧУВСТВ.”, при нажатии на которую угол отклонения стрелки возрастает в 2 раза и при этом цена деления уменьшается в 2 раза.

Рядом с панелью вольтметра V2 расположен комбинированный прибор - фазометр и вольтметр "φ - V3". Выбор режима работы прибора осуществляется тумблером с положениями “φ” и “V3”. Как вольтметр, он измеряет действующее значение гармонического напряжения и имеет два предела измерений, которые устанавливаются соответствующим тумблером с положениями “10 В” и “1 В”. Гнезда для подключения измеряемого напряжения расположены рядом с тумблером пределов измерения.

При установке тумблера вида работы в положение “φ” прибор работает

как фазометр. У фазометра имеются две пары входных зажимов: к одной паре подводится напряжение, называемое “опорным”, фазу которого принимают за начальную, а к другой паре зажимов напряжение, называемое “измеряемое”, т.е. напряжение, фазу которого надо измерить. Корпусные точки фазометра внутри стенда соединены с корпусными точками генератора и остальных приборов. Фазометр измеряет сдвиг по фазе между исследуемым напряжением и входным напряжением, являющимся опорным. На передней панели расположены также индикаторы с надписями “L” и “С”. Если светится индикатор около обозначения “L”, то измеряемое напряжение отстает по фазе от опорного, а если светится индикатор около обозначения “С” - то опережает. К зажимам фазометра можно подводить напряжение от 0,1 до 10 В.

3.5. АНАЛИЗАТОР СПЕКТРА

Блок анализатора спектра (АС) находится правее блока ЭК. На передней панели расположены входные гнезда и тумблер с положениями “ВНУТР.” И “ВНЕШН.”. С помощью блока можно наблюдать на экране осциллографа дискретные линейные спектры периодических сигналов, содержащие до пяти гармоник ($f=2000$ Гц - частота первой гармоники). Длина каждой спектральной линии пропорциональна амплитуде соответствующей гармоники.

У блока АС есть два режима работы. В первом можно наблюдать спектры сигналов, имеющих на входе генератора (гнезда “ВЫХОД” на плате ГЗ). Для наблюдения этих спектров производить какие - либо внешние соединения не требуется, необходимо только на блоке питания включить тумблер “АНАЛИЗАТОР СПЕКТРА”, а тумблер на блоке АС установить в положение “ВНУТР.”. При этом внутри стенда выход генератора подключается ко входу анализатора спектра, а выход анализатора - к осциллографу, причем на первый канал выводится временной сигнал, а на второй - спектральный. Входные гнезда первого и второго каналов, а также регулятор “РАЗВЕРТКА” на блоке ЭК при этом автоматически отключаются. Второй режим работы блока АС используется для наблюдения спектров сигналов, вырабатываемых в блоке умножителя частоты (БУЧ).

3.6. УМНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ

Блок умножителя частоты (БУЧ) позволяет формировать гармонические сигналы с кратными частотами и осуществлять их сложение.

Блок УЧ разделен на четыре отсека. К верхнему, с надписью “f”, подводится гармоническое напряжение с частотой 2 кГц, вырабатываемое генератором стенда. На панели находится тумблер с положениями “ВКЛ.” И “ВЫКЛ.”, позволяющий подключить этот сигнал ко входу сумматора. Левее тумблера находится гнездо “ВЫХ.”. Напряжение в этом гнезде не зависит от положения тумблера и может изменяться в некоторых пределах с помощью регулятора “Vm”, находящегося выше гнезда. Начальная фаза напряжения

первой гармоники не регулируется и остается постоянной.

Ниже отсека “ f ” находится отсек “ $2f$ ”, в котором вырабатывается напряжение с удвоенной частотой, Его размах можно изменять с помощью регулятора “ V_m ”, а начальную фазу - с помощью регулятора “ φ ”, Как и в первом отсеке, напряжение на гнезде “ВЫХ.” не зависит от положения тумблера, также позволяющего подключить сигнал с частотой $2f$ ко входу сумматора.

Третий отсек - это отсек третьей гармоники. Его устройство и органы управления аналогичны отсеку второй гармоники.

На панели четвертого, нижнего отсека, расположено гнездо “ВЫХОД”, подключенное к выходу сумматора. Размах суммарного напряжения можно изменять с помощью регулятора “ V_m ”. Кроме того, на передней панели находится гнездо “СИГНАЛЫ” и тумблер с положениями “ВКЛ.” И “ВЫКЛ.”. К гнезду “СИГНАЛЫ” подведено напряжение, снимаемое с выхода платы Г3. Таким образом, форма сигнала в гнезде “СИГНАЛЫ” определяется положением переключателя на плате Г2, а его размах - положением регулятора на блоке Г3, с помощью тумблера напряжение с гнезда “СИГНАЛЫ” подключается к входу сумматора.

Таким образом, если тумблер в нижнем отсеке находится в положении “ВЫКЛ.”, то на вход сумматора могут поданы сигналы с частотами f_1 , $2f_1$ и $3f_1$, а в положении тумблера “ВКЛ.” к этим сигналам добавляется сигнал, форма которого определяется положением переключателя на плате Г2.

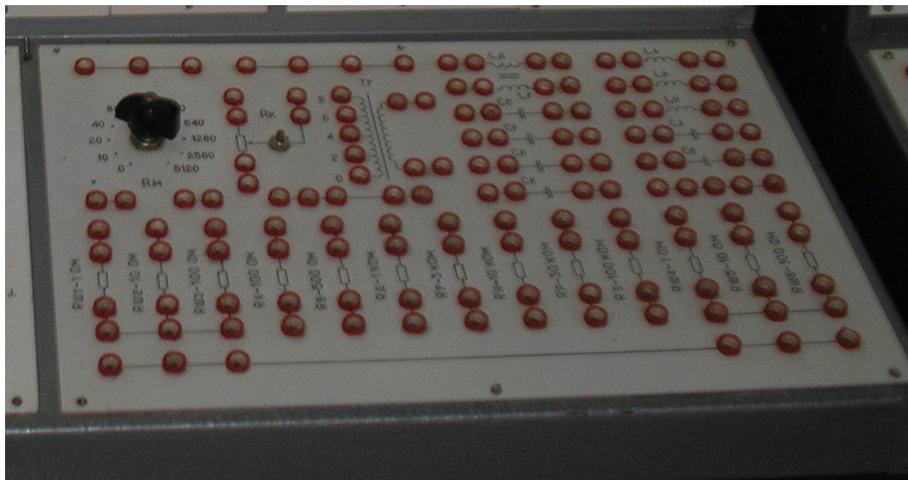
Для наблюдения спектров сигналов, вырабатываемых в блоке умножения частоты, необходимо гнездо “ВЫХОД” соединить проводником с входным гнездом блока анализатора спектра, тумблер на панели АС перевести в положение “ВНЕШН.” и включить на блоке питания тумблер “АНАЛИЗАТОР СПЕКТРА”.

3.7. ПЛАТА АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Плата активных элементов расположена слева на наклонной части стенда. В ее состав входят такие активные приборы, как транзисторы, операционные усилители, на основе которых собран ряд устройств для их исследования. Так в верхней части платы расположены три нелинейных элемента - НЭ 1, НЭ 2 и НЭ 3, а также устройства, моделирующие работу идеального источника напряжения (Е1 и Е2) и идеального источника тока (ИК), который, в зависимости от положения тумблера, может быть независимым или зависимым. В средней части платы находятся пять окошечек, в которых видны платы с собранными на них устройствами, а под окошечками - соответствующие подписи : “Обратная связь”, “Гиратор”, “Сумматор”, “Электронный контур”, “Полосовой фильтр”. Здесь же выведены необходимые органы управления и гнезда для подключения измерительных приборов для проведения исследований этих устройств. В нижней части платы собран макет, моделирующий цепь с распределенными параметрами.

Назначение упомянутых выше элементов и устройств, работа с ними будут описаны в методических разработках к соответствующим лабораторным работам.

3.8. ПЛАТА ПАССИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ



Плата пассивных элементов находится справа на наклонной части стенда, на ней размещены наборы резисторов, катушек индуктивности и конденсаторов, необходимые для сборки исследуемых цепей. Индуктивности L_D и L_F , между которыми есть индуктивная связь, позволяют исследовать цепи с взаимной индуктивностью. Кроме того, на плате имеется трансформатор, магазин сопротивлений R_m на 11 положений и переменное сопротивление R_k .

Сборка исследуемых электрических цепей осуществляется соединением гнезд соответствующих элементов посредством проводников со штекерами.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Изучить описание стенда ЛКТЦ.
2. Пройти инструктаж по технике безопасности и расписаться в специальном журнале.
3. Уяснить назначение каждого регулятора в генераторе (блоки Г1, Г2, Г3) и осциллографе (блоки БО и ЭК), не включая тумблер сетевого питания.

4. Установить все тумблеры на блоке питания в нижней левой части стенда в нижние положения “ВЫКЛЮЧЕНО”.

5. Тумблер “СЕТЬ” перевести в верхнее положение “ВКЛ.”. При этом загораются 5 световых индикаторов, что свидетельствует о нормальной работе макета.

6. На блоке питания включить тумблеры “ГЕНЕРАТОР”, при этом загораются световые индикаторы около этого тумблера на панелях Г1, Г2, Г3; “КОММУТАТОР - ОСЦИЛЛОГРАФ” - при этом загораются световые индикаторы около этого тумблера на блоке ЭК.

7. На блоке Г1 тумблер режима работы генератора установить в положение “ВНУТР.”, переключатель диапазонов - в положение 2 - 20 кГц; плавный регулятор частоты - до отказа против часовой стрелки.

8. На блоке Г2 регуляторы “ПОДСТРОЙКА” повернуть против часовой стрелки до отказа. Переключатель форм сигналов установить в положение “” 2кГц” (третья позиция).

9. На блоке Г3 переключатель пределов вольтметра установить в позицию “10 В”, регулятор выходного напряжения - в среднее положение. В результате генератор должен вырабатывать синусоидальное напряжение с частотой 2 кГц, изображение которого нужно получить на экране осциллографа.

10. Осциллограф имеет два вертикальных “Y1” и “Y2” и один горизонтальный “X” каналы. Вертикальные каналы обеспечивают перемещение лучей на экране осциллографа вверх-вниз, а горизонтальный канал - вправо - влево.

11. Регуляторы канала “X”, находящиеся в правой стороне блока ЭК, установить в следующее положения: “ВХОД X” - “ВНУТР.”, “УСИЛ.” И “РАЗВЕРТКА” - в средние.

12. Тумблер “КАНАЛЫ” в верхней части блока ЭК установить в среднее положение, при этом будут включены оба вертикальных канала. Регулятор “РАСХОЖДЕНИЕ” установить в среднее положение, регулятор “ТАРИР. НАПР.” повернуть до отказа против часовой стрелки.

13. Установить регуляторы второго вертикального канала в исходные положения, для чего тумблер “ОСЛАБЛЕНИЕ” установить в позицию “1 : 10”, регулятор плавного усиления - в среднее положение.

14. Установить регуляторы первого канала в исходное положение, для чего тумблер “ВХ. 1 КАНАЛА” установить в положение “ВНУТР.”, тумблер “ОСЛАБЛЕНИЕ” - в положение “1 : 10”, регулятор плавного усиления - в среднее положение. После произведенных манипуляций к входу 1-го канала осциллографа будет подключен генератор с напряжением синусоидальной формы. При этом на экране могут быть 3 случая:

- 1) изображение отсутствует;
- 2) искаженная, сильно размытая кривая;

3) видна синусоида первого канала и светящаяся прямая – ось второго канала.

15. Если изображения нет, то оно за пределами экрана. В этом случае, изменяя положение регуляторов “” и “ \leftrightarrow ” на блоке БО, следует добиться появления изображения синусоиды, находящейся на первом канале или прямой линии второго канала (т.е. ко входу 2-го канала источник не подключен).

16. Во втором случае следует регуляторами “РАСХОЖДЕНИЕ” на блоке ЭК и “” на блоке БО добиться появления синусоиды в первом канале и прямой линии - во втором. При этом можно использовать и регулятор “ \leftrightarrow ”.

17. Регуляторами “УСИЛ. X” на ЭК и “ \leftrightarrow ” на блоке БО установить изображения в размере 8 клеток по горизонтали, При этом в левой стороне экрана должна быть видна вертикальная ось начала координат. Регулятор “РАЗВЕРТКА” установить в такое положение, чтобы на экране укладывалось 2 периода синусоиды.

18. Регулятор “УСИЛ.” Первого канала установить в такое положение, чтобы размах синусоиды занимал 4 клетки по вертикали. Регулятором “РАСХОЖДЕНИЕ” установить изображение синусоиды в верхней части экрана, а горизонтальную линию второго канала - в нижней. Регулятором блока БО “ФОКУС”, находящимся в левой части блока, получить наибольшую резкость изображения.

19. Проверить работу второго канала осциллографа, для чего внешним проводником соединить гнездо “” на блоке Г 1 с гнездом “ВХ.2” осциллографа и с помощью регулятора “УСИЛ.” второго канала получить изображение прямоугольного сигнала на 2-ом слухе с размахом 2-3 клетки.

20. Уясним разницу регуляторов “УСИЛ. X” и “РАЗВЕРТКА”. “УСИЛ. X” изменяет размер изображения по горизонтали, но не меняет числа периодов изображения. Его следует установить в такое положение, при котором размер изображения по горизонтали занимает 8 клеток и не выходит за пределы экрана. Регулятор “РАЗВЕРТКА” изменяет число периодов, не изменяя размера изображения, Удобнее наблюдать изображение, когда на экране укладывается 1,5 - 2 периода кривой. Проверьте работу этих регуляторов и зарисуйте изображения напряжения при различных положениях регуляторов “УСИЛ. X” и “РАЗВЕРТКА”.

21. Отключить проводник, соединяющий выход “” блока Г1 с гнездом “ВХ.2”. Проверить работу блока Г2. Для этого регуляторы “ПОДСТРОЙКА” на блоке Г2 повернуть до отказа против часовой стрелки, переключатель формы сигнала перевести из положения “” 2 кГц” в положение “”. На экране вместо синусоиды появится кривая треугольной формы.

Регулятором “УСИЛ.” первого канала установить размах напряжения в 4 клетки. Около регулятора “ПОДСТРОЙКА 11” на блоке Г2 при этом загорится световой индикатор. Это означает, что данным регулятором можно изменять форму напряжения, вырабатываемую генератором. Поворачивая регулятор “ПОДСТРОЙКА 11” на блоке Г2 по часовой стрелке и обратно, убедиться, что кривая из треугольной формы превращается в пилообразную. Зарисовать изображения при предельных положениях регулятора “ПОДСТРОЙКА 11”. После окончания измерений регуляторы “ПОДСТРОЙКА” следует поворачивать против часовой стрелки.

22. Переключить переключатель “Пф” в позиции , , , , , . В каждой позиции устанавливать размах изображения 4 клетки с помощью регулятора “УСИЛ.” первого канала. Если около одного или обоих регуляторов “ПОДСТРОЙКА” загорается световой индикатор, то его (или их) следует поворачивать по часовой стрелке и обратно. Зарисовать изображения в предельных положениях регулятора “ПОДСТРОЙКА”.

23. Произвести тарировку, т.е. определить цену деления клетки при имеющемся положении регуляторов усиления. Для этого переключатель на блоке Г2 установить в положение , регуляторы «ПОДСТРОЙКА» - против часовой стрелки. На экране будут узкие односторонние импульсы. Чтобы определить размах этих импульсов в вольтах, нужно:

а) с помощью регулятора “УСИЛ.” первого канала установить изображение в 3 - 4 клетки;

б) тумблер “ПРЕДЕЛЫ” на блоке Г3 установить в положение “10В”;

в) левой рукой нажать кнопку “ТАРИР.” первого канала на блоке ЭК (при этом изображение импульсов исчезает) , правой рукой поворачивать регулятор “ТАРИР. НАПР.” на блоке ЭК. По мере поворота этого регулятора по часовой стрелке на экране осциллографа появится прямоугольный тарировочный импульс, а стрелка вольтметра V1 блока Г3 отклонится вправо;

г) установить регулятор “ТАРИР. НАПР.” в такое положение, при котором стрелка вольтметра будет показывать 2В по верхней шкале (вся шкала 10В);

д) регулятором “УСИЛ.” первого канала установить размах тарировочного напряжения одну, две или четыре клетки в зависимости от того, к какому размеру был ближе всего размах прямоугольного импульса. Если, например, размах тарировочного импульса был 4 клетки, то при данном положении регуляторов усиление вертикального канала цена клетки Ст составляет U_t/N_t , где U_t - показание вольтметра, N_t - число клеток при тарировке. В нашем примере это

$$C_t = 2В / 4 Кл = 0,5 В/Кл$$

е) Отпустить кнопку “ТАРИР.”. Вместо тарировочного импульса на

экране появляется изображение измеряемого сигнала. Число клеток Низм , занимаемых изображением измеряемого сигнала, умноженное на цену клетки при тарировке Ст , и есть размах напряжения исследуемого сигнала, т.е.

$$U_p = C_t * N_{изм} , В.$$

Например, при размахе в 6 клеток напряжение импульса

$$U_p = 0.5 * 6 = 3 В.$$

Измерить размах узких односторонних импульсов, записать результаты тарировки и измерений.

24. Переключатель на блоке Г2 перевести в положение “ 2 кГц “, проводником соединить гнездо ““ на блоке Г1 с гнездом “ВХ.2” осциллографа. При этом на экране осциллографа окажется два изображения синусоидальное на первом канале и прямоугольное на втором. С помощью регулятора “УСИЛ.” установить изображения размером три клетки каждое. Проверить работу тумблера “КАНАЛЫ” на ЭК, для чего поочередно установить его в положение: левое, среднее и правое. При левом положении (“1 канал”) на экране остается изображение напряжения, подведенного ко входу канала, в данном случае синусоиды. В среднем положении (1 и 2 каналы) - изображения напряжений, подведенных к обоим каналам, в данном случае - синусоиды и прямоугольника. В правом положении (2 канал) - изображение напряжения, подведенного ко входу 2-ого канала, в данном случае - прямоугольника. Зарисовать изображения в каждом положении тумблера.

25. Оставить тумблер “КАНАЛЫ” в правом положении. Измерить размах напряжения прямоугольной формы, подведенного ко второму каналу. Измерение проводить по методике, описанной в п.23.

26. Тумблер “КАНАЛЫ” перевести в положение “1”. На экране останется синусоидальное напряжение, подведенное к 1 каналу. Тумблер 1-ого канала перевести в положение “ВНЕШ.”. При этом изображение на экране исчезнет, т.к. генератор от 1-ого канала осциллографа будет отключен, а к гнезду “ВХ.1” никаких напряжений не подводится. Перенести проводник из гнезда “ВХ.2” в гнездо “ВХ.1”. При этом на экране появится изображение напряжения прямоугольной формы. Тумблер “КАНАЛЫ” перевести в среднее положение. Переносить проводник, идущий от гнезда ““ со входа 1 канала на вход 2-ого и обратно, наблюдая за изображением на экране. Оставить проводник в гнезде “ВХ.1”. На первом канале при этом будет напряжение прямоугольной формы. Тумблер первого канала перевести в положение “ВНУТР.”, при этом напряжение прямоугольной формы исчезнет, а синусоидальное появится. Снять проводник, соединяющий гнездо ““ на Г1 с гнездом “ВХ.1” на ЭК.

27. Соединить внешним проводником гнездо “ВЫХОД” на блоке Г3 с гнездом “ВХ.2”. Убедиться, что при изменении положения регулятора на блоке Г3 изменяется размер изображения на 2-ом канале. При этом на 1-ом

канале будет изображение напряжения синусоидальной формы, которое подводится с выхода блока Г 2, и положение регулятора на него не влияет. Убедиться, что размер изображения на 2-ом канале пропорционален показанию вольтметра V 1.

28. Поочередно изменять положения каждого регулятора и переключателя, наблюдая за их работой. Запомнить назначения регуляторов, эффекты, получающиеся при их использовании. По окончании работы установить : на Г 1 - тумблер “ГЕНЕРАТОР” в положение “ВНУТР.”, на Г 2 - переключатель в положение “ 2кГц”; регуляторы “ПОДСТРОЙКА” - до отказа против часовой стрелки; на ЭК - “ВХ.1” - “ВНУТР.”, тумблеры “ОСЛАБЛЕНИЕ” обоих каналов-“1 : 10”, “УСИЛ.” - в среднее положения ; тумблер “КАНАЛЫ” - в среднее положение включены оба канала ; “ТАРИР.НАПР.” - до отказа против часовой стрелки ; тумблер “ВХОД X” - в положение “ВНУТР.”

При выключении питания необходимо сначала выключить все тумблеры питания блоков стенда, а затем тумблер “СЕТЬ”.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Рассчитать размах напряжения в вольтах и периодов в микросекундах всех исследуемых сигналов.

2. Рассчитать действующие значения исследованных напряжений синусоидальной формы.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется мгновенным значением напряжения, тока? Как записывают мгновенные значения гармонического напряжения, тока?

2. Что такое периодический сигнал? Нарисуйте несколько периодических сигналов различной формы.

3. Объясните назначение и возможности осциллографа. Из каких основных блоков он состоит?

4. Что называют каналом “Y” и каналом “X” осциллографа?

5. Как регулируют размеры изображения в осциллографе по вертикали и горизонтали? Каково назначение регулятора “РАЗВЕРТКА”?

6. Как связаны между собой частота и период гармонического колебания ?

7. Как определить цену деления клетки по вертикали и горизонтали при работе с осциллографом.

8. Каково назначение регуляторов на передних панелях блоков Г1, Г2 и Г3 ?

9. Объясните, каково назначение регуляторов на панели электронного коммутатора.

10. Объясните понятия: размах, максимальное значение, действующее значение гармонического напряжения (тока).

11. Какими приборами измеряются напряжения на стенде, каковы их особенности ?

12 . Каково назначение фазометра и как подключить его к цепи?

РАБОТА 1-2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ RL – ЦЕПИ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Экспериментальное исследование последовательной **RL** – цепи при изменении частоты источника питания. Проверка опытом расчётных значений напряжений на катушке индуктивности и резисторе и угла сдвига по фазе между входным напряжением и током в цепи.

Наблюдение формы входного напряжения, напряжения на резисторе и угла сдвига по фазе между входным напряжением и током в цепи с помощью осциллографа.

2. ЗАДАНИЕ НА ПОДГОТОВКУ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Ознакомиться с описанием данной лабораторной работы.
2. Изучить теорию по одному из учебников и конспекту лекций.
3. Выполнить предварительный расчет.
4. Ответить на контрольные вопросы.
5. Ознакомиться с описанием универсального стенда ЛКТЦ, на котором выполняется лабораторная работа.

3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЁТ

1. Для изображенной на рис. 2.4 схемы рассчитать индуктивное сопротивление X_L , полное сопротивление катушки Z_K , полное сопротивление цепи $Z_{Ц}$, ток I , действующие значения напряжений U_R и U_K

и угол сдвига по фазе φ между входным напряжением $u(t)$ и током $i(t)$.
 Значения параметров цепи для каждой из бригад заданы в таблице 2.1.

Расчет производится на частотах 2, 6, 10, 14, 18 кГц. Входное напряжение для всех бригад $U = 2В$.

Результаты расчета занести в таблицу 2.2.

Таблица 2.1. Варианты заданий

№ бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
L, мГн	30	35	40	45	50	55	60	65
R_K, Ом	119	127	70	116	104	71	116	114
R, кОм	1	1	1	1	1	3	3	3
№ бригады	9	10	11	12	13	14	15	
L, мГн	70	75	50	55	57	60	65	
R_K, Ом	132	134	70	71	75	71	116	
R, кОм	3	3	3	1	1	1	1	

2. По данным предварительного расчета построить на одном чертеже графики X_L , $Z_{ц}$ и I в зависимости от f , а на другом чертеже графики U_R , U_K и φ в зависимости от f . ПРИМЕЧАНИЕ: для построения нескольких графиков на одном чертеже рекомендуется по оси абсцисс отложить частоту f в кГц, а осей ординат выбрать столько, сколько графиков различных размерностей требуется построить (см. рис. 2.1 а, б).

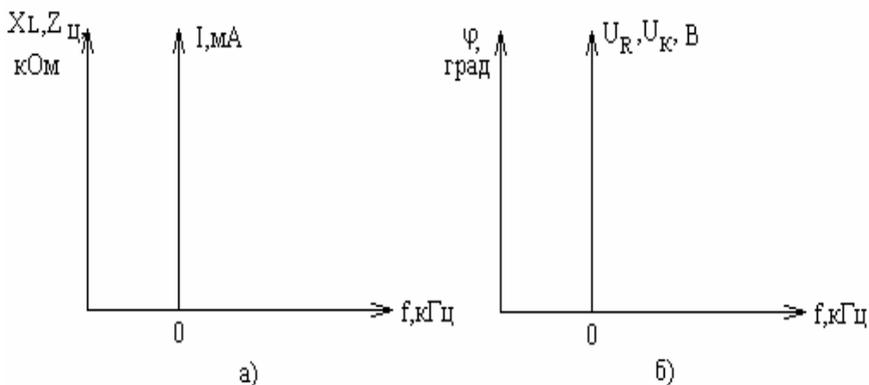


Рис. 2.1. Рекомендуемые виды осей для графиков

4. ПОЯСНЕНИЯ К ПРЕДВАРИТЕЛЬНОМУ РАСЧЕТУ

Рассмотрим схему, изображенную на рис. 2.2.

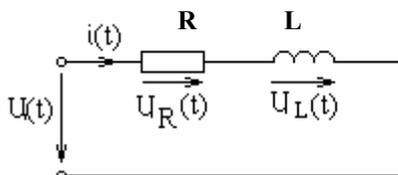


Рис.2.2. Схема последовательной RL-цепи

Предположим, что в цепи протекает косинусоидальный (гармонический) ток $i(t) = I_m \cos \omega t$, где $\omega = 2\pi f$ – угловая частота гармонического тока в рад/с, а f – частота гармонического тока в Герцах.

По второму закону Кирхгофа для мгновенных значений можно записать

$$\begin{aligned}
 u(t) &= u_R(t) + u_L(t) = iR + L \frac{di}{dt} = RI_m \cos \omega t - \omega LI_m \sin \omega t = \\
 &= RI_m \cos \omega t + \omega LI_m \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)
 \end{aligned}$$

Из полученного выражения видно, что составляющие входного

напряжения $\mathbf{u}(t)$ косинусоидальны и являются функциями одной и той же частоты ω , следовательно, входное напряжение будет также косинусоидальным. Падение напряжения на резисторе

$\mathbf{u}_R(t) = R \cdot \mathbf{I}_m \cos \omega t$ совпадает по фазе с током $\mathbf{i}(t)$, а падение напряжения на идеальной индуктивности

$$\mathbf{u}_L(t) = \omega L I_m \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

опережает ток на угол 90° . Величина $\omega L = x_L$ называется реактивным сопротивлением индуктивности.

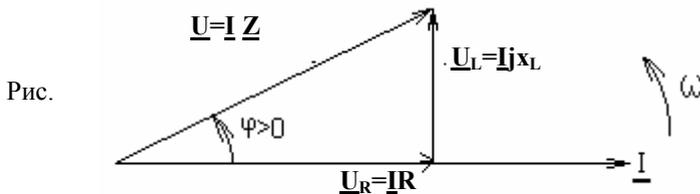
Основная сложность расчета цепей по мгновенным значениям заключается в том, что необходимо находить решения неоднородных дифференциальных уравнений. Расчет неразветвлённых цепей упрощается, если анализ вести на основе векторных диаграмм.

Векторной диаграммой называется совокупность векторов (имеющих одинаковую угловую частоту ω), построенных с соблюдением их взаимной ориентации по фазе. Векторные диаграммы строятся как для амплитудных, так и для действующих значений, которые в $\sqrt{2}$ раз меньше амплитудных:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad \text{- для косинусоидальных (или синусоидальных)}$$

величин.

На рис. 2.3 изображена на вещественной плоскости векторная диаграмма рассматриваемой RL-цепи.



2.3. Векторная диаграмма последовательной RL-цепи

Как видно из диаграммы, вектор входного напряжения \underline{U} опережает ток на угол φ , равный разности начальных фаз входного напряжения и тока

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{U_L}{U_R} = \operatorname{arctg} \frac{x_L}{R} > 0$$

(за положительное направление отсчета угла φ принято **направление**, противоположное вращению часовой стрелки).

Из векторной диаграммы следует, что

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} = \sqrt{(I \cdot R)^2 + (I \cdot x_L)^2} = I \sqrt{R^2 + x_L^2}, \text{ где}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + x_L^2} \text{ - называется полным сопротивлением}$$

последовательной **RL** – цепи гармоническому току.

Для разветвлённых цепей гармонического тока расчет на основе векторных диаграмм сложен.

Широкое распространение для анализа таких цепей получил символический метод, или метод комплексных амплитуд, или как иногда его называют, просто комплексный метод (предполагается, что основные положения символического метода студентам известны). Применяя комплексный метод расчета к рассматриваемой цепи, т.е. заменяя мгновенное значение тока $i(t)$ на комплексное действующее \underline{I} и мгновенное значение напряжения $u(t)$ на комплексное действующее \underline{U} , получим в комплексной форме записи уравнение по второму закону Кирхгофа

$$\underline{U} = \underline{U}_R + \underline{U}_L = R \cdot \underline{I} + j\omega L \cdot \underline{I} = \underline{I} \cdot (R + jx_L).$$

Это уравнение алгебраическое с комплексными величинами. Решать такое уравнение проще, чем дифференциальное. В этом заключается основное преимущество символического метода при расчете цепей гармонического тока в установившемся режиме работы.

Комплексная форма записи закона Ома для последовательной **RL**-цепи: $\underline{I} = \underline{U} / \underline{Z}$,

$$\text{где } \underline{Z} = Z e^{j\varphi} = R + jx_L = \sqrt{R^2 + x_L^2} e^{j \operatorname{arctg}(x_L / R)} \text{ -}$$

комплексное сопротивление цепи,

$$Z = \sqrt{R^2 + x_L^2} \text{ - модуль комплексного сопротивления цепи (полное}$$

сопротивление гармоническому току); $\varphi = \operatorname{arctg}(x_L / R)$ - аргумент комплексного сопротивления (угол сдвига по фазе между \underline{U} и \underline{I}).

Таким образом, на основании выше изложенного для цепи рис. 2.4



с реальной катушкой индуктивности основные формулы и соотношения следующие:

Рис. 2.4. Схема замещения последовательной RL -цепи

$$\underline{Z}_\Pi = R + R_K + jX_L, \text{ где } X_L = \omega L, \underline{I} = \underline{U} / \underline{Z}_\Pi, \underline{U}_R = \underline{I} \cdot R; \underline{U}_K = \underline{I} \cdot \underline{Z}_K, \text{ где}$$

$$\underline{Z}_K = R_K + jX_L; \underline{U} = \underline{U}_R + \underline{U}_K.$$

Поскольку приборы, используемые в лабораторном стенде, измеряют действующие значения напряжений, т.е. модули комплексных действующих значений, $U = |\underline{U}| = |Ue^{j\psi}|$, то для предварительного расчета используются следующие формулы

$$Z_\Pi = \sqrt{(R + R_K)^2 + X_L^2}; I = \frac{U}{Z_\Pi}; Z_K = \sqrt{R_K^2 + X_L^2}$$

$$; \varphi = \arctg\left(\frac{X_L}{R + R_K}\right), U_K = I \cdot Z_K; U_R = I \cdot R.$$

5. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Собрать схему для измерения U_R и угла сдвига по фазе φ между входным напряжением и током в цепи согласно рис. 2.5 и 2.6.

2. Установить регуляторы на блоках Г1, Г2, Г3, "φ - V3" в положения, показанные на схеме рис. 2.6.

3. Включить на блоке питания БП тумблеры: "СЕТЬ", "ГЕНЕРАТОР", "φ - V3", "КОММУТАТОР-ОСЦИЛЛОГРАФ".

4. Установить по вольтметру V1 напряжение $U=2В$ и поддерживать его постоянным при каждом изменении частоты генератора Г1.

5. Измерить U_R и φ на заданных частотах и результаты занести в таблицу 2.2. Обратит внимание на положение тумблера "φ-V3". При измерении U_R он должен находиться в положении "V3", а при измерении φ - в положении "φ" (можно использовать и V2, подключив его вход к точке соединения R и L_A и включив соответствующий тумблер на БП).

6. Отключить от исследуемой цепи блок "φ-V3" и подключить осциллограф (блок ЭК) (см. рис. 2.5, 2.6). Регуляторы на блоке ЭК установите в положения, показанные на схеме рис.2.6. Переключатель числа каналов установите в среднее положение, при этом на экране осциллографа (блок БО) одновременно появятся изображения мгновенных напряжений на входе цепи $U(t)$ и на резисторе $U_R(t)$. Напряжение $U_R(t)$ пропорционально току $I(t)$, совпадает с ним по фазе и имеет ту же форму. Регулятор

"РАЗВЁРТКА" на блоке ЭК установить в такое положение, при котором на экране осциллографа будут наблюдаться $1,5 \div 2$ периода исследуемых напряжений.

ПРИМЕЧАНИЕ: Если переключатель числа каналов установить в положение 1 – на экране осциллографа будем наблюдать только напряжение на входе цепи, при положении 2 – напряжение на резисторе.

7. Зарисовать попарно осциллограммы $U(t)$ и $U_R(t)$ на частотах 2 кГц и 18 кГц. Обратить внимание на то, что угол сдвига по фазе между $U(t)$ и $U_R(t)$ является измеряемым в п. 5 углом сдвига по фазе φ между входным напряжением и током в цепи.. Сделать вывод об изменении угла φ на осциллограммах при изменении частоты.

Таблица 2.2. Данные расчетов и измерений

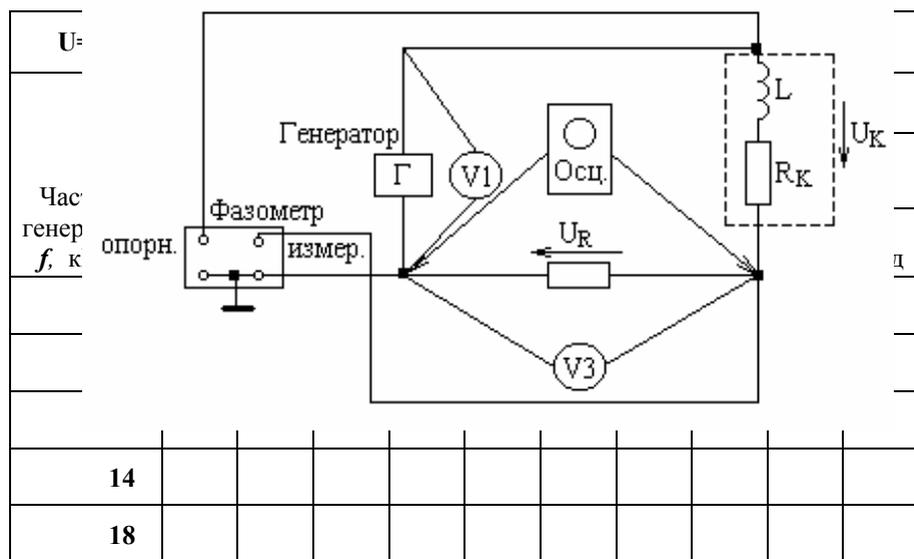


Рис. 2.5. Принципиальная схема измерения U_R и ϕ

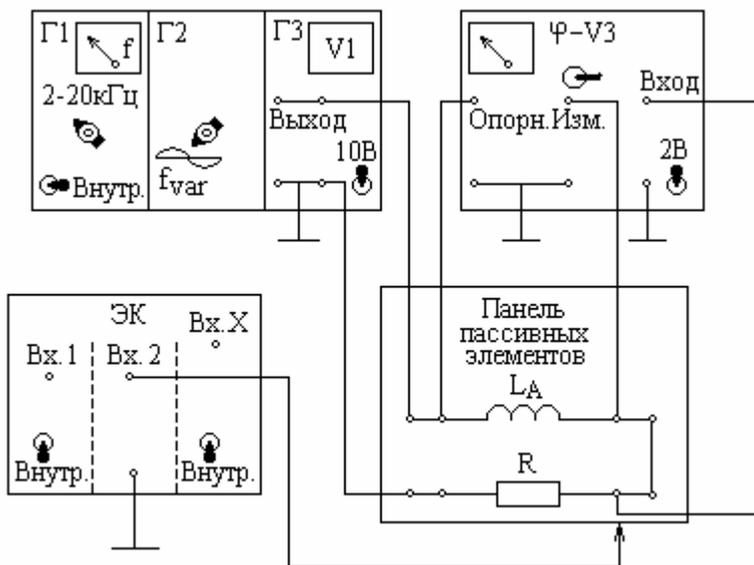


Рис. 2.6. Монтажная схема измерения U_R и φ

8. Измерить напряжение на катушке индуктивности U_K на заданных частотах и результаты занести в таблицу 2.2. Для этого:

- а) отключить от измеряемой цепи блок ЭК,
- б) поменять местами в исследуемой цепи катушку индуктивности L_Δ и резистор R ,
- в) подключить вольтметр V_3 блока "φ - V3" к катушке индуктивности (см. рис. 2.7).

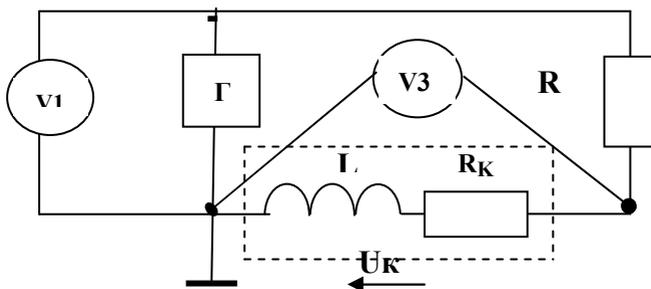


Рис. 2.7. Принципиальная схема измерения U_K

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Исходные данные для бригады.
2. Схемы для расчета рис. 2.4 и измерений рис. 2.5 и 2.7.
3. Расчетные формулы.
4. Пример предварительного расчета для одной частоты.
5. Результаты расчетов и измерений, оформленные в табл. 2.2.
6. Чертеж с графиками X_L , Z_{Σ} , $I(f)$, построенными по результатам предварительного расчета и чертеж с графиками U_R , U_K , $\varphi(f)$, построенными по результатам предварительного расчета и эксперимента.
7. Осциллограммы, полученные в п.7 и выводы об изменении угла в зависимости от частоты.
8. Две векторные диаграммы, построенные в масштабе по результатам эксперимента для частот 2 кГц и 18 кГц. На диаграмме изобразить вектора I , U_R , U_K , U , а также показать угол φ .
9. Выводы о характере частотных зависимостей измеренных величин и совпадении расчетных и опытных данных.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как измерить напряжения на резисторе U_R и на катушке индуктивности U_K в последовательной $R L$ – цепи при гармоническом воздействии?
2. Как измерить угол сдвига по фазе φ между входным напряжением и током в цепи?
3. По каким формулам можно рассчитать комплексное Z и полное Z сопротивление:
 - а) последовательной $R L$ – цепи,
 - б) последовательной $R L$ – цепи, если в неё ввести ещё одну катушку индуктивности (или ещё один резистор)?
4. Как записать второй закон Кирхгофа и закон Ома в последовательной R, L – цепи для комплексных и действующих значений?
5. По какой формуле рассчитывается угол сдвига по фазе φ между входным напряжением и током в цепи?
6. По каким формулам можно рассчитать комплексные и действующие значения напряжений $\underline{U}_R (U_R)$, $\underline{U}_L (U_L)$, $\underline{U}_K (U_K)$?
7. В чём отличие понятий "индуктивность" и "катушка индуктивности"?
8. Как построить векторную диаграмму для последовательной $R L$ – цепи?
9. Как изменится векторная диаграмма при увеличении (уменьшении) частоты источника питания?
10. Каковы частотные зависимости индуктивного сопротивления X_L ,

полного сопротивления Z , тока I , напряжений на элементах U_R , U_L и угла сдвига по фазе φ между входным напряжением и током в последовательной $R L$ – цепи?

Литература

1. Бакалов В.П., Дмитриков В.Ф., Крук Б.И Основы теории цепей. -М.: Радио и связь. 2000, с. 72-69.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – М.: Гардарики, 1999, с. 81-133.
4. Попов В. П. Основы теории цепей. -М.: Высшая школа, 2000, с. 1-143.
5. Зевеке Г. В. и др., Основы теории цепей. -М.: Энергоатомиздат. 1989, с. 1- 114.
6. Бакалов В.П, Игнатов А. Н., Крук Б. И. Основы теории электрических цепей и электроники. -М.: Радио и связь, 1989, с. 1-66.
7. Шебес М. Р., Каблукова М. В. Задачник по теории линейных электрических цепей. -М.: Высшая школа, 1990, с. 1- 163.

РАБОТА 1-3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ RC-ЦЕПИ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Экспериментальное исследование последовательной **RC**-цепи при изменении частоты источника питания. Проверка опытом расчетных значений напряжений на конденсаторе и резисторе и угла сдвига по фазе между входным напряжением и током в цепи.

Наблюдение формы входного напряжения, напряжения на резисторе и угла сдвига по фазе между входным напряжением и током в цепи с помощью осциллографа.

2. ЗАДАНИЕ НА ПОДГОТОВКУ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Ознакомиться с описанием данной лабораторной работы.
2. Изучить теорию по одному из учебников и конспекту лекций.
3. Выполнить предварительный расчет.
4. Ответить на контрольные вопросы.
5. Ознакомиться с описанием универсального стенда ЛКТС, на котором выполняется лабораторная работа.

3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ

1. Для изображенной на рис. 3.2 схемы рассчитать емкостное сопротивление X_C , полное сопротивление цепи Z , ток I , действующие значения напряжений U_R и U_C и угол сдвига по фазе ϕ между входным напряжением U и током I .

Значения параметров для каждой из бригад заданы в табл. 3.1. Расчет производится на частотах 2, 6, 10, 14, 18 кГц. Входное напряжение для всех бригад $U = 2$ В. Результаты расчета занести в табл. 3.2.

2. По данным предварительного расчета построить на одном чертеже графики X_C , Z и I в зависимости от f , а на другом чертеже графики U_R , U_C и ϕ в зависимости от f .

ПРИМЕЧАНИЕ : для построения нескольких графиков на одном чертеже рекомендуется по оси абсцисс отложить частоту f в кГц, а осей ординат выбрать столько, сколько графиков различных размерностей требуется построить (см. рис. 3.1 а,б).

Таблица 3.1. Данные расчетов и измерений

№ бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
C , нФ	23,4	17,2	12,92	10	7,92	6,37	5,21	4,32
R , кОм	1	1	1	1	1	3	3	3
№ бригады	9	10	11	12	13	14	15	
C , нФ	3,62	3,06	4,18	3,48	3,08	2,7	2,3	
R , кОм	3	3	10	10	10	10	10	

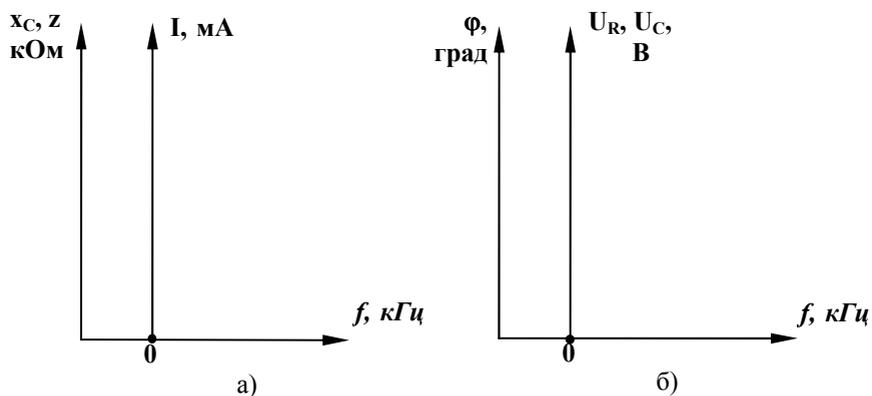


Рис.3.1. Рекомендуемые виды осей для графиков

4. ПОЯСНЕНИЯ К ПРЕДВАРИТЕЛЬНОМУ РАСЧЕТУ

Рассмотрим схему, изображенную на рис. 3.2.

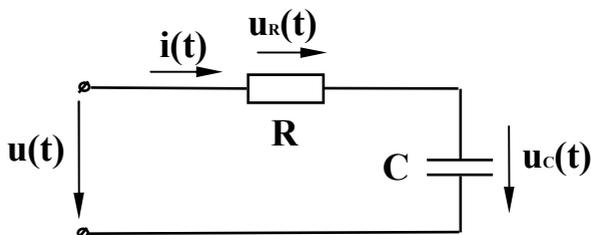


Рис. 3.2 Схема исследуемой цепи

Предположим, что в цепи протекает ток $i(t) = I_m \cos \omega t$, где $\omega = 2\pi f$ - угловая частота гармонического косинусоидального тока в радианах, а f - частота в Герцах.

На основании второго закона Кирхгофа для мгновенных значений можно записать

$$u(t) = u_R(t) + u_C(t) = Ri(t) + (1/C) \int i(t)dt,$$

или, подставив $i(t)$,

$$u(t) = RI_m \cos \omega t + (1/\omega C) I_m \sin \omega t = RI_m \cos \omega t + (1/\omega C) I_m \cos(\omega t - \pi/2),$$

где $1/\omega C = X_C$ (1) называется реактивным сопротивлением емкости.

Из полученного выражения видно, что составляющие входного напряжения $u(t)$ косинусоидальны и являются функциями одной и той же частоты ω , следовательно, входное напряжение будет также косинусоидальным.

Напряжение на резисторе R $u_R(t) = RI_m \cos \omega t$ совпадает по фазе с током $i(t) = I_m \cos \omega t$, а напряжение на идеальной емкости C

$$u_C(t) = (1/\omega C) I_m \cos(\omega t - \pi/2) \text{ отстает от тока на } 90^\circ.$$

Векторная диаграмма для последовательной RC -цепи изображена на рис. 3.3.

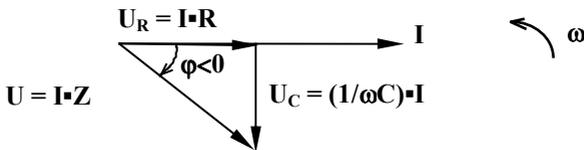


Рис. 3.3. Векторная диаграмма RC - цепи

Из векторной диаграммы видно, что вектор входного напряжения U отстает от тока на угол φ , равный разности начальных фаз входного напряжения и тока. $\varphi = -\arctg U_C/U_R = -\arctg (x_C/R)$.

Как следует из векторной диаграммы,

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2} = I \cdot \sqrt{R^2 + x_C^2},$$

где $\sqrt{R^2 + x_C^2} = Z$ (2) - полное сопротивление последовательной RC -цепи гармоническому току.

$$\text{Действующее значение тока в цепи } I = U/Z, \quad (3)$$

действующие значения напряжений на элементах R и C соответственно равны

$$U_R = I \cdot R \quad (4), \quad U_C = I \cdot x_C \quad (5).$$

В комплексной форме уравнение по второму закону Кирхгофа для последовательной **R,C**-цепи запишется так:

$$\underline{U} = \underline{U}_R + \underline{U}_C = R \cdot \underline{I} + (1/j\omega C) \cdot \underline{I} = R \cdot \underline{I} - j(1/\omega C) \cdot \underline{I} = \underline{I} \cdot (R - jx_C),$$

где $\underline{Z} = R - jx_C = \sqrt{R^2 + x_C^2} \cdot e^{-j \arctg(x_C/R)} = Z e^{j\varphi}$ - комплексное сопротивление цепи;

$Z = \sqrt{R^2 + x_C^2}$ - модуль комплексного сопротивления цепи, или полное сопротивление;

$\varphi = -j \arctg(x_C/R)$ (6) - аргумент комплексного сопротивления (угол сдвига по фазе между \underline{U} и \underline{I}).

В данной работе для предварительного расчета используются формулы (1)-(6).

5. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Собрать схему для измерения U_R и угла сдвига по фазе φ между входным напряжением и током в цепи согласно рис. 3.4. Монтажная схема измерений приведена на рис. 3.5.

2. Установить регуляторы на блоках Г1, Г2, Г3, “ φ -V3” в положения, показанные на схеме рис.3.5.

3. Включить на блоке питания БП тумблеры: “СЕТЬ”, “ГЕНЕРАТОР”, “ φ -V3”, “КОММУТАТОР-ОСЦИЛЛОГРАФ”.

4. Установить по вольтметру V1 напряжение $U = 2В$ и поддерживать его постоянным при каждом изменении частоты генератора Г1.

5. Измерить U_R и φ на заданных частотах и результаты занести в табл.3.2. Обратит внимание на положение тумблера “ φ -V3”. При измерении U_R он должен находиться в положении “V3”, а при измерении φ - в положении “ φ ”.

Таблица 3.2. Данные расчетов и измерений

U=2В	Величины								
	Измеренные			Расчетные					
	U_R	φ	U_C	X_C	Z	I	U_R	U_C	φ
В	град	В	кОм	кОм	мА	В	В	град	
2									
6									
10									
14									

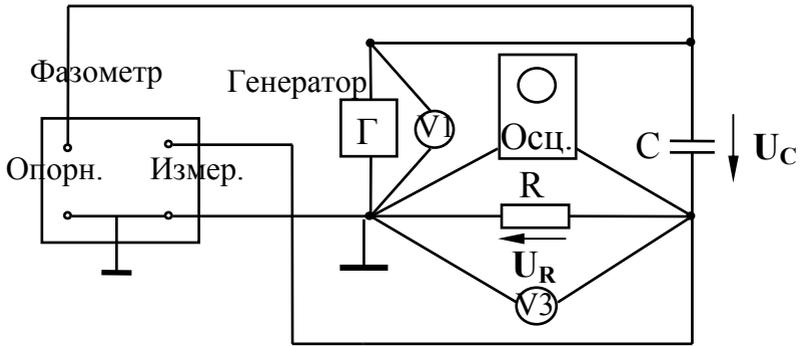


Рис. 3.4. Принципиальная схема измерения U_R и ϕ

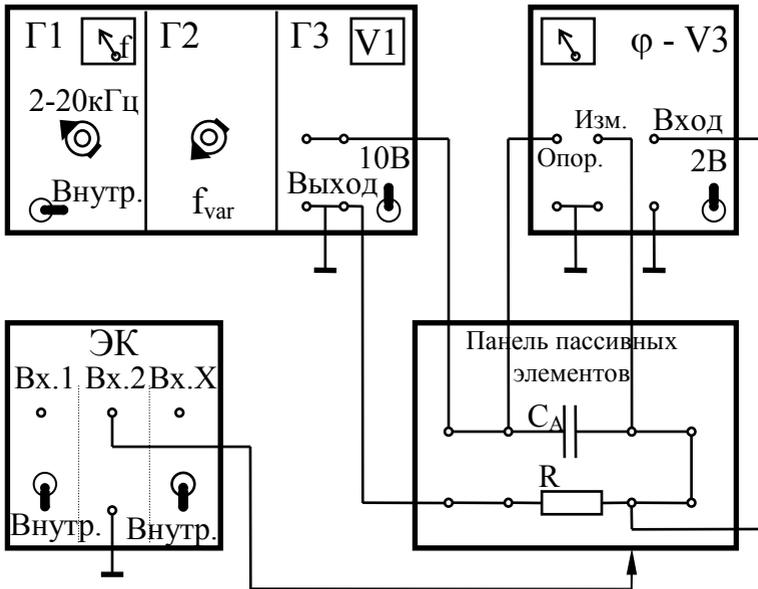


Рис.3.5. Монтажная схема измерения U_R и ϕ

6. Отключить от исследуемой цепи блок “ ϕ -V3” и подключить осциллограф (блок ЭК) (см. рис.3.4 и 3.5).

Регуляторы на блоке ЭК установить в положения, показанные на схеме

рис.3.5. Переключатель числа каналов установить в среднее положение, при этом на экране осциллографа (блок БО) одновременно появятся изображения мгновенных напряжений на входе цепи $u(t)$ и на резисторе $u_R(t)$. Напряжение $u_R(t)$ пропорционально току $i(t)$, совпадает с ним по фазе и имеет ту же форму.

Регулятор “РАЗВЕРТКА” на блоке ЭК установить в такое положение, при котором на экране осциллографа будут наблюдаться 1,5-2 периода исследуемых напряжений.

ПРИМЕЧАНИЕ: Если переключатель числа каналов установить в положение 1, на экране осциллографа будем наблюдать только изображение входного напряжения, при положении 2 - изображение напряжения на резисторе.

7. Зарисовать попарно осциллограммы $u(t)$ и $u_R(t)$ на частотах 2кГц и 18 кГц. Обратит внимание на то, что угол сдвига по фазе между $u(t)$ и $u_R(t)$ является измеряемым в п.5 углом сдвига по фазе φ между входным напряжением и током в цепи. Сделать вывод об изменении угла φ на осциллограммах при изменении частоты.

8. Измерить напряжение на конденсаторе U_C на заданных частотах и результаты занести в табл.3.2.

Для этого: а) отключить от измеряемой цепи блок ЭК,

б) поменять местами в исследуемой цепи конденсатор C_A и резистор R ,

в) подключить вольтметр $V3$ блока “ φ -V3” к конденсатору C_A (см. рис.3.6).

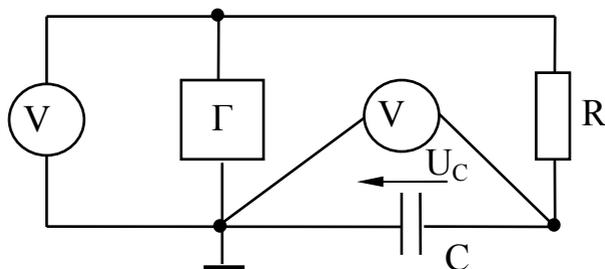


Рис.3.6. Принципиальная схема измерения U_C

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Исходные данные для бригады.
2. Схемы для расчета рис.3.2 и измерений рис.3.4 и 3.5.
3. Расчетные формулы.
4. Пример предварительного расчета для одной частоты.

5. Результаты расчетов и измерений, оформленные в табл.3.2.
6. Чертеж с графиками X_C , Z , $I(f)$, построенными по результатам предварительного расчета и чертеж с графиками U_R , U_C , $\varphi(f)$, построенными по результатам предварительного расчета и эксперимента.
7. Осциллограммы, полученные в П.7, и выводы об изменении угла φ в зависимости от частоты.
8. Две векторные диаграммы, построенные в масштабе по результатам эксперимента для частот 2кГц и 18кГц. На диаграммах изобразить векторы \underline{I} , \underline{U}_R , \underline{U}_C , \underline{U} , а также показать угол φ .
9. Сделать выводы о совпадении расчетных и опытных данных.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как измерить напряжения на резисторе U_R и на конденсаторе U_C в последовательной R,C -цепи при гармоническом воздействии?
2. Как измерить угол сдвига по фазе φ между входным напряжением и током в цепи?
3. По каким формулам можно рассчитать комплексное \underline{Z} и полное Z сопротивление последовательной R,C -цепи?
4. Как записать второй закон Кирхгофа и закон Ома в последовательной R,C -цепи для комплексных и действующих значений?
5. По какой формуле рассчитывается угол сдвига по фазе φ между входным напряжением и током в цепи?
6. По каким формулам можно рассчитать комплексные и действующие значения напряжений $\underline{U}_R(U_R)$, $\underline{U}_C(U_C)$?
7. В чем отличие понятий “емкость” и “конденсатор”?
8. Как построить векторную диаграмму для последовательной R,C -цепи?
9. Как изменится векторная диаграмма при увеличении (уменьшении) частоты источника питания?
10. Каковы частотные зависимости емкостного сопротивления X_C , полного сопротивления Z , тока I , напряжений на элементах U_R , U_C и угла сдвига по фазе φ между входным напряжением и током в последовательной R,C -цепи?

Литература

1. Бакалов В.П., Дмитриков В.Ф., Крук Б.И Основы теории цепей. -М.: Радио и связь. 2000, с. 72-69.
2. Попов В. П. Основы теории цепей. -М.: Высшая школа, 2000, с. 1-143.
3. Белецкий А. Ф. Теория линейных электрических цепей. - М.: Радио

и связь. 1986, с. 1- 185.

4 Зевеке Г. В. и др., Основы теории цепей. -М.: Энергоатомиздат. 1989, с. 1- 114.

5. Бакалов В.П, Игнатов А. Н., Крук Б. И. Основы теории электрических цепей и электроники. -М.: Радио и связь, 1989, с. 1-66.

6. Шебес М. Р., Каблукова М. В. Задачник по теории линейных электрических цепей. -М.: Высшая школа, 1990, с. 1- 163.

Работа 1.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ RLC – ЦЕПИ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Экспериментальное исследование последовательной **RLC** –цепи при изменении частоты источника питания. Экспериментальная проверка расчетных значений напряжений на катушке индуктивности, на конденсаторе, резисторе и угла сдвига по фазе между входным напряжением и током в цепи.

Наблюдение формы входного напряжения, напряжения на резисторе и угла сдвига по фазе между ними с помощью осциллографа.

2. ЗАДАНИЕ НА ПОДГОТОВКУ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Ознакомиться с описанием данной лабораторной работы.
2. Изучить теорию по одному из учебников и конспекту лекций.
3. Выполнить предварительный расчет.
4. Ответить на контрольные вопросы.
5. Ознакомиться с описанием универсального стенда ЛКПЦ, на котором выполняется лабораторная работа.

3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ

1. Для схемы рис. 4.1а рассчитать резонансную частоту f_0 , реактивные сопротивления X_L , X_C , X , полное сопротивление цепи Z , ток I , напряжения на элементах U_R , U_K , U_C , угол сдвига по фазе Φ между током и входным напряжением для трех значений частоты источника питания:

$$f = f_0 - 2 \text{ кГц}, \quad f = f_0 \text{ кГц}, \quad f = f_0 + 2 \text{ кГц}.$$

Значения параметров для каждой бригады заданы в таблице 4.1. При выполнении работы на ЭВМ по программе ВООК 3 надо взять $R_K = 0$, тогда $U_K = U_L$. Входное напряжение для всех бригад $U = 2 \text{ В}$, сопротивление $R = 1 \text{ кОм}$.

Результаты расчета занесите в таблицу 4.2.

2. По данным предварительного расчета построить на одном чертеже графики X_L , X_C , \mathbf{X} , \mathbf{Z} , \mathbf{I} в зависимости от f , а на другом чертеже – графики U_R , U_K , U_C , Φ в зависимости от f .

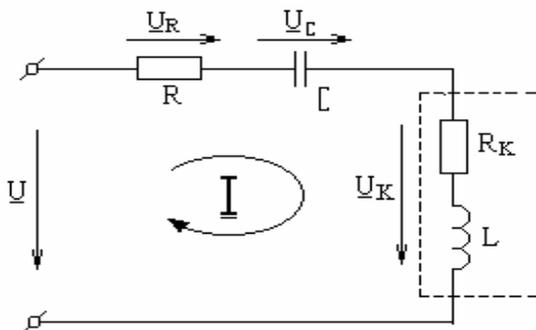


Рис. 4.1а. Схема последовательной RLC-цепи

Таблица 4.1. Исходные данные для предварительного расчета

№ бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
L , мГн	30	35	40	45	50	55	60	65
C , нФ	23,4	17,2	12,9	10	7,92	6,37	5,21	4,32
R_K , Ом	119	127	70	116	104	71	116	114
№ бригады	9	10	11	12	13	14	15	
L , мГн	70	75	50	55	57	60	65	
C , нФ	3,62	3,06	4,18	3,48	3,08	2,7	2,3	
R_K , Ом	132	134	70	71	75	71	116	

4. ПОЯСНЕНИЯ К ПРЕДВАРИТЕЛЬНОМУ РАСЧЕТУ

В последовательной $R L C$ - цепи рис. 4.1а через все элементы цепи протекает одинаковый ток. Комплексное значение входного напряжения на

основании второго закона Кирхгофа в этой цепи равно

$$\underline{U} = \underline{U}_R + \underline{U}_C + \underline{U}_K$$

Комплексные действующие значения напряжений на элементах определяются по закону Ома

$$\underline{U}_R = \underline{I} \cdot R, \quad \underline{U}_C = \underline{I} \cdot Z_C, \quad \underline{U}_K = \underline{I} \cdot Z_K,$$

$$\text{где } \underline{Z}_C = \frac{1}{j\omega C} = -j \frac{1}{\omega C} = -jx_C, \quad \underline{Z}_K = R_K + j\omega L = R_K + jx_L.$$

Таким образом, рассматриваемая цепь описывается уравнением

$$\underline{U} = \underline{I} \cdot (R + \underline{Z}_K + \underline{Z}_C) = \underline{I} \cdot \underline{Z}.$$

Здесь \underline{Z} - комплексное сопротивление последовательной $R L C$ - цепи:

$$\underline{Z} = R + \underline{Z}_C + \underline{Z}_K = R + R_K + j(x_L - x_C) = R + R_K + jX$$

Величина $X = x_L - x_C = \omega L - \frac{1}{\omega C}$ называется реактивным

сопротивлением цепи. Комплексное сопротивление цепи можно записать в показательной форме:

$$\underline{Z} = Z e^{j\varphi},$$

где $Z = \sqrt{(R + R_K)^2 + X^2}$ - полное сопротивление цепи (модуль комплексного сопротивления) При расчете для выполнения на ЭВМ по программе ВООК 3 принять $R_K = 0$).

$\varphi = \arctg \frac{X}{R + R_K}$ - угол сдвига по фазе между током и входным

напряжением (аргумент комплексного сопротивления).

Индуктивное сопротивление $x_L = \omega L$ изменяется прямо пропорционально частоте, емкостное сопротивление $x_C = \frac{1}{\omega C}$ - обратно

пропорционально частоте. Поэтому при изменении частоты меняется и реактивное сопротивление всей цепи X . Частота, при которой реактивное сопротивление $X = 0$, называется резонансной и определяется из соотношения

$$\omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} = 0, \quad \omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_A C_A}}.$$

Резонанс в последовательной $R L C$ - цепи называется резонансом напряжений, т.к. напряжения на реактивных элементах могут быть больше входного напряжения. Вид векторной диаграммы такой цепи зависит от

соотношения частоты воздействия и резонансной частоты. На рис.4.16 приведено качественное изображение векторной диаграммы для $R_K=0$ и $\omega < \omega_0$ с комплексными действующими напряжениями и током.

Просто действующие значения напряжений на элементах цепи определяются по формулам: $U_R=I \cdot R$, $U_C=I \cdot x_C$, $U_K=I \cdot Z_K$.

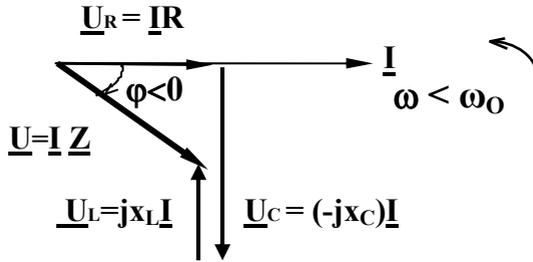


Рис. 4.16. Векторная диаграмма RLC -цепи

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$$

Из диаграммы видно, что

С учетом R_K вектор \underline{U}_K будет опережать вектор тока \underline{I} на угол меньший 90° .

Качественные частотные характеристики реактивных сопротивлений изображены на рис. 1.2.

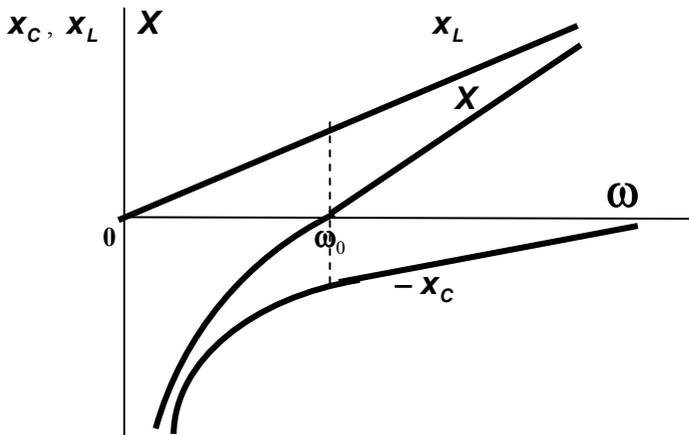


Рис. 4.2. Графики реактивных сопротивлений последовательной RLC-цепи

Поскольку реактивное сопротивление X зависит от частоты, то полное

сопротивление цепи Z , действующее значение тока $I = \frac{U}{\sqrt{(R + R_K)^2 + X^2}}$

и угол Φ тоже зависят от частоты как это показано на рис. 4.3, 4.4 и 4.5.

где $Z_K = \sqrt{R_K^2 + X_L^2}$.

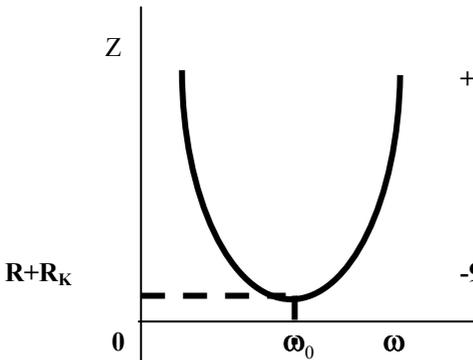


Рис. 4.3. График полного сопротивления последовательной RLC -цепи

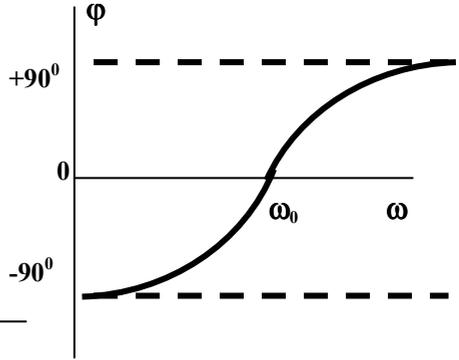


Рис. 4.4. График угла сдвига фаз последовательной RLC -цепи

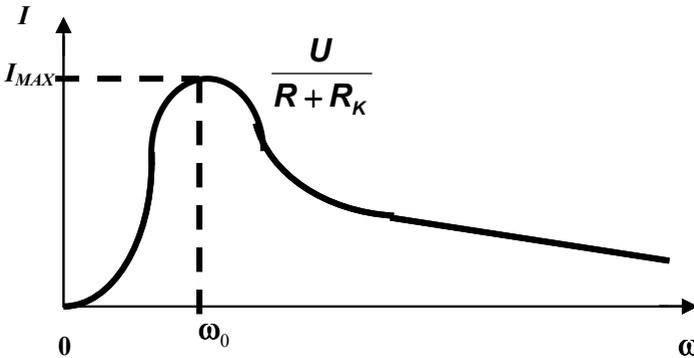


Рис. 4.5. График тока последовательной RLC -цепи

Предварительный расчет целесообразно выполнять при помощи программы Mathcad.[7] Для этого следует запустить программу и записать исходные данные, используя команду присвоения и не забывая перевести все величины в стандартные единицы :омы, генри, фарады. Далее рассчитать резонансную частоту по ее формуле, учитывая, что формула пишется после данных (правее или ниже). Для дистанционного обучения выполнение данной работы проводится по программе ВООК-3, поэтому следует принять

$R_k=0$. Для построения графиков непосредственно в программе Mathcad формулы рекомендуется записать как функции частоты f и построить графики, используя интерфейс графических команд. При этом можно на одном рисунке построить несколько графиков, вводя функции через запятые, если масштаб по вертикали у них близкий. Это можно выполнить для сопротивлений или напряжений. Следует отметить, что углы Mathcad вычисляет в радианах, поэтому для перевода в градусы надо применить множитель 57,3 и функцию $\text{atan}()$.

По полученным графикам необходимо определить точки максимумов напряжений U_R, U_K, U_C .

5. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Собрать схему для измерения U_R и угла сдвига по фазе Φ между входным напряжением и током в цепи согласно рис. 4.6, учитывая то, что исследуемая цепь состоит из последовательно соединенных элементов L_A, C_A и $R = 1 \text{ кОм}$.

2. Установить регуляторы на блоках Г1, Г2, Г3, “ Φ -V3” в рабочие положения..

3. Включить на блоке питания БП тумблеры: “СЕТЬ”, “ГЕНЕРАТОР”, “ Φ - V3”, “КОММУТАТОР-ОСЦИЛОГРАФ”. В место вольтметра V3 для измерения напряжений можно использовать V2, включив соответствующий тумблер на БП.

4. Установить по вольтметру V1 напряжение $U = 2 \text{ В}$ и поддерживать его постоянным при каждом изменении частоты генератора Г1.

5. Определить экспериментально резонансную частоту $f_{0Э}$. Для этого, плавно увеличивая частоту генератора от $f = 2 \text{ КГц}$, добиться нулевого показания фазометра. Значение $f_{0Э}$ сравнить с расчетным f_0 и записать в таблицу 1.2. Рассчитать частоты $f_{0Э} - 1 \text{ кГц}$, $f_{0Э} - 2 \text{ кГц}$, $f_{0Э} - 3 \text{ кГц}$, $f_{0Э} + 1 \text{ кГц}$, $f_{0Э} + 2 \text{ кГц}$, $f_{0Э} + 3 \text{ кГц}$ и занести в ту же таблицу.

6. На частотах, определенных в п.5, провести измерения U_R и Φ , результаты занести в таблицу 4.2.

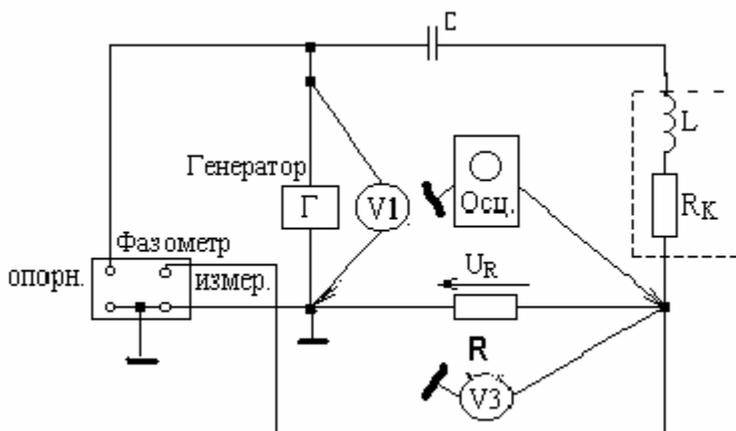


Рис. 4.6. Принципиальная схема измерения U_R и φ

7. Отключить от исследуемой цепи блок “ φ -V3” и подключить осциллограф (блок ЭК) (см. рис. 4.6). Переключатель числа каналов установить в среднее положение, при этом на экране осциллографа (блок БО) одновременно появятся изображения мгновенных напряжений на входе цепи $u(t)$ и на резисторе $u_R(t)$. Напряжение $u_R(t)$ пропорционально току $i(t)$, совпадает с ним по фазе и имеет ту же форму. Регулятор "РАЗВЕРТКА" на блоке ЭК рекомендуется установить в такое положение, при котором на экране осциллографа будут наблюдаться 1.5 – 2 периода исследуемых напряжений.

8. Зарисовать попарно осциллограммы $u(t)$ и $u_R(t)$ на частотах $f_{0Э} - 2$ кГц, $f_{0Э}$, $f_{0Э} + 2$ кГц. Сделать вывод об изменении величины и знака угла φ .

9. Собрать схему рис. 4.7 для измерения U_C (можно с V2). Результаты измерений занесите в таблицу 4.2.

10. Для измерения U_K собрать схему аналогичную рис 4.7, но поменять местами катушку индуктивности L_A и конденсатор C_A . Результаты измерений занести в таблицу 4.2.

Таблица 4.2. Данные расчетов и измерений

Измеренные величины	$f, \text{кГц}$	$f_{02} - 3$	$f_{02} - 2$	$f_{02} - 1$	$f_{02} =$	$f_{02} + 1$	$f_{02} + 2$	$f_{02} + 3$
	$U_R, \text{В}$							
	$U_C, \text{В}$							
	$U_K, \text{В}$							
	$\Phi, \text{град}$							
Расчетные величины	$f, \text{кГц}$	$f_0 - 3$	$f_0 - 2$	$f_0 - 1$	$f_0 =$	$f_0 + 1$	$f_0 + 2$	$f_0 + 3$
	$X_L, \text{Ом}$							
	$X_C, \text{Ом}$							
	$X, \text{Ом}$							
	$\Phi, \text{град}$							
	$Z, \text{Ом}$							
	$I, \text{мА}$							
	$U_R, \text{В}$							
	$U_C, \text{В}$							
	$U_K, \text{В}$							

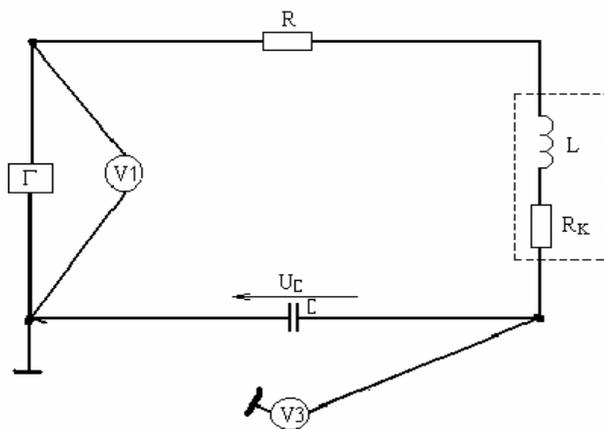


Рис. 4.7. Принципиальная схема измерения U_C

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Исходные данные для бригады.
2. Схемы для расчета рис. 4.1 и измерений рис. 4.6 и 4.7.
3. Расчетные формулы.
4. Пример предварительного расчета для одной частоты.
5. Результаты расчетов и измерений, оформленные в таблице 4.2.
6. Чертеж с графиками, x_C , x_L , Z , X , $I(f)$, построенными по результатам предварительного расчета и чертеж с графиками U_R , U_C , U_K , $\varphi(f)$, построенными по результатам предварительного расчета и эксперимента.
7. Осциллограммы, векторные диаграммы для частот п.8 и выводы об изменении угла в зависимости от частоты.
8. Выводы о совпадении расчетных и опытных данных, об изменении U_R , U_C , U_K , $\varphi(f)$ в исследованной RLC -цепи.

7. Выполнение работы НА ЭВМ

Для выполнения данной работы на ЭВМ сначала нужно запустить программу **BOOK 3.0** [3], используя файл **Start. bat** программы или “ярлык” программы. После появления заставки нажать любую клавишу и в результате появится оглавление разделов.

7.1. Выбрать раздел “**Векторные диаграммы в последовательной RLC -цепи**” и войти в него. Для этого используют клавиши перемещения курсора и **Enter**.

7.2. Выбрать подраздел “**демонстрация**”, просмотреть его и оценить влияние изменения величин элементов на векторные диаграммы цепи.

7.3. Выбрать подраздел “**исследование RLC цепи**” и ввести данные своего варианта. Вначале выбираются единицы измерения перемещением курсора и “**Ent**”, затем вводятся соответствующие величины: $R=1k\Omega$ ($R_k=0$), L , C и частота f (первая из таблицы 1.2), U_m , $\psi=0^0$. Зарисовать получившиеся графики тока, напряжения и векторную диаграмму. Используя масштаб для тока, определить его действующее значение.

7.4. Выбрав опцию “**Нет**”, повторить ввод и, выполняя указания программы, получить графики напряжений и векторную диаграмму всей цепи. Зарисовать результаты исследований. Используя масштабы для напряжений, определить их действующие значения.

7.5. Выбрав опцию “**Да**”, провести исследование на остальных расчетных частотах, зарисовывая графики, векторные диаграммы и определяя действующие значения напряжений.

7.6. Выбрать опцию “**Нет**” и закончить исследования. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы. Выйти в общий раздел через **F10**. Выход из программы осуществляется также через **F10 (Esc)**.

Данную работу можно выполнять и по программе Electronics Workbench [7], аналогично как описано в работе 1-8.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как измерить напряжение U_R , U_C , U_K в последовательной $R L C$ – цепи и угол сдвига по фазе Φ между напряжением и током при гармоническом воздействии?
2. Как экспериментально определить резонансную частоту?
3. По каким формулам можно рассчитать реактивное X , комплексное \underline{Z} и полное сопротивление Z в последовательной $R L C$ - цепи?
4. По какой формуле рассчитывается угол сдвига по фазе Φ между входным напряжением и током в цепи?
5. По каким формулам можно рассчитать комплексные и действующие значения напряжений, $\underline{U}_R(U_R)$, $\underline{U}_C(U_C)$, $\underline{U}_K(U_K)$, и тока $\underline{I}(I)$?
6. Как рассчитать значение резонансной частоты?
7. Каковы частотные зависимости реактивного и полного (X и Z) сопротивления, тока I , напряжения на элементах U_R , U_C , U_K , и угла сдвига по фазе Φ в последовательной R , C - цепи?
8. Как построить векторные диаграммы для частот $f < f_0$, $f = f_0$ и $f > f_0$?
9. Какой характер (индуктивный, емкостный, активный) имеет сопротивление последовательной $R L C$ – цепи на частотах $f < f_0$, $f = f_0$ и $f > f_0$?
10. Почему при резонансе в последовательной $R L C$ – цепи ток максимален?
11. Объясните, почему при резонансе напряжения на реактивных элементах одинаковы?

Литература

1. Бакалов В.П., Дмитриков В.Ф., Крук Б.И Основы теории цепей. -М.: Радио и связь. 2000, с. 72-69.
- 2..Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – М.: Гардарики, 1999, с. 81-133.
3. Бакалов В. П., Крук Б. И., Журавлева О. Б. Теория электрических цепей. СИБГАТИ, Новосибирск, 1998, с. 1-57.
4. Попов В. П. Основы теории цепей. -М.: Высшая школа, 2000, с. 1-143.
- 5 Зевеке Г. В. и др., Основы теории цепей. -М.: Энергоатомиздат. 1989, с. 1- 114.
6. Шебес М. Р., Каблукова М. В. Задачник по теории линейных электрических цепей. -М.: Высшая школа, 1990, с. 1- 163.
7. Методические указания к лабораторным работам по 1-й части курса “Основы теории цепей”. ПГАТИ, каф. ТЭЦ, Самара, 2002.

РАБОТА 1.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ RC - И RL –ЦЕПЕЙ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Экспериментальное исследование простейших параллельных цепей с RC - и RL элементами при изменении частоты источника гармонического воздействия; проверка экспериментом расчетного значения тока в цепи и фазовых соотношений.

2. ЗАДАНИЕ НА ПОДГОТОВКУ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

2.1. Ознакомиться с описанием универсального стенда ЛКЦЦ, лабораторной работы и контрольными вопросами к работе.

2.2. Повторить теорию по одному из учебников и ознакомиться с описаниями к предварительному расчету и выполнить предварительный расчет.

3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ

3.1. Для изображенных на рисунках 5.1 и 5.2 схем рассчитать активную G , реактивную B и полную y проводимости, ток I и сдвиг по фазе φ между приложенным напряжением \underline{U} и током в общей ветви \underline{I} . Значения параметров цепей приведены в таблицах 5.1 и 5.2 для каждой из бригад. Расчет производится на всех частотах, указанных в таблицах. Результаты расчета занести в таблицы вида 5.3 (приведена в разделе “Последовательность выполнения работы”).

3.2. По данным предварительного расчета построить на одном листе графики $b_c = b_c(f)$, $I = I(f)$, $\varphi = \varphi(f)$ для схемы рисунка 5.1, а на другом листе графики $b_L = b_L(f)$, $I = I(f)$, $\varphi = \varphi(f)$ для схемы рисунка 5.2.

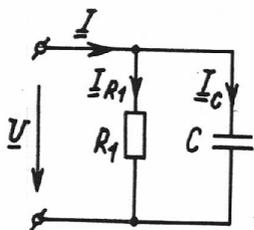


Рис. 5.1
Параллельная RC-цепь

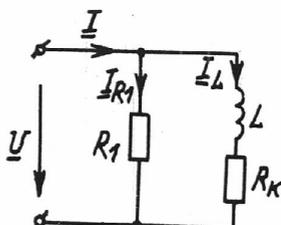


Рис. 5.2
Параллельная RL-цепь

Таблица 5.1. Данные для расчета RC-цепи

№ бригады	П а р а м е т р ы ц е п и $U=2 В$						
	C нФ	R_1 кОм	Ч а с т о т а в кГц				
			f_1	f_2	f_3	f_4	f_5
1	23,4	3	2	5	8	11	14
2	17,2	3					
3	12,92	3					
4	10,0	3					
5	7,92	3					
6	6,37	3					
7	5,21	3					
8	4,32	3	5	8	11	14	17
9	3,62	3					
10	3,06	3					
11	4,18	3					
12	3,48	3					
13	3,08	3					
14	2,7	3					
15	2,3	3					

При расчете RL-цепи для выполнения на ЭВМ по программе BOOK 3 принять $R_k=0$.

Таблица 5.2. Данные для расчета RL- цепи

№ бригады	П а р а м е т р ы ц е п и $U=2 В$							
	L мГн	R_k Ом	R_1 кОм	Ч а с т о т а в кГц				
				f_1	f_2	f_3	f_4	f_5
1	30	119	3	5	8	11	14	17
2	35	127	3					
3	40	70	3					
4	45	116	3					
5	50	104	3					
6	55	71	3					
7	60	116	3					
8	65	114	3	4	7	10	13	16
9	70	132	3					
10	75	134	3					
11	50	70	3					
12	55	71	3					
13	57	75	3					
14	60	71	3					
15	65	116	3					

4. ПОЯСНЕНИЯ К ПРЕДВАРИТЕЛЬНОМУ РАСЧЕТУ

При параллельном соединении (рис. 5.3) все ветви находятся под одним напряжением \underline{U} . На основе первого закона Кирхгофа комплексное значение тока на входе цепи \underline{I} равно сумме комплексных токов ветвей

$$\underline{I} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3.$$

Очевидно, что токи в ветвях определяются зависимостями

$$\underline{I}_1 = \underline{U} \cdot \underline{Y}_1, \quad \underline{I}_2 = \underline{U} \cdot \underline{Y}_2,$$

$$\underline{I}_3 = \underline{U} \cdot \underline{Y}_3,$$

где $\underline{Y}_1 = 1/\underline{Z}_1$, $\underline{Y}_2 = 1/\underline{Z}_2$, $\underline{Y}_3 = 1/\underline{Z}_3$ - комплексные проводимости ветвей, а $\underline{Z}_1, \underline{Z}_2, \dots, \underline{Z}_3$ - комплексные сопротивления ветвей.

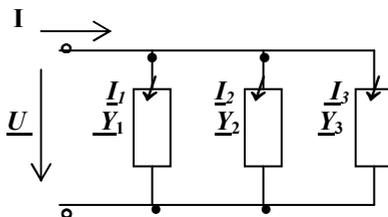


Рис. 5.3 Параллельная цепь

Таким образом,

$$\underline{I} = \underline{U} (\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3) = \underline{U} \cdot \underline{Y} = \underline{U} \cdot y e^{-j\varphi}.$$

Здесь \underline{Y} - комплексная проводимость цепи,

y - полная проводимость цепи ($y = |\underline{Y}|$),

φ - угол сдвига фаз между входным напряжением и входным током

$$(\varphi = -\arg \underline{Y}).$$

Поскольку комплексная проводимость рассматриваемой цепи равна сумме комплексных проводимостей параллельно соединенных ветвей, то можно записать

$$\underline{Y} = \sum_{K=1}^n \underline{Y}_K = \sum_{K=1}^n G_K + j \sum_{K=1}^n B_K = G + jB = y \cdot e^{-j\varphi},$$

где G - активная проводимость цепи, равная сумме активных проводимостей параллельно соединенных ветвей;

B - реактивная проводимость цепи, равная сумме реактивных проводимостей параллельно соединенных ветвей;

$y = \sqrt{G^2 + B^2}$ - полная проводимость цепи;

$\varphi = -\arctg(B/G)$ - угол сдвига фаз между напряжением цепи и входным током. Действующее значение тока в общей ветви (входного тока) определяется соотношением $I = U \cdot y$.

4.1. Расчетные соотношения для RC – цепи (рис. 5.1)

Для ветви с резистором $\underline{Y}_1 = 1/R_1 = G_1$, $B_1 = 0$.

Для ветви с емкостью

$$\underline{Y}_2 = 1/\underline{Z}_C = j\omega C = jB_2 = j b_c, \quad G_2 = 0,$$

где $b_c = \omega C$ – емкостная проводимость.

Следовательно, для схемы рис. 5.1 $\underline{Y} = \underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 = G_1 + jB_2 = y \cdot e^{-j\varphi}$,

$$y = \sqrt{\frac{1}{R_1^2} + (\omega C)^2}, \quad \varphi = -\arctg \omega C R_1 < 0.$$

В данном случае угол φ имеет отрицательное значение (напоминаем, что он отсчитывается на векторной диаграмме от вектора тока к вектору напряжения). Ток в общей ветви опережает приложенное к цепи напряжение на угол φ . Действующее значение тока

$$I = U \cdot y = U \cdot \sqrt{\frac{1}{R_1^2} + (\omega C)^2}.$$

Данные расчетов занести в таблице вида 5.3.

4.2. Расчетные соотношения для RL – цепи (рис. 5.2)

Для ветви с резистором $\underline{Y}_1 = 1/R_1 = G_1$, $B_1 = 0$.

Для ветви с индуктивностью с учетом сопротивления потерь катушки R_K

$$\underline{Y}_2 = \frac{1}{\underline{Z}_K} = \frac{1}{j\omega L + R_K} = \frac{R_K}{R_K^2 + (\omega L)^2} + j \left[\frac{-\omega L}{R_K^2 + (\omega L)^2} \right].$$

Следовательно,

$$\underline{Y} = \underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 = \frac{1}{R_1} + \frac{R_K}{R_K^2 + (\omega L)^2} + j \left[\frac{-\omega L}{R_K^2 + (\omega L)^2} \right] = G + jB = y \cdot e^{-j\varphi},$$

$$y = \sqrt{\left[\frac{1}{R_1} + \frac{R_K}{R_K^2 + (\omega L)^2} \right]^2 + \left[\frac{-\omega L}{R_K^2 + (\omega L)^2} \right]^2},$$

$$\varphi = \arctg \left[\left(\frac{\omega L}{R_K^2 + (\omega L)^2} \right) / \left(\frac{1}{R_1} + \frac{R_K}{R_K^2 + (\omega L)^2} \right) \right].$$

Для рассматриваемой цепи угол $\varphi > 0$ (ток в общей ветви отстает от на-

пряжения на угол φ). Действующее значение тока определяется выражением

$$I = U \cdot y$$

Если $R_K \ll \omega L$, то расчетные формулы упрощаются:

$$G = 1/R_1, \quad B = -1/\omega L = -b_L,$$

$$y = \sqrt{\frac{1}{R_1^2} + \left(-\frac{1}{\omega L}\right)^2}, \quad \varphi = \text{arctg}(R_1/\omega L).$$

Данные расчетов занести в таблицу аналогичную 5.3, где во второй строке вместо b_C используется b_L , а в третьей используется

$$G = 1/R_1 + R_K/(R_K^2 + \omega L^2)$$

4.3. Построение векторных диаграмм

для параллельных RC - и RL - цепей

В параллельных RC - и RL - цепях при построении векторных диаграмм в качестве опорного вектора, откладываемого по горизонтали, выбирается вектор напряжения U , а токи ветвей строятся в соответствии с фазовыми сдвигами относительно напряжения. На рисунке 5.4 показана диаграмма для RC - цепи (рис. 5.1). Здесь ток I_{R1} совпадает по фазе с напряжением U , а ток I_C - опережает на 90° .

Составляющие токи I_{R1} и I_C находятся по формулам:

$$I_{R1} = U/R_1, \quad I_C = U \cdot b_C,$$

$$I = \sqrt{I_{R1}^2 + I_C^2}, \quad \varphi = -\text{arctg}(I_C/I_{R1}).$$

Векторная диаграмма RL - цепи (рис. 5-2) без учета потерь ($R_K = 0$) приведена на рис. 5.5.

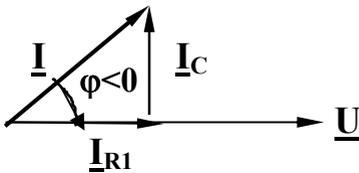


Рис. 5.4. Векторная диаграмма RC-цепи

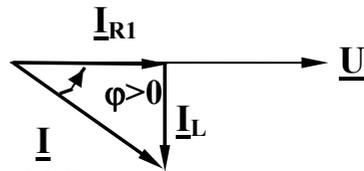


Рис. 5.5. Векторная диаграмма RL-цепи

Здесь ток I_{R1} совпадает по фазе с напряжением U , а ток I_L - отстает на 90° . Причем $I_{R1} = U/R_1$, $I_L = U/\omega L$,

$$I = \sqrt{I_{R1}^2 + I_L^2}, \quad \varphi = \text{arctg}(I_L/I_{R1}).$$

С учетом потерь в катушке индуктивности ток I_L будет отставать от

напряжения на угол $\varphi_k = \arctg(\omega L / R_k)$, меньше 90° , а итоговый угол будет меньше чем $\arctg(R_1 / \omega L)$.

5. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1. Экспериментальное исследование параллельной RC - цепи при изменении частоты

5.1.1. Собрать схему для измерения напряжения на добавочном сопротивлении $R_2 = 100 \text{ Ом}$ согласно рисунку 5.6 с использованием емкости C_A .

5.1.2. Установить регуляторы ЛКЦ на блоке Г1, – в положение $2 \div 20$ кГц, на блоке Г2 – f_{var} , на Г3 – 10 В, на блоке “ $\varphi - V_3$ ” – в положение φ , на блоке ЭК – все тумблеры в положение “ВНУТР.”, а переключатель каналов – в среднее положение. В этом случае осциллограф через 1 канал подключается к генератору, а через второй – к сопротивлению R_2 .

5.1.3. Включить на блоке питания тумблеры “СЕТЬ”, “ГЕНЕРАТОР”, “ V_2 ”, “ $\varphi - V_3$ ”, “КОММУТАТОР – ОСЦИЛЛОГРАФ” (не включать тумблер анализатора спектра).

5.1.4. Установить на блоке Г1 первую заданную частоту, а на блоке Г3 по вольтметру V_1 напряжение $U = 2 \text{ В}$ и дальнейшем поддерживать его постоянным при каждом изменении частоты генератора.

5.1.5. Измерьте вольтметром V_2 напряжение на добавочном сопротивлении R_2 , а фазометром – угол сдвига фаз между напряжением и общим током на первой заданной частоте. Результаты измерений занесите в таблицу

Добавочный резистор необходим, чтобы определить входной ток.

Если измерить напряжение U_{R_2} , то

$$I = I_{R_2} = U_{R_2} / R_2.$$

На всех частотах, при которых ставится эксперимент, падением напряжения на R_2 можно пренебречь, поэтому напряжение на соединенных параллельно R_1 и C_A можно считать равным 2 В .

5.1.6. Зарисуйте диаграммы колебаний с экрана осциллографа. На экране осциллографа одновременно должно появиться два гармонических колебания – временная диаграмма входного напряжения $u(t)$ и временная диаграмма напряжения на добавочном резисторе $u_{R_2}(t)$.

Для лучшего анализа временных диаграмм регуляторами блока ЭК “РАЗВЕРТКА” и “УСИЛЕНИЕ” добейтесь изображения на экране осциллографа $1,5 \div 2$ периодов колебаний, а тумблерами и регуляторами входа каналов – примерно равной амплитуды колебаний. (U_m чуть больше $U_{m R_2}$). Регулятором “РАСХОЖДЕНИЕ” совместите диаграммы по 1 и 2 каналам и

зарисуйте полученную осциллограмму. Поскольку напряжение на добавочном резисторе $u_{R_2}(t)$ совпадает по фазе с входным (общим) током, то такая осциллограмма позволяет визуально просмотреть фазовые сдвиги между напряжением $u(t)$ и током $i(t)$ в исследуемой цепи.

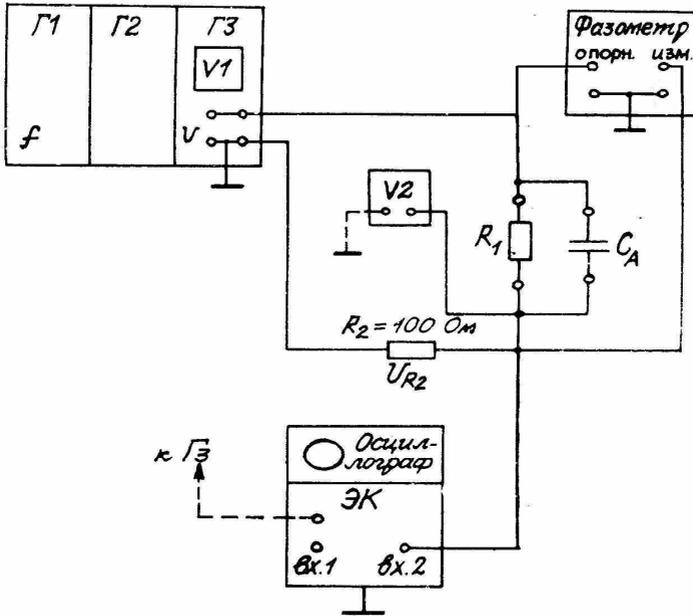


Рис. 5.6 Схема исследования параллельной цепи

Таблица 5.3. Данные расчетов и эксперимента

f , кГц		f_1	f_2	f_3	f_4	f_5
Расчетные величины	b_c , См					
	G_1 , См					
	y , См					
	φ , град					
	I , мА					

Измеренные величины	U_{R2} , В					
	φ , град					
	I , мА					

5.1.7. Проведите измерения на остальных частотах f_2 , f_3 , f_4 и f_5 , причем осциллограмму зарисуйте только для частоты f_5 и сделайте вывод об изменении угла φ на временной диаграмме.

5.1.8 Сравните данные опыта с расчетными величинами и постройте графики $I = I(f)$, $\varphi = \varphi(f)$ по экспериментальным данным на том же листе, что и расчетные графики. Сделайте выводы.

5.2 Экспериментальное исследование параллельной RL - цепи

5.2.1. В цепи по схеме рисунка 5.6 вместо конденсатора C_A включите катушку индуктивности L_A .

5.2.2. Проведите экспериментальное исследование RL - цепи, как и для RC - цепи на заданных для нее частотах, записывая данные в соответствующую таблицу. Зарисуйте осциллограммы на частотах f_1 и f_5 .

5.2.3. Сравните расчетные и измеренные величины для RL - цепи и постройте графики $I = I(f)$, $\varphi = \varphi(f)$ по экспериментальным данным на том же листе, что и расчетные.

6. Выполнение работы на ЭВМ по Блок 3.0

Для выполнения данной работы на ЭВМ сначала нужно запустить программу **BOOK 3.0** [2], используя файл **Start.bat** программы или “ярлык” программы. После появления заставки нажать любую клавишу и в результате появится оглавление разделов.

6.1 Выберите раздел “**Векторные диаграммы в параллельной RLC -цепи**” и войдите в него. Для этого используют клавиши перемещения курсора и **Enter**.

6.2. Далее следует выбрать подраздел “**исследование RC цепи**” и ввести данные своего варианта. Вначале выбираются единицы измерения перемещением курсора и “**Ent**”, затем вводятся соответствующие величины: R , C , f (первую из таблицы 5.3), амплитуду тока I_m , угол сдвига фаз с обратным знаком ($-\varphi$) – все для первой частоты. Обратите внимание на то, что при вводе величины тока в **ma**, она может восприняться в программе в **A**. Зарисуйте получившиеся графики тока, напряжения и векторную диаграмму

с указанием масштабов. Используя масштаб для напряжения, определите его действующее значение.

6.3. Выбрав опцию “Нет”, повторите ввод и, выполняя указания программы, получите графики токов и векторную диаграмму всей цепи. Зарисуйте результаты исследований. Используя масштабы для токов, определите их действующие значения. Выбрав опцию “Да”, проведите аналогичные исследование на остальных расчетных частотах, зарисовывая графики, векторные диаграммы и определяя действующие значения токов.

6.4. Выберите опцию “Нет” и закончите исследования. Далее следует проанализировать полученные результаты и сделать выводы.

6.5. Выберите подраздел “исследование RL цепи” и провести аналогичное исследование этой цепи по своему варианту ($R_k=0$).

6.6. Выберите опцию “Нет” и закончите исследования. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы и выйти через F10 из раздела и программы.

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Предварительный расчет со всеми исходными данными в виде таблиц, схем, формул. Причем, подробный расчет производится только для одной частоты.

2. Схемы измерений и измеренные величины.

3. Графики $I=I(f)$, $\varphi = \varphi(f)$, $b_c = b_c(f)$, $b_L = b_L(f)$.

4. Векторные диаграммы и осциллограммы для частот f_1 и f_5 . При выполнении на ЭВМ диаграммы и осциллограммы для всех частот.

5. Выводы о проведенном исследовании.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чему равны комплексная, полная, активная и реактивная проводимости ветви и каковы графики их частотных зависимостей, если комплексное сопротивление ветви: а) $\underline{Z} = R + j\omega L$, б) $\underline{Z} = R - j/\omega C$?

2. Какой вид имеют частотные зависимости токов I , I_C , полной проводимости y , угла φ для цепи рисунка 5.1?

3. Какой вид имеют частотные зависимости токов I , I_L , полной проводимости y , угла φ для цепи рисунка 5.2, для случая идеальной индуктивности?

4. Какой вид имеют частотные зависимости I , I_L , y , φ для цепи рисунка 2.2 с учетом потерь в катушке индуктивности?

5. Чему равна полная проводимость y и угол φ ветвей, если

$$\underline{Y}_1 = (0,1 + j 0,1) \text{ См}, \quad \underline{Y}_2 = (0,3 - j 0,2) \text{ См},$$

$$\underline{Y}_4 = j 0,5 \text{ См}, \quad \underline{Y}_5 = -j 0,8 \text{ См}, \quad \underline{Y}_6 = 1 \text{ См}?$$

6. Какой вид будет иметь векторная диаграмма параллельной R, L - цепи с учетом потерь в катушке индуктивности?

7. Как изменятся векторные диаграммы цепей рисунков 5.1 и 5.2 при увеличении частоты?

Литература

1. Бакалов В.П., Дмитриков В.Ф., Крук Б.И Основы теории цепей. -М.: Радио и связь. 2000, с. 72-69.
2. Бакалов В. П., Крук Б. И., Журавлева О. Б. Теория электрических цепей. СИБГАТИ, Новосибирск, 1998, с. 1-57.
3. Попов В. П. Основы теории цепей. -М.: Высшая школа, 2000, с. 72-108.
4. Зевеке Г. В. и др. Основы теории цепей. -М.: Энергоатомиздат. 1989, с. 61- 105.
5. Методические указания к лабораторным работам по 1-й части курса “Основы теории цепей”. ПГАТИ, каф. ТЭЦ, Самара, 2002.
6. Шебес М. Р., Каблукова М. В. Задачник по теории линейных электрических цепей. -М.: Высшая школа, 1990, с. 50- 99.
7. Алексеев А.П. Информатика 2001. –М.: Солон - Р, 2001, с. 269-329
8. Методические указания к лабораторным работам по 1-й части курса “Основы теории цепей”. ПГАТИ, каф. ТЭЦ, Самара, 2002.

РАБОТА 1.6. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ЦЕПИ С R, L, C – ЭЛЕМЕНТАМИ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

1. Цель работы

Экспериментальное исследование параллельной L, C – цепи при изменении частоты гармонического воздействия.

2. Задание на подготовку к лабораторной работе

2.1 Ознакомиться с описанием к лабораторной работе, с описанием универсального стенда ЛКТЦ и контрольными вопросами.

2.2 Повторить теорию по одному из учебников, ознакомиться с пояснениями к предварительному расчету и выполнить предварительный расчет.

3. Предварительный расчет.

3.1. Для изображенной на рисунке 6.1 схемы рассчитать резонансную частоту f_R , активную G , реактивную B и полную Y проводимость цепи, действующее значение входного тока I и сдвиг по фазе φ между входным напряжением \underline{U} и током \underline{I} . Значения параметров цепи приведены в таблице 6.1.

3.2. Результаты расчета занести в таблицу 6.2.

3.3. По данным предварительного расчета на одном листе построить графики: $B=B(f)$, $\varphi=\varphi(f)$, $I=I(f)$.

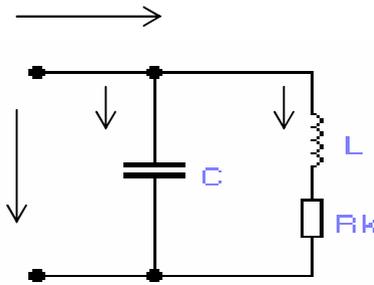
Таблица 6.1. Исходные данные для расчета

№ бригады	C , нФ	L , мГн	R_K , Ом	U , В
1	23,4	30	119	2
2	17,2	35	127	
3	12,92	40	70	
4	10	45	116	
5	7,92	50	104	
6	6,37	55	71	
7	5,21	60	116	
8	4,32	65	114	
9	3,62	70	132	
10	3,06	75	134	

11	4,18	50	70
12	3,48	55	71
13	3,08	57	75
14	2,7	60	71
15	2,3	65	116

4. Пояснения к предварительному расчету.

Комплексная проводимость \underline{Y} схемы рисунка 6.1 определяется выражением



$$\underline{Y} = j\omega C + \frac{1}{R_K + j\omega L} =$$

$$\frac{R_K}{R_K^2 + (\omega L)^2} + j \left(\omega C - \frac{\omega L}{R_K^2 + (\omega L)^2} \right) =$$

$$= G + jB = y e^{j\varphi}, \quad \text{где } y = \sqrt{G^2 + B^2}.$$

$$G = \frac{R_K}{R_K^2 + (\omega L)^2}, \quad B = \omega C - \frac{\omega L}{R_K^2 + (\omega L)^2}, \quad \varphi = -\arctg \frac{B}{G}.$$

При равенстве реактивной проводимости цепи B нулю имеет место резонанс токов. Условие резонанса:

$$\omega C = \frac{\omega L}{R_K^2 + (\omega L)^2}.$$

Отсюда резонансная частота ω_P будет равна:

$$\omega_P = \sqrt{\frac{1}{LC} \left(1 - \frac{R_K^2 C}{L} \right)}, \quad f_P = \frac{\omega_P}{2\pi}.$$

Если $R_K \ll \omega L$, то резонанс возникает на частоте

$$\omega_P \approx \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

условием резонанса будет соотношение $b_C (= \omega C) = b_L (= 1/\omega L)$.

При подготовке к выполнению данной работы на ЭВМ по БООК-3 принять $R_K = 0$, а параллельно емкости включить резистор $R_4 = 1$ кОм. В этом случае $f_P = f_0$, $B = \omega C = 1/\omega L$, $G = 1/R_4$

При резонансе токов полная проводимость y цепи рисунка 6.1 минимальна и равна активной составляющей, а угол сдвига фаз φ равен нулю. При частотах, меньших резонансной, реактивная проводимость индуктивной ветви больше емкостной проводимости (по абсолютной величине) и общая реактивная проводимость цепи носит индуктивный характер (ток отстает от напряжения, угол $\varphi > 0$). При частотах, больших резонансной, емкостная проводимость по абсолютной величине больше индуктивной составляющей и результирующая реактивная проводимость носит емкостной характер, (ток опережает напряжение, угол $\varphi < 0$). На частотах, близких к нулю, при малых значениях R_K , проводимость цепи велика, а угол φ близок к $\pi/2$. Однако на частоте $\omega = 0$ угол $\varphi = 0$, т.к. $e_c = 0$, $x_L = \omega L = 0$ и $Y = 1/R_K$. На частотах, значительно больших резонансной, велика проводимость емкостной ветви и мала индуктивной, общая проводимость будет велика, а угол φ близок к $-\pi/2$.

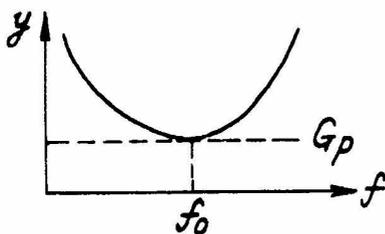


Рис. 6.2

График полной проводимости исследуемой цепи

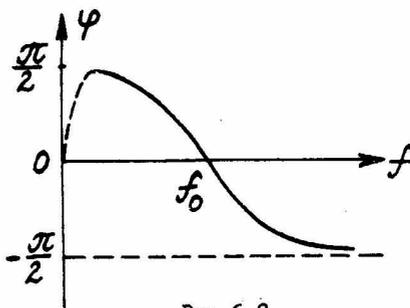


Рис. 6.3

График фазового сдвига исследуемой цепи

На резонансной частоте $Y = G_p = \frac{R_K}{R_K^2 + (\omega L)^2}$ является чисто

активной. Качественно графики частотных зависимостей $y=y(f)$ и $\varphi=\varphi(f)$ показаны на рисунках 1.2 и 1.3 соответственно. При постоянном напряжении график действующего значения тока I качественно повторяет частотную зависимость полной проводимости, так как $I=U \cdot y$.

При построении векторных диаграмм вектор входного напряжения откладывают по горизонтали, вектор емкостного тока опережает вектор напряжения на 90^0 , а вектор тока через катушку отстает на угол $\varphi_K = \arctg(\omega L/R_K)$ и при $R_K \ll \omega L$ близок 90^0 . При этом, на частотах $\omega < \omega_p$ емкостная проводимость меньше индуктивной и действующее значение емкостного тока будет меньше индуктивного: $I_C < I_L$. На частотах $\omega > \omega_p$ все будет наоборот, а именно: $I_C > I_L$, а на резонансной частоте $I_C \approx I_L$.

При выполнении расчетов целесообразно применить программу **Mathcad**

5. Экспериментальное исследование параллельной цепи при изменении частоты

5.1. Собрать схему для измерения напряжения на добавочном сопротивлении $R_2 = 100$ Ом согласно рисунку 6.4.

5.2. Установить регуляторы стенда ЛКГЦ на блоке Г1 в положение $2+20$ кГц, Г2 - f_{var} , Г3 – 10 В и выставить по вольтметру **V1** входное напряжение $U = 2$ В и поддерживать в дальнейшем его постоянным. На блоке "Ф - V3" тумблер вида измерений установить в положение φ . На блоке ЭК все тумблеры установить в положение "ВНУТР.", а переключатель каналов в средние положение.

На блоке питания включить тумблеры "СЕТЬ", "ГЕНЕРАТОР", "V2", "КОММУТАТОР-ОСЦИЛЛОГРАФ" (остальные – в положение "ВЫКЛ.").

5.3. Определите экспериментально резонансную частоту f_{p3} . Для этого необходимо плавно увеличивать частоту генератора, начиная с 2 кГц, и следить за величиной U_{R2} . На резонансной частоте U_{R2} должно иметь минимальное значение (при этом $U = 2$ В). Измерьте U_{R2} и запишите в таблицу 6.2.

Сравните полученное значение с расчетным f_p . Сопротивлением R_2 в расчете пренебречь. Занесите в таблицу значение f_{p3} , рассчитайте значение тока $I=U_{R2}/R_2$ и запишите его в таблицу 6.2.

5.4. Снять частотную характеристику цепи. Для этого надо измерить U_{R2} на частотах, больших и меньших резонансной f_{p3} , которые указаны в таблице 6.2. При этом поддерживайте входное напряжение $U = 2$ В. По измеренным данным постройте график $I=I(f)$. На частотах $f_{p3}-1500$ и $f_{p3}+1500$

зарисуйте осциллограммы входного напряжения $u(t)$ и напряжения $u_{R_2}(t)$ аналогично, как указано в работе 1.5. Для этого соответствующим образом настройте осциллограф и ЭК (совмещение изображений по каналам и большая амплитуда входного напряжения на первом канале).

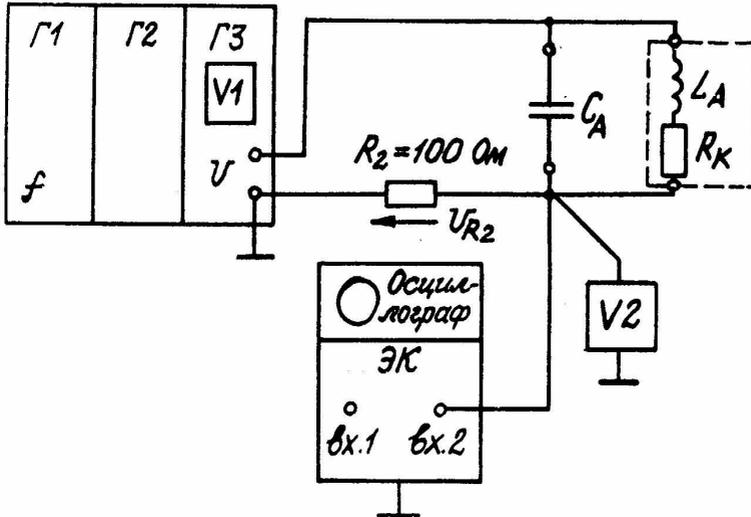


Рис. 6.4 Схема исследования LC-цепи

5.5. Исследование RL,C-цепи. Не разбирая всей схемы, отсоедините один из выводов катушки индуктивности L_A от C_A и подключите последовательно с L_A резистор $R_3=500$ Ом. Затем эту цепочку из L_A и R_3 подключите параллельно конденсатору C_A , отключив при этом осциллограф. Подключите гнездо “опор.” фазометра к выходу генератора, гнездо “изм.” к точке соединения R_2 и C_A . Определите резонансную частоту по минимальному показанию фазометра (в идеальном случае 0°). Измерьте напряжение на R_2 . Запишите показания в таблицу аналогичную таблице 6.2 для экспериментальных значений. Затем проведите измерения напряжения на R_2 и угла φ на трех частотах меньше и больше резонансной через $0,5$ кГц. Запишите данные в ту же таблицу, добавив строчку для угла φ . Рассчитайте ток по экспериментальным данным и по теоретическим формулам с учетом добавочно включенного резистора R_3 , заменив в формулах R_K на R_K+R_3 .

Таблица 6.2. Данные расчета и эксперимента

f , кГц	f_p^- 1,5	f_p^- 1,0	f_p^- 0,5	f_p	$f_p+1,0$	$f_p+1,0$	$f_p+1,5$

Теоритич.	b_C См							
	b_L См							
	B , См							
	G , См							
	y , См							
	φ , град							
	I , мА							
	Эксп.	f , кГц	$f_{PЭ-1,5}$	$f_{PЭ-1,0}$	$f_{PЭ-0,5}$	$f_{PЭ}$	$f_{PЭ+0,5}$	$f_{PЭ+1,0}$
U_{R2} , В								
I , мА								

6. Выполнение работы на ЭВМ

При выполнении данной работы на ЭВМ по **BOOK 3.0** принять $R_k=0$, а параллельно емкости включить резистор $R_4=1$ кОм. В этом случае $B=\omega C - 1/\omega L$, $G=1/R_4$.

Для выполнения данной работы на ЭВМ сначала нужно запустить программу **BOOK 3.0** [2], используя файл **Start.bat** программы или “ярлык” программы. После появления заставки нажать любую клавишу и в результате появится оглавление разделов.

6.1. Выбрать раздел “**Векторные диаграммы в параллельной RLC - цепи**” и войти в него. Для этого используют клавиши перемещения курсора и **Enter**. Выбрать подраздел “**демонстрация**”, просмотреть его и оценить влияние изменения величин элементов на векторные диаграммы цепи.

6.2. Выбрать подраздел “**исследование RLC цепи**” и ввести данные своего варианта. Вначале выбираются единицы измерения перемещением курсора и “**Ent**”, затем вводятся соответствующие величины: $R=R_4$, L , C , f (первую из табл. 1.2), I_m , $-\varphi$ (для первой частоты). Зарисовать получившиеся графики тока, напряжения и векторную диаграмму. Вид экрана по программе **BOOK** показан на рис. 6.5. Используя масштаб для напряжения, определить его действующее значение.

6.3. Выбрав опцию “Нет”, повторить ввод и, выполняя указания программы, получить графики токов и векторную диаграмму всей цепи. Зарисовать результаты исследований. Используя масштабы для токов, определить их действующие значения. Выбрав опцию “Да”, провести аналогичные исследование на остальных расчетных частотах, зарисовывая графики, векторные диаграммы и определяя действующие значения токов.

6.4. Выбрать опцию “Нет” и закончить исследования. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы. Выйти из программы через F10 или Esc.

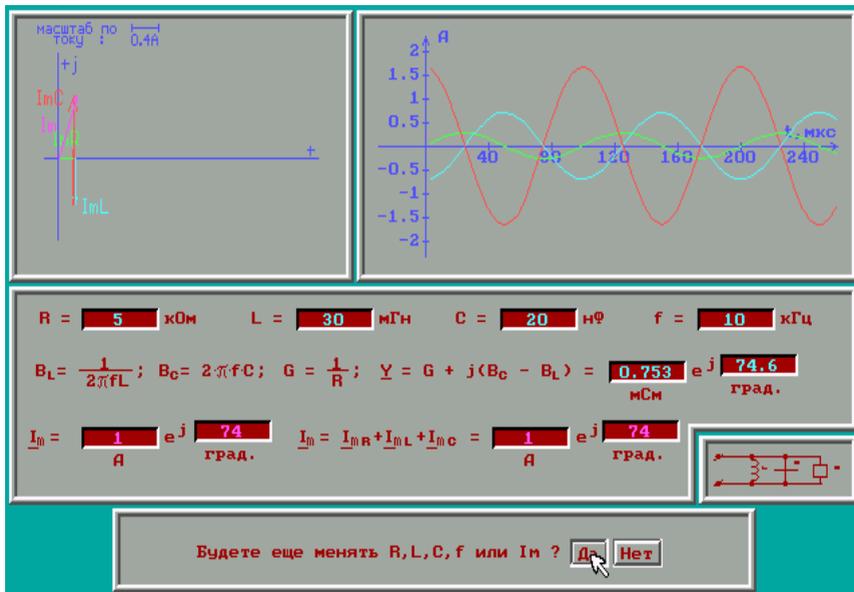


Рис. 6.5. Вид экрана по программе BOOK

6.5. Данную работу можно выполнить с применением программы **Electronics Workbench 4.0** или **5.0**.

7. Содержание отчета.

1. Предварительный расчет.
2. Схему измерений, измеренные величины (заносятся в таблицы вида 6.2) и графики $I=I(f)$, $\varphi=\varphi(f)$, $B=B(f)$, построенные по результатам расчетов и по экспериментов.
3. Осциллограммы временных зависимостей $u(t)$ и $u_{R2}(t)$ для частот $f_{p1} \pm 1500$ и векторные диаграммы для тех же частот. При выполнении на ЭВМ временные зависимости и векторные диаграммы для всех частот.
4. Выводы по результатам исследований.

8. Контрольные вопросы

1. Как определяется активная G , реактивная B , полная y проводимости и угол сдвига фаз ϕ цепи рисунка 6.1?
2. Когда возникает в цепи рисунка 6.1 резонанс токов и как определяется резонансная частота f_p ?
3. Какой вид имеют частотные зависимости токов I_C и I_L цепи рис. 6.1 при постоянной величине действующего значения входного напряжения?
4. Какой вид имеют векторные диаграммы цепи рисунка 6.1 при $f < f_p$, $f = f_p$, $f > f_p$?
5. Какой вид будут иметь векторные диаграммы цепи рисунка 6.1, если параллельно емкости включить резистор?
6. По каким признакам в опыте можно установить, что цепь рисунка 6.1 находится в состоянии резонанса?
7. Чему равна комплексная проводимость цепи рисунка 6.7, если известно, что

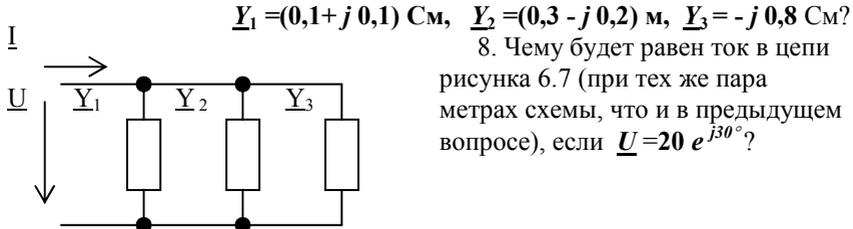


Рис. 6.7. Схема цепи

8. Чему будет равен ток в цепи рисунка 6.7 (при тех же параметрах схемы, что и в предыдущем вопросе), если $\underline{U} = 20 e^{j30^\circ}$?

Литература

1. Бакалов В.П., Дмитриков В.Ф., Крук Б.И. Основы теории цепей. -М.: Радио и связь. 2000, с. 72-69.
2. Бакалов В. П., Крук Б. И., Журавлева О. Б. Теория электрических цепей. СИБГАТИ, Новосибирск, 1998, с. 1-57.
3. Белецкий А. Ф. Теория линейных электрических цепей. – М.: Радио и связь. 1986, с.98- 155.
4. Зевеке Г. В. И др. Основы теории цепей. –М.: Энергоатомиздат. 1989, с. 61- 105.
5. Попов В. П. Основы теории цепей. –М.: Высшая школа, 2000, с. 72-108
6. Шебес М. Р., Каблукова М. В. Задачник по теории линейных электрических цепей. –М.: Высшая школа, 1990, с. 50- 99.
7. Методические указания к лабораторным работам по 1-й части курса “Основы теории цепей”. ПГАТИ, каф. ТЭЦ, Самара, 2002..

РАБОТА 1-7

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА

1. Цель работы

Экспериментальное исследование резонансных свойств последовательного колебательного контура, расчёт частотных характеристик, закрепление теоретического материала по колебательным контурам.

2. Задание на подготовку к лабораторной работе

- 1) Ознакомиться с описанием и контрольными вопросами к лабораторной работе.
- 2) Повторить теорию по одному вопросу из учебников и ознакомиться с пояснениями к предварительному расчёту (список литературы .)
- 3) Выполнить предварительный расчёт.
- 4) Ответить на контрольные вопросы.

3. Предварительный расчёт

Исходные данные для предварительного расчёта для выполнения на макете приведены в таблице 7.1, на стенде ЛКТЦ в 7.4.

Для последовательного колебательного контура (рис.7.1) следует определить:

- 1) резонансную частоту f_0 ;
- 2) характеристическое сопротивление контура ρ ;
- 3) собственную добротность контура Q ;
- 4) эквивалентную добротность контура Q_3 при заданном значении добавочного сопротивления $R_{доб}$ (R_d);
- 5) эквивалентные добротности Q_{H1} и Q_{H2} нагруженного на сопротивлении R_{H1} и R_{H2} контура при $R_{доб} = 0$;
- 6) собственную полосу пропускания контура Π и эквивалентные (Π_{H1}, Π_{H2}) для случаев, указанных в пп.4,5.
- 7) рассчитать и построить нормированную частотную зависимость напряжения на ёмкости $n = U_C(f) / U_{C0}$ для случаев $R_{доб} = 0$, $R_{доб} \neq 0$ (расчёт производится на частотах по таблице 7.2 f_0 , $f_0 \pm 100$, $f_0 \pm 200$,

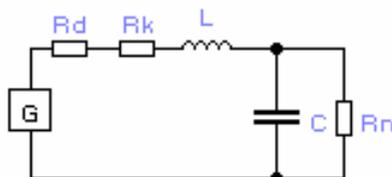


Рис.7.1.Схема включения последовательного контура

$f_0 \pm 300 \text{Гц}$, значение $E=U_{\text{ВХ}}=0.5 \text{ В}$ для всех бригад). Результаты расчёта занести в таблицы 7.2 и 7.3

Таблица 7.1. Исходные данные для расчетов на макете

№ бригады	L, мГн	C, пФ	R _к , Ом	R _{доб} , Ом	R _{н1} , кОм	R _{н2} , кОм
1	240	6800	500	500	10	30
2	245	2200	750	600	20	40
3	250	3300	400	800	60	80
4	255	4700	570	500	50	80
5	260	1500	425	500	40	80
6	265	6800	423	400	40	80
7	270	2200	417	500	30	60
8	275	3300	640	400	40	60
9	280	9000	500	500	30	60
10	290	10000	400	500	40	80

4. Пояснения к предварительному расчёту

В последовательном колебательном контуре (см. рис.7. 1) при изменении частоты колебаний генератора можно установить такую частоту колебания ω_0 , при которой реактивное сопротивление контура обращается в

нуль: $X = \omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C}$. Эта

частота называется резонансной и определяется формулой:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \text{ а } f_0 = \omega_0 / 2\pi . \text{ По}$$

определению характеристическое сопротивление контура ρ это сопротивление реактивного элемента на резонансной частоте то

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

Добротностью контура называется отношение напряжения на одном из

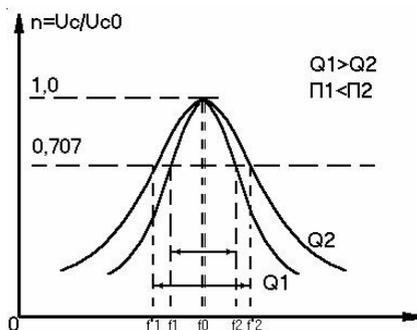


Рис.7.2
Резонансные характеристики последовательного контура

реактивных элементов при резонансной частоте к ЭДС E :

$$Q = \frac{U_{L0}}{E} = \frac{U_{C0}}{E} = \frac{\rho}{R}, \text{ где } R - \text{ суммарное активное сопротивление}$$

последовательного контура ($R_k + R_d$). В радиотехнических контурах Q находится в пределах от 10 до 300. Поэтому резонанс в последовательном контуре называется резонансом напряжений. При использовании последовательного колебательного контура в радиотехнических схемах выходное напряжение снимается с одного из реактивных элементов. При достаточно высокой добротности контура ($Q \geq 5$) нормированная характеристика напряжения на конденсаторе определяется зависимостью:

$$n = \frac{U_c}{U_{C0}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi^2}}, \text{ где } U_{C0} = EQ - \text{ напряжение при резонансе,}$$

$$\xi = 2Q \frac{\Delta f}{f_0} - \text{ обобщённая расстройка, } \Delta f = f - f_0 - \text{ абсолютная}$$

расстройка. Резонансные характеристики для контура с разными добротностями приведены на рисунке 7.2.

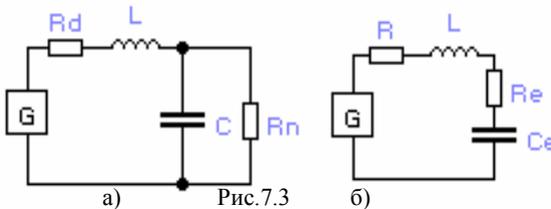


Рис. 7.3
Схемы исследования влияния нагрузки на контур

Полосой пропускания контура $\Pi = f_2 - f_1$ принято называть диапазон частот, на границах которого напряжение на конденсаторе уменьшается в $\sqrt{2}$ раз по сравнению со значением этого напряжения при резонансе:

$$n = \frac{U_c}{U_{C0}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707. \text{ Из рисунка 7.2 видно, что полоса пропускания}$$

зависит от добротности контура: Она тем уже, чем выше добротность, причем $\Pi = f_0 / Q$. Последнюю формулу можно использовать для экспериментального определения добротности контура по измеренной полосе пропускания. При использовании последовательного колебательного контура в радиотехнических устройствах (когда напряжение снимается с

конденсатора) параллельно конденсатору оказывается включённым входное сопротивление последующей цепи. Оно является нагрузочным для контура. Выясним, как влияет величина сопротивления нагрузки на резонансные кривые контура (рис. 7. 3). Для схемы рис. 7.3а:

$$Z_{12} = \frac{\frac{1}{j\omega C} R_H}{\frac{1}{j\omega C} + R_H} = \frac{\left(\frac{1}{j\omega C}\right)^2 R_H}{\left(\frac{1}{j\omega C}\right)^2 + R_H^2} + \frac{R_H^2}{j\omega C \left[R_H^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2 \right]}. \text{ В этой формуле}$$

первое слагаемое есть вещественная, а второе мнимая часть сопротивления параллельно соединённых C и R_H элементов. Следовательно, при переходе к схеме рисунок 7.3б параметры схемы замещения $R_э(e)$ и $C_э(e)$ могут быть определены по формулам:

$$R_э = R_H \cdot \frac{\left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}{R_H^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}, \quad C_э = C \cdot \frac{R_H^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}{R_H^2}.$$

$$\text{Если } R_H \gg \frac{1}{\omega C}, \quad R_э = \frac{\left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}{R_H} = \frac{\rho}{R_H}, \quad C_э \approx C.$$

Таким образом, при подключении параллельно конденсатору последовательного контура нагрузочного сопротивления достаточно большой величины $R_H \gg \frac{1}{\omega C}$, ёмкость контура практически не изменится, а потери возрастают. В результате резонансная частота практически не изменяется, а добротность нагруженного контура

$$\text{уменьшается по сравнению с собственной добротностью: } Q_H = \frac{\rho}{R_э + R_0}.$$

Уменьшение добротности контура приводит к увеличению полосы пропускания нагруженного контура $\Pi_H = f_0 / Q_H$.

5. Последовательность выполнения работы

5.1. Последовательность выполнения работы

1. Подготовить генератор и вольтметр к работе.

2. Собрать схему рис. 7.4. Для исключения добавочного сопротивления перемкнуть его на макете проводником. Генератор синусоидального напряжения подключается к контуру через низко омный делитель напряжения из сопротивлений **R1** и **R2**. Делитель уменьшает влияние внутреннего сопротивления генератора на параметры контура. Напряжение снимается с гнезда 0-2В генератора. Подключив вольтметр к точке соединения **R1** и **R2** схемы рис. 7.4, установить входное напряжение на контуре $U_{ВХ}=U_{12}=0,5 В$ и поддерживать его постоянным при каждом значении частоты генератора.

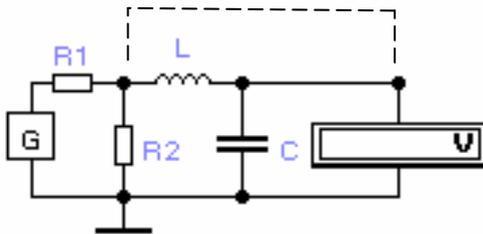


Рис.7.4. Схема исследования контура

3. Определить экспериментально резонансную частоту контура $f_{0Э}$. Для этого необходимо плавно изменять частоту генератора вблизи полученного в предварительном расчете значения f_0 и добиться максимального показания вольтметра **V**, подключенного к конденсатору. По измеренным величинам U_{C0} и $U_{ВХ}$ рассчитать собственную добротность контура.

4. Снять зависимость напряжения на конденсаторе от частоты. Измерения провести на 7 частотах: $f_{0Э}$, $f_{0Э} \pm 100$, $f_{0Э} \pm 200$, $f_{0Э} \pm 300 Гц$, поддерживая при каждом значении частоты $U_{1,2} = 0.5 В = const$.

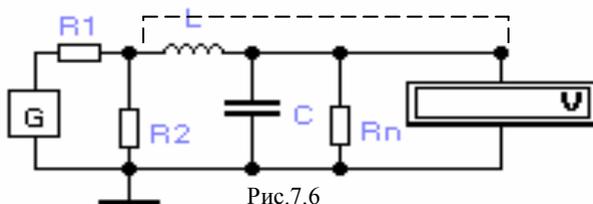
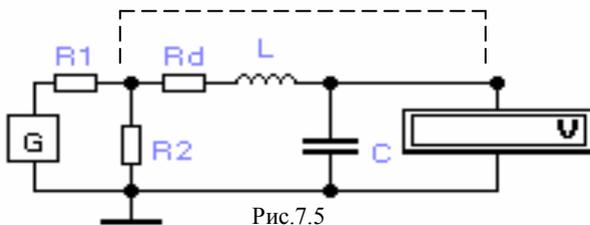
Результаты измерений занести в таблицу 7.2.

Таблица 7.2. Данные расчетов и измерений

	$f, Гц$				$f_{0Э}$			
	$\Delta f, Гц$	300	200	100	0	100	200	300
	$\Delta f / f_0$							

$R_{доб} = 0$ $Q =$	Расчетные данные	$\xi = 2Q \frac{\Delta f}{f_0}$						
		$n = \frac{U_c}{U_{c0}}$						
	Опытные данные	$U_c, В$						
		$n = \frac{U_c}{U_{c0}}$						
$R_{доб} =$ $Q =$	Расчетные данные	$\xi = 2Q \frac{\Delta f}{f_0}$						
		$n = \frac{U_c}{U_{c0}}$						
	Опытные данные	$U_c, В$						
		$n = \frac{U_c}{U_{c0}}$						

5. Собрать схему рис 7.5.



Схемы исследования с $R_{доб}$ и R_n

6. Снять зависимость напряжения на конденсаторе от частоты при величине добавочного сопротивления $R_{доб}$, заданного по заданию. Измерения проводить на тех же частотах, что и в п. 4. Результаты измерений занести в таблицу 7.2. Убедиться в уменьшении добротности при включении $R_{доб}$.

7. Собрать схему рис. 7.6, зашунтировав $R_{доб}$. Определить экспериментально полосу пропускания при двух значениях сопротивления нагрузки, указанных в таблице 7.1. Для этого необходимо сначала найти резонансную частоту по МАКСИМУМУ U_C (при подходящей нагрузке она не должна измениться от подключения нагрузки). Записать показания вольтметра при резонансе $U_{C MAX}$. Рассчитать значение напряжения на конденсаторе на граничных частотах полосы пропускания:

$$U_{C f 1} = U_{C f 2} = \frac{U_{C MAX}}{\sqrt{2}} = 0.707 \cdot U_{C MAX}. \text{ Плавнo уменьшать частоту}$$

генератора до тех пор, пока вольтметр не покажет значение $0,707 \cdot U_{C MAX}$. По шкале частот генератора определить нижнюю граничную частоту полосы пропускания f_1 . Затем, плавно увеличивая частоту генератора, добиться показания вольтметра $U_{C f 2} = 0,707 \cdot U_{C MAX}$ и определить верхнюю граничную частоту полосы пропускания f_2 . Найти полосу пропускания контура $\Pi = f_2 - f_1$. Рассчитать эквивалентные добротности нагруженного контура. Результаты измерений и расчета занести в таблицу 7.3.

Таблица 7.3. Данные по определению полосы пропускания

Параметры	$R_{доб} = 0$					
	Расчетные данные			Опытные данные		
R_H	f_0	$\Pi = f_2 - f_1$	Q_H	$f_{0Э}$	$\Pi = f_2 - f_1$	Q_H
$R_{H1} =$ кОм						
$R_{H2} =$ кОм						

5.2 Последовательность выполнения работы на стенде ЛКЦ

Таблица 7.4. Исходные данные для стенда ЛКЦ

N°	1	2	3	4	5	6	7	8
L _A , мГн	30	35	40	45	50	55	60	65
R _K , Ом	19	27	0	16	04	1	16	14
N°	9	10	11	12	13	14	15	
L _A , мГн	70	75	50	55	57	60	65	
R _K , Ом	32	34	0	1	5	1	16	
<p>Для всех вариантов расчеты вести при C=C_B=14,9 нФ, U_Г=1 В, Δf=±500 Гц, R_{доб}=100 Ом, R_{Н1}=10 кОм, R_{Н2}=30 кОм .</p>								

Для выполнения данной работы на стенде ЛКТС следует:

1. собрать схему рисунка 7.4 по своему варианту, используя приборы и элементы стенда. При этом применяются индуктивность L_A , конденсатор C_B, вольтметр V1 для измерения напряжения на входе контура (U_Г) и вольтметр V2 для измерения напряжения U_C . Делитель напряжения (R1,R2) на стенде не подключается.
2. Включить тумблеры питания генератора и вольтметров и установить напряжение генератора 1 В. Определить резонансную частоту f₀₃ по максимуму напряжения и рассчитать добротность контура. Снять частотную характеристику контура, измерив U_C на частотах f₀₃ + 500, +1000,+1500 Гц. Записать данные в таблицу аналогичную таблице 7.2.
3. Включить последовательно с L_A добавочное сопротивление R_{доб}=100 Ом и провести исследование как описано выше.
4. Отключить R_{доб} , подключить параллельно C_B сопротивление R_{Н1}=10 кОм , снять частотную характеристику U_C, как описано ранее, и по ней определить полосу пропускания контура.. Затем вместо R_{Н1} включить R_{Н2}=30 кОм и снова определить полосу пропускания по частотной характеристике U_C.
5. Проанализировать полученные результаты исследований и сделать выводы.

5.3 Последовательность выполнения работы на ЭВМ

Варианты расчета для выполнения данной работы на ЭВМ берутся из таблицы 7.1(1-10) и добавочные из таблицы 7.4 (11 соответствует 1, 12-2 и т.д., 25-15)

Для выполнения работы на ЭВМ должна быть запущена программа **BOOK 3.0** через файл **“Sart.bat”** программы или по “ярлыку” программы. Затем следует нажать любую клавишу и после появления оглавления выбрать раздел “Последовательный колебательный контур”. Для этого используют клавиши перемещения курсора и **Enter**.

Далее следует выполнить следующее:

1. В выбранном разделе установить указатель курсора на режим демонстрации, войти в него и просмотреть демонстрацию, оценив характеристики контура и влияние изменения **L, C, R** на характеристики и параметры контура.

2. выбрать раздел **“Коэффициент передачи по напряжению”**, войти в него, затем войти в подраздел **“Ненагруженный контур”** и выбрать схему с емкостью на выходе, переместив на нее курсор и, нажав **“Ent”**, ввести исходные данные в соответствии с номером варианта (по макету или стенду). Вначале выбираются единицы измерения перемещением курсора и **“Ent”**, затем вводятся соответствующие данные, при чем величина **$R=R_K$** . Зарисовать получающиеся характеристики и записать рассчитанные параметры контура.

3. выбрав опцию **“Да”**, нажатием **“Ent”**, изменить величину сопротивления на **$R=R_K+R_{доб}$** . Зафиксировать получающиеся характеристики и параметры.

4. выбрав опцию **“Нет”**, выйдя в общий раздел, снова войти в раздел **“Коэффициент передачи по напряжению”** и затем в подраздел **“Нагруженный контур”**. Выбрав схему с емкостью на выходе, повторить ввод данных с **$R=R_K$** и ввести **$R_{Н1}$** . Зафиксировать полученные результаты.

5. выбрав опцию **“Да”**, повторить исследование для **$R_{Н2}$** .

6. выбрать опцию **“Нет”** и закончить исследования. Оценить полученные результаты и выйти из подраздела в оглавление через **F10**. Выйти из программы так же через **F10**.

5.4 Последовательность выполнения работы в программе Electronics Workbench

1. Включит программу Electronics Workbench.

2. Собрать схему рис.7. 4. Установить напряжение генератора **0.5 В**,

величины **L, C, R_K, R_{доб(d)}, R_{Н (n) 1, R_{Н (n) 2}}** выбрать в соответствии с вариантом (таблица 7.1 или 7.4, причем в первом эксперименте **$R_{доб(d)}=0$**).

3. Определить экспериментально резонансную частоту контура. Для этого необходимо изменять частоту генератора вблизи полученного в предварительном расчете значения **f_0** и добиться максимального показания

вольтметра V , подключенного к конденсатору. По измеренным величинам U_{CO} и U_{BX} рассчитать собственную добротность контура.

4. Снять зависимость напряжения на конденсаторе от частоты. Измерения провести на 7 частотах: f_0 , $f_0 \pm 100$, $f_0 \pm 200$,

$f_0 \pm 300$, результаты измерений занести в таблицу аналогичную 7.2.

5. Подключить в схему рис. 7.4 добавочное сопротивление R_d и установить его по варианту задания.

6. Снять зависимость напряжения на конденсаторе от частоты при величине заданного R_d . Измерения проводить на тех же частотах, что и в п. 4. Результаты измерений занести в таблицу. Убедиться в уменьшении добротности при включении R_d .

7. Подключить в исследуемую схему сопротивление нагрузки R_n как в схеме рис. 7.6 и убрать R_d . Определить экспериментально полосу пропускания при двух значениях сопротивления нагрузки, указанных в таблицах. Для этого необходимо сначала найти максимальное напряжение $U_{C MAX}$ при подключенной нагрузке и записать показания вольтметра. Рассчитать значение напряжения на конденсаторе на граничных частотах

полосы пропускания: $U_{C f1} = U_{C f2} = \frac{U_{C MAX}}{\sqrt{2}} = 0.707 \cdot U_{C MAX}$.

Уменьшая частоту генератора до тех пор, пока вольтметр не покажет значение $0.707 \cdot U_{C MAX}$, определить нижнюю граничную частоту полосы пропускания f_1 . Затем, увеличивая частоту генератора, добиться показания вольтметра $U_{C f2} = 0.707 \cdot U_{C MAX}$ и определить верхнюю граничную частоту полосы пропускания f_2 . Найти полосу пропускания контура $\Pi = f_2 - f_1$. Рассчитать эквивалентные добротности нагруженного контура. Результаты измерений и расчета занести в таблицу 7.3.

6. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1) предварительный расчет по всем исходным данным в виде таблиц, схем, формул, причем подробный расчет резонансной характеристики должен быть приведен только для одной частоты, результаты расчета на других частотах подставляются в соответствующие таблицы;

2) схемы измерений;

3) результаты измерений, которые оформляются в виде таблиц по

приведенным формам;

4) графики нормированных резонансных характеристик $n=U_C(f)/U_{Co}$, построенные по результатам расчета и эксперимента;

5) выводы: как влияет величина добавочного и нагрузочного сопротивлений на добротность контура, его полосу пропускания и форму резонансных характеристик.

7. Контрольные вопросы

1. В чем сущность резонанса напряжений? Напишите условие резонанса для последовательного колебательного контура.

2. Какие параметры контура определяют резонансную частоту?

3. Что понимают под характеристическим сопротивлением и добротностью контура? Поясните их физический смысл.

4. Как определяют полосу пропускания контура теоретически и экспериментально, и от чего это зависит?

5. Какие измерения надо сделать, чтобы определить добротность контура?

6. Что такое абсолютная, относительная и обобщенная расстройки контура?

7. Как влияет добавочное, активное сопротивление на избирательные свойства контура? Изобразите качественно частотные характеристики тока в контуре и напряжения на конденсаторе для контура с высокой добротностью.

8. Какое значение принимает ток в контуре на граничных частотах полосы пропускания?

Литература

1. Бакалов В.П., Дмитриков В.Ф., Крук Б.И Основы теории цепей. - М.: Радио и связь. 2000, с. 110-128.

2. Попов В. П. Основы теории цепей. -М.: Высшая школа, 2000, с. 161-223.

3. Бакалов В. П., Крук Б. И., Журавлева О. Б. Теория электрических цепей. СИБГАТИ, Новосибирск, 1998, с. 58-80.

4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. -М.: Гардарики, 1999, с. 100-112.

5. Белецкий А. Ф. Теория линейных электрических цепей. - М.: Радио и связь. 1986, с. 148- 184.

6. Зевеке Г. В. и др., Основы теории цепей. -М.: Энергоатомиздат. 1989, с. 105- 133.

7.Шебес М. Р., Каблукова М. В. Задачник по теории линейных электрических цепей. -М.: Высшая школа, 1989, с. 126- 153.