

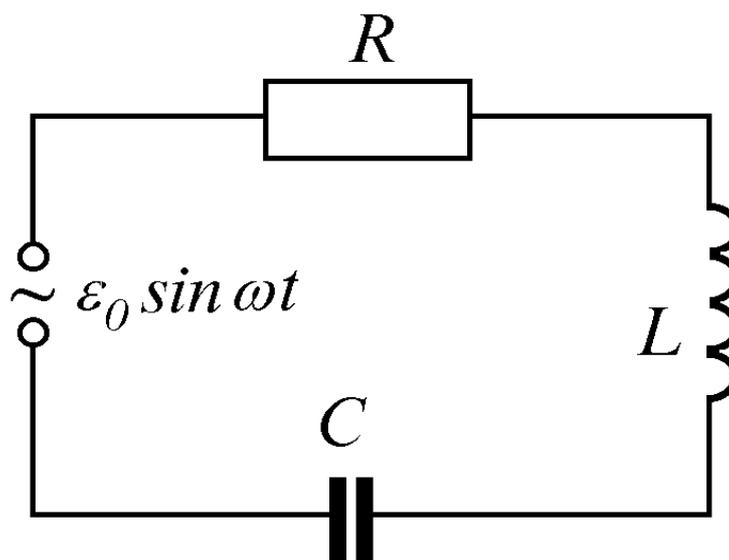


Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова

Лабораторный практикум по общей физике

Электричество и магнетизм

Переходные процессы в цепях переменного тока



МОСКВА 2008

Переходные процессы в цепях переменного тока

Цель работы

Изучение характера изменения тока и напряжения в RC -, RL - и RLC — цепях при включении и выключении постоянной ЭДС.

Экспериментальная установка

Для подготовки к выполнению экспериментальных исследований следует прочитать:

Экспериментальные исследования

Исследование переходных процессов в электрических цепях проводится на установке, блок-схема которой представлена на рис. 1. В состав установки входят: персональный компьютер, учебная плата и блок сопряжения учебной платы с компьютером.

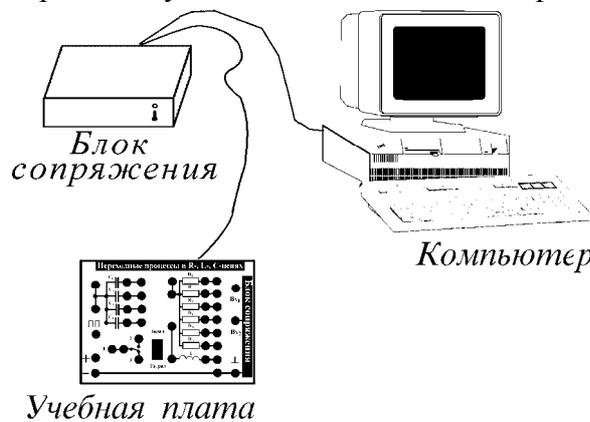


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки.

В состав учебной платы входят (ее схема представлена на рис. 2):

1. Генератор прямоугольных импульсов длительностью около 10 миллисекунд и амплитудой 5 вольт, выходные клеммы * которого выведены на плату и обозначены $\square\square\square$.
2. Набор элементов:
 - набор конденсаторов $C_1 - C_4$, при этом емкость конденсаторов $C_1 - C_3$ требуется определить в ходе выполнения задачи; конденсатор C_4 , емкость которого существенно превышает емкость остальных, используется при изучении медленных процессов (упражнение 1);
 - набор резисторов $R_1 - R_6$, значения сопротивлений $R_1=120$ Ом и $R_3=2$ кОм известны, значения остальных сопротивлений необходимо определить, сопротивление R_6 (самое большое по величине) используется при изучении медленных процессов (упражнение 1);
 - катушка индуктивности, параметры которой (индуктивность L и активное сопротивление R_L) необходимо определить в процессе выполнения работы.
4. Источник ЭДС, выходные гнезда которого выведены на плату (обозначены знаками ПЛЮС и МИНУС), при этом гнездо МИНУС всегда соединено с "земляной" шиной платы, а напряжение гнезда ПЛЮС равно 5 вольт.
5. Ключ ЗАРЯД—РАЗРЯД, который в положении ЗАРЯД замыкает контакты 1 и 2, а в положении РАЗРЯД — контакты 1 и 3.

* На учебной плате клеммы обозначены черными кружками

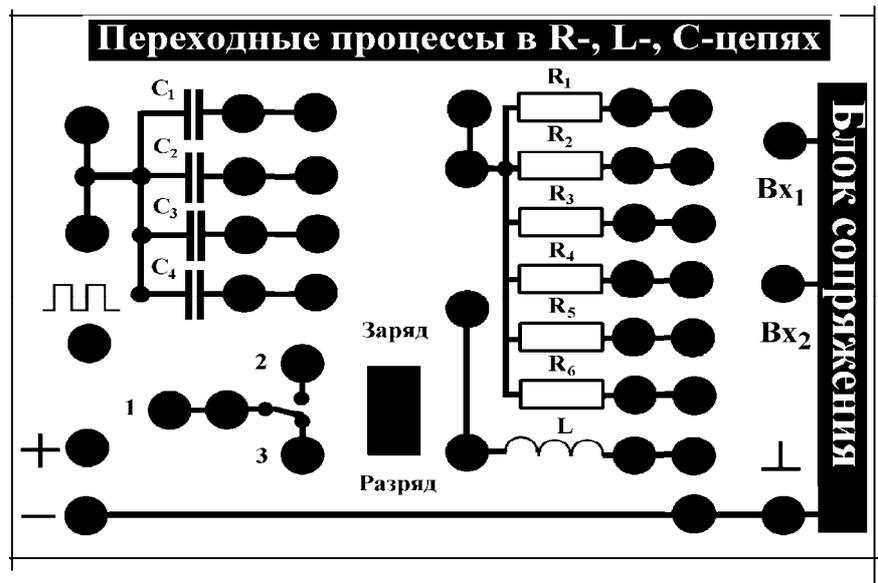


Рис. 2. Блок-схема экспериментальной установки.

Управление работой установки осуществляется с помощью программы, запускаемой на персональном компьютере.

После загрузки программы на экране монитора появляется основное меню, содержащее следующие команды:

ЭКСПЕРИМЕНТ 1
ЭКСПЕРИМЕНТ 2
ОБРАБОТКА
ВЫХОД

Рассмотрим подробнее каждый из возможных режимов работы программы.

ЭКСПЕРИМЕНТ 1. В этом режиме осуществляется эксперимент с RC-цепочкой, для которой постоянная времени $\tau \gg 1$ секунды, что позволяет наблюдать процессы заряда и разряда конденсатора в режиме реального времени. Предварительно следует собрать электрическую схему в соответствии с заданием (см. упражнение 1, рис.9), в качестве элементов цепочки необходимо использовать R_6 и C_4 , обеспечивающих требуемое значение τ . На вход V_{x1} подается сигнал с контакта 1 ключа ЗАРЯД—РАЗРЯД, а на вход V_{x2} - с конденсатора C_4 . При этом ключ должен находиться в положении РАЗРЯД. Для начала эксперимента следует нажать клавишу ENTER.

На экране монитора появляется график зависимости напряжения на входах 1 и 2 от времени. В начальный момент времени значение напряжения на обоих входах схемы равно нулю (источник питания отсоединен, конденсатор разряжен). Оцифровка сигнала производится с периодичностью 0.5 секунды, при этом на экране появляются экспериментальные точки, соответствующие измеренным значениям. Период регистрации сигнала можно изменять с помощью клавиш СТРЕЛКА ВВЕРХ (ВНИЗ).

При переводе ключа в положение ЗАРЯД напряжение на конденсаторе начинает возрастать. При достижении напряжения на конденсаторе, близкого к максимальному, ключ переводится в положение РАЗРЯД и конденсатор начинает разряжаться. Получив графики заряда и разряда, следует прекратить эксперимент, нажав клавишу ESC.

По окончании эксперимента его результаты могут быть занесены в память для последующей обработки, для этого следует нажать клавишу ENTER. Если эксперимент по каким-либо причинам неудачен, его результаты не следует запоминать, для этого нажмите клавишу ESC.

ЭКСПЕРИМЕНТ 2. В этом режиме осуществляется эксперимент с цепочками, для которой постоянная времени $\tau \ll 1$ секунды (быстрые процессы). Предварительно следует собрать электрическую схему в соответствии с заданием (упражнение 2 и последующие упражнения) и

нажать клавишу ENTER. По этой команде с выходного гнезда генератора прямоугольных импульсов в схему поступает единичный импульс длительностью около 10 микросекунд.

Через 2-3 секунды на экране появляются графики зависимости входного и выходного напряжения от времени, общее время фиксации сигнала составляет около 20 микросекунд, что позволяет наблюдать соответствующие переходные процессы.

По окончании эксперимента его результаты могут быть занесены в память для последующей обработки, для этого следует нажать клавишу ENTER. Если эксперимент по каким-либо причинам неудачен, его результаты не следует запоминать, для этого нажмите клавишу ESC и повторите эксперимент.

ОБРАБОТКА. Данный режим должен быть реализован сразу после выполнения эксперимента, так как в памяти сохраняются результаты только последнего выполненного эксперимента. После окончания обработки данные эксперимента будут удалены из памяти.

Целью обработки является определение параметров выходного сигнала—постоянной времени (для RC- и RL-цепочек) и параметров затухающих колебаний (для RLC-цепочки). Поэтому предварительно следует указать, с какой из цепочек проводился эксперимент.

При выборе режима обработки для RC- и RL-цепочек на графике появляются два курсора в виде вертикальных линий, один из которых (активный курсор) может перемещаться с помощью клавиш СТРЕЛКА ВПРАВО (ВЛЕВО). Смена активного курсора осуществляется нажатием на клавишу TAB. В верхней части графика появляются два окошка, в которых показывается значение временной координаты в точках графика, соответствующих положениям курсоров. Так как на вход схемы подается прямоугольный импульс, и переходные процессы, возникающие в начале импульса и по его окончании, описываются различными уравнениями (например, (7) и (8) или (9) и (10)), то с помощью курсоров следует выбрать участок графика, соответствующей какой-либо из этих зависимостей. По завершении выбора следует нажать ENTER.

На экране остается только выбранная часть графика и появляется указание:

Для выбранного участка экспериментальных данных необходимо указать характер зависимости напряжения на выходе от времени:

1 - зависимость $U(t) = U_0 \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$

2 - зависимость $U(t) = U_0 \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right)$

нажмите клавишу 1 или 2
ESC - отказ от дальнейшей обработки

После выбора вида зависимости программа линеаризует путем логарифмирования экспериментальные данные и на экране появляются графики линеаризованных данных и линейной аппроксимации этих данных, проводимой с помощью метода наименьших квадратов. В нижней части экрана появляется окошко с указанием постоянной времени цепочки и погрешностью ее определения. Этот результат следует занести в тетрадь.

Если погрешность определения велика, то появляется предупреждение об ошибке, что свидетельствует либо о неправильном выборе участка кривой или вида зависимости, в этом случае следует повторить обработку.

Так как на каждом экспериментальном графике присутствует два характерных участка, то следует обрабатывать оба и сопоставлять результаты обработки—значения должны быть близки — в этом случае для дальнейших расчетов используется среднее значение. Если результаты значительно отличаются друг от друга, то следует проанализировать постановку эксперимента и попытаться объяснить расхождение (например, в математической модели не учитывается наличие активной составляющей R_L у катушки индуктивности, которая может быть сравнима с величиной сопротивления R , используемого в цепочке). В этом случае в качестве оценки следует выбрать результат того эксперимента, который соответствует заданной модели эксперимента.

При выборе режима обработки для RLC -цепочки на графике появляется курсор в виде "креста" и два окошка, в которых показываются значение напряжения и времени в точке графика, соответствующей координатам центра "креста". Перемещения курсора осуществляются клавишами СТРЕЛКА ВПРАВО (ВЛЕВО, ВВЕРХ, ВНИЗ), при этом автоматически изменяются и значения в окошках. С помощью курсора можно найти координаты любой точки графика для дальнейшего расчета значений параметров цепочки, требуемых в задании (периода и амплитуды колебаний, декремента затухания, добротности и т.д.).

ВЫХОД. Данный режим предусматривает, кроме выхода из программы по завершении работы (клавиша ESC), и возможность удаления результатов всех ранее выполненных экспериментов (очистка памяти компьютера) без выхода из программы. Для этого требуется нажать клавишу DEL и вернуться в программу, при этом нумерация экспериментов начнется с единицы. При отказе от выхода из программы с сохранением всех данных нажмите ENTER.

Проведение экспериментальных исследований.

Упражнение 1. Исследование процессов заряда и разряда конденсатора и определение постоянной времени цепочки.

1. Соберите электрическую схему в соответствии с рис. 3, при этом в эксперименте используются конденсатор C_4 и сопротивление R_6 . На вход Vx_1 подается сигнал с контакта 1 ключа ЗАРЯД—РАЗРЯД, а на вход Vx_2 — с конденсатора C_4 . При этом ключ должен находиться в положении РАЗРЯД.

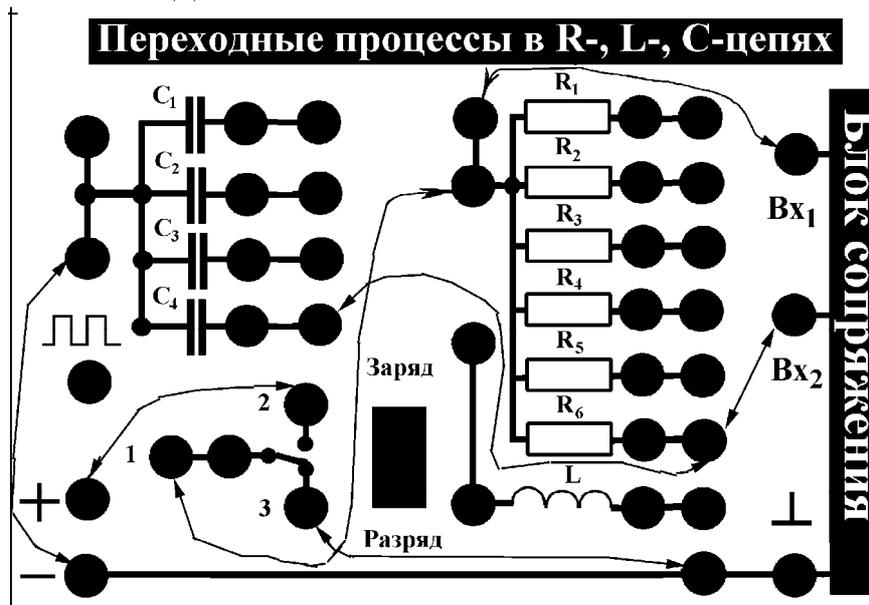


Рис. 3. Соединение элементов учебной платы для выполнения упражнения 1.

2. Войдите в режим ЭКСПЕРИМЕНТ 1 и проведите измерения в соответствии с описанием работы программы. Занесите результаты в память компьютера.

3. Войдите в режим ОБРАБОТКА, укажите тип цепочки и проведите обработку в соответствии с приведенными выше для этого режима указаниями. Обработку следует проводить для участков как заряда, так и разряда конденсатора. Полученные значения занести в тетрадь.

Упражнение 2. Определение величины емкости конденсатора по результатам измерений с RC-цепью.

1. Соберите электрическую схему в соответствии с рис. 4, при этом в эксперименте используются конденсатор C_1 неизвестной емкости и известное сопротивление $R_3=2\text{кОм}$. На вход Vx_1 подается сигнал с генератора прямоугольных импульсов, а на вход Vx_2 — с конденсатора C_1 .

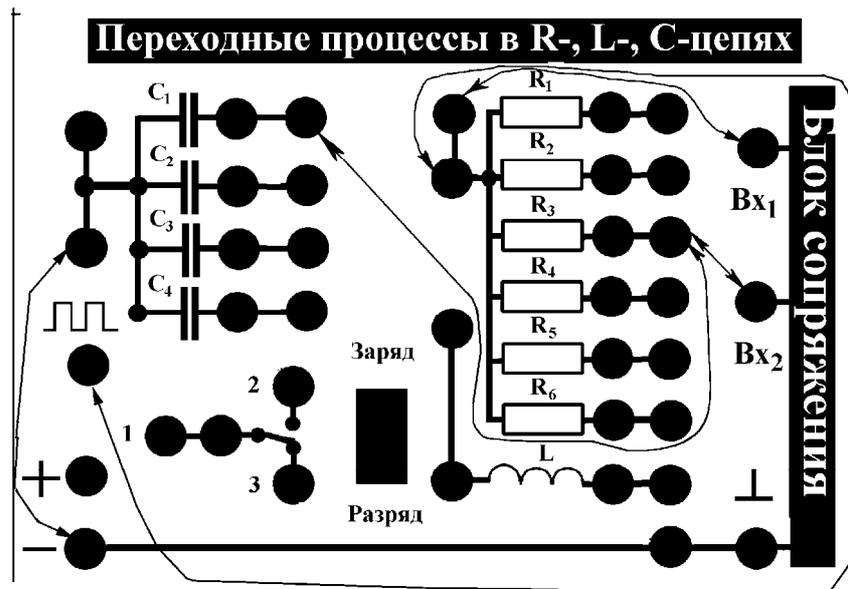


Рис. 4. Соединение элементов учебной платы для выполнения упражнения 2.

2. Войдите в режим ЭКСПЕРИМЕНТ 2 и проведите измерения в соответствии с описанием работы программы. Занесите результаты в память компьютера.

3. Войдите в режим ОБРАБОТКА, укажите тип цепочки и проведите обработку в соответствии с приведенными выше для этого режима указаниями. Обработку следует проводить для участков как заряда, так и разряда конденсатора. Полученные значения постоянной времени цепочки занести в тетрадь.

4. Используя формулу $\tau = RC$ для постоянной времени RC-цепочки, найдите емкость конденсатора C_1 . Зная погрешность определения τ и считая относительную погрешность для R_3 равной 5%, оцените погрешность значения емкости C_1 .

5. Замените в исследуемой цепочке конденсатор C_1 на конденсатор C_2 , затем — на конденсатор C_3 . Проведите с каждой из цепочек измерения и обработку, описанные выше (пп. 1—3), определите значения емкостей C_2 и C_3 и оцените погрешности. Полученные результаты занесите в тетрадь.

Упражнение 3. Определение величины сопротивления резистора по результатам измерений с RC-цепью.

1. Соберите электрическую схему в соответствии с рис. 4, при этом в эксперименте используются конденсатор C_1 , емкость которого была определена в упр. 2, и неизвестное сопротивление R_4 . На вход Vx_1 подается сигнал с генератора прямоугольных импульсов, а на вход Vx_2 — с конденсатора.

2. Войдите в режим ЭКСПЕРИМЕНТ 2 и проведите измерения в соответствии с описанием работы программы. Занесите результаты в память компьютера.

3. Войдите в режим ОБРАБОТКА, укажите тип цепочки и проведите обработку в соответствии с приведенными выше для этого режима указаниями. Обработку следует проводить для участков как заряда, так и разряда конденсатора. Полученные значения постоянной времени цепочки занести в тетрадь.

4. Используя формулу $\tau = RC$ для постоянной времени RC-цепочки, найдите сопротивление резистора R_4 . Зная погрешность определения τ и емкости C_1 , оцените погрешность значения сопротивления R_4 .

5. Замените в исследуемой цепочке конденсатор C_1 на конденсатор C_2 , затем—на конденсатор C_3 . Проведите с каждой из цепочек измерения и обработку, описанные выше (пп. 1—

3), определите значения сопротивления R_4 и оцените погрешности. Полученные результаты занесите в тетрадь.

6. Сравните полученные различными способами значения сопротивления R_4 . Если результаты отличаются друг от друга, попытайтесь объяснить это расхождение.

7. Проведите по одному эксперименту с RC-цепочкой с использованием неизвестных сопротивлений $R_2, R_5 - R_6$ с целью определения их величин. Полученные результаты запишите в тетрадь.

Упражнение 4. Определение величины индуктивности L катушки индуктивности по результатам измерений с RL -цепью.

1. Соберите электрическую схему в соответствии с рис. 5, при этом в эксперименте используются катушка индуктивности L , параметры которой неизвестны, и известное сопротивление $R_1 = 120$ Ом. На вход Vx_1 подается сигнал с генератора прямоугольных импульсов, а на вход Vx_2 — с сопротивления R_1 .

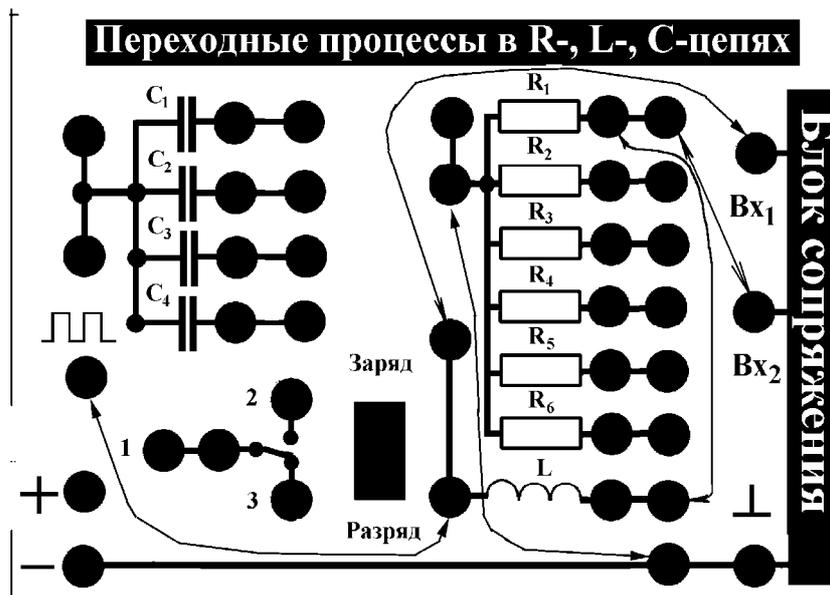


Рис. 5. Соединение элементов учебной платы для выполнения упражнения 4.

2. Войдите в режим ЭКСПЕРИМЕНТ 2 и проведите измерения в соответствии с описанием работы программы. Занесите результаты в память компьютера.

3. Войдите в режим ОБРАБОТКА, укажите тип цепочки и проведите обработку в соответствии с приведенными выше для этого режима указаниями. Обратите внимание на то, что во время действия прямоугольного импульса падение напряжения на сопротивлении стремится не к максимальному, а к несколько меньшему значению напряжения. Постарайтесь объяснить этот факт и, исходя из этого объяснения, выберите для обработки участок кривой, который даст правильное значение постоянной времени. Полученное значение постоянной времени цепочки и погрешность определения занести в тетрадь.

4. Замените в исследуемой цепочке сопротивление R_1 на сопротивление R_2 , затем—на сопротивление R_3 . Проведите с каждой из цепочек измерения и обработку, описанные выше (пп. 1—3), и определите постоянную времени для каждой из цепочек. Обратите внимание на то, как с увеличением величины сопротивления изменяется вид кривой во время действия прямоугольного импульса. Объясните это изменение. Полученные результаты занесите в тетрадь.

5. Считая, что активное сопротивление R_L катушки индуктивности мало, а для постоянной времени τ такой цепочки справедлива формула

$$\tau = \frac{L}{R + R_L} \approx \frac{L}{R},$$

по результатам измерений для трех цепочек рассчитайте значение индуктивности L . Считая относительную погрешность для используемых сопротивлений равной 5%, оцените погрешность определения L катушки. Если полученные оценки для L будут существенно отличаться друг от друга, то постарайтесь объяснить этот факт и решите, какое из значений, по вашему мнению, будет ближе к истинному.

Упражнение 5. Изучение затухающих колебаний в RLC-цепи. Определение величины периода колебаний, логарифмического декремента затухания и добротности контура.

1. Для изучения затухающих колебаний в RLC-цепи соберите электрическую схему, состоящую из катушки индуктивности L и конденсатора C_1 (рис. 6). На вход Vx_1 подается сигнал с генератора прямоугольных импульсов, а на вход Vx_2 — с конденсатора C_1 .

2. Войдите в режим ЭКСПЕРИМЕНТ 2 и проведите измерения в соответствии с описанием работы программы. Занесите результаты в память компьютера.

3. Войдите в режим ОБРАБОТКА, укажите тип цепочки (RLC-цепь). С помощью курсора определите период затухающих колебаний (время между двумя соседними максимумами или минимумами) и амплитуды нескольких соседних максимумов или минимумов (амплитуды отсчитываются от уровня входного напряжения). Оцените погрешность определения измеряемых величин. Полученные результаты занесите в тетрадь.

4. Вычислите логарифмический декремент затухания контура θ по формуле

$$\theta = 1n\left(\frac{U_k}{U_{k+1}}\right),$$

где U_k и U_{k+1} — значения амплитуды колебания напряжения на конденсаторе C_1 , соответствующие двум соседним максимумам колебаний. Так как при обработке находятся амплитуды нескольких соседних максимумов, то предложите алгоритм, который позволил бы рассчитать логарифмический декремент затухания контура по всем экспериментальным точкам, а не только по двум соседним. Полученные результаты и оценки погрешностей занесите в тетрадь.

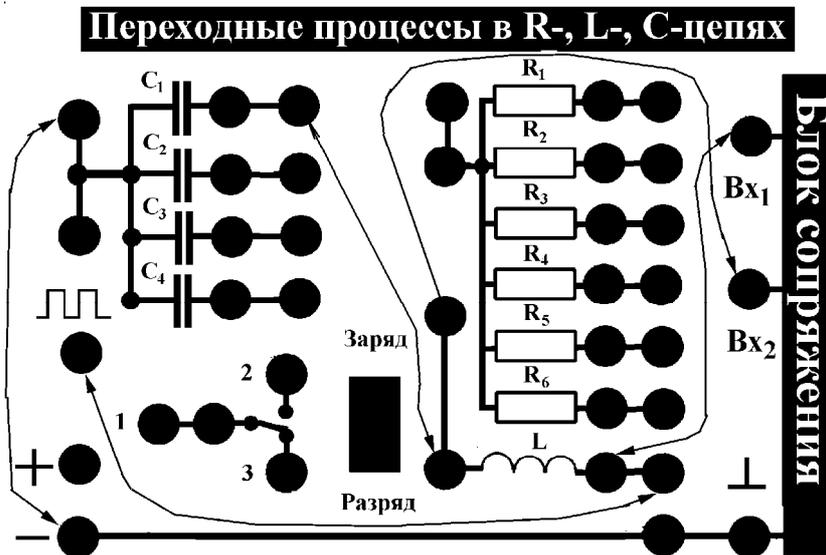


Рис. 6. Соединение элементов учебной платы для выполнения упражнения 5.

5. По формуле

$$Q = \frac{\pi}{\theta}$$

найдите добротность контура и оцените погрешность.

6. Заменяя последовательно конденсатор C_1 на C_2 и C_3 , проведите измерения и обработку в соответствии с пп. 1—5. Полученные результаты занесите в тетрадь.

7. Постройте зависимость T^2 от C . В связи с тем, что $\omega = \frac{2\pi}{T} \approx \frac{1}{\sqrt{LC}}$ исследуемая зависимость должна быть линейной. Используя метод наименьших квадратов, найдите тангенс угла наклона и получите оценку для значения индуктивности L и оцените погрешность. Сравните полученный результат с результатами упр. 4.

8. По формуле для логарифмического декремента затухания контура

$$\theta = \gamma T = \frac{R}{2L} T$$

оцените значение активного сопротивления R_L катушки индуктивности для различных значений C . Полученные результаты занесите в тетрадь.

9. Включите в схеме (рис. 6) между конденсатором C_1 и катушкой L сопротивление R_1 . Проведите измерения (п. 2) и обработку (п.п. 3—5), найдите значения T , θ и Q . Оцените погрешность определения. Повторите измерения и обработку, подключая последовательно сопротивления R_1 , R_2 и R_3 и конденсаторы C_1 , C_2 , C_3 (всего 9 измерений).

10. Так как величины всех элементов экспериментальной платы были определены в ходе выполнения работы, то по формулам, приведенным в теоретической части описания рассчитайте значения периода колебаний T , логарифмического декремента θ и добротности Q . Полученные результаты сравните с экспериментальными данными.

Литература

1. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. М: Высшая школа, 1983, § 48.
2. Калашников С.Г. Электричество. М: Наука, 1985, § 74.
3. Иродов И.Е. Основные законы электромагнетизма. М: Высшая школа, 1983, §§ 5.6, 11.2.