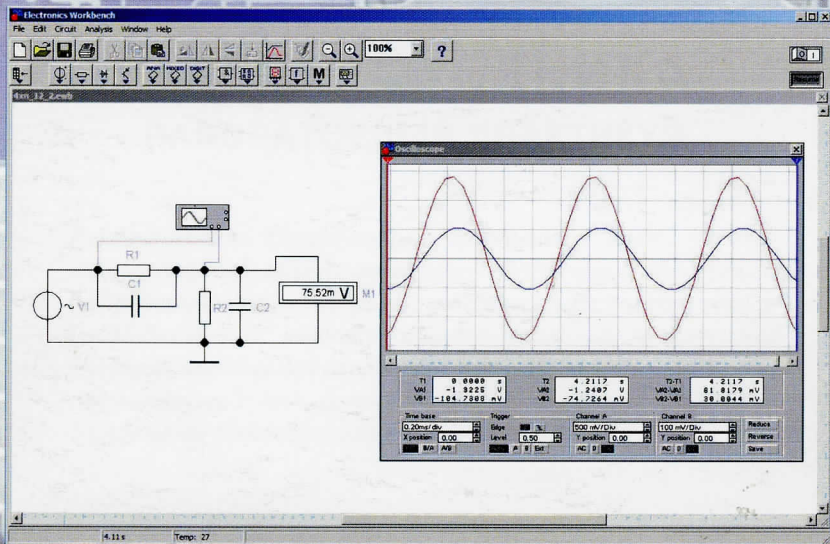


В.А. Матвиенко



ASRock FSB1333
G41M-GS DDR2 1066

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

В.А. Матвиенко

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Рекомендовано Региональным отделением УрФО учебно-методического объединения вузов Российской Федерации по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 220400 – Управление в технических системах в УрФО

Екатеринбург
УМЦ УПИ
2014

УДК 621.3.01 (075.8)
ББК 31.211я73
М33

Рецензенты:

кафедра общепрофессиональных дисциплин Уральского технического института связи и информатики ФГОБУ ВПО СибГУТИ (зам. зав. кафедрой доц., канд. техн. наук Н.В. Будылдина);

генеральный директор ФГУП «Уральский электромеханический завод» К.А. Ковязин

Матвиенко В.А.

М33 Электротехника. Лабораторный практикум: учебное пособие для вузов / В.А. Матвиенко. – Екатеринбург : УМЦ УПИ, 2014. – 114 с.

Приведены методические указания к двенадцати лабораторным работам, охватывающим основные разделы теории линейных электрических цепей. Методические указания к каждой лабораторной работе содержат домашнее задание, порядок выполнения работы, требования к содержанию отчета и контрольные вопросы.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 220400 – Управление в технических системах. Может быть использовано для подготовки студентов других направлений, изучающих теорию линейных электрических цепей.

Библиогр. : 4 назв. Рис. 55. Табл. 12.

УДК 621.3.01 (075.8)
ББК 31.211я73

© В.А. Матвиенко 2014

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум включает двенадцать лабораторных работ и охватывает основные разделы теории линейных электрических цепей. Методические указания к каждой лабораторной работе содержат домашнее задание, порядок выполнения работы, требования к содержанию отчета и контрольные вопросы. Продолжительность каждой работы рассчитана на четыре часа аудиторных занятий. За это время студенты должны выполнить все необходимые исследования, оформить отчет по работе и защитить его.

Данный лабораторный практикум предназначен для совместного использования с учебным пособием В.А. Матвиенко «Электротехника», что позволяет не включать в него традиционный для лабораторных практикумов раздел «Основные теоретические положения». Учебные пособия полностью согласованы между собой по терминологии и обозначениям электрических величин.

Лабораторные работы выполняются фронтальным методом на персональных компьютерах, оснащенных программой моделирования электронных устройств Electronics Workbench. Среди других программ аналогичного назначения Electronics Workbench выделяется наиболее простым пользовательским интерфейсом и экранным видом контрольно-измерительных приборов, который очень близок к внешнему виду реальных измерительных приборов. Исследование электрических цепей путем моделирования в среде Electronics Workbench позволяет не только закрепить теоретические знания об объекте исследования, но и ознакомиться с системами автоматизированного расчета электрических цепей, что предусмотрено образовательными стандартами ряда направлений.

Методические указания составлены таким образом, что любая лабораторная работа может быть выполнена независимо от выполнения любой другой работы. Поскольку фонд времени, требуемый на выполнение всех работ из сборника, существенно превышает фонд времени, обычно выделяемый учебными планами на выполнение лабораторного практикума, то в этой ситуации преподаватель имеет возможность выбора. Например, можно в разных группах учебного потока выполнять разный набор лабораторных работ.

В процессе домашней подготовки необходимо ответить на контрольные вопросы, имеющиеся в каждой лабораторной работе.

При затруднениях с ответами на контрольные вопросы следует еще раз изучить теоретический материал. Контрольные вопросы предназначены для самопроверки и ответы на них включать в отчет не следует.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 220400 – Управление в технических системах и может быть использовано для подготовки студентов других направлений, изучающих теорию линейных электрических цепей.

СОПРОТИВЛЕНИЕ, ИНДУКТИВНОСТЬ И ЕМКОСТЬ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение амплитудных и фазовых соотношений напряжений и токов в сопротивлении, индуктивности и емкости при гармоническом воздействии.

2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

1.1. Повторите тему «Сопротивление, индуктивность и емкость при гармоническом воздействии» [1–4].

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Соберите схему для исследования сопротивления (рис. 1). Независимый источник тока I_1 , источник напряжения управляемый током (ИНУТ) V_1 и символ заземления находятся в группе «Sources» (второй ряд сверху на панели инструментов), вольтметр M_1 – в группе «Indicators», сопротивление R_1 – в группе «Basic», осциллограф – в группе «Instruments».

Чтобы на схеме отображались позиционные обозначения и параметры элементов, выберите в меню «Circuit» строку «Schematic Options». В открывшемся окне выберите закладку «Show/Hide» и установите опции «Show reference ID» и «Show value».

Собранная схема представляет собой параллельное соединение источника тока I_1 , сопротивления R_1 и вольтметра M_1 . Идеальный ИНУТ имеет нулевое входное сопротивление и нулевое выходное сопротивление и не оказывает влияния на работу схемы. ИНУТ выполняет вспомогательную функцию преобразования тока в напряжение, что необходимо для визуализации тока на экране осциллографа.

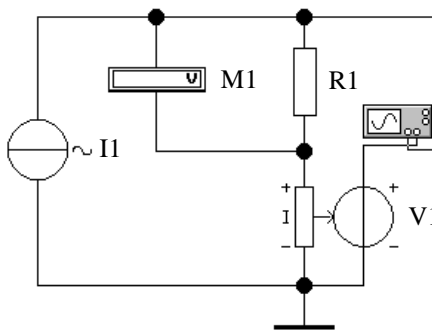


Рис. 1

Каждому элементу схемы по умолчанию присваиваются соответствующие параметры (они отображаются на схеме). Изменить параметры элементов можно следующим образом:

- выделите элемент щелчком левой клавиши мыши на его изображении в схеме (выделенный элемент отображается красным цветом);
- нажмите кнопку «Component Properties» в верхнем ряду панели инструментов;
- в открывшемся окне установки свойств элемента выберите закладку «Value» и наберите с помощью клавиатуры нужное значение параметра. В дробных числах для отделения целой части от дробной используйте точку, а не запятую;
- закройте окно установки свойств элемента, нажав в нём клавишу «OK» или нажав клавишу «Enter» на клавиатуре.

Окно установки свойств элемента можно также вызвать через контекстное меню, открывающееся по щелчку правой клавиши мыши на нужном элементе.

Для источника тока I_1 установите ток 1 мА, частоту 1 кГц, начальную фазу 0 градусов. Для вольтметра M_1 установите внутреннее сопротивление 100 МОм и режим измерения переменного тока (Mode AC на закладке «Value» в окне свойств элемента). Для ИНУТ V_1 установите передаточное сопротивление 1 кОм. Сопротивление R_1 установите согласно таблице по номеру варианта.

Таблица

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R , кОм	1,0	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	3,9	4,7	5,6	6,8	8,2
L , Гн	0,16	0,20	0,24	0,30	0,36	0,43	0,51	0,62	0,75	0,91	1,1	1,3
C , нФ	160	130	110	91	75	56	47	39	33	27	24	20

2.2. Запустите процесс моделирования. Процесс моделирования запускается и останавливается нажатием клавиши «O/I» в правом верхнем углу окна программы. Процесс моделирования может быть временно приостановлен нажатием кнопки «Pause», расположенной ниже клавиши «O/I». При повторном нажатии этой кнопки (после первого нажатия название кнопки изменяется на «Resume») процесс моделирования будет продолжен с того шага, на котором он был остановлен.

2.3. Приостановите процесс моделирования нажатием кнопки «Pause» и запустите осциллограф. Осциллограф запускается двойным щелчком левой клавиши мыши на его изображении. Возможно два варианта отображения осциллографа: упрощенное «Reduce» и развернутое «Expand». Переключение режимов осуществляется нажатием соответствующих кнопок на лицевой панели осциллографа. Органы управления виртуальным осциллографом программы Electronics Workbench аналогичны органам управления реального осциллографа на основе электронно-лучевой трубки.

Перейдите в режим «Expand». Установите скорость развертки (Time base) 0,1 мс/дел. Перемещая бегунок под экраном осциллографа, можно наблюдать процесс моделирования с момента запуска (крайнее левое положение бегунка). Регулируя чувствительность каналов осциллографа, добейтесь максимально возможных амплитуд тока и напряжения на экране осциллографа. Убедитесь, что сдвиг фаз между напряжением и током в сопротивлении равен нулю. При изменении сдвига фаз бегунок под экраном осциллографа должен быть близок к правому краю, что гарантирует завершенность переходных процессов.

Изображение сигналов на экране осциллографа рекомендуется отображать разным цветом. Для задания цвета осциллограммы щелкните правой клавишей мыши на проводе, подключенном к входу канала А, и в открывшемся окне выберите опцию «Wire Properties...». В следующем окне выберите закладку «Schematic options», нажмите кнопку «Set Wire Color» и задайте красный цвет. Цвет по каналу В можно оставить черным или аналогичным образом задать какой-нибудь другой цвет (например, зеленый).

Проверьте сдвиг фаз между напряжением и током в сопротивлении на частотах 100 Гц и 10 кГц.

2.4. Убедитесь, что действующие значения напряжения и тока в сопротивлении связаны законом Ома, для чего рассчитайте напряжение на сопротивлении при заданном токе и сравните его с результатами измерения (вольтметр M1) на частоте 100 Гц, 1 кГц и 10 кГц.

2.5. Соберите схему для исследования индуктивности (рис. 2). Индуктивность L1 находится в группе «Basic».

Для источника тока I1 установите ток 1 мА, частоту 1 кГц, начальную фазу 0 градусов. Для вольтметра M1 установите внутреннее сопротивление 100 МОм и режим измерения переменного тока (Mode AC на закладке «Value» в окне свойств элемента). Для ИНУТ

V1 установите передаточное сопротивление 1 кОм. Индуктивность L1 установите согласно таблице по номеру варианта. Запустите процесс моделирования.

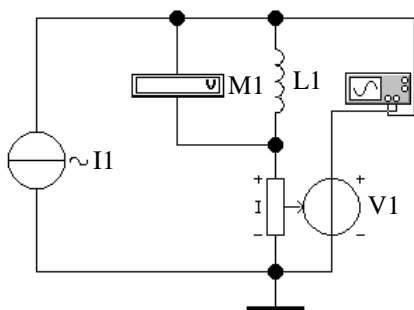


Рис. 2

2.6. Приостановите процесс моделирования нажатием кнопки «Pause» и запустите осциллограф. Перейдите в режим «Expand». Установите скорость развертки (Time base) 0,1 мс/дел. Регулируя чувствительность каналов осциллографа, добейтесь максимально возможных амплитуд тока и напряжения на экране осциллографа.

Передвиньте бегунок под экраном осциллографа ближе к правому краю и убедитесь, что напряжение на индуктивности опережает ток на 90 градусов (четверть периода). Изображение сигналов на экране осциллографа рекомендуется отображать разным цветом.

Для измерения сдвига фаз между напряжением и током совместите указатель мыши с маркером 1 (красный треугольник с цифрой 1 у левого верхнего угла экрана осциллографа), нажмите левую клавишу мыши и переместите маркер до момента пересечения напряжением нулевого уровня (снизу вверх). Аналогичным образом совместите маркер 2 (синий треугольник с цифрой 2 у правого верхнего угла экрана осциллографа) с моментом пересечения током нулевого уровня (снизу вверх). Считайте интервал времени между маркерами в правом окне под экраном осциллографа ($T_2 - T_1$). Пересчитайте временной интервал в угол сдвига фаз.

Проверьте сдвиг фаз между напряжением и током в индуктивности на частотах 100 Гц и 10 кГц.

2.7. Убедитесь, что действующие значения напряжения и тока в индуктивности связаны законом Ома, для чего рассчитайте напряжение на индуктивности при заданном токе и сравните его с результатами измерения (вольтметр M1) на частоте 100 Гц, 1 кГц и 10 кГц.

2.8. Снимите зависимость индуктивного сопротивления от частоты. Рекомендуемые значения частоты: 100 Гц, 1 кГц, 2 кГц, 5 кГц и 10 кГц. Индуктивное сопротивление рассчитайте по значениям тока

и напряжения в цепи. Результаты измерений и расчетов сведите в таблицу.

2.9. Соберите схему для исследования емкости (рис. 3). Емкость $C1$ находится в группе «Basic», независимый источник напряжения $V1$ – в группе «Sources».

Для источника напряжения $V1$ установите напряжение 10 В, частоту 1 кГц, начальную фазу 0 градусов. Для амперметра $M1$ установите внутреннее сопротивление 1 мОм и режим измерения переменного тока (Mode AC на закладке «Value» в окне свойств элемента). Для ИНУТ $V1$ установите передаточное сопротивление 1 кОм. Емкость $C1$ установите согласно таблице по номеру варианта. Запустите процесс моделирования.

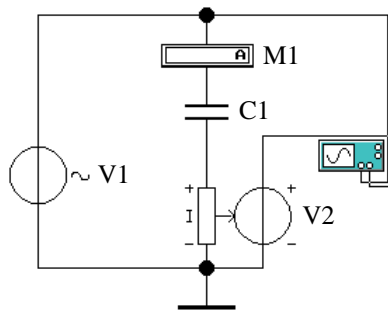


Рис. 3

2.10. Приостановите процесс моделирования нажатием кнопки «Pause» и запустите осциллограф. Перейдите в режим «Expand». Установите скорость развертки (Time base) 0,1 мс/дел. Регулируя чувствительность каналов осциллографа, добейтесь максимально возможных амплитуд тока и напряжения на экране осциллографа. Изображение сигналов на экране осциллографа рекомендуется отображать разным цветом. Передвиньте бегунок под экраном осциллографа ближе к правому краю и убедитесь, что напряжение на емкости отстает от тока на 90 градусов (четверть периода).

Проверьте сдвиг фаз между напряжением и током в емкости на частотах 100 Гц и 10 кГц.

2.11. Убедитесь, что действующие значения напряжения и тока в емкости связаны законом Ома, для чего рассчитайте ток через емкость при заданном напряжении и сравните его с результатами измерений (амперметр $M1$) на частотах 100 Гц, 1 кГц и 10 кГц.

2.12. Снимите зависимость емкостного сопротивления от частоты. Рекомендуемые значения частоты: 100 Гц, 200 Гц, 500 Гц, 1 кГц, 2 кГц, 5 кГц и 10 кГц. Емкостное сопротивление рассчитайте по значениям тока и напряжения в цепи. Результаты измерений и расчетов сведите в таблицу.

2.12. Постройте в одной системе координат зависимости сопротивления от частоты для сопротивления, индуктивности и емкости.

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

Отчёт должен содержать:

- цель работы;
- задачи экспериментов;
- схемы исследуемых цепей;
- таблицы результатов измерений и их обработки;
- график зависимости сопротивлений от частоты;
- выводы.

4. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матвиенко, В.А. Электротехника : учебное пособие / В.А. Матвиенко. – 2-е изд., испр. – Екатеринбург : УрФУ, 2011. – 156 с.
2. Попов, В.П. Основы теории цепей : учебник для вузов / В.П. Попов. – 6-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 2007. – 575 с.
3. Атабеков, Г.И. Основы теории цепей : учебник для вузов / Г.И. Атабеков. – 2-е изд., испр. – СПб. : Лань, 2006. – 432 с.
4. Атабеков, Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи : учебное пособие / Г.И. Атабеков. – 7-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2009. – 592 с.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ RL - И RC -ЦЕПИ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение амплитудных и фазовых соотношений напряжений и тока в последовательных RL - и RC -цепях.

2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

2.1. Повторите тему «Линейные электрические цепи при гармоническом воздействии» [1–4]. Ответьте на контрольные вопросы.

2.2. Для каждой из цепей (рис. 1, 2) рассчитайте все токи и напряжения, сдвиг фаз между напряжением источника и током, а также полную, активную и реактивную мощности источника на частоте 1 кГц при напряжении источника $U = 10$ В. Параметры сопротивления, индуктивности и емкости возьмите из таблицы по номеру варианта.

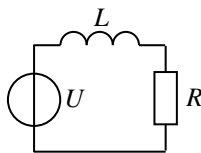


Рис. 1

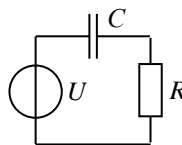


Рис. 2

Таблица

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R , кОм	1,0	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	3,9	4,7	5,6	6,8	8,2
L , Гн	0,16	0,20	0,24	0,30	0,36	0,43	0,51	0,62	0,75	0,91	1,1	1,3
C , нФ	160	130	110	91	75	56	47	39	33	27	24	20

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Соберите схему для исследования последовательной RL -цепи (рис. 3). Независимый источник напряжения $V1$, источник напряжения управляемый током (ИНУТ) $V2$ и символ заземления находятся в группе «Sources» (второй ряд сверху на панели инструментов), вольтметры $M1$, $M2$ и амперметр $M3$ – в группе «Indicators», сопротивление $R1$ и индуктивность $L1$ – в группе «Basic», осциллограф – в группе «Instruments».

Чтобы на схеме отображались позиционные обозначения и параметры элементов, выберите в меню «Circuit» строку «Schematic»

Options». В открывшемся окне выберите закладку «Show/Hide» и установите опции «Show reference ID» и «Show value».

Собранная схема представляет собой последовательное соединение источника напряжения V1, сопротивления R1 и индуктивности L1. Идеальный ИНУТ имеет нулевое входное сопротивление и нулевое выходное сопротивление и не оказывает влияния на работу схемы. ИНУТ выполняет вспомогательную функцию преобразования тока в напряжение, что необходимо для визуализации тока на экране осциллографа. Влияние внутреннего сопротивления амперметра M3 (1 мОм) пренебрежимо мало.

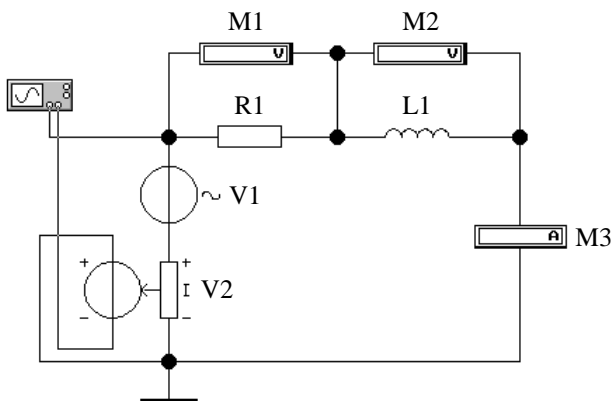


Рис. 3

Каждому элементу схемы по умолчанию присваиваются соответствующие параметры (они отображаются на схеме). Изменить параметры элементов можно следующим образом:

- выделите элемент щелчком левой клавиши мыши на его изображении в схеме (выделенный элемент отображается красным цветом);
- нажмите кнопку «Component Properties» в верхнем ряду панели инструментов;
- в открывшемся окне установки свойств элемента выберите закладку «Value» и наберите с помощью клавиатуры нужное значение параметра. В дробных числах для отделения целой части от дробной используйте точку, а не запятую;
- закройте окно установки свойств элемента, нажав в нем клавишу «OK» или нажав клавишу «Enter» на клавиатуре.

Окно установки свойств элемента можно также вызвать через контекстное меню, открывающееся по щелчку правой клавиши мыши на нужном элементе.

Для источника напряжения $V1$ установите напряжение 10 В, частоту 1 кГц, начальную фазу 0 градусов. Для вольтметров $M1$ и $M2$ установите внутреннее сопротивление 100 МОм и режим измерения переменного тока (Mode AC на закладке «Value» в окне свойств элемента). Для амперметра $M3$ установите внутреннее сопротивление 1 мОм и режим измерения переменного тока. Для ИНУТ $V2$ установите передаточное сопротивление 1 кОм. Сопротивление $R1$ и индуктивность $L1$ установите согласно таблице по номеру варианта.

3.2. Запустите процесс моделирования и измерьте ток I в цепи (амперметр $M3$), напряжение на сопротивлении U_R (вольтметр $M1$) и напряжение на индуктивности U_L (вольтметр $M2$). Сравните результаты измерений с расчетными значениями величин, полученными при выполнении домашнего задания, и убедитесь в выполнении закона Ома для действующих значений напряжения и тока в последовательной RL -цепи.

3.3. По результатам измерений постройте (соблюдая масштаб) векторную диаграмму напряжений (начальную фазу тока примите равной нулю) и убедитесь в выполнении второго закона Кирхгофа для комплексных напряжений в контуре.

3.4. По результатам измерений рассчитайте полную, активную и реактивную мощности источника и постройте (соблюдая масштаб) треугольник мощностей. Сравните результаты измерений с расчетными значениями величин, полученными при выполнении домашнего задания.

3.5. Запустите осциллограф и измерьте сдвиг фаз между напряжением источника и током в цепи.

Изображение сигналов на экране осциллографа рекомендуется отображать разным цветом. Для задания цвета осциллограммы щелкните правой клавишей мыши на проводе, подключенном к входу канала А, и в открывшемся окне выберите опцию «Wire Properties...». В следующем окне выберите закладку «Schematic options», нажмите кнопку «Set Wire Color» и задайте красный цвет. Цвет по каналу В можно оставить черным или аналогичным образом задать какой-нибудь другой цвет (например, зеленый).

Для измерения сдвига фаз между напряжением и током совместите указатель мыши с маркером 1 (красный треугольник с цифрой 1

у левого верхнего угла экрана осциллографа), нажмите левую клавишу мыши и переместите маркер до момента пересечения напряжением нулевого уровня (снизу вверх). Аналогичным образом совместите маркер 2 (синий треугольник с цифрой 2 у правого верхнего угла экрана осциллографа) с моментом пересечения током нулевого уровня (снизу вверх). Считайте интервал времени между маркерами в правом окне под экраном осциллографа ($T_2 - T_1$). Пересчитайте временной интервал в угол сдвига фаз.

Сравните результат измерений с расчетным значением, полученным при выполнении домашнего задания.

3.6. Соберите схему для исследования последовательной RC-цепи (рис. 4). Емкость C1 находится в группе «Basic». Включите отображение позиционных обозначений и параметров элементов.

Собранная схема представляет собой последовательное соединение источника напряжения V1, сопротивления R1 и емкости C1. Идеальный ИНУТ имеет нулевое входное сопротивление и не оказывает влияния на работу схемы. Влияние внутреннего сопротивления амперметра M3 (1 мОм) пренебрежимо мало.

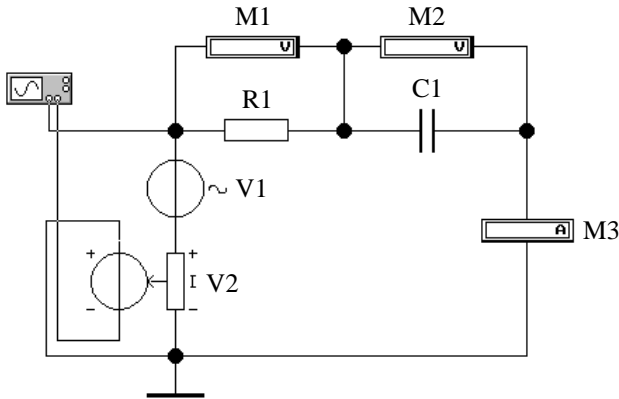


Рис. 4

Для источника напряжения V1 установите напряжение 10 В, частоту 1 кГц, начальную фазу 0 градусов. Для вольтметров M1 и M2 установите внутреннее сопротивление 100 МОм и режим измерения переменного тока (Mode AC на закладке «Value» в окне свойств элемента). Для амперметра M3 установите внутреннее сопротивление 1 мОм и режим измерения переменного тока. Для ИНУТ V2 устано-

вите передаточное сопротивление 1 кОм. Сопротивление R_1 и емкость C_1 установите согласно таблице по номеру варианта.

3.7. Запустите процесс моделирования и измерьте ток I в цепи (амперметр М3), напряжение на сопротивлении U_R (вольтметр М1) и напряжение на емкости U_C (вольтметр М2). Сравните результаты измерений с расчетными значениями величин, полученными при выполнении домашнего задания, и убедитесь в выполнении закона Ома для действующих значений напряжения и тока в последовательной RC -цепи.

3.8. По результатам измерений постройте (соблюдая масштаб) векторную диаграмму напряжений (начальную фазу тока примите равной нулю) и убедитесь в выполнении второго закона Кирхгофа для комплексных напряжений в контуре.

3.9. По результатам измерений рассчитайте полную, активную и реактивную мощности источника и постройте (соблюдая масштаб) треугольник мощностей. Сравните результаты измерений с расчетными значениями величин, полученными при выполнении домашнего задания.

3.10. Запустите осциллограф и измерьте сдвиг фаз между напряжением источника и током в цепи. Изображение сигналов на экране осциллографа рекомендуется отображать разным цветом.

Сравните результат измерений с расчетным значением, полученным при выполнении домашнего задания.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- цель работы;
- расчет всех токов, напряжений, мощностей и сдвига фаз между напряжением источника и током (домашнее задание);
- задачи экспериментов;
- схемы исследуемых цепей;
- результаты измерений и их обработки;
- векторные диаграммы и треугольники мощностей;
- выводы.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Постройте векторную диаграмму тока и напряжений в последовательной RL -цепи.
- 5.2. Постройте векторную диаграмму тока и напряжений в последовательной RC -цепи.
- 5.3. Сформулируйте второй закон Кирхгофа для мгновенных значений, комплексных амплитуд и комплексных действующих значений напряжений в контуре.
- 5.4. Поясните понятия «активная мощность», «реактивная мощность», «полная мощность». В каких единицах измеряются активная, реактивная и полная мощности?
- 5.5. Что такое «коэффициент мощности»? Почему в электроэнергетике стремятся повысить коэффициент мощности?
- 5.6. Изобразите треугольники мощностей для последовательных RL - и RC -цепей.
- 5.7. Напишите формулы, связывающие активную, реактивную, полную и комплексную мощности с сопротивлениями цепи.

6. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матвиенко, В.А. Электротехника : учебное пособие / В.А. Матвиенко. – 2-е изд., испр. – Екатеринбург : УрФУ, 2011. – 156 с.
2. Попов, В.П. Основы теории цепей : учебник для вузов / В.П. Попов. – 6-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 2007. – 575 с.
3. Атабеков, Г.И. Основы теории цепей : учебник для вузов / Г.И. Атабеков. – 2-е изд., испр. – СПб. : Лань, 2006. – 432 с.
4. Атабеков, Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи : учебное пособие / Г.И. Атабеков. – 7-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2009. – 592 с.

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ RL - И RC -ЦЕПИ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение амплитудных и фазовых соотношений напряжения и токов в параллельных RL - и RC -цепях.

2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

2.1. Повторите тему «Линейные электрические цепи при гармоническом воздействии» [1–4]. Ответьте на контрольные вопросы.

2.2. Для каждой из цепей (рис. 1, 2) рассчитайте все токи и напряжения, сдвиг фаз между током источника и напряжением, а также полную, активную и реактивную мощности источника на частоте 1 кГц при токе источника $I = 10$ мА. Параметры сопротивления, индуктивности и емкости возьмите из таблицы по номеру варианта.

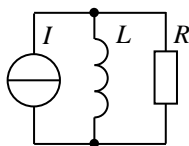


Рис. 1

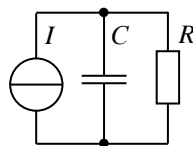


Рис. 2

Таблица

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R , кОм	1,0	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	3,9	4,7	5,6	6,8	8,2
L , Гн	0,16	0,20	0,24	0,30	0,36	0,43	0,51	0,62	0,75	0,91	1,1	1,3
C , нФ	160	130	110	91	75	56	47	39	33	27	24	20

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Соберите схему для исследования параллельной RL -цепи (рис. 3). Независимый источник тока Π , источник напряжения управляемый током (ИНУТ) $V1$ и символ заземления находятся в группе «Sources» (второй ряд сверху на панели инструментов), амперметры $M1$, $M2$ и вольтметр $M3$ – в группе «Indicators», сопротивление $R1$ и индуктивность $L1$ – в группе «Basic», осциллограф – в группе «Instruments».

Чтобы на схеме отображались позиционные обозначения и параметры элементов, выберите в меню «Circuit» строку «Schematic»

Options». В открывшемся окне выберите закладку «Show/Hide» и установите опции «Show reference ID» и «Show value».

Собранная схема представляет собой параллельное соединение источника тока $I1$, сопротивления $R1$ и индуктивности $L1$. Идеальный ИНУТ имеет нулевое входное сопротивление и нулевое выходное сопротивление и не оказывает влияния на работу схемы. ИНУТ выполняет вспомогательную функцию преобразования тока в напряжение, что необходимо для визуализации тока на экране осциллографа. Влияние внутренних сопротивлений амперметров $M1$, $M2$ (1 мОм) и вольтметра $M3$ (100 МОм) пренебрежимо мало.

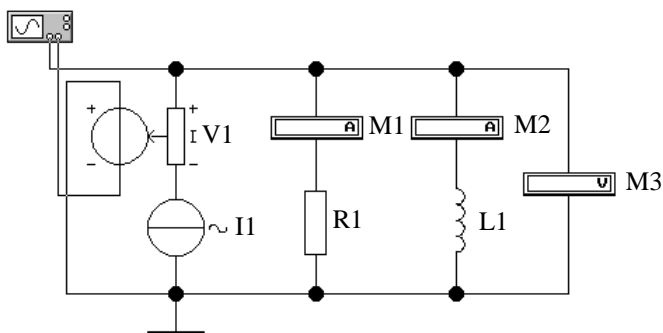


Рис. 3

Каждому элементу схемы по умолчанию присваиваются соответствующие параметры (они отображаются на схеме). Изменить параметры элементов можно следующим образом:

- выделите элемент щелчком левой клавиши мыши на его изображении в схеме (выделенный элемент отображается красным цветом);
- нажмите кнопку «Component Properties» в верхнем ряду панели инструментов;
- в открывшемся окне установки свойств элемента выберите закладку «Value» и наберите с помощью клавиатуры нужное значение параметра. В дробных числах для отделения целой части от дробной используйте точку, а не запятую;
- закройте окно установки свойств элемента, нажав в нем клавишу «ОК» или нажав клавишу «Enter» на клавиатуре.

Окно установки свойств элемента можно также вызвать через контекстное меню, открывающееся по щелчку правой клавиши мыши на нужном элементе.

Для источника тока I установите ток 10 мА, частоту 1 кГц, начальную фазу 0 градусов. Для амперметров $M1$ и $M2$ установите внутреннее сопротивление 1 мОм и режим измерения переменного тока (Mode AC на закладке «Value» в окне свойств элемента). Для вольтметра $M3$ установите внутреннее сопротивление 100 МОм и режим измерения переменного тока. Для ИНУТ $V2$ установите передаточное сопротивление 1 кОм. Сопротивление $R1$ и индуктивность $L1$ установите согласно таблице по номеру варианта.

3.2. Запустите процесс моделирования и измерьте напряжение U на параллельной RL -цепи (вольтметр $M3$), ток в сопротивлении I_R (амперметр $M1$) и ток в индуктивности I_L (амперметр $M2$). Сравните результаты измерений с расчетными значениями величин, полученными при выполнении домашнего задания, и убедитесь в выполнении закона Ома для действующих значений напряжения и тока в параллельной RL -цепи.

3.3. По результатам измерений постройте (соблюдая масштаб) векторную диаграмму токов (начальную фазу напряжения примите равной нулю) и убедитесь в выполнении первого закона Кирхгофа для комплексных токов в узле.

3.4. По результатам измерений рассчитайте полную, активную и реактивную мощности источника и постройте (соблюдая масштаб) треугольник мощностей. Сравните результаты измерений с расчетными значениями величин, полученными при выполнении домашнего задания.

3.5. Запустите осциллограф и измерьте сдвиг фаз между током источника и напряжением в цепи.

Изображение сигналов на экране осциллографа рекомендуется отображать разным цветом. Для задания цвета осциллограммы щелкните правой клавишей мыши на проводе, подключенном к входу канала А, и в открывшемся окне выберите опцию «Wire Properties...». В следующем окне выберите закладку «Schematic options», нажмите кнопку «Set Wire Color» и задайте красный цвет. Цвет по каналу В можно оставить черным или аналогичным образом задать какой-нибудь другой цвет (например, зеленый).

Для измерения сдвига фаз между напряжением и током совместите указатель мыши с маркером 1 (красный треугольник с цифрой 1

у левого верхнего угла экрана осциллографа), нажмите левую клавишу мыши и переместите маркер до момента пересечения напряжением нулевого уровня (снизу вверх). Аналогичным образом совместите маркер 2 (синий треугольник с цифрой 2 у правого верхнего угла экрана осциллографа) с моментом пересечения током нулевого уровня (снизу вверх). Считайте интервал времени между маркерами в правом окне под экраном осциллографа ($T_2 - T_1$). Пересчитайте временной интервал в угол сдвига фаз.

Сравните результат измерений с расчетным значением, полученным при выполнении домашнего задания.

3.6. Соберите схему для исследования параллельной RC -цепи (рис. 4). Емкость C_1 находится в группе «Basic». Включите отображение позиционных обозначений и параметров элементов.

Собранная схема представляет собой параллельное соединение источника тока I_1 , сопротивления R_1 и емкости C_1 . Идеальный ИНУТ имеет нулевое входное сопротивление и не оказывает влияния на работу схемы. Влияние внутренних сопротивлений амперметров M_1 , M_2 (1 мОм) и вольтметра M_3 (100 МОм) пренебрежимо мало.

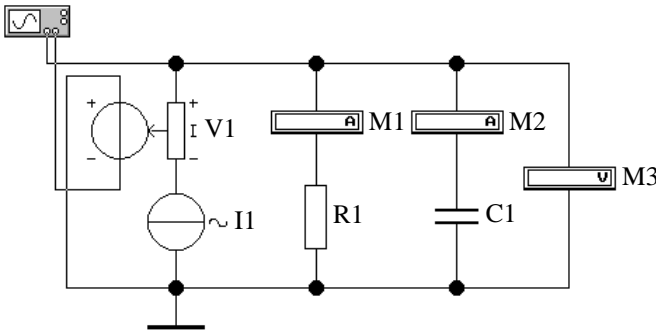


Рис. 4

Для источника тока I_1 установите ток 10 мА, частоту 1 кГц, начальную фазу 0 градусов. Для амперметров M_1 и M_2 установите внутреннее сопротивление 1 мОм и режим измерения переменного тока (Mode AC на закладке «Value» в окне свойств элемента). Для вольтметра M_3 установите внутреннее сопротивление 100 МОм и режим измерения переменного тока. Для ИНУТ V_2 установите передаточное сопротивление 1 кОм. Сопротивление R_1 и емкость C_1 установите согласно таблице по номеру варианта.

3.7. Запустите процесс моделирования и измерьте напряжение U на параллельной RC -цепи (вольтметр М3), ток в сопротивлении I_R (амперметр М1) и ток в емкости I_C (амперметр М2). Сравните результаты измерений с расчетными значениями величин, полученными при выполнении домашнего задания, и убедитесь в выполнении закона Ома для действующих значений напряжения и тока в параллельной RC -цепи.

3.8. По результатам измерений постройте (соблюдая масштаб) векторную диаграмму токов (начальную фазу напряжения примите равной нулю) и убедитесь в выполнении первого закона Кирхгофа для комплексных токов в узле.

3.9. По результатам измерений рассчитайте полную, активную и реактивную мощности источника и постройте (соблюдая масштаб) треугольник мощностей. Сравните результаты измерений с расчетными значениями величин, полученными при выполнении домашнего задания.

3.10. Запустите осциллограф и измерьте сдвиг фаз между током источника и напряжением в цепи. Изображение сигналов на экране осциллографа рекомендуется отображать разным цветом.

Сравните результат измерений с расчетным значением, полученным при выполнении домашнего задания.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- цель работы;
- расчет всех токов, напряжений, мощностей и сдвига фаз между током источника и напряжением (домашнее задание);
- задачи экспериментов;
- схемы исследуемых цепей;
- результаты измерений и их обработки;
- векторные диаграммы и треугольники мощностей;
- выводы.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1. Постройте векторную диаграмму напряжения и токов в параллельной RL -цепи.

- 5.2. Постройте векторную диаграмму напряжения и токов в параллельной RC -цепи.
- 5.3. Сформулируйте первый закон Кирхгофа для мгновенных значений, комплексных амплитуд и комплексных действующих значений токов в узле.
- 5.4. Поясните понятия «активная мощность», реактивная мощность», «полная мощность». В каких единицах измеряются активная, реактивная и полная мощности?
- 5.5. Что такое «коэффициент мощности»? Почему в электроэнергетике стремятся повысить коэффициент мощности?
- 5.6. Изобразите треугольники мощностей для параллельных RL - и RC -цепей.
- 5.7. Напишите формулы, связывающие активную, реактивную, полную и комплексную мощности с проводимостями цепи.

6. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матвиенко, В.А. Электротехника : учебное пособие / В.А. Матвиенко. – 2-е изд., испр. – Екатеринбург : УрФУ, 2011. – 156 с.
2. Попов, В.П. Основы теории цепей : учебник для вузов / В.П. Попов. – 6-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 2007. – 575 с.
3. Атабеков, Г.И. Основы теории цепей : учебник для вузов / Г.И. Атабеков. – 2-е изд., испр. – СПб. : Лань, 2006. – 432 с.
4. Атабеков, Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи : учебное пособие / Г.И. Атабеков. – 7-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2009. – 592 с.

ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ RL-ЦЕПЕЙ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование частотных характеристик RL -цепей первого порядка.

2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

2.1. Повторите тему «Линейные электрические цепи при гармоническом воздействии» [1–4]. Ответьте на контрольные вопросы.

2.2. Для каждой из цепей (рис. 1, 2) получите в общем виде выражения для комплексного коэффициента передачи по напряжению $K_U(j\omega) = \dot{U}_2 / \dot{U}_1$, амплитудно-частотной характеристики $K_U(\omega)$ и фазочастотной характеристики $\varphi(\omega)$.

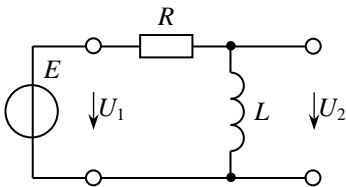


Рис. 1

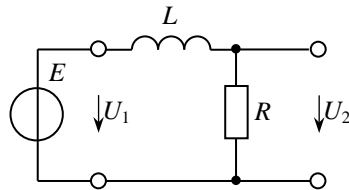


Рис. 2

Обратите внимание, что схема рис. 1 является фильтром высокой частоты первого порядка, а схема рис. 2 – фильтром низкой частоты первого порядка. Во временной области отклик цепи рис 1 в первом приближении пропорционален производной от входного воздействия, поэтому эту цепь называют дифференцирующей RL -цепью. В цепи рис. 2 отклик в первом приближении пропорционален интегралу от входного воздействия, поэтому цепь рис. 2 называют интегрирующей RL -цепью.

2.3. Для каждой из цепей (рис. 1, 2) получите в общем виде выражения для расчета граничной частоты полосы пропускания. Рассчитайте граничную частоту полосы пропускания. Параметры сопротивления и индуктивности возьмите из таблицы по номеру варианта.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R , кОм	1,0	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	3,9	4,7	5,6	6,8	8,2
L , мГн	16	20	24	30	36	43	51	62	75	91	110	130

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Соберите схему для исследования дифференцирующей RL -цепи (рис. 3). Независимый источник напряжения $V1$ и символ заземления находятся в группе «Sources» (второй ряд сверху на панели инструментов), вольтметр $M1$ – в группе «Indicators», сопротивление $R1$ и индуктивность $L1$ – в группе «Basic», осциллограф – в группе «Instruments».

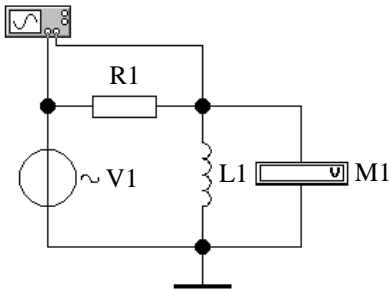


Рис. 3

Чтобы на схеме отображались позиционные обозначения и параметры элементов, выберите в меню «Circuit» строку «Schematic Options». В открывшемся окне выберите закладку «Show/Hide» и установите опции «Show reference ID» и «Show value».

Каждому элементу схемы по умолчанию присваиваются соответствующие параметры (они отображаются на схеме). Изменить параметры элементов можно следующим образом:

- выделите элемент щелчком левой клавиши мыши на его изображении в схеме (выделенный элемент отображается красным цветом);
- нажмите кнопку «Component Properties» в верхнем ряду панели инструментов;
- в открывшемся окне установки свойств элемента выберите закладку «Value» и наберите с помощью клавиатуры нужное значение параметра. В дробных числах для отделения целой части от дробной используйте точку, а не запятую;
- закройте окно установки свойств элемента, нажав в нем клавишу «OK» или нажав клавишу «Enter» на клавиатуре.

Окно установки свойств элемента можно также вызвать через контекстное меню, открывающееся по щелчку правой клавиши мыши на нужном элементе.

Для вольтметра $M1$ установите внутреннее сопротивление 100 МОм и режим измерения переменного тока (Mode AC на закладке «Value» в окне свойств элемента). Сопротивление $R1$ и индуктивность $L1$ установите согласно таблице по номеру варианта.

3.2. Снимите амплитудно-частотную (АЧХ) и фазочастотную (ФЧХ) характеристики коэффициента передачи по напряжению дифференцирующей RL -цепи (рис. 3). Рекомендуемое напряжение источника $V1$ $U_1 = 1 \text{ В}$, при этом коэффициент передачи по напряжению $K_U = U_2/U_1$ численно будет равен напряжению на выходе цепи U_2 . Рекомендуемые значения частоты источника $V1$: 0,625; 1,25; 2,5; 5; 10; 20; 40; 80 и 160 кГц. Сдвиг фаз между выходным и входным напряжениями определите с помощью осциллографа по временному интервалу Δt между моментами пересечения напряжениями U_1 и U_2 нулевого уровня (снизу вверх).

Изображение сигналов на экране осциллографа рекомендуется отображать разным цветом. Для задания цвета осциллограммы щелкните правой клавишей мыши на проводе, подключенном к входу канала А, и в открывшемся окне выберите опцию «Wire Properties...». В следующем окне выберите закладку «Schematic options», нажмите кнопку «Set Wire Color» и задайте красный цвет. Цвет по каналу В можно оставить черным или аналогичным образом задать какой-нибудь другой цвет (например, зеленый).

Результаты измерения напряжения U_2 и временного интервала Δt сведите в таблицу. В эту же таблицу включите результаты пересчета временного интервала в сдвиг фаз (в градусах).

3.3. Определите нижнюю граничную частоту полосы пропускания дифференцирующей RL -цепи, для чего найдите значение частоты источника $V1$, при котором напряжение на выходе цепи $U_2 = 0,707 \text{ В}$. Полученное значение граничной частоты сравните с результатами расчета (домашнее задание).

3.4. По результатам измерений постройте графики АЧХ и ФЧХ коэффициента передачи по напряжению дифференцирующей RL -цепи. Для оси частот используйте логарифмический масштаб (рекомендованные в п. 3.2 значения частоты соответствуют логарифмическому масштабу). Отметьте на характеристиках граничную частоту полосы пропускания.

3.5. По результатам измерений постройте годограф коэффициента передачи по напряжению дифференцирующей RL -цепи. Масштаб по обеим осям комплексной плоскости должен быть строго одинаков. Отметьте на годографе граничную частоту полосы пропускания.

3.6. Соберите схему для исследования интегрирующей RL -цепи (рис. 4), для чего в схеме рис. 3 поменяйте местами сопротивление и индуктивность.

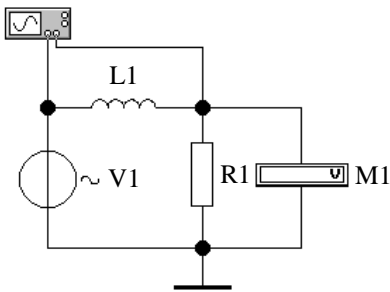


Рис. 4

3.7. Снимите АЧХ и ФЧХ коэффициента передачи по напряжению интегрирующей RL -цепи (рис. 4). Рекомендуемое напряжение источника $V1$ $U_1 = 1$ В. Рекомендуемые значения частоты источника $V1$: 0,625; 1,25; 2,5; 5; 10; 20; 40; 80 и 160 кГц. Результаты измерения напряжения U_2 и временного интервала Δt сведите в таблицу. В эту же таблицу включите результаты пересчета временного интервала в сдвиг фаз (в градусах).

3.8. Определите верхнюю граничную частоту полосы пропускания интегрирующей RL -цепи, для чего найдите значение частоты источника $V1$, при котором напряжение на выходе цепи $U_2 = 0,707$ В. Полученное значение граничной частоты сравните с результатами расчета (домашнее задание).

3.9. По результатам измерений постройте графики АЧХ и ФЧХ коэффициента передачи по напряжению интегрирующей RL -цепи. Для оси частот используйте логарифмический масштаб (рекомендованные в п. 3.7 значения частоты соответствуют логарифмическому масштабу). Отметьте на характеристиках граничную частоту полосы пропускания.

3.10. По результатам измерений постройте годограф коэффициента передачи по напряжению интегрирующей RL -цепи. Масштаб по обеим осям комплексной плоскости должен быть строго одинаков. Отметьте на годографе граничную частоту полосы пропускания.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- цель работы;
- вывод аналитических выражений для комплексного коэффициента передачи по напряжению, амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик (домашнее задание);
- вывод формулы для расчета граничной частоты полосы пропускания и результаты расчета по ней (домашнее задание);
- задачи экспериментов;
- схемы исследуемых цепей;
- результаты измерений и их обработки;
- графики АЧХ и ФЧХ исследуемых цепей;
- годографы исследуемых цепей;
- выводы.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Дайте определения комплексной частотной характеристики, амплитудно-частотной характеристики, фазочастотной характеристики.
- 5.2. Поясните физический смысл комплексной частотной характеристики.
- 5.3. Дайте классификацию комплексных частотных характеристик цепи.
- 5.4. Что такое «годограф»?
- 5.5. Какие устройства называют фильтрами низких частот, фильтрами высоких частот?
- 5.6. Изобразите АЧХ идеального фильтра низких частот, идеального фильтра высоких частот.
- 5.7. Что понимают под граничной частотой полосы пропускания реального частотного фильтра?
- 5.8. Поясните методику экспериментального определения граничной частоты полосы пропускания фильтра.

6. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матвиенко, В.А. Электротехника : учебное пособие / В.А. Матвиенко. – 2-е изд., испр. – Екатеринбург : УрФУ, 2011. – 156 с.
2. Попов, В.П. Основы теории цепей : учебник для вузов / В.П. Попов. – 6-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 2007. – 575 с.
3. Атабеков, Г.И. Основы теории цепей : учебник для вузов / Г.И. Атабеков. – 2-е изд., испр. – СПб. : Лань, 2006. – 432 с.
4. Атабеков, Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи : учебное пособие / Г.И. Атабеков. – 7-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2009. – 592 с.

ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ RC-ЦЕПЕЙ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование частотных характеристик RC -цепей первого порядка.

2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

2.1. Повторите тему «Линейные электрические цепи при гармоническом воздействии» [1–4]. Ответьте на контрольные вопросы.

2.2. Для каждой из цепей (рис. 1, 2) получите в общем виде выражения для комплексного коэффициента передачи по напряжению $K_U(j\omega) = \dot{U}_2 / \dot{U}_1$, амплитудно-частотной характеристики $K_U(\omega)$ и фазочастотной характеристики $\varphi(\omega)$.

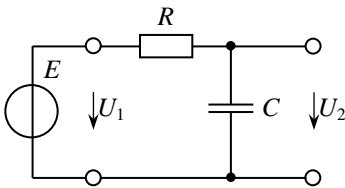


Рис. 1

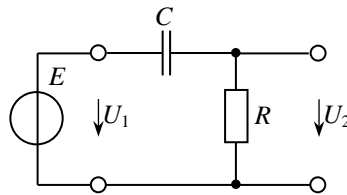


Рис. 2

Обратите внимание, что схема рис. 1 является фильтром низкой частоты первого порядка, а схема рис. 2 – фильтром высокой частоты первого порядка. Во временной области отклик цепи рис. 1 в первом приближении пропорционален интегралу от входного воздействия, поэтому цепь рис. 1 называют интегрирующей RC -цепью. В цепи рис. 2 отклик в первом приближении пропорционален производной от входного воздействия, поэтому эту цепь называют дифференцирующей RC -цепью.

2.3. Для каждой из цепей (рис. 1, 2) получите в общем виде выражения для расчета граничной частоты полосы пропускания. Рассчитайте граничную частоту полосы пропускания. Параметры сопротивления и емкости возьмите из таблицы по номеру варианта.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R , кОм	1,0	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	3,9	4,7	5,6	6,8	8,2
C , нФ	16	13	11	9,1	7,5	5,6	4,7	3,9	3,3	2,7	2,4	2,0

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Соберите схему для исследования интегрирующей RC -цепи (рис. 3). Независимый источник напряжения $V1$ и символ заземления находятся в группе «Sources» (второй ряд сверху на панели инструментов), вольтметр $M1$ – в группе «Indicators», сопротивление $R1$ и емкость $C1$ – в группе «Basic», осциллограф – в группе «Instruments».

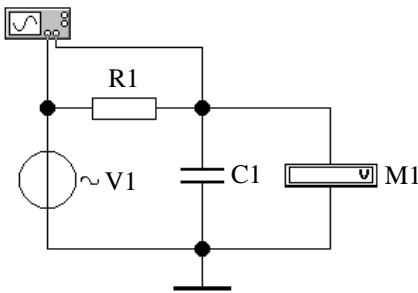


Рис. 3

Чтобы на схеме отображались позиционные обозначения и параметры элементов, выберите в меню «Circuit» строку «Schematic Options». В открывшемся окне выберите закладку «Show/Hide» и установите опции «Show reference ID» и «Show value».

Каждому элементу схемы по умолчанию присваиваются соответствующие параметры (они отображаются на схеме). Изменить параметры элементов можно следующим образом:

- выделите элемент щелчком левой клавиши мыши на его изображении в схеме (выделенный элемент отображается красным цветом);
- нажмите кнопку «Component Properties» в верхнем ряду панели инструментов;
- в открывшемся окне установки свойств элемента выберите закладку «Value» и наберите с помощью клавиатуры нужное значение параметра. В дробных числах для отделения целой части от дробной используйте точку, а не запятую;
- закройте окно установки свойств элемента, нажав в нем клавишу «OK» или нажав клавишу «Enter» на клавиатуре.

Окно установки свойств элемента можно также вызвать через контекстное меню, открывающееся по щелчку правой клавиши мыши на нужном элементе.

Для вольтметра $M1$ установите внутреннее сопротивление 100 МОм и режим измерения переменного тока (Mode AC на закладке «Value» в окне свойств элемента). Сопротивление $R1$ и емкость $C1$ установите согласно таблице по номеру варианта.

3.2. Снимите амплитудно-частотную (АЧХ) и фазочастотную (ФЧХ) характеристики коэффициента передачи по напряжению интегрирующей RC -цепи (рис. 3). Рекомендуемое напряжение источника $V1$ $U_1 = 1 \text{ В}$, при этом коэффициент передачи по напряжению $K_U = U_2/U_1$ численно будет равен напряжению на выходе цепи U_2 . Рекомендуемые значения частоты источника $V1$: 0,625; 1,25; 2,5; 5; 10; 20; 40; 80 и 160 кГц. Сдвиг фаз между выходным и входным напряжениями определите с помощью осциллографа по временному интервалу Δt между моментами пересечения напряжениями U_1 и U_2 нулевого уровня (снизу вверх).

Изображение сигналов на экране осциллографа рекомендуется отображать разным цветом. Для задания цвета осциллограммы щелкните правой клавишей мыши на проводе, подключенном к входу канала А, и в открывшемся окне выберите опцию «Wire Properties...». В следующем окне выберите закладку «Schematic options», нажмите кнопку «Set Wire Color» и задайте красный цвет. Цвет по каналу В можно оставить черным или аналогичным образом задать какой-нибудь другой цвет (например, зеленый).

Результаты измерения напряжения U_2 и временного интервала Δt сведите в таблицу. В эту же таблицу включите результаты пересчета временного интервала в сдвиг фаз (в градусах).

3.3. Определите верхнюю граничную частоту полосы пропускания интегрирующей RC -цепи, для чего найдите значение частоты источника $V1$, при котором напряжение на выходе цепи $U_2 = 0,707 \text{ В}$. Полученное значение граничной частоты сравните с результатами расчета (домашнее задание).

3.4. По результатам измерений постройте графики АЧХ и ФЧХ коэффициента передачи по напряжению интегрирующей RC -цепи. Для оси частот используйте логарифмический масштаб (рекомендованные в п. 3.2 значения частоты соответствуют логарифмическому масштабу). Отметьте на характеристиках граничную частоту полосы пропускания.

3.5. По результатам измерений постройте годограф коэффициента передачи по напряжению интегрирующей RC -цепи. Масштаб по обеим осям комплексной плоскости должен быть строго одинаков. Отметьте на годографе граничную частоту полосы пропускания.

3.6. Соберите схему для исследования дифференцирующей RC -цепи (рис. 4), для чего в схеме рис. 3 поменяйте местами сопротивление и емкость.

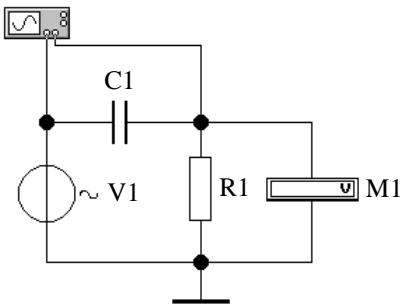


Рис. 4

3.7. Снимите АЧХ и ФЧХ коэффициента передачи по напряжению дифференцирующей RC -цепи (рис. 4). Рекомендуемое напряжение источника $V1$ $U_1 = 1$ В. Рекомендуемые значения частоты источника $V1$: 0,625; 1,25; 2,5; 5; 10; 20; 40; 80 и 160 кГц. Результаты измерения напряжения U_2 и временного интервала Δt сведите в таблицу. В эту же таблицу включите результаты пересчета временного интервала в сдвиг фаз (в градусах).

3.8. Определите нижнюю граничную частоту полосы пропускания дифференцирующей RC -цепи, для чего найдите значение частоты источника $V1$, при котором напряжение на выходе цепи $U_2 = 0,707$ В. Полученное значение граничной частоты сравните с результатами расчета (домашнее задание).

3.9. По результатам измерений постройте графики АЧХ и ФЧХ коэффициента передачи по напряжению дифференцирующей RC -цепи. Для оси частот используйте логарифмический масштаб (рекомендованные в п. 3.7 значения частоты соответствуют логарифмическому масштабу). Отметьте на характеристиках граничную частоту полосы пропускания.

3.10. По результатам измерений постройте годограф коэффициента передачи по напряжению дифференцирующей RC -цепи. Масштаб по обеим осям комплексной плоскости должен быть строго одинаков. Отметьте на годографе граничную частоту полосы пропускания.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- цель работы;
- вывод аналитических выражений для комплексного коэффициента передачи по напряжению, амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик (домашнее задание);
- вывод формулы для расчета граничной частоты полосы пропускания и результаты расчета по ней (домашнее задание);
- задачи экспериментов;
- схемы исследуемых цепей;
- результаты измерений и их обработки;
- графики АЧХ и ФЧХ исследуемых цепей;
- годографы исследуемых цепей;
- выводы.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Дайте определения комплексной частотной характеристики, амплитудно-частотной характеристики, фазочастотной характеристики.
- 5.2. Поясните физический смысл комплексной частотной характеристики.
- 5.3. Дайте классификацию комплексных частотных характеристик цепи.
- 5.4. Что такое «годограф»?
- 5.5. Какие устройства называют фильтрами низких частот, фильтрами высоких частот?
- 5.6. Изобразите АЧХ идеального фильтра низких частот, идеального фильтра высоких частот.
- 5.7. Что понимают под граничной частотой полосы пропускания реального частотного фильтра?
- 5.8. Поясните методику экспериментального определения граничной частоты полосы пропускания фильтра.

6. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матвиенко, В.А. Электротехника : учебное пособие / В.А. Матвиенко. – 2-е изд., испр. – Екатеринбург : УрФУ, 2011. – 156 с.
2. Попов, В.П. Основы теории цепей : учебник для вузов / В.П. Попов. – 6-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 2007. – 575 с.
3. Атабеков, Г.И. Основы теории цепей : учебник для вузов / Г.И. Атабеков. – 2-е изд., испр. – СПб. : Лань, 2006. – 432 с.
4. Атабеков, Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи : учебное пособие / Г.И. Атабеков. – 7-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2009. – 592 с.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение амплитудных и фазовых соотношений напряжений и тока в последовательном колебательном контуре, а также его входных и передаточных частотных характеристик.

2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

2.1. Повторите темы «Последовательное соединение сопротивления, индуктивности и емкости» и «Последовательный колебательный контур» [1–4]. Ответьте на контрольные вопросы.

2.2. Для последовательного колебательного контура (рис. 1) рассчитайте:

- резонансную частоту F_0 ;
- характеристическое сопротивление ρ ;
- добротность Q ;
- частоту F_C , на которой напряжение на емкости достигает максимума;
- отклонение частоты F_C от резонансной $\Delta F_C = F_C - F_0$;
- частоту F_L , на которой напряжение на индуктивности достигает максимума;
- отклонение частоты F_L от резонансной $\Delta F_L = F_L - F_0$;
- напряжение на индуктивности и емкости в максимуме $U_{LC \max}$ при $U = 1$ В;
- нижнюю граничную частоту полосы пропускания F_H ;
- верхнюю граничную частоту полосы пропускания F_B ;
- ширину полосы пропускания $\Delta F = F_B - F_H$.

Параметры сопротивления, индуктивности и емкости возьмите из таблицы по номеру варианта.

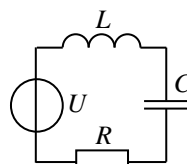


Рис. 1

Таблица

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R , Ом	10	11	12	13	15	16	18	20	22	24	27	30
L , мГн	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,3	4,7
C , нФ	160	150	130	120	110	100	91	82	75	68	62	56

Обратите внимание, что отклонения частот F_C и F_L от резонансной F_0 и напряжения $U_{L,C max}$ от напряжений на индуктивности и емкости при резонансе крайне невелики, и на практике часто считают, что частоты F_C и F_L совпадают с резонансной частотой F_0 .

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Соберите схему для исследования последовательного колебательного контура (рис. 2). Независимый источник напряжения V1, источник напряжения управляемый током (ИНУТ) V2 и символ заземления находятся в группе «Sources» (второй ряд сверху на панели инструментов), вольтметры M1, M2, M3 и амперметр M4 – в группе «Indicators», сопротивление R1, индуктивность L1 и емкость C1 – в группе «Basic», осциллограф – в группе «Instruments».

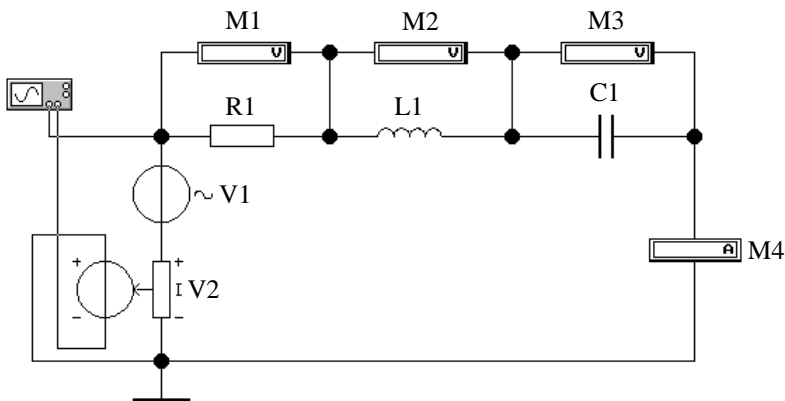


Рис. 2

Чтобы на схеме отображались позиционные обозначения и параметры элементов, выберите в меню «Circuit» строку «Schematic Options». В открывшемся окне выберите закладку «Show/Hide» и установите опции «Show reference ID» и «Show value».

Собранная схема представляет собой последовательное соединение источника напряжения V1, сопротивления R1, индуктивности L1 и емкости C1. Идеальный ИНУТ имеет нулевое входное сопротивление и нулевое выходное сопротивление и не оказывает влияния на работу схемы. ИНУТ выполняет вспомогательную функцию преобразования тока в напряжение, что необходимо для визуализации

тока на экране осциллографа. Влияние внутреннего сопротивления амперметра М4 (1 мОм) пренебрежимо мало.

Каждому элементу схемы по умолчанию присваиваются соответствующие параметры (они отображаются на схеме). Изменить параметры элементов можно следующим образом:

- выделите элемент щелчком левой клавиши мыши на его изображении в схеме (выделенный элемент отображается красным цветом);
- нажмите кнопку «Component Properties» в верхнем ряду панели инструментов;
- в открывшемся окне установки свойств элемента выберите закладку «Value» и наберите с помощью клавиатуры нужное значение параметра. В дробных числах для отделения целой части от дробной используйте точку, а не запятую;
- закройте окно установки свойств элемента, нажав в нем клавишу «OK» или нажав клавишу «Enter» на клавиатуре.

Окно установки свойств элемента можно также вызвать через контекстное меню, открывающееся по щелчку правой клавиши мыши на нужном элементе.

Для источника напряжения $V1$ установите напряжение 1 В, начальную фазу 0 градусов. Для вольтметров $M1$, $M2$ и $M3$ установите внутреннее сопротивление 100 МОм и режим измерения переменного тока (Mode AC на закладке «Value» в окне свойств элемента). Для амперметра $M4$ установите внутреннее сопротивление 1 мОм и режим измерения переменного тока. Для ИНУТ $V2$ установите передаточное сопротивление 1 кОм. Сопротивление $R1$, индуктивность $L1$ и емкость $C1$ установите согласно таблице по номеру варианта.

3.2. Частоту источника напряжения F установите равной резонансной частоте контура, рассчитанной при выполнении домашнего задания. Запустите процесс моделирования. Корректируя частоту источника напряжения, добейтесь равенства напряжений на индуктивности и емкости (резонанс напряжений). Запишите полученное значение резонансной частоты и показания всех приборов. Убедитесь, что сдвиг фаз между напряжением и током при резонансе равен нулю. Определите добротность Q контура.

3.3. Снимите зависимость от частоты F

- напряжения U_R на сопротивлении $R1$ (вольтметр $M1$);

- напряжения U_L на индуктивности L1 (вольтметр M2);
- напряжения U_C на емкости C1 (вольтметр M3);
- тока I в контуре (амперметр M4);
- сдвига фаз φ между напряжением на контуре и током в нем (осциллограф).

Рекомендуемые значения частоты F : 6; 7; 8; 9; 9,25; 9,5; 9,75; 10; 10,25; 10,5; 10,75; 11; 12; 13; 14 кГц. Пересчитайте временной сдвиг осциллограмм напряжения и тока в сдвиг фаз φ между ними. Результаты измерений сведите в таблицу. В эту же таблицу включите результаты измерений на резонансной частоте (п. 3.2).

3.4. Измерьте нижнюю F_H и верхнюю F_B граничную частоту полосы пропускания, для чего изменением частоты источника напряжения добейтесь, чтобы напряжение на сопротивлении $U_R = 0,707$ В. Измерьте все параметры по п. 3.3 на нижней и верхней частоте полосы пропускания и занесите результаты в ту же таблицу. Рассчитайте ширину полосы пропускания ΔF .

3.5. Постройте в одной системе координат графики зависимости от частоты F

- сопротивления R ;
- индуктивного сопротивления x_L ;
- емкостного сопротивления x_C ;
- реактивного сопротивления контура x ;
- полного сопротивления контура z (амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) комплексного сопротивления последовательного колебательного контура).

Указанные величины рассчитайте по результатам измерений (п. 3.3) и включите в таблицу. На всех графиках (здесь и далее) нанесите точки, по которым строились графики.

3.6. Постройте фазочастотную характеристику (ФЧХ) комплексного сопротивления последовательного колебательного контура (см. п. 3.3), которую разместите под графиками п. 3.5 с привязкой по частоте.

3.7. Постройте график зависимости тока I в контуре от частоты F (см. п. 3.3).

3.8. Постройте в одной системе координат графики АЧХ коэффициентов передачи по напряжению последовательного колебательного контура: $K_{UR} = U_R/U$, $K_{UL} = U_L/U$, $K_{UC} = U_C/U$ (см. п. 3.3).

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- цель работы;
- расчет параметров последовательного колебательного контура (домашнее задание);
- задачи экспериментов;
- используемые схемы цепей;
- результаты измерений и их обработки;
- графики исследованных зависимостей;
- выводы.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Какие цепи называют резонансными?
- 5.2. Поясните понятие «последовательный колебательный контур».
- 5.3. В чем заключается резонанс напряжений?
- 5.4. Приведите формулу для расчета резонансной частоты последовательного колебательного контура.
- 5.5. Что такое «характеристическое сопротивление», «добротность», «полоса пропускания» последовательного колебательного контура?
- 5.6. Изобразите для последовательного колебательного контура графики зависимостей от частоты F сопротивления R , индуктивного сопротивления X_L , емкостного сопротивления X_C , реактивного сопротивления контура X , полного сопротивления контура Z .
- 5.7. Нарисуйте график зависимости тока в последовательном колебательном контуре от частоты.
- 5.8. Изобразите графики зависимостей от частоты F напряжения на сопротивлении U_R , напряжения на индуктивности U_L и напряжения на емкости U_C (рис. 1).
- 5.9. Сформулируйте второй закон Кирхгофа для мгновенных значений, комплексных амплитуд и комплексных действующих значений напряжений в контуре.

6. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матвиенко, В.А. Электротехника : учебное пособие / В.А. Матвиенко. – 2-е изд., испр. – Екатеринбург : УрФУ, 2011. – 156 с.
2. Попов, В.П. Основы теории цепей : учебник для вузов / В.П. Попов. – 6-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 2007. – 575 с.
3. Атабеков, Г.И. Основы теории цепей : учебник для вузов / Г.И. Атабеков. – 2-е изд., испр. – СПб. : Лань, 2006. – 432 с.
4. Атабеков, Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи : учебное пособие / Г.И. Атабеков. – 7-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2009. – 592 с.

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение амплитудных и фазовых соотношений напряжения и токов в параллельном колебательном контуре, а также его входных и передаточных частотных характеристик.

2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

2.1. Повторите темы «Параллельное соединение сопротивления, индуктивности и емкости» и «Параллельный колебательный контур» [1–4]. Ответьте на контрольные вопросы.

2.2. Для параллельного колебательного контура (рис. 1) рассчитайте:

- резонансную частоту F_p ;
- характеристическое сопротивление ρ ;
- добротность $Q = R/\rho$;
- частоту F_C , на которой ток в емкости достигает максимума;
- отклонение частоты F_C от резонансной $\Delta F_C = F_C - F_p$;
- частоту F_L , на которой ток в индуктивности достигает максимума;
- отклонение частоты F_L от резонансной $\Delta F_L = F_L - F_p$;
- ток в индуктивности и емкости в максимуме $I_{L,C \max}$ при $I = 1$ мА;
- нижнюю граничную частоту полосы пропускания F_H ;
- верхнюю граничную частоту полосы пропускания F_B ;
- ширину полосы пропускания $\Delta F = F_B - F_H$.

Параметры сопротивления, индуктивности и емкости возьмите из таблицы по номеру варианта.

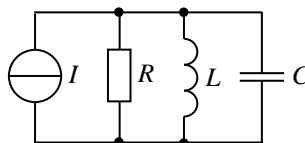


Рис. 1

Таблица

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R , кОм	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0
L , мГн	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,3	4,7
C , нФ	160	150	130	120	110	100	91	82	75	68	62	56

Обратите внимание, что отклонения частот F_C и F_L от резонансной F_p и тока $I_{L,C max}$ от тока в индуктивности и емкости при резонансе крайне невелики, и на практике можно считать, что частоты F_C и F_L совпадают с резонансной частотой F_p .

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Соберите схему для исследования параллельного колебательного контура (рис. 2). Независимый источник тока Π , источник напряжения управляемый током (ИНУТ) $V1$ и символ заземления находятся в группе «Sources» (второй ряд сверху на панели инструментов), амперметры $M1$, $M2$ $M3$ и вольтметр $M4$ – в группе «Indicators», сопротивление $R1$, индуктивность $L1$ и емкость $C1$ – в группе «Basic», осциллограф – в группе «Instruments».

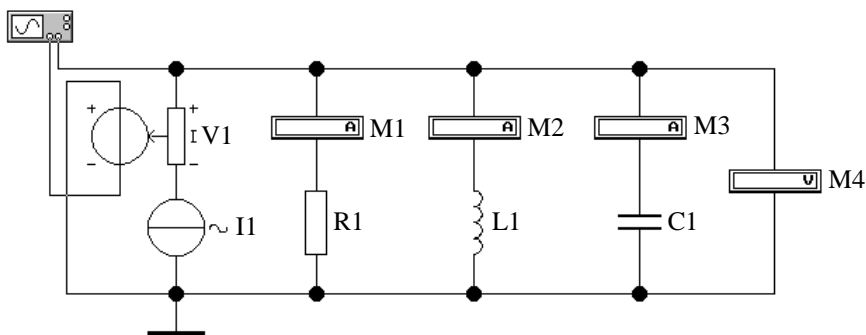


Рис. 2

Чтобы на схеме отображались позиционные обозначения и параметры элементов, выберите в меню «Circuit» строку «Schematic Options». В открывшемся окне выберите закладку «Show/Hide» и установите опции «Show reference ID» и «Show value».

Собранная схема представляет собой параллельное соединение источника тока Π , сопротивления $R1$, индуктивности $L1$ и емкости $C1$. Идеальный ИНУТ имеет нулевое входное сопротивление и нулевое выходное сопротивление и не оказывает влияния на работу схемы. ИНУТ выполняет вспомогательную функцию преобразования тока в напряжение, что необходимо для визуализации тока на экране осциллографа. Влияние внутренних сопротивлений приборов $M1$ – $M4$ пренебрежимо мало.

Каждому элементу схемы по умолчанию присваиваются соответствующие параметры (они отображаются на схеме). Изменить параметры элементов можно следующим образом:

- выделите элемент щелчком левой клавиши мыши на его изображении в схеме (выделенный элемент отображается красным цветом);
- нажмите кнопку «Component Properties» в верхнем ряду панели инструментов;
- в открывшемся окне установки свойств элемента выберите закладку «Value» и наберите с помощью клавиатуры нужное значение параметра. В дробных числах для отделения целой части от дробной используйте точку, а не запятую;
- закройте окно установки свойств элемента, нажав в нем клавишу «ОК» или нажав клавишу «Enter» на клавиатуре.

Окно установки свойств элемента можно также вызвать через контекстное меню, открывающееся по щелчку правой клавиши мыши на нужном элементе.

Для источника тока I_1 установите ток 1 мА, начальную фазу 0 градусов. Для амперметров M1, M2, M3 установите внутреннее сопротивление 1 МОм и режим измерения переменного тока (Mode AC на закладке «Value» в окне свойств элемента). Для вольтметра M4 установите внутреннее сопротивление 100 МОм и режим измерения переменного тока. Для ИНУТ V1 установите передаточное сопротивление 1 кОм. Сопротивление R1, индуктивность L1 и емкость C1 установите согласно таблице по номеру варианта.

3.2. Частоту источника тока F установите равной резонансной частоте контура, рассчитанной при выполнении домашнего задания. Запустите процесс моделирования. Корректируя частоту источника тока, добейтесь равенства токов в индуктивности и емкости (резонанс токов). Запишите полученное значение резонансной частоты и показания всех приборов. Убедитесь, что сдвиг фаз между напряжением и током при резонансе равен нулю. Определите добротность Q контура.

3.3. Снимите зависимость от частоты F

- тока I_R в сопротивлении R1 (амперметр M1);
- тока I_L в индуктивности L1 (амперметр M2);
- тока I_C в емкости C1 (амперметр M3);

- напряжения U на контуре (вольтметр М4);
- сдвига фаз φ между током в контуре и напряжением на нем (осциллограф).

Рекомендуемые значения частоты F : 6; 7; 8; 9; 9,25; 9,5; 9,75; 10; 10,25; 10,5; 10,75; 11; 12; 13; 14 кГц. Пересчитайте временной сдвиг осциллограмм напряжения и тока в сдвиг фаз φ между ними. Результаты измерений сведите в таблицу. В эту же таблицу включите результаты измерений на резонансной частоте (п. 3.2).

3.4. Измерьте нижнюю F_H и верхнюю F_B граничную частоту полосы пропускания, для чего изменением частоты источника тока добейтесь, чтобы ток в сопротивлении $I_R = 0,707$ мА. Измерьте все параметры по п. 3.3 на нижней и верхней частоте полосы пропускания и занесите результаты в ту же таблицу. Рассчитайте ширину полосы пропускания ΔF .

3.5. Постройте в одной системе координат графики зависимости от частоты F

- проводимости $G = 1/R$;
- индуктивной проводимости b_L ;
- емкостной проводимости b_C ;
- реактивной проводимости контура b ;
- полной проводимости контура y (амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) комплексной проводимости параллельного колебательного контура).

Указанные величины рассчитайте по результатам измерений (п. 3.3) и включите в таблицу. На всех графиках (здесь и далее) нанесите точки, по которым строились графики.

3.6. Постройте фазочастотную характеристику (ФЧХ) комплексной проводимости параллельного колебательного контура (см. п. 3.3), которую разместите под графиками п. 3.5 с привязкой по частоте.

3.7. Постройте график зависимости напряжения на контуре от частоты F (см. п. 3.3).

3.8. Постройте в одной системе координат графики АЧХ коэффициентов передачи по току параллельного колебательного контура: $K_{IR} = I_R/I$, $K_{IL} = I_L/I$, $K_{IC} = I_C/I$ (см. п. 3.3).

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- цель работы;
- расчет параметров параллельного колебательного контура (домашнее задание);
- задачи экспериментов;
- используемые схемы цепей;
- результаты измерений и их обработки;
- графики исследованных зависимостей;
- выводы.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Какие цепи называют резонансными?
- 5.2. Поясните понятие «параллельный колебательный контур».
- 5.3. В чем заключается резонанс токов?
- 5.4. Приведите формулу для расчета резонансной частоты параллельного колебательного контура.
- 5.5. Что такое «характеристическое сопротивление», «добротность», «полоса пропускания» параллельного колебательного контура?
- 5.6. Изобразите для параллельного колебательного контура графики зависимостей от частоты F проводимости $G = 1/R$, индуктивной проводимости b_L , емкостной проводимости b_C , реактивной проводимости контура b , полной проводимости контура y .
- 5.7. Нарисуйте график зависимости напряжения на параллельном колебательном контуре от частоты.
- 5.8. Изобразите графики зависимостей от частоты F тока в сопротивлении I_R , тока в индуктивности I_L и тока в емкости I_C (рис. 1).
- 5.9. Сформулируйте первый закон Кирхгофа для мгновенных значений, комплексных амплитуд и комплексных действующих значений токов в узле.

6. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матвиенко, В.А. Электротехника : учебное пособие / В.А. Матвиенко. – 2-е изд., испр. – Екатеринбург : УрФУ, 2011. – 156 с.
2. Попов, В.П. Основы теории цепей : учебник для вузов / В.П. Попов. – 6-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 2007. – 575 с.
3. Атабеков, Г.И. Основы теории цепей : учебник для вузов / Г.И. Атабеков. – 2-е изд., испр. – СПб. : Лань, 2006. – 432 с.
4. Атабеков, Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи : учебное пособие / Г.И. Атабеков. – 7-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2009. – 592 с.

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ RL -ЦЕПИ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение переходных процессов в последовательных RL -цепях.

2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

2.1. Повторите тему «Переходные процессы в линейных электрических цепях с сосредоточенными параметрами» [1–4]. Ответьте на контрольные вопросы.

2.2. Рассчитайте постоянную времени τ последовательной RL -цепи. Параметры сопротивления и индуктивности возьмите из таблицы по номеру варианта.

Таблица

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R , кОм	1,0	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	3,9	4,7	5,6	6,8	8,2
L , Гн	0,16	0,20	0,24	0,30	0,36	0,43	0,51	0,62	0,75	0,91	1,1	1,3

2.3. Для каждой из цепей (рис. 1, 2) запишите в общем виде выражение для переходной характеристики $h(t)$.

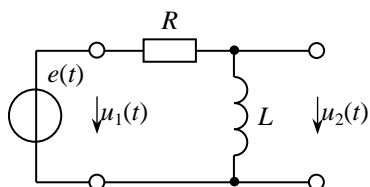


Рис. 1

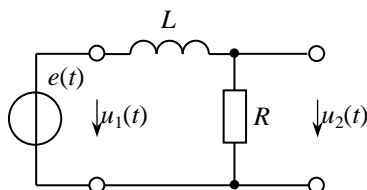


Рис. 2

Обратите внимание, что отклик цепи рис. 1 в первом приближении пропорционален производной от входного воздействия, поэтому эту цепь называют дифференцирующей RL -цепью. В цепи рис. 2 отклик в первом приближении пропорционален интегралу от входного воздействия, поэтому цепь рис. 2 называют интегрирующей RL -цепью.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Соберите схему для исследования переходных процессов в дифференцирующей RL -цепи (рис. 3). Независимый источник напряжения $V1$, источник напряжения управляемый током (ИНУТ) $V2$ и символ заземления находятся в группе «Sources» (второй ряд сверху на панели инструментов); сопротивление $R1$, индуктивность $L1$ и ключ $S1$ – в группе «Basic»; осциллограф – в группе «Instruments». Ключ $S1$ перебрасывается в противоположное состояние по нажатию на клавиатуре клавиши «Пробел» (Space).

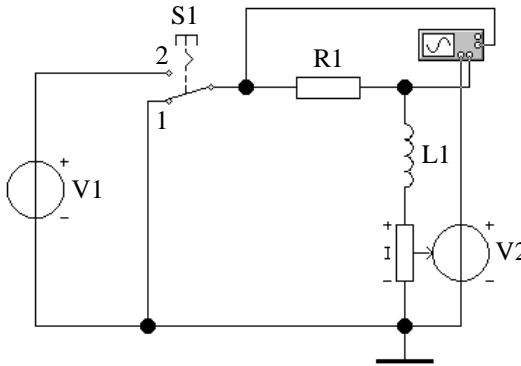


Рис. 3

Чтобы на схеме отображались позиционные обозначения и параметры элементов, выберите в меню «Circuit» строку «Schematic Options». В открывшемся окне выберите закладку «Show/Hide» и установите опции «Show reference ID» и «Show value».

Собранная схема представляет собой последовательное соединение сопротивления $R1$ и индуктивности $L1$. Идеальный ИНУТ имеет нулевое входное сопротивление и нулевое выходное сопротивление и не оказывает влияния на работу схемы. ИНУТ выполняет вспомогательную функцию преобразования тока в напряжение, что необходимо для визуализации тока на экране осциллографа.

Каждому элементу схемы по умолчанию присваиваются соответствующие параметры (они отображаются на схеме). Изменить параметры элементов можно следующим образом:

- выделите элемент щелчком левой клавиши мыши на его изображении в схеме (выделенный элемент отображается красным цветом);
- нажмите кнопку «Component Properties» в верхнем ряду панели инструментов;
- в открывшемся окне установки свойств элемента выберите закладку «Value» и наберите с помощью клавиатуры нужное значение параметра. В дробных числах для отделения целой части от дробной используйте точку, а не запятую;
- закройте окно установки свойств элемента, нажав в нем клавишу «ОК» или нажав клавишу «Enter» на клавиатуре.

Окно установки свойств элемента можно также вызвать через контекстное меню, открывающееся по щелчку правой клавиши мыши на нужном элементе.

Для источника напряжения $V1$ установите напряжение 1 В. Для ИНУТ $V2$ установите передаточное сопротивление 1 кОм. Сопротивление $R1$ и индуктивность $L1$ установите согласно таблице по номеру варианта.

Запустите осциллограф двойным щелчком левой клавиши мыши на его изображении. Перейдите в развернутый режим отображения осциллографа щелчком левой клавиши мыши по кнопке «Expand» в окне осциллографа. Установите внешний запуск развертки (кнопка «Ext» в поле «Trigger» окна осциллографа) положительным фронтом импульса (соответствующая кнопка «Edge») по уровню 0,50 (Level). Включите режим развертки по горизонтали (кнопка «Y/T») и установите скорость развертки Time base 0,05 mS/div. Смещение по горизонтали оставьте нулевым (X position).

Согласно рис. 3 на канал А вертикального отклонения осциллографа подан сигнал тока, а на канал В – выходное напряжение дифференцирующей цепи (напряжение на индуктивности). Изображение сигналов на экране осциллографа рекомендуется отображать разным цветом. Для задания цвета осциллограммы щелкните правой клавишей мыши на проводе, подключенном к входу канала А. В открывшемся окне выберите опцию «Wire Properties...». В следующем окне выберите закладку «Schematic options», нажмите кнопку «Set Wire Color» и задайте красный цвет. Аналогичным образом задайте цвет осциллограммы по каналу В (зеленый). По обоим каналам вертикального отклонения установите чувствительность 500 mV/Div

при открытом входе (кнопка «DC») и нулевом смещении по вертикали (Y position).

3.2. Исследуйте переходные процессы при подключении дифференцирующей RL -цепи к источнику постоянного напряжения, для чего:

- установите нулевые начальные условия: в меню «Analysis» выберите строку «Analysis Options...» и в закладке «Instruments» установите опцию «Set to Zero»;
- убедитесь, что ключ $S1$ находится в положении 1;
- запустите процесс моделирования (клавиша «O/I» в правом верхнем углу окна программы);
- перебросьте ключ $S1$ в положение 2 (клавиша «Пробел» клавиатуры), при этом на экране осциллографа отобразятся временные диаграммы исследуемых переходных процессов. При необходимости отрегулируйте чувствительность осциллографа по каналу A. Нарисуйте временные диаграммы или сохраните их в отдельном word-файле для включения в отчет по лабораторной работе. Чтобы сохранить изображение осциллографа в word-файле, в меню «Edit» программы выберите опцию «Copy as Bitmap» и выделите мышью изображение осциллографа, при этом оно будет сохранено в буфере обмена. Далее следует создать word-файл и вставить в него изображение осциллографа из буфера обмена.

3.3. Измерьте постоянную времени RL -цепи, для чего совместите указатель мыши с маркером 1 (красный треугольник с цифрой 1 у левого верхнего угла экрана осциллографа), нажмите левую клавишу мыши и перемещайте маркер вправо до тех пор, пока напряжение на выходе цепи (параметр VB1) не упадет до 368 mV. Отпустите клавишу мыши. Считайте значение постоянной времени цепи в окне осциллографа (параметр T1). Сравните измеренное значение постоянной времени с рассчитанным при выполнении домашнего задания.

3.4. Исследуйте переходные процессы при отключении дифференцирующей RL -цепи от источника постоянного напряжения, для чего:

- проверьте и при необходимости установите нулевые начальные условия;
- убедитесь, что ключ $S1$ находится в положении 2;

- установите запуск развертки отрицательным фронтом импульса (соответствующая кнопка «Edge»);
- запустите процесс моделирования (клавиша «О/И» в правом верхнем углу окна программы);
- перебросьте ключ S1 в положение 1 (клавиша «Пробел» клавиатуры), при этом на экране осциллографа отобразятся временные диаграммы исследуемых переходных процессов. Зарисуйте их или сохраните в файле.

3.5. Исследуйте переходные процессы при подключении дифференцирующей RL -цепи к источнику периодической последовательности импульсов напряжения прямоугольной формы, когда постоянная времени дифференцирующей цепи много меньше длительности импульса и длительности паузы. Придерживайтесь следующего порядка действий:

- соберите схему рис. 4. Вольтметр M1 возьмите в группе «Indicators», а генератор импульсов прямоугольной формы – в группе «Sources». Установите амплитуду импульсов 1 В, частоту следования импульсов 100 Гц и коэффициент заполнения (Duty cycle) 10 %. Вольтметр M1 установите в режим измерения постоянного напряжения, таким образом он будет измерять постоянную составляющую выходного напряжения цепи;
- назначьте разные цвета осциллограммам по каналам А и В. Установите скорость развертки 2 ms/div, режим запуска «Auto», уровень запуска (Level) 0.00, чувствительность по обоим каналам 500 mV/Div и нулевое смещение по вертикали (Y position);
- проверьте и при необходимости установите нулевые начальные условия;
- запустите процесс моделирования клавишей «О/И» и как только появится результат измерения в окне вольтметра M1, сразу же нажмите клавишу «Pause»;

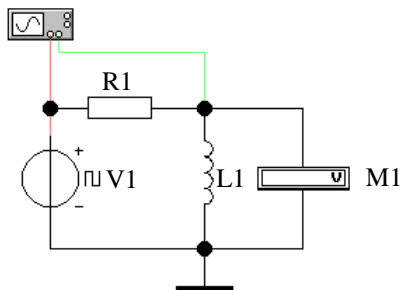


Рис. 4

- сместите бегунок под экраном осциллографа в крайнее левое положение;
- зарисуйте или сохраните в файле временные диаграммы переходных процессов.

Повторите эксперимент при коэффициенте заполнения (Duty cycle) 50 и 90 %. При необходимости отрегулируйте чувствительность осциллографа по каналу А. Обратите внимание, что постоянная составляющая напряжения на выходе цепи в установившемся режиме (вольтметр М1) практически равна нулю. Небольшое напряжение, показываемое вольтметром М1, представляет собой погрешность моделирования. Обратите также внимание, что в случае, когда постоянная времени цепи много меньше длительности импульса и длительности паузы, дифференцирующая цепь выполняет функцию выделения фронтов импульсов.

3.6. Исследуйте переходные процессы при подключении дифференцирующей RL -цепи к источнику периодической последовательности импульсов напряжения прямоугольной формы, когда постоянная времени дифференцирующей цепи примерно равна периоду следования импульсов. Методика исследования аналогична методике п. 3.5. Потребуется только изменить частоту следования импульсов (установите 6 кГц) и скорость развертки – 0,10 ms/div. Обратите внимание на скос вершины выходных импульсов цепи. Постоянная составляющая выходного напряжения будет практически равна нулю.

3.7. Исследуйте переходные процессы при подключении дифференцирующей RL -цепи к источнику периодической последовательности импульсов напряжения прямоугольной формы, когда постоянная времени дифференцирующей цепи много больше периода следования импульсов. Методика исследования аналогична методике п. 3.5. Потребуется только изменить частоту импульсов (установите 100 кГц) и скорость развертки – 0,05 ms/div. Обратите внимание, что в установившемся режиме переменная составляющая входного напряжения передается на выход практически без искажений, а постоянная составляющая выходного напряжения равна нулю.

3.8. Соберите схему для исследования переходных процессов в интегрирующей RL -цепи (рис. 5), для чего в схеме рис. 3 достаточно поменять местами сопротивление и индуктивность.

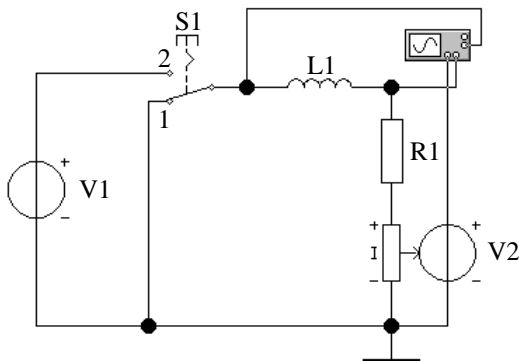


Рис. 5

Запустите осциллограф и перейдите в развернутый режим его отображения. Установите внешний запуск развертки (кнопка «Ext» в поле «Trigger» окна осциллографа) положительным фронтом импульса (соответствующая кнопка «Edge») по уровню 0,50 (Level). Включите режим развертки по горизонтали (кнопка «Y/T») и установите скорость развертки Time base 0,05 mS/div. Смещение по горизонтали оставьте нулевым (X position). По обоим каналам вертикального отклонения установите чувствительность 500 mV/Div при открытом входе (кнопка «DC») и нулевом смещении по вертикали (Y position).

3.9. Исследуйте переходные процессы при подключении интегрирующей RL -цепи к источнику постоянного напряжения, для чего:

- проверьте и при необходимости установите нулевые начальные условия;
- убедитесь, что ключ S1 находится в положении 1;
- запустите процесс моделирования;
- перебросьте ключ S1 в положение 2, при этом на экране осциллографа отобразятся временные диаграммы исследуемых переходных процессов. При необходимости отрегулируйте чувствительность осциллографа по каналу A. Зарисуйте временные диаграммы или сохраните их в отдельном word-файле.

3.10. Измерьте постоянную времени RL -цепи, для чего совместите указатель мыши с маркером 1, нажмите левую клавишу мыши и перемещайте маркер вправо до тех пор, пока напряжение на выходе цепи (параметр VB1) не возрастет до 632 mV. Отпустите клавишу

мышь. Считайте значение постоянной времени цепи в окне осциллографа (параметр T1). Сравните измеренное значение постоянной времени с рассчитанным при выполнении домашнего задания.

3.11. Исследуйте переходные процессы при отключении интегрирующей RL -цепи от источника постоянного напряжения, для чего:

- убедитесь, что ключ S1 находится в положении 2;
- установите запуск развертки отрицательным фронтом импульса (соответствующая кнопка «Edge»);
- проверьте и при необходимости установите нулевые начальные условия;
- запустите процесс моделирования;
- перебросьте ключ S1 в положение 1, при этом на экране осциллографа отобразятся временные диаграммы исследуемых переходных процессов. Зарисуйте их или сохраните в файле.

3.12. Исследуйте переходные процессы при подключении интегрирующей RL -цепи к источнику периодической последовательности импульсов напряжения прямоугольной формы, когда постоянная времени интегрирующей цепи много меньше длительности импульса и длительности паузы. Придерживайтесь следующего порядка действий:

- соберите схему рис. 6, для чего в схеме рис. 4 достаточно поменять местами сопротивление и индуктивность. Установите амплитуду импульсов 1 В, частоту следования импульсов 100 Гц и коэффициент заполнения (Duty cycle) 10 %. Вольтметр M1 установите в режим измерения постоянного напряжения, таким образом он будет измерять постоянную составляющую выходного напряжения цепи;
- назначьте разные цвета осциллограммам по каналам А и В. Установите скорость развертки 2 ms/div, режим запуска «Auto», уровень запуска (Level) 0.00, чувствительность по обоим каналам 500 mV/Div и нулевое смещение по вертикали (Y position);
- проверьте и при необходимости установите нулевые начальные условия;
- запустите процесс моделирования клавишей «O/I» и как только появится результат измерения в окне вольтметра M1, сразу же нажмите клавишу «Pause»;

- сместите бегунок под экраном осциллографа в крайнее левое положение;
- зарисуйте или сохраните в файле временные диаграммы переходных процессов.

Повторите эксперимент при коэффициенте заполнения (Duty cycle) 50 и 90 %. При необходимости отрегулируйте чувствительность осциллографа по каналу А. Обратите внимание, что постоянная составляющая напряжения на выходе цепи в установившемся режиме (вольтметр M1) практически равна постоянной составляющей входного напряжения. Обратите

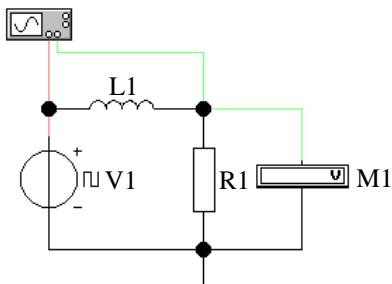


Рис. 6

также внимание, что в случае, когда постоянная времени цепи много меньше длительности импульса и длительности паузы, интегрирующая цепь заваливает фронты импульсов.

3.13. Исследуйте переходные процессы при подключении интегрирующей RL -цепи к источнику периодической последовательности импульсов напряжения прямоугольной формы, когда постоянная времени интегрирующей цепи примерно равна периоду следования импульсов. Методика исследования аналогична методике п. 3.12. Потребуется только изменить частоту следования импульсов (установите 6 кГц) и скорость развертки – 0,10 ms/div. Обратите внимание, что постоянная составляющая выходного напряжения будет практически равна постоянной составляющей входного напряжения.

3.14. Исследуйте переходные процессы при подключении интегрирующей RL -цепи к источнику периодической последовательности импульсов напряжения прямоугольной формы, когда постоянная времени интегрирующей цепи много больше периода следования импульсов. Методика исследования аналогична методике п. 3.12. Измените только частоту следования импульсов (установите 100 кГц) и скорость развертки – 0,05 ms/div. Обратите внимание, что при таком соотношении постоянной времени цепи и периода следования импульсов переменная составляющая выходного напряжения практически равна нулю и интегрирующая цепь выполняет функцию выделения постоянной составляющей входного напряжения.

3.15. Обратите внимание, что в случае, когда постоянная времени цепи много больше периода следования импульсов, последовательная RL -цепь выполняет функцию разделения постоянной и переменной составляющих входного сигнала: постоянная составляющая выделяется на сопротивлении, а переменная составляющая – на индуктивности.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- цель работы;
- результаты выполнения домашнего задания;
- задачи экспериментов;
- схемы исследуемых цепей;
- временные диаграммы исследованных переходных процессов;
- выводы.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Поясните понятия «переходные процессы», «начальные условия», «независимые начальные условия», «зависимые начальные условия», «нулевые начальные условия», «ненулевые начальные условия».
- 5.2. Сформулируйте первый и второй законы коммутации.
- 5.3. В чем заключается классический метод анализа переходных процессов?
- 5.4. Изобразите графики переходных процессов при подключении последовательной RL -цепи к источнику постоянного напряжения.
- 5.5. Запишите аналитические выражения для тока и напряжений на сопротивлении и индуктивности при подключении последовательной RL -цепи к источнику постоянного напряжения.
- 5.6. Изобразите графики переходных процессов при отключении последовательной RL -цепи от источника постоянного напряжения.
- 5.7. Запишите аналитические выражения для тока и напряжений на сопротивлении и индуктивности при отключении последовательной RL -цепи от источника постоянного напряжения.

6. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матвиенко, В.А. Электротехника : учебное пособие / В.А. Матвиенко. – 2-е изд., испр. – Екатеринбург : УрФУ, 2011. – 156 с.
2. Попов, В.П. Основы теории цепей : учебник для вузов / В.П. Попов. – 6-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 2007. – 575 с.
3. Атабеков, Г.И. Основы теории цепей : учебник для вузов / Г.И. Атабеков. – 2-е изд., испр. – СПб. : Лань, 2006. – 432 с.
4. Атабеков, Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи : учебное пособие / Г.И. Атабеков. – 7-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2009. – 592 с.

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ RC-ЦЕПИ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение переходных процессов в последовательных RC-цепях.

2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

2.1. Повторите тему «Переходные процессы в линейных электрических цепях с сосредоточенными параметрами» [1–4]. Ответьте на контрольные вопросы.

2.2. Рассчитайте постоянную времени τ последовательной RC-цепи. Параметры сопротивления и индуктивности возьмите из таблицы по номеру варианта.

Таблица

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R , кОм	1,0	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	3,9	4,7	5,6	6,8	8,2
C , нФ	160	130	110	91	75	56	47	39	33	27	24	20

2.3. Для каждой из цепей (рис. 1, 2) запишите в общем виде выражение для переходной характеристики $h(t)$.

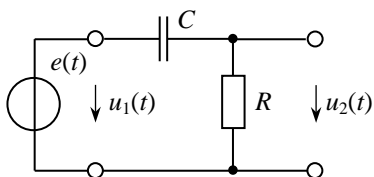


Рис. 1

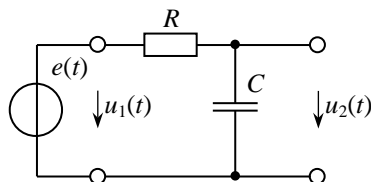


Рис. 2

Обратите внимание, что отклик цепи рис. 1 в первом приближении пропорционален производной от входного воздействия, поэтому эту цепь называют дифференцирующей RC-цепью. В цепи рис. 2 отклик в первом приближении пропорционален интегралу от входного воздействия, поэтому цепь рис. 2 называют интегрирующей RC-цепью.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Соберите схему для исследования переходных процессов в дифференцирующей RC -цепи (рис. 3). Независимый источник напряжения $V1$, источник напряжения управляемый током (ИНУТ) $V2$ и символ заземления находятся в группе «Sources» (второй ряд сверху на панели инструментов); сопротивление $R1$, емкость $C1$ и ключ $S1$ – в группе «Basic»; осциллограф – в группе «Instruments». Ключ $S1$ перебрасывается в противоположное состояние по нажатию на клавиатуре клавиши «Пробел» (Space).

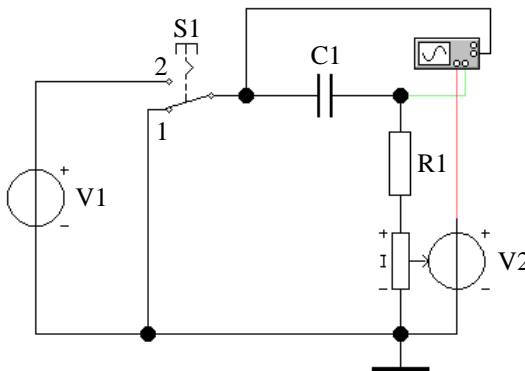


Рис. 3

Чтобы на схеме отображались позиционные обозначения и параметры элементов, выберите в меню «Circuit» строку «Schematic Options». В открывшемся окне выберите закладку «Show/Hide» и установите опции «Show reference ID» и «Show value».

Собранная схема представляет собой последовательное соединение сопротивления $R1$ и емкости $C1$. Идеальный ИНУТ имеет нулевое входное сопротивление и нулевое выходное сопротивление и не оказывает влияния на работу схемы. ИНУТ выполняет вспомогательную функцию преобразования тока в напряжение, что необходимо для визуализации тока на экране осциллографа.

Каждому элементу схемы по умолчанию присваиваются соответствующие параметры (они отображаются на схеме). Изменить параметры элементов можно следующим образом:

- выделите элемент щелчком левой клавиши мыши на его изображении в схеме (выделенный элемент отображается красным цветом);
- нажмите кнопку «Component Properties» в верхнем ряду панели инструментов;
- в открывшемся окне установки свойств элемента выберите закладку «Value» и наберите с помощью клавиатуры нужное значение параметра. В дробных числах для отделения целой части от дробной используйте точку, а не запятую;
- закройте окно установки свойств элемента, нажав в нем клавишу «OK» или нажав клавишу «Enter» на клавиатуре.

Окно установки свойств элемента можно также вызвать через контекстное меню, открывающееся по щелчку правой клавиши мыши на нужном элементе.

Для источника напряжения V1 установите напряжение 1 В. Для ИНУТ V2 установите передаточное сопротивление 1 кОм. Сопротивление R1 и емкость C1 установите согласно таблице по номеру варианта.

Запустите осциллограф двойным щелчком левой клавиши мыши на его изображении. Перейдите в развернутый режим отображения осциллографа щелчком левой клавиши мыши по кнопке «Expand» в окне осциллографа. Установите внешний запуск развертки (кнопка «Ext» в поле «Trigger» окна осциллографа) положительным фронтом импульса (соответствующая кнопка «Edge») по уровню 0,50 (Level). Включите режим развертки по горизонтали (кнопка «Y/T») и установите скорость развертки Time base 0,05 mS/div. Смещение по горизонтали оставьте нулевым (X position).

Согласно рис. 3 на канал А вертикального отклонения осциллографа подан сигнал тока, а на канал В – выходное напряжение дифференцирующей цепи (напряжение на сопротивлении). Изображение сигналов на экране осциллографа рекомендуется отображать разным цветом. Для задания цвета осциллограммы щелкните правой клавишей мыши на проводе, подключенном к входу канала А. В открывшемся окне выберите опцию «Wire Properties...». В следующем окне выберите закладку «Schematic options», нажмите кнопку «Set Wire Color» и задайте красный цвет. Аналогичным образом задайте цвет осциллограммы по каналу В (зеленый). По обоим каналам вертикального отклонения установите чувствительность 500 mV/Div

при открытом входе (кнопка «DC») и нулевом смещении по вертикали (Y position).

3.2. Исследуйте переходные процессы при подключении дифференцирующей RC -цепи к источнику постоянного напряжения, для чего:

- установите нулевые начальные условия: в меню «Analysis» выберите строку «Analysis Options...» и в закладке «Instruments» установите опцию «Set to Zero»;
- убедитесь, что ключ S1 находится в положении 1;
- запустите процесс моделирования (клавиша «O/I» в правом верхнем углу окна программы);
- перебросьте ключ S1 в положение 2 (клавиша «Пробел» клавиатуры), при этом на экране осциллографа отобразятся временные диаграммы исследуемых переходных процессов. При необходимости отрегулируйте чувствительность осциллографа по каналу A. Зарисуйте временные диаграммы или сохраните их в отдельном word-файле для включения в отчет по лабораторной работе. Чтобы сохранить изображение осциллографа в word-файле, в меню «Edit» программы выберите опцию «Copy as Bitmap» и выделите мышью изображение осциллографа, при этом оно будет сохранено в буфере обмена. Далее следует создать word-файл и вставить в него изображение осциллографа из буфера обмена.

3.3. Измерьте постоянную времени RC -цепи, для чего совместите указатель мыши с маркером 1 (красный треугольник с цифрой 1 у левого верхнего угла экрана осциллографа), нажмите левую клавишу мыши и перемещайте маркер вправо до тех пор, пока напряжение на выходе цепи (параметр VB1) не упадет до 368 mV. Отпустите клавишу мыши. Считайте значение постоянной времени цепи в окне осциллографа (параметр T1). Сравните измеренное значение постоянной времени с рассчитанным при выполнении домашнего задания.

3.4. Исследуйте переходные процессы при отключении дифференцирующей RC -цепи от источника постоянного напряжения, для чего:

- проверьте и при необходимости установите нулевые начальные условия;
- убедитесь, что ключ S1 находится в положении 2;

- установите запуск развертки отрицательным фронтом импульса (соответствующая кнопка «Edge»);
- запустите процесс моделирования (клавиша «О/І» в правом верхнем углу окна программы);
- перебросьте ключ S1 в положение 1 (клавиша «Пробел» клавиатуры), при этом на экране осциллографа отобразятся временные диаграммы исследуемых переходных процессов. Зарисуйте их или сохраните в файле.

3.5. Исследуйте переходные процессы при подключении дифференцирующей RC -цепи к источнику периодической последовательности импульсов напряжения прямоугольной формы, когда постоянная времени дифференцирующей цепи много меньше длительности импульса и длительности паузы. Придерживайтесь следующего порядка действий:

- соберите схему рис. 4. Вольтметр M1 возьмите в группе «Indicators», а генератор импульсов прямоугольной формы – в группе «Sources». Установите амплитуду импульсов 1 В, частоту следования импульсов 100 Гц и коэффициент заполнения (Duty cycle) 10 %. Вольтметр M1 установите в режим измерения постоянного напряжения, таким образом он будет измерять постоянную составляющую выходного напряжения цепи;

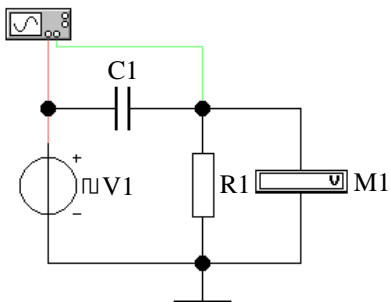


Рис. 4

- назначьте разные цвета осциллограммам по каналам А и В. Установите скорость развертки 2 ms/div, режим запуска «Auto», уровень запуска (Level) 0.00, чувствительность по обоим каналам 500 mV/Div и нулевое смещение по вертикали (Y position);
- проверьте и при необходимости установите нулевые начальные условия;
- запустите процесс моделирования

клавишей «О/І» и как только появится результат измерения в окне вольтметра M1, сразу же нажмите клавишу «Pause»;

- сместите бегунок под экраном осциллографа в крайнее левое положение;
- зарисуйте или сохраните в файле временные диаграммы переходных процессов.

Повторите эксперимент при коэффициенте заполнения (Duty cycle) 50 и 90 %. При необходимости отрегулируйте чувствительность осциллографа по каналу А. Обратите внимание, что постоянная составляющая напряжения на выходе цепи в установившемся режиме (вольтметр М1) практически равна нулю. Небольшое напряжение, показываемое вольтметром М1, представляет собой погрешность моделирования. Обратите также внимание, что в случае, когда постоянная времени цепи много меньше длительности импульса и длительности паузы, дифференцирующая цепь выполняет функцию выделения фронтов импульсов.

3.6. Исследуйте переходные процессы при подключении дифференцирующей RC -цепи к источнику периодической последовательности импульсов напряжения прямоугольной формы, когда постоянная времени дифференцирующей цепи примерно равна периоду следования импульсов. Методика исследования аналогична методике п. 3.5. Потребуется только изменить частоту следования импульсов (установите 6 кГц) и скорость развертки – 0,10 ms/div. Обратите внимание на скос вершины выходных импульсов цепи. Постоянная составляющая выходного напряжения будет практически равна нулю.

3.7. Исследуйте переходные процессы при подключении дифференцирующей RC -цепи к источнику периодической последовательности импульсов напряжения прямоугольной формы, когда постоянная времени дифференцирующей цепи много больше периода следования импульсов. Методика исследования аналогична методике п. 3.5. Потребуется только изменить частоту импульсов (установите 100 кГц) и скорость развертки – 0,05 ms/div. Обратите внимание, что в установившемся режиме переменная составляющая входного напряжения передается на выход практически без искажений, а постоянная составляющая выходного напряжения равна нулю.

3.8. Соберите схему для исследования переходных процессов в интегрирующей RC -цепи (рис. 5), для чего в схеме рис. 3 достаточно поменять местами сопротивление и емкость.

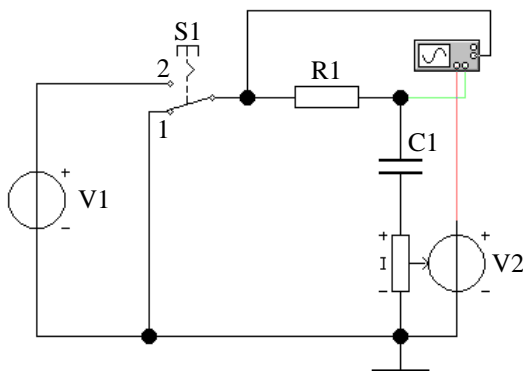


Рис. 5

Запустите осциллограф и перейдите в развернутый режим его отображения. Установите внешний запуск развертки (кнопка «Ext» в поле «Trigger» окна осциллографа) положительным фронтом импульса (соответствующая кнопка «Edge») по уровню 0,50 (Level). Включите режим развертки по горизонтали (кнопка «Y/T») и установите скорость развертки Time base 0,05 mS/div. Смещение по горизонтали оставьте нулевым (X position). По обоим каналам вертикального отклонения установите чувствительность 500 mV/Div при открытом входе (кнопка «DC») и нулевом смещении по вертикали (Y position).

3.9. Исследуйте переходные процессы при подключении интегрирующей RC -цепи к источнику постоянного напряжения, для чего:

- проверьте и при необходимости установите нулевые начальные условия;
- убедитесь, что ключ S1 находится в положении 1;
- запустите процесс моделирования;
- перебросьте ключ S1 в положение 2, при этом на экране осциллографа отобразятся временные диаграммы исследуемых переходных процессов. При необходимости отрегулируйте чувствительность осциллографа по каналу A. Зарисуйте временные диаграммы или сохраните их в отдельном word-файле.

3.10. Измерьте постоянную времени RC -цепи, для чего совместите указатель мыши с маркером 1, нажмите левую клавишу мыши и перемещайте маркер вправо до тех пор, пока напряжение на выходе

цепи (параметр VB1) не возрастет до 632 mV. Отпустите клавишу мыши. Считайте значение постоянной времени цепи в окне осциллографа (параметр T1). Сравните измеренное значение постоянной времени с рассчитанным при выполнении домашнего задания.

3.11. Исследуйте переходные процессы при отключении интегрирующей RC-цепи от источника постоянного напряжения, для чего:

- убедитесь, что ключ S1 находится в положении 2;
- установите запуск развертки отрицательным фронтом импульса (соответствующая кнопка «Edge»);
- проверьте и при необходимости установите нулевые начальные условия;
- запустите процесс моделирования;
- перебросьте ключ S1 в положение 1, при этом на экране осциллографа отобразятся временные диаграммы исследуемых переходных процессов. Зарисуйте их или сохраните в файле.

3.12. Исследуйте переходные процессы при подключении интегрирующей RC-цепи к источнику периодической последовательности импульсов напряжения прямоугольной формы, когда постоянная времени интегрирующей цепи много меньше длительности импульса и длительности паузы. Придерживайтесь следующего порядка действий:

- соберите схему рис. 6, для чего в схеме рис. 4 достаточно поменять местами сопротивление и индуктивность. Установите амплитуду импульсов 1 В, частоту следования импульсов 100 Гц и коэффициент заполнения (Duty cycle) 10 %. Вольтметр M1 установите в режим измерения постоянного напряжения, таким образом он будет измерять постоянную составляющую выходного напряжения цепи;
- назначьте разные цвета осциллограммам по каналам А и В. Установите скорость развертки 2 ms/div, режим запуска «Auto», уровень запуска (Level) 0.00, чувствительность по обоим каналам 500 mV/Div и нулевое смещение по вертикали (Y position);
- проверьте и при необходимости установите нулевые начальные условия;
- запустите процесс моделирования клавишей «O/I» и как только появится результат измерения в окне вольтметра M1, сразу же нажмите клавишу «Pause»;

- сместите бегунок под экраном осциллографа в крайнее левое положение;
- зарисуйте или сохраните в файле временные диаграммы переходных процессов.

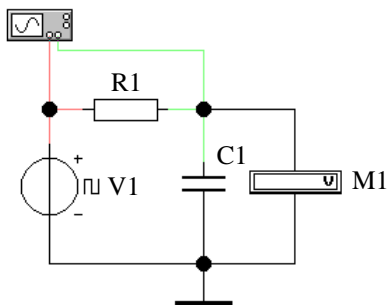


Рис. 6

Повторите эксперимент при коэффициенте заполнения (Duty cycle) 50 и 90 %. При необходимости отрегулируйте чувствительность осциллографа по каналу А. Обратите внимание, что постоянная составляющая напряжения на выходе цепи в установившемся режиме (вольтметр М1) практически равна постоянной составляющей входного напряжения. Обратите

также внимание, что в случае, когда постоянная времени цепи много меньше длительности импульса и длительности паузы, интегрирующая цепь заваливает фронты импульсов.

3.13. Исследуйте переходные процессы при подключении интегрирующей RC -цепи к источнику периодической последовательности импульсов напряжения прямоугольной формы, когда постоянная времени интегрирующей цепи примерно равна периоду следования импульсов. Методика исследования аналогична методике п. 3.12. Потребуется только изменить частоту следования импульсов (установите 6 кГц) и скорость развертки – 0,10 ms/div. Обратите внимание, что постоянная составляющая выходного напряжения будет практически равна постоянной составляющей входного напряжения.

3.14. Исследуйте переходные процессы при подключении интегрирующей RC -цепи к источнику периодической последовательности импульсов напряжения прямоугольной формы, когда постоянная времени интегрирующей цепи много больше периода следования импульсов. Методика исследования аналогична методике п. 3.12. Измените только частоту следования импульсов (установите 100 кГц) и скорость развертки – 0,05 ms/div. Обратите внимание, что при таком соотношении постоянной времени цепи и периода следования импульсов переменная составляющая выходного напряжения практи-

чески равна нулю и интегрирующая цепь выполняет функцию выделения постоянной составляющей входного напряжения.

3.15. Обратите внимание, что в случае, когда постоянная времени цепи много больше периода следования импульсов, последовательная RC -цепь выполняет функцию разделения постоянной и переменной составляющих входного сигнала: постоянная составляющая выделяется на емкости, а переменная составляющая – на сопротивлении.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- цель работы;
- результаты выполнения домашнего задания;
- задачи экспериментов;
- схемы исследуемых цепей;
- временные диаграммы исследованных переходных процессов;
- выводы.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Поясните понятия «переходные процессы», «начальные условия», «независимые начальные условия», «зависимые начальные условия», «нулевые начальные условия», «ненулевые начальные условия».
- 5.2. Сформулируйте первый и второй законы коммутации.
- 5.3. В чем заключается классический метод анализа переходных процессов?
- 5.4. Изобразите графики переходных процессов при подключении последовательной RC -цепи к источнику постоянного напряжения.
- 5.5. Запишите аналитические выражения для тока и напряжений на сопротивлении и емкости при подключении последовательной RC -цепи к источнику постоянного напряжения.
- 5.6. Изобразите графики переходных процессов при отключении последовательной RC -цепи от источника постоянного напряжения.

- 5.7. Запишите аналитические выражения для тока и напряжений на сопротивлении и емкости при отключении последовательной RC -цепи от источника постоянного напряжения.

6. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матвиенко, В.А. Электротехника : учебное пособие / В.А. Матвиенко. – 2-е изд., испр. – Екатеринбург : УрФУ, 2011. – 156 с.
2. Попов, В.П. Основы теории цепей : учебник для вузов / В.П. Попов. – 6-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 2007. – 575 с.
3. Атабеков, Г.И. Основы теории цепей : учебник для вузов / Г.И. Атабеков. – 2-е изд., испр. – СПб. : Лань, 2006. – 432 с.
4. Атабеков, Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи : учебное пособие / Г.И. Атабеков. – 7-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2009. – 592 с.

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ RLC -ЦЕПИ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение переходных процессов в последовательной RLC -цепи.

2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

2.1. Повторите тему «Переходные процессы в последовательной RLC -цепи» [2–4]. Ответьте на контрольные вопросы.

2.2. Рассчитайте критическое сопротивление последовательной RLC -цепи

$$R_{\text{кр}} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Параметры RLC -цепи возьмите из таблицы по номеру варианта.

Таблица

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
L , мГн	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,3	4,7
C , нФ	160	150	130	120	110	100	91	82	75	68	62	56

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Соберите схему для исследования тока в последовательной RLC -цепи (рис. 1) при ее подключении к источнику постоянного напряжения.

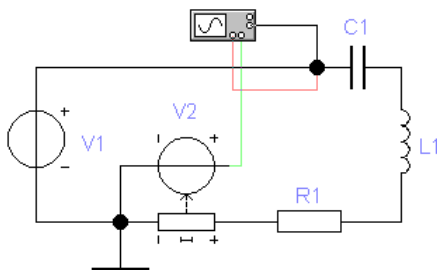


Рис. 1

Независимый источник напряжения V_1 , источник напряжения управляемый ток (ИНУТ) V_2 и символ заземления находятся в группе «Sources» (второй ряд сверху на панели инструментов); сопротивление R_1 , емкость C_1 и индуктивность L_1 – в группе «Basic»; осциллограф – в группе «Instruments».

Чтобы на схеме отображались позиционные обозначения и параметры элементов, выберите в меню «Circuit» строку «Schematic Options». В открывшемся окне выберите закладку «Show/Hide» и установите опции «Show reference ID» и «Show value».

Собранная схема представляет собой последовательное соединение сопротивления R_1 , емкости C_1 и индуктивности L_1 . Идеальный ИНУТ имеет нулевое входное сопротивление и нулевое выходное сопротивление и не оказывает влияния на работу схемы. ИНУТ выполняет вспомогательную функцию преобразования тока в напряжение, что необходимо для визуализации тока на экране осциллографа.

Каждому элементу схемы по умолчанию присваиваются соответствующие параметры (они отображаются на схеме). Изменить параметры элементов можно следующим образом:

- выделите элемент щелчком левой клавиши мыши на его изображении в схеме (выделенный элемент отображается красным цветом);
- нажмите кнопку «Component Properties» в верхнем ряду панели инструментов;
- в открывшемся окне установки свойств элемента выберите закладку «Value» и наберите с помощью клавиатуры нужное значение параметра. В дробных числах для отделения целой части от дробной используйте точку, а не запятую;
- закройте окно установки свойств элемента, нажав в нем клавишу «OK» или нажав клавишу «Enter» на клавиатуре.

Окно установки свойств элемента можно также вызвать через контекстное меню, открывающееся по щелчку правой клавиши мыши на нужном элементе.

Для источника напряжения V_1 установите напряжение 1 В. Для ИНУТ V_2 установите передаточное сопротивление 1 кОм. Индуктивность L_1 и емкость C_1 установите согласно таблице по номеру варианта. Сопротивление R_1 установите равным $3R_{кр}$.

Запустите осциллограф двойным щелчком левой клавиши мыши на его изображении. Перейдите в развернутый режим отображения осциллографа щелчком левой клавиши мыши по кнопке «Expand» в окне осциллографа. Установите внешний запуск развертки (кнопка «Ext» в поле «Trigger» окна осциллографа) положительным фронтом импульса (соответствующая кнопка «Edge») по уровню 0,50 (Level). Включите режим развертки по горизонтали (кнопка «Y/T») и установите скорость развертки Time base 0,05 mS/div. Смещение по горизонтали оставьте нулевым (X position).

Согласно рис. 1 канал А вертикального отклонения осциллографа отображает напряжение источника V1, а канал В – ток в последовательной RLC-цепи. Изображение сигналов на экране осциллографа рекомендуется отображать разным цветом. Для задания цвета осциллограммы щелкните правой клавишей мыши на проводе, подключенном к входу канала А. В открывшемся окне выберите опцию «Wire Properties...». В следующем окне выберите закладку «Schematic options», нажмите кнопку «Set Wire Color» и задайте красный цвет. Аналогичным образом задайте цвет осциллограммы по каналу В (зеленый). По каналу А вертикального отклонения установите чувствительность 500 mV/Div, а по каналу В – 2 V/Div, при открытом входе (кнопка «DC») и нулевом смещении по вертикали (Y position).

3.2. Исследуйте переходные процессы тока в последовательной RLC-цепи при ее подключении к источнику постоянного напряжения, для чего:

- установите нулевые начальные условия: в меню «Analysis» выберите строку «Analysis Options...» и в закладке «Instruments» установите опцию «Set to Zero»;
- запустите процесс моделирования (клавиша «O/I» в правом верхнем углу окна программы), при этом на экране осциллографа отобразятся временные диаграммы исследуемых процессов;
- зарисуйте временные диаграммы или сохраните их в отдельном word-файле для включения в отчет по лабораторной работе. Чтобы сохранить изображение осциллографа в word-файле, в меню «Edit» программы выберите опцию «Copy as Bitmap» и выделите мышью изображение осциллографа, при этом оно будет сохранено в буфере обмена. Далее следует создать word-файл и вставить в него изображение осциллографа из буфера обмена;

- повторите эксперимент при $R = 2R_{кр}$; $R_{кр}$; $R_{кр}/2$; $R_{кр}/5$; $R_{кр}/10$; $R_{кр}/100$ (сопротивление устанавливайте с точность до целой части в омах);
- проанализируйте влияние сопротивления на характер переходных процессов тока в последовательной RLC -цепи. Результаты анализа отразите в выводах по лабораторной работе.

3.3. Соберите схему для исследования напряжения на сопротивлении в последовательной RLC -цепи (рис. 2).

Для источника напряжения $V1$ установите напряжение 1 В. Индуктивность $L1$ и емкость $C1$ установите согласно таблице по номеру варианта. Сопротивление $R1$ установите равным $3R_{кр}$. Органы управления осциллографом – как в предыдущем эксперименте, кроме чувствительности по каналу В, которую установите 500 мВ/Div.

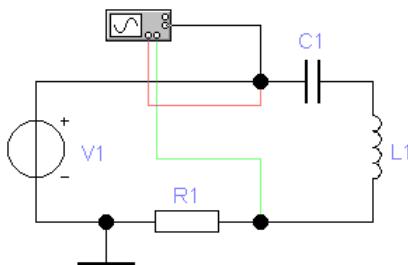


Рис. 2

Согласно рис. 2 канал А вертикального отклонения осциллографа отображает напряжение источника $V1$, а канал В – напряжение на сопротивлении в последовательной RLC -цепи. Изображение сигналов на экране осциллографа рекомендуется отображать разным цветом.

3.4. Исследуйте переходные процессы напряжения на сопротивлении в последовательной RLC -цепи при ее подключении к источнику постоянного напряжения, для чего:

- проверьте и при необходимости установите нулевые начальные условия;
- запустите процесс моделирования, при этом на экране осциллографа отобразятся временные диаграммы исследуемых процессов;

- зарисуйте временные диаграммы или сохраните их в отдельном word-файле для включения в отчет по лабораторной работе;
- повторите эксперимент при $R = 2R_{кр}$; $R_{кр}$; $R_{кр}/2$; $R_{кр}/5$; $R_{кр}/10$; $R_{кр}/100$ (сопротивление устанавливайте с точность до целой части в омах);
- проанализируйте влияние сопротивления на характер переходных процессов напряжения на сопротивлении в последовательной RLC -цепи. Результаты анализа отразите в выводах по лабораторной работе.

3.5. Соберите схему для исследования напряжения на индуктивности в последовательной RLC -цепи (рис. 3). Параметры цепи и органы управления осциллографом – как в предыдущем эксперименте. Сопротивление $R1$ установите равным $3R_{кр}$.

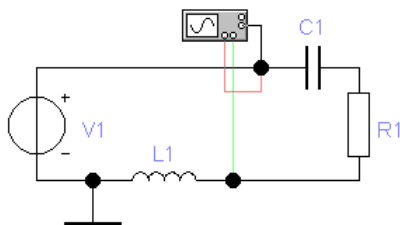


Рис. 3

Согласно рис. 3 канал А вертикального отклонения осциллографа отображает напряжение источника $V1$, а канал В – напряжение на индуктивности в последовательной RLC -цепи. Изображение сигналов на экране осциллографа рекомендуется отображать разным цветом.

3.6. Исследуйте переходные процессы напряжения на индуктивности в последовательной RLC -цепи при ее подключении к источнику постоянного напряжения, для чего:

- проверьте и при необходимости установите нулевые начальные условия;
- запустите процесс моделирования, при этом на экране осциллографа отобразятся временные диаграммы исследуемых процессов;
- зарисуйте временные диаграммы или сохраните их в отдельном word-файле для включения в отчет по лабораторной работе;

- повторите эксперимент при $R = 2R_{кр}$; $R_{кр}$; $R_{кр}/2$; $R_{кр}/5$; $R_{кр}/10$; $R_{кр}/100$ (сопротивление устанавливайте с точность до целой части в омах);
- проанализируйте влияние сопротивления на характер переходных процессов напряжения на индуктивности в последовательной RLC -цепи. Результаты анализа отразите в выводах по лабораторной работе.

3.7. Соберите схему для исследования напряжения на емкости в последовательной RLC -цепи (рис. 4). Параметры цепи и органы управления осциллографом – как в предыдущем эксперименте. Сопротивление $R1$ установите равным $3R_{кр}$.

Согласно рис. 4 канал А вертикального отклонения осциллографа отображает напряжение источника $V1$, а канал В – напряжение на емкости в последовательной RLC -цепи. Изображение сигналов на экране осциллографа рекомендуется отображать разным цветом.

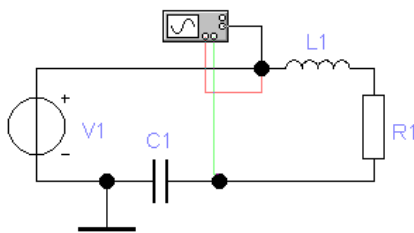


Рис. 4

3.8. Исследуйте переходные процессы напряжения на емкости в последовательной RLC -цепи при ее подключении к источнику постоянного напряжения, для чего:

- проверьте и при необходимости установите нулевые начальные условия;
- запустите процесс моделирования, при этом на экране осциллографа отобразятся временные диаграммы исследуемых процессов;
- зарисуйте временные диаграммы или сохраните их в отдельном word-файле для включения в отчет по лабораторной работе;
- повторите эксперимент при $R = 2R_{кр}$; $R_{кр}$; $R_{кр}/2$; $R_{кр}/5$; $R_{кр}/10$; $R_{кр}/100$ (сопротивление устанавливайте с точность до целой части в омах);

- проанализируйте влияние сопротивления на характер переходных процессов напряжения на емкости в последовательной RLC -цепи. Результаты анализа отразите в выводах по лабораторной работе.

3.9. Соберите схему для исследования тока в последовательной RLC -цепи (рис. 5) при ее подключении к источнику периодической последовательности импульсов напряжения прямоугольной формы. Генератор импульсов напряжения прямоугольной формы возьмите в группе «Sources».

Для источника V1 установите амплитуду импульсов 1 В, частоту следования импульсов 1 кГц и коэффициент заполнения (Duty cycle) 50 %. Для ИНУТ V2 установите передаточное сопротивление 1 кОм. Индуктивность L1 и емкость C1 установите согласно таблице по номеру варианта. Сопротивление R1 установите равным $3R_{кр}$.

Установите автоматический запуск развертки осциллографа (кнопка «Auto» в поле «Trigger» окна осциллографа) положительным фронтом импульса (соответствующая кнопка «Edge») по уровню 0,50 (Level). Включите режим развертки по горизонтали (кнопка «Y/T») и установите скорость развертки Time base 0,10 mS/div. Смещение по горизонтали оставьте нулевым (X position). Чувствительность по обоим каналам вертикального отклонения установите 500 mV/Div при нулевом смещении по вертикали (Y position) и открытом входе (DC).

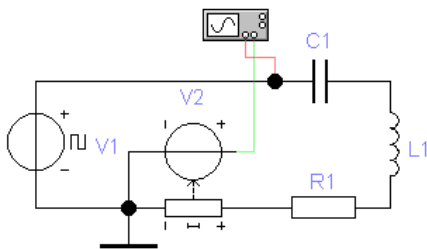


Рис. 5

Согласно рис. 5 канал А вертикального отклонения осциллографа отображает напряжение источника V1, а канал В – ток в последовательной RLC -цепи. Осциллограммы сигналов рекомендуется отображать разным цветом.

3.10. Исследуйте переходные процессы тока в последовательной RLC -цепи при ее подключении к источнику периодической последовательности импульсов напряжения прямоугольной формы, для чего:

- установите нулевые начальные условия: в меню «Analysis» выберите строку «Analysis Options...» и в закладке «Instruments» установите опцию «Set to Zero»;
- запустите процесс моделирования и приостановите его кнопкой «Pause». Сдвиньте бегунок под экраном осциллографа в крайнее левое положение, при этом на экране осциллографа отобразятся временные диаграммы исследуемых процессов;
- зарисуйте временные диаграммы или сохраните их в отдельном word-файле для включения в отчет по лабораторной работе;
- повторите эксперимент при $R = 2R_{кр}$; $R_{кр}$; $R_{кр}/2$; $R_{кр}/5$; $R_{кр}/10$ (сопротивление устанавливайте с точность до целой части в омах). При необходимости регулируйте чувствительность осциллографа по каналу В;
- проанализируйте влияние сопротивления на характер переходных процессов тока в последовательной RLC -цепи. Результаты анализа отразите в выводах по лабораторной работе.

3.11. Соберите схему для исследования напряжения на сопротивлении в последовательной RLC -цепи (рис. 6) при ее подключении к источнику периодической последовательности импульсов напряжения прямоугольной формы.

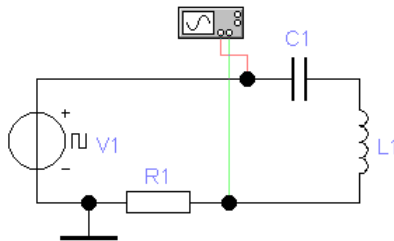


Рис. 6

Для источника V1 установите амплитуду импульсов 1 В, частоту следования импульсов 1 кГц и коэффициент заполнения (Duty cycle) 50%. Параметры цепи и органы управления осциллографом – как в предыдущем эксперименте. Сопротивление R1 установите равным $3R_{кр}$.

Согласно рис. 6 канал А вертикального отклонения осциллографа отображает напряжение источника $V1$, а канал В – напряжение на сопротивлении в последовательной RLC -цепи. Осциллограммы сигналов рекомендуется отображать разным цветом.

3.12. Исследуйте переходные процессы напряжения на сопротивлении в последовательной RLC -цепи при ее подключении к источнику периодической последовательности импульсов напряжения прямоугольной формы, для чего:

- проверьте и при необходимости установите нулевые начальные условия;
- запустите процесс моделирования и приостановите его кнопкой «Pause». Сдвиньте бегунок под экраном осциллографа в крайнее левое положение;
- зарисуйте временные диаграммы или сохраните их в отдельном word-файле для включения в отчет по лабораторной работе;
- повторите эксперимент при $R = 2R_{кр}$; $R_{кр}$; $R_{кр}/2$; $R_{кр}/5$; $R_{кр}/10$ (сопротивление устанавливайте с точность до целой части в омах);
- проанализируйте влияние сопротивления на характер переходных процессов напряжения на сопротивлении в последовательной RLC -цепи. Результаты анализа отразите в выводах по лабораторной работе.

3.13. Соберите схему для исследования напряжения на индуктивности в последовательной RLC -цепи (рис. 7) при ее подключении к источнику периодической последовательности импульсов напряжения прямоугольной формы.

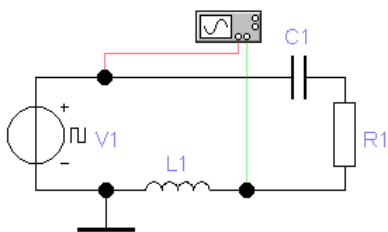


Рис. 7

Для источника $V1$ установите амплитуду импульсов 1 В, частоту следования импульсов 1 кГц и коэффициент заполнения (Duty cycle) 50%. Параметры цепи и органы управления осциллографом –

как в предыдущем эксперименте. Сопротивление R_1 установите равным $3R_{кр}$.

Согласно рис. 7 канал А вертикального отклонения осциллографа отображает напряжение источника V_1 , а канал В – напряжение на индуктивности в последовательной RLC -цепи. Осциллограммы сигналов рекомендуется отображать разным цветом.

3.14. Исследуйте переходные процессы напряжения на индуктивности в последовательной RLC -цепи при ее подключении к источнику периодической последовательности импульсов напряжения прямоугольной формы, для чего:

- проверьте и при необходимости установите нулевые начальные условия;
- запустите процесс моделирования и приостановите его кнопкой «Pause». Сдвиньте бегунок под экраном осциллографа в крайнее левое положение;
- зарисуйте временные диаграммы или сохраните их в отдельном word-файле для включения в отчет по лабораторной работе;
- повторите эксперимент при $R = 2R_{кр}$; $R_{кр}$; $R_{кр}/2$; $R_{кр}/5$; $R_{кр}/10$ (сопротивление устанавливайте с точность до целой части в омах);
- проанализируйте влияние сопротивления на характер переходных процессов напряжения на индуктивности в последовательной RLC -цепи. Результаты анализа отразите в выводах по лабораторной работе.

3.15. Соберите схему для исследования напряжения на емкости в последовательной RLC -цепи (рис. 8) при ее подключении к источнику периодической последовательности импульсов напряжения прямоугольной формы.

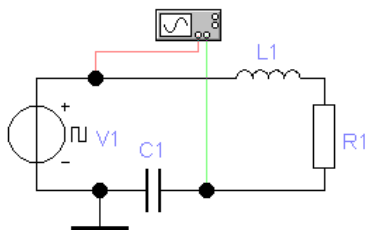


Рис. 8

Для источника $V1$ установите амплитуду импульсов 1 В , частоту следования импульсов 1 кГц и коэффициент заполнения (Duty cycle) 50% . Сопротивление $R1$ установите равным $3R_{кр}$. Параметры цепи и органы управления осциллографом – как в предыдущем эксперименте, кроме смещения по вертикали (Y position), которое рекомендуется установить минус $1,00$. Нулевой уровень на экране осциллографа при этом будет на одно деление ниже середины экрана.

Согласно рис. 8 канал А вертикального отклонения осциллографа отображает напряжение источника $V1$, а канал В – напряжение на емкости в последовательной RLC -цепи. Осциллограммы сигналов рекомендуется отображать разным цветом.

3.16. Исследуйте переходные процессы напряжения на емкости в последовательной RLC -цепи при ее подключении к источнику периодической последовательности импульсов напряжения прямоугольной формы, для чего:

- проверьте и при необходимости установите нулевые начальные условия;
- запустите процесс моделирования и приостановите его кнопкой «Pause». Сдвиньте бегунок под экраном осциллографа в крайнее левое положение;
- зарисуйте временные диаграммы или сохраните их в отдельном word-файле для включения в отчет по лабораторной работе;
- повторите эксперимент при $R = 2R_{кр}; R_{кр}; R_{кр}/2; R_{кр}/5; R_{кр}/10$ (сопротивление устанавливайте с точность до целой части в омах);
- проанализируйте влияние сопротивления на характер переходных процессов напряжения на емкости в последовательной RLC -цепи. Результаты анализа отразите в выводах по лабораторной работе.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- цель работы;
- результаты расчетов при выполнении домашнего задания;
- задачи экспериментов;
- схемы исследуемых цепей;
- временные диаграммы исследованных переходных процессов;
- выводы.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Сформулируйте первый и второй законы коммутации.
- 5.2. В чем заключается классический метод анализа переходных процессов?
- 5.3. Что такое «коэффициент затухания» последовательной RLC -цепи?
- 5.4. Изобразите временную диаграмму тока при подключении последовательной RLC -цепи к источнику постоянного напряжения в случае, когда корни характеристического уравнения будут различными действительными числами.
- 5.5. Изобразите временную диаграмму тока при подключении последовательной RLC -цепи к источнику постоянного напряжения в случае, когда корни характеристического уравнения будут сопряженными комплексными числами.
- 5.6. Что такое «частота свободных колебаний» и как она связана с резонансной частотой последовательной RLC -цепи?
- 5.7. Поясните зависимость частоты свободных колебаний от положения корней характеристического уравнения на комплексной плоскости.
- 5.8. Что такое «постоянная времени» последовательной RLC -цепи?
- 5.9. Изобразите временную диаграмму тока при подключении последовательной RLC -цепи к источнику постоянного напряжения в случае, когда корни характеристического уравнения будут равными действительными числами (кратные корни).
- 5.10. Какой режим работы последовательной RLC -цепи называют критическим?

6. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матвиенко, В.А. Электротехника : учебное пособие / В.А. Матвиенко. – 2-е изд., испр. – Екатеринбург : УрФУ, 2011. – 156 с.
2. Попов, В.П. Основы теории цепей : учебник для вузов / В.П. Попов. – 6-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 2007. – 575 с.
3. Атабеков, Г.И. Основы теории цепей : учебник для вузов / Г.И. Атабеков. – 2-е изд., испр. – СПб. : Лань, 2006. – 432 с.
4. Атабеков, Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи : учебное пособие / Г.И. Атабеков. – 7-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2009. – 592 с.

ПАРАМЕТРЫ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение параметров четырехполосника и методов их измерения.

2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

2.1. Повторите тему «Четырехполосники» [1–4]. Ответьте на контрольные вопросы.

2.2. Для одного из четырехполосников (рис. 1-4) согласно вашему варианту (см. таблицу) получите в общем виде выражения для A -параметров.

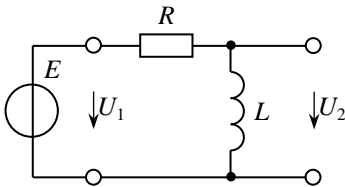


Рис. 1

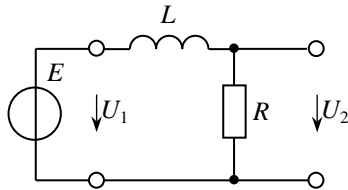


Рис. 2

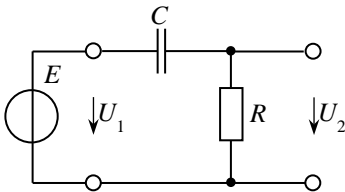


Рис. 3

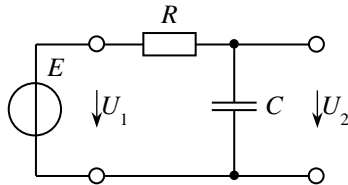


Рис. 4

Таблица

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Схема	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
R , кОм	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5
L , мГн	16	16			20	20			24	24		
C , нФ			16	16			13	13			11	11

Воспользуйтесь следующими формулами для расчета A -параметров Г-образного четырехполосника:

$$A_{11} = 1 + \frac{Z_1}{Z_2}; \quad A_{12} = Z_1; \quad A_{21} = \frac{1}{Z_2}; \quad A_{22} = 1,$$

где Z_1 – сопротивление продольной ветви Г-образного четырехполюсника;

Z_2 – сопротивление поперечной ветви Г-образного четырехполюсника.

Рассчитайте численные значения A -параметров на частоте 10 кГц согласно вашему варианту (см. таблицу).

2.3. Для одного из четырехполюсников (рис. 1-4) согласно вашему варианту (см. таблицу) получите в общем виде выражения для параметров холостого хода и короткого замыкания. Рассчитайте численные значения параметров холостого хода и короткого замыкания на частоте 10 кГц.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Соберите схему для измерения параметра A_{11} четырехполюсника (рис. 5). Независимый источник напряжения $V1$ и символ заземления находятся в группе «Sources» (второй ряд сверху на панели инструментов), вольтметр $M1$ – в группе «Indicators», сопротивления, индуктивности и емкости – в группе «Basic», осциллограф – в группе «Instruments».

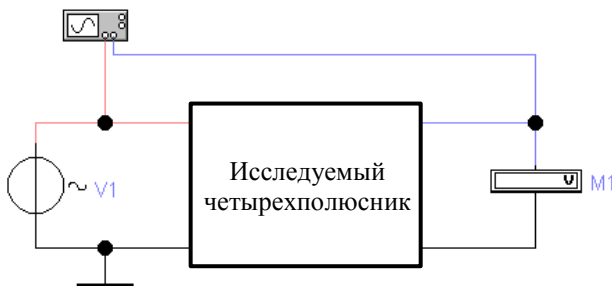


Рис. 5

Чтобы на схеме отображались позиционные обозначения и параметры элементов, выберите в меню «Circuit» строку «Schematic Options». В открывшемся окне выберите закладку «Show/Hide» и установите опции «Show reference ID» и «Show value».

Каждому элементу схемы по умолчанию присваиваются соответствующие параметры (они отображаются на схеме). Изменить параметры элементов можно следующим образом:

- выделите элемент щелчком левой клавиши мыши на его изображении в схеме (выделенный элемент отображается красным цветом);
- нажмите кнопку «Component Properties» в верхнем ряду панели инструментов;
- в открывшемся окне установки свойств элемента выберите закладку «Value» и наберите с помощью клавиатуры нужное значение параметра. В дробных числах для отделения целой части от дробной используйте точку, а не запятую;
- закройте окно установки свойств элемента, нажав в нем клавишу «OK» или нажав клавишу «Enter» на клавиатуре.

Окно установки свойств элемента можно также вызвать через контекстное меню, открывающееся по щелчку правой клавиши мыши на нужном элементе.

Для источника V_1 установите напряжение $U_1 = 1$ В и частоту 10 кГц при нулевой начальной фазе. Для вольтметра M_1 задайте внутреннее сопротивление 100 МОм и режим измерения переменного тока (Mode AC на закладке «Value» в окне свойств элемента). Параметры элементов четырехполосника установите согласно таблице по номеру варианта. Рекомендуется задать различные цвета осциллограмм.

3.2. Измерьте выходное напряжение U_2 в режиме холостого хода (вольтметр M_1) и сдвиг фаз между выходным и входным напряжениями. Сдвиг фаз измерьте с помощью осциллографа по временному интервалу Δt между моментами пересечения напряжениями U_1 и U_2 нулевого уровня. Будьте внимательны при определении знака сдвига фаз. По результатам измерений рассчитайте параметр

$$A_{11} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} \Big|_{I_2=0}.$$

3.3. Соберите схему для измерения параметра A_{21} четырехполосника (рис. 6).

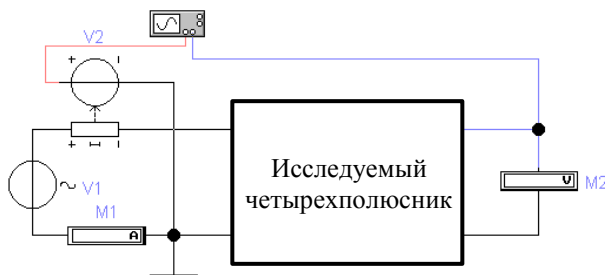


Рис. 6

Источник напряжения управляемый ток (ИНУТ) V2 возьмите в группе «Sources», амперметр M1 – в группе «Indicators». ИНУТ V2 необходим для визуализации тока на экране осциллографа и не влияет на работу цепи.

Для источника V1 установите напряжение $U_1 = 1$ В и частоту 10 кГц при нулевой начальной фазе. Для амперметра M1 и вольтметра M2 задайте режим измерения переменного тока. Внутреннее сопротивление амперметра M1 установите 1 мОм, а внутреннее сопротивление вольтметра M2 – 100 МОм. Передаточное сопротивление ИНУТ V2 – 1 кОм. Параметры элементов четырехполосника установите согласно таблице по номеру варианта. Задайте различные цвета осциллограмм.

3.4. Измерьте входной ток I_1 (амперметр M1) и выходное напряжение U_2 (вольтметр M2) в режиме холостого хода и сдвиг фаз между ними. Сдвиг фаз измерьте с помощью осциллографа по временному интервалу Δt между моментами пересечения тока I_1 и напряжения U_2 нулевого уровня. По результатам измерений рассчитайте параметр

$$A_{21} = \left. \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2} \right|_{i_2=0}.$$

3.5. Соберите схему для измерения параметра A_{12} четырехполосника (рис. 7).

Для источника V1 установите напряжение $U_1 = 1$ В и частоту 10 кГц при нулевой начальной фазе. Для амперметра M1 задайте внутреннее сопротивление 1 мОм и режим измерения переменного тока. Передаточное сопротивление ИНУТ V2 – 1 кОм. Параметры

элементов четырехполюсника установите согласно таблице по номеру варианта. Задайте различные цвета осциллограмм.



Рис. 7

3.6. Измерьте выходной ток I_2 (амперметр M1) в режиме короткого замыкания и сдвиг фаз между выходным током I_2 и входным напряжением U_1 . Сдвиг фаз измерьте с помощью осциллографа по временному интервалу Δt между моментами пересечения тока I_2 и напряжения U_1 нулевого уровня. По результатам измерений рассчитайте параметр

$$A_{12} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_2} \Big|_{U_2=0}.$$

3.7. Соберите схему для измерения параметра A_{22} четырехполюсника (рис. 8).

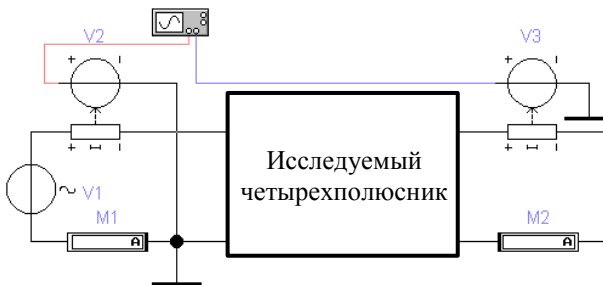


Рис. 8

Для источника V1 установите напряжение $U_1 = 1$ В и частоту 10 кГц при нулевой начальной фазе. Для амперметров M1 и M2

задайте внутреннее сопротивление 1 мОм и режим измерения переменного тока. Передаточное сопротивление ИНУТ V2 и V3 – 1 кОм. Параметры элементов четырехполосника установите согласно таблице по номеру варианта. Задайте различные цвета осциллограмм.

3.8. Измерьте входной ток I_1 (амперметр M1) и выходной ток I_2 (амперметр M2) в режиме короткого замыкания, а также сдвиг фаз между ними. Сдвиг фаз измерьте с помощью осциллографа по временному интервалу Δt между моментами пересечения тока I_1 и тока I_2 нулевого уровня. По результатам измерений рассчитайте параметр

$$A_{22} = \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} \Big|_{U_2=0}.$$

3.9. Соберите схему для измерения параметров холостого хода и короткого замыкания четырехполосника (рис. 9). Для управления ключом S1 назначьте клавишу «Пробел» (опция «Space» на закладке «Value» в окне свойств элемента). Для ключа S2 – букву «I» (Input). Для ключа S3 – букву «O» (Output).

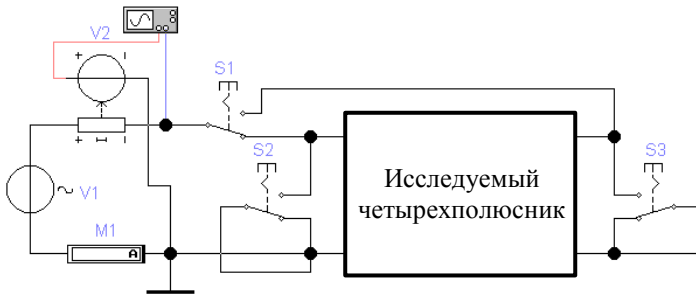


Рис. 9

Ключ S1 позволяет подключить источник гармонического напряжения V1 и блок приборов (амперметр M1, осциллограф) к входу (нижнее положение ключа) или к выходу (верхнее положение ключа) четырехполосника. Ключ S2 позволяет установить режим холостого хода (нижнее положение ключа) или режим короткого замыкания (верхнее положение ключа) по входу четырехполосника. Ключ S3 позволяет установить режим холостого хода (нижнее положение ключа) или режим короткого замыкания (верхнее положение ключа) по выходу четырехполосника.

Для источника V1 установите напряжение $U_1 = 1$ В и частоту 10 кГц при нулевой начальной фазе. Для амперметра M1 задайте внутреннее сопротивление 1 мОм и режим измерения переменного тока. Передаточное сопротивление ИНУТ V2 – 1 кОм. Параметры элементов четырехполюсника установите согласно таблице по номеру варианта. Задайте различные цвета осциллограмм.

3.10. Измерьте входное сопротивление четырехполюсника в режиме холостого хода на выходе, для чего:

- установите все три ключа в нижнее положение;
- измерьте входной ток I_1 (амперметр M1) и сдвиг фаз между напряжением U_1 и током I_1 . Сдвиг фаз измерьте с помощью осциллографа;
- рассчитайте входное сопротивление четырехполюсника в режиме холостого хода на выходе

$$Z_{1xx} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} \Big|_{I_2=0}.$$

3.11. Измерьте входное сопротивление четырехполюсника в режиме короткого замыкания на выходе, для чего:

- установите ключ S3 в верхнее положение. Остальные ключи оставьте в нижнем положении;
- измерьте входной ток I_1 (амперметр M1) и сдвиг фаз между напряжением U_1 и током I_1 . Сдвиг фаз измерьте с помощью осциллографа;
- рассчитайте входное сопротивление четырехполюсника в режиме короткого замыкания на выходе

$$Z_{1кз} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} \Big|_{U_2=0}.$$

3.12. Измерьте выходное сопротивление четырехполюсника в режиме холостого хода на входе, для чего:

- установите ключ S1 в верхнее положение, а ключи S2 и S3 – в нижнее;
- измерьте входной ток I_2 (амперметр M1) и сдвиг фаз между напряжением U_2 и током I_2 . Сдвиг фаз измерьте с помощью осциллографа;
- рассчитайте выходное сопротивление четырехполюсника в режиме холостого хода на входе

$$Z_{2xx} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_2} \Big|_{I_1=0}.$$

3.13. Измерьте выходное сопротивление четырехполосника в режиме короткого замыкания на входе, для чего:

- установите ключи S1 и S2 в верхнее положение, а ключ S3 – в нижнее;
- измерьте входной ток I_2 (амперметр M1) и сдвиг фаз между напряжением U_2 и током I_2 . Сдвиг фаз измерьте с помощью осциллографа;
- рассчитайте выходное сопротивление четырехполосника в режиме короткого замыкания на входе

$$Z_{2кз} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_2} \Big|_{U_1=0}.$$

3.14. По измеренным параметрам холостого хода и короткого замыкания рассчитайте A -параметры четырехполосника:

$$A_{11} = \sqrt{\frac{Z_{1xx}}{Z_{2xx} - Z_{2кз}}};$$

$$A_{12} = Z_{2кз} \sqrt{\frac{Z_{1xx}}{Z_{2xx} - Z_{2кз}}};$$

$$A_{21} = \sqrt{\frac{1}{Z_{1xx} (Z_{2xx} - Z_{2кз})}};$$

$$A_{22} = Z_{2xx} \sqrt{\frac{1}{Z_{1xx} (Z_{2xx} - Z_{2кз})}}.$$

3.15. Сравните значения A -параметров, полученных по результатам прямых измерений, по результатам измерений параметров холостого хода и короткого замыкания, с расчетными значениями, полученными при выполнении домашнего задания. При обнаружении существенных расхождений найдите и устраните ошибки.

3.16. Сравните измеренные значения параметров холостого хода и короткого замыкания с расчетными значениями, полученными при выполнении домашнего задания. При обнаружении существенных расхождений найдите и устраните ошибки.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- цель работы;
- аналитические выражения для A -параметров четырехполюсника согласно варианту (домашнее задание);
- численные значения A -параметров четырехполюсника согласно варианту (домашнее задание);
- аналитические выражения для параметров холостого хода и короткого замыкания четырехполюсника согласно варианту (домашнее задание);
- численные значения параметров холостого хода и короткого замыкания четырехполюсника согласно варианту (домашнее задание);
- задачи экспериментов;
- схемы исследуемых цепей;
- результаты измерений и их обработки;
- выводы.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Какие задачи решает теория четырехполюсников?
- 5.2. Какие четырехполюсники называют пассивными, активными, автономными, неавтономными?
- 5.3. Какие четырехполюсники называют симметричными, несимметричными, уравновешенными, неуравновешенными?
- 5.4. Дайте классификацию пассивных четырехполюсников по схемному признаку.
- 5.5. Назовите и поясните способы соединения четырехполюсников.
- 5.6. Какие параметры четырехполюсника называют первичными?
- 5.7. Поясните физический смысл A -параметров четырехполюсника.
- 5.8. Поясните методику экспериментального определения A -параметров четырехполюсника.
- 5.9. Какие параметры четырехполюсника называют параметрами холостого хода и короткого замыкания? Когда они используются?
- 5.10. Поясните методику экспериментального определения параметров холостого хода и короткого замыкания.

6. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матвиенко, В.А. Электротехника : учебное пособие / В.А. Матвиенко. – 2-е изд., испр. – Екатеринбург : УрФУ, 2011. – 156 с.
2. Попов, В.П. Основы теории цепей : учебник для вузов / В.П. Попов. – 6-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 2007. – 575 с.
3. Атабеков, Г.И. Основы теории цепей : учебник для вузов / Г.И. Атабеков. – 2-е изд., испр. – СПб. : Лань, 2006. – 432 с.
4. Атабеков, Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи : учебное пособие / Г.И. Атабеков. – 7-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2009. – 592 с.

ЧАСТОТНО-КОМПЕНСИРОВАННЫЙ ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение частотно-компенсированного делителя напряжения при гармоническом и импульсном воздействии.

2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

2.1. Повторите тему «Условия неискаженной передачи сигнала через линейную электрическую цепь» [1,3,4]. Ответьте на контрольные вопросы.

2.2. Докажите, что при $R_1C_1 = R_2C_2$ коэффициент передачи по напряжению $K_U(j\omega) = \dot{U}_2/\dot{U}_1$ цепи, изображенной на рис. 1, не зависит от частоты.

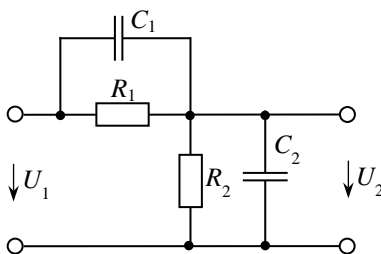


Рис. 1

2.3. Рассчитайте постоянные времени $\tau_1 = R_1C_1$ и $\tau_2 = R_2C_2$. Параметры цепи возьмите из таблицы по номеру варианта.

Таблица

Вариант	R_1 , кОм	C_1 , пФ	R_2 , кОм	C_2 , пФ
1	900	111,1	100	1000
2	819	122,1	91	1099
3	738	135,5	82	1220
4	675	148,1	75	1333
5	612	163,4	68	1471
6	558	179,2	62	1613
7	504	198,4	56	1786
8	459	217,9	51	1961

Окончание таблицы

Вариант	R_1 , кОм	C_1 , пФ	R_2 , кОм	C_2 , пФ
9	423	236,4	47	2128
10	387	258,4	43	2326
11	351	284,9	39	2564
12	324	308,6	36	2778

2.4. Рассчитайте коэффициент передачи по напряжению в области низких частот.

2.5. Рассчитайте коэффициент передачи по напряжению в области высоких частот.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Соберите схему для исследования частотно-компенсированного делителя напряжения при импульсном воздействии (рис. 2).

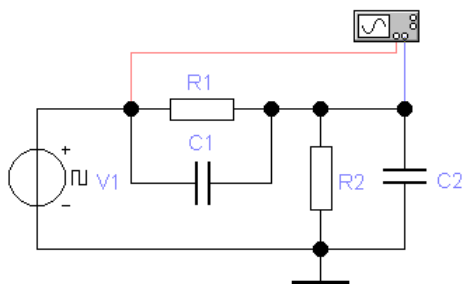


Рис. 2

Генератор импульсов напряжения прямоугольной формы V1 и символ заземления находятся в группе «Sources» (второй ряд сверху на панели инструментов); сопротивления и емкости – в группе «Basic»; осциллограф – в группе «Instruments».

Чтобы на схеме отображались позиционные обозначения и параметры элементов, выберите в меню «Circuit» строку «Schematic Options». В открывшемся окне выберите закладку «Show/Hide» и установите опции «Show reference ID» и «Show value».

Каждому элементу схемы по умолчанию присваиваются соответствующие параметры (они отображаются на схеме). Изменить параметры элементов можно следующим образом:

- выделите элемент щелчком левой клавиши мыши на его изображении в схеме (выделенный элемент отображается красным цветом);
- нажмите кнопку «Component Properties» в верхнем ряду панели инструментов;
- в открывшемся окне установки свойств элемента выберите закладку «Value» и наберите с помощью клавиатуры нужное значение параметра. В дробных числах для отделения целой части от дробной используйте точку, а не запятую;
- закройте окно установки свойств элемента, нажав в нем клавишу «ОК» или нажав клавишу «Enter» на клавиатуре.

Окно установки свойств элемента можно также вызвать через контекстное меню, открывающееся по щелчку правой клавиши мыши на нужном элементе.

Для источника V1 установите амплитуду импульсов 1 В, частоту следования импульсов 1 кГц и коэффициент заполнения (Duty cycle) 50 %. Сопротивления R1, R2 и емкости C1, C2 и задайте согласно таблице по номеру варианта. Параметры цепи в таблице отвечают условию неискаженной передачи сигнала, когда $R_1C_1 = R_2C_2$.

Запустите осциллограф двойным щелчком левой клавиши мыши на его изображении. Перейдите в развернутый режим отображения осциллографа щелчком левой клавиши мыши по кнопке «Expand» в окне осциллографа. Установите автоматический запуск развертки осциллографа (кнопка «Auto» в поле «Trigger» окна осциллографа) положительным фронтом импульса (соответствующая кнопка «Edge») по уровню 0,50 (Level). Включите режим развертки по горизонтали (кнопка «Y/T») и установите скорость развертки Time base 0,20 mS/div. Смещение по горизонтали оставьте нулевым (X position). Чувствительность по каналу А установите 500 mV/Div, а по каналу В – 50 mV/Div при открытом входе (DC). Смещение по вертикали (Y position) установите по обоим каналам минус 1,00, при этом нулевой уровень будет на одно деление сетки ниже середины экрана осциллографа.

Согласно рис. 2 канал А вертикального отклонения осциллографа отображает напряжение источника V1, а канал В – выходное напряжение делителя. Изображение сигналов на экране осциллографа рекомендуется отображать разным цветом. Для задания цвета осциллограммы щелкните правой клавишей мыши на проводе, подключен-

ном к входу канала А. В открывшемся окне выберите опцию «Wire Properties...». В следующем окне выберите закладку «Schematic options», нажмите кнопку «Set Wire Color» и задайте красный цвет. Аналогичным образом задайте какой-нибудь другой цвет осциллограммы по каналу В.

3.2. Исследуйте отклик настроенного частотно-компенсированного делителя напряжения на воздействие импульсов напряжения прямоугольной формы при $R_1C_1 = R_2C_2$ (параметры цепи согласно таблице), для чего:

- установите нулевые начальные условия: в меню «Analysis» выберите строку «Analysis Options...» и в закладке «Instruments» установите опцию «Set to Zero»;
- запустите процесс моделирования и приостановите его кнопкой «Pause». Сдвиньте бегунок под экраном осциллографа в крайнее левое положение, при этом на экране осциллографа отобразятся временные диаграммы исследуемых процессов;
- зарисуйте временные диаграммы или сохраните их в отдельном word-файле для включения в отчет по лабораторной работе.

3.3. Исследуйте отклик ненастроенного частотно-компенсированного делителя напряжения на воздействие импульсов напряжения прямоугольной формы при $R_1C_1 < R_2C_2$, для чего установите емкость C_2 в 2 раза больше значения, заданного в таблице, и повторите исследование по методике п. 3.2.

3.4. Исследуйте отклик ненастроенного частотно-компенсированного делителя напряжения на воздействие импульсов напряжения прямоугольной формы при $R_1C_1 > R_2C_2$, для чего установите емкость C_2 в 2 раза меньше значения, заданного в таблице, и повторите исследование по методике п. 3.2.

3.5. Проанализируйте влияние соотношения постоянных времени R_1C_1 и R_2C_2 на форму импульсов, передаваемых через исследуемую цепь. Сформулируйте ответы на следующие вопросы:

- как связана амплитуда скачка выходного напряжения с параметрами цепи?
- как связано выходное напряжение в конце действия импульса с параметрами цепи?

Результаты анализа отразите в выводах по лабораторной работе.

3.6. Соберите схему для исследования частотно-компенсированного делителя напряжения при гармоническом воздействии (рис. 3).

Генератор гармонического колебания V1 возьмите в группе «Sources», а вольтметр M1 – в группе «Indicators».

Для вольтметра M1 задайте внутреннее сопротивление 100 МОм и режим измерения переменного тока (Mode AC на закладке «Value» в окне свойств элемента). Параметры цепи установите согласно таблице по номеру варианта (случай $R_1C_1 = R_2C_2$).

Запустите осциллограф и перейдите в развернутый режим его отображения. Установите автоматический запуск развертки осциллографа (кнопка «Auto» в поле «Trigger» окна осциллографа) положительным фронтом импульса (соответствующая кнопка «Edge») по уровню 0,50 (Level). Включите режим развертки по горизонтали (кнопка «Y/T»). Смещение по горизонтали оставьте нулевым (X position). Чувствительность по каналу А установите 500 mV/Div, а по каналу В – 100 mV/Div при открытом входе (DC) и нулевом смещении по вертикали (Y position).

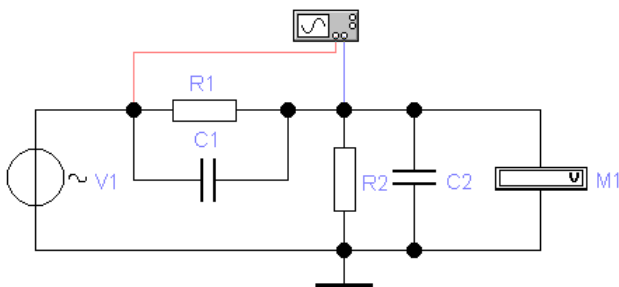


Рис. 3

Согласно рис. 3 канал А вертикального отклонения осциллографа отображает напряжение источника V1, а канал В – напряжение на выходе цепи. Изображение сигналов на экране осциллографа рекомендуется отображать разным цветом.

3.7. Снимите амплитудно-частотную (АЧХ) и фазочастотную (ФЧХ) характеристики коэффициента передачи по напряжению частотно-компенсированного делителя напряжения (рис. 3). Рекомендуемое напряжение источника V1 $U_1 = 1$ В, при этом коэффициент передачи по напряжению $K_U = U_2/U_1$ численно будет равен напряжению на выходе цепи U_2 . Рекомендуемые значения частоты источника V1: 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16 и 32 кГц. Скорость развертки осциллографа (Time base) регулируйте так, чтобы на его экране отображалось

1–2 периода колебаний. Выходное напряжение цепи измеряйте вольтметром М1. Сдвиг фаз между выходным и входным напряжениями измеряйте осциллографом по временному интервалу Δt между моментами пересечения напряжениями U_1 и U_2 нулевого уровня. Результаты измерения напряжения U_2 и временного интервала Δt сведите в таблицу. В эту же таблицу включите результаты пересчета временного интервала в сдвиг фаз (в градусах).

3.8. Снимите амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики коэффициента передачи по напряжению исследуемой цепи (рис. 3) при $R_1C_1 < R_2C_2$, для чего установите емкость C_2 в 2 раза больше значения, заданного в таблице. Методика исследования аналогична п. 3.7.

3.9. Снимите амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики коэффициента передачи по напряжению исследуемой цепи (рис. 3) при $R_1C_1 > R_2C_2$, для чего установите емкость C_2 в 2 раза меньше значения, заданного в таблице. Методика исследования аналогична п. 3.7.

3.10. По результатам измерений (пп. 3.7 – 3.9) постройте графики АЧХ и ФЧХ коэффициента передачи по напряжению исследуемой цепи. Для оси частот используйте логарифмический масштаб (рекомендованные значения частоты соответствуют логарифмическому масштабу).

3.11. Проанализируйте связь АЧХ и ФЧХ исследуемой цепи с линейными искажениями при передаче сложного сигнала. Результаты анализа отразите в выводах по лабораторной работе.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- цель работы;
- результаты расчетов при выполнении домашнего задания;
- задачи экспериментов;
- схемы исследуемых цепей;
- временные диаграммы отклика цепи при импульсном воздействии;
- амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики коэффициента передачи по напряжению исследуемой цепи;
- выводы.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. В каком случае передачу сигнала называют неискаженной?
- 5.2. Каким условиям должны отвечать АЧХ и ФЧХ неискажающей цепи?
- 5.3. Что такое «делитель напряжения»?
- 5.4. Получите формулы для расчета коэффициента передачи по напряжению резистивного, индуктивного и емкостного делителей напряжения.
- 5.5. Изобразите схему частотно-компенсированного делителя напряжения и запишите условие, при котором его коэффициент передачи по напряжению не будет зависеть от частоты.
- 5.6. Изобразите ожидаемые временные диаграммы отклика настроенного и ненастроенного частотно-компенсированного делителя напряжения при воздействии периодической последовательности импульсов напряжения прямоугольной формы.
- 5.7. Изобразите ожидаемые АЧХ и ФЧХ настроенного и ненастроенного частотно-компенсированного делителя напряжения.
- 5.8. Поясните методику практической настройки частотно-компенсированного делителя напряжения.

6. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матвиенко, В.А. Электротехника : учебное пособие / В.А. Матвиенко. – 2-е изд., испр. – Екатеринбург : УрФУ, 2011. – 156 с.
2. Попов, В.П. Основы теории цепей : учебник для вузов / В.П. Попов. – 6-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 2007. – 575 с.
3. Атабеков, Г.И. Основы теории цепей : учебник для вузов / Г.И. Атабеков. – 2-е изд., испр. – СПб. : Лань, 2006. – 432 с.
4. Атабеков, Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи : учебное пособие / Г.И. Атабеков. – 7-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2009. – 592 с.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

1.1. Отчет по лабораторной работе представляет собой литературное произведение научно-технического характера и должен соответствовать литературным нормам русского языка. При составлении отчета необходимо обращать внимание на его языково-стилистическую сторону, то есть на правильность построения фраз и грамматических оборотов, на правильность употребления знаков пунктуации. Текст отчета должен быть логически связанным и аргументированным, а не представлять собой бессвязный набор фраз, таблиц, графиков, формул.

1.2. Текст отчета должен быть кратким, четким и не допускать различных толкований. В отчете следует применять научно-технические термины, обозначения и определения, установленные соответствующими стандартами, а при их отсутствии – общепринятые в научно-технической литературе.

1.3. В тексте отчета не допускается:

- применять для одного и того же понятия разные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а так же иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- применять жаргонные слова и термины (например: напруга, напряжеметр и т. п.);

1.4. Текст отчета должен давать исчерпывающие ответы на следующие вопросы: Что исследовано? С какой целью исследовано? В каких условиях исследовано? Какова методика исследования? Какие получены результаты? Что из них следует?

Информация об эксперименте должна быть достаточна для его точного повторения.

1.5. Текст отчета должен быть полностью понятен специалисту без привлечения методических указаний к данной лабораторной работе и других источников.

1.6. Отчет рекомендуется начинать с формулировки цели работы, например: «Цель работы – исследование резонансных явлений в параллельном колебательном контуре».

1.7. Каждый пункт отчета рекомендуется начинать с формулировки задачи исследования, например: «Исследуем зависимость тока в последовательном колебательном контуре от частоты гармонического воздействия», «Определим полную, активную и реактивную мощность источника».

1.8. Расчеты рекомендуется выполнять на компьютере, указав использованное программное обеспечение. ***Точность приближенных вычислений должна обеспечивать в результате три значащие цифры.***

1.9. В конце отчета следует сформулировать выводы по лабораторной работе. Выводы пишут в виде кратко сформулированных и пронумерованных отдельных тезисов (положений) только по конкретным результатам, полученным в ходе выполнения данной лабораторной работы.

1.10. В выводах следует анализировать характер исследованных зависимостей, влияния параметров и режимов на характеристики исследованных объектов, эффективность разных способов решения одной и той же технической задачи, причины наблюдаемых расхождений экспериментальных и теоретических результатов.

2.1. Листы отчета должны быть помещены в папку (скоросшиватель) или скреплены скобками в двух-трех точках на расстоянии 10 мм от левого края листа. ***Использование скрепок и пластиковых конвертов (файлов) не допускается.***

2. ОФОРМЛЕНИЕ ТЕКСТА

2.2. Отчет по лабораторной работе выполняют на листах белой писчей бумаги формата А4 (210×297 мм) компьютерным или рукописным способом.

2.3. По всем четырем сторонам листа оставляют поля: слева и сверху - не менее 20 мм, справа и снизу – не менее 10 мм. Рамку и основную надпись не делают.

2.4. Титульный лист является первым листом отчета и заполняется по форме, приведенной в приложении. При рукописном способе выполнения отчета титульный лист заполняют основным чертежным шрифтом по ГОСТ 2.304-81. Перенос слов на титульном листе не допускается. Точка в конце фраз не ставится.

2.5. Страницы отчета нумеруют арабскими цифрами. Титульный лист включают в общую нумерацию страниц отчета. На титуль-

ном листе номер не ставят, на последующих страницах номер проставляют в правом верхнем углу.

2.6. Текст отчета располагают на одной стороне листа.

2.7. При выполнении отчета рукописным способом текст пишут аккуратным разборчивым почерком, используя чернила (пасту, тушь) одного цвета: черного, синего или фиолетового. Начертание цифр и букв (в том числе латинских, греческих и др.) должно соответствовать общепринятым нормам. Не допускается применение вместо слов стенографических и других знаков. Минимальная высота букв 2,5 мм.

2.8. Текст отчета делят на пункты, которые нумеруют арабскими цифрами с точкой. Пункты при необходимости могут быть разбиты на подпункты с нумерацией в пределах каждого пункта, например: 3.2., 1.3., и т. д. Содержащиеся в тексте пункта или подпункта перечисления требований, указаний, положений обозначают маркерами или арабскими цифрами со скобкой, например: 1), 2), 3), и т. д. Каждый пункт, подпункт и перечисление записывают с абзаца.

2.9. Абзацы в тексте начинают отступом, равным 10 мм.

2.10. В тексте отчета числа с размерностью следует писать цифрами, а без размерности – словами, например: «на частоте 2 кГц...», «при увеличении частоты в два раза...».

2.11. В тексте отчета не допускается:

- сокращать обозначения единиц физических величин, если они употребляются без цифр, за исключением единиц физических величин в головках и боковиках таблиц или в расшифровках буквенных обозначений, входящих в формулы;
- применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии и пунктуации (и др., и пр., и т. д., и т. п., т. е.);
- использовать математический знак минус (–) перед отрицательными значениями величин. Вместо знака « – » следует писать слово «минус»;
- употреблять знаки № (номер) и % (процент) без цифр, а так же математические знаки вне математических выражений (например: =, ≠, <, >, ≥, ≤).

3. ОФОРМЛЕНИЕ ТАБЛИЦ

3.1. Цифровой материал, как правило, оформляют в виде таблиц.

Таблица 1
Заголовок таблицы

Головка					
Строки (горизонтальные ряды)					

Боковик (заголовки строк) Графы (колонки)

Заголовки граф
Подзаголовки граф

3.2. Таблица может иметь заголовок. Заголовок и слово «Таблица» начинают с прописной буквы. Заголовок не подчеркивают.

3.3. Заголовки граф таблицы начинают с прописных букв, подзаголовки – со строчных, если они составляют одно предложение с заголовком, и с прописных, если они самостоятельные. В конце заголовков и подзаголовков знаки препинания не ставят. Заголовки указывают в единственном числе.

3.4. Графу «№ п/п» в таблицу не включают. При необходимости порядковые номера показателей указывают в боковике таблицы перед их наименованием.

3.5. Если строки или графы таблицы выходят за формат листа, таблицу делят на части, которые переносят на другие страницы или помещают на одной странице рядом или одну под другой. Если части таблицы расположены рядом, то в каждой части таблицы повторяют ее головку, если части таблицы расположены одна под другой, – повторяют боковик.

Слово «Таблица» и заголовок указывают один раз над первой частью таблицы, над последующими частями пишут слово «Продолжение» (если таблица одна) или, например, «Продолжение табл. 2» (если таблиц несколько). Над последней частью таблицы пишут слово «Окончание» или, например, «Окончание табл. 2».

3.6. Если цифровые данные в графах таблицы выражены в различных единицах физических величин, то их указывают в заголовке каждой графы.

Если все цифровые данные в таблице имеют одинаковую размерность, то сокращенное обозначение единицы физической величины помещают над таблицей.

Если все данные в строке приведены для одной физической величины, то единицу физической величины указывают в соответствующей строке боковика таблицы.

3.7. Повторяющийся в графе таблицы текст, состоящий из одного слова, допускается заменять кавычками, если строки в таблице не разделены линиями.

Если повторяющийся текст состоит из двух и более слов, то при первом повторении его заменяют словами «То же», а далее – кавычками.

Ставить кавычки вместо повторяющихся цифр, марок, знаков, математических символов не допускается.

Если цифровые или иные данные не приводят, то в графе ставят прочерк.

3.8. Заголовки и подзаголовки граф допускается заменять буквенными обозначениями, если они пояснены в тексте или приведены на иллюстрации.

Показатели с одним и тем же буквенным обозначением группируют последовательно, в порядке возрастания индексов, например: L_1 , L_2 , L_3 и т. д.

3.9. Таблицы нумеруют последовательно арабскими цифрами. Над правым верхним углом таблицы выше заголовка помещают надпись «Таблица...» с указанием номера таблицы, например: «Таблица 1».

Если в отчете одна таблица, то номер ей не присваивают и слово «Таблица» не пишут.

3.10. На все таблицы должны быть ссылки в тексте, при этом слово «Таблица» в тексте пишут полностью, если таблица не имеет номера, и сокращенно - если имеет номер, например: «табл. 1». В повторных ссылках на таблицы указывают сокращенно слово «смотри», например: «см. табл. 1».

3.11. Таблицу размещают после первого упоминания о ней в тексте таким образом, чтобы ее можно было читать без поворота отчета или с поворотом по часовой стрелке.

4. ОФОРМЛЕНИЕ ФОРМУЛ

4.1. Математические формулы могут быть расположены внутри текста и отдельными строками. Внутри текста обычно вписывают нумерованные, несложные, недробные формулы. В отдельную строку помещают все нумерованные формулы, формулы, сопровождающиеся экспликациями, то есть объяснениями употребляемых символов, а также формулы, имеющие самостоятельное значение.

4.2. Символы в формулах должны соответствовать обозначениям, установленными государственными стандартами.

4.3. Значения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, расшифровывают непосредственно под формулой. Значение каждого символа дают с новой строки в той последовательности, в какой они приведены в формуле. Первая строка расшифровки должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него.

4.4. Формулы, выделенные в отдельную строку, располагают симметрично относительно середины текста. Расстояния между строкой формулы и строками текста, а также между строками формул, должны быть равны расстоянию между строками текста.

4.5. Если формула не умещается в одну строку, она должна быть перенесена после знака равенства, умножения, сложения, вычитания и знаков соотношения ($=$, \times , $+$, $-$, \neq , \equiv , \approx , \cong , $<$, \leq , $>$, \geq). В случае переноса знак умножения обозначается косым крестом (\times). Знак, на котором делается перенос формулы, пишут дважды – в конце строки и в начале следующей строки.

4.6. Формулы, на которые имеются ссылки в тексте отчета, нумеруются последовательно арабскими цифрами. Номер указывают в круглых скобках с правого края страницы на уровне формулы. При ссылке в тексте на формулу указывают ее номер в скобках, например: «... в формуле (3)».

4.7. При оформлении расчетов численных значений физических величин приводят формулу в общем виде, ту же формулу после подстановки числовых данных и результат вычисления. Числовые значения величин следует подставлять строго в том порядке, в котором они записаны в формуле, не допуская изменения порядка следования слагаемых и сомножителей. После результата вычислений обязательно указывают сокращенное наименование единицы физической величины.

4.8. В формулах точку как знак умножения не ставят перед буквенным символом после скобки и перед скобкой, например: $(x + y)R$; $(x + y)(f + R)$. Исключение делают только в том случае, когда не ясно, к какому знаку математического действия или функции относится данный символ, например: $\sin x \cdot y$, но лучше записать: $y \sin x$.

Знак умножения ставят перед цифрами и между дробями, например:

$$\sqrt{\frac{100}{161}} \cdot 0,1 = 0,08; \quad \frac{x + y}{R} \cdot \frac{z + f}{e}.$$

4.9. Многоточие внутри формулы должно насчитывать три точки. Знак плюс или минус ставят перед многоточием и после него, например: $k_1 + k_2 + \dots + k_n$. Знак умножения ни перед многоточием, ни после него не ставят, например: $1 \cdot 2 \cdot 3 \dots n$; $k_1 k_2 \dots k_n$.

При перечислении математических знаков или символов запятую ставят и перед многоточием, и после него, например: $1, 2, 3, \dots, n$.

4.10. Применяемые в формулах скобки ставят в определенном порядке: в первую очередь круглые $()$, во вторую – прямые $[]$, в третью – фигурные $\{ \}$ и в четвертую – угловые $\langle \rangle$. Фигурные скобки применяют также при объединении под одним порядковым номером ряда формул.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ИЛЛЮСТРАЦИЙ

5.1. Под иллюстрациями понимают рисунки, чертежи, графики, столбчатые (гистограммы) и круговые диаграммы, электрические и другие схемы, временные диаграммы, векторные диаграммы, схемы алгоритмов и т. п.

5.2. Иллюстрации могут быть расположены на одной странице с текстом или на отдельных страницах белой или миллиметровой бумаги формата А4. Допускается выполнять иллюстрации на отдельных листах небольшого формата (по размеру иллюстрации), которые должны быть наклеены на лист отчета, при этом текст может огибать наклеенные иллюстрации.

5.3. Иллюстрации располагают так, чтобы их было удобно рассматривать без поворота отчета или с поворотом по часовой стрелке. Иллюстрации располагают после первой ссылки на них.

5.4. Иллюстрации могут иметь наименование. При необходимости иллюстрации снабжают поясняющими данными (подрисуночный

текст). Наименование иллюстрации помещают над ней, поясняющие данные – под ней.

5.5. Иллюстрации обозначают словом «Рис.» и нумеруют последовательно арабскими цифрами, например: «Рис. 1.». Номер помещают ниже поясняющих данных под серединой иллюстрации. Если в отчете приведена одна иллюстрация, то ее не нумеруют и слово «Рис.» не пишут.

5.6. Рисунки выполняют компьютерным способом или тушью, пастой, чернилами того же цвета, что и текст. Допускается выполнение рисунков карандашом.

5.7. Ссылки на иллюстрации дают с указанием их порядкового номера, например: «... на рис. 3». Ссылки на ранее упомянутые иллюстрации обычно дают с сокращенным словом «смотри», например: «см. рис. 2».

5.8. Все иллюстрации выполняют с применением чертежных инструментов. Не допускается выполнение иллюстраций от руки.

5.9. Электрические схемы выполняют в соответствии с государственными стандартами Единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

5.10. Временные диаграммы вычерчивают сплошной толстой линией, а оси координат сплошной тонкой линией. Линия временной диаграммы должна быть непрерывной. На концах осей координат вычерчивают стрелки, направленные в сторону роста величин. Буквенные обозначения величин указывают левее стрелки на конце оси ординат и под стрелкой на оси абсцисс. Если временная диаграмма отражает только качественный характер процесса, то масштаб по осям координат не вводят и единицы величин не указывают.

Если временная диаграмма отражает количественные соотношения величин, то по осям координат вводят масштабы и указывают единицы измерения. Масштаб вводят с помощью коротких засечек на осях координат, около которых указывают численное значение величин (левее засечки для оси ординат, и ниже засечки для оси абсцисс). Буквенное обозначение величин и сокращенное наименование их единиц указывают через запятую левее конца оси ординат и под концом оси абсцисс.

5.11. Графики функциональных зависимостей величин вычерчивают толстой сплошной линией. Масштаб по осям абсцисс и ординат задают координатной сеткой или с помощью коротких засечек. Первый способ предпочтителен при построении графиков на листах нели-

нованной бумаги, второй – при построении графиков на миллиметровой. Оси координат и координатную сетку вычерчивают тонкой сплошной линией. На концах координатных осей стрелок не ставят. Числовые значения величин указывают за пределами графика левее оси ординат и ниже оси абсцисс. Буквенное обозначение величин и сокращенное наименование их единиц указывают через запятую левее конца оси ординат и под концом оси абсцисс.

Исключение составляют графики, ось абсцисс или ось ординат которых является общей для двух величин. В таких случаях численное значение второй величины пишут внутри рамки графика или проводят вторую ось.

Если для одной или обеих осей координат использован логарифмический масштаб, то и в этом случае оцифровку осей выполняют в значениях соответствующей величины, а не в значениях ее логарифма.

Если кривая, изображаемая на графике, занимает небольшое пространство, то оцифровку осей можно начинать не с нуля, а ограничиться теми значениями, в пределах которых рассматривается данная функциональная зависимость.

В тех случаях, когда оси абсцисс и ординат начинаются с нуля, повторять знак «0» (ноль) в начале осей координат не следует.

5.12. Если изображаемая зависимость, получена экспериментальным путем, то на ее графике должны быть отображены все экспериментальные точки, которые наносят в виде условных значков: кружков (затушеванных и не затушеванных), квадратов, треугольников (вершиной вверх или вершиной вниз), крестиков, звездочек и т. п. Для каждой из кривых, изображенных на графике, используют свой условный значок. Обозначения точек на графике не должны пересекаться линиями кривых.

При выполнении иллюстраций вручную координатную сетку и обозначения точек рекомендуется вычерчивать тушью, чернилами или пастой, а лишь затем наносить карандашом линию графика. Это позволит при необходимости корректировать график, не повреждая координатную сетку и обозначения точек.

Точки на графике соединяют плавной линией так, чтобы она по возможности проходила ближе ко всем экспериментальным точкам.

5.13. На графике можно писать только принятые в тексте условные буквенные обозначения. Надписи в поле графика допускаются,

когда их немного и они краткие. Многословные надписи заменяют цифрами, а расшифровку приводят в подрисуночной подписи.

6. ПРАВИЛА КОМПЬЮТЕРНОГО НАБОРА И ВЕРСТКИ

6.1. Для набора текста рекомендуется гарнитура Times высотой 12 пунктов, обычный межбуквенный интервал, выравнивание по ширине страницы и автоматическая расстановка переносов.

6.2. Буквы русского, греческого и готического немецкого алфавитов в обозначениях математических величин набирают прямым шрифтом.

6.3. Буквы латинского алфавита в обозначениях математических величин набирают курсивом.

6.4. Цифры в математических выражениях набирают прямым светлым шрифтом.

6.5. Обозначения математических функций набирают со строчной буквы прямым светлым шрифтом и отделяют от аргумента пробелом ($\sin x$, $\cos x$, $\operatorname{tg} x$, $\operatorname{ctg} x$, $\ln x$, $\lg x$, $\exp x$ и т. п.).

6.6. Условные математические сокращения набирают прямым светлым шрифтом (\lim , \min , \max , opt , const , det и т. п.).

6.7. Не отделяют пробелом от предшествующего слова следующие знаки препинания: точку, запятую, точку с запятой, двоеточие, вопросительный знак, восклицательный знак.

6.8. Пробелы ставят после всех знаков препинания (в том числе многоточия) за исключением двух знаков подряд (М., 2014).

6.9. Инициалы от фамилии отделяют пробелом. Инициалы друг от друга пробелом не отделяют (А.С. Попов).

6.10. Сокращения набирают через один пробел (т. е., т. п., т. д.).

6.11. Тире между словами отделяют пробелом и от предшествующего и от последующего слова.

6.12. Тире между числами не отделяют пробелом от предшествующего и последующего числа.

6.13. Не отделяют пробелом скобки и кавычки от заключенных в них слов.

6.14. Знак числа (+, −, ±) от последующей цифры пробелом не отделяют.

6.15. Знаки математических действий (+, −, ±, ×, :) и знаки соответствия (=, ≈, ≠, <, > и т. п.) отделяют пробелом от смежных символов и цифр.

6.16. Числитель и знаменатель простой дроби не отделяют пробелом от косой черты (3/7).

6.17. Знаки номера (№) и параграфа (§) отделяют пробелом от последующей цифры.

6.18. Знак приращения (Δ) от последующего символа пробелом не отделяют.

6.19. Отделяют пробелом от предшествующего числа знаки процентов (%) и промилле (‰).

6.20. Знак градуса вместе с обозначением температурной шкалы отделяют от предшествующего числа пробелом (18 °C).

6.21. При наборе римских цифр используют прописные английские буквы (VIII, XV, II, III). Не допускается использование букв русского алфавита и арабских цифр (У111, ХУ, П, Ш).

6.22. Знаки суммы, произведения, корня и интеграла набирают прямым светлым шрифтом (Σ , Π , $\sqrt{\quad}$, \int).

6.23. Единицы физических величин набирают без скобок прямым светлым шрифтом и отделяют пробелом от цифр или символов, к которым они относятся.

6.24. Простые математические выражения набирают с клавиатуры и с помощью функции вставки символов. К редактору формул (Equation или Math Type Equation) следует обращаться при крайней необходимости, когда требуется набор специфических знаков и сложных выражений. Если выражение набирается в редакторе формул, то оно полностью должно быть набрано в этом редакторе. Не допускается смешение в одном математическом выражении обычного набора и набора в редакторе формул.

6.25. В конце заголовков точку не ставят. Если заголовок состоит из нескольких предложений, то между предложениями знаки препинания ставят по правилам пунктуации, а после последнего предложения точку не ставят.

6.26. Над заголовками внутри текста в верхней части страницы и под заголовками в нижней части страницы должно быть не менее трех строк текста.

6.27. Пробел над простым заголовком должен быть примерно в 1,5 раза больше, чем под ним. Пробел над сложным заголовком должен быть примерно в 2 раза больше, чем под ним, а пробелы внутри этого заголовка должны последовательно уменьшаться от первого заголовка до последнего подзаголовка.

6.28. Недопустимы неблагозвучные переносы и переносы, ведущие к двусмысленному прочтению текста или недоразумениям. Например, нельзя отделять отрицание «не» от следующего слова или переносить конечный слог «не» какого-либо слова в другую строку, если далее следует глагол.

6.29. Нельзя оставлять в конце строки однобуквенные слова, с которых начинается предложение, т. е. предлоги, частицы и междометия, набранные прописными. Не рекомендуется оставлять в конце строки однобуквенные слова, даже если они стоят не в начале предложения.

6.30. Новую страницу нельзя начинать концевой строкой абзаца (висячая строка).

6.31. Нельзя заканчивать страницу строкой с абзацным отступом (висячая строка).

6.32. Не рекомендуется заканчивать последнюю строку страницы знаком переноса.

6.33. Следует избегать размещения формул в начале страницы и особенно переноса формул на другую страницу.

6.34. Иллюстрации, близкие по ширине к длине строки, размещают вразрез текста, иллюстрации, небольшие по ширине, размещают в оборку (текст обтекает иллюстрацию).

6.35. При размещении вразрез двух иллюстраций рядом, если они не занимают всей ширины страницы, пробел между рисунками должен быть меньше боковых полей. Такие рисунки выравнивают по нижней линии.

6.36. Иллюстрации, обтекаемые текстом, выравнивают по правому полю страницы.

6.37. Не следует размещать иллюстрацию в начале или конце раздела, т. е. сразу после заголовка или непосредственно перед ним.

6.38. Не следует размещать иллюстрацию вразрез непосредственно за строкой с абзацным отступом или перед концевой строкой абзаца.

7. ВНЕСЕНИЕ ИСПРАВЛЕНИЙ

7.1. Если отчет возвращен для исправлений, то после внесения исправлений его следует сдать на повторную проверку. ***При сдаче отчета на повторную проверку замена титульного листа не допускается.***

7.2. Исправления следует вносить путем зачеркивания неправильного результата и вписывания правильного результата выше или правее неправильного. ***Не допускается закрашивание неправильного результата и замечаний преподавателя.***

7.3. Если для внесения исправлений необходимо заменить лист полностью, то ***изъятый лист с замечаниями преподавателя следует вложить в отчет (не вшивая) перед исправленным листом.***

7.4. ***Если работа переоформлена полностью, то предыдущий вариант работы с замечаниями преподавателя должен быть вложен в исправленный текст*** (за исключением титульного листа, который должен быть перенесен на исправленный текст).

ПРИЛОЖЕНИЕ

**ОБРАЗЕЦ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА
ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ**

Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
Кафедра автоматики

**СОПРОТИВЛЕНИЕ, ИНДУКТИВНОСТЬ И ЕМКОСТЬ
ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

**Отчет по лабораторной работе по дисциплине
«Основы теории цепей»**

Вариант 10

Выполнил студент группы РИ-230101 _____ С.В. Беляев
Подпись

« _____ » _____ 2014 г.

Руководитель лабораторного практикума
доцент, канд. техн. наук

В.И. Петров

Оценка

Дата

Подпись руководителя

Екатеринбург
2014

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
СОПРОТИВЛЕНИЕ, ИНДУКТИВНОСТЬ И ЕМКОСТЬ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ.....	5
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ RL - И RC -ЦЕПИ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ.....	11
ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ RL - И RC -ЦЕПИ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ.....	17
ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ RL -ЦЕПЕЙ ПЕРВОГО ПОРЯДКА	23
ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ RC -ЦЕПЕЙ ПЕРВОГО ПОРЯДКА	29
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР	35
ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР	41
ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ RL -ЦЕПИ	47
ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ RC -ЦЕПИ.....	58
ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ RLC -ЦЕПИ.....	69
ПАРАМЕТРЫ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКА	81
ЧАСТОТНО-КОМПЕНСИРОВАННЫЙ ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ.....	91
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА.....	98
ПРИЛОЖЕНИЕ. Образец титульного листа отчета по лабораторной работе	111

Учебное издание

Виталий Александрович **Матвиенко**

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Учебное пособие

Подписано в печать 26.11.2014

Формат 60×84 1/16

Бумага писчая

Печать офсетная

Усл. печ. л. 7,13

Тираж 100 экз. Заказ 5108.

ООО «Издательство УМЦ УПИ»

620078, Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2.

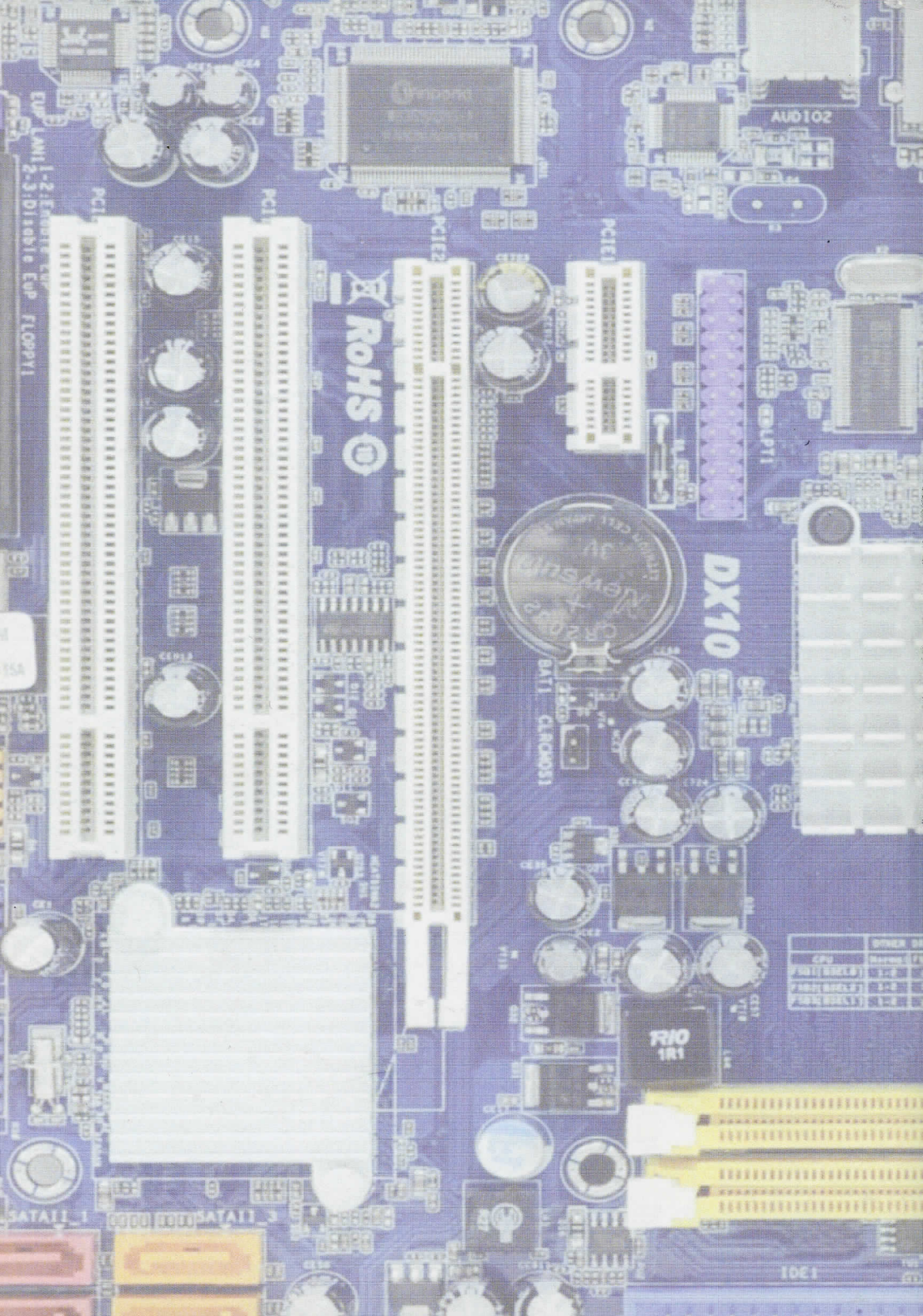
Тел.: (343) 362-91-16; факс: (343) 362-91-17

E-mail: 3629116@mail.ru

Отпечатано в типографии

ООО «Издательство УМЦ УПИ»

620078, Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2.



AU102

RoHS

DX10



BAT1 CIRCROSSI

POWER	
CPU	Power C1
POWERBCL1	1-C
POWERBCL2	2-C
POWERBCL3	3-C

TRIO 1R1

AMI 1-2: Floppy Cup
AMI 2-3: Diskette Cup
FLOPPY1

SATA1 1

SATA1 2

SATA1 3

1201