МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«МЭИ»

С.Н. МИХАЛИН, КОВАЛЕВА Т.Ю., НОВИКОВА Н.Р.,

ФЕДОРОВА Е.М., ЛАГУТИНА С.В., БОРОДКИН Е.А.,

АНИСИМОВ А.С.

Методический комплекс по выполнению лабораторных работ

Методическое пособие
по курсам

«Электротехника», «Теоретические основы электротехники»,
«Основы теории цепей» и «Электрофизика информационных систем»

для студентов, обучающихся по направлениям:
230100 "Информатика и вычислительная техника",
210100 "Электроника и наноэлектроника",
200100 "Приборостроение",
220400 "Управление в технических системах".

Под редакцией Ю.А. Казанцева

Москва Издательский дом МЭИ 2013

УДК 621.3
М 692

Рецензент:
канд. техн. наук, проф. Геворкян В.М.

Михалин С.Н., Ковалева Т.Ю., Новикова Н.Р., Федорова Е.М., Лагутина С.В., Бородкин Е.А., Анисимов А.С.

Методический комплекс по выполнению лабораторных работ. Методическое пособие под ред. Ю.А. Казанцева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 31 с.

Методический комплекс предназначен для студентов, обучающихся по курсам «Электротехника», «Теоретические основы электротехники», «Основы теории цепей» и «Электрофизика информационных систем» по направлениям "Информатика и вычислительная техника", "Электроника и наноэлектроника", "Приборостроение", "Управление в технических системах".

Методическое пособие содержит подробные инструкции по подготовке к лабораторным работам, выполняемым на оборудовании кафедры «Электрофизика информационных систем», а также руководство по применению программного пакета *Design Lab* 8.0 для целей математического моделирования электрических цепей.

1. Порядок подготовки к лабораторным работам

Подготовка к каждой лабораторной работе выполняется заранее и является домашней работой, на которую в учебном плане предусматриваются соответствующие часы «самостоятельной подготовки». Выполнение подготовки к лабораторной работе включает в себя:

– изучение теоретического материала и решение задач по тематике лабораторной работы;
– выполнение пунктов задания раздела «**Подготовка к работе**»;
– подготовка к экспериментальным измерениям – подготовка шаблона отчета к разделу «**Выполнение работы**»[1].

Подготовка отчета к лабораторной работе подразумевает выполнение следующих этапов в соответствии со своим вариантом (вариант определяется номером стенда).

1. Прочитать описание лабораторной работы от начала до конца.

2. Поочередно выполнить пункты раздела «**Подготовка к работе**»:

2.1) нарисовать расчетные схемы в соответствии со своим вариантом, обозначить токи и напряжения, которые необходимы для расчета;
2.2) вывести формулы, выполнить расчеты (при выполнении расчетов обязательно сначала пишется формула, а затем выполняется подстановка чисел и пишется числовой ответ с указанием размерности результата);
2.3) построить графики (если предусмотрено заданием) с указанием осей и масштабов; если на графики предполагается нанесение экспериментальных данных, то необходимо выполнять их построение на отдельном листе формата А4 либо на миллиметровой бумаге.

3. Внимательно прочитать каждый пункт раздела «**Выполнение работы**»:

3.1) нарисовать схемы для каждого эксперимента с указанием узлов подключения измерительных приборов и генератора (источника ЭДС);
3.2) подготовить таблицы для внесения результатов измерений, внести в таблицы результаты теоретического расчета из раздела «**Подготовка к работе**»;
3.3) предусмотреть место для записи промежуточных расчетов, построения графиков, выводов и т.п.

Конечной целью подготовки студента к лабораторной работе является готовность к выполнению работы на занятии и последующей защите работы на текущем плановом занятии или, по решению преподавателя, на следующем занятии.

Без правильно выполненной подготовки студент к выполнению работы не допускается.

---

[1] При выполнении лабораторных работ может потребоваться сохранение результатов в электронном виде на сменный *USB*-накопитель.

2. Оформление результатов выполнения и защита лабораторной работы

Выполнение лабораторных работ происходит в лабораториях кафедры ЭФИС строго в отведенные учебным планом часы. Для студентов не выполнившим график учебного процесса, в конце семестра организуются дополнительные часы, в том числе на платной основе.

Каждая лабораторная работа предполагает индивидуальный отчет студента об ее выполнении, с которым студент допускается к защите лабораторной работы. Оформленный отчет представляет собой выполненную подготовку к работе, в которую внесены результаты экспериментальных измерений, а также выполнены необходимые по заданию расчеты, построены графики, приведены необходимые осциллограммы и сделаны выводы (все рисунки нумеруются и содержат подпись о том, что изображают и к какому пункту задания относятся).

Оформленный отчет для допуска к защите работы должен содержать:

- титульный лист с указанием названия работы, ФИО студента, его группы, номера варианта и даты выполнения работы;
- выполненные пункты раздела «**Подготовка к работе**»;
- выполненные пункты раздела «**Выполнение работы**»;
- подпись преподавателя и дату выполнения работы.

Защита лабораторной работы возможна только после самостоятельного выполнения всех пунктов раздела «**Выполнение работы**» и происходит на текущем занятии или на следующем плановом занятии. Защита работы представляет собой индивидуальный опрос студента по теоретическому материалу подготовки, а также по содержательной части раздела «**Выполнение работы**», представленного к защите протокола работы, в том числе ответы на **контрольные вопросы**, приведенные в конце описания каждой работы.

Защита по решению преподавателя может проводиться в нескольких формах:

- в виде электронного теста;
- индивидуальное задание по тематике работы (решение задач, рассмотрение частного случая теоретического материала и т.п.);
- в виде беседы с преподавателем по тематике работы.

3. Порядок сборки электрической схемы

1. Прочитать пункт задания, определив какие физические величины необходимо измерять.

2. Глядя на нарисованную при подготовке электрическую схему, которую необходимо собрать на стенде, зрительно найти на стенде необходимые элементы цепи.

2.1. Исходя из удобства, сопоставить узлы схемы (не более 4-х) физическим узлам стенда, которые обозначены «1», «2», «3» и точка нулевого потенциала «⊥» (обычно в качестве узлов цепи достаточно выбрать точки соединения выводов элементов).

2.2. Реальный источник постоянного напряжения на стенде обозначен как активный двухполюсник (*A*).

2.3. Генератор переменного напряжения принято обозначать *G* (на стенде он представлен сигнальным проводом зеленого цвета и проводом нулевого потенциала черного цвета).

2.4. Каналы осциллографа обозначены *OSC*1 (1-й канал) и *OSC*2 (2-й канал) и представлены двумя парами проводов: желтый (сигнальный) и черный (канал 1), синий (сигнальный) и черный (канал 2).

3. При сборке схемы измерительные приборы следует включать в последнюю очередь. Сборку схемы удобно начать с источника (генератора *G* или реального источника *A*). Далее, двигаясь по пути воображаемого тока источника, поочередно включают элементы цепи, обходя ее контуры или двигаясь от узла к узлу.

3.1. В точке нулевого потенциала «⊥» должны быть соединены выводы приборов (провода черного цвета).

3.2. Вольтметр и реальный источник *A* допускают произвольное включение в электрическую цепь. Однако их черные провода удобно также включать в точку нулевого потенциала, что необходимо для измерения потенциалов цепи имеющимися приборами.

4. После обхода всех контуров цепи следует убедиться, что все соединения выполнены в соответствии со схемой (удобно последовательно рассмотреть соединения между выбранными в п. 2.1 узлами).

5. Подключить к собранной цепи измерительные приборы и настроить параметры многофункционального прибора *GDM*-8135 (вольтметр, амперметр, омметр), осциллографа *GDS*-2062 (установкой подходящих масштабов) и установить номинальное значение переменного резистора *R* (переменного конденсатора *C*).

6. Включить питание источника (генератора или реального источника).

7. Выполнить необходимые измерения. Сопоставить результат с теоретически полученной величиной и вписать его в отсчет.

4. Измерения с помощью универсального измерителя *GDM*-8135

Рисунок 1 – Изображение универсального измерителя и условно-графическое представление его лицевой панели

1. Включение/выключение прибора осуществляется кнопкой «**PWR**» (крайняя кнопка справа темно-зеленого цвета – рис. 1).
2. Выбор режима работы (измеряемой величины) осуществляется кнопками: «**V**» – напряжение, «**mA**» – ток, «**kΩ**» – сопротивление. При измерении напряжения или сопротивления красный провод подключается к прибору в гнездо «**VΩ**» (верхнее красное гнездо на панели прибора), при измерении тока – к гнезду «**A**» (нижнее левое красное гнездо), черный провод всегда должен быть подключен к гнезду «**COM**».
3. Выбор режима измерений осуществляется кнопкой «**AC/DC**» (самая левая кнопка на панели прибора): постоянное (**DC**) напряжение/ток (кнопка отпущена); переменное (**AC**) напряжения/ток (кнопка утоплена), измеряется действующее значение.

4. Выбор пределов измерения осуществляется: при измерении напряжения (кнопка «**V**» нажата) кнопками желтой группы – устанавливают пределы по напряжению 200 мВ, 2 В, 20 В, 200 В, 1000 В; при измерении тока (кнопка **mA** нажата) кнопками зеленой группы – пределы по току 200 мкА, 2 мА, 20 мА, 200 мА, 2 А, 10 А; при измерении сопротивления (кнопка **kΩ** нажата) кнопками голубой группы – пределы 200 Ом, 2 кОм, 20 кОм, 200 кОм, 20 МОм. При переключении пределов изменяется точность измерений, поэтому на практике для обеспечения точности измерений необходимо стремится включить наименьший подходящий предел измерения (начинают с большого, последовательно уменьшая величину предела). Если измеряемая величина превосходит включенный предел измерения прибор отображает на экране (в левой стороне) символ «1», что означает необходимость перехода на больший предел измерений.

4.1. Измерение действующего значения напряжения

4.1.1. Выбрать вид измеряемой величины: напряжение (нажать кнопку «**V**»). При измерении напряжения красный провод присоединяется к выводу «**VΩ**». Чёрный провод присоединяется к выводу «**COM**».

4.1.2. Выбрать режим измерения: постоянное или переменное напряжение (выбор режима измерения осуществляется кнопкой «**AC/DC**»: для измерения постоянного напряжения кнопка отпущена, для переменного – утоплена).

4.1.3. Выбрать предел измерения напряжения и подключить провода прибора к узлам электрической цепи (разность потенциалов этих узлов будет отображаться на индикаторе прибора, при необходимости изменить предел измерения).

4.2. Измерение действующего значения тока

4.2.1. Выбрать вид измеряемой величины: ток (нажать кнопку «**mA**»). При измерении тока красный провод присоединяется к выводу «**A**». Чёрный провод присоединяется к выводу «**COM**».

4.2.2. Выбрать режим измерения: постоянный или переменный ток (выбор режима измерения осуществляется кнопкой «**AC/DC**»: для измерения постоянного тока кнопка отпущена, для переменного – утоплена).

4.2.3. Выбрать предел измерения тока и включить прибор в разрыв ветви с измеряемым током (при необходимости изменить предел измерения).

4.3. Измерение сопротивления

4.3.1. Выбрать вид измеряемой величины: сопротивление (нажать кнопку «**kΩ**»). При измерении красный провод присоединяется к выводу «**VΩ**». Чёрный провод присоединяется к выводу «**COM**».

4.3.2. Выбрать предел измерения сопротивления и подключить провода прибора к сопротивлению (или участку пассивной цепи) для измерения активного сопротивления (при необходимости изменить пределы измерения).

5. Измерения с помощью осциллографа *GDS*-2062

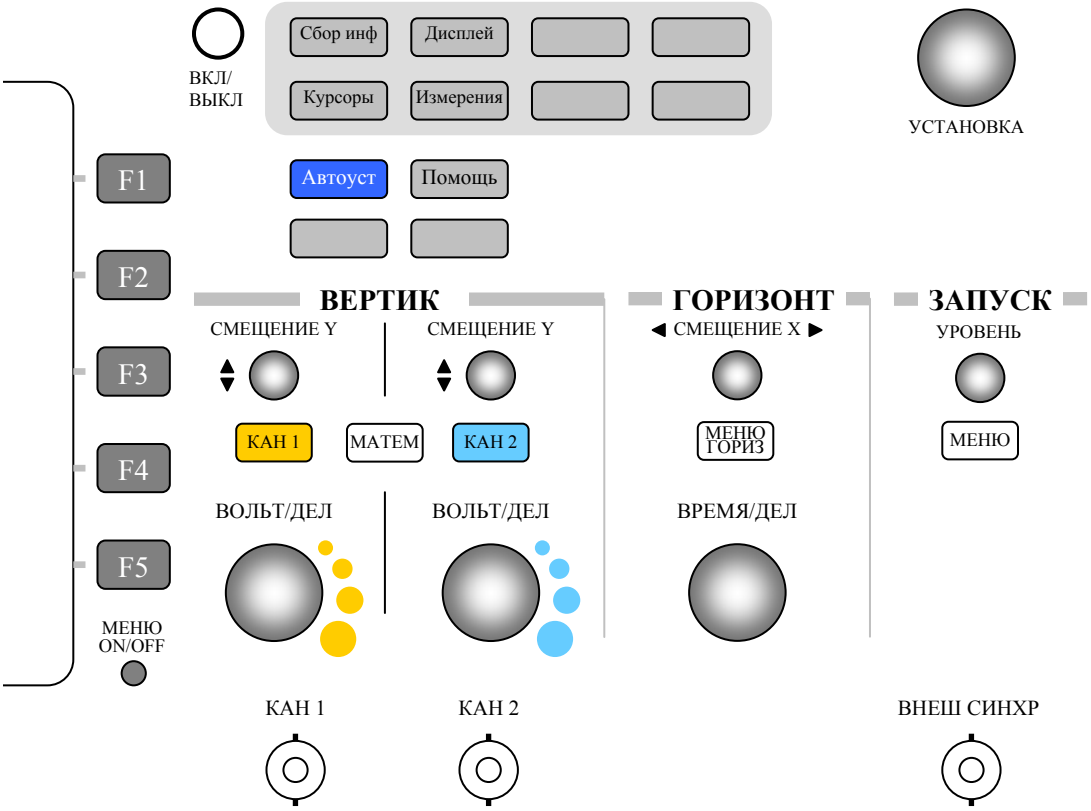


Рисунок 2 – Изображение осциллографа и условно-графическое представление его лицевой панели.

Включение и выключение осциллографа осуществляется кнопкой «**ВКЛ/ВЫКЛ**» – рис. 2. Осциллограф позволяет измерять одновременно две зависимости напряжения от времени – имеет два канала: первый подсвечивается желтым цветом, второй – голубым цветом.

Всю панель управления осциллографа можно разбить на четыре условные части: управление вертикальным и горизонтальным отклонениями, управление схемой запуска и прочие функции.

1. Раздел вертикальное отклонение «**ВЕРТИК**» позволяет независимо для обоих каналов:

- задать масштабы по оси ординат – ручка «**ВОЛЬТ/ДЕЛ**»;
- выставить положение нуля – ручка «**СМЕЩЕНИЕ Y**»;
- установить режим каналов осциллографа кнопками «**КАН1**» (подсвечивается желтым цветом), «**КАН2**» (подсвечивается голубым цветом) и «**МАТЕМ**».

Нажатие кнопок «**КАН1**» и «**КАН2**» позволяет включить или выключить соответствующий канал (если кнопка подсвечивается, то канал включен). При включенном канале активируется меню канала (отображается справа на экране). Меню позволяющего задать:

– тип входа «**Связь Вх**»: открытый, закрытый и земля (изменяется кнопкой «**F1**»), текущее состояние отображается в нижней части экрана в виде значков: ∿ / ⎓ / ⏚ (закрытый вход/ открытый вход/ заземлен);

– включить или выключить инверсию сигнала «**Инверсия**» (кнопка «**F2**»);

– включить или выключить фильтр на входе канала «**Огр П/П**» (ограничить полосу пропускания) с фиксированной частотой среза 20 МГц (кнопка «**F3**»);

– выбор коэффициента деления, применяется только вместе с внешним делителем (кнопка «**F4**»), иначе должен быть равен 1.

Нажатие кнопки «**МАТЕМ**» включает или выключает математическую функцию (выполняется над измеряемыми напряжениями). Если функция включена, то доступно меню:

– выбор типа функции: сложение, вычитание, FFT – быстрое преобразование Фурье (изменяется кнопкой «**F1**»);

– кнопки «**F4**» и «**F5**» управляют положением и масштабным коэффициентом реализуемой функции на экране;

– кнопки «**F2**» и «**F3**» этого меню активны только в режиме FFT – задают источник данных и тип окна анализа.

2. Раздел горизонтальное отклонение «**ГОРИЗОНТ**» позволяет (для обоих каналов одновременно):

- задать масштаб по оси времени ручкой «**ВРЕМЯ/ДЕЛ**»;
- осуществлять сдвиг измеряемых напряжений по временной оси ручкой «**СМЕЩЕНИЕ X**»;
- управлять разверткой с помощью меню, вызываемого кнопкой «**МЕНЮ ГОРИЗ**».

Содержание «**МЕНЮ ГОРИЗ**» обеспечивает следующие функции:

- кнопка «**F1**» включает основную развертку (на экране отображается зависимость напряжения в каналах от времени);
- кнопка «**F2**» включает режим выделения окна, позволяя с помощью ручки «**СМЕЩЕНИЕ X**» установить положение середины окна на временной оси, а ручкой «**ВРЕМЯ/ДЕЛ**» задать его ширину;
- кнопка «**F3**» выполняет растяжку по временной оси участка сигнала, выбранного с помощью окна (заданного с помощью кнопки «F2»);
- кнопка «**F4**» включает режим самописца (не используется);
- кнопка «**F5**» включает режим XY (по оси абсцисс откладывается напряжения канала 1, по оси ординат – напряжение канала 2).

3. Раздел управления запуском «**ЗАПУСК**» позволяет установить уровень напряжения срабатывания триггера синхронизации ручкой «**УРОВЕНЬ**» и с помощью меню задать режимы синхронизации:

- кнопка «**F1**» выбирает один из возможных типов запуска развертки: фронтом сигнала, по синхроимпульсам видеосигнала, по длительности импульса и с задержкой запуска по условиям.
- назначение кнопок «**F2**» – «**F5**» изменяется в зависимости от выбранного типа запуска, например, для режима запуска фронтом назначение этих клавиш следующее:
  - кнопка «**F2**» выбирает источник синхронизации: первый или второй канал, внешняя синхронизация или синхронизация по электросети;
  - кнопка «**F3**» определяет режим синхронизации: автоматический (непрерывный), ждущий или однократный запуск;
  - кнопка «**F4**» – не используется;
  - кнопка «**F5**» активирует подменю управляющее свойствами синхронизации: выбор полярности фронта сигнала (нарастающий или спадающий), выбор связи синхронизации (открытый, закрытый вход), выбор типа фильтра по входу синхронизации (НЧ, ВЧ) и включение/выключение шумового фильтра.

При выполнении лабораторных работ параметры этого меню должны быть следующими: синхронизация по переднему фронту сигнала канала 1, непрерывный запуск, закрытый вход синхронизации.

4. К разделу прочие функции относятся функции настройки осциллографа и упрощения работы с анализируемым сигналом, видом его отображения, например:

– кнопка «**АВТОУСТ**» автоматически подбирает масштабы по осям для отображения сигналов на экране (при этом прочие настройки сбрасываются в значения по умолчанию);
– кнопка «**Пуск/Стоп**» позволяет включить или выключить схему синхронизации (т.е. разрешает или запрещает измерение сигналов);
– кнопка «**Помощь**» активирует меню помощи, которое позволяет получить информацию о назначении каждой клавиши осциллографа (повторное нажатие клавиши позволяет выйти из режима помощи).

Среди остальных кнопок лицевой панели стоит обратить внимание на кнопку «**Курсоры**» и кнопку «**Измерения**», которые облегчают измерение параметров исследуемых сигналов.

5.1 Подготовка осциллографа к измерениям

1. Включить осциллограф. При включении осциллографа на его экране появятся:
   – Изображения сигналов, подаваемых по первому каналу «**CH1**» (подсветка жёлтым цветом) и по второму каналу «**CH2**» (подсветка голубым цветом);
   – Информация о видах входной связи каналов «**CH1**» и «**CH2**»;
   – Масштабы по вертикальной и горизонтальной осям. Масштаб по вертикальной оси устанавливается (с помощью ручки «**ВОЛЬТ/ДЕЛ**») в вольтах – **V** или милливольтах – **mV**, соответствующих одному делению. Вращая ручку масштаба, следует установить оптимальные (как можно лучше использующие поле экрана, но не выходящие за его пределы) размеры изображения сигналов по вертикали независимо в первом и втором каналах. Масштаб по горизонтальной оси устанавливается в миллисекундах **ms** или микросекундах **us**, или наносекундах **ns**. Изменение масштаба по горизонтальной оси выполняется с помощью вращения ручки «**ВРЕМЯ/ДЕЛ**»;
   – Функциональное меню, расположенное справа от масштабной сетки (пять экранных подписей к соответствующим кнопкам «**F1÷F5**»). Функциональное меню служит для задания режимов работы осциллографа и управления его функциями.

2. Ручками «**СМЕЩЕНИЕ Y**» установить положение нулевого уровня в обоих каналах.
3. Ручкой «**СМЕЩЕНИЕ X**» установить оптимальное положение изображения сигнала по горизонтальной оси.
4. Для улучшения качества измерений выполнить усреднение измеряемых сигналов:
   – нажать кнопку «**СБОР ИНФ**», появится меню;
   – нажатием кнопки «**F3**» выбрать коэффициент усреднения: 4 или 8.

5.2 Измерение амплитуды с помощью осциллографа

1. Установить осциллограф в режим измерения нажатием кнопки «**ИЗМЕРЕНИЯ**» (вторая слева во втором ряду сверху). При этом на экране появится меню «**ИЗМЕРЕН**».
2. Нажатием одной из кнопок «**F1÷F5**» выбрать окно (область), в котором будут представлены результаты измерения (одновременно можно отобразить не более 5 результатов измерений).
3. С помощью кнопок «**F1**» и «**F2**» установить следующие сочетания источников и каналов: «Источник 1 – Канал 1», «Источник 2 – Канал 2».
4. С помощью кнопки «**F3**» из представленного меню видов измерений: «**АМПЛИТУДЫ**», «**ВРЕМЕНА**», «**ЗАДЕРЖКИ**» выбрать вид измерения – «**АМПЛИТУДЫ**».
5. С помощью кнопки «**F4**» из представленного меню выбираем из списка: «**Vp-p**», «**Vmax**», «**Vmin**», «**Vamp**» и другие вариант «**Vp-p**» (*Voltage peak to peak*) – для синусоидального напряжения равно двойной амплитуде.
6. Нажать кнопку «**ИЗМЕРЕНИЯ**». При этом в выбранном окне (области) в п. 5.2.2 появятся результаты измерения удвоенной амплитуды по обоим каналам.

5.3 Измерение периода с помощью осциллографа

1. С помощью кнопок «**F1÷F5**» выбрать окно (область), в котором будут представлены результаты измерения.
2. С помощью кнопки «**F3**» из представленного меню: «**АМПЛИТУДЫ**», «**ВРЕМЕНА**», «**ЗАДЕРЖКИ**», выбрать вид измерения – «**ВРЕМЕНА**».
3. С помощью кнопки «**F4**» из представленного списка: «**ЧАСТОТА**», «**ПЕРИОД**», «**ВР НАРАСТ**», «**ВР СПАДА**» и т.п. выбрать «**ПЕРИОД**».
4. Нажать кнопку «**ИЗМЕРЕНИЯ**». При этом в выбранном окне появятся результаты измерения.

5.4 Измерение фазы с помощью осциллографа

1. Установить осциллограф в режим курсорных измерений – нажать кнопку «**КУРСОРЫ**» (первая кнопка во втором ряду сверху). При этом на экране появляется меню «**КУРСОРЫ**»: «**ГОРИЗОНТ**», «**ВЕРТИК**»
2. Для измерения фазы (измерения «вдоль» оси абсцисс) кнопкой «**F2**» выбираются горизонтальные курсоры. Повторным нажатием кнопки «**F2**» курсорам задаётся активное или пассивное состояние. При активном состоянии курсор может перемещаться по горизонтали (по оси абсцисс) с помощью ручки «**УСТАНОВКА**» (первая справа в верхнем ряду). При пассивном состоянии курсор зафиксирован.
3. Для измерения фазы между двумя напряжениями синусоидальной формы необходимо измерить расстояние между двумя одинаково колеблющимися точками. Для этого необходимо установить один из двух курсоров, находящийся в активном состоянии в нулевом или максимальном положении (точке) сигнала, подаваемого по первому каналу. Повторным нажатием кнопки «**F2**» поменять состояние курсоров. Далее второй курсор, находящийся в активном состоянии, установить в нулевом или максимальном положении (точке) сигнала, подаваемого по второму каналу. Результаты измерения: $T1$, $T2$, $\Delta T = |T1 - T2|$**,** представляются в нижней трети окна «**КУРСОРЫ**». Затем величину ΔT необходимо пересчитать в градусы – сдвиг фаз между напряжениями:

   $\Delta\varphi = 360^\circ \times \dfrac{\Delta T}{T}$, где T – период сигналов;

   $\Delta\varphi = 360^\circ \times \Delta T \times f$, где $f = T^{-1}$ – частота сигналов.

5.5. Вывод осциллограммы на экран дисплея и сохранение её в виде графического файла

Перед сохранением осциллограмм впервые необходимо создать свою папку в рабочем каталоге: *D*:*Student*\ (например: название папки – фамилия студента). Эту папку следует использовать в течение всего срока работы в лаборатории. Запрещается создавать папки на Рабочем столе.

Для вывода экрана осциллографа на экран рабочего стола компьютера необходимо:

- Запустить с рабочего стола компьютера программу *FreeWare*.
- В появившейся на экране форме программы нажать значок с изображением осциллографа. При этом на экране дисплея появится неактивное окно, под которым располагается группа кнопок управления аналогичных обычному плееру («*play*» ▷, «*stop/pause*» □, «*rec*» ⊙, «*save*»).

- После нажатия на пиктограмму кнопки «*play*» на месте неактивного окна появится копия экрана осциллографа.

Для сохранения осциллограммы в виде графического файла необходимо нажать пиктограмму кнопки «*save*» (в виде дискетки), вызвав стандартный файловый диалог:

– открыть на диске *D*: свою папку;
– в окне «Имя файла» набрать наименование файла (не должно быть русских букв и пробелов, первый символ – латинская буква);
– нажать «Сохранить» файл.

При сохранении осциллограмм в графическом файле рекомендуется выполнять инверсию цветов: включить поле «*ink saver*» на форме программы.

6. Генератор напряжения *GFG*-3015

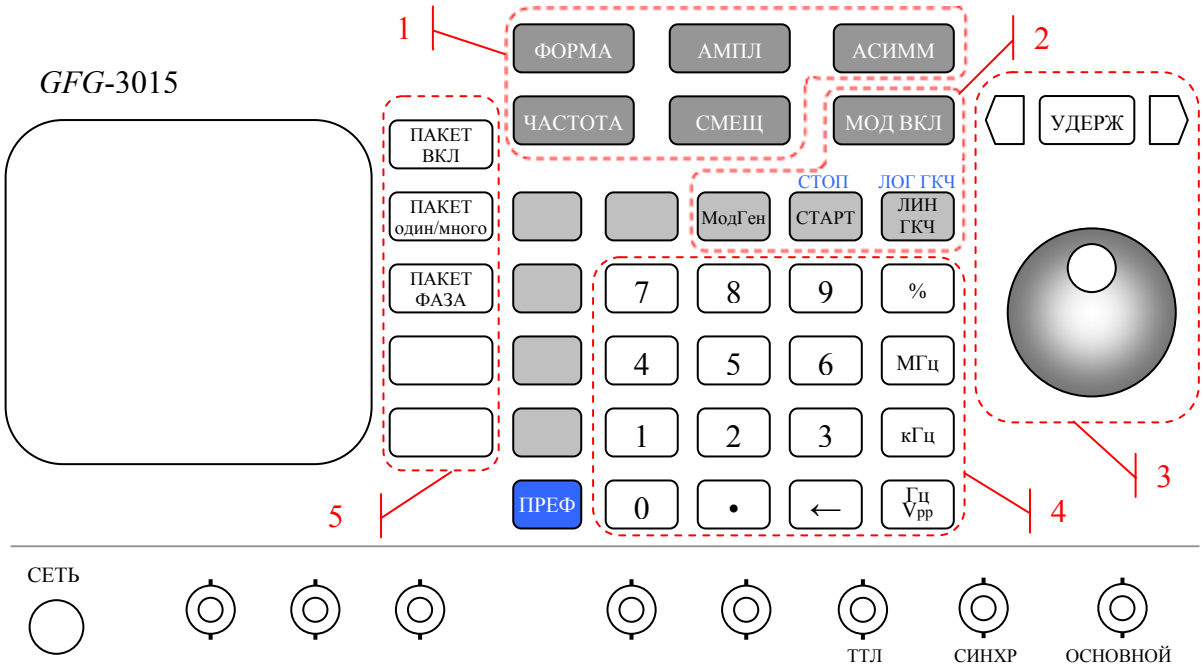


Рисунок 3 – Изображение генератора и условно-графическое представление его лицевой панели.

Включение и выключение генератора осуществляется кнопкой «**СЕТЬ**» – рис. 3.

Для выбора формы сигнала необходимо нажимать кнопку «**ФОРМА**» – поз.1, повторное нажатие на которую циклически переключает форму выходного сигнала: синусоидальная, треугольная или

прямоугольная. Текущая форма выходного сигнала отображается в верхней левой части экрана (соответствующим значком – фрагментом синусоидального, треугольного или прямоугольного сигналов: ∿ ∿ ⊓).

Для изменения параметров сигнала выбранной формы, т.е. амплитуды, частоты и смещения нуля (постоянной составляющей), необходимо сначала нажать на одну из соответствующих кнопок «**АМПЛ**», «**ЧАСТОТА**» или «**СМЕЩ**» – поз.1, а затем установить значение выбранного параметра.

В генераторе реализован интерфейс, позволяющий задавать значение любого параметра одним из двух способов:

– с помощью встроенной клавиатуры – поз.4 (десятичные числа от 0 до 9, десятичная точка, кнопка удаления, а также кнопки управления размерностью вводимой величины, которая выполняет функцию ввода);
– относительное изменение величины посредством колеса прокрутки и кнопок выбора изменяемой десятичной цифры значения (кнопки расположены слева и справа от кнопки запрета/разрешения изменения величины «**УДЕРЖ**») – поз.3.

Также генератор позволяет задавать коэффициент асимметрии сигнала кнопкой «**АСИММ**» (поз.1) в пределах 20-80% (в частности для сигнала прямоугольной формы этот параметр управляет коэффициентом заполнения импульса, т.е. скважностью).

Выходной сигнал с заданными формой и параметрами поступает на выход «ОСНОВНОЙ» (выходное сопротивление 50 Ом), цифровой сигнал уровня TTL с заданной частотой и скважностью поступает на выход «ТТЛ», сигнал синхронизации выдается генератором на выходе «СИНХР».

Устройство может работать в режиме генератора качающейся частоты (ГКЧ), параметры режима задаются с помощью кнопок поз.2:

– «**СТАРТ**» задает начальную частоту;
– «**СТОП**» задает конечную частоту (предварительно необходимо нажать кнопку «**ПРЕФ**», имеющую синий цвет);
– «**МодГен**» задает скорость качения частоты (изменения от начального до конечного значений);
– «**ЛИН ГКЧ**» задает способ изменения частоты – линейный или логарифмический;

«**МОД ВКЛ**» позволяет включить или выключить режим ГКЧ.

Генератор позволяет формировать пачки импульсов с помощью группы клавиш «**пакет**» – поз. 5 и клавиши «**МодГен**», которая по сути задает период повторения пачки:

– «**Пакет ВКЛ**» включает или выключает режим;

– «**Пакет Один/Много**» управляет режимом формирования одного пакета с периодом заданным клавишей «**МодГен**» или многих пакетов, идущих друг за другом;

– «**Пакет Фаза**» определяет начальную фазу (временной сдвиг) сигнала в пакете.

Слева от кнопок управления расположен экран, на котором всегда отображаются: частота сигнала; форма сигнала; текущее изменяемое значение (амплитуда, смещение нуля, коэффициент асимметрии и т.п.); информация о текущем режиме генератора.

6.1 Порядок работы с генератором *GFG*-3015

1. Включить генератор. Включение осуществляется кнопкой «**СЕТЬ**» (первая кнопка слева в нижнем ряду).
2. Выбрать форму выходного сигнала генератора с помощью кнопки «**ФОРМА**».
3. Установить амплитуду выходного сигнала:
   – Нажать кнопку «**АМПЛ**» (вторая кнопка в верхнем ряду), при этом слово «**Ампл**» на экране генератора начнет мигать;
   – Набрать требуемое значение амплитуды сигнала;
   – Нажать кнопку «**Vpp**» (нижняя кнопка в столбце справа от цифровых кнопок).

   При этом на экране генератора будет показано заданное значение амплитуды в вольтах (вторая строка).
4. Установить частоту выходного сигнала:
   – Нажать кнопку «**ЧАСТОТА**» (первая кнопка во втором ряду справа от экрана), при этом слово «**Част**» на экране генератора начнет мигать;
   – Набрать требуемое цифровое значение частоты;
   – Нажать кнопку, соответствующую размерности: **Гц**, **кГц**, **МГц** (кнопки расположены в столбце справа от цифровых кнопок).

   При этом на экране генератора будет показано заданное значение частоты (первая строка).
5. При необходимости, действуя по аналогии, установить прочие параметры сигнала в зависимости от режима генератора, формы сигнала и т.п.

7. Применение программы *Design Lab* 8.0 для моделирования электрических цепей

Прикладной программный пакет *Design Lab* 8.0 (*ORCAD*) предназначен для математического моделирования электрических цепей с целью исследования их характеристик и параметров.

Для выполнения расчета необходимо ввести в программу модель – нарисовать виртуальную схему (соответствующую реальной). Для этих целей программа содержит наборы элементов электрических цепей, объединенных в библиотеки (содержат свойства и списки параметров элементов). Программа имеет простой интерфейс в виде типовой строки меню и пиктограмм для ускорения действий (которые можно выполнить и через меню или посредством нажатия «горячих клавиш»), а большую часть окна программы занимает рабочее поле, на котором собирается виртуальная схема. Для расчета электрической цепи необходимо выполнить этапы:

1) ввод схемы (размещение элементов, их соединение, задание номинальных значений элементов);
2) задание режима расчета (в частотной или временной областях и др.);
3) выполнение расчета и получение результатов.

Запуск программы осуществляется с рабочего стола компьютера – ярлык «*Schematics*» или через меню «Пуск» системы *Windows*.

7.1 Создание виртуальной схемы

Сборка любой виртуальной схемы начинается с размещения элементов цепи на рабочем поле. Для этого необходимо выбрать их из соответствующей библиотеки элементов. Для открытия библиотеки элементов нажимаем сочетание клавиш «Ctrl+G» (или в меню **Draw** выбираем строку **Get New Part** или нажимаем ЛКМ[2] на пиктограмме). В появившемся окне – рис. 4 нажимаем на кнопку **Libraries**, где в списке библиотек выбираем нужную **Analog.slb**. После выбора возвращаемся в предыдущее меню – рис. 4, где в левой части расположен алфавитный список компонентов, выбор осуществляется ЛКМ, графическое изображение элемента представляется по центру окна.

Для размещения выбранного элемента на рабочем поле необходимо нажать на кнопку **Place** (если в выборе элементов более нет необходимости, то можно нажать кнопку **Place&Close** или просто **Close** для закрытия этого окна). Далее, перемещая мышь по рабочему полю и нажимая ЛКМ, необходимо поставить нужное количество элементов каждого типа. Нажатие ПКМ выключает режим ввода элемента. Над размещенными элементами на рабочем поле возможны операции (элемент необходимо выделить – подвести курсор на его изображение и нажать ЛКМ – изображение элемента выделится красным цветом):

- перетаскивание – нажимая и удерживая ЛКМ, перемещаем мышь;

---

[2] ЛКМ – левая кнопка мыши (ПКМ – правая кнопка мыши)

- поворот элемента – нажимаем сочетание клавиш «Ctrl-R»;
- удаление – нажимаем клавишу «*Delete*»;
- копирование/вставка – нажимаем сочетания клавиш «*Ctrl-C*»/«*Ctrl-V*» («*Ctrl-X*» – вырезать) либо используем для этих операции соответствующие пиктограммы меню.

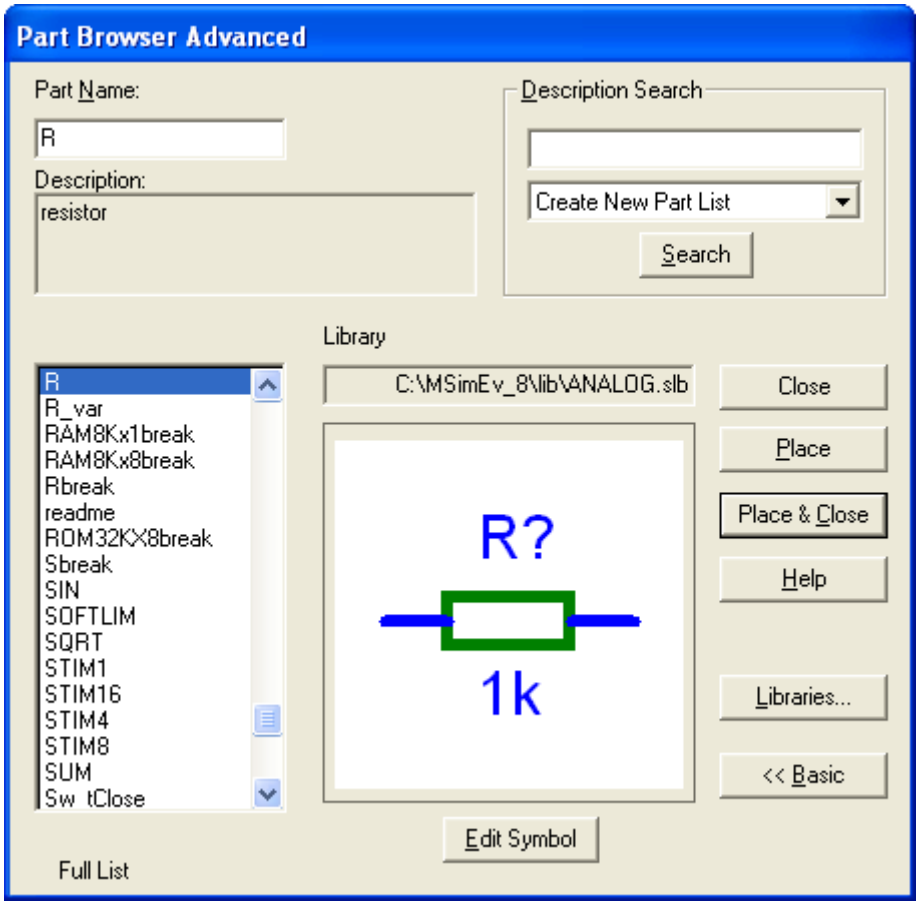


Рисунок 4 – Выбор элемента из библиотек

Последовательно реализуя операции над элементами, выстраивают «скелет» виртуальной схемы в соответствии с расположением элементов в схеме подлежащей расчету. После размещения элементов выполняют соединение их выводов, т.е. формирование узлов. Эта операция выполняется идеальными проводами по нажатию сочетания «*Ctrl+W*» или в меню **Draw** пункт **Wire**, или нажатием на пиктограмму (при этом курсор приобретает вид карандаша). Соединяем выводы элементов: подводим «карандаш» к выводу одного элемента и щёлкаем ЛКМ, передвигаем мышь – рисуем провод до вывода другого элемента в соответствии со схемой и опять щёлкаем ЛКМ – рис. 5. Прекращаем рисование нажатием ПКМ. Двойной щелчок ПКМ – восстанавливает режим рисования.

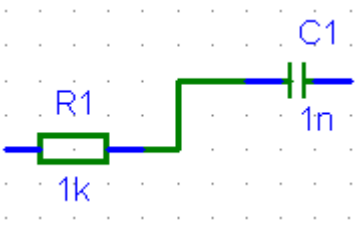


Рисунок 5

После выполнения необходимых соединений всех элементов задают их номинальные значения. Для задания или изменения номинала элемента необходимо подвести курсор к параметру элемента и дважды нажать ЛКМ

(или в меню **Edit** пункт **Attributes**). В возникшем окне вводят значение (**Value**) номинала элемента, подтверждая кнопкой **OK**. Если необходимо изменить позиционный номер элемента, то аналогично изменению номинала – подводим курсор к номеру элемента, двойное нажатие ЛКМ, изменение параметра, подтверждение кнопкой **OK**.

7.2 Задание режима расчета

По умолчанию программа выполняет расчет по постоянному току. Для изменения режима расчета необходимо войти в меню **Analysis** пункт **Setup** (или нажать на пиктограмму) – рис. 6.

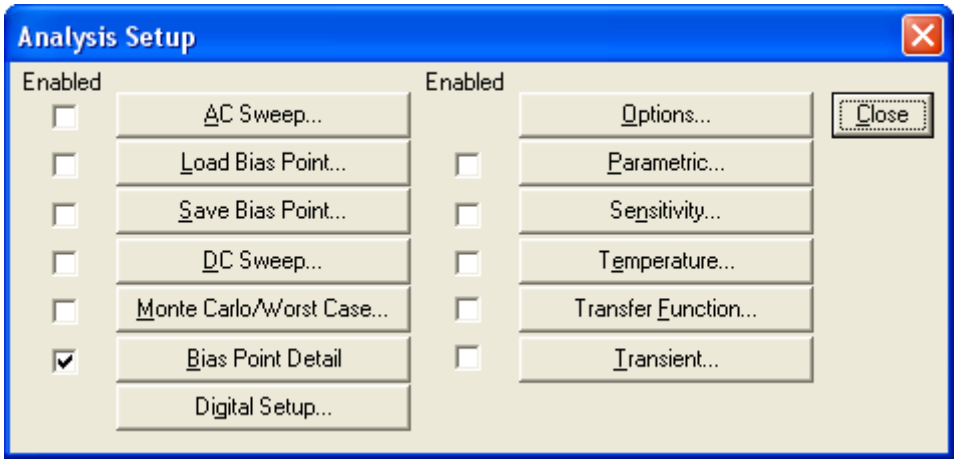
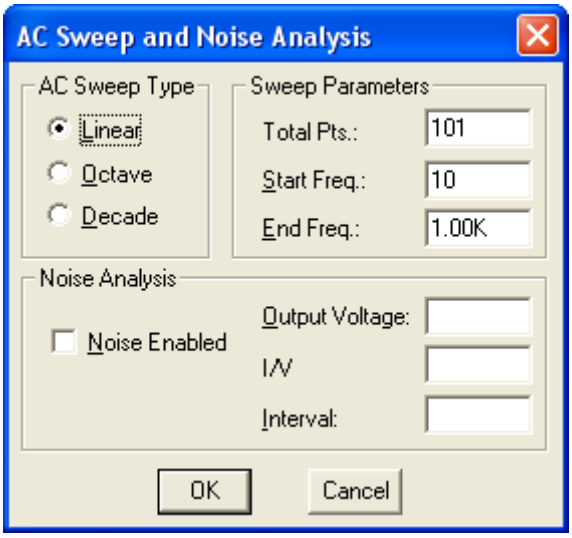


Рисунок 6 – Меню **Analysis** пункт **Setup** – выбор режима моделирования

Кнопка «**AC Sweep**» (рис. 6) предназначена для активации (**Enabled**) и настройки режима расчета в частотной области, в том числе расчет комплексных значений напряжений и токов – рис. 7, где в форме задается набор частот, на которых производится расчет.



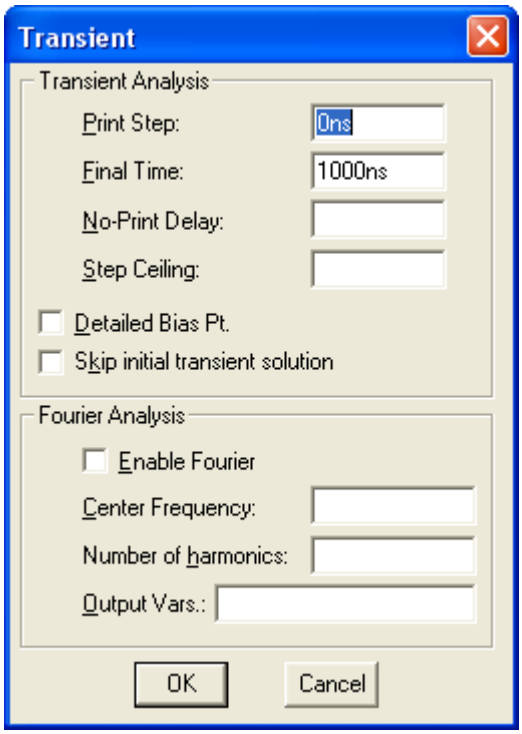
- число точек расчета (N)
- начальная частота (F_1)
- конечная частота (F_2)

(*) Расчет производится в заданном диапазоне частот с шагом: $(F_2\text{-}F_1)/(N\text{-}1)$

Рисунок 7 – Меню кнопки «**AC Sweep**»

Кнопка «**Transient**» (рис. 6) предназначена для активации (**Enabled**) и настройки режима расчета во временной области, в том числе расчет токов и

напряжений как функций времени – рис. 8, где в форме задаются длительность расчета и его точность.

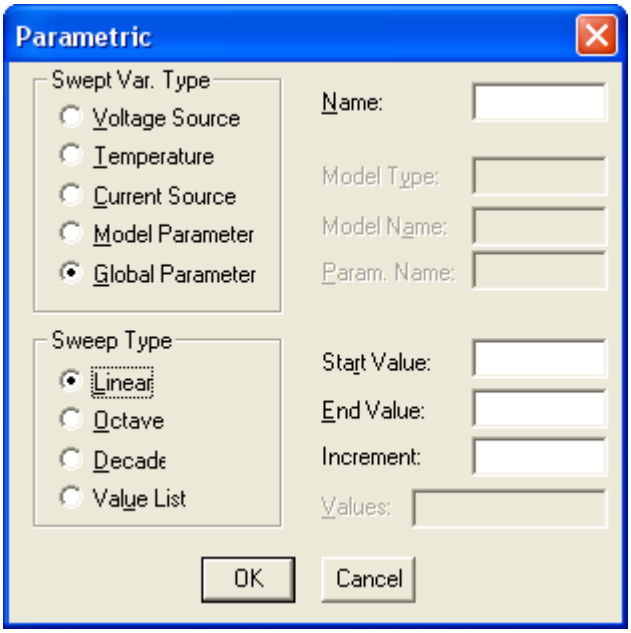


– длительность расчета (должна охватывать длительность требуемого процесса)

– точность расчета (должна быть много меньше самого короткого или быстрого процесса)

Рисунок 8 – Меню кнопки «**Transient**»

Кнопка «**Parametric**» (рис. 6) предназначена для активации (**Enabled**) и настройки режима изменения переменной – рис. 9, где задаются пределы и способ изменения параметра модели или собственной переменной (как цикл: линейный, октавный или декадный или же как список величин – «**Value List**»).



- имя глобальной переменной

- начальное значение переменной

- конечное значение переменной

- шаг изменения переменной

Рисунок 9 – Меню кнопки «**Parametric**»

7.3 Выполнение расчета и получение результата

После создания модели электрической цепи и записи проекта на диск в рабочий каталог (меню **File** пункт **Save As**) можно приступать к расчету цепи. Запуск расчета осуществляется нажатием клавиши **F11** (или нажатием ЛКМ на пиктограмме или через меню **Analysis** пункт **Simulate**). По умолчанию расчет производится по постоянному току, результат можно отобразить прямо на схеме – рис. 10 (для включения/выключения отображения напряжений и токов служат пиктограммы с изображением букв **V** и **I** соответственно).

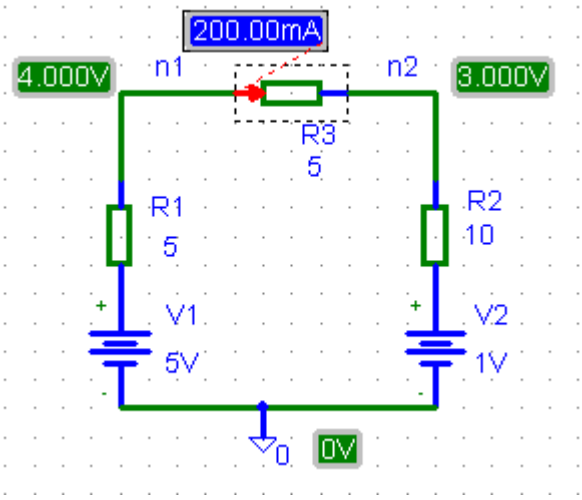


Рисунок 10 – Пример схемы с результатом расчета по постоянному току

Кроме того, независимо от режима расчета программа формирует текстовый файл, в котором представлены исходные данные (схема, параметры, режимы и т.п.) и результаты расчета (в конце файла). Получить доступ к файлу можно через меню **Analysis** пункт **Examine Output**.

Для получения зависимостей (построения графика) напряжения или тока как функций частоты (частотный анализ) или как функции времени (временной анализ) служат маркеры – меню **Markers**.

7.4 Пример расчета в частотной области

Рассчитаем потенциалы узлов цепи – последовательного *RLC* контура – рис. 11. Для создания виртуальной схемы из библиотеки «**Analog.slb**» (меню **Draw** пункт **Get New Part**) выбираем и размещаем на рабочем поле элементы: индуктивность (*L*), конденсатор (*C*), резистор (*R*), источник переменного напряжения (*VAC*) и точку нулевого потенциала (*AGND*). Разместив элементы по контуру, выполняем соединение их выводов (меню **Draw** пункт **Wire**). Далее устанавливаем нужные номинальные значения элементов (двойным нажатием ЛКМ на их номиналах). Часто удобно дать название узлам – двойное нажатие на любом проводе (подключенном к рассматриваемому узлу) позволяет дать ему имя (**Label**).

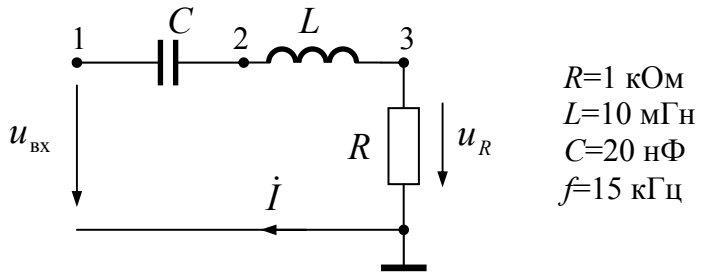
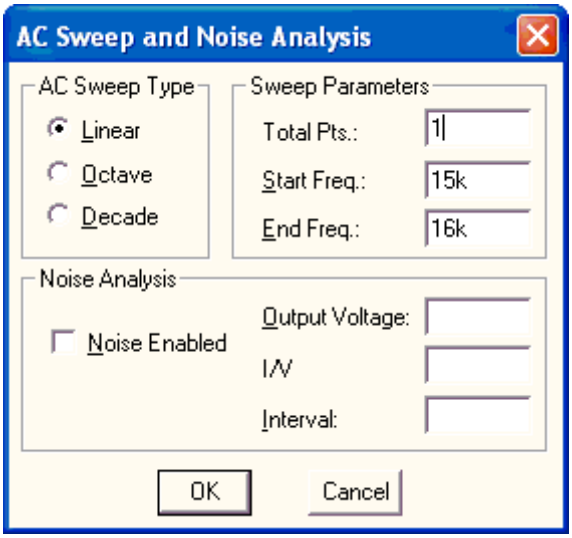


Рисунок 11 – Последовательная *RLC* цепь.

Далее задаем режим расчета (меню **Analysis** пункт **Setup**) – нажимаем на кнопку **AC Sweep**: указываем частоты, на которых будет выполнен расчет по переменному току – рис. 12.



Частота по заданию 15 кГц, поэтому:

- расчет одной точки
- частота 15 кГц
- не важно какое значение (должно быть больше 15 кГц)

Рисунок 12 – Меню кнопки **AC Sweep** (настройка анализа в частотной области)

После ввода частот и закрытия меню (кнопка **Close**) необходимо указать какие потенциалы или токи подлежат расчету:

– если необходима частотная зависимость, то применяют маркеры (меню **Markers**);
– если необходимы комплексные значения, то применяют элементы (блоки) **VPRINT1** для напряжений и **IPRINT** для токов (блоки осуществляют

печать в выходной файл, доступный через меню **Analysis** пункт **Examine Output**).

Настройка блоков **PRINT** однотипна – имеется список параметров, выбор которых указывает рассчитываемые величины – рис. 13 (включен расчет модуля и фазы комплексного напряжения узла):

- AC – включает расчет по переменному току;
- MAG – рассчитать модуль комплексного значения напряжения (тока);
- PHASE – рассчитать фазу комплексного значения напряжения (тока);
- REAL – рассчитать действительную часть комплекса напряжения (тока);
- IMAG – рассчитать мнимую часть комплекса напряжения (тока).

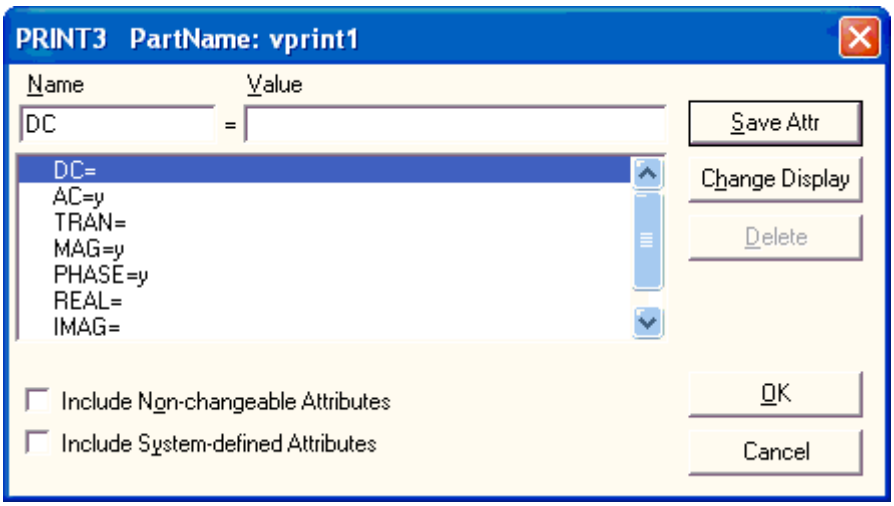


Рисунок 13 – Параметры блока VPRINT1

Таким образом, виртуальная схема собрана и настроена – рис. 14, можно выполнять расчет цепи – нажав клавишу **F11**.

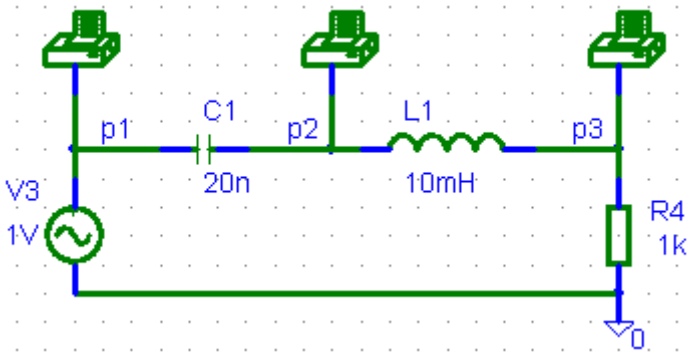


Рисунок 14 – Виртуальная схема *RLC* контура

На рис. 15 представлен фрагмент выходного файла моделирования, содержащий результаты расчета (доступен через меню **Analysis** пункт **Examine Output**), в конце файла для каждого потенциала (с включенным блоком **VPRINT1**) формируется результат расчета в формате таблицы с заголовком: частота (FREQ), модуль (VM) и фаза (VP).

FREQ	VM(p3)	VP(p3)	- комплексное значение потенциала p3
1.500E+04	9.246E-01	-2.239E+01	$0.9246\angle -22.39°$ В
FREQ	VM(p2)	VP(p2)	- комплексное значение потенциала p2
1.500E+04	1.271E+00	2.091E+01	$1.271\angle 20.91°$ В
FREQ	VM(p1)	VP(p1)	- комплексное значение потенциала p1
1.500E+04	1.000E+00	0.000E+00	$1.0\angle 0°$ В

Рисунок 15 – Результаты моделирования (фрагмент выходного файла)

Для построения частотной зависимости, например, напряжения на резисторе необходимо в виртуальную схему добавить маркер напряжения – рис. 16 и настроить меню кнопки **AC Sweep** – рис. 17, например: выполнить расчет в частотном диапазоне от 100 Гц до 200 кГц (для получения гладкой характеристики вычислим значения напряжения в 1000 частотных точек).

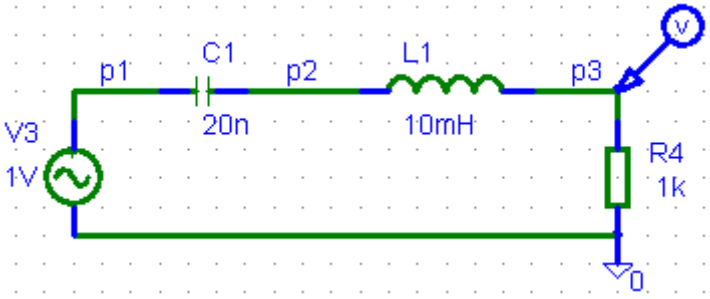


Рисунок 16 – Виртуальная схема для расчета АЧХ

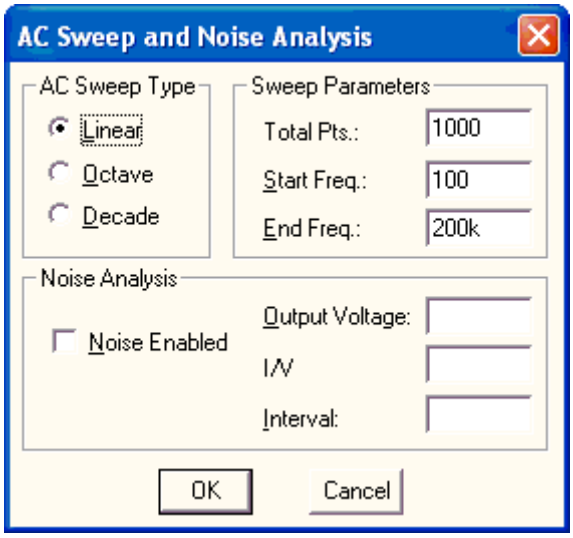


Рисунок 17 – Настройка частотного диапазона

По завершению расчета (после нажатия клавиши **F11**) будет вызвана программа отображения графической информации – рис. 18 (представлена амплитудно-частотная характеристика *RLC* цепи).

Меню программы представлено на рис. 19, возможности программы позволяют:

– изменять масштабы по осям;

– использовать курсоры для получения численных значений отображенных функций;
– совмещать несколько зависимостей на один график;
– осуществлять математические операции над данными.

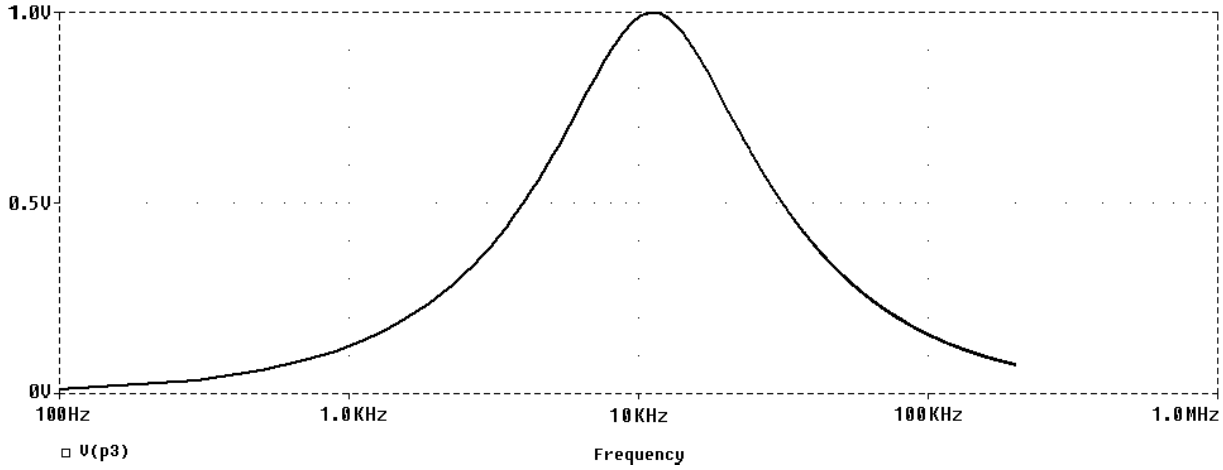
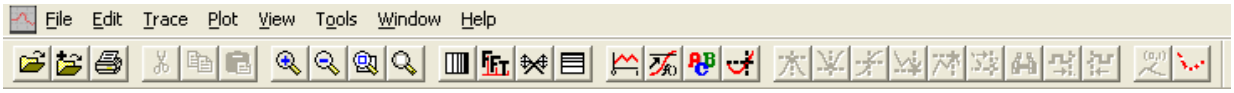


Рисунок 18 – Результат расчета АЧХ



Функции масштабов отображения графиков

Функции курсорных измерений (по порядку):
- включить/выключить курсоры;
- найти максимум;
- найти минимум;
- найти точку перегиба;
и т.п.

Рисунок 19 – Меню программы отображения результатов расчета

Меню «**Trace**» и «**Plot**» позволяют управлять масштабами и подписями по осям, создать собственные трассы (графики) и выполнять математические операции над токами и напряжениями цепи.

К примеру, для построения ФЧХ необходимо в меню **Plot** выбрать строку **Add Y Axis**, щелкнув по ней ЛКМ. После чего на экране появляется вторая вертикальная ось (ордината). Далее в меню **Trace** выбираем пункт **Add** (добавить). В результате, на экран выводится панель с двумя окнами – рис. 20. Из правой части **Functions or Macros** щелчком ЛКМ выбирается функция расчета фазы: **P( )**. Название этой функции дублируется в нижней части панели – в строке **Trace Expression**. Эта строка предназначена для ввода математического выражения, которое затем будет рассчитано, а результат представлен в виде графика. Для указания того, фаза какого напряжения должна быть выведена, щелкаем ЛКМ по строке **V(p3)** в левом окне **Simulation Output Variables**. В результате в строке **Trace Expression** оказывается сформированной функция **P(V(p3))**, допускается набрать команду с клавиатуры. Это соответствует выводу в виде графика фазы напряжения (потенциала p3) **V(p3)**. Завершаем ввод функции нажатием на

кнопку **ОК**. После чего на экране появляется график **ФЧХ**. Он совмещается с графиком **АЧХ** и представлен на рис. 21.

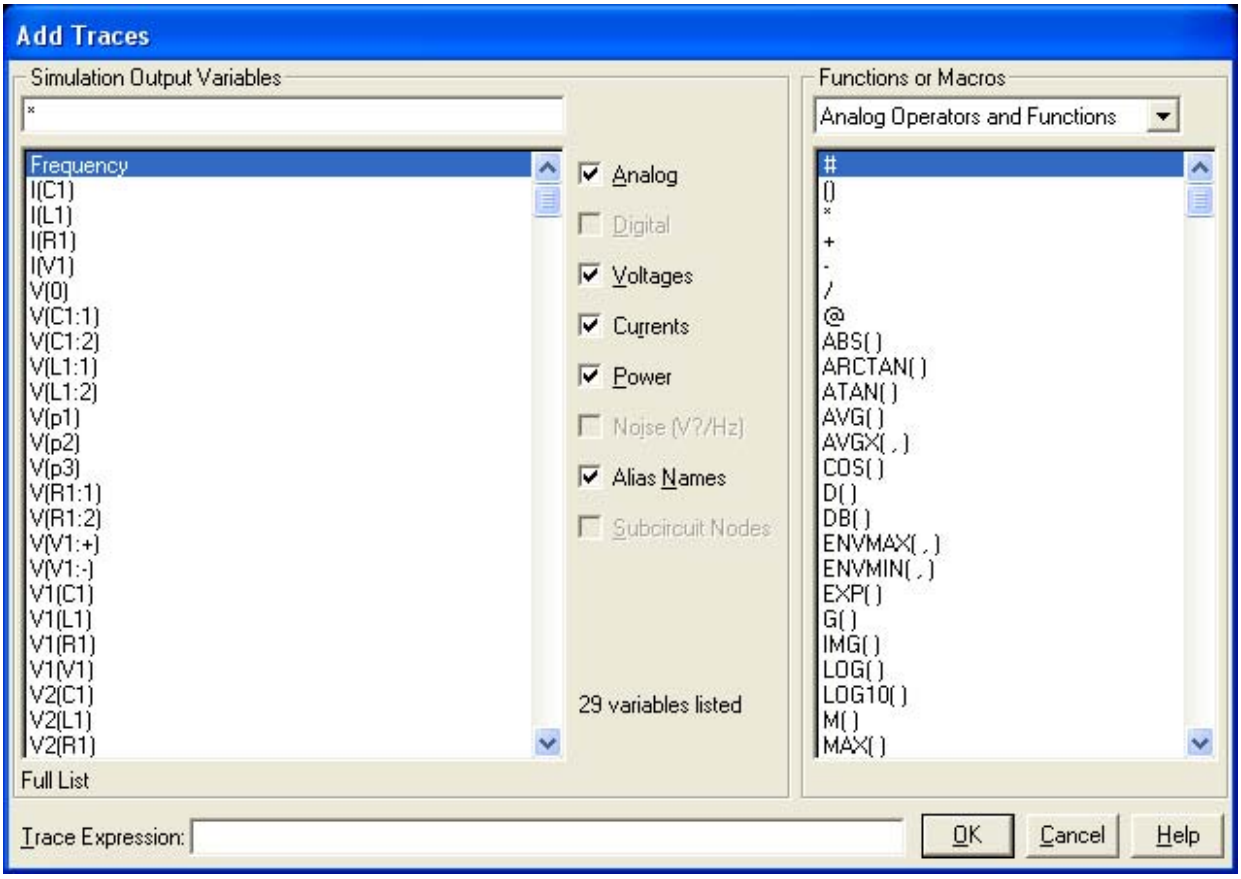


Рисунок 20 – Панель **Add Trace** меню **Trace**

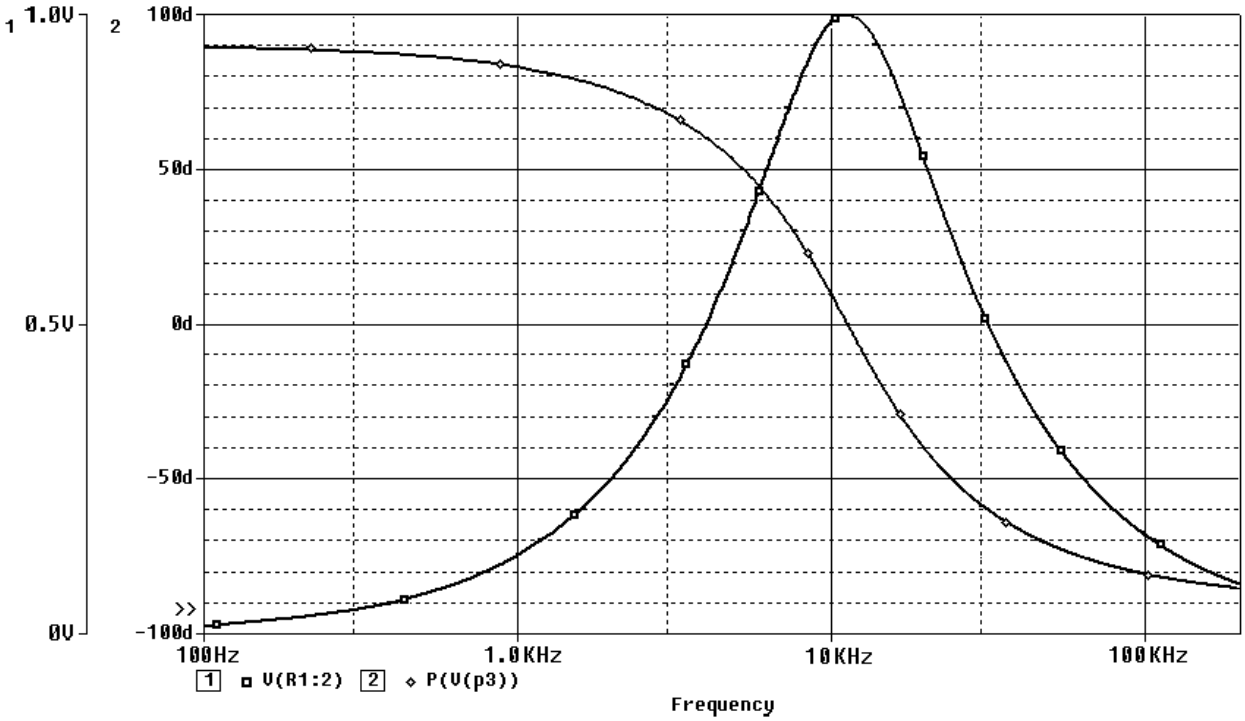


Рисунок 21 – АЧХ (трасса 1 – помечена квадратиками) и ФЧХ (трасса 2 – помечена ромбиками)

По полученным графикам с помощью курсоров можно определить резонансную и граничные частоты. Для определения граничных частот f_1 и f_2 щелчком ЛКМ по пиктограмме включаем электронный курсор, щелкаем ЛКМ по красному прямоугольнику с надписью **P(V(p3))**. Это связывает электронный курсор с графиком ФЧХ. Затем устанавливаем курсор мыши на график ФЧХ, нажимаем ЛКМ и, не отпуская её, передвигаем курсор мыши вдоль графика до тех пор, пока значение фазы не станет близким к ±45° (значения частоты и фазы отображается в специальном окошке «**Probe cursor**»). Отпустив ЛКМ и оперируя курсорными клавишами клавиатуры, добиваемся установки электронного курсора на наиболее близкое к ±45° значение фазы. Точно также находим резонансную частоту f_0 по значению фазы, близкому к 0° – рис. 22.

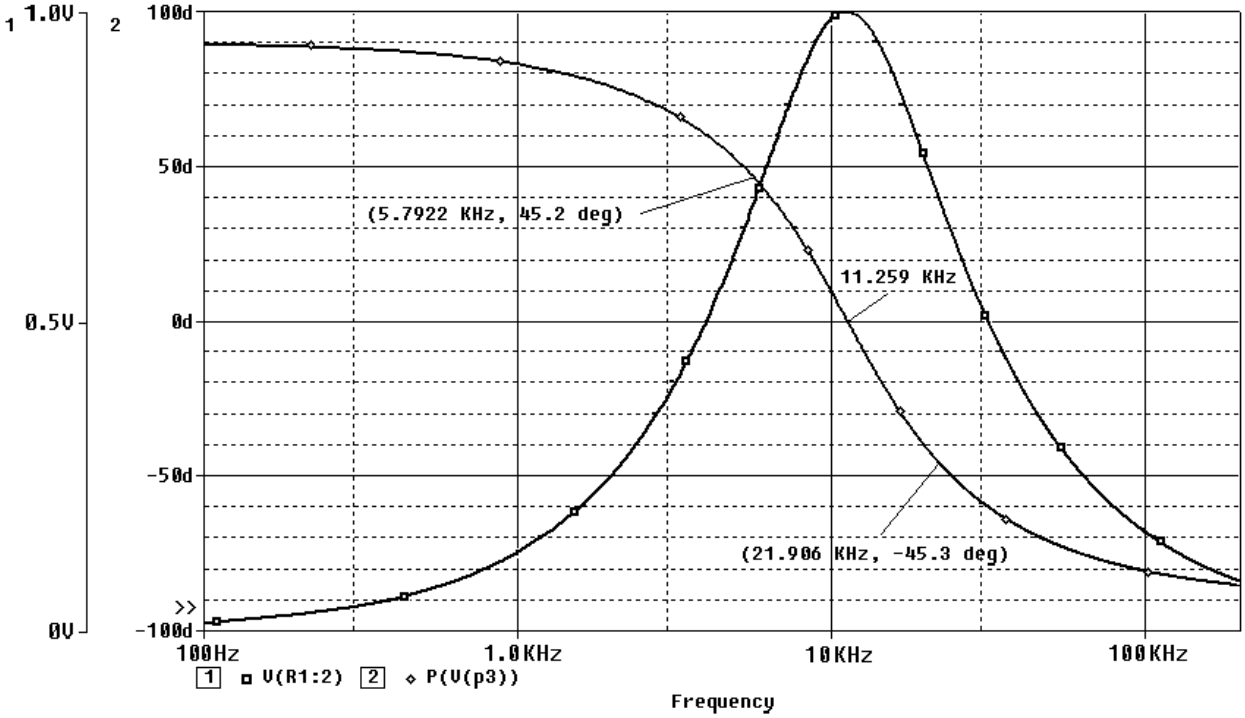
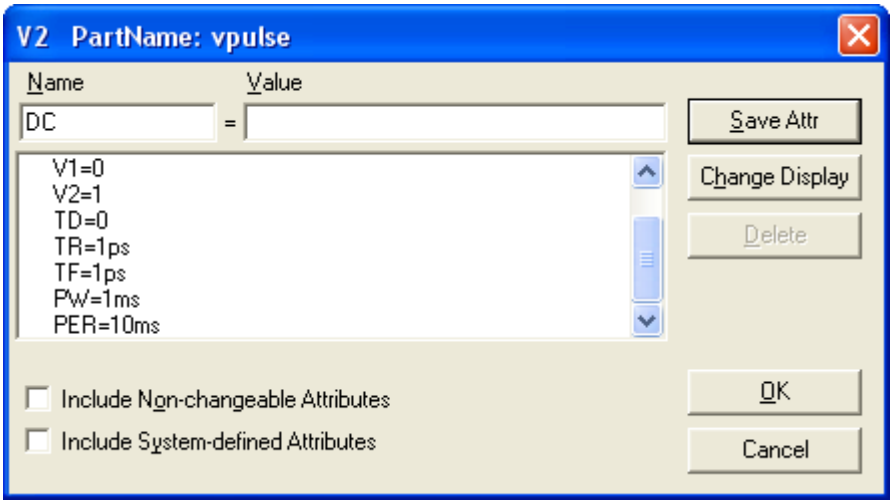


Рисунок 22 – АЧХ и ФЧХ цепи с нанесенными граничными и резонансной частотами: f_1=5.79 кГц; f_2=21.9 кГц; f_0=11.259 кГц

7.5 Пример расчета во временной области

Определим переходную характеристику *RLC* контура – рис. 11. Поскольку переходная функция это реакция цепи на функцию Хевисайда при нулевых начальных условия, то для решения задачи необходимо в виртуальной схеме рис. 16 заменим источник напряжения (*VAC*) на источник импульсного напряжения **VPULSE** со следующими параметрами (двойной щелчок ЛКМ по изображению источника) – рис. 23. Таким образом, при заданных параметрах источника моделируется функция Хевисайда, при этом надо учесть, что длительность моделирования цепи не должна превышать величину PW=1 мс (в противном случае появится задний фронт импульса и источник перестанет быть моделью функции Хевисайда).



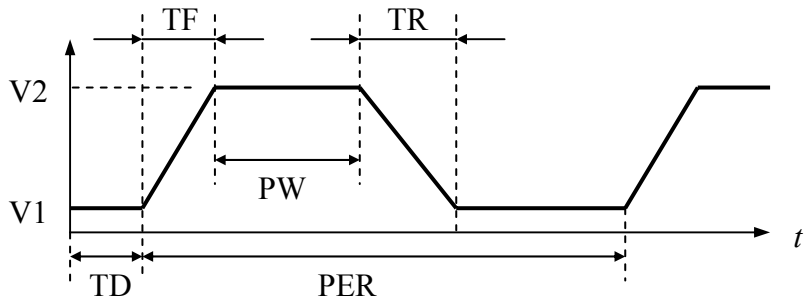


Рисунок 23 – Настройка источника **VPULSE** и смысл его параметров

На рис. 24 представлена виртуальная схема для расчета переходного процесса в *RLC* цепи. Для выполнения расчета в меню **Analysis** пункт **Setup** нажимаем кнопку **Transient**, где задаем **Final Time**: 150us (длительность расчета), **Step Ceiling**: 0.1us (точность расчета). После запуска расчета (клавишей **F11**) получим переходную характеристику *RLC* цепи – рис. 25.

Часто возникает задача построить зависимость при изменении номинала элемента цепи. Для реализации расчета при изменении, к примеру, номинала резистора R1: 1 кОм, 10 кОм необходимо:

– придумать переменную, например, «qv»;
– на схеме вместо номинального значения резистора вписать имя переменной в фигурных скобках: {qv};

– разместить на схеме (в произвольном месте) элемент **PARAM** (Parameters), в его настройках указать: **Name1=qv** и **Value1=1k** (присвоить значение по умолчанию);
– в меню **Analysis** пункт **Setup** нажать на кнопку **Parametric** (рис. 9), где в полях задать **Global Variable**: «**Name: qv**», «**Value List: 1k, 10k**».

Далее, запустить расчет, результат представлен на рис. 26.

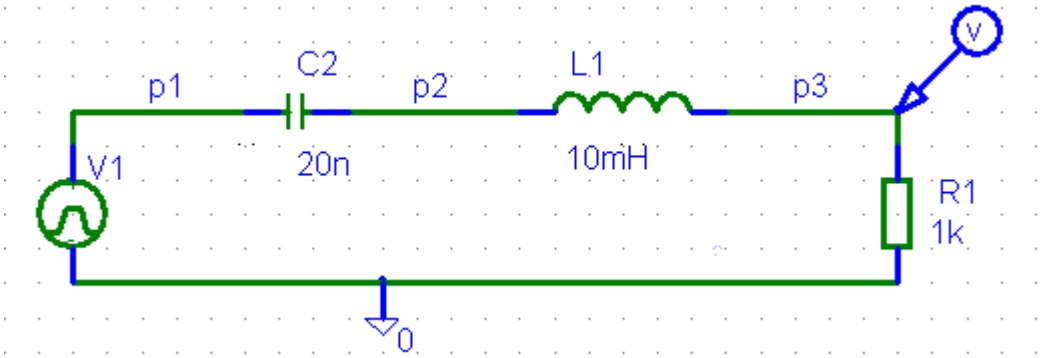


Рисунок 24 – Виртуальная схема для расчета переходного процесса

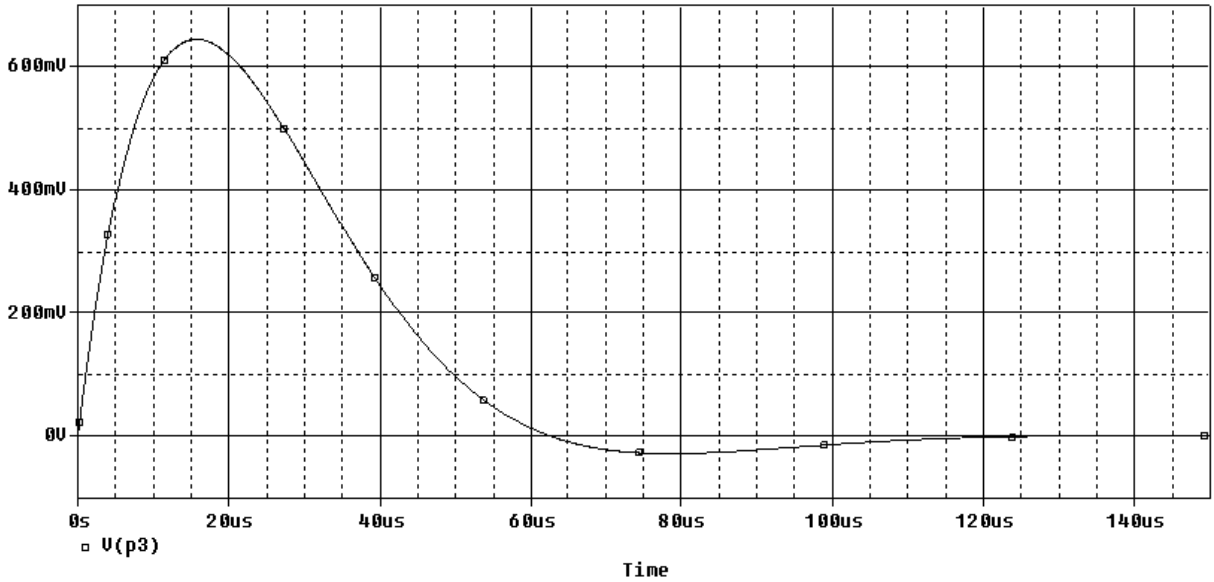


Рисунок 25 – Переходная функция цепи

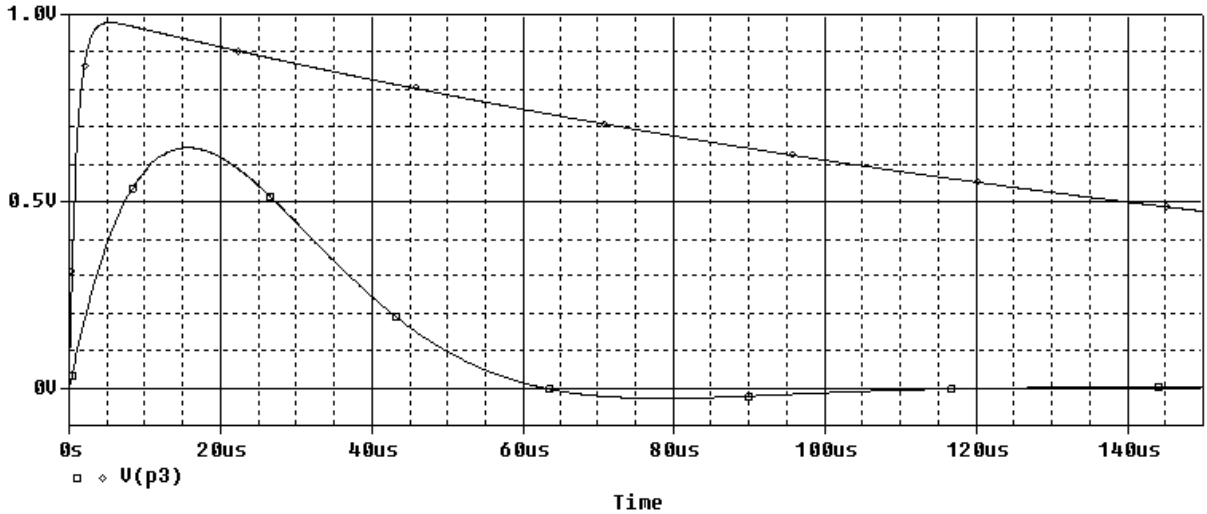


Рисунок 26 – Переходные функции при изменении R1=1 кОм, 10 кОм

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Порядок подготовки к лабораторным работам 3
2. Оформление результатов выполнения и защита лабораторной работы 4
3. Порядок сборки электрической схемы 5
4. Измерения с помощью универсального измерителя *GDM*-8135 6
5. Измерения с помощью осциллографа *GDS*-2062 8
5.1 Подготовка осциллографа к измерениям 11
5.2 Измерение амплитуды с помощью осциллографа 12
5.3 Измерение периода с помощью осциллографа 12
5.4 Измерение фазы с помощью осциллографа 13
5.5. Вывод осциллограммы на экран дисплея и сохранение её в виде графического файла 13
6. Генератор напряжения *GFG*-3015 15
6.1 Порядок работы с генератором *GFG*-3015 17
7. Применение программы *Design Lab* 8.0 для моделирования электрических цепей 18
7.1 Создание виртуальной схемы 18
7.2 Задание режима расчета 20
7.3 Выполнение расчета и получение результата 22
7.4 Пример расчета в частотной области 23
7.5 Пример расчета во временной области 29

Учебное издание

Михалин Сергей Николаевич,
Ковалева Татьяна Юрьевна,
Новикова Наталья Рафаиловна
и другие

МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Методическое пособие
по курсам
«Электротехника», «Теоретические основы электротехники»,
«Основы теории цепей» и «Электрофизика информационных систем»
для студентов, обучающихся по направлениям
"Информатика и вычислительная техника",
"Электроника и наноэлектроника", "Приборостроение",
"Управление в технических системах".

Редактор издательства Г.Ф. Раджабова

Темплан издания МЭИ 2013, метод.		Подписано в печать
Печать офсетная	Формат 60x84/16	Физ. печ. л. 2,0
Тираж 50 экз.	Изд. №	Заказ №

ЗАО «Издательский дом МЭИ», 111250, Москва, Красноказарменная, д.14
Отпечатано в типографии ФКП «НИИ «Геодезия», 141292, Московская обл.,
г. Красноармейск, просп. Испытателей, д.14