

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Электротехника и электроника»

Ю. В. Бладыко

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ В ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Учебно-методическое пособие
по дисциплине «Электроника»

В 3 частях

Часть 1

Минск
БНТУ
2015

УДК 621.3+621.38(076.5)(075.8)

ББК 31.2 я 7

Б68

Рецензенты:

В. А. Булат, М. И. Полуянов

Бладько, Ю. В.

Б68 Практические занятия в электронной лаборатории : учебно-методическое пособие по дисциплине «Электроника» : в 3 ч. / Ю. В. Бладько. – Минск : БНТУ, 2015 – . – Ч. 1. – 74 с.
ISBN 978-985-550-494-9 (Ч. 1).

Настоящее пособие предназначено для студентов при проведении практических занятий по курсам «Электротехника и электроника», «Электротехника и промышленная электроника», «Электроника», «Электроника и информационно-измерительная техника», «Электроника и микропроцессорная техника».

Размещение тем практических занятий соответствует последовательности изложения материала курса электроники, которая принята кафедрой. Часть 1 пособия состоит из 8 тем для изучения электроники с помощью Electronics Workbench. Электронная лаборатория на персональном компьютере помогает исследованию элементной базы электроники и аналоговых устройств. По каждой теме приведены файлы для электронной лаборатории и вопросы для контроля знаний студентов.

УДК 621.3+621.38(076.5)(075.8)

ББК 31.2 я 7

ISBN 978-985-550-494-9 (Ч. 1)

ISBN 978-985-550-495-6

© Бладько Ю. В., 2015

© Белорусский национальный
технический университет, 2015

ВВЕДЕНИЕ

Особенности программы Electronics Workbench

Программа Electronics Workbench (EWB) [1] и ее последняя версия MultiSim позволяют моделировать и исследовать элементы, устройства, схемы и процессы, которые предусмотрены практическими и лабораторными занятиями по электротехнике и электронике.

Программа EWB представляет собой универсальный имитатор, позволяющий максимально приблизить действия обучаемого, которые он выполняет при работе с программой, к реальным действиям в учебной лаборатории. Для выполнения конкретной лабораторной работы программа представляет обучаемому следующие возможности:

- рабочий стол;
- библиотеку компонентов, в которой хранится элементная база аналоговых и цифровых устройств;
- контрольно-измерительные приборы;
- набор команд, обеспечивающих выполнение необходимых расчетов и выдачу на экран дисплея результатов моделирования в виде таблиц и графиков.

Программа управляется с помощью графического интерфейса – набор условных знаков (кнопок), обеспечивающих выполнение необходимых команд. Активизация кнопок осуществляется с помощью мыши, которая позволяет выполнять следующие основные операции:

а) запускать необходимые команды (двойной щелчок левой клавишей на нужной кнопке);

б) извлекать из библиотеки нужные компоненты и приборы и располагать их на рабочем столе. Для этого необходимо открыть меню с нужными компонентами (щелкнуть на значке, обозначающем пассивные элементы; выбрать нужный компонент, например, резистор, и перетащить его на рабочий стол (нажать левую клавишу на значке «резистор» и тащить его на нужное место, затем отпустить левую клавишу);

в) поворачивать (для удобства соединения) компоненты, расположенные на рабочем столе (щелчком активизировать компонент, затем щелчком нажимать кнопку поворота в горизонтальной или вертикальной плоскости);

г) соединять компоненты и приборы между собой (подвести курсор к выводу компонента или прибора и после появления черной точки нажать левую клавишу и тащить проводник к выводу другого компонента или прибора до появления на нем такой же точки и отпустить клавишу);

д) редактировать позиционные обозначения компонентов на схеме, например, написать $R1$ и устанавливать требуемые величины их параметров, например, 10 Ом (дважды щелкнуть на компоненте и заполнить появившееся диалоговое окно).

Интерфейс программы Electronics Workbench

Программа Electronics Workbench 5.12 имитирует реальное рабочее место исследователя – электронную лабораторию, оборудованную измерительными приборами, работающими в реальном масштабе времени. С помощью программы можно создавать, моделировать и исследовать как простые, так и сложные аналоговые и цифровые электронные устройства. Для работы программы требуется операционная система Windows 95/98/Me/NT/2000/XP.

Главное окно программы EWB после установки европейского стандарта показано на рис. 1. Как видно, программа имеет стандартный оконный интерфейс пользователя.

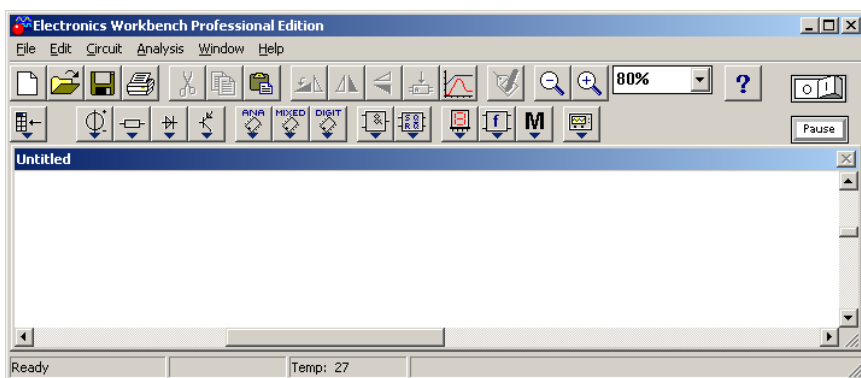


Рис. 1. Программа Electronics Workbench

Окно меню команд находится в верхней части главного окна программы. Работа с программой, как правило, начинается с выбора пункта меню *File* и с загрузки одного из файлов.

Окно схемы занимает центральную основную область окна программы. В этом окне, используя радиоэлементы и соединительные провода, создают и редактируют электрические цепи.

Окно значков (иконок) располагается выше окна схемы. Оно включает две линейки. Верхняя линейка значков дублирует команды меню. Вторая линейка иконок, располагающаяся непосредственно над окном схемы, используется для выбора радиоэлементов и измерительных приборов, подключаемых к цепи.

Значок активизации и остановки расчета схемы (*Activate/Stop*), а так же значок паузы (*Pause*) располагаются в правом верхнем углу окна программы. Иконка *Activate/Stop* изображена в виде выключателя *I/O*.

Особенность программы EWB – для построения и исследования цепи чаще используется мышь компьютера. Клавиатура – для набора текста, ввода чисел и для быстрого вызова команд. Программа EWB является сложным продуктом, с большим числом устанавливаемых параметров и режимов работы. После обычной инсталляции большинство параметров и опций программы EWB установлены по умолчанию так, что обеспечивается возможность исследования большинства типовых электронных устройств.

Работа с программой EWB включает три основных этапа: создание схемы, выбор и подключение измерительных приборов и, наконец, активация схемы – расчет процессов, протекающих в исследуемом устройстве.

Создание схемы

При проектировании схемы большинство действий выполняется с использованием левой кнопки мыши. Правая кнопка используется для вызова контекстного меню свойств элементов или измерительных приборов.

- Для создания цепи необходимо произвести следующие действия:
- найти и выбрать необходимые радиоэлементы;
 - разместить их на рабочем пространстве окна схемы;

- соединить элементы проводами;
- установить значение параметров элементов.

Поиск и выбор радиоэлементов производится с помощью мыши и второй линейки значков. Для уменьшения ошибок при выборе радиоэлементов рекомендуется пользоваться контекстной помощью и кратким описанием элементов. В состав схемы обязательно включается корпус (заземление).

Программа EWB содержит большую элементную базу данных. В ней содержатся наиболее часто используемые радиоэлементы: резисторы, конденсаторы, катушки, источники тока и напряжения и т. д. Пассивные элементы используются без учета паразитных параметров. Только для резисторов вводится температурная зависимость. Другими словами, пассивные элементы в программе EWB являются идеальными элементами. Интересной особенностью программы является возможность использования пассивных резисторов, конденсаторов и катушек. Параметры этих элементов можно изменять, нажимая клавишу, соответствующую метке элемента. Изменение параметров допускается во время работы схемы. Правда, при этом точность вычислений не гарантируется и результаты нужно перепроверять, повторяя анализ цепи с фиксированным значением параметра элемента.

Размещение элементов в окне схемы осуществляется мышью. Выбранный элемент «захватывается» и «устанавливается» в нужное место окна схем при нажатой левой клавиши мыши. Для вращения элемента используются иконки на первой линейке значков или соответствующие пункты контекстного меню или меню *Circuit*. Все элементы в окне схем должны быть размещены без пересечений и наложений. Перемещение элемента на новое место производится новым «захватыванием» и передвижением при нажатии левой клавиши мышки.

Соединение выводов всех элементов друг с другом осуществляется только проводами. Не допускается наложение выводов элементов друг на друга – при этом соединение не устанавливается. Для создания проводника выделяют узел первого элемента, начинают движение мышкой в выбранном направлении и появившийся провод при нажатой левой клавише мышки помещают на узел второго элемента или на другой провод. Только после этого спокойно без

рывков отпускают левую клавишу мышки. Отметим, что подключить проводник можно только с четырех сторон узла: сверху, снизу, справа и слева. Соединительные проводники можно, «захватывая» мышкой, переместить на новое место. Выделяя провод и нажимая правую кнопку мышки, можно установить новый цвет соединительного проводника. Таким же цветом будет нарисована кривая на экране измерительного прибора при подключении прибора к схеме «окрашенным» проводом.

Установка параметров элемента осуществляется наведением курсора на элемент, нажатием правой кнопки мышки и выбором соответствующего пункта контекстного меню. Для изменения параметров можно также два раза нажать левую кнопку мышки или использовать меню *Circuit\Component Properties*. В появившейся диалоговой панели устанавливаются параметры элемента. Для резисторов, конденсаторов и катушек индуктивности используется закладка *Value*. Установка параметров сложных активных элементов – диодов, транзисторов, длинных линий и т. д. – производится выбором закладки *Models* и выбором пунктов меню *Default* и *Ideal* или выбором типа элемента из имеющейся библиотеки. Иногда возникает необходимость изменения библиотечных параметров элемента. Для этого используется кнопка *Edit*.

Удаление элементов и проводов производится после наведения на них курсора, нажатия правой кнопки мышки и выбора пункта меню *Delete*. Выделять группу элементов можно, используя мышью и операцию «вытягивания прямоугольника». Эта операция производится с нажатой левой клавишей мышки. После выделения группы элементов можно удалить, переместить на новое место или скопировать в буфер.

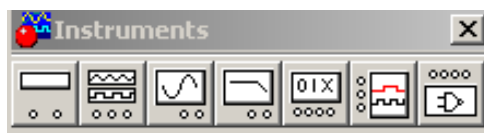
Увеличение или уменьшение изображения схемы осуществляется после выбора *Zoom In* или *Zoom Out* из меню *Circuit* или после использования соответствующих значков на первой линейке иконок программы.

Для установки дополнительных параметров отображения схемы используется меню *Circuit\Schematic Options*. Наиболее часто используется этот пункт меню для отображения номеров узлов схемы: выбирается закладка *Show/Hide* и отмечается пункт меню *Show nodes*. С помощью этой диалоговой панели можно установить то-

чечную сетку на изображения схемы, изменять шрифты, показать на схеме метки радиоэлементов и т. д.

В программе *Electronics Workbench* участки большой схемы можно преобразовать в подсхему. Подсхема обозначается как небольшой прямоугольник с выводами. Для создания подсхемы необходимо выделить участок схемы, причем линии выделения должны пересекать те проводники, которые в дальнейшем станут выводами подсхемы. Затем нужно выбрать меню *Circuit Create\Subcircuit* и следовать появляющимся указаниям, в окне элементов *Favorites* появляется изображение созданной подсхемы. Использование подсхем позволяет получить компактную схему сложного устройства.

Контрольно-измерительные приборы



Значок контрольно-измерительных приборов – крайний справа на второй сверху линейке иконок. В схему можно включить семь приборов. Из них в аналоговой схемотехнике используются 4 прибора: мультиметр, осциллограф, функциональный генератор и измеритель АЧХ и ФЧХ. При анализе цифровых устройств в схему можно дополнительно включать еще 3 прибора: генератор логических сигналов, анализатор логических сигналов и логический преобразователь. Порядок включения измерительных приборов в схему аналогичен порядку включения радиоэлементов. Узлы, к которым подключаются соединительные проводники схемы, выделены на значке прибора небольшими кружочками. Нажимая два раза левую кнопку мыши на изображении прибора, можно получить увеличенное окно измерительного прибора. В увеличенном окне настраиваются параметры прибора.

Мультиметр (Multimeter) предназначен для измерения среднеквадратичных (действующих или эффективных) значений напряжения или тока, а также для измерения сопротивлений. Выбор режима измерения осуществляется нажатием соответствующей кнопки.

Кнопка *dB* позволяет проводить измерения напряжения в децибелах. При этом отображается коэффициент α , рассчитываемый по формуле

$$\alpha = 20\lg(|X|),$$

где X – измеряемая величина.

Необходимо обратить внимание на выбор правильной предварительной установки типа измеряемого мультиметром сигнала: переменного или постоянного.

Кроме мультиметра для измерений постоянных и гармонических токов и напряжений можно использовать вольтметр и амперметр. Эти приборы вызываются после нажатия на значок индикаторов (*Indicators*) в линейке иконок.

Осциллограф (Oscilloscope) позволяет наблюдать форму двух сигналов, поступающих на два входа осциллографа: каналы *A* и *B*. Обычно канал *A* подключается к входу исследуемого устройства, а канал *B* – к выходу. Выбор *AC* в окне осциллографа позволяет наблюдать только переменные сигналы (режим закрытого входа). По умолчанию используется режим *DC* (открытый вход). В этом случае на экране осциллографа дополнительно отображается постоянная составляющая сигнала. В режиме *0* входной зажим закорачивается на корпус и на экране осциллографа отображается нулевое напряжение.

Установка в окне «*y position*» ненулевого напряжения позволяет на соответствующую величину смещать вверх или вниз изображение кривой на экране осциллографа.

Первый из двух основных показателей осциллографа – цена деления по вертикали – устанавливается на главных окошках каналов *A* и *B* в диапазоне от 10 мкВ/дел до 5 кВ/дел.

Второй основной параметр осциллографа – цена деления по горизонтали (время развертки) – устанавливается в окне *Time Base*. Этот параметр первоначально устанавливается примерно равным периоду исследуемого процесса.

После нажатия кнопки *Expand* получается увеличенный размер окна осциллографа. В увеличенном окне можно использовать полосу горизонтального прокручивания для наблюдения начала исследуемого сигнала.

дуемого процесса, а также устанавливать две визирные линии, перемещаемые с помощью курсора, для измерения напряжения в двух точках оси времени.

Соединение осциллографа с корпусом осуществляется с помощью клеммы *Ground*. Однако для большинства измерений такое соединение устанавливать не обязательно.

Функциональный генератор (Function Generator) предназначен для генерации синусоидального, треугольного или прямоугольного сигналов. С помощью диалоговой панели устанавливаются основные параметры генератора: частота и амплитуда сигнала. Кроме того, к выходному сигналу можно добавить постоянное напряжение (напряжение смещения), используя окно *Offset*, а также при генерации импульсов установить величину коэффициента заполнения *Duty Cycle*, равную отношению длительности импульса к длительности периода сигнала в процентах.

Измеритель АЧХ и ФЧХ предназначен для получения амплитудно-частотных (*Magnitude*) и фазочастотных (*Phase*) характеристик четырехполюсников. Входные зажимы четырехполюсника подключаются к клеммам *In* измерителя, а выходные – к клеммам *Out*.

Затем выбираются линейный или логарифмический масштаб, и указывается исследуемый диапазон частот. По вертикальной оси устанавливаются параметры выходных величин: модуля или аргумента комплексного коэффициента передачи. В приборе предусмотрена одна визирная линия для точного отсчета значений частоты и частотной характеристики цепи.

Генератор логических сигналов (Word Generator) предназначен для создания на выходных зажимах последовательности 16-разрядных двоичных слов с заданной частотой следования (*Frequency*). Шестнадцатеричные значения слов устанавливаются с помощью клавиатуры в левом большом окне. В двух других расположенных снизу меньших по размеру окнах можно установить значение слова в двоичном или ASCII-кодах.

Для установки начальных (*Initial*) и конечных (*Final*) номеров слов генерируемой последовательности, а также для быстрого поиска нужного слова используется блок *Address*, где также можно установить адреса редактируемых (*Edit*) или установленных на выходных зажимах (*Current*) слов.

Как правило, используется внутренняя (*Internal*) синхронизация (*Trigger*) генератора по переднему фронту и циклическая выдача логических сигналов (*Cycle*). Для синхронизации на анализируемую схему можно подать логический сигнал готовности данных (*Data ready*) с заданной частотой *Frequency*.

Анализатор логических сигналов (Logic Analyzer) предназначен для индикации двоичных кодов. Для правильного воспроизведения логических сигналов необходимо, нажимая кнопку *Set*, установить внутреннюю частоту прибора выше частоты генератора логических слов, а число импульсов на деление (*Clock per division*), равное для удобства наблюдения 1...3. В приборе имеются две визирные линии, перемещаемые с помощью курсора.

Логический преобразователь (Logic Converter) предназначен для получения таблицы состояний комбинационной схемы, для преобразования таблицы истинности в логическую функцию и наоборот, а также для преобразования логической функции в схему устройства на логических элементах. Эту функцию можно с помощью логического преобразователя упростить, нажимая кнопку с надписью *SIMP*.

Анализ схем

Концепция электронной лаборатории с виртуальными измерительными приборами, заложенная в программу EWB, существенно облегчает проведение самого сложного этапа – расчета процессов, протекающих в электронном устройстве. После составления схемы и подключения измерительных приборов для начала анализа цепи достаточно нажать кнопку *Activate/Stop*. Рассчитанные значения токов, напряжений или сопротивлений показываются на экранах измерительных приборов. Аналогичный порядок работы имеет место в реальной лаборатории с реальными измерительными приборами.

На втором этапе моделирования можно изменять параметры элементов, удалять или добавлять радиоэлементы, подключать приборы к другим контрольным точкам схемы и т. п. После таких изменений, как правило, требуется снова активизировать цепь, нажимая кнопку *Activate/Stop*. При использовании переменных резисторов, конденсаторов или катушек изменение процессов в цепи можно, наблюдать не прекращая моделирования. Например, потен-

циометр обозначен клавишей (*Key*) *R*. Набирая *R* (*Shift* + *r*) можно увеличить значение на заданную величину (*Increment*), а при нажатии *r* – уменьшить. Однако при этом увеличивается погрешность получаемых результатов. Поэтому для получения надежных результатов расчет рекомендуется повторять при фиксированных параметрах, заново нажимая кнопку *Activate/Stop*.

В зависимости от типа подключенного прибора программа EWB автоматически настраивается на выполнение следующих основных видов анализа:

- *DC Operating Point* – расчет режима по постоянному току, при включении мультиметра, амперметров и вольтметров для измерения постоянных токов и напряжений;

- *AC Frequency* – расчет частотных характеристик, при включении измерителя АЧХ и ФЧХ, а также мультиметра, амперметров и вольтметров для измерения гармонических токов и напряжений;

- *Transient* – расчет переходных процессов, при использовании осциллографа.

В программе EWB предусмотрен другой (обычный для большинства других программ моделирования) порядок анализа схемы – выбор режимов анализа с помощью меню *Analysis*. Указанные выше режимы анализа электрической цепи можно получить, выбирая соответствующие команды меню *Analysis*. Настройка основных параметров в диалоговых окнах указанных видов анализа аналогична настройке параметров измерительных приборов.

Отметим, что в программе EWB по умолчанию установлен слишком большой шаг численного интегрирования. Для повышения точности и корректности результатов анализа переходных процессов, особенно в узкополосных цепях, в цепях с нелинейными элементами и в других сложных цепях рекомендуется выбрать пункт меню *Analysis\Analysis Options\Transient* и установить следующие значения параметров программы EWB: *ITL4* = 100...1000 и *TRTOL* = 1...0,1. В меню *Analysis\Analysis Options\Instruments* для улучшения осциллограмм рекомендуется задавать *Minimum number of time points* 1000.

Кроме указанных трех основных видов анализа, с помощью меню *Analysis* можно дополнительно провести следующие, реже используемые, виды анализа: спектральный анализ (*Fourier*), анализ

спектра внутренних шумов (*Noise*), расчет нелинейных искажений (*Distortion*), анализ влияния вариаций параметра какого либо элемента схемы (*Parameter sweep*), анализ влияния изменения температуры на характеристики устройства (*Temperature sweep*), расчет нулей и полюсов передаточной характеристики моделируемой цепи (*Pole-Zero*), расчет передаточной функции (*Transfer Function*), расчет чувствительности и разброса характеристик схемы при изменении параметров компонентов (*Sensitivity, Worst Case u Monte Carlo*).

Для анализа спектров сигналов выбирается пункт меню *Analysis\Fourier*. В первом сверху окошке диалогового окна установки опций Фурье-анализа (блок параметров *Analysis*) устанавливается номер узла схемы, для которого проводится анализ. Во втором – устанавливается частота основной гармоники. В третьем – число рассчитываемых гармоник. В блоке *Result* выбирается вид масштаба по вертикальной оси, для отображения фазового спектра отмечается пункт *Display phase*, для показа амплитудного спектра с помощью непрерывной линии делается пометка пункта *Output as line Graph*.

Расчет гармоник в спектре анализируемого сигнала производится без использования быстрого преобразования Фурье, в программе применяется численное интегрирование по формуле ряда Фурье. Поэтому при моделировании можно задавать расчет большого числа гармоник (параметр *Number of harmonics* можно установить на много больше 10). Однако высшие гармоники в спектре сигнала будут рассчитаны с увеличенной погрешностью.

Анализ вольт-амперных характеристик (ВАХ) полупроводниковых приборов удобно проводить с использованием вариации параметров (пункт меню *Analysis\Parameter sweep*). Например, варьируя напряжение на элементе и измеряя ток через него, можно получить ВАХ нелинейного элемента.

В верхнем блоке параметров диалогового окна указываются внутреннее имя элемента (идентификатор) и изменяемый параметр элемента. Для визуализации в окне схем внутреннего имени элемента требуется предварительно отметить в окне параметров схемы пункт *Show reference ID*.

Блок *Analysis* диалогового окна предназначен для установки начального и конечного значения напряжения источника, для выбора линейного или другого типа изменения параметра, для установки

шага изменения напряжения и для выбора номера узла, напряжение в котором будет рассчитываться при вариации параметров. В блоке *Sweep for* устанавливается вид анализа.

Все радиоэлементы изготавливаются на предприятиях с некоторым разбросом параметров. В бытовой аппаратуре разброс параметров элементов достигает 20 %. В аппаратуре специального назначения, в ответственных узлах радиоэлектронных устройств разброс параметров, как правило, не должен превышать 10 %. Отдельные радиокомпоненты изготавливаются с разбросом параметров, равным 5, 2, 1 % и менее. Например, в источниках питания ЭВМ для получения высокостабильного напряжения могут использоваться резисторы с разбросом параметров, равным 0,5 %.

Для расчета нестабильности характеристик устройства и их чувствительности к изменениям параметров компонентов при заданном разбросе параметров элементов используются пункты меню *Analysis\Sensitivity*, *Analysis\Worst Case u* *Analysis\Monte Carlo*. При анализе нестабильности характеристик, как правило, задается гауссово распределение случайного разброса параметров радиоэлементов. Анализ чувствительности и разброса характеристик схемы при изменении параметров компонентов требуется для оценки работоспособности устройств при модернизации, ремонте и при серийном производстве.

Пункт меню *Analysis>Noise* используется для анализа шумов в малозумящих усилителях и в других малозумящих электронных устройствах. В диалоговом окне, появляющемся после выбора этого типа анализа, указываются эквивалентный источник входного шума, номер выходного узла, на котором рассчитывается шумовое напряжение, частотный диапазон анализа и компонент схемы, который дает вклад в шумы устройства.

Практическое занятие № 1

ЗНАКОМСТВО С ELECTRONICS WORKBENCH. СНЯТИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИОДА

Содержание занятия

1. Изучить назначение электронной лаборатории Electronics Workbench. Модели элементов. Панели инструментов. Рисование схем, соединение элементов, подключение измерительных приборов (AC, DC), двухлучевого осциллографа, корпуса (нулевого потенциала). Запуск, виды анализа, изменение параметров элементов. Открытие файлов в папке **_BLADYKO**, сохранение файлов в папке **ПРАКТИКА\106...**

2. Снять вольт-амперную характеристику (ВАХ) $I(U)$ полупроводникового диода (файл **va1_diod.ewb**).

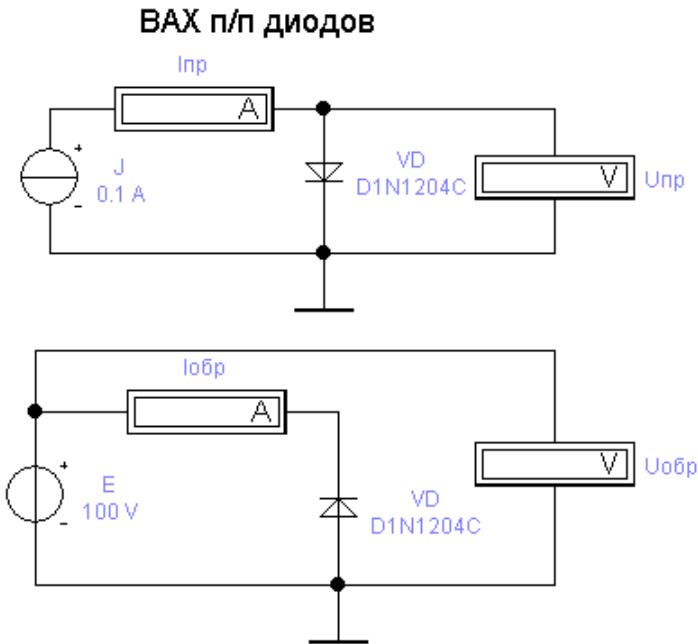


Рис. 2. Схемы для снятия ВАХ диода (файл **va1_diod.ewb**)

Использовать первую схему для снятия прямой ветви изменением тока источника тока от 0 до 0,1 А. Самый удобный способ изменения параметров источника – двойной клик на нем. Обращать внимание на кратность единиц измерения. Результаты измерений записать в табл. 1.

Таблица 1

$I_{пр}, \text{мА}$	0	20	40	60	80	100
$U_{пр}, \text{В}$						

Использовать вторую схему для снятия обратной ветви изменением напряжения источника ЭДС от 0 до 483 В. Обращать внимание на кратность единиц измерения. Результаты измерений записать в табл. 2.

Таблица 2

$U_{обр}, \text{В}$	0	100	250	480	481	482	483
$I_{обр}, \text{мА}$							

Зарисовать ВАХ в тетради, совмещая прямую и обратные ветви в различном масштабе.

Примечание. Одной схемы достаточно, если ток источника тока задавать со знаком, а приборы взять идеальные (вместо внутреннего сопротивления вольтметра 1 кОм задать 1 МОм).

3. Определить напряжение пробоя диода следующими способами:

– 1 способ – по снятой ВАХ;

– 2 способ – по исходным данным диода (*Properties > Edit > Reverse breakdown voltage*);

– 3 способ – по показанию вольтметра при отрицательном токе источника тока и $R_v = 1 \text{ МОм}$ по 1-ой схеме;

– 4 способ – по показанию вольтметра после замены источника напряжения на источник тока (1 А) и $R_v = 1 \text{ МОм}$ во 2-ой схеме.

4. Определить статическое $R_{ст} = U/I$ и динамическое $R_{дин} = \Delta U/\Delta I$ сопротивления диода при прямом включении и токе $I_{пр} = 0,1 \text{ А}$.

Определить статическое и динамическое сопротивления диода при обратном включении для $U_{обр} = 480$ В. Сравнить их.

5. Осциллографический способ снятия ВАХ диода (файл `va2_diod.ewb`).

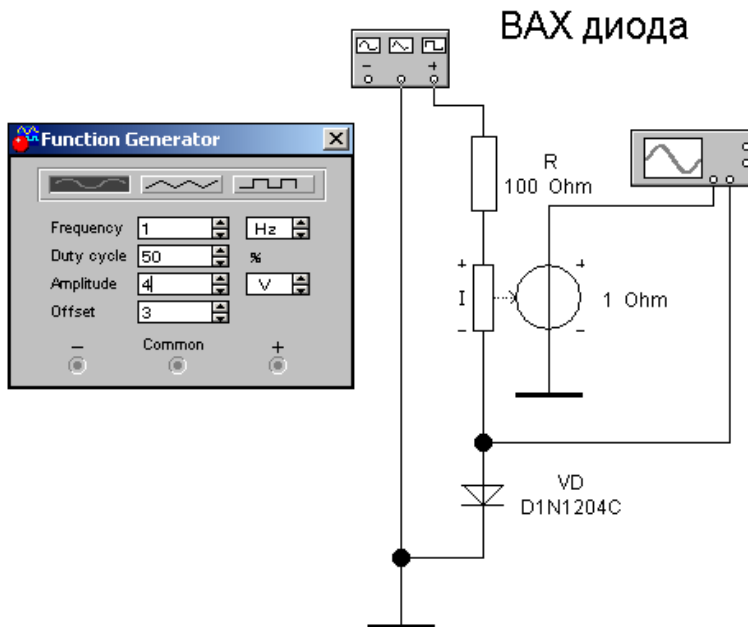


Рис. 3. Осциллографический способ снятия ВАХ диода (файл `va2_diod.ewb`)

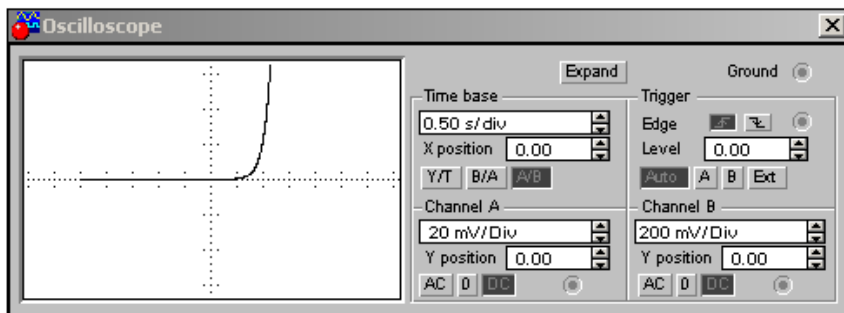


Рис. 4. ВАХ диода на осциллографе (файл `va2_diod.ewb`)

Обратить внимание на то, что при амплитуде напряжения (*Amplitude*), большей, чем напряжение смещения (*Offset*) функционального генератора (*Function Generator*), на осциллограмме видна часть обратной ветви.

6. Снятие ВАХ диода путем вариации параметра источника *I1* (файл *va3_diod.ewb*).

В схеме (см. рис. 5) пронумерованы узлы командой меню *Circuit\Schematic Options*, закладка *Show/Hide*, где отмечен пункт меню *Show nodes*.

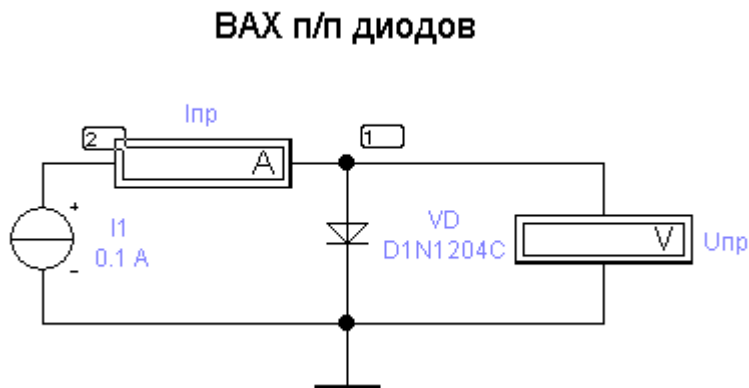


Рис. 5. Схема для снятия ВАХ диода вариацией параметра *I1* (файл *va3_diod.ewb*)

Выполнить команду меню *Analysis\Parameter sweep*. В появившемся диалоговом окне (см. рис. 6) задать параметры анализа и нажать кнопку *Simulate*.

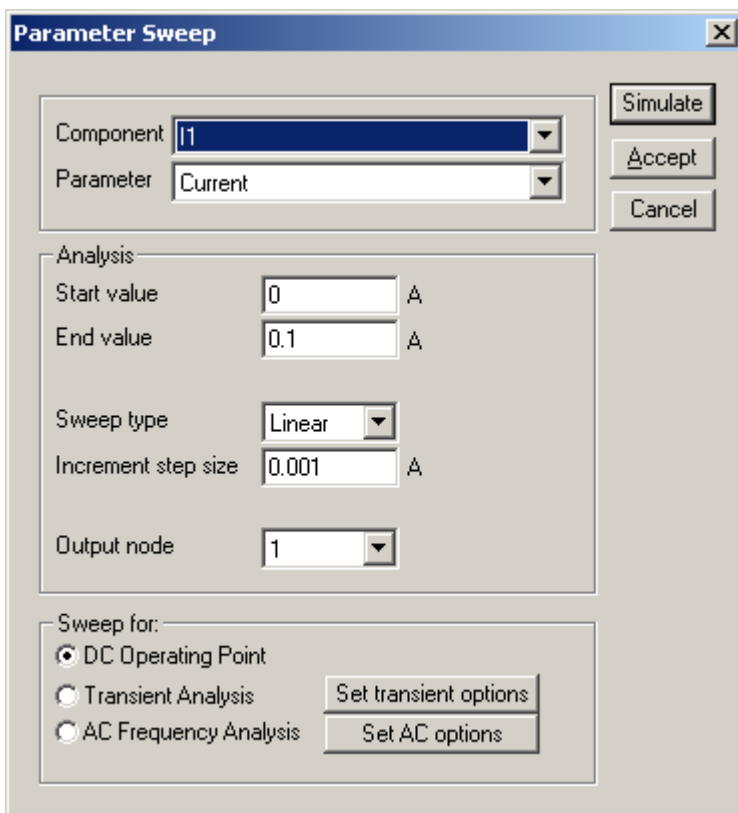


Рис. 6. Диалоговое окно при вариации параметра источника тока I_1

Обратить внимание на расположение осей координат (см. рис. 7). В окне *Analysis Graphs\Parameter* строится ВАХ $U(I)$. Для замены осей и построения ВАХ $I(U)$ использовать файл **va4_diod.ewb**.

ВАХ п/л диодов

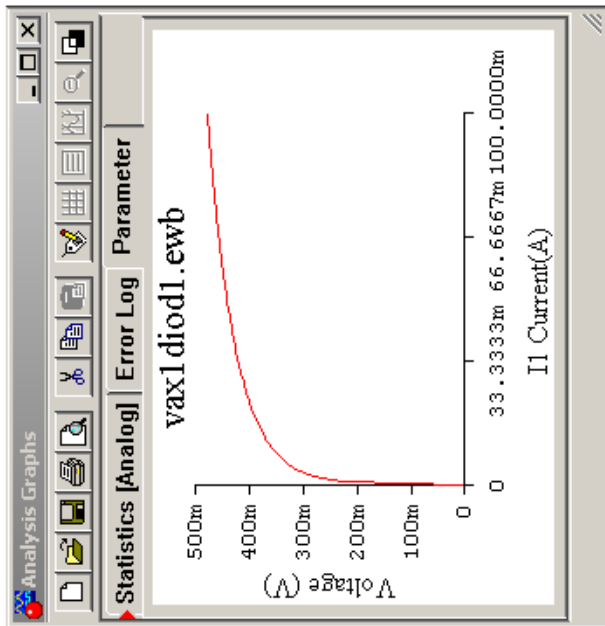
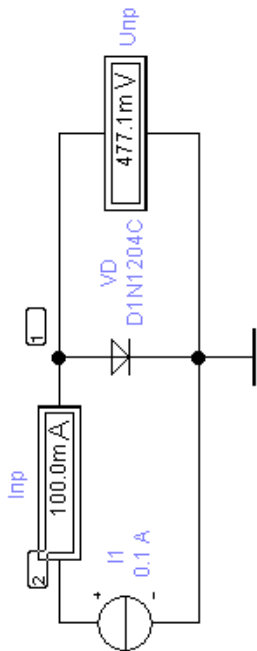


Рис. 7. Снятие ВАХ диода путем вариации параметра $I1$ (файл `vax3_diod.ewb`)

7. Снятие ВАХ диода путем вариации параметра источника $I1$ (файл **va4_diod.ewb**).

В схеме (см. рис. 8) амперметр включен через преобразователь тока (*Current Controlled Current Source*).

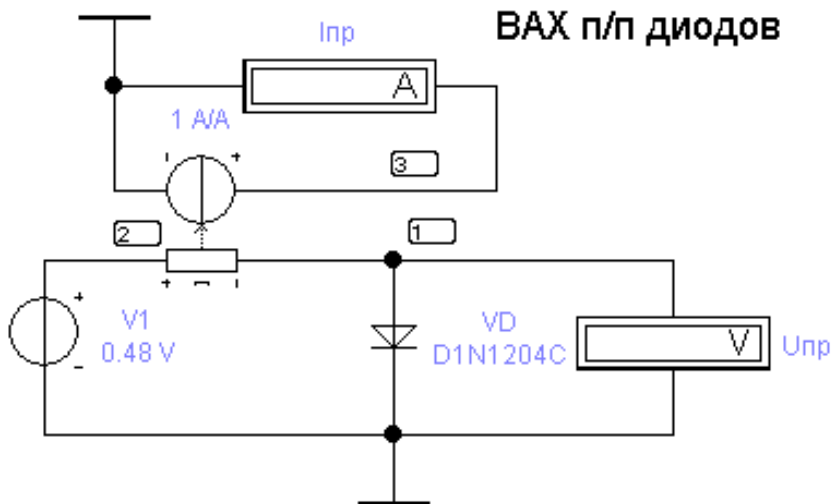


Рис. 8. Схема для снятия ВАХ диода вариацией параметра $I1$ (файл **va4_diod.ewb**)

Выполнить команду меню *Analysis\Parameter sweep*. В появившемся диалоговом окне (см. рис. 9) задать параметры анализа и нажать кнопку *Simulate*.

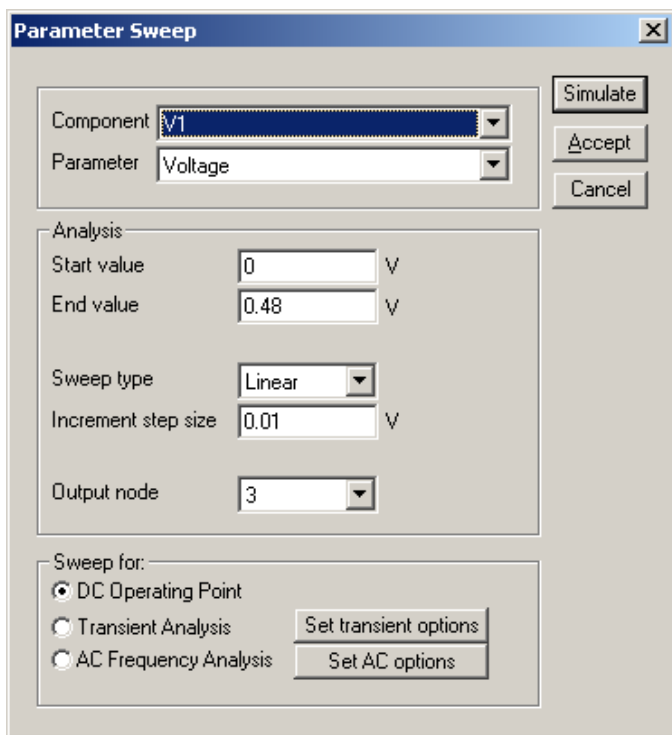


Рис. 9. Диалоговое окно при вариации параметра источника напряжения $V1$

Обратить внимание на оси координат (см. рис. 10). Ось ординат является напряжение в узле 3, численно равно току диода.

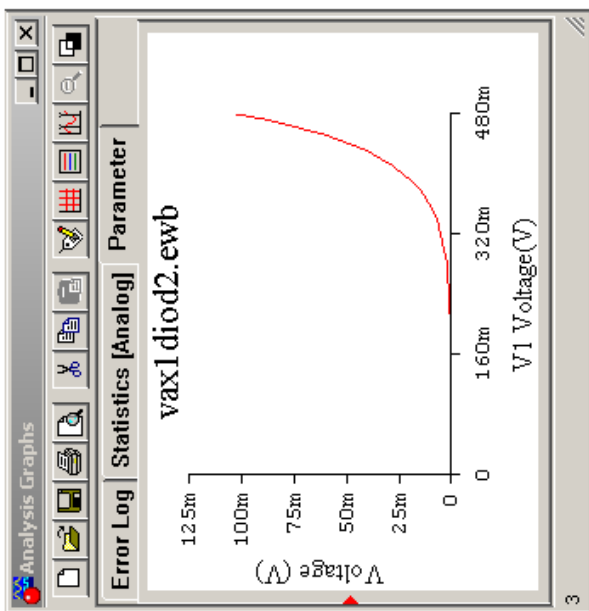
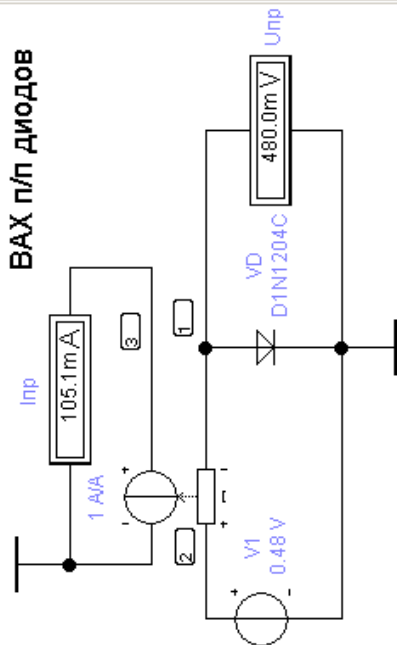


Рис. 10. Снятие ВАХ диода путем вариации параметра $V1$ (файл `va4_diod.ewb`)

Если при анализе задать отрицательное значение *Start value*, то на осциллограмме будет видна часть обратной ветви ВАХ.

Контрольные вопросы

1. Что такое n - p -переход и как объяснить его вентильные свойства?
2. Пояснить график ВАХ диода. Как влияет температура на ВАХ?
3. Каковы основные параметры диода?
4. Привести примеры использования диодов.
5. Сравнить статическое и динамическое сопротивления диода при прямом включении и объяснить разницу.
6. Сравнить статические сопротивления диода при прямом и обратном включении и объяснить разницу.
7. Что такое напряжение пробоя?

Практическое занятие № 2

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ И ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ДИОДОВ. ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОДИОДА, ВЫПРЯМИТЕЛЬНОГО ДИОДА, СТАБИЛИТРОНА И ТИРИСТОРА

Содержание занятия

1. Последовательное соединение диодов ([2], задача 13.3) (файл **diod_ser.ewb**). Убедиться, что при шунтировании диодов резисторами (клавиши 1, 2, 3) напряжения распределяются равномерно.

Последовательное соединение диодов

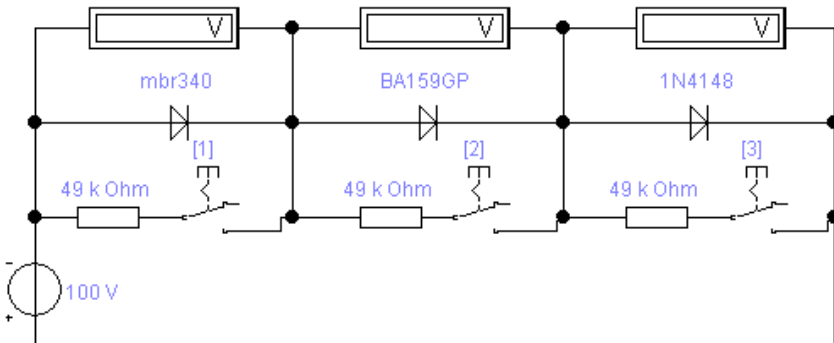


Рис. 11. Последовательное соединение диодов (файл **diod_ser.ewb**)

2. Параллельное соединение диодов ([2], задача 13.4) (файл **diod_par.ewb**). Удалив один из резисторов, заметить неравномерное распределение токов.

Параллельное соединение диодов

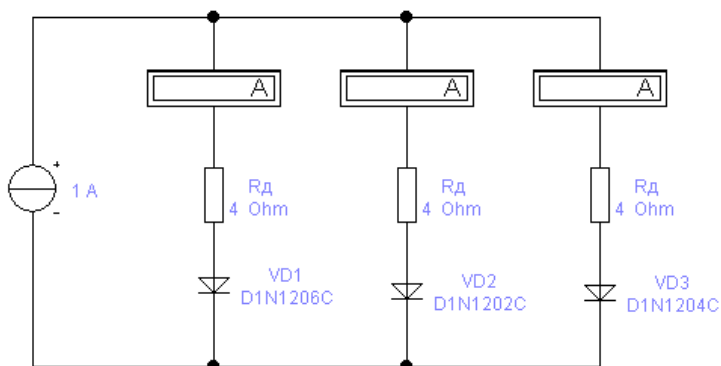


Рис. 12. Параллельное соединение диодов (файл **diod_par.ewb**)

3. Снятие ВАХ светодиода (файл **va_swet.ewb**). Меняя полярность включения клавишей Пробел, заметить свечение диода.

Определить ток включения светодиода, меняя напряжение клавишей R (r – для уменьшения; $\text{Shift} + r$ – для увеличения). Проверить полученное значение по паспортным данным (*Component Properties* > *Edit* > *Turn-On Current*). Построить прямую ветвь ВАХ светодиода.

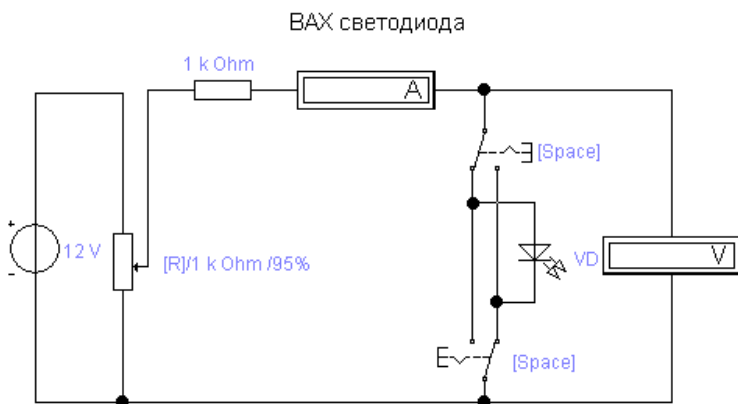


Рис. 13. Схема для снятия ВАХ светодиода (файл **va_swet.ewb**)

4. Построить прямую ветвь ВАХ диода (файл **lab1.ewb**, переключатель 1 замкнут), меняя анодное напряжение клавишей *S*.

Определить статическое $R_{ст} = U/I$ и динамическое $R_{дин} = \Delta U/\Delta I$ сопротивления для точки с $I_{пр} \approx 20$ мА. Сравнить их.

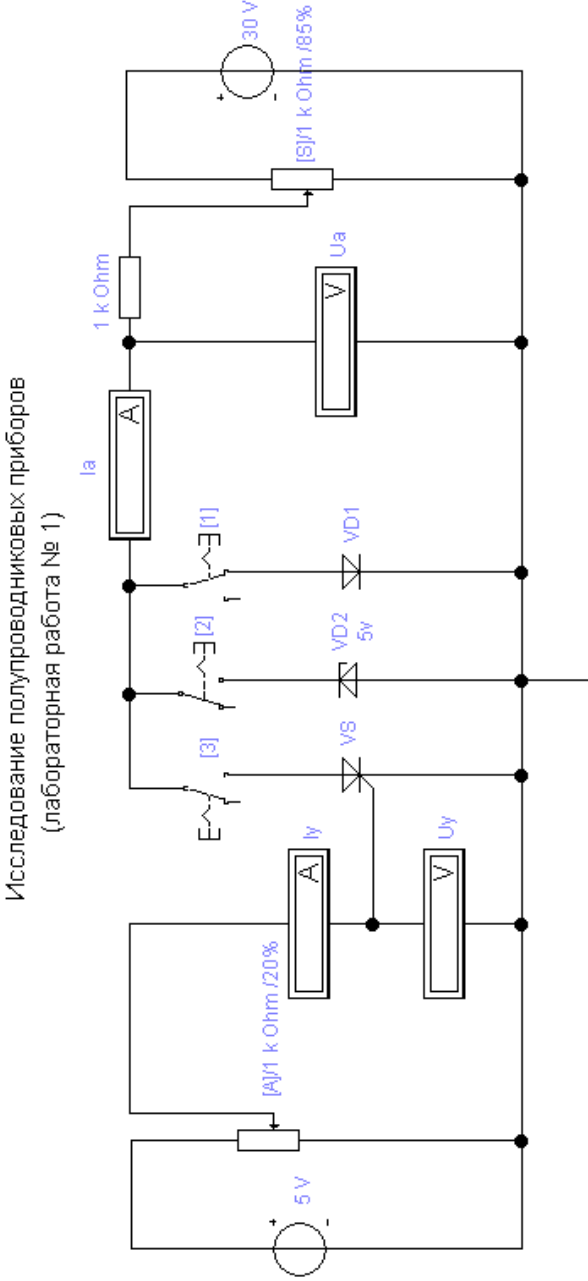


Рис. 14. Снятие ВАХ полупроводниковых приборов (файл **lab1.ewb**)

5. Построить обратную ветвь ВАХ стабилитрона (файл **lab1.ewb**, переключатель 2 замкнут). Определить напряжение стабилизации. Проверить полученное значение по паспортным данным (*Component Properties > Edit > Zener test voltage*). Определить статическое $R_{ст} = U/I$ и динамическое $R_{дин} = \Delta U/\Delta I$ сопротивления для заданной точки на участке стабилизации. Сравнить их.

6. Исследовать тиристор (файл **lab1.ewb**, переключатель 3 замкнут). Определить ток управления, при котором открывается тиристор, меняя напряжение управления клавишей А. Проверить полученное значение по паспортным данным (*Gate trigger current*). Убедиться, что после снижения до нуля напряжения управления тиристор остается в открытом состоянии. Определить ток удержания тиристора, при котором закрывается тиристор, меняя анодный ток клавишей S. Проверить полученное значение по паспортным данным (*Holding current*). Построить прямую ветвь ВАХ тиристора. Определить статическое и динамическое сопротивления. Сравнить их.

Контрольные вопросы

1. Зачем при последовательном соединении диодов их нужно шунтировать резисторами?
2. Зачем при параллельном соединении диодов последовательно с ними включают резисторы?
3. Что такое ток включения светодиода?
4. Какова полярность включения светодиода?
5. Назовите параметры стабилитрона.
6. Привести примеры применения стабилитронов.
7. Поясните устройство и принцип работы тиристора, вид его ВАХ?
8. Каково влияние тока управления на работу тиристора?
9. Что такое динистор, тринистор, однооперационный и двухоперационный (запираемый) тиристоры?
10. Каковы основные параметры и характеристики тиристора?

Практическое занятие № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

Содержание занятия

1. Осциллографический способ снятия ВАХ биполярного транзистора (БТ) (файл **va1_tran.ewb**).

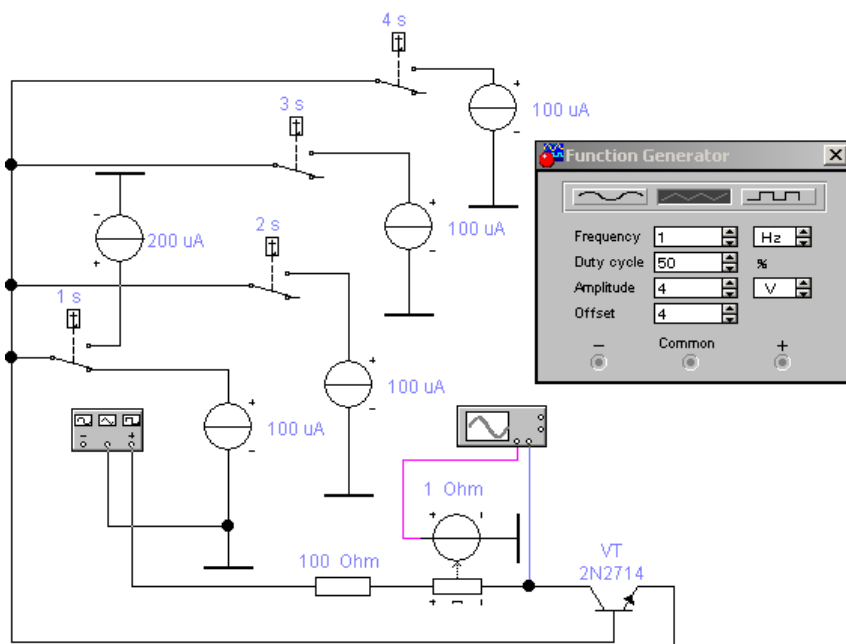


Рис. 15. Осциллографический способ снятия ВАХ транзистора (файл **va1_tran.ewb**)

После запуска **va1_tran.ewb** на осциллографе автоматически строятся семейство выходных характеристик транзистора (см. рис. 16).

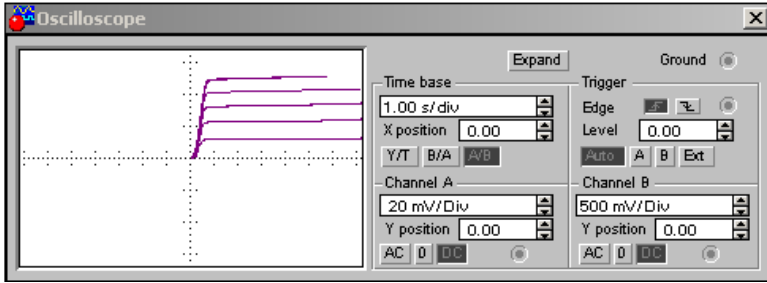


Рис. 16. Выходные характеристики транзистора (файл **va1_tran.ewb**)

2. Разобрать решение задачи 14.1 [2].

3. Снять входные характеристики **заданного преподавателем** биполярного транзистора $I_6(U_{63})$ при $U_{к3} = 0$ и **заданном** напряжении $U_{к3} = [\text{Номер в журнале}] \text{ В}$, изменяя ток базы I_6 от 0 до 100 мА (файл **va2_tran.ewb**). Результаты измерений записать в табл. 3. Зарисовать семейство входных ВАХ в тетради.

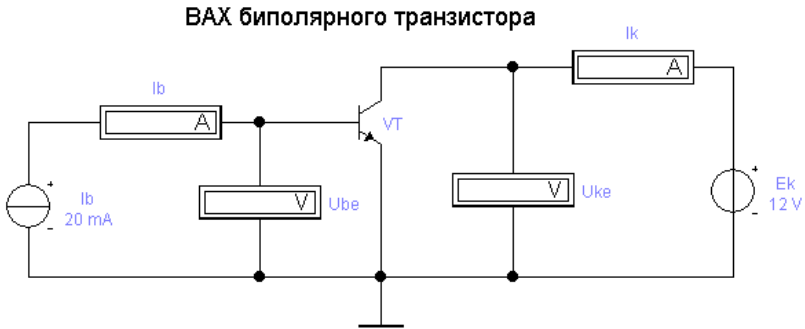


Рис. 17. Снятие ВАХ транзистора (файл **va2_tran.ewb**)

Таблица 3

$I_6, \text{ мА}$		0	20	40	60	80	100
$U_{63}, \text{ мВ}$ при	$U_{к3} = 0$						
	$U_{к3} = \dots$						

4. Определить h -параметры: $h_{11} = \Delta U_{\text{бэ}}/\Delta I_6$ при **заданном** напряжении $U_{\text{кэ}}$ и **заданном** токе $I_6 =$ [Номер в журнале] мА; $h_{12} = \Delta U_{\text{бэ}}/\Delta U_{\text{кэ}}$ при **заданном** токе I_6 . Сравнить результаты расчета для различных транзисторов.

5. Снять выходные характеристики **заданного** биполярного транзистора $I_{\text{к}}(U_{\text{кэ}})$ при изменении тока I_6 от 0 до 100 мА (файл **va2_tran.ewb**). Результаты измерений записать в табл. 4. Зарисовать семейство выходных ВАХ в тетради.

Таблица 4

$U_{\text{кэ}}, \text{В}$		0	0,1	0,2	0,5	1,0	5,0	10
$I_{\text{к}}, \text{А}$ при	$I_6 = 20 \text{ мА}$							
	$I_6 = 40 \text{ мА}$							
	$I_6 = 60 \text{ мА}$							
	$I_6 = 80 \text{ мА}$							
	$I_6 = 100 \text{ мА}$							

6. Определить h -параметры: $h_{21} = \Delta I_{\text{к}}/\Delta I_6$ при **заданном** напряжении $U_{\text{кэ}}$; $h_{22} = \Delta I_{\text{к}}/\Delta U_{\text{кэ}}$ при **заданном** токе I_6 . Проверить полученное значение h_{21} по паспортным данным (*Forward current gain coefficient*). Сравнить результаты расчета для различных транзисторов.

7. Составить транзистор по схеме Дарлингтона, используя файл **va2_tran.ewb**. Для составного транзистора определить коэффициент усиления по току (супер-бета $\beta = h_{21} = \Delta I_{\text{к}}/\Delta I_6$) при $I_6 = 1 \text{ мА}$. Сравнить полученное значение с теоретическим $\beta = \beta_1\beta_2 + \beta_1 + \beta_2$.

8. Ознакомиться со схемой лабораторной установки (файл **lab2.ewb**).

9. Решить задачи 14.13, 14.14, 14.15 [2].

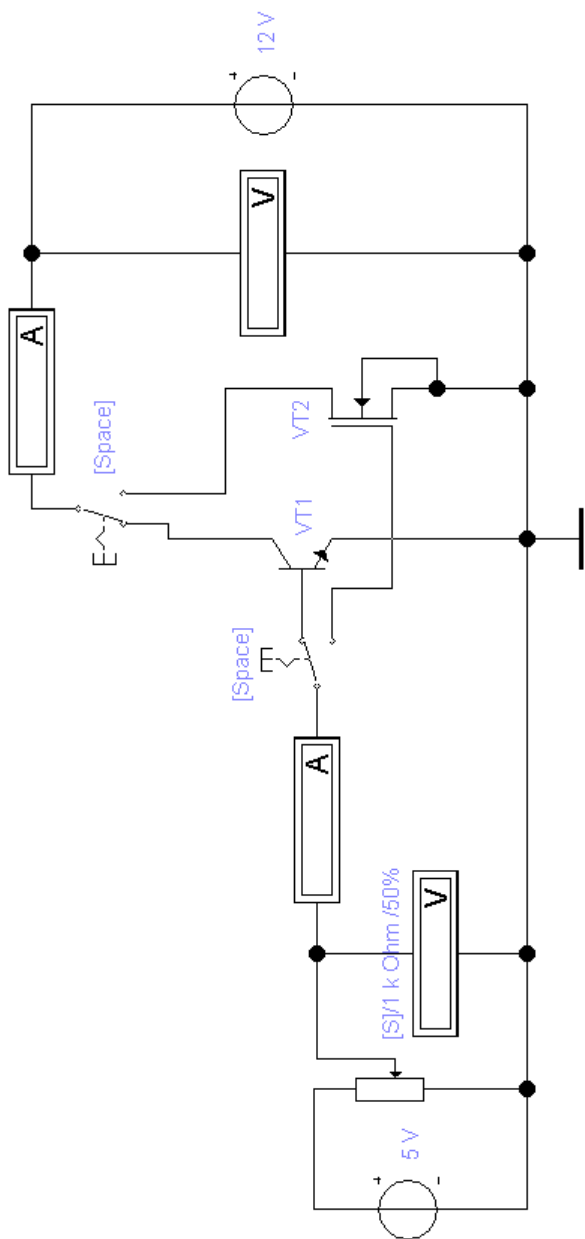


Рис. 18. Снятие ВАХ транзисторов (файл lab2.ewb)

Контрольные вопросы

1. Как образуется n - p -переход и каковы его свойства?
2. Каково устройство биполярного транзистора и принцип его работы в схеме с общей базой и с общим эмиттером?
3. Как изображают на схемах транзисторы n - p - n и p - n - p -типов?
4. Какова полярность напряжений между электродами транзисторов n - p - n и p - n - p типов?
5. Какие функции выполняет эмиттер и коллектор?
6. Объясните характер входных и выходных характеристик биполярного транзистора.
7. Почему запрещается отключать вывод базы при наличии напряжения на эмиттере и коллекторе?
8. Что представляет собой обратный ток коллекторного перехода?
9. Объясните физический смысл h -параметров транзисторов и как они определяются по входным и выходным характеристикам?
10. Почему коэффициент усиления по току β не остается постоянным при изменении тока эмиттера?

Практическое занятие № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА

Содержание занятия

1. Осциллографический способ снятия ВАХ полевого (униполярного) транзистора (файл **va_jfet.ewb**).

Снятие характеристик полевого транзистора

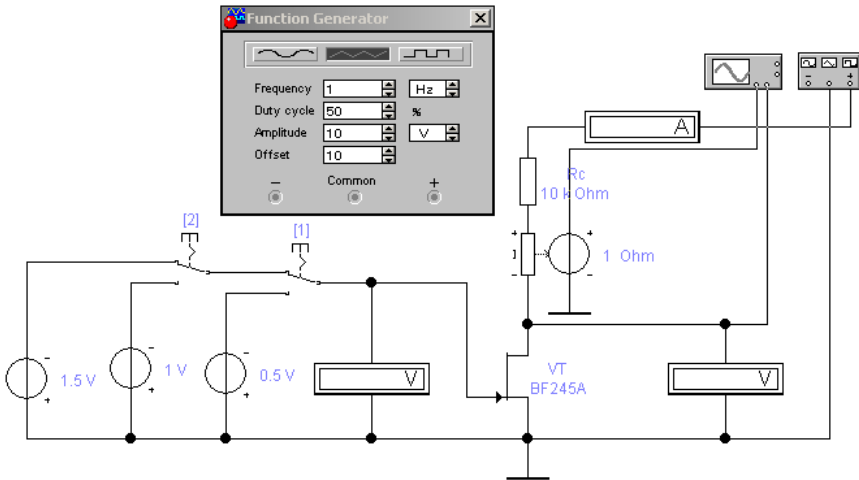


Рис. 19. Осциллографический способ снятия ВАХ полевого транзистора (файл **va_jfet.ewb**)

После запуска **va_jfet.ewb** на осциллографе строятся выходные характеристики полевого транзистора, при этом напряжение $U_{зи}$ меняется при нажатии клавиш 1 и 2. В итоге на осциллографе (см. рис. 20) строится семейство выходных характеристик транзистора при $U_{зи} = -0,5; -1; -1,5$ В.

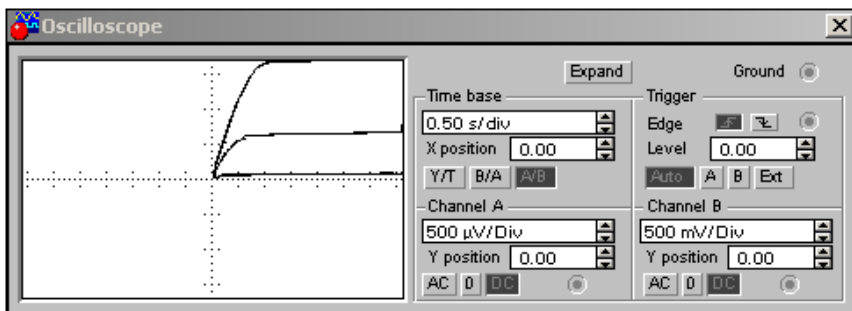


Рис. 20. Выходные характеристики транзистора (файл **vax_jfet.ewb**)

1. Разобрать решение задачи 13.2 [2]. Познакомиться со словарем терминов в EWB (Приложение).

2. Снять передаточные (стоко-затворные) характеристики **заданного преподавателем** полевого транзистора $I_c(U_{зи})$ при $U_{си} = 30$ В и **заданном** напряжении $U_{си} = [\text{Номер в журнале}]$ В (файл **jfet_ch.ewb**). Результаты измерений записать в табл. 5. Зарисовать семейство передаточных ВАХ в тетради.

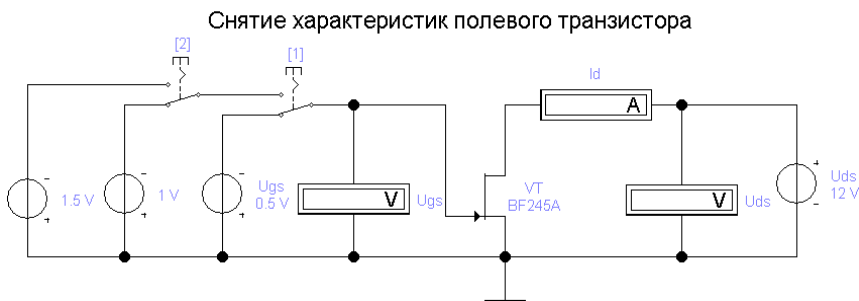


Рис. 21. Снятие ВАХ полевого транзистора (файл **jfet_ch.ewb**)

Таблица 5

$U_{зи}, \text{В}$		-1,5	-1	-0,5	0	0,5	1	1,5
$I_c, \text{мА}$ при	$U_{си} = 30$							
	$U_{си} = \dots$							

Определить напряжение запираения транзистора, сравнить с паспортными данными (*Threshold – Порог*). Определить крутизну характеристики $S = \Delta I_c / \Delta U_{зи}$ при заданном напряжении $U_{си}$. Сравнить результаты расчета для различных транзисторов.

2. Снять выходные (стоковые) характеристики **заданного** полевого транзистора $I_c(U_{си})$ при изменении напряжения $U_{зи}$ (файл **jfet_ch.ewb**). Результаты измерений записать в табл. 6. Зарисовать семейство выходных ВАХ в тетради.

Таблица 6

$U_{си}, В$		0	0,5	1	5	10	20	30
$I_c, мА$ при	$U_{зи} = 1$							
	$U_{зи} = 0,5$							
	$U_{зи} = 0$							
	$U_{зи} = -0,5$							
	$U_{зи} = -1$							

Определить выходное (стоковое) сопротивление $R_c = \Delta U_{си} / \Delta I_c$ при напряжении $U_{зи} = 0$. Сравнить результаты расчета для различных транзисторов.

3. Определить коэффициент усиления по напряжению $\mu = R_c S$. Сравнить результаты расчета для различных вариантов.

4. Заменить транзистор МДП-транзистором со встроенным каналом (*Depletion N-MOSFET*), затем МДП-транзистором с индуцированным каналом (*Enhancement N-MOSFET*). Определить напряжение запираения транзисторов, сравнить с паспортными данными (*Threshold*).

5. Решить задачи 13.14, 13.15 [2].

Контрольные вопросы

1. Каковы конструкции полевых транзисторов с *n-p*-переходом и с изолированным затвором?
2. Принцип действия полевых транзисторов, их основные характеристики и параметры.
3. Что такое напряжение отсечки полевого транзистора, как оно определяется?
4. Что такое ток насыщения транзистора и как он определяется?
5. Каковы преимущества полевых транзисторов перед биполярными?

ПРИЛОЖЕНИЕ

Словарь терминов в EWB

FET (*Field Effect Transistor*) – полевой транзистор;

JFET (*Junction Field Effect Transistor*) – полевой транзистор с *p-n*-переходом;

MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) – полевой транзистор с МОП (металл-оксид-полупроводник) структурой затвора;

Depletion (истощение) **N-MOSFET** – транзистор обедненного типа с каналом *n*-типа;

Enhancement (обогащение) **N-MOSFET** – транзистор обогащенного типа с каналом *n*-типа;

Source – исток;

Drain – сток;

Gate – затвор;

Slope – крутизна характеристики;

Threshold – порог;

Voltage gain – коэффициент усиления напряжения.

Практическое занятие № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРИСТОРА

Содержание занятия

1. Исследовать тиристор (файл **lab1.ewb**, переключатель Z замкнут). Меняя напряжение управления клавишей A , определить ток управления, при котором открывается тиристор. Проверить полученное значение по паспортным данным (*Gate trigger current*). Убедиться, что после снижения до нуля напряжения управления тиристор остается в открытом состоянии.

Определить ток удержания тиристора, при котором закрывается тиристор, меняя анодный ток клавишей S . Проверить полученное значение по паспортным данным (*Holding current*). Построить прямую ветвь ВАХ тиристора. Определить статическое и динамическое сопротивление. Сравнить их.

Исследование полупроводниковых приборов
(лабораторная работа № 1)

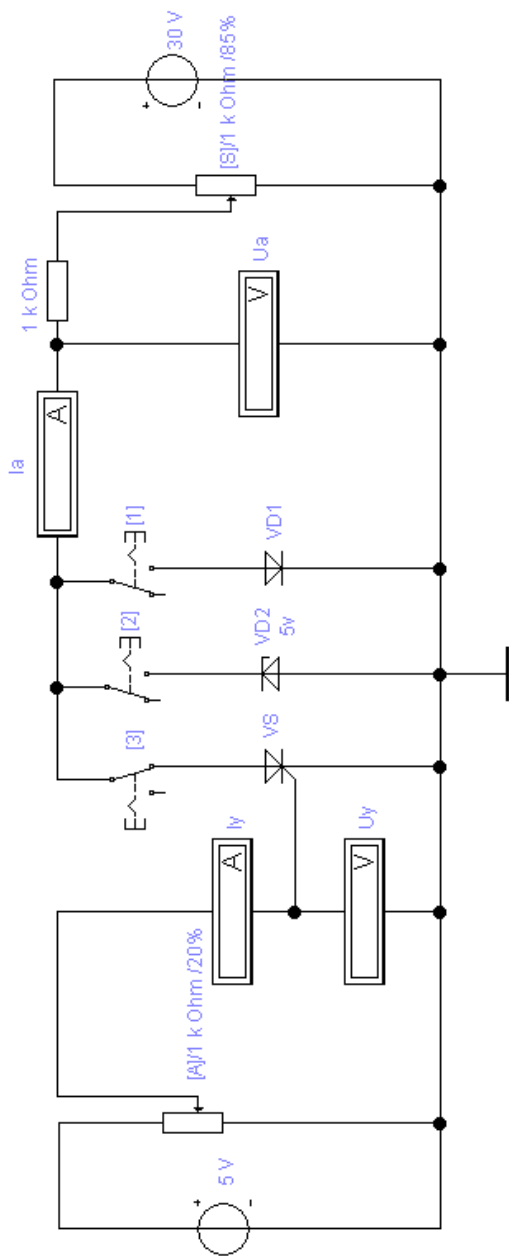


Рис. 22. Снятие ВАХ полупроводниковых приборов (файл **lab1.ewb**)

Тристор используется как управляемый ключ (файл **tirist_L.ewb**).

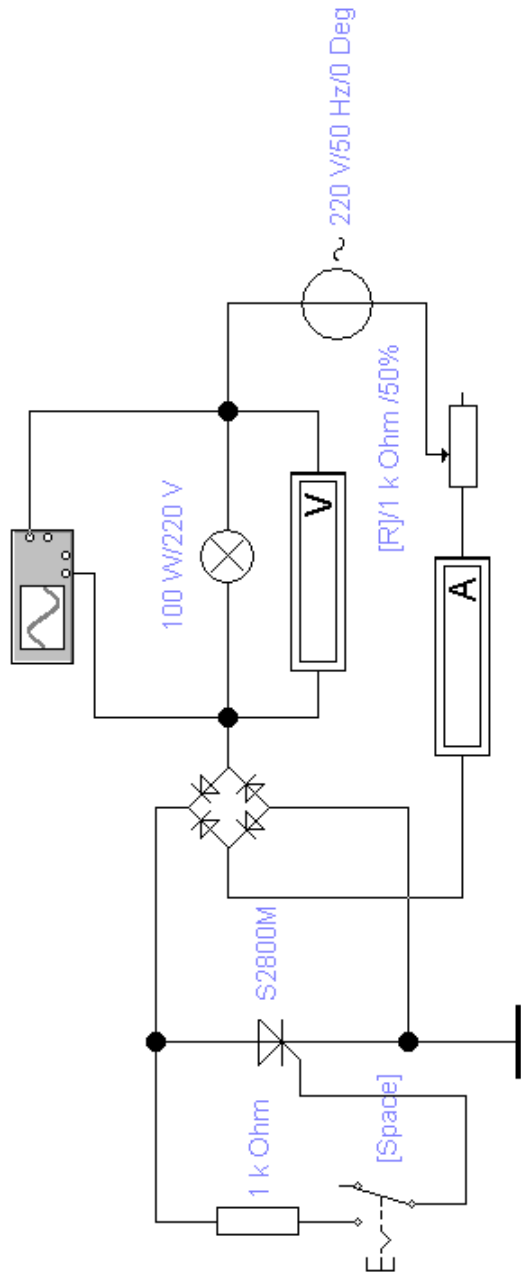


Рис. 23. Тристор – силовой бесконтактный ключ (файл **tirist_L.ewb**)

Клавишей *Space* (Пробел) включается силовая цепь, в которой находится нагрузка (лампа). Обратить внимание на горение лампы, при увеличении тока (клавиша *R*) лампа перегорает.

2. Осциллографический способ снятия ВАХ диностора (файл `va_dini.ewb`).

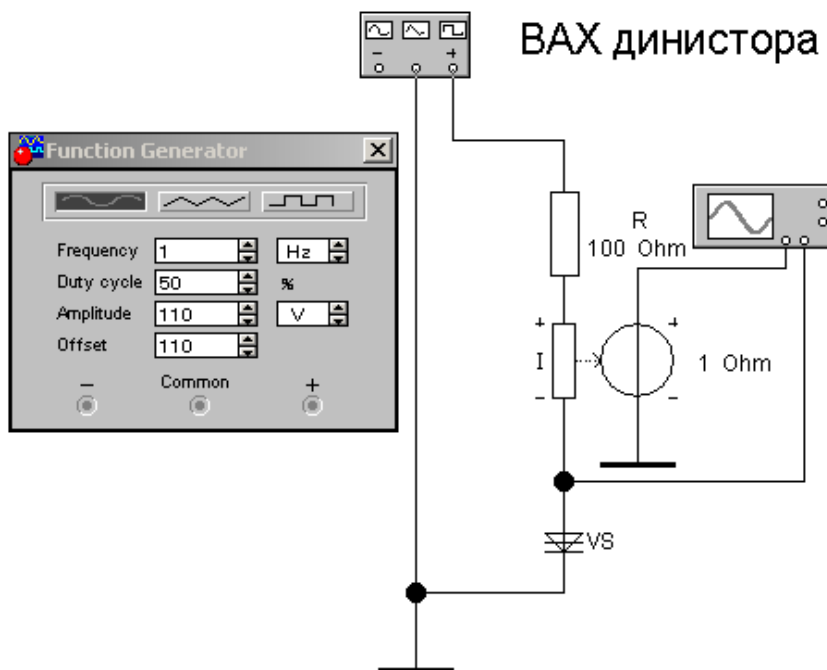


Рис. 24. Осциллографический способ снятия ВАХ диностора (файл `va_dini.ewb`)

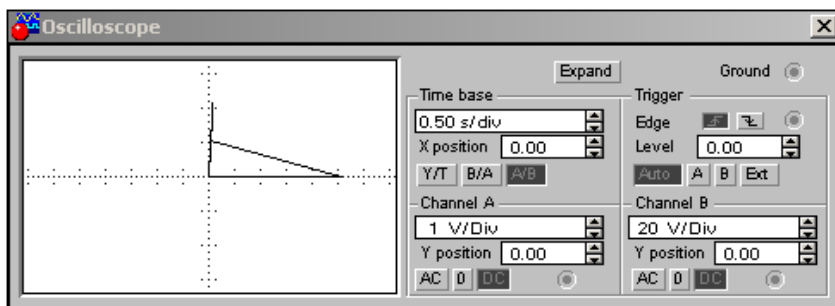


Рис. 25. ВАХ диностора на осциллографе (файл `va_dini.ewb`)

Обратить внимание на амплитуду (*Amplitude*) и напряжение смещения (*Offset*) функционального генератора (*Function Generator*). Определить по паспортным данным напряжение включения (*Switching voltage*), ток удержания (*Holding current*).

3. Осциллографический способ снятия ВАХ тиристора (файл **va_tiri.ewb**). Тиристор включается клавишей *Space* (Пробел).

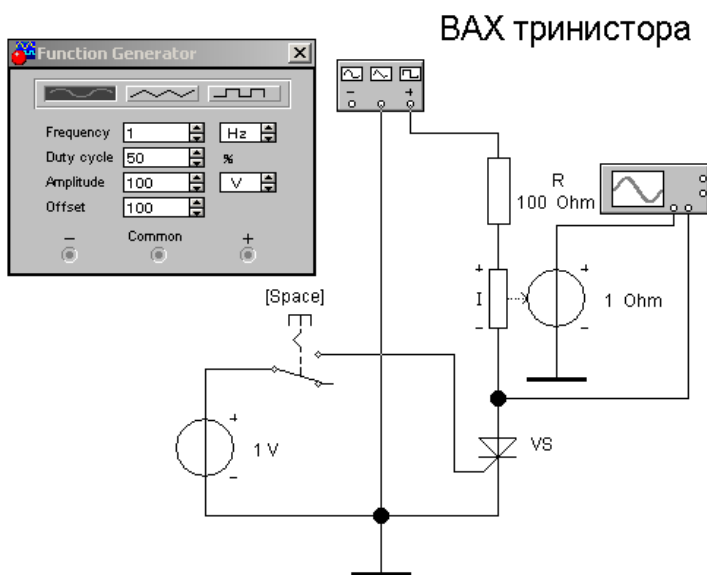


Рис. 26. Осциллографический способ снятия ВАХ тиристора (файл **va_tiri.ewb**)

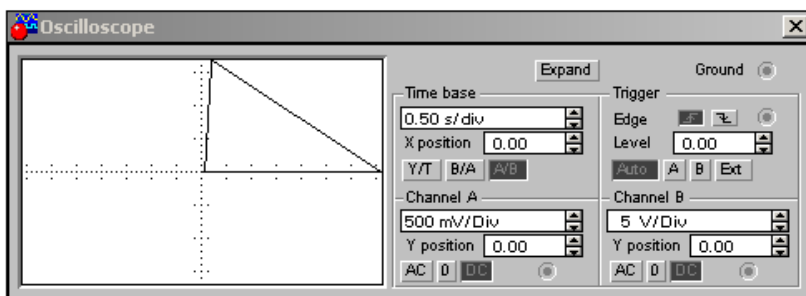


Рис. 27. ВАХ тиристора на осциллографе (файл **va_tiri.ewb**)

4. Две модели тиристора (файл **tirist2.ewb**). В верхней схеме (см. рис. 28) тиристор управляется вручную клавишей *Space* (Пробел). В нижней схеме тиристор заменен на управляемый напряжением ключ (*Voltage-Controlled Switch*) с параметрами срабатывания (*Turn-on voltage*) и отпускания (*Turn-off voltage*).

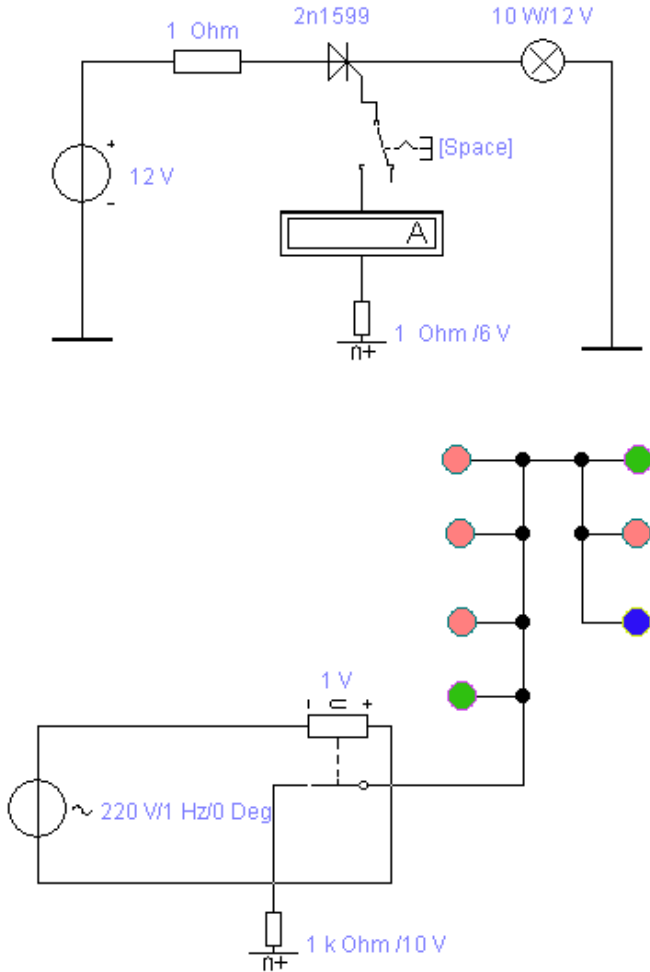


Рис. 28. Две модели тиристора (файл **tirist2.ewb**)

5. Исследовать тиристор (файл **tirist.ewb**).

Исследование тиристора

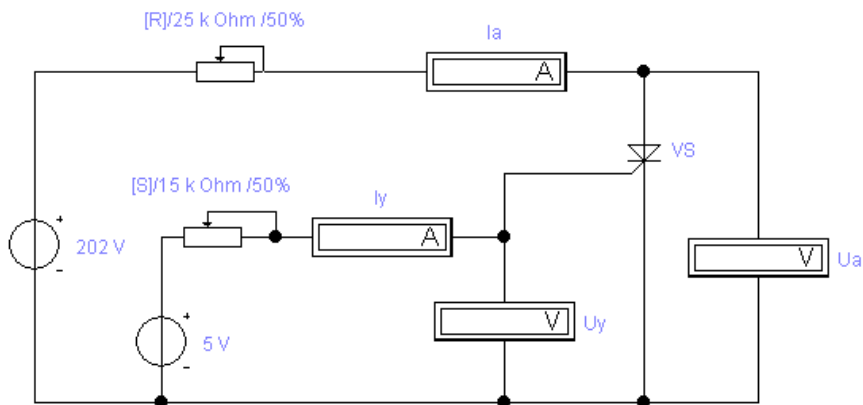


Рис. 29. Схема для исследования тиристора (файл **tirist.ewb**)

Определить ток управления, при котором открывается тиристор. Проверить полученное значение по паспортным данным. Убедиться, что после снижения до нуля напряжения управления тиристор остается в открытом состоянии. Определить ток удержания тиристора, при котором закрывается тиристор. Проверить полученное значение по паспортным данным. Снять ВАХ тиристора.

6. Посмотреть применение тиристора в схемах выпрямления (файлы **tiris_3.ewb** и **tiris_4.ewb**).

Однополупериодная схема
с фазовым управлением
($\alpha < 90$ градусов)

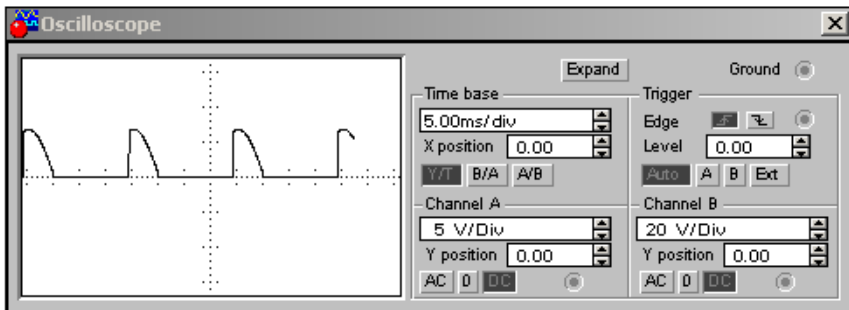
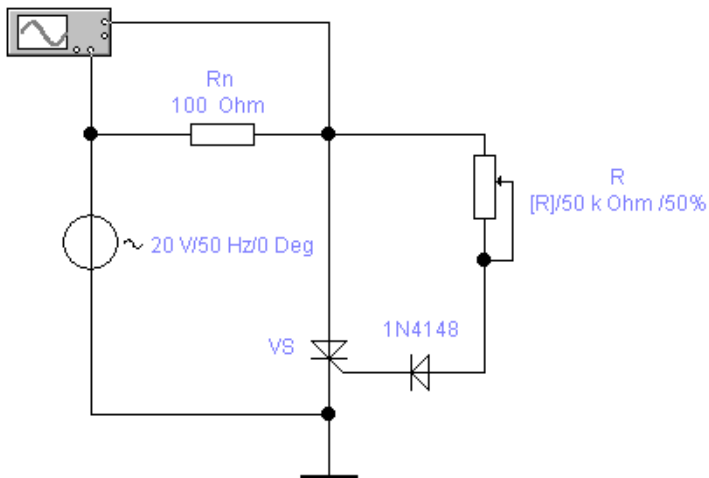


Рис. 30. Тиристор в управляемом выпрямителе (файл **tiris_3.ewb**)

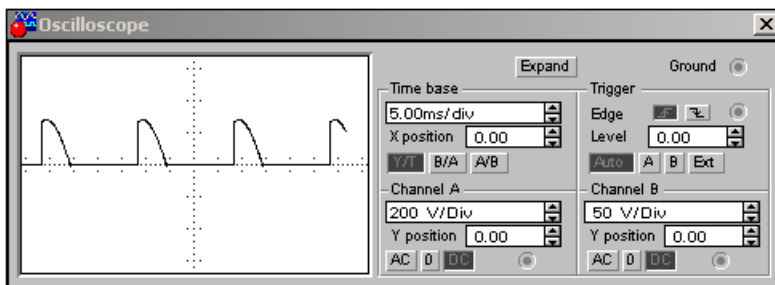
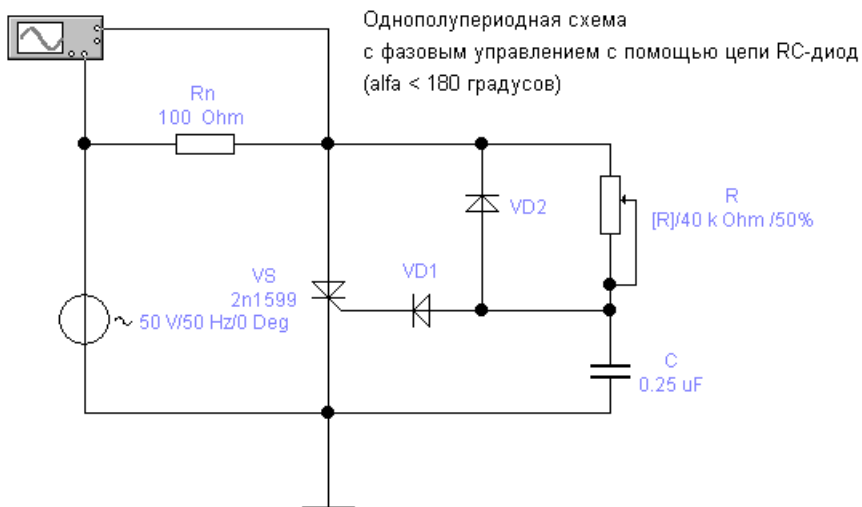


Рис. 31. Тиристор в управляемом выпрямителе (файл `tiris_4.ewb`)

Контрольные вопросы

1. Поясните устройство и принцип работы тиристора, вид его ВАХ?
2. Каково влияние тока управления на работу тиристора?
3. Что такое динистор, тринистор, однооперационный и двухоперационный (запираемый) тиристоры?
4. Каковы основные параметры и характеристики тиристора?
5. От чего зависит наклон участка ВАХ тиристора при его включении?

Практическое занятие № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ

Содержание занятия

1. Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером (ОЭ). Разобрать решение задач 14.3 и 14.5 [2]. Обратить внимание на соответствие полярности источника типу транзистора.
2. Исследование работы усилительного каскада (файл **cascade1.ewb**).

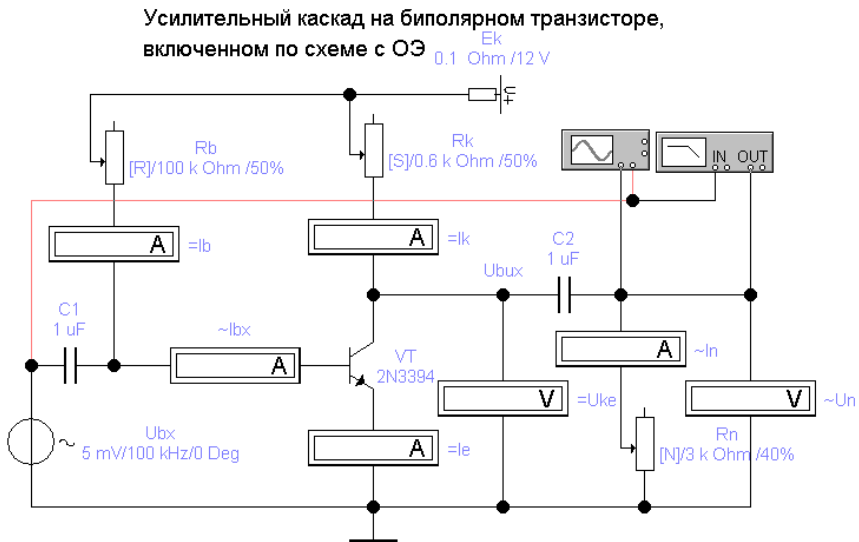


Рис. 32. Усилительный каскад с фиксированным током базы
(файл **cascade1.ewb**)

Определить постоянные составляющие токов I_k , I_6 , I_3 . Сравнить их по величине. Проверить выполнение 1-го закона Кирхгофа

$$I_3 = I_k + I_6.$$

Объяснить вид амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) по характеристикографу (*Bode Plotter*).

Определить коэффициент усиления по напряжению K_u :

а) по АЧХ при логарифмической ($K_u \text{ дБ} = 20\lg(K_u)$) и линейной вертикальной шкале (рис. 33);

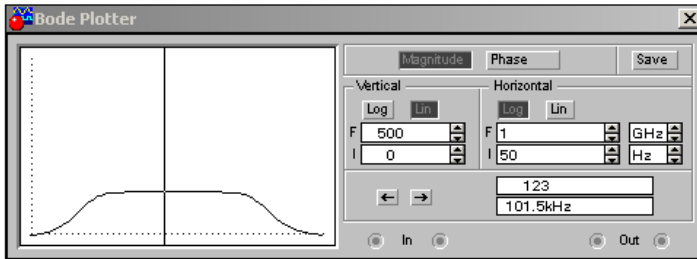


Рис. 33. Определение коэффициента усиления по напряжению по характеристикографу (файл **cascade1.ewb**)

б) по осциллографу в развернутом виде (*Expand*), используя измерители (см. рис. 34);

в) по показанию вольтметра ($K_u = U_H / U_{ВХ}$) (см. рис. 32).

Сравнить их.

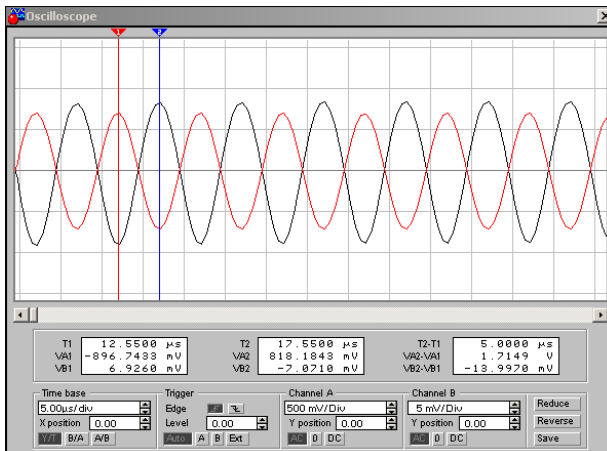


Рис. 34. Определение амплитуд входного и выходного сигналов по осциллографу (файл **cascade1.ewb**)

Определить границы полосы пропускания (при $K_u/\sqrt{2}$) (см. рис. 35, 36).

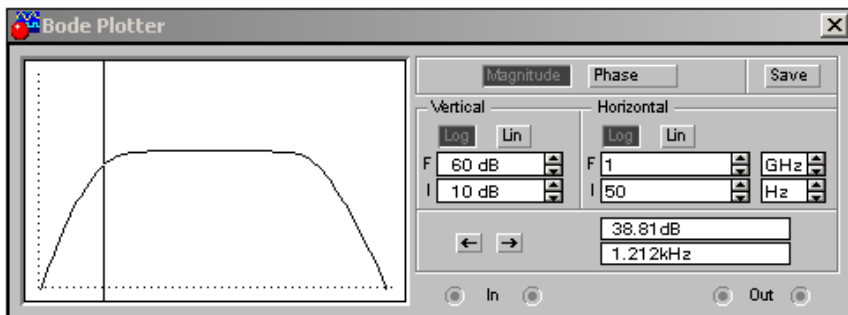


Рис. 35. Определение нижней границы полосы пропускания (файл **cascade1.ewb**)

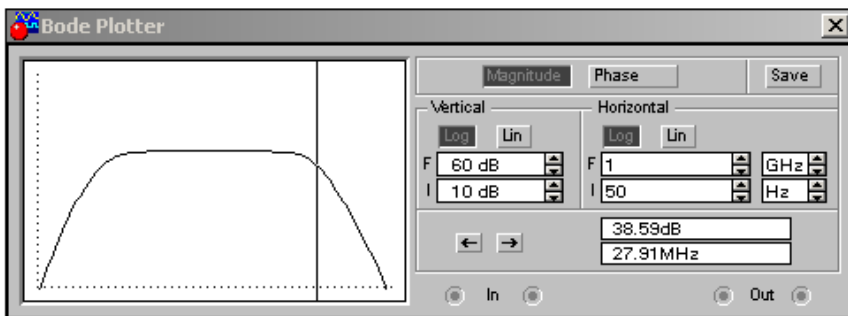


Рис. 36. Определение верхней границы полосы пропускания (файл **cascade1.ewb**)

Обратить внимание на инвертирование сигнала на осциллографе (см. рис. 34) и по фазо-частотной характеристике (ФЧХ) (рис. 37).

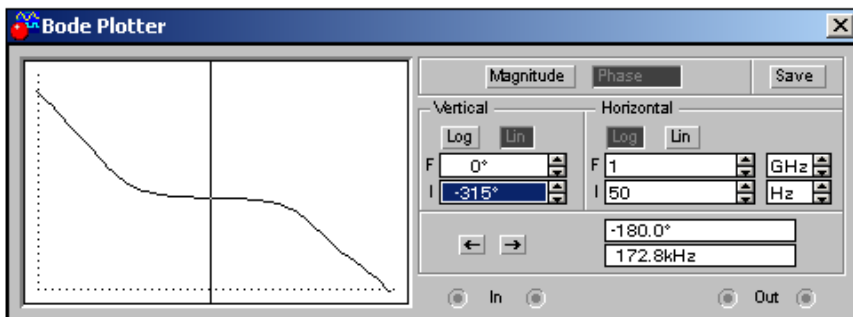


Рис. 37. Определение угла сдвига фаз между входным и выходным напряжениями (файл **cascade1.ewb**)

Определить коэффициент усиления по току K_i по показаниям амперметров: $K_i = I_H / I_{ВХ}$.

Рассчитать коэффициент усиления по мощности $K_p = K_u K_i$. Сравнить полученное значение с показанием измерителя коэффициента усиления по мощности (файл **cascade2.ewb**).

Усилительный каскад на биполярном транзисторе,
включенном по схеме с ОЭ

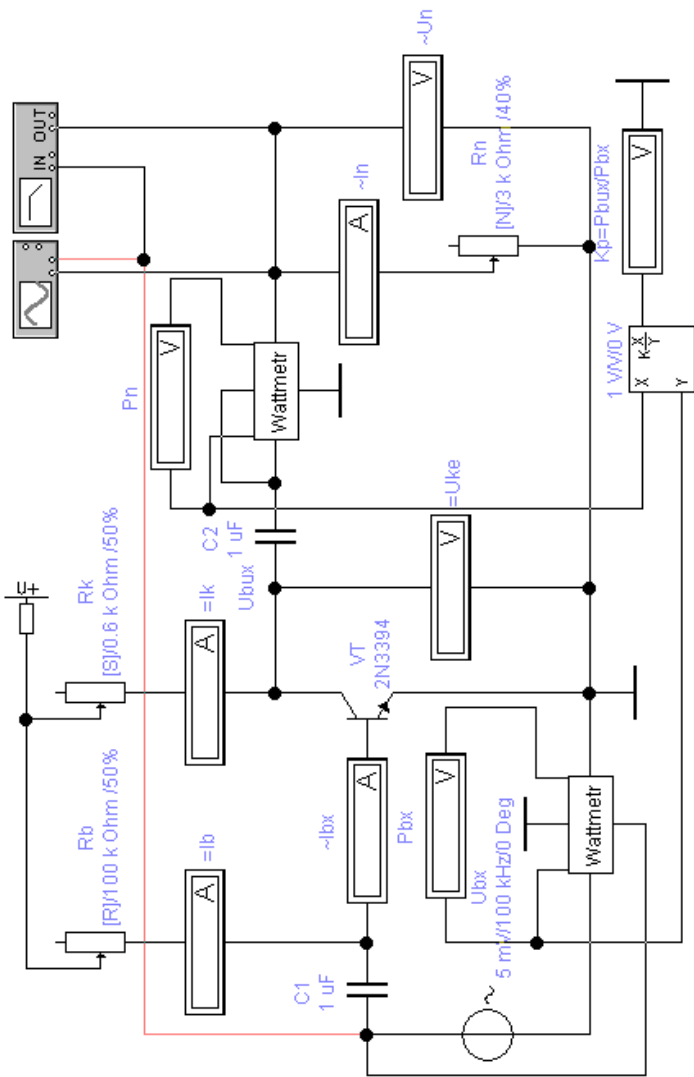


Рис. 38. Измерение мощностей и коэффициента усиления по мощности каскада (файл **cascade2.evb**)

3. Исследование режимов работы усилительного каскада с фиксированным током базы с измерителями коэффициентов усиления (файл **cascade3.ewb**).

Для ускорения анализа (см. рис. 39) разработан измеритель, выполненный как подцепь **device2** (см. рис. 40). К нему подводятся входные и выходные напряжения и токи. Выходные зажимы служат для подключения вольтметров, предназначенных для индикации входной и выходной мощностей, коэффициентов усиления по току, напряжению и мощности.

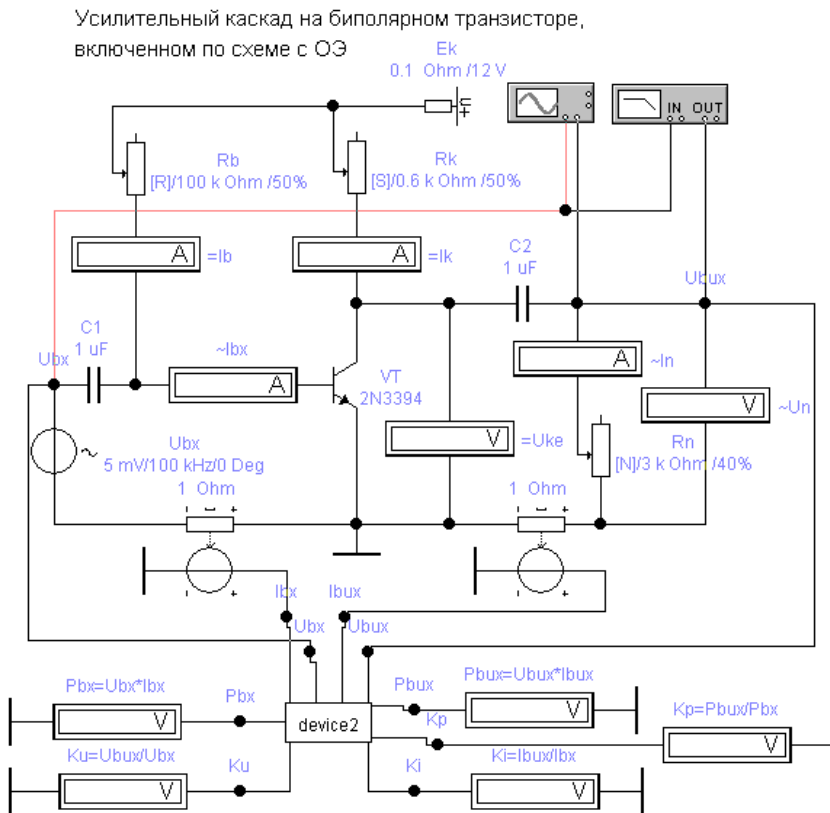


Рис. 39. Измерение коэффициентов усиления каскада (файл **cascade3.ewb**)

Исследовать влияние R_k (клавиша S) на K_u , K_i , K_p и на форму выходного напряжения (для значений 25; 50; 100 % R_k).

4. Исследовать влияние R_b (клавиша R) на K_u , K_i , K_p и на форму выходного напряжения (для значений 25; 50; 100 % R_b).

5. Исследовать влияние R_n (клавиша N) на K_u , K_i , K_p (для значений 5; 40; 100 % R_n ; ∞). Найти R_n , дающее P_{max} .

6. Исследовать влияние $U_{вх}, f$ на K_u , K_i , K_p и на форму выходного напряжения. Построить АЧХ и амплитудную характеристику $U_{вх. м}(U_{вх. м})$.

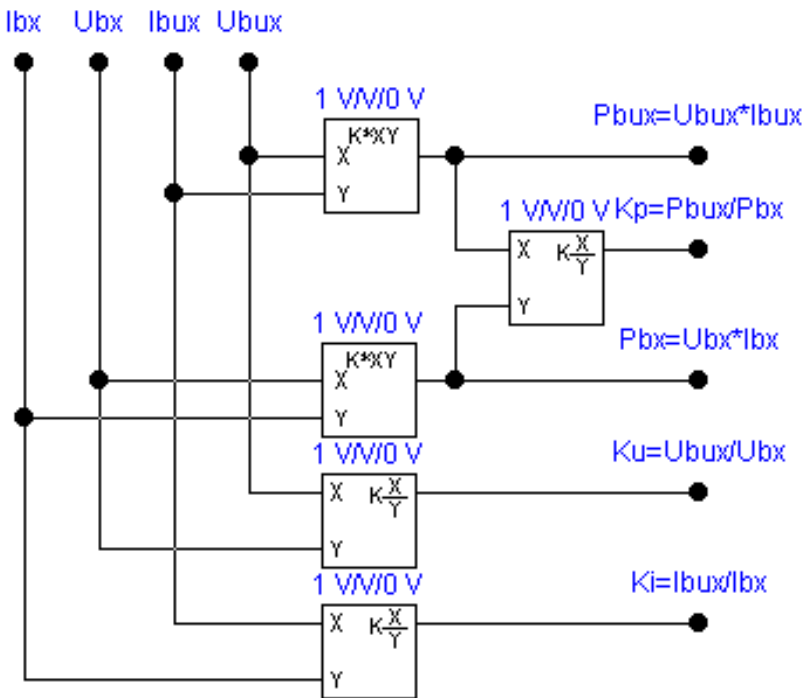


Рис. 40. Измеритель усиления **device2**

7. Термостабилизация усилительного каскада с фиксированным напряжением базы (файл **cascade4.ewb**).

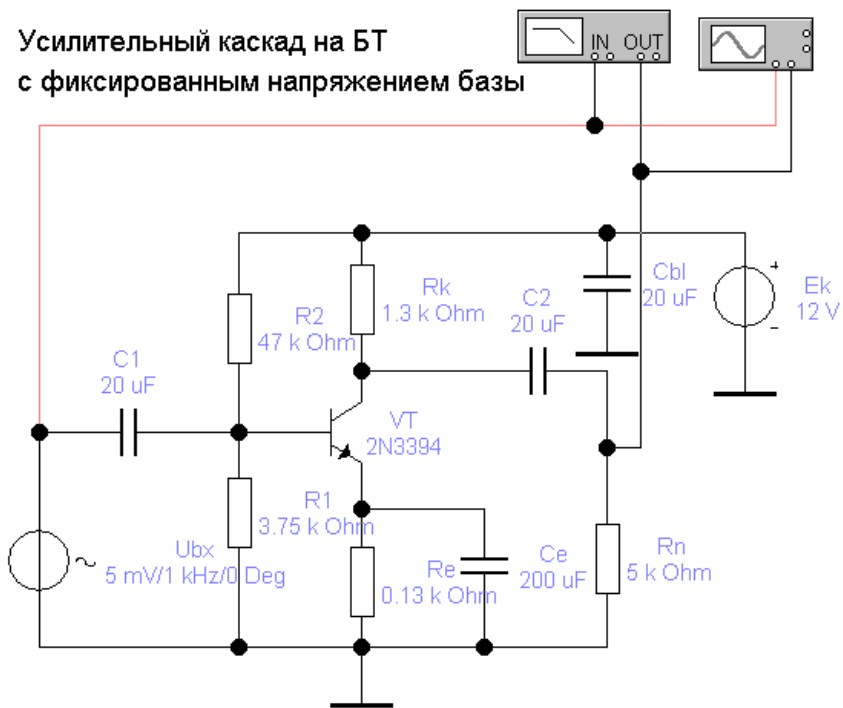


Рис. 41. Усилительный каскад с фиксированным напряжением базы (файл **cascade4.ewb**)

Исследовать влияние R_3 на коэффициент усиления и на АЧХ (для значений 0,1; 0,2; 1 кОм).

Исследовать влияние C_3 на коэффициент усиления и на АЧХ (для значений 1; 10; 100 мкФ).

8. Исследовать влияние емкости разделительного конденсатора C_1 на коэффициент усиления и на АЧХ (для значений 1 нФ; 1 мкФ; 100 мкФ).

9. Познакомиться со схемой лабораторной установки (файл **lab10.ewb**). Обратить внимание на расчет коэффициента усиления на холостом ходу и снижение усиления при нагрузке.

10. Решить задачи 14.18 – 14.21, 14.24, 14.25 [2].

11. Расчет усилительного каскада в статическом и динамическом режимах для своего варианта РГР [3].

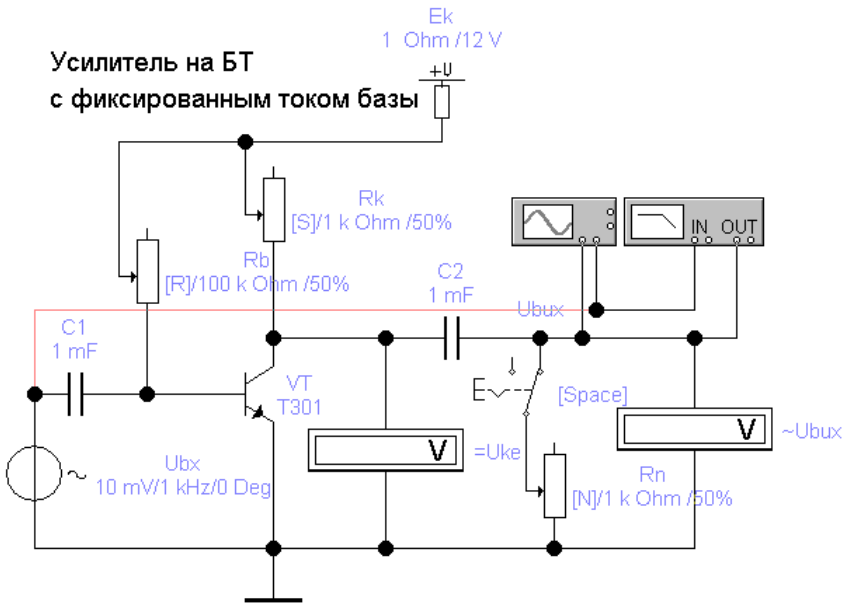


Рис. 42. Усилительный каскад на биполярном транзисторе (файл **lab10.ewb**)

Контрольные вопросы

1. Объяснить принцип действия транзисторного усилителя.
2. Каково назначение транзистора в усилительном каскаде?
3. Какими параметрами характеризуется усилитель?
4. Как снимается амплитудная и амплитудно-частотная характеристики каскада?
5. Как определить полосу пропускания усилителя?
6. Как осуществляется температурная стабилизация в усилителе?
7. В чем причины появления нелинейных искажений выходного напряжения и спада амплитудно-частотной характеристики на низких и высоких частотах?
8. Какое влияние на параметры каскада оказывает R_k ?

9. Какое влияние оказывает R_6 на положение точки покоя?
10. Как изменится коэффициент усиления K_u , если сопротивление нагрузки R_H увеличится?
11. Каково назначение элементов R_3 , C_3 ?
12. Изменится ли коэффициент усиления K_u , если исключить конденсатор C_3 ?
13. Почему конденсаторы C_1 , C_2 называют разделительными?
14. Как изменится выходной сигнал $U_{\text{вых}}$, если емкость конденсатора C_2 увеличится при неизменной амплитуде входного сигнала?

Определить постоянные составляющие I_c , $U_{си}$. Найти входное сопротивление каскада $R_{вх} = U_{вх} / I_{вх}$. Определить входную мощность $P_{вх} = U_{вх} I_{вх}$. Объяснить вид АЧХ по характеристикографу (*Bode Plotter*). Определить границы полосы пропускания. Найти коэффициент усиления по напряжению K_u :

- а) по АЧХ;
 - б) по осциллографу;
 - в) по показанию вольтметра ($K_u = U_{вых} / U_{вх}$).
- Сравнить их.

Обратить внимание на инвертирование сигнала на осциллографе и по ФЧХ. Определить коэффициент усиления по току K_i по показаниям амперметров: $K_i = I_{вых} / I_{вх}$. Рассчитать коэффициент усиления по мощности $K_p = K_u K_i$.

3. Исследование режимов работы каскада (файл **amp_jfet2.ewb**).

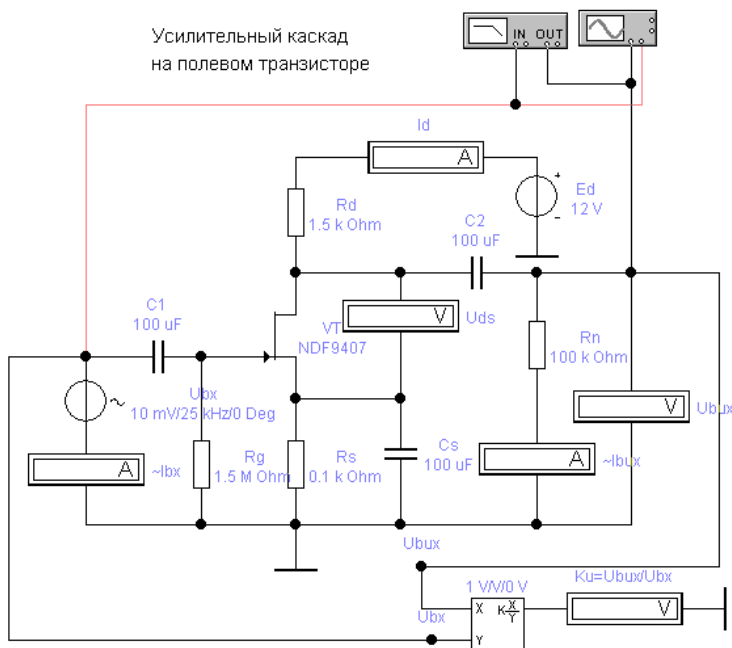


Рис. 44. Исследование усилительного каскада на полевом транзисторе (файл **amp_jfet2.ewb**)

Исследовать влияние R_c на K_u , K_i , K_p (для значений 1; 1,5; 2 кОм).

4. Исследовать влияние R_3 на K_u , K_i , K_p (для значений 1; 1,5; 2 МОм).

5. Исследовать влияние нагрузки R_n на K_u , K_i , K_p (для значений 1; 10; 100 кОм). Найти R_n , дающее P_{\max} .

6. Исследовать влияние $U_{вх}$, f на K_u , K_i , K_p и на форму выходного напряжения. Построить АЧХ и амплитудную характеристику $U_{вх. м}(U_{вх. м})$.

7. Термостабилизация усилительного каскада. Исследовать влияние $R_{и}$ на коэффициент усиления K_u и на АЧХ (для значений 0,1; 0,2; 0,3 кОм). Исследовать влияние $C_{и}$ на коэффициент усиления и на АЧХ (для значений 1; 10; 100 мкФ).

8. Исследовать влияние емкости разделительного конденсатора C_1 на коэффициент усиления и на АЧХ (для значений 1 нФ; 1 мкФ; 100 мкФ).

9. Решить задачи 14.16, 14.17, 14.23, 14.26 [2].

10. Исследование выходных каскадов (усилителей мощности). Эмиттерный повторитель (**ok.ewb**), с согласующим трансформатором (**pa_tr.ewb**, **pa_tr1.ewb**), двухтактный (**pa_2t.ewb**). Оценить влияние параметров элементов схем на усиление сигнала. Объяснить искажение сигнала в двухтактном усилителе.

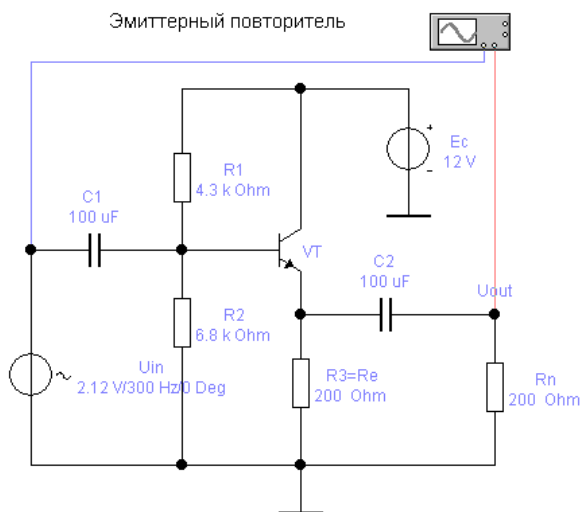


Рис. 45. Схема с общим коллектором (эмиттерный повторитель) (файл **ok.ewb**)

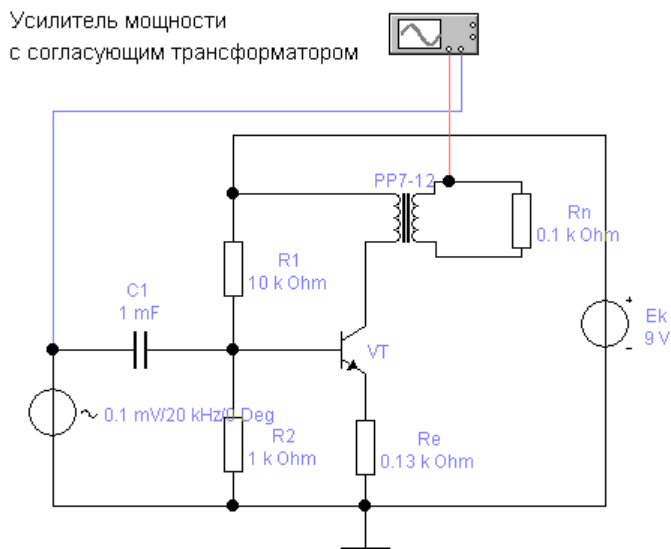


Рис. 46. Трансформаторный усилитель мощности (файл **pa_tr.ewb**)

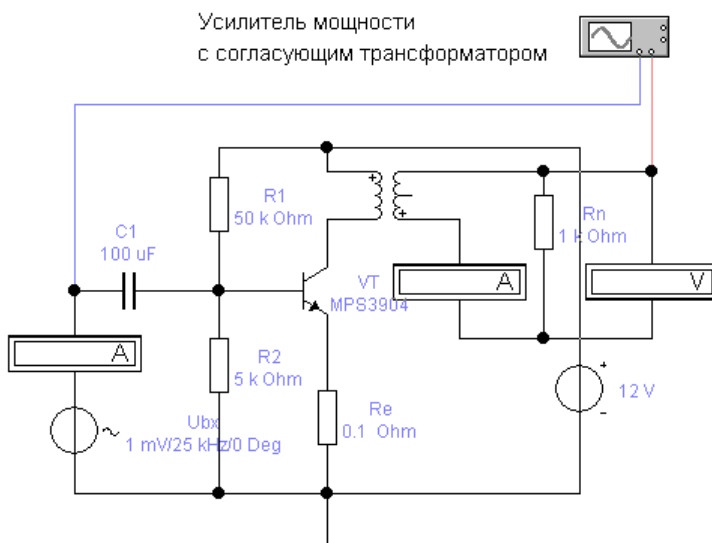


Рис. 47. Усилитель мощности с согласующим трансформатором
(файл **pa_tr1.ewb**)

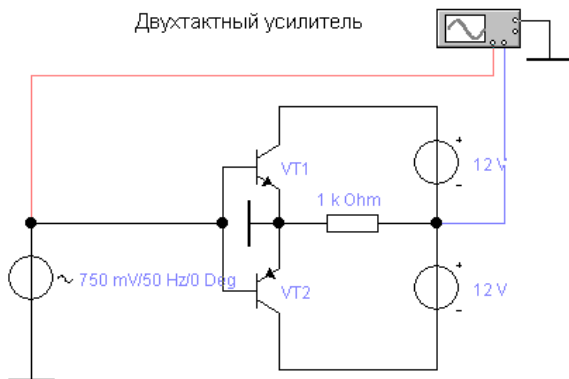


Рис. 48. Двухтактный усилитель мощности (файл **pa_2t.ewb**)

11. Разобрать задачу 14.9, обратив внимание $P_{к доп} = 2P_{н max}$, решить задачи 14.31, 14.32 [2].

12. Исследование дифференциальных усилителей (**da1.ewb**, **da2.ewb**). Сравнить результаты при разных и одинаковых параметрах (в т. ч. фазе) входных сигналов. Оценить влияние параметров элементов схем на усиление сигнала.

13. Разобрать решение задачи 14.7. Решить задачи 14.22, 14.27 [2].

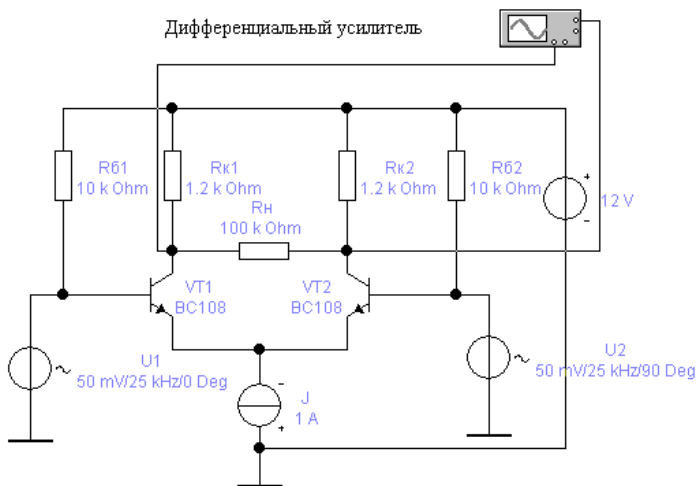


Рис. 49. Дифференциальный усилительный каскад (файл **da1.ewb**)

Контрольные вопросы

1. Объяснить принцип действия усилителя на полевом транзисторе.
2. Для каких целей в усилительный каскад включают резистор R_3 ?
3. Какими параметрами характеризуется усилитель?
4. Как осуществляется температурная стабилизация в усилителе?
5. Какое влияние на параметры каскада оказывает R_c ?
6. Как изменится коэффициент усиления K_u , если сопротивление нагрузки R_n увеличится?
7. Изменится ли коэффициент усиления K_u , если исключить конденсатор C_u ?
8. Для чего предназначены усилители мощности? Какие требования предъявляют к ним? Какие существуют разновидности?
9. С какой целью применяют дифференциальные усилители?

Практическое занятие № 8

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ

Содержание занятия

1. Исследование операционного усилителя (ОУ). Разобрать решение задач 15.1, 15.2 [2]. Решить задачи 15.11, 15.12. Обратить внимание на погрешность неучета реальных параметров ОУ (1 %).

2. Исследование инвертирующего усилителя (файл **oa_iy.ewb**).

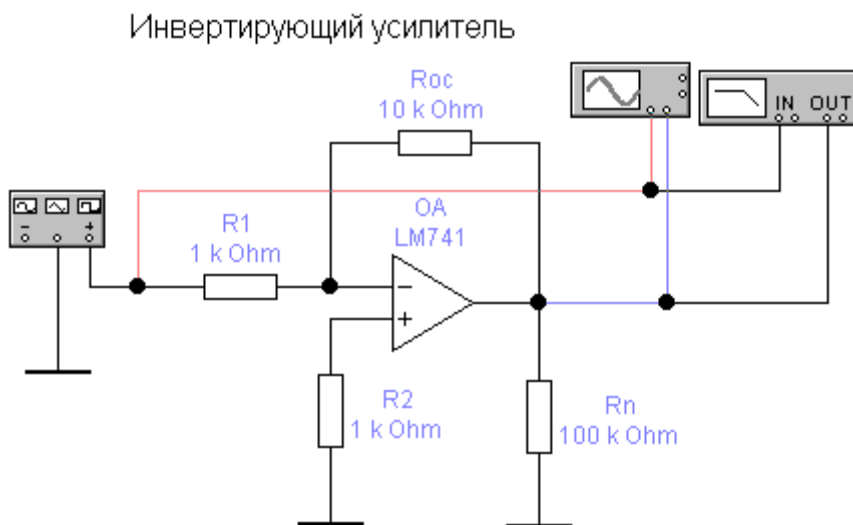


Рис. 51. Инвертирующий усилитель (файл **oa_iy.ewb**)

Пояснить вид АЧХ по характернографу (*Bode Plotter*). Определить коэффициент усиления по АЧХ и осциллографу, сравнить полученные значения с расчетным: $K_u = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}} = -R_{\text{oc}}/R_1$. Найти фазовый сдвиг между входным и выходным напряжениями по осциллографу и по ФЧХ на характернографе. Исследование инвертора (файл **oa_inver.ewb**).

3. Исследование неинвертирующего усилителя (файл **oa_ny.ewb**).

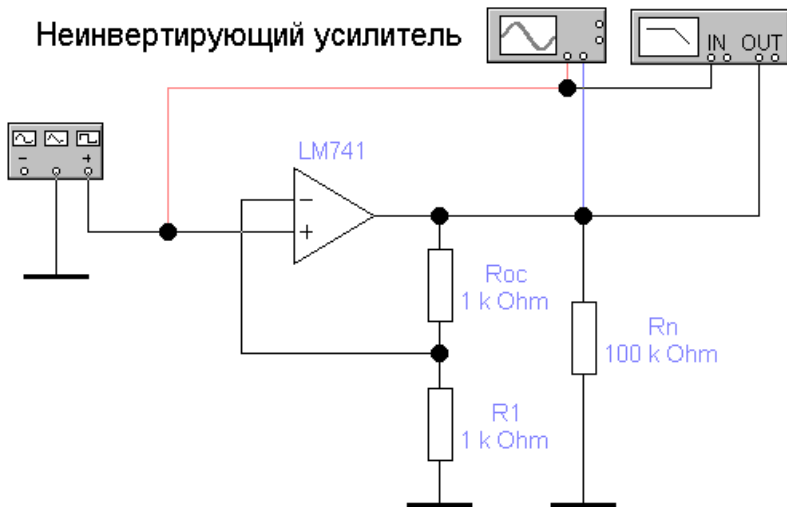


Рис. 52. Неинвертирующий усилитель (файл **oa_ny.ewb**)

Определить коэффициент усиления по АЧХ и осциллографу, сравнить полученные значения с расчетным $K_u = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}} = 1 + R_{oc}/R_1$. Найти фазовый сдвиг между входным и выходным напряжениями по осциллографу и по ФЧХ на характеристикографе. Получить схему повторителя ($K_u = 1$), удалив резистор R_{oc} .

4. Построение амплитудной характеристики ОУ с помощью осциллографа (файл **oa_amp.ewb**). Нелинейный режим работы ОУ (файл **oa_nolin.ewb**). Сравнить значение выходного напряжения с паспортными данными (*Positive voltage swing*, *Negative voltage swing*).

5. Исследование преобразователя тока в напряжение (файл **oa_i_u.ewb**). Определить выходное напряжение и сравнить с расчетным $U_{\text{вых}} = i_{\text{вх}} R_{oc}$.

Осциллографический способ получения амплитудной характеристики

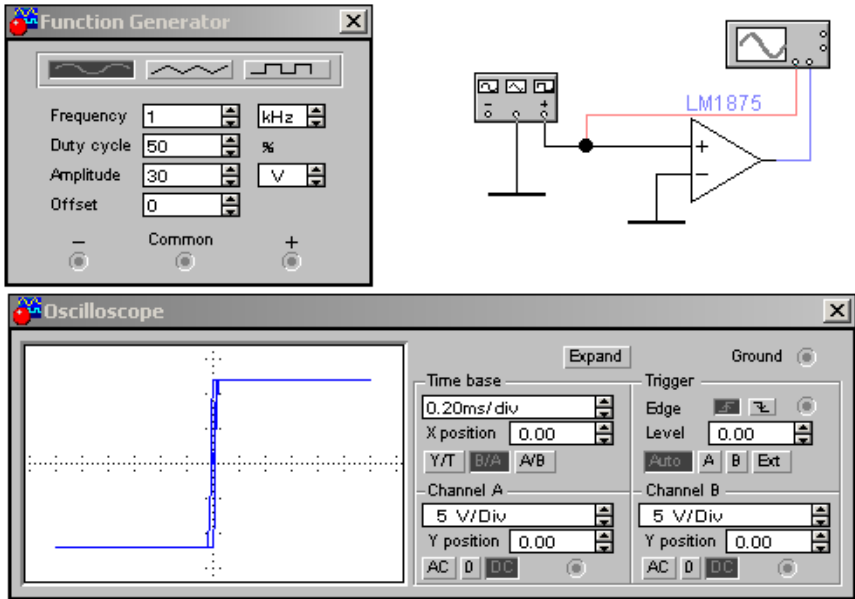


Рис. 53. Построение амплитудной характеристики на осциллографе (файл **oa_amp.ewb**)

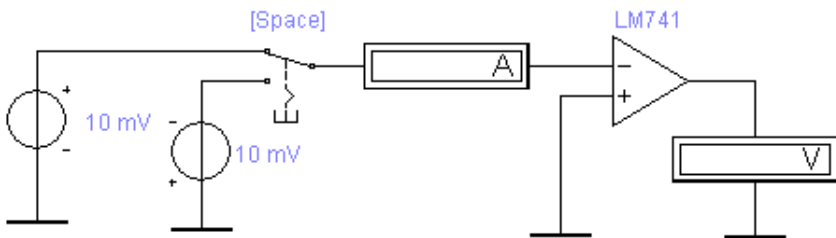


Рис. 54. Нелинейный режим работы ОУ (файл **oa_nolin.ewb**)

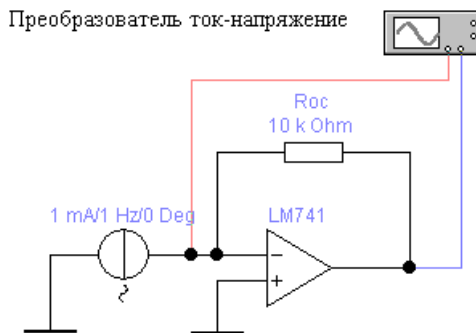


Рис. 55. Преобразователь тока в напряжение (файл **oa_i_u.ewb**)

6. Исследование разностного усилителя (файл **oa_du.ewb**). Определить выходное напряжение при одинаковых и разных параметрах входных напряжений. Сравнить результаты с расчетными по формулам, приведенным в окне *Description*.

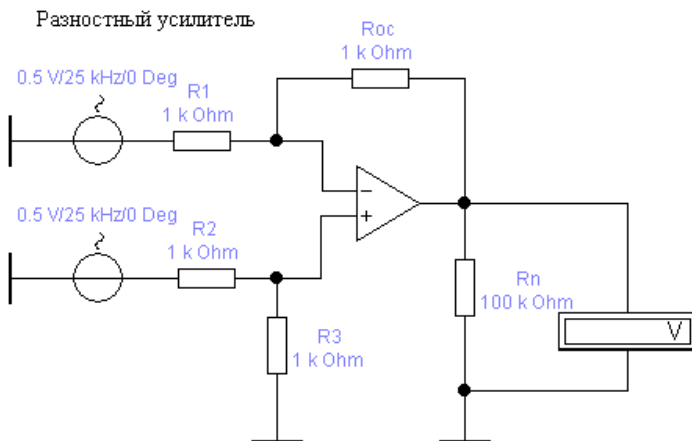


Рис. 56. Разностный усилитель (файл **oa_du.ewb**)

7. Исследование сумматоров. Разобраться с работой инвертирующего (файл **oa_sum_i1.ewb**), неинвертирующего (файл **oa_sum_n.ewb**) и параллельного (файл **oa_sum_p.ewb**) сумматоров. Сравнить результаты измерений с вычисленными по формулам в окне *Description*.

Инвертирующий сумматор

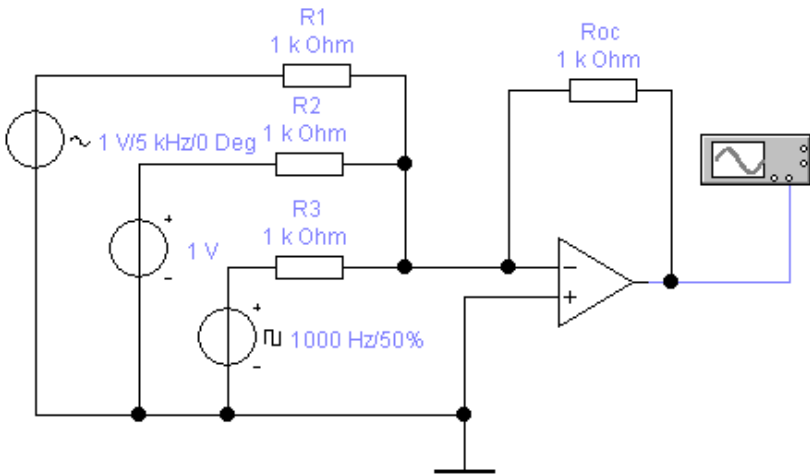


Рис. 57. Инвертирующий сумматор (файл `oa_sum_i1.ewb`)

Неинвертирующий сумматор

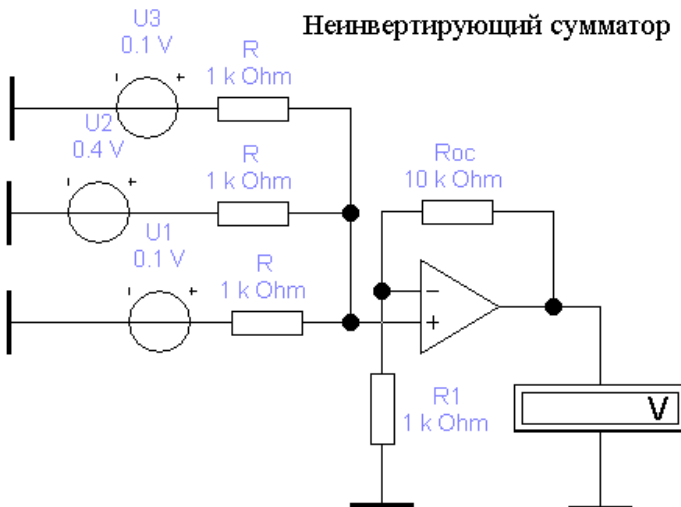


Рис. 58. Неинвертирующий сумматор (файл `oa_sum_n.ewb`)

Параллельный сумматор

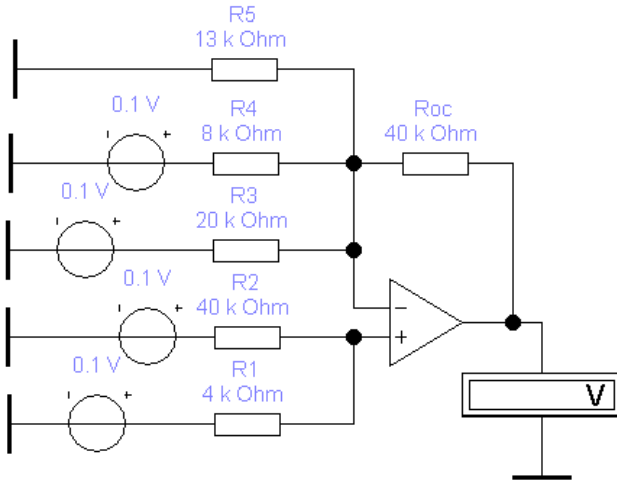


Рис. 59. Параллельный сумматор (файл **oa_sum_p.ewb**)

8. В схеме фазовращателя (файл **oa_fazov.ewb**) обратить внимание на фазовый сдвиг между входным и выходным напряжением при изменении сопротивления потенциометра (клавиша R).

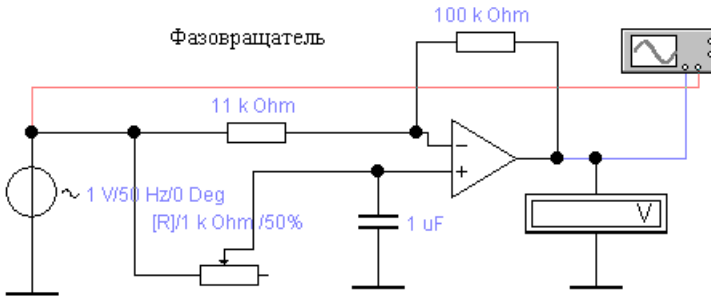


Рис. 60. Фазовращатель (файл **oa_fazov.ewb**)

9. Подать на вход дифференциатора (файл **oa_diff.ewb**) сигналы функционального генератора различной формы и посмотреть, как они дифференцируются. Удалить конденсатор обратной связи C_{oc} и зарегистрировать появление высокочастотных модуляций.

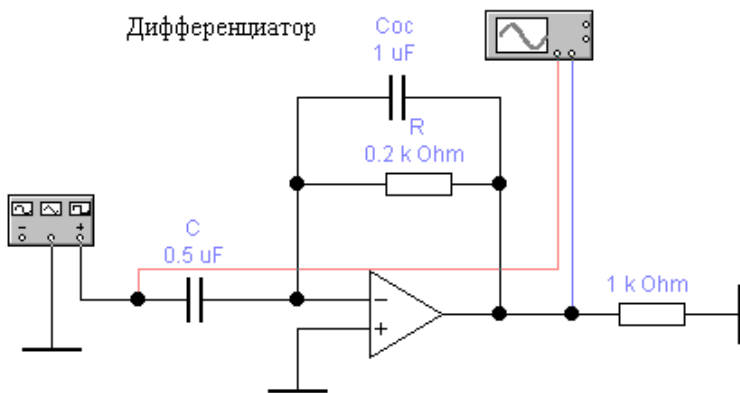


Рис. 61. Дифференциатор (файл **oa_diff.ewb**)

10. Посмотреть, как интегрируются сигналы различной формы в интеграторе (файл **oa_integ.ewb**).

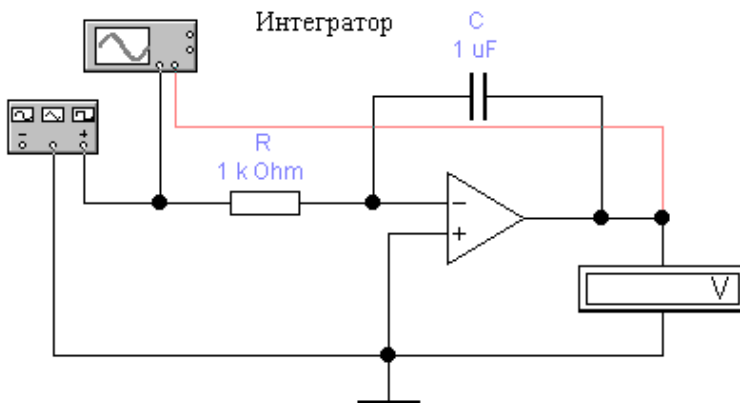


Рис. 62. Интегратор (файл **oa_integ.ewb**)

11. Геометрическое сложение сигналов различной формы используется для демонстрации работы схемы ОУ К544УД1А на дискретных элементах (файл **oa_geom_sum.ewb**) и этого же ОУ в интегральном исполнении (файл **oa_geom_ims.ewb**). Обратите внимание на необходимость двухполярного источника питания. Убедитесь в идентичности результирующих осциллограмм.

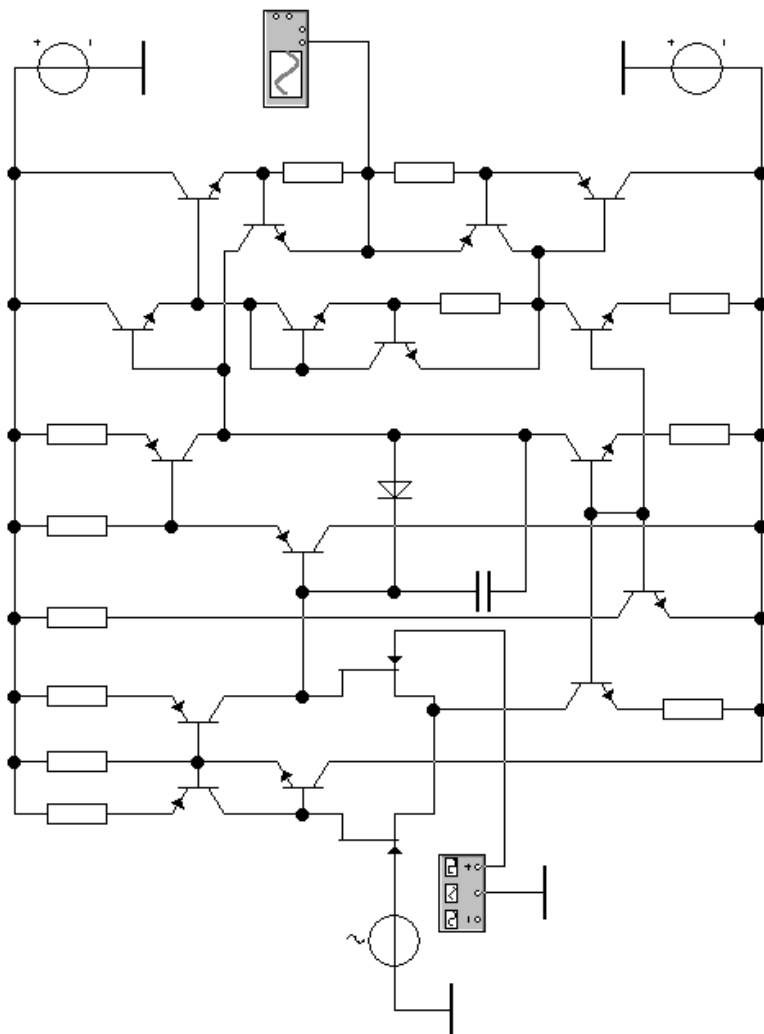


Рис. 63. Микросхема К544УД1А (файл oa_geom_sum.ewb)

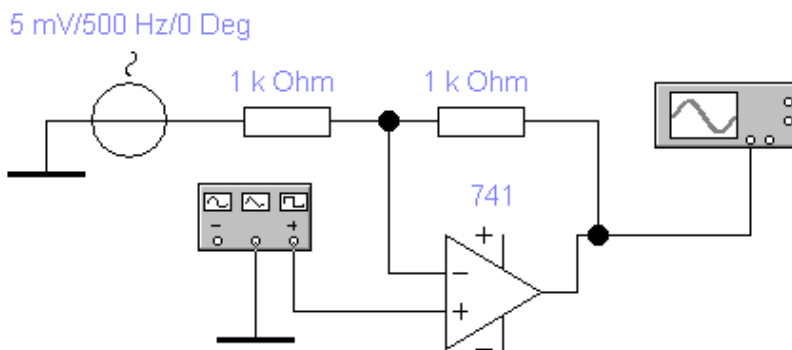


Рис. 64. ОУ в режиме геометрического суммирования
(файл `oa_geom_ims.ewb`)

12. Разобрать решение задачи 15.5 [2]. Решить задачи 15.13, 15.15, 15.16, 15.21.

13. Расчет операционного усилителя для своего варианта РГР ([3], задача 4).

Контрольные вопросы

1. К какому классу усилителей относится ОУ?
2. Чем объясняется широкое использование ОУ?
3. Поясните структурную компоновку ОУ.
4. Что такое обратные связи в усилителях и как они используются при построении конкретных устройств на базе ОУ?
5. Какие основные характеристики ОУ и какой они имеют вид?
6. Где используют линейный и нелинейный режим усиления?
7. Пояснить принцип построения инвертирующего и неинвертирующего усилителя на базе ОУ.
8. Как определяется их коэффициент усиления?
9. Пояснить принцип построения вычитателя, сумматора, дифференциатора, интегратора. Записать формулы выполняемых операций.
10. Для чего в дифференциаторе применяют конденсатор в цепи обратной связи?

Рекомендуемая литература

1. Карлашук, В. И. Электронная лаборатория на IBM PC : лабораторный практикум на базе Electronics Workbench и MATLAB / В. И. Карлашук. – М. : СОЛОН-Пресс, 2004. – 800 с.
2. Бладыко, Ю. В. Сборник задач по электротехнике и электронике : учебное пособие для инженерно-технических специальностей вузов / Ю. В. Бладыко, Т. Т. Розум [и др.]. – Минск : Вышэйшая школа, 2013. – 478 с.
3. Бладыко, Ю.В. Электроника : методическое пособие к выполнению расчетно-графической работы / Ю. В. Бладыко, Г. С. Климович, Л. С. Пекарчик. – Минск : БНТУ, 2005. – 71 с.

Оглавление

Введение	3
Особенности программы Electronics Workbench	3
Интерфейс программы Electronics Workbench	4
Создание схемы	5
Контрольно-измерительные приборы	8
Анализ схем	11
Практическое занятие № 1	15
Контрольные вопросы	24
Практическое занятие № 2	25
Контрольные вопросы	28
Практическое занятие № 3	29
Контрольные вопросы	33
Практическое занятие № 4	34
Контрольные вопросы	37
Приложение	37
Практическое занятие № 5	38
Контрольные вопросы	46
Практическое занятие № 6	47
Контрольные вопросы	55
Практическое занятие № 7	57
Контрольные вопросы	63
Практическое занятие № 8	64
Контрольные вопросы	72
Рекомендуемая литература	73

Учебное издание

БЛАДЫКО Юрий Витальевич

**ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ
В ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАБОРАТОРИИ**

Учебно-методическое пособие по дисциплине «Электроника»

В 3 частях

Часть 1

Редактор *О. В. Ткачук*
Компьютерная верстка *А. Г. Занкевич*

Подписано в печать 23.06.2015. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 4,36. Уч.-изд. л. 3,41. Тираж 100. Заказ 340.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.