

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ**

по курсу «МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ЭВМ»

для студентов специальности 7.091302
«Метрология и измерительная техника»
дневного и заочного обучения

Утверждено
редакционно-издательским
советом университета,
протокол № 4
от 19.12.03 г.

Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Моделювання на ЕОМ» для студентів спеціальності 7.091302 денного та заочного навчання / За ред. О.Л. Харченко, В.М. Балєва. – Харків: НТУ «ХПІ», 2004 – 36 с. – Рос. мовою

Укладачі: О.Л. Харченко
В.М. Балєв

Рецензент О.П. Давиденко

Кафедра «Вимірювально – інформаційна техніка»

О.Л. Харченко, 2004 р.
В.М. Балєв, 2004 р.
НТУ «ХПІ», 2004 р.

ВСТУПЛЕНИЕ

Дисциплина «Моделирование на ЭВМ» является одной из дисциплин цикла профессиональной и практической подготовки специалистов по специальности 7.091302 – «Метрология и измерительная техника». Данные методические указания предназначены для проведения лабораторного практикума по этой дисциплине.

Все лабораторные работы выполняются с применением компьютерного моделирования в среде Electronics Workbench. Эта среда имеет обширную библиотеку моделей разнообразных по назначению аналоговых и цифровых электронных компонентов и позволяет составлять и исследовать принципиальные схемы элементов измерительных приборов практически неограниченной сложности. Широкая номенклатура виртуальных измерительных приборов (амперметры, вольтметры, осциллографы, измерители АЧХ и ФЧХ, логические анализаторы и т.п.) обеспечивает возможность разнообразнейших видов контроля режимов работы электронных схем.

В данных лабораторных работах реализована новая технология исследования электронных схем, которая базируется на модельном эксперименте, обеспечивает быстрое и основательное усвоение больших объемов информации при изучении разных методов измерения, принципов преобразования измерительных сигналов, методов оценки метрологических показателей приборов.

Приобретенные при выполнении лабораторных работ знания и навыки содействуют не только углубленному пониманию идеологии построения элементов электронных схем измерительных приборов, но и станут хорошим подспорьем при усвоении учебного материала по сопредельным дисциплинам, выполнении курсового и дипломного проектирования, в исследовательской работе.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Программа Electronics Workbench имеет в своем составе широкий набор виртуальных измерительных приборов. При выполнении данных лабораторных работ используются такие из них: мультиметр, осциллограф, функциональный генератор, измеритель АЧХ и ФЧХ.

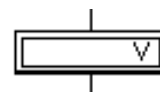
Простейшими приборами в Electronics Workbench являются вольтметр и амперметр, расположенные в поле индикаторов, которое на панели компонен-

тов изображается значком .

Они не требуют настройки, автоматически изменяя диапазон измерений. В одной схеме можно применять несколько таких приборов одновременно, наблюдая токи в разных цепях схемы и напряжения на разных элементах.

Вольтметр (рис. 1) используется для измерения переменного и постоянного напряжения. Выделенная жирной линией сторона прямоугольника на рис. 1

соответствует отрицательной клемме. Двойным нажатием по левой кнопке мышки (ЛКМ) на изображении вольтметра открывается



диалоговое окно для изменения параметров вольтметра: вида измеряемого напряжения, величины внутреннего сопротивления. Диалоговое окно вольтметра показано на рис. 2.

Рисунок 1

Значение внутреннего сопротивления вводится из клавиатуры в строке Resistance, вид измеряемого напряжения (опция Mode) выбирается из списка. При измерении переменного синусоидального напряжения (AC) вольтметр будет показывать действующее значение напряжения $U_{\text{д}}$, что определяется по формуле

$$U_{\text{д}} = \frac{U_{\text{м}}}{\sqrt{2}},$$

где $U_{\text{м}}$ - амплитудное значение напряжения.

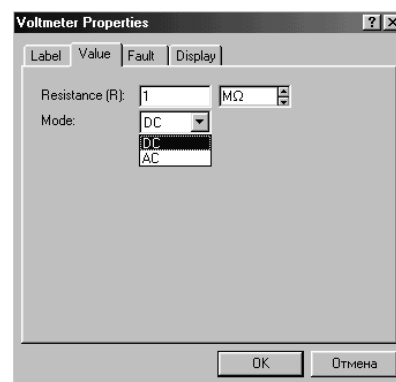


Рисунок 2

Внутреннее сопротивление вольтметра можно изменить, однако использование вольтметра с очень высоким внутренним сопротивлением в схемах с низким исходным сопротивлением может привести к математической ошибке во время моделирования работы схемы.

Примечание. Для измерения напряжения кроме вольтметра можно использовать мультиметр.



Рисунок 3

Амперметр (рис. 3) используется для измерения переменного и постоянного токов. Выделенная жирной линией сторона прямоугольника на рис. 3 соответствует отрицательной клемме.

Двойным нажатием ЛКМ на изображении амперметра открывается диалоговое окно для изменения параметров амперметра: вида измеряемого тока; значения внутреннего сопротивления. Диалоговое окно амперметра аналогично соответствующему окну для вольтметра.

Значение внутреннего сопротивления вводится с клавиатуры в строке Resistance, вид измеряемого тока (опция Mode) выбирается из списка.

При измерении переменного синусоидального тока (АС) амперметр будет показывать его действующее значение $I_{\text{д}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$, где I_m - амплитуда переменного тока.

Внутреннее сопротивление амперметра можно снизить, однако использование амперметра с очень низким сопротивлением в схемах с высоким исходным сопротивлением (относительно выводов амперметра) может привести к математической ошибке во время моделирования работы схемы.

Примечания: Для измерения тока кроме амперметра можно использовать мультиметр. Для исследования схемы можно одновременно использовать несколько вольтметров и амперметров.

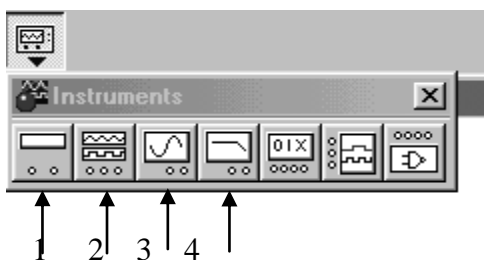


Рисунок 4

Кроме описанных амперметра и вольтметра, в Electronics Workbench есть семь приборов с многочисленными режимами работы, любой из которых можно использовать в схеме только один раз. Изображения этих приборов расположены на панели приборов (рис. 4).


В лабораторных работах используются: мультиметр - 1, функциональный генератор - 2, осциллограф - 3 и измеритель амплитудно-частотных (АЧХ) и фазочастотных (ФЧХ) характеристик - 4.

Мультиметр

Мультиметр используется для измерения: напряжения (постоянного и переменного); тока (постоянного и переменного); сопротивления; уровня напряжения в децибелах.







Рисунок 5

Для настройки мультиметра нужно двойным нажатием ЛКМ на его уменьшенном изображении  открыть его увеличенное изображение (рис. 5). На увеличенном изображении нажатием ЛКМ выбирается:

- измеряемая величина в единицах измерения А, V, или dB;
- вид измеряемого сигнала: переменный или постоянный;
- режим установки параметров мультиметра.

Вид измеренной величины выбирается нажатием соответствующей кнопки

на увеличенном изображении мультиметра. Нажатие кнопки  устанавливает мультиметр для измерения действующего значения переменного тока и напряжения, постоянная составляющая сигнала при измерении не учитывается. Для измерения постоянного напряжения и тока нужно на увеличенном изображении мультиметра нажать кнопку .

Измерение сопротивления. Мультиметр - единственный в Electronics Workbench стандартный прибор, предназначенный для измерения сопротивления. Для использования мультиметра как омметра присоедините его параллельно участку цепи, сопротивление которого нужно измерять; на увеличенном изображении мультиметра нажмите кнопку  и кнопку  (переключение в режим измерения постоянного тока). Во избежание ошибочных показаний, схема должна быть соединена с землей и не иметь контакта с источниками питания.

Осциллограф

Виртуальный осциллограф, который имитируется программой Electronics Workbench, представляет собой аналог двухлучевого запоминающего осциллографа и имеет две модификации: простую и расширенную. Из-за того, что расширенная модель занимает много места на рабочем поле, рекомендуется начинать исследования с простой моделью, а расширенную модель использовать для подробного исследования сигналов. На схеме выводится уменьшенное изображение осциллографа, общее для обеих модификаций (рис. 6).

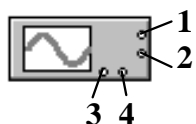


Рисунок 6

Это изображение имеет четыре входных клеммы: общую 1; входа синхронизации 2 (его назначение будет рассмотрено далее); входа 3 канала А (channel A) и входа 4 канала В (channel B).

Клемму 1 называют общим выводом, так как потенциал на ней есть общей точкой схемы, относительно которой осциллограф измеряет напряжение. Обычно этот вывод заземляют, чтобы осциллограф измерял напряжение относительно нуля. Поэтому на панели осциллографа эту клемма обозначена «Ground». Двойным нажатием ЛКМ по уменьшенному изображению открывается изображение передней панели простой модели осциллографа с кнопками управления, информационными полями и экраном (рис. 7).

Для проведения измерений осциллограф нужно настроить, для чего следует задать:

- расположение осей, по которым откладывается сигнал;
- необходимый масштаб развертки по осям;

- сдвиг начала координат по осям;
- режим работы по входу: закрытый или открытый;
- режим синхронизации: внутренний или внешний.

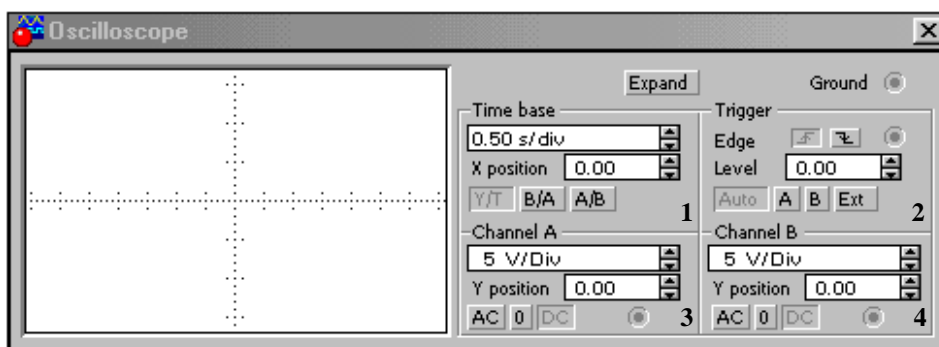




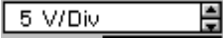
Рисунок 7

Настройка осциллографа проводится с помощью полей управления, расположенных на панели управления. Панель управления имеет общий для обеих модификаций осциллографа вид и разделена на четыре поля управления:

- 1 - поле управление горизонтальной разверткой (масштабом времени);
- 2 - поле управление синхронизацией (запуском);
- 3 - поле управление каналом А;
- 4 - поле управление каналом В;

Поле (1) управления горизонтальной разверткой (масштабом времени) служит для задания масштаба по горизонтальной оси осциллографа при наблюдении напряжения на входах каналов А и В в зависимости от времени. Временной масштаб задается в с/дел (s/div), мс/дел (ms/div), мкс/дел ($\mu\text{s}/\text{div}$), нс/дел (ns/div). Временной эквивалент одного деления может быть установлен от 0,1 нс до 1 с.

Масштаб можно дискретно уменьшать на один шаг при нажатии мышкой на кнопку , или увеличивать при нажатии на кнопку  на поле управления горизонтальной разверткой . Чтобы получить удобное для наблюдения изображение на экране осциллографа, установите масштаб времени таким образом, чтобы расстояние между двумя делениями на горизонтальной оси составляло, приблизительно, половину периода исследуемого сигнала. С помощью кнопок можно дискретно смещать начало осциллограммы по горизонтальной оси. В этом же поле расположенные три кнопки: Y/T, A/B, B/A, которые разрешают задавать вид зависимости отображаемых сигналов. При нажатии на кнопку Y/T по вертикальной оси откладывается напряжение, по горизонтальной - время, при нажатии на кнопку A/B по вертикальной оси откладывается амплитуда напряжения на входе канала А, по гори-

зонталы - канала В, а при нажатии на кнопку В/А - наоборот. При этом масштаб осей определяется установками соответствующих каналов. В режимах А/В и В/А можно наблюдать частотные и фазовые сдвиги (фигуры Лиссажу), петли гистерезиса, вольт - амперные характеристики и т.д. Две нижние части панели осциллографа (см. рис 7, поля 3, 4) являются полями управления отображением сигналов, поданных на входы каналов А и В соответственно. Поле  позволяет управлять масштабом оси отображаемого напряжения по вертикальной или горизонтальной оси. Цена деления может дискретно устанавливаться от 10 mV/div до 5 KV/div. Масштаб для каждой оси устанавливается в отдельности. Чтобы получить удобное для работы изображение на экране осциллографа, перед началом эксперимента установите масштаб, который соответствует ожидаемому напряжению.

Ниже расположено поле, которое позволяет дискретно сдвигать ось Х вверх или вниз. Для того, чтобы отделить изображение в каналах А и В, воспользуйтесь сдвигом по оси Y (Y Position) для одного или двух каналов. Три нижних кнопки реализуют разные режимы работы осциллографа относительно входа. Режим работы осциллографа с закрытым входом устанавливается нажатием на кнопку АС. В этом режиме на вход не пропускается постоянная составляющая сигнала. При нажатии на кнопку DC осциллограф переходит в режим с открытым входом. В этом режиме на вход осциллографа пропускается как постоянная, так и переменная составляющая сигнала.

При нажатии на кнопку 0 вход осциллографа соединяется с общим выводом осциллографа.

Верхнее правое поле управления (2) Trigger определяет момент начала отображения осциллограммы на экране осциллографа. Кнопки в строке Edge задают момент запуска осциллограммы по переднему или по заднему фронту импульса на входе синхронизации. Поле Level разрешает задавать уровень, при превышении которого происходит запуск осциллограммы. Значение уровня можно сдвинуть на три деления вниз или вверх.

Осциллограф имеет четыре режима синхронизации:

1) автоматический режим (Auto) - запуск осциллограммы проводится автоматически при подключении осциллографа к схеме ли при ее включении (если «луч» доходит до конца экрана, осциллограмма снова прописывается с начала экрана (новый экран));

2) режимы запуска по входу «А» или «В», в которых запускающим сигналом является сигнал, который поступает на соответствующий вход;

3) режим «Внешний запуск» (Ext - external), в котором сигналом запуска

является сигнал, который подается на вход синхронизации.

Нажатие клавиши **Expand** на простой модели осциллографа открывает окно расширенной модели осциллографа (рис. 8).

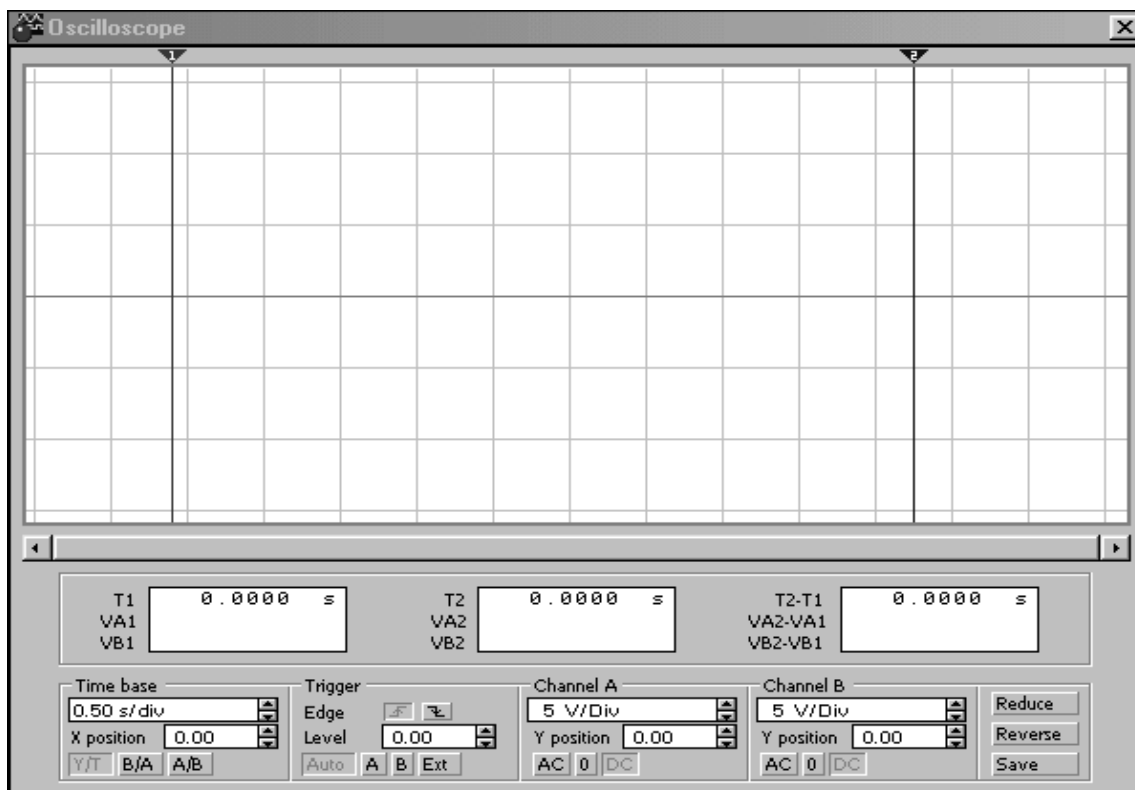


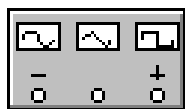
Рисунок 8

Панель управления расширенной модели осциллографа расположена под экраном и дополнена тремя информационными табло, на которые выводятся результаты измерений. Кроме того, непосредственно под экраном находится линейка прокрутки, которая разрешает наблюдать любой временной отрезок процесса от момента включения до момента выключения схемы. В сущности, расширенная модель осциллографа это совсем другой прибор, который обеспечивает более удобный и точный анализ процессов. На экране осциллографа расположены два курсора, которые обозначаются цифрами 1 и 2 (рис. 8), с их помощью можно измерять мгновенные значения напряжений в любой точке осциллограммы. Для этого просто перетяните мышью курсоры за треугольники в их верхней части в необходимое положение. Координаты точек пересечения первого курсора с осциллограммами отображаются на левом табло, координаты второго курсора - на среднем табло. На правом табло отображаются значение разности между соответствующими координатами первого и второго курсоров.

Чтобы возвратиться к предыдущему изображению осциллографа - нажмите клавишу **Reduce**, расположенную в правом нижнем углу.

Функциональный генератор

Функциональный генератор является идеальным источником напряжения, который вырабатывает сигналы синусоидальной, прямоугольной или треугольной формы. На экран выводится уменьшенное изображение генератора (рис. 9).



Средний вывод генератора, подключенный к схеме, обеспечивает общую точку для отсчета амплитуды переменного напряжения. Для отсчета напряжения относительно нуля общий вывод заземляют.

Рисунок 9 Крайние правый и левый выходы служат для подачи переменного напряжения в схему. Напряжение на правом выводе изменяется в положительном направлении относительно общего вывода, напряжение на левом выводе - в отрицательном. Двойным нажатием мышки на уменьшенном изображении открывается увеличенное изображение генератора (рис. 10).

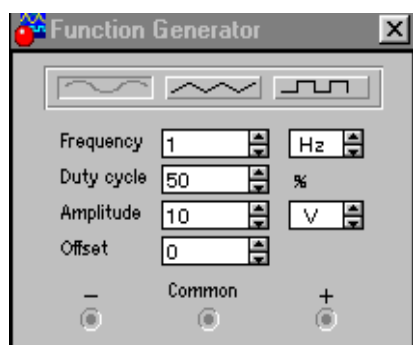


Рисунок 10

На увеличенном изображении функционального генератора можно задать следующие параметры:

- частоту выходного напряжения

Frequency 1 Hz;

- скважность

Duty cycle 50 %;

- амплитуду выходного напряжения

Amplitude 10 V;

- постоянную составляющую выходного напряжения

Offset 0.

Для установки необходимой формы выходного сигнала нажмите на кнопку с соответствующим изображением .

Измеритель АЧХ и ФЧХ (Bode Plotter)



На схему выводится уменьшенное изображение измерителя АЧХ и ФЧХ (рис. 11).

Рисунок 11 Подключение прибора к исследуемой схеме осуществляется с помощью зажимов IN (вход) и OUT (выход). Левые клеммы зажимов подключаются соответственно ко входу и выходу исследуемого устройства, а правые - к общей шине. Ко входу устройства необходимо подключить функциональный генератор или другой источник переменного напряжения, при этом каких-либо настроек в этих устройствах не требуется. Лицевая панель измерителя АЧХ-ФЧХ показана рис. 12.

Измеритель предназначен для анализа амплитудно-частотных (при нажатой кнопке Magnitude, включена по умолчанию) и фазочастотных (при нажатой

кнопке Phase) характеристик при логарифмической (кнопка Log, включена по умолчанию) или линейной (кнопка Lin) шкале по осям Y (Vertical) и X (Horizontal).

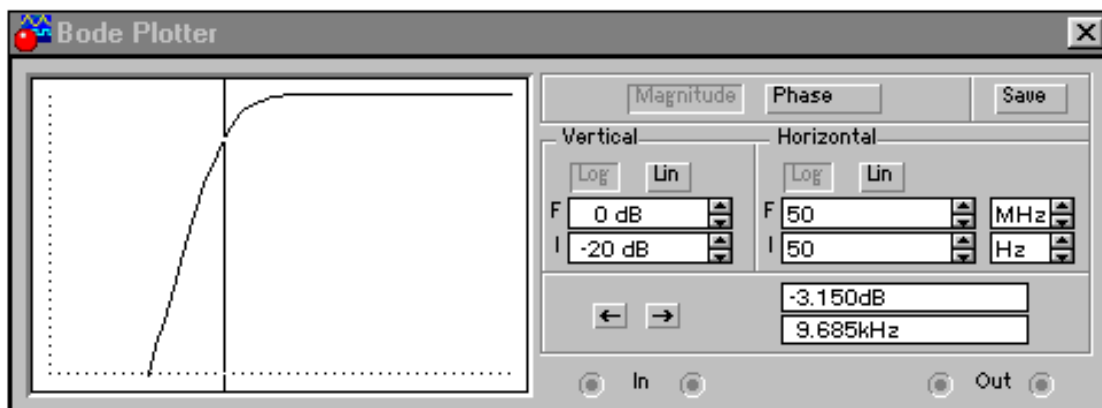


Рисунок12

Настройка измерителя заключается в выборе пределов измерения коэффициента передачи и вариации частоты с помощью кнопок в окошках F - максимальное и I - минимальное значение. Значение частоты и соответствующее ей значение коэффициента передачи или фазы индицируется в окошках в правом нижнем углу измерителя.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВЫХ СООТНОШЕНИЙ В ПРОСТЫХ ЦЕПЯХ

Цель работы: 1. Анализ амплитудно-фазовых соотношений для тока и напряжения в резисторе, конденсаторе и катушке индуктивности при гармоническом воздействии. Исследование мгновенной, полной, активной и реактивной мощностей в этих элементах.

2. Исследование амплитудно-фазовых соотношений для токов и напряжений при последовательном и параллельном соединениях активного и реактивного компонентов (резистора и конденсатора, резистора и катушки индуктивности). Получение временных диаграмм токов и напряжений при гармоническом воздействии. Исследование связи мгновенной, полной, активной и реактивной мощностей для пассивного двухполюсника.

3. Исследование амплитудно-фазовых соотношений для токов и напряжений в схемах, содержащих три компонента. Измерение мгновенной, полной, активной и реактивной мощностей.

4. Анализ амплитудно-фазовых соотношений для токов и напряжений в пассивных двухполюсниках со сложной структурой

Краткие сведения из теории

1. Комплекс емкостного сопротивления

$$X_C = -jx_C = x_C e^{-j90^\circ} \quad (1.1)$$

где модуль емкостного сопротивления x_C вычисляется по формуле:

$$x_C = 1/(2\pi fC); \quad (1.2)$$

C - с емкости; f - частота гармонического сигнала.

2. Комплекс индуктивного сопротивления

$$X_L = jx_L = x_L e^{j90^\circ}, \quad (1.3)$$

где x_L - модуль индуктивного сопротивления X_L , который вычисляется по формуле:

$$x_L = 2\pi fL \quad (1.4)$$

L - величина индуктивности, f - частота гармонического сигнала.

3. Полное комплексное сопротивление двухполюсника

$$Z = R + j(x_L - x_C) = z e^{j\varphi}, \quad (1.5)$$

где z - модуль комплексного сопротивления, равный

$$z = \sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2} = \sqrt{R^2 + x^2}, \quad (1.6)$$

x - реактивное сопротивление двухполюсника, равное

$$x = x_L - x_C. \quad (1.7)$$

4. Закон Ома в комплексной форме

$$U = IZ. \quad (1.8)$$

5. Мгновенная мощность двухполюсника

$$p(t) = U_m I_m \sin \omega t \sin(\omega t + \varphi) = \frac{U_m I_m}{2} [\cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi)]. \quad (1.9)$$

6. Полная мощность двухполюсника, определяемая произведением действующих значений тока и напряжения

$$S = \frac{U_m I_m}{2} = UI. \quad (1.10)$$

7. Активная мощность двухполюсника, определяемая постоянной составляющей временной функции мгновенной мощности

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = UI \cos \varphi. \quad (1.11)$$

8. Реактивная мощность двухполюсника

$$Q = UI \sin \varphi. \quad (1.12)$$

9. Связь полной, активной и реактивной мощностей двухполюсника с мгновенными значениями мощности

$$p(t) = U_m I_m \sin \varphi \cdot \sin(\omega t + \varphi) = \frac{U_m I_m}{2} [\cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi)] = P - S \cos(2\omega t + \varphi); \quad (1.13)$$

$$P_{\max} = P + S; \quad P_{\min} = P - S; \quad (1.14)$$

$$P = \frac{P_{\max} + P_{\min}}{2}; \quad (1.15)$$

$$S = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{2}; \quad (1.16)$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{P_{\max} P_{\min}}, \quad (1.17)$$

где P_{\max} и P_{\min} – соответственно, максимальное и минимальное значения мгновенной мощности.

Эксперимент 1. Резистор на переменном токе:

Исходные данные: Действующее значение напряжения $E=120$ В.

Активное сопротивление $R=120$ Ом. Частота $f=50$ Гц

1.1 *Измерение действующего значения тока в цепи.* Рассчитайте действующее значение тока в резисторе. Создайте схему (рис.1.1). Подключите амперметр и проверьте правильность расчета.

1.2. *Измерение фазы тока.*
Подключите осциллограф и проверьте соответствие экспериментального значения фазы тока теоретическому.

1.3. *Измерение активной, реактивной и полной мощностей.* Подайте сигналы, пропорциональные току и напряжению, на два входа умножителя, подключите на выход умножителя осциллограф и по осциллограмме мощности определите активную мощность. Подключите на выход умножителя вольтметр постоянного напряжения, убедитесь, что с точностью до коэффициента он измеряет активную мощность. Определите этот коэффициент

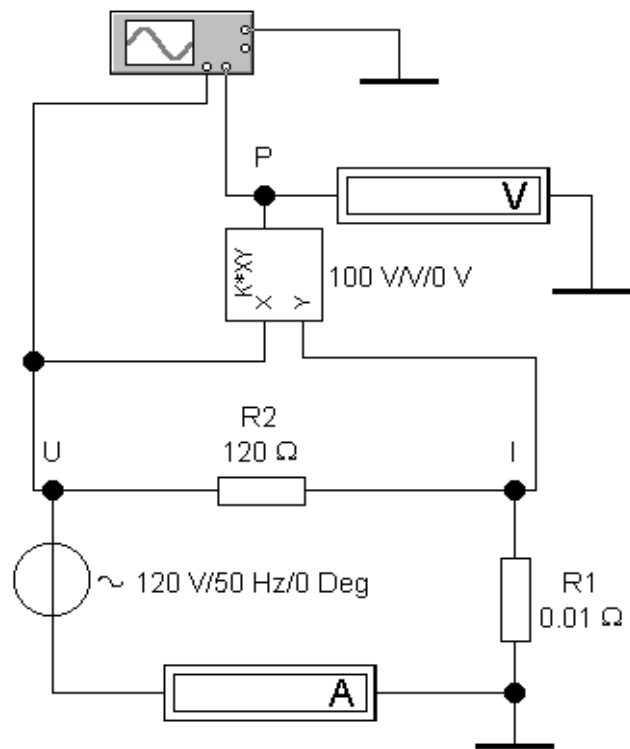


Рисунок 1.1

Результаты эксперимента 1

Таблица 1.1 Измерение значения тока в цепи

	Расчет	Измерение
Ток через R, А		
Фаза тока через R, град		
Комплекс тока, А		-

Таблица 1.2 Измерение активной, реактивной и полной мощностей

	Теоретическое значение	Измерение	Расчет по результатам измерений
P_{max}	-		-
P_{min}	-		-
P		-	
Q		-	
S		-	

Эксперимент 2. Конденсатор на переменном токе

Исходные данные: Действующее значение напряжения $E=120$ В.

Емкость $C=53$ мкФ. Частота $f=50$ Гц

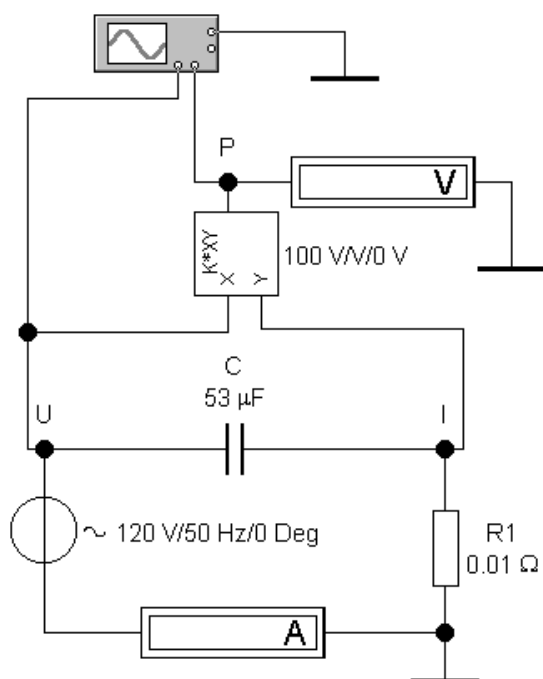


Рисунок 1.2

2.1. *Измерение действующего значения тока в цепи.* Рассчитайте действующее значение тока в конденсаторе. Создайте схему (рис. 1.2). Подключите амперметр и проверьте правильность расчета.

2.2. *Измерение фазы тока.* Подключите осциллограф и проверьте соответствие экспериментального значения фазы тока теоретическому.

2.3. *Измерение активной, реактивной и полной мощностей.* Подайте сигналы, пропорциональные току и напряжению, на два входа умножителя, подключите на выход умножителя осциллограф и по осциллограмме мощности определите реактивную мощность конденсатора

Результаты эксперимента 2

Таблица 1.3 Измерение действующего значения тока в цепи

	Теоретическое значение	Измерение	Расчет по результатам измерений
Ток через С, А			
Период тока через С, Т,с	-		-
Запаздывание тока, ΔТ, с	-		-
Фаза тока через С, град		-	
Комплекс тока, А		-	

Таблица 1.4 Измерение активной, реактивной и полной мощностей

	Теоретическое значение	Измерение	Расчет по результатам измерений
P_{max}	-		-
P_{min}	-		-
P		-	
Q		-	
S		-	

Эксперимент 3. Катушка индуктивности на переменном токе

Исходные данные: Действующее значение напряжения $E=120$ В.

Индуктивность $L=764$ мГн. Частота $f=50$ Гц

3.1. *Измерение действующего значения тока в цепи.* Рассчитайте действующее значение тока в катушке индуктивности. Создайте схему (рис. 1.3). Подключите амперметр и проверьте правильность расчета.

3.2. *Измерение фазы тока.* Подключите осциллограф и проверьте соответствие экспериментального значения фазы тока теоретическому.

3.3. *Измерение активной, реактивной и полной мощностей.* Подайте сигналы, пропорциональные току и напряжению, на два входа умножителя и по осциллограмме мощности определите реактивную мощность катушки.

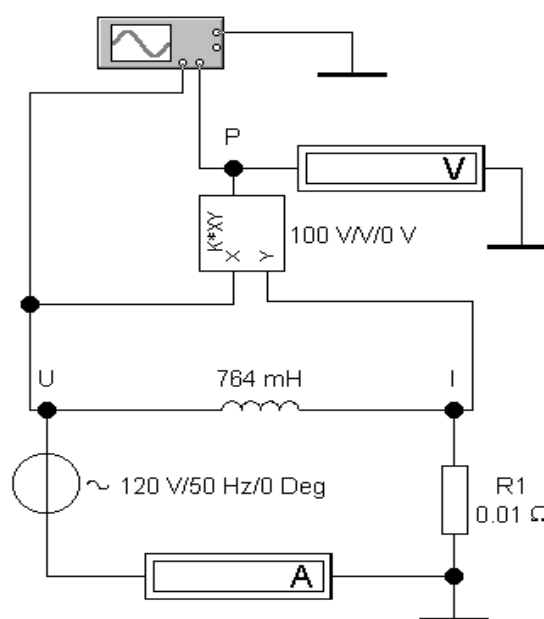


Рисунок 1.3

Результаты эксперимента 3

Таблица 1.5 Измерение действующего значения тока в цепи

	Теоретическое значение	Измерение	Расчет по результатам измерений
Ток через L, А			
Период тока через L, Т,с	-		-
Запаздывание тока, ΔТ, с	-		-
Фаза тока через L, град		-	
Комплекс тока, А		-	

Таблица 1.6 Измерение активной, реактивной и полной мощностей

	Теоретическое значение	Измерение	Расчет по результатам измерений
P_{max}	-		-
P_{min}	-		-
P		-	
Q		-	
S		-	

Эксперимент 4. RC-цепь на переменном токе

Исходные данные: Действующее значение напряжения $E=100$ В.

Активное сопротивление $R=120$ Ом. Емкость $C=53$ мкФ. Частота $f=50$ Гц.

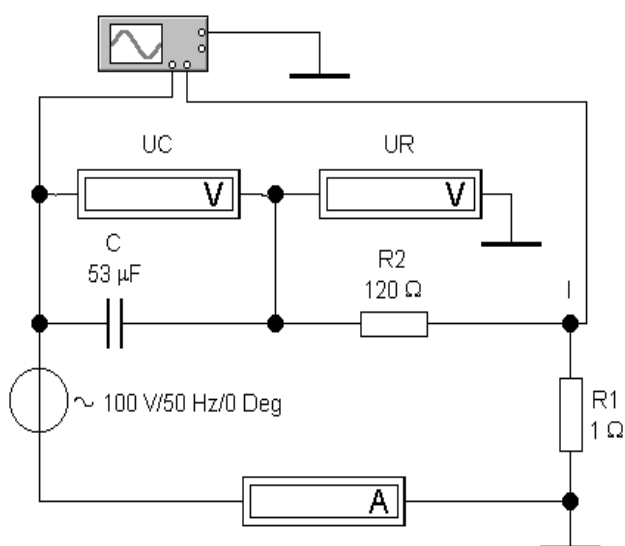


Рисунок 1.4

4.1. Измерение действующих значений токов и напряжений в цепи. Для схемы рис. 1.4 рассчитайте входное комплексное сопротивление, комплекс тока в контуре, напряжения на каждом компоненте. Создайте схему (рис. 1.4). Результаты расчета проверьте экспериментально с помощью вольтметров и амперметра.

4.2. Измерение фазовых углов напряжений в цепи. Рассчитайте комплексы напряжений. Подключите осциллограф и проверьте соответствие экспериментальных значений фазовых сдвигов этих напряжений расчетным.

4.3. Измерение активной, реактивной и полной мощностей. Создайте схему (рис. 1.5). Подайте сигналы, пропорциональные току и напряжению, на два входа умножителя, подключите на выход умножителя осциллограф и по осциллограмме мощности определите активную и полную мощности. Подключите на второй вход осциллографа сигналы напряжения источника питания и напряжения на резисторе (пропорционального току) через коммутатор S. Сопоставьте осциллограмму мощности с осциллограммами тока и напряжения источника питания.

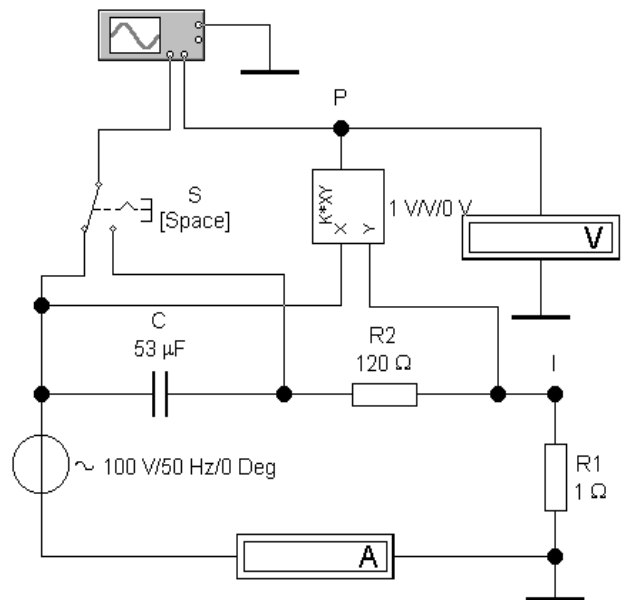


Рисунок 1.5

Результаты эксперимента 4

Таблица 1.7 Измерение комплексного сопротивления и действующих значений токов и напряжений в цепи.

	Расчет	Измерение
Входное комплексное сопротивление, Z , Ом		
Действующее значение тока в контуре, А		
Действующее значение напряжения на резисторе, В		
Действующее значение напряжения на конденсаторе, В		
Период напряжения, T , с	-	
Запаздывание напряжения, ΔT , с	-	
Фаза напряжения на C , град		-

Таблица 1.8 Измерение активной, реактивной и полной мощностей

	Теоретическое значение	Измерение	Расчет по результатам измерений
P_{\max}	-		-
P_{\min}	-		-
P		-	
Q		-	
S		-	

Эксперимент 5. RL-цепь на переменном токе

Исходные данные: Действующее значение напряжения $E=100$ В. Активное сопротивление $R=60$ Ом. Индуктивность $L=254,5$ мГн. Частота $f=50$ Гц.

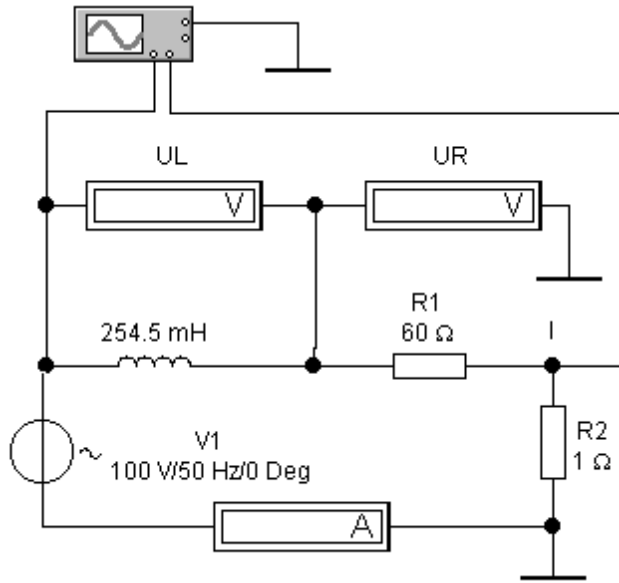


Рисунок 1.6

5.1. Измерение действующих значений токов и напряжений в цепи. Для схемы рис. 5.1 рассчитайте входное комплексное сопротивление, комплекс тока в контуре, напряжения на каждом компоненте, используя формулы (1.3), (1.4), (1.5), (1.8). Создайте схему (рис. 1.6). Результаты расчета проверьте экспериментально с помощью вольтметров и амперметра. По результатам эксперимента постройте топографические векторные диаграммы.

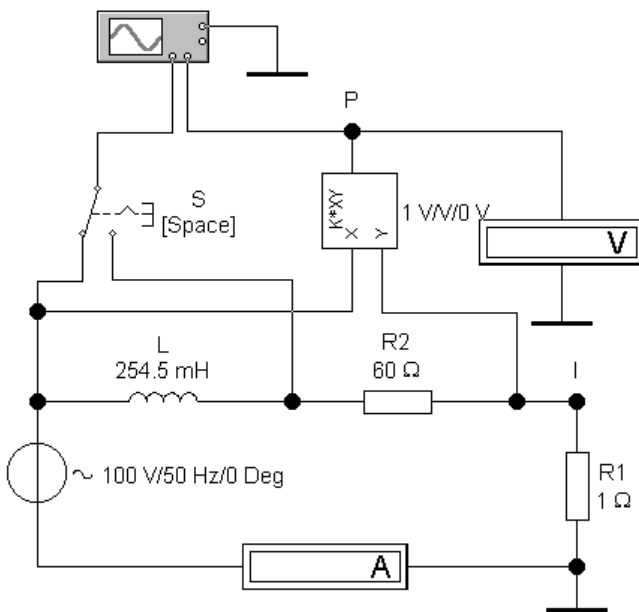


Рисунок 1.7

5.2. Измерение фазовых углов напряжений в цепи. Рассчитайте комплексы напряжений. Подключите осциллограф и проверьте соответствие экспериментальных значений фазовых сдвигов этих напряжений расчетным. Сопоставьте сдвиг фаз с векторной диаграммой.

5.3. Измерение активной, реактивной и полной мощностей. Создайте схему (рис.1.7). Подайте сигналы, пропорциональные току и напряжению источника питания, на два входа умножителя, подключите на выход

умножителя осциллограф и по осциллограмме мощности определите активную и полную мощности. Подключите на второй вход осциллографа сигналы напряжения источника питания и напряжения на резисторе (пропорционального току) через коммутатор S. Сопоставьте осциллограмму мощности с осциллограммами тока и напряжения источника питания.

Результаты эксперимента 5

Таблица 1.9 Измерение комплексного сопротивления и действующих значений токов и напряжений в цепи

	Расчет	Измерение
Входное комплексное сопротивление, Z , Ом		
Действующее значение тока в контуре, А		
Действующее значение напряжения на резисторе, В		
Действующее значение напряжения на индуктивности, В		
Период напряжения, T , с	-	
Запаздывание напряжения, ΔT , с	-	
Фаза напряжения на L , град		-

Таблица 1.10 Измерение активной, реактивной и полной мощностей

	Теоретическое значение	Измерение	Расчет по результатам измерений
P_{\max}	-		-
P_{\min}	-		-
P		-	
Q		-	
S		-	

Контрольные вопросы

1. Назовите основные характеристики гармонического сигнала?
2. Напишите выражение для связи между действующим, средним и амплитудным значениями гармонического сигнала?
3. Как сдвинуты друг относительно друга векторы тока и напряжения для резистора, конденсатора и катушки индуктивности?
4. Как изображаются гармонические токи и напряжения в комплексной форме (алгебраическая и показательная форма)?
5. Что такое комплексное сопротивление конденсатора и катушки индуктивности, как записать его в алгебраической и показательной форме?
6. Как измерить активную мощность в программе Electronics Workbench?
7. Как измерить фазовый сдвиг между двумя сигналами, используя измеритель АЧХ и ФЧХ, электронный осциллограф?
8. Какими мощностями характеризуются цепи при гармоническом воздействии? Как они определяются?
9. Как получить осциллограмму мгновенной мощности для пассивного двухполюсника? Какова частота колебаний мгновенной мощности?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ БИПОЛЯРНЫХ И ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Цель работы: изучение принципа работы, статических и динамических характеристик, экспериментального исследования биполярных и полевых транзисторов, закрепление навыка создания и исследования схем в Electronics Workbench.

Краткие сведения из теории

Общие сведения

Транзистор – полупроводниковый элемент с тремя электродами, который служит для усиления или переключения сигнала. Транзистор – активный элемент, усиливающий мощность электрического сигнала. Это усиление происходит за счет энергии внешних источников питания. Изменяя ток во входной цепи по определенному закону, можно получить усиленный сигнал на выходе той же формы. Транзисторы делятся на две большие группы: биполярные и полевые.

Биполярные транзисторы

Различают кремниевые и германиевые транзисторы. Они бывают p-n-p и n-p-n типа, на рис. 2.1 показаны их обозначения. Биполярный транзистор можно рассматривать как два противоположно включенных диода, которые обладают одним общим n- или p-слоем. Электрод связанный с ним называется Базой. Два других электрода называются эмиттером и коллектором.

Основная особенность транзистора состоит в том, что его коллекторный ток является кратным базовому току. Их отношение $K=I_K/I_B$ называют коэффициентом усиления по току, рис. 2.2

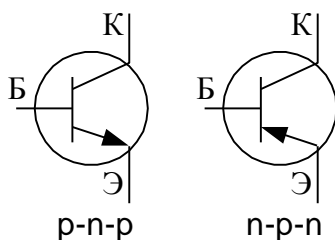


Рисунок 2.1 - Обозначение биполярных транзисторов

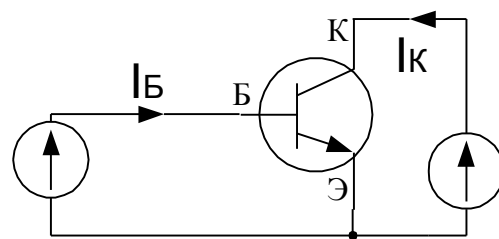


Рисунок 2.2 - Полярность включения p-n-p транзистора

Другой особенностью является то, что малое изменение входного напряжения оказывается достаточно для того, чтобы вызвать относительно большое изменение коллекторного тока.

В электрическую цепь транзистор включают таким образом, что один из его выводов (электродов) является входным, второй – выходным, а третий – общим для входной и выходной цепи, рис. 2.3.

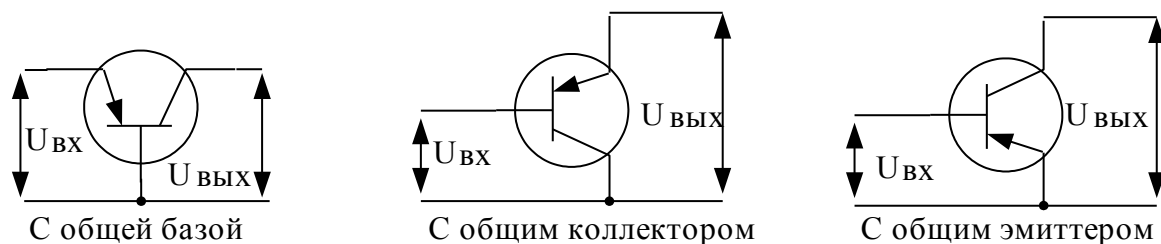


Рисунок 2.3 - Схемы включения биполярных транзисторов

Полевые транзисторы

Полевой транзистор управляется электрическим полем, практически без затраты мощности управляющего сигнала. Среди полевых транзисторов различают шесть типов, их условные обозначения в электрических принципиальных схемах представлены на рис. 2.4.

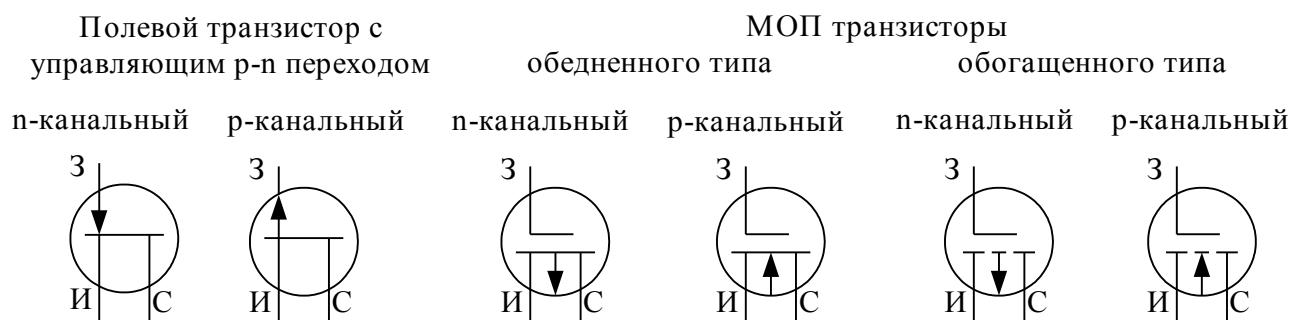


Рисунок 2.4 - Обозначение полевых транзисторов

Управляющим электродом транзистора является затвор Z . Он позволяет управлять величиной сопротивления между стоком C и истоком I . Управляющим напряжением является напряжение $U_{ЗИ}$. Большинство полевых транзисторов являются симметричными, т.е. их свойства не изменяются если электроды I и C поменять местами. Через полевой транзистор с управляющим переходом при напряжении $U_{ЗИ}=0$ протекает наибольший ток стока. Такие транзисторы называют нормально открытыми. Аналогичные свойства имеют МОП транзисторы обедненного типа. Наоборот, МОП транзисторы обогащенного типа запираются при величинах $U_{ЗИ}$ близких к нулю. Их называют нормально закрытыми.

Эксперимент 1. Определение зависимости выходного напряжения от входного для схемы с общим эмиттером

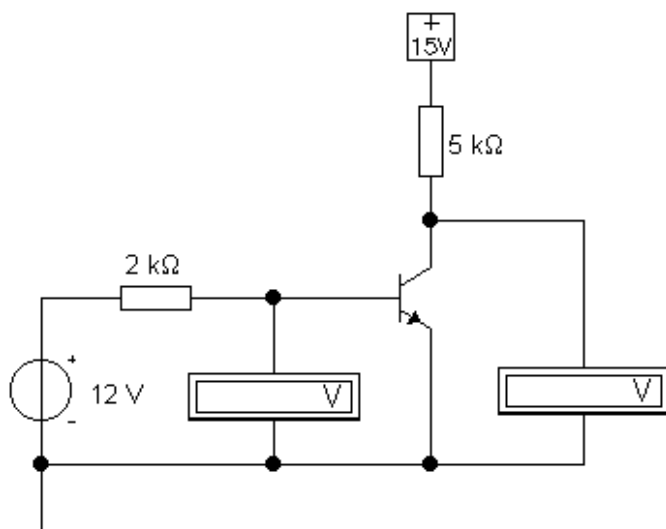


Рисунок 2.5 - Схема с общим эмиттером

Соберите схему представленную на рис. 2.5.

Изменяя входное напряжение от 0 до 4 вольт с шагом 0.2 вольта занесите в табл. 2.1 значения выходного напряжения, по полученным данным постройте зависимость $U_{\text{вых}}=f(U_{\text{вх}})$.

Таблица 2.1

$U_{\text{вх}}, \text{В}$	0	0,2	...	4
$U_{\text{вых}}, \text{В}$				

Эксперимент 2. Измерение коэффициента усиления схемы с общим эмиттером и отрицательной обратной связью по току

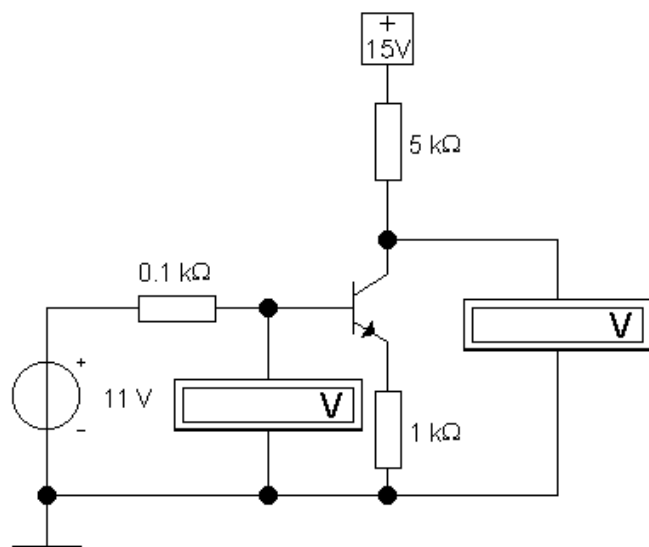


Рисунок 2.6 - Схема с общим эмиттером

Соберите схему представленную на рис. 2.6.

Изменяя входной сигнал от 0 до 10 Вольт с шагом 1 Вольт, занесите в табл. 2.2 значения выходного напряжения, по полученным данным постройте график зависимости выходного напряжения от входного.

Таблица 2.2

$U_{\text{вх}}, \text{В}$	0	1	...	10
$U_{\text{вых}}, \text{В}$				

Эксперимент 3. Определение зависимости выходного напряжения от входного для схем с общей базой и общим коллектором

Соберите схемы представленные на рис. 2.7.а, б.

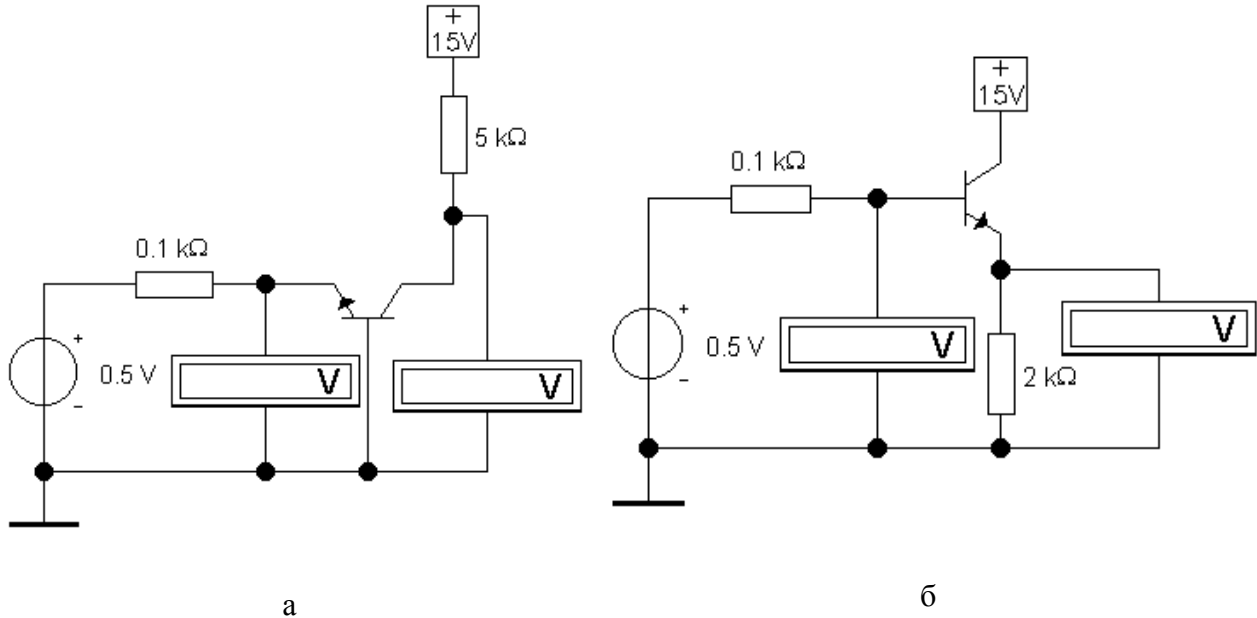


Рисунок 2.7

Повторите операции из опыта 1 для схем с общей базой и общим коллектором, по результатам исследований, постройте графики.

Эксперимент 4. Транзистор как источник стабильного тока

Идеальный источник тока обеспечивает в нагрузке ток который не зависит от сопротивления нагрузки. Схема источника тока изображенного на рис. 2.8, построена на основе схемы с общим эмиттером и отрицательной обратной связью по току. Нагрузка включается последовательно с транзистором. Выходной ток остается неизменным пока транзистор насыщен. Соберите схему представленную на рис.2.8, изменяя сопротивление нагрузки от 10 Ом до 5 кОм, убедитесь в неизменности показаний амперметра.

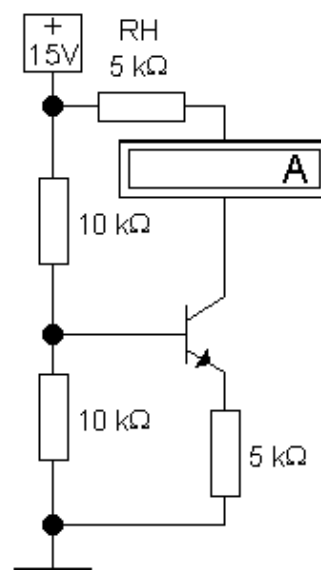


Рисунок 2.8 - Источник тока на транзисторе

Эксперимент 5. Определение зависимости выходного напряжения от входного для схемы с общим истоком и истокового повторителя

Схема с общим истоком соответствует схеме с общим эмиттером для биполярного транзистора. Схема с общим стоком (истоковый повторитель) обладает значительно большим сопротивлением, чем схема с общим истоком, кроме того, она существенно уменьшает входную емкость каскада (рис. 2.9).

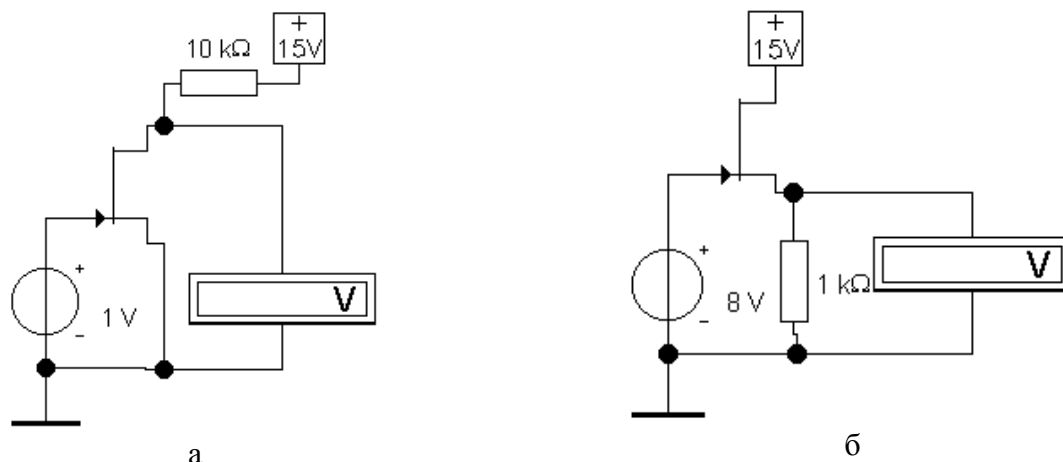


Рисунок 2.9 - Схема с общим истоком(а) и истоковый повторитель(б)

Изменяя входное напряжение от 0 до 14 вольт с шагом 1 вольт занесите в табл. 2.3 значения выходного напряжения, по полученным данным постройте зависимость $U_{\text{вых}}=f(U_{\text{вх}})$.

Таблица 2.3.

$U_{\text{вх}}, \text{В}$	0	1	...	14
$U_{\text{вых}}, \text{В}$				

Эксперимент 6. Управляемый делитель напряжения

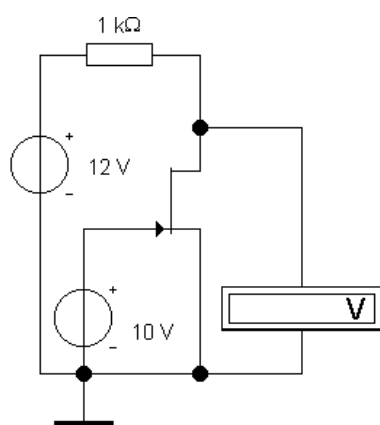


Рисунок 2.10 - Управляемый делитель напряжения

При малых напряжениях сток-исток вольт-амперная характеристика такая же, как и у омического сопротивления, величину которого можно менять в широких пределах путем изменения напряжения затвор-исток. Минимальное напряжение получится при $U_{\text{зс}}=0$.

Соберите схему представленную на рис. 2.10. Изменяя напряжение, подаваемое на затвор транзистора в пределах от 0 до 12 вольт измерьте выходное напряжение и постройте график полученной зависимости.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНВЕРТИРУЮЩЕГО, НЕИНВЕРТИРУЮЩЕГО И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЕЙ

Цель работы: закрепление навыка создания и исследования схем в Electric Workbench, углубление теоретических знаний по работе инвертирующих и неинвертирующих усилителей, построенных на базе операционных усилителей, освоение виртуальных измерительных приборов: осциллографа, генератора, вольтметра, анализатора спектра.

Краткие сведения из теории

1. Измерение коэффициента передачи усилителя производится путем измерения входного и выходного напряжений и определяется из соотношения:

$$K = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}. \quad (3.1)$$

2. Теоретическое значение коэффициента усиления инвертирующего усилителя

$$K = - \frac{R_2}{R_1}. \quad (3.2)$$

3. Теоретическое значение коэффициента усиления неинвертирующего усилителя определяется как

$$K = 1 + \frac{R_2}{R_1}. \quad (3.3)$$

4. Теоретическое значение коэффициента усиления дифференциального усилителя можно определить из формулы

$$K = \frac{R_2}{R_1}, \quad (3.4)$$

при условии выполнения равенств $R_1 = R_3$, $R_2 = R_4$.

5. Выходное напряжение дифференциального усилителя определяется из соотношения

$$U_{\text{ВЫХ}} = (U_2 - U_1) \frac{R_2}{R_1}. \quad (3.5)$$

6. Выходное напряжение инвертирующего сумматора определяется из соотношения

$$U_{\text{ВЫХ}} = \left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} \right) R_3. \quad (3.6)$$

7. Теоретическое значение коэффициента усиления инвертирующего усилителя с повышенным входным сопротивлением:

$$K = - \left(2 + \frac{R_2}{R_4 + R_5} \right). \quad (3.7)$$

Эксперимент 1. Измерение коэффициента усиления постоянного напряжения инвертирующего усилителя

Исходные данные: Значение напряжения $U_{ВХ}=0,5$ В.
Сопротивления $R1=1$ кОм, $R2=15$ кОм. Сопротивление нагрузки $R3=2$ кОм.

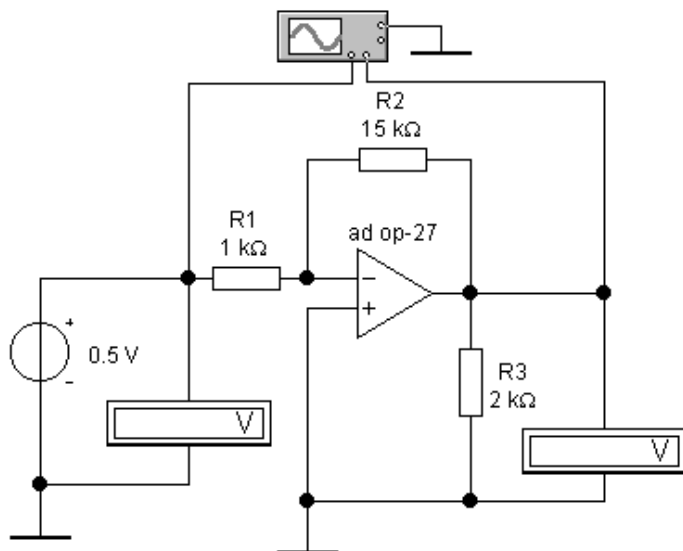


Рисунок 3.1 - Инвертирующий усилитель

Собрать схему представленную на рис. 3.1. Подать на вход напряжение 0.5В, измерить выходное напряжение и определить экспериментальное значение коэффициента усиления по формуле 3.1. Обратите внимание на полярность входного и выходного напряжений. Сравните полученное значение с теоретическим рассчитанным по формуле 3.2.

Эксперимент 2. Измерение коэффициента усиления постоянного напряжения неинвертирующего усилителя

Исходные данные: Значение напряжения $U_{ВХ}=0,5$ В. Сопротивления $R1=1$ кОм, $R2=14$ кОм. Сопротивление нагрузки $R3=2$ кОм.

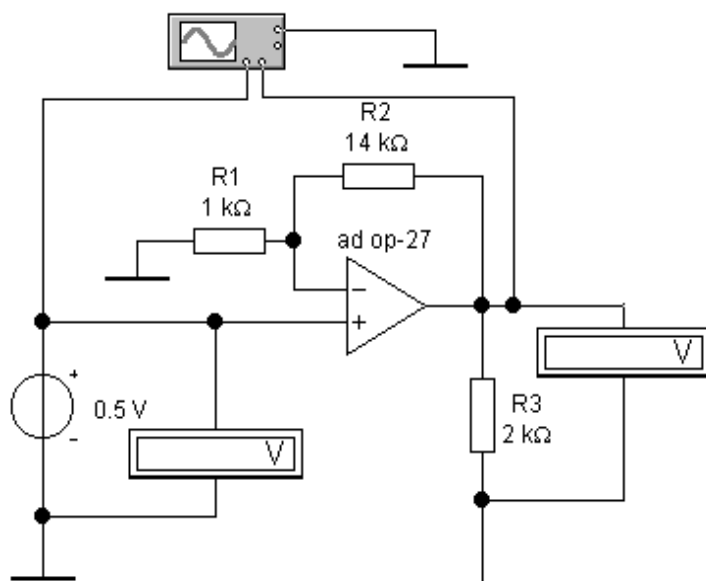


Рисунок 3.2 - Неинвертирующий усилитель

Собрать схему представленную на рис. 3.2. Подать на вход напряжение 0,5 В, измерить выходное напряжение и определить экспериментальное значение коэффициента усиления по формуле 3.1. Обратите внимание на полярность входного и выходного напряжений. Сравните полученное значение с теоретическим рассчитанным по формуле 3.3.

Эксперимент 3. Измерение коэффициента усиления постоянного напряжения повторителем на базе неинвертирующего усилителя

Исходные данные: Значение напряжения $U_{ВХ}=0,5\text{ В}; -0,5\text{ В}; 0\text{ В}$.

Сопротивление нагрузки $R1=2\text{ к}\Omega$.

Собрать схему, представленную на рис. 3.3.

Подать на вход напряжения $0,5\text{ В}, -0,5\text{ В}, 0\text{ В}$ и убедиться в совпадении входного и выходного сигналов повторителя.

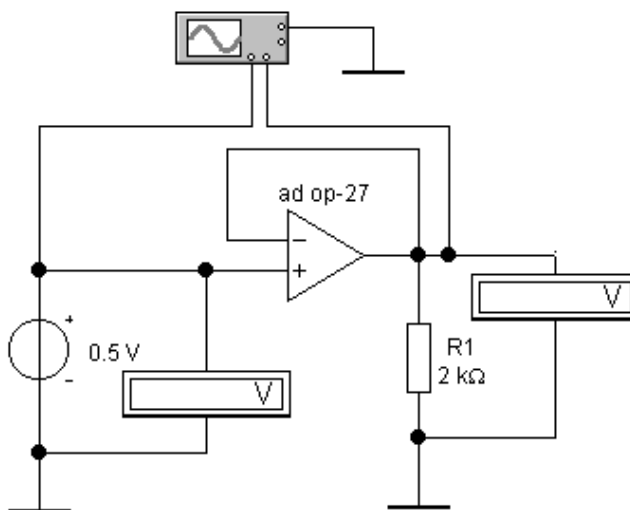


Рис. 3.3 - Повторитель напряжения

Эксперимент 4. Измерение коэффициента усиления постоянного напряжения дифференциального усилителя

Исходные данные: Значение напряжения $U1=0,5\text{ В}, U2=0,45\text{ В}$.

Сопротивления $R1=1\text{ к}\Omega, R2=10\text{ к}\Omega, R3=1\text{ к}\Omega, R4=10\text{ к}\Omega$.

Сопротивление нагрузки $R3=2\text{ к}\Omega$.

Собрать схему представленную на рис. 3.4. Подать на вход напряжение в соответствии с табл.3.1, измерить выходное напряжение и определить экспериментальное значение коэффициента усиления по формуле 3.4. Обратите внимание на полярность входного и выходного напряжений. Сравните полученные значения выходного напряжения с теоретическим, рассчитанным по формуле 3.5.

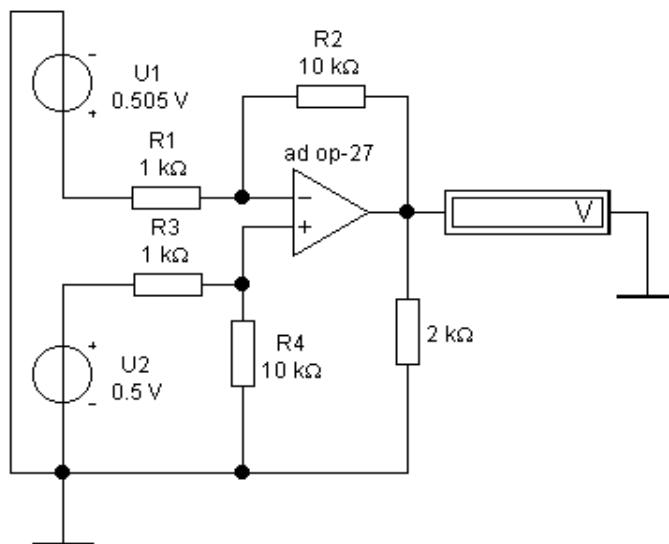


Рисунок 3.4 - Дифференциальный усилитель

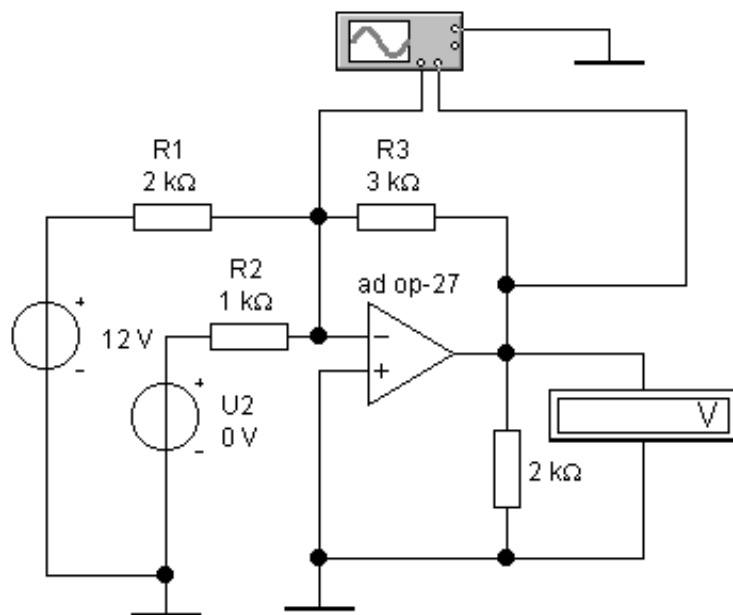
Таблица 3.1

$U1$	0	-0.5	0.5	0	-0.5
$U2$	0.5	0.5	-0.5	-0.5	0
$U_{ВЫХ. рас}$					
$U_{ВЫХ. экс}$					

Эксперимент 5. Снять зависимость выходного напряжения инвертирующего сумматора от напряжений поданных на вход

Исходные данные: Сопротивления: $R_1=5\text{ к}\Omega$; $R_2=1\text{ к}\Omega$; $R_3=3\text{ к}\Omega$.

Сопротивление нагрузки $R_3=2\text{ к}\Omega$.



Собрать схему представленную на рис. 3.5. Подать на вход напряжения в соответствии с табл.3.2, измерить выходное напряжение. Сравните полученные значения выходного напряжения с теоретическим, рассчитанным по формуле 3.6.

Повторить эксперимент, подав на вход U_1 напряжение частотой 1 кГц.

Рисунок 3.5 - Инвертирующий сумматор

Таблица 3.2

	= U_1			$\approx U_1$		
U_1	0	-0.5	-0.5	0	1	1
U_2	0.5	0.5	0	1	1	0
$U_{\text{ВЫХ. рас}}$						
$U_{\text{ВЫХ. экс}}$						

Эксперимент 6. Измерение коэффициента усиления инвертирующего усилителя с повышенным входным сопротивлением

Исходные данные: Сопротивление $R_1 = R_2 = R_3 = 1\text{ М}\Omega$.

Сопротивление $R_4 = 4,7\text{ к}\Omega$. Сопротивление $R_5=40\text{ к}\Omega$.

Собрать схему представленную на рис. 3.6. Подать на вход напряжение $U_1= 60\text{ мВ}$, измерить выходное напряжение и определить коэффициент усиления усилителя по формуле 3.1. Обратите внимание на полярность входного и выходного напряжений. Сравните полученные значения выходного напряжения с теоретическим, рассчитанным по формуле 3.7.

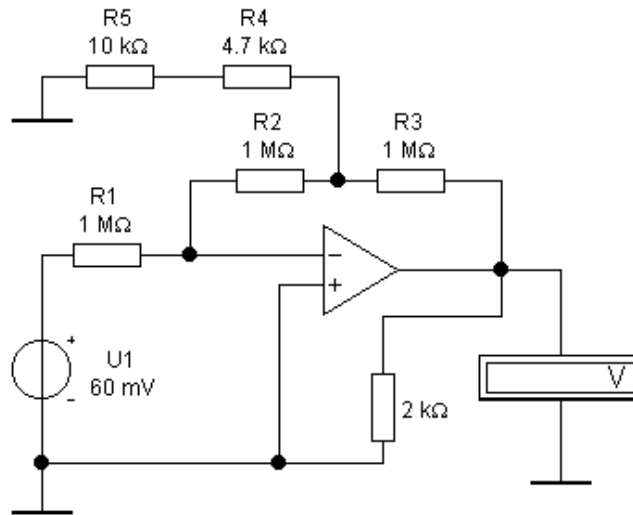


Рисунок 3.6 - Инвертирующий усилитель с повышенным входным сопротивлением

Установите сопротивление $R5=5,3 \text{ кОм}$ и повторите измерение и расчет коэффициента усиления. Обратите внимание, как изменился коэффициент усиления.

Эксперимент 7. Снять амплитудно-частотную характеристику инвертирующего усилителя

Исходные данные: Сопротивление $R1=1 \text{ кОм}$. Сопротивление $R2=15 \text{ кОм}$.

Соберите схему представленную на рис. 3.7. По амплитудно-частотной характеристике определите максимальный коэффициент усиления, полосу усиления на уровне $0.7 K_{\text{max}}$ и частоту единичного усиления. Определите полосу усиления на уровне $0.7 K_{\text{max}}$ из выражения

$$\Delta F_{0.7} = \frac{F_1}{K_{\text{MAX}}}$$

и сравните её с найденной по АЧХ.

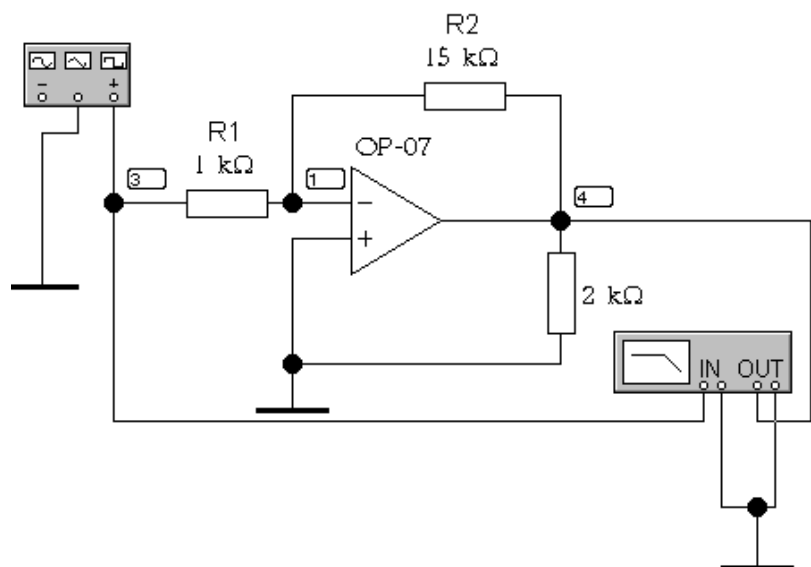


Рисунок 3.7 - Схема снятия АЧХ инвертирующего усилителя

Эксперимент 8. Исследование влияния параметров сопротивлений неинвертирующего усилителя на коэффициент усиления

Соберите схему представленную на рис. 3.2. В меню Analysis выбираете опцию Parameter Sweep и устанавливаете диапазон изменения сопротивления R1 от 9,9 кОм до 10,1 кОм. В качестве выходного узла выбираете выход операционного усилителя. (Для определения номера узла на выходе операционного усилителя необходимо в меню Circuit выбрать опцию Schematic options и установить флажок Show nodes). С помощью кнопки Simulate запустите симуляцию изменения сопротивления и зарисуйте полученную зависимость выходного напряжения от изменения сопротивления R1.

Контрольные вопросы

1. Напишите выражение для коэффициента усиления инвертирующего (неинвертирующего) усилителя. Как можно его изменить?
2. Нарисуйте схему повторителя напряжения, назовите его свойства.
3. Как по АЧХ определить полосу пропускания на уровне 0.7, частоту единичного усиления.
4. Напишите выражение для выходного напряжения дифференциального усилителя.
5. Нарисуйте схему инвертирующего сумматора. Обоснуйте значения сопротивлений навесных резисторов.
6. Чем определяется коэффициент усиления дифференциального усилителя.
7. Как автоматически построить график изменения коэффициента усиления усилителя в зависимости от значений навесных резисторов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ

Цель работы: закрепление навыка создания и исследования схем в Electronics Workbench, углубление теоретических знаний по работе активных фильтров, построенных на базе операционных усилителей, освоение виртуальных измерительных приборов: осциллографа, генератора, вольтметра, измерителя АЧХ-ФЧХ.

Краткие сведения из теории

Фильтр – это схема, рассчитанная на пропускание сигналов в определенной полосе частот и подавление сигналов за пределами этой полосы.

Цепи фильтрации могут быть пассивными и активными. Пассивные фильтры содержат только резисторы, катушки индуктивности и конденсаторы. Активные фильтры включают в себя наряду с резисторами, катушками индуктивности и конденсаторами транзисторы или операционные усилители.

Существует четыре типа фильтров: фильтры нижних и верхних частот, полосовые и заграждающие (или режекторные) фильтры (рис.1). Сплошная линия графиков соответствует идеальному фильтру, а пунктирная – реальному.

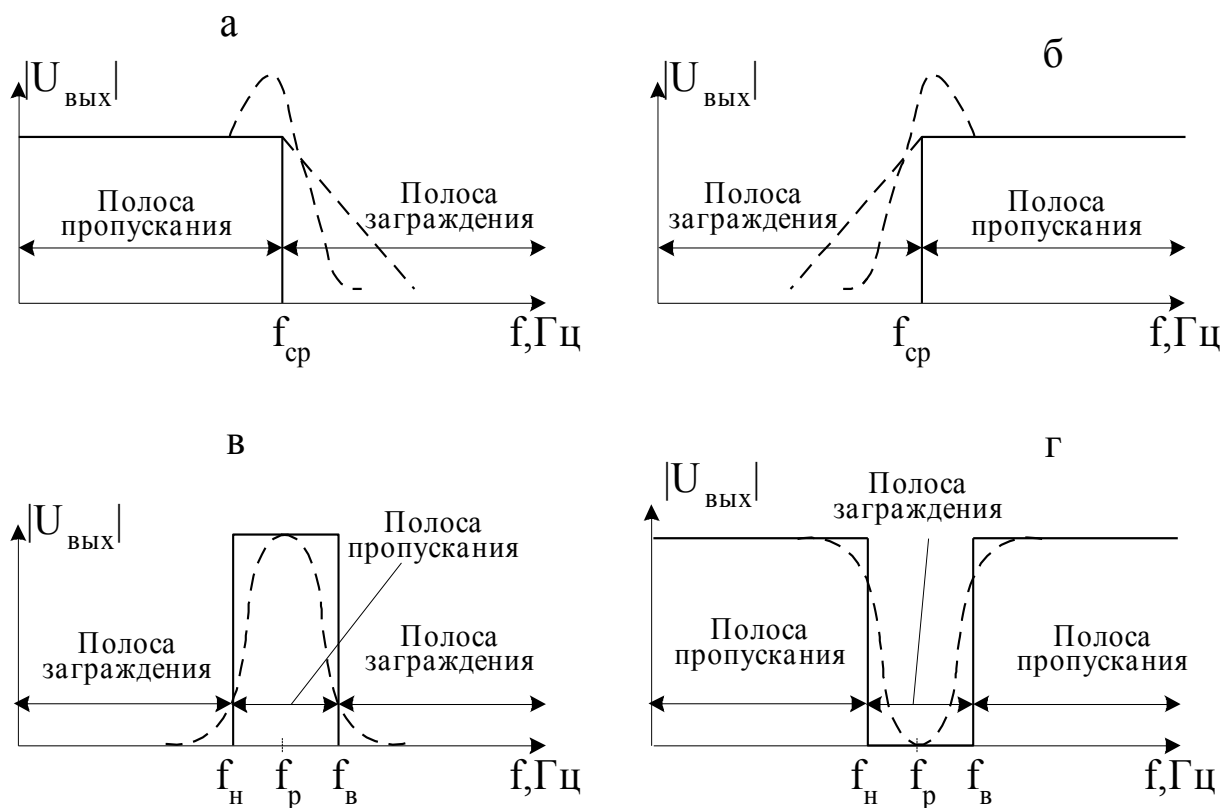


Рисунок 4.1- Частотные характеристики фильтров: нижних (а) и верхних (б) частот, полосового (в) и режекторного (г)

1. Фильтр нижних частот:

- напряжение на выходе фильтра

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{1/j\omega C}{R + 1/j\omega C} U_{\text{ВХ}}; \quad (4.1)$$

- коэффициент усиления по напряжению с обратной связью

$$K_{\text{о.с.}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{1}{1 + j\omega RC}; \quad (4.2)$$

частота среза определяется как частота $U_{\text{ВХ}}$, на которой $|K_{\text{о.с.}}|$ уменьшается до 0,707

$$\omega_{\text{ср}} = \frac{1}{RC} = 2\pi f_{\text{ср}}, \quad (4.3)$$

откуда
$$C = \frac{1}{\omega_{\text{ср}} R} = \frac{1}{2\pi f_{\text{ср}} R}; \quad (4.4)$$

- значение $K_{\text{о.с.}}$ на частоте среза $\omega_{\text{ср}}$ находят, положив в уравнении (4.1) $\omega RC = 1$:

$$K_{\text{о.с.}} = \frac{1}{j+1} = \frac{1}{\sqrt{2}e^{j45^\circ}} \approx 0,707e^{-j45^\circ}.$$

Итак, амплитуда $K_{\text{о.с.}}$ на частоте $\omega_{\text{ср}}$

$$|K_{\text{о.с.}}| = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,707 = -3\text{дБ}, \quad (4.5)$$

а сдвиг по фазе (выхода относительно входа) составляет - 45°.

Расчет фильтра НЧ осуществляется в три этапа:

- выбирают частоту среза $\omega_{\text{ср}}$;
- выбирают входное сопротивление R , обычно между 10 и 100 кОм;
- вычисляют значение C из уравнения (4.4).

2. Фильтр верхних частот:

- напряжение на выходе фильтра

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{1/j\omega C}{R - 1/j\omega C} U_{\text{ВХ}}; \quad (4.6)$$

- частота среза определяется как частота $U_{\text{ВХ}}$, на которой $|K_{\text{о.с.}}|$ уменьшается до 0,707

$$\omega_{\text{ср}} = \frac{1}{RC} = 2\pi f_{\text{ср}}, \quad (4.7)$$

откуда
$$R = \frac{1}{\omega_{\text{ср}} C} = \frac{1}{2\pi f_{\text{ср}} C}; \quad (4.8)$$

Расчет фильтра ВЧ осуществляется в три этапа:

- выбирают частоту среза $\omega_{ср}$;
- выбирают удобное значение C ;
- вычисляют входное сопротивление R из уравнения (4.4);
- Выбор $R_{о.с.} = R$.

3. Полосовые фильтры

Фильтр такого типа дает на выходе максимальное напряжение на одной частоте, называемой резонансной ω_p . Существует одна частота выше (ω_B) и одна – ниже (ω_H) частоты ω_p , на которых коэффициент усиления по напряжению равен $0,707 K_p$. Полоса частот между ω_B и ω_H есть полоса пропускания

$$B = \omega_B - \omega_H. \quad (4.9)$$

При $B > 0,1\omega_p$ фильтр считается узкополосным, а при $B < 0,1\omega_p$ – широкополосным.

Добротность фильтра определяется как

$$Q = \frac{\omega_p}{B}. \quad (4.10)$$

Расчет полосового фильтра:

- выбираем $C1 = C2 = C$;
- определяем величину резисторов из соотношений

$$R2 = \frac{2}{BC}; \quad R1 = \frac{R2}{2K_p}; \quad R3 = \frac{R2}{4Q^2 - 2K_p}. \quad (4.11)$$

4. Режекторные фильтры

Расчет режекторного фильтра:

- выбираем $C1 = C2 = C$ (некоторое приемлемое значение);
- определяем $R2$ из формулы

$$R2 = 2/BC; \quad (4.12)$$

- вычисляем $R1$ по формуле

$$R1 = R2/4Q^2; \quad (4.13)$$

- выбираем приемлемое значение R_a , например 1 кОм;
- вычисляем R_b по формуле

$$R_b = 2Q^2 R_a. \quad (4.14)$$

Эксперимент 1. Исследование фильтра нижних частот

Исходные данные: Значение напряжения $U_{ВХ}=1$ В, $F=10$ кГц.

$$R_1 = R_{o.c.} \ 10 \text{ к}\Omega. \ C_1 = 0,001 \text{ мкФ.}$$

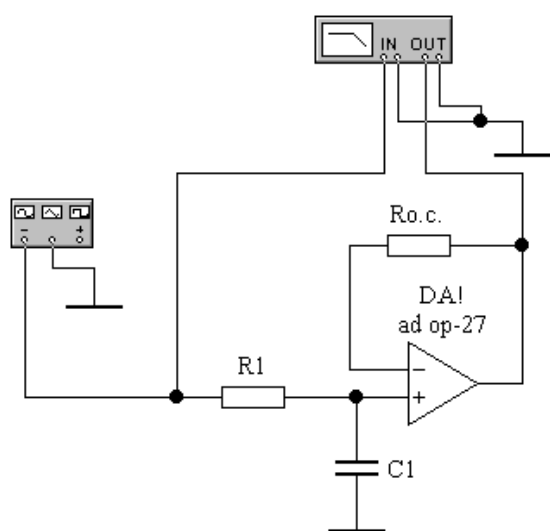


Рисунок 4.2 - Фильтр нижних частот

Рассчитать частоту среза фильтра по формуле (1.3).

Собрать схему представленную на рис. 4.2. Подать на вход напряжение 1 В частотой 10 кГц. Получить АЧХ фильтра, по которой определить частоту среза.

Сравните полученное значение с теоретическим рассчитанным по формуле 4.3.

От каких параметров схемы зависит частота среза фильтра.

Эксперимент 2. Исследование фильтра верхних частот

Исходные данные: Значение напряжения $U_{ВХ}=1$ В, $F=10$ кГц.

$$R = R_{o.c.} \ 22 \text{ к}\Omega. \ C = 0,01 \text{ мкФ.}$$

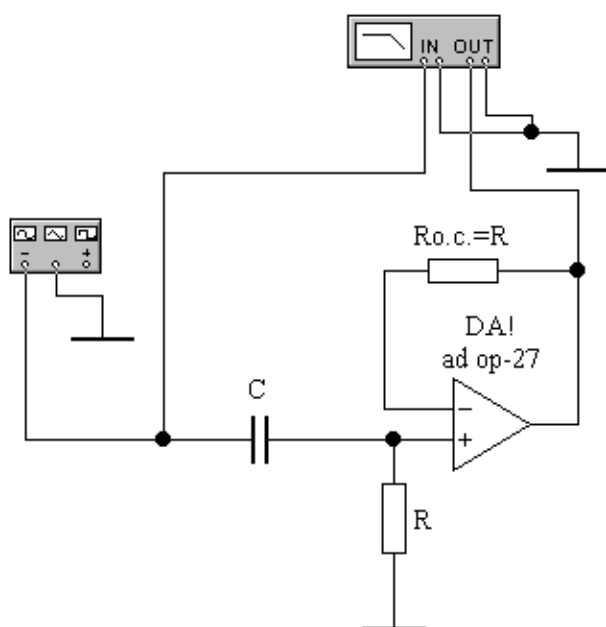


Рисунок 4.3 - Фильтр верхних частот

Рассчитать частоту среза фильтра по формуле (4.3).

Собрать схему представленную на рис. 4.3. Подать на вход напряжение 1В частотой 10 кГц. Получить АЧХ фильтра, по которой определить частоту среза.

Сравните полученное значение с теоретическим рассчитанным по формуле 4.3.

Какие параметры схемы влияют на величину полосы пропускания.

Эксперимент 3. Исследование полосового фильтра

Исходные данные: Значение напряжения $U_{ВХ}=1 В$, $F=10 кГц$.

$\omega_p = 10\,000 \text{ рад/с}$. $K_p = 40$. $Q = 20$. $C_1 = C_2 = C = 0,01 \text{ мкФ}$.

Рассчитать величину резисторов по формулам (4.11).

Собрать схему представленную на рис. 4.4.

Подать на вход напряжение 1В частотой 10 кГц. Получить АЧХ фильтра, по которой определить резонансную частоту и ширину полосы пропускания фильтра.

От каких параметров схемы зависит полоса пропускания и добротность фильтра?

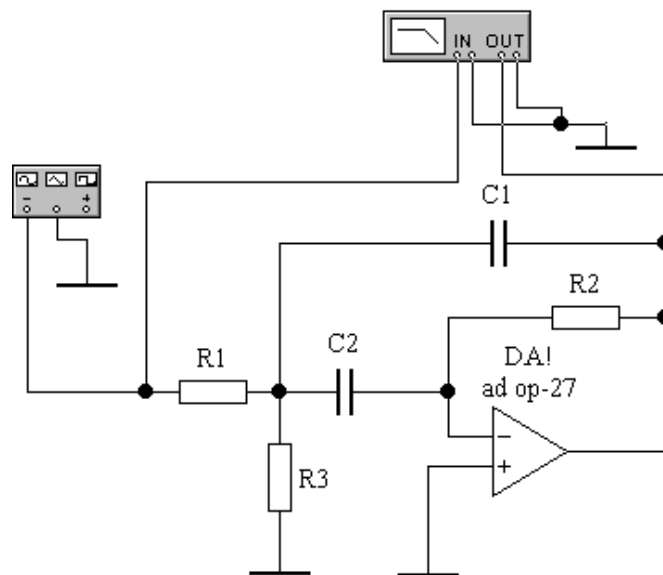


Рисунок 4.4 - Узкополосный фильтр

Эксперимент 4. Измерение режекторного фильтра

Исходные данные: Значение напряжения $U_{ВХ}=1 В$, $F=1 кГц$.

$f_p = 400 \text{ кГц}$. $Q = 5$. $C_1 = C_2 = C = 0,01 \text{ мкФ}$. $R_a = 1 \text{ кОм}$.

Рассчитать величину резисторов по формулам (4.12 – 4.14).

Собрать схему представленную на рис. 4.5.

Подать на вход напряжение 1В частотой 10 кГц.

Получить АЧХ фильтра, по которой определить резонансную частоту и ширину полосы пропускания фильтра на уровне - 3 дБ.

От каких параметров схемы зависит полоса пропускания и добротность фильтра?

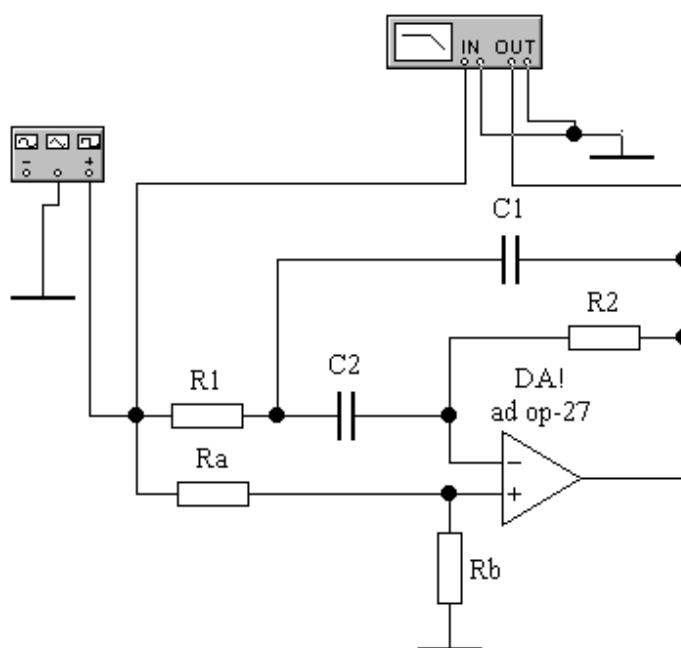


Рисунок 4.5 - Режекторный фильтр

Контрольные вопросы

1. По каким признакам классифицируются фильтры?
2. Какого типа фильтр дает на выходе напряжение, имеющее неизменное значение от постоянного тока до частоты среза?
3. Если в полосовом фильтре $\omega_n = 22500$ рад/с и $\omega_v = 22100$ рад/с, то чему равна полоса пропускания, выраженная а) в рад/с и б) в Герцах?
4. Как, используя ФНЧ и ФВЧ, получить полосовой фильтр?
5. Как определить полосу пропускания фильтра?
6. Что такое центральная частота фильтра, для фильтров каких типов применяется это понятие?
7. Как из полосового фильтра получить режекторный?

ЛИТЕРАТУРА

1. Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. – М.: СОЛОН-Р, 1999. – 506 с.
2. Кофлин Р., Дрискол Ф. Операционные усилители и линейные интегральные схемы. Пер. с англ. – М.: Мир, 1979. 360 с.
3. Фолкенберри Л. Применения операционных усилителей и линейных ИС: Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. 572 с.
4. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1988. – 304с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВСТУПЛЕНИЕ	4
ПРИБОРЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ (А.Л. Харченко)	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1. Исследование амплитудно-фазовых соотношений в простых цепях (А.Л. Харченко)	12
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2. Исследование биполярных и полевых транзисторов (В.Н. Балев)	21
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 Исследование инвертирующего, неинвертирующего и дифференциального усилителей (В.Н. Балев)	26
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 Исследование активных фильтров (А.Л. Харченко)	32
ЛИТЕРАТУРА	36

Навчальне видання

Методичні вказівки до лабораторних робіт
з курсу «Моделювання на ЕОМ»
для студентів спеціальності 7.091302
“Метрологія та вимірювальна техніка”
денної та заочної форм навчання

Російською мовою

Укладачі: О.Л. Харченко
В.М. Балєв

Відповідальний за випуск С.І. Кондрашов

Роботу до видання рекомендував О.І. Рогачов

В авторській редакції

Дизайн Тополов Ігор Іванович

План 2003 р., п. 141/

Підписано до видання . Формат 60×84 1/16. Папір офсет. Друк – ризографія.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. . Обл. - вид. арк. .
Наклад прим. Зам. № . Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ “ХПІ”, 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК №196 від 10.07.2000р.

Друкарня НТУ “ХПІ”