

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Кафедра радиоэлектронных средств

***ТЕОРИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И ПЕРЕДАЧИ  
ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ***

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

для студентов специальностей  
«Техническое обеспечение безопасности»

Минск 2008

УДК 621.396.6 (075.8)  
ББК 32.844 я 73  
Т 11

Рецензент:  
Доцент кафедры ЭВС БГУИР В. Б. Ключ

Авторы:  
А. И. Пинаев, В. В. Мельничук, Н. С. Образцов, В. Е. Галузо

**Т 11 Теория преобразования и передачи измерительной информации:** Лабораторный практикум для студ. спец. «Техническое обеспечение безопасности» / А. И. Пинаев, В. В. Мельничук, Н. С. Образцов. – Мн.: БГУИР, 2008. – 40 с.: ил.

ISBN 978-985-488-284-0.

В лабораторном практикуме рассмотрены вопросы влияния тепловых воздействий на работоспособность РЭУ, теплообмена в конструкциях РЭС, а также даны примеры расчетов теплопроводности и теплового сопротивления.

УДК 621.396.6 (075.8)  
ББК 32.844 я 73

ISBN 978-985-488-284-0

© Коллектив авторов, 2008  
© БГУИР, 2008

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Лабораторная работа № 1</b>	
Знакомство с программой моделирования электронных устройств Workbench 5.0.....	4
<b>Лабораторная работа № 2</b>	
Исследование полигармонических сигналов.....	11
<b>Лабораторная работа № 3</b>	
Спектральный анализ сигналов, используемых в информационно- измерительной технике.....	18
<b>Лабораторная работа № 4</b>	
Моделирование амплитудно-модулированных сигналов.....	23
<b>Лабораторная работа № 5</b>	
Моделирование функциональных схем.....	28
<b>Лабораторная работа № 6</b>	
Преобразование сигналов.....	35
<b>Список литературы.....</b>	<b>40</b>

Библиотека БГУИР

## Лабораторная работа №1

### Знакомство с программой моделирования электронных устройств Workbench 5.0

#### 1. Цель и задачи работы

1.1 Ознакомиться с программой моделирования электронных схем Workbench 5.0.

1.2 Получить практические навыки создания электрических принципиальных схем и их моделирования.

#### 2. Теоретическая часть

Разработка любого радиоэлектронного устройства сопровождается физическим и математическим моделированием. Физическое моделирование связано с большими материальными затратами.

Пакет программ Workbench предназначен для моделирования электронных аналоговых и цифровых схем. Особенностью программы является возможность использования виртуальных контрольно-измерительных приборов, по внешнему виду и характеристикам приближенных к их промышленным аналогам. Программа легко осваивается и достаточно удобна в работе.

Программа Workbench 5.0 имеет стандартный пользовательский интерфейс, принятый в ОС Windows.

Окно программы Workbench 5.0 (рис. 1) содержит поле меню, линейку кнопок библиотек компонентов и контрольно-измерительных приборов, рабочее поле программы, поле описания схемы (по умолчанию выключено).

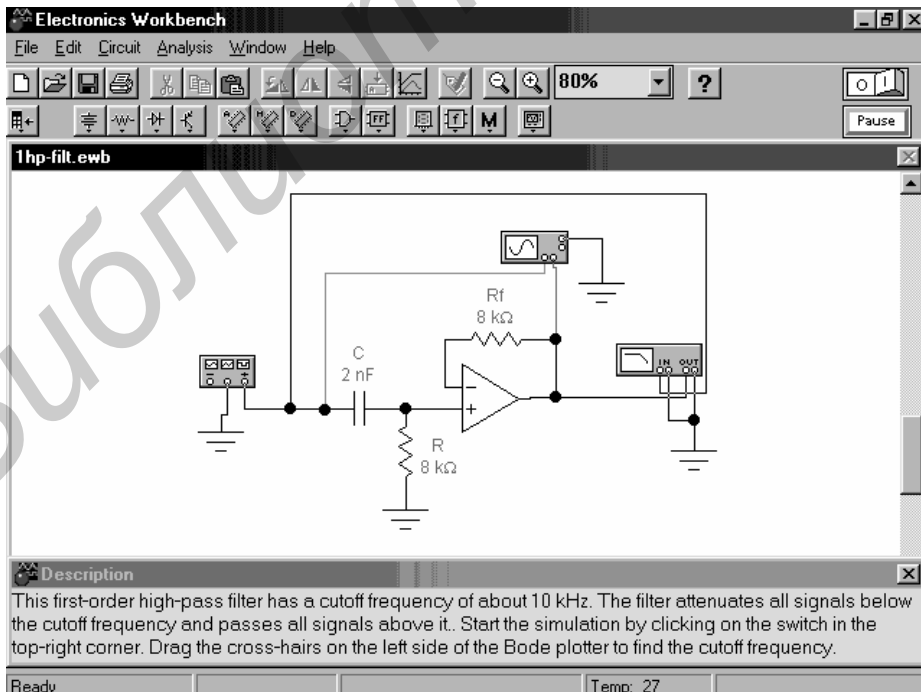


Рис. 1

Все операции в Workbench 5.0 доступны через пункты меню. Кратко опишем основные пункты меню.

Меню **File** предназначено для загрузки и записи файлов, распечатки схемы или ее части, а также для импорта/экспорта файлов в форматах других систем моделирования и программ разработки печатных плат.

Меню **Edit** позволяет выполнять команды редактирования схем (копировать в буфер обмена выделенный фрагмент, вырезать в буфер обмена выделенный фрагмент, вставить содержимое буфера обмена на рабочее поле) и копирования экрана.

Меню **Circuit** используется при подготовке схем, а также для создания параметров моделирования (*Schematic Options* — редактирование параметров схемы).

Меню **Analysis** предназначен для запуска и остановки моделирования схемы (пункты *Activate, Pause, Stop*), редактирования параметров моделирования, а также вывода результатов моделирования на экран (пункт *Display Graphs*).

Меню **Window** предназначено для упорядочивания информации в рабочем окне программы и включения окна текстового пояснения к схеме.

Меню **Help** предназначено для получения помощи по программе. Оно содержит краткие сведения по всем рассмотренным выше командам, библиотечным компонентам и измерительным приборам, а также сведения о самой программе. Необходимо отметить, что для получения справки по библиотечному компоненту, его необходимо отметить на схеме щелчком левой кнопки мыши (он высветится красным цветом) и затем нажать клавишу F1.

Для моделирования схем в Workbench необходимо выполнить следующие подготовительные пункты:

- выбор необходимых компонентов;
- создание электрических соединений;
- редактирование свойств компонентов;
- сохранение файла схемы на диске.

Остановимся более подробно на каждом из них.

*Выбор необходимых компонентов* производится следующим образом. На панели библиотеки компонентов (рис. 2) нажатием соответствующей кнопки выбираем интересующую нас категорию, например **Basic** (основные).

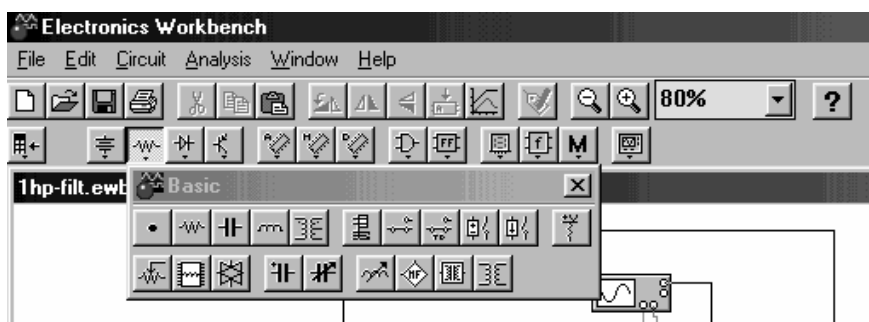


Рис. 2

Раскроется окно, в котором мы видим компоненты для построения схем. В этой категории присутствуют пассивные компоненты (резисторы, конденсаторы, индуктивности, переключатели и др.). Нажав левой кнопкой мышки на требуемый компонент и не отпуская кнопку переместим его на рабочее поле программы. Получим изображение компонента на рабочем поле программы.

В процессе проектирования и анализа электрических схем различных устройств наиболее широко используются следующие категории:

- Sources (источники напряжения и тока, в том числе амплитудно- и частотно-модулированные, а также со сложными временными и др. функциональными зависимостями, земляной вывод);
- Basic (основные пассивные элементы);
- Diodes (диоды различных типов, диодные мосты, светодиоды, тиристоры);
- Transistors (биполярные, полевые с изолированным затвором, полевые с управляющим переходом транзисторы различных типов);
- Analog ICs (аналоговые микросхемы – операционные усилители);
- Mixed ICs (смешанные аналого-цифровые микросхемы – ЦАП и АЦП, а также таймер 555);
- Digital ICs (цифровые микросхемы различных типов);
- Logical gates (элементарные логические вентили);
- Digital (более сложные функциональные логические элементы (триггеры, мультиплексоры, счетчики и др.);
- Indicators (индикаторы тока, напряжения, лампа накаливания, цифровые индикаторы и др.);
- Controls (функциональные узлы, обеспечивающие дифференцирование, интегрирование, перемножение, деление и др. операции над сигналами);
- Instruments (виртуальные основные контрольно-измерительные приборы – цифровой мультиметр, функциональный генератор (синусоидальных сигналов, треугольных и прямоугольных импульсов), двухканальный осциллограф, анализатор АЧХ и др.).

*Создание электрических соединений* производится следующим образом. Устанавливается курсор мышки в точку, откуда необходимо вести электрическое соединение, нажимается левая кнопка мыши и курсор ведется в то место, куда необходимо завести электрическое соединение. Причем местами «куда» и «откуда» ведутся электрические связи должны быть выводы компонентов (при подведении курсора к выводу компонента появляется черная точка), электрические соединения или узлы электрических соединений.

Редактирование свойств компонентов производится двойным щелчком левой клавиши мышки по требуемому компоненту. В результате открывается окно редактирования свойств. На рисунке 3 показано окно редактирования свойств резистора.

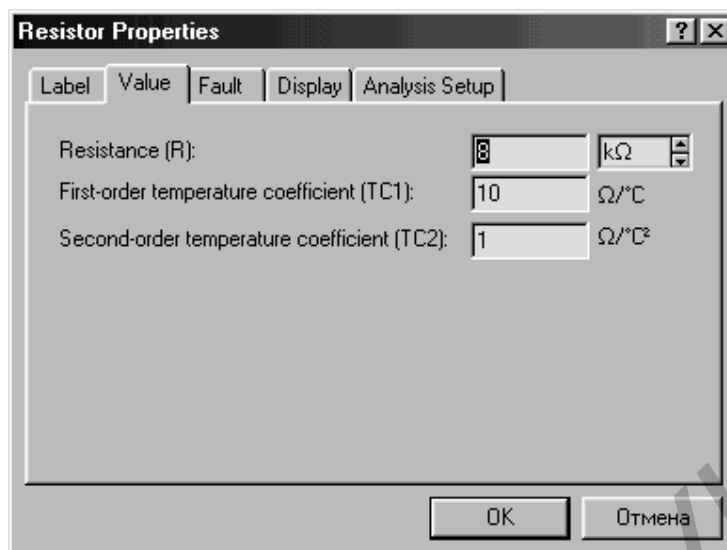


Рис. 3

В этом окне имеются закладки *Label*, *Value*, *Fault*, *Display*, *Analysis Setup*.

В закладке *Value* устанавливается значение параметров компонентов, таких как электрическое сопротивление для резисторов, емкость для конденсаторов, индуктивность для дросселей и т. д.

Для того чтобы изменить значение параметра необходимо в окне редактирования свойств компонента в закладке *Value* в соответствующем поле написать необходимое значение параметра и выбрать единицы измерения.

В закладке *Label* присваивается название компонента и его обозначение на схеме.

После того, как создана схему электрическую принципиальную, ее необходимо сохранить на диске. Для этого в меню *File* выбираем пункт *Save*. Появляется диалоговое окно, в котором необходимо указать имя файла и место его расположения. По умолчанию схеме присваивается имя *Untitled*.

Сохраненную схему можно затем вызвать с помощью меню *File/Open*.

Создав принципиальную электрическую схему можно приступить к ее моделированию.

Программа *Workbench* позволяет проводить два вида моделирования: классическое (которое используется в таких программах как *PSpice*, *Micro-Cap V*) и моделирование "реальное", когда используются виртуальные измерительные приборы, такие как осциллограф, вольтметр, амперметр и т. д. Второй метод моделирования является избыточным, так как производит большое количество одинаковых расчетов (так как для многих установившихся периодических процессов необходимо смоделировать один-два периода), поэтому для больших схем может быть не применим. Но этот метод обладает большой наглядностью, поэтому на начальном этапе освоения систем моделирования электронных устройств является наиболее предпочтительным.

«Реальное» моделирование запускается из меню *Analysis/Activate*. Останавливается командой меню *Analysis/Stop*, приостанавливается – *Analysis/Pause*. Кроме того, запускать и останавливать моделирование можно с помощью выключателя в верхнем правом углу окна программы.

После включения «реального» моделирования на виртуальных приборах можно наблюдать значения токов, напряжений в момент времени, которое отображается в самой нижней строке окна.

По классическому методу проводятся виды моделирования, указанные в пункте меню *Analysis* после пункта *Analysis Options...* В этом случае мы из пункта меню *Analysis* выбираем вид моделирования (например *Fourier...*), после чего появляется диалоговое окно (рис. 4), в котором задаются параметры моделирования и нажимается кнопка **OK**. Программа производит необходимые расчеты и выдает результаты расчетов в виде графиков или числовой информации.

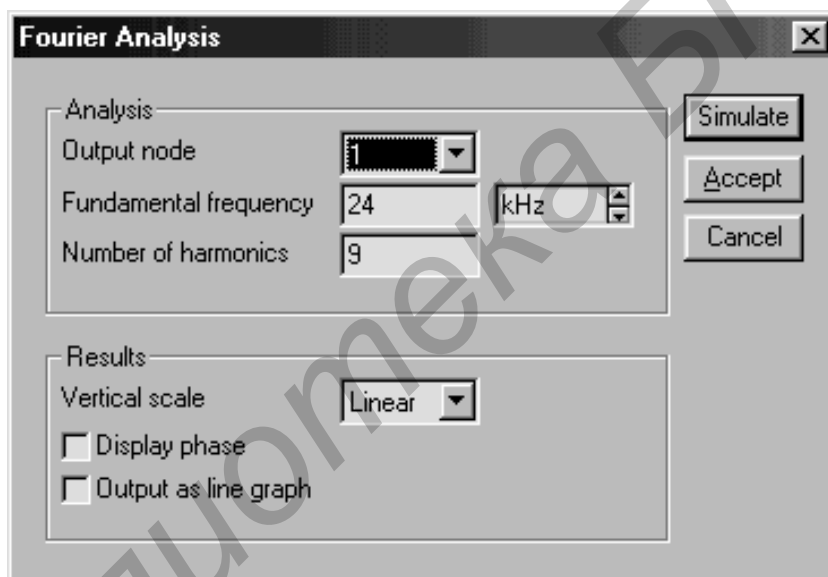


Рис. 4

Результаты расчетов можно посмотреть с помощью пункта меню *Analysis/Display Graphs* выбрав закладку интересующего вида моделирования. После проведения каждого вида моделирования в окне результатов *Analysis/Display Graphs* появляются новые закладки, с результатами проведенного вида моделирования (рис. 5)



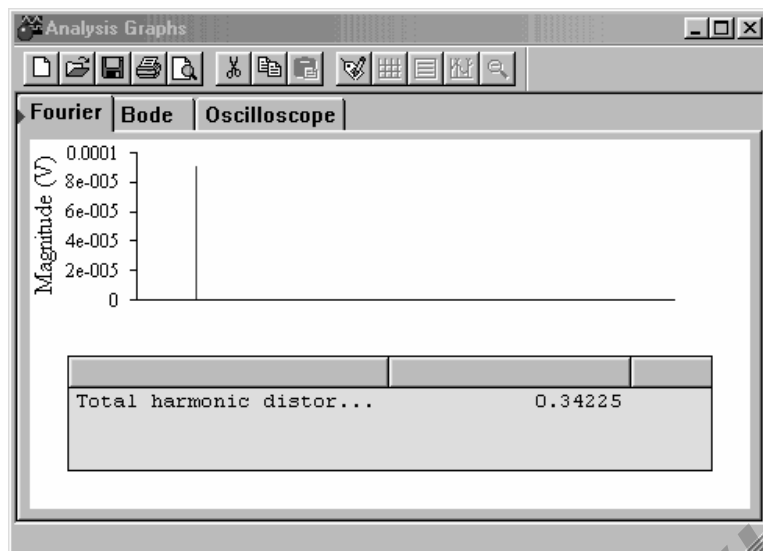


Рис.5

Для более удобного восприятия данных с графиков в окне результатов моделирования имеется возможность пользоваться кнопками включения сетки, “легенды” графика (полезно, когда на графике изображаются несколько кривых), а также использовать кнопку Toggle Cursors, которая выводит два курсора, перемещаемых с помощью мышки и с помощью которых можно производить считывание значения ординат кривой в любой точке. Значения координат курсоров по оси X и значения функции в точке нахождения курсора отображаются в окошке справа.

### 3. Практическая часть

Для ознакомления с программой Workbench создадим простую схему и проведем моделирование ее.

1.1 Вынесите на рабочее поле из группы компонентов Sources источник постоянного напряжения (Battery) и два обозначения земли (Ground), из группы компонентов Basic три резистора, из группы Transistors биполярный n-p-n транзистор, из группы Instruments осциллограф (Oscilloscope) и функциональный генератор (Functional Generator). Необходимо заметить, что при подведении курсора к кнопке через несколько секунд всплывает подсказка, указывающая на назначение кнопки.

1.2 Разместите компоненты как показано на рисунке 6. Двигать компоненты по рабочему полю можно щелкнув левой кнопкой мышки по изображению компонента и не отпуская кнопку, передвигать компонент в любую точку рабочего поля. Для того, чтобы повернуть компонент на 45°, отобразить зеркально по горизонтали и вертикали, необходимо щелкнуть один раз по изображению компонента правой кнопкой мышки. Появится контекстное меню, в котором есть пункты Rotate (повернуть), Flip Horizontal (отобразить горизонтально), Flip Vertical (отобразить вертикально). Выбрать необходимую операцию.

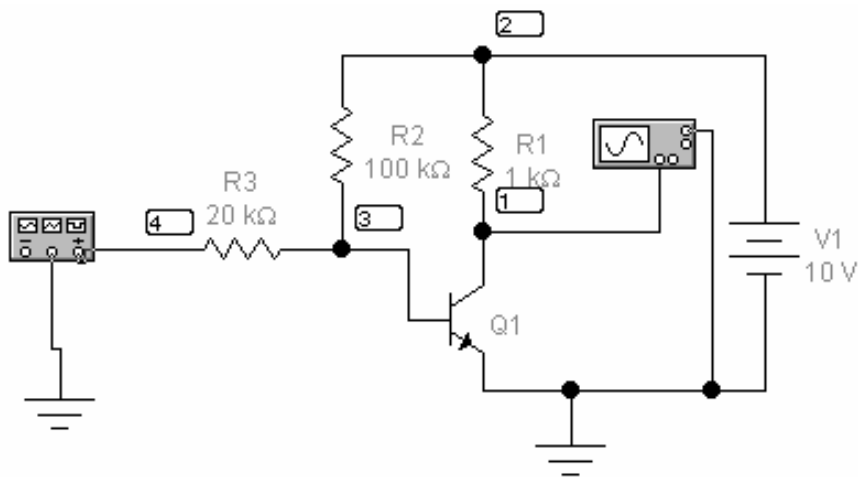


Рис. 6

1.3 Проведите электрические связи в соответствии с рис. 6. При анализе электрических схем удобно наблюдать на экране осциллографа одновременно два сигнала – входной и выходной. При этом целесообразно задать различным наблюдаемым сигналам различные цвета. Для этого необходимо подвести курсор к выбранной цепи, щелкнуть по правой кнопке мыши, выбрать опцию «Wire properties» и задать необходимый цвет.

1.4 Измените значения параметров компонентов в соответствии со схемой (рис.6). Для того чтобы изменить значение параметров компонента необходимо дважды щелкнуть левой кнопкой мышки по изображению компонента. Появится окно редактирования свойств компонента. В закладке **Value** в соответствующем поле (для резисторов – в поле **Resistance**, для источника постоянного напряжения – в поле **Voltage**) установите необходимые значения.

1.5 Разверните функциональный генератор дважды щелкнув по его изображению. В появившемся окне в поле **Amplitude** установите значение 700 mV

1.6 Сохраните изображение схемы с помощью меню **File/Save As...** Появится диалоговое окно, где в поле **Имя файла** необходимо написать любое название, по смыслу соответствующее содержанию схемы. В завершение процедуры сохранения необходимо нажать кнопку **Сохранить**.

1.7 Разверните осциллограф, дважды щелкнув на его изображение. Появится окно осциллографа.

1.8 Запустите моделирование, нажав мышкой на изображение выключателя в правом верхнем углу окна программы.

1.9 На экране осциллографа появится изображение сигнала. Произведите изменение его параметров (частоту и амплитуду) пользуясь сеткой на экране осциллографа.

1.10 Остановите моделирование, нажав мышкой на изображение выключателя в правом верхнем углу окна программы.

1.11 Изменяя значения резистора R2 и R3, проследите, как изменяется сигнал на экране осциллографа.

## Требования к отчету

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Краткие теоретические сведения (ответы на контрольный вопросы).
4. Результаты лабораторной работы (графики, таблицы, значения параметров, измеренных в процессе работы).
5. Необходимые расчеты (если они оговариваются в практической части лабораторной работы).
6. Выводы.

## Контрольные вопросы к работе:

1. Для чего используется программа Workbench?
2. Что является отличительной особенностью программы Workbench?
3. Как вводить компоненты на рабочее поле программы?
4. Как изменять параметры компонентов схемы?
5. Какие «виртуальные» инструменты используются в Workbench?
6. Как сохранить схему на диске?

## Лабораторная работа №2

### Исследование полигармонических сигналов

#### 1. Цель и задачи работы

1.1 Изучить полигармонические сигналы, состоящие из двух гармоник с частотами, отношения которых близки к единице или значительно больше ее.

1.2 Получить и проанализировать полигармонические сигналы, состоящие из двух гармоник, с частотами, отношения которых близки к единице или значительно больше ее.

#### 2. Теоретическая часть

*Полигармонический сигнал* – это сигнал, который состоит из постоянной составляющей и бесконечного числа гармоник с амплитудами  $C_k$  и начальными фазами  $\varphi_k$ . Если начальные фазы не принимать во внимание, то периодический сигнал можно представить линейчатым, или дискретным, спектром (рис. 1).

Полигармонический сигнал описывается периодической функцией

$$x(t) = x(t \pm k T_u)$$

где  $k = 1, 2, 3, \dots$

Этот сигнал повторяет все свои значения через интервал времени  $T_u$ , называемый периодом. Число циклов повторения в единицу времени называется основной частотой  $f = 1/T_u$ . В большинстве случаев полигармонический сигнал может быть представлен рядом Фурье:

$$x(t) = C_0 / 2 + \sum_{k=1}^n (a_k \cos 2\pi.k f_1 t + b_k \sin 2\pi.k f_1 t)$$

или

$$x(t) = x_0 + \sum_{k=1}^n C_k \cos(2\pi.k f_1 t + \varphi_k)$$

где  $f = 1/T$ .

Дискретный спектр периодического сигнала

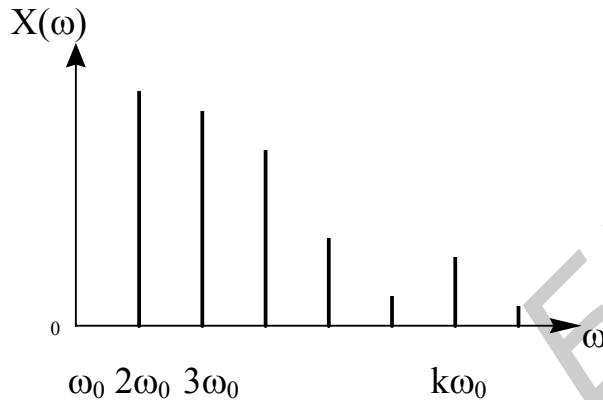


Рис.1

Следует отметить, что полигармонические сигналы распространены значительно шире, чем гармонические (например, синусоидальные). К примеру, напряжение на выходе генератора переменного тока, строго говоря, является всегда полигармоническим, так как содержит небольшие по амплитуде высшие гармоники. Колебания корпуса силовой установки с поршневым двигателем являются полигармоническим сигналом со значительными по уровню гармониками. Любой из параметров полигармонического сигнала может быть информативным.

Для периодического сигнала любой формы с периодом  $T$  важными параметрами являются:

текущее среднее значение за время  $T$

$$x_{\text{ср.тек}} = 1 / T \int_t^{t+T} X(t) dt$$

среднее значение (постоянная составляющая)

$$x_{\text{ср}} = 1 / T \int_0^T X(t) dt$$

среднее выпрямленное значение

$$x_{\text{ср.выпр}} = 1/T \int_0^T |X(t)| dt$$

действующее или среднее квадратическое значение

$$x_{\text{с.к.з}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int X^2(t) dt}$$

Информативными параметрами периодических сигналов сложной формы могут также являться:

максимальное отклонение сигнала в сторону больших значений от постоянной составляющей

$$x_{+\text{max}} = \max_{t \in T} [X(t) - x_{\text{ср}}]$$

максимальное отклонение сигнала в сторону меньших значений от постоянной составляющей

$$x_{-\text{max}} = \min_{t \in T} [X(t) - x_{\text{ср}}]$$

размах периодического сигнала

$$x_{\text{разм}} = x_{+\text{max}} - x_{-\text{max}}$$

коэффициент амплитуды

$$K_a = x_m / x_{\text{с.к.з}}$$

коэффициент формы

$$K_\Phi = x_{\text{с.к.з}} / x_{\text{ср.выпр}}$$

Сложные периодические процессы образуются суммированием двух или более синусоидальных гармоник с кратными частотами, при этом отношения частот любых пар гармоник представляют собой рациональные числа. Например, сигнал, описываемый функцией

$$x(t) = X_1 \sin(2t + \varphi_1) + X_2 \sin(5t + \varphi_2) + X_3 \sin(9t + \varphi_3)$$

является периодическим, так как числа  $2/5, 2/9, 5/9$  являются рациональными.

Сигнал  $x(t)$ , образованный синусоидальными гармониками с произвольными частотами, в общем случае не является периодическим. Например, сигнал

$$x(t) = X_1 \sin(2t + \varphi_1) + X_2 \sin(5t + \varphi_2) + X_3 \sin(\sqrt{60}t + \varphi_3)$$

не является периодическим, так как отношения частот гармоник  $2/\sqrt{60}$  и  $5/\sqrt{60}$  не являются рациональными числами (и тогда основной период равен бесконечности).

Такие сигналы называются почти периодическими, встречаются достаточно часто при суммировании независимых периодических процессов и представляются дискретным или линейчатым спектром (рис. 2). Примером почти периодического сигнала могут служить колебания корпуса самолета с несколькими двигателями, работающими в общем случае не синхронно.

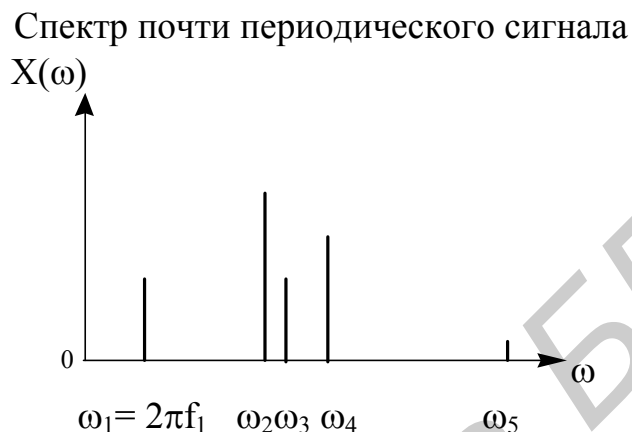


Рис.2

Рассмотрим интересный с точки зрения применения случай суммы двух сигналов с частотами  $\omega_1$  и  $\omega_1$ , отношения которых близки к единице или значительно больше ее.

Полигармонический сигнал, состоящий из двух гармоник с частотами, отношение которых близко к единице, образует биение (рис. 3). Если уравнение гармоник

$$x_1 = X_{1m} \cos \omega t$$

$$x_2 = X_{2m} \cos (\omega + \Delta\omega)t$$

то уравнение суммарного сигнала-биения

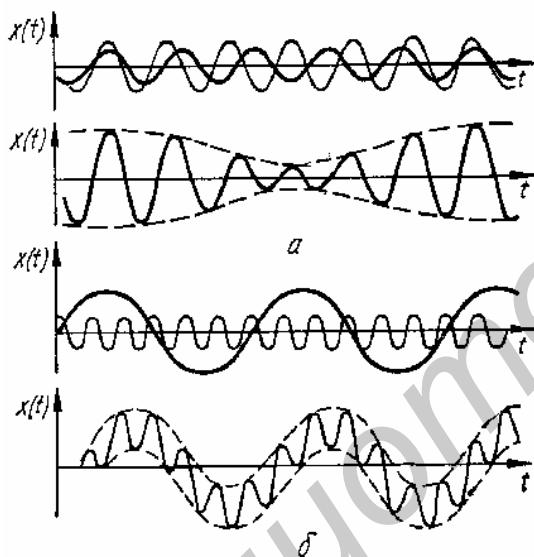
$$\begin{aligned} x_c &= x_1 + x_2 = \\ &= \sqrt{X_{1m}^2 + X_{2m}^2 + 2X_{1m}X_{2m} \cos \Delta\omega t \sin(\omega t + \varphi)} \\ \varphi &= \operatorname{arctg}\left(\frac{X_{1m} + X_{2m} \cos \Delta\omega t}{X_{2m} \sin \Delta\omega t}\right). \end{aligned}$$

Если  $X_{1m} > X_{2m}$ , то гармоника  $x_1$  называется *главной компонентой*, или *главной гармоникой*. Частота изменения сигнала внутри каждого периода биения равна частоте главной компоненты сигнала. Амплитуда биения изменяется от суммы  $X_{1m} + X_{2m}$  до разности  $X_{1m} - X_{2m}$  амплитуд компонент сигнала. Частота биения равна разности частот компонент.

Суммарный сигнал-биение не является синусоидой, но по внешнему виду похож на синусоиду и имеет приблизительно синусоидальный характер изменения ординат. Отличие от синусоиды определяется непостоянством амплитуды и фазы в течение периода биения. Биение на протяжении каждого периода имеет два характерных участка – «горб», где ординаты максимальны, и «талиия», где они минимальны.

По соотношению расстояний между пиками «горба» и «талиии» биения можно определить, какая из компонент сигнала – главная или второстепенная – имеет более высокую частоту. Если расстояние между соседними пиками «горба» меньше, чем между соответствующими пиками «талиии», то это означает, что  $\omega_1 < \omega_2$ , т.е. частота главной компоненты  $\omega_1$  меньше, чем частота второстепенной  $\omega_2$ , и наоборот.

Огибающие биения – плавные кривые, проведенные касательно вершинам и впадинам биения. Огибающие биения образуют полосу огибающих.



Ширина этой полосы у «горба» равна удвоенной сумме амплитуд компонент  $2(X_{1m} + X_{2m})$ , а у «талиии» – разности  $2(X_{1m} - X_{2m})$  (рис. 3, а). При двухкомпонентном сигнале нижняя огибающая является зеркальным изображением верхней. Частота огибающей равна разности частот компонент. Амплитуда огибающей равна амплитуде второстепенной компоненты.

Сигналы, состоящие из двух синусоид с большим отношением частот, характерны тем, что высокочастотная компонента на суммарной кривой представляется в виде пульсаций, наложенных на низкочастотную (рис. 3, б). В этом сигнале огибающая обладает несколько иными свойствами по сравнению с огибающей биения: ее амплитуда и фаза равны амплитуде и фазе низкочастотной компоненты, а ширина полосы равна удвоенной амплитуде высокочастотной компоненты.

### 3. Практическая часть

3.1. Запустить программу WorkBench 5.0 с помощью меню **Пуск/ Программы/ Workbench 5.0** или щелкнув два раза по пиктограмме с надписью **Workbench 5.0** на рабочем столе.

3.2. В окне создания схем нарисуйте схему, приведенную на рис. 4.

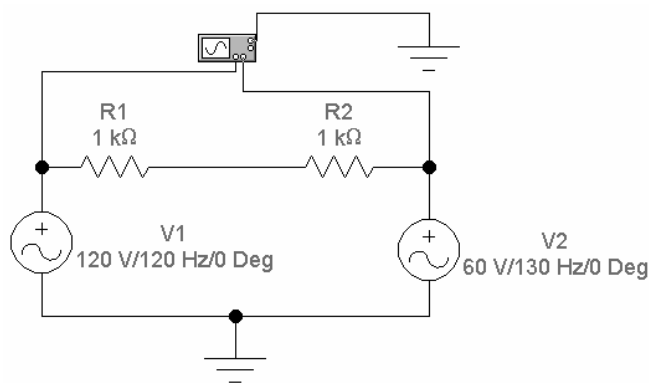


Рис. 4

3.3. Задайте параметры элементов. Для этого необходимо щелкнуть два раза левой кнопкой мышки на нужном элементе. Откроется окно редактирования свойств. Выбрать закладку *Value* (обычно она отображается по умолчанию). В полях вписать необходимые значения. Значения сопротивлений резисторов установить равными 1 кОм. Для источника V1 значение амплитуды сигнала 120 В, частота – 120 Гц. Для источника V2 значение амплитуды сигнала 60 В, частота – 130 Гц

3.4. Дважды щелкните по изображению осциллографа. Вы увидите изображение прибора. Установите частоту развертки (Time Base) равную 2 мс/дел и амплитуду сигнала 50 В/дел для каналов А и В виртуального осциллографа.

3.5. Запустите программу моделирования выбрав пункт меню *Analysis/ Activate* или нажав клавиши **Ctrl+G**. На экране осциллографа можно наблюдать сигналы от источников синусоидального напряжения.

3.6. Приведите схему в вид, представленный на рис. 5. Для этого уберите связи от осциллографа к источникам синусоидального напряжения и присоедините один из каналов осциллографа к точке соединения резисторов R1 и R2. Для удаления связи нажмите левой кнопкой мышки на электрическую связь, которую нужно удалить. Она выделится черным цветом. После этого нажмите клавишу Delete (Del) на клавиатуре и подтвердите удаление нажатием клавиши Enter (Ввод).

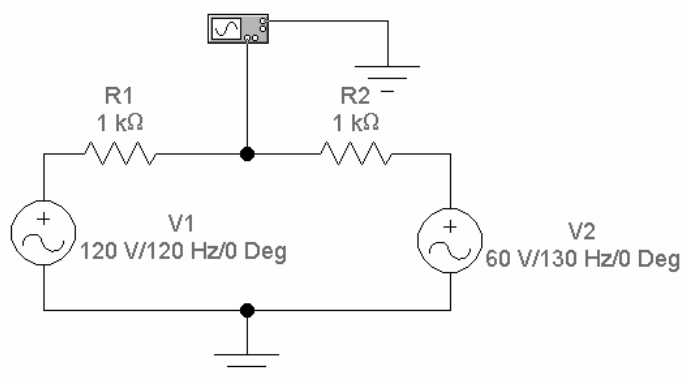


Рис.5



3.7. Измените период развертки осциллографа, установив его равным 0,01 сек/дел.

3.8. Запустите схему на моделирование. Зарисуйте полученный на экране осциллографа сигнал. Результаты занесите в таблицу 1.

3.9. Поменяйте местами значения амплитуд источников V1 и V2.

3.10. Запустите схему на моделирование. Зарисуйте полученный на экране осциллографа сигнал. Результаты занесите в таблицу 1.

3.11. Измените частоту источника V2. Сделайте ее равной 1500 Гц.

3.12. Запустите схему на моделирование. Зарисуйте полученный на экране осциллографа сигнал.

3.13. Поменяйте местами значения амплитуд источников V1 и V2.

3.14. Запустите схему на моделирование. Зарисуйте полученный на экране осциллографа сигнал. Результаты занесите в таблицу 1.

Таблица 1

№ п\п	Источник V1		Источник V2		Период развертки (Time base), с/дел	Масштаб напряжения по Y, В/дел	Изображение сигнала
	Амплитуда, В	Частота, Гц	Амплитуда, В	Частота, Гц			
1							
2							
3							
4							

### Требования к отчету

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Краткие теоретические сведения (ответы на контрольные вопросы).
4. Результаты лабораторной работы (графики, таблицы, значения параметров измеренных в процессе работы).
5. Необходимые расчеты (если они оговариваются в практической части лабораторной работы).
6. Выводы.

### Контрольные вопросы к работе:

1. Какой сигнал называют полигармоническим?
2. Какой полигармонический сигнал образует биение?
3. Опишите основные параметры биения?
4. Что можно определить по соотношению расстояний между пиками «горба» и «тали» биения?
5. Чем характерен сигнал, состоящий из двух синусоид с большим соотношением частот?

## Лабораторная работа № 3

### Спектральный анализ сигналов, используемых в информационно-измерительной технике

#### 1. Цель и задачи работы

1.1 Изучить метод проведения спектрального анализа сигналов методом разложения в ряд Фурье.

1.2 Получить практические навыки разложения в спектр простейших функций с помощью программы Workbench 5.0.

#### 2. Теоретическая часть

В инженерной практике необходимо уметь «проводить» сложные детерминированные и квазидетерминированные сигналы через различные звенья измерительных устройств, а также генерировать такие сигналы. Эти задачи обычно решаются проще, если сложный сигнал можно представить в виде суммы элементарных, обладающих указанными ранее свойствами.

Разложение сложного сигнала на элементарные производится по определенной системе, в частности по системе ортогональных функций – в обобщенный ряд Фурье

$$x(t) = \sum_{k=1}^{k=m} a_k C_k(t) \quad (1)$$

где  $a_k$  – коэффициенты членов ряда;

$C_k$  – совокупность ортогональных функций.

*Ортогональной* называется совокупность функций  $C_k(t)$ , удовлетворяющая следующему условию на отрезке времени  $(t_2 - t_1)$ :

$$\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} C_k(t) C_n(t) dt = 0,$$

где  $k = 1, 2, 3, \dots, m$ ;

$n = 1, 2, 3, \dots, m$  при  $n \neq k$ .

Ортогональность двух функций означает, что данная функция не содержит в своем составе компонент, имеющих форму второй ортогональной ей функции.

Если совокупность функций  $C_k(t)$  удовлетворяет также и условию

$$\int_{t_1}^{t_2} C_k^2(t) dt = 1,$$

то она называется *ортонормированной*.

Уравнения для получения значений коэффициентов  $a_k$  ряда (1) могут быть получены на основе применения критерия минимальности среднего значения квадрата погрешности приближения сложной функции  $x(t)$  к ряду

$$\sum_{k=1}^{k=m} a_k C_k(t) \text{ на отрезке времени } (t_2 - t_1).$$

Если два вышеприведенных условия ортонормированности совокупности функций  $C_k(t)$  выполняются, то получаем

$$a_k = \int_{t_1}^{t_2} x(t) C_k(t) dt.$$

Если второе условие не выполнено и совокупность функций является только ортогональной, но не ортонормированной, то

$$a_k = \frac{\int_{t_1}^{t_2} x(t) C_k(t) dt}{\int_{t_1}^{t_2} C_k^2(t) dt}. \quad (2)$$

Следовательно, сложный детерминированный сигнал  $x(t)$  на интервале  $(t_2 - t_1)$  можно заменить суммой  $m$  взаимно ортогональных на этом интервале сигналов  $C_k(t)$ . Погрешность такой аппроксимации будет зависеть от числа членов ряда  $m$  и сходимости ряда.

В качестве ортогональных используются либо элементарные функции, например тригонометрические, либо специальные, а именно: комплексные экспоненциальные, полиномы Лежандра, Якоби, функции Хаара, ряд Котельникова.

Наиболее часто в качестве ортогональных используются тригонометрические функции, образующие обычный ряд Фурье. Действительно, нетрудно показать, что множество функций  $\sin n\omega_0 t$  и  $\sin m\omega_0 t$  ортогональны на любом интервале  $(t_0; t_0 + \frac{2\pi}{\omega_0})$  при произвольных значениях  $n$  и  $m$ :

$$\int_{t_0}^{t_0 + 2\pi/\omega_0} \sin n\omega_0 t \sin m\omega_0 t dt = \frac{1}{2\omega_0} \left[ \frac{1}{n-m} \sin(n-m)\omega_0 t - \frac{1}{n+m} \sin(n+m)\omega_0 t \right] \Big|_{t_0}^{t_0 + 2\pi/\omega_0} \quad (3)$$

Если  $n$  и  $m$  целые числа, то числа  $n - m$  и  $n + m$  также являются целыми и интеграл (3) равен нулю, а значит, эта система функций ортогональна. Таким же образом можно показать, что ортогональными являются системы функций  $\sin n\omega_0 t$  и  $\cos m\omega_0 t$ ,  $\cos n\omega_0 t$  и  $\cos m\omega_0 t$ .

Обычно используют в ряду Фурье совокупность ортогональных функций  $\cos(n\omega_0 t)$  и  $\sin(n\omega_0 t)$ , в этом случае любой периодический сигнал  $x(t)$  можно представить на интервале  $(t_0, t_0 + 2\pi/(\omega_0 t))$  рядом элементарных сигналов:

$$f(t) = a_0 + a_1 \cos \omega_0 t + b_1 \sin \omega_0 t + a_2 \cos 2\omega_0 t + b_2 \sin 2\omega_0 t + \dots \\ \dots + a_k \cos k\omega_0 t + b_k \sin k\omega_0 t$$

Если заменить  $2\pi/(\omega_0 t) = T$ , то

$$x(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{k=\infty} (a_k \cos k\omega_0 t + b_k \sin k\omega_0 t)$$

при  $t_0 < t < t_0 + T$ .

Коэффициенты ряда Фурье определяются по (2):

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} x(t) dt;$$

$$a_k = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} x(t) \cos k\omega_0 t dt;$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} x(t) \sin k\omega_0 t dt;$$

Тригонометрический ряд Фурье применяют также в следующей форме:

$$x(t) = \sum_{k=0}^{\infty} A_k \cos(n\omega_0 t + \varphi_k)$$

где

$$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$$

$$\varphi_k = -\text{arctg}(b_k / a_k)$$

Аналогично можно показать, что комплексные экспоненциальные функции  $e^{ik\omega_0 t}$  ( $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ) являются на интервале  $(t_0, t_0 + 2\pi/\omega_0)$  также взаимно ортогональными при любом  $t_0$ .

$$I = \int_{t_0}^{t_0+2\pi/\omega_0} e^{jk\omega_0 t} e^{-jk\omega_0 t} dt = \int_{t_0}^{t_0+T} e^{jk\omega_0 t} e^{-jk\omega_0 t} dt$$

Если  $k = n$ , то  $I = T$ , а при  $k \neq n$   $I = 0$ .

Следовательно, любой периодический сигнал  $x(t)$  можно представить суммой комплексных экспоненциальных сигналов – с помощью экспоненциального ряда Фурье

$$x(t) = F_0 + F_1 e^{j\omega_0 t} + F_{-1} e^{-j\omega_0 t} + F_2 e^{j2\omega_0 t} + F_{-2} e^{-j2\omega_0 t} + \dots + F_k e^{jk\omega_0 t} + F_{-k} e^{-jk\omega_0 t}$$

Коэффициенты экспоненциального ряда Фурье определяются по формуле

$$F_k = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} x(t) e^{-jk\omega_0 t} dt$$

Экспоненциальный ряд Фурье для периодической функции является второй формой тригонометрического ряда Фурье.

Периодический сигнал с периодом повторения  $T$  можно представить состоящим из периодических синусоидальных сигналов с частотными составляющими  $\omega_0 = 2\pi/T$ ;  $2\omega_0$ ;  $3\omega_0$ ; ...;  $n\omega_0$ . Периодический сигнал  $x(t)$  обладает дискретным или линейчатым спектром, графически изображающимся в виде вертикальных линий вдоль оси частот в точках  $\omega_0$ ,  $2\omega_0$  и т.д. причем высота каждой из этих линий пропорциональна амплитуде данной частотной составляющей. Обычно частотные составляющие спектра являются комплексными числами, и поэтому для представления данной периодической функции необходимо иметь два дискретных спектра: спектр амплитуд и спектр фаз (рис. 1). Заметим, что во многих случаях частотные составляющие являются только действительными или только мнимыми, и данный сигнал можно представить одним спектром, так как его фазовый спектр постоянен и имеет составляющие, соответственно равные 0 или  $90^\circ$ .

Спектр амплитуд (а) и спектр фаз (б) периодического сигнала

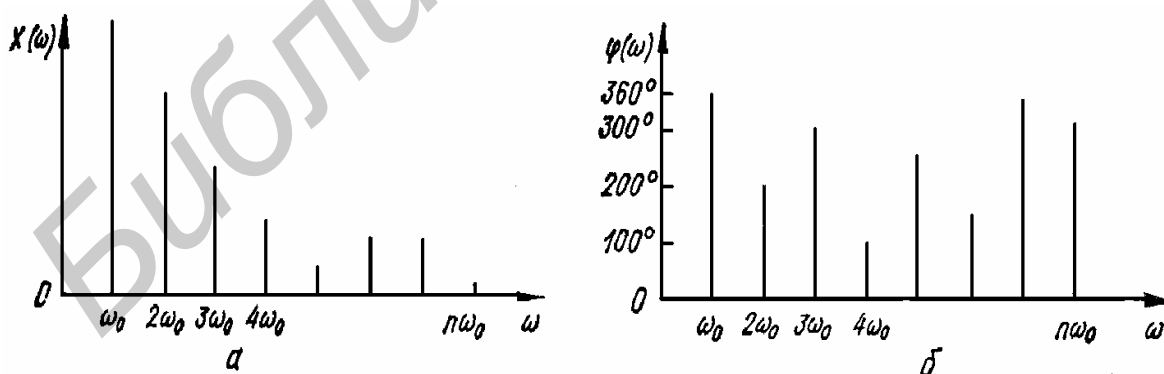


Рис. 1

Дискретный спектр периодического сигнала, определяемый с помощью средств измерений, называемых анализаторами гармоник, характеризуется совокупностью важных информативных параметров сигнала  $x(t)$  – значениями амплитуд и фаз отдельных гармоник, полосой частот и др.

### 3. Практическая часть

Программа Workbench позволяет проводить спектральный анализ сигналов различной формы. В ходе лабораторной работы мы проведем спектральный анализ простейших сигналов, наиболее часто встречающихся в электронной технике. Это сигналы синусоидальной, прямоугольной и треугольной формы.

Для проведения спектрального анализа этих сигналов необходимо:

3.1 Нарисовать схему, приведенную на рис. 2 справа.

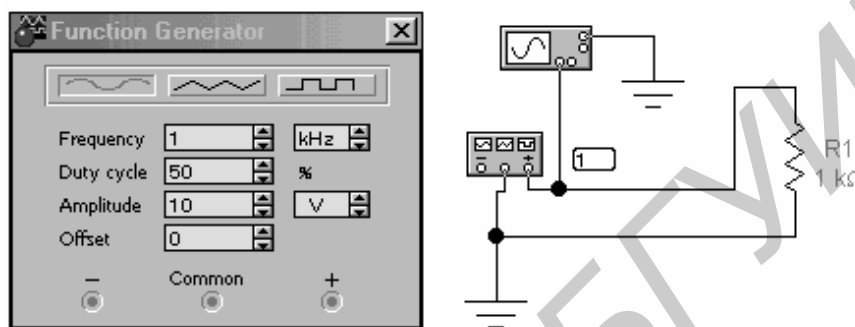


Рис. 2

3.2 Дважды щелкните по изображению функционального генератора. Откроется окно, показанное на рис. 2 слева.

3.3 В поле **Frequency** установите значение 1 кГц

3.4 Щелкните в окне функционального генератора на кнопку с изображением синусоиды.

3.5 Двойным щелчком по осциллографу раскройте его. Настройте развертку осциллографа. В поле **Time base** установите значение 0,5 мс/дел. В поле **Channel A** установите значение развертки по вертикали 5 В/дел.

3.6 В пункте меню **Analysis/Analysis Options...** в закладке Instruments поставьте птичку перед надписью **Pause after each screen** и нажмите кнопку **OK**. Это означает, что после каждого заполнения экрана осциллографа моделирование будет приостанавливаться, чтобы была возможность наблюдать сигнал.

3.7 Запустите моделирование из пункта меню **Analysis/Activate** или нажав на изображение выключателя в верхнем правом окне программы.

3.8 Убедитесь, что на экране наблюдается сигнал требуемой формы (тот, кнопка которого нажата в окне функционального генератора).

3.9 Остановите моделирование выбрав пункт меню **Analysis/Stop** или нажав на изображение выключателя в верхнем правом окне программы.

3.10 Теперь проведем непосредственно спектральный анализ. Для этого выберем пункт меню **Analysis/Fourier...** Появится диалоговое окно в котором в поле **Fundamental Frequency** установим значение 1 кГц, а в поле **Number of harmonics** значение 20. Нажимаем кнопку **Simulate** и получаем изображение спектра исследуемого сигнала.

3.11 Изображение спектра следует зарисовать в таблицу 1. Записать значение **Total harmonic distortion** (коэффициент гармоник). Закрывать окно результатов моделирования.

3.12 В окне функционального генератора нажать на кнопку с изображением сигнала треугольной формы. В поле **Duty cycle** установить значение 10. Понаблюдайте форму сигнала на осциллографе выполнив пункты 3.7-3.9

3.13 Проведите спектральный анализ выполнив пункты 3.10-3.11.

3.14 Повторите спектральный анализ сигнала треугольной формы для значений **Duty cycle** равных 50 и 90.

Таблица 1

№ п/п	Изображение сигнала	Значение Duty cycle	Изображение спектра сигнала	Коэффициент гармоник
1		50		
2		10		
3		50		
4		90		
5		10		
6		50		
7		90		

### Требования к отчету

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Краткие теоретические сведения (ответы на контрольные вопросы).
4. Результаты лабораторной работы (графики, таблицы, значения параметров измеренных в процессе работы).
5. Необходимые расчеты (если они оговариваются в практической части лабораторной работы).
6. Выводы.

### Контрольные вопросы к работе

1. Как представить сложные квазидетерминированные сигналы рядом Фурье?
2. Какие совокупности функций называются ортогональными, ортонормированными?
3. Экспоненциальный ряд Фурье.

## Лабораторная работа №4

### Моделирование амплитудно-модулированных сигналов

#### 1. Цель и задачи работы

- 1.1 Изучить амплитудно-модулированные сигналы и их особенности.

1.2 Получить практические навыки моделирования амплитудно-модулированных сигналов.

## 2. Теоретическая часть

Для передачи информации на расстояние применяются сигналы, эффективно излучаемые с помощью антенных устройств и обладающие способностью распространяться в виде свободных радиоволн в среде, разделяющей отправителя и получателя информации. Такими сигналами являются высокочастотные колебания. Передаваемая информация должна быть тем или иным способом заложена в высокочастотное колебание, называемое *несущим*. Частота  $\omega_0$  этого колебания выбирается в зависимости от расстояния, на которое должна передаваться информация, от условий распространения радиоволн и ряда других технических и экономических факторов. Но в любом случае частота  $\omega_0$  должна быть велика по сравнению с наивысшей частотой  $\Omega_m$  спектра передаваемого сообщения.

Это объясняется тем, что для неискаженной передачи сообщений через радиотехнические цепи, а также для устранения искажений, возникающих при распространении радиоволн, необходимо чтобы ширина спектра сообщения  $\Omega_m$  была мала по сравнению с  $\omega_0$ , чем меньше отношение  $\Omega_m/\omega_0$ , тем меньше проявляется несовершенство характеристик системы. Поэтому чем выше требуемая скорость передачи информации и, следовательно, шире спектр сообщения  $\Omega_m$ , тем выше должна быть несущая частота радиосигнала. Как правило, выполняется неравенство  $\Omega_m/\omega_0 \leq 1$ .

В самом общем случае радиосигнал, несущий в себе информацию, можно представить в виде:

$$y(t) = A(t)\cos[\omega_0 t + \Theta_0],$$

в котором амплитуда  $A(t)$  изменяется по закону передаваемого сообщения.

При модуляции мгновенное значение *первичного* или *модулирующего* сигнала управляет одним из параметров вспомогательного сигнала, называемого *несущим*. В качестве первичного модулирующего сигнала в измерительной технике используется обычно аналоговый измерительный сигнал.

В качестве несущего сигнала в измерительной технике используют обычно следующие виды сигналов:

- постоянный сигнал  $z(t) = Z_m$  ;
- синусоидальный сигнал  $z(t) = Z_m \sin \omega_0 t$ ;
- импульсный периодический сигнал  $z(t) = \sum_{k=1}^{\infty} Z_m f(kT_0 + t)$

где  $T_0$  – период следования импульсов;

$K = 0, 1, 2, 3, 4$ ;

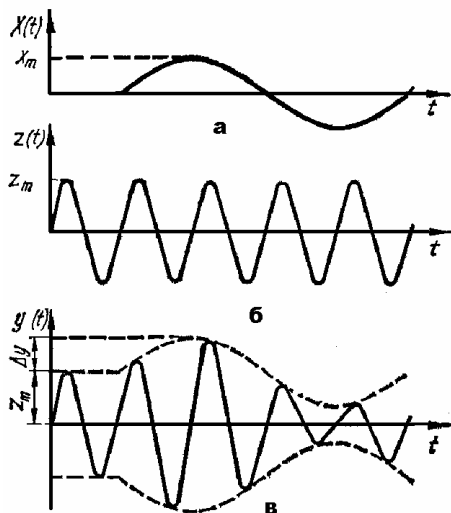
$T_0$  – ширина или длительность импульса;

$Z_m$  – амплитуда импульса.



Необходимость в модуляции возникает в том случае, если первичный сигнал  $X(t)$  имеет такой характер, при котором затруднены его передача, преобразование или обработка при высоких требованиях к точности.

Модуляция реализуется путем взаимодействия сигналов – первичного сигнала  $X(t)$ , содержащего искомую информацию (рис. 1, а), и несущего  $z(t)$ , не содержащего информации, но обладающего физической природой и таким характером изменения во времени, при которых удобна реализация дальнейших операций (рис. 1, б).



а – модулирующий сигнал;  
б – несущий сигнал;  
в – амплитудно-модулированный сигнал

Рис 1

В результате взаимодействия  $X(t)$  и  $z(t)$  создается модулированный сигнал  $y(t)$ , содержащий интересующую нас измерительную информацию и обладающий природой и характером изменения во времени, удобными для дальнейших преобразований.

При амплитудной модуляции (рис. 1) модулированный сигнал

$$y(t) = Z_m [1 + M_a f(t)] \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = Z_m \left[ 1 + \frac{\Delta Z_m}{Z_m} \cdot \frac{x(t)}{X_m} \right] \sin(\omega_0 t + \varphi_0) =$$

$$= Z_m \left[ 1 + \frac{K_a X_m}{Z_m} \cdot \frac{x(t)}{X_m} \right] \sin(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где  $f(t) = \frac{x(t)}{X_m}$  – относительное изменение модулирующего сигнала;

$K_a$  – коэффициент преобразования модулятора;

$\Delta y = K_a X_m$  – максимальное изменение (девиация) амплитуды модулированного сигнала, вызванное максимальным значением информативного параметра  $X_m$  модулирующего сигнала;

$M_a = \Delta y / Z_m$  глубина амплитудной модуляции, которая всегда меньше единицы.

Модулирующий сигнал  $X(t)$  может быть либо квазидетерминированным, либо случайным, но всегда наивысшая частота его спектра  $\Omega_{\max}$  должна быть меньше частоты несущего сигнала  $\omega_0$ .

В качестве примера на рис. 2 показан вид амплитудно-модулированного сигнала  $y(t)$  при модуляции гармоническим (а) и случайным (б) сигналом.

При модуляции простейшим гармоническим сигналом модулированный сигнал состоит из нескольких спектральных составляющих. Действительно, при этом

$$\begin{aligned}
 y(t) &= Z_m [1 + M_a \sin(\Omega t + \Theta)] \sin(\omega_0 t + \varphi) = \\
 &= Z_m \sin(\omega_0 t + \varphi) + \frac{Z_m M_a}{2} \cos([\omega_0 - \Omega]t + (\varphi - \Theta)) - \\
 &\quad - \frac{Z_m M_a}{2} \cos([\omega_0 + \Omega]t + (\varphi + \Theta))
 \end{aligned}$$

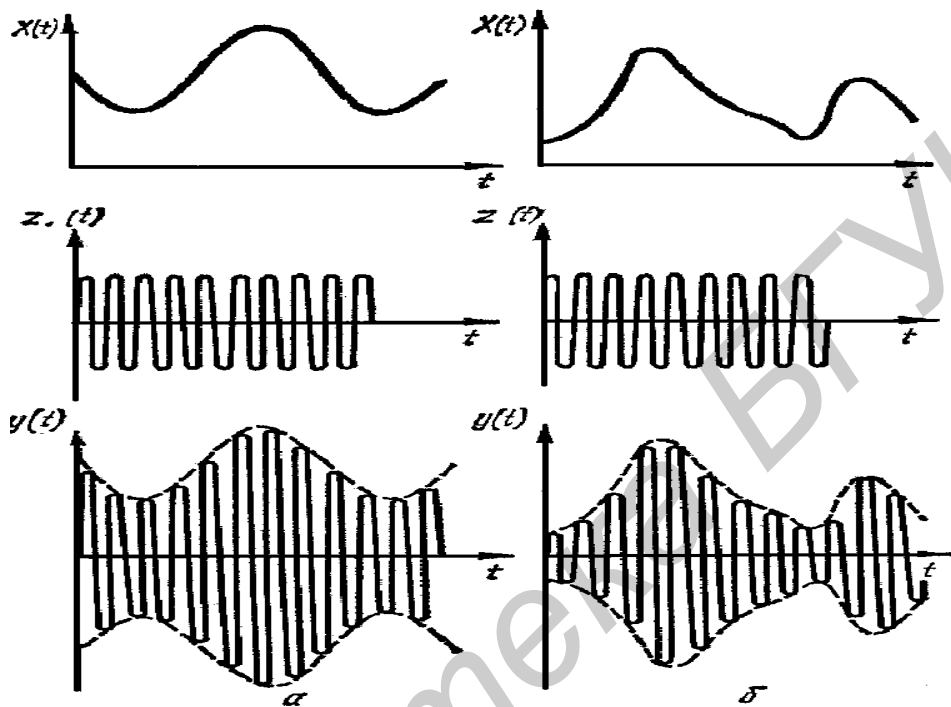


Рис. 2

Следовательно, амплитудно-модулированный сигнал имеет в этом случае (рис. 3) три спектральные частотные составляющие с частотами  $\omega_0$ ,  $\omega_0 - \Omega$ ,  $\omega_0 + \Omega$ .

Частотный спектр при амплитудной модуляции гармоническим сигналом

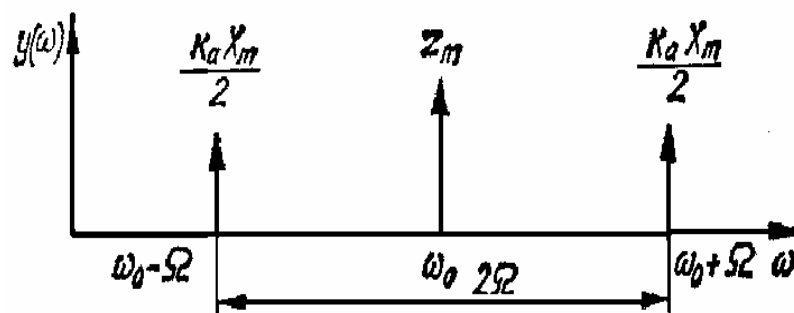


Рис. 3

### 3. Практическая часть

Амплитудно-модулированный сигнал зададим с помощью полиномиального источника перемножением выходных сигналов от двух источников с разными частотами следования импульсов, причем частота модулирующего сигнала значительно меньше частоты несущего сигнала.

Выходное напряжение рассматриваемого источника описывается полиномом:

$$Y=A+B*V_1+C*V_2+D*V_3+E(V_1)^2+F*V_1*V_2+G*V_1*V_3+H(V_2)^2+I*V_2*V_3+J*(V_3)^2+K*V_1*V_2*V_3$$

где  $V_1, V_2, V_3$  – напряжения от внешних источников, подаваемые на входы полиномиального источника,  $A, B, C, D, E, F, G, H, J, K$  – коэффициенты.

3.1 Для выполнения лабораторной работы необходимо нарисовать схему, показанную на рис. 4

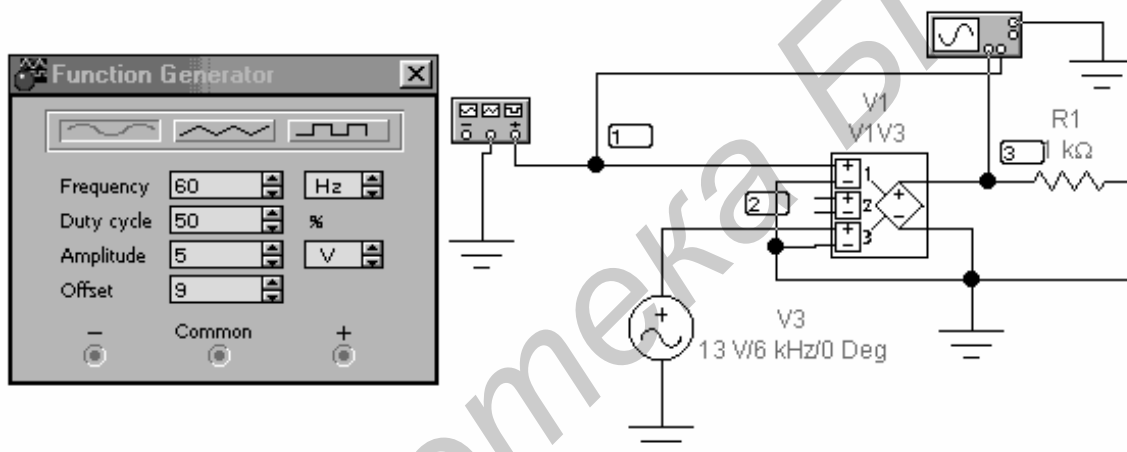


Рис. 4

3.2 Дважды щелкните на изображение функционального генератора. Раскроется окно функционального генератора. В поле **Frequency** установите значение 60 Гц, в поле **Amplitude** – значение 5 В, в поле **Offset** – значение 9.

3.3 В свойствах синусоидального источника напряжения установите напряжение 13 В, частоту 6 кГц.

3.4 В свойствах полиномиального источника значение в поле **Coefficient of  $V1*V3$  (G)** установить равное 1, остальные поля должны иметь значения 0.

3.5 Дважды щелкнув на изображение осциллографа. В появившемся окне установите в поле **Time Base** значение 2 ms/div, в поле **Chanel A** значение 100 V/div, в поле **Chanel B** значение 5 V/div.

3.6 Запустите моделирование из пункта меню **Analysis/Activate** или нажав на изображение выключателя в верхнем правом окне программы. На экране осциллографа получим амплитудно-модулированный сигнал. Остановите моделирование после прохождения двух и более периодов исследуемого сигнала.

3.7 В окне осциллографа можно нажать кнопку *Expand*. При этом окно развернется и можно просмотреть сигнал в большем увеличении и на всем протяжении моделирования. Для возврата осциллографа в исходное состояние необходимо нажать в окне кнопку *Reduce*.

3.8 Зарисуйте вид сигнала. Запишите основные параметры модулированного сигнала: максимальное изменение огибающей, максимальное значение амплитуды модулированного сигнала.

3.9 В окне функционального генератора *Offset* установите значение 5.

3.10 Повторите пункты 3.6-3.8.

3.11 В окне функционального генератора *Offset* установите значение 3.

3.12 Повторите пункты 3.6-3.8.

3.13 По значениям максимального изменения огибающей и максимального значения амплитуды модулированного сигнала рассчитайте коэффициенты модуляции для первых двух полученных осциллограмм (при значениях *Offset* равных 9 и 5)

### **Требования к отчету**

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Краткие теоретические сведения (ответы на контрольные вопросы).
4. Результаты лабораторной работы (графики, таблицы, значения параметров измеренных в процессе работы).
5. Необходимые расчеты (если они оговариваются в практической части лабораторной работы).
6. Выводы.

### **Контрольные вопросы к работе**

1. Назовите управляемые параметры при модуляции.
2. Что называется глубиной амплитудной модуляции?
3. Как выглядит спектр амплитудно-модулированного сигнала?
4. Как влияет амплитуда модулирующего сигнала на спектр модулирующего сигнала?

## Лабораторная работа № 5

### **Моделирование функциональных схем**

#### **1. Цель и задачи работы**

- 1.1 Изучить методы создания линейных измерительных преобразователей.
- 1.2 Получить практические навыки реализации масштабных преобразователей.

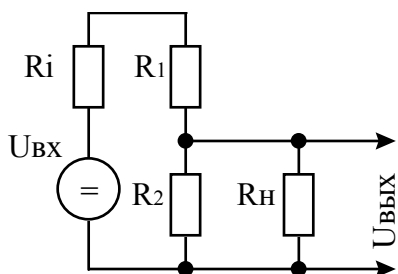
## 2. Теоретическая часть

*Масштабным линейным преобразованием* называют операцию создания выходного сигнала, информативный параметр которого пропорционален однородному информативному параметру входного сигнала. Причем Кмп (коэффициент масштабного преобразования) может быть и больше и меньше 1.

Величинами, наиболее удобными для масштабного линейного преобразования, являются электрическое напряжение и ток, частота, давление газа, механическая сила, механический момент, число оборотов, перемещение и др.

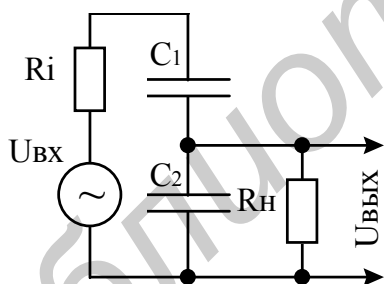
Величиной, наиболее удобной для создания многоканальных и регулируемых масштабных преобразователей, является постоянное электрическое напряжение, поэтому и большинство аналоговых вычислительных устройств основано на операциях с ним. Ниже приведены основные типы масштабных преобразователей.

### 1. Резистивный делитель постоянного напряжения



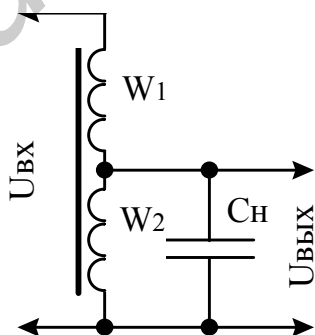
$$K = R_2 / (R_1 + R_2) \text{ при } R_i = 0 \text{ и } R_n = \infty$$

### 2. Емкостный делитель переменного напряжения



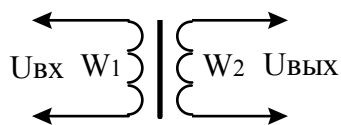
$$K = C_1 / (C_1 + C_2) \text{ при } R_i = 0 \text{ и } R_n = \infty$$

### 3. Индуктивный делитель переменного напряжения



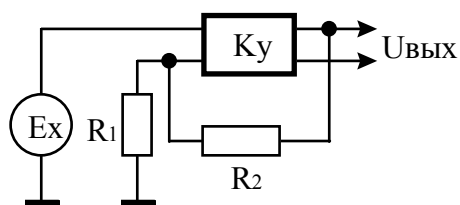
$$K = w_2 / (w_1 + w_2) \text{ при } C_n = 0$$

4. Измерительный трансформатор переменного напряжения



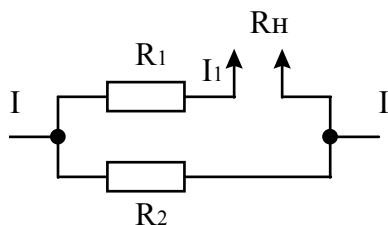
$$K = w_2/w_1 \text{ при } R_H = \infty$$

5. Измерительный усилитель напряжения



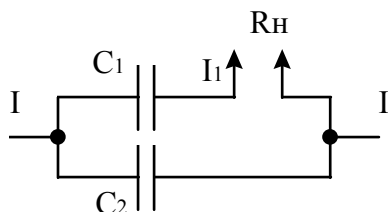
$$K = U_{\text{вых}}/E_x = (R_1 + R_2) / R_1 \text{ при } K_y \rightarrow \infty$$

6. Резистивный делитель постоянного тока



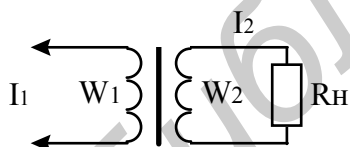
$$K = I_2 / I_1 = R_2 / (R_1 + R_2 + R_H)$$

7. Емкостный делитель переменного тока



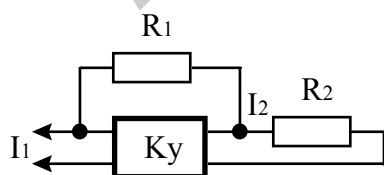
$$K = I_2 / I_1 = j(1/\omega C_2) / [j(1/\omega C_1) + j(1/\omega C_2) + R_H]$$

8. Измерительный трансформатор переменного тока



$$K = I_2 / I_1 = w_1/w_2 \text{ при } R_H = 0$$

9. Измерительный усилитель тока



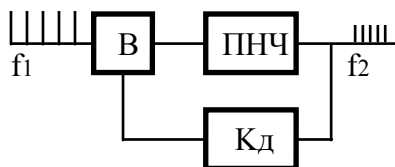
$$K = I_2 / I_1 = (R_1 + R_2) / R_2 \text{ при } K_y \rightarrow \infty$$

## 10. Делитель частоты импульсов



$$K = f_2 / f_1 = 1/K_d$$

## 11. Умножитель частоты импульсов



$$K = f_2 / f_1 = K_d$$

Для масштабного преобразования постоянного электрического напряжения наиболее широкое распространение получили резистивные делители и операционные усилители. Погрешность наиболее точных отечественных резистивных делителей, выполненных на основе печатного манганина, снижена до  $10^{-6}$ . Коэффициент преобразования масштабных преобразователей на резисторах находится в диапазоне от 1 до 0, а у усилителей в интегральном исполнении достигает  $10^6$ .

Для масштабного преобразования переменного электрического напряжения применяются резистивные и индуктивные делители, делители на конденсаторах. Наиболее широкополосными по частоте являются делители на конденсаторах, а наиболее точными и наименее подверженными внешним воздействиям – индуктивные делители, так как их коэффициент преобразования  $K_{мп}$  определяется только отношением числа витков и погрешность их снижена до  $10^{-7}$ . Индуктивные делители весьма удобны также для управления автоматическими ключами путем переключения числа витков.

Переменное электрическое напряжение преобразуется масштабно с помощью измерительных трансформаторов напряжения, коэффициент преобразования которых равен отношению числа витков. Погрешность таких трансформаторов снижена до 0,1 %. Измерительные трансформаторы напряжения работают в режиме, близком к режиму холостого хода, и широко применяются при измерении больших по значению напряжений.

Переменный электрический ток с наиболее высокой точностью масштабно преобразуется с помощью трансформаторов тока, коэффициент преобразования которых также равен отношению числа витков. Погрешность таких трансформаторов может быть снижена до  $10^{-4}$ . Измерительные трансформаторы тока незаменимы при измерении больших переменных токов от десятков ампер и выше. Измерительные трансформаторы тока работают в режиме, близком к короткому замыканию вторичной обмотки. Применяя измерительные трансформаторы тока необходимо помнить, что при размыкании их вто-

ричной обмотки на ней возникает напряжение свыше 1000 В, опасное для жизни.

Деление частоты электрических колебаний или умножение периода повторения импульсов с очень высокой точностью выполняется делителями частоты в виде делителей импульсов или пересчетных устройств. Коэффициент деления делителей частоты изменяется дискретно:

$$f_2 = Kf_1, K = 1 \setminus K_0.$$

Умножение частоты или деление периодов повторения импульсов с высокой точностью может производиться с помощью умножителей частоты по замкнутой схеме с делителями частоты в обратной. Коэффициент умножения частоты равен

$$K = f_2 \setminus f_1 = K_0.$$

### 3. Практическая часть

В процессе лабораторной работы мы исследуем следующие масштабные преобразователи:

- резистивный делитель постоянного тока;
- емкостный делитель переменного тока;
- усилитель напряжения.

#### 1. Резистивный делитель.

Для исследования резистивного делителя с помощью программы Workbench 5.0 нарисуйте электрическую схему изображенную на рис. 1

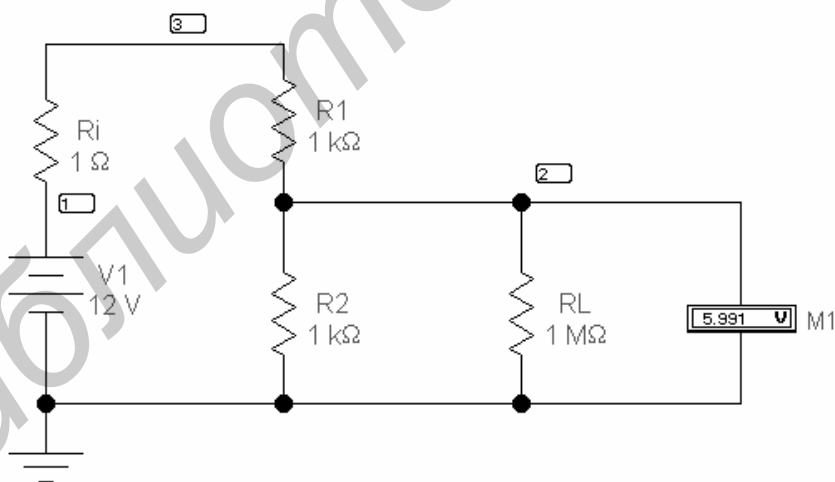


Рис. 1

Для исследования работы резистивного делителя сделаем следующие процедуры:

построим график зависимости выходного напряжения делителя от сопротивления источника  $R_i$ ;



построим график зависимости выходного напряжения делителя от сопротивления нагрузки  $R_n$ ;

построим график зависимости выходного напряжения делителя от сопротивления  $R_1$  и  $R_2$ .

Для исследования зависимости выходного напряжения от сопротивления источника напряжения воспользуемся моделированием с вариацией параметров<sup>1</sup>.

Выбираем пункт меню Analysis / Parameter Sweep. Появляется диалоговое окно моделирования с изменением параметров. В полях указать следующие значения:

<b>Component</b>	Ri
<b>Parameter</b>	Resistance
<b>Start Value</b>	1
<b>End Value</b>	10000
<b>Sweep Type</b>	Linear
<b>Increment Size</b>	100
<b>Output node</b>	Точка измерения выходного напряжения

В поле Sweep for: указать DC Operation point.

После заполнения полей нажать кнопку Simulate. В результате моделирования получим зависимость выходного напряжения делителя от сопротивления источника сигнала. Зарисуйте полученный график. Определите, при каком сопротивлении источника сигнала выходное напряжение отличается от идеального на 1%.

Аналогичным образом проведите анализ:

выходного напряжения от сопротивления нагрузки  $R_n$  со следующими параметрами моделирования

<b>Component</b>	RL
<b>Parameter</b>	Resistance
<b>Start Value</b>	0.0001
<b>End Value</b>	0.01
<b>Sweep Type</b>	Linear
<b>Increment Size</b>	0.0001

Определите, при каком сопротивлении нагрузки выходное напряжение отличается от идеального на 1%.

выходного напряжения от сопротивления  $R_1$  и  $R_2$  со следующими параметрами моделирования

---

<sup>1</sup> Для удобства работы в пункте меню Circuit / Schematic Options... на вкладке Show/Hide напротив надписей Show reference ID и Show nodes поставьте галочки.

<b>Component</b>	R1 (R2)
<b>Parameter</b>	Resistance
<b>Start Value</b>	0. 1
<b>End Value</b>	10
<b>Sweep Type</b>	Linear
<b>Increment Size</b>	0.1

Зарисуйте полученные графики.

## 2. Емкостный делитель.

Нарисуйте электрическую схему изображенную на рис.2

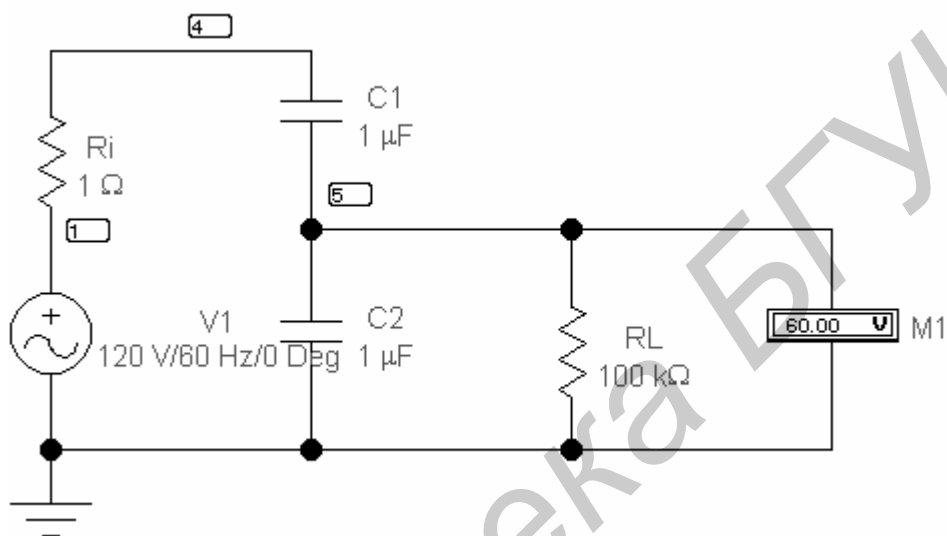


Рис.2

Запустите схему на моделирование. Изменяя значение емкости  $C1$  в диапазоне 1-10  $\mu\text{F}$  с шагом 1 постройте график зависимости выходного напряжения делителя от емкости  $C1$ .

Для изменения значение емкости конденсаторов необходимо дважды щелкнуть на нужном элементе. Появится окно редактирования свойств, в котором необходимо указать требуемые значения емкости. Выходное напряжение контролировать с помощью вольтметра.

Задайте значение емкости  $C1$  равной 1  $\mu\text{F}$  и изменяя емкость  $C2$  в диапазоне 1-10  $\mu\text{F}$  с шагом 1 постройте график зависимости выходного напряжения делителя от емкости  $C2$ .

## 3. Усилитель напряжения

Для моделирования работы усилителя напряжения нарисуйте схему, изображенную на рис. 3.

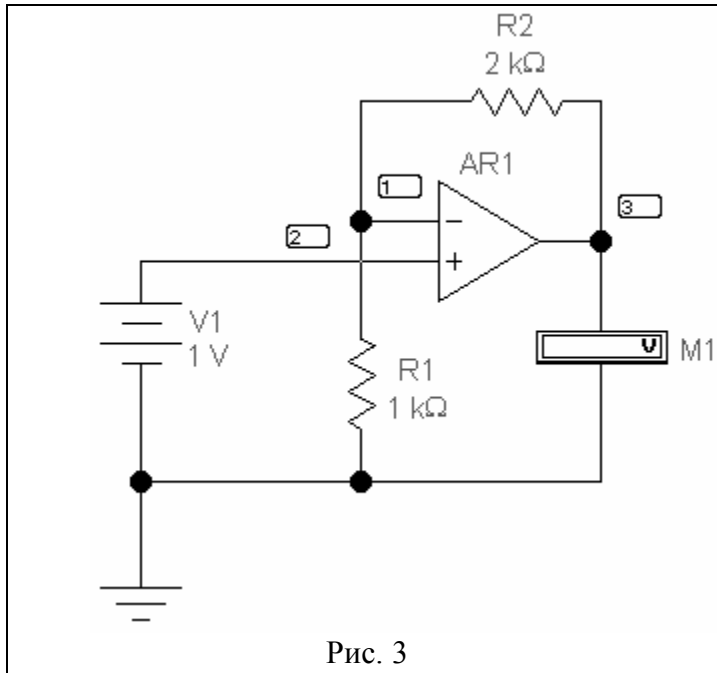


Рис. 3

Исследуйте зависимость выходного напряжения от сопротивлений  $R1$  и  $R2$  используя моделирование с вариацией параметров.

<b>Component</b>	R1 (R2)
<b>Parameter</b>	Resistance
<b>Start Value</b>	0.1
<b>End Value</b>	10
<b>Sweep Type</b>	Linear
<b>Increment Size</b>	0.1

Зарисуйте получившиеся зависимости.

### Требования к отчету

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Краткие теоретические сведения (ответы на контрольный вопросы).
4. Результаты лабораторной работы (графики, таблицы, значения параметров измеренных в процессе работы).
5. Необходимые расчеты (если они оговариваются в практической части лабораторной работы).
6. Выводы.

### Контрольные вопросы к работе

1. Для чего используются масштабные преобразователи?
2. Основные типы преобразователей.
3. В каком диапазоне находится коэффициент масштабного преобразования для резистивного делителя, усилителя постоянного тока?

## Лабораторная работа № 6

### Преобразование сигналов

#### 1. Цель и задачи работы

1.1 Изучить способы практической реализации логарифмической и антилогарифмической зависимости.

1.2 Получить практические навыки моделирования логарифматора и антилогарифматора.

## 2. Теоретическая часть

**Антилогарифматоры.** Для выполнения операции антилогарифмирования используется нелинейность вольтамперной характеристики  $p-n$  перехода.

Для практической реализации антилогарифмической зависимости используется схема (рис. 1, а, б), в которой диод подключен к входу операционного усилителя, тогда

$$U_{\text{вых}} = i_{oc} R_{oc} = i_g R_{oc} = I_0 R_{oc} e^{U_{\text{вх}}/\Gamma_1} = U_0 e^{U_{\text{вх}}/U_1}$$

где  $U_0 = I_0 R_{oc}$  – выходное напряжение при  $U_{\text{вх}} = 0$ ;

$U_1$  – входное напряжение при  $U_{\text{вых}} = eU_0$ ;

$R_{oc}$  – сопротивление обратной связи.

Схема антилогарифматора

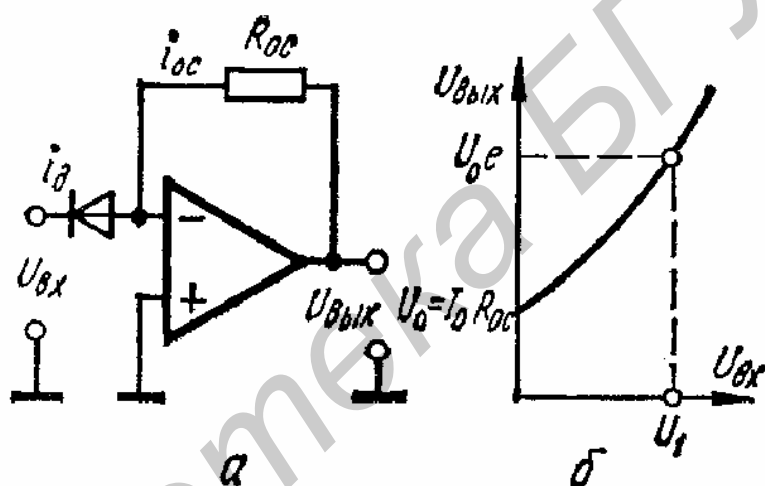


Рис.1

Антилогарифмические преобразователи обычно применяют вместе с логарифмическими, например для операций умножения, деления, возведения в степень.

**Логарифматоры.** Для реализации логарифмирования на интегральных элементах используются естественная антилогарифмическая зависимость  $p-n$  перехода и возможность получения обратной зависимости при помощи усилителя с глубокой отрицательной обратной связью. В схеме логарифматора (рис. 2, а, б) диод располагается в цепи обратной связи.

### Схема логарифматора

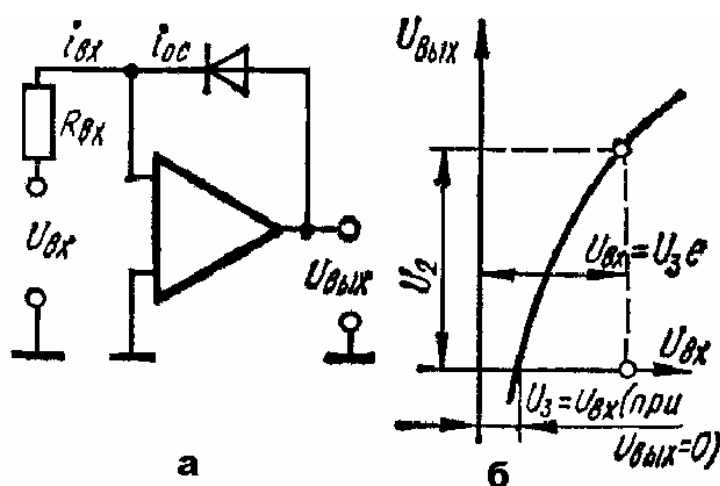


Рис. 2

В этом случае выходное напряжение операционного усилителя оказывается пропорциональным логарифму входного напряжения

$$U_{\text{вых}} = U_2 \ln \frac{U_{\text{вх}}}{U_3}$$

где  $U_2$  – выходное напряжение при  $U_{\text{вх}} = eU_3$ ;

$U_3$  – входное напряжение, при котором выходное напряжение  $U_{\text{вых}} = 0$ .

Точно реализуемое логарифмирование широко используется:

- 1) в интегральных умножителях;
- 2) при воспроизведении полиномов, степенных и показательных функций;
- 3) при измерении относительных величин в логарифмических единицах;
- 4) при сжатии динамического диапазона сигнала перед преобразованием или передачей на расстояние;
- 5) в точных интегральных делителях при широком динамическом диапазоне изменения делимого и делителя.

В настоящее время выпускаются твердотельные интегральные логарифматоры и антилогарифматоры, работающие в диапазоне пяти-шести десятичных порядков по току и позволяющие реализовать операции умножения и деления с погрешностью 0,1 %. В Киевском политехническом институте разработан метод построения функциональных, в том числе логарифмических аналого-цифровых преобразователей, основанный на интегрировании производной функции. Суть метода заключается в следующем: если имеется функция  $F(x)$ , непрерывная в интервале  $(a, b)$ , причем  $F(x) = dy/dx$ , тогда заданную зависимость  $y(x) = \ln x$  можно реализовать, интегрируя  $F(x)$ . При  $F(x) = dy/dx = 1/x$

$$y = \int F(x) dx = \ln x$$

Следовательно, для создания НИП с логарифмической характеристикой  $y = \ln x$  достаточно иметь НИП с характеристикой  $y'(x) = 1/x$  и интегратор. НИП с характеристикой  $1/x$  является устройством с гиперболической разверткой. Аналогичным образом можно реализовать степенные функциональные зависимости.

### 3. Практическая часть

Для моделирования антилогарифматора с помощью Workbench 5.0 необходимо нарисовать схему, приведенную на рис. 3

На операционном усилителе DA1 собрана схема антилогарифматора, а на DA1 – логарифматора.

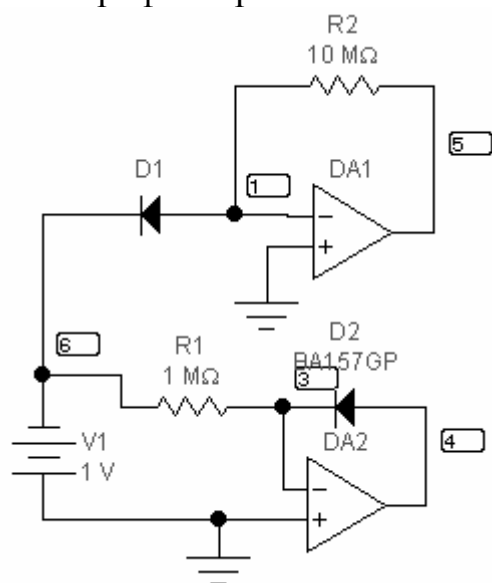


Рис. 3

Для исследования логарифмических и антилогарифмических характеристик преобразователей воспользуемся моделированием с вариацией параметров<sup>2</sup>.

Вначале посмотрим зависимость выходного напряжения антилогарифматора от линейно изменяющегося входного.

Выбираем пункт меню **Analysis / Parameter Sweep**. Появляется диалоговое окно моделирования с изменением параметров. В полях указать следующие значения:

<b>Component</b>	V1
<b>Parameter</b>	Voltage
<b>Start Value</b>	0
<b>End Value</b>	0.6
<b>Sweep Type</b>	Linear
<b>Increment Size</b>	0.01
<b>Output node</b>	Выход DA1

В поле **Sweep for**: указать **DC Operation point**.

После заполнения полей нажать кнопку **Simulate**. В результате моделирования получим зависимость выходного напряжения антилогарифматора от линейно изменяющегося входного напряжения.

Зарисовать полученную зависимость.

<sup>2</sup> Для удобства работы в пункте меню Circuit / Schematic Options... на вкладке Show/Hide напротив надписей Show reference ID и Show nodes поставьте галочки.

Аналогичным образом исследовать напряжение на выходе логарифматора при следующих условиях моделирования:

<b>Component</b>	V1
<b>Parameter</b>	Voltage
<b>Start Value</b>	0
<b>End Value</b>	10
<b>Sweep Type</b>	Linear
<b>Increment Size</b>	0.1
<b>Output node</b>	Выход DA2

Зарисовать полученную зависимость.

### **Требования к отчету**

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Краткие теоретические сведения (ответы на контрольные вопросы)
4. Результаты лабораторной работы (графики, таблицы, значения параметров измеренных в процессе работы).
5. Необходимые расчеты (если они оговариваются в практической части лабораторной работы).
6. Выводы.

### **Контрольные вопросы к работе**

1. Перечислите основные методы создания нелинейных измерительных преобразователей.
2. Как практически реализовать логарифмическую и антилогарифмическую зависимости?

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Дмитриев В. И. Прикладная теория информации. Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Высшая школа, 1989 г. – 320 с.
2. Куликовский Л.Ф., Мотов В.В. Теоретические основы информационных процессов. М., Высш. школа. 1987г. – 400 с.
3. Лидовский В.И. Теория информации. – М., «Высшая школа», 2002г. – 120 с.
4. Метрология и радиоизмерения в телекоммуникационных системах. Учебник для ВУЗов. / В. И. Нефедов, В. И. Халкин, Е. В. Федоров и др. – М.: Высшая школа, 2001 г. – 383 с.

5. Цапенко М.П. Измерительные информационные системы. – М.: Энергоатом издат., 1985. – 440 с.
6. Пенин П.И. Системы передачи цифровой информации. Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Советское радио, 1976 г. – 386с.
7. Емельянов Г.А., Шварцман В.О. Передача дискретной информации: Учебник для ВУЗов. М.: Радио и связь, 1982. – 240 с.
8. Компьютерные технологии обработки информации. Учебное пособие / Назаров С.В., Першинов В.И. и др.; под ред. Назарова С.В. –М.: Финансы и статистика, 1995. – 248 с.
9. Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. Теория передачи сигналов. –М: Радио и связь, 1988 г. – 368 с.
10. Супрун Б.А. Первичные коды. М: Связь, 1970. – 161 с.
11. Б. Скляр. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003 г. – 1104 с.
12. Лезин Ю.С. Введение в теорию и технику радиотехнических систем. – М.: Радио и связь, 1986.
13. Чердынцев В.А. Радиотехнические системы. – Минск: Вышэйш. шк., 1988.
14. Мордухович Л.Г., Степанов А.Г. Системы радиосвязи (курсовое проектирование). – М.: Радио и связь, 1987.
15. Системы радиосвязи /Под ред. Н. К. Калашникова – М.: Радио и связь, 1988.
16. Пышкин И. Н. Системы первичной радиосвязи. – М.: Радио и связь, 1988.
17. Тепляков И.П., Рошин Б.В. Радиосистемы передачи информации. – М.: Радио и связь, 1982.
18. Банкет В.Л., Дорофеев В.П. Цифровые методы в спутниковой связи. – М.: Радио и связь, 1988.
19. Кузьмин И.В. Основы теории информации и кодирования. – Минск: Вышэйш. шк., 1986.



Учебное издание

**Пинаев Александр Иванович,  
Мельничук Виталий Витальевич,  
Образцов Николай Сергеевич  
Галузо Валерий Евгеньевич**

**ТЕОРИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И ПЕРЕДАЧИ  
ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

для студентов специальностей  
«Техническое обеспечение безопасности»

Редактор Е. Н. Батурчик  
Корректор М. В. Тезина  
Компьютерная верстка Е. Г. Бабичева

---

Подписано в печать 15.04.2008.  
Гарнитура «Таймс».  
Уч.-изд. л. 2,3

Формат 60x84 1/16.  
Печать ризографическая.  
Тираж 200 экз.

Бумага офсетная.  
Усл. печ. л.  
Заказ 328.

---

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
ЛИ № 02330/0056964 от 01.04.2004. ЛИ № 02330/0131666 от 30.04.2004.  
220013, Минск, П. Бровки, 6