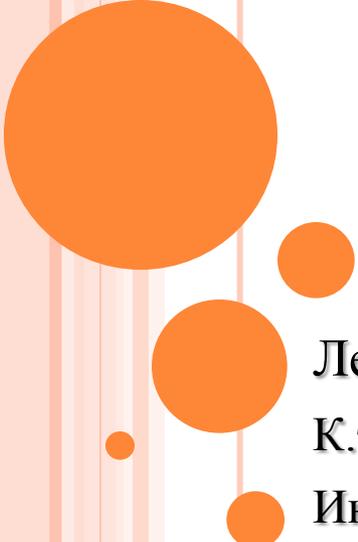


# Моделирование в Electronics Workbench (Multisim)

Дисциплина

«Программные средства профессиональной деятельности»



Лектор:

К.т.н., доцент

Инженерной Школы Энергетики НИ ТПУ

Воронина Наталья Алексеевна

# Лабораторная работа №1

## Моделирование в Electronics Workbench (Multisim)

В лабораторном практикуме по прикладному программному пакету *Electronics Workbench* (Multisim) предусмотрено выполнение двух заданий.

Цель практикума обучить студентов следующему:

- создавать виртуальные лабораторные установки в среде EWB(Multisim);
- проводить исследования с помощью виртуальных лабораторных установок;
- определять и анализировать частотные и временные характеристики электрических цепей.

Результатом работы по лабораторному практикуму должен быть отчет. В отчете должны быть приведены виртуальные лабораторные установки, результаты моделирования, доказывающие наличие выполненных заданий для самостоятельной работы.

# Лабораторная работа №1

## Моделирование в Electronics Workbench

- Оформление отчета по лабораторному практикуму должно соответствовать требованиям СТО ТПУ 2.5. 01 – 2006
- <http://tpu.ru/f/1941/stotpu2.5.01-2006.doc>
- <http://portal.tpu.ru:7777/ido-tpu/students/documents/trebovania>

# Задание № 1. Подключение и настройка измерительных приборов:

- мультиметра

1. Собрать схемы (рис. 1) для измерения входных сопротивлений с помощью *мультиметра*.
2. Собрать схемы для измерения напряжения на сопротивлении  $R_3$  при подключении схем к источникам напряжения постоянного и переменного тока.
3. Измерить входные сопротивления относительно клемм  $a$  и  $b$  и напряжения с помощью мультиметра на сопротивление  $R_3$ .

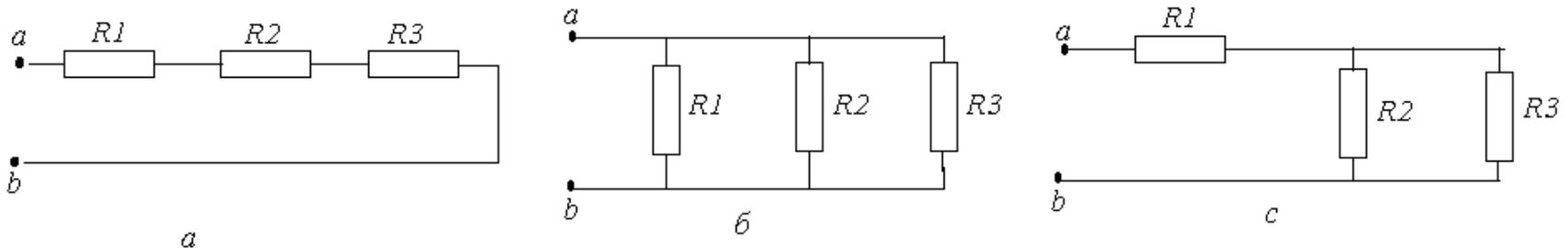
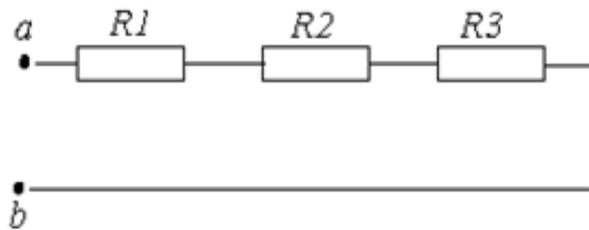


Рис.1. Схемы для исследований

## Задание № 1. Подключение и настройка измерительных приборов:



$$R_{vx} := R1 + R2 + R3$$

Экспериментальная установка:

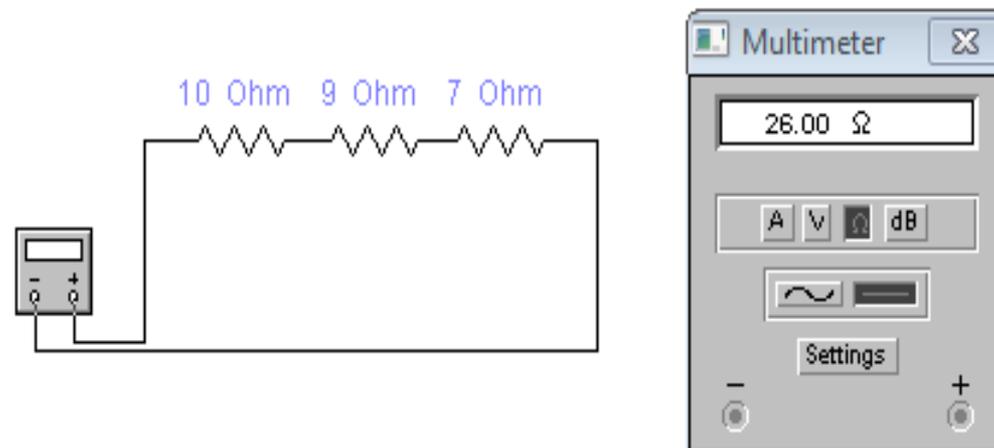


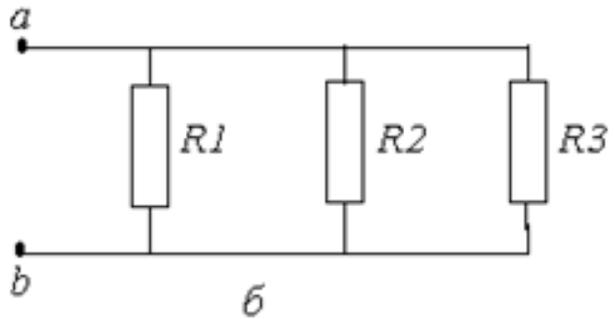
Рис.2. Пример схемы 1, а

Расчетные формулы:

Сопротивления подключены последовательно, следовательно:

$$R_{\text{вх}} = R_1 + R_2 + R_3 = 10 + 9 + 7 = 26(\text{Ом})$$

## Задание № 1. Подключение и настройка измерительных приборов:



$$R_{\text{вх}} := \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)^{-1}$$

Экспериментальная установка:

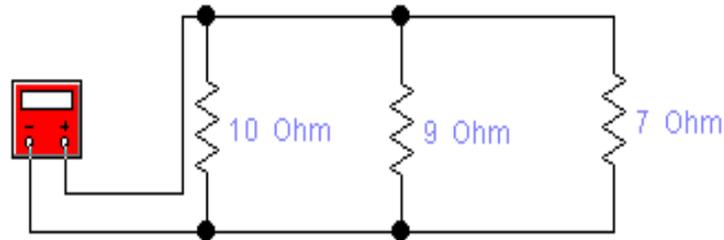


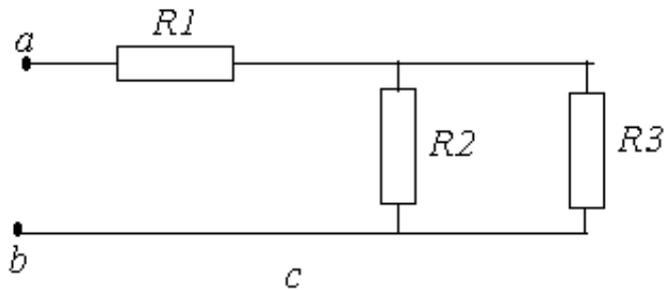
Рис.3. Пример схемы 1, б

Расчетные формулы:

Сопротивления подключены параллельно, следовательно:

$$R_{\text{вх}} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{(R_1 + R_2) \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2} = \dots (\text{Ом})$$

## Задание № 1. Подключение и настройка измерительных приборов:



Экспериментальная установка:

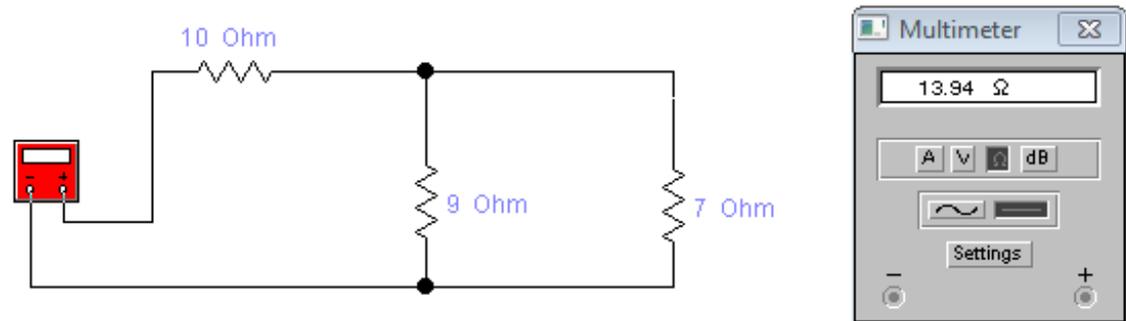


Рис.4. Пример схемы 1, с

Расчетные формулы:

Сопротивления подключены смешано, следовательно

$$R_{\text{вх}} = R_1 + \frac{R_3 \cdot R_2}{R_3 + R_2} = \dots (\text{Ом})$$

Результаты эксперимента и расчёта нужно занести в табл.2

**Задание № 1.** Измерения напряжений с помощью мультиметра на сопротивлении  $R_3$  при подключении схем к источнику постоянного напряжения.

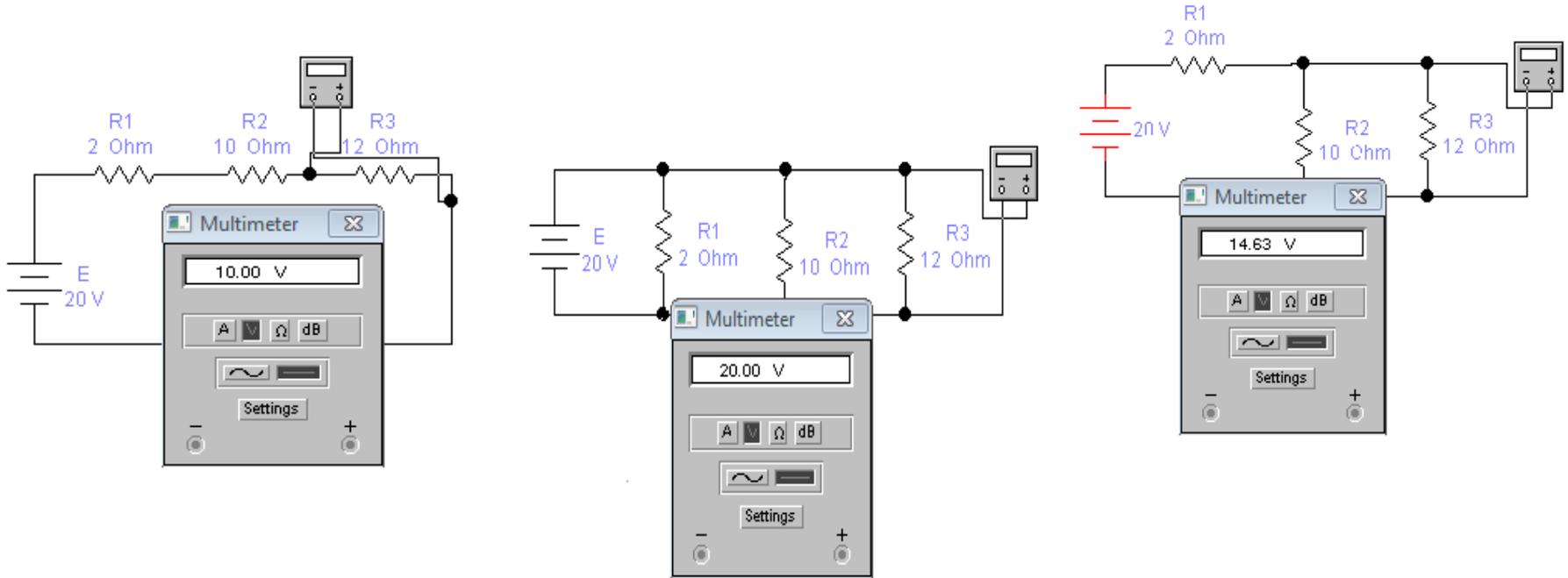


Рис.5. Примеры схем

$$U_{R_3} = \frac{E}{R_{\text{вх}}} \cdot R_3 = \dots (\text{В})$$

$$U_{R_3} = E = \dots (\text{В})$$

$$U_{R_3} = -\frac{E}{R_{\text{вх}}} \cdot R_1 + E = \dots (\text{В})$$

Результаты эксперимента и расчёты занести в табл.2

**Задание № 1.** Измерения напряжений с помощью мультиметра на сопротивлении при подключении схем к источнику переменного напряжения.

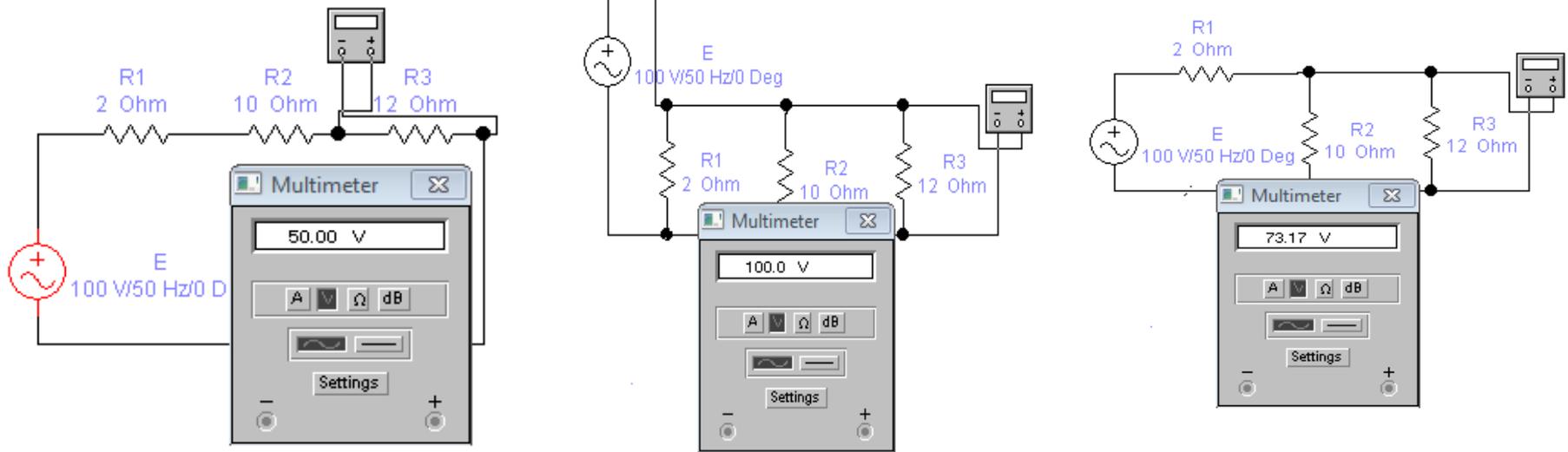


Рис.6. Примеры схем

$$u_{R3} = \frac{e}{R_{BX}} \cdot R_3 =$$

$$u_{R3} = e =$$

$$u_{R3} = -\frac{e}{R_{BX}} \cdot R_1 + e =$$

Результаты эксперимента и расчёта занести в табл.2

## Задание № 1. Подключение и настройка измерительных приборов:

4. Рассчитать входные сопротивления схем рис. 1.
5. Результаты измерений и расчета свести в табл. 2.
6. Провести анализ полученных результатов и сделать **ВЫВОДЫ**.

Таблица 2

### Результаты исследований

Эксперимент				Расчет		
№ схемы	$R_{вх}$ (Ом)	$U_{R3}$ (В)	$u_{R3}$ (В)	$R_{вх}$ (Ом)	$U_{R3}$ (В)	$u_{R3}$ (В)
Сх.1						
Сх.2						
Сх.3						

## Задание № 1. Подключение и настройка измерительных приборов:

- Функциональный генератор, осциллограф и Боде-плоттер
1. Собрать схему рис. 7.

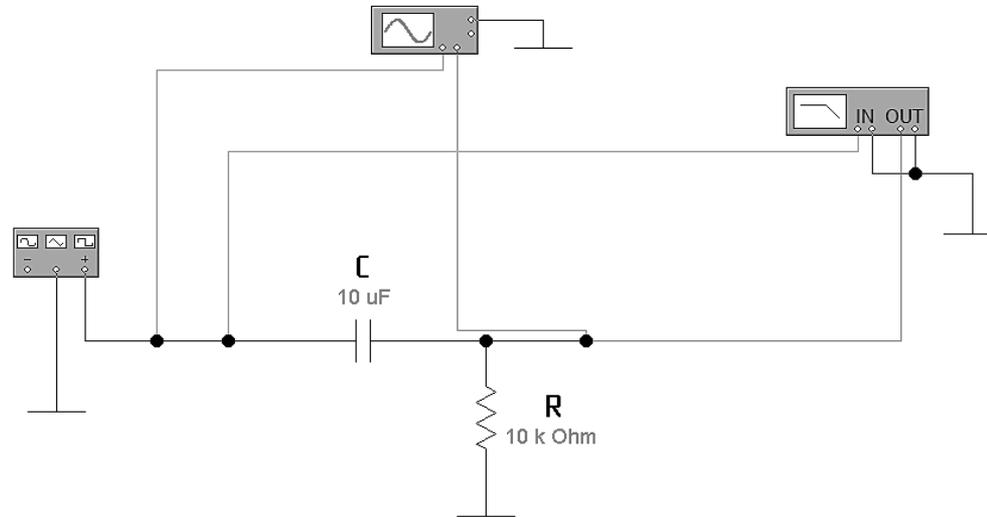


Рис. 7. Схема для анализа работы фильтра

2. Снять осциллограммы напряжений на входе и выходе фильтра, используя двухканальный осциллограф:
- при синусоидальной форме напряжения питания;
  - при пилообразной форме напряжения питания;
  - при прямоугольной форме напряжения питания.

## Задание № 1. Подключение и настройка измерительных приборов:

3. Поменяйте в схеме рис. 7 местами  $R$  и  $C$  и снимите осциллограммы на входе и выходе фильтра при синусоидальной, пилообразной и прямоугольной форме напряжений, так же логарифмические амплитудные и фазовые частотные характеристики.

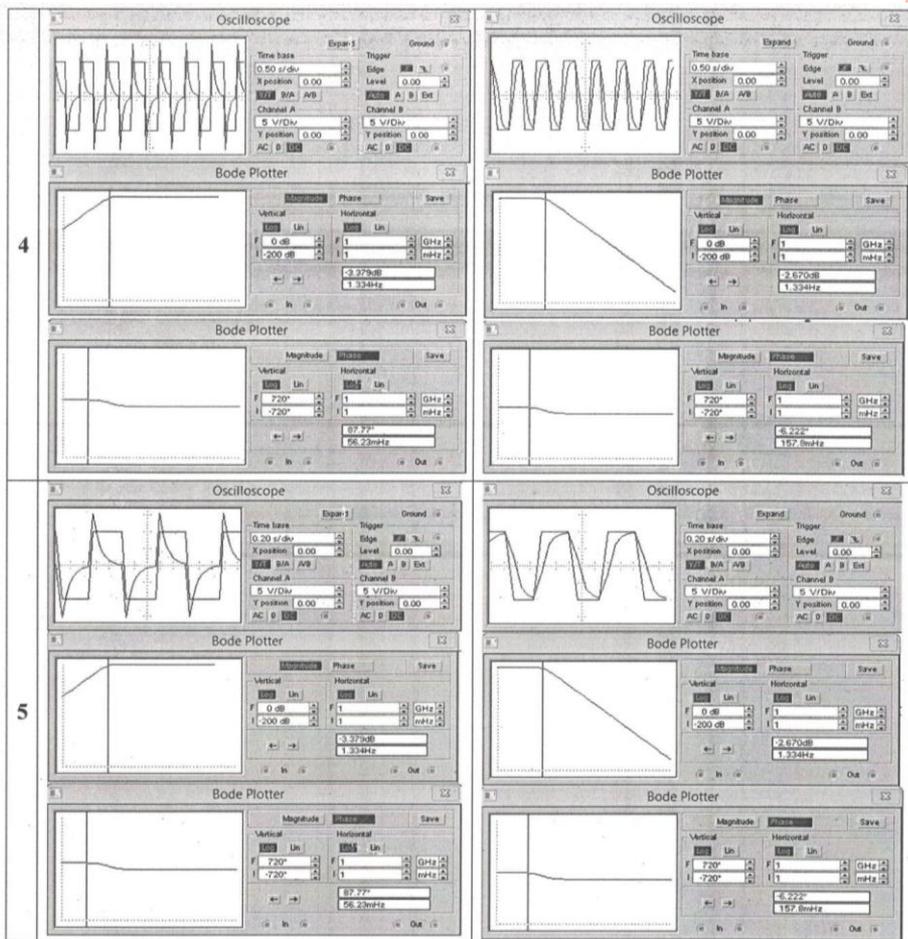
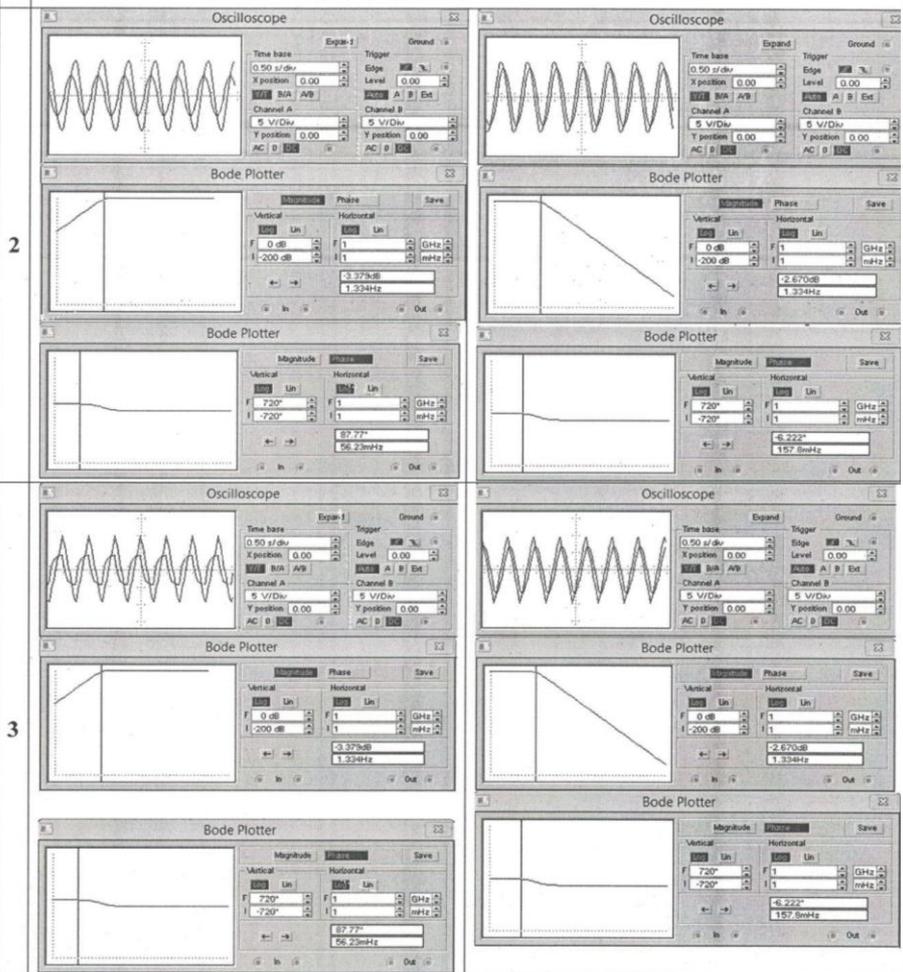
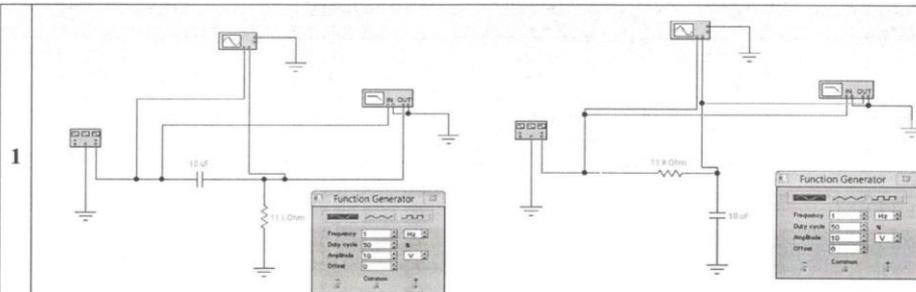
4. Измените частоту функционального генератора в 5 раз и снимите осциллограммы при прямоугольной форме напряжения и проведите сравнительный анализ.

По виду снятых осциллограмм и логарифмических частотных характеристик определить характер (например, дифференцирующая, интегрирующая) и качества схемы (например, постоянную времени, частоту среза, и т.д.).

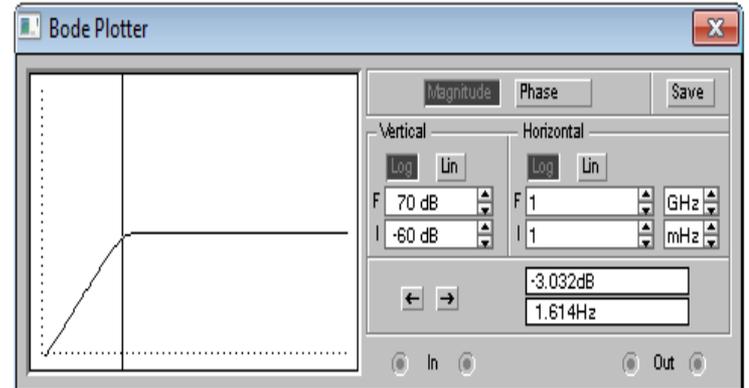
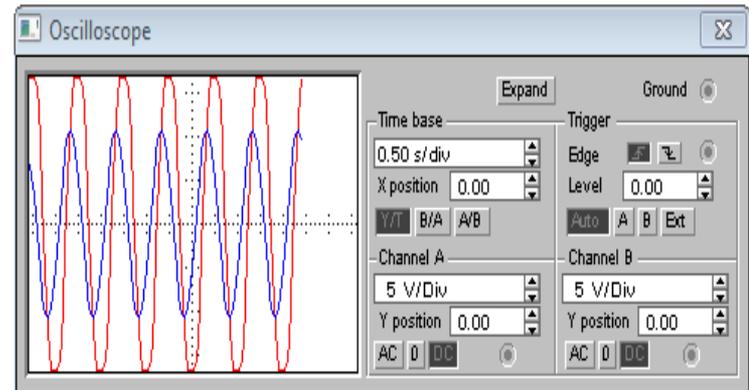
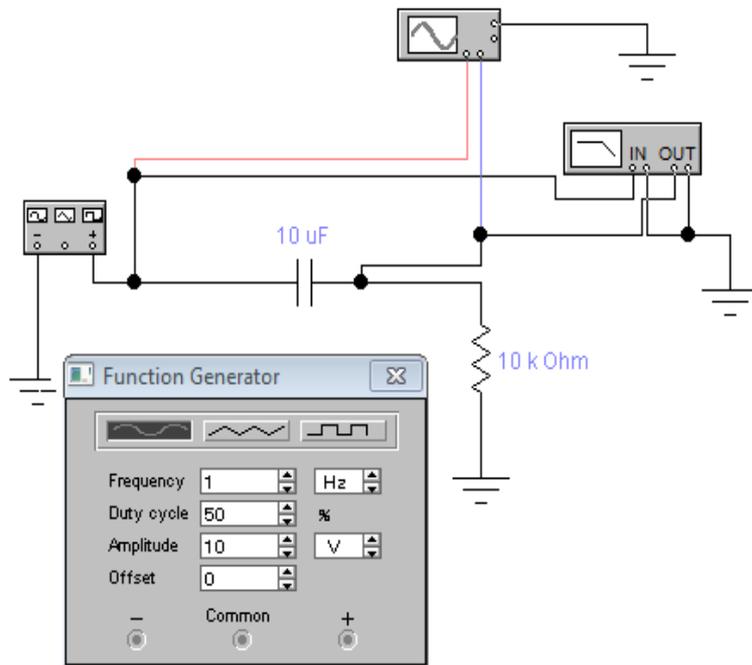
Проведите сравнительный анализ осциллограмм и логарифмических частотных характеристик и сделайте выводы.

В отчете необходимо привести весь набор осциллограмм и характеристик.

# Задание № 1. Подключение и настройка измерительных приборов:



# Задание № 1. Подключение и настройка измерительных приборов:



## Задание № 1. Подключение и настройка измерительных приборов:

Из результатов экспериментов следует:

1. Частота среза везде одинакова и равна ....Гц, что практически совпадает с расчётной ...
2. Первая схема является дифференцирующей цепочкой, поскольку ..... А вторая интегрирующей .....
3. Анализ результатов при подаче на вход сигнала прямоугольной формы показывает, что..... Увеличение частоты приводит к.....
4. Видно, что для первой схемы входное напряжение опережает по фазе выходное, для второй наблюдается обратная картина. Это связано с тем, что.....

.....

.....

Постоянная времени

$$\tau = RC =$$

Частота среза

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \tau} =$$

## Задание № 2. Экспериментальная проверка основных законов электротехники

Цель данного задания изучение законов Ома и Кирхгофа, опытная проверка основных методов расчета электрических цепей.

1. Соберите схему в EWB рис. 8.

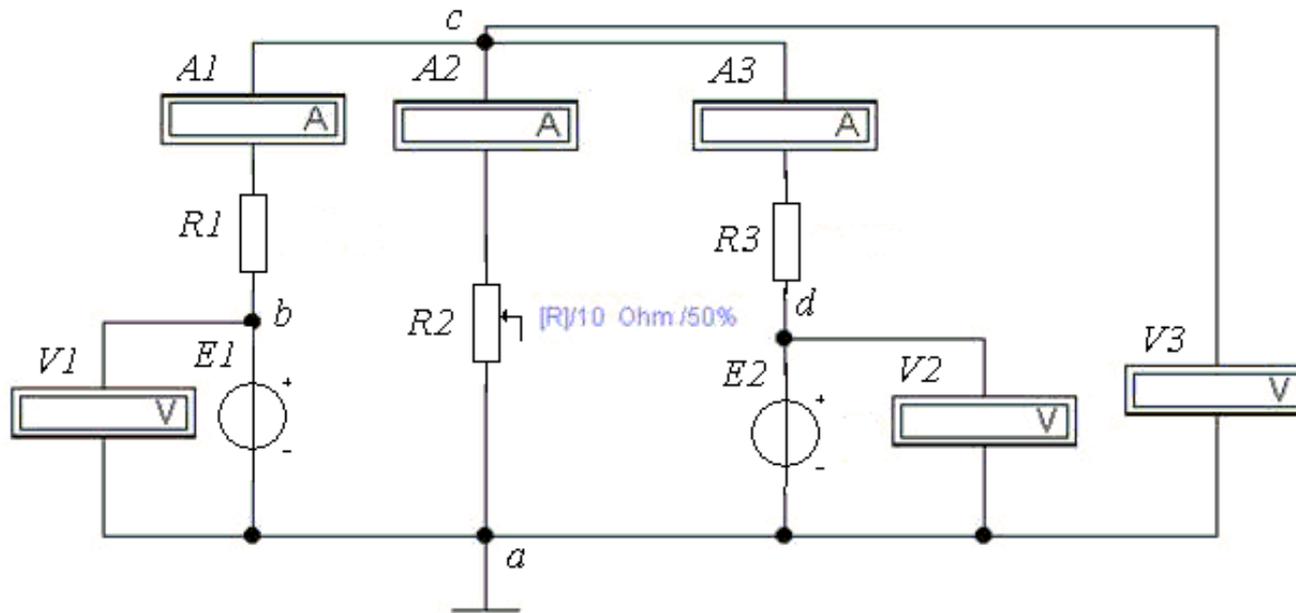


Рис. 8. Схема для опытной проверки законов Ома и Кирхгофа

## Задание № 2. Экспериментальная проверка основных законов электротехники

2. Установить значения ЭДС  $E_1$  и  $E_2$  в соответствии с табл. 4 (задания из лабораторного практикума) и произвести измерение токов и напряжений (потенциалы всех узлов).

3. Данные измерений занести в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчетов и измерений

Способ получения данных	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$\varphi_a$	$\varphi_b$	$\varphi_c$	$\varphi_d$
	A	A	A	B	B	B	B
Эксперимент							
Метод контурных токов							
Метод узловых потенциалов							
Метод наложения							
Метод активного двухполюсника							

## Задание № 2. Экспериментальная проверка основных законов электротехники.

4. Воспользовавшись данными табл. 3 и табл. 4, произвести расчёт схемы методами контурных токов и узловых потенциалов. Данные расчёта занести в табл. 4 и сравнить их с результатами эксперимента, полученными в п.2.
5. Определить величину тока в одной из ветвей (по заданию) методом эквивалентного генератора. Данные расчёта сравнить с результатами эксперимента.
6. Определить в схеме (рис. 8) токи, методом наложения, воспользовавшись результатами табл. 4. Данные расчёта занести в табл. 4.
7. Представить выводы по работе.

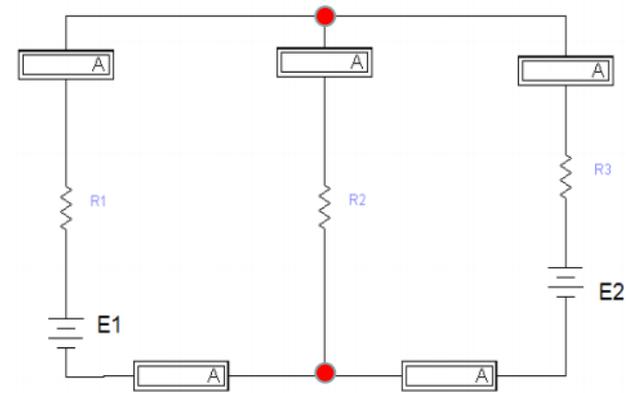
# Задание № 2. Экспериментальная проверка основных законов электротехники

## Законы Киргофа

**Узел** — точка, в которой соединяются три (или более) проводника

**Ветвь** – это участок электрической цепи с **последовательным** соединением элементов, расположенный между двумя узлами.

1. Ищем узлы

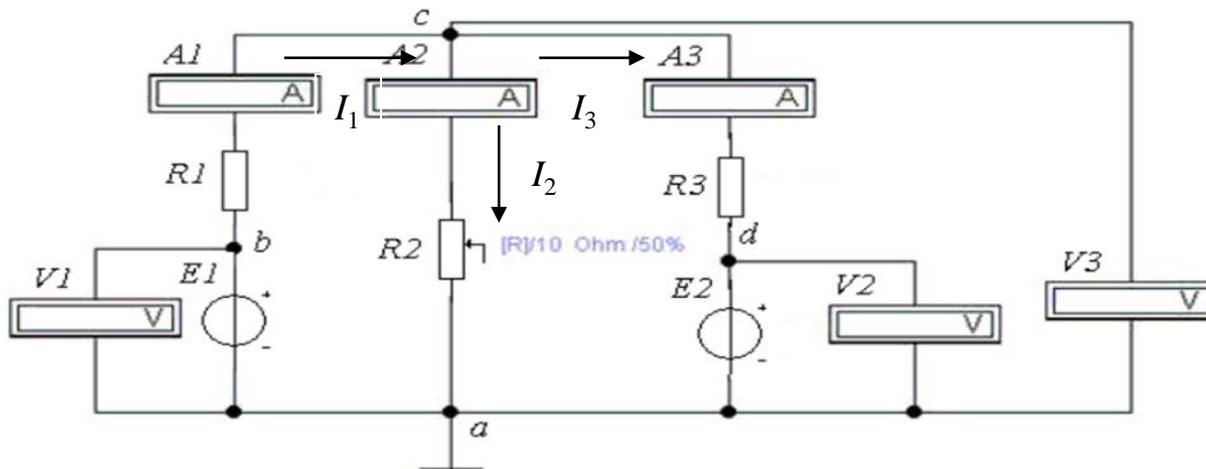


Если цепь содержит  $p$  узлов, то она описывается  $p-1$  уравнениями токов

### Первый закон Киргофа

*Алгебраическая сумма токов в узле равняется нулю*

$$I_3 - I_1 + I_2 = 0$$

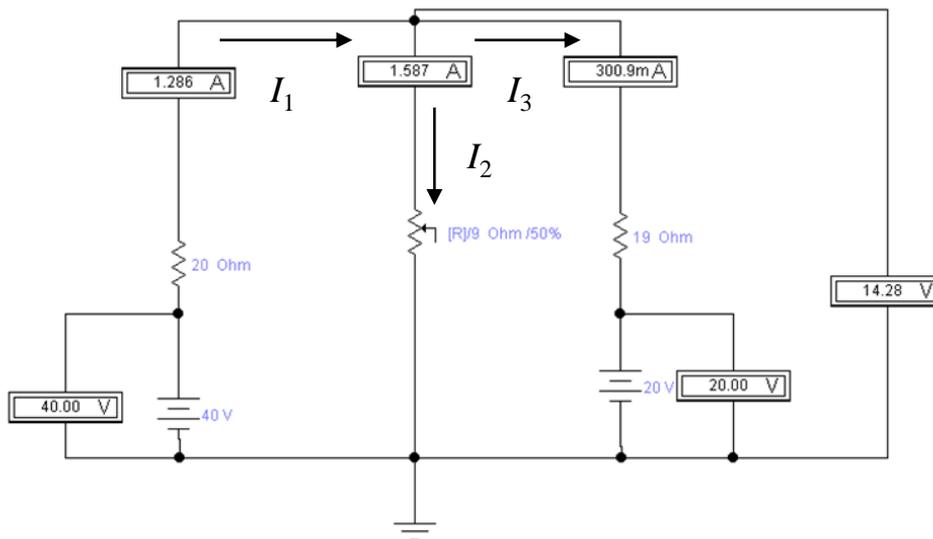


## Задание № 2. Экспериментальная проверка основных законов электротехники

### Контур

**Контуром** называют любой замкнутый участок электрической цепи.

**Независимый контур** – это контур, в который входит хотя бы одна ветвь, не входящая в другие контуры.



### Второй закон Киргофа

*Алгебраическая сумма ЭДС, действующая в замкнутом контуре, равна алгебраической сумме падений напряжения в этом контуре*

$$\sum_m \pm E_m = \sum_k \pm U_k$$

$$I_3 - I_1 + I_2 = 0$$

$$\begin{cases} I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2 = E_1 \\ I_3 \cdot R_3 - I_2 \cdot R_2 = -E_2 \end{cases}$$

## Задание № 2. Экспериментальная проверка основных законов электротехники

$$R1 := 20 \quad \text{Ом}$$

$$R2 := 9 \quad \text{Ом}$$

$$R3 := 19 \quad \text{Ом}$$

$$E1 := 40 \quad \text{В}$$

$$E2 := 20 \quad \text{В}$$

Given

$$I3 - I1 + I2 = 0$$

$$I1 \cdot R1 + I2 \cdot R2 = E1$$

$$I3 \cdot R3 - I2 \cdot R2 = -E2$$

$$\text{Find}(I1, I2, I3) \rightarrow \begin{pmatrix} \frac{940}{731} \\ \frac{1160}{731} \\ \frac{220}{731} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.286 \\ 1.587 \\ -0.301 \end{pmatrix} \quad \text{A}$$

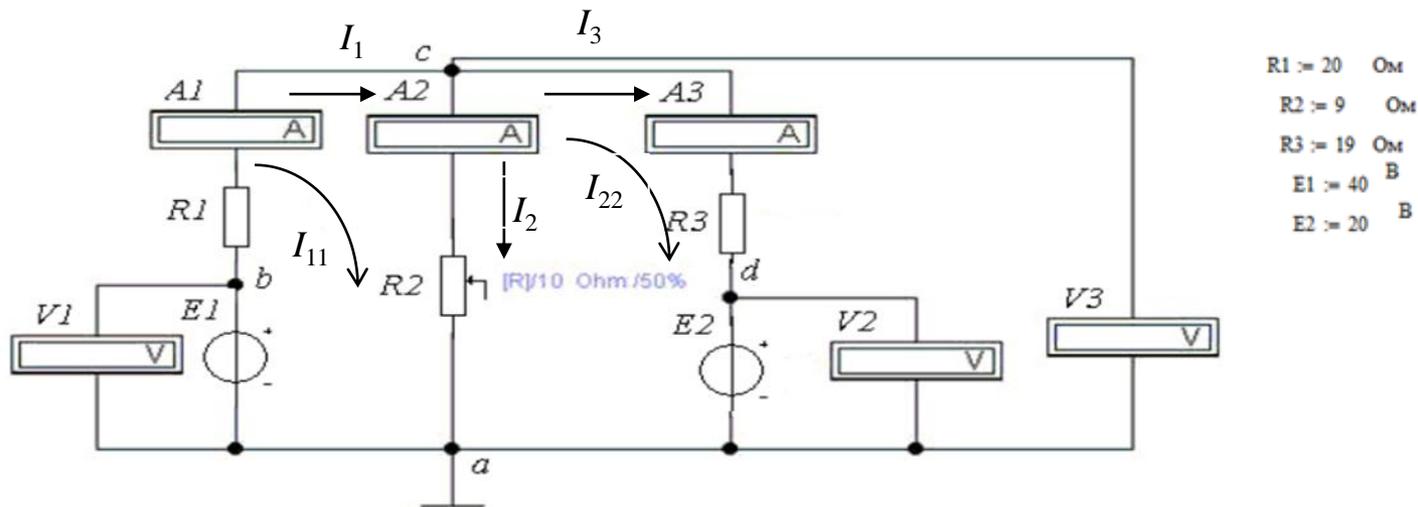
## Метод контурных токов

Метод контурных токов основан на допущении, что в каждом из независимых контуров схемы циркулирует некоторый виртуальный контурный ток.

Если некоторое ребро принадлежит только одному контуру, реальный ток в нём равен контурному.

Если же ребро принадлежит нескольким контурам, ток в нём равен сумме соответствующих контурных токов (с учётом направления обхода контуров).

## Задание № 2. Экспериментальная проверка основных законов электротехники



Given

$$I_{11} \cdot (R1 + R2) - I_{22} \cdot R2 = E1$$

$$I_{22} \cdot (R2 + R3) - I_{11} \cdot R2 = -E2$$

$$\text{Find}(I_{11}, I_{22}) \rightarrow \begin{pmatrix} \frac{940}{731} \\ \frac{220}{731} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.286 \\ -0.301 \end{pmatrix} \text{ A}$$

Если некоторое ребро принадлежит только одному контуру, реальный ток в нём равен контурному.

Если же ребро принадлежит нескольким контурам, ток в нём равен сумме соответствующих контурных токов (с учётом направления обхода контуров).

$$I_{11} = I_1$$

$$I_{22} = I_3$$

$$I_2 = I_{11} - I_{22} =$$

## Метод узловых потенциалов

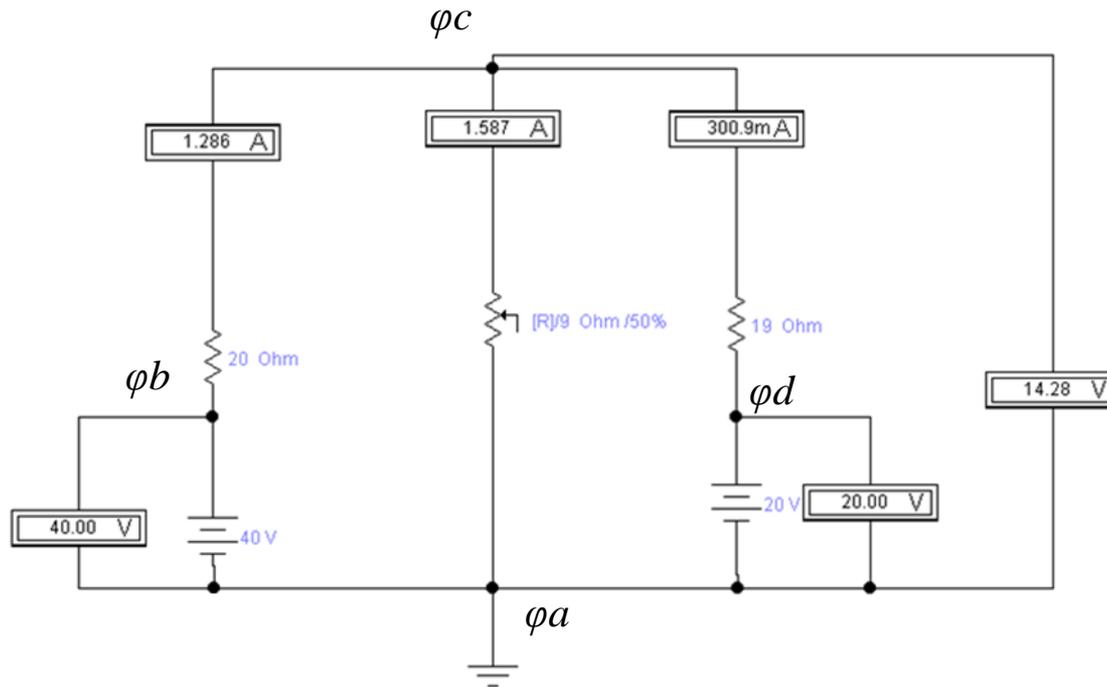
Данный метод основан на составлении уравнений по [первому закону Кирхгофа](#). При этом, потенциал одного из узлов цепи принимается равным нулю, что позволяет сократить число уравнений до  $n-1$ .

По обобщённому закону Ома:

$$I_i = \frac{\phi_A - \phi_B + E_i}{R_i} + J_i.$$

## Задание № 2. Экспериментальная проверка основных законов электротехники

### Метод узловых потенциалов



$$\frac{(\varphi_b - \varphi_c + E1)}{R1} + \frac{(\varphi_d - \varphi_c + E2)}{R3} - \frac{(\varphi_c - \varphi_a)}{R2} = 0$$

$$\frac{(\varphi_c - \varphi_a)}{R2} + \frac{(\varphi_d - \varphi_c + E2)}{R3} - \frac{(\varphi_b - \varphi_c + E1)}{R1} = 0$$

$$\frac{(\varphi_c - \varphi_a)}{R2} - \frac{(\varphi_d - \varphi_c + E2)}{R3} + \frac{(\varphi_b - \varphi_c + E1)}{R1} = 0$$

$$\text{Find}(\varphi_b, \varphi_c, \varphi_d) \rightarrow \begin{pmatrix} 40 \\ 14,523 \\ 20 \end{pmatrix}$$

Рассчитываем токи по следующим формулам:

$$I_1 = \frac{-\varphi_c + \varphi_b}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{\varphi_c - \varphi_a}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{-\varphi_c + \varphi_d}{R_3}$$

## **Метод наложения**

Каждый источник напряжения вызывает в схеме протекание определенных токов.

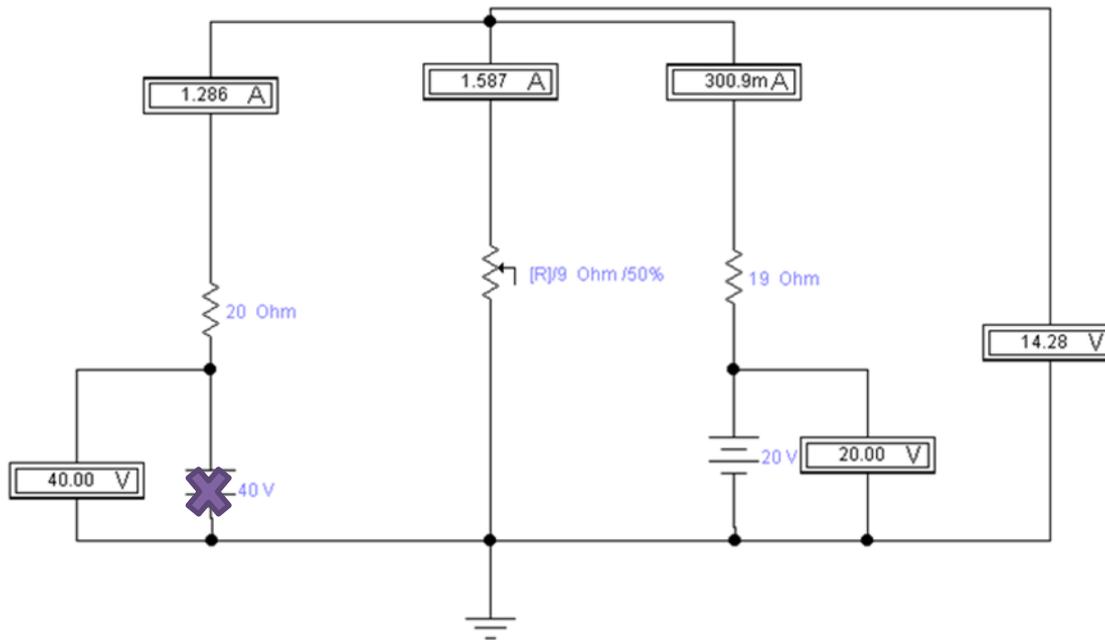
Когда источников напряжения несколько, грубо говоря, создаваемые ими токи "накладываются" друг на друга.

Чтобы рассчитать результирующий ток методом наложения, нужно определить токи в электрической цепи отдельно для каждого источника, а затем просуммировать их, учитывая знак

## Задание № 2. Экспериментальная проверка основных законов электротехники

### Метод наложения

Составим частную схему с первым источником ЭДС и рассчитаем частные токи в ней, убрав второй источник.



$$I_1' = \frac{E_2}{R_3 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_2' = \frac{E_2}{R_3 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$I_3' = \frac{E_2}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3}$$

Составим частную схему со вторым источником ЭДС и рассчитаем частные токи в ней, убрав первый источник

$$I_1'' = \frac{E_1}{R_2 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_3 + R_1}} \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_1}$$

$$I_2'' = \frac{E_1}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_3 + R_2}} \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_2}$$

$$I_3'' = \frac{E_1}{R_2 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_3 + R_1}} \cdot \frac{R_1}{R_3 + R_1}$$

Находим результирующий ток:

$$I_1 = I_1' + I_1'' \quad I_2 = I_2' + I_2'' \quad I_3 = I_3'' - I_3'$$

## Задание № 2. Экспериментальная проверка основных законов электротехники

### Метод активного двухполюсника

Согласно теории об эквивалентном генераторе любой активный двухполюсник можно заменить эквивалентным ЭДС с эквивалентным внутренним сопротивлением

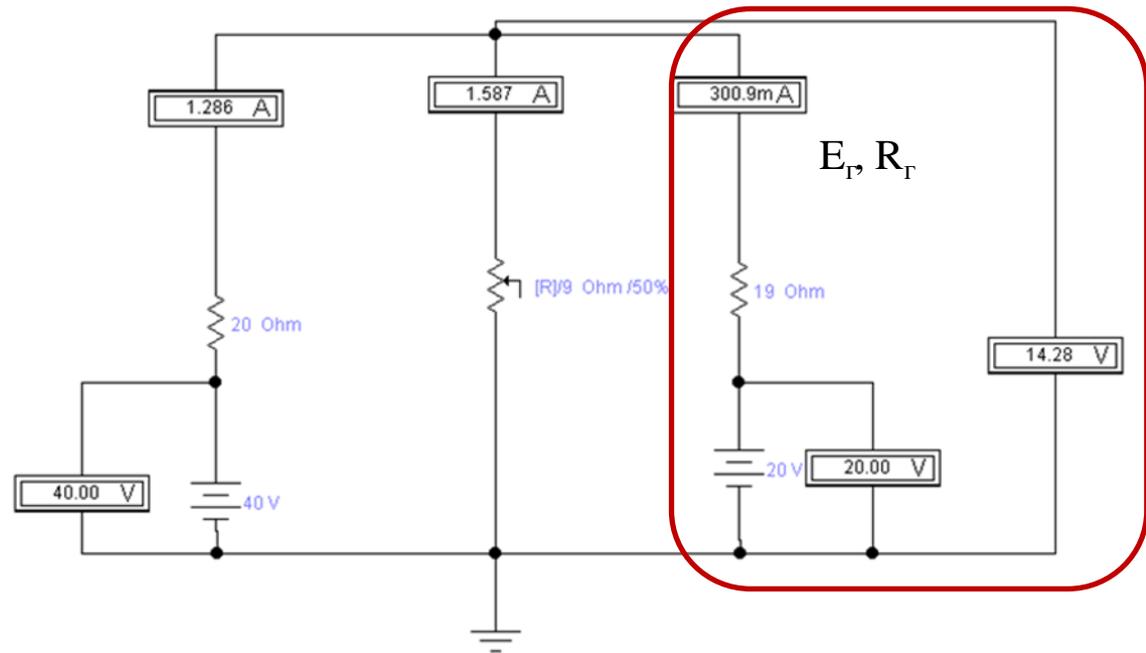
На рисунке показана схема для снятия напряжения холостого хода.

$$I = \frac{U_{xx}}{R_{эkv} + R_2}$$

$$E_r = E_1 - \frac{E_2 \cdot R_2}{R_3 + R_2}$$

$$R_r = \frac{R_3 \cdot R_2}{R_3 + R_2}$$

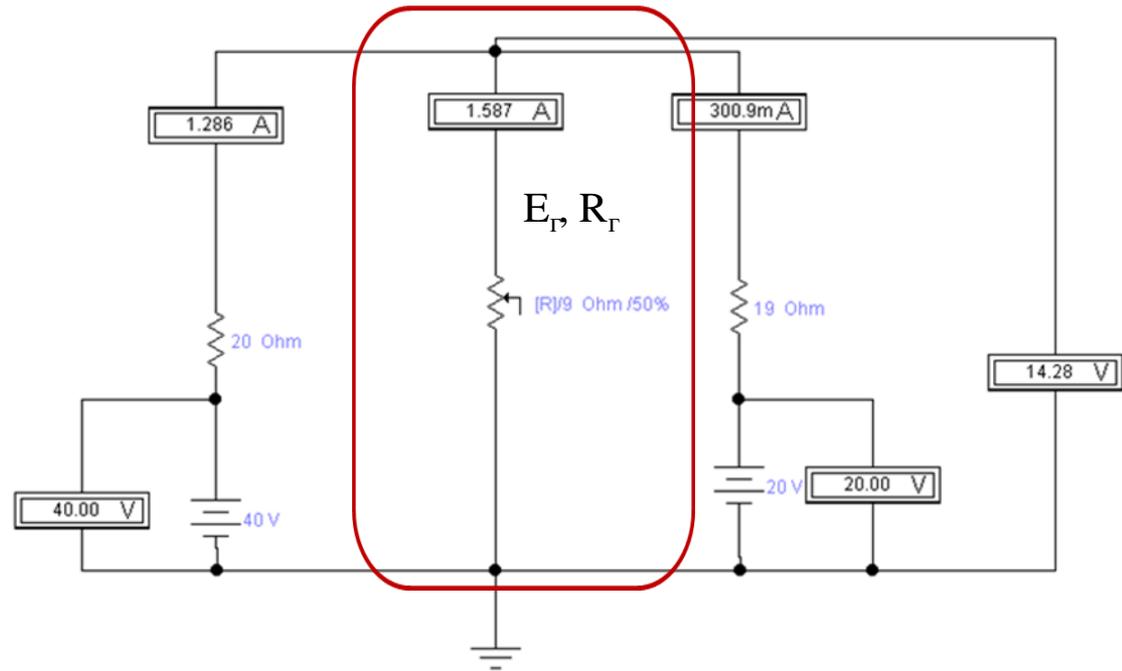
$$I_1 = \frac{E_r}{R_r + R_1}$$



## Задание № 2. Экспериментальная проверка основных законов электротехники

### Метод активного двухполюсника

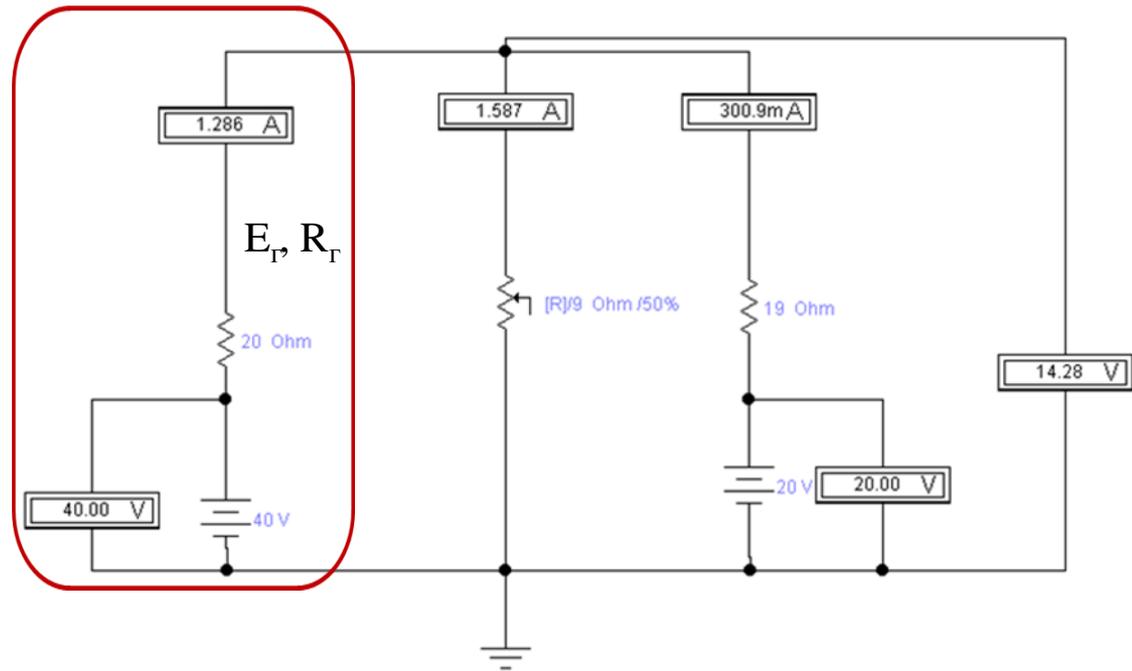
$$E_r = (E_1 + E_2) - \frac{(E_1 + E_2) \cdot R_1}{R_3 + R_1}$$
$$R_r = \frac{R_3 \cdot R_1}{R_3 + R_1}$$
$$I_2 = \frac{E_r}{R_r + R_2}$$



## Задание № 2. Экспериментальная проверка основных законов электротехники

### Метод активного двухполюсника

$$E_r = E_2 - \frac{E_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$
$$R_r = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$
$$I_3 = \frac{E_r}{R_r + R_3}$$



Результаты расчетов необходимо занести в таблицу 4.  
Сделать выводы.

### Задание № 3. Анализ электрических цепей переменного тока.

Цель задания анализ двух простых электрических цепей переменного тока, содержащих реактивные элементы.

Исходные данные (параметры элементов схемы) приведены в табл. 5.

Варианты схем для расчета и анализа приведены в табл. 6.

Для выполнения данного задания необходимо:

1. Собрать схемы (в соответствии с вариантом задания) виртуальных лабораторных установок с использованием схем в EWB (примеры приведены на рис. 10 и рис. 11);

2. Установить значения параметров всех элементов схем и настроить измерительные приборы;

3. Снять показания измерительных приборов, привести осциллограммы и характеристики.

*Для первой цепи* выполняется вычисление общего сопротивления цепи, рассчитывается амплитудное значение тока, создаваемое источником переменного напряжения, затем, с помощью осциллографа определяется результирующий сдвиг фаз между током и напряжением в исследуемой цепи.

*Результаты расчетов и измерений заносятся в отчет в форме табл. 7.*

*Для второй цепи* выполняется расчет постоянной времени цепи, находится частота среза, определяется фазовый сдвиг.

*Результаты расчетов и измерений заносятся в отчет в форме табл. 8.*

### Задание № 3. Анализ электрических цепей переменного тока.

Например, ниже приведены схемы из табл.6

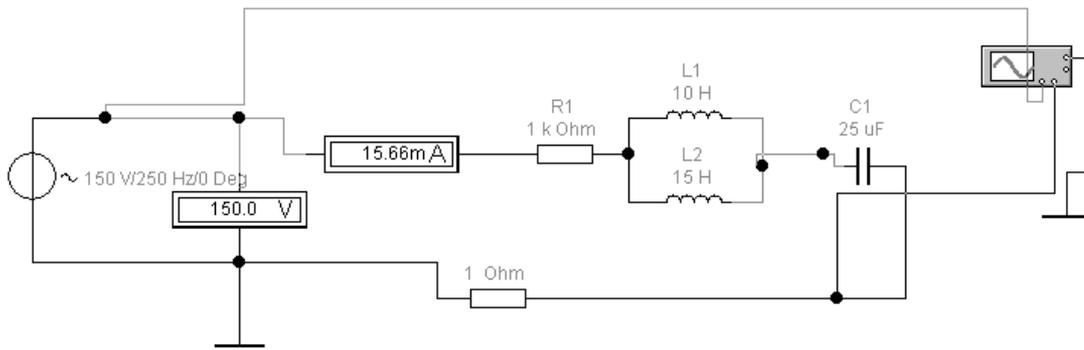
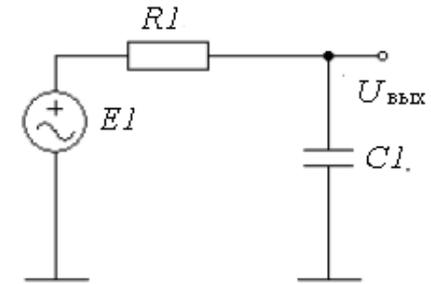
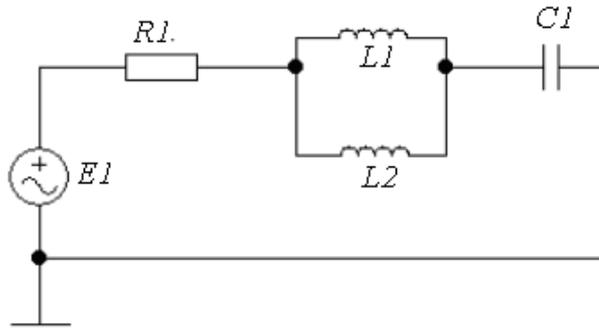


Рис. 10. Пример установки для исследования первой схемы

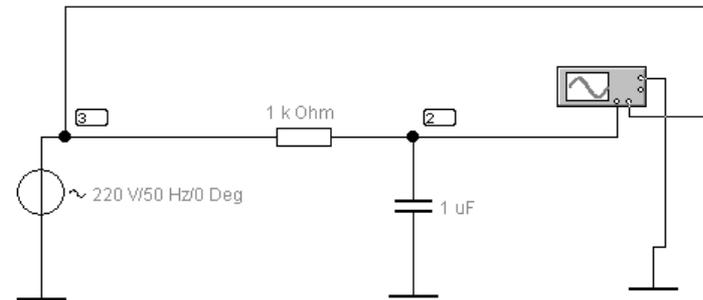


Рис. 11. Пример установки для исследования второй схемы

### Задание № 3. Анализ электрических цепей переменного тока.

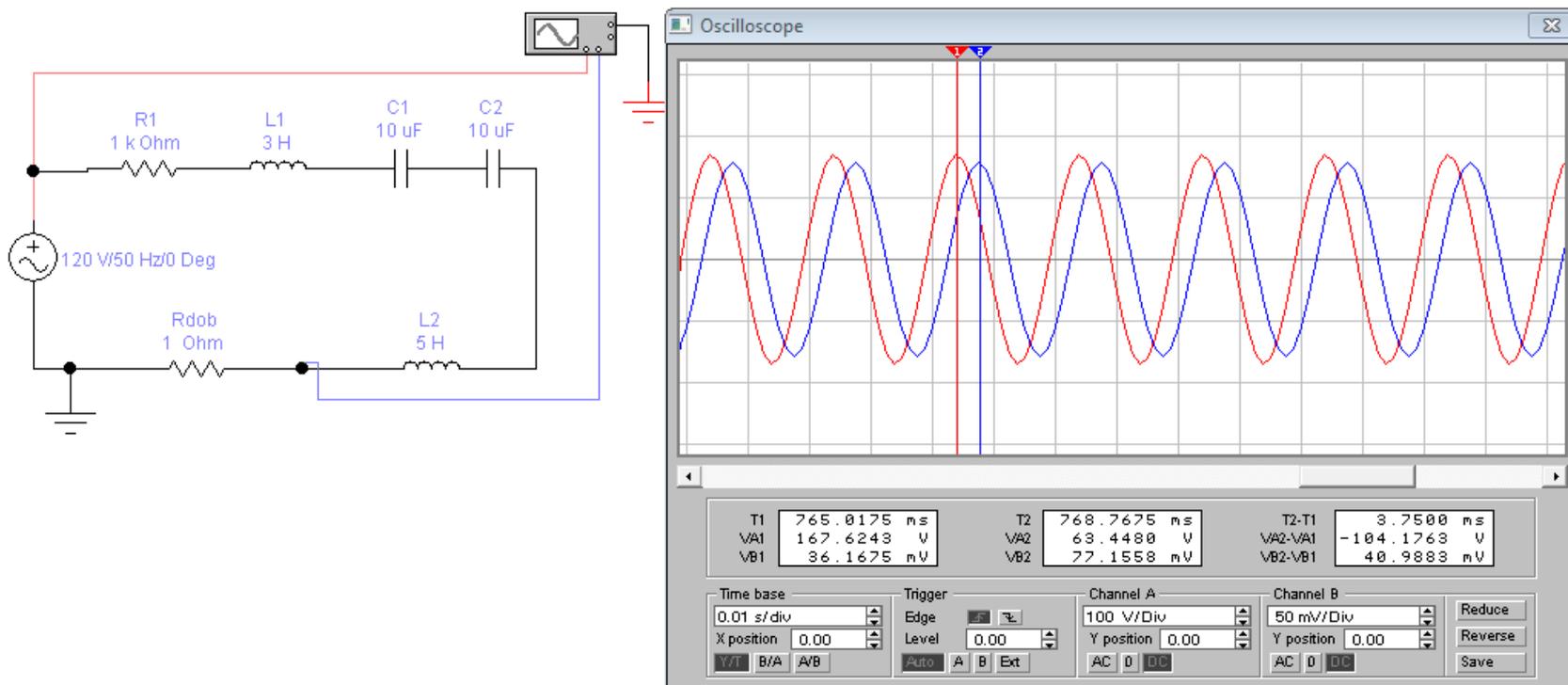


Рис. 12. Выполнение работы для первой цепи.

### Задание № 3. Анализ электрических цепей переменного тока.

1. Общее сопротивление цепи находим, учитывая, что  $X_C = 1 / \omega C$  и  $X_L = \omega L$

$$\text{и } Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2};$$

.....  
2. Фазовый сдвиг между напряжениями в градусах определяется по выражению

$$\varphi = \frac{\varphi_c}{T} \cdot 360^0 = 3.75 \cdot 10^{-3} \cdot 50 \cdot 360 = 67.5^0,$$

в секундах .....

Фазовый сдвиг между данными напряжениям соответствует сдвигу фаз между напряжением и током в исследуемой схеме (почему?...).

3. Амплитудное значение напряжения

.....

4. Амплитудное значение тока

.....

# Задание № 3. Анализ электрических цепей переменного тока.

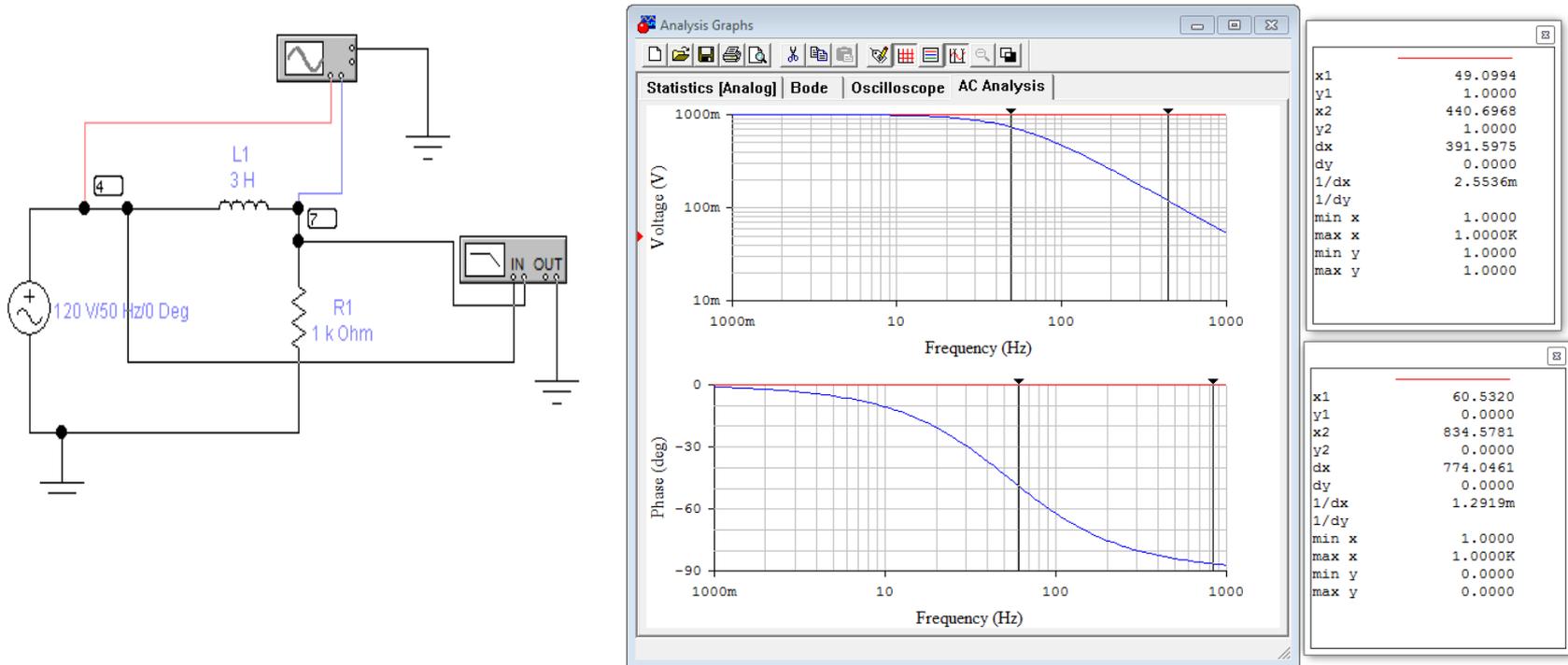


Рис. 13. Выполнение работы для второй цепи

Постоянная времени

...

Реактивные сопротивления

.....

Частота среза  $f_0 = \frac{R}{2\pi L} = 53 \text{Гц}$

.....

Фазовый сдвиг на частоте среза

.....

### Задание № 3. Анализ электрических цепей переменного тока.

Таблица 7

Результаты по исследованию первой цепи

Амплитуда переменного напряжения, В	Общее сопротивление цепи, Ом	Амплитуда переменного тока в цепи, А	Частота переменного тока, Гц	Сдвиг напряжения в единицах времени, с	Фазовый сдвиг напряжения в цепи, град.

Таблица 8

Результаты по исследованию второй цепи

Постоянная времени цепи, с	Расчетная частота среза, Гц	Измеренная частота среза, Гц	Расчетный фазовый сдвиг, град.	Измеренный фазовый сдвиг, град.

Все расчеты с подробными комментариями к выполненным вычислениям заносятся в отчет по лабораторной работе.

Проверка расчетов выполняется с помощью виртуальных лабораторных установок, разработанных в EWB