

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

2017 г.



ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСТОЯННЫХ НЕЗАВИСИМЫХ ИСТОЧНИКОВ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА

методическое указание к выполнению лабораторной работы
по теоретическим основам электротехники для студентов направления
подготовки «Электроэнергетика и электротехника»

УДК 621.301

Составитель Л.В. Плесконос

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры
электроснабжения

А.Л. Овчинников.

Исследование постоянных независимых источников напряжения и тока. Методическое указание к выполнению лабораторной работы по теоретическим основам электротехники для студентов направления подготовки «Электроэнергетика и электротехника»/Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Л.В. Плесконос. Курск, 2017. 12 с.: ил.8, табл.3, Прил.1.Библиогр.: с. 12.

Излагаются методические указания и теоретический материал, необходимый для выполнения работы.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *3.04.17* .Формат 60x84 1/16.

Уел. печ. л. *0,7*. Уч.-изд. л. *0,6*. Тираж 150 экз. Заказу Бесплатно. *454*

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

Снять внешние характеристики независимых источников напряжения и тока.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.

При всем разнообразии принципа работы и конструкций источников энергии они характеризуются общим свойством - производят электрическую энергию. Интенсивность физических процессов, в результате которых производится электрическая энергия, описывается и характеризуется так называемыми сторонними силами. Работа, затрачиваемая сторонними силами, на перемещение единицы положительного заряда от вывода с меньшим потенциалом к выводу с большим потенциалом называется электродвижущей силой (ЭДС) источника и обозначается $e(t)$. ЭДС равна отношению электрической мощности источника $p(t)$ к его току $i(t)$

$$e(t) = p(t) / i(t). \text{ Нi}$$

При постоянном токе

$$E = P / I$$

Электрическое напряжение U и ЭДС характеризуют противоположные электрические процессы; положительному напряжению соответствует процесс преобразования электрической энергии в другие виды энергии, а положительной ЭДС соответствует процесс производства электрической энергии. Так как производство электроэнергии и её потребления 1 это единый процесс, то источник вырабатывает в любой текущий момент времени ровно столько энергии, сколько её потребляет приёмник.

При расчёте и анализе электрических цепей реальный источник электрической энергии со значением внутреннего сопротивления R_B заменяют расчетным эквивалентом. В качестве эквивалента берут источник напряжения или источник тока. Источником напряжения (рис 1.1, а) называется источник, напряжение на внешних зажимах U которого не зависит от сопротивления R , подключенного к источнику.

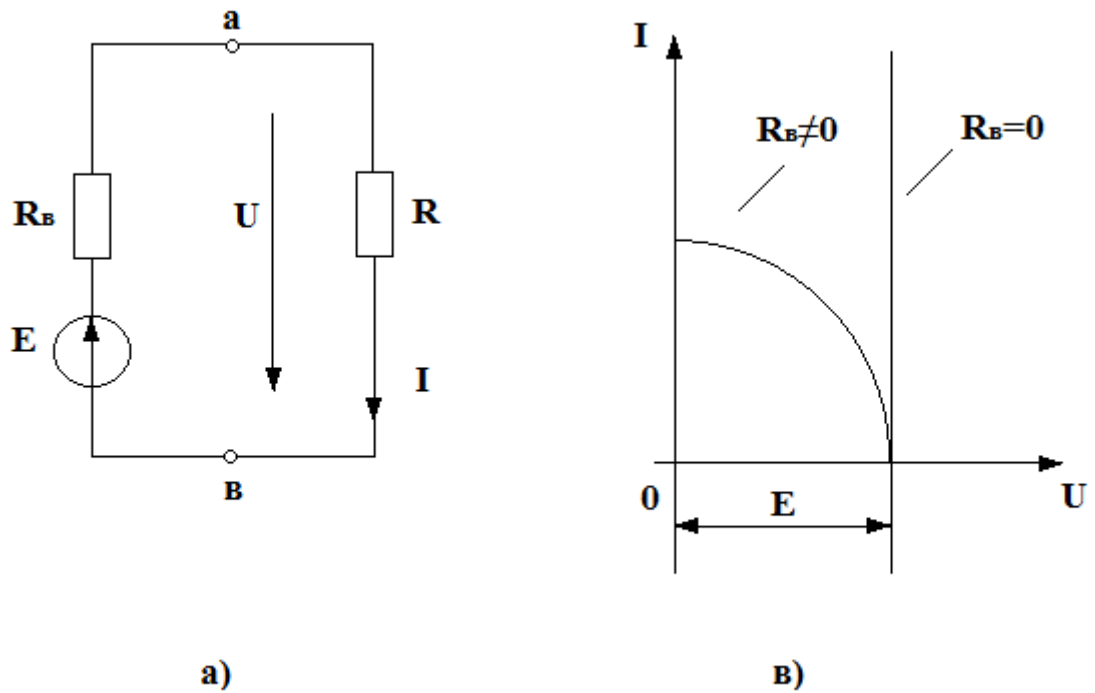


Рис. 1.1. Электрическая схема и внешние характеристики источника напряжения.

Стрелка в кружке указывает направление от меньшего потенциала к большему. Если внутреннее сопротивление $R_B=0$, то такой источник называется идеальным источником напряжения. Ампер-вольтные характеристики реального $R_B \neq 0$ и идеального $R_B=0$ источника напряжения показаны на (рис. 1.1, в).

Источником тока (рис. 1.2, а) называется источник, ток которого I не зависит от сопротивления внешней цепи R .

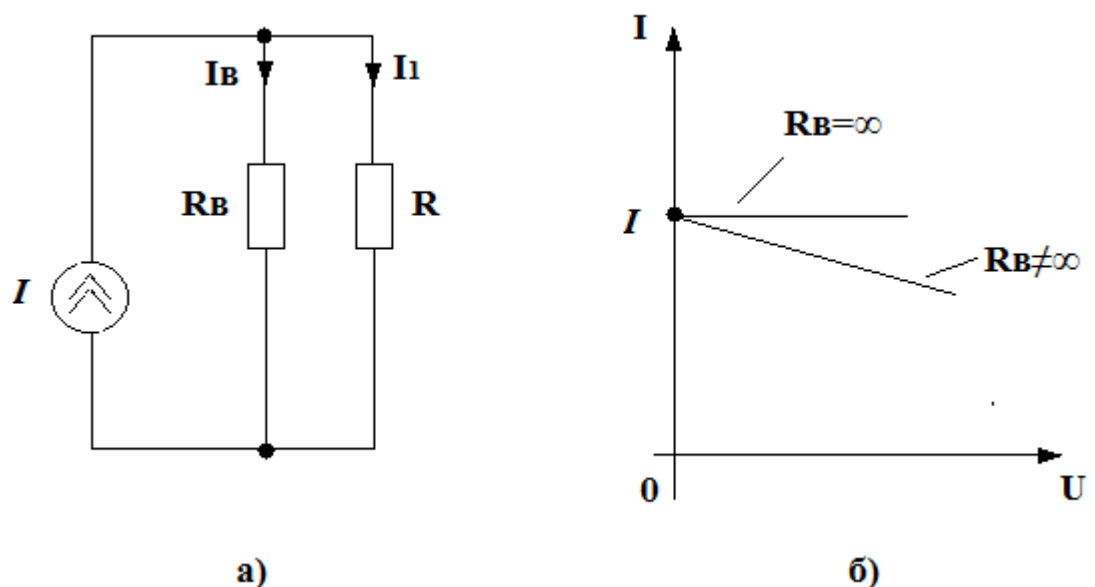


Рис. 1.2. Электрическая схема и внешние характеристики источника тока.

Стрелка в кружке указывает положительное направление тока I источника тока.

Ампер-вольтные характеристики реального $R_B \neq \infty$ и идеального $R_B = \infty$ источника тока показаны на (рис.1.2, б).

В реальных источниках энергии внутреннее сопротивление R_B имеет конечное значение. В этом случае, если внешнее сопротивление цепи R много больше внутреннего, то источник практически представляет источник напряжения, а при внешних сопротивлениях много меньших, чем внутреннее - источник тока. На практике при выполнении условия $10 R_{BH} < R_H < \infty$ реальный источник принимают за источник напряжения, а при условии $0 < R_H < 0,1 R_{BH}$ за источник тока. Например, если внутреннее сопротивление источника 300 Ом, то при внешних сопротивлениях от 3 кОм и более внутренним сопротивлениям можно пренебрегать по сравнению с внешним и источник считать источником напряжения. При R_H менее 30 Ом пренебрегать можно внешним сопротивлением по сравнению с внутренним и считать источник - источником тока. При $0,1 R_{BH} < R_H < 10 R_{BH}$ ток в нагрузке рассчитывают с учетом внутреннего сопротивления источника R_B .

Исследуем характеристики двухполюсника, состоящего из источников ЭДС E с внутренним сопротивлением R_B , нагруженного на внешнее переменное сопротивление R (рис 1.3).

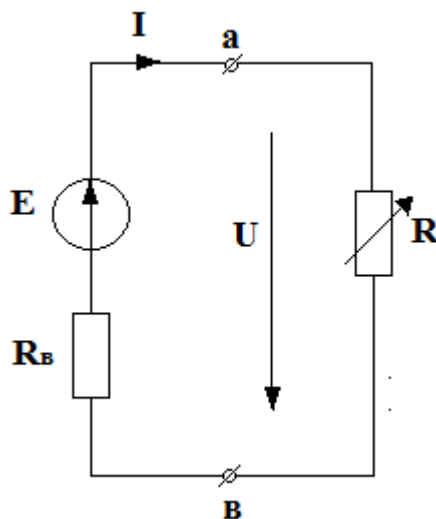


Рис. 1.3. Электрическая схема двухполюсника.

В разомкнутой цепи ток через источник не протекает, падение напряжения на внутреннем сопротивлении источника отсутствует, и напряжение на внешних зажимах окатывается равным ЭДС источника. Если к зажимам такой цепи подключить вольтметр с большим входным сопротивлением, то ток в цепи будет

мал, падением сопротивления на внутреннем сопротивлении источника можно пренебречь и в этом случае, напряжение, показываемое вольтметром, практически равно ЭДС источника.

Внутреннее сопротивление источника измеряют в режиме короткого замыкания (КЗ), когда сопротивление нагрузки источника закорочено

$$R_{вн} = E / I_{кз}$$

Внутреннее сопротивление R_B можно определить вторым способом. Обозначим напряжение на сопротивлении R через U . Так как

$$E = IR_B + IR, \text{ а } I = \frac{U}{R}, \text{ то } E = \frac{UR_{BH}}{R} + \frac{UR}{R}, ER = UR_{BH} + UR,$$

т. е

$$UR_B = ER - UR = (E - U)R, \text{ откуда } R_B = \left(\frac{E}{U} - 1\right)R.$$

Будем определять характеристики тока в цепи I , напряжение на нагрузке U (т.е. между точками, а б), мощность P в нагрузке R и коэффициент полезного действия η при изменении нагрузочного сопротивления от 0 до ∞ (рис. 1.3). В данной цепи ток

$$I = \frac{E}{R_B + R}. \text{ При } R = 0, I = I_m = \frac{E}{R_B}, \text{ при } R = R_B \text{ ток } I = \frac{E}{2R_B} = 0.5I_m, \\ \text{при } R = \infty \text{ ток } I = 0.$$

Таким образом, при изменении сопротивления R от 0 до ∞ ток в цепи изменяется от $\frac{E}{R_B}$ до 0. Напряжение на нагрузке

$$U = RI = R \left(\frac{E}{R + R_B} \right) = \frac{RE}{R \left(1 + \frac{R_B}{R} \right)} = \frac{E}{1 + \frac{R_B}{R}}. \quad (1.1)$$

Из (1.1) следует, что при $R=0$, $U=0$. При $R=R_B$, $U=0.5E$. При $R=\infty$, $U=E$.

Таким образом, при изменении R от 0 до ∞ напряжение на внешнем сопротивлении изменяется от 0 до E . Определим закон изменения мощности P во внешнем сопротивлении при его изменении от 0 до ∞ .

$$P = I^2 R = \left(\frac{E}{R_B + R} \right)^2 R = \frac{E^2 R}{R_B^2 + 2R_B R + R^2} = \frac{R^2 \left(\frac{E^2}{R} \right)}{R^2 \left(\frac{R_B^2}{R^2} + \frac{2R_B}{R} + 1 \right)} = \frac{\left(\frac{E^2}{R} \right)}{\left(\frac{R_B^2}{R^2} + \frac{2R_B}{R} + 1 \right)}.$$

Следовательно, при изменении внешнего сопротивления от 0 до ∞ , КПД растёт от 0 до 1, т.е. до 100%. Увеличение КПД объясняется тем, что при возрастании

внешнего сопротивления ток в цепи уменьшается, при этом уменьшается мощность, рассеиваемая на внутреннем сопротивлении и мощность в нагрузке I^2R приближается к мощности, отдаваемой источником $P_{ист} = I^2(R_B + R) = P_{вн} + P$.

Кривые $I = f(R)$, $U = f(R)$, $P = f(R)$, $\eta = f(R)$ показаны на (рис 1.4)

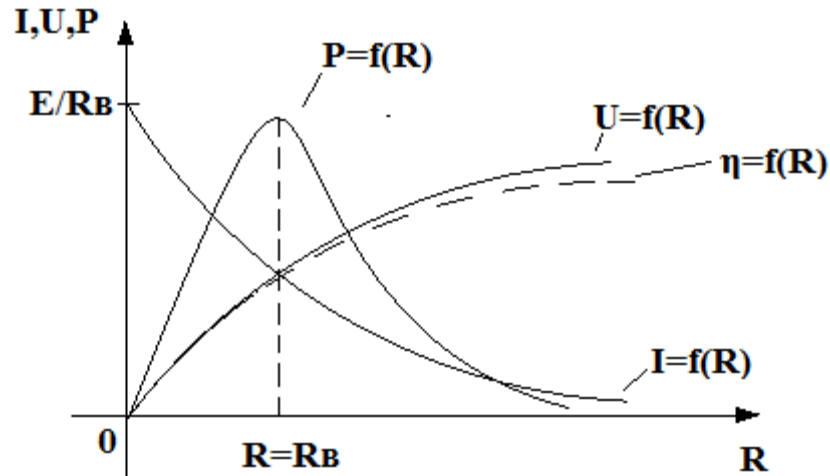


Рис. 1.4. Характеристики двухполюсника в зависимости от сопротивления R .

При $R = 0$, $P = 0$; при $R = \infty$, $P = 0$. Таким образом, мощность во внешней цепи равна 0 как при $R = 0$, так и при $R = \infty$. Следовательно, некоторому определенному значению R соответствует наибольшее значение мощности. Чтобы определить это значение R , приравняем нулю первую производную от мощности по R .

$$\frac{dP}{dR} = \frac{E^2 |(R_B + R)^2 - 2(R_B + R)R|}{(R_B + R)^4} = 0$$

Так как знаменатель этого выражения не равен ∞ , то

$$(R_B + R)^2 - 2(R_B + R)R = 0.$$

Следовательно, $R_B = R$, т.е.

$$P_m = \frac{E^2 R_B}{4R_B^2} = \frac{E^2}{4R_B}.$$

Таким образом, при изменении внешнего сопротивления R от 0 до ∞ мощность во внешнем сопротивлении сначала возрастает от 0 до $E^2/4R_B$, затем снова уменьшается до 0. Коэффициентом полезного действия называется отношение мощности P в нагрузке R к мощности, отдаваемой источником $P_{ист}$.

$$\eta = \frac{P}{P_{ист}} = \frac{P}{P_{вн} + P} = \frac{R}{R_B + R} = \frac{U}{E} = \frac{1}{\frac{R_B}{R} + 1}.$$

При $R = 0$, $\eta = 0$; при $R = R_B$, $\eta = 0,5$ или 50%, при $R = \infty$, $\eta = 1$ или 100%.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

Собрать схему, изображенную на рис. 2.1.

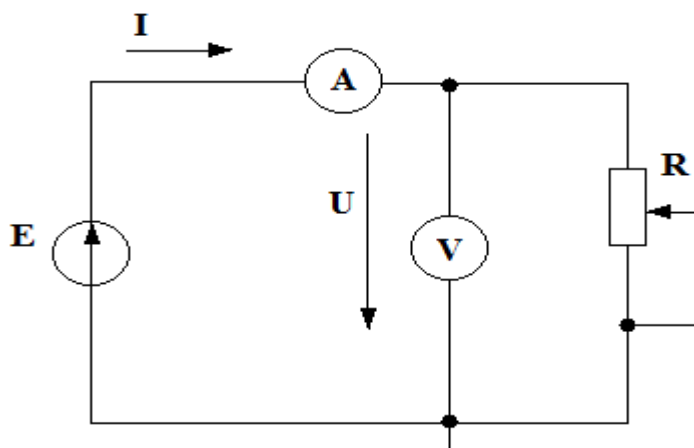


Рис. 2.1. Схема рабочей цепи.

Выставить величину ЭДС E и сопротивление нагрузки R , указанные преподавателем. Изменять сопротивление в диапазоне (от 10% до 100%) R и $R = \infty$. Показания приборов внести в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Получено в эксперименте при $E =$			Определено по экспериментальным данным			
$R, \text{ Ом}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ А}$	Рист, Вт	$P_R, \text{ Вт}$	η	Заключение о типе источника

Собрать схему, изображенную на рис. 2.2.

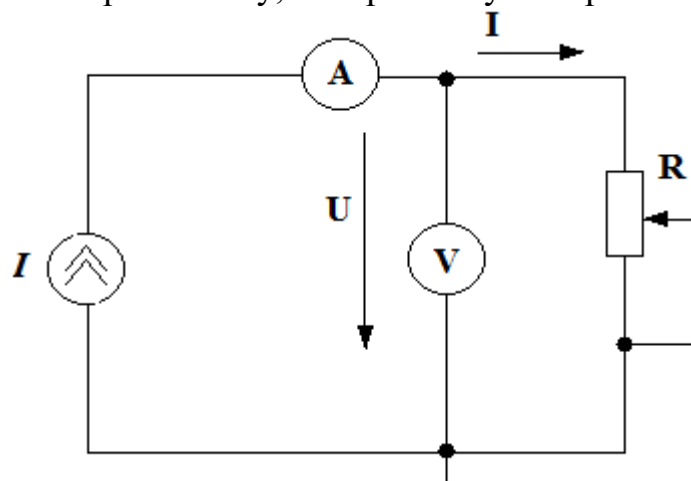


Рис. 2.2. Схема рабочей цепи.

Выставить величину тока I источника и сопротивление нагрузки, указанные преподавателем. Изменять сопротивление в диапазоне (от 10% до 100%) R . Показания приборов занести в табл. 2.2

Таблица 2.2

Получено в эксперименте при $I=$			Определено по экспериментальным данным			
R, Ом	U, В	I, А	Рист, Вт	$P_{R, Вт}$	η	ЗаклЮчение о типе источника

Собрать схему, изображенную на рис. 2.3

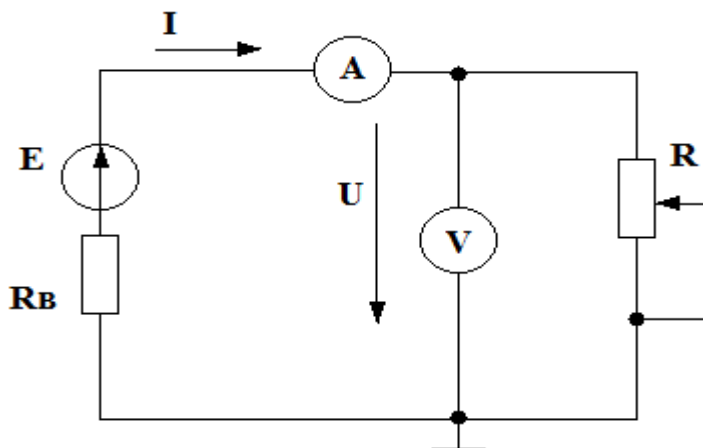


Рис. 2,3. Схема рабочей цепи.

Выставить величину E источника, внутреннего сопротивления R_B и сопротивлению нагрузки, указанные преподавателем. Величину R выбирать таким образом, чтобы диапазон изменения сопротивления включал:

5 точек - при $0 < R < 0,1R_B$;

5 точек - при $0,1R_B < R < 10R_B$,

В этом диапазоне обязательно должна быть точка $R_B=R$.

5 точек - при $R > 10R_B$.

Показания приборов занести в табл. 2.3.

Таблица 2.3

E=, R _B =			U _m =, I _m =, P _m =, η _m =.									
Получено в эксперименте			Рассчитано по экспериментальным данным									
, Ом	, В	м, А	, В	/U _m	, А	/I _m	ист, Т	Р, Т	R/P _m	Р, Вт	/η _m	3 включение о типе источника

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ.

По экспериментальным данным, занесенным в табл. 2.1 и табл. 2.2, рассчитать мощность источника $P_{ист}$, мощность в нагрузке P_R и η . Сделать заключение о типе исследуемых источников. Построить на разных графиках кривые $I = f(R)$, $U = f(R)$, $\eta = f(R)$.

По экспериментальным данным, занесенным в табл. 2.3 рассчитать: ток в цепи I , напряжение на нагрузке U , мощность в нагрузке P_R , мощность источника $P_{ист}$, мощность, рассеиваемую на внутреннем сопротивлении источника $P_{вн}$, η при различных значениях сопротивления цепи.

Зная E , R_B и R , рассчитать максимальные значения мощности P_m и КПД η_m .

Рассчитать I / I_m ; U / U_m ; P / P_m ; η / η_m при всех значениях сопротивления R .

Построить на одном графике кривые $I / I_m = f(R)$; $U / U_m = f(R)$; $P / P_m = f(R)$;

$\eta / \eta_m = f(R)$.

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

Какие источники называются источниками напряжения и какие - источниками тока?

Какие источники напряжения и тока называются идеальными? При каких соотношениях между внутренним сопротивлением R_B и сопротивлением нагрузки R реальные источники относят к источнику напряжения или к источнику тока.

Нарисуйте кривые $I = f(R)$, $U = f(R)$, $P = f(R)$, $\eta = f(R)$ для цепи по рис. 2.3.

Каким образом экспериментально определяют ЭДС источника напряжения и внутреннее сопротивление R_B ?

В каких пределах может изменяться КПД? Чему равен КПД при $R = R_B$?

Можно ли выделить одинаковую мощность при различных сопротивлениях нагрузки? Приведите примеры.

На какое сопротивление R следует замкнуть источник с $E = 10\text{В}$ и внутренним сопротивлением $R_B = 5\text{ Ом}$, чтобы во внешнем сопротивлении выделить мощность

$P = 4\text{ Вт}$?

Литература

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: электрические цепи. - М.: Высшая школа, 1994 г. - 420 с.
2. Белецкий А.Ф. Теория линейных электрических цепей. - М.: Радио и связь, 1986 г. - 540 с.
3. Л.Р. Нейман, К.С. Демирчян. Теоретические основы электротехники. М. - Л., энергия, 1976 г. - 280 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

I. Работа с Electronics Workbench (EWB).

Программа Electronics Workbench предназначена для моделирования и анализа электронных схем. Возможности программы Electronics Workbench позволяют выполнить работы от простейших экспериментов до экспериментов по статическому моделированию.

При создании схемы Electronics Workbench позволяет:

Выбирать элементы и приборы из библиотек.

Приложение

Перемещать элементы схемы в любое место рабочего поля.

Поворачивать элементы и их группы на углы, кратные 90 градусам.

Копировать, вставлять и удалять элементы, фрагменты схем.

Изменять цвета проводников.

Выделять цветом контура схем.

Одновременно подключать несколько измерительных приборов и наблюдать их показания на экране монитора.

Изменять параметры элементов.

Изменяя настройки приборов можно:

Изменять шкалы приборов в зависимости от диапазона измерений.

Задавать режим работы прибора.

Задавать вид входных действий на схему (постоянные или гармонические токи или напряжения, треугольные или прямоугольные импульсы).

EWB позволяет:

Одновременно наблюдать несколько кривых на графике.

Отображать кривые различными цветами.

Измерять координаты точек на графике.

Вставлять схему или её фрагмент в текстовых редактор.

II. Компоненты Electronics Workbench.

После запуска на экране появляются строка меню и компонентов.

Панель компонентов состоит из пиктограмм полей компонентов.

Щелчком мыши на пиктограмме компонентов открывается соответствующее этой пиктограмме.

В лабораторной работе используются следующие базовые компоненты: источники и измерительные приборы.

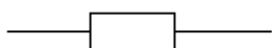
Соединяющий узел



Узел служит для соединения проводников и создания контрольных точек.

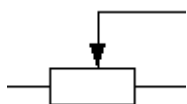
Резистор

1 кОм



Сопротивление резистора может быть задано числом в Ом, кОм, МОм.

Переменный резистор

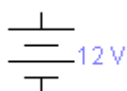


Земля



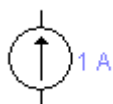
Компонент “Заземление” имеет нулевое напряжение и служит точкой отсчета потенциалов.

Источник постоянного напряжения 12В

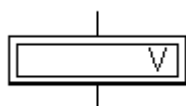


ЭДС источника постоянного напряжения указывается числом с указанием размерности (от мкВ до кВ).

Источник постоянного тока 1А



Простейшими измерительными приборами являются вольтметр и амперметр. Они автоматически изменяют диапазон измерений. В одной схеме можно применять несколько таких приборов одновременно.



Вольтметр используется для измерения переменного тока или постоянного напряжения. Выделенная толстой линией сторона прямоугольника соответствует отрицательной клемме.

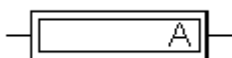
Двойным щелчком на изображении вольтметра открывается диалоговое окно для изменения параметров вольтметра:

величины внутреннего сопротивления (по умолчанию 1 МОм),
вида измеряемого напряжения (DC-постоянное, AC- переменное).

При измерении переменного синусоидального напряжения (AC) вольтметр показывает действующее значение

$$U_d = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

Амперметр



Амперметр используется для измерения переменного или постоянного тока. Выделенная толстой линией сторона прямоугольника соответствует отрицательной клемме.

Двойным щелчком на изображении амперметра открывается диалоговое окно для изменения параметров амперметра:

величины внутреннего сопротивления (по умолчанию 1мОм),
вида измеряемого тока (DC-постоянное, AC-переменное).

При измерении переменного синусоидального тока (AC) амперметр показывает

действующее значение

$$I_d = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

При проведении экспериментов рекомендуется выбрать $E = 1000\text{В}$, $R_B = 500\text{ Ом}$.
Другие варианты получать, изменяя E и R_B на $\pm 20\%$.