

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Худин Александр Николаевич

Должность: Ректор

Дата подписания: 30.06.2021 10:17

Уникальный программный ключ:

08303ad8de1c60b987361de7085acb509ac3da143f415362ffa0ee37e73fa19

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Курский государственный университет»

Колледж коммерции, технологий и сервиса

Методические рекомендации
по выполнению практических работ по дисциплине:
«Основы электротехники и электроники»

для студентов 1 курса
специальности 09.02.07 Информационные системы и программирование



Составитель
Негребецкая В.И.

Курск 2021

Содержание

| | |
|--|-----------|
| Практическая работа № 1 Расчет электрических цепей с использованием законов Ома и Кирхгофа..... | 3 |
| Практическая работа № 2 Методы расчета сложных цепей..... | 7 |
| Практическая работа № 3 Изучение интерфейса и виртуальными измерительными приборами моделирующей программы Electronics Workbench 5.12..... | 12 |
| Практическая работа № 4 Моделирование электрических схем с помощью Electronics Workbench..... | 22 |
| Практическая работа № 5 Магнитные и нелинейные цепи..... | 24 |
| Практическая работа № 6 Расчет цепи переменного тока с последовательным соединением элементов..... | 26 |
| Практическая работа № 7 Исследование полупроводниковых приборов..... | 28 |
| Практическая работа № 8 Работа с базовыми логическими элементами..... | 30 |
| Практическая работа № 9 Работа с виртуальным логическим конвертором в Electronics Workbench..... | 33 |
| Практическая работа № 10 Исследование принципов построения и работы комбинационных цифровых устройств микропроцессорных систем в Electronics Workbench..... | 35 |
| Список рекомендованной литературы..... | 37 |

Практическая работа № 1

Тема практической работы: «Расчет электрических цепей с использованием законов Ома и Кирхгофа»

Цель практической работы: Рассчитать электрические цепи с использованием законов Ома и Кирхгофа

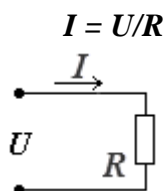
Теоретический материал

Закон Ома - физический закон, определяющий зависимость между электрическими величинами - напряжением, сопротивлением и током для проводников. Впервые открыл и описал его в 1826 году немецкий физик Георг Ом, показавший (с помощью гальванометра) количественную связь между электродвижущей силой, электрическим током и свойствами проводника, как пропорциональную зависимость. Впоследствии свойства проводника, способные противостоять электрическому току на основе этой зависимости, стали называть электрическим сопротивлением (Resistance), обозначать в расчётах и на схемах буквой R и измерять в Омах в честь первооткрывателя. Сам источник электрической энергии также обладает внутренним сопротивлением, которое принято обозначать буквой r .

Закон Ома для участка цепи

Со школьного курса физики всем хорошо известна классическая трактовка Закона Ома:

Сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению на концах проводника и обратно пропорциональна его сопротивлению.



Отсюда следуют ещё два полезных соотношения:

Если в проводнике, сопротивлением 1 Ом, протекает ток 1 Ампер, значит на концах проводника напряжение 1 Вольт (падение напряжения).

$$U = IR$$

Если на концах проводника есть напряжение 1 Вольт и по нему протекает ток 1 Ампер, значит сопротивление проводника равно 1 Ом.

$$R = U/I$$

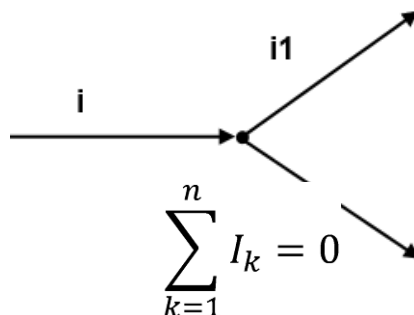
Вышеописанные формулы в таком виде могут быть применимы для переменного тока лишь в том случае, если цепь состоит только из активного сопротивления R . Кроме того, следует помнить, что Закон Ома справедлив только для линейных элементов цепи.

Законы Кирхгофа

Законы Кирхгофа – правила, которые показывают, как соотносятся токи и напряжения в электрических цепях. Эти правила были сформулированы Густавом Кирхгофом в 1845 году. В литературе часто называют законами Кирхгофа, но это не верно, так как они не являются законами природы, а были выведены из третьего уравнения Максвелла при неизменном магнитном поле. Но все же, первое более

привычное для них название, поэтому и мы будем их называть, как это принято в литературе – законы Кирхгофа.

Первый закон Кирхгофа – сумма токов сходящихся в узле равна нулю.



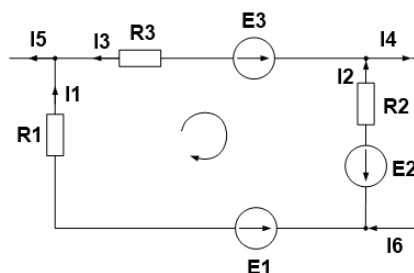
Узел это точка, соединяющая ветви. Ветвью называется участок цепи между узлами. На рисунке видно, что ток i входит в узел, а из узла выходят токи i_1 и i_2 . Составляем выражение по первому закону Кирхгофа, учитывая, что токи, входящие в узел имеют знак плюс, а токи, исходящие из узла имеют знак минус $i - i_1 - i_2 = 0$. Ток i как бы растекается на два тока поменьше и равен сумме токов i_1 и i_2 $i = i_1 + i_2$. Но если бы, например, ток i_2 входил в узел, тогда бы ток I определялся как $i = i_1 - i_2$. Важно учитывать знаки при составлении уравнения.

Первый закон Кирхгофа это следствие закона сохранения электричества: заряд, приходящий к узлу за некоторый промежуток времени, равен заряду, уходящему за этот же интервал времени от узла, т.е. электрический заряд в узле не накапливается и не исчезает.

Второй закон Кирхгофа – алгебраическая сумма ЭДС, действующая в замкнутом контуре, равна алгебраической сумме падений напряжения в этом контуре.

$$\sum_{l=1}^n E_l = \sum_{k=1}^m I_k R_k$$

Напряжение выражено как произведение тока на сопротивление (по закону Ома).



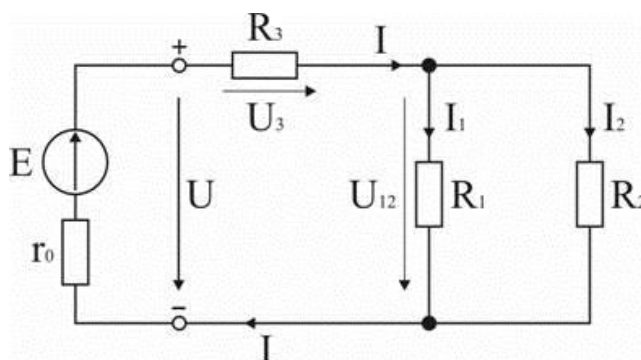
В этом законе тоже существуют свои правила по применению. Для начала нужно задать стрелкой направление обхода контура. Затем просуммировать ЭДС и напряжения соответственно, беря со знаком плюс, если величина совпадает с направлением обхода и минус, если не совпадает. Составим уравнение по второму закону Кирхгофа, для нашей схемы. Смотрим на нашу стрелку, E_2 и E_3 совпадают с ней по направлению, значит знак плюс, а E_1 направлено в противоположную сторону, значит знак минус. Теперь смотрим на напряжения, ток I_1 совпадает по направлению со стрелкой, а токи I_2 и I_3 направлены противоположно. Следовательно:

$$-E_1 + E_2 + E_3 = I_1 R_1 - I_2 R_2 - I_3 R_3$$

На основании законов Кирхгофа составлены методы анализа цепей переменного синусоидального тока. Метод контурных токов – метод основанный на применении второго закона Кирхгофа и метод узловых потенциалов основанный на применении первого закона Кирхгофа.

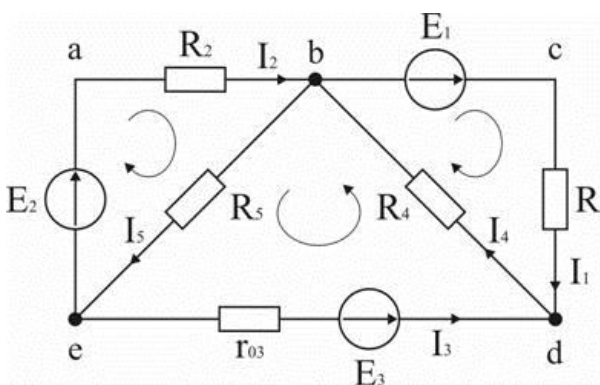
Задание

1. Расчет электрической цепи по закону Ома.



ЭДС аккумуляторной батареи $E = 78$ В, ее внутреннее сопротивление $r_0 = 0,5$ Ом. Сопротивления резисторов $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 5$ Ом, $R_3 = 4$ Ом.

2. Расчет сложных цепей при помощи уравнений Кирхгофа.



Рассчитать схему, составив систему уравнений на основании законов Кирхгофа.

Исходные данные к задаче:

$E_1 = 60$ В; $E_2 = 80$ В; $E_3 = 70$ В;

$R_1 = 20$ Ом; $R_2 = 50$ Ом; $r_{03} = 5$ Ом; $R_4 = 65$ Ом; $R_5 = 85$ Ом.

Выполнение работы

Расчет электрической цепи по закону Ома

1. Обозначим токи и напряжений на участках цепи.

Резистор R_3 включен последовательно с источником, поэтому ток I для них будет общим, токи в резисторах R_1 и R_2 обозначим соответственно I_1 и I_2 . Аналогично обозначим напряжения на участках цепи.

2. Определим эквивалентные сопротивления цепи (Ом):

$$R_3 = r_0 + R_3 + R_1 * R_2 / (R_1 + R_2)$$

3. Ток в цепи источника рассчитываем по закону Ома (А):

$$I = E / R_3$$

Расчет сложных цепей при помощи уравнений Кирхгофа.

1. Определим необходимые числа уравнений.

В схеме пять ветвей и для расчета токов в них надо составить пять уравнений. По первому закону Кирхгофа составляются уравнения для всех узлов, кроме одного (уравнение для него будет следствием предыдущих), по второму – для независимых контуров (в каждый последующий контур входит хотя бы одна ветвь, не вошедшая в ранее рассмотренные). Для данной схемы надо составить два уравнения по первому закону и три – по второму.

2. Составление и решение системы уравнений.

Для составления уравнений задаемся произвольно направлениями токов в ветвях и направлениями обхода контуров.

Уравнение для узла d: $I_1 + I_3 - I_4 = 0$. Уравнение для узла e: $- I_2 - I_3 + I_5 = 0$.
Уравнение для контура bcd: $I_1 R_1 + I_4 R_4 = E_1$. Уравнение для контура abe: $I_2 R_2 + I_5 R_5 = E_2$.
Уравнение для контура bde: $I_3 r_{03} + I_4 R_4 + I_5 R_5 = E_3$.

Подставив в уравнения численные значения величин, получим алгебраическую систему уравнений:

$$I_1 + I_3 - I_4 = 0; - I_2 - I_3 + I_5 = 0; 20 I_1 + 65 I_4 = 60; 50 I_2 + 85 I_5 = 80; 5 I_3 + 65 I_4 + 85 I_5 = 70.$$

Решение системы дает значения токов: $I_1 = 1,093$ А; $I_2 = 0,911$ А; $I_3 = -0,506$ А; $I_4 = 0,587$ А; $I_5 = 0,405$ А.

Контрольные вопросы

1. Сформулировать закон Ома для участка и для замкнутого контура.
2. Сформулировать первый и второй законы Кирхгофа.

Задание на дом

Выполнить отчет по практической работе.

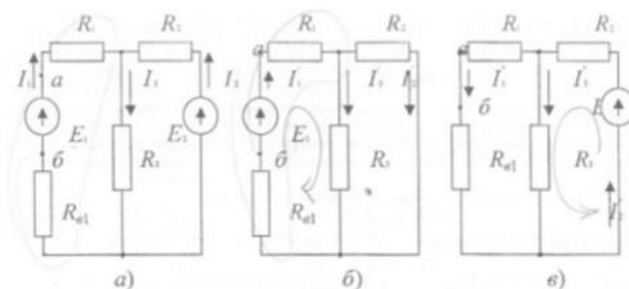
Практическая работа № 2

Тема практической работы: «Методы расчета сложных цепей»

Цель практической работы: Рассчитать сложные цепи

Теоретический материал

Метод наложения справедлив для линейных электрических цепей, основан на принципе независимости действия источников. Он состоит в определении и последующем суммировании, т.е. наложении частных токов ветвей от действия каждого источника в отдельности (или группы источников). При определении частных токов i -го источника все остальные идеальные источники ЭДС закорачиваются, а ветви с идеальными источниками тока разрываются.



Метод наложения целесообразно применять в том случае, если цепь содержит мало источников и если и если их удаление приводит к упрощению схемы. Действительное направление токов определяется направлением действия источника, а направление результирующего тока определяется знаком алгебраической суммы составляющих.

$$I_1' = \frac{E_1}{R_1 + R_{B1} + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}}; I_2' = I_1' \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3}; I_3' = I_1' \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3}$$

Токи в ветвях при действии э.д.с. E_2 :

$$I_2'' = \frac{E_2}{R_2 + \frac{(R_1 + R_{B1})R_3}{R_1 + R_{B1} + R_3}}; I_1'' = I_2'' \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_{B1} + R_3};$$

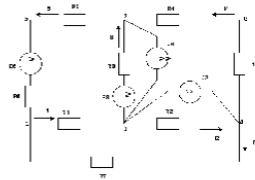
$$I_3'' = I_2'' \cdot \frac{R_1 + R_{B1}}{R_1 + R_{B1} + R_3}$$

При действии обеих э.д.с. токи в схеме рис. 1.6.а

$$I_1 = I_1' - I_1''; I_2 = -I_2' + I_2''; I_3 = I_3' + I_3''$$

Метод контурных токов (последовательность, особенности и примеры расчета).

Составляем количество уравнений, равное количеству уравнений составленных по второму закону Кирхгофа, выбираем взаимонезависимые контуры, не содержащие источники тока, но их влияние учитывается!! Ток находится обязательно по всем элементам входящим в этот контур. УКАЗЫВАЕМ направление обхода контура. Истинное значение токов в ветви = алгебраической сумме контурных токов проходящих в данной ветви.



$$\begin{cases} I_{III}(R_1+R_2+R_7) - I_{II}R_2 - I_1R_1 = J_2R_2 \\ I_{II}(R_5+R_6+R_1+R_8) - I_{II}R_8 - I_{III}R_1 = -E_6 - E_2 \\ I_{II}(R_4+R_3+R_2+R_8) - I_{III}R_2 - I_1R_8 = E_8 - J_2R_2 + J_8R_8 \\ I_1 = I_{III} - I_1 = \\ I_2 = I_{II} - I_{III} + J_2 = \\ I_4 = I_3 = -I_1 = \\ I_6 = I_5 = -I_1 = \\ I_7 = I_{III} = \\ I_8 = I_{II} - I_1 - J_8 = \end{cases}$$

Методы расчета сложных электрических цепей. Метод узловых потенциалов (последовательность, особенности и пример расчета)

Метод двух узлов — метод расчета электрических цепей, в котором за искомое (с его помощью определяют затем и токи ветвей) принимают напряжение между двумя узлами схемы.

Часто встречаются схемы, содержащие всего два узла. Наиболее рациональным методом расчета токов в них является метод двух узлов.

Формула для расчета напряжения между двумя узлами: $U_{ab} = \frac{\sum E_i g_i}{\sum g_i}$

Метод двух узлов. Часто встречаются схемы, содержащие всего два узла (рис. 2.1). В методе двух узлов за искомое принимается напряжение U_{12} между двумя узлами схемы (рис. 2.1), которое определяется:

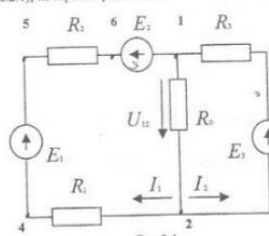


Рис. 2.1

После того, как определено узловое напряжение U_{12} , ток в любой ветви находится на основе обобщенного закона Ома. Например, ток ветви I_1 :

$$I_1 = \frac{E_1 - E_2 - U_{12}}{R_1 + R_2} \quad (2.4)$$

$$U_{12} = \frac{\sum E_i g_i + \sum I_k}{\sum g_i} \quad (2.3), \text{ где}$$

$$\sum E_i g_i = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} + E_3 \frac{1}{R_3};$$

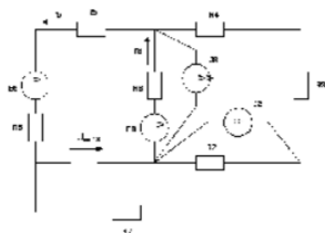
$$\sum I_k = 0$$

$$\sum g_i = \frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_3}$$

Методы расчета сложных электрических цепей. Метод эквивалентного генератора (последовательность, особенности и пример расчета).

Этот метод используется, если требуется рассчитать ток в одном сопротивлении в одной из ветвей, не рассчитывая в других ветвях. Размыкаем ветвь, убираем все сопротивления осуществляем режим холостого хода. Источники ЭДС не имеющие внутреннее сопротивление закорачиваются, если имеют оставляются их внутренние сопротивления. Ветви с источниками тока размыкаются сопротивления идеального источника $=\infty$. Определяем эквивалентное сопротивление и $U_{хх}$.

$$I_1 = \frac{U}{R_1 + R_2} \quad U_{xx} = -I_5 \cdot R_{56} - I_8 \cdot R_8 + E_6 + E_8$$



Задание

Рассчитать сложные цепи. Определить токи во всех ветвях цепи, если ЭДС источников энергии $E_1=180$ В, $E_2=96$ В, их внутренние сопротивления $R_{01}=0,1$ Ом, $R_{02}=2$ Ом; сопротивления резисторов $R_1=7,9$ Ом, $R_2=20$ Ом, $R_3=32$ Ом, $R_4=10$ Ом.

Задачу решить методом узловых и контурных уравнений, составленных по законам Кирхгофа. Составить уравнение баланса мощностей.

$$E_1=180 \text{ В;}$$

$$E_2=96 \text{ В;}$$

$$R_{01}=0,1 \text{ Ом;}$$

$$R_{02}=2 \text{ Ом;}$$

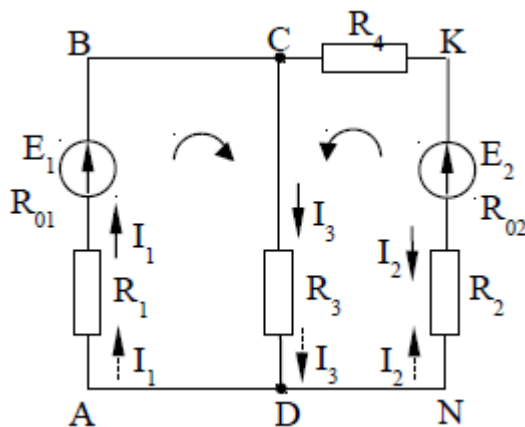
$$R_1=7,9 \text{ Ом;}$$

$$R_2=20 \text{ Ом;}$$

$$R_3=32 \text{ Ом;}$$

$$R_4=10 \text{ Ом.}$$

Определить: I_1, I_2, I_3 .



Выполнение работы

Количество неизвестных токов равно количеству ветвей в цепи. На рисунке три ветви, следовательно, неизвестных токов три, для их нахождения необходимо составить систему из трех уравнений.

1. Обозначим контуры буквами.

2. На схеме произвольно показываем предварительное направление токов (пунктир).

3. Сначала составляем уравнение по первому закону Кирхгофа. Количество этих уравнений равно числу узлов в схеме без одного. На схеме два узла – С и D, следовательно, составляем одно уравнение по первому закону Кирхгофа, например, для узловой точки С: $I_1+I_2=I_3$.

Остальные уравнения (3-1=2) составляются по второму закону Кирхгофа, т. е. два уравнения.

Второе уравнение составим для контура ABCDA, направление обхода контура примем «по часовой стрелке»:

$$E_1 = I_1(R_1 + R_{01}) + I_3 R_3.$$

Третье уравнение составим для контура SKNDC; направление обхода контура примем

«против часовой стрелки»:

$$E_2 = I_2(R_2 + R_{02} + R_4) + I_3 R_3.$$

4 Подставляем исходные данные в полученную систему из трех уравнений и решаем эту систему относительно неизвестных токов:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ E_1 = I_1(R_1 + R_{01}) + I_3 R_3 \\ E_2 = I_2(R_2 + R_{02} + R_4) + I_3 R_3 \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 & (1) \\ 180 = I_1(7,9 + 0,1) + I_3 \cdot 32 & (2) \\ 96 = I_2(20 + 2 + 10) + I_3 \cdot 32 & (3) \end{cases}$$

Из второго уравнения получаем:

$$180 = 8 \cdot I_1 + 32 \cdot I_3;$$

$$I_1 = \frac{180 - 32 \cdot I_3}{8} = 22,5 - 4 \cdot I_3. \quad (a)$$

Из третьего уравнения получаем:

$$96 = 32 \cdot I_2 + 32 \cdot I_3;$$

$$I_2 = \frac{96 - 32 \cdot I_3}{32} = 3 - I_3. \quad (б)$$

Подставляем выражения (a) и (б) в первое уравнение и находим ток I_3 .

$$22,5 - 4 \cdot I_3 + 3 - I_3 = I_3;$$

$$22,5 + 3 = I_3 + 4 I_3 + I_3;$$

$$25,5 = 6 I_3;$$

$$I_3 = \frac{22,5}{6} = 4,25 \text{ A.}$$

Значение тока I_3 подставляем в выражения (a) и (б) и определяем токи I_1 и I_2 :

$$I_1 = 22,5 - 4 \cdot I_3 = 22,5 - 4 \cdot 2,5 = 5,5 \text{ A};$$

$$I_2 = 3 - I_3 = 3 - 4,25 = -1,25 \text{ A.}$$

Ток I_2 получился отрицательным, это значит, что первоначально произвольно принятое

направление тока I_2 от точки D к точке C оказалось неверным и должно быть изменено на

противоположное. На схеме показываем действительное направление токов.

5 Составим уравнение баланса мощностей цепи.

В любой электрической цепи алгебраическая сумма мощностей источников энергии равна сумме мощностей, потребляемых сопротивлениями цепи, и мощности потерь внутри источников, т. е.

$$\sum P_{ист} = \sum P_{потр} + \sum P_0.$$

В левой части уравнения мощность источника, работающего в режиме генератора учитывается со знаком «плюс», в режиме потребителя – со знаком «минус».

Режим работы источника определяется по направлению действия ЭДС и положительному направлению тока данной ветви: если эти направления совпадают, то источник работает в режиме генератора; если не совпадают, то источник работает в режиме потребителя.

Для данной цепи:

$$E_1 I_1 - E_2 I_2 = I_1^2 (R_1 + R_{01}) + I_2^2 (R_2 + R_{02} + R_4) + I_3^2 R_3;$$
$$180 \cdot 5,5 - 96 \cdot 1,25 = 5,5^2 \cdot (7,9 + 0,11) + 1,25^2 \cdot (20 + 2 + 10) + 4,25^2 \cdot 32;$$
$$990 - 120 = 242 + 50 + 578;$$
$$870 \text{ Вт} = 870 \text{ Вт}.$$

Контрольные вопросы

1. Сформулировать закон Ома для участка и для замкнутого контура.
2. Сформулировать первый и второй законы Кирхгофа.

Задание на дом

Выполнить отчет по практической работе.

Практическая работа № 3

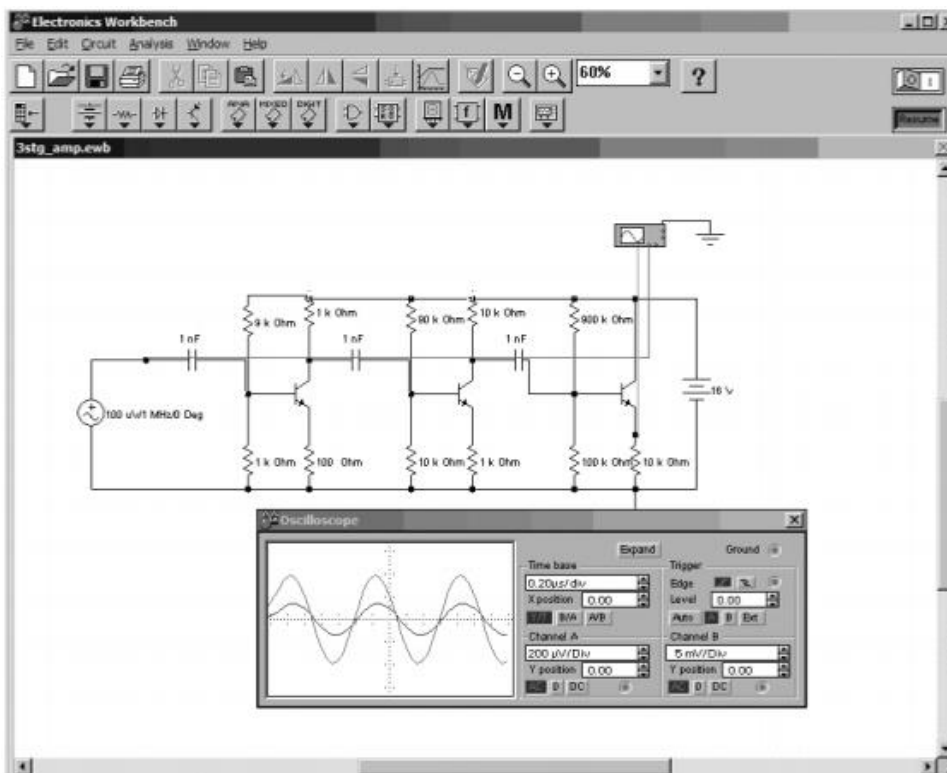
Тема практической работы: «Изучение интерфейса и виртуальными измерительными приборами моделирующей программы Electronics Workbench 5.12»

Цель практической работы: Изучить интерфейс моделирующей программы Electronic Workbench

Теоретический материал

Программа Electronics Workbench (EWB) относится к системам схемотехнического моделирования аналоговых и цифровых электронных схем. В данном учебном пособии рассматривается Electronics Workbench, Version 5.12 (EWB 5.12). EWB позволяет моделировать работу схем, включающих пассивные электрические элементы (конденсаторы, индуктивности, резисторы, трансформаторы), диоды, биполярные и полевые транзисторы, логические элементы и т. п. Программа предназначена для схемотехнического моделирования аналоговых и цифровых электронных устройств различного назначения. Окно программы Electronics Workbench (далее по тексту EWB) показано на рис. П1.1. Составитель должен предупредить пользователя о том, что далеко не все условные графические обозначения (УГО), используемые в библиотеках EWB, совпадают с требованиями российских ГОСТов (как по УГО, так и по шрифтовому исполнению). Поэтому использование собранных в EWB электронных схем возможно только в виде рисунков, а не чертежей. Кроме стандартных Windows-кнопок, на панели инструментов расположены следующие:

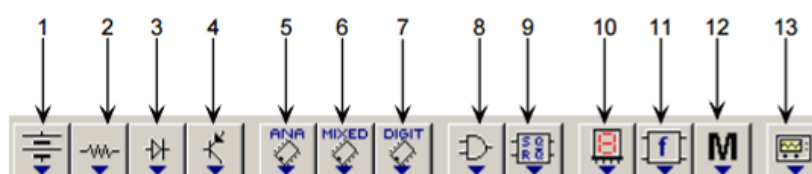
- поворот;
- горизонтальное зеркальное отображение;
- вертикальное зеркальное отображение;
- создать модель; • вывести график;
- свойства компонента;
- две кнопки изменения масштаба изображения.



Окно программы EWB

Окно программы содержит линейку инструментов с компактным представлением библиотек:

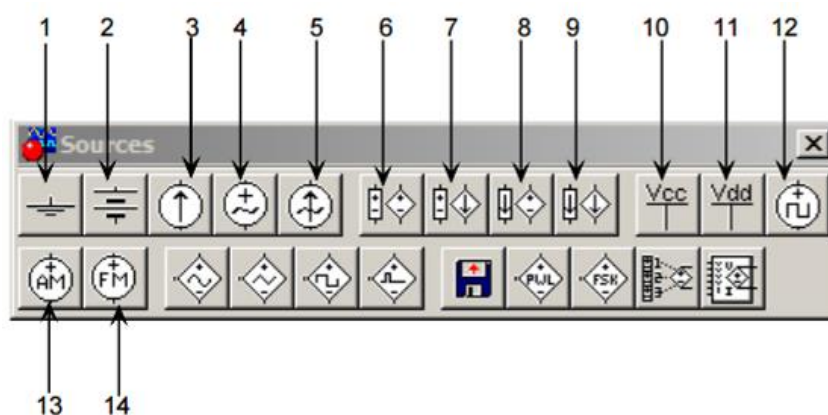
1. Sources – источники питания.
2. Basic – группа пассивных компонентов.
3. Diodes – полупроводниковые диоды, стабилитроны и т. п.
4. Transistors – полупроводниковые транзисторы.
5. Analog ICs – аналоговые микросхемы. 6. Mixed ICs – микросхемы смешанного типа (АЦП, ЦАП).
7. Digital ICs – цифровые микросхемы.
8. Logic Gates – логические цифровые микросхемы.
9. Digital – цифровые микросхемы (отличие от Digital ICs чуть позже).
10. Indicators – индикаторные устройства.
11. Controls – аналоговые вычислительные устройства (дифференциаторы, интеграторы и т. д.).
12. Miscellaneous – компоненты смешанного типа.
13. Instruments – контрольно-измерительные приборы.



Линейка библиотек

Рассмотрим подробнее содержимое тех библиотек, которые будут использоваться в лабораторных работах.

Источники питания



Библиотека источников питания

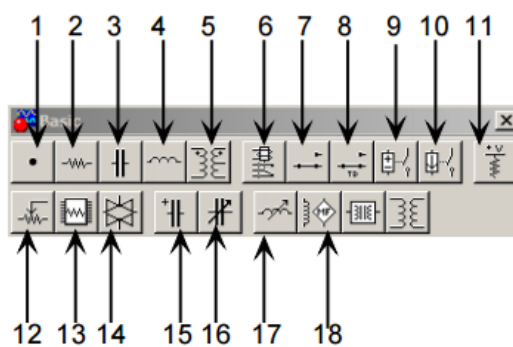
В данной библиотеке приведены различного вида источники питания, в том числе и управляемые:

1. Заземление.
2. Батарея (напряжение).
3. Источник постоянного тока (ток).

4. Источник переменного синусоидального напряжения (эффективное значение напряжения, частота, фаза).
5. Источник переменного синусоидального тока (эффективное значение тока, частота, фаза).
6. Источник напряжения, управляемый напряжением (коэффициент передачи).
7. Источник напряжения, управляемый током (коэффициент передачи).
8. Источник тока, управляемый напряжением.
9. Источник тока, управляемый током.
10. Питание TTL-логики.
11. Питание КМОП-логики.
12. Кварцевый генератор.
13. Генератор амплитудно-модулированных сигналов (напряжение и частота несущей, коэффициент и частота модуляции).
14. Генератор фазомодулированных сигналов (напряжение и частота несущей, индекс и частота модуляции).

Пассивные элементы

Раздел Basic содержит пассивные элементы.



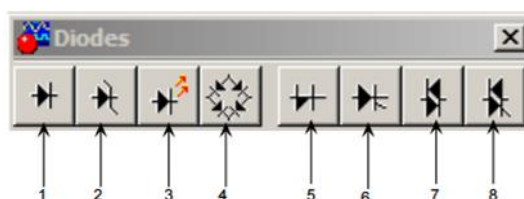
Библиотека пассивных элементов

В данный раздел входят следующие опции:

1. Точка ветвления.
2. Резистор.
3. Конденсатор.
4. Катушка (индуктивность).
5. Трансформатор с возможностью редактирования:
 - коэффициента трансформации;
 - индуктивности рассеивания;
 - индуктивности первичной обмотки;
 - сопротивления первичной обмотки;
 - сопротивления вторичной обмотки.
6. Электромагнитное реле.
7. Контакт переключающий.
8. Реле времени.
9. Реле напряжения.
10. Реле тока.

11. Резистор напряжения, один конец которого подключен к цепи Vcc (см. «Источники питания»).
12. Потенциометр.
13. Ящик из 8 одинаковых сопротивлений.
14. Переключатель, управляемый напряжением.
15. Электролитический конденсатор.
16. Подстроечный конденсатор.
17. Катушка переменной индуктивности.
18. Элемент для построения моделей индуктивности.

Диоды



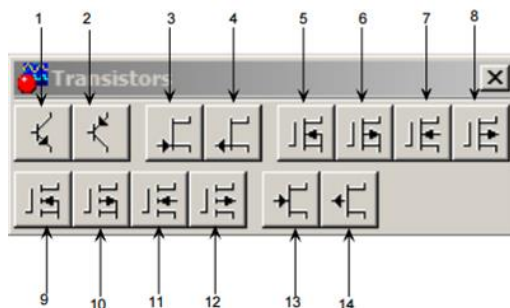
Библиотека диодов

Раздел Диоды содержит полупроводниковые диоды, стабилитроны, динисторы, тринисторы и т. д.:

1. Полупроводниковый диод.
2. Стабилитрон.
3. Светодиод.
4. Выпрямительный мост.
5. Диод Шокли.
6. Тиристор.
7. Двуханодный лавинный диод (симметричный динистор).
8. Симистор (симметричный тринистор).

Транзисторы

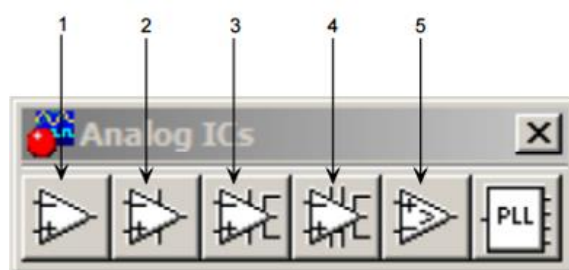
Группа Transistors содержит биполярные и полевые транзисторы.



Группа Transistors

- 1) и 2) – биполярные n–p–n- и p–n–p-транзисторы;
- 3) n-канальный с управляющим p–n-переходом;
- 4) p-канальный с управляющим p–n-переходом;
- 5) трехэлектродный n-канальный с изолированным затвором;
- 6) трехэлектродный p-канальный с изолированным затвором;
- 7) четырехэлектродный n-канальный с изолированным затвором;
- 8) четырехэлектродный p-канальный с изолированным затвором;
- 9) трехэлектродный n-канальный с обогащенным затвором;
- 10) трехэлектродный p-канальный с обогащенным затвором;
- 11) четырехэлектродный n-канальный с обогащенным затвором;
- 12) четырехэлектродный p-канальный с обогащенным затвором;
- 13) n-канальный арсенид-галиевый полевой транзистор;
- 14) p-канальный арсенид-галиевый полевой транзистор.

Аналоговые микросхемы

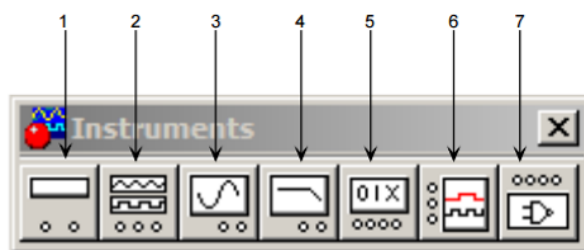


Аналоговые микросхемы

В этой библиотеке представлены различные операционные усилители:

1. Операционный усилитель с фиксированным напряжением питания (линейная модель).
2. Операционный усилитель с изменяемым напряжением питания (нелинейная модель).
3. Операционный усилитель с семью выводами.
4. Операционный усилитель с девятью выводами.
5. Компаратор.
6. Микросхема для системы автоподстройки частоты.

Измерительные приборы



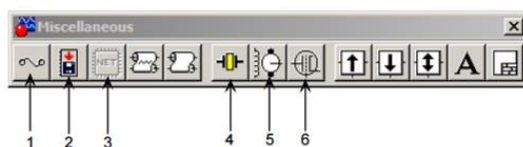
Библиотека измерительных приборов

В этой библиотеке представлены различные измерительные приборы:

1. Мультиметр.
2. Функциональный генератор.
3. Осциллограф.
4. Построитель частотных характеристик.

5. Генератор слов.

Библиотека Miscellaneous



Библиотека Miscellaneous

Данная библиотека содержит компоненты смешанного типа:

1. Предохранитель.
2. Команда записи данных.
3. Генерация списка электрических связей.
4. Кварцевый генератор.
5. Коллекторный двигатель постоянного тока.
6. Электровакуумный триод.

Элементная база

Здесь будут приведены минимальные данные о моделях компонентов, входящих в те или иные библиотеки.

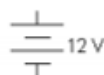
Источники тока

Источники тока могут быть представлены в виде генератора напряжения или генератора тока. Источники тока делятся на источники постоянного тока, переменного тока и управляемые (функциональные) источники. Кроме того, они подразделяются на измерительные источники и источники для электропитания.

Источники постоянного тока



Источники постоянного тока в EWB приведены ниже:



Батарея с регулировкой напряжения (через использование диалогового окна Свойства).



Источники постоянного тока с регулировкой величины тока от μA до kA (см. 1.10).

С заданным напряжением +5V. Чаще всего предназначено для питания цифровых микросхем ТТЛ-логики.

С заданным напряжением +15V. Чаще всего предназначены для питания цифровых микросхем КМОП- логики.

Величина напряжения выхода источника напряжения зависит от тока, приложенного на входе. Два эти параметра связываются коэффициентом, названным transresistance (H), – выходное напряжение, деленное на величину входного тока. Он может иметь любую величину от mW до kW.

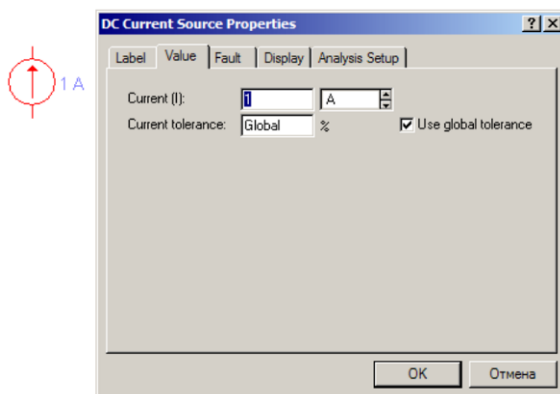
Величина напряжения выхода источника напряжения зависит от напряжения, приложенного на входе. Два эти параметра связываются коэффициентом прироста (E) – выходное напряжение, деленное на входное напряжение. Коэффициент прироста может иметь любую величину от mV/V до kV/V.

Величина выходного тока зависит от тока входного терминала. Два эти параметра связываются коэффициентом прироста (F) – выходной ток, деленный на входной. Коэффициент прироста может иметь любую величину от mA/A до kA/A.



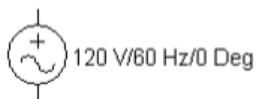
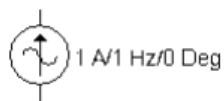
Величина текущего выходного напряжения зависит от напряжения, приложенного ко входу. Два эти параметра связываются коэффициентом, названным transconductance (G), – выходной ток зависит от входного напряжения. Измеряется в mhos (так же, как и сименс) и может иметь любую величину от m·mhos до kmhos.

Доступ до параметров источников питания осуществляется двойным нажатием на левую кнопку мыши. При этом открывается диалоговое окно, в котором устанавливаются необходимые величины.

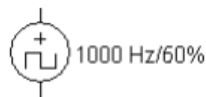


Диалоговое окно установки требуемых параметров источника тока

Источники переменного тока в EWB приведены ниже.



Источник переменного напряжения (от V



до kV) с возможностью указания частоты и фазового угла.

Источник переменного тока, у которого пользователь может указать любую величину тока (от μ A до kA), а также частоту и фазовый угол.



Генератор прямоугольных импульсов с возможностью регулировок амплитуды, частоты импульсов.

Пассивные элементы Резисторы

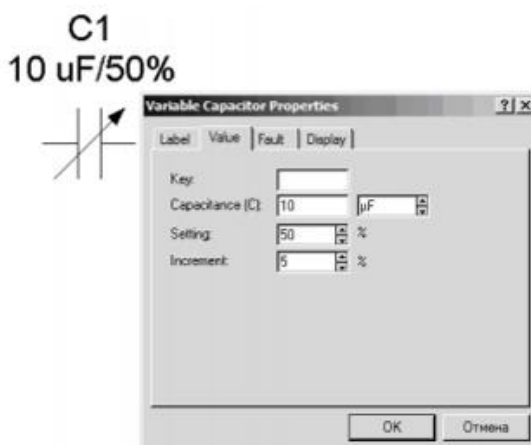
Сложно представить любое изделие электронной техники без резисторов. В EWB резисторы представлены тремя вариантами: постоянный, подстроечный и набором из восьми резисторов. На рис. П1.11 показано диалоговое окно установки параметров подстроечного резистора. В закладке Label устанавливается позиционное обозначение R; в закладке Value – номинальное значение, разбаланс «плеч» (зона Setting) и шаг установки изменения значения номинала (клавишей).



Диалоговое окно задания параметров резистора

Конденсаторы

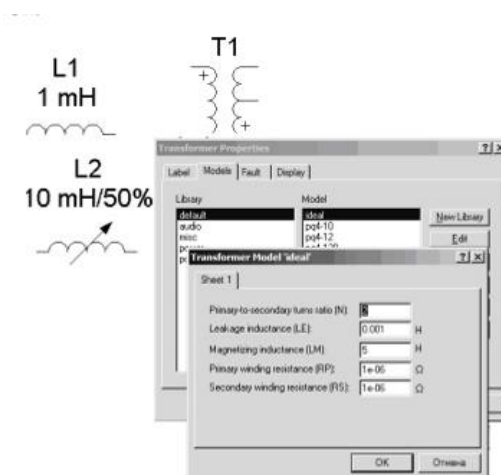
Аналогично резисторам конденсаторы также широко распространены в электронной технике. В EWB конденсаторы представлены тремя типами: постоянные (охватывают практически все конденсаторы), электролитические, подстроечные. Значение емкости для всех типов может быть установлено от 10–8 пФ до 108 Ф. Емкость подстроечного конденсатора может меняться нажатием клавиши < C > с заданным шагом (от 1 до 100 %). Диалоговое окно задания параметров конденсаторов приведено на рисунке.



Диалоговое окно задания параметров для подстроечного конденсатора

Индуктивные элементы

К индуктивным элементам относятся катушка индуктивности, подстраиваемая катушка индуктивности и трансформатор. Параметры катушек индуктивности и подстраиваемой индуктивности задаются с помощью диалоговых окон, аналогичных окнам для резисторов и конденсаторов (используется клавиша < L >). В диалоговом окне установки параметров линейных трансформаторов задаются (рис. П1.13): коэффициент трансформации N , индуктивность рассеивания LE , индуктивность первичной обмотки LM , сопротивление первичной (RP) и вторичной (RS) обмоток.



Диалоговое окно редактирования параметров трансформатора

Доступ к окну задания параметров трансформатора становится возможным после нажатия на кнопку Edit диалогового окна Transformer Properties. При $N > 1$ трансформатор является понижающим, в противном случае – повышающим.

Полупроводниковые диоды

Комбинация двух полупроводниковых слоев с разным типом проводимости обладает выпрямляющими свойствами: она гораздо лучше пропускает ток в одном направлении, чем в другом.

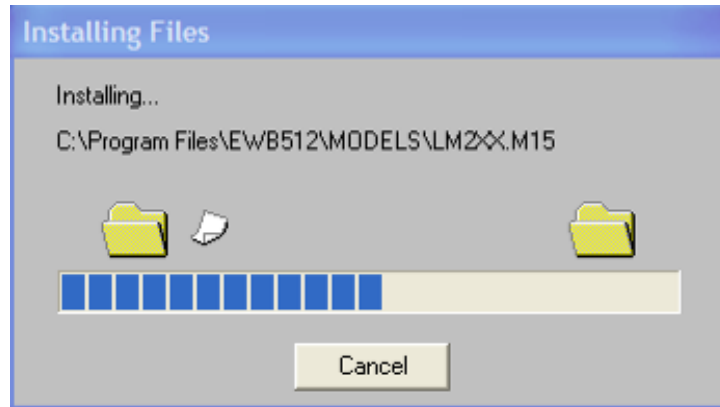
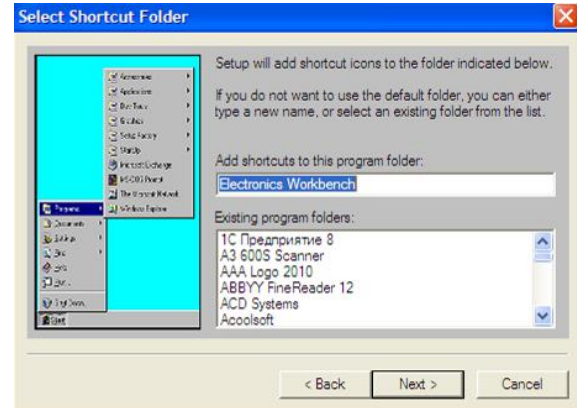
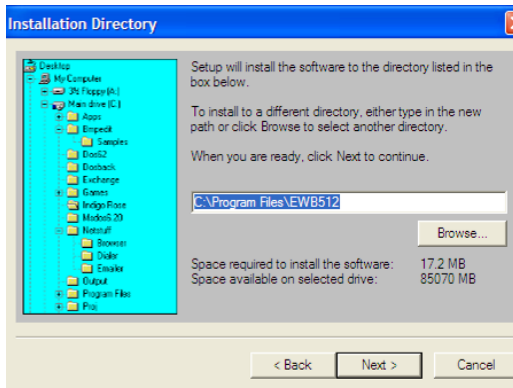
Задание

Установить программу Electronic Workbench.

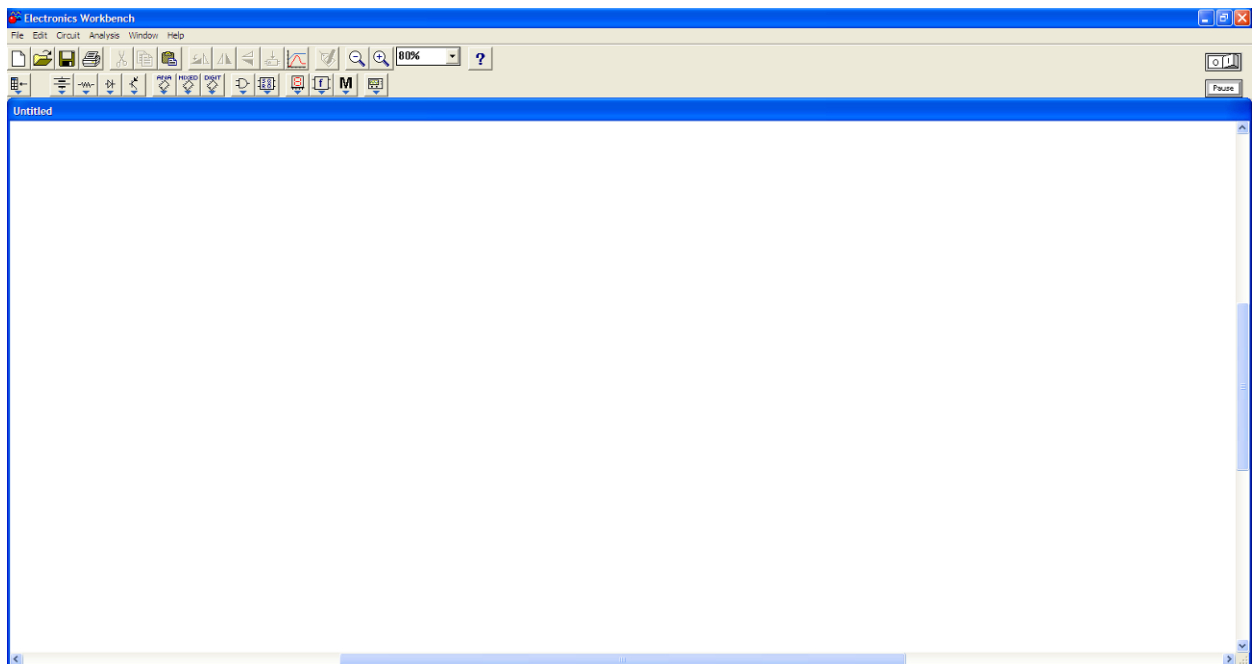
Изучить интерфейс моделирующей программы Electronic Workbench.

Выполнение работы

Установим программу и изучим ее интерфейс и функциональные возможности.



Процесс установки программы



Диалоговое окно

Контрольные вопросы

1. Для чего необходима программа Electronic Workbench
2. Расскажите, что входит в основной интерфейс программы

Задание на дом

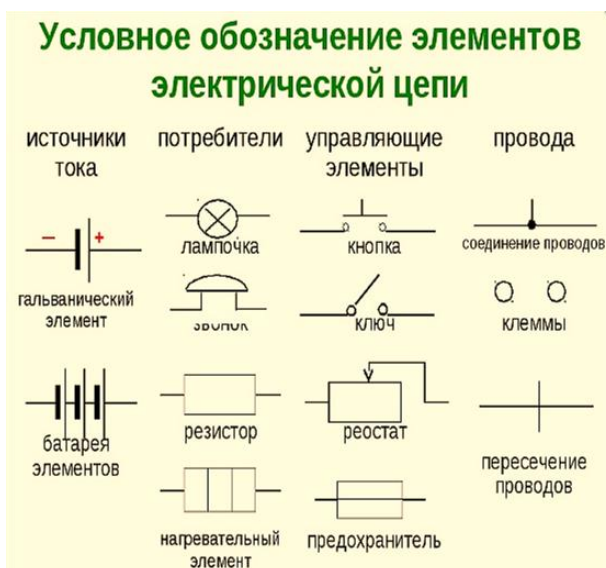
Выполнить отчет по практической работе.

Практическая работа № 4

Тема практической работы: «Моделирование электрических схем с помощью Electronics Workbench»

Цель практической работы: Построить электрическую цепь с помощью программы Electronic Workbench

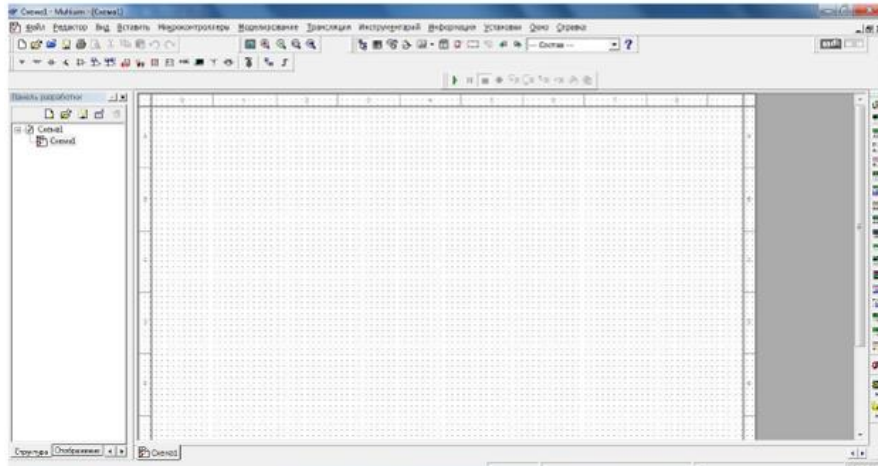
Теоретический материал



Задание

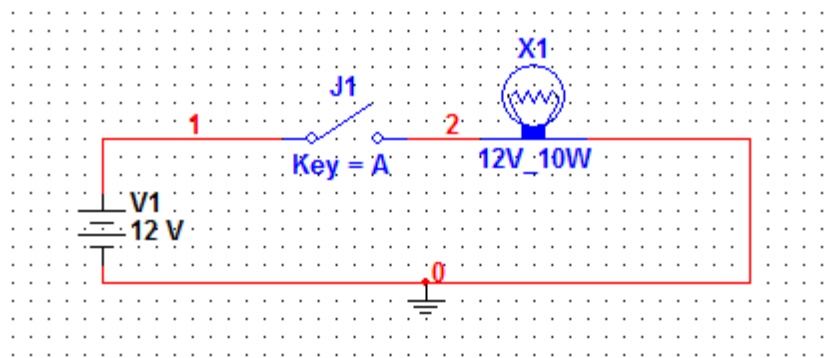
Построить электрическую цепь с помощью программы Electronic Workbench используя следующие элементы: источник постоянного тока, ключ, лампа накаливания.

Выполнение работы



Для исследования простейшей электрической цепи с помощью электронной системы моделирования необходимо:

1. Запустить программу Electronics Workbench.



Электрическая схема

2. На панели компонентов найдите условные обозначения источника постоянного тока, ключа, лампы накаливания и разместите их на рабочем поле программы.
3. С помощью мыши произведите соединение компонентов проводниками.
4. К минусовому проводу (можно и к плюсовому) источника тока подключите компонент «Заземление».
5. Включите питание схемы.
6. Замкните ключ и наблюдайте загорание лампы.

Контрольные вопросы

1. Из каких элементов состоит электрическая цепь?
2. Какую роль играет источник питания в электрической цепи?
3. Какую роль играет ключ?
4. Что случится, если поменять полярность источника тока?
5. Что случится, если увеличить напряжение источника тока?
6. Что случится, если заменить лампу накаливания на 5v? На 30v?

Задание на дом

Выполнить отчет по практической работе.

Практическая работа № 5

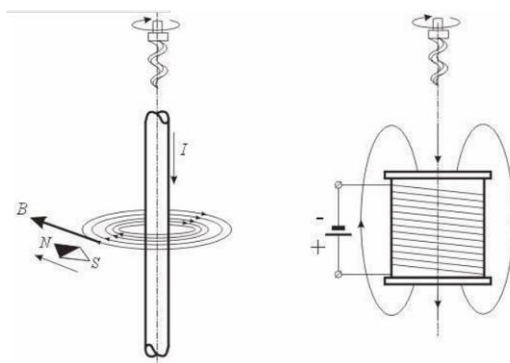
Тема практической работы: «Магнитные и нелинейные цепи»

Цель практической работы: Построить электрическую цепь с помощью программы Electronic Workbench

Теоретический материал

Магнитное поле и его параметры

Направление магнитных линий и направление создающего их тока связаны между собой известным правилом правого винта (буравчика).



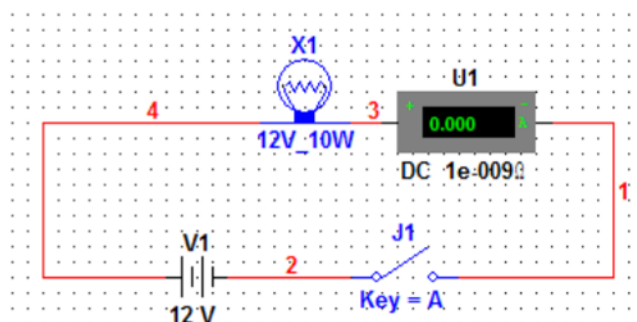
Магнитные цепи – часть электротехнического устройства, состоящая из источников, возбуждающих магнитное поле (постоянные магниты, катушки), и магнитопроводов, служащих для концентрации (сосредоточения) магнитного поля в определенной части пространства и придания ему желаемой конфигурации.

Задание

Запустить программу Electronics Workbench, построить электрическую схему используя компоненты: источник тока, ключ, лампу накаливания, амперметр. Записать показания амперметра.

Выполнение работы

1. Запустите программу Electronics Workbench.
2. На панели компонентов найдите условные обозначения источника тока, ключа, лампы накаливания, амперметра и разместите их на рабочем поле.
3. Произведите с помощью мыши соединение проводниками компонентов цепи.



4. Замкните ключ и наблюдайте за показанием амперметра.
5. Запишите показания амперметра в тетрадь.

Контрольные вопросы

1. Как подключается амперметр в электрическую цепь?
2. Какое значение силы тока зафиксировал амперметр?
3. Что случится, если амперметр включить в цепь параллельно?

Задание на дом

Выполнить отчет по практической работе.

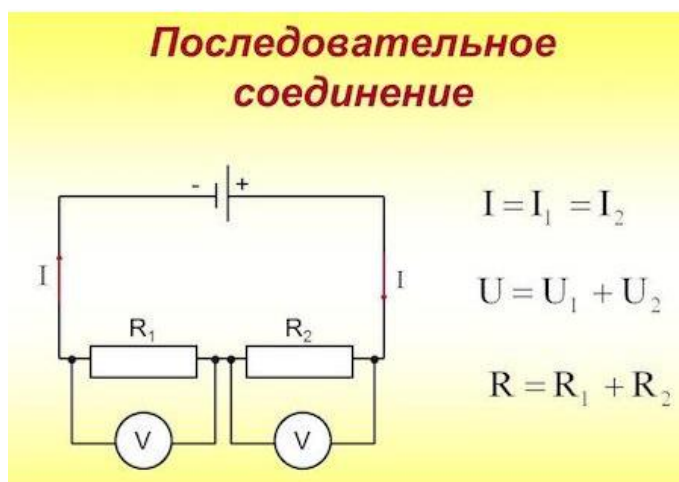
Практическая работа № 6

Тема практической работы: «Расчет цепи переменного тока с последовательным соединением элементов»

Цель практической работы: Построить электрическую цепь с помощью программы Electronic Workbench

Теоретический материал

Схемы электрических цепей Элементы электрических цепей могут соединяться в схемах различными способами. Для каждого из них существуют определенные закономерности, установленные и сформулированные учеными Омом и Кирхгофом. Соединение потребителей в электрических цепях может быть последовательным, параллельным и комбинированным.



Последовательное соединение. В этом случае с увеличением количества потребителей, происходит рост общего сопротивления цепи. Отсюда следует, что значение общего сопротивления будет состоять из суммы сопротивлений каждой подключенной нагрузки. Поскольку на всех участках цепи проходит одинаковый ток, в связи с этим на каждый элемент распределяется только часть общего напряжения. Если какой-либо прибор или устройство перестает работать, наступает разрыв цепи. То есть, при выходе из строя хотя бы одной лампочки, остальные тоже не будут работать, как это случается, например, в елочных гирляндах. Однако в последовательную цепь можно включить большое количество элементов, каждый из которых рассчитан на значительно меньшее сетевое напряжение. Параллельное соединение. В этом случае к двум точкам электрической цепи подключается сразу несколько потребителей. Напряжение на каждом участке будет равно напряжению, приложенному к каждой узловой точке.

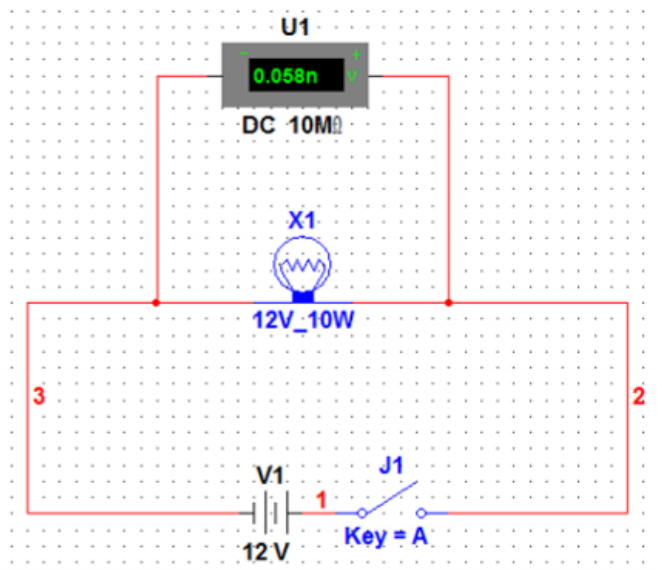
Задание

Запустить программу Electronics Workbench, построить последовательную электрическую схему используя компоненты: источник тока, ключ, лампу накаливания, вольтметр. Записать показания амперметра.

Выполнение работы

Запустите программу Electronics Workbench. На панели компонентов найдите условные обозначения источника тока, лампы накаливания, вольтметра, ключа, заземления и разместите их на рабочем поле программы.

Произведите соединение компонентов проводниками при помощи компьютерной мыши.



Включите питание схемы.

Замкните ключ и измерьте напряжение на лампочке накаливания.

Контрольные вопросы

1. Какое значение напряжения зафиксировал вольтметр?
2. Как подключается вольтметр в электрическую цепь?
3. Что случится, если вольтметр включить в цепь последовательно?

Задание на дом

Выполнить отчет по практической работе.

Практическая работа № 7

Тема практической работы: «Исследование полупроводниковых приборов»

Цель практической работы: Изучение свойств р-п – перехода, определяющих характеристики выпрямительного диода и стабилитрона

Теоретический материал

Полупроводниковыми приборами называются приборы, действие которых основано на использовании свойств полупроводниковых материалов.

На основе беспереходных полупроводников изготавливаются полупроводниковые резисторы:

Линейный резистор - удельное сопротивление мало зависит от напряжения и тока. Является «элементом» интегральных микросхемах.

Варистор - сопротивление зависит от приложенного напряжения.

Терморезистор - сопротивление зависит от температуры. Различают два типа: термистор (с увеличением температуры сопротивление падает) и позисторы (с увеличением температуры сопротивление возрастает).

Фоторезистор - сопротивление зависит от освещенности (излучения).

Тензорезистор - сопротивление зависит от механических деформаций.

Принцип работы большинства полупроводниковых приборов основывается на свойствах электронно-дырочного перехода р-п – перехода.

Полупроводниковые диоды

Это полупроводниковый прибор с одним р-п-переходом и двумя выводами, работа которого основана на свойствах р-п - перехода.

Основным свойством р-п – перехода является односторонняя проводимость – ток протекает только в одну сторону. Условно-графическое обозначение (УГО) диода имеет форму стрелки, которая и указывает направление протекания тока через прибор.

Конструктивно диод состоит из р-п-перехода, заключенного в корпус (за исключением микромодульных бескорпусных) и двух выводов: от р-области – анод, от п-области – катод.

Т.е. диод – это полупроводниковый прибор, пропускающий ток только в одном направлении – от анода к катоду.

Задание

С помощью средств программы EWB построить схемы для снятия вольтамперной характеристики диодов в соответствии с рисунками.

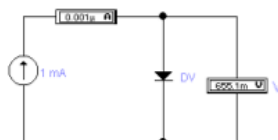


Схема для исследования прямой ветви ВАХ диода

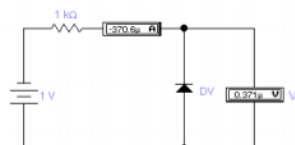


Схема для исследования обратной ветви ВАХ диода

Значение э.д.с. источника постоянного тока зависит от типа исследуемого диода. В большинстве случаев достаточно прикладывать к диоду в прямом направлении напряжение порядка 1В, а в обратном – 30-40 В.

Выполнение работы

Выбрать из библиотеки тип диода, задать реальные параметры. В таблице приведены основные параметры некоторых диодов, получивших широкое применение в электронной аппаратуре.

| Тип диода | Выпрямленный ток (среднее значение), А | Обратный ток, А | Максимальный обратный ток, mA | Постоянное прямое напряжение, В |
|-----------------|--|-----------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Д7А-Д7Ж | 1 - 3 | 0.1 | 50-400 | 0.5 |
| Д202-Д205 | 0.4 | 0.5 | 100-400 | 1.0 |
| Д226 Б,В,Г,Д | 0.300 | 0.1 | 400,300, 200,100 | 1.0 |

Основные параметры некоторых диодов

Нажать кнопку «Пуск» на экране дисплея. Снять вольт-амперные характеристики двух выпрямительных диодов по схемам прямым и обратным напряжением. Построить схему для снятия вольт-амперной характеристики диода с использованием осциллографа в соответствии с рисунком.

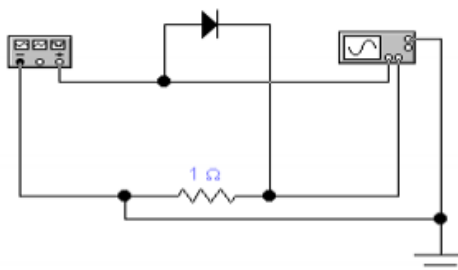


Схема для снятия вольт-амперной характеристики диода с помощью осциллографа. Во входной цепи подключить источник синусоидального напряжения с низкой частотой. Снять ВАХ диода с помощью осциллографа. Определить коэффициент выпрямления исследуемых диодов, для чего значения прямого тока и обратного при напряжении 0,1-0,5 В подставить в формулу:

$$K_{\epsilon} = \frac{I_{np}}{I_{обр}}$$

Контрольные вопросы

1. Какие физические процессы происходят в p-n переходе в отсутствие внешнего напряжения. Чему равен результирующий ток?
2. Чем обусловлены диффузионная и дрейфовая составляющие тока p-n перехода?
3. Что такое пробой p-n перехода?

Задание на дом

Выполнить отчет по практической работе.

Практическая работа № 8

Тема практической работы: «Работа с базовыми логическими элементами»

Цель практической работы: Научиться работать с базовыми логическими элементами

Теоретический материал

Electronics Workbench содержит полный набор логических элементов и позволяет задавать их основные характеристики, в том числе тип элемента: ТТЛ или КМОП. Число входов логических элементов схем можно установить в пределах от 2 до 8, но выход элемента может быть только один.



логическое НЕ

Элемент логическое НЕ или инвертор изменяет состояние входного сигнала на противоположное. Уровень логической 1 появляется на его выходе, когда на входе не 1, и наоборот. Таблица истинности:

Вход А Выход Y



логическое И

Элемент И реализует функцию логического умножения. Уровень логической 1 на его выходе появляется в случае, когда на один и на другой вход подается уровень логической единицы. Таблица истинности:

Вход А Вход В Выход Y



логическое ИЛИ

Элемент ИЛИ реализует функцию логического сложения. Уровень логической 1 на его выходе появляется в случае, когда на один или на другой вход подается уровень логической единицы. Таблица истинности

Вход А Вход В Выход Y



исключающее ИЛИ

Двоичное число на выходе элемента исключающее ИЛИ является младшим разрядом суммы двоичных чисел на его входах. Таблица истинности:

Вход А Вход В Выход Y



элемент И-НЕ

Элемент И-НЕ реализует функцию логического умножения с последующей инверсией результата. Он представляется моделью из последовательно включенных элементов И и НЕ. Таблица истинности элемента получается из таблицы истинности элемента И путем инверсии результата. Эквивалентная модель элемента: Таблица истинности:



Вход А Вход В Выход Y

элемент ИЛИ-НЕ

Элемент ИЛИ-НЕ реализует функцию логического сложения с последующей инверсией результата. Он представляется моделью из последовательно включенных элементов ИЛИ и НЕ. Его таблица истинности получается из таблицы истинности элемента ИЛИ путем инверсии результата. Таблица истинности:



Вход А Вход В Выход Y

исключающее ИЛИ-НЕ

Данный элемент реализует функцию "исключающее ИЛИ" с последующей инверсией результата. Он представляется моделью из двух последовательно соединенных элементов: исключающее ИЛИ и НЕ. Таблица истинности:

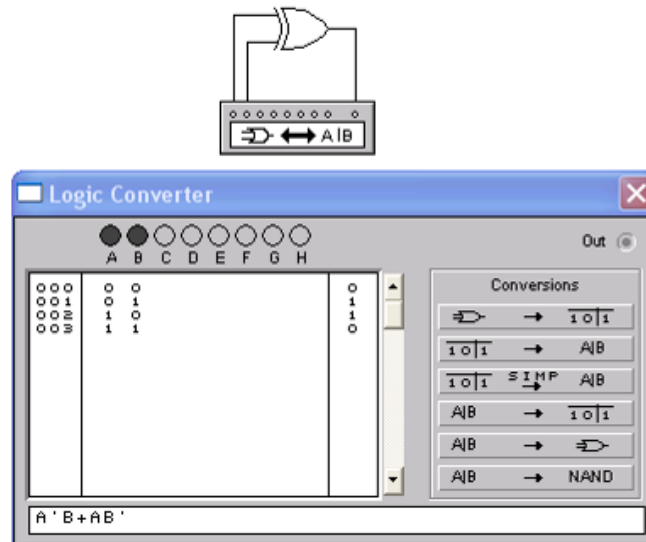
Вход А Вход В Выход Y

Задание

Собрать схему, состоящую из логического элемента Иключающее ИЛИ и аналитического преобразователя.

Выполнение работы

Собрать схему, состоящую из логического элемента Иключающее ИЛИ и аналитического преобразователя.



Двойным щелчком по схеме анализатора открыть диалоговое окно. Сгенерировать таблицу истинности, щелкнув по кнопке



Получить булево выражение, щелкнув по кнопке



Это выражение приводится на дополнительном дисплее, расположенном в нижней части лицевой панели, в виде двух слагаемых, соответствующих выходному сигналу ИСТИНА (сигнал логической единицы на выходе OUT). Сопоставление полученного выражения с таблицей истинности убеждает нас в том, что таких комбинаций действительно две, если учесть, что в полученном выражении приняты следующие обозначения: $A'=0$ — инверсия $A=1$, $B'=0$ — инверсия $B=1$, знак + соответствует логической операции ИЛИ.

Контрольные вопросы

1. Какие логические элементы используются в программе Electronics Workbench?

Задание на дом

Выполнить отчет по практической работе.

Практическая работа № 9

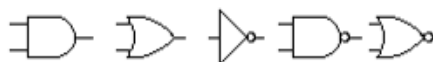
Тема практической работы: «Работа с виртуальным логическим конвертором в Electronics Workbench»

Цель практической работы: Изучение назначения и принцип работы виртуального устройства логического конвертора (преобразователя). Знакомство с базовыми функциями логического конвертора

Теоретический материал



Для построения логических схем в библиотеке Logic Gates (логические элементы) предусмотрено возможность выбора логических элементов. На рисунке перечень выбора возможных логических элементов.



На рисунке показаны обозначения, используемые в Electronics Workbench логических элементов: конъюнкции - И, дизъюнкции – или, отрицания –НЕ, 2 – И – НЕ, 2 –ИЛИ – НЕ.

В электронной лаборатории Electronics Workbench имеется виртуальное устройство. Логический конвертор (Logic Converter) позволяет осуществлять 6 логических преобразований для логической функции с числом переменных от 1 до 8: представление таблицы истинности собранной из логических элементов схемы; обращение таблицы истинности в логическую формулу (СДНФ); минимизацию СДНФ; обращение формулы в таблицу истинности; представление формулы в виде схемы в логическом базисе 2-И-НЕ. Логический конвертор выбирается из меню Instruments.



Задание

Привести описание технологии исследования логических схем с помощью логического конвертора (преобразователя). Собрать логическую схему.

Выполнение работы

Собираем логическую схему. Подключаем исследуемую логическую схему к логическому конвертору (входов 8, выход один – расположен справа). Открываем логический конвертор щелчком левой кнопкой мыши по иконке конвертора. На экране появляется меню Logic Converter.

Для получения таблицы истинности нажимаем

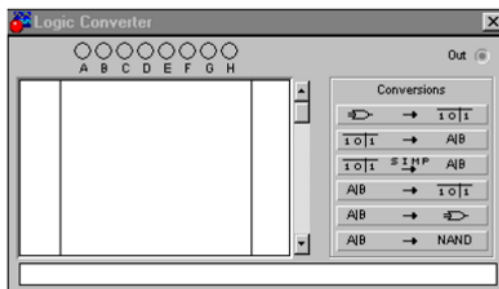


Для получения логической функции (структурной формулы) нажимаем



С помощью логического конвертора можно проводить не только анализ логических устройств, но их синтез.

Приведем описание технологии синтеза логического устройства по выходной комбинации с помощью логического конвертора (преобразователя).



Раскрываем лицевую панель логического конвертора.

Активизируем курсором клеммы-кнопки А, В, ..Н (начиная с F), количество которых равно количеству входов синтезируемого устройства (количеству логических переменных).

Вносим необходимые изменения в столбец OUT и после нажатия на клавиши на панели преобразователя получаем результат в виде схемы на рабочем поле программы и логическую функцию в дополнительном дисплее.

Контрольные вопросы

1. Объяснить назначение и принцип работы логического конвертора.

Задание на дом

Выполнить отчет по практической работе.

Практическая работа № 10

Тема практической работы: «Исследование принципов построения и работы комбинационных цифровых устройств микропроцессорных систем в Electronics Workbench»

Цель практической работы: Изучить исследование принципов построения и работы комбинационных цифровых устройств микропроцессорных систем в Electronics Workbench

Теоретический материал

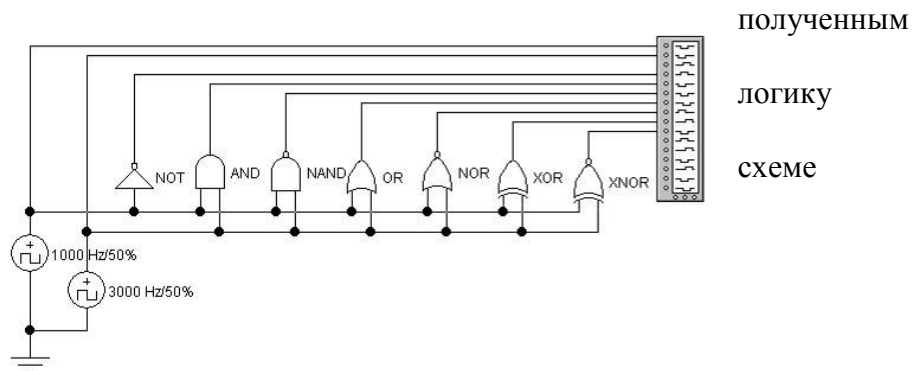
При разработке микропроцессорных систем учитываются два взаимосвязанных и взаимообусловленных фактора: конструирование аппаратной части системы (hardware), обеспечивающей физическую реализацию решения поставленной задачи, и определения системы команд (software), позволяющей составить программу действий и взаимодействий функциональных компонентов системы по решению задачи. Следовательно, для получения наиболее полного знания о микропроцессорной системе требуется освоение как ее аппаратной части, так и программной части. Следующие три работы в методической разработке посвящены изучению внутренней структуры отдельных составляющих блоков микропроцессорной системы (системы памяти, устройств ввода и микропроцессора) и принципов их функционирования. Выполнение этой группы лабораторных работ организовывается в виде виртуальных экспериментов, осуществляемых посредством моделирования исследуемых устройств и их функционирования в программной среде Electronics Workbench.

Задание

Исследовать работу логических элементов:

- собрать схему для совместного исследования трехвходовых логических элементов с помощью логического анализатора;

- по результатам проанализировать работы представленных в элементе.

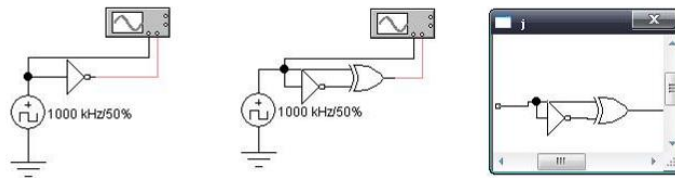


Выполнение работы

Создать блок формирования одиночных импульсов:

- пронаблюдать задержку сигнала на логическом элементе и измерить длительность этой задержки;

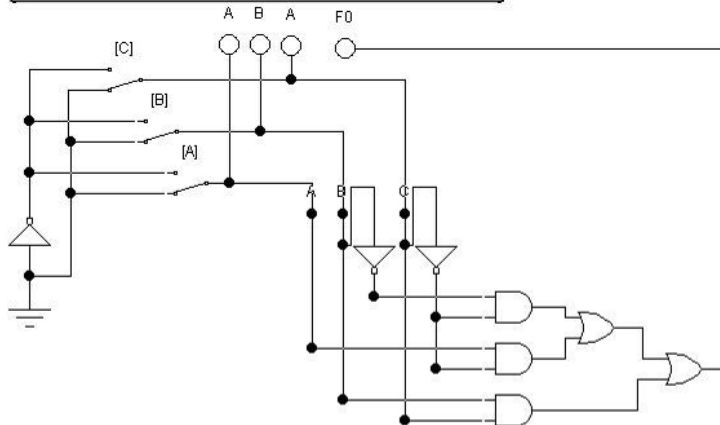
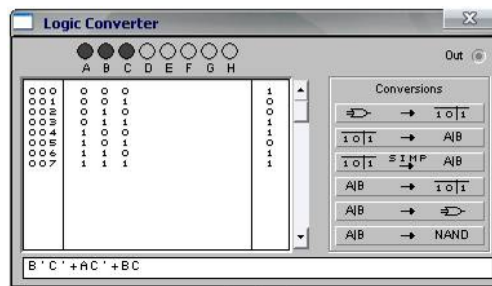
- собрать
формирования
импульса,
работу и
отдельного
дальнейшем
быть использован для формирования одиночного импульса от нажатия клавиши.



схему
одиночного
исследовать ее
оформить ее в виде
блока. В
этот блок может

| A | B | C | F0 | F1 | F2 | F3 | F4 |
|---|---|---|----|----|----|----|----|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |

Разработаем схему комбинационного устройства на основе логических элементов, реализующую таблично заданную функцию по предложенному преподавателем варианту.



В качестве иллюстрации представлена реализация схем по варианту F0, осуществленная с помощью логического преобразователя.

Контрольные вопросы

1. Объяснить назначение и принцип работы логического конвертора.

Задание на дом

Выполнить отчет по практической работе.

Список рекомендованной литературы

Основные источники:

1. Лунин, В. П. Электротехника и электроника в 3 т. Том 1. Электрические и магнитные цепи : учебник и практикум для среднего профессионального образования / Э. В. Кузнецов ; под общей редакцией В. П. Лунина. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Юрайт, 2020. — 255 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-03752-4. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/453929>.
2. Основы электротехники, микроэлектроники и управления в 2 т. Том 1 : учебное пособие для среднего профессионального образования / Ю. А. Комиссаров, Л. С. Гордеев, Г. И. Бабокин, Д. П. Вент. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Юрайт, 2020. — 455 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-05435-4. — Текст: электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/454501>.
3. Основы электротехники, микроэлектроники и управления в 2 т. Том 2 : учебное пособие для среднего профессионального образования / Ю. А. Комиссаров, Л. С. Гордеев, Г. И. Бабокин, Д. П. Вент. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Юрайт, 2020. — 313 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-05436-1. — Текст: электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/454502>.
4. Основы электротехники, микроэлектроники и управления в 2 т. Том 2 : учебное пособие для среднего профессионального образования / Ю. А. Комиссаров, Л. С. Гордеев, Г. И. Бабокин, Д. П. Вент. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Юрайт, 2020. — 313 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-05436-1. — Текст: электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/454502>.
5. Электротехника и электроника в 3 т. Том 2. Электромагнитные устройства и электрические машины: учебник и практикум для среднего профессионального образования / В. И. Киселев, Э. В. Кузнецов, А. И. Копылов, В. П. Лунин; под общей редакцией В. П. Лунина. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Юрайт, 2020. — 184 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-03754-8. — Текст: электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/453930>.
6. Электротехника и электроника в 3 т. Том 3. Основы электроники и электрические измерения: учебник и практикум для среднего профессионального образования / Э. В. Кузнецов, Е. А. Куликова, П. С. Культиасов, В. П. Лунин; под общей редакцией В. П. Лунина. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Юрайт, 2020. — 234 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-03756-2. — Текст: электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/453882>.

Дополнительные источники:

1. Кузовкин, В. А. Электротехника и электроника: учебник для среднего профессионального образования / В. А. Кузовкин, В. В. Филатов. — М.: Юрайт, 2020. — 431 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-07727-8. — Текст: электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/451224>.
2. Миленина, С. А. Электротехника, электроника и схемотехника: учебник и практикум для среднего профессионального образования / С. А. Миленина, Н. К. Миленин ; под редакцией Н. К. Миленина. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Юрайт, 2020. — 406 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-04676-2. — Текст: электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/450858>.

3. Миловзоров, О. В. Основы электроники: учебник для среднего профессионального образования / О. В. Миловзоров, И. Г. Панков. — 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Юрайт, 2020. — 344 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-03249-9. — Текст: электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/450911>.

4. Потапов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Сборник задач: учебное пособие для среднего профессионального образования / Л. А. Потапов. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Юрайт, 2020. — 245 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-09581-4. — Текст: электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/456229>.

Интернет-ресурсы

1. Основы Электротехники и Электроники: <http://eleczon.ru/ucheba/osnovi.html>
2. Теоретические основы электротехники и электроники: <http://bourabai.ru/toe/>
3. Электроника, Электротехника учебники: <http://smps.h18.ru/textbook.html>
4. Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов - ФЦИОР: www.fcior.edu.ru
5. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов: www.school-collection.edu.ru