

# Лабораторная работа № 1

## Элементы электрических цепей

*Цель работы:* исследование активного и пассивного двухполюсника и их эквивалентные преобразования. Изучение режимов работы источника напряжения. Изучение  $RLC$  - элементов в электрических цепях при воздействии источников постоянного тока.

*Продолжительность работы:* 4 ч.

*Программное обеспечение:* Multisim NI.

## Оглавление

1. Порядок выполнения лабораторной работы.....	3
2. Теоретическая часть.....	4
2.1 Источники электрической энергии в электрических цепях.....	4
2.2 Активные и пассивные двухполюсники .....	4
2.3 Теорема Тевенина - Гельмгольца .....	4
2.4 Теорема Нортонa.....	4
2.5 Эквивалентные преобразования источников .....	5
2.6 Режимы работы источников в цепях постоянного тока.....	5
3. Расчётная часть и моделирование .....	8
4. Ключевые слова.....	11

## **1. Порядок выполнения лабораторной работы**

Перед началом выполнения лабораторной работы каждому студенту необходимо получить допуск у преподавателя. Для получения допуска необходимо ответить на все вопросы преподавателя по темам, освещённым на лекциях и практических занятиях, а также в разделе «Теоретическая часть».

Студент, получивший допуск может приступить к разделу «Расчётная часть и моделирование». В лабораторной работе предусмотрены индивидуальные варианты схем, а также их параметры. Для получения номера варианта необходимо обратиться к преподавателю.

После выполнения моделирования и выполнения расчётов, необходимо предоставить отчёт о выполнении лабораторной работы преподавателю. Отчёт должен быть выполнен в тетради и содержать следующие пункты:

1. Цель работы;
2. Схему и её параметры из индивидуального задания;
3. Эквивалентные схемы, графики, расчёты, таблицы;
4. Вывод.

## 2. Теоретическая часть

### 2.1 Источники электрической энергии в электрических цепях

Элементы электрических цепей в отчете необходимо изображать в соответствии ГОСТ 2.750-68 и ГОСТ 2.751-73 (рис.5), а в программном приложении Multisim эти элементы изображены с использованием стандарта ISO.

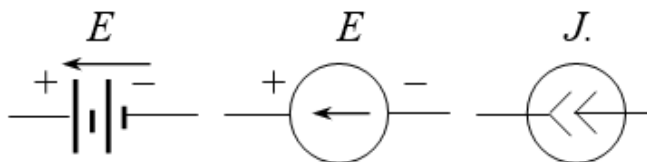


Рис.2.1 – Условные графические обозначения в соответствии с ГОСТ2.750 – 68, ГОСТ 2.751 – 73



Рис.2.2 – Условные графические обозначения по ISO (Multisim)

### 2.2 Активные и пассивные двухполюсники

*Активный* двухполюсник содержит источники, резисторы, индуктивности и конденсаторы, а *пассивный* – только резисторы, индуктивности и конденсаторы. *Двухполюсник* – это часть электрической цепи, имеющий два свободных вывода. С помощью этих выводов один двухполюсник может быть соединен с любым другим двухполюсником.

### 2.3 Теорема Тевенина - Гельмгольца

*Теорема Тевенина - Гельмгольца* об эквивалентном источнике напряжения. Активный двухполюсник (сложную электрическую схему) можно заменить эквивалентным источником напряжения и последовательно включенным сопротивлением. Напряжению холостого хода равна ЭДС на этих выводах, а внутреннее сопротивление равно эквивалентному сопротивлению двухполюсника.

### 2.4 Теорема Нортона

*Теорема Нортона* об эквивалентном источнике тока. Активный двухполюсник можно заменить эквивалентным источником тока с параллельно включенным

сопротивлением. Источник тока равен току короткого замыкания на этих выводах, а внутреннее сопротивление равно эквивалентному сопротивлению двухполюсника относительно этих выводов.

## 2.5 Эквивалентные преобразования источников

Если известна ЭДС и внутреннее сопротивление реального источника напряжения, тогда его можно заменить реальным источником тока, который равен:  $J = E/r_0$ . Внутреннее сопротивление сохраняет свое значение и включают его параллельно источнику тока. Реальный источник тока с параллельно включенным сопротивлением также можно заменить источником напряжения с последовательно включенным таким же сопротивлением. При этом ЭДС источника напряжения равна:  $E = J \cdot r_0$ .

*Примечание.* Идеальный источник напряжения, имеющий внутреннее сопротивление равное нулю, нельзя преобразовать в идеальный источник тока, внутреннее сопротивление которого равно бесконечности. Идеальный источник тока также нельзя преобразовать в идеальный источник напряжения.

## 2.6 Режимы работы источников в цепях постоянного тока

Электрическая схема, изображенная на Рис.3(а), состоит из реального источника напряжения и резистора с сопротивлением  $R$ . Величину электрического тока можно регулировать от нуля в режиме холостого хода, когда ключ разомкнут, до тока короткого замыкания (ключ замкнут, а ползун резистора находится в крайнем верхнем положении).

Реальный источник напряжения имеет ЭДС и внутреннее сопротивление  $R_0$ .

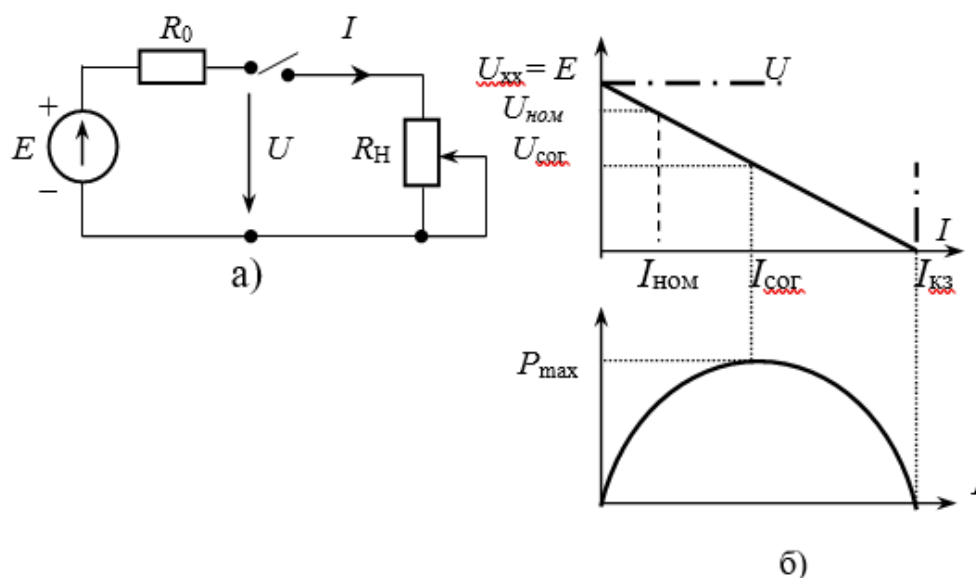


Рис.2.3 – Схема для исследования реального источника (а) и графики (б): вольт-амперная характеристика и зависимость мощности от тока

График напряжения идеального источника напряжения в режиме холостого хода является прямой горизонтальной линией, а график идеального источника тока в данном режиме равен току короткого замыкания и направлен вертикально.

Характерные точки работы реального источника:

- режим холостого хода:  $U_{xx} = E$ ;  $I=0$ ;
- номинальный режим:  $U_{ном}=(0.8 - 0.9) \cdot E$ ;
- согласованный режим:  $U_{сог} = E/2$ ;  $I_{сог}= I_{кз} /2$ ;  $P_{max}$ ;  $\eta =50\%$ ;
- режим короткого замыкания:  $U = 0$ ,  $I_{кз.} = E/R_0$ .

Линейное уравнение вольт – амперной характеристики (ВАХ):

$$E = U + I \cdot R_0;$$

Условие *номинального режима* работы источника напряжения – это когда коэффициент полезного действия источника (КПД) находится в пределах 80 - 90%. КПД источника напряжения определяют как отношение мощности, переданной потребителю, к мощности, вырабатываемой источником:

$$\eta = \frac{P_{номр}}{P_{ист}} \cdot 100\% = \frac{U \cdot I}{E \cdot I} \cdot 100\% ,$$

где  $P_{номр.} = U \cdot I$  – мощность, отдаваемая источником потребителю;

$P_{ист} = E \cdot I$  – мощность, вырабатываемая источником.

Основной признак наличия *согласованного режима* в электрической цепи заключается в том, что источник отдает потребителю максимальную мощность, а в это время сопротивление нагрузки равно внутреннему сопротивлению источника  $R_{нагр} = R_0$ .

Мощность, отдаваемая источником потребителю при согласованном режиме, определяется по формуле

$$P = U \cdot I = E \cdot I - I^2 R_0$$

Взяв производную и приравняв к нулю, можно получить экстремальное значение, при котором возникает максимальная мощность согласованного режима:

$$\frac{dP}{dI} = E - 2I \cdot R_0 = 0 .$$

Электрический ток согласованного режима равен:

$$I_{сог} = \frac{E}{2r_0} = \frac{I_{кз}}{2} .$$

Максимальную мощность при согласованном режиме рассчитывается по формуле:

$$P_{\max} = \frac{E^2}{2R_0} - \frac{E^2 R_0}{4R_0^2} = \frac{E^2}{4R_0}.$$

У идеального источника напряжения внутреннее сопротивление  $R_0$  равно нулю, а график ВАХ становится горизонтальной линией. Идеальный источник тока равен току короткого замыкания  $J = I_{\text{кз}}$ , а график ВАХ становится вертикальной линией, исходящей из точки короткого замыкания.

### 3. Расчётная часть и моделирование

#### 3.1 Исследование электрической схемы активного двухполюсника:

- 1) Собрать электрическую схему активного двухполюсника на рабочем поле Multisim. Вариант схемы приведены на рисунке 3.1, а параметры схемы – в таблице 3.1;
- 2) Измерить напряжение холостого хода  $U_{xx}$  на выходе активного двухполюсника. Рассчитать мощность. Результат зафиксировать в таблице в рабочей тетради (форма приведена в таблице 3.2);
- 3) Измерить ток короткого замыкания  $I_{kз}$  (замкнуть выход активного двухполюсника проводником). Рассчитать мощность. Результат зафиксировать в таблице в рабочей тетради;
- 4) Рассчитать внутреннее сопротивление активного двухполюсника по формуле  $R_0 = U_{xx}/I_{kз}$ ;
- 5) Подключить резистор  $R$  (по варианту из таблицы 3.1) к выходу активного двухполюсника и измерить ток и напряжение на нем, результат зафиксировать в тетради;
- 6) Активный двухполюсник заменить эквивалентной ЭДС, с последовательно включенным эквивалентным сопротивлением (теорема Тевенина – Гельмгольца), а затем последовательно подключить сопротивление  $R$  и измерить ток и напряжение на нем, результат зафиксировать в тетради;
- 7) Активный двухполюсник заменить эквивалентным источником тока с параллельно включенным эквивалентным сопротивлением (теорема Нортон), а затем подключить сопротивление  $R$  и измерить ток и напряжение на нём, результат зафиксировать в тетради.

#### 3.2 Исследование режимов работы активного двухполюсника:

- 1) К выходу активного двухполюсника из задания 3.1 подключить резистор  $R$ , равный по номиналу внутреннему сопротивлению  $R_0$ . Измерить электрический ток и напряжение на резисторе  $R$ . Рассчитать мощность. Результаты измерений и расчётов занести таблицу в рабочей тетради;
- 2) Получить дополнительные значения токов равные  $I = 0.5 \cdot I_{сог.}$  и  $I = 1.5 \cdot I_{сог.}$ , изменяя сопротивление нагрузки  $R$ . Заполнить таблицу для данных режимов работы;
- 3) Подобрать показание вольтметра равным  $U_{ном} = 0.9 \cdot U_{xx}$ , изменяя сопротивление нагрузки  $R$ . Заполнить таблицу для данного режима работы;



- 4) Заполнить таблицу;
- 5) Построить графики друг под другом:
  - вольт-амперной характеристики (ВАХ);
  - зависимости мощности  $P$  от тока  $I$ ;
  - зависимости мощности  $P$  от нагрузочного резистора.

### 3.3 Исследование поведения резистора, конденсатора и катушки индуктивности в цепи постоянного тока.

- 1) Собрать электрическую схему приведенную на рисунке 3.2 ( $E = 12$  В;  $R = 20$  Ом;  $L = 10$  мГн;  $C = 10$  мкФ) на рабочем поле Multisim, а также перерисовать схему в тетрадь;
- 2) Измерить токи ( $I_R$ ,  $I_C$ ,  $I_L$ ) и напряжения ( $U_R$ ,  $U_C$ ,  $U_L$ ) на всех элементах, занести в тетрадь и объяснить результаты.

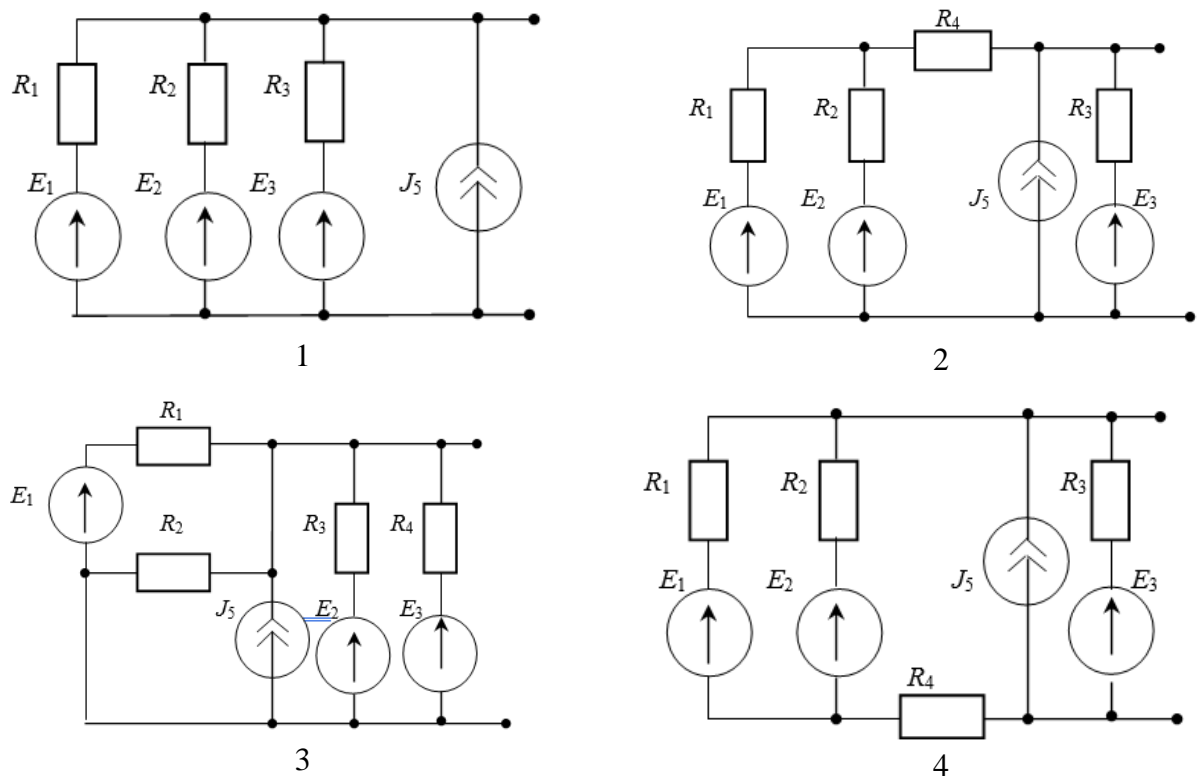


Рис.3.1 – Варианты схем

Таблица 3.1 – Параметры схемы

№Вар	Вариант схемы	$E_1$ , В	$E_2$ , В	$E_3, E_4$ В	$J, A$	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$R_3$ , Ом	$R_4$ , Ом	$R$ , Ом
1	1	10	20	10	1	10	10	10	-	10
2	2	15	30	15	2	10	10	10	8	20
3	3	20	20	10	0.5	20	20	10	5	20
4	4	10	20	20	2	12	24	6	6	12
5	1	20	30	20	2.5	20	20	20	10	10
6	2	20	40	20	4	20	20	12	12	12
7	3	10	30	10	1	10	10	10	2	10
8	4	10	20	10	0.5	20	20	5	10	20
9	1	20	20	-	2	10	5	10	5	10
10	2	20	10	20	1	10	10	10	-	15
11	3	20	10	20	1	10	10	10	-	15
12	4	30	15	30	2	10	10	10	5	20
13	1	30	30	20	1	20	20	10	5	20
14	2	20	10	10	2	12	24	6	6	12
15	3	30	20	30	2.6	20	20	20	10	10
16	4	40	20	40	4	20	20	10	10	10
17	1	30	10	30	1	10	10	10	2	10
18	2	20	10	20	0.5	20	20	5	10	20
19	3	30	15	30	2	10	10	10	5	20
20	4	30	30	20	1	20	20	10	5	20
21	1	10	20	20	2	12	24	6	6	12
22	2	20	10	20	1	10	10	10	-	15
23	3	20	10	20	0.5	20	20	5	10	20
24	4	30	30	20	1	20	20	10	5	20

Таблица 3.2 – Шаблон таблицы для оформления отчёта

Параметр	Показания приборов						
	$U_{xx}$	$U_{ном}$	$0.5 \cdot I_{сог}$	$P < P_{max}$	$P_{max}$	$P < P_{max}$	$1.5 I_{сог}$
Напряжение, $U$							
Ток, $I$							
Мощность, $P$							
Сопротивление, $R$							

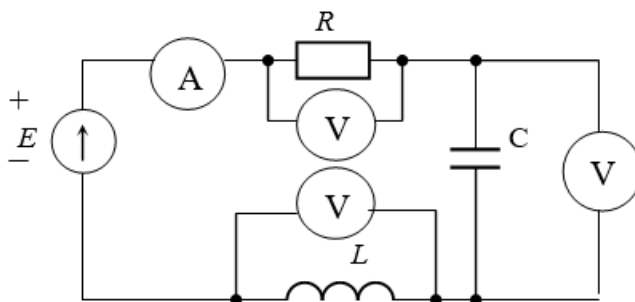


Рис.3.2 – Схема с RLC-элементами в цепи постоянного тока

## **4. Ключевые слова**

- 1.Идеальный источник*
- 2.Реальный источник*
- 3.Двухполюсник*
- 4.Активный двухполюсник*
- 5.Пассивный двухполюсник*
- 6.Вольт-амперная характеристика (ВАХ)*
- 7.Теорема Тевенина – Гельмгольца*
- 8.Теорема Нортонa*
- 9.Эквивалентные преобразования источников*
- 10.Режим холостого хода*
- 11.Номинальный режим*
- 12.Согласованный режим*
- 13.Режим короткого замыкания*
- 14.Конденсатор в цепи постоянного тока*
- 15.Катушка индуктивности в цепи постоянного тока*