

**Теория электрических цепей**

**Лабораторная работа №5**

**АКТИВНЫЙ ДВУХПОЛЮСНИК В ЦЕПИ  
ПОСТОЯННОГО ТОКА**

**2011**

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование сложной электрической цепи постоянного тока с использованием метода эквивалентного генератора.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ И РАСЧЁТНЫЕ ФОРМУЛЫ

### 1. ФОРМИРОВАНИЕ РАСЧЁТНОЙ СХЕМЫ ЦЕПИ

Метод эквивалентного генератора основан на **теореме Тевенина** об эквивалентном генераторе – *активном двухполюснике*, которая гласит:

Любую сложную линейную электрическую цепь с произвольным числом источников тока и источников напряжения (рис. 5.1, а) можно заменить простой схемой (рис. 5.1, б), состоящей из эквивалентного генератора (ЭГ) с ЭДС  $E_{ЭГ}$  и последовательно соединенного с ним внутреннего сопротивления  $R_{ЭГ}$ ; при этом обе схемы оказываются идентичными по отношению к выходным зажимам 1 и 0, к которым подключена нагрузка  $R_6$ .

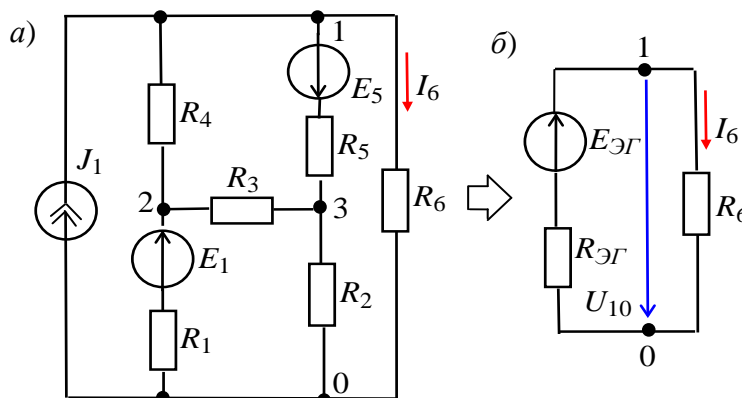


Рис. 5.1

Тогда ток  $I_6$  и напряжение  $U_{10} = U_6$  на зажимах 1 и 0 нагрузки (см. рис. 5.1, б) равны:

$$\begin{aligned} I_6 &= E_{ЭГ} / (R_{ЭГ} + R_6); \\ U_{10} = U_6 &= R_6 I_6 = E_{ЭГ} - R_{ЭГ} I_6. \end{aligned} \quad (5.1)$$

Второе выражение соответствует уравнению внешней характеристики источника напряжения (ИН), параметры которого ( $E_{ЭГ}$  и  $R_{ЭГ}$ ) можно определить из двух режимов его работы:

– режима холостого хода (ХХ) ( $I_6 = 0$ , шестая ветвь разомкнута)

$$E_{ЭГ} = U_{10Х}, \quad (5.2)$$

т. е. ЭДС эквивалентного генератора равна напряжению холостого хода на зажимах нагрузки, т. е.  $U_{10Х} = U_{6Х}$ ;

– режима короткого замыкания (КЗ) ( $U_{10} = 0$ ,  $I_6 = I_{6К}$ )

$$R_{ЭГ} = E_{ЭГ} / I_{6К}, \quad (5.3)$$

где  $I_{6К}$  – ток короткого замыкания (шестой) ветви.

Таким образом, для определения тока (в данном примере в шестой ветви) по первой формуле (5.1) достаточно провести два опыта на натурном стенде: опыт ХХ (разомкнуть шестую ветвь и измерить напряжение  $U_{6X} = E_{ЭГ}$ ) и опыт КЗ (замкнуть накоротко резистор  $R_6$ , включить в разрыв шестой ветви амперметр и измерить ток  $I_{6K}$ ) и вычислить внутреннее сопротивление эквивалентного генератора  $R_{ЭГ} = E_{ЭГ}/I_{6K}$ .

## 2. ПРИМЕР РАСЧЁТА СХЕМЫ ЦЕПИ

При теоретических расчётах параметров эквивалентного генератора  $E_{ЭГ}$  и  $R_{ЭГ}$  выбирают метод расчёта схемы с минимально необходимым числом уравнений для нахождения напряжения  $U_{10X} = E_{ЭГ}$ . Так, для схемы рис. 5.1, в которой источник тока  $J$  заменён двумя источниками напряжения с параметрами  $E_4 = R_4J$  и  $E'_1 = R_1J$  (рис. 5.2, а), при разомкнутой шестой ветви напряжение

$$U_{10X} = -E_5 + R_5I_{5X} - R_2I_{2X}.$$

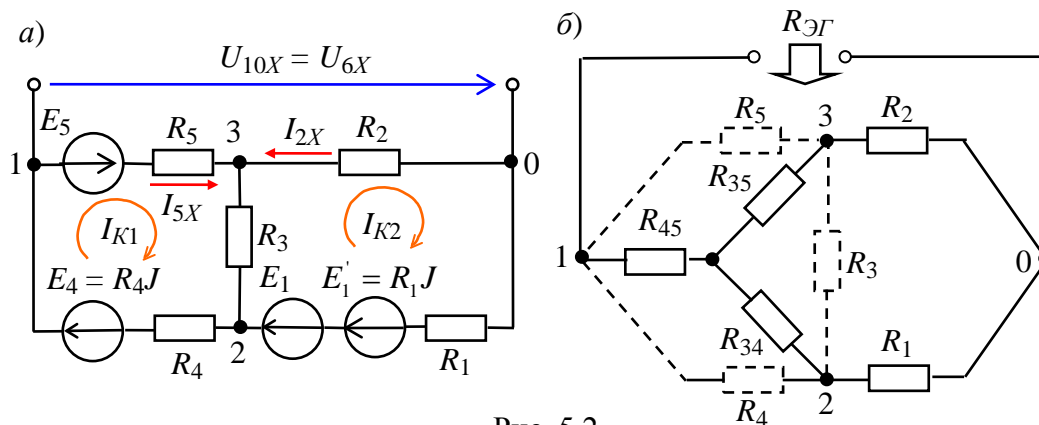


Рис. 5.2

Токи  $I_{5X}$  и  $I_{2X}$  определим методом контурных токов (см. рис. 5.2, а):

$$I_{5X} = I_{K1}; I_{2X} = -I_{K2};$$

$$(R_3 + R_4 + R_5) I_{K1} - R_3 I_{K2} = E_4 + E_5; \quad 12I_{K1} - 3I_{K2} = 28;$$

$$-R_3 I_{K1} + (R_1 + R_2 + R_3) I_{K2} = E_1 + E'_1; \quad -3I_{K1} + 6I_{K2} = 12$$

(принято:  $R_1 = 1$  Ом;  $R_2 = 2$  Ом;  $R_3 = 3$  Ом;  $R_4 = 4$  Ом;  $R_5 = 5$  Ом;

$$R_6 = 6$$
 Ом;  $J = 2$  А;  $E_1 = 10$  В;  $E_5 = 20$  В);

$$I_{K1} = \frac{\begin{vmatrix} 28 & -3 \\ 12 & 6 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 12 & -3 \\ -3 & 6 \end{vmatrix}} = \frac{168 + 36}{72 - 9} = \frac{204}{63} = 3,24 \text{ А}; I_{K2} = \frac{\begin{vmatrix} 12 & 28 \\ -3 & 12 \end{vmatrix}}{63} = \frac{144 + 84}{63} = 3,62 \text{ А}.$$

Тогда  $I_{5X} = 3,24$  А;  $I_2 = -3,62$  А;  $U_{10X} = -20 + 5 \cdot 3,24 + 2 \cdot 3,62 = 3,44$  В.

Для определения сопротивления  $R_{ЭГ}$  вычертим схему без источников энергии (рис. 5.2, б) и определим входное сопротивление по отношению к за-

жимам 1 и 0, предварительно заменив треугольник сопротивлений  $R_5 - R_4 - R_3$  эквивалентной звездой  $R_{34} - R_{45} - R_{35}$ , сопротивления лучей которой равны:

$$R_{34} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4 + R_5} = \frac{12}{12} = 1 \text{ Ом}; ; R_{45} = \frac{R_4 R_5}{R_3 + R_4 + R_5} = \frac{20}{12} = 1,67 \text{ Ом}; ;$$

$$R_{35} = \frac{R_3 R_5}{R_3 + R_4 + R_5} = \frac{15}{12} = 1,25 \text{ Ом}.$$

Тогда внутреннее сопротивление эквивалентного генератора:

$$R_{ЭГ} = R_{45} + \frac{(R_{35} + R_2)(R_{34} + R_1)}{R_{35} + R_2 + R_{34} + R_1} = \frac{5}{3} + \frac{(1,25 + 2)(1 + 1)}{1,25 + 2 + 1 + 1} \approx 2,9 \text{ Ом}.$$

Ток в шестой ветви (см. (5.1))

$$I_6 = E_{ЭГ} / (R_{ЭГ} + R_6) = 3,44 / (2,86 + 6) = 0,388 \text{ А}.$$

## УЧЕБНЫЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

**Задание 1.** Рассчитать ток в заданной ветви схемы цепи методом эквивалентного генератора. С этой целью **вычертить** схему рис. 5.1 с заданными параметрами и расчётные схемы, подобные рис. 5.2, но относительно заданной ветви, и определить в ней ток  $I_{kp}$ . **Занести** расчётные значения величин  $E_{ЭГ}$ ,  $R_{ЭГ}$  и  $I_{kp}$  в поля табл. 5.1.


Т а б л и ц а 5.1

Номер варианта	Ветвь	Ток $I_k$ в заданной ветви							
		Рассчитано			Измерено и определено				
		$E_{ЭГ}$ , В	$R_{ЭГ}$ , Ом	$I_{kp}$ , А	$I_{кЭ}$ , А	$U_{кХ}$ , В	$I_k$ , А	$R_{ЭГ}$ , Ом	$I_{кЭГ}$ , А
1, 7, 13, 19, 25, 31, 37	1								
2, 8, 14, 20, 26, 32, 38	2								
3, 9, 15, 21, 27, 33, 39	3								
4, 10, 16, 22, 28, 34, 40	4								
5, 11, 17, 23, 29, 35, 41	5								
6, 12, 18, 24, 30, 36, 42	6								

**Задание 2.** Собрать схему цепи на рабочем поле среды MS11, и установить параметры элементов:

$J = 2 \text{ А}$ ,  $E_1 = 10 \text{ Ом}$ ,  $E_5 = \text{int}(\sqrt{N} + 10) \text{ В}$ ,  $R_1 = \text{int}(\sqrt{N} + 1) \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 3 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 4 \text{ Ом}$ ,  $R_5 = 5 \text{ Ом}$ ,  $R_6 = 6 \text{ Ом}$ , где  $N$  – номер записи фамилии

студента в учебном журнале группы, режим **DC** работы измерительных приборов, внутренние сопротивления  $R_A = 1 \text{ нОм}$  и  $R_V = 10 \text{ МОм}$  амперметров и вольтметров. При этом **выбрать** полярность включения амперметров и вольтметров, совпадающей с принятыми при расчёте схемы направлениями токов ветвей.

**Запустить** программу MS11 (щелкнуть мышью на цифре 1 кнопки ) и занести в табл. 5.1 значение тока  $I_{kЭ}$  заданной ветви схемы, кото-

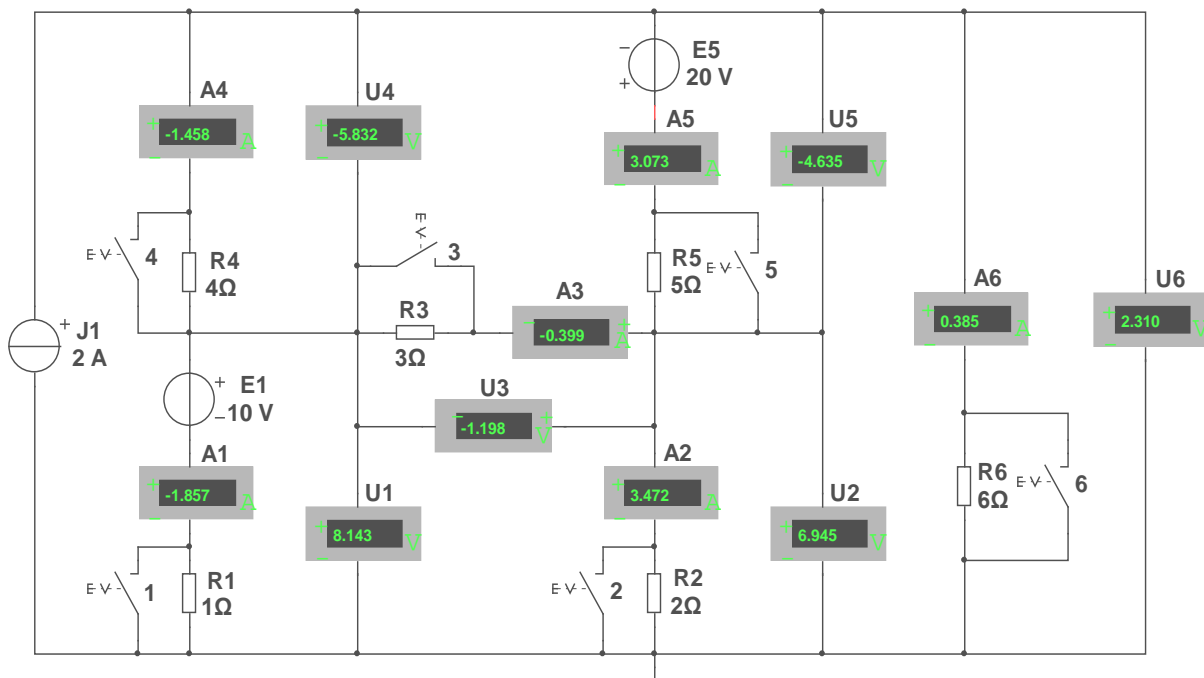


Рис. 5.3

рое не должно отличаться от расчётного значения  $I_{kp}$  более, чем на 3...4 %. **Скопировать** смоделированную схему на страницу отчёта.

Согласно варианту (см. табл. 5.1) **убрать** один из проводников, соединяющий амперметр заданной ветви с соответствующим узлом схемы. **Запустить** программу моделирования и **занести** показание вольтметра ( $U_{kX} = E_{ЭГ}$ ) в табл. 5.1.

**Восстановить** схему (подключить амперметр к узлу схемы), а резистор этой ветви посредством соответствующего ключа **замкнуть накоротко**. **Запустить** программу. Показание амперметра  $I_K$  занести в табл. 5.1.

По данным измерений **рассчитать** и занести в табл. 5.1:

- внутреннее сопротивление эквивалентного генератора  $R_{ЭГ} = U_X / I_K$ ;
- ток в заданной ветви с сопротивлением  $R_k$

$$I_{kЭГ} = U_X / (R_{ЭГ} + R_k).$$

**Убедиться**, что полученное значение тока  $I_{kЭГ}$  не отличается от измеренного значения тока  $I_{kЭ}$  в заданной ветви и от рассчитанного значения  $I_{kp}$  (с допустимой погрешностью, не более 3...4 %).

**Задание 3. Снять и построить** внешнюю характеристику эквивалентного генератора  $U_k(I_k)$ , т. е.

$$U_k = E_{ЭГ} - R_{ЭГ}I_k.$$

С этой целью **разомкнуть** ключ, шунтирующий резистор заданной ветви, и **снять** показания приборов при трех значениях сопротивления резистора:  $0,5R_k$ ,  $R_k$ ,  $2R_k$ , а также учесть показания приборов, снятые при режимах ХХ ( $U_k = U_{кХ}$ ,  $I_k = 0$ ) и КЗ ( $U_k = 0$ ,  $I_k = I_K$ ), снятые при выполнении задания 2.

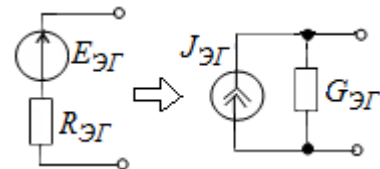
Воспользовавшись графиком внешней характеристики эквивалентного генератора  $U_k(I_k)$ , **определить** значение напряжения на зажимах нагрузки при токе  $I_k = 0,5I_K$ .

### СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

1. Наименование и цель работы.
2. Электрические расчётные схемы и копия схемы цепи, собранной на рабочем поле программной среды MS11.
3. Расчётные формулы для определения тока ветви цепи методом эквивалентного генератора.
4. Таблица с расчётными и экспериментальными данными.
5. График ВАХ эквивалентного генератора.
6. Выводы по работе.

### ТЕСТОВОЕ ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ 5

1. Укажите, можно ли вместо эквивалентного источника напряжения (активного двухполюсника) с параметрами  $E_{ЭГ}$  и  $R_{ЭГ}$  (см. рис. справа) представить активный двухполюсник в виде **источника тока** с параметрами  $J_{ЭГ}$  и  $G_{ЭГ}$ ?



Да     Нет

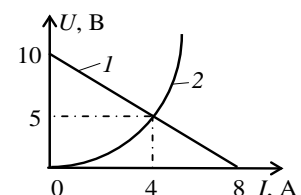
2. Укажите **области применения** метода эквивалентного генератора.

Применяется для расчета тока:

- в ветви, индуктивно связанной с другими ветвями схемы или с внешними цепями;
- в ветви с нелинейным элементом;
- в ветви с независимым активным элементом;
- в ветви с зависимым активным элементом;
- в ветви цепи только постоянного тока;
- в ветви линейной и нелинейной цепи постоянного и переменного тока, за исключением случаев, когда ветвь индуктивно связана с другими ветвями цепи или с внешними цепями, или если элементы ветви входят в схему цепи зависимого источника энергии.

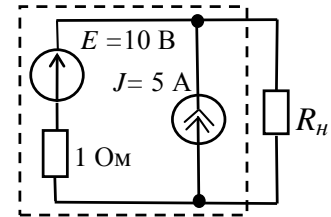
3. Укажите значения **напряжения**  $U$  и **тока**  $I$  нелинейного элемента цепи, если известна его ВАХ (2) и ВАХ (1) эквивалентного генератора цепи (см. рис. справа).

$U$ , В:     10     8     5     2     0  
 $I$ , А:     0     2     4     5     8



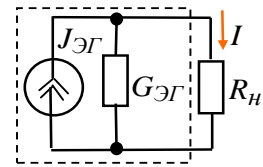
4. Укажите, чему равны **параметры**  $E_{ЭГ}$  и  $R_{ЭГ}$  (см. рис. справа) эквивалентного генератора схемы цепи?

$E_{ЭГ}, В:$      15     10     5     1     -5  
 $R_{ЭГ}, Ом:$      5     4     3     2     1



5. Укажите, чему равен **ток** в нагрузке  $R_n = 10 Ом$ , если активный двухполюсник, представленный источником тока (см. рис. справа), имеет параметры:  $J_{ЭГ} = 2 А$  и  $G_{ЭГ} = 0,1 См$ ?

$I, А:$      2        1,5        1,2        1,0        0



### ЛИТЕРАТУРА

1. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. М., Энергия, 1975 г. – 752 с.
2. Улахович Д.А. Основы теории линейных электрических цепей. – СПб.: БХВ – Петербург. 2009. – 816 с.
3. Міліх В.І., Шавьолькін О.О. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка: Підручник. За ред. В.І.Міліх. 2-е вид. – К.: Каравелла. 2008. – 688 с.
4. Татур Т.А. Основы теории электрических цепей (Справочное пособие): Учебное пособие. – М., «Высшая школа», 1980 г. – 271 с.
5. Гаврилов Л.П., Соснин Д.А. Расчет и моделирование линейных электрических цепей с применением ПК. Учебное пособие для студентов машиностроительных вузов. – М.: СОЛОН – Пресс, 2004. – 448 с.
6. Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Лабораторный практикум на базе Electronics Workbench и MathLab. Издание 5-е. – М.: СОЛОН – Пресс, 2004. – 800 с.
7. Хернитер Марк Е. MultiSim 7: Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств. (Пер. с англ.) /Пер. с англ. Осипов А.И. – М.: Издательский дом ДМК – пресс, 2006. – 488 с.
8. Марченко А.Л., Освальд С.В. лабораторный практикум по электротехнике и электронике в среде MULTISIM. Учебное пособие для вузов. – М.: ДМК Пресс, 2010, 448 с.