

МПС РФ

Петербургский Государственный Университет Путей Сообщения

Кафедра «Теоретические основы электротехники»

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ
ПОСТОЯННОГО ТОКА
МЕТОДОМ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ИСТОЧНИКА

Методические указания к лабораторной работе

Санкт-Петербург

2004

Цель работы: выполнить экспериментальное исследование электрической цепи постоянного тока методом эквивалентного источника.

Сведения из теории

Любой источник электромагнитной энергии, используемый в электрической цепи, может быть представлен в виде эквивалентного источника ЭДС, либо в виде эквивалентного источника тока. На рис.1,а изображена схема источника ЭДС с подключенной к нему нагрузкой. Согласно второму закону Кирхгофа уравнение равновесия в этой цепи имеет вид

$$E = U + I r_{\text{вн}}, \quad (1)$$

где E – ЭДС источника энергии;

$r_{\text{вн}}$ – его внутреннее сопротивление;

U – напряжение на сопротивлении нагрузки.

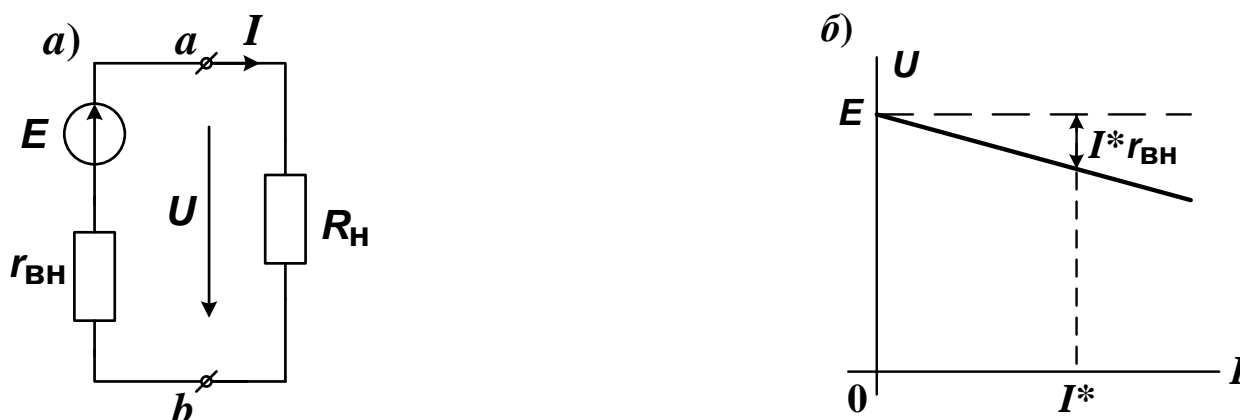


Рис.1

Из уравнения (1) видно, что напряжение U зависит от тока I . Зависимость $U(I)$, называемая внешней характеристикой источника, изображена на рис.1,б. При $I = 0$, т.е. при холостом ходе источника, напряжение на выводах источника равно его ЭДС. При некотором токе I^* напряжение U меньше ЭДС источника на величину падения напряжения на внутреннем сопротивлении источника $\Delta U = I^* r_{\text{вн}}$. (Заметим, что при $r_{\text{вн}} = 0$, $U = E$). Если напряжение на выводах источника не зависит от нагрузки и остается постоянным при любом значении $R_{\text{н}}$, такой источник называется идеальным источником ЭДС, его

внешняя характеристика изображена штриховой линией на рис.1,б.

Поделим все члены уравнения (1) на величину $r_{вн}$ и обозначим $E/r_{вн} = J$.

Тогда

$$J = \frac{U}{r_{вн}} + I. \quad (2)$$

Полученному выражению (2) соответствует схема, изображенная на рис.2,а, где J – величина тока источника тока, равная току короткого замыкания;

$g_{вн} = 1/r_{вн}$ – внутренняя проводимость эквивалентного источника тока.

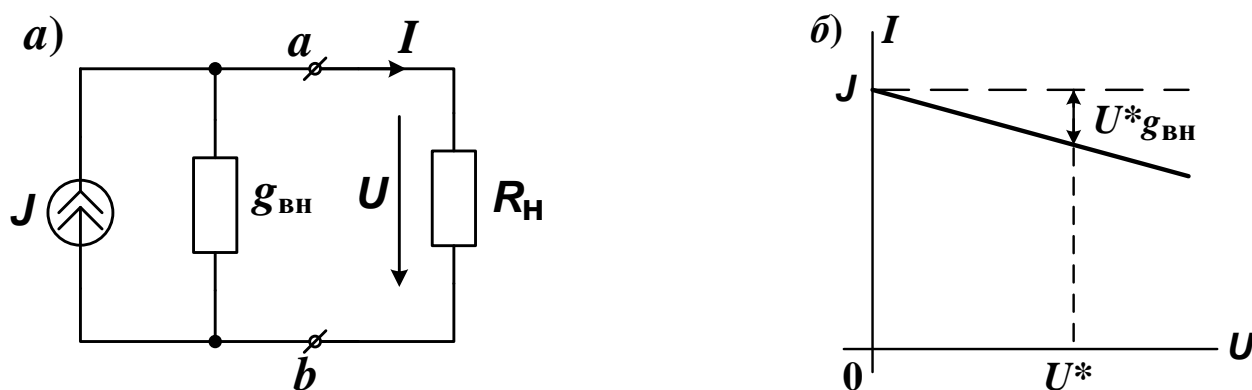


Рис.2

Зависимость $I(U)$, называемая внешней характеристикой источника тока, изображена на рис.2,б. При некотором напряжении U^* на выводах источника ток в нагрузке меньше тока J на величину $U^* g_{вн}$. Схемы, изображенные на рис.1,а и 2,а, эквивалентны. Заметим, что при $g_{вн} = 0$, т.е. при $r_{вн} = \infty$, $I = J$, ток в нагрузке не зависит от сопротивления нагрузки и остается постоянным при любом значении R_n . Такой источник называется идеальным источником тока, его внешняя характеристика изображена на рис.2,б штриховой линией. Осуществление режима холостого хода источника тока сопряжено с увеличением напряжения на его выводах до бесконечности.

Одним из распространенных методов расчета электрических цепей является метод эквивалентного источника. Согласно этому методу ток в любой ветви сколь угодно сложной цепи определяется путем замены части электрической цепи, к которой подключена рассматриваемая ветвь, эквивалентным источни-

ком ЭДС или тока. На рис.3,а изображена схема электрической цепи, исследуемой в работе.

Пусть требуется определить ток I_2 . Выделим ветвь с сопротивлением R_2 выводами ab ; оставшуюся часть схемы, обведенную штриховой линией, представим в виде эквивалентного источника.

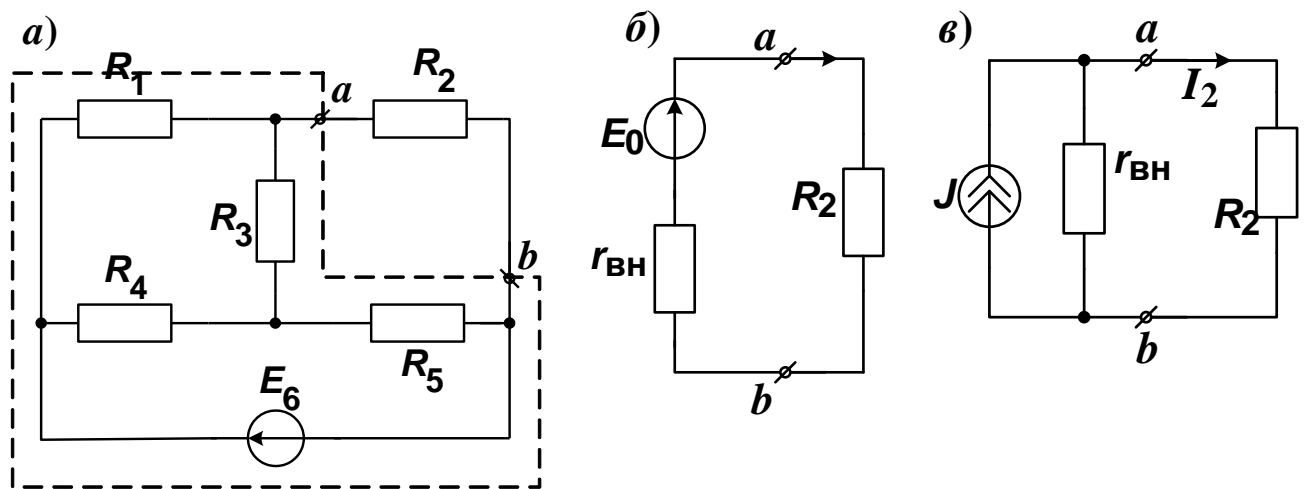


Рис.3

Если это эквивалентный источник ЭДС, то схеме получившейся эквивалентной цепи соответствует рис.3,б. Как следует из рис.1,а, величина ЭДС эквивалентного источника E_0 равна напряжению холостого хода генератора (ветвь с сопротивлением R_2 разомкнута). Величина внутреннего сопротивления генератора $r_{вн}$ равна входному сопротивлению части цепи, обведенной штриховой линией (ЭДС E_6 заменяется ее внутренним сопротивлением), со стороны разомкнутых зажимов ab .

Если часть цепи (рис.3,а), обведенная штриховой линией, заменяется эквивалентным источником тока (рис.3,в), то величина J есть ток между зажимами ab при замыкании сопротивления R_2 накоротко.

Искомый ток в схеме рис.3,б

$$I_2 = \frac{E_0}{r_{вн} + R_2},$$

в схеме рис.3,в

$$I_2 = J \frac{r_{\text{вн}}}{r_{\text{вн}} + R_2}.$$

Таким образом, для экспериментального исследования цепи методом эквивалентного источника (ЭДС и тока), например для определения тока I_2 , необходимо:

- измерить напряжение U_{xx} на разомкнутых зажимах ab ($E_0 = U_{xx}$, режим холостого хода);
- измерить ток короткого замыкания ветви ab ($J = I_{\text{кз}}$);
- измерить сопротивление между разомкнутыми зажимами ab , заменив ЭДС E_0 ее внутренним сопротивлением r_0 (внутреннее сопротивление эквивалентного генератора $r_{\text{вн}} = r_0$). Как следует из схемы рис.3,в, сопротивление $r_{\text{вн}}$ также может быть найдено из выражения

$$r_{\text{вн}} = U_{xx} / J$$

Аналогично производится исследование цепи при определении тока в какой-либо другой ветви.

Программа работы

1. Экспериментальное исследование цепи, заключающееся в измерении всех величин, которые отыскивают при теоретическом расчете цепи методом эквивалентного генератора. К этим величинам относятся:

- ток в рассматриваемой ветви I_n (n – номер ветви) схемы рис.3,а;
- ЭДС эквивалентного источника ЭДС E_0 ;
- внутреннее сопротивление эквивалентного источника ЭДС $r_{\text{вн}}$;
- ток источника тока J ;

2. Теоретический расчет заданной цепи методом эквивалентного генератора ЭДС и тока.

3. Программа УИРС: произвести экспериментальное и теоретическое ис-

следование цепи (рис.3,а) методом эквивалентного источника при замене ветви E_6 , r_6 источником тока J_6 с внутренней проводимостью g_6 .

Порядок выполнения работы

Ветвь, в которой следует определить ток методом эквивалентного генератора (исследуемая ветвь), задается преподавателем. Последовательно с сопротивлением этой ветви включаются амперметр и ключ K_1 , параллельно сопротивлению – ключ K_2 , параллельно всей ветви – вольтметр. На рис.4 изображена схема для определения тока в ветви с сопротивлением R_2 .

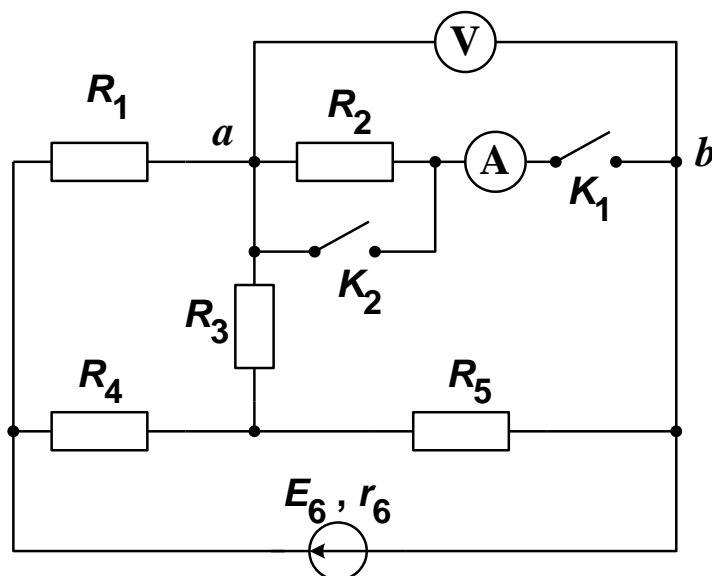


Рис.4

Выполняется исследование трех режимов работы цепи.

1. Режим холостого хода. Измеряется напряжение $U_{ab} = U_{xx} = E_0$.
2. Режим короткого замыкания. Измеряется ток в ветви ab , равный току эквивалентного источника тока.
3. Режим нагрузки. Измеряют напряжение на исследуемой ветви и ток в ней.

После этого производят измерения ЭДС E_6 , ее внутреннего сопротивления и сопротивлений всех ветвей цепи. Измерение сопротивлений выполняется методом амперметра-вольтметра по схеме рис.5.

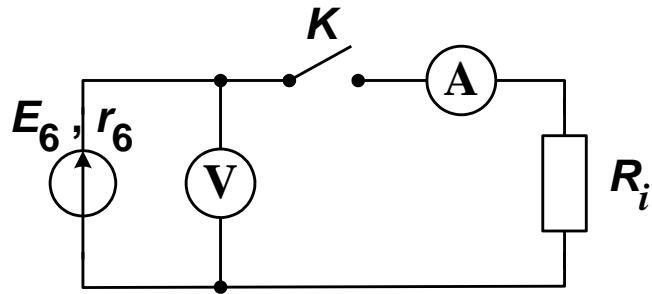


Рис.5

По указанию преподавателя студентам может быть предложено провести измерение внутреннего сопротивления эквивалентного источника напряжения методом амперметра-вольтметра. В этом случае ЭДС E_6 исключается из исследуемой цепи, но сама ветвь сохраняется. В эту ветвь включается реостат с сопротивлением, равным внутреннему сопротивлению ЭДС r_6 . Учитывая его малую величину указанного сопротивления, допустимо положить его равным нулю, а в схеме заменить коротким замыканием. Питание цепи осуществляется тем же источником ЭДС, но включенным теперь в исследуемую ветвь (рис.6).

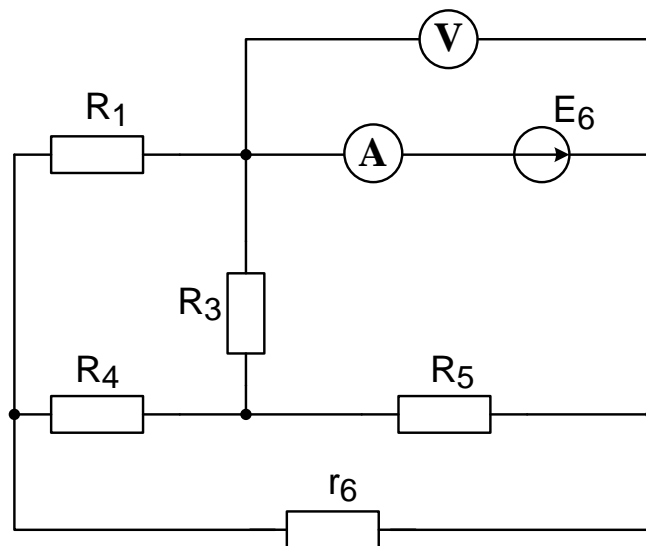


Рис.6

Внутреннее сопротивление эквивалентного источника напряжения определяется как отношение показаний вольтметра и амперметра.

Результаты измерений заносятся в табл.1 и 2.

Таблица 1

Наименование режима исследования	Наблюдаются		Вычисляются	
	I, A	U, B	I, A	U, B
Режим холостого хода				
Режим короткого замыкания				
Режим нагрузки				
Внутреннее сопротивление эквивалентного генератора	$r_{\text{вн}} = U_{xx} / J, \text{ Ом}$		$r_{\text{вн}}, \text{ Ом}$	

Таблица 2

Результаты измерений ЭДС и сопротивлений	E_6	r_6	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
	В	Ом					

При выполнении п.3 программы УИРС в табл.2 вносятся необходимые изменения.

Содержание отчета

1. Программа работа.
2. Характеристика электроизмерительных приборов.
3. Схема исследуемой электрической цепи.
4. Таблица наблюдений и вычислений.
5. Теоретический расчет тока в исследуемой ветви методами эквивалентного источника ЭДС и тока.
6. Выводы.

Список литературы

1. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники, т.І, Л., Энергоиздат, 1981, 536 с.
2. Исследование электрической цепи постоянного тока методом эквивалентного источника. Методические указания к лабораторной работе. – Л., ЛИИЖТ, 1985, 7с.

Методические указания составила доцент Карпова И.М.