

Расчетно-лабораторная работа № 1

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА И ЕЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Цель работы: 1) получение первоначальных навыков сборки электрических цепей, измерения сопротивлений, токов и напряжений; 2) снятие вольт-амперных характеристик источников и приемников электрической энергии; определение их параметров.

1. Основные теоретические положения

Электрической цепью называется совокупность устройств, предназначенных для производства, передачи и потребления электрической энергии. Отдельные устройства, входящие в электрическую цепь, называются *элементами электрической цепи*. Основными элементами электрической цепи являются источники и приемники электрической энергии, соединенные между собой проводами или линиями передачи.

В *источниках электрической энергии* (гальванических элементах, аккумуляторах, генераторах и т. п.) химическая, механическая, тепловая или другие виды энергии превращаются в электрическую. В *приемниках электрической энергии* (электронагревательных приборах, лампах накаливания, электрических двигателях и т. п.), наоборот, электрическая энергия преобразуется в тепловую, световую, механическую и другие виды.

Электрическая цепь, в которой протекает постоянный (не изменяющийся во времени по величине и направлению) ток, называется *электрической цепью постоянного тока*.

В цепях постоянного тока источник электрической энергии характеризуется величиной и направлением электродвижущей силы E и значением внутреннего сопротивления R_v , а приемник – сопротивлением R . При этом под сопротивлением R понимают элемент цепи (резистор), в котором происходит необратимый процесс преобразования электрической энергии в теплоту.

Условное графическое изображение сопротивления (резистора) с указанием выбранных положительных направлений тока и напряжения приведено на рис. 1.1, а.

Для описания источников и приемников энергии в цепях постоянного тока используют зависимости между напряжением U и током I , которые называют вольт-амперными характеристиками (ВАХ) этих элементов.

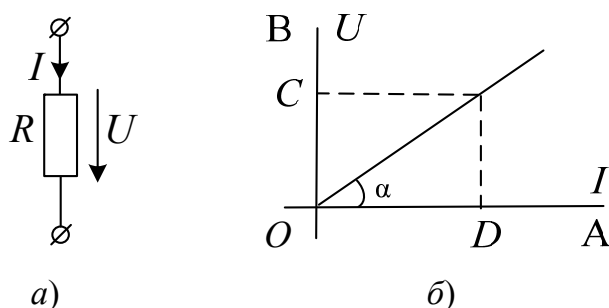


Рис. 1.1

Параметр R в общем случае зависит от тока I (например, вследствие нагрева сопротивления током). Вольт-амперная характеристика резистора при этом является нелинейной.

Однако если такая зависимость выражена слабо, ею можно пренебречь. Тогда согласно закону Ома напряжение на сопротивлении R прямо пропорционально току в нем:

$$U = RI, \quad (1.1)$$

а его ВАХ представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат (рис. 1.1, б). Такие сопротивления называют *линейными*, а электрические цепи, включающие лишь линейные сопротивления – *линейными электрическими цепями*. Подобные цепи являются предметом исследований в настоящем методическом пособии.

Очевидно, линейное сопротивление R пропорционально тангенсу угла наклона прямолинейной ВАХ к оси тока:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{m_U \cdot OC}{m_I \cdot OD} = \operatorname{tg} \alpha, \quad (1.2)$$

где m_U и m_I – масштабы напряжения (В/мм) и тока (А/мм) на чертеже.

В теории электрических цепей пользуются понятиями идеальный источник ЭДС и идеальный источник тока.

Идеальный источник ЭДС представляет собой активный элемент с двумя выводами, напряжение на которых $U = E$ не зависит от тока, проходящего через источник (рис. 1.2, б). Предполагается, что

внутри такого идеального источника пассивные элементы отсутствуют и поэтому прохождение через него тока не вызывает в нем падения напряжения.

Ток в сопротивлении R_H , подключенном к идеальному источнику ЭДС (рис. 1.2, а), зависит от параметров E и R_H и равен:

$$I = \frac{E}{R_H}. \quad (1.3)$$

Если выводы идеального источника ЭДС замкнуть накоротко, то ток теоретически должен быть бесконечно велик. Поэтому такой источник рассматривается как *источник бесконечной мощности*.

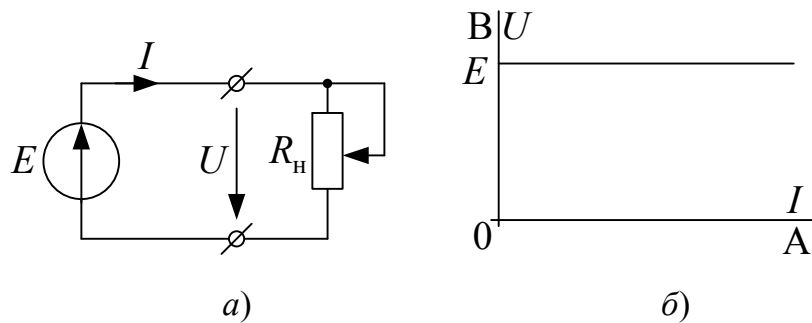


Рис. 1.2

Источник конечной мощности (его называют *источником напряжения*) изображается в виде идеального источника ЭДС с подключенным к нему последовательно сопротивлением R_B (рис. 1.3, а), которое является внутренним сопротивлением и ограничивает мощность, отдаваемую источником во внешнюю электрическую цепь.

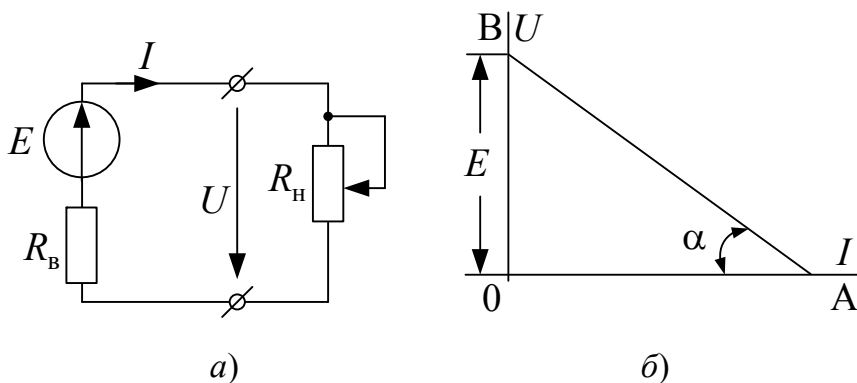


Рис. 1.3

Вольт-амперная характеристика такого источника (рис. 1.3, б), которую также называют *внешней характеристикой*, представляет собой зависимость напряжения на его зажимах от тока, проходящего через источник. Согласно второму закону Кирхгофа

$$U = E - R_b I. \quad (1.4)$$

Очевидно, что при $R_H = \infty$ (режим холостого хода) $I = 0$ и напряжение на зажимах источника принимает наибольшее значение $U_{xx} = E$. Если же $R_H \rightarrow 0$ (режим короткого замыкания), напряжение на зажимах $U \rightarrow 0$ и ток I достигает максимального значения $I_{кз} = E/R_b$. Тангенс угла α пропорционален сопротивлению R_b .

Поскольку величина R_b реальных источников напряжения относительно мала, режим короткого замыкания для большинства из них является аварийным.

Идеальный источник тока представляет собой активный элемент, ток которого не зависит от напряжения на его зажимах. Предполагается, что внутреннее сопротивление такого идеального источника бесконечно велико и поэтому величина сопротивления R_H , от которой зависит напряжение на зажимах источника, не влияет на его ток.

Условное обозначение идеального источника тока и его вольт-амперная характеристика приведены на рис. 1.4, а и б.

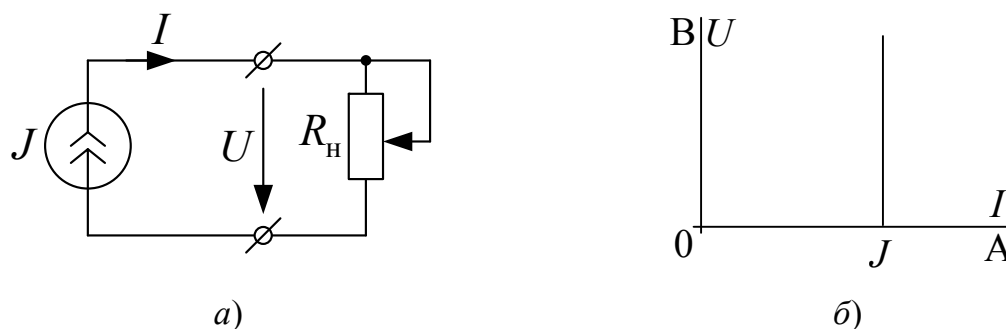


Рис. 1.4

По мере неограниченного увеличения сопротивления R_H напряжение на зажимах источника и, соответственно, мощность, развиваемая им, неограниченно возрастают. Поэтому идеальный источник тока, как и идеальный источник ЭДС, рассматривается как *источник бесконечно большой мощности*.

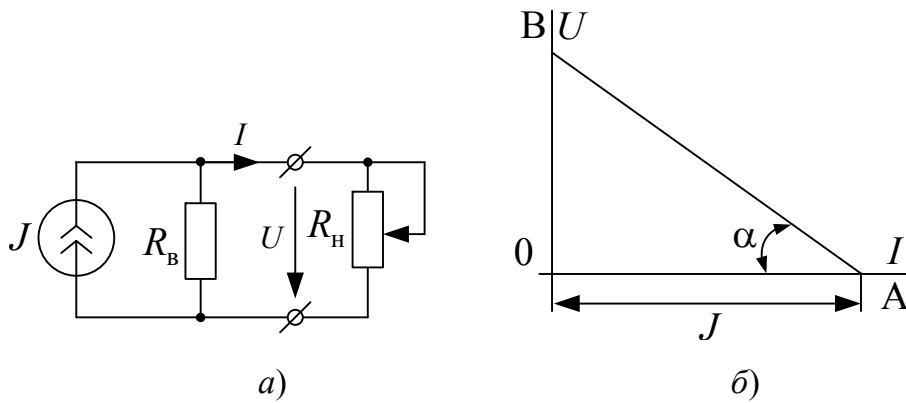


Рис. 1.5

Источник тока конечной мощности изображается в виде идеально-го источника тока с подключенным к его зажимам сопротивлением R_B (рис. 1.5, а), которое ограничивает мощность, отдаваемую источником во внешнюю электрическую цепь. Внешняя характеристика источника тока конечной мощности изображена на рис. 1.5, б.

Согласно первому закону Кирхгофа

$$I = J - \frac{U}{R_B}. \quad (1.5)$$

При $R_H = 0$ (режим короткого замыкания) $U = 0$ и ток I принимает наибольшее значение: $I_{кз} = J$. Если же $R_H \rightarrow \infty$ (режим холостого хода), ток $I \rightarrow 0$ и напряжение на зажимах U достигает максимального значения: $U_{xx} = JR_B$. Тангенс угла α пропорционален сопротивлению R_B .

Поскольку величина R_B реальных источников тока достаточно велика ($R_B \rightarrow \infty$), режим холостого хода для них является аварийным.

Из сопоставления вольт-амперных характеристик рис. 1.3, б и 1.5, б видно, что источник напряжения конечной мощности эквивалентен источнику тока конечной мощности при условии $E = R_B J$ и потому при расчете электрических цепей они могут быть взаимно заменяемы.

2. Исходные данные

В работе используются:

1. Источник постоянного стабилизированного напряжения ИР, регулируемого в пределах $1 \div 24$ В.
2. Источник постоянного нерегулируемого напряжения ИН ($U_{и.н} \approx 20$ В). Источники ИР и ИН расположены в верхнем съемном блоке слева от наборного поля.
3. Элементы 01÷09 (представляют собой резисторы МЛТ-2, С5-5, ПЭВ-3 и др.) находятся в ящике для элементов и могут быть установлены на наборном поле в соответствии с исследуемой цепью.
4. Блок переменного сопротивления (БПС) размещен в верхнем съемном блоке справа от наборного поля; позволяет установить величину сопротивления в диапазоне $1 \div 999$ Ом со степенью регулирования 1 Ом.
5. Измерительные приборы, установленные на стенде.

3. Экспериментальная часть

1. Визуально (по маркировке на резисторах) определить номинальные параметры резисторов (элементы 01÷09): сопротивление $R_{нк}$, мощность рассеяния $P_{нк}$ и допустимое отклонение фактических значений сопротивлений R_k резисторов от номинальных $\delta_{нк}$, где $k = 1 \div 9$ (здесь и в последующих расчетно-лабораторных работах цифру «0» в индексах сопротивлений, токов и напряжений следует опустить). Значения $R_{нк}$, $P_{нк}$ и $\delta_{нк}$ занести в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Элемент Параметр	01	02	03	04	05	06	07	08	09
$P_{нк}$, Вт									
$R_{нк}$, Ом									
$I_{нк}$, А									
$U_{нк}$, В									
R_k , Ом									
$\delta_{нк}$, %									
δ_k , %									

При определении значения $\delta_{нк}$ необходимо пользоваться табл. 1.2.

Таблица 1.2

Допуск δ_n , %	Обозначение	
	новое	старое
± 20	<i>M</i>	В
± 10	<i>K</i>	С
± 5	<i>J</i>	И
± 2	<i>G</i>	Л
± 1	<i>F</i>	Р

2. Рассчитать номинальный ток $I_{нк}$ и номинальное напряжение $U_{нк}$ каждого k -го резистора по формулам:

$$I_{нк} = \sqrt{\frac{P_{нк}}{R_{нк}}} \text{ и } U_{нк} = R_{нк} I_{нк}, \quad (1.6)$$

используя номинальные значения $R_{нк}$ и $P_{нк}$; занести их в табл.1.1.

3. Измерить фактическое сопротивление R_k резисторов $R_1 \div R_9$ методом непосредственной оценки. Для этого соответствующие зажимы измерительного прибора (мультиметра МУ-68 или универсального вольтметра В7-58/2) вынести на наборное поле стенда и поочередно подключать к ним данные резисторы. Результаты измерений занести в табл. 1.1.

4. Отклонение δ_k фактических значений сопротивлений резисторов R_k от номинальных $R_{нк}$ определить по формуле

$$\delta_k = \frac{R_k - R_{нк}}{R_{нк}} 100 \% \quad (1.7)$$

и занести в табл. 1.1. Сравнить значения δ_k и $\delta_{нк}$. В случае $\delta_k > \delta_{нк}$ сообщить преподавателю (или учебному мастеру).

5. Для самоконтроля на наборном поле стенда собрать цепь согласно схеме рис. 1.6.

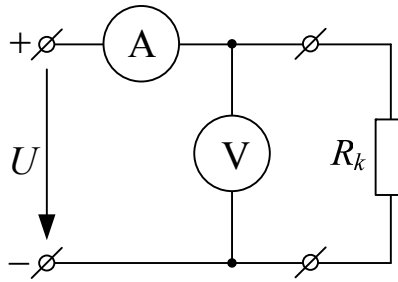


Рис. 1.6

При этом в качестве источника напряжения использовать регулируемый источник ИР, в качестве амперметра – ампервольтметр Ц 4311 или мультиметр МУ-68, а в качестве вольтметра – электронный вольтметр В7-58/2. Используя *метод амперметра и вольтметра*, измерить напряжение U_k и ток I_k резисторов $R_1 \div R_9$ и по закону Ома рассчитать фактическое значение R_k каждого из них. Результаты измерений и расчетов занести в табл. 1.3.

Внимание! В процессе измерений показания вольтметра и амперметра не должны превышать соответствующие номинальные величины $U_{нк}$ и $I_{нк}$, определенные в п. 2 и занесенные в табл. 1.1.

Таблица 1.3

Элемент Параметр	01	02	03	04	05	06	07	08	09
$U_k, В$									
$I_k, А$									
$R_k, Ом$									

Если значения любого из сопротивлений $R_1 \div R_9$, занесенные в табл. 1.1 и 1.3, отличаются от номинала более чем на 10 %, следует установить ошибку измерений или расчетов и устранить ее.

6. Снять вольт-амперные характеристики двух резисторов, фактические сопротивления которых отличаются в $2 \div 2,5$ раза.

Для проведения эксперимента по-прежнему используется схема, приведенная на рис. 1.6. К источнику ИР, напряжение которого предварительно уменьшено до нуля, подключить один из выбранных резисторов. Далее, изменяя напряжение ИР от 0 до величины $0,8 U_{нк}$ через равные промежутки ΔU , произвести $5 \div 6$ измерений напряжения и тока (значение $U_{нк}$ для выбранного резистора взять из табл. 1.1).

Аналогично снять вольт-амперную характеристику второго резистора. Результаты измерений занести в табл. 1.4.

Таблица 1.4

№ п/п	Резистор		Резистор	
	U	I	U	I
	В	А	В	А
1				
2				
3				
4				
5				
6				

7. Снять вольт-амперные характеристики источников ИН и ИР. Для этого необходимо собрать электрическую цепь, схема которой приведена на рис. 1.7.

В качестве сопротивления нагрузки R_H следует использовать блок БПС (сопротивление блока предварительно установить максимальным), а для измерения напряжения на зажимах источника и тока в нем – те же приборы, что и в п. 5.

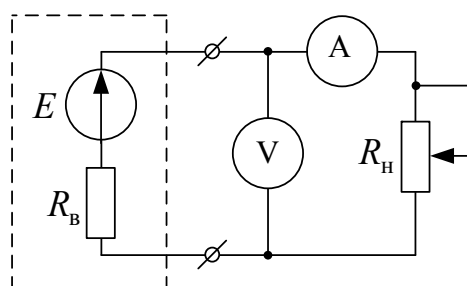


Рис. 1.7

В первую очередь необходимо снимать ВАХ нерегулируемого источника напряжения ИН, который включить в цепь при предварительно отключенном БПС. Поскольку цепь находится в режиме холостого хода, показание амперметра равно нулю, а вольтметр покажет напряжение $U_{xx} = E_{и.н}$. Далее подключить БПС и последовательно уменьшать его сопротивление таким образом, чтобы показание амперметра увеличивалось через одинаковые интервалы ΔI , равные, например, 20 мА. В диапазоне изменения тока от 0 до 120 мА снять 5 ÷ 6 показаний амперметра и вольтметра.

В той же последовательности снять ВАХ регулируемого источника ИР, причем напряжение холостого хода его $U_{xx} = E_{и.р}$ выставить равным $E_{и.н}$. Результаты измерений занести в табл. 1.5.

Таблица 1.5

№ п/п	Источник ИН				Источник ИР			
	U	I	E	R_B	U	I	E	R_B
	В	А	В	Ом	В	А	В	Ом
1								
2								
3								
4								
5								
6								

Наконец, по данным табл. 1.5 для каждого источника определить ЭДС и внутреннее сопротивление R_B , которое согласно методу двух нагрузок равно:

$$R_B = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} = \frac{U_{xx} - U_2}{I_2}, \quad (1.8)$$

где напряжение U_1 и ток I_1 соответствуют режиму холостого хода, а напряжение U_2 и ток I_2 – режиму, при котором показание амперметра максимально.

4. Анализ результатов работы. Выводы

1. По данным табл. 1.1 и 1.3 сравнить результаты измерения сопротивлений резисторов $R_1 \div R_9$ методом непосредственной оценки и методом амперметра и вольтметра. Оценить различия между ними и в *выводах* объяснить причину этих различий.

2. По данным табл. 1.4 построить (в одних координатах) ВАХ двух резисторов. В *выводах* оценить их линейность; отметить, какая из характеристик круче по отношению к оси тока; объяснить почему.

3. По данным табл. 1.5 построить (в одних координатах) ВАХ источников напряжения ИН и ИР. В *выводах* оценить их линейность; отметить, какой из источников лучше; объяснить почему.

5. Содержание отчета

Отчет по РЛР № 1 должен содержать:

- 1) титульный лист по стандартной форме;
- 2) цель работы;
- 3) исходные данные (схемы замещения исследуемых цепей);
- 4) основные расчетные формулы с примерами их применения;
- 5) таблицы с результатами вычислений и измерений;
- 6) ВАХ двух резисторов и двух источников напряжения: ИН и ИР;
- 7) выводы.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой электрическая цепь? Из каких основных элементов она состоит? Каковы функции этих элементов?
2. Какие элементы электрической цепи называют активными (пассивными)?
3. Что называют схемой электрической цепи?
4. Что представляет собой схема замещения электрической цепи? Из каких элементов она состоит?
5. Привести две схемы замещения источника электрической энергии. В чем отличие между ними?
6. Что называют вольт-амперной характеристикой элемента электрической цепи?
7. Привести схему для снятия вольт-амперной (внешней) характеристики источника напряжения.
8. Объяснить вид внешней характеристики источника напряжения.
9. Как по внешней характеристике источника напряжения определить его параметры?
10. Как влияет величина внутреннего сопротивления на внешнюю характеристику источника напряжения?
11. Чему равно внутреннее сопротивление идеальных источников ЭДС и тока?
12. Как по известному значению сопротивления резистора построить его вольт-амперную характеристику?
13. Начертить вольт-амперные характеристики двух резисторов, сопротивления которых отличаются в $2 \div 3$ раза. Объяснить различие между ними.