

Московский государственный технический университет  
Имени Н.Э. Баумана

**С.А. Васюков, О.И. Мисеюк**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ**  
**ПОСТОЯННОГО ТОКА**

*Методические указания к выполнению лабораторной работы*

**Москва**  
**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  
**МГТУ им. Н.Э. Баумана**

**2018**

УДК 621.3

Рецензент

Васюков С.А., Мисеюк О.И.

Исследование линейных электрических цепей постоянного тока: методические указания к выполнению лабораторной работы по курсам «Электротехника», «Электротехника и электроника» С.А.Васюков, О.И.Мисеюк – М.: Изд – во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2018 – 27,[2] с.: ил.

В методических указаниях изложены основные теоретические сведения по расчету цепей постоянного тока, приведены примеры записи уравнений по законам Кирхгофа. Рассмотрены различные режимы работы источника постоянного напряжения. Показано условие согласованного режима работы источника ЭДС и нагрузки. Представлены задание, порядок выполнения и методические указания к проведению работы, а также контрольные вопросы.

Для студентов 2 – 4 курсов МГТУ им. Н.Э.Баумана, обучающихся по программам бакалавриата и специалитета и изучающих дисциплины «Электротехника», «Электротехника и электроника» на кафедре «Электротехника и промышленная электроника»

© Издательство МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ .....	5
1.1. Законы расчета электрических цепей постоянного тока.....	5
1.2. Основные характеристики и параметры источников электрической энергии .....	8
1.3. Передача энергии от активного двухполюсника к нагрузке .....	9
2. ЗАДАНИЯ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ .....	10
2.1. Изучите описание лабораторного стенда (Методические указания «Стенд и приборы для исследования электрических цепей»).....	10
2.2. Исследовать неразветвленную электрическую цепь с одним.....	10
источником энергии. ....	10
2.3. Исследовать разветвленную электрическую цепь с тремя.....	15
источниками энергии $E_1$ , $E_2$ и $E_{var}$ .....	15
ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ .....	18
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ .....	19
ЛИТЕРАТУРА.....	20

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Современное высшее техническое образование, ориентированное на формирование профессиональных компетенций, уделяет большое внимание подготовке специалистов, владеющих как теоретическими знаниями, так и современными методами исследования. Особо выделяется способность проводить исследования физических процессов и свойств объектов с выбором технических средств, методов измерений, обработки и представления результатов. А эта способность во многом формируется в результате выполнения лабораторных практикумов.

При выполнении лабораторных работ по дисциплинам «Электротехника» и «Электротехника и электроника» преследуются две основные цели. Первая цель – усиление практической направленности образовательного процесса - закрепление на практике основных положений курса при работе в коллективе. Вторая цель – приобретение студентами навыков самостоятельной работы с электроизмерительными приборами и изучение методик проведения эксперимента. Цепи постоянного тока (ЦПТ) наиболее понятны в изучении из-за простоты теоретических положений, а также потому, что с анализом таких цепей студентам приходилось сталкиваться ранее при изучении курса физики. Именно поэтому лабораторная работа по изучению постоянного тока является первой из всего комплекса работ, и на ее примере студенты приобретают навыки измерений и обработки результатов.

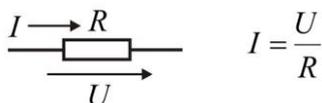
Работа предназначена для студентов, обучающихся на приборостроительных и машиностроительных направлениях и специальностях, изучающих курсы «Электротехника», «Электротехника и электроника» на кафедре «Электротехника и промышленная электроника».

**Цель лабораторной работы** – приобрести навыки самостоятельного исследования режимов работы линейной электрической цепи постоянного тока, экспериментального определения внешней характеристики источника электрической энергии и параметров его схемы замещения, оценки влияния параметров элементов цепи на энергетические соотношения при различных режимах работы, овладение техникой экспериментирования с использованием электроизмерительных приборов.

## 1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

### 1.1. Законы расчета электрических цепей постоянного тока

**Закон Ома** для участка цепи, не содержащего источников электрической энергии: ток  $I$  пропорционален напряжению  $U$  на этом участке и обратно пропорционален сопротивлению  $R$  этого участка.



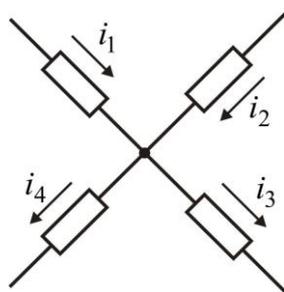
**Рис. 1.** Иллюстрация к закону Ома.

**Первый закон Кирхгофа:** Алгебраическая сумма токов в узле равна нулю:

$$\sum_{k=1}^n \pm i_k = 0. \quad (1)$$

Знаки токов берутся с учетом выбранных положительных направлений токов: всем токам, направленным к узлу, в уравнении (1) приписывается одинаковый знак, например положительный, и соответственно все токи, направленные от узла, входят в уравнение (1) с противоположным знаком.

На рис. 2 в качестве примера показан узел, в котором сходятся четыре ветви.



**Рис. 2.** Иллюстрация к первому закону Кирхгофа.

Уравнение (1) имеет в этом случае вид

$$i_1 + i_2 - i_3 - i_4 = 0.$$

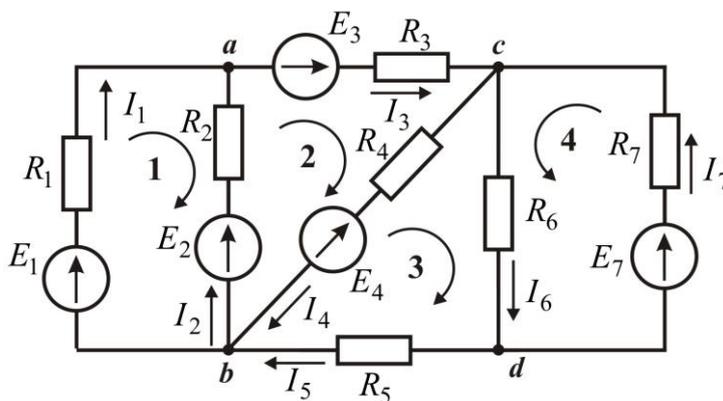
Первый закон Кирхгофа выражает тот факт, что в узле электрический заряд не накапливается и не расходуется. Сумма электрических зарядов, приходящих к узлу, равна сумме зарядов, уходящих от узла за один и тот же промежуток времени.

**Второй закон Кирхгофа:** алгебраическая сумма ЭДС в любом контуре цепи равна алгебраической сумме падений напряжения на элементах этого контура:

$$\sum_{k=1}^n \pm e_k = \sum_{k=1}^n \pm u_k \quad (2)$$

Обход контура совершается в произвольно выбранном направлении, например по ходу часовой стрелки. При этом соблюдается следующее правило знаков для ЭДС и падений напряжения, входящих в (2): ЭДС и падения напряжения, совпадающие по направлению с направлением обхода, берутся со знаком “+”, а не совпадающие со знаком “-”. Формулы (1) и (2) написаны в общем виде для мгновенных значений токов, напряжений и ЭДС; они справедливы для цепей как переменного, так и постоянного тока.

**Пример.** Покажем применение законов Кирхгофа на примере схемы, изображенной на рис. 3. Метод сводится к решению системы уравнений, количество которых равно числу неизвестных токов (числу ветвей).



**Рис. 3.** Иллюстрация к законам Кирхгофа.

Произвольно задавшись направлениями токов в ветвях и принимая токи, подтекающие к узлу, положительными, а оттекающие от узла – отрицательными, записываем уравнения по первому закону Кирхгофа:

$$\text{узел а: } I_1 + I_2 - I_3 = 0;$$

$$\text{узел в: } -I_1 - I_2 + I_4 + I_5 = 0; \quad (3)$$

$$\text{узел с: } I_3 - I_4 - I_6 + I_7 = 0.$$

Произвольно задавшись направлениями обхода контуров, записываем уравнения по второму закону Кирхгофа:

$$\text{контур 1: } I_1 R_1 - I_2 R_2 = E_1 - E_2;$$

$$\text{контур 2: } I_2 R_2 + I_3 R_3 + I_4 R_4 = E_2 + E_3 - E_4; \quad (4)$$

$$\text{контур 3: } -I_4 R_4 + I_6 R_6 + I_5 R_5 = E_4;$$

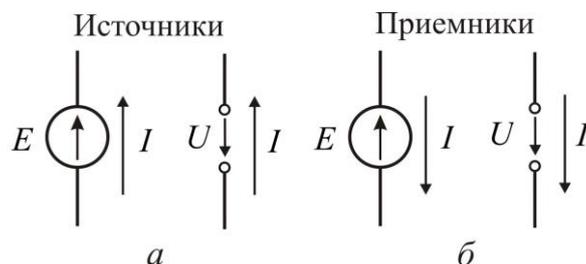
$$\text{контур 4: } I_7 R_7 + I_6 R_6 = E_7.$$

Системы (3) и (4) дают достаточное количество уравнений для отыскания всех неизвестных токов.

**Баланс мощности.** Для любой замкнутой электрической цепи сумма мощностей  $\sum P_{\text{ист}}$ , развиваемых источниками электрической энергии, равна сумме мощностей  $\sum P_{\text{потр}}$ , расходуемой в приемниках энергии:

$$\sum P_{\text{ист}} = \sum P_{\text{потр}}.$$

Если ток, протекающий через источник ЭДС, совпадает по направлению с ЭДС (рис. 4 а), то данный элемент в уравнении баланса мощности классифицируется как источник электрической энергии.



**Рис. 4.** Классификация активных элементов цепи.

Отдаваемая им мощность, вычисляется как:  $P_{\text{ист}} = \underline{E}I$ , где стрелками условно показано совпадение направлений. Также источником энергии считается участок напряжения, ток и напряжение на котором направлены противоположно  $P_{\text{ист}} = \underline{U}I$ .

При противоположном направлении ЭДС и тока, и при однонаправленных напряжении и токе (рис. 4 б), элементы классифицируются как потребители энергии:  $P_{\text{потр}} = \underline{E}I$ ,  $P_{\text{потр}} = \underline{U}I$ .

Сопротивление является потребителем энергии при любом направлении тока:

$$P_{\text{потр}} = I^2 R.$$

Суммируя мощности источников и потребителей по всем  $n$  ветвям электрической схемы, можно записать итоговое уравнение баланса мощности в виде:

$$\left\{ P_{\text{ист}} = \sum_{k=1}^n \underline{E}_k \cdot \underline{I}_k + \sum_{k=1}^n \underline{U}_k \cdot \underline{I}_k \right\} = \left\{ P_{\text{потр}} = \sum_{k=1}^n \underline{E}_k \cdot \underline{I}_k + \sum_{k=1}^n \underline{U}_k \cdot \underline{I}_k + \sum_{k=1}^n I_k^2 \cdot R_k \right\}. \quad (5)$$

**Пример.** Уравнения баланса мощности для схемы, рис. 2, имеют вид:

$$\left\{ P_{\text{ист}} = E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2 + E_3 \cdot I_3 + E_7 \cdot I_7 \right\} = \left\{ P_{\text{потр}} = E_4 \cdot I_4 + \sum_{k=1}^7 I_k^2 \cdot R_k \right\}.$$

## 1.2. Основные характеристики и параметры источников электрической энергии

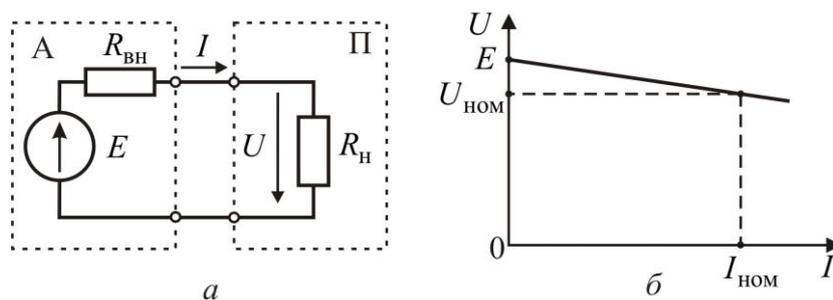
Основными элементами любой электрической цепи являются источники электрической энергии, и ее потребители, которые могут быть представлены двухполюсниками, имеющими два внешних вывода. Графически двухполюсник изображают в виде прямоугольника с двумя выводами (полюсами). Если в двухполюснике есть источники электрической энергии, которые являются активными элементами цепи, то его называют активным и внутри прямоугольника ставят букву **A** (рис. 5 а), если же в двухполюснике нет источников энергии, то его называют пассивным **П** (рис. 5 а). К пассивным двухполюсникам относятся потребители электрической энергии. Таким образом, любую электрическую цепь можно представить в виде соединенных между собой активного и пассивного двухполюсников (рис. 5 а).

Источник электрической энергии может быть представлен эквивалентным генератором, который характеризуется двумя параметрами: ЭДС  $E$  и внутренним сопротивлением  $R_{вн}$ . Важнейшей характеристикой источника является его вольт-амперная (или внешняя) характеристика, которая представляет собой зависимость напряжения  $U$  на выводах источника от тока  $I$  (рис. 5 б).

Уравнение внешней характеристики источника, составленное по второму закону Кирхгофа, имеет вид

$$U = E - I \cdot R_{вн}. \quad (6)$$

При токе, равном нулю, значение напряжения на выводах источника численно равно его ЭДС  $E$ , а наклон внешней характеристики зависит от значения  $R_{вн}$ .



**Рис. 5.** Схема источника (а) и его вольт-амперная (внешняя) характеристика (б).

При работе электрической цепи (рис. 5) возможны некоторые характерные режимы: холостого хода, короткого замыкания, номинальный и согласованный.

Режим холостого хода соответствует отсутствию тока в потребителе ( $I = 0$ ), т. е. потребитель отключен от источника, следовательно, напряжение на источнике в этом случае численно равно ЭДС.

Режим короткого замыкания возникает, когда сопротивление потребителя равно нулю, т. е. при замыкании выводов источника между собой. В этом случае напряжение на источнике равно нулю, а ток источника ограничивается только его внутренним сопротивлением  $R_{вн}$ . Этот ток называют током короткого замыкания  $I_{кз}$ . Значение  $R_{вн}$  в источниках напряжения невелико (доли или единицы Ом), поэтому режим короткого замыкания считается для них аварийным, так как  $I_{кз}$  существенно превышает номинальное значение, на которое рассчитан источник напряжения.

Номинальный режим работы соответствует номинальному току  $I_{ном}$ . Это максимальный ток, при котором возможна длительная работа источника, гарантированная заводом изготовителем. При токах нагрузки в диапазоне  $0 < I < I_{ном}$ , работа источника возможна и используется на практике.

Коэффициент полезного действия определим, как отношение полезной мощности  $P_{пол.}$  к затраченной  $P_{затр.}$ . Для рассматриваемой (рис. 5) схемы полезной мощностью является мощность, выделяющаяся в сопротивлении нагрузки  $P_{пол.} = I^2 \cdot R_{н} = U \cdot I$ . Затраченная мощность – это мощность, отдаваемая источником  $P_{затр.} = E \cdot I$ . Таким образом, КПД схемы равен:

$$\eta = \frac{P_{пол.}}{P_{затр.}} = \frac{U \cdot I}{E \cdot I} = \frac{U}{E}. \quad (7)$$

### 1.3. Передача энергии от активного двухполюсника к нагрузке

Особый интерес представляет согласованный режим работы источника и потребителя, когда в последнем выделяется максимум мощности. Если нагрузка  $R_{н}$  подключена к активному двухполюснику (рис. 5), то по ней течёт ток  $I = \frac{E}{R_{вн} + R_{н}}$ , и в

ней выделяется полезная мощность  $P_{пол.} = I^2 \cdot R_{н} = \frac{E^2}{(R_{вн} + R_{н})^2} \cdot R_{н}$ . Выясним, каким

должно быть соотношение между сопротивлением нагрузки  $R_{н}$  и сопротивлением источника  $R_{вн}$ , чтобы в сопротивлении нагрузки выделялась максимальная мощность.

Для этого определим первую производную  $P_{пол.}$  по  $R_{н}$  и приравняем её к нулю:

$$\frac{dP_{пол.}}{dR_{н}} = \frac{(R_{ист} + R_{н})^2 - 2R_{н} \cdot (R_{ист} + R_{н})}{(R_{ист} + R_{н})^4} = 0 \Rightarrow R_{ист} = R_{н}.$$

Значит, мощность максимальна при равенстве сопротивления нагрузки и сопротивления источника. При согласованном режиме работы величина максимальной

мощности  $P_{\text{пол.маx}} = \frac{E^2}{4R_{\text{вн}}}$ , а мощность, отдаваемая источником,

$P_{\text{затр.}} = E \cdot I = \frac{E^2}{R_{\text{вн}} + R_{\text{н}}} = \frac{E^2}{2R_{\text{вн}}}$ . Тогда коэффициент полезного при согласованном

режиме работы  $\eta_{\text{согл.}} = \frac{P_{\text{пол.маx}}}{P_{\text{затр.}}} = \frac{E^2}{4R_{\text{вн}}} : \frac{E^2}{2R_{\text{вн}}} = 0,5$ .

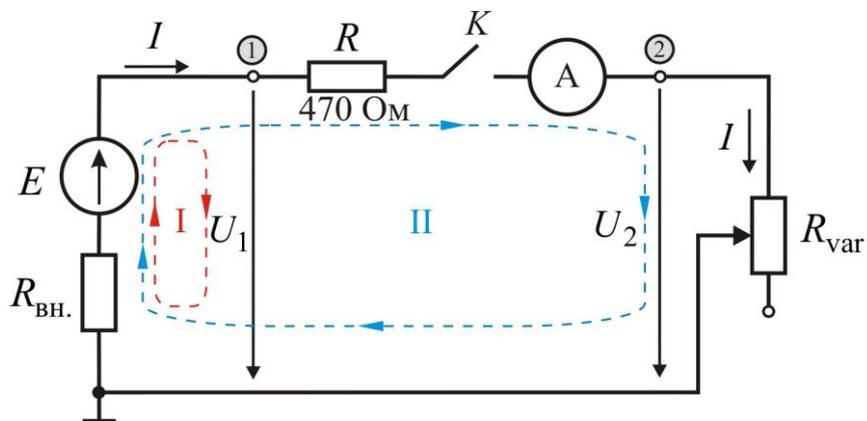
Если мощность значительна, то работать с таким низким КПД недопустимо. Поэтому такой режим применяется в слаботочных системах, когда энергетические соображения не играют существенной роли, а важно получить максимум мощности в нагрузке.

## 2. ЗАДАНИЯ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**2.1. Изучите описание лабораторного стенда (Методические указания «Стенд и приборы для исследования электрических цепей»).**

**2.2. Исследовать неразветвленную электрическую цепь с одним источником энергии.**

Электрическая схема цепи приведена на рис. 6, монтажная схема – на рис. 7.



**Рис. 6.** Электрическая схема (задание 2).

Исследуемая схема содержит нерегулируемый источник питания  $E$  с внутренним сопротивлением  $R_{\text{вн}}$ . (на монтажной схеме это сопротивление не показано), постоянное сопротивление  $R$  (номинальное значение 470 Ом), ключ  $K$ , замыкание которого разрешает прохождение электрического тока, и переменное сопротивление (потенциометр)  $R_{\text{var}}$ . Переменное сопротивление изменяется от 0 Ом (ручка

потенциометра повернута до упора против часовой стрелки) до 1000 Ом (ручка повернута до упора по часовой стрелке).

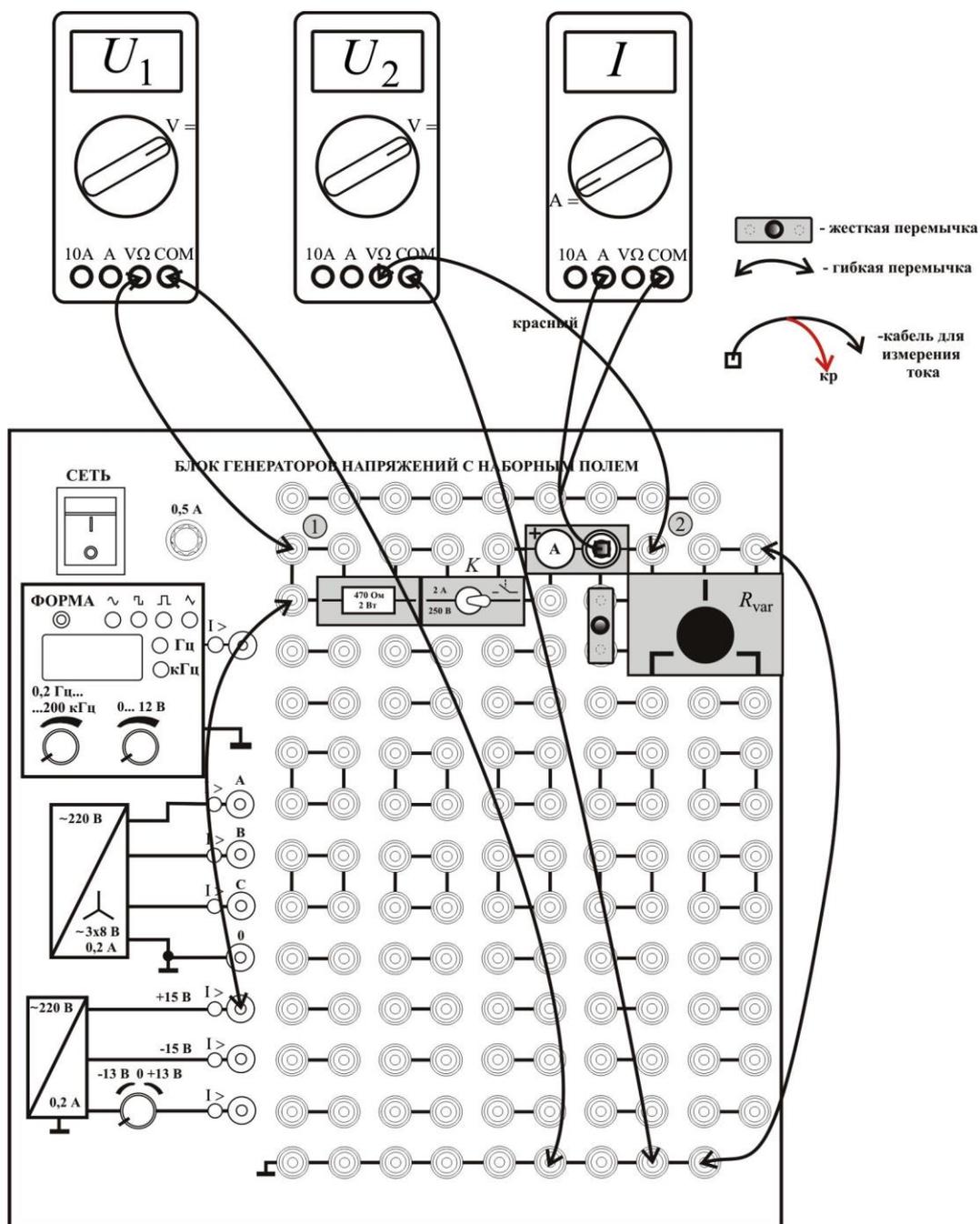


Рис. 7. Монтажная схема (задание 2).

К контрольной точке ① подключен мультиметр (первый слева), измеряющий напряжение источника  $U_1$ .

К контрольной точке ② подключен мультиметр (средний), измеряющий напряжение на нагрузке  $U_2$ .

Амперметр (первый справа мультиметр) подключен к миниблоку «Амперметр».

1. Убедиться, что стенд обесточен, все сетевые выключатели находятся в

положении «выключено», ключ  $K$  разомкнут (тумблер ключа в правом положении) и ручка потенциометра повернута до упора по часовой стрелке  $R_{\text{var}} = 1000 \text{ Ом}$ .

2. Включить сетевые тумблеры стенда и мультиметров.

3. Измерить напряжение  $U_1$  на холостом ходу (при разомкнутом ключе) и занести показание в первую строку таблицы 1.

4. Замкнуть ключ  $K$ . Установить ручкой потенциометра «рекомендуемое» напряжение  $U_2 = 10,2 \text{ В}$  (строка №2). При установке допускается отклонение от рекомендуемого напряжения не более, чем на  $\pm 0,1 \text{ В}$ . Занести реальное значение в графу  $U_2 \text{ [В]}$ , «установленное». Измерить ток и занести в строку №2 таблицы.

5. Последовательно устанавливая рекомендуемые напряжения, заполнить всю таблицу. Так как внутреннее сопротивление источника питания  $R_{\text{вн}}$  мало, то напряжение  $U_1$  изменяется незначительно при изменении нагрузки. В этих условиях рекомендуется не измерять напряжение  $U_1$  для строк №2 – 8, а ограничиться лишь напряжением  $U_1^*$  при максимальном токе нагрузки (строка №9).

6. Разомкнуть ключ  $K$  и выключить тумблер «СЕТЬ» блока генераторов.

7. Вычислить мощность в нагрузке (правая строка таблицы 1).

8. Рассчитать внутреннее сопротивление источника  $R_{\text{вн}}$ , составив уравнение по 2-му закону Кирхгофа для контура I (рис. 6). Значение  $E$  взять из первой строки таблицы 1, а ток и напряжение  $U_1$  взять из 9 строки. Занести в таблицу 2 рассчитанное значение  $R_{\text{вн}}$ .

Таблица 1

Измерено						Вычислено
№	Ключ К	$I \text{ [A]}$	$U_1 \text{ [В]}$ ,	$U_2 \text{ [В]}$ , «рекомендуемое»	$U_2 \text{ [В]}$ , «установленное»	$P = (U_2 \cdot I) \cdot 10^3$ [мВт]
1	разомкнут	0	$E =$	0	0	0
2	замкнут		<b>Не измерять</b>	$10,2 \pm 0,1$		
3	замкнут			$9,5 \pm 0,1$		
4	замкнут			$8,5 \pm 0,1$		
5	замкнут			$7,5 \pm 0,1$		
6	замкнут			$6,5 \pm 0,1$		

7	замкнут			$5,5 \pm 0,1$		
8	замкнут			$4,5 \pm 0,1$		
9	замкнут		$U_1^* =$	0		

9. Построить по точкам (таблица 1):

- внешнюю характеристику источника питания  $U_1 = f(I)$  с внутренним сопротивлением  $R_{вн.}$ . Построение провести по двум точкам. Если значения  $E$  и  $U_1^*$  близки, то допускается построение внешней характеристики в виде горизонтальной прямой, проходящей через точку  $E$ ;

- характеристику  $U_2 = f(I)$  с искусственно увеличенным внутренним сопротивлением  $R_{вн.}^* = R_{вн.} + R$ ;

- зависимость  $P = f(I)$  (при построении зависимости использовать расчетные значения из строк №2 – 8).

Все зависимости должны быть построены на одном графике (рис. 8) с единым масштабом по оси тока.

**Внимание.** При построении  $P = f(I)$  точки графика соединить плавной кривой таким образом, чтобы просматривалась точка максимума мощности. Определить по графику максимальную мощность  $P^*$ . Значение мощности  $P^*$  может оказаться немного больше максимального из значений в таблице 1.

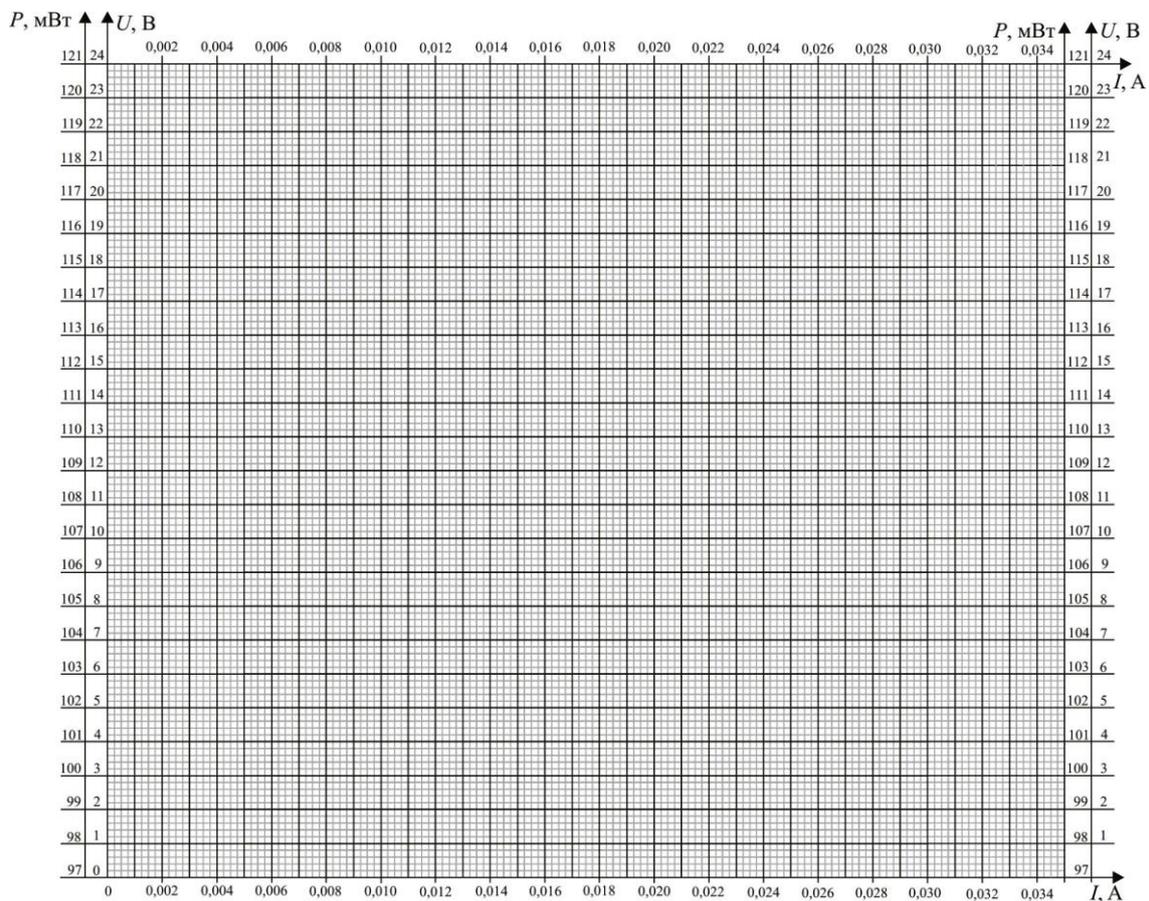


Рис. 8. Характеристики источника  $E$ .

10. Опустить из точки максимальной мощности вертикальную прямую до пересечения с осью токов и определить по графику значение тока  $I^*$  в точке пересечения. Отметить точку пересечения вертикальной прямой с графиком  $U_2 = f(I)$  и определить графически напряжение  $U_2^*$  в этой точке. Найденные по графикам значения соответствуют согласованному режиму работы. Занести  $P^*$ ,  $I^*$ ,  $U_2^*$  в таблицу 3.

Таблица 2

$E$ [В]	$R_{\text{вн.}}$ [Ом]	$R_{\text{вн.}}^*$ [Ом]	$R_{\text{var}}^*$ [Ом]	$\eta^*$

Таблица 3

$P^*$ [мВт]	$I^*$ [А]	$U_2^*$ [В]

11. Определить по результатам опытов и занести в табл. 2:

а) ЭДС источника (взять из первой строки таблицы 1). Искусственно увеличенное внутреннее сопротивление источника  $R_{\text{вн.}}^*$  (вычислить как  $R_{\text{вн.}}^* = R_{\text{вн.}} + R$ , где  $R = 470 \text{ Ом}$ ).

б). Сопротивление резистора нагрузки  $R_{\text{var}}^*$  (соответствует режиму максимальной мощности  $P^*$  (согласованный режим)). Оно вычисляется как  $R_{\text{var}}^* = \frac{U_2^*}{I^*}$ .

в). КПД источника  $\eta^*$  при согласованном режиме работы (рассчитать по формуле  $\eta^* = \frac{U_2^*}{E}$ ).

г). Рассчитать и занести в таблицу 4 значения мощности источника  $P_{\text{ист.}}^*$  и сумму мощностей потребителей  $P_{\text{потр.}}^*$  при согласованном режиме работы. Мощности рассчитать по формулам:

$$P_{\text{ист.}}^* = E \cdot I^*; P_{\text{потр.}}^* = (I^*)^2 \cdot [R_{\text{вн.}} + R + R_{\text{var}}^*].$$

Таблица 4

$P_{\text{ист.}}^* \text{ [Вт]}$	$P_{\text{потр.}}^* \text{ [Вт]}$

После выполнения всех расчетов результаты показать преподавателю.

### 2.3. Исследовать разветвленную электрическую цепь с тремя

источниками энергии  $E_1$ ,  $E_2$  и  $E_{\text{var}}$ .

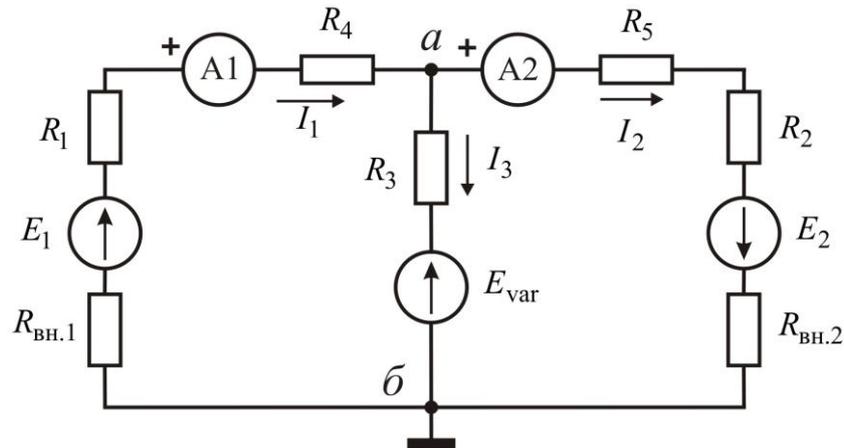
Электрическая схема цепи приведена на рис. 9, монтажная схема на рис. 10.

Номинальные значения резисторов и источников приведены в таблице 5.

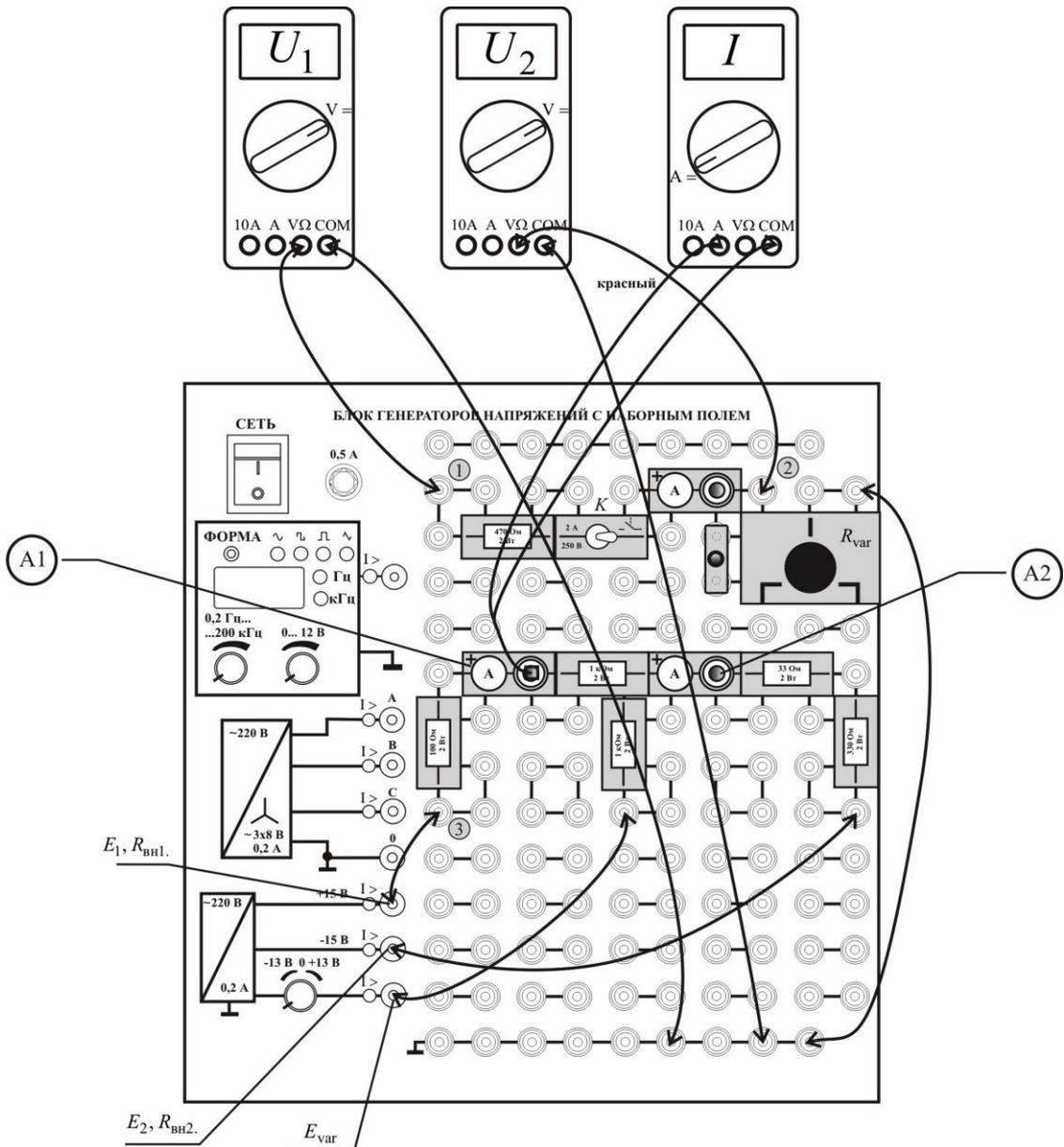
Таблица 5

$E_1$	$E_2$	$R_{\text{вн.1}}$	$R_{\text{вн.1}}$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$
[В]	[В]	[Ом]	[Ом]	[Ом]	[Ом]	[Ом]	[Ом]	[Ом]
15	15	2	2	100	330	1000	100 0	33

**Примечание.** Внутренние сопротивления источников  $R_{вн.1}$  и  $R_{вн.2}$  на монтажной схеме (рис. 10) не показаны.



**Рис. 9.** Электрическая схема (задание 3).



**Рис. 10.** Монтажная схема (задание 3).

### Порядок выполнения задания.

1. Не разбирая предыдущей схемы, смонтировать блоки в соответствии с рис. 10 (провод от источника +15 В перенести с точки ① предыдущей схемы в точку ③ исследуемой схемы, кабель амперметра перенести с мини блока амперметра предыдущей схемы на мини блок А1 исследуемой схемы). **Предъявить схему для проверки преподавателю.**

1. Установить ручку регулятора источника  $E_{\text{var}}$  в произвольное положение.
2. Включить тумблер «СЕТЬ» блока генераторов. Измерить ток  $I_1$ , результат занести в таблицу 6.
3. Перенести щуп мультиметра (крайнего справа) на амперметр А2 (рис. 10). Измерить ток  $I_2$ , результат занести в таблицу 6.
4. Используя данные таблиц 5 и 6 провести вычисления всех параметров таблицы 6.

Таблица 6

Измерено		Вычислено			
$I_1$ [А]	$I_2$ [А]	$I_3$ [А]	$E_{\text{var}}$ [В]	$P_{\text{ист.}}$ [Вт]	$P_{\text{потр.}}$ [Вт]

Методические указания:

- ток  $I_3$  вычислить, применяя 1-й закон Кирхгофа для узла  $a$ , рис. 9;
- ЭДС регулируемого источника  $E_{\text{var}}$  вычислить из второго закона Кирхгофа для левого контура схемы, рис. 9;
- составить уравнение баланса мощности для схемы, рис. 9, численные значения  $P_{\text{ист.}}$  и  $P_{\text{потр.}}$  занести в таблицу 6.

После выполнения всех расчетов результаты показать преподавателю и, получив его разрешение, выключить питание стенда.

### **ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ**

Форма отчета или предоставляется студентам в электронном виде лектором потока, или копируется и распечатывается с сайта кафедры <http://fn.bmstu.ru/learning-work-fs-7/laboratory-works-fs-7>.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется внешней характеристикой источника? Запишите уравнение внешней характеристики.
2. Как практически измерить ЭДС и внутреннее сопротивление источника?
3. Как с помощью внешней характеристики источника определить его ЭДС и внутреннее сопротивление?
4. Что такое согласованный режим работы источника? Чему равен КПД в таком режиме?
5. Выведите зависимость КПД источника с внутренним сопротивлением  $R_{\text{вн}}$  от сопротивления нагрузки  $R_{\text{н}}$ .
6. Выведите зависимость КПД источника с внутренним сопротивлением  $R_{\text{вн}}$  от тока нагрузки  $I$ .
7. Можно ли рассчитать КПД по внешней характеристике источника? Что для этого должно быть задано?
8. По какому принципу элементы электрической цепи подразделяются на источники и потребители энергии?
9. Дайте определение активного и пассивного двухполюсников.
10. Дайте определение режимов работы источника (холостой ход, короткое замыкание, номинальный, согласованный).
11. Покажите, что измерения, приведенные в таблице 2, отражают согласованный режим работы схемы.
12. Почему можно считать, что напряжение  $U_1$  в первой строке таблицы 1 равно ЭДС источника  $E$ ?
13. Измените направление тока  $I_1$  в схеме (рис. 9) на противоположное и запишите уравнение баланса мощности.
14. Измените направления токов  $I_1$  и  $I_3$  в схеме (рис. 9) на противоположное и запишите уравнение баланса мощности.
15. Как с помощью мультиметра измерить ток?
16. Как с помощью мультиметра измерить напряжение и сопротивление участка цепи?

## ЛИТЕРАТУРА

*Борисов Ю.М., Липатов Д.Н., Зорин Ю.Н.* Электротехника. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 551 с.

*Касаткин А.С., Немцов М.В.* Электротехника: учебник для вузов. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 544 с.