

Министерство образования Российской Федерации
МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОНИКИ И МАТЕМАТИКИ
(ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Кафедра электроники и электротехники

ПОСТОЯННЫЙ ТОК
Методические указания
к лабораторным работам
Часть 1

Москва 2004

Составители: канд. техн. наук, доц. Е.Г. Осипов
техник В.В. Никитин

Приведены методические указания к лабораторным работам по изучению основных законов в цепях постоянного тока. Сборник является составной частью методического обеспечения по дисциплинам "Теоретические основы электротехники" и "Электротехника и электроника", изучаемым студентами 2-х и 3-их курсов дневного и вечернего отделений всех технических специальностей.

УДК 621.3(075.8)

Постоянный ток: Метод. указания к лаб. работам / Моск. гос. ин-т электроники и математики; Сост. Е.Г. Осипов, В.В. Никитин. М., 2004. 35с.

Табл. 15. Ил. 11.

ISBN 5-94506-071-2

1. Введение

1.0. Основные положения.

1.0.1. Лабораторная работа состоит из двух частей: теоретической (подготовка к работе) и экспериментальной (рабочее задание). Теоретическая часть работы выполняется во внеаудиторное время, до выполнения экспериментальной части лабораторной работы. Экспериментальные исследования проводятся в лаборатории электротехники кафедры ЭиЭ в соответствии с расписанием занятий.

1.0.2. Для получения допуска к выполнению лабораторной работы студент обязан подготовить отчёт. После проверки правильности подготовки и оформления отчёта студент получает отметку о допуске в кафедральный журнал лабораторных работ.

1.0.3. При выполнении лабораторных работ студенту необходимо руководствоваться положением действующей "Инструкции по технике безопасности при выполнении лабораторных работ на кафедре ЭиЭ".

1.0.4. После выполнения лабораторной работы студент представляет заполненный отчёт по лабораторной работе преподавателю.

1.0.5. При отсутствии у преподавателя замечаний по результатам выполненной работы студент сдаёт рабочее место и полученное оборудование преподавателю или лаборанту и получает соответствующую отметку о выполнении в кафедральный журнал лабораторных работ.

1.0.6. Защита лабораторной работы проводится в часы лабораторных занятий. Для получения отметки о защите студент должен представить полностью оформленный отчёт, и иметь навыки в решении задач по теме, изложенной в пункте "Цель работы" соответствующего описания лабораторной работы.

1.0.7. При отсутствии у преподавателя замечаний по результатам выполненного задания студент получает соответствующую отметку

о защите в кафедральный журнал лабораторных работ и сдаёт отчёт преподавателю.

1.1. Требования к отчёту

1.1.1. Отчёт по лабораторной работе оформляют на стандартных листах формата А4. Записи делают только с одной стороны листа. Первый (титульный) лист оформляется в соответствии с требованиями действующего ГОСТа.

1.1.2. Отчёт по лабораторной работе готовит каждый студент самостоятельно во внеаудиторное время до лабораторного занятия.

1.1.3. Отчёт должен содержать подробные ответы на вопросы теоретической части лабораторной работы, необходимые расчёты, формулы, которые потребуются при выполнении экспериментальной части, схемы, используемые как при расчётах, так и при эксперименте, таблицы для записи расчётных и экспериментальных данных, оси под графики (если они требуются в работе). Не допускается опускать математические выкладки. После записи выражения в общем виде обязательна запись с подстановкой данных выполняемого варианта.

1.1.4. В процессе выполнения экспериментальной части работы измеренные и рассчитанные величины заносят в таблицы, и по требованию рабочего задания строят графики требуемых зависимостей.

1.1.5. При подготовке к работе допускается применение ЭВМ. Оси для построения графиков также целесообразно подготовить на ЭВМ или начертить на миллиметровой бумаге. По разрешению преподавателя допускается применение бумаги в клетку формата А4 или близкого к нему (двойной лист из ученической тетради).

1.2. Описание оборудования

Для выполнения экспериментальной части всех лабораторных работ, описанных в сборнике, применяется один набор необходимого оборудования.

1.2.1. Работы выполняются на панели, предназначенной для проведения лабораторных работ по цепям постоянного тока. На панели смонтированы необходимые для выполнения работ элементы и измерительные приборы. В левой нижней части панели расположен блок управления режимами работы источников. В верхней части панели размещены три миллиамперметра и вольтметр магнитоэлектрической системы. Миллиамперметры имеют два предела измерения 50 и 100 мА. Предел измерения переключается тумблером, расположенным под соответствующим прибором. При отсчёте показания измерительного прибора значение измеряемой величины тем точнее, чем меньше цена деления шкалы. Цену деления определяют путем деления предела измерений на число делений. Например, если предел измерения 50 мА, а число делений от 0 до максимального отклонения 20, то цена деления $50/20=2,5$ мА. Шкала миллиамперметра имеет "центральный ноль", т.е. нулевая отметка расположена по середине шкалы. Это позволяет определять не только абсолютное значение величины, но и установить направление тока. Стрелка миллиамперметра отклоняется вправо от нуля, если действительное положительное направление тока направлено от правого зажима к левому. Вольтметр имеет три предела измерений - 5, 25 и 100 В. Переключение пределов производится перестановкой соединительного провода в соответствующую клемму. Например, при подключении проводников в клеммы "+общ" и "5" предел измерения составит 5В. Цена деления определяется так же, как и в случае с миллиамперметром. В некоторых работах целесообразно использовать цифровой универсальный вольтметр В7-16А, установленный на лабораторном стенде сверху. Набор резисторов номиналом от 18 до 550 Ом применяется в качестве пассивных элементов цепей постоянного тока. Резисторы, применяемые в работе, установлены в середине панели и обозначены R1 R2 ... R6. Их номиналы указаны в таблице вариантов в конце сборника. Для удобства сборки схем каждый вывод резистора снабжен двумя

клеммами и используется для образования узлов электрической цепи. Ниже расположены группы клемм А, Б, С, Д (в каждой группе четыре соединенных между собой клеммы). Они также могут быть использованы для образования узлов электрической цепи. В правой части панели, под вольтметром, находятся клеммы для подключения внешнего источника питания. Клеммы обозначены +E1-, +E2-. Сборку схем начинают с подключения к этим клеммам внешнего источника питания ВИП 009. Плюсовую клемму первого канала источника соединяют с клеммой E1+, минусовую с E1-. Второй канал подключают также с соблюдением полярности к клеммам E2+ и E2- соответственно.

1.2.2. Внешний источник питания ВИП 009 представляет собой прибор, объединяющий два независимых стабилизированных источника э.д.с. в одном корпусе. Величина выходного напряжения регулируется от 0 до 15 В. Прибор оборудован защитой от короткого замыкания цепей нагрузки и индикацией выходного напряжения каналов. Индикация осуществляется вольтметрами магнитоэлектрической системы с ценой деления 0,5 В, что позволяет с достаточной точностью установить требуемые в работе значения величин э.д.с.. Регулировки выходного напряжения производятся ручками "грубо" дискретно с шагом в 3 В, и "плавно" внутри диапазона, выбранного ручкой "грубо". Например, установив ручку "грубо" в положение, обозначенное цифрой 3, ручкой "плавно" можно изменять выходное напряжение от 0 до 3В, если установить ручку "грубо" в положение, обозначенное цифрой 6, ручкой "плавно" можно изменять выходное напряжение от 3 до 6В, и т.д..

1.2.3. При необходимости установить значение э.д.с. $E_1 = 0$ или $E_2 = 0$, подходящий режим выбирается переключением тумблеров блока управления режимами работы источников В1 или В2 в положение "закорочено". При необходимости эмуляции режима источника тока на блоке управления режимами источников предусмотрены тумблеры В3 и В4. В3 переключает режим работы первого источника E_1 или J_1 , а В4 второго источника E_2 или J_2 .

Значения источника тока устанавливают путём изменения выходного напряжения соответствующего канала источника питания, а контролируют по миллиамперметру, включенному в ветвь с данным источником тока. При необходимости установить J_1 или J_2 равным нулю тумблер блока управления режимами работы источников В1 или В2 устанавливают в положение "разомкнуто".

1.2.4. В некоторых лабораторных работах применяется магазин сопротивлений. Этот прибор удобен в случае, когда требуется многократно изменять сопротивление одного и того же резистора по ходу работы. В лабораториях кафедры применяются шестидекадные магазины сопротивлений с диапазоном изменения сопротивления от 0.1 Ом до 99999.9 Ом. Для того чтобы задействовать все декады, соединительные проводники подключают в крайние клеммы магазина сопротивлений. Установка значения сопротивления производится выбором числа на шкале ручки переключателя нужной декады. Например, требуется установить сопротивление величиной 123,4 Ом.

- а) на декаде, обозначенной X0.1, устанавливаем 4;
- б) на декаде, обозначенной X1, устанавливаем 3;
- в) на декаде, обозначенной X10, устанавливаем 2;
- г) на декаде, обозначенной X100, устанавливаем 1.

Получаем: $4*0,1+3*1+2*10+1*100 = 123,4$.

1.2.5. При выполнении лабораторных работ требуется измерять напряжения на элементах схемы. Для этого используются вольтметры. Один (стрелочный вольтметр магнитоэлектрической системы) смонтирован в панель стенда и описан выше (см. п. 1.2.1.), другой цифровой В7-16а, установлен на стенде отдельно. Для проведения измерений в нижеописанных работах необходимо:

- подключить провод питания вольтметра к сети;
- выбрать род работы (измерение постоянного напряжения);
- установить предел измерения (10 В).

Вольтметр подключается к цепи при помощи двух проводников, соединённых с клеммами 0 и $\sim 100V$.

Лабораторная работа №1

Исследование разветвленной цепи постоянного тока

1. Цель работы и её краткое содержание.

Изучить понятия входной и передаточной проводимостей, коэффициента передачи по току, закон Ома, принцип и метод наложения. Получить практические навыки определения указанных величин на основе аналитического расчета и экспериментальных исследований, применения метода наложения.

2. Теоретические сведения.

2.1. Обобщенный закон Ома

При анализе электрических схем возникает необходимость в определении выражений для напряжений на их ветвях. В качестве примера запишем выражение для напряжения U_{AB} в схеме 1.1. Напряжение можно найти по закону Кирхгофа напряжений. Для этого выберем направление тока этой ветви (например, совпадающим с направлением э.д.с.) и запишем уравнение по закону Кирхгофа напряжений. Тогда для указанного на схеме 1.1 направления обхода контура имеем:

$$I_K \cdot R_K + U_{AB} = E_K$$

Откуда

$$U_{AB} = E_K - I_K \cdot R_K$$

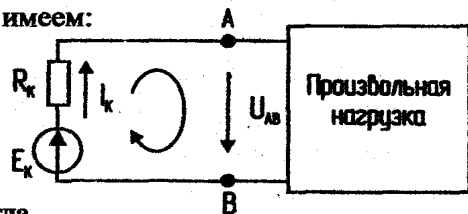


Рис. 1.1

Полученное выражение иногда называют обобщенным законом Ома.

2.2. Принцип наложения.

В линейной схеме ток в любой ветви (напряжение на любой ветви) равен сумме токов (напряжений) в этой ветви, обусловленных в отдельности каждым источником, действующим в отсутствие остальных. Другими словами, если в схеме имеются N источников, то ток в K -й ветви, можно определить как сумму N слагаемых, где каждое слагаемое - ток в K -й ветви при действии в схеме только

одного источника, в то время как остальные источники равны нулю.

2.3. Передаточные и входные коэффициенты.

Коэффициенты вида G_{KK} (с одинаковыми индексами) называют собственными или входными проводимостями.

$$G_{KK} = \frac{I_K}{E_K} \left| \begin{array}{l} \text{при } E_j = 0 \text{ для всех } j \text{ не равных } K \\ \text{при } J_S = 0 \text{ для всех } S \end{array} \right.$$

Коэффициенты вида G_{KM} (с разными индексами) называют взаимными или передаточными проводимостями.

$$G_{KM} = \frac{I_K}{E_M} \left| \begin{array}{l} \text{при } E_j = 0 \text{ для всех } j \text{ не равных } M \\ \text{при } J_S = 0 \text{ для всех } S \end{array} \right.$$

Коэффициенты вида T_{KM} носят название коэффициентов передачи по току.

$$T_{KM} = \frac{I_K}{J_M} \left| \begin{array}{l} \text{при } E_j = 0 \text{ для всех } j \\ \text{при } J_S = 0 \text{ для всех } S \text{ не равных } M \end{array} \right.$$

Коэффициенты вида H_{KM} носят название коэффициентов передачи по напряжению.

$$H_{KM} = \frac{U_K}{E_M} \left| \begin{array}{l} \text{при } E_j = 0 \text{ для всех } j \text{ не равных } M \\ \text{при } J_S = 0 \text{ для всех } S \end{array} \right.$$

R_{KM} - передаточное сопротивление.

$$R_{KM} = \frac{U_K}{J_M} \left| \begin{array}{l} \text{при } E_j = 0 \text{ для всех } j \\ \text{при } J_S = 0 \text{ для всех } S \text{ не равных } M \end{array} \right.$$

Для определения какого-либо передаточного или входного коэффициента необходимо:

а) в исходной схеме оставить только источник, по отношению к которому определяется коэффициент. Все остальные источники положить равными нулю;

б) рассчитать по заданным параметрам схемы (или измерить в цепи) соответствующий ток или напряжение. Тогда искомым коэффициент будет равен частному от деления полученного значения тока или напряжения на величину источника.

Равенство приведенное ниже позволяет определять передаточную проводимость через приращение тока при изменении э.д.с. источника в схеме, содержащей другие источники.

$$G_{KM} = \frac{I'_K - I''_K}{E'_M - E''_M} = \frac{\Delta I_K}{\Delta E_M}$$

При использовании данного метода рассчитывают (измеряют) два значения тока I'_K и I''_K в ветви К, при двух известных значениях э.д.с. источника E'_M и E''_M .

2.4. Метод наложения.

Метод наложения справедлив только для линейных схем и основан на принципе наложения. Метод заключается в следующем:

а) оставляют в схеме только один источник, а остальные полагают равными нулю, т.е. эти источники удаляют из схемы, а затем зажимы, между которыми были включены источники э.д.с., замыкают накоротко, а зажимы, между которыми были включены источники тока, оставляют разомкнутыми. В полученной схеме с одним источником рассчитывают (измеряют) токи и (или) напряжения;

б) оставляют в схеме другой источник, а остальные полагают равными нулю и рассчитывают (измеряют) токи и (или) напряжения при действии только второго источника;

в) процесс расчета (измерений) продолжают до тех пор, пока не будут определены значения искоемых величин (токов, напряжений) от действия каждого источника в отдельности;

г) искоемые токи и напряжения определяют как сумму рассчитанных (измеренных) значений, соответственно, токов и напряжений от каждого источника в отдельности.

3. Подготовка к работе.

3.1. Изучить принцип и метод наложения, определения входной и передаточной проводимостей, передаточного сопротивления, коэффициентов передачи по напряжению и току.

3.2. Рассчитать ток I_1 в схеме рис.1.2. при указанных в таблице вариантов величинах R_1 , $E_1 = E_{10}$ и двух значениях напряжения U_{AB} .

3.3. Написать по принципу наложения выражение для тока I_2 в схеме рис.1.2, применяя входные и передаточные проводимости.

3.4. Написать по принципу наложения выражение для тока I_3 в схеме рис. 1.3, применяя входные и передаточные проводимости и коэффициенты передачи по току.

3.5. Определить по данным таблицы варианты взаимную (передаточную) проводимость G_{31} и коэффициент передачи по току T_{32} для схемы рис. 1.3.

3.6. Рассчитать, используя результаты пунктов 3.4 и 3.5 ток I_3 в схеме рис.1.3 при $E_1 = 0,8E_{10}$ и $J_2 = 0,9J_{20}$.

3.7. Вычислить для схемы 1.3 передаточное сопротивление R_{32} .

3.8. Ознакомиться с рабочим заданием и подготовить бланк отчёта (см. "Требования к отчету" стр. 4).

4. Рабочее задание

4.1. Собрать цепь в соответствии со схемой 1.2. Сборку схемы следует начинать с подключения внешнего источника питания ВИП 009 к входным клеммам на панели постоянного тока (см. стр. 5 п. 1.2.1. вводной части). Далее соединяют последовательно элементы внешнего контура цепи, выбирая в качестве начальной точки клемму "+" источника E_1 блока управления режимами источника питания, расположенного в левой нижней части панели. После сборки внешнего контура подключают остальные элементы цепи.

Например, в цепи, собираемой по схеме рис.1.2., клеммы элементов соединяют в таком порядке: клемма "+" источника E_1 блока управления режимами источника питания - левая клемма

миллиамперметра A_1 , правая клемма A_1 - верхняя клемма резистора R_1 , нижняя клемма R_1 - левая клемма миллиамперметра A_3 , правая клемма A_3 - верхняя клемма резистора R_3 , нижняя клемма R_3 - левая клемма миллиамперметра A_2 , правая клемма A_2 - верхняя клемма резистора R_2 , нижняя клемма R_2 - "+" источника E_2 блока управления режимами источника питания, "-" источника E_2 - верхняя клемма резистора R_4 , нижняя клемма R_4 - "-" источника E_1 блока управления режимами источника питания. Внешний контур собран, осталось подключить резисторы R_5 и R_6 . Верхнюю клемму резистора R_5 соединяем со свободной нижней R_1 , а нижнюю клемму R_5 соединяем со свободной нижней клеммой R_4 . Верхнюю клемму резистора R_6 соединяем со свободной нижней R_3 , а нижнюю клемму R_6 соединяем со свободной верхней клеммой R_4 .

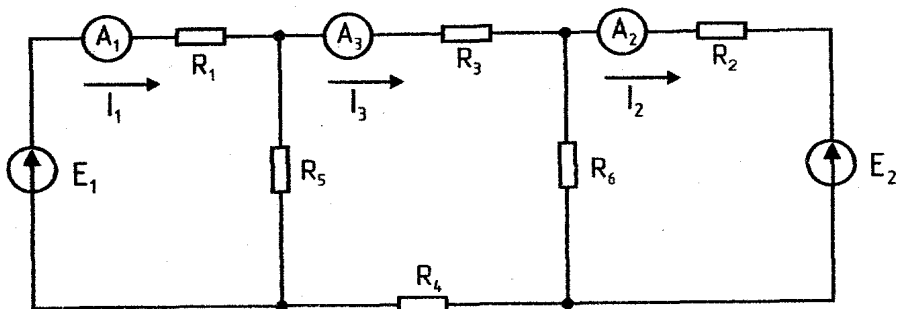


Рис. 1.2

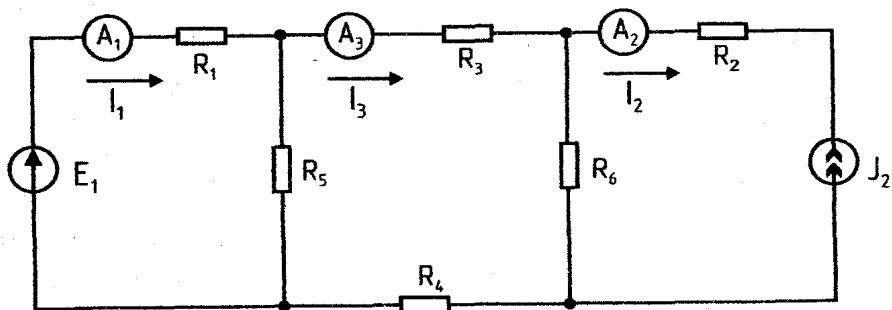


Рис. 1.3

4.2. Включить блок питания и установить (см. стр. 6, п. 1.2.2. вводной части) по контрольному вольтметру на блоке питания напряжение $E_1 = E_{10}$ в соответствии с выполняемым вариантом.

4.3. Измерить ток I_1 при включенном источнике э.д.с. $E_1 = E_{10}$ и двух значениях U_{AB} , указанных в таблице вариантов. Напряжение U_{AB} устанавливать при помощи изменения величины и полярности э.д.с. источника E_2 . Опыт проводится в следующей последовательности:

а) подключить вольтметр В7-16а к точкам А и В (параллельно резистору R_5) по схеме 1.2., верхнюю свободную клемму R_5 соединяем с клеммой "~U", а нижнюю клемму R_5 с клеммой "0" вольтметра (см. также стр. 7, п. 1.2.5. вводной части);

б) включают оба источника (тумблеры В1 и В2 в положении "Включено") и при помощи регулировок выходного напряжения второго канала источника ВИП 009 по показанию вольтметра В7-16а устанавливают значение U_{AB}' после чего фиксируют показание миллиамперметра A_1 . Данные измерений заносят в таблицу 1.1.;

в) изменяют полярность включения второго канала источника питания (только при обязательном изменении полярности можно получить отрицательную величину U_{AB} , оставляя неизменным значение E_1), при помощи регулировок выходного напряжения второго канала источника ВИП 009 по показанию вольтметра В7-16а устанавливают отрицательное значение U_{AB} после чего фиксируют показание миллиамперметра A_1 . Данные измерений заносят в таблицу 1.1.;

г) восстановить полярность включения второго канала источника питания, отключить вольтметр.

4.4. Установить (см. стр. 6, п. 1.2.2. вводной части) по контрольному вольтметру на блоке питания напряжение $E_1 = E_{10}$ и $E_2 = E_{20}$ в соответствии с выполняемым вариантом, и для цепи по схеме рис. 1.2. измерить и записать показания миллиамперметров при:

а) $E_1 = E_{10}$, $E_2 = 0$

б) $E_1 = 0$, $E_2 = E_{20}$

в) $E_1 = E_{10}$, $E_2 = E_{20}$

и проверить, удовлетворяют ли результаты измерений принципу наложения. **Режимы работы** цепи устанавливать согласно указаниям, данным в п.1.2.3. введения (стр.6.). Данные занести в таблицу 1.2.

4.5. По опытным данным п.4.4. рассчитать собственную проводимость G_{22} и передаточные проводимости G_{12} и G_{21} . Сравнить между собой величины проводимостей G_{12} и G_{21} . Результаты занести в таблицу 1.2.

4.6. Вычислить, используя результаты пп. 3.3. и 4.4., при каком значении E_2 (E_1 неизменно и равно E_{10}) ток $I_2 = 0$. Изменяя величину E_2 в цепи по схеме 1.2., получить $I_2 = 0$ зафиксировать значения остальных токов и измерить величину E_2 . Если контрольный вольтметр блока питания не даёт возможности точно оценить величину E_2 , следует подключить вольтметр В7-16а на свободные клеммы блока управления режимами источников, клемму "U" к верхней клемме E_2 , "0" к нижней клемме E_2 . Результаты занести в таблицу 1.2.

4.7. Рассчитать значения проводимостей G_{22} , G_{12} по приращению токов и э.д.с., используя для этого два режима из пп. 4.4.в. и 4.6. Сравнить с результатами п. 4.5.

4.8. В цепи по схеме рис.1.3. (в имеющейся цепи переключить тумблер В4 блока управления режимами источников питания в положение "J2") измерить и записать показания миллиамперметров при:

а) $E_1 = E_{10}$, $J_2 = 0$

б) $E_1 = 0$, $J_2 = J_{20}$

в) $E_1 = E_{10}$, $J_2 = J_{20}$

и проверить, удовлетворяют ли результаты измерений принципу наложения. **Режимы работы** цепи и значение $J_2 = J_{20}$ устанавливать согласно указаниям, данным в п.1.2.3. введения (стр.6.). Данные занести в таблицу 1.3. При переходе от режима цепи пункта б) к

пункту в) следует проконтролировать и при необходимости подкорректировать значение источника тока. Т.е. значение I_2 при выполнении этих пунктов должно быть одинаковым и равняться значению $-J_2$ (с учетом направления токов).

4.9. В цепи по схеме рис.1.3. измерить падение напряжения на сопротивлении R_3 (подключив вольтметр В7-16 на свободную верхнюю клемму R_3 и на свободную верхнюю клемму R_6) при $E_1=0$; $J_2 = J_{20}$, вычислить передаточное сопротивление R_{32} .

4.10. Определить по данным п. 4.8. взаимную проводимость G_{31} и коэффициент передачи по току T_{32} .

4.11. Измерить ток I_3 при $E_1 = 0.8E_{10}$ и $J_2 = 0.9J_{20}$. Для этого требуется установить указанный режим работы цепи, т.е. поставить тумблеры В1 и В2 в положение "Включено" по контрольному вольтметру источника питания выставить значение $E_1 = 0.8*E_{10}$, а потом по миллиамперметру A_2 - $J_2 = 0.9*J_{20}$ и зафиксировать показание миллиамперметра A_3 . Результаты занести в таблицу 1.3.

Таблица вариантов

№ бригады	Значения сопротивлений Ом						ЭДС В	ЭДС В	Ток мА	напряжение В	
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	E ₁₀	E ₂₀	J ₂₀	U' АВ	U'' АВ
1.	280	100	34	30	500	300	10	7,5	10	4,5	-2,5
2.	280	100	37	32	520	320	10	9,6	13	5	-2
3.	300	110	43	35	550	346	10	12,5	8	4,5	-1
4.	300	110	43	36	548	359	10	9	15	5	-1,5
5.	250	98	35	35	468	300	10	11	15	4,5	-2,5
6.	250	100	35	35	500	300	10	12,5	10	4,5	-2
7.	220	83	33	24	420	250	10	11,6	15	4,6	-2,5
8.	200	80	33	22	420	230	10	5,7	17,5	4,5	-1
9.	220	80	32	25	390	200	10	11	25	6	-3
10.	230	75	32	22	390	200	10	11	20	4,2	-2
11.	210	65	30	23	360	200	10	11	20	4,1	-1
12.	190	70	28	20	358	220	10	6	20	4,5	-2

Таблица 1.1.

Задано			Определено			
E_1 (В)	R_1 (Ом)	U_{AB} (В)	Расчёт I_1 (мА)	Опыт I_1 (мА)	Абсолютная погрешность ΔI_1	Относительная погрешность δI_1

Таблица 1.2.

Измеряемая величина	Измерено			
	$E_1=E_{10}=______$ $E_2=0$	$E_1=0$ $E_2=E_{20}=______$	$E_1=E_{10}=______$ $E_2=E_{20}=______$	$E_1=E_{10}=______$ $E_2 \neq E_{20}=______$
I_1 (мА)				
I_2 (мА)				0
I_3 (мА)				
Рассчитано по пункту 4.5.			Рассчитано по пункту 4.7.	
G_{22}	G_{12}	G_{21}	G_{22}	G_{12}

Таблица 1.3.

Измеряемая величина	Измерено			
	$E_1=E_{10}=______$ $J_2=0$	$E_1=0$ $J_2=J_{20}=______$	$E_1=E_{10}=______$ $J_2=J_{20}=______$	$E_1=0,8 \cdot E_{10}=______$ $J_2=0,9 \cdot J_{20}=______$
I_1 (мА)				
I_2 (мА)				
I_3 (мА)				
U_3 (В)				
Рассчитано				
	G_{31}	T_{32}	R_{32}	I_3 (мА)
по параметрам схемы				
по измеренным величинам				

Лабораторная работа №2

Активный двухполюсник на постоянном токе

1. Цель работы, ее краткое содержание

Закрепление навыков использования теоремы об активном двухполюснике, принципа линейности, приобретения практического опыта сборки электрических цепей и выполнения измерений постоянных токов и напряжений.

В работе студент теоретически и экспериментально определяет параметры активного двухполюсника, проверяет условие, при котором мощность в нагрузке максимальна, опытным путем получает зависимости при изменении сопротивления нагрузки активного двухполюсника.

2. Теоретические сведения

2.1. Любая часть электрической цепи (схемы) с двумя выделенными зажимами, которыми она подсоединяется к остальной части цепи (схемы), называется двухполюсником. На схеме двухполюсник условно изображают прямоугольником с двумя выводами и с буквой "А" (активный) или "П" (пассивный).

Активным называют двухполюсник, содержащий источники, которые взаимно не компенсируют друг друга, т.е. при любом сопротивлении нагрузки (R_H не равно 0) двухполюсника между его зажимами существует напряжение.

Пассивным называют двухполюсник, не содержащий источников или имеющий взаимно скомпенсированные источники (напряжение между его зажимами при любом сопротивлении нагрузки равно нулю).

2.2. Теорема об активном двухполюснике (эквивалентном генераторе): активный линейный двухполюсник по отношению к его зажимам (рис.2.1.а) можно заменить эквивалентным ему источником напряжения с э.д.с. $E_{эк}$ внутренним сопротивлением R_i (рис.2.1.б) или источником тока с током $J_{эк}$ и внутренней проводимостью G_i (рис.2.1.в), где

$E_{эк}$ - равно напряжению холостого хода U_x на зажимах активного

двухполосника (зажимы А, В разомкнуты. $I = 0$);

R_i - равно эквивалентному сопротивлению двухполосника относительно его зажимов А, В при условии, что все э.д.с. источников напряжения и токи источников тока активного двухполосника равны нулю;

$J_{ЭК}$ равно току короткого замыкания I_K , протекающему через зажимы а, в двухполосника при замыкании их накоротко ($U=0$);

G_i - равно эквивалентной проводимости двухполосника относительно его зажимов а, в при условии, что все э.д.с. источников напряжения и токи источников тока активного двухполосника равны нулю.

Теорему о замене активного двухполосника эквивалентным источником напряжения называют теоремой Тевенена, а источником тока - теоремой Нортон.

Эквивалентность (равноценность) активного двухполосника и источника (напряжения или тока) понимается в том смысле, что, если активный двухполосник заменить эквивалентным ему источником, то токи и напряжения (в том числе I и U) в схеме нагрузки не изменяются.

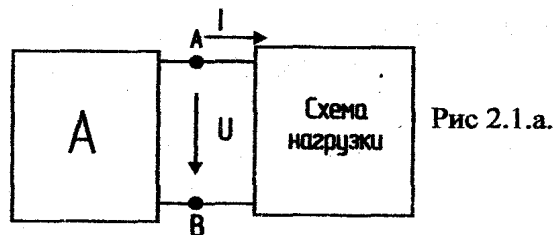


Рис 2.1.а.

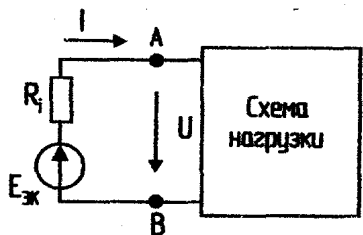


Рис 2.1.б.

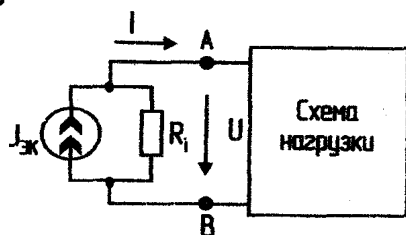


Рис 2.1.в.

Из условия эквивалентности источника напряжения (рис.2.1 б) и источника тока (рис.2.1.в) следует:

$$R_i = \frac{1}{G_i} \quad E_i = J_{ЭК} \cdot R_i$$

или учитывая значения $E_{ЭК}, J_{ЭК}, R_i - U_X = I_K \cdot R_{ЭК}$

Для определения $R_{ЭК}$ необходимо

а) В исходной схеме активного двухполосника положить все э.д.с. источников напряжения и токи источников тока равными нулю. Это эквивалентно следующему преобразованию схемы: из нее удаляют все источники э.д.с. и тока, а затем зажимы, между которыми были включены источники э.д.с., замыкают накоротко, а зажимы, между которыми были включены источники тока, оставляют разомкнутыми.

б) Найти эквивалентное сопротивление полученного пассивного двухполосника по отношению к его зажимам, применяя эквивалентные преобразования пассивных ветвей (замена последовательного или (и) параллельного соединения нескольких сопротивлений одним эквивалентным).

Для определения напряжения холостого хода U_X или короткого замыкания I_K рассчитывают схему активного двухполосника любым рациональным методом соответственно при его разомкнутых или замкнутых зажимах.

Экспериментально параметры активного двухполосника U_X и I_K можно либо непосредственно измерить с помощью опытов холостого хода и короткого замыкания (рис.2.2.).

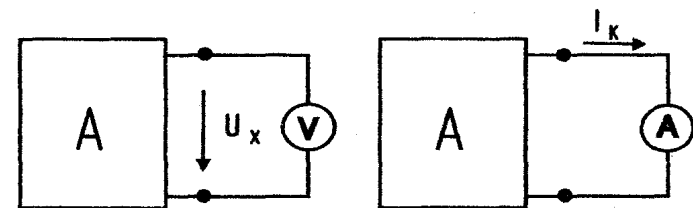


рис.2.2.

Экспериментально параметры активного двухполюсника U_X и I_K также можно вычислить по результатам измерений токов и напряжений в двух других произвольных режимах. Для определения U_X и I_K по результатам измерений в соответствии со схемой рис.2.3. необходимо провести измерения тока I и напряжения U при двух значениях сопротивления нагрузки R_H (R'_H и R''_H).

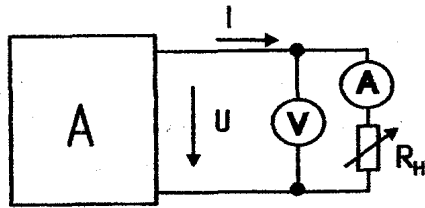


Рис. 2.3.

Для подобных способов используют систему уравнений вида:

$$\begin{cases} U' = U_X - R_{ЭК} \cdot I' \\ U'' = U_X - R_{ЭК} \cdot I'' \end{cases} \quad \begin{cases} U' = U_X - I' \cdot U_X / I_K \\ U'' = U_X - I'' \cdot U_X / I_K \end{cases}$$

по которым можно рассчитать значения параметров эквивалентного источника (активного двухполюсника) по измеренным I' , U' , I'' , U'' .

2.3. В основе метода эквивалентного источника лежит теорема об активном двухполюснике. Сущность метода заключается в том, что по отношению к выделенной ветви всю остальную часть схемы рассматривают как активный двухполюсник и она может быть заменена эквивалентным источником, т.е. расчет тока в выделенной ветви сведен к расчету тока по одной из схем рис.2.4.

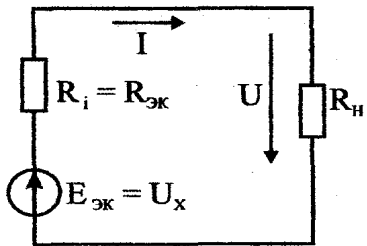


Рис 2.4. а

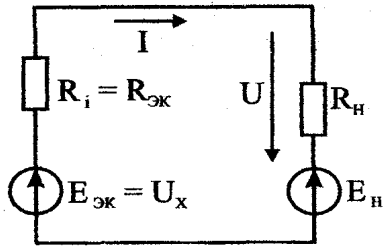


Рис 2.4. б

$$I = \frac{E_{ЭК}}{R_i + R_H} = \frac{U_X}{R_{ЭК} + R_H} \quad \text{Схема рис. 2.4.а}$$

$$I = \frac{E_{ЭК} - E_H}{R_i + R_H} = \frac{U_X - E_H}{R_{ЭК} + R_H} \quad \text{Схема рис. 2.4.б}$$

Для исследования зависимости мощности нагрузки от сопротивления нагрузки воспользуемся теоремой об активном двухполюснике. Пусть произвольный активный двухполюсник подключен к сопротивлению R_H . Тогда в соответствии с теоремой об активном двухполюснике исходная схема может быть заменена эквивалентной ей схемой рис.2.4.а. Мощность сопротивления нагрузки определяется выражением

$$P = I^2 \cdot R_H = \left(\frac{E_{ЭК}}{R_i + R_H} \right)^2 \cdot R_H$$

2.4. Исследования этого выражения на экстремум в зависимости от R_H показывают, что значение мощности нагрузки будет иметь максимальное значение при условии $R_H = R_i$. В этом случае

$$P_{\max} = \frac{E_{ЭК}^2}{4R_i} = \frac{U_X^2}{4R_{ЭК}}$$

$$U = 0,5 \cdot U_K ; I = 0,5 \cdot I_K$$

Свойство линейности. Если в цепи (схеме) изменять параметры одной ветви (сопротивление, э.д.с. или ток источника тока), то зависимости между любыми двумя токами, любыми двумя напряжениями, любыми напряжением и током цепи (схемы) являются линейными:

$$I_k = a + b \cdot I_p ; I_k = s + t \cdot U_p ; U_k = c + d \cdot U_p ;$$

где a, b, c, d, s, t - постоянные коэффициенты, зависящие от топологии (структуры соединения ветвей схемы) схемы и значений

ее сопротивлений. Эти коэффициенты находят по значениям токов или (и) напряжений в двух произвольных режимах, рассчитанных по схеме или измеренных в цепи при изменении параметров элементов одной ветви.

3. Подготовка к работе

3.1. Изучить теорему об активном двухполоснике и принцип линейности.

3.2. Рассматривая схему рис.2.5. относительно сопротивления R_H как активный двухполосник, рассчитать его параметры $U_X, I_K, R_{ЭК}$ при заданных значениях сопротивлений и $E_1 = E_{10}$ (см. таблицу вариантов).

3.3. Для схемы рис.2.5. определить сопротивление R_H , при котором мощность его будет максимальной. Вычислить при этом значения R_H величины I_H, U_H, P_H . Построить качественно зависимости I_H, U_H, P_H от R_H при его изменении от нуля до бесконечности.

3.4. Рассматривая схему рис.2.6. относительно сопротивления R_H как активный двухполосник, рассчитать его параметры $U_X, I_K, R_{ЭК}$ при заданных значениях сопротивлений и $J_1 = J_{10}$ (см. таблицу вариантов). Начертить схемы, эквивалентные активному двухполоснику источников, и указать значения их параметров.

3.5. Получить выражения для расчета параметров $I_K, U_X, R_{ЭК}$ активного двухполосника, используя значения I_H, U_H измеренных в двух произвольных режимах (R_H не равно нулю или бесконечности).

3.6. Ознакомиться с рабочим заданием и подготовить бланк отчета (см. "Требования к отчету" стр. 4).

4. Рабочее задание

4.1. Собрать цепь в соответствии со схемой 2.5. Сборку схемы следует начинать с подключения внешнего источника питания ВИП 009 к входным клеммам на панели постоянного тока (см. стр. 5 п. 1.2.1. вводной части). Далее соединяют последовательно элементы внешнего контура цепи, выбирая в качестве начальной точки клемму

"+" источника E_1 блока управления режимами источника питания, расположенного в левой нижней части панели. После сборки внешнего контура подключают остальные элементы цепи.

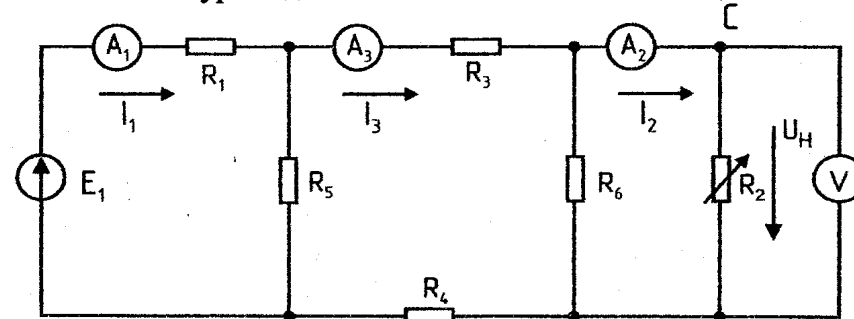


Рис. 2.5.

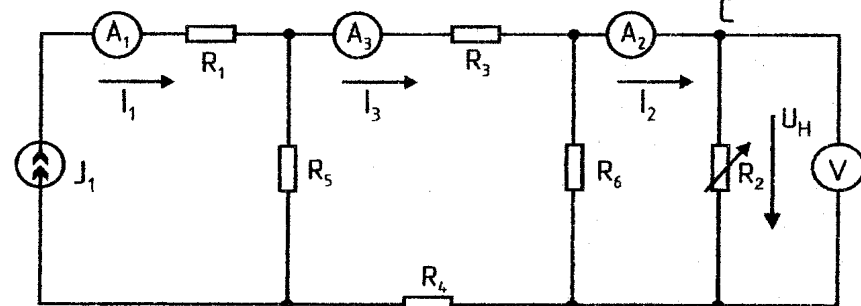


Рис. 2.6.

Например, в цепи, собираемой по схеме рис.2.5. клеммы элементов соединяют в таком порядке: клемма "+" источника E_1 блока управления режимами источника питания - левая клемма миллиамперметра A_1 , правая клемма A_1 - верхняя клемма резистора R_1 , нижняя клемма R_1 - левая клемма миллиамперметра A_3 , правая клемма A_3 - верхняя клемма резистора R_3 , нижняя клемма R_3 - левая клемма миллиамперметра A_2 , правая клемма A_2 - группа клемм "С", группа клемм "D" - верхняя клемма резистора R_4 , нижняя клемма R_4 - "-" источника E_1 блока управления режимами источника питания. Внешний контур собран, осталось подключить резисторы

R_5 и R_6 . Клеммы "С" и "D" необходимо соединить с клеммами "0" и "99999,9" магазина сопротивлений, который будет выполнять роль нагрузки. Верхнюю клемму резистора R_5 соединяем со свободной нижней R_1 , а нижнюю клемму R_5 соединяем со свободной нижней клеммой R_4 . Верхнюю клемму резистора R_6 соединяем со свободной нижней R_3 , а нижнюю клемму R_6 соединяем со свободной верхней клеммой R_4 . Клемму "+общ" вольтметра соединить с группой клемм "С", а клемму "5" вольтметра соединить с группой клемм "D".

4.2. Включить блок питания и установить (см. стр. 6, п. 1.2.2. вводной части) по контрольному вольтметру на блоке питания напряжение $E_1 = E_{10}$ в соответствии с выполняемым вариантом.

4.3. Рассматривая цепь, собранную по схеме рис.2.5., относительно сопротивления R_H как активный двухполюсник, определить его параметры U_X , I_K , $R_{ЭК}$ по опытам короткого замыкания и холостого хода.

а) На магазине устанавливается сопротивление равное нулю, при этом фиксируется величина тока $I_2 = I_K$.

б) Одну из клемм магазина сопротивлений отключить и зафиксировать показание вольтметра $U = U_X$.

в) Результаты измерений занести в таблицу 2.1. и рассчитать экспериментальную величину $R_{ЭК}$.

4.4. Записать величину $R_{ЭК}$ в соответствующую строку первого столбца таблицы 2.2. и произвести необходимые для заполнения столбца арифметические действия. Устанавливая полученные значения сопротивления нагрузки, измерить значения токов I_1 , I_3 , I_H и напряжения U_H . Рассчитать и записать значения мощности P_H . Результаты занести в таблицу 2.2.

4.5. В цепи по схеме рис.2.5. (в имеющейся цепи переключить тумблер В3 блока управления режимами источников питания в положение "J1") измерить и записать для двух значений сопротивлений нагрузки R_H величины I_H и U_H , при условии R_H не равно нулю и не равно бесконечности. Значение R_H выбирают в

пределах 30 - 250 Ом. Режимы работы цепи и значение $J_1 = J_{10}$ устанавливать согласно указаниям, данным в п.1.2.3. введения (стр.6.). После изменения значения сопротивления нагрузки следует проконтролировать и при необходимости подкорректировать значение величины источника тока. Результаты измерений занести в таблицу 2.3. и рассчитать экспериментальную величину $R_{ЭК}$, U_X , I_K .

4.6. По опытным данным построить зависимости $I_1(I_H)$, $I_3(I_H)$, $U_H(I_H)$, $P_H(I_H)$, $P_H(R_H)$ при изменении R_H от нуля до бесконечности. При построении графиков выбрать масштаб, обеспечивающий наибольшую наглядность. Графики линейных зависимостей аппроксимировать до прямых.

4.7. По результатам измерений определить коэффициенты а, b, c, d уравнений:

$$U_H = a + b \cdot I_H ; I_1 = c + d \cdot I_H$$

Таблица вариантов

№ бригады	Значения сопротивлений Ом					ЭДС В E_{10}	Ток мА J_{10}
	R_1	R_3	R_4	R_5	R_6		
1.	280	34	30	500	300	10	17,5
2.	280	37	32	520	320	8	15
3.	300	43	35	550	346	14	12,5
4.	300	43	36	548	359	12,5	15
5.	250	35	35	468	300	12	20
6.	250	35	35	500	300	8	15
7.	220	33	24	420	250	10	20
8.	200	33	22	420	230	7,5	17,5
9.	220	32	25	390	200	14	15
10.	230	32	22	390	200	12,5	25
11.	210	30	23	360	200	7,5	22,5
12.	190	28	20	358	220	10	* 20

Таблица 2.1.

Исследуемая величина	Расчёт	Опыт	Абсолютная погрешность Δ	Относительная погрешность δ
Напряжение U_X (В)				
Ток I_K (мА)				
Сопротивление $R_{ЭК}$				

Таблица 2.2.

Значение R_H (Ом)	Измерено				Рассчитано по измеренным величинам P_H (мВт)
	I_1 (мА)	$I_2 = I_H$ (мА)	I_3 (мА)	U_H (В)	
$R_H = 0$					
$R_H = R_{ЭК} / 8 =$					
$R_H = R_{ЭК} / 4 =$					
$R_H = R_{ЭК} / 2 =$					
$R_H = R_{ЭК} =$					
$R_H = R_{ЭК} \cdot 2 =$					
$R_H = R_{ЭК} \cdot 4 =$					
$R_H = R_{ЭК} \cdot 8 =$					
$R_H = \infty$					

Таблица 2.3.

Значение R_H (Ом)	Измерено		Измерено по					
	$I_2 = I_H$ (мА)	U_H (В)	измеренным данным			параметрам схемы		
			U_X (В)	I_K (мА)	$R_{ЭК}$ (Ом)	U_X (В)	I_K (мА)	$R_{ЭК}$ (Ом)
$R'_H =$								
$R''_H =$								
Абсолютная погрешность Δ						X		
Относительная погрешность δ								

Лабораторная работа №3

Исследование свойств разветвлённой цепи постоянного тока

1. Цель работы, ее краткое содержание

В цепях постоянного тока с источниками э.д.с. и тока, экспериментально исследуются обобщенный закон Ома и принцип наложения. Определяются входные и взаимные проводимости, а также параметры активного двухполосника.

2. Теоретические сведения

Данная работа объединяет в себе упрощённый вариант лабораторных работ №1 и №2. Необходимые теоретические сведения можно прочесть в описаниях вышеупомянутых работ на страницах 8 и 17 данного сборника.

3. Подготовка к работе.

3.1. Изучить принцип и метод наложения, определения входной и передаточной проводимостей, передаточного сопротивления, коэффициентов передачи по напряжению и току.

3.2. Рассчитать ток I_1 в схеме рис.3.1. при указанных в таблице вариантов величинах R_1 , $E_1 = E_{10}$ и двух значениях напряжения U_{AB} .

3.3. Определить по данным таблицы вариантов взаимную (передаточную) проводимость G_{31} и коэффициент передачи по току T_{32} для схемы рис. 3.2.

3.4. Изучить теорему об активном двухполоснике и принцип линейности.

3.5. Рассматривая схему рис.3.3. относительно сопротивления R_H как активный двухполосник, рассчитать его параметры U_X , I_K , $R_{ЭК}$ при заданных значениях сопротивлений и $E_1 = E_{11}$ (см. таблицу вариантов).

3.6. Рассматривая схему рис.3.4. относительно сопротивления R_H как активный двухполосник, рассчитать его параметры U_X , I_K , $R_{ЭК}$ при заданных значениях сопротивлений и $J_1 = J_{10}$ (см. таблицу вариантов).

3.7. Для схемы рис.3.3. определить сопротивление R_H , при

котором мощность его будет максимальной.

3.8. Ознакомиться с рабочим заданием и подготовить бланк отчёта (см. "Требования к отчету" стр. 4).

4. Рабочее задание

4.1. Собрать цепь в соответствии со схемой 3.1., Сборку схемы следует начинать с подключения внешнего источника питания ВИП 009 к входным клеммам на панели постоянного тока (см. стр. 5 п. 1.2.1. вводной части). Далее соединяют последовательно элементы внешнего контура цепи, выбирая в качестве начальной точки клемму "+" источника E_1 блока управления режимами источника питания, расположенного в левой нижней части панели. После сборки внешнего контура подключают остальные элементы цепи.

Например, в цепи, собираемой по схеме рис.3.1. клеммы элементов соединяют в таком порядке: клемма "+" источника E_1 блока управления режимами источника питания - левая клемма миллиамперметра A_1 , правая клемма A_1 - верхняя клемма резистора R_1 , нижняя клемма R_1 - левая клемма миллиамперметра A_3 , правая клемма A_3 - верхняя клемма резистора R_3 , нижняя клемма R_3 - левая клемма миллиамперметра A_2 , правая клемма A_2 - верхняя клемма резистора R_2 , нижняя клемма R_2 - "+" источника E_2 блока управления режимами источника питания, "-" источника E_2 - верхняя клемма резистора R_4 , нижняя клемма R_4 - "-" источника E_1 блока управления режимами источника питания. Внешний контур собран, осталось подключить резисторы R_5 и R_6 . Верхнюю клемму резистора R_5 соединяем со свободной нижней R_1 , а нижнюю клемму R_5 соединяем со свободной нижней клеммой R_4 . Верхнюю клемму резистора R_6 соединяем со свободной нижней R_3 , а нижнюю клемму R_6 соединяем со свободной верхней клеммой R_4 .

4.2. Включить блок питания и установить (см. стр. 6, п. 1.2.2. вводной части) по контрольному вольтметру на блоке питания напряжение $E_1 = E_{10}$ в соответствии с выполняемым вариантом.

4.3. Измерить ток I_1 при включенном источнике э.д.с. $E_1 = E_{10}$ и двух значениях U_{AB} , указанных в таблице вариантов. Напряжение

U_{AB} устанавливать при помощи изменения величины и полярности э.д.с. источника E_2 . Опыт проводится в следующей последовательности:

а) подключить вольтметр В7-16а к точкам А и В (параллельно резистору R_5) по схеме 3.1., верхнюю свободную клемму R_5 соединяем с клеммой "~U", а нижнюю клемму R_5 с клеммой "0" вольтметра (см. также стр. 7, п. 1.2.5. вводной части);

б) включают оба источника (тумблеры В1 и В2 в положении "Включено") и при помощи регулировок выходного напряжения второго канала источника ВИП 009 по показанию вольтметра В7-16а устанавливают значение U_{AB}' после чего фиксируют показание миллиамперметра A_1 . Данные измерений заносят в таблицу 3.1.;

в) изменяют полярность включения второго канала источника питания (только при обязательном изменении полярности можно получить отрицательную величину U_{AB} , оставляя неизменным значение E_1), при помощи регулировок выходного напряжения второго канала источника ВИП 009 по показанию вольтметра В7-16а устанавливают отрицательное значение U_{AB} после чего фиксируют показание миллиамперметра A_1 . Данные измерений заносят в таблицу 3.1.;

г) восстановить полярность включения второго канала источника питания, отключить вольтметр.

4.4. Установить (см. стр. 6, п. 1.2.2. вводной части) по контрольному вольтметру на блоке питания напряжение $E_1 = E_{10}$ и $E_2 = E_{20}$ в соответствии с выполняемым вариантом, и для цепи по схеме рис. 1.2. измерить и записать показания миллиамперметров при:

а) $E_1 = E_{10}$, $E_2 = 0$

б) $E_1 = 0$, $E_2 = E_{20}$

в) $E_1 = E_{10}$, $E_2 = E_{20}$

и проверить, удовлетворяют ли результаты измерений принципу наложения. Режимы работы цепи устанавливать согласно указаниям, данным в п.1.2.3. введения (стр.6.). Данные занести в

таблицу 3.2.

4.5. В цепи по схеме рис.3.2. (в имеющейся цепи переключить тумблер В4 блока управления режимами источников питания в положение "J2") измерить и записать показания миллиамперметров при:

а) $E_1 = E_{10}$, $J_2 = 0$

б) $E_1 = 0$, $J_2 = J_{20}$

в) $E_1 = E_{10}$, $J_2 = J_{20}$

и проверить, удовлетворяют ли результаты измерений принципу наложения. Режимы работы цепи и значение $J_2 = J_{20}$ устанавливать согласно указаниям, данным в п.1.2.3. введения (стр.6.). Данные занести в таблицу 3.3. При переходе от режима цепи пункта б) к пункту в) следует проконтролировать и при необходимости подкорректировать значение источника тока. Т.е. значение I_2 при выполнении этих пунктов должно быть одинаковым и равняться значению $-J_2$ (с учетом направления токов).

4.6. Тумблер В2 установить в положение "закорочено" В4 в положение E2 (режим источника э.д.с.). Отключить проводники от резистора R_2 и подключить к группам клемм - из верхней клеммы к группе "С", а из нижней клеммы к группе клемм "D". Клеммы "С" и "D" необходимо соединить с клеммами "0" и "99999,9" магазина сопротивлений, который будет выполнять роль нагрузки. Клемму "+общ" вольтметра соединить с группой клемм "С", а клемму "5" вольтметра соединить с группой клемм "D". Получаем схему 3.3

4.7. Включить блок питания и установить (см. стр. 6, п. 1.2.2. вводной части) по контрольному вольтметру на блоке питания напряжение $E_1 = E_{11}$ в соответствии с выполняемым вариантом.

4.8. Рассматривая цепь, собранную по схеме рис.3.3., относительно сопротивления R_H как активный двухполосник, определить его параметры U_X , I_K , $R_{ЭК}$ по опытам короткого замыкания и холостого хода.

а) На магазине устанавливается сопротивление, равное нулю, при этом фиксируется величина тока $I_2 = I_K$.

б) Одну из клемм магазина сопротивлений отключить и зафиксировать показание вольтметра $U = U_X$.

в) Результаты измерений занести в таблицу 3.4. и рассчитать экспериментальную величину $R_{ЭК}$.

4.9. Записать величину $R_{ЭК}$ в соответствующую строку первого столбца таблицы 3.5. и произвести необходимые для заполнения столбца арифметические действия. Устанавливая полученные значения сопротивления нагрузки, измерить значения токов I_1 , I_3 , I_H и напряжения U_H . Рассчитать и записать значения мощности P_H . Результаты занести в таблицу 3.5.

4.10. В цепи по схеме рис.3.3. (в имеющейся цепи) переключить тумблер В3 блока управления режимами источников питания в положение "J1" и полученной схеме рис.3.4. измерить для двух значений сопротивлений нагрузки R_H величины I_H и U_H , при условии R_H не равно нулю и не равно бесконечности. Значение R_H выбирают в пределах 30 - 250 Ом. Режимы работы цепи и значение $J_1 = J_{10}$ устанавливать согласно указаниям, данным в п.1.2.3. введения (стр.6.). После изменения значения сопротивления нагрузки следует проконтролировать и при необходимости подкорректировать значение величины источника тока. Результаты измерений занести в таблицу 3.6. и рассчитать экспериментальную величину $R_{ЭК}$, U_X , I_K .

4.11. По опытным данным построить зависимости $I_1(I_H)$, $I_3(I_H)$, $U_H(I_H)$, $P_H(I_H)$, $P_H(R_H)$ при изменении R_H от нуля до бесконечности. При построении графиков выбрать масштаб, обеспечивающий наибольшую наглядность. Графики линейных зависимостей аппроксимировать до прямых.

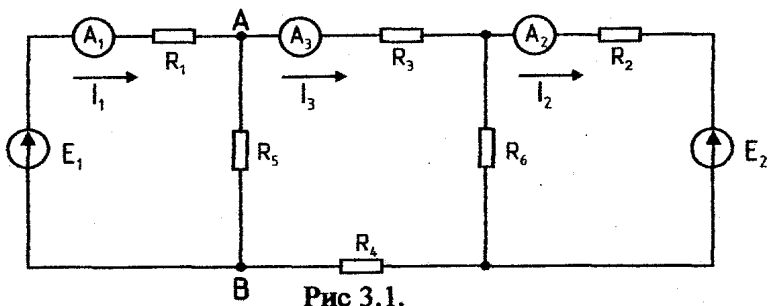


Рис 3.1.

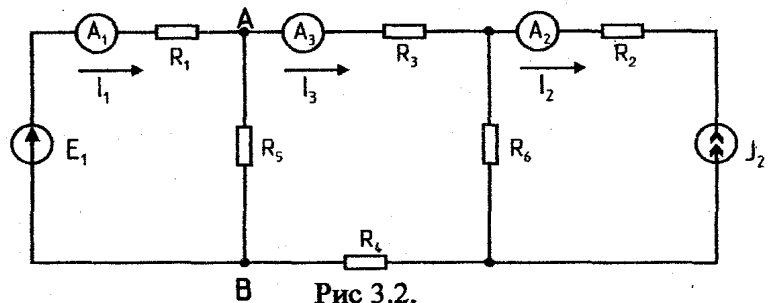


Рис 3.2.

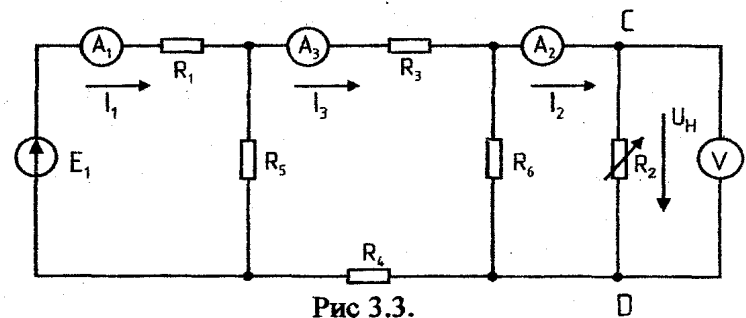


Рис 3.3.

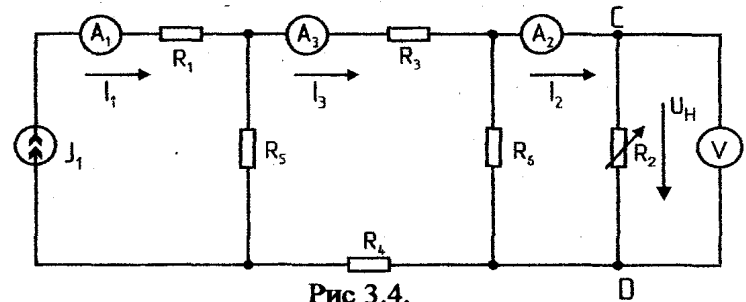


Рис 3.4.

Таблица вариантов

№ бригады	Значения сопротивлений Ом						ЭДС В	ЭДС В	ЭДС В	Ток мА	Ток мА	напряжение В	
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	E ₁₀	E ₂₀	E ₁₁	J ₁₀	J ₂₀	U _{AB}	U _{AB}
1.	280	100	34	30	500	300	10	7,5	10	17,5	10	4,5	- 2,5
2.	280	100	37	32	520	320	10	9,6	8	15	13	5	- 2
3.	300	110	43	35	550	346	10	12,5	14	12,5	8	4,5	- 1
4.	300	110	43	36	548	359	10	9	12,5	15	15	5	- 1,5
5.	250	98	35	35	468	300	10	11	12	20	15	4,5	- 2,5
6.	250	100	35	35	500	300	10	12,5	8	15	10	4,5	- 2
7.	220	83	33	24	420	250	10	11,6	10	20	15	4,6	- 2,5
8.	200	80	33	22	420	230	10	5,7	7,5	17,5	17,5	4,5	- 1
9.	220	80	32	25	390	200	10	11	14	15	25	6	- 3
10.	230	75	32	22	390	200	10	11	12,5	25	20	4,2	- 2
11.	210	65	30	23	360	200	10	11	7,5	22,5	20	4,1	- 1
12.	190	70	28	20	358	220	10	6	10	20	20	4,5	- 2

Таблица 3.1.

Задано			Определено			
E ₁ (В)	R ₁ (Ом)	U _{AB} (В)	Расчёт I ₁ (мА)	Опыт I ₁ (мА)	Абсолютная погрешность ΔI ₁	Относительная погрешность δI ₁

Таблица 3.2.

Измеряемая величина	Измерено			
	E ₁ =E ₁₀ = E ₂ =0	E ₁ =0 E ₂ =E ₂₀ =	E ₁ =E ₁₀ = E ₂ =E ₂₀ =	E ₁ =E ₁₀ = E ₂ ≠E ₂₀ =
I ₁ (мА)				
I ₂ (мА)				0
I ₃ (мА)				

Таблица 3.3.

Измеряемая величина	Измерено			
	E ₁ =E ₁₀ = J ₂ =0	E ₁ =0 J ₂ =J ₂₀ =	E ₁ =E ₁₀ = J ₂ =J ₂₀ =	E ₁ =0,8·E ₁₀ = J ₂ =0,9·J ₂₀ =
I ₁ (мА)				
I ₂ (мА)				
I ₃ (мА)				
U ₃ (В)				

Таблица 3.4.

Исследуемая величина	Расчёт	Опыт	Абсолютная погрешность Δ	Относительная погрешность δ
Напряжение U_X (В)				
Ток I_K (мА)				
Сопротивление $R_{ЭК}$				

Таблица 3.5.

Значение R_H (Ом)	Измерено				Расчитано по измеренным величинам P_H (мВт)
	I_1 (мА)	$I_2 = I_H$ (мА)	I_3 (мА)	U_H (В)	
$R_H = 0$					
$R_H = R_{ЭК} / 8 =$					
$R_H = R_{ЭК} / 4 =$					
$R_H = R_{ЭК} / 2 =$					
$R_H = R_{ЭК} =$					
$R_H = R_{ЭК} \cdot 2 =$					
$R_H = R_{ЭК} \cdot 4 =$					
$R_H = R_{ЭК} \cdot 8 =$					
$R_H = \infty$					

Таблица 3.6.

Значение R_H (Ом)	Измерено		Измерено по					
	$I_2 = I_H$ (мА)	U_H (В)	измеренным данным			параметрам схемы		
			U_X (В)	I_K (мА)	$R_{ЭК}$ (Ом)	U_X (В)	I_K (мА)	$R_{ЭК}$ (Ом)
$R'_H =$								
$R''_H =$								
Абсолютная погрешность Δ								
Относительная погрешность δ								

Учебное издание

Постоянный ток

Составители:

ОСИПОВ Евгений Георгиевич
НИКИТИН Владислав Владимирович

Редактор С.П. Клышинская
Технический редактор О.Г. Завьялова

Подписано в печать 27.01.04. Формат 60x80/16.
Бумага типографская. Печать - ризография.
Усл. печ. л. 2,25. Уч.- изд. л. 2,05. Тираж 300 экз.
Заказ 27. Бесплатно. Изд. №7.

Московский государственный институт электроники и математики
109028 Москва, Б. Трёхсвятительский пер., 1-3/12 стр.8
Отдел оперативной полиграфии Московского государственного
института электроники и математики 113054 Москва, ул. М.
Пионерская, 12-18/4 стр.1.