

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Электротехнический факультет  
Кафедра электротехники и электроники

Кривошеин И.Л.

Лабораторная работа №17  
НЕЛИНЕЙНАЯ ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Методические указания  
к лабораторным работам по ТОЭ ч.2

Киров 2011

Печатается по решению редакционно-издательского совета Вятского государственного университета.

УДК

Авторы: к.т.н., доцент Кривошеин И.Л., кафедра ЭиЭ

Кривошеин И.Л. Нелинейная цепь постоянного тока: методические указания к лабораторным работам по ТОЭ ч.2. – Киров: Изд-во ВятГУ, 2011. – 10 с.

Авторская редакция

Подписано в печать

Усл.печ.л.

Бумага офсетная

Заказ №

Тираж

Бесплатно

Текст напечатан с оригинал-макета, предоставленного авторами

---

610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

Оформление обложки, изготовление – ПРИП ВятГУ.

© Вятский государственный университет, 2011

© Кривошеин И.Л., 2011

## Введение

### **Общие указания и правила выполнения лабораторных работ**

Выполнение лабораторных работ – важная часть учебного процесса, преследующая цель более глубокого усвоения теоретических положений изучаемой дисциплины и приобретения навыков исследовательской работы.

Перед началом лабораторных работ студенты должны изучить правила и технику безопасности работы в лаборатории.

Для успешного проведения лабораторных занятий каждая лабораторная работа выполняется бригадой в составе 2–3 человека. Бригада обязана проделать все лабораторные работы, предусмотренные учебным планом кафедры.

До начала очередной лабораторной работы студент должен ознакомиться с соответствующими указаниями и рекомендованной литературой. Перед выполнением работы необходимо иметь **заранее** заготовленную форму **протокола измерений**. Бланк протокола измерений должен быть подготовлен каждым студентом перед лабораторной работой с использованием множительной техники или переписан от руки.

Прежде чем приступить к выполнению работы, студент должен твердо знать теоретический материал темы, к которой принадлежит данная работа, ясно представлять поставленную в работе задачу, способы ее разрешения и ожидаемые результаты.

Вся экспериментальная часть работы выполняется в полном объеме и той последовательности, как это предусмотрено данными методическими рекомендациями, под наблюдением преподавателя.

Если составляются сложные схемы, следует придерживаться определенного порядка: сначала соединяются последовательно цепи всех приборов с соответствующей аппаратурой, а затем – все параллельные цепи приборов и аппаратура, относящаяся к ним. При соединении элементов цепи и измерительных приборов рекомендуется подключать к клеммам **не более двух** проводников. Соединяя элементы цепи, следует обратить внимание на правильное включение генераторных зажимов приборов (фазометра, ваттметра). В работах на постоянном токе, необходимо следить за правильным включением приборов, поскольку показания их зависят от направления тока.

Во всех случаях, когда возникает сомнение в правильности полученных результатов измерений, необходимо повторить их вместе с преподавателем.

**Обращение с приборами и оборудованием требует большой осторожности и внимательности. Включать напряжение для выполнения опыта можно только после проверки цепи преподавателем или лаборантом.**

Описание каждой лабораторной работы в данном учебном пособии включает теоретическую часть, практическую часть и **образец бланка** протокола измерений.

## Составление протокола измерений

Протокол измерений должен вестись с особой тщательностью, так как он является единственным документом, остающимся в распоряжении экспериментаторов. В протоколе должны отмечаться содержание соответствующего пункта лабораторной работы по программе, электрическая схема, по которой производились измерения.

Запись измерений необходимо вести карандашом в таблицах, указывая в заголовках граф таблиц наименование измеряемых величин и единицы измерения.

Ошибочные записи, промахи и сомнительные наблюдения зачеркиваются, но так, чтобы зачеркнутое можно было разобрать.

Если проведение опыта требует выполнения предварительных расчетов, то в протоколе должны быть указаны **формулы**, по которым они производились и **числовые значения**, подставленные в формулы.

Рекомендуется после выполнения каждого пункта работы производить, хотя бы ориентировочно, требуемые программой расчеты и построения. Это дает возможность установить правильность проведения опыта.

После выполнения лабораторной работы заполненный протокол **утверждается** у преподавателя и является неотъемлемой частью отчета о лабораторной работе. Отсутствие у студента утвержденного протокола приравнивается к **прогулу**. Результаты измерений предъявляются для просмотра преподавателю **до разборки исследуемой цепи**, затем обводятся чернилами.

Если результаты наблюдений оказываются неудовлетворительными, то опыт необходимо повторить. Удовлетворительные результаты подписываются преподавателем.

## Составление отчета

На основании протокола измерений составляется отчет о работе, который включает все данные, занесенные в протокол наблюдений, а также все необходимые вычисления, схемы, графики и диаграммы.

Отчет по выполненной работе составляется по соответствующей форме, приведенной в каждой работе, и должен содержать титульный лист с полной информацией об авторе.

Представляя результаты в графической форме, следует пользоваться масштабами, которые давали бы возможность легко пользоваться графиком. Рекомендуется применять шкалы, **масштаб** которых выражается числами **1, 2 или 5**, умноженными на  $10n$ , где  $n$  – целое число. Координатные оси должны быть обозначены с указанием единиц измерения.

На графиках экспериментальных зависимостей обязательно должны быть отмечены точки кривой, полученные в результате эксперимента. На расчетных кривых точки не ставятся.

Векторные и круговые диаграммы должны быть построены в масштабе с указанием его на диаграмме. Масштаб на векторных и круговых диаграммах обозначается указанием масштабного коэффициента. Например, если на диаграмме напряжений отрезку 1 см соответствует 5 В, то следует писать  $m_U = 5$  В/см. Если на диаграмме токов отрезку 1 см соответствует 0,1 А, то следует писать  $m_I = 0,1$  А/см.

Отчет представляется преподавателю к следующему лабораторному занятию отдельно каждым студентом. Без сдачи отчета студент **не допускается** к выполнению очередной работы. Кроме того, вместе с отчетами каждый студент представляет протокол измерений, **подписанный** ранее преподавателем.

## Цель работы

Целью работы является экспериментальное получение характеристик нелинейных резистивных элементов, расчет нелинейной электрической цепи постоянного тока и экспериментальная проверка результатов расчета.

### 1. Общие сведения

Нелинейным называется резистивный элемент электрической цепи, сопротивление  $R$  которого зависит от тока через него (или от напряжения на его выводах).. Нелинейной является электрическая цепь, в которой есть хотя бы один нелинейный элемент.

Зависимость напряжения от тока в резисторе называется его вольт-амперной характеристикой (ВАХ). ВАХ элемента зависит от условий, в которых проводился эксперимент. Если измерения проводились при постоянных токе и напряжении, то характеристика нелинейного элемента называется *статической*.

Для получения статических характеристик нелинейных элементов необходимо измерить ряд значений постоянного напряжения и постоянного тока в цепи со схемой замещения по рис. 17.1.

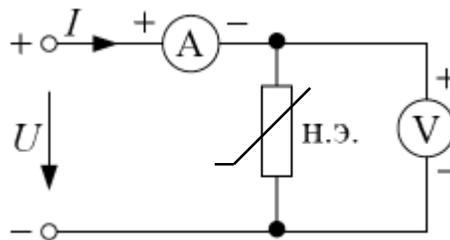


Рис. 17.1

Характеристики нелинейных элементов  $U(I)$  или  $I(U)$  определяют экспериментально и задают в виде таблиц или графиков, что предопределяет широкое использование графических (графоаналитических) методов расчета.

При расчете цепей с несколькими НЭ часто применяется эквивалентное преобразование цепи, что соответствует построению суммарной ВАХ цепи. Суммирование характеристик осуществляется на основании законов Кирхгофа.

При параллельном соединении элементов они находятся под одним и тем же напряжением, а общий ток равен сумме токов в параллельных ветвях. В случае последовательно соединенных элементов ток через них протекает один и тот же, а напряжение на этом участке цепи равно сумме напряжений на элементах. Из этих соображений и строятся результирующие ВАХ.

При наличии в цепи источников энергии суммарная ВАХ строится аналогично.

В лабораторной работе исследуется цепь со схемой замещения рис. 17.2. Уравнения Кирхгофа для этой цепи имеют вид:

$$I_1 = I_2 + I_3;$$

$$U_1(I_1) + U_{23}(I_1) = U(I_1);$$

$$U_2(I_2) = U_3(I_3) = U_{23}(I_1).$$

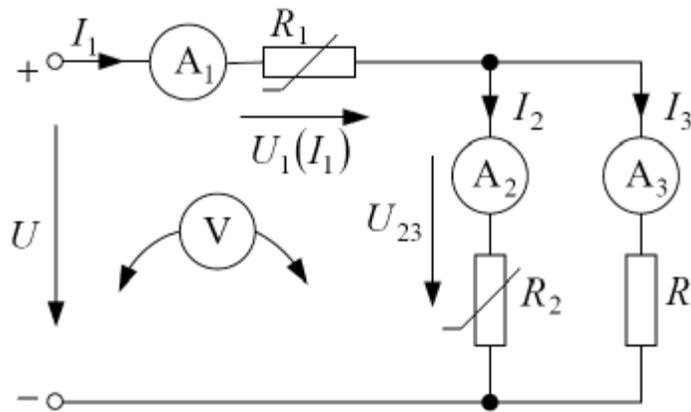


Рис. 17.2

Решение уравнений Кирхгофа можно найти графически. Участки с токами  $I_2$  и  $I_3$  соединены параллельно. Характеристика  $U_{23}(I_1)$  при графическом методе решения получается в результате суммирования характеристик  $R_2$  (н.э.2) и резистивного  $R$  при одинаковых значениях напряжения. Участки с напряжениями  $U_1$  и  $U_{23}$  соединены последовательно. Характеристика  $U(I_1)$  – сумма характеристик  $R_1$  (н.э.1) и  $U_{23}(I_1)$  при одинаковых значениях тока (рис. 17.3).

После построения суммарной ВАХ цепи можно найти общий ток  $I_1$  по точке пересечения полученной ВАХ с ВАХ источника питания (ЭДС). По известному току определяются напряжения на элементах  $U_1$  и  $U_{23}$ , а затем, по напряжению  $U_{23}$  – токи  $I_2$  и  $I_3$  (рис. 17.3).

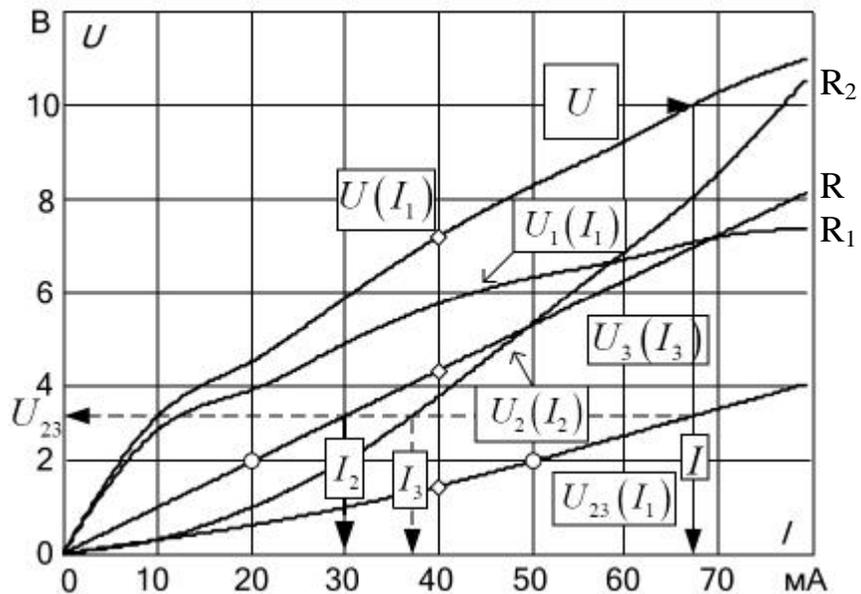


Рис. 17.3

~~Можно добавить метод эквивалентного генератора.  
Можно добавить метод двух узлов.~~

## 2 Содержание и порядок выполнения работы

В лабораторной работе используется источник напряжения  $U = 0 \dots 12$  В из блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ UZ4** с регулируемым по величине напряжением. Измерительные приборы расположены в блоке **МОДУЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ** постоянного тока. Нелинейные элементы электрической цепи выбирают из модуля **НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ**.

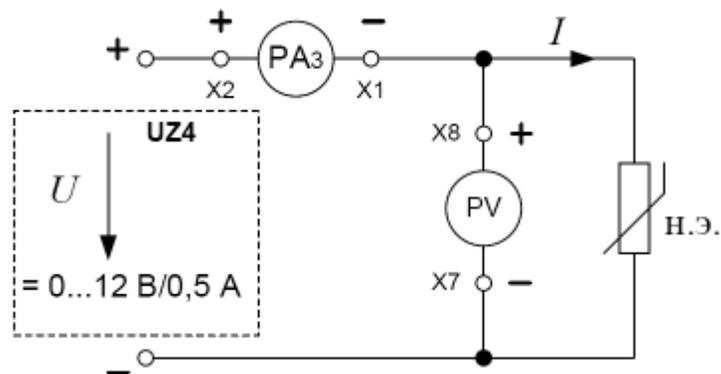


Рисунок 1П – Принципиальная схема цепи для снятия ВАХ.

### Подготовительный этап.

- Собрать цепь для исследования ВАХ по схеме рис. 1П. При сборке цепи необходимо обратить внимание, что у всех измерительных приборов правый зажим положительный (+).

- Проверить собранную электрическую цепь в присутствии преподавателя.

**Без проверки преподавателем включать цепь категорически запрещается.**

- Включить автоматический выключатель **QF** блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ** и тумблер **SA3** источника **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ UZ4** 0...12 В. Установить напряжение  $U = 0$ .

### Исследование ВАХ нелинейных элементов.

- Плавно изменяя регулятором напряжения ток  $I$  от нуля до 80 мА с шагом 10 мА экспериментально получить статические характеристики нелинейных элементов н.э.1 (варистор  $R1$ ) и н.э.2 (лампа накаливания  $HL$ ). Для резистора  $R$  ( $R4$ ) измерить напряжение  $U2$  при токе 50 мА. Все измеренные величины занести в табл. 1П протокола измерений.

Можно добавить опыт эквивалентного генератора.

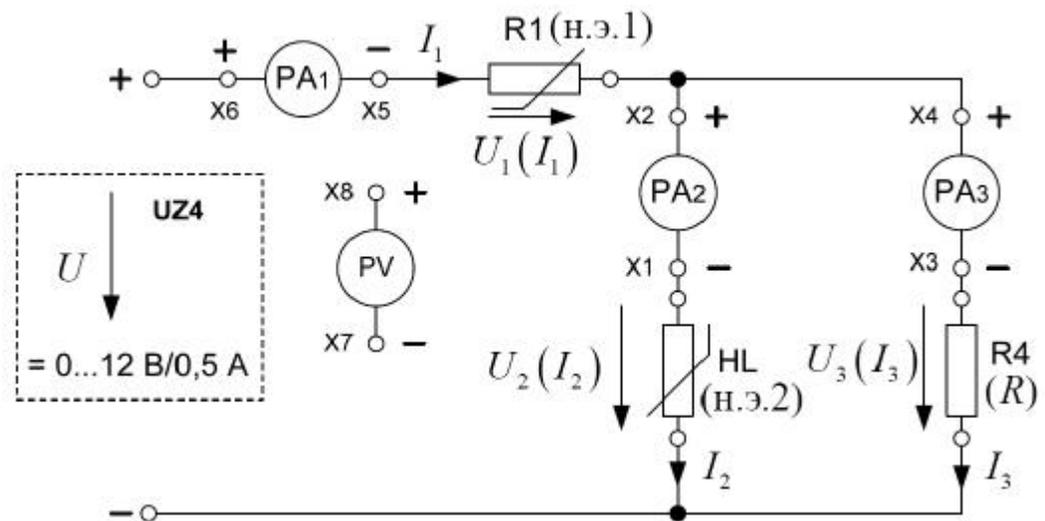


Рисунок 2П – Принципиальная схема разветвленной цепи.

Исследование разветвленной цепи.

- Собрать электрическую цепь по схеме рис. 2П.
- Проверить собранную электрическую цепь в присутствии преподавателя.

**Без проверки** преподавателем **включать** цепь категорически **запрещается**.

- Установить на входе цепи указанное преподавателем напряжение  $U$ . Измерить токи ветвей, напряжения  $U_1$  и  $U_{23}$ . Результаты измерений занести в табл. 2П.

- **Не разбирая** цепь утвердить протокол измерений у преподавателя.
- Выключить тумблер SA3 источника МОДУЛЬ ПИТАНИЯ UZ4 и автоматический выключатель QF блока МОДУЛЬ ПИТАНИЯ.

- Разобрать цепь, прибрать рабочее место.

Протокол измерений к лабораторной работе №17  
 «Нелинейная цепь постоянного тока»

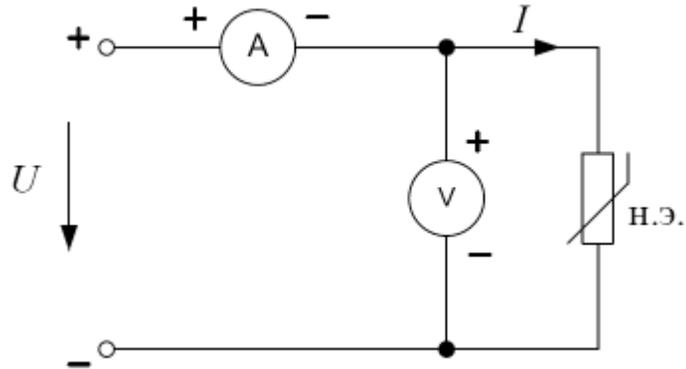


Рисунок 1П – Схема цепи для получения статических характеристик.

Экспериментальные данные представлены в табл. 1П.

Таблица 1П

$I, \text{мА}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$U_{\text{НЭ1}}, \text{В}$									
$U_{\text{НЭ2}}, \text{В}$									
$U_R, \text{В}$				--				--	

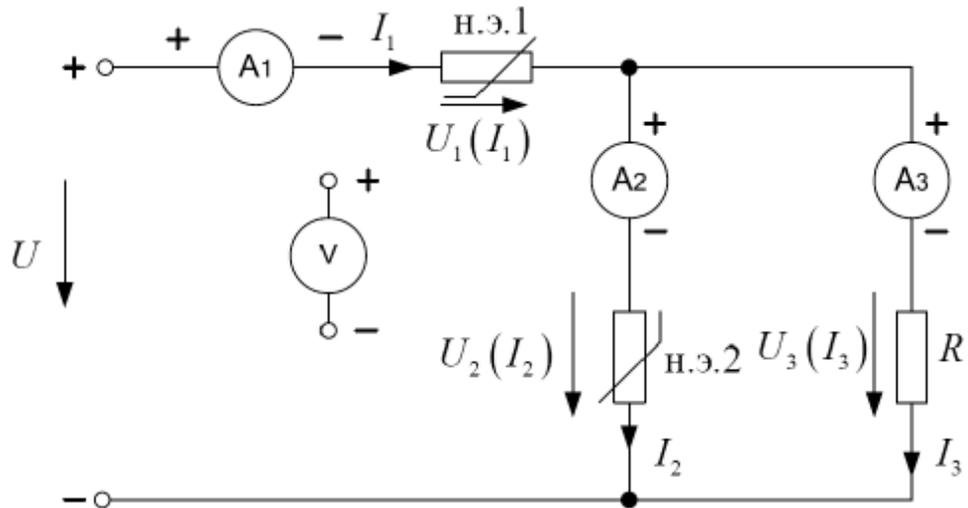


Рисунок 2П – Схема замещения исследуемой электрической цепи.

Результаты измерений представлены в табл. 2П.

Таблица 2П

$U, \text{В}$	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$I_1, \text{мА}$	$I_2, \text{мА}$	$I_3, \text{мА}$

Работу выполнил \_\_\_\_\_

Работу проверил \_\_\_\_\_

### 3 Содержание отчёта

1. Отчет должен содержать **титульный лист** с темой лабораторной работы, датой оформления, информацией о студенте: фамилия, курс и группа.
2. Нарисовать схемы замещения исследуемых электрических цепей, **указать** положительные **направления токов** (рисунки 1П, 2П).
3. По данным табл. 1 построить экспериментальные статические характеристики  $U_1(I_1)$ ,  $U_2(I_2)$  нелинейных элементов и  $U_3(I_3) = I_3 R$  для резистора  $R$ .
4. Записать уравнения Кирхгофа и выполнить графический расчет токов и напряжений, рассчитав и построив зависимости  $U_{23}(I_1)$  и  $U(I_1)$ . Результаты графического решения представить в виде таблицы, аналогичной таблице 2П.
5. Рассчитать методом двух узлов (графически) напряжение  $U_{23}$ .
6. Сравнить результаты графических расчетов с экспериментальными данными.
7. Определить и записать статическое  $R_{ст}(U)$  и дифференциальное  $R_d(U)$  сопротивление цепи для выбранного напряжения питания  $U$ .
8. Записать выводы по работе, например, о сложности расчета нелинейной цепи аналитическими методами.

### 4 Вопросы для самопроверки

1. Что такое вольт-амперная характеристика? Чем отличается ВАХ линейных и нелинейных элементов? Чем отличаются характеристики симметричных и несимметричных нелинейных элементов?
2. Как построить ВАХ цепи, состоящей из последовательно соединенных нелинейных элементов?
3. Какой вид будет иметь ВАХ цепи (рис. 8-5) при противоположном положительном направлении тока?
4. Как построить ВАХ цепи, состоящей из параллельно соединенных нелинейных элементов?
5. Как построить ВАХ цепи при смешанном соединении нелинейных элементов?
6. В чем заключается метод активного двухполюсника при расчете цепи с одним нелинейным элементом? Как выглядит ВАХ активного двухполюсника? По каким характерным точкам ее строят?
7. В чем заключается метод двух узлов при расчете нелинейной цепи? Как определяется рабочий режим при графическом расчете цепи этим методом?