

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра автоматизированного электропривода,  
электромеханики и электротехники

А.Т. Раимова, Н. Г. Семенова

# **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 08.03.01 Строительство

Оренбург  
2018

ББК 31.29-5я73  
УДК 621.311(075.8)  
Р 18

Рецензент – доцент, кандидат технических наук Л. В. Быковская

**Р 18**      **Раимова А. Т.**  
Исследование режимов работы электрических цепей постоянного тока: методические указания / А. Т. Раимова, Н. Г. Семенова; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2018. – 15 с.

Методические указания являются основным учебным руководством при выполнении лабораторных работ по курсу «Электроснабжение с основами электротехники» обучающимися по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, очной и заочной форм обучения.

ББК 31.29-5я73  
УДК 621.311(075.8)

© Раимова А.Т.,  
Семенова Н. Г., 2018  
© ОГУ, 2018

## Содержание

1 Теоретическое введение .....	4
2 Лабораторная работа. Исследование режимов работы электрических цепей постоянного тока .....	10
2.1 Описание лабораторной установки.....	10
2.2 Подготовка к работе.....	10
2.3 Выполнение лабораторной работы .....	11
Измерено .....	13
2.4 Содержание отчета.....	13
3 Контрольные вопросы для самопроверки .....	14
Список использованных источников .....	15

# 1 Теоретическое введение

Основными элементами ЭЦ являются источники, приемники (активные и пассивные) электрической энергии и провода. Простейшая ЭЦ состоит из одного приемника, источника и 2-х проводов (прямой и обратный).

## *Источники электрической энергии*

В источниках электрической энергии различные виды энергии преобразуются в электрическую энергию. Так, в генераторах электростанций в электрическую энергию преобразуется механическая энергия, в гальванических элементах и аккумуляторах – химическая и т.д.

Источники электрической энергии или источники питания делятся на:

- источники постоянного и переменного тока;
- источники напряжения и источники тока;
- зависимые и независимые источники электроэнергии;
- реальные и идеальные источники электроэнергии.

Под *источником ЭДС* понимают такой идеализированный источник питания, ЭДС которого постоянна, не зависит от величины тока, протекающего через него. Напряжение на выводах идеального источника напряжения всегда равно ЭДС, его внутреннее сопротивление равно нулю ( $r_{вн} = 0$ ) рисунок 1, а. Его вольтамперная характеристика (ВАХ) – это прямая, параллельная оси токов.

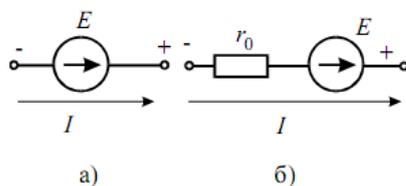


Рисунок 1 – Условные графические обозначения идеального (а) и реального (б) источников ЭДС

Реальный источник ЭДС имеет внутреннее сопротивление отличное от нуля, может быть представлен в виде последовательного соединения идеального источника ЭДС и внутреннего сопротивления  $r_{вн}$ , рисунок 1, б.

Источник постоянного напряжения (ИПН) характеризуют параметры:

- электродвижущей силой ЭДС  $E$ ;
- внутренним сопротивлением  $R_0$ ;
- напряжением  $U$  на зажимах (полюсах) источника.

Схема подключения ИПН с подключенным к нему приемником с сопротивлением  $R$  изображена на рисунке 2.

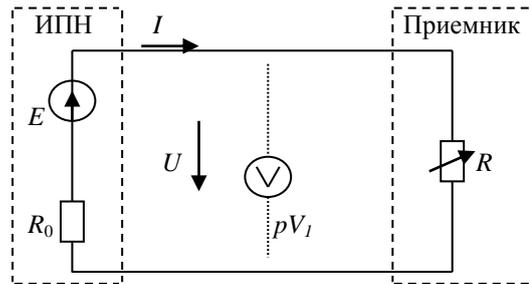


Рисунок 2 – Схема простейшей электрической цепи

Основной характеристикой источника постоянного напряжения является его ВАХ, представленная прямой 1 на рисунке 3 – зависимость напряжения на его зажимах от тока источника из 2-го закона Кирхгофа:

$$U = E - R_0 \cdot I . \quad (1)$$

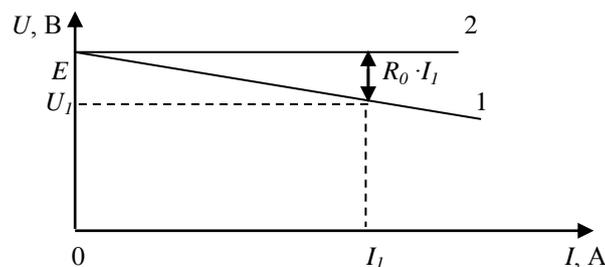


Рисунок 3 – Вольт-амперная характеристика ИПН

Уменьшение напряжения источника при увеличении тока объясняется увеличением падения напряжения на внутреннем сопротивлении источника (второе слагаемое). Прямая 2 на рисунке 3 соответствует ВАХ идеального ИПН, у которого внутреннее сопротивление  $R_0$  равно нулю. Из выражения (1) и ВАХ ИПН следует:

- при токе источника равном нулю напряжение источника равно его ЭДС;
- из ВАХ источника можно определить его внутреннее сопротивление;
- ЭДС источника можно измерить, как показано на рисунке 2, в режиме холостого хода.

Под *источником тока* (ИТ) понимают такой активный элемент электрической цепи, ток, на выходе которого не зависит от нагрузки. Различают идеальные источники тока и реальные. Графическое обозначение идеального источника тока представлено на рисунке 4, а.

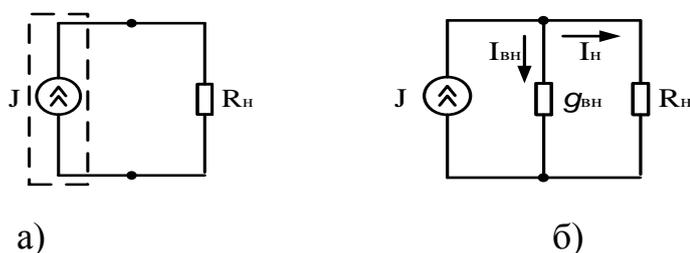


Рисунок 4 – Графические обозначения идеального (а) и реального (б) ИТ

Ток идеального источника тока равен силе тока, протекающего через него  $J = I$ , его ВАХ – это прямая, параллельная оси напряжений.

В реальном источнике тока присутствует внутренняя проводимость  $g_{вн}$ , которая подключена параллельно идеальному источнику тока  $J$ , рисунок 4, б.

#### *Приемники электрической энергии*

В приемниках электрическая энергия источников преобразуется в тепловую, световую, химическую и т.д.

Приемники электрической энергии по характеру физических процессов, протекающих в них, делятся на три основных вида: резистивные элементы, индуктивные элементы, емкостные элементы.

Реально электротехнические устройства представляют различные комбинации идеализированных элементов. В электрических цепях постоянного тока в качестве приемников электроэнергии имеют место быть только резистивные элементы. Рассмотренные элементы электрической цепи представляют собой идеализированные элементы.

*Резистивный элемент* учитывает необратимый процесс преобразования электрической энергии в другие виды энергии (тепловую, механическую и др.), не накапливает энергию ни магнитного, ни электрического полей. Примеры резистивных элементов – лампы накаливания, нагревательные элементы и др. Условное графическое обозначение резисторов приведено на рисунке 5.

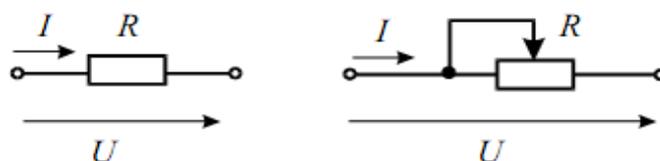


Рисунок 5 – Условное графическое обозначение нерегулируемого (а) и регулируемого (б) резисторов

Электрическое сопротивление резистора  $R$  равно отношению напряжения  $U$  на участке электрической цепи к току  $I$ , протекающему через него, при отсутствии на этом участке ЭДС:

$$R = \frac{U}{I}. \quad (2)$$

Величина обратная электрическому сопротивлению называется электрической проводимостью  $g$  и может быть рассчитана следующим образом:

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{U}, \quad [1/\text{Ом}] = [\text{См}] \text{ (Сименс)}. \quad (3)$$

Зависимость тока  $I$ , протекающего по сопротивлению  $R$ , от напряжения  $U$  на этом сопротивлении называют *вольтамперной характеристикой* (ВАХ).

Сопротивления, ВАХ, которых изменяются по линейному закону, называют *линейными сопротивлениями*, а электрические цепи, содержащие только линейные сопротивления – *линейными электрическими цепями*, если же ВАХ изменяются по нелинейному закону, то сопротивления называют *нелинейными сопротивлениями*, а ЭЦ – *нелинейными электрическими цепями*.

### ***Режимы работы электрических цепей постоянного тока***

Падение напряжения и потери мощности в ЛЭП определяются как:

$$\Delta U_{\text{Л}} = U_1 - U_2 = R_{\text{Л}} \cdot I, \quad (4)$$

где  $U_1$  – напряжения в начале линии;

$U_2$  – напряжения в конце линии,

$$\Delta P_{Л} = P_1 - P_2 = R_{Л} \cdot I^2, \quad (5)$$

где  $P_1$  – мощность источника или мощность в начале линии,

$P_2$  – мощность потребителя или мощность в конце линии.

Коэффициент полезного действия (КПД) линии электропередач:

$$\eta = P_2 / P_1. \quad (6)$$

Каждый приемник электрической энергии характеризуется номинальными величинами, которые приводятся в справочной литературе, на щитке, прикрепленном к корпусу. К номинальным величинам приемников относят номинальное напряжение  $U_H$ , мощность  $P_H$  и ток  $I_H$ , например, на лампах накаливания имеется штамп, в котором указывается номинальное напряжение и мощность.

Электрическая цепь (ЭЦ), приведенная на рисунке 6, может работать в нескольких режимах: номинальном, согласованном, холостого хода и короткого замыкания.

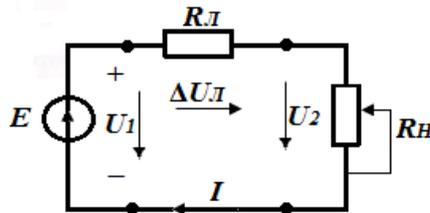


Рисунок 6 – Схема замещения линии электропередач

*Номинальный режим* работы какого-либо элемента ЭЦ (источника, приемника) считается такой режим, в котором данный элемент работает при номинальных величинах.

*Согласованным* называется режим, при котором мощность, отдаваемая источником или потребляемая приемником, имеет максимальное значение. Максимальные значения мощностей получаются при определенном соотношении (согласовании) параметров ЭЦ.

В согласованном режиме  $R_H = R_L$ ;  $I = E / (R_H + R_L)$ ;  $U_2 = U_1 / 2$ ,  $\eta = 50 \%$ .

Несмотря на невысокий коэффициент полезного действия  $\eta$  этот режим находит широкое применение для ЛЭП, обеспечивающих потребление максимальной мощности.

Под режимом *холостого хода* (ХХ) – понимается такой режим, при котором через источник или приемник не протекает ток, как показано на рисунке 7.

При этом источник не отдает энергию во внешнюю цепь, а приемник не потребляет ее.

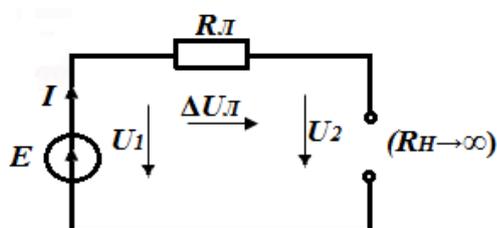


Рисунок 7 – Схема замещения ЭЦ в режиме холостого хода

В режиме ХХ  $R_H \rightarrow \infty$ ;  $I = 0$ ;  $U_2 = U_1$ ;  $\Delta U_L = 0$ ;  $\Delta P_L = 0$ .

Режим ХХ имеет самый высокий КПД, который составляет 100 %.

Режимом *короткого замыкания* (КЗ) называется режим, возникающий при соединении между собой без какого-либо сопротивления зажимов источника или иных элементов ЭЦ, между которыми имеется напряжение согласно рисунка 8.

В этом режиме:  $R_H = 0$ ;  $U_2 = 0$ ;  $P_2 = 0$ ;  $I = E/R_L$ .

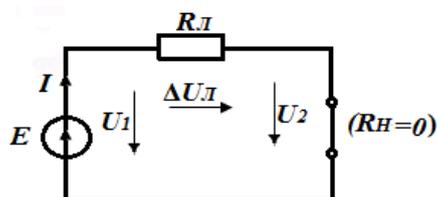


Рисунок 8 – Схема замещения ЭЦ в режиме короткого замыкания

Режим короткого замыкания может быть следствием нарушения изоляции, обрыва проводов и др. При КЗ могут возникнуть большие токи, приводящие к тяжелым последствиям, поэтому режим КЗ является аварийным.

## **2 Лабораторная работа. Исследование режимов работы электрических цепей постоянного тока**

*Цель работы:* определить параметры активных и пассивных элементов электрической цепи; исследовать режимы работы электрической цепи постоянного тока.

### **2.1 Описание лабораторной установки**

Элементы электрических цепей и измерительные приборы, используемые в лабораторной работе, размещены на лицевой панели универсального стенда.

Питание исследуемой цепи осуществляется от стабилизированного источника постоянного напряжения 15 В, который рассчитан на максимальный ток нагрузки 200 мА. Резистор  $R_{\text{Л}}$  имитирует сопротивление линии передачи – нерегулируемое, а резистор  $R_1$  служит нагрузкой в конце линии – регулируемое.

Для измерения токов применяются миллиамперметры М42300 с пределом измерения до 100 мА.

Напряжения на элементах измеряются цифровым мультиметром ВР-11А.

### **2.2 Подготовка к работе**

2.2.1 Повторить разделы курса «Электроснабжение с основами электротехники».

2.2.2 Подготовить бланк отчета по лабораторной работе, содержащую схемы испытаний, таблицы для записи результатов измерений и расчетов, расчетные формулы.

2.2.3 Записать данные приборов.

2.2.4 Ответить на контрольные вопросы.

## 2.3 Выполнение лабораторной работы

2.3.1 Экспериментальное определение параметров активного (ИПН) и пассивного (резистор) элементов электрической цепи постоянного тока.

*Опыт 1. Экспериментальное определение параметров активного элемента электрической цепи (источника).*

*Рабочее задание опыта 1:*

а) собрать электрическую цепь, приведенную на рисунке 9 и после проверки ее преподавателем включить питание переключателем  $\Pi_1$ ;

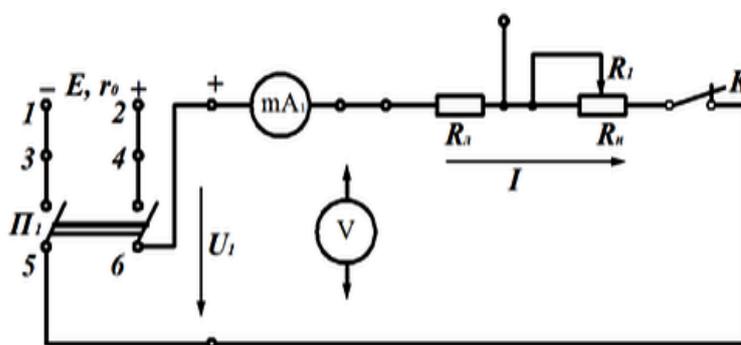


Рисунок 9 – Электрическая схема исследования активного элемента ЭЦ

б) установить тумблер резистора  $R_1$  в положение, при котором амперметр покажет номинальный ток;

в) измерить в замкнутой электрической цепи ток источника и напряжение на его зажимах;

г) разомкнуть электрическую цепь ключом  $K$  и при отсутствии в ней тока измерить ЭДС источника;

д) результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1 – Определение параметров активного элемента цепи

Измерено			Вычислено	
$E, \text{ В}$	$U_H, \text{ В}$	$I_H, \text{ А}$	$r_0, \text{ Ом}$	$R_1, \text{ Ом}$

ж) по данным таблицы 1 рассчитать:

- внутренне сопротивление активного элемента (источника):  $r_0 = \frac{E-U}{I}$ ;

*Опыт 2. Определение ВАХ пассивного элемента цепи*

*Рабочее задание опыта 2:*

- а) вновь включить ЭЦ согласно рисунка 9 и, последовательно изменяя значения сопротивления  $R_1$ , снять 6-7 значений тока и напряжения на резисторе;
- б) результаты измерений свести в таблицу 2.

Таблица 2 – Вольтамперная характеристика резистивного элемента

$I, \text{mA}$						
$U, \text{В}$						
$R_1, \text{Ом}$						
$G_1, \text{См}$						

в) по данным таблицы 2 рассчитать:

- сопротивление пассивного (резистивного) элемента:  $R_1 = \frac{U_H}{I_H}$ ;

- проводимость пассивного элемента;

г) построить в масштабе график внешней ВАХ источника;

д) определить номинальное падение напряжения (в %) источника при номинальном токе  $I_H = 40 \text{ mA}$ , используя зависимость:

$$\Delta U_{\text{н\%}} = \frac{E - U_{\text{н}}}{U_{\text{н}}} \cdot 100\% \quad (7)$$

2.3.2 Исследование режимов работы линии передачи электроэнергии в электрических цепях постоянного тока

*Опыт 3. Исследование режимов работы электрической цепи*

*Рабочее задание опыта 3:*

а) изменяя сопротивление нагрузки  $R_1$ , рисунок 9, от бесконечности (режим холостого хода, цепь разомкнута,  $R_H \rightarrow \infty$ ) до нуля (режим короткого замыкания,  $R_H = 0$ ) сделать 6-7 измерений тока  $I$  и напряжений  $U_1$  в начале линии,  $U_2$  – в конце линии электропередачи (напряжение на сопротивлении  $R_1$ );

б) измерить ток  $I$ , а также напряжения  $U_1$  и  $U_2$  при согласованном режиме, когда  $R_{Л} = R_1$ , т.е. при  $U_2 = 0,5 \cdot U_1$ ;

в) результаты всех измерений внести в таблицу 3;

Таблица 3 – Результаты измерений и вычислений ЛЭП постоянного тока

Режим работы	Измерено			Вычислено					
	$I$ <i>mA</i>	$U_1$ <i>B</i>	$U_2$ <i>B</i>	$\Delta U_{Л}$ <i>B</i>	$P_1$ <i>Bm</i>	$P_2$ <i>Bm</i>	$\Delta P_{Л}$ <i>Bm</i>	$R_{Н}$ <i>Om</i>	$\eta$ <i>%</i>
ХХ									
...									
...									
согл.									
...									
КЗ									

г) по данным таблицы 3 рассчитать:

- падение напряжения в ЛЭП постоянного тока:  $\Delta U_{Л} = U_1 - U_2$ ;

- мощность, отдаваемую в цепь источником:  $P_1 = U_1 \cdot I$ ;

- мощность, потребляемую приемником:  $P_2 = U_2 \cdot I$ ;

- потери мощности в линии электропередачи:  $\Delta P_{Л} = P_1 - P_2$ ;

- сопротивление приемника:  $R_{Н} = \frac{U_2}{I}$ ;

- коэффициент полезного действия:  $\eta = \frac{U_2}{U_1} \cdot 100 \%$ .

## 2.4 Содержание отчета

2.4.1 Цель работы.

2.4.2 Схемы измерений.

2.4.3 Таблицы результатов измерений и вычислений.

2.4.4 Расчетные формулы.

2.4.5 Выводы по работе.

### 3 Контрольные вопросы для самопроверки

1 Что называют активным элементом электрической цепи? Какими основными параметрами он характеризуется?

2 Что называется электрическим током, в каких единицах он измеряется?

3 Привести уравнение и график ВАХ резистивного элемента.

4 Чему равно внутреннее сопротивление идеального источника ЭДС?

5 Чем отличаются реальные источники от идеальных?

7 Назвать основные элементы простейшей электрической цепи и поясните их назначение.

8 Как включается в электрическую цепь амперметр? Какому основному требованию он должен удовлетворять?

9 Что произойдет, если включить амперметр параллельно источнику (нагрузке)?

10 Дать определение резистивного элемента электрической цепи. Какие процессы происходят в нем при протекании электрического тока?

11 Как включается в электрическую цепь вольтметр? Какому основному требованию он должен удовлетворять?

12 Привести уравнения и графики внешних характеристик идеального и реального источников ЭДС.

13 Что называют генераторным режимом работы источника и чем он характеризуется?

14 Что называют электрическим напряжением? Каким прибором и в каких единицах оно измеряется?

15 Дать определение электрической проводимости. В каких единицах она измеряется?

16 Какие бывают аварийные режимы в линиях электропередач?

17 Какой режим линии электропередачи называется согласованным?

## Список использованных источников

1 Правила устройства электроустановок. – 7-е изд., испр. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 2015. – 705 с.

2 Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебник для бакалавров / Л. А. Бессонов. – 11-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2011. – 704 с.

3 Анчарова, Т. В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений : учебник / Т. В. Анчарова, М. А. Рашевская, Е. Д. Стебунова. – М. : Форум: НИЦ Инфра-М, 2012. – 416 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=326458>.

4 Метрология и электрические измерения: методические указания к лабораторным работам / А. Т. Раимова, О. Д. Юрк. – Оренбург : ОГУ, 2011. – 77 с.

5 Семенова, Н. Г. Исследование линейных электрических цепей [Электронный ресурс] : учебное пособие к лабораторному практикуму / Н. Г. Семенова, Н. Ю. Ушакова, Л. А. Семенова. – Оренбург : ОГУ. – 2014. – 65 с.

6 Электротехнические устройства. – Режим доступа : <http://www.vsyaelektrotehnika.ru>

7 Электротехнические устройства. – Режим доступа : [https://electric-220.ru/news/trekhfaznye\\_transformatory/2017-01-05-1151](https://electric-220.ru/news/trekhfaznye_transformatory/2017-01-05-1151)