

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 31.01.2021 00:21:44  
Уникальный программный ключ:  
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор –

Проректор по учебной работе

Е.А. Кудряшов



24 января 2012 г.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПОТРЕБИТЕЛЯ ЗВЕЗДОЙ

Методические указания по выполнению лабораторной работы

Курск 2013

УДК 621.3 (076.1)

Составитель: А.П. Локтионов

Рецензент

Доктор технических наук, профессор *С.Ф. Яцун*

**Исследование трехфазной цепи при соединении потребителя звездой** : методические указания по выполнению лабораторной работы для студентов направления подготовки 221000 по курсу «Электротехника» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.П. Локтионов. Курск, 2013. 14 с.: ил. 8, табл. 2. Библиогр.: с. 14.

Методические указания содержат сведения по экспериментальному исследованию трехфазной цепи при соединении потребителя звездой. Указывается порядок выполнения лабораторной работы, правила оформления отчета. Лабораторная работа охватывает материал по следующим темам: схемы замещения и эквивалентные схемы, законы теории электрических цепей, методы анализа электрических цепей, симметричная и несимметричная нагрузка, обрыв линейного провода, построение векторных диаграмм.

Методические указания соответствуют требованиям программы, утвержденной учебно-методическим объединением по направлению подготовки 221000 «Мехатроника и робототехника».

Предназначены для студентов направления подготовки 221000 в лабораторных занятиях.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.

Усл.печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 50 экз. Заказ. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет  
305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Исследование различных режимов работы в трехпроводной и четырехпроводной трехфазных цепях при соединении источника питания и нагрузки звездой.

1.2. Установление соотношений между линейными и фазными напряжениями и токами.

## 2. ЗАДАНИЕ К КОЛЛОКВИУМУ

2.1. Изучить по учебнику [1] трехфазные цепи.

2.2. Ознакомиться с порядком проведения исследований и заданием к выполнению отчета по данной лабораторной работе.

2.3. Заготовить отчет со схемой экспериментальной установки и таблицами для занесения экспериментальных данных.

## 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Совокупность трёх электрических цепей, в которых действуют три ЭДС одинаковой частоты, но сдвинутые по фазе одна относительно другой на  $120^\circ$  и создаваемые одним источником энергии называют трехфазной цепью.

При соединении звездой три конца приемника соединяются вместе (см. рис. 1), образуя нейтральную точку, а к началам  $a$ ,  $b$ ,  $c$  подсоединяются провода, называемые линейными. Провод, подсоединяемый к нейтральной точке, называется нейтральным. Нейтральная точка приемника на схема обозначается  $n$ , нейтральная точка источника –  $N$ . В дальнейшем напряжения, относящиеся к источнику (генератору), будем обозначать прописными буквами, а относящиеся к приемнику (нагрузке) – строчными. Каждую из однофазных цепей, входящих в трехфазную цепь, принято называть фазой трехфазной цепи.

Напряжения  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$ , измеренные между линейными проводами называют линейными, напряжения  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$ , измеренные между линейными и нейтральным проводами, называют фаз-

ными. Количественные соотношения между этими напряжениями требуется определить при выполнении работы.

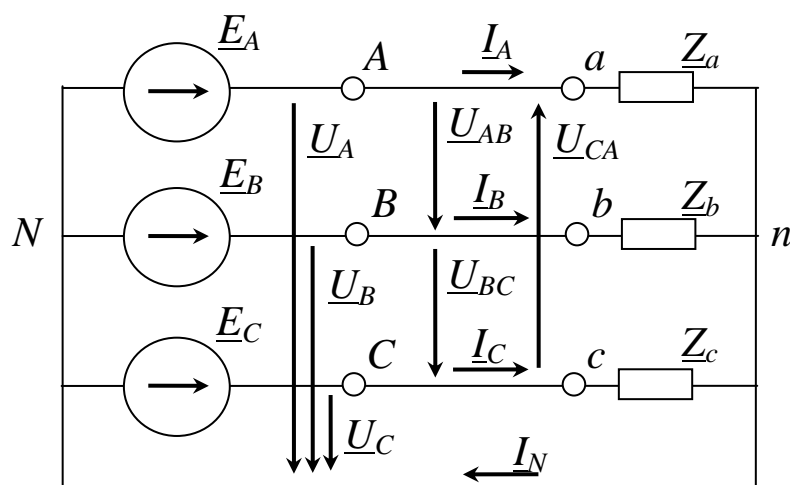


Рис. 1. Схема трехфазной цепи

Приемники, включаемые в трехфазную цепь, могут быть как однофазными, так и трехфазными. К однофазным приемникам относятся электрические лампы накаливания и другие осветительные приборы, различные бытовые приборы, однофазные электродвигатели и т.д. К трехфазным приемникам относятся трехфазные асинхронные двигатели, индукционные печи и т.д.

Комплексные сопротивления фаз симметричных трехфазных приемников равны между собой:

$$\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c = z e^{j\varphi}. \quad (1)$$

Такие приемники называют симметричными. Если это условие не выполняется, то приемники называют несимметричными.

Рассмотри случаи включения симметричных и несимметричных приемников в трехпроводную и четырехпроводную трехфазную цепь.

### 3.1. Трехпроводная трехфазная цепь.

В такой цепи нейтральные точки источника и приемника не соединяются, т.е. нейтральный провод отсутствует. Схема замещения такой цепи приведена на рис. 1 (с исключением нейтрального провода). В соответствии со вторым законом Кирхгофа можно для фазных напряжений приемника записать уравнения

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A - \underline{U}_{Nn}, \quad \underline{U}_b = \underline{U}_B - \underline{U}_{Nn}, \quad \underline{U}_c = \underline{U}_C - \underline{U}_{Nn}, \quad (2)$$

где  $\underline{U}_{Nn}$  – напряжение между нейтральными точками источника и приемника.

Из уравнений (2) следует, что напряжения приемника будут равны напряжениям генератора (источника) в том случае, если напряжение между их нейтральными точками будет равно нулю ( $\underline{U}_{Nn} = 0$ ), а также равны нулю падения напряжения на линейных проводах. Если в трехфазной цепи будет присутствовать напряжение  $\underline{U}_{Nn} \neq 0$ , то оно будет искажать фазные напряжения приемников, что приведет к ненормальной работе приемников или выходу их из строя.

Напряжение между нейтральными точками источника и приемника можно определить с использованием метода напряжения между двумя узлами:

$$\underline{U}_{Nn} = \frac{\underline{U}_A \underline{Y}_a + \underline{U}_B \underline{Y}_b + \underline{U}_C \underline{Y}_c}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c}, \quad (3)$$

где  $\underline{Y}_a = 1 / \underline{Z}_a$ ,  $\underline{Y}_b = 1 / \underline{Z}_b$ ,  $\underline{Y}_c = 1 / \underline{Z}_c$  – комплексы проводимостей фаз приемника.

Если нагрузка симметричная, то сумма произведений  $\underline{U}_K \underline{Y}_k$  в числителе уравнения (3) равна нулю, а следовательно и напряжение между нейтральными точками приемника и источника отсутствует. При несимметричной нагрузке сумма произведений  $\underline{U}_K \underline{Y}_k$  в числителе уравнения (3) не равна нулю, следовательно, напряжение между нейтральными точками источника и приемника не равно нулю.

Таким образом, из сделанного анализа следует, что трехпроводную цепь можно использовать только при симметричной нагрузке.

При несимметричной нагрузке появляется напряжение  $\underline{U}_{Nn}$ , которое искажает фазные напряжения приемников, что недопустимо для их нормальной эксплуатации.

Произведенный анализ работы трехпроводной трехфазной цепи при симметричной и несимметричной нагрузке можно наглядно представить с помощью векторных диаграмм. Так на рис. 2 представлены векторные диаграммы токов и напряжений при симметричной нагрузке. Для простоты построения диаграмм будем считать нагрузку активной, т.е.  $Z = R$ , в этом случае ток и напряжение совпадают по фазе ( $\varphi = 0$ ). Из диаграммы видно, что действующие

значения фазных напряжений в различных фазах равны. На рис. 3 изображены векторные диаграммы токов и напряжений при несимметричной нагрузке для случая, когда  $R_a = R_b < R_c$ . Из диаграммы видно, что в этом случае появилось напряжение между нейтральными точками генератора и приемника  $U_{Nn}$ , поэтому напряжение в фазе  $C$  увеличилось, а в фазах  $A$  и  $B$  уменьшилось по сравнению с симметричной нагрузкой. Допустим, что нагрузкой являются лампы накаливания, следовательно, в фазе  $C$  они быстро выйдут из строя, а в фазах  $A$  и  $B$  будут работать с меньшим накалом. Это ещё раз говорит о том, что трехпроводную трехфазную цепь можно использовать только при симметричной нагрузке.

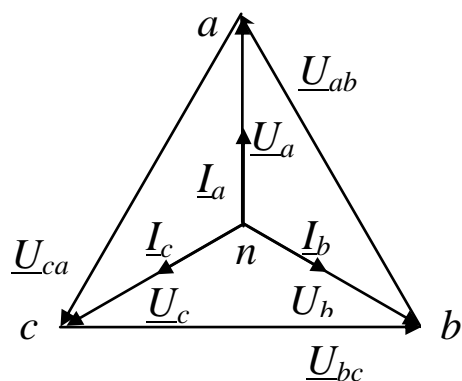


Рис. 2. Векторные диаграммы напряжений и токов при симметричной нагрузке

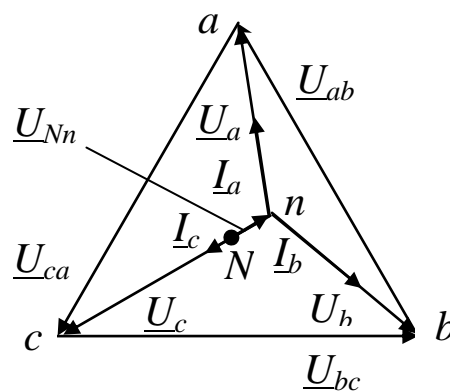


Рис. 3. Векторные диаграммы напряжений и токов при несимметричной нагрузке в трехпроводной цепи

При использовании трехпроводной цепи могут возникать аварийные режимы, например, обрыв линейного провода или короткое замыкание в одной из фаз. Рассмотрим эти случаи.

Допустим произошел обрыв линейного провода в фазе  $C$ . Тогда к нагрузке будет приложено линейное напряжение  $\underline{U}_{ab}$ , а поскольку сопротивления фаз  $A$  и  $B$  одинаковы ( $\underline{Z}_a = \underline{Z}_b$ ), это напряжение разделится между фазами пополам. Таким образом, обрыв линейного провода в одной из фаз трехпроводной цепи приводит к тому, что фазные напряжения в двух других фазах уменьшаются и становятся равными

$$U_{\phi} = U_{\text{л}} / 2. \quad (4)$$

Векторные диаграммы для этого случая изображены на рис. 4.

При коротком замыкании в фазе  $C$  потенциал точки  $n$  становится равным потенциалу точки  $C$  генератора. В этом случае фазные напряжения становятся равными линейным, т.е.

$$\underline{U}_a = \underline{U}_{AC}, \quad \underline{U}_b = \underline{U}_{BC}.$$

Следовательно, режим короткого замыкания является опасным, т.к. нагрузки в фазах  $A$  и  $B$  оказываются под повышенным (линейным) напряжением. Векторные диаграммы токов и напряжений для режима короткого замыкания в фазе  $C$  изображены на рис. 5.

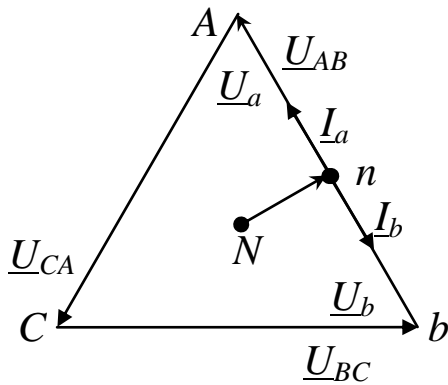


Рис. 4. Векторные диаграммы напряжений и токов при обрыве линейного провода в фазе  $C$  трехпроводной цепи

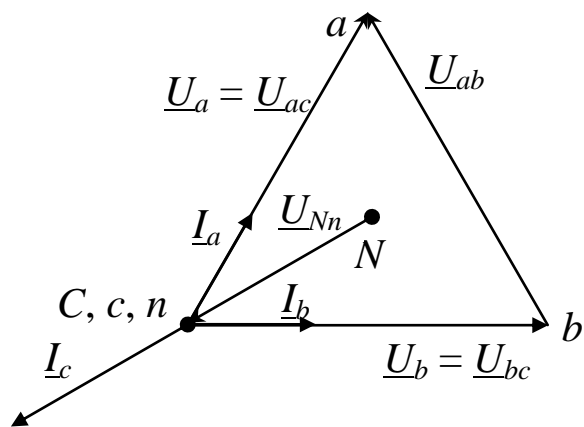


Рис. 5. Векторные диаграммы напряжений и токов при коротком замыкании в фазе  $C$  трехпроводной цепи

### 3.2. Четырехпроводная трехфазная цепь.

Такая цепь содержит три линейных провода и нейтральный провод, соединяющий нейтральные точки лоточника и приемника (рис. 1)

Как было показано при анализе трехпроводной цепи при симметричной нагрузке напряжение между нейтральными точками источника и приемника не возникает, поэтому, в соответствии с уравнениями (2) напряжения приемника равны напряжениям источника, т.е. не искажаются. В таком режиме нейтральный провод не нужен.

Диаграммы при симметричной нагрузке в четырехпроводной и трехпроводной цепях одинаковы (см. рис. 2).

При несимметричной нагрузке в четырехпроводной цепи напряжение, возникающее между нейтральными точками источника и приемника, замыкается накоротко нейтральным проводом. Как следует из уравнений (2) при  $U_{Nn} = 0$  фазные напряжения не искажаются. Следовательно, четырехпроводную цепь можно использовать для питания несимметричной нагрузки. Диаграмма этого случая, когда  $R_a = R_b < R_c$  показана на рис. 6. Вектор тока в нейтральном проводе строится на основании уравнения

$$\underline{I}_n = \underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c. \quad (4)$$

На рис. 7 показана диаграмма четырехпроводной цепи при обрыве линейного провода в фазе  $C$ . Из диаграммы видно, что в четырехпроводной цепи искажений фазных напряжений в оставшихся фазах  $A$  и  $B$  не произошло. Вектор тока в нейтральном проводе строится на основании уравнения

$$\underline{I}_n = \underline{I}_a + \underline{I}_b. \quad (5)$$

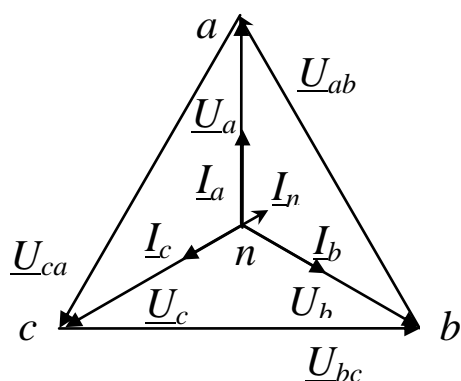


Рис. 6. Векторные диаграммы напряжений и токов при несимметричной нагрузке в четырехпроводной цепи

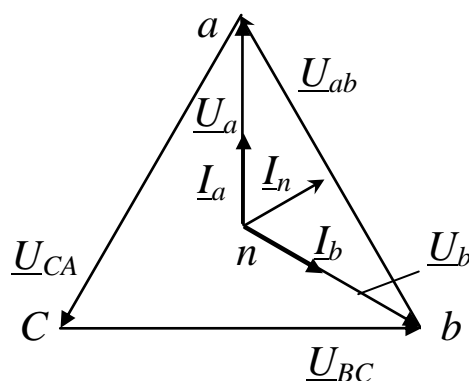


Рис. 7. Векторные диаграммы напряжений и токов при обрыве линейного провода в четырехпроводной цепи

Таким образом нейтральный провод обеспечивает сохранение симметрии фазных напряжений при несимметричной нагрузке.

Важным преимуществом четырехпроводной цепи является то, что при изменении режима одной из фаз режимы других фаз не изменяются, так как постоянство напряжений в фазах обеспечивается нейтральным проводом. В реальных электрических цепях сопро-



тивление нейтрального провода отлично от нуля, и поэтому полного отсутствия напряжения между нейтральными точками не происходит, на что следует обратить внимание при выполнении лабораторной работы.

#### 4. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Для исследования трехфазной цепи используется стенд ЛЭС-5, питающийся от трехфазной цепи напряжением 220/127 В. Для выполнения лабораторной работы используется следующая аппаратура стенда: блок включения; выключатели  $SA1$  (на стенде обозначен  $B1$ ),  $SA2$  (на стенде обозначен  $B2$ ); блок ламповых реостатов; измерительные приборы (см. рис. 8) – амперметры  $PA1$ ,  $PA2$ ,  $PA3$  и  $PA4$  типа Э525 с предельным током 0,5 А и 1 А, вольтметр  $PV$  типа Э533, устанавливаемый на предельное напряжение 150 В для измерения фазных напряжений и 300 В для измерения линейных напряжений.

#### 5. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

После сборки цепи в соответствии с рис. 8 и проверки её лаборантом производят исследование трехфазной цепи сначала при наличии нейтрального провода, а затем без него.

5.1. Исследование четырехпроводной цепи.

5.1.1. Установить переключатели  $SA1$  ( $B1$ ) и  $SA2$  ( $B2$ ) в положение "Вкл."

5.1.2. Создать режим симметричной нагрузки. Для этого в фазах  $A$ ,  $B$  и  $C$  включить одинаковое количество ламп. Установить вольтметр на предел 150 В. Измерить фазные напряжения. Установить вольтметр на предел 300 В. Измерить линейные напряжения. Установить амперметры на предел 0,5 А. Измерить токи в фазах и нейтральном проводе. Результаты занести в табл. 1.

5.1.3. Создать режим несимметричной нагрузки, для этого в фазе  $A$ , по указанию преподавателя, изменить количество включенных ламп. Как и в предыдущем опыте результаты занести в табл. 1.



Таблица 1 (продолжение)

Четырех- проводная цепь	Вычисление						
	$U_{bc}/U_a$	$U_{bc}/U_b$	$U_{bc}/U_c$	$P_a$ , Вт	$P_b$ , Вт	$P_c$ , Вт	$\Sigma P$ , Вт
Симмет- ричная нагрузка							
Несим- метричная нагрузка							
Отключе- ние на- грузки в фазе							

5.1.4. Создать режим обрыва одной из фаз. Для этого выключателем SA1 отключить ламповый реостат в фазе A. Результаты занести в табл. 1.

5.2. Исследование трехпроводной цепи.

5.2.1. Выключателем SA2 (B2) отключить нейтральный провод.

5.2.2. Оставив количество ламп в ламповых реостатах таким же, как и при испытании четырехпроводной цепи, создать режим симметричной нагрузки. Измерить линейные и фазные напряжения переносным вольтметром, а токи в фазах амперметрами. Результаты записать в табл. 2.

5.2.3. Создать режим несимметричной нагрузки. Для этого повторить пункт 5.1.3 испытаний, но с трехпроводной цепью. Измерить фазные и линейные напряжения и токи фаз. Результаты записать в табл. 2.

5.2.4. Создать режим обрыва фазы. Для этого с помощью выключателя SA1 отключить ламповый реостат в фазе A. Результаты измерений занести в табл. 2.

Таблица 2

Экспериментальные и расчетные данные  
исследования трехпроводной цепи

Трехпроводная цепь	Измерение									
	$I_a,$ А	$I_b,$ А	$I_c,$ А	$U_a,$ В	$U_b,$ В	$U_c,$ В	$U_{Nn},$ В	$U_{ab},$ В	$U_{bc},$ В	$U_{ca},$ В
Симметричная нагрузка										
Несимметричная нагрузка										
Отключение нагрузки в фазе										
Короткое замыкание в фазе										

Таблица 2 (продолжение)

Трехпроводная цепь	Вычисление						
	$U_{bc}/U_a$	$U_{bc}/U_b$	$U_{bc}/U_c$	$P_a,$ Вт	$P_b,$ Вт	$P_c,$ Вт	$\Sigma P,$ Вт
Симметричная нагрузка							
Несимметричная нагрузка							
Отключение нагрузки в фазе							
Короткое замыкание в фазе							

5.2.5. Создать режим короткого замыкания одной из фаз приемника. Для этого включить выключатель  $SA1$  и проводником со штеккерными выводами замкнуть клеммы  $a$  и  $x$  лампового реостата. Установить предел измерения амперметров  $1\text{ А}$ , вольтметра  $300\text{ В}$ . Произвести измерения токов и напряжений. Результаты занести в табл. 2.

**ВНИМАНИЕ!** Строго запрещается создавать режим короткого замыкания приемника при включенном нейтральном проводе. Выключатель  $SA2$  ( $B2$ ) должен быть обязательно выключен!

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

6.1. Выполнить вычисления и занести их в табл. 1 и табл. 2.

6.2. Для каждого опыта построить в масштабе совмещенные топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов.

## 7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

7.1. В чем преимущества трехфазных цепей в сравнении с однофазными?

7.2. Укажите области применения трехфазных цепей.

7.3. Чему равно отношение линейных и фазных напряжений в четырехпроводной цепи при соединении трехфазного приемника звездой? Откуда это видно?

7.4. Какое соотношение между линейными и фазными токами имеет место при соединении трехфазного приемника звездой?

7.5. Каково соотношение между линейными фазными напряжениями и токами при соединении симметричного и несимметричного трехфазного приемника треугольником?

7.6. Какими будут фазные напряжения при обрыве одного линейного провода в четырехпроводной и трехпроводной цепи?

7.7. Чему равны фазные напряжения в трехпроводной цепи при коротком замыкании одной из фаз?

7.8. Какова роль нейтрального провода? Почему в него не включают предохранители и разъединители?

7.9. Когда необходим нейтральный провод?

7.10. Почему при наличии нейтрального провода отсутствует несимметрия фазных напряжений при несимметричной нагрузке?

7.11. Показать на схеме установки как измерить фазные и линейные напряжения приемника.

7.12. К чему приведет обрыв нейтрального провода при несимметричной нагрузке фаз?

7.13. Чему будут равны фазные напряжения при симметричной нагрузке, если фазу  $A$  замкнуть накоротко?

7.14. Как определить ток в нейтральном проводе при несимметричной нагрузке?

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Касаткин А. С. Курс электротехники / А. С. Касаткин, М. В. Немцов - М.: Высш. шк., 2005. - 542 с.

2. Жарова, Т.А. Практикум по электротехнике : учеб. пособие / Т.А. Жарова. М.: Высш. шк., 2009. - 127 с.