

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

2017 г.



ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика
и электротехника

Курск 2017

УДК 621.31

Составители: О.М. Ларин, Д.В. Куделина

Рецензент:

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение»
В.Н. Алябьев

Электроснабжение : методические указания к выполнению лабораторных работ / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: О.М.Ларин, Д.В. Куделина. – Курск, 2017. – 40 с.: ил. 12, табл. 14. – Библиогр.: с. 40.

Содержат сведения по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электроснабжение», исследованию графиков электрических нагрузок, режимов работы нейтрали в сетях напряжением до 1 кВ, определению показателей качества электроэнергии.

Методические указания соответствуют требованиям программы, утвержденной учебно-методическим объединением для направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Предназначены для студентов направления подготовки 13.03.02 всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.
Усл.печ.л. . Уч.–изд.л . Тираж 100 экз. Заказ . Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г.Курск, ул.50 лет Октября, 94

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ И ГРУППОВЫХ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Цель работы: экспериментальное исследование индивидуальных и групповых графиков электрических нагрузок; определение расчетным путем основных показателей, характеризующих графики электрических нагрузок.

Краткие методические указания.

График нагрузки представляет зависимость потребления мощности (активной, реактивной, полной) от времени. Характер и форма индивидуального графика нагрузки одиночного электроприемника определяются особенностями его технологического процесса.

Групповой график представляет собой результат суммирования графиков отдельных электроприемников, входящих в рассматриваемую группу. Но даже при одинаковых электроприемниках их групповой график может принимать различные формы в зависимости ряда случайных факторов, обуславливающих неодинаковую загрузку во времени работы отдельных электроприемников.

При исследовании и расчетах нагрузок необходимо применение некоторых безразмерных коэффициентов, характеризующих режимы работы как отдельного электроприемника так и группы электроприемников, например, по степени их использования во времени и по мощности. Такие показатели могут определяться для графиков как мощностей, так и тока.

В данной лабораторной работе будет производиться исследование и определение показателей для графиков потребления активной мощности. Эти графики (индивидуальный и групповой) будут исследоваться на статической активной нагрузке. Эксперимент выполняется по схеме, приведенной на рис. 1.

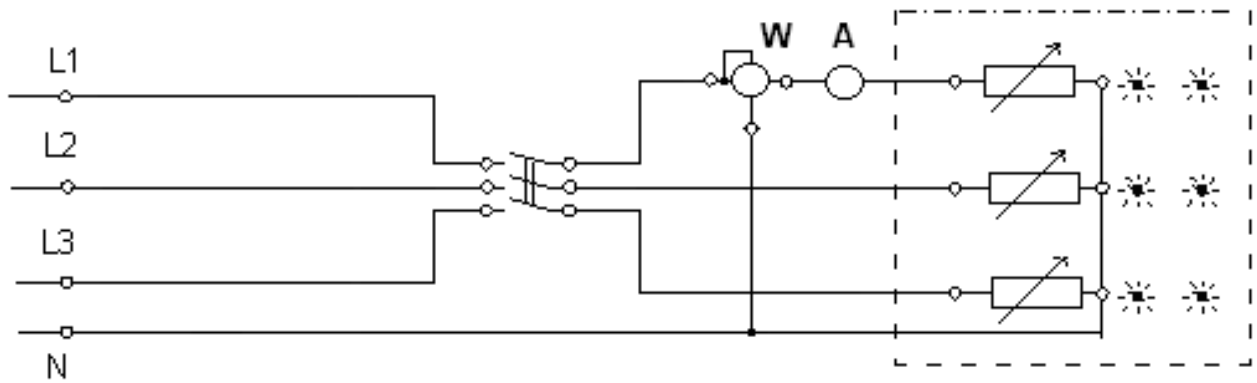


Рис.1. Схема экспериментального исследования индивидуальных и групповых графиков нагрузки

Порядок выполнения работы.

Исследование индивидуального графика электрической нагрузки.

1. Собрать схему для исследования графиков нагрузки.
2. Установить значение потребляемой мощности, указанное преподавателем.
3. Произвести измерения значений тока, активной мощности, потребляемых нагрузкой из сети, результаты измерений занести в табл.1.

Таблица 1. Исследование индивидуального графика электрической нагрузки

t, мин	I, А	P, Вт

4. Отключить нагрузку от сети на время, указанное преподавателем.
5. Повторить п.3-5 заданное число раз.
6. Построить по полученным значениям графики $I = f(t)$, $P = f(t)$.
7. Считая полученный график повторяющимся в течение смены, определить:

- расход электроэнергии за смену:

$$W_C = \sum P_i * T_i, \text{ кВт-ч}, \quad (1)$$

где T_i - промежуток времени, соответствующий постоянному значению потребляемой мощности P_i ;

- среднюю мощность:

$$P_C = W_C / T_C, \text{ кВт} \quad (2)$$

где T_C - продолжительность смены;

- эквивалентную или среднеквадратичную мощность:

$$P_{\text{э}} = \sqrt{\frac{P_1^2 * T_1 + P_2^2 * T_2 + \dots + P_i^2 * T_i}{T_c}}, \text{ кВт} \quad (3)$$

8. Рассчитать следующие коэффициенты:

- коэффициент использования:

$$K_{\text{И}} = P_C / P_{\text{Н}}, \quad (4)$$

где $P_{\text{Н}}$ - номинальная мощность нагрузки, равная 150 Вт;

- коэффициент формы:

$$K_{\text{Ф}} = P_{\text{э}} / P_C, \quad (5)$$

- коэффициент включения:

$$K_{\text{В}} = T_{\text{В}} / T, \quad (6)$$

где $T_{\text{В}}$ - время нахождения нагрузки во включенном состоянии за период времени T ;

- коэффициент загрузки:

$$K_3 = K_{\text{И}} / K_{\text{В}}. \quad (7)$$

Исследование группового графика электрической нагрузки.

Групповой график электрической нагрузки исследуется на такой же схеме, что и индивидуальный. Включение схемы производится один раз, далее график моделируется изменением величины нагрузки.

1. Установить минимальное значение потребляемой мощности, указанное преподавателем.

2. Включить схему.

3. Произвести измерение активной мощности, потребляемой нагрузкой из сети, результат измерения занести в табл.2., там же указать промежуток времени в часах (по заданию преподавателя) на котором действует установленная нагрузка.

Таблица 2. Исследование группового графика электрической нагрузки

t, час	P, Вт

4. Изменить значение мощности нагрузки и повторить пункт 3.

5. Повторяя пункты 3 и 4, смоделировать суточный график (промежуток времени 24 часа) потребления активной мощности.

6. Рассчитать по выше приведенным формулам следующие показатели: коэффициент использования, коэффициент формы, коэффициент заполнения графика рассчитать как:

$$K_{з.г.} = P_c / P_{MAX}, \quad (8)$$

где P_{MAX} - максимальное значение потребляемой активной мощности за исследуемый период.

7. Построить по полученным значениям график $P = f(t)$.

8. Используя различные компьютерные системы, например Excel, определить:

- математическое ожидание (среднее значение) потребляемой активной мощности за исследуемый период M_P функцией СРЗНАЧ();

- дисперсию потребляемой активной мощности за исследуемый период D_P функцией ДИСПР();

- среднеквадратичное отклонение σ потребляемой активной мощности за исследуемый период функцией КВАДРОТКЛ();

- вариацию потребляемой активной мощности за исследуемый период по следующей формуле:

$$\gamma = \sigma / M_P. \quad (9)$$

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Схема проведения опыта.
4. Таблицы с опытными данными.
5. Графики зависимостей потребления мощности и тока от времени.
6. Расчет показателей графиков.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Графики основных режимов работы электроприемников.
2. Какие факторы влияют на форму графика нагрузки цеха или предприятия?
3. Как определить основные величины и коэффициенты, характеризующие графики методами теории вероятности?
4. Как определяются максимальная, средняя и эффективная нагрузка?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ НЕЙТРАЛИ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 КВ

Цель работы: экспериментальное исследование режимов нейтрали в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ в нормальных и аварийных условиях эксплуатации.

Краткие методические указания

В электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ применяются следующие режимы (системы) нейтрали:

- система TN - система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухо-заземленной нейтрали источника посредством нулевых защитных проводников;
- система TN-C - система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении;
- система TN-S - система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении;
- система TN-C-S - система TN, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания;
- система IT - система, в которой нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части электроустановки заземлены;
- система TT - система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника.

В лабораторной работе будет производиться моделирование систем TN-C, TN-S, IT и TT. Эти системы исследуются как в нормальных режимах работы, так и в аварийных, связанных с частичным (утечка) или полным (пробой) повреждением фазной изоляции. Такие повреждения приводят к появлению напряжения

на открытых проводящих частях (ОПЧ), в рассматриваемых случаях – на корпусах электроприемников.

Системы TN-C и TN-S моделируются тремя однофазными нагрузками, четырех или пятипроводной питающей линией и источником питания – трехфазным трансформатором – рис.1 и рис.2.

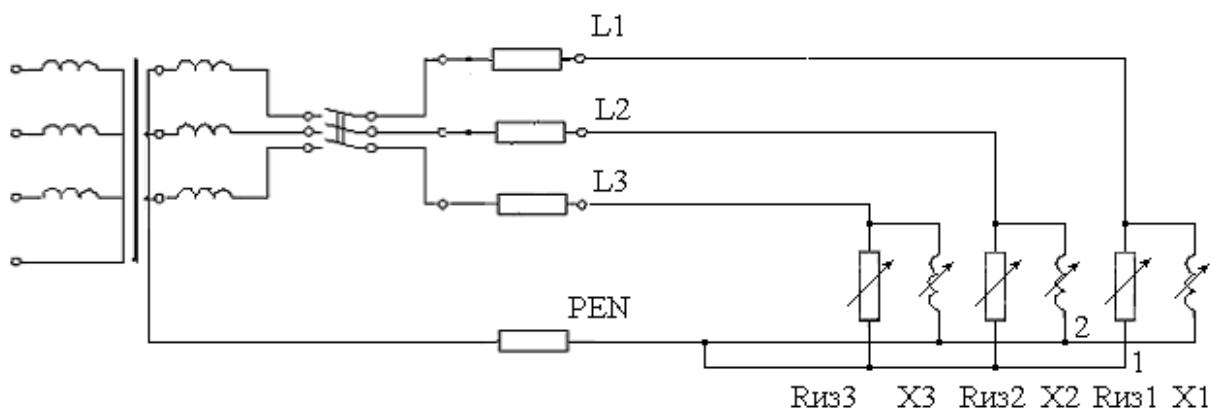


Рис.1. Схема модели системы TN-C

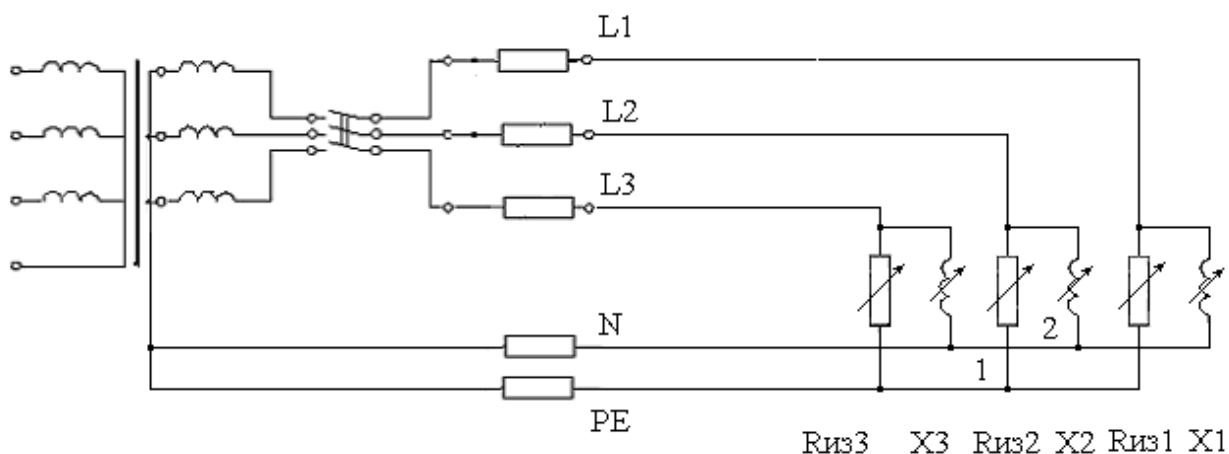


Рис.2. Схема модели системы TN-S

В качестве однофазных нагрузок или электроприемников используются три индуктивные нагрузки (X_1 , X_2 и X_3). Параллельно с ними подключены три однофазные активные нагрузки, имитирующие сопротивления фазной изоляции электроприемников (R_1 , R_2 и R_3). Одни выводы однофазных активных нагрузок подключаются к фазным проводам (точка 2), другие выводы представляют собой корпуса электроприемников (точка 1) и подключаются либо к PEN проводнику (система TN-C), либо к PE проводнику (система TN-S).

Значения мощности однофазных активных нагрузок изменяются во время опытов, что моделирует возникновение

утечки изоляции на корпус, а также во время опытов производится шунтирование однофазных активных нагрузок – создание пробоя изоляции на корпус. Параметры нагрузок устанавливаются по указанию преподавателя.

Четырех или пятипроводные линии выполняются в работе на основе моделей линий электропередач (на одной модели используются три провода, на второй – один или два в зависимости от исследуемой системы). Емкости линий относительно земли полностью выводятся из работы установкой соответствующих переключателей в нулевое положение. Остальные параметры устанавливаются по указанию преподавателя.

В качестве питающего трансформатора используется регулировочный трансформатор. Он подключается первичной обмоткой, соединенной в звезду, к источнику трехфазного напряжения. Вторичная обмотка также соединяется в звезду с нулевым проводом и к ней подключается четырех или пятипроводная линия. Напряжение вторичной обмотки устанавливается по указанию преподавателя.

Схема модели системы ИТ приведена на рис.3. В этой модели используется источник питания – регулировочный трансформатор, вторичная обмотка соединяется в звезду без нулевого провода. Питающая линия выполняется трехпроводной (используется одна модель линии электропередачи).

Электроприемники с фазной изоляцией моделируются аналогично предыдущим опытам. Нейтрали электроприемников соединяются в точку 2. Сопротивления изоляции соединяются одними выводами в точку 1, представляющую точки присоединения корпусов электроустановок к заземляющему устройству, а другими – к соответствующим фазным проводам.

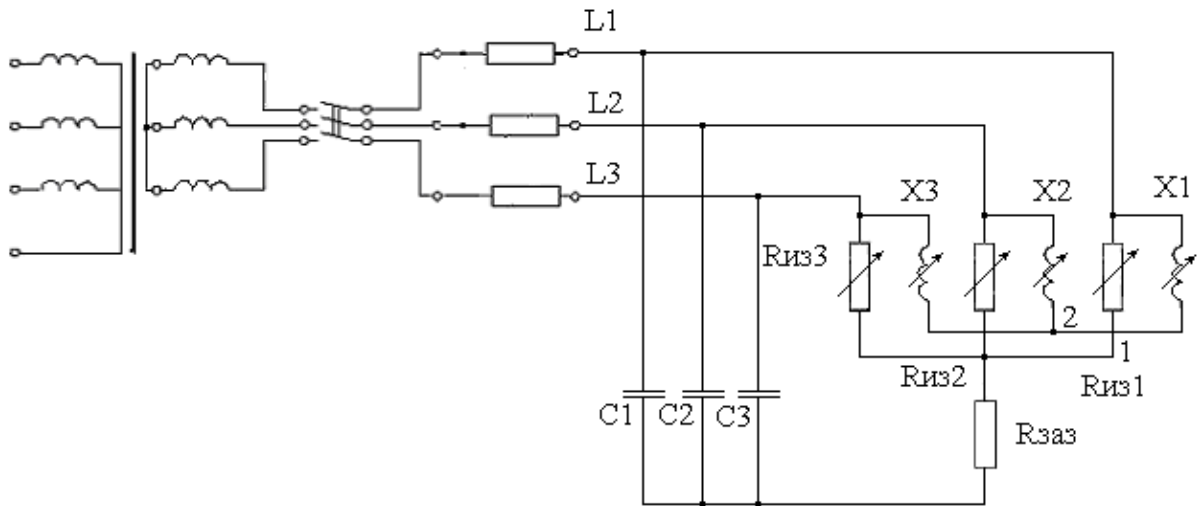


Рис.3. Схема модели системы IT

Заземляющее устройство моделируется одним из проводов второй модели линии электропередачи. Первый вывод этого провода присоединяется к точке 1, второй вывод (**земля**) используется для присоединения трех однофазных емкостных нагрузок, представляющих собой емкости фаз питающей линии относительно земли.

Все параметры схемы модели устанавливаются по указанию преподавателя.

Схема модели системы ТТ приведена на рис.4. В этой схеме источник питания (регулируемый трансформатор) имеет вторичную обмотку со схемой соединения - звезда с нулевым проводом. Питающая линия выполняется четырехпроводной (используется одна модель линии электропередачи с тремя фазными и нулевым проводами).

Нейтрали электроприемников соединяются в точку 2, к которой подключается нулевой провод N. Сопротивления фазной изоляции электроприемников (R_1 , R_2 и R_3) подключаются одними выводами к соответствующим фазным проводам, а другими (в точках 1', 1'', 1''') к заземляющим устройствам ($R_{ЗА31}$, $R_{ЗА32}$ и $R_{ЗА33}$). Заземляющие устройства собираются на основе второй модели линии электропередачи. Для представления в схеме сопротивлений заземляющих устройств используются фазные провода модели, присоединяемые к R_1 , R_2 и R_3 – с одной стороны, а с другой (точка 3) к нейтрали трансформатора. Точка 3 представляет собой **землю**.

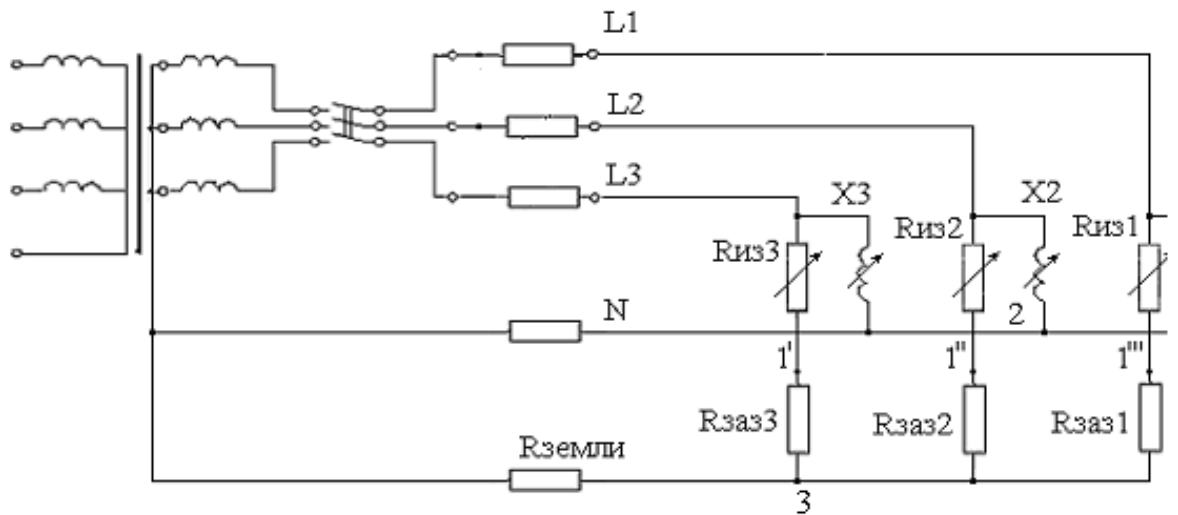


Рис.4. Схема модели системы ТТ

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему модели ТН-С.
2. Изменяя значение нагрузки X_1 в пределах, указанных в табл.1, измерить величину напряжения между точкой присоединения корпусов электроприемников к PEN проводнику и нейтралью трансформатора. Полученные данные занести в табл.1.

Таблица 1. Исследование системы ТН-С

Мощности нагрузок, %						U, В
X_1	X_2	X_3	R_1	R_2	R_3	
100	100	100	0	0	0	
40	— " " —	— " " —	— " " —	— " " —	— " " —	
20	— " " —	— " " —	— " " —	— " " —	— " " —	
100	— " " —	— " " —	60	— " " —	— " " —	
— " " —	— " " —	— " " —	80	— " " —	— " " —	
— " " —	— " " —	— " " —	100	— " " —	— " " —	
— " " —	— " " —	— " " —	Шунт	— " " —	— " " —	

3. Сделать вывод о напряжении на PEN проводнике при несимметричной нагрузке и исправной изоляции.

4. Изменяя значение нагрузки R_1 в пределах, указанных в табл.1, измерить величину напряжения между точкой

присоединения корпусов электроприемников к PEN проводнику и нейтралью трансформатора. Полученные данные занести в табл.1.

5. Сделать вывод о напряжении на PEN проводнике при симметричной нагрузке и возникновении повреждения изоляции.

6. Собрать схему модели TN-S.

7. Изменяя значение нагрузки X_1 в пределах, указанных в табл.2, измерить величину напряжения между точкой присоединения корпусов электроприемников PE проводнику и нейтралью трансформатора. Полученные данные занести в табл.2.

Таблица 2. Исследование системы TN- S

Мощности нагрузок, %						U, В
X_1	X_2	X_3	R_1	R_2	R_3	
100	100	100	0	0	0	
40	— " " —	— " " —	— " " —	— " " —	— " " —	
20	— " " —	— " " —	— " " —	— " " —	— " " —	
100	— " " —	— " " —	60	— " " —	— " " —	
— " " —	— " " —	— " " —	80	— " " —	— " " —	
— " " —	— " " —	— " " —	100	— " " —	— " " —	
— " " —	— " " —	— " " —	Шунт	— " " —	— " " —	

8. Сделать вывод о напряжении на PE проводнике при несимметричной нагрузке и исправной изоляции.

9. Изменяя значение нагрузки R_1 в пределах, указанных в табл.1, измерить величину напряжения между точкой присоединения корпусов электроприемников к PE проводнику и нейтралью трансформатора. Полученные данные занести в табл.2.

10. Сделать вывод о напряжении на PE проводнике при симметричной нагрузке и возникновении повреждения изоляции.

11. Собрать схему модели IT.

12. Изменяя значение нагрузки R_1 в пределах, указанных в табл.3, измерить величину напряжения между точкой присоединения корпусов электроприемников к заземляющему устройству и землей, а также измерить емкостные токи фаз. Полученные данные занести в табл.3.

13. Сделать вывод о напряжении между корпусами электроприемников и землей при возникновении повреждения изоляции.

14. Собрать схему модели ТТ.

15. Изменяя значение нагрузки R_1 в пределах, указанных в табл.4, измерить величины напряжения между корпусами электроприемников и землей. Полученные данные занести в табл.4.

16. Сделать вывод о напряжении между корпусами электроприемников и землей при возникновении повреждения изоляции.

Таблица 3. Исследование системы IT

Мощности нагрузок, %			Емкостные токи фаз, А			U, В
R_1	R_2	R_3	I_{C1}	I_{C2}	I_{C3}	
20	0	0				
40	— " " —	— " " —				
60	— " " —	— " " —				
80	— " " —	— " " —				
100	— " " —	— " " —				
Шунт	— " " —	— " " —				

Таблица 4. Исследование системы TT

Мощности нагрузок, %			Напряжения на корпусах электроприемников, В		
R_1	R_2	R_3	U_1	U_2	U_3
40	— " " —	— " " —			
60	— " " —	— " " —			
80	— " " —	— " " —			
100	— " " —	— " " —			
Шунт	— " " —	— " " —			

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Схемы проведения опытов.
4. Таблицы с опытными данными.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Область применения системы TN.
2. Область применения системы IT.
3. Область применения системы TT.
4. Основное условие электробезопасности в системе TN.
5. Основное условие электробезопасности в системе IT.
6. Основное условие электробезопасности в системе TT.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКАХ

Цель работы: определение отклонений напряжения на электроприемниках по результатам опытных данных, ознакомление со способами регулирования напряжения в системах электроснабжения промышленных предприятий.

Краткие методические указания.

При работе систем электроснабжения величина нагрузки потребителей изменяется в достаточно широких пределах. Это вызывает изменения напряжения в электрических сетях систем электроснабжения промышленных предприятий и в конечном итоге на электроприемниках.

Такие изменения не должны превышать нормативных значений, установленных ГОСТ 32144-2013 ($\pm 10\%$). Поэтому при эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий важное значение имеет определение отклонений напряжений на электроприемниках, сравнение полученных значений с нормативными и принятие специальных мер по повышению качества электроэнергии, если отклонения напряжения выходят за пределы, установленные ГОСТ.

В лабораторной работе экспериментальное определение отклонений напряжения выполняется по схеме, приведенной на рис.1. В этой схеме потребители электроэнергии моделируются активной нагрузкой, величина которой изменяется во время проведения опыта. Напряжение в характерных точках схемы измеряется четырьмя вольтметрами, потребляемая мощность – ваттметром.

В первой части опыта производится изменение нагрузки в некоторых пределах, моделируя тем самым суточный график нагрузки. Напряжение измеряется на каждой ступени графика.

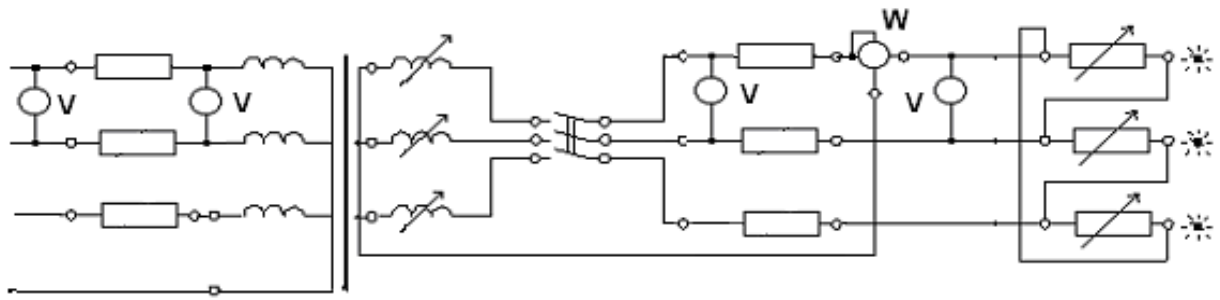


Рис.1. Схема проведения опыта по экспериментальному определению отклонений напряжения

По полученным данным затем вычисляются отклонения напряжения. Полученные значения сравниваются с нормативными и по результатам сравнения делается вывод о качестве электроэнергии, поставляемой потребителю.

Если качество электроэнергии не соответствует требованиям ГОСТ хотя бы на одной ступени графика, то опыт повторяется, но в моменты времени, когда напряжение не соответствует заданным значениям производится поддержание его в установленных границах при помощи регулировочного трансформатора.

Порядок выполнения работы.

1. Собрать схему для определения отклонений напряжения.
2. Подать напряжение на собранную схему, установить междуфазное напряжение на выходе регулировочного трансформатора, равное 220 В.
3. Установить значение сопротивления нагрузки заданное преподавателем и подключить нагрузку к схеме.
4. Измерить напряжения в заданных точках схемы, записать показания вольтметров и утроенное показание ваттметра в таблицу 1, промежуток времени, на котором действует установленная нагрузка, задается преподавателем. По полученным опытными данным построить графики зависимости $P=f(t)$, $U=f(t)$.

Таблица 1. Изменение напряжения

t, час	P, Вт	$\frac{U_1, В}{\Delta U_1}$	$\frac{U_2, В}{\Delta U_2}$	$\frac{U_3, В}{\Delta U_3}$	$\frac{U_4, В}{\Delta U_4}$

5. Определить отклонения напряжения для всех ступеней графика по следующей формуле.

$$\Delta U = \frac{U_T - U_H}{U_H} * 100\% , \quad (1)$$

где U_T – текущее значение напряжения сети, В;

U_H - номинальное значение напряжения сети, В.

Построить эпюры напряжения для режимов с максимальной и минимальной нагрузкой.

6. По значениям отклонения напряжения на нагрузке сделать вывод о соответствии качества электроэнергии требованиям ГОСТ 32144-2013.

7. При невыполнении требований ГОСТ 32144-2013 повторить действия пунктов 3-5, при этом в моменты времени, когда напряжение на нагрузке выходит за нормативные пределы, действием регулировочного трансформатора установить значение напряжение на нагрузке, соответствующее требованиям ГОСТ. Результаты опытов занести в таблицу, аналогичную таблице 1. По полученным опытными данным построить графики зависимости $P=f(t)$, $U=f(t)$. Определить отклонения напряжения для всех ступеней графика, построить эпюры напряжения для максимальной и минимальной нагрузки.

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Схема проведения опыта.
4. Таблицы с опытными данными.
5. Графики зависимостей потребления мощности и напряжений в схеме от времени.
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Как определяется отклонение напряжения.
2. Основные причины возникновения отклонений напряжения.
3. Значения отклонения напряжения по ГОСТ 32144-2013.
4. Какие мероприятия следует использовать для сохранения питающего напряжения на электроприемниках в пределах, заданных ГОСТ 32144-2013.
5. Как определить отклонение напряжения на электроприемниках расчетным путем.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ

Цель работы: экспериментальное исследование изменения потребления активной и реактивной мощности различными электроприемниками при отклонении напряжения от номинального значения и определение по опытным данным статических характеристик изучаемых электроприемников.

Краткие методические указания.

При работе электроприемников величина напряжения в точках их присоединения к электрической сети не остается постоянной. Поэтому для анализа работы электроприемников широко используются статические характеристики – зависимости потребляемой мощности (активной и реактивной) от значения напряжения, подведенного к электроприемникам.

В лабораторной работе экспериментальное определение зависимости потребления мощности от напряжения выполняется по следующей схеме.

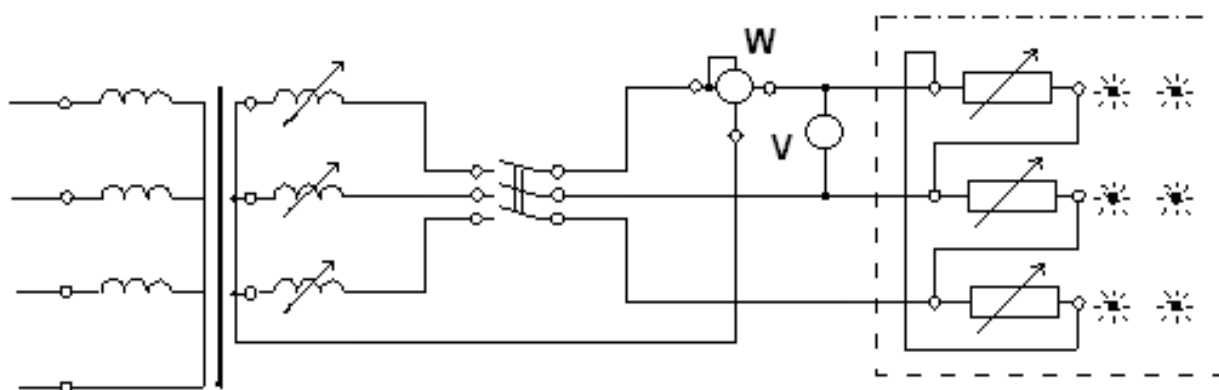


Рис.1. Схема проведения опыта по изучению статической характеристики активной нагрузки

Порядок выполнения работы.

1. Собрать схему для определения статических характеристик активной нагрузки.

2. Подать напряжение на собранную схему, установить линейное напряжение на нагрузке, равное 220 В.

3. Установить такое значение сопротивления нагрузки, при котором активная мощность, потребляемая одной фазой, составит 50 Вт.

4. Изменяя питающее напряжение с помощью регулировочного трансформатора, записывать показания вольтметра и утроенное показание ваттметра в таблицу 1.

Таблица 1.

Зависимость потребления мощности от напряжения активной нагрузкой

P, Вт					
U, В					
P_*					
U_*					

Построить график зависимости $P=f(U)$.

5. Перевести полученные значения активной мощности и напряжения в относительные единицы по следующим формулам:

$$P_* = \frac{P}{P_{220}}, \quad (1)$$

где P – текущее значение потребляемой активной мощности;
 P_{220} – значение активной мощности, потребляемой нагрузкой при величине питающего напряжения 220 В.

$$U_* = \frac{U}{220}, \quad (2)$$

где U – текущее значение питающего напряжения.

6. Аналогичным образом определяются статические характеристики для индуктивной, емкостной, осветительной и выпрямительной нагрузок.

Подключение к сети емкостной нагрузки производится через токоограничивающие сопротивления величиной 150 –200 Ом, устанавливаемые на модели линии. Это необходимо для ограничения броска тока в момент подачи напряжения на емкостную нагрузку. Затем токоограничивающие сопротивления выводятся из схемы. Результаты опытов занести в таблицы, аналогичные табл.1.

7. Используя компьютерные математические системы (MATLAB и подобные) найти коэффициенты уравнений первого порядка, представляющих найденные статические характеристики в относительных единицах. В системе MATLAB это выполняется в следующем порядке (для активной нагрузки):

- создать вектор P , содержащий значения потребляемой мощности в относительных единицах;
- создать вектор U , содержащий значения питающего напряжения в относительных единицах;
- найти с помощью функции $\text{polyfit}(U, P, 1)$ коэффициенты полинома a и b , представляющего статическую характеристику как:

$$P = a \cdot U + b. \quad (3)$$

Аналогично определить коэффициенты уравнений статических характеристик для других нагрузок.

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Схема проведения опыта (для активной нагрузки).
4. Таблицы с опытными данными.
5. Графики зависимостей потребления мощности от величины питающего напряжения.
6. Уравнения статических характеристик.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Как определяется отклонение напряжения.
2. Основные причины возникновения отклонений напряжения.
3. Значения отклонения напряжения по ГОСТ 32144-2013.
4. Какие мероприятия следует использовать для сохранения питающего напряжения на электроприемниках в пределах, заданных ГОСТ 32144-2013.
5. Как определить отклонение напряжения на электроприемниках расчетным путем.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Цель работы: экспериментальное исследование изменения потребления активной и реактивной мощности асинхронными электродвигателями при отклонении напряжения от номинального значения и определение по опытным данным статических характеристик асинхронных электродвигателей.

Краткие методические указания.

Во время работы систем электроснабжения происходит изменение напряжения на зажимах работающих электроприемников, в том числе и у асинхронных электродвигателей (АД), составляющих значительную часть нагрузки промышленных предприятий. Поэтому при решении тех или иных задач эксплуатации систем электроснабжения часто требуется проводить анализ работы АД при отклонении напряжения от номинального значения.

Для выполнения такого анализа удобно использовать статические характеристики – зависимости потребления мощности как активной так и реактивной от значения напряжения, подведенного к АД. Статические характеристики АД имеют сложный характер, так как их вид зависит от номинальной мощности АД, коэффициента загрузки, характеристики момента сопротивления со стороны производственного механизма и т.д.

В лабораторной работе экспериментальное определение зависимости потребления мощности от напряжения выполняется по схеме, приведенной на рис.1. В этой схеме нагрузка на валу АД создается с помощью машины постоянного тока (МПТ). Эта нагрузка изменяется путем регулирования напряжения питания МПТ.

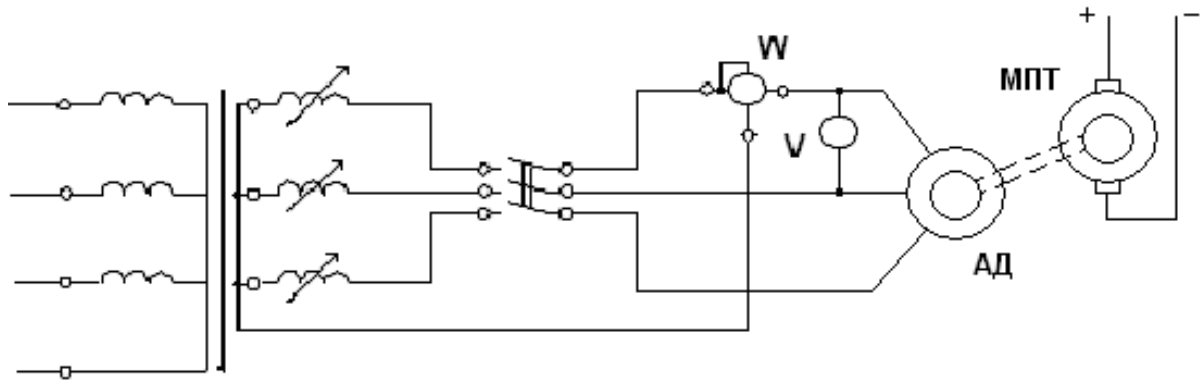


Рис.1. Схема проведения опыта по изучению статической характеристики АД

Порядок выполнения работы.

1. Собрать схему для определения статических характеристик АД, обмотки АД соединить в Δ .

2. Подать напряжение на собранную схему, установить междуфазное напряжение на выходе регулировочного трансформатора, равное 220 В. Напряжение питания МПТ установит равное нулю.

3. Подключить АД к схеме, проверить направление вращения, оно должно быть левым (стрелка измерителя частоты вращения должна отклониться влево). Если направление вращения правое, то отключить АД от схемы и поменять местами два провода.

4. Изменяя питающее напряжение с помощью регулировочного трансформатора, записывать показания вольтметра и утроенное показание ваттметра в таблицу 1.

Построить графики зависимости $P=f(U)$ и $Q=f(U)$.

5. Перевести полученные значения активной мощности, реактивной мощности и напряжения в относительные единицы по следующим формулам:

$$P_* = \frac{P}{P_{220}}, \quad (1)$$

где P – текущее значение потребляемой активной мощности;
 P_{220} – значение активной мощности, потребляемой нагрузкой при величине питающего напряжения 220 В.

Таблица 1. Зависимость потребления мощности АД от напряжения питания

P, Вт					
Q, вар					
U, В					
P_*					
Q_*					
U_*					

$$Q_* = \frac{Q}{Q_{220}}, \quad (2)$$

где Q – текущее значение потребляемой реактивной мощности;

Q_{220} – значение реактивной мощности, потребляемой нагрузкой при величине питающего напряжения 220 В.

$$U_* = \frac{U}{220}, \quad (3)$$

где U – текущее значение питающего напряжения.

6. Снова установить междуфазное напряжение на выходе регулирующего трансформатора, равное 220 В. Создать нагрузку на валу АД регулированием напряжения питания МПТ до значения, указанного преподавателем. Снижая напряжение питания АД, проводить измерения активной, реактивной мощности и напряжения. Результаты опытов занести в таблицы, аналогичные табл.1.

7. Повторить несколько раз пункт 6, для каждого из опытов построить графики зависимостей $P=f(U)$ и $Q=f(U)$.

8. Используя компьютерные математические системы (MATLAB и подобные) найти коэффициенты уравнений второго порядка, представляющих найденные статические характеристики в относительных единицах. В системе MATLAB это выполняется в следующем порядке (для активной нагрузки):

- создать векторы P и Q, содержащие значения потребляемой мощности в относительных единицах;
- создать вектор U, содержащий значения питающего напряжения в относительных единицах;
- найти с помощью функции polyfit(U, P, 2) коэффициенты полинома a_1, a_2, a_3 , представляющего статическую характеристику как:

$$P = a_1 \cdot U^2 + a_2 \cdot U + b. \quad (4)$$

Аналогично определить коэффициенты уравнения статической характеристики по реактивной мощности.

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Схема проведения опыта.
4. Таблицы с опытными данными.
5. Графики зависимости потребления мощности от величины питающего напряжения.
6. Уравнения статических характеристик.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Как определяется отклонение напряжения.
2. Основные причины возникновения отклонений напряжения.
3. Значения отклонения напряжения по ГОСТ 32144-2013.
4. Какие мероприятия следует использовать для сохранения питающего напряжения на АД в пределах, заданных ГОСТ 32144-2013.
5. Как определить отклонение напряжения на АД расчетным путем.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

ИССЛЕДОВАНИЕ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы: ознакомиться с определением показателей качества электроэнергии для быстропротекающих процессов изменения напряжения.

Краткие методические указания

Быстропротекающие процессы изменения напряжения включают в себя колебания напряжения, провал напряжения, импульсное перенапряжение, импульс напряжения. Из этих процессов в данной лабораторной работе будут исследоваться колебания напряжения, провал напряжения, импульсное перенапряжение.

Показателями КЭ, относящимися к колебаниям напряжения, являются кратковременная доза фликера P_{st} , измеренная в интервале времени 10 мин, и длительная доза фликера Plt , измеренная в интервале времени 2 ч, в точке передачи электрической энергии.

Провал напряжения - внезапное понижение напряжения в точке электрической сети за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня. Провал напряжения характеризуется показателем длительности провала напряжения.

Временное перенапряжение – повышение напряжения в точке электрической сети, возникающее в системах электроснабжения.

Для исследования быстропротекающих процессов изменения напряжения в лабораторной работе используется компьютерная модель системы электроснабжения, выполненная в пакете Simulink системы MatLab. Модель приведена на рис. 1.

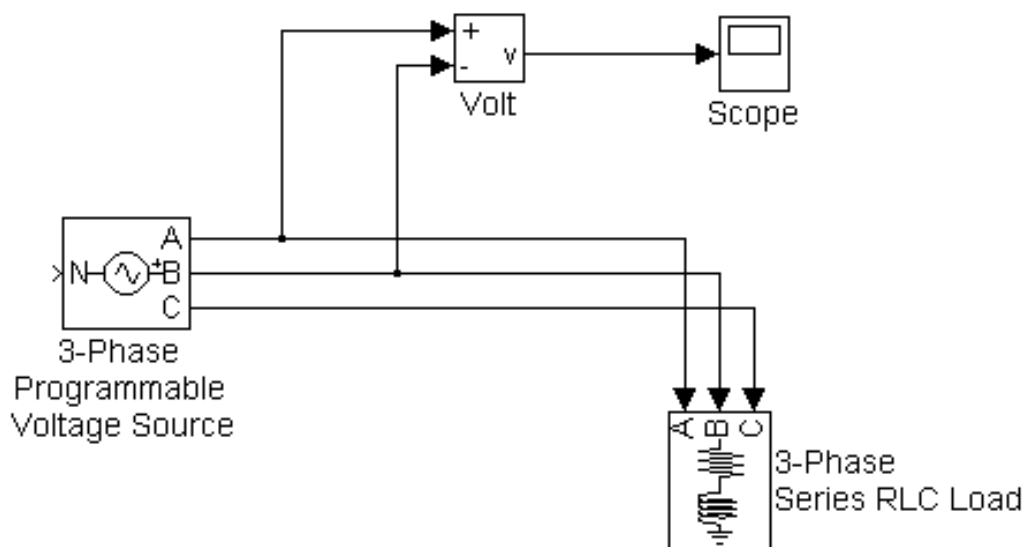


Рис.1. Компьютерная модель системы электроснабжения

Она состоит из программируемого трехфазного источника (3-Phase Programmable Voltage Source), трехфазной нагрузки (3-Phase Series RLC Load), вольтметра (Volt) с присоединенным к его выходу осциллографом (Scope). Параметры программируемого трехфазного источника и трехфазной нагрузки задаются в процессе работы по указаниям преподавателя в соответствующих окнах.

Окно установки параметров программируемого трехфазного источника показано на рис.2.

В этом окне последовательно задаются:

- междуфазное напряжение источника, В; фаза, град; частота, Гц – (Positive-sequence: Amplitude (Vrms Ph- Ph Phase (deg) Freq. (Hz));

- вид изменяемого параметра напряжения источника (Time variation of), здесь можно установить – нет изменений (None), амплитуда (Amplitude), фаза (Phase), частота (Frequency);

- тип изменения напряжения (Type of variation), здесь можно установить шаг (Step), линейное возрастание (Ramp), модуляция (Modulation), таблица время-амплитудных парных значений (Table of amplitude pairs);

- значения амплитуды в относительных единицах (Amplitude values);

- значения времени (Time values).

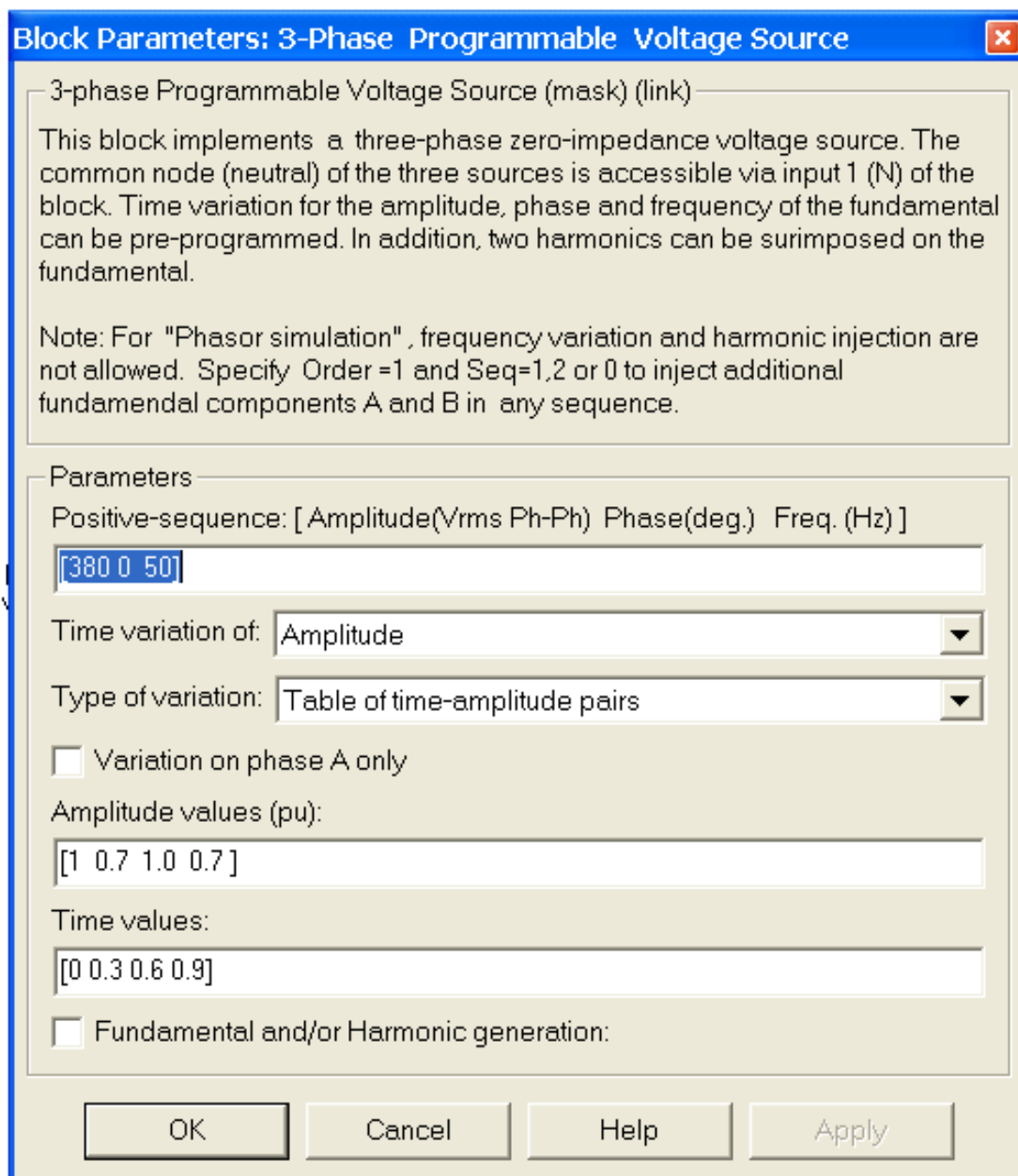


Рис.2. Окно установки программируемого трехфазного источника

Вид окна приведен для выбранного типа изменения таблицы время-амплитудных парных значений. При выборе других типов изменения напряжения вид окна может изменяться.

Для получения колебаний напряжения прямоугольной формы нужно выбрать тип изменения напряжения – Table of amplitude pairs. Для него задать амплитуды напряжения в относительных единицах на участках колебаний и время начала и окончания каждого участка. В приведенном примере вида окна с момента времени от 0 до 0,3 с амплитуда выходного напряжения источника

в относительных единицах равна 1,0; с 0,3 до 0,6 с амплитуда выходного напряжения источника равна 0,7; 0,6 до 0,9 с амплитуда выходного напряжения источника равна 1,0; после 0,9 с амплитуда выходного напряжения источника равна 0,7.

Задание параметров нагрузки производится в окне, вид которого приведен на рис.3. В этом окне последовательно задаются:

- номинальное междуфазное напряжение нагрузки (Nominal phase-phase voltage (V_{rms})), В;
- номинальная частота (Nominal Frequency), Гц;
- активная мощность по трем фазам (Three-Phase active power P (W)), Вт;
- реактивная индуктивная мощность по трем фазам (Three-Phase inductive reactive power Q_l (var)), вар;
- реактивная емкостная мощность по трем фазам (Three-Phase capacitive reactive power Q_c (var)), вар.

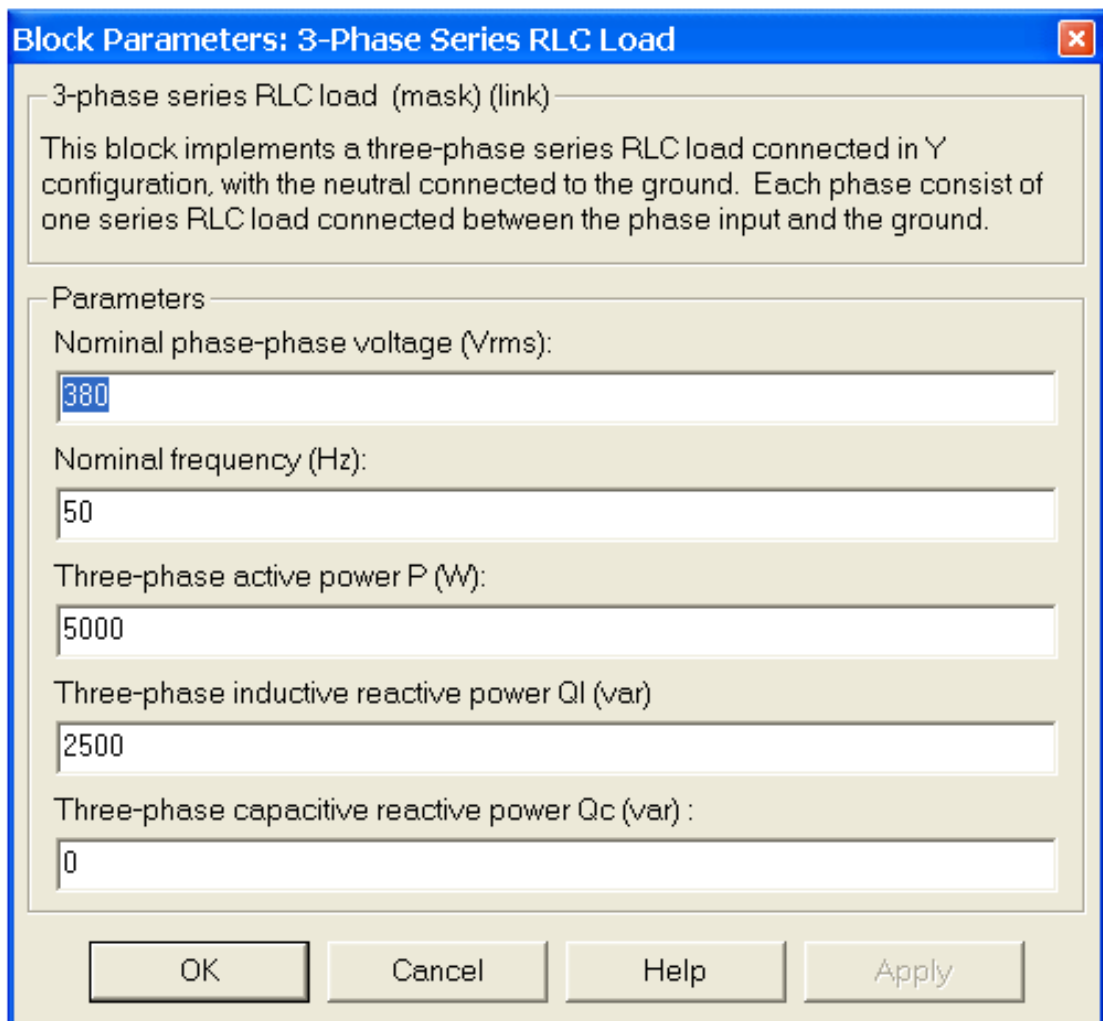


Рис.3. Окно задания параметров нагрузки

Порядок выполнения работы

1. На компьютере запустить MatLab и затем - пакет Simulink.
2. Открыть файл с исследуемой моделью – koleb_U.mdl.
3. Задать параметры трехфазного программируемого источника и нагрузки, установив при этом режим прямоугольных колебаний напряжения.

3. Установить время моделирования и запустить процесс моделирования. По окончании процесса моделирования открыть осциллограф и определить величину размаха колебания напряжения, длительность интервала времени между изменениями напряжения.

Размах колебания напряжения в процентах находится по следующей формуле:

$$\delta U_t = \frac{U_{ai} - U_{ai+1}}{\sqrt{2} U_{ном}} \cdot 100, \quad (1)$$

где U_{ai} , U_{ai+1} - значения следующих один за другим экстремумов или экстремума и горизонтального участка огибающей амплитудных значений напряжения на каждом полупериоде основной частоты, В.

Интервал времени между изменениями напряжения $\Delta t_{i, i+1}$ в секундах или минутах вычисляют по формуле

$$\Delta t_{i, i+1} = t_{i+1} - t_i, \quad (2)$$

где t_i , t_{i+1} - начальные моменты следующий один за другим изменений напряжения, с, мин.

Данные измерений и расчетов занести в табл.1.

Таблица 1. Исследование прямоугольных колебаний напряжения

№ опыта	U_{ai} , В	U_{ai+1} , В	δU_t , %	t_{i+1} , с	t_i , с	$\Delta t_{i, i+1}$, с

4. Повторить несколько раз опыт с прямоугольными колебаниями напряжения, в одном из опытов преобразовать полученную осциллограмму в графический файл с последующей распечаткой.

5. По результатам опытов определить создавались ли провалы напряжения и временные перенапряжения, и в случае возникновения этих процессов, определить их параметры: длительность провала напряжения, коэффициент временного перенапряжения, длительность временного перенапряжения. Длительность провала напряжения определяется как

$$\Delta t_{\text{п}} = t_{\text{к}} - t_{\text{н}}, \quad (3)$$

где $t_{\text{н}}$ - начальный момент времени провала напряжения (снижение среднеквадратичного напряжения ниже уровня $0,9 U_{\text{ном}}$);

$t_{\text{к}}$ - конечный момент времени провала напряжения (восстановление среднеквадратичного напряжения до уровня $0,9 U_{\text{ном}}$).

Длительность временного перенапряжения $\Delta t_{\text{пер}}$ в секундах определяется как

$$\Delta t_{\text{пер}U} = t_{\text{к пер}} - t_{\text{н пер}}, \quad (4)$$

где $t_{\text{н пер}}$ - момент времени превышения действующим значением напряжения уровня $1,1 U_{\text{ном}}$;

$t_{\text{к пер}}$ - момент времени спада напряжения до уровня $0,9 U_{\text{ном}}$.

5. Установить режим модулированных колебаний напряжения на трехфазном программируемом источнике и повторить пункты 3 - 4. Данные измерений и расчетов занести в табл.2.

Таблица 2. Исследование модулированных колебаний напряжения

№ опыта	$U_{ai}, \text{ В}$	$U_{ai+1}, \text{ В}$	$\delta U_t, \%$	$t_{i+1}, \text{ с}$	$t_i, \text{ с}$	$\Delta t_{i, i+1}, \text{ с}$

6. По результатам работы сделать вывод о соответствии качества электроэнергии во время проведения опытов требованиям ГОСТ.

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Схема исследуемой модели.
4. Таблицы с опытными данными.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Основные причины возникновения колебаний напряжения в электрических сетях.
2. Основные причины возникновения провалов напряжения и временных перенапряжений.
3. В чем проявляется вредное воздействие колебаний напряжений на электроприемники.
4. Основные методы по снижению колебаний напряжения в трехфазных электрических сетях.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ

Цель работы: ознакомиться с определением показателей качества электроэнергии для несимметричных режимов работы электроприемников по опытным данным и с основными схемами симметрирующих устройств.

Краткие методические указания.

Несимметрия трехфазной системы напряжений возникает при подключении к трехфазной питающей сети либо однофазных потребителей, либо трехфазных потребителей с несимметричным потреблением мощности по фазам. При возникновении несимметрии напряжений в трехфазной сети появляются токи и напряжения обратной и нулевой последовательности, что неблагоприятно влияет на работу различных электроприемников.

Напряжение и токи обратной последовательности особенно вредно влияют на работу электрических машин, создавая в них дополнительный нагрев и противодействующий вращающий момент. Напряжение и токи нулевой последовательности неблагоприятно действуют на однофазных электроприемников и кроме того, токи нулевой последовательности протекают по нулевым проводам, создавая на них потенциалы, и по заземлителям, что повышает их сопротивление из-за снижения влажности грунта.

Согласно ГОСТ несимметрия напряжений оценивается коэффициентом несимметрии напряжений по обратной последовательности $K_{2U, \%}$ и коэффициентом несимметрии напряжений по нулевой последовательности $K_{0U, \%}$. Эти коэффициенты представляют собой отношение действующего значения напряжения обратной последовательности основной частоты трехфазной системы напряжений и действующего значения напряжения нулевой последовательности основной частоты трехфазной системы напряжений к действующему значению напряжения прямой последовательности (к номинальному напряжению).

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему (рис.1.) для исследования несимметричного режима работы трехфазного потребителя (схема соединения потребителя – звезда без нулевого провода).

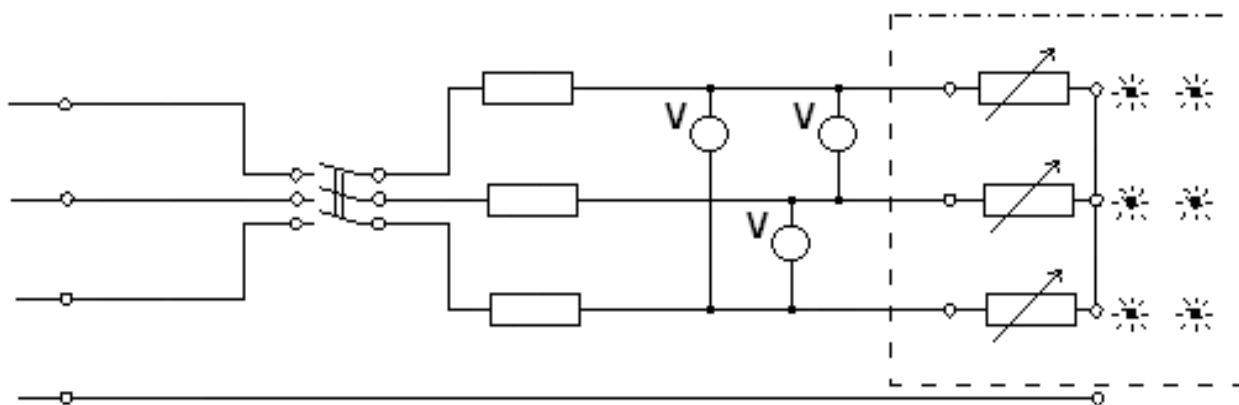


Рис.1. Схема исследования несимметричного режима работы трехфазного потребителя

2. Установить значения потребляемой мощности от номинального значения по фазам: А – 10%, В – 10%, С – 10%. Сопротивление фаз модели линии установить равным 200 Ом и не изменять их до окончания работы.

3. Подать напряжение на схему, измерить три междуфазных напряжения на потребителе, результаты измерений занести в табл.1. Опыт повторить для всех соотношений мощности фаз, указанных в табл.1.

4. Отключить схему от сети и соединить нейтраль потребителя с нейтралью источника питания. Установить значения потребляемой мощности от номинального значения по фазам: А – 100%, В – 10%, С – 10%. Подать напряжение на схему и измерить три междуфазных и три фазных напряжения. Результаты измерений занести в табл.2. Опыт повторить для всех соотношений мощности фаз, указанных в табл.2.

Таблица 1. Исследование несимметричного режима работы трехфазного потребителя (схема соединения звезда без нуля)

Соотношения мощности фаз трехфазного потребителя			$U_{AB}, В$	$U_{BC}, В$	$U_{AC}, В$	$U_2, В$	$K_{2U}, \%$
А	В	С					
100%	10%	10%					
80%	10%	10%					
60%	10%	10%					
40%	10%	10%					

Таблица 2. Исследование несимметричного режима работы трехфазного потребителя (схема соединения звезда с нулевым проводом)

Соотношения мощности фаз трехфазного потребителя			$U_{AB}, В$	$U_{BC}, В$	$U_{AC}, В$	$U_A, В$	$U_B, В$	$U_C, В$	$U_0, В$	$K_{2U}, \%$
А	В	С								
100%	10%	10%								
80%	10%	10%								
60%	10%	10%								
40%	10%	10%								

5. Определить значения напряжений обратной последовательности U_2 для каждого из четырех опытов (табл.1.) по следующей приближенной формуле:

$$U_2 = 0,62(U_{НВ} - U_{НМ}), \quad (1)$$

где $U_{\text{НБ}}$ – наибольшее значение междуфазного напряжения,
 $U_{\text{НМ}}$ – наименьшее значение междуфазного напряжения.
Результаты сравнить, и занести в табл.1.

Рассчитать коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности $K_{2U},\%$ для четырех опытов как

$$K_{2U},\% = U_2 * 100 / U_{\text{Н}}, \quad (2)$$

где $U_{\text{Н}}$ – номинальное напряжение трехфазной сети.

Результаты расчетов $K_{2U},\%$ занести в табл.1.

6. Определить значения напряжений нулевой последовательности U_0 для каждого из четырех опытов (табл.2.) по следующей приближенной формуле:

$$U_0 = 0,62(U_{\text{НБФ}} - U_{\text{НМФ}}), \quad (3)$$

где $U_{\text{НБФ}}$ – наибольшее значение фазного напряжения,
 $U_{\text{НМФ}}$ – наименьшее значение фазного напряжения.

Результаты сравнить, и занести в табл.2.

Рассчитать коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности $K_{0U},\%$ как

$$K_{0U},\% = \sqrt{3}U_0 * 100 / U_{\text{Н}}. \quad (4)$$

Результаты расчетов занести в табл.2.

7. Сделать выводы по работе.

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Схемы проведения опыта.
4. Таблицы с опытными данными.
5. Расчеты напряжений обратной и нулевой последовательностей, коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности $K_{2U},\%$ и коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности $K_{0U},\%$.
6. Векторные диаграммы симметричных составляющих токов при подключении однофазной нагрузки в трехфазную сеть.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Основные причины возникновения несимметричных режимов работы в трехфазных электрических сетях.
2. Метод симметричных составляющих и его применение к определению прямой, обратной и нулевой последовательностей при несимметричных режимах.
3. В чем проявляется вредное воздействие токов и напряжений обратной и нулевой последовательностей на электроприемники.
4. Основные методы по снижению несимметрии в трехфазных электрических сетях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий [Текст]: Учебник для студентов высших учебных заведений/Б.И.Кудрин. – М.:Интермет Инжиниринг, 2005. – 672 с.:ил.
2. Кудрин Б.И. Электроснабжение (2-е изд., перераб. и доп.) [Текст]: Учебник/Б.И.Кудрин. – М.: Академия, 2012. – 352 с.
3. Правила устройства электроустановок [Текст]. Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. 4-й выпуск. – Новосибирск; Сиб.унив.изд-во, 2006. – 854 с.:ил.
4. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов (10-е изд., стер.) [Текст]: Учебное пособие – М.: Академия, 2012. – 320 с.
5. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.:Стандартинформ, 2014. – 19 с.