

Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»**

Кафедра «Теоретические основы электротехники»

В. В. Соленков, Д. В. Комнатный

ТРЕХФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

**по курсу «Теоретические основы электротехники»
для студентов специальностей**

1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети»,

1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)»,

**1-43 01 07 «Техническая эксплуатация
энергооборудования организаций»**

**и 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2012

УДК 621.3.011.7(075.8)
ББК 31.211я73
С60

*Рекомендовано научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 10 от 28.06.2012 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого
Ю. А. Рудченко

Соленков, В. В.
С60 Трехфазные электрические цепи : лаборатор. практикум по курсу «Теоретические основы электротехники» для студентов специальностей 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети», 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)», 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» и 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» днев. и заоч. форм обучения / В. В. Соленков, Д. В. Комнатный. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2012. – 57 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц; 32 Mb RAM; свободное место на HDD 16 Mb; Windows 98 и выше; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://alis.gstu.by/StartEK/>. – Загл. с титул. экрана.

Данный лабораторный практикум является частью общего пособия к лабораторному практикуму «Электрические цепи», выполняемому на стендах УИЛС. Приведены описания семи расчетно-лабораторных работ по анализу установившихся процессов в линейных трехфазных электрических цепях.

Каждая работа содержит тему, цель работы, краткие теоретические сведения, порядок и методику проведения исследований, а также контрольные вопросы. Тематика работ соответствует программе курса «Теоретические основы электротехники».

Для студентов электротехнических специальностей дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.3.011.7(075.8)
ББК 31.211я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2012

Введение

Настоящее пособие является четвертой частью лабораторного практикума, содержащего рекомендации по применению стендов УИЛС в учебном процессе, а также описания расчетно-лабораторных работ (РЛР). Методическое пособие составлено в соответствии с программой курса «Теоретические основы электротехники» и предназначено для студентов электротехнических специальностей дневного и заочного отделений. Оно содержит описания РЛР по анализу установившихся режимов в линейных электрических цепях трехфазного переменного тока.

Для выполнения этих РЛР используется блок трехфазного напряжения, расположенный слева в нижней части пульты (рис.1, поз.3, заштрихован).

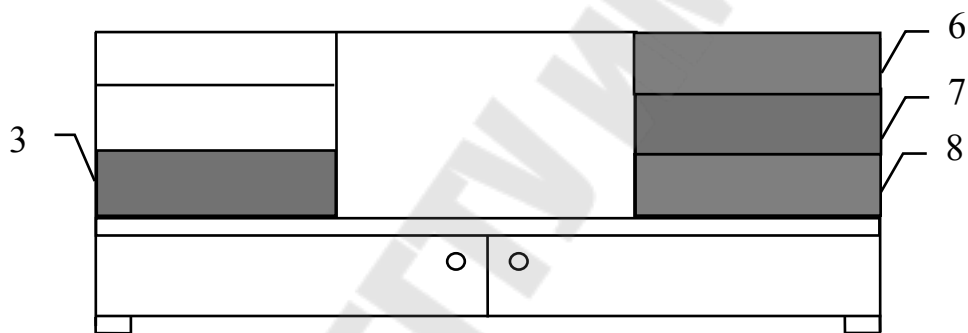


Рис. В.1

Блок трехфазного напряжения 50 Hz (рис.2) - трехфазный источник с независимыми фазами, напряжения которых регулируются ступенчато от 0 до 40 В через 1 В. Допустимый ток - до 1 А.

Питание на блок подается и контролируется соответственно тумблером 6 и лампой 1. Напряжение на выход 8 фазы *A* подается тумблером 5 и контролируется лампой 3. Напряжение регулируется с помощью переключателей 7 и 9.

Включение блока после срабатывания защиты и контроль ее работы осуществляется кнопкой 4 и лампой 2. Аналогично осуществляется управление фазами *B* и *C*.



Рис. В.2

Правила техники безопасности в лабораториях кафедры ТОО

Лабораторные стенды УИЛС-1 являются действующими электроустановками и при определенных условиях могут стать источником опасности поражения электрическим током. Тело человека обладает свойством электропроводности и при соприкосновении с токоведущими частями установки, находящейся под напряжением, оно становится звеном электрической цепи. Возникающий в теле человека электрический ток может вызвать ожог кожи (электрическую травму) или нанести тяжелые поражения нервной, сердечной и дыхательной систем организма (электрический удар).

Установлено, что как постоянный, так и переменный электрические токи, при определенных условиях и величине 0,05 А являются опасными, а при величине 0,1 А – смертельными. Поэтому следует всегда помнить о возможности поражения электрическим током и выполнять следующие правила:

1. Сборку электрической цепи следует производить только при *отключенных* источниках питания.

2. Перед включением электрических цепей под напряжение переключатели пределов измерительных приборов необходимо *установить* на значения, *превышающие* расчетные электрические величины.

3. Включение источников энергии разрешается лишь после *проверки* преподавателем правильности собранных электрических цепей.

4. При сборке электрических цепей необходимо обеспечить высокую *плотность* контактов всех разъемных соединений. Неиспользованные провода следует *убрать* со стола в отведенное для них место.

5. Убедитесь в *исправности* изоляции и *целостности* соединительных проводов. Не пользуйтесь проводами без штырей.

6. Все *переключения*, выполняемые по ходу работы (переключение или отключение отдельных элементов цепи, изменение пределов измерения и т.п.), или *разборку* цепи под напряжением категорически *запрещаются*.

7. Помните, что отключенный конденсатор может сохранять *опасный* остаточный заряд, и не забывайте разрядить его до включения в цепь.

8. *Не прикасайтесь* к незащищенным элементам соединительных и коммутационных устройств, находящихся под напряжением.

9. Особую *осторожность* соблюдайте при исследовании участков цепей с *последовательным* соединением катушек индуктивности и конденсаторов.

10. Обнаружив любую неисправность в стенде (нагрев резисторов, катушек; отклонение стрелок за пределы шкалы), находящемся под напряжением, немедленно *отключайте* сеть и *сообщите* об этом преподавателю.

11. В случае *поражения* электрическим током следует немедленно *отключить* установку от сети, *освободить* пострадавшего от действия электрического тока и *поставить* в известность о случившемся преподавателя.

12. К проведению лабораторных работ допускаются студенты, знающие правила техники безопасности и расписавшиеся в специальном журнале. Инструктаж по технике безопасности проводит преподаватель.

13. *Ответственность* за соблюдение правил техники безопасности возлагается на *студентов*, работающих в лаборатории, а *контроль* их выполнения ведется *преподавателями* и сотрудниками кафедр, участвующими в проведении лабораторных занятий.

Расчетно-лабораторная работа № 4.1

Схемы соединения фаз трехфазного источника

Цель работы: дать представление об основных свойствах трехфазных цепей при различных схемах соединения трехфазного источника.

Программа работы

1. Рассчитать значения напряжений, указанных в таблицах 1.2 и 1.3.
2. Исследовать особенности различных схем соединения фаз источника.
3. По экспериментальным данным построить векторные диаграммы напряжений.
4. Сделать вывод о возможных последствиях неправильного соединения фаз трехфазных генераторов.

Краткие сведения из теории

Трехфазная система ЭДС называется *симметричной*, если эти ЭДС синусоидальны, их частота и амплитуда одинаковы и ЭДС каждой фазы смещены относительно друг друга на угол $\frac{2\pi}{3}$ (120°).

В *аналитической* форме мгновенные значения наводимых в фазах ЭДС записывают в следующем виде

$$\begin{aligned}e_A &= E_m \sin \omega t, & e_B &= E_m \sin(\omega t - 120^\circ), \\e_C &= E_m \sin(\omega t - 240^\circ) = E_m \sin(\omega t + 120^\circ)\end{aligned}$$

В *комплексной* форме действующие значения этих ЭДС

$$\begin{aligned}\underline{E}_A &= E, & \underline{E}_B &= E e^{-j120^\circ} = E \left(-\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} \right), \\ \underline{E}_C &= E e^{j120^\circ} = E \left(-\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right).\end{aligned}$$

Графическое и векторное их изображения представлены на рис. 1.1 (а и б соответственно).

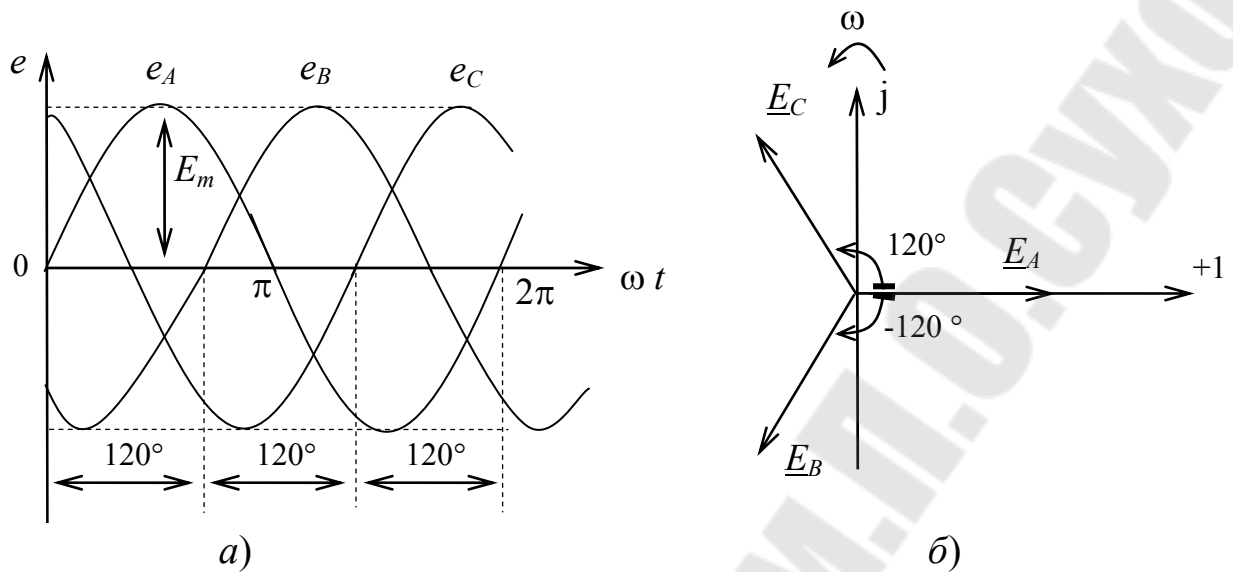


Рис. 1.1

На векторной диаграмме \underline{E}_B отстает от \underline{E}_A , а \underline{E}_C отстает от \underline{E}_B , такое чередование фаз ABC называют *прямой* последовательностью, а чередование фаз ACB – *обратной*.

Фазы обмотки трехфазного генератора могут быть соединены в звезду или в треугольник.

При соединении *звездой* (рис.1.2а) концы обмоток X, Y, Z объединяют в общий узел N , называемый *нейтральной* (нулевой) *точкой* генератора. Провода, идущие к приемникам от начал A, B, C фаз, называются *линейными*.

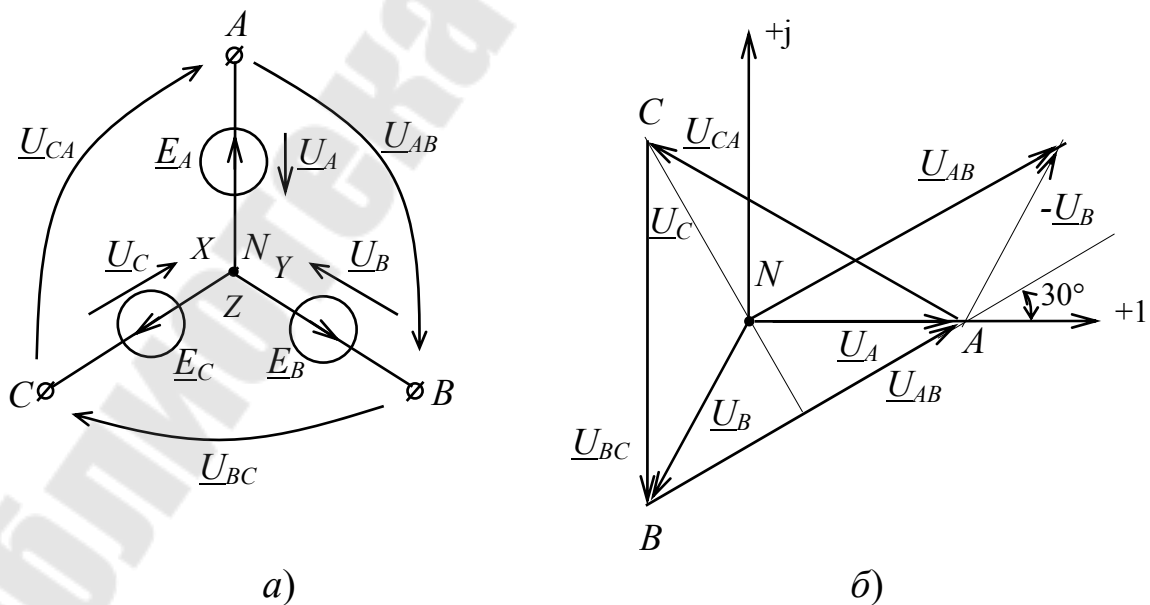


Рис. 1.2

От нейтральной точки к приемникам также может быть выведен провод – его называют *нейтральным*. Потенциал точки N генератора принимается равным нулю.

Напряжения между началами и концами фаз генератора

$$\underline{U}_A = U_\phi; \quad \underline{U}_B = U_\phi e^{-j120^\circ}; \quad \underline{U}_C = U_\phi e^{j120^\circ} .$$

называют *фазными* напряжениями генератора.

Напряжения между началами фаз или между линейными проводами, идущими от начал фаз к приемнику, \underline{U}_{AB} , \underline{U}_{BC} , \underline{U}_{CA} называются *линейными* напряжениями.

Фазные и линейные напряжения связаны между собой выражениями

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_A - \underline{U}_B; \quad \underline{U}_{BC} = \underline{U}_B - \underline{U}_C; \quad \underline{U}_{CA} = \underline{U}_C - \underline{U}_A .$$

В комплексной форме линейные напряжения (рис. 1.2б).

$$\underline{U}_{AB} = U_\phi e^{j30^\circ}; \quad \underline{U}_{BC} = U_\phi e^{-j90^\circ}; \quad \underline{U}_{CA} = U_\phi e^{j150^\circ} .$$

Из треугольника ANB следует, что

$$U_\phi = 2U_\phi \cos 30^\circ = \sqrt{3}U_\phi .$$

Обратите внимание на то, что на схеме рис. 1.2, а стрелка, показывающая положительное направление напряжения между двумя точками, например, \underline{U}_{AB} , направлена от точки A к точке B , а на комплексной плоскости (рис. 1.2, б) вектор \underline{U}_{AB} направлен от точки B к точке A , т.е. в точку «большого» потенциала.

При соединении фаз генератора треугольником (рис. 1.3, а) начало одной фазы соединяют с концом другой: B с X , C с Y , A с Z . Фазы генератора образуют замкнутый контур, в котором действуют три ЭДС, а из общих точек A , B , C выводятся провода к приемникам. Тока в замкнутом контуре нет, так как

$$\underline{E}_A + \underline{E}_B + \underline{E}_C = 0 .$$

Между точками A и B , B и C , C и A (началами или концами обмоток) напряжения, названные выше фазными, являются и линейными напряжениями, т.е. $U_l = U_\phi$.

Топографическая диаграмма напряжений при соединении фаз генератора треугольником изображена на рис. 1.3, б).

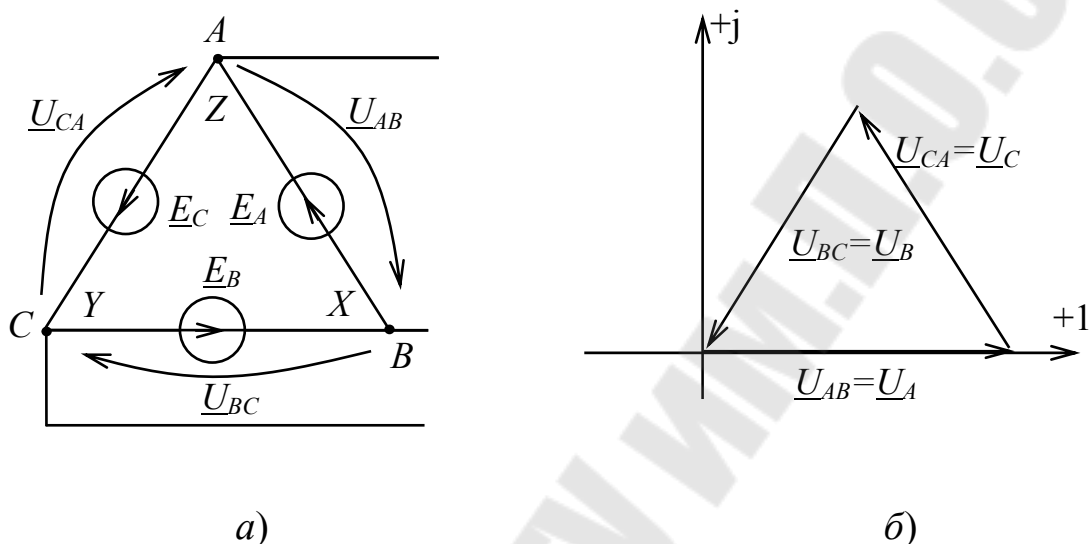


Рис. 1.3

Рассмотрим задачу определения линейных напряжений при «ошибочном» подключении одной фазы генератора при соединении в звезду (рис. 1.4, а).

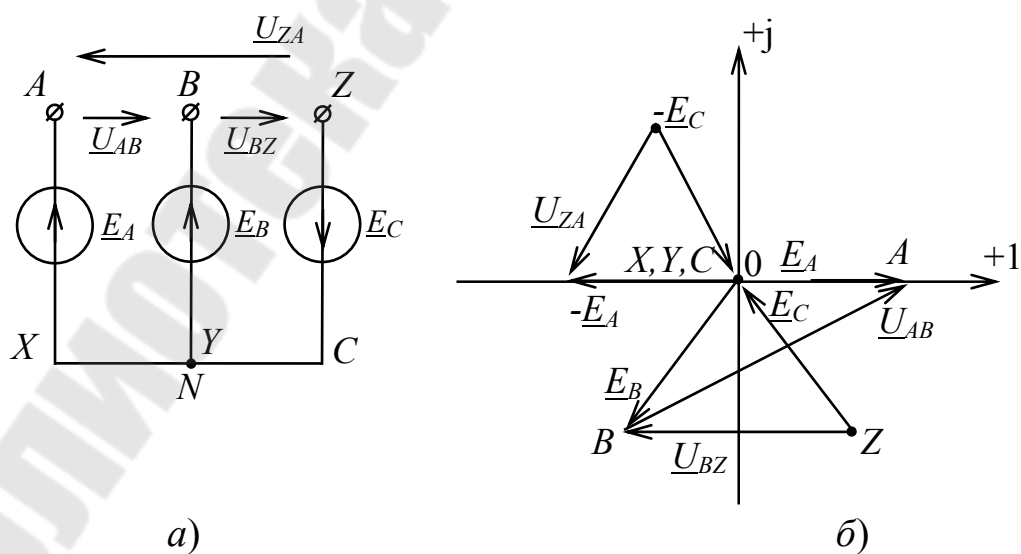


Рис. 1.4

Известны фазные напряжения генератора

$$\underline{U}_A = U_A; \quad \underline{U}_B = U_B e^{-j120^\circ}; \quad \underline{U}_C = U_C e^{j120^\circ}; \quad U_A = U_B = U_C.$$

Необходимо определить U_{AB} , U_{BZ} , U_{ZA} .

Составим уравнения по второму закону Кирхгофа для контуров, в которые входят определяемые напряжения, направление обхода контура совпадает с направлением определяемого напряжения

$$\underline{U}_{AB} = \underline{E}_A - \underline{E}_B;$$

$$\underline{U}_{BZ} = \underline{E}_B + \underline{E}_C;$$

$$\underline{U}_{ZA} = -\underline{E}_A - \underline{E}_C.$$

Для графического построения векторов определяемых напряжений на комплексной плоскости предполагаем, что точка N заземлена и ее потенциал равен нулю. Тогда точка N и точки X, Y, C совпадают с началом координат. На комплексной плоскости размещаем векторы \underline{E}_A , \underline{E}_B и \underline{E}_C с учетом сдвига фаз. После этого выполняем построения определяемых напряжений по правилам векторной алгебры. Построение приведено на рис. 1.4, б.

Определим напряжение U_{AB} при подключении фаз генератора в открытый треугольник (рис. 1.5, а). Составим уравнение по второму закону Кирхгофа для контура, включающего определяемое напряжение. Направление обхода контура совпадает с направлением этого напряжения $\underline{U}_{AB} = -\underline{E}_B - \underline{E}_C + \underline{E}_A$.

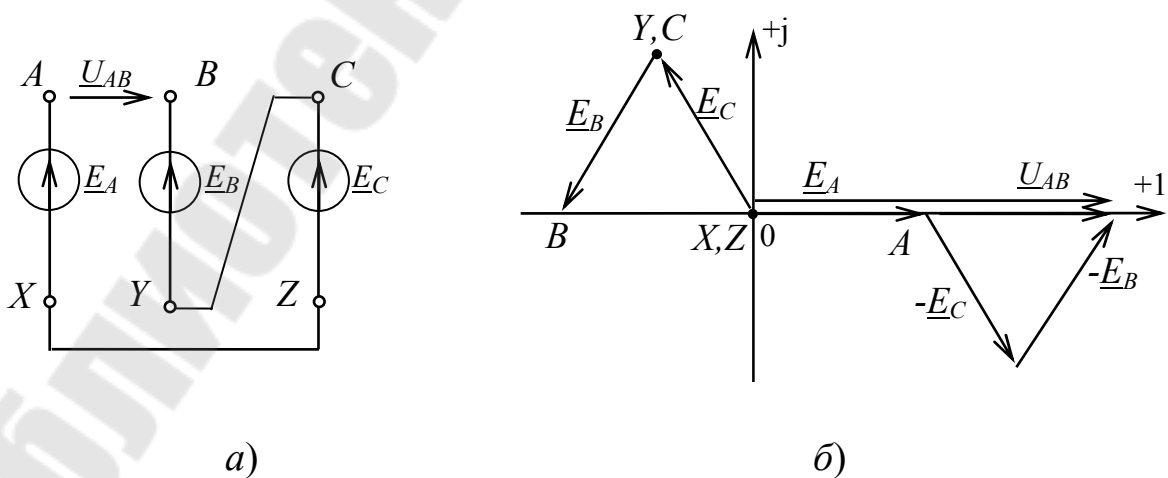


Рис.1.5

Для графического построения вектора напряжения \underline{U}_{AB} на комплексной плоскости предположим, что точка X заземлена; тогда потенциал этой точки и соединенной с ней точки Z равен нулю. Т.о. точки X и Z совпадают с началом координат комплексной плоскости. Размещаем на комплексной плоскости векторы $\underline{E}_A, \underline{E}_B, \underline{E}_C$ с учетом сдвига фаз и совпадения точек C и Y , которые соединены в схеме. Для удобства построения \underline{U}_{AB} выразим в виде

$$\underline{U}_{AB} = (-E_B) + (-E_C) + E_A.$$

Построение, отвечающее этому выражению, производится по правилу многоугольника.

Порядок и методика проведения исследований

В работе используются:

- блок трехфазного напряжения;
- измерительные приборы и осциллограф, установленные на стенде.

Перед выполнением работы каждый студент (бригада) получает индивидуальное задание. Номер варианта задания состоит из двух цифр. Первая из них указывает номер столбца в таблице 1.1, содержащая величину фазной ЭДС симметричного трехфазного источника, а вторая - номер схемы соединения фаз трехфазного источника в соответствии с рис.1.6 и 1.7.

Таблица 1.1

Варианты задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Фазные ЭДС, В	15	17	20	22	24	16	23	18	21	25

1. Определите расчетным путем значения напряжений, указанных в таблицах 1.2 и 1.3. Результаты расчетов занесите в соответствующие столбцы этих таблиц.
2. Определите наименования фаз генератора. Крайняя левая фаза генератора, обозначенная на стенде литерой “А”, принимается за фазу А. Выводы каждой фазы генератора, расположенные слева, принимают за начала фаз, а выводы, расположенные справа – за концы фаз. Концы фаз объединяются проводами, и к общей точке присое-

диняется заземленный вывод канала “А” осциллографа. Потенциальные входы каналов А и В осциллографа присоединяются к генератору так, как показано на рис. 1.6.

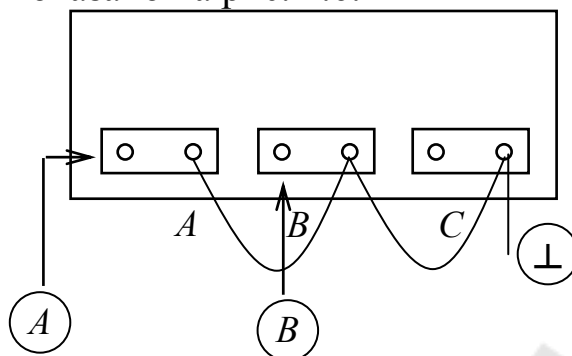


Рис. 1.6

Установите на экране осциллографа начальную фазу напряжения фазы генератора А (на канале осциллографа А) равной нулю. Подключите канал В осциллографа так, чтобы на экране были видны два канала. Если напряжение на канале В опережает напряжение на канале А, то соответствующая фаза генератора, подключенная к каналу В, является фазой С. Иначе, если напряжение на канале В отстает от напряжения на канале А, то фаза генератора является фазой В. Аналогично исследуйте оставшуюся фазу генератора. Запишите названия фаз и обозначения концов и начал фаз вашего генератора.

3. Выставьте равные ЭДС фаз трехфазного источника (E_A , E_B , E_C) в диапазоне 15...25 В согласно варианту задания. Соедините фазы источника по схемам, приведенным на рис. 1.7. Условные начала (концы) фаз источника обозначены на схемах буквами А, В, С (Х, Y, Z). Измерьте величины, указанные в таблице 1.2, и занесите результаты эксперимента.
4. Соедините фазы источника по схемам, приведенным на рис. 1.8. Измерьте величины, указанные в таблице 1.3, и занесите результаты эксперимента.
5. На основании данных о фазных ЭДС для схем своего варианта постройте векторные диаграммы.
6. Проанализируйте данные таблиц и сделайте заключение о возможных последствиях неправильного соединения фаз трехфазных источников.

Таблица 1.2

Схема	Фазные ЭДС			Напряжения, В								
	E_A В	E_B В	E_C В	Обозн.	Эксп.	Расч.	Обозн.	Эксп.	Расч.	Обозн.	Эксп.	Расч.
1				U_{AB}			U_{BC}			U_{CA}		
2				U_{AB}			U_{BZ}			U_{ZA}		
3				U_{AY}			U_{YC}			U_{CA}		
4				U_{AY}			U_{YZ}			U_{ZA}		
5				U_{XB}			U_{BC}			U_{CX}		
6				U_{XY}			U_{YC}			U_{CX}		
7				U_{XB}			U_{BZ}			U_{ZX}		
8				U_{XY}			U_{YZ}			U_{ZX}		
9				U_{AC}			U_{CB}			U_{BA}		

Таблица 1.3

Схема	Фазные ЭДС			Напряжения, В								
	E_A В	E_B В	E_C В	Обозн.	Эксп.	Расч.	Обозн.	Эксп.	Расч.	Обозн.	Эксп.	Расч.
1				U_{XC}			U_{XB}			U_{AZ}		
2				U_{XC}			U_{XY}			U_{AZ}		
3				U_{AZ}			U_{AY}			U_{XC}		
4				U_{YZ}			U_{XY}			U_{AZ}		
5				U_{XB}			U_{AY}			U_{XZ}		
6				U_{AB}			U_{AY}			U_{BZ}		
7				U_{AZ}			U_{BX}			U_{BZ}		
8				U_{AC}			U_{AZ}			U_{CX}		
9				U_{AC}			U_{XZ}			U_{AZ}		

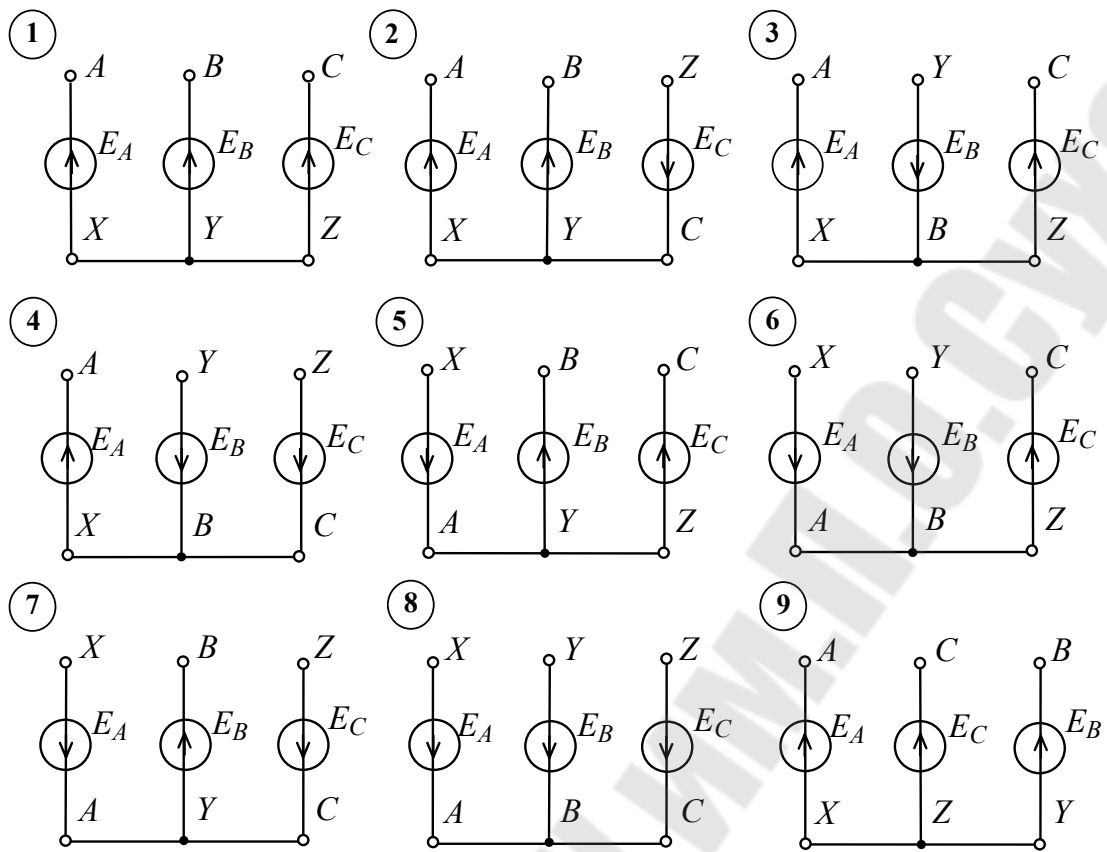


Рис. 1.7

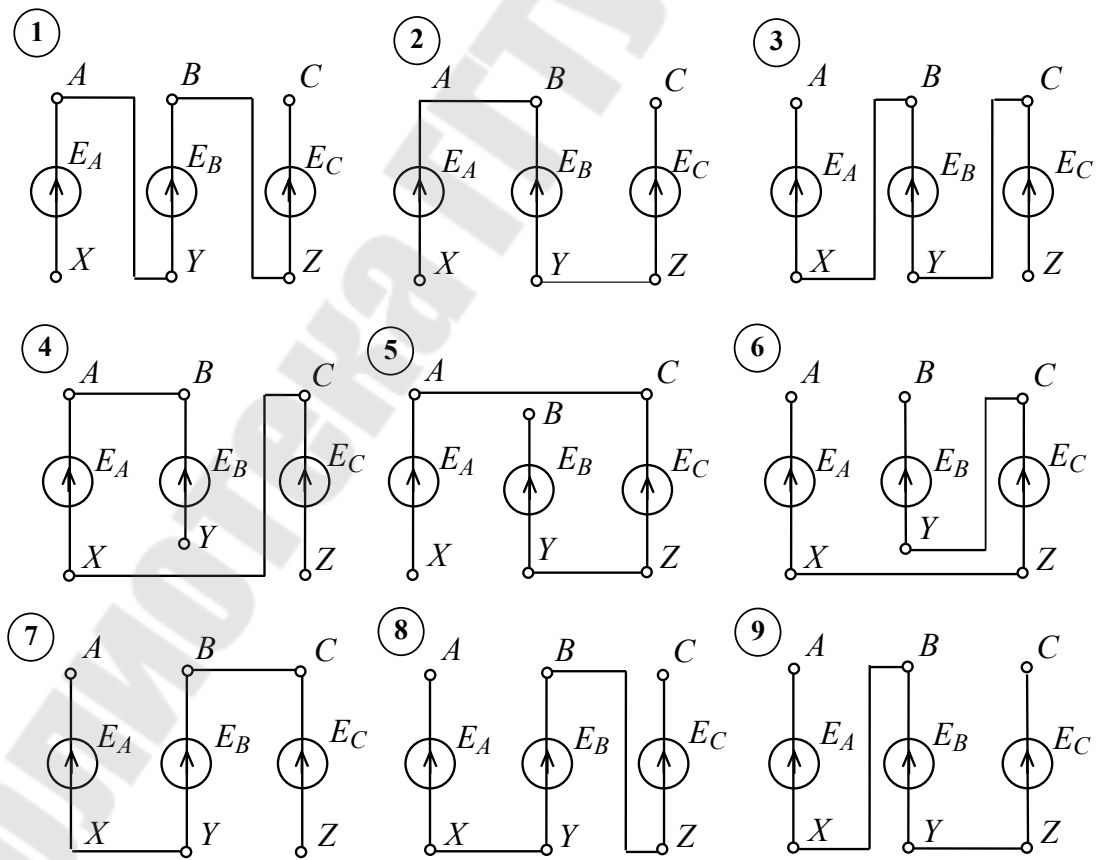


Рис. 1.8

Контрольные вопросы

1. Дайте определение трехфазной симметричной системы ЭДС.
2. Запишите аналитическую форму изображения трехфазной системы ЭДС.
3. Запишите комплексную форму изображения трехфазной системы ЭДС.
4. Нарисуйте графическое и векторное изображения трехфазной системы ЭДС.
5. Что называют прямой и обратной последовательностями чередования фаз?
6. Объясните соединения фаз генератора в звезду и в треугольник.
7. Какие провода называют фазными, линейными и нейтральным?
8. Какие напряжения в генераторе называют фазными и линейными?
9. Запишите соотношения, связывающие векторы фазных и линейных напряжений.
10. Какое условное положительное направление фазных ЭДС?
11. Как условно направляют линейные напряжения на схемах и на комплексной плоскости?
12. При каком способе соединения фаз генератора линейное напряжение равно фазному?
13. Как связаны между собой фазное и линейное напряжения при соединении в звезду?
14. Почему при соединении фаз треугольником в замкнутом контуре ABC отсутствует ток?
15. Как практически определить зажимы фаз A , B , C , X , Y , Z ?

Расчетно-лабораторная работа № 4.2

Исследование трехфазной цепи при соединении фаз источника и однородного приемника треугольником

Цель работы: изучить свойства и особенности работы трехфазной цепи при соединении фаз однородного приемника в треугольник.

Программа работы

1. Определить параметры элементов цепи при заданных условиях.
2. Исследовать основные свойства трехфазной системы «треугольник-треугольник» при однородной нагрузке.
3. По расчетным и экспериментальным данным построить векторные диаграммы токов и напряжений.

Краткие сведения из теории

На рис. 2.1, а показана трехфазная система «треугольник-треугольник».

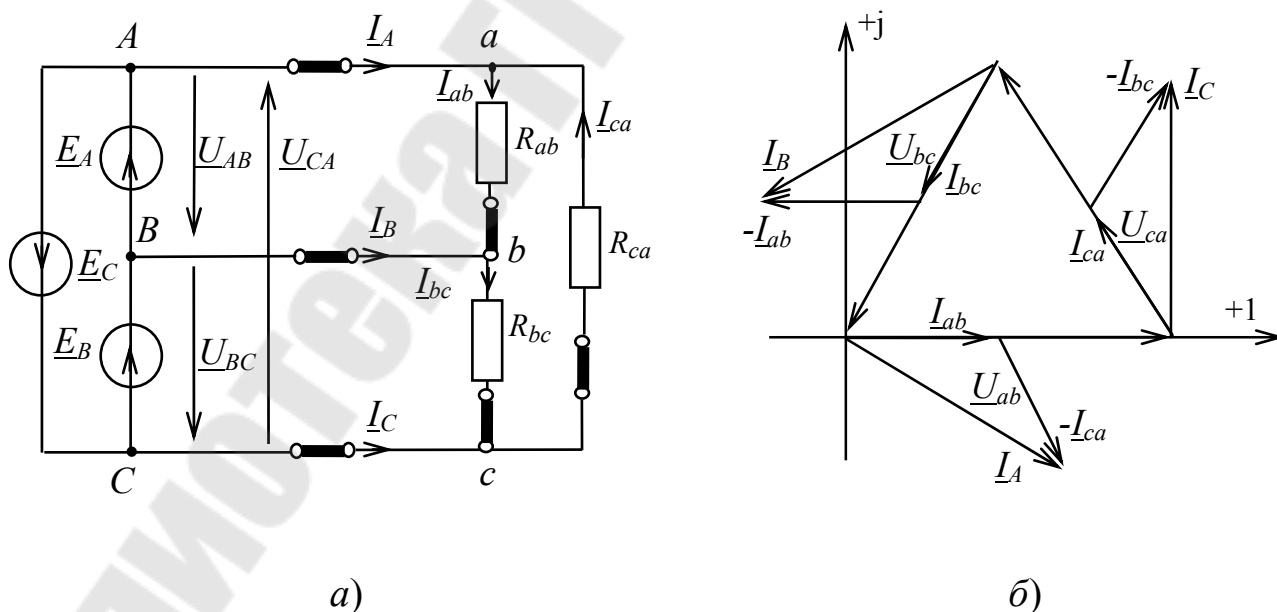


Рис. 2.1

Трехфазные приемники подразделяются на *симметричные* и *несимметричные*. *Симметричными* называют приемники, комплексные сопротивления фаз которых равны между собой

$$\underline{Z}_{ab} = \underline{Z}_{bc} = \underline{Z}_{ca} = Z_{\phi} e^{j\varphi}.$$

Если это условие не выполняется, то приемники называют *несимметричными*; при этом нагрузка может быть *равномерной*, если $Z_{ab} = Z_{bc} = Z_{ca}$, или *однородной*, если $\varphi_{ab} = \varphi_{bc} = \varphi_{ca}$. Фазы приемников также могут соединяться как *звездой*, так и *треугольником*.

Поскольку сопротивления фаз генератора, как правило, можно считать пренебрежимо малыми, то ЭДС фаз генератора принимаются равными фазным напряжениям генератора, поэтому в дальнейшем рассматриваем и используем в расчетах фазные напряжения генератора.

Каждая фаза приемника (рис. 2.1, а) включена на линейное напряжение генератора, поэтому эти же напряжения являются фазными напряжениями приемника

$$\underline{U}_{ab} = \underline{U}_{AB}, \quad \underline{U}_{bc} = \underline{U}_{BC}, \quad \underline{U}_{ca} = \underline{U}_{CA}.$$

Токи в проводах линии между источником и приемником $\underline{I}_A, \underline{I}_B, \underline{I}_C$ называются *линейными* токами; их положительные направления - от источника к приемнику. Токи в фазах приемника $\underline{I}_{ab}, \underline{I}_{bc}, \underline{I}_{ca}$ называются *фазными* токами, их положительные направления совпадают с направлениями фазных напряжений $\underline{U}_{ab}, \underline{U}_{bc}, \underline{U}_{ca}$.

В случае чисто активной нагрузки фазные токи нагрузки, соединенной треугольником, рассчитываются по закону Ома

$$\underline{I}_{ab} = \frac{\underline{U}_{ab}}{R_{ab}}, \quad \underline{I}_{bc} = \frac{\underline{U}_{bc}}{R_{bc}}, \quad \underline{I}_{ca} = \frac{\underline{U}_{ca}}{R_{ca}}. \quad (2.1)$$

Линейные и фазные токи связаны между собой соотношениями

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca}, \quad \underline{I}_B = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab}, \quad \underline{I}_C = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc}. \quad (2.2)$$

Векторная диаграмма для трехфазной цепи “треугольник-треугольник” с активной нагрузкой приведена на рис. 2.1, б.

При симметричной нагрузке действующие значения токов в фазах одинаковы, и токи сдвинуты по фазе относительно соответствующих фазных напряжений на один и тот же угол φ , а относительно друг друга на 120° . Линейные токи, построенные в соответствии с (2.2), образуют симметричную систему векторов. Из треугольника, образованного векторами I_{ab} , $-I_{ca}$, I_A , следует, что $I_{л} = 2 I_{\phi} \cos 30^\circ = \sqrt{3} I_{\phi}$. (Читателю рекомендуется выполнить построение самостоятельно).

Рассмотрим два аномальных режима: обрыв фазы и обрыв линейного провода.

У трехфазного приемника произошел обрыв фазы «ab» (рис.2.2а). Токи в неповрежденных фазах не изменяются: $I_{bc} = I_{ca} = I_{\phi}$.

Линейные токи из (2.2) при $I_{ab} = 0$

$$\underline{I}_A = -\underline{I}_{ca}, \quad \underline{I}_B = \underline{I}_{bc}, \quad \underline{I}_C = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc}.$$

Топографическая диаграмма напряжений и векторная диаграмма токов изображена на рис. 2.2, б.

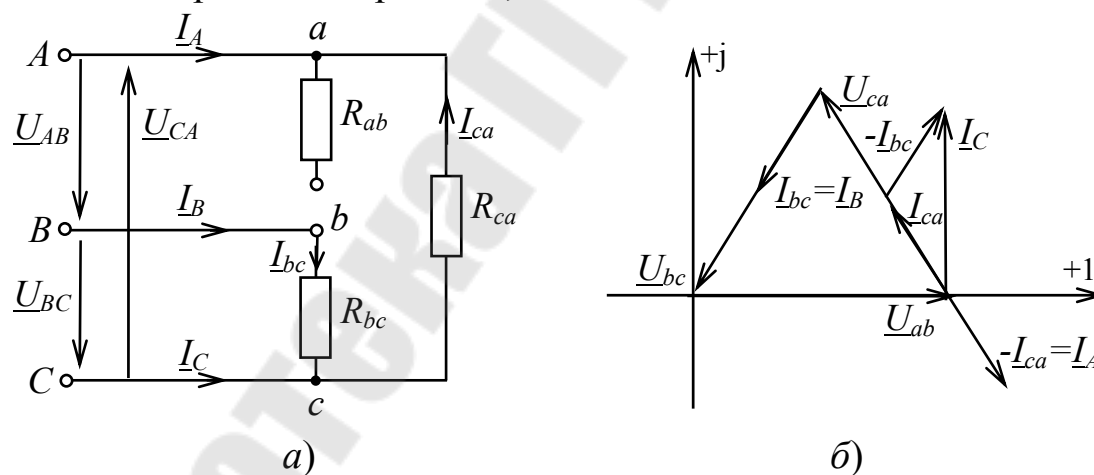


Рис. 2.2

В трехфазном приемнике оборвался линейный провод Aa (рис. 2.3, а). К приемнику подводится только напряжение \underline{U}_{BC} .

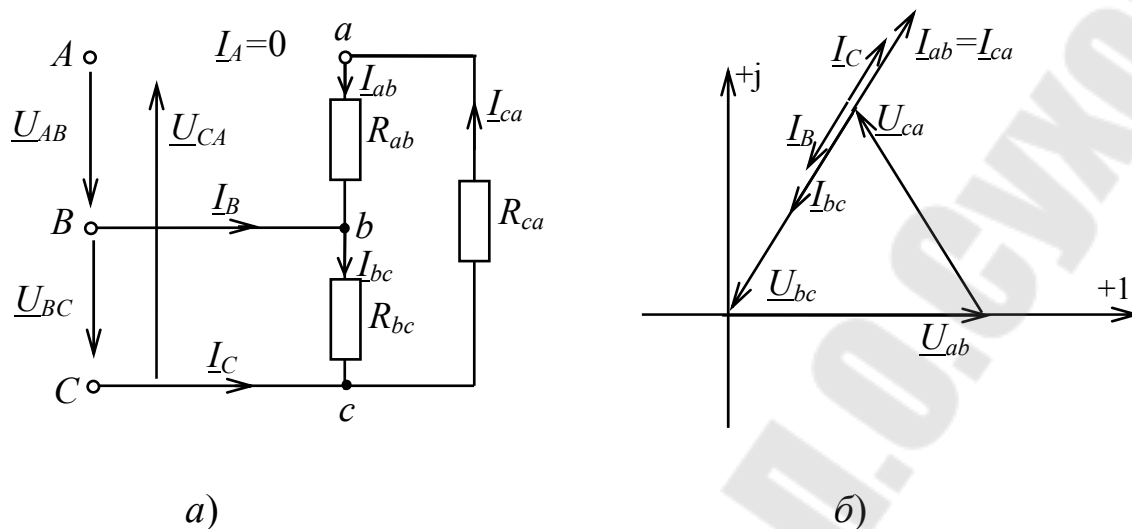


Рис. 2.3

Из формул (2.1) следует, что

$$\underline{I}_{bc} = \frac{\underline{U}_{bc}}{R_{bc}}; \quad \underline{I}_{ab} = \underline{I}_{ca} = \frac{-\underline{U}_{bc}}{R_{ab} + R_{ca}}.$$

Из формул (2.2) линейные токи

$$\underline{I}_B = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab}; \quad \underline{I}_C = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc}.$$

Совмещенная векторная диаграмма представлена на рис.2.3б. При ее построении принято во внимание то обстоятельство, что фазные токи нагрузки и линейные токи сохраняют свое направление, принятое на рис. 2.1, а.

Порядок и методика проведения исследований

В работе используются:

- блок трехфазного напряжения;
- блок переменного сопротивления (БПС);
- резисторы R_1 , R_2 , R_3 , размещенные в БПС слева (поз. 6, рис. В.1);
- измерительные приборы, установленные на стенде.

1. Измерьте сопротивления резисторов R_1 , R_2 , R_3 омметром. Результаты занесите в табл. 2.1.

Таблица 2.1

R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом

2. Рассчитайте токи в трехфазной цепи рис. 2.1, *a* согласно варианту задания (табл. 2.2), выданного преподавателем. Результаты расчета занесите в табл. 2.3. При расчете фазное напряжение источника принять $U_\phi \leq 0,01R$, где R – сопротивление симметричной нагрузки. Для получения несимметричной нагрузки сопротивление фазы, указанной в столбце “изменение R_ϕ ” табл. 2.2 изменить в $1,5 \div 2$ раза в сторону увеличения. Вычисленные фазные токи нагрузки и линейные токи не должны превышать 100 мА.
3. Соберите электрическую цепь по схеме рис. 2.1, *a*. Установите переключателями значения фазных напряжений генератора, выбранные в п.2. Установите симметричную нагрузку из имеющихся сопротивлений R_1 , R_2 , R_3 и $R_{БПС}$. Проведите измерения фазных и линейных токов, включая амперметр вместо перемычек, установленных в схеме, при симметричном режиме (рис. 2.1, *a*) и занесите их в таблицу 2.3.
4. Реализуйте аварийные режимы обрыва фазы и обрыва линейного провода согласно заданию таблицы 2.2. Произведите измерения фазных и линейных токов. Для каждого аварийного режима результаты измерений занесите в отдельную таблицу по образцу таблицы 2.3.
5. Установите несимметричную нагрузку по вашему варианту. Измеренные значения фазных и линейных токов занесите в отдельную таблицу по образцу таблицы 2.3.
6. По экспериментальным данным постройте совмещенные векторные диаграммы токов и напряжений для п. 3, 4, 5. Сделайте выводы по работе, обратив особое внимание на перераспределение токов и напряжений на отдельных фазах приемника в несимметричных режимах.

Таблица 2.2

Вариант	П р и е м н и к		
	Обрыв фазы	Обрыв линейного провода	Изменение R_{ϕ}
1	ab	Aa	R_{ab}
2	bc	Bb	R_{bc}
3	ca	Cc	R_{ca}
4	bc	Bb	R_{bc}
5	ca	Cc	R_{ca}
6	ab	Aa	R_{ab}
7	ca	Cc	R_{ab}
8	ab	Aa	R_{bc}
9	bc	Bb	R_{ca}
10	ab	Aa	R_{ab}
11	bc	Bb	R_{bc}
12	ca	Cc	R_{ca}
13	bc	Aa	R_{ab}

Таблица 2.3

Ток	Расчет	Эксперимент
I_{ab}		
I_{bc}		
I_{ca}		
I_A		
I_B		
I_C		

Примечания: – в столбце “Расчет” приводить результаты расчета в виде комплекса тока показательной формы;

– в заголовке каждой таблицы отметить режим, к которому относятся отображенные в ней результаты.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение симметричных и несимметричных приемников.
2. Какую нагрузку называют однородной, а какую - равномерной?
3. Нарисуйте схему соединения фаз приемника треугольником и покажите в ней линейные и фазные токи.
4. Какое соотношение между фазными и линейными напряжениями при соединении нагрузки треугольником?
5. Как рассчитать фазные токи нагрузки, соединенной в треугольник ?
6. Каковы соотношения между линейными и фазными токами приемника, соединенного треугольником?
7. Постройте совмещенную векторную диаграмму токов и напряжений при симметричном приемнике.
8. Изобразите совмещенную векторную диаграмму токов и напряжений при обрыве одной из фаз треугольника.
9. Нарисуйте совмещенную векторную диаграмму токов и напряжений при обрыве линейного провода и симметричной нагрузке, соединенной в треугольник.
10. Постройте совмещенную векторную диаграмму токов и напряжений при несимметричном приемнике ($R_{ab} \neq R_{bc} \neq R_{ca}$), соединенном треугольником.

Исследование трехфазной цепи при соединении фаз источника и неоднородного приемника треугольником

Цель работы: изучить свойства и особенности работы трехфазной цепи при соединении фаз неоднородного приемника в треугольник.

Программа работы

1. Определить параметры элементов цепи при заданных условиях.
2. Исследовать основные свойства трехфазной системы «треугольник-треугольник» при неоднородной нагрузке.
3. По расчетным и экспериментальным данным построить векторные диаграммы токов и напряжений.

Краткие сведения из теории

На рис. 3.1, а показана трехфазная цепь «треугольник-треугольник» с несимметричной, в общем случае, нагрузкой. Комплексные фазные напряжения нагрузки равны комплексным фазным напряжениям генератора

$$\underline{U}_{ab} = U_{\phi} e^{j0^{\circ}}, \text{ В}; \quad \underline{U}_{bc} = U_{\phi} e^{-j120^{\circ}}, \text{ В}; \quad \underline{U}_{ca} = U_{\phi} e^{j120^{\circ}}, \text{ В}.$$

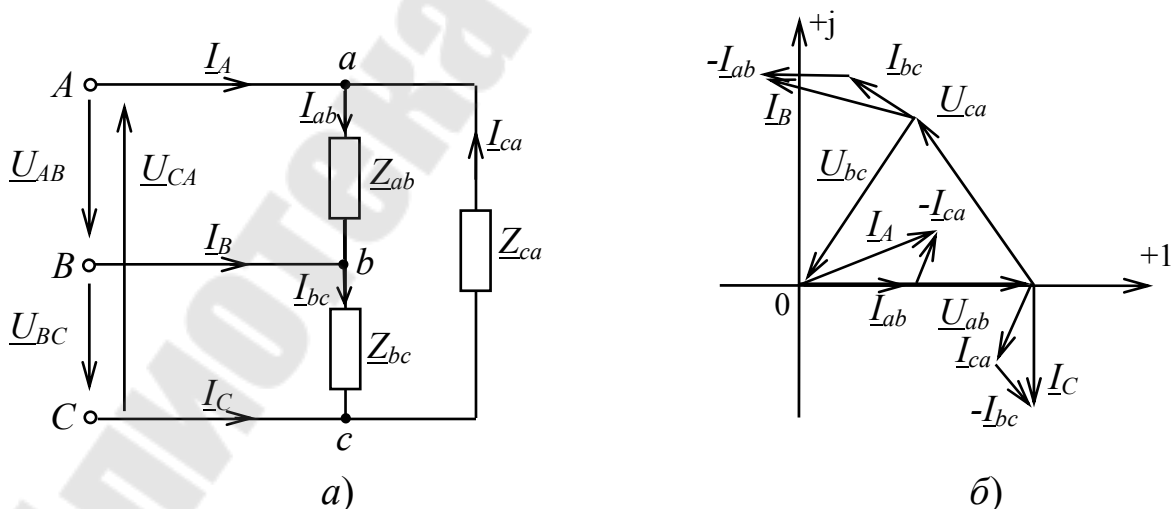


Рис. 3.1

Фазные токи нагрузки определяются по закону Ома

$$\underline{I}_{ab} = \frac{\underline{U}_{ab}}{\underline{Z}_{ab}}; \quad \underline{I}_{bc} = \frac{\underline{U}_{bc}}{\underline{Z}_{bc}}, \quad \underline{I}_{ca} = \frac{\underline{U}_{ca}}{\underline{Z}_{ca}}. \quad (3.1)$$

Линейные токи также находятся из соотношений

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca}; \quad \underline{I}_B = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab}; \quad \underline{I}_C = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc}. \quad (3.2)$$

По рассчитанным токам можно построить совмещенную векторную диаграмму токов и напряжений. На рис. 3.1, б приведена диаграмма, построенная для случая $\underline{Z}_{ab} = R$; $\underline{Z}_{bc} = jX_L$; $\underline{Z}_{ca} = -jX_C$.

Рассмотрим аномальные режимы данной цепи.

Пусть у приемника произошел обрыв фазы ab (рис. 3.2, а). Токи в неповрежденных фазах bc и ca не изменяются по сравнению с номинальным режимом.

Из (3.2) линейные токи при $\underline{I}_{ab} = 0$

$$\underline{I}_A = -\underline{I}_{ca}; \quad \underline{I}_B = \underline{I}_{bc}; \quad \underline{I}_C = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc}.$$

Совмещенная векторная диаграмма для этого случая изображена на рис. 3.2, б. Для ее построения выбраны те же предположения о нагрузке.

Пусть в цепи произошел обрыв линейного провода Aa (рис. 3.3, а). К приемнику подводится только напряжение \underline{U}_{bc} . Тогда фазные токи нагрузки

$$\underline{I}_{bc} = \frac{\underline{U}_{bc}}{\underline{Z}_{bc}}; \quad \underline{I}_{ab} = \underline{I}_{ca} = \frac{-\underline{U}_{bc}}{\underline{Z}_{ab} + \underline{Z}_{ca}},$$

а линейные токи

$$\underline{I}_B = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab}; \quad \underline{I}_C = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc}.$$

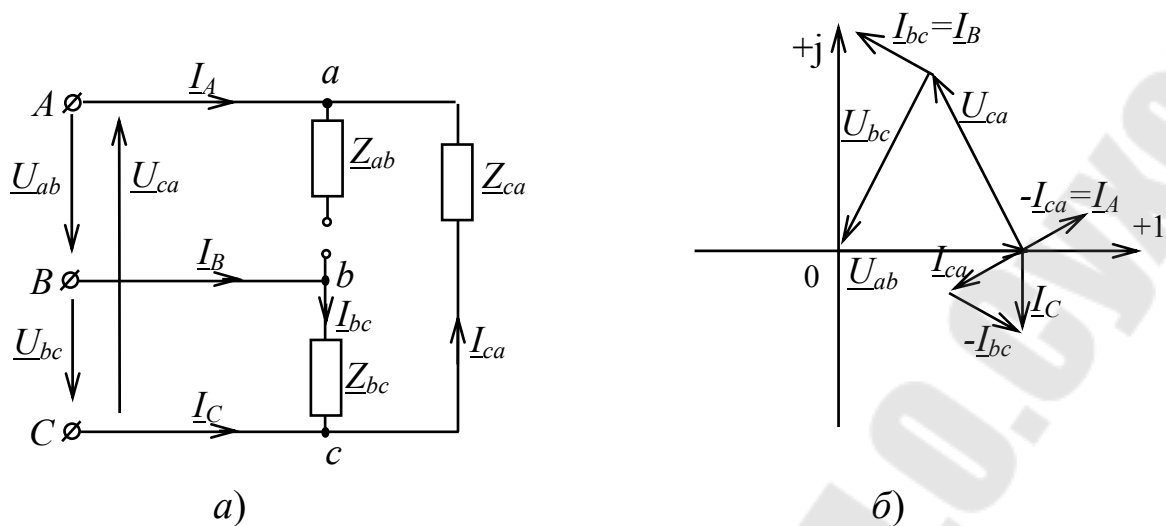


Рис. 3.2

Совмещенная векторная диаграмма представлена на рис.3.3б. При ее построении приняты те же предположения о характере нагрузки, что и в предыдущих случаях.

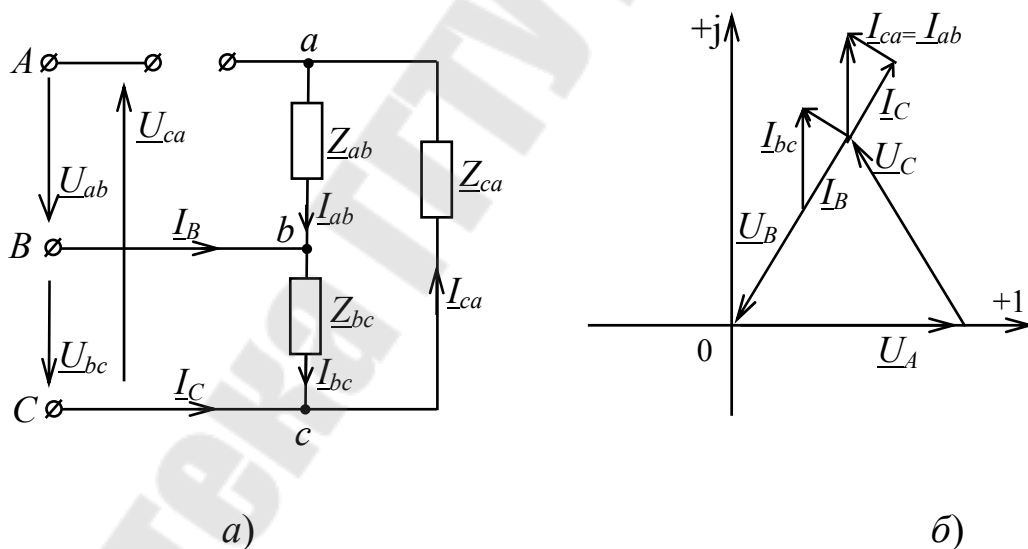


Рис. 3.3

Порядок и методика проведения исследований

В работе используются:

- блок трехфазного напряжения;
- блок переменного сопротивления (БПС);
- резисторы R_1 , R_2 , R_3 , размещенные в БПС слева;
- блок переменной емкости (БПЕ);

- конденсаторы C_1, C_2, C_3 , размещенные в БПЕ слева;
- индуктивность L_1 , размещенная в блоке БПИ слева;
- измерительные приборы, установленные на стенде.

1. Измерьте омическое сопротивление катушки L_1 омметром. Измерьте полное сопротивление этой же катушки методом амперметра и вольтметра, используя в качестве генератора фазу A трехфазного генератора. Вычислите индуктивное сопротивление катушки на частоте 50 Гц по формуле $X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}$.

2. Рассчитайте токи в трехфазной цепи рис. 3.1, a по вариантам таблицы 3.1. Во всех исследуемых режимах нагрузка равномерная, поэтому R в таблице 3.1 принимается численно равным Z_k , измеренном в п.1. Сопротивление емкостной ветви $Z_c = Z_k$, т.о.

$C = \frac{1}{\omega \sqrt{Z_k^2 - R_1^2}}$, где R_1 выбирается близкое к 200 Ом из имеющихся на стенде.

Таблица 3.1

Вариант	Элементы в фазах			Обрыв фазы	Обрыв линейного провода
	ab	bc	ca		
1	2	3	4	5	6
1	R	RC	RL	ab	Aa
2	RC	R	RL	ca	Bb
3	R	RL	RC	bc	Cc
4	RL	RC	R	bc	Cc
5	RC	RL	R	ab	Aa
6	RC	R	RL	ca	Cc
7	RL	R	RC	bc	Bb
8	RL	RC	R	ab	Bb
9	RC	RL	R	bc	Aa
10	R	RC	RL	ab	Cc
11	R	RL	RC	bc	Bb
12	RC	RL	R	ca	Cc
13	RL	RC	R	ab	Bb

Напряжение генератора $U_\phi \leq 0,01Z_k$. Рассчитанные фазные токи нагрузки и линейные токи не должны превышать 100 мА.

3. Соберите электрическую цепь по схеме рис. 3.1, а. Установите значение фазного напряжения источника, выбранное в п.2. Установите нагрузку по результатам п.2. Измерьте фазные и линейные токи, результаты занесите в таблицу по образцу таблицы 2.3.

4. Реализуйте аварийные режимы, учитывая номер варианта из таблицы 3.1 (столбцы 5 и 6). Произведите измерения фазных и линейных токов. Занесите результаты в таблицы, построенные для каждого аварийного режима по образцу таблицы 2.3.

5. По экспериментальным данным постройте совмещенные векторные диаграммы токов и напряжений. Сделайте выводы по работе, обратив внимание на перераспределение токов и напряжений на отдельных фазах приемника в аномальных режимах.

Контрольные вопросы

1. Какую нагрузку называют неоднородной, а какую – неравномерной?

2. Нарисуйте схему соединения фаз приемника треугольником и покажите в ней линейные и фазные токи.

3. Как рассчитать фазные токи несимметричной нагрузки, соединенной в треугольник?

4. Запишите соотношения между линейными и фазными токами несимметричного приемника, соединенного треугольником.

5. Постройте совмещенную векторную диаграмму токов и напряжений при неоднородном несимметричном приемнике.

6. Постройте совмещенную векторную диаграмму токов и напряжений при обрыве одной из фаз треугольника (нагрузка несимметричная, неоднородная).

7. Нарисуйте совмещенную векторную диаграмму токов и напряжений при обрыве линейного провода и несимметричной неоднородной нагрузке, соединенной в треугольник.

Расчетно-лабораторная работа № 4.4

Исследование трехфазной цепи при соединении фаз источника и однородного приемника звездой

Цели работы: – изучить свойства и особенности работы трехфазной цепи при соединении однородного приемника звездой;
– научиться строить векторные диаграммы токов и напряжений по экспериментальным данным.

Программа работы

1. Исследовать основные свойства трехфазной системы «звезда-звезда» при однородной нагрузке.
2. Рассчитать токи и напряжения трехфазной системы с включением нейтрального провода и без него. Расчет подтвердить экспериментально.
3. Осуществить заданные аварийные режимы и определить их влияние на изменение фазных и линейных величин.
4. Построить совмещенные векторные диаграммы токов и напряжений по расчетным и экспериментальным данным.

Краткие сведения из теории

На рис. 4.1, *a* изображена трехфазная система «звезда-звезда» с нейтральным проводом.

В этой системе нейтральная точка приемника «*n*» соединена с нейтральной точкой генератора *N*, и так как потенциал последней принят равным нулю, то и потенциал нейтральной точки приемника будет равен нулю. Фазные напряжения приемника будут равны фазным напряжениям генератора

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A, \quad \underline{U}_b = \underline{U}_B, \quad \underline{U}_c = \underline{U}_C.$$

Соответственно, равны и линейные напряжения генератора и приемника. Таким образом, к приемнику, фазы которого соединены звездой с нейтральным проводом, подводится два напряжения - линейное и фазное.

Положительные направления токов в линейных проводах принято выбирать от генератора к приемнику, а в нейтральном проводе - наоборот.

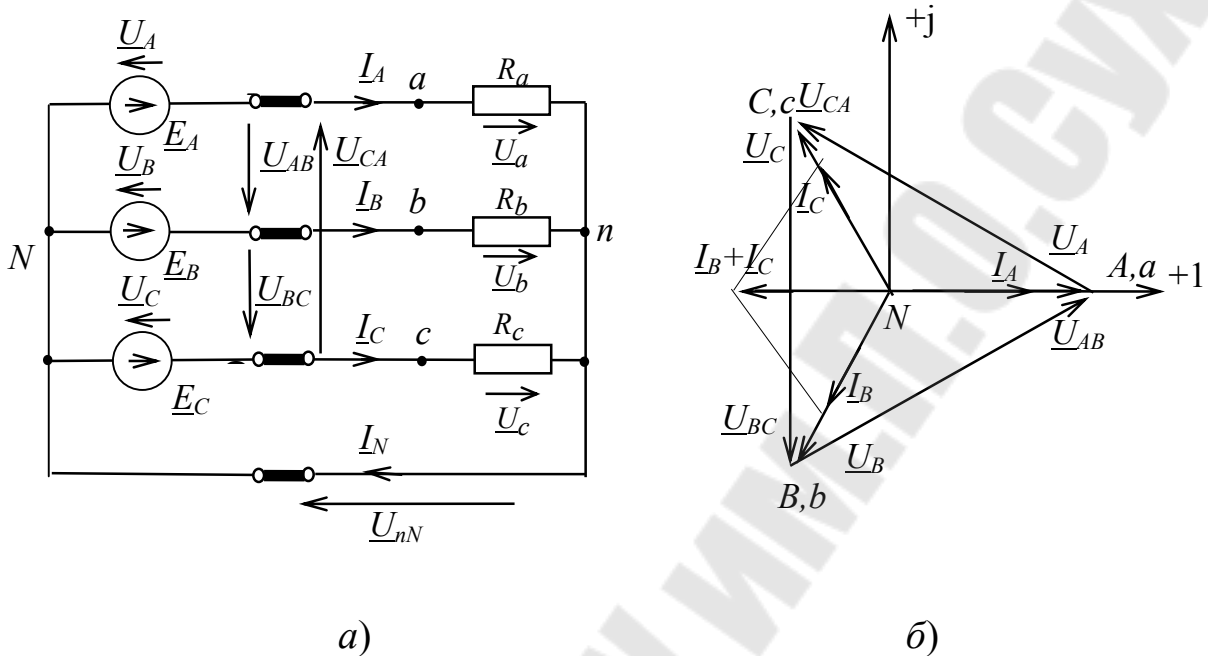


Рис. 4.1

Токи в фазах рассчитываются по закону Ома

$$\underline{I}_A = \frac{\underline{U}_A}{R_a}, \quad \underline{I}_B = \frac{\underline{U}_B}{R_b}, \quad \underline{I}_C = \frac{\underline{U}_C}{R_c}. \quad (4.1)$$

Ток в нейтральном проводе определяют по первому закону Кирхгофа

$$\underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C. \quad (4.2)$$

При симметричной однородной нагрузке ($\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c = R$) токи в фазах имеют одинаковые значения и совпадают по фазе с соответствующими фазными напряжениями ($\varphi = 0$), т.е. образуют симметричную трехфазную систему векторов (рис. 4.1, б), поэтому $I_N = 0$.

Это означает, что при симметричной нагрузке нейтральный провод может отсутствовать и трехфазная система становится трехпроводной. При несимметричной однородной нагрузке (например, $\underline{Z}_a \neq R$, $\underline{Z}_b = \underline{Z}_c = R$) совмещенная векторная диаграмма токов и напряжений показана на рис. 4.2, а.

В случае обрыва линейного провода «А,а» или обрыва фазного провода «an» ток в фазе «а» $I_A = 0$, а токи в фазах «b» и «с» не изменятся, т.к. в схеме с нейтральным проводом режимы работы фаз не зависят друг от друга. Совмещенная векторная диаграмма токов и напряжений для этого случая приведена на рис. 4.2, б (нагрузка однородная симметричная).

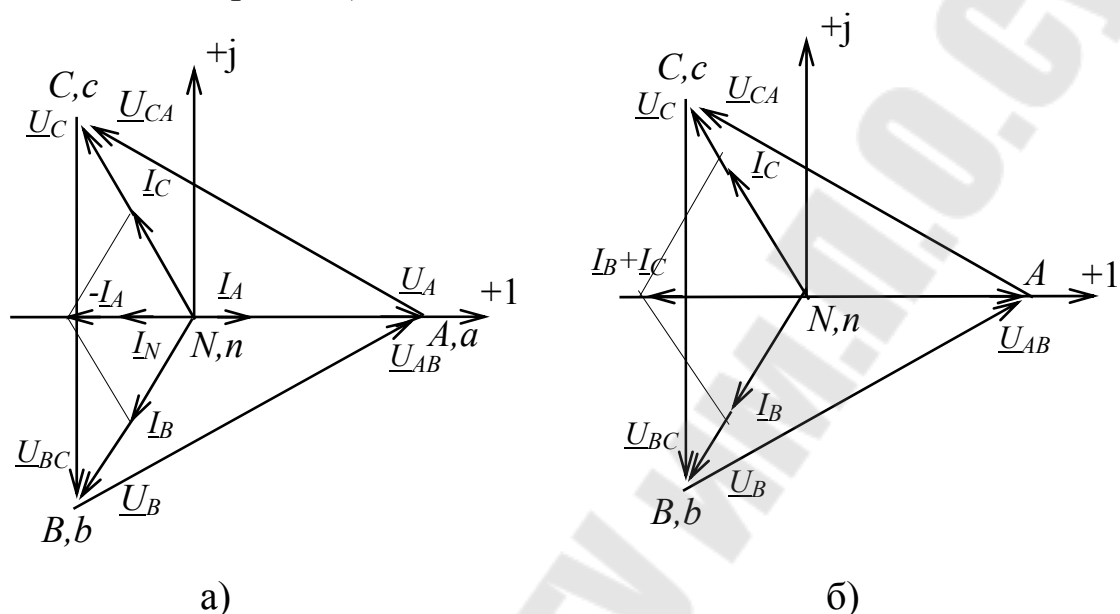


Рис. 4.2

Расчет токов трехпроводной системы при симметричной нагрузке ничем не отличается от расчета токов в четырехпроводной системе и ведется на одну фазу. Топографическая диаграмма напряжений и векторная диаграмма токов такие же, как у четырехпроводной системы (рис. 4.1, б).

Если $R_a \neq R_b \neq R_c$, потенциал нейтральной точки приемника не равен нулю. Между узлами n и N имеется напряжение – напряжение смещения нейтрали. Его можно найти методом двух узлов

$$\underline{U}_{nN} = \frac{\underline{U}_A Y_a + \underline{U}_B Y_b + \underline{U}_C Y_c}{Y_a + Y_b + Y_c}, \quad (4.3)$$

где Y_a, Y_b, Y_c – проводимости фаз приемника.

Фазные напряжения приемника определяются из соотношений

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A - \underline{U}_{nN}, \quad \underline{U}_b = \underline{U}_B - \underline{U}_{nN}, \quad \underline{U}_c = \underline{U}_C - \underline{U}_{nN}. \quad (4.4)$$

Токи в фазах приемника определяются по закону Ома

$$\underline{I}_A = \underline{U}_a Y_a, \quad \underline{I}_B = \underline{U}_b Y_b, \quad \underline{I}_C = \underline{U}_c Y_c. \quad (4.5)$$

Топографическая и векторная диаграммы напряжений и токов имеют особенности: т.к. $\underline{U}_{nN} \neq 0$, то нейтральная точка «n» приемника не совпадает с нейтральной точкой генератора «N» и симметрия фазных напряжений нарушается $U_a \neq U_b \neq U_c$ (рис. 4.3, а). При изменении нагрузки одной из фаз фазное напряжение изменяется не только в этой фазе, но и в других фазах. Рассмотрим два аномальных режима: обрыв линейного провода и короткое замыкание фазы «а».

При обрыве линейного провода (например, Аа) $Y_a = 0$.

Тогда смещение нейтрали по (4.3)

$$\underline{U}_{nN} = \frac{\underline{U}_B Y_b + \underline{U}_C Y_c}{Y_b + Y_c}.$$

Напряжения на фазах приемника определяются по (4.4), а токи в фазах по (4.5). Совмещенная векторная диаграмма изображена на рис.4.3б.

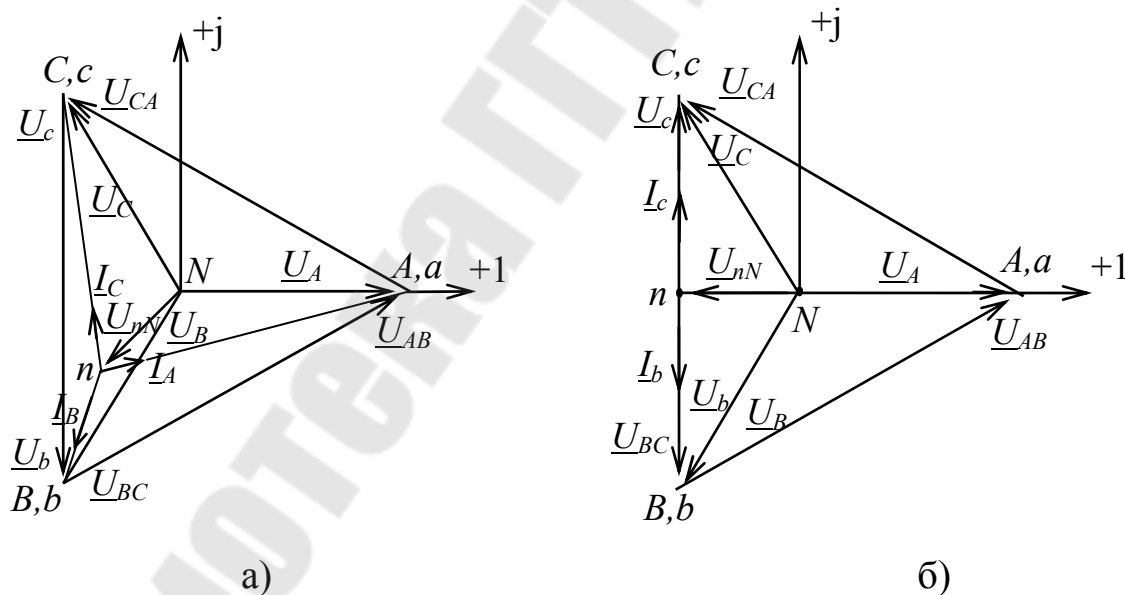


Рис. 4.3

В трехфазной трехпроводной симметричной системе произошло короткое замыкание фазы «а» (рис. 4.4, а). В этом случае $\underline{Z}_a = 0$ и по-

тенциал точки «n» равен потенциалу точки «а», т. е. на топографической диаграмме эти точки совпадают.

Напряжения на фазах приемника

$$\underline{U}_a = 0, \quad \underline{U}_b = \underline{U}_B - \underline{U}_A = \underline{U}_{BA}, \quad \underline{U}_c = \underline{U}_C - \underline{U}_A = \underline{U}_{CA}.$$

Токи в фазах «b» и «с»

$$\underline{I}_B = \frac{\underline{U}_b}{R_b} = \frac{\underline{U}_{BA}}{R_b}, \quad \underline{I}_C = \frac{\underline{U}_c}{R_c} = \frac{\underline{U}_{CA}}{R_c}.$$

Ток в фазе «а» находится по первому закону Кирхгофа

$$\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 0, \quad \underline{I}_A = -(\underline{I}_B + \underline{I}_C).$$

Совмещенная векторная диаграмма изображена на рис. 4.4, б).

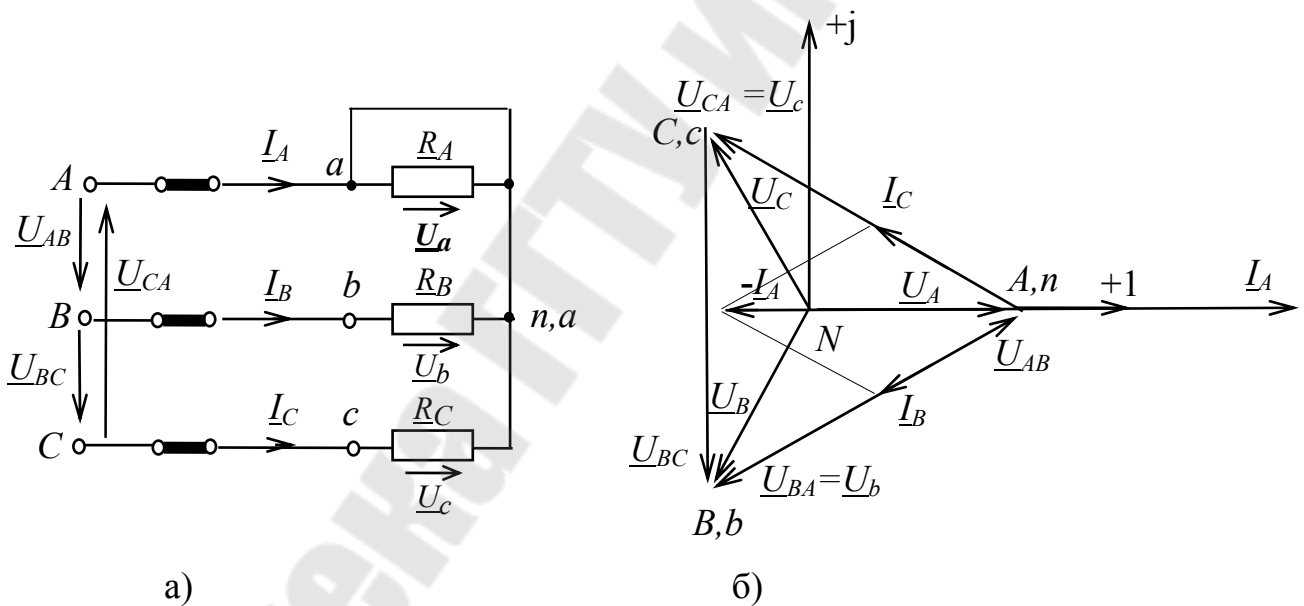


Рис. 4.4

Порядок и методика проведения исследований

В работе используются:

- блок трехфазного напряжения;
- блок переменного сопротивления (БПС);
- резисторы R_1 , R_2 , R_3 , размещенные в БПС слева;
- измерительные приборы, установленные на стенде.

1. Рассчитайте токи в трехфазной цепи (рис.4.1а) согласно варианту задания. Фазные напряжения генератора $U_{\phi} \leq 0,01R$, где R – сопротивление симметричной нагрузки. Для получения несимметричной нагрузки сопротивление фазы, указанное в табл. 4.1, увеличивается в $1,5 \div 2$ раза. При расчете режима короткого замыкания фазы нагрузки фазные напряжения генератора дополнительно сокращаются на $\sqrt{3}$. Фазные токи всех режимов не должны превышать 100 мА.

Таблица 4.1

Вариант	Приемник		Изменение R_{ϕ}
	Обрыв линейного провода	Короткое замыкание фазы	
1	Aa	a	R_a
2	Bb	b	R_b
3	Cc	c	R_c
4	Aa	a	R_a
5	Bb	b	R_b
6	Cc	c	R_c
7	Aa	a	R_a
8	Bb	b	R_b
9	Cc	c	R_c
10	Aa	a	R_a
11	Bb	b	R_b
12	Cc	c	R_c
13	Aa	a	R_a

2. Соберите электрическую цепь по схеме рис. 4.1, а. Установите значения фазных напряжений генератора, принятые в п.1. Установите симметричную нагрузку из резисторов R_1 , R_2 , R_3 и $R_{БПС}$. Проведите измерения токов при включенном и при отключенном нейтральном проводе. При отсутствии нейтрального провода измерить фазное напряжение нагрузки и напряжение смещения нейтрали.

3. Установите в цепи несимметричную нагрузку согласно Вашему варианту. Произведите измерения токов в цепи при наличии и отсутствии нейтрального провода. При отсутствии нейтрального провода измерить также фазное напряжение нагрузки и напряжение смещения нейтрали.
4. Выполните обрыв линейного провода по варианту. Измерьте токи в цепи.
5. Выключите схему. Снимите нейтральный провод. Выполните короткое замыкание фазы. Установите пониженное фазное напряжение генератора по п.1. После проверки преподавателем измерьте токи.
6. Для всех режимов с нейтральным проводом результаты занести в отдельные таблицы вида таблицы 4.2.

Таблица 4.2

	Расчет	Эксперимент
I_a		
I_b		
I_c		
$I_{л4}$		

Для всех режимов без нейтрального провода результаты расчетов и измерений свести в таблицы по форме таблицы 4.3.

Таблица 4.3

Ток	Расчет	Эксперимент
I_a		
I_b		
I_c		
Напряжение	Расчет	Эксперимент
U_a		
U_b		
U_c		
U_{nN}		

Правила оформления таблиц такие же, как и таблицы 2.3

Контрольные вопросы

1. Нарисуйте схему соединения звезда-звезда с нейтральным проводом и покажите в ней фазные и линейные напряжения и токи.
2. Как рассчитать фазные токи нагрузки в четырехпроводной системе?
3. Объясните назначение нейтрального провода.
4. Постройте совмещенную векторную диаграмму токов и напряжений при симметричной нагрузке, соединенной звездой с нейтральным проводом.
5. Постройте совмещенную векторную диаграмму токов и напряжений при несимметричной нагрузке, соединенной звездой с нейтральным проводом.
6. Постройте совмещенную векторную диаграмму токов и напряжений при несимметричной нагрузке, соединенной звездой без нейтрального провода.
7. Нарисуйте совмещенную векторную диаграмму токов и напряжений при обрыве линейного провода и несимметричной нагрузке, соединенной в звезду.
8. Изобразите совмещенную векторную диаграмму токов и напряжений при коротком замыкании одной из фаз несимметричной нагрузки, соединенной звездой.
9. Запишите формулу, определяющую напряжение смещения.
10. Как определяются фазные напряжения приемника, фазы которого соединены звездой без нейтрального провода?

Расчетно-лабораторная работа №4.5

Исследование трехфазной цепи при соединении фаз источника и неоднородного приемника звездой

Цели работы: – изучить свойства и особенности работы трехфазной цепи при соединении неоднородного приемника звездой;
– научиться строить векторные диаграммы токов и напряжений по экспериментальным данным.

Программа работы

1. Исследовать основные свойства трехфазной системы «звезда-звезда» при неоднородной нагрузке.
2. Рассчитать токи и напряжения трехфазной системы с включенным нейтральным проводом и без него. Расчет подтвердить экспериментами.
3. Осуществить заданные аварийные режимы и определить их влияние на изменение фазных и линейных электрических величин.
4. Построить совмещенные векторные диаграммы токов и напряжений по расчетным и экспериментальным данным.

Краткие сведения из теории

На рис. 5.1, *a* изображена трехфазная система «звезда-звезда» с нейтральным проводом и произвольной несимметричной активно-реактивной нагрузкой.

При наличии нейтрального провода фазные напряжения нагрузки равны фазным напряжениям генератора

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A ; \quad \underline{U}_b = \underline{U}_B ; \quad \underline{U}_c = \underline{U}_C . \quad (5.1)$$

Фазные токи нагрузки можно определить по закону Ома

$$\underline{I}_A = \frac{\underline{U}_A}{\underline{Z}_a} ; \quad \underline{I}_B = \frac{\underline{U}_B}{\underline{Z}_b} ; \quad \underline{I}_C = \frac{\underline{U}_C}{\underline{Z}_c} . \quad (5.2)$$

Ток нейтрального провода

$$\underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C . \quad (5.3)$$

На рис. 5.1, б изображена совмещенная векторная диаграмма токов и напряжений в цепи на рис. 5.1, а, построенная для несимметричной равномерной нагрузки $R_a = |jX_b| = |-jX_c|$.

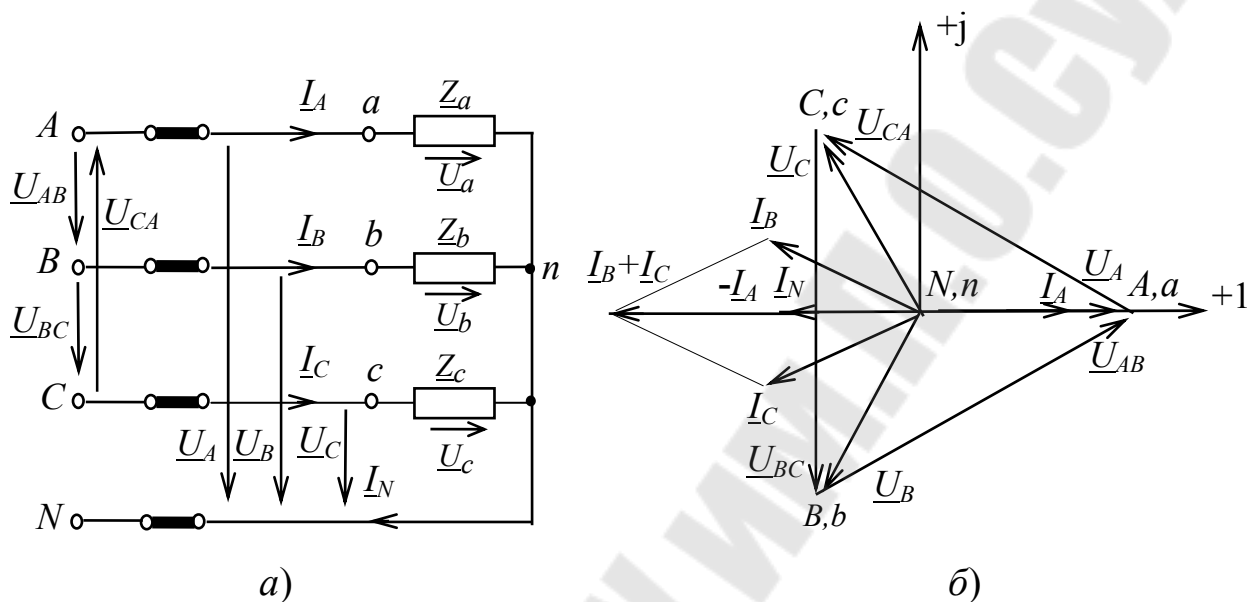


Рис. 5.1

В случае обрыва линейного провода, например провода Bb, ток фазы $I_B = 0$, а токи в неповрежденных фазах не изменяются, т. к. режимы работы фаз не зависят друг от друга.

Ток нейтрального провода изменяется согласно (5.3)

$$I_N = I_A + I_C. \quad (5.4)$$

Совмещенная векторная диаграмма для того же типа нагрузки приведена на рис. 5.2.

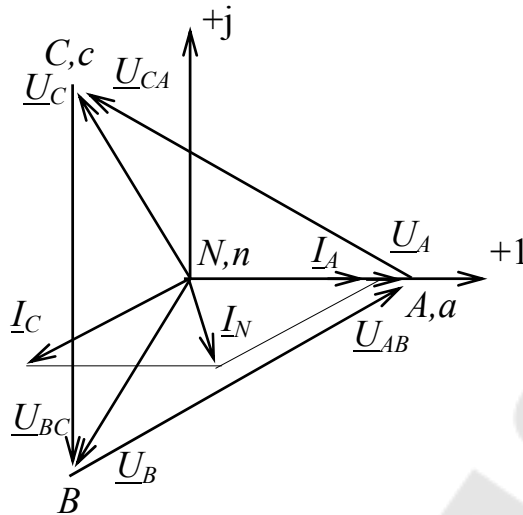


Рис. 5.2

При отсутствии нейтрального провода между нейтральными точками N генератора и n – нагрузки имеется напряжение смещения нейтрали

$$\underline{U}_{nN} = \frac{\underline{U}_A \underline{Y}_a + \underline{U}_B \underline{Y}_b + \underline{U}_C \underline{Y}_c}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c}. \quad (5.5)$$

Фазные напряжения нагрузки не равны фазным напряжениям генератора, и определяются из соотношений

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A - \underline{U}_{nN}; \quad \underline{U}_b = \underline{U}_B - \underline{U}_{nN}; \quad \underline{U}_c = \underline{U}_C - \underline{U}_{nN}. \quad (5.6)$$

Фазные токи нагрузки находят по закону Ома

$$\underline{I}_a = \frac{\underline{U}_a}{\underline{Z}_a}; \quad \underline{I}_b = \frac{\underline{U}_b}{\underline{Z}_b}; \quad \underline{I}_c = \frac{\underline{U}_c}{\underline{Z}_c}. \quad (5.7)$$

Для трехфазной трехпроводной системы на рис. 5.3, а приведена совмещенная векторная диаграмма токов и напряжений, построенная для нагрузки

$$\underline{Z}_a = R; \quad \underline{Z}_b = R_k + jX_k; \quad \underline{Z}_c = R - jX_c.$$

В случае обрыва линейного провода в трехфазной трехпроводной системе (например, провода Аа) напряжение смещения нейтрали

$$\underline{U}_{nN} = \frac{\underline{U}_B \underline{Y}_b + \underline{U}_C \underline{Y}_c}{\underline{Y}_b + \underline{Y}_c}, \quad (5.8)$$

а токи в неповрежденных фазах определяются по (5.6) и (5.7).

Если в трехфазной трехпроводной системе произошло короткое замыкание фазы (например, фазы b), то $\underline{Z}_b = 0$ и потенциал точки a равен потенциалу точки b . Тогда $\underline{U}_{nN} = \underline{U}_B$. Фазные напряжения на грузки на неповрежденных фазах по (5.6)

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A - \underline{U}_B = \underline{U}_{AB}; \quad \underline{U}_c = \underline{U}_C - \underline{U}_B = \underline{U}_{CB}. \quad (5.9)$$

Токи неповрежденных фаз по (5.7)

$$\underline{I}_A = \frac{\underline{U}_{AB}}{\underline{Z}_a}; \quad \underline{I}_C = \frac{\underline{U}_{CB}}{\underline{Z}_c}.$$

Ток поврежденной фазы определяется по первому закону Кирхгофа

$$\underline{I}_B = -(\underline{I}_A + \underline{I}_C).$$

Совмещенная векторная диаграмма напряжений и токов изображена на рис. 5.3, б для случая равномерной нагрузки $R_a = (-jX_a)$.

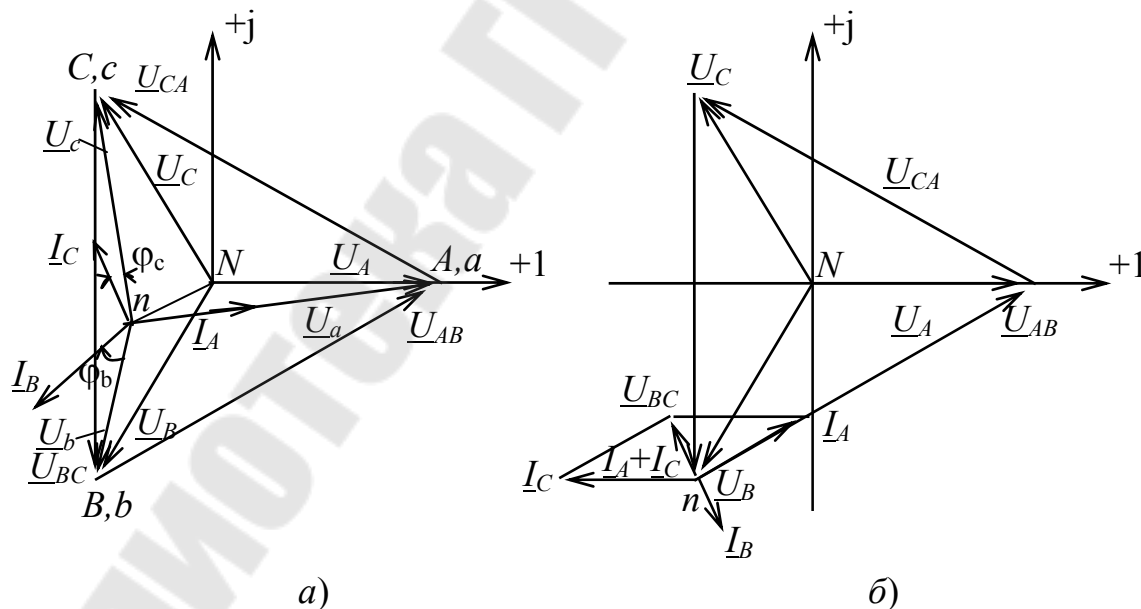


Рис. 5.3

Порядок и методика проведения исследований

В работе используются:

- блок трехфазного напряжения;
- блок переменной емкости (БПЕ);
- резисторы R_1, R_2, R_3 , размещенные в БПС слева;
- индуктивность L_1 , размещенная в БПИ слева;
- конденсаторы C_1, C_2, C_3 , размещенные в БПЕ слева;
- измерительные приборы, установленные на стенде.

1. Рассчитайте токи и напряжения в трехфазной цепи рис. 5.1, *a* согласно варианту задания (табл. 5.1). Нагрузку принять равномерной несимметричной, которая была определена в работе 4.3. Фазные напряжения генератора принять $U_{\text{фг}} \leq 0,01Z_{\text{к}}$. Полученные при расчетах токи не должны превышать 100 мА. При расчете режима короткого замыкания $U_{\text{фг}}$ сократить дополнительно на $\sqrt{3}$.

Таблица 5.1

Вариант	Приемник			Обрыв фазы	Короткое замыкание фазы
	Сопротивления фаз				
	a	b	c		
1	RL	R	R_1C	b	c
2	R	R_1C	RL	a	b
3	R_1C	RL	R	c	a
4	RL	R_1C	R	c	b
5	R	RL	R_1C	a	c
6	R	R_1C	RL	a	a
7	RL	R_1C	R	b	a
8	RL	R	R_1C	c	b
9	R	R_1C	RL	a	a
10	R_1C	RL	R	b	c
11	R_1C	R	RL	c	a
12	RL	R_1C	R	b	b
13	R_1C	RL	R	c	c

2. Соберите электрическую схему по рис. 5.1, *a*. Установите фазные напряжения генератора, выбранные в п. 1. Установите равномерную несимметричную нагрузку. Проведите измерения фазных токов и токов нейтрального провода в номинальном режиме с наличием ней-

трального провода. Измерьте фазные токи, фазные напряжения и напряжение смещения нейтрали в номинальном режиме без нейтрального провода.

3. Реализуйте обрыв фазы. Измерьте фазные токи и ток нейтрального провода в цепи с нейтральным проводом. Измерьте фазные токи, фазные напряжения нагрузки, напряжение смещения нейтрали в цепи без нейтрального провода.

4. Выключите трехфазный генератор. Отключите нейтральный провод, реализуйте короткое замыкание требуемой фазы. Выставьте на генераторе пониженное фазное напряжение. После проверки преподавателем измерьте фазные токи, напряжения фаз нагрузки, напряжение смещения нейтрали. Занесите результаты расчетов и измерений в таблицу, аналогично п. 6 лабораторной работы № 4.4.

Контрольные вопросы

1. Нарисуйте схему соединения звезда-звезда с нейтральным проводом и покажите в ней фазные и линейные напряжения и токи.

2. Как рассчитать фазные токи нагрузки в четырехпроводной системе?

3. Объясните назначение нейтрального провода.

4. Постройте совмещенную векторную диаграмму токов и напряжений при несимметричной неоднородной равномерной нагрузке, соединенной звездой с нейтральным проводом.

5. Постройте совмещенную векторную диаграмму токов и напряжений при несимметричной нагрузке, соединенной звездой с нейтральным проводом.

6. Постройте совмещенную векторную диаграмму токов и напряжений при несимметричной нагрузке, соединенной звездой без нейтрального провода.

7. Нарисуйте совмещенную векторную диаграмму токов и напряжений при обрыве линейного провода и несимметричной нагрузке, соединенной в звезду.

8. Изобразите совмещенную векторную диаграмму токов и напряжений при коротком замыкании одной из фаз несимметричной нагрузки, соединенной звездой.

9. Запишите формулу, определяющую напряжение смещения.

10. Как определяются фазные напряжения приемника, фазы которого соединены звездой без нейтрального провода?

Расчетно-лабораторная работа № 4.6

Исследование трехфазной цепи при соединении фаз источника и приемника звездой ($0 \neq \underline{Z}_{nN} \neq \infty$)

Цели работы: – изучить свойства и особенности работы трехфазной цепи с нейтральным проводом, имеющим сопротивление;

– научиться строить векторные диаграммы токов и напряжений по экспериментальным данным.

Программа работы

1. Исследовать основные свойства трехфазной четырехпроводной системы с нейтральным проводом, имеющим сопротивление.
2. Рассчитать токи и напряжения трехфазной системы с учетом сопротивлений линий передач и нейтрального провода.
3. Осуществить заданные аварийные режимы и определить их влияние на изменение фазных и линейных электрических величин.
4. Построить совмещенные векторные диаграммы токов и напряжений по расчетным и экспериментальным данным.

Краткие сведения из теории

На рис.6.1а изображена четырехпроводная трехфазная система, учитывающая сопротивления линейных проводов ($\underline{Z}_л$), нагрузки ($\underline{Z}_a, \underline{Z}_b, \underline{Z}_c$) и нейтрального провода \underline{Z}_N . Если нагрузка несимметричная ($\underline{Z}_a \neq \underline{Z}_b \neq \underline{Z}_c$), а сопротивления линейных проводов одинаковы, то сопротивления фаз ($\underline{Z}_A = \underline{Z}_л + \underline{Z}_a$, $\underline{Z}_B = \underline{Z}_л + \underline{Z}_b$, $\underline{Z}_C = \underline{Z}_л + \underline{Z}_c$) будут также несимметричные.

Напряжение между двумя узлами в этом случае определится

$$\underline{U}_{nN} = \frac{\underline{U}_A \underline{Y}_A + \underline{U}_B \underline{Y}_B + \underline{U}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + \underline{Y}_N}, \quad (6.1)$$

где \underline{Y}_A , \underline{Y}_B , \underline{Y}_C и \underline{Y}_N – комплексные проводимости фаз и нейтрального провода, которые равны

$$\underline{Y}_A = \frac{1}{\underline{Z}_л + \underline{Z}_a}, \quad \underline{Y}_B = \frac{1}{\underline{Z}_л + \underline{Z}_b}, \quad \underline{Y}_C = \frac{1}{\underline{Z}_л + \underline{Z}_c}, \quad \underline{Y}_N = \frac{1}{\underline{Z}_N}. \quad (6.2)$$

Фазные напряжения на нагрузке, образованной сопротивлениями линейных проводов и сопротивлениями потребителя электрической энергии определяются из соотношений

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A - \underline{U}_{nN}, \quad \underline{U}_b = \underline{U}_B - \underline{U}_{nN}, \quad \underline{U}_c = \underline{U}_C - \underline{U}_{nN}. \quad (6.3)$$

Токи в фазах приемника определяются по закону Ома

$$\underline{I}_A = \underline{Y}_A \underline{U}_a, \quad \underline{I}_B = \underline{Y}_B \underline{U}_b, \quad \underline{I}_C = \underline{Y}_C \underline{U}_c, \quad \underline{I}_N = \frac{\underline{U}_{nN}}{\underline{Z}_N}. \quad (6.4)$$

Напряжения на фазах приемника

$$\underline{U}_{\phi a} = \underline{I}_A \underline{Z}_a, \quad \underline{U}_{\phi b} = \underline{I}_B \underline{Z}_b, \quad \underline{U}_{\phi c} = \underline{I}_C \underline{Z}_c. \quad (6.5)$$

На линейных проводах также имеется падения напряжений, которые рассчитываются следующим образом

$$\underline{U}_{л.п.a} = \underline{I}_A \underline{Z}_л, \quad \underline{U}_{л.п.b} = \underline{I}_B \underline{Z}_л, \quad \underline{U}_{л.п.c} = \underline{I}_C \underline{Z}_л. \quad (6.6)$$

Топографическая и векторная диаграммы напряжений и токов схемы рис.6.1а изображены на рис.6.1б при следующих значениях ее параметров ($\underline{Z}_л = R_л$; $\underline{Z}_a = R_a < \underline{Z}_b = R_b < \underline{Z}_c = R_c$; $\underline{Z}_N = R_N$; $\underline{Z}_л < R_N \ll R_a$).

При построении совмещенной векторной диаграммы токов и напряжений цепи на рис. 6.1, а необходимо учесть наличие падений напряжения на линейных проводах. Это достигается путем рассмотрения контуров $\underline{Z}_л - \underline{Z}_a - \underline{Z}_N - N - A$; $\underline{Z}_л - \underline{Z}_b - \underline{Z}_N - N - B$; $\underline{Z}_л - \underline{Z}_c - \underline{Z}_N - N - C$ и записи для каждого контура уравнения по второму закону Кирхгофа. Так, для первого контура

$$\begin{aligned} \underline{U}_{\text{л.п.}a} + \underline{U}_{\text{ф.}a} + \underline{U}_{nN} - \underline{U}_A &= 0; \\ \underline{U}_{\text{л.п.}a} + \underline{U}_{\text{ф.}a} + \underline{U}_{nN} &= \underline{U}_A. \end{aligned} \quad (6.7)$$

На основании этого уравнения и производится построение диаграммы. Последовательность ее построения такова. На комплексной плоскости строят векторы фазных напряжений генератора, затем векторы фазных токов и напряжений смещения нейтрали. В работе принято, что $\underline{Z}_N = R_N$, т.о. ток нейтрального провода должен совпадать по фазе с напряжением смещения нейтрали. Конец вектора \underline{U}_{nN} дает на комплексной плоскости положение точки n . Из нее откладываются векторы $\underline{U}_{\text{л.п.}}$, которые совпадают по фазе с токами фаз, ибо в работе принято $\underline{Z}_{\text{л}} = R_{\text{л}}$. Из концов векторов $\underline{U}_{\text{л.п.}}$ строят векторы $\underline{U}_{\text{ф.}}$, которые опережают фазные токи или отстают по фазе от них в зависимости от вида нагрузки фаз приемника. Из уравнения (6.7) следует, что при правильном расчете и построении конец вектора $\underline{U}_{\text{ф.}}$ должен совпадать с концом соответствующего вектора фазного напряжения генератора. На рис. 6.1, б приведена полная векторная диаграмма рассматриваемой цепи. Обратите внимание, что линейные напряжения на диаграмме не изображены с целью сделать ее более ясной и наглядной.

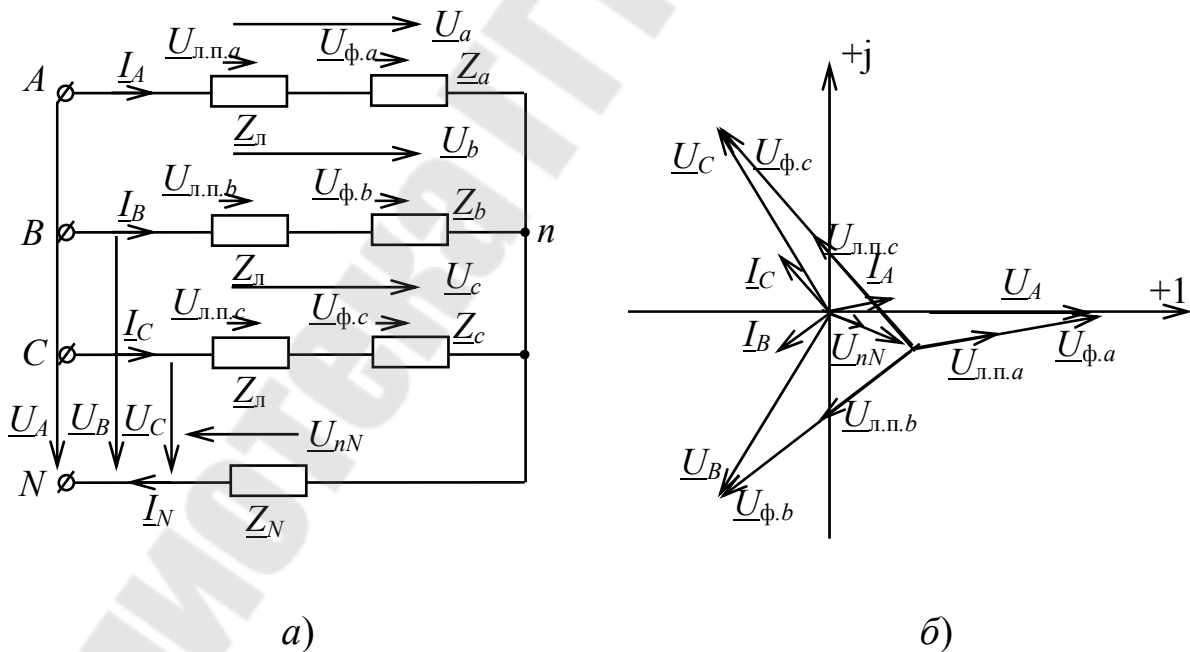


Рис. 6.1

Порядок и методика проведения исследований

В работе используются:

- блок трехфазного напряжения;
- блок переменного сопротивления (БПС);
- индуктивности L_1 , размещенная в БПИ слева;
- блок переменной емкости (БПЕ);
- резисторы R_1, R_2, R_3 , размещенные в БПС слева.
- элементы 07,08,09.

1. Рассчитайте токи и напряжения на фазах приемника и на линейных проводах согласно варианту задания (табл. 6.1). Сопротивления фаз приемника выбираются из равномерной нагрузки, найденной в л. р. № 4.3. Сопротивления линейных проводов $Z_{л} = R_{л} = R07 = R08 = R09$. Фазные напряжения генератора, заданные выбрать так, чтобы все токи в цепи не превышали 100 мА.

Таблица 6.1

Вариант	ПРИЕМНИК сопротивления фаз			$Z_N = R_N$	Короткое замыкание фазы
	a	b	c		
1	RL	R	R_1C	R2	a
2	R	RL	R_1C	R2	b
3	R	R_1C	RL	R3	c
4	RL	R_1C	R	R2	a
5	R	R_1C	RL	R2	b
6	R_1C	R	RL	R3	c
7	RL	R_1C	R	R3	a
8	R	RL	R_1C	R2	b
9	RL	R	R_1C	R3	c
10	R_1C	RL	R	R2	a
11	R_1C	R	RL	R2	b
12	R	R_1C	RL	R3	c
13	RL	R_1C	R	R3	a

2. Соберите электрическую цепь по схеме рис. 6.1, а. Установите фазные напряжения генератора, принятые в п. 1. установите сопро-

тивления линейных проводов, нейтрального провода, фаз приемника по варианту задания. Проведите измерения токов, падений напряжений на линейных проводах, нейтральном проводе и фазах приемника.

3. Реализуйте короткое замыкание заданной фазы. Повторите измерения.

4. Результаты расчетов измерений каждого режима сведите в таблицу вида табл. 6.2. правила заполнения таблицы такие же, как и в предыдущих работах.

Таблица 6.2

Ток	Расчет	Эксперимент
\underline{I}_A		
\underline{I}_B		
\underline{I}_C		
\underline{I}_N		
Напряжение	Расчет	Эксперимент
$\underline{U}_{\phi a}$		
$\underline{U}_{\phi b}$		
$\underline{U}_{\phi c}$		
$\underline{U}_{\text{л.п.}a}$		
$\underline{U}_{\text{л.п.}b}$		
$\underline{U}_{\text{л.п.}c}$		
\underline{U}_{nN}		

5. По экспериментальным данным постройте совмещенные векторные диаграммы токов и напряжений для исследованных режимов работы схемы рис. 6.1а. Сделайте выводы по работе, обратив внимание на влияние короткого замыкания на величины токов и напряжений.

Контрольные вопросы

1. Нарисуйте схему соединения звезда-звезда с нейтральным проводом, имеющим сопротивление и учитывающей сопротивления линии передач.

2. Запишите формулу, определяющую напряжение смещения в схеме, учитывающей сопротивления линии передач и сопротивление нейтрального провода.

3. Как рассчитать фазные токи в системе по п. 1?

4. Как определить фазные напряжения приемника в системе по п. 1?

5. Постройте совмещенную векторную диаграмму токов и напряжений при однофазном коротком замыкании в системе по п. 1.

Расчетно-лабораторная работа № 4.7

Исследование трехфазной цепи методом симметричных составляющих

Цель работы: изучение и использование метода симметричных составляющих для расчета трехфазных электрических цепей.

Программа работы

1. Разложить заданную несимметричную систему трехфазных напряжений на симметричные составляющие.
2. Рассчитать фазные и линейные токи в заданной трехфазной электрической цепи методом симметричных составляющих.
3. Собрать исследуемую электрическую цепь на стенде, измерить фазные и линейные токи и сравнить их с расчетными значениями.

Краткие сведения из теории

Расчет трехфазных цепей, содержащих генераторы, трансформаторы, двигатели, не может быть выполнен непосредственно методами анализа однофазных цепей. Особенности динамической нагрузки могут быть учтены при расчетах путем замены несимметричной системы токов или напряжений *тремя симметричными системами*. Этими системами являются: система с *прямой, обратной и с нулевой последовательностями* чередования фаз. На рис. 7.1 представлены симметричные системы векторов *прямой* последовательности A_1, B_1, C_1 , *обратной* последовательности A_2, B_2, C_2 и *нулевой* последовательности A_0, B_0, C_0 .

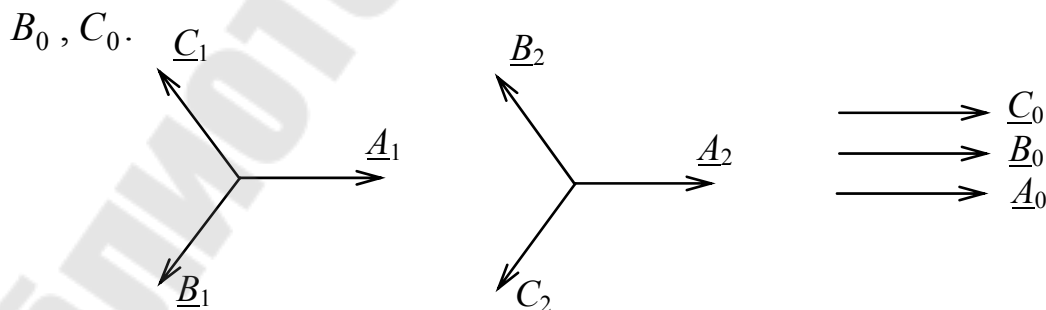


Рис. 7.1

Если ввести понятие *фазного множителя* трехфазной системы

$$\underline{a} = e^{j120^\circ} = -0,5 + j0,865.$$

и учесть, что $\underline{a}^2 = e^{-j120^\circ} = -0,5 - j0,865$,

то для прямой последовательности

$$\underline{B}_1 = \underline{a}^2 \underline{A}_1, \quad \underline{C}_1 = \underline{a} \underline{A}_1;$$

для обратной последовательности

$$\underline{B}_2 = \underline{a} \underline{A}_2, \quad \underline{C}_2 = \underline{a}^2 \underline{A}_2,$$

а для нулевой последовательности

$$\underline{B}_0 = \underline{C}_0 = \underline{A}_0.$$

Пусть задана несимметричная трехфазная система напряжений \underline{U}_A , \underline{U}_B , \underline{U}_C .

Каждое из заданных напряжений можно выразить через симметричные составляющие

$$\underline{U}_A = \underline{U}_{A_1} + \underline{U}_{A_2} + \underline{U}_{A_0},$$

$$\underline{U}_B = \underline{U}_{B_1} + \underline{U}_{B_2} + \underline{U}_{B_0},$$

$$\underline{U}_C = \underline{U}_{C_1} + \underline{U}_{C_2} + \underline{U}_{C_0},$$

где

$$\underline{U}_{A_0} = \frac{1}{3}(\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C) = \underline{U}_{B_0} = \underline{U}_{C_0}; \quad (7.1)$$

$$\underline{U}_{A_1} = \frac{1}{3}(\underline{U}_A + \underline{a}\underline{U}_B + \underline{a}^2\underline{U}_C), \quad \underline{U}_{B_1} = \underline{a}^2\underline{U}_{A_1}, \quad \underline{U}_{C_1} = \underline{a}\underline{U}_{A_1}; \quad (7.2)$$

$$\underline{U}_{A_2} = \frac{1}{3}(\underline{U}_A + \underline{a}^2\underline{U}_B + \underline{a}\underline{U}_C), \quad \underline{U}_{B_2} = \underline{a}\underline{U}_{A_2}, \quad \underline{U}_{C_2} = \underline{a}^2\underline{U}_{A_2}. \quad (7.3)$$

Необходимо помнить, что:

- симметричная система напряжений какой-либо последовательности вызывает в симметричной трехфазной цепи симметричную систему токов той же последовательности;
- в линейной трехфазной цепи расчет может быть выполнен по методу наложения отдельно для каждой из симметричных составляющих;
- расчет целесообразно проводить на одну фазу (обычно фазу А).

Рассмотрим расчет схемы, показанной на рис. 7.2.

Исходными данными схемы являются: E_A, E_B, E_C – несимметричная система фазных ЭДС; Z_a, Z_b, Z_c, Z_N – сопротивления нагрузки и нейтрального провода.

Необходимо определить токи.

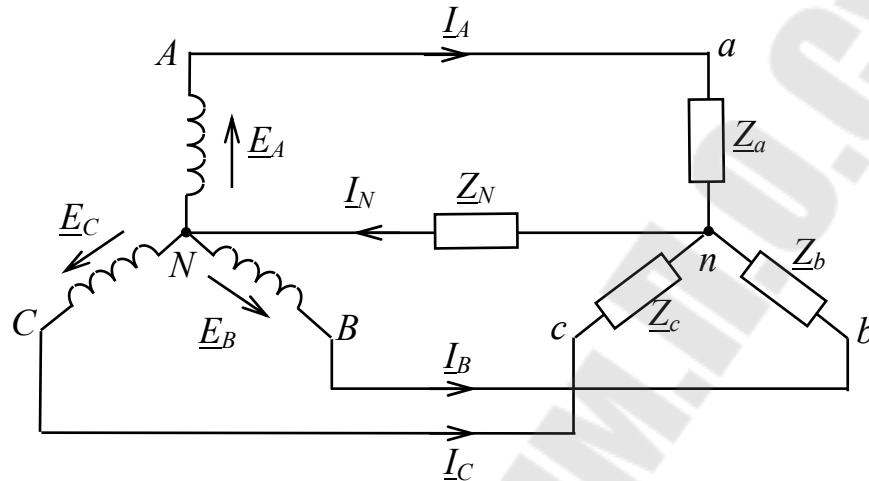


Рис. 7.2

Применяя формулы (7.1...7.3), найдем симметричные составляющие $\underline{E}_{A1}, \underline{E}_{A2}, \underline{E}_{A0}, \underline{E}_{B1}, \underline{E}_{B2}, \underline{E}_{B0}, \underline{E}_{C1}, \underline{E}_{C2}$.

Заменив ЭДС несимметричного генератора тремя симметричными системами, получим схему, показанную на рис. 7.3.

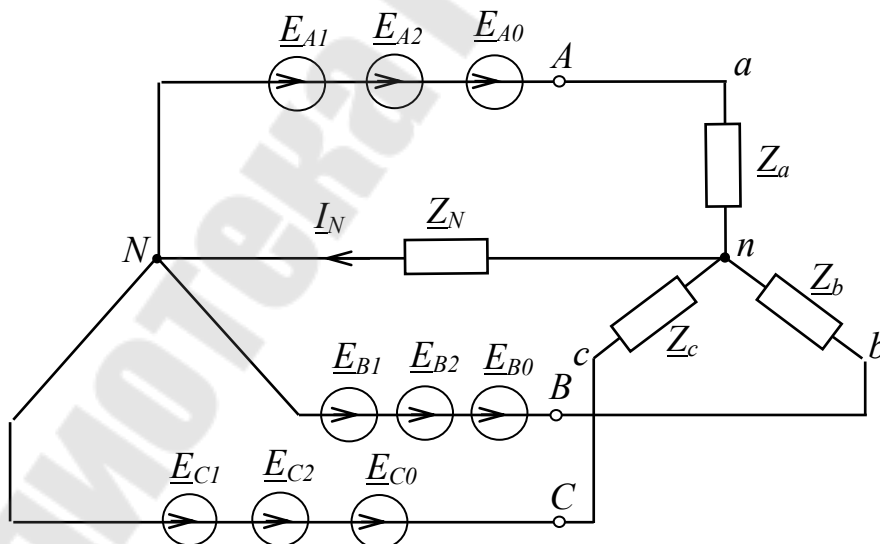


Рис. 7.3

Далее симметричные составляющие токов фаз схемы рис 7.3 можно найти по методу наложения. В лабораторной работе исследуются электрические цепи со статической нагрузкой, сопротивления которой от последовательности приложенного напряжения не зависят. Поэтому применение метода наложения и метода симметричных составляющих имеет свои особенности. Рассмотрим расчет схемы, изображенной на рис. 7.4, а.

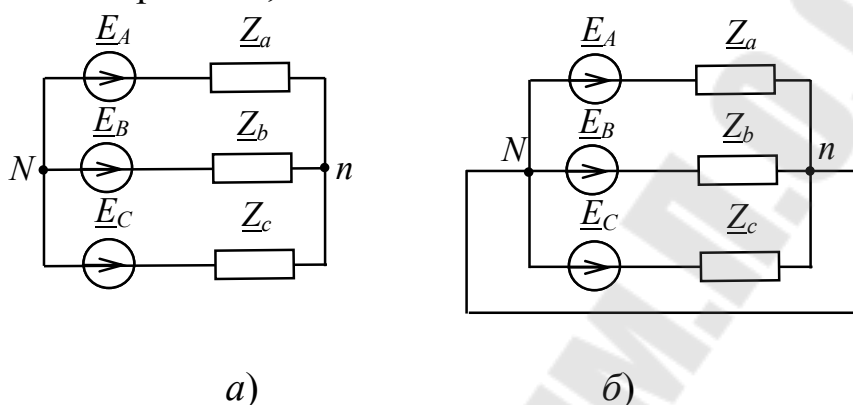


Рис. 7.4

При отсутствии нейтрального провода токи нулевой последовательности протекать не могут. Поэтому достаточно вычислить токи прямой последовательности

$$\underline{U}_{nN1} = \frac{\underline{U}_{A1} \underline{Y}_a + \underline{U}_{B1} \underline{Y}_b + \underline{U}_{C1} \underline{Y}_c}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c},$$

$$\underline{I}_{A1} = \frac{\underline{U}_{A1} - \underline{U}_{nN1}}{\underline{Z}_a}; \quad \underline{I}_{B1} = \frac{\underline{U}_{B1} - \underline{U}_{nN1}}{\underline{Z}_b}; \quad \underline{I}_{C1} = \frac{\underline{U}_{C1} - \underline{U}_{nN1}}{\underline{Z}_c}.$$

и токи обратной последовательности

$$\underline{U}_{nN2} = \frac{\underline{U}_{A2} \underline{Y}_a + \underline{U}_{B2} \underline{Y}_b + \underline{U}_{C2} \underline{Y}_c}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c},$$

$$\underline{I}_{A2} = \frac{\underline{U}_{A2} - \underline{U}_{nN2}}{\underline{Z}_a}; \quad \underline{I}_{B2} = \frac{\underline{U}_{B2} - \underline{U}_{nN2}}{\underline{Z}_b}; \quad \underline{I}_{C2} = \frac{\underline{U}_{C2} - \underline{U}_{nN2}}{\underline{Z}_c}.$$

Обратите внимание, что токи последовательностей вычисляются путем применения метода двух узлов к цепи, в которой действуют только напряжения прямой последовательности или только напряже-

ния обратной последовательности. Токи фаз находятся путем сложения токов последовательностей

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{A1} + \underline{I}_{A2} ; \quad \underline{I}_B = \underline{I}_{B1} + \underline{I}_{B2} ; \quad \underline{I}_C = \underline{I}_{C1} + \underline{I}_{C2} .$$

Рассмотрим расчет схемы, приведенной на рис. 7.2б. В этой схеме протекают токи нулевой последовательности. Но сопротивления фаз образуют равномерную несимметричную нагрузку. Поэтому токи прямой последовательности находим по закону Ома

$$\underline{I}_{A1} = \frac{U_{A1}}{\underline{Z}_a} ; \quad \underline{I}_{B1} = \frac{U_{B1}}{\underline{Z}_b} ; \quad \underline{I}_{C1} = \frac{U_{C1}}{\underline{Z}_c} .$$

Аналогично находим токи обратной последовательности

$$\underline{I}_{A2} = \frac{U_{A2}}{\underline{Z}_a} ; \quad \underline{I}_{B2} = \frac{U_{B2}}{\underline{Z}_b} ; \quad \underline{I}_{C2} = \frac{U_{C2}}{\underline{Z}_c}$$

и токи нулевой последовательности

$$\underline{I}_{A0} = \frac{U_{A0}}{\underline{Z}_a} ; \quad \underline{I}_{B0} = \frac{U_{B0}}{\underline{Z}_b} ; \quad \underline{I}_{C0} = \frac{U_{C0}}{\underline{Z}_c} .$$

Токи фаз определяются путем сложения токов последовательностей

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{A1} + \underline{I}_{A2} + \underline{I}_{A0} ; \quad \underline{I}_B = \underline{I}_{B1} + \underline{I}_{B2} + \underline{I}_{B0} ; \quad \underline{I}_C = \underline{I}_{C1} + \underline{I}_{C2} + \underline{I}_{C0} .$$

Ток нейтрального провода определяем по первому закону Кирхгофа

$$\underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C .$$

Порядок и методика проведения исследований

В работе используются:

- блок трехфазного напряжения;
- блок переменных сопротивлений (БПС);
- блок переменной емкости (БПЕ);
- катушка $L1$;
- измерительные приборы, установленные на стенде.

Номер варианта индивидуального задания состоит из двух цифр. Первая цифра указывает номер строки в табл.7.1 (сведения о пара-

метрах источника), а вторая цифра – номер строки в табл. 7.2 (сведения о параметрах трехфазного приемника).

Таблица 7.1

Вариант	U_A	U_B	U_C
1	5	15	20
2	15	20	28
3	13	24	25
4	12	8	21
5	17	15	25
6	25	10	15
7	20	14	8
8	10	3	14
9	10	18	15
10	16	20	10
11	10	20	15
12	15	25	14
13	10	20	5

1. Используя исходные данные табл. 7.1, разложите несимметричную систему трехфазных ЭДС на симметричные составляющие. При этом предполагается, что сдвиг фаз между фазными ЭДС составляет 120° .

2. Выполнить расчет схемы на рис. 7.4, а и 7.4, б, приняв сопротивления фаз приемника согласно варианту табл. 7.2. Нагрузка является равномерной, аналогично предыдущим работам.

Таблица 7.2

Вариант	a	b	c
1	RL	R	R_1C
2	R	RL	R_1C
3	R	R_1C	RL
4	RL	R_1C	R
5	R	R_1C	RL
6	R_1C	R	RL
7	RL	R_1C	R
8	R	RL	R_1C
9	RL	R	R_1C
10	R_1C	RL	R

11	R_1C	R	RL
12	R	R_1C	RL
13	RL	R_1C	R

3. Собрать схему на стенде, измерить фазные токи и фазные напряжения нагрузки в схеме рис. 7.4, а. Подключить нейтральный провод, получив тем самым схему рис 7.4, б, и измерить фазные токи и ток нейтрального провода. Результаты исследования схемы рис. 7.4, а занести в табл.7.3, а результаты исследования схемы рис. 7.4, б – в табл. 7.4. Правила оформления таблиц остаются прежними.

Таблица 7.3

Токи	Расчет	Эксперимент
\underline{I}_A		
\underline{I}_B		
\underline{I}_C		
Напряжение	Расчет	Эксперимент
\underline{U}_a		
\underline{U}_b		
\underline{U}_c		

Таблица 7.4

Ток	Расчет	Эксперимент
\underline{I}_A		
\underline{I}_B		
\underline{I}_C		
\underline{I}_N		

Контрольные вопросы

1. На чем основан метод симметричных составляющих?
2. Чем отличаются друг от друга симметричные составляющие?
3. Какие вы знаете симметричные составляющие?
4. Как определить векторы \underline{U}_{A1} , \underline{U}_{A2} , \underline{U}_{A0} ?
5. Какое комплексное число называют фазным множителем?
6. Как определяются векторы \underline{U}_{B1} , \underline{U}_{B2} , \underline{U}_{C1} , \underline{U}_{C2} , \underline{U}_{B0} , \underline{U}_{C0} ?
7. Объясните, почему сопротивления на фазу элементов трехфазных систем (линии передачи, трансформатора, асинхронного двигателя) неодинаковы для различных последовательностей.

8. Объясните порядок расчета трехфазных цепей по методу симметричных составляющих.
9. Назовите основные свойства трехфазных цепей в отношении симметричных составляющих токов и напряжений.

Литература

1. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник для электротехнич., энерг., приборостроит. спец. ВУЗов, 9-е изд./ Л.А. Бессонов. – Москва: Высш.шк., 1996. – С.81-130.
2. Основы теории цепей: учебник для ВУЗов, 5-е изд./ Г.В.Зевеке [и др.]– Москва: Энергоатомиздат, 1989. – С.61-131.
3. Нейман, Л.Р. Теоретические основы электротехники: учебник для ВУЗов, том 1, 3-е изд./ Л.Р.Нейман, К.С.Демирчян. – Л.: Энергоиздат, 1981.– С. 163-281.
4. Атабеков, Г.И. Основы теории цепей: учебник для ВУЗов, 4-е изд./ Г.И.Атабеков. – Москва: Энергия, 1979. – С. 60-130.
5. Каплянский, А.Е., Лысенко А.П., Полотовский Л.С. Теоретические основы электротехники/ А.Е.Каплянский, А.П.Лысенко, Л.С. Полотовский Л.С. – Москва: Высш.шк., 1972. – С. 100-140, 163-179.
6. Грачев, С.А.. Практическое пособие к лабораторным работам по разделу «Цепи постоянного тока» курса «Теоретические основы электротехники» для студентов специальностей Т.01.01.08 и Т.11.02.01. Часть 1/ С.А.Грачев, В.В.Соленков. – Гомель, ГГТУ им.П.О.Сухого, 1999.– 68 с.
7. Грачев, С.А. Практическое пособие к лабораторным работам по разделу “Цепи однофазного переменного тока” курса “Теоретические основы электротехники” для студентов электротехнических специальностей. Часть 2/ С.А.Грачев, В.В.Соленков. – Гомель, ГГТУ им.П.О.Сухого, 2000.– 87 с.

**Соленков Виталий Владимирович
Комнатный Дмитрий Викторович**

ТРЕХФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

**Лабораторный практикум
по курсу «Теоретические основы электротехники»
для студентов специальностей
1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети»,
1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)»,
1-43 01 07 «Техническая эксплуатация
энергооборудования организаций»
и 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»
дневной и заочной форм обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 12.11.12.

Рег. № 43Е.

<http://www.gstu.by>