**Лабораторная работа № 9**

**Трехфазная цепь, соединение фаз приемника звездой**

 **1.Цель работы**

Целью работы является экспериментальное исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении фаз приемника звездой.

**2. Ключевые слова**

Трехфазная электрическая цепь, соединение, приемник, звезда, симметричный режим, короткое замыкание, обрыв фазы, линейный провод, измерение, линейные токи, фазные токи, активная мощность.

**3. Теоретическая справка**

Трехфазная цепь представляет собой совокупность трехфазных источников синусоидального напряжения, трехфазного приемника и трехпроводной (или четырехпроводной) системы проводов, связывающих источники и приемник.

Фазные ЭДС источников могут быть представлены векторными диаграммами на комплексной плоскости и соединяться в звезду (рис.1. а, б.) или в треугольник (рис.1. в, г). Выводы ЭДС обычно маркируют буквами: *А* – начало, *х* – конец обмотки источника фазы *А*. Соответственно для фазы *В*: (*В – y*), для фазы *С* – (*С – z*)

а)

б)

в)

г)

Рис. 1.

Порядок, в котором ЭДС в фазных обмотках проходят через одинаковые значения, например, через максимумы, называют последовательностью фаз или порядком чередования фаз. Если чередование фазных ЭДС (напряжений) источника на векторной диаграмме (рис. 1б) происходит по часовой стрелке, получаем прямую последовательность (АВС), при обратном чередовании – обратную (АСВ). В прямой последовательности (АВС) *UB* отстает от *UA*, а *UС* опережает UA, поэтому фазу В можно считать отстающей, а фазу С – опережающей.

**Симметричный режим трехфазных цепей и методика его расчета**

*Четырехпроводная система (с нейтралью)*

Для симметричного режима сопротивления приемника в фазах равны, т.е. *ZA* = *ZB* = *ZC* = *Z*, сопротивления проводов *Zл* одинаковы (рис.2), линейные напряжения *UAB = UBC = UCA = Uл =**U*ф, т.е. в  больше фазного.

*Z A*

*Z B*

*Z C*

*Z Л*

*Z Л*

*Z Л*

*I A*

*I B*

*I C*

*O /*

*Е A*

*Е B*

*Е C*

*I N*

*O*

*А*

*В*

*С*

*N*

Рис.2.

К нагрузке в фазах приложено фазное напряжение, соответственно *UAО* к фазе *А*, *UВО* к фазе *В*, *UСО* к фазе *С*. Токи в фазах приемника находят по формулам:

 (1)

где 

 Ток в нейтрали:



*Трехпроводная система (без нейтрали)*

Так как при симметричном источнике 3-фазного напряжения и симметричной нагрузке в силу симметрии (*ZA* = *ZB* = *ZC* = *Z*), потенциалы точек О и О| (рис.3.) равны, т.е. :

*Z A*

*Z B*

*Z C*

*Z Л*

*Z Л*

*Z Л*

*I A*

*I B*

*I C*

*O /*

*Е A*

*Е B*

*Е C*

*O*

*А*

*В*

*С*

 Рис. 3.

# Несимметричный режим трехфазных цепей и методики их расчетов

*Для четырехпроводной системы (рис.4).* (*ZА* ≠ *ZВ* ≠ *ZС*)

Напряжение смещения нейтрали *UО′O*

  (2)

где

 

*Z A*

*Z B*

*Z C*

*Z Л*

*Z Л*

*Z Л*

*I A*

*I B*

*I C*

*O /*

*Е A*

*Е B*

*Е C*

*I N*

*O*

*А*

*В*

*С*

*N*

*Z N*

Рис.4.

Линейные токи и ток в нейтральном проводе:

  (3)

При *ZN =* 0



*Для трехпроводной системы (рис.3.). (ZА ≠ ZВ ≠ ZС)*

Напряжение смещения нейтрали :

  (4)

Токи в фазах определяются по формулам (3). Сумма линейных токов равна нулю *IА* + *IВ* + *IС* = 0.

**Измерение мощности в трехфазных цепях**

*Четырехпроводная система*

Рис.5.

Источник

Нагрузка

W3

W1

W2

*A*

*B*

*C*

*N*

*\**

*\**

*\**

*\**

*\**

*\**

В четырехпроводной системе (рис.5.) для измерения активной мощности включают ваттметры в каждую фазу. Активная мощность системы равна арифметической сумме показаний всех ваттметров  *P = PW1 + PW2 + PW3*. Для симметричной нагрузки активную мощность можно измерять одним ваттметром, включенным в любую фазу. Мощность системы будет равна *P = 3PW*.

В трехпроводной трехфазной цепи для измерения активной мощности применяют схему двух ваттметров (рис.6.).

Рис.6.

Источник

Нагрузка

W1

W2

*A*

*B*

*C*

*\**

*\**

*\**

*\**

Активная мощность, потребляемая приемником, равна алгебраической сумме показаний ваттметров P = PW1 + PW2 . Схема применима для симметричного и несимметричного режимов. На практике ваттметры часто вкллючают в фазы А и С.

При симметричном режиме реактивную мощность можно измерить по схеме рис.6. В этом случае реактивная мощность равна разности показаний ваттметров . Если ваттметры включены в фазы А и С, то активная мощность по прежнему определяется алгебраической суммой показаний ваттметров, а реактивная- вычисляется для симметричного режима по формуле

 - .

**4. Описание установки**

В качестве источника симметричного трехфазного напряжения используют модуль **ТРЕХФАЗНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ (UZ1)** c линейным напряжением UЛ = 12 В. Обмотки трехфазного источника соединены в звезду. Сопротивления нагрузки также соединяются в звезду.

Трехфазную резистивную нагрузку собирают из элементов блоков **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ**, реактивную нагрузку - из элементов блоков **МОДУЛЬ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ** и **МОДУЛЬ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ.**

Линейные токи измеряют амперметрами электромагнитной системы **РА1**; **РА2;** **РА3** из блока **МОДУЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ** с пределом измерений 250 мА**.** Ток в нейтральном проводе измеряют с помощью измерительного сопротивления *R* из блока **модуль дополнительный.**

Вольтметром **РV** с пределом измерений 15 В из блока **МОДУЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ** измеряют напряжения. Для измерений напряжений можно использовать также мультиметр **РР**.

Активную мощность в 3-проводной схеме трехфазной цепи измеряют ваттметром модуля **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ.**

### 5. Подготовка к работе

В Подготовке к работе и при выполнении рабочего задания для всех несимметричных режимов необходимо руководствоваться следующими данными:

|  |
| --- |
| Таблица 1 |
| Номер бригады | Фаза с несимметричной нагрузкой |
| 4-х проводная схема | 3-х проводная схема |
| Несимм.режим | Обрывфазы | Реактивная нагрузка | Несимм. режим | Обрывфазы | Реактивная нагрузка | Короткое замыкание |
| 1, 4, 7, 10 | А | А | А | А | А | А | А |
| 2, 5, 8, 11 | В | В | В | В | В | В | В |
| 3, 6, 9, 12 | С | С | С | С | С | С | С |

***5.1 4-х проводная трехфазная цепь****(схема на рис.1П)*

а) *Симметричный режим*

При 7 В, 150 Ом рассчитать токи. Построить векторные диаграммы токов и напряжений (в масштабе).

б) *Несимметричный режим* (выполняется в соответствующей указаниям фазе).

При 7 В, 68 Ом, 150 Ом рассчитать токи. Построить векторные диаграммы токов и напряжений. Здесь и далее приведены данные для фазы А, а студенты используют эти данные для фазы, указанной в задании.

в) *Обрыв фазы* (выполняется в соответствующей указаниям фазе)

При 7 В, 150 Ом рассчитать токи. Построить векторные диаграммы токов и напряжений.

г) *Несимметричный режим с реактивной нагрузкой.*Установитьв указанной фазе (табл.1) резистор R=68 Ом, в отстающей фазе - L=250 мГн, в опережающей фазе - С=47 мкФ, фазное напряжение 7 В.

 Рассчитать токи, построить векторные диаграммы токов и напряжений.

***5.2 3-х проводная трехфазная цепь***

 *(схема на рис.1П без нейтрали)*

а)  *Симметричный режим*

При 7 В, 150 Ом рассчитать токи, напряжение смещения нейтрали, напряжения на фазах приемника , , . Построить векторные диаграммы токов и напряжений (в масштабе).

б) *Несимметричный режим* (выполняется в соответствующей указаниям фазе)

При 7 В, 68 Ом, 150 Ом рассчитать токи, напряжение смещения нейтрали, напряжения на фазах приемника , , . Построить векторные диаграммы токов и напряжений.

в) *Обрыв фазы* А (выполняется в соответствующей указаниям фазе)

При 7 В, 150 Ом рассчитать токи, напряжение смещения нейтрали, напряжения на фазах приемника , , . Построить векторные диаграммы токов и напряжений.

г) *Короткое замыкание фазы* А (выполняется в соответствующей указаниям фазе)

При 7 В, 150 Ом рассчитать токи, напряжение смещения нейтрали, напряжения на фазах приемника , , . Построить векторные диаграммы токов и напряжений.

д) *Несимметричный режим с реактивной нагрузкой* (выполняется по схеме п.5.1г подготовки к работе только без нулевого провода).

При 7 В, R=68 Ом, L=250 мГн, С=47 мкФ. Рассчитать токи.

Построить векторные диаграммы токов и напряжений.

 ***5.3. Измерение активной мощности***

Нарисовать схему для измерения активной мощности 3-проводной трехфазной цепи двумя ваттметрами, включенных в фазы А и С. Для п.5.2 а) и б) рассчитать активную мощность приемника и показания ваттметров. Составить баланс активной мощности.

1. **Вопросы для допуска студентов к работе**
2. Показать линейные и фазные токи и напряжения в схеме рис.1П. Как измерить эти величины в лабораторной работе?
3. Рассказать последовательность выполнения измерений в четырехпроводной трехфазной цепи с нулевым проводом (рис.1П) при различных режимах работы цепи: в симметричном режиме, обрыве линейного провода, обрыве фазы нагрузки.
4. Рассказать последовательность выполнения измерений в трехпроводной трехфазной цепи (рис.1П) при различных режимах работы цепи: в симметричном режиме, обрыве линейного провода, обрыве фазы нагрузки.
5. Как измерить активную мощность в трехпроводной цепи при симметричной нагрузке (рис.1П)?
6. Как измерить активную мощность в трехпроводной цепи при несимметричной нагрузке (рис.1П)?
7. Как экспериментально определить последовательность фаз в трехфазной цепи?

 **7. Рабочее задание**

В лабораторной работе исследуют режимы работы трехфазной цепи с 4-проводной (звезда с нейтральным проводом) и 3-проводной (звезда без нейтрального провода) схемами соединений.

7.1. Измерить сопротивления используемых амперметров (рис.1П.). В дальнейшем учесть поправки на это сопротивление при расчетах.

7.2. Собрать электрическую цепь по схеме, показанной на рис. 1П. Установить в блоке **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** сопротивления приемников 150 Ом. Для измерения тока нейтрали предусмотреть измерительный резистор, сопротивление которого на порядок меньше сопротивления амперметра. Измеряя мультиметром напряжение на резисторе *R*, можно найти ток в нейтрали (сопротивление резистора предварительно измеряется омметром).

 Проверить собранную электрическую цепь в присутствии преподавателя.

### *4-проводная трехфазная цепь*

* 1. Включить тумблеры **SA1** модулей **ТРЕХФАЗНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ** и **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ.** Тумблер **SA2** модуля **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ** установить в положение **I2**, выключателем **QF** блока **модуль питания** подключить собранную схему к источнику. Вольтметром **РV** (2–15 В) из блока **МОДУЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ** измерить фазные напряжения , ,  (в дальнейшем , , ) и линейные напряжения , ,  модуля **ТРЕХФАЗНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ (UZ1)**. Измеренные значения занести в протокол измерений. Проверить выполнения соотношений для симметричного источника.

*Симметричный режим*.

* 1. Измерить амперметрами **РА1**, **РА2**, **РА3 и РА4** токи фаз и нейтрали. Вольтметром **РV** измерить фазные напряжения на резисторах приемника , , ,. Рассчитать сопротивления фаз. Определить ток в нейтральном проводе**.** Измеренные значения напряжений, токов и величины сопротивлений фаз занести в табл. 1П протокола измерений. *Указанный порядок действий применить в остальных опытах.*

*Несимметричный режим (выполняется в соответствии с табл.1)*.

* 1. Установить в блоке **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** сопротивления в соответствии с заданием, например, 68 Ом, 150 Ом. Выполнить измерения, данные занести в табл. 1П. Восстановить симметричный режим.

*Обрыв фазы* А

* 1. Разорвать цепь в одной из фаз в точках **Х2(Х3, Х4).** Выполнить измерения и занести данные в табл. 1П. Восстановить цепь разомкнутой фазы.

*Несимметричный режим с реактивной нагрузкой*

* 1. Использовать в блоке **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** сопротивление R, в блоке **модуль реактивных элементов** емкость С, в блоке **модуль дополнительный** L=La + Lв = 250 мГн. Собрать электрическую схему, рассчитанную в подготовке к работе (п.5.1г). Выполнить измерения, данные занести в табл. 1П, построить векторные диаграммы токов и напряжений.

Отключить исследуемую цепь с помощью **QF** от сети**.**

### *3-проводная трехфазная цепь (без нейтрали)*

Отсоединить нейтральный провод. Установить в блоке **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** сопротивленияфаз 150 Ом.

Проверить собранную электрическую цепь в присутствии преподавателя.

Включить **QF**.

*Симметричный режим*

* 1. Измерить токи в фазах амперметрами **РА1**, **РА2** и **РА3**. Вольтметром **РV** (2–15 В) измерить фазные напряжения на приемнике , ,  и напряжение смещения нейтрали . Рассчитать сопротивления фаз. Измеренные значения напряжений и токов фаз занести в табл. 2П. протокола измерений. *Указанный порядок действий применять в остальных режимах 3-проводной цепи.*

*Несимметричный режим*

* 1. В соответствующей фазе установить в блоке **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** сопротивление 68 Ом, 150 Ом. Измерить токи, напряжения и мощности. Измеренные значения занести в табл. 2П. Восстановить симметричный режим цепи.

**Примечание:** напряжения , ,  измерять, используя точку О|.

*Обрыв фазы*

* 1. В соответствии с указаниями, учитывающими номер бригады, разорвать цепь фазы в соответствующих точках **Х2(Х3, Х4)**. Измерить токи и напряжения. Измеренные значения занести в табл. 2П.

*Короткое замыкание фазы*

* 1. В соответствии с указаниями, учитывающими номер бригады, закоротить цепь фазы там, где включена токовая цепь модуля **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ** (соединить проводом точки **I2** и ). Для измерения *тока* *короткого замыкания* использовать амперметр модуля. Измерения остальных токови напряжений выполнить согласно данным выше рекомендациям. Измеренные значения занести в табл. 2П.

*Несимметричный режим с реактивной нагрузкой*

* 1. Использовать в блоке **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** сопротивление R, в блоке **модуль реактивных элементов** емкость С, в блоке **модуль дополнительный** катушку индуктивности L для подключения согласно принципиальной электрической схеме, рассчитанной в подготовке к работе (п.5.2д). Выполнить измерения, данные занести в табл. 2П.

Выключить **QF**. Восстановить симметричный режим работы цепи.

### *Режим определения следования (чередования) фаз*

* 1. Включить в цепь **фазы А** конденсатор емкостью *С* = 22 мкФ из блока **МОДУЛЬ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**. В фазы **В** и **С** – резисторы 150 Ом. Включить **QF**. Выполнить измерения фазных напряжений, данные занести в табл. 3П. Выключить **QF**.
	2. Поменять местами подключение фаз В и С источника. Выполнить измерения, данные занести в табл. 3П.

***Примечание: необходимо* *фазные напряжения измерять относительно точки O'.***

Выключить **QF**, тумблеры **SA1** модулей **ТРЕХФАЗНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ** и **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ** . Протокол измерений утвердить у преподавателя.

### Протокол измерений к лабораторной работе № 9

## *«Трехфазная цепь, соединенная звездой»*

Схема исследуемой цепи представлена на рис. 1П.

трехфазный источник питания

UZ1

SA1

*A*

*C*

*B*

*I2*

*U1*

02

01

a

b

c

PP

*U1*

*I2*

02

01

PP

PА1

PА2

PА3

Х1

Х2

Х3

Х4

Х5

Х6

0

PP

0|

*IA*

*IB*

*IC*

*RA*

*RB*

*RC*

PV

Х7

Х8

измеритель фазы

модуль измерительный

**25-250 мА**

*R*

Рис. 1П

Напряжения источника: = \_\_\_\_ В; = \_\_\_\_ В; = \_\_\_\_ В;

  \_\_\_\_ В;  \_\_\_\_ В;  \_\_\_\_ В.

Проверка соотношения , \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

### *4-проводная трехфазная цепь*

Результаты измерений представлены в табл. 1П.

Таблица 1П

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Режим работы трехфазной цепи | ,В | ,В | ,В | ,В | ,мА | ,мА | ,мА | ,мА |
| Симметричный*RA* = *RВ*= *RС*= Ом |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Несимметричный*RA* = Ом*RВ*= *RС*= Ом |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Обрыв фазы А*RВ* = *RС*= Ом |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Несимметричный режим с *R, C, L* |  |  |  |  |  |  |  |  |

### *3-проводная трехфазная цепь*

Результаты измерений представлены в табл. 2П.

Таблица 2П

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Режим работы трехфазной цепи | ,В | ,В | ,В | ,B | ,мА | ,мА | ,мА | *P*1,Вт | *P*2,Вт |
| Симметричный*RA* = *RВ*= *RС* = =\_\_\_\_\_ Ом |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Несимметричный*RA* = \_\_\_\_ Ом*RВ*= *RС*= \_\_\_\_ Ом |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Обрыв фазы А*RВ*= *RС*= \_\_\_\_ Ом |  |  |  |  |  |  |  | — | — |
| Короткое замыкание фазы А |  |  |  |  |  |  |  | — | — |
| Несимметричный режим с *R, C, L* |  |  |  |  |  |  |  | — | — |

Таблица 3П

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Порядок следования фаз и режим работы | ,В | ,В | ,В | ,B | ,мА | ,мА | ,мА |
| Чередование фаз источника А-В-С C= 22 мкФ, *RВ*= *RС* = 150 Ом |  |  |  |  |  |  |  |
| Чередование фаз источника А-С-В C= 22 мкФ, *RВ*= *RС* =150 Ом |  |  |  |  |  |  |  |

1. **Содержание отчета**
2. Выполнить подготовку к работе.
3. Нарисовать схему трехфазной цепи, указать положительные направления токов.
4. По результатам измерений (табл. 1П, 2П и 3П) построить топографические диаграммы напряжений и векторные диаграммы токов для каждого режима четырех и трехпропроводной трехфазной цепи. Сравнить с диаграммами из подготовки к работе. (Рекомендуется для каждого пункта провести построение диаграмм на одной комплексной плоскости).
5. Рассчитать активную мощность трехпропроводной цепи в симметричном и несимметричном режимах. Сравнить с измеренными методом двух ваттметров величинами. В симметричном режиме проверить выполнение выражения .

**9. Вопросы для защиты работы**

1. Рассчитать токи в цепи рис.1П при симметричной резистивной нагрузке с сопротивлением *R=1*00 Ом .
2. Рассчитать токи в цепи рис.1П при обрыве фазы нагрузки (А), если *R=*100 Ом .
3. Рассчитать токи в цепи рис.1П при обрыве линейного провода, если *R=*150 Ом.
4. Найти активную мощность в цепи рис.1П при симметричной резистивной нагрузке с сопротивлением *R=*250 Ом .
5. Рассчитать токи в цепи рис.1П при симметричной активно-емкостной нагрузке с сопротивлением *R=*50 Ом и *X=*30 Ом.
6. Рассчитать активную мощность в цепи рис.1П при симметричной активно-индуктивной нагрузке с сопротивлением *R=*60 Ом и *X=*20 Ом.
7. Найти коэффициент мощности в цепи рис.1П при симметричной активно-емкостной нагрузке с сопротивлением *R=*200 Ом и *X=*40 Ом.
8. По значениям табл. 3П рассчитать линейное напряжение на нагрузке *UАВ* .
9. По значениям табл. 3П рассчитать линейное напряжение на нагрузке *UВС* .
10. По значениям табл. 3П рассчитать линейное напряжение на нагрузке *UСА* .
11. По значениям табл. 3П рассчитать активную мощность всей трехфазной цепи на рис.1П.
12. По значениям табл. 3П рассчитать реактивную мощность всей трехфазной цепи на рис.1П.
13. По значениям табл. 3П рассчитать коэффициент мощности всей трехфазной цепи на рис.1П