

Министерство науки и высшего образования РФ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



Кафедра ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Лабораторная работа № 9 по дисциплине «Теоретические основы электротехники»

«Трёхфазная цепь, соединенная звездой»

Студент:	
Группа:	
Бригада:	
Подпись студента:	
Дата выполнения:	
Дата защиты:	
Оценка:	
Преподаватель:	
Подпись преподавателя:	

Москва 2024

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является экспериментальное исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении фаз нагрузки «звездой».

2 СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В лабораторной работе исследуют режимы работы трехфазной цепи с четырехпроводной (с нейтральным проводом) и трехпроводной (без нейтрального провода) схемой соединения. Фазные обмотки источника и приемника соединены в «звезду».

Источником симметричного трехфазного напряжения является модуль **ТРЕХФАЗНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ (UZ1)**. Источник создает систему напряжений прямого следования фаз с фазным напряжением $U_{\phi}=7$ В.

Линейные токи измеряют амперметрами **РА1; РА2; РА3** из блока **МОДУЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ 25–250** мА. Вольтметром **PV (2–15 В)** из блока **МОДУЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ** или **ЭЛЕКТРОННЫМ ВОЛЬТМЕТРОМ** измеряют фазные напряжения. Для измерений в нейтральном проводе используют мультиметр **PP**. Активную мощность в трехпроводной схеме трехфазной цепи измеряют ваттметром модуля **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ**.

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

Замечание. Используемые амперметры **РА1; РА2; РА3** имеют внутреннее сопротивление, которое необходимо учесть при оценке результатов измерений и теоретического расчета (при выполнении расчетов для всех пунктов подготовки сопротивления всех амперметров нужно принять равными $R_A=10$ Ом).

Перед проведением лабораторной работы сопротивление амперметров необходимо измерить!

3. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

3.1. Четырехпроводная трехфазная цепь

Фазное напряжение источника $U_{\phi}=7$ В, нейтральный провод – идеальный. Рассчитать токи, построить векторные диаграммы токов и топографические диаграммы напряжений (в масштабе) для следующих режимов:

а) *Симметричный режим.*

Сопротивления резистивной нагрузки в фазах $R_A=R_B=R_C=150$ Ом.

б) *Обрыв фазы* одного линейного провода в соответствии с табл. 1; сопротивления нагрузок остальных фаз не изменяются.

Таблица 1

Номер бригады	Обрыв фазы	Короткое замыкание фазы
1, 7, 13, 19	<i>A</i>	<i>C</i>
2, 8, 14, 20	<i>C</i>	<i>A</i>
3, 9, 15, 21	<i>A</i>	<i>A</i>
4, 10, 16, 22	<i>C</i>	<i>C</i>
5, 11, 17, 23	<i>C</i>	<i>A</i>
6, 12, 18, 24	<i>A</i>	<i>C</i>

в) *Несимметричный режим.*

- Сопротивления резистивной нагрузки в фазах заданы в табл. 2.
- В одной из фаз – реактивная нагрузка (табл. 3).

Таблица 2

Номер бригады	Нагрузка в фазе А	Нагрузка в фазе В	Нагрузка в фазе С
1, 7, 13, 19	$R_A=68 \text{ Ом}$	$R_B=150 \text{ Ом}$	$R_C=150 \text{ Ом}$
2, 8, 14, 20	$R_A=150 \text{ Ом}$	$R_B=68 \text{ Ом}$	$R_C=150 \text{ Ом}$
3, 9, 15, 21	$R_A=150 \text{ Ом}$	$R_B=150 \text{ Ом}$	$R_C=68 \text{ Ом}$
4, 10, 16, 22	$R_A=330 \text{ Ом}$	$R_B=150 \text{ Ом}$	$R_C=150 \text{ Ом}$
5, 11, 17, 23	$R_A=150 \text{ Ом}$	$R_B=330 \text{ Ом}$	$R_C=150 \text{ Ом}$
6, 12, 18, 24	$R_A=150 \text{ Ом}$	$R_B=150 \text{ Ом}$	$R_C=330 \text{ Ом}$

Таблица 3

Номер бригады	В фазе А	В фазе В	В фазе С
1, 13	$L=0,13 \text{ Гн}$	$R=68 \text{ Ом}$	$R=68 \text{ Ом}$
2, 14	$R=68 \text{ Ом}$	$L=0,13 \text{ Гн}$	$R=68 \text{ Ом}$
3, 15	$R=68 \text{ Ом}$	$R=68 \text{ Ом}$	$L=0,13 \text{ Гн}$
4, 16	$C=56 \text{ мкФ}$	$R=47 \text{ Ом}$	$R=47 \text{ Ом}$
5, 17	$R=47 \text{ Ом}$	$C=56 \text{ мкФ}$	$R=47 \text{ Ом}$
6, 18	$R=47 \text{ Ом}$	$R=47 \text{ Ом}$	$C=56 \text{ мкФ}$
7, 19	$L=0,13 \text{ Гн}$	$R=47 \text{ Ом}$	$R=47 \text{ Ом}$
8, 20	$R=47 \text{ Ом}$	$L=0,13 \text{ Гн}$	$R=47 \text{ Ом}$
9, 21	$R=47 \text{ Ом}$	$R=47 \text{ Ом}$	$L=0,13 \text{ Гн}$
10, 22	$C=56 \text{ мкФ}$	$R=68 \text{ Ом}$	$R=68 \text{ Ом}$
11, 23	$R=68 \text{ Ом}$	$C=56 \text{ мкФ}$	$R=68 \text{ Ом}$
12, 24	$R=68 \text{ Ом}$	$R=68 \text{ Ом}$	$C=56 \text{ мкФ}$

3.2. Трехпроводная трехфазная цепь

Фазное напряжение источника $U_{\phi}=7 \text{ В}$. Рассчитать токи, напряжение смещения нейтрали, напряжения на фазах приемника $U_{A0'}$, $U_{B0'}$, $U_{C0'}$. Построить векторные диаграммы токов и топографические диаграммы напряжений.

а) *Симметричный режим.*

Сопротивления резистивной нагрузки в фазах $R_A=R_B=R_C=150 \text{ Ом}$.

б) *Обрыв фазы* одного линейного провода в соответствии с табл. 1; сопротивления нагрузок остальных фаз не изменяются.

в) *Короткое замыкание фазы* в соответствии с табл. 1; сопротивления нагрузок остальных фаз не изменяются.

г) *Несимметричный режим.*

- Сопротивления резистивной нагрузки в фазах заданы в табл. 2.
- В одной из фаз – реактивная нагрузка (табл. 3).

3.3. Измерение активной мощности трехпроводной трехфазной цепи

Нарисовать схему для измерения активной мощности трехпроводной трехфазной цепи двумя ваттметрами. Для пунктов 3.2 а) и г) рассчитать активную мощность приемника и показания ваттметров. Составить баланс активной мощности.

4. ВОПРОСЫ ДЛЯ ДОПУСКА СТУДЕНТОВ К РАБОТЕ

1. Обозначить на схеме рис. 1П линейные и фазные токи и напряжения. Как измерить эти величины?

2. Рассказать последовательность выполнения измерений в цепи на рис. 1П при различных режимах работы четырехпроводной трехфазной цепи: в симметричном режиме, при обрыве фазы нагрузки, в несимметричных режимах с резистивной и реактивной нагрузкой.

3. Рассказать последовательность выполнения измерений в цепи на рис. 1П при различных режимах работы трехпроводной трехфазной цепи: в симметричном режиме, при обрыве фазы нагрузки, в режиме короткого замыкания, в несимметричных режимах с резистивной и реактивной нагрузкой.

4. Как осуществляется определение порядка чередования фаз в трехпроводной трехфазной цепи?

5. Как измерить активную мощность в трехпроводной трехфазной цепи при помощи двух ваттметров?

6. Как наличие нейтрального провода влияет на режимы работы трехфазной цепи?

5. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

Исследование трехфазного источника

- Включить выключатель **QF** блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ** и тумблеры **SA1** модулей **ТРЕХФАЗНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ** и **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ**.

- Вольтметром **PV** измерить фазные напряжения U_{A0} , U_{B0} , U_{C0} (в дальнейшем U_A , U_B , U_C) и линейные напряжения U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} модуля **ТРЕХФАЗНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ (UZ1)**. Измеренные значения занести в протокол измерений. Проверить выполнения соотношений для симметричного источника.

- Использовать прибор **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ** для измерения комплексных напряжений (потенциалов) \underline{U}_A , \underline{U}_B , \underline{U}_C источника. Собрать электрическую цепь по схеме, приведенной на рис. 1. Тумблер **SA2** модуля **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ** установить в положение **U2**. Провести измерение комплексных потенциалов \underline{U}_B и \underline{U}_C , приняв $\underline{U}_A = U_A \angle 0$.

- Собрать электрическую цепь по схеме, показанной на рис. 1П. Установить в блоке **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** значения резистивных сопротивлений $R_A=R_B=R_C=150$ Ом. Мультиметр **PP** в нейтральном проводе включить в режим измерения переменного тока.

- Проверить собранную электрическую цепь в присутствии преподавателя.

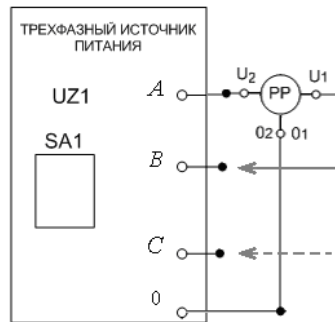


Рис. 1. Схема для измерения комплексных фазных напряжений источника

Четырехпроводная трехфазная цепь

- Включить выключатель **QF** блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ** и тумблеры **SA1** модулей **ТРЕХФАЗНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ** и **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ**. Тумблер **SA2** модуля **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ** установить в положение **I2**.

- *Симметричный режим.* Измерить амперметрами **РА1**, **РА2** и **РА3** токи фаз. Вольтметром **PV** измерить фазные напряжения на приемнике U_{A0} , U_{B0} , U_{C0} . Рассчитать сопротивления фаз. Ток в нейтральном проводе измерить мультиметром **PP**. Измеренные значения напряжений, токов и величины сопротивлений фаз занести в табл. 1П протокола измерений. *Указанный порядок действий применить в остальных опытах.*

- *Обрыв фазы.* Провести опыт с обрывом линейного провода одной из фаз (табл. 1). Выполнить измерения и занести их в табл. 1П. Восстановить цепь.

- *Несимметричный режим при резистивной нагрузке.* Установить в блоке **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** значения сопротивлений резисторов R_A , R_B , R_C в соответствии с данными табл. 2. Выполнить измерения, данные занести в табл. 1П.

- *Несимметричный режим при реактивной нагрузке.* Выбрать нагрузку на фазу в соответствии с данными табл. 2 из **МОДУЛЯ РЕЗИСТОРОВ (R)**, **МОДУЛЯ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (C)** и **МОДУЛЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО (L_a)**. Выполнить измерения, данные занести в табл. 1П.

- Выключить тумблер **SA1** модуля **ТРЕХФАЗНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ**.

Трехпроводная трехфазная цепь

- Переключить мультиметр **PP** в нейтральном проводе на режим измерения переменного напряжения. Установить в блоке **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** значения резистивных сопротивлений фаз $R_A=R_B=R_C=150$ Ом.

- Проверить собранную электрическую цепь в присутствии преподавателя.

- Включить тумблер **SA1** модуля **ТРЕХФАЗНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ**.

- *Симметричный режим.* Выполнить приборами **РА1**, **РА2** и **РА3** измерения токов фаз. Вольтметром **PV** (2–15 В) измерить фазные напряжения на приемнике U_{A0} , U_{B0} , U_{C0} ; мультиметром **PP** – напряжение смещения нейтрали $U_{0'0}$. Рассчитать сопротивления фаз. Измеренные значения напряжений и токов фаз занести в табл 2П. протокола измерений. *Указанный порядок действий применять в остальных режимах трехпроводной цепи.*

- Ваттметром модуля **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ** определить показания P_1 при включение токовой цепи модуля в линию А, затем P_2 при включении токовой цепи модуля в линию С. Измеренные значения занести в табл. 2П.

- *Обрыв фазы.* Провести опыт с обрывом линейного провода одной из фаз (табл. 1). Выполнить измерения токов и напряжений и занести данные в табл. 2П. Восстановить цепь.

- *Короткое замыкание фазы.* Закоротить фазу А или С (табл. 1), где включена токовая цепь модуля **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ** (соединить проводом точки I_2 и $0'$). Для измерения *тока короткого замыкания* использовать амперметр модуля. Измерения остальных токов и напряжений выполнить согласно данным выше рекомендациям. Измеренные значения занести в табл. 2П. Восстановить цепь.

- *Несимметричный режим при резистивной нагрузке.* Установить в блоке **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** сопротивления R_A, R_B, R_C в соответствии с данными табл. 2. Выполнить измерения токов, напряжений и мощностей. Измеренные значения занести в табл. 2П.

- *Несимметричный режим при реактивной нагрузке.* Выбрать нагрузку в фазу в соответствии с данными табл. 2 из **МОДУЛЯ РЕЗИСТОРОВ (R)**, **МОДУЛЯ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (C)** и **МОДУЛЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО (L_a)**. Выполнить измерения токов, напряжений и мощностей. Измеренные значения занести в табл. 2П.

Определение порядка чередования фаз

- Установить в блоке **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** значения резистивных сопротивлений фаз $R_B=R_C=150$ Ом. В фазе А включить конденсатор емкостью $C=22$ мкФ из блока **МОДУЛЬ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**. Включить тумблер SA1 модуля питания.

- Выполнить измерения фазных напряжений нагрузки. Измеренные значения занести в табл. 3П. Выключить тумблер SA1 модуля питания.

- Выключить тумблеры SA1 модулей **ТРЕХФАЗНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ** и **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ** и выключатель QF блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ**.

- Протокол измерений утвердить и подписать у преподавателя.

6. ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЙ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 9

Исследование трехфазного источника

Схема исследуемой цепи представлена на рис. 1П.

Напряжения источника: $U_A = \underline{\quad}$ В; $U_B = \underline{\quad}$ В; $U_C = \underline{\quad}$ В;

$U_{AB} = \underline{\quad}$ В; $U_{BC} = \underline{\quad}$ В; $U_{CA} = \underline{\quad}$ В.

Проверка соотношения $U_{Л} = \sqrt{3}U_{Ф}$, $\underline{\quad}$.

Комплексные фазные напряжения источника:

$\underline{U}_A = \underline{\quad}$ В; $\underline{U}_B = \underline{\quad}$ В; $\underline{U}_C = \underline{\quad}$ В.

Сопротивления амперметров: $\underline{\quad}$

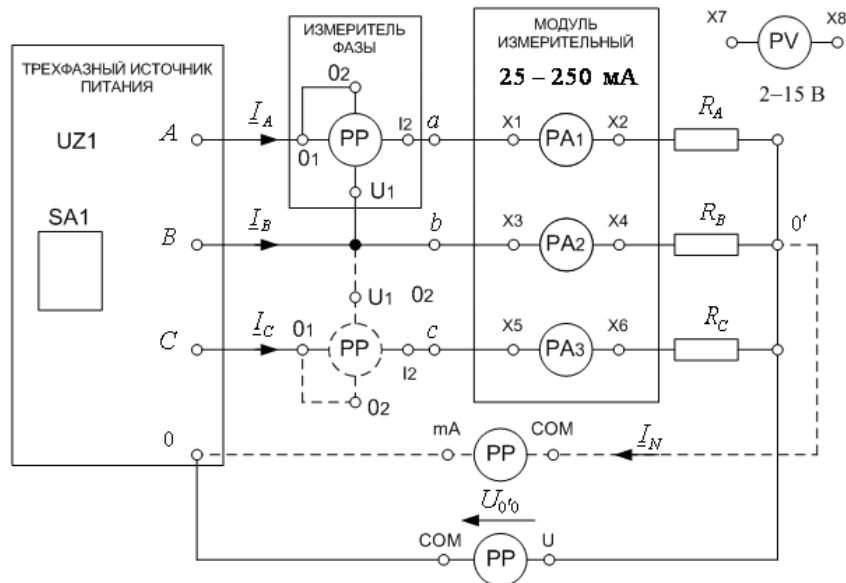


Рис. 1П

Четырехпроводная трехфазная цепь

Результаты измерений представлены в табл. 1П.

Таблица 1П

Режим работы трехфазной цепи	$U_{A0'}$, В	$U_{B0'}$, В	$U_{C0'}$, В	I_A , мА	I_B , мА	I_C , мА	I_N , мА
Симметричный $R_A=R_B=R_C=$ Ом							
Обрыв фазы фаза А фаза В фаза С							
Несимметричный $R_A=$ Ом, $R_B=$ Ом, $R_C=$ Ом							
Несимметричный с реактивной нагрузкой фаза А фаза В фаза С							

Трехпроводная трехфазная цепь

Результаты измерений представлены в табл. 2П.

Таблица 2П

Режим работы трехфазной цепи	$U_{A0'}$, В	$U_{B0'}$, В	$U_{C0'}$, В	$U_{0'0}$, В	I_A , мА	I_B , мА	I_C , мА	P_1 , Вт	P_2 , Вт
Симметричный $R_A=R_B=R_C=$ Ом									
Обрыв фазы фаза А фаза В фаза С								—	—
Короткое замыкание фазы фаза А фаза В фаза С								—	—
Несимметричный $R_A=$ Ом, $R_B=$ Ом, $R_C=$ Ом									
Несимметричный с реактивной нагрузкой фаза А фаза В фаза С									

Определение порядка чередования фаз с использованием фазоуказателя

Результаты измерений представлены в табл. 3П.

Таблица 3П

Режим работы трехфазной цепи	$U_{A0'}$, В	$U_{B0'}$, В	$U_{C0'}$, В	$U_{0'0}$, В	I_A , мА	I_B , мА	I_C , мА
фаза А: $C=22$ мкФ фаза В: $R=150$ Ом фаза С: $R=150$ Ом							

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Корректно оформленная подготовка к работе.
2. Нарисовать схемы замещения трехфазной цепи для каждого опыта, указав положительные направления токов. По результатам измерений (табл. 1П, 2П и 3П) построить топографические диаграммы напряжений и векторные диаграммы токов для каждого режима четырехпроводной и трехпроводной трехфазной цепи. Сравнить с диаграммами из подготовки к работе.
3. Рассчитать активную мощность трехпроводной трехфазной цепи в симметричном и несимметричном режимах, сравнить с результатами измерений. Проверить выполнение выражения $P = \sqrt{3}U_{л} I_{л} \cos \varphi$ в симметричном режиме.
4. Сделать письменный вывод о проделанной работе.

8. ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАБОТЫ

Все ответы на вопросы должны сопровождаться необходимыми схемами, формулами, численными результатами расчётов, графическими иллюстрациями (графиками, диаграммами и т.д.) и содержать однозначный ответ на поставленные вопросы.

1. Приведите основные соотношения в трехфазной системе с соединением фазных обмоток источника и нагрузки звездой с нулевым проводом и без него.

2. Будут ли отличаться результаты эксперимента (четырёхпроводная трехфазная цепь), если в нулевом проводе в качестве измерительного прибора будет использован стрелочный амперметр с внутренним сопротивлением порядка 10 Ом? Как учесть при расчете внутреннее сопротивление амперметра?

3. Для каких трехфазных систем можно применить измерение активной мощности методом двух ваттметров? Почему? Ответ обоснуйте.

4. Как проводится измерение активной мощности в трехфазной цепи при наличии нулевого провода? На основе расчета продемонстрируйте, как определяется активная мощность в четырехпроводной системе при симметричной резистивной нагрузке при подключении ваттметров.

5. Как проводится измерение активной мощности в трехфазной цепи при наличии нулевого провода? На основе расчета продемонстрируйте, как определяется активная мощность в четырехпроводной системе при несимметричной резистивной нагрузке при подключении ваттметров.

6. Составьте баланс активной мощности для четырехпроводной трехфазной цепи при симметричной резистивной нагрузке.

7. Составьте баланс активной мощности для четырехпроводной трехфазной цепи при несимметричной резистивной нагрузке.

8. Произведите расчет активной мощности в трехпроводной трехфазной цепи при несимметричной резистивной нагрузке, используя данные из подготовки и опытные данные; сравните результаты расчетов.

9. Произведите расчет активной мощности в трехпроводной трехфазной цепи при обрыве одной фазы, используя данные из подготовки и опытные данные; сравните результаты расчетов.

10. Произведите расчет активной мощности в трехпроводной трехфазной цепи при реактивной нагрузке в одной фазе, используя данные из подготовки и опытные данные; сравните результаты расчетов.

11. Как используют фазоуказатель? Как изменятся результаты эксперимента, если вместо емкостной нагрузки использовать индуктивную нагрузку ($X_L = X_C$)? Приведите расчеты, постройте ВДТ и ТДН.

12. Произведите расчет четырехпроводной трехфазной цепи для указанного преподавателем режима в случае, если нейтральный провод является неидеальным: $Z_N \neq 0$ (значение Z_N задается преподавателем). Постройте ВДТ и ТДН, составьте баланс комплексной мощности.