

Министерство науки и высшего образования РФ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



Кафедра ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Лабораторная работа № 10 по дисциплине «Теоретические основы электротехники»

«Трехфазная цепь, соединенная треугольником»

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

Москва 2024

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Трёхфазная электрическая цепь представляет собой совокупность трёхфазных источников, трёхфазной нагрузки и трёхпроводной (или четырёхпроводной) системы проводов, связывающих источники и нагрузку.

Слово «фаза» в этих цепях нужно понимать как двухпроводную электрическую цепь. Каждая фаза имеет буквенное обозначение. В России фазы обозначаются заглавными буквами A, B, C . За рубежом кроме обозначений A, B, C применяют буквы R, S, T или используют двойные символы $L1, L2, L3$. Нулевой провод обозначается буквой N .

В качестве трёхфазных источников чаще других применяются синхронные генераторы. На статоре синхронного генератора помещены 3 обмотки, которые сдвинуты в пространстве относительно друг друга на 120° , в которых индуцируются фазные ЭДС, изменяющиеся по синусоидальному закону:

$$e_A = E_m \sin \omega t, \quad e_B = E_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}), \quad e_C = E_m \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}).$$

Обмотки генератора включаются в звезду (рис. 1а) или в треугольник (рис. 1б). Концы обмоток обычно маркируют буквами: A – начало, x – конец обмотки фазы A . Соответственно для фазы B – ($B-y$), для фазы C – ($C-z$).

Аналогично соединяются и маркируются вторичные обмотки трансформаторов, включенных в трёхфазную цепь. В этом случае обмотки трансформатора могут считаться для приемника обмотками генератора.

Для получения соединения звездой у источников соединяют вместе концы обмоток $x-y-z$ (рис. 1а), для получения соединения обмоток источников треугольником концы обмотки одной фазы соединяют с началом другой и так до полного замыкания (рис. 2а), например, $Ax \rightarrow By \rightarrow Cz \rightarrow A$.

Фазные ЭДС источников можно заменить на фазные напряжения в силу малости внутреннего сопротивления обмоток источника. В этом случае имеем:

$$e_A = u_A, \quad e_B = u_B, \quad e_C = u_C.$$

На рис. 1б и 2б представлены векторные диаграммы напряжений соответственно для соединений обмоток генератора звездой и треугольником.

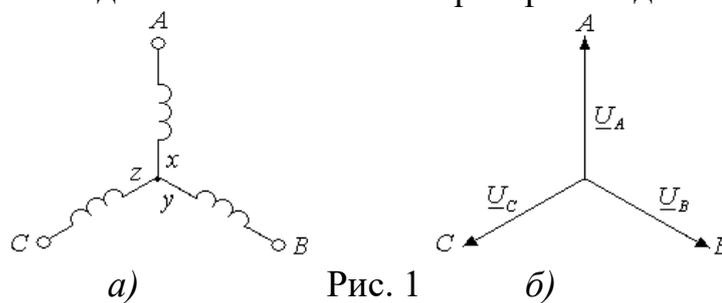


Рис. 1

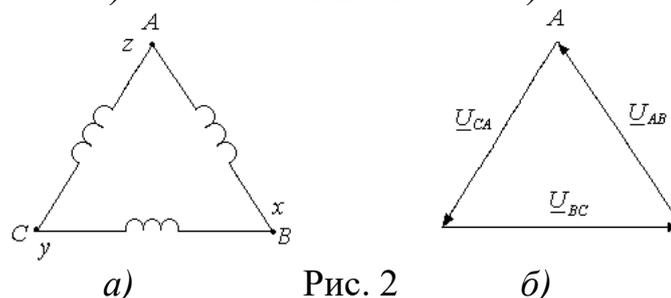


Рис. 2

Симметричный режим трехфазных цепей при соединении фаз приемника треугольником

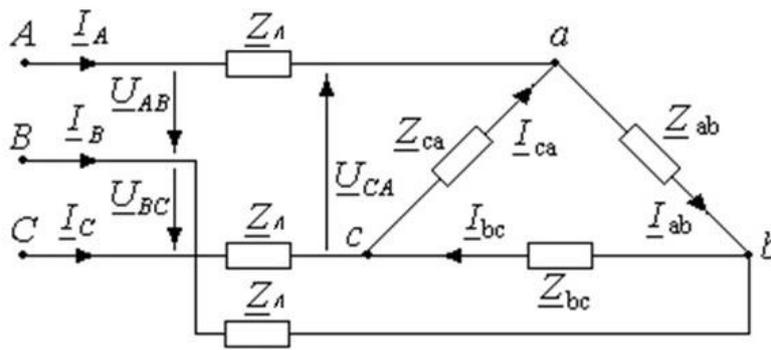


Рис. 3а

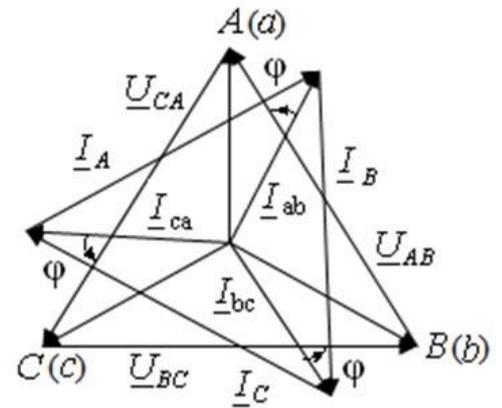


Рис. 3б

Симметричный режим в схеме на рис. 3а имеет место при $Z_{ab}=Z_{bc}=Z_{ca}=Z$. Сопротивления линии Z_l во всех фазах предполагаются одинаковыми. Фазные напряжения на входе цепи равны:

$$\underline{U}_A = \frac{U_{AB}}{\sqrt{3}} \cdot 1 \angle -30^\circ; \quad \underline{U}_B = \underline{U}_A \cdot 1 \angle -120^\circ; \quad \underline{U}_C = \underline{U}_A \cdot 1 \angle 120^\circ.$$

Если пренебречь сопротивлением линии $Z_l \approx 0$, то тогда фазные токи определяются из закона Ома:

$$\underline{I}_{ab} = \frac{U_{AB}}{Z}; \quad \underline{I}_{bc} = \frac{U_{BC}}{Z}; \quad \underline{I}_{ca} = \frac{U_{CA}}{Z}.$$

Все токи равны по величине, но сдвинуты относительно друг друга на 120° :

$$\underline{I}_{bc} = \underline{I}_{ab} \cdot 1 \angle -120^\circ; \quad \underline{I}_{ca} = \underline{I}_{ab} \cdot 1 \angle 120^\circ.$$

Линейные токи рассчитываются по первому закону Кирхгофа.

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

На рис. 3б представлена векторная диаграмма. Комплексное значение тока \underline{I}_A находится из выражения:

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca} = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ab} \cdot 1 \angle 120^\circ = \sqrt{3} \underline{I}_{ab} \cdot 1 \angle -30^\circ.$$

При симметричной нагрузке, соединенной треугольником, линейные токи больше фазных в $\sqrt{3}$ раз и сдвинуты по фазе от фазных токов на угол -30° .

Если $Z_l \neq 0$, то проще всего преобразовать соединение «звезда»-«треугольник» в соединение «звезда»-«звезда» и для полученной эквивалентной схемы замещения найти линейные токи:

$$\underline{I}_A = \frac{\underline{U}_A}{\frac{Z}{3} + Z_l}; \quad \underline{I}_B = \frac{\underline{U}_B}{\frac{Z}{3} + Z_l}; \quad \underline{I}_C = \frac{\underline{U}_C}{\frac{Z}{3} + Z_l}.$$

Фазные токи в дальнейшем могут быть найдены при рассмотрении исходной схемы замещения трехфазной цепи (рис. 1а при $Z_l \neq 0$) и применении законов Кирхгофа.

Несимметричный режим трехфазной цепи при соединении фаз приемника треугольником

Схема замещения цепи такая же, как на рис. 3а, но $Z_{ab} \neq Z_{bc} \neq Z_{ca}$. При $Z_{\Sigma} = 0$ фазные токи определяются по формулам:

$$\underline{I}_{ab} = \frac{U_{AB}}{Z_{ab}}; \quad \underline{I}_{bc} = \frac{U_{BC}}{Z_{bc}}; \quad \underline{I}_{ca} = \frac{U_{CA}}{Z_{ca}}.$$

Соотношение между линейными и фазными токами при несимметричной нагрузке не равно $\sqrt{3}$: $I_{\Sigma} \neq \sqrt{3}I_{\phi}$.

Если $Z_{\Sigma} \neq 0$, то после преобразования соединения «звезда»-«треугольник» в соединение «звезда»-«звезда» в нагрузке будет несимметричная «звезда». Порядок расчета этой эквивалентной «звезды» такой же, как и несимметричной «звезды». Следует заметить, что несимметричный режим трехфазной цепи при соединении нагрузки треугольником иногда используется в электротехнической практике и не относится к аварийным, хотя и не является желательным.

Мощность в трехфазной цепи

Мгновенная мощность трехфазной системы равна сумме мгновенных мощностей во всех фазах:

$$p = p_A + p_B + p_C = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C.$$

Средняя за период T мощность равна сумме мощностей отдельных фаз:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T p_A dt + \frac{1}{T} \int_0^T p_B dt + \frac{1}{T} \int_0^T p_C dt = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C.$$

При симметричном приемнике мгновенная мощность трехфазной системы не зависит от времени:

$$P = p_A + p_B + p_C = \frac{3}{2} U_m I_m \cos \varphi = 3 U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi,$$

где U_m, I_m – амплитудные значения напряжения и тока,

U_{ϕ}, I_{ϕ} – модули действующих значений фазных напряжения и тока,

φ – разность фаз между фазными напряжением и током.

Мощность трехфазной системы при симметричном приемнике является постоянной величиной и равна средней мощности за период $P = 3U_{\phi}I_{\phi}\cos\varphi$. Трехфазная система, обладающая этим свойством, называется уравновешенной.

В трехфазной системе общими величинами для источника и приемника являются напряжения между проводами U_{Σ} и токи в проводах I_{Σ} , поэтому принято мощность выражать через линейные величины:

$$P = \sqrt{3} U_{\Sigma} I_{\Sigma} \cos \varphi.$$

Реактивную мощность определяют по формуле:

$$Q = \sqrt{3} U_{\Sigma} I_{\Sigma} \sin \varphi.$$

Полная мощность в уравновешенной системе равна:

$$S = \sqrt{3} U_{\Sigma} I_{\Sigma}.$$

Коэффициент мощности симметричной трехфазной системы:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}.$$

Измерение мощностей в трехфазных трехпроводных цепях

В трехпроводной трехфазной цепи для измерения активной мощности применяют схему двух ваттметров (рис. 4). Схема с двумя ваттметрами применяется как для симметричной, так и для несимметричной нагрузки, причем для несимметричной нагрузки схема на рис. 4. является основной. Эта схема допускает также перенос ваттметров в другие фазы.

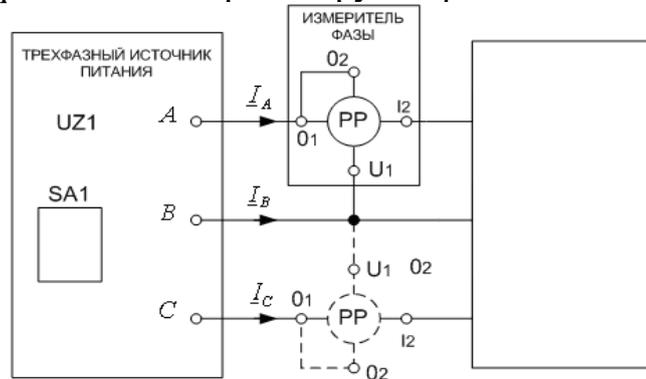


Рис. 4

На рис. 4 в качестве ваттметра изображен измеритель фазы, которым в работе измеряется мощность. Активная мощность, потребляемая нагрузкой, равна алгебраической сумме показаний ваттметров $P=P_{W1}+P_{W2}$.

При симметричном режиме реактивную мощность также можно измерить по схеме рис. 4. В этом случае реактивная мощность равна разности показаний ваттметров $Q=\sqrt{3}(P_{W2}-P_{W1})$.

Компенсация реактивной мощности

Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения необходима для того, чтобы уменьшить потребление реактивной мощности от источника при подключении к нему приемника, потребляющего не только активную, но и реактивную мощность (большинство приемников имеет активно-индуктивный характер). Если скомпенсировать реактивную мощность, то уменьшится значение полной мощности и значение тока в линии, что приведет к снижению потерь активной мощности в сети. В этом заключается положительный эффект от компенсации реактивной мощности.

Для повышения коэффициента мощности ($\cos\varphi=P/S$) в электрических цепях синусоидального тока применяют различные средства, например, конденсаторные установки, работающие в том числе в автоматическом режиме, поддерживая заданное значение $\cos\varphi$. Обычно конденсаторные установки подключают к сети треугольником. В данной лабораторной работе для упрощения рабочей схемы конденсаторы подключаются звездой (рис. 3П).

Анализировать явление компенсации в трехфазной цепи на рис. 3П удобно с помощью эквивалентной однофазной схемы (рис. 5а), полученной в результате преобразования «треугольника» в «звезду». Векторная диаграмма, иллюстрирующая процесс компенсации в этой схеме, приведена на рис. 5б.

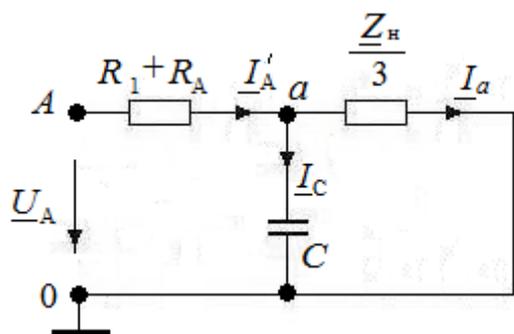


Рис. 5а

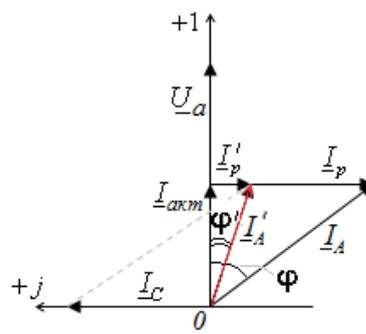


Рис. 5б

После компенсации реактивной мощности для цепи имеем:

$$\underline{I}_A' = \underline{I}_A + \underline{I}_C$$

Здесь $\underline{I}_A = \underline{I}_a$ и представляет ток в цепи до компенсации.

Из векторной диаграммы (рис. 5б) видно, что после компенсации реактивной мощности ток в линии уменьшается по модулю ($I_A' < I_A$), также как и значение разности фаз между напряжением и током φ ($\varphi' < \varphi$).

Следует подчеркнуть, что реактивная мощность самого приемника зависит только от условий его работы, а компенсация происходит на входе приемника с параллельно включенным компенсирующим устройством.

Комплексная мощность трехфазного симметричного приемника \underline{S}_H при активно-индуктивном характере нагрузки равна:

$$\underline{S}_H = P_H + jQ_H.$$

где P_H , Q_H – соответственно активная и реактивная мощности приемника.

Коэффициент реактивной мощности $\text{tg}\varphi_H$ находится из выражения

$$\text{tg}\varphi_H = \frac{P_H}{S_H}.$$

Реактивная емкостная мощность конденсатора для рассматриваемой однофазной схемы (рис. 5а) и во всех трех фазах:

$$Q_C = \frac{U_{ao}^2}{X_C}.$$

$$Q_{3C} = 3 \frac{U_{ao}^2}{X_C} = \frac{U_{ab}^2}{X_C}.$$

Комплексная мощность на входе приемника после компенсации реактивной мощности:

$$\underline{S}_H = P_H + jQ_{\text{комп}} = P_H + j(Q_H - jQ_{3C}).$$

Коэффициент реактивной мощности после компенсации $\text{tg}\varphi_{\text{комп}}$ равен:

$$\text{tg}\varphi_{\text{комп}} = \frac{Q_H - Q_{3C}}{P_H}.$$

Активная мощность приемника P_H почти не изменяется в процессе компенсации, следовательно, можно найти требуемую реактивную мощность:

$$Q_{3C} = Q_H - P_H \text{tg}\varphi_{\text{комп}} = P_H (\text{tg}\varphi_H - \text{tg}\varphi_{\text{комп}}).$$

Из полученного выражения можно найти величину Q_{3C} и далее емкость конденсатора C , необходимую для получения необходимого значения $\text{tg}\varphi_{\text{комп}}$.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является экспериментальное исследование симметричных и несимметричных режимов работы трехфазной цепи при соединении приемника «треугольником». Для приемника с резистивно-индуктивной нагрузкой исследуется возможность компенсации реактивной мощности.

2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В качестве источника симметричного трехфазного напряжения используют модуль **ТРЕХФАЗНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ (U_Л1)** с линейным напряжением $U_{Л}=12$ В. Обмотки трехфазного источника соединены в «звезду», фазы приемника соединяются в «треугольник».

Исследуются 2 типа приемников: резистивный и активно-индуктивный.

В цепи с резистивным приемником цепи соединения выполняются по схеме рис. 1П. Фазы приемника в этой схеме состоят только из резисторов **МОДУЛЯ РЕЗИСТОРОВ**.

В цепи с активно-индуктивным приемником (рис. 2П) источник близок к идеальному, фаза приемника состоит из последовательного соединения идеальных индуктивных катушек с индуктивностью L_a (L_b , L_c) **ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО МОДУЛЯ** и неидеальных индуктивных катушек **МОДУЛЯ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ** с индуктивностью L_n . Неидеальные индуктивные катушки имеют активное сопротивление R_n .

Амперметры A_{ab} , A_{ab} , A_{ab} , расположенные в фазах нагрузки, имеют внутреннее сопротивление $R_A \approx 10$ Ом. Между источником и приемником включены амперметры A_A , A_B , A_C с внутренним сопротивлением $R_A \approx 10$ Ом. Сопротивления этих амперметров вместе с резистивным сопротивлением R_1 имитируют сопротивления соединительных проводов линии.

Для измерения фазных и линейных токов используются амперметры электромагнитной системы из блока **МОДУЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ**, напряжения измеряют **МУЛЬТИМЕТРОМ** в режиме вольтметра, вольтметром **PV** (2–15 В) из блока **МОДУЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ** и **ЭЛЕКТРОННЫМ ВОЛЬТМЕТРОМ**. Активные и реактивные мощности измеряют методом двух ваттметров с помощью **МОДУЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬ МОЩНОСТИ И ФАЗЫ** по схеме рис. 4. В симметричной трехфазной цепи в лабораторных условиях удобно применять метод двух ваттметров, используя схему на рис. 4 с одним ваттметром. Для этого реализуют два режима:

1. Измеряют мощность P_{W1} по схеме рис. 4;
2. Меняют фазы А и С местами у источника и измеряют мощность P_{W2} ;
3. Вычисляют мощности по формулам $P=P_{W1}+P_{W2}$, $Q=\sqrt{3}(P_{W2}-P_{W1})$.

3. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

При выполнении расчетов для всех пунктов подготовки сопротивления всех амперметров принять равными $R_A=10$ Ом.

3.1. Для схемы на рис. 1П ($U_{Л}=12$ В) рассчитать токи, построить векторную диаграмму токов и напряжений для следующих режимов:

- а) симметричный режим с резистивным приемником R (см. табл. 1П);
- б) обрыв в одной из фаз приемника (в остальных фазах остается

резистивная нагрузка);

в) обрыв в линейном проводе (нагрузка в фазах – резистивная).

3.2. Для схемы на рис. 2П с симметричным активно-индуктивным приемником рассчитать токи, активную и реактивную мощность, коэффициент мощности $\cos\varphi$ приемника. Фаза приемника состоит из последовательного соединения индуктивных катушек L_a (L_b , L_c) **ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО МОДУЛЯ**, индуктивных катушек **МОДУЛЯ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ** L и подключается к выводам *abc*. Индуктивные катушки L содержат также активное сопротивление R . На схеме рис. 2П параметры катушки указаны как L_n и R_n . Данные для расчета берутся из табл. 1П.

3.3. Определить коэффициент мощности нагрузки после подключения компенсирующего устройства (КУ) (рис. 3П).

3.4. Записать формулы для определения активной P и реактивной мощности Q , коэффициента мощности $\cos\varphi$ после компенсации в трехфазной цепи (относительно выводов *abc*) по показаниям приборов в схеме на рис. 2П (см. Теоретическую справку).

Варианты задания, значения параметров элементов схем R , R_1 , L_a (L_b , L_c), R_n , L_n , емкости конденсаторов компенсирующего устройства (КУ) C приведены в табл. 1П.

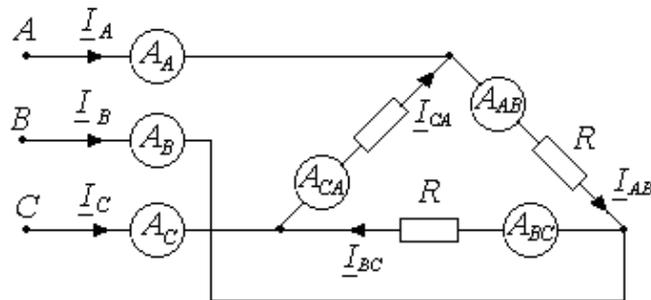


Рис. 1П

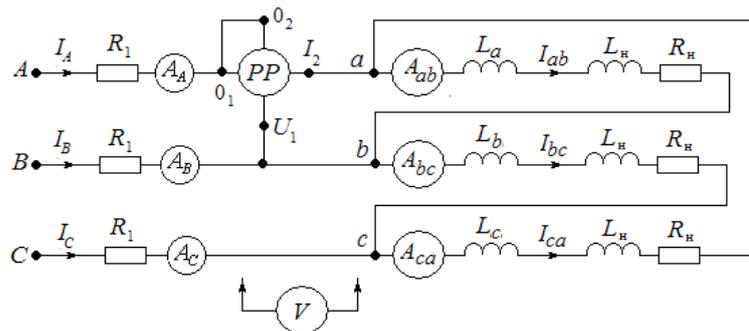


Рис. 2П

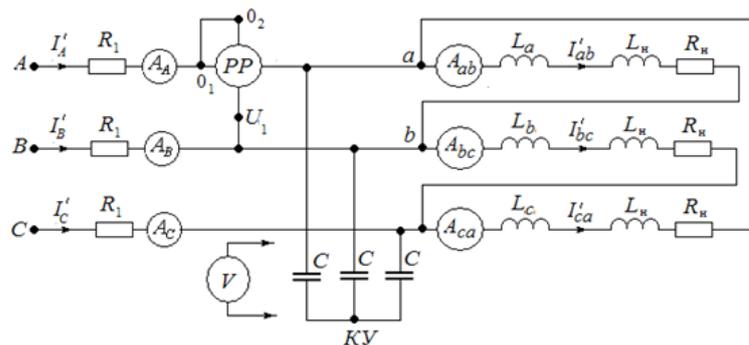


Рис. 3П

Таблица 1П

№ Бригады	Режимы и параметры трехфазной цепи с резистивной нагрузкой (схема – рис. 1П)			Параметры трехфазной цепи с резистивно-индуктивной нагрузкой (схема – рис. 2П) и подключенным КУ (схема – рис. 3П)				
	Обрыв в фазе нагрузки	Обрыв в линейном проводе	R , Ом	R_1 , Ом	L_a , мГн	R_n , Ом	L_n , мГн	C , мкФ
1,7	А-В	А	100	10	125	40	40	22
2,8	А-В	В	150	10	125	50	50	33
3,9	С-А	С	100	10	125	60	60	47
4,10	В-С	А	100	10	125	40	40	22
5,11	В-С	В	150	10	125	50	50	33
6,12	С-А	С	150	10	125	60	60	47

Сопротивления всех амперметров в расчетных схемах (рис. 1П-3П) – $R_A=10$ Ом.

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 цепи: в симметричном режиме, обрыве линейного провода, обрыве фазы нагрузки.
3. Рассказать последовательность выполнения работы в цепи с активно-индуктивной нагрузкой (рис. 2П).
4. Какие величины и каким образом необходимо измерить в цепи на рис. 2П в рабочем задании работы?
5. Рассказать последовательность нахождения коэффициента мощности приемника в цепи на рис. 2П.
6. Как измерить активную и реактивную мощности в цепи приемника с параллельно включенным компенсатором на рис. 3П?
7. Как измерить коэффициент мощности в цепи на рис. 3П?
8. Для чего подключают конденсатор в схеме на рис. 3П? Какие величины будут изменяться в цепи на рис. 3П после подключения конденсаторов?

5. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

Симметричный режим в цепи с резистивной нагрузкой (рис. 1П)

- 5.1. Собрать цепь по схеме на рис. 1П с измерительными приборами:
 - Установить в блоке **МОДУЛЬ РЕЗИСТОРОВ** сопротивления R из табл. 1П.
 - Проверить собранную электрическую цепь в присутствии преподавателя.
 - Включить тумблер **SA1** модуля **ТРЕХФАЗНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ** и автоматический выключатель **QF** блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ**.
- 5.2. Измерить линейные и фазные токи амперметрами из блока **МОДУЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ**. Измеренные значения занести в табл. 2П протокола измерений. По результатам измерений построить векторные диаграммы токов и топографические диаграммы напряжений.

Несимметричный режим в цепи с резистивной нагрузкой (рис.1П)

5.3. Выполнить обрыв нагрузки в фазе, рассмотренной в Подготовке к работе (см. табл. 1П). Измерить линейные и фазные токи; полученные значения занести в табл. 2П. По результатам измерений построить векторные диаграммы токов и топографические диаграммы напряжений.

5.4. Сделать обрыв линейного провода в фазе, рассмотренной в Подготовке к работе (см. табл. 1П). Измерить линейные и фазные токи, полученные значения занести в табл. 2П. По результатам измерений построить векторные диаграммы токов и топографические диаграммы напряжений.

Симметричный режим при активно-индуктивной нагрузке (рис. 2П)

5.5. Собрать цепь по схеме рис. 2П с измерительными приборами. Выполнить измерения действующих значений линейных и фазных токов, линейных напряжений в приемнике U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} , занести данные в табл. 3П.

Ваттметром модуля **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ** определить показания P_1 , затем, поменяв местами фазу A на фазу C источника, измерить P_2 и занести данные в табл. 3П. Рассчитать активную, реактивную мощности и коэффициент мощности приемника.

Компенсация реактивной мощности (рис. 3П)

5.6. Собрать электрическую цепь по схеме рис. 3П. Выполнить измерения действующих значений линейных и фазных токов, напряжений U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} , занести данные в табл. 4П. Рассчитать активную и реактивную мощности, коэффициент мощности приемника с параллельно включенным компенсатором. Измерения токов проводить также как в п. 5.5.

5.7. Протокол измерений утвердить и подписать у преподавателя. Выключить автоматический выключатель **QF** блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ**, тумблер **Сеть** модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** и **ОСЦИЛЛОГРАФ**.

6. ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЙ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 10

Симметричный и несимметричный режимы

Линейные напряжения источника $U_{AB} = \underline{\hspace{2cm}}$ В; $U_{BC} = \underline{\hspace{2cm}}$ В; $U_{CA} = \underline{\hspace{2cm}}$ В.

Сопротивление нагрузки $R = \underline{\hspace{2cm}}$ Ом.

Таблица 2П

Режим работы цепи	I _A , мА	I _B , мА	I _C , мА	I _{AB} , мА	I _{BC} , мА	I _{CA} , мА
1. Симметричный						
2. Обрыв фазы нагрузки						
3. Обрыв линейного провода						

Симметричный режим при активно-индуктивной нагрузке

Таблица 3П

I _A , мА	I _B , мА	I _C , мА	I _{AB} , мА	I _{BC} , мА	I _{CA} , мА	P ₁ , Вт	P ₂ , Вт

$U_{ab} = \underline{\hspace{2cm}}$ В; $U_{bc} = \underline{\hspace{2cm}}$ В; $U_{ca} = \underline{\hspace{2cm}}$ В.

Расчеты:

$P = \underline{\hspace{2cm}}$ Вт; $Q = \underline{\hspace{2cm}}$ Вар;

$\text{tg}\varphi = \underline{\hspace{2cm}}$; $\cos\varphi = \underline{\hspace{2cm}}$.

Компенсация реактивной мощности

Емкость компенсирующего конденсатора $C = \underline{\hspace{2cm}}$ мкФ.

Таблица 4П

I _A ', мА	I _B ', мА	I _C ', мА	I _{AB} ', мА	I _{BC} ', мА	I _{CA} ', мА	P ₁ , Вт	P ₂ , Вт

$U_{ab} = \underline{\hspace{2cm}}$ В; $U_{bc} = \underline{\hspace{2cm}}$ В; $U_{ca} = \underline{\hspace{2cm}}$ В.

Расчеты:

$P = \underline{\hspace{2cm}}$ Вт; $Q = \underline{\hspace{2cm}}$ Вар;

$\text{tg}\varphi' = \underline{\hspace{2cm}}$; $\cos\varphi' = \underline{\hspace{2cm}}$.

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Корректно оформленная подготовка к работе.
2. Нарисовать схемы замещения трехфазной цепи для каждого опыта, указав положительные направления токов и измерительные приборы.
3. По результатам измерений провести необходимые расчеты и построить векторные диаграммы токов и напряжений для симметричного и несимметричного режимов работы трехфазной цепи (рис. 1П).
4. По результатам измерений провести необходимые расчеты и построить векторные диаграммы токов и напряжений для опытов с симметричной активно-индуктивной нагрузки и режима компенсации реактивной мощности (рис. 2П, 3П).
5. 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. Рассчитать токи в трехфазной цепи (рис. 1П) при симметричном резистивном приемнике с сопротивлением $R=200$ Ом.
2. Рассчитать токи в цепи рис. 1П при обрыве фазы приемника, если $R=200$ Ом.
3. Рассчитать токи в цепи рис. 1П при обрыве линейного провода, если $R=180$ Ом.
4. Найти активную мощность в цепи рис. 1П при симметричном резистивном приемнике с сопротивлением $R=200$ Ом.
5. Рассчитать токи в цепи рис. 1П при симметричном активно-индуктивном приемнике с сопротивлениями $R=80$ Ом и $X=60$ Ом.
6. Рассчитать активную мощность в цепи рис. 2П при симметричном активно-индуктивном приемнике с сопротивлениями $R=80$ Ом и $X=60$ Ом.
7. Рассчитать реактивную мощность в цепи рис. 2П при симметричном активно-индуктивном приемнике с сопротивлениями $R=60$ Ом и $X=80$ Ом.
8. Найти коэффициент мощности в цепи рис. 1П при симметричном активно-индуктивном приемнике с сопротивлениями $R=80$ Ом и $X=60$ Ом.
9. По значениям табл. 3П рассчитать линейное напряжение на приемнике U_{ab} .
10. По значениям табл. 3П рассчитать активную мощность трехфазного источника на рис. 2П.
11. По значениям табл. 3П рассчитать реактивную мощность трехфазного источника на рис. 2П.
12. По значениям табл. 4П рассчитать коэффициент мощности трехфазного источника на рис. 3П.
13. По значениям табл. 4П рассчитать активную мощность трехфазного источника на рис. 3П.
14. По значениям табл. 4П рассчитать реактивную мощность трехфазного источника на рис. 3П.