

**Министерство образования и науки
Российской Федерации**

**Федеральное государственное образовательное
учреждение среднего
профессионального образования
ПЕТУХОВСКИЙ ТЕХНИКУМ МЕХАНИЗАЦИИ И
ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

УЧЕБНО – МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Трехфазные электрические цепи

**Для студентов специальности 110302
«Электрификация сельского хозяйства»
(базовый уровень)**

Петухово 2008

Рекомендовано редакционно-
издательским советом ИПКиПРО
Курганской области

Составила: Бутенко Е.В.

Рецензент: Колабынцева И.Г., преподаватель
специальных дисциплин отделения электрификации
ФГОУ СПО «ПТМЭСХ»

Данное учебное пособие предназначено для преподавателей и студентов средних специальных учебных заведений по специальности 110302 «Электрификация сельского хозяйства» для самостоятельного изучения темы «Трехфазные цепи» в курсе предмета «Электротехника» без применения специального оборудования.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Рекомендации по работе пособием для студентов	5
Лекция № 1	6
Практическая работа «Расчет несимметричной звезды графоаналитическим методом»	18
Лекция № 2	21
Практическая работа «Расчет несимметричной звезды методом узлового напряжения»	23
Лекция № 3	32
Практическая работа «Расчет симметричного режима трехфазных цепей, соединенных «звездой» и «треугольником»	36
Лекция № 4	42
Практическая работа «Расчет несимметричного треугольника»	45
Лабораторная работа «Исследование трехфазной цепи, соединенной звездой»	51
Лабораторная работа «Исследование трехфазной цепи, соединенной треугольником»	54
Тесты к лабораторным работам	58
Список литературы	61

ВВЕДЕНИЕ

Наибольшее распространение в практике производства, передачи и применения электрической энергии нашла трехфазная система как наиболее простая и экономичная.

В данном учебном пособии по теоретическим основам электротехники рассмотрены теория трехфазных цепей, примеры расчета трехфазных потребителей при соединении в звезду и в треугольник, инструкционные карты к практическим и лабораторным работам по теме «Трехфазные цепи». Контрольно-измерительные материалы представлены в виде контрольных вопросов после практических работ и тестов к лабораторным работам.

Пособие предназначено в помощь студентам очного и заочного отделений для глубокой самостоятельной проработки и самоконтроля усвоения курса ТОЭ. Материал подобран и расположен таким образом, что позволяет студентам эффективно и с минимальными затратами времени усвоить все вопросы, рассматриваемые на лекциях и лабораторно-практических занятиях темы.

Студент должен иметь представление:

- о принципах получения трехфазной ЭДС;
- о принципах построения трехфазных систем генератора и приемника электрической энергии;

Знать:

- основные параметры трехфазной цепи и основные виды нагрузок трехфазного приемника электрической энергии;

Уметь:

- рассчитывать трехфазную цепь;
- выполнять построение топографических диаграмм;
- собирать трехфазные электрические схемы.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАБОТЕ С ПОСОБИЕМ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Данное методическое пособие содержит теоретический материал лекций, который необходимо внимательно изучить прежде, чем приступать к выполнению практических работ. Произведя расчет задания практической работы студенту необходимо ответить на контрольные вопросы к работе. Если при ответе на поставленные вопросы возникли затруднения, то нужно перечитать теоретический материал. Ответив на все вопросы, переходите к изучению материала следующей лекции и дальнейшему выполнению практических работ.

В ряде практических работ расчет в комплексных числах достаточно трудоемок, поэтому предлагается выполнить эти же практические работы в среде математической программы Mathcad 2001 Professional. Использование этой программы позволяет при смене исходных данных мгновенно получать результат расчета, что очень удобно при повторяющихся однотипных расчетах.

После изучения теоретического материала и выполнения практических работ предлагается выполнить для закрепления полученных знаний лабораторные работы. Для выполнения этих работ нет необходимости в лабораторном оборудовании, поскольку моделирование электрических схем может быть выполнено студентами самостоятельно при наличии моделирующей программы «EWB».

Выполнение лабораторных работ заканчивается ответами на вопросы теста, который приведен в приложении. Этот тест можно отвечать с использованием программы Тестирования студентов при установке ее на ПЭВМ.

Лекция № 1

1. *Получение трехфазной ЭДС. Симметричная трехфазная ЭДС. Устройство электромашиного генератора. График трехфазной ЭДС. Векторная диаграмма.*

Производство, распределение и передача электроэнергии в настоящее время осуществляется в основном посредством трехфазных систем. В разработку трехфазной системы большой вклад внесли ученые и инженеры разных стран. Наибольшая заслуга среди них принадлежит русскому электротехнику М.О.Долливо-Добровольскому, которым разработаны трехфазный генератор, трансформатор, асинхронный двигатель, четырехпроводные и трехпроводные цепи. Простое устройство, относительная дешевизна, высокая надежность в эксплуатации трехфазных генераторов, трансформаторов и двигателей, более экономичная передача энергии на расстояние по сравнению с однофазной системой способствовали широкому промышленному внедрению трехфазной системы переменного тока.

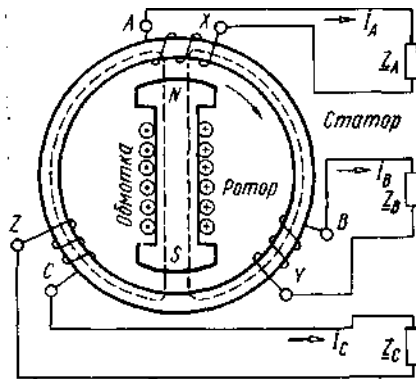


Рис.1.Трехфазный генератор

Трехфазный генератор (рис.1) состоит из двух основных частей: статора и ротора. На статоре расположены три одинаковые обмотки, смещенные одна относительно другой на 120° . Начала обмоток обозначают А, В, С, а концы – Х, Y, Z. Подвижная часть генератора – ротор – является электромагнитом,

который получает постоянный ток от постороннего источника постоянного тока. При вращении ротора первичным двигателем будет вращаться и его магнитный поток. В результате этого в каждой обмотке статора наводится синусоидальная ЭДС амплитуды E_m и частоты f , сдвинутая по фазе относительно ЭДС соседней обмотки на 120° .

Если ЭДС первой обмотки $e_A = E_m \sin \omega t$, то ЭДС второй обмотки $e_B = E_m \sin (\omega t - 120^\circ)$, а третьей $e_C = E_m \sin (\omega t - 240^\circ)$. Система трех переменных ЭДС одной амплитуды и частоты, сдвинутых по фазе на 120° , называется *трехфазной симметричной системой ЭДС*.

На рис.2 а показаны волновая, а на рис. 2 б – векторная диаграмма трехфазной симметричной системы ЭДС. Если вектор ЭДС $\dot{E}_A$ совместить с положительным направлением оси вещественных чисел (рис.3), то можно записать комплексы действующих значений ЭДС:

$$\begin{aligned}\dot{E}_A &= E \\ \dot{E}_B &= E * e^{-j120^\circ} \\ \dot{E}_C &= E * e^{-j240^\circ}.\end{aligned}$$

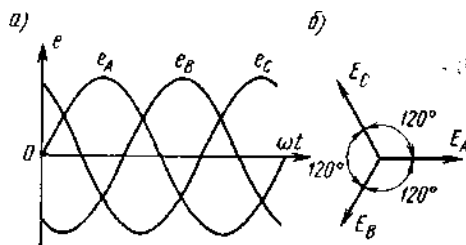


Рис.2. Волновая (а) и векторная диаграмма (б) симметричной системы ЭДС

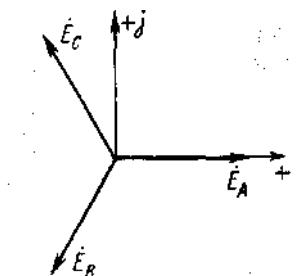


Рис.3.Векторная диаграмма ЭДС

ЭДС трехфазного генератора принимают амплитудные (или нулевые) значения в определенной последовательности. Рассмотренную последовательность $A \rightarrow B \rightarrow C$ принято называть *прямой последовательностью фаз ЭДС*. К обмоткам генератора присоединим нагрузки сопротивлениями Z_A, Z_B, Z_C (см. рис.1). В результате образуются три самостоятельные электрические цепи с токами $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$. Каждую из них называют *фазой*. Систему трех однофазных цепей, в которых действуют ЭДС одной частоты, сдвинутые по фазе на 120° , называют *трехфазной электрической цепью*.

Различают симметричный и несимметричный режимы работы трехфазной цепи. При симметричном режиме комплексные сопротивления трех фаз одинаковы и ЭДС образуют трехфазную симметричную систему. В этом случае токи фаз $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$ будут равны по величине и сдвинуты относительно одноименных ЭДС на одинаковые углы (рис.4). При этом образуется трехфазная симметричная система токов. При несимметричном режиме комплексные сопротивления фаз не равны друг другу, при этом токи и их фазные сдвиги будут различаться.

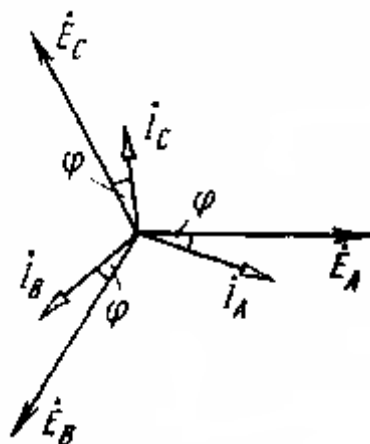


Рис.4. Векторная диаграмма ЭДС и токов при симметричном режиме

Основное свойство симметричных трехфазных систем синусоидальных величин заключается в том, что алгебраическая сумма их мгновенных значений в любой момент времени равна нулю. Также равна нулю и сумма комплексных значений этих величин. Значит, при симметричной трехфазной системе ЭДС $e_A + e_B + e_C = 0$ и $\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0$, а при симметричной трехфазной системе токов $i_A + i_B + i_C = 0$ и $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$. Трехфазная система, схематически изображенная на рис. 1, электрически не связана, т.к. её отдельные фазы изолированы. Такая трехфазная система не имеет преимуществ перед однофазной и на практике не применяется. Для сокращения количества проводов между генератором и потребителем энергии применяют электрически связанные трехфазные системы. Для этого обмотки трехфазного генератора соединяют звездой или треугольником.

2. Соединение обмоток генератора звездой.

На электрической схеме обмотки статора трехфазного генератора располагают под углом 120° (рис.5). При соединении обмоток звездой

их

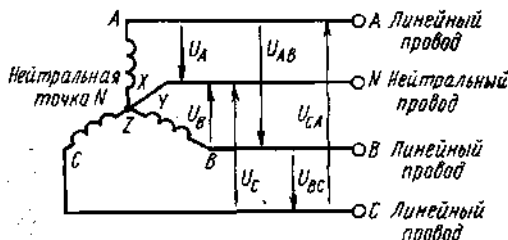


Рис.5. Соединение обмоток генератора звездой

концы X, Y, Z соединяют в одну точку N, называемую нейтралью генератора. От точки N к потребителям энергии прокладывают нейтральный провод. К потребителям энергии кроме нейтрального прокладывают три линейных провода, которые соединяют с началами обмоток A, B и C. Такая система называется *звездой с нейтральным проводом*.

Таким образом, соединение, при котором концы обмотки генератора или нагрузки соединены в одной точке, а начала включены в линию, называется соединением *звездой*.

Отдельные обмотки трехфазного генератора и отдельные части трехфазной нагрузки называют *фазами*.

Четвертый, обратный провод, соединяющий нулевые точки генератора и нагрузки, называется *нулевым проводом*.

Напряжения между линейными и нейтральным проводами (т.е. между началом и концом обмоток генератора) называют *фазными* напряжениями и обозначают U_A , U_B , U_C (в общем виде U_ϕ). Фазные напряжения отличаются от соответствующих значений фазных ЭДС на внутренние падения напряжений в обмотках. При незначительных сопротивлениях обмоток и малых токах внутреннее падение напряжения можно не учитывать. При этом фазные напряжения будут мало отличаться от соответствующих ЭДС. Стрелки (рис.5) указывают положительное направление фазных напряжений. На-

пряжения между линейными проводами (т.е. между началами обмоток) называют *линейными* напряжениями и обозначают U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} (в общем виде U_L). Причем порядок букв индексов указывает положительное направление этих напряжений во внешней цепи, например U_{AB} направлено от А к В. Обмотки статора синхронного генератора выведены на шесть контактных зажимов. Соединение этих шести зажимов при включении обмоток звездой показано на рис.6.

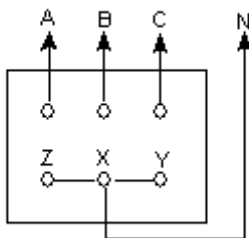


Рис.6.Панель зажимов генератора при соединении обмоток звездой

Выясним связь между фазными и линейными напряжениями. Пусть потенциалы точек А, В, С равны φ_A , φ_B , φ_C , а потенциал точки N примем равным нулю ($\varphi_N = 0$). Тогда мгновенные значения фазных напряжений $u_A = \varphi_A$, $u_B = \varphi_B$, $u_C = \varphi_C$. Линейные напряжения $u_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = u_A - u_B$; $u_{BC} = \varphi_B - \varphi_C = u_B - u_C$; $u_{CA} = \varphi_C - \varphi_A = u_C - u_A$.

Таким образом, мгновенные значения линейных напряжений равны разностям мгновенных значений соответствующих фазных напряжений. Аналогично можно записать и уравнения для действующих значений напряжений:

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

Полученные уравнения необходимы для построения векторной диаграммы напряжений трехфазного генератора (рис.7). На диаграмме сначала строят векторы фазных напряжений $\dot{U}_A$, $\dot{U}_B$, $\dot{U}_C$, равных по значению, повернутых друг относительно друга на 120° . Для построения вектора линейного напряжения $\dot{U}_{AB}$ поступают следующим образом: к вектору

$\dot{U}_A$ прибавляют вектор $-\dot{U}_B$, т.е. вектор, равный по абсолютной величине вектору $\dot{U}_B$, но противоположно направленный. Аналогично строят векторы $\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C$ и $\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A$. Из построения видно, что векторы $\dot{U}_{AB}$, $\dot{U}_{BC}$, $\dot{U}_{CA}$ образуют симметричную систему, причем звезда векторов линейных напряжений опережает по фазе звезду векторов фазных напряжений на 30° .

При соединении обмоток генератора звездой линейное напряжение больше фазного в $\sqrt{3}$ раз. Если фазное напряжение генератора 127В, то линейное напряжение $U_{\text{л}} = 1,73 * 127 = 220$ В. При фазном напряжении $U_{\text{ф}} = 220$ В линейное напряжение $U_{\text{л}} = 1,73 * 220 = 380$ В.

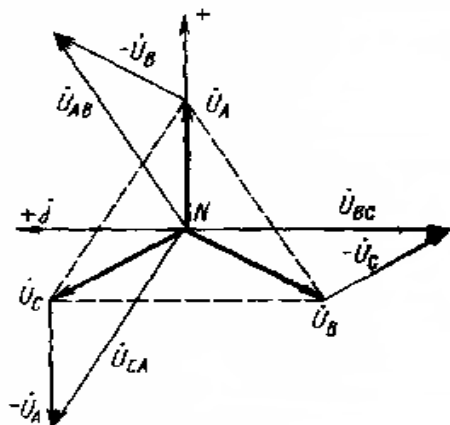


Рис.7. Векторная диаграмма фазных и линейных напряжений

3. Расчет симметричного потребителя соединенного звездой.

Трехфазные приемники электроэнергии (электродвигатели) и группы однофазных приемников (электрические лампы, нагревательные приборы и т.д.), так же как и обмотки генератора, соединяют звездой. Для этого осветительную нагрузку разделяют на три приблизительно одинаковые по мощности группы – фазы приемника (рис. 8). Фазу 1 подключают к линейному проводу А и нейтральному N, фазу 2 - к В и N, а фазу 3 - к С и N.

На рис.9 показана схема четырехпроводной трехфазной цепи. В ней соединены звездой не только фазы приемника энергии, но и фазы питающего генератора (или трансформатора). Начала фаз генератора A, B, C соединяются с началами фаз приемника A', B', C' линейными проводами. Нейтральная точка N генератора соединяется с нейтральной точкой N' приемника энергией нейтральным проводом. Ток, напряжение

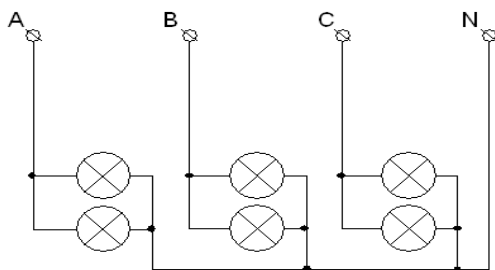


Рис.8.Соединение осветительной нагрузки звездой

и мощность каждой фазы приемника называют фазными. Ток первой фазы обозначают I_A , второй – I_B и третьей – I_C . Положительное направление этих токов совпадает с положительным направлением ЭДС обмоток генератора. Токи в линейных проводах называются линейными. В рассматриваемой схеме одноименные фазы приемника, генератора и соответствующий линейный провод соединены последовательно. Поэтому токи I_A, I_B, I_C являются также линейными и фазными токами генератора. Фазные напряжения приемника энергии обозначим U'_A, U'_B, U'_C , а фазные напряжения генератора соответственно U_A, U_B, U_C .

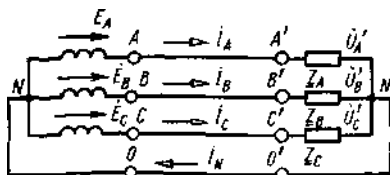


Рис.9.Соединение генератора и нагрузки звездой

Расчет четырехпроводной трехфазной цепи. Сопротивления соединительных проводов зависят от протяженности линии электропередачи. В коротких линиях эти сопротивления незначительны и их можно не учитывать. При этом отсутствует падение напряжения в проводах, а фазные напряжения приемника равны соответствующим фазным напряжениям генератора: $U'_A = U_A$, $U'_B = U_B$, $U'_C = U_C$. Фазные токи приемника энергии определяются по закону Ома:

$$\begin{aligned}\dot{I}_A &= \dot{U}_A / \underline{Z}_A, \\ \dot{I}_B &= \dot{U}_B / \underline{Z}_B, \\ \dot{I}_C &= \dot{U}_C / \underline{Z}_C,\end{aligned}$$

где $\dot{U}_A = U_A$,
 $\dot{U}_B = U_A * e^{-j120^\circ}$;
 $\dot{U}_C = U_A * e^{-j240^\circ}$ - фазные напряжения;
 $\underline{Z}_A = Z_A e^{j\varphi_A}$,
 $\underline{Z}_B = Z_B e^{j\varphi_B}$,
 $\underline{Z}_C = Z_C e^{j\varphi_C}$ - сопротивления фаз потребителя.

Ток в нейтральном проводе по первому закону Кирхгофа равен сумме фазных токов:

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

При симметричной системе фазных напряжений и симметричной нагрузке, т.е. при равенстве комплексов сопротивлений фаз приемника, токи $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$ образуют симметричную трехфазную систему токов. В этом случае $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$ и ток в нейтральном проводе отсутствует. При этих условиях отключение нейтрального провода не изменяет режима работы трехфазного приемника энергии. Поэтому к трехфазному электродвигателю подключают только линейные провода.

Мощность трехфазной цепи равна сумме мощностей отдельных фаз

$$P = P_A + P_B + P_C$$

Активная мощность первой фазы приемника

$$P_A = U_A * I_A * \cos \varphi_A,$$

где U_A и I_A – напряжение и ток первой фазы приемника;
 φ_A – угол сдвига между напряжением и током фазы А.

Активная мощность второй фазы приемника

$$P_B = U_B \cdot I_B \cdot \cos \varphi_B,$$

а третьей фазы

$$P_C = U_C \cdot I_C \cdot \cos \varphi_C.$$

При симметричной нагрузке активные мощности фаз приемника

$$P_A = P_B = P_C = P_\phi = U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos \varphi_\phi.$$

При этом условии активная мощность трехфазной цепи

$$P = 3 \cdot P_\phi = 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos \varphi_\phi.$$

При соединении приемников энергии звездой $U_\phi = U_L / \sqrt{3}$ и $I_\phi = I_L$. Подставив эти значения в формулу активной мощности трехфазной цепи, получим

$$P = 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos \varphi = 3 \cdot \frac{U_L}{\sqrt{3}} \cdot I_L \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi.$$

Аналогично рассуждая можно получить формулы для определения реактивной и полной мощности трехфазной цепи.

Реактивная мощность:

$$Q = 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi \cdot \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi.$$

Полная мощность:

$$S = 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L.$$

Порядок расчета трехфазного потребителя, соединенного звездой при симметричной нагрузке фаз.

Дано: соединение звездой, $\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C = \underline{Z}_\phi$; линейное напряжение U_L

Определить: 1) I_ϕ , I_L , P , Q , S , $\cos \varphi$;

2) построить векторную диаграмму.

Решение:

1. Определить фазный ток: $I_\phi = U_\phi / Z_\phi$,

$$\text{где } U_\phi = U_L / \sqrt{3};$$

$$Z_\phi = \sqrt{r_\phi^2 + X_\phi^2} - \text{полное сопротивление фазы.}$$

2. Определить линейный ток: $I_L = I_\phi$.

3. Определить мощности:

$P = 3 \cdot P_\phi$, Вт – активная мощность трехфазной цепи;

$$P_\phi = I_\phi^2 \cdot r_\phi = U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos \varphi = S_\phi \cdot \cos \varphi.$$

$Q = 3 \cdot Q_\phi$, ВАр – реактивная мощность трехфазной

цепи;

$$Q_\phi = I_\phi^2 \cdot X_\phi = U_\phi \cdot I_\phi \cdot \sin \varphi = S_\phi \cdot \sin \varphi.$$

$S = 3 \cdot S_{\phi}$, ВА – полная мощность трехфазной цепи;

$$S_{\phi} = I_{\phi}^2 \cdot Z_{\phi} = U_{\phi} \cdot I_{\phi}.$$

$\cos \varphi = r_{\phi} / Z_{\phi} = P_{\phi} / S_{\phi}$ – коэффициент мощности,

$$\sin \varphi = X_{\phi} / Z_{\phi} = Q_{\phi} / S_{\phi} = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$$

4. Строим векторную диаграмму:

строим вектора фазных напряжений, равные по величине и сдвинутые на 120° относительно друг друга,

строим вектора фазных токов, учитывая их величину и характер нагрузки.

4. Расчет несимметричной звезды графоаналитическим методом.

При несимметричной нагрузке или системе фазных напряжений в нейтральном проводе имеется некоторый ток I_N , который можно определить по первому закону Кирхгофа, применяя комплексные числа или графически.

Порядок расчета

1. Определить полные сопротивления фаз приемника:

$$Z_A = \sqrt{R_A^2 + X_A^2},$$

$$Z_B = \sqrt{R_B^2 + X_B^2},$$

$$Z_C = \sqrt{R_C^2 + X_C^2}.$$

2. Определить фазное напряжение:

$$U_{\phi} = U_{\text{л}} / \sqrt{3}.$$

3. Определить токи фаз:

$$I_A = U_{\phi} / Z_A,$$

$$I_B = U_{\phi} / Z_B,$$

$$I_C = U_{\phi} / Z_C.$$

4. Определить фазовые сдвиги между токами и напряжениями:

$$\varphi_A = \arccos \varphi_A = R_A / Z_A,$$

$$\varphi_B = \arccos \varphi_B = R_B / Z_B,$$

$$\varphi_C = \arccos \varphi_C = R_C / Z_C.$$

5. Определить ток в нейтральном проводе с помощью векторной диаграммы:

5.1 построить звезду фазных напряжений $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ в выбранном масштабе под углом 120° ;

5.2 в соответствии с характером нагрузки в выбранном масштабе отложить вектора фазных токов $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$;

5.3 вектор тока в нейтральном проводе определить как сумму фазных токов: $\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$ (произвести дополнительное построение путем параллельного переноса вектора $\dot{I}_B$ в конец вектора $\dot{I}_A$, аналогичного переноса вектора $\dot{I}_C$. Вектор, соединяющий начало диаграммы с концом последнего слагаемого, и будет вектором тока в нейтральном проводе $\dot{I}_N$);

5.4 величина тока в нейтральном проводе:

$$I_N = m_i \times |\dot{I}_N|,$$

где m_i - выбранный масштаб по току, А/мм,

$|\dot{I}_N|$ - длина полученного на диаграмме вектора тока в нейтральном проводе, мм.

Инструкционно – технологическая карта

Практическая работа № 1

Тема: Трехфазные электрические цепи

Наименование работы: Расчет несимметричной звезды графоаналитическим методом.

Цель работы: Закрепить графоаналитический метод расчета несимметричной звезды.

Норма времени: 2 часа.

Место проведения: аудитория

Оснащение рабочего места: рабочая тетрадь, линейка, цветные карандаши, микрокалькулятор

Основные правила техники безопасности: соблюдать правила поведения в аудитории.

Литература: Л.А.Частоедов «Электротехника» - М.:Высшая школа, 1989г. Стр. 255 – 256.

Ход работы

Задание. Определить фазные токи и ток в нулевом проводе, если задано Z_A, Z_B, Z_C, U_L .

Задачу решить графоаналитическим методом.

1. Выписать исходные данные.
2. Составить схему цепи.
3. Произвести расчёт цепи:
определить фазные токи;
определить коэффициенты мощности в каждой фазе ($\cos \varphi_A, \cos \varphi_B, \cos \varphi_C$);
построить векторную диаграмму;
определить величину I_0 ;
определить мощности.

Содержание отчёта

1. Тема.
2. Цель работы.
3. Подробный расчёт цепи.
4. Вывод (о назначении нулевого провода).
5. Ответы на вопросы.

Контрольные вопросы

Какое соединение называется звездой?

Какая нагрузка называется симметричной?

Какая нагрузка называется несимметричной?

Чем отличается расчет несимметричной звезды от расчета симметричной?

Что надо знать для построения векторной диаграммы?

Пример расчета

Дано: $U_{\text{л}} = 346 \text{ В}$

$$Z_A = 8 + j 6$$

$$Z_B = j 10$$

$$Z_C = 3 - j 4$$

I_A, I_B, I_C, I_N, P - ?

Решение:

Составляем по исходным данным схему цепи (рис.10):

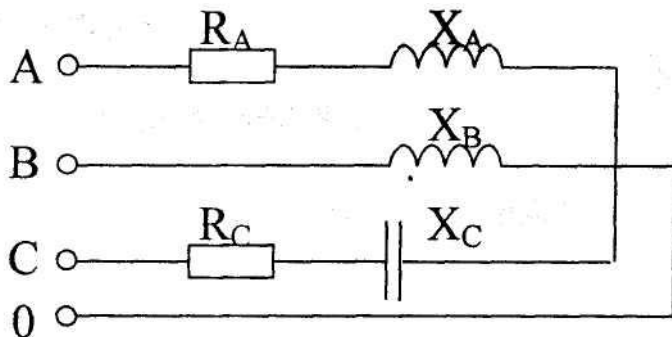


Рис.10.Схема цепи

1.Определить полные сопротивления фаз приемника:

$$Z_A = \sqrt{R_A^2 + X_A^2} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10 \text{ Ом},$$

$$Z_B = \sqrt{R_B^2 + X_B^2} = \sqrt{0 + 10^2} = 10 \text{ Ом},$$

$$Z_C = \sqrt{R_C^2 + X_C^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5 \text{ Ом}.$$

2.Определить фазное напряжение:

$$U_{\phi} = U_{\text{л}} / \sqrt{3} = 346 / 1,73 = 200 \text{ В}.$$

3.Определить токи фаз:

$$I_A = U_{\phi} / Z_A = 200 / 10 = 20 \text{ А},$$

$$I_B = U_{\phi} / Z_B = 200 / 10 = 20 \text{ А},$$

$$I_C = U_\phi / Z_C = 200 / 5 = 40 \text{ A.}$$

4. Определить фазовые сдвиги между токами и напряжениями:

$$\varphi_A = \arccos \varphi_A = R_A / Z_A = \arccos 8 / 10 = 37^\circ, \text{ нагрузка R - L}$$

$$\varphi_B = \arccos \varphi_B = R_B / Z_B = \arccos 0 / 10 = 90^\circ, \text{ нагрузка чисто - L}$$

$$\varphi_C = \arccos \varphi_C = R_C / Z_C = \arccos 3 / 5 = 53^\circ, \text{ нагрузка R - C.}$$

5. Определить ток в нейтральном проводе с помощью векторной диаграммы:

строим вектора фазных напряжений ($m_u = 100 \text{ В/см}$);

строим вектора фазных токов ($m_i = 10 \text{ А/см}$);

строим вектор тока в нулевом проводе:

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C \text{ (рис.11)}$$

Из диаграммы получаем $I_N = 38 \text{ А}$

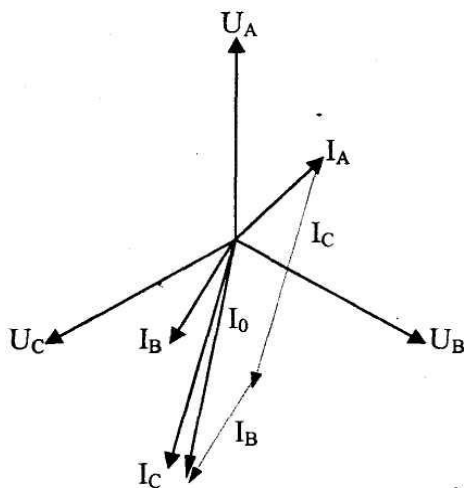


Рис.11. Определение тока в нулевом проводе по векторной диаграмме

6. Определить мощность, потребляемую данными приемниками:

$$P_A = I_A^2 \times R_A = 20^2 \times 8 = 3200 \text{ Вт},$$

$$P_B = I_B^2 \times R_B = 20^2 \times 0 = 0,$$

$$P_C = I_C^2 \times R_C = 40^2 \times 3 = 4800 \text{ Вт},$$

$$P = P_A + P_B + P_C = 3200 + 0 + 4800 = 8000 \text{ Вт}.$$

Лекция № 2

5. Расчет несимметричной звезды методом узлового напряжения в комплексных числах.

Порядок расчета

Дано: $U_{\text{л}}; \underline{Z}_A \neq \underline{Z}_B \neq \underline{Z}_C; \underline{Z}_0$.

Определить: $I_A, I_B, I_C, I_N; P, Q, S$;

Построить векторную диаграмму.

1. Записать ЭДС трехфазного генератора:

$$U_{\phi} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}},$$

$$\dot{E}_A = U_{\phi},$$

$$\dot{E}_B = U_{\phi} \times \angle -0,5 - j0,87,$$

$$\dot{E}_C = U_{\phi} \times \angle 0,5 + j0,87$$

2. Определить проводимости фаз и нулевого провода:

$$\underline{Y}_A = \frac{1}{\underline{Z}_A}, \underline{Y}_B = \frac{1}{\underline{Z}_B}, \underline{Y}_C = \frac{1}{\underline{Z}_C}, \underline{Y}_N = \frac{1}{\underline{Z}_N}$$

3. Определить узловое напряжение:

$$\dot{U}_0 = \frac{\dot{E}_A \times \underline{Y}_A + \dot{E}_B \times \underline{Y}_B + \dot{E}_C \times \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + \underline{Y}_N}$$

4. Определить напряжение на фазах потребителя:

$$\dot{U}_A = \dot{E}_A - \dot{U}_0, \dot{U}_B = \dot{E}_B - \dot{U}_0, \dot{U}_C = \dot{E}_C - \dot{U}_0.$$

5. Определить фазные токи:

$$\dot{I}_A = \dot{U}_A \times \underline{Y}_A, \dot{I}_B = \dot{U}_B \times \underline{Y}_B, \dot{I}_C = \dot{U}_C \times \underline{Y}_C, \dot{I}_N = \dot{U}_0 \times \underline{Y}_N$$

Выполнить проверку: $\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$.

6. Определить мощности:

$$\dot{S}_A = \dot{U}_A \times \dot{I}_A^*; \quad \dot{S}_B = \dot{U}_B \times \dot{I}_B^*; \quad \dot{S}_C = \dot{U}_C \times \dot{I}_C^*;$$

$$\dot{S} = \dot{S}_A + \dot{S}_B + \dot{S}_C,$$

где в значении $\dot{S}$ действительная часть представляет собой трехфазную активную мощность цепи, а мнимая часть – трехфазную реактивную мощность.

7. Определить действующие значения напряжений и токов по теореме Пифагора исходя из соответствующих комплексов.

8. Расчет при обрыве нулевого провода:

$$\underline{Z}_N = \infty, \quad \underline{Y}_N = 0.$$

узловое напряжение:

$$\dot{U}'_0 = \frac{\dot{E}_A \times \underline{Y}_A + \dot{E}_B \times \underline{Y}_B + \dot{E}_C \times \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C}$$

фазные напряжения:

$$\dot{U}'_A = \dot{E}_A - \dot{U}'_0, \quad \dot{U}'_B = \dot{E}_B - \dot{U}'_0, \quad \dot{U}'_C = \dot{E}_C - \dot{U}'_0.$$

фазные токи:

$$\dot{I}'_A = \dot{U}'_A \times \underline{Y}_A, \quad \dot{I}'_B = \dot{U}'_B \times \underline{Y}_B, \quad \dot{I}'_C = \dot{U}'_C \times \underline{Y}_C.$$

9. Построить топографическую диаграмму при обрыве нулевого провода:

построить вектора фазных ЭДС генератора, сдвинутые относительно друг друга на 120° ;

построить вектор узлового напряжения $\dot{U}_0$ по его комплексному выражению;

построить вектора фазных напряжений потребителя по уравнениям пункта 8;

построить вектора линейных напряжений:

$$\dot{U}_{AB} = \dot{E}_A - \dot{E}_B, \quad \dot{U}_{BC} = \dot{E}_B - \dot{E}_C,$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{E}_C - \dot{E}_A.$$

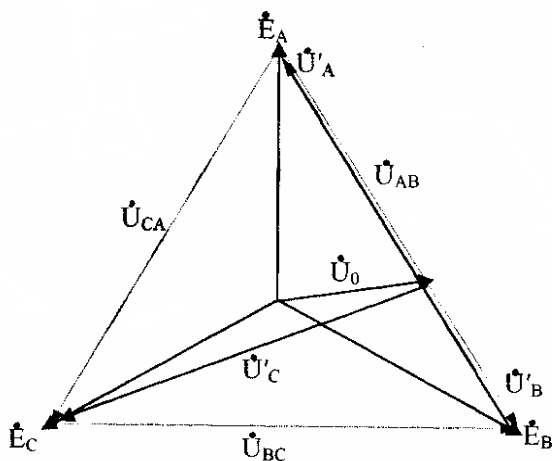


Рис.12 Топографическая диаграмма

Инструкционно – технологическая карта

Практическая работа № 2

Тема: Трёхфазные электрические цепи

Наименование работы: **Расчет несимметричной звезды методом узлового напряжения**

Цель работы: Научиться рассчитывать несимметричную звезду методом узлового напряжения в комплексной форме.

Норма времени: 2 часа.

Место проведения: аудитория

Оснащение рабочего места: рабочая тетрадь, линейка, цветные карандаши, микрокалькулятор

Основные правила техники безопасности: соблюдать правила поведения в аудитории.

Литература: Л.А.Частоедов « Электротехника» - М.: Высшая школа, 1989г. Стр. 254 – 260.

Ход работы

Задание. Определить фазные токи, ток в нулевом проводе, мощности, если трёхфазный потребитель соединён звездой и включен под линейное напряжение $U_{\text{л}}$. Заданы комплексные значения полных сопротивлений фаз потребителя Z_A, Z_B, Z_C, Z_N .

Задачу решить методом узлового напряжения в комплексных числах.

1. Составить схему цепи. Выписать исходные данные.
2. Произвести расчёт несимметричной звезды:
 - 1) Записать фазные ЭДС генератора в комплексной форме;
 - 2) Определить проводимости фаз в комплексной форме;
 - 3) Определить узловое напряжение в комплексной форме;
 - 4) Определить фазные напряжения потребителя;
 - 5) Определить фазные токи и ток в нулевом проводе;
 - 6) Определить мощности;
 - 7) Построить топографическую диаграмму.

Содержание отчёта

Тема.

Цель работы.

Расчет трёхфазного потребителя, соединённого звездой при несимметричном режиме методом узлового напряжения в комплексной форме.

Топографическая диаграмма.

Ответы на вопросы.

Контрольные вопросы

1. Сущность метода узлового напряжения?
2. Объясните, как строим топографическую диаграмму.

Пример расчета

Дано: $U_{\text{л}} = 173 \text{ В}$

$$\underline{Z}_A = 16 + j 12$$

$$\underline{Z}_B = 8 - j 6$$

$$\underline{Z}_C = 20 \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_N = 1 \text{ Ом}$$

I_A, I_B, I_C, I_N, P - ?

Решение:

Составляем схему цепи в соответствии с исходными данными (рис.13)

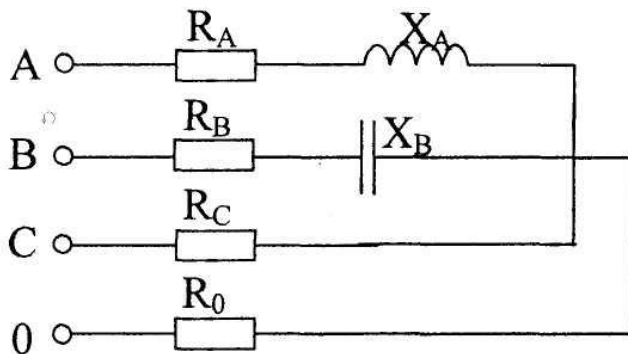


Рис.13.Схема цепи

- 1) Записать ЭДС трехфазного генератора:

$$U_{\phi} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3}} = \frac{173}{1,73} = 100 \text{ В},$$

$$\dot{E}_A = U_{\phi} = 100 \text{ В},$$

$$\dot{E}_B = U_{\phi} \times \angle -0,5 - j0,87 = 100 \times (-0,5 - j0,87) = -50 - j87 \text{ В},$$

$$\dot{E}_C = U_{\phi} \times \angle 0,5 + j0,87 = 100 \times (-0,5 + j0,87) = -50 + j87 \text{ В}$$

- 2) Определить проводимости фаз и нулевого провода

$$\underline{Y}_A = \frac{1}{\underline{Z}_A} = \frac{1}{16 - j12} = \frac{1 \times (16 + j12)}{(16 - j12) \times (16 + j12)} = \frac{16 - j12}{400} = 0,04 - j0,06 \text{ См},$$

$$\underline{Y}_B = \frac{1}{\underline{Z}_B} = \frac{1}{8 - j6} = \frac{1 \times \angle +j6}{\angle -j6 \times \angle +j6} = \frac{8 + j6}{100} = 0,08 + j0,06 \text{ См},$$

$$\underline{Y}_C = \frac{1}{\underline{Z}_C} = \frac{1}{20} = 0,05 \text{ См}, \quad \underline{Y}_N = \frac{1}{\underline{Z}_N} = \frac{1}{1} = 1 \text{ См}$$

- 3) Определить узловое напряжение:

$$\dot{U}_0 = \frac{\dot{E}_A \times \underline{Y}_A + \dot{E}_B \times \underline{Y}_B + \dot{E}_C \times \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + \underline{Y}_N} =$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{100 \times (0,04 - j0,03) \cdot (-50 - j87) \cdot (0,08 + j0,06) \cdot (-50 + j87) \cdot 0,05}{0,04 - j0,03 + 0,08 + j0,06 + 0,05 + 1} = \\
&= \frac{4 - j3 - 4 - j3 - j6,96 + 5,22 - 2,5 + j4,35}{1,17 + j0,03} = \frac{2,72 - j8,61}{1,17 + j0,03} = \\
&= \frac{(2,72 - j8,61)(17 - j0,03)}{1,17^2 + 0,03^2} = \frac{3,18 - j0,082 - j10,07 - 0,26}{1,3709} = \\
&= 2,13 - j7,41
\end{aligned}$$

4) Определить напряжение на фазах потребителя:

$$\dot{U}_A = \dot{E}_A - \dot{U}_0 = 100 - (2,13 - j7,41) = 100 - 2,13 + j7,41 = 97,87 + j7,41 \text{ В,}$$

$$\dot{U}_B = \dot{E}_B - \dot{U}_0 = -50 - j87 - 2,13 + j7,41 = -52,13 - j79,59 \text{ В,}$$

$$\dot{U}_C = \dot{E}_C - \dot{U}_0 = -50 + j87 - 2,13 + j7,41 = -52,13 + j94,41 \text{ В.}$$

5) Определить фазные токи:

$$\dot{I}_A = \dot{U}_A \times \underline{Y}_A = (97,87 + j7,41) \cdot (0,04 - j0,03) = 4,12 - j2,64 \text{ А,}$$

$$\dot{I}_B = \dot{U}_B \times \underline{Y}_B = (-52,13 - j79,59) \cdot (0,08 + j0,06) = 0,62 - j9,49 \text{ А,}$$

$$\dot{I}_C = \dot{U}_C \times \underline{Y}_C = (-52,13 + j94,41) \cdot 0,05 = -2,6 + j4,72 \text{ А,}$$

$$\dot{I}_N = \dot{U}_0 \times \underline{Y}_N = (2,13 - j7,41) \cdot 1 = 2,13 - j7,41 \text{ А}$$

Выполнить проверку:

$$\begin{aligned}
\dot{I}_N &= \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 4,13 - j2,64 + 0,62 - j0,49 - 2,6 + j4,72 = \\
&= 2,14 - j7,41
\end{aligned}$$

6) Определить мощности:

$$\dot{S}_A = \dot{U}_A \times \dot{I}_A^* = (7,87 + j7,41) \times (4,12 + j2,64) = 103 + j258 + j30,5 - 19,5 = 383 + j288,5$$

$P_A = 383 \text{ Вт}$ $Q_A = 288,5 \text{ Вар}$ нагрузка активно - индуктивная

$$\dot{S}_B = \dot{U}_B \times \dot{I}_B^* = (-52 - j79,59) \times (0,62 + j9,49) = -32 - j495 - j49 + 755 = 723 - j544$$

$P_B = 723 \text{ Вт}$ $Q_B = 544 \text{ Вар}$ нагрузка активно - емкостная

$$\dot{S}_C = \dot{U}_C \times \dot{I}_C^* = (-52 + j94,41) \times (-2,6 - j4,72) = 136 + j246 - j246 + 446 = 582$$

$P_C = 582 \text{ Вт}$ $Q_C = 0$ нагрузка активная

$$\dot{S} = \dot{S}_A + \dot{S}_B + \dot{S}_C = 383 + j288,5 + 723 - j544 + 582 = 1688 - j255,5$$

$P = 1688 \text{ Вт}$ $Q = 255,5 \text{ Вар}$

7) Определить действующие значения напряжений и токов

$$U_A = \sqrt{97,87^2 + 7,41^2} = 98 \text{ В}$$

$$U_B = \sqrt{52,13^2 + 79,59^2} = 95 \text{ В}$$

$$U_C = \sqrt{52,13^2 + 94,41^2} = 108 \text{ В}$$

$$I_A = \sqrt{4,12^2 + 2,64^2} = 4,89 \text{ А}$$

$$I_B = \sqrt{0,62^2 + 9,49^2} = 9,51 \text{ А}$$

$$I_C = \sqrt{2,6^2 + 4,72^2} = 5,39 \text{ А}$$

$$I_N = \sqrt{2,14^2 + 7,41^2} = 7,71 \text{ А}$$

8) Расчет при обрыве нулевого провода:

$$\underline{Z}_N = \infty, \underline{Y}_N = 0.$$

8.1. Узловое напряжение:

$$\dot{U}'_0 = \frac{\dot{E}_A \times \underline{Y}_A + \dot{E}_B \times \underline{Y}_B + \dot{E}_C \times \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C} =$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{2,72 - j8,61}{0,17 + j0,03} = \frac{2,72 - j8,61 \times 0,17 - j0,03}{0,17^2 + 0,03^2} = \\
 &= \frac{0,462 - j0,0816 - j1,46 - 0,258}{0,0298} = 6,83 - j51,73
 \end{aligned}$$

В

8.2. Фазные напряжения:

$$\dot{U}'_A = \dot{E}_A - \dot{U}'_0 = 100 - 6,85 + j51,73 = 93,15 + j51,73 \text{ В,}$$

$$\dot{U}'_B = \dot{E}_B - \dot{U}'_0 = -50 - j87 - 6,85 + j51,73 = -56,85 - j35,27$$

В

$$\dot{U}'_C = \dot{E}_C - \dot{U}'_0 = -50 + j87 - 6,85 + j51,73 = -56,85 + j138,73$$

В.

8.3. Фазные токи:

$$\begin{aligned}
 \dot{I}'_A &= \dot{U}'_A \times \underline{Y}_A = (93,15 + j51,73) \times (0,04 - j0,03) = \\
 &= 3,73 - j2,79 + j2,07 + 1,55 = 5,28 - j0,72
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \dot{I}'_B &= \dot{U}'_B \times \underline{Y}_B = (-56,85 - j35,27) \times (0,08 + j0,06) = \\
 &= -4,55 - j3,41 - j2,82 + 2,12 = -2,43 - j6,23
 \end{aligned}$$

$$\dot{I}'_C = \dot{U}'_C \times \underline{Y}_C = (-56,85 + j138,73) \times 0,05 = -2,84 + j6,94$$

9) Построить топографическую диаграмму при обрыве нулевого провода:

строим вектора фазных ЭДС генератора, сдвинутые относительно друг друга на 120° ;

строим вектор узлового напряжения $\dot{U}_0$ по его комплексному выражению;

строим вектора фазных напряжений потребителя по уравнениям пункта 8.2.;

строим вектора линейных напряжений:

$$\dot{U}_{AB} = \dot{E}_A - \dot{E}_B, \dot{U}_{BC} = \dot{E}_B - \dot{E}_C,$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{E}_C - \dot{E}_A.$$

Топографическая диаграмма строится в масштабе (см. рис.12).

Поскольку расчет в комплексных числах достаточно трудоемок, предлагается выполнить эту же практическую работу в среде математической программы Mathcad 2001 Professional

РАСЧЕТ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ, СОЕДИНЕННЫХ В ЗВЕЗДУ,
МЕТОДОМ УЗЛОВОГО НАПРЯЖЕНИЯ В КОМПЛЕКСНЫХ
ЧИСЛАХ В СРЕДЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ MATHCAD
2001 PROFESSIONAL

Введите исходные данные:

$$Z_a := 16 + 12i \quad Z_b := 8 - 6i \quad Z_c := 20 \quad Z_n := 1 \quad U_l := 173$$

Определить токи фаз, ток в нулевом проводе, трехфазную активную мощность цепи.

Решение:

1. Запишем ЭДС трехфазного генератора:

$$E_a := \frac{U_l}{1.73} \quad E_a = 100 \quad E_b := E_a \cdot e^{-2 \cdot \pi \cdot \frac{i}{3}} \quad E_b = -50 - 86.603i$$

$$E_c := E_a \cdot e^{2 \cdot \pi \cdot \frac{i}{3}} \quad E_c = -50 + 86.603i$$

2. Определяем проводимости фаз и нулевого провода:

$$y_a := \frac{1}{Z_a} \quad y_a = 0.04 - 0.03i$$

$$y_b := \frac{1}{Z_b} \quad y_b = 0.08 + 0.06i$$

$$y_c := \frac{1}{Z_c} \quad y_c = 0.05 \quad y_n := \frac{1}{Z_n} \quad y_n = 1$$

3. Определяем узловое напряжение:

$$U_0 := \frac{(E_a \cdot y_a + E_b \cdot y_b + E_c \cdot y_c)}{y_a + y_b + y_c + y_n} \quad U_0 = 2.115 - 7.403i$$

4. Напряжения на фазах потребителя:

$$U_a := E_a - U_0 \quad U_a = 97.885 + 7.403i$$

$$U_b := E_b - U_0 \quad U_b = -52.115 - 79.2i$$

$$U_c := E_c - U_0 \quad U_c = -52.115 + 94.006i$$

5. Определяем токи фаз и нулевого провода:

$$I_a := U_a \cdot y_a \qquad I_a = 4.138 - 2.64i$$

$$I_b := U_b \cdot y_b \qquad I_b = 0.583 - 9.463i$$

$$I_c := U_c \cdot y_c \qquad I_c = -2.606 + 4.7i$$

$$I_n := U_0 \cdot y_n \qquad I_n = 2.115 - 7.403i$$

проверка: $I_a + I_b + I_c = 2.115 - 7.403i$

6. Действующие значения токов и напряжений :

$$|I_a| = 4.908 \qquad |I_b| = 9.481$$

$$|U_a| = 98.165 \qquad |U_b| = 94.808$$

$$|I_c| = 5.374 \qquad |I_n| = 7.699$$

$$|U_c| = 107.485 \qquad |U_0| = 7.699$$

7. Определяем мощности фаз:

$$S_a := U_a \cdot (\operatorname{Re}(I_a) - \operatorname{Im}(I_a) i) \quad S_a = 385.454 + 289.091i$$

$$S_b := U_b \cdot (\operatorname{Re}(I_b) - \operatorname{Im}(I_b) i) \quad S_b = 719.08 - 539.31i$$

$$S_c := U_c \cdot (\operatorname{Re}(I_c) - \operatorname{Im}(I_c) i) \quad S_c = 577.649$$

8. Трехфазная мощность

$$S := S_a + S_b + S_c \quad S = 1.682 \times 10^3 - 250.219i$$

$$P := \operatorname{Re}(S) \quad P = 1.682 \times 10^3$$

$$Q := \operatorname{Im}(S) \quad Q = -250.219$$

Лекция № 3.

6. *Соединение обмоток генератора в треугольник.*

Для соединения обмоток генератора треугольником (рис.14) конец первой обмотки X соединяют с началом второй обмотки B, конец второй Y – с началом третьей C и конец третьей Z – с началом первой A. От начала каждой обмотки A, B, C к потребителям энергии прокладывают линейный провод. При этом соединении нейтральный провод отсутствует. Таким образом, при соединении обмоток генератора треугольником получают трехпроводную, электрически связанную трехфазную систему.

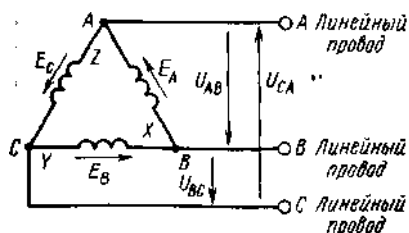


Рис.14.Схема соединения обмоток генератора треугольником

Обозначим линейные напряжения генератора U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} . Напомним, что фазные напряжения измеряются между началом и концом каждой обмотки генератора, а линейные – между линейными проводами. При соединении треугольником каждая обмотка генератора присоединена к соответствующим линейным проводам. Например, к линейным проводам А и В подключена обмотка А – Х, а к линейным В и С – обмотка В – У. Поэтому линейное напряжение в то же время является и фазным, т.е. $U_{л} = U_{ф}$.

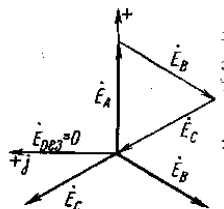


Рис.15.Векторная диаграмма ЭДС генератора

При соединении треугольником обмотки статора образуют замкнутый контур с действующими ЭДС E_A , E_B и E_C . Ток в замкнутом контуре прямо пропорционален полному сопротивлению контура. Т.к. $\vec{E}_A + \vec{E}_B + \vec{E}_C = 0$ (рис.15), то при отключенных приемниках энергии уравнительного тока в обмотках генератора не возникает. Неправильное включение одной из фаз генератора чрезвычайно опасно, т.к. при этом сумма фазных ЭДС будет равна не нулю, а удвоенному значению одной из них, и в замкнутом контуре потечет ток короткого замыкания.

7. Расчет симметричного треугольника.

На рис.16 дана общая схема соединения приемников электрической энергии треугольником, где $\underline{Z}_{AB}, \underline{Z}_{BC}, \underline{Z}_{CA}$ – сопротивления фаз приемника, $\dot{I}_{AB}, \dot{I}_{BC}, \dot{I}_{CA}$ – фазные токи, а $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$ – линейные. Положительные фазные токи направлены от начала фаз к их концам, а положительные линейные токи – от генератора к приемнику энергии. При соединении треугольником каждая фаза приемника энергии находится под линейным напряжением, т.е. $U_L = U_\Phi$.

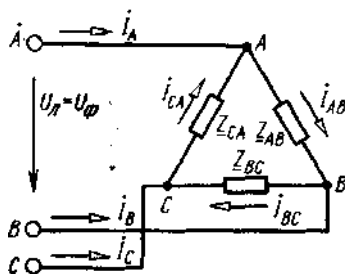


Рис.16 Схема соединения трехфазного потребителя треугольником

Фазные токи определяют по закону Ома:

$$\dot{I}_{AB} = \dot{U}_{AB} / \underline{Z}_{AB}, \quad \dot{I}_{BC} = \dot{U}_{BC} / \underline{Z}_{BC}, \quad \dot{I}_{CA} = \dot{U}_{CA} / \underline{Z}_{CA}.$$

Для определения линейных токов составим уравнения по первому закону Кирхгофа для узлов схемы. Для узла А $\dot{I}_A + \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{AB} = 0$. Отсюда первый линейный ток

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}.$$

Аналогично определяем второй и третий линейные токи:

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}, \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}.$$

Таким образом, линейные токи равны разности соответствующих фазных токов. На рис.17 показана векторная диаграмма напряжений и токов при симметричной нагрузке, соединенной треугольником. Фазные напряжения, равные линейным напряжениям, выражаются векторами $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$.

Фазные токи $\dot{I}_{AB}, \dot{I}_{BC}, \dot{I}_{CA}$ равны по величине и сдвинуты относительно фазных напряжений на одинаковые углы φ . Для построения вектора $\dot{I}_A$ к вектору $\dot{I}_{AB}$ прибавим вектор $-\dot{I}_{CA}$, равный по абсолютной величине вектору $\dot{I}_{CA}$, но направленный в противоположную сторону. Аналогично строим векторы $\dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}$, $\dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}$.

При симметричной нагрузке фаз приемника, соединенного треугольником, линейный ток больше фазного в $\sqrt{3}$ раз: $I_L = \sqrt{3} * I_\varphi$.

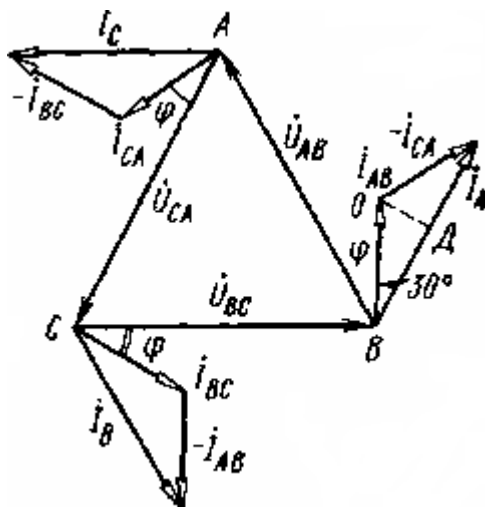


Рис.17. Векторная диаграмма фазных и линейных токов и напряжений

Значения трехфазных мощностей определяются аналогично соединению приемников в звезду.

Инструкционно – технологическая карта

Практическая работа №3

Тема: Трёхфазные электрические цепи

Наименование работы: **Расчет симметричного режима трёх-фазных цепей, соединенных "звездой" и "треугольником".**

Цель работы: Усвоить умение вести расчёт симметричного трёх-фазного потребителя.

Норма времени: 2 часа.

Место проведения: аудитория

Оснащение рабочего места: рабочая тетрадь, линейка, цветные карандаши, микрокалькулятор

Основные правила техники безопасности: соблюдать правила поведения в аудитории.

Литература: Л.А.Частоедов « Электротехника» - М.:Высшая школа, 1989г. Стр. 249 – 256 , 261 - 263.

Ход работы

Задание №1. Произвести расчёт трёхфазного потребителя, если задано линейное напряжение U_L , R_ϕ и $X_{L\phi}$ сопротивления фаз, если сначала соединить его в звезду, а затем в треугольник. В результате расчета определить: I_ϕ , I_L , P , Q , S , $\cos \phi$ - ? Построить векторную диаграмму фазных и линейных токов, фазных напряжений.

Задание №2. Трёхфазный электродвигатель, обмотки которого соединены в звезду или в треугольник, потребляет мощность P .

Определить: 1) R_ϕ , X_ϕ , Z_ϕ ;

2) I_ϕ и I_L ;

3) U_ϕ ;

4) Q , S .

1)Составить схему трёхфазного потребителя, соединённого звездой.

2)Произвести расчёт потребителя при симметричной звезде.

3)Построить векторную диаграмму для соединения в звезду.

4)Составить схему трёхфазного потребителя, соединённого в треугольник.

5)Произвести расчёт потребителя при симметричном треугольнике.

6)Построить векторную диаграмму для соединения в треугольник.

7)Произвести расчёт симметричного потребителя, соеди-

нённого звездой или треугольником (задание №2).
8) Составить схему цепи (задание №2).

Содержание отчёта

1. Тема.
2. Цель работы.
3. Решение задания №1.
4. Решение задания №2.
5. Ответы на вопросы.

Контрольные вопросы

1. Какое соединение трёхфазного потребителя называется
а) звездой?
б) треугольником?
2. Расскажите, как построить вектора линейных токов на векторной диаграмме для треугольника?
3. Объясните порядок построения векторной диаграммы для симметричной звезды.
4. Как ведет себя напряжение по отношению к току в цепи с чисто – активной, активно – индуктивной, активно – емкостной, чисто – индуктивной нагрузкой?

Пример расчета

РАСЧЕТ СИММЕТРИЧНОЙ «ЗВЕЗДЫ».

Задача № 1а.

Три одинаковые катушки включены в сеть трехфазного тока с напряжением $U_{\text{л}} = 220 \text{ В}$. Активное сопротивление каждой катушки $R_{\text{ф}} = 2 \text{ Ом}$, индуктивное – $X_{\text{ф}} = 9,8 \text{ Ом}$. Определить линейный ток и мощность P , потребляемую катушками, если они включены «звездой». Построить векторную диаграмму.

Решение

Составляем схему цепи (рис.18)

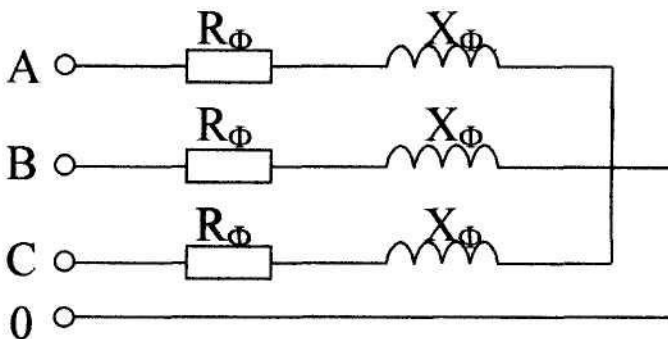


Рис.18.Схема цепи

Напряжение фазное:

$$U_{\phi} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} = \frac{220}{1,73} = 127B$$

Полное сопротивление каждой катушки:

$$Z_{\phi} = \sqrt{R_{\phi}^2 + X_{\phi}^2} = \sqrt{2^2 + 9,8^2} = 10Om$$

Фазный ток:

$$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\phi}} = \frac{127}{10} = 12,7A$$

Линейный ток:

$$I_{\text{л}} = I_{\phi} = 12,7A$$

Коэффициент мощности:

$$\cos\varphi = \frac{R_{\phi}}{Z_{\phi}} = \frac{2}{10} = 0,2$$

Мощность, потребляемая катушками:

$$P = 3 \times I_{\phi} \times U_{\phi} \times \cos\varphi = 3 \times 12,7 \times 127 \times 0,2 = 967Bm \text{ - активная}$$

$$Q = 3 \times I_{\phi} \times U_{\phi} \times \sin\varphi = 3 \times 12,7 \times 127 \times \sqrt{1 - 0,2^2} = 4741BAp$$

- реактивная

$$S = 3 \times I_{\phi} \times U_{\phi} = 3 \times 12,7 \times 127 = 4839BA \text{ - полная.}$$

Угол сдвига между фазными токами и напряжениями составляет

$$\varphi = \arccos 0.2 = \arccos 0.2 = 78^\circ.$$

Строим векторную диаграмму

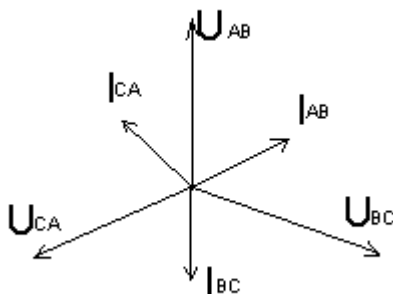


Рис.19. Векторная диаграмма токов и напряжений

РАСЧЕТ СИММЕТРИЧНОГО «ТРЕУГОЛЬНИКА»

Задача № 16.

Три одинаковые катушки включены в сеть трехфазного тока с напряжением $U_{\text{л}} = 220 \text{ В}$. Активное сопротивление каждой катушки $R_{\text{ф}} = 2 \text{ Ом}$, индуктивное $X_{\text{ф}} = 9,8 \text{ Ом}$. Определить линейный ток и мощность P , потребляемую катушками, если они включены «треугольником». Построить векторную диаграмму.

Решение

Составляем схему цепи (рис.20)

Напряжение фазное: $U_{\text{ф}} = U_{\text{л}} = 220 \text{ В}$

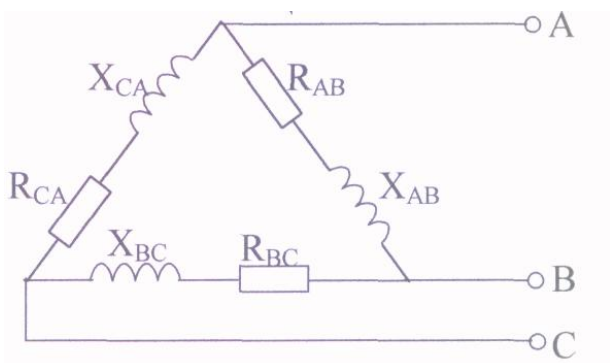


Рис.20. Схема цепи

Полное сопротивление каждой катушки:

$$Z_{\phi} = \sqrt{R_{\phi}^2 + X_{\phi}^2} = \sqrt{2^2 + 9,8^2} = 10 \text{ Ом}$$

Фазный ток:

$$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\phi}} = \frac{220}{10} = 22 \text{ А}$$

Линейный

ток:

$$I_{\text{л}} = \sqrt{3} \times I_{\phi} = 1,73 \times 22 = 38 \text{ А}$$

Коэффициент мощности:

$$\cos \varphi = \frac{R_{\phi}}{Z_{\phi}} = \frac{2}{10} = 0,2$$

Мощность, потребляемая катушками:

$$P = 3 \times I_{\phi} \times U_{\phi} \times \cos \varphi = 3 \times 22 \times 220 \times 0,2 = 2904 \text{ Вт} - \text{ак-}$$

тивная

$$Q = 3 \times I_{\phi} \times U_{\phi} \times \sin \varphi = 3 \times 22 \times 220 \times \sqrt{1 - 0,2^2} = 14227 \text{ ВАр}$$

- реактивная

$$S = 3 \times I_{\phi} \times U_{\phi} = 3 \times 22 \times 220 = 14520 \text{ ВА} - \text{полная.}$$

Угол сдвига между фазными токами и напряжениями составляет

$$\varphi = \arccos 0,2 = 78^{\circ}.$$

Строим векторную диаграмму (рис.21):

Строим вектора фазных напряжений

Строим вектора фазных токов

Строим вектора линейных токов по уравнениям:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}, \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}$$

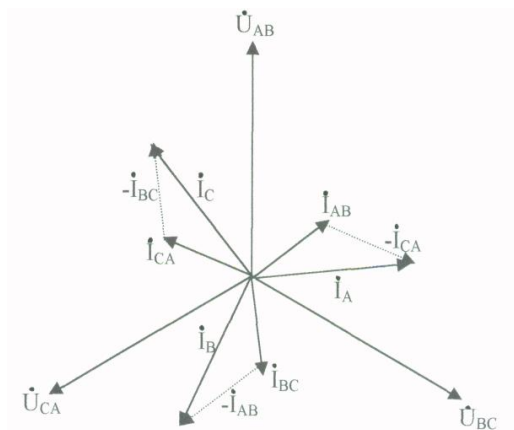


Рис.21. Векторная диаграмма токов и напряжений

Задача №2.

Дано: $U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$, обмотки двигателя соединены в звезду

$f = 50 \text{ Гц}$

$I_{\text{л}} = 60 \text{ А}$

$P = 30 \text{ кВт}$

R_{ϕ} , X_{ϕ} , Z_{ϕ} , L , $\cos \varphi$ - ?

Решение:

1. Коэффициент мощности:

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} \times U_{\text{л}} \times I_{\text{л}}} = \frac{30000}{1,73 \times 380 \times 60} = 0,76$$

2. Полное

сопротивление

фазы:

$$Z_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{I_{\phi}} = \frac{220}{60} = 3,67 \text{ Ом}$$

где $U_{\phi} = U_{\mathcal{L}} / \sqrt{3} = 380 / 1,73 = 220 \text{ В}; I_{\phi} = I_{\mathcal{L}} = 60 \text{ А}$

3. Активное сопротивление фазы приемника:

$$R_{\phi} = Z_{\phi} \times \cos \varphi = 3,67 \times 0,76 = 2,79 \text{ Ом}$$

4. Индуктивное сопротивление фазы приемника:

$$X_{\phi} = \sqrt{Z_{\phi}^2 - R_{\phi}^2} = \sqrt{3,67^2 - 2,79^2} = 2,39 \text{ Ом}$$

5. Индуктивность:

$$L = \frac{X_{\phi}}{2 \times \pi \times f} = \frac{2,39}{2 \times 3,14 \times 50} = 0,0076 \text{ Гн}$$

Лекция № 4

8. Расчет несимметричного треугольника

Расчет при несимметричной нагрузке по фазам производится в комплексных числах. Для этого значения фазных напряжений источника и сопротивлений фаз потребителя записывают в комплексном выражении.

Порядок расчета:

Фазные напряжения в комплексной форме:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{AB} &= U_{\phi}, \quad \dot{U}_{BC} = U_{\phi} \times \angle 0,5 - j0,87 \\ \dot{U}_{CA} &= U_{\phi} \times \angle 0,5 + j0,87 \end{aligned}$$

Фазные токи: $\dot{I}_{AB} = \dot{U}_{AB} / \underline{Z}_{AB}, \quad \dot{I}_{BC} = \dot{U}_{BC} / \underline{Z}_{BC},$
 $\dot{I}_{CA} = \dot{U}_{CA} / \underline{Z}_{CA}$

Линейные токи: $\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}, \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB},$
 $\dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}$

Мощности: $\tilde{S}_{AB} = \dot{U}_{AB} \times \dot{I}_{AB}^*$, $\tilde{S}_{BC} = \dot{U}_{BC} \times \dot{I}_{BC}^*$,
 $\tilde{S}_{CA} = \dot{U}_{CA} \times \dot{I}_{CA}^*$

Действующие значения фазных и линейных токов определяются по теореме Пифагора по соответствующим комплексным значениям

Проверка мощностей с учетом полученных действующих значений:

$$P_{AB} = I_{AB}^2 \times R_{AB} \text{ и } Q_{AB} = I_{AB}^2 \times X_{AB}, \quad P_{BC} = I_{BC}^2 \times R_{BC} \text{ и } Q_{BC} = I_{BC}^2 \times X_{BC},$$

$$P_{CA} = I_{CA}^2 \times R_{CA} \text{ и } Q_{CA} = I_{CA}^2 \times X_{CA}.$$

Полученные значения мощностей необходимо сравнить с данными расчета мощностей в комплексной форме.

Векторная диаграмма строится аналогично симметричной нагрузке, только в каждой фазе необходимо определить углы сдвига между напряжением и током и учесть характер нагрузки (рис.22):

$$\varphi_{AB} = \arccos \varphi_{AB} = \arccos \left(\frac{R_{AB}}{\sqrt{R_{AB}^2 + X_{AB}^2}} \right),$$

$$\varphi_{BC} = \arccos \varphi_{BC} = \arccos \left(\frac{R_{BC}}{\sqrt{R_{BC}^2 + X_{BC}^2}} \right),$$

$$\varphi_{CA} = \arccos \varphi_{CA} = \arccos \left(\frac{R_{CA}}{\sqrt{R_{CA}^2 + X_{CA}^2}} \right).$$

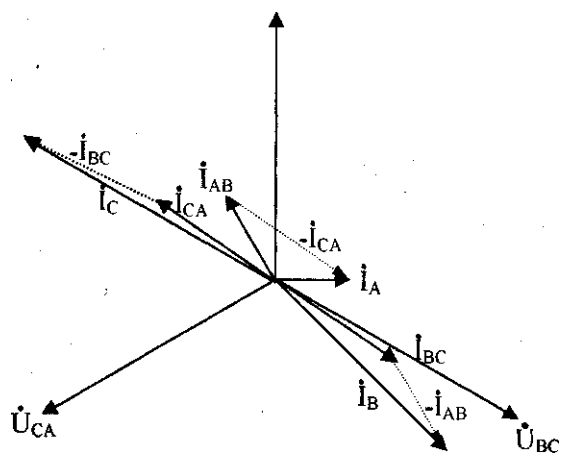


Рис.22. Векторная диаграмма токов и напряжений

Инструкционно – технологическая карта

Практическая работа №4

Тема: Трёхфазные электрические цепи

Наименование работы: **Расчет несимметричного треугольника.**

Цель работы: Закрепить расчет несимметричного треугольника.

Норма времени: 2 часа.

Место проведения: аудитория

Оснащение рабочего места: рабочая тетрадь, линейка, цветные карандаши, микрокалькулятор

Основные правила техники безопасности: соблюдать правила поведения в аудитории.

Литература: Л.А.Частоедов «Электротехника» - М.:Высшая школа, 1989г. Стр. 261 – 264.

Ход работы

Задание. Трёхфазный потребитель соединён в треугольник и включен под фазное напряжение U_{ϕ} . Сопротивления фаз потребителя Z_{AB}, Z_{BC}, Z_{CA} . Определить: Фазные токи; Линейные токи; Мощности;

Построить векторную диаграмму.

1. Выписать исходные данные.
2. Составить схему цепи.
3. Рассчитать несимметричный треугольник:
 - 1) Записать напряжения на фазах потребителя в комплексной форме;
 - 2) Определить фазные токи I_{AB}, I_{BC}, I_{CA} ;
 - 3) Определить линейные токи I_A, I_B, I_C ;
 - 4) Определить мощности P, Q, S ;
 - 5) Построить векторную диаграмму.

Содержание отчёта

1. Тема.
2. Цель работы.
3. Подробный расчёт цепи.
4. Вывод.
5. Ответить на вопросы.

Контрольные вопросы

1. Какое напряжение называется а) фазным? б) линейным?
2. Чем отличается векторная диаграмма для симметричного и несимметричного треугольника?
3. Как проверить, правильно ли решена задача?
4. Как вычислить линейный ток
а) при симметричной нагрузке фаз?

6) при несимметричной нагрузке фаз?

Пример расчета

Дано: $U_{\phi} = 200 \text{ В}$

$$\underline{Z}_{AB} = 16 - j12$$

$$\underline{Z}_{BC} = 10 \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_{CA} = 6 + j8$$

$I_{AB}, I_{BC}, I_{CA}, P - ?$

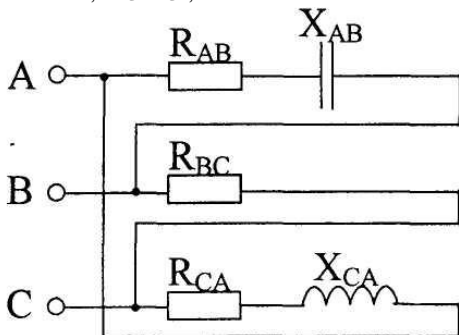


Рис.23. Схема цепи

Фазные напряжения в комплексной форме:

$$\dot{U}_{AB} = U_{\phi} = 200 \text{ В},$$

$$\dot{U}_{BC} = U_{\phi} \times \angle -0,5 - j0,87 = 200 \times \angle -0,5 - j0,87 = -100 - j174 \text{ В}$$

$$\dot{U}_{CA} = U_{\phi} \times \angle 0,5 + j0,87 = 200 \times \angle 0,5 + j0,87 = -100 + j174 \text{ В}$$

Фазные токи:

$$\dot{I}_{AB} = \dot{U}_{AB} / \underline{Z}_{AB} = \frac{200}{16 - j12} = \frac{200 \times \angle 6 + j12}{16^2 + 12^2} = \frac{3200 + j2400}{400} = 8 + j6$$

$$\dot{I}_{BC} = \dot{U}_{BC} / \underline{Z}_{BC} = \frac{-100 - j174}{10} = -10 - j17,4,$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{CA} &= \dot{U}_{CA} / \underline{Z}_{CA} = \frac{-100 + j174}{6 + j8} = \frac{\angle 100 + j174 \times \angle 6 - j8}{6^2 + 8^2} = \\ &= 7,92 + j18,44 \end{aligned}$$

Линейные токи:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} = 8 + j6 - 7,92 - j18,44 = 0,08 - j12,44$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB} = -10 - j17,4 - 8 - j6 = -18 - j23,4,$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC} = 7,92 + j18,44 + 10 + j17,4 = 18 + j35,84$$

Мощности:

$$\tilde{S}_{AB} = \dot{U}_{AB} \times \dot{I}_{AB}^* = 200 \times \langle -j6 \rangle = 1600 - j1200,$$

$P_{AB} = 1600 \text{ Вт}$ и $Q_{AB} = 1200 \text{ ВАр}$ нагрузка активно - емкостная

$$\tilde{S}_{BC} = \dot{U}_{BC} \times \dot{I}_{BC}^* = \langle 100 - j17,4 \rangle \langle 10 + j17,4 \rangle = 4028,$$

$P_{BC} = 4028 \text{ Вт}$ и $Q_{BC} = 0 \text{ ВАр}$ нагрузка активная

$$\tilde{S}_{CA} = \dot{U}_{CA} \times \dot{I}_{CA}^* = \langle 100 + j17,4 \rangle \langle 0,92 - j18,44 \rangle = 2417 + j3222$$

$P_{CA} = 2417 \text{ Вт}$ и $Q_{CA} = 3222 \text{ ВАр}$ нагрузка активно - индуктивная

Действующие значения фазных и линейных токов определяются по теореме Пифагора по соответствующим комплексным значениям:

$$I_{AB} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10 \text{ А}, \quad I_{BC} = \sqrt{10^2 + 17,4^2} = 20 \text{ А},$$

$$I_{CA} = \sqrt{7,92^2 + 18,44^2} = 20 \text{ А},$$

$$I_A = \sqrt{0,08^2 + 12,44^2} = 12,44 \text{ А},$$

$$I_B = \sqrt{18^2 + 23,4^2} = 30,5 \text{ А}, \quad I_C = \sqrt{18^2 + 35,84^2} = 40,85 \text{ А}$$

Проверка мощностей с учетом полученных действующих значений:

$$P_{AB} = I_{AB}^2 \times R_{AB} = 10^2 \times 16 = 1600 \text{ Вт} \quad \text{и}$$

$$Q_{AB} = I_{AB}^2 \times X_{AB} = 10^2 \times 12 = 1200 \text{ ВАр},$$

$$P_{BC} = I_{BC}^2 \times R_{BC} = 20^2 \times 10 = 4000 \text{ Вт} \quad \text{и}$$

$$Q_{BC} = I_{BC}^2 \times X_{BC} = 20^2 \times 0 = 0 \text{ ВАр},$$

$$P_{CA} = I_{CA}^2 \times R_{CA} = 20^2 \times 6 = 2400 \text{ Вт} \quad \text{и}$$

$$Q_{CA} = I_{CA}^2 \times X_{CA} = 20^2 \times 8 = 3200 \text{ ВАр}.$$

Погрешность вычислений находится в пределах допустимых значений.

Векторная диаграмма строится аналогично симметричной нагрузке, углы сдвига между напряжением и током и учесть характер нагрузки (рис.22):

$$\varphi_{AB} = \arccos \varphi_{AB} = \arccos \left(\frac{R_{AB}}{\sqrt{R_{AB}^2 + X_{AB}^2}} \right) =$$

$$= \arccos \left(\frac{16}{\sqrt{16^2 + 12^2}} \right) = \arccos 0,8 = 37^\circ$$

$$\varphi_{BC} = \arccos \varphi_{BC} = \arccos \left(\frac{R_{BC}}{\sqrt{R_{BC}^2 + X_{BC}^2}} \right) =$$

$$= \arccos \left(\frac{10}{\sqrt{10^2 + 0}} \right) = \arccos 1 = 0^\circ$$

$$\varphi_{CA} = \arccos \varphi_{CA} = \arccos \left(\frac{R_{CA}}{\sqrt{R_{CA}^2 + X_{CA}^2}} \right) =$$

$$= \arccos \left(\frac{6}{\sqrt{6^2 + 8^2}} \right) = \arccos 0,6 = 53^\circ$$

РАСЧЕТ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ, СОЕДИНЕННЫХ В ТРЕУГОЛЬНИК, ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКЕ В КОМПЛЕКСНЫХ ЧИСЛАХ В СРЕДЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ MATHCAD 2001 PROFESSIONAL

Введите исходные данные:

$$Z_{ab} := 16 - 12i \quad Z_{bc} := 10 \quad Z_{ca} := 6 + 8i \quad U_{\phi} := 200$$

Определить токи фаз, токи в линейных проводах, трехфазную активную мощность цепи.

Решение:

1. Фазные напряжения в комплексной форме:

$$\begin{aligned} U_{\phi} &:= U_{\phi} & U_{\phi} &= 200 & U_{ab} &:= U_{\phi} & U_{ab} &= 200 \\ U_{bc} &:= U_{\phi} \cdot e^{-2 \cdot \pi \frac{i}{3}} & U_{bc} &= -100 - 173.205i \\ U_{ca} &:= U_{\phi} \cdot e^{2 \cdot \pi \frac{i}{3}} & U_{ca} &= -100 + 173.205i \end{aligned}$$

2. Фазные токи :

$$\begin{aligned} I_{ab} &:= \frac{U_{ab}}{Z_{ab}} & I_{ab} &= 8 + 6i \\ I_{bc} &:= \frac{U_{bc}}{Z_{bc}} & I_{bc} &= -10 - 17.321i \\ I_{ca} &:= \frac{U_{ca}}{Z_{ca}} & I_{ca} &= 7.856 + 18.392i \end{aligned}$$

3. Линейные токи :

$$\begin{aligned} I_a &:= I_{ab} - I_{ca} & I_a &= 0.144 - 12.392i \\ I_c &:= I_{ca} - I_{bc} & I_c &= 17.856 + 35.713i \\ I_b &:= I_{bc} - I_{ab} & I_b &= -18 - 23.321i \end{aligned}$$

4. Определяем мощности фаз

$$S_{ab} := U_{ab} \cdot (\operatorname{Re}(I_{ab}) - \operatorname{Im}(I_{ab}) i) \quad S_{ab} = 1.6 \times 10^3 - 1.2i \times 10^3$$

$$S_{bc} := U_{bc} \cdot (\operatorname{Re}(I_{bc}) - \operatorname{Im}(I_{bc}) i) \quad S_{bc} = 4 \times 10^3$$

$$S_{ca} := U_{ca} \cdot (\operatorname{Re}(I_{ca}) - \operatorname{Im}(I_{ca}) i) \quad S_{ca} = 2.4 \times 10^3 + 3.2i \times 10^3$$

5. Трехфазная мощность:

$$S := S_{ab} + S_{bc} + S_{ca} \quad S = 8 \times 10^3 + 2i \times 10^3$$

$$P := \operatorname{Re}(S) \quad P = 8 \times 10^3$$

$$Q := \operatorname{Im}(S) \quad Q = 2 \times 10^3$$

6. Действующие значения фазных и линейных токов

$$|I_a| = 12.393 \quad |I_b| = 29.459 \quad |I_c| = 39.928$$

$$|I_{ab}| = 10 \quad |I_{bc}| = 20 \quad |I_{ca}| = 20$$

7. Проверка

$$P_{ab} := |I_{ab}|^2 \cdot \operatorname{Re}(Z_{ab}) \quad P_{ab} = 1.6 \times 10^3$$

$$Q_{ab} := |I_{ab}|^2 \cdot \operatorname{Im}(Z_{ab}) \quad Q_{ab} = -1.2 \times 10^3$$

$$P_{bc} := |I_{bc}|^2 \cdot \operatorname{Re}(Z_{bc}) \quad P_{bc} = 4 \times 10^3$$

$$Q_{bc} := |I_{bc}|^2 \cdot \operatorname{Im}(Z_{bc}) \quad Q_{bc} = 0$$

$$P_{ca} := |I_{ca}|^2 \cdot \operatorname{Re}(Z_{ca}) \quad P_{ca} = 2.4 \times 10^3$$

$$Q_{ca} := |I_{ca}|^2 \cdot \operatorname{Im}(Z_{ca}) \quad Q_{ca} = 3.2 \times 10^3$$

Инструкционно – технологическая карта

Лабораторная работа №.1

Тема: *Трехфазные электрические цепи*

Наименование работы: *Исследование трехфазной цепи, соединенной звездой*

Цели работы: 1) исследование трехфазной цепи переменного тока при соединении потребителя в «звезду»;

2) приобретение навыков в построении векторных диаграмм;

3) приобретение навыков моделирования простейших электрических цепей.

Норма времени: 2 часа.

Место проведения: лаборатория компьютеризации

Оснащение рабочего места: персональный компьютер с установленной учебной моделирующей программой **Electronics Workbench**.

Основные правила техники безопасности: соблюдать правила работы на персональном компьютере.

Литература: методические указания, Л.А.Частоедов «Электротехника» - М.:Высшая школа, 1989г. Стр. 254 - 261

Ход работы

1.Собрать схему, представленную на рис.24 в рабочем поле программы.

1.1. выбрать в библиотеке «Sources» 3 источника переменной ЭДС, установить их параметры:

фаза А: напряжение 220 В, частоту тока 50Гц, начальную фазу 0 градусов;

фаза В: напряжение 220В, частоту тока 50Гц, начальную фазу 240 градусов;

фаза С: напряжение 220В, частоту тока 50Гц, начальную фазу 120 градусов;

1.2. выбрать в библиотеке «Basic» три резистора, установить их параметры: сопротивление «10 Ω»;

1.3. выбрать на панели «Indicators» прибор амперметр, установить для амперметра род тока АС (переменный), открыв

вкладку «Value», и условное обозначение P_{Aa} , открыв вкладку «Label»;

1.4. аналогично установить амперметры P_{Av} , P_{Ac} , P_{Ao} ;

1.5. выбрать на панели «Indicators» прибор вольтметр, установить для вольтметра род тока АС (переменный), открыв вкладку «Value», и условное обозначение P_{Vav} , открыв вкладку «Label»;

1.6. аналогично установить вольтметры P_{Vbc} , P_{Vca} , P_{Va} , P_{Vb} , P_{Vc} ;

1.7. произвести соединение элементов схемы в соответствии с рис.24.

2. Активировать работу схемы нажатием пиктограммы ключа.

3. Записать показания приборов в таблицу 1 в строку «симметричная с нулем».

4. Изменить параметры сопротивлений нагрузки: $R_a = 10 \text{ Ом}$, $R_b = 20 \text{ Ом}$, $R_c = 5 \text{ Ом}$.

5. Активировать работу схемы нажатием пиктограммы ключа.

6. Записать показания приборов в таблицу 1 в строку «несимметричная с нулем».

7. Отключить в схеме нулевой провод.

8. Не изменяя параметров нагрузки, произвести измерение токов и напряжений при несимметричной нагрузке в схеме без нулевого провода.

9. Записать показания приборов в таблицу 1 в строку «несимметричная без нуля».

10. Изменить параметры сопротивлений нагрузки: $R_a = 10 \text{ Ом}$, $R_b = 10 \text{ Ом}$, $R_c = 10 \text{ Ом}$.

11. Активировать работу схемы нажатием пиктограммы ключа.

12. Записать показания приборов в таблицу 1 в строку «симметричная без нуля».

13. Произвести расчет мощностей для каждого опыта.

14. Построить векторную диаграмму токов и напряжений для опытов №1 и №3.

15. Сделать выводы о назначении нулевого провода в трехфазной цепи.

16. Ответить на вопросы теста «Соединение в звезду»

Задание для отчета

1. Тема и цель работы.

2. Схема опытов.

3. Таблица с результатами измерений.

4. Векторные диаграммы токов и напряжений.
5. Расчет мощностей.
6. Выводы по работе. Ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Какое соединение трехфазной цепи называют соединением «звездой»?
2. Чему равны соотношения при соединении звездой линейных и фазных напряжений, линейных и фазных токов?
3. Что такое симметричная и несимметричная нагрузка?
4. Какую роль играет нейтральный провод?
5. Какое напряжение называют напряжением смещения нейтрали?

Таблица 1

Результаты измерений и вычислений

нагрузка	измерено									вычислено				
	Ia,A	Ib,A	Ic,A	Io,A	Ua,B	Ub,B	Uc,B	Uab,B	Ubc,B	Uca,B	Pa,Bт	Pb,Bт	Pc,Bт	P,Bт
Симметричная с «0»														
Симметричная без «0»														
Несимметричная с «0»														
Несимметричная без «0»														

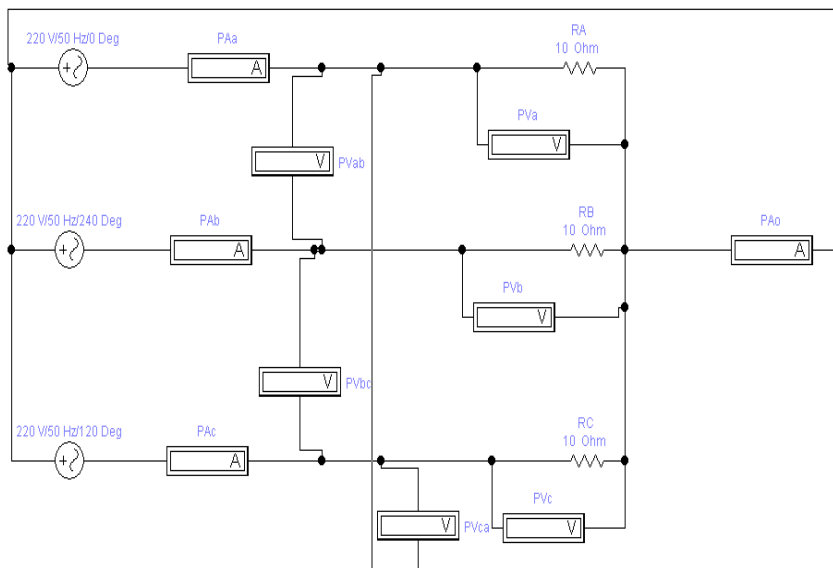


Рис.24. Схема опыта

Инструкционно - технологическая карта

Лабораторная работа №.2

Тема: *Трехфазные электрические цепи*

Наименование работы. *Исследование трехфазной цепи, соединенной треугольником*

Цели работы: 1) исследование трехфазной цепи переменного тока при соединении потребителя в «треугольник»;

2) приобретение навыков в построении векторных диаграмм;

3) приобретение навыков моделирования простейших электрических цепей.

Норма времени: 2 часа.

Место проведения: лаборатория компьютеризации

Оснащение рабочего места: персональный компьютер с установленной учебной моделирующей программой **Electronics Workbench**.

Основные правила техники безопасности: соблюдать правила работы на персональном компьютере.

Литература: методические указания, Л.А.Частоедов «Электротехника» - М.:Высшая школа, 1989г. Стр. 261 - 264

Ход работы

1.Собрать схему, представленную на рис.25 в рабочем поле программы.

1.1. выбрать в библиотеке «Sources» 3 источника переменной ЭДС , установить их параметры:

фаза А: напряжение 220 В, частоту тока 50Гц, начальную фазу 0 градусов;

фаза В: напряжение 220В, частоту тока 50Гц, начальную фазу 240 градусов;

фаза С: напряжение 220В, частоту тока 50Гц, начальную фазу 120 градусов;

1.2. выбрать в библиотеке «Basic» 3 резистора, установить их параметры: сопротивление «10 Ω »;

1.3. выбрать на панели «Indicators» прибор амперметр, установить для амперметра род тока АС (переменный), открыв вкладку «Value», и условное обозначение PАа, открыв вкладку «Label»;

1.4. аналогично установить амперметры PАв, PАс, PАab,PАbc,PАса;

1.5. выбрать на панели «Indicators» прибор вольтметр, установить для вольтметра род тока АС (переменный), открыв вкладку «Value», и условное обозначение PVав, открыв вкладку «Label»;

1.6. аналогично установить вольтметры PVbc, PVca;

1.7. произвести соединение элементов схемы в соответствии с рис.25.

2. Активировать работу схемы нажатием пиктограммы ключа.

3. Записать показания приборов в таблицу 2 в строку «симметричная».

4. Изменить параметры сопротивлений нагрузки: $R_{ab} = 10 \text{ Ом}$, $R_{bc} = 20 \text{ Ом}$, $R_{ca} = 5 \text{ Ом}$.
5. Активировать работу схемы нажатием пиктограммы ключа.
6. Записать показания приборов в таблицу 2 в строку «несимметричная».
7. Отключить в схеме фазный провод.
8. Изменить параметры сопротивлений нагрузки: $R_{ab} = 10 \text{ Ом}$, $R_{bc} = 10 \text{ Ом}$, $R_{ca} = \infty$.
9. Записать показания приборов в таблицу 2 в строку «обрыв фазного провода».
10. Восстановить фазный провод, отключить в схеме линейный провод.
11. Изменить параметры сопротивлений нагрузки: $R_a = 10 \text{ Ом}$, $R_b = 10 \text{ Ом}$, $R_c = 10 \text{ Ом}$.
12. Активировать работу схемы нажатием пиктограммы ключа.
13. Записать показания приборов в таблицу 2 в строку «обрыв линейного провода».
14. Произвести расчет мощностей для каждого опыта.
15. Построить векторную диаграмму токов и напряжений для опытов №1 и №3.
16. Ответить на вопросы теста «Соединение в треугольник»

Задание для отчета

1. Тема и цель работы.
2. Схема опытов.
3. Таблица с результатами измерений.
4. Векторные диаграммы токов и напряжений.
5. Расчет мощностей.
6. Выводы по работе. Ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Какое соединение трехфазной цепи называют соединением «треугольник»?
2. Чему равны соотношения, при соединении треугольником, линейных и фазных напряжений, линейных и фазных токов?
3. Как определяется линейный ток при симметричной и несимметричной нагрузке?

Таблица 2

Результаты измерений и вычислений

нагрузка	измерено									вычислено			
	Ia, A	Ib, A	Ic, A	Iab, A	Ibc, A	Ica, A	Uab, B	Ubc, B	Uca, B	Pab, Вт	Pbc, Вт	Pca, Вт	P, Вт
Симметричная													
Несимметричная													
Обрыв фазного про- вода													
Обрыв линейного про- вода»													

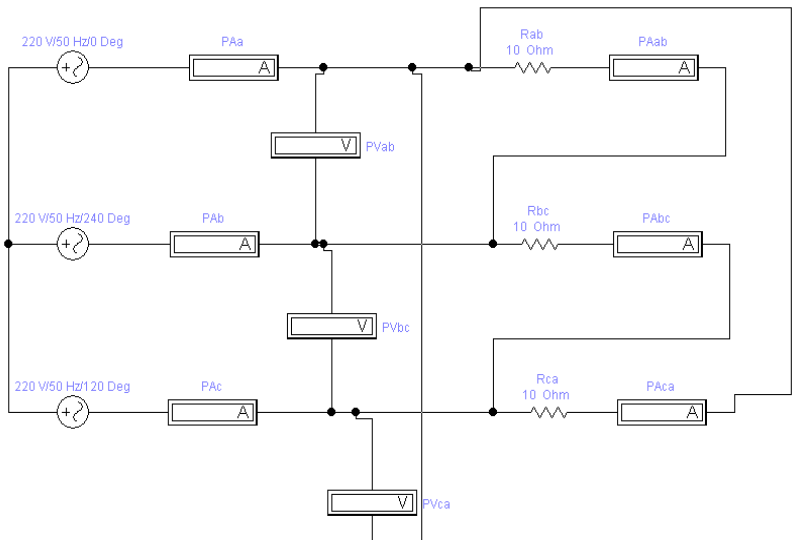


Рис.25.Схема опыта

ТЕСТЫ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Таблица 3. ТЕМА: Исследование трехфазной цепи, соединенной звездой

№ вопроса	Вопрос	№ ответа	Ответы
1	2	3	4
1	Напряжение между линейным и нейтральным проводами называется	1 2 3 4	фазным линейным напряжением смещения нейтрали действующим
2	Напряжение между двумя линейными проводами называется	1 2 3 4	фазным линейным напряжением смещения нейтрали действующим
3	Провод, соединяющий нейтраль генератора и нейтраль потребителя, называется	1 2 3 4	фазным линейным нулевым трехфазным
4	Выберете прямую последовательность чередования фаз	1 2 3 4	желтый, зеленый, красный зеленый, желтый, красный красный, желтый, зеленый желтый, красный, зеленый
5	Под каким углом располагаются вектора фазных напряжений в симметричной трехфазной системе?	1 2 3 4	90 градусов 120 градусов зависит от характера нагрузки под любым
6	Обмотки трехфазного генератора соединены звездой с нулевым проводом. Приемники с каким номинальным напряжением можно подключать к генератору, если фазное напряжение генератора 127В?	1 2 3 4	127 В 220 В 127 и 220 В 127 и 73 В
7	Чему равен ток в нейтральном проводе при симметричной нагрузке по фазам приемника?	1 2 3 4	фазному линейному сумме фазных токов нулю
8	Определить линейный ток, если линейное напряжение равно 220 В, $R_{\phi} = 10 \text{ Ом}$ (равномерная нагрузка соединена в звезду).	1 2 3 4	22 А 12,7 А 38 А 7,3 А

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4
9	Какой провод служит для выравнивания напряжений по фазам приемника при несимметричной нагрузке по фазам?	1 2 3 4	фазный линейный нейтральный это невозможно
10	Чему равна трехфазная активная мощность приемника с $\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C = 6 + j8 \text{ Ом}$ при включении его на линейное напряжение 380 В?	1 2 3 4	8712 Вт 25992 Вт 2904 Вт 17616 Вт

Таблица 4. ТЕМА: Исследование трехфазной цепи, соединенной треугольником

№ вопроса	Вопрос	№ ответа	Ответы
1	2	3	4
1	Каждая обмотка трехфазного двигателя рассчитана на напряжение 220 В. Укажите линейное напряжение трехфазной сети, в которую можно включить двигатель.	1 2 3 4	220 В 380 В 220 В или 380 В при разных схемах включения обмоток 220 и 380 В
2	Определить линейный ток приемника с активным сопротивлением 100 Ом при включении его в сеть с линейным напряжением 220 В при в соединении в треугольник.	1 2 3 4	1,9 А 3,8 А 6,6 А 3,3 А
3	Сколько проводов соединяют генератор и нагрузку, собранную по схеме треугольник?	1 2 3 4	6 3 3 или 4 2
4	Как называется напряжение между началом и концом одной фазы?	1 2 3 4	напряжение смещения нейтрали линейное фазное трехфазное

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4
5	При каком соединении обмоток трехфазного генератора линейное напряжение равно фазному?	1 2 3 4	звезда звезда с нулевым выводом треугольник так не бывает
6	Какие соотношения характерны для соединения в треугольник?	1 2 3 4	$U_{\text{Л}} = U_{\text{ф}}, I_{\text{Л}} = I_{\text{ф}}$ $U_{\text{Л}} = 1,73 \times U_{\text{ф}}, I_{\text{Л}} = I_{\text{ф}}$ $U_{\text{Л}} = U_{\text{ф}}, I_{\text{Л}} = 1,73 \times I_{\text{ф}}$ $U_{\text{Л}} = 1,73 \times U_{\text{ф}}, I_{\text{Л}} = 1,73 \times$
7	Чему равен фазный ток приемника с активным сопротивлением фазы 3 Ом и индуктивным сопротивлением фазы 4 Ом при включении его на линейное напряжение 220 В? (соединение треугольник)	1 2 3 4	4,4 А 44 А 76 А 25 А
8	Чему равен фазовый сдвиг между током и напряжением, если $\underline{Z}_{\text{ф}} = 6 + j8 \text{ Ом}$?	1 2 3 4	53 градуса 37 градусов 90 градусов 0 градусов
9	С чего начинается построение векторной диаграммы в трехфазных цепях?	1 2 3 4	с векторов фазных токов с векторов линейных токов с векторов фазных напряжений с векторов линейных напряжений
10	Определить коэффициент мощности трехфазного электродвигателя мощностью 15 кВт с фазным током 25 А при включении его на линейное напряжение 380 В, если обмотки собраны в треугольник	1 2 3 4	0,96 0,74 0,8 0,53

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурский, Д. Mathcad для студентов и школьников. Популярный самоучитель/Д.Гурский, Е.Турбина - СПб.: Питер, 2005. – 400с.
2. Попов, В.С. Теоретическая электротехника/ В.С.Попов - М.: Энергия, 1990. – 396с.
3. Фрумкин, А.М. Теоретические основы электротехники/ А.М.Фрумкин – М.: Высшая школа, 1982. – 407с.
4. Частоедов, Л.А. Электротехника. Учебное пособие для программированного обучения/ Л.А.Частоедов – М.: Высшая школа, 1984. – 352с.
5. Ярочкина, Г.В. Электротехника: Рабочая тетрадь/ Г.В.Ярочкина, А.А.Володарская – М.: Мастерство, 2001. – 96с.