

	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Башкирский государственный аграрный универ- ситет»	Методические указания
		Б3.В.4 Электротехника и электроника

Кафедра электрических машин
и электрооборудования

Б3.В.4 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к выполнению расчетно-графической работы по дисциплине **Ч.1 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

Направление подготовки
140100 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки
Энергообеспечение предприятий

Квалификация (степень) выпускника
бакалавр

Уфа 2014

УДК 621.3.024/025:378.147
ББК 22.33:78.58

Рекомендовано к изданию методической комиссией энергетического факультета (протокол № 1 от «30» августа 2014 г.)

Составитель: ст. преподаватель Филиппова О.Г.

Рецензент: доцент кафедры электроснабжения и применения электроэнергии в сельском хозяйстве
к.т.н. Галимарданов И.И.

Ответственный за выпуск: заведующий кафедрой электрических машин и электрооборудования
д.т.н., профессор Аипов Р.С.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Указания к выполнению расчетно-графической работы	4
2. Расчет электрической цепи постоянного тока	5
3. Расчет электрической цепи однофазного синусоидального тока	8
4. Расчет трехфазной электрической цепи	13
Библиографический список	16

1 УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

В процессе выполнения расчетно-графической работы (РГР) студенты должны приобрести навыки расчета линейных электрических цепей постоянного и однофазного синусоидального тока, а также трехфазных электрических цепей. Исходные параметры цепи, ее электрическая схема задаются в индивидуальных заданиях.

При выполнении РГР следует пользоваться общепринятыми обозначениями, расшифровывая их при первом применении. Решение должно сопровождаться краткими, но четкими пояснениями. Текст, формулы и числовые выкладки должны быть написаны четко и аккуратно. Все единицы измерения должны соответствовать Международной системе единиц СИ. Схемы, графики и векторные диаграммы должны вычерчиваться с соблюдением масштаба и ГОСТов.

РГР должна состоять из пояснительной записки, которая выполнена на листах формата А4 (297×210) мм. Рекомендуемый объем пояснительной записки составляет:

- при выполнении рукописным способом – 10...12 с.;
- при использовании средств оргтехники – 8...10 с.

Пояснительная записка оформляется согласно требованиям СПб БГАУ 2009 и должна включать:

- титульный лист;
- оглавление;
- задание на работу с указанием типовых схем и исходных данных для ее расчета;
- расчет электрической цепи с применением программных продуктов (Math Cad);
- проверку правильности решения;
- библиографический список.

2 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

2.1 ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

Линейные электрические цепи постоянного тока: основные понятия и определения. Идеализированные элементы, их математическое моделирование, свойства и характеристики. Топологические понятия схемы электрической цепи. Эквивалентные преобразования схем: «треугольник-звезда», «звезда-треугольник». Законы электрических цепей. Методы расчета электрических цепей. Методы контурных токов и узловых потенциалов. Метод двух узлов. Принцип наложения и метод наложения. Баланс мощностей в электрической цепи. Потенциальная диаграмма.

2.2 ЗАДАНИЕ № 1

2.2.1 В соответствии вариантом задания, выданным преподавателем, выбрать расчетную схему (рисунок 2.1). Вариант расчетной схемы определяется порядковым номером студента в списке группы или назначается преподавателем. Параметры элементов электрической цепи задаются преподавателем индивидуально.

2.2.2 Выполнить следующие расчеты:

2.2.2.1 На основании законов Кирхгофа составить в общем виде систему уравнений (решать не обязательно).

2.2.2.2 Определить токи в ветвях методом контурных токов или методом узловых потенциалов (по указанию преподавателя).

2.2.2.5 Построить потенциальную диаграмму для любого контура расчетной схемы, содержащего 2 источника ЭДС.

2.2.2.6 Составить баланс мощностей.

2.3 УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ

2.3.1 Для составления расчетной схемы ввести сопротивление R_2 в цепь источника E_2 . Перед началом составления систем уравнений и расчетов нужно проанализировать расчетную схему. При необходимости произвести эквивалентные преобразования сопротивлений «треугольник-звезда» или «звезда-треугольник».

2.3.2 Для определения токов в ветвях необходимо произвольно выбрать направления и отметить на расчетной схеме. Для удобства расчетов рекомендуется заменить источник тока эквивалентным ему

источником ЭДС, включенным в ветвь, параллельную источнику тока.

2.3.2 Составление в общем виде системы уравнений для расчета токов в ветвях на основании законов Кирхгофа необходимо начать с определения числа узлов и ветвей в схеме.

Число уравнений по первому закону Кирхгофа равно числу узлов без 1 ($n_1 = y - 1$). Число уравнений по второму закону Кирхгофа равно числу независимых контуров в расчетной схеме ($n_2 = e - y + 1$).

2.3.3 Для определения токов в ветвях методом контурных токов для независимых контуров составляются уравнения по второму закону Кирхгофа для контурных токов. Направления контурных токов выбираются произвольно, по часовой или против часовой стрелки. Решение полученной системы уравнений может быть выполнено любым известным математическим способом (метод Крамера, метод Гаусса, применение прикладных программ (MathCad) и т.п.). По найденным контурным токам определяются действительные токи в ветвях.

2.3.4 Определение токов в ветвях методом узловых потенциалов (напряжений) начинается с выбора узла, потенциал которого принимается равным нулю. Для остальных узлов расчетной схемы составляется система уравнений по первому закону Кирхгофа, включающих в себя потенциалы узлов и проводимости ветвей. Решение полученной системы уравнений может быть выполнено любым известным математическим способом (метод Крамера, метод Гаусса, применение прикладных программ (MathCad) и т.п.). По найденным потенциалам узлов определяются действительные токи в ветвях.

Для сравнения результаты расчетов двумя методами сводятся в одну таблицу. Погрешность вычислений не должна превышать 5%.

2.3.5 Для построения потенциальной диаграммы $\varphi = f(R)$ необходимо принять потенциал одного из узлов равным нулю, рассчитать потенциалы всех точек расчетной схемы и в масштабе изобразить изменение потенциалов вдоль выбранного контура схемы.

2.3.6 Баланс мощностей служит проверкой правильности расчетов токов в ветвях электрической схемы. Суммарная мощность всех источников энергии с расчетной схеме должна равняться суммарной мощности, потребляемой в приемниках. Погрешность вычислений не должна превышать 1...3%.

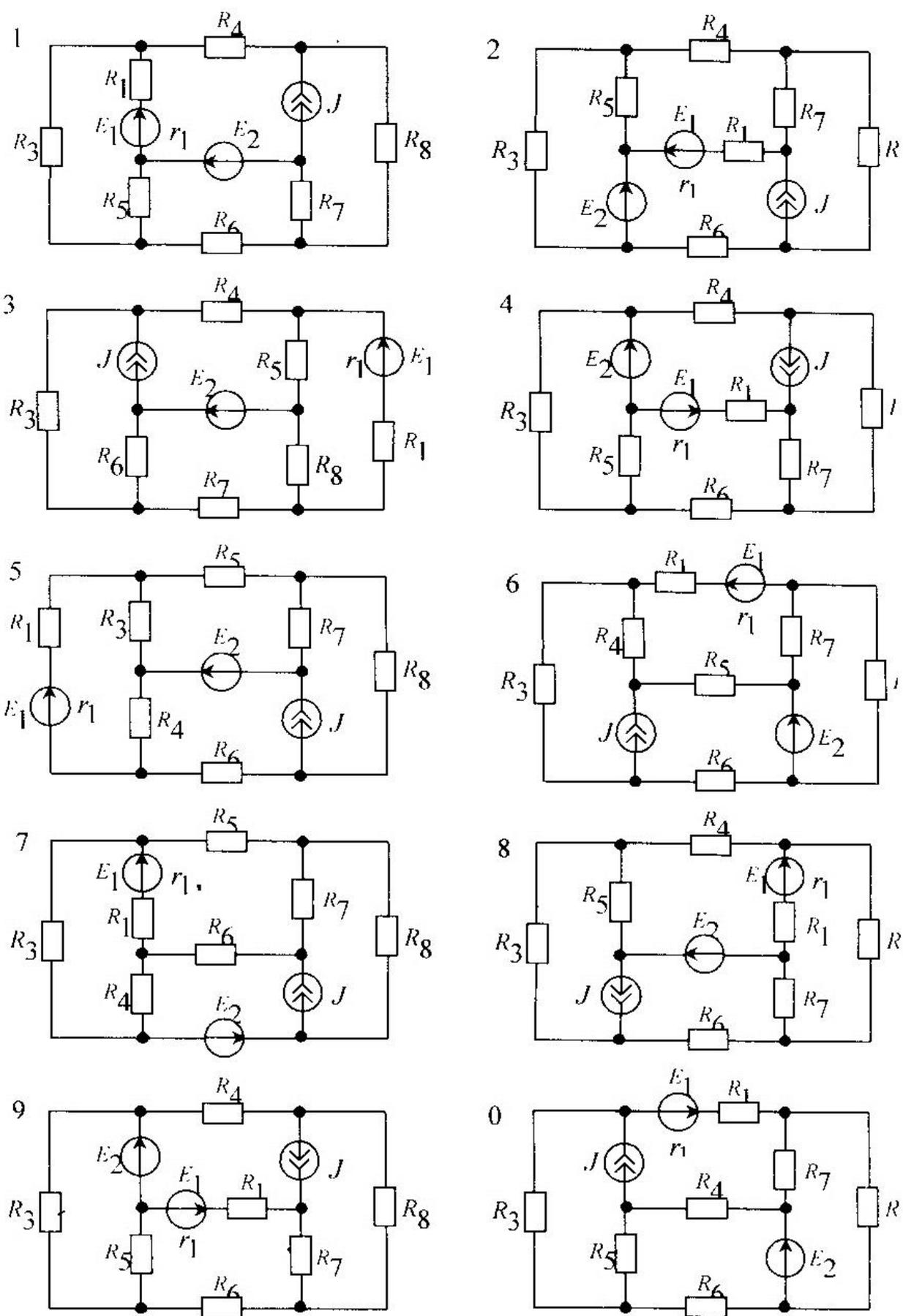


Рисунок 2.1 Варианты расчетных схем

3 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ОДНОФАЗНОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

3.1 ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

Линейные электрические цепи синусоидального тока. Синусоидальные ЭДС, напряжения и токи. Источники синусоидальных ЭДС и токов. Действующее и среднее значения периодических ЭДС, напряжений и токов.

Изображение синусоидальной функции комплексными числами. Векторные диаграммы. Синусоидальный ток в цепи с последовательным соединением R , L и C элементов. Синусоидальный ток в цепи с параллельным соединением R , L и C элементов. Комплексные сопротивления и проводимости. Законы Ома и Кирхгофа в комплексной форме. Комплексный метод расчета электрических цепей. Активная, реактивная и полная мощности. Мгновенная мощность и колебания энергии в цепи синусоидального тока.

3.2 ЗАДАНИЕ № 2

Исходные электрические схемы приведены на рисунке 3.1.

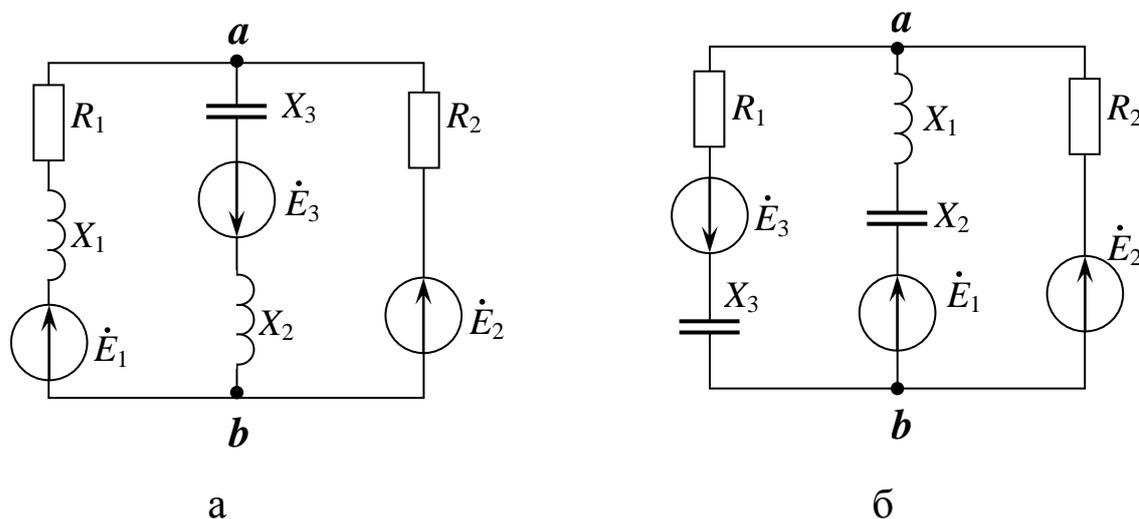


Рисунок 3.1 Варианты расчетных схем

Параметры источников ЭДС:

$$e_1 = 310 \sin 341t, \text{ В};$$

$$e_2 = 310 \sin(341t + 60^\circ), \text{ В};$$

$$e_3 = 141 \sin(341t - 30^\circ), \text{ В}.$$

По индивидуальному заданию составить свою расчетную схему. Вариант индивидуального задания определяется порядковым номером студента в списке группы или назначается преподавателем. Например, индивидуальное задание дано в виде таблицы:

Таблица 3.1 Исходные данные для расчета электрической цепи

№ рисунка	E_1 , В	E_2 , В	E_3 , В	R_1 , Ом	R_2 , Ом	X_1 , Ом	X_2 , Ом	X_3 , Ом
3.1, а	0	+	+	40	36	22	24	13

Соответствующая индивидуальному заданию расчетная схема имеет вид (рисунок 3.2).

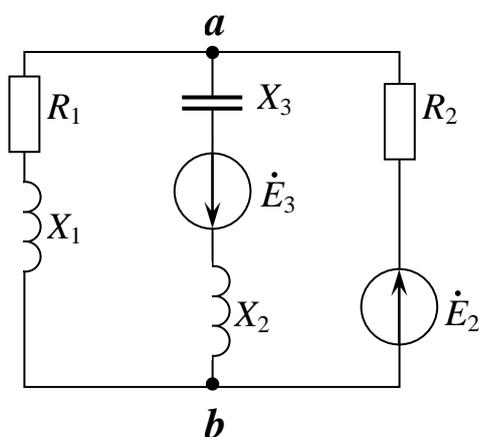


Рисунок 3.2 Индивидуальная расчетная электрическая схема

В полученной схеме:

3.2.1 Рассчитать токи в ветвях методом наложения с применением комплексных чисел.

3.2.2 Рассчитать токи в ветвях методом двух узлов с применением комплексных чисел.

3.2.3 Определить активные и реактивные мощности источников ЭДС и всех пассивных элементов цепи.

3.2.4 Проверить правильность расчетов, составив уравнения баланса активных и реактивных мощностей цепи.

3.2.5 Построить векторную диаграмму токов на комплексной плоскости.

3.3 УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ

3.3.1 Предварительно представим ЭДС и сопротивления ветвей в комплексной форме:

$$\dot{E}_1 = E_1 e^{j\varphi_1} = 220 e^{j0^\circ} = 220 \text{ В}; \quad \dot{E}_2 = E_2 e^{j\varphi_2} = 220 e^{j60^\circ} = 110 + j190 \text{ В};$$

$$\dot{E}_3 = E_3 e^{j\varphi_3} = 100 e^{-j30^\circ} = 86,6 - j50 \text{ В}.$$

В вычислениях E_1, E_2, E_3 – действующие значения ЭДС:

$$E_1 = E_2 = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{310}{\sqrt{2}} = 220 \text{ В}; \quad E_3 = \frac{E_{3m}}{\sqrt{2}} = \frac{141}{\sqrt{2}} = 100 \text{ В}.$$

Комплексные сопротивления ветвей:

$$\underline{Z}_1 = R_1 + j(X_L - X_C) \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_2 = j(X_L - X_C) \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_3 = R_2 \text{ Ом}.$$

Для удобства дальнейших вычислений комплексные сопротивления ветвей лучше сразу представлять в алгебраическом и показательном виде.

Токи в ветвях составленной расчетной схемы могут быть определены с помощью любого известного метода расчета электрических цепей, например метода эквивалентных преобразований, метода контурных токов, метода двух узлов, метода наложения и т.п. Указания к применению некоторых методов расчета приведены ниже.

3.3.2 Расчет токов в ветвях методом наложения

Схема имеет 2 источника ЭДС, следовательно, по методу наложения необходимо определить частичные токи от действия 2 источников. Для этого последовательно исключаем из схемы ЭДС, оставляя только один источник, а остальные ЭДС закорачиваются (рисунок 3.3), т.к. внутренние сопротивления идеальных источников ЭДС равны нулю.

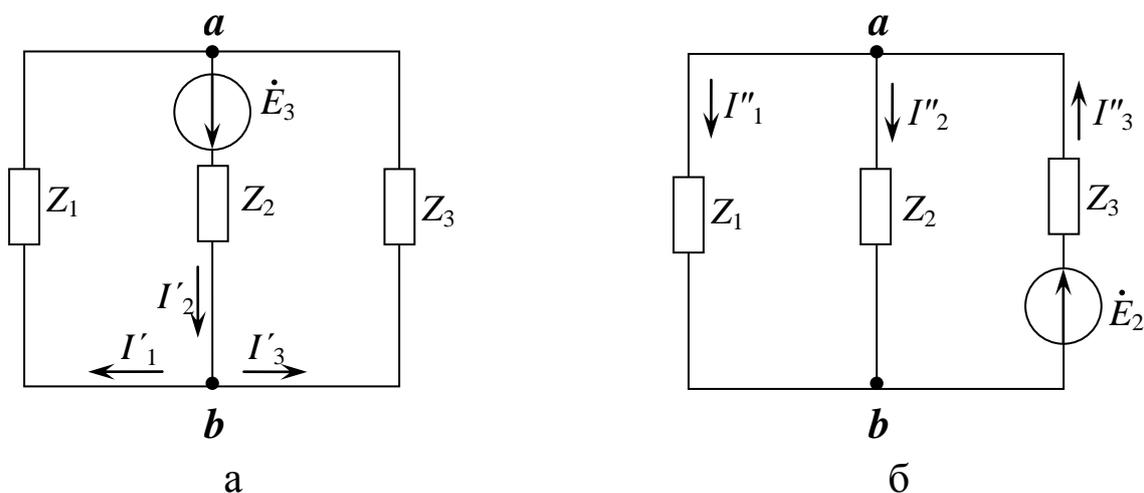


Рисунок 3.3 Схемы для расчета методом наложения

Расчет частичных токов для схемы на рисунке 3.3, а

$$\dot{i}'_2 = \frac{\dot{E}_3}{\underline{Z}_2 + \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3}} \text{ А.}$$

Частичные токи в параллельных ветвях:

$$\dot{i}'_1 = \dot{i}'_2 \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3} \cdot \frac{1}{\underline{Z}_1} = \dot{i}'_2 \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3} \text{ А; } \dot{i}'_3 = \dot{i}'_2 \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3} \cdot \frac{1}{\underline{Z}_3} = \dot{i}'_2 \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3} \text{ А.}$$

Расчет частичных токов для схемы на рисунке 3.5 проводится аналогично.

Действительные токи в ветвях определяются суммой частичных токов в каждой из ветвей с учетом направлений частичных токов.

3.3.3 Расчет токов в ветвях методом двух узлов

Схема имеет 2 узла, потенциал одного из узлов из узлов принимается равным нулю, например узла **b** ($\varphi_b = 0$, рисунок 3.4).

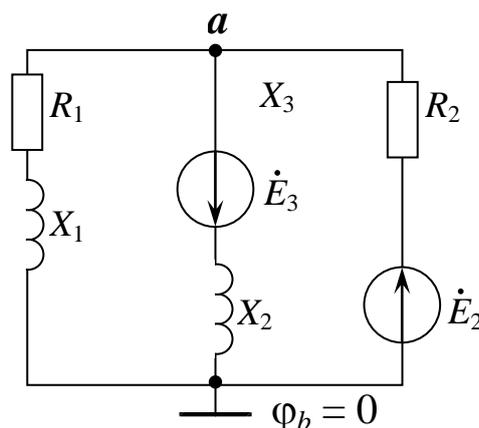


Рисунок 3.4 Схема для расчета методом двух узлов

Напряжение между узлами может быть найдено по формуле

$$\dot{U}_{ab} = \dot{\varphi}_a = \frac{\dot{E}_2 \underline{Y}_3 - \dot{E}_3 \underline{Y}_2}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3}.$$

В данной формуле используются комплексные ЭДС источников и комплексные проводимости ветвей:

$$\vec{Y}_1 = \frac{1}{\underline{Z}_1}; \quad \underline{Y}_2 = \frac{1}{\underline{Z}_2}; \quad \underline{Y}_3 = \frac{1}{\underline{Z}_3}.$$

Токи в ветвях определяются по закону Ома для участка цепи с источником ЭДС.

3.3.4 Активные, реактивные и полные мощности элементов цепи и баланс мощностей

Мощности источников ЭДС

$$\tilde{S} = \dot{E} I^* = P \pm jQ = \sqrt{P^2 + Q^2} e^{j\varphi_1}; \text{ ВА.}$$

Здесь I^* – сопряженный комплекс тока соответствующей ветви;

\tilde{S} – полная мощность источника, ВА;

P – активная мощность источника, Вт;

Q – реактивная мощность источника, ВАр.

Суммарная активная мощность источников

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \text{ Вт.}$$

Суммарная реактивная мощность источников

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \text{ ВАр.}$$

Суммарные мощности приемников:

$$P = I^2 R, \text{ Вт; } Q = I^2 X, \text{ ВАр.}$$

Проверка баланса мощностей:

$$\sum P_{\text{ист}} = \sum P_{\text{пр}};$$

$$\sum Q_{\text{ист}} = \sum Q_{\text{пр}}.$$

Погрешность расчета должна составлять не более 1 %.

3.3.5 Векторная диаграмма токов

Для построения векторной диаграммы токов выбираем масштаб по току m_I [А/см]. Пример векторной диаграммы приведен на рисунке 3.5.

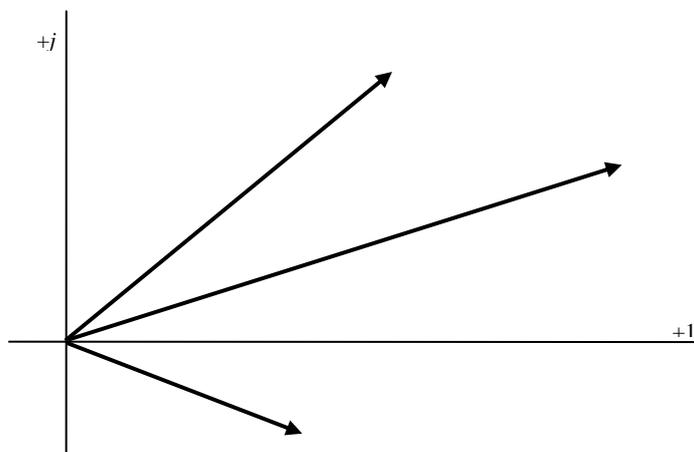


Рисунок 3.5 Пример векторной диаграммы токов

4 РАСЧЕТ ТРЕХФАЗНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

4.1 ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

Многофазные и трехфазные электрические цепи. Многофазные цепи и системы, их классификация. Понятия о трехфазных источниках ЭДС и тока. Соединение трехфазных цепей звездой и треугольником. Линейные и фазные токи и напряжения. Расчеты трехфазных цепей в условиях симметричного режима. Понятие о несимметричных режимах в трехпроводной, четырехпроводной цепях. Назначение нейтрального провода. Напряжение смещения нейтрали.

4.2 ЗАДАНИЕ № 3

Три потребителя электрической энергии, имеющие одинаковые полные сопротивления фаз Z_{ϕ} , соединены «звездой» и включены в четырехпроводную трехфазную сеть с системой симметричных линейных напряжений $U_{л}$.

По индивидуальному заданию составить свою расчетную схему. Вариант индивидуального задания определяется порядковым номером студента в списке группы или назначается преподавателем. Например, индивидуальное задание дано в виде таблицы:

Таблица 4.1 Исходные данные для расчета электрической цепи

Вариант	Величины							
	$U_{л},$ В	$Z_{\phi},$ Ом	фаза А		фаза В		фаза С	
			$\cos \varphi_A$	характер нагрузки	$\cos \varphi_B$	характер нагрузки	$\cos \varphi_C$	характер нагрузки
10	220	5	1	R	0,865	R, X_L	0,865	R, X_C

В полученной схеме:

4.2.1 Определить фазные токи в фазах А, В и С.

4.2.2 Рассчитать полную, активную и реактивную мощности во всех фазах нагрузки и всей цепи.

4.2.3 Построить векторную диаграмму напряжений и токов с учетом характера нагрузки.

4.2.4 По векторной диаграмме определить ток в нейтральном проводе,

4.3 УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ

При соединении фаз трехфазного потребителя электроэнергии «звездой» (рисунок 4.1) концы фазных обмоток x , y и z объединены в общую нейтральную точку 0 , а начала фаз A , B , C подключаются к соответствующим линейным проводам. Напряжения U_A , U_B , U_C , действующие между началами и концами фаз потребителя являются его фазными напряжениями. Напряжения U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} , действующие между началами фаз потребителя являются линейными напряжениями.

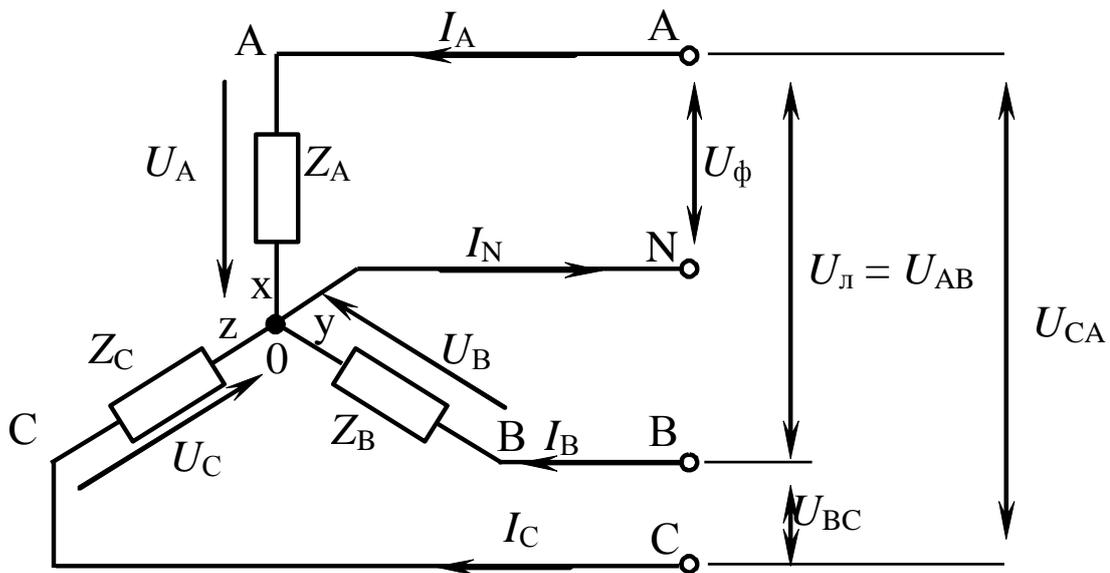


Рисунок 4.1

Линейные токи I_L в питающих линиях (I_A , I_B , I_C) одновременно являются и фазными токами I_ϕ , протекающими по фазам потребителя. Поэтому в симметричной трехфазной системе при соединении фаз потребителя «звездой» справедливы следующие соотношения:

$$I_L = I_\phi,$$

$$U_L = \sqrt{3} U_\phi.$$

Активная P , реактивная Q и полная S мощности трехфазного потребителя электроэнергии при соединении фаз «звездой» определяются как суммы соответствующих фазных мощностей:

$$P = P_A + P_B + P_C;$$

$$P_\phi = U_\phi I_\phi \cos \varphi_\phi;$$

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C;$$

$$Q = 3U_\phi I_\phi \sin \varphi_\phi;$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

Построение векторной диаграммы следует начать с построения звезды фазных напряжений, сдвинутых относительно друг друга на 120° .

Токи на векторной диаграмме трехфазного потребителя изображаются с учетом характера нагрузки. Пример векторной диаграммы для трехфазной звезды показан на рисунке 4.2.

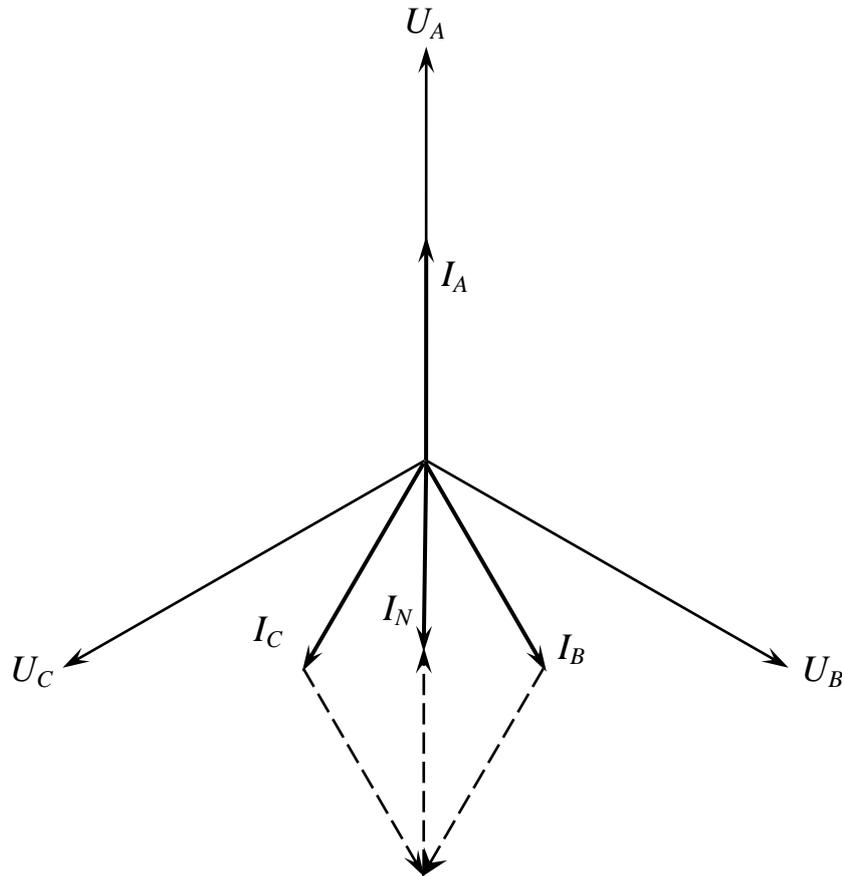


Рисунок 4.2 Векторная диаграмма трехфазной нагрузки

Ток в нейтральном проводе определяется по 1 закону Кирхгофа в векторной форме

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

Длина вектора тока в нулевом проводе с учетом выбранного масштаба показывает величину тока в нулевом проводе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи [Текст] : учебник / Л.А.Бессонов. – 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Гардарики, 2002. – 640 с.
2. Атабеков, Г. И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи [Текст] : учеб.пособие / Г.И.Атабеков. – Краснодар: Лань, 2009. – 593 с.
3. Теоретические основы электротехники [Текст] : учебник / А.Н.Горбунов [и др.]. – М.: УМЦ «ТРИАДА», 2003. – 304 с.
4. Немцов, М.В. Электротехника [Текст] : учебник / М.В.Немцов, И.И.Светлакова. – Ростов-н/Д: Феникс, 2004. – 567 с.
5. Рекус, Г.Г. Основы электротехники и промэлектроники в примерах и задачах с решениями [Текст] : учебн. пособие для студентов вузов, обучающихся по неэлектротехническим спец. направ. подготовки дипл. спец. в области техники и технологии: допущен М-вом образования и науки РФ / Г.Г. Рекус. – М.: Высш.шк., 2008. – 343 с.: ил.