

# **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

**Расчетно-графическая работа**

**№2**

© Теоретические основы электротехники: учеб. пособие. / К.В. Киреев, В.Е. Высоцкий, А.П. Новикова. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016.

## **ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ**

При изучении курса ТОЭ студенты приобретают необходимые знания об основных методах расчета и физических процессах, происходящих в электрических цепях и электромагнитных полях. Одним из основных видов самостоятельной работы по курсу является выполнение расчетно-графических работ.

Расчетно-графические работы планируются и выполняются с целью:

- углубления и закрепления теоретических знаний;
- приобретения навыков выполнения электротехнических расчетов, освоения технической документации;
- проверки усвоения учебного материала курса.

К представленным работам предъявляются следующие требования:

1. Основные положения и этапы решения задач должны быть достаточно подробно пояснены.

2. Рисунки, графики, схемы, в том числе и заданные условием задачи, должны быть выполнены на отдельном листе бумаги, аккуратно и в удобочитаемом масштабе.

3. В работе следует оставлять поля шириной не менее 4 см для замечаний рецензента.

4. Вычисления должны быть проведены с точностью до третьей значащей цифры.

5. Работа должна быть датирована и подписана студентом.

6. Незачтенное задание должно быть выполнено заново и сдано на повторную проверку вместе с первоначальной работой и замечаниями преподавателя. Исправления ошибок в отрецензированном тексте не допускаются. Если неправильно выполнена не вся работа, а только ее часть, то переработанный и исправленный текст следует записать после первоначального текста под заголовком «Исправление ошибок».

Работа зачитывается, если решения не содержат ошибок принципиального характера и выполнены все перечисленные требования.

Работа над заданием помогает студентам проверить степень усвоения ими курса, вырабатывает у них навык четко и кратко излагать свои мысли. Для успешного достижения этой цели необходимо руководствоваться следующими правилами:

1. Начиная решение задачи, указать, какие физические законы или расчетные методы предполагается использовать при решении, привести математическую запись этих законов и методов.

2. Тщательно продумать, какие буквенные или цифровые обозначения предполагается использовать в решении. Пояснить значение каждого обозначения.

3. В ходе решения задачи не следует изменять однажды принятые направления токов и наименование узлов, сопротивлений, а также обозначения, заданные условием. При решении одной и той же задачи различными методами одну и ту же величину следует обозначить одним и тем же буквенным символом.

4. Расчет каждой искомой величины следует выполнить сначала в общем виде, а затем в полученное выражение подставить числовые значения и привести окончательный результат с указанием единиц измерения.

5. При решении системы уравнений целесообразно воспользоваться матричным методом с последующим использованием вычислительной техники.

6. Промежуточные и конечные результаты расчетов должны быть ясно выделены из общего текста.

### **Оформление работы**

1. Работа оформляется на бумаге форматом 210×297 мм (А4) в соответствии с требованиями ЕСКД и действующих ГОСТов и стандартов учебного заведения.

2. Образец титульного листа приведен на стр. 15.

3. Работа должна содержать разделы, отражающие все этапы расчета (каждый этап должен иметь свой подзаголовок):

3.1. Номер, название и цель работы.

3.2. Предварительные сведения. Приводятся исходные данные, расчетная схема, расчетные формулы, результаты предварительных расчетов.

3.3. Основные расчеты приводятся сначала в общем виде, а затем с подстановкой числовых значений. Формулы обозначаются порядковыми номерами в скобках. Решение не следует перегружать приведением всех алгебраических преобразований и арифметических расчетов.

Результаты расчетов сводятся в таблицы, приводятся все формулы, по которым делались эти расчеты, поясняющие диаграммы и графики, краткий анализ результатов.

3.4. Графическая часть отчета (схемы, таблицы, диаграммы, графики) выполняется с применением чертежных инструментов или с помощью соответствующих программных пакетов. Для элементов электрических схем следует пользоваться обозначениями, приведенными в учебниках по ТОЭ.

4. Графики строят в прямоугольной системе координат, где по горизонтальной оси (оси абсцисс) откладывают независимую физическую величину, а по вертикальной оси (оси ординат) – зависимую физическую величину. Графики, отражающие закономерные зависимости величин, вычерчиваются плавными линиями. Чтобы масштабная шкала легко читалась, необходимо выбрать удобную для восприятия цену деления шкалы. После нанесения масштабных делений на осях указывают их значения.

5. По каждому этапу в работе приводятся обобщения и выводы. В выводах подчеркиваются основные теоретические положения и практическое значение исследуемых явлений.

6. В конце отчета помещается список литературы и программного обеспечения, использованных при выполнении и оформлении расчетно-графической работы.

**РАСЧЕТ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ**

Дана трехфазная цепь (рис. 1) с симметричным источником напряжения, сопротивлениями линии и приемниками (табл. 1 и 2).

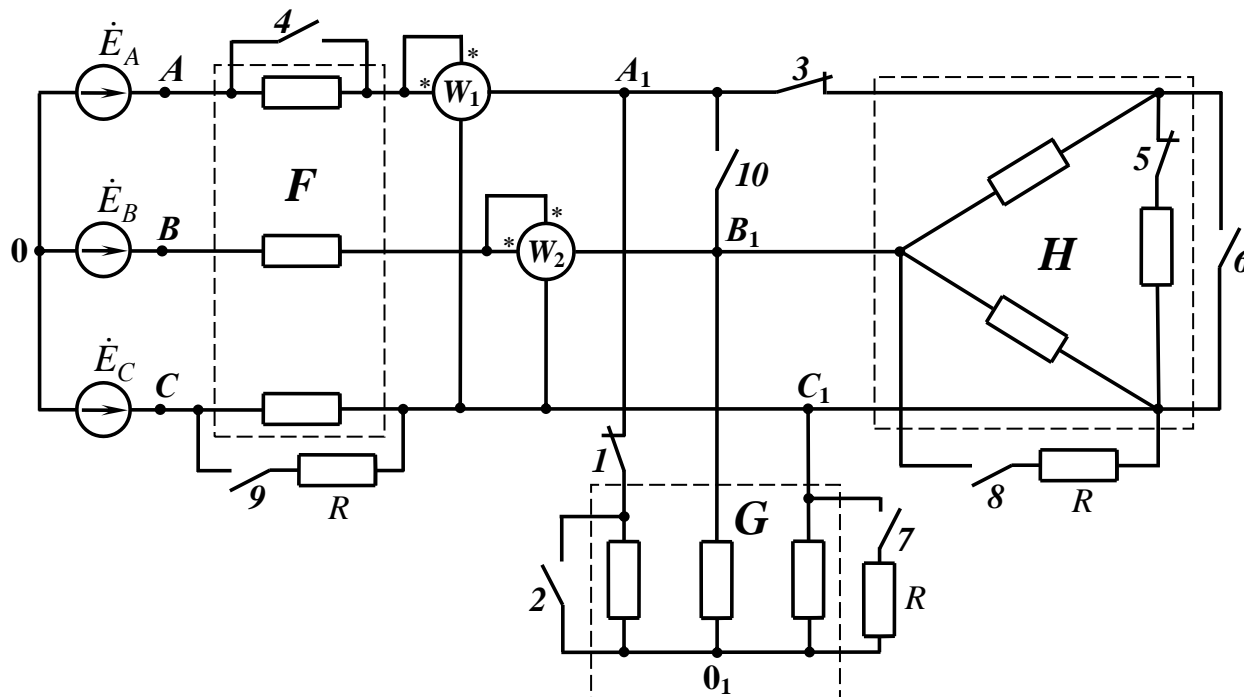


Рис.1

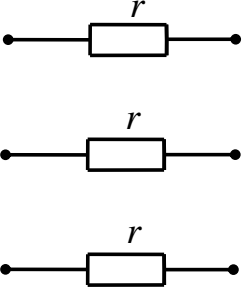
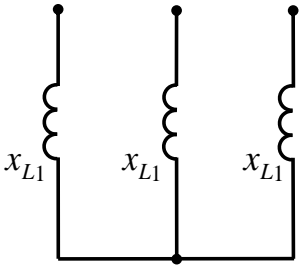
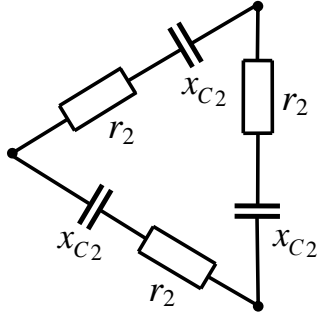
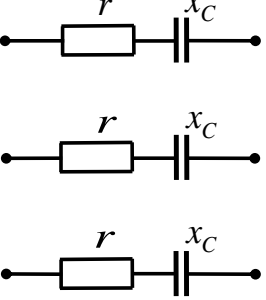
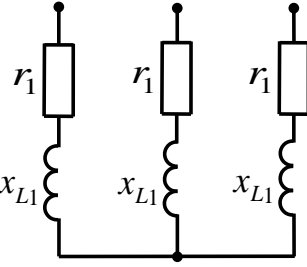
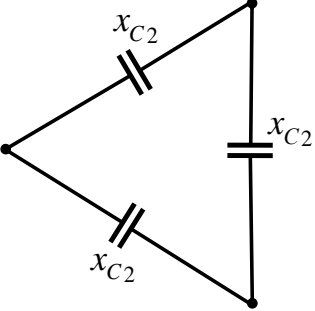
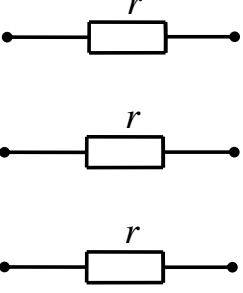
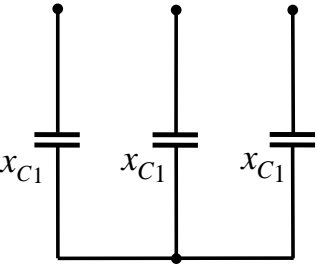
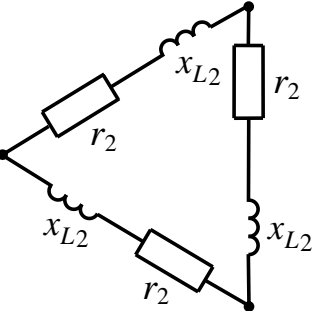
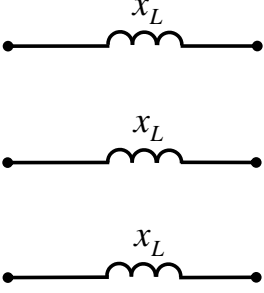
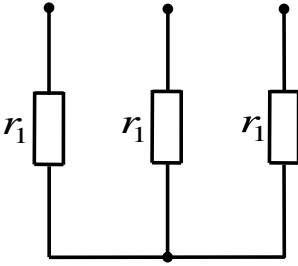
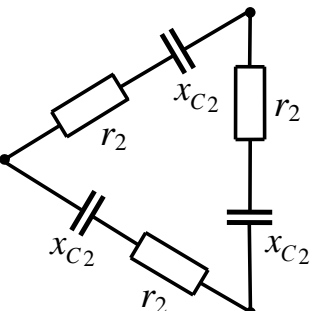
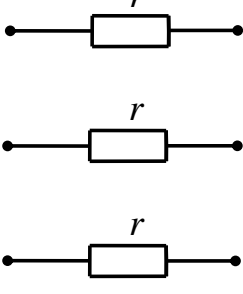
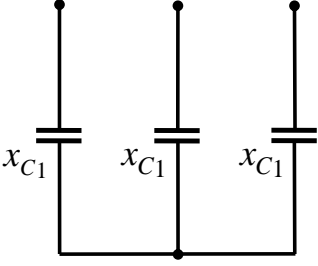
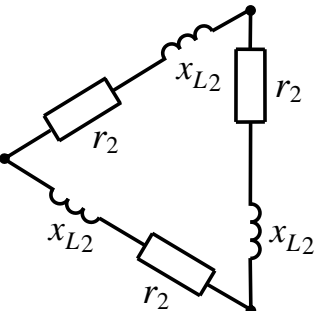
Задан номер ключа, замыкание или размыкание которого делает цепь несимметричной. Остальные ключи находятся в положении, не нарушающем симметрии фаз.

Параметры цепи указаны в табл. 2. Частота источника  $f = 50$  Гц.

Требуется:

- 1) для симметричного режима определить действующие значения токов и напряжений во всех ветвях цепи. Определить показания ваттметров;
- 2) для несимметричного режима определить действующие значения токов и напряжений во всех ветвях цепи. Определить показания ваттметров и мощность приемников;
- 3) для несимметричного режима построить векторную диаграмму токов всех ветвей цепи и топографическую диаграмму напряжений;
- 4) разложить несимметричную систему фазных токов или напряжений на симметричные составляющие.

Таблица 1

№ группы	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>
1			
2			
3			
4			
5			

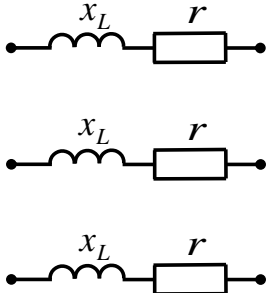
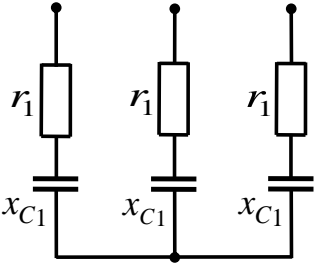
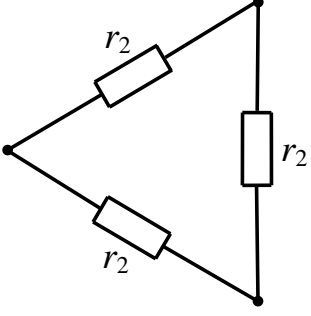
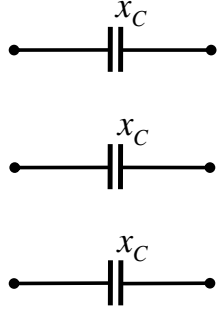
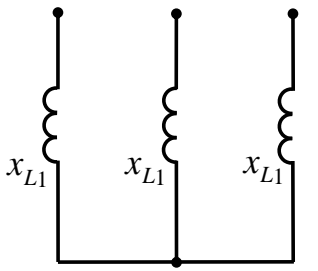
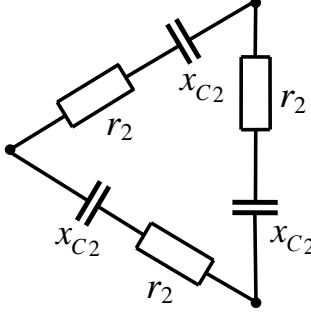
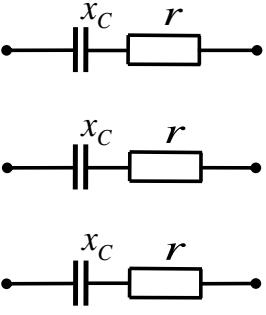
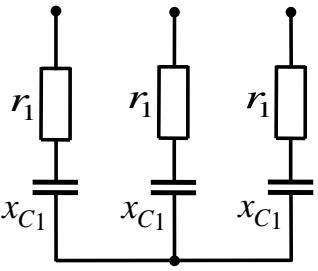
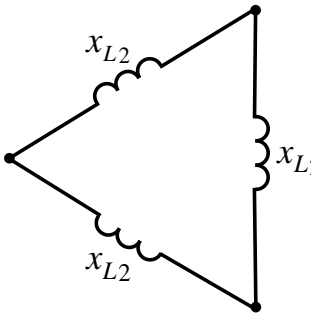
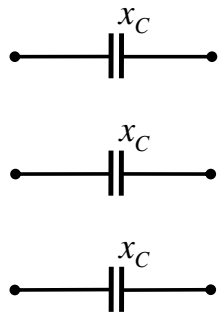
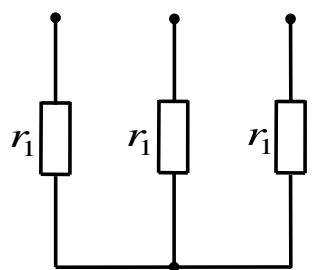
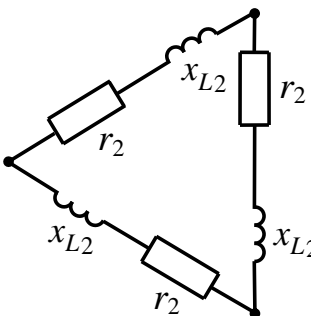
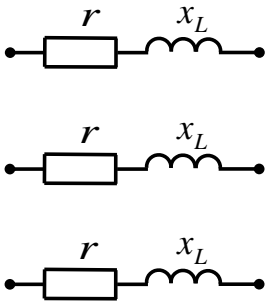
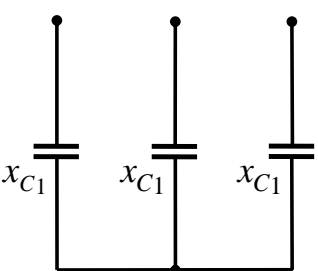
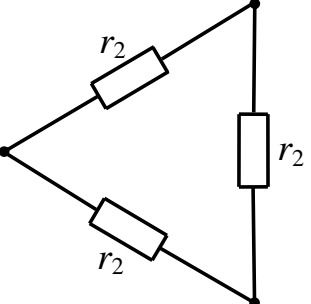
№ группы	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>
6			
7			
8			
9			
10			

Таблица 2

Вариант	№ ключа	$\sqrt{3}E_{\phi}$ , В	$r$ , Ом	$x_L$ , Ом	$x_C$ , Ом	$r_1$ , Ом	$x_{L1}$ , Ом	$x_{C1}$ , Ом	$r_2$ , Ом	$x_{L2}$ , Ом	$x_{C2}$ , Ом	$R$ , Ом
1	1	127	1	1	1	5	5	5	6	6	6	-
2	2	320	2	2	2	6	6	6	4	4	4	-
3	3	380	3	3	3	8	8	8	5	5	5	-
4	4	127	3	3	3	4	4	4	6	6	6	-
5	5	220	4	4	4	5	5	5	2	2	2	-
6	6	380	6	6	6	10	10	10	9	9	9	-
7	7	127	2	2	2	5	5	5	8	8	8	10
8	8	220	3	3	3	6	6	6	9	9	9	5
9	9	380	5	5	5	4	4	4	3	3	3	6
10	10	127	1	1	1	5	5	5	6	6	6	-
11	1	220	2	2	2	6	6	6	4	4	4	-
12	2	380	3	3	3	8	8	8	5	5	5	-
13	3	127	3	3	3	4	4	4	6	6	6	-
14	4	220	4	4	4	5	5	5	2	2	2	-
15	5	380	6	6	6	10	10	10	9	9	9	-
16	6	127	2	2	2	5	5	5	8	8	8	-
17	7	220	3	3	3	6	6	6	9	9	9	8
18	8	380	5	5	5	4	4	4	3	3	3	6
19	9	127	1	1	1	5	5	5	6	6	6	4
20	10	220	2	2	2	6	6	6	4	4	4	-
21	1	380	3	3	3	8	8	8	5	5	5	-
22	2	127	3	3	3	4	4	4	6	6	6	-
23	3	220	4	4	4	5	5	5	2	2	2	-
24	4	380	6	6	6	10	10	10	9	9	9	-
25	5	127	2	2	2	5	5	5	8	8	8	-
26	6	220	3	3	3	6	6	6	9	9	9	-
27	7	380	5	5	5	4	4	4	3	3	3	6
28	8	127	1	1	1	5	5	5	6	6	6	8
29	9	220	2	2	2	6	6	6	4	4	4	4
30	10	380	3	3	3	8	8	8	5	5	5	-



## Методические указания

Трёхфазные цепи являются разновидностью сложных цепей синусоидального тока, и потому расчет и исследование процессов в них производятся теми же методами и приемами. При этом рекомендуется сопровождать расчет построением векторных диаграмм.

В случае подключения к одному трёхфазному генератору нескольких трёхфазных потребителей с различными схемами соединения фаз расчет цепи ведется в следующей последовательности:

1. Соединение звездой преобразуют в эквивалентное соединение треугольником и получают цепь с двумя потребителями, соединенными треугольником (рис. 2).

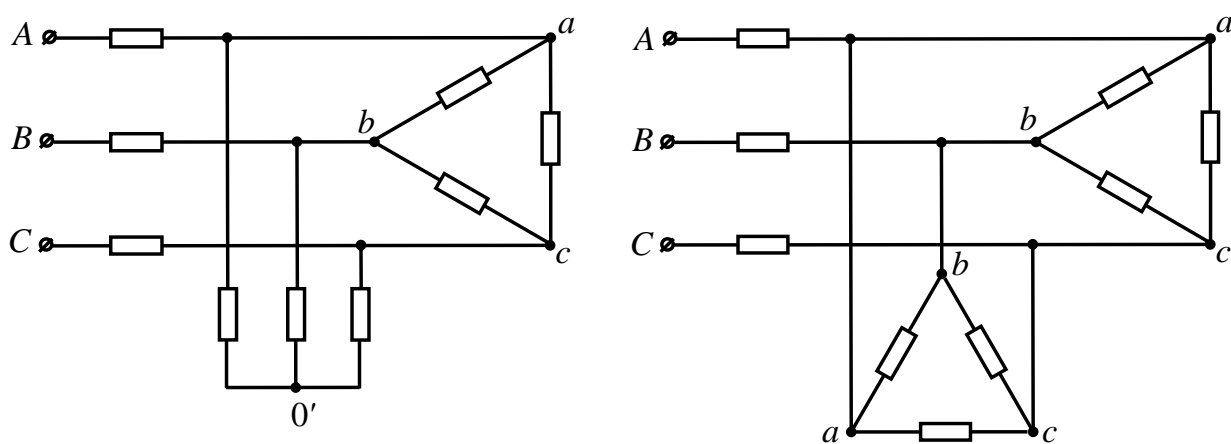


Рис. 2

Одноименные фазы этих треугольников подключены на одно и то же напряжение, т.е. соединены параллельно.

2. После очевидных преобразований получают один эквивалентный треугольник нагрузки и соединение «звезда-треугольник».

3. Треугольник нагрузки преобразуют в эквивалентное соединение звездой. Таким образом трёхфазная цепь **приводится к соединению «звезда – звезда без нулевого провода»**. Расчет этого соединения проводится в соответствии с изложенным ниже.

4. Возвращаясь к схеме «звезда-треугольник», с помощью законов Ома и Кирхгофа находят токи и напряжения в ветвях.

5. Возвращаясь к исходной схеме, с помощью законов Ома и Кирхгофа находят токи и напряжения в ветвях схемы с несколькими потребителями.

## Расчет цепи при соединении «звезда – звезда без нулевого провода».

Соединение по схеме «звезда – звезда» можно рассматривать как сложную цепь с двумя узлами, поэтому при расчете целесообразно воспользоваться методом узловых потенциалов (методом двух узлов).

### 1. Расчет трехфазной цепи при симметричном режиме.

Для симметричной нагрузки комплексы сопротивлений (проводимостей) всех фаз равны:

$$\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C = \underline{Z} \quad \text{или} \quad \underline{Y}_A = \underline{Y}_B = \underline{Y}_C = \underline{Y}.$$

По методу узловых потенциалов:

$$\dot{U}_{0'0} = \frac{\dot{E}_A \underline{Y}_A + \dot{E}_B \underline{Y}_B + \dot{E}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C} = \frac{\underline{Y}(\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C)}{3\underline{Y}} = 0.$$

Это означает, что нулевые точки генератора 0 и нагрузки 0' находятся под одним потенциалом, т.е. их можно объединить в одну точку без изменения режима работы цепи.

Тогда схема представляется в виде трех обособленных контуров (фаз), имеющих контакт в одной общей точке 0 (0') (рис. 3). Достаточно рассчитать токи и напряжения только в одной фазе (расчет на одну фазу), а соответствующие величины двух других фаз можно определить путем умножения полученных значений на  $e^{-j120^\circ}$  и  $e^{j120^\circ}$ .

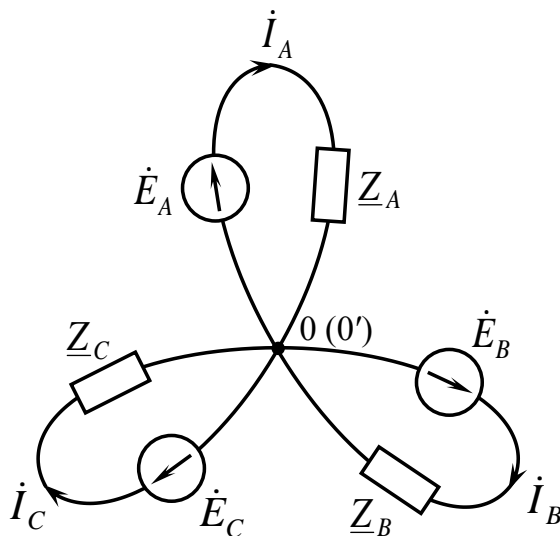


Рис. 3

## 2. Расчет трехфазной цепи при несимметричном режиме.

Для несимметричной нагрузки в общем случае комплексы сопротивлений (проводимостей) фаз неравны:

$$\underline{Z}_A \neq \underline{Z}_B \neq \underline{Z}_C \quad \text{или} \quad \underline{Y}_A \neq \underline{Y}_B \neq \underline{Y}_C,$$

и между нулевыми точками генератора и потребителя существует напряжение

$$\dot{U}_{0'0} = \frac{\dot{E}_A \underline{Y}_A + \dot{E}_B \underline{Y}_B + \dot{E}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C} \neq 0.$$

Определив напряжение смещения нейтрали  $\dot{U}_{0'0}$ , с помощью второго закона Кирхгофа находят фазные напряжения  $\dot{U}_a$ ,  $\dot{U}_b$  и  $\dot{U}_c$  на эквивалентных сопротивлениях приемника:

$$\dot{U}_a = \dot{E}_A - \dot{U}_{0'0}; \quad \dot{U}_b = \dot{E}_B - \dot{U}_{0'0}; \quad \dot{U}_c = \dot{E}_C - \dot{U}_{0'0}.$$

Зная эти напряжения, находят линейные (фазные) токи эквивалентной звезды с помощью закона Ома:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_a}{\underline{Z}_A} = \dot{U}_a \underline{Y}_A; \quad \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_b}{\underline{Z}_B} = \dot{U}_b \underline{Y}_B; \quad \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_c}{\underline{Z}_C} = \dot{U}_c \underline{Y}_C.$$

При отсутствии нулевого провода по первому закону Кирхгофа сумма фазных токов  $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$ .

### Определение показаний ваттметра

Ваттметр показывает активную мощность участка цепи, где он включен. Эта мощность является действительной частью комплекса полной мощности  $\tilde{S}$ , т.е.

$$P = \operatorname{Re}[\tilde{S}] = \operatorname{Re}[\dot{U}_W \dot{I}_W^*] = \operatorname{Re}[P + jQ].$$

Здесь  $\dot{U}_W$  – комплекс напряжения, на которое включен ваттметр;  $\dot{I}_W^*$  – сопряженный комплекс тока, протекающего по ваттметру.

Напряжение  $\dot{U}_W$  ваттметра принято направлять от клеммы со звездочкой к клемме без звездочки. В общем случае это напряжение можно найти с помощью второго закона Кирхгофа.

Ток ваттметра  $I_w^*$  берется со знаком «+», если он входит в клемму со звездочкой, а выходит из клеммы без звездочки. В противном случае ток берется со знаком «-».

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Что такое симметричная система ЭДС (напряжений, токов)?
2. Какое соединение называется «звезда»?
3. Какое напряжение называется фазным напряжением?
4. Какое напряжение называется линейным напряжением?
5. Какой ток называется фазным током?
6. Какой ток называется линейным током?
7. Как подсчитать ток нулевого провода?
8. Какую роль играет нулевой (нейтральный) провод?
9. В каких случаях находят применение трехпроводная и четырехпроводная системы при соединении приемника звездой?
10. Как связаны линейные и фазные напряжения при соединении звездой?
11. Как связаны линейные и фазные токи при соединении звездой?
12. Какое соединение называется «треугольник»?
13. Как связаны линейные и фазные напряжения при соединении треугольником?
14. Как связаны линейные и фазные токи при соединении треугольником?
15. Почему фазы генератора обычно соединяют звездой, а не треугольником?
16. Какая нагрузка трехфазной цепи называется симметричной?
17. Что понимают под активной, реактивной и полной мощностями в трехфазных электрических цепях?
18. Каков порядок расчета трехфазной цепи при симметричном режиме?
19. Каков порядок расчета трехфазной цепи при несимметричном режиме?
20. Для чего необходимо знать порядок следования фаз трехфазной системы?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Демирчян К.С., Л.Р. Нейман Л.Р., Коровкин Н.В.* Теоретические основы электротехники: учебник для вузов: в 2 т. – М.; СПб.: Питер, 2009.
2. *Бессонов Л.А.* Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник для бакалавров. – М.: Юрайт, 2016.
3. *Атабеков Г.И.* Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи: учебник. – М.; СПб.: Лань. 2010.
4. *Киреев К.В., Мякишев В.М.* Теоретические основы электротехники: Линейные цепи постоянного и синусоидального тока. Трехфазные цепи. Цепи несинусоидального тока: учеб. пособ. – Самара: Изд-во Самар. гос. техн. ун-та, 2014.
5. *Киреев К.В., Мякишев В.М.* Теоретические основы электротехники: Переходные процессы. Магнитные цепи. Длинные линии: учеб. пособ. – Самара: Изд-во Самар. гос. техн. ун-та, 2014.
6. *Киреев К.В.* Теоретическая электротехника: Виртуальная лаборатория в Multisim 10. Линейные электрические цепи постоянного и синусоидального тока. – М.: Энергоатомиздат, 2008.
7. *Киреев К.В.* Теоретическая электротехника: Виртуальная лаборатория в Multisim 11. Переходные процессы в линейных электрических цепях. – М.: Машиностроение, 2012.
8. Сборник задач по теоретическим основам электротехники: в 2 т. / *П.А. Бутырин, Л.В. Алексейчик, С.А. Важнов* и др.; под ред. чл.-корр. РАН *П.А. Бутырина*. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
9. Сборник задач по теоретическим основам электротехники / *Л.А. Бессонов, И.Г. Демидова, М.Е. Заруди, С.Е. Рисовская, С.А. Миленина, В.П. Каменская*. – М.: Высш. шк., 2003.
10. Задачник по теории линейных электрических цепей / *М.Р. Шебес, М.В. Каблукова*. – М.: Высш. шк., 1990.
11. *Коровкин Н.В., Семина Е.Е., Чечурин В.Л.* Теоретические основы электротехники. Сборник задач: учеб. пособ. для вузов. – СПб.: Питер, 2006.
12. Электротехника и ТОЭ в примерах и задачах: практ. пособ. / *В.А. Прянишников, Е.А. Петров, Ю.М. Осипов*. – СПб.: Корона-принт, 2001.
13. *Башарин С.А., Федоров В.В.* Теоретические основы электротехники: учеб. пособ. – М.: АСАДЕМА, 2004.
14. *Евдокимов Ф.Е.* Теоретические основы электротехники: учебник. – М.: АСАДЕМА, 2004.

15. *Батура М.П., Кузнецов А.П., Курулев А.П.* Теория электрических цепей: учебник. – Минск: Вышэйш. шк., 2007.
16. *Бакалов В.П., Журавлева О.Б., Крук Б.И.* Основы анализа цепей: учеб. пособ. – М.: Горячая линия - Телеком, 2007.
17. *Бутырин П.А., Коровкин Н.В.* Теоретические основы электротехники. Интернет-тестирование базовых знаний: учеб. пособие.– М.; СПб.: Лань. 2010.
18. *Киреев К.В.* Линейные электрические цепи постоянного и синусоидального тока: лабораторный практикум. – Самара: Изд-во Самар. гос. техн. ун-та, 2012.
19. *Киреев К.В.* Линейные электрические цепи синусоидального тока: лабораторный практикум. – Самара: Изд-во Самар. гос. техн. ун-та, 2013.
20. *Киреев К.В.* Электрические цепи несинусоидального тока: лабораторный практикум. – Самара: Изд-во Самар. гос. техн. ун-та, 2013.

*Пример оформления титульного листа*

Самарский государственный технический университет  
Кафедра «Теоретическая и общая электротехника»

**Расчетно-графическая работа №2**  
**РАСЧЕТ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ**

*Вариант №* \_\_\_

Выполнил студент \_\_\_\_\_  
*(Курс, факультет, группа, ФИО)*

Принял \_\_\_\_\_  
*(Должность, ФИО преподавателя)*

Самара – 20\_\_\_