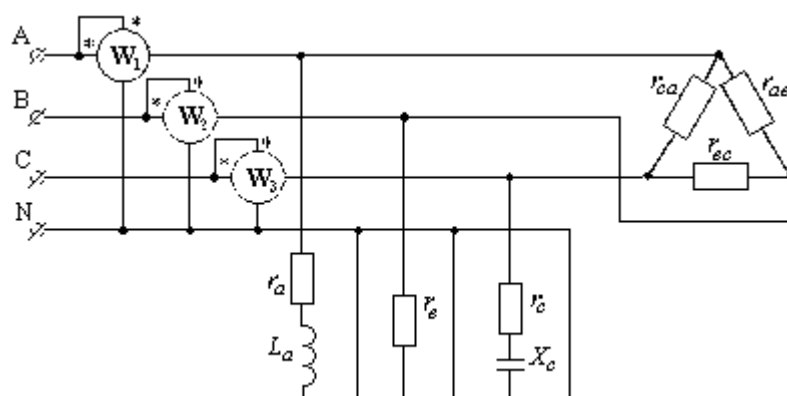


ТРЕХФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА



Издательство ТГТУ

Учебное издание

ТРЕХФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

Методические указания

Авторы-составители АФОНИН Владимир Васильевич,
АКУЛИНИН Игорь Николаевич

Редактор В.Н. Митрофанова
Компьютерное макетирование М.А. Филатовой

Подписано в печать 2.05.2006
Формат 60 × 84 / 16. Бумага газетная. Печать офсетная
Гарнитура Times New Roman. Объем: 1,63 усл. печ. л.; 1,60 уч.-изд. л.
Тираж 100 экз. С. 242

Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета,
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14
Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
"Тамбовский государственный технический университет"

ТРЕХФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

Методические указания
для студентов дневного и заочного отделений неэлектрических специальностей



Тамбов
◆ Издательство ТГТУ ◆
2006

УДК 621.3
ББК 3829-5я73-5
Э455

Рецензент
Доктор технических наук, профессор

Э455 Трехфазные электрические цепи переменного синусоидального тока: Метод. указания / Авт.-сост.: В.В. Афонин, И.Н. Акулинин. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. 28 с.

Методические указания содержат варианты заданий и рекомендации для выполнения расчетно-графических работ по теме "Трехфазные электрические цепи переменного синусоидального тока" для неэлектрических специальностей дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.3
ББК 3829-5я73-5

© Тамбовский государственный
технический университет
(ТГТУ), 2006
© Афонин В.В., Акулинин И.Н.,
2006

ВВЕДЕНИЕ

Целью настоящей расчетно-графической работы является развитие у студентов дневного и заочного отделений практических навыков решения задач по теме "Трехфазные электрические цепи переменного синусоидального тока" дисциплины "Электротехника и электроника", углубление и закрепление теоретических знаний, приобретение навыков оформления технической документации и использования электронно-вычислительной техники при проведении технических расчетов.

При выполнении расчетно-графической работы студентам рекомендуется предварительно ознакомиться с теоретическими предпосылками, излагаемыми в лекционном курсе, а также с рекомендованной литературой.

Расчетно-графическая работа содержит исходный текст задания и 150 вариантов, отличающихся друг от друга по схемному содержанию и по данным электрических величин, примерно одинаковой сложности расчета. Выбор варианта осуществляется преподавателем.

Расчетно-графическая работа оформляется на листах формата А4 (297×210 мм). Записи на листах выполняются на одной стороне. Допускается выполнение работ на развернутых двойных листах из школьных тетрадей в клетку. Расчет искомых величин желательно вести сначала в общем виде (где возможно), а затем в полученные окончательные формулы поставить числовые значения. Не рекомендуется загромождать работы излишними промежуточными вычислениями. При построении графиков и векторных диаграмм необходимо соблюдать принятые в учебных пособиях правила, выбирать удобные масштабы (как правило, кратные числам 2, 5, 10) и обязательно указывать масштаб, обозначения осей и, если это графики, размерности по ним. Исходные рисунки и данные заданий рекомендуется выполнять в виде, приведенном в методических указаниях, а вспомогательные схемы – на усмотрение студента с использованием чертежных инструментов. Для элементов схем и электрических величин следует пользоваться действующими ГОСТ 2.710–81 и ГОСТ 2.755–87.

Титульный лист содержит название вуза, кафедры, расчетно-графической работы, фамилию и инициалы студента и преподавателя, номер группы. Образец оформления титульного листа приведен в прил. 1.

В прил. 2 приведены рекомендации по выполнению расчетно-графической работы.

Расчетно-графическая работа считается зачтенной, если она выполнена аккуратно, правильно и защищена устно перед закрепленным кафедрой преподавателем. Зачтенные работы сдаются на хранение на кафедру.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

В трехфазную сеть большой мощности включены однофазные и трехфазные приемники. По значениям параметров приемников, указанным в табл. 1, выполнить следующее:

1 Определить комплексные сопротивления приемников (для симметричного трехфазного приемника – одной фазы), записав их в показательной и алгебраической формах. На основании алгебраической формы комплексного сопротивления составить схемы замещения каждого приемника (для симметричного трехфазного приемника – одной фазы).

2 Используя результаты п. 1 задания, составить схему включения приемников и ваттметров для измерения активной суммарной мощности всех приемников. Проставить положительные направления фазных и линейных синусоидальных токов и напряжений.

3 Определить фазные и линейные токи приемников. Для трехпроводной сети проверить выполнение равенства $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$.

4 Определить показания ваттметров. Сравнить суммарные показания ваттметров с суммарной номинальной активной мощностью приемников (табл. 1.1).

5 Построить на комплексной плоскости совмещенную векторную топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов. Для трехпроводной сети графически проверить выполнение условия $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$.

6 Записать мгновенные значения расчетных линейных токов, а для четырехпроводной системы и тока в нейтральном проводе. Построить временную диаграмму токов, на которой указать углы сдвига фаз между ними. Графически указать для двух любых моментов времени справедливость соотношений:

для трехпроводной системы

$$i_A + i_B + i_C = 0;$$

для четырехпроводной системы

$$i_A + i_B + i_C = i_N.$$

7 Для перечисленных ниже аварийных режимов работы трехфазных цепей рассчитать токи и построить совмещенные векторные топографические диаграммы напряжений и векторные диаграммы токов:

а) у симметричного или несимметричного приемника, фазы которого соединены по схеме "треугольник" (это для вариантов с соединением трехфазных приемников по схемам "звезда-треугольник", "треугольник-звезда", "треугольник-треугольник"), произошло:

- обрыв в фазе ab ;
- обрыв линейного провода $B - b$;

б) у несимметричного трехфазного приемника, фазы которого соединены по схеме "звезда" (это для вариантов: "звезда-звезда" и "звезда-треугольник"), произошло:

- обрыв в фазе c ;
- обрыв нейтрального провода $n - N$;

в) у симметричного трехфазного приемника, фазы которого соединены по схеме "звезда" (это для вариантов: "звезда-звезда" и "треугольник-звезда"), произошло:

- обрыв линейного провода $B - b$;
- короткое замыкание в фазе c .

Расчет произвести только для трехфазного приемника, у которого произошло отклонение от нормального режима работы.

8 Определить значение тока, проходящего через тело человека, если он прикоснулся в электроустановке одной рукой к:

- а) одной из фаз четырехпроводной линии с глухозаземленной нейтралью;
- б) исправной фазе в линии с глухозаземленной нейтралью, в которой одна из фаз замкнулась на землю;
- в) одной из фаз трехпроводной линии с изолированной нейтралью;
- г) исправной фазе в линии с изолированной нейтралью, в которой одна из фаз замкнулась на землю.

Считать в вариантах, использующих четырехпроводную систему, что нейтральная точка трехфазного источника заземлена, а в вариантах, использующих трехпроводную систему, – нейтральная точка изолирована.

Принять сопротивление изоляции линейных проводов, чисто активным и равным $R_{из} = 10$ кОм, а сопротивление тела человека, в соответствии с ГОСТ, равным $R_h = 1$ кОм.

9 Рассчитать параметры трехфазных компенсаторов (емкостного или индуктивного) реактивной мощности, повышающих коэффициент мощности симметричного трехфазного приемника до 0,95.

Примечания:

1 В табл. 1 (графа " $U_{сети}$ ") указаны линейные напряжения трехфазной сети.

2 Для каждого однофазного и трехфазного приемников в табл. 1 указаны: номинальное напряжение приемника $U_{ном}$, номинальные активная $P_{ном}$ или реактивная $Q_{ном}$ потребляемые мощности, номинальный положительный коэффициент мощности $\cos\phi_{ном}$, (при " $\cos\phi$ " индекс " $_{ном}$ " опущен), а также характер нагрузки.

3 Для симметричного трехфазного приемника в табл. 1 указано номинальное фазное напряжение, а номинальные потребляемые мощности даны для всего потребителя в целом.

Таблица 1

Вариант		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
$U_{сети}, В$		380	220	127	220	380	380	220	127	220	220	380	220	380	220	380	
Количество проводов		3	4	4	3	3	4	3	4	3	4	3	3	4	4	4	
Однофазный приемник	№ 1	$U_{ном}, В$	380	127	127	220	380	380	220	127	220	220	380	220	220	127	220
		$P_{ном}, кВт$	–	6	16	12	–	10	20	5	5	5	10	3	15	3	10
		$Q_{ном}, квар$	9	–	–	–	5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		$\cos\phi$	0	0,8	0,92	1	0	1	0,9	0,7	0,8	1	0,8	1	1	0,8	0,8
		Характер	емк.	инд.	емк.	акт.	емк.	акт.	инд.	емк.	емк.	акт.	емк.	акт.	акт.	емк.	инд.
	№ 2	$U_{ном}, В$	380	127	127	220	380	380	220	127	220	220	380	220	220	127	220
		$P_{ном}, кВт$	18	14	–	20	15	11	15	3	7	7	–	5	10	2	12
		$Q_{ном}, квар$	–	–	11	–	–	–	–	–	–	–	7	–	–	–	–
		$\cos\phi$	1	1	0	1	1	0,7	1	0,75	0,8	0,7	0	0,6	0,6	1	1
		Характер	акт.	акт.	инд.	акт.	акт.	инд.	акт.	инд.	инд.	инд.	инд.	емк.	емк.	акт.	акт.
	№ 3	$U_{ном}, В$	380	127	127	220	380	380	220	127	220	220	380	220	220	127	220
		$P_{ном}, кВт$	25	–	16	30	20	11	10	7	4	7	11	8	–	9	4
		$Q_{ном}, квар$	–	8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	12	–	–
		$\cos\phi$	0,7	0	1	0,25	0,7	0,7	0,7	1	0,7	0,7	1	0,8	0	0,7	0,8
		Характер	инд.	емк.	акт.	инд.	инд.	инд.	емк.	акт.	инд.	емк.	акт.	емк.	инд.	инд.	емк.
Трехфазный симметричный приемник	№ 4	$U_{ном}, В$	380	220	127	127	380	220	220	127	127	127	220	127	220	220	220
		$P_{ном}, кВт$	12	42	45	60	57	27	30	18	12	21	45	15	–	15	18
		$Q_{ном}, квар$	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	36	–	–
		$\cos\phi$	0,85	0,78	0,7	0,87	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,85	0,5	0,8	0,75	0,85	0,9
		Характер	емк.	инд.	инд.	инд.	емк.	емк.	емк.	емк.	инд.	инд.	инд.	инд.	инд.	инд.	емк.

Продолжение табл. 1

Вариант		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
$U_{\text{сети}}, \text{В}$		380	380	220	220	380	380	380	220	220	220	220	380	220	380	220	
Количество проводов		4	3	3	3	4	4	3	4	4	4	3	4	3	3	4	
Однофазный приемник	№ 1	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	220	380	220	220	380	220	380	127	220	127	220	220	220	380	127
		$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	15	12	4	10	12	—	9	3	10	3	5	4	7	10	6
		$Q_{\text{ном}}, \text{квар}$	—	—	—	—	—	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		$\cos\varphi$	1	1	1	0,85	0,75	0	0,87	1	0,6	1	1	1	1	0,8	0,7
		Характер	акт.	акт.	акт.	инд.	емк.	инд.	инд.	акт.	инд.	акт.	акт.	акт.	акт.	емк.	инд.
	№ 2	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	220	380	220	220	380	220	380	127	220	127	220	220	220	380	127
		$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	10	—	—	—	16	12	—	6	18	—	12	5	12	12	10
		$Q_{\text{ном}}, \text{квар}$	—	4	4	12	—	—	13	—	—	4	—	—	—	—	
		$\cos\varphi$	0,6	0	0	0	0,75	0,8	0	0,8	0,4	0	1	0,7	0,9	0,8	1
		Характер	емк.	инд.	емк.	емк.	инд.	емк.	инд.	емк.	емк.	емк.	акт.	емк.	инд.	инд.	акт.
	№ 3	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	220	380	220	220	380	220	380	127	220	127	220	220	220	380	127
		$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	—	5	7	14	16	13	18	—	—	5	14	6	17	9	—
$Q_{\text{ном}}, \text{квар}$		12	—	—	—	—	—	—	4	15	—	—	—	—	—	10	
$\cos\varphi$		0	0,85	0,8	1	1	0,87	0,7	0	0	0,9	0,8	0,7	1	0,6	0	
Характер		емк.	емк.	емк.	акт.	акт.	инд.	емк.	емк.	емк.	инд.	емк.	инд.	акт.	инд.	емк.	
Трехфазный симметричный приемник	№ 4	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	220	220	127	220	220	220	220	127	127	220	127	380	127	380	220
		$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	—	33	15	42	—	42	45	8	36	15	21	15	30	42	42
		$Q_{\text{ном}}, \text{квар}$	27	—	—	—	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		$\cos\varphi$	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,8	0,9	0,85	0,52	0,8	0,7	0,9	0,7	0,9	0,8
		Характер	емк.	инд.	инд.	инд.	инд.	емк.	инд.	инд.	инд.	емк.	инд.	емк.	емк.	емк.	инд.

Продолжение табл. 1

Вариант		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	
$U_{\text{сети}}, \text{В}$		220	220	380	380	220	220	220	380	380	220	380	380	220	380	220	
Количество проводов		4	3	3	4	3	4	3	4	3	3	4	3	4	4	4	
Однофазный приемник	№ 1	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	127	220	380	380	220	127	220	220	380	220	220	380	220	380	127
		$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	14	16	6	—	15	4	4	6	9	4	6	12	4	16	5
		$Q_{\text{ном}}, \text{квар}$	—	—	—	13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		$\cos\varphi$	0,6	0,9	1	0,4	0,7	0,6	0,9	1	0,7	1	1	1	1	0,8	0,9
		Характер	емк.	инд.	акт.	емк.	инд.	емк.	инд.	акт.	емк.	акт.	акт.	акт.	акт.	акт.	емк.
	№ 2	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	127	220	380	380	220	127	220	220	380	220	220	380	220	380	127
		$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	—	14	12	16	17	3	5	8	—	6	7	—	—	17	4
		$Q_{\text{ном}}, \text{квар}$	8	—	—	—	—	—	—	—	5	—	—	14	4	—	—
		$\cos\varphi$	0	1	1	1	0,6	0,7	0,6	0,7	0,3	0,7	0,5	0	0,45	0,8	1
		Характер	инд.	акт.	акт.	акт.	инд.	инд.	емк.	инд.	инд.	емк.	емк.	инд.	емк.	инд.	акт.
	№ 3	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	127	220	380	380	220	127	220	220	380	220	220	380	220	380	127
		$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	10	26	8	10	15	9	6	9	7	5	—	13	7	19	8
$Q_{\text{ном}}, \text{квар}$		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10	—	—	—		
$\cos\varphi$		1	0,3	0,9	0,6	0,5	1	0,8	0,7	1	0,7	0	0,7	0,6	1	0,7	
Характер		акт.	инд.	инд.	инд.	емк.	акт.	инд.	емк.	акт.	емк.	инд.	емк.	емк.	акт.	инд.	
Трехфазный симметричный приемник	№ 4	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	220	127	380	220	220	127	380	220	127	220	220	127	220	220	
		$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	27	57	24	27	39	15	18	27	27	12	—	30	12	48	12
		$Q_{\text{ном}}, \text{квар}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30	—	—	—	
		$\cos\varphi$	0,9	0,6	0,7	0,5	0,7	0,9	0,7	0,9	0,4	0,55	0,64	0,7	0,7	0,4	0,8
		Характер	инд.	инд.	емк.	емк.	емк.	емк.	емк.	инд.	инд.	емк.	инд.	инд.	инд.	емк.	емк.

Продолжение табл. 1

Вариант		46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	
$U_{\text{сети}}, \text{В}$		380	220	380	220	380	380	220	220	220	380	220	380	220	220	220	
Количество проводов		4	4	4	3	4	3	4	4	3	4	3	3	4	4	3	
Однофазный приемник	№ 1	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	220	127	220	220	220	380	220	127	220	220	220	380	127	127	220
		$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	7	3	12	10	–	6	7	6	6	4	7	14	12	19	17
		$Q_{\text{ном}}, \text{квар}$	–	–	–	–	10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		$\cos\varphi$	0,9	1	1	0,8	0	0,8	0,6	1	1	1	1	0,7	0,6	0,9	0,9
		Характер	инд.	акт.	акт.	инд.	инд.	инд.	инд.	акт.	акт.	акт.	акт.	емк.	инд.	емк.	Инд.
	№ 2	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	220	127	220	220	220	380	220	127	220	220	220	380	127	127	220
		$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	10	5	9	–	14	–	6	–	10	6	10	12	17	–	24
		$Q_{\text{ном}}, \text{квар}$	–	–	–	12	–	14	–	4	–	–	–	–	–	13	–
		$\cos\varphi$	1	0,8	0,7	0	0,6	0,6	0,5	0	1	0,8	0,9	0,7	1	0	1
		Характер	акт.	емк.	емк.	емк.	емк.	инд.	емк.	емк.	акт.	емк.	инд.	инд.	акт.	инд.	акт.
	№ 3	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	220	127	220	220	220	380	220	127	220	220	220	380	127	127	220
		$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	4	–	–	14	13	12	–	6	16	4	11	10	–	20	36
		$Q_{\text{ном}}, \text{квар}$	–	3	12	–	–	–	17	–	–	–	–	–	10	–	–
		$\cos\varphi$	0,3	0	0,7	1	0,7	0,6	0	0,7	0,9	0,6	1	0,7	0,7	1	0,3
		Характер	емк.	емк.	емк.	акт.	инд.	емк.	емк.	инд.	емк.	инд.	акт.	инд.	емк.	акт.	инд.
Трехфазный симметричный приемник	№ 4	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	220	127	220	220	220	220	127	220	127	380	127	380	220	220	127
		$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	18	18	–	–	–	15	30	17	42	15	24	27	60	54	60
		$Q_{\text{ном}}, \text{квар}$	–	–	27	60	30	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		$\cos\varphi$	0,5	0,9	0,67	0,8	0,7	0,8	0,7	0,9	0,6	0,9	0,6	0,8	0,8	0,9	0,52
		Характер	емк.	инд.	емк.	инд.	емк.	инд.	инд.	емк.	инд.	емк.	инд.	емк.	инд.	инд.	емк.

Продолжение табл. 1

Вариант		61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	
$U_{\text{сети}}, \text{В}$		380	380	220	220	220	380	380	220	380	220	380	380	380	220	220	
Количество проводов		3	4	3	4	3	4	3	3	4	4	4	4	3	3	3	
Однофазный приемник	№ 1	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	380	380	220	127	220	220	380	220	220	127	220	220	380	220	220
		$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	–	14	20	9	10	9	14	6	6	6	14	16	12	6	14
		$Q_{\text{ном}}, \text{квар}$	17	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		$\cos\varphi$	0	0,7	0,6	0,7	0,5	1	0,7	1	1	0,8	0,7	1	1	1	0,9
		Характер	инд.	инд.	инд.	емк.	емк.	акт.	емк.	акт.	акт.	емк.	инд.	акт.	акт.	акт.	инд.
	№ 2	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	380	380	220	127	220	220	380	220	220	127	220	220	380	220	220
		$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	19	12	16	6	10	6	–	8	9	6	8	18	–	–	–
		$Q_{\text{ном}}, \text{квар}$	–	–	–	–	–	–	15	–	–	–	–	–	8	7	12
		$\cos\varphi$	1	0,6	1	0,8	0,7	0,9	0	0,7	0,6	1	1	0,5	0	0,6	0
		Характер	акт.	инд.	акт.	инд.	инд.	инд.	инд.	емк.	емк.	акт.	акт.	емк.	инд.	емк.	емк.
	№ 3	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	380	380	220	127	220	220	380	220	220	127	220	220	380	220	220
		$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	24	14	14	10	7	12	16	12	–	12	26	–	9	7	16
		$Q_{\text{ном}}, \text{квар}$	–	–	–	–	–	–	–	–	–	14	–	–	12	–	–
		$\cos\varphi$	0,7	0,7	0,6	1	0,6	0,7	1	0,8	0	0,7	0,3	0	0,9	0,6	1
		Характер	инд.	инд.	емк.	акт.	инд.	емк.	акт.	емк.	инд.	инд.	емк.	емк.	емк.	емк.	акт.
Трехфазный симметричный приемник	№ 4	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	380	220	220	220	127	380	220	220	220	220	220	220	220	127	220
		$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	60	42	33	30	30	18	45	21	–	21	24	–	42	15	96
		$Q_{\text{ном}}, \text{квар}$	–	–	–	–	–	–	–	–	39	–	–	39	–	–	–
		$\cos\varphi$	0,6	0,8	0,9	0,6	0,4	0,9	0,6	0,7	0,3	0,9	0,3	0,8	0,7	0,8	0,6
		Характер	емк.	емк.	емк.	емк.	инд.	инд.	инд.	инд.	инд.	инд.	инд.	емк.	инд.	инд.	инд.

Продолжение табл. 1

Вариант		76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	
$U_{\text{сети}}, \text{В}$		380	380	380	220	220	220	220	380	220	380	220	220	220	380	380	
Количество проводов		4	4	3	4	4	4	3	4	3	3	4	4	3	3	4	
Однофазный приемник	№ 1	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	380	220	380	127	220	127	220	220	220	380	127	127	220	380	380
		$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	16	–	12	6	7	6	10	12	6	–	6	14	–	12	17
		$Q_{\text{ном}}, \text{квар}$	–	14	–	–	–	–	–	–	–	14	–	–	10	–	–
		$\cos\varphi$	0,8	0	0,7	1	0,6	0,3	0,9	0,6	0,5	0	0,3	0,4	0	0,1	1
	№ 2	Характер	емк.	инд.	инд.	акт.	емк.	инд.	инд.	инд.	емк.	инд.	емк.	инд.	емк.	емк.	акт.
		$U_{\text{ном}}, \text{В}$	380	220	380	127	220	127	220	220	220	380	127	127	220	380	380
		$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	19	10	15	8	9	6	10	5	–	10	7	5	6	7	19
		$Q_{\text{ном}}, \text{квар}$	–	–	–	–	–	–	–	–	6	–	–	–	–	–	–
	№ 3	$\cos\varphi$	0,6	1	0,6	0,9	0,6	1	1	0,7	0,3	0,7	0,7	1	1	0,9	0,6
		Характер	емк.	акт.	емк.	инд.	инд.	акт.	акт.	емк.	инд.	емк.	инд.	акт.	акт.	инд.	емк.
		$U_{\text{ном}}, \text{В}$	380	220	380	127	220	127	220	220	220	380	127	127	220	380	380
		$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	19	12	16	–	6	5	6	5	10	14	12	17	12	10	14
Трехфазный симметричный приемник	№ 4	$Q_{\text{ном}}, \text{квар}$	–	–	–	8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
		$\cos\varphi$	1	0,7	0,4	0	1	0,7	0,3	1	1	1	0,4	0,2	0,9	0,7	0,7
		Характер	акт.	инд.	инд.	инд.	акт.	инд.	инд.	акт.	акт.	инд.	инд.	инд.	инд.	инд.	инд.
		$U_{\text{ном}}, \text{В}$	220	220	220	127	127	220	127	380	220	380	220	220	127	380	220
Трехфазный симметричный приемник	№ 4	$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	–	42	42	33	18	27	18	–	27	36	27	42	39	–	27
		$Q_{\text{ном}}, \text{квар}$	30	–	–	–	–	–	–	18	–	–	–	–	–	24	–
		$\cos\varphi$	0,5	0,7	0,4	0,9	0,6	0,5	0,3	0,55	0,3	0,7	0,7	0,7	0,4	0,7	0,82
		Характер	инд.	емк.	инд.	инд.	емк.	емк.	емк.	инд.	инд.	инд.	емк.	инд.	емк.	инд.	инд.

Продолжение табл. 1

Вариант		91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	
$U_{\text{сети}}, \text{В}$		220	220	220	380	380	220	380	220	380	380	380	380	220	220	380	
Количество проводов		3	4	3	4	3	3	4	4	4	4	3	4	3	4	3	
Однофазный приемник	№ 1	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	220	127	220	220	380	220	220	127	220	220	380	380	220	127	380
		$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	4	16	–	17	24	24	16	19	18	12	18	20	27	14	–
		$Q_{\text{ном}}, \text{квар}$	–	–	12	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	12
		$\cos\varphi$	0,6	0,7	0	0,7	0,2	0,3	0,9	0,6	0,7	0,4	0,7	0,5	1	1	0,8
	№ 2	Характер	емк.	инд.	емк.	емк.	емк.	инд.	инд.	инд.	емк.	емк.	емк.	инд.	акт.	акт.	емк.
		$U_{\text{ном}}, \text{В}$	220	127	220	220	380	220	220	127	220	220	380	380	220	127	380
		$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	15	24	21	14	21	15	–	12	–	10	15	16	–	–	–
		$Q_{\text{ном}}, \text{квар}$	–	–	–	–	–	–	21	–	24	–	–	–	23	20	17
	№ 3	$\cos\varphi$	0,4	0,9	0,7	0,6	0,7	0,9	0	0,2	0,4	0,5	1	0,86	0	0,6	0
		Характер	емк.	емк.	инд.	емк.	емк.	инд.	инд.	инд.	емк.	емк.	акт.	инд.	емк.	инд.	емк.
		$U_{\text{ном}}, \text{В}$	220	127	220	220	380	220	220	127	220	220	380	380	220	127	380
		$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	24	25	24	7	12	16	19	–	21	26	–	18	21	–	17
Трехфазный симметричный приемник	№ 4	$Q_{\text{ном}}, \text{квар}$	–	–	–	–	–	–	20	–	–	15	–	–	12	–	
		$\cos\varphi$	0,1	0,4	0,5	1	1	0,7	0,8	0	0,4	0,2	0,6	1	1	0,7	0,6
		Характер	инд.	инд.	инд.	акт.	акт.	инд.	емк.	инд.	инд.	емк.	емк.	акт.	акт.	емк.	инд.
		$U_{\text{ном}}, \text{В}$	220	220	127	380	220	127	220	220	380	380	380	220	127	127	220
Трехфазный симметричный приемник	№ 4	$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	42	51	42	60	42	–	72	42	54	42	45	–	–	39	–
		$Q_{\text{ном}}, \text{квар}$	–	–	–	–	–	39	–	–	–	–	–	39	66	–	48
		$\cos\varphi$	0,3	0,7	0,8	0,8	0,7	0,4	0,5	0,4	0,2	0,9	0,6	0,5	0,8	0,9	0,7
		Характер	инд.	емк.	инд.	емк.	инд.	емк.	инд.	емк.	инд.	емк.	инд.	емк.	емк.	инд.	инд.

Продолжение табл. 1

Вариант		106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	
$U_{сети}, В$		380	220	220	380	380	220	220	380	380	220	220	380	380	220	220	
Количество проводов		4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	
Однофазный приемник	№ 1	$U_{ном}, В$	220	220	220	380	220	220	127	380	380	220	220	380	220	220	127
		$P_{ном}, кВт$	–	–	–	8	15	24	–	14	–	21	–	9	16	–	–
		$Q_{ном}, квар$	10	10	16	–	–	–	19	–	16	–	13	–	–	9	10
		$\cos\phi$	0,7	0	0	1	1	0,9	0,8	0,6	0	1	0	0,9	0,8	0	0
	Характер	инд.	емк.	инд.	акт.	акт.	инд.	емк.	инд.	емк.	акт.	инд.	емк.	инд.	инд.	емк.	
	№ 2	$U_{ном}, В$	220	220	220	380	220	220	127	380	380	220	220	380	220	220	127
		$P_{ном}, кВт$	–	6	9	24	22	15	12	–	–	25	14	–	20	11	16
		$Q_{ном}, квар$	10	–	–	–	–	–	–	17	23	–	–	19	–	–	–
		$\cos\phi$	0	1	1	0,4	0,6	1	1	0,6	0,7	0,5	0,64	0,75	0,85	1	0,95
	Характер	инд.	акт.	акт.	инд.	емк.	акт.	акт.	инд.	емк.	емк.	емк.	инд.	емк.	акт.	инд.	
	№ 3	$U_{ном}, В$	220	220	220	380	220	220	127	380	380	220	220	380	220	220	127
		$P_{ном}, кВт$	13	–	16	–	17	–	–	13	18	–	–	21	14	–	10
$Q_{ном}, квар$		–	14	–	21	–	19	21	–	–	22	18	–	–	10	–	
$\cos\phi$		1	0,54	0,68	0	0,8	0,65	0,5	1	1	0	0	0,72	0,86	0,8	1	
Характер	акт.	инд.	емк.	емк.	инд.	емк.	инд.	акт.	акт.	инд.	инд.	акт.	емк.	инд.	акт.		
Трехфазный симметричный приемник	№ 4	$U_{ном}, В$	380	220	127	220	220	220	220	220	127	220	380	380	127	127	
		$P_{ном}, кВт$	–	30	51	42	–	57	48	27	33	84	33	–	–	–	–
		$Q_{ном}, квар$	27	–	–	–	54	–	–	–	–	–	–	42	39	36	51
		$\cos\phi$	0,7	0,7	0,4	0,9	0,85	0,9	0,6	0,75	0,54	0,65	0,8	0,9	0,7	0,72	0,84
		Характер	емк.	инд.	емк.	инд.	емк.	инд.	емк.	емк.	инд.	емк.	емк.	инд.	емк.	емк.	инд.

Продолжение табл. 1

Вариант		121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	
$U_{сети}, В$		380	380	220	220	380	380	220	220	380	380	220	220	380	380	220	
Количество проводов		3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	
Однофазный приемник	№ 1	$U_{ном}, В$	380	380	220	127	380	220	220	220	380	220	220	127	380	380	220
		$P_{ном}, кВт$	–	–	20	19	8	–	–	5	–	6	5	8	9	12	15
		$Q_{ном}, квар$	15	18	–	–	–	9	6	–	4	–	–	–	–	–	–
		$\cos\phi$	0,85	0,77	0,64	0,4	1	0	0	0,55	0	1	0,92	0,46	1	0,78	0,74
	Характер	емк.	инд.	инд.	емк.	акт.	емк.	инд.	инд.	емк.	акт.	емк.	инд.	акт.	инд.	емк.	
	№ 2	$U_{ном}, В$	380	380	220	127	380	220	220	220	380	220	220	127	380	380	220
		$P_{ном}, кВт$	14	18	–	12	–	8	6	–	12	–	–	–	–	–	–
		$Q_{ном}, квар$	–	–	15	–	10	–	–	4	–	9	8	6	6	4	8
		$\cos\phi$	0,92	0,6	0	1	0,58	0,67	0,92	0,66	0,75	0,64	0,56	0	0,96	0	0,88
	Характер	инд.	емк.	емк.	акт.	емк.	инд.	емк.	емк.	инд.	емк.	инд.	инд.	емк.	инд.	инд.	
	№ 3	$U_{ном}, В$	380	380	220	127	380	220	220	220	380	220	220	127	380	380	220
		$P_{ном}, кВт$	10	–	16	11	–	6	9	7	9	10	12	8	9	7	12
$Q_{ном}, квар$		–	9	–	–	20	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
$\cos\phi$		0	1	0,78	0,96	0,82	1	1	0,64	1	0,75	1	0,8	0,7	0,6	0,4	
Характер	инд.	акт.	инд.	емк.	инд.	акт.	акт.	инд.	акт.	емк.	акт.	емк.	инд.	емк.	емк.		
Трехфазный симметричный приемник	№ 4	$U_{ном}, В$	220	380	220	127	220	380	220	127	220	220	127	220	380	127	
		$P_{ном}, кВт$	–	–	54	21	–	–	42	39	–	–	–	–	–	–	–
		$Q_{ном}, квар$	48	33	–	–	30	27	–	–	36	24	18	19	24	42	33
		$\cos\phi$	0,4	0,6	0,55	0,87	0,76	0,9	0,88	0,63	0,78	0,64	0,68	0,5	0,91	0,55	0,74
Характер	емк.	инд.	емк.	инд.	инд.	емк.	инд.	емк.	инд.	инд.	инд.	емк.	инд.	емк.	инд.		

Окончание табл. 1

Вариант		136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	
$U_{сети}, В$		220	380	380	220	220	380	380	220	220	380	380	220	220	380	380	
Количество проводов		4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	
Однофазный приемник	№ 1	$U_{ном}, В$	220	380	220	220	127	380	220	220	127	380	380	220	220	380	220
		$P_{ном}, кВт$	18	17	14	10	–	8	19	12	–	15	–	12	–	7	14
		$Q_{ном}, квар$	–	–	–	–	11	–	–	–	14	–	8	–	9	–	–
		$\cos\phi$	0,85	0,86	1	1	0	0,68	1	0,96	0,5	1	0,8	1	0,7	0,8	1
Характер	емк.	инд.	акт.	акт.	емк.	емк.	акт.	инд.	емк.	акт.	емк.	акт.	инд.	емк.	акт.		

Трехфазный симметричный приемник	№ 2	$U_{\text{ном}}$, В	220	380	220	220	127	380	220	220	127	380	380	220	220	380	220		
		$P_{\text{ном}}$, кВт	–	10	–	–	15	–	15	–	6	–	8	–	12	–	16	–	
		$Q_{\text{ном}}$, квар	17	–	12	6	–	8	–	9	–	12	–	11	–	10	–	–	–
		$\cos\varphi$	0,75	1	0,83	0,77	0,6	0	0,66	0,77	0,56	0,84	0,92	0,68	0,9	0,4	0,5	–	–
		Характер	емк.	акт.	емк.	инд.	емк.	инд.	емк.	инд.	инд.	инд.	инд.	инд.	емк.	инд.	емк.	инд.	емк.
	№ 3	$U_{\text{ном}}$, В	220	380	220	220	127	380	220	220	127	380	380	220	220	380	220	–	–
		$P_{\text{ном}}$, кВт	14	–	–	–	8	15	–	12	9	–	7	–	8	6	12	–	–
		$Q_{\text{ном}}$, квар	–	20	17	9	–	–	13	–	–	14	–	11	–	–	–	–	–
		$\cos\varphi$	1	0	0,68	0,72	1	1	0,63	0,98	1	0,8	0,6	0	0,8	1	0,9	–	–
		Характер	акт.	емк.	инд.	емк.	акт.	акт.	инд.	емк.	акт.	инд.	емк.	емк.	емк.	емк.	акт.	инд.	–
	№ 4	$U_{\text{ном}}$, В	127	220	380	220	127	380	220	127	127	220	220	220	127	220	380	–	–
		$P_{\text{ном}}$, кВт	33	52	24	27	36	18	–	33	–	45	–	27	–	33	–	–	–
		$Q_{\text{ном}}$, квар	–	–	–	–	–	–	51	–	27	–	42	–	30	–	39	–	–
		$\cos\varphi$	0,72	0,68	0,9	0,52	0,66	0,8	0,7	0,6	0,5	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	0,77	–	–
		Характер	емк.	инд.	емк.	емк.	инд.	емк.	инд.	емк.	инд.	емк.	емк.	инд.	инд.	емк.	емк.	–	–

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

1 При выполнении расчетно-графической работы руководствоваться лекционным материалом и рекомендованной литературой.

2 К п. 1 задания:

а) модуль или полное сопротивление однофазных приемников рассчитывают, используя формулы:

$$P_{\text{ном}} = U_{\text{ном}} I_{\text{ном}} \cos\varphi; \quad Q_{\text{ном}} = U_{\text{ном}} I_{\text{ном}} \sin\varphi; \quad (1)$$

$$I_{\text{ном}} = \frac{U_{\text{ном}}}{Z_k}; \quad \sin\varphi = \sqrt{1 - \cos^2\varphi},$$

где $k = 1, 2, 3$;

б) модуль или полное сопротивление фазы трехфазного симметричного приемника рассчитывается по формулам (1) с учетом соотношений:

$$P_{\text{ф.ном}} = \frac{P_{\text{ном4}}}{3}; \quad Q_{\text{ф.ном}} = \frac{Q_{\text{ном4}}}{3}, \quad (2)$$

где $P_{\text{ном4}}$ и $Q_{\text{ном4}}$ – активная и реактивная мощности четвертого приемника;

в) для определения аргумента комплексного сопротивления использовать значение $\cos\varphi$ и вид характера нагрузки:

для чисто активной нагрузки – $\varphi = 0$;

для активно-индуктивной – $\varphi > 0$;

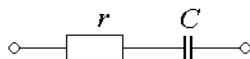
для активно-емкостной – $\varphi < 0$;

г) сделать переход от показательной формы комплексного сопротивления к алгебраической согласно выражению

$$\underline{Z}_k = Z_k e^{j\varphi_k} = Z_k \cos\varphi_k + jZ_k \sin\varphi_k = r_k + jx_k, \quad (3)$$

где $k = 1, 2, 3, 4$ (для четвертого приемника $\underline{Z}_k = \underline{Z}_{\text{ф4}}$). Знак перед мнимой частью определяется знаком аргумента φ_k ;

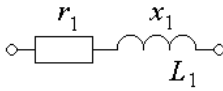
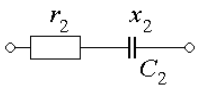
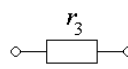
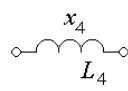
д) схема замещения k -го приемника или его фазы составляется относительно алгебраической формы (3). Например, если получено выражение для комплексного сопротивления вида $\underline{Z} = 4 - j3$, то его схема замещения имеет вид



е) окончательный результат по п.1 задания свести в табл. 1.2 (например, приемник № 1 – активно-индуктивная нагрузка, приемник № 2 – активно-емкостная нагрузка, приемник № 3 – активная нагрузка, приемник № 4 – индуктивная);

Таблица 2

Приемник № 1	Приемник № 2	Приемник № 3	Приемник № 4 (фаза)
--------------	--------------	--------------	---------------------

$\underline{Z}_1 = Z_1 e^{j\varphi_1} = r_1 + jx_1$	$\underline{Z}_2 = Z_2 e^{-j\varphi_2} = r_2 - jx_2$	$\underline{Z}_3 = r_3$	$\underline{Z}_4 = Z_4 e^{j90^\circ} = jx_4$
			

3 К п. 2 задания:

а) схема включения однофазных приемников и фаз трехфазного симметричного приемника определяется из соотношения линейного напряжения сети $U_{\text{сети}}$ и фазного напряжения приемника: если они равны, то реализуется схема соединения "треугольник"; если $U_{\text{сети}}$ в $\sqrt{3}$ раз больше $U_{\text{н}}$ приемника, то реализуется схема "звезда";

б) если первые три приемника должны быть соединены по схеме "звезда", то они образуют по условию задания несимметричный трехфазный приемник. В этом случае нейтральную точку такого приемника необходимо подключить к нейтральному проводу;

в) подключение ваттметров согласуется с используемой системой трехфазной сети: если четырехпроводная система при несимметричной нагрузке, то используется метод трех ваттметров; если трехпроводная, то метод двух ваттметров;

г) пример подключения приемников и ваттметров приведен на рис. 1.

4 К п. 3 задания:

а) так как предполагается, что линейные провода и нейтральный провод не обладают сопротивлением, то для фазовых напряжений приемников и сети справедливы соотношения:

– для схемы "звезда"

$$\dot{U}_a = \dot{U}_A; \quad \dot{U}_b = \dot{U}_B; \quad \dot{U}_c = \dot{U}_C; \quad (4)$$

– для схемы "треугольник"

$$\dot{U}_{ab} = \dot{U}_{AB}; \quad \dot{U}_{bc} = \dot{U}_{BC}; \quad \dot{U}_{ca} = \dot{U}_{CA}; \quad (5)$$

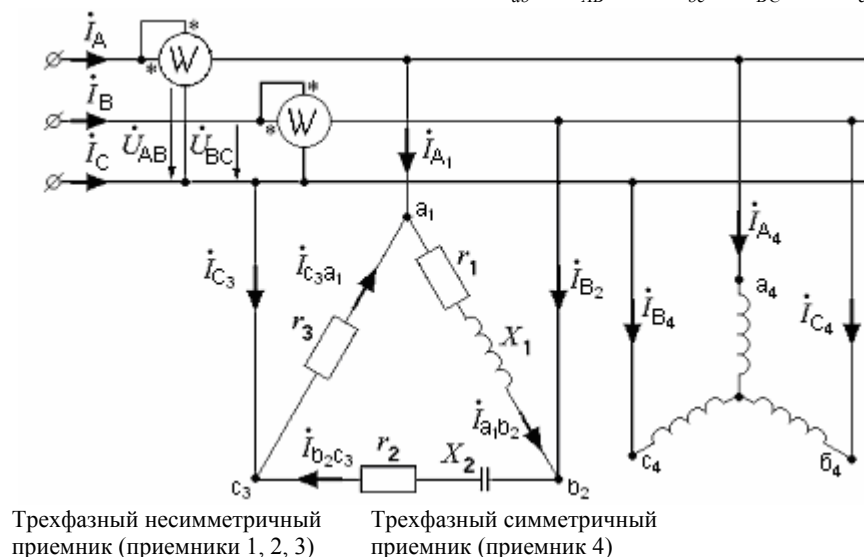


Рис. 1

б) фазные и линейные напряжения сети определяются из следующих выражений:

$$\dot{U}_A = \frac{U_{\text{сети}}}{\sqrt{3}}; \quad \dot{U}_B = \dot{U}_A e^{-j120^\circ}; \quad \dot{U}_C = \dot{U}_A e^{j120^\circ}; \quad (6)$$

$$\dot{U}_{AB} = \sqrt{3} \dot{U}_A e^{j30^\circ} = U_{\text{сети}} e^{j30^\circ};$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_{AB} e^{-j120^\circ}; \quad \dot{U}_{CA} = \dot{U}_{AB} e^{j120^\circ}; \quad (7)$$

в) в п. 3 задания рассчитывается эксплуатационный режим по фазным и линейным токам, поэтому для расчета I_ϕ используется закон Ома в комплексной форме для пассивного участка цепи:

– для схемы "звезда" (несимметричная нагрузка)

$$\dot{I}_{A1} = \frac{\dot{U}_A}{\underline{Z}_1}; \quad \dot{I}_{B2} = \frac{\dot{U}_B}{\underline{Z}_2}; \quad \dot{I}_{C3} = \frac{\dot{U}_C}{\underline{Z}_3}; \quad (8)$$

– для схемы "звезда" (симметричная нагрузка)

$$\dot{I}_{A4} = \frac{\dot{U}_A}{\underline{Z}_{4\phi}}; \quad \dot{I}_{B4} = \dot{I}_{A4} a^2; \quad \dot{I}_{C4} = \dot{I}_{A4} a; \quad (9)$$

где $a = e^{j120^\circ} = \frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$ – оператор трехфазной цепи;

– для схемы "треугольник" (несимметричная нагрузка)

$$\dot{I}_{a1b2} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\underline{Z}_1}; \quad \dot{I}_{b2c3} = \frac{\dot{U}_{BC}}{\underline{Z}_2}; \quad \dot{I}_{c3a1} = \frac{\dot{U}_{CA}}{\underline{Z}_3}; \quad (10)$$

– для схемы "треугольник" (симметричная нагрузка):

$$\dot{I}_{a_4b_4} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\underline{Z}_{4\Delta}}; \quad \dot{I}_{b_4c_4} = \dot{I}_{a_4b_4} a^2; \quad \dot{I}_{c_4a_4} = \dot{I}_{a_4b_4} a; \quad (11)$$

г) так как для схемы "звезда" справедливо соотношение $I_n = I_\phi$, то найденные фазные токи одновременно будут линейными. Для несимметричной нагрузки в этом случае надо определить ток в нейтральном проводе

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C \quad (12)$$

д) для схемы "треугольник" связь между I_n и I_ϕ определяется соотношениями:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}; \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}; \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}. \quad (13)$$

Для схемы "треугольник" после расчета I_n следует проверить правильность расчета по формуле

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0; \quad (14)$$

е) после расчета линейных токов для каждого из трехфазных приемников определить линейные токи трехфазной сети:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A4}; \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{B2} + \dot{I}_{B4}; \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{C3} + \dot{I}_{C4}. \quad (15)$$

Для четырехпроводной линии по (12) рассчитать ток в нейтральном проводе. Этот ток \dot{I}_N должен совпасть по значению с током \dot{I}_N , рассчитанным в п. 4, г. Для трехпроводной системы осуществляют проверку по формуле (14);

ж) в каждой отдельной операции по определению токов результат представить в двух формах – показательной и алгебраической

$$\dot{I}_k = I_k e^{j\varphi_k} = \text{Re } \dot{I}_k + j \text{Im } \dot{I}_k \quad (16)$$

5 К п. 4 задания:

а) показания электродинамического или ферродинамического ваттметра определяются по формуле

$$P_w = U_w I_w \cos \beta = \text{Re } \underline{S} = \text{Re } (\dot{U}_w^* \dot{I}_w), \quad (17)$$

где U_w и I_w – напряжение и ток, на который реагирует прибор; β – угол сдвига между напряжением и током ($\beta = \psi_{u_w} - \psi_{i_w}$); \underline{S} – комплексная мощность; \dot{U}_w – комплексное действующее значение напряжения; I^* – комплексный сопряженный ток.

б) для четырехпроводной системы используется метод трех ваттметров, при этом измеренная активная мощность сети при подключении заданных приемников будет определяться арифметической суммой показаний приборов:

$$\begin{aligned} P &= P_{w1} + P_{w2} + P_{w3} = U_A I_A \cos \varphi_a + U_B I_B \cos \varphi_b + U_C I_C \cos \varphi_c = \\ &= \operatorname{Re}(\dot{U}_A I_A^*) + \operatorname{Re}(\dot{U}_B I_B^*) + \operatorname{Re}(\dot{U}_C I_C^*). \end{aligned} \quad (18)$$

При этом методе измерения мощности $\beta = \varphi$, а $|\varphi| \leq 90^\circ$, где φ – угол сдвига фаз между током и напряжением на пассивном участке цепи;

в) для трехпроводной системы используется метод двух ваттметров и суммарная активная мощность приемников, подключенных к этой сети, равна алгебраической сумме показаний приборов:

$$\begin{aligned} P &= P_{w1} + P_{w2} = U_{w1} I_{w1} \cos \beta_1 + U_{w2} I_{w2} \cos \beta_2 = \\ &= \operatorname{Re}(\dot{U}_{w1} I_{w1}^*) + \operatorname{Re}(\dot{U}_{w2} I_{w2}^*). \end{aligned} \quad (19)$$

При этом методе измерения мощности β зависит от характера нагрузки в фазе, но $\beta \neq \varphi$, следовательно, при получении отрицательной расчетной мощности P_{wk} , где $k = 1, 2$, необходимо указать на использование кнопки прибора, изменяющей его полярность;

г) полученный результат в п. 5, б, в необходимо сравнить с суммарной активной мощностью приемников № 1, 2, 3, 4:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4. \quad (20)$$

При получении тождества

$$P_w = P_1 + P_2 + P_3 + P_4, \quad (21)$$

расчет токов трехфазной цепи произведен верно.

6 К п. 5 задания:

а) построение векторных диаграмм начинать с выбора масштабов по току (m_i (А/мм)) и напряжению (m_u (В/мм)), которые надо указать в правом верхнем углу чертежа, и правильного расположения действительной и мнимой осей на комплексной плоскости (они повернуты против часовой стрелки на 90° относительно обычного их расположения);

б) далее приступить к построению векторной топографической диаграммы фазных и линейного напряжений;

в) при построении векторной диаграммы фазных и линейных токов необходимо учитывать вид схемы соединения фаз трехфазных приемников;

г) если реализована схема соединения "звезда" (рис. 2), то I_ϕ откладывают от соответствующего фазного напряжения U_ϕ , ориентируясь на аргумент комплексного сопротивления рассматриваемой фазы φ_ϕ (для чистой активной нагрузки I_ϕ и U_ϕ совпадают по направлению; для активно-индуктивной нагрузки I_ϕ откладывают в сторону отставания на φ_ϕ и т.д.). Если нагрузка симметричная, то построенные I_ϕ должны образовывать замкнутый треугольник, что показывается на диаграмме. Для несимметричной нагрузки замыкающий вектор будет изображать ток в нейтральном проводе I_N (он направлен из начала координат);

д) при соединении фаз трехфазного приемника по схеме "треугольник" (рис. 3) фазные токи I_ϕ строят из начал соответствующих фазных напряжений U_ϕ , которые для треугольника равны U_Δ (линейным напряжениям), а методика их построения аналогична п. 6, г. После построения I_ϕ на основании формул (13) строят графически линейные токи, которые согласно (14) должны образовывать замкнутый треугольник (это проверочное построение выполняют на диаграмме);

е) после построения отдельных линейных токов приемников (для схемы "звезда" $I_\Delta = I_\phi$) строят линейные токи сети согласно (15): для четырехпроводной системы они в сумме должны дать ток I_N , полученный в п. 6, г;

а для трехпроводной линии – замкнутый треугольник. Эти проверочные построения обязательно показать на диаграмме.

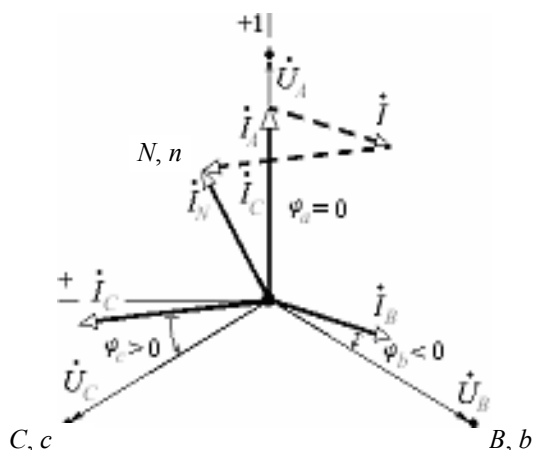


Рис. 2

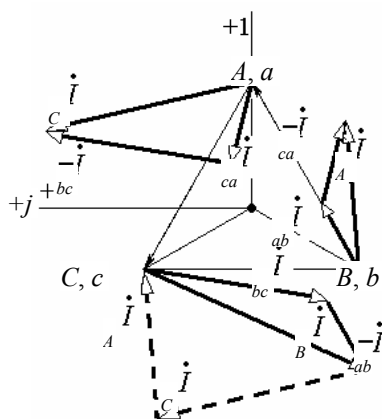


Рис. 3

7 К п. 6 задания:

а) на основании полученных комплексных действующих значений линейных токов и тока в нейтральном проводе (если он есть) записать выражения для их мгновенных значений;

б) построить в одной системе координат ($i - \omega t$) временные диаграммы i_n и i_N , указав углы их сдвига: $\alpha_1 = \psi_{iA} - \psi_{iB}$; $\alpha_2 = \psi_{iB} - \psi_{iC}$; $\alpha_3 = \psi_{iC} - \psi_{iA}$;

в) показать графически справедливость выражений, указанных в п. 6 задания.

8 К п. 7 задания:

а) произвести аналитический анализ аварийных режимов, на которые указал преподаватель. При этом необходимо учитывать следующее:

– трехпроводная система характеризуется независимостью работы фаз трехфазного приемника, если они соединены по схеме "треугольник"; то же относится и к четырехпроводной системе, если фазы несимметричного приемника соединены по схеме "звезда". Эти особенности трехфазной цепи необходимо учитывать в случае обрыва фаз приемника;

– для схемы "звезда" обрыв нейтрального провода (несимметричная нагрузка), короткое замыкание в фазе или обрыв в ней (симметричная нагрузка) вызовут появление смещения нейтрали \dot{U}_{nN} , которое определяется по формуле

$$\dot{U}_{nN} = \frac{\dot{U}_A \underline{Y}_a + \dot{U}_B \underline{Y}_b + \dot{U}_C \underline{Y}_c}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c + \underline{Y}_N}, \quad (22)$$

где $\dot{U}_a, \dot{U}_b, \dot{U}_c$ – фазные напряжения сети; $\underline{Y}_a, \underline{Y}_b, \underline{Y}_c$ – проводимости фаз приемника, \underline{Y}_N – проводимость нейтрального провода. Тогда после определения \dot{U}_{nN} необходимо определить фазные напряжения на приемнике по формулам:

$$\dot{U}_a = \dot{U}_A - \dot{U}_{nN}; \quad \dot{U}_b = \dot{U}_B - \dot{U}_{nN}; \quad \dot{U}_c = \dot{U}_C - \dot{U}_{nN}. \quad (23)$$

Далее по закону Ома для пассивного участка цепи определяют I_ϕ для каждой фазы, ток в нейтральном проводе рассчитывают по первому закону Кирхгофа для нейтральной точки приемника;

– в случае обрыва линейного провода для схемы "треугольник" трехфазная цепь вырождается в двухфазную и расчет упрощается, так как в двух смежных фазах приемника, замыкающихся на оборванный линейный провод, токи I_ϕ становятся равными;

б) принцип построения совмещенной векторной топографической диаграммы и диаграммы токов аналогичен (см. п. 6 Методич. указаний).

9 К п. 8 задания:

1) $R_{из}$ каждой фазы – это сопротивление среды (изоляции), отделяющей провод фазы от земли. Оно включается в схему замещения между проводом фазы и землей. Следовательно, сопротивление изоляции всех фаз образуют симметричную нагрузку, фазы которой соединены по схеме "звезда", а нейтральной точкой служит земля.

2) При выполнении п. 8, а и п. 8, в необходимо считать, что прикосновение человека к фазе с поврежденной изоляцией нарушает симметричность нагрузки, состоящей из $R_{из}$.

В схеме замещения сопротивление тела человека, R_h необходимо включать параллельно сопротивлению $R_{из}$ той фазы, к которой произошло прикосновение человека. В системе с глухозаземленной нейтралью нейтральные точки источника N и нагрузки n из сопротивлений $R_{из}$ соединены, роль нейтрального провода выполняет земля. В системе с изолированной нейтралью точки N и n изолированы.

3) При выполнении п. 8, б рассмотреть случаи прикосновения человека к неповрежденной фазе до перегорания плавкого предохранителя в аварийной фазе и после (неполнофазный режим). Можно указать, что вся сеть может быть отключена трехполюсным автоматическим воздушным выключателем (АВВ) при возникновении короткого замыкания в одной из фаз. В системе с изолированной нейтралью (п.8, г) средства защиты могут не отключить систему с коротким замыканием в одной из фаз.

В схеме замещения для п. 8, б и п. 8, г сопротивление R_h необходимо включить параллельно сопротивлению $R_{из}$ неповрежденной фазы.

4) Таким образом, при выполнении п.8 необходимо сначала составить правильно схему замещения с сопротивлениями $R_{из}$ и R_h , а затем определить из ее анализа напряжение U_h , под которое попадает человек при прикосновении. Используя закон Ома для пассивного участка, определить искомый ток I_h .

Необходимо помнить, что человек ощущает ток величиной в 0,05 А. Ток величиной в 0,05 А считается опасным для жизни, а ток в 0,1 А – смертельным.

10 К п. 9 задания:

а) расчет компенсационной реактивной мощности, повышающей коэффициент мощности до 0,95 производят, исходя из формулы

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P_n}{\sqrt{P_n^2 + (Q_n - Q_k)^2}} = 0,95, \quad (24)$$

где P_n и Q_n – заданные активная и реактивная мощности приемника; Q_k – реактивная мощность конденсатора. Следует выбирать меньшее значение Q_k при решении квадратного уравнения;

б) для определения параметров фазных компенсаторов необходимо учитывать, что батарея конденсаторов включается по схеме "треугольник", а блок индуктивностей – по схеме "звезда" (в обоих случаях элементы компенсаторов образуют симметричную нагрузку);

в) при расчете C_ϕ и L_ϕ использовать формулы:

$$Q_{KC\phi} = \frac{U_\phi^2}{X_{C\phi}}; \quad Q_{KL\phi} = \frac{U_\phi^2}{X_{L\phi}}; \\ Q_{KC} = 3Q_{KC\phi}; \quad Q_{KL} = 3Q_{KL\phi}; \quad (1.25)$$

$$x_{C\phi} = \frac{1}{2\pi f C_\phi}; \quad x_{L\phi} = 2\pi f L_\phi,$$

где Q_{KC} , Q_{KL} – реактивные мощности компенсаторов соответственно емкостного и индуктивного; $Q_{KC\phi}$, $Q_{KL\phi}$ – фазные реактивные мощности компенсаторов; $x_{C\phi}$, $x_{L\phi}$ – реактивные сопротивления фаз компенсаторов; C_{ϕ} , L_{ϕ} – фазные параметры компенсаторов; f – частота сети, указанная в табл. 1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. М.: Гардарики, 2000.
- 2 Вольнский Б.А. Электротехника. М.: Энергоатомиздат, 1987.
- 3 Электротехнический справочник. В 3 т. Т. 1. Общие вопросы. Электротехнические материалы / Под общ. ред. В.Г. Герасимова. М.: Энергия, 1980.
- 4 Сборник задач по электротехнике и основам электроники / Под ред. В.Г. Герасимова. М.: Высшая школа, 1987.
- 5 Сборник задач по теоретическим основам электротехники / Под ред. Л.А. Бессонова. М.: Высшая школа, 1980.
- 6 Рекус Г.Г., Белоусов А.И. Сборник задач по электротехнике и основам электроники. М.: Высшая школа, 1991.
- 7 Электротехника. Линейные цепи: Метод. указания, варианты расчетно-графических работ и примеры расчетов / Авт.-сост.: И.Н. Акулинин, А.В. Кирьянов. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Пример оформления титульного листа

ФОРМАТ А4

Министерство образования и науки Российской Федерации
ТАМБОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра "Электрооборудование и автоматизация"

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА № __
ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

**"ТРЕХФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО
СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА"**

Вариант № __

Выполнил(а): студент(ка) группы _____
ФИО

Проверил: преподаватель (должность) _____
ФИО

Тамбов 20 __ г.