

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

Теоретические основы электротехники

Методические указания
по выполнению расчетно-графических работ для студентов специальности
1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций»

Витебск
2023

УДК 7.01 (075.8)

Составитель:
Ю. В. Новиков

Одобрено кафедрой «Автоматизация производственных процессов»
протокол № 4 от 16.11.2023.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским
советом УО «ВГТУ», протокол № 3 от 27.11.2023.

Теоретические основы электротехники : методические указания по выполнению расчетно-графических работ / УО «ВГТУ» ; сост. : Ю. В. Новиков. – Витебск, 2023. – 22 с.

Методические указания являются руководством по выполнению расчетно-графических работ по курсу «Теоретические основы электротехники», определяют порядок выполнения и расчета студентом задач, общие требования, предъявляемые к выполнению расчетных заданий, представляют последовательность ее анализа, требования к структуре, содержанию и оформлению решения.

Предназначены для студентов дневной формы обучения на базе специальности 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций».

УДК 7.01 (075.8)

© УО «ВГТУ», 2023

Содержание

Введение.....	4
1 Общие требования к выполнению расчетно-графических работ.....	5
2 Задание к РГР-3. Анализ электрических цепей трехфазного переменного тока.....	5
2.1 Общие требования к выполнению задания.....	5
2.2 Содержание задания.....	6
2.3 Методические указания.....	8
3 Задание к РГР-4. Анализ электрической цепи с несинусоидальной ЭДС.....	9
3.1 Общие требования к выполнению задания.....	9
3.2 Содержание задания.....	9
3.3 Методические указания.....	12
4 Пример выполнения задания.....	13
Литература.....	21

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Теоретические основы электротехники» относится к числу общепрофессиональных дисциплин и базируется на теоретическом и практическом материале, излагаемом в курсах физики и математики.

Цели преподавания дисциплины: изучение электротехники, устройств и их параметров; изучение эффективного выбора электрических устройств, правильно эксплуатировать электрические системы.

Задачи изучения дисциплины: сформировать представление у студентов о электротехнических законах и процессах, о методах расчета и выбора элементов, техническом обслуживании и грамотном использовать их на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен иметь представление о статических характеристиках электронных устройств и элементов постоянного и переменного тока, критериях выбора и методах расчета устройств, а также методах экспериментального определения параметров и характеристик типовых электрических и электронных элементов и устройств.

В результате изучения дисциплины студент должен закрепить и развить профессиональные компетенции: «Обладать знаниями принципов действия, конструкций, свойств основных электроизмерительных приборов, усилительных, логических, цифровых и преобразовательных устройств» и «Быть способным выбирать и эксплуатировать электротехнические, электронные, электроизмерительные устройства для управления производственными процессами, грамотно решать вопросы экономии электроэнергии».

1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ

При выполнении расчетно-графических работ студенты закрепляют теоретический материал, изложенный в лекциях, материал лабораторных работ, учатся анализировать процессы, происходящие в цепях постоянного и переменного токов.

Количества РГР и их распределение по семестрам определяется рабочей программой дисциплины.

При выполнении РГР должны быть выполнены следующие требования:

- на титульном листе указывается название университета, кафедры, название и номер РГР, фамилия, имя и отчество студента, номер учебной группы, фамилия, имя и отчество проверяющего, год выполнения работы;
- использовать стандартные листы писчей бумаги;
- при расчетах в основном пользоваться международной системой единиц;
- графический материал вычерчивать карандашом или ручкой с помощью чертежных инструментов, пользуясь стандартными графическими обозначениями элементов схем и стандартными буквенными обозначениями физических величин;
- векторные диаграммы вычерчивать на миллиметровой бумаге;
- полученное решение проверить выбранным самостоятельно методом.

Номер варианта задания указывается преподавателем, ведущим дисциплину.

2 ЗАДАНИЕ К РГР-3. АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ТРЕХФАЗНОГО ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

2.1 Общие требования к выполнению задания

Перед выполнением задания необходимо повторить следующие вопросы из раздела «Трехфазные электрические цепи переменного тока»:

- способы включения в трехфазную цепь однофазных и трехфазных приемников;
- особенности четырех- и трехпроводной цепей при соединении звездой;
- соединение нагрузок треугольником;
- соотношение между фазными и линейными напряжениями и токами;
- анализ несимметричной трехпроводной цепи при соединении звездой;
- расчет фазных и линейных токов;
- построение векторных диаграмм при соединении приемников звездой и треугольником;
- энергетические соотношения в трехфазных цепях.

При повторении рекомендуется использовать лекционный материал и литературу [1, 2, 3].

2.2 Содержание задания

Для цепей (рис. 1, 2) выполнить следующее:

- начертить схемы цепей в соответствии с условиями варианта;
- определить фазные и линейные токи;
- определить мощности отдельных фаз и мощность трехфазного приемника в целом;
- построить векторные диаграммы.

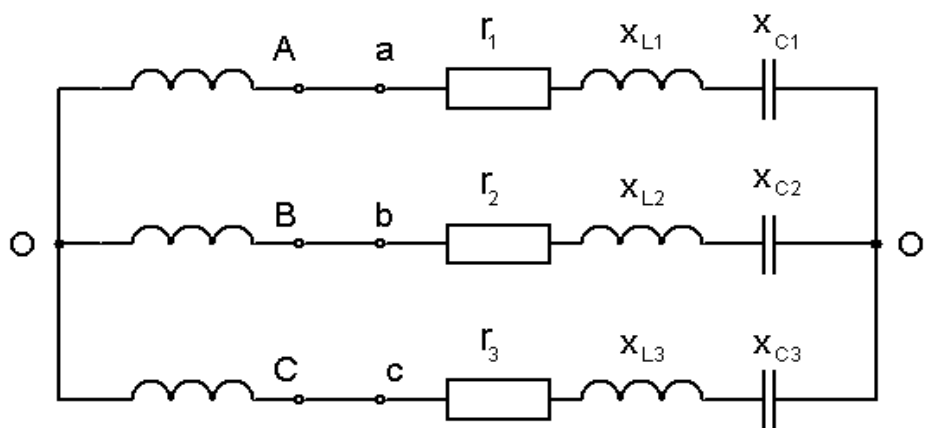


Рисунок 1 – Схема соединения звездой

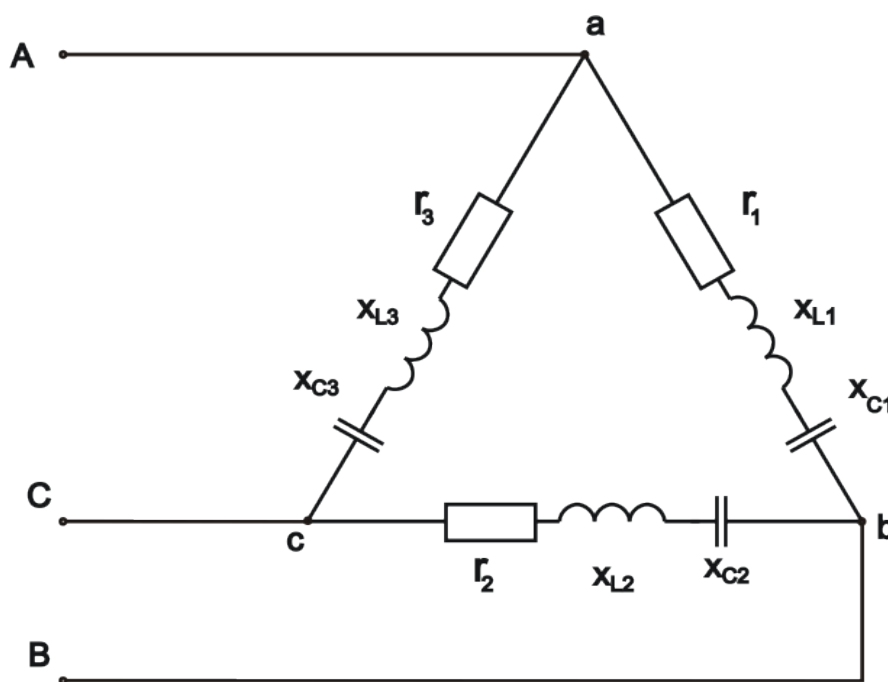


Рисунок 2 – Схема соединения треугольником

Таблица 1 – Исходные данные для выполнения расчетной работы

Вариант	U _л , В	r, x _L , x _C [Ом]								
		r ₁	r ₂	r ₃	x _{L1}	x _{L2}	x _{L3}	x _{C1}	x _{C2}	x _{C3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	380	20	18	25	40	45	-	30	35	40
	190	-	10	8	18	18	-	-	-	12
2	220	15	22	18	-	30	24	20	-	-
	240	24	14	-	-	6	18	18	-	-
3	127	8	12	10	-	12	-	-	-	15
	380	22	18	20	-	14	-	-	-	12
4	127	14	8	12	12	-	16	-	10	-
	380	12	24	18	-	-	24	16	14	-
5	380	22	18	16	11	-	-	-	15	12
	350	30	22	26	25	16	-	-	-	14
6	220	30	20	25	-	14	22	15	-	-
	340	28	32	-	-	24	-	22	-	35
7	220	18	16	14	-	-	12	15	18	-
	260	14	28	40	12	-	18	-	30	-
8	127	10	-	14	8	-	-	-	15	18
	250	22	30	35	-	20	-	16	-	25
9	190	-	10	8	18	18	-	-	-	12
	150	8	12	5	6	-	-	-	16	5
10	240	24	14	-	-	6	18	18	-	-
	180	10	14	15	-	12	14	5	-	-
11	200	16	15	22	12	-	-	-	10	22
	230	18	-	12	14	22	-	-	-	14
12	380	12	24	18	-	-	24	16	14	-
	220	13	18	16	-	-	12	17	14	-
13	350	30	22	26	25	16	-	-	-	14
	127	7	11	14	9	8	-	-	-	10
14	340	28	32	-	-	24	-	22	-	35
	170	17	8	10	-	6	8	15	-	-
15	260	14	28	40	12	-	18	-	30	-
	240	24	20	18	16	16	-	-	-	24
16	250	22	30	35	-	20	-	16	-	25
	350	32	38	40	-	-	16	24	26	-
17	150	8	12	5	6	-	-	-	16	5
	340	40	35	45	35	30	-	-	-	35
18	180	10	14	15	-	12	14	5	-	-
	300	26	22	14	-	18	-	16	-	28
19	230	18	-	12	14	22	-	-	-	14
	280	16	12	10	14	-	14	-	18	-
20	220	13	18	16	-	-	12	17	14	-
	175	8	10	-	6	-	-	-	12	16
21	127	7	11	14	9	8	-	-	-	10
	220	6	8	12	5	10	8	-	-	-
22	170	17	8	10	-	6	8	15	-	-
	380	22	18	20	-	14	-	-	-	12

Верхняя строка в варианте для схемы соединения «звездой», нижняя для схемы соединения «треугольником».

2.3. Методические указания

При расчете трехфазных цепей необходимо учитывать, что фазные (линейные) напряжения генератора не зависят от нагрузки, равны по величине и векторы их сдвинуты относительно друг друга на угол 120° . Напряжения на фазах нагрузки зависят от схемы соединения. В случае соединения звездой и наличия нейтрального провода фазные напряжения на нагрузках равны соответствующим фазным напряжениям генератора. При отсутствии нейтрального провода и несимметричной нагрузки фазные напряжения на нагрузке отличаются от фазных напряжений генератора и определяются по формулам

$$\begin{aligned}\dot{U}_a &= \dot{U}_A - \dot{U}_{oo'}, \\ \dot{U}_b &= \dot{U}_B - \dot{U}_{oo'}, \\ \dot{U}_c &= \dot{U}_C - \dot{U}_{oo'},\end{aligned}$$

где напряжение между узлами o и o' определяется выражением

$$\dot{U}_{oo'} = \frac{\dot{U}_A \cdot y_a + \dot{U}_B \cdot y_b + \dot{U}_C \cdot y_c}{y_a + y_b + y_c},$$

где y_a, y_b, y_c – полные проводимости фаз.

Фазные токи независимо от схемы соединения определяются

$$\dot{I}_\phi = \frac{\dot{U}_\phi}{Z_\phi}.$$

Линейные токи при соединении нагрузок треугольником определяются как векторные суммы с использованием первого закона Кирхгофа для узлов a, b, c .

Активная и реактивная мощности рассчитываются для каждой фазы в отдельности. Активная мощность трехфазного приемника равна арифметической сумме фазных, а реактивная определяется алгебраической суммой фазных мощностей.

3 ЗАДАНИЕ К РГР-4. АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ С НЕСИНУСОИДАЛЬНОЙ ЭДС

3.1 Общие требования к выполнению задания

Перед выполнением задания необходимо повторить следующие вопросы из раздела «Несинусоидальные токи»:

– разложение периодической несинусоидальной кривой в тригонометрический ряд Эйлера – Фурье;

– параметры, характеризующие тригонометрический ряд;

– дискретный частотный спектр ряда;

– применение принципа наложения для анализа цепи;

– действующие значения токов ветвей;

– активная мощность, потребляемая цепью.

При повторении рекомендуется использовать лекционный материал и литературу [1, 2, 3].

3.2. Содержание задания

Для цепи (рис. 3, табл. 2, 3) выполнить следующее:

– начертить схему цепи в соответствии с условиями варианта;

– рассчитать мгновенные и действующие значения токов ветвей;

– рассчитать активные мощности ветвей и всей цепи.

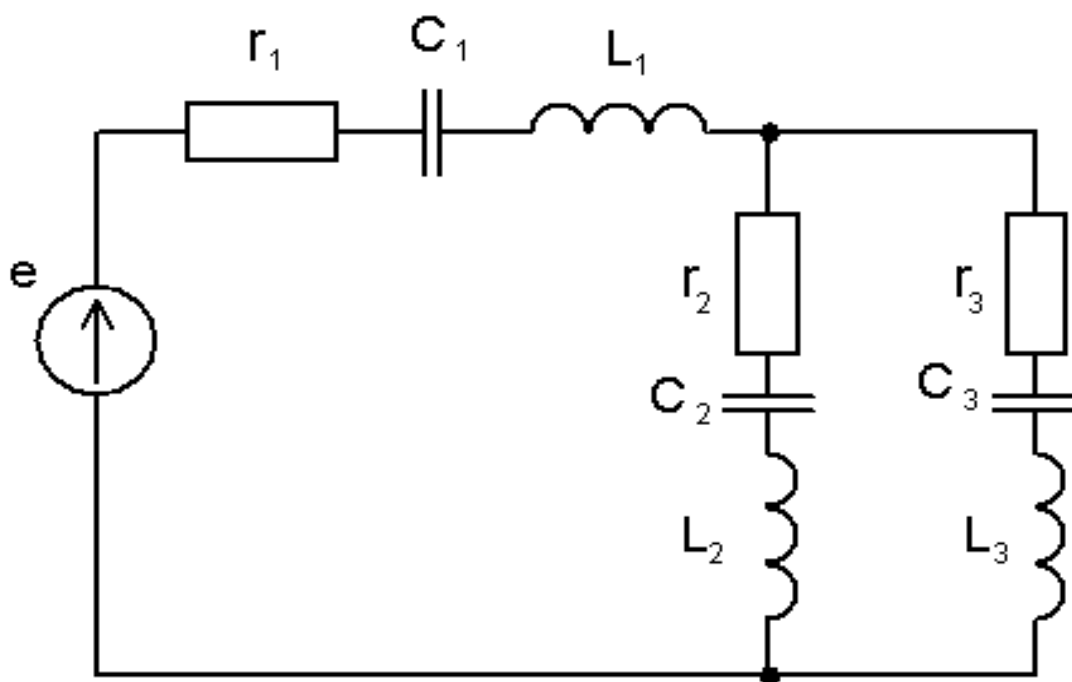


Рисунок 3 – Цепь электрическая с несинусоидальной ЭДС

Таблица 2 – Данные для выполнения расчетной работы

Вариант	e, В
1	2
1	$48 + 12 \sin(\omega t + 25^\circ) + 8 \sin(3\omega t - 60^\circ)$
2	$27 + 16 \sin(\omega t + 45^\circ) + 14 \sin(2\omega t + 15^\circ)$
3	$120 + 45 \sin(\omega t + 35^\circ) + 25 \sin(3\omega t - 45^\circ)$
4	$36 + 15 \sin(\omega t - 15^\circ) + 10 \sin(3\omega t + 50^\circ)$
5	$20 + 10 \sin(\omega t - 25^\circ) + 6 \sin(2\omega t + 30^\circ)$
6	$16 + 9 \sin(\omega t + 60^\circ) + 2 \sin(3\omega t - 20^\circ)$
7	$37 + 22 \sin(\omega t - 30^\circ) + 15 \sin(2\omega t + 15^\circ)$
8	$25 + 15 \sin(\omega t - 50^\circ) + 10 \sin(3\omega t + 20^\circ)$
9	$30 + 10 \sin(\omega t + 45^\circ) + 6 \sin(3\omega t - 25^\circ)$
10	$50 + 30 \sin(\omega t + 20^\circ) + 20 \sin(2\omega t - 30^\circ)$
11	$80 + 45 \sin(\omega t + 65^\circ) + 18 \sin(3\omega t - 50^\circ)$
12	$40 + 25 \sin(\omega t + 15^\circ) + 15 \sin(2\omega t - 60^\circ)$
13	$70 + 50 \sin(\omega t - 25^\circ) + 30 \sin(3\omega t + 80^\circ)$
14	$60 + 25 \sin(\omega t + 50^\circ) + 15 \sin(3\omega t - 15^\circ)$
15	$32 + 28 \sin(\omega t - 55^\circ) + 20 \sin(2\omega t - 10^\circ)$
16	$45 + 40 \sin(\omega t + 35^\circ) + 25 \sin(3\omega t - 25^\circ)$
17	$25 + 20 \sin(\omega t - 70^\circ) + 10 \sin(3\omega t + 40^\circ)$
18	$50 + 40 \sin(\omega t - 35^\circ) + 25 \sin(2\omega t + 75^\circ)$
19	$34 + 26 \sin(\omega t - 25^\circ) + 13 \sin(3\omega t - 45^\circ)$
20	$10 + 10 \sin(\omega t + 80^\circ) + 8 \sin(2\omega t - 40^\circ)$
21	$46 + 28 \sin(\omega t + 60^\circ) + 22 \sin(2\omega t + 25^\circ)$
22	$22 + 18 \sin(\omega t - 35^\circ) + 12 \sin(3\omega t + 43^\circ)$
23	$18 + 21 \sin(\omega t + 65^\circ) + 14 \sin(2\omega t - 15^\circ)$
24	$36 + 18 \sin(\omega t + 25^\circ) + 12 \sin(3\omega t - 35^\circ)$
25	$30 + 15 \sin(\omega t - 75^\circ) + 9 \sin(3\omega t + 65^\circ)$
26	$28 + 14 \sin(\omega t + 10^\circ) + 8 \sin(2\omega t - 40^\circ)$

Окончание таблицы 2

1	2
27	$100 + 60 \sin(\omega t + 45^\circ) + 30 \sin(3\omega t + 15^\circ)$
28	$65 + 35 \sin(\omega t + 80^\circ) + 15 \sin(3\omega t - 25^\circ)$
29	$38 + 10 \sin(\omega t + 35^\circ) + 6 \sin(2\omega t - 60^\circ)$
30	$24 + 16 \sin(\omega t - 75^\circ) + 12 \sin(3\omega t + 45^\circ)$

Таблица 3 – Значения параметров для выполнения расчетной работы

Вариант	r [Ом]			C [мкФ]			L [мГн]		
	r ₁	r ₂	r ₃	C ₁	C ₂	C ₃	L ₁	L ₂	L ₃
1	22	16	15	-	100	-	95	-	47
2	15	10	8	200	-	300	-	32	-
3	45	36	25	-	300	159	16	-	-
4	18	12	10	-	637	-	55	-	95
5	6	4	3	-	300	-	32	-	32
6	8	6	4	-	-	300	9	32	-
7	16	14	8	200	-	637	-	95	-
8	12	10	8	-	159	-	95	-	48
9	14	12	6	-	-	300	32	16	-
10	24	18	14	-	200	-	48	-	16
11	36	24	16	-	-	100	115	48	-
12	18	14	12	-	-	300	95	32	-
13	26	22	12	100	300	-	48	-	48
14	30	20	15	-	637	100	115	-	32
15	-	16	10	-	-	300	95	76	-
16	15	12	8	-	100	-	32	-	95
17	10	8	6	-	-	637	115	60	-
18	16	14	12	-	300	-	-	-	16
19	-	18	14	-	-	300	95	48	-
20	4	3	2	-	637	-	115	-	115
21	24	15	13	-	530	-	32	-	187
22	13	9	8	-	-	637	48	60	-
23	10	8	6	-	440	540	82	-	32
24	18	13	10	-	-	400	-	95	-
25	15	10	8	-	-	300	95	32	-
26	16	12	6	200	300	-	-	-	95
27	36	24	18	-	637	-	48	-	-
28	28	22	16	-	400	-	-	-	32
29	19	15	10	-	318	637	32	-	48
30	12	10	7	-	637	-	95	-	115

При расчете активных сопротивлений принять, что основная частота $\omega = 314$ (1/с).

3.3 Методические указания

Расчет цепей с несинусоидальными ЭДС и токами выполняется с применением принципа наложения.

Если ЭДС $e = E_o + E_{1m} \sin(\omega_1 t + \psi_1) + E_{2m} \sin(\omega_2 t + \psi_2)$ (рис. 4 а), то действие такой ЭДС аналогично действию трех последовательно соединенных источников ЭДС (рис. 4 б)

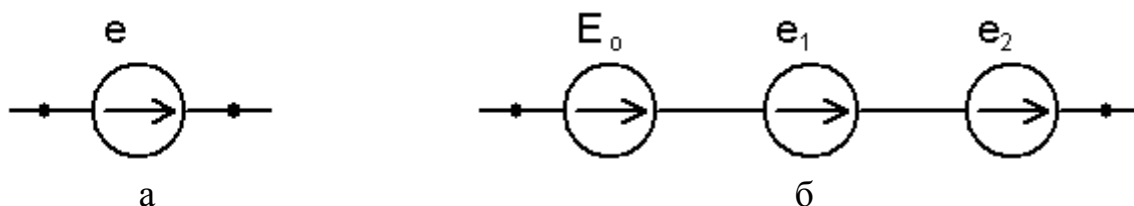


Рисунок 4 – Схемы, эквивалентные несинусоидальной ЭДС

$$\begin{aligned}e_o &= E; \\e_1 &= E_{1m} \sin(\omega_1 t + \psi_1); \\e_2 &= E_{2m} \sin(\omega_2 t + \psi_2).\end{aligned}$$

Каждая из ЭДС вызывает в ветвях свои частичные токи, а тогда мгновенные значения тока в любой ветви

$$i = I_o + i_1 + i_2,$$

где I_o – постоянная составляющая тока, вызванная ЭДС E_o ; i_1, i_2 – мгновенные значения токов, вызванных синусоидальными ЭДС e_1, e_2 .

Действующее значение тока в любой ветви

$$I = \sqrt{I_o^2 + I_1^2 + I_2^2},$$

где I_1, I_2 – действующие значения токов, от вызванных ЭДС e_1, e_2 .

Средняя активная мощность несинусоидального тока равна сумме средних мощностей постоянной составляющей и отдельных гармоник:

$$P = \sum P_k.$$

При расчете цепей с несинусоидальными ЭДС необходимо учесть частотную зависимость реактивных сопротивлений.

4 ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

Задание

Для цепи, схема которой изображена на рисунке 9, по заданным параметрам определить мгновенные и действующие значения токов, активную мощность всей цепи и мощность каждой ветви.

Значения параметров для выполнения расчетно-графической работы

$$R_1 = 26 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 22 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 12 \text{ Ом}$$

$$L_1 = 48 \text{ мГн}$$

$$C_1 = 100 \text{ мкФ}$$

$$C_2 = 300 \text{ мкФ}$$

$$L_3 = 48 \text{ мГн}$$

Периодическая несинусоидальная функция для выполнения расчетно-графической работы

$$e = 70 + 50 \sin(\omega t - 25^\circ) + 30 \sin(3\omega t + 80^\circ) \text{ В.}$$

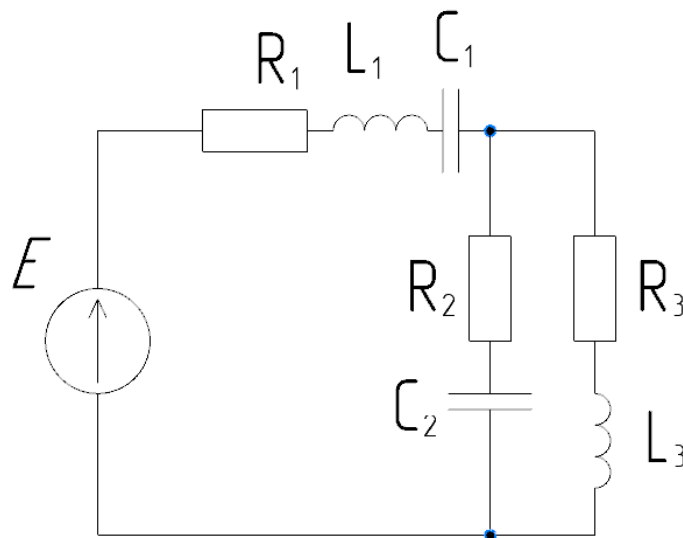


Рисунок 5 – Цепь электрическая с несинусоидальной ЭДС

Выполнение задания

1. Выписываем напряжения постоянной составляющей, первой и третьей гармоники, а также выразим их действующие значения:

$$U_0 = 70 \text{ В}; U'_{m1,1} = 50 \text{ В}; U'_{m2,1} = 30 \text{ В.}$$

Определяем действующие значения постоянной составляющей напряжения, первой и третьей гармоники:

$$U'_{1,1} = \frac{50}{\sqrt{2}} = 35,355 \text{ В}; U'_{2,1} = \frac{30}{\sqrt{2}} = 21,213 \text{ В}.$$

Определяем сопротивления ветвей для постоянной составляющей: круговая частота

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 0 = 0.$$

Определяем реактивные составляющие сопротивления ветвей для постоянной составляющей

$$X_{L1} = j\omega L_1 = j0 \cdot 48 \cdot 10^{-3} = 0 \text{ (Ом)};$$

$$X_{C1} = \frac{1}{j\omega C_2} = \frac{1}{j0 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = \infty \text{ (Ом)};$$

$$X_{C2} = \frac{1}{j\omega C_2} = \frac{1}{j0 \cdot 300 \cdot 10^{-6}} = \infty \text{ (Ом)};$$

$$X_{L3} = j\omega L_1 = j0 \cdot 48 \cdot 10^{-3} = 0 \text{ (Ом)}.$$

Определяем сопротивления ветвей для постоянной составляющей по формуле

$$Z = R + Xj = \sqrt{R^2 + X^2}.$$

С учетом значений определяем сопротивления ветвей

$$Z_1 = 26 + \infty = \infty \text{ (Ом)};$$

$$Z_2 = 22 + \infty = \infty \text{ (Ом)};$$

$$Z_3 = 12 + 0 = 12 \text{ (Ом)}.$$

В ветви 1 и 2 не проходит электрический ток, т. к. сопротивление равно сопротивлению разрыва цепи.

В цепи постоянной составляющей тока нет.

2. Выписываем амплитудное значение напряжения первой гармоники и комплексное значение напряжения первой гармоники:

$$U'_{m1,1} = 50 \text{ В}, \dot{U}_{1,1} = 50 \sin(\omega t - 25^\circ) \text{ В.}$$

Определяем сопротивления ветвей в комплексной форме для первой гармоники: круговая частота

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 50 = 314;$$

Определяем реактивные составляющие сопротивления ветвей для первой гармоники

$$X_{L1} = j\omega L_1 = j314 \cdot 48 \cdot 10^{-3} = j15,072 \text{ (Ом)};$$

$$X_{C1} = \frac{1}{j\omega C_2} = \frac{1}{j314 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = -j31,847 \text{ (Ом)};$$

$$X_{C2} = \frac{1}{j\omega C_2} = \frac{1}{j314 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = -j10,615 \text{ (Ом)};$$

$$X_{L3} = j\omega L_1 = j314 \cdot 48 \cdot 10^{-3} = j15,072 \text{ (Ом)}.$$

Определяем сопротивления ветвей для постоянной составляющей по формуле

$$\dot{Z} = R + Xj = R + j(x_L - x_C) = \sqrt{R^2 + X^2} \cdot e^{\arctg \frac{X}{R}} = Ze^{j\varphi}.$$

С учетом значений определяем сопротивления ветвей

$$\dot{Z}_1 = 26 - j16,775 = \sqrt{26^2 + 16,775^2} \cdot e^{\arctg\left(-\frac{16,775}{26}\right)} = 30,94 \cdot e^{-j32,83^\circ} \text{ (Ом)};$$

$$\dot{Z}_2 = 22 - j31,847 = \sqrt{22^2 + 31,847^2} \cdot e^{\arctg\left(\frac{-31,847}{22}\right)} = 24,42 \cdot e^{-j25,76^\circ} \text{ (Ом)};$$

$$\dot{Z}_3 = 12 + j14,758 = \sqrt{12^2 + 14,758^2} \cdot e^{\arctg\left(\frac{14,758}{12}\right)} = 19,26 \cdot e^{j51,47^\circ} \text{ (Ом)}.$$

Определяем эквивалентное сопротивление параллельных ветвей с учетом вычисленных значений

$$\dot{Z}_{23} = \frac{\dot{Z}_2 \cdot \dot{Z}_3}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3} = \frac{24,42 \cdot e^{-j25,76^\circ} \cdot 19,26 \cdot e^{j51,47^\circ}}{34,29 \cdot e^{j7,46^\circ}} = 13,72 \cdot e^{j18,25^\circ} \text{ (Ом)}.$$

Определяем общее сопротивление всей цепи с учетом вычисленных значений

$$\begin{aligned}\dot{Z}_{123} = \dot{Z}_1 + \dot{Z}_{23} &= \sqrt{(26 + 13,03)^2 + (-16,775 + 4,29)^2} \cdot e^{\arctg\left(\frac{-16,775+4,29}{26+13,03}\right)} = \\ &= 43,575 \cdot e^{j26,39^\circ} (\text{Ом}).\end{aligned}$$

3. Определяем комплексные, действующие и мгновенные значения токов всей цепи и в отдельных ветвях.

Определяем комплексное значение тока всей цепи

$$\dot{I}_{1,1} = \frac{\dot{U}_{1,1}}{\dot{Z}_{123}} = \frac{50 \cdot e^{-j25^\circ}}{43,575 \cdot e^{j26,39^\circ}} = 1,147 \cdot e^{-j51,39^\circ} (\text{А}).$$

Определяем действующее значение тока всей цепи

$$I_{1,1} = \frac{I'_{m1,1}}{\sqrt{2}} = \frac{1,147}{\sqrt{2}} = 0,811 \text{ А.}$$

Определяем мгновенное значения тока всей цепи

$$i_{1,1} = I'_{m1,1} \cdot \cos(\varphi_{1,1}) = 1,147 \cdot \cos(-51,39^\circ) = 0,716 \text{ А.}$$

Действующее значение тока $I_{1,1} = 0,811 \text{ А.}$

Мгновенное значение тока $i_{1,1} = 0,716 \text{ А.}$

Чтобы найти токи во второй и третьей ветви необходимо определить напряжение на параллельных ветвях:

$$\dot{U}_{1,23} = \dot{I}_{1,1} \cdot \dot{Z}_{23} = 1,147 \cdot e^{-j51,39^\circ} \cdot 13,72 \cdot e^{j18,25^\circ} = 15,747 \cdot e^{-j33,14^\circ} (\text{В}).$$

Определяем комплексные, действующие и мгновенные значения токов во второй ветви.

Определяем комплексное значение тока во второй ветви

$$\dot{I}_{1,2} = \frac{\dot{U}_{1,23}}{\dot{Z}_2} = \frac{15,747 \cdot e^{-j33,14^\circ}}{24,42 \cdot e^{-j25,76^\circ}} = 0,644 \cdot e^{-j7,38^\circ} (\text{А}).$$

Определяем действующее значение тока во второй ветви

$$I_{1,2} = \frac{I'_{m1,1}}{\sqrt{2}} = \frac{0,644}{\sqrt{2}} = 0,456 \text{ А.}$$

Определяем мгновенное значения тока во второй ветви

$$i_{1,2} = I'_{m1,2} \cdot \cos(\varphi_{1,2}) = 0,644 \cdot \cos(-7,38^\circ) = 0,639 \text{ A.}$$

Действующее значение тока $I_{1,2} = 0,456 \text{ A.}$

Мгновенное значение тока $i_{1,2} = 0,639 \text{ A.}$

Определяем комплексные, действующие и мгновенные значения токов в третьей ветви.

Определяем комплексное значение тока в третьей ветви

$$i_{1,3} = \frac{\dot{U}_{1,23}}{\dot{Z}_3} = \frac{15,747 \cdot e^{-j33,14^\circ}}{19,26 \cdot e^{j51,47^\circ}} = 0,817 \cdot e^{-j84,61^\circ} (\text{A}).$$

Определяем действующее значение тока в третьей ветви

$$I_{1,3} = \frac{I'_{m1,3}}{\sqrt{2}} = \frac{0,817}{\sqrt{2}} = 0,578 \text{ A.}$$

Определяем мгновенное значения тока в третьей ветви

$$i_{1,3} = I'_{m1,3} \cdot \cos(\varphi_{1,3}) = 0,817 \cdot \cos(-84,61^\circ) = 0,077 \text{ A.}$$

Действующее значение тока $I_{1,3} = 0,578 \text{ A.}$

Мгновенное значение тока $i_{1,3} = 0,077 \text{ A.}$

4. Рассчитываем активную мощность всей цепи:

$$P = I_{1,1}^2 \cdot R_1 + I_{1,2}^2 \cdot R_2 + I_{1,3}^2 \cdot R_3 = 0,811^2 \cdot 26 + 0,456^2 \cdot 22 + 0,578^2 \cdot 12 = \\ = 17,1 + 4,57 + 4 = 25,67 \text{ (Вт).}$$

5. Определяем амплитудное значение напряжение третьей гармоники и комплексное значение напряжение третьей гармоники:

$$U'_{m2,1} = 30 \text{ В, } \dot{U}_{2,1} = 30 \sin(3\omega t + 80^\circ) \text{ В.}$$

Выражаем сопротивления ветвей в комплексной форме для третьей гармоники: круговая частота

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 50 = 314.$$

Определяем реактивные составляющие сопротивления ветвей для третьей гармоники

$$X_{L1} = j3\omega L_1 = j3 \cdot 314 \cdot 48 \cdot 10^{-3} = j45,216 \text{ (Ом)};$$

$$X_{C1} = \frac{1}{j3\omega C_1} = \frac{1}{j3 \cdot 314 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = -j10,615 \text{ (Ом)};$$

$$X_{C2} = \frac{1}{j3\omega C_2} = \frac{1}{j3 \cdot 314 \cdot 300 \cdot 10^{-6}} = -j3,538 \text{ (Ом)};$$

$$X_{L3} = j3\omega L_3 = j3 \cdot 314 \cdot 48 \cdot 10^{-3} = j45,216 \text{ (Ом)}.$$

Определяем сопротивления ветвей для третьей гармоники по формуле

$$\dot{Z} = R + Xj = R + j(x_L - x_C) = \sqrt{R^2 + X^2} \cdot e^{\arctg \frac{X}{R}} = Ze^{j\varphi}.$$

С учетом значений определяем сопротивления ветвей

$$\dot{Z}_1 = 26 + j34,601 = \sqrt{22^2 + 34,601^2} \cdot e^{\arctg\left(\frac{34,601}{22}\right)} = 43,28 \cdot e^{j53,07^\circ} \text{ (Ом)};$$

$$\dot{Z}_2 = 22 - j3,538 = \sqrt{16^2 + 3,538^2} \cdot e^{\arctg\left(\frac{-3,538}{16}\right)} = 22,28 \cdot e^{-j9,13^\circ} \text{ (Ом)};$$

$$\dot{Z}_3 = 12 + j45,216 = \sqrt{15^2 + 45,216^2} \cdot e^{\arctg\left(\frac{45,216}{15}\right)} = 46,78 \cdot e^{j75,13^\circ} \text{ (Ом)}.$$

Определяем эквивалентное сопротивление параллельных ветвей с учетом вычисленных значений

$$\dot{Z}_{23} = \frac{\dot{Z}_2 \cdot \dot{Z}_3}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3} = \frac{22,28 \cdot e^{-j9,13^\circ} \cdot 46,78 \cdot e^{j75,13^\circ}}{53,786 \cdot e^{j50,79^\circ}} = 19,38 \cdot e^{j15,21^\circ} \text{ (Ом)}.$$

Определяем общее сопротивление всей цепи с учетом вычисленных значений

$$\begin{aligned} \dot{Z}_{123} &= \dot{Z}_1 + \dot{Z}_{23} = \sqrt{(26 + 18,7)^2 + (34,601 + 5,08)^2} \cdot e^{\arctg\left(\frac{34,601 + 5,08}{26 + 18,7}\right)} = \\ &= 67,29 \cdot e^{j48,37^\circ} \text{ (Ом)}. \end{aligned}$$

6. Определяем комплексные, действующие и мгновенные значения токов всей цепи и в отдельных ветвях для третьей гармоники.

Комплексное значения тока всей цепи для третьей гармоники

$$\dot{i}_{2,1} = \frac{\dot{U}_{2,1}}{\dot{Z}_{123}} = \frac{30 \cdot e^{j80^\circ}}{67,29 \cdot e^{j48,37^\circ}} = 0,445 \cdot e^{j31,62^\circ} (\text{A}).$$

Действующие значения тока для третьей гармоники

$$I_{2,1} = \frac{I'_{m2,1}}{\sqrt{2}} = \frac{0,445}{\sqrt{2}} = 0,315 \text{ A.}$$

Мгновенное значения тока для третьей гармоники

$$i_{2,1} = I'_{m2,1} \cdot \cos(\varphi_{2,1}) = 0,445 \cdot \cos(31,62^\circ) = 0,38 \text{ A.}$$

Действующее значение тока $I_{2,1} = 0,315 \text{ A.}$

Мгновенное значение тока $i_{2,1} = 0,38 \text{ A.}$

Для того чтобы найти токи во второй и третьей ветви для третьей гармоники, определяется напряжение между этими ветвями:

$$\dot{U}_{2,23} = \dot{i}_{2,1} \cdot \dot{Z}_{23} = 0,445 \cdot e^{j31,62^\circ} \cdot 19,38 \cdot e^{j15,21^\circ} = 8,64 \cdot e^{j46,83^\circ} (\text{B}).$$

Определяем комплексное значение тока во второй ветви для третьей гармоники

$$\dot{i}_{2,2} = \frac{\dot{U}_{2,23}}{\dot{Z}_2} = \frac{8,64 \cdot e^{j46,83^\circ}}{22,28 \cdot e^{-j9,13^\circ}} = 0,387 \cdot e^{j55,97^\circ} (\text{A}).$$

Определяем действующие значение тока во второй ветви для третьей гармоники

$$I_{2,2} = \frac{I'_{m2,1}}{\sqrt{2}} = \frac{0,387}{\sqrt{2}} = 0,274 \text{ A.}$$

Определяем мгновенное значения тока во второй ветви для третьей гармоники

$$i_{2,2} = I'_{m2,2} \cdot \cos(\varphi_{2,2}) = 0,387 \cdot \cos(55,97^\circ) = 0,217 \text{ A.}$$

Действующее значение тока $I_{2,2} = 0,274 \text{ A.}$

Мгновенное значение тока $i_{2,2} = 0,217 \text{ A.}$

Определяем комплексное значение тока в третьей ветви для третьей гармоники

$$\dot{i}_{2,3} = \frac{\dot{U}_{2,23}}{\dot{Z}_3} = \frac{8,64 \cdot e^{j46,83^\circ}}{46,78 \cdot e^{j75,13^\circ}} = 0,184 \cdot e^{-j28,3^\circ} (\text{A}).$$

Определяем действующее значение тока в третьей ветви для третьей гармоники

$$I_{2,3} = \frac{I'_{m2,3}}{\sqrt{2}} = \frac{0,184}{\sqrt{2}} = 0,131 \text{ A}$$

Определяем мгновенные значения тока в третьей ветви для третьей гармоники

$$i_{2,3} = I'_{m2,3} \cdot \cos(\varphi_{2,3}) = 0,184 \cdot \cos(-28,3^\circ) = 0,163 \text{ A.}$$

Действующее значение тока $I_{2,3} = 0,131 \text{ A}$.

Мгновенное значение тока $i_{2,3} = 0,163 \text{ A}$.

7. Рассчитаем активные мощности ветвей и всей цепи:

$$P = I_{1,1}^2 \cdot R_1 + I_{1,2}^2 \cdot R_2 + I_{1,3}^2 \cdot R_3 = 0,315^2 \cdot 26 + 0,274^2 \cdot 22 + 0,131^2 \cdot 12 = \\ = 2,579 + 1,651 + 0,205 = 4,435 \text{ (Вт)}.$$

8. Имея значения постоянной составляющей, а также первой и третьей гармоники мы можем рассчитать действующие и мгновенные значения токов в цепи и её ветвях.

Действующие значения токов в ветвях

$$I = \sqrt{I_{1,1}^2 + I_{2,1}^2} = \sqrt{0,811^2 + 0,315^2} = 0,870 \text{ A.}$$

$$I_2 = \sqrt{I_{1,2}^2 + I_{2,2}^2} = \sqrt{0,456^2 + 0,274^2} = 0,531 \text{ A.}$$

$$I_3 = \sqrt{I_{1,3}^2 + I_{2,3}^2} = \sqrt{0,578^2 + 0,131^2} = 0,592 \text{ A.}$$

Мгновенные значения токов в цепи и её ветвях

$$i_1 = i_{1,1} + i_{2,1} = 0,716 + 0,38 = 1,096 \text{ A.}$$

$$i_2 = i_{1,2} + i_{2,2} = 0,639 + 0,217 = 0,856 \text{ A}$$

$$i_3 = i_{1,3} + i_{2,3} = 0,077 + 0,163 = 0,239 \text{ A}$$

9. Активная мощность в цепи:

$$P = P_2 + P_3 = 25,67 + 4,435 = 30,105 \text{ Вт.}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Электротехника и электроника : учебник и практикум : в 3 т. Основы электроники и электрические измерения / Э. В. Кузнецов, Е. А. Куликова, П. С. Культиасов, В. П. Лунин ; под общ. ред. В. П. Лунина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Юрайт, – Т. 3. – 2019. – 234 с.
2. Кононенко, В. В. Электротехника и электроника: учебное пособие для вузов / В. В. Кононенко, В. И. Мишкович, В. В. Муханов и др.; под ред. В. В. Кононенко. – 4-е изд. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. – 778 с.
3. Киселев, В. И. Электротехника и электроника : учебник и практикум : в 3 т. Электромагнитные устройства и электрические машины / В. И. Киселев, Э. В. Кузнецов, А. И. Копылов ; под общ. ред. В. П. Лунина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Юрайт, – Т. 2. – 2019. – 184 с.
4. Новиков, Ю. В. Разработка мехатронного модуля обрезки ниток / Ю. В. Новиков, С. Ю. Краснер // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2022. – № 10 (751). – С. 62–73.
5. Теоретические основы электротехники : методические указания по выполнению расчетно-графических работ / УО «ВГТУ» ; сост. Ю. В. Новиков. – Витебск, 2020. – 35 с.
6. Инженерно-техническое оборудование : курс лекций / УО «ВГТУ» ; сост. Ю. В. Новиков. – Витебск, 2015. – 112 с.
7. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники / Л. А. Бессонов. – Москва : Гардарики, 2007. – 701 с.
8. Новиков, Ю. В. Техническая эксплуатация зданий и сооружений : курс лекций / Ю. В. Новиков ; УО «ВГТУ». – Витебск, 2018. – 108 с.
9. Немцов, М. В. Электротехника и электроника: учебник / М. В. Немцов. – Москва: Высшая школа, 2007. – 560 с.

Учебное издание

Теоретические основы электротехники

Методические указания
по выполнению расчетно-графических работ

Составитель:
Новиков Юрий Васильевич

Редактор *Р.А. Никифорова*
Компьютерная верстка *Ю.В. Новиков*

Подписано к печати 13.12.2023. Формат 60x90¹/₁₆. Усл. печ. листов 1,4.
Уч.-изд. листов 2,1. Тираж 30 экз. Заказ № 307.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.