МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра инфраструктурных энергетических систем



РАСЧЕТ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

Задания и методические указания по выполнению расчётной работы по теоретическим основам электротехники

Курск 2024

УДК 621.38

Составители: А. С. Романченко, И. А. Башмакова

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент *А. С. Чернышёв*

Расчет цепи синусоидального тока : задания и методические указания по выполнению расчётной работы по теоретическим основам электротехники / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А. С. Романченко, И. А. Башмакова. – Курск, 2024. 11 с.: ил. 4. Библиогр.: с. 10.

Излагаются задания и методические рекомендации по выполнению расчётной работы. Рассматривается методика расчета разветвленной цепи синусоидального тока с использованием символического метода. При расчете применяются метод контурных токов и метод двух узлов с проверкой результатов расчета составлением баланса мощностей. Результаты расчета иллюстрируются построением векторных диаграмм токов и напряжений.

Предназначены для индивидуальной самостоятельной работы студентов технических направлений подготовки и специальностей при изучении дисциплины «Теоретические основы электротехники». Могут быть использованы преподавателями, ведущими практические занятия по электротехнике и ТОЭ.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. *0,6*. Уч.-изд.л. *0,5*. Тираж 30 экз. Заказ . Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Расчётная работа является одним из видов самостоятельной работы студентов. Данная работа выполняется в домашних условиях в соответствии с рабочими программами дисциплины «Теоретические основы электротехники» очной и заочной форм обучения и служит развитию навыков практического использования методов расчета однофазных цепей синусоидального тока, а также для стимулирования более глубокого и систематического изучения соответствующих разделов дисциплины «Теоретические основы электротехники» в течение семестра.

Основные цели данной работы:

1) научиться представлять синусоидальные ЭДС, токи и напряжения в виде временных функций, в комплексном виде и в виде векторов и переходить от одной формы представления к другой;

2) научиться рассчитывать цепи синусоидального тока символическим методом (на примере использования метода контурных токов и метода двух узлов);

3) научиться строить векторные диаграммы токов и напряжений.

Приступая к выполнению расчетной работы, следует повторить или изучить самостоятельно основные положения раздела «Электрические цепи однофазного синусоидального тока» дисциплины «Теоретические основы электротехники».

2. ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ РАБОТЫ

2.1. Начертить согласно своему варианту электрическую схему и рассчитать токи во всех её ветвях методом контурных токов. Правильность расчетов проверить составлением баланса мощностей (активных и реактивных).

2.2. Рассчитать токи во всех ветвях заданной электрической схемы методом двух узлов.

2.3. Записать выражения мгновенных значений токов в ветвях.

2.4. Построить лучевую диаграмму токов и топографическую векторную диаграмму напряжений для внешнего контура на одной комплексной плоскости.

Примечания:

1. Первая цифра в трехзначном номере варианта, заданном преподавателем, соответствует порядковому номеру строки в таблице 2.1, вторая цифра – порядковому номеру строки в таблице 2.2, третья цифра – номеру строки в таблице 2.3.

2. Заданная расчетная схема получается из схемы на рисунке 2.1 и данных таблиц 2.2 и 2.3: на схеме рисунка 2.1 оставляются лишь те элементы (источники ЭДС, активные, индуктивные и емкостные сопротивления), которые обозначены в таблицах 2.2 и 2.3 крестиками. Параметры для этих элементов выбираются из таблицы 2.1.

3. Расчет вести символическим методом (с использованием комплексных чисел).

4. В таблице 2.1 заданы действующие значения ЭДС. Начальные фазы ЭДС следующие: для ЭДС первой ветви (ветвь *acb*) начальная фаза равна $+30^0$, для ЭДС второй ветви (ветвь *adb*) начальная фаза равна -45^0, для ЭДС третьей ветви (ветвь *afb*) начальная фаза равна $+20^0$.

5. Баланс мощностей должен сойтись с погрешностью менее 1%.

6. Лучевая диаграмма токов и топографическая диаграмма напряжений строятся на одной комплексной плоскости, причем для диаграммы напряжений удобно сначала рассчитать комплексы потенциалов всех точек внешнего контура.

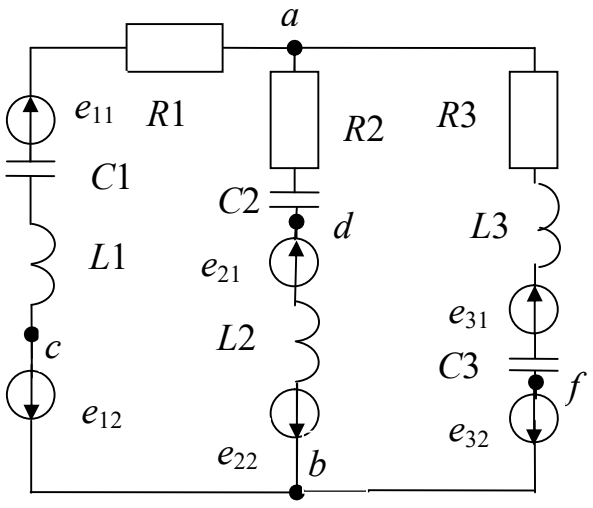


Рисунок 2.1 - Обобщенная расчетная схема

Таблица 2.1 - Значения ЭДС, активных и реактивных сопротивлений в ветвях схемы

№ строки	E_{11} В	E_{12} В	E_{21} В	E_{22} В	E_{31} В	E_{32} В	R_1 Ом	R_2 Ом	R_3 Ом	X_{L1} Ом	X_{L2} Ом	X_{L3} Ом	X_{C1} Ом	X_{C2} Ом	X_{C3} Ом
0	4	9	4	6	4	6	2	4	6	8	4	5	9	6	6
1	8	5	16	10	11	10	4	8	5	3	6	3	6	4	10
2	6	7	14	12	6	5	3	5	7	8	6	7	3	8	5
3	10	10	18	8	8	7	6	4	2	4	8	5	9	10	4
4	5	8	4	9	4	6	5	7	3	7	4	6	8	8	8
5	7	6	8	5	16	10	8	6	4	7	5	5	8	3	7
6	6	4	6	7	14	12	6	7	4	6	8	3	4	5	6
7	10	11	10	10	18	8	6	8	4	9	3	8	6	6	4
8	12	6	5	8	4	9	8	4	6	7	4	6	8	9	9
9	8	8	7	6	8	5	5	6	9	9	3	2	4	7	6

Таблица 2.2 - Наличие ЭДС (обозначено знаком «+») в ветвях расчетной схемы

№ строки	e_{11}	e_{12}	e_{21}	e_{22}	e_{31}	e_{32}
0	+		+			
1	+			+		
2	+				+	
3	+					+
4		+	+			
5		+		+		
6		+			+	
7		+				+
8			+		+	
9			+			+

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ

3.1. Выполненная работа должна содержать титульный лист. Образец выполнения титульного листа показан на рисунке 3.1. Кроме титульного листа расчетная работа содержит:

Таблица 2.3 - Наличие активных и реактивных сопротивлений (обозначено знаком «+») в ветвях расчетной схемы

№ строки	R_1	R_2	R_3	X_{L1}	X_{L2}	X_{L3}	X_{C1}	X_{C2}	X_{C3}
0	+	+	+	+		+			+
1	+	+	+			+	+		+
2	+		+	+	+		+		+
3	+		+	+	+	+	+		
4		+	+		+		+	+	+
5		+	+		+	+	+	+	
6	+	+	+	+		+		+	
7	+		+	+	+		+	+	
8	+	+	+		+		+		+
9	+	+	+	+		+	+		+

1) задание на расчетную работу, оформляемое на первой странице после титульного листа и содержащее номер варианта, исходные данные к расчету и перечень пунктов, которые необходимо выполнить;

2) расчетную часть. Расчеты должны сопровождаться пояснениями и при необходимости ссылками на литературу. При выполнении расчетов следует использовать полную форму записи, которая должна содержать формулу, исходные численные значения, подставленные в эту формулу, результат и сокращенное обозначение единицы измерения. Например: $S = UI = 20 \cdot 5 = 100BA$.

3) список используемой литературы приводится на последней странице расчетной работы.

Расчетная работа оформляется на листах формата А4 (210х297 мм) с учетом требований ЕСКД. Листы должны быть скреплены.

3.2. Рассмотрим в качестве примера расчет схемы, представленной на рисунке 3.2, для которой задано:

$$R_1=R_2=R_3=X_L=X_C=2 \text{ Ом};$$
$$e_1=14{,}1\sin(314t+30^0);$$
$$e_2=8{,}5\sin(314t-45^0);$$
$$e_3=11{,}3\sin(314t+60^0).$$

Запишем ЭДС в комплексном виде:

$$\underline{E}_1 = \frac{14{,}1}{\sqrt{2}}\exp(j30^0) = 10(\cos 30^0 + j\sin 30^0) = 8{,}66 + 5j\ ,$$

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»

Кафедра инфраструктурных энергетических систем

РАСЧЁТНАЯ РАБОТА
по теоретическим основам электротехники

«РАСЧЕТ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА»

Выполнил: студент группы ЭС-31б В.Н. Иванов

Принял: доцент И.С. Петров

Курск - 2024

Рисунок 3.1 - Пример оформления титульного листа

$$\underline{E}_2 = \frac{8,5}{\sqrt{2}}\exp(-j45^0) = 6(\cos 45^0 - j\sin 45^0) = 4,242 - 4,242j\ ,$$

$$\underline{E}_3 = \frac{11,3}{\sqrt{2}}\exp(j60^0) = 8(\cos 60^0 + j\sin 60^0) = 4 + 6,928j\ .$$

3.2.1. Рассчитаем схему на рисунке 3.2 методом контурных токов. Направление контурных токов возьмем по часовой стрелке и запишем систему уравнений:

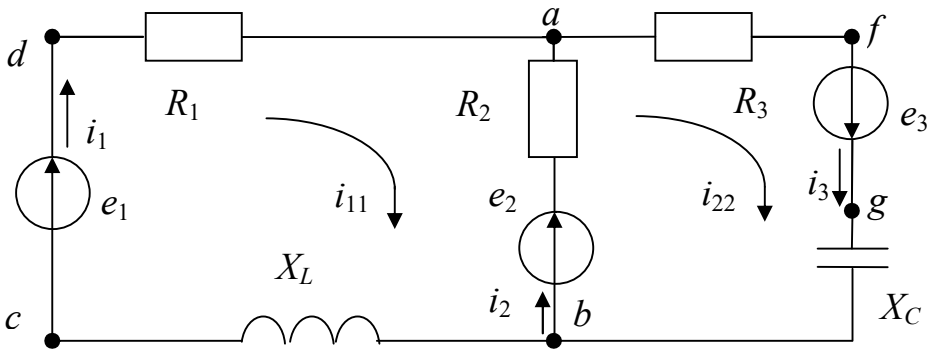


Рисунок 3.2 – Разветвленная цепь синусоидального тока

$$\left.\begin{aligned} \underline{I}_{11}\left(R_1 + jX_L + R_2\right) - \underline{I}_{22}R_2 &= \underline{E}_1 - \underline{E}_2 \\ \underline{I}_{22}\left(R_2 + R_3 - jX_C\right) - \underline{I}_{11}R_2 &= \underline{E}_2 + \underline{E}_3 \end{aligned}\right\}$$

или после подстановки значений параметров:

$$\left.\begin{aligned} \underline{I}_{11}\left(2 + j2 + 2\right) - \underline{I}_{22}2 &= 8{,}66 + 5j - 4{,}242 + j4{,}242 \\ \underline{I}_{22}\left(2 + 2 - j2\right) - \underline{I}_{11}2 &= 4{,}242 - j4{,}242 + 4 + 6{,}928j \end{aligned}\right\}.$$

Решением данной системы уравнений будут следующие значения контурных токов: $\underline{I}_{11}$=3,29+j2,094, $\underline{I}_{22}$=2,277+j2,857.

Значения токов в ветвях согласно схемы на рисунке 3.2 равны: $\underline{I}_1$=3,29+j2,094, $\underline{I}_3$=2,277+j2,857, $\underline{I}_2$= $\underline{I}_{22}$ – $\underline{I}_{11}$=–1,013+j0,763.

Действующие значения токов в ветвях:

$$I_1 = \sqrt{3{,}29^2 + 2{,}094^2} = 3{,}9 \text{ А},$$

$$I_2 = \sqrt{1{,}013^2 + 0{,}763^2} = 1{,}268 \text{ А},$$

$$I_3 = \sqrt{2{,}277^2 + 2{,}857^2} = 3{,}653 \text{ А}.$$

Начальные фазы токов в ветвях:

$$\psi_1 = \text{arctg}(2{,}094 / 3{,}29) = 32{,}5^0,$$

$$\psi_2 = 180^0 - \text{arctg}(0{,}763 / 1{,}013) = 143^0,$$

$$\psi_3 = \text{arctg}(2{,}857 / 2{,}277) = 51{,}4^0.$$

Проверим правильность расчета составлением баланса мощностей. Активная мощность нагрузки равна:

$P_{\text{Н}}=I_1^2R_1+I_2^2R_2+I_3^2R_3=3{,}9^2\cdot2+1{,}268^2\cdot2+3{,}653^2\cdot2=60{,}324$ Вт.

Реактивная мощность нагрузки равна:

$$Q_{\text{Н}}=I_1^2X_L-I_3^2X_C=3{,}9^2\cdot2-3{,}653^2\cdot2=3{,}731 \text{ ВАр}.$$

Полная мощность источника равна:

$\underline{S}_{\text{И}}=\underline{E}_1\underline{I}_1^*+\underline{E}_2\underline{I}_2^*+\underline{E}_3\underline{I}_3^*=(8{,}66+j5)(3{,}29-j2{,}094)+(4{,}242-j4{,}242)(-1{,}013-$
$-j0{,}763)+(4+j6{,}928)(2{,}277-j2{,}857)=60{,}328+j3{,}743,$

т.е. активная и реактивная мощности источника равны: $P_И$=60,328 Вт, $Q_И$=3,743 ВАр. Сравнивая значения активной и реактивной мощности нагрузки и источника, которые практически равны с допустимой степенью точности, делаем вывод, что баланс мощностей сошелся, а значит расчет схемы правильный.

3.2.2. Выполним расчет схемы методом двух узлов. Найдем напряжение между узлами *a* и *b* по формуле:

$$\underline{U}_{ab} = \frac{\underline{E}_1\underline{Y}_1 + \underline{E}_2\underline{Y}_2 + \underline{E}_3\underline{Y}_3}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3},$$

где $\underline{Y}_1$=1/(R_1+jX_L), $\underline{Y}_2$=1/R_2, $\underline{Y}_3$=1/(R_3–jX_C) – проводимости соответственно первой, второй и третьей ветвей схемы на рисунке 3.2.

Подставляя значения параметров, находим значение напряжения между узлами: $\underline{U}_{ab}$=6,268–*j*5,768 В.

Находим токи ветвей по закону Ома для участка цепи с ЭДС:

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{E}_1 - \underline{U}_{ab}}{R_1 + jX_L} = \frac{8{,}66 + 5j - 6{,}268 + j5{,}768}{2 + j2} = 3{,}29 + 2{,}094j,$$

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{E}_2 - \underline{U}_{ab}}{R_2} = \frac{4{,}242 - 4{,}242j - 6{,}268 + j5{,}768}{2} = -1{,}013 + 0{,}763j,$$

$$\underline{I}_3 = \frac{\underline{E}_3 + \underline{U}_{ab}}{R_3 - jX_C} = \frac{4 + 6{,}928j + 6{,}268 - j5{,}768}{2 - j2} = 2{,}277 + 2{,}857j.$$

Данные значения токов совпадают со значениями, полученными в методе контурных токов.

3.2.3. Выражение для мгновенного значения тока имеет вид: $i=I_m\sin(\omega t+\psi)$. Ранее уже были найдены начальные фазы всех трех токов ветвей, поэтому найдем их амплитуды:

$$I_{m1} = 5{,}9\sqrt{2} = 5{,}515 \text{ А},$$

$$I_{m2} = 1{,}268\sqrt{2} = 1{,}793 \text{ А},$$

$$I_{m3} = 3{,}653\sqrt{2} = 5{,}166 \text{ А}.$$

Окончательно запишем мгновенные значения токов ветвей:

$$i_1 = 5{,}515\sin(314t + 32{,}5^0),$$

$$i_2 = 1{,}793\sin(314t + 143^0),$$

$$i_3 = 5{,}166\sin(314t + 51{,}4^0).$$

3.2.4. На рисунке 3.3 представлена лучевая диаграмма токов, которую можно строить в декартовых или полярных координатах на комплексной плоскости. Для построения топографической век-

торной диаграммы напряжений нужно найти в комплексном виде или напряжения на каждом участке контура, или потенциалы отдельных точек контура (см. рисунок 3.2). Пойдем вторым путем.

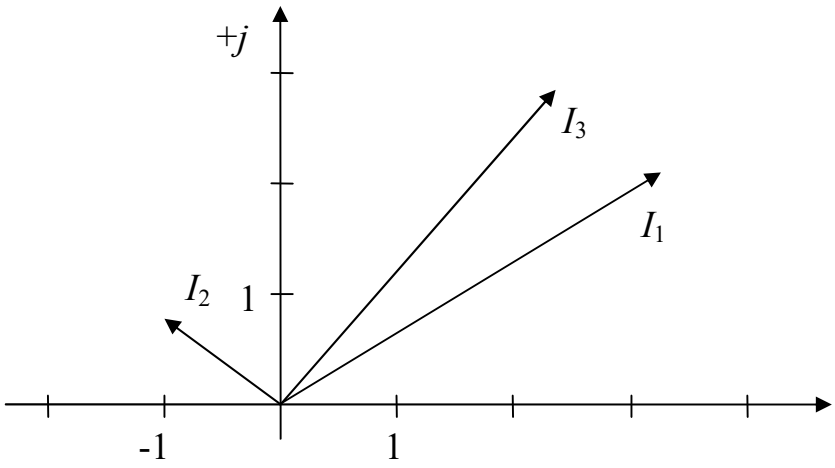


Рисунок 3.3 – Лучевая диаграмма токов

Пусть φ_b=0. Тогда при обходе внешнего контура против часовой стрелки:

$$\varphi_c = \varphi_b - jX_L\underline{I}_1 = -2j(3{,}29+j2{,}094) = 4{,}188-j6{,}58,$$
$$\varphi_d = \varphi_c + \underline{E}_1 = 4{,}188-j6{,}58 + 8{,}66+j5 = 12{,}848-j1{,}58,$$
$$\varphi_a = \varphi_d - R_1\underline{I}_1 = 12{,}848-j1{,}58 - 2(3{,}29+j2{,}094) = 6{,}268-j5{,}768,$$
$$\varphi_f = \varphi_a - R_3\underline{I}_3 = 6{,}268-j5{,}768 - 2(2{,}277+j2{,}857) = 1{,}714-j11{,}482,$$
$$\varphi_g = \varphi_f + \underline{E}_3 = 1{,}714-j11{,}482 + 4+j6{,}928 = 5{,}714-j4{,}554,$$
$$\varphi_b = \varphi_g - (-jX_C)\underline{I}_3 = 5{,}714-j4{,}554 - (-2j)(2{,}277+j2{,}857) = 0.$$

Потенциалы точек отмечаем на комплексной плоскости, на которой уже построена лучевая диаграмма токов, и соединяем точки векторами напряжений. Направление вектора напряжения – к точке с меньшим потенциалом, т.е. по направлению тока.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебник / Л. А. Бессонов. – 10-е изд. – М.: Гардарики, 2002. – 638 с. - Текст : непосредственный.

2. Попов, В. П. Основы теории цепей : учебник для вузов / В. П. Попов. - 3-е изд., испр. - М. : Высшая школа, 2000. - 575 с. - Текст : непосредственный.

3. Бакалов, В. П. Основы теории цепей : учебник / В. П. Бакалов, В. Ф. Дмитриков, Б. Е. Крук.; – Под ред. В. П. Бакалова. – М.: Радио и связь, 2000. – 592с. – Текст непосредственный.

4. Основы теории цепей : учебник для вузов / Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил, С. В. Страхов. – 5-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с. – Текст непосредственный.

5. Сборник задач по теоретическим основам электротехники : учебное пособие / под ред. Л. А. Бессонова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 2003. - 528 с. - Текст : непосредственный.