

Ю.А. МЕЛЕШКИН  
И.А. АНДРЕЕВ  
С.В. СНАДЧЕНКО

**АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ  
В УСТАНОВИВШЕМСЯ И ПЕРЕХОДНОМ  
РЕЖИМАХ**

Задания и методические указания к курсовому  
проектированию





МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Филиал федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Самарский Государственный технический университет»  
в г.Сызрани.

---

Кафедра «Электротехника, информатика и компьютерные  
технологии»

Ю.А. МЕЛЕШКИН  
И.А. АНДРЕЕВ  
С.В. СНАДЧЕНКО

# **АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ В УСТАНОВИВШЕМСЯ И ПЕРЕХОДНОМ РЕЖИМАХ**

Задания и методические указания к курсовому  
проектированию

Сызрань 2016

Составители:

*Ю.А. Мелешкин, И.А.Андреев, С.В.Снадченко*

УДК 621.375

ББК 32.85

### **Анализ электрических цепей в установившемся и переходном режимах**

Задания и методические указания к курсовому проектированию. /Самар. гос.техн. ун-т, филиал в г.Сызрани. сост. *Ю.А. Мелешкин, И.А.Андреев, С.В.Снадченко*. Сызрань, 2016 . 26 с.

В методическом указании даны задания на курсовую работу и рассматриваются вопросы анализа трехфазных линейных несимметричных цепей со смешанной нагрузкой и переходных процессов в электрических цепях.

Методические указания предназначены для студентов бакалавриата, изучающих дисциплины "Теоретические основы электротехники", "Электротехника и электроника" для всех видов обучения в Сф СамГТУ

Ил.: 78. Табл.: 2. Библиогр.: 4 назв

Печатается по решению научно-методического совета электротехнического факультета филиала СамГТУ

Рецензент: доцент кафедры ЭПА филиала ФГБОУ ВПО «СамГТУ» в г. Сызрани к.т.н. Тамьяров А.В.

© Ю.А.Мелешкин, И.А.Андреев, С.В.Снадченко, 2016

© Самарский государственный технический университет, 2016

## ВВЕДЕНИЕ

Целью курсового проектирования в соответствии с требованиями учебного плана, рабочих программ бакалавриата является анализ линейных электрических цепей:

- анализ линейных электрических цепей трехфазного синусоидального тока (первая часть курсовой работы);
- анализ переходных процессов в линейных электрических цепях (вторая часть курсовой работы).

Для выполнения курсовой работы студент должен уметь:

- рассчитать линейные электрические цепи в стационарном и переходном режиме;
- произвести сравнительный анализ результатов расчета с экспериментом, проведенным с компьютерными моделями электрической цепи с использованием современных пакетов моделирования, например Multisim 10.

Расчетно-пояснительная записка по курсовой работе должна быть объемом не менее 25 страниц. Схемы, таблицы результатов, графики, текст должны быть выполнены с соблюдением действующих стандартов. Для компьютерных моделей допускается распечатка в стандартах, в которых выполнена виртуальная электронная лаборатория.

Вариант структуры расчетно-пояснительной записки:

Задание на курсовую работу

Введение

1. Часть 1. Линейные электрические цепи трехфазного синусоидального тока.

1.1. Расчет трехфазной электрической цепи.

1.2. Моделирование в виртуальной электронной лаборатории трехфазной цепи.

1.3. Сравнительный анализ расчета и эксперимента трехфазной цепи.

2. Часть 2. Переходные процессы в линейных электрических цепях.

2.1. Расчет переходных процессов классическим и операторным методом.

2.2. Моделирование в виртуальной электронной лаборатории переходных процессов.

2.3. Сравнительный анализ результатов расчета и эксперимента цепи в переходном режиме.

Выводы.

Библиографический список.

Оглавление.

Для компьютерного моделирования рекомендуется использовать учебное пособие Ю.А.Мелешкина, П.П.Гавриша, Ф.В.Дремова, О.В.Лысенко "Компьютерное моделирование линейных электрических цепей", - Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2009.

# 1. ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ТРЕХФАЗНОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

## 1.1. Задание для анализа трехфазной цепи.

К симметричному трехфазному генератору через сопротивления подключены два приемника, соединенные либо в звезду, либо в треугольник. Вследствие аварии произошло замыкание накоротко одного из сопротивлений или разрыв цепи (место разрыва на схемах указано соответствующим рубильником); электрическая цепь стала несимметричной.

Необходимо проделать следующее:

1. Определить токи во всех ветвях схемы методом двух узлов.
2. Построить в одной комплексной плоскости топографическую и векторную диаграммы токов.
3. Найти активную, реактивную и полную мощности трехфазной цепи.
4. Составить баланс активных мощностей.

На топографической диаграмме должны быть указаны векторы напряжения на всех элементах цепи.

Таблица 1.1

№ вар.	№ рис.	$E_A, В$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$	$X_{L1}, Ом$	$X_{L2}, Ом$	$X_{L3}, Ом$	$X_{C1}, Ом$	$X_{C2}, Ом$	$X_{C3}, Ом$
1	1.1	127	1	1	1	10	10	10	5	5	5
2	1.2	220	2	2	2	9	9	9	6	6	6
3	1.3	380	3	3	3	8	8	8	7	7	7
4	1.4	127	4	4	4	7	7	7	8	8	8
5	1.5	220	5	5	5	6	6	6	9	9	9
6	1.6	380	6	6	6	5	5	5	10	10	10
7	1.7	127	7	7	7	4	4	4	1	1	1
8	1.8	220	8	8	8	3	3	3	2	2	2
9	1.9	380	9	9	9	2	2	2	3	3	3
10	1.10	660	10	10	10	1	1	1	4	4	4
11	1.10	127	1	1	1	10	10	10	5	5	5
12	1.9	220	2	2	2	9	9	9	6	6	6
13	1.8	380	3	3	3	8	8	8	7	7	7
14	1.7	127	4	4	4	7	7	7	8	8	8
15	1.6	220	5	5	5	6	6	6	9	9	9

Окончание табл. 1.1

№ вар.	№ рис.	E <sub>A</sub> , В	R <sub>1</sub> , Ом	R <sub>2</sub> , Ом	R <sub>3</sub> , Ом	X <sub>L1</sub> , Ом	X <sub>L2</sub> , Ом	X <sub>L3</sub> , Ом	X <sub>C1</sub> , Ом	X <sub>C2</sub> , Ом	X <sub>C3</sub> , Ом
16	1.5	380	6	6	6	5	5	5	10	10	10
17	1.4	127	7	7	7	4	4	4	1	1	1
18	1.3	220	8	8	8	3	3	3	2	2	2
19	1.2	380	9	9	9	2	2	2	3	3	3
20	1.1	660	10	10	10	1	1	1	4	4	4
21	1.6	127	1	1	1	10	10	10	5	5	5
22	1.7	220	2	2	2	9	9	9	6	6	6
23	1.8	380	3	3	3	8	8	8	7	7	7
24	1.9	127	4	4	4	7	7	7	8	8	8
25	1.10	220	5	5	5	6	6	6	9	9	9
26	1.1	380	6	6	6	5	5	5	10	10	10
27	1.2	127	7	7	7	4	4	4	1	1	1
28	1.3	220	8	8	8	3	3	3	2	2	2
29	1.4	380	9	9	9	2	2	2	3	3	3
30	1.5	660	10	10	10	1	1	1	4	4	4
31	1.3	127	1	1	1	10	10	10	5	5	5
32	1.4	220	2	2	2	9	9	9	6	6	6
33	1.5	380	3	3	3	8	8	8	7	7	7
34	1.6	127	4	4	4	7	7	7	8	8	8
35	1.7	220	5	5	5	6	6	6	9	9	9
36	1.8	380	6	6	6	5	5	5	10	10	10
37	1.9	127	7	7	7	4	4	4	1	1	1
38	1.10	220	8	8	8	3	3	3	2	2	2
39	1.1	380	9	9	9	2	2	2	3	3	3
40	1.2	660	10	10	10	1	1	1	4	4	4
41	1.4	127	1	1	1	10	10	10	5	5	5
42	1.5	220	2	2	2	9	9	9	6	6	6
43	1.6	380	3	3	3	8	8	8	7	7	7
44	1.7	127	4	4	4	7	7	7	8	8	8
45	1.8	220	5	5	5	6	6	6	9	9	9
46	1.9	380	6	6	6	5	5	5	10	10	10
47	1.10	127	7	7	7	4	4	4	1	1	1
48	1.1	220	8	8	8	3	3	3	2	2	2
49	1.2	380	9	9	9	2	2	2	3	3	3
50	1.3	660	10	10	10	1	1	1	4	4	4



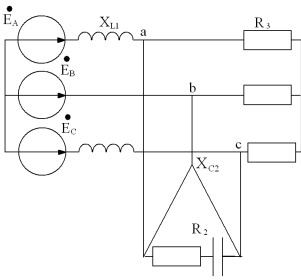


рис. 1.1

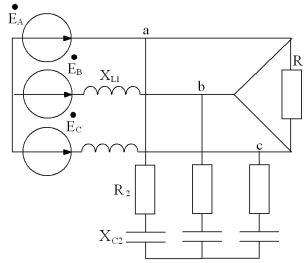


рис. 1.2

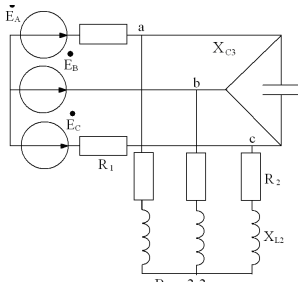


рис. 1.3

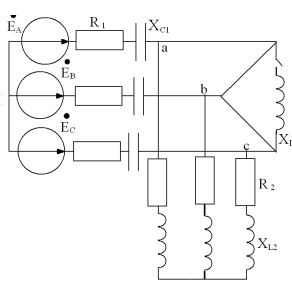


рис. 1.4

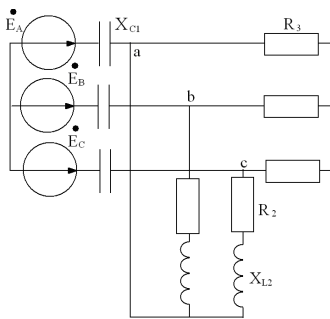


рис. 1.5

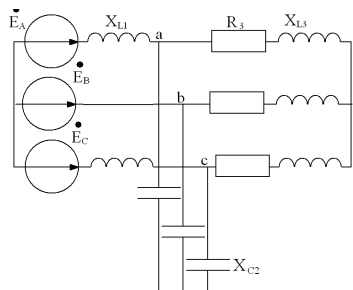


Рис. 3.6

рис. 1.6

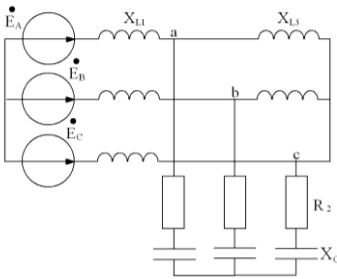


рис. 1.7

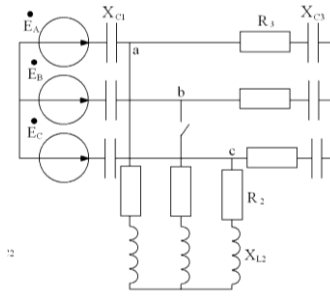


рис. 1.8

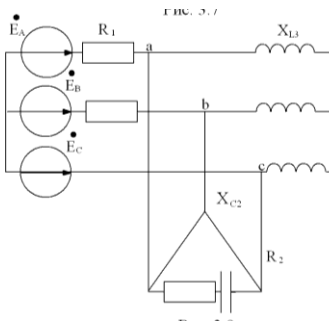


рис. 1.9

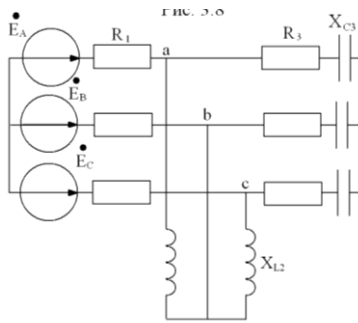


рис. 1.10

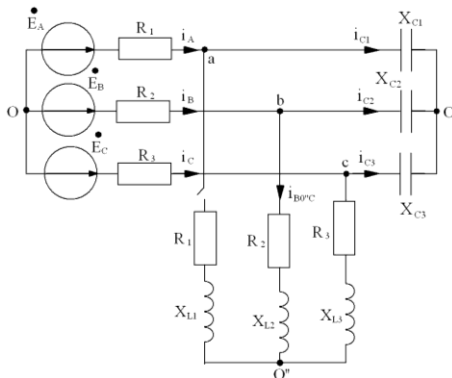


рис. 1.11

## Пример выполнения расчета

Определить токи в ветвях цепи методом двух узлов:

$$R_1=R_2=R_3=15 \text{ Ом};$$

$$X_{L1}=X_{L2}=X_{L3}=12 \text{ Ом};$$

$$X_{C1}=X_{C2}=X_{C3}=20 \text{ Ом};$$

$$E_A=270 \text{ В};$$

Преобразуем звезду  $O'$  в эквивалентный треугольник:

$$\underline{Y}_{Cab} = \frac{\frac{j}{-jX_C} \cdot \frac{j}{-jX_C}}{3 \frac{1}{-jX_C}} = \frac{1}{-j3X_C}; \quad -jX_{Cab} = \frac{1}{\underline{Y}_{Cab}} = -j3X_C;$$

Аналогично – для  $Y_{Cbc}$  и  $Y_{Cca}$ :

$$-jX_{Cca} = -j3X_C = -j60 \text{ Ом};$$

$$-jX_{Cbc} = -j3X_C = -j60 \text{ Ом};$$

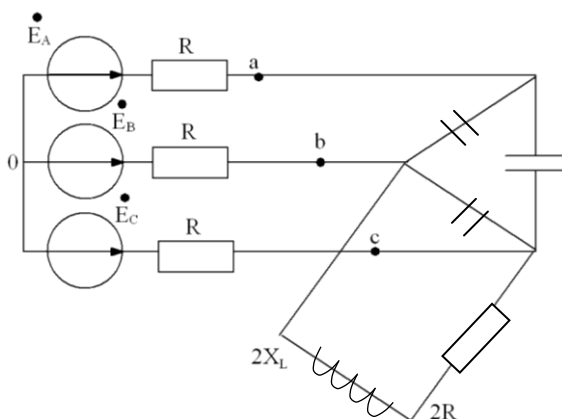


рис.1.12

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{bc} &= \frac{-3jX_C \cdot (2R + j2X_L)}{-3jX_C + j2X_L + 2R} = \frac{-j60(30 + j24)}{30 - j36} = \frac{-j1800 + 1440}{30 - j36} = \\ &= \frac{(1449 - j1800) \cdot (30 - j36)}{2196} = \frac{43200 - j54000 + j51840 + 64800}{2196} = \\ &= 49,2 - j0,984 \text{ Ом};\end{aligned}$$

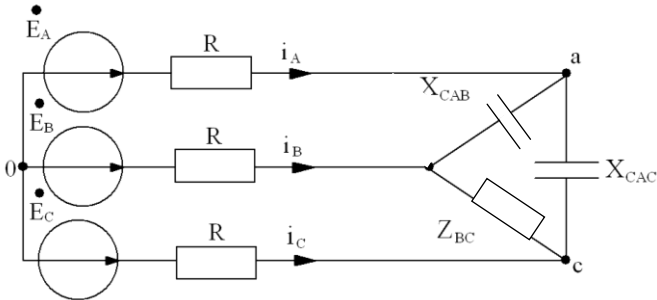


Рис. 1.13

Перейдем от треугольника к эквивалентной звезде:

$$\begin{aligned}\underline{Z}_a &= \frac{-jX_{Cab} \cdot (-jX_{Cac})}{\underline{Z}_{bc} - jX_{Cab} - jX_{Cac}} = \frac{-j60 \cdot (-j60)}{49,2 - j0,984 - j120} = \frac{-3600}{49,2 - j121} = \\ &= \frac{-3600 \cdot (49,2 + j121)}{17062} = -10,4 - j25,53 \text{ Ом};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\underline{Z}_b &= \frac{-j60 \cdot (49,2 - j0,984) \cdot (49,2 + j121)}{17962} = -j8,51 - 0,17 + 20,9 - \\ &- j0,42 = 20,76 - j8,93 \text{ Ом};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\underline{Z}_c &= \frac{-jX_{Cac} \cdot \underline{Z}_{bc} \cdot (49,2 + j121)}{17062} = \\ &= \frac{-j60 \cdot (49,2 - j0,984) \cdot (49,2 + j121)}{17062} = 20,76 - j8,93 \text{ Ом};\end{aligned}$$

$$\underline{Z}_A = R + \underline{Z}_a = 15 - 10,4 - j25,53 = 4,6 - j25,53 \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_B = R + \underline{Z}_b = 15 + 20,76 - j8,93 = 35,76 - j8,93 \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_C = R + \underline{Z}_c = 15 + 20,76 - j8,93 = 35,76 - j8,93 \text{ Ом};$$

$$\underline{Y}_A = \frac{1}{\underline{Z}_A} = \frac{4,6 + j25,53}{(4,6 - j25,53) \cdot (4,6 + j25,53)} = \frac{4,6 + j25,53}{672,9} = 0,00684 + j0,0379 \text{ Ом};$$

$$\underline{Y}_B = \frac{35,76 + j8,93}{1358,5} = 0,0269 + j0,00657 \text{ Ом};$$

$$\underline{Y}_C = 0,0269 + j0,00657 \text{ Ом};$$

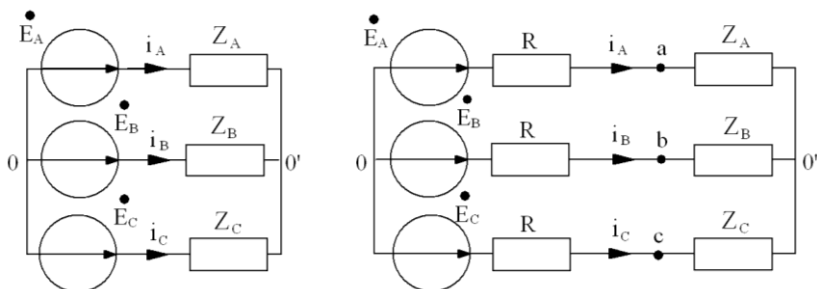


Рис. 1.14

$$\begin{aligned} \dot{U}_{0'0} &= \frac{E_A \underline{Y}_A + E_B \underline{Y}_B + E_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C} = 270 \frac{(0,00684 + j0,0379)}{0,05944 + j0,05104} + \\ &+ \frac{(-0,5 - j0,866)((0,0263 + j0,00657) + (0,0263 + j0,00657))}{0,05944 + j0,05104} = \\ &= 270 \frac{0,00684 + j0,0379 - 0,01315 - j0,0228 - j0,003285 + 0,00571 -}{0,0597 + j0,05104} \\ &\frac{-0,01515 + j0,0228 - j0,003285 - 0,00571}{0,0597 + j0,05104} = 270 \frac{-0,01946 + j0,03133}{0,05944 + j0,05104} = \\ &= 270 \frac{(-0,01946 + j0,03133)(0,05944 + j0,05104)}{6,138 \cdot 10^{-3}} = 270 * \\ &* \frac{-1,157 \cdot 10^{-3} + j1,862 \cdot 10^{-3} + j0,993 \cdot 10^{-3} + 1,6 \cdot 10^{-3}}{6,138 \cdot 10^{-3}} = 19,44 + j125,6 \text{ В}; \end{aligned}$$

$$\dot{I}_A = \frac{E_A - U_{O'O}}{\underline{Z}_A} = \frac{270 - 19,44 - j125,6}{4,6 - j25,53} = \frac{(251 - j125,6)(4,6 + j25,53)}{672,9} =$$

$$= 1,716 - j0,857 + j9,52 + 4,75 = 6,477 + j8,646 = 10,8e^{j53,96} \text{ A};$$

$$\dot{I}_B = \frac{E_B - U_{O'O}}{\underline{Z}_B} = -1,7 - j10,48 = 10,62e^{-j99,22} \text{ A};$$

$$\dot{I}_C = \frac{E_C - U_{O'O}}{\underline{Z}_C} = -4,775 + j1,835 = 5,1e^{j159} \text{ A};$$

Определим напряжение  $\dot{U}_{bc}$ :

$$\dot{\varphi}_b = \dot{\varphi}_c - \dot{I}_C \cdot \underline{Z}_C + \dot{I}_B \cdot \underline{Z}_B;$$

$$\dot{U}_{bc} = \dot{I}_B \cdot \underline{Z}_B - \dot{I}_C \cdot \underline{Z}_C = (20,76 - j8,93)(1,7 - j10,48 + 4,775 - j1,833) \text{ B};$$

т.к.  $\underline{Z}_b = \underline{Z}_c = 20,76 - j8,93 \text{ Ом};$

$$\dot{U}_{bc} = (20,76 - j8,93)(3,075 - j12,31) = -46,09 - j283,1 \text{ B};$$

Определим ток  $\dot{I}_{bO'OC}$ :

$$\dot{I}_{bO'OC} = \frac{U_{bc}}{2R + 2jX_L} = -\frac{46,09 + j283,1}{30 + j24} = -5,54 - j5 = -7,46e^{j42,09} \text{ A};$$

Определим токи  $\dot{I}_{C1}; \dot{I}_{C2}; \dot{I}_{C3}$ :

$$\dot{I}_{C1} = \dot{I}_A = 6,477 + j8,646 = 10,8e^{j53,16} \text{ A};$$

$$\dot{I}_{C2} = \dot{I}_B - \dot{I}_{bO'OC} = -1,7 - j10,48 + 5,54 + j5 = 3,84 - j5,648 = 6,669e^{-j55} \text{ A};$$

$$\dot{I}_{C3} = \dot{I}_C + \dot{I}_{bO'OC} = -4,775 + j1,833 - 5,54 - j5 = -10,63 - j3,617 = -10,68e^{j17,09} \text{ A}.$$

Определим полную, активную и реактивную мощности трех-фазной цепи:

$$\begin{aligned} \tilde{S} &= \dot{E}_A \cdot I_A^* + \dot{E}_B \cdot I_B^* + \dot{E}_C \cdot I_C^* = 270(6,477 - j8,646) + \\ &+ (-135 - j233,8)(-1,7 + j10,48) + (-135 + j233,8)(-4,775 - j1,833) = \\ &= 1748,8 - j2334,4 + 229,5 + j397,5 - j1414,8 + 2450,2 + 644,6 - j1116,4 + \\ &+ j247,5 + 428,6 = 5501,7 - j4220,6 = 6934e^{-j37,49} \text{ ВА}; \end{aligned}$$

$$S = 6934 \text{ В} \cdot \text{А};$$

$$P = 5501,7 \text{ Вт};$$

$$Q = 4220,6 \text{ ВАр}.$$

Определим мощность на активных сопротивлениях цепи:

$$\begin{aligned} P_{\text{ц}} &= R(I_A^2 + I_B^2 + I_C^2) + 2R \cdot I_{\text{бо}^{\circ}\text{оС}}^2 = \\ &= 15(116,64 + 112,78 + 26,16) + 30 \cdot 55,65 = 3833,7 + 1669,5 = 5503,2 \text{ Вт}; \end{aligned}$$

$$P \approx P_{\text{ц}}$$

$$5501,7 \approx 5503,2$$

## 2. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

2.1. Задание для анализа переходных процессов в линейных электрических цепях

### Указания

Номер схемы соответствующий номеру варианта, активное сопротивление, индуктивность, ёмкость и начальная фаза синусоидально изменяющейся ЭДС заданы в табл. 2.1.

### Задача

1. В заданной электрической цепи с источником постоянной ЭДС  $E = 100 \text{ В}$  происходит коммутация.

Требуется: рассчитать ток на индуктивности операторным методом и ток через ёмкость классическим методом.

2. ЭДС источника напряжения изменяется с частотой  $\omega = 1000$  рад/с по синусоидальному закону. Амплитуда ЭДС равна  $E_m = 100$  В.

Коммутация происходит в момент времени  $t = 0$ . До коммутации цепь работает в установившемся режиме.

Необходимо: определить классическим методом ток в одной из параллельных ветвей и операторным методом ток через источник.

Таблица 2.1

№ вар.	№ рис.	R, Ом	L, Гн	C, Ф	Ψ, град
1	2.1	5	5E-3	(1/36)E-3	10
2	2.2	10	5E-3	(5/2)E-2	20
3	2.3	5	2E-2	(1/9)E-5	30
4	2.4	10	5E-3	(1/2)E-4	40
5	2.5	5	1E-2	1E-4	50
6	2.6	10	2E-2	(1/18)E-3	60
7	2.7	20	3E-2	(5/4)E-5	70
8	2.8	25	4E-2	2E-5	80
9	2.9	20	1,5E-3	5E-5	90
10	2.10	10	5E-2	(15/36)E-4	100
11	2.1	10	5E-2	(15/36)E-4	110
12	2.2	20	1,5E-3	5E-5	120
13	2.3	25	4E-2	2E-5	130
14	2.4	20	3E-2	(5/4)E-5	140
15	2.5	10	2E-2	(1/18)E-5	150
16	2.6	5	1E-2	1E-4	160
17	2.7	10	5E-3	(1/2)E-4	170
18	2.8	5	2E-2	(1/9)E-5	180
19	2.9	10	5E-3	(5/2)E-2	190
20	2.10	5	5E-3	(1/36)E-3	200
21	2.1	5	1E-2	1E-4	210
22	2.2	10	5E-3	(1/2)E-4	220
23	2.3	5	2E-2	(1/9)E-3	230
24	2.4	10	5E-3	(5/2)E-2	240
25	2.5	5	5E-3	(1/36)E-3	250
26	2.6	5	2E-2	(1/9)E-5	260
27	2.7	10	1E-3	(1/2)E-4	270



№ вар.	№ рис.	R, Ом	L, Гн	C, Ф	Ψ, град
28	2.8	5	5E-3	1E-4	280
29	2.9	10	3E-2	(5/4)E-5	290
30	2.10	5	4E-2	2E-5	300
31	2.1	10	1,5E-2	5E-5	310
32	2.2	20	5E-2	(15/36)E-4	320
33	2.3	25	5E-2	(15/36)E-4	330
34	2.4	20	1,5E-3	5E-5	340
35	2.5	10	4E-2	2E-5	350
36	2.6	10	3E-2	(5/4)E-5	20
37	2.7	20	2E-2	(1/18)E-5	30
38	2.8	25	1E-2	1E-4	40
39	2.9	20	5E-3	(1/2)E-4	50
40	2.10	10	2E-2	(1/9)E-5	60
41	2.1	5	5E-3	(5/2)E-2	70
42	2.2	10	5E-3	(1/36)E-3	80
43	2.3	5	1E-2	1E-4	90
44	2.4	10	5E-3	(1/2)E-4	100
45	2.5	5	2E-2	(1/9)E-3	110
46	2.6	5	5E-3	(5/2)E-2	120
47	2.7	10	5E-3	(1/36)E-3	130
48	2.8	5	1E-3	(3/2)E-2	140
49	2.9	10	15E-3	2E-2	150
50	2.10	5	8E-3	1E-3	160

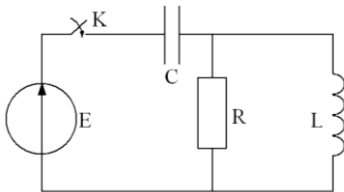


рис.2.1

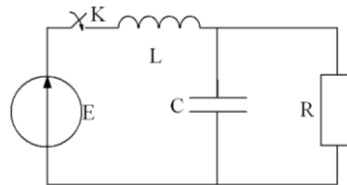


рис. 2.2

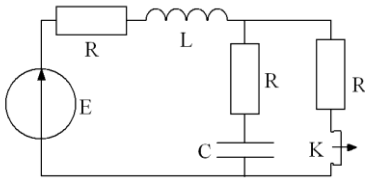


рис. 2.3

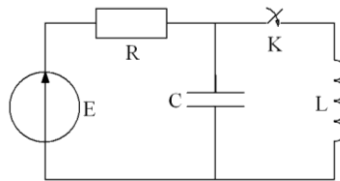


рис. 2.4

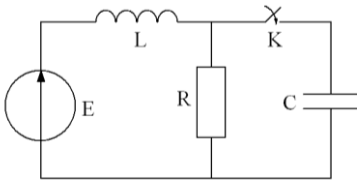


рис. 2.5

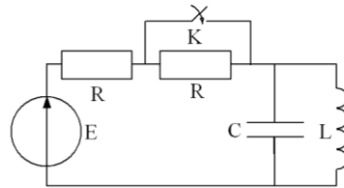


рис. 2.6

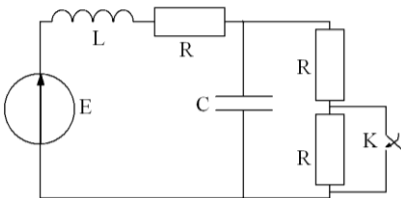


рис. 2.7

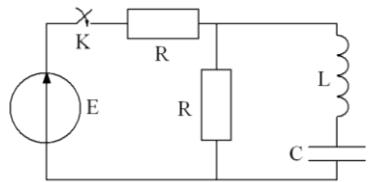


рис. 2.8

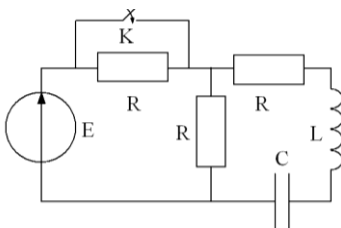


рис. 2.9

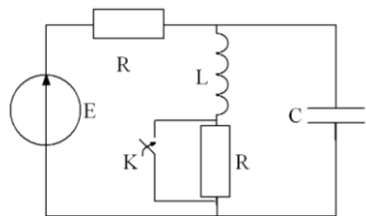


рис. 2.10

### Пример выполнения расчета.

В электрической цепи (рис. 2.1)  $R_1=20 \text{ Ом}$ ,  $R=10 \text{ Ом}$ ,  $L=10 \text{ мГн}$ ,  $C=100 \text{ мкФ}$ ,  $U=90 \text{ В}$ .

Определить ток в индуктивности при переходном процессе двумя методами: классическим и операторным.

Построить график  $i_L(t)$ .

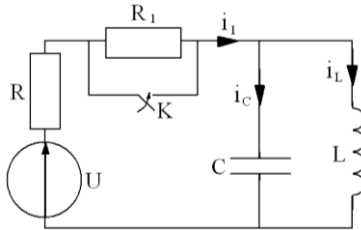


Рис. 2.11

#### 1. Классический метод.

##### 1.1. Определим независимые начальные условия

$$i_L(0) = \frac{U}{R_1 + R} = \frac{90}{30} = 3 \text{ А}$$

$u_c(0)=0$ , так как сопротивление индуктивности постоянному току равно нулю.

##### 1.2. Определим величину принужденного тока для послекоммутационной цепи

$$i_{Lnp} = \frac{U}{R} = \frac{90}{10} = 9 \text{ А}$$

##### 1.3. Составим и решим характеристическое уравнение

$$Z_{\text{ex}}(p) = R + \frac{1}{Lp + \frac{1}{Cp}}; \quad Z_{\text{ex}}(p) = 0;$$

$$RLp + \frac{R}{Cp} + \frac{Lp}{Cp} = 0;$$

$$RLCp^2 + Lp + R = 0;$$

$$10 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-4} + 10^{-2} p + 10 = 0;$$

$$10^{-5} p^2 + 10^{-2} p + 10 = 0;$$

$$p = \frac{-10^{-2} \pm \sqrt{10^{-4} - 4 \cdot 10^{-4}}}{2 \cdot 10^{-5}} = \frac{-10^{-2} \pm j1,73 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 10^{-5}}$$

$$p_1 = -500 + j866; \quad p_2 = -500 - j866.$$

1.4. Корни характеристического уравнения комплексно сопряженные, следовательно функция свободного тока имеет вид:

$$i_{Lc\delta} = A \cdot e^{-\delta t} \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

$$\delta = 500; \quad \omega = 866.$$

Постоянными интегрирования в уравнении будут  $A$  и  $\varphi$ .

1.5. Составим систему уравнений для определения постоянных интегрирования

$$i_L = i_{Lnp} + i_{Lc\delta} = 9 + A \cdot e^{-\delta t} \cdot \sin(\omega t + \varphi);$$

$$\frac{di_L}{dt} = A \cdot \omega \cdot e^{-\delta t} \cdot \cos(\omega t + \varphi) - \delta \cdot A \cdot e^{-\delta t} \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

1.6. Независимые начальные условия

$$i_L(0) = 3 \text{ A}; \quad u_C(0) = 0; \quad \left( \frac{di_L}{dt} \right)_{t=0} = 0;$$

$$u_C(0) = L \left( \frac{di_L}{dt} \right)_{t=0}.$$

1.7. Решим систему (1.5.) для  $t=0$

$$\begin{cases} 3 = 9 + A \cdot \sin \varphi \\ 0 = A \cdot \omega \cdot \cos \varphi - \delta \cdot A \cdot \sin \varphi \end{cases};$$

$$\begin{cases} -6 = A \cdot \sin \varphi \\ 866A \cdot \cos \varphi = 500A \cdot \sin \varphi \end{cases};$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{866}{500} = 1,732, \varphi = 60^\circ$$

$$A = -\frac{6}{\sin \varphi} = -\frac{6}{0,866} = -6,928$$

1.7. Искомая величина тока

$$i_L = 9 - 6,928 e^{-500 t} \cdot \sin(866 t + 60^\circ) \cdot A$$

2. *Операторный метод.*

2.1. Составим операторную схему цепи по известным независимым начальным условиям (рис. 2.2).

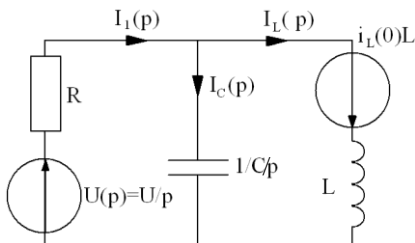


Рис. 2.12

2.2. Составим систему уравнений по законам Кирхгофа

$$\begin{cases} I_1(p) - I_c(p) - I_L(p) = 0 \\ I_1(p)R + I_c(p)\frac{1}{Cp} = \frac{U}{p} \\ -I_c(p)\frac{1}{Cp} + I_L(p) \cdot Lp = i_L(0) \cdot L \end{cases}$$

$$\begin{vmatrix} 1 & -1 & -1 \\ R & \frac{1}{Cp} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{Cp} & Lp \end{vmatrix} x \begin{vmatrix} I_1(p) \\ I_c(p) \\ I_L(p) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ \frac{U}{p} \\ i_L(0)L \end{vmatrix}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & -1 & -1 \\ R & \frac{1}{Cp} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{Cp} & Lp \end{vmatrix} = \frac{Lp}{Cp} + \frac{R}{Cp} + R \cdot Lp = \frac{RLCp^2 + Lp + R}{Cp}$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 1 & -1 & 0 \\ R & \frac{1}{Cp} & \frac{U}{p} \\ 0 & -\frac{1}{Cp} & i_L(0)L \end{vmatrix} = \frac{i_L(0)L}{Cp} + \frac{U}{Cp^2} + R \cdot i_L(0)L =$$

$$= \frac{i_L(0)Lp + RCi_L(0)Lp^2 + U}{Cp^2}$$

$$I_L(p) = \frac{RLCi_L(0)p^2 + Li_L(0)p + U}{p(RLCp^2 + Lp + R)} = \frac{N(p)}{M(p)}$$

2.4. Перейдем от изображения к оригиналу по теореме разложения

$$i_L(t) = \sum_{k=1}^3 \frac{N(p_k)}{M'(p_k)} \cdot e^{p_k t}$$

Корни

$$M(p) = p(RLCp^2 + Lp + R) : p_1 = 0; p_2 = -500 + j866; p_3 = -500 - j866$$

$$N(p) = 10 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-4} \cdot 3 \cdot p^2 + 3 \cdot 10^{-2} p + 90 = 3 \cdot 10^{-5} p^2 + 3 \cdot 10^{-2} p + 90$$

$$M'(p) = 3RLCp^2 + 2Lp + R = 3 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-4} p^2 + 2 \cdot 10^{-2} p + 10 = \\ = 3 \cdot 10^{-5} p^2 + 2 \cdot 10^{-2} p + 10$$

$$N(p_1) = 90; M'(p_1) = 10; \frac{N(p_1)}{M'(p_1)} = 9A$$

$$p_2^2 = (-500 + j866)^2 = 10^4 (25 - j86,6 - 75) = (-50 - j86,6) \cdot 10^4$$

$$p_3^2 = (-500 - j866)^2 = 10^4 (25 + j86,6 - 75) = (-50 + j86,6) \cdot 10^4$$

$$N(p_2) = 3 \cdot 10^{-5} \cdot (-50 - j86,6) \cdot 10^4 + 3 \cdot 10^{-2} (-5 + j8,66) \cdot 10^2 + 90 = \\ = -15 - j26 - 15 + j26 + 90 = 60$$

$$N(p_3) = 3 \cdot 10^{-5} \cdot (-50 + j86,6) \cdot 10^4 + 3 \cdot 10^{-2} (-5 - j8,66) \cdot 10^2 + 90 = \\ = -15 + j26 - 15 - j26 + 90 = 60$$

$$M'(p_2) = 3 \cdot 10^{-5} (-50 - j86,6) \cdot 10^4 + 2 \cdot 10^{-2} (-5 + j8,66) \cdot 10^2 + 10 =$$

$$= -15 - j26 - 10 + j17,3 + 10 = -15 - j8,7 = -17,3e^{j30}$$

$$M'(p_2) = 3 \cdot 10^{-5} (-50 + j86,6) \cdot 10^4 + 2 \cdot 10^{-2} (-5 - j8,66) \cdot 10^2 + 10 =$$

$$= -15 + j26 - 10 - j17,3 + 10 = -15 + j8,7 = -17,3e^{-j30}$$

$$i_L(t) = \frac{N(p_1)}{M'(p_1)} \cdot e^0 + \frac{N(p_2)}{M'(p_2)} \cdot e^{p_2 t} + \frac{N(p_3)}{M'(p_3)} \cdot e^{p_3 t} =$$

$$= 9 + \frac{60}{-17,3e^{j30}} \cdot e^{-500t} \cdot e^{j866t} + \frac{60}{-17,3e^{-j30}} \cdot e^{-500t} \cdot e^{-j866t} =$$

$$= 9 - 3,46e^{-500t} \cdot (e^{j(866t-30)} + e^{-j(866t-30)}) =$$

$$= 9 - 3,46e^{-500t} \cdot 2 \cos(866t - 30^\circ) = 9 - 6,928 \cdot \sin(866t + 60^\circ) \quad A$$



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Компьютерное моделирование линейных электрических цепей: уч. пособие / Ю.А. Мелешкин, П.П. Гавриш, Ф.В. Дремов, О.В. Лысенко,. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2009. – 76 с.
2. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Том 1,2 / К.С. Демирчан, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин. – СПб.; Питер, 2004. – 463 с.: ил.
3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учеб. – 10-е изд. – М.: Гардарика, 2002. – 636 с.
4. Евсеев М.Е. Теоретические основы электротехники: Учебное пособие. -СПб.: Политехника, 2008, -380с.

## Оглавление

1. Введение.....	5
2. Линейные электрические цепи трехфазного синусоидального тока.....	7
3. Переходные процессы в линейных электрических цепях.....	15
Библиографический список.....	25



# **Анализ электрических цепей в установившемся и переходном режимах**

Задания и методические указания  
курсовому проектированию

Составители: МЕЛЕШКИН Юрий Александрович  
АНДРЕЕВ Иван Александрович  
СНАДЧЕНКО Светлана Валерьевна

Подписано в печать  
Формат 60×84 1/16  
Печать офсетная. Усл. п.л.  
Усл.кр. – отг. Уч.-изд.л.  
Заказ Тираж 50 экз. С.-76

---

Типография филиала СамГТУ в г.Сызрани  
446001 г.Сызрань, ул.Советская, 45