

Составители: А. Ф. Котов, И. Ф. Семёновых, Ю. П. Гущо

Редактор А. Ф. Котов

Методическое пособие представляет собой задание и методические указания по выполнению курсовой работы по дисциплине «Основы теории цепей». Работа состоит из трёх частей. В первой части исследуется разветвлённая электрическая цепь с двумя – тремя реактивными элементами при воздействии на её вход простейшего негармонического воздействия, представленного двумя гармоническими составляющими.

Во втором разделе проводится анализ четырёхполюсника. Рассчитываются его основные параметры и характеристики.

В третьем разделе исследуется переходный режим в цепи второго порядка. Исследование проводится как во временной, так и в частотной областях.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета университета.

Рецензенты: М.И. Мусянков, Т.В. Зотова

© МИРЭА, 2007

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина " Основы теории цепей" изучается студентами радиотехнического факультета специальностей 210301, 210302 и 210304.

Курсовая работа по основам теории цепей предназначена для систематизации знаний студентов по основным разделам дисциплины и закрепления навыков расчета линейных электрических цепей с сосредоточенными параметрами.

Предусмотрено 1000 вариантов исполнения курсовой работы, которая состоит из трёх разделов:

1. Исследование установившегося режима при периодическом негармоническом воздействии.
2. Исследование четырёхполюсника.
3. Исследование переходного процесса.

При оформлении курсовой работы рекомендуется придерживаться следующих правил:

1. Работу оформлять на листах формата 210x295 мм. На титульном листе (образец имеется на кафедре) необходимо указать наименование института и факультета, название дисциплины и номер варианта работы, а также фамилию, инициалы и шифр зачётной книжки студента. Законченную работу следует сброшюровать.

2. В начале каждого раздела привести краткое условие, расчетную схему и исходные данные для своего варианта. При этом целесообразно кратко сформулировать поставленную задачу.

3. В ходе решения следует давать краткие словесные пояснения.

4. Обязательно приводить размерность всех найденных при расчете величин. Все величины записывать с тремя значащими цифрами.

5. В конце работы необходимо привести список использованной литературы, затем поставить дату окончания работы и свою подпись.

6. На повторную рецензию не зачтенная работа принимается только при наличии первоначального текста, в который нельзя вносить никаких исправлений и изменений. При этом исправление

ошибок и дополнительный текст даются на дополнительных страницах в конце работы.

7. Номер варианта задания и параметры элементов схемы определяются последними тремя цифрами номера зачётной книжки (шифра) студента (№ ...*nmk*). Цифры десятков и единиц номера (*mk*) указывают № варианта задания (графа 1 таблицы №2).

Цифра сотен номера (*n*) позволяет рассчитать параметры элементов схемы и источников воздействия.

Значения параметров пассивных элементов и амплитудных значений источников гармонических сигналов для всех вариантов постоянны и определяются по формулам:

$$R = \frac{n+1}{2} \text{ Ом}; \quad L = (n+1) \cdot 10^{-4} \text{ Гн}; \quad C = \left(\frac{1}{n+1}\right) \cdot 10^{-4} \text{ Ф};$$

$$i_1 = (n+1)\sqrt{2} \cos \omega t, \text{ А};$$

$$i_2 = (n+1)\sqrt{2} \cos 2\omega t, \text{ А}; \quad (1)$$

$$e_1 = (n+1)\sqrt{2} \cos \omega t, \text{ В};$$

$$e_2 = (n+1)\sqrt{2} \cos 2\omega t, \text{ В};$$

где: *n* - цифра сотен номера зачётной книжки студента;

$$\omega = 10^4 \text{ рад/с.}$$

Примеры определения варианта задания и параметра *n*.

Таблица №1

№ п/п.	Последние три цифры номера зачётной книжки студента	Номер варианта задания	Значение величины <i>n</i> для расчёта параметров цепи
1	000	100	0
2	100	100	1
3	900	100	9
4	101	1	1
5	245	45	2

Ошибки в выборе номера варианта и значения *n* не допускаются.

Расчётную электрическую цепь составляют с использованием 9 ветвей (рис.1), которые необходимо ввести в ненаправленный граф схемы (рис.2). Каждая ветвь обозначена двумя цифрами, которые указывают номера узлов, к которым она подсоединена. Расположение и содержание ветвей в этой графе для каждого варианта приведены в таблице №2. В графе 13 таблицы №2 для расчёта переходного процесса приведены значения скачков ЭДС $E \cdot 1(t) = 4 \text{ В}$ и тока $J \cdot 1(t) = 2 \text{ А}$.

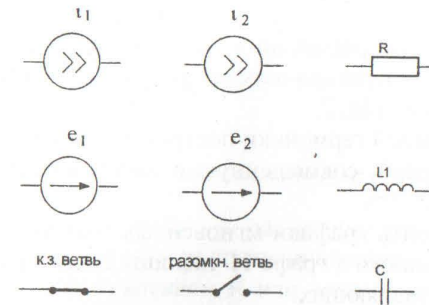


Рис.1

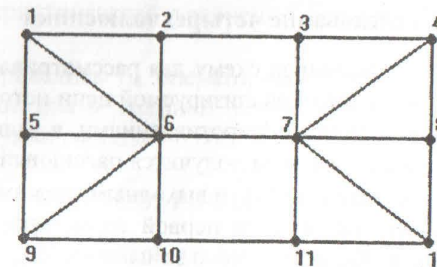


Рис.2

РАЗДЕЛЫ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

I. Исследование установившегося режима при периодическом негармоническом воздействии

1.1. Для своего варианта вычертить схему электрической цепи и определить параметры её элементов. С помощью метода контурных токов рассчитать токи в ветвях при работе источника первой гармонической составляющей.

1.2. С помощью метода узловых напряжений найти токи и напряжения в цепи при работе источника второй гармонической составляющей.

1.3. Проверить расчет по п.1.1 и п. 1.2. Для этого методом эквивалентного генератора определить ток или напряжение, указанные в графе 11 табл. 2.

1.4. Для второй гармоники построить топографическую диаграмму напряжений, совмещенную с векторной диаграммой токов всех ветвей.

1.5. Построить графики мгновенных значений тока или напряжения, указанного в графе 11 таблицы 2, как суммы двух гармонических составляющих.

1.6. Найти аналитическим путём действующее значение результирующего тока или напряжения.

II. Исследование четырехполюсника

2.1. Вычертить пассивную схему для рассматриваемого варианта. Для этого необходимо в анализируемой цепи источники энергии заменить их внутренними сопротивлениями, а узлы 1 и 4 расщепить на два каждый. При этом получится пассивный четырехполюсник с входными зажимами 1-1' и выходными зажимами 4-4'.

2.2. Определить на частоте первой гармоники параметры холостого хода Z_{1x} и Z_{2x} и короткого замыкания $Z_{1к}$ и $Z_{2к}$, зарисовав схемы соответствующих режимов.

2.3. По данным пункта 2-2 определить характеристические сопротивления $Z_{1с}$ и $Z_{2с}$.

2.4. Определить коэффициенты формы $[A]$ на частоте первой гармоники.

2.5. Рассчитать характеристическую постоянную Γ_1 .

2.6. Найти напряжение на выходе четырехполюсника $U_{вых}$ при согласованной нагрузке, включив на вход источник с ЭДС $e_1 = 10\sqrt{2} \cos 10^4 t$.

2.7. Определить комплексный коэффициент передачи по току в режиме короткого замыкания K_i или коэффициент передачи по напряжению при холостом ходе K_u или передаточное сопротивление при холостом ходе K_z или передаточную проводимость в режиме короткого замыкания K_y в соответствии с вариантом, данным в графе 12 табл. 2.

2.8. Построить амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики по выражению найденного коэффициента передачи.

III. Исследование переходного процесса

3.1. К входным зажимам 1-1' пассивного четырехполюсника подключить при $t = 0$ источник постоянного тока J с параллельно подключенным сопротивлением R или напряжение E (см. графу 13 табл. 2). Вычертить схему, закоротив выходные зажимы 4-4'.

3.2. Определить i_{34} классическим методом.

3.3. На комплексной плоскости изобразить положение корней характеристического уравнения исследуемого переходного процесса.

3.4. Определить i_{34} операторным методом.

3.5. Построить графики переходного процесса, выделив принужденную и свободную составляющие.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов В.П. Основы теории цепей. – М.: Высш. шк., 2005.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи. – М.: Гардарики, 2002.

Таблица №2

Вар.	t_1	t_2	e_1	e_2	R	L	C	к.з.ветвь R=0	разомкн. ветвь R= ∞	i, u	K	J, E
1	2	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	~	2-6	5-9	~	1-2,9-10,11-10	2-3	2-6,6-10	3-4,4-7,7-11,5-1	ост.	U23	Ki	J
2	~	3-4	1-2	~	3-4,11-12,10-11	2-3	3-7,7-11	4-8,8-12,6-10,1-6	ост.	U23	Kz	J
3	~	1-2	4-7	~	1-2,2-3,6-10	2-6	3-4,10-11	11-7,10-9,9-5,5-1	ост.	U28	Ky	J
4	~	2-3	4-8	~	1-2,3-4,7-11	3-7	2-3	8-12,12-11,11-10,6-10,6-1	ост.	U37	Ki	J
5	~	6-7	7-4	~	1-2,3-4,6-10	2-3,6-7	2-6	9-10,9-5,5-1	ост.	U23	Ky	J
6	~	1-2	1-6	~	1-2,2-3	3-4,6-7	2-6	4-7	ост.	U67	Ki	J
7	3-7	~	~	4-7	2-3,3-4	1-2,6-7	3-7	1-6	ост.	U23	Ky	J
8	3-4	~	~	1-5	1-2,3-4,7-11	2-3,9-10	3-7	4-8,8-11,10-11,5-9	ост.	U23	Ki	J
9	2-3	~	~	4-7	2-6,5-6,6-7	1-2	2-3	3-4,1-5	ост.	U23	Kz	J
10	2-3	~	~	4-7	2-6,6-7	2-3	1-2,5-6	1-5,3-4	ост.	U12	Ki	J
11	2-6	~	~	4-7	2-6,3-4	2-3,6-7	1-2	1-6	ост.	U12	Ky	J
12	2-3	~	~	4-7	2-3,3-7	1-2,6-7	3-4	1-6	ост.	U37	Ki	J
13	2-6	~	~	1-6	1-2,3-4	6-2	2-3,6-7	7-4	ост.	U23	Ki	J
14	2-3	~	~	4-7	2-3,3-4	3-7	1-2,6-7	1-6	ост.	U37	Ki	J
15	7-8	~	~	1-6	3-4,7-8,6-7	2-3	3-7	1-2,4-8	ост.	U23	Ky	J
16	2-3	~	~	4-8	2-3,6-7,7-8	3-4	3-7	1-6,1-2	ост.	i37	Ki	J
17	7-8	~	~	1-6	3-4,7-8	3-7	2-3,6-7	4-8,1-2	ост.	i23	Kz	J
18	2-6	~	~	1-5	1-2,5-6	2-6,6-7	2-3	3-4,4-7	ост.	i23	Ki	J

8

1	2	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13
19	1-2	~	~	4-7	1-2,2-6	5-6	2-3,6-7	1-5,3-4	ост.	i56	Kz	J
20	2-3	~	~	1-6	1-2,3-7,3-4	2-3	6-7	4-7	ост.	i12	Ki	J
21	2-3	~	~	4-8	1-2,6-7,2-3	2-6	3-4	1-6,7-8	ост.	i12	Ky	J
22	~	5-6	1-5	~	1-2,5-6,2-3	3-4	2-6	6-7,4-7	ост.	i26	Kz	J
23	~	2-3	1-5	~	1-2,2-3	2-6	3-4,4-7	6-7,5-6	ост.	i34	Kz	J
24	~	3-4	4-7	~	2-3,3-4	3-7	1-2,7-6	1-6	ост.	i16	Ki	J
25	~	1-2	4-8	~	1-2,2-3	3-4,7-8	2-6	6-7,6-1	ост.	i26	Kz	J
26	~	2-3	1-5	~	3-4,2-3	1-2,5-6	3-7	4-7,6-7	ост.	i12	Ki	J
27	2-6	~	~	2-3	2-6,3-4	1-2	6-10	1-5,5-9,9-10,10-11,11-7	ост.	i26	Kz	J
28	~	3-7	2-3	~	1-2,3-7	3-4	7-11	4-8,8-12,12-11,11-10, 10-6,6-1	ост.	i34	Ki	J
29	~	2-6	7-4	~	1-2,2-6,3-4	2-3	6-10	7-11,11-10,10-9,9-5,5-1	ост.	i26	Ky	J
30	~	3-7	8-12	~	2-3,3-4,3-7	1-2	7-11	1-6,6-10,11-10,11-12	ост.	i37	Ki	J
31	~	2-3	4-7	~	2-6,2-3	1-2	3-4	6-7,1-6	ост.	i34	Ku	J
32	2-3			1-6	2-3,3-7	3-4	1-2	6-7,7-4	ост.	i23	Ky	J
33	~	1-2	6-7	~	1-2,3-2	2-6	3-4	1-6,7-4	ост.	i26	Kv	J
34	~	3-4	6-7	~	2-3,3-4	3-7	1-2	1-6,7-4	ост.	i23	Ky	J
35	~	3-4	1-6	~	1-2,3-4	2-3	2-6	6-7,7-4	ост.	i26	Kz	J
36	~	3-4	6-7	~	2-3,3-4	1-2	3-7	1-6,7-4	ост.	i23	Ki	J
37	~	2-3	6-10	~	1-2,3-4,2-3	3-7	7-11,7-12	1-6,10-11,11-12,12-8, 8-4	ост.	i37	Ku	J
38	~	2-3	5-1	~	1-2,2-3,3-4	2-6	6-10,6-11	5-9,9-10,10-11,11-7,7-4	ост.	i34	Ki	J

6

1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
39	~	2-6	1-5	~	1-2,2-6	7-4	3-4	2-3,6-7,5-6	oct.	i34	Kz	J
40	~	1-2 2-3		~	1-2,4-8	3-4	2-6	1-6,6-7,7-8	oct.	i16	Ky	J
41	~	1-2		1-5	~	1-2,3-4	4-8	2-6,2-3,7-8,6-7,5-6	oct.	i26	Kv	J
42	~	1-2	1-5	~	1-2,3-4	2-6	4-8	7-8,6-7,2-3,6-5	oct.	i48	Kv	J
43	~	1-2	5-1	~	1-2,2-3,3-4	2-6	3-7	4-7,6-7,5-6	oct.	i37	Ky	E
44	3-4	3-4	~	~	1-2,3-4	2-3	2-6	4-7,6-7,6-1	oct.	i16	Ky	E
45	~	1-2	4-8	~	1-2,2-3	2-6	3-4	8-7,6-7,1-6	oct.	i16	Ky	E
46	~	2-3	5-1	~	2-3,3-4	3-7	1-2	4-7,6-7,6-5	oct.	i23	Ki	E
47	~	2-3	1-5	~	2-3,3-4	1-2	2-6	4-7,6-7,6-5	oct.	i26	Ky	E
48	~	2-6	1-5	~	1-2,2-3,3-4	3-7	2-6	4-7,7-6,6-5	oct.	U34	Kz	E
49	2-3	~	~	1-5	1-2,9-10,10-11	2-3	2-6,6-10	3-4,11-7,4-11,6-10	oct.	U12	Ky	E
50	2-3	~	~	4-8	3-4,10-11,11-12	2-3	3-7,7-11	6-10,8-12,1-2,7-11,1-6	oct.	U34	Ky	E
51	2-6	~	~	1-5	1-2,2-3,6-10	2-6	3-4,10-11	11-7,7-4,9-10,5-9	oct.	U34	Ki	E
52	3-4	~	~	1-6	1-2,3-4,7-11	3-7	2-3	4-8,6-11,11-8	oct.	U23	Ku	E
53	3-4	~	~	1-5	1-2,3-4,6-10	2-3	2-6	5-10,7-10,7-14	oct.	U26	Ku	E
54	2-3	~	~	4-7	1-2,2-3	3-4,6-7	2-6	1-6	oct.	U26	Ku	E
55	~	1-2	1-6	~	2-3,3-4	1-2,6-7	3-7	4-7	oct.	U37	Ku	E
56	~	3-4	4-8	~	1-2,3-4,7-11	2-3,6-11	3-7	1-6,8-11	oct.	U37	Ky	E
57	~	2-6	1-5	~	2-6,5-6,1-2	1-2	2-3,6-7	3-4,4-7	oct.	U12	Ky	E
58	~	2-6	1-5	~	2-6,6-7	2-3	1-2,5-6	3-4,4-7	oct.	U23	Ku	E
59	~	3-4	1-6	~	2-6,3-4	2-3,6-7	1-2	4-7	oct.	U26	Kz	E

10

1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
60	~	3-7	1-6	~	2-3,3-7	1-2,6-7	3-4	7-4	oct.	U34	Kv	E
61	~	3-7	1-6	~	2-3,3-7	1-2	3-4	7-4	oct.	U34	Kv	E
62	~	3-4	1-6	~	2-3,3-4	3-7	6-7,1-2	4-7	oct.	U23	Ky	E
63	~	1-2	4-7	~	1-2,3-4	2-6	2-3,6-7	1-6	oct.	U37	Ku	E
64	~	2-3	1-5	~	2-3,6-7	1-2	2-6	3-4,4-7	oct.	U26	Kz	E
65	~	5-6	4-7	~	1-2,5-6,6-7	2-3	2-6	3-4,1-5	oct.	i23	Kv	E
66	~	3-4	4-8	~	3-4,7-8	3-7	2-3,6-7	1-2,1-6	oct.	i37	Ky	E
67	~	5-6	3-4	~	1-2,5-6	2-6	2-3	4-7,5-1	oct.	i26	Kv	E
68	~	2-6	1-5	~	1-2,2-6	5-6	2-3,6-7	3-4,4-7	oct.	i23	Ky	E
69	~	3-7	4-8	~	1-2,3-4	2-6	6-7	2-3,1-6,7-8	oct.	i26	Kv	E
70	~	3-4	1-5	~	1-2,2-3,3-4	2-6	6-7	5-6,4-7	oct.	i23	Ky	E
71	1-2	~	~	4-7	1-2,2-3	2-6	6-7	3-4,1-5	oct.	i26	Ki	E
72	1-2	~	~	4-8	1-2,2-3	2-6	3-4,8-7	6-7,1-6	oct.	i26	Kz	E
73	3-4	~	~	1-5	3-4,2-3	3-7	5-6,1-2	6-7,4-7	oct.	i37	Kv	E
74	2-3	~	~	4-8	1-2,2-3	3-4,7-8	3-7	6-7,6-1	oct.	i34	Ky	E
75	3-4	~	~	4-8	3-4,2-3	1-2,1-6	3-7	6-7,7-8	oct.	i34	Kv	E
76	1-2	~	~	2-3	3-7,3-4	1-2	7-8	1-6,6-7,4-8	oct.	i15	Ky	E
77	2-6	~	~	2-3	1-2,2-6	3-4	6-7	1-6,4-7	oct.	i34	Kv	E
78	2-6	~	~	1-5	1-2,2-6,3-4	2-3	6-7	7-4,5-6	oct.	i37	Kv	E
79	3-7	~	~	4-8	2-3,3-4,3-7	1-2	7-8	1-6,6-7	oct.	i26	Kz	E
80	2-6	~	~	1-6	2-6,2-3	1-2	3-4	6-7,7-4	oct.	i37	Ki	E
81	~	3-7	7-4	~	2-3,3-7	3-4	1-2	1-6,6-7	oct.	i26	Kz	E

11

1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
82	2-3	~	~	1-6 1-2,2-3	2-6	3-4	4-7,7-6	ост.	i37	Ki	E
83	2-3	~	~	1-6 2-3,3-4	3-7	1-2	6-7,7-4	ост.	i26	Ku	E
84	1-2	~	~	4-7 1-2,3-4	2-3	2-6	1-6,6-7	ост.	i26	Ku	E
85	2-3	~	~	1-6 2-3,3-4	1-2	3-7	6-7,7-4	ост.	i37	Ky	E
86	3-4	~	~	1-6 1-2,2-3,3-4	3-7	6-7	4-7	ост.	i48	Kz	E
87	1-2	~	~	5-6 1-2,2-3,3-4	2-6	6-7	4-7,1-5	ост.	i47	Ky	E
88	2-6	~	~	5-1 1-2,2-6	7-4	3-4	2-3,6-7,5-6	ост.	i14	Ky	E
89	1-2	~	~	5-1 1-2,7-4	2-6	3-4	6-7,2-3,5-6	ост.	U26	Ky	E
90	~	6-7	5-1	~	1-2,2-6,6-7	4-7	5-6,2-3	ост.	U47	Kv	E
91	1-2	~	~	2-3 1-2,4-8	3-4	2-6	1-6,6-7,7-8	ост.	U48	Ky	E
92	1-2	~	~	5-1 1-2,3-4	4-8	2-6	2-3,7-8,6-7,5-6	ост.	i48	Ki	E
93	1-2	1-2	~	~	1-2,3-4,6-7	2-3	4-7,1-6	ост.	i47	Ky	E
94	1-2	~	~	~	1-5 1-2,3-4	2-6	7-8,6-7,2-3,6-5	ост.	U48	Ki	E
95	~	~	4-8	~	8-7 1-2,3-4,3-7	2-3	6-7,1-6	ост.	i16	Ki	E
96	1-2	~	~	~	5-1 1-2,2-3	2-6	4-7,6-7,6-5	ост.	i26	Ki	J
97	2-3	3-4	~	~	2-3,3-4	1-2	4-7,6-7,1-6	ост.	U34	Ky	E
98	2-3	3-4	~	~	2-3,3-4,1-6	2-6	4-7,6-7,6-1	ост.	i16	Ky	E
99	1-2	~	~	~	1-6 1-2,2-3,3-4	6-7	4-7,	ост.	i37	Ky	J
100	2-3	~	~	~	1-5 1-2,2-3,3-4	3-7	4-7,6-7,5-6	ост.	i23	Ki	J

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Разделы курсовой работы

1. Исследование установившегося режима при периодическом негармоническом воздействии

Отправным моментом при выполнении курсовой работы является правильный выбор схемы электрической цепи и её параметров, соответствующий варианту задания. Для примера вычертим схему электрической цепи для варианта *nmk*, номер которого определяется номером зачётной книжки - №... 314.

В соответствии с п.7 введения цифры десятков и единиц номера ($mk = 14$) определяют номер варианта (№ 14), а цифра сотен ($n=3$) позволяет рассчитать параметры элементов схемы и источников воздействия. Для нашего примера после подстановки в формулы (1) значения $n=3$, получим:

$$R = \frac{3+1}{2} = 2 \text{ Ом}; \quad L = (3+1) \cdot 10^{-4} \text{ Гн} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}; \quad C = \frac{1}{3+1} \cdot 10^{-4} = 0,25 \cdot 10^{-4} \text{ Ф}. \quad (2)$$

Для варианта № 14 согласно графам 2-5 таблицы №2 определим параметры источников энергии. Получаем:

$$i_2 = 0; \quad e_1 = 0; \quad i_1 = (3+1)\sqrt{2} \cos \omega t = 4\sqrt{2} \cos \omega t; \quad e_2 = (3+1)\sqrt{2} \cos 2\omega t = 4\sqrt{2} \cos 2\omega t.$$

Изобразим схему электрической цепи, соответствующую варианту №14. Для этого обозначим вершины ненаправленного графа (рис.2) и соединим их ветвями согласно варианту №14 (параметры ветвей указаны в графах 2-10 таблицы №2). Получим схему электрической цепи, изображённую на рис.3.

Для лучшего понимания представим схему на рис.3 в более наглядном виде, заменив также в ветви 2167 две последовательно соединённые ёмкости одной им эквивалентной (рис.4). Подобные преобразования, если они возможны, следует выполнить во всех вариантах задания.

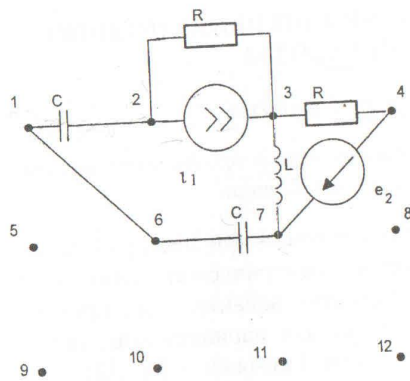


Рис.3

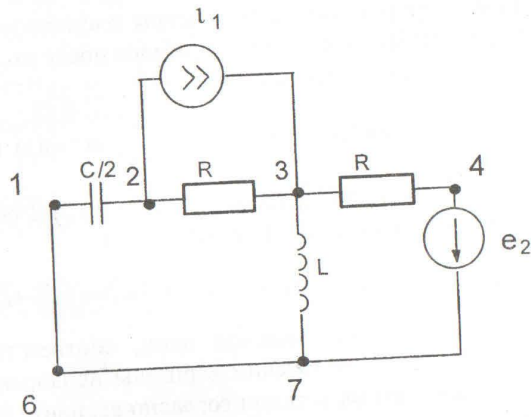


Рис.4

2. В соответствии с п.1.3 для варианта №14 расчёты, проведённые по п. 1.1 и 1.2, проверяются путём определения $\underline{U}_{37} = \underline{U}_L$ методом эквивалентного генератора. Поочерёдно определяются u_{L_1} при воздействии первой (i_1) и u_{L_2} - второй (e_2) гармонической составляющей. В результате проведённых расчётов согласно п. 1.5

необходимо для варианта №14 построить на одном чертеже графики мгновенных значений u_{L_1} и u_{L_2} и периодического негармонического напряжения на индуктивности

$$u_L = u_{L_1} + u_{L_2} = U_{m1} \cos(\omega t + \psi_1) + U_{m2} \cos(2\omega t + \psi_2).$$

II. Исследование четырёхполюсника

1. Схема пассивного четырёхполюсника согласно п.2.1 получается из схемы, изображённой на рис.4, путём превращения её в пассивную цепь и последующего расщепления устранимых узлов 1 и 4. В результате получается T-образная схема четырёхполюсника с сопротивлениями $\underline{Z}_1 = R + \frac{2}{j\omega C}$, $\underline{Z}_2 = j\omega L$ и $\underline{Z}_3 = R$ (рис. 5).

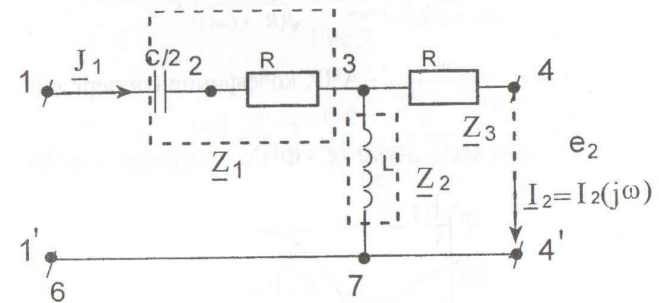


Рис.5

2. Все расчёты по пунктам 2.2÷2.6 ведутся на частоте первой гармоники ($\omega = 10^4 \text{ рад./с}$).

При решении задачи по п. 2.7 необходимо помнить, что комплексный коэффициент передачи равен отношению выходной величины $A_{\text{вых}}(j\omega)$ к входной $A_{\text{вх}}$;

$$\underline{K} = \underline{K} = K(j\omega) = \frac{A_{\text{вых}}(j\omega)}{A_{\text{вх}}} = K(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)},$$

где: $\underline{K} = \underline{K} = K(j\omega)$ - комплексный коэффициент передачи; $K(\omega)$ -

амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) коэффициента передачи; $\varphi(\omega)$ - фазочастотная характеристика (ФЧХ) коэффициента передачи.

Для варианта №14 выполнение задания по п.27 сводится к определению коэффициента передачи по току в режиме короткого замыкания K_i (см. п.12 табл.№2);

$$K_i = K_i(j\omega) = \frac{I_2(j\omega)}{I_1} = \frac{J_1 \cdot j\omega L}{J_1(R + j\omega L)} = \frac{j\omega L}{R + j\omega L}$$

Представим числитель и знаменатель этого выражения в показательной форме и произведём деление. Тогда получим:

$$K_i(j\omega) = \frac{\omega L \cdot e^{j90^\circ}}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2} e^{j \arctg \omega L / R}} = \frac{\omega L}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} e^{j(90^\circ - \arctg \omega L / R)},$$

где $K(\omega) = \frac{\omega L}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$ - АЧХ коэффициента передачи,

$\varphi(\omega) = 90^\circ - \arctg \omega L / R$ - ФЧХ коэффициента передачи.

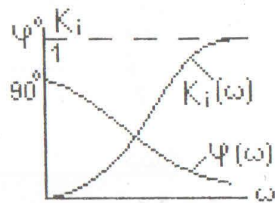


Рис.6

На рис 6 представлены качественные графики найденных частотных характеристик $K_i(j\omega)$. В работе подобные кривые строятся по точкам с выбранным шагом $\Delta\omega$ по частоте.

III. Исследование переходного процесса

1. В соответствии с заданием (п.3.1) для варианта №14 получим

схему для исследования переходных процессов (рис.7). Параметры элементов схемы соответственно равны: $J = 2A$; $R = 20\Omega$; $L = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}$; $C = 0,25 \cdot 10^{-4} \text{ Ф}$.

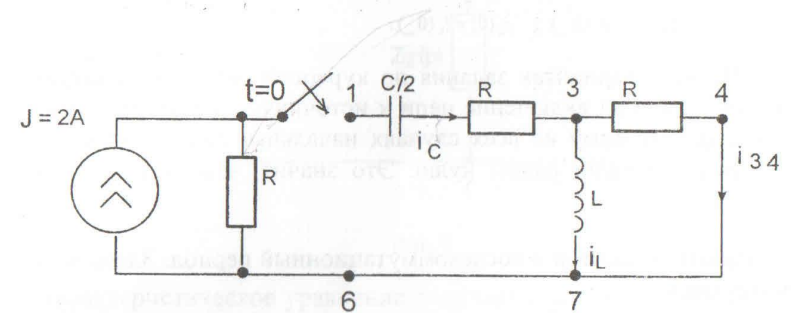


Рис.7

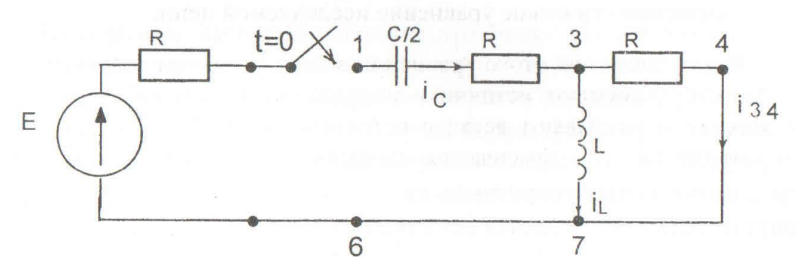


Рис.8

Для упрощения расчётов заменим источник тока, зашунтированный сопротивлением R , эквивалентным источником ЭДС с внутренним сопротивлением R . В результате такой замены получим схему, изображённую на рис.8, в которой ЭДС $E = JR = 4B$.

2. Определение полного переходного тока $i_{34}(t)$ классическим методом можно разбить на три этапа.

2.1. Анализ схемы в докоммутационный период

Такой анализ необходим для определения независимых начальных условий работы электрической цепи:

$$u_c(0) = u_c(0_-); \quad i_L(0) = i_L(0_-).$$

Во всех вариантах задания по курсовой работе рассматриваются задачи на включение цепи к источнику энергии постоянного тока. Поэтому во всех случаях начальные запасы электромагнитной энергии равны нулю. Это значит, что $u_c(0_-) = 0$ и $i_L(0_-) = 0$.

2.2. Работа со схемой в послекоммутационный период. Здесь анализируются:

- принуждённый режим искомого тока или напряжения (в рассматриваемом варианте №14 наличие ёмкости в ветви с ЭДС обуславливает равенство тока i_{3np} нулю.);

- характеристическое уравнение исследуемой цепи.

Для составления этого уравнения в схеме удаляют источники энергии (заменяют источники напряжения идеальными проводниками и разрывают ветви с источниками тока), ёмкостные сопротивления X_C заменяются операционными эквивалентами $1/pC$, индуктивные сопротивления X_L - эквивалентами pL , а сопротивления R остаются без изменения.

Для варианта №14 составление характеристического уравнения осуществляется по схеме, приведённой на рис.9, в которой

$$Z_1(p) = 2R + \frac{2}{pC}; \quad Z_2(p) = pL; \quad Z_3(p) = R. \quad (3)$$

Определяется входное сопротивление $Z_{in}(p)$ относительно клемм ключа:

$$Z_{in}(p) = Z_1(p) + \frac{Z_2(p)Z_3(p)}{Z_2(p) + Z_3(p)} = \frac{Z_1(p)Z_2(p) + Z_1(p)Z_3(p) + Z_2(p)Z_3(p)}{Z_2(p) + Z_3(p)}.$$

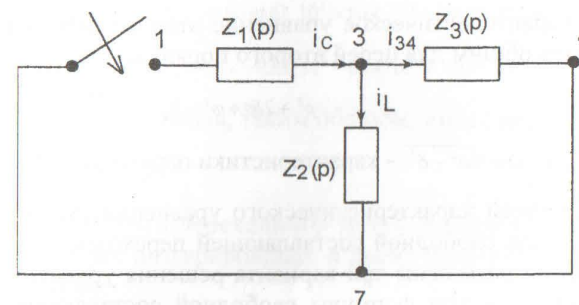


Рис.9

Характеристическое уравнение получается из выполнения условия $Z_{in}(p) = 0$, т.е.

$$Z_1(p)Z_2(p) + Z_1(p)Z_3(p) + Z_2(p)Z_3(p) = 0, \quad (4)$$

Полученное характеристическое уравнение (4) является общим для всех вариантов Т-образных схем, которые встречаются в задании. Сопротивления $Z_i(p)$ для каждого варианта, естественно, являются разными и определяются параметрами элементов схем. Так для варианта №14 характеристическое уравнение (4) с учётом значений сопротивлений $Z_i(p)$, определяемых формулами (3), примет вид:

$$(2R + \frac{2}{pC})pL + (2R + \frac{2}{pC})R + pLR = 0. \quad (5)$$

После простых преобразований получим из (5)

$$p^2 + \frac{2L + 2R^2C}{3LCR}p + \frac{2}{3LC} = 0. \quad (6)$$

Обозначив в уравнении (6)

$$\frac{2L + 2R^2C}{3LCR} = 2\delta; \quad \frac{2}{3LC} = \omega^2, \quad (7)$$

получим характеристическое уравнение второго порядка, которое является общим для цепей второго порядка,

$$p^2 + 2\delta p + \omega^2 = 0, \quad (8)$$

где δ , ω , и $\Omega = \sqrt{\omega^2 - \delta^2}$ - характеристики переходного процесса,

Вид корней характеристического уравнения (8) определяет выражение для свободной составляющей переходного процесса. Как известно, возможны три варианта решения уравнения (8), а следовательно и три формулы свободной составляющей переходного процесса,

1. Случай $\omega^2 > \delta^2$; $p_{1,2} = -\delta \pm j\Omega$; $\Omega = \sqrt{\omega^2 - \delta^2}$;

$$i_{св1}(t) = B \cdot e^{-\delta t} \sin(\Omega t + \varphi). \quad (9)$$

2. Случай $\omega^2 = \delta^2$; $p_{1,2} = -\delta$; $i_{св2}(t) = (A_1 + A_2 t) \cdot e^{-\delta t}$. (10)

3. Случай $\delta^2 > \omega^2$; $p_{1,2} = -\delta \pm \Omega_1$; $\Omega_1 = \sqrt{\delta^2 - \omega^2}$; $p_1 = -\delta + \Omega_1 = -\alpha$;
 $p_2 = -\delta - \Omega_1 = -\beta$; $i_{св3}(t) = A_1 \cdot e^{-\alpha t} + A_2 e^{-\beta t}$. (11)

Определим для варианта №14 характеристики переходного процесса δ и ω . Для этого в формулы (7) подставим значения параметров элементов схемы (1);

$$\delta = \frac{L + R^2 C}{3LCR} = \frac{4 \cdot 10^{-4} + 4 \cdot 0,25 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 4 \cdot 10^{-4} \cdot 0,25 \cdot 10^{-4} \cdot 2} = \frac{5}{6} \cdot 10^4 = 0,83 \cdot 10^4 \text{ c}^{-1};$$

$$\delta^2 = 0,69 \cdot 10^8 \text{ c}^{-2};$$

$$\omega^2 = \frac{2}{3LC} = \frac{2}{3 \cdot 4 \cdot 10^{-4} \cdot 0,25 \cdot 10^{-4}} = \frac{2}{3} \cdot 10^8 = 0,67 \cdot 10^8 \text{ c}^{-2}.$$

4. Полученные значения характеристик переходного процесса указывают на то, что для варианта №14 имеет место случай $\delta^2 > \omega^2$. Поэтому согласно (11)

$$\Omega_1 = \sqrt{\delta^2 - \omega^2} = \sqrt{0,02} \cdot 10^4 = 0,14 \cdot 10^4;$$

$$p_1 = -\delta + \Omega_1 = -\alpha = -0,83 \cdot 10^4 + 0,14 \cdot 10^4 = -0,69 \cdot 10^4 \text{ c}^{-1};$$

$$p_2 = -\delta - \Omega_1 = -\beta = -0,83 \cdot 10^4 - 0,14 \cdot 10^4 = -0,97 \cdot 10^4 \text{ c}^{-1}.$$

Свободная составляющая, таким образом, имеет вид:

$$i_{34св}(t) = A_1 \cdot e^{-0,69 \cdot 10^4 t} + A_2 e^{-0,97 \cdot 10^4 t}.$$

2.3. Запись полного переходного тока (напряжения), определение постоянных интегрирования и построение графика переходного процесса

Полный переходный ток определяется по формуле

$$i(t) = i_{св}(t) + i_{ср}(t). \quad (12)$$

Для варианта №14 эта формула с учётом того, что $i_{34ср}(t) = 0$, запишется в виде:

$$i_{34}(t) = i_{34св}(t) = A_1 \cdot e^{p_1 t} + A_2 \cdot e^{p_2 t}. \quad (13)$$

Чтобы получить окончательное решение, нужно определить постоянные интегрирования A_1 и A_2 . Для этого нужно составить систему двух алгебраических уравнений для момента времени $t=0_+$:

$$\begin{cases} i_{34}(0) = A_1 + A_2 \\ i'_{34}(0) = p_1 A_1 + p_2 A_2 \end{cases}. \quad (14)$$

Значения величин $i_{34}(0)$ и $i'_{34}(0)$ определяются по схеме, соответствующей послекоммутационному периоду, по законам Кирхгофа с одновременным учётом законов (правил) коммутации, т.е. с учётом независимых начальных условий работы схемы.

Для цепей второго порядка такие вычисления позволяют определить начальные условия для любого тока или напряжения в исследуемой цепи, хотя и требуют дополнительных усилий.

Следует помнить, что любой ток или напряжение в цепи

второго порядка удобнее всего определять не прямым путём, а в обход, в частности, вначале определив либо ток в индуктивности, либо напряжение на ёмкости. Это обусловлено тем, что начальные условия для последних определяются очень просто по схеме, соответствующей послекоммутационному периоду, а именно:

$$i_L(0) = i_L(0_-); \quad i'_L(0) = \frac{u_L(0_+)}{L}; \quad u_C(0) = u_C(0_-); \quad u'_C = \frac{i_C(0_+)}{C}.$$

Так для варианта №14 определение тока $i_{34}(t)$ можно провести в два этапа:

1. Сначала определяется ток $i_L(t)$.
2. Следующий шаг – определение $i_{34}(t)$:

$$i_{34}(t) = \frac{u_L(t)}{R} = \frac{L}{R} \cdot \frac{di_L}{dt}.$$

3. Определение полного переходного тока или напряжения операторным методом осуществляется по операторной схеме замещения. Во всех вариантах задания независимые начальные условия нулевые, поэтому в схемах замещения присутствует только один источник энергии $E(p) \div e(t)$.

Для варианта №14 операторная схема замещения представлена на рис.10. Используя обозначения (3), сначала

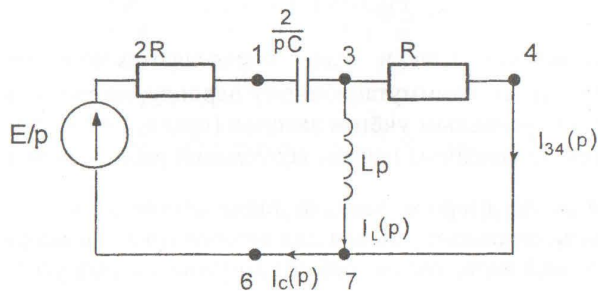


Рис.10

определим операторный ток через ёмкость:

$$I_C(p) = \frac{E/p}{Z_1(p) + \frac{Z_2(p)Z_3(p)}{Z_2(p) + Z_3(p)}} = \frac{E[Z_2(p) + Z_3(p)]}{p[Z_1(p) \cdot Z_2(p) + Z_1(p)Z_3(p) + Z_2(p)Z_3(p)]},$$

а потом искомый операторный ток $I_{34}(p)$:

$$I_{34}(p) = \frac{I_C(p) \cdot Z_2(p)}{Z_2(p) + Z_3(p)} = \frac{E \cdot Z_2(p)}{p[Z_1(p) \cdot Z_2(p) + Z_1(p)Z_3(p) + Z_2(p)Z_3(p)]}. \quad (15)$$

Используя теорему разложения или таблицы обратного преобразования Лапласа, определяем искомый переходной ток

$$i_{34}(t) \div I_{34}(p).$$

Выражения для переходного тока $i_{34}(t)$, рассчитанные различными методами, естественно должны совпадать. Для получения удовлетворительного результата все расчёты в работе следует вести с точностью до сотых долей единицы. По проведённым расчётам необходимо построить график полного переходного тока, выделив принуждённую и свободную составляющие. Оформление курсовой работы необходимо выполнить в соответствии с правилами, указанными во введении настоящего пособия.