

Задание 4.

Переходные процессы

в линейных электрических цепях

4.1 Дана электрическая цепь, в которой происходит коммутация (рис. 4.1 – 4.20) [6]. Параметры цепи приведены в таблице 4.1. В цепи действует постоянная ЭДС E .

4.4 Рассмотреть переходной процесс в цепи второго порядка и определить закон изменения во времени указанной в таблице 4.1 величины (тока или напряжения) на элементе схемы.

4.5 Задачу следует решать двумя методами:

4.5.1 *классическим*

4.5.2 *операторным*

4.6. На основании полученного аналитического выражения построить *график* изменения искомой величины в функции времени в интервале от $t_0 = 0$ до $t_3 = 3/|p_{min}|$, где $|p_{min}|$ - меньший по модулю корень характеристического уравнения.

4.7 Уравнения для изображений схемы рекомендуется составлять по методу узловых потенциалов (с учетом имеющихся в схеме ЭДС и «внутренних» ЭДС.

Таблица 4.1 (начало)

Вариант	Рисунок	E, В	L1, мГн	C1, мкФ	R1	R2	R3	R4	Определить
					Ом				
1	4.5	100	1	10	20	20	0	2	u_{L1}
2	4.2	150	2	5	5	10	5	5	i_2
3	4.19	100	1	10	1	3	-	-	i_3
4	4.10	120	1	10	1	2	1	1	i_2
5	4.3	100	5	50	3	8	5	-	u_{C1}
6	4.1	50	1	1500	2	13	2	3	i
7	4.11	120	10	10	20	80	1000	1000	i_3
8	4.18	200	1	50	2	10	20	8	i_1
9	4.4	100	1	10	50	20	30	-	u_{L1}
10	4.17	300	5	4	15	20	5	20	i_2
11	4.20	100	1	10	20	17	3	2	i_1
12	4.15	150	4	5	9	10	5	1	u_{L1}
13	4.6	30	1	2,5	5	10	15	-	i_3
14	4.7	200	10	10	50	50	50	100	u_{R1}
15	4.12	100	1	10	5	15	4	-	u_{L1}
16	4.16	50	2	1670	1	2	2	4	i_2
17	4.8	120	10	10	20	80	1000	1000	i_2
18	4.13	120	1	10	12	6	8	4	i_3

19	4.9	200	1	10	3	7	10	10	i_2
20	4.14	50	1	100	3	7	10	10	i_2

Таблица 4.1 (продолжение)

Вариант	Рису- нок	E, В	L1, мГн	C1, мкФ	R1	R2	R3	R4	Опре- делить
					Ом				
21	4.5	100	1	10	20	2	18	2	i_3
22	4.2	150	2	5	4	10	5	6	i_2
23	4.19	100	1	10	1,5	2,5	-	-	u_{R3}
24	4.10	120	1	10	2	1	1	1	i_3
25	4.3	100	5	50	6	8	2	-	u_{L1}
26	4.1	50	1	1500	2	13	3	2	
27	4.11	120	10	10	30	70	1000	1000	i_2
28	4.18	200	1	50	4	10	20	6	i_3
29	4.4	100	1	10	50	10	40	-	
30	4.17	300	5	4	3	20	17	20	i_1
31	4.20	100	1	10	20	8	12	2	u_{L1}
32	4.15	150	4	5	0	10	5	10	i_1
33	4.6	30	1	2,5	15	10	5	-	i_4
34	4.7	200	10	10	25	75	50	100	u_{C1}
35	4.12	100	1	10	15	5	4	-	i_3
36	4.16	50	2	1670	1	2	3	3	u_{L1}
37	4.8	120	10	10	30	70	1000	1000	i_3
38	4.13	120	1	10	24	4,8	8	4	i_2
39	4.9	200	1	10	10	25	50	15	i_3
40	4.14	50	1	100	4	6	10	10	i_3
41	4.5	100	1	10	20	10	10	2	u_{R3}
42	4.2	150	2	5	7	10	5	3	u_{L1}
43	4.19	100	1	10	3	1	-	-	u_{L1}
44	4.10	120	1	10	1,5	1,5	1	1	u_{L1}
45	4.3	100	5	50	1	8	7	-	i_2
46	4.1	50	1	1500	2	13	4	1	u_{C1}
47	4.11	120	10	10	40	60	1000	1000	u_{L1}
48	4.18	200	1	50	5	10	20	5	u_{L1}
49	4.4	100	1	10	50	30	20	-	i_1
50	4.17	300	5	4	6	20	14	20	u_{L1}
51	4.20	100	1	10	20	11	9	2	u_{C1}
52	4.15	150	4	5	3	10	5	7	i_2
53	4.6	30	1	2,5	12	10	8	-	i_2
54	4.7	200	10	10	0	100	50	100	u_{L1}
55	4.12	100	1	10	7	13	4	-	i_2
56	4.16	50	2	1670	1	2	4	2	u_{C1}
57	4.8	120	10	10	40	60	1000	1000	u_{L1}
58	4.13	120	1	10	6	12	8	4	u_{C1}
59	4.9	200	1	10	10	30	50	10	u_{L1}
60	4.14	50	1	100	5	5	10	10	u_{L1}
61	4.5	100	1	10	20	16	4	2	u_{C1}
62	4.2	150	2	5	10	10	5	0	u_{C1}

Таблица 4.1 (окончание)

Вариант	Рису- нок	E, В	L1, мГн	C1, мкФ	R1	R2	R3	R4	Опре- делить
					Ом				
63	4.19	100	1	10	4	0	-	-	u_{C1}
64	4.10	120	1	10	0	3	1	1	u_{C1}
65	4.3	100	5	50	4	8	4	-	u_{L1}
66	4.1	50	1	1500	2	13	5	0	u_{R1}
67	4.11	120	10	10	50	50	1000	1000	u_{C1}
68	4.18	200	1	50	3	10	20	7	u_{C1}
69	4.4	100	1	10	50	35	15	-	i_2
70	4.17	300	5	4	4	20	16	20	u_{R1}
71	4.20	100	1	10	20	13	7	2	i_2
72	4.15	150	4	5	2	10	5	8	u_{R1}
73	4.6	30	1	2,5	8	10	12	-	u_{L1}
74	4.7	200	10	10	75	25	50	100	i_2
75	4.12	100	1	10	13	7	4	-	u_{C1}
76	4.18	50	2	1670	1	2	5	1	u_{R1}
77	4.8	120	10	10	50	50	1000	1000	u_{C1}
78	4.13	120	1	10	8	8	8	4	u_{L1}
79	4.9	200	1	10	10	18	50	22	u_{C1}
80	4.14	50	1	100	6	4	10	10	u_{C1}
81	4.5	100	1	10	20	15	5	2	i
82	4.2	150	2	5	8	10	5	2	i_1
83	4.19	100	1	10	2	2	-	-	i_1
84	4.10	120	1	10	3	0	1	1	i_1
85	4.3	100	5	50	2	8	6	-	i_1
86	4.1	50	1	1500	2	13	1	4	i_1
87	4.11	120	10	10	10	90	1000	1000	i_1
88	4.18	200	1	50	9	10	20	1	i_3
89	4.4	100	1	10	50	25	25	-	u_{C1}
90	4.17	300	5	4	10	20	10	20	u_{C1}
91	4.20	100	1	10	20	4	16	2	u_{R2}
92	4.15	150	4	5	6	10	5	4	u_{C1}
93	4.6	30	1	2,5	10	10	10	-	u_{C1}
94	4.7	200	10	10	100	0	50	100	i_1
95	4.12	100	1	10	10	10	4	-	i_1
96	4.16	50	2	1670	1	2	1	5	i_1
97	4.8	120	10	10	10	90	1000	1000	i_1
98	4.13	120	1	10	8	8	8	4	i_1
99	4.9	200	1	10	10	20	50	20	i_1
100	4.14	50	1	100	2	8	10	10	i_1

Рисунки к заданию 4

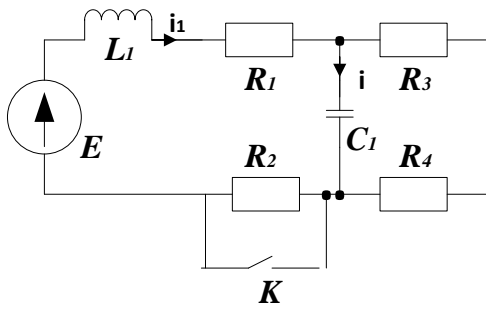


Рис. 4.1

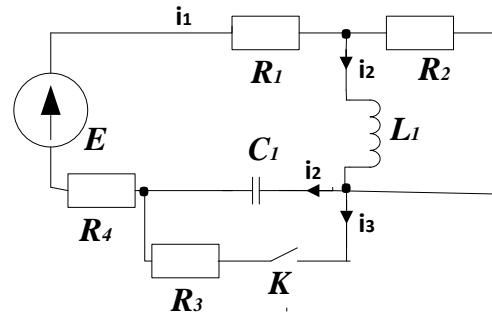


Рис. 4.2

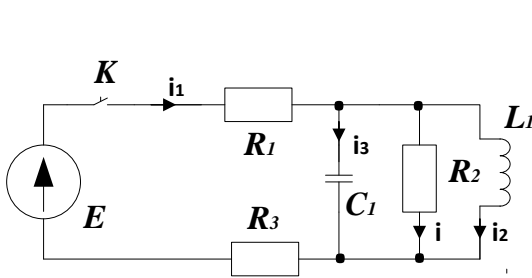


Рис. 4.3

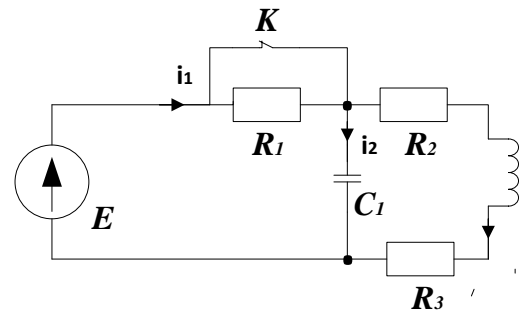


Рис. 4.4

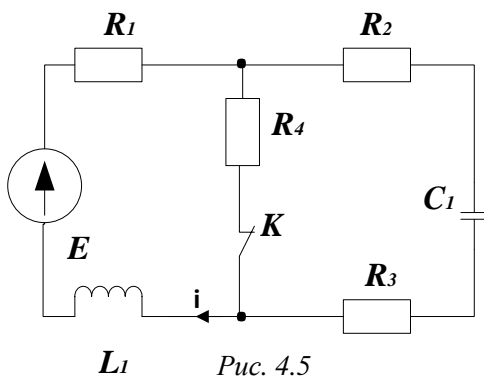


Рис. 4.5

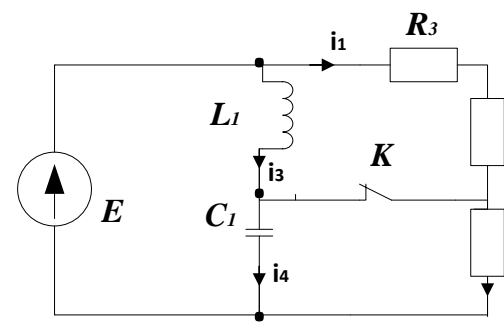


Рис. 4.6

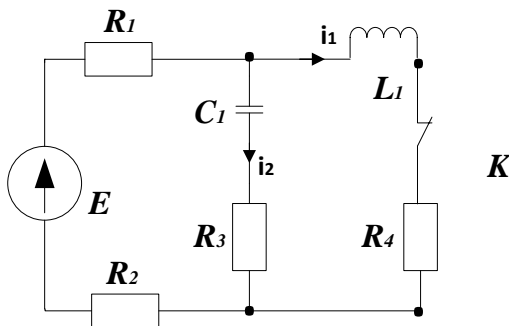


Рис. 4.7

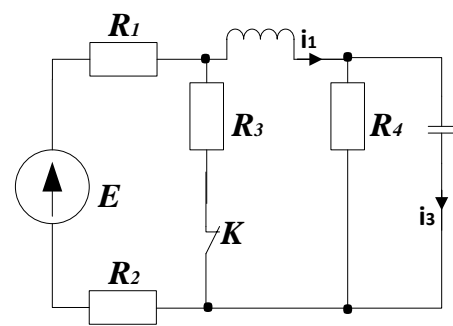
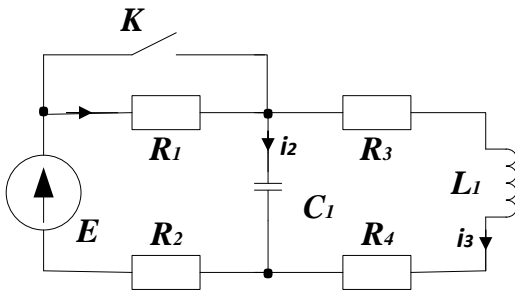
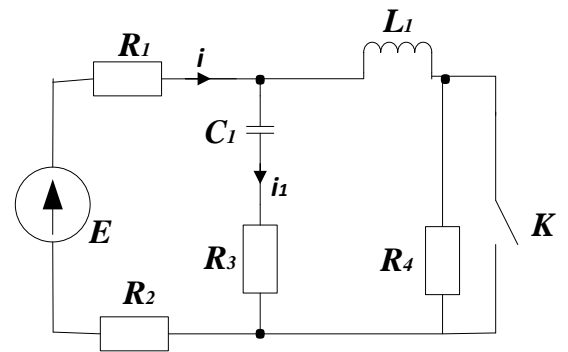


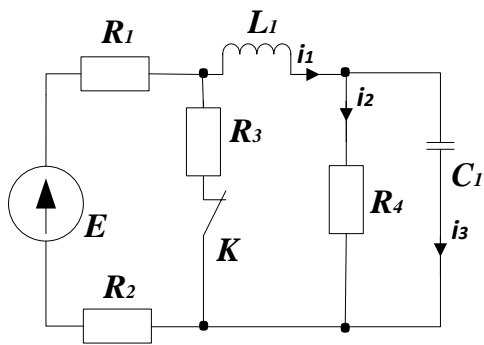
Рис. 4.8



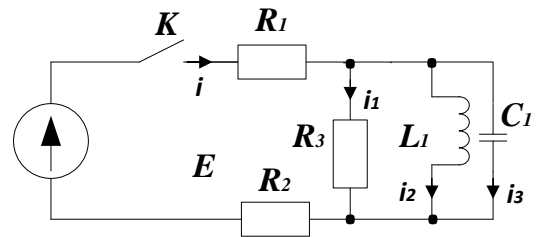
Puc. 4.9



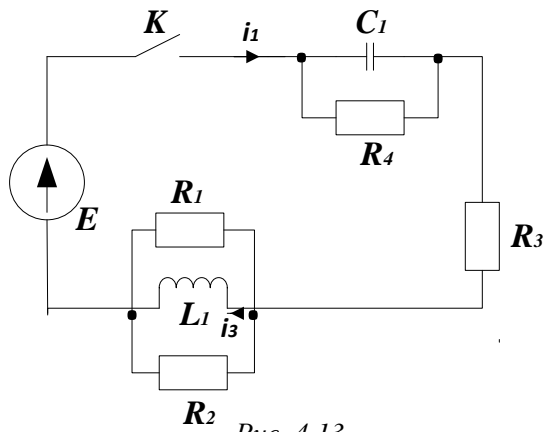
Puc. 4.10



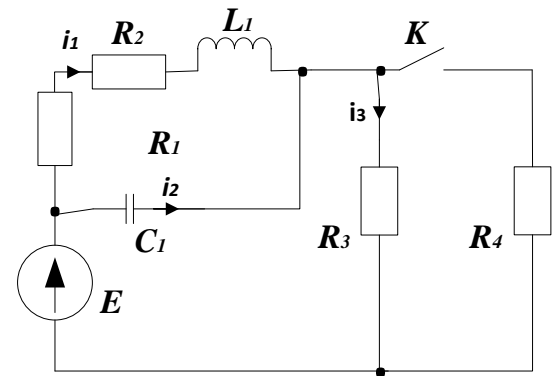
Puc. 4.11



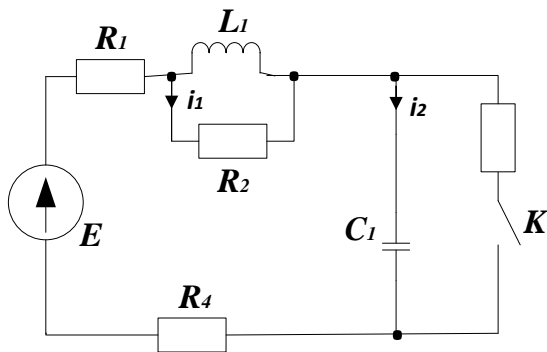
Puc. 4.12



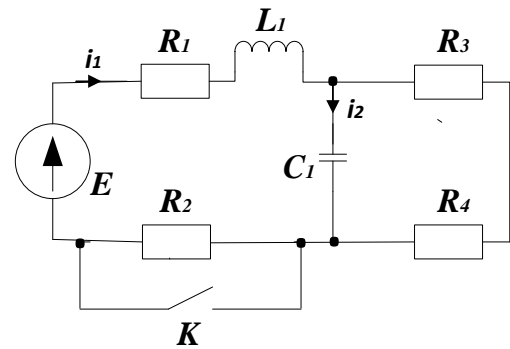
Puc. 4.13



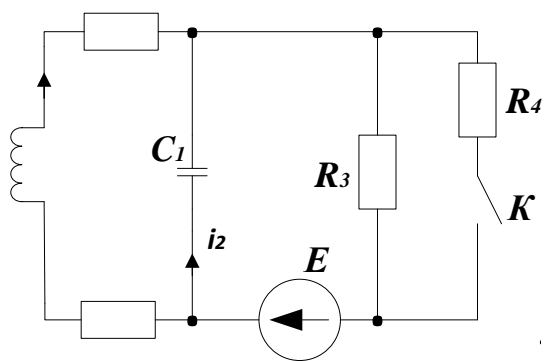
Puc. 4.14



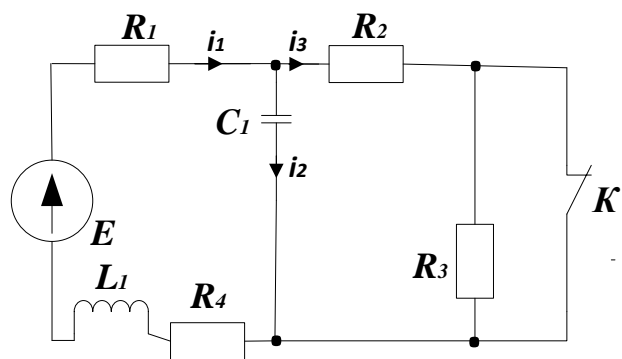
Puc. 4.15



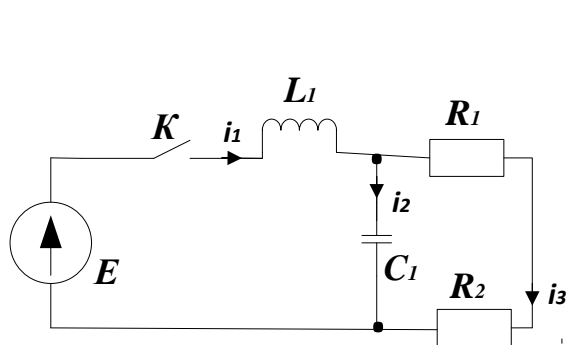
Puc. 4.16



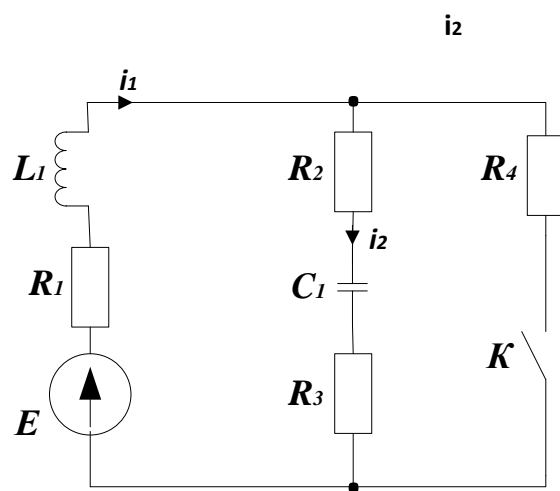
Puc. 4.17



Puc. 4.18



Puc. 4.19

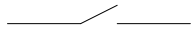


Puc. 4.20

Полезные формулы при решении задания 4

4.I Классическим методом

4.8 Коммутация:

ключ «нормально разомкнут»  до коммутации $t(0-)$

ключ «нормально замкнут»  до коммутации $t(0-)$

4.9 законы коммутации: 1й закон: $i_L(0-) = i_L(0+)$

2й закон $u_C(0-) = u_C(0+)$

4.10 Решение ОДУ: для одного корня - $f_{CB}(t) = A \cdot e^{p \cdot t}$

для двух корней - $f_{CB}(t) = A_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + A_2 \cdot e^{p_2 \cdot t}$

для трех корней - $f_{CB}(t) = A_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + A_2 \cdot e^{p_2 \cdot t} + A_3 \cdot e^{p_3 \cdot t}$

4.11 Производная от свободной составляющей в момент коммутации $t=0$:

для двух корней: $f'_{CB}(0) = A_1 \cdot p_1 + A_2 \cdot p_1$

для трёх корней: $f'_{CB}(0) = A_1 \cdot p_1 + A_2 \cdot p_1 + A_3 \cdot p_3$

4.12 Уравнение для полного тока (напряжения) в переходном процессе:

$$i_{\Pi}(t) = i_{\Pi p}(t) + i_{CB}(t); \text{ при } t = 0 \quad i_{\Pi}(0) = i_{\Pi p}(0) + i_{CB}(0);$$

4.13 Производная от полного тока (напряжения) в переходном процессе:

$$i'_{\Pi}(t) = i'_{\Pi p}(t) + i'_{CB}(t) = i'_{CB}(t), \text{ при } t = 0 \quad i'_{\Pi}(0) = i'_{CB}(0);$$

4.14 Напряжение (падение напряжения) на индуктивности при действии синусоидального тока: $u_L(t) = L \cdot \frac{di_L}{dt}$

4.15 Напряжение и ток на ёмкости при действии синусоидального тока:

$$u_C(t) = \frac{1}{C} \cdot \int i_C(t) \cdot dt, \text{ при дифференцировании } i_C(t) = C \cdot \frac{du_C}{dt}$$

4.II Операторным методом

4.16 Преобразование Лапласа $F(p) = \int_0^{\infty} f(t) \cdot dt$, где $f(t)$ – оригинал сигнала, $F(p)$ – его операторное изображение; сам оператор $p = j \cdot \omega$

4.17 Соответствия (оригинал-изображение) для наиболее употребляемых функций: $A \doteq \frac{A}{p}$; $A \cdot e^{at} = \frac{A}{p-a}$; $A \cdot e^{-at} = \frac{A}{p+a}$; $t \doteq \frac{1}{p^2}$; где \doteq знак соответствия, т. е. оригинал преобразуется в изображение по Лапласу (4.16)

4.18 Преобразование оригиналов элементов схемы (до коммутации) в их операторные изображения (после коммутации):

$$E = const \doteq E(p) = E/p; R \doteq Z_R(p) = R; L \doteq Z_L(p) = p \cdot L + L \cdot i(0);$$

$$C \doteq Z_C(p) = 1/p \cdot C + U_C(0)/p; \text{ где } L \cdot i(0), U_C(0)/p - \text{внутренние ЭДС,}$$

учитывающие накопленную до коммутации энергию в индуктивности и ёмкости.

4.19 Формула разложения (используется при обратном переходе от изображений к оригиналам) :

$$i(t) = \sum_{k=1}^m \frac{N(p_k)}{M'(p_k)} \cdot e^{p_k \cdot t}, \text{ где } p_k - \text{корни } M(p) = 0, \text{ которые соответствуют}$$

корням характеристического уравнения в классическом методе