

Составитель С.А. Миленина
Редактор В.А. Алехин

В части второй данной работы приведены задания, рекомендуемые студентам при освоении главных методов расчета переходных процессов в линейных цепях.

Задания выполнялись студентами факультета кибернетики (специальность 220200) в течение трех учебных семестров.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Московского государственного института радиотехники, электроники и автоматики (технического университета).

Рецензенты: А.Ф. Котов, Н.Г. Анищенко

© Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет), 2003

Литературный редактор Н.К. Костыгина

Подписано в печать 09.09.2003г. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л.2,79. Усл. кр. – отт.11,16 . Уч.-изд.л.3,0.
Тираж 500 С 659

Московский государственный институт радиотехники,
электроники и автоматики (технический университет)
119454, Москва, просп. Вернадского, 78

Задание № 3-1
Расчет переходного процесса в цепи первого порядка

Для предлагаемой цепи, пользуясь классическим методом, получить требуемую зависимость $X(t)$ в послекоммутационном режиме.

При этом принять: а) интенсивности всех источников постоянными; б) режим до коммутации установившимся; в) коммутация происходит в момент $t = 0$.

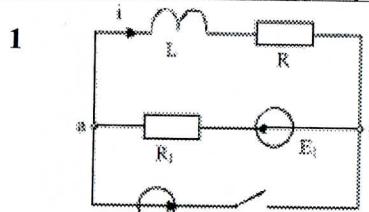
Номер схемы, искомая величина $X(t)$ и вид коммутации (замыкание или размыкание ключа) заданы в таблице к расчету соответственно номеру варианта.

В графике: Вид коммутации приняты обозначения
зам – ключ замыкается
раз – ключ размыкается

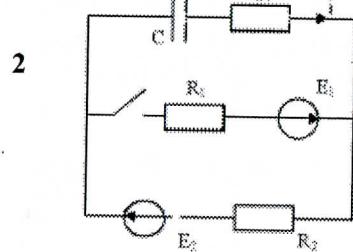
Для всех вариантов, помеченных в таблице знаком *), рекомендуется при расчете установившегося режима до или после коммутации воспользоваться методом эквивалентного генератора (см. пример №2).

Вариант	№ схемы	Вид коммутации	Искомая величина	Вариант	№ схемы	Вид коммутации	Искомая величина
1	1	Зам	i	51	10	Зам	U_c
2	2	Зам	U_c	52	9	Зам	i_L
3	3	Зам	U_{ab}	53	8	Зам	U_c
4	4	Зам	U_c	54	7	Зам	i_L
5	5	Зам	i	55	6	Раз	U_{ab}
6	6	Зам	U_c	56	5	Раз	i
7	7	Раз	i_L	57	4	Раз	U_{ab}
8	8	Раз	U_c	58	42	Раз	U_c
9	9	Раз	i_L	59	2	Раз	U_c
10	10	Раз	U_c	60	1	Раз	U_{ab}
11	11	Раз	i_L	61	40	Раз	U_c
12	12	Раз	U_c	62*	39	Раз	i_L
13	13	Зам	i	63	38	Зам	U
14	14	Зам	U_c	64*	37	Раз	U_{ab}
15*	15	Зам	i_L	65*	36	Зам	U_c
16	16	Раз	i_L	66	35	Зам	i_L
17*	17	Раз	i_L	67	34	Зам	U_c
18	18	Раз	U_c	68*	33	Раз	i
19	19	Зам	i_L	69	32	Зам	U_c
20	20	Раз	U_c	70	31	Раз	i
21	21	Раз	i_L	71	30	Раз	U_c
22	22	Раз	U_c	72	29	Зам	i_L
23*	23	Зам	i	73	28	Раз	U_c
24	24	Раз	U_c	74*	27	Зам	i
25	25	Зам	i	75	26	Зам	U_c

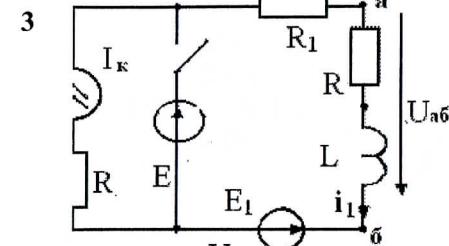
26	26	Раз	Uc	76	25	Раз	i
27*	27	Раз	i	77	24	Зам	Uc
28	28	Зам	Uc	78	5	Зам	Uab
29	29	Раз	i ₁	79	22	Зам	Uc
30	30	Зам	Uc	80	21	Зам	i ₁
31	31	Зам	i	81	9	Зам	i
32	32	Раз	Uc	82	10	Раз	i ₂
33*	33	Зам	i	83	11	Зам	i ₂
34	34	Раз	Uc	84	12	Раз	i ₂
35	35	Раз	i ₁	85	13	Зам	i ₁
36*	36	Раз	Uc	86	14	Раз	I ₃
37*	37	Раз	i _L	87	18	Раз	I ₃
38	38	Раз	Uc	88	21	Зам	I ₃
39*	39	Зам	i _L	89	22	Раз	I ₃
40	40	Зам	Uc	90	29	Раз	i ₂
41	20	Зам	Uc	91	30	Раз	I ₃
42	19	Зам	i ₂	92	34	Раз	i ₁
43	18	Зам	Uc	93	35	Раз	i ₂
44*	17	Зам	i _L	94*	37	Зам	i ₁
45	16	Зам	Uc	95	38	Раз	i ₁
46*	15	Раз	i _L	96	28	Раз	i ₁
47	14	Раз	Uc	97	19	Зам	Uab
48	13	Зам	i	98	14	Зам	I ₃
49	12	Зам	Uc	99	3	Зам	i ₁
50	11	Зам	i _L	100*	41	Зам	i _L



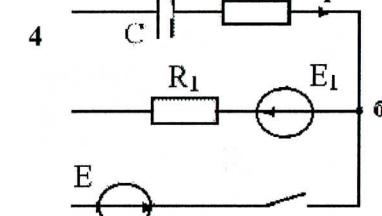
$$\begin{aligned}E &= 250 \text{ В;} \\E_1 &= 300 \text{ В;} \\R_1 &= R = 50 \Omega \text{м} \\L &= 0,025 \text{ Гн}\end{aligned}$$



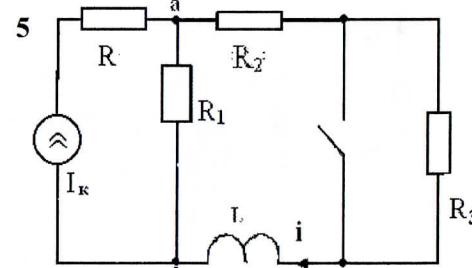
$$\begin{aligned}E_1 &= 300 \text{ В;} \\E_2 &= 200 \text{ В;} \\R_1 &= R_2 = 100 \Omega \text{м} \\R &= 50 \Omega \text{м} \\C &= 2 \mu\text{Ф}\end{aligned}$$



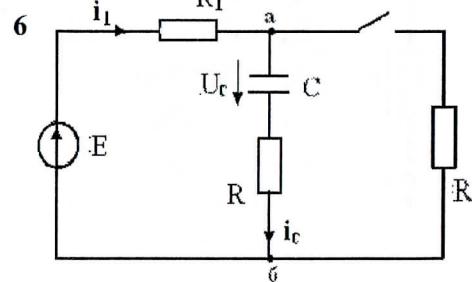
$$\begin{aligned}I_K &= 0,5 \text{ А} \\E_2 &= 250 \text{ В;} \\E &= 150 \text{ В;} \\R_1 &= R = 50 \Omega \text{м} \\L &= 0,01 \text{ Гн}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}E_1 &= 100 \text{ В;} \\E &= 200 \text{ В;} \\R = R_1 &= 50 \Omega \text{м} \\C &= 2 \mu\text{Ф}\end{aligned}$$

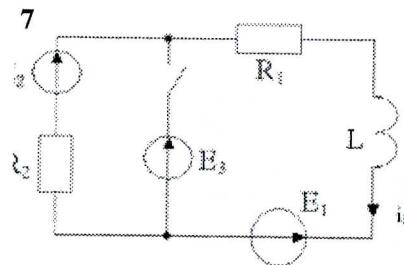


$$\begin{aligned}I_K &= 8 \text{ А} \\R = R_1 &= R_2 = 100 \Omega \text{м} \\R_3 &= 200 \Omega \text{м} \\L &= 0,25 \text{ Гн}\end{aligned}$$

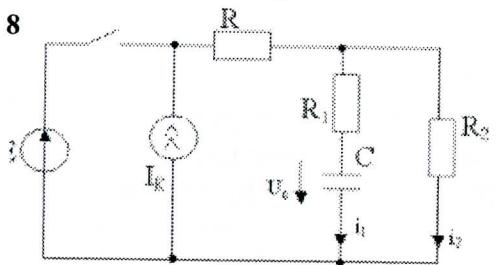


$$\begin{aligned}E &= 400 \text{ В} \\C &= 0,4 \mu\text{Ф} \\R_1 = R_2 &= 100 \Omega \text{м} \\R &= 150 \Omega \text{м}\end{aligned}$$

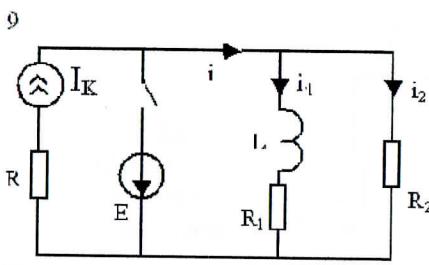
6



$$\begin{aligned}E_1 &= 200 \text{ B;} \\E_2 &= 100 \text{ B;} \\E_3 &= 300 \text{ B;} \\R_1 &= R_2 = 100 \Omega \text{m} \\L &= 0,01 \text{ } \Gamma \text{H}\end{aligned}$$

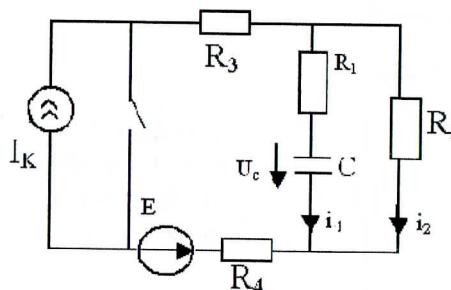


$$\begin{aligned}I_K &= 0,1 \text{ A;} \\E &= 240 \text{ B;} \\R = R_2 &= 800 \Omega \text{m} \\R_1 &= 200 \Omega \text{m} \\C &= \frac{1}{3} \text{ mK} \Phi\end{aligned}$$



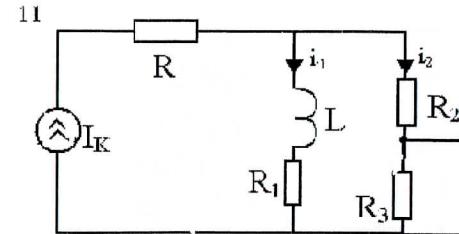
$$\begin{aligned}I_K &= 4 \text{ A;} \\E &= 200 \text{ B;} \\R = R_1 &= R_2 = 200 \Omega \text{m} \\L &= 0,01 \text{ } \Gamma \text{H}\end{aligned}$$

10

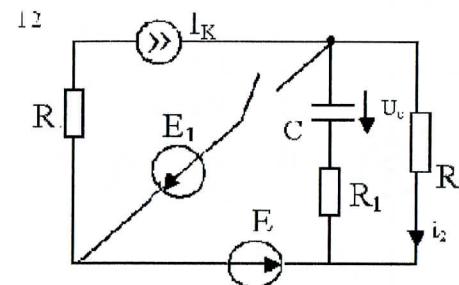


$$\begin{aligned}I_K &= 1 \text{ A;} \\R_3 = R_4 &= 100 \Omega \text{m;} \\R_2 &= 300 \Omega \text{m;} \\R_1 &= 60 \Omega \text{m;} \\C &= \left(\frac{1}{9}\right) \text{ mK} \Phi\end{aligned}$$

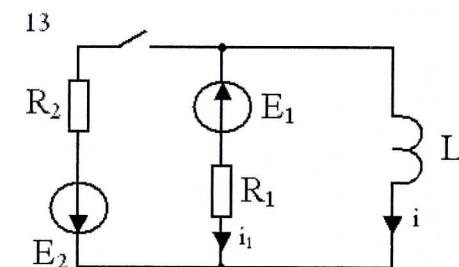
7



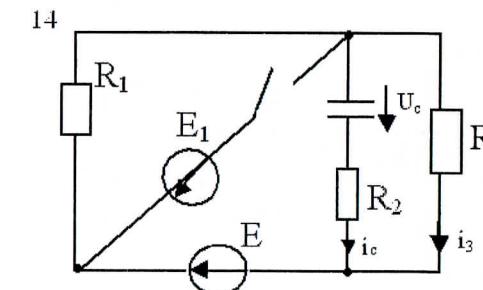
$$\begin{aligned}I_K &= 4 \text{ A;} \\R = R_1 &= R_2 = 100 \Omega \text{m} \\R_3 &= 300 \Omega \text{m} \\L &= 0,01 \text{ } \Gamma \text{H}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}I_K &= 0,5 \text{ A;} \\E = E_1 &= 100 \text{ B;} \\R = R_1 &= R_2 = 200 \Omega \text{m} \\C &= 0,01 \text{ mK} \Phi\end{aligned}$$



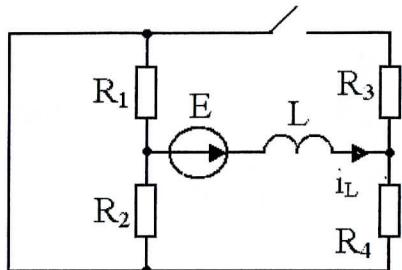
$$\begin{aligned}E_1 = E_2 &= 600 \text{ B;} \\R_1 &= 300 \Omega \text{m} \\R_2 &= 150 \Omega \text{m} \\L &= 0,02 \text{ } \Gamma \text{H}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}E &= 240 \text{ B;} \\E_1 &= 120 \text{ B;} \\R_1 = R_3 &= 160 \Omega \text{m} \\R_2 &= 40 \Omega \text{m} \\C &= \frac{2}{3} \text{ mK} \Phi\end{aligned}$$

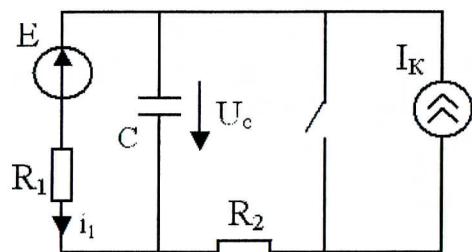
8

15



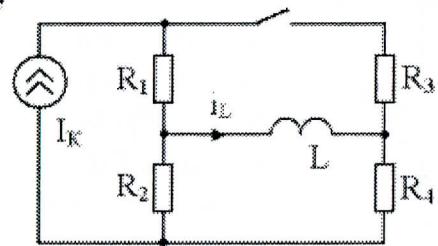
$$\begin{aligned}E &= 360 \text{ V} \\R_1 &= R_2 = R_3 = \\&= R_4 = 120 \Omega \\L &= 0,12 \text{ H}\end{aligned}$$

16



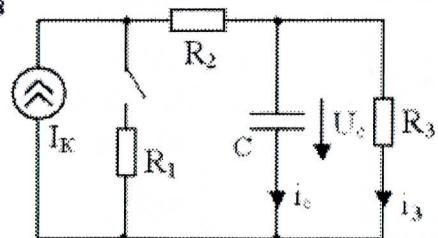
$$\begin{aligned}I_K &= 1 \text{ A} \\E &= 200 \text{ V} \\R_1 &= R_2 = 200 \Omega \\C &= 0,2 \mu\text{F}\end{aligned}$$

17



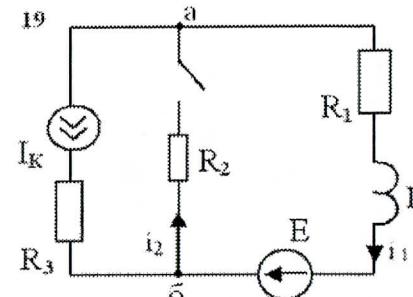
$$\begin{aligned}I_K &= 2 \text{ A} \\R_1 &= R_2 = R_4 = 100 \Omega \\R_3 &= 300 \Omega \\L &= 0,15 \text{ H}\end{aligned}$$

18



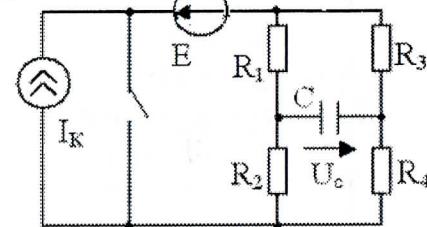
$$\begin{aligned}I_K &= 4 \text{ A} \\R_1 &= 200 \Omega \\R_2 &= R_3 = 100 \Omega \\C &= 4 \mu\text{F}\end{aligned}$$

9



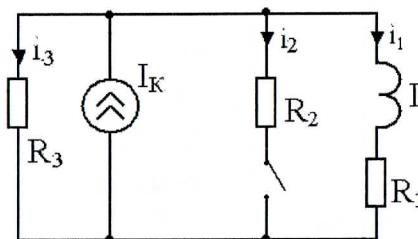
$$\begin{aligned}I_K &= 1 \text{ A} \\E &= 200 \text{ V} \\R_1 &= R_2 = R_3 = 50 \Omega \\L &= 0,02 \text{ H}\end{aligned}$$

20



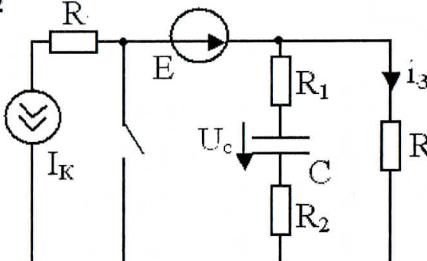
$$\begin{aligned}I_K &= 5 \text{ A} \\R_1 &= R_2 = R_4 = 50 \Omega \\R_3 &= 350 \Omega \\E &= 200 \text{ V} \\C &= 2,5 \mu\text{F}\end{aligned}$$

21



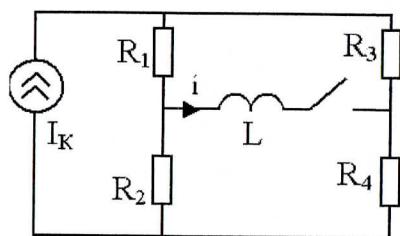
$$\begin{aligned}I_K &= 12 \text{ A} \\R_1 &= R_2 = R_3 = 120 \Omega \\L &= 0,09 \text{ H}\end{aligned}$$

22



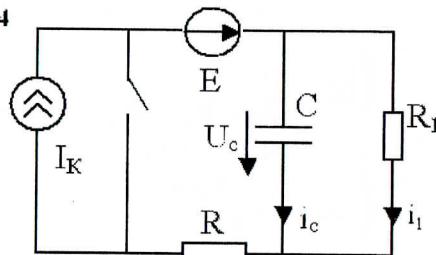
$$\begin{aligned}I_K &= 0,5 \text{ A} \\E &= 300 \text{ V} \\R_1 &= R_2 = 100 \Omega \\R_3 &= 300 \Omega \\C &= 0,2 \mu\text{F}\end{aligned}$$

23



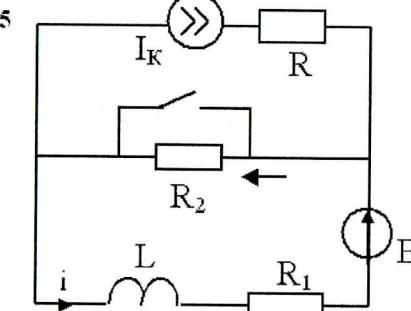
$$\begin{aligned}I_K &= 9 \text{ A} \\R_1 &= R_2 = R_4 = 200 \Omega \\R_3 &= 300 \Omega \\L &= 1/9 \text{ } \Gamma\text{H}\end{aligned}$$

24



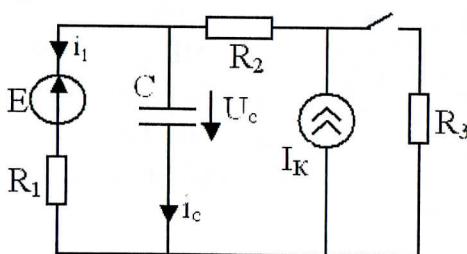
$$\begin{aligned}I_K &= 0,5 \text{ A} \\E &= 80 \text{ B} \\R = R_1 &= 40 \Omega \\C &= 50 \mu\text{K}\Phi\end{aligned}$$

25



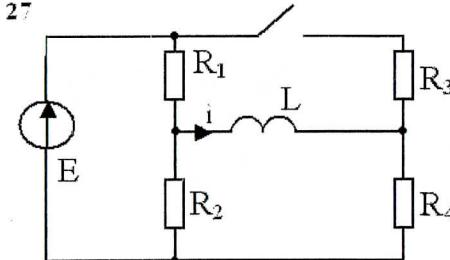
$$\begin{aligned}R = R_1 = R_2 &= 200 \Omega \\I_K &= 1 \text{ A} \\E &= 200 \text{ B} \\L &= 0,05 \text{ } \Gamma\text{H}\end{aligned}$$

26



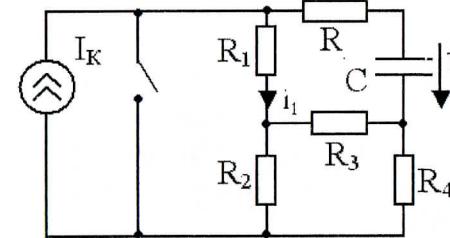
$$\begin{aligned}I_K &= 2 \text{ A} \\E &= 80 \text{ B} \\R_3 &= 100 \Omega \\R_1 = R_2 &= 50 \Omega \\C &= 0,1 \mu\text{K}\Phi\end{aligned}$$

27



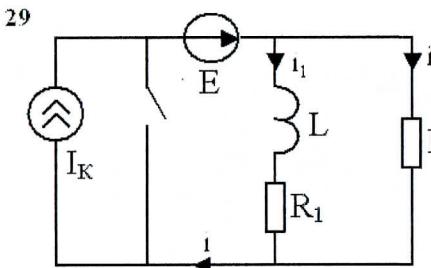
$$\begin{aligned}E &= 400 \text{ B} \\R_1 = R_2 = R_4 &= 100 \Omega \\R_3 &= 300 \Omega \\L &= 0,15 \text{ } \Gamma\text{H}\end{aligned}$$

28



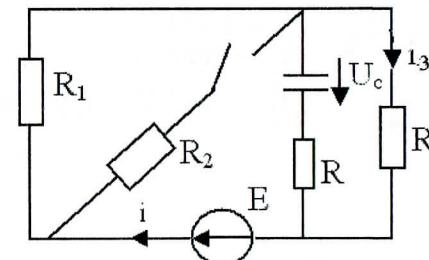
$$\begin{aligned}I_K &= 1 \text{ A} \\R_1 = R_2 &= 100 \Omega \\R_3 = R_4 = R &= 50 \Omega \\C &= 0,5 \mu\text{K}\Phi\end{aligned}$$

29

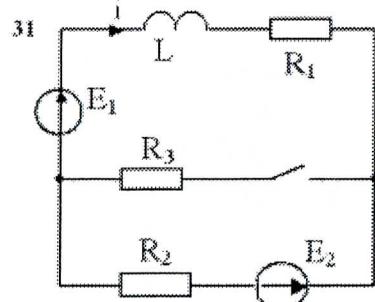


$$\begin{aligned}I_K &= 10 \text{ A} \\E &= 100 \text{ B} \\R_1 &= 100 \Omega \\R_2 &= 400 \Omega \\L &= 0,2 \text{ } \Gamma\text{H}\end{aligned}$$

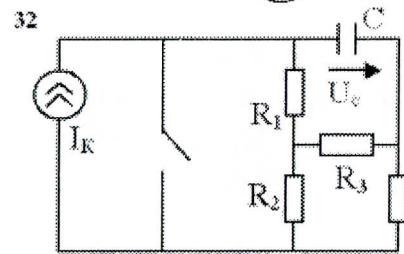
30



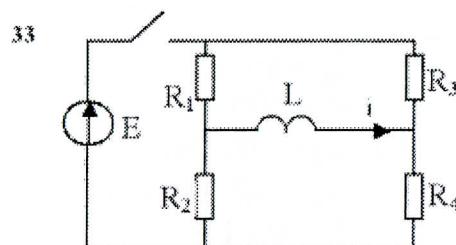
$$\begin{aligned}E &= 240 \text{ B} \\R_1 = R_2 &= 80 \Omega \\R_3 = R &= 40 \Omega \\C &= \frac{1}{3} \mu\text{K}\Phi\end{aligned}$$



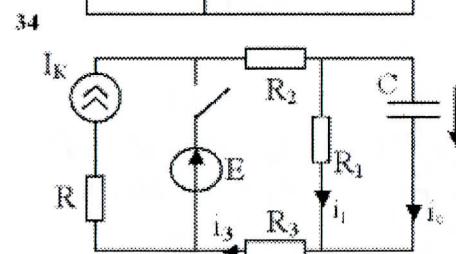
$R_1 = R_2 = R_3 = 12 \Omega$
 $E_1 = 36 \text{ В}$
 $E_2 = 108 \text{ В}$
 $L = 0,018 \text{ Гн}$



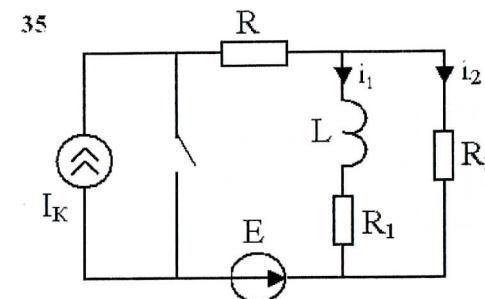
$I_K = 0,2 \text{ А}$
 $R_3 = R_4 = 100 \Omega$
 $R_1 = R_2 = 200 \Omega$
 $C = 0,25 \text{ мкФ}$



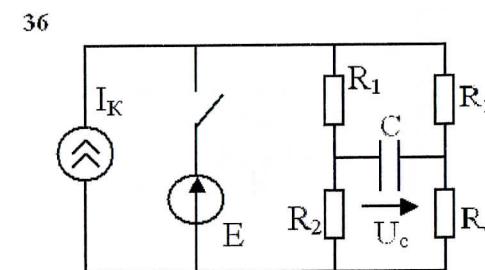
$E = 320 \text{ В}$
 $R_1 = R_2 = R_4 = 200 \Omega$
 $R_3 = 600 \Omega$
 $L = 0,03 \text{ Гн}$



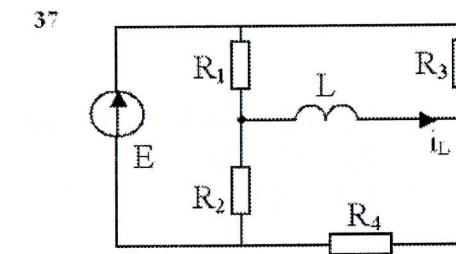
$I_K = 0,2 \text{ А}$
 $E = 100 \text{ В}$
 $R_1 = 200 \Omega$
 $R_2 = R_3 = R = 100 \Omega$
 $C = 0,1 \text{ мкФ}$



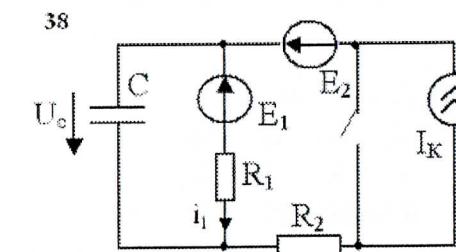
$I_K = 5 \text{ А}$
 $E = 500 \text{ В}$
 $R_1 = 400 \Omega$
 $R_2 = 100 \Omega$
 $R = 20 \Omega$
 $L = 0,2 \text{ Гн}$



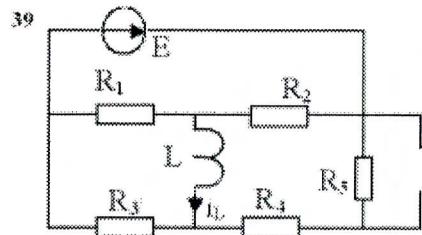
$I_K = 9 \text{ А}$
 $E = 200 \text{ В}$
 $R_1 = R_2 = R_4 = 50 \Omega$
 $R_3 = 150 \Omega$
 $C = 0,4 \text{ мкФ}$



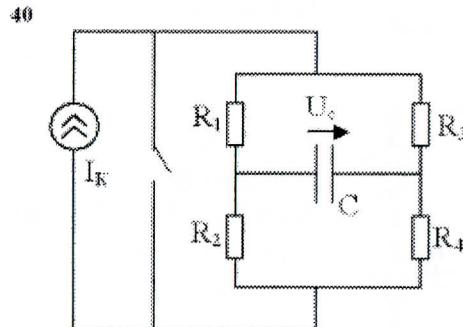
$E = 240 \text{ В}$
 $R_1 = R_2 = R_3 = 40 \Omega$
 $R_4 = 120 \Omega$
 $L = 0,06 \text{ Гн}$



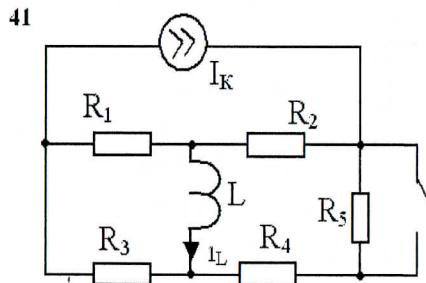
$I_K = 2 \text{ А}$
 $E_1 = 100 \text{ В}$
 $E_2 = 400 \text{ В}$
 $R_1 = R_2 = 100 \Omega$
 $C = 0,2 \text{ мкФ}$



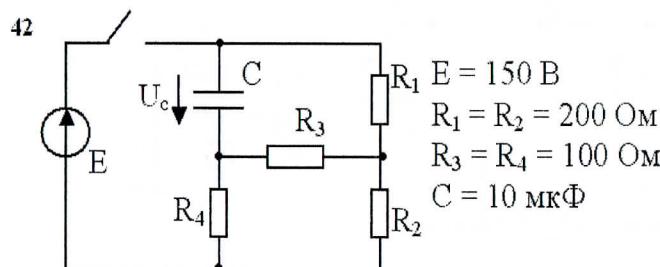
$E = 150 \text{ В}$
 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 100 \Omega$
 $R_5 = 300 \Omega$
 $L = 0,01 \text{ Гн}$



$I_K = 6 \text{ А}$
 $R_1 = R_2 = R_4 = 80 \Omega$
 $R_3 = 240 \Omega$
 $C = 1 \text{ мкФ}$

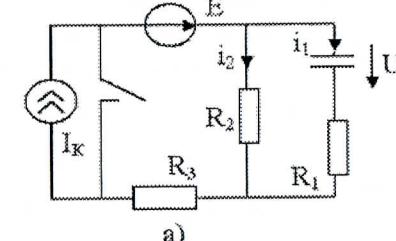


$I_K = 0,8 \text{ А}$
 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 100 \Omega$
 $R_5 = 200 \Omega$
 $L = 0,03 \text{ Гн}$

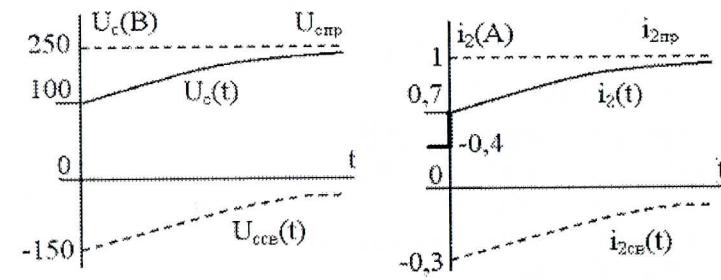


$E = 150 \text{ В}$
 $R_1 = R_2 = 200 \Omega$
 $R_3 = R_4 = 100 \Omega$
 $C = 10 \text{ мкФ}$

ПРИМЕР 1



a)



б)

в)

Рис. 1

Дано: в цепи рис.1,а $R_1 = R_2 = R_3 = 250 \Omega$,
 $C = 0,4 \cdot 10^{-6} \Phi$; $E = \text{const} = 200 \text{ В}$; $I_k = \text{const} = 1 \text{ А}$.

Определить: $U_c(t)$ и $i_2(t)$ после размыкания ключа в момент $t = 0$.

РЕШЕНИЕ

1. До коммутации (ключ замкнут).

В установившемся режиме под действием постоянного источника э.д.с. ток через конденсатор не течет, поэтому

$$i_1(0_-) = 0; \quad i_2(0_-) = i_3(0_-) = E/(R_1 + R_3);$$

$$U_c(0_-) = i_2(0_-) \cdot R_2 = \frac{200 \cdot 250}{250 + 250} = 100 \text{ В}.$$

2. Новый установившийся режим – принужденный (теоретически для $t \rightarrow \infty$).

$$i_{2\text{np}} = I_k = 1 \text{ А}; \quad U_{c\text{np}} = i_{2\text{np}} \cdot R_2 = 250 \text{ В}.$$

3. Характеристическое уравнение записываем по комплексному входному сопротивлению относительно емкостной ветви послекоммутационной цепи (с учетом бесконечно большого внутреннего сопротивления источника тока):

$$Z(p) = \frac{1}{Cp} + R_1 + R_2 = 0.$$

$$\text{Его решение } p = -\frac{1}{(R_1 + R_2)C} = \frac{10^6}{500 \cdot 0,4} = -5000 \left(\frac{1}{c} \right)$$

позволяет записать в общем виде свободные составляющие искомых функций:

$$U_{c\text{ cb}}(t) = Ae^{pt} = Ae^{-5000t} B,$$

$$i_{2\text{ cb}}(t) = Be^{pt} = Be^{-5000t} A.$$

4. Расчет постоянных А и В

$$\begin{cases} U_c(t) = U_{c\text{ спр}} + U_{c\text{ cb}} = 250 + Ae^{pt} \\ i_2(t) = i_{2\text{ спр}} + i_{2\text{ cb}} = 1 + Be^{pt}. \end{cases}$$

Для первого мгновения после коммутации:

$$\begin{cases} U_c(0_+) = 250 + A, \\ i_2(0_+) = 1 + B. \end{cases}$$

Начальные значения $U_c(0_+)$ и $i_2(0_+)$ находим из физических соображений, учитывая 2^{ой} закон коммутации

$$U_c(0_+) = U_c(0_-) = 100 \text{ В}$$

и законы Кирхгофа для $t = 0_+$:

$$\begin{cases} i_2(0_+) + i_1(0_+) = I_k, \\ U_c(0_+) + i_1(0_+) \cdot R_1 - i_2(0_+) R_2 = 0. \end{cases}$$

Решаем эти уравнения относительно $i_2(0_+)$,

$$i_2(0_+) = \frac{U_c(0_+) + I_k \cdot R_1}{R_1 + R_2} = 0,7 \text{ А.}$$

Итак, для постоянных имеем уравнения:

$$\begin{cases} U_c(0_+) = 250 + A = U_c(0_-) = 100; \\ i_2(0_+) = 1 + B = 0,7. \end{cases} \quad \left. \begin{array}{l} \text{Из них } A = -150, \\ B = -0,3 \end{array} \right\}$$

Искомые зависимости:

$$U_c(t) = 250 - 150 e^{-5000t} \text{ В.}$$

$$i_2(t) = 1 - 0,3 e^{-5000t} \text{ А.}$$

Их графики построены на рис.1,б и рис.1,в.

ПРИМЕР 2

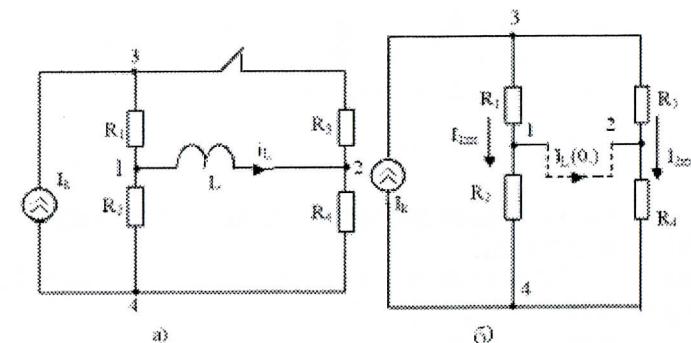


Рис. 2

Дано: в цепи рис.2,а $R_1 = R_2 = R_4 = 30 \text{ Ом}$; $R_3 = 60 \text{ Ом}$; $I_k = 15 \text{ А}$, $L = 0,06 \text{ Гн}$.
Определить: $i_L(t)$ после размыкания ключа в момент $t = 0$.

РЕШЕНИЕ

1. Расчет установившегося режима до коммутации (ключ замкнут)

Так как $I_k = \text{const}$, докоммутационные токи постоянны, индуктивность эквивалентна короткозамыкающей перемычке (рис.2,б) с током $i_L(0_+)$.

Для расчета $i_L(0_+)$ воспользуемся методом эквивалентного генератора, рассматривая индуктивную ветвь как нагрузку активного 2^х-полюсника с внешними зажимами “1” и “2” (рис.2,б).

При обрыве индуктивной ветви на рис.2,б (R_1, R_2) и (R_3, R_4) параллельно последовательны, токи I_{1xx} и I_{2xx} находим по формуле разброса:

$$I_{1xx} = I_k \cdot \frac{(R_3 + R_4)}{(R_1 + R_2) + (R_3 + R_4)} = 15 \cdot \frac{90}{150} = 9(A);$$

$$I_{2xx} = I_k - I_{1xx} = 6(A).$$

Пусть $\varphi_4 = 0$, тогда для режима холостого хода цепи рис.2,б

$$\begin{cases} \varphi_{1xx} = \varphi_4 + I_{1xx} \cdot R_2 = 9 \cdot 30 = 270B, \\ \varphi_{2xx} = \varphi_4 + I_{2xx} \cdot R_4 = 6 \cdot 30 = 180B, \end{cases}$$

$$U_{xx12} = \varphi_{1xx} - \varphi_{2xx} = 270 - 180 = 90B.$$

Входное сопротивление активного 2^х-полюсника относительно зажимов “1” и “2” записываем, учитывая бесконечно большое

внутреннее сопротивление источника тока (обрываем ветвь с I_k):

$$R_{\text{длq2}} = \frac{(R_1 + R_3) \cdot (R_2 + R_4)}{(R_1 + R_3) + (R_2 + R_4)} = \frac{90 \cdot 60}{90 + 60} = 36 \text{ Ом.}$$

Ток в индуктивной ветви рис.2,б

$$i_L(0) = \frac{U_{xx_{12}}}{R_{\text{длq2}}} = \frac{90}{36} = 2,5 \text{ A.}$$

2. Расчет принужденного режима (нового установившегося; ключ разомкнут)

При $t \rightarrow \infty$ справедлива схема рис. 3,а. Так как $R_2 = R_4$, то в цепи рис. 3,а $i_{L\text{пр}} = i_{2\text{пр}} = i_k/2 = 7,5 \text{ A}$.

3. Характеристическое уравнение (по комплексному входному сопротивлению относительно индуктивной ветви схемы рис.2,а при разомкнутом ключе) имеет вид:

$$Z(\delta) = L\delta + R_2 + R_4 = 0; p = -\frac{R_2 + R_4}{L} = -\frac{60}{0,06} = -1000 \left(\frac{1}{c} \right).$$

При одном корне общий вид свободной составляющей индуктивного тока

$$i_{L\text{cb}}(t) = Ae^{\rho t} = Ae^{-1000t}.$$

4. Расчет постоянной А

$$i_L(t) = i_{L\text{пр}} + i_{L\text{cb}} = 7,5 + Ae^{-1000t};$$

$$i_L(0+) = 7,5 + A = i_L(0-) = 2,5 \text{ A} \text{ (по 1-му закону коммутации).}$$

Следовательно, $A = -5$, тогда искомая зависимость равна

$$i_L(t) = 7,5 - 5e^{-1000t} \text{ A.}$$

График функции $i_L(t)$ приведен на рис.3,б.

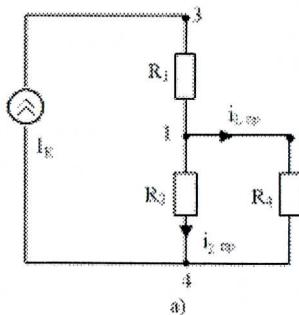
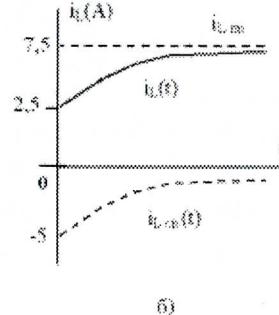


Рис.3



Задание №3-2

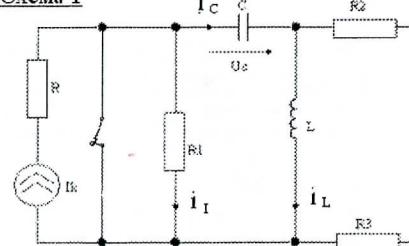
Расчет переходного процесса в цепи второго порядка

Для заданной цепи, пользуясь классическим методом, определить зависимость от времени требуемой (согласно номеру варианта) величины $X(t)$ в переходном режиме. Построить график найденной функции $X(t)$. Считать, что коммутация происходит в момент $t=0$, ключ изображен в докоммутационном состоянии.

Вариант	№ схемы	Искомая величина	Вариант	№ схемы	Искомая величина	Вариант	№ схемы	Искомая величина
1	1	i_L	41	21	i_L	81	20	i_c
2	2	i_L	42	39	U_c	82	19	U_c
3	3	i_L	43	38	i_c	83	18	$iR3$
4	4	U_c	44	37	U_c	84	17	iL
5	5	i_c	45	36	$iR1$	85	16	U_c
6	6	i_L	46	35	U_c	86	15	U_c
7	7	U_c	47	34	iL	87	14	$iR1$
8	8	iL	48	33	$iR3$	88	13	$iR1$
9	9	iL	49	32	U_c	89	12	i_c
10	10	U_c	50	31	U_c	90	11	i_c
11	11	iL	51	30	iL	91	10	i_c
12	12	iL	52	29	i_c	92	9	U_c
13	13	U_c	53	28	U_c	93	8	i_c
14	14	U_c	54	27	iL	94	7	i_c
15	15	iL	55	26	U_c	95	6	U_c
16	16	i_c	56	25	iL	96	5	iL
17	17	U_c	57	24	iL	97	4	iL
18	18	iL	58	23	$iR3$	98	3	i_c
19	19	i_c	59	22	U_c	99	2	U_c
20	20	iL	60	40	$UR1$	100	1	i_c
21	21	U_c	61	20	U_c	101	25	iE
22	22	iL	62	19	iL	102	26	i_c
23	23	iL	63	18	U_c	103	27	i_c
24	24	i_c	64	17	i_c	104	30	i_c
25	25	U_c	65	16	iL	105	40	UL
26	26	iL	66	15	U_c	106	39	$iR2$
27	27	U_c	67	14	iL	107	38	U_c
28	28	iL	68	13	iL	108	37	i_c
29	29	iL	69	12	U_c	109	36	iL
30	30	U_c	70	11	U_c	110	35	UL
31	31	iL	71	10	iL	111	34	i_c
32	32	iL	72	9	i_c	112	33	U_c
33	33	iL	73	8	U_c	113	32	i_c
34	34	U_c	74	7	iL	114	31	i_c
35	35	$UR3$	75	6	i_c	115	29	U_c
36	36	UL	76	5	U_c	116	28	$iR3$
37	37	$UR2$	77	4	$iR2$	117	24	U_c

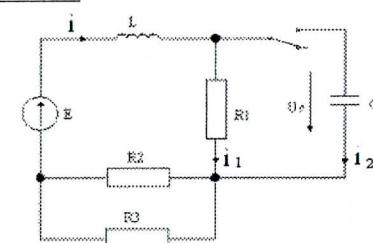
38	38	UR3	78	3	Uc	118	23	Uc
39	39	iL	79	2	ic	119	22	ic
40	40	Uc	80	1	Uc	120	21	ic

Схема 1



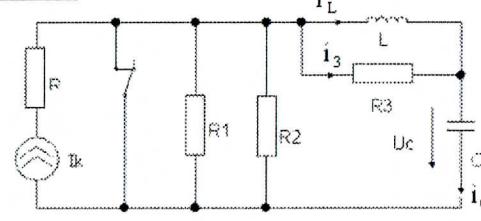
Ik	0,4A
C	100мкФ
L	20мГн
R1	40Ом
R2	15Ом
R3	5Ом
R	10Ом

Схема 2



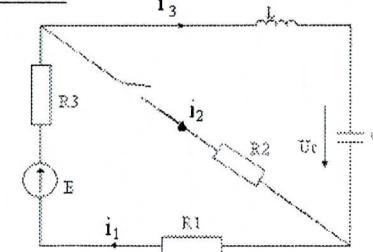
E	10В
L	20мГн
C	100мкФ
R1	200Ом
R2	120Ом
R3	60Ом

Схема 3



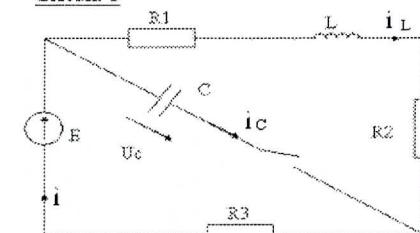
Ik	0,4A
C	100мкФ
L	20мГн
R1	60Ом
R2	12Ом
R3	5Ом
R	15Ом

Схема 4



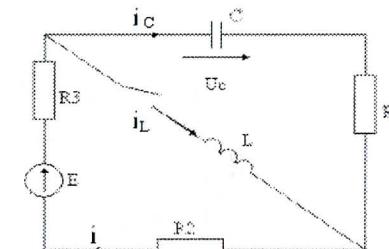
E	10В
L	20мГн
C	100мкФ
R1	50Ом
R2	60Ом
R3	10Ом

Схема 5



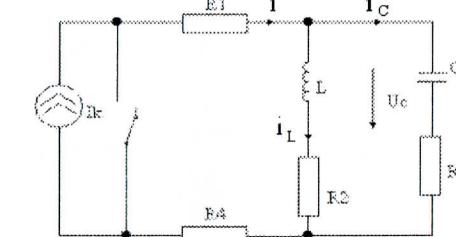
E	10В
L	20мГн
C	100мкФ
R1	40Ом
R2	10Ом
R3	40Ом

Схема 6



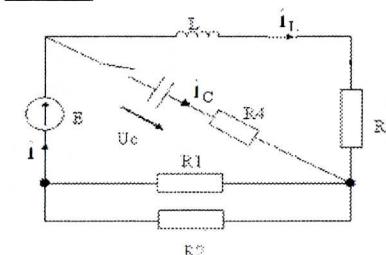
E	10В
L	20мГн
C	100мкФ
R1	50Ом
R2	15Ом
R3	25Ом

Схема 7



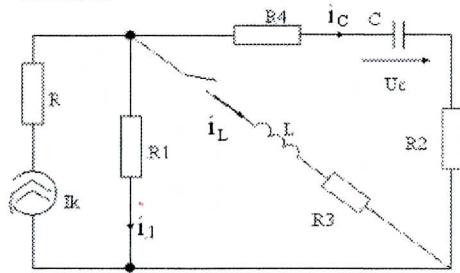
Ik	0,4А
C	100мкФ
L	20мГн
R1	40Ом
R2	9Ом
R3	20Ом
R4	40Ом

Схема 8



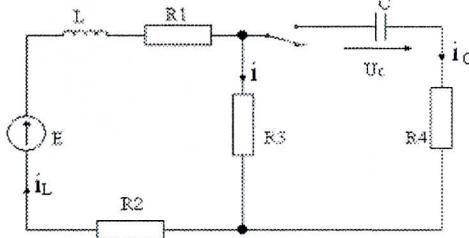
E	10В
C	100мкФ
L	20мГн
R1	240Ом
R2	120Ом
R3	20Ом
R4	20Ом

Схема 9



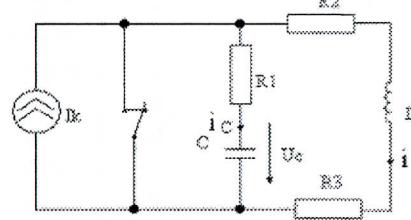
I _k	0,8A
L	24мГн
C	120мкФ
R ₁	80Ом
R ₂	2Ом
R ₃	9Ом
R ₄	18Ом
R	10Ом

Схема 10



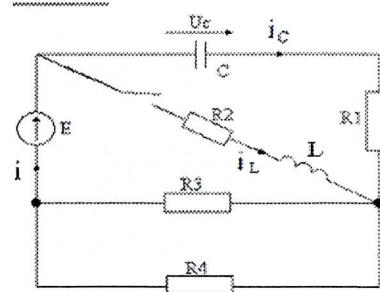
L	20мГн
C	100мкФ
R ₁	10 Ом
R ₂ =R ₃ =R ₄	20Ом
E	10В

Схема 11



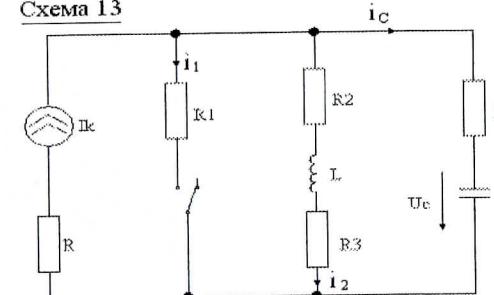
I _k	0,4A
L	20мГн
C	100мкФ
R ₁	10 Ом
R ₂	20Ом
R ₃	5Ом

Схема 12



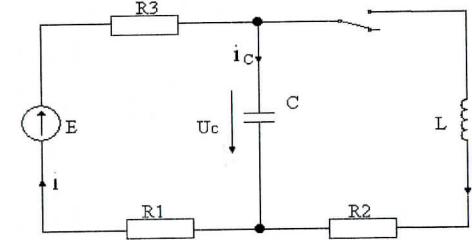
E	10В
C	100мкФ
L	20мГн
R ₁	10 Ом
R ₂	20Ом
R ₃	90Ом
R ₄	72Ом

Схема 13



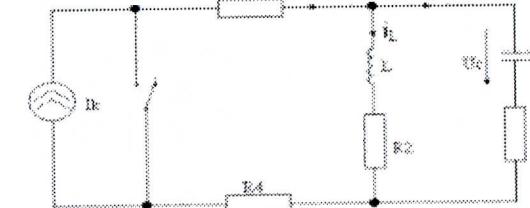
I _k	0,4A
R=R ₄	20Ом
R ₁	40Ом
R ₂	8Ом
R ₃	4Ом
L	20мГн
C	100мкФ

Схема 14



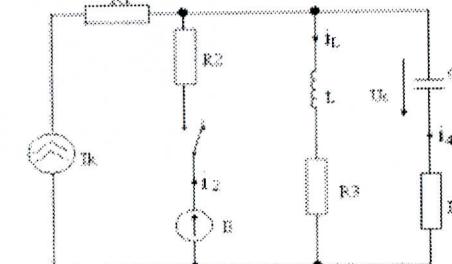
E	10В
L	20мГн
C	100мкФ
R ₁	30Ом
R ₂	40Ом
R ₃	10Ом

Схема 15



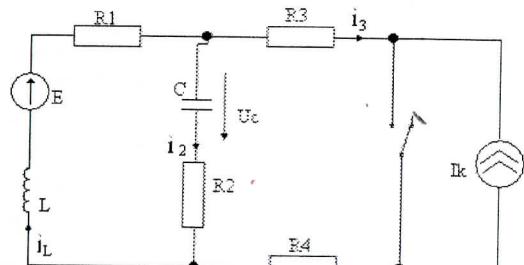
I _k	0,4A
R ₄	700Ом
R ₁	100Ом
R ₂	9Ом
R ₃	200Ом
L	20мГн
C	100мкФ

Схема 16



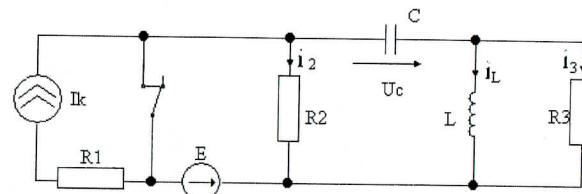
I _k	5,2A
E	104В
R ₁ =R ₂	400Ом
R ₃	120Ом
R ₄	200Ом
L	0,04Гн
C	200мкФ

Схема 17



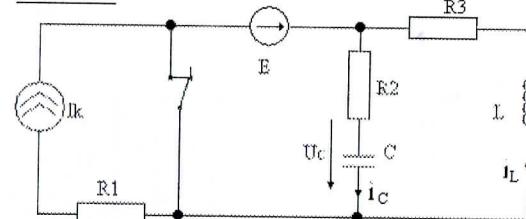
I_k	2A
L	0,1Гн
C	500мкФ
R_1	9Ом
R_2	20Ом
R_3	50Ом
R_4	300Ом
E	178В

Схема 18



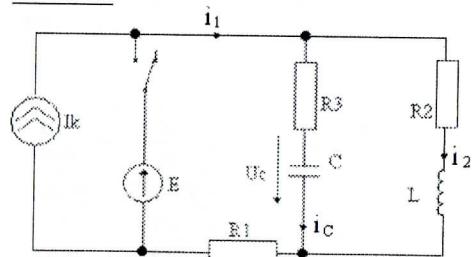
I_k	1A
L	0,01Гн
C	50мкФ
$R_1=R_2$	10Ом
R_3	5Ом
E	10В

Схема 19



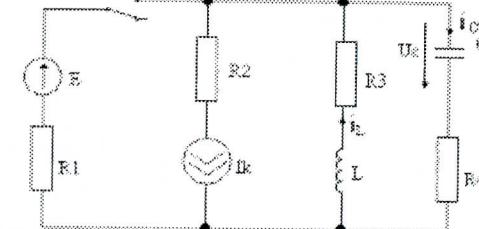
I_k	1A
L	0,01Гн
C	50мкФ
$R_1=R_2$	10Ом
R_3	25Ом
E	10В

Схема 20



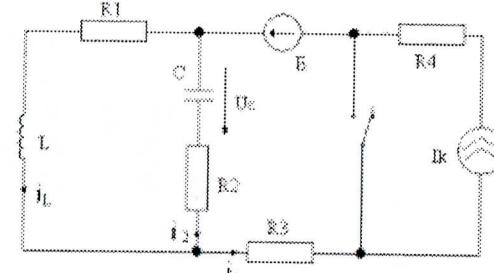
I_k	0,4A
E	89В
R_1	80Ом
R_2	90Ом
R_3	200Ом
L	0,005Гн
C	25мкФ

Схема 21



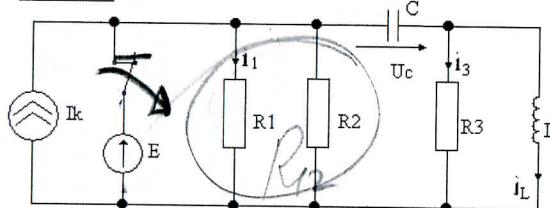
I_k	5,2A
E	208В
$R_1=R_2$	40Ом
R_3	120Ом
R_4	200Ом
L	0,01Гн
C	50мкФ

Схема 22



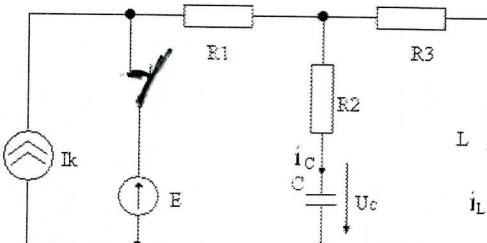
I_k	1A
L	0,06Гн
C	300мкФ
R_1	9Ом
R_2	20Ом
R_3	80Ом
R_4	40Ом
E	178В

Схема 23



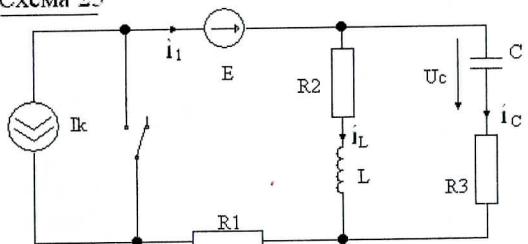
I_k	2A
L	0,04Гн
C	200мкФ
$R_1=R_2$	20Ом
R_3	5Ом
E	10В

Схема 24



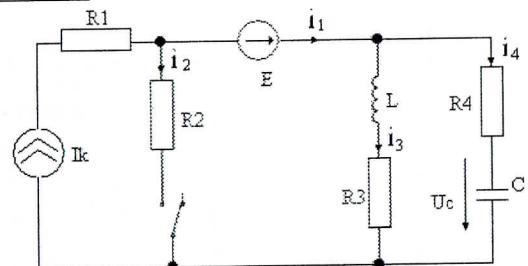
I_k	1A
E	10В
R_1	15Ом
R_2	10Ом
R_3	25Ом
L	0,04Гн
C	50мкФ

Схема 25



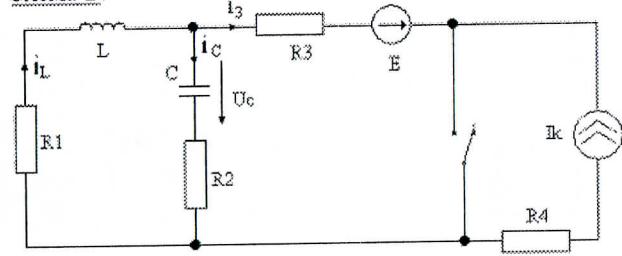
I_k	0,4A
E	89B
R_1	80ОМ
R_2	9ОМ
R_3	20ОМ
L	0,04Гн
C	200МКФ

Схема 26



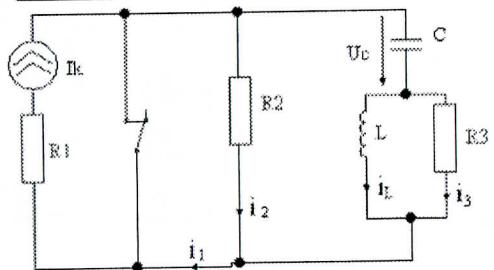
I_k	5,2A
E	208B
$R_1=R_2$	40ОМ
R_3	12ОМ
R_4	20ОМ
L	5МГн
C	25МКФ

Схема 27



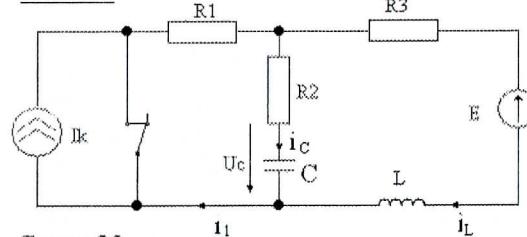
I_k	1A
L	50МГн
C	250МКФ
R_1	9ОМ
R_2	20ОМ
R_3	80ОМ
R_4	80ОМ
E	89B

Схема 28



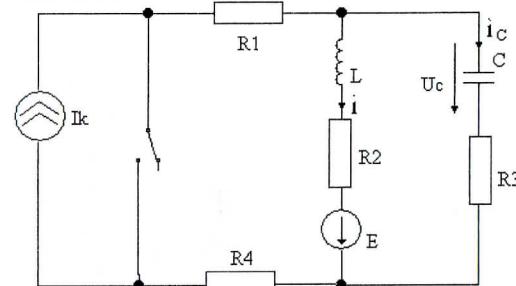
I_k	5A
L	0,005Гн
C	25МКФ
$R_1=R_2$	100ОМ
R_3	5ОМ
E	10В

Схема 29



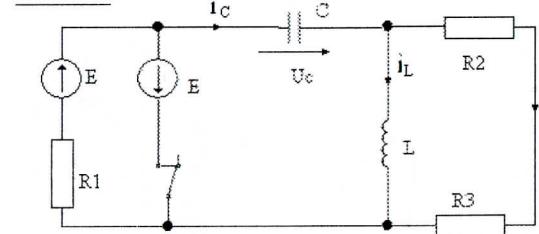
I_k	2A
E	20В
R_1	15ОМ
R_2	10ОМ
R_3	25ОМ
L	5МГн
C	25МКФ

Схема 30



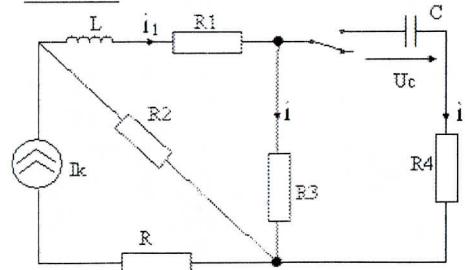
I_k	2A
L	0,01Гн
C	50МКФ
R_1	10ОМ
R_2	9ОМ
R_3	20ОМ
R_4	70ОМ
E	89В

Схема 31



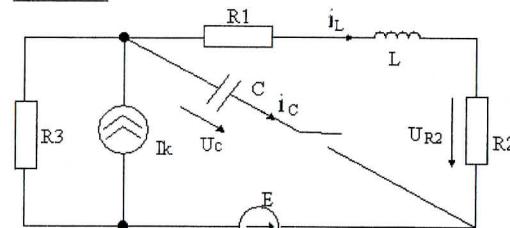
R_3	5ОМ
L	20МГн
C	100МКФ
R_1	40ОМ
R_2	150ОМ
E	60В

Схема 32



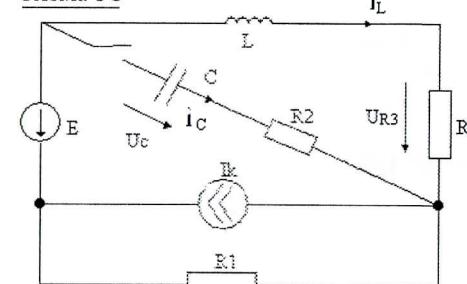
R	30ОМ
L	20МГн
C	100МКФ
R_1	10ОМ
$R_2=R_3=R_4$	20ОМ
I_k	5А

Схема 37



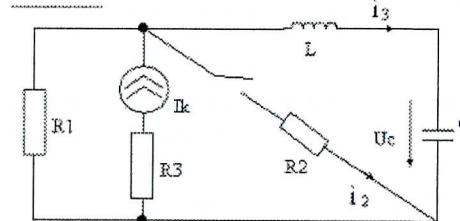
I_k	4,5A
E	90B
R_1	40Ом
R_2	10Ом
R_3	40Ом
L	20МГц
C	100мкФ

Схема 38



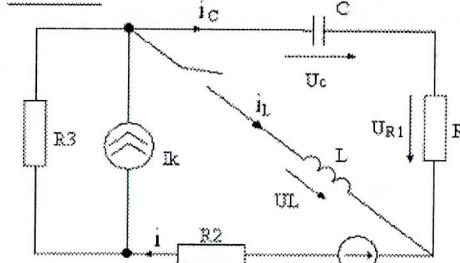
I_k	5A
E	200B
R_1	80Ом
R_2	20Ом
R_3	20Ом
L	20МГц
C	100мкФ

Схема 39



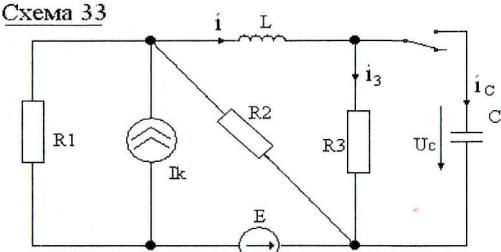
E	10B
L	20МГц
C	100мкФ
R_1	60Ом
R_2	60Ом
R_3	20Ом

Схема 40



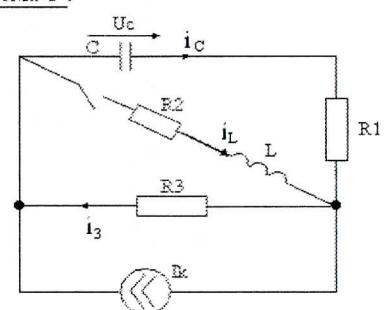
I_k	4A
E	20B
R_1	50Ом
R_2	15Ом
R_3	25Ом
L	20МГц
C	100мкФ

Схема 33



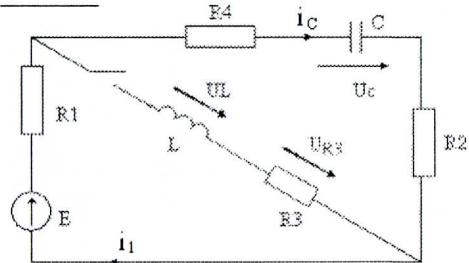
I_k	3A
E	90B
R_1	60Ом
R_2	120Ом
R_3	200Ом
L	20МГц
C	100мкФ

Схема 34



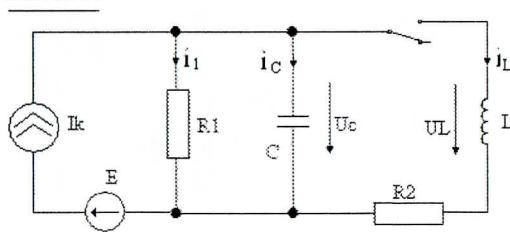
R_1	10Ом
L	20МГц
C	100мкФ
R_2	20Ом
R_3	40Ом

Схема 35



L	8МГц
C	40мкФ
R_1	80Ом
R_2	20Ом
R_3	90Ом
R_4	18Ом
E	178B

Схема 36



E	10B
L	20МГц
C	100мкФ
R_1	40Ом
R_2	40Ом
I_k	4A

ПРИМЕР

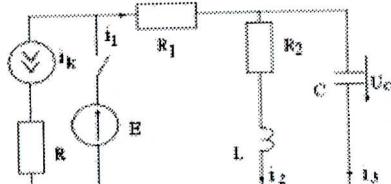


Рис. 4

Дано:

$I_k = 0,1 \text{ А}$

$E = 240 \text{ В}$

$L = 0,2 \text{ Гн}$

Опр: $i_2(t), U_c(t)$

РЕШЕНИЕ

1. До коммутации:

$i_L(0-) = i_2(0-) = -I_k = -0,1 \text{ А}$

$U_c(0-) = i_2(0-) * R_2 = -80 \text{ В}$

2. Принуждённый режим:

$$i_{2np} = i_{1np} = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{240}{1200} = 0,2 \text{ А.}$$

$U_{cnp} = i_{2np} * R_2 = 0,2 * 800 = 160 \text{ В.}$

3. Характеристическое уравнение получим по комплексному входному сопротивлению относительно ёмкостной ветви послекоммутационной цепи(рис4.):

$$Z(p) = \frac{(R_2 + Lp)R_1}{(R_2 + Lp) + R_1} + \frac{1}{cp} = 0;$$

$$p_1 = -2000(1/c); \quad p_2 = -3000(1/c)$$

При двух вещественных различных корнях общий вид свободных составляющих:

$i_{2cb}(t) = A_1 e^{p1*t} + A_2 e^{p2*t};$

$U_{ccb}(t) = B_1 e^{p1*t} + B_2 e^{p2*t}.$

4. Определение $i_2(t)$.

$$\begin{cases} i_2(t) = i_{2np} + i_{2cb}(t) = 0,2 + A_1 e^{p1*t} + A_2 e^{p2*t}; \\ \frac{di_2(t)}{dt} = p_1 A_1 e^{p1*t} + p_2 A_2 e^{p2*t}; \end{cases}$$

$$\begin{cases} i_2(0+) = 0,2 + A_1 + A_2 = i_L(0+) = i_L(0-) = -0,1; \\ \frac{di_2}{dt}(0+) = p_1 A_1 + p_2 A_2 = \frac{U_L(0+)}{L}. \end{cases} .$$

Расчёт $U_L(0+)$. При $t=0+$ по 2^{my} закону Кирхгофа для контура R_2, L, C :

$$i_2(0+) * R_2 + U_L(0+) - U_C(0+) = 0;$$

$$U_L(0+) = U_C(0+) - i_2(0+) * R_2.$$

С учётом законов коммутации:

$U_C(0+) = U_C(0-) = -80 \text{ В};$

$i_2(0+) = i_2(0-) = -0,1 \text{ А};$

$U_L(0+) = -80 + 0,1 * 800 = 0;$

$\frac{di_L}{dt}(0+) = \frac{U_L(0+)}{L} = 0.$

Уравнения для постоянных:

$$\begin{cases} 0,2 + A_1 + A_2 = -0,1; \\ p_1 A_1 + p_2 A_2 = -2000 A_1 - 3000 A_2 = 0; \\ A_1 = -0,9; \quad A_2 = 0,6. \end{cases}$$

Искомая зависимость

$i_2(t) = 0,2 - 0,9e^{-2000t} + 0,6e^{-3000t} \text{ А.}$

График $i_2(t)$ изображен на рис.5.Определение $U_C(t)$.

$$\begin{cases} U_C(t) = U_{Cnp} + U_{Ccb} = 160 + B_1 e^{p1*t} + B_2 e^{p2*t}; \\ \frac{dU_C(t)}{dt} = p_1 B_1 e^{p1*t} + p_2 B_2 e^{p2*t}; \\ U_C(0+) = 160 + B_1 + B_2 = U_C(0-); \\ \frac{dU_C}{dt}(0+) = p_1 B_1 + p_2 B_2 = \frac{i_2(0+)}{C} = \frac{i_2(0+)}{C}. \end{cases}$$

Расчет $i_3(0+)$. Для $t=0+$ по законам Кирхгофа:

$$\begin{cases} i_3(0+) = i_1(0+) - i_2(0+) = i_1(0+) - i_2(0-); \\ E = i_1(0+) * R_1 + U_C(0+) = i_1(0+) * R_1 + U_C(0-); \\ i_1(0+) = (E - U_C(0-)) / R_1 = (240 + 80) / 400 = 0,8(\text{А}); \\ i_3(0+) = 0,8 - (-0,1) = 0,9(\text{А}); \end{cases}$$

