

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

**Часть II
ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ**

**Контрольные задания и
примеры расчета**

МОСКВА 2003

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНСТИТУТ
РАДИОТЕХНИКИ, ЭЛЕКТРОНИКИ И АВТОМАТИКИ
(ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

Часть II

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Контрольные задания и примеры расчета

Для студентов обучающихся по специальности 220200

МОСКВА 2003

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. – отг.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.

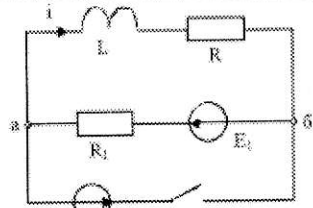
В графе: Вид коммутации приняты обозначения
зам – ключ замыкается
раз – ключ размыкается

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_1
3	3	Зам	$U_{аб}$	53	8	Зам	U_c
4	4	Зам	U_c	54	7	Зам	i_1
5	5	Зам	i	55	6	Раз	$U_{аб}$
6	6	Зам	U_c	56	5	Раз	i
7	7	Раз	i_1	57	4	Раз	$U_{аб}$
8	8	Раз	U_c	58	42	Раз	U_c
9	9	Раз	i_1	59	2	Раз	U_c
10	10	Раз	U_c	60	1	Раз	$U_{аб}$
11	11	Раз	i_1	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	$U_{аб}$
15*	15	Зам	i_L	65*	36	Зам	U_c
16	16	Раз	i_1	66	35	Зам	i_1
17*	17	Раз	i_L	67	34	Зам	U_c
18	18	Раз	U_c	68*	33	Раз	i
19	19	Зам	i_1	69	32	Зам	U_c
20	20	Раз	U_c	70	31	Раз	i
21	21	Раз	i_1	71	30	Раз	U_c
22	22	Раз	U_c	72	29	Зам	i_1
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

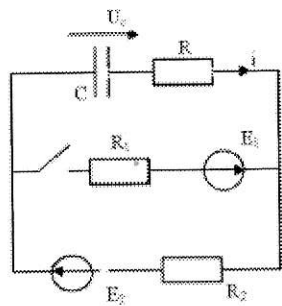
26	26		Раз	Uc	76	25		Раз	i
27*	27		Раз	i	77	24	Зам		Uc
28	28	Зам		Uc	78	5	Зам		Uaб
29	29		Раз	i ₁	79	22	Зам		Uc
30	30	Зам		Uc	80	21	Зам		i ₁
31	31	Зам		i	81	9	Зам		i
32	32		Раз	Uc	82	10		Раз	i ₂
33*	33	Зам		i	83	11	Зам		i ₂
34	34		Раз	Uc	84	12		Раз	i ₂
35	35		Раз	i ₁	85	13	Зам		i ₁
36*	36		Раз	Uc	86	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 _L
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		Uaб
48	13	Зам		i	98	14	Зам		I ₃
49	12	Зам		Uc	99	3	Зам		i ₁
50	11	Зам		i ₁	100*	41	Зам		i _L

1



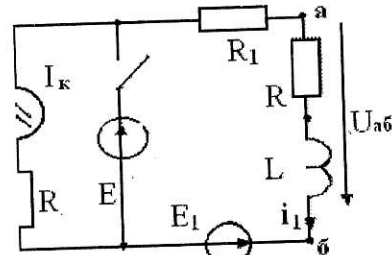
$E = 250\text{В};$
 $E_1 = 300\text{В};$
 $R_1 = R = 50\ \Omega$
 $L = 0,025\ \text{Гн}$

2



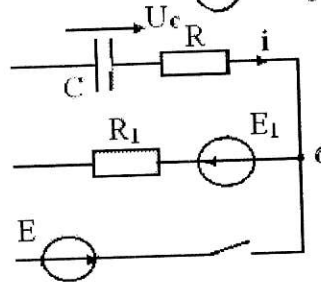
$E_1 = 300\text{В};$
 $E_2 = 200\text{В};$
 $R_1 = R_2 = 100\ \Omega$
 $R = 50\ \Omega$
 $C = 2\ \text{мкФ}$

3



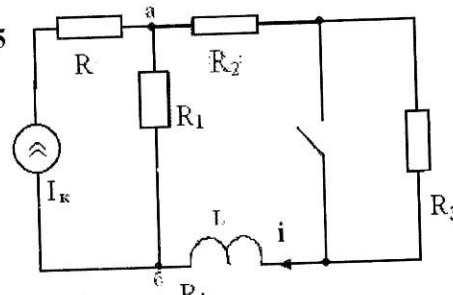
$I_k = 0,5\ \text{А}$
 $E_1 = 250\text{В};$
 $E = 150\text{В};$
 $R_1 = R = 50\ \Omega$
 $L = 0,01\ \text{Гн}$

4



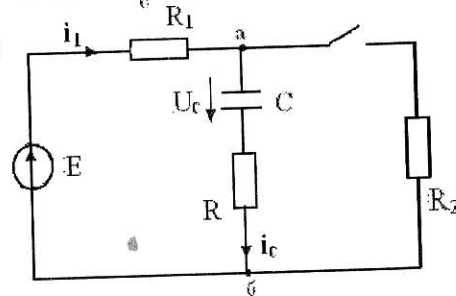
$E_1 = 100\text{В};$
 $E = 200\text{В};$
 $R = R_1 = 50\ \Omega$
 $C = 2\ \text{мкФ}$

5



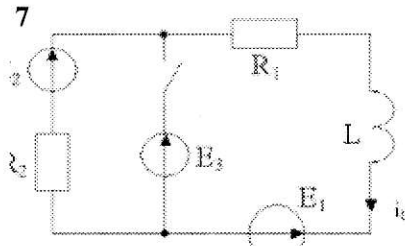
$I_k = 8\ \text{А}$
 $R = R_1 = R_2 = 100\ \Omega$
 $R_3 = 200\ \Omega$
 $L = 0,25\ \text{Гн}$

6

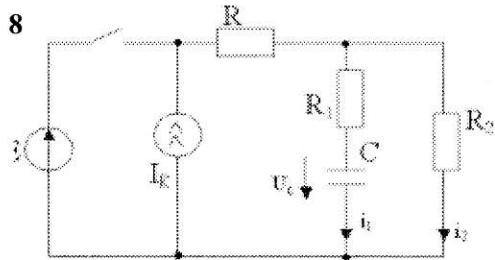


$E = 400\ \text{В}$
 $C = 0,4\ \text{мкФ}$
 $R_1 = R_2 = 100\ \Omega$
 $R = 150\ \Omega$

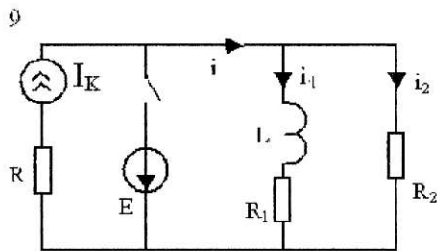
6



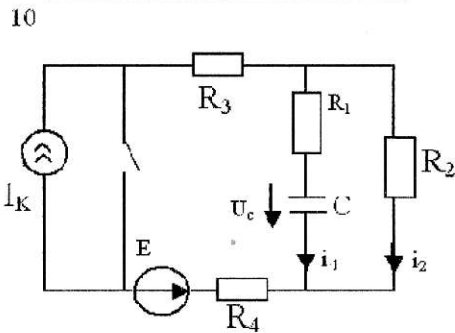
$$\begin{aligned} E_1 &= 200\text{B}; \\ E_2 &= 100\text{B}; \\ E_3 &= 300\text{B}; \\ R_1 &= R_2 = 100\ \Omega\text{M}; \\ L &= 0,01\ \Gamma\text{H} \end{aligned}$$



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

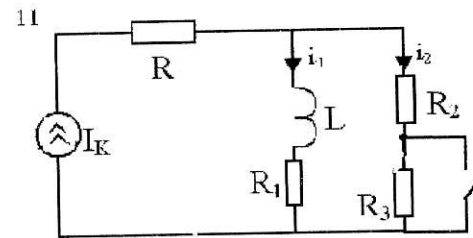


$$\begin{aligned} I_K &= 4\ \text{A}; \\ E &= 200\text{B}; \\ R &= R_1 = R_2 = 200\ \Omega\text{M}; \\ L &= 0,01\ \Gamma\text{H} \end{aligned}$$

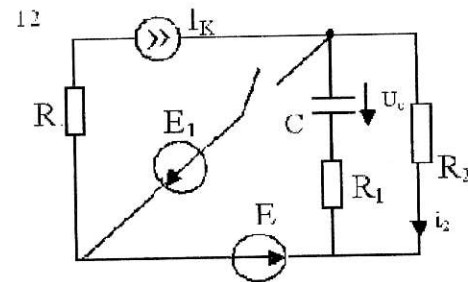


$$\begin{aligned} I_K &= 1\ \text{A}; \\ R_3 &= R_1 = 100\ \Omega\text{M}; \\ R_2 &= 300\ \Omega\text{M}; \\ R_4 &= 60\ \Omega\text{M}; \\ C &= \left(\frac{1}{9}\right)\ \text{мкФ} \end{aligned}$$

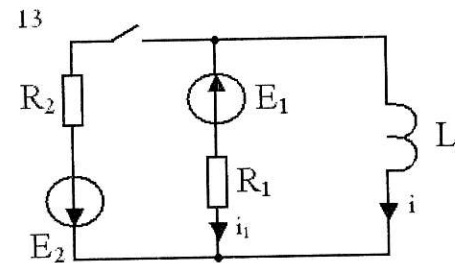
7



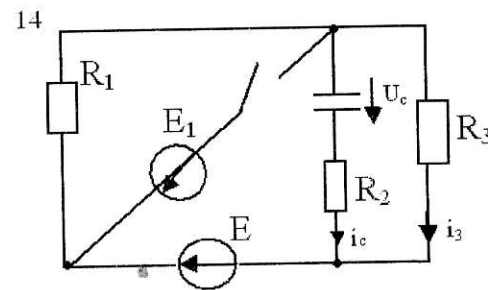
$$\begin{aligned} I_K &= 4\ \text{A}; \\ R &= R_1 = R_2 = 100\ \Omega\text{M}; \\ R_3 &= 300\ \Omega\text{M}; \\ L &= 0,01\ \Gamma\text{H} \end{aligned}$$



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

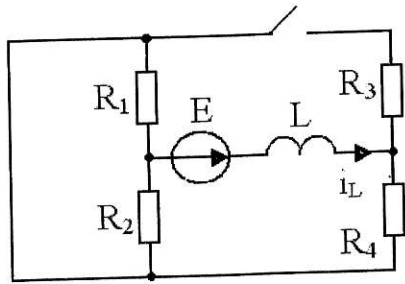


$$\begin{aligned} E_1 &= E_2 = 600\ \text{B}; \\ R_1 &= 300\ \Omega\text{M}; \\ R_2 &= 150\ \Omega\text{M}; \\ L &= 0,02\ \Gamma\text{H} \end{aligned}$$



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

15



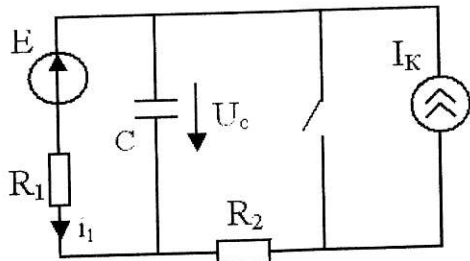
$$E = 360 \text{ B}$$

$$R_1 = R_2 = R_3 =$$

$$= R_4 = 120 \text{ Ом}$$

$$L = 0,12 \text{ Гн}$$

16



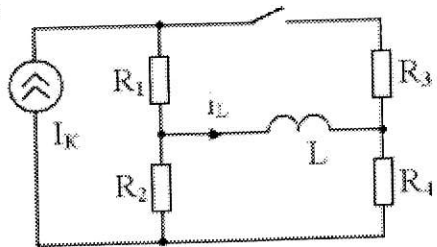
$$I_K = 1 \text{ A}$$

$$E = 200 \text{ B}$$

$$R_1 = R_2 = 200 \text{ Ом}$$

$$C = 0,2 \text{ мкФ}$$

17



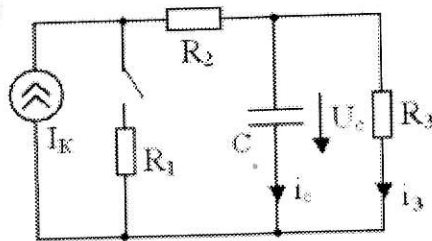
$$I_K = 2 \text{ A}$$

$$R_1 = R_2 = R_4 = 100 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 300 \text{ Ом}$$

$$L = 0,15 \text{ Гн}$$

18



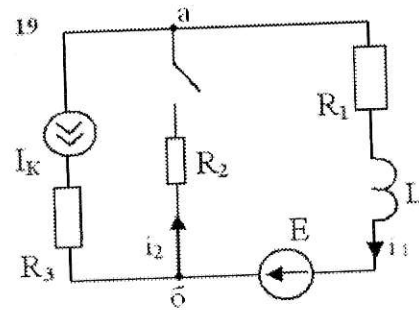
$$I_K = 4 \text{ A}$$

$$R_1 = 200 \text{ Ом}$$

$$R_2 = R_3 = 100 \text{ Ом}$$

$$C = 4 \text{ мкФ}$$

19



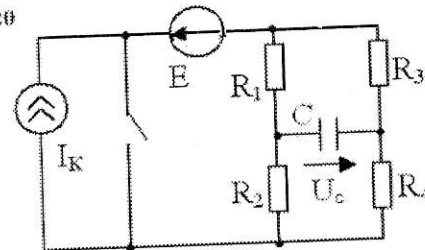
$$I_K = 1 \text{ A}$$

$$E = 200 \text{ B}$$

$$R_1 = R_2 = R_3 = 50 \text{ Ом}$$

$$L = 0,02 \text{ Гн}$$

20



$$I_K = 5 \text{ A}$$

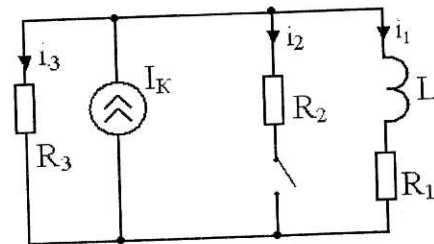
$$R_1 = R_2 = R_4 = 50 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 350 \text{ Ом}$$

$$E = 200 \text{ B}$$

$$C = 2,5 \text{ мкФ}$$

21

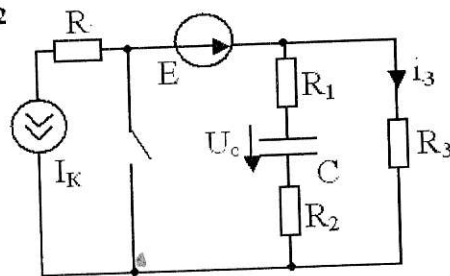


$$I_K = 12 \text{ A}$$

$$R_1 = R_2 = R_3 = 120 \text{ Ом}$$

$$L = 0,09 \text{ Гн}$$

22



$$I_K = 0,5 \text{ A}$$

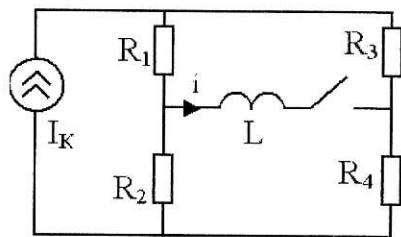
$$E = 300 \text{ B}$$

$$R_1 = R_2 = 100 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 300 \text{ Ом}$$

$$C = 0,2 \text{ мкФ}$$

23



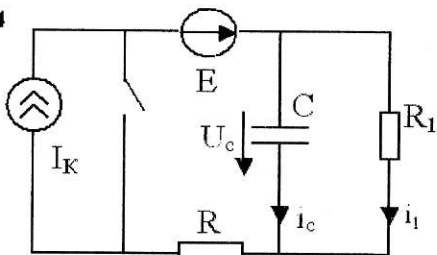
$$I_K = 9 \text{ A}$$

$$R_1 = R_2 = R_4 = 200 \text{ } \Omega$$

$$R_3 = 300 \text{ } \Omega$$

$$L = 1/9 \text{ Гн}$$

24



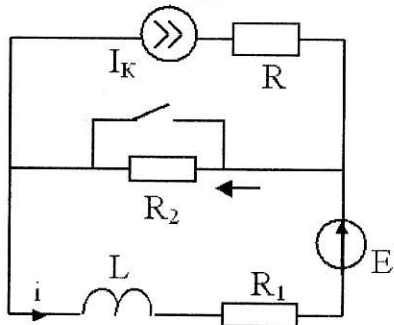
$$I_K = 0,5 \text{ A}$$

$$E = 80 \text{ В}$$

$$R = R_1 = 40 \text{ } \Omega$$

$$C = 50 \text{ мкФ}$$

25



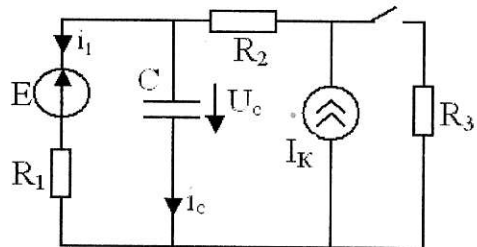
$$R = R_1 = R_2 = 200 \text{ } \Omega$$

$$I_K = 1 \text{ A}$$

$$E = 200 \text{ В}$$

$$L = 0,05 \text{ Гн}$$

26



$$I_K = 2 \text{ A}$$

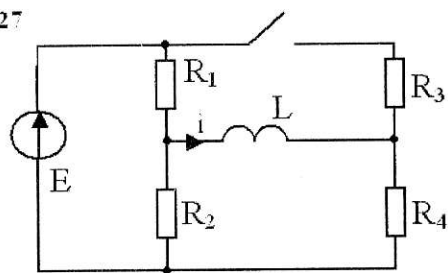
$$E = 80 \text{ В}$$

$$R_3 = 100 \text{ } \Omega$$

$$R_1 = R_2 = 50 \text{ } \Omega$$

$$C = 0,1 \text{ мкФ}$$

27



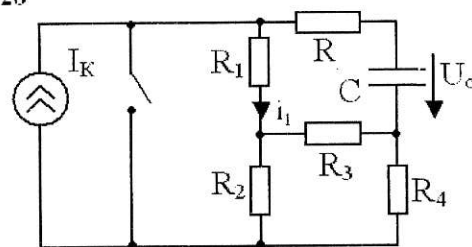
$$E = 400 \text{ В}$$

$$R_1 = R_2 = R_4 = 100 \text{ } \Omega$$

$$R_3 = 300 \text{ } \Omega$$

$$L = 0,15 \text{ Гн}$$

28



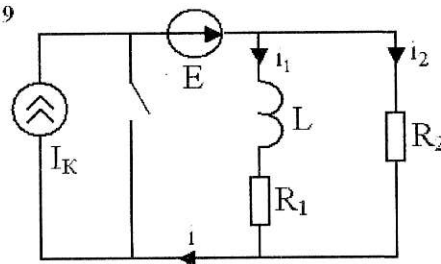
$$I_K = 1 \text{ A}$$

$$R_1 = R_2 = 100 \text{ } \Omega$$

$$R_3 = R_4 = R = 50 \text{ } \Omega$$

$$C = 0,5 \text{ мкФ}$$

29



$$I_K = 10 \text{ A}$$

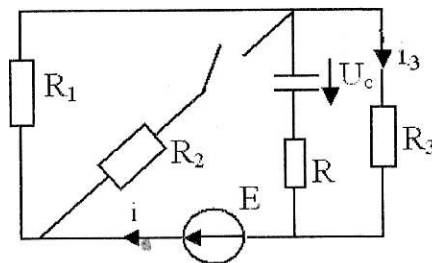
$$E = 100 \text{ В}$$

$$R_1 = 100 \text{ } \Omega$$

$$R_2 = 400 \text{ } \Omega$$

$$L = 0,2 \text{ Гн}$$

30

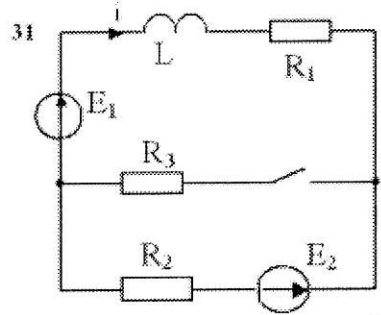


$$E = 240 \text{ В}$$

$$R_1 = R_2 = 80 \text{ } \Omega$$

$$R_3 = R = 40 \text{ } \Omega$$

$$C = \frac{1}{3} \text{ мкФ}$$

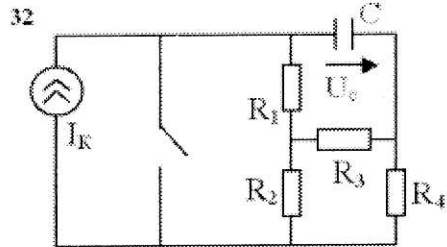


$$R_1 = R_2 = R_3 = 12 \text{ Ом}$$

$$E_1 = 36 \text{ В}$$

$$E_2 = 108 \text{ В}$$

$$L = 0,018 \text{ Гн}$$

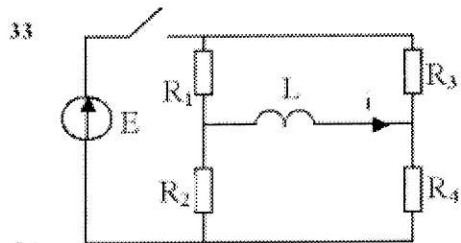


$$I_K = 0,2 \text{ А}$$

$$R_3 = R_4 = 100 \text{ Ом}$$

$$R_1 = R_2 = 200 \text{ Ом}$$

$$C = 0,25 \text{ мкФ}$$

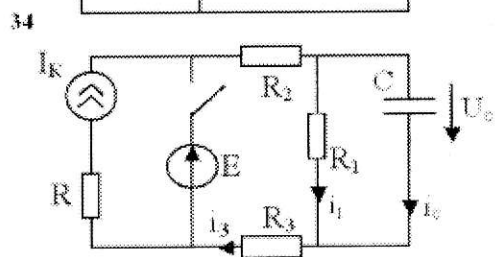


$$E = 320 \text{ В}$$

$$R_1 = R_2 = R_4 = 200 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 600 \text{ Ом}$$

$$L = 0,03 \text{ Гн}$$



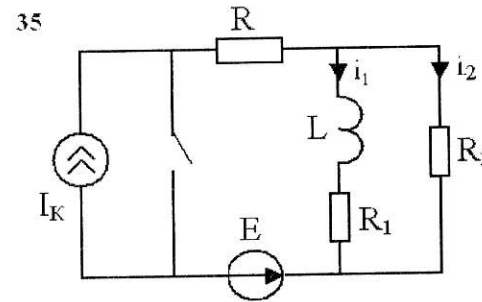
$$I_K = 0,2 \text{ А}$$

$$E = 100 \text{ В}$$

$$R_1 = 200 \text{ Ом}$$

$$R_2 = R_3 = R = 100 \text{ Ом}$$

$$C = 0,1 \text{ мкФ}$$



$$I_K = 5 \text{ А}$$

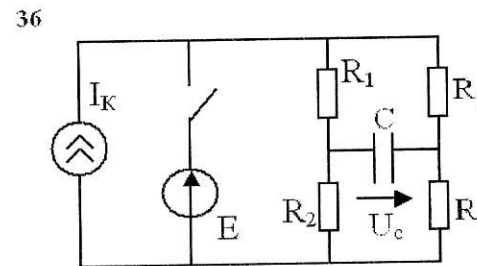
$$E = 500 \text{ В}$$

$$R_1 = 400 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 100 \text{ Ом}$$

$$R = 20 \text{ Ом}$$

$$L = 0,2 \text{ Гн}$$



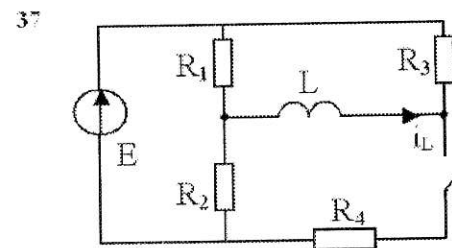
$$I_K = 9 \text{ А}$$

$$E = 200 \text{ В}$$

$$R_1 = R_2 = R_4 = 50 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 150 \text{ Ом}$$

$$C = 0,4 \text{ мкФ}$$

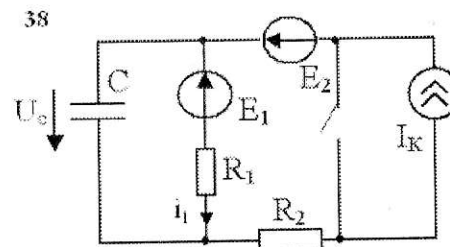


$$E = 240 \text{ В}$$

$$R_1 = R_2 = R_3 = 40 \text{ Ом}$$

$$R_4 = 120 \text{ Ом}$$

$$L = 0,06 \text{ Гн}$$



$$I_K = 2 \text{ А}$$

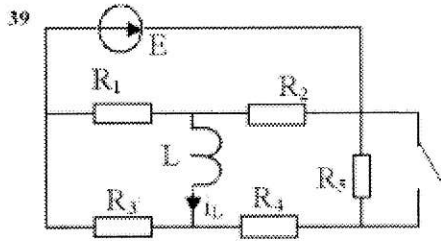
$$E_1 = 100 \text{ В}$$

$$E_2 = 400 \text{ В}$$

$$R_1 = R_2 = 100 \text{ Ом}$$

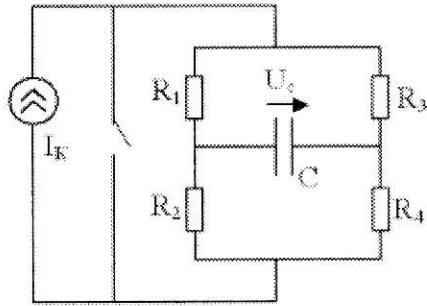
$$C = 0,2 \text{ мкФ}$$

14



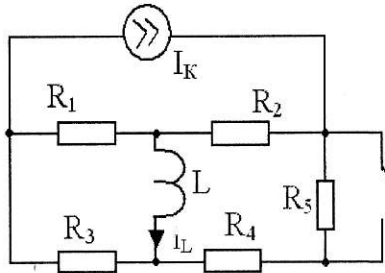
$$\begin{aligned} E &= 150 \text{ В} \\ R_1 = R_2 = R_3 = R_4 &= 100 \text{ Ом} \\ R_5 &= 300 \text{ Ом} \\ L &= 0,01 \text{ Гн} \end{aligned}$$

40



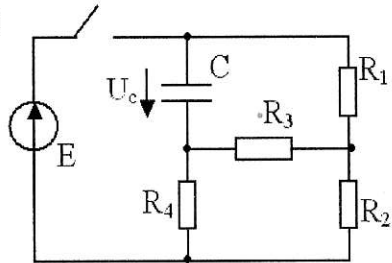
$$\begin{aligned} I_K &= 6 \text{ А} \\ R_1 = R_2 = R_3 = R_4 &= 80 \text{ Ом} \\ R_3 &= 240 \text{ Ом} \\ C &= 1 \text{ мкФ} \end{aligned}$$

41



$$\begin{aligned} I_K &= 0,8 \text{ А} \\ R_1 = R_2 = R_3 = R_4 &= 100 \text{ Ом} \\ R_5 &= 200 \text{ Ом} \\ L &= 0,03 \text{ Гн} \end{aligned}$$

42



$$\begin{aligned} E &= 150 \text{ В} \\ R_1 = R_2 &= 200 \text{ Ом} \\ R_3 = R_4 &= 100 \text{ Ом} \\ C &= 10 \text{ мкФ} \end{aligned}$$

15

ПРИМЕР 1

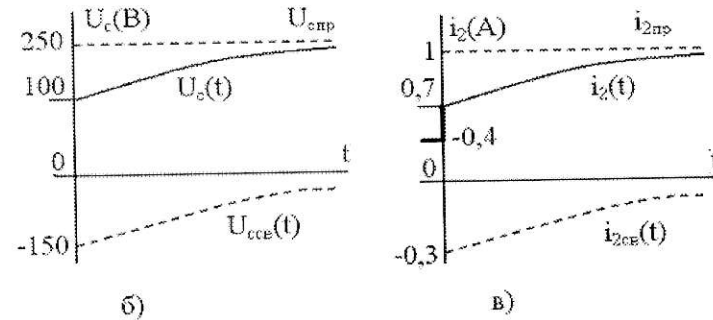
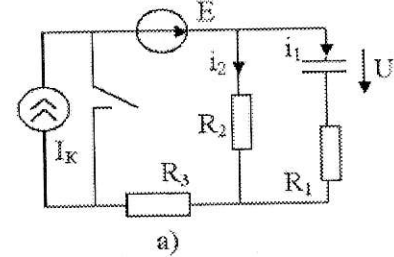


Рис. 1

Дано: в цепи рис.1,а $R_1 = R_2 = R_3 = 250 \text{ Ом}$,

$C = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$; $E = \text{const} = 200 \text{ В}$; $I_k = \text{const} = 1 \text{ А}$.

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 $t \rightarrow \infty$).

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

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 искомым функций:

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

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

4. Расчет постоянных А и В

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

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 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:

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

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

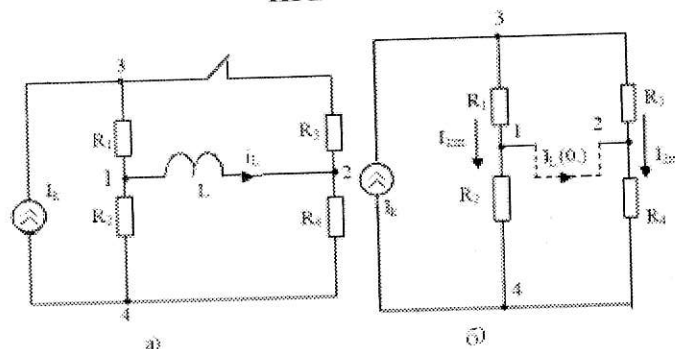


Рис. 2

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^x -полосника 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) попарно последовательны, токи I_{1xx} и I_{2xx} находим по формуле разброса:

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

$$I_{2xx} = I_k - I_{1xx} = 6(\text{А}).$$

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

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

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

Входное сопротивление активного 2^x -полосника относительно зажимов "1" и "2" записываем, учитывая бесконечно большое

внутреннее сопротивление источника тока (обрываем ветвь с I_k):

$$R_{\dot{a}x_{12}} = \frac{(R_1 + R_3) \cdot (R_2 + R_4)}{(R_1 + R_3) + (R_2 + R_4)} = \frac{90 \cdot 60}{90 + 60} = 36 \text{ Ом.}$$

Ток в индуктивной ветви рис.2,б

$$i_L(0_+) = \frac{U_{xx_{12}}}{R_{\dot{a}x_{12}}} = \frac{90}{36} = 2,5 \text{ А.}$$

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 $i_{Lnp} = i_{2np} = i_k/2 = 7,5 \text{ А.}$

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

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

При одном корне общий вид свободной составляющей индуктивного тока

$$i_{Lcb}(t) = Ae^{pt} = Ae^{-1000t}.$$

4. Расчет постоянной А

$$i_L(t) = i_{Lnp} + i_{Lcb} = 7,5 + Ae^{pt};$$

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

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

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

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

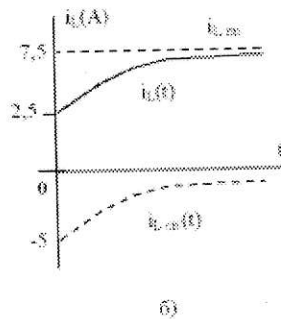
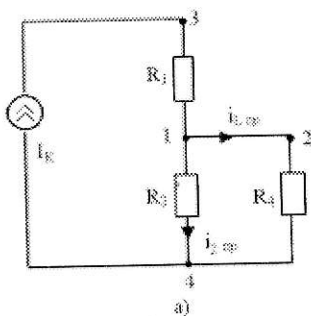


Рис.3

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	iL	41	21	iL	81	20	ic
2	2	iL	42	39	Uc	82	19	Uc
3	3	iL	43	38	ic	83	18	iR3
4	4	Uc	44	37	Uc	84	17	iL
5	5	ic	45	36	iR1	85	16	Uc
6	6	iL	46	35	Uc	86	15	Uc
7	7	Uc	47	34	iL	87	14	iR1
8	8	iL	48	33	iR3	88	13	iR1
9	9	iL	49	32	Uc	89	12	ic
10	10	Uc	50	31	Uc	90	11	ic
11	11	iL	51	30	iL	91	10	ic
12	12	iL	52	29	ic	92	9	Uc
13	13	Uc	53	28	Uc	93	8	ic
14	14	Uc	54	27	iL	94	7	ic
15	15	iL	55	26	Uc	95	6	Uc
16	16	ic	56	25	iL	96	5	iL
17	17	Uc	57	24	iL	97	4	iL
18	18	iL	58	23	iR3	98	3	ic
19	19	ic	59	22	Uc	99	2	Uc
20	20	iL	60	40	UR1	100	1	ic
21	21	Uc	61	20	Uc	101	25	iE
22	22	iL	62	19	iL	102	26	ic
23	23	iL	63	18	Uc	103	27	ic
24	24	ic	64	17	ic	104	30	ic
25	25	Uc	65	16	iL	105	40	UL
26	26	iL	66	15	Uc	106	39	iR2
27	27	Uc	67	14	iL	107	38	Uc
28	28	iL	68	13	iL	108	37	ic
29	29	iL	69	12	Uc	109	36	iL
30	30	Uc	70	11	Uc	110	35	UL
31	31	iL	71	10	iL	111	34	ic
32	32	iL	72	9	ic	112	33	Uc
33	33	iL	73	8	Uc	113	32	ic
34	34	Uc	74	7	iL	114	31	ic
35	35	UR3	75	6	ic	115	29	Uc
36	36	UL	76	5	Uc	116	28	iR3
37	37	UR2	77	4	iR2	117	24	Uc

внутреннее сопротивление источника тока (обрываем ветвь с I_k):

$$R_{\hat{a}x_{12}} = \frac{(R_1 + R_3) \cdot (R_2 + R_4)}{(R_1 + R_3) + (R_2 + R_4)} = \frac{90 \cdot 60}{90 + 60} = 36 \text{ Ом.}$$

Ток в индуктивной ветви рис.2,б

$$i_L(0_-) = \frac{U_{xx_{12}}}{R_{\hat{a}x_{12}}} = \frac{90}{36} = 2,5 \text{ А.}$$

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 $i_{Lnp} = i_{2np} = i_k/2 = 7,5 \text{ А.}$

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

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

При одном корне общий вид свободной составляющей индуктивного тока

$$i_{Lcb}(t) = Ae^{pt} = Ae^{-1000t}.$$

4. Расчет постоянной А

$$i_L(t) = i_{Lnp} + i_{Lcb} = 7,5 + Ae^{pt};$$

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

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

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

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

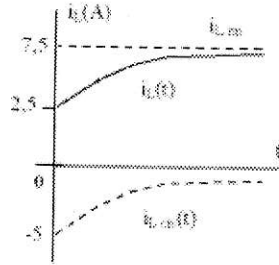
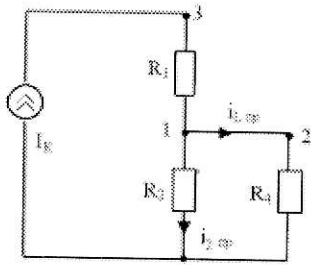


Рис.3

Задание №3-2

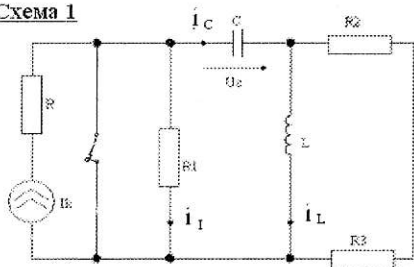
Расчет переходного процесса в цепи второго порядка

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	iL	41	21	iL	81	20	ic
2	2	iL	42	39	Uc	82	19	Uc
3	3	iL	43	38	ic	83	18	iR3
4	4	Uc	44	37	Uc	84	17	iL
5	5	ic	45	36	iR1	85	16	Uc
6	6	iL	46	35	Uc	86	15	Uc
7	7	Uc	47	34	iL	87	14	iR1
8	8	iL	48	33	iR3	88	13	iR1
9	9	iL	49	32	Uc	89	12	ic
10	10	Uc	50	31	Uc	90	11	ic
11	11	iL	51	30	iL	91	10	ic
12	12	iL	52	29	ic	92	9	Uc
13	13	Uc	53	28	Uc	93	8	ic
14	14	Uc	54	27	iL	94	7	ic
15	15	iL	55	26	Uc	95	6	Uc
16	16	ic	56	25	iL	96	5	iL
17	17	Uc	57	24	iL	97	4	iL
18	18	iL	58	23	iR3	98	3	ic
19	19	ic	59	22	Uc	99	2	Uc
20	20	iL	60	40	UR1	100	1	ic
21	21	Uc	61	20	Uc	101	25	iE
22	22	iL	62	19	iL	102	26	ic
23	23	iL	63	18	Uc	103	27	ic
24	24	ic	64	17	ic	104	30	ic
25	25	Uc	65	16	iL	105	40	UL
26	26	iL	66	15	Uc	106	39	iR2
27	27	Uc	67	14	iL	107	38	Uc
28	28	iL	68	13	iL	108	37	ic
29	29	iL	69	12	Uc	109	36	iL
30	30	Uc	70	11	Uc	110	35	UL
31	31	iL	71	10	iL	111	34	ic
32	32	iL	72	9	ic	112	33	Uc
33	33	iL	73	8	Uc	113	32	ic
34	34	Uc	74	7	iL	114	31	ic
35	35	UR3	75	6	ic	115	29	Uc
36	36	UL	76	5	Uc	116	28	iR3
37	37	UR2	77	4	iR2	117	24	Uc

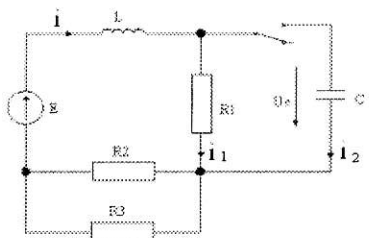
38	38	UR3	78	3	Uc	118	23	Uc
39	39	iL	79	2	ic	119	22	ic
40	40	Uc	80	1	Uc	120	21	ic

Схема 1



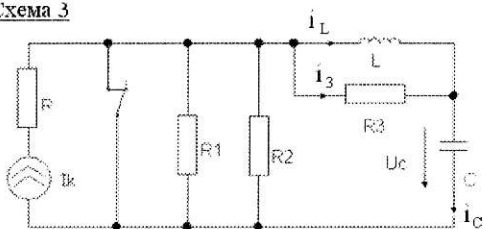
Ik	0,4A
C	100мкФ
L	20мГн
R1	40Ом
R2	15Ом
R3	5Ом
R	10Ом

Схема 2



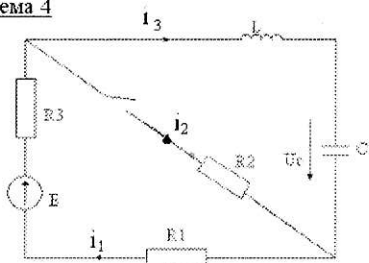
E	10В
L	20мГн
C	100мкФ
R1	200Ом
R2	120Ом
R3	60Ом

Схема 3



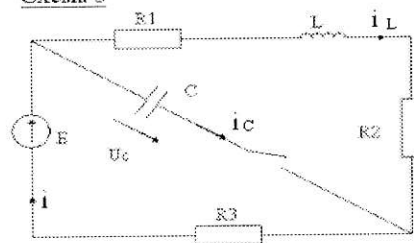
Ik	0,4A
C	100мкФ
L	20мГн
R1	60Ом
R2	12Ом
R3	5Ом
R	15Ом

Схема 4



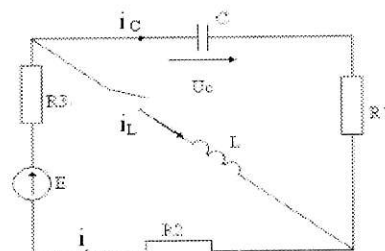
E	10В
L	20мГн
C	100мкФ
R1	50Ом
R2	60Ом
R3	100Ом

Схема 5



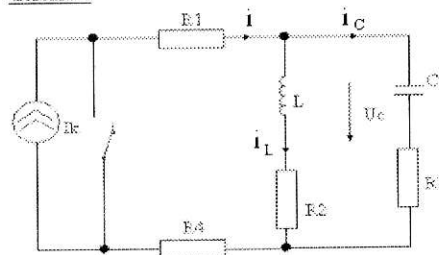
E	10В
L	20мГн
C	100мкФ
R1	40Ом
R2	100Ом
R3	40Ом

Схема 6



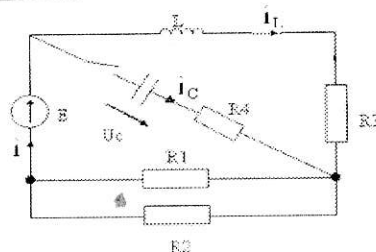
E	10В
L	20мГн
C	100мкФ
R1	50Ом
R2	15Ом
R3	25Ом

Схема 7



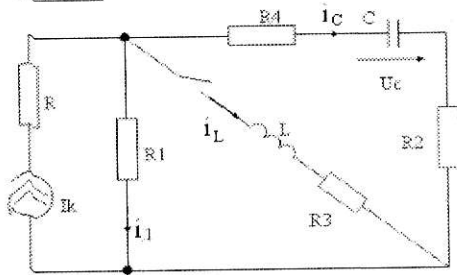
Ik	0,4A
C	100мкФ
L	20мГн
R1	40Ом
R2	9Ом
R3	20Ом
R4	40Ом

Схема 8



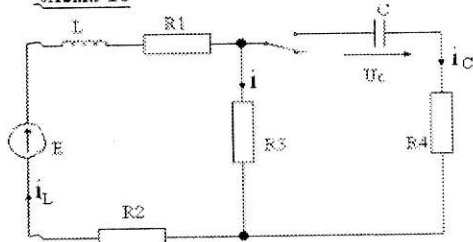
E	10В
C	100мкФ
L	20мГн
R1	240Ом
R2	120Ом
R3	20Ом
R4	20Ом

Схема 9



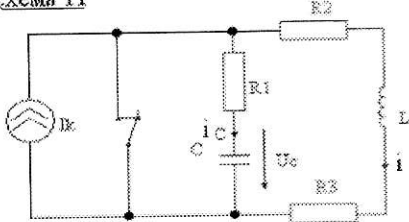
Ik	0.8A
L	24мГн
C	120мкФ
R1	80Ом
R2	20Ом
R3	90Ом
R4	180Ом
R	100Ом

Схема 10



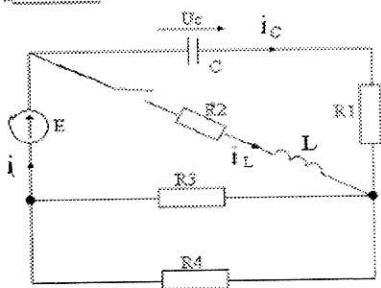
L	20мГн
C	100мкФ
R1	10.0Ом
R2=R3=R4	20Ом
E	10В

Схема 11



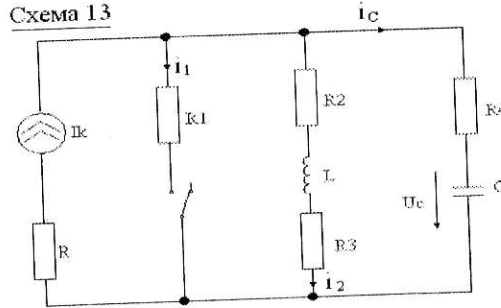
Ik	0,4A
L	20мГн
C	100мкФ
R1	100Ом
R2	200Ом
R3	50Ом

Схема 12



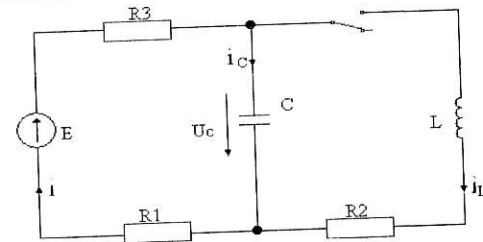
E	10В
C	100мкФ
L	20мГн
R1	100Ом
R2	200Ом
R3	900Ом
R4	720Ом

Схема 13



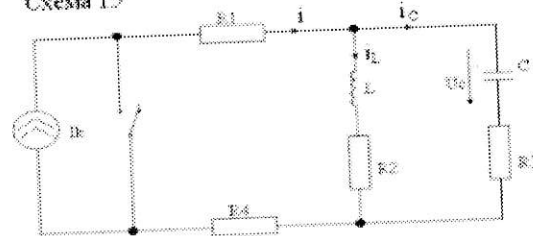
Ik	0,4A
R=R4	200Ом
R1	400Ом
R2	80Ом
R3	40Ом
L	20мГн
C	100мкФ

Схема 14



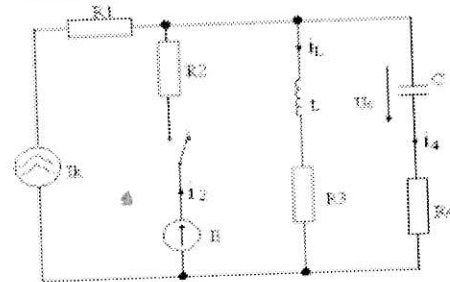
E	10В
L	20мГн
C	100мкФ
R1	300Ом
R2	400Ом
R3	100Ом

Схема 15



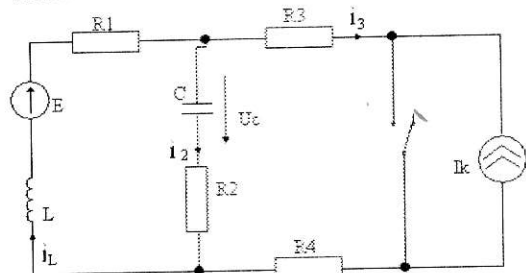
Ik	0,4A
R4	700Ом
R1	100Ом
R2	90Ом
R3	200Ом
L	20мГн
C	100мкФ

Схема 16



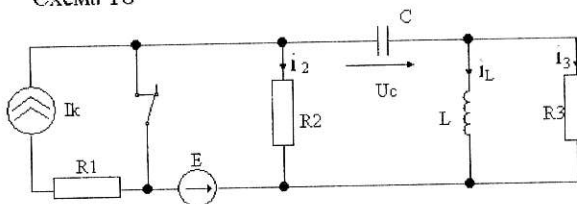
Ik	5,2A
E	104В
R1=R2	400Ом
R3	120Ом
R4	200Ом
L	0,04Гн
C	200мкФ

Схема 17



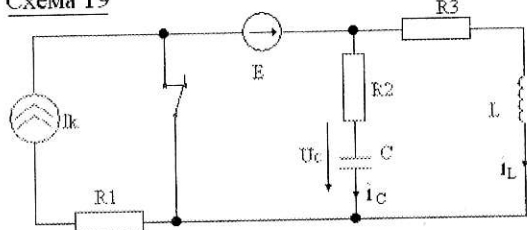
I_k	2A
L	0,1Гн
C	500мкФ
R_1	90Ω
R_2	200Ω
R_3	500Ω
R_4	300Ω
E	178В

Схема 18



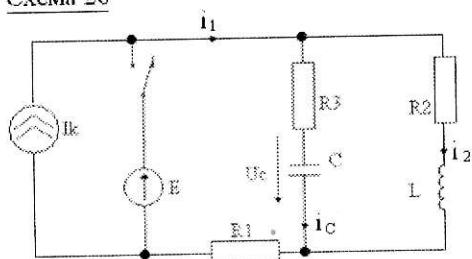
I_k	1A
L	0,01Гн
C	50мкФ
$R_1=R_2$	100Ω
R_3	50Ω
E	10В

Схема 19



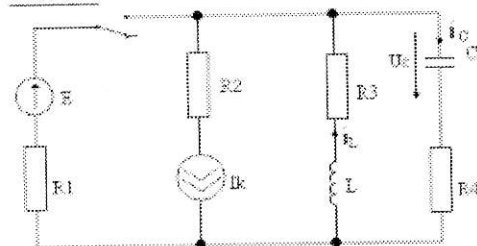
I_k	1A
L	0,01Гн
C	50мкФ
$R_1=R_2$	100Ω
R_3	250Ω
E	10В

Схема 20



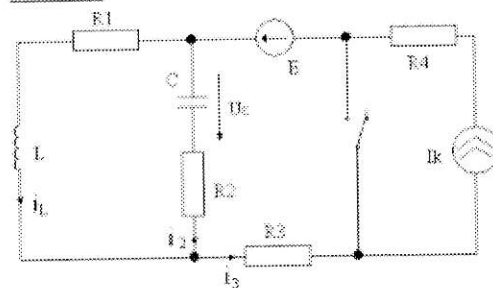
I_k	0,4A
E	89В
R_1	800Ω
R_2	90Ω
R_3	200Ω
L	0,005Гн
C	25мкФ

Схема 21



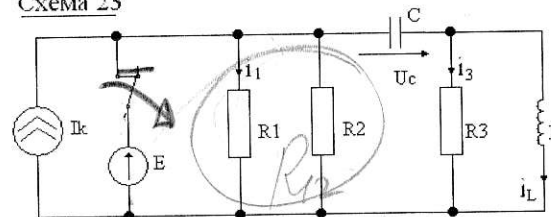
I_k	5,2A
E	208В
$R_1=R_2$	400Ω
R_3	120Ω
R_4	200Ω
L	0,01Гн
C	50мкФ

Схема 22



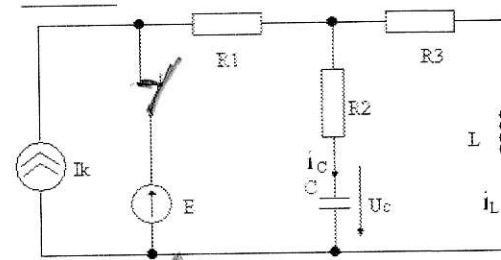
I_k	1A
L	0,06Гн
C	300мкФ
R_1	90Ω
R_2	200Ω
R_3	800Ω
R_4	400Ω
E	178В

Схема 23



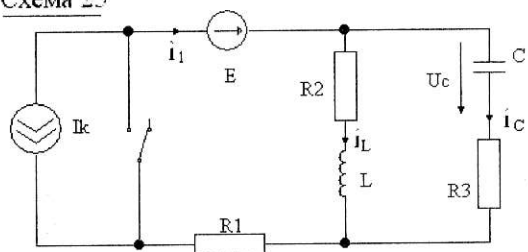
I_k	2A
L	0,04Гн
C	200мкФ
$R_1=R_2$	200Ω
R_3	50Ω
E	10В

Схема 24



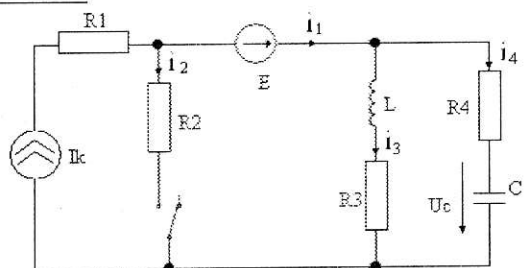
I_k	1A
E	10В
R_1	150Ω
R_2	100Ω
R_3	250Ω
L	0,04Гн
C	50мкФ

Схема 25



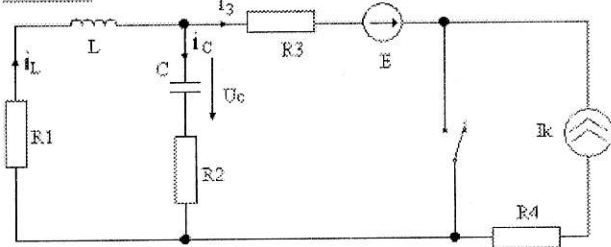
I_k	0,4A
E	89B
R_1	80Ω
R_2	90Ω
R_3	200Ω
L	0,04Гн
C	200мкФ

Схема 26



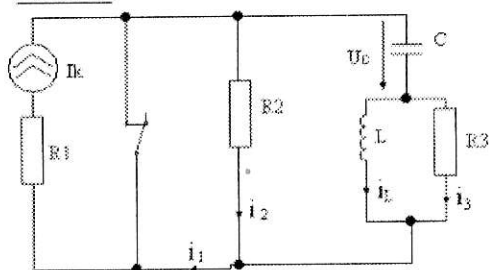
I_k	5,2A
E	208B
$R_1=R_2$	40Ω
R_3	120Ω
R_4	200Ω
L	5мГн
C	25мкФ

Схема 27



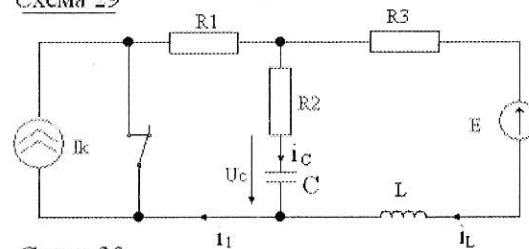
I_k	1A
L	50мГн
C	250мкФ
R_1	90Ω
R_2	200Ω
R_3	800Ω
R_4	800Ω
E	89B

Схема 28



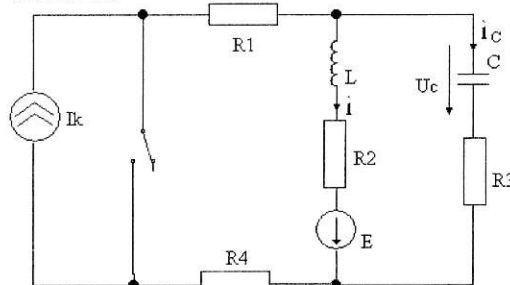
I_k	5A
L	0,005Гн
C	25мкФ
$R_1=R_2$	100Ω
R_3	50Ω
E	10B

Схема 29



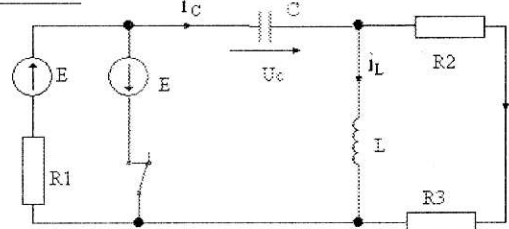
I_k	2A
E	20B
R_1	150Ω
R_2	100Ω
R_3	250Ω
L	5мГн
C	25мкФ

Схема 30



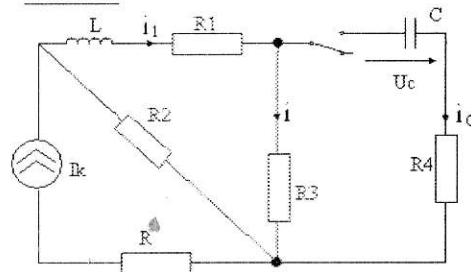
I_k	2A
L	0,01Гн
C	50мкФ
R_1	100Ω
R_2	90Ω
R_3	200Ω
R_4	700Ω
E	89B

Схема 31



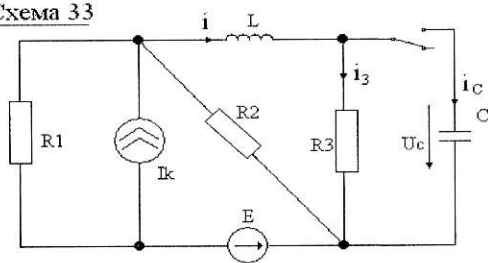
R_3	50Ω
L	20мГн
C	100мкФ
R_1	40Ω
R_2	150Ω
E	60B

Схема 32



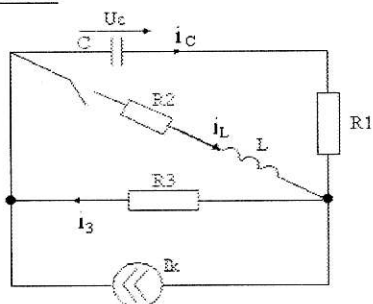
R	300Ω
L	20мГн
C	100мкФ
R_1	100Ω
$R_2=R_3=R_4$	200Ω
I_k	5A

Схема 33



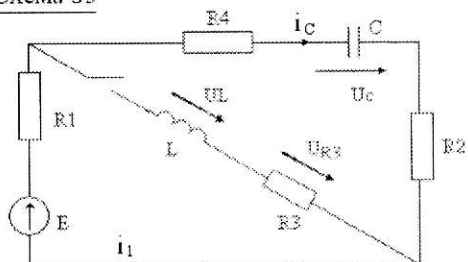
I_k	3A
E	90B
R1	60OM
R2	120OM
R3	200OM
L	20MГH
C	100МКФ

Схема 34



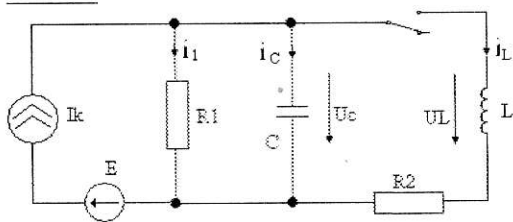
R1	100OM
L	20MГH
C	100МКФ
R2	20OM
R3	40OM
I_k	1,5A

Схема 35



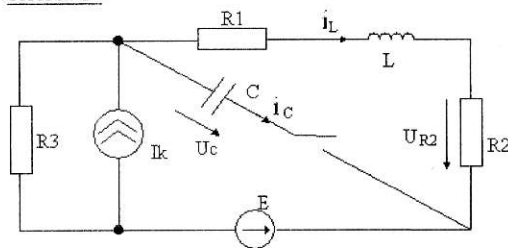
L	8MГH
C	40МКФ
R1	80OM
R2	20OM
R3	90OM
R4	18OM
E	178B

Схема 36



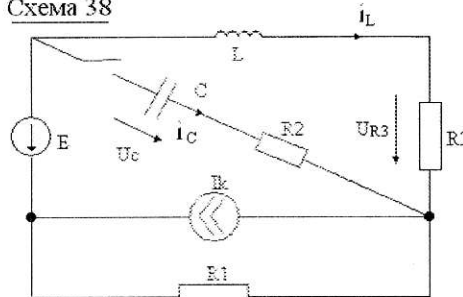
E	10B
L	20MГH
C	100МКФ
R1	40OM
R2	40OM
I_k	4A

Схема 37



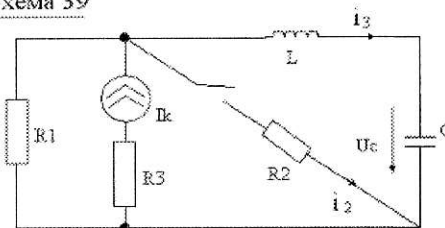
I_k	4,5A
E	90B
R1	40OM
R2	100OM
R3	40OM
L	20MГH
C	100МКФ

Схема 38



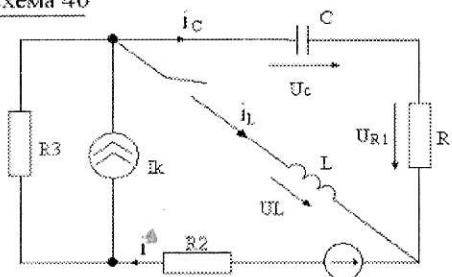
I_k	5A
E	200B
R1	80OM
R2	20OM
R3	20OM
L	20MГH
C	100МКФ

Схема 39



E	10B
L	20MГH
C	100МКФ
R1	60OM
R2	60OM
R3	20OM

Схема 40



I_k	4A
E	20B
R1	50OM
R2	150OM
R3	25OM
L	20MГH
C	100МКФ

ПРИМЕР

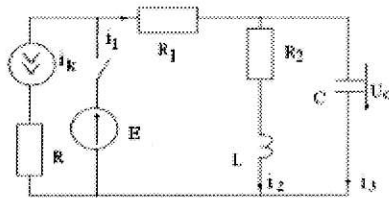


Рис. 4

Дано:

$I_k = 0,1 \text{ A};$

$E = 240 \text{ В};$

$L = 0,2 \text{ Гн};$

Опр: $i_2(t), U_C(t)$

$R_1 = R = 400 \text{ Ом};$

$R_2 = 800 \text{ Ом};$

$C = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф};$

РЕШЕНИЕ

1. До коммутации:

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

$U_C(0-) = i_2(0-) \cdot R_2 = -80 \text{ В}.$

2. Принуждённый режим:

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

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

3. Характеристическое уравнение получим по комплексному входному сопротивлению относительно ёмкостной ветви послекоммутационной цепи (рис.4.):

$$Z(p) = \frac{(R_2 + Lp)R_1}{(R_2 + Lp) + R_1} + \frac{1}{cp} = 0;$$
$$p_1 = -2000(1/c); \quad p_2 = -3000(1/c)$$

При двух вещественных различных корнях общий вид свободных составляющих:

$i_{2cb}(t) = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t};$

$U_{Ccb}(t) = B_1 e^{p_1 t} + B_2 e^{p_2 t}.$

4. Определение $i_2(t)$.

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

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

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

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

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

С учётом законов коммутации:

$U_C(0+) = U_C(0-) = -80 \text{ В};$

$i_2(0+) = i_2(0-) = -0,1 \text{ A};$

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

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

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

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

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

$$\begin{cases} U_C(t) = U_{Cnp} + U_{Ccb} = 160 + B_1 e^{p_1 t} + B_2 e^{p_2 t}; \\ \frac{dU_C(t)}{dt} = p_1 B_1 e^{p_1 t} + p_2 B_2 e^{p_2 t}; \\ U_C(0+) = 160 + B_1 + B_2 = U_C(0-); \\ \frac{dU_C}{dt}(0+) = p_1 B_1 + p_2 B_2 = \frac{i_L(0+)}{C} = \frac{i_3(0+)}{C}. \end{cases}$$

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

$$\begin{cases} i_2(0+) = i_1(0+) - i_3(0+) = i_1(0+) - i_2(0-); \\ E = i_1(0+) \cdot R_1 + U_C(0+) = i_1(0+) \cdot R_1 + U_C(0-); \end{cases}$$

$i_1(0+) = (E - U_C(0-)) / R_1 = (240 + 80) / 400 = 0,8 \text{ (A)};$

$i_3(0+) = 0,8 - (-0,1) = 0,9 \text{ (A)};$

$$\frac{dU_c(0^+)}{dt} = \frac{i_2(0^+)}{C} = (0,9/2,5) \cdot 10^3 = 360 \cdot 10^3 \text{ (В/с)}$$

Уравнения для постоянных:

$$\begin{cases} 160 + B_1 + B_2 = -80, \\ -2000B_1 - 3000B_2 = 360 \cdot 10^3. \end{cases}$$

$$B_1 = -360; \quad B_2 = 120.$$

$$U_C(t) = 160 - 360e^{-2000t} + 120e^{-3000t} \text{ В;}$$

График функции $U_C(t)$ дан на рис. 6.

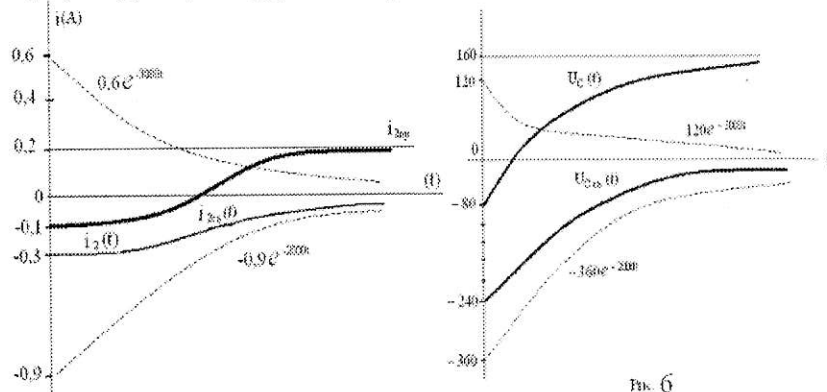


Рис. 5

Рис. 6

ЗАДАНИЕ №4

Передаточная функция. Переходная и импульсная характеристики. Интеграл Дюамеля

1. Для заданной согласно номеру варианта пассивной цепи получить в общем виде передаточную функцию

$$K(p) = X_{\text{вых}}(p) / X_{\text{вх}}(p),$$

где $X_{\text{вх}}(p)$ и $X_{\text{вых}}(p)$ – изображения по Лапласу входной $X_{\text{вх}}(t)$ и выходной $X_{\text{вых}}(t)$ величин.

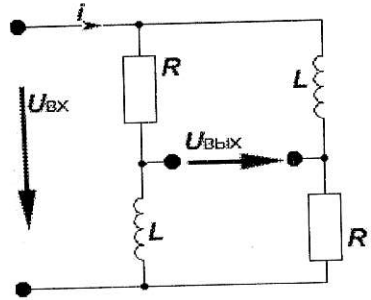
Для всех вариантов принять $X_{\text{вх}}(t) = U_{\text{вх}}(t)$. Выходную величину $X_{\text{вых}}(t)$ взять из таблицы к расчёту по номеру варианта.

2. По найденной функции $K(p)$ определить переходную $h(t)$ и импульсную $h_{\delta}(t)$ характеристики. Функцию $h(t)$ изобразить на графике.

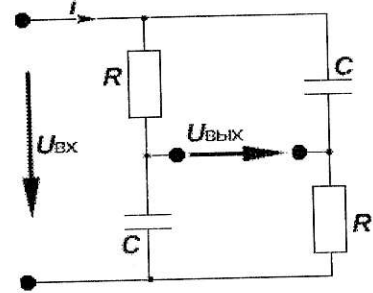
3. Воспользовавшись формулой интеграла Дюамеля, записать выражения для функции $X_{\text{вых}}(t)$ при импульсном воздействии, заданном графически (соответственно номеру варианта и таблице к расчёту).

Вариант	№ схемы	$X_{\text{вых}}(t)$	№ Импульса	Вариант	№ схемы	$X_{\text{вых}}(t)$	№ Импульса	Вариант	№ схемы	$X_{\text{вых}}(t)$	№ Импульса
1	1	$U_{\text{вых}}$	30	41	10	i_1	20	81	6	i_c	10
2	34	$U_{\text{вых}}$	29	42	11	$U_{\text{вых}}$	19	82	20	$U_{\text{вых}}$	9
3	2	$U_{\text{вых}}$	28	43	9	i_c	18	83	28	U_c	8
4	3	i_L	27	44	11	i_1	17	84	39	i_{C1}	7
5	43	I_2	26	45	15	i_c	16	85	1	i	6
6	5	$U_{\text{вых}}$	25	46	22	i_2	15	86	19	i	5
7	37	i	24	47	24	$U_{\text{вых}}$	14	87	7	$U_{\text{вых}}$	4
8	9	i_1	23	48	25	i_L	13	88	2	i	3
9	11	i_2	22	49	30	i_1	12	89	18	i	2
10	43	U_2	21	50	12	i_1	11	90	24	U_c	1
11	10	$U_{\text{вых}}$	20	51	31	i_c	10	91	20	i	30
12	12	i_1	19	52	21	$U_{\text{вых}}$	9	92	40	i	29
13	22	i_1	18	53	28	i_2	8	93	17	i	28
14	40	i_c	17	54	32	$U_{\text{вых}}$	7	94	18	$U_{\text{вых}}$	27
15	13	i_c	16	55	30	i_L	6	95	39	i_{C2}	26
16	17	$U_{\text{вых}}$	15	56	33	i_L	5	96	7	i	25
17	21	i	14	57	32	i_c	4	97	40	U_c	24
18	14	i_L	13	58	9	U_c	3	98	37	U_1	23
19	22	$U_{\text{вых}}$	12	59	8	$U_{\text{вых}}$	2	99	41	i	22
20	23	i	11	60	14	U_L	1	100	27	i_c	21
21	40	i_1	10	61	32	i_1	30	101	21	U_c	20
22	24	i_1	9	62	10	U_L	29	102	33	U_L	19
23	21	i_c	8	63	38	U_R	28	103	42	U_L	18
24	26	$U_{\text{вых}}$	7	64	39	i	27	104	4	$U_{\text{вых}}$	17
25	42	i	6	65	26	i_L	26	105	43	i_1	16
26	10	i_2	5	66	23	i_c	25	106	8	$U_{\text{вых}}$	15
27	28	$U_{\text{вых}}$	4	67	3	i_1	24	107	44	i_1	14
28	24	i_c	3	68	38	U_L	23	108	29	i_L	13
29	44	i	2	69	32	i_2	22	109	32	U_1	12
30	16	i_c	1	70	8	i	21	110	42	$U_{\text{вых}}$	11
31	23	U_c	30	71	6	i_1	20	111	29	$U_{\text{вых}}$	10
32	27	$U_{\text{вых}}$	29	72	24	i_2	19	112	44	i_2	9
33	12	i	28	73	6	$U_{\text{вых}}$	18	113	30	U_1	8
34	26	i_1	27	74	38	i_L	17	114	12	U_2	7
35	30	$U_{\text{вых}}$	26	75	19	$U_{\text{вых}}$	16	115	45	$U_{\text{вых}}$	6
36	3	$U_{\text{вых}}$	25	76	26	i_2	15	116	12	U_1	5
37	35	$U_{\text{вых}}$	24	77	39	U_c	14	117	45	i_1	4
38	28	i_c	23	78	37	$U_{\text{вых}}$	13	118	9	U_1	3
39	6	i_1	22	79	40	$U_{\text{вых}}$	12	119	21	U	2
40	9	$U_{\text{вых}}$	21	80	30	i_2	11	120	44	U_L	1

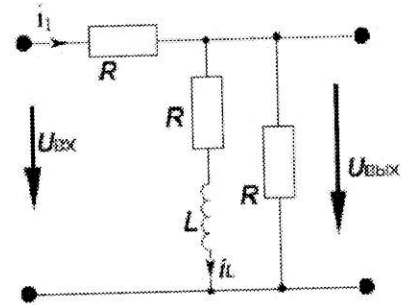
№ 1



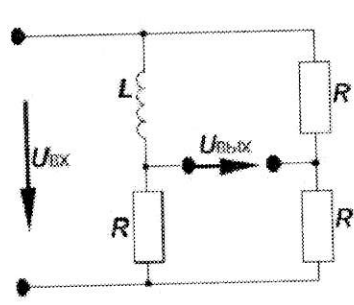
№ 2



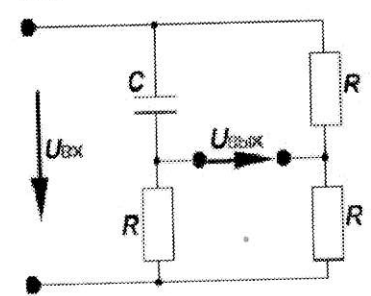
№ 3



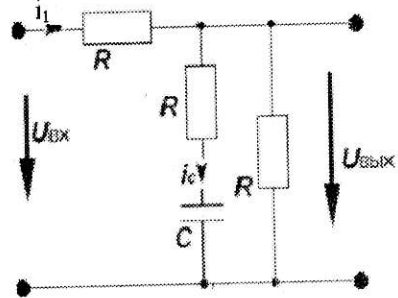
№ 4



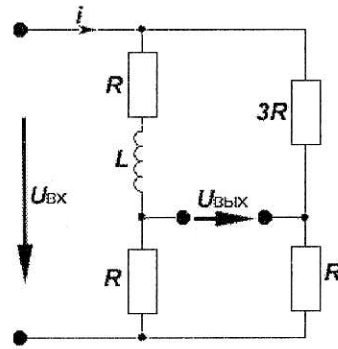
№ 5



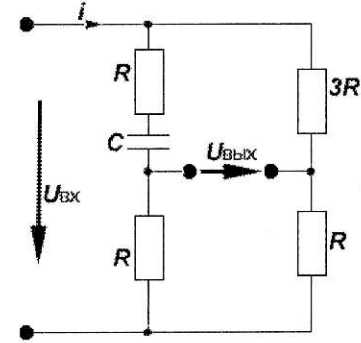
№ 6



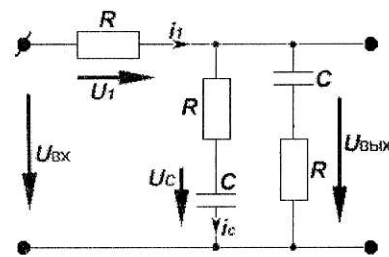
№ 7



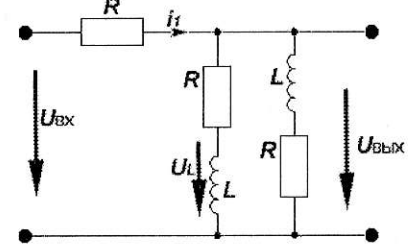
№ 8



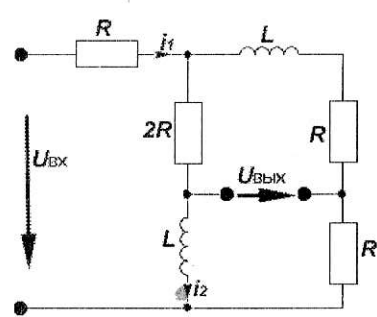
№ 9



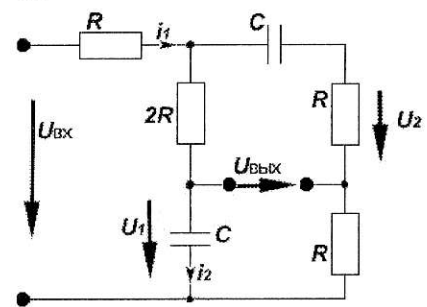
№ 10



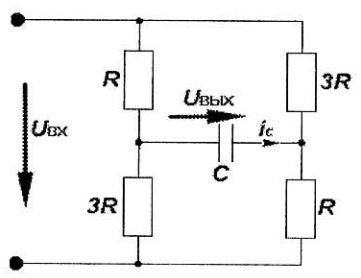
№ 11



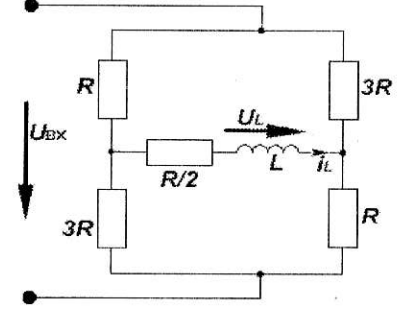
№ 12



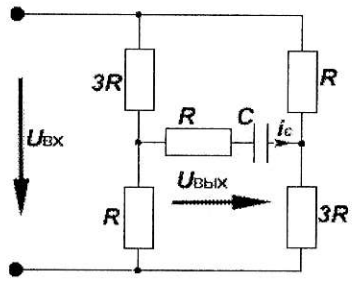
№13



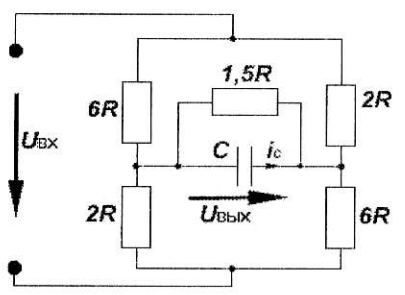
№14



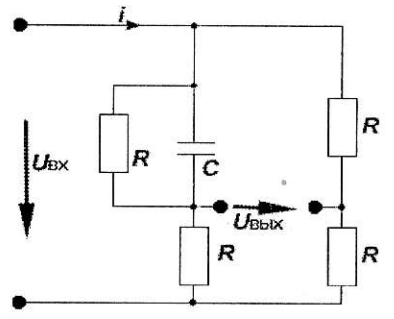
№15



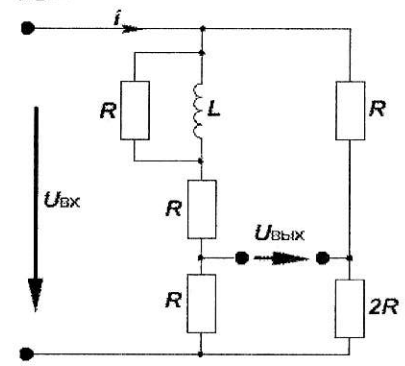
№16



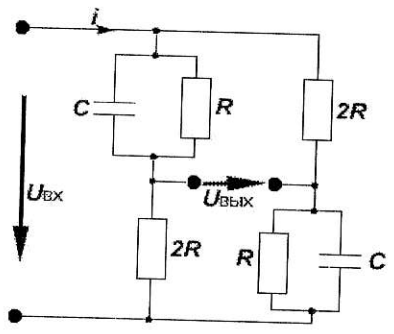
№17



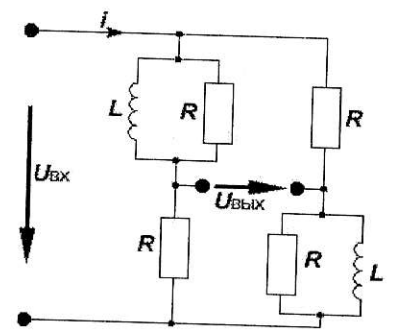
№18



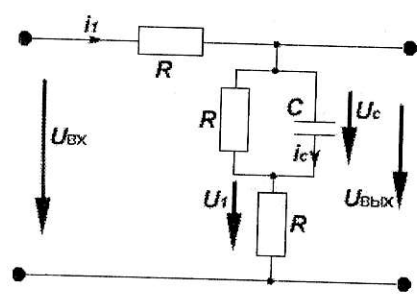
№19



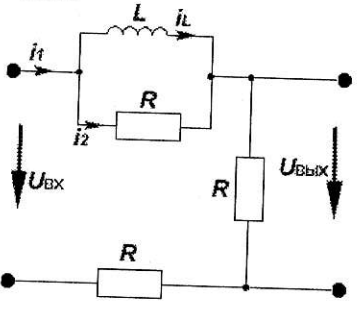
№20



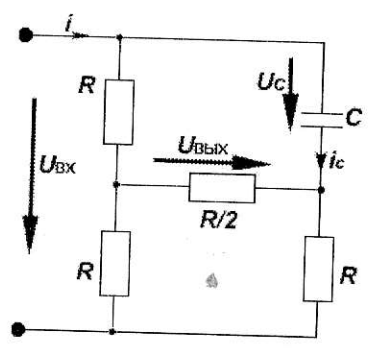
№21



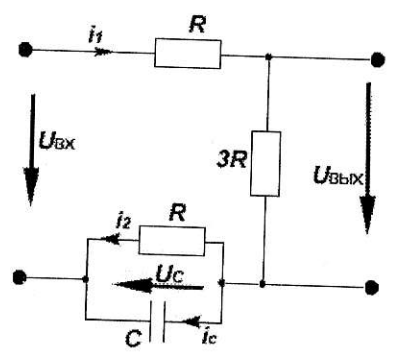
№22



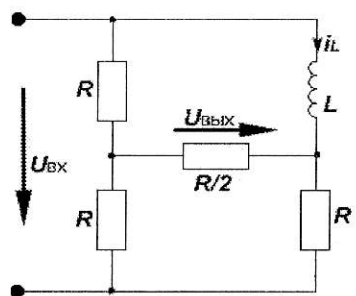
№23



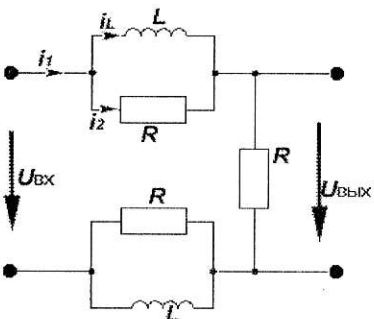
№24



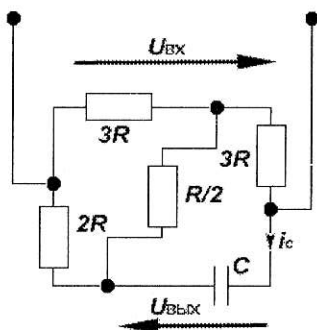
№ 25



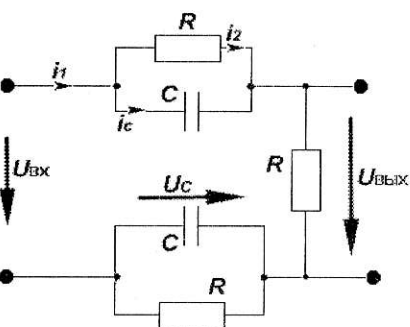
№ 26



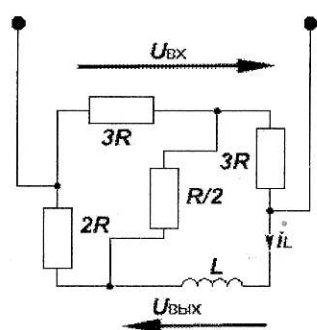
№ 27



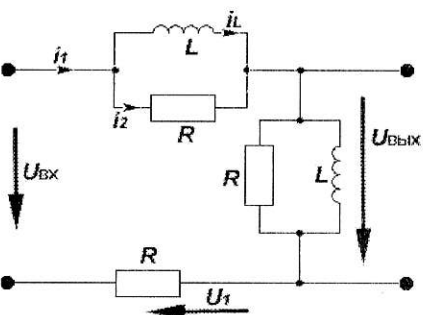
№ 28



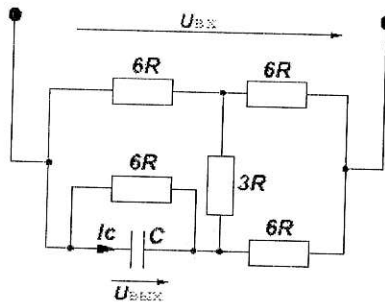
№ 29



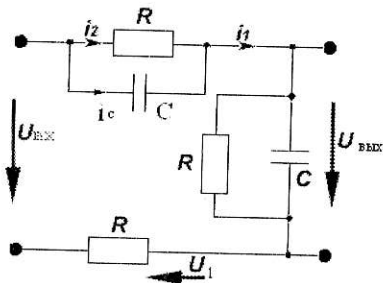
№ 30



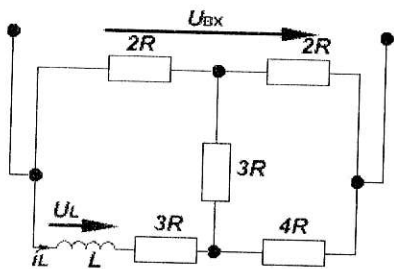
№ 31



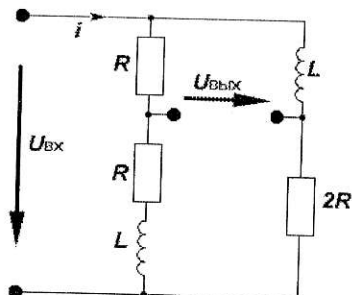
№ 32



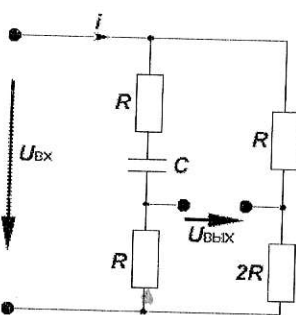
№ 33



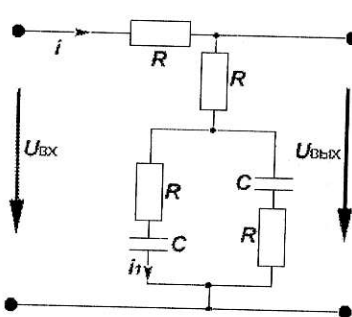
№ 34



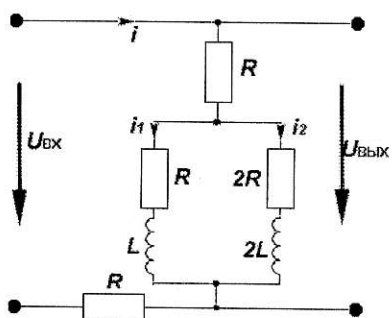
№ 35



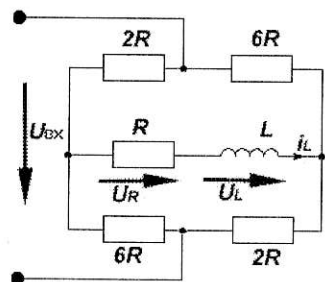
№ 36



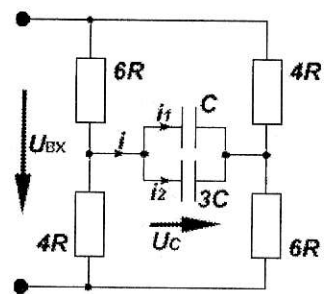
№ 37



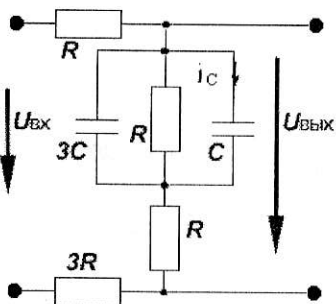
№ 38



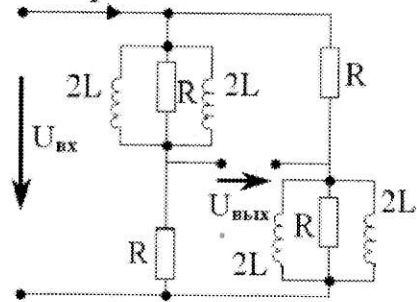
№ 39



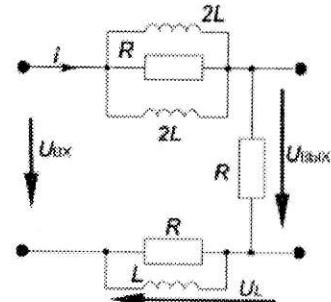
№ 40



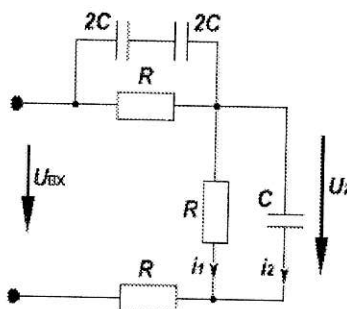
№ 41



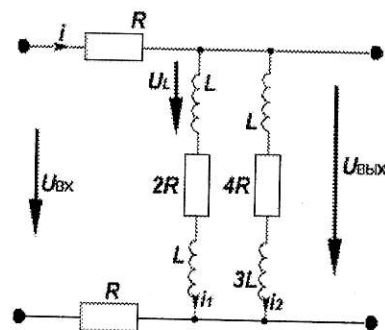
№ 42



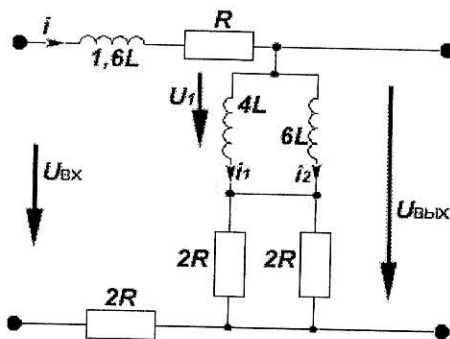
№ 43



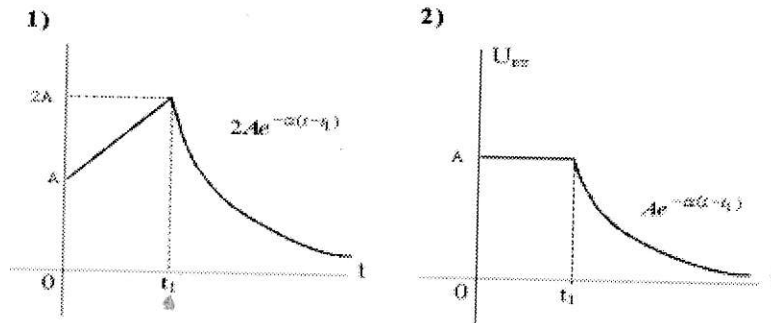
№ 44

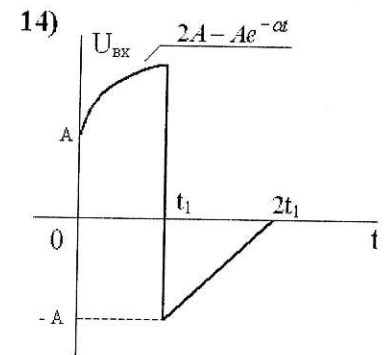
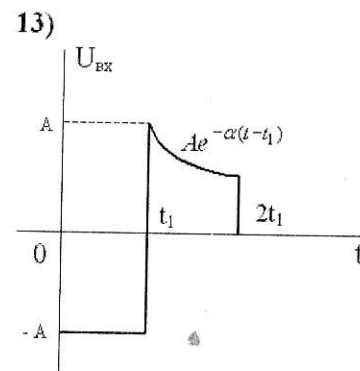
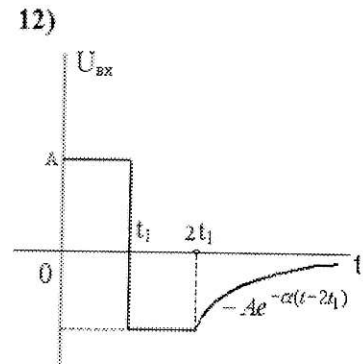
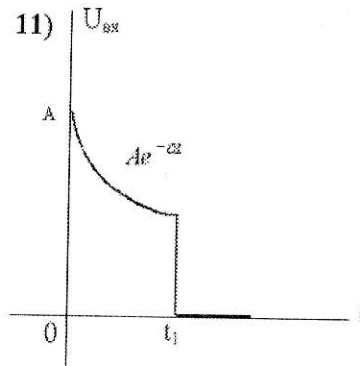
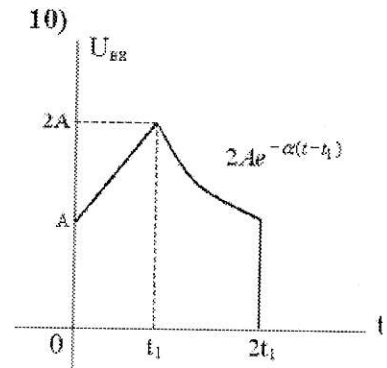
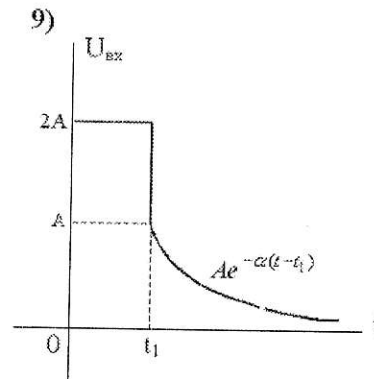
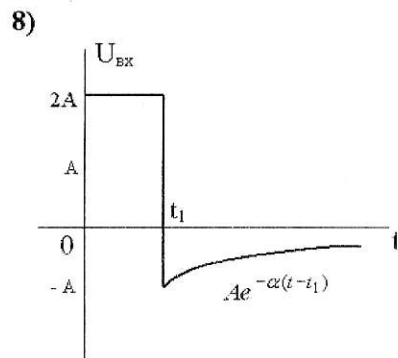
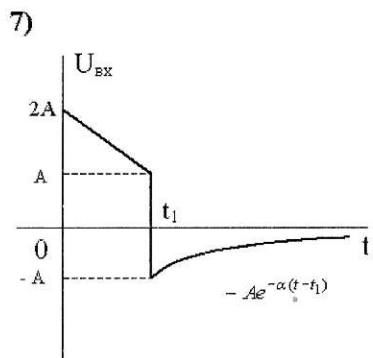
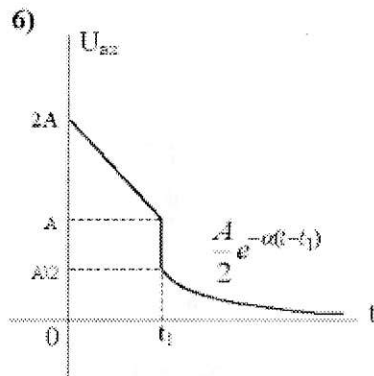
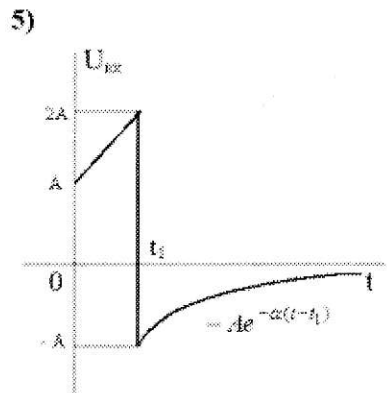
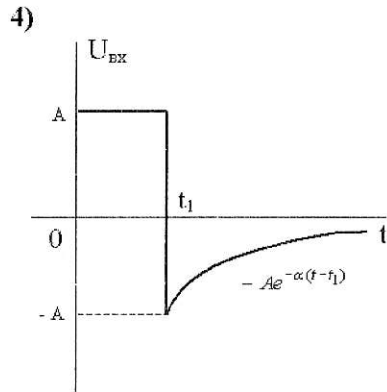
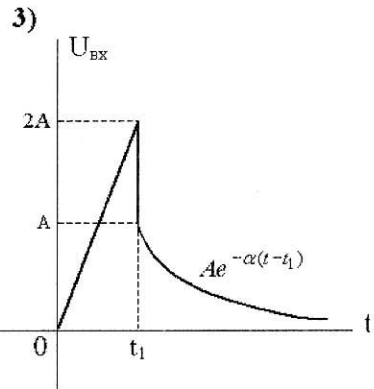


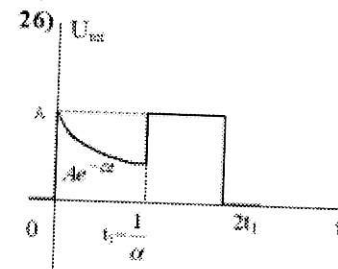
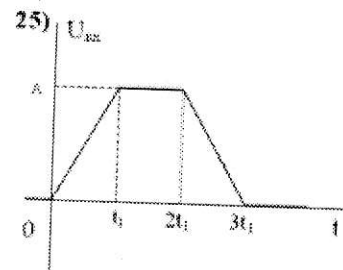
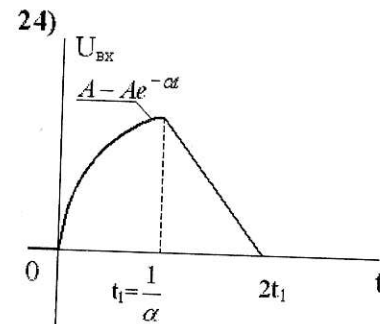
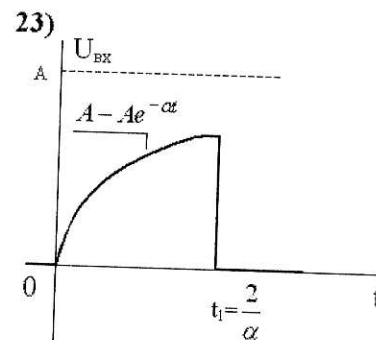
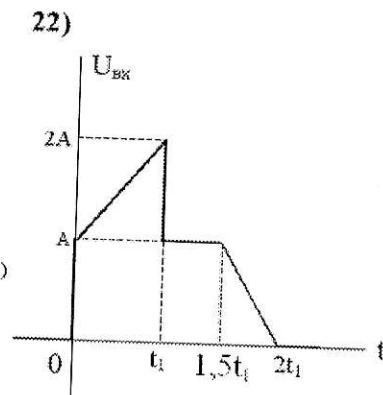
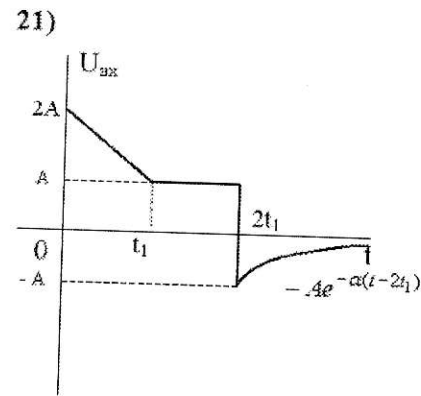
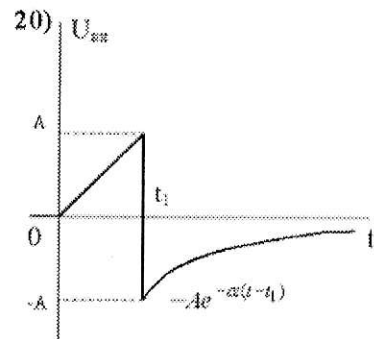
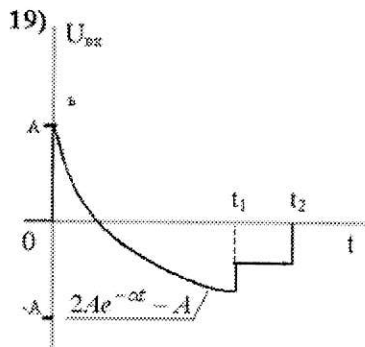
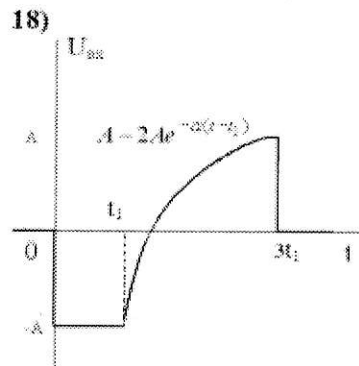
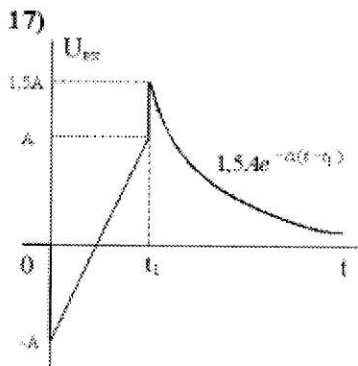
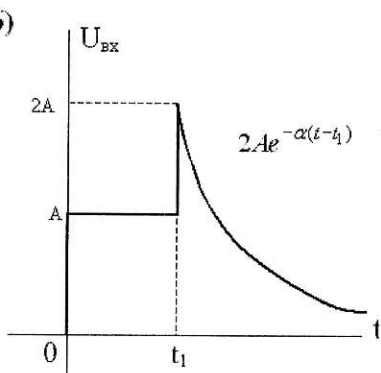
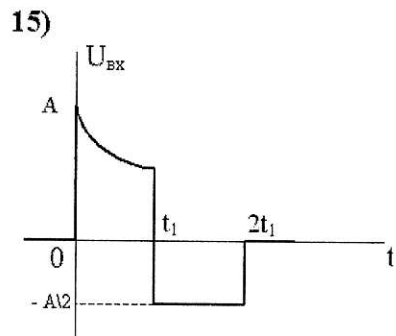
№ 45

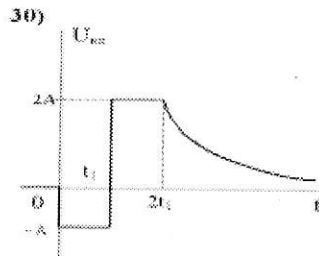
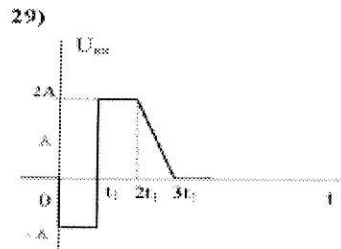
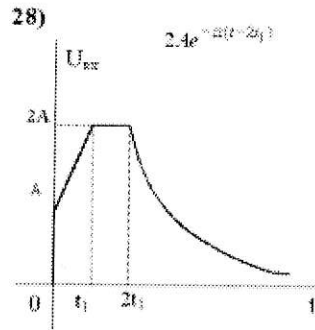
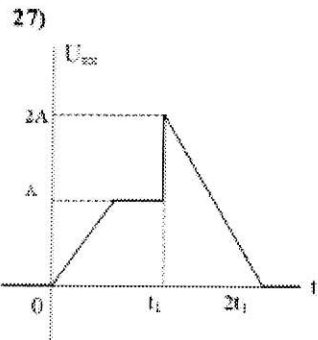


ИМПУЛЬСНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ $U_{вх}(t)$









ПРИМЕР

Найдем передаточную функцию, а также переходную и импульсную характеристики для цепи рис.7 а, приняв $X_{вх}(p) = U_{вх}(p)$, $X_{вых}(p) = U_{вых}(p) = U_{23}$.

1. Передаточная функция $K(p)$

Считая $U_{вх}(p)$ заданным, найдем $U_{вых}(p)$, воспользовавшись методом эквивалентного генератора (рис 7, б).

При обрыве индуктивной ветви $I_{1xx}(p) = I_{2xx}(p) = U_{вх}(p)/4R$.

Выражаем потенциалы 2-го и 3-го узлов через потенциал 4-го узла:

$$\begin{cases} \varphi_{2xx} = \varphi_4 + I_{1xx} 3R; \\ \varphi_{3xx} = \varphi_4 + I_{2xx} R. \end{cases}$$

$$U_{xx23}(\delta) = \varphi_{2xx} - \varphi_{3xx} = \frac{U_{ВХ}(\delta)}{4R} (3R - R) = \frac{U_{ВХ}(\delta)}{2};$$

$$Z_{ВХ}(\delta) = 2 \frac{R * 3R}{R + 3R} = 1,5R;$$

$$I_i(\delta) = \frac{U_{xx23}}{Z_{i\delta}(\delta) + Z_j(\delta)} = \frac{U_{i\delta}(\delta)}{2(1,5R + 0,5R + L\delta)} = \frac{U_{i\delta}(P)}{2(2R + Lp)};$$

$$U_{ВЫХ}(P) = I_H(P) * (0,5R + Lp) = U_{ВХ}(P) \frac{0,5R + Lp}{2(2R + Lp)}.$$

Искомая передаточная функция

$$K(p) = \frac{U_{ВЫХ}(P)}{U_{ВХ}(P)} = \frac{0,5R + Lp}{2(2R + Lp)} = \frac{R + 2Lp}{4(2R + Lp)}.$$

2. Переходная характеристика $h(t)$

Ее изображение:

$$\begin{aligned} K(p) &= \frac{R + 2Lp}{4p(2R + Lp)} = \frac{2R + 4Lp}{8p(2R + Lp)} = \frac{(2R + Lp)}{8p(2R + Lp)} + \frac{3Lp}{8p(2R + Lp)} = \\ &= \frac{1}{8p} + \frac{3L}{8(Lp + 2R)} = \frac{1}{8p} + \frac{3}{8} \frac{1}{p + \frac{2R}{L}}. \end{aligned}$$

Соответствующий оригинал:

$$h(t) = \frac{1}{8} + \frac{3}{8} \ell \frac{-2R}{L} t.$$

3. Импульсная характеристика $h_{\delta}(t)$

Ее изображение:

$$\begin{aligned} K(p) &= \left(\frac{1}{4}\right) \frac{R + 2Lp + 3R - 3R}{2R + Lp} = \left(\frac{1}{4}\right) \frac{4R + 2Lp - 3R}{2R + Lp} = \frac{1}{4} \left(2 - \frac{3R}{2R + Lp}\right) = \\ &= \frac{1}{2} - \frac{1}{4} \frac{3R}{Lp + 2R} = \frac{1}{2} - \frac{3R}{4L} \frac{1}{\left(p + \frac{2R}{L}\right)}. \end{aligned}$$

Соответствующий оригинал:

$$h_{\delta}(t) = \frac{1}{2} \delta(t) - \frac{3R}{4L} \ell \frac{-2R}{L} t.$$

4. Реакция на импульсное воздействие рис.7,в:

$$U_{вх}(t) = \begin{cases} 400 e^{-1000t} \text{ (В)} & 0 \leq t < t_1 \\ 0 & t_1 \leq t < \infty \end{cases}$$

Пусть для цепи рис.7,а $R=150$ Ом, $L=0,1$ Гн, тогда $h(t) = \frac{1}{8} + \frac{3}{8} e^{-3000t}$.

На интервале времени $0 \leq t < t_1$:

$$U_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}}(t) = U_{\hat{a}\hat{x}}(0) \cdot h(t) + \int_0^t U'_{\hat{a}\hat{x}}(\tau) \cdot h(t-\tau) d\tau, \quad \text{где } U_{\hat{a}\hat{x}}(0) = 400(B);$$

$$U'_{\hat{a}\hat{x}}(t) = -1000 \cdot 400 e^{-1000t} \Big|_{t=\tau} = -4 \cdot 10^5 e^{-1000\tau} (B/c).$$

$$U_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}}(t) = 400 \left(\frac{1}{8} + \frac{3}{8} e^{-3000t} \right) - \int_0^t (4 \cdot 10^5) e^{-1000\tau} \cdot \left[\frac{1}{8} + \frac{3}{8} e^{-3000(t-\tau)} \right] d\tau =$$

$$= 25(9e^{-3000t} - 1e^{-1000t}) \hat{A}.$$

На интервале времени $t_1 \leq t < \infty$:

$$U_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}}(t) = U_{\hat{a}\hat{x}}(0) \cdot h(t) + \int_0^{t_1} U'_{\hat{a}\hat{o}}(\tau) \cdot h(t-\tau) d\tau + [0 - U_{\hat{a}\hat{x}}(t_1)] \cdot h(t-t_1) =$$

$$= 400 \left(\frac{1}{8} + \frac{3}{8} e^{-3000t} \right) - \int_0^{t_1} (4 \cdot 10^5) e^{-1000\tau} \cdot \left[\frac{1}{8} + \frac{3}{8} e^{-3000(t-\tau)} \right] d\tau +$$

$$(-400e^{-1}) \cdot \left[\frac{1}{8} + \frac{3}{8} e^{-3000(t-t_1)} \right] = -146e^{-3000t} (B)$$

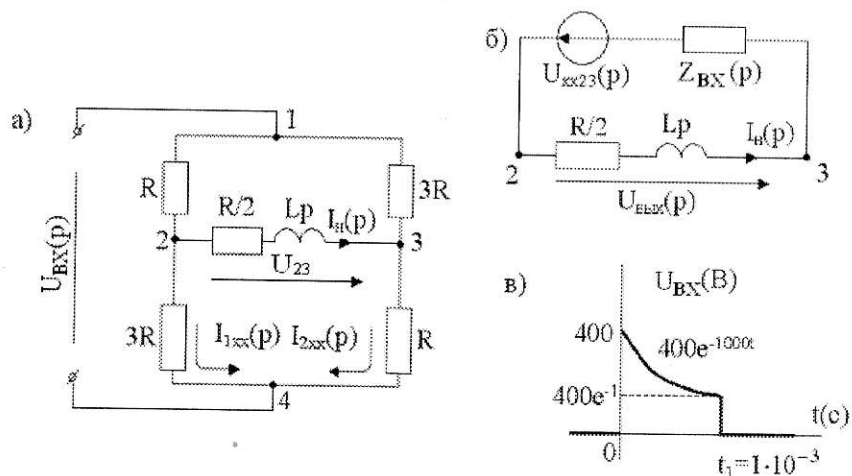


Рис. 7