

Практическое задание № 1

«Электрические цепи несинусоидального тока»

Номер варианта работы состоит из двух чисел, которые разделены точками (X.X.), и определяется с помощью табл. 1. **Первое число** варианта задает конфигурацию расчетной электрической цепи в табл. 2, а **второе число** – параметры электрической цепи на 1-ой гармонике в табл. 3.

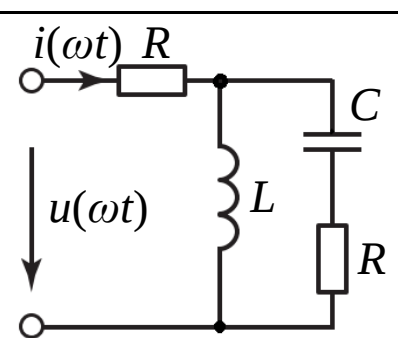
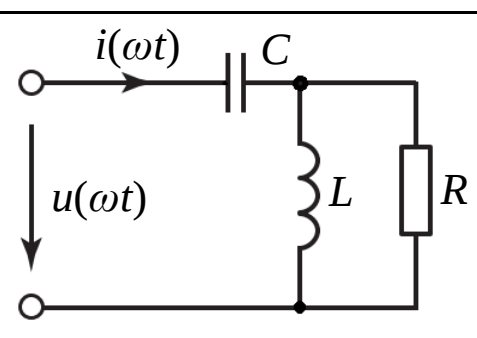
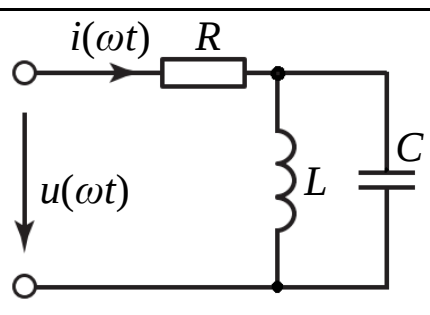
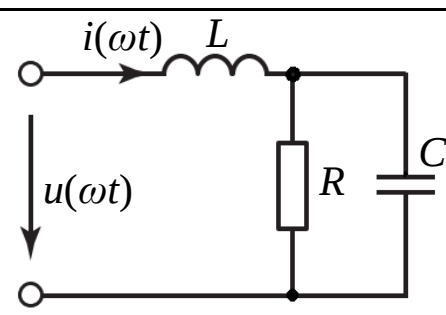
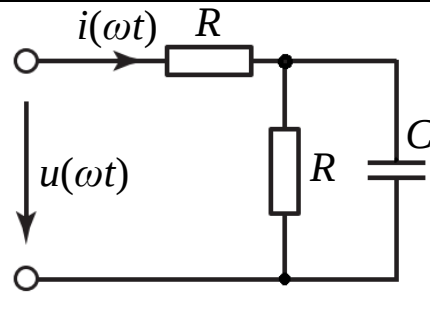
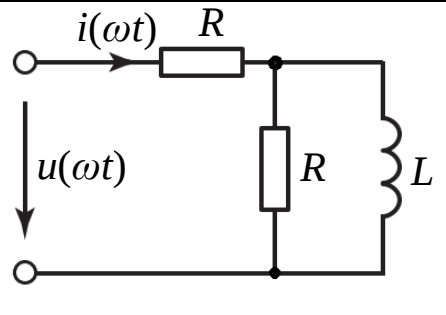
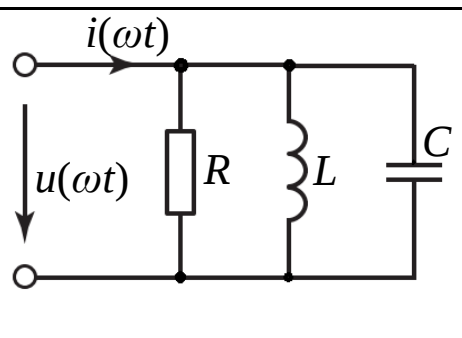
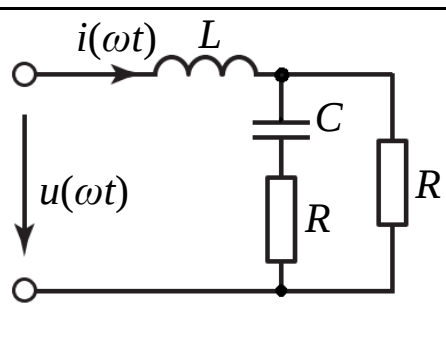
Таблица 1

Формирование варианта заданий

Первая буква фамилии студента	Номер варианта	Первая буква имени студента	Номер варианта
А, П	1.X	А, П	X.1
Б, Р	2.X	Б, Р	X.2
В, С	3.X	В, С	X.3
Г, Т	4.X	Г, Т	X.4
Д, У	5.X	Д, У	X.5
Е, Ф	6.X	Е, Ф	X.6
Ж, Х	7.X	Ж, Х	X.7
З, Ц	8.X	З, Ц	X.8
И, Ч	9.X	И, Ч	X.9
К, Ш	10.X	К, Ш	X.10
Л, Щ	11.X	Л, Щ	X.11
М, Э	12.X	М, Э	X.12
Н, Ю	13.X	Н, Ю	X.13
О, Я	14.X	О, Я	X.14

Таблица 2

Конфигурация электрической цепи несинусоидального тока

№ 1 	№ 2 
№ 3 	№ 4 
№ 5 	№ 6 
№ 7 	№ 8 

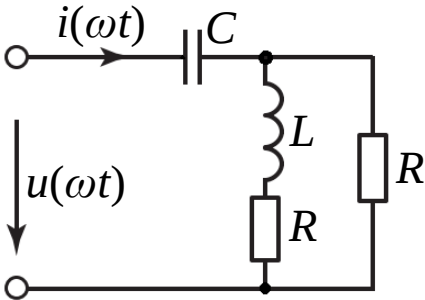
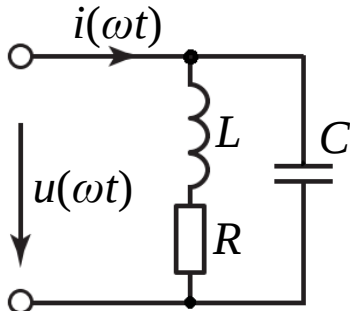
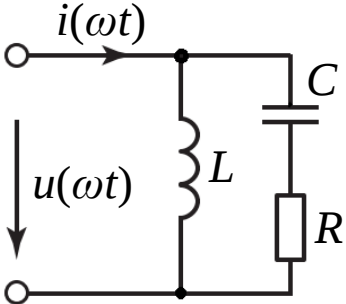
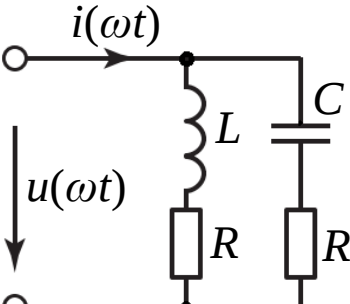
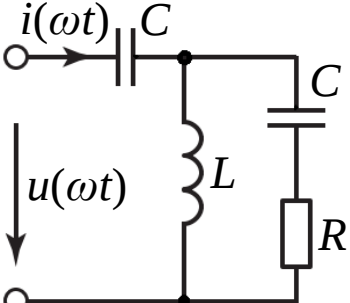
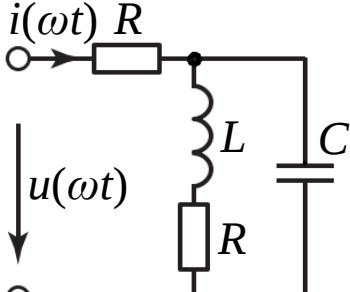
№ 9 	№ 10 
№ 11 	№ 12 
№ 13 	№ 14 

Таблица 3

Параметры электрической цепи несинусоидального тока

№	R	ωL	$\frac{1}{\omega C}$	Мгновенное значение $u(\omega t)$, В
	Ом	Ом	Ом	
1	50	50	200	$250 \sin(\omega t + \pi/2) + 120 \sin(2\omega t + \pi/6)$
2	120	120	600	$600 \sin(\omega t - \pi/4) + 230 \sin(3\omega t + \pi/3)$
3	45	45	150	$300 \sin(\omega t + \pi/3) + 150 \sin(4\omega t + 2\pi/3)$
4	80	80	200	$450 \sin(\omega t - \pi/12) + 200 \sin(2\omega t - \pi/4)$
5	40	40	150	$500 \sin(\omega t + 2\pi/3) + 350 \sin(3\omega t + 7\pi/9)$
6	45	45	100	$700 \sin(\omega t + \pi/8) + 420 \sin(4\omega t - \pi/10)$
7	50	50	80	$350 \sin(\omega t - \pi/6) + 180 \sin(2\omega t - 5\pi/6)$
8	35	35	50	$550 \sin(\omega t + 3\pi/4) + 240 \sin(3\omega t + \pi/2)$
9	40	40	50	$220 \sin(\omega t - \pi/2) + 120 \sin(4\omega t - \pi/7)$
10	15	15	20	$150 \sin(\omega t + 5\pi/6) + 60 \sin(2\omega t + 3\pi/4)$
11	30	30	35	$320 \sin(\omega t - \pi/9) + 180 \sin(3\omega t - 8\pi/9)$
12	35	35	30	$280 \sin(\omega t + 11\pi/12) + 130 \sin(4\omega t - 2\pi/3)$
13	60	60	55	$380 \sin(\omega t + \pi/10) + 210 \sin(2\omega t - \pi/3)$
14	80	80	50	$420 \sin(\omega t - 5\pi/6) + 330 \sin(3\omega t + \pi/5)$

Задание

1. Определите мгновенное значение несинусоидального тока $i(\omega t)$.
2. Определите действующие значения тока и напряжения на входе расчетной цепи.
3. Проверьте баланс активных мощностей.
4. Постройте временные зависимости напряжения $u(\omega t)$ и входного тока $i(\omega t)$.

Образец выполнения практического задания № 1

Запишем исходные данные расчетной электрической цепи несинусоидального тока.

Параметры электрической цепи: $R = 20$ Ом, $\omega L = 30$ Ом, $\frac{1}{\omega C} = 60$ Ом.

Мгновенное значение входного напряжения определяется выражением:

$$u(\omega t) = 120 \sin(\omega t + 30^\circ) + 80 \sin(3\omega t - 60^\circ) \text{ В.}$$

Конфигурация расчетной электрической цепи изображена на рис. 1.

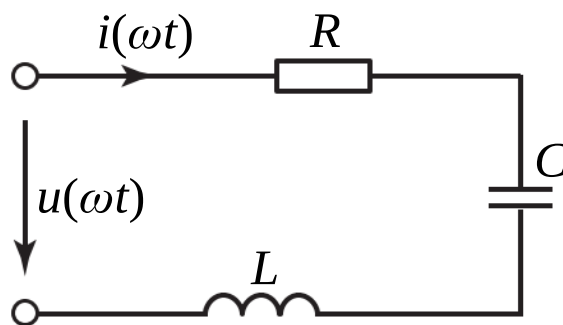


Рис. 1. Расчетная электрическая цепь

Решение

1. Расчет электрической цепи на частоте первой гармоники.

Определим комплексное сопротивление цепи (формула 1):

$$\begin{aligned} \underline{Z}^{(1)} &= R - j \frac{1}{\omega C} + j\omega L = 10 - j60 + j30 = 10 + j(30 - 60) = \\ &= 20 - j30 = \sqrt{20^2 + (-30)^2} \cdot e^{-j \arctg(\frac{30}{20})} \approx 36,06 \cdot e^{-j56,31^\circ} \text{ Ом.} \end{aligned} \quad (1)$$

Комплексная амплитуда тока в расчетной цепи на первой гармонике определим по закону Ома (формула 2):

$$\underline{I}_m^{(1)} = \frac{\underline{U}_m^{(1)}}{\underline{Z}^{(1)}} = \frac{U_m^{(1)} \cdot e^{j\psi^{(1)}}}{Z^{(1)} \cdot e^{j\varphi^{(1)}}} = \frac{120 \cdot e^{j30^\circ}}{36,06 \cdot e^{-j56,31^\circ}} \approx 3,33 \cdot e^{j86,31^\circ} \text{ А.} \quad (2)$$

Запишем соответствующее выражение мгновенного тока первой гармоники (формула 3):

$$i^{(1)}(\omega t) = 3,33 \sin(\omega t + 86,31^\circ) \text{ А.} \quad (3)$$

2. Расчет электрической цепи на частоте третьей гармоники.

Определим комплексное сопротивление цепи (формула 4):

$$\begin{aligned}\underline{Z}^{(3)} &= R - j \frac{1}{3\omega C} + j3\omega L = 20 - j20 + j90 = 20 + j(90 - 20) = \\ &= 20 + j70 = \sqrt{20^2 + 70^2} \cdot e^{j \arctg(\frac{70}{20})} \approx 72,8 \cdot e^{j74,05^\circ} \text{ Ом.}\end{aligned}\quad (4)$$

Комплексная амплитуда тока в расчетной цепи на первой гармонике определим по закону Ома (формула 5):

$$\underline{I}_m^{(3)} = \frac{\underline{U}_m^{(3)}}{\underline{Z}^{(3)}} = \frac{U_m^{(3)} \cdot e^{j\psi^{(3)}}}{Z^{(3)} \cdot e^{j\varphi^{(3)}}} = \frac{80 \cdot e^{-j60^\circ}}{72,8 \cdot e^{j72,8^\circ}} \approx 1,1 \cdot e^{-j134,05^\circ} \text{ А.} \quad (5)$$

Запишем соответствующее выражение мгновенного тока третьей гармоники (формула 6):

$$i^{(3)}(\omega t) = 1,1 \sin(3\omega t - 134,05^\circ) \text{ А.} \quad (6)$$

3. Мгновенное значение несинусоидального тока определим по принципу наложения (формула 7):

$$i(\omega t) = 3,33 \sin(\omega t + 86,31^\circ) + 1,1 \sin(3\omega t - 134,05^\circ) \text{ А.} \quad (7)$$

4. Определим действующие значения тока и напряжения на входе расчетной цепи для несинусоидальных кривых (формула 8):

$$\begin{aligned}U &= \sqrt{\left(\frac{U_m^{(1)}}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{U_m^{(3)}}{\sqrt{2}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{120}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{80}{\sqrt{2}}\right)^2} \approx 101,98 \text{ В,} \\ I &= \sqrt{\left(\frac{I_m^{(1)}}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{I_m^{(3)}}{\sqrt{2}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{3,33}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{1,1}{\sqrt{2}}\right)^2} \approx 2,48 \text{ А.}\end{aligned}\quad (8)$$

5. Составим уравнение баланса активных мощностей.

Активную мощность, на приемниках расчетной электрической цепи определим по формуле 9:

$$P_{\text{пр}} = R \cdot I^2 = 20 \cdot 2,48^2 \approx 122,84 \text{ Вт.} \quad (9)$$

Активную мощность, которую доставляет источник несинусоидального напряжения определим по формуле 10:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{ист}} &= \sum \frac{U_m^{(k)}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_m^{(k)}}{\sqrt{2}} \cdot \cos \varphi^{(k)} = \frac{U_m^{(1)}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_m^{(1)}}{\sqrt{2}} \cdot \cos \varphi^{(1)} + \frac{U_m^{(3)}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_m^{(3)}}{\sqrt{2}} \cdot \cos \varphi^{(1)} = \\
 &= \frac{120}{\sqrt{2}} \cdot \frac{3,33}{\sqrt{2}} \cdot \cos(30^\circ - 86,31^\circ) + \frac{80}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1,1}{\sqrt{2}} \cdot \cos(-60^\circ - (-134,05^\circ)) \approx \\
 &\approx 110,77 + 12,08 = 122,84 \text{ Вт.}
 \end{aligned} \quad (10)$$

6. Временные зависимости напряжения $u(\omega t)$ и входного тока $i(\omega t)$ показаны на рис. 2.

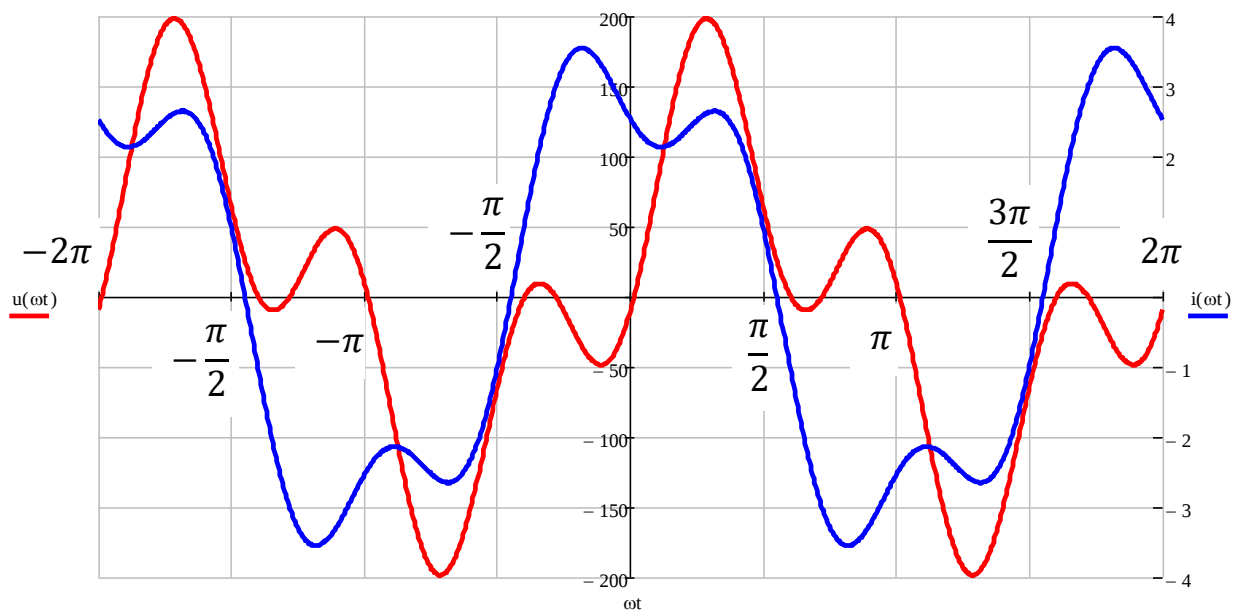


Рис. 2. Временные зависимости $u(\omega t)$ и $i(\omega t)$

Выводы: Мгновенное значение тока представляет собой несинусоидальную функцию $i(\omega t) = 3,33 \sin(\omega t + 86,31^\circ) + 1,1 \sin(3\omega t - 134,05^\circ)$ А. Действующие значения несинусоидальных напряжения и тока равны соответственно $U = 101,98$ В, $I = 2,48$ А. Амплитудные значения несинусоидальных напряжения и тока (рис. 2) равны соответственно $U_m = 200$ В, $I_m = 3,5$ А.

Практическое задание № 2

«Переходные процессы в электрических цепях с сосредоточенными параметрами с одним накопителем»

Номер варианта работы состоит из двух чисел, которые разделены точками (X.X.), и определяется с помощью табл. 4. **Первое число** варианта задает конфигурацию расчетной электрической цепи в табл. 5, а **второе число** – параметры электрической цепи в табл. 6.

Таблица 4

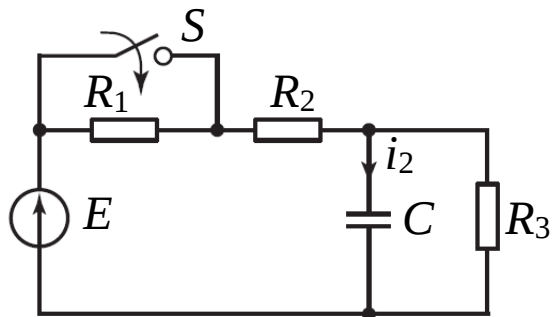
Формирование варианта заданий

Первая буква фамилии студента	Номер варианта	Первая буква имени студента	Номер варианта
А, П	1.X	А, П	X.1
Б, Р	2.X	Б, Р	X.2
В, С	3.X	В, С	X.3
Г, Т	4.X	Г, Т	X.4
Д, У	5.X	Д, У	X.5
Е, Ф	6.X	Е, Ф	X.6
Ж, Х	7.X	Ж, Х	X.7
З, Ц	8.X	З, Ц	X.8
И, Ч	9.X	И, Ч	X.9
К, Ш	10.X	К, Ш	X.10
Л, Щ	11.X	Л, Щ	X.11
М, Э	12.X	М, Э	X.12
Н, Ю	13.X	Н, Ю	X.13
О, Я	14.X	О, Я	X.14

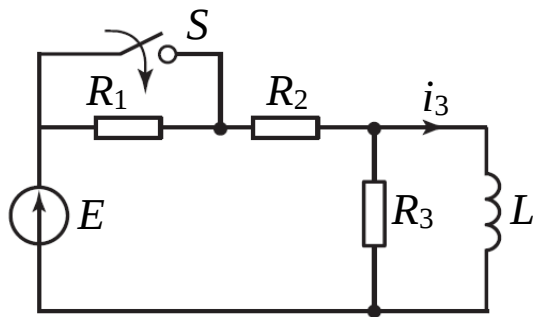
Конфигурация расчетной электрической цепи

№ 1	№ 2
№ 3	№ 4
№ 5	№ 6
№ 7	№ 8

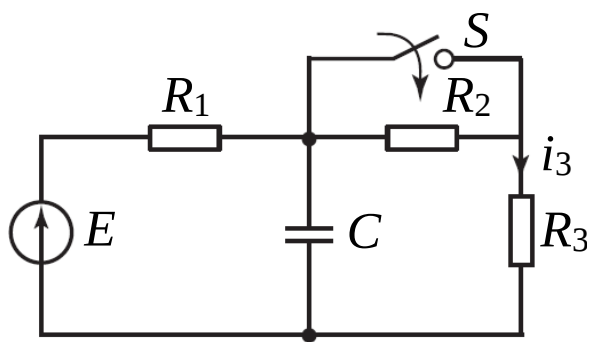
№ 9



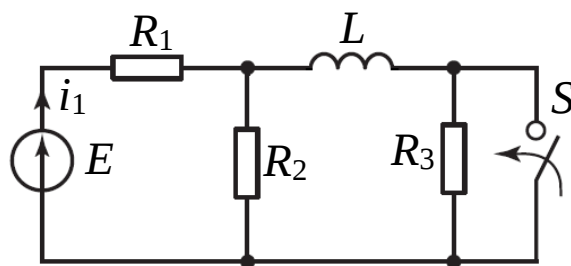
№ 10



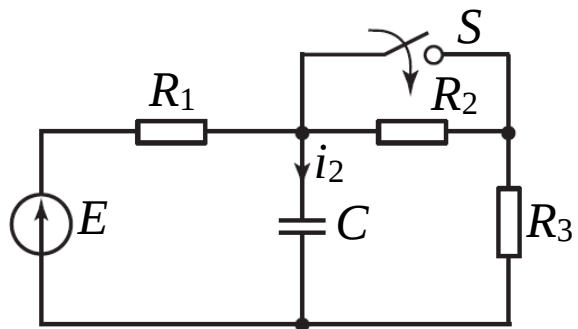
№ 11



№ 12



№ 13



№ 14

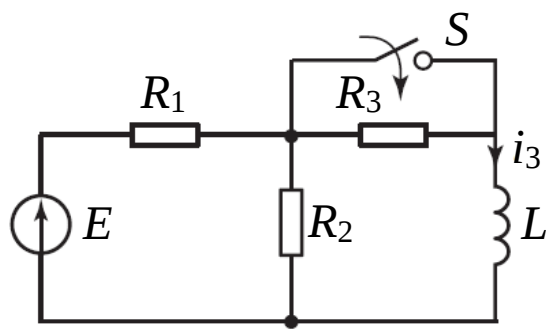


Таблица 6

Параметры расчетной электрической цепи

№	R_1	R_2	R_3	L	C	E
	Ом	Ом	Ом	мГн	мкФ	В
1	20	65	72	200	200	150
2	50	45	35	300	180	250
3	80	95	125	400	160	350
4	100	75	90	500	140	450
5	120	110	155	600	120	550
6	130	145	122	700	100	650
7	150	115	175	800	80	750
8	160	190	165	850	90	700
9	140	135	82	750	110	600
10	125	180	132	650	130	500
11	105	85	92	550	150	400
12	60	70	52	450	170	300
13	40	55	62	350	190	200
14	30	15	42	250	210	100

Задание

1. Определите установившееся значение тока до коммутации (для момента времени $t = 0_-$).
2. Определите принужденное значение тока $i_{\text{пр}}(t)$ (для $t = \infty$).
3. Составьте характеристическое уравнение $Z(p) = 0$. Определите корень характеристического уравнения, постоянную времени цепи и длительность переходного процесса.
4. Определите постоянную интегрирования A свободной составляющей тока $i_{\text{св}}(t)$.
5. Запишите закон изменения переходного тока $i(t) = i_{\text{пр}}(t) + i_{\text{св}}(t)$. Постройте график принужденной и свободной составляющих переходного тока, а также переходного тока на временном интервале $t \in (-\tau; 5\tau)$.

Образец выполнения практического задания № 2

Запишем исходные данные расчетной электрической цепи при расчете переходного процесса.

Параметры электрической цепи: $R_1 = 20 \text{ Ом}$, $R_2 = 10 \text{ Ом}$, $C = 500 \text{ мкФ}$, $E = 120 \text{ В}$.

Конфигурация расчетной электрической цепи изображена на рис. 3.

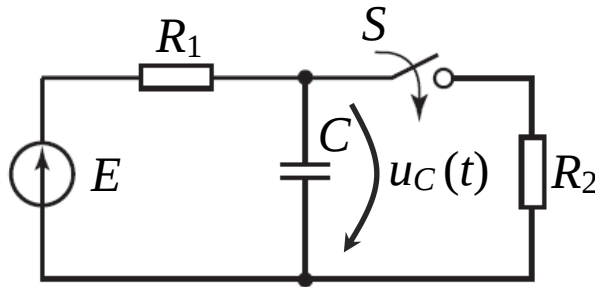


Рис. 3. Расчетная электрическая цепь

Решение

1. Расчет установившегося значения напряжения до коммутации. Конфигурация электрической цепи в этом режиме показана на рис. 4.

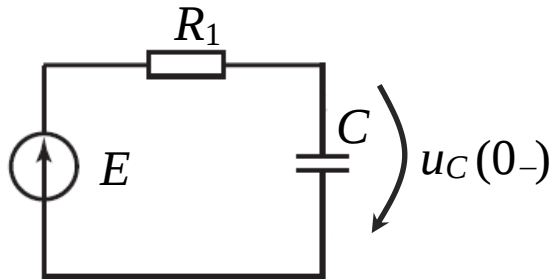


Рис. 4. Расчетная электрическая цепь для момента времени $t = 0_-$

Для постоянного тока участок цепи с конденсатором является обрывом, поэтому установившийся ток в электрической цепи равен нулю. Напряжение на конденсаторе определяется по формуле 11:

$$u_C(0_-) = E = 120 \text{ В.} \quad (11)$$

2. Расчет принужденного напряжения на конденсаторе $u_{C \text{ пр}}(t)$. Конфигурация электрической цепи в этом режиме показана на рис. 5.

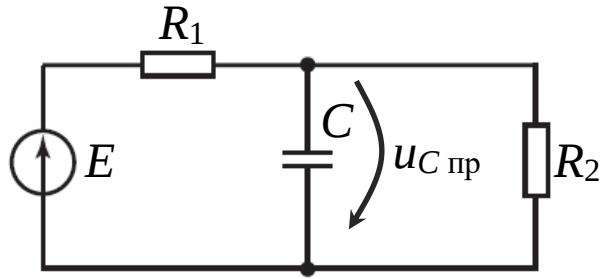


Рис. 5. Расчетная электрическая цепь для $t = \infty$

Сопротивление цепи постоянному току определяется по формуле 12:

$$i_{\text{пр}}(t) = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{120}{20 + 10} = \frac{120}{30} = 4 \text{ А.} \quad (12)$$

Принужденное значение напряжения на конденсаторе определяется по закону Ома (формула 13):

$$u_{C \text{ пр}}(t) = R_2 \cdot i_{\text{пр}}(t) = 10 \cdot 4 = 40 \text{ В.} \quad (13)$$

3. Составим характеристическое уравнение. Для этого изобразим конфигурацию электрической цепи в свободном режиме, когда источники энергии отсутствуют. Входные зажимы для определения входного сопротивления разместим в ветви с конденсатором (рис. 6).

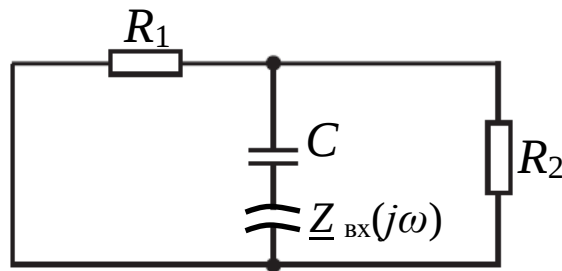


Рис. 6. Расчетная электрическая цепь в свободном режиме

Входное комплексное сопротивление определится по формуле 14:

$$\underline{Z}_{\text{вх}}(j\omega) = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + \frac{1}{j\omega C} = \frac{20 \cdot 10}{20 + 10} + \frac{1}{j\omega \cdot C}. \quad (14)$$

Произведём замену в выражении (формула 14) символа $j\omega$ на p и приравняем к нулю. Получим характеристическое уравнение (формула 15):

$$Z(p) = \frac{20 \cdot 10}{20 + 10} + \frac{1}{p \cdot 500 \cdot 10^{-6}} = \frac{20}{3} + \frac{10^6}{p \cdot 500} = 0. \quad (15)$$

Найдем корень характеристического уравнения по формуле 16:

$$p = -\frac{3}{20} \cdot \frac{10^6}{500} = -300 \text{ с}^{-1}. \quad (16)$$

Постоянная времени цепи является обратной величиной от корня характеристического уравнения, взятого по модулю (формула 17):

$$\tau = \frac{1}{|p|} = \frac{1}{|-300|} \approx 3,33 \cdot 10^{-3} = 3,33 \text{ мс}. \quad (17)$$

Длительность переходного процесса определяется, в соответствии с постоянной времени цепи, по формуле 18:

$$t_{\text{пп}} = 5 \cdot \tau = 5 \cdot 3,33 \cdot 10^{-3} \approx 20 \cdot 10^{-3} = 20 \text{ мс}. \quad (18)$$

4. Найдем постоянную интегрирования A свободной составляющей напряжения $u_{C \text{ св}}(t)$. Вид свободной составляющей определяется по формуле 19:

$$u_{C \text{ св}}(t) = A \cdot e^{p \cdot t}. \quad (19)$$

С другой стороны, свободная составляющая может найдена по формуле 20:

$$\begin{aligned} u_C(t) &= u_{C \text{ пр}}(t) + u_{C \text{ св}}(t), \quad \Rightarrow \quad u_{C \text{ св}}(t) = u_C(t) - u_{C \text{ пр}}(t), \\ \text{для } t = 0_+, \quad u_{C \text{ св}}(0_+) &= A \cdot e^{0 \cdot t} = A = u_C(0_+) - u_{C \text{ пр}}(t). \end{aligned} \quad (20)$$

Таким образом, постоянная составляющая A находится по формуле 21:

$$A = u_C(0_+) - u_{C \text{ пр}}(t), \quad (21)$$

где $u_C(0_+)$ – напряжение на конденсаторе в момент коммутации ($t = 0_+$), $u_{C \text{ пр}}(t)$ – принужденное значение напряжения на конденсаторе. Последнее значение напряжения уже найдено в пункте 2.

Напряжение на конденсаторе $u_C(0_+)$ найдем по второму закону коммутации (формула 22):

$$u_C(0_+) = u_C(0_-) = 120 \text{ В.} \quad (22)$$

Окончательно, величина постоянной интегрирования A определим по формуле 23:

$$A = u_C(0_+) - u_{C \text{ пр}}(t) = 120 - 40 = 80 \text{ В.} \quad (23)$$

5. Запишем закон изменения переходного напряжения на конденсаторе, который является суммой двух составляющих: принужденной и свободной (формула 24):

$$\begin{aligned} u_C(t) &= u_{C \text{ пр}}(t) + u_{C \text{ св}}(t) = u_{C \text{ пр}}(t) + A \cdot e^{p \cdot t} = \\ &= 40 + 80 \cdot e^{-300 \cdot t} = 40 + 80 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = 40 + 80 \cdot e^{-\frac{t}{3,33 \cdot 10^{-3}}}. \end{aligned} \quad (24)$$

Построим график переходного напряжения на конденсаторе (рис.7).

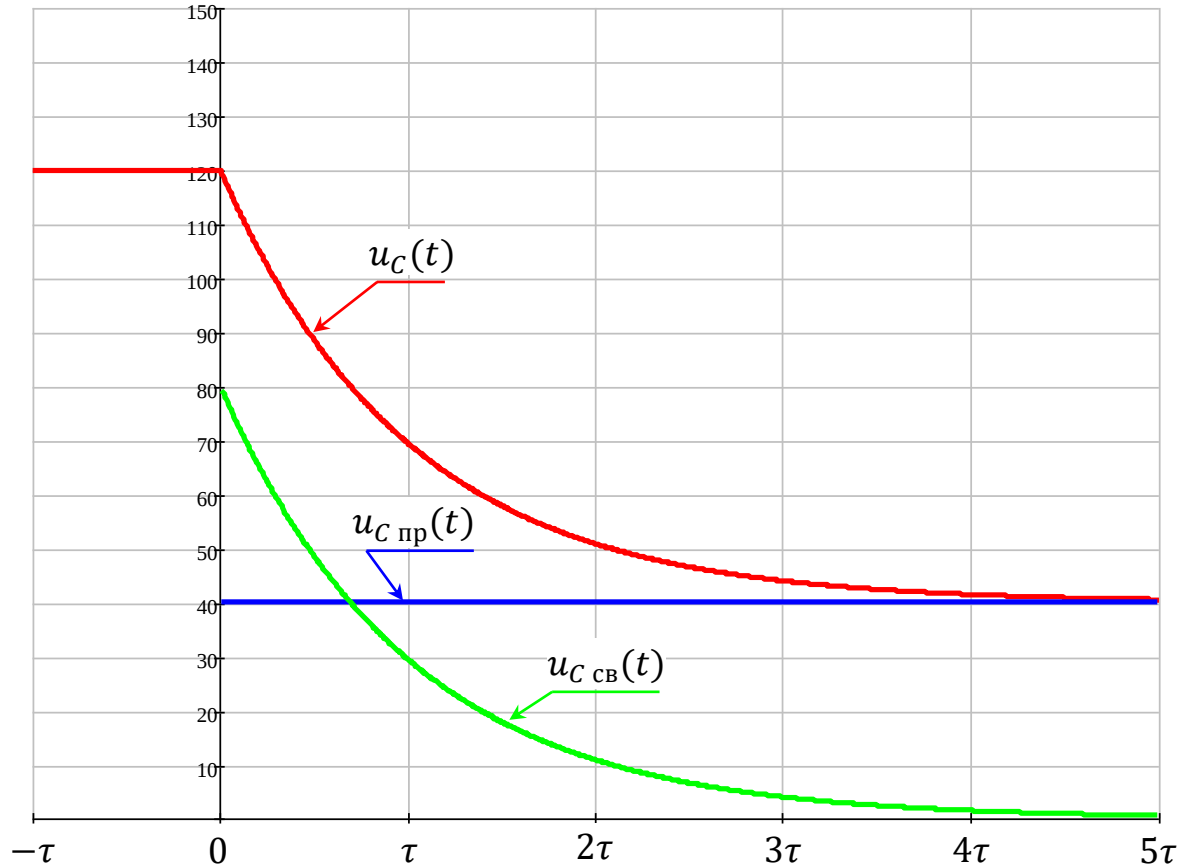


Рис. 7. График переходного напряжения $u_C(t)$

Выводы: Рассчитан переходный процесс в электрической цепи с конденсатором. Процессы в такой электрической цепи описывает неоднородное дифференциальное уравнение первого порядка. Коэффициенты в дифуравнении зависят от конфигурации, параметров цепи, а также от начальных условий. По графику переходного напряжения (рис. 7) видно, что второй закон коммутации выполняется. Принужденная составляющая напряжения на конденсаторе является константой, так как источник воздействия на электрическую цепь – постоянная ЭДС. Значение свободной составляющей в момент коммутации $t = 0_+$ равно постоянной интегрирования – A . Принужденные и свободные составляющие переходного напряжения на конденсаторе соответственно равны: $u_{C\text{ пр}}(t) = 40 \text{ В}$, $u_{C\text{ св}}(t) = 80 \cdot e^{-300 \cdot t} \text{ В}$.

Практическое задание № 3

«Переходные процессы в электрических цепях с сосредоточенными параметрами с двумя накопителями»

Номер варианта работы состоит из двух чисел, которые разделены точками (X.X.), и определяется с помощью табл. 7. **Первое число** варианта задает конфигурацию расчетной электрической цепи в табл. 8, а **второе число** – параметры электрической цепи в табл. 9.

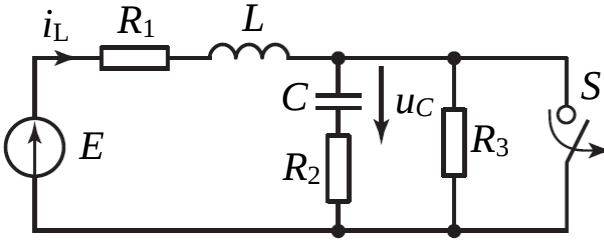
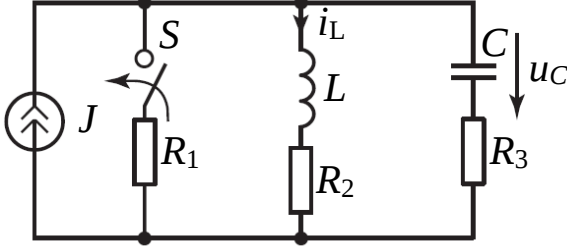
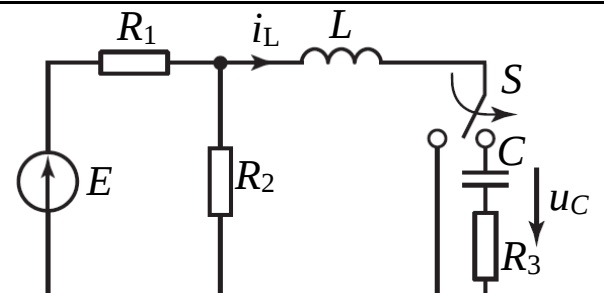
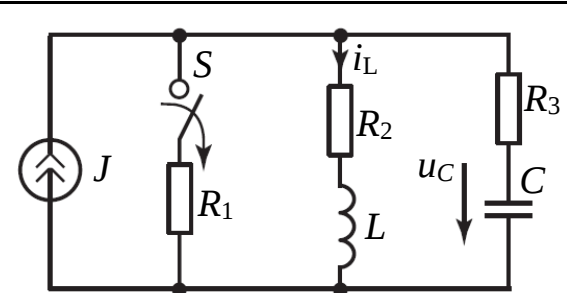
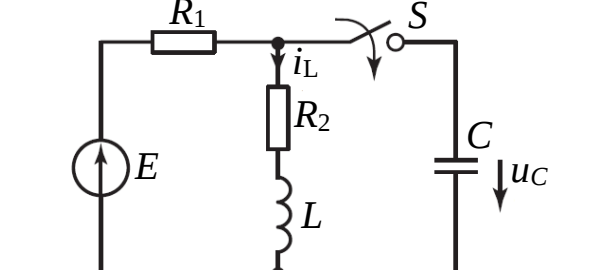
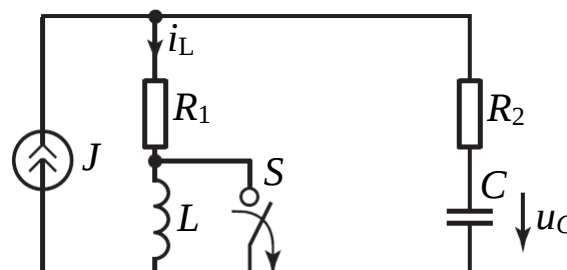
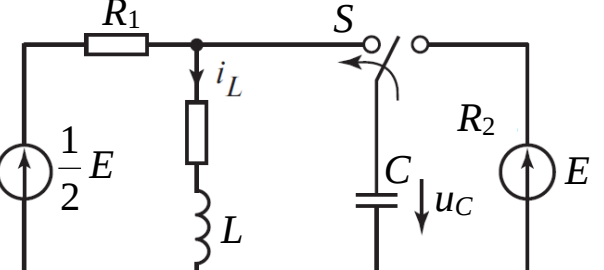
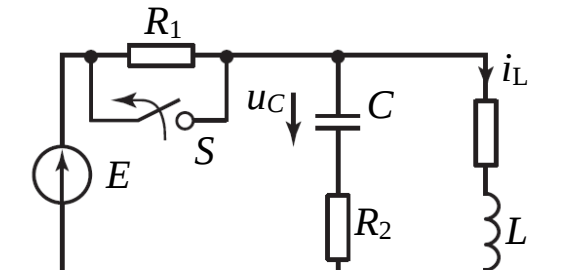
Таблица 7

Формирование варианта заданий

Первая буква фамилии студента	Номер варианта	Первая буква имени студента	Номер варианта
А, П	1.X	А, П	X.1
Б, Р	2.X	Б, Р	X.2
В, С	3.X	В, С	X.3
Г, Т	4.X	Г, Т	X.4
Д, У	5.X	Д, У	X.5
Е, Ф	6.X	Е, Ф	X.6
Ж, Х	7.X	Ж, Х	X.7
З, Ц	8.X	З, Ц	X.8
И, Ч	9.X	И, Ч	X.9
К, Ш	10.X	К, Ш	X.10
Л, Щ	11.X	Л, Щ	X.11
М, Э	12.X	М, Э	X.12
Н, Ю	13.X	Н, Ю	X.13
О, Я	14.X	О, Я	X.14

Таблица 8

Конфигурация расчетной электрической цепи

№ 1 	№ 2 
№ 3 	№ 4 
№ 5 	№ 6 
№ 7 	№ 8 

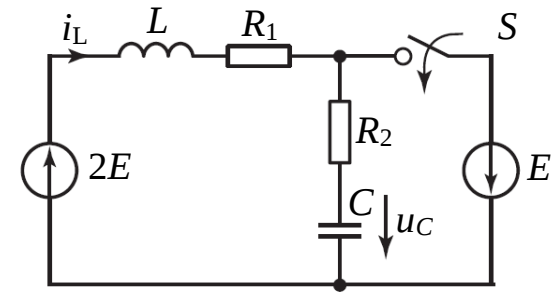
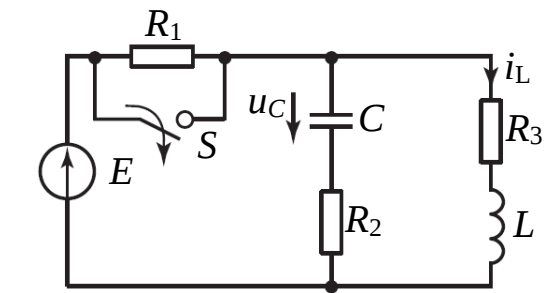
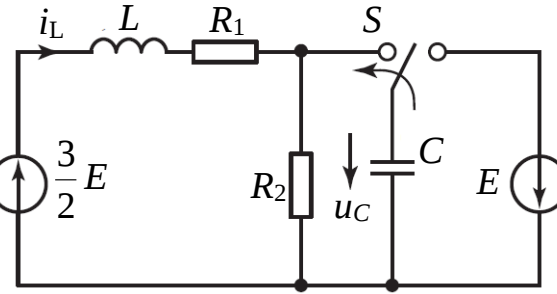
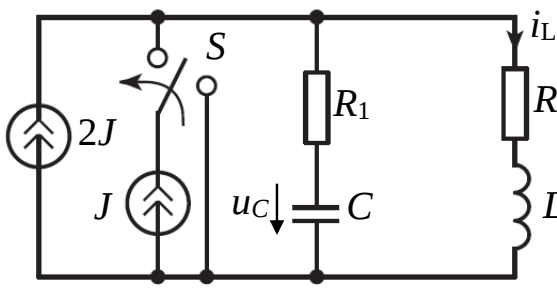
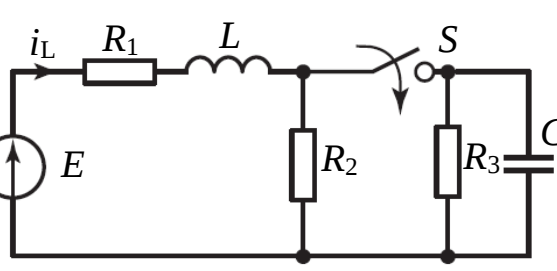
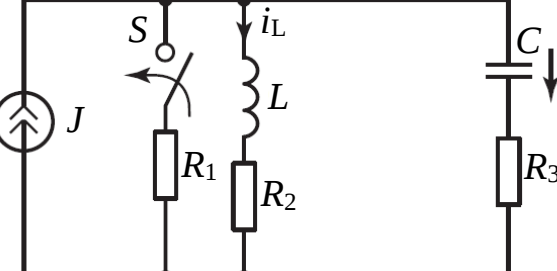
№ 9 	№ 10 
№ 11 	№ 12 
№ 13 	№ 14 

Таблица 9

Параметры расчетной электрической цепи

№	R_1	R_2	R_3	L	C	E	J
	Ом	Ом	Ом	мГн	мкФ	В	А
1	20	25	30	100	0,2	100	2
2	30	35	40	120	0,5	120	3
3	40	45	50	140	1	140	4
4	50	55	60	160	2	160	5
5	60	65	70	180	4	180	6
6	70	75	80	200	6	200	7
7	80	85	90	220	8	220	8
8	90	95	100	240	10	240	9
9	100	105	110	260	12	260	10
10	110	115	120	280	14	280	11
11	115	120	125	300	16	300	12
12	120	125	130	320	18	320	13
13	125	130	135	340	20	340	14
14	130	135	140	360	22	360	15

Задание

1. Определите независимые начальные условия в электрической цепи (для момента времени $t = 0_+$).
2. Определите первые производные независимых начальных условий. (для момента времени $t = 0_+$).
3. Определите корни характеристического уравнения, постоянную времени цепи и длительность переходного процесса. Укажите характер переходного процесса.

Образец выполнения практического задания № 3

Запишем исходные данные расчетной электрической цепи при расчете переходного процесса.

Параметры электрической цепи: $R_1 = 20 \text{ Ом}$, $R_2 = 40 \text{ Ом}$, $L = 100 \text{ мГн}$, $C = 20 \text{ мкФ}$, $E = 120 \text{ В}$.

Конфигурация расчетной электрической цепи изображена на рис. 8.

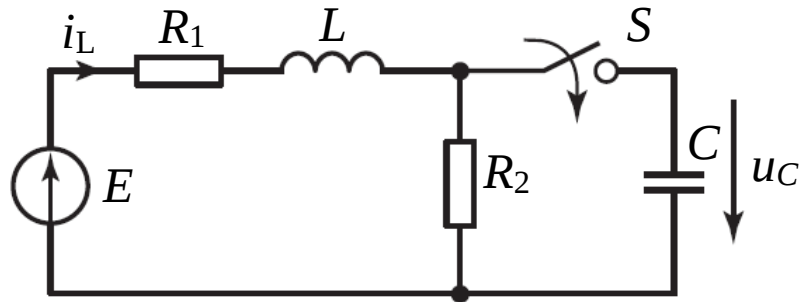


Рис. 8. Расчетная электрическая цепь

Решение

1. Определим независимые начальные условия в электрической цепи. К ним относят ток в индуктивности i_L и напряжение на конденсаторе u_C . В установившемся режиме до коммутации независимые начальные условия определяются по формуле 25.

$$\begin{aligned} i_L(0_-) &= \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{120}{20 + 40} = 2 \text{ А}, \\ u_C(0_-) &= 0 \text{ В}. \end{aligned} \quad (25)$$

Изобразим конфигурацию электрической цепи в момент коммутации – ключ S замкнулся (рис. 9).

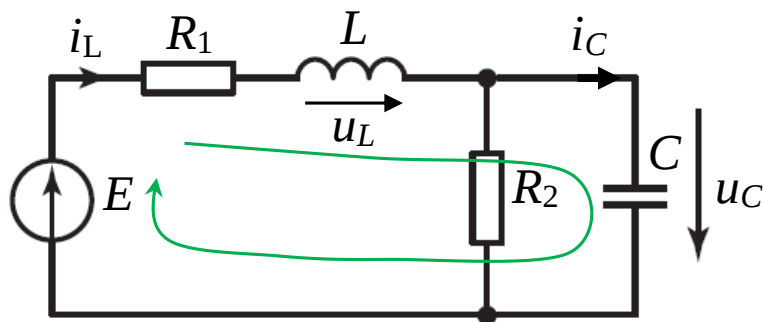


Рис. 9. Расчетная электрическая цепь в момент коммутации

Используя первый и второй законы коммутации, соответственно, запишем, что независимые начальные условия найдутся по формуле 26:

$$\begin{aligned} i_L(0_+) &= i_L(0_-) = 2 \text{ А}, \\ u_C(0_+) &= u_C(0_-) = 0 \text{ В}. \end{aligned} \quad (26)$$

2. Определение первых производных независимых начальных условий. Запишем уравнение по второму закону Кирхгофа для контура (рис. 9), включающего в себя участки с сопротивлением R_1 , индуктивностью L и конденсатором C (формула 27):

$$\begin{aligned} u_{R1}(0_+) + u_L(0_+) + u_C(0_+) &= E, \Rightarrow \\ u_L(0_+) &= E - R_1 \cdot i_L(0_+) - u_C(0_+) = 120 - 20 \cdot 2 - 0 = 80 \text{ В}. \end{aligned} \quad (27)$$

Поскольку напряжение на конденсаторе в момент коммутации равно нулю, то ток в ветви с конденсатором равен (формула 28):

$$i_C(0_+) = i_L(0_+) = 2 \text{ А}. \quad (28)$$

Напряжение и ток реактивных элементов (накопителей) связаны между собой следующими соотношениями (формула 29):

$$\begin{aligned} u_L(0_+) &= L \frac{di_L(0_+)}{dt}, & \Rightarrow & \frac{di_L(0_+)}{dt} = \frac{u_L(0_+)}{L}, \\ i_C(0_+) &= C \frac{du_C(0_+)}{dt}, & \Rightarrow & \frac{du_C(0_+)}{dt} = \frac{i_C(0_+)}{C}. \end{aligned} \quad (29)$$

Поэтому первые производные независимых начальных условий определяются по формуле 30:

$$\begin{aligned} \frac{di_L(0_+)}{dt} &= \frac{u_L(0_+)}{L} = \frac{80}{100 \cdot 10^{-3}} = 800 \text{ А/с}, \\ \frac{du_C(0_+)}{dt} &= \frac{i_C(0_+)}{C} = \frac{i_L(0_+)}{C} = \frac{2}{20 \cdot 10^{-6}} = 1 \cdot 10^5 \text{ В/с}. \end{aligned} \quad (30)$$

3. Составим характеристическое уравнение. Для этого изобразим конфигурацию электрической цепи в свободном режиме, когда источники

энергии отсутствуют. Входные зажимы для определения входного сопротивления разместим в ветви с конденсатором (рис. 10).

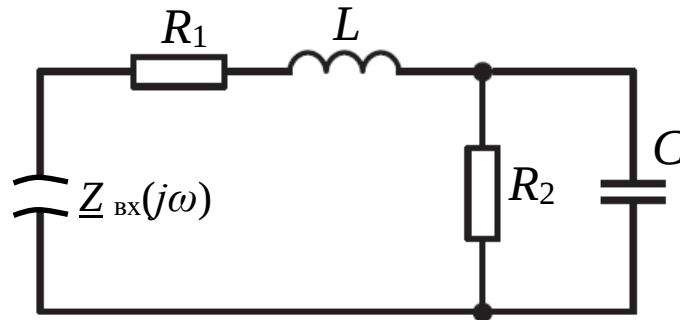


Рис. 10. Расчетная электрическая цепь в свободном режиме

Входное комплексное сопротивление определится по формуле 31:

$$\underline{Z}_{\text{вх}}(j\omega) = R_1 + j\omega \cdot L + \frac{R_2 \cdot \frac{1}{j\omega \cdot C}}{R_2 + \frac{1}{j\omega \cdot C}}. \quad (31)$$

Произведём замену в выражении (формула 31) символа $j\omega$ на p и приравняем к нулю. В результате преобразования, получим характеристическое уравнение (формула 32).

$$Z(p) = R_1 + p \cdot L + \frac{R_2 \cdot \frac{1}{p \cdot C}}{R_2 + \frac{1}{p \cdot C}} = 0, \quad (32)$$

$$20 + p \cdot 100 \cdot 10^{-3} + \frac{40 \cdot \frac{10^6}{p \cdot 20}}{40 + \frac{10^6}{p \cdot 20}} = 0.$$

Найдем корни характеристического уравнения по формуле 33:

$$p_{1,2} = -\delta \pm j\omega_{\text{св}} = -725 \pm j473,68 \text{ с}^{-1}, \quad (33)$$

где δ — коэффициент затухания, $\omega_{\text{св}}$ — угловая частота свободных колебаний. Корни характеристического уравнения — комплексно-сопряженные. Характер переходного процесса — *колебательный*,

затухающий. Постоянная времени цепи является обратной величиной от коэффициента затухания (формула 34):

$$\tau = \frac{1}{\delta} = \frac{1}{725} \approx 1,38 \cdot 10^{-3} = 1,38 \text{ мс.} \quad (34)$$

Длительность переходного процесса определяется, в соответствии с постоянной времени цепи, по формуле 35:

$$t_{\text{пп}} = 5 \cdot \tau = 5 \cdot 1,38 \cdot 10^{-3} \approx 6,9 \cdot 10^{-3} = 6,9 \text{ мс.} \quad (35)$$

Выводы: Рассчитали независимые начальные условия и их первые производные в электрической цепи с двумя реактивными элементами. Независимые начальные условия цепи равны: $i_L(0_+) = 2 \text{ А}$, $u_C(0_+) = 0 \text{ В}$; первые производные независимых начальных условий цепи равны: $\frac{di_L(0_+)}{dt} = 800 \text{ А/с}$, $\frac{du_C(0_+)}{dt} = 1 \cdot 10^5 \text{ В/с}$. Характер переходного процесса в цепи – колебательный, затухающий. Длительность переходного процесса составит 3,8 мс.

Титульный лист практического задания

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(Наименование института)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(Наименование кафедры, центра, департамента)

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ №

по учебному курсу «Теоретические основы электротехники 2»

Вариант ____

Обучающегося

(И.О. Фамилия)

Группа

Преподаватель

(И.О. Фамилия)

Тольятти 20__