

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Министерство образования и науки РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

Радиотехнический факультет

Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники (ТОР)

## ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Часть 2

Часть 2

### **Исследование переходных процессов в цепях первого и второго порядков**

### **Исследование переходных процессов в цепях первого и второго порядков**

Руководство к лабораторной работе для студентов  
радиотехнического факультета

Руководство к лабораторной работе

2012

Разработчики:  
Доцент кафедры ТОР  
**Б.Ф. Голев**  
Доцент кафедры ТОР  
**И.В. Мельникова**  
Ст. преподаватель  
кафедры ТОР  
**К.Ю. Дубовик**

2012

## Лабораторная работа «Исследование переходных процессов 1го и 2го порядков»

### 1. Цель работы

- 1.1 Усвоить основные понятия, связанные с переходными процессами (П.П.): коммутация, начальные условия, законы коммутации, длительность переходного процесса, постоянная времени.
- 1.2 Освоить методику исследования переходных процессов, используя осциллограф СИ-94.
- 1.3 Экспериментально проверить выполнение законов коммутации и влияние параметров цепи на длительность и характер переходного процесса в цепях первого и второго порядка.

### 2. Краткие теоретические сведения

**Переходный процесс** – состояние цепи между двумя установившимися режимами.

**Коммутация** – скачкообразное изменение воздействия или параметров цепи.

**Законы коммутации** (только для линейной цепи):

$$\begin{aligned} i_L(0_-) &= i_L(0_+), \\ U_C(0_-) &= U_C(0_+) \end{aligned} \quad (2.1)$$

**Начальные условия (НУ)** - значения токов и напряжений непосредственной после коммутации  $t = 0_+$ .

НУ делятся на **независимые** ( $U_C, i_L$ ), которые в момент  $t = 0_+$  сохраняют свои значения независимо от состоявшейся коммутации, и **зависимые** – все остальные токи и напряжения.

**Постоянная времени** цепи  $\tau$  - интервал времени, за который переходное напряжение или ток изменяются в  $e$  раз ( $e = 2,71828$ ).

**Длительность переходного процесса** ( $t_{пр}$ ) определяется параметрами и заданной точностью приближения к установившемуся послекоммутационному значению:

Для 1% точности приближения  $t_{пр} = 4.6\tau$

Для 10% точности приближения  $t_{пр} = 2.3\tau$

В последнем случае корректнее использовать термин «время установления  $t_{уст}$ » - время, за которое значение напряжения или тока достигает значения  $0.05U_C(0_+)$  или  $0.05i_L(0_+)$ .

**Расчетные соотношения:** Для определения значений тока и напряжения на элементах для схемы 1 рис.3.4 при включении постоянного напряжения  $E$  в различные моменты времени используются выражения:

$$U_C(t) = E \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad (2.2)$$

$$U_R(t) = E \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad i_R(t) = \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (2.3)$$

$$\tau = RC, \quad t_{\text{отб}} = 2,3\tau, \quad t_{\text{пр}} = 4,6\tau = 2t_{\text{отб}}. \quad (2.4)$$

Для определения значений тока и напряжений на элементах для схемы 2 рис.3.4 при включении постоянного напряжения  $E$  в различные моменты времени используются выражения:

$$U_L(t) = E \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (2.5)$$

$$U_R(t) = E \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad i_R(t) = \frac{U_R(t)}{R} = \frac{E}{R} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad (2.6)$$

$$\tau = \frac{L}{R}, \quad t_{\text{отб}} = 2,3\tau, \quad t_{\text{пр}} = 4,6\tau. \quad (2.7)$$

Для цепи 2-го порядка (схема 3 рис. 3.5) напряжение на емкости при включении зависит от корней характеристического уравнения

$$p^2 LC + pCR + 1 = 0 \rightarrow p^2 + 2\alpha \cdot p + \omega_p^2 = 0 \quad (2.8)$$

где  $\alpha = \frac{R}{2L}$  - коэффициент затухания;

$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  - резонансная частота контура;

$$p_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_p^2} \quad (2.9)$$

При  $\alpha > \omega_p$  или  $R > 2\rho$  - ПП носит аperiодический характер (не колебательный)

???  $\omega = \sqrt{\frac{L}{C}}$  - характеристическое сопротивление контура

При  $\alpha < \omega_p$  или  $R < 2\rho$  - ПП имеет колебательный характер с частотой  $\omega_0$

$\omega_0$  - частота собственных колебаний

$$\omega_0 = \sqrt{\alpha^2 - \omega_p^2} = \sqrt{\omega_p^2 - \alpha^2} \quad (2.10)$$

Типовое обозначение корней в этом случае

$$p_{1,2} = -\alpha \pm j\omega_0 \quad (2.11)$$

Если  $\alpha \ll \omega_p$ ,  $\omega_0 \approx \omega_p$ .

Напряжение на емкости в этом случае имеет вид

$$u_c(t) = E - Ee^{\alpha t} \cos \omega_0 t$$

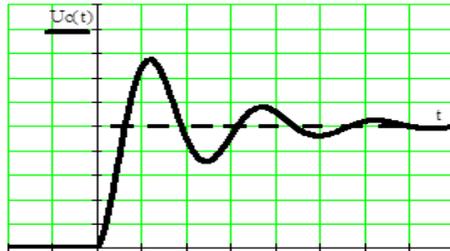


Рисунок 2.1

В случае колебательного процесса

$$\tau = \frac{1}{\alpha} = \frac{2L}{R}; t_{III} \approx 4,6\tau \quad (2.12)$$

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} - \text{период собственных колебаний,}$$

$$N = \frac{t_{III}}{T_0} - \text{число колебаний за время } t_{III}.$$

Чем выше добротность контура  $Q$ , тем медленнее затухает колебательный процесс (больше  $\tau$ ), тем больше  $N$ , тем значение  $\omega_0$  ближе к значению

$\omega_p$ .

$$Q = \frac{\omega_p L}{R} \approx \frac{2\pi}{T_0} \cdot \frac{\tau}{2} = \frac{\pi\tau}{T_0} \quad (2.13)$$

Для частного случая  $t_{III} = \frac{T}{2}$  входного сигнала:

$$Q = \frac{\pi \cdot N}{4,6} \quad (2.14)$$

### 3. Описание лабораторной установки

Для выполнения лабораторной работы используется лабораторный макет «Основы теории цепей 1», звуковой генератор ГЗ-53, источник напряжения, управляемый напряжением (ИНУН) и осциллограф СИ-94. Внешний вид лабораторного макета представлен на Рис.3.1.

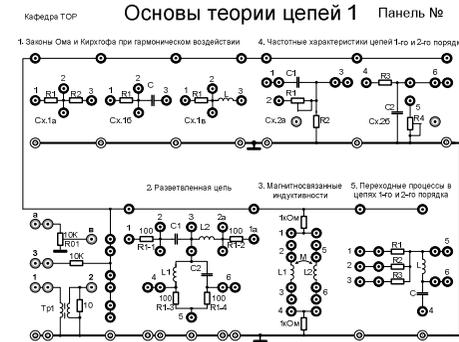


Рис.3.1 Макет «Исследование переходных процессов».

Схема экспериментальной установки для выполнения лабораторной работы представлена на рис. 3.2:

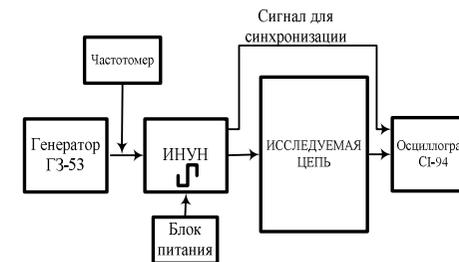


Рис. 3.2 Схема экспериментальной установки

Сигнал на ИНУН поступает с генератора звуковой частоты ГЗ-53, рабочие частоты которого 50-1000 Гц. ИНУН используется в режиме формирования прямоугольных импульсов. В итоге формируются прямоугольные импульсы с периодом  $T = \frac{1}{f}$  (см. рис.3.3).

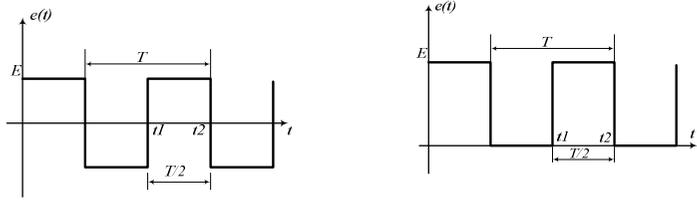


Рис. 3.3 Пример сформированного прямоугольного импульса

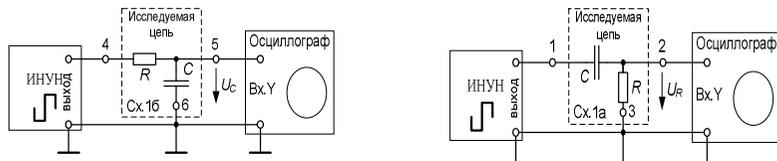
Если время переходного процесса  $t_{tr}$  исследуемой цепи  $t_{tr} \leq \frac{T}{2}$ , то

момент времени  $t_1$  можно рассматривать как включение «постоянного» напряжения с амплитудой  $E$ , а  $t_2$  - как выключение. При этом же условии  $t_{tr} \leq \frac{T}{2}$  можно считать, что в исследуемой схеме до включения постоянного напряжения имеют место нулевые НУ.

Необходимость использования периодического сигнала обусловлено использованием осциллографа СИ-94, который позволяет визуально наблюдать и исследовать периодические сигналы от 5Гц до 10 МГц.

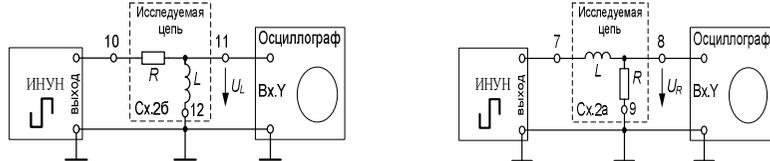
На рис. 3.4 представлены исследуемые цепи I-го порядка RC, RL (схемы 1 и 2), и цепь II-го порядка (Рис.3.5, схема 3).

Схема 1



а) Исследование ПП на емкости  $C$  б) Исследование ПП на сопротивлении  $R$

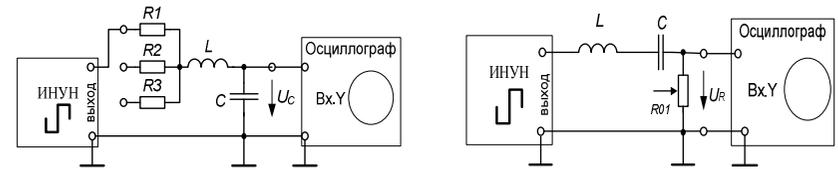
Схема 2



а) Исследование ПП на индуктивности  $L$  б) Исследование ПП на сопротивлении  $R$

Рис.3.4 Схемы исследуемых цепей I-го порядка

Схема 3



а) Исследование ПП на емкости  $C$  б) Исследование ПП на сопротивлении  $R$

Рис.3.5 Схема исследуемой цепи II-го порядка

Меняя величину сопротивления потенциометра можно менять постоянную времени  $\tau$  цепи. Во всех схемах в качестве сопротивления использовать выносной потенциометр (получить у преподавателя).

В качестве индуктивности  $L$  и емкости  $C$  используются элементы, расположенные в правом нижнем углу макета (раздел: Переходные процессы в цепях 1-го и 2-го порядка).

#### 4. Домашнее задание

По рекомендуемой литературе [1, с.427-450; 2, с.306-325] изучить основные понятия, связанные с переходными процессами, методами их расчета и измерения.

##### 4.1 Расчет цепей I-го порядка

По заданному значению частоты (таблица 1) и известной емкости  $C = 192 \text{ нФ}$ . Вычислить  $R_{\max}$ , при котором время переходного процесса  $\frac{T}{2}$ .

Таблица 1

№ стэнда	1	2	3	4	5	6	7
$f, \text{Гц}$	100	200	300	400	500	600	700

$$\frac{T}{2} = t_{III_{\max}} = 4,6 \cdot \tau_{\max}, \text{ где } \tau_{\max} = R_{\max} \cdot C.$$

По заданному значению частоты (таблица 1) и известному значению индуктивности  $L = 200 \text{ мГн}$ . Вычислить  $R_{\min}$ , при котором время переходного процесса  $\frac{T}{2}$ .

$$\frac{T}{2} = t_{III_{\max}} = 4,6 \cdot \tau_{\max}, \text{ где } \tau_{\max} = \frac{L}{R_{\min}}.$$

Один студент в бригаде ведет расчет для схемы 1, другой-для схемы 2 (рис. 3.4).

- 1) Определить докоммутационные, начальные и установившиеся значения при включении напряжения  $E$  (полагать НУ нулевыми) и выключении; заполнить таблицы 4.1 и 4.2.
- 2) Изобразить характер переходного процесса (ПП)  $U_R(t)$ ,  $U_L(t)$  или  $U_C(t)$  для двух различных значений постоянной времени  $\tau_1, \tau_2 = 2 \tau_1$ ;
- 3) Для заданной частоты генератора определить  $\frac{T}{2}$ . Чтобы НУ считались нулевыми, полагаем максимально допустимым временем переходного процесса  $t_{\text{пр}} = \frac{T}{2}$ ;
- 4) вычислить максимально допустимое значение постоянной времени  $\tau_{\text{max}}$ :  
 $t_{\text{ПП}} \approx 4,6\tau$  для 1% точности приближения, т.е.  $U(t_{\text{пр}}) = 0,01 U_{\text{max}}$
- 5) Рассчитать  $R_{\text{max}}$  для схемы 1, рассчитать  $R_{\text{min}}$  для схемы 2, соответствующие  $\tau_{\text{max}}$ .
- 6) По соответствующим выражениям (2.2, 2.3, 2.5 и 2.6) рассчитать значения  $U_R(t)$ ,  $U_C(t)$  или  $U_L(t)$  в долях  $E$  для заданных в таблице 5.1 значений времени  $t$ ; результаты занести в таблицу 5.1

#### 4.2 Расчет цепи II-го порядка

Исходные данные:  $L = 200 \text{ мГн}$ ,  $C = 192 \text{ нФ}$ ,  $f = 50 \text{ Гц}$ .

Вычислить  $R_{\text{min}}$ , при котором время переходного процесса  $\frac{T}{2}$ .

$$t_{\text{ПП}_{\text{max}}} = 4,6 \cdot \tau_{\text{max}}, \tau_{\text{max}} = \frac{1}{\alpha}, \text{ где } \alpha = \frac{R}{2L}, \tau_{\text{max}} = \frac{2L}{R_{\text{min}}}.$$

Полагая, что частота затухающих колебаний  $\omega_{\text{св}} \approx \omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ , вы-

числяем соотношение  $\frac{t_{\text{ПП}_{\text{max}}}}{T_{\text{св.колеб.}}} = \frac{2\pi}{\omega_{\text{св}}} \approx \frac{2\pi}{\omega_p}$ .

Один студент в бригаде выполняет расчет для включения постоянного напряжения  $E$  в схеме 3 (рис.3.5), другой – для выключения.

- 1) Заполнить таблицы 4.3 и 4.4, полагая при включении напряжения НУ нулевыми:

Таблица 4.3

При включении постоянного напряжения  $E$

$t$	$0_-$	$0_+$	$\infty$
$i$			
$U_R$			
$U_L$			
$U_C$			

Таблица 4.4

При выключении постоянного напряжения  $E$

$t$	$0_-$	$0_+$	$\infty$
$i$			
$U_R$			
$U_L$			
$U_C$			

- 2) изобразить ожидаемые графики ПП для  $U_R(t)$ ,  $U_C(t)$  при условии, что корни характеристического уравнения комплексно-сопряженные,  $t_{\text{пр}} = \frac{T}{2}$ ;
- 3) На основе характеристического уравнения (2.8) и его корней (2.9) определить из соотношения  $\alpha = \omega_p$  значение  $R_{\text{гран}}$  при повышении которого колебательный процесс уже невозможен;
- 4) полагая  $t_{\text{пр}} = \frac{T}{2}$ , определить по (2.12) постоянную времени цепи  $\tau_{\text{max}}$  и соответствующее сопротивление  $R_{\text{min}}$ ;
- 5) Вычислить частоту собственных колебаний  $\omega_0$  по выражению (2.10), сравнить со значением  $\omega_p$ .

Результаты расчета занести в Таблицу 5.1 и 5.2.

## 5. Экспериментальная часть

### 5.1 Исследование цепей I-го порядка

- 1) Собрать экспериментальную установку согласно рис. 3.2. Для исследования напряжения на емкости  $U_C(t)$  в качестве исследуемой цепи подключить схему 1а, рис.3.4.

Подготовка к работе:

- переключатель входа  $Y$  осциллографа установить в положение «открытый вход»;
- переключатель «вольт/деление» в положение  $0,5B$ ;
- синхроимпульсы с блока ИНУН подать на соответствующий вход осциллографа;
- переключатель «время/дел» установить в положение  $0,5\text{мс}$ ;

– вход  $Y$  осциллографа подключить к выходу ИНУН, соединенному со входом исследуемой схемы. Меняя выходное напряжение ИНУН, установить амплитуду напряжения на входе цепи  $2B$  (по осциллографу);

– установить заданную частоту генератора; переключить “вр./дел.”, установить так, чтобы на экране осциллографа можно было  $1 \div 2$  периода входных импульсов;

– скопировать осциллограмму входного импульса в рабочую тетрадь.

2) Подключить осциллограф к выходу исследуемой цепи, как показано на рис. 3.4;

3) меня значение сопротивления посмотреть изменения формы  $U_C(t)$ ;

4) С помощью мультиметра установить значение сопротивления  $R$ , соответствующее  $\mathcal{E}_{\max}$ ;

5) Скопировать осциллограмму  $U_C(t)$  в рабочую тетрадь; оценить значение постоянной времени цепи  $\tau$ ;

Указания: при копировании любой осциллограммы ( $U_{ex}(t)$ ,  $U_C(t)$ ,  $U_L(t)$  и т.п.) указывать положение переключателей “Вольт/дел.”, “Время/дел.” и значение сопротивления  $R$ .

6) измерить переходное напряжение  $U_C(t)$  при  $t = 0$   $t = \mathcal{E}$  и результаты занести в таблицу 5.1;

7) Изменить сопротивление  $R$  в два раза при  $\tau = \frac{\tau_{\max}}{2}$ , повторить пункт 5);

8) собрать схему 1б на рис.3.4 для исследования ПП на  $U_R(t)$ ; повторить пункты 2)-7);

9) убедиться что  $U_R(t) + U_C(t) = e(t)$ ;

10) повторить пункты 1)-9) для схемы 2 (а, б) рис. 3.4;

11) сделать выводы о степени совпадения расчетных и измеренных величин, а также выполнения первого и второго законов коммутации.

Таблица 5.1

		$E=$ $B$ ; $R=$ $\text{Ом}$ ; $C=192 \text{ нФ}$ ;			
Время, мсек		0	$\frac{\tau_{\max}}{2}$	$\tau_{\max}$	$2\tau_{\max}$
$U_C,$ $B$	Расчет				
	Эксперимент				

$U_R,$ $B$	Расчет				
	Эксперимент				
$\tau_{\max} =$ мсек; $t_{уст} =$ мсек; $t_{m} =$ мсек;					

Таблица 5.2

		$E=$ $B$ ; $R=$ $\text{Ом}$ ; $C=$ мкФ; $L=200 \text{ мГн}$			
Время, мсек		0	$\frac{\tau_{\max}}{2}$	$\tau_{\max}$	$2\tau_{\max}$
$U_L,$ $B$	Расчет				
	Эксперимент				
$U_R,$ $B$	Расчет				
	Эксперимент				
$\tau_{\max} =$ мсек; $t_{уст} =$ мсек; $t_{m} =$ мсек;					

## 5.2 Исследование цепей II-го порядка

1) Собрать экспериментальную установку согласно рис. 3.2. Для исследования напряжения на емкости  $U_C(t)$  в качестве исследуемой цепи подключить схему 3а, рис.3.5.

Подготовка к работе:

– переключатель входа  $Y$  осциллографа установить в положение «открытый вход»;

– переключатель «вольт/деление» в положение  $0.5B$ ;

– синхроимпульсы с блока ИНУН подать на соответствующий вход осциллографа;

– переключатель «время/дел» установить в положение  $0,5\text{мс}$ ;

– вход  $Y$  осциллографа подключить к выходу ИНУН, соединенному со входом исследуемой схемы. Меняя выходное напряжение ИНУН, установить амплитуду напряжения на входе цепи  $1B$  (по осциллографу);

– установить частоту генератора  $50 - 100 \text{ Гц}$ , так, чтобы на экране осциллографа можно было наблюдать несколько входных импульсов;

– скопировать осциллограмму входного импульса в рабочую тетрадь.

2) подключить осциллограф к выходу исследуемой цепи, как показано на рис. 3.5;

3) меня значение сопротивления потенциометра  $R$ , посмотреть изменение формы  $U_C(t)$ ;

4) с помощью мультиметра установить рассчитанное значение сопротивления  $R_{min}$ ;

5) скопировать осциллограмму  $U_C(t)$  в рабочую тетрадь; оценить значение постоянной времени цепи  $\tau$ ;

6) подсчитать число колебаний  $N$  за время  $t$ , вычислить по (2.14) добротность контура; сравнить результаты с расчетом добротности по выражению

$$Q = \frac{\rho}{R}$$

7) По осциллограмме определить период  $T_0$  и частоту  $\omega_0$  свободных колебаний; сравнить  $\omega_0$  с резонансной частотой контура  $\omega_p$

8) собрать схему 3б, рис. 3.5 для исследования напряжения  $U_R(t)$ ;

9) скопировать осциллограмму  $U_R(t)$  при  $R_{min}$ ; сравнить с осциллограммой  $U_C(t)$ , зафиксировать в чем сходство и различие осциллограмм, дать необходимые пояснения;

10) на потенциометре установить рассчитанное сопротивление  $R \approx (3 \div 4)R_{min}$  и зарисовать в одном масштабе осциллограммы  $U_R(t)$  и  $U_C(t)$ ;

11) Установить сопротивление, рассчитанное со  $R_{гран}$  и зарисовать в одном масштабе осциллограммы  $U_R(t)$  и  $U_C(t)$ ;

12) сделать выводы о степени совпадения расчетных и измеренных значений  $N$ ,  $Q$ ,  $\omega$ , а также о характере ПП в колебательном контуре при разных значениях сопротивления;

### Контрольные вопросы:

- 1) Дайте определение ПП;
- 2) Назовите три необходимых условия, чтобы ПП состоялся;
- 3) Что такое НУ и в каком случае они являются нулевыми; приведите примеры нулевых и ненулевых НУ в лабораторной работе;
- 4) Запишите законы коммутации и поясните, почему они справедливы только для ЛЦ;
- 5) Дайте определение постоянной временной цепи  $\tau$ ;
- 6) Что такое  $t_{ПП}$  и от каких факторов оно зависит;
- 7) Заполните таблицу: докоммутационные, начальные и установившиеся значения для заданной схемы:

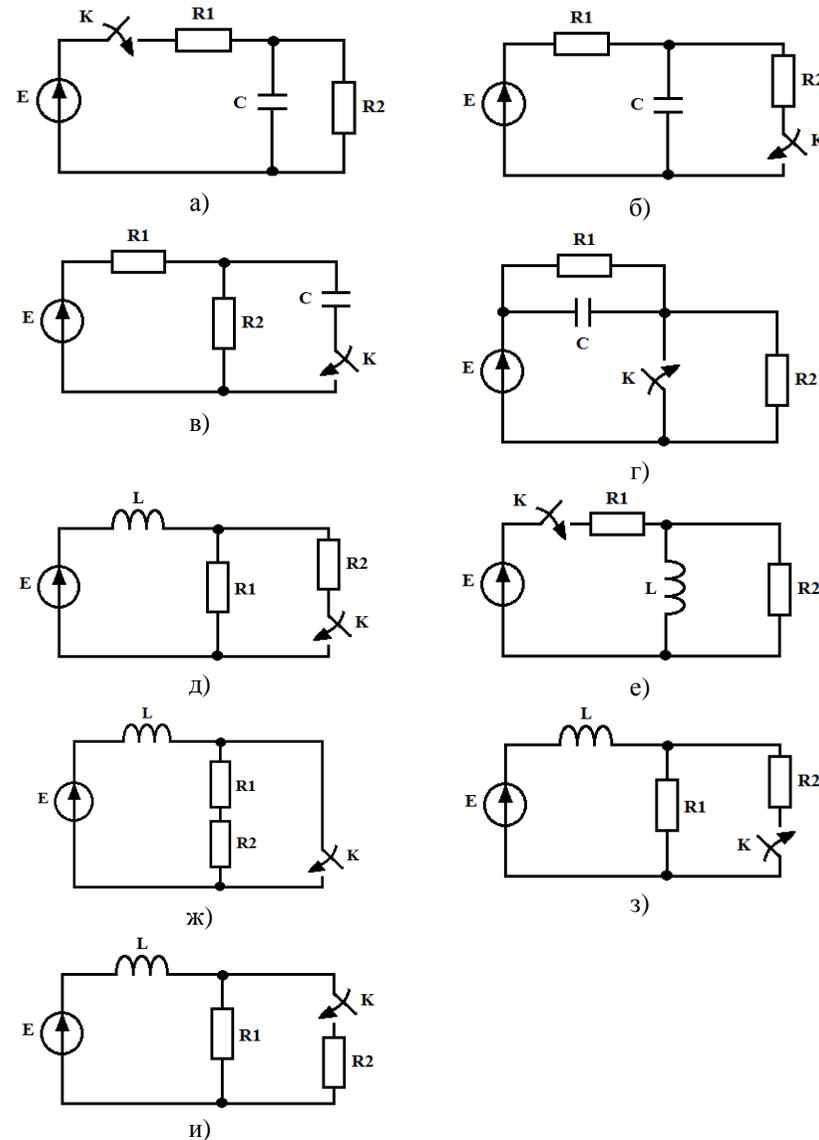
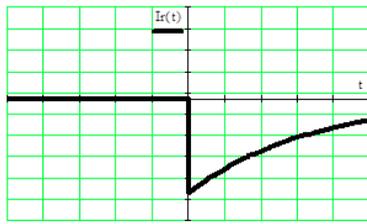
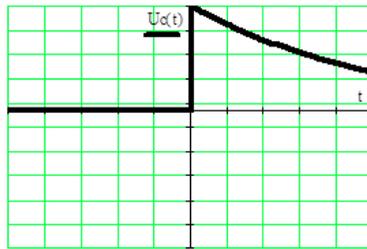


Рисунок 1

- 8) Укажите невозможные ПП в ЛЦ;



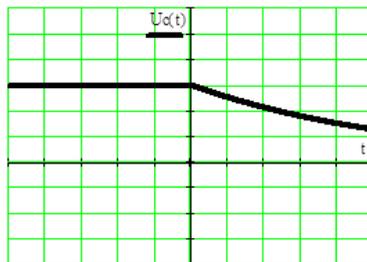
а)



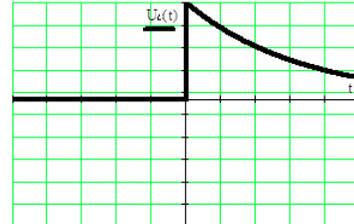
в)



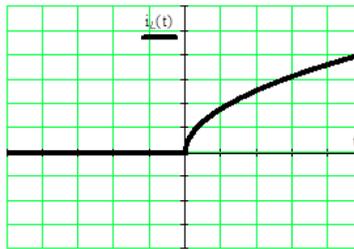
д)



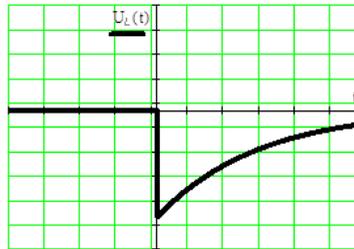
ж)



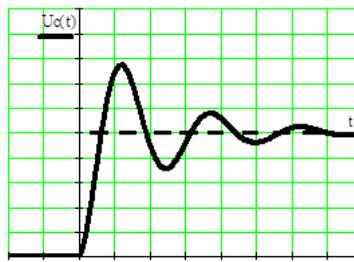
б)



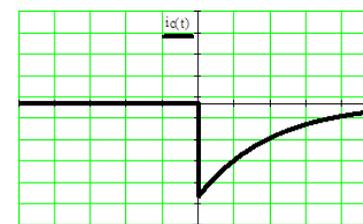
г)



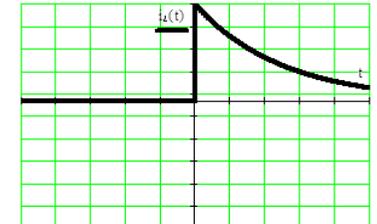
е)



з)



и)



к)

Рисунок 2

- 9) Получите характеристическое уравнение для заданной схемы из  $\mathcal{N}$ ; запишите выражение  $\tau$  цепи; как по осциллограмме ПП оценить  $\tau$
- 10) Как связан характер ПП с корнями характеристического уравнения?
- $p_1 = -7 \cdot 10^4, p_2 = -2 \cdot 10^4$ ;
  - $p_1 = (-2 + j40)10^5, p_2 = (-2 + j40)10^5$ ;
  - $p_1 = p_2 = -15 \cdot 10^3$ ;
- 11) Определите  $\tau$  цепи,  $T_{\text{своб.колебаний}}$ , количество периодов свободных колебаний за время  $t_{\text{ПП}} = 4.6\tau$ , если
- $U(t) = 28e^{-5 \cdot 10^6 t} \cos(6 \cdot 10^7 t + \varphi)$
  - $U(t) = 40e^{-2.5 \cdot 10^5 t} \cos(1.2 \cdot 10^6 t + \varphi)$ ;
- 12) Как вычислить добротность последовательного контура по осциллограмме  $U_C(t)$  или  $U_L(t)$  в случае колебательного процесса;
- 13) Изобразить осциллограммы  $U_R(t)$  в схеме  $RC$  для  $\tau = \frac{T}{2}$  и  $\tau = 0.1 \frac{T}{2}$  при действии на входе двух импульсов
- 14) Изобразить осциллограммы  $U_L(t)$  в схеме  $RL$  для  $\tau = \frac{T}{2}$  и  $\tau = 0.1 \frac{T}{2}$  при действии на входе двух импульсов
- 15) Изобразить осциллограммы  $U_C(t)$  в схеме  $RC$  для  $\tau = 0.2 \frac{T}{2}$  и  $\tau = 2 \frac{T}{2}$  при действии на входе двух импульсов
- 16) При каких условиях схемы

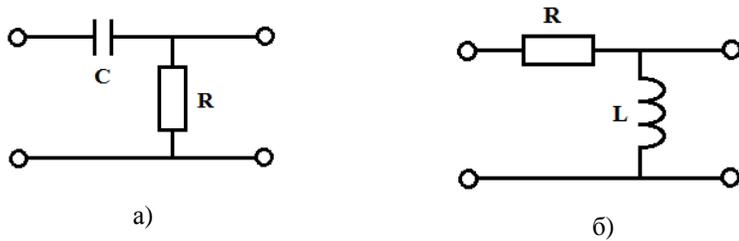


Рисунок 3

пропустят прямоугольные импульсы длительностью  $\frac{T}{2}$  практически без искажений?

17) С какого элемента схемы 1 или схемы 2 (рис.3) следует снимать сигнал и каким следует выбрать соотношение  $\frac{T}{2}$  и  $\tau$ , чтобы отклик максимально соответствовал дифференцированию входного сигнала?

18) С какого элемента схемы 1 или схемы 2 (рис.3) следует снимать сигнал и каким следует выбрать соотношение  $\frac{T}{2}$  и  $\tau$ , чтобы отклик максимально соответствовал интегрированию входного сигнала?

### Литература

1. Атабеков Г.И. Основы теории цепей. СПб. : «Лань», 2006.-432с.
2. Попов В.П. Основы теории линейных электрических цепей. – М.: Высш.шк. 2000.-575с.

### Рекомендация преподавателю

Целесообразно выполнение лабораторной работы бригадой из двух студентов. При этом один из членов бригады исследует переходные процессы в RC-цепи, второй – в RL-цепи, и совместно в RLC-цепи. Каждый из них знакомится с исследованиями партнера и использует их при защите лабораторной работы.