

Министерство образования и науки Российской Федерации

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

Радиотехнический факультет

Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники (ТОР)

Филатов А.В.

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЦЕПЕЙ

**РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ КЛАССИЧЕСКИМ И ОПЕРАТОРНЫМ  
МЕТОДАМИ В ЦЕПЯХ ВТОРОГО ПОРЯДКА**

Методические указания  
по выполнению курсового проекта

ТОМСК 2012

**Филатов А.В.**

Основы теории цепей. Расчет переходных процессов классическим и операторным методами в цепях второго порядка: Методические указания по выполнению курсового проекта. Томск: ТУСУР, 2012. 12 с.

Изложены цель, содержание, исходные данные, варианты заданий, методические рекомендации для выполнения курсового проекта по теме "Расчет переходных процессов классическим и операторным методами в цепях второго порядка". Работа предназначена для студентов заочной формы обучения, изучающих дисциплину "Основы теории цепей".

© Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012

## СОДЕРЖАНИЕ

1 Цель и задачи курсового проекта .....	4
2 Исходные данные .....	4
3 Содержание курсового проекта .....	8
4 Методические указания .....	8
4.1 Классический метод.....	8
4.2 Операторный метод.....	9
5 Рекомендуемая литература .....	11
Приложение 1. Бланк задания .....	12

## 1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Цель курсовой работы – овладеть способами расчета переходных процессов в линейных электрических цепях второго порядка.

В процессе выполнения курсового проекта решаются следующие задачи:

- формирование навыков качественного анализа характера переходных процессов в линейных электрических цепях;
- овладение классическим и операторным методами расчета переходных процессов;
- построение временных диаграмм изменений токов и напряжений на пассивных элементах цепи.

## 2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Исходными данными являются:

- схема для расчетов переходных процессов (схемы 1 – 10);
- параметры пассивных и активных компонентов цепи (таблица 1 и 2);
- вид коммутации (изменение параметров активных элементов,  $e_1$  и  $e_2$ ; изменение топологии цепи).

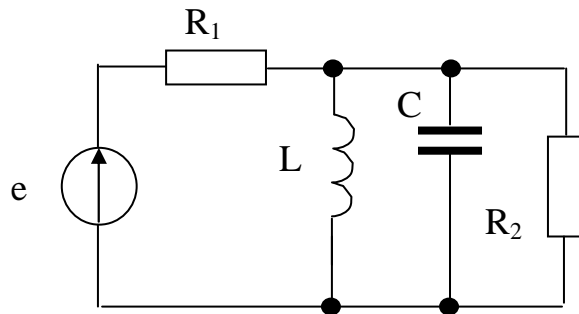


Схема 1

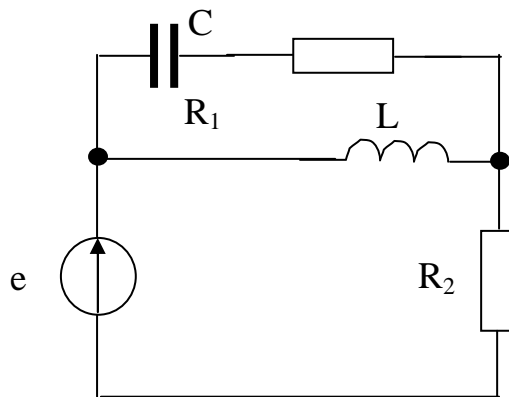


Схема 2

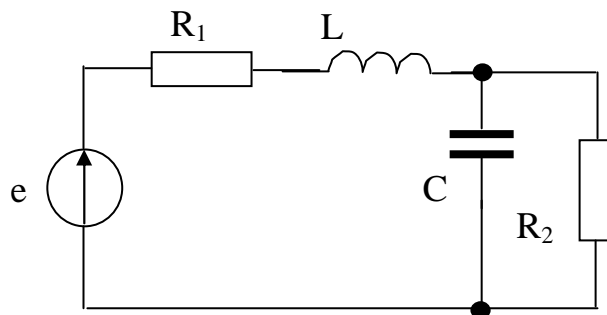


Схема 3

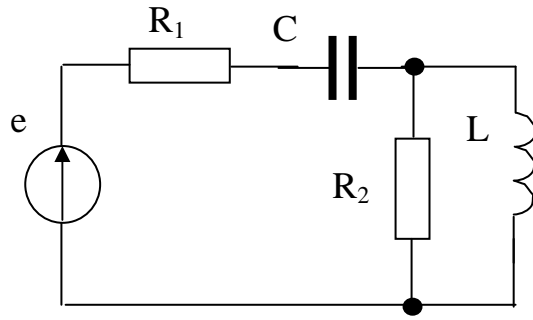


Схема 4

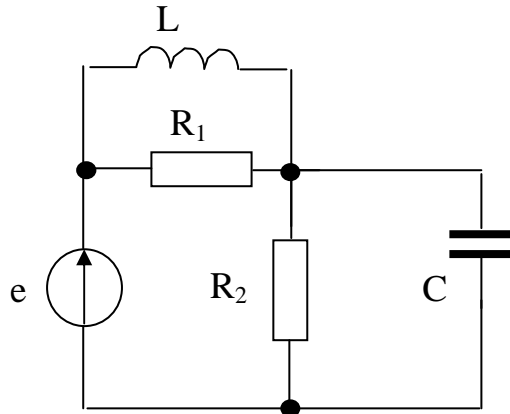


Схема 5

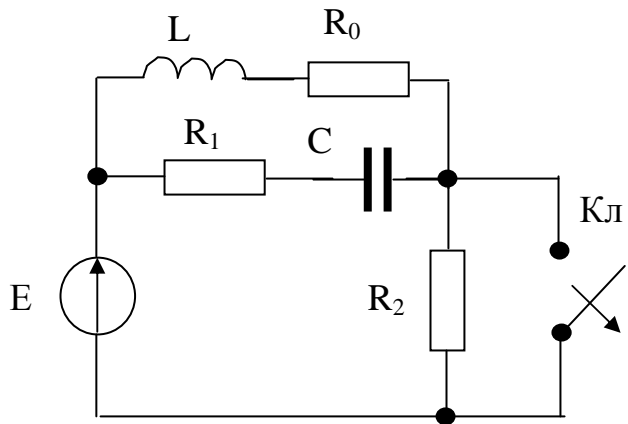


Схема 6

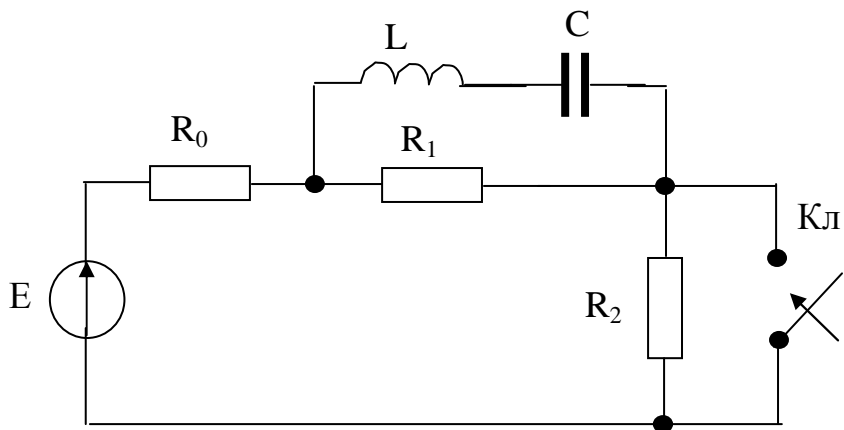


Схема 7

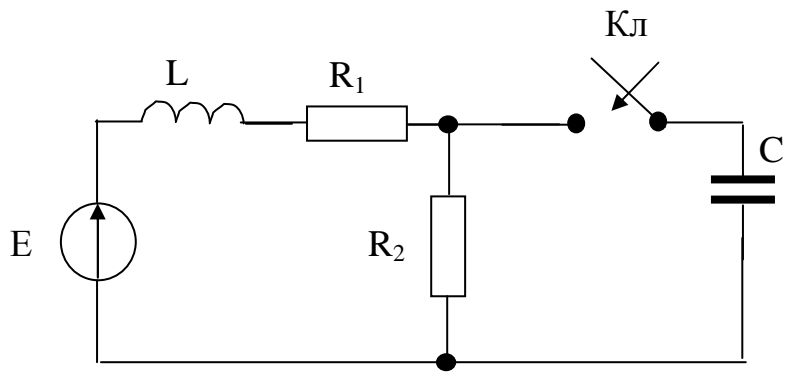


Схема 8

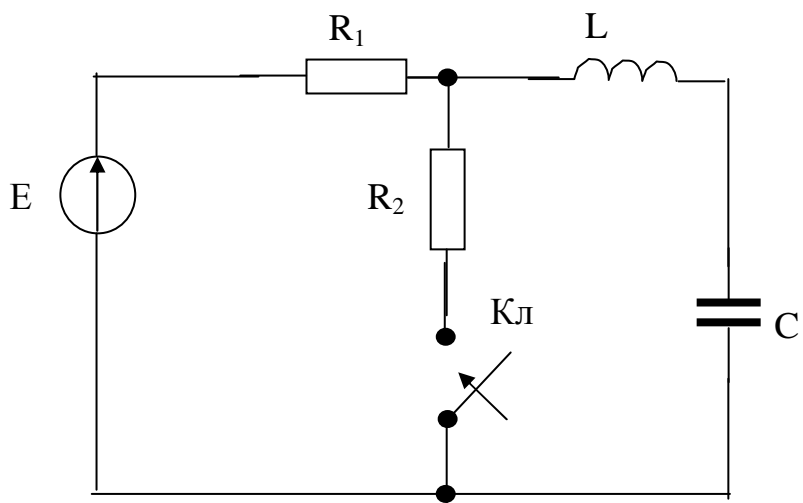


Схема 9

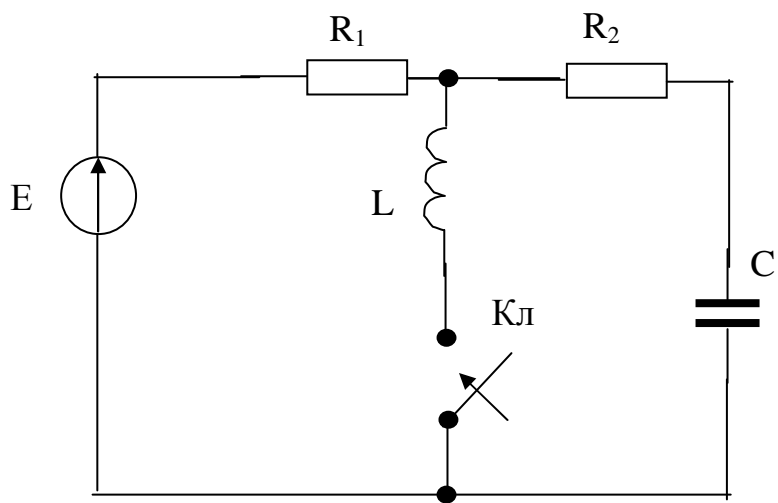
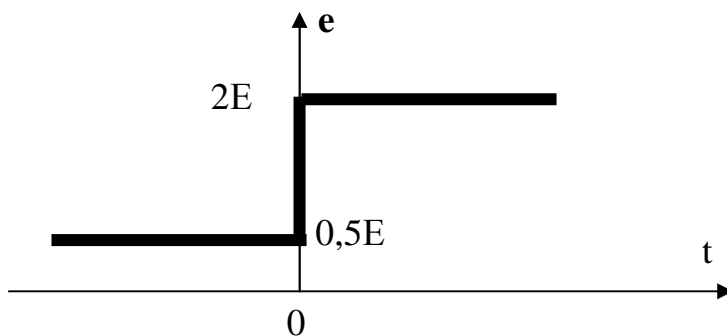
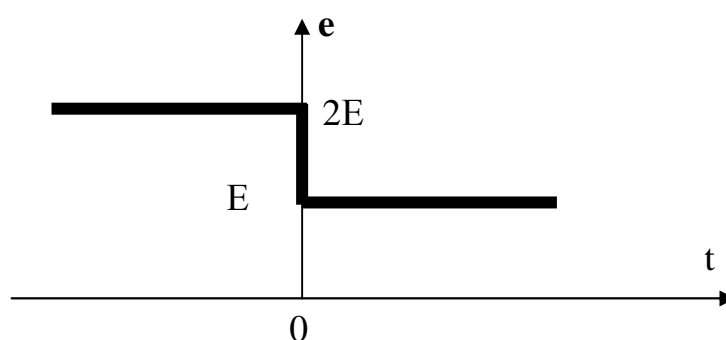


Схема 10



$e$   
 $0,5E$  для  $t < 0_+$   
 $2E$  для  $t \geq 0_+$

Коммутация e1



$e$   
 $2E$  для  $t < 0_+$   
 $E$  для  $t \geq 0_+$

Коммутация e2

Таблица 1. Параметры элементов E, R1, R2.

N	E (В)	R1 (Ом)	R2 (Ом)
1	100	100	300
2	120	400	800
3	50	50	150
4	40	200	800
5	200	100	500
6	80	800	200
7	90	750	150
8	110	500	1000
9	70	1000	2500
10	150	200	400

$R_0 = 100$  Ом

Таблица 2. Параметры элементов L, C.

N	L (мкГн)	C (пФ)
1	100	300
2	200	500
3	300	1000
4	400	400
5	1000	2500
6	300	10000

7	500	5000
8	1000	250
9	800	200
10	800	800

Пример задания. Вариант 4/е2/36

Схема 4; вид коммутации е2;3-я строка таблицы 1, 6 строка таблицы 2.

### 3. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

1. Определение докоммутационных и послекоммутационных значений всех токов и напряжений для заданной схемы. Проверка по законам Кирхгофа.
2. Составление характеристического уравнения для заданной схемы двумя способами, вычисление корней, проверка числовых значений полученных корней.
3. Вывод выражений изменения токов и напряжений на емкости и индуктивности в цепи в послекоммутационный период классическим и операторным методами.
4. Построение кривых изменения тока и напряжения.
5. Определение токов и напряжений на сопротивлениях цепи.
6. Вычисление длительности переходного процесса.
7. Формулировка выводов по работе.

### 4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В результате расчета переходных процессов должны быть построены временные диаграммы изменения токов и напряжений на всех пассивных элементах цепи.

**4.1. Классический метод.** Особенность метода заключается в определении первичного переходного процесса для тока через индуктивность или напряжения на емкости, как суммы свободной и вынужденной составляющих:

$$a = a_{св} + a_{вын} \text{ где } a \rightarrow i_l \text{ или } u_c.$$

Вынужденная составляющая  $a_{вын}$  находится для  $t_{\infty}$  и характеризует новый установившийся режим работы цепи. Свободная составляющая  $a_{св}$  характеризует собственно переходной процесс. Для ее нахождения, для схемы в послекоммутационный период составляется основная система электрического равновесия цепи (интегрально-дифференциальная для мгновенных значений токов) и преобразовывается к одному дифференциальному уравнению второго порядка:

$$b_2 \frac{d^2 a}{dt^2} + b_1 \frac{da}{dt} + b_0 a = e,$$

где  $b$  – коэффициенты,  $e$  – воздействие на цепь.

Свободная составляющая определяется корнями характеристического уравнения:

$$b_2 p^2 + b_1 p + b_0 = 0$$

Для цепей второго порядка корни  $p_1$  и  $p_2$  могут быть:

- отрицательные действительные не равные (апериодический процесс);
- отрицательные действительные равные (апериодический процесс);
- комплексно- сопряженные (колебательный затухающий процесс)

После определения первичного переходного процесса, остальные переходные процессы на других элементах цепи находятся через законы Кирхгофа и компонентные уравнения.

Методика расчета заключается в следующем:



1. Определяются токи и напряжения на пассивных элементах цепи для первого ( $t_0$ ) и второго ( $t_{\infty}$ ) установившихся режимов. Используются известные методы расчета линейных цепей в стационарном режиме (метод контурных токов, метод узловых потенциалов и т.д.).

2. Определяются независимые начальные условия.

3. Выбирается реактивный элемент ( $C$  или  $L$ ), на котором определяется первичный переходной процесс.

4. Составляется основная система электрического равновесия цепи (дифференциально-интегральная, для мгновенных значений) и преобразовывается к дифференциальному уравнению второго порядка относительно тока через индуктивность или напряжения на емкости (см. п. 3)

5. На основании дифференциального уравнения (его однородной части) составляется характеристическое уравнение и находятся корни  $p_1$  и  $p_2$ .

6. В зависимости от корней характеристического уравнения записывается решение для свободной составляющей:

- если корни отрицательные действительные и не равные, то формула имеет вид:  $a_{св} = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t}$ ;

- если корни отрицательные действительные и равные, то формула следующая:  $a_{св} = (A_1 + A_2 t) e^{p t}$ ;

- если корни комплексно-сопряженные  $p_{1,2} = -\delta \pm j\omega_{св}$ , то формула для свободной составляющей:  $a_{св} = A e^{-\delta t} \sin(\omega_{св} t + \theta)$ ,

где  $A_1, A_2, A, \theta$  – постоянные интегрирования.

7. Записывается полное решение, как сумма вынужденной и свободной составляющих:

$$a = a_{св} + a_{вын}$$

(вынужденная составляющая определяется из п. 1 для  $t_{\infty}$ ).

8. Находятся постоянные интегрирования с использованием независимых начальных условий решением уравнений:  $a(0_+) = a_{св}(0_+) + a_{вын}(0_+)$  и

$$\frac{da(0_+)}{dt} = \frac{da_{св}(0_+)}{dt} + \frac{da_{вын}(0_+)}{dt}.$$

9. Записывается окончательное решение для первичного переходного процесса.

10. На временной диаграмме строится переходной процесс по точкам:  $t=0, t = \tau, t = 5\tau$  (закон  $5\tau$  – переходной процесс считается завершенным, с погрешность  $\approx 0,1\%$ )

11. Находятся другие переходные процессы, выражения изменения токов и напряжений на пассивных элементах цепи, с использованием компонентных соотношений и законов Кирхгофа и строятся временные диаграммы.

Примечание. Способ определения характеристического уравнения без составления дифференциального уравнения.

В схеме пассивные элементы размечаются следующим образом:  $R \rightarrow R; C \rightarrow 1/pC; L \rightarrow pL$ . Для с использование правил последовательного, параллельного смешанного соединений находится выражение для входного сопротивления относительно полюсов подключения активного источника энергии и приравнивается нулю. Затем, из данного выражения находятся корни.

**4.2. Операторный метод.** Основа метода – преобразование Лапласа,  $t \rightarrow p$ . Операции дифференцирования и интегрирования соответственно заменяются операциями умножения на  $p$  и деления на  $p$ . В результате система интегрально-дифференциальных уравнения сводится к алгебраическим уравнения (упрощается расчет). Метод позволяет использовать известные методы расчета цепей, метод контурных токов, метод узловых потенциалов и т.д. В операторном методе нет необходимости определять постоянные интегрирования.

В операторном методе возникают некоторые сложности при нахождении оригинала (обратный переход). Здесь можно пользоваться либо таблицами, либо обратным преобразованием Лапласа (является сложным), либо теоремой разложения (интеграл определяется суммированием). Операция интегрирования заменяется операцией сложения следующим образом

$$F(p) = \frac{F_1(p)}{F_2(p)} \Rightarrow f(t) = \frac{F_1(p_0)}{F_2'(p_0)} e^{p_0 t} + \frac{F_1(p_1)}{F_2'(p_1)} e^{p_1 t} + \frac{F_1(p_2)}{F_2'(p_2)} e^{p_2 t}.$$

Из уравнения  $F_2(p) = 0$  находятся корни.

Методика расчета:

1. Определяются начальные условия цепи (нулевые, не нулевые). Если не нулевые, то находится ток через индуктивность и напряжение на емкости для времени  $t_{0-}$ .

2. Составляется операторная схема замещения для послекоммутационного периода. На схеме используются обозначения:

- активные элементы:  $E \rightarrow E/p$ ;  $J \rightarrow J/p$ ,

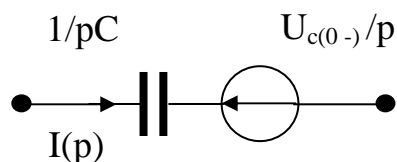
- токи и напряжения:  $i \rightarrow I(p)$ ;  $u \rightarrow U(p)$ ,

- пассивные элементы (если начальные условия нулевые):  $R \rightarrow R$ ;  $C \rightarrow 1/pC$ ;  $L \rightarrow pL$ ,

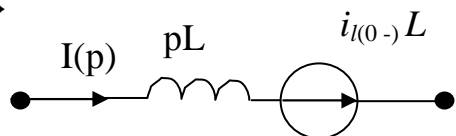
- пассивные элементы (если начальные условия не нулевые):

$R \rightarrow R$ ;

$C \rightarrow$



$L \rightarrow$



3. Для операторной схемы замещения составляется математическая модель цепи любым известным способом расчета цепей в стационарном режиме. Решается относительно любого тока.

4. Находятся оригиналы (обратный переход), токи и напряжения на пассивных элементах с использованием теоремы разложения и строятся временные диаграммы (как и для классического метода).

## **5. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Попов В.П. Основы теории цепей. – М.: Высш. школа, 2005.
2. Попов В.П. Основы теории цепей. – М.: Высш. школа, 2000.
3. Белецкий А.Ф. Теория линейных электрических цепей.- СПб.: Лань,2009.-544с.  
Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_cid=25&p11\\_id=710](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_cid=25&p11_id=710) -с.63-72, 148-153, 237, 384, 407-413.
4. Сигорский В.П., Петренко А.И. Основы теории электрических схем. – Киев: Высш. школа, 1971.
5. Ш. Карни. Теория цепей. Анализ и синтез. – М.: Связь, 1973.
6. Теория электрических цепей: Учебное пособие к практическим занятиям / И.В. Мельникова, К.Ю.Дубовик. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/1432> - 2012. 156 с.
7. Атабеков Г.И. Основы теории цепей.- СПб.: Лань,2009.-432с.Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_cid=25&p11\\_id=95](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_cid=25&p11_id=95)

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»  
Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники (ТОР)

### ЗАДАНИЕ

на курсовой проект

### "РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ КЛАССИЧЕСКИМ И ОПЕРАТОРНЫМ МЕТОДАМИ В ЦЕПЯХ ВТОРОГО ПОРЯДКА"

студенту \_\_\_\_\_ группа \_\_\_\_\_ факультет \_\_\_\_\_

#### 1. Исходные данные:

- схема для расчетов переходных процессов \_\_\_\_\_;
  - параметры пассивных и активных компонентов цепи: строка \_\_\_\_ таблица 1, строка \_\_\_\_ таблица 2;
  - вид коммутации (изменение параметров активных элементов,  $e1$  и  $e2$ ) \_\_\_\_\_
- Полный шифр \_\_\_\_\_.

#### 2. Задание

Классическим и операторным методами рассчитать переходные процессы в линейных электрических цепях второго порядка

#### 3 Содержание расчетной части пояснительной записки:

- 3.1. Определение докоммутационных и послекоммутационных значений всех токов и напряжений для заданной схемы. Проверка по законам Кирхгофа.
- 3.2. Составление характеристического уравнения для заданной схемы двумя способами, вычисление корней, проверка числовых значений полученных корней.
- 3.3. Вывод выражений изменения токов и напряжений на емкости и индуктивности в цепи в послекоммутационный период классическим и операторным методами.
- 3.4. Построение кривых изменения тока и напряжения.
- 3.5. Определение токов и напряжений на сопротивлениях цепи.
- 3.6. Вычисление длительности переходного процесса.
- 3.7. Формулировка выводов по работе.

#### 4 Перечень графического материала:

- эквивалентная схема цепи;
- операторная схема замещения;
- временные диаграммы.

5 Дата выдачи задания \_\_\_\_\_

6 Срок сдачи законченной работы \_\_\_\_\_

Руководитель \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_)

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_  
дата и подпись студента.