

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра промышленной электроники
и информационно-измерительной техники

С.С. Фролов

АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Методические указания
к лабораторной работе

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет»

Оренбург
ИПК ГОУ ОГУ
2010

УДК 621.382.002.56(07)
ББК 32.852я7
Ф18

Рецензент – доцент, кандидат технических наук С.Н. Бравичев

Фролов, С.С.
Ф18 Анализ переходных процессов : методические указания к лабораторной работе по курсу «Теоретические основы электротехники» / С.С. Фролов; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2010. – 13 с.

Основное содержание: варианты заданий и руководство по выполнению аналитической и экспериментальной части, требования к оформлению отчёта, рекомендуемая литература.

Методические указания являются основным учебным руководством при выполнении лабораторных работ по курсу «ТОЭ» студентами специальности 210106.

УДК 621.382.002.56(07)
ББК 32.852я7

© Фролов С.С., 2010
© ГОУ ОГУ, 2010

Содержание

1	Задание на подготовку к выполнению лабораторной работы.....	4
2	Аналитическая часть работы	5
3	Экспериментальная часть работы	8
4	Выводы и заключения	11
5	Требования к оформлению отчёта	11
6	Литература, рекомендуемая для изучения темы	11
	Список использованных источников	12
	Приложение А. Параметры переходных характеристик.....	13

1 Задание на подготовку к выполнению лабораторной работы

Тема: Анализ переходных процессов

Цель работы: Аналитическое и экспериментальное исследование переходных процессов в линейных цепях на примере неразветвлённых RC -, RL - и RLC -цепочек.

Время выполнения работы – 10 часов.

Выполнению данной работы должна предшествовать предварительная подготовка, состоящая в следующем:

а) изучение темы и цели лабораторной работы;

б) при изучении теоретического материала в объеме материала лекций, учебных пособий и теоретического введения обратить внимание на следующие основные вопросы:

1) методы решения однородных и неоднородных линейных дифференциальных уравнений;

2) закономерности протекания переходных процессов (ПП) в линейных реактивных электрических цепях с сосредоточенными параметрами;

3) методы анализа ПП в линейных цепях;

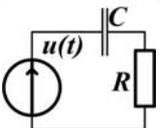
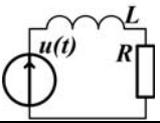
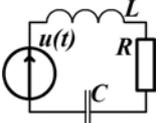
4) основные переходные и импульсные характеристики цепей, параметры переходных характеристик;

с) изучение устройства приборов лабораторного рабочего места: монтажного наборного устройства для сборки исследуемых схем, генератора прямоугольных импульсов Г5-56 и осциллографа С1-114/1 (С1-114) [1].

2 Аналитическая часть работы

В таблице 2.1 представлены схемы простейших RC -, RL - и RLC -цепей.

Таблица 2.1 – Варианты параметров элементов цепей

Схема	Параметры	№20	№21	№22	№23	№24	№10	№11	№12	№13	№14
	C	11 нФ	10 нФ	220 нФ	22 нФ	68 нФ	110 нФ	10 нФ	220 нФ	2.2 нФ	6.8 нФ
	R	1.5 кОм	1 кОм	150 Ом	1.6 кОм	2 кОм	1.5 кОм	1 кОм	150 Ом	1.6 кОм	2 кОм
	L	5 мГн	81 мГн	4 мГн	7 мГн	2.4 мГн	5 мГн	81 мГн	4 мГн	7 мГн	2.4 мГн
	R	1.5 кОм	1 кОм	150 Ом	1.6 кОм	2 кОм	1.5 кОм	1 кОм	150 Ом	1.6 кОм	2 кОм
	C	11 нФ	10 нФ	220 нФ	22 нФ	68 нФ	110 нФ	10 нФ	220 нФ	2.2 нФ	6.8 нФ
	L	5 мГн	81 мГн	4 мГн	7 мГн	2.4 мГн	5 мГн	81 мГн	4 мГн	7 мГн	2.4 мГн
	R	1.5 кОм	1 кОм	150 Ом	1.6 кОм	2 кОм	1.5 кОм	1 кОм	150 Ом	1.6 кОм	2 кОм

В аналитической части требуется:

- 1) Выполнить анализ переходного процесса для RC -цепи:
 - а) Используя алгоритм анализа ПП для неразветвленных цепей 1-го порядка, рассчитать аналитические выражения $u_R(t)$ и $u_C(t)$ при положительном ($0 \leq t < \tau_u$) и отрицательном ($\tau_u \leq t \leq 2\tau_u$) скачках напряжения $u(t)$ (рисунок 2.1). Считать величину τ_u значительно большей длительности ПП.

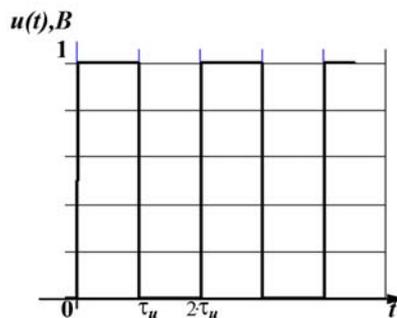


Рисунок 2.1 – Форма воздействия

- б) В программной среде MathCad построить диаграммы $u(t)$, $u_R(t)$, $u_C(t)$ - «сверху вниз», одна под одной (рисунок 2.2); диаграммы $u_R(t)$, $u_C(t)$ - каждую строить на одном графике - и при положительном скачке $u(t)$, и при

отрицательном¹. Вычисленные значения собственной частоты p и постоянной времени τ зафиксировать в таблицу А.1 приложения А.

с) По диаграммам $u_R(t)$ и $u_C(t)$ оценить с точностью до 5% время переходных процессов t_{nep}^+ и t_{nep}^- для обоих скачков. Результат зафиксировать в таблицу А.1 сравнить с постоянной RC -цепи - τ .

2) Выполнить подпункты а)... д) предыдущего пункта для ПП для $u_R(t)$ и $u_L(t)$ RL -цепи, фиксируя результаты в таблицу А.2.

3) Выполнить анализ переходного процесса для RLC -цепи:

а) Используя алгоритм анализа ПП для цепей n -го порядка классическим методом, рассчитать аналитические выражения $u_R(t)$, $u_L(t)$ и $u_C(t)$ при том же воздействии $u(t)$ (рисунок 2.1). При этом, вычислив собственные частоты p_1 и p_2 , определить также декремент затухания α и резонансную частоту RLC -контура w_0 , значения которых зафиксировать в таблицу А.3;

б) По характеру собственных частот p_1 и p_2 , либо по соотношению между α и w_0 *определить характер свободных процессов (апериодический или затухающий гармонический?)*;

с) В программной среде MathCad построить диаграммы $u(t)$, $u_R(t)$, $u_C(t)$ и $u_L(t)$ придерживаясь требований пункта 1,б).

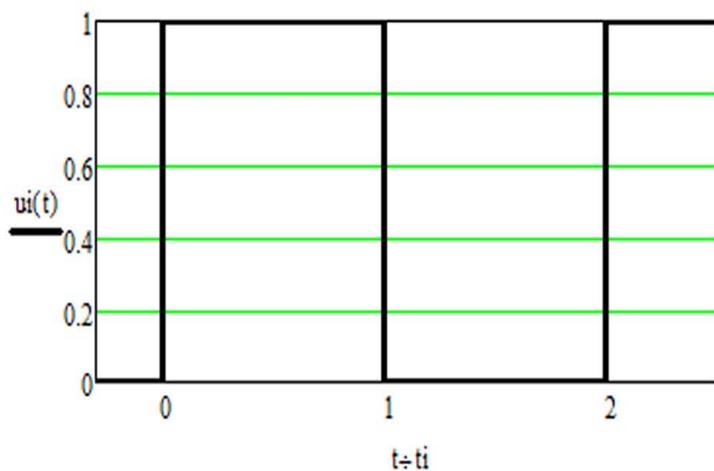
д) По диаграммам $u_R(t)$, $u_L(t)$ и $u_C(t)$ оценить с погрешностью до 5% время переходных процессов t_{nep}^+ и t_{nep}^- . Результаты - в таблицу А.3. Сравнить их: при апериодическом характере ПП – с величиной, обратной $\min\{|p_1|, |p_2|\}$, при гармоническом затухающем – с величиной, обратной декременту α ;

е) При гармоническом затухающем характере ПП по диаграммам $u_R(t)$, $u_L(t)$ и $u_C(t)$ оценить период колебаний T , сравнить его с величиной $\frac{2\pi}{w_0}$.

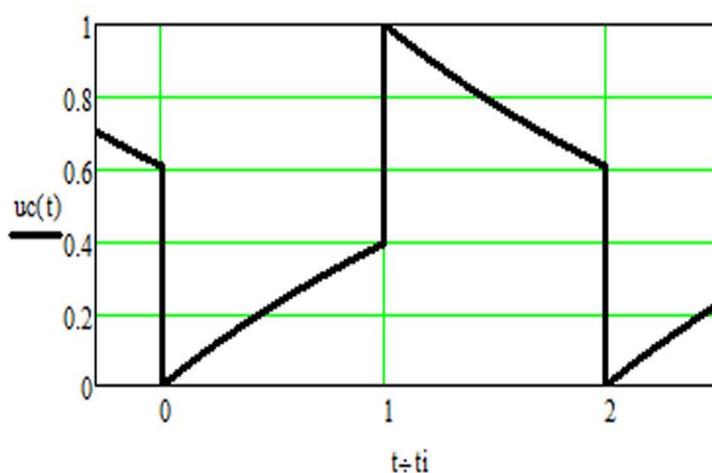
¹ Предупреждение – графики в примере на рисунке 2.2 построены некорректно – переходные процессы установиться не успевают, напряжение на конденсаторе в принципе не может изменяться так, как показано. Тем не менее, выражения функций заданы в программной среде MatchCad правильно, некорректно задана длительность входного импульса $u_i(t)$. Как его задавать корректно – вам известно из лекций и учебников.

$$t_i := 0.5 \cdot \tau = 0.017$$

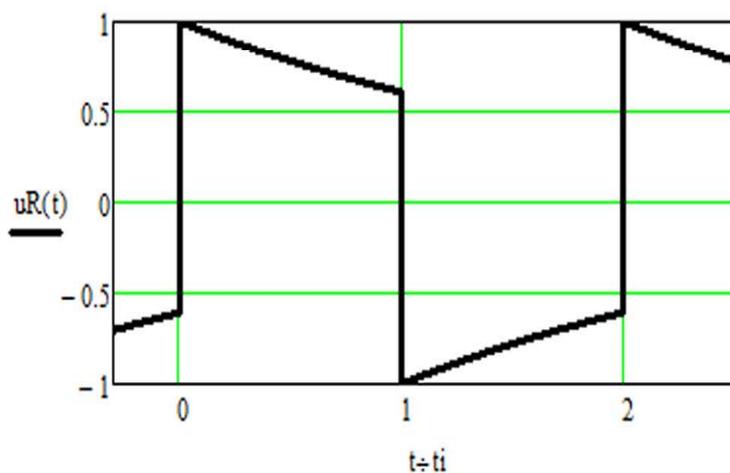
$$t := -0.3 \cdot t_i, -t_i \cdot 0.299 \dots 2.5 \cdot t_i$$



$$u_i(t) := \begin{cases} 0 & \text{if } (-t_i \leq t < 0) \\ 1 & \text{if } (0 \leq t < t_i) \\ 0 & \text{if } (t_i \leq t < 2 \cdot t_i) \\ 1 & \text{if } (2 \cdot t_i \leq t < 3 \cdot t_i) \end{cases}$$



$$u_c(t) := \begin{cases} u_{c2}(t + t_i) & \text{if } (-t_i \leq t < 0) \\ u_{c1}(t) & \text{if } (0 \leq t < t_i) \\ u_{c2}(t - t_i) & \text{if } (t_i \leq t < 2 \cdot t_i) \\ u_{c1}(t - 2 \cdot t_i) & \text{if } (2 \cdot t_i \leq t < 3 \cdot t_i) \end{cases}$$



$$u_R(t) := \begin{cases} u_{R2}(t + t_i) & \text{if } (-t_i \leq t < 0) \\ u_{R1}(t) & \text{if } (0 \leq t < t_i) \\ u_{R2}(t - t_i) & \text{if } (t_i \leq t < 2 \cdot t_i) \\ u_{R1}(t - 2 \cdot t_i) & \text{if } (2 \cdot t_i \leq t < 3 \cdot t_i) \end{cases}$$

Рисунок 2.2 – Вставка из программной среды MathCad - диаграммы расчётных переходных процессов

3 Экспериментальная часть работы

После получения у преподавателя макетного стенда для монтажа исследуемых цепей, выполняются пункты работы, описанные ниже.

3.1 Исследование переходных характеристик RC -цепи:

а) на макетном стенде собрать RC -цепочку (схема рисунка 3.1), подключив осциллограф С1-114/1 (С1-114), а в качестве источника периодической последовательности импульсов $u(t)$ - генератор Г5-56;

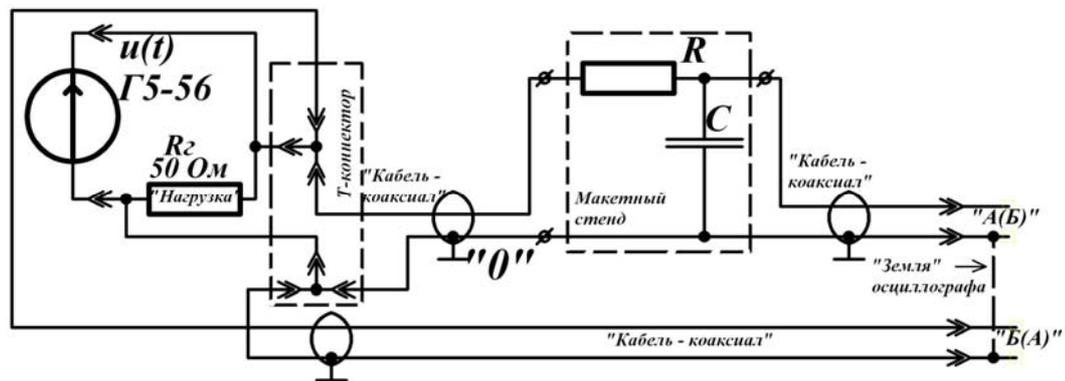


Рисунок 3.1 – Схема для исследования переходного процесса $u_C(t)$ в RC -цепи

б) настроить генератор Г5-56:

1) Задать режим непрерывной генерации периодического импульсного сигнала: крайний левый переключатель (переключатель режима синхронизации) – в положении « \square ».

2) Настроить минимальную задержку $\Delta t = 1 \cdot 10^{-2}$ мкс по обоим каналам.

3) Настроить длительность импульса одного из каналов τ_u большей, чем длительности $t_{пер}^+$, $t_{пер}^-$ ПП соответствующего напряжения (в настоящем случае - $u_C(t)$), но ненамного – при слишком большой разнице ПП на осциллограмме наблюдается плохо.

4) Настроить $T=2 \tau_u$.

5) Настроить положительную полярность импульса используемого канала (положение « \square » соответствующего переключателя).

6) Настроить амплитуду импульса $U=1$ В.

- с) Получить на осциллографе 2-3 периода импульсного сигнала и выходного напряжения (в настоящий момент - $u_C(t)$).
- д) Зарисовать диаграмму, соблюдая и фиксируя масштабы по Ox и Oy . Допускается делать цифровую фотосъёмку осциллограммы и переносить снимки через ПЭВМ в отчёт. При этом не забывать для каждого фотоснимка фиксировать масштабы по Ox и Oy .
- е) По осциллограмме измерить по 5-ти процентному критерию экспериментальные значения $t_{пер}^+$ и $t_{пер}^-$, зафиксировать их в таблицу А.1, сравнить с соответствующими расчётными.
- ф) Собрать схему рисунка 3.2 и повторить подпункты с) – е) для $u_R(t)$.

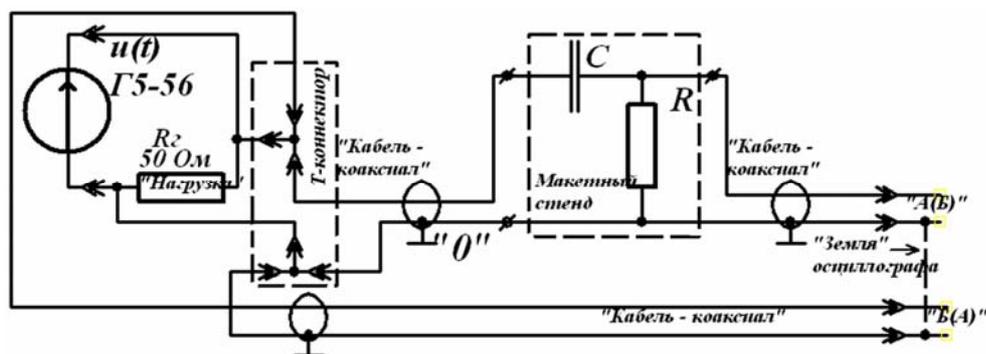


Рисунок 3.2 - Схема для исследования переходного процесса $u_R(t)$ в RC -цепи

3.2 Собрав на макетном стенде схемы рисунков 3.3 и 3.4, исследовать переходные характеристики для $u_L(t)$ и $u_R(t)$ RL -цепи по методике предыдущего пункта 3.1. Результаты аналогичных измерений – в таблицу А.2.

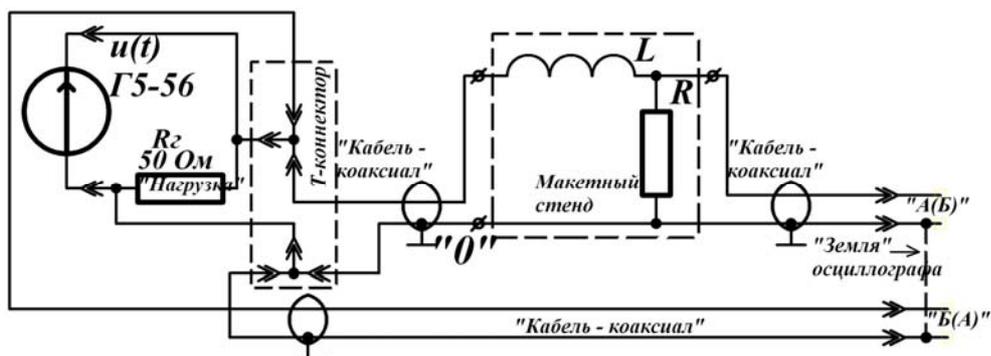


Рисунок 3.3 – Схема для исследования переходного процесса $u_R(t)$ в RL -цепи

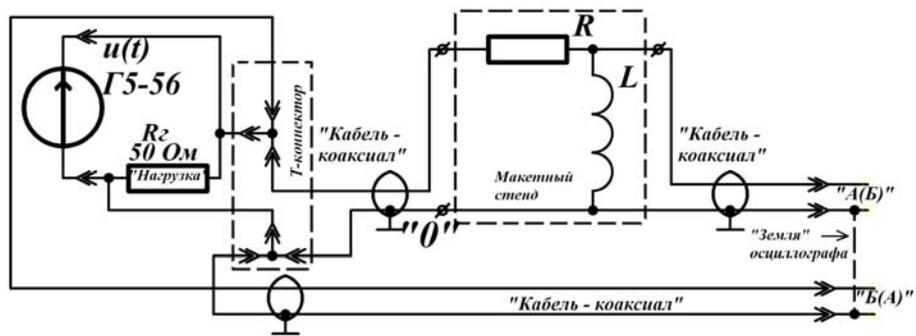


Рисунок 3.4 - Схема для исследования переходного процесса $u_L(t)$ в RL -цепи

3.3 Собрав на макетном стенде схемы рисунков 3.5 - 3.7, исследовать переходные характеристики для $u_C(t)$, $u_L(t)$ и $u_R(t)$ RLC -цепи по методике пункта 3.1. Результаты соответствующих измерений – в таблицу А.2.

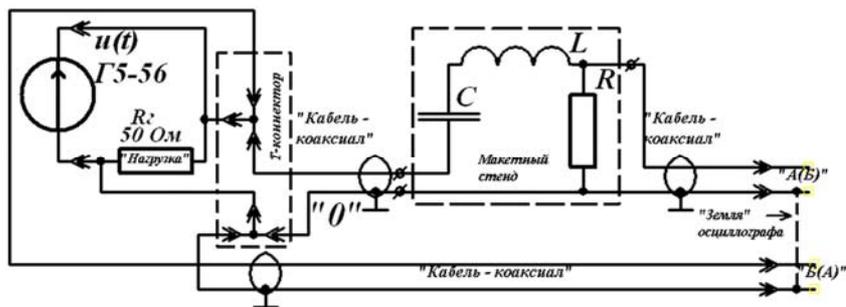


Рисунок 3.5 – Схема для исследования переходного процесса $u_R(t)$ в RLC -цепи

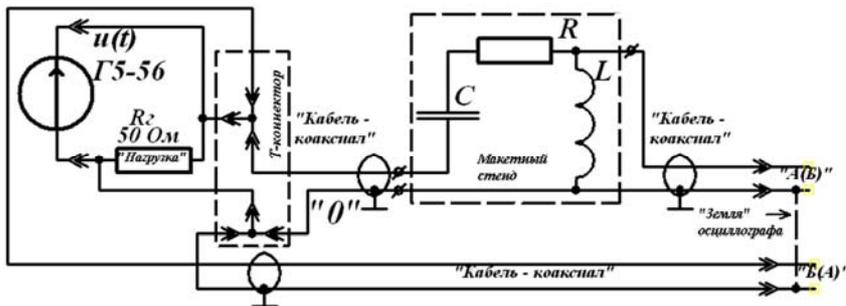


Рисунок 3.6 - Схема для исследования переходного процесса $u_L(t)$ в RLC -цепи

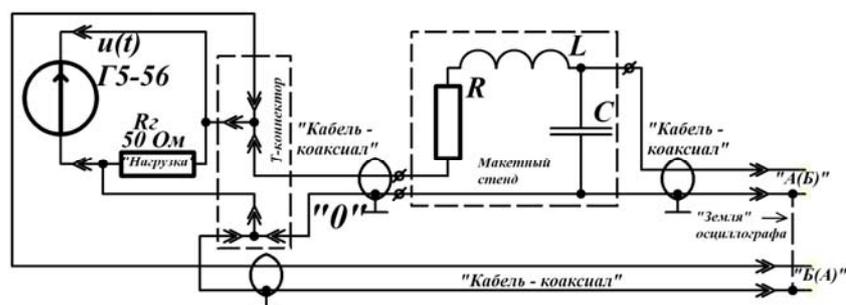


Рисунок 3.7 - Схема для исследования переходного процесса $u_C(t)$ в RLC -цепи

4 Выводы и заключения

Сделать экспертное заключение:

- 1) О соотношении между постоянными времени τ RC - и RL -цепей и значениями времени установления аналитических и экспериментальных переходных характеристик.
- 2) О соотношении между собственными частотами p_1 и p_2 , декрементом затухания α , резонансной частотой ω_0 и временем установления переходных характеристик.

5 Требования к оформлению отчёта

- a) Оформлять работу в электронном виде в программной среде MatchCad или MicrosoftWord, согласно правилам оформления расчётно-графических работ, рефератов или отчётов по практике - приложение Ц или Ю в [2].
- b) Тема и цель лабораторной работы.
- c) Аналитические и экспериментальные результаты исследования:
 - 1) электрические схемы – из таблицы 2.1;
 - 2) результаты аналитических расчётов – аналитические выражения функций переходных процессов (ПП), временные диаграммы ПП;
 - 3) экспериментальные диаграммы ПП - в рукописном виде;
 - 4) таблицы с результатами вычислений и измерений;
 - 5) выводы и заключения.

6 Литература, рекомендуемая для изучения темы

- 6.1 Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебник / Л.А. Бессонов- 11-е изд., испр. и доп. – М.: Гардарики, 2007. - 701 с. - ISBN 5-8297-0159-6.

- 6.2 Прянишников, В.А. Теоретические основы электротехники: Курс лекций / В.А. Прянишников.- 3-е изд., перераб. и доп. - СПб. : Корона принт, 2000. - 368с. : ил. - Библиогр.: с. 366. - ISBN 5-7931-0104-7.
- 6.3 Матханов, П. Н. Основы анализа электрических цепей : линейные цепи: учеб. для вузов / П. Н. Матханов .- 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Высш. шк., 1990. - 400 с. : ил. - ISBN 5-06-000679-4.
- 6.4 Зевеке, Г. В. Основы теории цепей / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов.- 4-е изд., перераб. - М. : Энергия, 1975. - 752 с. : ил.
- 6.5 Нейман Л. Р. Теоретические основы электротехники : в 2 т.: учеб. для вузов / Л. Р. Нейман, К. С. Демирчян. - 3-е изд., перераб. и доп. - Л. : Энергоиздат, 1981 - Т.1. - 536 с. : ил.

Список использованных источников

- 1 Анализ линейных реактивных цепей синусоидального тока: методические указания к лабораторной работе по курсу ТОЭ / С.С. Фролов - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2010.- 27 с.
- 2 Стандарт предприятия. Общие требования и правила оформления выпускных квалификационных работ, курсовых проектов (работ), отчетов по РГР, по УИРС, по производственной практике и рефератов : СТП 101-00. – введ. 2002-12-25. - Оренбург: ОГУ, 2002. – 62 с.

Приложение А (обязательное)

Параметры переходных характеристик

Таблица П.А.1 - Параметры переходной характеристики RC -цепи

	Собственная частота p, c^{-1}	Постоянная $\tau, мс$	$3\tau, мс$	Время установления $u_C(t)$		Время установления $u_R(t)$	
				$t_{пер}^+, мс$	$t_{пер}^-, мс$	$t_{пер}^+, мс$	$t_{пер}^-, мс$
Расчёт							
Эксперимент	---	---	---				

Таблица А.2 - Параметры переходной характеристики RL -цепи

	Собственная частота p, c^{-1}	Постоянная $\tau, мс$	Время установления $u_L(t)$		Время установления $u_R(t)$	
			$t_{пер}^+, мс$	$t_{пер}^-, мс$	$t_{пер}^+, мс$	$t_{пер}^-, мс$
Расчёт						
Эксперимент	---	---				

Таблица А.3 - Параметры переходной характеристики RLC -цепи

	Собственные частоты		Декремент затухания α, c^{-1}	Резонансная частота $\omega_0, рад/с$	Время установления u_C		Время установления u_L		Время установления u_R	
	p_1, c^{-1}	p_2, c^{-1}			$t_{пер}^+, мс$	$t_{пер}^-, мс$	$t_{пер}^+, мс$	$t_{пер}^-, мс$	$t_{пер}^+, мс$	$t_{пер}^-, мс$
Расчёт										
Эксперимент										