



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Радиоэлектроника»

## Учебно-методическое пособие

# «Моделирование и исследование радиоэлектронных средств, на основе векторов фазовых переменных»

Авторы  
Трофименко В.Н.,  
Евстафьев В.В.

Ростов-на-Дону, 2017

## Аннотация

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов 2 курса очной и заочной форм обучения направлений 11.03.01 «Радиотехника», 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

## Авторы

доцент, к.т.н, доцент кафедры  
«Радиоэлектроника» Трофименко В.Н.,

доцент, к.т.н, доцент кафедры  
«Радиоэлектроника» Евстафьев В.В.



## Оглавление

Краткие сведения из теорий.....	4
Задание на проведение исследований.....	5
Порядок проведения исследований РЭС с использованием пакета математического моделирования Matchcad .....	7
Порядок проведения исследования РЭС с использованием программы Electronics Workbench .....	15
Содержание отчета .....	16
Контрольные вопросы .....	17
Список литературы.....	18

## Краткие сведения из теорий

Исследование радиоэлектронных средств на моделях, использующих вектор фазовых переменных

### Введение

Овладение научными знаниями - сложный процесс, предполагающий последовательное выполнение следующих этапов:

- восприятие (формирование представлений о внешних признаках и свойствах изучаемых объектов и явлений);
- осмысление (понимание причин и следствий изучаемых объектов и явлений, содержащихся в них внутренних связей, формирование понятий);
- запоминание (сохранение в памяти и умение воспроизводить изучаемый материал);
- упражнения в применении усвоенных знаний на практике;
- последующее повторение и применение знаний на практике (расширение, углубление и упрочение знаний, умений, навыков, формирование мировоззрения и нравственности) [2,4].

Организация работы по применению знаний на практике и выработке у обучающихся соответствующих умений и навыков сопряжена с немалыми трудностями. Как отмечал академик Б.М. Кедров, движение познания от теории к практике соответствует нарастанию субъективности в деятельности человека при сохранении объективности в качестве исходного состояния, определяющего собой весь процесс его познавательной и практической деятельности. (О науках фундаментальных и прикладных // Вопросы философии. 1972. №10. С.36-41). Для разрешения указанных противоречий «объективности- субъективности», в целях активизации учебно- познавательной деятельности, наряду с лекционными занятиями учебными планами планируются лабораторные и практические занятия [2,4]. Выполняя задания на лабораторных и практических занятиях, студенты лучше усваивают программный материал, так как многие термины, определения, формулы и закономерности, казавшиеся отвлеченными, становятся вполне конкретными, происходит соприкосновение теории с практикой, что в целом содействует уяснению сложных вопросов науки и становлению обучающихся как будущих специалистов [6].

При проведении лабораторного практикума значимая роль отводится содержанию и форме методических пособий по их проведению. Именно они (содержание и форма) определяют насколько удачно разрешаются противоречия «объективности- субъективности» и обеспечивается большая самостоятель-

ность обучаемого при выполнении лабораторных исследований.

## Задание на проведение исследований

### 2.1 Цель работы

Закрепить теоретические знания по моделированию РЭС используя вектор фазовых переменных;

Приобретение и совершенствование практических навыков исследований РЭС с использованием пакета математического моделирования Matchcad;

Приобретение и совершенствование практических навыков исследований РЭС с использованием программы Electronics Workbench;

Приобретение и совершенствование практических навыков формулировки выводов и рекомендаций по результатам проведенных исследований.

### 2.2 Исследования РЭС

Проводить в соответствии со своим вариантом задания и исходными данными (Таблица 2.1). Вариант задания соответствует сумме двух последних цифр зачетки.

Таблица 2.1 Варианты задания и исходных данных.

№ варианта	L, мГн	C, мкФ	R, Ом	R <sub>n</sub> , Ом	E <sub>1</sub> (t), В	E <sub>2</sub> (t) <i>cos(ωt)</i> , В
1	100	0.1	5	100	1	100 кГц,
2	200	0.2	5	100	2	100 кГц
3	300	0.4	5	100	3	100 кГц
4	400	0.01	5	1000	4	100 кГц
5	500	0.02	5	1000	5	100 кГц
6	600	0.05	5	1000	1	100 кГц
7	700	0.001	5	1000	2	100 кГц
8	100	0.002	10	1000	3	100 кГц

9	200	0.005	10	1000	4	100 кГц
10	300	1	10	100	5	500 кГц
11	400	0.1	10	1000	1	500 кГц
12	500	0.2	10	100	2	500 кГц
13	600	0.4	10	100	3	500 кГц
14	700	0.01	10	1000	4	500 кГц
15	100	0.02	10	1000	5	500 кГц
16	200	0.05	5	1000	1	500 кГц
17	300	0.001	5	1000	2	500 кГц
18	400	0.002	5	1000	3	100 кГц
19	500	0.005	5	1000	4	100 кГц
20	600	1	5	1000	5	100 кГц
21	700	0.1	5	100	1	500 кГц
22	100	0.2	5	100	2	500 кГц
23	200	0.4	10	100	3	500 кГц
24	300	0.01	10	1000	4	500 кГц
25	400	0.02	10	1000	5	500 кГц
26	500	0.05	10	1000	1	500 кГц
27	600	0.001	10	1000	2	500 кГц
28	700	0.002	10	1000	3	500 кГц
29	100	0.005	10	1000	4	100 кГц
30	200	1	10	100	5	100 кГц

### 2.3 Частные задачи исследования

Построить математическую модель РЭС используя вектор фазовых переменных

В построенной математической модели учесть исходные данные в соответствии с вариантом заданий.

Провести исследования РЭС с использованием пакета математического моделирования Matchcad

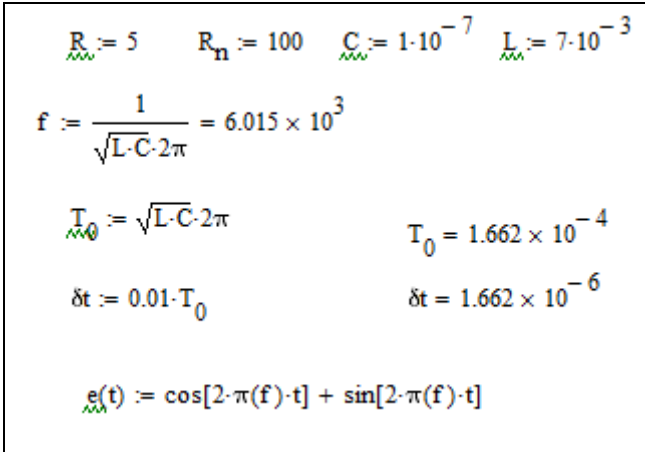
Исследовать параметрическую чувствительность РЭС, рассматривать изменение индуктивности, емкости, сопротивление и сопротивление нагрузки.

Провести исследования РЭС с использованием программы Electronics Workbench

### Порядок проведения исследований РЭС с использованием пакета математического моделирования Matchcad

Вначале проводится исследование в соответствии с исходными данными методического примера.

3.1 Вести исходные данные в соответствующим методу примеру в рабочее поле Matchcad



$$\begin{aligned}
 R &:= 5 & R_n &:= 100 & C &:= 1 \cdot 10^{-7} & L &:= 7 \cdot 10^{-3} \\
 f &:= \frac{1}{\sqrt{L \cdot C} \cdot 2\pi} = 6.015 \times 10^3 \\
 T_0 &:= \sqrt{L \cdot C} \cdot 2\pi & T_0 &= 1.662 \times 10^{-4} \\
 \delta t &:= 0.01 \cdot T_0 & \delta t &= 1.662 \times 10^{-6} \\
 e(t) &:= \cos[2 \cdot \pi(f) \cdot t] + \sin[2 \cdot \pi(f) \cdot t]
 \end{aligned}$$

Рисунок 3.1 Экран набора примера в Mathcad

3.2 Вести в рабочее поле Matchcad математическую модель канонический вид выражение преобразуя к виду

$$\begin{cases} e(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} + R \cdot i_L(t) + u_C(t); \\ i_L(t) = C \frac{du_C(t)}{dt} + \frac{1}{R_n} u_C(t). \end{cases} \quad (3.1)$$

В каноническом виде

$$\begin{cases} \frac{di_L(t)}{dt} + \frac{R}{L} \cdot i_L(t) + \frac{1}{L} u_C(t) = \frac{1}{L} e(t); \\ \frac{du_C(t)}{dt} + \frac{1}{R_n C} u_C(t) - \frac{1}{C} i_L(t) = 0. \end{cases} \quad (3.2)$$

3.3 Осуществить наборы модели РЭС предполагающее решение уравнение методом Рунге-Кутта с использованием встроенной функций Mathcad rkfixed. В результате на экране монитора наблюдаем (рисунок 1.2)

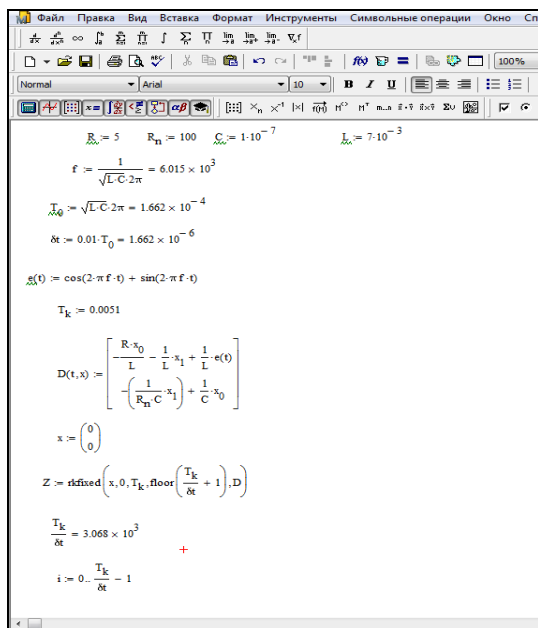


Рисунок 3.2 Экран примера набора алгебраизаций



3.4 Для построения графиков токов и напряжения на выходе колебательного контура панелью инструментов, открываем вставку выбираем график и график X-Y.

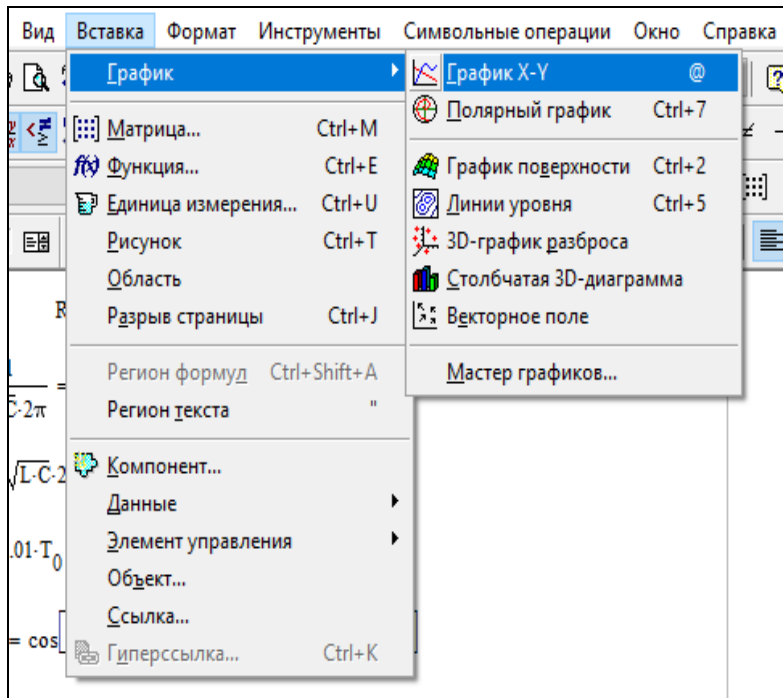


Рисунок 1.3 вставка графика

3.5 На рабочем поле Matchcad осуществляем вставку графика присваивая оси  $X - Z_{i,1}$ ,  $Y - Z_{i,0}$ . В результате наблюдаем колебания электромагнитного поля, происходящее в исследуемом колебательном контуре

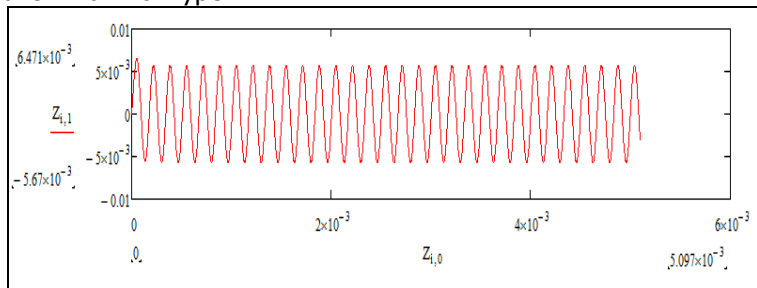


Рисунок 3.4 График полученного изображения

3.6 Для обеспечения наглядности и удобства показаний (рисунок 3.4) преобразуем следующим образом. Проводим курсор мыши на график, щелкаем правой кнопкой мыши и в высветившемся диалоговом окне выбираем форматирование выбранного графика X-Y. В раскрытом окне выставляем настройки: Ось X – линии сетки, основная ось Y – линий сетки, отображение осей – по центру (рисунок 3.5)

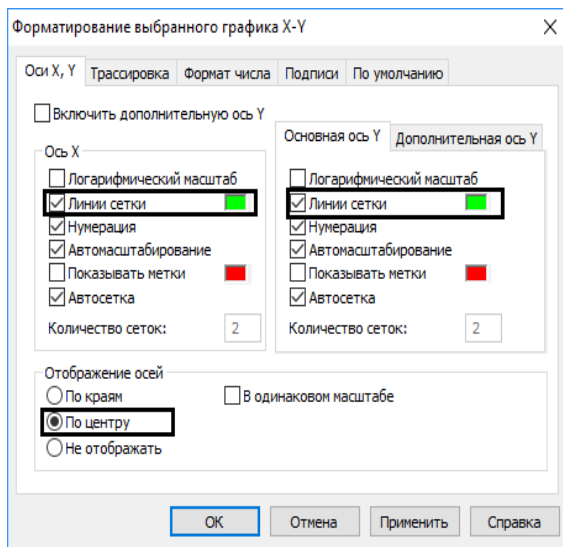


Рисунок 3.5 Отображение осей и сетки на графике

Нажатием "OK" окно закрывается и на экране монитора наблюдается скорректированный график

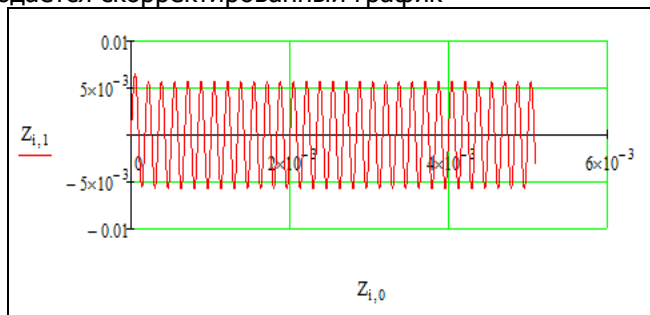


Рисунок 3.6 корректировка графика

3.7 Провести исследование для параметра чувствительности РЭС, для этого при наборе исходных данных изменяем поочередно один из параметров (индуктивности, ёмкости, сопротивление и сопротивление нагрузки) на 10%

**Внимание!!** По окончании исследование одного из параметров его значение “вернуть” исходное положение и только после этого изменять следующие параметры.

3.8 Результаты исследований для методического примера с изменением сопротивление колебательного контура приведены на рисунке 3.7, при изменениях емкости (рисунок 3.8), при изменениях сопротивлений нагрузки (рисунок 3.9) и при изменениях индуктивности (рисунок 3.10).

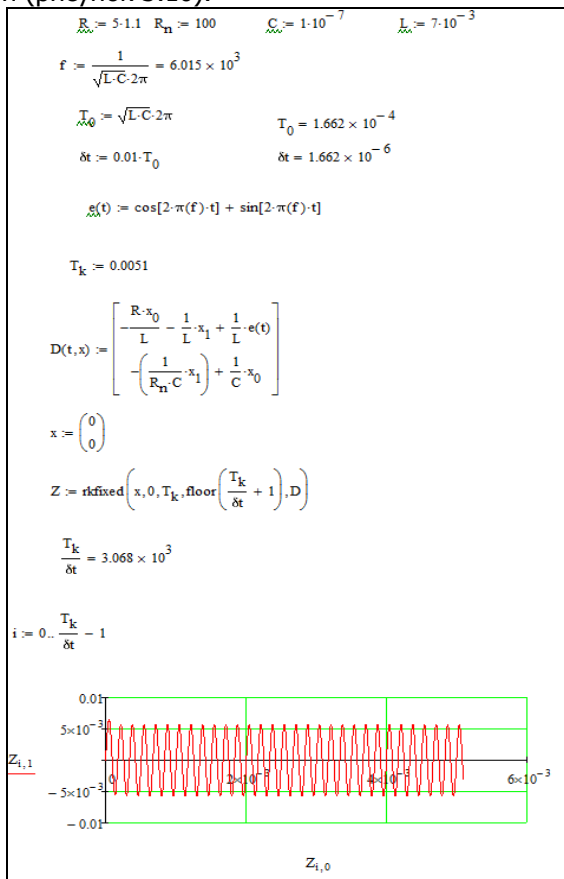


Рисунок 3.7 Изменение сопротивление колебательного контура

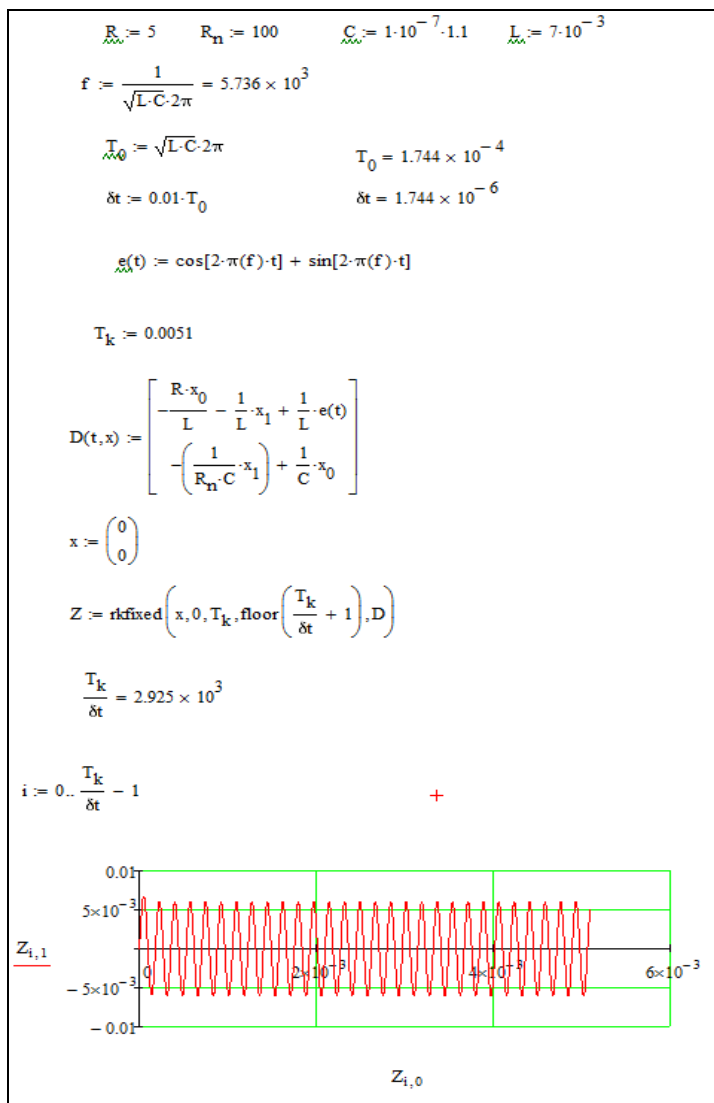


Рисунок 3.8 Изменение емкости

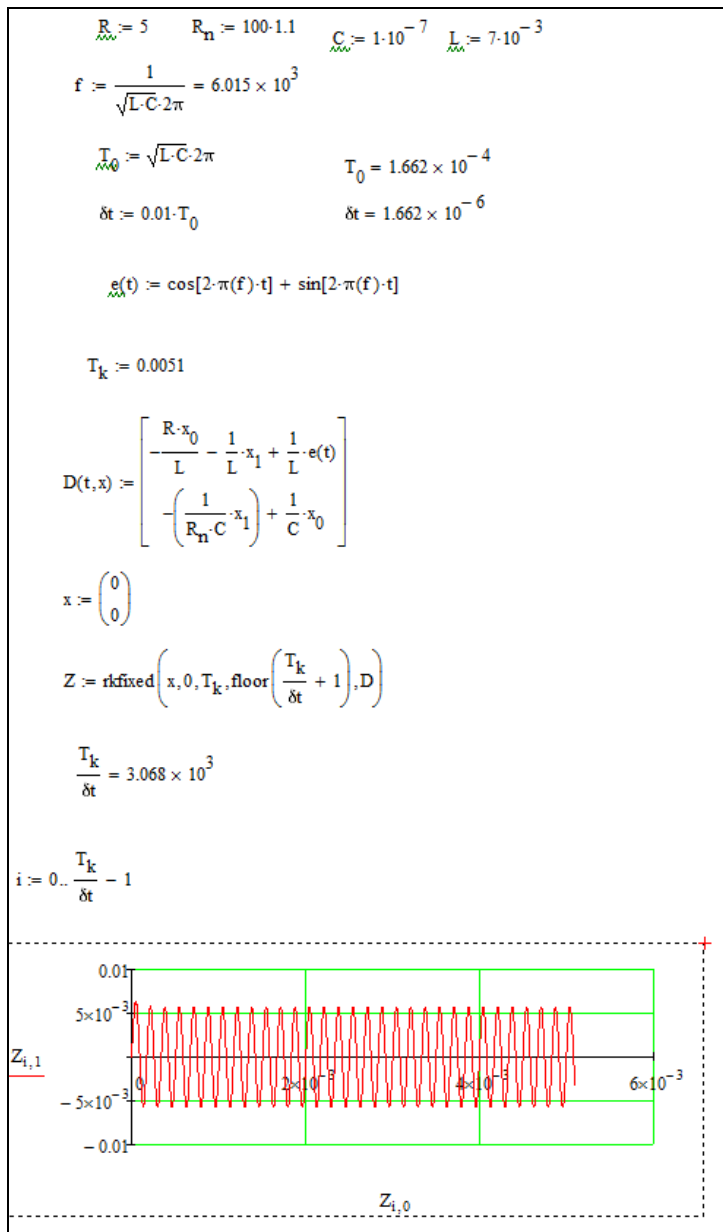


Рисунок 3.9 Изменение сопротивление нагрузки

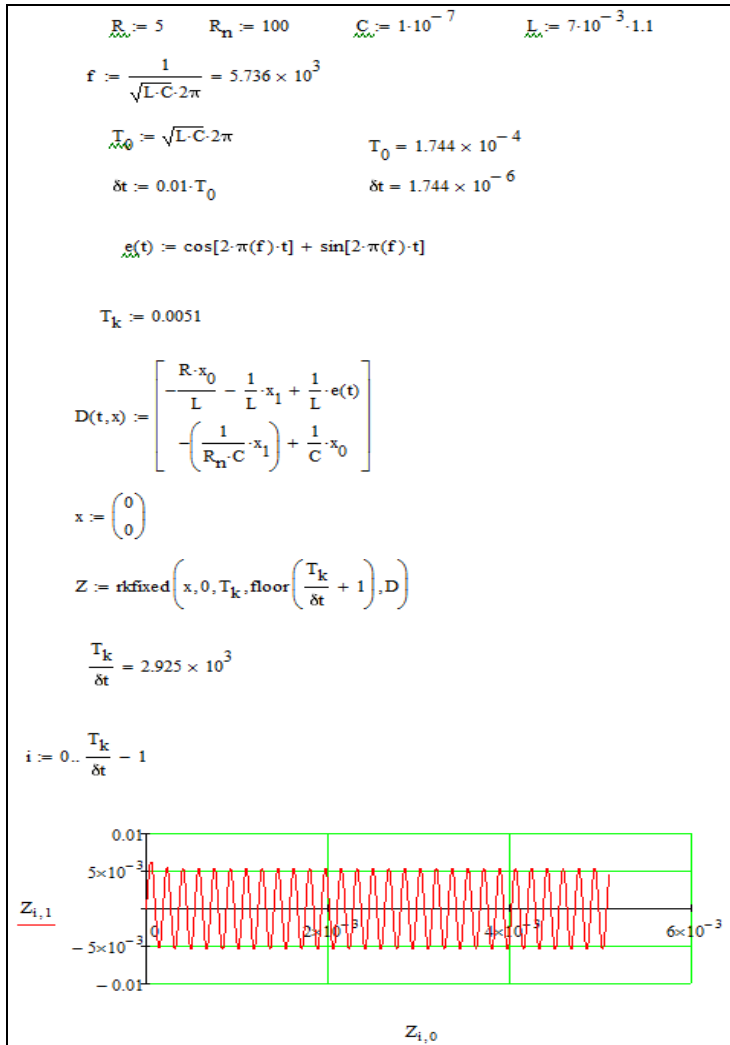


Рисунок 3.10 Изменение индуктивности

3.9 Выполнить исследование с пункта 3.1 – 3.6 по исходным данным в соответствии со своим вариантом.

## Порядок проведения исследования РЭС с использованием программы Electronics Workbench

Перед проведением исследования необходимо изучить порядок установки значений элементов, приборов, проведения измерений по пособию [5].

4.1 Выбираем на панели компонентов приборы (генератор, графопостроитель, осциллограф) переносим выбранные приборы на общее поле программы.

Выбираем на панели компонентов (сопротивление контура, индуктивность, ёмкость и сопротивление нагрузки) и соединяем их в электрическую схему последовательного колебательного контура.

В результате получаем схему модели электрической цепи (рисунок 4.1)

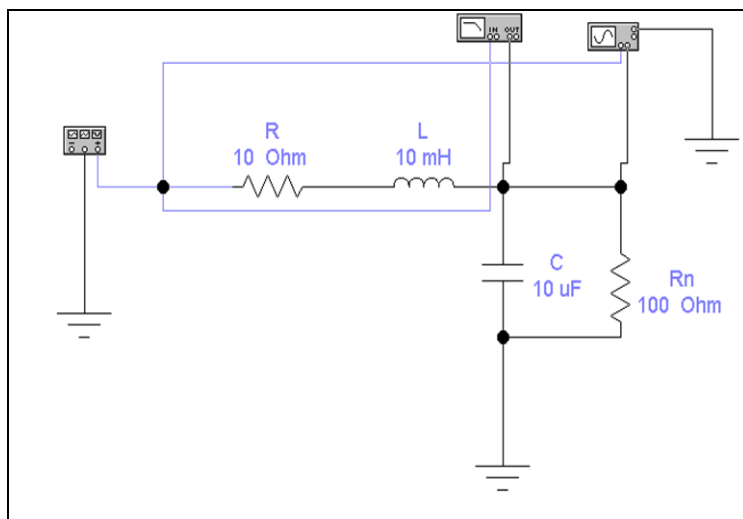


Рисунок. 4.1 Схема модели электрической цепи колебательного контура на рабочем поле Electronic Workbench

Устанавливаем значения параметров элементов для полученной электрической цепи методического примера.

4.2 Для проведения измерений необходимо подготовить осциллограф, для этого наведя курсор на осциллограф (рисунок 4.1), двумя нажатием правой кнопки вызвать лицезовую панель по умолчанию и установить шаг координатной сетке 0,50 с/дел по току и напряжению. Для пере- вода исследований РЭС в рабо-

чее состояние на общем поле Electronic Workbench в правой верхней части включить питание, при этом на лицевой панели осциллографа в левой части наблюдаем колебания напряжения в последовательном колебательном контуре (рисунок 4.2)

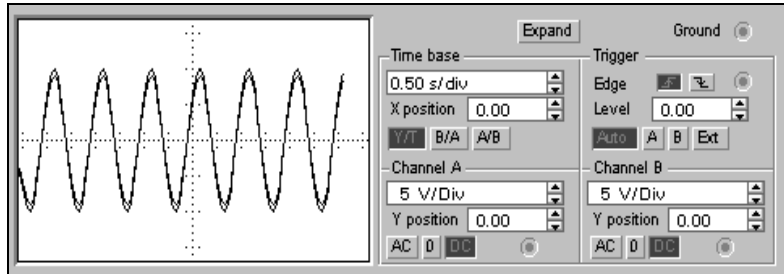


Рисунок 4.2 Результаты измерений с помощью осциллографа

4.3 Определить частоту и амплитуду колебания, результаты записать в отчет

4.4 Выполнить пункты 4.1 – 4.3 в соответствии со своим вариантом.

4.5 Сравнить результаты исследований РЭС полученных с помощью пакета математического моделирования Matchcad и Electronic Workbench.

### Содержание отчета

1 Фамилия, имя, отчество, группа, дата проведения исследований и номер по заданию.

2 Значения индуктивности, ёмкости, сопротивление контура и сопротивление нагрузки методического примера

3 Систему уравнений, описывающий математической моделью исследования РЭС

4 Схема электрическая функциональная исследования РЭС

5 Амплитуда и частота колебаний электромагнитном поле методического примера

6 Выполнить пункты 2 – 5 по своему варианту

7 Результаты исследований параметрической чувствительности, показать изменение параметров, объяснить характер изменений

8 Схемы электрической функциональной в программе Electronic Workbench

9 Амплитуда и частота колебаний последующего колеба-



тельного контура в методическом примере

10 Амплитуда и частота колебаний последующего колебательного контура по своему варианту

11 Выводы и рекомендаций по результатам исследований.

### Контрольные вопросы

1 Математические модели РЭС, какие отношения компонентов они характеризуют

2 Какие характеристики называются фазовыми переменными

3 Что включает в себя математическая электрическая модель рэс

4 На основе каких закономерностей формируются топологические модели рэс

5 Назовите фазовые переменные, которые использовались в математических моделях, которые исследованы. в данной работе

6 Как изменятся результаты исследований при изменении:  $C$ , и обосновать эти изменения

7 Как изменятся результаты исследований при изменении:  $L$ , и обосновать эти изменения

8 Как изменятся результаты исследований при изменении:  $R$ , и обосновать эти изменения

9 Как изменятся результаты исследований при изменении:  $R_n$ , и обосновать эти изменения

10 Как определяется амплитуда и частота колебаний напряжения с использованием программы электроник воркбенч

11 Обоснуйте выводы и рекомендации, сформулированные в отчете

## Список литературы

1. Головкин А., Пивоваров И., Кузнецов И. Компьютерное моделирование и проектирование радиоэлектронных средств. Учебник для вузов. Стандарт третьего поколения.- СПб.: Питер, 2015.-208с.

2. Евстафьев В.В. Познавательная деятельность в процессе изучения военных дисциплин. Педагогика, 2002, №5, С. 107- 109.

3. Евстафьев В.В., Енгибарян И.А., Сахаров И.А. Основы конструирования технологии производства РЭС: учебное пособие по дисциплине «Основы конструирования технологии производства РЭС».- М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2016.- 92с.

4. Евстафьев В.В., Мельниченко Ф.М. Опыт моделирования учебного процесса. Высшее образование в России, 2002, №2, С. 110- 112.

5. Трофименко В.Н., Трофименко Е.Н. Моделирование цифровых и аналоговых устройств. Лабораторный практикум. Ростов н/Д : РАС ЮРГУЭС, 2008.- 48с.

6. [www.profile-edu.ru/laboratornyj-praktikum-kak-raznovidnost-prakticheskogo-zanyatiya.html](http://www.profile-edu.ru/laboratornyj-praktikum-kak-raznovidnost-prakticheskogo-zanyatiya.html)