**«Московский**

**государственный**

**технический**

**университет**

**имени**

**Н.Э.**

**Баумана»**

**(**

**МГТУ**

**им.**

**Н.Э.**

**Баумана)**



**Расчетно-пояснительная записка**

к курсовой работе на тему:

**«Анализ установившихся и переходных режимов в линейных электрических цепях»**

по дисциплине «Электротехника»

Вариант № 11 (в)

Студент: Группа:

Руководитель курсовой работы: Васюков Сергей Александрович

2021 г.

**Введение**

Цель курсовой работы – закрепить теоретический материал, научиться приемам и методам познавательной деятельности, умению обобщать и вырабатывать навыки творческого мышления и самостоятельной работы.

Умение правильно использовать компьютер становится важным показателем работы специалиста. При работе над курсовой применена персональная ЭВМ (ПЭВМ). Оформление отчета выполнено в Word. Схемы цепи вычерчивались в графическом редакторе. Для расчетов и построения графиков использовали систему компьютерной математики MathCAD.

**Описание схемы**

Предметом курсовой работы является исследование электрической цепи, структурная и функциональная схемы которой показаны на рис. 1 и 2 соответственно.

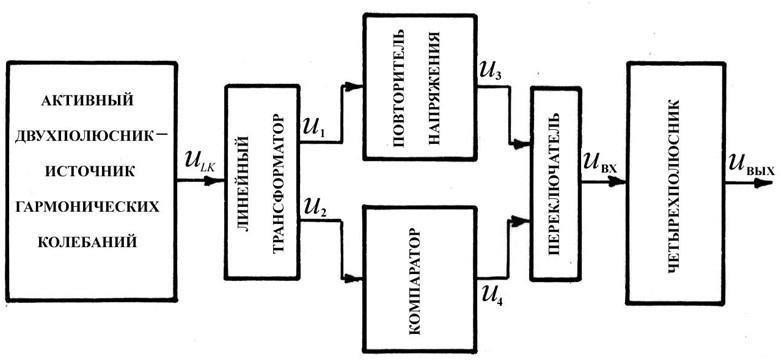


Рисунок 1 – Структурная схема электрической цепи

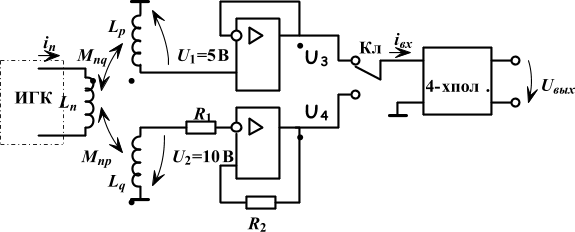


Рисунок 2 ‒ Функциональная схема электрической цепи.

Схема источника гармонических колебаний состоит из источников ЭДС и тока одинаковой частоты и пассивных элементов разного характера, соединенных определенным образом. Роль первичной обмотки линейного трансформатора (ТР) выполняет одна из индуктивностей *Ln*, входящих в состав источника. При этом последовательно с индуктивностью не должен быть включен источник тока, и ток в этой ветви не равен нулю. Линейный (воздушный) трансформатор имеет две вторичные обмотки *Lp* и *Lq*.

Напряжение *u*1 вторичной обмотки *Lp* ТР подается на вход повторителя, собранного на операционном усилителе (ОУ) *DA*1. Ориентировочные параметры такого усилителя следующие:

Rвх ≥ 0,5 мОм; Rвых ≤ 100 Ом; µ0 ≥ 5∙104; *f*в = 20 мГц;

где µ0 ‒ коэффициент усиления по напряжению, а fв – верхняя рабочая частота. Такой ОУ используется не для получения усилительного эффекта, а для передачи электрическим цепям особых свойств, получить которые без него сложно или невозможно. Для работы ОУ к нему необходимо подвести постоянное питающее напряжение U = ±10…15 В.

Напряжение во вторичной обмотке Lq ТР подается на инвертирующий вход компаратора – порогового элемента, преобразующего гармоническое (синусоидальное) колебание в разнополярные импульсы прямоугольной формы:

U4 = 10 В при *u*2 ≤0,

U4 = –10 В при *u*2> 0.

Компаратор собран на ОУ *DA*2 с разомкнутой отрицательной обратной связью (ООС). В цепи без ООС коэффициент усиления ОУ оказывается чрезвычайно большим и синусоидальный сигнал преобразуется в

прямоугольный. Следует обратить внимание, что напряжения *u*1 и *u*2 находятся в противофазе, а напряжению *u*3> 0 соответствует *U*4 = 10 В. Токи во вторичных обмотках трансформатора ТР для идеальных ОУ (*Rвх* → ∞) равны нулю, поэтому нагрузка трансформатора никакого влияния на активный двухполюсник не оказывает.

Переключатель *Кл* позволяет подключить заданную схему четырехполюсника любо к выходу повторителя, либо к выходу компаратора. Переключение из одного положения в другое происходит мгновенно. В исходном (начальном) состоянии переключатель находится в положении 1 (см рисунок 2). Изменение положения переключателя вызывает в схеме изменение режима работы и возникновение переходного процесса.

**Техническое задание на курсовую работу**

1. ***Расчет источника гармонических колебаний (ИГК).***

* 1. В соответствии с вариантом задания рассчитать комплексным методом расчета токи во всех ветвях схемы 1 (в дальнейшем будем называть схему 1 источником гармонических колебаний (ИГК)). Расчет производится любым известным методом расчета – законами Кирхгофа, методом контурных токов, методом узловых потенциалов. Определить комплексное напряжение на источнике (источниках) тока. Составить проверочное уравнение баланса мощности, по результатам которого сделать вывод о правильности расчета токов в ветвях.
  2. Выбрать в качестве первичной обмотки воздушного трансформатора одну из катушек индуктивностей ИГК (*Ln*) (Приложение 1, Рис. 1). Провести моделирование схемы 1 в Мультисим. В схеме моделирования последовательно с выбранной индуктивностью включить виртуальный амперметр переменного тока, а параллельно с индуктивностью – виртуальный вольтметр переменного тока. Определить теоретически действующее значение тока и напряжения на индуктивности, используя ранее полученное комплексное значение тока индуктивности (смотри п. 1.1). Убедиться, что рассчитанные ток и напряжение в выбранной катушке индуктивности совпадают с показаниями виртуального вольтметра и амперметра.
  3. Записать мгновенные значения тока и напряжения первичной обмотки трансформатора Т1 и построить их волновые диаграммы.
  4. Определить значения *Mnq, Mnp, Lq, Lp* Т1 из условия, что индуктивность первичной обмотки *Ln* известна, *U1* = 5 B, *U2* = 10 B. Коэффициент магнитной связи обмоток *k* следует выбрать самостоятельно в диапазоне: 0,5 < *k* < 0,95 (n, p, q, - номера индуктивностей Т1). Записать выражения комплексных напряжений на вторичных обмотках трансформатора. Учесть, что первая вторичная обмотка включена с первичной обмоткой согласно, а вторая – встречно.
  5. Провести моделирование в Мультисим модифицированной схемы 1. Для этого в модели п. 1.2 вместо катушки индуктивности включить трансформатор с рассчитанными в п.1.4 параметрами. Во вторичные обмотки трансформатора включить виртуальные вольтметры переменного напряжения. Убедиться, что по модели на вторичных обмотках *U1* = 5 B, *U2* = 10 B.
  6. **Оформить результаты раздела 1 в виде файла WORD, конвертировать файл в PDF и прислать PDF –файл по электронной почте на проверку преподавателю.**

**Отчетность пункта 1 – 25%. Приступать к пункту 2 курсовой работы можно только после одобрения преподавателем результатов расчета пункта 1.**

## **Расчет четырехполюсника.**

* 1. Рассчитать токи и напряжения методом входного сопротивления (или входной проводимости), построить векторные диаграммы токов и напряжений.
  2. Записать мгновенные значения *u1=u3=uвх*, *iвх* и *uвых* , определить сдвиг по фазе между входным и выходным напряжениями, а также отношение их действующих значений.
  3. Определить передаточные функции:

*W*(*s*)= *Uвых*(*s*)/ *Uвх*(*s*), *W*(*j*) = *Uвых/Uвх*

* 1. По передаточной функции вывести аналитические выражения и построить амплитудно-частотную (АЧХ) и фазо-частотную (ФЧХ) характеристики. **Графики АЧХ и ФЧХ построить в функции линейной *f* , а не угловой**  **частоты.** Используя частотные характеристики, определить *uвых* при заданном *uвх*. Сравнить этот результат с полученным в п. 2.2.
  2. Провести моделирование в Мультисим схемы четырехполюсника, получив графики АЧХ и ФЧХ. Сравнить графики расчета и моделирования.
  3. Определить, какое реактивное сопротивление нужно подключить к схеме, чтобы *uвх* и *iвх* совпадали по фазе (резонанс напряжений). Определить входное сопротивление, входной ток и добротность колебательного контура.
  4. **Оформить результаты разделов 1 и 2 в виде файла WORD, конвертировать файл в PDF и прислать PDF –файл по электронной почте на проверку преподавателю.**

**Вариант задания: 11в**

Задача 1

Единицы измерений:e [В], J [А], R [Ом], L [мГн], C [мкФ].

1. **Расчет источника гармонических колебаний (ИГК)**

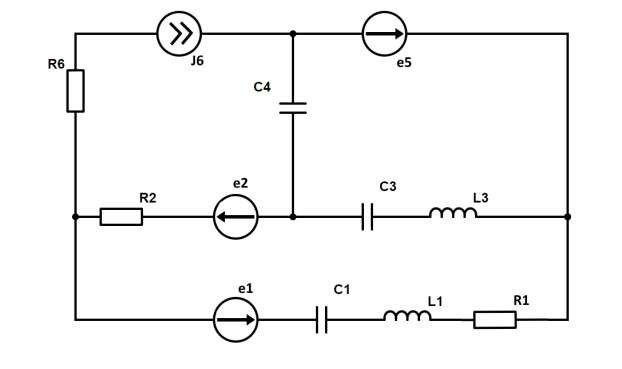


Рис. 2. Схема источника гармонических колебаний

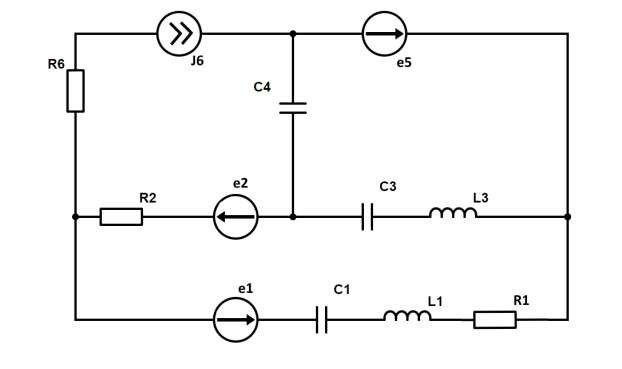
**Исходные данные:**



**Переход в комплексную форму:**

;





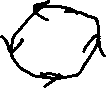


Рис. 4. Схема источника гармонических колебаний



**1.1** **Сделаем расчет методом узловых потенциалов:**

; ; Тогда для :

Решая данную систему получаем:

=>

* **+** =>

Значит, токи в ветвях:

по первому закону Кирхгофа

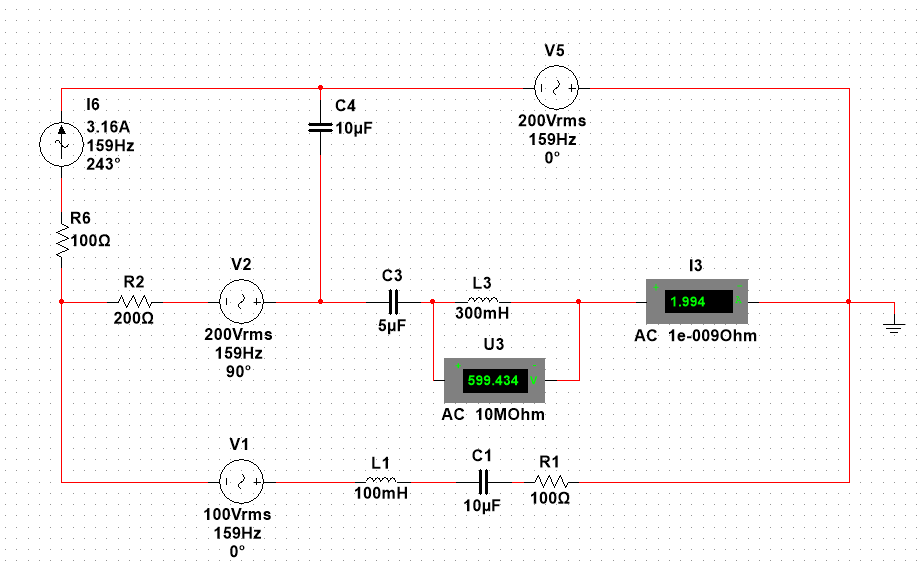
Найдем комплексное напряжение на источнике тока по второму закону Кирхгофа:

Уравнение баланса мощностей:

* уравнение баланса мощностей выполнено.

Следовательно, токи найдены верно.

Сделаем моделирование схемы в мультисим:



* 1. Выберем в качестве первичной обмотки трансформатора катушку . Ток, протекающий через нее:

Мгновенные значения тока и напряжения на катушке:

**Графики:**





**1.3** Определим значения первичной обмотки трансформатора.

Изображение выглядит как текст

Автоматически созданное описание

*, ;*

;

Тогда ;

;

Комплексное значение напряжений:

*;*

Напряжение на находится в противофазе с напряжением на L. Тогда:

*;*

Мгновенные значения и :

;

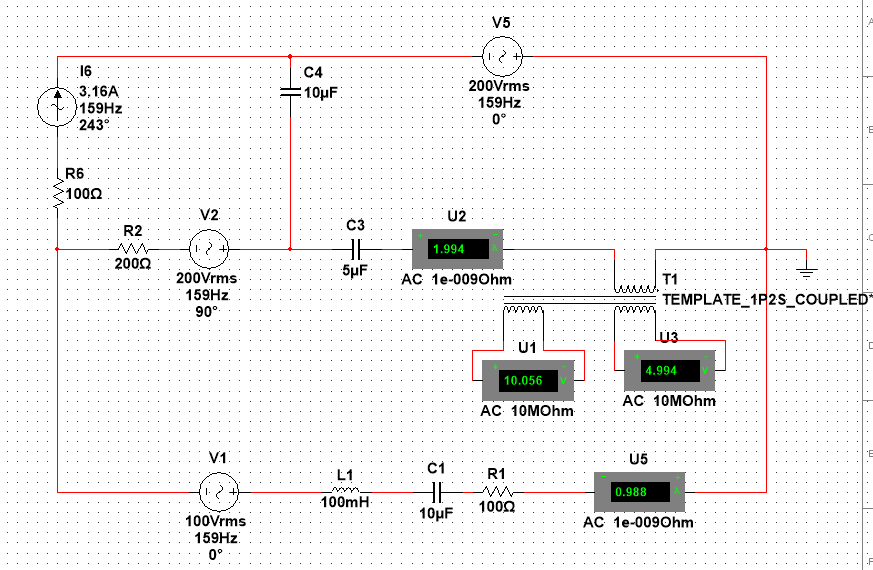
;

Найдем значение индуктивности катушек и :

;

;

Моделирование:



Следовательно, убедились, что по модели на вторичных обмотках В, В.

## **Расчет четырехполюсника.**



**2.1.** Схема четырехполюсника:



Изображение выглядит как текст, часы

Автоматически созданное описание



*.*

Перейдем в комплексное изображение:

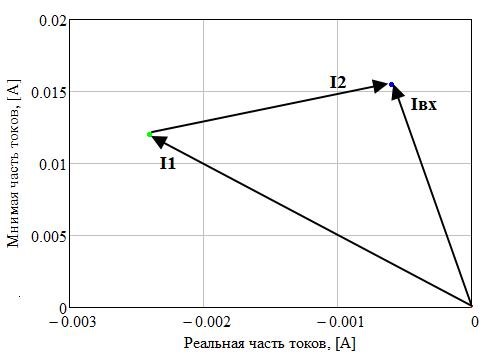
Изображение выглядит как текст, часы

Автоматически созданное описание

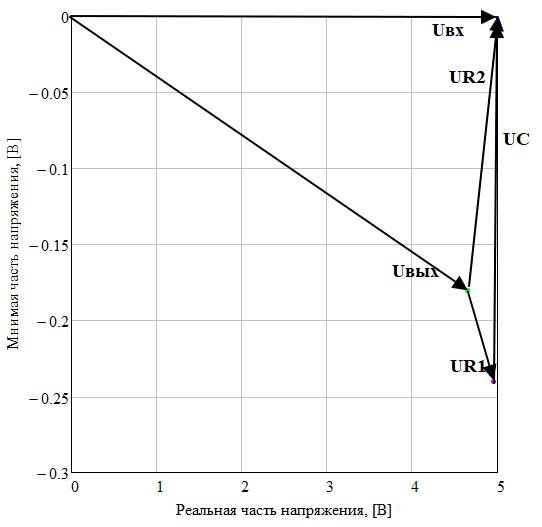


Напряжение на и последовательном соединении и :

Векторная диаграмма токов:



Векторная диаграмма напряжений:



**2.2.** Мгновенные значения:

;

;

;

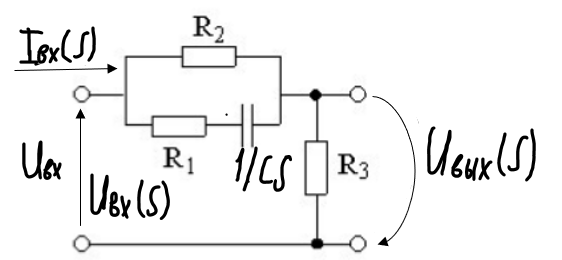
Сдвиг по фазе между входным и выходным напряжением:

Отношение действующих напряжений:

**2.3.** Определение передаточных функций:

Операторная схема четырехполюсника:







s = jw, тогда:

**2.4.** Определение АЧХ и ФЧХ характеристик:

AЧХ:

W(1000) = 0.93 – совпадает с рассчитанным выше отношением:

ФЧХ:

Переведем АЧХ и ФЧХ в зависимости от :

Графики АЧХ и ФЧХ:





**2.5.** Проведем моделирование в Мультисим схемы четырехполюсника и получим графики АЧХ И ФЧХ:

Схема моделирования четырехполюсника в мультисим:

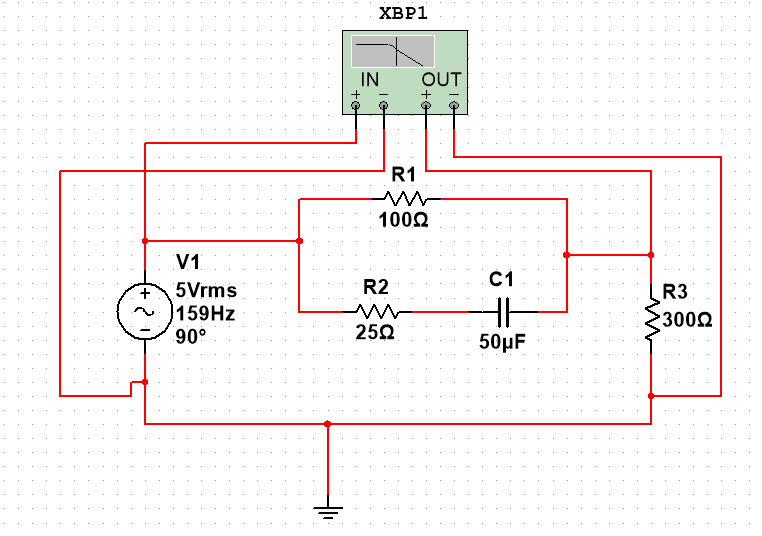


График АЧХ:

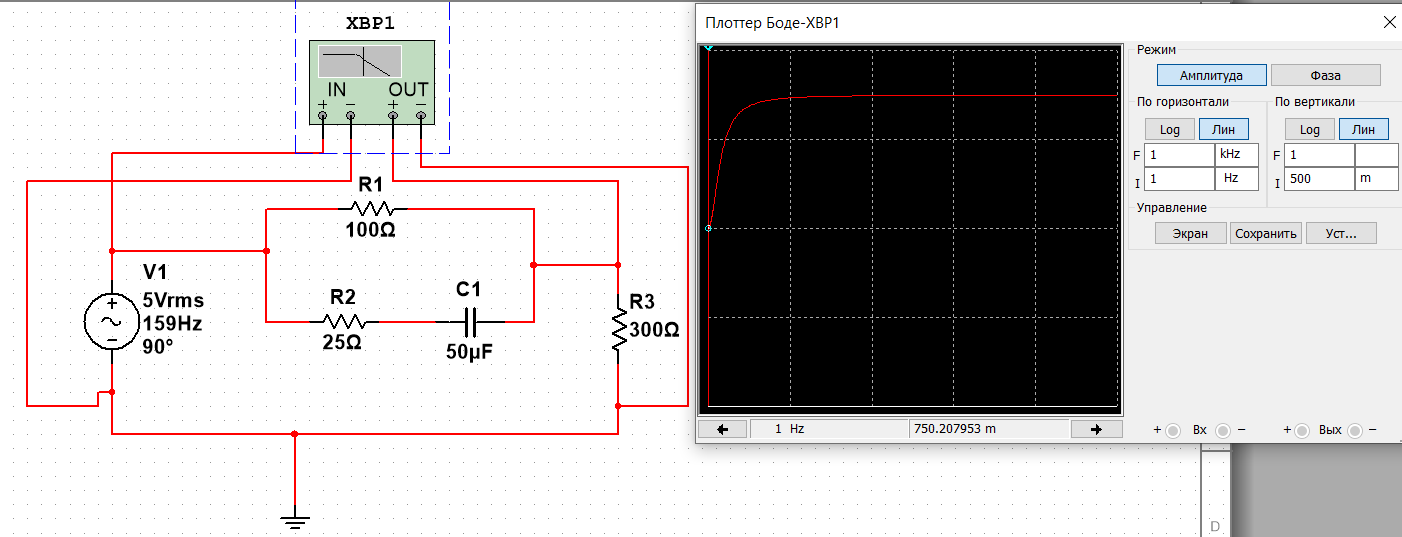
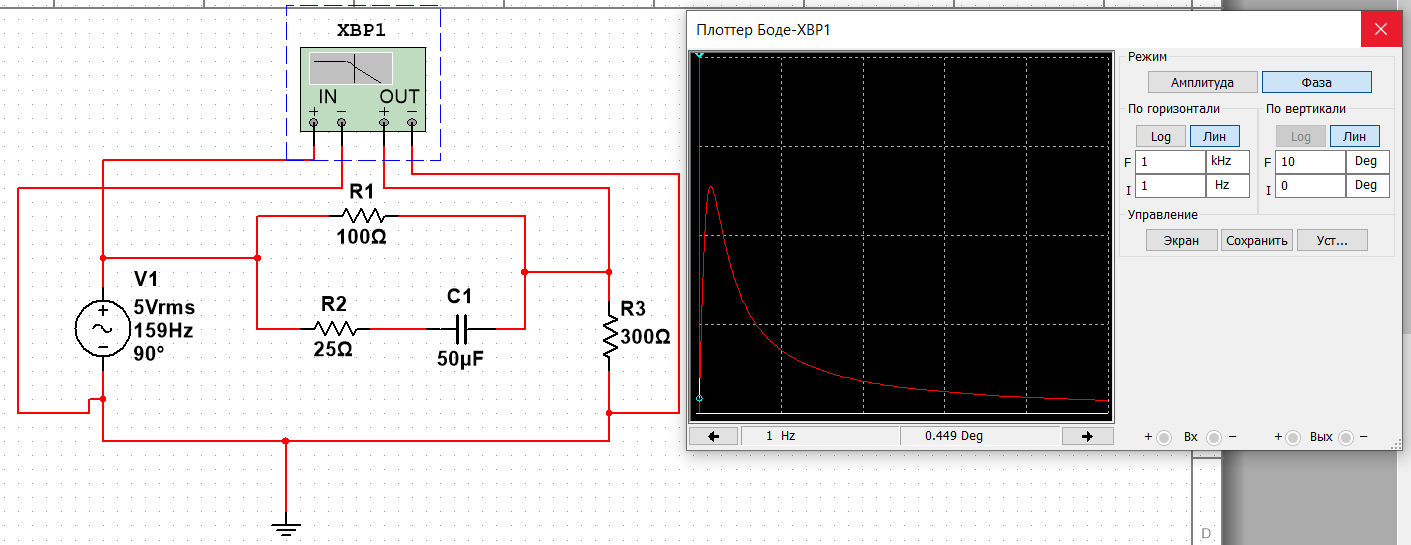


График ФЧХ:

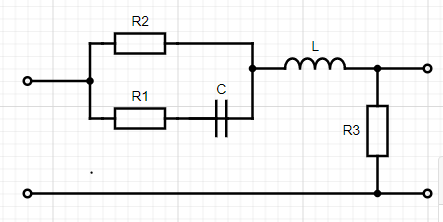


Изображение выглядит как текст, внутренний, снимок экрана

Автоматически созданное описание

**2.6.** Расчет резонанса:







Чтобы в цепи был резонанс, цепь должна вести себя как резистивная. В данном случае будет резонанс напряжений. Условие резонанса: .

Реактивное сопротивление катушки;

Входное сопротивление при резонансе:

Входной ток колебательного контура:

Во временной форме:

Добротность колебательного контура:

***3. Расчет установившихся значений напряжений и токов в электрических цепях при несинусоидальном воздействии.***

Таблица 3.1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *Вар.* | *R1, Ом* | *R2, Ом* | *R3, Ом* | *С, мкФ* |
| 11 в | 25 | 100 | 300 | 50 |

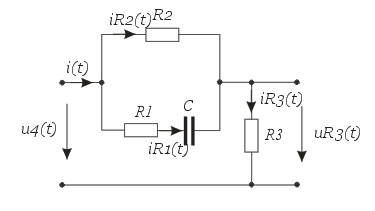


Рисунок 3.1 – схема четырехполюсника

3.1. Рассчитать законы изменения тока *iвх(t)* и напряжения *uвых(t)* = *uR3(t)* частотным методом, представив напряжение *uвх(t)* = *u4(t)* в виде ряда Фурье до 5-й гармоники



Комплексные амплитуды *U4k* гармоник входного напряжения *k* =1,3,5.

 *В*

 *В*



Рассчитаем входной ток и выходное напряжение для каждой гармоники для комплексных амплитуд:

Входной ток.

*1/с*





 *А*

 *А*

 *А*

Мгновенные значения.

 *А*

 *А*

 *А*



 *А*

Выходное напряжение.



 *В*

 *В*

 *В*

Мгновенные значения.

 *В*

 *В*

 *В*

 *В*

Итак:

Входной ток.

 *А*

Выходное напряжение.

 *В*

3.2 Построить графики *uвх(t) = u4вх(t), uвх(t) (Фурье), iвх(t), uвых(t)=uR3(t)* в одном масштабе времени один под другим, где *uвх(t), iвх(t),и uвых(t)* - суммарные мгновенные значения:

*uвх(t):*



*iвх(t):*



*uвых(t):*



3.3. Определить действующие значения *uвх(t), iвх(t), uвых(t),* а также активную мощность, потребляемую четырехполюсником, и коэффициенты искажения *iвх(t), uвых(t), uвх(t).*

Действующие значения сигналов:

 *В*

 *А*

 *В*

Активная мощность:

 *Вт*

Полная мощность:

 *ВА*

Коэффициент искажения , где *F* – действующее значение функции, –действующее значение функции при первой гармонике.

Для напряжения :



Для тока :



Для напряжения :



3.4. Проведем моделирование в Мультисим схемы четырехполюсника, включив на его вход три последовательно соединенных источника напряжения. Параметры источников соответствуют параметрам гармоник формулы разложения Фурье.

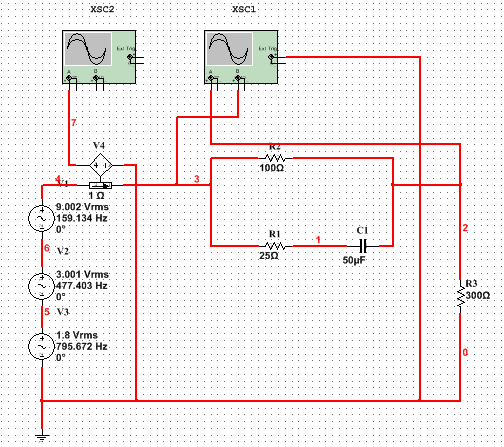
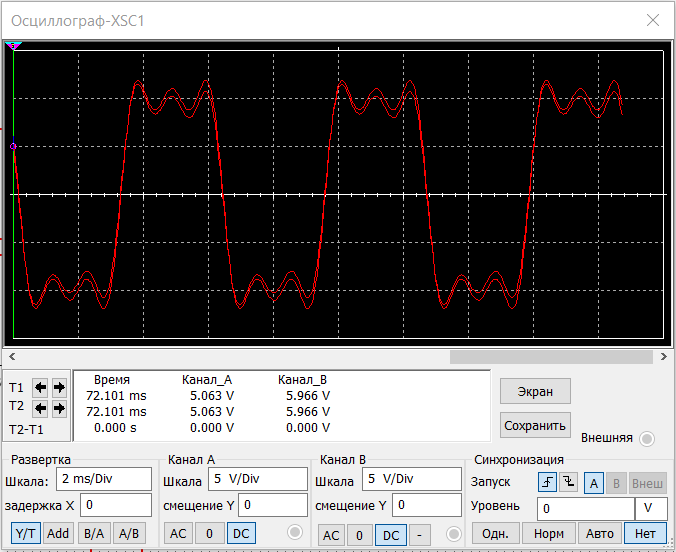


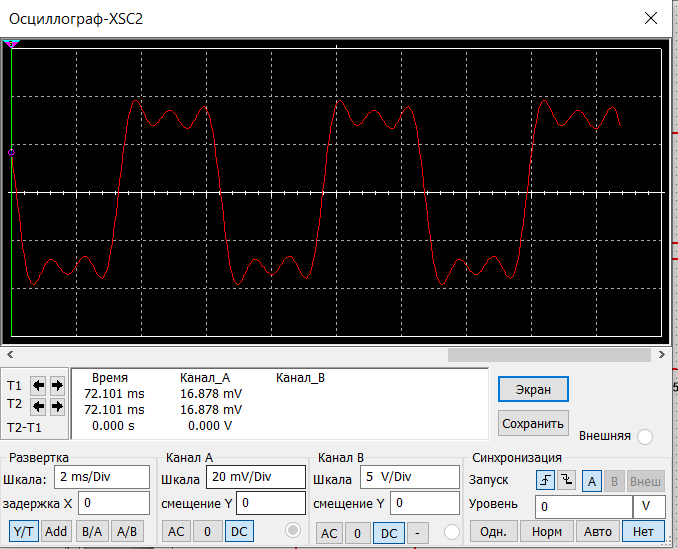
Рисунок 3.2 - схема цепи



Изображение выглядит как текст, ночь, темный

Автоматически созданное описание

Рисунок 3.3 - графики напряжений



Изображение выглядит как текст, ночь, темный

Автоматически созданное описание

Рисунок 3.4 - график тока

Графики моделирования соответствуют расчетным.