**«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 № 1 (г)

Студент: Абрамов Никита Дмитриевич Группа: ИУ1-5у

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**

## 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.
	1. **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.**

# Отчетность пункта 2 – 50%. Приступать к пункту 3 курсовой работы можно только после одобрения преподавателем результатов расчета пункта 2.

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

Переключатель Кл перевести в положение 2 в момент времени, когда входное напряжение *u3(t)*=0, *du3/dt* > 0, т.е. в момент начала положительного импульса напряжения *u4(t)*. Это условие будет выполнено при равенстве аргумента входного напряжения (*t* + *u3*) = 2 *k*, где *k* = 0, 1, 2, 3…

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

*u* (*t*)   4*U m* sin *k**t ,* (3.1)

*вх*

где *Um*  10; *k* =1, 3, 5.

*k k*

* 1. Построить графики *uвх(t)*, *iвх(t), uвых(t)* в одном масштабе времени один под другим, где *uвх(t), iвх(t),*и *uвых(t) -* суммарные мгновенные значения.
	2. Определить действующие значения несинусоидальных токов и напряжений из расчетов п. 3.1, а также активную мощность, потребляемую четырехполюсником, коэффициенты искажения *iвх(t), uвых(t)*, *uвх(t).*
	3. Провести моделирование в Мультисим схемы четырехполюсника, включив на его вход три последовательно соединенных источника напряжения. Параметры источников соответствуют параметрам гармоник формулы (3.1).

*uвх*1

(*t*)  4*Um* sin *t*; *u*



*вх*3

(*t*)  4*Um* sin 3*t*; *u*

3

*вх*5

(*t*)  4*Um* sin 5*t*.

5

Последовательно с источниками перед схемой четырехполюсника включить сопротивление 1 Ом. Подключить виртуальные осциллографы для измерения входного напряжения, выходного напряжения и входного тока. Для отображения входного тока виртуальный осциллограф подключить параллельно сопротивлению 1 Ом.

Получить скриншоты экранов виртуального осциллографа для *uвх(t)*, *iвх(t)* и *uвых(t)*, и сравнить графики моделирования с расчетными по п.3.1.

**3.5 Оформить результаты разделов 1, 2 и 3 в виде файла WORD, конвертировать файл в PDF и прислать PDF –файл по электронной почтена проверку преподавателю.**

# Отчетность пункта 3 – 75%. Приступать к пункту 4 курсовой работы можно только после одобрения преподавателем

**результатов расчета пункта 3.**

## Расчет переходных процессов классическим методом.

* 1. Определить и построить переходную и импульсную характеристики цепи четырехполюсника для входного тока и выходного напряжения. Провести моделирование в Мультисим, по результатам которого получить скриншоты экранов виртуального осциллографа для переходных функций, и сравнить результаты с расчетными.
	2. Рассчитать и построить графики изменения тока *iвх* и напряжения *uвых* четырёхполюсника при подключении его к клеммам с напряжением *u4(t)* в момент времени, когда входное напряжение *u3(t)*=0, *du3/dt* > 0 (это условие будет выполнено при равенстве аргумента входного напряжения (*t* + *u3*) = 2 *k*, где *k* = 0, 1, 2, 3), с учетом запаса энергии в элементах цепи от предыдущего режима работы на интервале *t* [0+, 2.5*T* ], где *T*- период изменения напряжения *u4*.

Сравнить графики *iвх(t), uвых(t)* с соответствующими в п. 3.2.

* 1. Провести моделирование, подав на четырехполюсник напряжение от генератора двухполярных прямоугольных импульсов. Сравнить результаты моделирования (скриншоты входного тока и выходного напряжения) и расчетные по п.4.2 графики.
	2. **Оформить результаты всех разделов в виде файла WORD, конвертировать файл в PDF и прислать PDF –файл по электронной почтена проверку преподавателю.**

**Вариант задания:**

**Вариант 1 В**



****

1. **Определим значение напряжения и тока в первичной обмотке трансформатора.**

Выберем в качестве первичной обмотки трансформатора катушки индуктивности L5

Переведем данные в комплексную форму:

$$Z\_{R2}=40$$

$$Z\_{C1}= -100j$$

$$Z\_{C5}=-500j$$

$$E\_{6}=100j$$

$$Z\_{R4}=100$$

$$Z\_{c3}=-50j$$

$$E\_{3}= -50j$$

$$j\_{2}=1+j$$

$$Z\_{L5}=300j$$

$$Z\_{C4}=-200j$$

$$E\_{4}=100j$$

Комплексные сопротивления ветвей



Рисунок 1 Схема для подсчсета тока и напряжения

Запишем систему уравнений для контурных токов