ФГОУ ВПО Воронежский институт ФСИН России

Кафедра основ радиотехники и электроники

Курсовая работа

по дисциплине «Основы теории цепей»

Тема: «Анализ линейных электрических цепей при гармоническом воздействии»

Вариант 13

Выполнил:

Иванов И.И.

Воронеж 2010

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

1. Задание к курсовой работе и указания по выполнению

2. Пример выполнения задания курсовой работы

## 2.1 Составление схемы исследуемой цепи

2.2 Расчет токов и напряжений в элементах цепи

2.3 Проверка результатов с помощью законов Кирхгофа

2. 4 Построение полной векторной диаграммы цепи

2.5 Расчет частотных характеристик цепи

Библиографический список

1. Задание к курсовой работе и указания по выполнению

1. Составить схему исследуемой цепи

Для этого на вход заданной цепи (вариант схемы цепи определяется преподавателем), как показано на рис. 1.1, подключить реальный источник гармонического напряжения с э.д.с. e(t) = Emcos (ωt), амплитуда, частота ω и внутреннее сопротивление Re которого также определяются в соответствии с вариантом.

Исследуемая

цепь

*e*(t)

*R*е

Вход

Выход

Рис. 1.1. Подключение источника напряжения к исследуемой цепи

Изобразить полученную схему цепи, проставить нумерацию элементов в соответствии с требованиями ГОСТ по оформлению чертежей и обозначить токи и напряжения на всех элементах, задав их положительные направления.

2. Рассчитать токи и напряжения в элементах цепи

Путем проведения аналитических расчетов необходимо определить амплитуды и начальные фазы токов и напряжений на всех элементах цепи при отсутствии нагрузки, в отчете привести описание расчетов, результаты представить в виде таблицы, аналогичной табл. 1.1.

Таблица 1.1 Результаты расчетов

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Элемент | Номинал | Um, мВ | Im, мА | ψU, град. | ψI, град. |
| Re |  |  |  |  |  |
| R1 |  |  |  |  |  |
| R2 |  |  |  |  |  |
| R3 |  |  |  |  |  |
| С1(L1) |  |  |  |  |  |
| С2(L2) |  |  |  |  |  |

Так как в исследуемой цепи присутствуют реактивные элементы, то протекающие в цепи процессы могут быть описаны в комплексном виде. Поэтому при проведении аналитических расчетов необходимо использовать метод комплексных амплитуд.

В этом и последующих пунктах численные расчеты могут проводиться с применением вычислительной техники. В случае использования специальных программ (кроме «Калькулятора» ОС Windows) в отчете необходимо указать наименование использованной программы и описать подробный порядок действий с ней.

3. Проверить результаты расчетов

По результатам расчетов токов и напряжений провести проверку выполнения первого и второго законов Кирхгофа для узлов и контуров цепи.

4. Нарисовать полную векторную диаграмму цепи

Построить полную векторную диаграмму токов, напряжений и цепи источника. Все векторы, изображенные на рисунке должны быть подписаны. Допускается векторы, относящиеся к токам и напряжениям, изображать разными цветами или изобразить на двух разных диаграммах.

5. Рассчитать частотные характеристики цепи

Для выполнения расчета необходимо:

– определить комплексный коэффициент передачи по напряжению исследуемой цепи

, (1.1)

где  и - комплексные амплитуды выходного и входного напряжений;

– рассчитать амплитудно-частотную (АЧХ) и фазочастотную (ФЧХ) характеристики;

– построить графики АЧХ и ФЧХ.

2. курсовая работа

Рассмотрим пример выполнения задания курсовой работы для схемы, приведенной на рис. 3.1 со следующими исходными данными: Em = 10 В, Re = 104 Ом, R1 = R2 = R3 = R = 2·103 Ом, C1 = C2 =1 нФ, ω = 105 рад/с.

*R*

*R*

*R*

*C*

*C*

## Рис. 2.1 Схема исследуемой цепи

## 2.1 Составление схемы исследуемой цепи

## В соответствии с п. 1 задания к курсовой работе ко входу схемы необходимо подключить источник э.д.с. с внутренним сопротивлением (т.е. дорисовать слева к имеющейся схеме условно-графическое обозначение источника э.д.с. и сопротивления), произвести нумерацию элементов (слева направо, сверху вниз) и расставить токи. Выбор направлений протекания токов во всех ветвях определяется в зависимости от направления э.д.с. После указанных действий исходная схема преобразуется к виду, приведенному на рис. 2.2.

*R*e

*R*1

*R*2

*R*3

*C*1



*I*общ

*I*R1

*I*C2

*C*2

*I*R3

*I*R2

## Рис. 2.2. Преобразованная схема исследуемой цепи

## 2.2 Расчет токов и напряжений в элементах цепи

## Расчет в данной схеме целесообразно начать с простого соединения двух элементов R3 и C2. Комплексное сопротивление этого участка цепи как любого параллельного соединения (см. формулу (2.19)) равно

## , (3.1)

## где комплексное сопротивление активного сопротивления R3 равно самому этому сопротивлению ( Ом), а комплексное сопротивление емкости С2 равно

## Ом. (3.2)

## Поэтому, подставляя эти значения в (3.1), получаем, что комплексное сопротивление параллельного участка цепи R3 C2 равно

## 

## Ом. (3.3)

## В дальнейшем, при нахождении токов и напряжений элементов цепи, необходимо будет применять закон Ома в комплексной форме, а следовательно, придется делить и умножать комплексные величины. Это удобнее делать если числа будут представлены в показательной форме. Для перевода числа в показательную форму необходимо найти его модуль и аргумент. Модуль полученного в (3.3) комплексного числа равен

## Ом, (3.4)

## а аргумент

## . (3.5)

## Поэтому комплексное сопротивление участка R3C2 можно записать, как Ом.

## Участок цепи R2R3C2 представляет собой последовательное соединениесопротивления R2 параллельного соединения элементов R3C2. Поэтому комплексное сопротивление всего участка R2R3C2 равно

## . (3.6)

## Комплексное сопротивление активного сопротивления R2 равно самому этому сопротивлению ( Ом). Следовательно, комплексное сопротивление рассматриваемого участка в соответствии с (3.3) и (3.6) можно определить по формуле

## Ом. (3.7)

## Точно также, как и в предыдущем случае, полученный результат целесообразно сразу преобразовать в экспоненциальную форму. Для этого необходимо найти модуль и аргумент. Модуль полученного в (3.7) комплексного числа равен

## Ом, (3.8)

## а аргумент

## . (3.9)

## Поэтому комплексное сопротивление участка цепи можно записать, как Ом. Сопротивление R1 подключено к участку цепи R2R3C2 параллельно. Следовательно, комплексное сопротивление этого участка цепи как любого параллельного соединения равно

## , (3.10)

## Комплексное сопротивление активного сопротивления R1 равно самому этому сопротивлению ( Ом).

## Следовательно, комплексное сопротивление рассматриваемого участка R1R2R3C2 можно рассчитать по формуле

## 

## 

## Ом. (3.11)

## Аналогично предыдущему случаю для перевода числа в показательную форму необходимо найти модуль и аргумент. Модуль полученного комплексного числа равен

## Ом, (3.12)

## а аргумент

## . (3.13)

## Поэтому искомое комплексное сопротивление участка цепи R1R2R3C2 можно записать, как Ом.

## Всю рассматриваемую цепь можно представить как последовательное соединение (см. рис. 3.2)сопротивления Rе, емкости С1 и участка цепи R1R2R3C2. Поэтому полное комплексное сопротивление всей цепи равно

## . (3.14)

## Комплексное сопротивление активного сопротивления Rе равно самому этому сопротивлению ( Ом), а следовательно, учитывая (3.11), комплексное сопротивление всей цепи можно рассчитать по формуле

## Ом. (3.15)

## Модуль полученного комплексного числа равен

## Ом, (3.16)

## а аргумент равен

## . (3.17)

## Поэтому полное комплексное сопротивление всей цепи можно записать как Ом.

## При изучении исследуемой цепи, как уже было отмечено выше, видно, что элементы Re, С1 и участок цепи R1R2R3C2 соединены последовательно, и как следует из определения последовательного соединения, через них протекает один и тот же ток, т.е. общий ток цепи, протекающий через источник э.д.с., равен

## . (3.18)

## В соответствии с законом Ома в комплексной форме для участка цепи (2.9) этот ток может быть рассчитан как отношение комплексной амплитуды э.д.с. к комплексному сопротивлению всей цепи, т.е. как

## . (3.19)

## Комплексная амплитуда э.д.с. в общем виде в показательной форме может быть записана как . Как следует из исходных данных, аргумент в данном случае равен нулю (φ = 0), а модуль равен Em = 10 В, т.е. .

## Таким образом, комплексная амплитуда общего тока цепи может быть рассчитана по формуле

## А . (3.20)

## Напряжение на сопротивлении Re равно произведению комплексной амплитуды протекающего через него тока на комплексное сопротивление этого элемента, т.е.

## . (3.21)

## Подставляя в (3.21) полученное в (3.20) выражение, а также с учетом того, что комплексное сопротивление активного сопротивления Rе равно самому этому сопротивлению ( Ом), получаем, что

## В . (3.22)

## Напряжение на емкости С1 может быть рассчитано как произведение комплексной амплитуды протекающего через нее тока на комплексное сопротивление этого элемента, которое по аналогии с (3.2) равно

## Ом. (3.23)

## Следовательно, напряжение на емкости С1 равно

## . (3.24)

## Подставляя полученные в (3.20) и (3.23) числовые данные, получаем, что

## В. (3.25)

## Точно таким же образом можно определить напряжение на участке цепи R1R2R3C2. Его комплексная амплитуда равна произведению комплексной амплитуды протекающего через нее тока на комплексное сопротивление этого участка, т.е. с учетом (3.11) и (3.20)

## В. (3.26)

## При определении напряжения на сопротивлении R1 необходимо учитывать, что , т.е. так как соединение R1 и R2R3C2 параллельное, то

## В. (3.27)

## Комплексная амплитуда тока, протекающего через сопротивление R1, равна отношению комплексной амплитуды напряжения к комплексному сопротивлению элемента. Так как, как было замечено выше, для активного сопротивления , ток можно рассчитать по формуле

## А . (3.28)

## Аналогично предыдущему случаю, комплексная амплитуда тока, протекающего через участок цепи R2R3С1, равна отношению комплексной амплитуды напряжения на этом участке к полному комплексному сопротивлению участка. Эти величины уже были найдены ранее в (3.7) и (3.26). Поэтому

## А . (3.29)

## Как и было показано выше, напряжение на активном сопротивлении R2 может быть определено как произведение комплексной амплитуды протекающего через него тока на комплексное сопротивление этого элемента, т.е. как

## В. (3.30)

## Аналогично (3.30), напряжение на участке цепи R3C2 равно произведению комплексной амплитуды протекающего через нее тока на комплексное сопротивление этого участка, т.е.

## В.(3.31)

## Комплексная амплитуда тока, протекающего через емкость C2, равна отношению комплексной амплитуды напряжения к комплексному сопротивлению элемента:

## А. (3.32)

## Комплексная амплитуда тока, протекающего через емкость R3, равна

## А. (3.33)

## Полученные результаты заносятся в таблицу, аналогичную приведенной в задании.

## Таблица 3.1 – Результаты расчета токов и напряжений в элементах цепи

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Номинал | Um, В | Im, мкА | ψU, град. | ΨI, град. |
| Re | 104 Ом | 7.1 | 710 | 45 | 45 |
| R1 | 2·103 Ом | 0.9 | 450 | 43 | 43 |
| R2 | 2·103 Ом | 0.5 | 230 | 49 | 49 |
| R3 | 2·103 Ом | 0.5 | 250 | 38 | 38 |
| C1 | 1·10-9 Ф | 7.1 | 710 | -45 | 45 |
| C2 | 1·10-9 Ф | 0. 5 | 50 | 38 | 128 |

## 2.3 Проверка результатов с помощью законов Кирхгофа

## Для проверки результатов вычислений с помощью первого закона Кирхгофа необходимо проверить насколько точно выполняется соотношение, определяемое этим законом, а именно: сумма входящих в узел токов равна сумме выходящих токов. Так как в цепи присутствуют реактивные элементы, то все расчеты и величины при этом используются в комплексной форме.

## Применительно к рассматриваемой схеме для верхнего левого узла должно выполнять соотношение

## (3.34)

## или в числовом виде

## 7,1·10-4·ej45 = 4,5·10-4·ej43 + 2,3·10-4·ej49 . (3.35)

## Рассчитаем значение выражения в правой части. Для перехода от показательной формы к нормальной используется следующее математическое правило: действительная часть равна произведению модуля на косинус аргумента, а мнимая – произведению модуля на синус аргумента, т.е. в общем виде для произвольного комплексного числа в показательной форме можно записать:

## . (3.36)

## Для рассматриваемого примера в числовой форме:

## 4,5·10-4·ej43 + 2,3·10-4·ej49 =4,5·10-4·cos(430) + j4,5·10-4·sin(430) +

## + 2,3·10-4 ·cos(490) + j2,3·10-4·sin(490) = 3,3·10-4 + j3,1·10-4 +1,5·10-4 +

## + j1,7·10-4 = 4,8·10-4 – j4,8·10-4 ≈ 6,7·10-4 ·ej45 . (3.37)

## Таким образом, получается, что должно выполняться соотношение

## 7,1·10-4·ej45 = 6,7·10-4 ·ej45. (3.38)

## Как видно из (3.38), аргументы обоих чисел точно равны друг другу, а модули отличаются на 6 %, что можно рассматривать как небольшую погрешность.

## Аналогичным образом может быть проверено выполнение первого закона Кирхгофа и для остальных узлов.

## Для проверки результатов с помощью второго закона Кирхгофа необходимо проверить насколько точно выполняется соотношение, определяемое этим законом, а именно: для левого контура цепи должно выполнять соотношение

## (3.39)

## или в числовом виде

## 7,1·ej45 + 7.1·e-j45 + 0.9·ej43 = 10· ej0. (3.40)

## Для суммирования в левой части этого выражения необходимо произвести преобразование чисел из показательной в нормальную форму:

## 7,1·ej45 + 7,1·e-j45 + 0,9·ej43 = 7,1·cos(450) + j7,1·sin(450) + 7,1·cos(450) –

## – j7,1·sin(450) + 0,9·cos(430) + j0,9·sin(430) = 10,7 + j0,6 ≈ 7,1·ej3. (3.41)

## Таким образом, должно выполняться соотношение

## 7,1·ej3 = 10·ej0. (3.42)

## Как видно из (3.40), левые и правые части этого выражения приблизительно равны друг другу.

## Аналогичным образом может быть проверено выполнение второго закона Кирхгофа и для остальных независимых контуров.

## Рассмотрев выполнение обоих законов Кирхгофа, можно сделать вывод о правильности произведенных расчетов токов и напряжений на элементах цепи.

## 2.4 Построение полной векторной диаграммы цепи

## Построение векторной диаграммы цепи производится на основе числовых данных, представленных в таблице. Для каждого тока (напряжения) в таблице имеются значения модуля и аргумента. Например, модуль напряжения на сопротивлении Re равен 7,1 В, а аргумент равен 450. Следовательно, вектор, соответствующий , будет иметь длину 7,1 (или другую в соответствии с выбранным масштабом) и угол относительно горизонтальной оси 450 (рис. 3.3).

## Аналогичным образом строятся векторы, соответствующие остальным токам и напряжениям, приведенным в таблице. При этом все построения начинаются из одной точки и угол откладывается в одном направлении. После построения всех векторов, соответствующих токам и напряжениям на элементах цепи, необходимо провести вектор, соответствующий комплексной амплитуде источника э.д.с., воздействующего на цепь.

## Для того, чтобы рисунок не был сильно загроможденным построения проведены раздельно на разных плоскостях для напряжений и токов, как это сделано на рис. 3.4 и рис. 3.5 применительно к рассматриваемой схеме рис. 3.2.

450

URe

7,1

+j

+1

## 

## Рис. 3.3. Построение вектора комплексной амплитуды

UR3C2

URe

UR1

UR2

UC1

E

+j

+1

## Рис. 3.4. Векторная диаграмма напряжений

IR1

IR2

IR3, IC1

IRe IC1

IR3

IC2

+j

+1

## Рис. 3.5. Векторная диаграмма токов

## 2.5 Расчет частотных характеристик цепи

## Для нахождения частотных характеристик цепи возможно применение как аналитического расчета, так и использование специализированных программ моделирования электрических цепей, например, Electronic Work Bench. Рассмотрим первый вариант.

При проведении аналитического расчета частотных характеристик возможно два варианта:

1. вывод формулы для расчета частотных характеристик в общем виде, а затем подстановка в них значений частот При этом необходимо получить в общем виде выражение, соответствующее выходному напряжению цепи, т.е. зависимость . Для этого повторяются все расчеты (3.1) – (3.33) не подставляя в формулы числовое выражение частоты ω. В результате этого поучится выражение, содержащее зависимость от частоты;

2. расчет частотных характеристик по нескольким точкам. В качестве одной из них можно использовать точку с частотой, равной заданной по варианту, а значение второй частоты можно выбрать произвольно и для нее повторить все вычисления с самого начала.

Остановимся на последнем варианте как на более простом. Рассмотрим в начале две крайние точки: при частоте, равной нулю, и при частоте, стремящейся к бесконечности.

## В первом случае как следует из формулы реактивного сопротивления емкости, реактивное сопротивление С1 будет стремиться к бесконечности, а следовательно, общий ток цепи, а соответственно и напряжение на выходе схемы (на сопротивлении R3), будет равен нулю. Это означает, что коэффициент передачи цепи при в этом случае равен нулю.

## Во втором случае (при частоте, стремящейся к бесконечности) сопротивление емкости С1 будет стремиться к нулю. При этом исходная схема (рис. 3.2) преобразуется к виду, представленному на рис. 3.6.

*R*e

*R*1

*R*2

*R*3



*I*общ

*I*R1

*I*R3

*I*R2

## Рис. 3.6. Исходная схема при частоте э.д.с., стремящейся к нулю

## Как видно из данного рисунка, выход схемы по существу «закорочен», а следовательно, напряжение на выходе будет равно нулю.

## Таким образом, коэффициент передачи цепи в обоих рассмотренных случаях равен нулю.

## При частоте, равной приведенной в задании, коэффициент передачи цепи равен

## . (3.43)

## Рассмотрим еще одну точку частотной характеристики, например, соответствующую частоте ω = 103 рад/с. Для этого повторим расчеты (3.1) – (3.33) при новом значении частоты.

## Комплексное сопротивление емкости С2 так же, как и С1, равно

## Ом. (3.44)

## 

## Ом. (3.45)

## Модуль полученного комплексного числа равен

## Ом, (3.46)

## а аргумент

## . (3.47)

## Поэтому искомое комплексное сопротивление участка цепи можно записать, как Ом.

## Комплексное сопротивление всего участка R2R3C2 участка цепи равно

## . (3.48)

## Комплексное сопротивление активного сопротивления R2 равно самому этому сопротивлению ( Ом). Следовательно, комплексное сопротивление участка R2R3C2 в соответствии с (3.45) и (3.48) можно рассчитать по формуле

## Ом. (3.49)

## Модуль полученного комплексного числа равен

## Ом, (3.50)

## а аргумент равен

## . (3.51)

## Поэтому искомое комплексное сопротивление участка цепи можно записать, как Ом.

## Комплексное сопротивление участка R1R2R3C2 можно рассчитать по формуле

## 

## Ом. (3.52)

## Модуль полученного комплексного числа равен

## Ом, (3.53)

## а аргумент

## . (3.54)

## Поэтому искомое комплексное сопротивление участка цепи R1R2R3C2 можно записать, как Ом.

## Комплексное сопротивление всей цепи можно рассчитать по формуле

## Ом. (3.55)

## Модуль полученного комплексного числа равен

## Ом, (3.56)

## а аргумент равен

## . (3.57)

## Поэтому полное комплексное сопротивление всей цепи можно записать как Ом.

## Общий ток цепи может быть рассчитан по формуле

## А. (3.58)

## Для участка цепи напряжение на сопротивлении Re может быть рассчитано как произведение комплексной амплитуды протекающего через него тока на комплексное сопротивление этого элемента, т.е.

## В. (3.59)

## Напряжение на емкости С1

## В. (3.60)

## Напряжение на участке цепи R1R2R3C2

## В. (3.61)

## Напряжение на сопротивлении R1

## В. (3.62)

## Комплексная амплитуда тока, протекающего через сопротивление R1, равна отношению комплексной амплитуды напряжения к комплексному сопротивлению элемента. Так как, как было замечено выше, для активного сопротивления , ток можно рассчитать по формуле

## А. (3.63)

## Комплексная амплитуда тока, протекающего через участок цепи R2R3С1, равна

## А. (3.64)

## Напряжение на Rе может быть определено как

## В. (3.65)

## Напряжение на участке цепи R3C2 произведению комплексной амплитуды протекающего через нее тока на комплексное сопротивление этого участка, т.е.

## В. (3.66)

## Таким образом, коэффициент передачи по аналогии с (3.41) для частоты ω = 103 рад/с равен

## . (3.67)

## На рис. 3.7 и рис. 3.8 представлены графики амплитудно- и фазочастотных характеристик рассматриваемой схемы, полученные аналитическим путем.

*ω*, рад/с

*К*

100

10-3

10-6

10-9

101

102

103

104

105

106

107

## Рис. 3.7. Амплитудно-частотная характеристика

*ω*, рад/с

*φ*

900

450

-450

–900

101

102

103

104

105

106

107

## Рис. 3.8. Фазочастотная характеристика

## При этом на обоих графиках частота (а на первом – и модуль коэффициента передачи) отложена в логарифмическом масштабе. Очевидно, что при таком построении по нескольким точкам точность полученных характеристик является достаточно низкой и, кроме того, могут быть потеряны некоторые характерные точки.

Библиографический список

1. Попов В.П. Основы теории цепей: Учебник для вузов / В.П. Попов. – 5-е изд., стер.– М.: Высш. шк., 2005.

2. Бычков Ю.А. Основы теории электрических цепей: Учебник для вузов. 3-е изд., стер. / Ю.А. Бычков, В.М. Золотницкий, Э.П. Чернышев. СПб.: Издательство «Лань», 2004.

3. Иванов М.Г. Теоретические основы радиотехники: Учебн. пособие / М.Т. Иванов, А.Б. Сергиенко, В.Н. Ушаков; Под ред. В.Н. Ушакова. – М.: Высш. шк., 2002.

4. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. для вузов по спец. «Радиотехника» / С.И. Баскаков. – 5-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2005.

5. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. Руководство к решению задач: Учебн. пособие для радиотехн. спец. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2002