#### МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**

**высшего профессионального образования**

# «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**(ФГБОУ ВПО «КГЭУ»)**

Кафедра «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ»

Капаев В.И.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Методические указания

к выполнению и варианты курсовой работы (курсового проекта)

по курсу ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

заочной формы обучения с применением дистанционных образовательных технологий

Казань –2013г

1 ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ

КУРСОВОЙ РАБОТЫ (КУРСОВОГО ПРОЕКТА)

1.1.Тема курсовой работы (курсового проекта):

«Анализ линейного, пассивного проходного четырехполюсника».

Прикладное значение темы

Значительное место в теории цепей занимает исследование мно­гополюсников с двумя сторонами (2 х 2-полюсников), которые в отечественной литературе называются проходными четырехполюсниками. В виде проходных четырехполюсников могут быть представлены различные устройства, имеющие две пары внешних зажимов, служащих для подключения источника энергии и нагрузки. К исследованию проходных четырехполюсников сводятся задачи определения комплексных частотных и операторных характеристик произвольных цепей. Как и все многополюсники, проходные четырехполюсники подразделяют на линейные и нелинейные, активные и пассивные. В курсовой работе (курсовом проекте) анализируется линейный пассивный проходной четырехполюсник.

1.2.Цель курсовой работы (курсового проекта)

Курсовая работа (КР) (курсового проекта (КП)) по дисциплине «Теоретические основы электротехники» имеет целью закрепление знаний студентов по соответствующим разделам учебной дисциплины. В ходе самостоятельного выполнения КР (КП) студенты приобретают практические навыки анализа и расчета электрических цепей переменного синусоидального тока в установившихся режимах, построения частотных характеристик, а также анализа цепей при переходных режимах.

1.3.Требования к оформлению КР (КП)

Курсовая работа выполняется и оформляется на листах стандартного формата А4, которые должны быть обязательно сшиты.

Электрические схемы, графики, диаграммы выполняются на миллиметровой бумаге с соблюдением требований ЕСКД и использованием чертежных инструментов (не от руки), допускается применение компьютерной графики. В случае использования при расчетах компьютерных средств соответствующие распечатки должны быть выполнены также на стандартных листах и вложены в работу. Рисунки необходимо пронумеровать, а в тексте поместить ссылки на них.

Условия задачи необходимо приводить полностью в том виде, как они сформулированы в задании. Основные положения решений должны быть подробно пояснены; в решение включать необходимый минимум промежуточных расчетов, без которых проверка конечного результата становится затруднительной. Окончательный результат расчета привести с указанием единицы измерения соответствующей величины.

Работа должна быть выполнена собственноручно, датирована и подписана студентом. Выполненная работа представляется на кафедру преподавателю для проверки. Все замечания, отмеченные преподавателем, устраняются студентом в установленные сроки, после чего он защищает свою работу.

Применение при выполнении КР (КП) компьютерных программ расчета и моделирования электрических цепей поощряется дополнительным баллом.

Студенты, не выполнившие КР (КП) в назначенный срок, к экзамену по «Теоретическим основам электротехники» не допускаются.

1.4.Указания к выбору варианта

Вариант задания выбирается студентом по двум последним цифрам зачетной книжки: номер схемы - по двум последним цифрам шифра. Номер численных данных - последняя цифра шифра делится на 5 и остаток дает номер варианта. Например, студент, в зачетной книжке которого шифр заканчивается цифрами 58, выбирает из таблицы вариант схемы 56-60, а из таблицы численных данных вариант 3 (8 mod 5 = 3).

1.5.Рекомендуемая литература

1. Л.А. Бессонов. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. 11-е изд. Гардарики, 2006.

2. . Н.В. Коровкин. Теоретические основы электротехники. Сборник задач : учебное пособие / Н.В. Коровкин, Е.Е. Селина, В.Л. Чечурин. – М.: Питер, 2006. – 512 с.

3. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей, - М. Энергоатомиздат, 1989.

4. Основы компьютерного моделирования электрических цепей в программной среде Elektronics Workbench: Учеб. пособие / В.И. Капаев, Н.А. Тарасова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2008,.

1.6.Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Для выполнения КР (КП) имеется компьютерные программы расчета Mathcad и моделирования Electronics Workbench 5.0c (EWB), обеспечивающие моделирование и расчет электрических цепей. Для освоения данных программ в составе электронного учебно-методического комплекса по дисциплине «Теоретические основы электротехники» заочной формы обучения с применением дистанционных образовательных технологий имеется электронное учебное пособие: Капаев В.И. «Расчет, моделирование и исследование электрических цепей в средах Mathcad и ELectronics Workbench». Учебное пособие по курсу «Теоретические основы электротехники», КГЭУ, 2013

2.ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

В соответствии с вариантом, заданным двумя последними цифрами шифра, указанного в зачетной книжке студента, выписать из таблицы 1 и 2 условия задания и выполнить следующее:

1. Начертить схему электрической цепи проходного четырехполюсника, соблюдая требования ЕСКД. На схеме выбрать и указать направления токов во всех ветвях схемы, обозначить все точки цепи, различающиеся потенциалами.

2. Для заданной частоты (*f*) и амплитуды (*Um*) приложенного входного напряжения рассчитать мгновенные и действующие значения токов во всех ветвях, а также выходного напряжения. Начальную фазу приложенного напряжения принять равной нулю.

3. По результатам расчета п.2 построить на комплексной плоскости топографическую диаграмму цепи.

4. Определить комплексную частотную передаточную функцию цепи для указанных входного и выходного напряжений. Записать выражения для амплитудно-частотной (АЧХ) и фазо-частотной (ФЧХ) характеристик и построить их на графиках в обычном и логарифмическом масштабах.

5. Определить переходную функцию цепи, *h(t)*, для указанных входного и выходного напряжений, выполнив расчет классическим и операторным методами.

6. Найти реакцию цепи (*uвых(t)*) на воздействие (*uвх(t)*) в форме прямоугольного импульса высотой U0 и длительностью Tимп. Результат представить на графике *uвх(t)* и *uвых(t)*.

Условия к заданию

Таблица 1 - Схема электрической цепи

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 1 - Схема электрической цепи вариант | схема | вариант | схема | вариант | схема | вариант | схема |
| 01-05 | Рис.2.1 | 26-30 | Рис.2.6 | 51-55 | Рис.2.11 | 76-80 | Рис.2.16 |
| 06-10 | Рис.2.2 | 31-35 | Рис.2.7 | 56-60 | Рис.2.12 | 81-85 | Рис.2.17 |
| 11-15 | Рис.2.3 | 36-40 | Рис.2.8 | 61-65 | Рис.2.13 | 86-90 | Рис.2.18 |
| 16-20 | Рис.2.4 | 41-45 | Рис.2.9 | 66-70 | Рис.2.14 | 91-95 | Рис.2.19 |
| 21-25 | Рис.2.5 | 46-50 | Рис.2.10 | 71-75 | Рис.2.15 | 96-100 | Рис.2.20 |

Таблица 2 - Значения параметров цепи

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 2 - Значения параметров цепи № вар. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| *L*1, мГн | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| *L*2, мГн | 4 | 5 | 1 | 6 | 3 |
| *C*1, мкФ | 7 | 8 | 10 | 6 | 5 |
| *C*2, мкФ | 2 | 4 | 5 | 1 | 3 |
| *R*1, Ом | 4 | 6 | 2 | 10 | 8 |
| *R*2, Ом | 180 | 200 | 150 | 100 | 220 |
| *R*3, Ом | 3 | 2 | 6 | 8 | 5 |
| *U*m, В | 36 | 115 | 120 | 27 | 36 |
| ƒ, Гц | 1600 | 1000 | 600 | 500 | 1200 |
| *U0*, В | 12 | 15 | 10 | 30 | 9 |
| *Tимп* | 3τ | 3τ | 2τ | 2τ | 4τ |

Примечания:

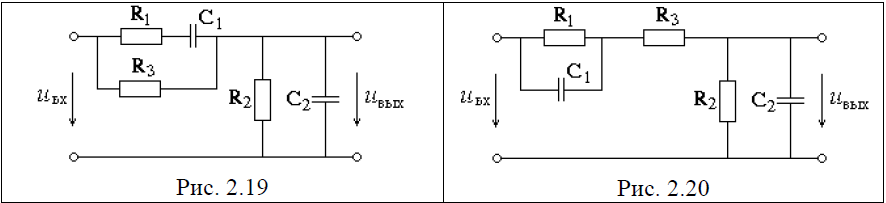
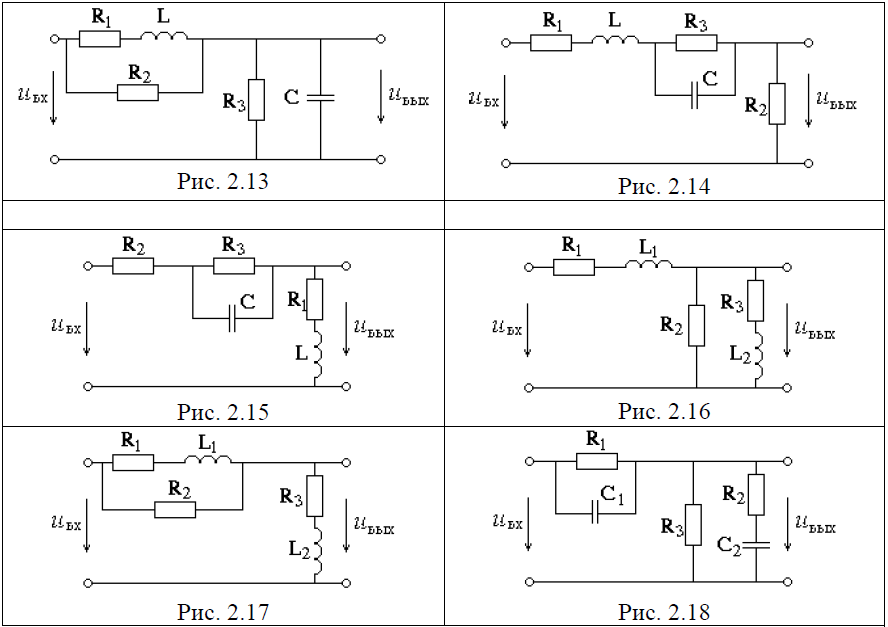
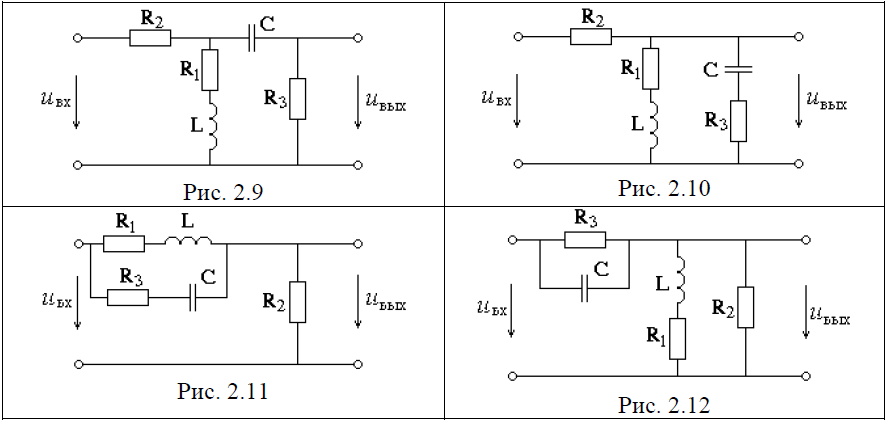
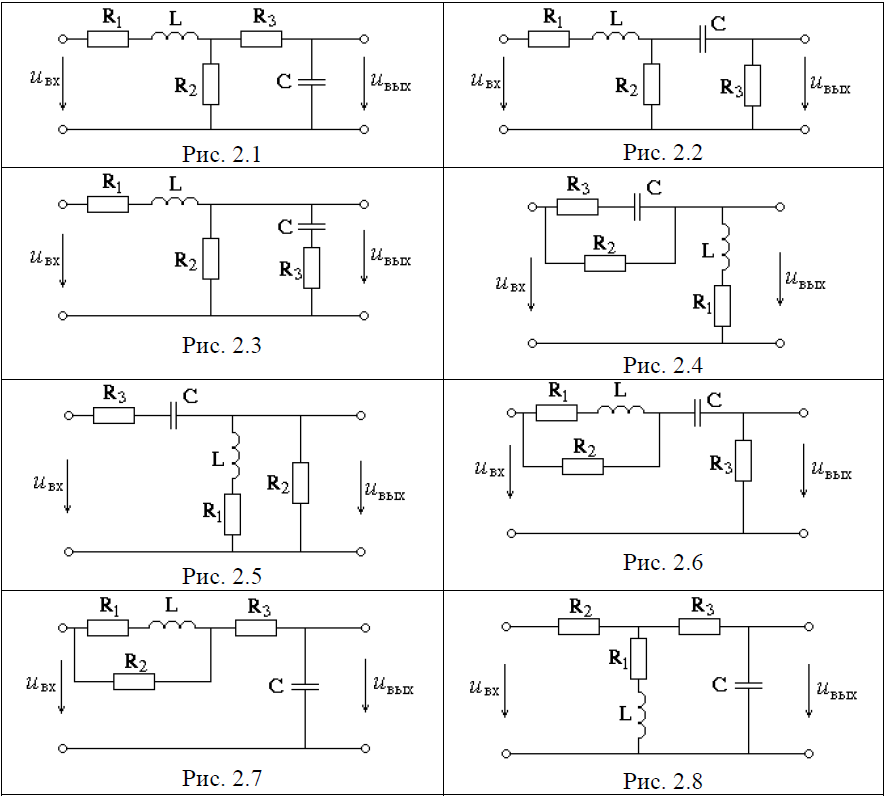
Если в схеме один индуктивный или емкостной элемент, то принять L=L1, или C=C1 соответственно.

В качестве значения τ принять:

- в случае колебательного переходного процесса – постоянную времени цепи;

- в случае апериодического процесса - максимальную из постоянных времени двух экспонент.

(Постоянные времени определяются после выполнения п.5 задания).



3 ПРИМЕРЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ

Рассмотрим пример выполнения Задания для схемы проходного четырехполюсника, изображенной на рисунке 3.1:



Рис. 3.1

при следующих значениях параметров цепи:

*R*1 = 5 Ом, *R*2 = 200 Ом, *R*3 = 2 Ом, *L* = 1 мГн, *C* = 8 мкФ,

*Um* = 30 В, f = 1500 Гц,

U0 = 10 В, Tимп = 3τ.

Результаты вычислений будем брать с тремя значащими цифрами.

3.1 Соблюдая требования ЕСКД, чертим сопротивления в виде прямоугольников размером 10х4 мм, источники э.д.с. – окружностей, диаметром 10 мм, индуктивности 3 или 4 витка радиусом от 1,5 до 4 мм, емкость – параллельные отрезки длиной 8 мм на расстоянии 1,5 мм друг от друга, все линии одинаковой толщины. В данной цепи имеется три ветви, два узла и пять точек, отличающихся потенциалами. На рис. 3.1 расставлены направления и обозначены токи, а также буквами от *a* до *e* обозначены точки.

3.2. Для выполнения п.2 задания воспользуемся символическим методом анализа цепей синусоидального тока, иначе называемым методом комплексных амплитуд. Метод называют *символическим* потому,что токи и напряжения заменяют их комплексными изображениями (комплексными числами) или символами. Компонентные уравнения пассивных элементов в комплексной форме дают возможность изобразить комплексную схему заме­щения электрической цепи, составить и решить алгебраические уравнения относительно комплексов электрических величин, затем осуществить обратный переход от комплексов к синусоидальным функциям.

Таким образом, сущность символического метода расчета состоит в том, что при синусоидальном токе можно перейти от уравнений, составленных для мгновенных значений и являющихся дифференциальными уравнениями к алгебраическим уравнениям, составленным относительно комплексов тока, напряжения и ЭДС, позволяющим рассчитывать электрические цепи синусоидального тока алгебраически аналогично цепям постоянного тока. Выражения синусоидальных функций тока, напряжения и т. д. получают посредством обратного перехода от комплексов к синусоидальным функциям.

Представление векторов напряжений и токов комплексами, выражение сопротивлений и проводимостей комплексными числами, а также замена операций с векторами алгебраическими действиями с комплексными числами позволяют значительно упростить расчет сложных цепей переменного тока. Кроме того, применение комплексных чисел обеспечивает единство методов расчета электрических цепей постоянного и переменного токов.

Это значит, что все методы расчета и вытекающие из них соотношения для цепей постоянного тока можно применить и для цепей переменного тока, если величины выражены в комплексной форме. В этом практический смысл применения комплексных чисел для решения задач электротехники.

Для успешного пользования символическим методом расчета необходимо из курса математики повторить представление комплексных чисел в трех формах записи: алгебраической, показательной, тригонометрической и работу с комплексными числами.

При расчете электрических цепей переменного тока используют или определяют следующие величины: ЭДС напряжения, токи, сопротивления и проводимости, мощность. Все эти величины должны быть выражены в символической форме, т. е. комплексными числами. В процессе расчета электрических цепей часто возникает необходимость в переходе от алгебраической формы записи комплекса к показательной или наоборот. Чтобы не совершить ошибку при записи показательной формы комплекса, рекомендуется сначала качественно изобразить заданный в алгебраической форме комплекс на комплексной плоскости, что позволит правильно выразить угол φ между осью + 1 и вектором. Углы, откладываемые против часовой стрелки от оси + 1, считают положительными, по часовой стрелке - отрицательными.

Для приложенного входного напряжения 

комплексная амплитуда напряжения: 

Рассчитаем индуктивное сопротивление катушки и емкостное сопротивление конденсатора для заданной частоты:



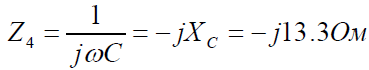


Комплексные сопротивления элементов цепи:











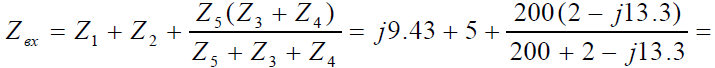
В результате исходную схему цепи, изображенную на рисунке 3.1, можно представить в виде комплексной схемы замещения электрической цепи, изображенной на рисунке 3.2. Для расчета комплексной схемы цепи синусоидального тока применимы все законы и методы расчета для анализа и расчета электрических цепей постоянного тока.

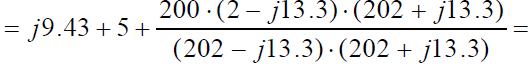


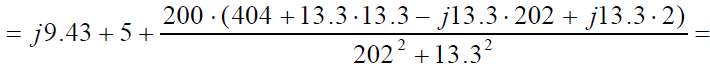
Рис. 3.2

Расчет комплексных амплитуд токов ведется аналогично расчету цепей постоянного тока по схеме Рис 3.2 методом эквивалентных преобразований. Здесь сопротивления Z1 и Z2 соединены между собой последовательно так же, как и сопротивления Z3 и Z4, с последними параллельно соединено сопротивление Z5.

Находим входное сопротивление всей цепи по отношению к точкам, где приложено входное напряжение:

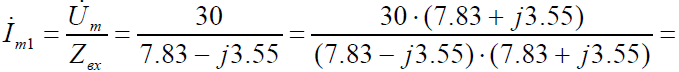








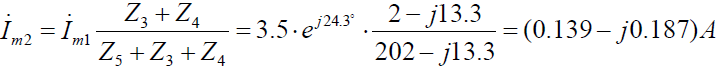
По закону Ома находим комплексную амплитуду тока в первой ветви:

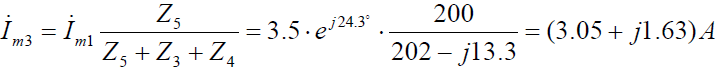




Или в показательной форме: 

Токи второй и третьей ветвей найдем по формуле «разброса токов»:





В показательной форме: 



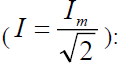
Выражения синусоидальных функций тока получают посредством обратного перехода от комплексов к синусоидальным функциям.

Мгновенные значения токов:







Действующие значения токов 



Комплексную амплитуду выходного напряжение найдем по закону Ома:



Мгновенное значение: 

Действующее значение: U = 32.5 В.

*Применение векторных диаграмм при расчете электрических цепей синусоидального тока:* Ток и напряжения на различных участках электрической цепи синусоидального тока, как правило, по фазе не совпадают. Наглядное представление о фазовом расположении различных векторов дает векторная диаграмма токов и напряжений. Диаграмма, изображающая совокупность векторов, построенных с соблюдением их взаимной ориентации по фазе, называется векторной диаграммой. В этой векторной диаграмме любой вектор может быть перенесен параллельно самому себе в любое место плоскости. При векторном представлении первого закона Кирхгофа векторы строят друг за другом в произвольной последовательности или даже исходящими из одной точки. На Рис. 3.3 построена векторная диаграмма токов и входного напряжения по данным примера для схемы рисунка 3.1.

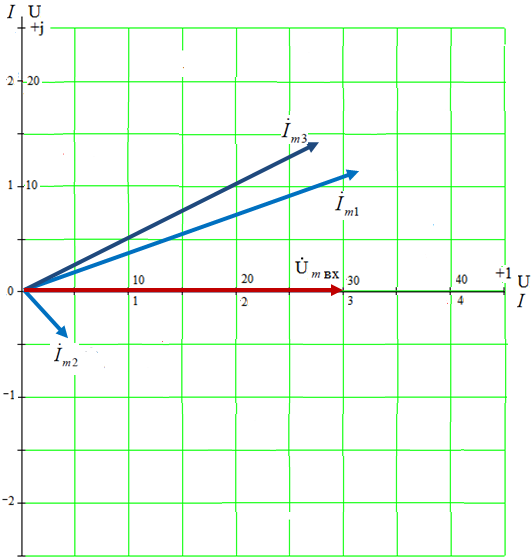


Рис. 3.3

Аналитические расчеты электрических цепей синусоидального тока рекомендуется сопровождать построением векторных диаграмм, чтобы иметь возможность качественно контролировать эти расчеты.

Качественный контроль заключается в сравнении направлений различ­ных векторов на комплексной плоскости, которые получают при анали­тическом расчете, с направлением этих векторов, исходя из физических соображений. Например, на векторной диаграмме вектор тока в первой ветви должен опережать вектор входного напряжения напряжение  на угол 24,3°, вектор тока второй ветви  отставать от вектора входного напряжения Uвх на 53,4°, а вектор тока третьей ветви - опережать вектор входного напряжения  на 28,1°.Векторное представление синусоидальных функций, частота которых одинакова, облегчает операции сложения и вычитания этих функций. Поэтому векторная диаграмма дает геометрическую интерпретацию на комплексной плоскости уравнениям составленным по первому и второму законам Кирхгофа. На Рис. 3.3 дана геометрическая интерпретация на комплексной плоскости уравнения составленного по первому закону Кирхгофа по данным примера для схемы рисунка 3.1 согласно которому .

Если аналитический расчет дает результаты, не совпадающие с такими очевидными положениями, то, следовательно, в него вкралась ошибка. Кроме того, векторную диаграмму часто используют и как средство расчета, например в методе пропорциональных величин.

3.3 Построение топографической диаграммы. Каждая точка электрической схемы, в которой соединяются элементы схемы, имеет свое значение комплексного потенциала.

Совокупность точек комплексной плоскости, изображающих комплек­сные потенциалы одноименных точек электрической схемы, называют топографической диаграммой напряжений. Эта диаграмма представляет собой векторную диаграмму, на которой отложены комплексные потенциалы отдельных точек заданной цепи по отношению к одной точке, потенциал которой принят за нуль. Таким образом, порядок расположения векторов падения напряжения на диаграмме строго соответствует порядку расположения элементов цепи на схеме. Конец вектора напряжения на каждом последующем элементе примыкает к началу вектора напряжения предыдущего элемента. При таком построении векторной диаграммы напряжений каждой точке электрической цепи соответствует определенная точка на потенциальной диаграмме.

Термин «топографическая» объясняется тем, что диаграмма напоми­нает топографическую карту местности, где каждой точке местности отвечает определенная точка карты. Расстояние между двумя точками на местности можно определить, измерив расстояние между одноименными точками на карте.

Аналогичные измерения можно проводить и на топографической диа­грамме. Топографическая диаграмма позволяет весьма просто находить напряжения между любыми точками цепи: действующее значение и фаза искомого напряжения определяются прямой, соединяющей соответствующие точки потенциальной диаграммы. Напряжение между любыми двумя точками электрической схемы, например между точками а и b, по значению и направлению определяется вектором, проведенным на топографической диаграмме от точки b к точке а.

При построении топографической диаграммы, как и потенциальной диаграммы для цепи постоянного тока, потенциал любой точки схемы может быть принят равным нулю. На диаграмме эту точку помещают в начало координат. Тогда положение остальных точек схемы на диаграмме определяется параметрами цепи, ЭДС и токами ветвей. Рассмотрим построение топографической диаграммы по данным примера для схемы рисунка 3.1.

Для построения топографической диаграммы рассчитаем комплексные потенциалы всех точек цепи. При этом потенциал точки e примем равным нулю, иначе говоря, заземлим эту точку. Тогда











Для построения топографической и векторной диаграммы на комплексной плоскости, выбрав удобный масштаб (обязательно одинаковый по действительной и мнимой осям), отложим в виде точек найденные комплексные значения потенциалов **. Затем соединим точки так, чтобы получить разности соответствующих потенциалов, или векторы, изображающие напряжения на каждом элементе цепи, а именно: a-e, a-b, b-c, c-d, d-e, причем стрелку ставим в сторону первой буквы каждой пары. Результаты построения диаграммы – на рисунке 3.4.



Рис. 3.4

3.4 Определение комплексной частотной передаточной функции цепи для указанных входного и выходного напряжений.

Комплексной частотной передаточной функцией называется зависимость от частоты отношения комплексных амплитуд или комплексных действующих значений электрических величин на выходе и входе четырехполюсника при заданном режиме передачи. Необходимо помнить, что именно выходная электрическая величина делится на входную, а не обратно.

Следует отметить, что под передаточной функцией понимается часто отношение операторных изображений (см. пункт. 3.5) электрических величин на выходе и входе четырехполюсника.

Передаточные функции, соответствующие отношению одноименных электрических величин, — коэффициент передачи по напряжению

C:\DOCUME~1\86C2~1\LOCALS~1\Temp\FineReader10\media\image1.png

и коэффициент передачи по току

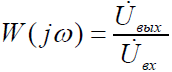
C:\DOCUME~1\86C2~1\LOCALS~1\Temp\FineReader10\media\image2.png

представляют собой безразмерные, в общем случае комплексные, зависящие от частоты величины. Применительно к усилительным устройствам они носят название коэффициентов усиления по напряжению и току.

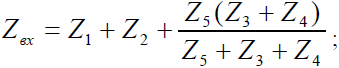
Отношения разноименных электрических величин — передаточное сопротивление и передаточная проводимость **— имеют соответственно размерности сопротивления и проводимости и также являются в общем случае комплексными величинами, зависящими от частоты.

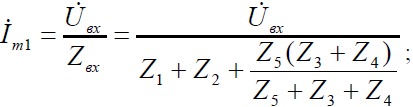
Зависимости модулей комплексных отношений представляют собой амплитудно-частотные, зависимости их аргументов **—** фазо**-**частотные характеристики четырехполюсника. Эти характеристики имеют важное значение дня работы устройств автоматики и радиотехники.

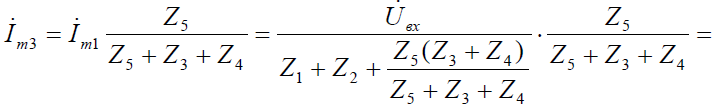
Для определения комплексной передаточной функции цепи

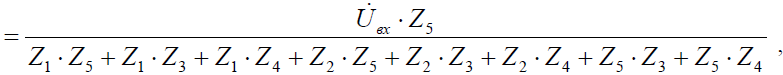


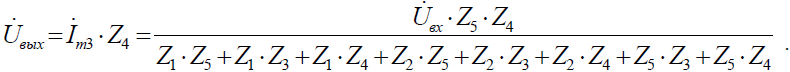
необходимо выразить выходное напряжение через входное, иначе говоря, проделать практически те же действия, что и при расчете в п.3.2, но только в общем виде:



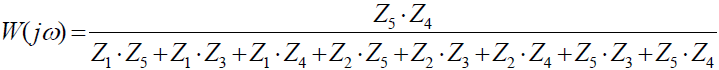




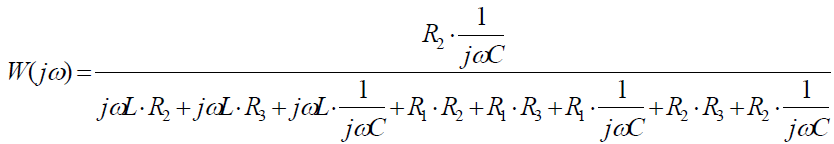




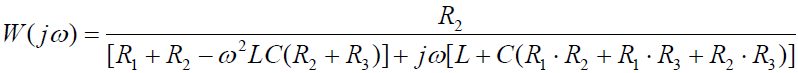
Таким образом



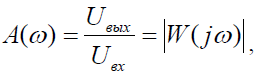
Подставляем соответствующие выражения для комплексных сопротивлений, получаем

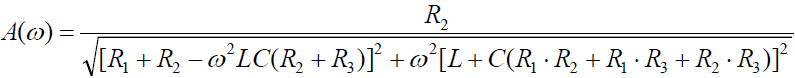


После домножения на *jωC* и с учетом того, что *j2=-1*, окончательно получаем выражение комплексной передаточной функции:



Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) – это зависимость от частоты отношения амплитуд выходного и входного напряжений, или модуль комплексной частотной характеристики:





По этой формуле строим график (рис.3.5). На этом графике фактически построена зависимость от частоты f, выраженной в герцах, с учетом связи с угловой частотой: *ω=2πf*.



Рис. 3.5

При построении логарифмической амплитудно-частотной характеристики (ЛАЧХ) по оси ординат откладывают значения частоты в логарифмическом масштабе, а по оси ординат - величину 20lg(A(ω)), измеряемую в децибелах. График ЛАЧХ представлен на рис. 3.6.



Рис. 3.6

Фазо-частотная характеристика (ФЧХ) – это зависимость от частоты разности фаз между выходным и входным напряжениями, или аргумент комплексной частотной характеристики:



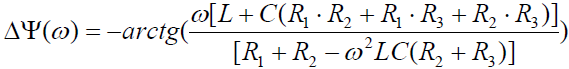


График ФЧХ обычно изображают при логарифмическом масштабе оси частот. Соответствующая кривая приведена на рис.3.7



Рис. 3.7

3.5 Определение переходной функции цепи *h(t)*.

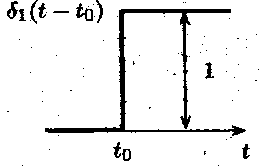
*Понятие о переходной функции.* При подключении линейной электрической цепи с нулевыми начальными условиями к источнику по­стоянного напряжения U между какими-то двумя точками а и b схемы возникает напряжение uab(t), являющееся функцией времени и пропор­циональное воздействующему напряжению U:

uab(t) = U *h(t)*.

где *h(t*) — функция времени, называемая переходной функцией (переходной характеристикой) цепи. Это безразмерная величина, численно равная напряжению между точками а и b схемы, если на ее вход подать постоянное напряжение в 1; *h(t*) можно определить расчетным либо опытным путем.

Таким образом, переходной функцией цепи называется реакция на воздействие в виде единичной ступенчатой функции при нулевых предначальных условиях.

Единичной ступенчатой функцией δ1(t - t0) = 1 (t - t0) называется обобщенная функция, равная 0 при t < t0 (т. е. при отрицательном аргументе) и равная 1 при t > t0 (т. е. при положительном аргументе)



Примечание. Единичная ступенчатая функция δ1(t) безразмерна.

Переходная характеристика *h(t)* численно равна реакции цепи при нулевых независимых начальных условиях на единственное в цепи воздействие вида единичной ступенчатой функции f1(t) = = *F10* δ1(t) где *F10* = 1 В или 1А — коэффициент, выравнивающий размерность.

По принципу пропорциональности при указанном воздействии f1(t) = F10 δ1(t)) реакция будет равна f2(t) = F10h1(t),откуда размерность переходной характеристики [*h*] = [f2]/ [F10] =[f2]/ [f1].

Переходная характеристика h(t) используется при расчете переходных процессов с помощью интеграла Дюамеля (см.пункт 3.6).

Способ отыскания переходной характеристики h(t) вытекает из ее определения: необходимо цепь при нулевых независимых начальных условиях как бы подключить к источнику единичного постоянного уровня и рассчитать переходный процесс.

Значит, для ее определения необходимо проанализировать переходный процесс *uвых(t)* классическим или операторным методомпри подключении цепи к источнику постоянной Э.Д.С., равной 1В, при нулевых начальных условиях, рис. 3.8.

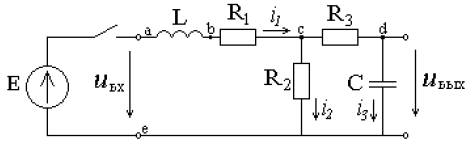


Рис. 3.8

Данную задачу решим двумя методами: классическим и операторным.

Классический метод.

Классический метод анализа переходных процессов в линейных инвариантных во времени цепях с сосредоточенными параметрами основан на классическом методе решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Как известно, классический метод предполагает представление искомой величины (в данном случае выходного напряжения) в виде суммы принужденной, или установившейся, составляющей и свободной составляющей: uвых(t) = uпр(t) + uсв(t).

1) Расчет принужденной составляющей.

В установившемся режиме постоянная Э.Д.С. может вызывать только постоянные токи в цепи. Постоянный ток через емкость протекать не будет, а индуктивность представляет собой для постоянного тока короткое замыкание. Поэтому ток третьей ветви равен нулю, *i3пр* = 0, а *i1пр* = *i2пр*.

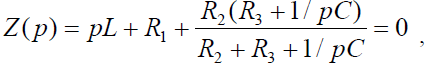


Из уравнения следует, что



2) Определение общего вида свободной составляющей.

Составляем характеристическое уравнение цепи с помощью приравнивания к нулю выражения для входного сопротивления *Z(p)* относительно входных зажимов, имея в виду, что сопротивление индуктивного элемента равно *pL*, а емкостного равно *1/pC*.

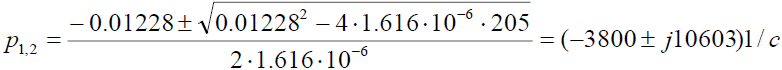




С численными значениями:



Корни характеристического уравнения:



Корни характеристического уравнения получились комплексно-сопряженными, что говорит о том, что переходный процесс является колебательным, и свободная составляющая имеет следующий общий вид:



где δ =-3800 1/с - постоянная затухания, ω = 10603 рад/с - угловая частота затухающих колебаний, A и γ – постоянные интегрирования, которые должны быть определены из начальных условий.

Общий вид результата как суммы двух составляющих:

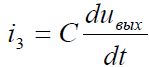


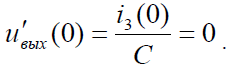
3) Определение начальных условий.

Для вычисления постоянных интегрирования необходимо знать начальное значение искомой величины и начальное значение ее первой производной.

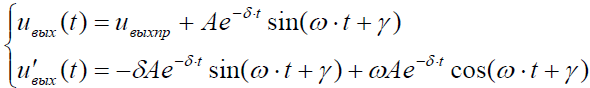
Так как выходное напряжение является напряжением на емкости, то по закону коммутации оно не может измениться мгновенно. До подключения э.д.с. оно было равно нулю, следовательно, и в первый момент после подключения остается равным нулю: *uвых(0)= 0*.

Также по закону коммутации не может измениться мгновенно ток, протекающий по индуктивности, который до подключения тоже был равен нулю. Следовательно *i1(0) = 0*.

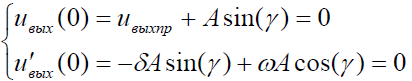
Если обе эти величины равны нулю, то в соответствии с законами Кирхгофа в момент t=0 оказываются равными нули и токи второй и третьей ветвей (*i2(0) = 0* и *i3(0) = 0*). Но ток *i3* – это ток, протекающий через емкость, а он связан с напряжением соотношением: **. Значит, значение первой производной выходного напряжения равно току номер 3, деленному на С:



4) Вычисляем постоянные интегрирования.



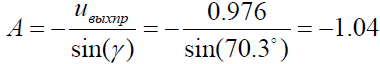
При t = 0:



Из второго уравнения можно найти γ:



Из первого уравнения найдем A:



Окончательный результат:



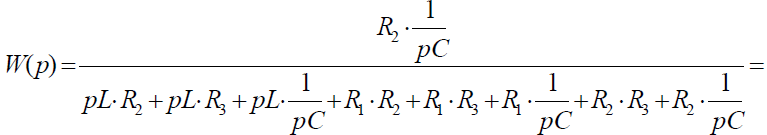
Постоянная времени процесса τ = 1/δ = 1/3800 = 0.263 мС.

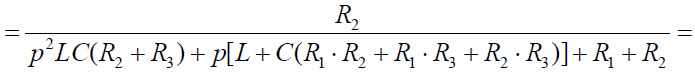
Операторный метод.

Классический метод анализа переходных процессов используют в основном в тех случаях, когда исследуемая цепь имеет невысокий порядок сложности, а внешнее воздействие на нее после коммутации является гармонической функцией времени либо постоянно. Если внешнее воздействие на цепь посте коммутации имеет более сложный характер, то определение вынужденной составляющей реакции цепи существенно затрудняется, а при повышении порядка цепи усложняется нахождение постоянных интегрирования. Значительно большие возможности представляет операторный метод анализа переходных процессов, основанный на применении преобразования Лапласа. Подобно ранее рассмотренному методу комплексных амплитуд, операторный метод относится к символическим методам, в которых операции над функциями времени заменяются операциями над их символами (изображениями). Взаимное соответствие между функцией времени a(t) и ее изображением А(р) в операторном методе устанавливается с помощью прямого и обратного преобразований Лапласа.

При использовании операторного метода решения дифференциальных уравнений неизвестные токи и напряжения электрической цепи, а также заданные токи и напряжения независимых источников заменяют их операторными изображениями. При этом система интегродифференциальных уравнений электрического равновесия, составленная относительно мгновенных значений токов и напряжений ветвей, преобразуется в систему алгебраических уравнений относительно операторных изображений соответствующих токов и напряжений. Решая эту систему уравнений, можно найти изображения искомых токов и напряжений ветвей электрической цепи после коммутации. Применяя обратное преобразование Лапласа, можно перейти от изображений искомых токов и напряжений к оригиналам.

Действия операторным методом при нулевых начальных условиях в значительной мере подобны действиям при анализе символическим методом цепей синусоидального тока при замене в выражениях сопротивлений комбинации «jω» на букву «p». Поэтому можем воспользоваться полученным в п.3.4 выражением для комплексной частотной характеристики, записав на месте «jω» букву «p». Таким образом, мы найдем то, что называется передаточной функцией цепи:

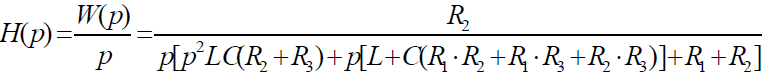




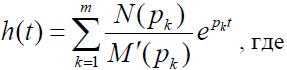
С помощью этой функции легко записать операторное выходное напряжение при заданном операторном входном напряжении:



В нашем случае на входе действует постоянная э.д.с., равная 1В. Ее операторным изображением является 1/p. Значит, операторным изображением переходной функции *h(t)* будет



Остается найти оригинал по формуле разложения:





pk – корни многочлена M(p), m –степень многочлена M(p).

Находим корни 

Так как выражение в скобках в точности совпадает с характеристическим уравнение, которое решали классическим методом, то к ранее определенным корням следует добавить еще нулевой корень:

p1 = -3800+j10603, p2 = -3800-j10603, p3 = 0.

N(p) не зависит от p, поэтому N(p1) = N(p2) = N(p3) = R2 = 200

M΄(p) = 4.848·10-6p2 + 0.02456p + 205

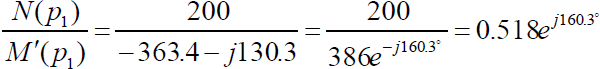
M΄(p1) = M΄(-3800+j10603) =

= 4.848·10-6(-3800+j10603)2 + 0.02456(-3800+j10603) + 205 =

= -363.4 – j130.3

M΄(p2) = M΄(-3800-j10603) = -363.4 + j130.3

M΄(p3) = M΄(0) =205







Подставляем в формулу разложения:









Последнее в точности соответствует результату, полученному классическим методом. График переходной функции приведен на рис.3.9



Рис. 3.9

3.6 Нахождение реакции цепи (*uвых(t)*) на воздействие (*uвх(t)*) в форме прямоугольного импульса высотой U0 и длительностью Tимп.

Наиболее общий подход к анализу переходных процессов в линейных цепях основан на использовании принципа наложения. Внешнее воздействие на цепь uвх=uвх(t) в этом случае представляют в виде линейной комбинаций однотипных элементарных составляющих uвхk(t):

uвх(t)= ∑ αкuвхk(t),

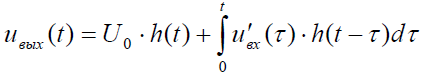
а реакцию цепи на такое воздействие ищут в виде линейной ком­бинации частичных реакций uвыхk(t) на воздействие каждой из элементарных составляющих внешнего воздействия в отдельности:

uвых (t)=∑ αкuвыхk(t)

В качестве элементарных составляющих uвхk(t) можно выбирать внешние воздействия, описываемые различными классами функций, реакция цепи на которые может быть найдена с помощью рассмотренных ранее методов. Наиболее широкое распространение получили элементарные (пробные) воздействия в виде гармонической функции времени, единичного скачка и единичного импульса.

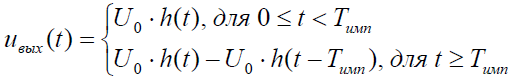
При воздействии *uвх(t)* в форме прямоугольного импульса рациональнее использовать метод анализа переходных процессов в линейных цепях, основанный на представлении внешнего воздействия на цепь в виде линейной комбинации единичных скачков, основанный на применении интеграла Дюамеля.

При выполнении данного пункта задания следует иметь в виду, что зная переходную функцию цепи *h(t)*, нетрудно записать выражение для реакции на любое заданное воздействие с помощью интеграла Дюамеля:



Данное выражение позволяет решить задачу о включении цепи под действие напряжения uвх(t) произвольной формы.

Результатом применения интеграла Дюамеля к воздействию в форме единичного прямоугольного импульса *uвх(t)* длительностью Tимп и высотой U0 , будет:



Конкретно при заданных *U0* = *10В*, *Tимп = 3τ=3·0,263·10-3 = 8·10-4с*

и переходной функции этой цепи определенной в п. 3.5:  графики входного и выходного напряжений приведены на рис.3.10.



Рис. 3.10

Здесь на интервале времени  выходное напряжение uвых (t) возрастает, завершаясь затухающим колебанием на уровне *U0* = *10В,* и его график по форме совпадает с графиком переходной функции цепи *h(t)* на интервале времени  (см, рис.3.9), но в соответствии с  по величине превышает его в *U0* = *10В* раз. При t= *Tимп= 3τ=3·0,263·10-3= 8·10-4с* выходное напряжениеuвых (t)= *U0* = *10В.* На интервале времени ,т.е. после завершения импульса входного напряжения uвх(t) =0, выходное напряжение uвых (t) убывает, завершаясь затухающим колебанием на уровне *U0* = *0В,* и его график в соответствии с по форме совпадает с инвертированным изображением графика переходной функции цепи *h(t)* на интервале времени  (см, рис.3.9).

3.7.Компьютерное моделирование анализируемого проходного четырехполюсника.

Компьютерное моделирование анализируемого проходного четырехполюсника проведено в программной среде ELEKTRONICS WORKBENCH.

Исследование частотных характеристик электрической цепи осуществлялось с помощью специального прибора - графопостроителя частотных характеристик Bode-Plotter (Боде-плоттер). При исследовании частотных характеристик электрической цепи определяются ее амплитудно-частотная характеристика (АЧХ), представленная на рис. 3.11, и фазо-частотная характеристика (ФЧХ), представленная на рис. 3.12

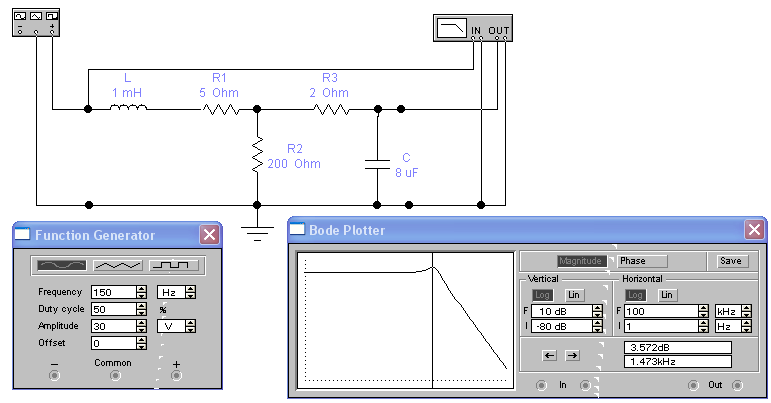


Рис. 3.11

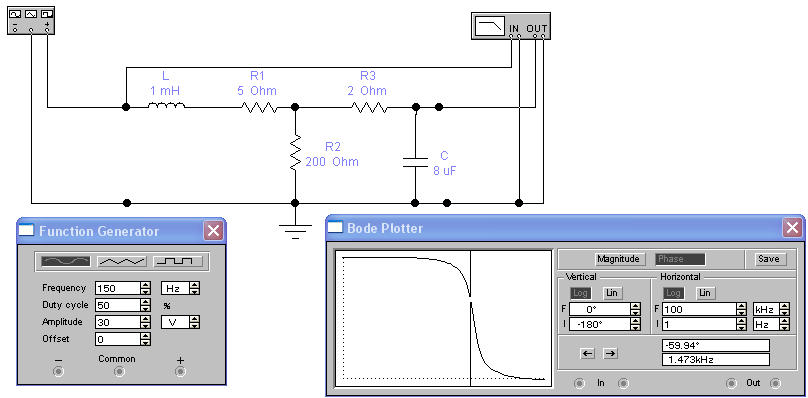


Рис. 3.12

С помощью подпрограммы Display Graphs (график на дисплее) программа ELEKTRONICS WORKBENCH позволяет получить частотные характеристики (АЧХ и ФЧХ) сведенными на один экран графопостроителя (рис. 3.13).

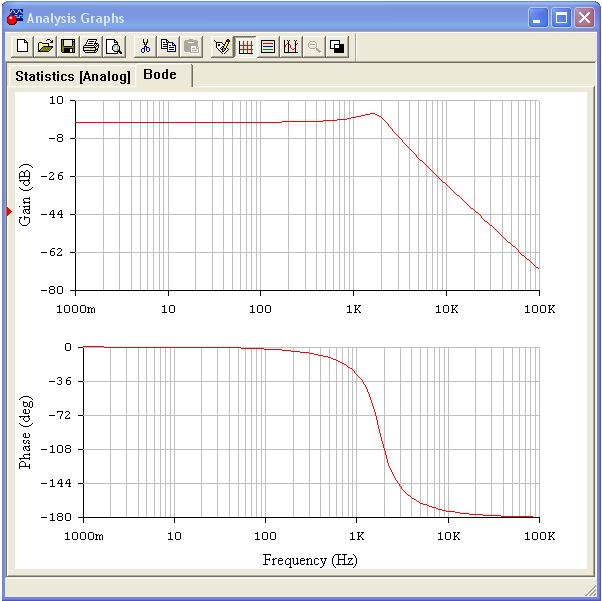


Рис. 3.13

С помощью кнопки  Show/Hide Cursors (Отображение курсоров и данных), находящейся в панели свойств графопостроителя, перемещая визирные линии, можно посмотреть значение напряжений в любой точке графиков. При этом результаты просмотра отображаются в табличной форме рис.3.14.

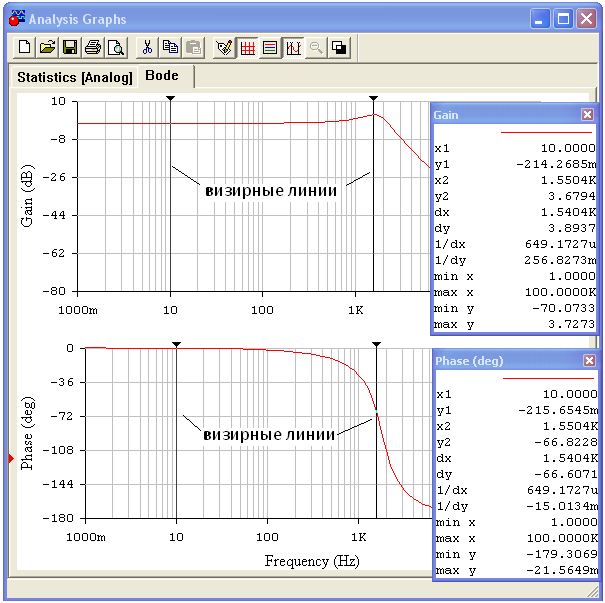


Рис. 3.14

Частотные характеристики анализируемого проходного четырехполюсника полученные в результате компьютерного моделирования достаточно точно соответствуют частотным характеристикам, полученным расчетным путем и представленным на рис. 3.6 и рис. 3.7.

Результаты компьютерного моделирования реакции анализируемого проходного четырехполюсника на приложенное входное синусоидальное напряжение *uвх(t)* самплитудой *Um* = 30 В и частотой f = 1500 Гц представлены на экране виртуального осциллографа рис. 3.15.Полученный в результате компьютерного моделирования график выходного напряжения *uвых(t)* достаточно точно соответствует выражению мгновенного его значения полученного расчетным путем и представленного выражением.. Действующее значение: U = 32.5 В.

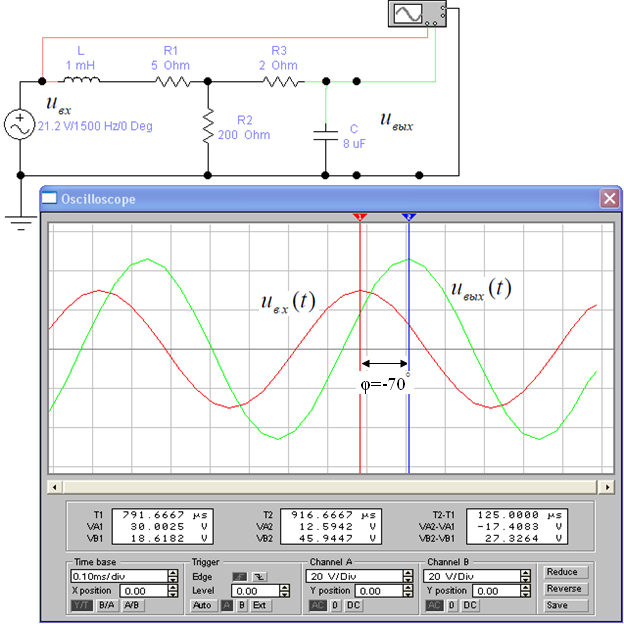


Рис. 3.15

Результаты компьютерного моделирования реакции анализируемого проходного четырехполюсника на приложенное входное воздействие в форме единичного прямоугольного импульса *uвх(t)* длительностью Tимп*= 8·10-4с*и высотой U0 = *10В uвх(t)* представлены на экране виртуального осциллографа рис. 3.16. Полученный в результате компьютерного моделирования график выходного напряжения *uвых(t)* незначительно отличается от полученного расчетным путем и представленного на рис.3.10.

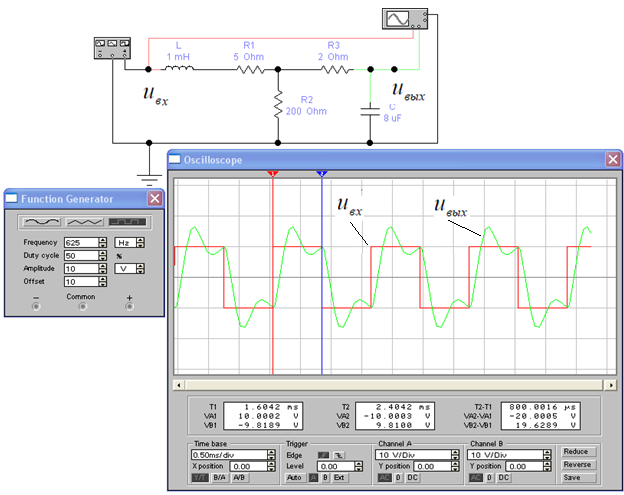


Рис. 3.16

СОДЕРЖАНИЕ

1 ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ (КУРСОВОГО ПРОЕКТА).

1.1. Тема курсовой работы (курсового проекта)..................................... 2

1.2 Цель курсовой работы (курсового проекта).................................... 2

1.3.Требования к оформлению курсовой работы (курсового проекта)............................................................................................................3

1. 4 Указания к выбору варианта.............................................................3

1.5 Рекомендуемая литература...................................................................3

1.6.Программное обеспечение и Интернет-ресурсы…………………...3

2 ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ КУРСОВОЙ РАБОТЫ..............................4

3 ПРИМЕРЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ........8