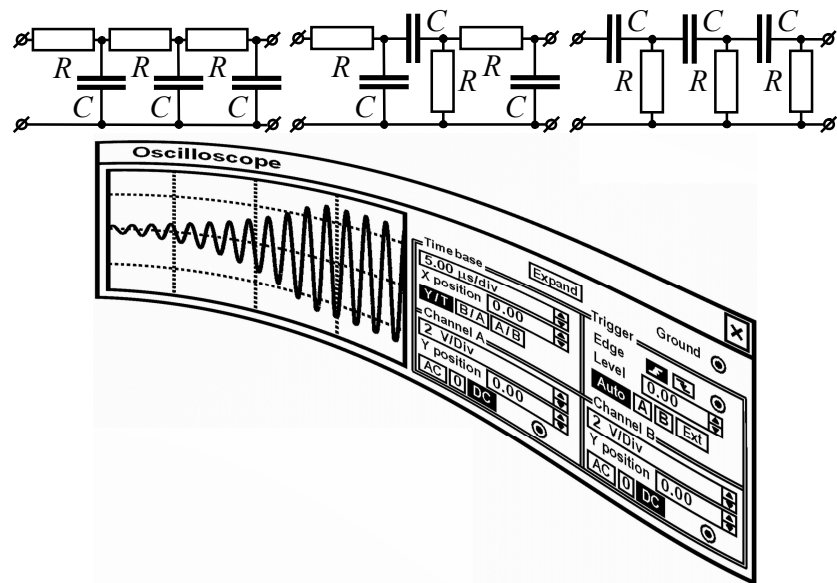


МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к курсовой работе по дисциплине "Основы теории цепей"
для студентов специальности 210601.65 "Радиоэлектронные
системы и комплексы", специализации "Радиоэлектронные
системы передачи информации" очной формы обучения



Воронеж 2013

Методические указания к курсовой работе по дисциплине
"Основы теории цепей" для студентов специальности 210601.65
"Радиоэлектронные системы и комплексы", специализации
"Радиоэлектронные системы передачи информации" очной
формы обучения / ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный
технический университет"; сост. А.В. Останков. Воронеж,
2013. 26 с.

Методические указания содержат материал, необходимый
для выполнения курсовой работы "Гармонические колебания в
линейных электрических цепях" по дисциплине "Основы тео-
рии цепей".

Издание соответствует требованиям ФГОС ВПО по спе-
циальности 210601.65 "Радиоэлектронные системы и комплек-
сы", дисциплине "Основы теории цепей". Методические ука-
зания предназначены для студентов второго курса четвертого
семестра очной формы обучения.

Указания подготовлены в электронном виде в формате
pdf и содержатся в файле "KursRabOTC_RP.pdf".

Табл. 3. Ил. 7. Библиогр.: 9 назв.

Рецензент канд. техн. наук, доц. В.П. Литвиненко

Ответственный за выпуск зав. кафедрой
канд. техн. наук, доц. Б.В. Матвеев

Издаётся по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный
технический университет", 2013

Введение

Жизнь современного технократического общества невозможна без электрической связи и её разновидностей. Мобильная связь, компьютерные сети, Интернет, сети оптической связи и радиодоступа, телефон, радиовещание, телевидение – всё это системы, широко используемые в нашей жизни. В передаче и приеме информации нуждаются не только человеческие индивидуумы, но и промышленность, транспорт, армия, управленческие органы, то есть государство в целом. Без четко действующей системы связи любое государство в современном мире обречено.

Любой вид современной связи, в том числе и радиосвязь, обеспечивается совокупностью электронных устройств. Сколько угодно сложные электронные устройства, в конечном счете, состоят из разнообразных электрических цепей, обладающих определенными свойствами. Последнее означает, что проектирование и обслуживание систем связи и связной аппаратуры требует, как минимум, понимания процессов, протекающих в электрических цепях при различных условиях, знания основных законов, которым подчиняются эти процессы. Многие из этих законов изучаются в дисциплине "Основы теории цепей".

Учебная дисциплина "Основы теории цепей" является одной из основных при подготовке специалистов в области связи и радиотехники. Она базируется на курсах физики и высшей математики и обеспечивает будущих специалистов инженерными методами исследования процессов в электронных устройствах, являясь основой для изучения большинства последующих специальных дисциплин.

Целью указаний является методическая поддержка курсовой работы по дисциплине "Основы теории цепей", выполняемой на втором курсе студентами очной формы обучения специальности 210601.65 "Радиоэлектронные системы и комплексы".

1. Тема и цель курсового проектирования

Курсовая работа выполняется по теме "Гармонические колебания в линейных электрических цепях".

Цель курсовой работы состоит:

- в приобретении практических навыков численного анализа линейных электрических цепей методом комплексных амплитуд;
- в освоении методики аналитического и численного расчёта частотных характеристик линейных цепей;
- в освоении частотного (спектрального) метода анализа переходных процессов в линейной цепи при негармоническом периодическом воздействии и его численной реализации;
- в выработке навыков имитационного и экспериментального исследования процессов в линейных цепях.

Курсовая работа выполняется строго по вариантам. Номер своего варианта студент выясняет лично у преподавателя. Номер варианта не имеет никакого отношения к цифрам в номере зачетной книжки.

2. Техническое задание на курсовую работу. Содержание курсовой работы

Имеется пассивная линейная электрическая цепь, образованная соединением конденсаторов емкостью 1 нФ и резисторов сопротивлением 7.5 кОм. Идеализированная схема замещения цепи приведена в табл. 1 под номером, соответствующим номеру Вашего варианта.

Требуется:

- 1) методом комплексных амплитуд (на основе закона Ома в комплексной форме) рассчитать численно амплитуды и начальные фазы токов во всех ветвях схемы и напряжений на всех элементах, полагая, что ко входу заданной цепи подключен реальный источник напряжения (рис. 1) с внутренним со-

противлением $R_e = 1$ кОм и ЭДС $e(t) = E_m \cdot \cos(\omega \cdot t)$, амплитуда которой равна $E_m = 1$ В, а угловая частота $\omega = 3 \times 10^5$ рад/с;

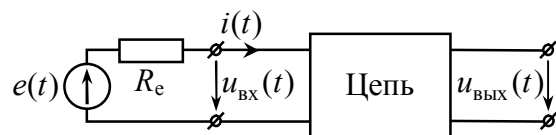


Рис. 1. Общая схема к заданию на курсовую работу

2) получить аналитические выражения для комплексного коэффициента передачи заданной цепи по напряжению,

амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) цепи, фазочастотной характеристики (ФЧХ) цепи;

рассчитать численные значения АЧХ и ФЧХ цепи, построить и проанализировать их графики; определить граничные частоты полосы пропускания цепи;

3) с использованием частотного (спектрального) метода исследовать прохождение через заданную цепь типового радиотехнического сигнала в виде меандра, полагая, что ко входу заданной цепи подключен идеальный источник напряжения, ЭДС которого описывается периодической последовательностью биполярных прямоугольных импульсов со скважностью, равной двум, единичной амплитуды и варьируемой частоты повторения; рассчитать, изобразить и проанализировать временные диаграммы выходного напряжения для разных частот повторения импульсов;

4) проверить методом имитационного моделирования (в схемотехническом симуляторе) основные результаты, полученные расчётным путем;

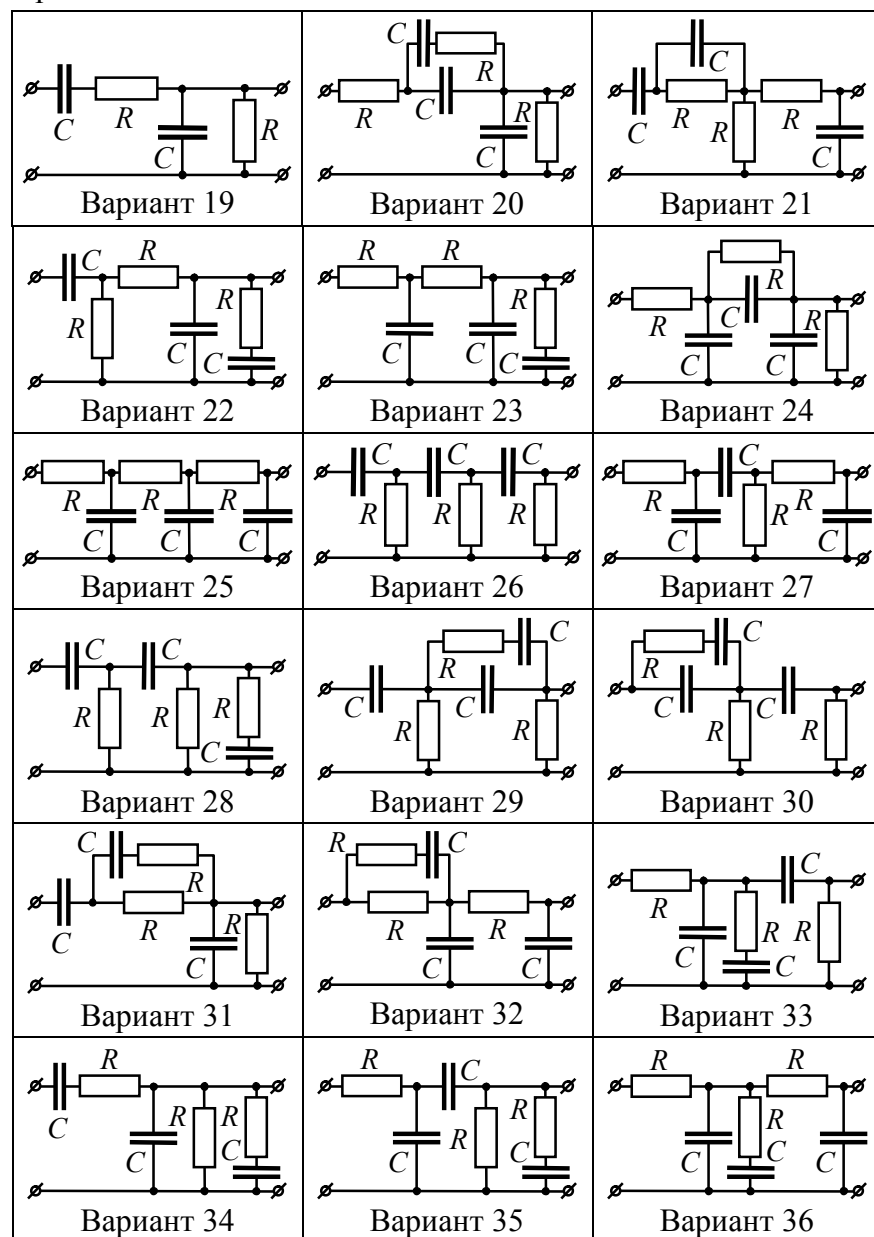
5) экспериментально проверить расчётные частотные характеристики заданной цепи, временные зависимости выходного напряжения при подаче на вход напряжения в виде меандра.

Таблица 1

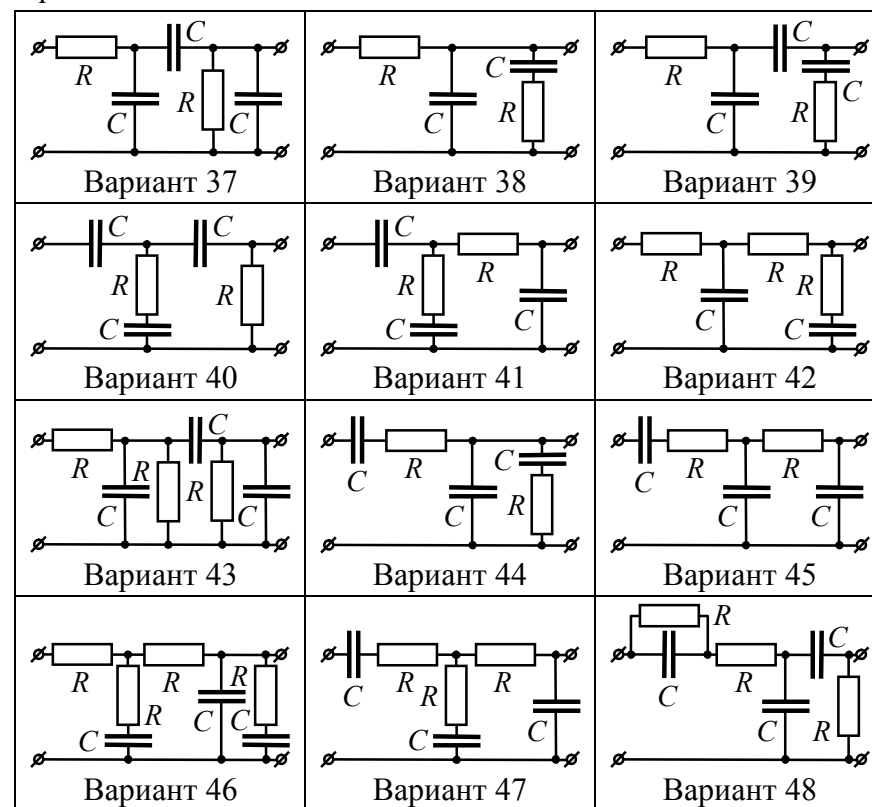
Схемы исследуемых в курсовой работе электрических цепей

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Вариант 4	Вариант 5	Вариант 6
Вариант 7	Вариант 8	Вариант 9
Вариант 10	Вариант 11	Вариант 12
Вариант 13	Вариант 14	Вариант 15
Вариант 16	Вариант 17	Вариант 18

Продолжение табл. 1



Продолжение табл. 1



3. Рекомендуемая последовательность выполнения курсовой работы

3.1. Расчёт токов и напряжений в цепи при заданном гармоническом воздействии

Изобразить схему заданной цепи с подключенным ко входу реальным источником гармонического напряжения. Выходные зажимы цепи рекомендуется при этом не показывать (см., например, рис. 2; схема соответствует варианту № 48).

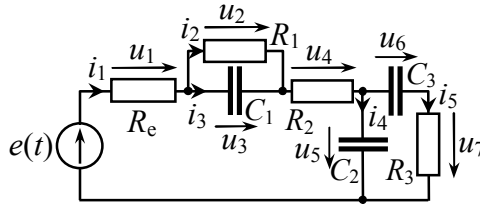


Рис. 2. Схема цепи с искомыми токами и напряжениями

Последовательно пронумеровать однотипные элементы цепи (за исключением сопротивления R_e). Обозначить токи во всех ветвях и напряжения на всех элементах, задать их условно положительные направления (рис. 2).

Перейти к комплексной схеме замещения, заменив все пассивные элементы комплексными сопротивлениями, все токи и напряжения их комплексными амплитудами (рис. 3).

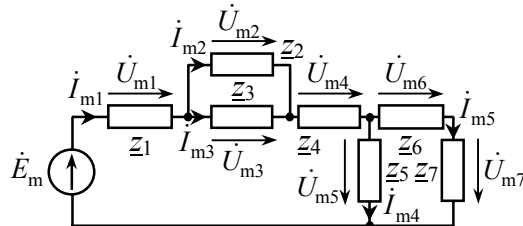


Рис. 3. Комплексная схема замещения исследуемой цепи

Используя закон Ома в комплексной форме, произвести аналитический, а затем и численный расчёт комплексных амплитуд искоемых токов и напряжений.

Аналитический расчёт предполагает вывод формул для комплексных амплитуд искоемых колебаний, численный – непосредственный расчёт по полученным формулам. Например, комплексная амплитуда тока источника $\dot{I}_{m1}$ (рис. 3) может быть найдена как

$$\dot{I}_{m1} = \frac{\dot{E}_m}{\underline{z}_{\Sigma}}$$

где $\dot{E}_m$ – комплексная амплитуда ЭДС источника;

$\underline{z}_{\Sigma}$ – эквивалентное комплексное сопротивление цепи:

$$\underline{z}_{\Sigma} = \underline{z}_1 + \frac{\underline{z}_2 \cdot \underline{z}_3}{\underline{z}_2 + \underline{z}_3} + \underline{z}_4 + \frac{\underline{z}_5 \cdot (\underline{z}_6 + \underline{z}_7)}{\underline{z}_5 + \underline{z}_6 + \underline{z}_7}.$$

С учётом приведенных в техническом задании исходных данных

$$\dot{E}_m = 1 \cdot e^{j0^\circ} \text{ В}, \quad \underline{z}_1 = 1 \text{ кОм}, \quad \underline{z}_2 = \underline{z}_4 = \underline{z}_7 = 7.5 \text{ кОм},$$

$$\underline{z}_3 = \underline{z}_5 = \underline{z}_6 = \frac{1}{j\omega \cdot C} \approx -j \cdot 3.33 \text{ кОм},$$

получаем

$$\underline{z}_{\Sigma} = 1 + \frac{7.5 \cdot (-j \cdot 3.33)}{7.5 - j \cdot 3.33} + 7.5 + \frac{(-j \cdot 3.33) \cdot (7.5 - j \cdot 3.33)}{-j \cdot 3.33 + 7.5 - j \cdot 3.33} \approx 11.86 \cdot e^{-j27^\circ} \text{ кОм},$$

$$\dot{I}_{m1} = \frac{1000 \cdot e^{j0^\circ} \text{ мВ}}{11.85 \cdot e^{-j27^\circ} \text{ кОм}} \approx 84.3 \cdot e^{j27^\circ} \text{ мкА}.$$

Далее, например, определяется комплексная амплитуда $\dot{U}_{m5}$ на основе уже известной $\dot{I}_{m1}$:

$$\dot{U}_{m5} = \dot{I}_{m1} \cdot \frac{\underline{z}_5 \cdot (\underline{z}_6 + \underline{z}_7)}{\underline{z}_5 + \underline{z}_6 + \underline{z}_7} = 84.3 \cdot e^{j27^\circ} \cdot \frac{(-j \cdot 3.33) \cdot (7.5 - j \cdot 3.33)}{-j \cdot 3.33 + 7.5 - j \cdot 3.33} \approx 230 \cdot e^{-j45.3^\circ} \text{ мВ и т.д. и т.п.}$$

В пояснительной записке привести подробное описание расчётов. Результаты расчёта представить окончательно в виде таблицы, аналогичной табл. 2, и заполненной с учётом специфики анализируемой цепи и конкретных обозначений токов и напряжений на элементах.

Проанализировать результаты расчёта (фазовые сдвиги между напряжениями и токами в ветвях цепи и во всей цепи). Сделать выводы.

Таблица 2

Результаты расчёта гармонических токов и напряжений в цепи

Элемент	Комплексная амплитуда					
	напряжения на элементе:			тока через элемент:		
	обозначение	амплитуда, мВ	начальная фаза, °	обозначение	амплитуда, мкА	начальная фаза, °
R_e	$\dot{U}_{m1}$	84.3	+27.0	$\dot{I}_{m1}$	84.3	+27.0
R_1	$\dot{U}_{m2}$	256.9	-39.0	$\dot{I}_{m2}$	34.3	-39.0
...	...	...	...	...	...	...
C_2	$\dot{U}_{m5}$	230.0	-45.3	$\dot{I}_{m4}$	69.0	+44.7
...	...	...	...	...	...	...

3.2. Расчёт частотных характеристик цепи

Требуется получить выражение для комплексного коэффициента передачи цепи по напряжению, по которому затем рассчитать АЧХ и ФЧХ цепи.

Поскольку частотные свойства цепи не зависят от типа источника электрической энергии, подключенного к её входу, а определяются лишь частотными свойствами элементов и топологией цепи, можно полагать, что на входе по-прежнему действует исходный источник напряжения, частота колебаний которого теперь может быть установлена любой (рис. 2).

Для расчёта комплексного коэффициента передачи цепи по напряжению целесообразно вновь изобразить комплексную схему замещения цепи, указав на ней лишь комплексные амплитуды входного, выходного напряжений и токов (рис. 4).

Комплексный коэффициент передачи цепи по напряжению следует определять по формуле

$$\dot{K}(\omega) = \frac{\dot{U}_{\text{мвх}}}{\dot{U}_{\text{мвх}}},$$

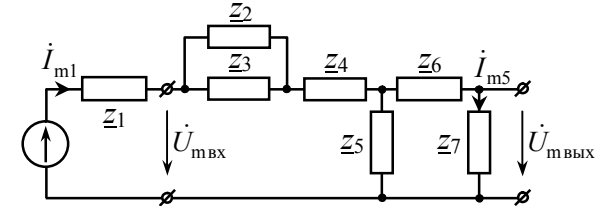


Рис. 4. Схема замещения цепи для расчёта АЧХ и ФЧХ

где $\dot{U}_{\text{мвх}}$ и $\dot{U}_{\text{мвх}}$ – комплексные амплитуды выходного и входного напряжений в установившемся режиме.

Используя комплексную схему замещения цепи, следует выразить обе комплексные амплитуды напряжений $\dot{U}_{\text{мвх}}$, $\dot{U}_{\text{мвх}}$ через комплексную амплитуду одного и того же тока, например, входного $\dot{I}_{m1}$. Так, для варианта №48 (рис. 4) получаем согласно закону Ома для всей цепи и участка цепи с комплексным сопротивлением $\dot{Z}_7$

$$\dot{U}_{\text{мвх}} = \dot{I}_{m1} \cdot \left(\frac{\dot{Z}_2 \cdot \dot{Z}_3}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3} + \dot{Z}_4 + \frac{\dot{Z}_5 \cdot (\dot{Z}_6 + \dot{Z}_7)}{\dot{Z}_5 + \dot{Z}_6 + \dot{Z}_7} \right), \quad \dot{U}_{\text{мвх}} = \dot{I}_{m5} \cdot \dot{Z}_7,$$

где $\dot{I}_{m1}$ и $\dot{I}_{m5}$ можно связать соотношением, характерным для делителя тока:

$$\dot{I}_{m5} = \dot{I}_{m1} \cdot \frac{\dot{Z}_5}{\dot{Z}_5 + \dot{Z}_6 + \dot{Z}_7}.$$

Тогда комплексный коэффициент передачи цепи по напряжению будет равен

$$\dot{K}(\omega) = \frac{\dot{U}_{\text{мвх}}}{\dot{U}_{\text{мвх}}} = \frac{\frac{\dot{Z}_5 \cdot \dot{Z}_7}{\dot{Z}_5 + \dot{Z}_6 + \dot{Z}_7}}{\frac{\dot{Z}_2 \cdot \dot{Z}_3}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3} + \dot{Z}_4 + \frac{\dot{Z}_5 \cdot (\dot{Z}_6 + \dot{Z}_7)}{\dot{Z}_5 + \dot{Z}_6 + \dot{Z}_7}},$$

а с учётом $z_2=z_4=z_7=R$, $z_3=z_5=z_6=1/(j\omega\cdot C)$ и дальнейшего преобразования –

$$\dot{K}(\omega) = \frac{j\omega \cdot RC \cdot (1 + j\omega \cdot RC)}{[1 - 5 \cdot (\omega \cdot RC)^2] + j\omega \cdot RC \cdot [6 - (\omega \cdot RC)^2]}.$$

Далее следует представить выражение для $\dot{K}(\omega)$ в показательной форме комплексного числа ($\dot{K}(\omega) = K(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)}$):

$$\dot{K}(\omega) = \frac{\omega \cdot RC \cdot \sqrt{1 + (\omega \cdot RC)^2}}{\sqrt{[1 - 5 \cdot (\omega \cdot RC)^2]^2 + \{\omega \cdot RC \cdot [6 - (\omega \cdot RC)^2]\}^2}} \times \exp\{j \cdot [90^\circ + \arctg(\omega \cdot RC) - \arctg \frac{\omega \cdot RC \cdot [6 - (\omega \cdot RC)^2]}{1 - 5 \cdot (\omega \cdot RC)^2}]\}.$$

Тогда модуль $\dot{K}(\omega)$ определяет АЧХ цепи:

$$K(\omega) = \frac{\omega \cdot RC \cdot \sqrt{1 + (\omega \cdot RC)^2}}{\sqrt{[1 - 5 \cdot (\omega \cdot RC)^2]^2 + \{\omega \cdot RC \cdot [6 - (\omega \cdot RC)^2]\}^2}},$$

аргумент – ФЧХ цепи:

$$\varphi(\omega) = 90^\circ + \arctg(\omega \cdot RC) - \arctg \frac{\omega \cdot RC \cdot [6 - (\omega \cdot RC)^2]}{1 - 5 \cdot (\omega \cdot RC)^2},$$

причем при $\omega > 1/(\sqrt{5} \cdot RC)$ расчётные значения ФЧХ следует скорректировать на "минус" 180° , так как знаменатель второго $\arctg$ становится отрицательным.

Располагая формулами для АЧХ и ФЧХ, следует рассчитать частотные характеристики цепи в широком интервале частот, отразив в таблице, аналогичной табл. 3, выборочные контрольные значения.

Для численного расчёта (табуляции) значений АЧХ и ФЧХ целесообразно привлечь широко распространённую среди студентов систему компьютерной математики MathCAD.

Таблица 3

Выборочные значения АЧХ и ФЧХ заданной цепи

Частота f , кГц									
АЧХ $K(f)$									
ФЧХ $\varphi(f)$, °									

Построить графики АЧХ и ФЧХ цепи (см., например, рис. 5 для варианта №48). Определить по графику АЧХ граничные частоты полосы пропускания цепи. Проанализировать частотные свойства цепи с точки зрения фильтрации входных воздействий; оценить основные параметры цепи как частотного фильтра, в том числе характеристики избирательности.

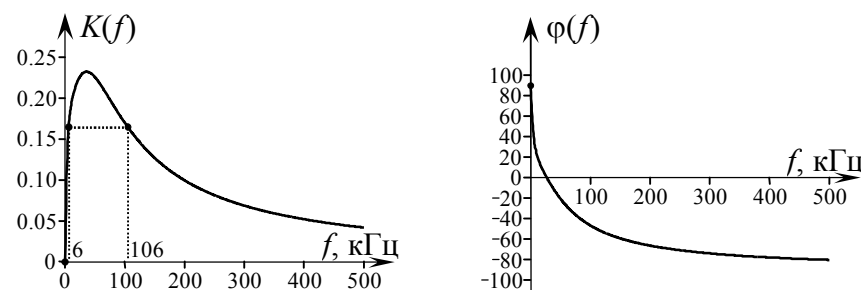


Рис. 5. Пример графического представления АЧХ и ФЧХ

3.3. Исследование реакции цепи на типовое негармоническое воздействие

Исследовать численно прохождение через заданную цепь типового радиотехнического процесса в виде меандра – периодической последовательности биполярных прямоугольных импульсов напряжения со скважностью, равной двум (рис. 6,а).

Анализ следует выполнить частотным (спектральным) методом. Для этого необходимо:

а) рассчитать комплексные амплитуды первых N отличных от нуля ($n = 1, 3, \dots, 2N-1$; $N = 5-9$) гармоник меандра, ис-

пользуя следующую формулу:

$$\dot{U}_{m \text{ вх } n} = \begin{cases} 0 & \text{для чётных } n, \\ \frac{4E_m}{n\pi} \cdot e^{-j90^\circ} & \text{для нечётных } n, \end{cases}$$

где n – номер гармоники, определяющий, в том числе, её частоту $f_n = n \cdot F$ (F – заданная частота повторения импульсов);

б) рассчитать комплексные амплитуды первых N гармоник выходного напряжения цепи, умножив комплексные амплитуды гармоник $\dot{U}_{m \text{ вх } n}$ входного меандра на величину комплексного коэффициента передачи цепи по напряжению $\dot{K}(f_n)$, найденного на соответствующих частотах гармоник f_n :

$$\dot{U}_{m \text{ вых } n} = \dot{U}_{m \text{ вх } n} \cdot \dot{K}(f_n);$$

в) рассчитать мгновенные (текущие) значения напряжения на выходе цепи в пределах одного периода ($t \in [0, 1/F]$) как сумму гармоник:

$$u_{\text{вых}}(t) = \sum_{n=1}^{2N-1} U_{m \text{ вых } n} \cdot \cos(2\pi \cdot f_n \cdot t + \psi_{\text{вых } n}),$$

где $U_{m \text{ вых } n}$, $\psi_{\text{вых } n}$ – модуль и аргумент комплексной амплитуды $\dot{U}_{m \text{ вых } n}$.

Частоту повторений импульсов в начале взять равной 25-50 % от полосы пропускания цепи для фильтров нижних частот и полосовых фильтров и 50-75 % от нижней граничной частоты для фильтров верхних частот. Затем частоту следует увеличить (уменьшить) в 5 - 10 раз. Амплитуду биполярных импульсов E_m имеет смысл положить равной 1 В.

Для численного расчёта целесообразно привлечь систему компьютерной математики MathCAD.

По итогам расчёта следует привести временные диаграммы выходного напряжения, изобразив их в одной системе координат с диаграммой входного сигнала. Так, например, кри-

вая на рис. 6,б соответствует расчётному выходному напряжению цепи для варианта №48 при подаче на вход меандра с частотой повторения импульсов 25 кГц. Число N при расчётах было взято равным пяти.

По итогам исследования следует сформулировать вывод.

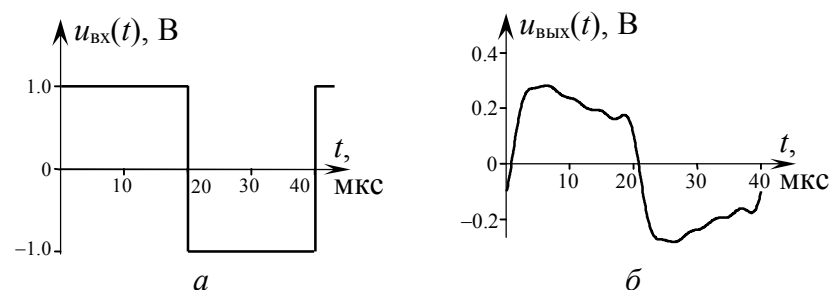


Рис. 6. Временные диаграммы входного и выходного напряжений исследуемой цепи

3.4. Проверка основных расчётных результатов посредством имитационного моделирования

Обосновать выбор схемотехнического симулятора, в котором будет производиться имитационное моделирование.

Собрать схему исследуемой цепи в симуляторе, задействовав идеализированные модели элементов. Подключить источник напряжения с заданными параметрами (ко входу) и необходимые для измерения приборы.

Произвести необходимые измерения. Методику измерения и его результаты отразить в отчёте. Данные привести в таблицах и графиках. Сравнить результаты имитационного моделирования с расчётными данными. Сделать выводы.

Ниже на рис. 7 показана схема цепи по варианту №48, реализованная в симуляторе Electronics Workbench. Ко входу схемы подключен источник; его параметр Voltage = 0.707 V соответствует действующему значению требуемого гармониче-

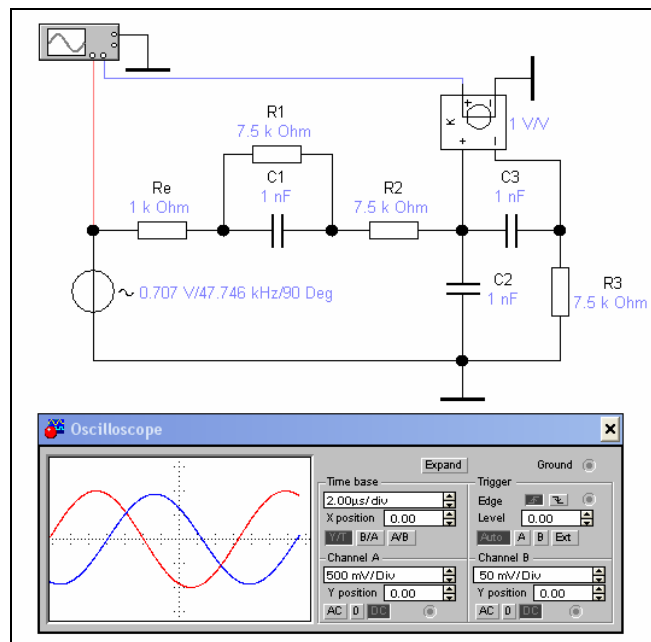


Рис. 7. Схема цепи в симуляторе Electronics Workbench

ского напряжения (амплитуда колебаний при этом составляет 1 В), параметр Frequency = 47.746 kHz определяет циклическую частоту колебаний; параметр Phase – начальную фазу колебания (за рубежом эталонным гармоническим колебанием является синусоида; для реализации "чистой" косинусоиды параметр Phase установить равным 90°). Измерение амплитуд и начальных фаз напряжений на элементах цепи можно осуществить посредством двухканального цифрового осциллографа (при этом целесообразно использовать повторитель напряжения с "заземлением" на выходе). Методика измерения фазовых соотношений между колебаниями в цепи с помощью осциллограмм процессов приведена в прил. 1. Для измерения параметров гармонических токов в ветвях достаточно оценить параметры напряжений, снимаемых с малых по величине сопротивлений (например, 0.01 Ом), включенных во все ветви схемы

(используемый при измерениях повторитель напряжения должен теперь обеспечивать отличный от единицы коэффициент усиления: $1/0.01 = 100$).

При исследовании прохождения через цепь последовательности биполярных прямоугольных импульсов следует подключить ко входу цепи стандартный источник колебания соответствующей формы (имеется во всех без исключения симуляторах). Выходное напряжение наблюдать с помощью цифрового осциллографа.

3.5. Экспериментальные исследования

Смонтировать исследуемую цепь (на печатной плате или посредством проводников). В лаборатории 216/3 подключить ко входу цепи генератор гармонических колебаний, и с помощью вольтметра и осциллографа измерить частотные характеристики (АЧХ и ФЧХ) цепи. Методику (прил. 1) и результаты измерений отразить в отчёте. Для сравнения теоретических характеристик с экспериментально полученными зависимостями изобразить расчётные АЧХ и ФЧХ исследуемой цепи, на которые нанести в виде точек экспериментальные результаты. Сделать выводы.

При исследовании прохождения через цепь последовательности прямоугольных импульсов следует подключить ко входу цепи лабораторный генератор колебаний соответствующей формы. Выходное напряжение наблюдать с помощью осциллографа. Сравнить теоретические результаты и данные измерений. Сделать выводы.

4. Содержание и оформление отчёта по курсовой работе

Материал отчёта по курсовой работе, называемого пояснительной запиской, разбивается части: содержание, введение,

основную часть, состоящую из разделов с уникальными названиями, заключение, список использованной литературы, приложения. Ниже показан возможный вариант структуры пояснительной записки:

Титульный лист (см. прил. 2)

Задание на курсовую работу (см. прил. 3)

Лист "Замечания руководителя"

Содержание

Введение

1 Расчёт токов и напряжений в цепи при заданном гармоническом воздействии

2 Расчёт частотных характеристик цепи

3 Исследование реакции цепи на типовое негармоническое воздействие

4 Проверка основных расчётных результатов посредством имитационного моделирования

5 Экспериментальные исследования

Заключение

Список использованной литературы

Приложения (при необходимости).

Введение включает в себя общее расширенное описание задачи, анализ её значимости, обзор методов решения, оценку необходимости применения вычислительных средств.

Заключение содержит описание основных результатов и вытекающих из них выводов, анализ эффективности использованных методов расчёта и средств вычислений.

Пояснительная записка оформляется на листах белой бумаги формата А4 в книжной ориентации. Текст выполняется только с использованием компьютера (при дальнейшей распечатке на принтере) – в редакторе Microsoft Word: шрифт Times New Roman 14 кегль, цвет шрифта – чёрный, междустрочный интервал – полуторный, абзацный отступ – 1.25 см, выравнивание текста – по ширине. Размеры полей: левое – 20 мм, правое – 10 мм, верхнее – 20 мм, нижнее – 20 мм. Разделы нуме-

руют арабскими цифрами без точки; их названия записывают с абзацного отступа с прописной буквы (и далее строчными) без точки в конце, не подчеркивая. Переносы слов в заголовках не допускаются. Если название раздела состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Расстояние между заголовком раздела и текстом должно соответствовать одной строке. Каждый раздел следует начинать с новой страницы, при этом предыдущая должна быть заполнена текстом не менее чем на одну третью часть. Страницы пояснительной записки следует нумеровать арабскими цифрами; номер проставляется в центре нижней части листа без точки с отступом в одну строчку от текста; титульный лист и задание на курсовую работу включают в общую нумерацию страниц, но номера на них не проставляют.

В пределах всей пояснительной записки следует использовать одну и ту же кратную (дольную) или основную единицу измерения физической величины (например, если в первом разделе напряжения указаны в мВ, то в следующем разделе приводить мкВ уже нельзя). В тексте записки не допускается: сокращать обозначения единиц физических величин, если они употребляются без цифр (за исключением таблиц, формул и рисунков); применять сокращения слов (кроме установленных правилами орфографии); использовать в тексте математический знак "минус" (–) перед отрицательными значениями величин (вместо знака (–) следует писать слово "минус"); применять обороты разговорной речи, термины, профессионализмы.

Графики зависимостей должны быть выполнены в текстовом или графическом редакторе с обязательным указанием масштаба, обозначения и размерности каждой оси. Иллюстрации (графики, схемы), а также таблицы размещают в тексте непосредственно после первого их упоминания (например, в виде "на рисунке 1 показана схема ...") на текущей странице, а если это невозможно, то на следующей. Нумерация рисунков, таблиц и формул – сквозная по всему отчёту только арабскими

цифрами. Расстояние между текстом и рисунком, таблицей, формулой (и наоборот) соответствует одной строке.

Ниже приведены примеры оформления в пояснительной записке рисунка и таблицы.

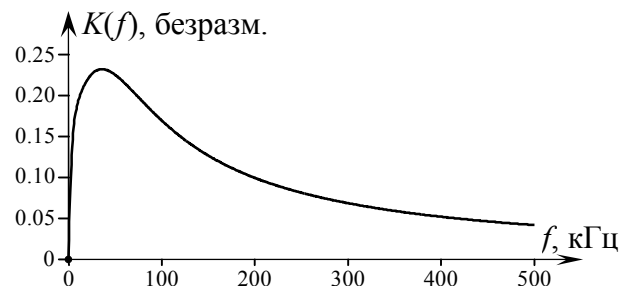


Рисунок 3 – Амплитудно-частотная характеристика цепи

Таблица 3 – Экспериментальные значения АЧХ и ФЧХ цепи

Частота f , кГц									
АЧХ $K(f)$									
ФЧХ $\varphi(f)$, °									

Название следует помещать над таблицей слева, без абзачного отступа в одну строку с её номером через тире. Графу "Номер по порядку" в таблицу включать не допускается.

Пример записи формулы: "... определим комплексное сопротивление последовательного соединения элементов R и C

$$z_1 = R + \frac{1}{j\omega C} = 1 - j1 \text{ кОм}, \quad (5)$$

тогда из (3) получим ...".

Ссылки на использованные литературные источники (а они обязательно должны быть числом не менее трех-пяти) следует приводить в квадратных скобках внутри предложения, либо в конце – перед точкой. Сведения об источниках при

оформлении списка литературы следует располагать в порядке появления ссылок на источники в тексте, нумеровать арабскими цифрами без точки и печатать с абзачного отступа. Описание источников осуществляется по правилам, определяемым стандартом*. В частности, библиографическое описание книг с одним, двумя-тремя и четырьмя авторами производится следующим образом:

1 Попов В.П. Основы теории цепей: учеб. для вузов / В.П. Попов. – 4-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2003. – 575 с.

2 Каневский З.М. Исследование и моделирование линейных цепей: учеб. пособие / З.М. Каневский, В.П. Литвиненко, О.Г. Вахтин. – Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2004. – 96 с.

3 Сборник для самостоятельной работы студентов по курсу "Основы теории цепей": учеб. пособие / О.Г. Вахтин, З.М. Каневский, В.П. Литвиненко и др. – Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2003. – 121 с.

* СТП ВГТУ 62-2007. Текстовые документы (курсовые работы (проекты), рефераты, отчеты по лабораторным работам, контрольные работы). Правила оформления. – Воронеж: ГОУ ВПО "Воронеж. государственный техн. ун-т, 2007. – 44 с.

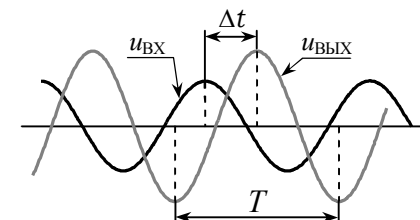
В свете перспектив развития радиотехники подготовка высококвалифицированных специалистов является приоритетной задачей. Первой дисциплиной, положенной в фундаментной такой подготовки, должна стать "Основы теории цепей".

Спецификой современной системы обучения является упор на самостоятельное освоение учебных дисциплин. Функция преподавателя сводится фактически к снабжению обучающихся методическими материалами, прорисовке контуров разделов дисциплины, изложению методологии обучения и контролю знаний на экзамене.

Настоящее пособие, содержащее материалы к курсовой работе, призвано помочь студенту освоить стройный, логически взаимосвязанный, математизированный курс "Основы теории цепей" в части, имеющей отношение к курсовой работе. Автор надеется, что его труд не пропадет даром.

Методика измерения АЧХ и ФЧХ цепи

Установить уровень (как правило, действующее значение) гармонического напряжения источника $U_{ВХ}$, подключенного ко входу цепи, равным 1 В; частоту – минимально возможной. Используя вольтметр на выходе цепи, измерить действующее значение выходного напряжения $U_{ВЫХ}$. Рассчитать для установленной частоты значение АЧХ цепи по формуле $K(f) = U_{ВЫХ}/U_{ВХ}$. Используя осциллограф, подключенный одним каналом ко входу, а вторым к выходу цепи, измерить в установленном режиме сдвиг во времени Δt между ближайшими максимумами входного и выходного колебаний (рисунок). Измерить период колебаний T .



К методике оценки сдвига фаз

Рассчитать абсолютное значение сдвига фаз между $u_{ВЫХ}$ и $u_{ВХ}$ по формуле

$$|\varphi| = 360^\circ \cdot \Delta t / T.$$

Установить знак сдвига фаз: если максимум $u_{ВЫХ}$ появляется позже ближайшего максимума $u_{ВХ}$, сдвиг фаз – отрицательный, в противном случае – положительный. Найденный сдвиг φ – есть значение ФЧХ $\varphi(f)$ на частоте f .

Последовательно увеличивая частоту входного колебания, вновь измерять амплитуду выходного напряжения, его период и сдвиг во времени относительно входного, рассчитывать значения АЧХ и ФЧХ. Остановить измерения следует при очевидном стремлении АЧХ (ФЧХ) к конкретному значению.

Приложение 2

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
"ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ" (ФГБОУ ВПО "ВГТУ", ВГТУ)

Факультет радиотехники и электроники
Кафедра радиотехники

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине "Основы теории цепей"

ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ В ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

Расчётно-пояснительная записка

Разработал студент гр. _____

Руководитель

Подпись, дата Инициалы, фамилия

Члены комиссии

Подпись, дата Инициалы, фамилия

Подпись, дата Инициалы, фамилия

Нормоконтролер

Подпись, дата Инициалы, фамилия

Подпись, дата Инициалы, фамилия

Защищена _____ Оценка _____
дата

Воронеж, 2013

Приложение 3

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
"ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ" (ФГБОУ ВПО "ВГТУ", ВГТУ)

Кафедра радиотехники

ЗАДАНИЕ на курсовую работу

по дисциплине _____
Тема работы _____

Студент группы _____
Фамилия, имя, отчество

Номер варианта _____
Технические условия _____

Содержание и объем работы _____

Сроки выполнения этапов _____

Срок защиты курсовой работы _____

Руководитель _____
Подпись, дата Инициалы, фамилия

Задание принял студент _____
Подпись, дата Инициалы, фамилия

Библиографический список

1. Попов В.П. Основы теории цепей: учеб. для вузов / В.П. Попов. – 4-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2003. – 575 с.
2. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: учеб. пособие для вузов / И.С. Гоноровский. – 5-е изд., испр. и доп. – М.: Дрофа, 2006. – 719 с.
3. Карлашук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и её применение / В.И. Карлашук. – М.: Солон-Р, 2003. – 726 с.
4. Вахтин О.Г. Введение в теорию цепей: учеб. пособие / О.Г. Вахтин. – Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2007. – 104 с.
5. Вахтин О.Г. Анализ простейших электрических цепей при гармоническом воздействии: учеб. пособие / О.Г. Вахтин. – Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2007. – 107 с.
6. Вахтин О.Г. Частотно-избирательные цепи: учеб. пособие / О.Г. Вахтин. – Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2005. – 106 с.
7. Каневский З.М. Исследование и моделирование линейных цепей: учеб. пособие / З.М. Каневский, В.П. Литвиненко, О.Г. Вахтин. – Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2004. – 96 с.
8. Вахтин О.Г. Гармонические колебания в линейных цепях: учеб. пособие / О.Г. Вахтин, З.М. Каневский, В.П. Литвиненко. – Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2006. – 104 с.
9. Вахтин О.Г. Воздействие гармонических колебаний на линейные цепи: учеб. пособие / О.Г. Вахтин, З.М. Каневский, В.П. Литвиненко. – Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2005. – 88 с. (электрон. ресурс)

Содержание

Введение	1
1. Тема и цель курсового проектирования.....	2
2. Техническое задание на курсовую работу. Содержание курсовой работы	2
3. Рекомендуемая последовательность выполнения курсовой работы	6
3.1. Расчёт токов и напряжений в цепи при заданном гармоническом воздействии	6
3.2. Расчёт частотных характеристик цепи	9
3.3. Исследование реакции цепи на типовое негармоническое воздействие	12
3.4. Проверка основных расчётных результатов посредством имитационного моделирования	14
3.5. Экспериментальные исследования.....	16
4. Содержание и оформление отчёта по курсовой работе	16
Заключение	21
Приложение 1	22
Приложение 2	23
Приложение 3	24
Библиографический список	25

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к курсовой работе по дисциплине "Основы теории цепей"
для студентов специальности 210601.65 "Радиоэлектронные
системы и комплексы", специализации "Радиоэлектронные
системы передачи информации" очной формы обучения

Составитель Останков Александр Витальевич

В авторской редакции

Подписано к изданию 11.02.2013.

Уч.-изд. л. 1,6. "С" .

ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический
университет"

394026 Воронеж, Московский просп., 14