

## Предисловие

Курсовая работа "Исследование прохождения сигналов через линейные цепи" выполняется студентами второго, третьего курсов и предназначена для углубления и закрепления теоретического материала по разделам: "Теория сигналов", "Линейные радиотехнические цепи", "Основы радиоэлектроники и связи". В курсовой работе студенты исследуют спектральные характеристики периодических и непериодических сигналов, частотные и временные характеристики линейных цепей, а также выполняют расчет прохождения этих сигналов через линейные цепи спектральным и временным методами.

## 1. Задание

### Заданы:

1. Функция  $s(t)$ , определенная на интервале времени  $-T/2 < t < T/2$  (табл.1).
2. Принципиальная схема радиотехнической цепи (табл.2).

### Используя систему *Mathcad*, требуется:

1. Построить график исходной функции  $s(t)$ , задавая необходимый диапазон значений ее аргумента и выбрав удобный масштаб.
2. Образовать *периодический сигнал*<sup>1</sup> путем повторения функции  $s(t)$  с периодом  $T$ . Вычислить *амплитудный и фазовый спектры* этого сигнала. Построить спектральные диаграммы. Найти *эффективную ширину спектра* (по выбранному уровню). Вычислить *какая часть средней за период мощности сигнала содержится в эффективной части спектра*.
3. Синтезировать периодический сигнал по эффективной части его спектра. Построить на одном графике исходный и синтезированный сигналы. Определить погрешность синтеза. Показать возможность уменьшения этой погрешности.
4. Образовать *непериодический сигнал*, приняв его равным  $s(t)$  на интервале  $-T/2 < t < T/2$ , и равным нулю за пределами этого интервала. Вычислить амплитудный и фазовый спектры непериодического сигнала. Построить спектральные диаграммы. Найти ширину эффективной части спектра (по выбранному уровню). Сравнить спектры периодического и непериодического сигналов (по форме огибающей спектральной функции, по ширине эффективной части, по размерности).
5. Определить *амплитудно-частотную, фазочастотную характеристики* цепи. Построить графики характеристик, выбрав удобные масштабы координат. Найти ширину полосы пропускания цепи и активную длительность импульсной характеристики. Сравнить частотные диапазоны полосы пропускания цепи и активной части спектра сигнала.
6. Используя *спектральный метод анализа*, вычислить напряжение на выходе цепи при условии, что входное напряжение является периодическим сигналом (п.2 задания). Сравнить сигналы на входе и выходе цепи и сделать выводы о причинах искажений.

---

<sup>1</sup> Выделенные курсивом термины расшифровываются в тексте данных методических указаний

7. Найти импульсную и переходную характеристики цепи, построить их графики.
8. Используя *временной метод анализа*, вычислить напряжение на выходе цепи при условии, что входное напряжение является непериодическим сигналом (п.4 задания). Сравнить сигналы на входе и выходе цепи и сделать выводы о причинах искажений.

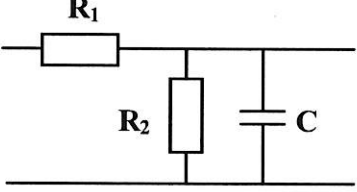
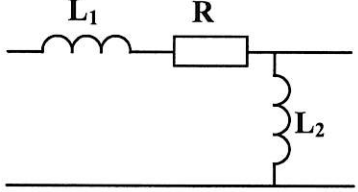
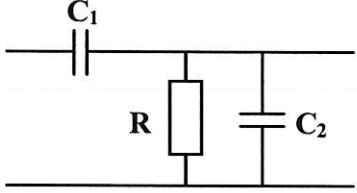
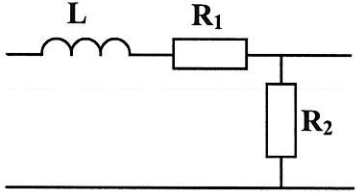
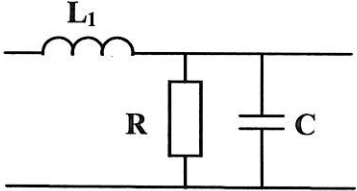
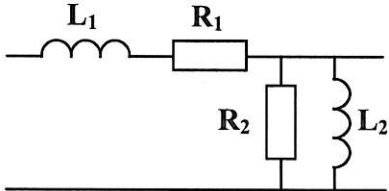
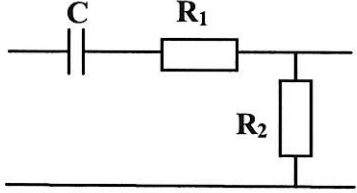
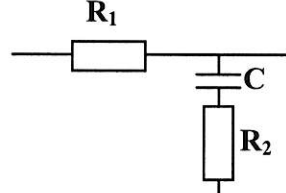
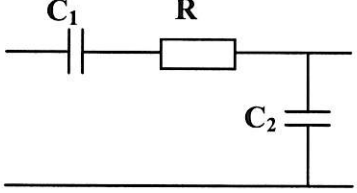
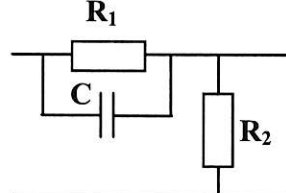
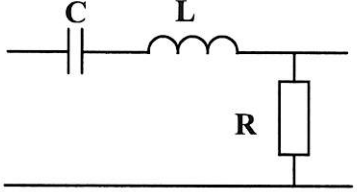
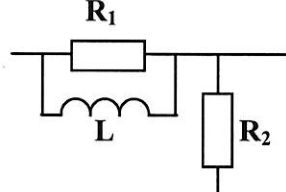
Таблица 1

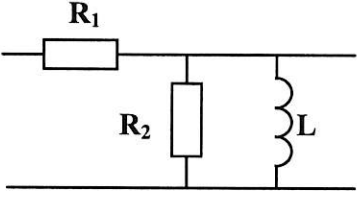
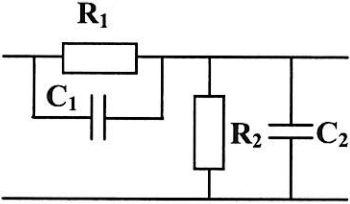
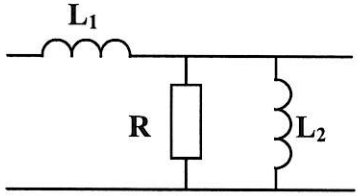
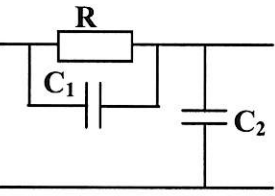
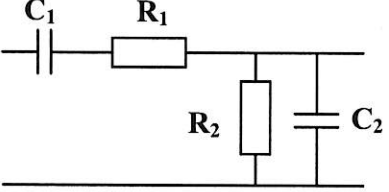
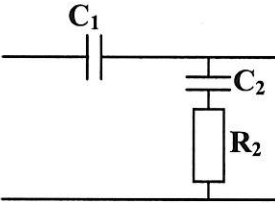
## Варианты сигналов

№	Аналитическое выражение и параметры сигналов	№	Аналитическое выражение и параметры сигналов
1	$s(t) = E$ при $-t_{И} < t < 0$ $s(t) = -E$ при $0 < t < t_{И}$ $s(t) = 0$ при $t < -t_{И}$ и $t > t_{И}$ $E = 2 \text{ В}, t_{И} = 20 \text{ мкс}, T = 100 \text{ мкс}$	10	$s(t) = E \exp(t/t_{И})$ при $t < 0$ $s(t) = 0$ при $t > 0$ $E = 10 \text{ В}, t_{И} = 1 \text{ мкс}, T = 10 \text{ мкс}$
2	$s(t) = E (1 - 2  t  / t_{И})$ при $ t  < t_{И}/2$ $s(t) = 0$ при $ t  > t_{И}/2$ $E = 10 \text{ В}, t_{И} = 25 \text{ мкс}, T = 100 \text{ мкс}$	11	$s(t) = E$ при $t_{И} < t < 2 t_{И}$ $s(t) = E$ при $-2 t_{И} < t < -t_{И}$ $s(t) = 0$ при всех других значениях $t$ $E = 10 \text{ В}, t_{И} = 1 \text{ мкс}, T = 10 \text{ мкс}$
3	$s(t) = E t / t_{И}$ при $0 < t < t_{И}$ $s(t) = 0$ при $t > t_{И}$ и $t < 0$ $E = 10 \text{ В}, t_{И} = 15 \text{ мкс}, T = 50 \text{ мкс}$	12	$s(t) = E$ при $t_{И} < t < 2 t_{И}$ $s(t) = -E$ при $-2 t_{И} < t < -t_{И}$ $s(t) = 0$ при всех других значениях $t$ $E = 10 \text{ В}, t_{И} = 1 \text{ мкс}, T = 10 \text{ мкс}$
4	$s(t) = E (1 - t / t_{И})$ при $0 < t < t_{И}$ $s(t) = 0$ при $t > t_{И}$ и $t < 0$ $E = 10 \text{ В}, t_{И} = 5 \text{ мкс}, T = 20 \text{ мкс}$	13	$s(t) = E \sin(4\pi t / t_{И})$ при $ t  < t_{И}/4$ $s(t) = 0$ при $ t  > t_{И}/4$ $E = 5 \text{ В}, t_{И} = 2 \text{ мкс}, T = 20 \text{ мкс}$

5	$s(t) = E t / t_{И}$ при $ t  < t_{И}$ $s(t) = 0$ при $ t  > t_{И}$ $E = 5 \text{ В}, t_{И} = 10 \text{ мкс}, T = 60 \text{ мкс}$	14	$s(t) = E$ при $ t  < t_{И}/2$ и $s(t) = -E$ при $1,5t_{И} < t < 2,5t_{И}$ $s(t) = 0$ при других $t$ $E = 3 \text{ В}, t_{И} = 5 \text{ мкс}, T = 30 \text{ мкс}$
6	$s(t) = E \cos(\pi t / t_{И})$ при $ t  < t_{И}/2$ $s(t) = 0$ при $ t  > t_{И}/2$ $E = 6 \text{ В}, t_{И} = 15 \text{ мкс}, T = 50 \text{ мкс}$	15	$s(t) = Et/t_{И}$ при $0 < t < t_{И}$ и $s(t) = E$ при $t_{И} < t < 2t_{И}$ $s(t) = 0$ при других $t$ . $E = 2 \text{ В}, t_{И} = 2 \text{ мкс}, T = 15 \text{ мкс}$
7	$s(t) = E \exp(-t/t_{И})$ при $t > 0$ $s(t) = 0$ при $t < 0$ $E = 6 \text{ В}, t_{И} = 10 \text{ мкс}, T = 60 \text{ мкс}$	16	$s(t) = E$ при $ t  < t_{И}$ $s(t) = 2E$ при $t_{И} <  t  < 2t_{И}$ $s(t) = 0$ при других $t$ . $E = 3 \text{ В}, t_{И} = 1 \text{ мкс}, T = 10 \text{ мкс}$
8	$s(t) = E \sin(2\pi t / t_{И})$ при $ t  < t_{И}/2$ $s(t) = 0$ при $ t  > t_{И}/2$ $E = 2 \text{ В}, t_{И} = 1 \text{ мкс}, T = 4 \text{ мкс}$	17	$s(t) = E(2 -  t /t_{И})$ при $ t  < t_{И}$ $s(t) = 0$ при $ t  > t_{И}$ . $E = 2 \text{ В}, t_{И} = 2 \text{ мкс}, T = 20 \text{ мкс}$
9	$s(t) = E \exp(- t /t_{И})$ $E = 4 \text{ В}, t_{И} = 5 \text{ мкс}, T = 40 \text{ мкс}$	18	$s(t) = E t /t_{И}$ при $ t  < t_{И}$ $s(t) = 0$ при $ t  > t_{И}$ $E = 5 \text{ В}, t_{И} = 1 \text{ мкс}, T = 4 \text{ мкс}$

## Варианты цепей, параметры элементов

1	 <p><math>R_1=10 \text{ кОм}; C=1\text{нФ}; R_2=R_1</math></p>	10	 <p><math>R=20 \text{ кОм}; L_1=2 \text{ мГн}; L_2=20 \text{ мГн}</math></p>
2	 <p><math>R=5 \text{ кОм}; C_1=2\text{нФ}; C_2=0,2C_1</math></p>	11	 <p><math>R_1=1,5 \text{ кОм}; R_2=6 \text{ кОм}; L=8 \text{ мГн}</math></p>
3	 <p><math>R=2 \text{ кОм}; L=10 \text{ мкГн}; C=6 \text{ пФ}</math></p>	12	 <p><math>R_1=15 \text{ кОм}; L_1=8 \text{ мГн}; L_2=L_1; R_2=R_1</math></p>
4	 <p><math>R_1=100 \text{ Ом}; R_2=1 \text{ кОм}; C=2 \text{ нФ}</math></p>	13	 <p><math>R_1=3 \text{ кОм}; R_2=5 \text{ кОм}; C=1\text{нФ}</math></p>
5	 <p><math>R=5 \text{ кОм}; C_1=5 \text{ нФ}; C_2=1\text{нФ}</math></p>	14	 <p><math>R_1=2 \text{ кОм}; R_2=3 \text{ кОм}; C=2 \text{ нФ}</math></p>
6	 <p><math>R=5 \text{ кОм}; C=2,5 \text{ нФ}; L=10 \text{ мГн}</math></p>	15	 <p><math>R_1=2 \text{ кОм}; R_2=3 \text{ кОм}; L=5 \text{ мГн}</math></p>

7	 <p><math>R_1=3 \text{ кОм}; R_2=5 \text{ кОм}; L=5 \text{ мГн}</math></p>	16	 <p><math>R_1=R_2=3 \text{ кОм}; C_1=C_2=2 \text{ нФ}</math></p>
8	 <p><math>R=5 \text{ кОм}; L_1=2 \text{ мГн}; L_2=20 \text{ мГн};</math></p>	17	 <p><math>R=5 \text{ кОм}; C_1=C_2=3 \text{ нФ}</math></p>
9	 <p><math>C_1=1 \text{ нФ}; R_1=2 \text{ кОм}; C_2=C_1;</math> <math>R_2=R_1</math></p>	18	 <p><math>R=4 \text{ кОм}; C_1=1 \text{ нФ}; C_2=2 \text{ нФ}</math></p>

## 2. Краткие сведения о системе *Mathcad*

*Mathcad* - это система компьютерной математики, предназначенная для автоматизации решения математических задач. Несмотря на большие возможности, она чрезвычайно легка в освоении и использовании.

Для быстрого и эффективного освоения системы можно и рекомендуется использовать возможности самой системы. Подсказка (меню «Помощь» или так называемые быстрые шпаргалки QuickSheets) дает возможность не только получать информацию о функциях, переменных и других возможностях, но и позволяет набирать и редактировать текст файла в самой подсказке.

В *Mathcad* можно выделить два основных режима работы: непосредственно вычисления (создание и редактирование математических выражений, численные и символьные расчеты и т.д.) и работа с текстом.

Для ввода и редактирования текста необходимо войти в режим редактирования текста. Для этого, например, в *Mathcad 11* необходимо щелкнуть мышью в любом месте экрана и выбрать пункт меню "Вставить- Текстовая область" или ввести с клавиатуры двойную кавычку ("). Кроме того, текстовая область автоматически появляется при наборе на экране какого-либо слова и пробела. Текст набирается в текстовой рамке, которая исчезает после стирания последнего символа текста. При работе с текстовым процессором, как и в других текстовых редакторах, существует возможность изменения языка, типа и размера шрифта, форматирования текста, проверка правописания и др.

Выполнение большинства расчетов в системе *Mathcad* не требует специального программирования. Для вычисления по какой-либо формуле достаточно записать ее в привычном виде, как она выглядит в справочнике, тетради или на доске.

При выполнении математических вычислений возможна работа в автоматическом или ручном режиме. В автоматическом режиме существует постоянное слежение за ошибками, и вычисления выполняются по мере набора формул. Для установки ручного режима расчетов необходимо снять установку "Автоматические вычисления" в пункте "Вычисления" меню "Инструменты". В этом случае расчеты и контроль ошибок осуществляются после нажатия клавиши F9. Для выполнения вычислений необходимое математическое выражение можно набрать в любом месте рабочего документа. Математическое выражение (оператор) можно ввести с помощью клавиатуры или кнопок на различных палитрах операторов. Перед набором формул необходимо ознакомиться с правилами редактирования формул. При вводе следует помнить, что все расчеты выполняются в порядке сверху вниз и слева направо, все используемые переменные должны быть предварительно заданы или рассчитаны, в

одном документе недопустимо обозначать разные величины одинаковыми символами.

Основными элементами системы *Mathcad* являются типы данных, операторы, встроенные функции и функции пользователя, процедуры, управляющие структуры.

Возможны следующие типы данных: константы; переменные; массивы; данные файлового типа.

Существуют несколько типов констант, среди которых целочисленные константы (например, 5, -123 и т.д.), вещественные числа (например,  $17.6 \cdot 10^{-6}$ ), комплексные (например,  $13-j \cdot 8$ ). Особый вид констант – единицы измерения размерных величин. При необходимости *Mathcad* выполняет расчеты с соответствующими преобразованиями размерных физических величин. В курсовой работе для простоты рекомендуется использовать безразмерные константы, приводя их к системе СИ.

Переменные, в отличие от констант, после их определения могут принимать любые значения в пределах своего типа. Для задания имен (идентификаторов) переменных можно использовать любые латинские и греческие буквы, цифры, спецсимволы (кроме знаков арифметических операций), но начинаться имя должно с буквы. Длина имени переменной может быть любой, имя не должно совпадать с именами встроенных или определенных пользователем функций. Большие и малые буквы в именах переменных различаются. При первом использовании переменная должна быть определена с помощью знака присвоения (":="). Значение переменной можно узнать набрав в любом месте документа ее имя и поставив знак равенства (=). Если переменная до этого не была определена, то знак равенства автоматически изменится на знак присвоения. Присвоение переменной значения с помощью символа ":=" является локальным и далее в любом месте документа эта переменная может быть переопределена. При использовании символа "≡" присвоение является глобальным и переменной присваивается это значение во всем документе, независимо от того в каком месте документа оно выполнено.

При расчетах и построениях графиков часто возникает необходимость использования переменных, принимающих не одно, а несколько значений, причем, обычно, упорядоченных. Для этого в *Mathcad* существуют так называемые ранжированные переменные. В общем виде задание ранжированной переменной выполняется с помощью выражения

$$\text{Name} := N1, N1+dN .. N2.$$

В этом случае Name – имя переменной, N1 ее начальное значение, N2 конечное значение, dN шаг изменения переменной (может быть положительным или отрицательным, в зависимости от значений N1 и N2). Если шаг изменения переменной равен +1 или -1, можно применять упрощенный вариант задания

$$\text{Name} := N1 .. N2.$$

В таком случае при  $N2 > N1$  по умолчанию шаг равен +1, при  $N2 < N1$  шаг равен -1.



Наиболее часто в математических расчетах используются следующие так называемые системные переменные: число  $\pi$  (3,14159...), основание натуральных логарифмов ( $e = 2,71828...$ ), мнимая единица  $i$  ( $i = \sqrt{-1}$ ).

В *Mathcad* можно выполнять как численные вычисления (расчет производных, интегралов, суммирование и т.д.), так и символьные вычисления (интегрирование и дифференцирование в символьном виде, упрощение выражений, вычисление преобразований Фурье, Лапласа и т.д.). Предусмотрена работа с комплексными числами, аппроксимация кривых, статистические функции, матричные операции. *Mathcad* имеет свою собственную справочную систему с множеством формул, справочных данных, большой набор встроенных функций, включая ступенчатую функцию Хевисайда (стандартная функция  $\text{heviside step } \Phi(t)$ ), функцию аргумента комплексного числа ( $\text{arg}(z)$ ), функцию максимума ( $\text{max}(A)$ ) и минимума ( $\text{min}(A)$ ) и др.).

Для отображения результатов расчетов имеется система работы с графиками. Возможно построение двух и трехмерных графиков, использование различных систем координат, различных масштабов, построение нескольких графиков на одном и т.д.

Задание желаемой точности вычислений выполняется присвоением значения встроенной переменной *TOL* в интервале от 0 до 1 (например,  $TOL:=0.001$ ). Значение, близкое к 0 обеспечивает более высокую точность, но уменьшает скорость расчетов, а значение, близкое к 1 ускоряет расчет, но снижает точность.

Более подробные сведения о системе *Mathcad* можно получить в самой системе, используя меню "Помощь", или в соответствующей литературе (например, /1, 2/). Работа в этой системе требует некоторого навыка, но ее освоение происходит очень быстро.

Приведенные сведения являются очень краткими и дают некоторые основные сведения о системе, позволяющие начать работу. Авторы данных методических указаний рекомендуют студентам активно пользоваться подсказками и справочной информацией системы, что, несомненно, поможет максимально быстро ее освоить и эффективно использовать.

### 3. Методические указания по выполнению работы

#### 3.1. Периодические сигналы

Электрические колебания, представляющие собой изменение во времени тока, напряжения, заряда или другой величины, отображающие сообщение, называются радиотехническими сигналами.

Наиболее важным классом непрерывных детерминированных сигналов являются периодические сигналы. Периодические сигналы при  $-\infty < t < +\infty$  удовлетворяют условию

$$s(t) = s(t + kT), \quad (1)$$

где  $k$  – любое целое число;  $T$  – период сигнала.

На рис.1а приведен пример задания в *Mathcad* исходной функции  $s(t)$  и ее график, на рис.1б график периодического сигнала  $sp(t)$ .

Простейшим из периодических сигналов, широко используемым в радиотехнике в качестве измерительного, является гармоническое колебание

$$x(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (2)$$

где  $A_0$  – амплитуда колебания;  $\omega_0 = 2\pi f_0$  – угловая частота,  $f_0$  – циклическая частота;  $\varphi_0$  – начальная фаза колебания.

Периодический сигнал  $s(t)$  можно разложить в ряд Фурье по системе тригонометрических функций вида

$$1, \cos \Omega t, \sin \Omega t, \cos 2\Omega t, \sin 2\Omega t, \cos 3\Omega t \dots \quad (3)$$

Тригонометрический ряд Фурье определяется выражением

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\Omega t + b_n \sin n\Omega t). \quad (4)$$

Коэффициенты  $a_0/2$  (постоянная составляющая),  $a_n$  (косинусные составляющие),  $b_n$  (синусные составляющие) рассчитываются по формулам

$$\frac{a_0}{2} = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) dt; \quad (5)$$