

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт радиоэлектроники и информационной безопасности

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

по дисциплине

«РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И СИГНАЛЫ»

для студентов очной формы обучения

направления 11.03.01 «Радиотехника» и

специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы»

Севастополь
2017

УДК 621.396.1

Рецензент: канд. техн. наук, доцент **С.Р. Зиборов**

Составители: Гимпилевич Ю.Б., Сердюк И.В.

Методические указания **«Расчетно-графическое задание по дисциплине «Радиотехнические цепи и сигналы»** для студентов дневной формы обучения направления 11.03.01 «Радиотехника» и специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» / СевГУ; сост. Ю. Б. Гимпилевич, И. В. Сердюк. — Севастополь: Изд-во СевГУ, 2017. — 29 с.

Цель методических указаний — оказание помощи студентам очной формы обучения в выполнении расчетно-графического задания по дисциплине «Радиотехнические цепи и сигналы», а также в приобретении навыков практических расчетов и анализа характеристик радиотехнических сигналов и цепей.

УДК 621.396.1

Методические рекомендации утверждены на заседании кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации» от 12 января 2016 года, протокол № 6.

Методические рекомендации рассмотрены и рекомендованы к изданию на заседании методической комиссии Института радиоэлектроники и информационной безопасности 14 января 2016 года, протокол № 3.

Ответственный за выпуск:

д. т. н., профессор, заведующий кафедрой

«Радиоэлектроника и телекоммуникации» **Афонин И. Л.**

Издательский номер **39/17**

© ФГАОУ ВО «СевГУ», 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Задание № 1	
Спектральный анализ периодических сигналов	5
2. Задание № 2	
Спектральный анализ непериодических сигналов	10
3. Задание № 3	
Корреляционный анализ детерминированных сигналов	14
4. Задание № 4	
Радиосигналы с амплитудной модуляцией	16
5. Задание № 5	
Радиосигналы с угловой модуляцией	19
6. Задание № 6	
Частотные и временные характеристики линейных цепей с постоянными параметрами	22
7. Задание № 7	
Расчёт реакции линейной цепи на произвольное детерминированное воздействие	25
Библиографический список	29

ВВЕДЕНИЕ

Расчетно-графическое задание (РГЗ) выполняется при изучении первой части дисциплины «Радиотехнические цепи и сигналы» и имеет своей целью: закрепление теоретических знаний, овладение методами анализа сигналов и линейных радиотехнических цепей, освоение расчётов, связанных с обработкой сигналов.

Номер варианта выбирается студентом в соответствии с его порядковым номером в журнале группы.

РГЗ включает в себя 7 заданий (задач) и выполняется поэтапно по мере изучения студентом соответствующих теоретических разделов дисциплины. Решение каждой задачи представляется в виде пояснительной записки объёмом 4-5 страниц на листах белой бумаги формата А4 с одной стороны листа. Записка оформляется в соответствии с требованиями, изложенными в [5].

Текст пояснительной записки набирается в программе «*Microsoft Office Word*». Для проведения расчетов необходимо использовать пакет математических прикладных программ, например «*MathCAD*». Графики, полученные в математическом пакете при проведении расчетов, вставляются в текст пояснительной записки.

Пояснительная записка должна содержать следующие разделы: титульный лист; содержание; задание 1, задание 2 и т.д.; выводы; библиографический список. Каждое задание выполняется как раздел работы и завершается частными выводами.

Расчеты должны сопровождаться пояснениями и математическими выкладками, с обязательным описанием используемых величин и указанием их размерности. При написании формул следует использовать редактор формул «*Microsoft Equation*».

В тексте пояснительной записки необходимо делать ссылки на источники, из которых заимствованы метод расчета или расчетная формула. Ссылки приводятся в квадратных скобках: $[n]$, где n — порядковый номер источника в библиографическом списке.

Все страницы пояснительной записки нумеруются по порядку в верхнем правом углу листа. Первой страницей считается титульный лист, на ней цифра «1» не ставится.

РГЗ выполняется в 4 семестре и требует затрат времени порядка 3...4 часов в неделю. На выполнение каждого частного задания отводится две недели. Выполненное задание сдается преподавателю на очередном практическом занятии. Результаты оценки заданий учитываются при модульном контроле. В случае отрицательной оценки, частное задание возвращается студенту на доработку.

На шестнадцатой неделе семестра РГЗ должно быть полностью выполнено и зачтено.

1. ЗАДАНИЕ № 1

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

1.1. Условие

Проведите спектральный анализ периодического сигнала $s(t)$ (рис. 1.1....1.10). Постройте спектрограммы амплитуд и начальных фаз. Определите эффективную ширину спектра. Выполните суммирование гармоник спектра. Исходные данные приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 — Исходные данные к заданию № 1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сигнал (рис.)	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10
Скважность Q	2	3	4	5	—	—	2	—	3	—
E , В	10	20	30	40	50	60	70	—	90	—
Период T , мс	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Продолжение таблицы 1.1

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Сигнал (рис.)	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10
Скважность Q	5	4	3	2	—	—	6	—	4	—
E , В	100	90	80	70	60	50	40	—	200	—
Период T , мс	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Продолжение таблицы 1.1

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Сигнал (рис.)	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10
Скважность Q	7	6	5	4	—	—	4	—	5	—
E , В	5	10	15	20	25	30	35	—	45	—
Период T , мс	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

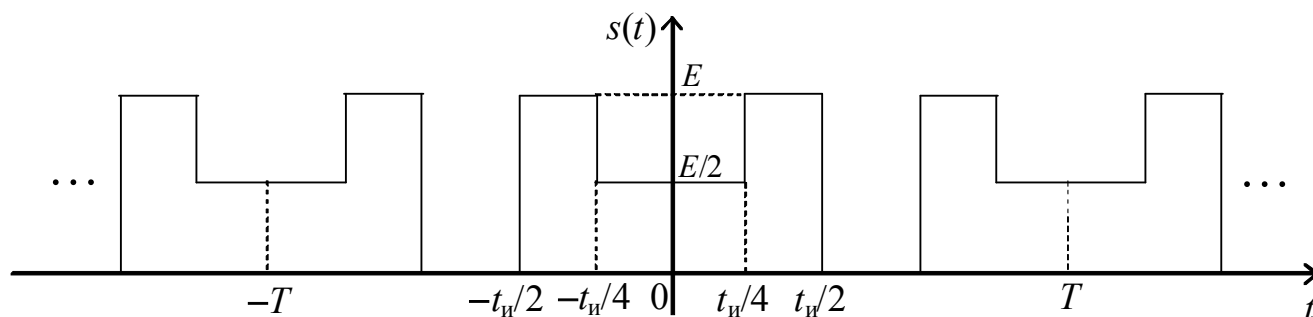


Рис. 1.1

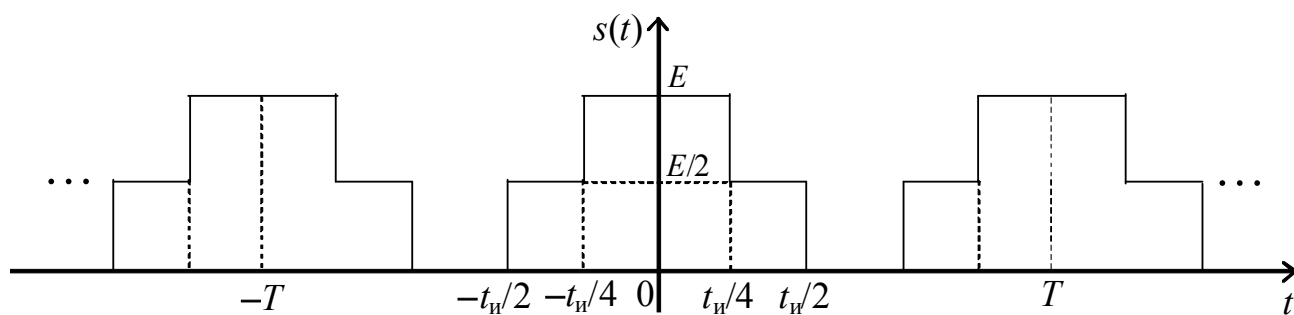


Рис. 1.2

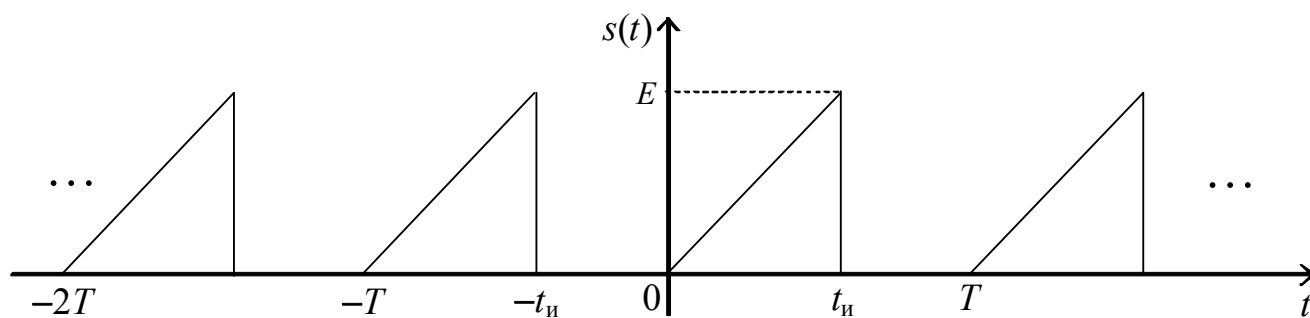


Рис. 1.3

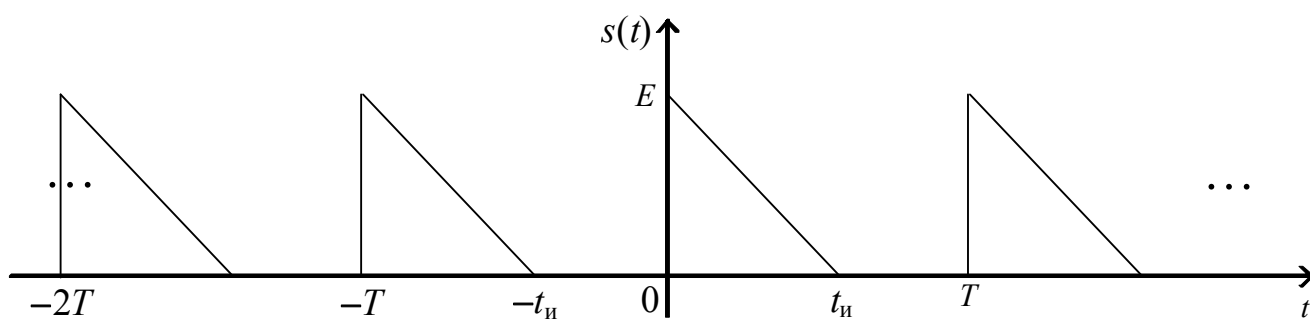


Рис. 1.4

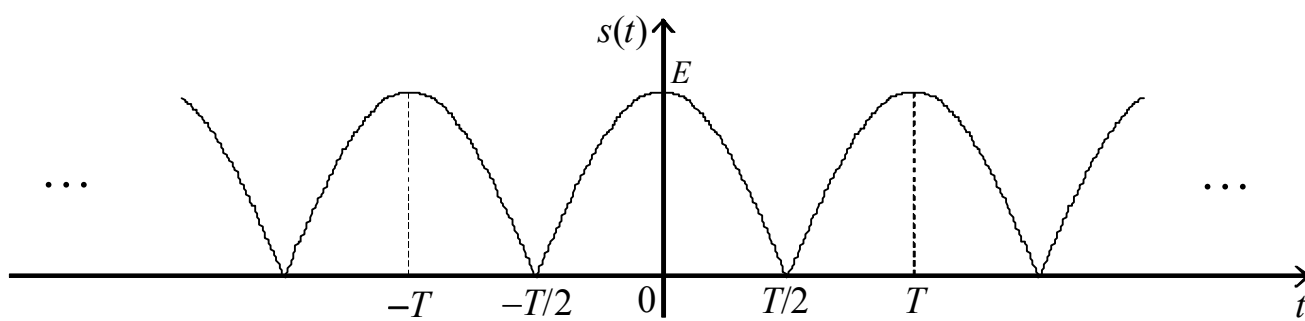


Рис. 1.5

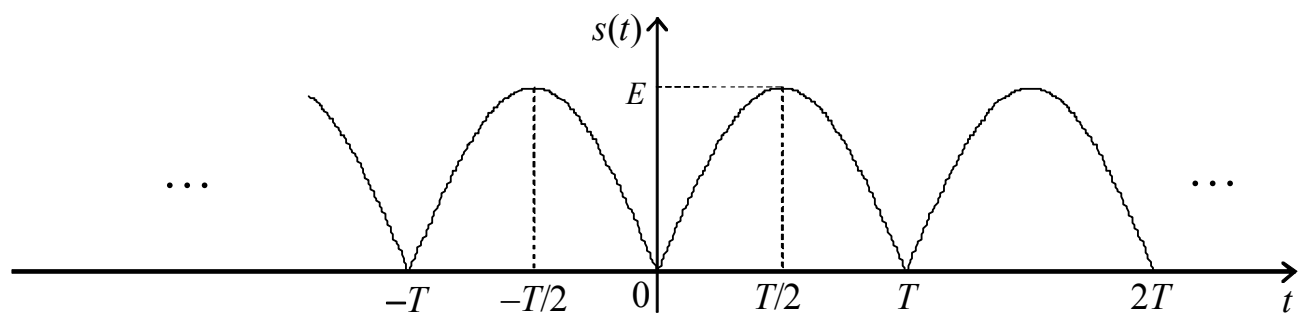


Рис. 1.6

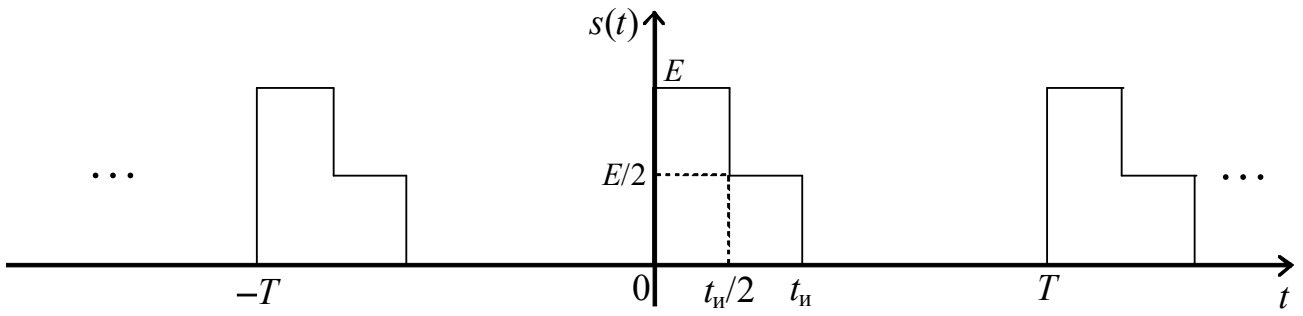


Рис. 1.7

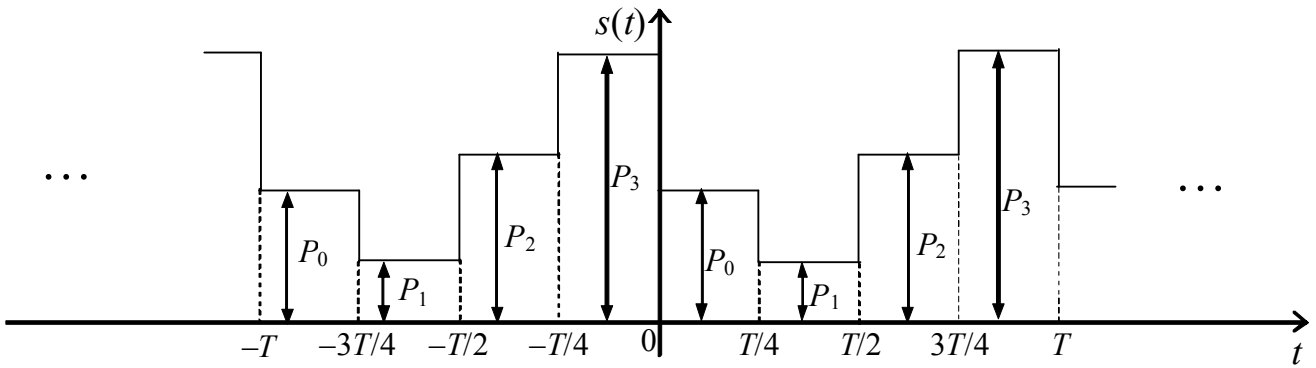


Рис. 1.8

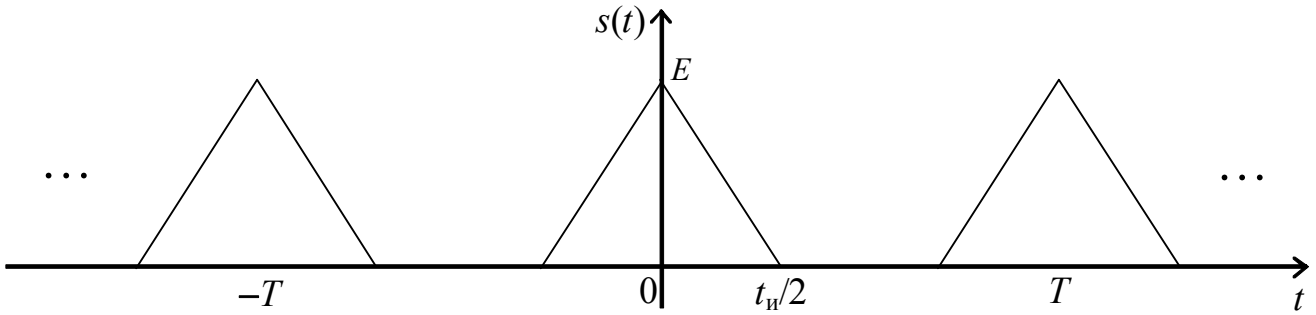


Рис. 1.9

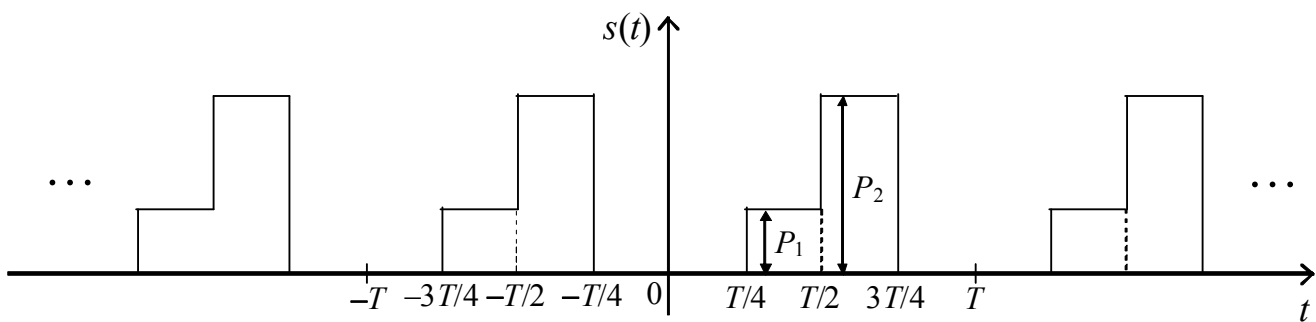


Рис. 1.10

Примечания:

1. Сигналы на рис. 1.5 и 1.6 представляют собой отрезки гармонических колебаний.
2. Значения $P_0 \dots P_3$ для сигналов на рис. 1.8 и 1.10 в различных вариантах задает преподаватель.

1.2. Указания к выполнению задания № 1

Теоретически спектр периодического сигнала определяется путем разложения его в гармонический ряд Фурье на интервале времени $(-\infty; \infty)$ [1-4]:

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_1 t + \theta_n), \quad (1.1)$$

где $a_0/2$ — постоянная составляющая; $\omega_1 = 2\pi/T$ — круговая частота сигнала; T — период сигнала A_n и θ_n — амплитуда и начальная фаза n -ой гармоники, рассчитываемые по формулам [1-4]:

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}; \quad (1.2)$$

$$\theta_n = \operatorname{Arctg} \frac{b_n}{a_n}. \quad (1.3)$$

Коэффициенты разложения a_n и b_n определяются по формулам [1-4]:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) \cos(n\omega_1 t) dt; \quad (1.4)$$

$$b_n = -\frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) \sin(n\omega_1 t) dt. \quad (1.5)$$

Решение задачи следует начинать с задания аналитического выражения для сигнала $s(t)$ на интервале времени, равном периоду T . Подставляя аналитическое выражение для $s(t)$ в формулы (1.4) и (1.5), рассчитайте коэффициенты разложения a_n и b_n , а затем по формулам (1.2) и (1.3) определите амплитуды и начальные фазы гармоник спектра.

Решение задачи для сигналов, показанных на рис. 1.1, 1.2, 1.5, 1.6 и 1.9, можно упростить, если воспользоваться свойством четности функции $s(t)$. Из соотношения (1.5) следует, что для четной функции $s(t)$ коэффициенты $b_n = 0$. Тогда $a_0/2$, A_n и θ_n можно рассчитать по более простым формулам [1-4]:

$$\frac{a_0}{2} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} s(t) dt; \quad (1.6)$$

$$A_n = |a_n| = \frac{4}{T} \left| \int_0^{T/2} s(t) \cos(n\omega_1 t) dt \right|; \quad (1.7)$$

$$\theta_n = \begin{cases} 0, & \text{при } a_n > 0; \\ \pi, & \text{при } a_n < 0. \end{cases} \quad (1.8)$$

Зависимости амплитуд и начальных фаз гармоник спектра от частоты называют спектром амплитуд $A_n(\omega)$ и спектром начальных фаз $\theta_n(\omega)$ соответственно.

Графики этих зависимостей называют спектрограммами амплитуд и начальных фаз.

При определении эффективной ширины спектра воспользуйтесь энергетическим критерием. В соответствии с этим критерием эффективная ширина спектра периодического сигнала — это полоса частот, в пределах которой сосредоточено 90% средней мощности этого сигнала. Сначала определите среднюю мощность сигнала без учета мощности постоянной составляющей по формуле [1-4]:

$$P_{\text{cp}} = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} [s(t)]^2 dt - \left(\frac{a_0}{2} \right)^2. \quad (1.9)$$

Средняя мощность, заключенная в составляющих спектра вплоть до k -ой гармоники, без учета мощности постоянной составляющей равна [1-4]:

$$P_k = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^k A_n^2. \quad (1.10)$$

Рассчитывая отношение P_k / P_{cp} при различных k , определите такое значение $k = k_{\text{эф}}$, для которого $P_k / P_{\text{cp}} \cong 0,9$. Тогда эффективная ширина спектра будет равна

$$\Delta\omega_{\text{эф}} = k\omega_1 \text{ или } \Delta f_{\text{эф}} = kf_1. \quad (1.11)$$

Проведите суммирование гармоник спектра с целью иллюстрации сходимости ряда Фурье к исходному сигналу. Рекомендуется рассмотреть этот процесс в динамике, увеличивая число гармоник до получения приемлемого результата.

После проведения расчетов на одном рисунке постройте спектрограммы амплитуд и начальных фаз сигнала в едином частотном масштабе друг под другом. Построение спектрограмм амплитуд и начальных фаз необходимо провести в полосе частот, превышающей эффективную полосу спектра в несколько раз.

2. ЗАДАНИЕ № 2

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕПЕРИОДИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

2.1. Условие

Проведите спектральный анализ импульсного сигнала (рис. 2.1...2.10). Постройте графики зависимости модуля и аргумента спектральной плотности от частоты. Определите эффективную ширину спектра. Исходные данные приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 — Исходные данные к заданию № 2

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сигнал (рис.)	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10
Начало отсчета	2	3	5	4	2	1	4	1	1	3
E , В	10	20	30	—	50	60	70	80	—	100
t_1 , мс	1	2	2	3	1	5	3	4	10	6
t_2 , мс	2	—	5	—	3	—	7	—	—	—

Продолжение таблицы 2.1

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Сигнал (рис.)	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10
Начало отсчета	5	1	3	2	1	2	5	2	2	1
E , В	100	90	80	—	60	50	40	300	—	10
t_1 , мс	2	3	1	5	2	7	2	3	8	4
t_2 , мс	5	—	3	—	4	—	6	—	—	—

Продолжение таблицы 2.1

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Сигнал (рис.)	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10
Начало отсчета	4	2	1	4	5	3	4	3	1	2
E , В	5	10	15	—	25	30	35	40	—	50
t_1 , мс	4	5	3	2	3	3	6	1	5	2
t_2 , мс	6	—	8	—	10	—	8	—	—	—

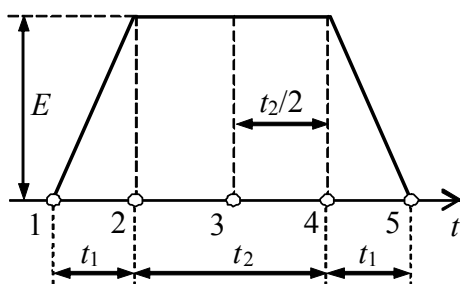


Рис. 2.1

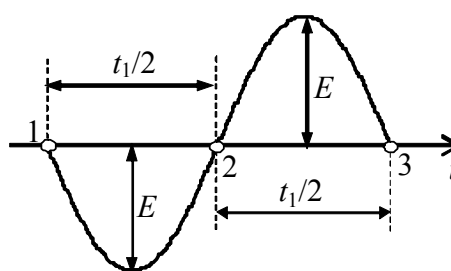


Рис. 2.2

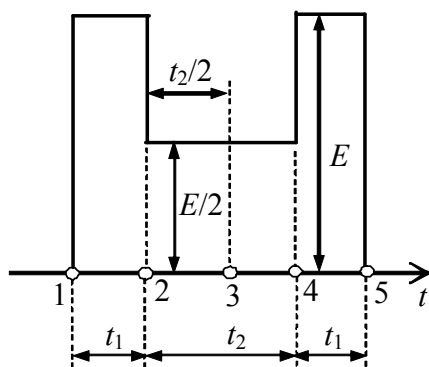


Рис. 2.3

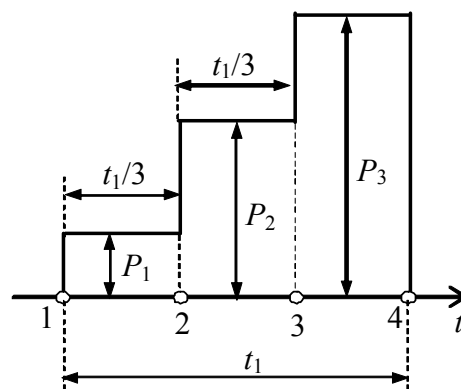


Рис. 2.4

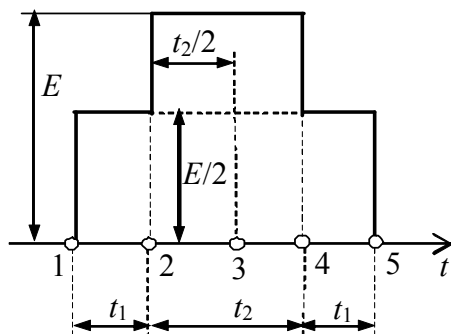


Рис. 2.5

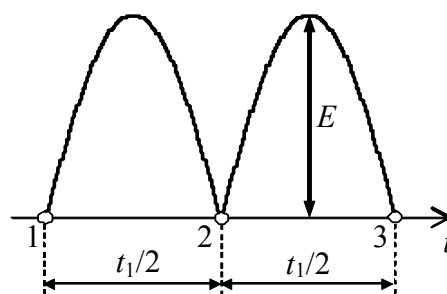


Рис. 2.6

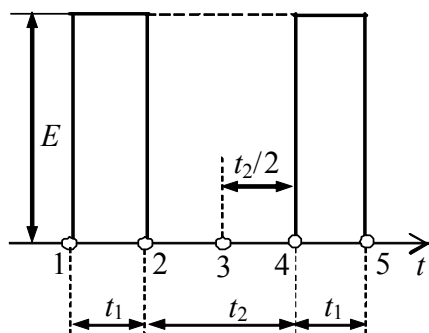


Рис. 2.7

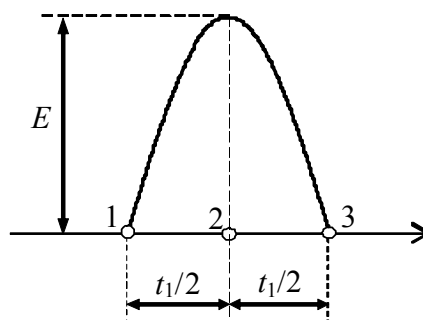


Рис. 2.8

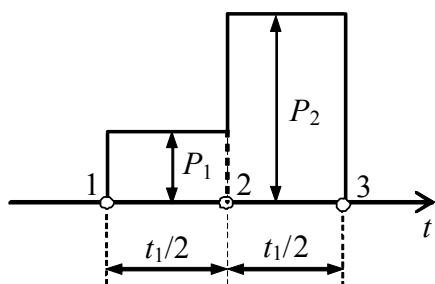


Рис. 2.9

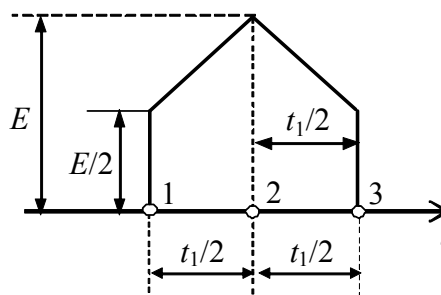


Рис. 2.10

Примечания:

1. Сигналы на рис. 2.2, 2.6, и 2.8 представляют собой отрезки гармонических колебаний.

2. Значения $P_1 \dots P_3$ для сигналов на рис. 2.4 и 2.9 в различных вариантах задает преподаватель.

2.2. Указания к выполнению задания № 2

Решение задачи сводится к применению прямого преобразования Фурье к сигналу $s(t)$, которое и является спектральной плотностью $\underline{S}(j\omega)$ этого сигнала [1-4]

$$\underline{S}(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j\omega t} dt . \quad (2.1)$$

Решение задачи следует начинать с задания аналитического выражения для сигнала $s(t)$ на бесконечном интервале времени. Подставив аналитическое выражение для $s(t)$ в формулу (2.1), выполните интегрирование. Эту процедуру следует выполнить численно, с помощью математического пакета программ. Рекомендуется также найти аналитический результат, прежде чем переходить к численным расчетам. Аналитическое интегрирование можно упростить, если сначала определить спектральную плотность вспомогательного сигнала $s_1(t)$, получаемого путем сдвига во времени исходного сигнала $s(t)$ так, чтобы сигнал $s_1(t)$ был четной (рис. 2.1, 2.3, 2.5 — 2.8, 2.10), либо — нечетной (рис. 2.2) функцией времени.

Если $s_1(t)$ — четная функция времени, то спектральная плотность представляет собой вещественную функцию частоты ω и определяется выражением [1-4]

$$\underline{S}_1(j\omega) = 2 \int_0^{\infty} s_1(t) \cos(\omega t) dt . \quad (2.2)$$

Если $s_1(t)$ — нечетная функция времени, то спектральная плотность представляет собой мнимую функцию частоты ω и определяется выражением [1-4]

$$\underline{S}_1(j\omega) = -2j \int_0^{\infty} s_1(t) \sin(\omega t) dt . \quad (2.3)$$

Из (2.2) и (2.3) следует, что в этих случаях достаточно задать сигнал $s_1(t)$ аналитически на интервале интегрирования от 0 до ∞ .

Зная спектральную плотность $\underline{S}_1(j\omega)$, можно определить спектральную плотность $\underline{S}(j\omega)$ исходного сигнала $s(t)$, используя теорему сдвига [1-4] и учитывая временной сдвиг вспомогательного сигнала $s_1(t)$ относительно исходного.

При определении эффективной ширины спектра воспользуйтесь энергетическим критерием. В соответствии с этим критерием эффективная ширина спектра непериодического сигнала — это полоса частот, в пределах которой сосредоточено 90% энергии этого сигнала. Сначала определите полную энергию сигнала по формуле [1-4]:

$$\mathcal{E} = \int_{-\infty}^{\infty} s^2(t) dt . \quad (2.4)$$

В соответствии с теоремой Парсеваля энергия, сосредоточенная в полосе частот от 0 до $\Delta\omega$, определяется соотношением

$$\mathcal{E}_{\Delta\omega} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\Delta\omega} S^2(\omega) d\omega. \quad (2.5)$$

Запишите отношение $\mathcal{E}_{\Delta\omega}/\mathcal{E}$ и, изменяя верхний предел интегрирования в (2.5), добейтесь такого значения $\Delta\omega = \Delta\omega_{\text{эф}}$, для которого выполняется равенство $\mathcal{E}_{\Delta\omega}/\mathcal{E} = 0,9$. Это значение и будет эффективной шириной спектра.

ВНИМАНИЕ!!!

Для выполнения задания № 3 Вам потребуются результаты задания № 2.

3. ЗАДАНИЕ № 3

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

3.1. Условие

Определите автокорреляционную функцию сигнала, постройте ее график и определите энергетический спектр этого сигнала. Исходные данные соответствуют заданию № 2.

3.2. Указания к выполнению задания № 3

Для количественного определения степени взаимосвязи сигнала $s(t)$ и его сдвинутой копии $s(t + \tau)$ принято использовать скалярное произведение этих функций, которое называют также автокорреляционной функцией (АКФ) детерминированного сигнала. Нахождение этой функции сводится к проведению интегрирования в соответствии с формулой [1-4]

$$B(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)s(t + \tau)dt. \quad (3.1)$$

Рекомендуется получить аналитическое решение, прежде чем осуществлять численные расчеты. Решение задачи следует начинать с построения графиков сигнала $s(t)$ и его копии $s(t + \tau)$, сдвинутой на интервал τ . Далее следует провести интегрирование. Нижний и верхний пределы интегрирования определяются областью перекрытия сигнала и его копии.

Наиболее просто задача определения корреляционной функции решается для сигналов, показанных на рис. 2.2 и 2.8, поскольку на интервале интегрирования эти сигналы заданы в виде одной непрерывной функции. Для других сигналов следует учесть, что они заданы кусочно-непрерывным способом. Поэтому на различных интервалах τ корреляционная функция будет задаваться различными кусочно-непрерывными функциями.

На каждом из этих интервалов следует провести отдельные построения исходного сигнала $s(t)$ и его сдвинутой копии сигнала $s(t + \tau)$, определить пределы интегрирования и выполнить расчёты. После этого следует построить график АКФ, обращая внимание на совпадение значений этой функции на границах интервалов.

Следует помнить, что АКФ является четной функцией и при любом значении временного сдвига τ модуль этой функции не превышает энергии сигнала.

Энергетический спектр сигнала определяется как квадрат модуля его спектральной плотности:

$$W(\omega) = |\underline{S}(j\omega)|^2. \quad (3.2)$$

Используя выражение для спектральной плотности, полученное при выполнении задания №2, рассчитайте и постройте график энергетического спектра сигнала.

Рассчитайте АКФ сигнала, исходя из энергетического спектра. Как известно АКФ представляет собой обратное преобразование Фурье от квадрата модуля спек-

тральной плотности сигнала [1-4]:

$$B(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |\underline{S}(j\omega)|^2 e^{j\omega\tau} d\omega = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} |\underline{S}(j\omega)|^2 \cos(\omega\tau) d\omega. \quad (3.3)$$

Расчет по формуле (3.3) на ЭВМ потребует определения верхнего предела интегрирования, поскольку при численном интегрировании он не может быть бесконечным. Выбор этого предела следует осуществлять, ограничивая энергетический спектр. Изменяя верхний предел, добейтесь малой изменчивости результата. Это и будет свидетельствовать о правильности выбора верхнего предела. Естественно, что в данном случае результат будет приближенным. В заключение следует сравнить полученный результат с тем, который был найден при расчете по формуле (3.1).

4. ЗАДАНИЕ № 4

РАДИОСИГНАЛЫ С АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

4.1. Условие

4.1.1. Запишите аналитическое выражение для радиосигнала с тональной амплитудной модуляцией. Постройте временную, векторную и спектральную диаграммы. Определите значение амплитуды $A(t)$ и мгновенное значение радиосигнала $a(t)$ в момент времени $t = 0$. Укажите эти значения на временной и векторной диаграммах. Рассчитайте ширину спектра. Исходные данные, приведены в таблице 4.1.

4.1.2. Запишите аналитическое выражение и постройте временную диаграмму радиоимпульса, соответствующего модулирующему сигналу из задания № 2. Рассчитайте и постройте спектрограмму модуля радиоимпульса. Определите эффективную ширину спектра радиоимпульса. Запишите выражение и постройте график АКФ радиоимпульса. Несущую частоту для радиоимпульса выбрать из таблицы 4.1.

Таблица 4.1 — Исходные данные к заданию № 4

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Амплитуда несущей A_0 , В	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Несущая частота f_0 , МГц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коэффициент модуляции M , %	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
Частота модуляции F , кГц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Нач. фаза нес. колеб. θ_0 , рад	$-\pi$	$\pi/2$	$\pi/4$	π	$-\pi/6$	0	$-\pi/4$	$\pi/2$	$\pi/4$	$-\pi/3$
Нач. фаза мод. колеб. ν , рад.	$\pi/6$	$\pi/3$	$-\pi/2$	$2\pi/3$	$-\pi$	$\pi/4$	$\pi/2$	$-3\pi/4$	π	0

Продолжение таблицы 4.1

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Амплитуда несущей A_0 , В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Несущая частота f_0 , МГц	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Коэффициент модуляции M , %	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Частота модуляции F , кГц	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Нач. фаза нес. колеб. θ_0 , рад.	π	$2\pi/3$	$\pi/6$	$\pi/8$	$-\pi/2$	0	$-\pi/4$	$-\pi/6$	$-\pi/8$	$\pi/6$
Нач. фаза мод. колеб. ν , рад.	$-\pi/2$	$\pi/6$	$-\pi/8$	$\pi/4$	$-\pi/6$	$\pi/8$	0	$3\pi/4$	$-\pi$	$\pi/8$

Продолжение таблицы 4.1

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Амплитуда несущей A_0 , В	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Несущая частота f_0 , МГц	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Коэффициент модуляции M , %	40	50	60	70	80	90	100	90	80	70
Частота модуляции F , кГц	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
Нач. фаза нес. колеб. θ_0 , рад.	$-\pi/4$	$-\pi/2$	$3\pi/4$	$\pi/6$	$-\pi/3$	$\pi/2$	$-\pi$	$-\pi/4$	$-\pi/6$	$\pi/5$
Нач. фаза мод. колеб. ν , рад.	$-\pi/6$	$\pi/5$	$-\pi/3$	π	$-\pi/2$	$-\pi/4$	0	$3\pi/4$	$-\pi$	$\pi/8$

4.2. Указания к выполнению задания № 4

Аналитическое выражение радиосигнала с тональной амплитудной модуляцией (АМ) следует записать в канонической (общепринятой) форме [1-4]:

$$a(t) = A_0[1 + M \cos(\Omega t + \nu)]\cos(\omega_0 t + \theta_0) . \quad (4.1)$$

Следует иметь в виду, что спектр радиосигнала с АМ содержит только высокочастотные составляющие (несущая частота и две боковые полосы частот) и не содержит в явном виде составляющих модулирующего сигнала.

При изображении временной диаграммы радиосигнала необходимо пунктиром построить огибающую, а несущую частоту f_0 следует уменьшить (условно), чтобы на графике наблюдались высокочастотные осцилляции.

При построении векторной диаграммы радиосигнала с тональной АМ следует учитывать знаки начальных фаз несущего и модулирующего колебаний. За положительное направление принимают направление против часовой стрелки. Обязательно следует на диаграмме указать направление вращения векторов. При этом необходимо учитывать, что вектор верхней боковой составляющей всегда вращается относительно вектора несущей против часовой стрелки, а вектор нижней боковой составляющей — по часовой стрелке.

Определите мгновенное значение радиосигнала $a(0)$ и огибающей $A(0)$, положив в выражении (4.1) $t = 0$. Следует проверить соответствие полученных значений длинам суммарного вектора — $A(0)$ и его проекции на горизонтальную ось — $a(0)$, изображенных на векторной диаграмме. Следует также указать значения $A(0)$ и $a(0)$ на временной диаграмме радиосигнала.

Аналитическое выражение для радиоимпульса можно записать в виде [1-4]:

$$a(t) = [A_0 + k_{\text{ам}}s(t)]\cos(\omega_0 t + \theta_0) , \quad (4.2)$$

где $k_{\text{ам}}$ — коэффициент пропорциональности; $s(t)$ — модулирующий сигнал.

Для однополярного модулирующего сигнала величину A_0 можно положить равной нулю, а коэффициент пропорциональности $k_{\text{ам}}$ выбрать произвольно. Для двуполярного модулирующего сигнала (см. рис. 2.2) коэффициент пропорциональности $k_{\text{ам}}$ следует подобрать, исходя из условия $k_{\text{ам}}s(t) \leq A_0$, чтобы исключить эф-

фekt перемодуляции. После построения временной диаграммы радиоимпульса убедитесь, что верхняя и нижняя огибающие повторяют форму модулирующего сигнала.

Спектральную плотность радиоимпульса $A(j\omega)$ в области физических (положительных) частот можно определить через спектральную плотность модулирующего сигнала $\underline{S}(j\omega)$ по следующей формуле [1-4]

$$A(j\omega) = \pi A_0 e^{j\theta_0} \delta(\omega - \omega_0) + \frac{k_{\text{ам}}}{2} e^{j\theta_0} \underline{S}[j(\omega - \omega_0)] . \quad (4.3)$$

Первый член в этой формуле представляет собой спектральную плотность несущего колебания (δ -функция). Этот член отсутствует, если $A_0 = 0$. Второй член — это по существу смещенная вдоль оси частот на величину ω_0 спектральная плотность модулирующего импульсного сигнала $s(t)$, которая была рассчитана при выполнении задания № 2. Поэтому достаточно рассчитать и построить спектрограмму модуля радиоимпульса в окрестности несущей частоты ω_0 . При этом полосу частот (слева и справа от несущей) следует выбрать, исходя из ширины спектра модулирующего сигнала (см. задание № 2).

Расчет АКФ радиоимпульса $B_a(\tau)$ выполните по формуле [1-4]:

$$B_a(\tau) \approx \frac{1}{2} \cos(\omega_0 \tau) B_s(\tau) , \quad (4.4)$$

где $B_s(\tau)$ — АКФ модулирующего сигнала (см. задание № 2).

5. ЗАДАНИЕ № 5

РАДИОСИГНАЛЫ С УГЛОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

5.1. Условие

Запишите выражения для частоты, полной фазы и мгновенного значения радиосигнала с тональной угловой модуляцией. Определите величину девиации частоты, а также максимальное и минимальное значения частоты радиосигнала. Рассчитайте амплитуды спектральных составляющих и постройте спектрограмму амплитуд. Определите эффективную ширину спектра. Постройте графики зависимостей $\omega(t)$; $\theta(t)$; $a(t)$. Исходные данные приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 — Исходные данные к заданию № 5

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Амплитуда несущей A_0 , В	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Несущая частота f_0 , МГц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Индекс модуляции m , рад.	2	3	4	0,5	6	7	0,8	4	5	6
Частота модуляции F , кГц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Нач. фаза нес. колеб. θ_0 , рад.	$3\pi/4$	$\pi/6$	$-\pi/4$	$-\pi/6$	$\pi/2$	$-\pi/2$	$4\pi/3$	$3\pi/2$	π	$-\pi/3$
Нач. фаза мод. колеб. ν , рад.	$-\pi/4$	$-\pi/2$	$\pi/4$	$2\pi/3$	$-\pi$	$3\pi/4$	$-\pi/6$	$2\pi/3$	$4\pi/3$	0

Продолжение таблицы 5.1

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Амплитуда несущей A_0 , В	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Несущая частота f_0 , МГц	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Индекс модуляции m , рад.	6	4	0,7	5	8	6	9	7	10	0,5
Частота модуляции F , кГц	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Нач. фаза нес. колеб. θ_0 , рад.	$\pi/6$	$\pi/4$	$2\pi/3$	$\pi/2$	π	$-\pi/2$	$-\pi/3$	$-\pi/4$	$-\pi/6$	$-\pi$
Нач. фаза мод. колеб. ν , рад.	0	$\pi/2$	$-\pi$	$-\pi/3$	$2\pi/3$	$-\pi/4$	π	$4\pi/3$	$-\pi/6$	$3\pi/4$

Продолжение таблицы 5.1

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Амплитуда несущей A_0 , В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Несущая частота f_0 , МГц	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Индекс модуляции m , рад.	0,9	7	0,8	6	0,7	5	0,6	4	0,5	3
Частота модуляции F , кГц	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Нач. фаза нес. колеб. θ_0 , рад.	0	$\pi/2$	$-\pi$	$-\pi/3$	$2\pi/3$	$-\pi/4$	π	$4\pi/3$	$-\pi/6$	$3\pi/4$
Нач. фаза мод. колеб. ν , рад.	$\pi/6$	$\pi/4$	$\pi/3$	$\pi/2$	π	$-\pi/2$	$-\pi/3$	$-\pi/4$	$\pi/6$	$-\pi$

Примечание:

Вариантам с четными номерами соответствует частотная модуляция (ЧМ), а с нечетными — фазовая модуляция (ФМ).

5.2. Указания к выполнению задания № 5

Аналитическое выражение для модулирующего сигнала $s(t)$ при тональной модуляции имеет вид [1-4]

$$s(t) = S_0 \cos(\Omega t + \nu). \quad (5.1)$$

Рассмотрим случай ЧМ. Модулируемым параметром в этом случае является частота, приращение которой $\Delta\omega(t)$ изменяется пропорционально модулирующему сигналу (5.1). При этом частота, полная фаза и мгновенное значение радиосигнала определяются следующими формулами [1-4]:

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega(t) = \omega_0 + \omega_d \cos(\Omega t + \nu); \quad (5.2)$$

$$\psi(t) = \omega_0 t + m \sin(\Omega t + \nu) + \theta_0; \quad (5.3)$$

$$a(t) = A_0 \cos \psi(t) = A_0 \cos[\omega_0 t + m \sin(\Omega t + \nu) + \theta_0]. \quad (5.4)$$

В формуле (5.2) ω_d — это девиация частоты, определяемая соотношением

$$\omega_d = 2\pi F m. \quad (5.5)$$

Рассмотрим случай ФМ. Модулируемым параметром в случае ФМ является полная фаза, приращение которой $\theta(t)$ изменяется пропорционально модулирующему сигналу (5.1). При этом полная фаза, частота и мгновенное значение радиосигнала определяются формулами [1-4]:

$$\psi(t) = \omega_0 t + \theta(t) + \theta_0 = \omega_0 t + m \cos(\Omega t + \nu) + \theta_0; \quad (5.6)$$

$$\omega(t) = \omega_0 - m\Omega \sin(\Omega t + \nu) = \omega_0 - \omega_d \sin(\Omega t + \nu); \quad (5.7)$$

$$a(t) = A_0 \cos \psi(t) = A_0 \cos[\omega_0 t + m \cos(\Omega t + \nu) + \theta_0]. \quad (5.8)$$

Максимальное и минимальное значения частоты при ЧМ и ФМ определите по формулам:

$$\omega_{\max} = \omega_0 + \omega_d ;$$

$$\omega_{\min} = \omega_0 - \omega_d .$$

Амплитуды составляющих спектра при ЧМ и ФМ рассчитайте с использованием формулы [1-4]:

$$U_n = A_0 |J_n(m)| , \quad (5.9)$$

где $J_n(m)$ — значение функции Бесселя первого рода n -го порядка от аргумента m .

Значения функций Бесселя вычислите с помощью математического пакета прикладных программ.

На основании расчетов постройте спектрограмму амплитуд и определите эффективную ширину спектра. Для расчета эффективной ширины спектра воспользуйтесь энергетическим критерием. Обратите внимание на то, что с ростом индекса модуляции расширяется полоса частот, занимаемая сигналом. При больших индексах модуляции ($m > 2$) воспользуйтесь приближенной формулой для оценки эффективной ширины спектра [1, 3] и сравните результат с рассчитанным значением.

6. ЗАДАНИЕ № 6

ЧАСТОТНЫЕ И ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

6.1. Условие

6.1.1. Определите комплексный коэффициент передачи (ККП), АЧХ и ФЧХ цепи, изображенной на рис. 6.1. Постройте АЧХ и ФЧХ. Проведите качественный анализ схемы в области низких (НЧ) и высоких (ВЧ) частот. Сделайте выводы о возможной области применения цепи. Исходные данные приведены в таблице 6.1.

6.1.2. Определите и постройте импульсную $h(t)$ и переходную $g(t)$ характеристики цепи. Дайте качественный анализ этих характеристик в области малых и больших времен.

Примечание: Количественные расчеты провести, полагая, что сопротивление R измеряется в омах, индуктивность L — в миллигенри, емкость C — в нанофарадах, а их численные значения равны номеру варианта.

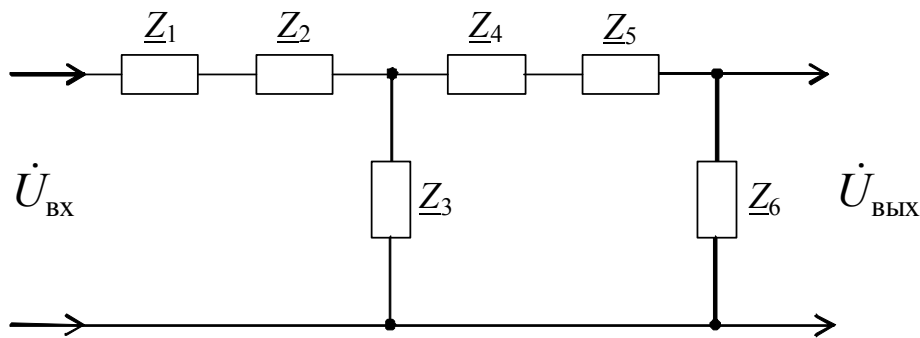


Рис. 6.1

Таблица 6.1 — Исходные данные к заданию № 6

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\underline{Z}_1$	—	—	—	—	—	R	—	—	—	—
$\underline{Z}_2$	R	R	C	R	R	C	L	R	L	R
$\underline{Z}_3$	R	R	C	L	L	L	L	R	L	R
$\underline{Z}_4$	—	—	R	—	—	R	—	—	R	—
$\underline{Z}_5$	R	L	C	R	L	C	R	R	L	C
$\underline{Z}_6$	L	R	L	L	R	L	C	C	C	R

Продолжение таблицы 6.1

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\underline{Z}_1$	—	—	—	—	R	—	—	—	—	—
$\underline{Z}_2$	R	C	R	L	L	C	L	L	L	L
$\underline{Z}_3$	C	C	C	L	C	C	L	L	R	R
$\underline{Z}_4$	—	R	—	—	R	—	—	R	—	—
$\underline{Z}_5$	R	L	C	R	L	C	R	C	L	R
$\underline{Z}_6$	C	C	R	C	C	R	L	L	R	L

Продолжение таблицы 6.1

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$\underline{Z}_1$	—	—	—	R	—	—	—	—	—	R
$\underline{Z}_2$	R	C	L	L	C	C	R	C	C	C
$\underline{Z}_3$	C	C	L	C	C	R	L	R	C	L
$\underline{Z}_4$	R	—	—	R	—	—	R	—	—	R
$\underline{Z}_5$	C	R	L	C	R	C	C	R	L	L
$\underline{Z}_6$	L	L	R	L	C	R	L	C	R	C

6.2. Указания к выполнению задания № 6

Для определения ККП сначала определите комплексную амплитуду выходного напряжения $\dot{U}_{\text{вых}}$, полагая комплексную амплитуду входного напряжения $\dot{U}_{\text{вх}}$ известной. Эту задачу можно решить любым методом, например, методом узловых напряжений, методом контурных токов, методом последовательного преобразования схемы с применением правила делителя напряжения и др. После этого определяют ККП по формуле

$$K(j\omega) = \frac{\dot{U}_{\text{вых}}}{\dot{U}_{\text{вх}}}. \quad (6.1)$$

Выражение (6.1) преобразуйте к виду

$$K(j\omega) = \frac{a + jb}{c + jd}. \quad (6.2)$$

После этого определяется модуль $K(\omega)$ и аргумент $\varphi(\omega)$ ККП, которые и являются АЧХ и ФЧХ данной цепи соответственно. Взятие модуля и аргумента ККП следует проводить, применяя известные правила:

— модуль отношения двух комплексных чисел равен отношению модулей числителя и знаменателя, то есть с учетом (6.2)

$$|K(j\omega)| = K(\omega) = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{\sqrt{c^2 + d^2}}; \quad (6.3)$$

— аргумент отношения двух комплексных чисел равен разности аргументов числителя φ_1 и знаменателя φ_2 , то есть с учетом (6.2)

$$\varphi(\omega) = \varphi_1 - \varphi_2 = \text{Arctg}\left(\frac{b}{a}\right) - \text{Arctg}\left(\frac{d}{c}\right). \quad (6.4)$$

Подставив в (6.3) и (6.4) численные значения параметров элементов, следует рассчитать АЧХ и ФЧХ в диапазоне частот от 0 до ∞ . По результатам расчета следует построить графики АЧХ и ФЧХ на одном рисунке друг под другом, используя одинаковый частотный масштаб. При построении графиков АЧХ и ФЧХ возможно применение логарифмического масштаба по оси частот. При расчетах в пакете прикладных программ «MathCAD» рекомендуется применять оператор «angle», который позволяет определить аргумент комплексного числа в диапазоне от 0 до 2π .

По характеру АЧХ и ФЧХ сделайте вывод о том, к какому классу устройств следует отнести данную цепь, а также определите характерные параметры цепи (резонансные частоты, частоты среза и др.).

Импульсная характеристика $h(t)$ и передаточная функция $K(p)$ цепи связаны парой преобразований Лапласа. При этом импульсная характеристика является оригиналом, а передаточная функция — изображением

$$h(t)_{\bullet} = \overset{\bullet}{K(p)} . \quad (6.5)$$

Переходную характеристику $g(t)$ можно определить как интеграл от импульсной характеристики

$$g(t) = \int_0^t h(\tau) d\tau , \quad (6.6)$$

либо в операторной форме

$$g(t)_{\bullet} = \overset{\bullet}{\frac{K(p)}{p}} . \quad (6.7)$$

При определении $h(t)$ и $g(t)$ следует использовать таблицу соответствия оригиналов и изображений, либо математический пакет прикладных программ.

7. ЗАДАНИЕ № 7

РАСЧЕТ РЕАКЦИИ ЛИНЕЙНОЙ ЦЕПИ НА ПРОИЗВОЛЬНОЕ ДЕТЕРМИНИРОВАННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

7.1. Условие

На вход схемы (рис. 7.1...7.10) подано напряжение $u_{\text{вх}}(t)$ (рис. 7.11...7.14). Рассчитайте выходное напряжение для двух значений параметра цепи: $\tau_1 = 1$ мсек и $\tau_2 = 10$ мсек. Постройте временные диаграммы входного и выходного напряжений (друг под другом), используя одинаковые масштабы по осям координат. Сделайте вывод о характере выходного процесса. Исходные данные приведены в таблице 7.1.

Примечания:

1. Для сигналов, изображенных на рис. 7.11, 7.13 и 7.14, принять $t_{\text{н}} = 5$ мс.
2. Параметр цепи τ определяется для RL -цепи как L/R ; для RC -цепи как RC ; для RLC -цепи как $2L/R$;
3. Процесс в схемах на рис. 7.7 и 7.8, считать колебательным (высокодобротный контур), выбрав частоту $\omega_0 \gg \alpha$, где $\alpha = 1/\tau$ — затухание контура.

Таблица 7.1 — Исходные данные к заданию № 7

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Схема (рис.)	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	7.10
Сигнал (рис.)	7.11	7.12	7.13	7.14	7.11	7.12	7.13	7.14	7.11	7.12

Продолжение таблицы 7.1

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Схема (рис.)	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	7.10
Сигнал (рис.)	7.13	7.14	7.11	7.12	7.13	7.14	7.11	7.12	7.13	7.14

Продолжение таблицы 7.1

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Схема (рис.)	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	7.10
Сигнал (рис.)	7.11	7.12	7.13	7.14	7.11	7.12	7.13	7.14	7.11	7.12

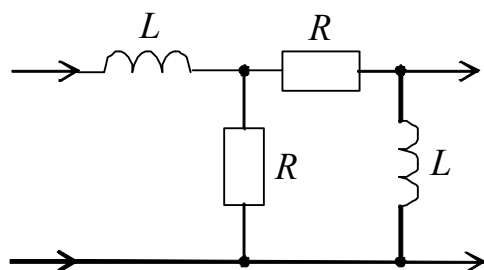


Рис. 7.1

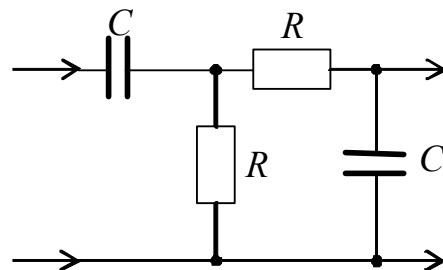


Рис. 7.2

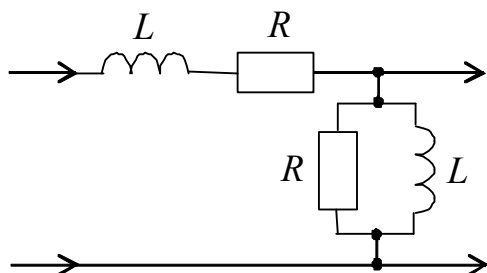


Рис. 7.3

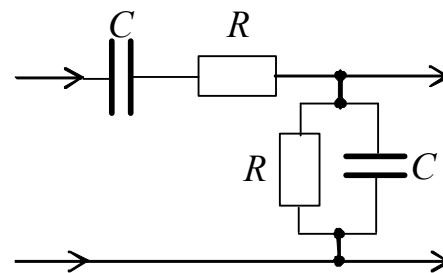


Рис. 7.4

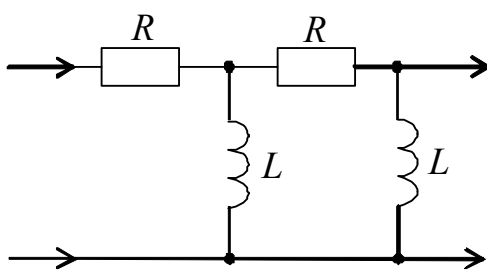


Рис. 7.5

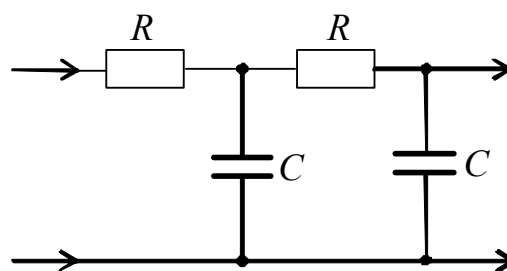


Рис. 7.6

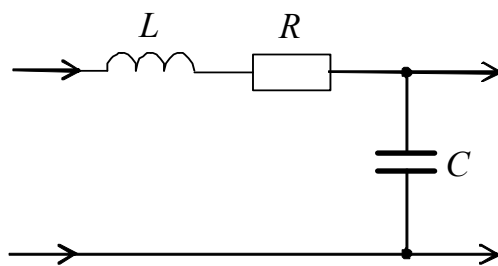


Рис. 7.7

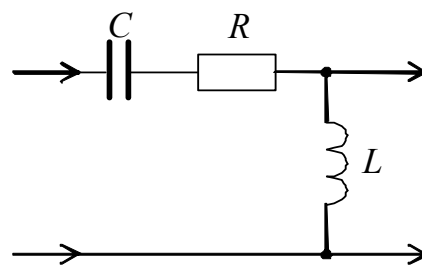


Рис. 7.8

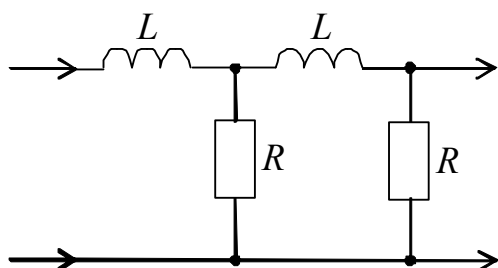


Рис. 7.9

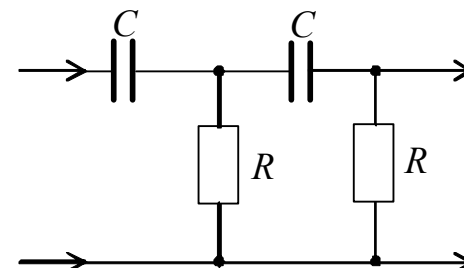


Рис. 7.10

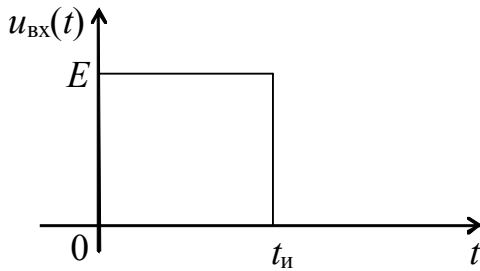


Рис. 7.11

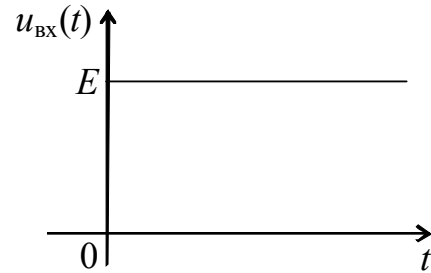


Рис. 7.12

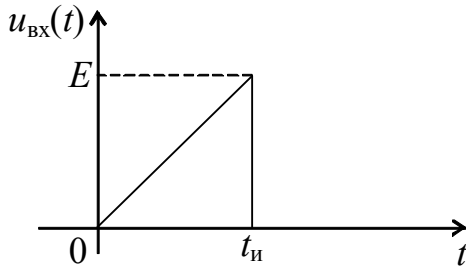


Рис. 7.13

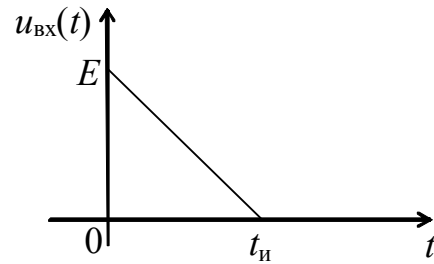


Рис. 7.14

7.2. Указания к выполнению задания № 7

Задайте напряжение $u_{\text{BX}}(t)$ аналитически на интервале времени от 0 до ∞ . Это, удобно сделать, представив это напряжение как сумму более простых составляющих, изображения которых известны, а именно:

— напряжение на рис. 7.11

$$u_{\text{BX}}(t) = E \cdot 1(t) - E \cdot 1(t - t_n); \quad (7.1)$$

— напряжение на рис. 7.12

$$u_{\text{BX}}(t) = E \cdot 1(t); \quad (7.2)$$

— напряжение на рис. 7.13:

$$u_{\text{BX}}(t) = \frac{E}{t_n} t \cdot 1(t) - E \cdot 1(t - t_n) - \frac{E}{t_n} (t - t_n) \cdot 1(t - t_n); \quad (7.3)$$

— напряжение на рис. 7.14:

$$u_{\text{BX}}(t) = E \cdot 1(t) - \frac{E}{t_n} t \cdot 1(t) + \frac{E}{t_n} (t - t_n) \cdot 1(t - t_n), \quad (7.4)$$

где $1(t)$ — единичная функция Хевисайда.

Используя (7.1)...(7.4), постройте с использованием пакета математических прикладных программ временную диаграмму входного напряжения и убедитесь, что она соответствует заданию (рис. 7.1...7.10).

Запишите изображение входного напряжения $U_{\text{BX}}(p)$, как сумму изображений соответствующих составляющих, учитывая что:

$$1(t) \bullet = \frac{1}{p}; \quad (7.5)$$

$$t \cdot 1(t) \cdot = \frac{1}{p^2} . \quad (7.6)$$

При этом учтите, что в соответствии с теоремой сдвига, при запаздывании оригинала на время $t = t_{\text{и}}$, изображение следует умножить на множитель $\exp(-pt_{\text{и}})$.

Определите передаточную функцию цепи $K(p)$. Это целесообразно сделать, применив правило делителя напряжения, так как цепи достаточно просты.

Рассчитайте изображение выходного напряжения $U_{\text{вых}}(p)$ по формуле [1-4]:

$$U_{\text{вых}}(p) = U_{\text{вх}}(p)K(p) . \quad (7.7)$$

При этом изображение выходного напряжения запишется в виде суммы изображений. Реакцию цепи найдите путем обратного преобразования Лапласа от изображения выходного сигнала $U_{\text{вых}}(p)$. Для этого воспользуйтесь таблицей соответствия [3], либо пакетом прикладных программ. В результате получите сумму оригиналов, каждый из которых представляет реакцию цепи на каждую из составляющих входного напряжения.

В заключении рассчитайте и постройте временные диаграммы выходного напряжения при двух значениях параметра цепи τ .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы / И.С. Гоноровский. — М.: Дрофа, 2006. — 720 с.
2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / С.И. Баскаков. — М.: Высшая школа, 2005. — 464 с.
3. Гимпилевич, Ю.Б. Сигналы и процессы в радиотехнике. — Ч. 1: Учеб. Пособие / Ю.Б. Гимпилевич. — Севастополь : Изд-во СевНТУ, 2003. — 272 с.
4. Каганов В.И. Радиотехнические цепи и сигналы: компьютеризированный курс [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. подгот. дипломир. спец. "Радиотехника" / В.И. Каганов. — М. : Форум : Инфра — М, 2012. — 432 с. : ил.
5. Слёзкин, В.Г. Оформление текстовых работ: методические указания / В.Г. Слёзкин, П.П. Ермолов. — Севастополь : Изд-во СевГУ, 2015. — 19 с.