

**Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет
Факультет морских технологий и судоходства
Кафедра судоходства и безопасности судоходства**



РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

**Контрольные задания
и методические рекомендации
по выполнению контрольной работы
для студентов заочной формы обучения
направления 6.070104 — морской и речной транспорт**

**Севастополь
2014**

УДК 621.375

Радиотехника и электроника: контрольные задания и методические рекомендации по выполнению контрольной работы для студентов заочной формы обучения направления 6.070104 — морской и речной транспорт / сост. **Афонин И.Л., Гимпилевич Ю.Б.** — Севастополь: изд-во СевНТУ, 2014. — 18 с.

Целью методической разработки является оказание помощи студентам заочной формы обучения в выполнении контрольной работы по дисциплине «Радиотехника и электроника», а также в получении ими теоретических знаний и практических навыков использования радиотехники и электроники в вопросах морской радиосвязи и радионавигации.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры судовождения и безопасности судоходства факультета морских технологий и судовождения протокол № 4 от **03 октября 2013 г.**

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методического пособия по выполнению контрольной работы студентами заочной формы обучения.

Рецензент: старший преподаватель кафедры судовождения и безопасности судоходства, штурман дальнего плавания, общий оператор ГМССБ, радиооператор 1 класса **Боков Г.В.**

Ответственный за выпуск: и.о. заведующего кафедрой судовождения и безопасности судоходства, канд. техн. наук, доцент **Подпорин С.А.**

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Правила оформления контрольной работы	5
2. Контрольные задания	6
2.1. Контрольное задание № 1	6
2.2. Контрольное задание № 2	6
2.3. Контрольное задание № 3	7
2.4. Контрольное задание № 4	8
2.5. Контрольное задание № 5	8
3. Методические рекомендации к выполнению контрольных заданий ..	9
3.1. Контрольное задание № 1	9
3.2. Контрольное задание № 2	11
3.3. Контрольное задание № 3	14
3.4. Контрольное задание № 4	14
3.5. Контрольное задание № 5	15
Библиографический список	18

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Радиотехника и электроника» посвящена изучению теории радиотехнических сигналов, их преобразованию в линейных и нелинейных цепях, основных радиотехнических процессов.

После изучения дисциплины студент **должен знать**:

- классификацию и математические модели сигналов;
- основные характеристики детерминированных и случайных сигналов;
- основы спектрального и корреляционного анализа детерминированных и случайных сигналов;
- основы теории дискретных сигналов;
- методы преобразования сигналов в линейных и нелинейных цепях;
- основные радиотехнические процессы: усиление, фильтрацию, модуляцию, выпрямление, детектирование, преобразование частоты и др.;
- принципы генерирования гармонических сигналов;
- методы борьбы с шумами и помехами.

После изучения дисциплины студент **должен уметь**:

- рассчитывать спектральные и временные характеристики аналоговых и дискретных сигналов;
- рассчитывать частотные и временные характеристики линейных радиотехнических цепей;
- пользоваться методиками расчетов функциональных радиотехнических узлов.

В настоящих методических рекомендациях систематизированы и обобщены основные понятия дисциплины, знание которых необходимо для усвоения физической стороны излагаемых в теоретическом курсе процессов и для обсуждения смысла полученных результатов. Контрольные задания составлены таким образом, что перед решением задач студент **должен кратко** ответить на теоретические вопросы.

1. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

1.1. По дисциплине «Радиотехника и электроника» выполняется четыре контрольных задания.

1.2. Выбор варианта задания производится по последней цифре зачетной книжки. Цифре «0» соответствует десятый вариант.

1.3. Контрольное задание выполняется в отдельной ученической тетради или на листах формата А4 с одной стороны.

1.4. Все графики выполняются на миллиметровой бумаге, которая вклеивается в соответствующих местах работы или на ПК в одном из прикладных пакетов программ.

1.5. Рисунки и построения следует выполнять простым карандашом с применением линейки. При построении зависимостей допускается применение цветной пасты, фломастеров и др. Использование ПК только приветствуется. Все зависимости выполняются в выбранном масштабе.

1.6. При ответах на теоретические вопросы и при использовании готовых выражений необходимы ссылки на библиографические источники. Ссылки даются в квадратных скобках: $[n]$, где n — порядковый номер источника в библиографическом списке, который оформляется в соответствии с требованиями ЕСКД и приводится в конце работы.

1.7. Расчеты должны сопровождаться подробными пояснениями и выкладками, а ответы на теоретические вопросы должны быть краткими и содержать суть излагаемого материала.

2. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

2.1. Контрольное задание № 1

«Спектральный анализ периодических сигналов»

Вопрос. Дайте определение спектра сигнала. Поясните структуру спектра периодического сигнала и методы его расчета.

Задача. Рассчитайте спектр периодической последовательности прямоугольных импульсов с заданной скважностью, приведенной на рис. 2.1. Постройте спектрограмму амплитуд. Определите эффективную ширину спектра. Исходные данные приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 — Исходные данные для расчета спектра периодического сигнала

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Скважность N	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Амплитуда E , В	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Период T , мкс	5	10	15	20	25	30	40	50	60	100

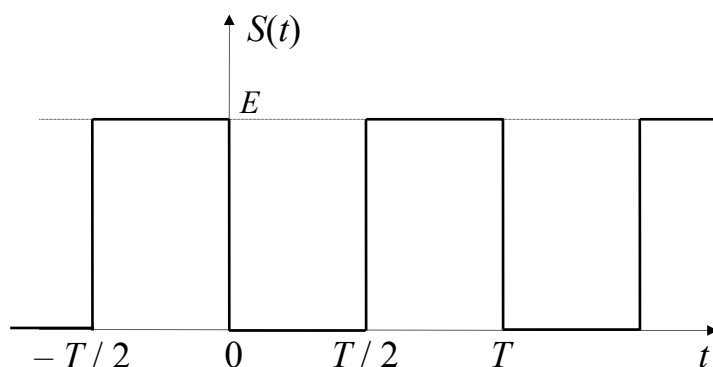


Рис. 2.1 — Периодическая последовательность прямоугольных импульсов с $N = 2$

2.2. Контрольное задание № 2

«Спектральный анализ непериодических сигналов»

Вопрос. Дайте определение спектра непериодического сигнала. Поясните структуру спектра периодического сигнала и методы его расчета.

Задача. Рассчитайте спектральную плотность импульса, изображенного на рис. 2.2. Определите и построите график модуля спектральной плотности. Определите эффективную ширину спектра сигнала. Исходные данные приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 — Исходные данные для расчета спектра

непериодического сигнала

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$E, \text{ В}$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$t_{\text{и}}, \text{ мсек}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

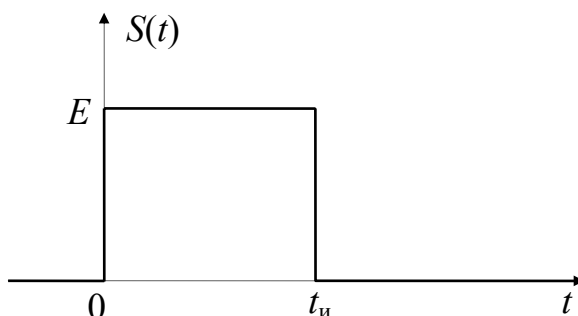


Рис. 2.2 — Прямоугольный импульс

2.3. Контрольное задание № 3 «Радиосигналы с амплитудной модуляцией»

Вопрос. Дать определение радиосигнала. Основные виды модуляции. Понятие тональной и нетональной модуляций. Радиоимпульсы и его отличия от видеоимпульса.

Задача 1. По исходным данным, приведенным в таблице 2.3, 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 $t = 0$: $A(0)$, $a(0)$. Укажите эти значения на временной и векторной диаграммах. Рассчитайте ширину спектра.

Таблица 2.3 — Исходные данные к расчету характеристик АМ сигналов

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Амплитуда несущего колебания $A_0, \text{ В}$	100	200	300	50	60	20	10	80	100	200
Несущая частота $\omega_0 \times 10^6, \text{ рад/сек}$	8	10	15	5	3	2	4	1	8	6
Коэф. модуляции $M, \%$	100	50	30	40	80	60	50	100	30	40
Частота модуляции $\Omega \times 10^3, \text{ рад/сек}$	1	2	3	1	0,5	4	3	2	1	0,1
Начальная фаза несущего колебания $\theta_0, \text{ рад}$	$\frac{3\pi}{4}$	$-\pi$	$\frac{3\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2}$	$-\frac{\pi}{2}$	π	$-\frac{3\pi}{4}$	$\frac{3\pi}{2}$	$\frac{3\pi}{4}$	$-\frac{3\pi}{4}$
Начальная фаза модулирующего колебания $\nu, \text{ рад}$	$\frac{\pi}{2}$	$-\pi$	$-\frac{\pi}{2}$	π	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{3\pi}{2}$	$\frac{2\pi}{3}$	π

2.4. Контрольное задание № 4 «Радиосигналы с угловой модуляцией»

**Это задача повышенной сложности,
поэтому она выполняется при желании!**

Задача. По исходным данным, приведенным в таблице 2.4, запишите аналитическое выражение для частоты, полной фазы и мгновенного значения радиосигнала с тональной угловой модуляцией.

Определите максимальное и минимальное значение мгновенной частоты, а также девиацию частоты. Постройте спектрограмму амплитуд и определите эффективную ширину спектра.

Постройте графики зависимостей: $\omega(t)$, $\psi(t)$, $a(t)$.

Таблица 2.4 — Исходные данные к расчету характеристик сигнала с УМ

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Амплитуда несущего колебания A_0 , В	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Несущая частота $\omega_0 \times 10^6$, рад/сек	100	80	50	40	20	10	30	50	80	100
Начальная фаза несущего колебания θ_0 , рад	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{\pi}{6}$	$-\frac{\pi}{4}$	$-\frac{\pi}{6}$	$-\frac{3\pi}{4}$	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{3\pi}{2}$	$-\frac{3\pi}{2}$	π	$\frac{\pi}{3}$
Модулирующая частота, $\Omega \times 10^5$, рад/сек	0,5	1	2	1	0,1	0,2	3	1	4	5
Индекс модуляции, m	2	1	0.5	5	10	15	4	3	6	2
Начальная фаза модулирующего колебания ν , рад	$-\frac{\pi}{4}$	$-\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{2}$	π	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{6}$	$-\frac{\pi}{6}$	$-\pi$

2.5. Контрольное задание № 5

«Линейные радиотехнические цепи с постоянными параметрами»

Вопрос. Дать определение комплексного коэффициента передачи линейной цепи. АЧХ и ФЧХ линейной цепи. Понятие импульсной и переходной характеристик линейной цепи. Взаимосвязь комплексного коэффициента передачи, импульсной и переходной характеристик.

Задача. Определить комплексный коэффициент передачи, АЧХ и ФЧХ цепи, изображенной на рис. 2.3. Построить АЧХ и ФЧХ. Дать качественный анализ схемы в области НЧ и ВЧ.

Исходные данные приведены в таблице 2.5. Количественные расчеты провести, полагая R , L , C , равными номеру варианта (R — Ом, L — мГн, C — нФ).

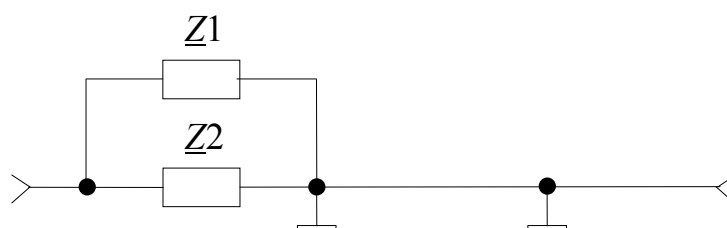


Рис. 2.3 — Четырехполосник к контрольному заданию № 5

Таблица 2.1 — Элементы схемы к контрольному заданию № 5

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Элемент $\underline{\underline{Z1}}$	—	—	—	—	R	R	—	—	—	—
Элемент $\underline{\underline{Z2}}$	L	C	R	R	L	C	R	R	L	C
Элемент $\underline{\underline{Z3}}$	R	R	L	C	R	R	L	C	R	R
Элемент $\underline{\underline{Z4}}$	—	—	—	—	—	—	R	R	L	C

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

3.1. Контрольное задание № 1

3.1.1. Ответ на вопрос можно найти в [1] на страницах (20 ... 30), (36 ... 42) и в [2] на страницах (38 ... 55). Следует обратить особое внимание на понятие спектральной плотности.

3.1.2. При решении задачи можно использовать материал, приведенный в [1] на страницах (23 ... 27).

Теоретически спектр периодического сигнала определяется путем разложения его в ряд Фурье на интервале времени $(-\infty; +\infty)$

$$S(t) = \frac{a_0}{2} + \sum A_n \cos(n\omega_1 t + \theta_n), \quad (3.1)$$

где $\frac{a_0}{2}$ — постоянная составляющая;

$\omega_1 = \frac{2\pi}{T}$ — круговая частота исходного сигнала;

$A_n = \sqrt{(a_n)^2 + (b_n)^2}$ — амплитуда n -ой гармоники; (3.2)

θ_n — начальная фаза n -ой гармоники, определяемая из соотношения

$$\operatorname{tg} \theta_n = \frac{b_n}{a_n}, \quad (3.3)$$

T — период колебания;

a_n и b_n — коэффициент разложения в ряд Фурье сигнала $S(t)$, причем

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} S(t) \cos n\omega_1 t dt; \quad (3.4)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} S(t) \sin n\omega_1 t dt. \quad (3.5)$$

Зависимость амплитуд и начальных фаз гармоник спектра от частоты (включая постоянную составляющую) называют спектром амплитуд $A_n(\omega)$ и спектром фаз $\theta_n(\omega)$ соответственно.

Подставляя конкретные значения в приведенные формулы, следует рассчитать спектр амплитуд и фаз.

Решение задачи можно упростить, если воспользоваться понятием четности функции.

Если $S(t)$ — четная функция, то из (3.5) следует, что $b_n = 0$. Тогда $a_0/2$, A_n и θ_n рассчитываются по более простым выражениям:

$$\frac{a_0}{2} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} S(t) dt; \quad (3.6)$$

$$A_n = |a_n| = \frac{4}{T} \left| \int_0^{\frac{T}{2}} S(t) \cos n\omega_1 t dt \right|; \quad (3.7)$$

$$\theta_n = \begin{cases} 0, & \text{если } a_n > 0; \\ \pi, & \text{если } a_n < 0. \end{cases} \quad (3.8)$$

Если $S(t)$ — четная функция, то из (3.4) следует, что $a_n = 0$. Тогда:

$$A_n = |b_n| = \frac{4}{T} \left| \int_0^{\frac{T}{2}} S(t) \sin n\omega_1 t dt \right|; \quad (3.9)$$

$$\theta_n = \begin{cases} \frac{\pi}{2}, & \text{если } b_n > 0; \\ -\frac{\pi}{2}, & \text{если } b_n < 0. \end{cases} \quad (3.10)$$

Эффективная ширина спектра для периодического сигнала — это полоса частот, в пределах которой сосредоточена основная часть (например, 90 %) средней мощности этого сигнала. Сначала определяют среднюю мощность сигнала

$$P_{\text{ср}} = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} S^2(t) dt. \quad (3.11)$$

Средняя мощность, заключенная в составляющих спектра вплоть до k -ой гармоники, с учетом постоянной составляющей равна

$$P_k = \left(\frac{a_0}{2} \right)^2 + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^k A_n^2. \quad (3.12)$$

Взяв отношение P_k и $P_{\text{ср}}$, определяют номер k , для которого $P_k / P_{\text{ср}} = 0.9$. Тогда эффективная ширина спектра равна:

$$\Delta\omega_{\text{эфф}} = k\omega_1 \quad \text{или} \quad \Delta f_{\text{эфф}} = kf_1. \quad (3.13)$$

3.2. Контрольное задание № 2

Решение задачи 2 сводится к проведению прямого преобразования Фурье, которое и является спектральной плотностью сигнала $S(t)$

$$S(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t) e^{-j\omega t} dt. \quad (3.14)$$

Решение можно упростить, если сначала переместить сигнал $S(t)$ вдоль оси времени таким образом, чтобы получить сигнал $S_1(t)$ в виде четной, либо нечетной $S_2(t)$ функций времени.

Если $S_1(t)$ — четная функция времени, то из (3.14) получаем

$$S_1(\omega) = 2 \int_0^{\infty} S(t) \cos \omega t dt. \quad (3.15)$$

чисто действительная функция частоты ω .

Если $S_2(t)$ — нечетная функция времени, то

$$S_2(j\omega) = -2j \int_0^{\infty} S_2(t) \sin \omega t dt, \quad (3.16)$$

чисто мнимая функция частоты ω .

Из (3.15) и (3.16) следует, что в этих случаях достаточно задавать сигнал $S_1(t)$ на интервале интегрирования от 0 до ∞ . Следует внимательно отнестись к аналитическому заданию функции $S_1(t)$ на данном интервале времени. В случае кусочно-непрерывных сигналов интегралы (3.15) и (3.16) разбиваются на сумму интегралов с соответствующими пределами интегрирования.

Результат интегрирования следует упростить до вида, удобного для графических построений. Следует стремиться выделить в результирующей формуле для $S_2(j\omega)$ члены вида:

$$\frac{\sin x}{x}; \quad \frac{\sin^2 x}{x^2}; \quad \sin x; \quad \cos x$$

и другим, графики которых хорошо известны. Это позволяет качественно предугадать ход кривых, заранее рассчитать характерные точки графика (нули, экстремумы), определить требуемую дискретность частоты при расчете промежуточных точек графика.

После упрощения следует построить друг над другом три графика: спектральную плотность $S_1(j\omega)$, модуль спектральной плотности $S_1(j\omega) = |S_1(j\omega)|$, аргумент спектральной плотности $\theta_1(\omega)$. По первому графику $S_1(j\omega)$ легко построить второй и третий. График модуля $S_1(\omega)$ получают из первого графика путем «переворота» отрицательных участков. График аргумента $\theta_1(\omega)$ строят из следующих соображений:

— если $S_1(t)$ — четная функция времени, то $S_1(j\omega)$ — чисто действительная функция частоты. Поэтому в интервале частот, где $S_1(j\omega) > 0$, аргумент $\theta_1(\omega) = 0$, а где $S_1(j\omega) < 0$, аргумент $\theta_1(\omega) = \pi$;

— если $S_2(t)$ — нечетная функция времени, то $S_2(j\omega) = jb$ — чисто мнимая функция частоты. Поэтому в интервале частот, где $b > 0$, аргумент $\theta_2(\omega) = \frac{\pi}{2}$, а где $b < 0$, аргумент $\theta_2(\omega) = -\frac{\pi}{2}$.

Далее следует переместить сигнал $S_1(t)$ в исходное положение. При этом модуль спектральной плотности не изменится $S(\omega) = S_1(\omega)$, а аргумент равен

$$\theta(\omega) = \theta_1(\omega) \pm \Delta t \omega, \quad (3.17)$$

где Δt — величина сдвига.

Знак «+» в формуле (3.17) берется, если $S_1(t)$ сдвигается в сторону опережения (влево), а знак «-» берется, если $S_1(t)$ сдвигается в сторону отставания (вправо).

Построение $\theta(\omega)$ сводится к графическому суммированию $\theta_1(\omega)$ с линейной функцией $\pm \Delta t \omega$. Спектр фаз $\theta(\omega)$ строят на четвертом графике под тремя первыми.

В заключении оценивается эффективная ширина спектра видеоимпульса. Можно определить ее, используя либо амплитудный, либо энергетический критерий. Эффективная ширина спектра для сигналов с конечной энергией — это полоса частот, в пределах которой сосредоточена основная часть полной энергии сигнала. Сначала определяют полную энергию заданного сигнала по формуле

$$\mathcal{E} = \int_{-\infty}^{\infty} S^2(t) dt. \quad (3.18)$$

В соответствии с теоремой Парсеваля энергия, сосредоточенная в полосе частот от 0 до ω_1 , определяется соотношением

$$\mathcal{E}_{\Delta\omega} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\omega_1} S^2(\omega) d\omega. \quad (3.19)$$

Изменяя в последнем интеграле верхний предел ω_1 , добиваются выполнения соотношения $\mathcal{E}_{\Delta\omega}/\mathcal{E} = 0,9$. При этом эффективная ширина спектра равна

$$\Delta\omega_{\text{эфф}} = \omega_1. \quad (3.20)$$

Следует также сделать вывод о зависимости ширины спектра от длительности импульса.

3.3. Контрольное задание № 3

3.3.1. Ответ на вопрос можно найти в [1] на страницах (72 ... 91) и в [2] на страницах (88 ... 104). Следует обратить внимание на то, что тональная модуляция — простейший случай, когда модулирующий сигнал представляет собой гармоническое колебание. Не забывайте о правиле построения спектра радиоимпульса изложенного в [1] на странице 80 и в [2] на странице 60. В соответствии с этим правилом спектр радиоимпульса строится без дополнительных расчетов путем смещения спектра видеоимпульса в район частот $\pm \omega_0$.

3.3.2. Решение задачи не вызовет трудностей, если внимательно изучить материал изложенный в [1] на страницах (76 ... 81) и в [2] на страницах (88 ... 96).

Аналитическое выражение радиосигнала с тональной АМ следует записывать в канонической (общепринятой) форме

$$a(t) = A(t) \cos(\omega_0 t + \theta_0);$$

$$a(t) = A_0 [1 + M \cos(\Omega t + \nu)] \cos(\omega_0 t + \theta_0). \quad (3.21)$$

Следует твердо усвоить, что спектр радиосигнала с амплитудной модуляцией содержит только высокочастотные составляющие (несущая частота и две боковых полосы частот) и не содержит в явном виде составляющих модулирующего сигнала.

При построении векторной диаграммы следует учитывать знаки начальных фаз несущего θ_0 и модулирующего ν колебаний. За положительное направление принимают направление против часовой стрелки. **Обязательно следует на диаграмме поставить направление вращения векторов!** При этом нужно учитывать, что вектор верхней боковой частоты всегда вращается против часовой стрелки, а вектор нижней боковой — по часовой стрелке.

В заключении следует определить мгновенные значения радиосигнала — $a(t)$ и огибающей $A(t)$ при $t = 0$, то есть $a(0)$ и $A(0)$. Эти величины легко определить из аналитического выражения (3.17), положив в нем $t = 0$. Следует сверить полученные значения с графическими на векторной диаграмме: длина суммарного вектора — $A(0)$, а его проекция на горизонтальную ось — $a(0)$.

3.4. Контрольное задание № 4

3.4.1. Перед решением задачи внимательно изучите материал из [1] страницы (84 ... 88) или из [2] страницы (96 ... 103).

3.4.2. В общем виде сигнал с УМ можно записать

$$a(t) = A_0 \cos \psi(t), \quad (3.22)$$

где $\psi(t)$ — полная фаза радиосигнала.

Мгновенная частота и полная фаза связаны соотношениями:

$$\omega(t) = \frac{d}{dt} \psi(t); \quad \psi(t) = \int_0^t \omega(t) dt + \theta_0. \quad (3.23)$$

В случае тональной частотной модуляции, когда частота изменяется по косинусоидальному закону, $\psi(t)$, в соответствии с (3.23), будет изменяться по синусоидальному закону, то есть

$$\begin{aligned} \omega(t) &= \omega_0 + \omega_d \cos(\Omega t + \nu); \\ \psi(t) &= \omega_0 t + m \sin(\Omega t + \nu) + \theta_0. \end{aligned} \quad (3.24)$$

Подстановка (3.24) в (3.22) дает аналитическое выражение для радиосигнала с тональной угловой модуляцией (УМ)

$$a(t) = A_0 \cos[\omega_0 t + m \sin(\Omega t + \nu) + \theta_0]. \quad (3.25)$$

Спектральное разложение радиосигнала с УМ имеет следующий вид

$$\begin{aligned} a(t) &= A_0 I_0(m) \cos(\omega_0 t + \theta_0) + \sum_{n=1}^{\infty} A_0 I_n(m) \cos[(\omega_0 + n\Omega)t + n\nu + \theta_0] + \\ &+ \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n A_0 I_n(m) \cos[(\omega_0 - n\Omega)t - n\nu + \theta_0], \end{aligned} \quad (3.26)$$

где $I_0(m)$, $I_n(m)$ — функции Бесселя от аргумента m , приведенные, например, в [2] на странице 102. Расчет функций Бесселя $(n + 1)$ порядка может быть проведен по рекуррентной формуле

$$I_{n+1}(m) = \frac{2n I_n(m)}{m} - I_{n-1}(m). \quad (3.27)$$

Из (3.26) следует, что амплитуды пар спектральных составляющих, включая несущую, определяется выражением

$$U_n = A_0 |I_n(m)|. \quad (3.28)$$

На основании проведенных расчетов строится спектральная диаграмма и оценивается эффективная ширина спектра сигнала с УМ. Важно отметить, что с

ростом индекса модуляции расширяется полоса частот, занимаемая сигналом. При больших индексах ($m > 5$) допустимо пренебречь всеми спектральными составляющими с номерами $k > m + 1$. Отсюда следует оценка практической ширины спектра сигнала с УМ при больших индексах модуляции

$$\Delta\omega_{\text{эфф}} \approx 2(m+1)\Omega. \quad (3.29)$$

Если $m \gg 1$ ($m > 10$), то

$$\Delta\omega_{\text{эфф}} \approx 2m\Omega \quad (3.30)$$

3.5. Контрольное задание № 5

3.5.1. Ответ на вопрос можно найти в [1] на страницах (152 ... 153), или в [2] на страницах (187 ... 194), или в [3] на страницах (133 ... 138).

3.5.2. Определение комплексного коэффициента в задаче возможно двумя путями. Первый путь — это применение известного правила делителя напряжения. При этом цепь следует свести к простому делителю напряжения путем упрощения. Второй путь более предпочтителен, так как позволяет решить задачу для какой угодно сложной цепи. При этом сначала определяется ток в интересующей ветви, считая $U_{\text{вх}}$ известным. Ток определяют любым из известных методов (например, методом узловых напряжений или методом контурных токов). Затем находят напряжение на выходе $U_{\text{вых}}$. После этого определяют комплексный коэффициент передачи

$$K(j\omega) = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}. \quad (3.31)$$

Выражение (3.31) упрощается до вида

$$K(j\omega) = \frac{a + jb}{c + jd} \quad (3.32)$$

После этого определяется модуль $K(\omega)$ и аргумент $\varphi(\omega)$, которые и являются АЧХ и ФЧХ данной цепи. Взятие модуля и аргумента комплексного коэффициента передачи следует проводить, применяя известные правила: а) модуль дроби — это отношение модулей числителя и знаменателя; б) аргумент дроби — это разность аргументов числителя и знаменателя, то есть

$$K(\omega) = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{\sqrt{c^2 + d^2}}; \quad (3.33)$$

$$\varphi(\omega) = \varphi_1 - \varphi_2, \quad (3.34)$$

где φ_1 и φ_2 определяются из соотношений

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{b}{a}; \quad \operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{d}{c}.$$

Подставив в (3.33) и (3.34) численные значения параметров элементов схемы, следует рассчитать АЧХ и ФЧХ в диапазоне частот от 0 до ∞ . Результаты привести в виде таблиц и графиков (друг под другом). Следует особенно внимательно подойти к построению ФЧХ, так как здесь возможны ошибки из-за неоднозначности определения углов по значению тангенса. Для исключения ошибок при построении АЧХ и ФЧХ следует качественно предугадать ход кривых, рассмотрев эквивалентные схемы цепи при $\omega \rightarrow 0$ и $\omega \rightarrow \infty$. При построениях возможно применение логарифмического масштаба по оси частот.

В заключении следует сделать вывод о том, к какому классу устройств следует отнести данную цепь: фильтр верхних частот, фильтр нижних частот, полосовой фильтр, заграждающий фильтр и определить частоты среза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: учеб. для вузов / И.С. Гоноровский. — М.: Радио и связь, 1986. — 512 с.
2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: учеб. для вузов по специальности «Радиотехника» / С.И. Баскаков. — М.: Высшая школа, 1988. — 448 с.
3. Васильев Д.В. Радиотехнические цепи и сигналы: учеб. пособ. для вузов / Д.В. Васильев, М.Р. Витоль, Ю.Н. Горшенков и др.; Под ред. К.А. Самойло. — М.: Радио и связь, 1982. — 528 с.
4. Жуков В.П. Задачник по курсу «Радиотехнические цепи и сигналы»: учеб. пособ. для студентов вузов спец. «Радиотехника» / В.П. Жуков, В.Г. Карташов, А.М. Николаев. — М.: Высшая школа, 1986. — 159 с.
5. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. Руководство к решению задач: учеб. пособ. для радиотехнических спец. вузов / С.И. Баскаков. — М.: Высшая школа, 1987. — 207 с.
6. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. Примеры и задачи: учеб. пособ. для спец. вузов / Г.Г. Галустов, И.С. Гоноровский, М.П. Демин и др.; Под ред. И.С. Гоноровского. — М.: Радио и связь, 1989. — 248 с.
7. Трохименко Я.К. Радиотехнические расчеты на микрокалькуляторах: справ. пособ. / Я.К. Трохименко, Ф.Д. Любич. — М.: Радио и связь, 1983. — 256 с.
8. Гимпилевич Ю.Б. Сигналы и процессы в радиотехнике. — Ч. 1: учеб. пособ. / Ю.Б. Гимпилевич. — Севастополь: изд-во СевНТУ, 2003. — 272 с.
9. Каганов В.И. Радиотехнические цепи и сигналы: компьютеризированный курс: учеб. пособ. для студ. вузов, обуч. по напр. подгот. дипломир. спец. «Радиотехника» / В.И. Каганов. — М.: Форум: Инфра, 2012. — 432 с.