

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический
университет



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Задания и методические рекомендации
к выполнению курсовой работы по дисциплине
«СИГНАЛЫ И ПРОЦЕССЫ В РАДИОТЕХНИКЕ»

для студентов направления 0907 — радиотехника
заочной формы обучения

Севастополь
2005

Методические указания «Задания и методические рекомендации к выполнению курсовой работы по дисциплине «Сигналы и процессы в радиотехнике» / Сост. Ю.Б. Гимпилевич, И.В. Таньков. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2005. — 20 с.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам заочной формы обучения в выполнении курсовой работы по дисциплине «Сигналы и процессы в радиотехнике», а также в освоении основных теоретических разделов дисциплины и приобретении навыков в практических расчетах и анализе характеристик радиотехнических сигналов и цепей.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры радиотехники (протокол № 4 от 10.11.05 г.).

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний

Рецензент: кандидат технических наук, доцент Зиборов С.Р.

Ответственный за выпуск: заведующий кафедрой радиотехники,
доктор технических наук Гимпилевич Ю.Б.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Правила оформления.....	5
2. Задания.....	6
2.1. Задание №1	6
2.1.1. Условие	6
2.1.2. Указания к выполнению задания №1.....	8
2.2. Задание №2	9
2.2.1. Условие	9
2.2.2. Указания к выполнению задания №2.....	9
2.3. Задание №3	10
2.3.1. Условие	10
2.3.2. Указания к выполнению задания №3.....	12
2.4. Задание №4	13
2.4.1. Условие	13
2.4.2. Указания к выполнению задания №4.....	15
2.5. Задание №5	17
2.5.1. Условие	17
2.5.2. Указания к выполнению задания №5.....	18
Библиографический список.....	20

ВВЕДЕНИЕ

Курсовая работа является завершающим этапом в процессе изучения дисциплины «Сигналы и процессы в радиотехнике», посвященной изучению теории радиотехнических сигналов и основных радиотехнических процессов.

В результате выполнения курсовой работы студент *должен закрепить* основные теоретические положения по следующим разделам:

- математические модели сигналов;
- основные характеристики детерминированных и случайных сигналов;
- основы спектрального и корреляционного анализа детерминированных и случайных сигналов;
- методы преобразования сигналов в линейных и нелинейных цепях;
- основные радиотехнические процессы: усиление, фильтрация, модуляция, выпрямление, детектирование, преобразование частоты и др.;
- методы борьбы с шумами и помехами;
- методы построения согласованных фильтров.

В результате изучения дисциплины студент *должен приобрести* следующие практические навыки:

- рассчитывать спектральные и временные характеристики аналоговых и дискретных сигналов, а также случайных процессов;
- рассчитывать частотные и временные характеристики линейных радиотехнических цепей;
- оценивать искажения детерминированных сигналов при прохождении их через линейные и нелинейные цепи;
- рассчитывать статистические характеристики случайных процессов на выходе линейных и нелинейных цепей.

1. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ

1.1. Курсовая работа по дисциплине «Сигналы и процессы в радиотехнике» состоит из пяти индивидуальных заданий.

1.2. Исходные данные заданий определяют по двум последним цифрам зачетной книжки (Y — предпоследняя цифра, X — последняя).

1.3. Пояснительная записка курсовой работы выполняется на листах белой бумаги формата А4 с одной стороны листа.

1.4. При выполнении заданий курсовой работы необходимо применять средства вычислительной техники для проведения расчетов, построения графиков и оформления пояснительной записки.

1.5. При оформлении курсовой работы необходимо ссылаться на используемые библиографические источники. Ссылки приводятся в квадратных скобках: $[n]$, где n — порядковый номер источника в библиографическом списке, который оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-84 и приводится в конце работы.

1.6. Расчеты должны сопровождаться подробными пояснениями и математическими выкладками с обязательным описанием используемых величин и указанием их размерности.

1.7. В конце каждого задания необходимо привести чётко сформулированные выводы.

2. ЗАДАНИЯ

2.1. Задание №1

2.1.1. Условие

Определить спектральную плотность видеоимпульса, изображённого на рис. 2.1. Построить графики зависимости модуля и аргумента спектральной плотности этого сигнала от частоты (спектрограммы). Определить эффективную ширину спектра видеоимпульса. Изобразить в том же временном масштабе (друг под другом) видеоимпульс и соответствующий ему радиоимпульс. Записать выражение для спектральной плотности радиоимпульса и построить спектрограмму модуля. Сделать вывод об эффективной ширине спектра радиоимпульса. Исходные данные приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 — Исходные данные для расчета спектра непериодического сигнала

Параметр	Значение
Номер сигнала на рис. 2.1	$(X + 1)$
$E, В$	$10(Y + 1)$
$t_1, мкс$	$(X + 1)$
Несущая частота ω_0 , рад/сек	$(10 - Y) 10^6$

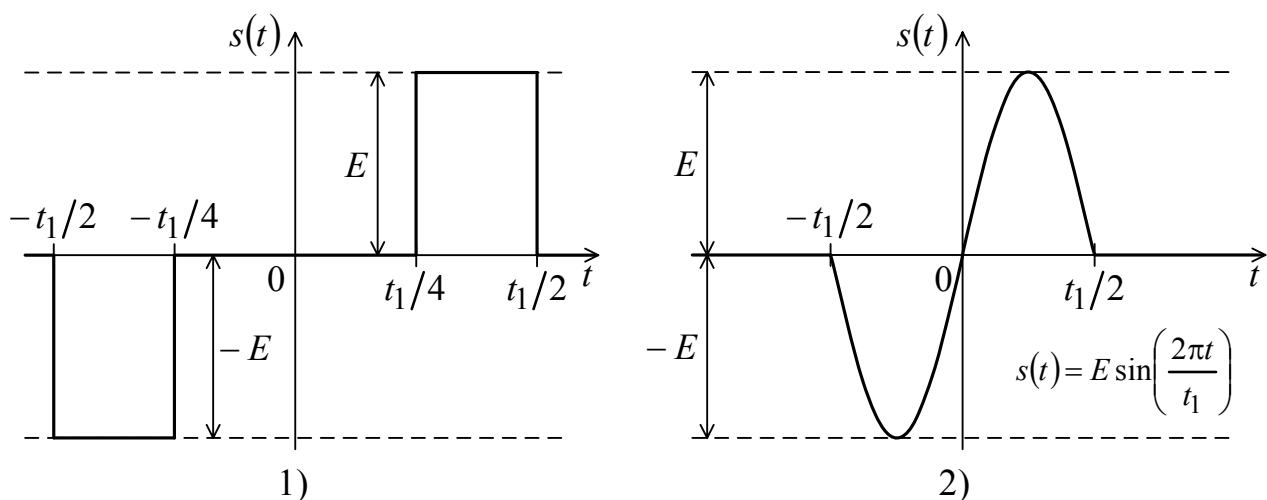
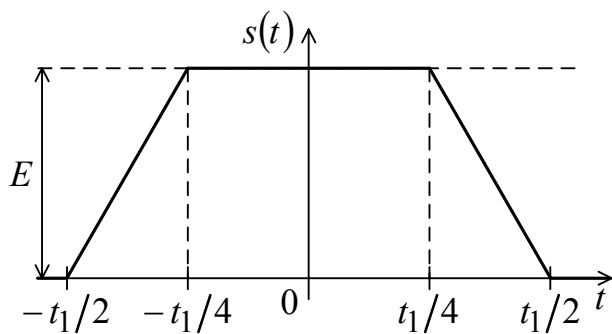
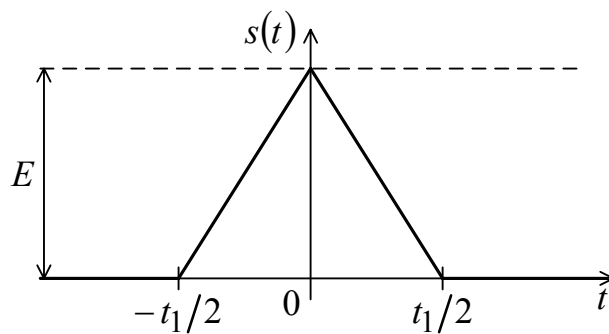


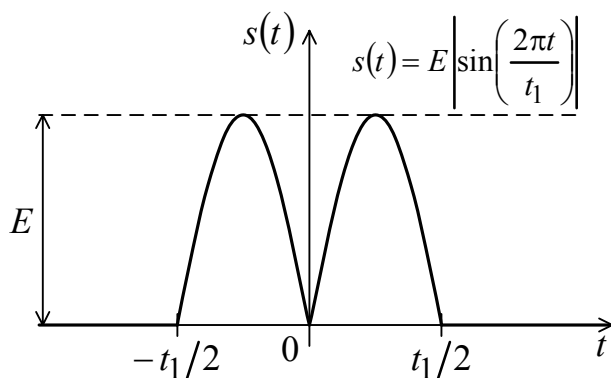
Рис. 2.1 — Непериодические сигналы к заданию №1



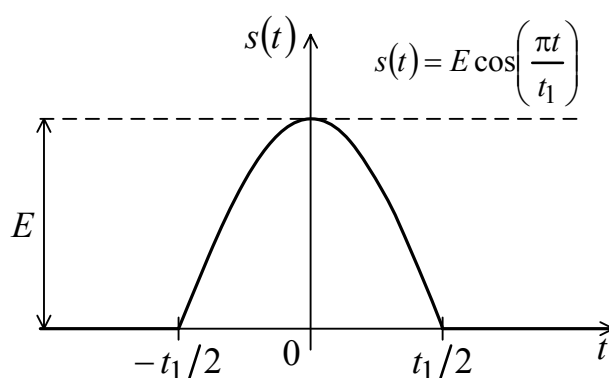
3)



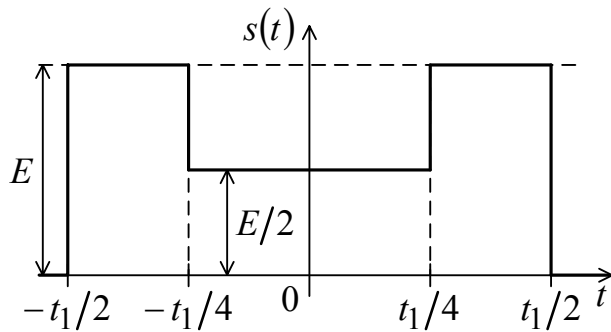
4)



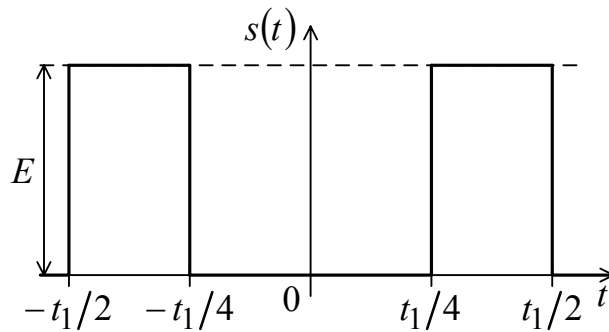
5)



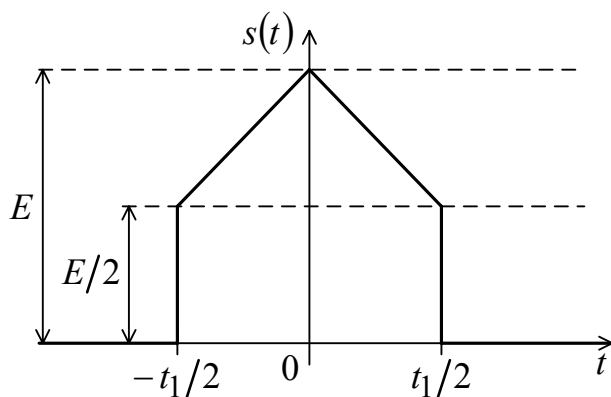
6)



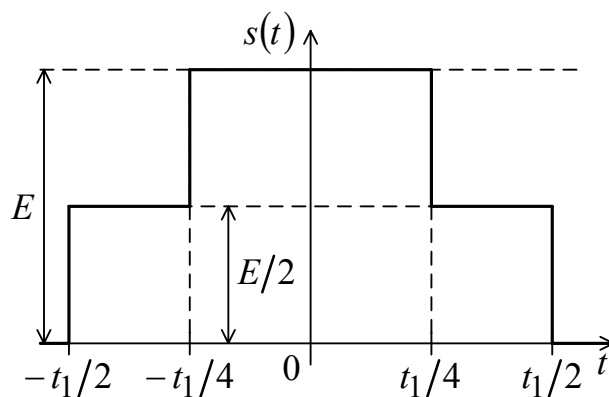
7)



8)



9)



10)

Рис. 2.1 — Продолжение

2.1.2. Указания к выполнению задания №1

Определение спектральной плотности видеоимпульса сводится к выполнению прямого преобразования Фурье

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

где $\underline{S}(j\omega)$ — спектральная плотность;

$s(t)$ — сигнал, заданный на интервале времени $(-\infty; +\infty)$;

ω — круговая частота;

j — мнимая единица.

Поскольку вышеприведенные сигналы являются либо чётными, либо нечётными функциями времени (в зависимости от номера варианта), то целесообразно использовать этот факт, что существенно упрощает решение [1].

При этом выражение (2.1) для чётного сигнала принимает вид

$$\underline{S}(j\omega) = A(\omega) = 2 \int_0^{\infty} s(t) \cos(\omega t) dt, \quad (2.2)$$

а для нечётного сигнала

$$\underline{S}(j\omega) = jB(\omega) = -2j \int_0^{\infty} s(t) \sin(\omega t) dt, \quad (2.3)$$

где $A(\omega)$ и $B(\omega)$ — функции действительной переменной ω .

Таким образом, для чётного сигнала спектральная плотность является действительной величиной, а для нечётного сигнала — мнимой. После расчётов $A(\omega)$ и $B(\omega)$ строят спектрограммы модуля и аргумента видеоимпульса. Эти спектрограммы строят под графиком $A(\omega)$ или $B(\omega)$ в том же частотном и амплитудном масштабах.

Спектрограмма модуля для четного и нечетного сигналов представляет собой абсолютную величину зависимости $A(\omega)$ или $B(\omega)$ соответственно. Методика построения спектрограммы модуля состоит в «перевороте» отрицательных участков функций $A(\omega)$ или $B(\omega)$.

Спектрограмму аргумента определяют, используя следующие соотношения:

для чётного сигнала

$$\theta(\omega) = \begin{cases} 0, & \text{если } A(\omega) > 0; \\ \pi, & \text{если } A(\omega) < 0, \end{cases} \quad (2.4)$$

а для нечётного сигнала

$$\theta(\omega) = \begin{cases} \pi/2, & \text{если } B(\omega) > 0; \\ -\pi/2, & \text{если } B(\omega) < 0. \end{cases} \quad (2.5)$$

Для определения эффективной ширины спектра следует воспользоваться энергетическим критерием. Эффективная ширина спектра для сигналов с конечной энергией — это полоса частот, в пределах которой сосредоточена основная часть (90%) полной энергии сигнала. Сначала определяют полную энергию сигнала $s(t)$ по формуле

$$\mathcal{E} = \int_{-\infty}^{\infty} s^2(t) dt . \quad (2.6)$$

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

$$\mathcal{E}_{\Delta\omega} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\omega_1} |\underline{S}(j\omega)|^2 d\omega . \quad (2.7)$$

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

$$\Delta\omega_{\text{эф}} = \omega_1 . \quad (2.8)$$

Для вычисления интеграла (2.7) необходимо воспользоваться ЭВМ.

Аналитическое выражение спектральной плотности радиоимпульса может быть получено из спектральной плотности видеоимпульса (см. [1], стр. 80). Там же изложена методика построения спектрограммы модуля, которая заключается в сдвиге спектрограммы модуля видеоимпульса вдоль оси частот на величину $\pm \omega_0$.

2.2. Задание №2

2.2.1. Условие

Рассчитать и построить графики корреляционных функций видеоимпульса и радиоимпульса из задания №1.

2.2.2. Указания к выполнению задания №2

По определению корреляционная функция детерминированного сигнала $s(t)$ с конечной энергией определяется соотношением [1-3]:

$$B(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)s(t+\tau) dt , \quad (2.9)$$

где τ — временной сдвиг копии сигнала.

Необходимо помнить следующее:

- а) для импульсного сигнала длительностью t_1 корреляционная функция имеет длительность $2t_1$;
- б) корреляционная функция является чётной функцией переменной τ ;
- в) при $\tau = 0$ значение корреляционной функции максимально и равно энергии импульса.

Решение задачи следует начинать с построения временной диаграммы видеоимпульса $s(t)$ и его копии $s(t + \tau)$, сдвинутой на интервал τ . Нижний и верхний пределы интегрирования в формуле (2.9) определяются областью перекрытия сигнала и его копии.

Наиболее просто задача определения корреляционной функции решается для видеоимпульсов 2 и 6 (см. рис. 2.1), поскольку на интервале $(-t_1/2; t_1/2)$ эти сигналы заданы в виде одной непрерывной функции. Другие сигналы на этом интервале времени заданы кусочно-непрерывным способом. Поэтому на различных интервалах τ корреляционная функция представлена различными кусочно-непрерывными функциями.

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

После того, как определена и построена корреляционная функция видеоимпульса, легко определяется и строится корреляционная функция радиоимпульса. При этом используется правило, заключающееся в том, что корреляционная функция амплитудно-модулированного радиосигнала равна произведению корреляционных функций модулирующего сигнала (огibaющей) и несущего колебания [1].

2.3. Задание №3

2.3.1. Условие

На рис. 2.2 приведена структурная схема супергетеродинного приёмника амплитудно-модулированных сигналов. На вход приёмника в момент $t = 0$ поступает радиоимпульс с прямоугольной огибающей

$$a(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t < 0; \\ E_0 \cos(2\pi f_0 t + \theta_0), & \text{при } 0 \leq t \leq t_{\text{и}}; \\ 0, & \text{при } t > t_{\text{и}}. \end{cases}$$

Требуется:

1. Кратко охарактеризовать назначение приведённых блоков приёмника.
2. Рассчитать и построить спектрограмму модуля входного сигнала.
3. Выбрать частоту гетеродина.

4. Изобразить принципиальную схему усилителя промежуточной частоты (УПЧ), считая, что он реализован в виде однокаскадного резонансного транзисторного усилителя. Рассчитать элементы контура, постоянную времени τ_k , резонансное сопротивление R_0 , полосу пропускания $\Delta f_{ПЧ}$, коэффициент усиления на резонансной частоте K_{max} и амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) УПЧ.
 5. Изобразить качественно, с соблюдением частотного масштаба, спектрограмму тока, протекающего через нелинейный элемент преобразователя частоты. На том же рисунке (под спектрограммой тока, с соблюдением того же частотного масштаба) изобразить рассчитанную АЧХ УПЧ.
 6. Записать выражение для сигнала на выходе УПЧ $a_{ВЫХ}(t)$, считая, что УПЧ настроен точно на промежуточную частоту, а коэффициент передачи преобразователя частоты равен единице. Оценить время установления огибающей выходного сигнала.
 7. Изобразить принципиальную схему диодного амплитудного детектора, связанного с контуром УПЧ через трансформатор. Рассчитать элементы фильтра нижних частот детектора и коэффициент передачи детектора. Записать выражение для напряжения на выходе детектора, считая коэффициент передачи трансформатора равным единице.
 8. Изобразить на одном рисунке входной сигнал $a(t)$, сигнал на выходе УПЧ $a_{ВЫХ}(t)$ и сигнал на выходе амплитудного детектора $u_{ВЫХ}(t)$.
- Исходные данные для расчётов приведены в таблице 2.2.

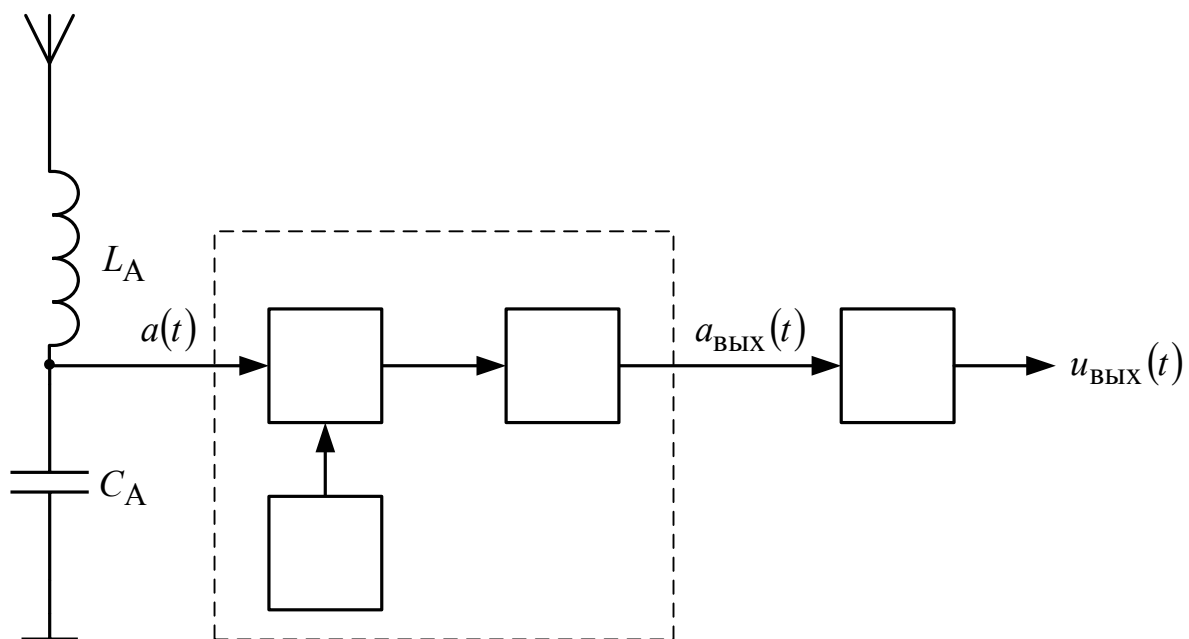


Рис. 2.2 — Структурная схема супергетеродинного приёмника

На рис. 2.2 приняты следующие обозначения: А — приёмная антенна; L_A , C_A — элементы антенного контура, настроенного на частоту f_0 ; НЭ — нелинейный элемент преобразователя частоты; Г — гетеродин преобразователя частоты; АД — амплитудный детектор.

Таблица 2.2 — Исходные данные

Параметр	Значение
Амплитуда входного сигнала E_0 , В	0,1
Несущая частота f_0 , МГц	$(4Y + 10)$
Начальная фаза несущего колебания θ_0 , рад	$(X - 4)\pi/4$
Длительность радиоимпульса $t_{\text{И}}$, мкс	$3(X + 1)$
Крутизна ВАХ транзистора УПЧ S , мА/В	$(2Y + 10)$
Эквивалентная добротность контура УПЧ $Q_{\text{ЭКВ}}$	$(4X + 10)$
Промежуточная частота $f_{\text{ПЧ}}$, МГц	$(Y + 2)$
Емкость контура УПЧ C , пФ	$(40X + 100)$
Внутреннее сопротивление открытого диода детектора R_i , Ом	$(2Y + 5)$

2.3.2. Указания к выполнению задания №3

Перед выполнением задания следует изучить принцип супергетеродинного приёма радиосигналов [3], кратко охарактеризовать назначение основных узлов приёмника.

Поскольку промежуточная частота задана, то частоту гетеродина при нижней настройке выбирают равной

$$f_{\Gamma} = f_0 - f_{\text{ПЧ}} \quad (2.10)$$

Спектр тока, протекающего через нелинейный элемент преобразователя частоты, содержит набор колебаний [1-3]. На спектрограмме достаточно нанести лишь часть спектра в районе промежуточной частоты без проведения расчетов (качественно).

Схему и описание работы УПЧ можно найти в [2]. Настройку УПЧ осуществляют на промежуточную частоту $f_{\text{ПЧ}}$. Индуктивность контура УПЧ рассчитывают, исходя из резонансной частоты, а остальные параметры — по формулам:

$$\Delta f_{\text{ПЧ}} = \frac{f_{\text{ПЧ}}}{Q_{\text{ЭКВ}}} ; \tau_{\text{к}} = \frac{2Q_{\text{ЭКВ}}}{\omega_{\text{ПЧ}}} ; R_0 = Q_{\text{ЭКВ}} \sqrt{\frac{L}{C}} ; K_{\text{max}} \approx SR_0 \quad (2.11)$$

Амплитудно-частотную характеристику УПЧ рассчитывают по формуле

$$K(f) = \frac{K_{\max}}{\sqrt{1 + \xi^2}}, \quad (2.12)$$

где $\xi = Q_{\text{ЭКВ}} (f/f_{\text{ПЧ}} - f_{\text{ПЧ}}/f)$ — обобщённая расстройка контура;
 f — текущее значение частоты.

Расчет АЧХ следует провести в диапазоне $(3...4)\Delta f_{\text{ПЧ}}$, взяв по 4 - 5 точек по обе стороны от $f_{\text{ПЧ}}$. График АЧХ построить под спектрограммой тока, протекающего через нелинейный элемент в том же частотном масштабе.

Напряжение на выходе УПЧ при воздействии на него радиоимпульса в случае точной настройки рассчитывается в соответствии с [1]. При $0 \leq t \leq t_{\text{и}}$ — это будет нарастающий процесс, а при $t > t_{\text{и}}$ — это свободное колебание, амплитуда которого затухает по экспоненте

$$a_{\text{ВЫХ}}(t) = \begin{cases} K_{\max} E_0 (1 - e^{-t/\tau_{\text{к}}}) \cos(2\pi f_{\text{ПЧ}} t + \theta_0), & \text{при } 0 \leq t \leq t_{\text{и}}; \\ A_T e^{-(t-t_{\text{и}})/\tau_{\text{к}}} \cos(2\pi f_{\text{ПЧ}} t + \theta_0), & \text{при } t \geq t_{\text{и}}, \end{cases} \quad (2.13)$$

где $A_T = K_{\max} E_0 (1 - e^{-t_{\text{и}}/\tau_{\text{к}}})$ — значение амплитуды (огibaющей) в момент времени $t = t_{\text{и}}$.

В соответствии с (2.13) рассчитывается и строится график выходного сигнала УПЧ $a_{\text{ВЫХ}}(t)$. Пунктиром указывается огibaющая. По этому графику определяется время установления фронта импульса (по уровню 0,9 от максимального значения).

Амплитудный детектор, работающий в линейном режиме, можно рассчитать в соответствии с [1].

Напряжение на выходе линейного детектора $u_{\text{ВЫХ}}(t)$ повторяет форму огibaющей сигнала (2.13) и определяется соотношением

$$u_{\text{ВЫХ}}(t) = \begin{cases} k_{\text{д}} E_0 (1 - e^{-t/\tau_{\text{к}}}), & \text{при } 0 \leq t \leq t_{\text{и}}; \\ k_{\text{д}} A_T e^{-(t-t_{\text{и}})/\tau_{\text{к}}}, & \text{при } t \geq t_{\text{и}}, \end{cases} \quad (2.14)$$

где $k_{\text{д}}$ — коэффициент преобразования амплитудного детектора, который равен

$$k_{\text{д}} = \cos \theta, \quad (2.15)$$

где θ — угол отсечки тока, протекающего через диод детектора.

Завершается задание построением требуемых графиков с соблюдением единого временного и частотного масштабов.

2.4. Задание №4

2.4.1. Условие

На рис 2.3 приведена структурная схема радиопередающего устройства.

Требуется:

1. Кратко охарактеризовать назначение приведенных блоков радиопередатчика.
2. Сформулировать основные требования к задающему генератору.
3. Провести выбор угла отсечки умножителя частоты.
4. Определить ширину спектра радиосигнала на выходе модулятора. Исходя из этого, выбрать эквивалентную добротность контура нелинейного резонансного усилителя.
5. Привести схему нелинейного резонансного усилителя мощности на транзисторах и провести его расчёт. При этом определить:
 - а) угол отсечки тока θ (задаться);
 - б) коэффициент усиления;
 - в) напряжение смещения на базе U_0 ;
 - г) амплитуды 1-й, 2-й и 3-й гармоник напряжения на коллекторе (в отсутствии модулирующего сигнала);
 - д) коэффициент нелинейных искажений K_{Γ} ;
 - е) КПД усилителя;
 - ж) параметры контура;
 - з) напряжение питания.
6. Изобразить на одном рисунке: ВАХ транзистора, используемого в усилителе; входной сигнал; коллекторный ток транзистора; напряжение на коллекторе в режиме модуляции.

Исходные данные для расчёта приведены в таблицах 2.3, 2.4.

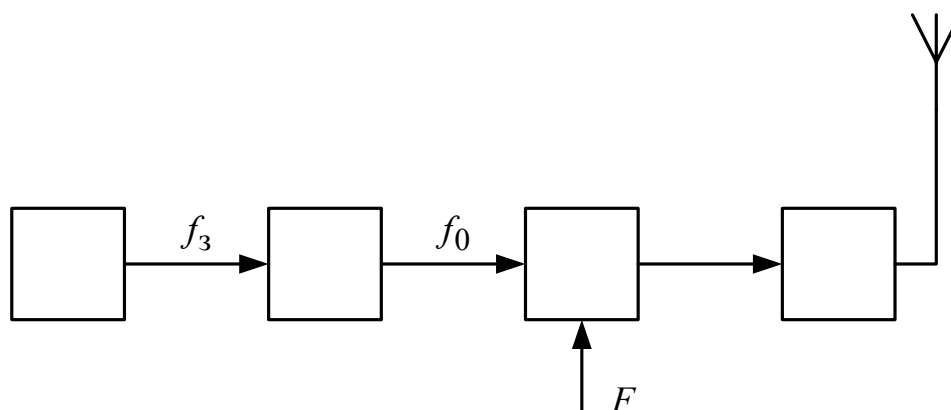


Рис. 2.3 — Структурная схема передающего устройства

На рис. 2.3 приняты следующие обозначения: ЗГ — задающий генератор (возбудитель); УЧ — умножитель частоты; М — модулятор; НРУ — нелинейный резонансный усилитель мощности; А — передающая антенна.

Таблица 2.3 — Исходные данные

Параметр	Значение
Частота задающего генератора $f_{зг}$, МГц	$(X + 1)$
Максимальная частота модуляции F_{max} , кГц	$(Y + 5)$
Мощность на выходе P_{\approx} , Вт	$(0,1 X + 1)$
Крутизна линеаризированной ВАХ транзистора S , мА/В	$(45 Y + 100)$
Индуктивность контура L , мкГн	$(4 X + 10)$

Таблица 2.4 — Исходные данные

Параметр	Номер варианта X									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вид модуляции	ЧМ	ФМ	АМ	ЧМ	ФМ	АМ	ЧМ	ФМ	АМ	ЧМ
Кратность умножения частоты k	3	3	2	5	2	3	3	5	2	3
Индекс модуляции m (для АМ — коэффициент модуляции M , %)	15	10	0,5	10	15	0,3	18	14	0,2	20
Напряжение отсечки U_1 , В	0,6	0,5	0,7	-0,3	-0,2	0,3	0,65	0,55	0,7	-0,2
Коэффициент включения p_L	0,1	0,1	0,1	0,07	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,1

Примечания:

1. Внутренней проводимостью транзистора можно пренебречь.
2. Считать, что мощность P_{\approx} выделяется на резонансном сопротивлении R_0 .

2.4.2. Указания к выполнению задания №4

Перед выполнением задания следует изучить принцип построения радиопередатчика и кратко охарактеризовать назначение его основных узлов.

Угол отсечки тока, протекающего через нелинейный элемент умножителя частоты $\theta_{ум}^{\circ}$, выбирают исходя из получения максимально возможной амплитуды выделяемой гармоники

$$\theta_{ум}^{\circ} = \frac{120^{\circ}}{k} . \quad (2.16)$$

Несущая частота f_0 радиосигнала, излучаемого радиопередающим устройством, определяется соотношением

$$f_0 = f_{зг} k . \quad (2.17)$$

Ширина спектра радиосигнала на выходе модулятора зависит от вида модуляции: при амплитудной модуляции (АМ) ширина спектра равна $\Delta f = 2F_{max}$; при частотной модуляции (ЧМ) и фазовой модуляции (ФМ) — $\Delta f \cong (2m + 1)F_{max}$. Зная ши-

рину спектра радиосигнала, можно рассчитать эквивалентную добротность контура усилителя мощности, исходя из того, что его полоса пропускания должна быть не менее ширины спектра радиосигнала.

$$Q_{\text{ЭКВ}} \leq \frac{f_0}{\Delta f} , \quad (2.18)$$

На практике выбирают $Q_{\text{ЭКВ}} = 30 \dots 70$.

Принцип нелинейного резонансного усиления изложен в [1-3]. Угол отсечки тока θ в усилителе мощности выбирают, исходя из получения достаточно высокого КПД. Обычно $\theta^\circ = 80^\circ \dots 100^\circ$. Для сигналов с АМ следует выбирать $\theta^\circ = 90^\circ$, так как это единственный случай, когда θ не зависит от амплитуды входного сигнала, а значит, будут отсутствовать нелинейные искажения АМ радиосигнала, вызываемые этим фактором.

Для получения требуемой выходной мощности следует обеспечить амплитуду напряжения на контуре выходного усилителя

$$U_1 = \sqrt{2P_{\approx} R_0 p_L^2} , \quad (2.19)$$

где R_0 — резонансное сопротивление контура, которое рассчитывается с использованием характеристического сопротивления ρ и эквивалентной добротности $Q_{\text{ЭКВ}}$ по одной из формул

$$R_0 = \rho Q_{\text{ЭКВ}} = Q_{\text{ЭКВ}} \omega_0 L = Q_{\text{ЭКВ}} \frac{1}{\omega_0 C} . \quad (2.20)$$

Зная U_1 , определяем амплитуду входного сигнала U_m

$$U_m = \frac{U_1}{K_{\text{max}}} , \quad (2.21)$$

где $K_{\text{max}} \cong S_{\text{ср}} R_0 p_L^2$ — коэффициент усиления на резонансной частоте;

$S_{\text{ср}} = S(1 - \cos \theta) \alpha_1(\theta) = S \gamma_1(\theta)$ — средняя крутизна;

$\alpha_1(\theta)$, $\gamma_1(\theta)$ — коэффициенты Берга;

Угол отсечки тока определяют из соотношения

$$\cos \theta = \frac{U_1 - U_0}{U_m} . \quad (2.22)$$

Из (2.22) при известных значениях U_1 и U_m определяют напряжение смещения на базе U_0 . Если $U_1 < 0$, то в (2.22) следует поменять местами U_1 и U_0 .

Далее, используя коэффициенты Берга, рассчитывают амплитуды первых трёх гармоник тока I_1 , I_2 , I_3 по формуле

$$I_n = S U_m \gamma_n(\theta) , \quad (2.23)$$

где $n = 1, 2, 3$.

После этого можно рассчитать амплитуды напряжений 2-ой и 3-ей гармоник на выходе усилителя по формуле

$$U_n = I_n |Z_n| = I_n \frac{R_0 p L^2}{\sqrt{1 + \xi_n^2}}, \quad (2.24)$$

где $|Z_n|$ — модуль комплексного сопротивления контура на частоте n -ой гармоники; ξ_n — обобщённая расстройка контура для n -ой гармоники, определяемая по формуле $\xi_n = Q_{\text{ЭКВ}}(f_n/f_0 - f_0/f_n)$.

Коэффициент нелинейных искажений определяют как

$$K_{\Gamma, \%} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2}}{U_1} \cdot 100. \quad (2.25)$$

Напряжение питания выходного усилителя мощности $E_{\text{к}}$ берут немного большим, чем максимальная амплитуда выходного сигнала

$$E_{\text{к}} = U_{1\text{max}} \eta, \quad (2.26)$$

где $\eta = 1,05 \dots 1,1$ — коэффициент запаса.

Для радиосигнала с угловой модуляцией $U_{1\text{max}} = U_1$, а с амплитудной модуляцией

$$U_{1\text{max}} = U_1(1 + M), \quad (2.27)$$

где M — коэффициент модуляции.

Коэффициент полезного действия усилителя мощности определяют по формуле

$$\text{КПД} = \frac{P_{\approx}}{I_0 E_{\text{к}}}, \quad (2.28)$$

где I_0 — постоянная составляющая выходного тока, определяемая с помощью коэффициента Берга по формуле (2.23) при $n = 0$.

Завершается задание построением требуемых графиков с соблюдением единого временного и частотного масштабов.

2.5. Задание №5

2.5.1. Условие

Синтезировать согласованный фильтр для заданного сигнала.

1. Определить комплексный коэффициент передачи фильтра.
2. Синтезировать структурную схему фильтра.
3. Определить и построить временную диаграмму выходного сигнала (под временной диаграммой входного сигнала).
4. Оценить отношение сигнал/шум на выходе фильтра в зависимости от n .

Исходные данные приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 — Исходные данные

Параметр	Номер варианта X									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вид сигнала	Фазоманипулированный по коду Баркера радиоимпульс с числом элементов n					Когерентная пачка из n радиоимпульсов с прямоугольной огибающей и скважностью, равной номеру варианта X				
Число элементов n	4	5	7	11	13	6	7	8	9	10

2.5.2. Указания к выполнению задания №5

Сигналы, кодированные по Баркеру, обладают наилучшими корреляционными свойствами: относительный уровень боковых лепестков автокорреляционной функции не превышает единицы. При фазовом кодировании по Баркеру радиоимпульс состоит из n элементов (позиций) отрезков гармонического колебания, начальные фазы которых изменяются на π , если значение кода Баркера в данной позиции равно -1 . Вид радиосигнала при фазовом кодировании по Баркеру приведен в [2]. Коды Баркера и их автокорреляционные функции (АКФ) приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 — Коды Баркера и их автокорреляционные функции

Число элементов	Коды Баркера	АКФ
4	1, 1, 1, -1	4, 1, 0, -1
5	1, 1, 1, -1, 1	5, 0, 1, 0, 1
7	1, 1, 1, -1, -1, 1, -1	7, 0, -1, 0, -1, 0, -1
11	1, 1, 1, -1, -1, -1, 1, -1, -1, 1, -1	11, 0, -1, 0, -1, 0, -1, 0, -1, 0, -1
13	1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1	13, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1

Примечание:

1. Значения АКФ даны для отчётов τ , больших нуля. При $\tau < 0$ АКФ продлевается чётным способом.

Методика решения задачи заключается в определении спектральной плотности входного радиосигнала $\underline{S}(j\omega)$ и записи выражения для комплексного коэффициента передачи согласованного фильтра

$$K(j\omega) = A \underline{S}^*(j\omega) e^{-j\omega t_0} \quad (2.29)$$

где A — постоянный коэффициент; $\underline{S}^*(j\omega)$ — функция, комплексно сопряжённая со спектральной плотностью входного сигнала; t_0 — время задержки пика выходного

сигнала, которое не может быть меньше длительности сигнала (обычно t_0 полагают равной длительности сигнала).

Выражение (2.27) может быть представлено в виде

$$K(j\omega) = K_1(j\omega)K_2(j\omega) , \quad (2.30)$$

где $K_1(j\omega)$ — комплексный коэффициент передачи фильтра, согласованного с одной позицией радиосигнала, т.е. с радиоимпульсом с прямоугольной огибающей; $K_2(j\omega)$ — комплексный коэффициент передачи синхронного накопителя.

Из (2.30) следует, что структурная схема согласованного фильтра будет представлять собой каскадное соединение двух вышеупомянутых фильтров.

Структурную схему фильтра, согласованного с радиоимпульсом с прямоугольной огибающей можно найти в [2], а структурную схему синхронного накопителя для фазоманипулированного сигнала — в [1].

Для когерентной пачки структурная схема синхронного накопителя выглядит несколько иначе и приведена в [1].

При определении выходного сигнала следует помнить, что он по форме (с точностью до постоянного коэффициента) совпадает с автокорреляционной функцией $B(\tau)$ входного сигнала, сдвинутой в сторону запаздывания на время t_0

$$S_{\text{ВЫХ}}(t) = AB(t - t_0) , \quad (2.29)$$

Корреляционная функция входного сигнала может быть построена с использованием правила, изложенного во 2-ом задании настоящих методических указаний. Основные сведения по этому вопросу можно найти в [1, 3].

Отношение пикового значения сигнала $S_{\text{ВЫХ}}(t_0)$ к среднеквадратичному значению шума $\sigma_{\text{ВЫХ}}$ (отношение сигнал/помеха) на выходе согласованного фильтра равно

$$\left(\frac{C}{\Pi}\right)_{\text{ВЫХ}}^{t_0} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}}{W_0}} , \quad (2.30)$$

где \mathcal{E} — энергия входного сигнала; W_0 — спектральная плотность мощности белого шума на входе фильтра.

Решение упростится, если воспользоваться задачиком [4], в котором имеются примеры решения подобных задач.

