

**Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет**



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**Методические рекомендации
к выполнению курсовой работы по дисциплине
«СИГНАЛЫ И ПРОЦЕССЫ В РАДИОТЕХНИКЕ»**

**для студентов направления 0907 — радиотехника
дневной формы обучения**

Севастополь

2006

Методические указания «Методические рекомендации к выполнению курсовой работы по дисциплине «Сигналы и процессы в радиотехнике» для студентов направления 0907 — радиотехника дневной формы обучения / Сост. Ю.Б. Гимпилевич, И.В. Таньков. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2006. — 24 с.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам дневной формы обучения в выполнении курсовой работы по дисциплине «Сигналы и процессы в радиотехнике», а также в приобретении навыков практических расчетов и анализа характеристик радиотехнических сигналов и цепей.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры радиотехники (протокол № 6 от 16.01.06 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. Содержание курсовой работы и правила оформления.....	5
2. Выполнение и защита курсовой работы	6
3. Задания и методические рекомендации	7
3.1. Задание №1	7
3.1.1. Условие	7
3.1.2. Указания к выполнению задания №1	7
3.2. Задание №2	9
3.2.1. Условие	9
3.2.2. Указания к выполнению задания №2	10
3.3. Задание №3	13
3.3.1. Условие	13
3.3.2. Указания к выполнению задания №3	13
3.4. Задание №4	15
3.4.1. Условие	15
3.4.2. Указания к выполнению задания №4	16
3.5. Задание №5	18
3.5.1. Условие	18
3.5.2. Указания к выполнению задания №5	20
3.6. Задание №6	21
3.6.1. Условие	21
3.6.2. Указания к выполнению задания №6	21
Библиографический список.....	24

ВВЕДЕНИЕ

Курсовая работа выполняется на заключительном этапе изучения дисциплины «Сигналы и процессы в радиотехнике» и имеет своей целью:

- углубление и закрепление теоретических знаний;
- овладение методами анализа сигналов и радиотехнических цепей;
- освоение расчётов, связанных с обработкой и преобразованием сигналов в радиотехнических цепях.

Для выполнения курсовой работы студент *должен изучить* основные теоретические положения по следующим разделам дисциплины:

- математические модели сигналов;
- методы преобразования сигналов в нелинейных цепях;
- нелинейное усиление и умножение частоты узкополосных сигналов;
- детектирование радиосигналов;
- генерирование гармонических колебаний;
- основы теории дискретных сигналов;
- методы борьбы с шумами и помехами;
- методы построения и характеристики согласованных фильтров.

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

- выполнять спектральный анализ тока, протекающего через нелинейный элемент методом А.И. Берга и методом кратного аргумента;
- рассчитывать характеристики резонансного умножителя частоты;
- рассчитывать характеристики амплитудного детектора радиосигналов;
- рассчитывать характеристики LC -фильтра;
- синтезировать структурные схемы согласованных фильтров.

1. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ И ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ

Курсовая работа выполняется в виде расчётно-пояснительной записки объёмом 25-30 страниц на листах белой бумаги формата А4 с одной стороны листа. Записка оформляется в соответствии с требованиями ЕСКД. По краям листа должны быть оставлены поля: левое — 30 мм; верхнее и нижнее — 25 мм; правое — 10 мм.

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

Пояснительная записка должна содержать следующее: титульный лист (см. приложение А); содержание; задание 1, задание 2 и т. д.; перечень ссылок; приложение.

Содержание пояснительной записки должно быть изложено литературным языком без сокращений, жаргонных выражений и упрощений.

Расчеты должны сопровождаться подробными пояснениями и математическими выкладками с обязательным описанием используемых величин и указанием их размерности. Формулы должны быть вписаны в текст тщательно и разборчиво с чётким обозначением индексов и показателей степеней.

Окончательный результат должен быть вычислен с точностью до третьей значащей цифры после запятой с указанием его основной или производной размерности (Гц, кГц, МГц и т. п.). Номиналы элементов электрических схем следует выбирать в соответствии с рекомендованным рядом.

В тексте записки необходимо делать ссылки на библиографические источники, из которых заимствованы метод расчета или расчетная формула. Ссылки приводятся в квадратных скобках, например, [n], где n — порядковый номер источника в библиографическом списке, который оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-84 и приводится в конце работы.

Все страницы курсовой работы, включая иллюстрации и приложения, нумеруются по порядку. Первой страницей считается титульный лист, на ней цифра «1» не ставится, на следующей за титульным листом странице проставляется в верхнем правом углу цифра «2» и т. д.

2. ВЫПОЛНЕНИЕ И ЗАЩИТА КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа выполняется в 5 семестре и требует затрат времени порядка 3-4 часов в неделю. Вариант задания выдаётся студенту преподавателем.

На протяжении семестра студент обязан регулярно консультироваться у ведущего преподавателя согласно установленному расписанию консультаций. Цель консультаций состоит в обеспечении планомерности выполнения курсовой работы и получении методических указаний по вопросам, вызвавшим затруднения.

Выполнение курсовой работы начинается с ознакомления с заданием, рекомендованной литературой, методическими указаниями. На седьмой и десятой неделях семестра студент обязан представить руководителю результаты выполнения курсовой работы для оценки степени её готовности.

На двенадцатой неделе семестра курсовая работа должна быть полностью выполнена и представлена к защите. Ориентировочный график выполнения курсовой работы приведён в таблице 3.1.

Таблица 2.1 — График выполнения курсовой работы

№ недели	Содержание работы
1-2	Выдача заданий
3	Подбор литературы
4-10	Выполнение заданий
11-12	Оформление расчётно-пояснительной записки
13-14	Подготовка к защите и защита курсовой работы

В ходе защиты курсовой работы студент должен в течение 4-5 минут доложить результаты работы, а затем ответить на вопросы по существу работы.

3. ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

3.1. Задание №1

3.1.1. Условие

На безынерционный нелинейный элемент, ВАХ которого аппроксимирована кусочно-ломаной линией с крутизной нарастающего участка S и напряжением отсечки U_1 (рис. 3.1) подано напряжение $u(t) = U_0 + U_m \cos \omega_1 t$.

Требуется:

1. Составить уравнение ВАХ нелинейного элемента.
2. Рассчитать и построить спектр выходного тока вплоть до десятой гармоники. Построить временные диаграммы входного напряжения, тока, протекающего через элемент, и его первых четырёх гармоник.
3. Определить углы отсечки и напряжения смещения U_0 , при которых в спектре тока отсутствует: а) вторая гармоника; б) третья гармоника.
4. Найти угол отсечки и напряжение смещения U_0 , соответствующие максимуму амплитуды третьей гармоники для случая, когда $U_m = \text{const}$.
5. Построить колебательную характеристику и описать её особенности. Найти напряжение смещения U_0 , при котором эта характеристика линейна.

Исходные данные приведены в таблице 3.1.

3.1.2. Указания к выполнению задания №1

1. Спектр амплитуд тока рассчитывается по формуле [1, 3]

$$I_n = I_m \alpha_n(\theta) = S U_m \gamma_n(\theta), \quad (3.1)$$

где I_n — амплитуда n -ой гармоники тока; I_m — амплитуда импульсов тока; n — номер гармоники ($n = 0, 1, 2 \dots$); $\alpha_n(\theta)$ и $\gamma_n(\theta)$ — коэффициенты Берга, однозначно связанные друг с другом соотношением

$$\gamma_n(\theta) = \alpha_n(\theta)(1 - \cos \theta); \quad (3.2)$$

θ — угол отсечки, определяемый по формуле

$$\theta = \arccos \frac{U_1 - U_0}{U_m}. \quad (3.3)$$

Таблица 3.1 — Исходные данные к заданию №1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S , мА/В	60	20	80	45	50	100	15	10	70	30
U_1 , В	1	0,5	1,5	−3	0,7	2	−4	1	0,2	0,8
U_0 , В	0,5	0	1,5	−2	0,5	1	−6	0	0,1	1
U_m , В	1	1	1,8	2	0,4	2	4	2	0,2	0,5

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
S , мА/В	90	40	80	60	25	40	120	20	10	50
U_1 , В	1,5	−4	−8	3	0,1	1	3	−2	0,5	4
U_0 , В	1	−3	−5	4	0	0,5	3	−3	0,8	1
U_m , В	1,2	2	6	3	0,3	1	2	4	0,6	4

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
S , мА/В	80	100	30	60	40	45	60	40	15	80
U_1 , В	−6	2	0,7	0,2	0,4	−1	2	0,5	−1	0
U_0 , В	−9	3	2	−1	−1	0,5	0	−1	−2	−1
U_m , В	6	3	5	1,5	3	2,5	3	2	2	1,5

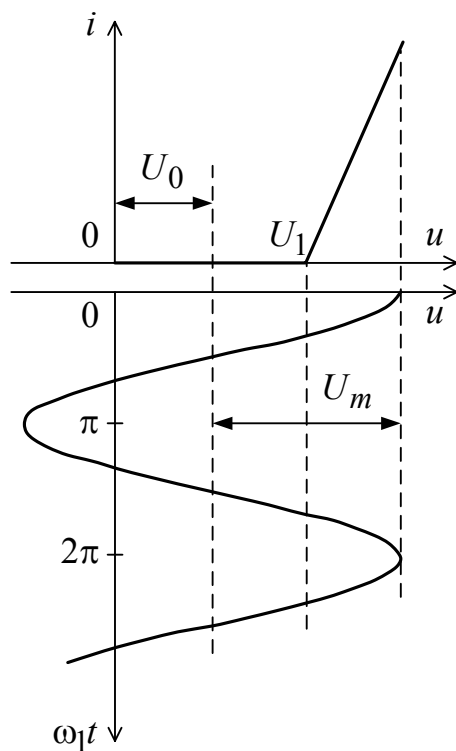


Рис. 3.1 — Пояснение к заданию №1

2. Угол отсечки, при котором в спектре тока отсутствует n -я гармоника, в соответствии с (3.1), можно определить путём решения уравнения

$$\alpha_n(\theta) = \gamma_n(\theta) = 0. \quad (3.4)$$

3. Угол отсечки, соответствующий максимуму n -ой гармоники в спектре тока (при $U_m = \text{const}$), определяется путём определения максимума соответствующего коэффициента Берга $\gamma_n(\theta)$. Решение этой задачи даёт следующий результат [1, 3]

$$\theta_{\text{опт}}^\gamma = 180^\circ/n. \quad (3.5)$$

4. Колебательной характеристикой нелинейного элемента называют зависимость амплитуды первой гармоники тока I_1 , протекающего через нелинейный элемент, от амплитуды входного напряжения

$$I_1 = f(U_m).$$

Вид колебательной характеристики зависит от положения точки покоя, то есть от начального смещения U_0 :

а) если $U_0 \leq U_1$, то уравнение колебательной характеристики имеет вид

$$I_1 = \begin{cases} 0, & \text{при } U_m \leq |U_1 - U_0|; \\ S_{\text{ср}} U_m, & \text{при } U_m > |U_1 - U_0|; \end{cases} \quad (3.6)$$

б) если $U_0 > U_1$, то

$$I_1 = \begin{cases} S U_m, & \text{при } U_m \leq |U_1 - U_0|; \\ S_{\text{ср}} U_m, & \text{при } U_m > |U_1 - U_0|; \end{cases} \quad (3.7)$$

в) если $U_0 = U_1$, то

$$I_1 = S_{\text{ср}} U_m = \frac{1}{2} S U_m, \quad (3.8)$$

где $S_{\text{ср}}$ — средняя крутизна, определяемая соотношением

$$S_{\text{ср}} = S \frac{\arccos\left(\frac{U_1 - U_0}{U_m}\right) - \frac{U_1 - U_0}{U_m} \sin\left(\arccos\frac{U_1 - U_0}{U_m}\right)}{\pi}. \quad (3.9)$$

Колебательную характеристику следует построить в диапазоне изменения U_m от нуля до $10|U_1 - U_0|$.

3.2. Задание №2

3.2.1. Условие

На вход резонансного умножителя частоты, выполненного на полевом транзисторе (рис. 3.2) подано напряжение $e(t) = U_m \cos(2\pi f_1 t)$, где f_1 — частота. Напряжение между затвором и истоком транзистора равно $u(t) = U_0 + e(t)$, где U_0 — напря-

жение смещения. Нагрузкой транзистора является колебательный контур с резонансной частотой $f_p = 2f_1$, ёмкостью C и добротностью $Q = 60$. Коэффициент включения катушки — p . Сток-затворная характеристика транзистора задана в виде таблицы 3.2 и может быть аппроксимирована в окрестности U_0 полиномом второй степени

$$i(u) = a_0 + a_1(u - U_0) + a_2(u - U_0)^2.$$

Таблица 3.2 — Характеристика транзистора к заданию №2

$U_{зи}, \text{В}$	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0
$i_c, \text{мА}$	1,6	1,8	2,1	2,5	3	3,8	4,8	6	7,5	9	12	15	20

Требуется:

1. Построить сток-затворную характеристику полевого транзистора. Изобразить временные диаграммы входного напряжения, тока стока и выходного напряжения умножителя.
2. Определить коэффициенты аппроксимирующего полинома a_0, a_1, a_2 .
3. Рассчитать спектр амплитуд тока стока и спектр выходного напряжения умножителя. Построить соответствующие спектрограммы и найти коэффициент нелинейных искажений выходного напряжения.
4. Рассчитать нормированную АЧХ контура, построить её в том же частотном масштабе, что и спектрограммы, расположив их друг под другом.
5. Рассчитать индуктивность и полосу пропускания контура.

Исходные данные приведены в таблице 3.3.

3.2.2. Указания к выполнению задания №2

1. Коэффициенты a_0, a_1, a_2 следует определить, используя метод узловых точек. В данном случае выбирают три точки, в которых аппроксимирующий полином совпадает с заданной характеристикой. Затем, подставляя в полином значения тока и напряжения, соответствующие этим точкам, составляют систему из трех уравнений

$$\begin{cases} i(u_1) = a_0 + a_1(u_1 - U_0) + a_2(u_1 - U_0)^2 ; \\ i(u_2) = a_0 + a_1(u_2 - U_0) + a_2(u_2 - U_0)^2 ; \\ i(u_3) = a_0 + a_1(u_3 - U_0) + a_2(u_3 - U_0)^2 . \end{cases} \quad (3.10)$$

Напряжения u_0, u_1, u_2 желательно выбрать равными следующим значениям: $U_0, U_0 - U_m, U_0 + U_m$.

Таблица 3.3 — Исходные данные к заданию №2

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U_0 , В	-1,5	-5,0	-2,5	-3,5	-3,0	-4,0	-1,0	-2,0	-5,0	-3,0
U_m , В	1,5	2,5	2,0	3,0	2,5	3,5	1,0	2,0	4,0	2,0
f_1 , МГц	0,2	1	0,5	2	0,7	1,2	3	5	10	4
C , пФ	800	150	350	120	200	150	90	60	35	60
p	0,15	0,30	0,25	0,2	0,15	0,1	0,3	0,2	0,1	0,3

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
U_0 , В	-4,5	-5,5	-2,2	-4,0	-6,5	-6,0	-7,5	-3,0	-7,0	-4,5
U_m , В	2,0	4,0	2,0	3,0	3,5	2,0	4,0	2,0	4,0	3,0
f_1 , МГц	0,3	0,4	2,5	12	6	0,3	2	0,5	7	4
C , пФ	400	250	150	25	50	400	90	300	50	120
p	0,20	0,15	0,50	0,20	0,30	0,40	0,25	0,15	0,10	0,20

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
U_0 , В	-8,0	-8,5	-9,0	-6,0	-2,5	-3,8	-2,5	-5,5	-5,0	-4,0
U_m , В	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	3,2	1,5	2,5	3,5	3,0
f_1 , МГц	8	1,5	3	9	6	1	0,6	0,2	5	3,5
C , пФ	70	180	100	40	70	300	450	950	100	200
p	0,3	0,5	0,6	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,1	0,3

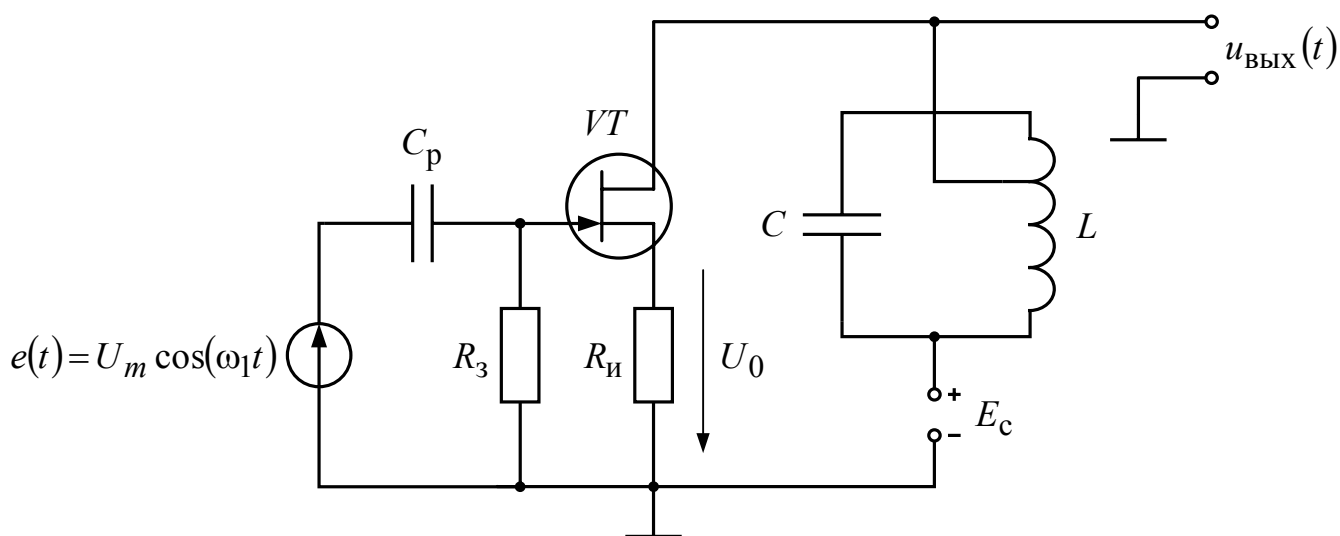


Рис. 3.2 — Схема удвоителя частоты

Решая систему уравнений (3.10), определяют искомые коэффициенты полинома a_0, a_1, a_2 . Затем рассчитывают аппроксимирующий полином в рабочем диапазоне от $U_0 - U_m$ до $U_0 + U_m$ напряжений и строят его на том же рисунке, где изображена исходная сток-затворная характеристика.

2. Спектр тока стока рассчитывают с использованием метода кратного аргумента. Для этого входное напряжение подставляют в аппроксимирующий полином и преобразуют его к виду

$$i = I_0 + I_1 \cos(\omega_1 t) + I_2 \cos(2\omega_1 t) , \quad (3.11)$$

где I_0 — постоянная составляющая тока; I_1, I_2 — амплитуды первой и второй гармоник тока соответственно; $\omega_1 = 2\pi f_1$.

3. Выходное напряжение содержит постоянную составляющую (не рассчитывается) и две гармоники с амплитудами U_1, U_2 и начальными фазами φ_1 и φ_2

$$u_{\text{вых}}(t) = U_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1) + U_2 \cos(2\omega_1 t + \varphi_2) , \quad (3.12)$$

где

$$U_1 = I_1 \frac{R_0 p^2}{\sqrt{1 + \xi_1^2}} , \quad (3.13)$$

$$U_2 = I_2 \frac{R_0 p^2}{\sqrt{1 + \xi_2^2}} = I_2 R_0 p^2 , \quad (3.14)$$

$$\varphi_1 = \pi - \arctg(\xi_1) , \quad (3.15)$$

$$\varphi_2 = \pi - \arctg(\xi_2) = \pi , \quad (3.16)$$

где $R_0 = \rho Q$ — резонансное сопротивление контура при полном включении; ρ — характеристическое сопротивление контура, которое в данном случае удобно определить по формуле

$$\rho = 1/2\pi f_p C ; \quad (3.17)$$

ξ_1 и ξ_2 — обобщенные расстройки для первой и второй гармоник соответственно, которые определяем по формулам

$$\xi_1 = Q \left(\frac{f_1}{f_p} - \frac{f_p}{f_1} \right) ;$$

$$\xi_2 = Q \left(\frac{2f_1}{f_p} - \frac{f_p}{2f_1} \right) = 0 .$$

3.3. Задание №3

3.3.1. Условие

На вход амплитудного детектора вещательного приёмника, содержащего диод с прямым внутренним сопротивлением R_i и RC -фильтр, подаётся амплитудно-модулированный сигнал $u_{\text{вх}}(t) = U_{m0}(1 + M \cos \Omega t) \cos \omega_{\text{пр}} t$ и узкополосный шум с равномерным энергетическим спектром $W_x = W_0 = \text{const}$ в полосе частот, равной полосе пропускания тракта промежуточной частоты приёмника, и дисперсией $D_x = 0,01 U_{m0}^2$.

Требуется:

1. Привести схему детектора и определить ёмкость.
2. Рассчитать дисперсию входного шума и амплитуду входного колебания U_{m0} .
3. Определить отношения сигнал/помеха по мощности на входе и выходе детектора в отсутствии модуляции.
4. Рассчитать постоянную составляющую и амплитуду переменной составляющей выходного сигнала.
5. Построить на одном рисунке ВАХ диода, полагая напряжение отсечки равным нулю, а также временные диаграммы выходного напряжения, тока диода и напряжения на диоде.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 3.4.

3.3.2. Указания к выполнению задания №3

1. Постоянную времени RC -фильтра детектора $\tau = RC$ выбирают из условия [1, 3]

$$\frac{1}{\omega_{\text{пр}}} \ll \tau \ll \frac{1}{\Omega_{\text{max}}}, \quad (3.18)$$

где $\omega_{\text{пр}} = 2\pi f_{\text{пр}}$ — круговая промежуточная частота; $\Omega_{\text{max}} = 2\pi F_{\text{max}}$ — максимальная частота в спектре модулирующего сигнала.

Для того чтобы удовлетворить условию (3.18), следует выбрать τ как среднее геометрическое

$$\tau = \sqrt{\frac{1}{\omega_{\text{пр}} \Omega_{\text{max}}}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{f_{\text{пр}} f_{\text{max}}}}. \quad (3.19)$$

Поскольку речь идёт о вещательном приёмнике, то следует взять $f_0 = 465 \text{ кГц}$ (промежуточная частота для вещательного приемника АМ колебаний), $F_{\text{max}} = 5 \text{ кГц}$. Рассчитав τ по формуле (3.19), далее определяют ёмкость фильтра C

$$C = \tau / R. \quad (3.20)$$

Таблица 3.4 — Исходные данные к заданию №3

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_i , Ом	10^3	50	30	100	75	60	20	10^3	150	80
R , кОм	150	8	2	10	5	12	1,5	200	20	4
M , %	100	40	50	30	60	35	50	20	60	40
$W_0 \cdot 10^{-6}$, В ² /Гц	2,9	1,7	2,4	4,6	3,0	1,5	4,0	9,0	8,0	3,5

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R_i , Ом	300	80	200	40	100	120	50	200	500	10^3
R , кОм	15	4	6	2	12	10	12	25	35	100
M , %	25	80	25	20	30	10	30	60	45	70
$W_0 \cdot 10^{-6}$, В ² /Гц	4,5	12,0	11,0	10,5	13,0	12,5	11,5	7,0	8,0	6,0

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
R_i , Ом	25	400	40	300	100	60	80	300	150	350
R , кОм	6	40	8	16	12	4	6	20	100	80
M , %	50	25	30	30	85	100	40	30	60	20
$W_0 \cdot 10^{-6}$, В ² /Гц	6,5	8,5	7,5	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	4,5	6,0

2. Дисперсию входного шума определяют по формуле [6]

$$D_x = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} W_x(\omega) d\omega, \quad (3.21)$$

где $W_x(\omega)$ — энергетический спектр шума.

При интегрировании следует учесть, что по условию задачи в полосе частот $\omega_{\text{пр}} - \Omega_{\text{мах}} \dots \omega_{\text{пр}} + \Omega_{\text{мах}}$, совпадающей с полосой частот тракта промежуточной частоты, спектр шума равномерен, а за пределами этой полосы — равен нулю. Амплитуда несущего колебания U_{m0} в соответствии с условием задачи определяется как

$$U_{m0} = \sqrt{\frac{D_x}{0,01}} = 10\sqrt{D_x}. \quad (3.22)$$

3. Находят отношение сигнал/помеха на входе детектора

$$h^2 = \left(\frac{C}{\Pi} \right)_{\text{вх}} = \frac{P_c}{D_x} = \frac{U_{m0}^2}{2D_x}. \quad (3.23)$$

4. Определяют отношение сигнал/помеха на выходе детектора [1]

$$\left(\frac{C}{\Pi}\right)_{\text{ВЫХ}} = \frac{\left(U_0 - \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma_x\right)^2}{2\sigma_x^2 + U_{m0}^2 - U_0^2}, \quad (3.24)$$

где $\sigma_x = \sqrt{D_x}$ — среднеквадратическое отклонение входного шума; U_0 — постоянная составляющая выходного напряжения детектора при одновременном воздействии немодулированного сигнала и шума.

Постоянную составляющую выходного напряжения детектора

$$U_0 = \sigma_x \sqrt{\frac{\pi}{2}} \left[I_0\left(\frac{h^2}{2}\right) + h^2 \left(I_0\left(\frac{h^2}{2}\right) + I_1\left(\frac{h^2}{2}\right) \right) \right] \exp\left(-\frac{h^2}{2}\right), \quad (3.25)$$

где I_0, I_1 — функции Бесселя нулевого и первого порядков соответственно.

5. Напряжение на выходе детектора в отсутствии шума прямо пропорционально амплитуде входного сигнала

$$u_{\text{ВЫХ}}(t) = k_d U_{m0} (1 + M \cos \Omega t), \quad (3.26)$$

где k_d — коэффициент преобразования детектора, который равен [1]

$$k_d = \cos \theta. \quad (3.27)$$

Угол отсечки тока θ определяется решением трансцендентного уравнения [1]

$$\frac{R_i}{R} = \frac{\text{tg} \theta - \theta}{\pi}. \quad (3.28)$$

Решение уравнения (3.28) следует провести на ЭВМ.

Преобразовав (3.26), получим формулу для выходного напряжения детектора

$$u_{\text{ВЫХ}}(t) = U_{0\text{ВЫХ}} + U_{m\text{ВЫХ}} \cos(\Omega t), \quad (3.29)$$

где $U_{0\text{ВЫХ}}$ — постоянная составляющая выходного напряжения; $U_{m\text{ВЫХ}}$ — амплитуда переменной составляющей выходного напряжения детектора.

При построении требуемых графиков следует учесть, что ток диода определяется напряжением на диоде $u_d(t)$, которое равно

$$u_d(t) = u_{\text{ВХ}}(t) - u_{\text{ВЫХ}}(t). \quad (3.30)$$

3.4. Задание №4

3.4.1. Условие

LC-автогенератор на полевом транзисторе с контуром в цепи стока генерирует гармоническое колебание с частотой f_0 . Контур состоит из индуктивности L , ёмкости C и имеет добротность Q . Крутизна сток-затворной характеристики транзисто-

ра в рабочей точке S .

Требуется:

1. Изобразить электрическую схему генератора.
2. Вывести условие самовозбуждения генератора.
3. Определить критическое значение $p_{кр}$ (либо $M_{кр}$ для схемы с трансформаторной обратной связью), которому соответствует граница устойчивости.
4. Выбрать значение p (либо M) обеспечивающее устойчивую генерацию и рассчитать неизвестный элемент контура.
5. Изобразить качественно процесс установления напряжения на выходе генератора, указать области нестационарного и стационарного режимов.

Исходные данные приведены в таблице 3.5. В этой таблице: И — индуктивная трёхточка; Е — емкостная трёхточка; Т — трансформаторная обратная связь.

3.4.2. Указания к выполнению задания №4

1. Условие самовозбуждения автогенератора имеет вид [1]

$$K_y K_{oc} > 1, \quad (3.31)$$

где K_y — коэффициент усиления усилителя; K_{oc} — коэффициент передачи цепи обратной связи.

Для схемы с трансформаторной обратной связью

$$K_y = SQ\rho, \quad (3.32)$$

$$K_{oc} = M/L, \quad (3.33)$$

где ρ — характеристическое сопротивление контура.

Для индуктивной трёхточки

$$K_y = SQ\rho p^2, \quad (3.34)$$

$$K_{oc} = L_2/L_1 = (1-p)/p, \quad (3.35)$$

где $p = L_1/L$ — коэффициент включения индуктивности контура; L_2 — индуктивность катушки, с которой снимается напряжение обратной связи; $L = L_1 + L_2$ — полная индуктивность контура.

Для емкостной трёхточки

$$K_y = SQ\rho p^2, \quad (3.36)$$

$$K_{oc} = C_2/C_1 = (1-p)/p, \quad (3.37)$$

где $p = C/C_1$ — коэффициент включения ёмкости контура; C_2 — ёмкость, с которой снимается напряжение обратной связи; $C = C_1 C_2 / (C_1 + C_2)$ — полная ёмкость контура.

Таблица 3.5 — Исходные данные к заданию №4

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип схемы	И	Е	Т	И	Е	Т	И	Е	Т	И
S , мА/В	5	5	5	6	6	6	7	7	7	8
Q	50	80	40	60	50	70	40	30	60	70
f_0 , МГц	0,5	0,7	0,8	1	1,2	1,5	1,0	2	2,5	3
L , мкГн	—	400	—	—	300	—	—	250	—	—
C , пФ	200	—	180	150	—	120	110	—	85	80

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Тип схемы	Е	Т	И	Е	Т	И	Е	Т	И	Е
S , мА/В	8	8	9	9	9	10	10	10	9	9
Q	50	80	40	30	60	60	50	40	60	40
f_0 , МГц	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8
L , мкГн	150	—	—	50	—	—	30	—	—	20
C , пФ	—	75	60	—	50	50	—	40	35	—

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Тип схемы	Т	И	Е	Т	И	Е	Т	И	Е	Т
S , мА/В	9	8	8	8	7	7	7	6	6	6
Q	30	50	60	45	40	30	35	25	30	20
f_0 , МГц	8,5	9	9,5	10	11	12	13	14	15	16
L , мкГн	—	—	16	—	—	18	—	—	15	—
C , пФ	30	25	—	20	17	—	15	12	—	10

Подставляя (3.32)...(3.37) в неравенство (3.31) и решая его относительно p (либо M), определяют критические значения этих параметров на границе области генерации. Следует отметить, что для трёхточечной схемы существует два критических значения: $p_{кр1}$ и $p_{кр2}$. Следует выбрать значение p (либо M), обеспечивающее самовозбуждение, то есть удовлетворяющих условию (3.31).

Для трансформаторной обратной связи следует выбрать $M > M_{кр}$, а для трёхточечных схем — $p_{кр1} < p < p_{кр2}$.

3.5. Задание №5

3.5.1. Условие

Аналоговый сигнал $s(t)$ (рис. 3.3) длительностью $t_c = 1\text{мс}$ подвергнут дискретизации путём умножения на последовательность δ -импульсов. Интервал дискретизации T_d .

Требуется:

1. Рассчитать и построить график модуля спектральной плотности аналогового сигнала $s(t)$.
2. Определить максимальную частоту в спектре аналогового сигнала f_m , ограничив спектр, в соответствии с одним из известных критериев [6].
3. Рассчитать интервал дискретизации T_d и число выборок N за время t_c .
4. Изобразить временную диаграмму дискретного сигнала под временной диаграммой аналогового сигнала в одном и том же временном масштабе.
5. Определить спектральную плотность дискретного сигнала и построить график ее модуля под графиком спектральной плотности аналогового сигнала в одном частотном масштабе.
6. Провести дискретное преобразование Фурье (ДПФ), определить коэффициенты ДПФ и построить спектрограмму модулей этих коэффициентов под графиками спектрограмм аналогового и дискретного сигналов в том же частотном масштабе.
7. Записать выражения для z -преобразования дискретного сигнала.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 — Исходные данные к заданию №5

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Сигнал	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к	а	б	в	г	д

Вариант	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Сигнал	е	ж	з	и	к	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к

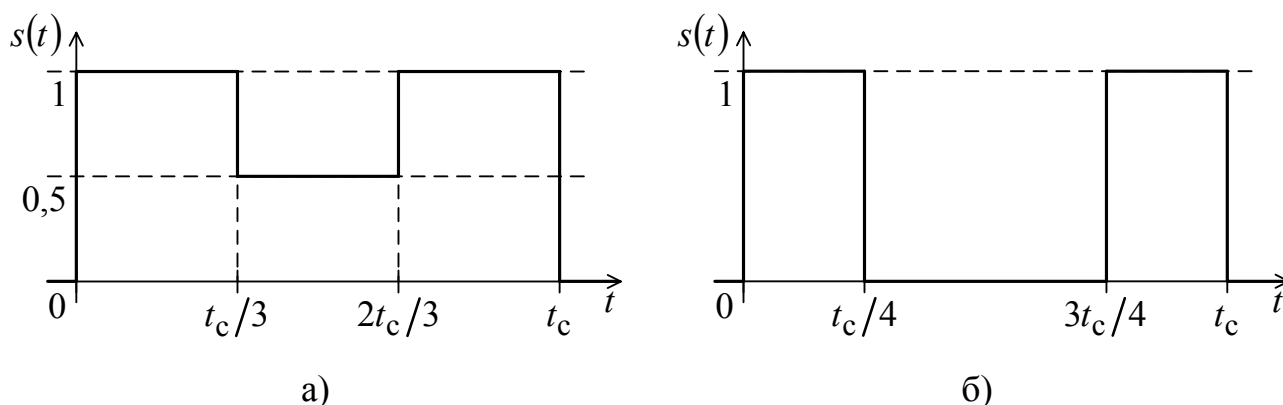
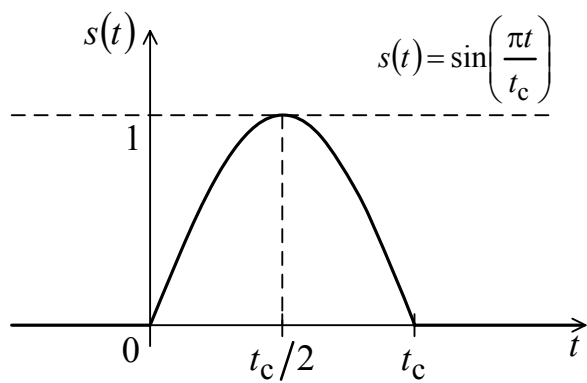
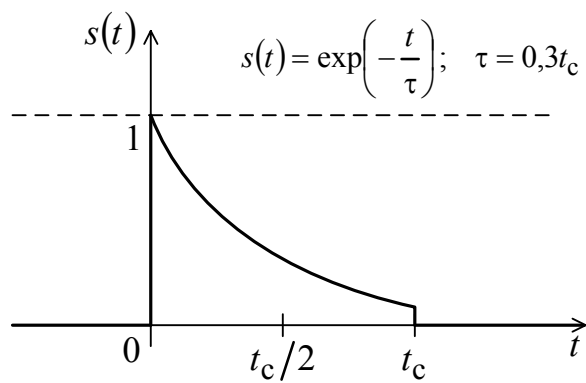


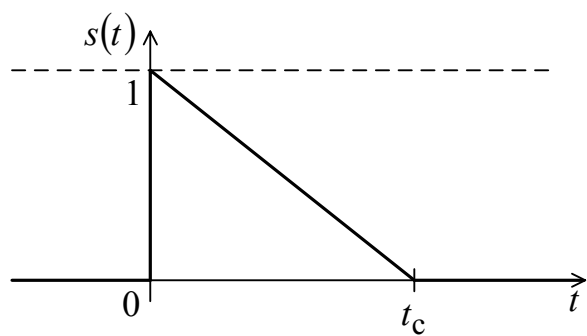
Рис. 3.3 — Аналоговые сигналы к заданию №5



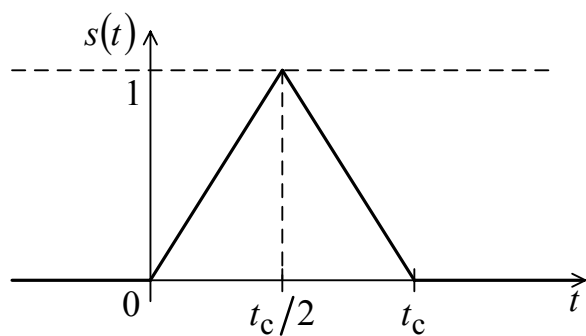
В)



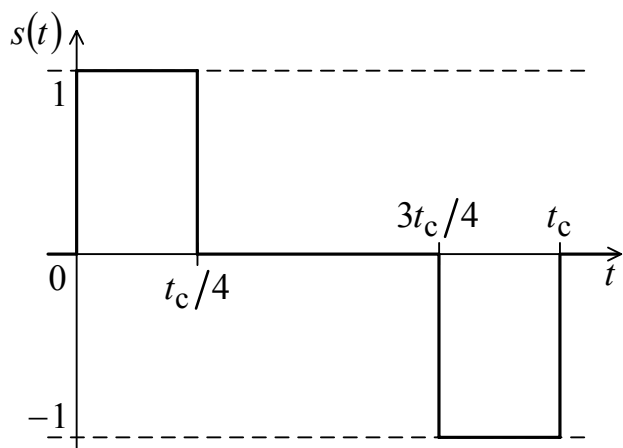
Г)



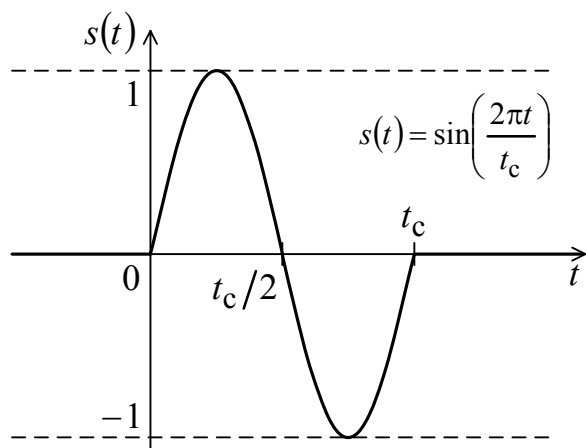
Д)



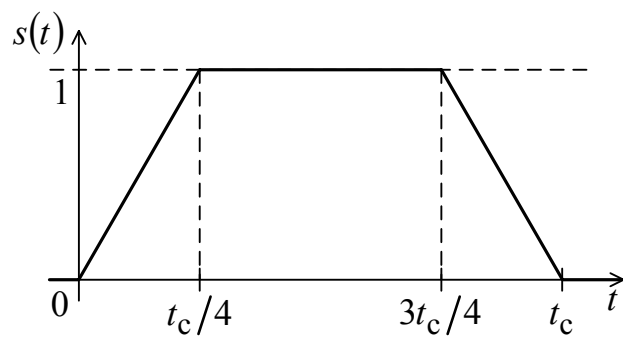
е)



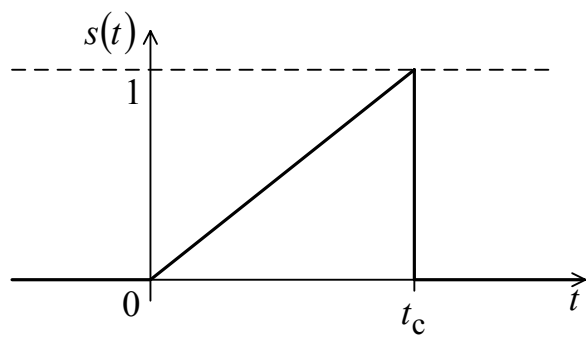
Ж)



з)



и)



к)

Рис. 3.3 — Продолжение

3.5.2. Указания к выполнению задания №5

1. Спектральная плотность аналогового сигнала (импульса) определяется с помощью прямого преобразования Фурье [1, 3]. Определив модуль спектральной плотности, следует построить ее спектрограмму.

Максимальную частоту спектра аналогового сигнала f_m можно определить, ограничив спектр на уровне 0,1 от его максимального значения (возможны и другие критерии).

2. Интервал дискретизации T_d выбирают, исходя из теоремы Котельникова, в соответствии с которой

$$T_d \leq 1/2f_m . \quad (3.38)$$

Тогда число выборок N определяется соотношением

$$N = t_c/T_d + 1 . \quad (3.39)$$

Следует выбрать интервал дискретизации T_d таким образом, чтобы число выборок N было целым.

3. Спектральная плотность дискретного сигнала определяется соотношением

$$\underline{S}_T(j\omega) = \sum_{k=0}^{N-1} s(kT_d) e^{-j\omega kT_d} , \quad (3.40)$$

где k — номер отсчёта дискретного сигнала.

Так как спектральная плотность дискретного сигнала — это периодическая непрерывная функция частоты, период которой равен частоте дискретизации $\omega_d = 2\pi/T_d$, то достаточно построить график модуля (3.40) в диапазоне частот $0 \leq \omega \leq \omega_d$.

4. Дискретное преобразование Фурье определяется соотношением [1]

$$\underline{S}(n) = \sum_{k=0}^{N-1} s(kT_d) \exp\left(-j\frac{2\pi}{N}nk\right) , \quad (3.41)$$

где n — номер отсчёта спектральной плотности; $n = 0, 1, 2 \dots N$.

Отсчёты спектральной плотности (3.41) следуют через интервалы $\Delta\omega = \omega_d/N = 2\pi/TN$. Рассчитав модули коэффициентов ДПФ, следует построить спектрограмму, расположив отсчёты на оси частот через интервалы, кратные $\Delta\omega$.

5. Z -преобразование дискретного сигнала определяется соотношением

$$\underline{S}(z) = \sum_{k=0}^{N-1} s(kT_d) z^{-k} , \quad (3.42)$$

где $z = \exp(j\omega T_d)$ — комплексная переменная.

После вычисления суммы (3.42) следует представить её в виде дробно-рациональной функции.

3.6. Задание №6

3.6.1. Условие

Синтезировать согласованный фильтр для заданного сигнала. При этом необходимо выполнить следующее:

1. Построить временную диаграмму входного сигнала, полагая длительность импульса в пачке равной $t_1 = 10$ мс, несущую частоту — $f_0 = 5$ кГц, амплитуду импульса — $E = 1$ В.
2. Рассчитать спектральную плотность входного сигнала и построить спектрограмму ее модуля. Определить ширину спектра и базу этого сигнала.
3. Определить комплексный коэффициент передачи согласованного фильтра.
4. Построить график АЧХ такого фильтра под спектрограммой модуля спектральной плотности входного сигнала в одном и том же частотном масштабе.
5. Синтезировать структурную схему фильтра.
6. Определить и построить временную диаграмму выходного сигнала фильтра под временной диаграммой входного сигнала в том же временном масштабе.
7. Определить выигрыш в отношении сигнал/шум, который обеспечивает согласованный фильтр.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 — Исходные данные

Вариант	Последняя цифра зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
n	4	5	7	11	13	3	4	5	6	7
Вид сигнала	Фазоманипулированный по коду Баркера радиоимпульс с числом элементов n					Когерентная пачка из n радиоимпульсов с прямоугольной огибающей и скважностью, равной n				

3.6.2. Указания к выполнению задания №6

1. Сигналы, кодированные по Баркеру, обладают наилучшими корреляционными свойствами: уровень боковых лепестков автокорреляционной функции относительно максимального значения 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 [3, 6]. Коды Баркера, а также значения отсчетов их автокорреляционных функций (АКФ) приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 — 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 — значения АКФ даны для отсчётов $\tau = k t_1$ ($k = 0, 1, 2 \dots$). При $\tau < 0$ АКФ продлевается чётным способом.

Радиосигнал в виде когерентной пачки радиоимпульсов можно найти в [1], причём число импульсов следует ограничить числом n .

2. Спектральная плотность входного сигнала $\underline{S}(j\omega)$ определяется с помощью прямого преобразования Фурье. После чего строится спектрограмма ее модуля. После этого определяют ширину спектра Δf (можно использовать любой критерий) и рассчитывается база сигнала $N = 2T_c \Delta f$.

3. Комплексный коэффициент передачи согласованного фильтра записывается в виде [1, 6]

$$K(j\omega) = A \underline{S}^*(j\omega) e^{-j\omega t_0}, \quad (3.43)$$

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 $t_0 \geq t_c$ (обычно t_0 полагают равной длительности сигнала).

АЧХ согласованного фильтра определяют путем взятия модуля выражения (3.43).

4. Синтезируют структурную схему согласованного фильтра преобразуя (3.43) к виду

$$K(j\omega) = K_1(j\omega) K_2(j\omega), \quad (3.44)$$

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

Из (3.44) следует, что структурная схема согласованного фильтра будет представлять собой каскадное соединение двух вышеупомянутых фильтров.

Структурная схема фильтра, согласованного с радиоимпульсом с прямоуголь-

ной огибающей, приведена в работе [3], а структурная схема синхронного накопителя для фазоманипулированного сигнала — в [6].

Для когерентной пачки структурная схема синхронного накопителя приведена в [6].

5. 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

$$s_{\text{вых}}(t) = A B(t - t_0) . \quad (3.45)$$

Основные сведения по вопросу связанному с построением корреляционной функции входного сигнала можно найти в [1, 6].

6. Выигрыш в отношении сигнал-шум, который обеспечивает согласованный фильтр, определяют выражением

$$q = \sqrt{N} . \quad (3.46)$$

Решение упростится, если воспользоваться задачиком [2], в котором приведены примеры решения подобных задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы / И.С. Гоноровский. — М.: Радио и связь, 1986. — 512 с.
2. Радиотехнические цепи и сигналы. Примеры и задачи: Учеб. пособие для ВУЗов / Г.Г. Галустов, И.С. Гоноровский, М.П. Демин и др.: Под ред. И.С. Гоноровского. — М.: Радио и связь. 1989. — 248 с.
3. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / С.И. Баскаков. — М.: Высш. шк., 2003. — 462 с.
4. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. пособие для ВУЗов / В.В. Васильев, М.Р. Витоль, Ю.Н. Горшенков и др.: Под ред. К.А. Самойло. — М.: Радио и связь, 1982. — 528 с.
5. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. Руководство к решению задач: Учеб. пособие для радиотехнических специальностей ВУЗов / С.И. Баскаков. — М.: Высш. шк., 1987. — 207 с.
6. Гимпилевич Ю.Б. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебное пособие для ВУЗов / Ю.Б. Гимпилевич: Ч.1. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2003. — 272 с.