

И.Д. Исаев, А.Н. Семёнов

Основы теории и техники радиосистем передачи информации

Задачник



Москва

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ им. Н.Э. Баумана

2 0 2 6

УДК 621.396
ББК 32.811.7
И85

Издание доступно в электронном виде по адресу
<https://press.bmstu.ru/catalog/item/8625/>

Факультет «Радиоэлектроника и лазерная техника»
Кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства»

*Рекомендовано Научно-методическим советом
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве задачника*

Рецензент
д-р техн. наук *Л.О. Мырова*

Исаев, И. Д.
И85 Основы теории и техники радиосистем передачи информации : задачник / И. Д. Исаев, А. Н. Семёнов. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2026. — 60, [4] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-6745-7

Содержит задачи по основным темам курса «Основы теории и техники радиосистем передачи информации»: способы представления и преобразования сообщений, сигналов и помех, информационные характеристики сообщений и их источников, передача и прием дискретных сообщений, помехоустойчивое кодирование.

Приведены краткие теоретические сведения, необходимые для самостоятельного решения предлагаемых задач, представлены примеры решения некоторых из них. Даны ответы ко всем задачам.

Для студентов МГТУ им. Н.Э. Баумана, изучающих дисциплину «Основы теории и техники радиосистем передачи информации».

УДК 621.396
ББК 32.811.7



Уважаемые читатели! Пожелания, предложения, а также сообщения о замеченных опечатках и неточностях Издательство просит направлять по электронной почте: press@bmstu.ru

ISBN 978-5-7038-6745-7

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2026
© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2026

Предисловие

Задачник предназначен для работы на семинарских занятиях, а также для самостоятельной работы студентов, изучающих дисциплину «Основы теории и техники радиосистем передачи информации», входящую в основную образовательную программу подготовки по специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы».

Уровень освоения компетенций (результаты обучения) ОПОП и СУОС 3++ предполагает:

- знание теоретических основ и методов обработки сигналов, современных принципов поиска, хранения, обработки, анализа и представления в требуемом формате информации;
- умение применять современный математический аппарат для решения задач оптимизации;
- владение способами и методами решения теоретических и экспериментальных задач, навыками моделирования систем радиосвязи и обеспечения информационной безопасности, методами оптимизации проектируемых систем связи.

Задачи распределены по главам, соответствующим всем основным разделам курса, связанным со способами представления и преобразования сообщений, сигналов и помех, информационными характеристиками сообщений, источников сообщений и каналов связи, передачей и приемом дискретных сообщений. Приведены также задачи, связанные с вопросами помехоустойчивого кодирования и решения некоторых из них. После каждой задачи даны ответы.

Цель издания — формирование у студентов навыков решения задач, связанных с системами передачи информации, а также закрепление теоретических знаний, полученных при изучении лекционного курса.

Задачник разработан на базе учебных материалов кандидата технических наук доцента кафедры «Радиоэлектронные системы и устройства» МГТУ им. Н.Э. Баумана А.И. Сенина по дисциплине «Основы теории и техники радиосистем передачи информации».

В список литературы включены наиболее важные учебные материалы, необходимые для самостоятельной работы студентов.

СПОСОБЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СООБЩЕНИЙ, СИГНАЛОВ И ПОМЕХ

Краткие теоретические сведения

Информационные сигналы являются случайными и могут быть:

- непрерывными (аналоговыми);
- дискретными (последовательностью символов).

Аналоговые сигналы характеризуются:

- спектральной плотностью мощности (энергетическим спектром) $S(f)$ — функцией распределения мощности сигнала в зависимости от частоты f (или функцией распределения мощности $S(\omega)$ в зависимости от круговой частоты $\omega = 2\pi f$);

- корреляционной функцией $R(\tau)$ — моментной функцией, характеризующей степень линейной статистической связи между двумя отсчетами случайного сигнала, разделенными интервалом времени τ .

Выражения для корреляционной функции $R(\tau)$ и спектральной плотности мощности $S(f)$ стационарных случайных сигналов связаны преобразованием Фурье.

Прямое преобразование Фурье имеет вид

$$\begin{aligned} S(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) \exp(-j2\pi f\tau) d\tau = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) (\cos(2\pi f\tau) - j \sin(2\pi f\tau)) d\tau = 2 \int_0^{\infty} R(\tau) \cos(2\pi f\tau) d\tau, \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} S(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) \exp(-j\omega\tau) d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) (\cos(\omega\tau) - j \sin(\omega\tau)) d\tau = \\ &= 2 \int_0^{\infty} R(\tau) \cos(\omega\tau) d\tau. \end{aligned}$$

Обратное преобразование Фурье имеет вид

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S(f) \exp(j2\pi f\tau) df = 2 \int_0^{\infty} S(f) \cos(2\pi f\tau) df,$$

или

$$R(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) \exp(j\omega\tau) d\omega = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} S(\omega) \cos(\omega\tau) d\omega.$$

Величина $S(f)$ в общем случае представляет собой двустороннюю спектральную плотность мощности. Однако на практике часто используют одностороннюю спектральную плотность мощности $S_1(f)$, которая показывает распределение мощности сигнала, сосредоточенной только в области неотрицательных частот (рис. 1). Односторонняя спектральная плотность мощности с учетом принципа сохранения энергии сигнала связана с двусторонней следующим соотношением:

$$S_1(f) = 2S(f), f \geq 0,$$

или

$$S_1(\omega) = 2S(\omega), \omega \geq 0.$$

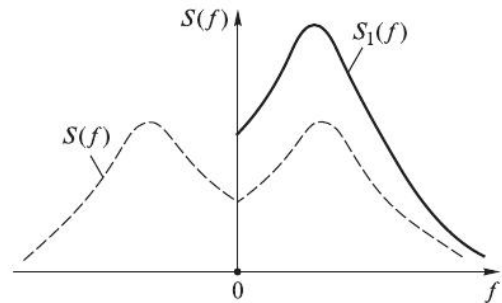


Рис. 1. Односторонняя и двусторонняя спектральная плотность мощности

Односторонняя спектральная плотность мощности белого гауссовского шума равна N_0 , Вт/Гц, а его двусторонняя спектральная плотность мощности составляет $N_0/2$, Вт/Гц.

Историческая справка о преобразовании Фурье

Преобразование Фурье представляет собой операцию разложения исходной функции на гармонические составляющие с разными амплитудами и частотами. Первооткрывателем данного метода является французский математик Жан-Батист Жозеф Фурье, именем которого и названо преобразование. Впервые свой математический метод Фурье применил в 1800-х гг. для объяснения механизма теплопроводности в якорном железном кольце. Ученый предположил, что нерегулярное распределение температуры по кольцу, возникающее вследствие погружения его наполовину в огонь, можно разложить на множество простых синусоид, каждая из которых имеет свой максимум температуры и свою фазу, т. е. начальное положение на кольце. Таким образом, Фурье свел единую функцию распределения, тяжело поддающуюся математическому описанию, к более удобным в обращении рядам периодических функций синуса и косинуса.

Многие выдающиеся математики того времени подвергли работу Фурье сомнению, что привело к тому, что ее публикация была отложена вплоть до 1822 г., когда вышла книга французского математика «Аналитическая теория тепла». Спустя два столетия своего развития теория, связанная с преобразованием Фурье, окончательно сформировалась. Сегодня это мощный инстру-

мент, применяемый в самых разных научных областях. При этом представление исходной функции комплексным преобразованием Фурье дает ряд преимуществ при вычислениях. Теория функций комплексных переменных и преобразование Фурье стали необходимыми в численных вычислениях, проводимых при конструировании электрических цепей, анализе механических колебаний и изучении механизма распространения волн.

Мощность сигнала P можно определить, проинтегрировав его спектральную плотность мощности по всей области частот:

$$P = \int_{-\infty}^{\infty} S(f) df = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) d\omega.$$

Если известна плотность распределения вероятности $w(u)$ сигнала $u(t)$, мощность сигнала определяется так:

$$P = M\{u^2\} = \int_a^b u^2 w(u) du,$$

где $M\{u\}$ — оператор математического ожидания; a , b — нижняя и верхняя границы диапазона значений сигнала $u(t)$ соответственно.

Энергетический спектр характеризуется полосой занимаемых частот по критерию эквивалентного прямоугольника:

$$\Delta F_{\text{эфф}} = \frac{1}{S_{\max}} \int_{-\infty}^{\infty} S(f) df = \frac{1}{S_{\max}} \int_0^{\infty} S_1(f) df, \quad (1)$$

$$\Delta \omega_{\text{эфф}} = \frac{1}{S_{\max}} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) d\omega = \frac{1}{S_{\max}} \int_0^{\infty} S_1(\omega) d\omega, \quad (2)$$

где $S_{\max}$ — наибольшее значение спектральной плотности мощности сигнала в полосе частот.

Величина $\Delta F_{\text{эфф}}$ (или $\Delta \omega_{\text{эфф}}$) называется эффективной (эквивалентной) шириной спектра сигнала. Она соответствует полосе частот, в которой распределена основная часть мощности сигнала. Эффективной шириной спектра часто пользуются для инженерного расчета дисперсии шумового сигнала. Графическая интерпретация данной величины представлена на рис. 2.

Корреляционная функция характеризуется интервалом корреляции

$$\tau_k = \frac{1}{2R(0)} \int_{-\infty}^{\infty} |R(\tau)| d\tau = \frac{1}{R(0)} \int_0^{\infty} |R(\tau)| d\tau. \quad (3)$$

Интервал корреляции τ_k соответствует значению интервала времени между двумя отсчетами сигнала, при котором корреляционными связями между этими отсчетами можно пренебречь. Данный интервал так же, как

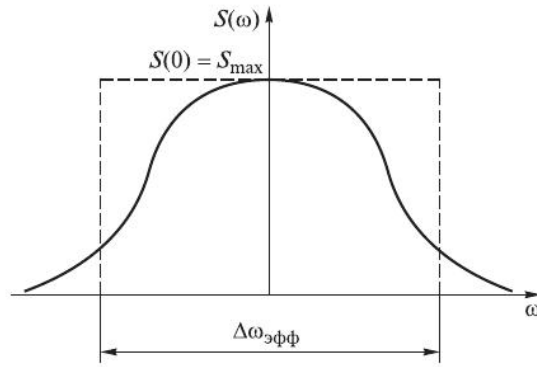


Рис. 2. Графическая интерпретация понятия эффективной ширины спектра

и эффективную ширину спектра, можно рассчитать в соответствии с критерием эквивалентного прямоугольника. Интервал корреляции представляет собой сторону прямоугольника, площадь которого равна площади под корреляционной функцией $R(\tau)$ при $\tau \geq 0$ (рис. 3).

Можно показать, что интервал корреляции и эффективная ширина спектра, определяемые выражениями (1)–(3), связаны следующим соотношением:

$$\Delta F_{\text{эфф}} \tau_k = \frac{1}{2},$$

или

$$\Delta \omega_{\text{эфф}} \tau_k = \pi.$$

Следует отметить, что в некоторых случаях интервал корреляции и эффективную ширину спектра можно определить соответственно как диапазон значений модуля корреляционной функции и диапазон значений спектральной плотности мощности по определенному уровню от их максимального значения.

Для нестационарных случайных процессов, у которых корреляционная связь между двумя отсчетами описывается корреляционной функцией $R(t, \tau)$, зависящей не только от интервала времени между этими отсчетами, но и от текущего момента времени, можно рассчитать усредненную корреляционную функцию $\bar{R}(\tau)$ путем усреднения $R(t, \tau)$ по времени:

$$\bar{R}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{2T} \int_{-T}^T R(t, \tau) dt \right).$$

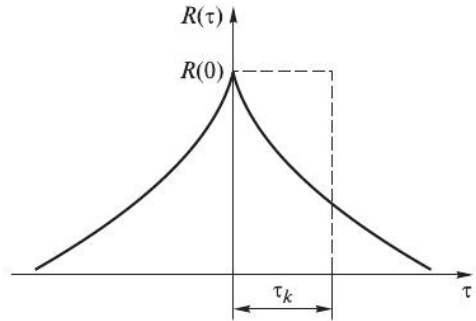


Рис. 3. Графическая интерпретация понятия интервала корреляции

Содержание

Предисловие	3
Способы представления и преобразования сообщений, сигналов и помех	4
Краткие теоретические сведения	4
Примеры решения задач	10
Задачи для самостоятельного решения	18
Информационные характеристики сообщений, источников сообщений и каналов	23
Дискретные системы	23
Непрерывные системы	28
Примеры решения задач	29
Задачи для самостоятельного решения	31
Передача и прием дискретных сообщений	36
Краткие теоретические сведения	36
Примеры решения задач	41
Задачи для самостоятельного решения	46
Помехоустойчивое кодирование	50
Краткие теоретические сведения	50
Примеры решения задач	56
Задачи для самостоятельного решения	58
Литература	63

Учебное издание

Исаев Илим Дурусбекович
Семёнов Александр Николаевич

Основы теории и техники радиосистем передачи информации

Оригинал-макет подготовлен
в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В оформлении использованы шрифты
Студии Артемия Лебедева.

Подписано в печать 25.03.2026. Формат 70×100/16.
Усл. печ. л. 5,2. Тираж 191 экз. Изд. № 1688-2025.

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1.
press@bmstu.ru
<https://press.bmstu.ru>

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1.