МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный технический университет» (ТвГТУ)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой Радиотехнические информационные системы
_____ Боев С.Ф.
«__» _____ 20____ г.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА
промежуточной аттестации: экзамен
«Статистическая радиотехника»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Типы задач профессиональной деятельности: проектный, научно-исследовательский.

Разработаны в соответствие с рабочей программой дисциплины, утвержденной проректором по УР Майковой Э.Ю. «21» мая 2020 г.,

Разработчик: к.т.н., доцент, профессор каф. РИС__ В.К. Кемайкин

Тверь, 20___

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Статистическая радиотехника»
Семестр 5

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_1

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:

Что такое случайный процесс?

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Что такое узкополосный случайный процесс?

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Определить математическое ожидание и дисперсию оценки амплитуды А прямоугольного радиоимпульса со случайной фазой

$$\boldsymbol{s(t,A) = Acjs(\omega t + \varphi),\ \ 0 \le t \le \tau_и.}$$

Принимаемого на фоне стационарного гауссовского шума с корреляционной функцией $\frac{N_0}{2}\delta(\tau)$.

Правильный ответ.

Решение. Для определения математического ожидания и дисперсии оценки амплитуды A прямоугольного радиоимпульса с случайной фазой $s(t,A) = Acjs(\omega t + \varphi)$ в условиях стационарного гауссовского шума, мы будем использовать свойства случайных процессов.

1. Математическое ожидание амплитуды A при случайной фазе φ можно найти, учитывая, что φ равномерно распределена на интервале $[0,2\pi]$:

$$E[s(t,A)] = E[Acos(\omega t + \varphi)] = A \cdot E[cos(\omega t + \varphi)].$$

Поскольку φ равномерно распределена, и $E[cos(\varphi)] = 0$, мы получаем:

$$E[s(t,A)] = 0.$$

2. Дисперсия оценки амплитуды A определяется как:

$$Var(s(t,A)) = E[s(t,A)^2] - (E[s(t,A)])^2.$$

Поскольку математическое ожидание равно нулю, то:

$$Var(s(t,A)) = E[s(t,A)^2].$$

Теперь, вычислим $E[s(t,A)^2]$:

$$s(t,A)^2 = A^2cos^2(\omega t + \varphi).$$

Используя свойство, что $E[cos^2(\varphi)] = \frac{1}{2}$, мы имеем:

$$E[s(t,A)^2 = A^2 \cdot E[cos^2(\omega t + \varphi)] = A^2 \cdot \frac{1}{2}.$$

Следовательно, дисперсия будет равна:

$$Var(s(t,A)) = \frac{A^2}{2}.$$

Таким образом, результаты:

Математическое ожидание: $E[s(t,A)] = 0$

Дисперсия: $Var(s(t,A)) = \frac{A^2}{2}$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;

«хорошо» - при сумме баллов 4;

«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;

«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Статистическая радиотехника»
Семестр 5

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_2

1.Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» –0 или 1 или 2 балла:

Что такое корреляционная функция?

2.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Что такое широкополосный случайный процесс? (на рисунке привести примеры реализаций узкополосного и широкополосного процессов.)

3.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Какой выигрыш в отношении сигнал/шум может дать фильтр, согласованный с сигналом, имеющим длительность $T = 20$ мс и полосу частотой 10 кГц?

Правильный ответ

Решение: В теории согласованных фильтров показано, что выигрыш для них:

$$g = \frac{\rho_{вых}}{\rho_{вх}} = 2FT$$

Поэтому: $g=2*20*10^{-3}*10*10^{3}=400$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В. К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Статистическая радиотехника»
Семестр 5

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_3

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» –0 или 1 или 2 балла:

Что показывает корреляционная функция случайного процесса?

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Имеет ли широкополосный процесс огибающую?

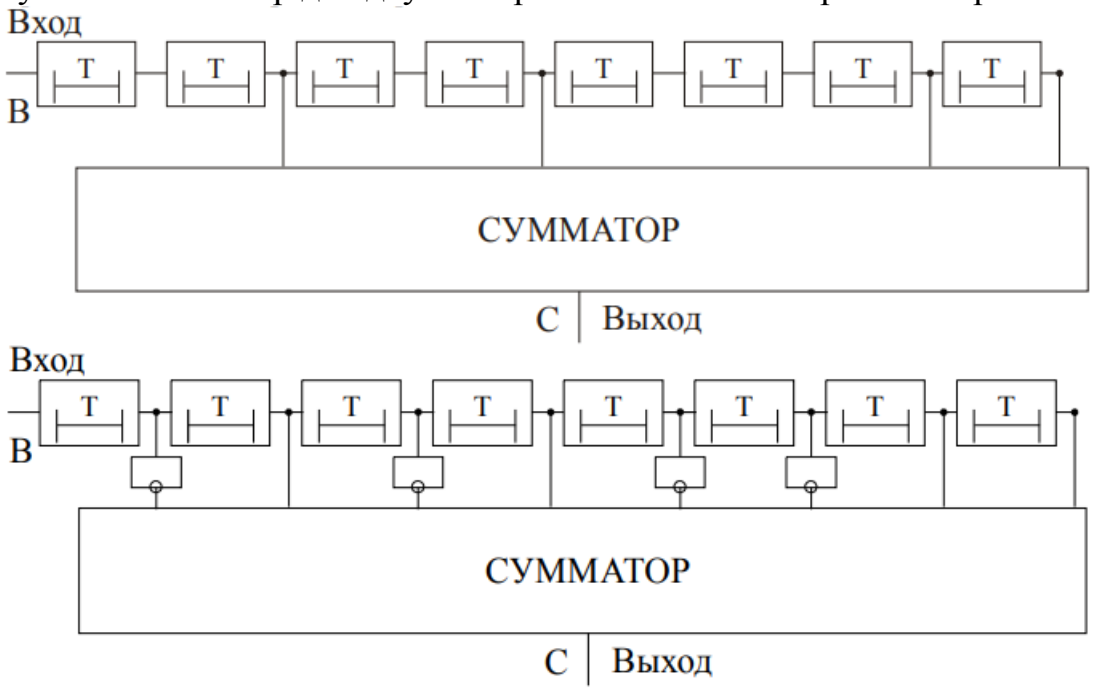
3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Составить схему согласованного фильтра на базе длинной линии с отводами для однополярного и двуполярного двоичных сигналов, соответствующих последовательности символов 11001010.

Правильный ответ

Решение: Имеем 8 символов, поэтому фильтр содержит 8 линий задержки на время T с отводами (рис. 1а). В начальный момент времени (t=0) первый символ (левый) «1» поступает на линию задержки, и в момент времени t=T появляется на выходе (отводе) первой линии. Через 1 такт (t=2T) этот символ будет на выходе второй линии задержки, а на выходе первой - будет второй символ (также «1»). Через 8 тактов (после t=0) первый символ пройдет все линии задержки и будет на выходе 8 линии, а последний «0» – на выходе первой линии. Фильтр в этот момент должен обеспечить на своем выходе максимальный по амплитуде отклик. Для этого он должен все элементы сигнала (символы) сложить в «фазе». Это обеспечивается определенной расстановкой отводов, являющихся входами сумматора. Для однополярного сигнала все «единицы» в момент окончания сигнала должны пройти на сумматор и сложиться. Поэтому соответствующие линии задержки (на выходе которых есть «1» при t=8T) связаны с сумматором отводами, как показано на рис 1а. На выходе остальных линий – «0» поэтому здесь связей нет. Итак, в момент окончания сигнала все «1» будут сложены сумматором и на выходе фильтра амплитуда сигнала составит «4». Во все другие моменты времени амплитуда будет значительно меньше. Построить график отклика самостоятельно. Для двухполярного сигнала символы «0» – это импульсы отрицательной полярности. Поэтому выходы тех линий задержки, на которых будет «0» при t=8T, надо также соединить с сумматором отводами с инверторами. Таким образом, на сумматор по всем 8 входам придут «1» в

момент окончания сигнала. Амплитуда выходного сигнала составит в этом случае «8». Фильтр для двухполярного сигнала изображен на рис. 1б



Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Статистическая радиотехника»
Семестр 5

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_4

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» –0 или 1 или 2 балла:

Что такое интервал (временной) корреляции?

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Что такое квадратурные составляющие узкополосного случайного процесса?

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

По линиям связи передаются двоичные сигналы с вероятностью искажения символа $P_{\text{ош}} = 5 \cdot 10^{-3}$. Применяются фазовая манипуляция и оптимальны метод приема.
Определить требуемое отношение сигнал/шум на выходе приемника.

Правильный ответ.

Решение. Для определения требуемого отношения сигнал/шум $\frac{S}{N}$ на выходе приемника при передаче двоичных сигналов с использованием фазовой манипуляции и оптимального метода приема, будем использовать формулу, основанную на вероятности искажения символа $P_{\text{ош}}$.

Для двоичного сигнала с фазовой манипуляцией, вероятность ошибки может быть связана с отношением сигнал/шум следующим образом:

$$P_{\text{ош}} = Q\left(\sqrt{2 \cdot \frac{S}{N}}\right),$$

где $Q(x)$ – функция Q, определяемая как:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$$

Для малых значений $P_{\text{ош}}$ можно использовать приближенную формулу:

$$P_{\text{ош}} \approx \frac{1}{2} e^{-\frac{S}{N}}.$$

Принимая $P_{\text{ош}} = 5 \cdot 10^{-3}$ мы можем выразить $\frac{S}{N}$:
Преобразуем уравнение:

$$5 \cdot 10^{-3} \approx \frac{1}{2} e^{-\frac{S}{N}}.$$

Умножим обе стороны на 2:

$$10 \cdot 10^{-3} \approx e^{-\frac{S}{N}}.$$

Применим натуральный логарифм:

$$-\frac{S}{N} \approx ln(10 \cdot 10^{-3}).$$

Подсчитаем логарифм:

$$ln(10 \cdot 10^{-3}) = ln(0.01) = -4{,}6052.$$

Таким образом:

$$\frac{S}{N} \approx 4{,}6052.$$

Итак, требуемое отношение сигнал/шум на выходе приемника составляет: $\frac{S}{N} \approx 4{,}6052.$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Статистическая радиотехника»
Семестр 5

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_5

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» –0 или 1 или 2 балла:

Что такое стационарный/нестационарный случайный процесс? Пояснить графически (на рисунке привести примеры реализаций стационарного и нестационарного процессов).

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Какова плотность распределения огибающей и фазы смеси узкополосного случайного процесса и гармонического сигнала при малом и большом отношении сигнал/шум?

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Найти дисперсию оценки фазы радиоимпульса

$$\boldsymbol{s(t) = Af(t)cos[\omega t + \psi(t) - \theta]},$$

где $\boldsymbol{A}$ – амплитуда; $\boldsymbol{f(t)}$ и $\boldsymbol{\psi(t)}$ – функции, характеризующие амплитудную и фазовую модуляции; θ – начальная фаза.

Правильный ответ.

Решение. Для нахождения дисперсии оценки фазы радиоимпульса

$$s(t) = Af(t)cos[\omega t + \psi(t) - \theta]$$

необходимо учитывать, что фаза $\phi(t) = \omega t + \psi(t) - \theta$ является случайной величиной.

1. Оценка фазы. При передаче сигнала $s(t)$, фаза может быть оценена на основании полученных данных. Оценка фазы может быть определена как:

$$\tilde{\phi}(t) = \omega t + \tilde{\psi}(t) - \theta,$$

где $\tilde{\psi}(t)$ – оценка фазовой модуляции.

2. Дисперсия фазы, Для определения дисперсии оценки фазы $\tilde{\phi}(t)$, нам необходимо найти дисперсию $\tilde{\psi}(t)$.

Если предположить, что $\psi(t)$ является случайной величиной с дисперсией σ_{ψ}^2, то дисперсия оценки фазы будет определяться только дисперсией $\psi(t)$, так как ωt и θ являются постоянными величинами и не вносят вклад в дисперсию.

Таким образом, дисперсия оценки фазы будет равна:

$$Var(\tilde{\phi}(t)) = Var(\tilde{\psi}(t)) = \sigma_{\psi}^2.$$

3. Итог. В результате, дисперсия оценки фазы радиоимпульса $s(t)$ равна:

$$Var(\tilde{\phi}(t)) = \sigma_{\psi}^{2},$$

где σ_{ψ}^{2} – дисперсия случайной величины $\psi(t)$, характеризующей фазовую модуляцию. Если известны конкретные статистические свойства $\psi(t)$, то можно вычислить конкретное значение дисперсии.

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Статистическая радиотехника»
Семестр 5

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_6

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:

В чём состоит эргодическое свойство случайного процесса? Приведите пример неэргодического случайного процесса.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Статистические характеристики случайного процесса на выходе линейного детектора.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Определить комплексную частотную характеристику фильтра, согласованного с одиночным прямоугольным видеоимпульсом:

$$\boldsymbol{s(t)} = \begin{cases} \boldsymbol{A}, & \boldsymbol{0 \le t \le \tau_{\text{и}}}; \\ \boldsymbol{0} & \text{для других } \boldsymbol{t}. \end{cases}$$

Правильный ответ.

Решение. Для определения комплексной частотной характеристики фильтра, согласованного с одиночным прямоугольным видеоимпульсом, рассмотрим заданный импульс:

$$\boldsymbol{s(t)} = \begin{cases} \boldsymbol{A}, & \boldsymbol{0 \le t \le \tau_{\text{и}}}; \\ \boldsymbol{0} & \text{для других } \boldsymbol{t}. \end{cases}$$

1. Преобразование Фурье импульса. Комплексная частотная характеристика фильтра, согласованного с данным импульсом, определяется через его преобразование Фурье. Преобразование Фурье $S(f)$ прямоугольного импульса $s(t)$ можно вычислить следующим образом:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j2\pi ft} dt.$$

Подставим выражение для $s(t)$:

$$S(f) = \int_{0}^{\tau} A e^{-j2\pi ft} dt.$$

2. Вычисление интеграла. Вычислим интеграл:

$$S(f) = A \int_{0}^{\tau} e^{-j2\pi ft} dt.$$

Решим интеграл:

$$\int e^{-j2\pi ft} dt = \frac{e^{-j2\pi ft}}{-j2\pi f}.$$

Теперь подставим пределы интегрирования:

$$S(f) = A\left[\frac{e^{-j2\pi ft}}{-j2\pi f}\right]_0^{\tau} = A\left(\frac{e^{-j2\pi f\tau}-1}{-j2\pi f}\right).$$

$$S(f) = \frac{A}{-j2\pi f}(e^{-j2\pi f\tau} - 1).$$

3. Комплексная частотная характеристика. Таким образом, комплексная частотная характеристика фильтра, согласованного с одиночным прямоугольным видеоимпульсом, будет равна:

$$H(f) = S(f) = \frac{A}{-j2\pi f}(e^{-j2\pi f\tau} - 1).$$

4. В итоге имеем комплексную частотную характеристику фильтра, согласованного с одиночным прямоугольным видеоимпульсом:

$$H(f) = \frac{A}{2\pi f}(1 - e^{-j2\pi f\tau})j.$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;

«хорошо» - при сумме баллов 4;

«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;

«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Статистическая радиотехника»
Семестр 5

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_7

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» –0 или 1 или 2 балла:

Что такое спектральная плотность мощности случайного процесса?

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Статистические характеристики случайного процесса на выходе квадратичного детектора.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Найти плотности вероятностей огибающей и фазы гауссовского узкополосного случайного процесса $\boldsymbol{\xi(t) = A(t)cos[\omega_0 t + \varphi(t)]}$ с нулевым математическим ожиданием и дисперсией $\boldsymbol{\sigma^2}$.

Правильный ответ.

Решение. Для анализа гауссовского узкополосного случайного процесса

$$\xi(t) = A(t)cos[\omega_0 t + \varphi(t)],$$

где $A(t)$ и $\varphi(t)$ – случайные процессы, а $\xi(t)$ имеет нулевое математическое ожидание и дисперсию σ^2, мы можем определить плотности вероятности огибающей и фазы.

1. Плотность вероятности огибающей $A(t)$. Предполагаем, что амплитуда $A(t)$ является гауссовским случайным процессом с нулевым математическим ожиданием и дисперсией σ_A^2. Плотность вероятности $A(t)$ будет следовать нормальному распределению:

$$p_A(a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_A^2}} e^{\frac{-a^2}{2\sigma_A^2}}, \ \ a \in R.$$

2. Плотность вероятности фазы $\varphi(t)$. Фаза $\varphi(t)$ обычно принимается равномерно распределенной на интервале $[0, 2\pi]$ для гауссовских процессов. Это связано с тем, что фаза является случайной величиной и, как правило, не имеет предпочтительного значения. Плотность вероятности $\varphi(t)$ будет:

$$p_\varphi(\varphi) = \frac{1}{2\pi}, \ \ \varphi \in [0, 2\pi].$$

3. Общая плотность вероятности процесса $\xi(t)$. Поскольку $A(t)$ и $\varphi(t)$ являются независимыми случайными величинами, совместная плотность вероятности $p(\xi, \varphi)$ будет равна произведению их плотностей:

$$p(\xi, A) = p_A(a) \cdot p_\varphi(\varphi).$$

4. Плотность вероятности огибающей $R(t)$. Если огибающая $R(t)$ определяется как $R(t) =| A(t) |$, то её плотность вероятности будет зависеть от распределения $A(t)$. Для гауссовского распределения можно использовать формулу для распределения модулей:

Если $A(t)$ распределена как $N(0, \sigma_A^2)$, тогда плотность вероятности огибающей $R(t)$ будет:

$$p_R(r) = \frac{2r}{\sigma_A^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma_A^2}}, \ \ r \geq 0,$$

что соответствует распределению Рэлея.

Итог

Плотность вероятности огибающей $A(t)$:

$$p_A(a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_A^2}} e^{\frac{-a^2}{2\sigma_A^2}}, \ \ a \in R.$$

Плотность вероятности фазы $\varphi(t)$:

$$p_\varphi(\varphi) = \frac{1}{2\pi}, \ \ \varphi \in [0, 2\pi].$$

Плотность вероятности огибающей $R(t)$:

$$p_R(r) = \frac{2r}{\sigma_A^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma_A^2}}, \ \ r \geq 0,$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;

«хорошо» - при сумме баллов 4;

«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;

«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Статистическая радиотехника»
Семестр 5

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_8

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» –0 или 1 или 2 балла:

Как связана спектральная плотность мощности и корреляционная функция случайного процесса?

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Многомерная плотность гауссовского случайного процесса.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Найти плотность вероятностей отношения $\boldsymbol{\eta = \xi_2/\xi_1}$ для двух коррелированных гауссовских случайных величин $\boldsymbol{\xi_1}$ и $\boldsymbol{\xi_2}$ с нулевым математическим ожиданием и дисперсиями $\boldsymbol{\sigma_1^2}$ и $\boldsymbol{\sigma_2^2}$ соответственно.

Правильный ответ.

Решение. Для нахождения плотности вероятности отношения $\eta = \xi_2/\xi_1$ можно воспользоваться методом преобразования случайных величин.

1. Определение коррелированных случайных величин. Пусть ξ_1 и ξ_2 имеют следующую совместную плотность вероятности:

$$\begin{pmatrix}\xi 1\\ \xi 2\end{pmatrix} \sim N\left(\begin{pmatrix}0\\0\end{pmatrix}, \begin{pmatrix}\sigma_1^2 & \rho\sigma_1\sigma_2\\ \rho\sigma_1\sigma_2 & \sigma_2^2\end{pmatrix}\right),$$

где ρ – коэффициент корреляции между ξ_1 и ξ_2.

2. Применение метода преобразования. Плотность вероятности отношения двух коррелированных гауссовских случайных величин можно получить, используя метод преобразования. Однако, в общем виде задача может оказаться сложной. Вместо этого, для нахождения плотности вероятности отношения η можно использовать известные результаты для отношения коррелированных гауссовских случайных величин.

3. Плотность вероятности отношения. Для коррелированных гауссовских случайных величин ξ_1 и ξ_2 с нулевыми математическими ожиданиями, отношение $\eta = \frac{\xi 2}{\xi 1}$ распределено по закону Стьюдента с 2 степенями свободы, при этом его плотность вероятности задается следующим образом:

$$p_\eta(\eta) = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \cdot \frac{1}{1+(\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\eta)^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-\rho^2}}, \ \ \eta \in R.$$

4. Итог. Таким образом, плотность вероятности отношения $\eta = \frac{\xi 2}{\xi 1}$ для коррелированных гауссовских случайных величин с нулевым математическим ожиданием и дисперсиями σ_1^2 и σ_2^2 записывается как:

$$p_\eta(\eta) = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \cdot \frac{1}{1+(\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\eta)^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-\rho^2}}, \ \ \eta \in R.$$

Эта формула учитывает корреляцию между величинами и их дисперсии.

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Статистическая радиотехника»
Семестр 5

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_9

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:

Если ширина спектральной плотности мощности уменьшается, то интервал временной корреляции уменьшается или увеличивается? Пояснить рисунком.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ Ь» - 0 или 2 балла:

Экспериментальная оценка корреляционной функции стационарного случайного процесса.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Случайный процесс $\boldsymbol{\xi(t)}$ с функцией распределения $\boldsymbol{F_\xi(x)}$ подвергается преобразованию:

$$\boldsymbol{\eta = a + (b - a)F_\xi(x).}$$

Показать, что плотность вероятности $\boldsymbol{\omega(\eta) = 1/(b - a)}$.

Правильный ответ.

Решение. Чтобы показать, что плотность вероятности $\omega(\eta) = \frac{1}{b-a}$ для случайного процесса $\xi(t)$, подвергающегося преобразованию

$$\eta = a + (b - a)F_\xi(x),$$

сначала нужно понять, как преобразуется функция распределения и плотность вероятности.

1. Понимание преобразования. Функция $F_\xi(x)$ является функцией распределения случайного процесса $\xi(t)$ и принимает значения в интервале $[0, 1]$. Это значит, что $F_\xi(x)$ будет равномерно распределена на этом интервале.

Теперь, когда мы применяем преобразование к $F_\xi(x)$: $\eta = a + (b - a)F_\xi(x)$, мы видим, что η будет принимать значения в интервале $[a, b]$.

2. Нахождение плотности вероятности. Для нахождения плотности вероятности $\omega(\eta)$ сначала найдем функцию распределения $F_\eta(\eta)$ для преобразованной случайной величины η:

$$F_\eta(\eta) = P(\eta \le y) = P(a + (b - a)F_\xi(x) \le y).$$

Перепишем это неравенство:

$$P\left(F_\xi(x) \le \frac{y-a}{b-a}\right).$$

Так как $F_\xi(x)$ равномерно распределена на $[0, 1]$, для $y \in [a, b]$ мы имеем:

$$F_\eta(y) = \frac{y-a}{b-a}.$$

3. Находим плотность вероятности. Чтобы найти плотность вероятности $\omega(\eta)$, мы можем взять производную функции распределения $F_\eta(y)$:

$$\omega(\eta) = \frac{d}{d\eta} F_\eta(\eta) = \frac{d}{d\eta}\left(\frac{\eta-a}{b-a}\right).$$

Вычисляем производную:

$$\omega(\eta) = \frac{1}{b-a}.$$

Итог. Таким образом, мы показали, что плотность вероятности преобразованной случайной величины η равна: $\omega(\eta) = \frac{1}{b-a}$. Это подразумевает, что η равномерно распределена на интервале $[a, b]$.

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Статистическая радиотехника»
Семестр 5

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_10

1.Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» –0 или 1 или 2 балла:

Теорема Винера-Хинчина: формулировка и область применения

2.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Построить оптимальную импульсная характеристика линейной системы по критерию минимума среднего квадрата ошибки.

3.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

По линии связи в случайном порядке передаются все 30 знаков алфавита.
Определить вероятность $\boldsymbol{P(A)}$ того, что на ленте появится последовательность букв, образующих слово «радио».

Правильный ответ

Решение. Число всех равновозможных случаев N (число выборов из 30 букв по 5 равно $N = A_{30}^{5} = 30 * 29 * 28 * 17 * 26$. Из этих случаев, благоприятствующим событию A является только один (комбинация, образующая слово «радио»), т.е $n = 1$, тогда $P(\mathrm{A}) = n/N = 1/(30 * 29 * 28 * * 27 * 26) = 5.88 * 10^{-8}$.

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

_____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Статистическая радиотехника»
Семестр 5

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_11

1.Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» –0 или 1 или 2 балла:

Что такое белый шум? Какова спектральная плотность мощности и корреляционная функция спектральной плотности мощности?

2.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Почему на выходе фильтра низких частот корреляционная функция случайного процесса шире, чем на входе для белого шума?

3.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Найти плотность вероятностей амплитуды напряжения на выходе ограничителя с характеристикой

$$\boldsymbol{U}_{\text{вых}} = \begin{cases} \boldsymbol{U_0} & \boldsymbol{U}_{\text{вх}} \geq \boldsymbol{U_0} \\ \boldsymbol{0} & \text{для других } \boldsymbol{U}_{\text{вх}} \end{cases}$$

Если на вход подается случайный процесс с рэлеевским распределением амплитуды.

Правильный ответ

Решение. Чтобы найти плотность вероятности амплитуды напряжения на выходе ограничителя с заданной характеристикой, рассмотрим следующий вывод.

1. Характеристика ограничителя/ Ограничитель имеет следующую характеристику:

$$U_{\text{вых}} = \begin{cases} U_0 & U_{\text{вх}} \geq U_0 \\ 0 & \text{для других } U_{\text{вх}} \end{cases}.$$

Это означает, что выходное напряжение будет равно U_0, если входное напряжение $U_{\text{вх}}$ превышает уровень U_0 , и равно 0 в противном случае.

2. Входной процесс/ Предположим, что на вход подается случайный процесс с рэлеевским распределением амплитуды. Плотность вероятности для рэлеевского распределения определяется следующим образом:

$$pU_{\text{вх}}\,(u) = \frac{u}{\sigma^2} e^{-\frac{u^2}{2\sigma^2}}, \quad u \geq 0,$$

где σ – параметр распределения.

3. Нахождение плотности вероятности выходного напряжения. Найдем плотность вероятности выходного напряжения $U_{\text{вых}}$.

3.1. Для $U_{\text{вых}} = 0$, Выходное напряжение будет равно 0 в том случае, если входное напряжение $U_{\text{вх}}<U_0$. Вероятность этого события можно найти как интеграл от плотности вероятности входного напряжения:

$$P(U_{\text{вых}} = 0) = P(U_{\text{вх}}<U_0) = \int_0^{U_0} pU_{\text{вх}}(u)du.$$

Выполним интегрирование:

$$P(U_{\text{вх}} < U_0) = \int_0^{U_0} \frac{u}{\sigma^2} e^{-\frac{u^2}{2\sigma^2}} du.$$

Сделаем замену переменной $v = \frac{u^2}{2\sigma^2}$, тогда $du = \sigma\sqrt{2v^{-1/2}}dv$:

$$P(U_{\text{вх}} < U_0) = \int_0^{\frac{U_0^2}{2\sigma^2}} e^{-v} dv = 1 - e^{-\frac{U_0^2}{2\sigma^2}}.$$

3.2. Для $U_{\text{вых}} = U_0$:

$$P(U_{\text{вых}} = U_0) = P(U_{\text{вх}} \geq U_0 = 1 - P(U_{\text{вх}} < U_0).$$

Таким образом,

$$P(U_{\text{вых}} = U_0) = e^{-\frac{U_0^2}{2\sigma^2}}.$$

4. Теперь можем записать общую плотность вероятности выходного напряжения:

$$\omega(U_{\text{вых}}) = \begin{cases} \frac{1}{P(U_{\text{вых}}-0)} =, & U_{\text{вых}} = 0 \\ \frac{1}{P(U_{\text{вх}}=U_0)} = e^{-\frac{U_0^2}{2\sigma^2}}, & U_{\text{вых}} = U_0 \end{cases}$$

Таким образом, плотность вероятности амплитуды напряжения на выходе ограничителя будет равна:

$\omega(U_{\text{вых}}) = 0$ для $U_{\text{вых}} \neq 0$ и $U_{\text{вых}} \neq U_0$.

$\omega(U\text{вых}) = e^{-\frac{U_0^2}{2\sigma^2}}$ для $U_{\text{вых}} = U_0$

$\omega(U\text{вых}) = 1 - e^{-\frac{U_0^2}{2\sigma^2}}$ для $U_{\text{вых}} = 0$.

Эти значения показывают распределение выходного напряжения в зависимости от входного рэлеевского распределения.

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;

«хорошо» - при сумме баллов 4;

«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;

«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Статистическая радиотехника»
Семестр 5

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_12

1.Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Как вычисляется мощность случайного процесса?

2.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Почему и как изменяется мощность случайного процесса на выходе фильтра низких частот?

3.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:
Найти корреляционную функцию случайного процесса

$$\boldsymbol{\eta(t) = \int_0^t \xi(t)dt,}$$

где $\boldsymbol{\xi(t)}$ –стационарный случайный процесс с корреляционной функцией

$$\boldsymbol{R_\xi(\tau) = \sigma^2 exp[-\alpha|\tau|]}$$

Правильный ответ
Решение. $Y(t) = \eta(t)$
Корреляционная функция случайного процесса

$$Y(t) = \int_0^t \sigma^2 \exp[-\alpha|\tau|]d\tau = \sigma^2 \exp\,[-\alpha|\tau|]|_0^t =$$

$$= \sigma^2 \exp[-\alpha|\tau|] - \sigma^2 = \sigma^2(\exp[-\alpha|\tau|] - 1).$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Статистическая радиотехника»
Семестр 5

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_13

1.Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» –0 или 1 или 2 балла:

Чему равна мощность белого шума?

2.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Как и почему влияет ширина полосы пропускания фильтра низких частот на статистические характеристики отклика при воздействии стационарного белого шума?

3.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

На вход линейной системы подается случайный процесс с произвольным законом распределения.
Сформулировать условие, при которых закон распределения выходной величины $\boldsymbol{\eta(t)}$ можно считать гауссовским.

Правильный ответ

Решение. Для того чтобы закон распределения выходной величины $\eta(t)$ линейной системы можно было считать гауссовским, необходимо соблюдение определённых условий. Основные из них включают:

1. Условие линейности. Линейная система описывается линейным уравнением, в котором выходная величина $\eta(t)$ является линейной функцией входной величины $x(t)$:

$$\eta(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t-\tau)x(\tau)d\tau,$$

где $h(t)$ – импульсная характеристика системы.

2. Условие на входной процесс. Для того чтобы выходной процесс $\eta(t)$ был гауссовским, входной процесс $x(t)$ также должен быть гауссовским. Это связано с тем, что линейные преобразования гауссовских случайных величин сохраняют гауссовость:

Если входной процесс $x(t)$ имеет гауссовское распределение с математическим ожиданием μ_x и дисперсией σ_x^2, то выходной процесс $\eta(t)$ также будет гауссовским.

3. Условие на коррелированность. Если входной процесс $x(t)$ не является гауссовским, но его распределение имеет конечные моменты (например, второй момент), то необходимо, чтобы входной процесс

удовлетворял теореме центральной предельной суммы. В этом случае:

При достаточно большом количестве независимых и одинаково распределённых ($i.i.d.$) случайных величин, их сумма будет приближаться к гауссовскому распределению независимо от исходного распределения. Для линейной системы это может означать, что если входной процесс состоит из большого числа таких независимых компонентов, то выходная величина $\eta(t)$ также будет приближаться к гауссовскому распределению.

4. Условие на стационарность/ Входной процесс должен быть стационарным, т.е. его статистические характеристики (математическое ожидание, дисперсия и автоковариационная функция) не должны зависеть от времени. Это необходимо для того, чтобы выходной процесс $\eta(t)$ оставался распределённым одинаково во времени.

Заключение. Таким образом, условие, при котором закон распределения выходной величины $\eta(t)$ можно считать гауссовским, можно сформулировать следующим образом:

Если входной процесс $x(t)$ является гауссовским, то выходной процесс $\eta(t)$ будет также гауссовским.

Если входной процесс $x(t)$ негауссовский, то необходимо, чтобы он состоял из большого количества независимых случайных величин, и его распределение удовлетворяло условиям центральной предельной теоремы, а также чтобы система была линейной и стационарной.

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;

«хорошо» - при сумме баллов 4;

«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;

«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Статистическая радиотехника»
Семестр 5

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_14

1.Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:

Как зависит мощность ограниченного по полосе шума от полосы?

2.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Каким законом распределения описывается фаза аддитивной смеси сигнала и шума при большом отношении сигнал/шум?

3.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Найти математическое ожидание, дисперсию и плотность распределения вероятностей для случайного процесса

$$\boldsymbol{u(t) = s(t) + n(t)}$$

где $\boldsymbol{s(t) = S\,cos(\omega t + \varphi)}$ – детерминированная функция; $\boldsymbol{n(t)}$ – гауссовский случайный процесс с математическим ожиданием $\boldsymbol{m_n(t)}$ и дисперсией $\boldsymbol{\sigma_n^2(t)}$.

Правильный ответ

Решение.

1. Математическое ожидание случайного процесса $u(t)$ можно найти следующим образом:

$$E[u(t)] = E[s(t)] + E[n(t)].$$

Так как $s(t)$ – детерминированная функция, её математическое ожидание равно самой функции:

$$E[s(t)] = s(t) = Scos(\omega t + \varphi).$$

Для гауссовского случайного процесса $n(t)$ математическое ожидание обозначается как $m_n(t)$, тогда:

$$E[n(t)] = m_n(t).$$

Математическое ожидание $u(t)$ будет равно:

$$E[u(t)] = Scos(\omega t + \varphi) + m_n(t).$$

2. Дисперсия случайного процесса $u(t)$ рассчитывается по формуле:

$$D[u(t)] = D[s(t) + n(t)].$$

Поскольку $s(t)$ является детерминированной функцией и $n(t)$ является независимым гауссовским процессом, дисперсия $s(t)$ равна нулю:

$$D[s(t)] = 0.$$

Следовательно, дисперсия $u(t)$ будет равна дисперсии $n(t)$:

$$D[u(t)] = D[n(t)] = \sigma_n^2(t).$$

3. Плотность распределения вероятностей. Так как $n(t)$ – гауссовский случайный процесс, и $s(t)$ является детерминированной функцией, то сумма $u(t) = s(t) + n(t)$ также будет гауссовским процессом.

Плотность распределения вероятностей для гауссовского процесса $u(t)$ определяется его математическим ожиданием и дисперсией. Плотность вероятности $u(t)$ будет иметь вид:

$$p_{u(t)}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D[u(t)]}} exp\left(-\frac{(x-E[u(t)])^2}{2D[u(t)]}\right).$$

Подставляя найденные ранее значения:

$$E[u(t)] = Scos(\omega t + \varphi) + m_n(t),$$
$$D[u(t)] = \sigma_n^2(t)$$

получаем:

$$p_{u(t)}(x) = \frac{1}{2\pi\sigma_n^2(t)} exp(-\frac{(x-(Scos(\omega t+\varphi)+m_n(t)))^2)}{2\sigma_n^2(t)}.$$

Итог

Математическое ожидание:

$$E[u(t)] = Scos(\omega t + \varphi) + m_n(t).$$

Дисперсия:

$$D[u(t)] = \sigma_n^2(t).$$

Плотность распределения вероятностей:

$$p_{u(t)}(x) = \frac{1}{2\pi\sigma_n^2(t)} exp(-\frac{(x-(Scos(\omega t+\varphi)+m_n(t)))^2)}{2\sigma_n^2(t)}.$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;

«хорошо» - при сумме баллов 4;

«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;

«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Статистическая радиотехника»
Семестр 5

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_15

1.Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:

Что такое узкополосный случайный процесс?

2.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Каким законом распределения описывается огибающая аддитивной смеси сигнала и шума при большом отношении сигнал/шум?

3.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Найти плотность распределения случайной величины

$$\boldsymbol{\eta = \int_0^T s(t)n(t)dt,}$$

где $\boldsymbol{s(t)}$ – детерминированный сигнал с длительностью $\boldsymbol{T}$ и энергией $\boldsymbol{E}$; $\boldsymbol{n(t)}$ – гауссовский белый шум со спектральной плотностью мощности $\boldsymbol{\frac{N_0}{2}}$.

Правильный ответ

Решение. Чтобы найти плотность распределения случайной величины нужно учитывать свойства интеграла случайной величины и характеристики белого шума.

Свойства белого шума: Гауссовский белый шум $n(t)$ имеет нулевое среднее значение и спектральную плотность мощности $\frac{N_0}{2}$. Это означает, что его автокорреляционная функция $R_n(\tau)$ равна:

$$R_n(\tau) = \frac{N_0}{2}\delta(\tau),$$

где $\delta(\tau)$ – дельта-функция Дирака.

Интеграл с шумом: Поскольку $n(t)$ – гауссовский процесс, то линейная комбинация белого шума также будет гауссовским процессом. В данном случае η является интегралом белого шума, умноженного на детерминированный сигнал.

Среднее значение: Поскольку $n(t)$ имеет нулевое среднее значение, среднее значение η будет равно нулю:

$$E[\eta] = E\left[\int_0^T s(t)n(t)dt\right] = \int_0^T s(t)E[n(t)]dt = 0.$$

Дисперсия величины η может быть найдена следующим образом:

$$Var(\eta) = E\left[\left(\int_0^T s(t)n(t)dt\right)^2\right].$$

Используя свойство белого шума, мы можем записать:

$$Var(\eta) = \int_0^T \int_0^T s(t)s(t')E[n(t)n(t')]dtdt' = \int_0^T \int_0^T s(t)s(t')Rn(t-t')dtdt'.$$

Подставляя автокорреляционную функцию $R_n(t-t')$, получим:

$$Var(\eta) = \int_0^T \int_0^T s(t)s(t')\frac{N_0}{2}\delta(t-t')dtdt' = \frac{N_0}{2}\int_0^T s(t)^2 dt.$$

Распределение: Случайная величина η имеет нормальное распределение с параметрами:

$$\eta \sim N(0, \frac{N_0}{2}\int_0^T s(t)^2 dt.$$

Итак, плотность распределения случайной величины η будет задана формулой нормального распределения:

$$p(\eta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{\eta^2}{2\sigma^2}},$$

где $\sigma^2 = \frac{N_0}{2}\int_0^T s(t)^2 dt.$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;

«хорошо» - при сумме баллов 4;

«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;

«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Статистическая радиотехника»
Семестр 5

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_16

1.Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:

Что такое широкополосный случайный процесс? (на рисунке привести примеры реализаций узкополосного и широкополосного процессов.)

2.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Как меняется закон распределения огибающей аддитивной смеси сигнала и шума при уменьшении полосы спектральной плотности шума?

3.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Найти спектральную плотность мощности производной $\xi(t)$ стационарного случайного процесса $\xi(t)$, имеющего спектр $S_\xi(\omega)$.

Правильный ответ

Решение. Чтобы найти спектральную плотность мощности производной стационарного случайного процесса необходимо использовать свойства спектров и производных.

Спектральная плотность мощности: Спектральная плотность мощности $S_\xi(\omega)$ случайного процесса $\xi(t)$ описывает распределение мощности сигнала по частотам.

Производная случайного процесса: Если мы обозначим $\xi(t)$ как стационарный случайный процесс с известной спектральной плотностью мощности $S_\xi(\omega)$, то производная этого процесса $\frac{d\xi(t)}{dt}$ будет иметь свою собственную спектральную плотность мощности.

Спектральная плотность мощности производной: Связь между спектральной плотностью мощности процесса и его производной описывается следующим образом:

$$S_{\frac{d\xi}{dt}}(\omega) = \omega^2 S_\xi(\omega).$$

Это означает, что спектральная плотность мощности производной случайного процесса $\xi(t)$ будет равна произведению ω^2 (квадрат угловой частоты) и спектральной плотности мощности самого процесса.

Ответ: $S_{\frac{d\xi}{dt}}(\omega) = \omega^2 S_\xi(\omega)$.

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Статистическая радиотехника»
Семестр 5

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_17

1.Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Имеет ли широкополосный процесс огибающую?

2.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Как связана спектральная плотность мощности и корреляционная функция случайного процесса?

3.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:
Найти корреляционную функцию случайного процесса

$$\boldsymbol{\eta(t) = \xi(t) + \frac{1}{\alpha}\xi(t),}$$

где $\boldsymbol{\xi(t)}$ – стационарный случайный процесс с корреляционной функцией

$$\boldsymbol{R_{\xi}(\tau) = \sigma^2 exp(-\alpha^2\tau^2).}$$

Правильный ответ.

$$R_{\eta}(\tau) = \left(1 + \frac{2}{\alpha}\right)\sigma^2 exp(-\alpha^2\tau^2)\,.$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Статистическая радиотехника»
Семестр 5

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_18

1.Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:

Что такое корреляционная функция?

2.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Что такое стационарный/нестационарный случайный процесс? Пояснить графически (на рисунке привести примеры реализаций стационарного и нестационарного процессов).

3.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Найти математическое ожидание случайного процесса $\eta(t)$ на выходе линейной системы с импульсной характеристикой $h(t)$, если на ее вход подан стационарный случайный процесс $\xi(t)$.

Найти математическое ожидание случайного процесса $\boldsymbol{\eta(t)}$ на выходе линейной системы с импульсной характеристикой $\boldsymbol{h(t)}$, если на вход подан стационарный случайный процесс $\boldsymbol{\xi(t)}$.

Правильный ответ

Решение. Для нахождения математического ожидания случайного процесса $\eta(t)$ мы можем использовать свойства линейных систем и ожидание.

Выходной процесс $\eta(t)$ определяется как свертка входного процесса $\xi(t)$ с импульсной характеристикой $h(t)$:

$$\eta(t) = (\xi * h)(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \xi(\tau)h(t-\tau)d\tau.$$

Математическое ожидание/ Поскольку $\xi(t)$ является стационарным случайным процессом, его математическое ожидание $E[\xi(t)]$ не зависит от времени t и обозначим его как $E[\xi(t)] = \mu_\xi$.

Математическое ожидание выходного процесса. Используем линейность математического ожидания:

$$E[\eta(t)] = E\left[\int_{-\infty}^{\infty} \xi(\tau)h(t-\tau)d\tau\right] = \int_{-\infty}^{\infty} E[\xi(\tau)]h(t-\tau)d\tau.$$

Подставляя $E[\xi(t)] = \mu_\xi$:

$$E[\eta(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} \mu_\xi h(t-\tau)d\tau.$$

Вынесение постоянного множителя: Вынесем μ_ξ за знак интеграла:

$$E[\eta(t)] = \mu_\xi \int_{-\infty}^{\infty} h(t-\tau)d\tau.$$

Интеграл $\int_{-\infty}^{\infty} h(t-\tau)d\tau$ равен интегралу по всему времени от импульсной характеристики $h(t)$, который обозначается как H:

$$H = \int_{-\infty}^{\infty} \quad h(t)dt.$$

Таким образом, математическое ожидание выходного процесса $\eta(t)$ будет равно:

$$E[\eta(t)] = \mu_\xi H,$$

где H – интеграл от импульсной характеристики $h(t)$. Если H конечен, это выражение даёт математическое ожидание выходного процесса.

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Статистическая радиотехника»
Семестр 5

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_19

1.Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:

Что показывает корреляционная функция случайного процесса?

2.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Что такое интервал (временной) корреляции?

3.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Найти корреляционную функцию шума, имеющего равномерную спектральную плотность мощности, равную $\frac{N_0}{2}$ в полосе частот $(-\Delta\omega, \Delta\,\omega)$ и нулю вне этой полосы.

Правильный ответ.

Решение. Чтобы найти корреляционную функцию шума можно воспользоваться свойствами спектральной плотности и теоремой Винера-Хинчина.

Спектральная плотность мощности: Дана спектральная плотность мощности:

$$S(\omega) = \begin{cases} \frac{N_0}{2}, & \text{если } |\omega| \leq \Delta\,\omega, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Корреляционная функция $R(\tau)$ связана со спектральной плотностью мощности $S(\omega)$ с помощью обратного преобразования Фурье:

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

Подставим выражение для $S(\omega)$ в интеграл:

$$R(\tau) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\Delta\omega}^{\Delta\omega} \frac{N_0}{2} e^{j\omega\tau}d\omega.$$

Вычисление интеграла:

$$R(\tau) = \frac{N_0}{4\pi}\int_{-\Delta\omega}^{\Delta\omega} e^{j\omega\tau}d\omega.$$

Интеграл от комплексной экспоненты может быть вычислен следующим образом:

$$\int e^{j\omega\tau}d\omega = \frac{e^{j\omega\tau}}{j\tau}.$$

Подставляя пределы интегрирования, получаем:

$$R(\tau) = \frac{N_0}{4\pi}\left[\frac{e^{j\Delta\omega\tau} - e^{-j\Delta\omega\tau}}{j\tau}\right] = \frac{N_0}{4\pi} \cdot \frac{2jsin(\Delta\omega\tau)}{j\tau} = \frac{N_0}{2\pi\tau} sin(\Delta\omega\tau).$$

Таким образом, корреляционная функция шума будет записана в виде:

$$R(\tau) = \frac{N_0}{2\pi}\frac{sin(\Delta\omega\tau)}{\tau}.$$

Это выражение демонстрирует, что корреляционная функция имеет вид sinc-функции, что характерно для процессов с ограниченной спектральной плотностью мощности.

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;

«хорошо» - при сумме баллов 4;

«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;

«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Статистическая радиотехника»
Семестр 5

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_20

1.Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:

Что такое спектральная плотность мощности случайного процесса?

2.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Как зависит мощность ограниченного по полосе шума от полосы?

3.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Найти одномерную и двумерную плотности распределения вероятностей процесса

$$\boldsymbol{\xi(t) = \alpha \cos \omega t + \beta \sin \omega t,}$$

где $\boldsymbol{\omega = const}$; $\boldsymbol{\alpha}$ и $\boldsymbol{\beta}$ – взаимно независимые гауссовские величины с нулевым математическим ожиданием и дисперсиями $\boldsymbol{D_\alpha = D_\beta = \sigma^2}$.

Правильный ответ.

Решение. Для нахождения одномерной и двумерной плотностей распределения вероятностей моно использовать свойства нормального распределения.

1. Одномерная плотность распределения вероятностей. Процесс $\xi(t)$ является линейной комбинацией независимых гауссовских случайных величин α и β. В этом случае, $\xi(t)$ также будет гауссовской случайной величиной.

Поскольку α и β имеют нулевое математическое ожидание:

$$E[\xi(t)] = E[\alpha]cos(\omega t) + E[\beta]sin(\omega t) = 0.$$

Дисперсия $\xi(t)$ вычисляется следующим образом:

$$D[\xi(t)] = D[\alpha cos(\omega t) + \beta sin(\omega t)].$$

Поскольку α и β независимы, дисперсия суммы равна сумме дисперсий:

$$D[\xi(t)] = D[\alpha]cos^2(\omega t) + D[\beta]sin^2(\omega t) = \sigma^2 cos^2(\omega t) + \sigma^2 sin^2(\omega t) =$$
$$= \sigma^2(cos^2(\omega t) + sin^2(\omega t)) = \sigma^2.$$

Таким образом, $\xi(t)$ распределена нормально с нулевым математическим ожиданием и дисперсией σ^2:

$$\xi(t) \sim N(0, \sigma^2).$$

Плотность распределения**:** Одномерная плотность вероятности $\xi(t)$ будет задана формулой для нормального распределения:

$$p_{\xi(t)}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}.$$

2. Двумерная плотность распределения вероятностей. Для построения двумерной плотности распределения нужно учитывать, что $\xi(t_1)$ и $\xi(t_2)$ будут также нормально распределены, так как они являются линейными комбинациями независимых нормальных случайных величин.

Ковариация: Мы можем вычислить ковариацию между $\xi(t_1)$ и $\xi(t_2)$:

$$E[\xi(t_1)\xi(t_2)] = E[(\alpha cos(\omega t_1) + \beta sin(\omega t_2))(\alpha cos(\omega t_2) + \beta sin(\omega t_2))].$$

Раскроем скобки и воспользуемся свойствами математического ожидания:

$$E[\xi(t_1)\xi(t_2)] = E[\alpha^2]cos(\omega t_1)cos(\omega t_2) + E[]sin(\omega t_1)sin(\omega t_2).$$

Так как $E[\alpha^2] = D[\alpha] = \sigma^2$ и $E[\beta^2] = D[\beta] = \sigma^2$:

$$E[\xi(t_1)\xi(t_2)] = \sigma^2 \cos(\omega t_1)\cos(\omega t_2) + \sigma^2 \sin(\omega t_1)\sin(\omega t_2) =$$
$$= \sigma^2(cos(\omega(t_1 - t_2))).$$

Ковариационная матрица**:** Двумерная плотность вероятности $(\xi(t_1)\xi(t_2))$ будет иметь следующий вид:

Математическое ожидание:

$$\begin{pmatrix} E[\xi(t_1)] \\ E[\xi(t_2)] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Ковариационная матрица:

$$C = \begin{pmatrix} D[\xi(t_1)] & E[\xi(t_1)\xi(t2)] \\ E[\xi(t_1)\xi(t_2)] & D[\xi(t_2)] \end{pmatrix} =$$
$$C = \begin{pmatrix} \sigma^2 & \sigma^2 cos(\omega(t_1 - t_2)) \\ \sigma^2 cos(\omega(t_1 - t_2)) & \sigma^2 \end{pmatrix}.$$

Тогда двумерная плотность вероятности $(\xi(t_1), \xi(t_2))$ будет задана как:

$$p_{\xi(t_1),\xi(t_2)}(x_1, x_2) = \frac{1}{2\pi|\boldsymbol{C}|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}^T \boldsymbol{C}^{-1}\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}},$$

где $|C|$ – определитель ковариационной матрицы, а $\boldsymbol{C}^{-1}$ – её обратная матрица.

Таким образом, мы получили одномерную плотность распределения вероятностей $\xi(t)$ и двумерную плотность распределения вероятностей $(\xi(t_1), \xi(t_2))$.

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;

«хорошо» - при сумме баллов 4;

«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;

«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тверской государственный технический университет»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Статистическая радиотехника»
Семестр 5

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_21

1.Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:

Приведите формулировку теоремы Винера-Хинчина? Для чего необходима теорема Винера-Хинчина.

2.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Что такое квадратурные составляющие узкополосного случайного процесса?

3.Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Пусть $\xi(t)$ и $\eta(t)$ – гауссовские некоррелированные случайные процессы с математическим ожиданиями m_ξ и m_η и дисперсиями σ_ξ^2 и σ_η^2. Записать совместную плотность распределения вероятностей $\omega_2(x, y)$.

Правильный ответ.

Совместная плотность распределения вероятностей $\omega_2(x, y)$ будет записана как:

$$\omega_2(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_\xi\sigma_\eta} e^{-\left(\frac{(x-m_\xi)^2}{2\sigma_\xi^2}+\frac{(y-m_\eta)^2}{2\sigma_\eta^2}\right)}.$$

Это выражение описывает совместное распределение двух некоррелированных гауссовских случайных процессов.

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный технический университет» (ТвГТУ)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой Радиотехнические информационные системы
_____ Боев С.Ф.
«__» _____ 20____ г.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА
промежуточной аттестации: курсовой работы
«Статистическая радиотехника»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Типы задач профессиональной деятельности: проектный, научно-исследовательский.

Разработаны в соответствие с рабочей программой дисциплины, утвержденной проректором по УР Майковой Э.Ю. «21» мая 2020 г.,

Разработчик: к.т.н., доцент, профессор каф. РИС__ В.К. Кемайкин

Тверь, 20___

Компетенции, закрепленные за дисциплиной в ОХОП:

ОПК-4. Способен проводить экспериментальные исследования и владеть основными приемами обработки и представления экспериментальных данных.

Индикаторы компетенций, закреплённых за дисциплиной в ОХОП:

ИОПК-4.2. Выбирает способы и средства измерений, проводит экспериментальные исследования.

Показатели оценивания индикаторов достижения компетенций

Знать:

З1.1. Основы корреляционной и спектральной теории случайных процессов;

З1.2. Методы оценки статистических характеристик отклика линейных систем при воздействии случайных процессов;

З1.3. Учитывать при проведении экспериментальных исследований статистический характер оцениваемых параметров

Уметь:

У1.1. Аргументировано изложить постановку задачи статистического синтеза оптимальной линейно системы, в частности, для выбора эффективной методики экспериментальных исследований

ИОПК-4.3. Использует способы обработки и представления полученных данных и оценки погрешности результатов измерений.

Показатели оценивания индикаторов достижения компетенций

Знать:

З2.1.Подходы к статистическому описанию случайных процессов;

З2.2. Классификацию случайных процессов;

З2.3. Примеры случайных процессов, широко используемых при анализе и синтезе радиотехнических систем;

З2.4. Методы синтеза оптимальных линейных систем применительно к обработке и представлению полученных данных.

Уметь:

У2.1. Определять тип случайного процесса согласно классификации;

У2.2. Выполнять типовые расчеты вероятностных характеристик отклика линейной системы в результате воздействия случайного процесса;

Оцениваемые показатели для проведения промежуточной аттестации в форме курсовой работы

№ раздела	Наименование раздела	Баллы по шкале уровня
-	Введение	Выше базового– 2 Базовый – 1 Ниже базового – 0
1	Введение	Выше базового–3 Базовый – 2 Ниже базового – 0
2	Общая часть (обзор литературы по выбранной теме курсовой работы)	Выше базового– 3 Базовый – 2 Ниже базового – 0
3	Специальная часть	Выше базового– 3 Базовый – 2 Ниже базового – 0
4	Заключение	Выше базового– 3 Базовый – 2 Ниже базового – 0
-	Выводы по работе	Выше базового– 2 Базовый – 1 Ниже базового – 0
-	Список использованных источников	Выше базового– 2 Базовый – 1 Ниже базового – 0

«отлично» – при сумме баллов от 16 до 18;

«хорошо» – при сумме баллов от 13 до 15;

«удовлетворительно» – при сумме баллов от 10 до 12;

«неудовлетворительно» – при сумме баллов менее 10, а также при любой другой сумме, если по любому разделу работа имеет 0 баллов.