

Материалы XIII Международной научной конференции
**«ОБЩЕСТВО: НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ
ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ (идеи, ресурсы, решения)»**
(г. Чебоксары, Россия, 31 декабря 2020 г.)

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

**ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ПОСТРОЕНИЯ И РАСЧЁТ
ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВЯЗИ**

БОБКОВ Егор Олегович

студент

БАЛАШОВА Екатерина Андреевна

студент

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»
г. Самара, Россия

В наши дни системы электрической связи приобрели широкое распространение. Каждый день ведутся разработки в данной области и актуальность проблемы не вызывает вопросов. Очень важным аспектом в построении системы электрической связи является расчет ее параметров.

Ключевые слова: система электрической связи, квантование, дискретизация, модуляция, демодуляция, канал связи, квазибелый гауссовский шум.

Введение. В данной статье будет произведен расчет цифровой системы электрической связи, представленной на рисунке 1. Задача данной конкретной системы: передать непрерывное случайное сообщение с равномерным распределением вероятностей. При этом, система должна быть помехоустойчивой.

Сигнал $x(t)$ поступает на вход АЦП, задача которого преобразовать аналоговый сигнал в цифровой. Далее идет блок МОД, который отвечает за модулирование сигнала, в данном примере мы рассмотрим фазовую модуляцию. Затем модулированный сигнал $u(t)$ поступает в канал связи, который имеет

свой коэффициент передачи γ и на который воздействует квазибелый гауссовский шум $n(t)$. После передачи, сигнал поступает на приемную сторону на входе демодулятора (ДЕМ), который принимает решение о значении поступившего сигнала. Демодулированный сигнал поступает на вход ЦАП, который состоит из декодера и восстанавливающего фильтра. Задача декодера преобразовать полученную последовательность бит в квантованные отсчеты. Полученные отсчеты поступают на вход восстанавливающего фильтра который выдает непрерывный сигнал $x'(t)$. Восстановленный сигнал передается получателю.

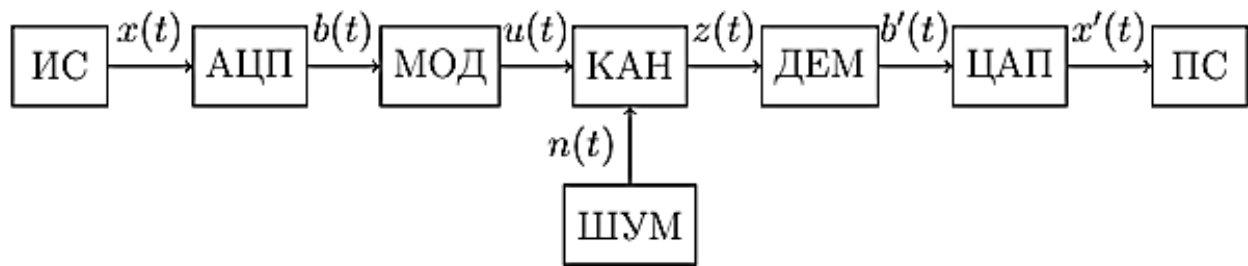


Рисунок 1. Блок-схема системы электросвязи

1. АЦП.**1.1. Исходные данные**

$F_u = 5.333$ (кГц) Полоса частот
первичного сигнала

$x_{max} = 20$ (В)
 $x_{min} = -20$ (В) Диапазон значений

$n = 9$ Разрядность двоичного
кода

$U_0 = 12$ (В) Амплитуда

$\gamma = 0.083$ Коэффициент передачи

$P_{ш} = 0.87$ (Вт) Средняя мощность шума

1.2. Частота дискретизации F_d , интервал дискретизации Δt .

Рассчитаем частоту дискретизации:

$$F_d := 2 \cdot F_u = 1.067 \cdot 10^4 \quad (\text{Гц})$$

Теперь рассчитаем интервал дискретизации по теореме Котельникова:

$$\Delta t := \frac{1}{2 \cdot F_u} = 9.376 \cdot 10^{-5} \quad (\text{с})$$

1.3. Число уровней квантования L .

Рассчитаем число уровней квантования:

$$L := 2^n = 512$$

1.4. Шаг квантования Δx .

Определим шаг квантования:

$$\Delta x := \frac{(x_{max} - x_{min})}{L} = 0.078$$

1.5. Средняя мощность шума квантования P_ϵ .

Найдем среднюю мощность шума квантования:

$$P_\epsilon := \frac{\Delta x^2}{12} = 5.086 \cdot 10^{-4} \quad (\text{Вт})$$

1.6. Отношение мощностей сигнала и шума квантования P_x / P_ϵ .

Для начала определим мощность сигнала:

$$P_x := \frac{(x_{max} - x_{min})^2}{12} = 133.333 \quad (\text{Вт})$$

Теперь найдем отношение P_x / P_ϵ :

$$P_x P_\epsilon := \frac{P_x}{P_\epsilon} = 2.621 \cdot 10^5$$

$$P_x P_\epsilon := L^2 = 2.621 \cdot 10^5$$

1.7. Скорость выдачи двоичных символов V_b .

Рассчитаем скорость выдачи двоичных символов источником:

$$V_b := F_d \cdot n = 9.599 \cdot 10^4 \quad \left(\frac{\text{бит}}{\text{с}} \right)$$

2. Модулятор.**2.1. Аналитическое выражение модулированного сигнала $u(t)$:**

Определим выражение для модулированного сигнала, в общем виде и при приеме сигналов:

$$u_{\text{фм}}(t) := U_0 \cdot b(t) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot t + \varphi_0)$$

Общее выражение

$$u_{\text{фм1}}(t) := U_0 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot t + \varphi_0)$$

При приеме 1

$$u_{\text{фм0}}(t) := -U_0 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot t + \varphi_0)$$

При приеме 0(-1)

2.2. Скорость модуляции V_0 и тактовый интервал T_0 :

Найдем тактовый интервал:

$$T_b := \frac{1}{V_b} = 1.042 \cdot 10^{-5} \quad \left(\frac{\text{с}}{\text{бит}} \right)$$

$$T_0 := T_b = 1.042 \cdot 10^{-5} \quad (\text{с})$$

Определим скорость модуляции, а также частоту несущей:

$$V_0 := \frac{1}{T_0} = 9.599 \cdot 10^4 \quad (\text{Бод})$$

$$f_0 := 5 \cdot V_0 = 4.8 \cdot 10^5 \quad (\text{Гц})$$

2.3. Ширина полосы частот модулированного сигнала ΔF .

Теперь найдем ширину полосы частот модулированного сигнала:

$$\Delta F_{\text{фм}} := \frac{2}{T_0} = 1.92 \cdot 10^5 \quad (\text{Гц})$$

2.4. Спектральную эффективность $Vb / \Delta F$.

Зная $\Delta F_{\text{фм}}$, рассчитаем спектральную эффективность:

$$\frac{Vb}{\Delta F_{\text{фм}}} = 0.5 \quad \left(\frac{\text{бум}}{\text{с} \cdot \text{Гц}} \right)$$

2.5. Средняя мощность и пиковая мощность модулированного сигнала $P_{\text{ср}}$ и $P_{\text{пик}}$.

Для расчета средней и пиковой мощностей, необходимо определить энергии и мощности модулированных сигналов $u_{\text{фм1}}(t)$ и $u_{\text{фм0}}(t)$.

Запишем выражения для этих сигналов:

$$u_{\text{фм1}}(t) := U0 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f0 \cdot t)$$

$$u_{\text{фм0}}(t) := -U0 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f0 \cdot t)$$

Теперь найдем мощности и энергии этих сигналов:

$$E0 := \int_0^{T0} u_{\text{фм0}}(t)^2 dt = 7.5 \cdot 10^{-4} \left(\frac{B^2}{c} \right)$$

$$E1 := \int_0^{T0} u_{\text{фм1}}(t)^2 dt = 7.5 \cdot 10^{-4} \left(\frac{B^2}{c} \right)$$

$$P0 := \frac{E0}{T0} = 72 \quad P1 := \frac{E1}{T0} = 72 \quad (B^2)$$

Мощности и энергии обоих сигналов равны, следовательно, пиковая мощность:

$$P_{\text{пик}} := \max(P0, P1) = 72 \quad (B^2)$$

Определим среднюю мощность. В нашем случае сигналы равновероятны, значит:

$$p0 := 0.5$$

$$p1 := p0 = 0.5$$

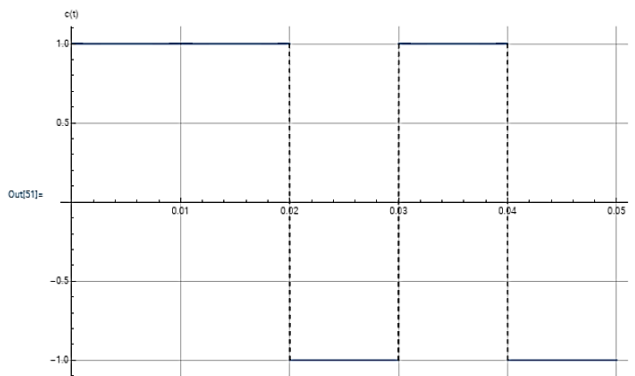


Рисунок 2. Временная диаграмма входного сигнала

А средняя мощность:

$$P_{\text{ср}} := p0 \cdot P0 + p1 \cdot P1 = 72 \quad (B^2)$$

2.6. Пик-Фактор П2.

Найдем Пик-фактор:

$$П2 := \frac{P_{\text{пик}}}{P_{\text{ср}}} = 1$$

2.7. Временные и спектральные диаграммы сигналов на входе и выходе модулятора.

Теперь нам необходимо построить временные и спектральные диаграммы на входе и выходе модулятора.

Начнем с входного сигнала. Построим временную диаграмму входного сигнала (рисунок 2).

Для построения спектральной диаграммы входного сигнала воспользуемся выражением:

$$G(f) := U0^2 \cdot T \cdot \frac{\sin(\pi \cdot f \cdot T)^2}{(\pi \cdot f \cdot T)^2}$$

Теперь построим спектральную диаграмму входного сигнала (рисунок 3).

Построим временную диаграмму выходного сигнала (рисунок 4).

Для построения спектральной диаграммы выходного сигнала воспользуемся выражением (рисунок 5):

$$G_{\text{фм0}}(f) := \frac{U0^2 \cdot T0^2}{2} \cdot \text{sinc}(\pi \cdot (f - f0) \cdot T0)$$

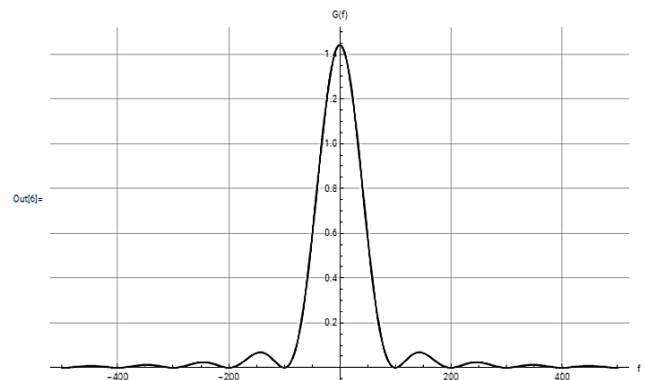


Рисунок 3. Спектральная диаграмма входного сигнала

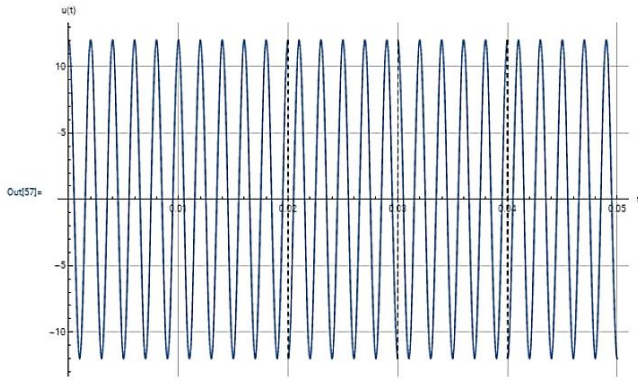


Рисунок 4. Временная диаграмма выходного сигнала

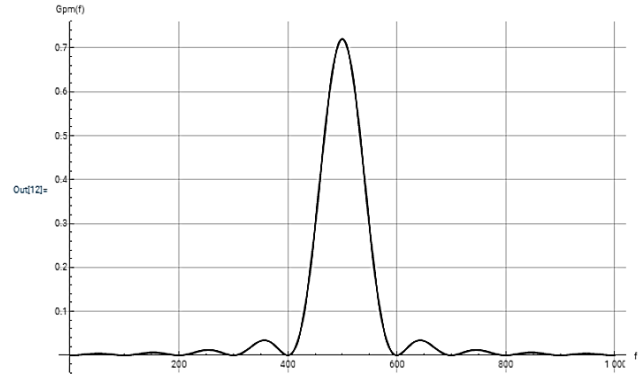


Рисунок 5. Спектральная диаграмма выходного сигнала

3. Канал.

3.1. Аналитическое выражение сигнала на выходе канала $z(t)$.

Запишем аналитическое выражение сигнала на выходе канала:

$$z(t) := s(t) + n(t) \quad n(t) - \text{Шум}$$

$$z(t) := \gamma \cdot u_{\text{фм}}(t) + n(t)$$

3.2. Полоса пропускания ΔF_k .

Определим минимальную полосу пропускания канала. Поскольку нам известна ширина полосы частот модулированного сигнала, то полосу пропускания канала мы можем найти как:

$$\Delta F_k := \Delta F_{\text{фм}} = 1.92 \cdot 10^5 \quad (\text{Гц})$$

3.3. Средняя и пиковая мощность сигнала на выходе канала $P_{\text{ср}}^{\text{вых}}$ и $P_{\text{пик}}^{\text{вых}}$.

Для определения средней и пиковой мощностей сигнала на выходе канала, нам необходимо определить энергии и мощности выходных сигналов. В канале сигналы подвержены воздействию квазиглобального гауссовского шума, а также изменяются в зависимости от величины коэффициента передачи канала.

Поэтому, для начала запишем выражения для шума и сигналов на выходе канала:

$$n(t) := \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot P_{\text{ш}}}} \cdot e^{\left(\frac{n^2}{2 \cdot P_{\text{ш}}} \right)}$$

$$z_0(t) := \gamma \cdot u_{\text{фм}0}(t) + n(t)$$

$$z_1(t) := \gamma \cdot u_{\text{фм}1}(t) + n(t)$$

Теперь определим энергии и мощности этих сигналов:

$$Ez_0 := \int_0^{T_0} z_0(t)^2 dt = 5.209 \cdot 10^{-6} \quad \left(\frac{B^2}{c} \right)$$

$$Ez_1 := \int_0^{T_0} z_1(t)^2 dt = 5.209 \cdot 10^{-6} \quad \left(\frac{B^2}{c} \right)$$

$$Pz_0 := \frac{Ez_0}{T_0} = 0.5 \quad (B^2)$$

$$Pz_1 := \frac{Ez_1}{T_0} = 0.5 \quad (B^2)$$

Перейдем к расчету средней и пиковой мощностей:

$$P_{\text{вых.пик}} := \max(Pz_0, Pz_1) = 0.5 \quad (B^2)$$

$$P_{\text{вых.ср}} := p_0 \cdot Pz_0 + p_1 \cdot Pz_1 = 0.5 \quad (B^2)$$

3.4. Среднее и пиковое отношение сигнал/шум на выходе канала $h_{\text{ср}}^2$ и h^2 .

Для нахождения отношения сигнал/шум на выходе канала, нам необходимо найти спектральную плотность мощности шума:

$$N_0 := \frac{P_{\text{ш}}}{\Delta F_k} = 4.529 \cdot 10^{-6} \quad \left(\frac{B^2}{\text{Гц}} \right)$$

Теперь определим отношения сигнал/шум на выходе канала для обоих сигналов:

$$h_{2.1} := \frac{Ez_1}{N_0} = 1.15 \quad h_{2.2} := \frac{Ez_0}{N_0} = 1.15$$

Найдем пиковое h^2 и среднее $h_{\text{ср}}^2$ отношения сигнал/шум на выходе канала:

$$h_2 := \max(h_{2.1}, h_{2.2}) = 1.15$$

$$h_{2\text{ср}} := 0.5 (h_{2.1} + h_{2.2}) = 1.15$$

4. Демодулятор.

4.1. Алгоритм и схема оптимального демодулятора.

Для составления алгоритма демодулятора необходимо определить разностный (опорный) сигнал и пороговый уровень для ФМ:

$$s_0(t) := u_{\text{фм}0}(t)$$

$$s_1(t) := u_{\text{фм}1}(t)$$

$$s0(t) := -s1(t)$$

$$sp(t) := 2 \cdot s1(t)$$

$$\lambda := 0.5 \cdot (E1 - E0) = 0$$

Алгоритм для ФМ выглядит следующим образом: если интеграл от произведения принятого сигнала на разностный сигнал больше порогового уровня, то демодулятор принимает решение в пользу 1, если меньше, в пользу 0:

$$z(t) := z1(t)$$

$$b' := \int_0^{T0} z(t) \cdot 2 \cdot s1(t) dt > \lambda$$

$$b' = 1$$

$$z(t) := z0(t)$$

$$b' := \int_0^{T0} z(t) \cdot 2 \cdot s1(t) dt > \lambda$$

$$b' = 0$$

Теперь составим схему оптимального приемника:

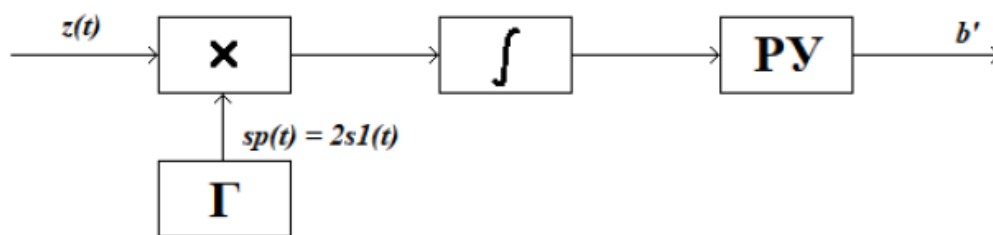


Рисунок 6. Схема оптимального приемника для ФМ

4.2. Средняя вероятность ошибки $p_{\text{ош}}$.

Теперь определим вероятность ошибки модулятора с помощью Q-функции:

$$x := \sqrt{2 \cdot h2} = 1.517$$

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

$$Q(x) = 0.065$$

$$p_{\text{ош}} := Q(x) = 0.065$$

5. ЦАП.

5.1. Мощность шума ошибок.

Определим мощность шума ошибок для установления уровня влияния шума на передаваемый сигнал:

$$P_{\text{ош}} := \frac{(\Delta x)^2 \cdot 4^n}{3} \cdot p_{\text{ош}} = 34.5 \quad (B^2)$$

Заключение. В данной работе, мы определяли характеристики, необходимые для реализации системы электросвязи (рисунок 1.). С данными заданными параметрами и рассчитанными характеристиками, систему электросвязи можно назвать реализуемой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кловский Д.Д. Теория передачи сигналов. – М.: Радио и связь, 1973. – 376 с.
2. Кловский Д.Д. Теория электрической связи. – М.: Радиотехника, 2009. – 648 с.
3. Основы цифровой связи / Б.И. Николаев, А.М. Чингаева, А.А. Харитонов А.А. – Самара, 2013. – 200 с.
4. Теория электрической связи / А.Г. Зюко, Д.Д. Кловский, В.И. Коржик, М.В. Назаров; под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 1998. – 432 с.

FEATURES OF THE TECHNIQUE FOR CONSTRUCTION AND CALCULATION OF THE PARAMETERS OF THE ELECTRIC COMMUNICATION SYSTEM

BOBKOV Egor Olegovich

student

BALASHOVA Ekaterina Andreevna

student

Volga State University of Telecommunications and Informatics
Samara, Russia

Today, electrical communication systems have become widespread. Every day there are developments in this area and the relevance of the problem does not raise questions. A very important aspect in the construction of an electrical communication system is the calculation of its parameters.

Key words: electrical communication system, quantization, sampling, modulation, demodulation, communication channel, quasi-white Gaussian noise.

ПРОТОКОЛЫ РАЗВЕРТЫВАНИЯ С УЧЁТОМ ЗОНЫ ПОКРЫТИЯ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ

БОБКОВ Егор Олегович

студент

БАЛАШОВА Екатерина Андреевна

студент

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»
г. Самара, Россия

Проблема покрытия в беспроводных сенсорных сетях (WSN) может быть в общем случае определена как мера того, насколько эффективно сетевое поле контролируется его сенсорными узлами. Эта проблема привлекла большой интерес на протяжении многих лет, и в результате было предложено много протоколов покрытия. В этой статье мы рассмотрим протоколы развертывания с учетом зоны покрытия.

Ключевые слова: Протоколы покрытия, протоколы развертывания, потребление энергии, модели зондирования, беспроводная сенсорная сеть (WSN).

Оптимальное развертывание датчиков с учетом зоны покрытия может быть определено как процесс определения оптимального расположения датчиков в сетевом поле таким образом, чтобы было удовлетворено требование покрытия приложения. Проблема дыры покрытия, которая относится к нахождению областей, не охваченных никаким датчиком, является подзадачей протоколов развертывания [8]. Мобильные датчики используются для решения такой зада-

чи путем адаптации их положения с целью заполнения чувствительных отверстий и в конечном итоге увеличения площади покрытия [7]. Задача развертывания датчика максимального покрытия (MCSDP) является примером задачи развертывания, которая направлена на поиск минимального числа датчиков для достижения максимального покрытия зоны наблюдения. Большинство проблем развертывания – это сложная задача со многими противоречивыми целями. Поэтому