

УДК 621.396.62.089.52

Оценка чувствительности радиоприемника с использованием коэффициентов внешних и внутренних шумов

Мелихов С. В.

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Томск, 634034, Российская Федерация

Цель работы: разработка методики и вывод формулы для оценки реальной чувствительности радиоприемника с использованием коэффициентов внешних и внутренних шумов. **Методы исследования:** схемотехнический анализ условий приема с использованием диаграмм уровней сигнала и шума для типовой структуры радиотракта приемника. **Результат:** разработана методика и получена новая формула для оценки реальной чувствительности радиоприемника, учитывающие внутренние шумы радиотракта приемника и совокупность внешних шумов различного вида – атмосферный шум, промышленный шум, галактический шум, тепловой шум Земли. **Научная новизна:** использование полученной формулы, в отличие от известной, позволяет при расчете чувствительности радиоприемника устранить систематическую ошибку, значения которой лежат в пределах от 2 до 5 дБ при значениях результирующего коэффициента внешнего шума от 0 до 40 дБ и более. **Практическая / Теоретическая значимость:** результаты работы могут быть полезны для разработчиков приемных трактов различных радиосистем.

Ключевые слова: радиоприемник, радиотракт, полосовой фильтр, фидер, малошумящий усилитель, усилитель-селектор, коэффициент внешнего шума, коэффициент внутреннего шума, формула Фрииса, реальная чувствительность радиоприемника

Введение

В работах [1, 2] для диапазона частот (1...1000) МГц приведены зависимости спектральной плотности мощности внешних радиозумов от различных источников, которые характеризуются коэффициентами \hat{N}_i (в дБ) относительно уровня $N_0 = k$, $T_0 = 4 \cdot 10^{-21}$ Вт/Гц ($\hat{N}_0 = 10 \lg(k T_0) = -204$ дБВт/Гц) или температурами $T_i = T_0(N_i - 1)$ (рисунок 1). Уровень $N_0 = 4 \cdot 10^{-21}$ Вт/Гц характеризует спектральную плотность мощности аддитивного белого гауссовского шума (АБГШ) в полосе 1 Гц. Импульсные атмосферные (грозовые) и промышленные помехи в [1, 2] получили название «шумы», поскольку интенсивность их спектральных составляющих в полосе пропускания приемника можно считать постоянной.

Однако в [1, 2] не приводятся методики для оценки чувствительности приемника с использованием приведенных на рисунке 1 зависимостей, где 1 – атмосферный шум днем; 2 – атмосферный шум ночью; 3 – промышленный шум в сельской местности; 4 – промышленный шум в малом городе; 5 – промышленный шум в большом городе; 6 – галактический шум; 7 – тепловой шум Земли.

Библиографическая ссылка на статью:

Мелихов С. В. Оценка чувствительности радиоприемника с использованием коэффициентов внешних и внутренних шумов // Вестник СПбГУТ. 2024. Т. 2. № 3. С. 5. EDN: IHBCRE

Reference for citation:

Melikhov S. Radio Receiver Sensitivity Assessment Using External and Internal Noise Coefficients // Herald of SPbSUT. 2024. Vol. 2. Iss. 3. P. 5. EDN: IHBCRE

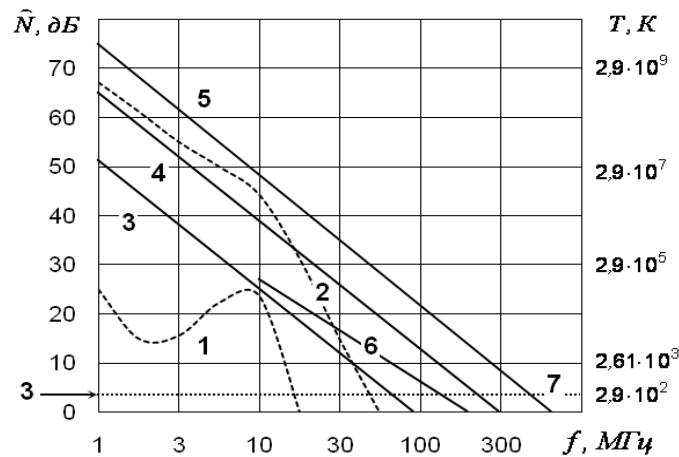


Рис. 1. Зависимости спектральной плотности мощности внешних шумов от различных источников

В соответствии с методикой оценки чувствительности приемника с использованием коэффициентов внешних шумов, предложенной в [3], при наличии на радиочастоте f внешних шумов от нескольких различных источников, прежде всего, необходимо определить результирующий коэффициент внешнего шума:

$$\begin{aligned}
 N_{\text{внеш}} &= (1 + \sum T_i/T_0) = (1 + T_{\text{атм}}/T_0 + T_{\text{пром}}/T_0 + T_{\text{гал}}/T_0 + T_{\text{зем}}/T_0) = \\
 &= \{(1 + T_{\text{атм}}/T_0) + (1 + T_{\text{пром}}/T_0) + (1 + T_{\text{гал}}/T_0) + (1 + T_{\text{зем}}/T_0)\} - (s - 1) = \quad (1) \\
 &= [10^{0,1 \cdot \hat{N}_{\text{атм}}} + 10^{0,1 \cdot \hat{N}_{\text{пром}}} + 10^{0,1 \cdot \hat{N}_{\text{гал}}} + 10^{0,1 \cdot \hat{N}_{\text{зем}}}] - (s - 1),
 \end{aligned}$$

где $\sum T_i = (T_{\text{атм}} + T_{\text{пром}} + T_{\text{гал}} + T_{\text{зем}})$ – суммарная температура внешнего шума; $T_{\text{атм}}$ – температура атмосферного шума; $T_{\text{пром}}$ – температура промышленного шума; $T_{\text{гал}}$ – температура галактического шума; $T_{\text{зем}} = T_0 = 290 \text{ К}$ – температура теплового шума Земли; $\hat{N}_{\text{атм}}$ – коэффициент атмосферного шума (дБ); $\hat{N}_{\text{пром}}$ – коэффициент промышленного шума (дБ); $\hat{N}_{\text{гал}}$ – коэффициент галактического шума (дБ); $\hat{N}_{\text{зем}}$ – коэффициент шума Земли (дБ); s – число слагаемых, учитываемых в квадратных скобках выражения (1).

Следует заметить, что:

– при радиосвязи на частотах $f \geq 500 \text{ МГц}$ уровни атмосферного, промышленного (даже в большом городе), галактического шумов пренебрежимо малы ($\hat{N}_{\text{атм}} = \hat{N}_{\text{пром}} = \hat{N}_{\text{гал}} = 0 \text{ дБ}$) и необходимо учитывать только шум Земли ($\hat{N}_{\text{зем}} = 3 \text{ дБ}$), следовательно, с использованием (1):

$$\begin{aligned}
 N_{\text{внеш}} &= [10^{0,1 \cdot \hat{N}_{\text{атм}}} + 10^{0,1 \cdot \hat{N}_{\text{пром}}} + 10^{0,1 \cdot \hat{N}_{\text{гал}}} + 10^{0,1 \cdot \hat{N}_{\text{зем}}}] - (s - 1) = \quad (2) \\
 &= [10^{0,1 \cdot 0} + 10^{0,1 \cdot 0} + 10^{0,1 \cdot 0} + 10^{0,1 \cdot 3}] - (4 - 1) = [1 + 1 + 1 + 2] - (4 - 1) = 2 = N_{\text{зем}};
 \end{aligned}$$

– при радиосвязи на частотах $f \geq 250 \text{ МГц}$ и нахождении приемника вдали от источников промышленных шумов (в сельской местности) также:

$$\hat{N}_{\text{атм}} = \hat{N}_{\text{пром}} = \hat{N}_{\text{гал}} = 0 \text{ дБ и } N_{\text{внеш}} = N_{\text{зем}} = 2;$$

– при космической радиосвязи на частотах $f < 200 \text{ МГц}$ для определения $\hat{N}_{\text{гал}}$ необходимо пользоваться зависимостью 6 (см. рисунок 1), а при $f \geq 200 \text{ МГц}$ полагать, что $T_{\text{гал}} \approx 50 \text{ К}$ и $N_{\text{внеш}} = N_{\text{гал}} \approx 1,172$ ($\hat{N}_{\text{внеш}} = \hat{N}_{\text{гал}} \approx 0,7 \text{ дБ}$) [1, 2].

После расчета результирующего коэффициента внешнего шума оценку реальной чувствительности приемника с настроенной антенной и выполненного по структурной схеме, изображенной на рисунке 2, в работе [3] предложено рассчитывать по выражению:

$$\begin{aligned} \check{P}_{c_вх_0} &= \gamma_{вых_РТ} P_{ш_0} [(N_{внеш} - 1) + (N_{УС}/k_{\Phi} - 1)] = \\ &= \gamma_{вых_РТ} N_0 B_{ш_RF} [(N_{внеш} - 2) + \eta_{\Phi} N_{УС}], \end{aligned} \quad (3)$$

где $\gamma_{вых_РТ}$ – отношение сигнал / шум на выходе радиотракта (РТ) приемника; $P_{ш_0} = k T_0 B_{ш_RF}$ – номинальная мощность теплового шума (Вт) в шумовой полосе приемника $B_{ш_RF} \approx B_{RF}$; B_{RF} – полоса пропускания приемника (Гц) для сигнала с радиочастотой (Radio Frequency); $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана; $T_0 = 290$ К (при 17°C); $N_{УС}$ – коэффициент шума усилителя-селектора (УС) приемника (УС выполняет функции основного усиления и селекции радиосигнала и в случае супергетеродинного приемника с однократным преобразованием частоты состоит из преселектора, преобразователя частоты и усилителя промежуточной частоты); k_{Φ} – коэффициент передачи по мощности фидера; $\eta_{\Phi} = 1/k_{\Phi} = N_{\Phi}$ – потери радиосигнала в фидере; N_{Φ} – коэффициент шума фидера.

На рисунке 2 используются следующие обозначения: А – приемная антенна; Φ – фидер с коэффициентом передачи по мощности (КПМ) k_{Φ} и коэффициентом шума (КШ) $N_{\Phi} = 1/k_{\Phi}$; УС – усилитель-селектор с КПМ $k_{УС}$ и КШ $N_{УС}$; Д – детектор; УНЧ – усилитель низкой частоты; ОУ – оконечное устройство.

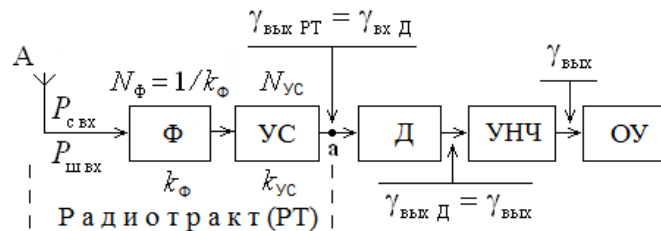


Рис. 2. Структурная схема приемника

На рисунке 3а представлена диаграмма уровней сигнала и шума в характерных точках структурной схемы РТ приемника с использованием (3). Расчет проведен при $N_{внеш} = 1 = 0$ дБ (отсутствие внешнего шума), $N_{УС} = 4$ дБ, $\eta_{\Phi} = 1/k_{\Phi} = N_{\Phi} = 1,26 = 1$ дБ, $B_{RF} = 0,2 \cdot 10^6$ Гц, $U_{c_вых_РТ} = 1$ В, $R_{н_РТ} = 50$ Ом, $\gamma_{вых_РТ} = \gamma_{вых_УС} = 10 = 10$ дБ следующим образом:

$$\begin{aligned} \check{P}_{c_вх_0} &= \gamma_{вых_РТ} N_0 B_{ш_RF} [(N_{внеш} - 2) + \eta_{\Phi} N_{УС}] = 10 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 290 \cdot 0,2 \times \\ &\times 10^6 [(1 - 2) + 1,26 \cdot 2,5] = 1,72 \cdot 10^{-14} \text{ Вт} \approx -138 \text{ дБВт}, \end{aligned}$$

$$P_{c_вых_РТ} = \frac{U_{c_вых_РТ}^2}{R_{н_РТ}} = \frac{(1 \text{ В})^2}{50} \text{ Ом} = 0,02 \text{ Вт} \approx -17 \text{ дБВт},$$

$$P_{ш_вых_РТ} = P_{c_вых_РТ} - \gamma_{вых_РТ} = -17 \text{ дБВт} - 10 \text{ дБ} = -27 \text{ дБВт}, \quad (4)$$

$$k_{УС} = P_{c_вых_РТ} - P_{c_вх_0} - k_{\Phi} = -17 \text{ дБВт} - (-138 \text{ дБВт}) - (-1 \text{ дБ}) = 122 \text{ дБ},$$

$$\gamma_{вх_УС} = \gamma_{вых_РТ} + N_{УС} = 10 \text{ дБ} + 4 \text{ дБ} = 14 \text{ дБ},$$

$$\gamma_{вх_Φ} = \gamma_{вх_УС} + N_{\Phi} = 14 \text{ дБ} + 1 \text{ дБ} = 15 \text{ дБ},$$

$$\check{P}_{ш_вх} = P_{ш_вых_РТ} - k_{УС} - N_{УС} = -27 \text{ дБВт} - 122 \text{ дБ} - 4 \text{ дБ} = -153 \text{ дБВт}.$$

Заметим, что в проведенных расчетах значение $\check{P}_{ш_вх} = -153$ дБВт определено, исходя из рассчитанного по формуле (2) значения реальной чувствительности приемника $\check{P}_{c_вх_0} = -138$ дБВт.

Однако очевидно, что при отсутствии внешнего шума на вход фидера приемника поступает мощность шума сопротивления настроенной и согласованной антенны:

$$P_{ш_вх} = P_{ш_0} = k T_0 B_{ш_RF} = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 290 \cdot 0,2 \cdot 10^6 \approx -151 \text{ дБВт}. \quad (5)$$

При этом уровни сигнала и шума на входе фидера, а также коэффициент передачи по мощности УС должны иметь значения, указанные на рисунке 3б: $P_{c_вх_0} = -136$ дБВт; $P_{ш_вх} = -151$ дБВт; $k_{УС} = 120$ дБ.

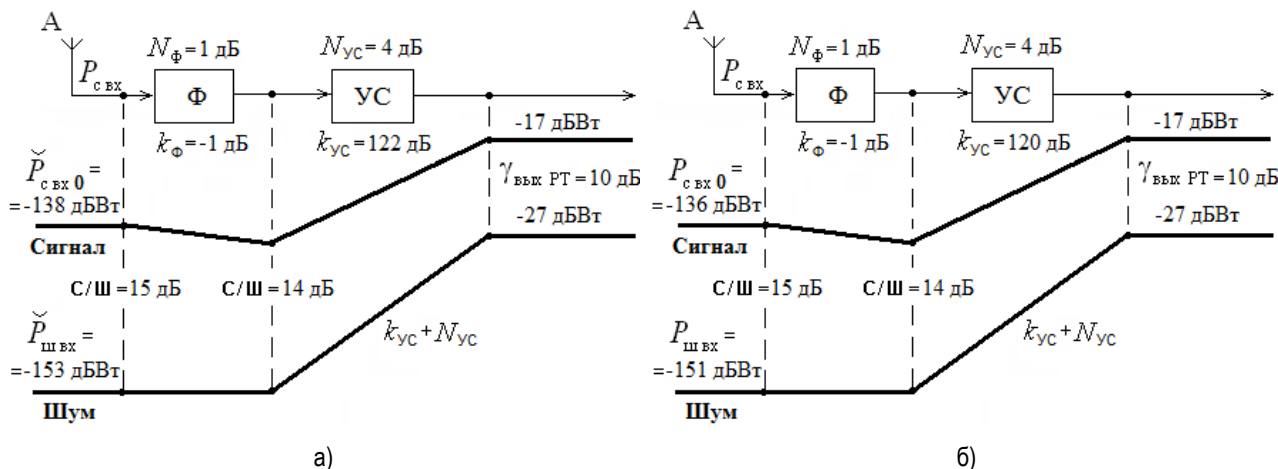


Рис. 3. Диаграммы уровней сигнала и шума для РТ приемника в отсутствии внешних шумов:

- а) при расчете чувствительности приемника $\check{P}_{c_вх_0} = -138$ дБВт по формуле (3);
- б) при уровне шума $P_{ш_вх} = -151$ дБВт от настроенной и согласованной антенны

Отличие значения $\check{P}_{c_вх_0} = -138$ дБВт (см. рисунок 3а) от значения $P_{c_вх_0} = -136$ дБВт (см. рисунок 3б) позволяет сделать вывод о том, что выражению (3) присуща систематическая ошибка. При вышеприведенных параметрах блоков РТ приемника ошибка в оценке чувствительности составляет приблизительно 2 дБ (1,6 раза по мощности). Это является следствием того, что в [3] при выводе (3) не учтен шум сопротивления настроенной и согласованной антенны, а также неверно представлена мощность внешнего шума с использованием параметра $N_{внеш}$. Целесообразно поэтому провести более корректный вывод формулы для оценки реальной чувствительности приемника с использованием коэффициентов внешних и внутренних шумов.

Вывод новой формулы для оценки чувствительности приемника с использованием коэффициентов внешних и внутренних шумов

При выводе формулы для оценки чувствительности приемника с использованием результирующего коэффициента внешнего шума, не имеющей систематической ошибки, необходимо найти мощность полезного сигнала и мощность шума на выходе РТ приемника (в точке «а», см. рисунок 2).

Мощность сигнала на выходе РТ, соответствующая реальной чувствительности приемника $P_{c_вх_0}$, вычисляется по выражению:

$$P_{c_вых_РТ} = k_\Phi k_{УС} P_{c_вх_0} \quad (6)$$

Для нахождения мощности внутреннего (собственного) шума на выходе РТ выразим коэффициент шума РТ ($N_{РТ}$) через параметры последовательно включенных и согласованных по входу и выходу Ф и УС (см. рисунок 2) с использованием формулы Фрииса [4]:

$$N_{РТ} = N_\Phi + \frac{(N_{УС} - 1)}{k_\Phi} = \eta_\Phi N_{УС} \quad (7)$$

Мощность внутреннего шума на выходе РТ при настроенной и согласованной антенне:

$$P_{ш_вых_РТ_внут} = k_\Phi k_{УС} P_{ш_0} N_{РТ} = k_\Phi k_{УС} B_{ш_RF} (N_0 N_{РТ}) = k_\Phi k_{УС} B_{ш_RF} (N_0 \eta_\Phi N_{УС}) \quad (8)$$

Рассматривая произведение $(N_0 N_{PT})$ в (8), можно сделать вывод о том, что коэффициент шума РТ (N_{PT}) показывает во сколько раз спектральная плотность мощности шума на входе РТ в полосе 1 Гц за счет внутреннего шума больше уровня $N_0 = k T_0 = 4 \cdot 10^{-21}$ Вт/Гц.

Поскольку отношение сигнал / шум на выходе РТ приемника можно определить как:

$$\gamma_{\text{ВЫХ_РТ}} = \frac{P_{\text{С_ВЫХ_РТ}}}{P_{\text{Ш_ВЫХ_РТ}}}, \quad (9)$$

то при $P_{\text{Ш_ВЫХ_РТ}} = P_{\text{Ш_ВЫХ_РТ_ВНУТ}}$ с учетом (6) и (9) реальная чувствительность приемника с настроенной и согласованной антенной с учетом только внутреннего шума вычисляется по выражению:

$$P_{\text{С_ВХ_0}} = \gamma_{\text{ВЫХ_РТ}} B_{\text{Ш_RF}} N_0 \eta_{\Phi} N_{\text{УС}} = \gamma_{\text{ВЫХ_РТ}} P_{\text{Ш_0}} \eta_{\Phi} N_{\text{УС}}. \quad (10)$$

Если антенной принимается внешний шум, который не коррелирован с внутренним шумом РТ, то их результирующее воздействие на входе приемника характеризуется эквивалентным коэффициентом шума:

$$N_{\text{ЭКВ}} = N_{\text{ВНЕШ}} N_{\text{РТ}} \quad (\text{или в «децибелах»: } \hat{N}_{\text{ЭКВ}} = \hat{N}_{\text{ВНЕШ}} + \hat{N}_{\text{РТ}}). \quad (11)$$

В этом случае $N_{\text{ЭКВ}}$ показывает, во сколько раз спектральная плотность мощности шума на входе РТ в полосе 1 Гц за счет внешнего и внутреннего шума больше уровня:

$$N_0 = k T_0 = 4 \cdot 10^{-21} \text{ Вт/Гц.}$$

Тогда реальная чувствительность приемника с настроенной и согласованной антенной с учетом внешнего и внутреннего шума определяется по выражению:

$$\begin{aligned} P_{\text{С_ВХ_0}} &= \gamma_{\text{ВЫХ_РТ}} B_{\text{Ш_RF}} (N_0 N_{\text{ЭКВ}}) = \gamma_{\text{ВЫХ_РТ}} B_{\text{Ш_RF}} (N_0 N_{\text{ВНЕШ}} \eta_{\Phi} N_{\text{УС}}) = \\ &= \gamma_{\text{ВЫХ_РТ}} P_{\text{Ш_0}} N_{\text{ВНЕШ}} \eta_{\Phi} N_{\text{УС}}. \end{aligned} \quad (12)$$

Расчет значения $P_{\text{С_ВХ_0}}$ по формуле (12) при отсутствии внешнего шума ($N_{\text{ВНЕШ}} = 1 = 0$ дБ) соответствует значению $P_{\text{С_ВХ_0}}$, указанному на рисунке 4:

$$\begin{aligned} P_{\text{С_ВХ_0}} &= \gamma_{\text{ВЫХ_РТ}} P_{\text{Ш_0}} N_{\text{ВНЕШ}} \eta_{\Phi} N_{\text{УС}} = \\ &= 10 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 290 \cdot 0,2 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 1,26 \cdot 2,5 = 2,52 \cdot 10^{-14} \text{ Вт} \approx -136 \text{ дБВт}. \end{aligned} \quad (13)$$

На основе (12) нетрудно получить аналитическое выражение для расчета систематической ошибки (δ) при оценке реальной чувствительности приемника по формуле (3):

$$\delta = \frac{P_{\text{С_ВХ_0}}}{\bar{P}_{\text{С_ВХ_0}}} = \frac{N_{\text{ВНЕШ}} \eta_{\Phi} N_{\text{УС}}}{(N_{\text{ВНЕШ}} - 2) + \eta_{\Phi} N_{\text{УС}}}. \quad (14)$$

В таблицу 1, при вышеприведенных параметрах блоков РТ приемника и разных значениях $N_{\text{ВНЕШ}}$, сведены значения $\bar{P}_{\text{С_ВХ_0}}$ и $P_{\text{С_ВХ_0}}$, рассчитанные по (3) и (12), а также значения δ , вычисленные по (14). На рисунке 4 изображена зависимость δ от $N_{\text{ВНЕШ}}$.

Расчет реальной чувствительности приемника можно проводить с использованием температур внешних шумов T_i (см. рисунок 1), для чего необходимо (12) с учетом (1) привести к следующему виду:

$$P_{\text{С_ВХ_0}} = \gamma_{\text{ВЫХ_РТ}} P_{\text{Ш_0}} N_{\text{ВНЕШ}} \eta_{\Phi} N_{\text{УС}} = \gamma_{\text{ВЫХ_РТ}} P_{\text{Ш_0}} (1 + \sum T_i/T_0) \eta_{\Phi} N_{\text{УС}}. \quad (15)$$

Таблица 1. Взаимосвязь значений: коэффициента внешнего шума; реальной чувствительности приемника, рассчитанной по (3) и (12); систематической ошибки

$N_{\text{внеш}}, \text{дБ}$	$\bar{P}_{\text{с.вх.0}}, \text{дБВт}$	$P_{\text{с.вх.0}}, \text{дБВт}$	$\delta, \text{дБ}$
1 = 0	-138	-136 дБВт	2
2 =	-136	-133 дБВт	3
4 = 6	-133,8	-130 дБВт	3,8
10 = 10	-130,5	-126 дБВт	4,5
100 = 20	-120,9	-116 дБВт	4,9
10000 = 30	-111	-106 дБВт	5

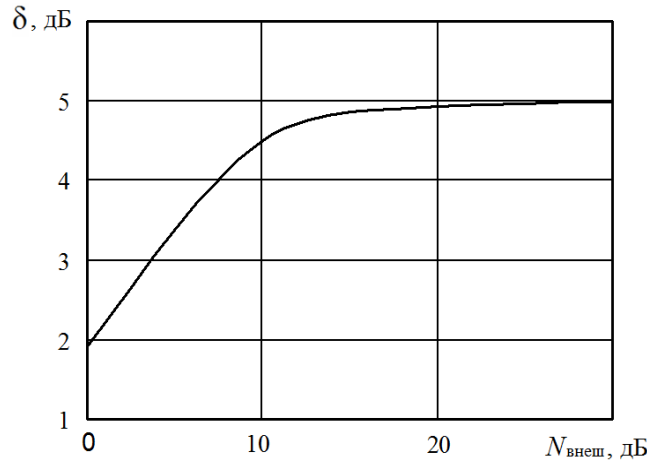


Рис. 4. Зависимость ошибки δ от результирующего коэффициента внешнего шума $N_{\text{внеш}}$

По аналогии с вышеприведенными рассуждениям нетрудно получить выражения для определения реальной чувствительности приемника со структурной схемой, изображенной на рисунке 5 (ПФ – фидер с КПМ ($k_{\text{ПФ}}$) и КШ ($N_{\text{ПФ}} = 1/k_{\text{ПФ}}$); МШУ – малошумящий усилитель с КПМ ($k_{\text{МШУ}}$) и КШ ($N_{\text{МШУ}}$):

$$P_{\text{с.вх.0}} = \gamma_{\text{вых.РТ}} P_{\text{ш.0}} \left\{ N_{\text{внеш}} \eta_{\text{ПФ}} \left[N_{\text{МШУ}} + \frac{(\eta_{\text{Ф}} N_{\text{УС}} - 1)}{k_{\text{МШУ}}} \right] \right\}, \quad (16)$$

$$P_{\text{с.вх.0}} = \gamma_{\text{вых.РТ}} P_{\text{ш.0}} \left\{ (1 + \sum T_i/T_0) \eta_{\text{ПФ}} \left[N_{\text{МШУ}} + \frac{(\eta_{\text{Ф}} N_{\text{УС}} - 1)}{k_{\text{МШУ}}} \right] \right\}, \quad (17)$$

где $\eta_{\text{ПФ}} = 1/k_{\text{ПФ}}$ – потери радиосигнала в полосовом фильтре с коэффициентом передачи по мощности $k_{\text{ПФ}}$.

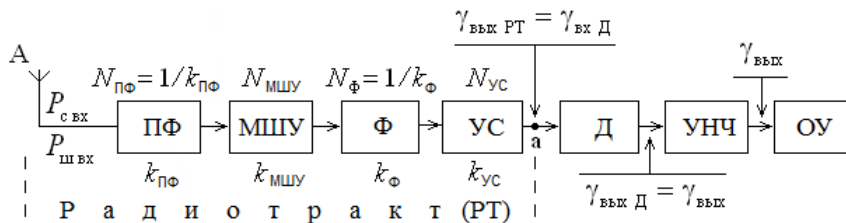


Рис. 5. Структурная схема приемника

Заметим, что (16) приводится к виду (12) при $\eta_{\text{ПФ}} = 1$, $N_{\text{МШУ}} = 1$, $k_{\text{МШУ}} = 1$, что соответствует отсутствию в структуре приемника ПФ и МШУ.

Выводы и дальнейшие перспективы исследования

1. Предложена двухэтапная методика и получена новая формула (16) для оценки реальной чувствительности радиоприемника. На первом этапе для конкретной частоты приема в диапазоне (1...1000) МГц с использованием коэффициентов внешних шумов, изображенных на рисунке 1, по выражению (1) рассчитывается результирующий коэффициент внешних шумов $N_{\text{внеш}}$, учитывающий в совокупности атмосферный, промышленный, галактический и тепловой шум Земли. На втором этапе оценивается реальная чувствительность радиоприемника по формуле (16), в которую входит коэффициент $N_{\text{внеш}}$, а также шумовые и передаточные параметры блоков приемника.

2. Использование новой формулы (16), полученной в результате схемотехнического анализа условий приема с использованием диаграмм уровней сигнала и шума для типовой структуры радиотракта приемника, вместо формулы (3), предложенной в [3], позволяет при оценке реальной чувствительности радиоприемника устранить систематическую ошибку δ , значения которой лежат в пределах от 2 до 5 дБ при значениях результирующего коэффициента внешнего шума от 0 до 40 дБ и более.

3. Зависимость ошибки δ от $N_{\text{внеш}}$ имеет нелинейный характер и приблизительное значение 5 дБ при $N_{\text{внеш}} \geq 20$ дБ (см. рисунок 4).

4. Предложенная методика оценки чувствительности радиоприемника в диапазоне (1...1000) МГц с использованием результирующего коэффициента внешнего шума проще и нагляднее, чем методика с использованием напряженностей поля внешних шумов с размерностью (дБ мкВ)/ $(\text{м} \sqrt{\text{кГц}})$ [5, 6].

В заключение целесообразно отметить, что дальнейшим перспективным исследованием является формирование зависимостей (или банка данных), характеризующих коэффициенты внешнего шума для радиочастот выше 1 ГГц, что даст возможность использования формулы (16) для этих радиочастот. Формирование таких зависимостей возможно на основе данных о шумовой температуре антенны приемника в диапазоне (1–300) ГГц, приведенных, например, в [5–9].

Литература

1. Ред Э. Т. Схемотехника радиоприемников. М.: Мир, 1989. 152 с.
2. Ред Э. Т. Справочное пособие по высокочастотной схемотехнике. М.: Мир, 1990. 256 с.
3. Мелихов С. В., Кологривов В. А. Оценка чувствительности радиоприемников с настроенными антеннами // Доклады ТУСУРа (Томск). 2006. № 6 (14). С. 63–67. EDN: KUBZPX
4. Соковишен М. Основы измерения коэффициента шума в радиочастотном и микроволновом диапазонах // Современная электроника. 2015. № 5. С. 66–69.
5. Калихман С. Г., Левин Я. М. Радиоприёмники на полупроводниковых приборах. Теория и расчёт. М.: Связь, 1979. 352 с.
6. Пушкарев В. П. Радиоприемные устройства. Саратов: Ай Пи Ар Медиа, 2019. 226 с.
7. Крохин В. В. Элементы радиоприемных устройств сверхвысоких частот. М.: Сов. радио, 1964. 694 с.
8. Радиоприемные устройства / Под ред. Н. В. Боброва. М.: Сов. радио, 1971. 496 с.
9. Радиоприемные устройства / Под общей ред. В. И. Сифорова. М.: Сов. радио, 1974. 560 с.

Статья поступила 09 декабря 2024 г.

Одобрена после рецензирования 23 декабря 2024 г.

Принята к публикации 24 декабря 2024 г.

Информация об авторе

Мелихов Сергей Всеволодович — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры радиотехнических систем Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. E-mail: mrc@main.tusur.ru

Radio Receiver Sensitivity Assessment Using External and Internal Noise Coefficients

S. Melikhov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,
Tomsk, 634034, Russian Federation

The purpose: development of a methodology and derivation of a formula for estimating the real sensitivity of a radio receiver using external and internal noise coefficients.

Research methods: circuit analysis of reception conditions using diagrams of signal and noise levels for a typical receiver radio path structure.

Results: a methodology was developed and a new formula was obtained for estimating the real sensitivity of a radio receiver, taking into account the internal noise of the radio path of the receiver and a combination of external noise of various types - atmospheric noise, industrial noise, galactic noise, thermal noise of the Earth.

The novelty: the use of the obtained formula, in contrast to the known one, allows, when calculating the sensitivity of a radio receiver, to eliminate a systematic error, the values of which lie in the range from 2 to 5 dB for values of the resulting external noise coefficient from 0 to 40 dB or more.

Practical / theoretical significance: the results of the work may be useful for developers of receiving paths of various radio systems.

Key words: radio receiver, radio path, bandpass filter, feeder, low-noise amplifier, selector amplifier, external noise factor, internal noise factor, Friis formula, real sensitivity of the radio receiver

Information about Authors

Melikhov Sergey – holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Professor, Professor at the Department of Radio Engineering systems (Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics). E-mail: mrc@main.tusur.ru