

УДК 621.396.24(04)

И.В. РОМАНОВ, И.В. ИЗМАЙЛОВ, А.П. КОХАНЕНКО, Б.Н. ПОЙЗНЕР

**ВЛИЯНИЕ ШУМОВ И ИСКАЖЕНИЙ В КАНАЛЕ СВЯЗИ
НА ПЕРЕДАЧУ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ С НЕЛИНЕЙНЫМ ПОДМЕШИВАНИЕМ
ИНФОРМАЦИОННОГО СИГНАЛА И ХАОТИЧЕСКИМ ОТКЛИКОМ**

Излагаются результаты численного и лабораторного изучения снижения отношения сигнал/шум на выходе приёмника в системе передачи данных из-за присутствия в канале связи искажений (фильтрация и дискретизация) сигнала и шумов.

Ключевые слова: детерминированный хаос, конфиденциальная связь, сигнал/шум, искажения в канале связи.

Известно, что системы передачи данных, использующие колебания генератора детерминированного хаоса в качестве несущих информацию, чувствительны к искажениям сигнала в канале связи, а также к аддитивным шумам [1]. На рис. 1 представлена структура системы в которой осуществляется нелинейное подмешивание информационного сигнала к хаотическому в передатчике и восстановление сигнала с помощью синхронного хаотического отклика в приёмнике.

Работу такой системы (рис. 1) моделирует система дифференциальных уравнений первого порядка, где первые два уравнения описывают сигнал в передатчике, вторые – в приёмнике:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1(t)}{dt} &= \frac{f(D_1 + K_1(z_1(t))) - x_1(t)}{T_1}, & \frac{dy_1(t)}{dt} &= \frac{x_1(t) - y_1(t)}{T_2}, \\ \frac{dx_2(t)}{dt} &= \frac{f(D_2 + K_2\psi(z_1(t))) - x_2(t)}{T_3}, & \frac{dy_2(t)}{dt} &= \frac{x_2(t) - y_2(t)}{T_4}. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь $z_1(t) = x_1(t - \tau) - y_1(t - \tau) + m_1(t)$; $z_2(t) = x_2(t - \tau) - y_2(t - \tau)$; $m_2 = \psi(z_1(t)) - z_2(t)$; переменные x_1 и y_1 (x_2 и y_2) – падения напряжений в ФНЧ и ФВЧ передатчика (приёмника); $m_2(t)$ – восстановленное сообщение на выходе вычитателя приёмника; $z_2(t)$ – сигнал на выходе линии задержки (ЛЗ) в приёмнике; $m_1(t)$ – информационное сообщение; T_1, T_2 (T_3, T_4) – постоянные времени ФНЧ и ФВЧ в передатчике (приёмнике); K_1 (K_2) – коэффициент усиления регулируемого усилителя в передатчике (приёмнике); D_1 (D_2) – напряжение постоянного смещения в передатчике (приёмнике); f – передаточная характеристика нелинейного элемента [2].

Оператор $\psi(z_1(t))$ учитывает шумы и искажения в канале связи.

В численном моделировании и эксперименте влияние фильтрации в канале связи на шумовые характеристики учитывалось как присутствие в нём фильтра нижних частот первого порядка В (1) оператор $\psi(z_1(t))$ заменялся дифференциальным уравнением первого порядка:

$$\frac{dz_\psi}{dt} = \frac{z_1(t) - z_\psi(t)}{T_\psi}, \quad (2)$$

где $z_\psi(t)$ и T_ψ – сигнал на выходе ФНЧ и постоянная времени ФНЧ в канале связи. На рис. 2 представлена зависимость отношения сигнал/шум (С/Ш) восстановленного сигнала в приёмнике от отношения величин постоянных времени фильтров нижних частот в канале связи и передатчике. Нетрудно заметить, что изменение величины T_ψ/T_1 в десять раз изменяет С/Ш примерно на 20 дБ. Отклонение экспериментальной кривой от теоретической при значениях $T_\psi/T_1 < 0,2$ объясняется присутствием

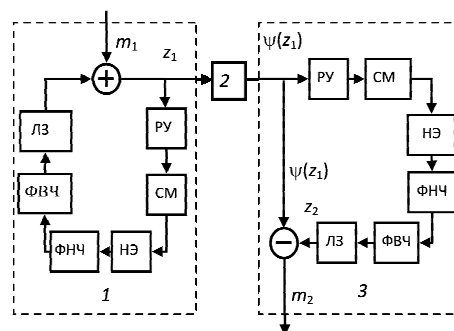


Рис. 1. Структура система передачи данных: 1 – передатчик, 2 – канал связи, 3 – приёмник

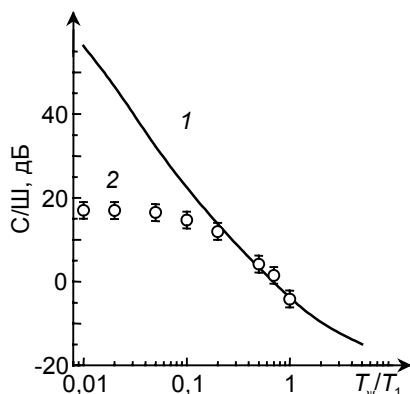


Рис. 2. Зависимость отношения сигнал/шум от T_ψ/T_1 ФНЧ в канале связи и в передатчике: кр. 1 – расчёт, кр. 2 – эксперимент

тот, что изменение величины T_ψ/T_1 в десять раз изменяет С/Ш примерно на 20 дБ. Отклонение экспериментальной кривой от теоретической при значениях $T_\psi/T_1 < 0,2$ объясняется присутствием

в экспериментальном макете неустраняемого рассогласования параметров приёмника и передатчика, что ограничивает значение достижимого С/Ш.

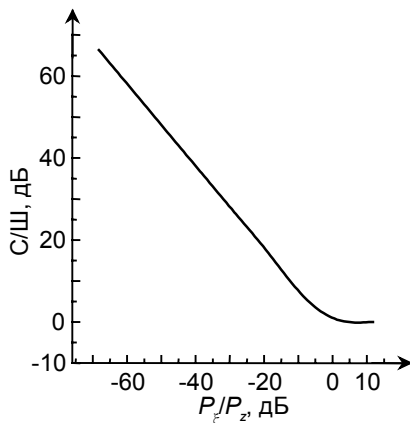


Рис. 3. Зависимость отношения сигнал/шум от приведённой мощности шума P_ξ/P_z в канале связи

Исследование о влиянии шума в канале связи на величину отношения С/Ш восстановленного сигнала в приёмнике проводилось численно, когда оператор $\psi(z_1(t)) = z_1(t) + \xi(t)$, где $\xi(t)$ – белый шум. По результатам расчёта зависимости С/Ш от приведённой мощности шума P_ξ/P_z , когда $P_\xi = \langle \xi(t)^2 \rangle$, $P_z = \langle z_1(t)^2 \rangle$ (рис. 3), можно судить о том, что величина С/Ш восстановленного сигнала в приёмнике обратно пропорциональна мощности шума в канале связи. При $P_\xi/P_z = 0$ дБ величина С/Ш равна 0 дБ. Использование формулы Хартли – Шеннона

$$C = \delta f \cdot \log \left(1 + \frac{\tilde{N}}{\Phi} \right),$$

где δf – спектральная ширина канала связи [Гц], C – пропускная способность канала связи [бит/с], позволяет заключить, что полоса пропускания системы передачи данных в этом случае становится равна 0 бит/с.

Исследуем случай, когда сигнал в канале связи подвержен операции дискретизации по уровню, т.е. когда сигнал из передатчика с помощью аналого-цифрового преобразователя переводится в бинарный сигнал и передаётся в канал связи. С выхода его сигнал поступает в цифро-аналоговый преобразователь. В аналоговом виде сигнал поступает на вход приёмника. На рис. 4 представлены результаты расчёта отношения С/Ш в зависимости от количества уровней дискретизации сигнала в канале связи. По наклону кривой на рис. 4 можно судить, что отношение С/Ш на выходе приёмника зависит от количества уровней дискретизации как квадрат их количества. Из рис. 4 следует, что для обеспечения передачи аналогового сигнала с величиной С/Ш=65 дБ в системе передачи данных необходимо использовать преобразователи с разрядностью не меньше 12 бит (не менее 4096 уровней дискретизации).

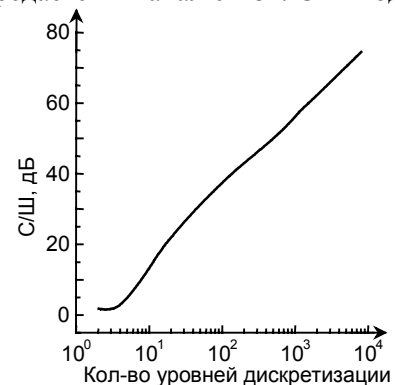


Рис. 4. Зависимость отношения сигнал/шум от количества уровней дискретизации в канале связи

Итак, в работе изучено влияние шумов и искажений в канале связи на шумовые характеристики восстановленного сигнала. Даны количественные оценки влияния шумов и искажений в канале связи на передачу данных в системе передачи данных, установлены предельные значения параметров шума, фильтрации и дискретизации сигнала в канале связи. Полученные результаты будут полезны разработчикам систем конфиденциальной связи с использованием детерминированного хаоса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев А.С., Панас А.И. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. – М.: ИФМЛ, 2002. – 252 с.
2. Романов И.В. // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2 (24). – Ч. 1. – С. 64–68.

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия
E-mail: pznr@elefot.tsu.ru

Поступила в редакцию 15.06.12.

Романов Илья Владимирович, аспирант;
Измайлов Игорь Валерьевич, к.ф.-м.н., ст преподаватель;
Коханенко Андрей Павлович, д.ф.-м.н., профессор;
Пойзнер Борис Николаевич, к.ф.-м.н., профессор