

$$c(t) = \frac{P_{\text{CP}}}{2} [1 + m_a \cos(\omega_n t)] \cos(\omega_n t), \quad (4)$$

где m_a – индекс модуляции акустической помехи, ω_n – круговая частота оптической несущей, P_{CP} – средняя мощность оптической несущей, ω_n – круговая частота акустической синусоидальной помехи.

Мощность акустического шума на единицу сопротивления после перестраиваемого узкополосного фильтра (при выбранной модели) равна:

$$P_{\text{АШ}} = \frac{2\pi q}{c h n} \times \frac{P_{\text{CP}}}{2} \frac{\omega^2 m_a^2}{\omega^2}, \quad (5)$$

т.е. шум зависит от квадрата средней мощности оптического сигнала и квадрата индекса модуляции m_a .

Акустический шум при индексах модуляции $m_a \sim 10^{-5}$ и $P_{\text{CP}} = 10^{-5}$ Вт сравним с дробовым шумом и на два порядка больше уже при индексе модуляции $m_a = 10^{-5}$. В условиях $P_{\text{CP}} > 10^{-5}$ индекс модуляции может быть меньше 10^{-5} .

Если потребовать равенства дробового и акустического шума, то после несложных преобразований получим выражение для индекса модуляции акустической помехой:

$$m_a = \sqrt{\frac{16qB}{P_{\text{CP}} \frac{hql}{hc}}} \quad (6)$$

Поскольку акустический шум возникает по всей длине волоконно-оптической линии и пропорционален квадрату мощности оптической несущей, а дробовый шум линейно зависит от этой мощности, то выбирая оптическую мощность можно всегда достичь условия, при котором влиянием дробового и теплового шумов можно пренебречь. Так как мощность сигнала акустического воздействия также зависит от квадрата средней мощности оптической несущей, то следует ожидать, что соотношение сигнал/шум не будет зависеть от мощности оптического сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шереметьев А.Г. Когерентная волоконно-оптическая связь. – М: Радио и связь, 1991.
2. Пратт Вильям К. Лазерные системы связи. Пер. с англ. под ред. А.Г. Шереметьева. М., «Связь», 1972.

В.К.ЖЕЛЕЗНЯК¹, И.Б.БУРАЧЕНОК¹

МАСКИРОВАНИЕ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА, ПРЕОБРАЗОВАННОГО В ЦИФРОВУЮ ФОРМУ

¹Учреждение образования «Полоцкий государственный университет», г. Новополоцк, Республика Беларусь

В отличие от непрерывного речевого сигнала (РС), его дискретное представление позволяет осуществить передачу на большие расстояния при высокой скорости и качестве передаваемого сигнала, так как с любой необходимой степенью точности непрерывные сообщения возможно заменять цифровыми путем квантования непрерывного сообщения по уровню и времени. Преобразование непрерывного сообщения в цифровое состоит из трех операций: дискретизации по времени через интервал Dt ; полученные отсчеты мгновенных значений $x(nDt)$ квантуются с шагом ρ и последовательность квантованных значений передаваемого сообщения представляется посредством кодирования в виде последовательности m -ичных кодовых комбинаций.

Целью работы является исследование защищенности аналогового РС, преобразованного в цифровую форму принципами амплитудно-импульсной модуляции (АИМ) в условиях маскирования хаотической импульсной последовательностью (ХИП).

Одним из наиболее распространенных методов защиты полезного сигнала от утечки по техническим каналам утечки информации (КУИ) является создание шумовой маскирующей помехи в заданном диапазоне частот, обеспечивающей скрытие информативного сигнала. При этом соотношение величина информативного сигнала к величине шумового сигнала (ОСШ) должны обеспечивать надежное скрытие информативного сигнала до заданных пределов. Установлено, что

дискретизация по времени и квантование по уровню РС для преобразования в цифровую форму являются основными источниками утечки. Шум квантования принимаемого воспроизведенного квантового сигнала является демаскирующим признаком КУИ. Для выявления КУИ целесообразно использовать линейное квантование [1] с передаточной функцией – квантование с нулем в центре шага квантования [2]. Амплитуда шума квантования, возникающего при этом, имеет пилообразную форму, что повышает чувствительность его обнаружения.

Исследования проводились посредством измерительного сигнала (ИС), оцифрованного универсальным аналого-цифровым преобразователем (АЦП) LCard E14-440D (14 бит, 400 кГц). Для передачи сигналов использовалось 7 бит или число уровней квантования $2^7=128$ (шаг квантования 7,8 мВ), частота дискретизации $f_d = 192$ кГц (период дискретизации 5,2 мкс).

Для исследований сформированы ИС, получаемые из периодической импульсной последовательности прямоугольной формы с амплитудой A и периодом T , равным $1/f_{cpk}$, где f_{cpk} – средняя частота полосы равной разборчивости (ППР) РС, $k=1, \dots, N$ где $N=20$, длительность импульса $\tau=T/2$, с ее последовательным автокорреляционным преобразованием в периодическую импульсную последовательность треугольной формы со средней мощностью $A^2\tau$.

Полученные сигналы без искажений по амплитуде вводят в канал передачи РС, на выходе которого получают в каждой ПРР преобразованные ИС представленные в квантованном виде и сигналы их ошибок квантования. Причем квантование сигналов по амплитуде позволяет эффективно подавлять помехи, если только среднеквадратическое значение помех мало по сравнению с разностью между дискретными уровнями.

Экспериментально установлено, что число разрядов должно быть не менее восьми. Изменение длины кода на один бит приводит к изменению ОСШ на 6 дБ.

Сформированные сигналы в ПРР позволили оценить мощность шума квантования и определить ОСШ. Мощность шума квантования, а также ОСШ определяем по [1]. При высоте ступеней ρ и

общем числе ступеней L (частный случай – $L=2^7$) мощность сигнала равна $P_c = \frac{1}{2} \frac{\rho^2}{\epsilon^2} \frac{\sigma^2}{\rho^2}$. Средняя мощность шума квантования $D(t)$ при высоте треугольного зубца $\rho/2$ равна $P_{cp} = \frac{1}{3} \frac{\rho^2}{\epsilon^2} \frac{\sigma^2}{\rho^2}$. Таким

образом, ОСШ равно $\frac{P_c}{P_{cp}} = \frac{3}{2} L^2$, а по напряжению $\sqrt{\frac{P_c}{P_{cp}}} = L \sqrt{\frac{3}{2}}$.

В нашем случае уровень шума квантования ниже уровня сигнала на $\approx 43,91$ дБ во всех ПРР.

Для формирования адаптивного маскирующего сигнала применялся шум ХИП [3], представленный в виде случайной функции времени последовательностью ВЧ-импульсов.

Установлено, что на эффективность воздействия шумовой помехи оказывают влияние: соотношение мощностей помехового и полезного сигналов; структура полезного сигнала; ширина спектра помехового сигнала, а также степень взаимной когерентности или коррелированности помехового и полезного сигналов.

Необходимость маскирования излучения АЦП цифровым шумом ХИП обусловлена тем, что, при преобразовании маскирующего сигнала в цифровую форму, его НЧ-спектральные составляющие распределены в ВЧ-области вокруг тех же гармоник частоты дискретизации, что и составляющие маскируемого сигнала. Для выделения периодических сигналов на фоне шумов высокого уровня применялось синхронное накопление в частотной области смеси помехового и полезного сигналов.

Оценка корреляции сигналов при различной степени их зашумления шумом ХИП, позволила установить, что уровень шума квантования зависит от структуры сигнала, закона изменения высоты ступеней сигнала, существенное значение имеет и его спектральный состав. Шум квантования не коррелирует с шумом ХИП, однако коррелирует с полезным сигналом, представленным в квантованном виде (в качестве полезного сигнала рассматривалась периодическая импульсная последовательность треугольной формы).

Взаимная корреляция шума квантования и квантуемого сигнала пропорциональна коэффициенту корреляции квантуемого сигнала. При $\beta=(\sigma/\rho)^2 < 1$, (где ρ – разность между последовательными дискретными уровнями, σ^2 – дисперсия шума квантования), абсолютная величина взаимной

корреляционной функции сигнала и шума квантования $B_{s_1 s_2}(\tau)$ порядка 10^{-8} от значений корреляционной функции квантуемого сигнала.

По результатам исследования защищенности аналогового РС, преобразованного в цифровую форму принципами АИМ в условиях маскирования шумом ХИП можно сделать вывод, что в случае маскирования цифрового ИС низкая степень подавления ВЧ-областей с помощью шума ХИП снижает качество зашумления сигнала в целом, поскольку ВЧ-составляющие цифрового сигнала также несут информацию и о его НЧ-составляющих. В среднем для исследуемых частотных полос улучшение ОСШ при использовании шума ХИП в цифровой форме составило 11,74 дБ. При равной мощности маскирующих сигналов шум ХИП, преобразованный в цифровую форму, осуществляет равномерную степень зашумления всех выбранных ПРР. При этом в НЧ-области цифровой маскирующий сигнал не позволяет достичь меньшего ОСШ в сравнении с исходным шумом по отношению к маскируемому сигналу, что может быть скомпенсировано усилением излучаемого в КУИ цифрового шума ХИП.

Таким образом, предложенный адаптивный шумовой сигнал – ХИП, с установленными и обоснованными параметрами, позволит повысить защищенность КУИ при преобразовании непрерывного сообщения в цифровое.

ЛИТЕРАТУРА

1. Топильский, В. Б. Схемотехника аналого-цифровых преобразователей : учебное издание / В.Б. Топильский. – Москва : Техносфера, 2014. – 290 с.
2. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. / И.С. Гоноровский. – М.: Советское радио, 1971. – 440 с.
3. Бураченко И.Б. Обнаружение первичных признаков речевого сигнала // И.Б., Бураченко В.К. Железняк. / Комплексная защита информации : материалы XXIV научн.-практ. конф., Витебск 21-23 мая 2019 г. – Витебск, ВГТУ, 2019. – 406 с. – С. 40-44.

Г.М.ЗАЯЦ^{1,2}, Г.Ф.ГРОМЫКО², В.Т.ЕРОФЕЕНКО³

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКРАНИРОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ МНОГОСЛОЙНЫМИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ЭКРАНАМИ С НЕЛИНЕЙНЫМИ СВОЙСТВАМИ

¹Учреждение образования «Белорусская государственная академия связи», г. Минск, Республика Беларусь

²Государственное научное учреждение «Институт математики НАН Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь

³НИИ прикладных проблем математики и информатики Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь

В современной технике используются электронные устройства, чувствительные к воздействию внешних электромагнитных полей, влияющих на точность их функционирования. В связи с этим актуальна проблема защиты таких приборов, в частности, линий передачи информации, от электромагнитных воздействий. Одним из способов защиты является экранирование электромагнитных полей. Для этих целей используются тонкие цилиндрические покрытия, сферические и плоские экраны. Возникает задача выбора оптимальных параметров и специальных материалов при изготовлении экранов для обеспечения их высокой эффективности. С этой целью проводятся экспериментальные исследования, а также широко используются методы математического моделирования. В реальных экранах распределение магнитной проницаемости по толщине материала экрана имеет сложный нелинейный характер. В случае намагничивающегося материала магнитная проницаемость m зависит от магнитного поля \mathbf{H} : $m = m(|\mathbf{H}|)$. Для исследования магнитных характеристик экранов из материалов с нелинейными свойствами используются методы численного моделирования. Несомненный интерес представляет решение задач экранирования для многослойных пленочных экранов, так как известно, что слоистость экранов повышает их эффективность. В работе [1] рассмотрена математическая модель экранирования постоянных магнитных полей многослойным цилиндрическим тонкостенным экраном, выполненным из материалов с нелинейными магнитными свойствами. Модель представляет собой краевую