

Формирование шумоподобной части комбинированного тестового сигнала для измерения времени задержки

В. В. Громоздин¹, Т. В. Новикова², В. А. Маленко³, М. С. Козуб⁴

Филиал НИИЦ Телеком в г. Севастополе (ИЦ "Омега"),
Севастопольский государственный университет

¹gromozdinvv@ nic-t.ru, ²novikovatv@ nic-t.ru, ³malenkova@ nic-t.ru, ⁴kozubms@ nic-t.ru

Аннотация. В докладе рассматривается влияние способа формирования части комбинированного тестового сигнала (КТС), содержащей псевдослучайный шум, на неоднозначность корреляционной функции между измеренным сигналом в точке электрического доступа и исходным сигналом при измерении времени задержки распространения сигнала в устройстве/системе экстренного вызова.

Ключевые слова: устройство/система экстренного вызова, задержка распространения сигнала, псевдослучайный шум, автокорреляционная функция, композитные исходные сигналы

I. ВВЕДЕНИЕ

Классическими измерительными сигналами в телефонометрии являются неречевые (искусственно созданные) сигналы, одними из которых наиболее распространенных являются случайные сигналы, которые описываются законами распределения и долговременным спектром. В частности, в соответствии с [1–2] определение задержки распространения сигнала, как в канале приема, так и в канале передачи, осуществляется с помощью комбинированного тестового сигнала (CSS), содержащего в качестве измерительной части псевдослучайный шум (PN) с постоянной спектральной плотностью мощности ($W(k)=const$) во всем рабочем диапазоне частот и формируемую в соответствии с Рекомендацией МСЭ [3]:

$$H(k) = W(k) \exp(j \cdot i_k \pi),$$

где $k = -M/2 \dots M/2$, исключая 0; $i_k = i_{-k} \in \{+1, 0\}$ – имеет случайное равномерное распределение, а индекс M настраивается на выбранный размер быстрого преобразования Фурье (БПФ), например, 2048 точек.

Для получения более длинной временной последовательности, [3] рекомендует циклические повторение созданного фрагмента, указывая, что этот метод допускает временные последовательности любой длины. Обычно длина БПФ должна быть короткой для систем с параметрами, изменяющимися во времени, такими как методы компандирования, с целью получения хорошей кратковременной оценки передаточной функции, изменяющейся во времени. Для систем, включающих адаптивные методы, такие как эхоподавители или шумоподавители, целесообразно более высокое значение M (длительность сигнала около 200 мс), чтобы автокорреляционная функция (АКФ)

измерительного сигнала не была периодической в пределах окна его обработки.

Целью работы является определение требуемого индекса M при определении времени задержки сигнала в устройстве/системе вызова (УСВ) экстренных оперативных служб при испытаниях на соответствие требованиям к качеству громкоговорящей связи в кабине транспортного средства в соответствии с [1–2].

II. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований является способ испытаний времени задержки устройства/системы вызова экстренных оперативных служб.

III. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Согласно [1–2] при определении задержки распространения сигнала как в канале приема УСВ, комбинированный CSS сигнал формируется в соответствии с [3], при этом псевдослучайный шум PN, по длительности должен быть продолжительнее измеряемого времени распространения сигнала и рекомендуется использовать PN последовательность, содержащую не менее 16000 отсчетов при частоте дискретизации $f_d = 48$ кГц.

Указанные значения определяют требуемую длительность PN последовательности 333,3 мс, что с достаточным запасом вполне соответствуют требованиям к допустимым временам задержки в УСВ на передачу не более 122 мс для системы связи GSM и не более 143 мс для системы связи UMTS, и на прием – не более 122 мс для системы связи GSM и не более 143 мс для системы связи UMTS. При этом в части практической реализации PN последовательности в [3] рекомендуется при частоте дискретизации 44,1 кГц иметь длину преобразования Фурье 2048 точек:

$$H(k) = W(k) \exp(j \cdot i_k \pi); k = -928, \dots, +928 \text{ без } 0, i_k \in \{+1, 0\},$$

где значение $k = \pm 928$ при $f_d = 44,1$ кГц ограничивает верхнюю частоту спектра значением 20 кГц, временной сигнал вычисляется путем обратного преобразования Фурье и для достижения длительности PN последовательности 200 мс эта последовательность должна быть повторена 4,307 раза. Для требуемого времени измерения 333,3 мс подобная последовательность должна повториться 7,18 раз при длине каждого фрагмента 46,4 мс. Повторение последовательностей такой длительности приводит к

появлению периодичности АКФ в пределах требуемого временного окна обработки сигнала.

Интересно, что указанная периодичность АКФ обусловлена не только повторением сформированных фрагментов, но и частотным разносом Δf между составляющими. При постоянном значении Δf между частотами, формирующими последовательность псевдослучайного шума, интервал периодичности АКФ $\Delta T = 1/\Delta f$. При выборе количества временных отсчетов во временном фрагменте равным количеству частотных разбиений интервал периодичности АКФ за счет постоянного разнота между частотными составляющими совпадает с длительностью временного окна и, соответственно, с интервалом периодичности АКФ за счет циклического повторения единичного временного фрагмента. При частоте дискретизации $f_0 = 44,1$ кГц, и при длине преобразования Фурье 2048 точек, частотный дискрет $\Delta f = 21,53$ Гц (соответственно, при $f_0 = 48$ кГц $\Delta f = 23,43$ Гц), и, соответственно, интервалам периодичности АКФ $\Delta T = 46,44$ мс и $42,68$ мс, что в обоих случаях попадает во временное окно обработки тестового сигнала.

Таким образом, с целью исключения попадания интервала периодичности АКФ во временное окно обработки тестируемого устройства, требуемую длительность псевдослучайного шума тестового CSS сигнала необходимо формировать не путем циклического повторения единичного временного фрагмента, а путем создания единого фрагмента с длительностью, соответствующей общему требуемому времени измерения последовательности псевдослучайного шума ΔT_{PN} . При этом частотный разнос Δf между формирующими частотами выбирать из условия $\Delta f = 1/\Delta T_{PN}$. Другим вариантом является выбор неравномерного частотного разнота Δf , например, по степенному закону, что, с одной стороны, не соответствует требованиям [3] к постоянству спектральной плотности мощности во всем рабочем диапазоне частот, однако является вполне допустимым для измерений задержки распространения сигнала в УСВ.

На рис. 1а приведен вид АКФ при формировании последовательности псевдослучайного шума PN сразу заданной длительности ΔT_{PN} , но с частотным разносом $\Delta f = f_0/2048$, как это рекомендуется в качестве практической реализации PN части в [3]. На рис. 1б приведен вид АКФ при формировании последовательности псевдослучайного шума PN единым фрагментом длительностью $\Delta T_{PN} = 0,341$ с (количество временных отсчетов $N_{отсч} = 10^{14} = 16384$ при частоте дискретизации $f_0 = 48$ кГц) и с разносом $\Delta f = f_0/N_{отсч} = 1/\Delta T_{PN} = 2,93$ Гц. На рис. 1в представлен вид АКФ при степенном увеличении частотного разнота Δf .

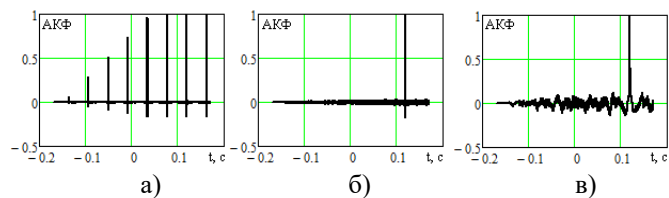


Рис. 1. Вид АКФ псевдослучайного шума CSS сигнала при различных вариантах ее формирования

Рис. 1 иллюстрирует, как, одно лишь увеличение протяженности во времени гармонических составляющих не исключает периодичности АКФ, ложные максимумы которой при измерении задержки распространения приводят к ошибочным измерениям времени задержки сигнала в УСВ, в то время как формирование PN-последовательности с уменьшением частотного разнота исключает такую неоднозначность измерений.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определение задержки распространения сигнала в УСВ является одним из важнейших пунктов испытаний, т. к. это определяет временные синхронизации практически всех остальных пунктов испытаний, особенно при испытаниях двусторонних режимов работы.

Предложенный путь исключения неоднозначности при формировании тестового CSS сигнала на основе рекомендации [3] позволяет исключить ложные максимумы АКФ измерительной последовательности псевдослучайного шума и, соответственно, связанные с этим неоднозначности измерений.

С целью исключения некорректного формирования тестового сигнала для измерения времени задержки сигнала в УСВ можно рекомендовать п. 7.1.2.2 [1] и соответствующих пунктов [2] уточнить требование использовать PN последовательность, содержащую не менее 16000 отсчетов, отнеся это количество отсчетов не только ко временной, но и к частотной области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] ГОСТ 33468—2023 Глобальная навигационная спутниковая система. Система экстренного реагирования при авариях. Методы испытаний устройства/системы вызова экстренных оперативных служб на соответствие требованиям к качеству громкоговорящей связи в кабине транспортного средства.
- [2] Рекомендация МСЭ-Т Р.1100. Узкополосная речевая связь без микротелефонной трубки в моторизованных транспортных средствах.
- [3] Рекомендация МСЭ-Т Р.501. Тестовые сигналы для использования в телефонии.