

# МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ВЗАИМНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ ДВУМЯ СЛУЧАЙНЫМИ СИГНАЛАМИ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ ЭФИРА

DOI: 10.36724/2072-8735-2021-15-12-17-23

**Дорохов Станислав Васильевич,**  
МИРЭА – Российский технологический университет,  
Москва, Россия

**Михайлов Вячеслав Эдуардович,**  
МИРЭА – Российский технологический университет;  
Московский технический университет связи и информатики,  
Москва, Россия, [v.e.mihaylov@mtuci.ru](mailto:v.e.mihaylov@mtuci.ru)

**Manuscript received** 07 September 2021;  
**Accepted** 26 October 2021

**Ключевые слова:** случайный сигнал, генератор шума, методика расчета, коэффициент взаимной корреляции, эфирные помехи, соотношение сигнал-шум, цифровая обработка сигналов, математическая статистика, статистическая радиотехника

На практике во многих случаях необходимо измерять величину коэффициента взаимной корреляции между двумя случайными сигналами. При расчете величины коэффициента взаимной корреляции между выходными сигналами генераторов шума (ГШ) на рабочем месте в помещении всегда присутствуют эфирные помехи, которые существенно искажают результаты измерений. Для случаев, когда нет возможности воспользоваться существующими способами для избавления от эфирной помехи при проведении измерений, авторами данной статьи разработана новая методика, позволяющая вычислять величину коэффициента взаимной корреляции между двумя случайными сигналами в условиях эфирных помех, которая может использоваться для оценки специальных свойств генераторов шума, создающих маскирующую помеху. В первой части статьи проведен обзор существующих методик проведения измерений при расчете величины коэффициента взаимной корреляции между двумя случайными сигналами в условиях эфирных помех. Во второй части изложена новая методика и приведены примеры расчета коэффициента взаимной корреляции по данной методике. В процессе исследования было установлено, что коэффициент взаимной корреляции между выходными сигналами ГШ зависит от величины соотношения "мощность помехи/мощность сигнала" (т.е. от величины мощности коррелированной части в составе сигналов ГШ). Практическая значимость проведенного исследования заключается в возможности использования методики, позволяющей вычислять коэффициент взаимной корреляции между выходными сигналами ГШ в условиях случайных помех на рабочем месте разработчика, не имея возможности проводить измерения в экранированном помещении.

#### Информация об авторах:

**Дорохов Станислав Васильевич**, к.т.н., старший научный сотрудник, доцент кафедры БК №235 "Цифровые устройства и системы защиты информации" Института кибернетики ФГБОУ ВО "МИРЭА - Российский технологический университет", Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-7833-5773>

**Михайлов Вячеслав Эдуардович**, ассистент кафедры "Безопасность телекоммуникаций" факультета "Кибернетика и информационная безопасность" ФГБОУ ВО "Московский технический университет связи и информатики", ассистент кафедры БК №235 "Цифровые устройства и системы защиты информации" Института кибернетики ФГБОУ ВО "МИРЭА - Российский технологический университет", Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-2609-2666>

#### Для цитирования:

Дорохов С.В., Михайлов В.Э. Методика расчета коэффициента взаимной корреляции между двумя случайными сигналами в условиях помех эфира // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Том 15. №12. С. 17-23.

#### For citation:

Dorokhov S.V., Mikhaylov V.E. (2021) Method for calculating cross-correlation coefficient between two random signals in the presence of etheric interference. *T-Comm*, vol. 15, no.12, pp. 17-23. (in Russian)

**Введение**

В настоящее время значительно и быстро растут требования к параметрам средств защиты информации от утечки по побочным каналам. Это обусловлено тем, что непрерывно улучшаются методы выделения информационных сигналов из смеси их с маскирующей помехой (МП) и одновременно разрабатывается более совершенная и скоростная аппаратура, используемая для их разделения.

Наиболее эффективными являются активные средства защиты (АСЗ). Одним из требований, предъявляемых к генераторам МП, является выполнение норм по величине коэффициента взаимной корреляции между выходными сигналами ГШ.

В процессе проведения измерений величины коэффициента взаимной корреляции на входы измерительного прибора попадает эфирная помеха, способная исказить результаты измерений. В данной статье предложена методика, позволяющая вычислять коэффициент взаимной корреляции между выходными сигналами генераторов шума в условиях эфирных помех.

На заводах-изготовителях в партии ГШ требуется измерить величину коэффициента взаимной корреляции между выходными сигналами всех ГШ на плате между собой (величина не должна превышать нормированного значения). Это кропотливая и трудная работа, так как при измерении коэффициента взаимной корреляции трудно избавиться от помех эфира, от помех питания, взаимных наводок (зависит от конструкции платы, на которой расположены ГШ) и других факторов. Эти трудности можно частично облегчить, организовав рабочее место в экранированном помещении.

Тем не менее, в экранированном помещении все же может иметь место помеха, способная повлиять на результаты измерений. Это может являться следствием недостаточно эффективного экранирования, а также наличия собственных помех от работающей измерительной аппаратуры. Анализ помех при измерениях низкочастотных шумов рассмотрен в статье [1].

Существуют методики, которые позволяют снижать уровень указанных помех. Например, использование симметричного (балансного) подключения. Данная методика заключается во взаимном исключении помехи из смеси сигнала и помехи благодаря тому, что по одному из проводников в кабеле сигнал передается в противофазе. Принцип действия данной методики подробно описан в издании [2]. Кроме того, в статье [3] рассмотрен метод двухканальной компенсации помехи на основе вычисления весового коэффициента.

Для случаев, когда нет возможности воспользоваться существующими способами для избавления от эфирной помехи при проведении измерений, разработана новая методика, позволяющая рассчитывать величину коэффициента взаимной корреляции между выходными сигналами двух ГШ в условиях помехи эфира.

**Описание структуры измеряемых сигналов**

Пусть имеются два ГШ, величину коэффициента взаимной корреляции между выходными сигналами которых необходимо измерить. В данном разделе рассматриваются составные части сигналов ГШ<sub>1</sub> и ГШ<sub>2</sub>, поступающих на входы измерительного прибора.

Выходные сигналы ГШ<sub>1</sub> и ГШ<sub>2</sub> случайны, так как формируются на основе тепловых шумов, но также могут иметь в своем составе одинаковую составляющую. Ее наличие обуславливается особенностями конструкции платы, на которой расположены ГШ (взаимными наводками, общим питанием, заземлением платы и т.д.), и определяет величину коэффициента взаимной корреляции ( $K_{КОРР.}$ ) между выходными сигналами ГШ<sub>1</sub> и ГШ<sub>2</sub>. Данную составляющую далее будем называть *мощностью собственной помехи* в составе каждого из сигналов ГШ<sub>1</sub> и ГШ<sub>2</sub>:

$$P_{СОБСТВ.} = P_{СОБСТВ.1} = P_{СОБСТВ.2}$$

Для измерения величины коэффициента взаимной корреляции на выходах ГШ<sub>1</sub> и ГШ<sub>2</sub> устанавливаются сигналы равной мощности:

$$P_{ГШ 1} = P_{ГШ 2} = P_{ГШ}$$

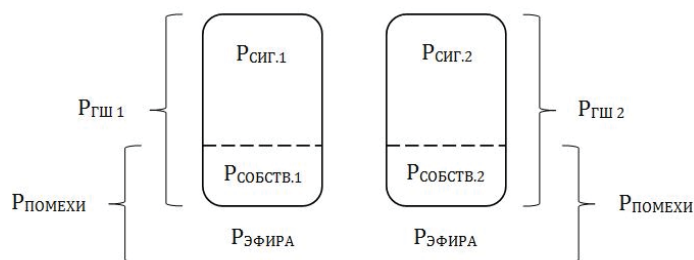
Таким образом, мощности выходных сигналов этих ГШ можно описать формулой:

$$P_{ГШ} = P_{СИГ.} + P_{СОБСТВ.} \tag{1}$$

Как правило, при измерении величина  $K_{КОРР.}$  может превышать норму из-за наличия внешних помех. Чаще всего для снижения уровня эфирных помех измерение величины  $K_{КОРР.}$  проводят в экранированном помещении. При проведении измерений вне экранированного помещения к мощности каждого выходного сигнала ГШ неминуемо добавляется *мощность помехи эфира* ( $P_{ЭФИРА}$ ). В этом случае величина суммарной мощности помехи в составе каждого из сигналов на входах измерительного прибора будет иметь вид:

$$P_{ПОМЕХИ} = P_{СОБСТВ.} + P_{ЭФИРА} \tag{2}$$

На рисунке 1 приведена структура сигналов на входах измерительного прибора.



**Рис. 1.** Структура сигналов ГШ<sub>1</sub> и ГШ<sub>2</sub> на входах измерительного прибора

**Описание эксперимента**

Предлагаемая методика вычисления значения коэффициента взаимной корреляции  $K_{КОРР.}$  между двумя случайными сигналами включает в себя использование зависимости величины  $K_{КОРР.}$  от соотношения  $P_{ПОМЕХИ} / P_{СИГНАЛА}$ .

Схема установки, на которой выполнялся эксперимент, показана на рисунке 2.

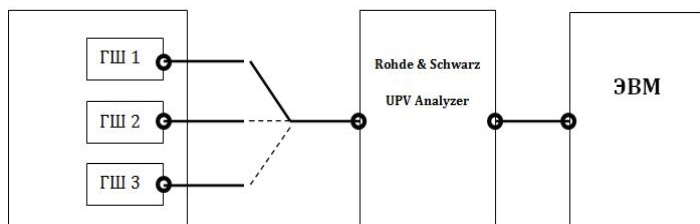


Рис. 2. Схема измерительной установки

Установка состоит из платы ГШ, измерительного прибора Rohde & Schwarz UPV Audio Analyzer [4], используемого в качестве АЦП, и персонального компьютера (ЭВМ) с установленным программным обеспечением GNU Octave [5].

Для построения корреляционной зависимости в память ЭВМ с помощью измерительного прибора записываются одинаковые по мощности выходные сигналы трех независимых ГШ в полосе 0-10 кГц длительностью 48 секунд. Выбор времени измерения сигналов обусловлен необходимостью накопления материала для достижения точных результатов расчета  $K_{КОРР}$ .

На рисунке 3а представлено изображение одного из сигналов во временном окне длительностью 1 секунда, на рисунке 3б – спектральное изображение сигнала.

По формуле (3), описанной в изданиях [6], [7], рассчитывается коэффициент взаимной корреляции:

$$K_{КОРР} = \frac{\max |F_D^{-1} [X(p) \times Y^*(p)]|}{\sqrt{\sum_{i=1}^N x_i^2 \times \sum_{i=1}^N y_i^2}}, \quad (3)$$

где  $N$  – количество отсчетов в сигнале (одинаково в сигнале 1 и сигнале 2);

$F_D^{-1}$  – обратное преобразование Фурье;

$X(p)$  – прямое значение результата дискретного преобразования Фурье над сигналом 1;

$Y^*(p)$  – комплексно-сопряженное значение результата дискретного преобразования Фурье над сигналом 2;

$x_i$  –  $i$ -й отсчет сигнала 1;

$y_i$  –  $i$ -й отсчет сигнала 2.

Так как эти сигналы некоррелированы, величина вычисленного  $K_{КОРР}$  будет близка к нулю.

В качестве помехи используется третий случайный сигнал. При постепенном добавлении его в одинаковом количестве в состав сигнала 1 и сигнала 2, т.е. при увеличении доли одинаковой мощности в  $\Sigma_1 = [P_{СИГНАЛА\ 1} + P_{ПОМЕХИ\ 1}]$  и  $\Sigma_2 = [P_{СИГНАЛА\ 2} + P_{ПОМЕХИ\ 2}]$  при  $P_{ПОМЕХИ\ 1} = P_{ПОМЕХИ\ 2}$ , коэффициент взаимной корреляции между  $\Sigma_1$  и  $\Sigma_2$  также будет увеличиваться (рис. 4).

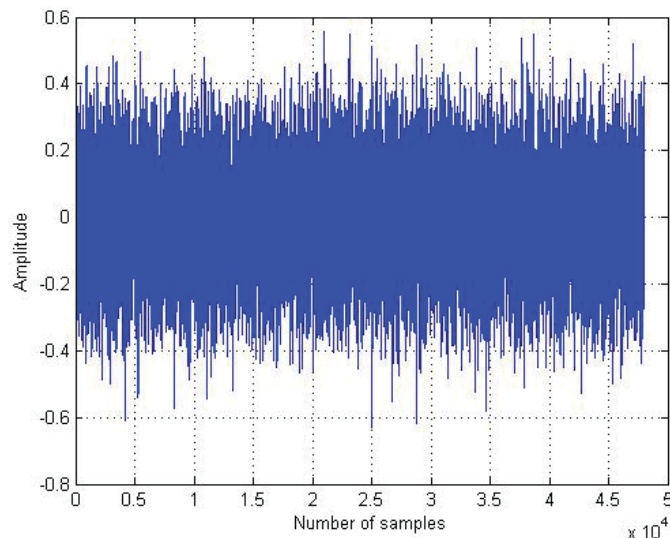


Рис. 3а. Изображение сигнала во временном окне

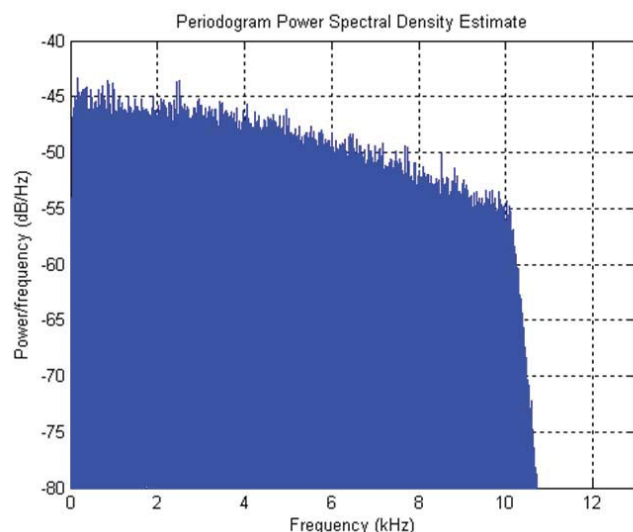


Рис. 3б. Спектральное изображение сигнала

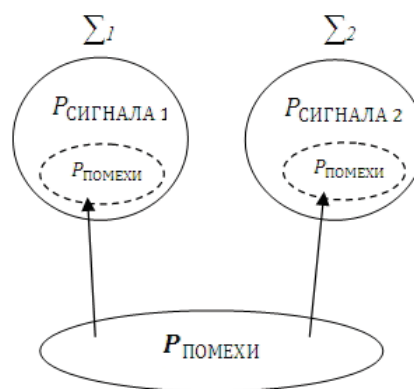


Рис. 4. Одна и та же помеха в одинаковом количестве добавляется и к сигналу 1, и к сигналу 2



По результатам эксперимента получена зависимость величины коэффициента взаимной корреляции от соотношения  $P_{ПОМЕХИ} / P_{СИГНАЛА}$ , где  $P_{СИГНАЛА} = P_{СИГНАЛА1} = P_{СИГНАЛА2}$ , а  $P_{ПОМЕХИ}$  имеет одинаковую мощность в составе  $\Sigma_1$  и  $\Sigma_2$ .

График зависимости при  $K_{КОРР.} = 0 \div 0.15$  изображен на рисунке 5. При рассмотрении графика видно, что при увеличении соотношения  $P_{ПОМЕХИ} / P_{СИГНАЛА}$  увеличивается и значение коэффициента взаимной корреляции между  $\Sigma_1$  и  $\Sigma_2$ .

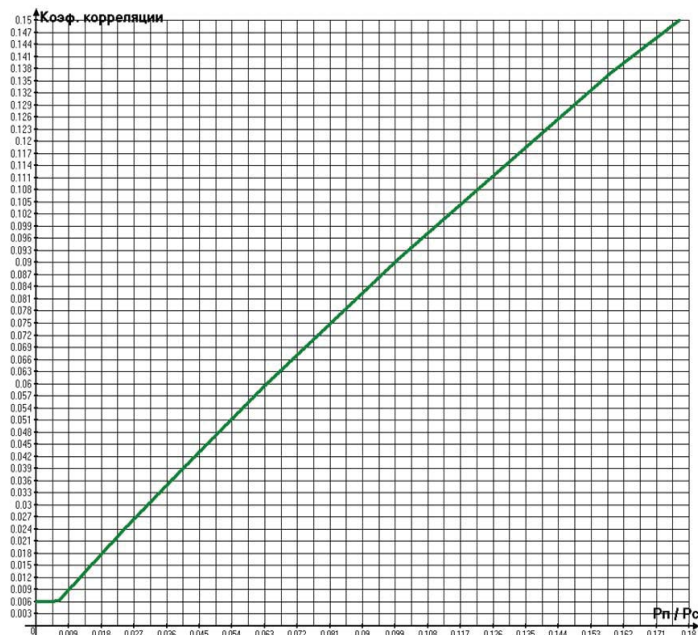


Рис. 5. Зависимость величины  $K_{КОРР.}$  от соотношения  $P_{ПОМЕХИ} / P_{СИГНАЛА}$

Таким образом, можно однозначно определить зависимость величины  $K_{КОРР.}$  от соотношения  $P_{ПОМЕХИ} / P_{СИГНАЛА}$ :

$$f\left(\frac{P_{ПОМЕХИ}}{P_{СИГНАЛА}}\right) = K_{КОРР.} [\Sigma_1; \Sigma_2] \quad (4)$$

при  $P_{СИГНАЛА1} = P_{СИГНАЛА2} = P_{СИГНАЛА}$ ,  $K_{КОРР.} [СИГНАЛ1; СИГНАЛ2] \approx 0$ .

В ходе эксперимента было установлено, что величина коэффициента взаимной корреляции между случайными сигналами равной мощности в одинаковом диапазоне частот в присутствии помехи одинаковой мощности в  $\Sigma_1$  и  $\Sigma_2$  зависит лишь от доли мощности помехи в составе суммы сигнала и помехи:

$$K_{КОРР.} [СИГ.1; СИГ.2] = \frac{P_{ПОМЕХИ}}{P_{СИГНАЛА} + P_{ПОМЕХИ}} = \frac{1}{\frac{P_{СИГНАЛА}}{P_{ПОМЕХИ}} + 1} \quad (5)$$

Следовательно, зависимость на рисунке 5 можно описать функцией вида:

$$f(z) = \frac{z}{z+1}, \quad z > 0 \quad (6)$$

**Описание методики измерения величины коэффициента взаимной корреляции между двумя случайными сигналами в условиях эфирной помехи.**

Перед началом измерений необходимо выровнять действующие значения напряжений выходных сигналов ГШ<sub>1</sub> и ГШ<sub>2</sub>. Для подключения выходов ГШ<sub>1</sub> и ГШ<sub>2</sub> к входам измерительного прибора (анализатора – Rohde & Schwarz RTO2004) используем кабели одинакового типа и длины. Схема подключения изображена на рисунке 6.

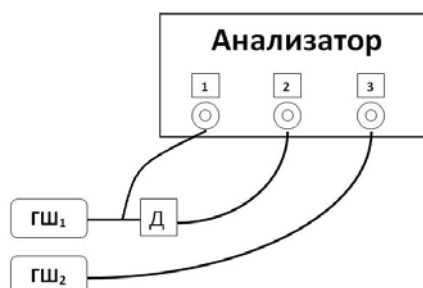


Рис. 6. Схема подключения двух ГШ к измерительному прибору

Условные обозначения: ГШ<sub>1</sub>, ГШ<sub>2</sub> – генераторы шума; Д – делитель напряжения; 1,2,3 – аналоговые входы анализатора.

Требования к измерительному прибору:

1. Наличие трех аналоговых входов с возможностью параллельной оцифровки сигналов;
2. Полоса пропускания анализатора в диапазоне частот ГШ (0-10 кГц).

Величины мощностей сигналов с выходов ГШ<sub>1</sub> и ГШ<sub>2</sub>, пришедших на 1-й и 3-й входы анализатора, записываются в виде системы:

$$\begin{cases} P_{ГШ1} + P_{ЭФИРА} = P_{ВХ.1}, \\ P_{ГШ2} + P_{ЭФИРА} = P_{ВХ.3} \end{cases} \quad (7)$$

Здесь  $P_{ГШ1} = P_{ГШ2}$ ,  $P_{ЭФИРА} = const$  (во время проведения измерений).

ПРИМЕЧАНИЕ: Как известно, величина мощности  $P$ , выделяемой на сопротивлении  $R$ , рассчитывается по формуле  $P = \frac{U^2}{R}$ . В нашем случае выходные сопротивления источников сигнала равны между собой, входные сопротивления измерительного прибора также равны, поэтому далее мощность будет определяться через  $P = U^2$ .

Для нахождения величин  $P_{ЭФИРА}$ ,  $P_{ГШ1}$ , а затем и величины  $K_{КОРР.}$  необходимо провести три измерения:

**Измерение 1 (мощность на 1-м входе анализатора):**

$$(U_{ГШ1})^2 + P_{ЭФИРА} = P_{ВХ.1}, \quad (8)$$

**Измерение 2 (мощность на 2-м входе анализатора):**

$$\left(\frac{U_{ГШ1}}{2}\right)^2 + P_{ЭФИРА} = P_{ВХ.2}, \quad (9)$$

**Измерение 3 (мощность на 3-м входе анализатора):**

$$(U_{ГШ2})^2 + P_{ЭФИРА} = P_{ВХ.3}, \quad (10)$$

где  $U_{ГШ1} = U_{ГШ2}$  – напряжение на выходе каждого из ГШ;  $\frac{U_{ГШ1}}{2}$  – напряжение на выходе ГШ<sub>1</sub>, поделенное в два раза при помощи делителя напряжения. Так как анализатор показывает эффективные значения сигналов  $U_{ВХ.1}$ ,  $U_{ВХ.2}$  и  $U_{ВХ.3}$ , для перехода к мощностям действующие значения сигналов возводятся в квадрат.

В силу взаимно однозначного соответствия между величиной  $K_{КОРР.}$  и соотношением  $\frac{P_{ПОМЕХИ}}{P_{СИГНАЛА}}$  (формула (4), рис. 5) для определения величины коэффициента взаимной корреляции между выходными сигналами ГШ<sub>1</sub> и ГШ<sub>2</sub> без вклада  $P_{ЭФИРА}$  достаточно определить величину отношения  $\frac{P_{СОБСТВ.}}{P_{СИГ.}}$ .

Для этого необходимо выполнить следующие действия:

- 1) Вычислить  $K_{КОРР.}$  между сигналами ГШ<sub>1</sub> и ГШ<sub>2</sub> с учетом вклада общей составляющей ( $P_{ЭФИРА}$ ) по формуле (3);
- 2) Воспользовавшись зависимостью на Рис. 5, перейти к соотношению  $s_k = \frac{P_{СОБСТВ.} + P_{ЭФИРА}}{P_{СИГНАЛА}}$ , где  $s_k$  – значение на оси абсцисс, соответствующее вычисленному значению  $K_{КОРР.}$  на кривой;
- 3) Вывести формулу для вычисления величины  $P_{СОБСТВ.}$ :

$$P_{СОБСТВ.} = s_k \times P_{СИГ.} - P_{ЭФИРА} \quad (11)$$

Выразим величину  $P_{СИГ.}$  через формулы (1), (8):

$$P_{СИГ.} = P_{ВХ.1} - P_{СОБСТВ.} - P_{ЭФИРА} \quad (12)$$

Выразим величину  $P_{СОБСТВ.}$  из формулы (11), представив величину  $P_{СИГ.}$  в виде формулы (12):

$$P_{СОБСТВ.} = s_k \times (P_{ВХ.1} - P_{СОБСТВ.} - P_{ЭФИРА}) - P_{ЭФИРА} \cdot$$

$$P_{СОБСТВ.} \times (s_k + 1) = s_k \times (P_{ВХ.1} - P_{ЭФИРА}) - P_{ЭФИРА} \cdot$$

Согласно системе уравнений (7),  $P_{ВХ.1} - P_{ЭФИРА} = P_{ГШ1}$ .  
Получим:

$$P_{СОБСТВ.} = \frac{s_k \times P_{ГШ1} - P_{ЭФИРА}}{s_k + 1} \cdot$$

- 4) Вывести формулу для вычисления величины  $P_{СИГ.}$ :

Согласно формуле (1),  $P_{СИГ.} = P_{ГШ1} - P_{СОБСТВ.}$ ,

$$P_{СИГ.} = P_{ГШ1} - \frac{s_k \times P_{ГШ1} - P_{ЭФИРА}}{s_k + 1} =$$

$$= \frac{P_{ГШ1} \times (s_k + 1) - s_k \times P_{ГШ1} + P_{ЭФИРА}}{s_k + 1} = \frac{P_{ГШ1} + P_{ЭФИРА}}{s_k + 1}$$

- 5) Вывести соотношение  $\frac{P_{СОБСТВ.}}{P_{СИГ.}}$ :

$$\frac{P_{СОБСТВ.}}{P_{СИГ.}} = \frac{\left(\frac{s_k \times P_{ГШ1} - P_{ЭФИРА}}{s_k + 1}\right)}{\left(\frac{P_{ГШ1} + P_{ЭФИРА}}{s_k + 1}\right)} = \frac{s_k \times P_{ГШ1} - P_{ЭФИРА}}{P_{ГШ1} + P_{ЭФИРА}}$$

- 6) Вычислив величину соотношения  $\frac{P_{СОБСТВ.}}{P_{СИГ.}}$ , пе-

рейти к величине  $K_{КОРР.}$  между выходными сигналами ГШ<sub>1</sub> и ГШ<sub>2</sub> без вклада  $P_{ЭФИРА}$ , воспользовавшись корреляционной зависимостью (рис. 5).

Рассмотрим пример вычисления величины  $K_{КОРР.}$  между выходными сигналами ГШ<sub>1</sub> и ГШ<sub>2</sub> в условиях эфирной помехи по данной методике.

Пусть имеются два ГШ, мощности сигналов которых равны друг другу ( $P_{ГШ1} = P_{ГШ2}$ ). Известно, что при проведении измерений к мощностям сигналов ГШ добавляется некоторая величина  $P_{ЭФИРА}$ . Требуется вычислить коэффициент взаимной корреляции между выходными сигналами ГШ<sub>1</sub> и ГШ<sub>2</sub> в условиях помехи эфира, воспользовавшись методикой с применением корреляционной зависимости.

**Пример вычисления величины  $K_{КОРР.}$  между выходными сигналами ГШ<sub>1</sub> и ГШ<sub>2</sub>.**

1) Подключим ГШ<sub>1</sub> и ГШ<sub>2</sub> к анализатору согласно схеме на рисунке 6. Получим действующие значения напряжений на входах анализатора и перейдем к величинам мощностей:

$$U_{ВХ.1} = 0.9103 \text{ В} \Rightarrow P_{ВХ.1} = (U_{ВХ.1})^2 = 0.8286 \text{ Вт}$$

$$U_{ВХ.2} = 0.5086 \text{ В} \Rightarrow P_{ВХ.2} = (U_{ВХ.2})^2 = 0.2587 \text{ Вт}$$

$$U_{ВХ.3} = 0.9096 \text{ В} \Rightarrow P_{ВХ.3} = (U_{ВХ.3})^2 = 0.8274 \text{ Вт}$$

2) Запишем сигналы с входов анализатора в память ЭВМ. Вычислим коэффициент взаимной корреляции между выходными сигналами ГШ<sub>1</sub> и ГШ<sub>2</sub> с учетом вклада помехи эфира по формуле (3):

$$K_{КОРР.} = \frac{\max |F_D^{-1} [X(p) \times Y^*(p)]|}{\sqrt{\sum_{i=1}^N x_i^2 \times \sum_{i=1}^N y_i^2}} = 0.1386$$

- 3) Вычислим мощность сигнала с выхода ГШ<sub>1</sub>:

$$P_{ГШ1} = \frac{4}{3} \times (P_{ВХ.1} - P_{ВХ.2}) = \frac{4}{3} \times (0.8286 - 0.2587) = 0.7598 \text{ Вт}$$

4) Вычислим мощность помехи эфира:

$$P_{\text{ЭФИРА}} = P_{\text{ВХ.1}} - P_{\text{ГШ1}} = 0.0687 \text{ Вт}$$

5) Перейдем к вычислению величины  $s_k$  по корреляционной зависимости (рис. 5). Для удобства вычисления воспользуемся формулой  $g(y) = \frac{y}{1-y}$ , полученной на основе формулы (6):

$$s_k = g(K_{\text{КОРР.}}) = \frac{|K_{\text{КОРР.}}|}{1-|K_{\text{КОРР.}}|} = \frac{0.1386}{1-0.1386} = 0.1609$$

6) Вычислим величину отношения  $P_{\text{СОБСТВ.}}/P_{\text{СИГ.}}$ :

$$\frac{P_{\text{СОБСТВ.}}}{P_{\text{СИГ.}}} = \frac{s_k \times P_{\text{ГШ1}} - P_{\text{ЭФИРА}}}{P_{\text{ГШ1}} + P_{\text{ЭФИРА}}} = \frac{0.1609 \times 0.7598 - 0.0687}{0.7598 + 0.0687} = 0.0646$$

7) Перейдем к вычислению величины коэффициента взаимной корреляции между выходными сигналами ГШ<sub>1</sub> и ГШ<sub>2</sub> в условиях помехи эфира по корреляционной зависимости (рис. 5). Для удобства вычисления воспользуемся формулой (6):

$$K_{\text{КОРР. вычисл.}} [\text{ГШ}_1; \text{ГШ}_2] = f\left(\frac{P_{\text{СОБСТВ.}}}{P_{\text{СИГ.}}}\right) = \frac{\frac{P_{\text{СОБСТВ.}}}{P_{\text{СИГ.}}}}{\frac{P_{\text{СОБСТВ.}}}{P_{\text{СИГ.}}} + 1} = 0.0607$$

Так как искомая величина  $K_{\text{КОРР.}}[\text{ГШ}_1; \text{ГШ}_2]$  была задана равной 0.0603, погрешность при вычислении составила:

$$\delta = \frac{(K_{\text{КОРР. вычисл.}} [\text{ГШ}_1; \text{ГШ}_2] - K_{\text{КОРР.}} [\text{ГШ}_1; \text{ГШ}_2])}{K_{\text{КОРР.}} [\text{ГШ}_1; \text{ГШ}_2]} = \text{или } 0.7\% \\ = \frac{(0.0607 - 0.0603)}{0.0603} \approx 0.007$$

Таким образом, предложенная методика при использовании корреляционной зависимости позволяет вычислять величину  $K_{\text{КОРР.}}$  между выходными сигналами ГШ<sub>1</sub> и ГШ<sub>2</sub> в присутствии эфирных помех.

### Заключение

При расчете величины коэффициента взаимной корреляции между двумя ГШ может иметь место влияние помехи эфира на результат расчета. В таких случаях необходимо пользоваться альтернативными методиками, позволяющими вычислять коэффициент взаимной корреляции в условиях случайных помех. Методики, рассмотренные в данной статье, позволяют это сделать:

1) использование экранированного помещения при проведении измерений;

2) использование симметричного подключения при проведении измерений;

3) использование предложенной методики, позволяющей вычислить  $K_{\text{КОРР.}}$  между двумя ГШ при помощи корреляционной зависимости.

Выбор определенной методики зависит от технических возможностей, доступных разработчикам на момент проведения измерений.

В процессе исследования было установлено, что коэффициент взаимной корреляции между выходными сигналами двух ГШ зависит от величины соотношения  $P_{\text{ПОМЕХИ}}/P_{\text{СИГНАЛА}}$  (другими словами, от величины мощности коррелированной части в составе сигналов двух ГШ). Зависимость однозначно определяется выражением (4). Также было установлено, что при известных  $P_{\text{СИГНАЛА}}$  и  $P_{\text{ПОМЕХИ}}$  величина  $K_{\text{КОРР.}}$  может вычисляться по формулам (5), (6).

Практическая значимость проведенного исследования заключается в возможности использования методики, позволяющей вычислять коэффициент взаимной корреляции между выходными сигналами ГШ в условиях помехи эфира на рабочем месте разработчика, не имея возможности проводить измерения в экранированном помещении.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Литература

1. Ключев А.В., Якимов А.В. Анализ помех при измерениях низкочастотных шумов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И.Лобачевского. 2007. Вып. 6. С. 52-55.
2. Шкритек П. Справочное руководство по звуковой схемотехнике: пер. с нем. И.Д. Гурвица / науч. ред. А.С. Городникова. М.: Мир, 1991. 446 с.
3. Былинкин А.А. Двухканальная компенсация помехи на основе вычисления одного весового коэффициента. // Вопросы защиты информации. 2017. Вып. 4. С. 25-31.
4. Rohde & Schwarz UPV Audio Analyzer. Руководство по эксплуатации. 620 с.
5. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. Санкт-Петербург: Питер, 2002. 608 с. ISBN 5-318-00666-3
6. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника: 2-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1982. 624 с.
7. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: в 2-х томах. / пер. с франц. А.Ф. Горюнова и А.В. Крычева / науч. ред. Н.Г. Волкова. М.: Мир, 1983. Т. 1. 312 с.
8. Козлов С.В., Кубанков А.Н. О направлениях интеграции информационных, управляющих и телекоммуникационных систем на процессной основе // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Т. 12. № 9. С. 34-40. 14
9. Кубанков А.Н. Классификация видов деятельности в инновационной отрасли информационной безопасности // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. № 2. С. 68-70.
10. Кубанков А.Н., Кубанков Ю.А. Повышение качества подготовки кадров в информационной сфере как условие технологического прорыва // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 6. С. 51-54.

## METHOD FOR CALCULATING CROSS-CORRELATION COEFFICIENT BETWEEN TWO RANDOM SIGNALS IN THE PRESENCE OF ETHERIC INTERFERENCE

**Stanislav V. Dorokhov**, MIREA - Russian Technological University, Moscow, Russia

**Vyacheslav E. Mikhaylov**, MIREA - Russian Technological University:

Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia, [v.e.mihaylov@mtuci.ru](mailto:v.e.mihaylov@mtuci.ru)

### Abstract

In practice, in many cases it is necessary to measure the value of cross-correlation coefficient between two random signals. While calculating the value of cross-correlation coefficient between the two noise generators output signals at the indoor workplace there is always an etheric interference that significantly distorts the measurement results. When there is no possibility to use existing methods for removing interference while making measurements, the new method for calculating cross-correlation coefficient between two random signals in the presence of etheric interference that can be used to evaluate the special properties of the noise generators is developed by the authors of this article. The first part of the article reviews existing methods of making measurements for calculating cross-correlation coefficient between two random signals in the presence of etheric interference. The second part introduced the new method and gives some examples of calculating cross-correlation coefficient by this method. During the study it was found that the value of cross-correlation coefficient of the two noise generators output signals depends on the value of signal-to-noise ratio (SNR) (i.e., on the value of power of correlated part in both noise generators output signals). Practical significance of the study lies in the possibility of using the method for calculating cross-correlation coefficient between the two noise generators output signals in the presence of etheric interference when it is impossible to use EMI shielded room to make measurements.

**Keywords:** random signal, noise generator, method for calculating, cross-correlation coefficient, etheric interference, signal-to-noise ratio, digital signal processing, mathematical statistics, statistical radio engineering.

### References

1. A.V. Klyuev, A.V. Yakimov (2007). Analysis of interferences in low-frequency noise measurements. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I.Lobachevskogo*. (6):52-55 (in Russian)
2. P. Skritek (1988). *Handbuch der Audio-Schaltungstechnik: Berechnungsmethoden, Messverfahren, Schaltungsentwicklung, digitale Tonverarbeitung*. München: Franzis 453 p. (in Germ.). ISBN 9783772387319. [Skritek P. Sound circuitry reference guide: transl. from Germ. Moscow: Mir, 1991. 446 p. (in Russian)]
3. A.A. Bylinkin (2017). Double-channel interference compensation on the basis of single weight coefficient calculation. *Voprosy zaschity informatsii = Information security questions*. (4):25-31 (in Russian)
4. Rohde & Schwarz UPV Audio Analyzer. Operation manual. 620 p. (in Russ.)
5. A.B. Sergienko (2002). *Digital signal processing*. Saint Petersburg: Piter. 608 p. (in Russ.). ISBN 5-318-00666-3
6. V.I. Tikhonov (1982). *Statistical radio engineering: 2nd edition*. Moscow: Radio and communications. 624 p. (in Russian)
7. J. Max (1981). *Methodes et techniques de traitement du signal et applications aux mesures physiques. Tome I*. Edite par Masson. 384 p. (in Fr.). ISBN 9782225656705. [Max J. Methods and techniques for processing signals in physical measurements. First volume: transl. from Fr. Moscow: Mir, 1983. 312 p. (in Russian)]
8. S.V. Kozlov, A.N. Kubankov (2018). Ways of integrating information, controlling and telecommunication systems on a process basis. *T-Comm*, Vol. 12. No.9, pp. 34-40. (in Russian)
9. A.N. Kubankov (2016). Classification of activities in innovative industry of information security. *T-Comm*. Vol. 10. No.2, pp. 68-70.
10. A.N. Kubankov, Yu.A. Kubankov (2017). Improvement of cyberspace personnel training quality as an essential for technological breakthrough. *T-Comm*. Vol. 11. No.6, pp. 51-54.

### Information about authors:

**Stanislav V. Dorokhov**, *Cand. of Sci. (Engineering), Senior Researcher, Associate Professor of the Chair BD №235 "Digital Devices and Information Security Systems", Institute of Cybernetics, MIREA - Russian Technological University, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-7833-5773>*

**Vyacheslav E. Mikhaylov**, *Assistant of Professor of the Chair "Telecommunications Security", Faculty of Cybernetics and Information Security, Moscow Technical University of Communications and Informatics:*

*Assistant of Professor of the Chair BD №235 "Digital Devices and Information Security Systems", Institute of Cybernetics, MIREA - Russian Technological University, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-2609-2666>*