

- formation technologies in science, engineering and management (KomTech-2022): Proceedings of the All-Russian scientific and technical conference with international participation. In two volumes, Taganrog, June 08–10, 2022]. Taganrog: YuFU, 2022, pp. 264-271.
14. *Semenikhin A.I., Semenikhina D.V., Yukhanov Y.V.* A Low Profile Dual-Polarized Tightly Coupled Dipole Array of C-X-Band, Proceedings - 2020 7th All-Russian Microwave Conference, RMC 2020: 7, Moscow, 25–27 November 2020. Moscow, 2020, pp. 140-142.
 15. *Gevorkyan A.V., Yukhanov Y.V.* 5.11:1 Bandwidth Dual Polarized Dipole Antenna, *2018 IEEE Radio and Antenna Days of the Indian Ocean, RADIO 2018, Wolmar, 15–18 October 2018*. Wolmar, 2018, pp. 8572299.
 16. *Semenikhin A.I., Semenikhina D.V., Yukhanov Yu.V.* Nizkoprofil'naya dvukhpolyarizatsionnaya antennaya reshetka sil'no svyazannykh dipoley S-Kh-diapazonov [Low-profile dual-polarization antenna array of strongly coupled C-X-band dipoles], *Zhurnal radioelektroniki* [Journal of Radio Electronics], 2020, No. 12, pp. 14.
 17. *Voskresenskiy D.I., Gostyukhin V.L., Maksimov V.M., Ponomarev L.I.* Ustroystva SVCh i antennoy: uchebnik dlya vuzov [Microwave devices and antennas: a textbook for universities], ed. by Voskresenskiy D.I. 3rd ed. Moscow: Radiotekhnika, 2008, 384 p.
 18. *Drabkin A.L., Zuzenko V.L.* Antenno-fidernye ustroystva [Antenna-feeder devices]. Moscow: Sov. radio, 1961.
 19. *Fradin A.Z.* Antenno-fidernye ustroystva: ucheb. posobie dlya vuzov svyazi [Antenna-feeder devices: a textbook for communications universities]. Moscow: Svyaz', 1977.
 20. *Ayzenberg G.Z.* Antenny ul'trakorotkikh voln [Ultrashort wave antennas]. Moscow: Svyaz'izdat, 1957.
 21. *Alekseev Yu.I., Beletskiy A.A., Brovchenko S.P. [i dr.].* Radioelektronnyye sistemy lokatsii i svyazi: Kollektivnaya monografiya [Radioelectronic systems of location and communication: Collective monograph], pod red. V.A. Obukhovtsa. Moscow: Radiotekhnika, 2008, 208 p.

Обуховец Виктор Александрович – Южный федеральный университет; e-mail: vaobuhovec@sfnu.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: +78634371733; кафедра антенн и радиопередающих устройств; д.т.н.; профессор.

Самбуров Николай Викторович – АО «Тайфун»; e-mail: samburov.n.v@yandex.ru; г. Калуга, Россия; тел.: +79605181406; начальник отдела.

Obukhovets Victor Aleksandrovich – Southern Federal University; e-mail: vaobuhovec@sfnu.ru; Taganrog, Russia; phone: +78634371733; the department of antennas and radio transmitting devices; dr. of eng. sc.; professor.

Samburov Nikolai Viktorovich – TYPHOON JSC; e-mail: samburov.n.v@yandex.ru; Kaluga, Russia; phone: +79605181406; head of department.

УДК 621.391

DOI 10.18522/2311-3103-2025-1-247-255

А.В. Андрианов, А.Н. Зикий, А.С. Кочубей

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СМЕСИ СИГНАЛА И ШУМА НА ВЫХОДЕ ЛОГАРИФМИЧЕСКОГО ПРИЁМНИКА

Проведено экспериментальное исследование статистических параметров смеси сигнала и шума на выходе логарифмического приёмника: среднего, среднеквадратического отклонения, моды, медианы, коэффициентов асимметрии и эксцесса. Наличие этих параметров распределения позволяет аппроксимировать функцию распределения вероятностей смеси сигнала и шума рядом Эджеворта из четырёх членов. Логарифмические приёмники являются важной составной частью систем радиосвязи, радионавигации, радиолокации и радиоэлектронной борьбы. Они определяют такие важные характеристики, как частотный и динамический диапазон, чувствительность и помехоустойчивость. Целью данной работы является уточнение модели смеси сигнала и шума на выходе логарифмического приёмника. В большинстве известных публикаций использовано предположение о нормальном законе распределения смеси сигнала и шума на выходе логарифмического приёмника. Уточнение модели смеси сигнала и шума заключается в том, что данное распределение описывается аналитически рядом Эджеворта, а коэффициенты ряда Эджеворта измерены экспериментально с помощью макета логарифмического приёмника и цифрового осциллографа.

При этом среднее значение и среднеквадратическое отклонение измерены непосредственно и индицируются на экране осциллографа, а коэффициенты асимметрии и эксцесса получены путём обработки массива данных, записанных из осциллографа. В качестве средства обработки массива данных использована программа MATLAB. Для иллюстрации результатов проведённых экспериментов приведены скриншоты с экрана осциллографа, на которых изображены осциллограммы и гистограммы смеси сигнала и шума. Получены следующие параметры распределения: – среднее значение меняется от 671 до 1938 мВ; – среднеквадратическое значение меняется от 23,51 мВ до 0,553 мВ; – коэффициент асимметрии меняется от минус 0,078 до 0,313; – коэффициент эксцесса меняется от 2,394 до 3,471. Полученные результаты позволяют построить характеристики обнаружения логарифмического приёмника и оценить вероятность ложной тревоги.

Логарифмический приёмник; логарифмический детектор; гистограммы; параметры функций распределения вероятностей смеси сигнала и шума.

A.V. Andrianov, A.N. Zikiy, A.S. Kochubey

CHARACTERISTICS OF THE SIGNAL AND NOISE MIXTURE AT THE OUTPUT OF A LOGARITHMIC RECEIVER

An experimental study of the statistical parameters of a mixture of signal and noise at the output of a logarithmic receiver was carried out: mean, standard deviation, mode, median, coefficients of asymmetry and kurtosis. The presence of these distribution parameters makes it possible to approximate the probability distribution function of a mixture of signal and noise by the Edgeworth series of four terms. Logarithmic receivers are an important component of radio communication, radio navigation, radar and electronic warfare systems. They determine important characteristics such as frequency and dynamic range, sensitivity and noise immunity. The purpose of this work is to refine the model of a mixture of signal and noise at the output of a logarithmic receiver. Most well-known publications use the assumption of a normal distribution law of a mixture of signal and noise at the output of a logarithmic receiver. The refinement of the signal-noise mixture model lies in the fact that this distribution is described analytically by the Edgeworth series, and the coefficients of the Edgeworth series are measured experimentally using a mock-up of a logarithmic receiver and a digital oscilloscope. In this case, the average value and standard deviation are measured directly and displayed on the oscilloscope screen, and the coefficients of asymmetry and kurtosis are obtained by processing an array of data recorded from the oscilloscope. The MATLAB program is used as a means of processing an array of data. To illustrate the results of the experiments, screenshots from the oscilloscope screen are shown, which depict oscillograms and histograms of a mixture of signal and noise. The following distribution parameters are obtained: – the average value varies from 671 to 1938 mV; – the RMS value varies from 23.51 mV to 0.553 mV; – the coefficient of asymmetry varies from minus 0.078 to 0.313; – the kurtosis coefficient varies from 2.394 to 3.471. The results obtained allow us to build the detection characteristics of a logarithmic receiver and estimate the probability of a false alarm.

Logarithmic receiver; logarithmic detector; histograms; parameters of probability distribution functions of a mixture of signal and noise.

Введение. Знание плотности распределения вероятностей смеси сигнала и шума позволяет построить характеристики обнаружения. Знание плотности распределения шума позволяет рассчитать вероятность ложной тревоги обнаружителя, поэтому исследование статистических характеристик смеси сигнала и шума на выходе приёмника является важным.

По логарифмическим усилителям и детекторам имеются многочисленные публикации, в том числе монографии [1–3], учебные пособия [4–5], статьи, однако статистическим характеристикам смеси сигнала и шума на выходе логарифмического приёмника не уделяется должного внимания. В работе [6] исследован коэффициент шума ЛУД, в работе [7] исследованы искажения формы импульсов на выходе ЛУД. В работах [8–10] рассмотрены вопросы схемотехники ЛУД. В работах [11–13] изучены динамический диапазон и пропускная способность ЛУД. В работе [14] проведена аппроксимация амплитудной характеристики ЛУД. В работах [15, 16] проведён обзор микросхем для ЛУД.

В результате появления и широкого распространения микросхем логарифмических усилителей-детекторов (ЛУД) они всё чаще применяются в приёмниках различных диапазонов частот, в анализаторах спектра, в измерителях мощности, в анализаторах цепей. Именно они определяют шумовую составляющую погрешности измерений, поэтому ис-

следование плотности распределения вероятностей смеси сигнала и шума на выходе ЛУД является актуальным. К сожалению, в доступных источниках результаты такого исследования не нашли должного отражения.

Схема и конструкция [17]. На рис. 1 приведена функциональная схема двухканального приёмника, разработанного в соответствии с заданными требованиями. Приёмник состоит из двух двухканальных переключателей A1 и A3, трактовых фильтров A4 и A6, управляемых аттенуаторов A7, A8, малошумящих усилителей A9-A12, направленных ответвителей A13, A14, детекторов A15 и A16, логарифмических видеоусилителей A17 и A18.

Переключатели A1, A3 и аттенуаторы A7, A8 выполнены на pin-диодах типа 2A553A-3. Фильтры A4 и A6 выполнены на микрополосковых линиях по схеме шлейфового фильтра. В качестве малошумящих усилителей использованы микросхемы AMMP-5620. Детекторы выполнены на диодах с барьером Шотки типа 2A131A-3. Логарифмические видеоусилители A17, A18 выполнены на микросхемах типа AD8309.

На плате управления установлены три микросхемы типа MADRC0005 и одна микросхема стабилизатора напряжения 142EH6A с выходным напряжением ± 5 В.

Конструктивно приёмник выполнен в виде модуля врубной конструкции размером $170 \times 200 \times 40$ мм. При этом на передней панели блока размещены три входных соединителя СВЧ и два выходных соединителя СВЧ, выходы "видео", а также низкочастотный соединитель для подачи питания и управления. На задней стенке блока установлены два штыря для фиксации положения блока в кассете.

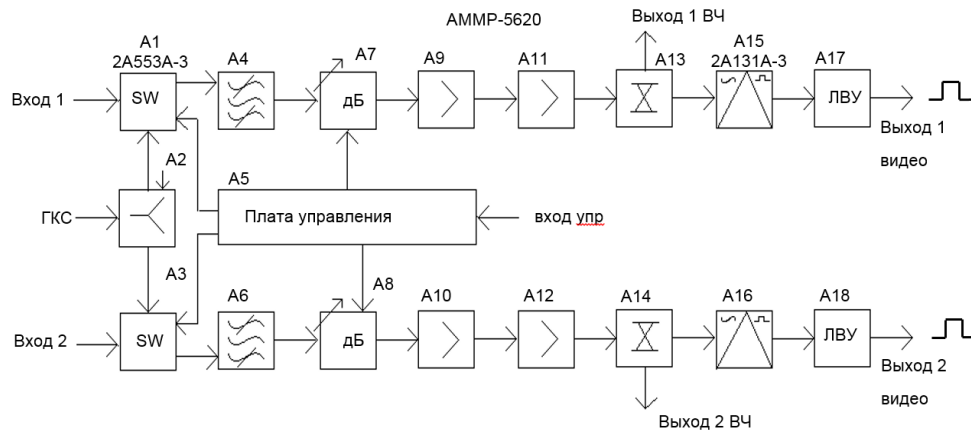


Рис. 1. Функциональная схема приёмника

Эксперимент. Эксперимент проводился на установке, структурная схема которой приведена на рис. 2. В качестве источника радиосигнала использован генератор стандартных сигналов типа MXG N5183A от фирмы Agilent. В качестве индикатора выходного сигнала использован осциллограф типа DSO9254A. Источником питания служил прибор GPC-73060D.



Рис. 2. Структурная схема измерительной установки

В первом эксперименте на вход приёмника сигнал не подавался, поэтому на рис. 3 изображён только шум на выходе логарифмического приёмника.

Во втором эксперименте на вход приёмника был подан радиоимпульсный сигнал мощностью минус 55 дБм. На рис. 4 показана смесь сигнала и шума, а также гистограмма смеси сигнала и шума.

В третьем эксперименте на вход приёмника был подан радиоимпульсный сигнал мощностью минус 45 дБм, длительностью 3,9 мкс с периодом повторения 8 мкс. На рис. 5 можно видеть смесь сигнала и шума, а также гистограмму смеси сигнала и шума.

В четвёртом эксперименте на вход приёмника был подан радиоимпульсный сигнал мощностью минус 35 дБм. На рис. 6 наблюдаем смесь смеси сигнала и шума, а также гистограмму смеси сигнала и шума.

В пятом эксперименте на вход приёмника был подан радиоимпульсный сигнал мощностью минус 25 дБм. На рис. 7 видна смесь сигнала и шума, а также гистограмма смеси сигнала и шума.

В нижней части рис. 3–7 в табличной форме приведён набор параметров: среднее, среднеквадратическое значение, мода, медиана. Из этих рисунков они сведены в табл. 1. По данным табл. 1 построены графики на рисунках 8 и 9 для среднего и среднеквадратического значений смеси сигнала и шума. Данные табл. 1 и графики на рис. 3–9 позволяют сформировать количественные и качественные выводы.

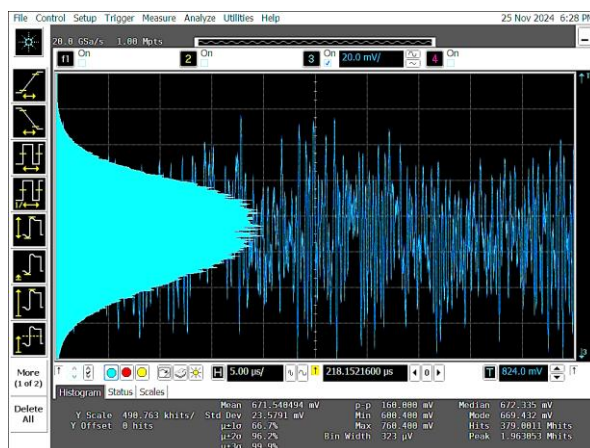


Рис. 3. Осциллограмма и гистограмма шума на выходе ЛУД

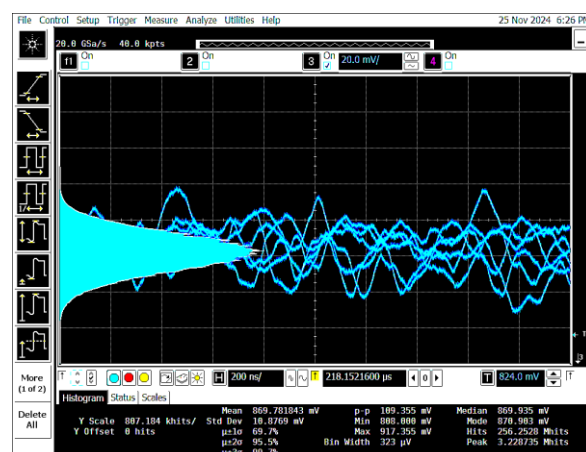


Рис. 4. Осциллограмма и гистограмма смеси сигнала шума на выходе ЛУД при $P_{вх} = -55$ дБм

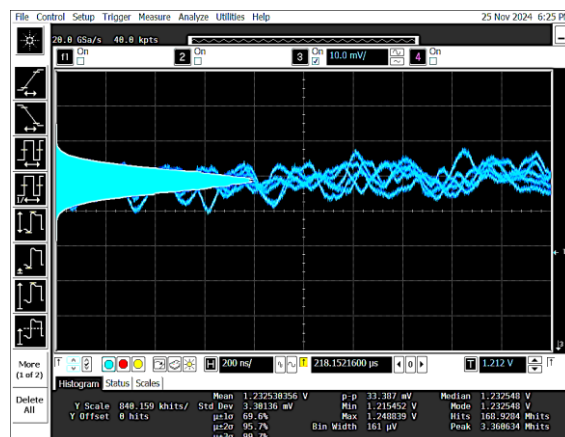


Рис. 5. Осциллограмма и гистограмма смеси сигнала шума на выходе ЛУД при $P_{ex} = -45$ дБм

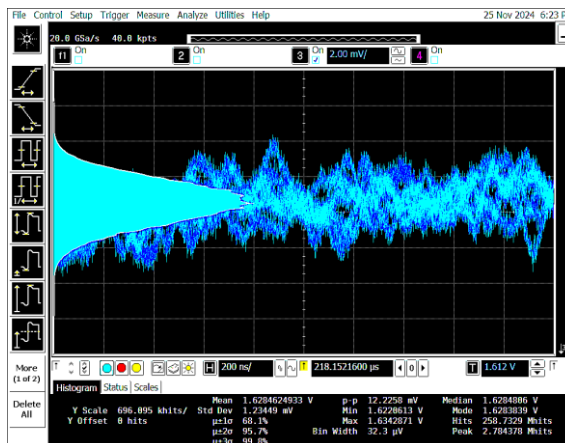


Рис. 6. Осциллограмма и гистограмма смеси сигнала шума на выходе ЛУД при $P_{ex} = -35$ дБм

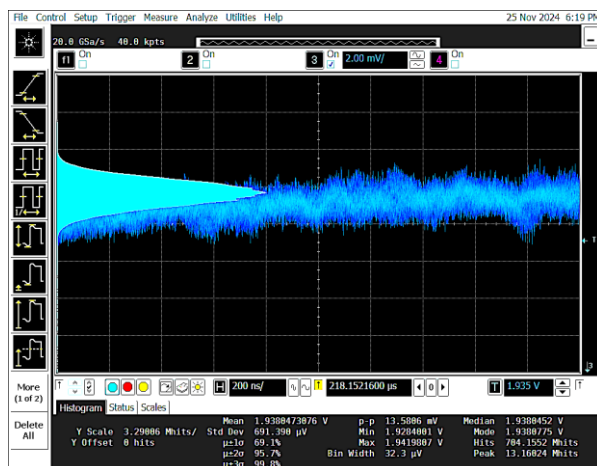


Рис. 7. Осциллограмма и гистограмма смеси сигнала шума на выходе ЛУД при $P_{ex} = -25$ дБм

Таблица 1

Основные параметры гистограмм

Входная мощность сигнала, дБм	СКО, мВ	Среднее, мВ	Мода, мВ	Медиана, мВ
-55	10,87	869	870	869
-50	5,14	-	-	-
-45	3,3	1232	1232	1232
-40	1,87	-	-	-
-35	1,23	1268	1628	1628
-30	0,635	-	-	-
-25	0,691	1938	1938	1938
-20	0,553	-	-	-
Только шум	23,57	671	669	672

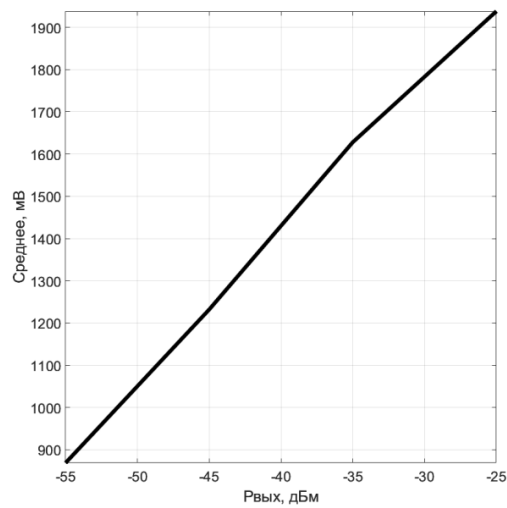


Рис. 8. Зависимость среднего на выходе ЛУД от мощности сигнала

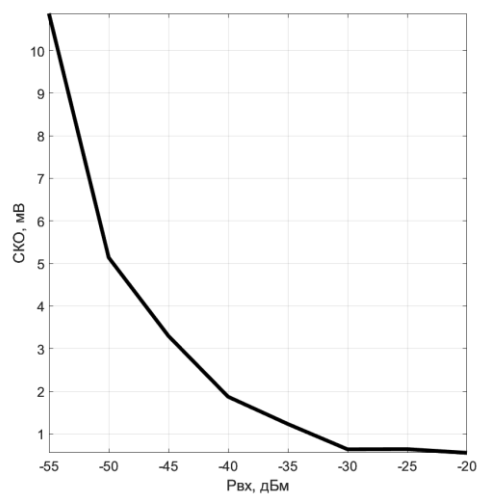


Рис. 9. Зависимость СКО смеси сигнала и шума от мощности сигнала

Кроме графического материала, полученного с помощью цифрового осциллографа, был снят массив данных в виде таблицы (X, Y). Каждая из 5 таблиц содержит несколько десятков тысяч строк. Обработка данных проводилась с помощью программы MATLAB [18]. В качестве результатов расчёта представлены параметры гистограмм в табл. 2.

Таблица 2

Параметры распределений

Коэффициент	Рис. 3 Рвх = 0 мВт	Рис. 4 Рвх = -55 дБм	Рис. 5 Рвх = -45 дБм	Рис. 6 Рвх = -35 дБм	Рис. 7 Рвх = -25 дБм
асимметрии	-0,0878	0,0659	-0,135	0,313	0,031
эксцесса	2,678	2,394	2,578	2,623	3,471

Из табл. 2 видно, что гистограмма имеет очень малый коэффициент асимметрии и является симметричной. Коэффициент эксцесса меняется от 2,394 до 3,471, т.е. колеблется около цифры 3, характерного для гауссовского закона распределения.

Значения среднего, СКО, коэффициента асимметрии и эксцесса позволяют представить распределение вероятностей смеси сигнала и шума в виде ряда Эджворта из четырёх членов [19, 20]:

$$F_1(c) = \int_{-\infty}^c dF_1(y) = \frac{1}{2} \left[1 + \Phi \left(\frac{y}{\sqrt{2}} \right) \right] - \frac{c \frac{y^2}{2}}{24\sqrt{2\pi}} \{4kH_2(y) + \gamma H_3(y)\},$$

где $y = (c - x_1)/\sqrt{x_2}$ – нормированный аргумент;

$k = \frac{x_3}{x_2^{3/2}}$ – коэффициент асимметрии;

$\gamma = \frac{x_4}{x_2^2}$ – коэффициент эксцесса;

x_1, x_2, x_3, x_4 – кумулянты;

$\Phi(x)$ интеграл вероятности $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$;

$H_2(y), H_3(y)$ – полиномы Эрмита.

Выводы:

1. Совпадение численных значений среднего, моды и медианы свидетельствует о принадлежности плотности распределения смеси сигнала и шума на выходе ЛУД к классу симметричных, у которых коэффициент асимметрии равен нулю.
2. Смесь сигнала и шума на выходе ЛУД в первом приближении можно описать гауссовым законом, с параметрами среднего и СКО, указанными в табл. 1 и на рис. 8 и 9.
3. Второе приближение для закона распределения ЛУД представлено в виде ряда Эджворта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Функциональные усилители с большим динамическим диапазоном. Основы теории и практики / под ред. В.М. Волкова. – М.: Сов. радио, 1976. – 394 с.
2. Крылов Г.М., Какунин А.С., Панов В.И. Расчёт логарифмических усилителей с нелинейными элементами в цепях нагрузки. – М.: Энергия, 1969. – 104 с.
3. Крылов Г.М., Вишневская А.В. Проектирование логарифмических усилителей с непрерывным детектированием сигнала. – М.: Энергия, 1970. – 144 с.
4. Евсиков Ю.А., Чапурский В.В. Преобразование случайных процессов в радиотехнических устройствах: учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 1977. – 264 с.
5. Зикий А.Н., Помазанов А.В. Детектирование радиосигналов в телекоммуникационных системах: учеб. пособие. – Ростов-на-Дону – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2021. – 173 с.
6. Гилберт Б. Коэффициент шума и логарифмические усилители // Компоненты и технологии. – 2008. – № 10. – С. 23-26.
7. Беляев Д.В., Зикий А.Н., Бурлаченко А.А. Искажение формы импульсов в логарифмическом приёмнике // Вопросы специальной радиоэлектроники. Серия ОВР. – 2008. – № 1.

8. Михалев П. Микросхемы логарифмических усилителей традиционной схемотехники // Компоненты и технологии. – 2017. – № 8. – С. 51-58.
9. Михалев П. Микросхемы современных логарифмических усилителей для радиочастотных приложений // Компоненты и технологии. – 2008. – № 10. – С. 23-26.
10. Михалев П. Обзор основных схем логарифмических усилителей для радиочастотных приложений производства фирмы Analog Devices // Компоненты и технологии. – 2008. – № 11. – С. 43-52.
11. Самков И. Основы теории демодулирующих логарифмических усилителей // Электронные компоненты. – 2009. – № 3. – С. 84-90.
12. Беляев Д.В., Зикий А.Н., Пономаренко А.А. Динамический диапазон приёмника прямого усиления с логарифмическим видеоусилителем // Матер. МНТК «Информационный подход в естественных, гуманитарных и технических науках». Ч. 4. – Таганрог, ТРТУ, 2004. – С. 8-9.
13. Беляев Д.В., Зикий А.Н., Помазанов А.В. Динамический диапазон и пропускная способность приёмника прямого усиления с логарифмическим видеоусилителем // Вопросы специальной радиоэлектроники. Серия ОВР. – 2004. – № 2. – С. 188-122.
14. Беляев Д.В., Зикий А.Н., Румянцев К.Е. Аппроксимация амплитудной характеристики детекторного приёмника // Информационное противодействие угрозам терроризма. – 2005. – № 6. – С. 201-205.
15. Кен Янг. Логарифмические усилители для комплексных измерений РЧ-сигналов // Электронные компоненты. – 2006. – № 8. – С. 121-124.
16. Беляев Д.В., Бураченко А.А., Зикий А.Н., Румянцев К.Е. Логарифмические детекторы (обзор) // Информационное противодействие угрозам терроризма. – 2008. – № 12, Часть 2. – С. 241-249.
17. Андрианов А.В., Бабаев А.А., Зикий А.Н., Пустовалов А.И. Экспериментальное исследование пеленгационного приёмника сантиметрового диапазона // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 5. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6987.
18. Дьяконов В.П. MATLAB и Simulink для радиоинженеров. – М.: ДМК – Пресс, 2016. – 976 с.
19. Лихарев В.А. Цифровые методы и устройства в радиолокации. – М.: Сов. радио, 1973. – 456 с.
20. Андре Анго. Математика для электро- и радиоинженеров. – М.: Наука, 1967. – 780 с.

REFERENCES

1. Funktsional'nye usiliteli s bol'shim dinamicheskim diapazonom. Osnovy teorii i praktiki [Functional amplifiers with a large dynamic range. Fundamentals of theory and practice], ed. by V.M. Volkova. Moscow: Sov. radio, 1976, 394 p.
2. Krylov G.M., Kakunin A.S., Panov V.I. Raschet logarifmicheskikh usiliteley s nelineynymi elementami v tsepyakh nagruzki [Calculation of logarithmic amplifiers with nonlinear elements in load circuits]. Moscow: Energiya, 1969, 104 p.
3. Krylov G.M., Vishnevskaya A.V. Proektirovanie logarifmicheskikh usiliteley s nepreryvnym detektirovaniem signala [Design of logarithmic amplifiers with continuous signal detection]. Moscow: Energiya, 1970, 144 p.
4. Evsikov Yu.A., Chapurskiy V.V. Preobrazovanie sluchaynykh protsessov v radiotekhnicheskikh ustroystvakh: ucheb. posobie [Transformation of random processes in radio engineering devices: a tutorial]. Moscow: Vysshaya shkola, 1977, 264 p.
5. Zikiy A.N., Pomazanov A.V. Detektirovanie radiosignalov v telekommunikatsionnykh sistemakh: ucheb. posobie [Detection of radio signals in telecommunication systems: a tutorial]. Rostov-on-Don – Taganrog: Izd-vo YuFU, 2021, 173 p.
6. Gilbert B. Koeffitsient shuma i logarifmicheskie usiliteli [Noise figure and logarithmic amplifiers], *Komponenty i tekhnologii* [Components and technologies], 2008, No. 10, pp. 23-26.
7. Belyaev D.V., Zikiy A.N., Burlachenko A.A. Iskazhenie formy impul'sov v logarifmicheskom priemnike [Pulse shape distortion in a logarithmic receiver], *Voprosy spetsial'noy radioelektroniki. Seriya OVR* [Issues of special radio electronics. Series OVR], 2008, No. 1.
8. Mikhalev P. Mikroskhemy logarifmicheskikh usiliteley traditsionnoy skhemotekhniki [Microcircuits of logarithmic amplifiers of traditional circuitry], *Komponenty i tekhnologii* [Components and technologies], 2017, No. 8, pp. 51-58.
9. Mikhalev P. Mikroskhemy sovremennykh logarifmicheskikh usiliteley dlya radiochastotnykh prilozheniy [Microcircuits of modern logarithmic amplifiers for radio-frequency applications], *Komponenty i tekhnologii* [Components and Technologies], 2008, No. 10, pp. 23-26.
10. Mikhalev P. Obzor osnovnykh skhem logarifmicheskikh usiliteley dlya radiochastotnykh prilozheniy proizvodstva firmy Analog Devices [Review of the main circuits of logarithmic amplifiers for radio-frequency applications manufactured by Analog Devices], *Komponenty i tekhnologii* [Components and Technologies], 2008, No. 11, pp. 43-52.

11. Samkov I. Osnovy teorii demoduliruyushchikh logarifmicheskikh usiliteley [Fundamentals of the Theory of demodulating logarithmic amplifiers], *Elektronnye komponenty* [Electronic Components], 2009, No. 3, pp. 84-90.
12. Belyaev D.V., Zikiy A.N., Ponomarenko A.A. Dinamicheskiy diapazon priemnika pryamogo usileniya s logarifmicheskim videousilitelem [Dynamic range of a direct-amp receiver with a logarithmic video amplifier], *Mater. MNTK «Informatsionnyy podkhod v estestvennykh, gumanitarnykh i tekhnicheskikh naukakh»* [Proceedings of the Scientific and Technical Conference "Information Approach in Natural, Humanitarian and Technical Sciences"], Part 4. Taganrog, TRTU, 2004, pp. 8-9.
13. Belyaev D.V., Zikiy A.N., Pomazanov A.V. Dinamicheskiy diapazon i propusknaya sposobnost' priemnika pryamogo usileniya s logarifmicheskim videousilitelem [Dynamic range and bandwidth of a direct gain receiver with a logarithmic video amplifier], *Voprosy spetsial'noy radioelektroniki. Seriya OVR* [Issues of special radio electronics. Series OVR], 2004, No. 2, pp. 188-122.
14. Belyaev D.V., Zikiy A.N., Rumyantsev K.E. Approksimatsiya amplitudnoy kharakteristiki detektornogo priemnika [Approximation of the amplitude characteristic of a crystal receiver], *Informatsionnoe protivodeystvie ugrozam terrorizma* [Information counteraction to terrorist threats], 2005, No. 6, pp. 201-205.
15. Ken Yang. Logarifmicheskie usiliteli dlya kompleksnykh izmereniy RCh-signalov [Logarithmic amplifiers for complex measurements of RF signals], *Elektronnye komponenty* [Electronic Components], 2006, No. 8, pp. 121-124.
16. Belyaev D.V., Burlachenko A.A., Zikiy A.N., Rumyantsev K.E. Logarifmicheskie detektory (obzor) [Logarithmic detectors (review)], *Informatsionnoe protivodeystvie ugrozam terrorizma* [Information Counteraction to Terrorist Threats], 2008, No. 12, Part 2, pp. 241-249.
17. Andrianov A.V., Babaev A.A., Zikiy A.N., Pustovalov A.I. Eksperimental'noe issledovanie pelengatsionnogo priemnika santimetrovogo diapazona [Experimental study of a centimeter-range direction-finding receiver], *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2021, No. 5. Available at: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6987.
18. D'yakov V.P. MATLAB i Simulink dlya radioinzhenerov [MATLAB and Simulink for radio engineers]. Moscow: DMK – Press, 2016, 976 p.
19. Likharev V.A. Tsifrovye metody i ustroystva v radiolokatsii [Digital methods and devices in radar]. Moscow: Sov. radio, 1973, 456 p.
20. Andre Ango. Matematika dlya elektro- i radioinzhenerov [Mathematics for electrical and radio engineers]. Moscow: Nauka, 1967, 780 p.

Андрианов Артур Валерьевич – АО «Таганрогский научно-исследовательский институт связи»; e-mail: artur_andrianov_1990@mail.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: +79034885927; начальник отдела.

Зикий Анатолий Николаевич – АО «Таганрогский научно-исследовательский институт связи»; e-mail: zikiy50@mail.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: +79185822295; к.т.н.; с.н.с.

Кочубей Алексей Сергеевич – АО «Таганрогский научно-исследовательский институт связи»; e-mail: l.co4ubey@ya.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: +79896270939; инженер-конструктор II категории.

Andrianov Artur Valerievich – Taganrog Scientific Research Institute of Communications; e-mail: artur_andrianov_1990@mail.ru; Taganrog, Russia; phone: +79034885927; head of department.

Zikiy Anatoly Nikolaevich – Taganrog Scientific Research Institute of Communications; e-mail: zikiy50@mail.ru; Taganrog, Russia; phone: +79185822295; cand. of eng. sc.; senior researcher.

Kochubey Alexey Sergeevich – Taganrog Scientific Research Institute of Communications; e-mail: l.co4ubey@ya.ru; Taganrog, Russia; phone: +79896270939; design engineer category II.

УДК 621.396.67

DOI 10.18522/2311-3103-2025-1-255-262

Во Ба Ау, Ю.В. Юханов

НИЗКОПРОФИЛЬНАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА ДЛЯ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ

Рассмотрена конструкция низкопрофильной антенной решетки для базовой станции. Основной деталью конструкции является квадратный дипольный массив, который представляет собой утолщенные вибраторы. В конструкции применяется балун в форме «Змейки», который обеспечивает формирование линий передачи и поддержку излучателей с квадратным контуром.