

## МЕТОДОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА LINUX EDA ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ШИРОКОАПАЗОННОЙ ФРАКТАЛЬНОЙ АНТЕННЫ

Андреев П.Г.

Пензенский государственный университет, Пенза, Россия,

e-mail: kipra@mail.ru

Рассмотрены особенности использования приложения Linux EDA для исследования характеристик фрактальной антенны Серпинского. Представлены результаты расчетов её основных характеристик таких, как: габаритные размеры, рабочие частоты, диаграмма направленности. Сделан анализ приложения Linux EDA, которое использует различные инструменты для проектирования и конструирования радиоэлектронных изделий. В статье отмечено, что наиболее эффективным является пакет прикладных программ gEDA. По сути, проект gEDA представляет собой набор бесплатных инструментов автоматизации электронного проектирования с открытым исходным кодом. Как и KiCad, он обеспечивает чрезвычайно продуктивный рабочий процесс и может использоваться для создания электрических устройств следующего поколения. Этот пакет позволяет создавать прототипы, а также многого другого.

Как известно, фрактальные структуры обладают свойством самоподобия при различных масштабах и не обладают характеристическим размером, т.к. в одном объекте наблюдается бесконечное число масштабов. Благодаря такому свойству фрактальные структуры многодиапазонны в электромагнитном смысле. Для решения такого рода задач одним из наиболее эффективных программных продуктов является пакет LibrePCB. LibrePCB - один из лучших инструментов автоматизации проектирования для современных инженеров. Это мощное, но интуитивно понятное решение EDA, простое в использовании и продуктивное. Это универсальное приложение с утилитами для управления проектами, создания новых конструктивных решений и управления библиотеками. Более того, открытый исходный код этого проекта способствует настройке сторонними организациями.

**Ключевые слова:** пакет прикладных программ; исходный код; программный продукт; фрактальная антенна; радиоэлектронная аппаратура; фракталы; полоса пропускания; частота.

## METHODOLOGY OF APPLICATION OF THE LINUX EDA SOFTWARE PRODUCT FOR THE STUDY OF WIDE-BAND FRACTAL ANTENNA

Andreev P.G.

Penza State University, Penza, Russia,

e-mail: kipra@mail.ru

The features of using the Linux EDA application to study the characteristics of the Serpinsky fractal antenna are considered. The results of calculations of its main characteristics such as: overall dimensions, operating frequencies, radiation pattern are presented. The analysis of the Linux EDA application, which uses various tools for the design and construction of electronic products, is made. The article notes that the gEDA application software package is the most effective. In fact, the gEDA project is a set of free open source electronic design automation tools. Like KiCad, it provides an extremely productive workflow and can be used to create next-generation electrical devices. This package allows you to create prototypes, as well as much more.

As you know, fractal structures have the property of their own similarity at different scales and do not have a characteristic size, since an infinite number of scales are observed in one object. Due to this property, fractal structures are multi-band in the electromagnetic sense. One of the most effective software products for solving such problems is the Librepcb package. LibrePCB is one of the best design automation tools for modern engineers. It is a powerful yet intuitive eda solution, easy to use and productive. This is a comprehensive program with utilities

for managing projects, creating new design solutions and managing libraries. In addition, the open source of this project contributes to the configuration of third-party organizations.

**Keywords:** application software package; source code; software product; fractal antenna; electronic equipment; fractals; bandwidth; frequency.

## КЕҢ АУҚЫМДЫ ЗЕРТТЕУ ҮШІН LINUX EDA БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ӨНІМІН ҚОЛДАНУ ӘДІСТЕМЕСІ ФРАКТАЛДЫҚ АНТЕННА Андреев П. Г.

Пенза мемлекеттік университеті, Пенза, Ресей,

e-mail: kipra@mail.ru

Серпинскийдің фракталдық антеннасының сипаттамаларын зерттеу үшін Linux EDA қосымшасын пайдалану ерекшеліктері қарастырылады. Оның негізгі сипаттамаларын есептеу нәтижелері келтірілген, мысалы: Жалпы өлшемдер, жұмыс жиіліктері, бағыт диаграммасы. Электрондық өнімдерді жобалау және жобалау үшін әртүрлі құралдарды пайдаланатын Linux EDA қосымшасына талдау жасалды. Мақалада ең тиімдісі gEDA қолданбалы бағдарламалар пакеті екендігі атап өтілді. Негізінен, gEDA жобасы-бұл ақысыз және ашық бастапқы кодты электронды дизайнды Автоматтандыру құралдарының жиынтығы. KiCAD сияқты, ол өте өнімді жұмыс процесін қамтамасыз етеді және оны келесі буын электр құрылғыларын жасау үшін пайдалануға болады. Бұл пакет прототиптер жасауға мүмкіндік береді және тағы басқалар.

Өздеріңіз білетіндей, фракталдық құрылымдар әртүрлі масштабтарда өзіндік ұқсастық қасиетіне ие және сипаттамалық өлшемге ие емес, өйткені бір объектіде масштабтардың шексіз саны байқалады. Осы қасиеттің арқасында фракталдық құрылымдар электромагниттік мағынада көп диапазонды болады. Осындай мәселелерді шешу үшін ең тиімді бағдарламалық өнімдердің бірі-Librepcb пакеті. LibrePCB-заманауи инженерлер үшін дизайнды автоматтандырудың ең жақсы құралдарының бірі. Бұл қуатты, бірақ интуитивті еда шешімі, пайдалану оңай және өнімді. Бұл жобаларды басқаруға, жаңа дизайн шешімдерін жасауға және кітапханаларды басқаруға арналған утилиталары бар жан-жақты бағдарлама. Сонымен қатар, бұл жобаның ашық көзі үшінші тарап ұйымдарының конфигурациясына ықпал етеді.

**Түйінді сөздер:** қолданбалы бағдарламалар пакеті; бастапқы код; бағдарламалық өнім; фракталдық антенна; радиоэлектрондық аппаратура; фракталдар; өткізу қабілеттілігі; жиілік.

**Введение.** Постоянное расширение областей применения электромагнитных волн для обеспечения связи, навигации, управления, безопасности, передачи телекоммуникационной информации требует увеличение значений используемых частот, что в свою очередь приводит к необходимости миниатюризации радиоэлектронной аппаратуры, в том числе приемных и передающих антенн [1]. Поэтому актуальным является поиск новых решений геометрии антенн с точки зрения топологии в конструировании антенн для создания как можно меньших габаритных размеров, но большим количеством рабочих частот [1, 2]. Программы EDA важны для большого числа инженерных практик, включая проектирование систем и реализацию оборудования. EDA - это класс специализированных компьютерных программ, разработанных для помощи в проектировании различного вида электронных изделий и конструкций. Приложения Linux EDA обычно различаются по назначению. Некоторые инструменты ориентированы в первую очередь на проектирование и

моделирование, в то время как другие могут быть сосредоточены на подготовке производства, анализе конструкции и проверке. Одним из способов решения данной задачи может быть применение геометрии фракталов. Спроектированные таким образом антенны позволяют существенно сократить ее размеры, но при этом обеспечить широкую полосу рабочих частот. Существует несколько типов фракталов, на основе которых возможно сконструировать антенну: снежинка Коха, салфетка Серпинского, ковер Серпинского. В данной работе представлены результаты исследования антенны, построенной на основе салфетки Серпинского.

**Материалы и методы.** Приложения Linux EDA использует различные инструменты для проектирования и конструирования радиоэлектронных изделий. Наиболее эффективным является пакет прикладных программ gEDA. По сути, проект gEDA представляет собой набор бесплатных инструментов автоматизации электронного проектирования с открытым исходным кодом. Как и KiCad, он обеспечи-

вайт чрезвычайно продуктивный рабочий процесс и может использоваться для создания электрических устройств следующего поколения. Этот пакет позволяет создавать прототипы, а также много другого. Более того, gEDA была разработана, чтобы пре-

одолеть нехватку высококачественного программного обеспечения Linux EDA. Таким образом, большое количество соавторов с открытым исходным кодом работают над этим проектом и время от времени внедряют новые функции (рис.1).

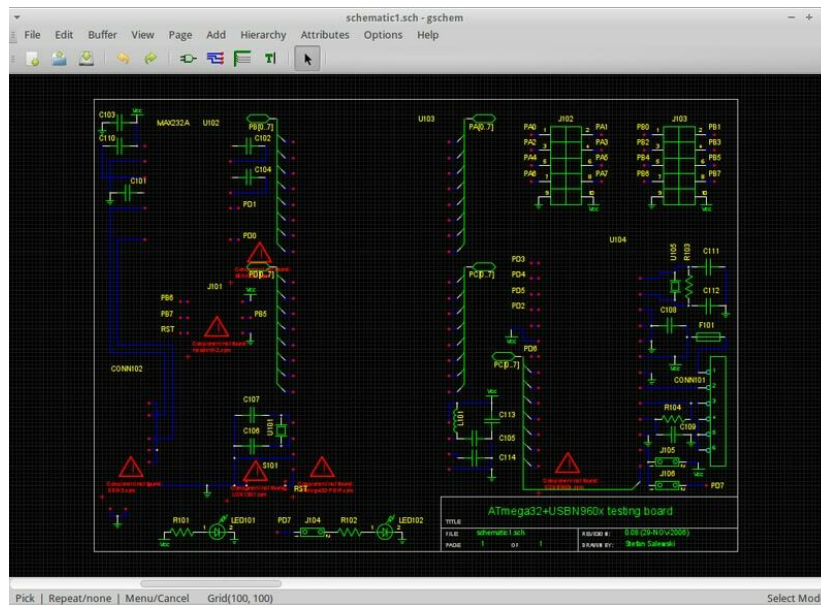


Рис. 1 - Проект gEDA

### Особенности gEDA

- Дизайнеры могут очень быстро рисовать надежные электронные схемы, используя gschem инструмент этого программного пакета EDA.
- Можно легко массово редактировать атрибуты компонентов компоновки, используя гаттриб программа.
- Утилита gsch2pcb предоставляет простой, но эф-

фективный инструмент командной строки для оптимизации рабочего процесса проектирования.

- gEDA предлагает отличную поддержку документации, чтобы помочь новичкам начать работу с этим набором инструментов EDA.
- Все утилиты проекта gEDA поставляются с лицензией GPL и поэтому могут быть легко расширены или изменены.



Рис. 2 - Этапы построения салфетки Серпинского

Как известно, фрактальные структуры обладают свойством самоподобия при различных масштабах и не обладают характеристическим размером, т.к. в одном объекте наблюдается бесконечное число масштабов. Благодаря такому свойству фракталь-

ные структуры многодиапазонны в электромагнитном смысле. Салфетка Серпинского строится посредством вычитания центральных треугольников из главной треугольной формы на каждом шаге итерации, которых может быть сколь угодно много

(рис.2). В результате каждая часть салфетки состоит из трех оставшихся долей, точно равных всему периметру целого объекта [2].

Для решения такого рода задач одним из наиболее эффективных программных продуктов является пакет LibrePCB. LibrePCB - один из лучших инструментов автоматизации проектирования для современных инженеров. Это мощное, но интуитивно понятное решение EDA, простое в использовании и продуктивное. Это универсальное приложение с утилитами для управления проектами, создания новых конструктивных решений и управления библиотеками. Более того, открытый исходный код этого проекта способствует настройке сторонними организациями.

**Особенности LibrePCB**

- Этот кроссплатформенный EDA имеет интуитивно понятный графический интерфейс, который очень прост в использовании и соответствует современным стандартам.
- Это позволяет работать с несколькими вариантами

одного и того же макета и поддерживает автоматическую синхронизацию между схемами.

- LibrePCB предлагает отличный браузер библиотек, который позволяет разработчикам легко добавлять дополнительные компоненты.

**Результаты и обсуждения.** Ниже представлена антенна Серпинского, выполненная на тонкой диэлектрической подложке Culcad 250 ( $\epsilon_r = 2,5$ ; толщина 1.588 мм) посредством 5-ти итераций (рис.3); размещена на проводящей квадратной плоской основе размером 800×800 мм углом вниз [3, 4]. Такой способ конфигурации выбран в целях упрощения подбора запитывающего устройства (коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 Ом).  $\delta^n = 2$ .

Частотная зависимость антенны имеет вид:

$$f_n \approx 0,26 \frac{c}{h} \delta^n, \tag{1}$$

где  $c$  - скорость света в вакууме;  $h$  - высота максимальной салфетки Серпинского;  $\delta^n$  - логарифмический коэффициент масштаба;  $n$  - номер итерации.

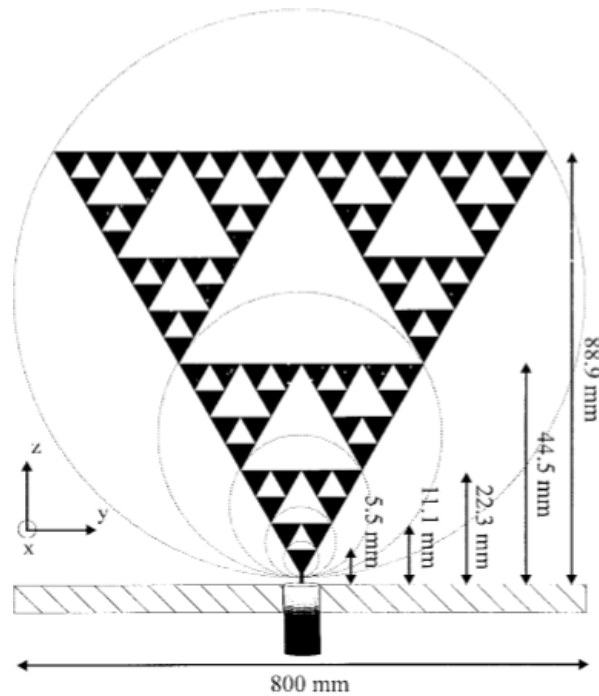


Рис. 3 - Антенна Серпинского (итерации показаны кольцами)

В таблице 1 представлены рассчитанные значения частот на каждом шаге итерации для описанной выше антенны. Видно, что данная антенна обладает

широкой полосой рабочих частот, что позволяет использовать ее в мобильных сетях 3G/4G, телевидения, сети-интернет и др. [5, 6].

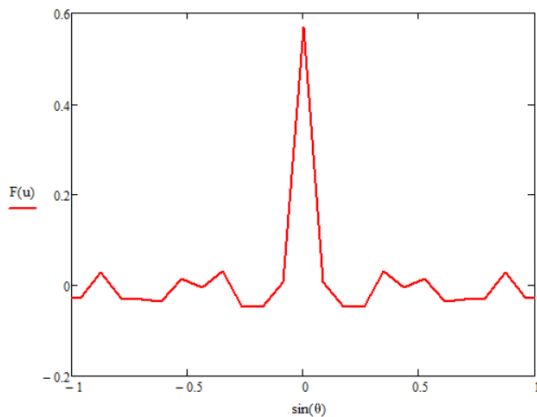


Рис. 4 – Диаграмма направленности антенны на частоте 2,5 ГГц

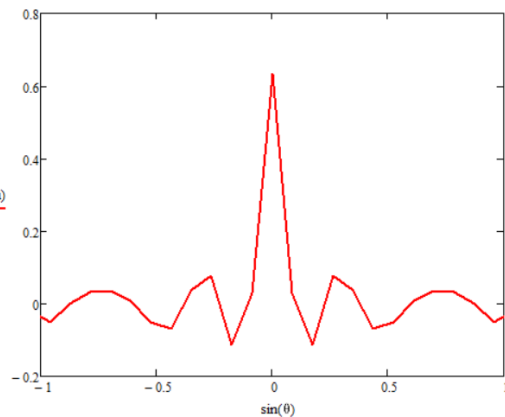


Рис. 5 – Диаграмма направленности антенны на частоте 5 ГГц

Таблица 1 - Основные измеренные параметры антенны Серпинского

Диапазон n	fn, ГГц	Ширина диапазона, %	L, дБ
1	0,52	7,15	10
2	1,74	9,04	14
3	3,51	20,5	24
4	6,95	22	19
5	13,89	25	20

Таблица 2 - Рассчитанные значения частот антенны и высот треугольников на каждом шаге

Номер итерации n	Высота, м	Частота, ГГц
1	0,03125	0,62
2	0,0625	1,248
3	0,125	2,496
4	0,25	4,992

Используя формулу (1) можно провести расчет максимальной высоты антенны для нужной частоты на любом шаге. Например, для работы Wi-Fi требуется частота 2,4 ГГц и 5 ГГц. Из таблицы 1 видно, что на 3-ей и 4-ой итерации значения частот близки к нужным, и пользуясь формулой (1) можно провести расчет для определения точных значений высот [7, 8, 9].

На 5-ом шаге видно, что значение частоты значительно больше нужной, что позволяет использовать только 4 или меньшее количество итераций. Исходя из формулы (1) имеем формулу определения высоты максимальной салфетки:

$$h \approx 0,26 \frac{c}{f_n} \delta^n, \quad (2)$$

где  $c$  - скорость света в вакууме.

$$h \approx 0,26 \frac{3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^9} 2^4$$

$$h \approx 0,25$$

То есть высота большего треугольника  $h = 25$ . Высоты последующих треугольников будут равны половине от высоты наибольшего. Подставляя полученное значение высоты в формулу (1) и изменяя номер итерации  $n$ , можно рассчитать значения частот на любом шаге (табл.2).

Как видно, антенна имеет сравнительно небольшие размеры и обладает широкой полосой рабочих частот [10, 11, 12].

Также, можно провести расчет диаграммы направленности антенны. Синтез фрактальных диаграмм направленности проводится с помощью функции Вейерштрасса (3):

$$f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \eta^{(D-2)n} g(\eta^n x), \quad (3)$$

где  $D$  - фрактальная размерность;  $\eta > 1$ ;  $g$  - ограниченная периодическая функция.

Множитель решетки имеет вид:

$$g(u) = \sum_{n=1}^N I_n J_0(ka_n u), \quad (4)$$

где  $u = \sin \theta$ ,  $N$  - число итераций;  $a$  - радиус  $n$ -й окружности.

Для рассматриваемой антенны был произведен расчет диаграммы направленности на частотах 2,5 и 5 ГГц (рис.4 - рис.5).

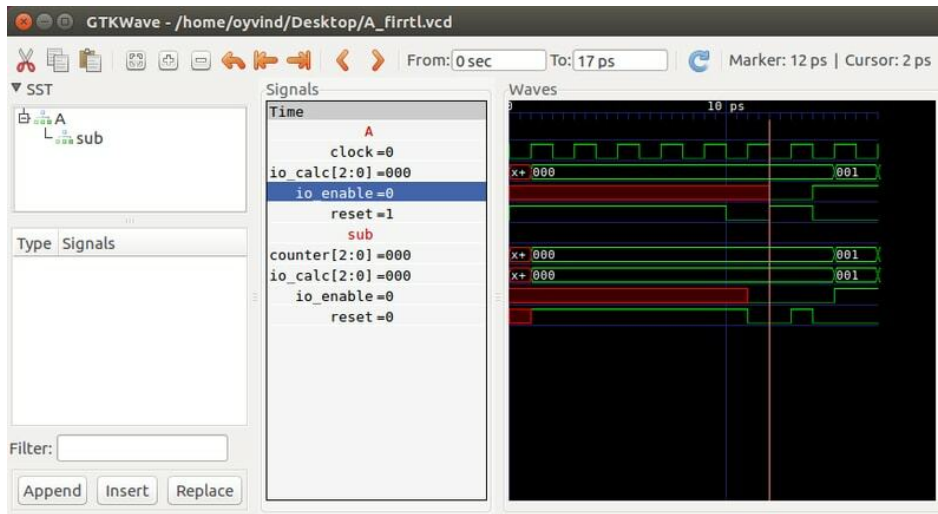


Рис. 6 – Пакет прикладных программ Verilator

Полученные результаты можно анализировать с помощью пакета прикладных программ Gnsicar. Gnsicar - это симулятор схем со смешанными сигналами, который работает практически на любой вычислительной платформе. Название расшифровывается как Gnu Circuit Analysis Package, что само по себе говорит само за себя. Gnsicar - это интерактивное приложение, которое поддерживает несколько диалектов моделирования, таких как SPICE, Verilog и Spectre. Он может легко работать с несколькими типами параметров, мер и расчетных моделей. Более того, Gnsicar использует множество современных алгоритмов для повышения производительности моделирования.

#### Особенности Gnsicar

- Gnsicar - один из самых легких инструментов EDA, разработанный с использованием архитектуры на основе плагинов для дополнительных преимуществ.

- Также можно написать свои собственные настра-

иваемые плагины, используя язык C++, и добавить их в виде скомпилированных общих объектных модулей или файлов «.so» или «.dll».

- Gnsicar реализует несколько механизмов контроля ошибок для повышения точности, а также настоящие механизмы смешанного режима для дополнительной скорости.

Также анализ можно выполнить используя пакет Verilator. Verilator - это высокопроизводительный симулятор Verilog, который преобразует программы Verilog в точные поведенческие модели в многопоточном C++ или SystemC. Он пользуется растущей популярностью среди ученых и разработчиков с открытым исходным кодом благодаря простоте использования и значительным преимуществам в производительности. Корпоративные гиганты, такие как Intel, AMD и Oracle, используют это приложение EDA с открытым исходным кодом в коммерческих целях. Более того, поскольку это проект с открытым исходным кодом, сторонним разработчикам



---

разрешено использовать его для своих собственных проектов без каких-либо юридических проблем.

#### Особенности Verilator

- Verilator обеспечивает молниеносную производительность и может превосходить коммерческие инструменты автоматизации проектирования электроники.

- Это моделирование HDL может обрабатывать все версии Verilog, а также утверждения SystemVerilog и Sugar / PSL.

- Разработчики могут легко создавать свои собственные инструменты на основе вывода XML, предоставляемого этим бесплатным приложением EDA.

- Разработчики также предоставляют отличную документацию и контракты на коммерческую поддержку (рис.6).

**Выводы.** Синтезированные по формуле (4) диаграммы направленности показывают скейлинговые

свойства рассматриваемой антенны и позволяют приблизительно оценить характеристики излучения.

Таким образом, применение фрактальной геометрии в антенной технике позволяет конструировать широкополосные антенны, обладающие существенно меньшими размерами в отличие от антенн, спроектированных на основе традиционной геометрии. Фрактальные антенны находят применение в таких областях, как: сетей стандартов 4G/LTE и 5G, а также иных устройств телекоммуникации и связи.

Инструменты автоматизации электронного проектирования охватывают широкий спектр приложений, включая программное обеспечение для проектирования и симуляторы. Хотя большое количество коммерческих инструментов EDA по-прежнему ориентировано на Windows, у Linux есть немалая доля конкурентов. Некоторые из лучших программ для проектирования для Linux включают gEDA, KiCad и Upverter.

### Литература

1. Yurkov N.K., Andreev P., Bushmelev P.- Space-time analysis of conductive paths with allowance for temperature influence. - Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements.- SCM.- 2016.- pp.238-240. DOI: 10.1109/SCM.2016.7519739.
2. Andreev P.G., Yurkov N.K., Grishko A.K., Kochegarov I.I., Zhumabaeva A.S.- Study of dielectric effect on signal propagation in the gigahertz range at elevated temperature.-2019 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems(WECONF2019).- 2019.- Article number:8840587.
3. Andreev P.G., Yakimov A.N., Yurkov N.K., Kochegarov I.I., Grishko A.K. Methods of Calculating the Strength of Electric Component of Electromagnetic Field in Difficult Conditions. 2016 12th International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering (APEDE).-Saratov.-September 22-23.- 2016.- Vol.1.- pp.1-7. DOI:10.1109/APEDE.2016.7878895.
4. Mikheev M.Y., Roganov V.R., Andreev P.G., Goryachev N.V., Trusov V.A. / Developing the structure of the quality control system of power supply units in mobile robots - International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2017 - Proceedings.- Article number:7998579. DOI: 10.1109/SIBCON.2017.7998579.
5. Grishko A.K., Kochegarov I.I., Lysenko A.V., Andreev P.G., Goryachev N.V., Danilova E.A. Determination of electromagnetic field strength taking into account the influence of reflections // Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies, MWENT 2020 - Proceedings. 2020. С. 9067494. DOI: 10.1109/MWENT47943.2020.9067494
6. Grishko, A., Andreev, P., Goryachev, N., Trusov, V., Danilova, E. Reliability control of complex systems at different stages of their life cycle.-Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology, USBEREIT 2018.-Yekaterinburg.- Russian Federation.-7-8 May 2018. DOI: 10.1109/USBEREIT.2018.8384589.
7. Andreyev P., Grishko A., Yurkov N. The Temperature Influence on the Propagation Characteristics of the Signals in the Printed Conductors. 2016 13<sup>th</sup> International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science (TCSET). Lviv-Slavsko.-Ukraine.- February 23-26, 2016. pp. 376-378. DOI:10.1109/TCSET.2016.7452063.

8. Andreev, P.G., Yurkov, N.K., Andreeva, T.V. Artificial neural networks of GRNN type in prediction problems. Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements.- SCM 2017.- pp. 458-460.
9. Гришко А.К., Андреев П.Г., Тумакова И.А., Мокшанцева А.В., Моисеев А.В., Пакайкин А.А.- Применение имитационного моделирования при оценке устойчивости радиосвязи. // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2020. -Т. 1. стр. 114-115.
10. Гришко А.К., Тумакова И.А., Андреев П.Г., Мокшанцева А.В., Пакайкин А.А. // Классификация естественных радиопомех и основные методы борьбы с ними // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2019.- Т. 2. - стр. 283-287.
11. Нагаев Т.Р., Андреев П.Г., Комзалова М.А.- Воздействие электромагнитных импульсов на радиоэлектронную аппаратуру.- Современные информационные технологии. -2018. № 28 (28).- стр.48-51.
12. Якимов А.Н., Андреев П.Г., Князева В.В.- Моделирование распространения электромагнитных волн в помещении с учетом влияния местных предметов. - Журнал радиоэлектроники.- 2015. -№ 2. - стр. 8.

### References

1. Yurkov N.K., Andreev P., Bushmelev P.- Space-time analysis of conductive paths with allowance for temperature influence. - Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements.- SCM.- 2016.- pp.238-240. DOI: 10.1109/SCM.2016.7519739.
2. Andreev P.G., Yurkov N.K., Grishko A.K., Kochegarov I.I., Zhumabaeva A.S.- Study of dielectric effect on signal propagation in the gigahertz range at elevated temperature.-2019 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems(WECONF2019).- 2019.- Article number:8840587.
3. Andreev P.G., Yakimov A.N., Yurkov N.K., Kochegarov I.I., Grishko A.K. Methods of Calculating the Strength of Electric Component of Electromagnetic Field in Difficult Conditions. 2016 12th International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering (APEDE).-Saratov.-September 22-23.- 2016.- Vol.1.- pp.1-7. DOI:10.1109/APEDE.2016.7878895.
4. Mikheev M.Y., Roganov V.R., Andreev P.G., Goryachev N.V., Trusov V.A. / Developing the structure of the quality control system of power supply units in mobile robots - International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2017 - Proceedings.- Article number:7998579. DOI: 10.1109/SIBCON.2017.7998579.
5. Grishko A.K., Kochegarov I.I., Lysenko A.V., Andreev P.G., Goryachev N.V., Danilova E.A. Determination of electromagnetic field strength taking into account the influence of reflections // Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies, MWENT 2020 - Proceedings. 2020. C. 9067494. DOI: 10.1109/MWENT47943.2020.9067494
6. Grishko, A., Andreev, P., Goryachev, N., Trusov, V., Danilova, E. Reliability control of complex systems at different stages of their life cycle.-Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology, USBEREIT 2018.-Yekaterinburg.- Russian Federation.-7-8 May 2018. DOI: 10.1109/USBEREIT.2018.8384589.
7. Andreyev P., Grishko A., Yurkov N. The Temperature Influence on the Propagation Characteristics of the Signals in the Printed Conductors. 2016 13<sup>th</sup> International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science (TCSET). Lviv-Slavsko.-Ukraine.- February 23-26, 2016. pp. 376-378. DOI:10.1109/TCSET.2016.7452063.
8. Andreev, P.G., Yurkov, N.K., Andreeva, T.V. Artificial neural networks of GRNN type in prediction problems. Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements.- SCM 2017.- pp. 458-460.
9. Gishko A.K., Andreev P.G., Tumakova I.A., Mokshanceva A.V., Moiseev A.V., Pakajkin A.A.- Primenenie imitacionnogo modelirovaniya pri ocenke ustojchivosti radiosvyazi. // Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma "Nadezhnost' i kachestvo". 2020. -Т. 1. стр. 114-115.



---

10. Grishko A.K., Tumakova I.A., Andreev P.G., Mokshanceva A.V., Pakajkin A.A.// Klassifikaciya estestvennyh radiopomekh i osnovnye metody bor'by s nimi //Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma "Nadezhnost' i kachestvo". -2019.- T.2.- str. 283-287.

11. Nagaev T.R., Andreev P.G., Komzalova M.A. - Vozdejstvie elektromagnitnyh impul'sov na radioelektronnuyu apparaturu.- Sovremennye informacionnye tekhnologii. -2018. № 28 (28).- str.48-51.

12. Yakimov A.N., Andreev P.G., Knyazeva V.V.- Modelirovanie rasprostraneniya elektro-Magnitnyh voln v pomeshchenii s uchedom vliyaniya mestnyh predmetov. - Zhurnal radioelektroniki.- 2015. -№ 2. - str. 8.

***Сведения об авторе***

Андреев П.Г. - к.т.н., доцент кафедры «Конструирование и производство радиоаппаратуры», Пензенский государственный университет, Пенза, Россия. +79023535001. e-mail: kipra@mail.ru

**Information about the author**

Andreev P.G. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of "Design and manufacture of radio equipment", Penza State University, Penza, Russia. +79023535001. e-mail: kipra@mail.ru