

Научная статья
УДК 519.67
<https://doi.org/10.24143/2072-9502-2023-2-75-84>
EDN LAFDGM

Программно-аппаратное обеспечение исследования электромагнитных излучений, создаваемых вычислительной техникой, в бытовой электрической сети

*Ярослав Иванович Рушечников, Александр Вадимович Яновский,
Игорь Александрович Третьяков*✉

*Донецкий национальный университет,
Донецк, Россия, i.tretiakov@mail.ru*✉

Аннотация. Рассмотрено решение актуальной научно-технической задачи в области информационной безопасности – задачи обнаружения электромагнитных излучений, создаваемых вычислительной техникой, в рамках исследования наличия таких излучений в бытовой электрической сети. Показана разработка интерфейса согласования программно-определяемой радиосистемы с бытовой электрической сетью и предложена методика оценки объема исследуемого излучения в ней. Изготовлены два согласующих устройства: первое выделяет дифференциальную переменную высокочастотной составляющей, второе – синфазную. Для отделения низкочастотной составляющей и отсечения высокого низкочастотного напряжения были применены высоковольтные керамические конденсаторы. Для защиты входа от возможных высоковольтных импульсов и помех, а также половины напряжения сети были использованы согласующие трансформаторы на высокочастотном феррите. Компоненты устройств согласования размещены внутри сетевых вилок, а для подключения приемника используются выведенные наружу разъемы SMA. В качестве дополнительного механизма защиты входных цепей приемника разработан полосовой фильтр, полоса пропускания которого составила 50–500 МГц. Данный диапазон с запасом перекрывает необходимый участок частот. Использование фильтра позволило дополнительно защитить вход SDR приемника от высоковольтных и широкополосных помех сети, а также снизить влияние возможных сторонних излучений на АЦП приемника. Предложены алгоритм и методология регистрации, измерения и сравнения некоторых количественных параметров электромагнитных излучений, создаваемых вычислительной техникой. Выявленные закономерности указывают на то, что слабые сигналы исследуемых излучений, транслируемые в эфир, являются потенциально менее энерговооруженной угрозой информационной безопасности, нежели электромагнитные излучения, попадающие в электрические сети.

Ключевые слова: электромагнитные излучения, вычислительная техника, программно-определяемая радиосистема, фильтр, радиообстановка, корреляционный анализ, спектрограмма

Для цитирования: *Рушечников Я. И., Яновский А. В., Третьяков И. А.* Программно-аппаратное обеспечение исследования электромагнитных излучений, создаваемых вычислительной техникой, в бытовой электрической сети // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика.* 2023. № 2. С. 75–84. <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2023-2-75-84>. EDN LAFDGM.

Original article

Software and hardware for studying electromagnetic radiation generated by computing equipment in household electric network

Iaroslav I. Rushechnikov, Aleksandr V. Ianovskii, Igor A. Tretiakov✉

*Donetsk National University,
Donetsk, Russia, i.tretiakov@mail.ru*✉

Abstract. Solution of the urgent scientific and technical problem in the field of information security – the problem of detecting electromagnetic radiation generated by computing aids – has been considered as part of studying radiation

in the household electrical network. Developing an interface for coordination of a program-defined radio system with a household electrical network has been shown and a methodology for estimating the volume of the studied radiation in it has been proposed. Two matching units have been made: the first unit allocates a differential variable of the high-frequency component. The second unit distributes a cophased variable. To separate a low-frequency component and cut off the high low-frequency voltage, high-voltage ceramic capacitors were used. To protect the input from possible high-voltage pulses and noises, as well as half of the mains voltage, matching transformers on high-frequency ferrite were used. The components of the matching units are located inside the network plugs, and the SMA output slots are used to connect the receiver. A bandpass filter with a bandwidth of 50–500 MHz was developed as an additional mechanism for protecting the input circuits of the receiver. This range overlapped the necessary frequency range with a margin. Using the filter made it possible to additionally protect the SDR input of the receiver from high-voltage and broadband network interference, as well as to reduce the influence of the unwanted radiation on the receiver's ADC. The algorithm and methodology of registration, measurement and comparison of some quantitative parameters of electromagnetic radiation generated by computer technology are proposed. The revealed regularities indicate that weak signals of the studied radiation broadcast into the air are a potentially less energy-armed threat to the information security than electromagnetic emissions entering the electrical networks.

Keywords: electromagnetic radiation, computing machinery, software-defined radio system, filter, radio environment, correlation analysis, spectrogram

For citation: Rushechnikov Ia. I., Ianovskii A. V., Tretiakov I. A. Software and hardware for studying electromagnetic radiation generated by computing equipment in household electric network. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, computer science and informatics.* 2023; 2:75-84. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2023-2-75-84>. EDN LAFDGM.

Введение

На современном этапе развития информационных технологий обнаружение электромагнитных излучений, создаваемых вычислительной техникой, является актуальной научно-технической задачей в области информационной безопасности [1–6]. В данной работе рассмотрено решение этой задачи в рамках исследования наличия таких излучений в бытовой электрической сети, а именно разработка интерфейса согласования программно-определяемой радиосистемы с бытовой электрической сетью и методика оценки их объема в ней.

Электромагнитные излучения, порождаемые вычислительной техникой, модулируют в себе информацию, обрабатываемую этой техникой. Прием и получение таких промодулированных сигналов приводит к раскрытию конфиденциальности обрабатываемой информации. Современное развитие элементной базы, оборудования и программного обеспечения обработки информации позволяет не только выявлять и локализовывать источники электромагнитных излучений, создаваемых вычислительной техникой, но и с некоторыми потерями восстанавливать информацию, обрабатываемую посредством такой техники [7–9], что, в свою очередь, является непосредственно угрозой информационной безопасности.

Так как исследуемые электромагнитные излучения по своей природе присутствуют в широком диапазоне радиочастот [7, 9], целесообразным инструментом для их исследования являются программно-определяемые радиосистемы (SDR), которые представляют собой набор программных и специальных аппаратных средств, позволяющих решать задачи анализа взаимодействия радиоизлучений в широком диапазоне частот.

В качестве SDR-платформ в данной работе предлагается использовать следующие радиосистемы:

– HackRF One – в качестве широкополосного сенсора с высокой частотой дискретизации и механизмом свипирования;

– SDR Play – в качестве высокопроизводительного спектроанализатора.

Так как SDR оборудование не позволяет производить непосредственное подключение к высоковольтным бытовым сетям, необходима разработка согласующего устройства. Эта задача реализуется в несколько этапов:

– разработка и апробация схемного решения считывания сигнала с обоих проводников (проводника фазы и проводника нуля);

– разработка и апробация схемного решения дифференциального считывания сигнала с обоих проводников;

– внедрение компонент, защищающих SDR-платформу от проникновения высокого напряжения на выход антенны.

После реализации и апробации согласующего устройства необходимо выработать методологию относительной оценки объема электромагнитных излучений, создаваемых вычислительной техникой, который проникает в бытовую электрическую сеть, а также границ его распространения, которые зачастую могут выходить за периметр контролируемой зоны.

Разработка интерфейса подключения SDR-системы к электрической бытовой сети

Поскольку заранее не известно, каким именно образом распространяются исследуемые электромагнитные излучения в сети, было изготовлено два согласующих устройства: первое выделяет дифференциальную переменную высокочастотной составляющей, а второе – синфазную. Схемы согласующих устройств приведены на рис. 1, 2.

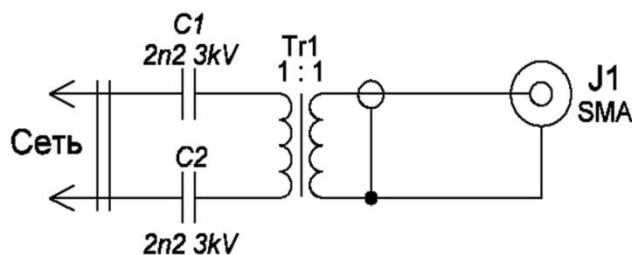


Рис. 1. Схема дифференциального согласующего устройства:
 C1, C2 – конденсаторы (емкость 2,2 нФ, напряжение 3 кВ); Tr1 – трансформатор (число витков 1 к 1);
 J1 – разъем SMA

Fig. 1. Circuit of the differential matching unit:
 C1, C2 – capacitors (capacity 2,2 nF, voltage 3 kV); Tr1 – transformer (number of turns 1:1); J1 – SMA connector

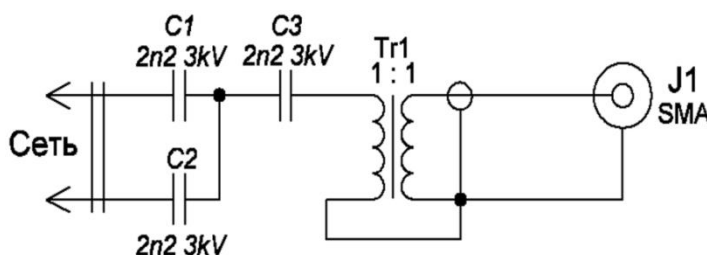


Рис. 2. Схема синфазного согласующего устройства: C3 – конденсатор (емкость 2,2 нФ, напряжение 3 кВ)

Fig. 2. Circuit of the cophased matching unit: C3 – capacitor (capacity 2,2 nF, voltage 3 kV)

Для отделения низкочастотной составляющей и отсечения высокого низкочастотного напряжения были применены высоковольтные керамические конденсаторы. Для защиты входа от возможных высоковольтных импульсов и помех, а также половины напряжения сети были использованы согласующие трансформаторы на высокочастотном феррите (рабочий диапазон частот 10–1 000 МГц). Внешний вид разработанных согласующих устройств приведен на рис. 3.

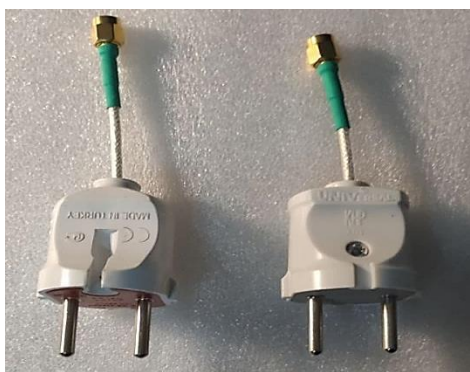


Рис. 3. Внешний вид согласующих устройств

Fig. 3. Matching units

Компоненты устройств согласования размещены внутри сетевых вилок, а для подключения приемника используются выведенные наружу разъемы SMA.

В качестве дополнительного механизма защиты входных цепей приемника разработан полосовой фильтр (рис. 4).

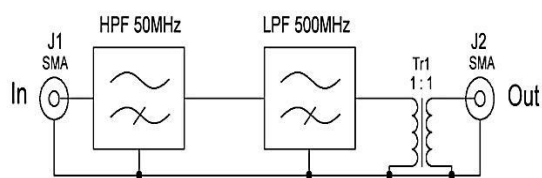


Рис. 4. Схема полосового фильтра:
 J1, J2 – входной и выходной SMA-разъемы;
 HPF – фильтр высоких частот;
 LPF – фильтр низких частот

Fig. 4. Bandpass filter circuit:
 J1, J2 – input and output SMA connectors;
 HPF – high pass filter; LPF – low pass filter

Полоса пропускания определялась на основе проведенных ранее исследований [4, 7] и составила 50–500 МГц. Данный диапазон с запасом перекрывал необходимый участок частот, при этом использование фильтра позволило дополнительно защитить вход SDR-приемника от высоковольтных и широкополосных помех сети, а также снизить влияние возможных сторонних излучений на АЦП приемника.

Рушечников Я. И., Яновский А. В., Третьяков И. А. Программно-аппаратное обеспечение исследования электромагнитных излучений, создаваемых вычислительной техникой, в бытовой электрической сети

Разработанный полосовой фильтр (см. рис. 4) состоит из двух фильтров, включенных последовательно: фильтра высоких частот (ФВЧ, частота среза 50 МГц) и фильтра низких частот (ФНЧ, частота среза 500 МГц). Для обеспечения высокой крутизны переходной характеристики были использованы эллиптические фильтры. Результаты расчета номиналов компонентов фильтров приведены на рис. 5, 6.

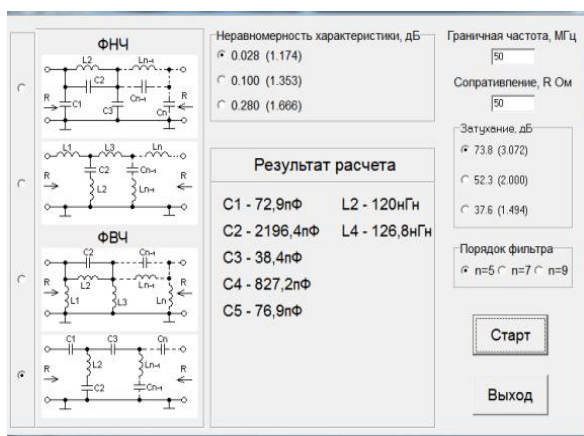


Рис. 5. Результат расчета компонентов ФВЧ 50 МГц

Fig. 5. Result of calculating the components of UHF 50 MHz

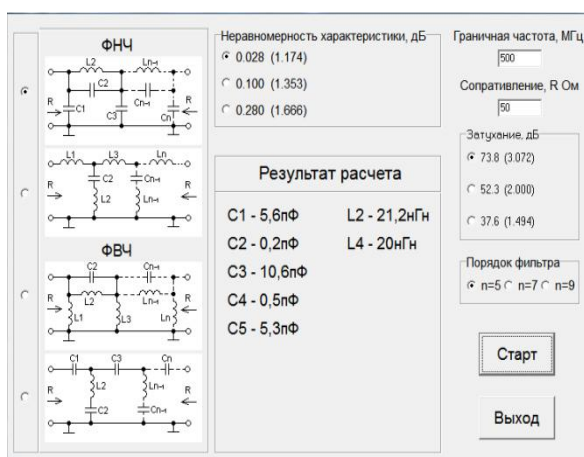


Рис. 6. Результат расчета компонентов ФНЧ 500 МГц

Fig. 6. Result of calculating the components of LPF 500 MHz

Далее произведена распайка компонентов полосового фильтра и произведена подстройка характеристик полосового фильтра деформацией, изменением числа витков катушек и подбором емкости конденсаторов. Внешний вид налаженного макета фильтра приведен на рис. 7.

На выходе фильтра также был установлен ферритовый трансформатор с коэффициентом трансформации 1 к 1.

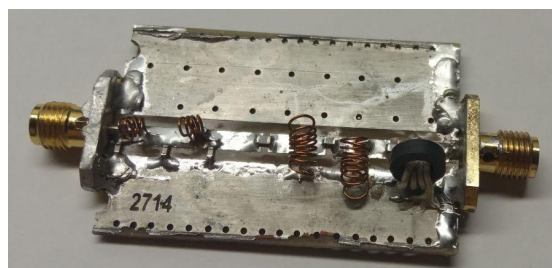


Рис. 7. Внешний вид полосового фильтра

Fig. 7. Bandpass filter

При необходимости разделением общих проводов входной и выходной части макета можно добиться лучшей защищенности и гальванической развязки приемника. На входе и выходе фильтра были установлены разъемы типа SMA для удобного подключения к SDR-приемнику и согласующему устройству. Измерение результирующей АЧХ фильтра приведено на рис. 8.

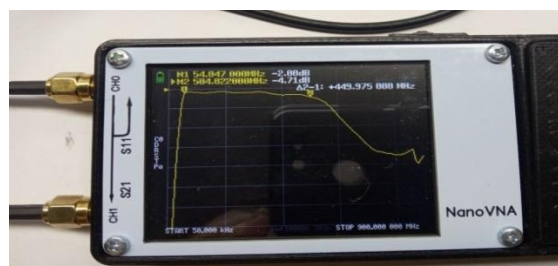


Рис. 8. Измерение АЧХ фильтра

Fig. 8. Measuring the filter frequency response

Полоса пропускания изготовленного фильтра составляет 54–498 МГц, что допустимо с учетом заложенного запаса по перекрываемому диапазону, нелинейность в полосе составила не более ± 2 дБ.

Выбор, обоснование и применение аппаратных SDR платформ

Для реализации и апробации программного алгоритма было использовано несколько SDR-систем, которые в совокупности позволяют всесторонне и на достаточном уровне оценить исследуемые электромагнитные излучения:

- в качестве основного сканирующего сенсора был использован SDR HackRF One благодаря своей возможности широкополосного приема и механизма свипирования (рис. 9, а);
- для проведения мобильных испытаний в разных электрических точках в пределах исследуемого объекта использовалась платформа расширения PortaPack для HackRF One (рис. 9, б);
- оценка формы и характеристик сигнала производилась средствами платформы SDR Play в режиме спектроанализатора (рис. 9, в).



Рис. 9. Применяемые SDR-платформы:
 а – SDR HackRF One; б – PortaPack; в – SDR Play

Fig. 9. SDR platforms in use:
 а – SDR HackRF One; б – PortaPack; в – SDR Play

Алгоритм и методология оценки объема исследуемого излучения

Регистрация, измерение, а также сравнение некоторых количественных параметров электромагнитных излучений, создаваемых вычислительной техникой, будет выполняться в следующей последовательности этапов:

1. Получение разностной картины радиообстановки в зоне действия с включенным и выключенным источником излучения на антенну SDR.
2. Регистрация излучения, проникшего в бытовую электрическую сеть, средствами SDR и специального интерфейсного адаптера (см. рис. 3).
3. Проведение корреляционного анализа на массивах данных, полученных в ходе экспериментов, на основании которого можно приблизительно оценить объемы исследуемого излучения, проникающего в бытовую электрическую сеть.
4. Сравнение спектрограмм от штыревой антенны SDR приемника и от адаптера для электрической сети в незначительном удалении от контролируемого источника.

Программный алгоритм получения разностной картины радиообстановки представлен на рис. 10 и использован для дальнейших экспериментов.

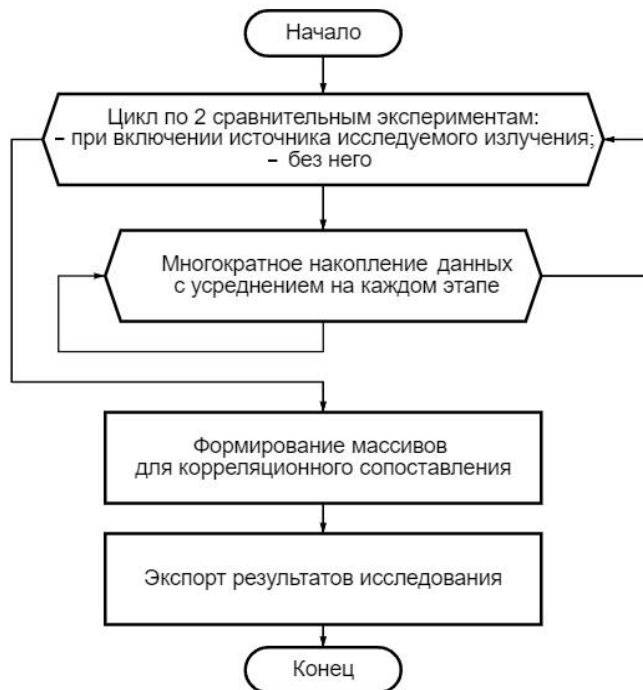


Рис. 10. Блок-схема алгоритма оценки объема исследуемого излучения

Fig. 10. Block diagram of the algorithm for estimating the volume of the studied radiation

Рушечников Я. И., Яновский А. В., Третьяков И. А. Программно-аппаратное обеспечение исследования электромагнитных излучений, создаваемых вычислительной техникой, в бытовых электрических сетях

Первый этап – получение разностной картины по описанному на рис. 10 алгоритму – позволяет фиксировать факт наличия электромагнитного излучения, создаваемого вычислительной техникой,

и регистрировать его частоты на штыревую антенну SDR-системы. Результат анализа частотного диапазона от 1 до 400 МГц представлен на рис. 11.

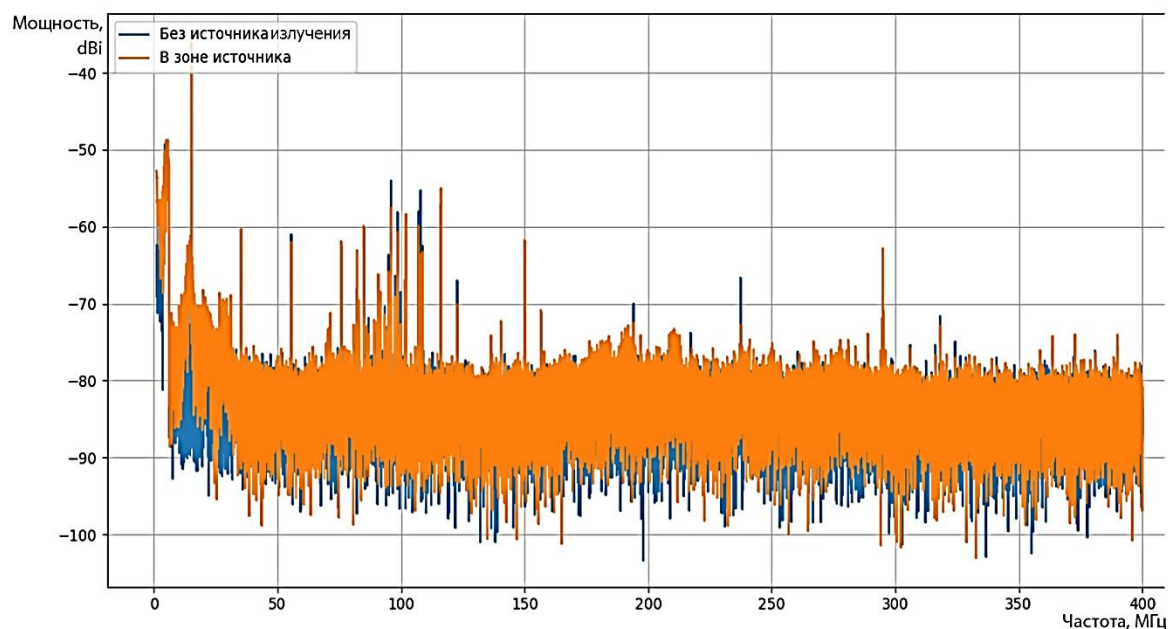


Рис. 11. Разностная картина диапазона 1–400 МГц

Fig. 11. Difference pattern of the frequency range of 1-400 MHz

На 2-м этапе аналогичные измерения производятся все тем же программным механизмом, но при непосредственном подключении при помощи разработанного интерфейсного адаптера (см. рис. 3)

и полосового фильтра (см. рис. 7) в электрическую сеть. Результат анализа частотного диапазона от 1 до 400 МГц представлен на рис. 12.

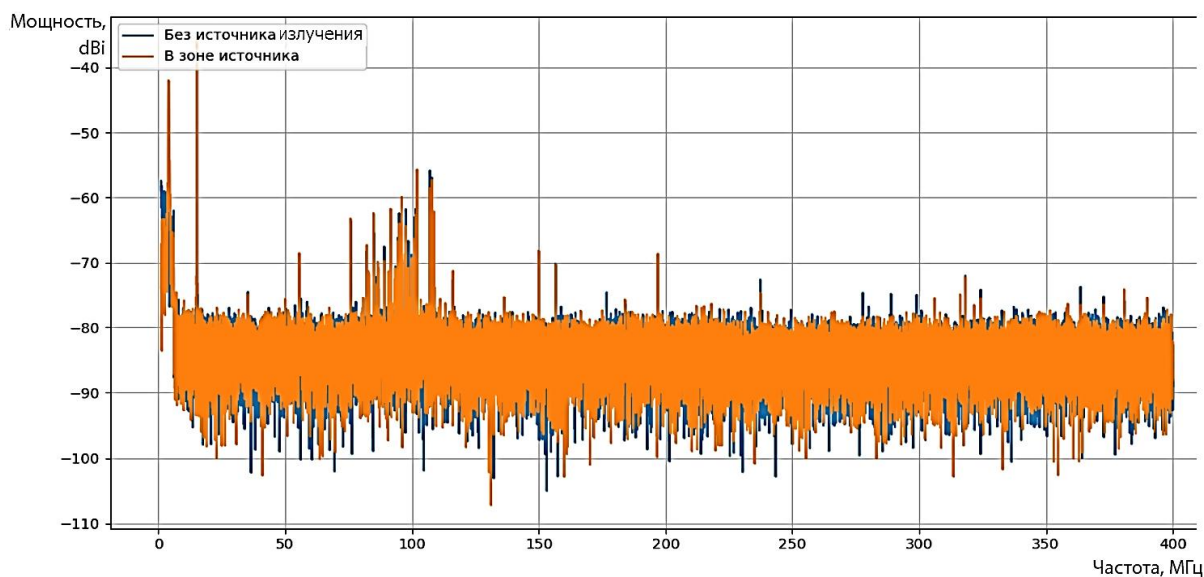


Рис. 12. Разностная картина диапазона 1–400 МГц при подключении через интерфейс

Fig. 12. Difference pattern of the frequency range of 1-400 MHz connected via the interface

Если подробнее рассмотреть участок около частоты 150 МГц, то можно заметить значительное различие усредненных уровней между двумя

измерениями, что позволяет предполагать наличие исследуемого излучения на этой частоте (рис. 13).

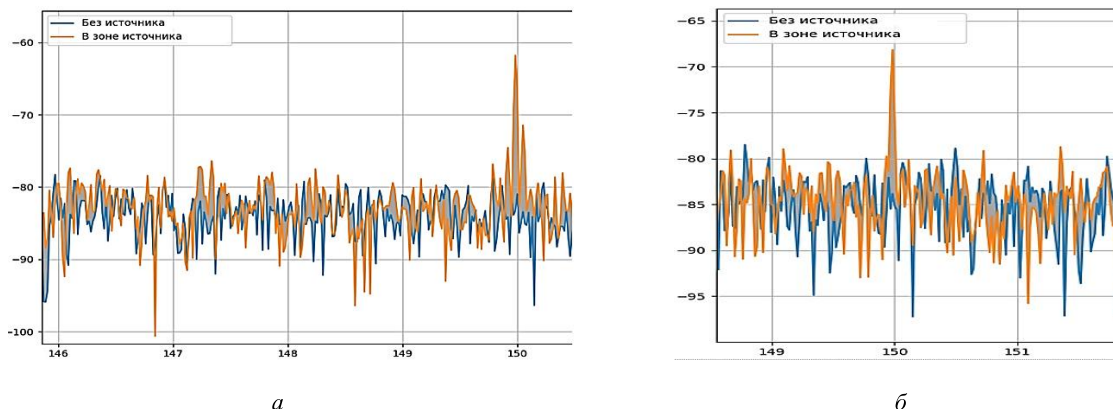


Рис. 13. Разностная картина около частоты 150 МГц: *a* – без интерфейсного адаптера; *б* – с адаптером

Fig. 13. Difference pattern around 150 MHz frequency: *a* – without interface adapter; *b* – with adapter

На 3-м этапе, благодаря наличию в алгоритме механизма экспорта информации об измерениях, проводится корреляционный анализ полученных массивов в программе MS Excel. Впоследствии это действие можно автоматизировать и внести в алгоритм обработки, представленный на рис. 10.

В качестве механизма оценки будет использоваться коэффициент корреляции Пирсона:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}},$$

где x, y – значения переменных; \bar{x}, \bar{y} – выборочные средние по массивам данных.

Результаты расчетов представлены в таблице.

Результаты корреляционного анализа

Correlation analysis results

Описание эксперимента	Коэффициент корреляции	График рассеяния
Прием на штыревую антенну. Корреляция при включенном и выключенном источнике исследуемого излучения.	0,4812	
Прием на адаптер для подключения SDR системы к электрической сети. Корреляция при включенном и выключенном источнике исследуемого излучения.	0,3709	
Корреляция массивов приема на штыревую антенну на сетевой адаптер для SDR. В обоих случаях источник исследуемого излучения включен.	0,4022	

Объем массива для анализа составил 24 253 записи. Согласно результатам анализа во всех случаях наблюдается слабая положительная корреляция, причем анализ первых двух случаев показывает, что большая величина коэффициента корреляции обратно пропорциональна относительному объему исследуемого излучения, попадающего в выборку. При анализе более узких полос приема сигналов

коэффициент корреляции уменьшается пропорционально объему исследуемого излучения.

На 4-м этапе при исследовании спектрограмм на спектроанализаторе SDR Play выявлена следующая закономерность: спектрограмма, полученная при анализе на штыревую антенну (рис. 14, *а*), имеет более слабые характеристики сигнала, нежели спектрограмма, полученная через разработанный интерфейсный адаптер (рис. 14, *б*).

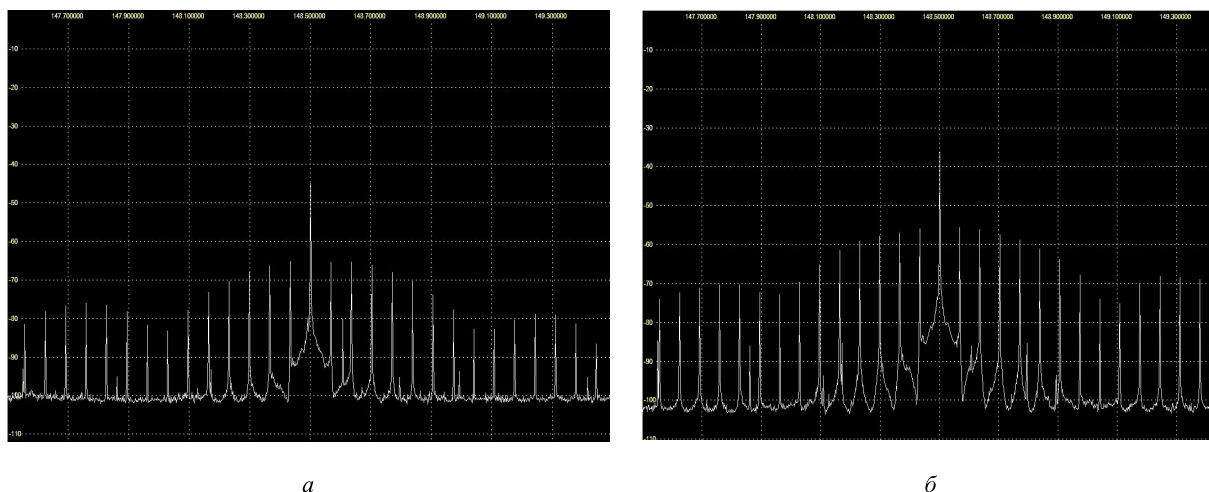


Рис. 14. Сравнение спектрограмм на спектроанализаторе SDR Play:
а – на штыревую антенну; *б* – через интерфейсный адаптер

Fig. 14. Comparison of spectrograms on the SDR Play Spectroanalyzer:
a – to the pin antenna; *b* – through the interface adapter

О порядке разности этих спектрограмм судить сложно, т. к. SDR-система все же не является измерительным устройством.

Заключение

В данной работе было проведено всестороннее исследование возможностей проникновения электромагнитных излучений, создаваемых вычислительной техникой, в бытовые электрические сети общего пользования. Выявленные закономерности указывают на то, что слабые сигналы исследуемых излучений, транслируемые в эфир, являются потенциально менее энерговооруженной угрозой информационной безопасности, нежели электромагнитные

излучения, попадающие в электрические сети. Сигнал, промодулированный в электрическую сеть, имеет намного более широкие границы распространения, нежели аналогичные сигналы в эфире, что, в свою очередь, размывает периметр контролируемого объекта.

Дальнейшие исследования в данном направлении позволят создать автоматизированную систему научных исследований выявления электромагнитных излучений, создаваемых вычислительной техникой, а также разработать методики аттестации объектов автоматизации на предмет всестороннего анализа на такие излучения.

Список источников

1. Третьяков И. А. Структурно-лингвистический подход к описанию спектрограмм электромагнитных излучений, создаваемых вычислительной техникой // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. 2023. № 1. С. 64–70.
2. Паршуткин А. В., Неаскина М. Р. Повышение защищенности информации от утечки через побочные

электромагнитные излучения // Вопр. кибербезопасности. 2022. № 3 (49). С. 82–89.

3. Авсентьев А. О. Проблема построения многоагентных систем защиты информации на объектах информатизации от утечки по техническим каналам // Вестн. Воронеж. ин-та МВД России. 2022. № 3. С. 68–77.

4. Рушечников Я. И., Третьяков И. А. Автоматизация процедуры обнаружения технических каналов утечки информации и побочных электромагнитных излучений // Взаимодействие вузов, научных организаций и учреждений культуры в сфере защиты информации и технологий безопасности: сб. ст. по материалам Междунар. конф., посвящен. памяти д-ра техн. наук, проф. А. А. Тарасова и д-ра техн. наук, старшего науч. сотр. О. В. Казарина (Москва, 19–20 апреля 2022 г.) / под ред. Д. А. Митюшина. М.: Изд-во РГГУ, 2022. С. 240–245.

5. Шпилевой А. А., Персичкин А. А. О возможности аналитического обнаружения сигнала ПЭМИН в видеоинтерфейсах стандарта HDMI // Вестн. Балт. федер. ун-та им. И. Канта. Сер.: Физико-математические и технические науки. 2022. № 1. С. 34–39.

6. Рогозин Е. А., Рогозин Р. Е., Силка Д. Г., Коробкин И. Д., Мещеряков М. О. Исследование побочных

электромагнитных излучений, образующихся при работе устройств с сенсорным вводом информации // Вестн. Дагестан. гос. техн. ун-та. Технические науки. 2021. № 3. С. 83–92.

7. Рушечников Я. И., Данилов В. В. Информационная технология радиомониторинга на основе программно-определяемой радиосистемы // Вестн. Донец. нац. ун-та. Сер. Г: Технические науки. 2020. № 1. С. 31–36.

8. Рушечников Я. И., Данилов В. В., Борщевский С. В. Информационная технология автоматизированной локализации источника излучения // Вестн. Донец. нац. ун-та. Сер. Г: Технические науки. 2020. № 4. С. 26–34.

9. Рушечников Я. И., Яновский А. В., Жинкина А. С., Данилов В. В. Электромагнитные излучения элементов электронной вычислительной техники // Вестн. Донец. нац. ун-та. Сер. Г: Технические науки. 2019. № 2. С. 25–35.

References

1. Tret'iaikov I. A. Strukturno-lingvisticheskiy podkhod k opisaniyu spektrogramm elektromagnitnykh izlucheni, sozdavaemykh vychislitel'noi tekhniki [Structural-linguistic approach to description of spectrograms of electromagnetic radiation generated by computer technology]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika*, 2023, no. 1, pp. 64-70.

2. Parshutkin A. V., Neaskina M. R. Povyshenie zashchishchennosti informatsii ot utechki cherez pobochnye elektromagnitnye izlucheniia [Improving security of information from leakage through spurious electromagnetic radiation]. *Voprosy kiberbezopasnosti*, 2022, no. 3 (49), pp. 82-89.

3. Avsent'ev A. O. Problema postroeniia mnogo-agentnykh sistem zashchity informatsii na ob'ektakh informatizatsii ot utechki po tekhnicheskim kanalim [Problem of building multi-agent systems for protecting information on informatization objects from leakage through technical channels]. *Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii*, 2022, no. 3, pp. 68-77.

4. Rushechnikov Ia. I., Tret'iaikov I. A. Avtomatizatsiia protsedury obnaruzheniia tekhnicheskikh kanalov utechki informatsii i pobochnykh elektromagnitnykh izlucheni [Automation of procedure for detecting technical channels of information leakage and spurious electromagnetic radiation]. *Vzaimodeistvie vuzov, nauchnykh organizatsii i uchrezhdenii kul'tury v sfere zashchity informatsii i tekhnologii bezopasnosti: sbornik statei po materialam Mezhdunarodnoi konferentsii, posviashchennoi pamiaty d-ra tekhn. nauk, prof. A. A. Tarasova i d-ra tekhn. nauk, starshhego nauch. sotr. O. V. Kazarina (Moskva, 19–20 apreliia 2022 g.)*. Pod redaktsiei D. A. Mitiushina. Moscow, Izd-vo RGGU, 2022. Pp. 240-245.

5. Shpilevoi A. A., Persichkin A. A. O vozmozhnosti analiticheskogo obnaruzheniia signala PEMIN v videointerfeisakh standarta HDMI [On possibility of analytical detection of PAMIN signal in HDMI standard video interfaces]. *Vestnik Baltiiskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: Fiziko-matematicheskie i tekhnicheskoe nauki*, 2022, no. 1, pp. 34-39.

6. Rogozin E. A., Rogozin R. E., Silka D. G., Korobkin I. D., Meshcheriakov M. O. Issledovanie pobochnykh elektromagnitnykh izlucheni, obrazuiushchikhsia pri rabote ustroystv s sensornym vvodom informatsii [Investigation of spurious electromagnetic radiation generated during operation of devices with sensory input of information]. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskoe nauki*, 2021, no. 3, pp. 83-92.

7. Rushechnikov Ia. I., Danilov V. V. Informatsionnaya tekhnologiya radiomonitoringa na osnove programmno-opredeliemoi radiosistemy [Information technology of radio monitoring based on software-defined radio system]. *Vestnik Donetskogo natsional'nogo universiteta. Seriya G: Tekhnicheskoe nauki*, 2020, no. 1, pp. 31-36.

8. Rushechnikov Ia. I., Danilov V. V., Borshchevskii S. V. Informatsionnaya tekhnologiya avtomatizirovannoi lokalizatsii istochnika izlucheniia [Information technology for automated localization of radiation source]. *Vestnik Donetskogo natsional'nogo universiteta. Seriya G: Tekhnicheskoe nauki*, 2020, no. 4, pp. 26-34.

9. Rushechnikov Ia. I., Ivanovskii A. V., Zhinkina A. S., Danilov V. V. Elektromagnitnye izlucheniia elementov elektronnoi vychislitel'noi tekhniki [Electromagnetic radiation of elements of electronic computing technology]. *Vestnik Donetskogo natsional'nogo universiteta. Seriya G: Tekhnicheskoe nauki*, 2019, no. 2, pp. 25-35.

Статья поступила в редакцию 27.02.2023; одобрена после рецензирования 10.03.2023; принята к публикации 07.04.2023
The article is submitted 27.02.2023; approved after reviewing 10.03.2023; accepted for publication 07.04.2023

Информация об авторах / Information about the authors

Ярослав Иванович Русечников – старший преподаватель кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий; Донецкий национальный университет; ya.rushechnikov@donnu.ru

Александр Вадимович Яновский – заведующий лабораторией кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий; Донецкий национальный университет; alextim902@gmail.com

Игорь Александрович Третьяков – кандидат технических наук; доцент кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий; Донецкий национальный университет; i.tretiakov@mail.ru

Iaroslav I. Rushechnikov – Senior Lecturer of the Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies; Donetsk National University; ya.rushechnikov@donnu.ru

Alexandr V. Ianovskii – Head of the Laboratory of the Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies; Donetsk National University; alextim902@gmail.com

Igor A. Tretiakov – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies; Donetsk National University; i.tretiakov@mail.ru

