

УДК 004.56:537.531

АЛГОРИТМ АНАЛИЗА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ МОЩНОСТИ СИГНАЛА ПЭМИН

И.А. Третьяков, Я.И. Рушечников, В.В. Данилов
*Донецкий государственный университет, г. Донецк,
Российская Федерация*

Аннотация. В настоящей работе проведен анализ количественных спектральных составляющих мощности сигнала, имеющего принадлежность к ПЭМИН. Показана архитектура исследовательского комплекса по поиску и анализу сигналов ПЭМИН.

Ключевые слова: ПЭМИН; электромагнитное поле; программно-определяемая радиосистема; спектральный анализ; коэффициент корреляции Пирсона.

ALGORITHM FOR ANALYZING THE QUANTITATIVE SPECTRAL COMPONENTS OF THE TEMPEST SIGNAL POWER

I.A. Tretiakov, I.A.I. Rushechnikov, V.V. Danilov
Donetsk State University, Donetsk, Russian Federation

Abstract. In this paper, an analysis of the quantitative spectral components of the signal power belonging to the TEMPEST is carried out. The architecture of a research complex for the search and analysis of TEMPEST signals is shown.

Keywords: TEMPEST; electromagnetic field; software-defined radio system; spectral analysis; Pearson correlation coefficient.

Введение

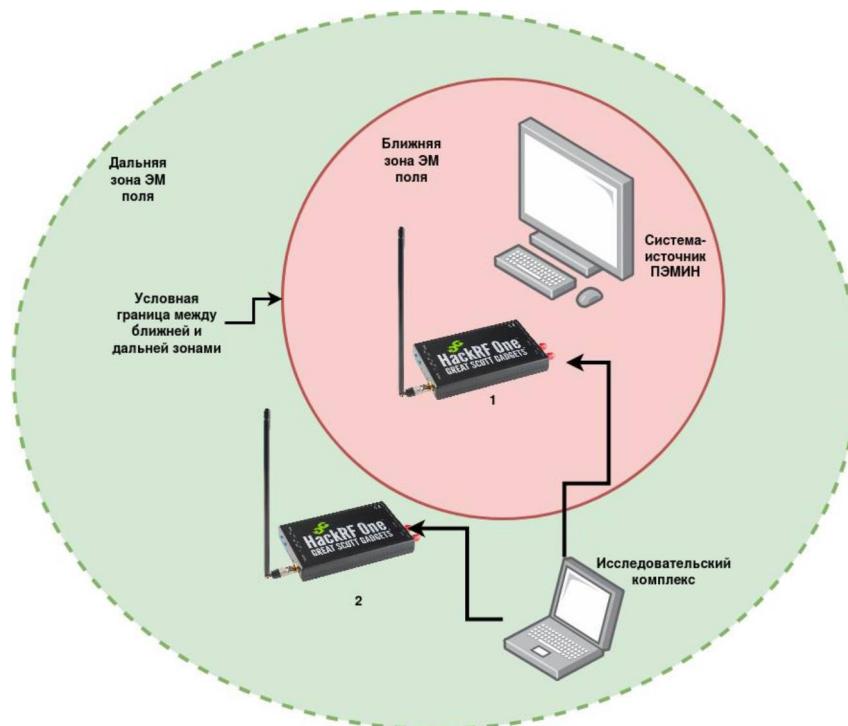
Побочные электромагнитные излучения и наводки (ПЭМИН) представляют собой совокупность спектральных компонентов, анализ которых позволяет оценить риски утечки информации из цифровых систем. В условиях возрастающей сложности электромагнитной среды исследования в этой области приобретают особую актуальность [1–3].

Основная часть

Методика эксперимента и интерпретация данных во многом определяются средой регистрации ПЭМИН. Например, при фиксации излучений в электрической сети, функционирующей как волновод, зона контроля может распространяться на десятки метров от источника утечки, включая все токопроводящие линии, в том числе цепи заземления [2].

При оценке распространения ПЭМИН через электромагнитное поле необходимо учитывать не только интерфейс передачи сигнала (например, HDMI), но также его гармоники и сложную структуру [3]. Из-за высокой сложности и многокомпонентности сигнала его прием возможен преимущественно в ближней зоне электромагнитного поля, что требует применения специализированных антенн для детектирования ПЭМИН.

Архитектура исследовательского комплекса по поиску и анализу сигналов ПЭМИН показана на рисунке.



Архитектура исследовательского комплекса по поиску и анализу сигналов ПЭМИН
Architecture of the research complex for the search and analysis of TEMPEST signals

Учитывая архитектуру, представленную на рисунке стоит отметить, что из-за сложности сигнала ПЭМИН четкое разграничение ближней и дальней зон с помощью программно-определяемых радиосистем затруднено. Однако существуют программные методы, позволяющие условно определить эти границы.

В качестве дифференцирующего алгоритма данной задачи можно использовать корреляцию Пирсона, которая представляет собой линейную зависимость между двумя массивами экспериментальных спектров. Формула для вычисления коэффициента корреляции Пирсона между массивами x и y выглядит так:

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

где x_i и y_i - значение элементов массивов экспериментальных данных из ближней и дальней зон соответственно; \bar{x} и \bar{y} - средние значения экспериментальных массивов; n - количество элементов в массиве.

Коэффициент корреляции Пирсона (1) может принимать значения от -1 до 1, где:

+1 означает полную положительную линейную зависимость;

- 1 полную отрицательную линейную зависимость;
- 0 отсутствие линейной зависимости.

Хотя коэффициент корреляции Пирсона обладает ограничениями (применим только к линейным зависимостям и имеет умеренную точность), его вычислительная эффективность и простота реализации позволяют успешно использовать его для качественной оценки спектрограмм из различных источников.

Полученные значения положительной или отрицательной корреляции дают возможность итеративно выявлять частотные участки с максимальной концентрацией ПЭМИН.

Для валидации предложенного алгоритма количественной оценки сигналов (включая ПЭМИН) было проведено исследование в УКВ-диапазоне (88-108 МГц). С целью повышения достоверности эксперимента в тестовую среду был введен контрольный источник на частоте 100 МГц, моделирующий работу радиозакладного устройства. Это позволило использовать одинаковые методики анализа как для контрольного сигнала, так и для ПЭМИН-компонентов. В результате эксперимента были получены следующие формализованные результаты:

1. Применение поэлементного дифференциального анализа экспериментальных данных с многократным усреднением для ближней и дальней зон ЭМ-поля демонстрирует ограниченную эффективность - селекция контрольного источника (100 МГц) остается слабовыраженной.

2. Введение пороговой фильтрации спектральных компонентов позволило лишь незначительно выделить аномальный пик в окрестности 100 МГц, характеризующийся немонотонной структурой.

3. Анализ спектральной плотности мощности выявил существенное (в разы) превышение энергетических характеристик ПЭМИН-сигналов по сравнению с контрольным излучением на 100 МГц.

Заключение

Полученный результат демонстрирует значительное падение мощностных характеристик ПЭМИН при проходе через условную ближнюю границу электромагнитного поля, а размерность пространственной мощности позволяет условно судить о зоне, в рамках которой ПЭМИН будет представлять высоко вероятный технический канал утечки информации.

Список использованных источников

1. Авсентьев А. О. (2025) Модели оценки эффективности управления защитой информации от утечки по техническим каналам с применением многоагентных систем. *Вестник Воронежского института МВД России*. 1, 72-86. EDN BAUMHU.

2. Рушечников Я. И., Яновский А. В., Третьяков И. А. (2023) Программно-аппаратное обеспечение исследования электромагнитных излучений, создаваемых вычислительной техникой, в бытовой электрической сети. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: управление, вычислительная техника и информатика.* 2, 75-84. EDN LAFDGM.

3. Третьяков И. А., Рушечников Я. И., Куликова А. С., Данилов В. В. (2025) Структура аппаратных средств для восстановления информации с дисплеев. *Технические средства защиты информации: материалы XXIII МНТК.* Минск: БГУИР, 324-326. EDN WSCOKH.

References

1. Avsentev A. O. (2025) Modeli otsenki effektivnosti upravleniia zashchitoi informatsii ot utechki po tekhnicheskim kanalam s primeneniem mnogoagentnykh sistem. *Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii.* 1, 72-86 (in Russian).

2. Rushechnikov Ia. I., Ianovskii A. V., Tretiakov I. A. (2023) Programmno-apparatnoe obespechenie issledovaniia elektromagnitnykh izluchenii, sozdavaemykh vychislitelnoi tekhnikai, v bytovoi elektricheskoi seti. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: upravlenie, vychislitelnaia tekhnika i informatika.* 2, 75-84. (in Russian).

3. Tretiakov I. A., Rushechnikov Ia. I., Kulikova A. S., Danilov V. V. (2025) Struktura apparatnykh sredstv dlia vosstanovleniia informatsii s displeev. *Tekhnicheskie sredstva zashchity informatsii: materialy XXIII MNTK.* Minsk: BGUIR, 324-326 (in Russian).

Сведения об авторах

Третьяков И.А., канд. техн. наук, доц., зав. каф. радиопизики и инфокоммуникационных технологий, Донецкий государственный университет, i.tretiakov@mail.ru.

Рушечников Я.И., ст. преп. каф. радиопизики и инфокоммуникационных технологий, Донецкий государственный университет, ya.rushechnikov@donnu.ru.

Данилов В.В., д-р техн. наук, проф., проф. каф. радиопизики и инфокоммуникационных технологий, Донецкий государственный университет, ut5iv@mail.ru.

Information about the authors

Tretiakov I., Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Head of the Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies, Donetsk State University, i.tretiakov@mail.ru.

Rushechnikov IA., Senior Lecturer at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies, Donetsk State University, ya.rushechnikov@donnu.ru.

Danilov V., Dr. Sci. (Tech.), Professor, Professor at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies, Donetsk State University, ut5iv@mail.ru.