

## ЕЛЕКТРОНІКА

### АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

**Киндрук Николай Николаевич**

магистрант кафедры проектирования информационно-компьютерных систем  
УО «Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»  
(Республика Беларусь)

На современном этапе использования радиоэлектронных средств (РЭС) наиболее вероятной является ситуация размещения на одном объекте множества РЭС, что повышает актуальность задачи исследования условий электромагнитной совместимости (ЭМС) [1].

Для решения задачи анализа и дальнейшего обеспечения РЭС на данный момент используются такие основные подходы, как детерминированный и статистический.

В основе детерминированного подхода, к которому могут быть отнесены работы Д. Уайта, А. Д. Князева и других [2, 3], лежат математические модели радиоизлучений радиопередатчиков, восприимчивости радиоприемников, антенно-фидерных устройств (АФУ), распространения радиоволн, различных шумовых воздействий, процессов влияния радиоэлектронных средств друг на друга. Данный метод имеет название модели дифференциального вклада (МДВ).

В ходе оценки ЭМС осуществляется перебор пар (передатчик – приемник) ПРД<sub>j</sub>–ПРМ<sub>i</sub> (радиоизлучений каналов приемника) и анализ дуэльных

ситуаций в каждой паре,  $i = 1 \dots M, j = 1 \dots N$ . Парная оценка позволяет оценить влияние отдельного ПРД и из совокупности ПРД выбрать те из них, которые создают помехи, проникающие в ПРМ, или вызывают эффект блокирования в ПРМ. Недостатком парной оценки является невозможность оценки взаимодействия излучений разных ПРД в ПРМ.

Анализ воздействия совокупности ПРД позволяет оценить помехи интермодуляции, уточнить результаты оценки блокирования ПРМ, а также учесть приращение мощности к совокупному уровню помех от разных передатчиков. При этом осуществляется поэтапная «фильтрация» помех с целью сокращения времени анализа ЭМС. Если применяется предварительная амплитудная оценка помех, то можно говорить об отборочной МДВ.

Результатом детерминированной оценки ЭМС является выявление конкретных помеховых ситуаций с количественной оценкой ухудшения качества функционирования радиоэлектронного средства. В условиях, когда группировка радиоэлектронных средств состоит из достаточно большого числа радиоэлектронных средств ( $\sim 10^4$ ), детерминированная оценка электромагнитной совместимости, по причине значительного объема вычислений, является затруднительной [4].

В этом случае оправдано применение статистического (вероятностного) подхода, предложенный ряде исследований [5; 6]. При использовании статистических моделей для осуществления оценки ЭМС задаются статистические распределения таких параметров работы РЭС, как частота, мощность излучений, координаты местоположения, характеристика направленности антенн и др. По заданным статистическим распределениям параметров РЭС определяется статистическая ЭМО и производится оценка воздействия данной ЭМО на функционирование совокупности РЭС. Статистический подход позволяет определить вероятность выполнения заданных критериев ЭМС РЭС.

Применение статистического подхода осуществляется для оценки ЭМС большой совокупности РЭС, которые рассредоточены на территориях большой площади, а также для совокупности РЭС со сложными процессами взаимодействия (например, сети мобильной связи и т. п.).

В свою очередь, недостатком статистического подхода является невозможность проведения детального анализа отдельных помеховых комбинаций, в результате которого определяются источники и рецепторы помех, определяются каналы проникновения помех, а также количественно оценивается мешающее воздействие с учетом реальных параметров радиоэлектронных средств. Подходящим для осуществления оценки ЭМС РЭС является вероятностный подход.

Задача обеспечения ЭМС РЭС имеет комплексный характер и на различных иерархических уровнях (элементов, узлов и блоков устройств, РЭС и комплексов РЭС) решается с помощью конструкторско-технологических, схемотехнических, системотехнических и организационных мер [7, с. 38].

Предметом исследования является осуществление радиоэлектронной защиты (далее – РЭЗ) на этапе эксплуатации при непосредственном выполнении РЭС своих функций. Методы необходимо проанализировать, выделить их недостатки и достоинства и определить наиболее подходящие из них для обеспечения ЭМС группы РЭС.

При защите РЭС от воздействия помех могут быть выполнены следующие действия [8]:

- выделение источников и приемников помех, определение максимального значения сигналов помехи на входах схем;
- размещение элементов схем, планирование расположения монтажных проводов (увеличение зазоров между проводниками, уменьшение петель связи, укорачивание путей длины совместного прохождения проводников и т. д.);

– введение фильтров на линиях входа-выхода, усложнение схемы, использование радиочастотных фильтров для устранения помехи по линиям электропитания;

– экранирование входных цепей у чувствительных схем;

– разработка для элементов РЭС кожухов-экранов.

Для локализации в замкнутом объеме пространства электрического поля применяют экраны. Экранирование представляет собой установку проводящей конструкции (экрана), которая направлена на уменьшение помех на рецептор.

Экраны включаются в конструкцию для ослабления нежелательного возмущающего поля в некотором ограниченном объеме до допустимого уровня. Возможны два варианта защиты. В первом случае экранируемая аппаратура размещается внутри экрана, а источник помех – вне его. Во втором случае экранируется источник помех, а защищаемая аппаратура располагается вне экрана. В обоих вариантах в качестве экранов используются металлические оболочки.

В качестве организационно-технических мероприятий обеспечения ЭМС могут быть выделены следующие:

– отключение одной из однотипных радиосистем или передача информации разнотипными средствами, работающими в одном диапазоне частот, разнесение во времени;

– ранжирование приоритетов РЭС по важности работы для возможного дальнейшего отключения менее важных из них в целях выполнения конкретных задач;

– ужесточение норм частотно-территориального разнесения, в том числе увеличение расстояний между группами и подразделениями, оснащенными РЭС;

– применение радиосистем, в которых осуществляется автоматическая блокировка приема или излучения конфликтного РЭС на время работы приоритетных РЭС или групп РЭС.

Данные методы организационно-технического характера не всегда способны обеспечить эффективную работу РЭС, например, в случае возникновения помех преднамеренного характера. Также следует отметить, что нормирование частотно-территориального разнеса РЭС является необходимой, но недостаточной мерой обеспечения ЭМС, так как не исключает непреднамеренных помех, обусловленных:

- непрерывной сменой режимов работы и рабочих частот из-за помех другого РЭС;
- изменением взаимного расположения несовместимых РЭС вследствие изменения обстановки;
- случайным характером и неполнотой сведений об излучениях в широкой полосе частот.

В качестве альтернативного метода обеспечения ЭМС РЭС может быть предложено управление частотным ресурсом РЭС через составление частотных планов.

Любое РЭС характеризуется тем, что для его функционирования в определенных областях пространства  $V$ , полосах частот  $B$  и интервалах времени  $t$  требуется создать электромагнитные поля заданной интенсивности. Этот факт можно рассматривать как требование локализации электромагнитного поля заданной интенсивности в некоторой области  $n$ -мерного пространства, координатами которого кроме пространственных координат являются мощность  $P$ , частота  $f$  и время  $t$ .

Для функционирования любого РЭС требуется использовать определенную область рассматриваемого  $n$ -мерного пространства. При этом в указанной области уже не должны находиться рецепторы других РЭС. Поэтому можно говорить об использовании конкретным РЭС некоторого ресурса в частотной области, пространстве и времени.

Радиочастотный ресурс РЭС представляет собой совокупность возможностей использования имеющегося диапазона радиочастот с учетом различных времен работы и пространственного расположения.

Предельный объем используемой части радиочастотного ресурса принципиально ограничен: временем  $t$  функционирования РЭС, расположением в пространстве  $V$ , полосой частот  $B$ , а также мощностями РЭС – источников излучений и чувствительностью рецепторов, принимающих сигналы.

Радиочастотный ресурс является ограниченным природным ресурсом. Эта ограниченность связана с возрастающими требованиями его использования. Другая сторона ограниченности связана с тем, что практически любое РЭС использует больший радиочастотный ресурс, чем это требуется для его функционирования. Так за время  $t$  создаются электромагнитные поля с мощностью  $P$  в области пространства  $V$  и в полосе частот  $B$ , то есть в объеме  $(V, B, t)$ . Для любого применения можно указать минимально возможное значение объема  $(V_H, B_H, t_H)$ , при котором обеспечивается требуемое качество работы РЭС. Эта величина называется необходимым объемом радиочастотного ресурса. Необходимый объем определяется необходимой полосой частот  $B_H$ , необходимым пространственным объемом  $V_H$  и необходимым временем  $t_H$ .

Одной из причин возникновения проблемы ЭМС является недостаточно эффективное использование радиочастотного ресурса из-за превышения занимаемыми объемами необходимых значений  $(V_H, B_H, t_H)$ , то есть наличие непреднамеренного «загрязнения» радиочастотного ресурса. Так при использовании необходимых значений ресурсов  $j$ -м и  $k$ -м средствами непреднамеренной передачи электромагнитной энергии между ними не будет.

Для приближения занимаемых объемов к  $(V_H, B_H, t_H)$  изменяют схемные решения, вводят дополнительные элементы, усложняют конструкцию, используют более совершенные материалы и т. д. Платой за достигаемый

эффект является увеличение габаритов, массы и стоимости устройств. Поэтому степень приближения к необходимому объему определяется технической и экономической целесообразности и всегда ограничена на определенном уровне техники. Проблема ЭМС РЭС обусловлена возрастающими требованиями использования радиочастотного ресурса при ограниченных возможностях их удовлетворения.

Таким образом, в рамках обеспечения ЭМС предлагается управление радиочастотным ресурсом РЭС.

### Список использованных источников

1. Ефанов В. И. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем. Учебное пособие / В. И. Ефанов, А. А. Тихомиров. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 228 с.
2. Грошев, Г. А. Электромагнитная совместимость в группировке радиоэлектронных средств: учебное пособие / Г. А. Грошев. – Калининград: изд-во БГА РФ, 2001. – 80 с.
3. Методика расчёта электромагнитной совместимости земных станций фиксированной спутниковой службы и радиорелейных станций фиксированной службы гражданского назначения в полосах частот совместного использования от 1 ГГц до 40 ГГц (Решение ГКРЧ № 05-08-02-001). ЛОНИИР. – СПб.: 2005. – 142 с.
4. Виноградов, К. Е. Статистико-детерминированная оценка электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.12.13/ К. Е. Виноградов; Ярославский государственный университет им П Г Демидова. – Владимир, 2007. – 24 с.
5. Журавлёва, В. А. Методика расчёта вероятностных показателей электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств в условиях

неопределённости их взаимного положения / В. А. Журавлёва, А. В. Занозин, Т. А. Михайлова, П. А. Сай // Радиотехника. – 2008. – №7. – С. 90-93.

6. Скрынников, В. Г. Оценка условий ЭМС при учёте особенностей радиointерфейса системы UMTS / В. Г. Скрынников // Т-Comm. – 2008. – № 2. – С. 42-45.

7. Газизов, Т. Р. Основы электромагнитной совместимости радиоэлектронной аппаратуры: Учебное пособие/ Т. Р. Газизов. – Томск: кафедра ТУ, ТУСУР, 2012. – 245 с.

8. Карпов, И. Н. Экранирование радиоэлектронной аппаратуры / И. Н. Карпов // Политехнический молодежный журнал. – 2019. – 6 (35). – С. 1-11.