

УДК 621.371.3

Родионов С.С., к.т.н.; Кондаков А.Н., аспирант; Артеменко Г.С., студентка

ЧАСТОТНО-ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕШАЮЩЕГО СИГНАЛА НА РАБОТАЮЩИЕ В ГРУППИРОВКЕ РЭС

Rodionov S.S., Kondakov O.M., Artemenko H.S. Frequency-probabilistic approach to assessing the impact of the interfering signal on workers in the grouping of RES. A frequency component of a radio frequency resource operating in an agglomeration of radio electronic installations under the condition of a randomly dynamically changing electromagnetic environment is considered. Probabilities for interfering signals being in the open receiver channel for different initial data of functioning of both interference transmitter and radio line receiver. With equal probabilities laws considered for transmitter frequencies and receiver tuning boundary conditions for the mentioned probability are presented. For the receiver with smooth frequency retuning an equation for the probabilities is given with account of frequency overlapping. The estimation of the attenuation of the interference signal as it passes through the receiver paths. Stochastic estimate of frequency overlapping for interfering transmitter and receiver must be considered jointly with territorial and time components of the radio resource of radio electronic installations.

Keywords: electromagnetic environment, electromagnetic compatibility, overlapping frequency intermodulation interference, discrete-frequency modulation

Родионов С.С., Кондаков О.М., Артеменко Г.С. Частотно-імовірнісний підхід до оцінки впливу заважаючого сигналу на працюючі у групі РЕЗ. Розглядається частотна складова радіочастотного ресурсу, що працює в угрупованні РЕЗ в умовах динамічно змінної випадковим чином електромагнітної обстановки. Визначені ймовірності попадання частоти заважаючого сигналу у відкритий канал приймача для різних вихідних даних роботи передавача завад і приймача радіолінії. Дана оцінка ослаблення сигналу перешкоди при його проходженні через тракти приймача.

Ключові слова: електромагнітна обстановка, електромагнітна сумісність, перекриття частот, інтермодуляційна завада, дискретно-частотна модуляція

Родионов С.С., Кондаков А.Н., Артеменко Г.С. Частотно-вероятностный подход к оценке воздействия мешающего сигнала на работающие в группировке РЭС. Рассматривается частотная составляющая радиочастотного ресурса работающая в группировке РЭС в условиях динамически меняющейся случайным образом электромагнитной обстановки. Определены вероятности попадания частоты мешающего сигнала в открытый канал приемника для различных исходных данных работы передатчика помех и приемника радиолинии. Дана оценка ослабления сигнала помехи при его прохождении через тракты приемника.

Ключевые слова: электромагнитная обстановка, электромагнитная совместимость, перекрытие частот, интермодуляционная помеха, дискретно-частотная модуляция

Вступление. Постановка задачи

Современные радиоэлектронные средства (РЭС) функционируют в электромагнитной обстановке (ЭМО), существенное усложнение которой связано с такими факторами [6]:

- увеличением числа передатчиков радиовещательных, телевизионных и других информационных систем, работающих в условиях ограниченного территориального размещения и возрастания интенсивности их использования;
- общей загруженностью частотного диапазона и перегрузкой его отдельных участков (например, 40,100,400,800 и 2450 МГц, возникающих из-за условий распространения радиоволн и по другим причинам);
- использованием различных типов радиосигналов – узкополосных с фиксированным разделением частот или динамически частотно-временным разделением излучений, широкополосных с кодовым разделением абонентов и других;
- постоянным повышением верхней границы рабочего диапазона РЭС (в настоящее время до 18...60 ГГц), связанных с бурным развитием современных технологий;
- ростом мощностей передатчиков и чувствительности приемников, приводящих к повышению уровней неосновных излучений и каналов приема по побочным каналам;

– существенным увеличением скоростей передачи информации и применением избыточности для увеличения скрытности и помехоустойчивости РЭС;

– неравномерным по времени использованием РЭС, которое приводит к дополнительному усложнению радиоэлектронной обстановки в моменты наибольшей интенсивности работы радиосистем;

– появлением многочисленных источников индустриальных помех.

Разработку комплекса мероприятий по обеспечению ЭМС РЭС в общем случае необходимо вести с учетом динамически изменяющейся случайным образом ЭМО.

Частотно-вероятностный подход к оценке воздействия помехи

Рассмотрим случайные изменения частотной составляющей ЭМО (работы радиосредств), которые могут происходить по таким причинам, как:

– при случайных включениях передатчиков и приемников и назначениях частотных режимов их работы;

– перемещении радиосредств, что приводит к необходимости работать в иных условиях частотно-территориального разнеса и возможного учета неосновных излучений и побочных каналов приема;

– появлении дополнительных источников помех (в том числе индустриальных), что потребует изменения частотного ресурса работы РЭС;

– влияния среды распространения радиоволн.

Оценим вероятность попадания помехи в открытый канал приемника как событие полного или частичного перекрытия частот, занимаемых мешающим передатчиком и полосой пропускания приемника.

Задача по определению вероятности совпадения частот двух РЭС формулируется следующим образом [1].

Пусть мешающий передатчик и приемник радиолинии характеризуются соответственно полосой излучения Δf_j и полосой пропускания Δf_i , имеют несущую частоту излучения f_j и частоту настройки приемника $f_{iП}$, которые равновероятно могут принимать любые значения в диапазонах $(f_{jmin} \leq f_j \leq f_{jmax})$ и $(f_{imin} \leq f_i \leq f_{imax})$.

Вероятность совпадения m -й комбинации частоты i -го приемника и j -го передатчика равна

$$p_{mij}^f = P_i^f P_j^f P_{ij}^{\Delta f}, \quad m_{ij} = 1, 2, \dots, m_{ij}^f,$$

где: m_{ij}^f – число возможных комбинаций частотных совпадений i -го приемника и j -го передатчика;

P_i^f – вероятность назначения частоты i -го приемника в выделенном диапазоне;

P_j^f – вероятность назначения частоты j -го передатчика;

$P_{ij}^{\Delta f}$ – вероятность того, что полоса излучения перекрывается полностью или частично полосой пропускания канала приема приемника.

Вероятность $P_{ij}^{\Delta f}$ определяется из условия

$$p_{ij}^{\Delta f} = \begin{cases} 1 & \text{при } -\frac{\Delta f_j + \Delta f_i}{2} < f_{iП} - f_j < \frac{\Delta f_j + \Delta f_i}{2}, \\ 0 & \text{при } f_{iП} - f_j < -\frac{\Delta f_j + \Delta f_i}{2}, \\ & f_{iП} - f_j > \frac{\Delta f_j + \Delta f_i}{2}. \end{cases} \quad (2)$$

Заметим, что входящие в (2) частоты излучения передатчика и настройки приемника, а также соответствующие полосы их излучения и пропускания могут рассматриваться как на основной, так и на побочных частотах и каналах.

При возникновении интермодуляционных (комбинационных) частот, являющихся взаимодействием частот двух и более мешающих передатчиков, вероятность $p_{ij(k)}$ полного

или частичного перекрытия полосой излучения $\Delta f_{j(k)}$ комбинационной частоты $f_{j(k)}$ полосы пропускания i -го приемника определяется аналогично (2) заменой f_j на $f_{j(k)}$ и Δf_j на $\Delta f_{j(k)}$.

В радиолинии, использующей сигналы с дискретной частотной модуляцией (ДЧМ сигналы), несущая частота изменяется скачкообразно по закону некоторой периодической числовой последовательности при неизменных амплитуде и шаге квантования по частоте и времени. Дадим приближенную оценку вероятности попадания частоты помехи от мешающей станции в открытый канал приемника этой радиолинии на примере использования режима с плавной перестройкой частоты.

Для решения задачи согласно [3] имеем следующие исходные данные:

– помеха имеет случайное значение несущей частоты f_j , средние значения частоты следования импульсов $F_j = \frac{1}{T_j}$ и длительности импульсов τ_j ;

– приемник с полосой пропускания Δf_i перестраивается в диапазоне Δf_{Π} с периодом T_i .

При условии

$$kT_j > T'_i > \tau_j, \quad k = 1, 2, 3.$$

где $T'_i = \frac{\Delta f_i}{\Delta f_{\Pi}} T_i$ – время перестройки приемника на ширину его полосы пропускания.

Вероятность попадания помехи в течение одного периода T_j на время δ в полосу пропускания приемника равна [4]

$$p_{ij}^{\Delta f} = \frac{\tau_j + T'_i - 2\delta}{T_j}.$$

Теория случайных импульсных потоков дает следующие выражения для средней частоты следования $F(\delta)$ и математического ожидания длительности импульсов потока совпадений τ_{δ} :

$$F(\delta) = \frac{\tau_j + T'_i - 2\delta}{T_j T_i},$$

$$\tau_{\delta} = \frac{\tau_j T'_i}{\tau_j + T'_i}.$$

Здесь $F(\delta)$ – средняя частота следования импульсов на выходе приемника, длительность которых не менее δ .

В работе [5] для аналогичного режима перестройки приемника (приемник с полосой пропускания $\pm \Delta f_i$ периодически с постоянной скоростью перестраивается в диапазоне Δf_{Π} за время T_i) определена вероятность попадания в приемник непрерывного мешающего сигнала длительностью τ_j , появление которого равновероятно в любой момент и в любой точке частотного интервала Δf_{Π} .

$$p_{ij}^{\Delta f} = \frac{2\Delta f_i T_i + 2\tau_j \Delta f_{\Pi}}{\Delta f_{\Pi} + 2\Delta f_i T_i + 2\tau_j \Delta f_{\Pi}}.$$

При решении задачи обеспечения ЭМС оценка воздействия на РЭС помехи, попадающей в полосу пропускания открытого канала приемника и имеющей на его входе мощность, превышающую пороговый уровень, проводится с учетом прохождения сигналов через различные тракты приемника. С учетом спектральных характеристик помехи и сигнала, несовпадения их несущих частот, частотной избирательности трактов приемника $P_{Пвых} P_{Свых}$ может быть определено следующим образом [7]

$$\frac{P_{Пвых}}{P_{Свых}} = \frac{K^2(\Delta\omega) K_s \gamma}{K^2(0)} \frac{P_{Пех}}{P_{Сех}},$$

где $K(\Delta\omega)$ — значение коэффициента передачи приемника для помехи при ее расстройке $\Delta\omega$ относительно средней частоты полосы пропускания приемника $\Delta\omega_{нрм}$ при $\Delta\omega < \Delta\omega_{нрм}$;

K_s – коэффициент учета несогласованности спектра помехи с частотной характеристикой приемного сигнала;

$K(0)$ – значение коэффициента передачи для полезного сигнала;

γ – коэффициент учета ослабления помехи за счет специально принятых мер защиты.

Выводы

В заключение отметим следующее. Окончательная оценка попадания мешающего сигнала в полосу пропускания приемника должна проводиться с общих позиций обеспечения ЭМС РЭС. Такой подход частотную составляющую радиочастотного ресурса должен рассматривать в комплексе с его территориальными и временными частями и их возможными изменениями, а также учитывать энергетические данные передатчиков и приемников.

Литература

1. Феоктистов Ю.А. Теория и методы оценки электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / Ю.А. Феоктистов, В.В. Матасов, Л.И. Башурин, В.И. Селезнев ; под ред. Ю.А. Феоктистова. – Москва : Радио и связь, 1988. – 216 с.
2. Тузов Г.И. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Г.И. Тузов, В.А. Сивов, В.И. Прытков и др.; под ред. Г.И. Тузова. – Москва : Радио и связь, 1985. – 264 с.
3. Вакин С.А. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки / С.А. Вакин, Л.И. Шустов. – Москва : Советское радио, 1968. – 448 с.
4. Седякин Н.М. Элементы теории случайных импульсных потоков / Н.М. Седякин. – Москва : Советское радио, 1965. – 264 с.
5. Горяинов В.Т. Статистическая радиотехника. Примеры и задачи. Учебное пособие для вузов / В.Т. Горяинов, А.Г. Журавлев, В.И. Тихонов; под ред. В.И. Тихонова. – Москва : Советское радио, 1980. – 544 с.
6. Рембовский А.М. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / А.М. Рембовский, А.В. Ашакенин, В.А. Кузьмин ; под ред. А.М. Рембовского. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2006. – 492 с.
7. Комиссаров Ю.А. Помехоустойчивость и электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств / Ю.А. Комиссаров, С.С. Родионов. – Київ: Техніка, 1978. – 208 с.

Автори статті

Родіонов Сергій Сергійович – кандидат технічних наук, професор кафедри радіотехнологій, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел.: +38 099 064 61 58. E-mail: rodionov1934@mail.ru

Кондаков Олександр Миколайович – аспірант кафедри радіотехнологій, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел.: +38 093 430 46 73. E-mail: fokker51@ukr.net

Артеменко Галина Сергіївна – студентка, кафедра радіотехнологій, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел.: +38 044 249 25 04. E-mail: Tim_1993@ukr.net

Authors of the article

Rodionov Serhiy Serhiyovych – candidate of sciences (technical), professor at radio technologies department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +38 099 064 61 58. E-mail: rodionov1934@mail.ru

Kondakov Oleksandr Mykolayovych – post graduate student of radio technologies department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +38 093 430 46 73. E-mail: fokker51@ukr.net

Artemenko Halyna Serhiyivna – student, radio technologies department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +38 044 249 25 04. E-mail: Tim_1993@ukr.net

Дата надходження в редакцію: 22.02.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. В.Г. Сайко