

Я. Х. ИДРИССИ

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ПРИЕМА  
МНОГОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ ПРИ НАРУШЕНИИ УСЛОВИЙ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ**

Во многих современных системах радиосвязи эффективно используются программная перестройка рабочих частот (ППРЧ), передача сигналов по параллельным каналам и др. Многочастотные структуры, в частности, применяются в современных системах абонентского радиодоступа [1-3], работающих по протоколу 802.11. Возрастание числа каналов передачи приводит к повышению вероятностей помеховых воздействий, что составляет предмет проблемы электромагнитной совместимости (ЭМС) [4; 5].

Нарушение условий ЭМС вызывает срыв некоторой части  $K$  рабочих каналов из  $N$  выделенных. Это позволяет получить вероятность срыва частотного канала

$$P_{cp} = K / N. \quad (1)$$

Число  $K$  частот, пораженных помехами, определяется числом радиосредств, излучающих в спектре  $N$  выделенных частот, и вероятностью  $P_i$  одновременного излучения на  $i$ -й частоте:

$$K = \sum_{i=1}^N i P_i. \quad (2)$$

Вероятность одновременного излучения  $P_i$ , в свою очередь, зависит от  $T$  – протяженности сеанса радиосвязи, причем  $T = 1/f$  – интенсивность перестройки передатчика. Эта вероятность может быть определена по формуле [4; 5]

$$P_i = C_N^i (\lambda/f)^i / \sum_{j=0}^N C_N^j (\lambda/f)^j, \quad (3)$$

где  $\lambda$  – интенсивность числа заявок, которые генерируются одним из участников электромагнитных взаимодействий.

С учетом (3) выражение (2) принимает вид

$$K = \sum_{i=1}^N i C_N^i (\lambda/f)^i / \sum_{j=0}^N C_N^j (\lambda/f)^j. \quad (4)$$

Используя бином Ньютона, преобразуем полученную сумму:

$$\sum_{i=0}^N C_N^i (\lambda/f)^i = (1 + \lambda/f)^N. \quad (5)$$

Выражение (3) с учетом (5) приобретает вид

$$P_i = C_N^i \frac{(\lambda/f)^i}{(1 + \lambda/f)^N} = C_N^i \left( \frac{\lambda/f}{1 + \lambda/f} \right)^i \left( \frac{1}{1 + \lambda/f} \right)^{N-i}. \quad (6)$$

Полученное выражение (6) представляет собой распределение Бернулли. Вероятность излучения

$$P_{\text{н}} = \lambda / f / (1 + \lambda / f), \quad (7)$$

противоположная вероятность (неизлучения)

$$P_{\text{н}} = 1 - P_{\text{н}}.$$

Отсюда получаем среднее значение одновременно излучающих средств как среднее число успешных испытаний в серии из  $N$  исходов:

$$K = N \left( \frac{\lambda / f}{1 + \lambda / f} \right). \quad (8)$$

При воздействии мешающих излучений, особенно в ближней зоне, возникают достаточно мощные помехи, которые приводят к явлению блокирования. Вероятность блокирования  $P_{\text{бл}}$  определяется исходя из сигнально-помеховой обстановки и количества одновременно излучающих средств; для ближней зоны эта вероятность определяется выражением (1). Вероятность ошибки приема сигнала при блокировании составляет 0,5. Поэтому общая вероятность ошибки

$$P_{\text{ош}} = 0,5P_{\text{бл}} + (1 - P_{\text{бл}})\overline{P_{\text{ош}}}, \quad (9)$$

где  $P_{\text{ош}}$  – вероятность ошибки при отсутствии блокирования,  $\overline{P_{\text{ош}}} = 1 - P_{\text{ош}}$ .

При заданном допустимом значении  $P_{\text{ош. доп}}$ , которое определяется для нормальной работы системы, можно получить выражение для вероятности блокирования частотного канала

$$P_{\text{бл}} = (P_{\text{ош. доп}} - \overline{P_{\text{ош}}}) / (0,5 - \overline{P_{\text{ош}}}). \quad (10)$$

Приравняв (1) к (10), получим выражение для нахождения допустимого количества одновременно занятых радиосредств

$$K_{\text{доп}} = \frac{(P_{\text{ош. доп}} - \overline{P_{\text{ош}}})2N}{1 - 2P_{\text{ош. доп}}}. \quad (11)$$

Учитывая случайный характер процесса электромагнитных взаимодействий, необходимо установить вероятность выполнения условий обеспечения надежности связи, т. е. определить, с какой вероятностью будет выполняться соотношение

$$P\{P_{\text{ош}} \leq P_{\text{ош. доп}}\} \approx P(N \leq K_{\text{доп}}) = 1 - \frac{\sum_{i=K_{\text{доп}}}^N C_N^i \left(\frac{\lambda}{f}\right)^i}{\sum_{ij=0}^N C_N^j \left(\frac{\lambda}{f}\right)^j}. \quad (12)$$

Выражение (12) будет, очевидно, определять нижнюю границу искомой вероятности. Реальная же вероятность  $P(P_{\text{ош}} \leq P_{\text{ош. доп}})$  будет располагаться в области несколько больших значений.

Во многих системах беспроводного радиодоступа организуются распределенные сети (scatternet), обеспечивающие лучшее покрытие в офисах или в пределах кампусов [6] путем использования ретрансляторов или радиоусилителей. В образованных вторичных пикосотах

электромагнитные взаимодействия становятся несколько более сложными, и при передаче по такой двухинтервальной линии вероятность ошибки

$$P_{\text{ош}(2)} = P_{\text{ош}1} + P_{\text{ош}2} - 2P_{\text{ош}1}P_{\text{ош}2}, \quad (13)$$

где  $P_{\text{ош}1}, P_{\text{ош}2}$  – вероятности ошибок на 1-м и 2-м интервалах связи.

Наличие вероятностей (12) и (13) позволяет установить вероятность связи на двухинтервальной радиолнии, используя свертку вероятностей на каждом из интервалов по правилу

$$P_{\text{общ}}(x) = \sum_X P_1(x)P_2(x - X). \quad (14)$$

Эту формулу можно преобразовать:

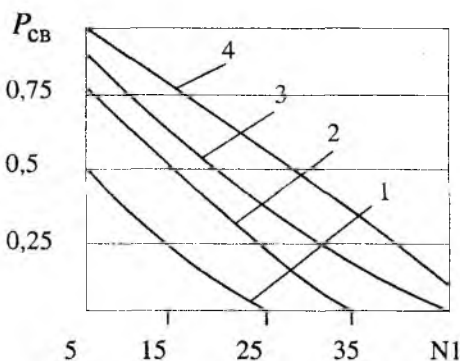
$$\begin{aligned} P_{\text{св}(2)} &= P\{P_{\text{ош}(2)} \leq P_{\text{ош}(2)\text{доп}}\} \approx P(N \leq K_{\text{доп}}) = \\ &= \sum_{i=0}^{K_{\text{доп}}} C_{N1}^i P_i^i (1 - P_i)^{N1-i} \sum_{j=0}^{K_{\text{доп}}-i} C_{N2}^j P_j^j (1 - P_j)^{N2-j}, \end{aligned} \quad (15)$$

где  $K_{\text{доп}}$  – допустимое число одновременно излучающих радиосредств, вызывающих нарушение условий ЭМС на первом интервале  $N1$  и на втором  $N2$ ;  $P_i, P_j$  – вероятности одновременного излучения на 1-м и 2-м участках. Последние вероятности определяются из выражения (7):

$$P_{1(2)} = \lambda_{1(2)} / f_{1(2)} / (1 + \lambda_{1(2)} / f_{1(2)}). \quad (16)$$

Проведенные численные исследования показывают, что с возрастанием требований к достоверности с ростом  $P_{\text{ош. доп}}$  значение  $K_{\text{доп}}$  уменьшается. Так, при  $P_{\text{ош. доп}} = 5 \cdot 10^{-3}$  значение  $K_{\text{доп}} \leq 3$ .

На рисунке показаны зависимости вероятности связи на двухинтервальной радиолнии



$P_{\text{св}} = P\{P_{\text{ош}} \leq P_{\text{ош. доп}}\}$  от числа задействованных частот – источников помех  $N1$  на 1-м интервале при числе выделенных для работы частот  $N_{1,3} = 128$  и  $N_{2,4} = 256$  и значениях  $\lambda_{1,2} = 20, \lambda_{3,4} = 10$ . Номера кривых соответствуют индексам. Общие параметры:  $P_{\text{ош. доп}} = 10^{-3}, f = 60, N2 = 10$ .

Из этих зависимостей следуют выводы о том, что при расширении диапазона выделенных частот  $N$  качество связи улучшается, вероятность связи возрастает. Качество улучшается также при снижении интенсивности числа заявок на связь  $\lambda$ . Так, вероятность связи повышается почти на 0,5 при уменьшении  $\lambda$  в 2 раза.

Представленная методика позволяет качественно и количественно анализировать электромагнитную обстановку и качество связи в системах радиодоступа с многочастотными сигналами еще на этапе проектирования. Она может быть использована и применительно к обычным многоинтервальным радиолниям с ППРЧ, которые организуются в сотовых и транкинговых системах.

**Список литературы:** 1. *Коновер Дж.* Анатомия беспроводных сетей стандарта IEEE 802.11в // Сети и системы связи. 2000. № 14. С. 48–51. 2. *Коновер Дж.* Стандарт 802.11а: ускорение передачи данных // Там же. 2001. № 3. С. 32–35. 3. *Джукович Г.* От 2G к 3G. Проблемы миграции и пути их решения // Там же. № 8. С. 84–86. 4. *Бадалов А.Л.* Нормы и параметры электромагнитной совместимости РЭС / А.Л. Бадалов, А.С. Михайлов. М.: Радио и связь, 1990. 272 с. 5. *Селиванов К.А.* Расчет составляющих взаимной модуляции на выходе усилителя при большом числе несущих на его входе / К.А. Селиванов, Я.Х. Идрисси // Радиотехника. 2001. Вып. 123. С. 207–210. 6. *Невдяев Л.* Bluetooth – королевская технология // Сети. 2000. Окт. С. 24–30.

*Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники*

*Поступила в редколлегию 23.05.2002*