

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Киндрук Николай Николаевич

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

Пискун Геннадий Адамович

к.т.н., доцент, заместитель декана факультета компьютерного проектирования
по научной работе
УО «Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники»
(Республика Беларусь)

В последнее время наблюдается рост количества радиоэлектронных средств (РЭС), а также высокочастотных генераторов для устройств промышленного, научного, медицинского и электротехнического типа, которые изначально по своему функциональному назначению не являются источниками радиоволн, но, тем не менее, создают промышленные радиопомехи. Увеличение числа РЭС приводит к постепенному насыщению радиочастотного спектра с электромагнитными полями искусственного происхождения, и вместе с источниками радио-эмиссии естественного происхождения это оказывает негативное влияние на электромагнитную совместимость (ЭМС) РЭС и создает проблемы для радиоэлектронных приборов как на уровне конструкции, так и в ходе их работы и выполнения определенных операций.

В целом ЭМС представляет собой способность РЭС функционировать в рамках определенных стандартов в реальных условиях эксплуатации с учётом воздействия на них непреднамеренных помех (НП), оказывающих влияние на работу данных РЭС. Вместе с тем, электромагнитное излучение любого РЭС концентрируется как в области его рабочей частоты, так и вне данной области.

Для достижения ЭМС, когда в одном и том же радиочастотном пространстве требуется одновременно более одного устройства, необходимо повышение электромагнитной эффективности РЭС, то есть улучшение определенных параметров излучения и/ или приема. В теории, улучшая параметры РЭС и доводя их до совершенства, а также оптимизируя «размещение» частот РЭС в радиочастотном пространстве, можно получить его максимальную производительность. При таких идеальных условиях передающие РЭС испускают только необходимые сигналы в необходимом диапазоне частот и с минимальной мощностью только в данной точке в пространстве, и РЭС, принимающие сигналы, получают их на частоте настройки и только в рамках указанного направления.

Расчет ЭМС РЭС осуществляется в соответствии с процедурой, состоящей из шести последовательных этапов (Рис.1) [1].

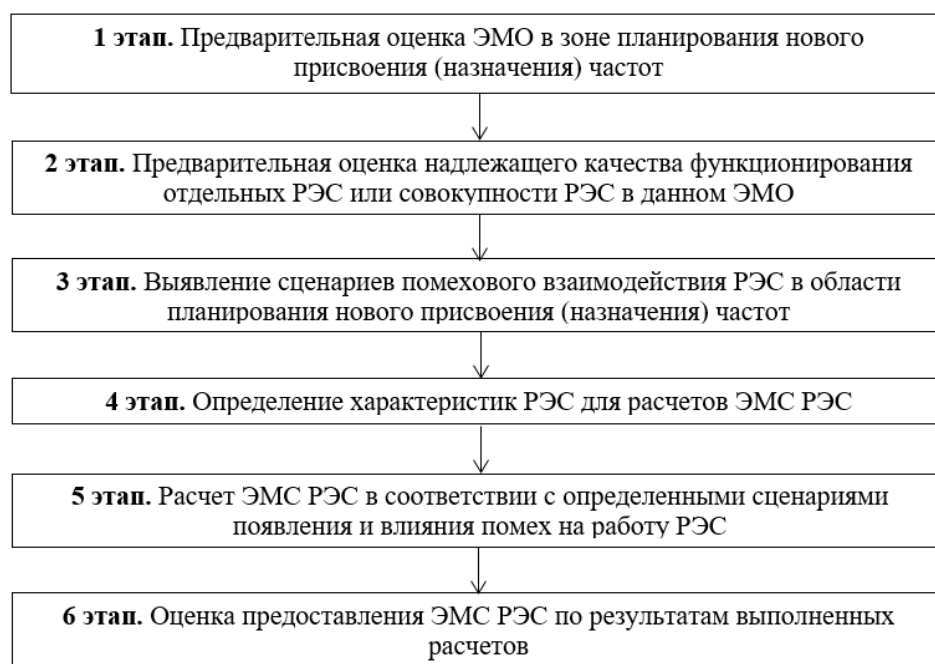


Рис.1. Этапы процедуры расчета электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств

1 этап. В рамках первого этапа проводится предварительная оценка электромагнитной обстановки (ЭМО) в области планирования нового присвоения (назначения) и распределения частот путем территориального и частотного отбора потенциально несовместимых РЭС [2, 3, 4].

При анализе ЭМС РЭС при одновременной двусторонней радиосвязи оценка ЭМО осуществляется в рамках двух этапов, характеристика которых представлена в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1. Оценка ЭМО при анализе ЭМС РЭС при одновременной двусторонней радиосвязи

Номер этапа	Характеристика этапа
Этап 1	Оценка вероятного влияния появления помех на действующие РЭС посредством нового РЭС.
Этап 2	Рассмотрение случаев, когда новый РЭС может быть источником помех

2 этап. На второй стадии предварительная оценка качества функционирования отдельных РЭС или их совокупности выполняется в

соответствии с основными требованиями к функционированию РЭС и качеству передачи сигнала и общей коммуникации. Оценка осуществляется с учетом технических характеристик РЭС и ЭМО [3].

3 этап. В рамках данного этапа предполагается определение сценария взаимодействия для плановых РЭС (которые непосредственно подлежат изучению и анализу) и других РЭС, находящихся в области расчета. Выполнение оценки на данном этапе осуществляется в соответствии с результатами предварительной оценки ситуации возникновения помех в зоне планирования присвоения (назначения) частот [5]. Сценарии взаимного влияния помех между анализируемым РЭС и другими РЭС могут подразделяться на пары и группы. В сценариях с парой РЭС исследуется влияние НП, возникших от одного РЭС, на одно приемное устройство (другой РЭС). В сценариях с группой РЭС исследуется влияние набора источников помех (несколько РЭС) на одно приемное устройство (Рис.2).

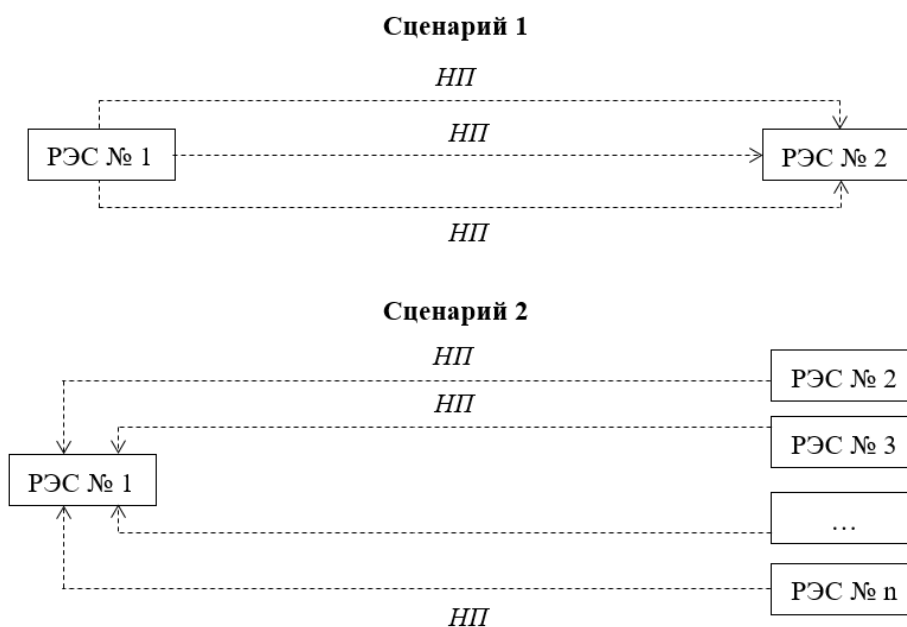


Рис.2. Сценарии взаимного влияния помех между анализируемым радиоэлектронными средствами и другими радиоэлектронными средствами

При этом необходимо учитывать условия развертывания, характеристики направленности антенны РЭС, территориальное разнообразие и пространственную ориентацию планируемого и эксплуатационного РЭС.

Также в контексте разработки алгоритма оценки ЭМС РЭС необходимо рассмотреть следующие моменты и допущения, касающиеся РЭС:

1) в наиболее типовых ситуациях основными факторами, определяющими помехи, являются:

– произведения в области интермодуляционных частот, генерируемые двумя (или более) мощными сигналами, вызывающими помехи;

– нежелательное излучение, которое может возникнуть в передатчике в случае появлении сигналов сторонних РЭС и других устройств от другого передатчика в рамках его радиочастотных каскадов, получаемых на выходе;

– уровни полезных помеховых сигналов являются случайными величинами;

2) два (или более) нежелательных сигнала должны иметь такие специфические частоты, чтобы продукты их интермодуляции попадали в область (полосу) частот приемника;

3) вероятность интермодуляционных помех, вызванных взаимодействием более двух мощных нежелательных сигналов, очень мала;

4) процедуры вычисления интермодуляционных помех являются полезным инструментом для обеспечения более эффективного использования спектра в работе РЭС.

Принимая во внимание данные факторы, может быть дана рекомендация об использовании интермодуляционной модели приемника для вычисления интермодуляционных помех в рамках работы РЭС, а расчеты интермодуляционных помех выполнялись с использованием интермодуляционных моделей в передатчике и приемнике (Рис. 3).

При измерении интермодуляционных характеристик приемника подаются два сигнала одинакового уровня от генераторов G_1 и G_2 и полезный сигнал от

генератора G_S с уровнем P_c . Частотная дезорганизация первого генератора принята равной Δf_0 , а второго – приблизительно равным $2\Delta f_0$. Уровни обоих генераторов на входе приемника увеличиваются до достижения показателя, когда качество приема полезного сигнала не начинает опускаться ниже некоторого установленного уровня.

Качество приема четко связано с отношением, представленным в соответствии с формулой (1):

$$A = P_c - P_I, \quad (1)$$

где P_c – уровень полезного сигнала генератора G_S ; P_I – эквивалентная мощность помех, указанная на входе приемника (дБм).

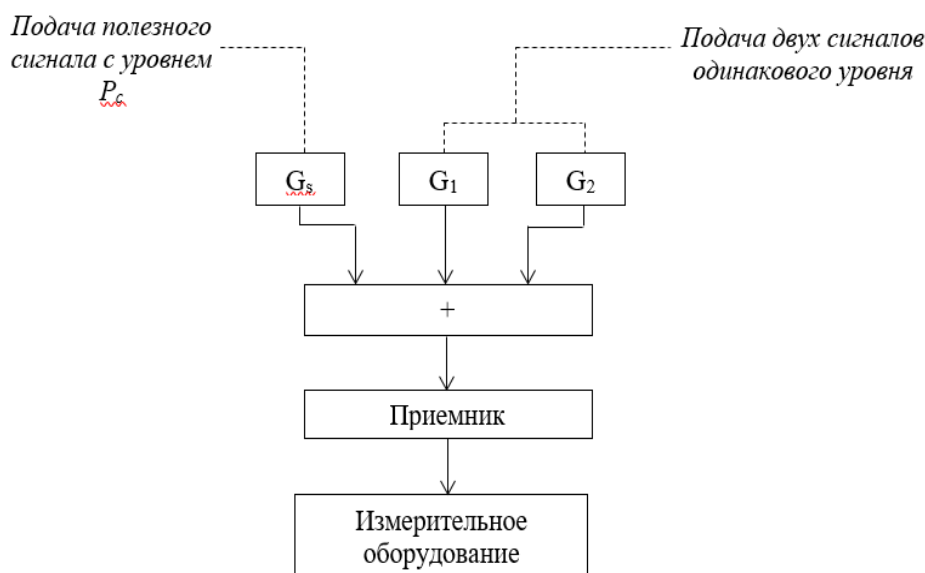


Рис.3. Схема измерений интермодуляции в приемнике

Расчет интермодуляционных помех (искажений) в приемнике может быть осуществлен в соответствии с общей формулой (2):

$$P_{IM} = 2(P_1 - \beta_1) + (P_2 - \beta_2) - K_{2,1}, \quad (2)$$

где P_1 и P_2 – сила взаимного влияния частот f_1 и f_2 , соответственно; $K_{2,1}$ – мощность интермодуляции третьего порядка, которая может быть рассчитана посредством ее измерения или получена из характеристик оборудования; β_1 и β_2 – параметры радиочастотной селективности при отклонениях частот Δf_1 и Δf_2 от рабочей частоты f_0 соответственно.

Значения β_1 и β_2 , например, могут быть получены из уравнения для вычисления ослабления сигнала на ненастроенной частоте, представленного в соответствии с формулой (3):

$$\beta(\Delta f) = 60 \log \left[1 + \left(\frac{2\Delta f}{B_{RF}} \right)^2 \right], \quad (3)$$

где B_{RF} – полоса пропускания приемника на радиочастоте.

Следует отметить, что для определенного набора измерений интермодуляций третьего порядка для аналоговых радиоприемников, работающих в диапазоне ультравысоких частот (УВЧ) и нижней частоте диапазона УВЧ, уравнение (2) может быть преобразовано следующее, представленное в соответствии с формулой (4):

$$P_{IM} = 2P_1 + P_2 + 10 - 60 \log(\sigma f), \quad (4)$$

где σf – среднее отклонение частоты (МГц), равно $\frac{\Delta f_1 + \Delta f_2}{2}$.

Мощность P_i продуктов интермодуляции, возникающих в передатчике и затем поступающих на вход приемника, может быть определена в соответствии с формулой (5):

$$P_i = P_2^0 - \beta_{12} - \beta_{10} - K_{(2),1} - L_{10}, \quad (5)$$

где P_2^0 – мощность передатчика (на частоте f_2), производящего помехи, на выходе неисправного передатчика (работающего на частоте f_1), в котором

появляются продукты интермодуляции (дБВ); β_{12} , β_{10} – подавление, выполняемое выходными цепями неисправного передатчика на частоте f_1 и фидерами его антенны по отношению к помеховому передатчику на частоте f_2 , и к продуктам интермодуляции на частоте f_0 соответственно (дБ); $K_{(2),1}$ – потери интермодуляционного преобразования в передатчике (дБ), отличающиеся от $K_{2,1}$ в формуле (2); L_{10} – ослабление продуктов интермодуляции на пути между передатчиком, который работает на частоте f_1 , и приемником (дБ).

Помехи, вызванные передатчиком, возникают, при условии сохранения неравенства, представленного в соответствии с формулой (6):

$$P_s - P_i < A.$$

(6)

4 этап. На четвертом этапе технические характеристики РЭС, для которых запланировано и используется новое назначение частот в расчетах ЭМС РЭС, будут представлены пользователем РЭС вместе с заявкой на выдачу заключения по ЭМС РЭС. Заявка отправляется непосредственно в радиочастотный центр. При этом обеспечиваются следующие технические характеристики РЭС:

- диапазон рабочих частот РЭС, МГц;
- шаг частотной сетки или формула формирования канала;
- поляризация;
- радиационная пропускная способность на уровне минус 30 дБ;
- радиационный класс.

5 этап. На данном этапе осуществляется вычисление ЭМС РЭС в соответствии с алгоритмом (Рис. 4). В расчетах ЭМС РЭС обязательно учитывается тип сценария вмешательства РЭС-взаимодействия, которые рассматриваются как потенциальные конфликты, виды помех, каналы возможного проникновения помех (основных и неосновных) и негативные явления, определяемые частотным выбором конфликтующих РЭС.

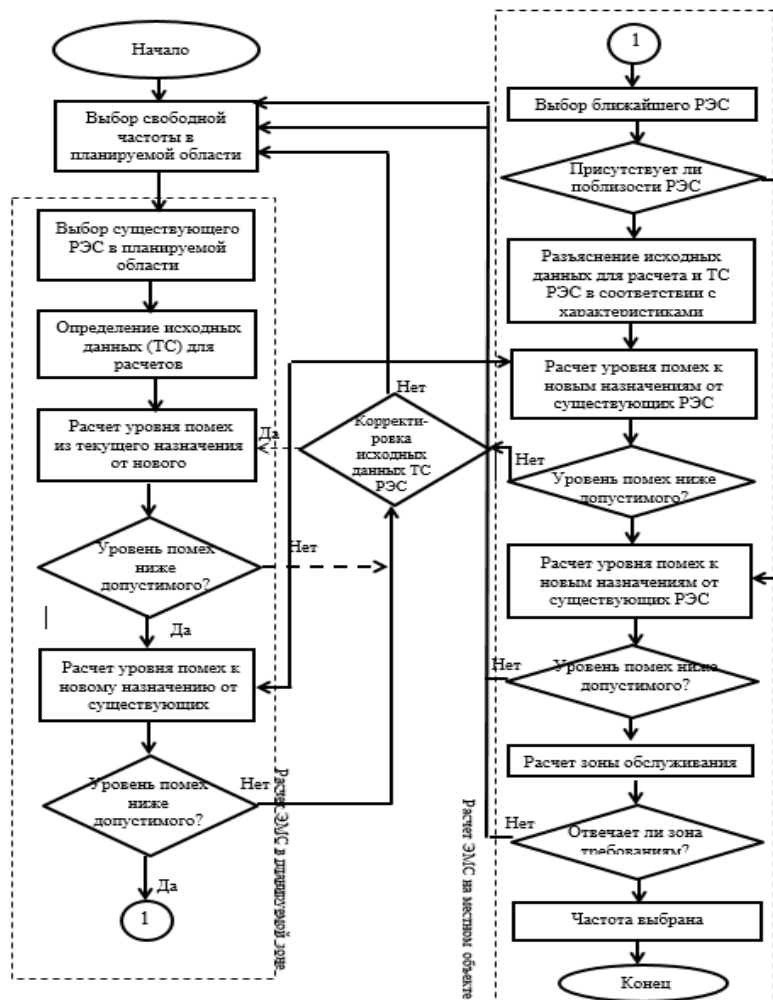


Рис.4. Схема обобщенного алгоритма расчета электромагнитной совместимости для реализации и новых радиочастотных назначений радиоэлектронных средств

На основе полученных результатов расчетов осуществляется проверка выполнения критерия ЭМС РЭС, определенного формулой (6 этап). При невыполнении вышеупомянутого критерия ЭМС РЭС определяется возможность изменения технических характеристик РЭС или принимается решение о выборе другой частоты для нового планового РЭС. Этот алгоритм может использоваться в различных языках программирования, таких как Delphi, C++ и др.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Rozorinov G. M. The analysis of electromagnetic compatibility of radio-electronic devices of mobile radio service for frequency assignments Scientific Proceeding of Ukrainian Research Institute of Communication/ G. M. Rozorinov, S. V. Lazarenko. – № 1(41). – 2016. – P. 14-19.
2. Burrell, J. Disruptive Effects of Electromagnetic Interference on Communication and Electronic Systems [Electronic resource]/ J. Burrell. – Mode of access: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.196.1450&rep=rep1&type=pdf>. – Date of access: 05.12.2020.
3. Recommendation P.452: Prediction procedure for the evaluation of interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.1 GHz Managed by R00-SG03 [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.452-16-201507-I!!PDF-E.pdf. – Date of access: 05.12.2020.
4. Recommendation P.530: Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems. Managed by R00-SG03 [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.530-17-201712-I!!PDFE.pdf. – Date of access: 05.12.2020.
5. Schneider-Electric: Vol. 32. EMC [Electronic resource]. – Mode of access: www.schneider-electric.com.ua. – Date of access: 05.12.2020.
6. Analog devices, MT-95 tutorial – EMI, RFI, and Shielding Concepts [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.analog.com/media/en/training-seminars/tutorials/MT-095.pdf>. – Date of access: 05.12.2020.
7. Atmel, EMC Improvement Guidelines [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.atmel.com/images/doc4279.pdf>. – Date of access: 05.12.2020.