

И.А.Ормонова, М.О.Оконов, М.Р.Ормонов
 ст.преп. ОшТУ, к.т.н. Кыргызтелеком, соискатель ОшТУ.
 I.A.Ormonova, M.O.Okonov, M.P.Ormonov
 Senior teacher OshTU, c.t.s. Kyrgyz telecom, researcher OshTU.

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ОСЛАБЛЕНИЯ ПОМЕХ В ИЗБИРАТЕЛЬНОМ КАСКАДЕ ПРИЕМНИКА

В статье рассмотрена задача расчета коэффициента ослабления помехи, решение которой необходимо при анализе электромагнитной совместимости передатчика - источника помехи и приемника - рецептора помехи, работающих на различных несущих частотах.

Ключевые слова: коэффициент, помех, спектр излучения, приемник, аппроксимация.

TO DETERMINE THE COEFFICIENT REDUCING INTERFERENCE IN THE ELECTORAL STAGE OF THE RECEIVER

The frequency dependent rejection calculation task is considered in this article, which is needed to be performed for analysis of electromagnetic compatibility of the transmitter - interference source and the receiver - interference receptor, working on the different carrier frequencies.

Keywords: factor, noise, radiation spectrum, the receiver, approximation.

При работе радиоэлектронных средств (РЭС) в соседних полосах частот возможно образование помех по соседним каналам приема приемника. Это явление обусловлено наличием внеполосных излучений передатчиков и ограниченностью избирательности за пределами необходимой полосы пропускания приемников.

Для расчета мощности помех в соседних каналах в [1] приведена формула для коэффициента ослабления помех (в международной терминологии - частотно зависимое подавление, frequencydependentrejection - FDR), который является мерой режекции, создаваемой за счет характеристики избирательности приемника для излучения мешающего передатчика. Иными словами коэффициент ослабления помех (КОП) является мерой ослабления спектра излучения мешающего передатчика за счет кривой избирательности приемника:

$$\Phi(\Delta f) = 10 \cdot \lg \frac{\int_0^{\infty} S(f) df}{\int_0^{\infty} S(f) \cdot |H(f + \Delta f)|^2 df}, \text{ dB}, \quad (1)$$

где $S(f)$ – спектральная плотность мощности излучения;

$H(f)$ - частотная характеристика односигнальной избирательности приемника;

$\Delta f = f_{\text{ПРД}} - f_{\text{ПРМ}}$ - разность несущих частот передатчика $f_{\text{ПРД}}$ и приемника $f_{\text{ПРМ}}$.

Для вычисления КОП по формуле (1) необходимо знать математические модели спектральной плотности мощности излучения передатчика $S(f)$ и частотной избирательности приемника $H(f)$. В качестве математических моделей спектральной плотности мощности излучения передатчика $S(f)$ и частотной избирательности приемника $H(f)$ возможна аппроксимация таблично заданных функций с экстраполяцией за границей исходных данных по частоте. Наиболее часто на практике используется аппроксимация отрезками прямых при логарифмической оси частот, что соответствует выражению [3-4]:

$$M(f) \equiv M(\delta f) = M(\delta f_i) + \frac{M(\delta f_i) - M(\delta f_{i+1})}{\lg(\delta f_i / \delta f_{i+1})} \cdot \lg(|\delta f| / \delta f_i), \text{ dB}, \quad (2)$$

где $\delta f = f - f_x$ - отстройка от центральной частоты фильтра рассматриваемого устройства; $M(\delta f_i)$ - заданные значения уровня при заданных отстройках δf_i . ($M(0) = 0$).

Интегралы в формуле (1) могут быть вычислены с помощью формулы Симпсона. Формулу (1) можно преобразовать в виде:

$$\Phi(\Delta f) = 10 \cdot \lg \frac{\sum_{i=1}^n S(f_i)}{\sum_{i=1}^n S(f_i) \cdot |H(f_i + \Delta f)|^2}, \text{ dB}, \quad (3)$$

где n - число отсчетов.

Применительно к рассматриваемой задаче для огибающей $S(f)$ можно записать (для $k \geq 2$):

$$S(f) = \begin{cases} 0 & |\delta n f| < \delta n f_1 \\ S(\delta n f_i) + \frac{S(\delta n f_i) - S(\delta n f_{i+1})}{\lg(\delta n f_i / \delta n f_{i+1})} \cdot \lg(|\delta n f| / \delta n f_i) & \delta n f_i \leq |\delta n f| \leq \delta n f_{i+1} \\ \min(-60) & |\delta n f| > \delta n f_k \end{cases}, \text{ dB} \quad (4)$$

где $i = 1, 2, \dots, k - 1$;

k - количество заданных значений, при этом необходимо, чтобы выполнялось неравенство $\delta n f_i < \delta n f_{i+1}$.

$\delta n f = f - f_{\text{ПРД}}$ - отстройка от несущей частоты передатчика;

$S(\delta n f_i)$ - заданные значения спектральной плотности при заданных отстройках $\delta n f_i$.

Во многих источниках для упрощения расчетов значение $S(\delta n f_1)$ приравнивается минус 3 dB, значение $S(\delta n f_2)$ - минус 30 dB, а значение $S(\delta n f_3)$ - минус 60 dB. Информации об указанных значениях является необходимым условием для расчета КОП.

Спектр излучения характеризуется вектором характеристических частот $\overline{f_{\text{ПРД}}}$, элементы которого:

$$\overline{f_{\text{ПРД}}} = \begin{cases} \langle -\delta n f_k + f_{\text{ПРД}}, \dots, -\delta n f_1 + f_{\text{ПРД}}, f_{\text{ПРД}} + \delta n f_1, \dots, f_{\text{ПРД}} + \delta n f_k \rangle & \text{при } k \geq 2 \\ \langle -\delta n f_{\text{класс}}/2 + f_{\text{ПРД}}, f_{\text{ПРД}} + \delta n f_{\text{класс}}/2 \rangle & \text{при } k < 2 \end{cases} \quad (5)$$

При моделировании избирательности приемников (в общих случаях для радиорелейной станций (РРС) и базовых станций сухопутной подвижной связи (БС СПС)) учитывается наличие в трактах приема помимо фильтров усилителя высокой частоты (УВЧ) и усилителя промежуточной частоты (УПЧ) целого ряда вспомогательных фильтров. Так в некоторых случаях тракты РРС могут иметь дополнительный входной фильтр, дуплексный фильтр, УПЧ-2 и фильтр модема [2].

Аппроксимация избирательности фильтра УВЧ (для $k \geq 2$):

$$H_{\text{увч}}(f) = \begin{cases} 0 & |\delta \text{вч} f| < \delta \text{вч} f_1 \\ H(\delta \text{вч} f_i) + \frac{H(\delta \text{вч} f_i) - H(\delta \text{вч} f_{i+1})}{\lg(\delta \text{вч} f_i / \delta \text{вч} f_{i+1})} \lg(|\delta \text{вч} f| / \delta \text{вч} f_i) & \delta \text{вч} f_i \leq |\delta \text{вч} f| \leq \delta \text{вч} f_{i+1} \\ H(\delta \text{вч} f_k) & |\delta \text{вч} f| > \delta \text{вч} f_k \end{cases}, \text{ dB} \quad (6)$$

где $\delta \text{вч} f = f - f_{\text{увч}}$ - отстройка от центральной частоты фильтра УВЧ $f_{\text{увч}}$;

$H(\delta \text{вч} f_i)$ - заданные значения уровня пропускания УВЧ при заданных отстройках $\delta \text{вч} f_i$;

$\delta \text{вч} f_i < \delta \text{вч} f_{i+1}$; $i = 1, 2, \dots, k - 1$; k - количество заданных значений.

При $k = 1$:

$$H_{y_{\text{вч}}}(f) = \begin{cases} 0 & |\delta \text{вч} f| < \delta \text{вч} f_k \\ H(\delta \text{вч} f_k) & |\delta \text{вч} f| \geq \delta \text{вч} f_k \end{cases}, \text{ dB} \quad (7)$$

при $k = 0$, т.е., когда характеристики УВЧ не заданы, считается, что $H_{y_{\text{вч}}}(f) = 0 \text{ dB}$.

На РРС центральная частота УВЧ совпадает с рабочей частотой приема каждого ствола $f_{\text{ПРМст}}$ (в каждом стволе индивидуальный УВЧ), но может не совпадать с центральной частотой диапазона частот.

Избирательность фильтра УВЧ характеризуется вектором характеристических частот $\overline{f_{y_{\text{вч}}}}$, элементы которого:

$$\overline{f_{y_{\text{вч}}}} = \langle -\delta \text{вч} f_k + f_{y_{\text{вч}}}, \dots, -\delta \text{вч} f_1 + f_{y_{\text{вч}}}, f_{y_{\text{вч}}} + \delta \text{вч} f_1, \dots, f_{y_{\text{вч}}} + \delta \text{вч} f_k \rangle. \quad (8)$$

Аппроксимация избирательности каждого фильтра УПЧ:

$$H_{y_{\text{пч}}}(f) = \begin{cases} 0 & |\delta \text{пч} f| < \delta \text{пч} f_1 \\ H(\delta \text{пч} f_i) + \frac{H(\delta \text{пч} f_i) - H(\delta \text{пч} f_{i+1})}{\lg(\delta \text{пч} f_i / \delta \text{пч} f_{i+1})} \cdot \lg(|\delta \text{пч} f| / \delta \text{пч} f_i) & \delta \text{пч} f_i \leq |\delta \text{пч} f| \leq \delta \text{пч} f_{i+1}, \text{ dB} \\ H(\delta \text{пч} f_k) & |\delta \text{пч} f| > \delta \text{пч} f_k \end{cases} \quad (9)$$

где $\delta \text{пч} f = f - f_{y_{\text{пч}}}$ - отстройка от центральной частоты фильтра УПЧ $f_{y_{\text{пч}}}$; $H(\delta \text{пч} f_i)$ - заданные значения уровня пропускания УВЧ при заданных отстройках $\delta \text{пч} f_i$; $\delta \text{пч} f_i < \delta \text{пч} f_{i+1}$, $i = 1, 2, \dots, k-1$; k - количество заданных значений. Выражение (9) справедливо для $k \geq 2$, при $k = 1$:

$$H_{y_{\text{пч}}}(f) = \begin{cases} 0 & |\delta \text{пч} f| < \delta \text{пч} f_k \\ H(\delta \text{пч} f_k) & |\delta \text{пч} f| \geq \delta \text{пч} f_k \end{cases}, \text{ dB}, \quad (10)$$

при $k = 0$, то есть когда характеристики УПЧ не заданы, считается, что $H_{y_{\text{пч}}}(f) = 0 \text{ dB}$.

Для РРС условно считается, что центральная частота каждого УПЧ совпадает с частотой приема каждого ствола.

Избирательность каждого фильтра УПЧ характеризуется вектором характеристических частот $\overline{f_{y_{\text{пч}}}}$, элементы которого:

$$\overline{f_{y_{\text{пч}}}} = \langle -\delta \text{пч} f_k + f_{y_{\text{пч}}}, \dots, -\delta \text{пч} f_1 + f_{y_{\text{пч}}}, f_{y_{\text{пч}}} + \delta \text{пч} f_1, \dots, f_{y_{\text{пч}}} + \delta \text{пч} f_k \rangle. \quad (11)$$

Аппроксимация избирательности фильтра модема:

$$H_M(f) = \begin{cases} 0 & |\delta \text{м} f| < \delta \text{м} f_{\text{класс}} / 2 \\ -30 & |\delta \text{м} f| \geq \delta \text{м} f_{\text{класс}} / 2 \end{cases}, \text{ dB}, \quad (12)$$

где $\delta \text{м} f = f - f_{\text{ПРМ}}$ - отстройка от несущей частоты приемника (рабочей частоты приема), $\delta \text{м} f_{\text{класс}}$ - необходимая полоса, определяемая классом принимаемого излучения.

Избирательность фильтра модема характеризуется вектором характеристических частот $\overline{f_{\text{ПРМ}}}$, элементы которого:

$$\overline{f_{\text{ПРМ}}} = \langle -\delta \text{м} f_{\text{класс}} / 2 + f_{\text{ПРМ}}, f_{\text{ПРМ}} + \delta \text{м} f_{\text{класс}} / 2 \rangle. \quad (13)$$

При наличии более подробной информации о фильтре модема аппроксимация его избирательности и вектор характеристических частот могут быть учтены по аналогии с фильтрами УПЧ или УВЧ.

Во многих источниках для упрощения расчетов значения $H(\delta \text{вч} f_1)$, $H(\delta \text{пч} f_1)$ приравнивается минус 3 dB, а значения $H(\delta \text{вч} f_2)$, $H(\delta \text{пч} f_2)$ - минус 30 dB. Значения $H(\delta \text{вч} f_3)$, $H(\delta \text{пч} f_3)$ рекомендуется выбирать равными минус 60 dB.

Избирательность приемного тракта $H(f)$ при описанной конфигурации представляется в виде суммы:

$$H(f) = H_{\text{дв}}(f) + H_{\text{дв-1}}(f) + H_{\text{дв-2}}(f) + H_i(f), \text{ dB}. \quad (14)$$

При расчетах КОП учитываются и спектральные характеристики устройств (фильтров), которые могут быть дополнительно введены в тракты приема и передачи РЭС. К таким устройствам относятся, например, фильтры верхних и нижних частот (ФВЧ и ФНЧ), избирательность которых может быть описана следующим образом:

$$K_{\text{фвч}}(f) = \begin{cases} 0 & f > f_{\text{срез}} \\ K & f \leq f_{\text{срез}} \end{cases}, \text{ dB}, \quad K_{\text{фнч}}(f) = \begin{cases} K & f > f_{\text{срез}} \\ 0 & f \leq f_{\text{срез}} \end{cases}, \text{ dB}, \quad (15)$$

где $f_{\text{срез}}$ - частота среза фильтра, $K < 0$ – ослабление, вносимое фильтром.

Спектральные характеристики всех дополнительных полосовых фильтров в трактах передачи $S_{\text{пф}}(f)$ и приема $H_{\text{пф}}(f)$ описываются с помощью аналогичных выражений.

Вектора характеристических частот $f_{\text{ПРД.ПФ}}$ и $f_{\text{ПРМ.ПФ}}$ составляются по аналогии.

Таким образом, обобщенная спектральная характеристика передающего тракта и обобщенная избирательность приемного тракта описываются, соответственно, выражениями:

$$S'(f) = S(f) + K_{\text{фвч(фнч)}}(f) + S_{\text{пф}}(f), \text{ dB}, \quad (16)$$

$$H'(f) = H(f) + K_{\text{фвч(фнч)}}(f) + H_{\text{пф}}(f) + H_{\text{МШУ}}(f), \text{ dB}, \quad (17)$$

где $H_{\text{МШУ}}(f)$ - избирательность малошумящего усилителя (МШУ).

Расчет КОП выполняется на основе приведенных моделей ПРМ и ПРД по известной формуле (1) [5].

При определенных математических моделях спектральной плотности мощности излучения передатчика $S(f)$ и частотной избирательности приемника $H(f)$ можно рассчитать КОП по вышеизложенной методике. Учитывать КОП необходимо при расчете частотно-территориального разнеса, при оценки воздействия различных помех на приемник, таких как помехи по основному и соседнему каналу, интермодуляционные помехи, помехи блокирования и т.д. На основе вышеизложенной методики расчета КОП можно разработать программный модуль, который в свою очередь можно подключить к программам предназначенных для автоматизации расчетов электромагнитной совместимости между различными РЭС.

Литература

1. Rec. ITU-R SM.337-6 “Частотный и территориальный разнос РЭС”.
2. Расчет взаимных помех между проектируемыми и действующими радиосредствами на локальном объекте. Л.Ш. Альтер (СПбГУТ), И.И. Подманков (НПК СвязьСервис), М.В. Свириденко (НПК СвязьСервис). www.comm-serv.ru.
3. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. Вып.1. Общие вопросы ЭМС./ сост. Д.Р.Ж. Уайт. Сокр. пер. с англ. Под ред. А.И. Сапгира. М.: Сов.радио, 1977 г.
4. Анализ и методика расчета электромагнитной совместимости в системах связи, радиолокации и телевидения. С.Г. Ильюшко. 2007 г.
5. Методика расчета 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. ЛОНИИР. СПб.: 2005 г.