

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
Харьковский национальный университет радиоэлектроники

**ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ
СОВМЕСТИМОСТИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ
БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ
(ЭМС – 2015)**

Сборник научных трудов первой международной
научно-технической конференции

Харьков 27 мая 2015 г.

Харьков 2015

УДК 621.37/.39

Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей связи (ЭМС-2015) : Сборник научных трудов первой международной научно-технической конференции, Харьков 27 мая 2015 г. / М-во образования и науки Украины, Харьковский национальный университет радиоэлектроники. – Харьков: ХНУРЭ, 2015. – 172 с.

В сборник включены научные доклады участников первой Международной научно-технической конференции «Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей связи» (ЭМС-2015).

Издание подготовлено кафедрой телекоммуникационных систем
<http://tcs.kharkov.ua/>

61166, Украина, Харьков, просп. Ленина, 14.
Тел./факс: +380 (57) 702-13-20,
+380 (57) 702-55-92.

E-mail: emc@picst.org
<http://emc-2015-ru.weebly.com/>

© Харьковский национальный
университет радиоэлектроники, 2015

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В СИСТЕМАХ РЕ- ТРАНСЛЯЦИИ РАДИОСИГНАЛОВ

Во Зуй Фук, Зиньковский Ю.Ф., Зинченко М.В.

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт»

03056, г. Киев, ул. Политехническая, 12, корп. 17, каф. Конструирования и производства радиоаппаратуры, тел. (044) 454-94-20

e-mail: voduypnuc@bigmir.net

The features of functioning of telecommunications systems retransmission of informative signal by the intermediate conversion in other radio frequency range are observed. It is shown that at designing of these systems, taking into account the necessary electromagnetic compatibility is necessary to use a single nonlinear model, which allows to take into consideration the influence of stray fields on the characteristics of nonlinear elements. It is educed, that distortion of volt-ampere descriptions of semiconductor mixer under acting of the strange electromagnetic field will reduce the efficiency of frequency conversion. The analysis of converting of radio signal frequency in other frequency range is conducted. Intermodulation noise levels on combination frequencies which through parasite feed-backs are able to worsen spectral efficiency of informative channel are appraised.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что соответствие параметров и характеристик телекоммуникационных систем в плане электромагнитной совместимости (ЭМС) необходимо проверять на всех этапах проектирования. Чем выше уровень проектирования, тем сложнее устранение влияния недооцененных факторов путем корректировки архитектуры, взаимосвязей, элементной базы, режимов работы, чтобы обеспечить выполнение требований технического задания.

Учет нелинейных свойств элементов телекоммуникационных систем всегда является одной из важнейших задач проектирования. С одной стороны нелинейные превращения сигналов тщательным образом моделируются, с другой – из-за сложности архитектуры телекоммуникационной системы и образующих ее устройств, нелинейные свойства отдельных элементов могут вносить многочисленные искажения в информационный сигнал: изменение уровней спектральных составляющих и насыщения спектра дополнительными гармониками (нелинейными продуктами). Особенно такие искажения ощутимы для систем, которые работают с сигналами, уровни которых приближены к шумам [1].

1. Основная часть

Одним из важных элементов телекоммуникационной техники является смеситель. В простейшем случае это полупроводниковый диод, вольт-амперная характеристика (ВАХ) которого в области рабочих токов имеет выраженную нелинейность. Если ВАХ полупроводникового прибора по каким-либо причинам подвергается искажению, то в работе системы возникнут ощутимые отклонения от заданных параметров.

На рис. 1 представлена упрощенная блок-схема телекоммуникационной подсистемы ретрансляции путем промежуточного конвертирования радиосигнала в другой частотный диапазон (рассеивающий конвертер). Рассмотренная подсистема интегрирована в базовый ретранслятор GSM-сигнала и дублирует его функции, что актуально в тех случаях, когда ретрансляторы разнесены друг от друга (более 10 км) и короткие волны испытывают существенное затухание в среде распространения, параметры которой изменчивы во времени [1]. Особенностью рассеивающего конвертера есть наличие отдельной приемной антенны, преселектора, полосового фильтра с шириной пропускания 453-457.5 МГц, смесителя на базе полупроводникового диода, гетеродина с рабочей частотой 455,5 МГц, усилителя промежуточной частоты, который усиливает преобразованный сигнал в случае превышения им порогового уровня, и общей с ретранслятором GSM-сигнала передающей антенны.

Принцип работы телекоммуникационной системы с рассеивающим конвертером состоит в том, что при слабом уровне сигнала стандарта GSM ретранслятор принимает сигнал на более длинных волнах.

Рассмотрим влияние наводок от усилителя GSM передатчика на работу смесителя рассеивающего конвертера.

На рис. 2 представлены экспериментальные ВАХ смесителя – СВЧ диода типа 2A604A, для различных значений мощности электромагнитного поля (ЭМП), создаваемого усилителем передатчика мобильной связи стандарта GSM (890-915 МГц) [2, 3].

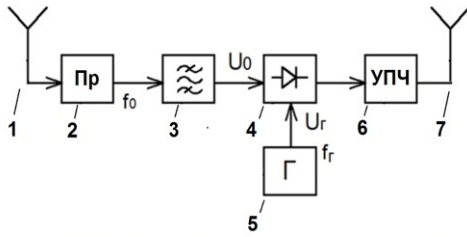


Рисунок 1 – Блок-схема телекоммуникационной подсистемы ретрансляции: 1 – приемная антенна; 2 – преселектор; 3 – полосовой фильтр; 4 – смеситель; 5 – гетеродин; 6 – усилитель промежуточной частоты; 7 – передающая антенна ретранслятора GSM-сигнала

Для аппроксимации представленных на рис. 2 кривых применим полином 5-го порядка [4]. Аппроксимация ВАХ полиномом n -й степени предусматривает выбор n -го количества точек на соответствующей характеристике с последующим формированием системы из n уравнений вида:

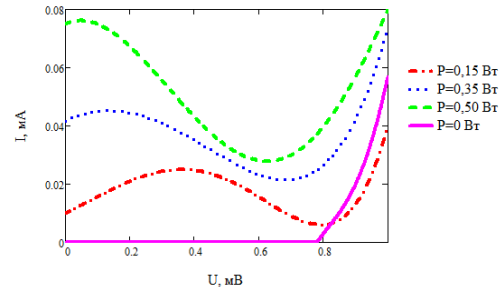


Рисунок 2 – ВАХ СВЧ диода при разных значениях мощности ЭМП.

$$I_o = a_1 U_{\text{выход}} + a_2 U_{\text{выход}}^2 + a_3 U_{\text{выход}}^3 + \dots + a_{n-1} U_{\text{выход}}^{n-1} + a_n U_{\text{выход}}^n, \quad (1)$$

где a_1, \dots, a_n – коэффициенты аппроксимации.

Соответствующие коэффициенты аппроксимации экспериментальных ВАХ согласно (1) при разных значениях уровней мощности ЭМП представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения коэффициентов аппроксимации экспериментальных ВАХ

	a1	a2	a3	a4	a5
P=0 Вт	-8,453	36,585	-59,053	41,931	-10,954
P=0.15Вт	0,055	0,04	-0,173	-0,251	0,358
P=0,35 Вт	0,056	-0,234	0,123	-0,019	0,107
P=0,50 Вт	0,048	-0,541	0,513	0,182	-0,197

Полученные аппроксимирующие выражения для искаженных полей характеристик полупроводникового прибора позволяют проанализировать преобразование сигнала телекоммуникационной подсистемой ретрансляции.

Для упрощения решения уравнений описывающих нелинейное преобразование в смесителе, используем следующие обозначения:

$$U_0 \cos \omega_0 t = a, \quad U_r \cos \omega_r t = b, \quad U_c = c,$$

где U_0, U_r – амплитуды информационного и гетеродинного сигналов, U_c – напряжение смещения рабочей точки смесителя, ω_0 – круговая частота информационного сигнала, ω_r – круговая частота гетеродина.

Тогда уравнение тока на выходе смесителя примет вид

$$I_d = (a + b + c)a_1 + (a + b + c)^2 a_2 + (a + b + c)^3 a_3 + (a + b + c)^4 a_4 + (a + b + c)^5 a_5. \quad (2)$$

Из (2) получим выражения для составляющих спектра тока на выходе смесителя

$$\begin{aligned} i(\omega_0 + \omega_r) &= a_2 U_r U_0 + a_4 \left[1,5(U_r U_0^3 + U_0 U_r^3) + 3U_r U_0 U_c^2 \right]; \\ i(2\omega_0 - \omega_r) &= a_3 1,5U_r U_0^2 + a_5 (1,25U_r U_0^4 + 1,875U_r^2 U_0^3 + 3,75U_r U_0^2 U_c^2); \\ i(2\omega_r - \omega_0) &= a_3 0,75U_0 U_r^2 + a_5 (1,25U_0 U_r^4 + 1,875U_0^2 U_r^3 + 3,75U_0 U_r^2 U_c^2); \\ i(3\omega_0 - 2\omega_r) &= a_5 0,25U_0^2 U_r^3; \quad i(3\omega_r - 2\omega_0) = a_5 0,25U_r^3 U_0^2. \end{aligned}$$

Рассмотрим зависимость уровней нелинейных продуктов от степени искажения ВАХ смеси-

теля во время действия на него наводок от усилителя GSM передатчика. При этом учтем, что принятая на расстоянии 10 км мощность сигнала составляет $7 \cdot 10^{-10}$ Вт (91,5 дБВт или -61,5 дБмВт), амплитуда электрического поля равна 0,0039 В/м, напряжение на входе приемника соответствует 0,132 мВ.

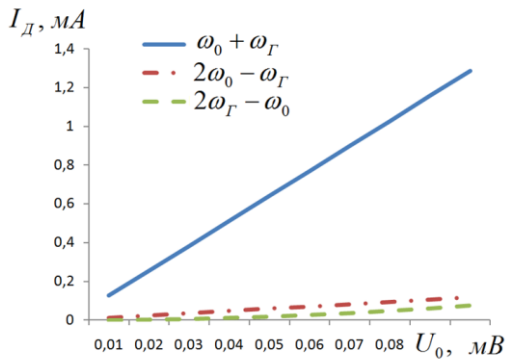


Рисунок 3 – Уровни нелинейных продуктов на выходе смесителя при отсутствии ЭМП, $U_G = 0,1$ мВ, $U_c = 0,85$ мВ

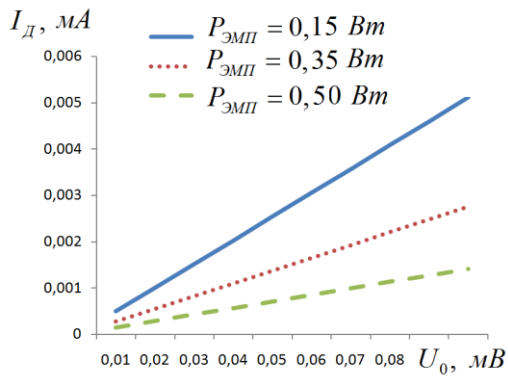


Рисунок 4 – Уровни преобразованного смесителем сигнала на комбинационной частоте $\omega_0 + \omega_G$, $U_G = 0,1$ мВ, $U_c = 0,85$ мВ

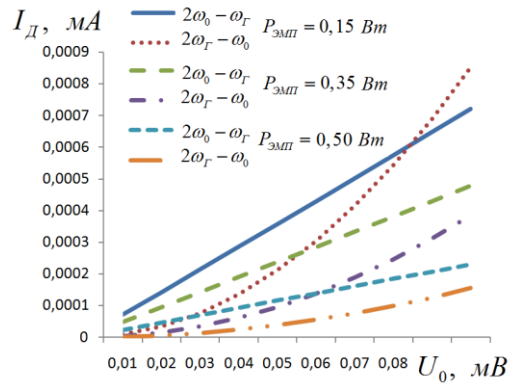


Рисунок 5 – Уровни интермодуляционных помех на выходе смесителя, $U_G = 0,1$ мВ, $U_c = 0,85$ мВ

На рис.3 показаны уровни нелинейных продуктов на выходе смесителя при отсутствии наводок от усилителя GSM передатчика (принимаемый GSM-сигнал на частоте 890-915 МГц отсутствует), при этом интермодуляционные помехи представлены гармониками на комбинационных частотах третьего порядка (гармоники на комбинационных частотах пятого порядка пренебрежимо малы).

Согласно рис. 4, 5 с увеличением мощности ЭМП уровень преобразованного смесителем сигнала на комбинационной частоте уменьшается, то есть имеем ухудшение КПД преобразования частоты. При мощности поля в 0,5 Вт рассеивающий конвертер перестает выполнять свои функции, поскольку сигнал на выходе смесителя не будет превышать пороговый уровень УПЧ.

Из рис. 5 видно, что интермодуляционные помехи на гармониках с комбинационными частотами третьего порядка могут создавать серьезную проблему в плане спектральной эффективности информационного канала, поскольку находятся в диапазоне работы рассеивающего конвертера (453-457.5 МГц). Поэтому спектральная эффективность информационного канала, созданного подсистемой резервной ретрансляции, определяется глубиной паразитных обратных связей: между входом и выходом смесителя, выходом смесителя и входом полосового фильтра, выходом смесителя и приемной антенной.

Таким образом, проверку параметров и характеристик телекоммуникационных систем для улучшения электромагнитной совместимости (ЭМС) необходимо выполнять на всех этапах проектирования. Для этого необходимо рассматривать телекоммуникационную систему единой нелинейной моделью без разделения анализа на приемную и передающую части. Особенно это актуально во время проектирования телекоммуникационных систем ретрансляции радиосигналов, во время работы которых могут возникать искажения характеристик нелинейных элементов и интермодуляционные помехи на комбинационных частотах, ухудшающие спектральную эффективность информационного канала.

ВЫВОДЫ

При проектировании телекоммуникационных систем с учетом необходимой электромагнитной совместимости нужно использовать единую нелинейную модель, которая позволяет учитывать влияние наводок на характеристики нелинейных элементов. Так, искажение вольт-амперных характеристик полупроводникового смесителя под воздействием относительно мощного электромагнитного

поля приведет к ухудшению коэффициента полезного действия преобразования частоты. При конвертировании частоты радиосигнала в другой частотный диапазон возможно появление значимых по уровню интермодуляционных помех на комбинационных частотах, которые через паразитные обратные связи способны ухудшить спектральную эффективность информационного канала.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Закиров С. Г. Сотовая связь стандарта GSM. Современное состояние, переход к сетям третьего поколения / С. Г. Закиров, А. Ф. Надев, Р. Р. Фай-зуллин. М.: Эко-Тренд. 2004. 264 с.
2. Усанов Д. А. Воздействие мощного микроволнового излучения на полупроводниковые диодные структуры в цепях СВЧ / Д. А. Усанов, А. В. Скрипаль, С. Б. Вениг, В. Е. Орлов, Н. В. Угрюмова, В. Н. Посадский, А. А. Клецов // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. НТУУ «КПИ». – 2003. – № 3. – С. 40–48.
3. Зинченко М. В. Рассеивание плоских волн системой симметричных вибраторов с нелинейными нагрузками при воздействии нелинейного радиолокатора / М. В. Зинченко, Ю. Ф. Зиньковский // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. НТУУ «КПИ». – 2010. – Том 53. – № 10. – С. 24–34.
4. Voloshin A. P. Analysis and Calculation of Current-Flow Amplitude Spectrum of a Microwave Mixer Diode at Poly-Harmonic Excitation/ A. P. Voloshin, G. A. Yena, Yu. G. Nikitenko // Izvestiya VUZ. Radioelektronika, 2007, Vol. 50, No. 2, pp. 55-65.