

Жиганова Е.А.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
E-mail: zhiganova.el@gmail.com*

Механизм возникновения интермодуляционных колебаний в нелинейных устройствах

В связи с непрерывным увеличением количества радиосредств все более актуальной становится проблема подавления побочных колебаний в радиопередающих устройствах (РПДУ). Наибольшую опасность представляют интермодуляционные колебания (ИМК), которые занимают относительно небольшие полосы частот, но могут быть достаточно близкими к частотам основного излучения и попадать в полосу усиления сигнала.

К уровню подавления побочных излучений в последнее время предъявляются довольно жесткие требования. Так, например, для радиопередающего устройства (РПДУ) ВЧ, ОВЧ диапазонов с угловой модуляцией уровень побочных излучений, в том числе и ИМК, должен быть минус 70...73 дБ [1], а в РПДУ магистральной связи, выполненных по специальному заказу, подавление побочного излучения должно быть не менее 80 дБ [2]. Выбор конкретного эффективного метода уменьшения интермодуляционных колебаний (ИМК) в РПДУ во многом определяется причиной и методом их уменьшения.

Причинами возникновения интермодуляционных колебаний могут быть воздействия как внешних, так и внутренних факторов. К внешним относят влияние на РПДУ выходного сигнала или побочного излучения другого передатчика или любой другой радиотехнической системы, расположенных на близком расстоянии от рассматриваемого устройства (что характерно для передатчиков подвижных объектов), совместную работу нескольких передатчиков на общую антенну, сложную электромагнитную обстановку и использование недостаточных мер защиты от воздействия побочных продуктов других радиосистем [3]. При внешнем воздействии ИМК возникают следующим образом: выходной сигнал другого РПДУ поступает на антенну рассматриваемого передатчика, при этом, если частота этого сигнала (будем называть его помеховым) попадает в полосу пропускания антенного фильтра, то он приходит на коллектор транзистора выходного каскада и воздействует на основной сигнал устройства. В результате выходное излучение РПДУ помимо основного колебания будет иметь и ИМК.

Внутренние причины обусловлены процессами, происходящими внутри РПДУ. Параметры активного прибора изменяются во времени при воздействии электромагнитного поля, что приводит к модуляции сигнала на рабочей частоте и появлению интермодуляционных составляющих в спектре выходного сигнала. При построении выходных каскадов РПДУ ОВЧ диапазона на биполярных транзисторах ИМК могут возникнуть в результате многих факторов: модуляции толщины базы и инжекции эмиттерного перехода, работы коллекторного перехода в инверсном режиме, зависимости коэффициента передачи тока от режима работы. Основной причиной возникновения ИМК в устройствах на биполярных транзисторах является нелинейность характеристик транзистора. В полевых транзисторах уровень ИМК в основном определяется нелинейностью выходной проводимости канала и паразитной емкости затвор-сток [4].

В системах спутниковой связи при многостанционном доступе с частотным разделением каналов ИМК возникают из-за нелинейности амплитудной характеристики ретранслятора и преобразования амплитудной модуляции сигналов в фазовую [5].

Кроме физического механизма возникновения ИМК часто рассматривают математическую модель их образования [4]. При воздействии двухчастотного сигнала с частотами Ω_1 и Ω_2 на вход нелинейного элемента, для которого зависимость тока от напряжения имеет вид

$i(u) = \sum a_i u^i$, в спектре тока появляются гармоники и комбинационные составляющие,

наиболее опасными из которых являются ИМК третьего порядка (ИМК-3) с частотами $2\omega_1 - \omega_2$, $2\omega_2 - \omega_1$.

Можно выделить два механизма возникновения ИМК-3:

1. наличие в разложении $i(u)$ членов третьего и более высоких порядков ($a_3 \neq 0, a_5 \neq 0, \dots$);
2. наличие в разложении $i(u)$ членов второго порядка ($a_2 \neq 0$) и линейных цепей с ненулевыми импедансами на частотах $\omega_1 \pm \omega_2, 2\omega_1, 2\omega_2$.

Первый механизм возникновения ИМК называют прямым, а второй - косвенным. При этом составляющие с частотами $2\omega_1 - \omega_2$ имеют амплитуды $a_3 U_1^2 U_2 / 4$ и $a_2^2 U_1^2 U_2 / 4$, а с частотами $2\omega_2 - \omega_1 - a_3 U_2^2 U_1 / 4$ и $a_2^2 U_2^2 U_1 / 4$.

Математическая модель механизма возникновения ИМК позволяет рассчитать уровни интермодуляционных составляющих. Вид математической модели, а также точность, быстрота и алгоритмичность расчета ИМК во многом определяются методом аппроксимации, выбор которого зависит от погрешности (или среднеквадратической ошибки), допускаемой при расчете.

1. Литература

2. ГОСТ 12252-86. Радиостанции с угловой модуляцией сухопутной подвижной службы. Типы, основные параметры. Технические требования и методы измерений.
3. ГОСТ 13420-79. Передатчики для магистральной радиосвязи. Основные параметры, технические требования и методы измерений.
4. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем / Под ред. Н.М. Царькова. - М.: Радио и связь, 1985. - 272 с.
5. Хотунцев Ю.Л. Интермодуляционные искажения в приемных и передающих СВЧ полупроводниковых устройствах (обзор) // Изв. вузов. Радиоэлектроника. - 1983. - Т. 26, № 10. - С.28-37.
6. Спутниковая связь и вещание: Справочник/ В.А. Бартенев, Г.В. Болотов, В.Л. Быков и др; Под ред. Л.Я. Кантора. - М.: Радио и связь, 1997. - 528 с.