



УДК 621.371.39

AdvanteX Research Lab,
2004

**Расчет уровня интермодуляционных составляющих
в широкополосном сигнале по известным
коэффициентам полинома статической
передаточной функции**

**(Intermodulation Level Calculation for Wideband
Signal)**

Ключевые слова:
интермодуляция, коэффициент интермодуляции

(Keywords:
Intermodulation, IP2, IP3)

Аннотация

Описан метод расчета уровня интермодуляционных составляющих в спектре широкополосного сигнала.

Содержание

РАСЧЕТ УРОВНЯ ИНТЕРМОДУЛЯЦИОННЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ В ШИРОКОПОЛОСНОМ СИГНАЛЕ ПО ИЗВЕСТНЫМ КОЭФФИЦИЕНТАМ ПОЛИНОМА СТАТИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	3
Постановка задачи. Модель источника.....	3
РЕШЕНИЕ.....	3
ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ УРОВНЯ ИНТЕРМОДУЛЯЦИИ ПО ВХОДНОЙ МОЩНОСТИ СИГНАЛА.....	4

Расчет уровня интермодуляционных составляющих в широкополосном сигнале по известным коэффициентам полинома статической передаточной функции

Введение

Наряду с таким параметром сигнала, как отношение сигнал/шум, оказывается не менее важным уровень нелинейных искажений в спектре сигнала, т.к. восстановление сигнала в данном случае требует больших усилий с точки зрения аналоговой техники и решается, в основном, введением избыточного кода. Таким образом, при проектировании обязательно должен быть учтен уровень интермодуляционных составляющих, метод расчета которого сводится к определению коэффициентов полинома нелинейного элемента и последующему расчету спектральной плотности мощности интермодуляционных составляющих по известной модели источника сигнала. Предложенная ниже модель в достаточной мере подходит для цифровых систем связи, когда плотность распределения вероятности символа близка к равномерной и последующий символ не зависит от предыдущего, а спектральная плотность мощности сигнала представляет почти прямоугольное окно.

Постановка задачи. Модель источника

Пусть A_k — значение сигнала, соответствующее k -ому символу, причем плотность распределения вероятности для любого A_k не зависит от k и равна

$$p(A_k) = \begin{cases} \frac{1}{A_{pp}}, & |A_k| < \frac{A_{pp}}{2} \\ 0, & |A_k| \geq \frac{A_{pp}}{2} \end{cases},$$

а A_k и A_m независимы при $k \neq m$. Сигнал на входе представим в виде

$$x(t) = \sum_k A_k \frac{\sin \frac{W}{2}(t - k\tau_0)}{\frac{W}{2}(t - k\tau_0)}, \text{ где } W \text{ — ширина спектра сигнала. Найдем спектральные}$$

плотности $\Phi_1(\omega)$, $\Phi_2(\omega)$, $\Phi_3(\omega)$ на выходе для преобразований следующего типа соответственно:

$$y(x) = ax$$

$$y(x) = bx^2$$

$$y(x) = cx^3$$

Решение

Известно, что спектральная плотность мощности сигнала является Фурье-образом функции корреляции, которая представляет собой первый момент произведения сигналов $E(y(t) \cdot y(t-\tau))$ ¹. Кроме того если сигнал на входе нелинейного элемента представляет собой стационарный в широком смысле процесс (для данной модели это имеет место быть), то на выходе процесс будет так же стационарен, поэтому функция корреляции на выходе будет зависеть только от

¹ Первый момент функции $y(\xi)$ случайной величины ξ равен $E(\xi) = \int y(\xi)p(\xi)d\xi$

одного параметра τ . Воспользовавшись этим свойством, упростим вывод:

$$\Phi_1(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} E \left[a \sum_k A_k \frac{\sin \frac{W}{2}(k\tau_0)}{\frac{W}{2}(k\tau_0)} \cdot a \sum_k A_k \frac{\sin \frac{W}{2}(t-\tau-k\tau_0)}{\frac{W}{2}(t-\tau-k\tau_0)} \right] e^{-j\omega\tau} d\tau =$$

$$= \frac{a^2 E(A_k^2)}{2\pi} \sum_k \frac{\sin \frac{W}{2}(k\tau_0)}{\frac{W}{2}(k\tau_0)} \cdot \tau \cdot H(j\omega) e^{j\omega k\tau_0} = \frac{a^2 E(A_k^2)}{W} |H(j\omega)|^2$$

, где $H(j\omega) = \begin{cases} 1, & |\omega| < \frac{W}{2} \\ 0, & |\omega| \geq \frac{W}{2} \end{cases}$

Учитывая принятое в модели распределение, для A_k , можно записать:

$$\Phi_1(\omega) = \frac{a^2 A_{pp}^2}{12W} |H(j\omega)|^2$$

Повторяя рассуждения, для $\Phi_3(\omega)$ придем к следующему:

$$\Phi_1(\omega) = \frac{c^2 E(A_k^6)}{2\pi} \sum_k \left[\frac{\sin \frac{W}{2}(k\tau_0)}{\frac{W}{2}(k\tau_0)} \right]^3 \frac{\tau^3}{(2\pi)^2} H_3(j\omega) e^{j\omega k\tau_0}, \text{ где в соответствии с теоремой о свертке}$$

$$H_3(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} H(j\omega) H_2(j(\omega - \omega_1)) d\omega_1, \quad H_2(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} H(j\omega) H(j(\omega - \omega_1)) d\omega_1$$

Функции $H_3(\omega)$ и $H_2(\omega)$ изображены на рис.1.

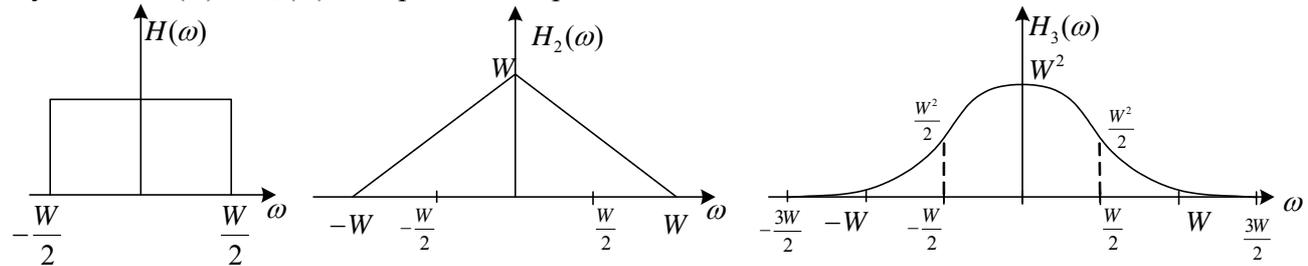


Рис. 1

Для максимального значения $\Phi_3(\omega)$ имеем:

$$\Phi_{3\max} = \frac{c^2 A_{pp}^6}{448W}, \text{ т.к. } E(A_k^6) = 1/448, \text{ а для максимального } \Phi_2(\omega):$$

$$\Phi_{2\max} = \frac{b^2 A_{pp}^4}{80W}, \text{ т.к. } E(A_k^4) = 1/80.$$

Оценка максимального значения уровня интермодуляции по входной мощности сигнала

Выразив A_{pp} через мощность входного сигнала, получим расчетные формулы для практических расчетов:

$$\frac{\Phi_{3\max}}{\Phi_1} = \frac{c^2}{a^2} \frac{27}{7} P_{in}^2,$$

$$\frac{\Phi_{2\max}}{\Phi_1} = \frac{b^2}{a^2} \frac{9}{5} P_{in}$$