

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СПЕКТРА ЧМ-СИГНАЛА НА ВЫХОДЕ ТРАКТОВ ПРОХОЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ОГРАНИЧИТЕЛЕМ-КОРРЕКТОРОМ

Ромаш А.А., адъюнкт

Военная академия Республики Беларусь  
г. Минск, Республика Беларусь

Пилюшко А.А. – канд. техн. наук

В докладе представлены математические модели для определения амплитуд спектральных составляющих ЧМ-сигнала, полученные на основе универсального метода определения нелинейных искажений и помех на выходе трактов прохождения электрических сигналов со сложными мгновенными динамическими характеристиками.

Обзор современной научной и технической литературы показывает, что проблема борьбы с продуктами нелинейного происхождения в современных беспроводных системах (радио, радиорелейных, тропосферных и спутниковых) по-прежнему актуальна. Учитывая, что на вход приемного устройства одновременно воздействуют несколько сигналов (как полезные, так и паразитные, каждый из которых при этом может быть модулирован), на выходе устройства кроме полезного сигнала возникает большое количество различных спектральных составляющих (продуктов нелинейного происхождения). Известные способы определения продуктов нелинейного происхождения и методы борьбы с ними неидеальны (им присущи недостатки и описаны только АМ-сигналы ввиду их простоты) [1-4].

В докладе представлена математическая модель спектра ЧМ-сигнала на выходе трактов прохождения электрических сигналов (ТПС) с кусочно-линейным ограничителем-корректором (О-К). Она получена на основе универсального метода определения нелинейных искажений и помех на выходе ТПС со сложными (кусочно-линейными и кусочно-нелинейными) мгновенными динамическими характеристиками (МДХ) при полигармоническом и/или модулированном входном воздействии [4].

Разработанная математическая модель спектра ЧМ-сигнала на выходе ТПС с О-К позволяет найти любые (в данном классе) составляющие спектра сигнала и рассчитать коэффициенты (затухания) нелинейности по соответствующим продуктам, при этом модель позволяет исследовать:

различного рода ТПС (как с симметричной, так и не с симметричной относительно начала координат мгновенной динамической характеристикой);

различные варианты построения О-К (с «отсечкой», с различной крутизной рабочего участка мгновенной динамической характеристики О-К, с различными углами наклона участков ограничения, с различным количеством узлов излома О-К).

В докладе представлены математические модели для определения амплитуд спектральных составляющих вида  $\omega_0$ ,  $\omega_0 \pm \Omega$ ,  $\omega_0 \pm 2\Omega$ ,  $2\omega_0$ ,  $2\omega_0 \pm \Omega$ ,  $2\omega_0 \pm 2\Omega$ ,  $\Omega$ ,  $2\Omega$ , для ЧМ-сигнала вида

$$U_{\text{вх}}(t) = U_m J'_0(m) \cos(\omega_0 t) + \sum_{p=1}^{\infty} U_m J'_p(m) \cos(\omega_0 + p\Omega)t + \sum_{p=1}^{\infty} (-1)^p U_m J'_p(m) \cos(\omega_0 - p\Omega)t$$

где  $p = 1$  ( $m = 0 \dots 1$ ),  $p = 2$  ( $m = 1 \dots 2$ ).

Процесс определения спектральных составляющих проводился при помощи типовых пакетов прикладных программ (Mathcad, Wolfram Mathematica), позволяющие кроме этого визуально отображать поведение и характер изменения спектральных составляющих в зависимости от различных параметров, например, амплитуды входного воздействия, индекса модуляции, параметров О-К.

#### Список использованных источников:

1. Кириллов, В. И. Гармонический анализ нелинейных устройств и трактов передачи сигналов в инфокоммуникациях: учеб-метод. пособие / В. И. Кириллов, А. А. Пилюшко. – Минск: БГУИР, 2015. – 100 с.
2. Ромаш, А. А. Методика построения оптимального ограничителя-корректора для борьбы с нелинейными явлениями в радиоприемных устройствах / А. А. Ромаш, А. А. Пилюшко, Е. К. Карпук // Весн. сувязі. – 2022. – № 2 (172). – С. 56–59.
3. Ромаш, А. А. Совершенствование методики построения оптимального ограничителя-корректора для борьбы с нелинейными явлениями в радиоприемных устройствах / А. А. Ромаш, А. А. Пилюшко // Весн. сувязі. – 2022. – № 3. – С. 50–55.
4. Карпук, Е. К. Универсальный метод определения нелинейных искажений и помех в трактах передачи электрических сигналов / Е. К. Карпук, А. А. Пилюшко, В. И. Кириллов // Электросвязь (г. Москва). – 2014. – № 12. – С. 19-25.