

УДК 621.391.1

Методика построения оптимального ограничителя-корректора для борьбы с нелинейными явлениями в радиоприемных устройствах

В статье представлена методика построения оптимального кусочно-линейного ограничителя-корректора с кусочно-линейной мгновенной динамической характеристикой, позволяющая осуществлять коррекцию нелинейных явлений, возникающих в радиоприемных трактах.

А. А. РОМАШ,
слушатель адъюнктуры
старший лейтенант

А. А. ПИЛЮШКО,
доцент кафедры связи, к. т. н., доцент

Е. К. КАРПУК,
начальник цикла кафедры связи
подполковник

Военная академия Республики Беларусь

Введение. Одним из возможных способов борьбы с нелинейными явлениями в радиоприемных трактах является использование амплитудных ограничителей (АО), методика построения которых в научно-технической литературе освещена не в полной мере. Поэтому структурно-параметрический синтез АО в настоящее время осуществляется эмпирическим путем.

Для более эффективной борьбы с нелинейными явлениями авторами предлагается ввести в состав радиоприемных устройств (РПУ) ограничитель-корректор (О-К) [1–2], выполняющий две функции одновременно:

- ограничитель – для предотвращения воздействия мощного сигнала (помехи) (например, от соседней станции) на тракт приема путем ограничения мгновенной динамической характеристики (МДХ) РПУ (его отдельных блоков);

- корректор – для линейризации (коррекции) МДХ РПУ в рамках ограниченного участка.

Основная часть. В статье представлена методика построения оптимального кусочно-линейного О-К. В основе методики лежит использование универсального метода определения нелинейных искажений и помех в трактах передачи электрических сигналов [3–5].

На рис. 1 представлены различные варианты построения кусочно-линейной МДХ О-К:

- МДХ О-К с «отсечкой» – кривая 3;

- несимметричная относительно начала координат МДХ О-К (далее – несимметричного О-К) – кривая 4 (отрезок АВ

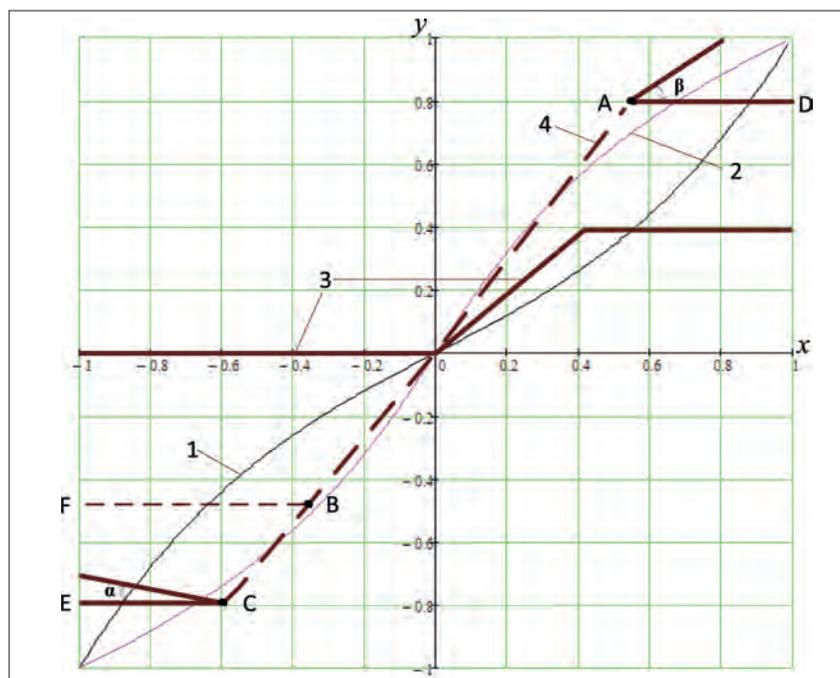


Рисунок 1 – Варианты построения кусочно-линейной МДХ О-К: кривая 1 – нелинейная МДХ РПУ (его отдельного элемента); кривая 2 – нелинейная МДХ идеального корректора МДХ РПУ; кривые 3 и 4 – кусочно-линейные МДХ О-К; $x = U_{2E} / U_{2E.max}$, $y = U_{2KE} / U_{2KE.max}$, $U_{2E} = U_m \sin \omega t$

плюс участок ограничения (отрезки AD и BF));

- симметричная относительно начала координат МДХ О-К (далее – симметричного

О-К) – кривая 4 (отрезок AC плюс участок ограничения отрезки (AD и CE));

- симметричная МДХ О-К с различными углами наклона (α и β) участков ограничения (отрезков AD и CE) – кривая 4.

На рис. 2-6 представлены результаты расчета затухания нелинейности по 2-й ($a_{2r} = -20 \lg K_{2r} = 20 \lg U_{m1r} / U_{m2r}$)

и 3-й ($a_{3r} = -20 \lg K_{3r} = 20 \lg U_{m1r} / U_{m3r}$)

гармоникам для различных вариантов построения О-К:

- с «отсечкой» (рис. 2) узлы излома в точках $x_- = -0,3; -0,5$ и $x_+ = 0,3; 0,5; 0,7$ соответственно;

- несимметричного О-К (рис. 3), где узлы излома выбраны в точках $x_+ = 0,7$ и $x_- = -0,2; -0,4; -0,6$ соответственно;

- симметричного О-К (рис. 4), где узлы излома выбраны в точках $x_+ = 0,3; 0,5; 0,7$ и $x_- = -0,3; -0,5; -0,7$ соответственно;

- симметричного О-К с различной крутизной МДХ (рис. 5);

- симметричного О-К с различными углами наклона участков ограничения (рис. 6);

Кривые синего цвета на рис. 2-8 показывают значения a_{2r} и a_{3r} до введения О-К в тракт прохождения сигнала.

Проанализировав возможные варианты построения кусочно-линейного О-К

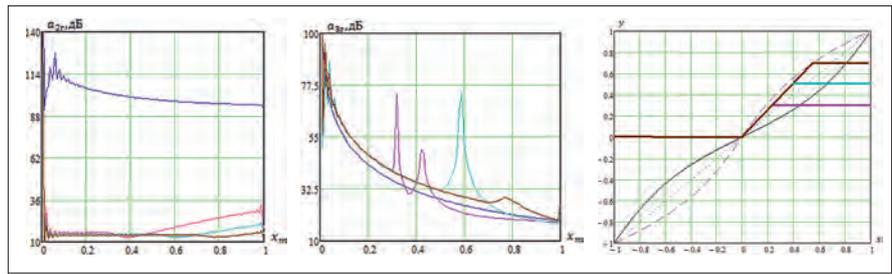


Рисунок 2 – Результаты расчета a_{2r} и a_{3r} для МДХ О-К с «отсечкой»

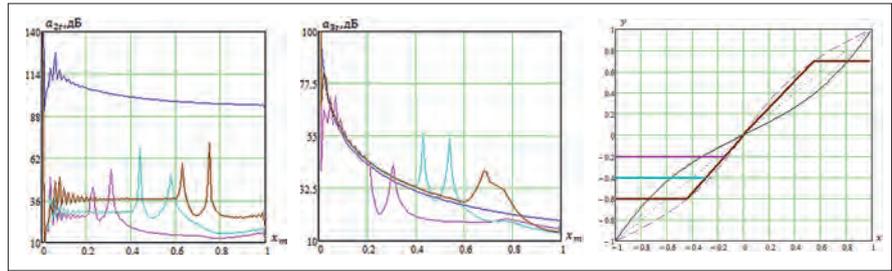


Рисунок 3 – Результаты расчета a_{2r} и a_{3r} для МДХ несимметричного О-К

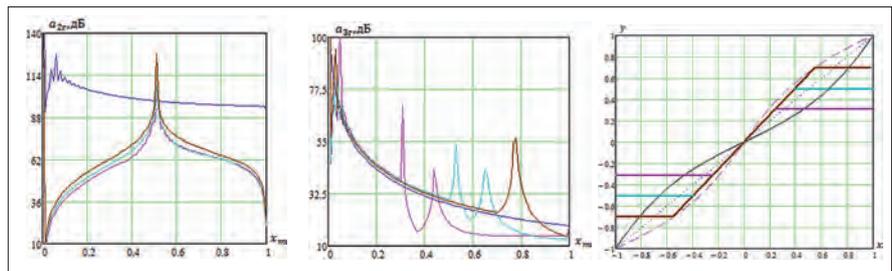


Рисунок 4 – Результаты расчета a_{2r} и a_{3r} для МДХ симметричного О-К

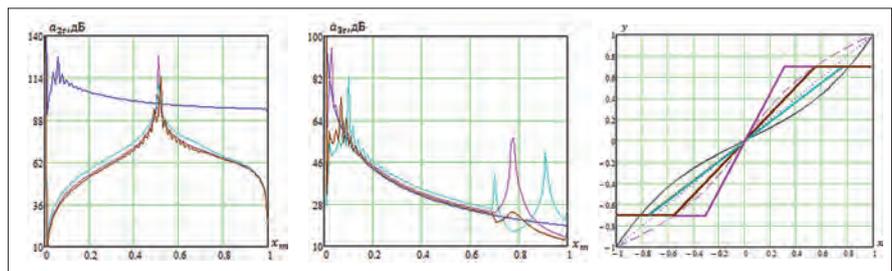


Рисунок 5 – Результаты расчета a_{2r} и a_{3r} для МДХ с различной крутизной симметричного О-К

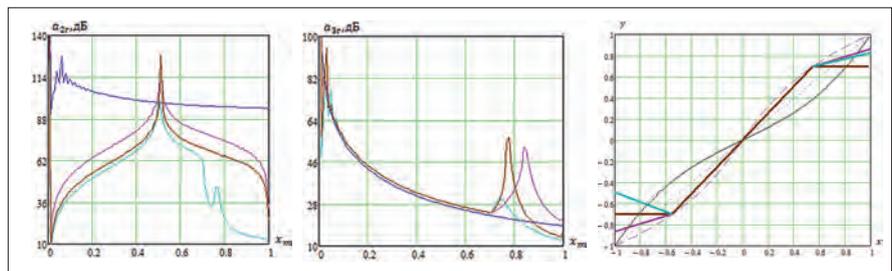


Рисунок 6 – Результаты расчета a_{2r} и a_{3r} для МДХ с различными углами наклона участков ограничения симметричного О-К

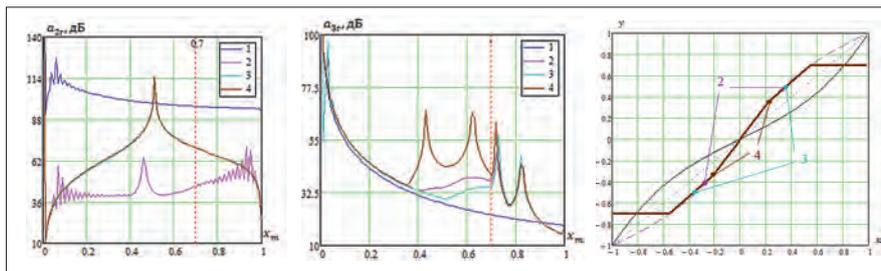


Рисунок 7 – Результаты расчета a_{2r} и a_{3r} при построении О-К с 4 узлами излома

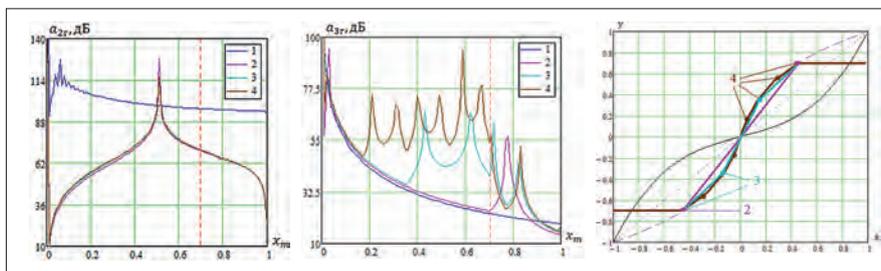


Рисунок 8 – Результаты расчета a_{2r} и a_{3r} при построении О-К с двумя, четырьмя и восемью узлами излома

с «отсечкой», можно сделать выводы, что варианты построения О-К с «отсечкой» (использование одного узла излома О-К только для положительных либо только для отрицательных значений входного сигнала) приводят:

- к несущественному увеличению затухания по 3-й гармонике (не более 2–5 дБ во всем динамическом диапазоне значений входного сигнала и на 20–40 дБ на очень ограниченных его участках (рис. 2));
- появлению достаточно мощной 2-й гармоники (a_{2r} по сравнению с вариантом, когда О-К отсутствует, уменьшается примерно на 100 дБ во всем динамическом диапазоне значений входного сигнала) независимо от крутизны рабочего участка МДХ О-К и угла наклона участков ограничения.

Проанализировав возможные варианты построения кусочно-линейного О-К с двумя узлами излома (О-К выполняет только функцию ограничения, коррекция отсутствует), можно сделать следующие выводы:

1. Использование 2 узлов излома приводит к несущественному увеличению затухания по 3-й гармонике так же, как при рассмотрении варианта с «отсечкой».
2. Наилучшего результата в затухании по 2-й гармонике удастся достичь при симметричном относительно начала координат расположении узлов излома О-К (далее – симметричном расположении узлов излома О-К).
3. Изменение угла наклона участков ограничения, а также изменение крутизны рабочего участка

МДХ О-К несущественно влияет на затухание нелинейности по 2-й и 3-й гармоникам. При этом лучший результат, касающийся изменения угла наклона, достигается при идеальном ограничении (кривая коричневого цвета на рис. 6).

4. В целом использование двух узлов излома О-К не приводит к обеспечению существенного (20 дБ и более) подавления 2-й и 3-й гармоник. Поэтому дальнейший анализ целесообразно проводить с использованием 4, 6 и т. д. узлов излома.

На рис. 7–8 представлены результаты расчета затухания нелинейности 2-й и 3-й

гармоник при построении О-К с 4 и 8 узлами излома (О-К выполняет не только функцию ограничения, но и коррекции). На рис. 7 кривая 2 относится к варианту выбора узлов излома в точках $x_+ = 0,5; 0,7$ и $x_- = -0,4; -0,7$; кривая 3 – в точках $x_+ = 0,5; 0,7$ и $x_- = -0,5; -0,7$; кривая 4 – в точках $x_+ = 0,35; 0,7$ и $x_- = -0,35; -0,7$. На рис. 8 кривая 2 относится к варианту использования 2 узлов излома в точках $x_+ = 0,7$ и $x_- = -0,7$; кривая 3 – 4 узла излома в точках $x_+ = 0,35; 0,7$ и $x_- = -0,35; -0,7$; кривая 4 – 8 узлов излома в точках $x_+ = 0,175; 0,35; 0,525; 0,7$ и $x_- = -0,175; -0,35; -0,525; -0,7$.

Из анализа рис. 7–8 следует, что выводы 2 и 3 по исследованию двух узлов излома в полной мере справедливы для 4, 6 и 8-го узлов излома. Но, кроме этого, использование 4, 6, 8-го узлов излома О-К дает прирост до 20 дБ и более в затухании по 3-й гармонике в достаточно большом динамическом диапазоне значений входного сигнала (рис. 8). При симметричном расположении узлов излома необходимо выбирать равные расстояния между узлами по оси y , а сами узлы располагать на МДХ идеального корректора (кривая 2 на рис. 1).

Выводы, полученные по результатам имитационного моделирования различных вариантов построения О-К для исходной характеристики (кривая 1 на рис. 1), в полной мере справедливы для более нелинейных (выпуклых) характеристик, а также для характеристик с очень малой нелинейностью. Кроме того, они справедливы при следующих ограничениях:

– МДХ РПУ симметрична относительно начала координат (хотя на практике она, как правило, несимметрична);

– исследования проводились для безынерционных нелинейных цепей;

– исследования проводились для простого входного сигнала ($U_{\text{вх}} = U_m \sin \omega t$);

– в качестве основного критерия оптимальности О-К было выбрано максимальное значение защищенности от нелинейных продуктов $A_{3\text{ нп}}$ при минимальных затратах на практическую реализацию О-К. При этом при формулировке выводов не учитывались изменения суммарного отношения сигнал/шум на выходе РПУ.

Заключение. Таким образом, на основании выводов, полученных по результатам имитационного моделирования различных вариантов построения О-К и учтенных ограничений, можно сформулировать методику построения оптимального кусочно-линейного О-К:

1. Необходимо использовать только четное количество узлов излома О-К (2, 4, 6 и т. д.).

2. Узлы излома О-К необходимо выбирать симметрично относительно начала координат, при этом их необходимо располагать на МДХ идеального корректора (кривая 2 рис. 1), что обеспечивает наибольшее подавление 2-й гармоники.

3. При использовании двух симметричных узлов излома О-К для обеспечения наиболее существенного прироста затухания $a_{2г}$ и $a_{3г}$ узлы излома необходимо выбирать в диапазоне $x_+ = 0,5...0,7$ и $x_- = -0,5...-0,7$.

4. При использовании четырех, шести, восьми и т. д. узлов излома необходимо соблюдать равенство расстояний между узлами по оси y независимо от степени ограничения (под степенью ограничения понимается расположение узла излома, с которого начинается участок ограничения).

5. Прирост в $a_{3г}$ зависит от количества узлов излома О-К в рамках ограниченного участка. При этом использование четырех узлов излома по отношению к двум узлам обеспечивает прирост на 20 дБ, шести узлов излома по отношению к четырем узлам – прирост на 8–9 дБ, восьми узлов излома по отношению к 6 узлам – прирост на 5–6 дБ в динамическом диапазоне от первого узла излома до узла, с которого начинается участок ограничения.

6. Изменение угла наклона участков ограничения, а также изменение крутизны рабочего участка МДХ О-К приводит к незначительному изменению затухания $a_{2г}$ и $a_{3г}$.

Дальнейшим направлением исследования является проверка адекватности полученной методики при следующих условиях:

– для несимметричной относительно начала координат МДХ РПУ;

– для различных видов сигналов (модулированных и/или полигармонических), приводящих к появлению различного рода нелинейных явлений (перекрестных

и интермодуляционных);

– в качестве критерия оптимальности необходимо учесть не только $A_{3\text{ нп}}$, но и суммарное отношение сигнал/шум на выходе РПУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ромаш, А. А. Обзор существующих способов борьбы с нелинейными явлениями в радиоприемных устройствах / А. А. Ромаш // Веснік сувязі. – 2021. – № 1. – С. 60–63.
2. Ромаш, А. А. Анализ нелинейных трактов прохождения электрических сигналов с кусочно-линейным ограничением амплитуды: Дис ... магистра тех. наук. Минск, 2019. – 59 с.
3. 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.
4. Кириллов, В. И., Пилюшко, А. А., Карпук, Е. К. Универсальный метод определения нелинейных искажений и помех в трактах передачи электрических сигналов / В. И. Кириллов, А. А. Пилюшко, Е. К. Карпук // Электросвязь. – 2014. – № 12. – С. 22–26.
5. Пилюшко, А. А. Анализ и структурно-параметрический синтез волоконно-оптических модемов для ведомственных сетей связи: Дис ... канд. тех. наук. Минск, 2007. – 108 с.

The article presents a technique for constructing an optimal limiter-corrector with a piecewise linear instantaneous dynamic characteristic, which allows correcting nonlinear phenomena that arise in radio receiving paths.

Получено 14.02.2022.