

УДК 621.3

DOI: 10.30987/conferencearticle\_61c997efd35509.26510616

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЕЙ РАДИОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ В САПР MATLAB

**Никита Ильич Антоненко**, студент, nantonenko59@gmail.com

**Александр Сергеевич Меркутов**, к.т.н., доцент, merkutov@yandex.ru

Владимирский государственный университет имени Александра  
Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
Российская Федерация, Владимир

*Аннотация. Приведён обзор средств моделирования усилителей радиопередающих устройств в САПР Matlab, а также их возможности и ограничения.*

*Ключевые слова: радиопередающее устройство, САПР Matlab, усилитель, предвысказатель.*

### MODELING OF RADIO TRANSMITTER AMPLIFIERS IN MATLAB CAD

Nikita I. Antonenko, student, nantonenko59@gmail.com

Aleksandr S. Merkutov, candidate of technical sciences, assistant professor, merkutov@yandex.ru

Vladimir state university named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Russian Federation, Vladimir

*Abstract. A review of modeling tools for radio transmitter amplifiers in Matlab CAD, as well as their capabilities and limitations, is given.*

*Keywords: radio transmitting device, Matlab CAD, amplifier, predistorter.*

Современные стандарты связи четвёртого и пятого поколения используют OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) модуляцию, отличительной особенностью которой является наличие множества близко расположенных ортогональных поднесущих сигнала. Шумоподобная структура сигнала с периодически возникающими большими пиками мгновенной мощности может привести к значительному увеличению уровней внутрисполосных интермодуляционных составляющих и боковых лепестков в спектре мощности на выходе усилителя [1].

Требования к уровням внеполосных излучений радиопередающего устройства регламентируются стандартами связи и накладывают ограничения на мощность выходного сигнала и эффективность усилителя. Для соблюдения вышеуказанных требований необходимо, чтобы усилитель работал в линейном режиме с низким значением коэффициента полезного действия, который не будет превышать 10%. Линеаризация усилителя позволит повысить его эффективность при функционировании в нелинейном режиме [2]. Для линеаризации усилителей используются цифровые предвысказатели, вносящие в передаваемый сигнал искажения, обратные тем, которые накладываются на сигнал при его прохождении через усилитель.

Цель моделирования усилителей заключалась в исследовании энергоэффективных способов предвысказания сигнала.

© Антоненко Н.И., Меркутов А.С., 2021

САПР и моделирование в современной электронике. С. 217 – 220.

САПР Matlab предоставляет набор инструментов для моделирования усилителей. Для проведения исследований был использован OFDM сигнал с модуляцией QAM-64 символов поднесущих и следующими параметрами: ширина полосы 100 МГц, частота дискретизации 700 МГц.

На начальных этапах исследований были рассмотрены модели усилителей без памяти. Эффект памяти в усилителях определяется наличием реактивных цепей в схеме усилителя.

В САПР Matlab для моделирования усилителей предлагается использовать класс Amplifier. Класс имеет 4 типа моделей усилителя, определяемых их передаточными характеристиками.

Кубический полином. Данная модель описывается выражением

$$F_{AM/AM}(|s_{in}|) = c_1 |s_{in}| + \frac{3}{4} c_3 |s_{in}|^3$$

где  $F_{AM/AM}$  – амплитуда выходного сигнала,  $s_{in}$  – входной сигнал,  $c_1$  и  $c_3$  – коэффициенты [3].

На рисунке 1 представлен спектр сигнала до и после усилителя. Параметры модели усилителя: коэффициент усиления  $G = 10$  дБ, точка насыщения по входу  $P_{in,sat} = 20$  дБм, мощность сигнала на входе усилителя  $P_{s,in} = 9,34$  дБм. отличии от

Мощность выходного сигнала усилителя была нормализована к мощности входного сигнала для удобства сравнения. Мощность на входе усилителя (дБм) вычислялась по формуле

$$P_{s,in} = P_{in,sat} - PAPR \quad (2)$$

где  $PAPR$  – отношение пиковой мощности к средней в дБ, которое для входного OFDM сигнала составило 10,65 дБ.

При такой мощности сигнала наблюдаются искажения, приводящие к росту уровней боковых лепестков спектра сигнала в полосе от -150 МГц до -50 МГц и полосе от 50 МГц до 150 МГц. За пределами двух указанных полос увеличения мощности не наблюдается.

В стандартах систем связи для оценки уровня боковых лепестков используется параметр  $ACLR$  – Adjacent Channel Leakage Ratio, который вычисляется как отношение мощности сигнала в основной полосе (для тестового сигнала от -50 МГц до 50 МГц) к мощности сигнала в соседней полосе (для тестового сигнала есть две полосы от -150 МГц до -50 МГц и от 50 МГц до 150 МГц).  $ACLR$  для входного сигнала усилителя составило 55 дБ, а для выходного сигнала - плюс 37 дБ, что на 18 дБ меньше чем у входного.

Класс Amplifier включает ещё 3 типа моделей усилителя: модель Салеха, модифицированная модель Раппа, и табличную модель.

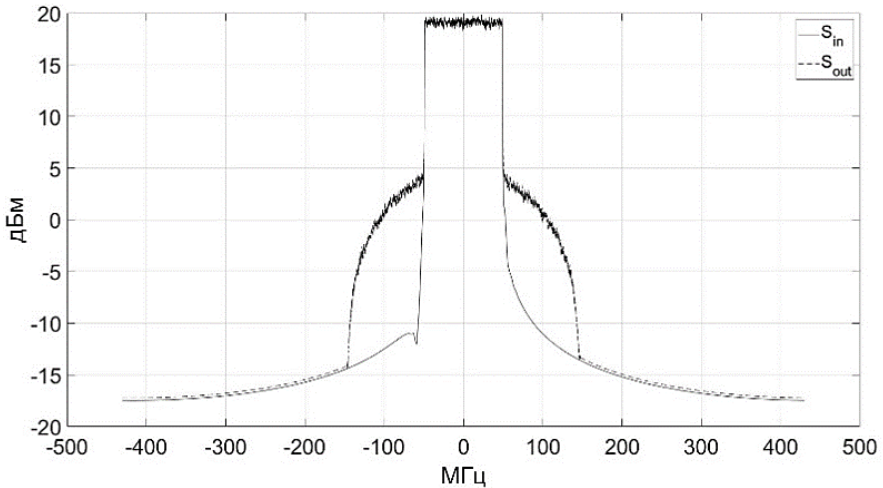


Рисунок 1 – Спектр сигнала до и после усилителя

Для моделирования усилителя, обладающего эффектом памяти, используются модели на основе рядов Вольтерры [2]. Для этого в Matlab сначала необходимо определить коэффициенты полинома, используя динамическую характеристику тестируемого усилителя. Коэффициенты рассчитываются на основании метода наименьших квадратов. После их получения можно использовать класс `comm.DPD` для моделирования усилителя. Данный класс предназначен для моделирования предсказателей, но так как модель усилителя от модели предсказателя отличается только коэффициентами полинома, то данный класс также можно использовать и для моделирования самих усилителей.

При проведении тестирования использовались коэффициенты, рассчитанные для усилителя NXP Airfast LDMOS Doherty PA. Коэффициент передачи этого усилителя  $G = 29$  дБ, точка насыщения  $P_{in\_sat} = 29$  дБм. Спектр входного и выходного сигнала представлен на рисунке 2. Мощность входного сигнала рассчитывалась по формуле (2) и составила 0,06 дБм. ACLR выходного сигнала составило 39 дБ, что отличается от результата, полученного для модели без памяти на 2 дБ.

Как видно из рисунка 2, боковые лепестки спектра присутствуют также и в диапазонах частот от 150 МГц до 500 МГц и от -500 МГц до -150 МГц в отличии от модели без памяти.

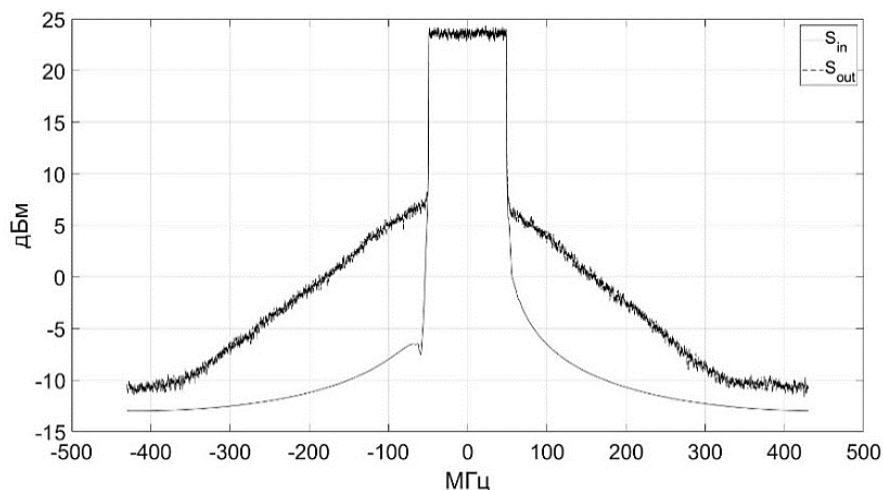


Рисунок 2 – Спектр сигнала до и после усилителя

По результатам исследования можно сделать следующие выводы. Модель усилителя без памяти по уровню ACLR в полосах от -150 МГц до -50 МГц и от 50 МГц до 150 МГц отличается от модели с памятью незначительно (на 2 дБ). Моделирование усилителя с памятью показало, что искажения, наблюдаются в частотных диапазонах от -500 МГц до -150 МГц и от 150 МГц до 500 МГц, которые отсутствуют в модели без памяти. Подготовка коэффициентов для моделей с памятью требует получения результатов предварительного измерения динамической характеристики усилителя, что усложняет процесс моделирования.

#### Список литературы

1. Mathias, Friese OFDM SIGNALS WITH LOW CREST-FA / Friese Mathias// GLOBECOM 97. IEEE Global Telecommunications Conference. Conference Record. — Phoenix, AZ, USA: IEEE, 1997. — С. 290-294.
2. Fadhel, M, Ghannouchi, Oualid, Hammi, Mohamed Behavioral modeling and predistortion of wideband wireless transmitters / M, Ghannouchi, Oualid, Hammi, Mohamed Fadhel. — edition first. — Chennai: Willey, 2015. — 253 с.
3. Nonlinearities and Noise in Idealized Baseband Amplifier Block // mathworks: [сайт]. — URL: [https://www.mathworks.com/help/simrf/gs/noise-and-nonlinearities-in-idealized-amplifier-and-mixer-blocks.html#mw\\_4e9fbda6-4fc8-455e-ad29-2f53dfa6184a](https://www.mathworks.com/help/simrf/gs/noise-and-nonlinearities-in-idealized-amplifier-and-mixer-blocks.html#mw_4e9fbda6-4fc8-455e-ad29-2f53dfa6184a) (дата обращения: 5.10.2021).

Материал принят к публикации 12.10.21.