

# ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ШИРОКОПОЛОСНОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДАПТИВНОГО ЦИФРОВОГО ПРЕДЫСКАЖЕНИЯ В ОСНОВНОЙ ПОЛОСЕ ЧАСТОТ

Хехнев С.В., Крылов В.В.

Нижегородский Государственный Технический Университет,  
603600, Н. Новгород, ул. Минина, 24, krylov@unc.sci-nnov.ru

В связи с жесткими требованиями на ширину спектрального диапазона современных мобильных стандартов радиосвязи, технология линейаризации выходного усилителя мощности является актуальной задачей для систем с цифровой модуляцией и непостоянной огибающей высокочастотного сигнала. Данная проблема особенно важна для передатчиков широкополосных стандартов радиосвязи, например, таких как CDMA (Множественный доступ с кодовым разделением каналов) и WCDMA (Широкополосный множественный доступ с кодовым разделением каналов), где отношение пиковой мощности выходного сигнала к средней мощности колеблется от 3 до 12 дБ. Жесткие требования к линейности характеристик усилителя мощности обусловлены существованием строгих границ на интермодуляционные продукты в спектре сигнала, а также на внеполосное излучение. Кроме того, усиление многоканальных сигналов требует адекватной линейности усилителя мощности для того, чтобы избежать паразитную кросс-модуляцию. Все перечисленные искажения в результате увеличивают коэффициент ошибок (BER - bit error rate) на приемной стороне. На данный момент, линейаризация усилителя мощности в основном достигается за счет использования достаточно линейных усилителей класса А, в которых идет смещение рабочей точки активного элемента усилителя вниз по амплитудной характеристике в область далекую от насыщения, и где отсутствуют нелинейности. Все это приводит к низкой эффективности (<40%) преобразований потребляемой мощности в выходную, что весьма неэкономично, как для современных базовых станций, так и для мобильных терминалов.

Целью данной работы является:

- 1) Построение математической и имитационной модели реального усилителя мощности широкополосного стандарта мобильной радиосвязи WCDMA;
- 2) Построение математической и имитационной модели системы линейаризации усилителя с использованием адаптивного цифрового предискажения в основной полосе частот.

В качестве исходных данных были взяты данные с реального усилителя мощности для WCDMA. Эти данные были сняты с выхода данного усилителя и оцифрованы с помощью АЦП.

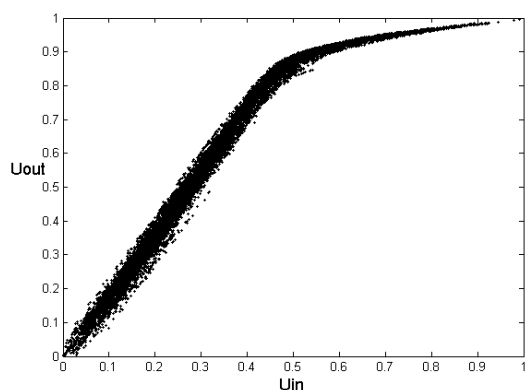


Рис. 1.

Зависимость нормированной амплитуды огибающей выходного сигнала усилителя мощности от нормированной амплитуды огибающей входного сигнала представлена на рис. 1.

Из графика на рис. 1 видно, что характеристика обладает существенной статической нелинейностью при больших входных сигналах, что приводит к интермодуляционным помехам в каналах связи на выходе усилителя мощности. Усилитель также обладает памятью (об этом свидетельствует ширина облака характеристики), что вносит дополнительные инерционные нелинейные искажения.

В качестве экспериментальных данных были взяты 16384 отсчета сигнала на выходе мощного усилителя с частотой дискретизации 16.384 МГц. На всем множестве точек был произведен корреляционный анализ зависимости амплитуды огибающей выходного сигнала от текущего и от предыдущих отсчетов амплитуды огибающей входного сигнала. Результаты данного анализа представлены в таблице 1. Коэффициенты корреляции экспериментальных последовательностей были получены, используя средства пакета анализа программы Microsoft Excel.

Таблица 1.

Коррелирующие последовательности	$Y_k, X_k$	$Y_k, X_{k-1}$	$Y_k, X_{k-2}$	$Y_k, X_{k-3}$
Коэффициент корреляции	0.961	0.704	0.325	0.125

Исходя из результатов, приводимых в таблице 1, можно сделать вывод о том, что значимой является память на 2 такта назад.

В качестве математической модели усилителя была выбрана дискретная модель Урысона с памятью на 2 такта назад (рисунки 2.1 - формула, 2.2 – структурная схема).

$$U_{out}(t_k) = f_0(U_{in}(t_k)) + f_1(U_{in}(t_{k-1})) + f_2(U_{in}(t_{k-2}))$$

Рис. 2.1

Данная модель является наиболее общей для построения нелинейных моделей достаточно широкого класса.

В качестве базовых функций  $f_0, f_1, f_2$ , были выбраны два типа функций:

в первом случае - кусочно-линейные сплайны, во втором случае - полиномы.

Оптимизация параметров базовых проводилась, используя средства регрессионного анализа MATLAB 6.1. В качестве критерия был взят критерий минимума среднеквадратичной ошибки между выходными данными эксперимента и модели. На рисунках 3.1 (для кусочно-линейных сплайнов) и 3.2 (для полиномов) представлены результаты построения модели усилителя на основе зависимостей нормированной амплитуды огибающей выходного сигнала от нормированной амплитуды огибающей входного сигнала.

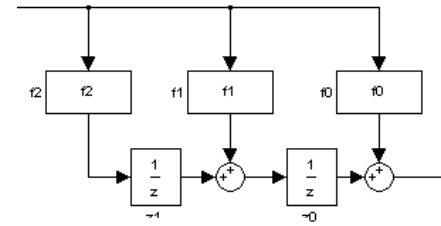


Рис. 2.2

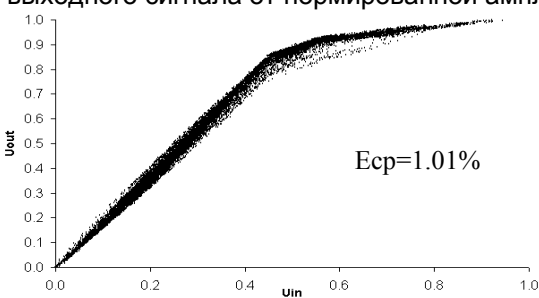


Рис. 3.1

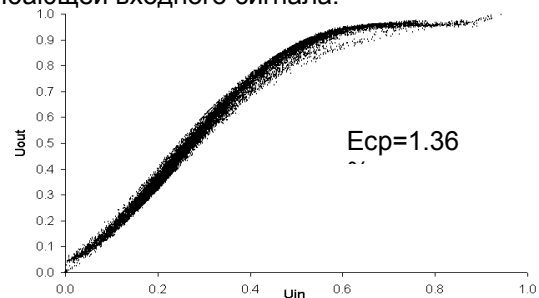


Рис. 3.2

Структурная схема системы линейризации с динамической адаптацией параметров представлена на рис. 4.

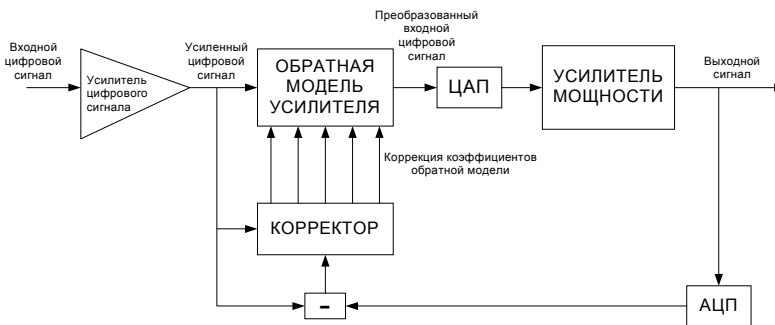


Рис. 4.

Обратная модель усилителя мощности является обращением модели Урысона с памятью на 2 такта. Параметры обратной модели усилителя мощности подвергаются динамической коррекции. В качестве алгоритма адаптации этих параметров был выбран алгоритм последовательной стохастической аппроксимации.

В работе была построена имитационная модель усилителя мощности и системы линейризации, результаты работы которой представлены на рисунках 5,6,7,8 (приведены результаты для базовых функций в виде кусочно-линейных сплайнов):

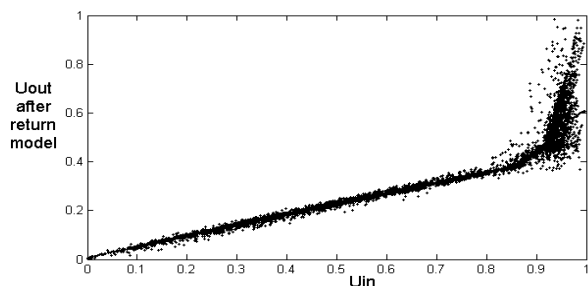


Рис. 5. Норм. амплитуда огибающей сигнала на выходе обратной модели от норм. амплитуды огибающей сигнала на входе

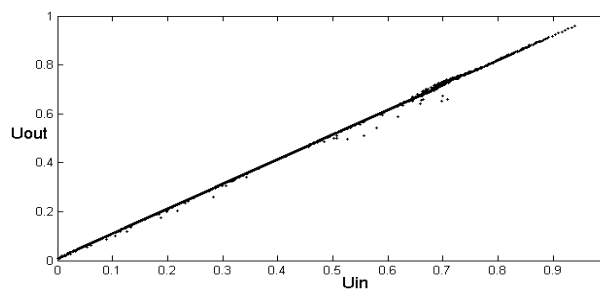


Рисунок 6. Норм. амплитуда огибающей сигнала на выходе модели усилителя от норм. амплитуды огибающей сигнала на входе

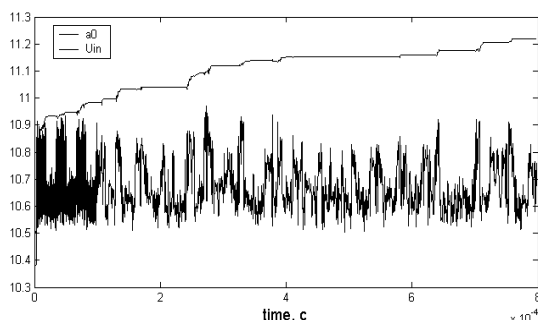


Рис. 7. Сходимость одного из коэффициентов обратной модели ( $a_0$ ) к своему истинному значению,  $U_{in}$  – входной сигнал

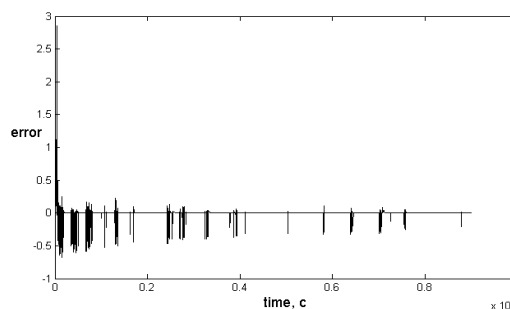


Рис. 8. Зависимость ошибки между выходным сигналом усилителя и выходным сигналом цифрового усилителя сигнала

Из графика на рисунке 6 можно сделать вывод, что система линеаризации выполнила задачу линеаризации амплитудной характеристики усилителя мощности. Небольшие выпадения сигнала на этой характеристике обусловлены тем, что усилитель мощности в процессе работы динамически изменяет свои параметры (при моделировании нами комплексно изменялись параметры базовых функций модели Урысона). При этом корректор сводит параметры обратной модели усилителя мощности к истинным значениям, которые имеет усилитель (Рисунок 7) и ошибка между выходным сигналом усилителя и выходным сигналом цифрового усилителя стремится к 0.

#### Литература:

- 1) В.В. Крылов, Э.Х. Херманис. «Модели систем обработки сигналов». – Рига: ЗИНАТНЕ, 1981.
- 2) Д. Гроп. «Методы идентификации систем». – М: Мир, 1979.
- 3) М.С. Брикман. «Интегральные модели в современной теории управления». – Рига: ЗИНАТНЕ, 1979.



**LINEARIZATION OF WIDEBAND POWER AMPLIFIER WITH USAGE OF ADAPTIVE DIGITAL BASEBAND PREDISTORTION**

Khekhnev S., Krylov V.

In correspondence with the rigid requirements on width of a spectral range of modern mobile radio communication standards, the technology of linearization of an output power amplifier (PA) is the actual task for systems with digital modulation and nonconstant envelope of a high-frequency signal. The given problem is especially important for transmitters of wideband radio communication standards, for example CDMA (Code Division Multiple Access) and WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access). Such rigid requirements to linearity of the PA characteristics are stipulated by existence of strict boundaries on intermodulation products in a spectrum of a signal, and also on out-of-band radiation. At present, the linearization of a power amplifier is achieved by using amplifiers, in which an operating point of an amplifier active unit is shifted down in area far from saturation. It reduces to low PAE (Power Added Efficiency < 40 %).

The goals of the work:

- 1) build-up mathematical and simulation model of WCDMA power amplifier;
- 2) build-up mathematical and simulation model of the amplifier linearization system with usage of adaptive digital predistortion.

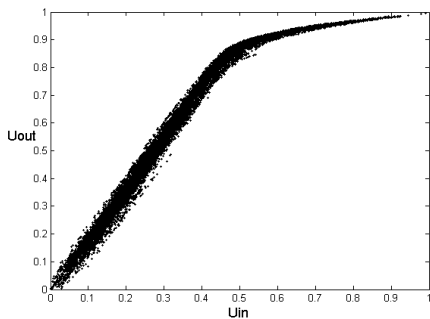


Figure 1.

The actual data from an amplifier were used in work (16384 discretely, Sampling rate 16,384 MHz). The dependence of normalized amplitude of a power amplifier output signal envelope on normalized amplitude of an input signal envelope is represented at figure 1.

Looking at figure 1 it is possible to make decision, that the characteristic has essential static nonlinearity and dynamic memory (width of a cloud). The correlation data analysis has revealed that the amplifier has 2 clock ticks memory. The discrete Urison model with memory on 2 clock ticks back was selected as mathematical model of an amplifier:

$$U_{out}(t_k) = f_0(U_{in}(t_k)) + f_1(U_{in}(t_{k-1})) + f_2(U_{in}(t_{k-2}))$$

Two types of functions were selected as base functions f0, f1, f2: linear splines and polynomials. The parameters of f0, f1, f2 were optimized using multiple regress analyzer in MATLAB 6.1 (Criterion – minimum RMS error). Figure 2 shows results of model creation with linear splines base functions f0, f1, f2. Figure 3 shows structural model of linearization system. Corrector uses stochastic approximating method for adaptive correction of return model parameters.

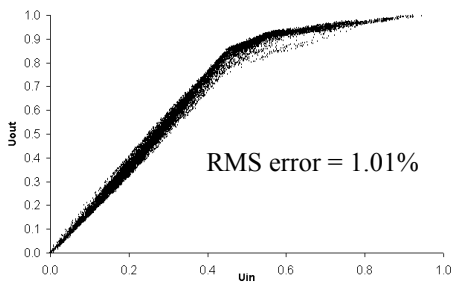


Figure 2.

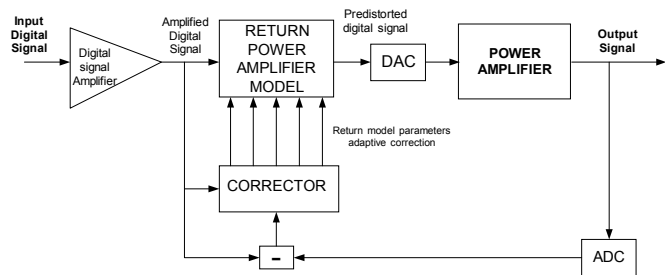


Figure 3.

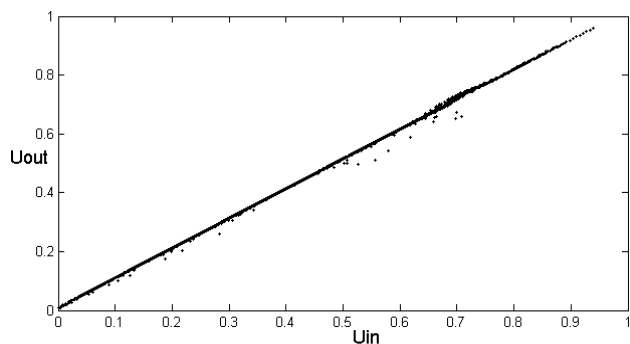


Figure 4.

Looking at figure 4 it is possible to make decision, that the system of linearization has completely fulfilled the task of power amplifier amplitude response linearization. The small signal ejections on this characteristic are stipulated by dynamically changes of the power amplifier parameters. In this case, corrector reduces return model parameters to correspondence values in power amplifier.

**Literature:**

- 1) V.V. Krylov, E.H. Hermanis "Models of signal processing systems". – Riga: ZINATNE, 1981
- 2) D. Grop "Methods of systems identification". – M: Mir, 1979