

СМЕШАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЧАСТОТНЫХ ЦЕПЕЙ И СИСТЕМ

Сердюк Г. В., Шелковников Б.Н.

Институт телекоммуникационных систем НТТУ «КПИ»,
Индустриальный пер., 2, 03056, Киев, Украина. E-mail: gserdyuk@gserdyuk.org

Аннотация - Приведен метод анализа радиочастотных систем, использующий смешанное многоуровневое представление анализируемых объектов. Описан пример использования метода для расчета поведения усилителя мощности в тракте передатчика.

I. Введение.

Рост популярности беспроводных приложений и требования миниатюризации, а так же разнообразие применяемых технологий обострили сложности проектирования аппаратуры связи.

Одни функциональные блоки связанных трансиверов могут быть реализованы в аналоговой области, другие – в цифровой. Цифровая обработка подразумевает большую гибкость по сравнению с аналоговыми блоками, и может компенсировать некоторые искажения сигнала, вызванные аналоговой частью приемника. Наличие цифровых и аналоговых частей ведет к дилемме реализации – часто одни и те же части можно реализовать как в аналоговом, так и в цифровом виде. Также, для предсказания эффективности сложных алгоритмов цифровой обработки необходимо совместное моделирование цифровых и аналоговых частей трансивера [1].

В настоящем докладе описан метод дискретного моделирования огибающих и метод модуляционного гармонического баланса для анализа смешанных реализаций трансиверов и программная система, использующая такой метод. В основу построения системы положен принцип совместного моделирования [2] или ко-симуляции (co-simulation). Приведен пример моделирования усилителя мощности в составе системы связи и продемонстрировано влияние неидеальностей усилителя на свойства тракта системы связи в целом.

II. Метод смешанного моделирования систем и цепей.

Наиболее широко распространенным методом моделирования систем связи является метод комплексной огибающей. В этом случае информационный сигнал представляется в виде составляющих I и Q, называемых синфазной (inphase) и квадратурной (quadrature). В дальнейшем все преобразования сигнала (рассеяние, фильтрация, нелинейные искажения) рассматриваются как преобразования огибающей [3].

Наиболее удобным представлением для огибающих является дискретное представление непрерывных комплексных величин. В таком случае, реакция блока на входные воздействия определяются как:

$$y_n = \sum_{i=0}^K s_i x_{n-i} \quad \text{для линейных систем или}$$

$$y_n = \sum_{i=0}^K S(x_n, x_{n-1}, \dots, x_{n-i}, \dots) \quad \text{в общем, нелинейной}$$

ном случае, где s – отклик линейного блока, S – нелинейная функция блока. Блоки составляют направленный граф, ветви которого образуют матрицу инцидентий A , в результате реакцию системы можно записать как:

$$Y_n = A \cdot \sum_{i=0}^K S(x_n, x_{n-1}, \dots, x_{n-i}, \dots) \quad (1)$$

Радиочастотные цепи находятся под воздействием сигналов сложной формы, у которых постоянные времени сильно отличаются. Удобным способом решения в этом случае будет Модуляционный Гармонический Баланс [4,5,14], уравнения которого формулируются одновременно во временной области относительно «медленного» времени (информационная составляющая) и в частотной области относительно «быстрой» составляющей (несущая).

$$F_k(V_k(t)) \equiv I_k(V_k(t)) + \Omega Q_k(V_k(t)) + \frac{d}{dt} Q_k(V_k(t)) + \quad (2)$$

$$AV_k(t) + B\{\Omega V + \frac{d}{dt} V_k(t)\} + U_k(t) = 0$$

Здесь $V_k(t)$ – k -я составляющая спектра V как функция (медленного) времени. Остальные величины описаны в методе Гармонического Баланса [6,7,8,9,10,12].

Сформулировав уравнения метода модуляционного гармонического баланса (2) в дискретные моменты времени уравнения (1), объединим уравнения системы и уравнения цепи. В этом случае каждая часть может анализироваться своей специфичной программой моделирования.

III. Программная реализация совместного моделирования.

Для построения системы совместного моделирования были выбраны программы Matlab/Simulink [11] и Rincon[10,12]. Выбор Simulink как средства системного моделирования был обусловлен тем, что она имеет в своем составе средства расширения библиотек элементов при помощи языков общего назначения, например C/C++. Программа Rincon, в свою очередь, обеспечивает расчет цепи методом модуляционного гармонического баланса; кроме того, она имеет встроенные средства интеграции. Взаимодействие Simulink-Rincon построено так, что Rincon рассматривается как один из дискретных элементов Simulink с фиксированной частотой дискретизации сигнала. Simulink так же выполняет функции планировщика расчетов и визуализации результатов.

IV. Пример расчета.

Для демонстрации возможностей системы, проанализирована модель тракта системы с QAM16 модуляцией (рис. 1), совместно с усилителем мощности (рис. 2) представленным на уровне цепи. Параметры

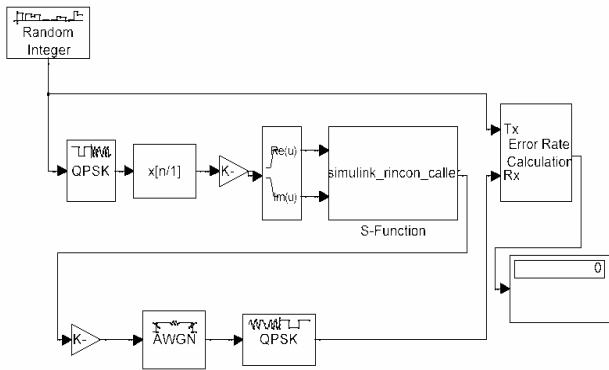


Рис.1. Блок схема анализируемого тракта
Fig.1. Link chart

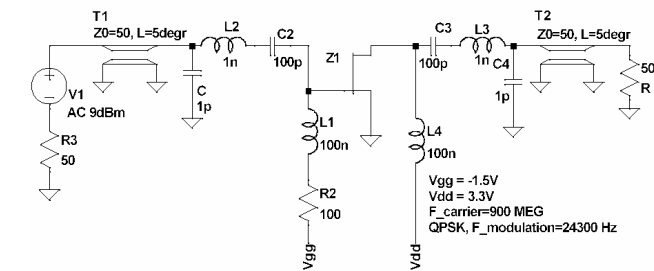
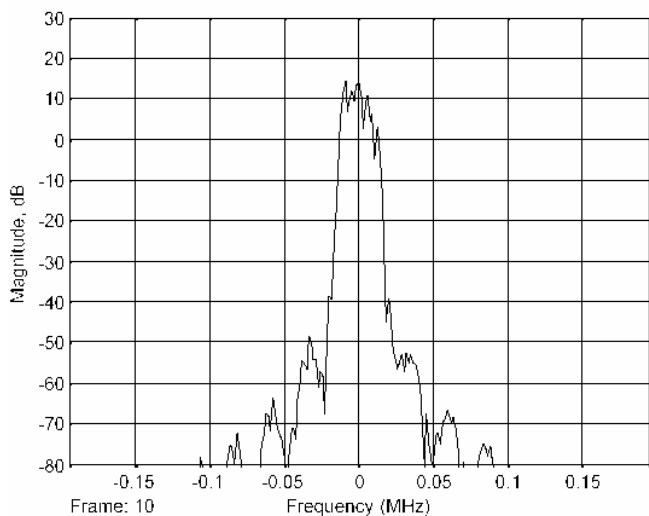


Рис.2. Принципиальная схема усилителя и
основные параметры сигнала
Fig.2. Power Amplifier schematic and main signal
parameters.

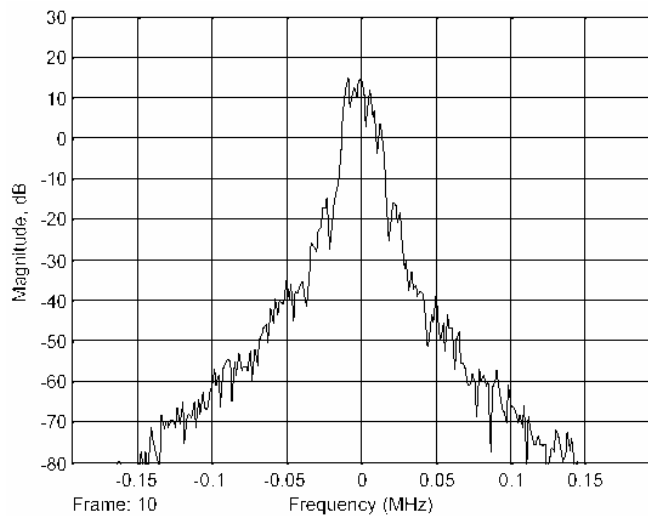


Рис.3. Спектр сигнала перед (слева) и после (справа) усилителя мощности.
Fig. 3. Signal Spectrum before (left) and after (right) power amplifier.

сигнала представлены на принципиальной схеме усилителя. Показан спектр на входе и выходе усилителя мощности (рис 3). Видно расширение спектра из-за влияния нелинейностей усилителя. Траектория сигнала изображена на рис. 4. Используемый при анализе усилитель описан в [13].

V. Заключение

В настоящем докладе приведены принципы реализации среды многоуровневого смешанного моделирования с использованием ко-симуляции для анализа тракта коммуникационного оборудования. Рассмотрены методы, используемые на различных уровнях моделирования, и приведен способ их взаимодействия. Описана реализация новой среды, которая позволяет использовать модели разных уровней. Приведена иллюстрация использования описанного подхода к расчету тракта передачи информации.

VI. Литература

[1] Piet Wambacq et al., High-level Simulation and modeling tools for mixed signal front-ends of wireless systems, Proc of AACD, Spa, Belgium, March 2002,

[http://www.imec.be/design/pdf/mixsig/aacd2003_wambacq\[1\].pdf](http://www.imec.be/design/pdf/mixsig/aacd2003_wambacq[1].pdf)

- [2] Uwe Knochel, Jurgen Hartung, Approaches to consider analog RF components in system level simulation of mobile communications, ANALOG 2002, Bremen, May, 2002, pp. 219-224.
- [3] M. Schiff, Baseband Simulation of Communication Systems, Ap. Note AN 133, April, 26, 2000, Elanix, Inc.
- [4] How-Siang Yap, "Designing to Digital Wireless Specifications Using Circuit Envelope Simulation", Applied Microwave & Wireless, June, 1998, pp. 84-89.
- [5] Г.В. Сердюк, Б.Н. Шелковников, Многоуровневое моделирование приемо-передающего тракта, Труды 14й межд. Крымской конференции «СВЧ техника и телекоммуникационные технологии», КрыМиКо-2004, стр. 151-154.
- [6] Б.Н.Шелковников, В.П.Жабицкий. Спектральный анализ нелинейных электронных схем при воздействии двух сигналов произвольной мощности.<Автоматизация проектирования в электронике>, Респ.Сб-к, Киев, 1982, вып.25, стр.91-100.
- [7] B.N.Shelkovnikov, K.S.Sunduchkov, G.V.Serdyuk, Lomaka V.L., A.A.Mikryukov, O.V.Kolchanov, Mathematics and Software for Microwave Circuit Design; Proc. of the International Symposium on Signals, Systems and Electronics (ISSSE'92), Paris, 1992;
- [8] D. Goodman, G.Serdyuk, RINCON - A Rigorous Tool for Accurate RF/Microwave modeling and simula-

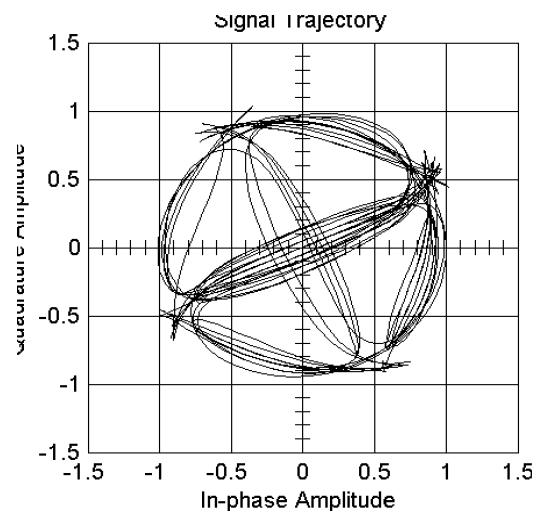
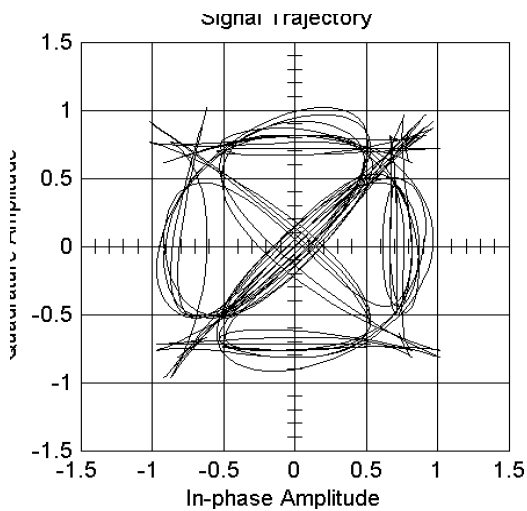


Рис. 4. Траектория сигнала после фильтра (слева) и после усилителя (справа)
Fig. 4. Signal trajectories after filter and after amplifier.

tion.http://www.ridgetop-group.com/resource_center/RINCON_Modeling_VHDL_FD_Article.pdf

- [9] Gennady Serdyuk, Boris Shelkovnikov, VHDL-AMS Subset Usage for Harmonic Balance Circuit Simulation, Conf. Proceedings, TCSET-2004, Lviv, Slavsko, 2004.
- [10] Gennady Serdyuk, Boris Shelkovnikov, VHDL-AMS Modeling for Harmonic Balance Circuit Simulation, Conf. Proc., MIKON-2004, Warshava, 2004
- [11] <http://www.mathworks.com/simulink>
- [12] G. Serdyuk, D. Goodman, VHDL Approach Improves Nonlinear Simulation, *Microwaves & RF*, November 2001, pp. 76-102.
- [13] C.-C. Huang et al, Analysis of Microwave MESFET Power Amplifiers for Digital Wireless Communications Systems, *IEEE Trans. on MTT*, vol. 52, No. 4, April 2004, pp. 1284-1291.
- [14] Ken Kundert, *Simulation Methods for Rf Integrated Circuits*, ICCAD-97, November, 1997.
- [15] Kurt R. Matis, *Multilevel Simulation of WCDMA Systems for Third-Generation Wireless Applications*, <http://sss-mag.com/pdf/wcdma.pdf>

MIXED SIMULATION OF RF CIRCUITS AND SYSTEMS

G. Serdyuk, B. Shelkovnikov,
Telecommunication Systems Institute,
NTU «KPI», Industrialny per., 2, 03056, Kiev, Ukraine.
E-mail: gserdyuk@gserdyuk.org

Summary – Method for communication link simulation is described which uses mixed multilevel simulation objects description. Example of simulation is provided to analyze power amplifier behavior in transmitter.

I. Introduction.

Popularity of wireless communications and miniaturization requirements made application design more complex. Usage of both analog and digital parts in the same communication link makes design decisions ambiguous [1]. To overcome those difficulties, it is necessary to estimate design alternatives and predict system merits, while system consists of complex RF and DSP parts.

Co-simulation method is proposed along with implementation and simulation example provided.

II. Mixed-level simulation.

Let us consider envelope technique for system simulation [3]. System reaction onto excitation can be described as (1), where n is n -th moment of time.

Meanwhile, RF circuits are better described with Modulation Harmonic Balance (MHB) [4,5,14] equations (2), which represents continuous behavior of system with respect of “slow” time. “Fast” time components are transformed in frequency-domain, thus (2) is formulated as slowly changed spectrum components.

It is possible to combine equations (2) and (1), expressing MHB equations in moments of time of (1).

III. Programming implementation.

Two ready-made components were chosen to build co-simulation system: Matlab/Simulink [11] and Rincon [10,12]. Simulink - Rincon interaction is built such way, that Rincon is considered as one of the discrete Simulink blocks with fixed signal sampling frequency. Simulink also is used to perform results visualization, as any circuit variable inside Rincon is available in Simulink.

IV. Simulation example.

To demonstrate the abilities of implemented co-simulation system, model of communication link with QPSK modulation (Fig. 1) has been simulated. Power amplifier, being represented at circuit level, has been co-simulated with the whole system. Schematic of power amplifier is presented at Fig. 2.

Spectrum at input and output of amplifier is presented at Fig. 3 to show regrowth due to amplifier nonlinearities. Signal trajectories before and after amplifier are shown at Fig. 4.

V. Conclusion

Principles of multilevel mixed-mode co-simulation environment implementation for communication link simulation are discussed. Viable methods are considered for different levels of representation and ways of interaction are presented. New implementation is described, which allows usage models of different levels of abstraction. Results are illustrated with mixed-level mixed-mode simulation example, which allows visualizing signal impairments caused by amplifier nonlinearities.