

СМЕШАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЧАСТОТНЫХ ЦЕПЕЙ И СИСТЕМ.

Г. В. Сердюк, Б.Н. Шелковников (научный руководитель)

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

Mixed-domain simulation of RF circuits and systems.

G. Serdyuk, B. Shelkovnikov (advisor)

Co-simulation of radio-frequency systems and circuits is presented as a powerful concept for digital communication system design. Main simulation techniques are outlined and co-simulation environment implementation is described. Simulation example is presented.

ВВЕДЕНИЕ.

Рост популярности беспроводных приложений, ведущий к повышению спроса на связанное оборудование, требования миниатюризации, разнообразие применяемых технологий обострили сложности проектирования аппаратуры связи.

Отдельные 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 в аналоговом или цифровом виде. Также, для предсказания эффективности сложных алгоритмов цифровой обработки необходимо совместное моделирование цифровых и аналоговых частей трансивера [1].

Один из используемых подходов состоит в совместном использовании аналоговых симуляторов уровня цепей и системных симуляторов [2] и носит название ко-симуляции (co-simulation). Суть ко-симуляции состоит в совместном использовании средств моделирования разного уровня, часто – использующих различные модели вычислений, для представления системы в целом.

Далее будет описано построение системы ко-симуляции, использующей метод дискретного моделирования огибающих и метод модуляционного гармонического баланса. В завершение будут приведены примеры моделирования усилителя мощности в составе системы связи и показано влияние неидеальностей усилителя на свойства тракта системы связи.

СИСТЕМНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦЕПЕЙ. КО-СИМУЛЯЦИЯ.

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: $y_n = \sum_{i=0}^K s_i x_{n-i}$ для линейных систем или $y_n = \sum_{i=0}^K S(x_n, x_{n-1}, \dots, x_{n-i}, \dots)$ в более общем нелинейном 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 [4,5,15], уравнения которого формулируются одновременно во временной области относительно «медленного» времени (информационная составляющая) и в частотной области относительно «быстрой» составляющей (несущая).

$$F_k(V_l(t)) \equiv I_k(V_l(t)) + \Omega Q_k(V_l(t)) + \frac{d}{dt} Q_k(V_l(t)) + AV_k(t) + B\{\Omega V + \frac{d}{dt} V_k(t)\} + U_k(t) = 0 \quad (2)$$

Здесь $V_k(t)$ – k -я составляющая спектра V как функция времени. Остальные величины описаны в методе Гармонического баланса [6,7,8, 9,10,11].

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

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ СОВМЕСТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.

Для построения системы совместного моделирования были выбраны системы моделирования Matlab/Simulink [12] и Rincon[10,13]. Выбор системы Simulink как средства системного моделирования был обусловлен только тем, что она имеет в своем составе средства расширения библиотек элементов при помощи языков общего назначения, например C/C++. Система Rincon, в свою очередь, обеспечивает расчет цепи методом модуляционного гармонического баланса; кроме того, он имеет встроенные средства, позволяющие интегрировать его в другую среду – он может принимать информацию об изменяющихся параметрах сигнала и о времени их изменения и учитывать их в собственных расчетах. Взаимодействие Simulink-Rincon построено так, что

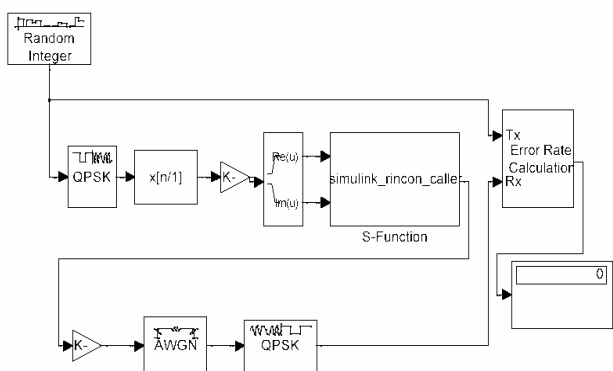


Рис.1. Блок схема анализируемого тракта

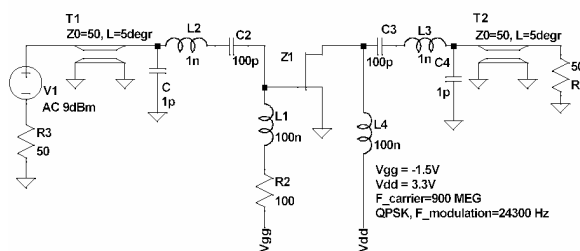


Рис.2. Принципиальная схема усилителя и основные параметры сигнала

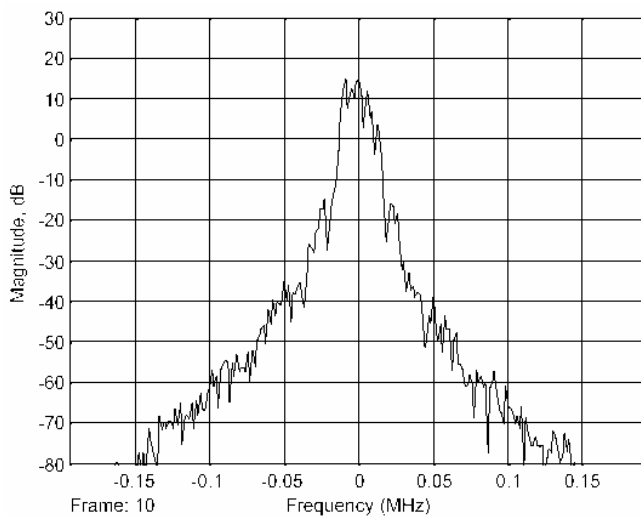
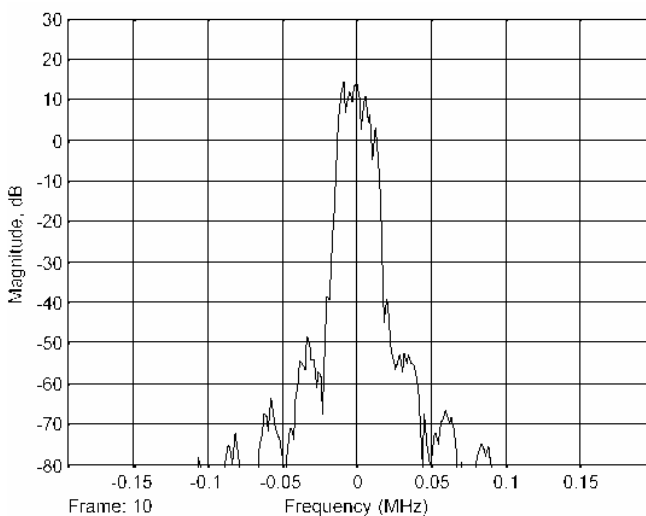


Рис.3. Спектр сигнала перед (слева) и после (справа) усилителя мощности.

Rincon рассматривается как один из дискретных элементов Simulink с фиксированной частотой дискретизации сигнала. Simulink так же выполняет функции планировщика расчетов и визуализации результатов. Rincon, в свою очередь, получает информацию о текущих амплитудах сигналов, рассчитывает режим цепи и передает требуемые данные назад в Simulink. Список параметров, номера их гармоник, а так же некоторые дополнительные данные передаются в Rincon в виде параметров.

ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ.

Для демонстрации возможностей системы, проанализирована модель тракта системы с QAM16 модуляцией (рис. 1), совместно с усилителем мощности (рис. 2) представленным на уровне цепи. Параметры сигнала представлены на принципиальной схеме усилителя. Показан спектр на входе и выходе усилителя мощности (рис 3). Видно расширение спектра из-за влияния нелинейностей усилителя. Используемый при анализе усилитель описан в [14].

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 способы их взаимодействия. Описана реализация новой среды, которая позволяет использовать модели разных уровней. Приведена иллюстрация использования описанного подхода к расчету тракта передачи.

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 simulation.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>