

MATHEMATICAL MODEL OF MIMO SYSTEM WITH NONLINEAR EFFECTS

Vishniakova J.V., Luchaninov A.I.
Kharkov National University of Radioelectronics
14, Lenin Ave., Kharkov, 61166, Ukraine
Ph.: (057) 7021430, e-mail: juvalort@gmail.com

Abstract — An electromagnetic mathematical model for MIMO systems is developed, considering the whole MIMO system as an antenna with nonlinear elements. The model presented enables taking into account various nonlinear effects, including those induced by reconfigurable antennas in MIMO transceivers.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МІМО СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ

Вишнякова Ю. В., Лучанинов А. И.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, Харьков, 61166, Украина
тел.: (057) 7021430, e-mail: juvalort@gmail.com

Аннотация — На основе электродинамического подхода разработана математическая модель для МІМО системы, рассматривающая такую систему как антенну с нелинейными элементами и позволяющая учесть нелинейные эффекты, вызванные, в том числе, использованием реконфигурируемых антенн в составе приемо-передающих модулей МІМО.

I. Введение

Для большинства работ, посвященных исследованию МІМО систем, характерным является использование в модели системы набора «стандартных» допущений (линейность каналов, релеевская или райсовская модель канала связи, пренебрежение взаимным влиянием между излучателями многоэлементных приемопередающих антенных решеток (АР), учет только равномерно распределенных шумовых компонент в канале и т. п.). Такие допущения не позволяют учесть ряд реальных эффектов (взаимные связи между элементами решеток, наличие помеховых сигналов, нелинейные характеристики элементов и т. п.), оказывающих существенное влияние на эффективность работы всей системы передачи информации, в том числе на пропускную способность МІМО системы.

Одним из способов повышения эффективности МІМО систем является использование реконфигурируемых антенн (РА), что в дополнение к различным методам обработки сигналов, предоставляет дополнительный ресурс для обеспечения адаптации приемопередающих устройств к изменяющейся электромагнитной обстановке и реализации оптимальных характеристик системы. В состав РА входят управляющие (переключающие) элементы (УЭ, ПЭ), которые являются устройствами с нелинейными характеристиками, что вызвано нелинейным характером сопротивления УЭ, обусловленным наличием в их составе различных полупроводниковых элементов либо материалов с особыми свойствами. Поэтому в реконфигурируемых антеннах могут возникать эффекты, характерные для нелинейных устройств, такие как генерация гармоник, насыщение и снижение чувствительности, перекрестная модуляция и т. п.

Таким образом, при оценке эффективности проектируемой МІМО системы с РА, необходимо учитывать влияние возникающих в ней нежелательных нелинейных эффектов, обусловленных как нелинейностью усилителей и подключаемых нагрузок, так и нелинейностью управляющих элементов реконфигу-

рируемых антенн, и соответственно необходимо принимать определенные меры, направленные на то, чтобы не допустить ухудшения результирующих характеристик системы связи. Условно можно выделить два пути решения этой задачи: компенсировать возникающие нелинейные эффекты и искажения (бороться с нелинейностью); либо управлять нелинейными эффектами (использовать их для улучшения характеристик системы).

В любом случае, для каждого из перечисленных путей необходимо точное представление о характере нелинейностей и их взаимосвязи с прочими элементами приемопередающего тракта.

Следовательно, на этапе проектирования МІМО системы, особое внимание должно быть уделено анализу возникающих в ней нелинейных эффектов и степени их влияния на выходные характеристики системы. В данной работе предложена математическая модель системы передачи данных, отображающая реально существующие электродинамические процессы, как в канале передачи, так и в передающих и приемных устройствах, с учетом наличия в них нелинейных элементов. То есть, предложенная модель соответствует физическому уровню модели OSI.

II. Классификация моделей МІМО систем

Обзор современных публикаций, посвященных моделированию МІМО систем на физическом уровне, показал, что при реализации электромагнитного подхода к моделированию МІМО канала передачи в большинстве случаев многоантенные системы моделируются с помощью эквивалентного представления в виде многополюсников [1—4]. В таком представлении эквивалентные многополюсники соответствуют передающей части (генераторы сигналов, передающие устройства, согласующие устройства), приемной части (приемные устройства, согласующие устройства, полезные нагрузки), каналу связи (среда распространения, передающие и приемные антенны) и описываются матрицами S , Z либо Y параметров.

То есть, приемная, передающая подсистема и среда распространения представляются отдельными связанными между собой многополюсниками; либо же, что встречается чаще, в виде многополюсников представлены приемный и передающий модули, а модель среды (канальная матрица) определяется на основании имеющейся в наличии априорной информации (например, детерминированным методом трассировки лучей [1]) либо на основании статистических оценок канала ([4]). То есть, несмотря на то, что существующие физические модели не ограничены конкретной конфигурацией антенн, они так или иначе привязаны к заданной модели канала, полученной либо на основании экспериментальных исследований предполагаемой рабочей среды, либо на основании заданных случайным образом вероятностных характеристик канала распространения.

III. Математическая модель MIMO системы как антенны с нелинейными элементами

Для более универсального анализа MIMO систем, в составе которых присутствуют элементы с нелинейными характеристиками, шумы и помехи, взаимные связи между элементами приемо-передающих решеток, предлагается рассматривать всю MIMO систему как антенну с нелинейными элементами (АНЭ), состоящую из линейных и нелинейных многополюсников, связанных уравнениями состояния [5–7]. При этом входными клеммами такой антенны будут выступать входы источников/генераторов сигналов, а выходными клеммами — входы полезных нагрузок (рис. 1).

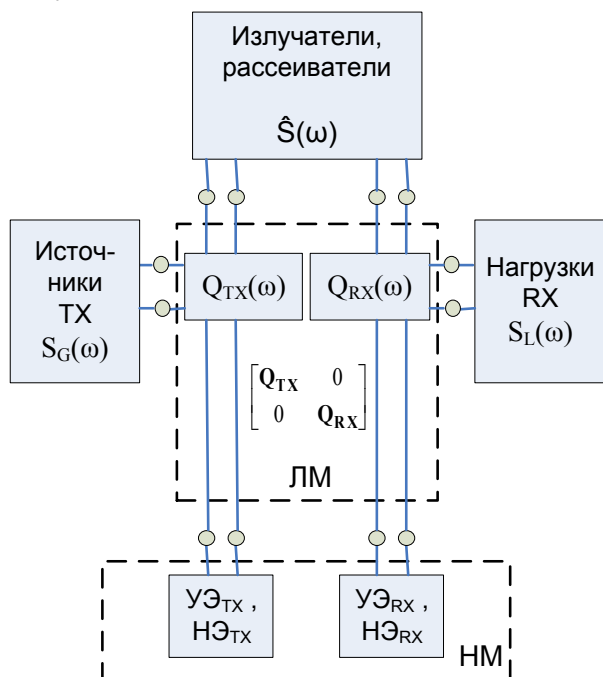


Рис. 1. Структурная схема MIMO системы как антенны с нелинейными элементами (АНЭ).

Fig. 1. Block diagram of a MIMO system as an antenna with nonlinear elements (ANE)

На рис. 1 нелинейный многополюсник (НМ) включает в себя нелинейные устройства приемо-передающих цепей (НЭ) и нелинейные управляющие и переключающие элементы (УЭ). Режимы на входах НМ характеризуются во временной области векто-

рами токов и напряжений либо векторами падающих и отраженных волн. Режимы на входах линейных многополюсников источников, нагрузок, излучателей и рассеивателей характеризуются в частотной области векторами комплексных амплитуд падающих и отраженных волн. Многополюсник линейных элементов (ЛМ) включает в себя линейные элементы передающей (TX) и приемной (RX) цепей и описывается смешанной матрицей Q , а режимы на его входах характеризуются векторами, аналогичными тем, которые характеризуют режимы на соответствующих входах подключаемых к ЛМ многополюсников.

Предложенная модель позволяет реализовать подход на основе переменных состояния, который сводится к следующему [5, 7]:

- выбирают вектор переменных состояния АНЭ, модели линейных и нелинейных элементов,
- используя условия соединения элементов, находят уравнения состояния, выходные уравнения системы,
- решают систему уравнений состояния при заданном внешнем воздействии (в результате определяется вектор переменных состояния),
- по известным векторам переменных состояния и внешних воздействий из выходных уравнений определяют вектор выходных параметров,
- зная вектор выходных параметров, находят внешние характеристики MIMO системы.

Особенности предложенного подхода к моделированию MIMO систем, в которых присутствуют различные нелинейные эффекты, в том числе вызванные наличием реконфигурируемых антенн, рассмотрены в докладе.

IV. Заключение

1. В работе предложено рассматривать MIMO систему как антенну с нелинейными элементами.

2. Впервые разработана электродинамическая модель MIMO системы, позволяющая учесть присутствующие в такой системе нелинейные эффекты, в том числе и вызванные наличием реконфигурируемых антенн.

V. References

- [1] Rizzoli V., Costanzo A., Masotti D., Aldrigo M., Donzelli F., Esposti V.D. Integration of non-linear, radiation, and propagation CAD techniques for MIMO link design. *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, 2012, vol. 4, No 2, pp. 223-232.
- [2] Jensen M.A., Wallace J.W. A review of antennas and propagation for MIMO wireless communications. *IEEE Trans. on Ant. and Prop.*, 2004, No 52, No 11, pp. 2810-2824.
- [3] Migliore M.D., Pinchera D., Schettino F. Improving channel capacity using adaptive MIMO antennas. *IEEE Trans. on Ant. and Prop.*, 2006, vol. 54, No 11, pp. 3481-3489.
- [4] Banani S.A., Vaughan R.G. Compensating for non-linear amplifiers in MIMO communications systems. *IEEE Trans. on Ant. and Prop.*, 2012, vol. 60, No 2, pp. 700-714.
- [5] Bahrah L.D., Zelkin E.G. (eds.) *Spravochnik po antennoj tehnike*, v 5 tomah. Tom 1. Fel'd Ja.N., Zelkin E.G. (eds.) Glava 10. Antennы s nelinejnymi elementami [Antennas with nonlinear elements, in Antenna engineering handbook]. M., IPRZhR, 1997, vol. 1, 256 p. (pp. 207-234).
- [6] Luchaninov A.I., Shifrin Ya.S., Posohov A.S. Strukturnaja model' antennoj s nelinejnymi elementami [Structural model of antenna with nonlinear elements]. *Radiotekhnika: Vseukr. mezhd. nauch.-tehn. sb.*, 2001, issue 122, pp. 22-34.
- [7] Luchaninov A.I., Shifrin Ya.S. Mathematical model of antenna with lumped nonlinear elements. *Telecommunications and Radio Engineering*, 2007, vol. 66, No 9, pp. 763-803.