УДК 621.396.6:681.3

ГИПЕРМОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ ОПЕРАТОРА ВОЛЬТЕРРЫ

Д. т. н. В. М. Николаенко, к. т. н. О. В. Николаенко

Одесский национальний политехнический университет
Украина, г.Одесса
nikolvm@rambler.ru

В докладе рассматриваются особенности представления, идентификации и формирования описания нелинейных электронных объектов на базе оператора Вольтерры при их гипермоделировании. Отмечена специфика применения предложенного подхода в среде Сх САПР.

Ключевые слова: гипермодель нелинейного электронного объекта, операторы Вольтерры, представление гипермоделей в среде Сх САПР.

Одним из вариантов успешного решения задачи формирования гипермоделей нелинейных электронных многополюсных объектов (НЭМО) (рис.1) на основе оператора переходной реакции, оператора Гаммерштейна, оператора Урысона [1] могут также служить соотношения, базирующиеся на составляющих ряда Вольтерры [2].

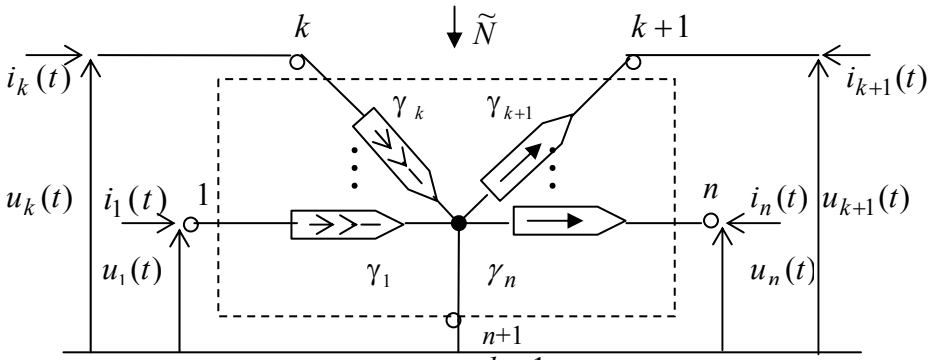

Рис.1

В этом случае гипермодель НЭМО описывается следующей системой нелинейных уравнений:

$$\begin{cases} i_r(t) \equiv \gamma_r = \Psi_r \left\{ \int_0^t \ldots \int_0^t h_r(\tilde{N}, \tau_1, \ldots, \tau_n) i_{k+1}(t-\tau_{k+1}) \ldots i_n(t-\tau_n) u_1(t-\tau_1) \ldots u_k(t-\tau_k) d\tau_1 \ldots d\tau_n \right\}, \quad r = \overline{1,k}; \\ u_s(t) \equiv \gamma_s = \Psi_s \left\{ \int_0^t \ldots \int_0^t h_s(\tilde{N}, \tau_1, \ldots, \tau_n) i_{k+1}(t-\tau_{k+1}) \ldots i_n(t-\tau_n) u_1(t-\tau_1) \ldots u_k(t-\tau_k) d\tau_1 \ldots d\tau_n \right\}, \quad s = \overline{k+1,n}, \end{cases} \tag{1}$$

где $\tilde{N} = \{\nu_1, \ldots, \nu_d\}$ — вектор влияющих неэлектрических факторов (температура, уровень радиации, состояние вибрационных и ударных нагрузок, время старения и др.); $\gamma_s (s = \overline{1,n})$ — гипергенераторы тока и напряжения; $\Psi_s\{\cdot\}$ — нелинейные функции $(s = \overline{1,n})$.

Затруднение в реализации вышеприведенных соотношений в элементном базисе Сх САПР устраняется посредством использования соответствующих разложений [1].

Идентификация приведенных выше соотношений осуществляется посредством тестирования НЭМО сигналами на базе единичных скачков либо единичных импульсов с заданными амплитудами. Последующая аппроксимация откликов позволяет сформировать вышеприведенные соотношения с заданной погрешностью [3]. При этом необходимо учитывать электромагнитную совместимость [4].

Для обеспечения необходимой адекватности получаемой гипермодели НЭМО требуются дополнительные ее исследования в среде Сх САПР для ряда схемотехнических решений в различных режимах функционирования НЭМО для заданного класса тестовых сигналов.

Практические результаты, полученные при использовании предлагаемой методики, обеспечивали погрешность моделирования и анализа электронных схем с использованием гипермодели НЭМО не превышающую ±10%.

Следует также отметить специфику реализации предложенного подхода для отдельных Сх САПР, в которых не предусмотренно непосредственное представление вышеприведенных описаний в традиционном элементном базисе. В этой связи требуется дополнительное формирование этих соотношений в форме, пригодной для применения в традиционных Сх САПР. Более общим подходом предлагаемого решения задачи гипермоделирования на базе оператора Вольтерры может служить известное научное направление на основе обобщенного гипермоделирования [5].

Дальнейшим обобщением предлагаемого подхода может служить направление, базирующееся на гипермоделировании НЭМО [1], в основе которого положены соотношения вида

$$\begin{cases} i_r(t) \equiv \gamma_r = \Psi_r\{\frac{d}{dt}\int_0^t i_{k+1}(\tau)k_{r(k+1)}(\tilde{N},t-\tau)d\tau,...,\frac{d}{dt}\int_0^t i_n(\tau)k_{rn}(\tilde{N},t-\tau)d\tau, \\ \quad \frac{d}{dt}\int_0^t u_1(\tau)y_{r1}(\tilde{N},t-\tau)d\tau,...,\frac{d}{dt}\int_0^t u_n(\tau)y_{rn}(\tilde{N},t-\tau)d\tau\}, \qquad r=\overline{1,n}; \\ u_s(t) \equiv \gamma_s = \Psi_s\{\frac{d}{dt}\int_0^t i_{k+1}(\tau)z_{s(k+1)}(\tilde{N},t-\tau)d\tau,...,\frac{d}{dt}\int_0^t t_n(\tau)z_{sn}(\tilde{N},t-\tau)d\tau, \\ \quad \frac{d}{dt}\int_0^t u_1(\tau)q_{s1}(\tilde{N},t-\tau)d\tau,...,\frac{d}{dt}\int_0^t u_n(\tau)]q_{sn}(\tilde{N},t-\tau)d\tau\}, \qquad s=\overline{k+1,n}, \end{cases} \tag{2}$$

где k, y, z, q — переходные функции, в частности, $k_{ij}(\cdot)$ — коэффициент усиления по току; $y_{rs}(\cdot)$ — адмиттанс; $z_{rs}(\cdot)$ — импеданс; $q_{rs}(\cdot)$ — коэффициент усиления по напряжению.

Рассмотренные особенности гипермоделирования нелинейных электронных объектов на базе оператора Вольтерры и пути реализации предлагаемого подхода обеспечивают погрешность моделирования и анализа электронных схем, не превышающую ±10%.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Ніколаєнко В. М. Фактор-функціональне гіпермоделювання нелінійних електронних об’єктів.— Одеса: Фотосинтетика, 2004.

2. Ніколаєнко В. М. та ін. Моделювання елементів та пристроїв і аналіз електронних засобів з використанням СхСАПР.— Одеса: Фотосинтетика, 2003.

3. Дедученко Ф. М., Ермилов В. А., Ермилов Ю. В. и др.. Радиотехнические методы и устройства діагностики энергетических установок.— Одесса, 2002.

4. Ковалев Н. И., Николаенко В. М. Электромагнитная совместимость РЭС.— Одесса: Фотосинтетика, 2005.

5. Николаенко В. М. Термофункциональное гипермоделирование нелинейных электронных схем.— Ленинград: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1988.

V. M. Nikolayenko, O. V. Nikolayenko

Hypersimulation of nonlinear electronic objects based on the Volterra operator.

The paper describes features of representation, identification and formation of non-linear digital objects based on the Volterra operator in the process of their hypersimulation. The application specific for the proposed approach in the ORCAD is noted.

Keywords: *hypermodel of nonlinear electronic object, Volterra operator, hypermodel representation in ORCAD.*