

Ладогубец В.В., Крамар А.В., Финогенов А.Д.  
УНК "ИПСА" НТУУ "КПИ"

## Анализ эффективности выбора порядка в неявном методе численного интегрирования на основе разностей высших порядков

Математическая модель объекта может быть представлена совместной системой нелинейных алгебро-дифференциальных уравнений

$$f(\dot{x}, x, t) = 0, \quad (1)$$

где  $f$  и  $x$  – векторы. Современные модели электронных компонентов содержат большое число нелинейностей, что не дает возможности получить систему (1) в аналитическом виде и делает неприменимыми методы решения, использующие разделение переменных. Поэтому в современных пакетах САПР используются в основном неявные разностные методы, в том числе и на основе высших порядков [1]. При этом выбор порядка метода  $K$  осуществляется на основе прогноза погрешности  $\varepsilon^1, \varepsilon^2, \dots, \varepsilon^k, 1 \leq k \leq 6$  каждой составляющей вектора переменных  $x$  для методов 1, 2, ...,  $(k+1)$  порядков, где

$$\varepsilon^k = \frac{h}{t_{n+1} - t_{n-k}} (x_{n+1} - x_{n+1}^0) \quad (2)$$

– ошибка формулы дифференцирования. Среди вычисленных погрешностей выбираются погрешности, соответствующие наименее точным компонентам вектора  $x$ :  $e_i = \max(\varepsilon^i), i = 1, 2, \dots, k+1$ , и порядок метода выбирается равным порядку, при котором величина  $e_i$  минимальна. Для оценки корректности формулы (2) использовались схемы из тестового набора пакета Allted [2]. В отличие от базового алгоритма, на каждом временном шаге проводился расчет точного значения  $e_i$  с использованием базового алгоритма, но на каждом временном шаге определялось наличие отказа шага при всех порядках метода (табл. 1).

Таблица 1. Сравнение количества отказанных шагов при различных порядках метода

№	Схема	Отказанные шаги (из них успешные шаги при других порядках)				
		Lerr <sup>a</sup>				
		1e-2	1e-3	1e-4	1e-5	1e-6
1	Fadd32	300(143)	230(97)	362(123)	580(188)	1355(704)
2	FHV	2723(1608)	76851(75729)	126213(123820)	– <sup>b</sup>	67854(57721)
3	ECL	12(1)	16(12)	20(10)	17(5)	23(3)
4	HDIG	147(28)	724(619)	373(61)	357(36)	442(46)

<sup>a</sup> локальная точность решения по Ньютону

<sup>b</sup> срыв процедуры интегрирования

**Выводы.** Результаты анализа показали, что в 10–90% случаев отказа шага при базовом порядке  $K$ , шаг был успешен при использовании других порядков. Устранение погрешности оценки (2), за счет расчетов на всех доступных порядках метода, позволит увеличить надежность решения, при этом, в виду независимости вычислений при различных порядках, могут быть эффективно использованы мультипроцессорные вычислительные системы.

### Список литературы

1. Петренко А.И., Власов А.И., Тимченко А.П.: "Табличные методы моделирования электронных схем на ЭЦВМ", Киев, издательское объединение "Вища школа", 1977.
2. Petrenko A., Ladogubets V., Tchkalov V., Pudlowski Z. ALLTED – a computer-aided engineering system for electronic circuit design. (монографія) Melbourne: UICEE, 1997.