УДК 621.372.542

В. А. ГОЛОВИН, И. С. КАШИРСКИЙ, кандидаты техн. наук,
В. В. ТАРАНЕНКО, инж.

АЛГОРИТМЫ ЧИСЛЕННО-СИМВОЛЬНОГО АНАЛИЗА ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ МЕТОДАМИ ПРОИЗВОДНЫХ И *LU*-РАЗЛОЖЕНИЯ

Операторный анализ линейных цепей требует решения системы линейных уравнений n-го порядка [4], содержащих параметр p,

$$[Y(P)] \times [U(p)] = [I(p)]. \tag{1}$$

Для метода узловых напряжений $[Y(p)] = p \times [C] + [G] + (1/p) \times [\Gamma]$, где $[C]$, $[G]$, $[\Gamma]$ — соответственно матрицы емкостей, проводимостей, инверсных индуктивностей.

Опишем алгоритм метода производных [2], разработанный для расчета обратной матрицы в виде отношения $[Y^{-1}(p)] = [Y^*(p)]/\Delta_Y(p)$; $[Y^*(p)]$ — присоединенная матрица; $\Delta_Y(p)$ — определитель матрицы $[Y(p)]$. Так как матрицы $[C]$, $[G]$, $[\Gamma]$ в общем случае являются особенными, преобразуем матрицу $[Y(p)]$ умножением на p и заменой параметра $v = p - p_0$

$$[V(v)] = v^2 \times [V_2] + v \times [V_1] + [V_0] = p^2 \times [C] + p \times [G] + [\Gamma],$$

где p_0 — заданное смещение параметра. Матрица $[V_0^{-1}]$ существует, и для расчета обратной матрицы $[V^{-1}(v)] = ([F_{2n-2}] \times v^{2n-2} + \ldots + [F_0])/(d_{2n} \times v^{2n} + \ldots + d_0)$ применимы рекуррентные соотношения [2]

$$d_0 = \Delta_{V_0}; \qquad [F_0] = d_0 \times [V_0^{-1}];$$

$$d_1 = tr([F_0] \times [V_1]); \qquad [F_1] = (d_1 \times [E] - [F_0] \times [V_1]) \times [V_0^{-1}];$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$d_k = tr([F_{k-1}] \times [V_1] + 2 \times [F_{k-2}] \times [V_2])/k;$$

$$[F_k] = (d_k \times [E] - [F_{k-1}] \times [V_1] - [F_{k-2}] \times [V_2]) \times [V_0^{-1}];$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$d_{2n-1} = tr([F_{2n-2}] \times [V_1] + 2 \times [F_{2n-3}] \times [V_2])/(2n-1);$$

$$d_{2n} = tr(2 \times [F_{2n-2}] \times [V_2])/(2n),$$

где $[E]$ — единичная матрица; $tr(Y) = \sum_{i=1}^{n} y_{ii}$ — след матрицы $[Y]$; Δ_{V_0} — определить матрицы $[V_0]$. Следовательно,

$$[Y^{-1}_{(p)}] = \frac{\sum_{i=0}^{2n-2}\left(\sum_{j=i}^{2n-2} (C_j^i \times (-p_0)^j \times [F_j]) \times p^{i+1}\right)}{\sum_{i=0}^{2n}\left(\sum_{j=i}^{2n} (C_j^i \times (-p_0)^j \times d_j) \times p^i\right)} = \frac{\sum_{i=0}^{2n-2} ([Y_i^*] \times p^{i+1})}{\sum_{i=0}^{2n} (a_i \times p^i)}$$

(C_j^l — биномиальные коэффициенты).

Трудоемкость метода производных оценивается величиной n^4.

Для метода *LU*-разложения [1] опишем алгоритм преобразования расширенной матрицы $[Y(p)]$;

$$(y_{j,n+1}(p) = i_j(p)), \quad y_{ij} = (y_{ij} \cdot y_{kk} - y_{ik} \cdot y_{kj})/y,$$

$$\text{если } k = 1, \ldots, n-1; \; i, j = k+1, \ldots, n; \; y = \begin{cases} 1, & k = 1; \\ y_{k-1,k-1}, & k > 1; \end{cases}$$

$$y_{i,n+1} = (y_{i,n+1} \cdot y_{kk} - y_{ik} \cdot y_{k,n+1})/y,$$

$$\text{если } k = \mu + 1, \ldots, n-1; \; i = k+1, \ldots, n; \; y = \begin{cases} 1, & k = \mu + 1; \\ y_{k-1,k-1}, & k > \mu + 1, \end{cases}$$

где $y_{ij} = y_{ij}(p)$ — многочлены параметра p; $y_{1,n+1} = \ldots = y_{\mu,n+1} = 0$. Расчет числителей неизвестных системы (1) производится по формуле

$$y_{n-i,n+1} = \left(y_{n-i,n+1} \cdot y_{nn} \cdot y - \sum_{j=0}^{i-1} (y_{n-i,n-j} \cdot y_{n-j,n+1})\right) / y_{n-i,n-i},$$

$$\text{для } i = 1, \ldots, n-1; \text{ если } y = \begin{cases} 0, & i \geqslant n - \mu; \\ y_{\mu\mu}, & \mu > 1 \text{ и } i = n - \mu - 1; \\ 1, & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

Сте-пень p	Значения коэффициентов многочленов			
	$\Delta_Y(p)$		$\Delta_{\text{вх, вх}}(p)$	
	ЧСА-1	ЧСА-2	ЧСА-1	ЧСА-2
−8	$-0,51239 \cdot 10$	$-0,51239 \cdot 10$	$-0,10248 \cdot 10^9$	$-0,10248 \cdot 10^9$
−7	$-0,29029$	$-0,29029$	$-0,43877 \cdot 10^4$	$-0,43877 \cdot 10^4$
−6	$-0,41283 \cdot 10^{-5}$	$-0,41283 \cdot 10^{-5}$	$-0,85071 \cdot 10^{-1}$	$-0,85071 \cdot 10^{-1}$
−5	$-0,77192 \cdot 10^{-10}$	$-0,77192 \cdot 10^{-10}$	$-0,11842 \cdot 10^{-5}$	$-0,11842 \cdot 10^{-5}$
−4	$-0,50835 \cdot 10^{-15}$	$-0,50835 \cdot 10^{-15}$	$-0,10846 \cdot 10^{-10}$	$-0,10846 \cdot 10^{-10}$
−3	$-0,54215 \cdot 10^{-20}$	$-0,54215 \cdot 10^{-20}$	$-0,83\ 02 \cdot 10^{-16}$	$-0,83802 \cdot 10^{-16}$
−2	$-0,21242 \cdot 10^{-25}$	$-0,21242 \cdot 10^{-25}$	$-0,47472 \cdot 10^{-21}$	$-0,47472 \cdot 10^{-16}$
−1	$-0,15530 \cdot 10^{-30}$	$-0,15530 \cdot 10^{-30}$	$-0,23874 \cdot 10^{-26}$	$-0,23874 \cdot 10^{-26}$
0	$-0,38861 \cdot 10^{-36}$	$-0,38861 \cdot 10^{-36}$	$-0,91788 \cdot 10^{-32}$	$-0,91788 \cdot 10^{-32}$
1	$-0,21422 \cdot 10^{-41}$	$-0,21422 \cdot 10^{-41}$	$-0,32075 \cdot 10^{-32}$	$-0,32075 \cdot 10^{-32}$
2	$-0,33909 \cdot 10^{-47}$	$-0,33909 \cdot 10^{-47}$	$-0,85777 \cdot 10^{-43}$	$-0,85777 \cdot 10^{-43}$
3	$-0,15010 \cdot 10^{-52}$	$-0,15010 \cdot 10^{-52}$	$-0,21166 \cdot 10^{-48}$	$-0,21166 \cdot 10^{-48}$
4	$-0,13748 \cdot 10^{-58}$	$-0,13748 \cdot 10^{-58}$	$-0,37873 \cdot 10^{-54}$	$-0,37873 \cdot 10^{-54}$
5	$-0,51251 \cdot 10^{-64}$	$-0,51215 \cdot 10^{-64}$	$-0,64298 \cdot 10^{-60}$	$-0,64298 \cdot 10^{-60}$
6	$-0,20617 \cdot 10^{-70}$	$-0,20617 \cdot 10^{-70}$	$-0,63226 \cdot 10^{-66}$	$-0,63226 \cdot 10^{-66}$
7	$-0,67330 \cdot 10^{-76}$	$-0,67330 \cdot 10^{-76}$	$-0,67330 \cdot 10^{-72}$	$-0,67330 \cdot 10^{-72}$
8	$-0,49911 \cdot 10^{-93}$	0	$-0,24855 \cdot 10^{-88}$	0

Неизвестные системы (1) получаем в виде отношения многочленов $u_i(p) = y_{i,n+1}(p)/y_{nn}(p)$. Трудоемкость метода LU-разложения для матриц с параметром оценивается величиной n^5.

Рассмотренные алгоритмы реализованы в виде Фортран-программ ЧСА-1 (метод производных) и ЧСА-2 (LU-разложение), содержащих подпрограммы автоматического нормирования элементов матриц. В программе ЧСА-1 учитывается разряженность матриц. Результаты расчета ФНЧ (10 узлов, 23 ветви; рис. 3.6 [3]) на ЕС-1022 с двойной точностью (для $p_0 = 1$) приведены в таблице. Время счета ЧСА-1 — —12 с, ЧСА-2 — 29 с. Результаты расчетов подтверждают эффективность предложенных алгоритмов.

1. *Дмитришин Р. В.* Многовариантные методы в программах моделирования электронных схем // Тез. докл. конф. «Методы автоматизированного проектирования ЭВА». Киев: РДЭНТП, 1982. С. 103. 2. *Каширский И. С., Трохименко Я. К.* Обобщенная оптимизация электронных схем. Киев: Техніка, 1979. 192 с. 3. *Ларин А. Г., Томашевский Д. И., Шумков Ю. М., Эйдельнант Б. М.* Машинная оптимизация электронных узлов РЭА. М.: Сов. радио, 1978. 192 с. 4. *Сигорский В. П., Петренко А. И.* Основы теории электронных схем. Киев: Вища шк., 1971. 568 с.

Поступила в редколлегию 25.09.84

УДК 681.325.65

Ю. Ф. ЗИНЬКОВСКИЙ, д-р техн. наук, А. Н. УСАТЕНКО, асп.

САМОНАСТРАИВАЮЩАЯСЯ ПОДСИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНСТРУКТОРСКОГО СИНТЕЗА УЗЛОВ РЭА НА МИНИ-ЭВМ

Самонастраивающаяся подсистема автоматизированного конструкторского синтеза (СПАКС) узлов РЭА является составной частью интегрированной САПР и предназначена для проектирования больших интегральных схем и печатных плат. В подсистеме реализованы основные принципы построения современных САПР [2]: самонастройки программно-математического обеспечения (ПМО), позволяющей наиболее эффективно использовать возможности методов и алгоритмов конструкторского синтеза, и развитой системы управления проектированием на различных уровнях и в различных режимах, обеспечивающей технологическую гибкость процесса проектирования.

Принцип самонастройки является развитием принципа адаптации [3] и заключается в автоматической настройке ПМО для решения конкретной задачи. Способ его реализации: совместное решение задач различных этапов проектирования [1]; направленная коррекция результатов отдельных этапов на основе текущего уровня качества; изменение функционального состава СПАКС за счет динамического расширения ее конфигурации; организация итерационного процесса проектирования, охваченного обратными связями.

Организация процесса самонастройки СПАКС для проектирования конкретного узла РЭА осуществляется системой управления,