УДК 621.372.037.372;621.391.26

ПРИЛОЖЕНИЕ СИГНАЛЬНЫХ ГРАФОВ И МАТРИЧНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КАНАЛОВ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ

канд. техн. наук Д.С. РЯБЕНКО, С.В. ЛАВРОВ
(Полоцкий государственный университет)

Методическая и вычислительная оптимизация новых решений направлена на устранение противоречий между схемными и конструктивными параметрами и их защищенностью. Главная проблемная научно-практическая задача направлена на исключение паразитных информационных связей, опираясь на минимизацию, высокую плотность компоновки бескорпусных активных элементов, применение больших и сверхбольших интегральных схем [1]. Технология монтажа многослойных печатных плат ограничивает доступ к измерению и контролю параметров и характеристик схем. Паразитные связи из-за взаимных наводок снижают быстродействие управлением и обменом информацией. Вторая проблема – защита радиоэлектронных средств различного назначения от радиопомех [2].

Ключевые слова: *каналы утечки информации, матричный анализ, критерий защищенности.*

Введение. Высокая степень интеграции микроэлектроники, стремительное развитие технологических и информационных процессов обусловили новые принципиальные решения защиты информации от утечки. Физические и математические модели устанавливают рациональные методы исследования сложных информационных систем на всех стадиях их жизненного цикла и их элементов (блоки, печатные платы). Показатели защищенности оценивают в условиях активной и пассивной защиты каждого канала утечки информации.

Точностные и временные параметры оценивают на соответствие критериев (показателей) защищенности каналов утечки информации [3, 4].

Проанализирована схемно-конструктивная оценка защищенности информации с использованием направленных графов и корреляционных функций электронных устройств. Проведено исследование сложных многоконтурных и многосвязных систем с использованием топологических свойств элементов матриц, отличающиеся значительным объемом обрабатываемой информации со сложными связями как между объектами, связывающими информационные системы, объектами информатизации, так и элементами более низкого уровня, т.е. структурными схемами или графами.

Структурные схемы, как и графы для многосвязных систем большой размерности, становятся чрезвычайно сложными для исследований.

Метод исследования. При исследовании причинно-следственных связей между значениями токов и напряжений используют теорию сигнальных графов, матричной алгебры, матричного преобразования, расчета их входных и выходных параметров, матричного преобразования *h*-параметров транзистора [5]. Качество и достоверность оценки сигналов при обработке в матричной форме весьма актуальна.

Сигнальные графы содержат ребра и вершины (узлы) исследований токов (напряжений) с определенным направлением (ориентированный граф). Ориентированный граф $G = (V, E)$, где V – множество вершин, E – множество ребер, анализируется с помощью матрицы смежности и матрицы инциденций [6].

Специальные векторные и матричные структуры обеспечивают матричные операции, матрицы представляют емкий метод систематизации алгебраических и численных соотношений [7].

Матрица инциденций А с n строками, соответствующим вершинам, и m столбцами, соответствующим ребрам. Для ориентированного графа столбец, соответствующий дуге $\langle x, y\rangle \in E$, содержит –1 в строке, соответствующей вершине x, 1 – в строке, соответствующей вершине y, и нули – во всех остальных строках. Петлю, т.е. дугу в виде $\langle x, x\rangle$, удобно представлять значением в строке x, например 2 [6, 7].

Матричное уравнение Аx = 0. Матрицу А представена в виде суммы двух матриц [8]:

$$\text{А} = \text{Д} + \text{С}, \tag{1}$$

где $\text{А} = \begin{bmatrix} n \\ a_{ij} \\ i, j = 1 \end{bmatrix}, \quad \text{Д} = \begin{bmatrix} n \\ a_{ii} \\ i = 1 \end{bmatrix}, \quad \text{С} = \begin{bmatrix} n \\ a_{ij} \\ i \neq j \end{bmatrix}.$

Уравнение (1) в развернутой форме имеет вид

$$\text{А} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & a_{22} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 0 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 0 \end{bmatrix}. \tag{2}$$

Из полученного выражения (2) следует, что матрица Д состоит только из диагональных членов, матрица С – только из недиагональных. Матрица А получена из системы алгебраических уравнений и представлена линейным однородным уравнением в матричной форме (1). Развернутая форма уравнения (2) – это форма представления с относительно главным членом, слагаемым с одинаковыми цифрами в индексе (a_{11}, a_{22}, …, a_{nn}).

Элементы матрицы Д являются собственными операторами системы, а элементы матрицы С – операторами связей [8].

Транспонированная матрица А получена заменой строк матрицы А столбцами матрицы A^T и ее столбцов – строками матрицы А [9]:

$$\mathrm{A}^{\mathrm{T}} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & \dots & a_{n1} \\ a_{12} & a_{22} & \dots & a_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{1n} & a_{2n} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Разделяют все элементы матрицы (3) на величину определителя.

Определитель (детерминант) вырожденной квадратной $n \times n$ матрицы определяется выражением [7]

$$\det A = \sum_{j=1}^{n} (-1)^{1+j} a[1, j] A_{1j}, \quad (4)$$

где $a[1, j]$ – элемент из верхней строки матрицы А;

A_{1j} – определитель $(n–1) \times (n–1)$ матрицы, образованной отбрасыванием первой строки и j-го столбца $n \times n$ матрицы А.

Квадратная $n \times n$ матрица вырожденная тогда и только тогда, когда $\det A = 0$. Если $\det A \neq 0$, то матрица А обратима. Определитель произведения двух квадратных $n \times n$ матриц А и В равен произведению определителей этих матриц $\det \mathrm{AB} = \det \mathrm{A} \cdot \det \mathrm{B}$.

Единичная матрица Е, созданная из матрицы А и обратной ей матрицы A^{-1}, полученной из обращения матрицы А и умноженной как справа, так и слева на матрицу А [10]

$$\mathrm{AA}^{-1} = \mathrm{A}^{-1}\mathrm{A} = \mathrm{E},$$

где A^{-1} – обратная неособенная квадратная матрица матрице А.

Неособенная матрица n-го порядка [10]

$$\mathrm{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix},$$

где $\det \mathrm{A} = \Delta \neq 0$.

Для матрицы А присоединительная матрица $\tilde{\mathrm{A}}$

$$\tilde{\mathrm{A}} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nn} \end{bmatrix},$$

где A_{ij} – алгебраические дополнения (миноры со знаками) соответствующих элементов a_{ij} ($i, j = 1, 2, …, n$).

Разделив все элементы матрицы $\tilde{\mathrm{A}}$ на величину определителя Δ матрицы А, имеем

$$\mathrm{A}^{*} = \begin{bmatrix} A_{11}/\Delta & A_{21}/\Delta & \dots & A_{n1}/\Delta \\ A_{12}/\Delta & A_{22}/\Delta & \dots & A_{n2}/\Delta \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{1n}/\Delta & A_{2n}/\Delta & \dots & A_{nn}/\Delta \end{bmatrix}.$$

Произведение AA^* позволяет получить единичную матрицу [10]:

$$\mathrm{AA}^* = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{11}/\Delta & A_{21}/\Delta & \dots & A_{n1}/\Delta \\ A_{12}/\Delta & A_{22}/\Delta & \dots & A_{n2}/\Delta \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{1n}/\Delta & A_{2n}/\Delta & \dots & A_{nn}/\Delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} = \mathrm{E}. \qquad (5)$$

Из матрицы (2) получены две диагональные матрицы Д и С, по которым можно оценить уровень излучения (тока), а также уровень связей.

Квадратичная матрица $A = \|a_{ik}\|$ называется верхней треугольной (нижней треугольной), если равны нулю все элементы матрицы, расположенные под главной диагональю (над главной диагональю) [11].

Диагональная матрица является частным случаем, как верхней, так и нижней треугольной матрицы [11].

Определитель треугольной и диагональной матрицы является необоснованным только тогда, когда все ее диагональные элементы отличны от нуля [11].

На основании теоремы 1 [11], всякая матрица $A = \|a_{ik}\|_1^n$ ранга *r*, у которой первые *r* последовательных главных миноров отличны от нуля:

$$D_k = \mathrm{A}\begin{pmatrix} 1 & 2 & \dots & k \\ 1 & 2 & \dots & k \end{pmatrix} \neq 0 \quad (k = 1, 2, \dots, r), \qquad (6)$$

представима в виде произведения нижней треугольной матрицы B на верхнюю треугольную матрицу C

$$\mathrm{A} = \mathrm{BC} = \begin{vmatrix} b_{11} & 0 & \dots & 0 \\ b_{21} & b_{22} & \dots & 0 \\ . & . & . & . \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ 0 & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ . & . & . & . \\ 0 & 0 & \dots & c_{nn} \end{vmatrix}. \qquad (7)$$

При этом $b_{11}c_{11} = D_1,\ b_{22}c_{22} = \dfrac{D_2}{D_1}, \dots, b_{rr}c_{rr} = \dfrac{D_r}{D_{r-1}}$.

На основании теоремы 2 [11], определено что всякая матрица $A = \|a_{ik}\|_1^n$ ранга *r*, удовлетворяющая условию (6), представима в виде произведения нижней треугольной матрицы F, диагональной D и верхней треугольной L:

$$\mathrm{A} = \mathrm{FDL} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ f_{21} & 1 & \dots & 0 \\ . & . & . & . \\ f_{n1} & f_{n2} & \dots & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} D_1 & & & & & & \\ & \dfrac{D_2}{D_1} & & & & & \\ & & . & & & & \\ & & & \dfrac{D_r}{D_{r-1}} & & & \\ & & & & 0 & & \\ & & & & & . & \\ & & & & & & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ 0 & 1 & \dots & f_{2n} \\ . & . & . & . \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где $f_{gk} = \dfrac{A\begin{pmatrix} 1 & 2 & \dots & k-1 & g \\ 1 & 2 & \dots & k-1 & k \end{pmatrix}}{A\begin{pmatrix} 1 & 2 & \dots & k \\ 1 & 2 & \dots & k \end{pmatrix}}, \quad l_{kg} = \dfrac{A\begin{pmatrix} 1 & 2 & \dots & k-1 & k \\ 1 & 2 & \dots & k-1 & g \end{pmatrix}}{A\begin{pmatrix} 1 & 2 & \dots & k \\ 1 & 2 & \dots & k \end{pmatrix}} \quad (g = k+1, \dots, n; \quad k = 1, 2, \dots, r)$, а f_{gk}, l_{kg} произвольны при $g = k+1, \dots, n; \quad k = 1 + r, \dots, n$.

С помощью метода исключения Гаусса, примененного к матрице $A = \|a_{ik}\|_1^n$ ранга r, для которой $D_k \neq 0 \ (k = 1, 2, ..., r)$, получают две матрицы: нижнюю треугольную матрицу W с диагональными элементами 1 и верхнюю треугольную матрицу G, у которой первые r диагональных элементов равны $D_1, \frac{D_2}{D_1}, ..., \frac{D_r}{D_{r-1}}$, а последние $n–r$ строк заполнены нулями. G – гауссова форма матрицы A, W – преобразующая матрица.

Матрице A приписывают справа единичную матрицу E:

$$\begin{vmatrix} a_{11} & . & a_{1n} & 1 & . & 0 \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ a_{n1} & . & a_{nn} & 0 & . & 1 \end{vmatrix}.$$

Применяя к этой прямоугольной матрице все преобразования алгоритма Гаусса, получают прямоугольную матрицу, состоящую из двух.

Прежде чем обратить матрицу одним из методов, установим требования по ее норме. Под нормой матрицы $A = \left[a_{ij}\right]$, где $\left[a_{ij}\right]$ – модули матрицы A, устанавливают действительное число $|A|$, удовлетворяющее следующим условиям [10]:

а) $|A| > 0$;

б) $|\alpha A| = |\alpha||A|$, (α – число);

в) $|A + B| \leq |A| + |B|$;

г) $|AB| \leq |A| \cdot |B|$,

где A и B – матрицы, для которых соответствующие операции имеют смысл.

Зная элементы матрицы A порядка n, определитель которой $\det|A| \neq 0$ (матрица необособленная), можно установить главные элементы.

Квадратную матрицу обращают в треугольную, если элементы, стоящие выше (ниже) главной диагонали, равны нулю [10]:

$$T = \begin{vmatrix} t_{11} & t_{12} & ... & t_{1n} \\ 0 & t_{22} & ... & t_{2n} \\ . & . & . & . \\ 0 & 0 & ... & t_{nn} \end{vmatrix},$$

где $t_{ij} = 0$ при $i > j$ для верхней треугольной матрицы.

$$T_1 = \begin{vmatrix} t_{11} & 0 & ... & 0 \\ t_{21} & t_{22} & ... & 0 \\ . & . & . & . \\ t_{n1} & t_{n2} & ... & t_{nn} \end{vmatrix},$$

где $t_{ij} = 0$ при $i > j$ для нижней треугольной матрицы.

Например, представить матрицу

$$A = \begin{vmatrix} 1 & -1 & 2 \\ -1 & 5 & 4 \\ 2 & 4 & 14 \end{vmatrix}$$

в виде произведения двух треугольных матриц T_1 и T_2.

$$A = T_1 T_2.$$

Будем искать T_1 и T_2 в виде

$$T_1 = \begin{vmatrix} t_{11} & 0 & 0 \\ t_{21} & t_{22} & 0 \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} \end{vmatrix} \text{ и } T_2 = \begin{vmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} \\ 0 & 1 & r_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix},$$

откуда, перемножив значения T_1 и T_2, получим

$$\begin{vmatrix} 1 & -1 & 2 \\ -1 & 5 & 4 \\ 2 & 4 & 14 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} t_{11} & t_{11}r_{12} & t_{11}r_{13} \\ t_{21} & t_{21}r_{12}+t_{22} & t_{21}r_{13}+t_{22}r_{23} \\ t_{31} & t_{31}r_{12}+t_{32} & t_{31}r_{13}+t_{32}r_{23}+t_{33} \end{vmatrix}.$$

Перемножив правую часть и прировняв к левому значению, получим систему уравнений

$$\begin{array}{lll} t_{11}=1; & t_{11}r_{12}=-1; & t_{11}r_{13}=2; \\ t_{21}=-1; & t_{21}r_{12}+t_{22}=5; & t_{21}r_{13}+t_{22}r_{23}=4; \\ t_{31}=2; & t_{31}r_{12}+t_{32}=4; & t_{31}r_{13}+t_{32}r_{23}+t_{33}=14. \end{array}$$

Решив систему, получим

$$\begin{array}{lll} t_{11}=1; & t_{21}=-1; & t_{31}=2; \\ t_{22}=4; & t_{32}=6; & t_{33}=1; \\ r_{12}=-1; & r_{13}=2; & r_{23}=\dfrac{3}{2}. \end{array}$$

Полученные численные значения подставляем в треугольные матрицы T_1 и T_2:

$$T_1 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -1 & 4 & 0 \\ 2 & 6 & 1 \end{vmatrix} \text{ и } T_2 = \begin{vmatrix} 1 & -1 & 2 \\ 0 & 1 & \dfrac{3}{2} \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Для всякой квадратной матрицы, для которой известны верхняя и нижняя обратные треугольные матрицы T_1 и T_2, можно определить обратную на основании теоремы [10]

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ . & . & . & . \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix},$$

имеющую отличные от нуля главные диагональные миноры:

$$\Delta_1 = a_{11} \neq 0; \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} \neq 0; \dots ; \Delta_n = |A| \neq 0,$$

и представить в виде произведения двух треугольных матриц различных структур (нижней и верхней), причем это разложение будет единственным, если заранее зафиксировать диагональные элементы одной из треугольных матриц.

В качестве примера рассмотрим матрицу

$$A = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 3 & 4 \\ -1 & 0 & 3 & -2 \\ 2 & 2 & 2 & -3 \\ 1 & 2 & -1 & 1 \end{vmatrix},$$

у которой верхняя и нижняя треугольная матрица будет иметь вид

$$T_1 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \\ 2 & -1 & 2 & 0 \\ 1 & 1 & -10 & -50 \end{vmatrix}, \quad T_2 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 3 & 4 \\ 0 & 1 & 6 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & -4,5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Для определения матрицы T_1^{-1} воспользуемся равенством $T_1 T_1^{-1} = E$. Тогда имеем

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \\ 2 & -1 & 2 & 0 \\ 1 & 1 & -10 & -50 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x_{11} & 0 & 0 & 0 \\ x_{21} & x_{22} & 0 & 0 \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & 0 \\ x_{41} & x_{42} & x_{43} & x_{44} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

В соответствии с этим равенством получим систему уравнений

$$\begin{cases} x_{11} = 1, & x_{22} + 2x_{32} = 0, \\ -x_{11} + x_{21} = 0, & x_{22} - 10x_{32} + 50x_{42} = 0, \\ 2x_{11} - x_{21} + 2x_{31} = 0, & 2x_{33} = 1, \\ x_{11} + x_{21} - 10x_{31} - 50x_{41} = 0 & -10x_{33} - 50x_{43} = 0, \\ x_{22} = 1; & -50x_{44} = 1. \end{cases}$$

Отсюда находим

$$x_{11} = 1; x_{21} = 1; x_{31} = -\frac{1}{2}; x_{14} = \frac{7}{50}; x_{22} = 1; x_{32} = \frac{1}{2};$$

$$x_{42} = -\frac{2}{25}; x_{33} = \frac{1}{2}; x_{43} = -\frac{1}{10}; x_{44} = -\frac{1}{50}.$$

Следовательно,

$$T_1^{-1} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 0 \\ \frac{7}{50} & -\frac{2}{25} & -\frac{1}{10} & -\frac{1}{50} \end{vmatrix}.$$

Для определения матрицы T_2^{-1} воспользуемся равенством $T_2 T_2^{-1} = E$

$$\begin{vmatrix} 1 & 1 & 3 & 4 \\ 0 & 1 & 6 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & -4,5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & x_{12} & x_{13} & x_{14} \\ 0 & 1 & x_{23} & x_{24} \\ 0 & 0 & 1 & x_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Таким образом,

$$\begin{cases} x_{12} + 1 = 0, \\ x_{13} + x_{23} + 3 = 0, \\ x_{23} + 6 = 0, \end{cases} \quad \begin{cases} x_{14} + x_{24} + 3x_{34} + 4 = 0, \\ x_{24} + 6x_{34} + 2 = 0, \\ x_{34} - 4,5 = 0. \end{cases}$$

Откуда $x_{12} = -1; x_{23} = -6; x_{13} = 3; x_{34} = 4,5; x_{24} = -29; x_{14} = 11,5$. Значит,

$$T_2^{-1} = \begin{vmatrix} 1 & -1 & 3 & 11,5 \\ 0 & 1 & -6 & -29 \\ 0 & 0 & 1 & 4,5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Используя равенство $A^{-1} = T_2^{-1} T_1^{-1}$, находим

$$A^{-1} = \begin{vmatrix} 1 & -1 & 3 & 11,5 \\ 0 & 1 & -6 & -29 \\ 0 & 0 & 1 & 4,5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 0 \\ \frac{7}{50} & -\frac{2}{25} & -\frac{1}{10} & -\frac{1}{50} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{11}{100} & -\frac{21}{50} & \frac{7}{20} & -\frac{23}{100} \\ -\frac{6}{100} & \frac{8}{25} & -\frac{1}{10} & \frac{29}{50} \\ \frac{13}{100} & \frac{7}{50} & \frac{1}{20} & -\frac{9}{100} \\ \frac{7}{50} & -\frac{2}{25} & -\frac{1}{10} & -\frac{1}{50} \end{vmatrix}.$$

Заключение. Представление исходной матрицы, разложенной на диагональную, нижнюю и верхнюю треугольные матрицы, показывает сложность практической реализации даже такого преобразования. В дальнейшем исследование радиоэлектронной аппаратуры предлагается проводить разбиением ее электрической схемы на конструктивные законченные функциональные элементы, что позволит получить алгоритмы оптимизации, пригодные для автоматизации процесса обработки.

Исследования, представленные в статье, основаны на научной идее, предложенной доктором технических наук, профессором В.К. Железняком.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мигулин, И.Н. Интегральные микросхемы в радиоэлектронных устройствах / И.Н. Мигулин. – К. : Техника, 1985. – 208 с.
2. Тихонов, В.И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем : учеб. пособие для вузов / В.И. Тихонов, В.Н. Харисов. – М. : Радио и связь, 1991. – 608 с.
3. Железняк, В.К. Защита информации от утечки по техническим каналам : учеб. пособие / В.К. Железняк. – СПб. : ГУАП, 2006. – 188 с.
4. Кошевая, Л.А. Обеспечение единства испытаний. Концептуальные основы / Л.А. Кошевая. – К. : НАУ-друк, 2009. – 176 с.
5. Расчет транзисторных цепей / под ред. Р.Ф. Ши. – М. : Энергия, 1964. – 204 с.
6. Корни, Ш. Теория цепей. Анализ и синтез / Ш. Корни. – М. : Связь, 1973. – 308 с.
7. Марпл-мл., С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / С.Л. Марпл-мл. – М. : Мир, 1990. – 584 с.
8. Шатихин, Л.Г. Структурные матрицы и их применение для исследования систем / Л.Г. Шатихин. – М. : Машиностроение, 1974. – 248 с.
9. Липницкий, В.А. Высшая математика. Основы линейной алгебры и аналитической геометрии : учеб. пособие для курсантов учреждений высшего образования / В.А. Липницкий. – Минск : Военная акад. Респ. Беларусь, 2015. – 229 с.
10. Демидович, Б.П. Основы вычислительной математики : учеб. пособие для студ. высш. техн. учеб. заведений / Б.П. Демидович, П.А. Марон. – М. : Наука, 1970. – 664 с.
11. Гантмахер, Ф.Р. Теория матриц / Ф.Р. Гантмахер. – Изд. 2-е, доп. – М. : Наука, 1966. – 576 с.
12. Авондо-Бодино, Дж. Применение в экономике теории градов / Дж. Авондо-Бодино ; пер. с англ. под общ. ред. А.А. Фридмана. – М. : Прогресс, 1966. – 160 с.

Поступила 02.03.2018

ANNEX OF SIGNAL GRAPHS AND MATRIX ANALYSIS FOR MATHEMATICAL MODELING OF INFORMATION LEAKS CHANNELS

D. RYABENKO, S. LAVROV

The methodical and computational optimization of new solutions is aimed at eliminating the contradictions between the circuit and design parameters and their security. The main scientific and practical problem is aimed at the elimination of parasitic information links, thanks to minimization, high density of the layout of open-frame active elements, the use of large and extra-large integrated circuits. The technology of mounting multi-layer printed circuit boards limits access to measurement and control of parameters and characteristics of circuits. Parasitic communications due to mutual targeting reduce the speed of control and information exchange. The second problem is the protection of radio electronic devices for various purposes from radio interference.

Keywords: *information leakage channels, matrix analysis, security criterion.*