

Представление матричной архитектуры в виде рабочего поля в задаче начального размещения компонентов СБИС

В.И. Данильченко, Е.В. Данильченко, В.М. Курейчик

Институт компьютерных технологий и информационной безопасности
Южный Федеральный Университет, РФ, г. Таганрог vdanilchenko@sfnu.ru

Аннотация — В работе описывается механизм представления матричной архитектуры в виде рабочего поля с учетом многокритериальной задачи начального размещения компонентов СБИС. Для решения данной задачи используется конструктивный эвристический алгоритм получения начального варианта и итерационные алгоритмы улучшения размещения. В рамках данной работы будет рассмотрен вариант многокритериальной задачи с учетом вектора критериев: максимума числа линейных сегментов и суммарная взвешенная длина соединений. Цель данной работы заключается в нахождении путей начального размещения компонентов в условиях матричной архитектуры СБИС. Научная новизна заключается в разработке модифицированного механизма представления схемы на основе графовой топологической модели с учетом вектора критериев. Постановка задачи в данной работе заключается в следующем: оптимизировать процесс размещения компонентов в матричной архитектуре СБИС путем применения модифицированного механизма представления схемы в условиях многокритериальной среды. Принципиальное отличие от известных подходов в применении модифицированного многокритериального механизма представления матричной архитектуры в виде рабочего поля в задаче начального размещения компонентов СБИС. Кроме того, в рамках данной работы представлен результат начального размещения на основе предложенного алгоритма, полученный из графовой модели межсоединений. Проблема создания методов, алгоритмов и программного обеспечения для автоматизированного размещения компонентов СБИС в настоящее время имеет особую актуальность, что подтверждается большим объемом публикуемой научной литературы, в том числе рассмотренной в рамках данной работы.

Ключевые слова — графовые модели, автоматизация размещения компонентов, матричная архитектура, системы автоматизированного проектирования, принципиальная схема, топология, трассировка.

I. ВВЕДЕНИЕ

В связи с бурным развитием технологий возрастает значение моделирования в системах автоматизированного проектирования. Особенность САПР матричных СБИС состоит в широком использовании методов макро-моделирования и декомпозиции, поскольку иерархическая структура объекта проектирования содержит большое число подобных компонентов. Причем даже на нижнем уровне находятся логические компоненты,

которые представляют собой довольно большие группы соединенных приборов. Важно, что электрические параметры и характеристики логических компонентов определяются только при их разработке и многократно используются в ходе моделирования широкого спектра СБИС [1].

В рамках данной работы под компонентом понимается элемент или подсистема проектируемой схемы.

Для успешного проектирования СБИС программы САПР должны охватывать моделирование приборов, схем и логики, размещение и трассировку, верификацию и генерацию тестов.

Современные САПР являются комплексными и обеспечивают проектирование вплоть до системного уровня [2-4]. Преимущество проектирования матричных схем проявляется в том, что моделирование приборов применяется лишь на этапах разработки конструкции кристалла и схем логических элементов. Для решения указанных задач необходим, как отмечалось, переход к иерархическому проектированию.

После завершения системного проектирования СБИС устанавливаются ее структура и функциональные спецификации для каждого структурного блока. Затем выполняется логическое проектирование каждого блока, и полученные результаты заносятся в базу данных проектирования СБИС. Одновременно могут разрабатываться стандартные компоненты схем с применением схемного моделирования, которое заносятся в библиотеку компонентов в базе данных.

После детализации логической схемы проводится верификация (проверка) логики программы логического и схемного моделирования. Затем выполняются процедуры автоматизированного синтеза топологии. Полученные при топологическом проектировании варианты схемы после уточнения паразитных параметров оцениваются с помощью программ схемного и логического моделирования. Если вычисленные значения критерия превышают заданное значение, то изменяются топологические параметры и повторно выполняются процедуры топологического проектирования. Цикл повторяется до тех пор, пока не будут выполнены заданные требования и не будет учтен заданный вектор критериев.

II. МЕХАНИЗМ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МАТРИЧНОЙ АРХИТЕКТУРЫ СБИС

Основным требованием при размещении компонентов на кристалле является создание условий, учитывающих критерий максимума числа линейных сегментов. Для выполнения данного требования необходимо учитывать характерные свойства конструкции кристалла, оказывающие существенное влияние на результаты размещения. При размещении элементов предпочтительнее реализация соединений вертикальными сегментами. Причем с точки зрения наиболее экономного использования ресурса кристалла, оптимальными можно считать линейные сегменты.

Линейные сегменты (ЛС) - это кратчайшая реализация соединений, которые не содержат межслойных переходов, не занимают горизонтальных магистралей. Перечисленные соображения подтверждаются и практическим опытом проектирования сверхбольших интегральных схем данного типа [1, 3].

Кроме стандартного критерия оптимального размещения - длины соединения, при размещении элементов на кристалле необходимо учитывать критерий максимума числа ЛС. Пример линейных сегментов представлен на рис. 1.

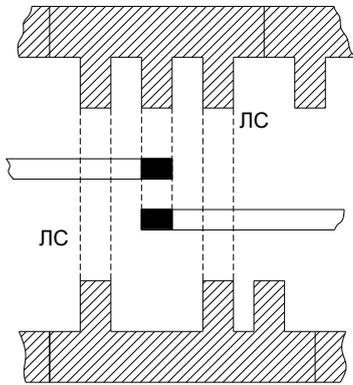


Рис. 1. Пример линейных сегментов

Перечисленные соображения подтверждаются и практическим опытом проектирования данного типа.

Следовательно, кроме традиционного критерия оптимального размещения (минимум суммарной длины соединения), при размещении элементов на кристалле необходимо учитывать критерий максимума числа ЛС.

Рассмотрим необходимые условия выполнения размещения. Первое из них ограничивает число элементов и транзитных соединений в каждой линейке [1, 3].

$$\sum_{i \in E} L_i + (n_t - n_p)l_0/p_0 \leq L, \quad (1)$$

где E - множество элементов, размещенных в линейке; L_i - длина элемента i ; n_t - число транзитных трасс, пересекающих линейку; n_p - суммарное число проходов в элементах линейки; l_0 - длина ячейки БМК; p_0 - максимальное число транзитных трасс, проходящих

через ячейку базового кристалла; обозначение $[A]$ определяет неотрицательное минимальное целое $B \geq A$; L - длина линейки.

Второе условие ограничивает число n_s трасс, пересекающих вертикальное сечение s , [3]

$$n_s \leq n_{max}, \quad (2)$$

где n_{max} - суммарное число горизонтальных магистралей во всех каналах. Условие (2) должно выполняться для всех вертикальных сечений кристалла.

Исходная схема соединений между компонентами показана на рис. 2, ее модель в виде графа H - на рис. 5 (цифры указывают веса $\omega \neq 1$ ребер V), а результат начального силового размещения - на рис. 7) большинство ребер с максимальным весом имеют направление, близкое к вертикальному.

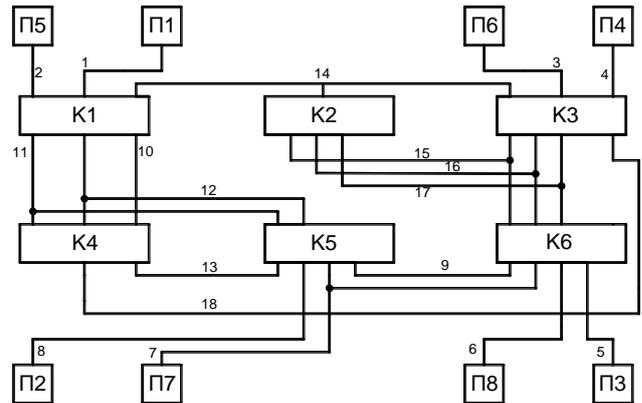


Рис. 2. Схема соединений компонентов

Для размещения компонентов, в которых каждая цепь представляется взвешенным полным подграфом, не соответствующим специфическим требованиям задачи. Действительно, если некоторая цепь m блоков, то представление этой цепи в модели будет требовать равномерного приближения m блоков друг к другу.

Вместе с тем, размещение этих блоков в виде линейной цепочки (один компонент под другим) доставляет как минимум суммарной длины трассы, так и максимум числа ЛС. Поэтому целесообразно еще до размещения так определить конфигурации цепей, чтобы создать предпосылки для получения максимального числа ЛС. Другими словами, возникает задача определения модели схемы, в которой каждая цепь представляется деревом. Если при построении такой модели максимизировать число параллельных ребер, а затем максимальные группы параллельных ребер попытаться реализовать в виде линейных сегментов, то можно ожидать, что будут созданы предпосылки для успешной трассировки.

Рассмотри представление рассмотренной схемы в виде графовой модели. Обозначим исходный граф рассмотренной схемы через $G(X, U)$, где X - множество вершин, взаимно однозначно соответствующих блокам; U - множество ребер, входящих в деревья, которые отображают цепи.

Требуется так определить конфигурации деревьев (заданное множество U), чтобы основание $H(X, V)$ графа G содержало минимальное количество ребер. При этом группе u_1, \dots, u_m параллельных ребер графа G соответствует одно ребро $\vartheta \in V$, соединяющее те же вершины и имеющие вес $\omega = m$.

В работе под моделью поля размещения понимается метрическое пространство, в котором устанавливаются входящие в нее типовые конструкции предыдущих уровней с последующей трассировкой электрического соединения компонентов.

В качестве математической модели монтажного пространства используется графовая топологическая модель.

Плоскость монтажного пространства разбивается на элементарные площадки, стороны которых равны шагу расположения проводника в соответствии с заданным направлением. Для печатного монтажа, площадка имеет квадратное или прямоугольное представление. Каждой элементарной площадке ставится в соответствие вершины искомого графа решетки рабочего поля. Две вершины соединены ребром, если между соответствующими площадками может быть проведено соединение с учетом заданных критериев. Модель платы субблока расположенная в монтажном пространстве схемы без учета межсоединений показан на рис. 3.

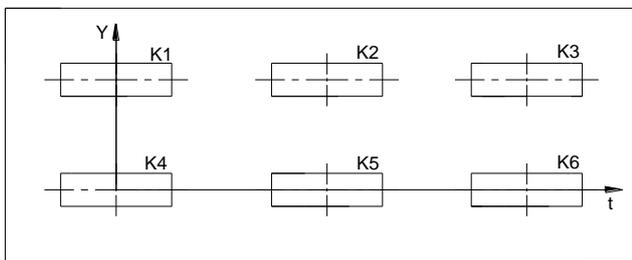


Рис. 3. Модель платы субблока

Суммарная взвешенная длина межсоединений [3]:

$$F(a) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N r_{i,j} d_{i,j} + \sum_{i=0}^N h_i m_i, \quad (3)$$

где $d_{i,j}$ – расстояние между позициями установки компонентов; m_i – номер вертикального ряда в котором расположен компонент.

Выбор позиции для установки очередного компонента должен вести к минимизации критериев размещения. При использовании критерия минимума суммарной взвешенной длины соединений и максимума числа ЛС оценкой качества позиции может служить процентное соотношение от оценки -го компонента с последующим переносом в функциональную позицию, которая отражает суммарную длину его связей с уже размещенными компонентами. Этот показатель выражается как [3-5]:

$$F_i^f = \sum_{j \in J_k} r_{i,j} d_{f,t(j)} + h_i m_i, \quad (4)$$

где $t(j) \in T_k$ – порядковый номер размещенного компонента схемы в массиве.

Для размещения каждого компонента из массива свободных позиций выбирается, которая обеспечивает условие [3-5]:

$$\min_{f \in \overline{T}_k} \left\{ \sum_{j \in J_k} r_{i,j} d_{f,t(j)} + m_j h_i \right\}. \quad (5)$$

где множество индексов размещенных компонентов J_k , неразмещенных \overline{T}_k ; множества индексов занятых T_k и свободных позиций \overline{T}_k . Модель поля размещения показана на рис. 4.

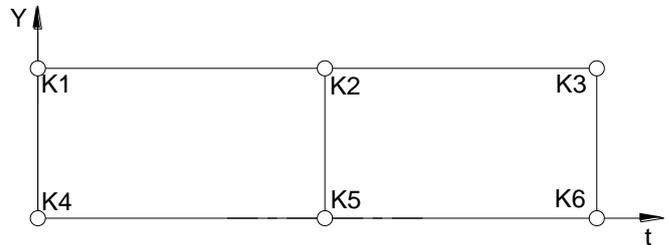


Рис. 4. Модель поля размещения

Для решения данной задачи целесообразно воспользоваться эвристическим методом, имеющим приемлемую вычислительную сложность. Основные комбинаторные задачи структурного проектирования СБИС относятся к классу NP-полных и NP-трудных задач. В настоящее время оптимальное решение NP-полных задач можно найти только путём полного перебора возможных решений и затратить при этом экспоненциальное время. Поэтому в основном при проектировании СБИС большой размерности ($n > 10^6$) рассматриваются эвристические методы нахождения приближённых решений [6], в частности генетический алгоритм поиска [6-8].

III. НАЧАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ

Опишем основные этапы алгоритма начального размещения на основе генетического алгоритма поиска:

- 1) Производится загрузка начального размещения ($t=0$).
- 2) Проверка получения лучшего решения если да, то вывод решения, если нет переход к пункту 3.
- 3) Распаковка вершин рассматриваемого уровня.
- 4) Определяем лучшее решение с прошлого этапа и увеличиваем ее размер на число равное количеству распакованных вершин. Занятые позиции остаются неизменными, а свободные заполняются в случайном порядке распакованными вершинами.
- 5) Занесение начального размещения в новое решение и создание на основе следующего поколения решений [10], оставляя фиксированные позиции неизменными.

- 6) Вычисление целевой функции (ЦФ) решения (популяции) и сортировка решения на ее основе. Реализация генетических операторов.
- 7) Проверка сокращения размера популяции до заданного размера.
- 8) Формирование нового решения (популяции).
- 9) Вычисление ЦФ и сортировка индивидов решения (популяции) на основе полученных данных.
- 10) Сохранение перспективных решений, выбор текущего лучшего решения.
- 11) Проверка логического условия. Если не пройдено число итераций переход к шагу 6. Иначе переход к пункту 12.
- 12) Сохранение лучшего решения.
- 13) Конец работы алгоритма.

Структура описанного модифицированного генетического алгоритма начального размещения представлена на рис. 5.



Рис. 5. Структурная схема алгоритма начального размещения

После того как определена модель схемы, можно найти относительное расположение компонентов на кристалле используя их точное представление [9-10].

Учитывая, что для рассматриваемой конструкции кристалла, реализация соединений ЛС является наиболее предпочтительной, лучшим результатом размеще-

ния можно считать тот, в котором большее число ребер расположено вертикально. Граф G на модели рабочего поля размещения представлен на рис. 6.

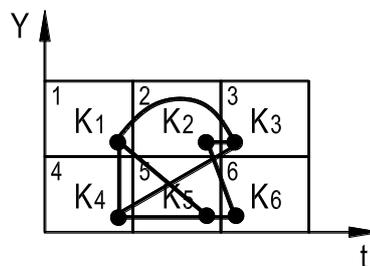


Рис. 6. Граф G на модели рабочего поля размещения

Поэтому после того как найден первоначальный вариант размещения, можно найти новое расположение компонентов, при котором большинство ребер будет направленно вертикально. Результат начального размещения представлен на рис. 7 и его проекция на рис. 8.

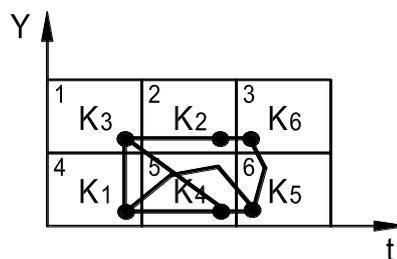


Рис. 7. Результат начального размещения

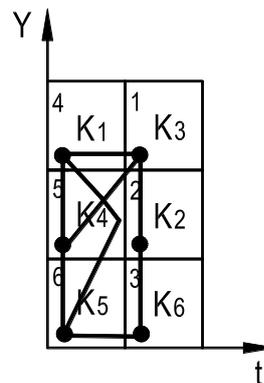


Рис. 8. Проекция начального размещения

Для решения данной задачи используется конструктивный эвристический алгоритм получения начального варианта и итерационные алгоритмы улучшения размещения.

Ключевая идея такого подхода заключается в следующем. На первом этапе размерность задачи уменьшается путем свертки гиперграфа, моделирующего схему, до небольшого числа вершин. Затем полученный гиперграф подвергается разбиению. Здесь применяется эвристический алгоритм на основе различных архитектур поиска [1, 3], позволяющий получить локально-оптимальное решение за небольшое время. После того, как начальное решение найдено, гиперграф

разворачивается, а найденное разбиение модифицируется эвристикой улучшения [8, 10].

По результатам экспериментов, представленных в литературе [4-13], очевидно, что в задаче размещения эвристические алгоритмы способны получать высококачественные решения даже для неструктурированных графов.

Оптимизация полученного варианта размещения выполняется с учетом вектора критериев максимума числа линейных сегментов и суммарная взвешенная длина соединений. Причем контроль ограничений достаточно проводить лишь в сечениях, проходящих через компоненты. После того как найден улучшенный вариант размещения компонентов.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлен механизм представления матричной архитектуры в виде рабочего поля в задаче начального размещения компонентов СБИС на основе генетического алгоритма, которая дает возможность получить одновременно практически реализуемое схемотехническое решение с учетом особенностей технологии изготовления и первоначальный вариант топологии. Описаны этапы алгоритма начального размещения на основе генетического алгоритма с дальнейшим примером начального размещения в матричном рабочем поле. Представленный пример размещения компонентов СБИС на основе генетического алгоритма подтверждает эффективность предложенного механизма.

ПОДДЕРЖКА

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90151.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Данильченко В.И., Курейчик В.М. Генетический алгоритм планирования размещения СБИС // Известие ЮФУ, вып. 2., 2019г, стр. 75-79
- [2] Kokolov A. A., Salnikov A. S., Sheyerman F. I. and Babak L. I. Broadband Double-Balanced SiGe BiCMOS Mixer With Integrated Asymmetric MBaluns, Int. Conf. "Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines" (Dynamics-2017), Omsk, Russia, 2017 (accepted for publication).

- [3] Danilchenko V. I., Danilchenko Y. V., Kureichik V. M. Application of genetic algorithms in solving the problem of placing elements on a crystal taking into account the criterion of the maximum number of linear segments // 5th International Scientific Conference "Intelligent Information technologies for Industry" ИТИ2021 p. 10-14. DIO: 8 - 3 - 030 - 87178 - 9_28.
- [4] Bockleemann D. E. and Eisenstadt W. R. Combined Differential and Common-Mode Scattering Parameters: Theory and Simulation. IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-43, No. 7, pp. 520–523, July 1995.
- [5] Danilchenko V. I., Danilchenko Y. V., Kureichik V. M. Bionspired search in the transmission line design calculation problem when placing VLSI fragments // Conference Proceedings - 2021 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves, RSEMW 2021 стр. 56-60. DIO: 2 - s2.0 - 85114469286.
- [6] Kurokawa K. Power Waves and the Scattering Matrix, IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-13, № 2, pp. 194–202, 1965.
- [7] Zhabin D. A., Garays D. V., Kalentyev A. A., Dobush I. M. and Babak L. I. Automated Synthesis of Low Noise Amplifiers Using S-parameter Sets of Passive Elements, Asia-Pacific Microwave Conference (APMC 2017), Kuala Lumpur, Malaysia, 2017 (accepted for publication).
- [8] Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. - М.: Физматлит, 2010.
- [9] Курейчик В.В., Запорожец Д.Ю. Современные проблемы при размещении элементов СБИС. Известия ЮФУ. Технические науки. 2011. № 7 (120). С. 68-73.
- [10] Лебедев Б.К., Лебедев В.Б., Лебедев О.Б., Методы, модели и алгоритмы размещения – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2015 – 150с.
- [11] Alpert, C. J., Dinesh P. M., Sachin, S. S.: Handbook of Algorithms for Physical design Automation, Auerbach Publications Taylor & Francis Group, USA, 2009.
- [12] Kureichik V.V., Kureichik V.M., Malioukov S.P., Malioukov A.S. Algorithms for Applied CAD Problems. – Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. – 487 p.
- [13] Sherwani, N. A.: Algorithms for VLSI Physical Design Automation. Third Edition, Kluwer Academic Publisher, USA, 2013.
- [14] Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б. Моделирование систем. Динамические и гибридные системы: учеб. - метод. пособие. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006.
- [15] Zaporozhets, D.U.; Zaruba, D.V.; Kureichik, V.V. Representation of solutions in genetic VLSI placement algorithms // Design & Test Symposium (EWDTS), East-West. 1 - 4, 2014.

Representation of the Matrix Architecture in the Form of a Working Field in the Problem of the Initial Placement of VLSI Components

V.I. Danilchenko, E.V. Danilchenko, V.M. Kureichik

Institute of computer technologies and information security
Southern Federal University, Taganrog, Russia
vdanilchenko@sfedu.ru

Abstract — The paper describes the mechanism for representing the matrix architecture in the form of a working field, taking into account the multicriteria problem of the initial placement of VLSI components. To solve this problem, a constructive heuristic algorithm for obtaining the initial variant and iterative algorithms for improving placement are used. Within the framework of this work, a variant of a multicriteria problem will be considered taking into account the vector of criteria: the maximum number of linear segments and the total weighted length of connections. The purpose of this work is to find ways for the initial placement of components in the conditions of the VLSI matrix architecture. Scientific novelty lies in the development of a modified scheme representation mechanism based on a graph topological model, taking into account the criteria vector. The problem statement in this work is as follows: to optimize the process of placing components in the VLSI matrix architecture by using a modified scheme representation mechanism in a multicriteria environment. The fundamental difference from the known approaches is in the use of a modified multicriteria mechanism for representing the matrix architecture as a working one in the problem of the initial placement of VLSI components. In addition, within the framework of this work, the result of the initial placement based on the proposed algorithm, obtained from the graph model of interconnections, is presented. The problem of creating methods, algorithms and software for the automated placement of VLSI components is currently of particular relevance, which is confirmed by the large amount of published scientific literature, including that considered in this work.

Keywords — graph models, automation of component placement, matrix architecture, computer-aided design systems, circuit diagram, topology, tracing.

REFERENCES

- [1] Danilchenko V.I., Kureichik V.M. Geneticheskij algoritm planirovaniya razmeshcheniya VLSI (Genetic Algorithm for VLSI Deployment Planning) // Izvestie SFEDU, v. 2., 2019, p. 75-79
- [2] Kokolov A. A., Salnikov A. S., Sheyerman F. I. and Babak L. I. Broadband Double-Balanced SiGe BiCMOS Mixer With Integrated Asymmetric MBaluns, Int. Conf. "Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines" (Dynamics-2017), Omsk, Russia, 2017.
- [3] Danilchenko V. I., Danilchenko Y. V., Kureichik V. M. Application of genetic algorithms in solving the problem of placing elements on a crystal taking into account the criterion of the maximum number of linear segments // 5th International Scientific Conference "Intelligent Information technologies for Industry" IITI2021 p. 10-14. DIO: 8 - 3 - 030 - 87178 - 9_28.
- [4] Bockleemann D. E. and Eisenstadt W. R. Combined Differential and Common-Mode Scattering Parameters: Theory and Simulation. IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-43, No. 7, pp. 520–523, July 1995.
- [5] Danilchenko V. I., Danilchenko Y. V., Kureichik V. M. Bionspired search in the transmission line design calculation problem when placing VLSI fragments // Conference Proceedings - 2021 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves, RSEMW 2021 crp. 56-60. DIO: 2 - s2.0 - 85114469286.
- [6] Kurokawa K. Power Waves and the Scattering Matrix, IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-13, № 2, pp. 194–202, 1965.
- [7] Zhabin D. A., Garays D. V., Kalentyev A. A., Dobush I. M. and Babak L. I. Automated Synthesis of Low Noise Amplifiers Using S-parameter Sets of Passive Elements, Asia-Pacific Microwave Conference (APMC 2017), Kuala Lumpur, Malaysia, 2017 (accepted for publication).
- [8] Gladkov L.A, Kureichik V.V., Kureichik V.M. Geneticheskie algoritmy (Genetic algorithms). - M.: Fizmatlit, 2010.
- [9] Kureichik V.V., Zaporozhch D.Y. Sovremennye problemy pri razmeshchenii elementov VLSI (Modern problems in the placement of VLSI elements). Izvestiya SFEDU. Tekhnicheskie nauki. 2011. V. 7 (120). p. 68-73.
- [10] Lebedev B.K., Lebedev V.B., Lebedev O.B., Metody, modeli i algoritmy razmeshcheniya (Methods, models and algorithms for placement) – Roston-on-Don: Publishing house of SFU, 2015 - 150p.
- [11] Alpert, C. J., Dinesh P. M., Sachin, S. S.: Handbook of Algorithms for Physical design Automation, Auerbach Publications Taylor & Francis Group, USA, 2009.
- [12] Kureichik V.V., Kureichik V.M., Malioukov S.P., Malioukov A.S. Algorithms for Applied CAD Problems. – Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. – 487 p.
- [13] Sherwani, N. A.: Algorithms for VLSI Physical Design Automation. Third Edition, Kluwer Academic Publisher, USA, 2013.
- [14] Kolesov YU.B., Senichenkov YU.B. Modelirovanie sistem. Dinamicheskie i gibridnye sistemy (Systems Modeling. Dynamic and hybrid systems) : textbook. - method, manual. - St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2006.
- [15] Zaporozhets, D.U.; Zaruba, D.V.; Kureichik, V.V. Representation of solutions in genetic VLSI placement algorithms // Design & Test Symposium (EWDTs), East-West. 1 - 4, 2014.