

9. Шаплавський М. В., Пішак В. П., Слободян О. В., Григоришин П. М. Пат. № 35766, Уа. Безелектродний спосіб вимірювання в'язкості біологічних рідин; Україна; U2008 02926; Заявл. 06.03.2008. Опубл. 10.10.2008; Бюл. №19.
10. Гуцул О.В., Слободян В.З. Порівняння безелектродного та електродного методів вимірювання електрофізичних характеристик невеликих проб рідини / О. В. Гуцул, В. З. Слободян // Materialy IX Mezinarodni Vedecko – Praktika conference «Veda a technologie: Krok do budoucnosti – 2013» (27.02-05.03.2013). Dil 28. Technicke vedy, 2013, Praga, s. 31-34.

УДК 519.172

## ТРАССИРОВКА ПОДКЛЮЧАЮЩЕЙ ПЛАСТИНЫ МНОГОЗОНДОВОГО УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ BGA-КОМПОНЕНТОВ

<sup>1</sup>Жарикова И. В., аспирант, <sup>2</sup>Курапов С. В., к. ф.-м. н., доцент, <sup>1</sup>Невлюдов И. Ш., д. т. н., профессор,  
<sup>1</sup>Палагин В. А., к. т. н., доцент, <sup>1</sup>Разумов-Фризюк Е. А., к. т. н., доцент, <sup>2</sup>Чеченя В. С., аспирант

<sup>1</sup>*Харьковский национальный университет радиоэлектроники*

<sup>2</sup>*Запорожский национальный университет*

Работа посвящена современным разработкам в области микроэлектромеханических устройств тестирования, которые могут быть использованы в производстве радиоэлектронных аппаратов. Речь идет о примере разработанного многозондового соединительного устройства для тестирования электронных BGA-компонент. Предложен метод гибкой трассировки соединительной платформы. Разработанное соединительное устройство обеспечивает высокую надежность и точность процесса тестирования и значительное снижение стоимости устройств и время опытной эксплуатации.

*Ключевые слова:* граф, трассировка, корпус BGA, макродисcret, контакт, площадка компонент, слой.

<sup>1</sup>Жарикова І. В., <sup>2</sup>Курапов С. В., <sup>1</sup>Невлюдов І. Ш., <sup>1</sup>Палагін В. А., <sup>1</sup>Разумов-Фризюк Е. А., <sup>2</sup>Чеченя В. С. ТРАСУВАННЯ ПІДКЛЮЧАЮЧОЇ ПЛАСТИНИ БАГАТОЗОНДОВОГО ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ BGA-КОМПОНЕНТІВ / <sup>1</sup>Харківський національний університет радіоелектроніки, <sup>2</sup>Запорізький національний університет, Україна

Робота присвячена сучасним розробкам в області мікроелектромеханічних пристроїв тестування, що можуть бути використані у виробництві радіоелектронних апаратів. Йдеться про приклад розробленого багатозондового з'єднувального пристрою для тестування електронних BGA-компонент. Запропоновано метод гнучкого трасування сполучної платформи. Розроблений з'єднувальний пристрій забезпечує високу надійність і точність процесу тестування і значне зниження вартості пристроїв і час дослідної експлуатації.

*Ключові слова:* граф, трасування, корпус BGA, макродіскрет, контакт, поле компонентів, шар.

<sup>1</sup>Zharikova I. V., <sup>2</sup>Kurapov S. V., <sup>1</sup>Nevlyudov I. S., <sup>1</sup>Palagin V. A., <sup>1</sup>Razumov-Frizyuk E. A., <sup>2</sup>Chechenia V. S. TRACING of CONNECTING PLATE of MULTIPROBE DEVICE of CONTROL of BGA-COMPONENTS / <sup>1</sup>Kharkov National University of Radio Electronics, <sup>2</sup>Zaporizhzhya National University, Ukraine

The paper is devoted to development and modeling of microelectromechanical devices test components in BGA/CSP-frames. A fundamentally new multipoint connect devices for input and function control microcircuits with the ability to verify the connection is proposed. Developed coupling device provides for high reliability and accuracy of the testing process and significantly reduce the cost of devices and the trial operation time. Multipoint connect device not only provides a connection to the EC but also contains information on the availability of contact. Furthermore multipoint connect devices provides redundancy connection to the object of control, which improves the test reliability and control results accuracy of EC with matrix conclusions. A new approach to the process of tracing the pressing plate is also proposed in the article. As one of the options, was considered the possibility of developing a trace mathematical model based on graph theory. Mathematical model of the connections is a set of symmetrically spaced lines, which are called levels and denoted with Latin letters *a, b, c, d, e, f, ...*, the amount of which is determined by the number of rows of the matrix-arranged contacts. Each band consists of macro-discrete. Macro-discrete is a square, in the corners of which there are four contacts. Based on the structural and technological requirements, calculated the maximum number of connections and the number of layers in macro-discrete. Mathematical method of connections consists in the formation of a connections tuple location. A method for distribution of the compounds in layers depending on the structural and technological constraints is proposed. This method is based on the application of graph theory, reduces the complexity and time topology design flexible loop MMD, and can be used to develop topologies of microelectromechanical structures for various purposes.

*Key words:* graph, tracing, body BGA, macro-discrete, contact, playground components, layer.

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее перспективных направлений корпусирования поверхностно-монтируемых интегральных микросхем, с учетом тенденции усложнения конструкций электронных компонентов, уменьшения размеров и увеличения количества выводов, можно считать технологию BGA (от англ. *ball grid array* – массив шариков). Микросхемы в корпусе BGA относительно недороги и отличаются малыми размерами [1].

В то же время с увеличением количества выводов микросхемы снижается ее надежность, что приводит к необходимости дополнительных операций входного, функционального контроля при использовании в производстве микросхем в корпусах BGA. Основные сложности при контроле BGA-компонентов связаны с их конструктивно-технологическими особенностями. Существующие методы контроля (например, игольчатый метод) отличаются либо высокой стоимостью, либо необходимостью дополнительных ручных проверок.

### ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА И ТОПОЛОГИИ ПРИЖИМАЮЩЕЙ ПЛАСТИНЫ

Микроэлектромеханическое многозондовое подключающее устройство (МПУ) предназначено для подключения электронных компонентов (ЭК) с матричными выводами шарикового типа (BGA/CSP) на операциях входного и функционального контроля к автоматизированным контролирующим комплексам или специализированным пультам контроля перед подачей ЭК на последующие операции сборки радиоэлектронных средств (блоков, модулей) [2].

В качестве объекта контроля была выбрана микросхема FG-320, характеризующаяся следующими параметрами (рис. 1):

- количество выводов 320 (18×18, без четырех выводов в центре);
- шаг размещения выводов – 1 мм;
- диаметр шарикового вывода – 600 мкм.

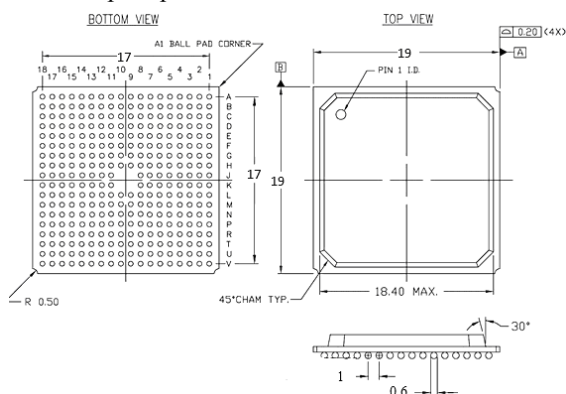


Рис. 1. Вид микросхемы FG-320

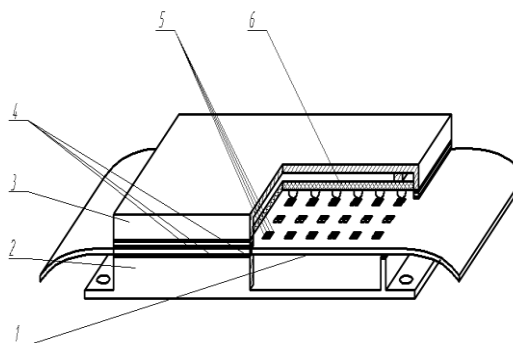


Рис. 2. Устройство контроля

Из-за большого количества и высокой плотности расположения шариковых выводов сложно осуществить контроль такой микросхемы с помощью стандартных методов контроля. Подключающая пластина 1 (рис. 2), расположенная в корпусе 2 между уплотнительными прокладками 4, под действием сжатого воздуха прижимается к контролируемому объекту 6. МПУ имеет две зоны: зону контактирования с расположенными на ней площадками 5 и зону подключения к оборудованию контроля. ЭК позиционируется направляющими элементами в корпусе и фиксируется крышкой 3.

Подключение к измерительному оборудованию осуществляется стандартными плоскими ZIF-соединителями (*zero insertion force* – нулевое усилие вставки).

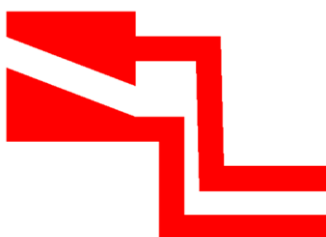


Рис. 3. Площадка зонда

В МПУ каждый зонд состоит из двух частей. От каждой части зонда на внешний соединитель идет отдельный проводник. На рис. 3 представлен вид площадки-зонда для подключения к одному выводу ЭК.

При контактировании разъединенных частей зонда с шариковыми выводами ЭК эти части электрически соединяются между собой, что может регистрироваться внешним автоматическим прибором при проведении самотестирования системы контроля. Таким образом, МПУ не только обеспечивает подключение к ЭК, но и содержит информацию о наличии контакта. Кроме того МПУ обеспечивает дублирование подключения к объекту контроля, что повышает надежность тестирования и достоверность результатов контроля ЭК с матричными выводами. Площадка-зонд имеет габаритные размеры  $400 \times 400$  мкм. Ширина проводников – 75 мкм, минимальное расстояние между проводниками – 75 мкм. Гибкая плата изготавливается из фольгированного полиимида марки ФДИ-А-50 на двух слоях. Межслойные соединения выполняются ультразвуковой сваркой, размеры технологических окон в полиимиде для межслойной сварки составляют  $150 \times 150$  мкм. Соединение слоев выполняется склеиванием полиимидным клеем.

На рис. 4 приведена топология прижимающей пластины МПУ.

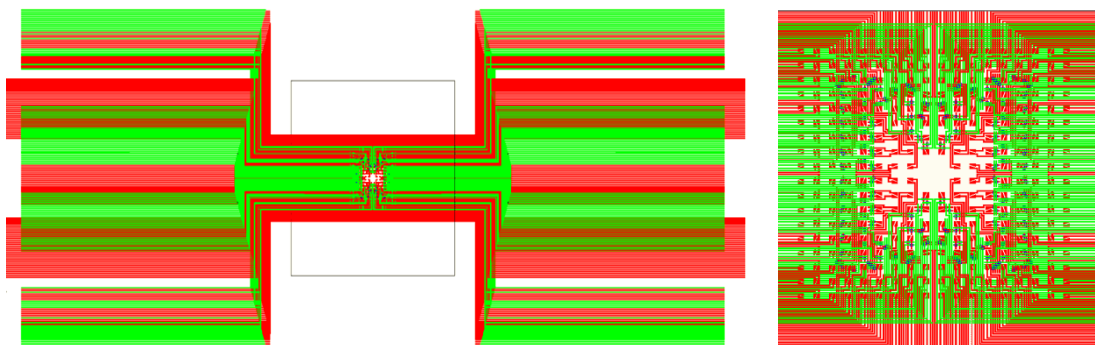


Рис. 4. Топология прижимающей пластины

Несмотря на относительную простоту изготовления и эксплуатации, наиболее трудоемким является процесс разработки топологии прижимающей пластины, особенно это относится к топологиям прижимающих пластин для BGA-компонентов с большим количеством (200 и более) и высокой плотностью расположения шариковых выводов.

К сожалению, современные программы-трассировщики не в состоянии справиться с поставленной задачей, сложности возникают из-за большого количества слоев и трассируемых элементов, малых значений толщины проводников и расстояний между ними, специфики межслойных соединений (сварка фольгированного полиимида) и ряда других факторов.

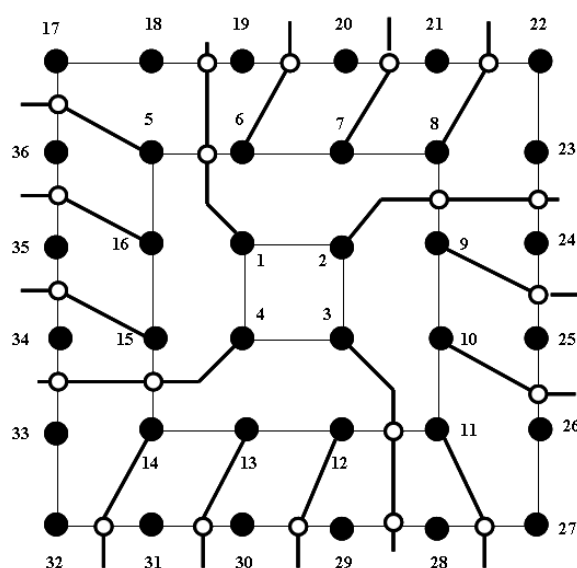


Рис. 5. Фрагмент корпуса на 36 выводов и проведение соединений

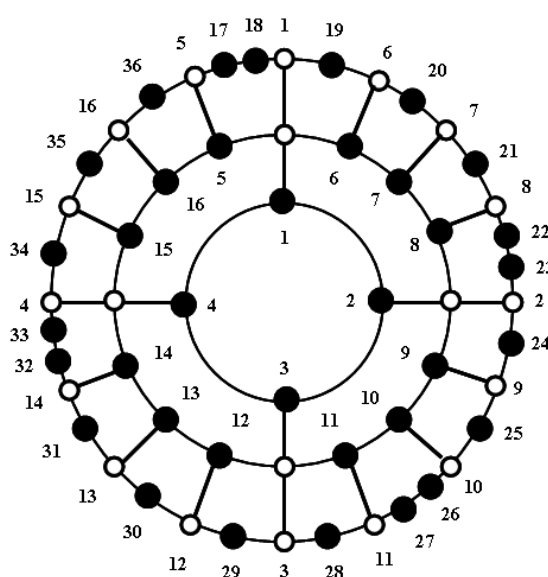


Рис. 6. Топологическая модель корпуса на 36 выводов и проведение соединений

Для решения подобных задач необходим принципиально новый подход к процессу трассировки. В качестве одного из вариантов была рассмотрена возможность разработки математической модели трассировки на основе теории графов [3-4].

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРАССИРОВКИ МАТРИЧНЫХ СТРУКТУР

При создании математической модели расположение контактов на поверхности можно представить в виде точек (вершин), расположенных на концентрических окружностях (см. рис. 5-6).

И тогда математическая модель проведения соединений представляет собой совокупность проведенных линий относительно симметрично расположенных поверхностей, называемых уровнями и обозначаемых латинскими буквами  $a, b, c, d, e, f, \dots$ , количество которых определяется количеством рядов матрично-расположенных контактов (см. рис.7).

Такое расположение контактов определяет симметрию относительно центра и осей координат. Данное обстоятельство позволяет рассматривать проведение соединений для корпусов с четным числом контактов в ряду, только в одной четверти математической модели корпуса, симметрично отображая рисунок в остальных четвертях. Рассмотрим математическую модель для корпуса с 324 матрично-расположенными контактами, которые представлены в 18-ти горизонтальных и вертикальных рядах (см. рис. 7, левая верхняя четверть).

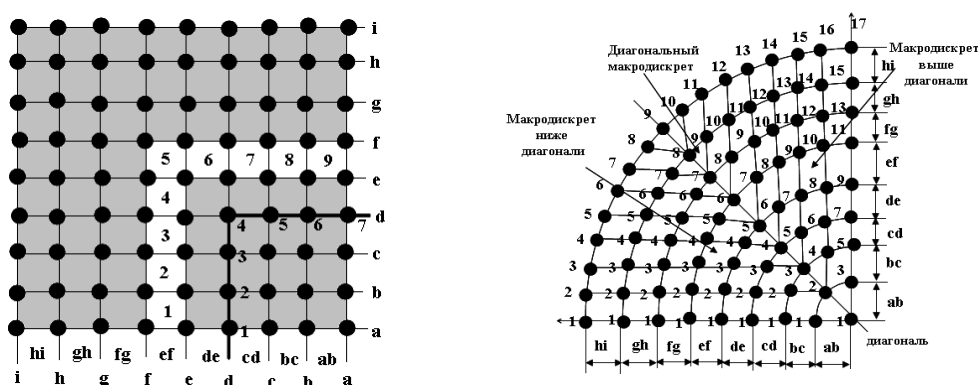


Рис. 7. Математическая модель для проведения соединений

В свою очередь, образуются полосы, как часть пространства, ограниченного линиями уровня. Полосы будем обозначать двумя буквами, например,  $de$  – это полоса, ограниченная линией уровня  $d$  и линией уровня  $e$  (см. рис. 7). Каждая полоса состоит из макродискретов. Макродискрет представляет собой четырехугольник, в углах которого расположены четыре контакта (см. рис. 5). По расположению в полосе существуют диагональные макродискреты, макродискреты ниже диагонали и макродискреты выше диагонали.

Исходя из конструктивно-технологических требований, рассчитывается максимальное количество соединений и количество слоев в макродискрете. Математический метод проведения соединений заключается в формировании кортежа расположения соединений  $M_s$ . Начинаем проводить соединения с самого нижнего правого контакта  $a1$ . Здесь проведение соединений ассоциируется с введением и перестановкой контактов в кортеже.

Рассмотрим пример проведения соединений ( $cv/ hbc/ 7$ ). Начинаем проводить соединения с самого нижнего правого контакта  $a1$ .

Первоначально кортеж состоит из одной точки

$$M_s = \langle a1 \rangle.$$

Затем последовательно в кортеже распределяем контакты сектора  $b$ , начиная слева, стремясь к заданной конструктивно-технологической нагрузке между контактами:

$$M_s = \langle \underline{b1}, \underline{b2}, a1, \underline{b3} \rangle.$$

Затем распределяем контакты сектора  $c$ , стремясь к заданной конструктивно-технологической нагрузке между контактами:

$$M_s = \langle \underline{c1}, \underline{c2}, b1, \underline{c3}, b2, a1, b3, \underline{c4}, c5 \rangle$$

Затем распределяем контакты сектора  $d$ :

$$M_s = \langle \underline{d1}, c1, \underline{d2}, c2, \underline{d3}, b1, c3, \underline{d4}, b2, a1, b3, \underline{d5}, c4, \underline{d6}, c5, \underline{d7} \rangle.$$

Затем распределяем контакты сектора  $e$ , стремясь к заданной конструктивно-технологической нагрузке между контактами и, учитывая, что количество соединений около диагонали должно быть максимально:

$$M_s = \langle e1, d1, e2, c1, d2, e3, c2, e4, d3, b1, e5, c3, d4, b2, e6, a1, b3, d5, c4, e7, d6, c5, e8, d7, e9 \rangle.$$

Распределяем контакты сектора  $f$ , стремясь к заданной конструктивно-технологической нагрузке между контактами и, учитывая, что количество соединений около диагонали должно быть максимально:

$$M_s = \langle f1, e1, f2, d1, e2, c1, d2, f3, e3, c2, f4, e4, d3, b1, f5, e5, c3, f6, d4, b2, f7, e6, a1, f8, b3, d5, c4, e7, f9, d6, c5, e8, d7, f10, e9, f11 \rangle.$$

Затем распределяем контакты сектора  $g$ , стремясь к заданной конструктивно-технологической нагрузке между контактами и учитывая, что количество соединений около диагонали должно быть максимально:

$$M_s = \langle g1, f1, e1, f2, g2, d1, e2, c1, d2, g3, f3, e3, c2, g4, f4, e4, g5, d3, b1, f5, g6, e5, c3, g7, f6, d4, g8, b2, f7, e6, g9, a1, f8, b3, d5, g10, c4, e7, f9, g11, d6, c5, e8, d7, g12, f10, e9, f11, g13 \rangle.$$

Затем распределяем контакты сектора  $h$ , стремясь к заданной конструктивно-технологической нагрузке между контактами и учитывая, что количество соединений около диагонали должно быть максимально:

$$M_s = \langle g1, h1, f1, e1, f2, g2, h2, e2, c1, d2, h3, g3, f3, e3, c2, h4, g4, f4, e4, h5, g5, d3, b1, f5, h6, g6, e5, c3, h7, g7, f6, d4, g8, h8, h9, b2, f7, h10, e6, g9, a1, h11, f8, b3, d5, g10, h12, c4, e7, f9, g11, h13, d6, c5, e8, d7, h14, g12, f10, e9, f11, h15, g13 \rangle.$$

Наконец, распределяем контакты сектора  $i$ , стремясь к заданной конструктивно-технологической нагрузке между контактами и учитывая, что количество соединений около диагонали должно быть максимально:

$$M_s = \langle g1, h1, i1, f1, e1, f2, g2, h2, i2, e2, c1, d2, i3, h3, g3, f3, e3, c2, i4, h4, g4, f4, e4, i5, h5, g5, d3, b1, f5, i6, h6, g6, e5, c3, i7, h7, g7, f6, d4, g8, i8, h8, h9, b2, i9, f7, i10, h10, i11, e6, g9, i12, a1, h11, f8, i13, b3, d5, g10, h12, i14, c4, e7, f9, g11, h13, i15, d6, c5, e8, d7, i16, h14, g12, f10, e9, f11, i17, h15, g13 \rangle.$$

Построенный таким образом кортеж впредь будем называть кортежем соединений и обозначать  $M_s$ . Покажем, что кортеж соединений определяет и количество проведенных соединений в макродискретах и их взаимное расположение.

После проведения соединений определяем нагрузку макродискретов и взаимное расположение соединений. Так как макродискреты находятся между линиями уровня, то их наименование будет двойным, например,  $ih2$  определяет 2-ой макродискрет полосы  $ih$  с вершинами  $[i2, i3, h2, h3]$ . Для данного макродискрета  $[i2, i3, h2, h3]$  проведение соединений по стороне макродискрета  $[i3, h3]$  определяется из рассмотрения последовательности  $\dots d2, i2, e2, c1, d2, i3, \dots$  сектора  $ih2$ , и определяет проведение соединений от контактов  $e2, c1, d2$ , расположенных между контактом  $i2$  и  $i3$  (см. рис. 8). Проведение соединений по стороне макродискрета  $[i3, h3]$  также определяется из рассмотрения последовательности  $\dots d2, i3, h3, g3, \dots$  уровня  $i$ , где нет проходящих соединений. Проведение соединений по стороне макродискрета  $[h2, h3]$  также определяется из рассмотрения последовательности  $\dots g2, h2, e2, c1, d2, h3, g3, \dots$  уровня  $h$ , и определяет проведение соединений от контактов  $e2, c1, d2$ , расположенных между контактом  $h2$  и  $h3$  уровня  $h$  (см. рис.8). Наконец, проведение соединений по стороне макродискрета  $[h2, i2]$  также определяется из рассмотрения последовательности  $\dots g2, h2, i2, e2, \dots$  уровня  $i$  (см. рис. 8). Причем, обязательно требуется выполнения правила: при определении соединений, проходящих по ребрам макродискрета, учитываются только соединения низших рангов.

Определим характер проведения соединений в 3-ем макродискрете полосы  $cd$ . Вершины макродискрета  $[d3, d4, e5, c3]$  и данный макродискрет диагонального типа.

Определяем соединения между контактами  $d3, d4$ , находящихся на уровне  $d$ , из цепочки кортежа  $\dots c2, d3, b1, c3, d4, b2, \dots$ . Это соединения  $b1, c3$ .

Определяем соединения между контактами  $d4, d5$ , находящихся на уровне  $d$ , из цепочки кортежа  $\dots c3, d4, b2, a1, b3, d5, c4, \dots$ . Это соединения  $b2, a1, b3$ .

Определяем соединения между контактами  $d3, d4$ , находящихся на уровне  $d$ , из цепочки кортежа  $\dots d3, b1, c3, d4, \dots$ , это соединение  $b1, c3$ .

Определяем соединения между контактами  $c3, d5$ , находящихся на уровне  $d$ , из цепочки кортежа  $\dots b1, c3, d4, b2, a1, b3, d5, c4, \dots$ . Это соединения  $d4, b2, a1, b3$ . Соединение  $d4$  следует удалить из рассмотрения, как имеющее более высокий приоритет. Итак, соединения, проходящие по ребру  $[c3, d5]$ , это  $b2, a1, b3$  в соответствующем порядке (см. рис. 9).

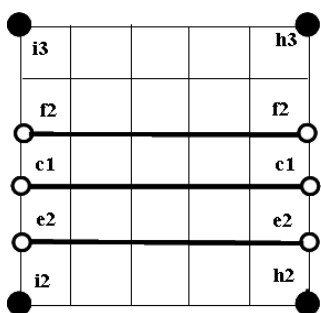


Рис. 8. Проведение соединений в макродискрете  $[i2, i3, h2, h3]$

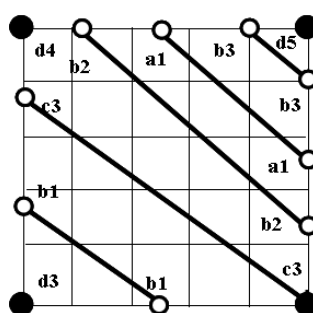


Рис. 9. Проведение соединений в макродискрете  $[d3, d4, d5, c3]$

Построение соединений начинается с определения местоположения соединений в полосе  $ab$  (см. рис. 10), где проводится одно соединение. Далее рассматриваются соединения в полосе  $bc$  (см. рис. 11).

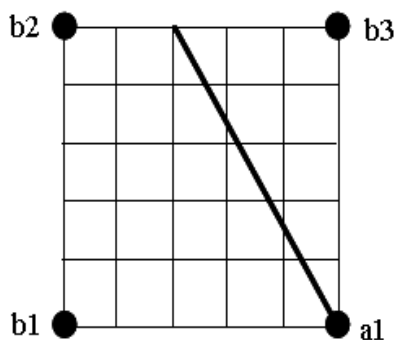


Рис. 10. Проведение соединений в макродискрете  $[b1, b2, b3, a1]$

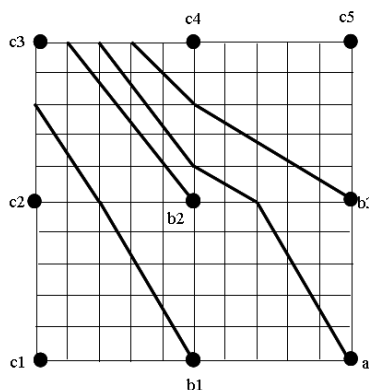


Рис. 11. Проведение соединений в полосе  $bc$

Далее проводятся соединения в полосе  $cd$  (см. рис. 12) относительно кортежа соединений

$$M_s = \langle d1, c1, d2, c2, d3, b1, c3, d4, b2, a1, b3, d5, c4, d6, c5, d7 \rangle.$$

Если, исходя из конструктивно-технологических ограничений количество соединений в макродискрете  $[d3, d4, d5, c3]$  превышает допустимое значение, то производим перегруппировку контактов сектора  $d$  (см. рис. 13).

$$M_s = \langle d1, c1, d2, c2, d3, b1, c3, d4, b2, a1, d5, b3, c4, d6, c5, d7 \rangle.$$

Далее производится формирование кортежа соединений  $M_s$  относительно новой системы соединений.

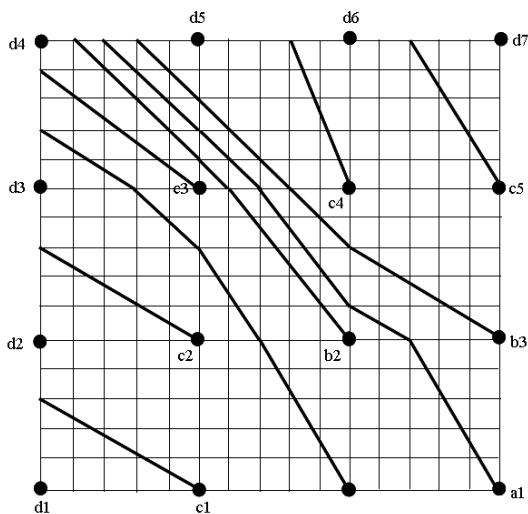


Рис. 12. Проведение соединений в полосе  $cd$

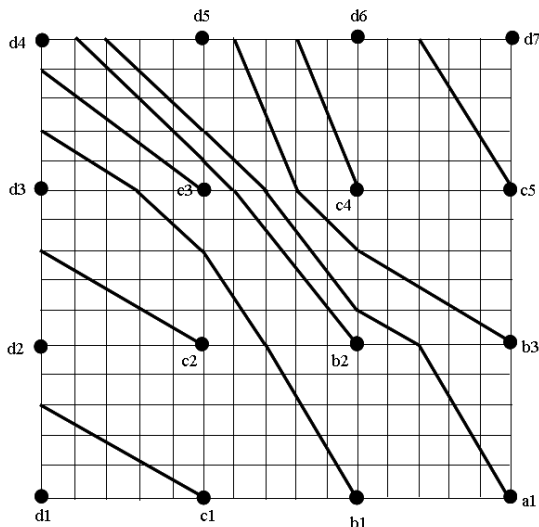


Рис. 13. Перераспределение соединений в полосе  $cd$

Проведение всех соединений для следующего кортежа соединений

$M_s = \langle g1, h1, i1, f1, e1, f2, g2, h2, i2, d1, e2, c1, d2, i3, h3, g3, f3, e3, c2, i4, h4, g4, f4, e4, i5, h5, g5, d3, b1, f5, i6, h6, g6, e5, c3, i7, h7, g7, f6, d4, f7, i8, h8, h9, b2, i9, f6, i10, h10, i11, e6, g9, i12, a1, h11, f8, i13, b3, d5, g10, h12, i14, e7, c4, f9, g11, h13, i15, d6, c5, e8, d7, i16, h14, g12, f10, e9, f11, i17, h15, g13 \rangle$

представлено на рис. 13.

Проведение соединений в центре с учетом симметрии для всего корпуса элемента с контактами представлено на рис. 14.

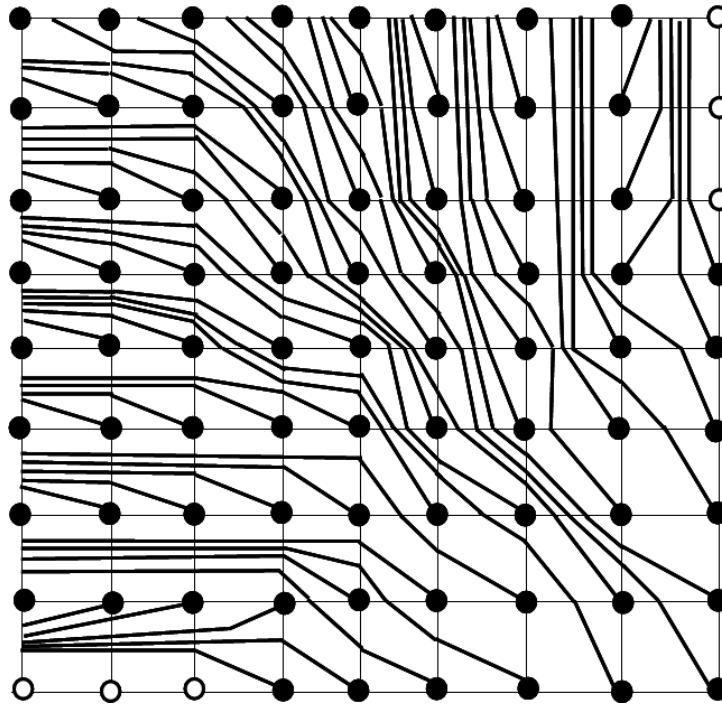


Рис. 14. Проведение соединений

Следующим этапом решения является распределение соединений по слоям, предположим, что в зависимости от конструктивно-технологических ограничений нужно проводить в макродискрете два соединения в первом слое и три соединения во втором слое.

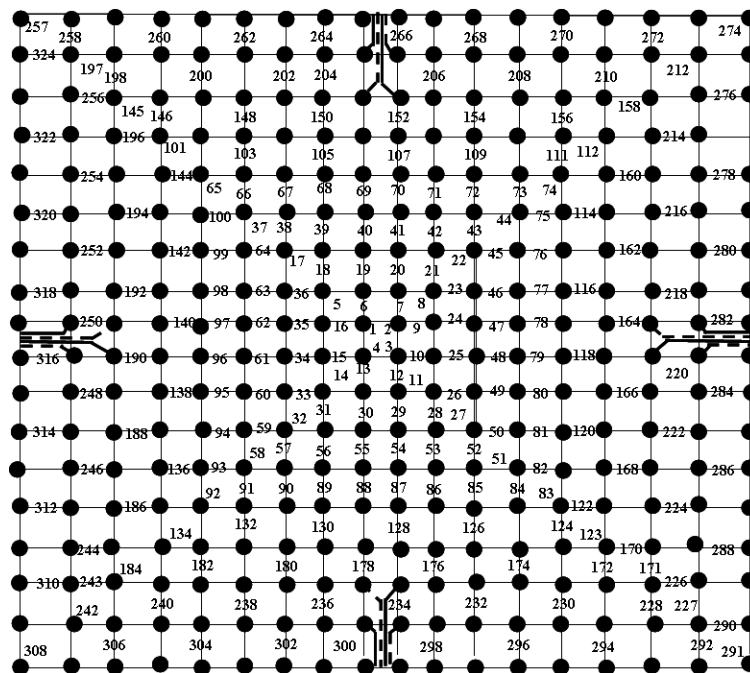


Рис. 15. Проведение симметричных соединений в центре

Получение общего рисунка соединений является исходной информацией для решения задачи распределения соединений по слоям. С целью наглядного представления соединения 1-го слоя будем изображать сплошными линиями, а соединения 2-го слоя – пунктирными линиями. В нашем случае задача расслоения соединений формулируется следующим образом: для заданного рисунка все множество соединений необходимо разбить на два непересекающихся подмножества соединений, характеризующих слой, причем так, чтобы в каждом макродискрете количество соединений 1-го слоя и количество соединений 2-го слоя не превосходило заданного количества.

В общем случае данная задача расслоения является сложной комбинаторной задачей. Для решения данной задачи можно применять как методы последовательного анализа вариантов, так и другие метаэвристические алгоритмы дискретной оптимизации [4], предполагая, что соединения в слоях различно раскрашены.

В качестве примера рассмотрим метод последовательного анализа вариантов для рисунка соединений, представленного на рис. 14. Первоначальная раскраска в данном случае представлена на рис. 16. Здесь соединения второго слоя проводятся относительно секторов  $b, d, f, h$ .

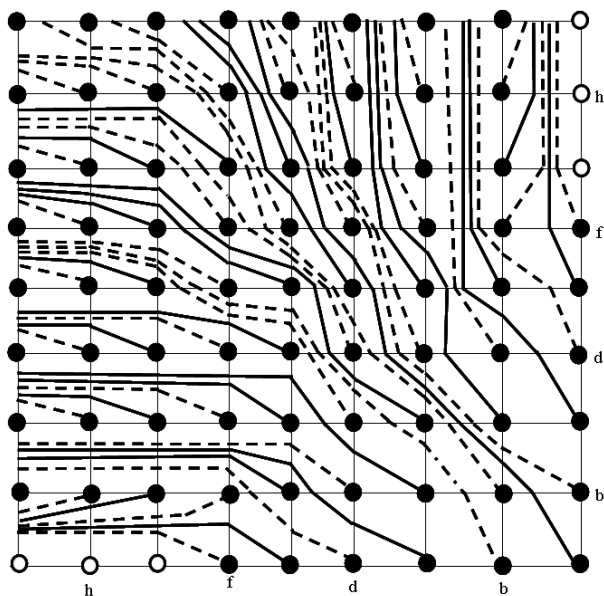


Рис. 16. Первоначальное распределение соединений по слоям

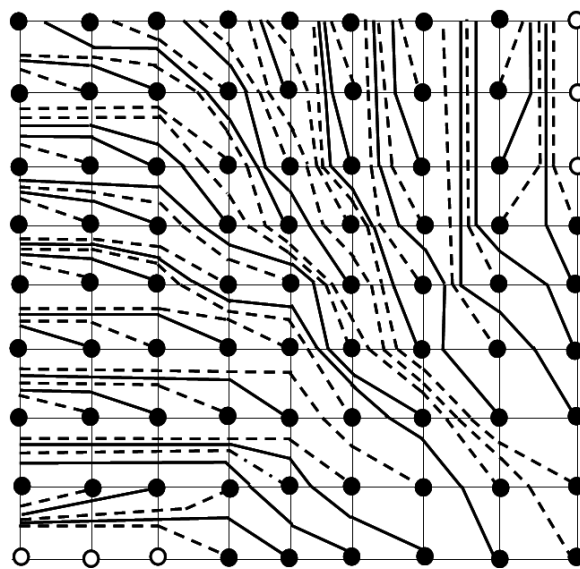


Рис.17. Окончательное распределение соединений по 2-м слоям.

Далее последовательно просматривая загрузку макродискретов определяются соединения, максимально изменяющие аддитивную сумму отклонения при перекраски соединений. Процесс продолжается до полного удовлетворения условия распределения соединений по слоям (см. рис.17).

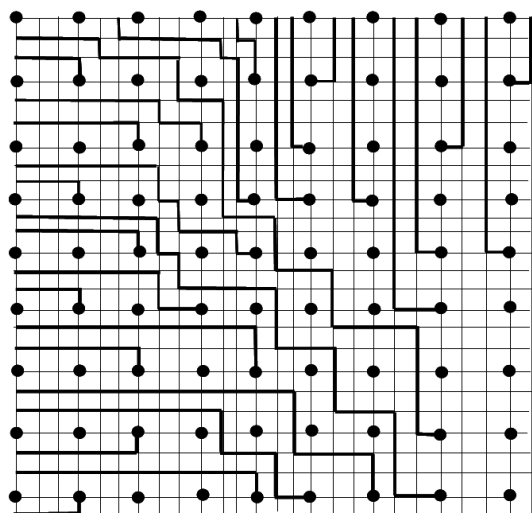


Рис.18. Ортогональное проведение соединений 1-го слоя

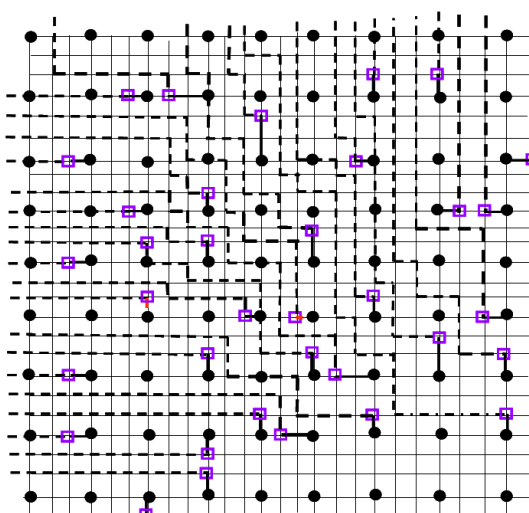


Рис. 19. Ортогональное проведение соединений 2-го слоя



После этапа распределения соединений по слоям можно осуществить ортогональное проведение соединений. Для первого слоя ортогональное проведение соединений представлено на рис. 18, а ортогональное проведение соединений для второго слоя представлено на рис. 19.

## ВЫВОДЫ

Использование МПУ повышает надежность подключения контролируемых изделий к автоматизированной аппаратуре контроля. С учетом увеличения сложности контролируемых электронных компонентов возникает необходимость поиска новых подходов к трассировке многослойных подключающих пластин МПУ. Предложенный метод, основанный на применении теории графов, позволяет снизить трудоемкость и время проектирования топологии гибкого шлейфа МПУ, а также может быть использован для разработки топологий микроэлектромеханических структур различного назначения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Семенец В. В. Технология межсоединений электронной аппаратуры : учеб. для вузов / В. В. Семенец, Джон Кратц, И. Ш. Невлюдов, В. А. Палагин. — Х. : изд. «СМИТ», 2005. — 432 с.
2. Мікроелектромеханічний багатозондовий підмикальний пристрій : пат. 95190 України: МПК H05K 3/40 / Невлюдов І. Ш., Палагін В. А., Разумов-Фризюк С. А., Жарікова І. В. та ін., опубл. 11.07.2011. — Бюл. № 13.
3. Зыков А. А. Основы теории графов / А. А. Зыков. — М. : Наука, ГРФМЛ, 1987. — 384 с.
4. Ковалев М. М. Дискретная оптимизация. Целочисленное программирование / М. М. Ковалев. — М. : УРСС, 2003. — 192 с.
5. G. Di Battista, P. Eades, R. Tamassia, I. G. Tollis. Algorithms for Drawing Graphs: an Annotated Bibliography // Computational Geometry, Theory and Applications. — 1994. — N 4. — P. 235–282.
6. C. L. Liu and R. C. Geldmacher On the deletion of nonplanar edges of a graph. [1978] – SIAM J.Comput (to appear)/ (3.1.4; 3.2.2.; A1.2)
7. Kozo Sugiyama. Graph Drawing and applications. — New Jersey: World Scientific. — 2002. — 128 p.
8. Takao Nishizeki. Planar Graph Drawing / Takao Nishizeki, Md. Saidur Rahman. — New Jersey : World Scientific, 2004. — 310 p.
9. Roberto Tamassia. Handbook of Graph Drawing and Visualization / Roberto Tamassia. — Charman and Hall/CRC. — 2013. — 844 p
10. Курапов С. В. Алгоритмические методы в теории графов / С. В. Курапов. — Запорожье : ЗНУ, 2012. — 190с.

УДК 51–77, 316.4

## ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОВЕДЕНИЯ СОЦИАЛЬНОЙ ГРУППЫ НА ОСНОВЕ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОЙ SIR-МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭПИДЕМИИ

Зиновеев И. В., к. ф.-м. н., Манько Н. И.-В., ст. преподаватель, \*Спица И. А., студент

*Запорожский национальный университет*

*\*Запорожский государственный медицинский университет*

В статье на основе SIR-модели Кермака-Маккендрика предложен подход к моделированию и исследованию динамического развития структуры замкнутой социальной группы, находящейся под информационным воздействием. Сформулирована гипотеза о параметрах предложенной модели, при которых становится возможен «социальный взрыв» на уровне группы.

*Ключевые слова:* социальная группа, SIR-модель Кермака-Маккендрика, информационное заражение, математическая модель, численное решение, прогнозирование, социальный взрыв.