

К. т. н. А. А. ЕФИМЕНКО, А. П. КАРЛАНГАЧ, С. Н. ЛАЗАРЕВ

Украина, Одесский национальный политехнический университет

E-mail: aiefimen@gmail.com

ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ДЛЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Предложен метод, алгоритм и реализующая его программа, предназначенные для определения оптимальных размеров печатных плат несущих конструкций и электронных средств различных направлений техники. В качестве критерия оптимизации принят коэффициент заполнения площади печатных плат электронными компонентами. Метод позволяет оперативно определять зависимость коэффициента заполнения от размеров печатных плат для различной элементной базы.

Ключевые слова: размеры печатных плат, несущие конструкции, оптимизация, коэффициент заполнения, элементная база.

Обязательным этапом создания несущих конструкций (**НК**) является определение типоразмерных рядов конструктивных элементов. Для стандартных НК этот процесс имеет особую значимость, которая увеличивается с ростом уровня стандартизации (предприятие, отрасль, страна, международные сообщества), т. к. необходимо учитывать множество факторов, влияющих на возможность создания перспективных электронных средств различных направлений техники для различных условий эксплуатации с высокими показателями качества.

Важность определения типоразмеров касается и печатных плат (**ПП**), поскольку от них зависят типоразмерные ряды конструктивов более высокого уровня иерархии НК и их элементов. При этом необходимо учитывать противоречие между улучшением компоновочных характеристик и снижением технологичности при увеличении количества типоразмеров ПП, требующее оптимизации размеров ПП.

Количество принятых типоразмеров печатных плат напрямую связано с правильным определением их размеров с позиций учета особенностей множества направлений использования электронных средств для получения их наилучших конструкторско-технологических характеристик. Определение оптимальных размеров ПП представляет для разработчиков очень сложную задачу, поскольку кроме тактико-технических требований к аппаратуре, учитывающих условия ее эксплуатации и специфику объекта, где она будет расположена, необходимо учитывать технологические и конструктивные требования, в первую очередь эффективное использование площади ПП. При этом выбор размеров ПП осуществляется на основе ограничения их типоразмеров,

существующими на момент разработки НК [1, 2]. Такой подход имеет свои преимущества, основанные на реализации функционально-узлового метода проектирования. Однако при этом не учитывается достаточно быстрая сменяемость элементной базы и ее влияние на компоновочные характеристики печатных узлов.

Другим решением проблемы определения размеров печатных плат является использование типоразмерных рядов, установленных в международных стандартах [3]. Это имеет свои преимущества, однако в таком случае сложно говорить о выборе оптимальных размеров.

Целью настоящей работы является разработка метода определения оптимальных размеров ПП для несущих конструкций для различных направлений техники и условий использования электронных средств, который позволяет учитывать влияние элементной базы на компоновочные характеристики печатных узлов.

Метод поиска оптимальных размеров печатных плат

В качестве критерия оптимизации принят коэффициент заполнения (K_3) площади печатных плат электронными компонентами (**ЭК**), который является универсальным показателем оценки эффективности использования площади печатных плат: с одной стороны, учитывается их технологичность, а с другой — эксплуатационные характеристики, особенно когда имеется возможность управления плотностью заполнения.

Получение как можно большего значения коэффициента заполнения во многом определяется используемой элементной базой и размерами ПП, от которых зависят компоновочные характеристики. Поиск оптимальных размеров ПП основан на предположении, что с учетом различных комбинаций размещения электронных

компонентов достигаются различные значения коэффициента заполнения для ПП различных размеров. Очевидно, что в пространстве поиска существуют точки, где можно получить максимальное значение K_3 , что будет соответствовать оптимальным размерам печатной платы.

Исходя из этого, представим модель оптимизации:

— целевая функция

$$K_3 = \max \left(\sum_{i=1}^n S_{ЭК_i} / S_{ПП_j} \right), \quad (1)$$

где $S_{ЭК_i}$ — установочная площадь i -го ЭК, размещаемого на ПП j -го типоразмера площадью $S_{ПП_j}$;

— ограничения

$A_{\min}$, $B_{\min}$, $A_{\max}$, $B_{\max}$ — соответственно, минимальные и максимальные размеры ПП по высоте и глубине;

Δa , Δb — шаги приращения размеров ПП по двум координатам;

M — выбранное множество ЭК, которые могут использоваться для электронных модулей на основе печатных плат в тех электронных средствах, для которых разрабатывается НК.

Для нахождения оптимальных с точки зрения максимизации K_3 размеров ПП в дискретном пространстве может быть использован полный перебор или покоординатный поиск всех возможных размеров [4].

С учетом сказанного предлагается метод поиска оптимальных размеров ПП, который заключается в следующем.

1. Создается библиотека множества электронных компонентов M и производится ее структурирование по различным признакам для удобства дальнейшего использования.

2. Исходя из условий конкретной задачи задаются минимальные размеры ПП $A \times B$.

3. Случайным образом генерируется набор ЭК из общей библиотеки.

4. Варьируется размещение ЭК из полученного набора для получения варианта с максимальным количеством компонентов на ПП.

5. Аналогичные вычисления выполняются для всего множества типоразмеров ПП. При этом каждый последующий типоразмер определяется из соотношений $A_{i+1} = A_i + \Delta a$; $B_{i+1} = B_i + \Delta b$ (значения Δa , Δb зависят от конкретных условий, в которых проводится проектирование, иногда можно воспользоваться указаниями п. 2 ГОСТ 10317-79: размеры каждой стороны печатной платы должны быть кратными 2,5 при длине до 100 мм; 5,0 при длине до 350 мм; 10,0 при длине более 350 мм).

6. Выбираются оптимальные размеры ПП из условия достижения целевой функцией (1) максимального значения.

Размеры ПП могут быть установлены с учетом требований к обеспечению тепловых режимов

и электромагнитной совместимости. Поскольку оба они зависят от плотности размещения компонентов, промежутки между ЭК можно регулировать с помощью коэффициента K , увеличивая установочные размеры C_y , D_y компонентов: $C = C_y K$; $D = D_y K$,

где C , D — размеры ЭК с учетом увеличения.

С учетом полученных размеров ЭК производится поиск, результат которого может влиять на выбор окончательных размеров ПП.

Таким образом, изменяя плотность топологического рисунка и расстояние между компонентами, можно управлять электромагнитной обстановкой и влиять на тепловой режим.

Для решения задачи поиска оптимальных размеров ПП можно использовать системы автоматизированного проектирования и, в частности, программы размещения ЭК. В таком случае, однако, невозможно вносить какие-либо изменения в программу и требуются большие затраты времени, поэтому была создана программа автоматического размещения электронных компонентов на ПП.

Алгоритм размещения ЭК на печатных платах

На рис. 1 приведена схема алгоритма, составленного на основании описанного выше метода. В результате его выполнения определяются коэффициенты заполнения печатных плат заданных размеров.

Блок 1. Загрузка необходимых данных об ЭК (наименование, длина, ширина).

Блок 2. Ввод исходных данных:

- размер платы;
- алгоритм выбора электронных компонентов из набора;
- начальная точка размещения ЭК (размещение может начинаться с центра платы либо с верхнего левого угла);
- расстояние между электронными компонентами.

Блок 3. Построение списка ЭК, подлежащих установке (ЭК из библиотеки выбираются случайным образом, список наполняется до тех пор, пока суммарная площадь всех ЭК в списке не будет больше площади платы).

Блок 4. Начало цикла размещения максимального количества ЭК.

Блок 5. Начало цикла перебора ЭК из сформированного в блоке 3 списка (j — номер ЭК в списке).

Блок 6. Проверка наличия в списке неустановленных компонентов, номер и размер которых меньше, чем у текущего ЭК (если такие есть, то происходит переход к следующему ЭК, т. к. текущий установить не удастся).

Блок 7. Начало цикла перебора точек k для размещения текущего ЭК.

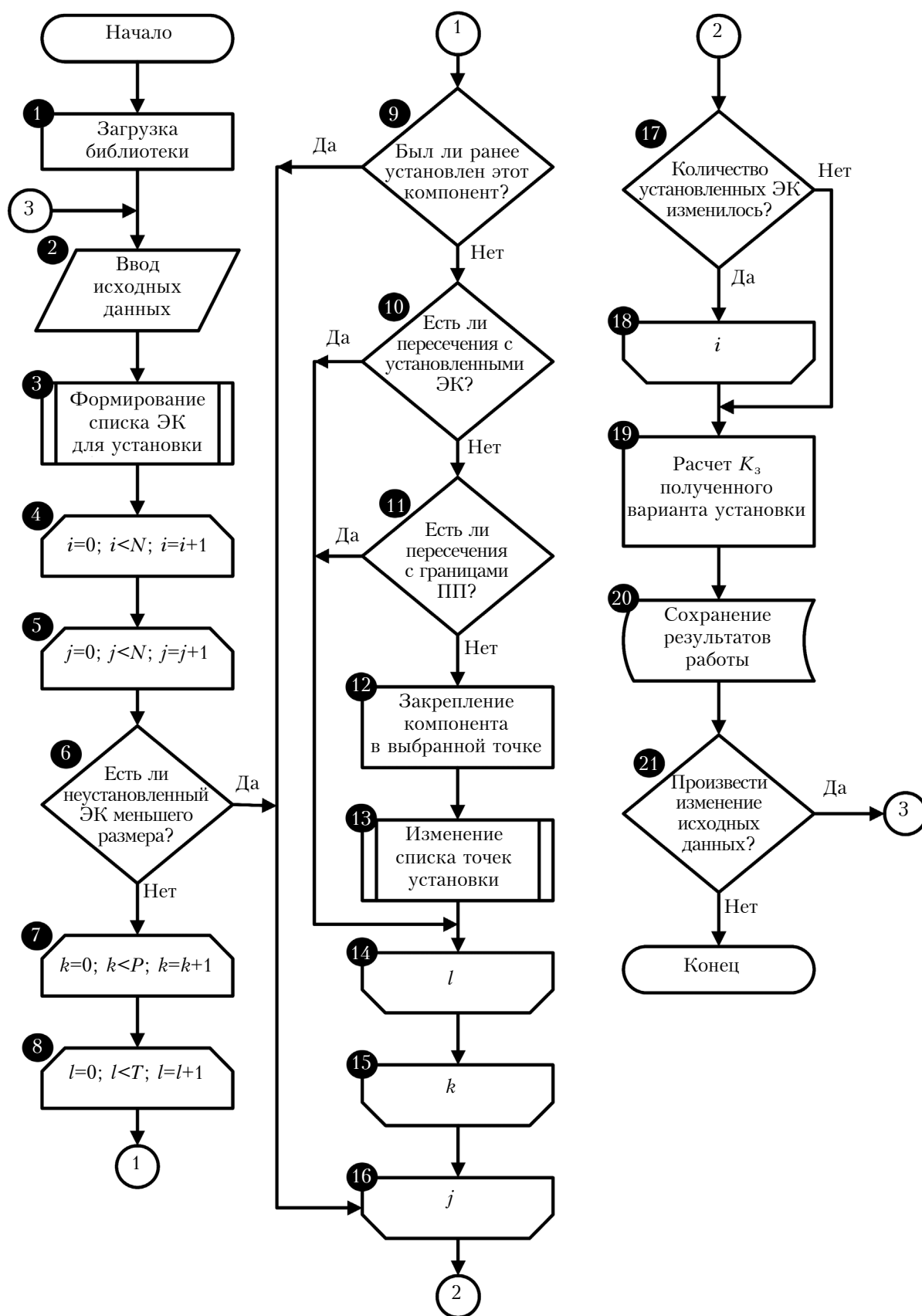


Рис. 1. Схема алгоритма размещения ЭК на печатных платах

Блок 8. Начало цикла перебора вариантов размещения текущего ЭК (положение l) в точке k (см. рис. 2).

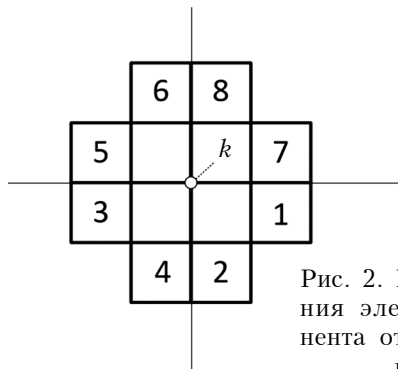


Рис. 2. Варианты размещения электронного компонента относительно заданной точки k

Блок 9. Проверка: был ли ранее установлен текущий электронный компонент.

Блок 10. Проверка на пересечение ЭК в текущем положении хотя бы с одним уже установленным компонентом.

Блок 11. Проверка на пересечение ЭК в текущем положении с границами ПП.

Блок 12. Фиксирование координат компонента на ПП.

Блок 13. К множеству возможных точек установки добавляются точки с координатами углов закрепленного в блоке 12 компонента.

Блок 14. Конец цикла перебора вариантов размещения ЭК, начатого в блоке 8.

Блок 15. Конец цикла перебора точек для размещения ЭК, начатого в блоке 7.

Блок 16. Конец цикла перебора ЭК, начатого в блоке 5.

Блок 17. Проверка изменения количества установленных ЭК после очередной итерации i , контролируемой условием блока 5.

Блок 18. Конец цикла размещения максимального количества ЭК, начатого в блоке 4.

Блок 19. Выполнение расчета коэффициента заполнения K_3 для установленных ЭК.

Блок 20. Сохранение всех результатов.

Блок 21. Запрос пользователю о необходимости повторить работу с другими исходными данными, устанавливаемыми в блоке 1.

Описание программы

Программа, реализующая представленный выше алгоритм для размещения ЭК на печатных платах, написана на языке высокого уровня C# с использованием технологии .Net 2.0.

После запуска программы происходит загрузка библиотеки ЭК. При наличии в библиотеке нескольких независимых подбиблиотек пользователь должен выбрать в диалоговом окне одну из них. После этого открывается главное окно программы (рис. 3), в разделе настроек которого задаются все начальные параметры, реализующие алгоритм, путь папки для сохранения результатов, а также список размеров ПП.

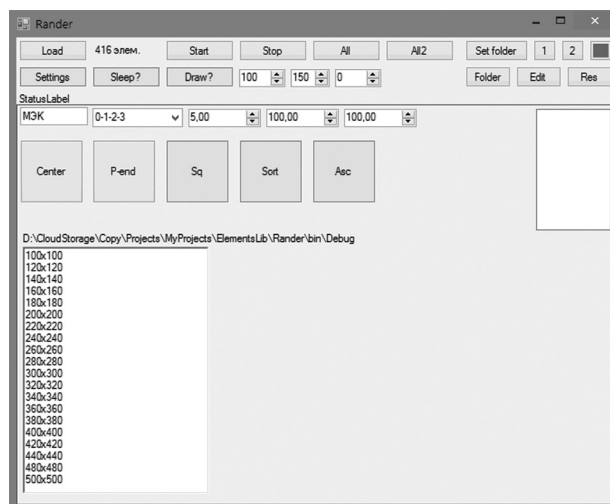


Рис. 3. Главное окно программы

По окончании работы на экране появляется картинка с получившимся вариантом размещения, а также вся необходимая информация для анализа результатов (рис. 4). Для удобства информация представлена в виде таблиц.

Element	Rectangle	Location	Size	Installed	Number	RectangleCr
ID=2, Name=S...	0, 5374, 2261, 1240	0, 6874	2135, 1140	☒	1	53, 5524, 213...
ID=53, Name=S...	5207, 1018, 3318, 3318	5207, 1018	3160, 3160	☒	2	5286, 1097, 3...
ID=0, Name=S...	1816, 1018, 3391, 1080	1816, 1018	3229, 980	☒	3	1897, 1068, 3...
ID=53, Name=S...	0, 0, 3318, 3318	0, 0	3160, 3160	☐	4	79, 79, 3160, ...
ID=13, Name=S...	2241, 9836, 2278, 2278	2241, 9836	2170, 2170	☒	5	2285, 9890, 2...
ID=50, Name=S...	0, 5178, 1860, 1895	0, 5178	1860, 1895	☒	6	50, 5228, 186...
ID=170, Name=S...	0, 1080, 1080, 880	0, 1080	980, 780	☒	7	50, 1130, 980...
ID=2, Name=C...	1426, 188, 1120, 830	1426, 188	730, 1018	☒	8	1476, 238, 10...
ID=125, Name=S...	0, 3340, 1839, 1839	0, 3340	1739, 1739	☒	9	50, 3390, 173...
ID=53, Name=S...	1426, 1018, 390, 895	1426, 1018	290, 795	☒	10	1476, 1068, 2...
ID=11, Name=S...	5207, 4336, 3255, 1500	5207, 4336	3100, 1400	☒	11	5284, 4386, 3...
ID=78, Name=S...	3376, 118, 900, 800	3376, 118	800, 800	☒	12	3426, 168, 80...
ID=25, Name=S...	2241, 2870, 2966, 2966	2241, 2870	2825, 2825	☒	13	2311, 2840, 2...

Index	CorIndex	Elapsed	Number	Points
0	1	00:00:00,0041139	20	4
1	2	00:00:00,0397739	7	6
2	3	00:00:00,0657728	14	9
3	4	00:00:00,0899248	9	12
4	5	00:00:00,1147748	6	15
5	6	00:00:00,1448758	1	18
6	7	00:00:00,1731048	5	21
7	8	00:00:00,197684	13	24
8	9	00:00:00,2248283	18	27
9	10	00:00:00,2488737	11	30
10	11	00:00:00,2748535	2	33

Рис. 4. Окно с результатами размещения ЭК

На рис. 5 показано окно, демонстрирующее работу с подпрограммой редактирования библиотеки ЭК, которая позволяет добавлять и исключать библиотеки и отдельные ЭК, а также проводить редактирование. Электронные компоненты представляются в упрощенном виде с указанием габаритных размеров.

На рис. 6 приведено окно, демонстрирующее работу подпрограммы просмотра всех полученных результатов. В отличие от представления результатов по окончании работы алгоритма (рис. 4), после выполнения подпрограммы можно увидеть не только последний вариант размещения, но и все предыдущие, а также свести все данные по результатам в одну таблицу.

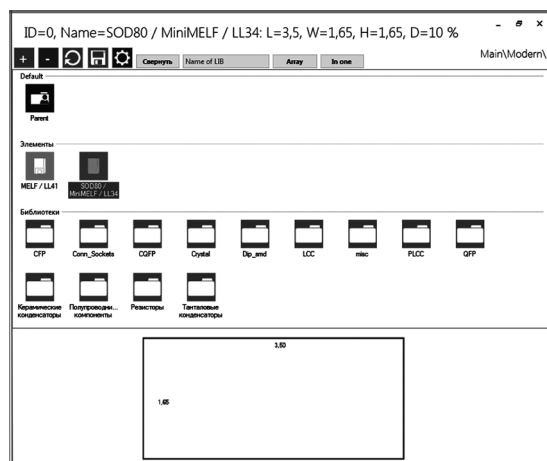


Рис. 5. Окно менеджера библиотеки ЭК

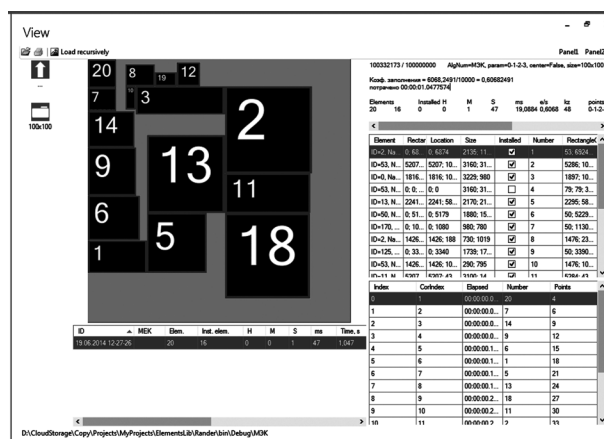


Рис. 6. Окно просмотра результатов

Практическое использование программы и обсуждение результатов

С помощью разработанной программы проведены исследования компоновочных характеристик ПП ряда типоразмеров — от 100×100 мм до 500×500 с шагом $\Delta a = \Delta b = 20$ мм. Размеры выбраны таким образом, чтобы они равномерно перекрывали весь диапазон размеров ПП, наиболее вероятных для применения в несущих конструкциях. При этом следует отметить, что в данном случае не ставилась задача проведения глобальных исследований, а лишь определения тенденции изменения коэффициента заполнения в зависимости от размеров ПП и применяемой элементной базы.

На рис. 7—9 представлены зависимости усредненного значения коэффициента заполнения K_z от размеров (площади S) печатных плат (на каждом рисунке приведено по три кривые, соответствующие различным значениям расстояния между ЭК, которое регулируется величиной коэффициента K ; для наглядности графики

смещены по вертикали относительно друг друга, а значения K_z указаны для всех размеров ПП). На рис. 7 представлены данные, полученные для современной элементной базы для поверхностного монтажа (свыше четырехсот ЭК в библиотеке); на рис. 8 — для навесных ЭК, которые монтируются в отверстия (ЭК, которые предшествовали появлению компонентов для поверхностного монтажа и по разным причинам востребованы сейчас; в библиотеке их около ста); на рис. 9 — результаты, полученные при комбинации предыдущих двух вариантов — использовании элементной базы для поверхностного монтажа и монтажа в отверстия (около пятисот ЭК в библиотеке).

Библиотека электронных компонентов построена на базе библиотек ЭК САПР DipTrace. Основная часть ЭК взята из библиотек General, Cap, Res, Cap_smd. Для возможности просмотра ЭК необходимо открыть программу PCB Layout, которая входит в состав САПР DipTrace, и выбрать необходимую библиотеку.

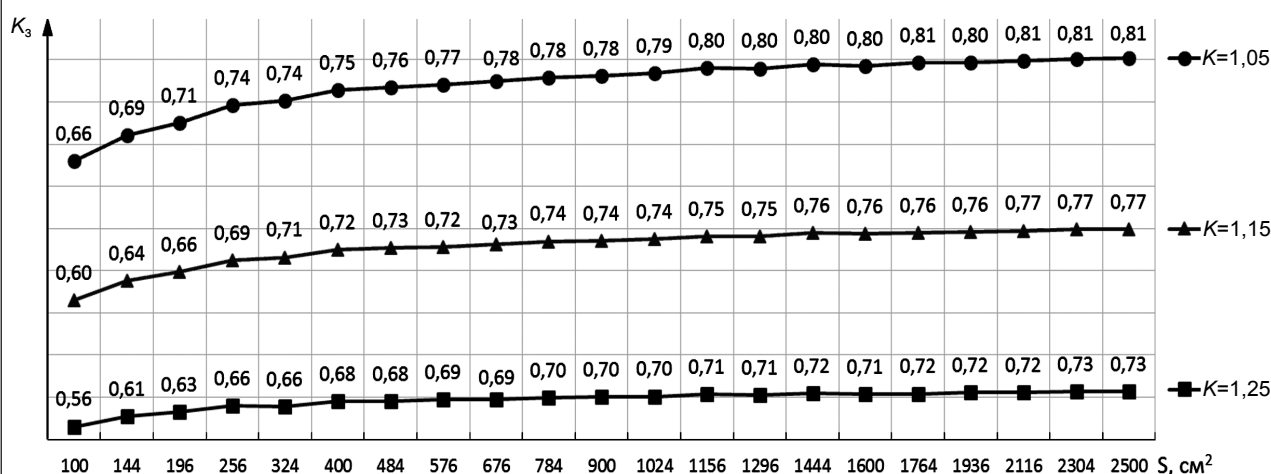


Рис. 7. Зависимости усредненного значения коэффициента заполнения ПП электронными компонентами для поверхностного монтажа от площади ПП при различном расстоянии между ЭК

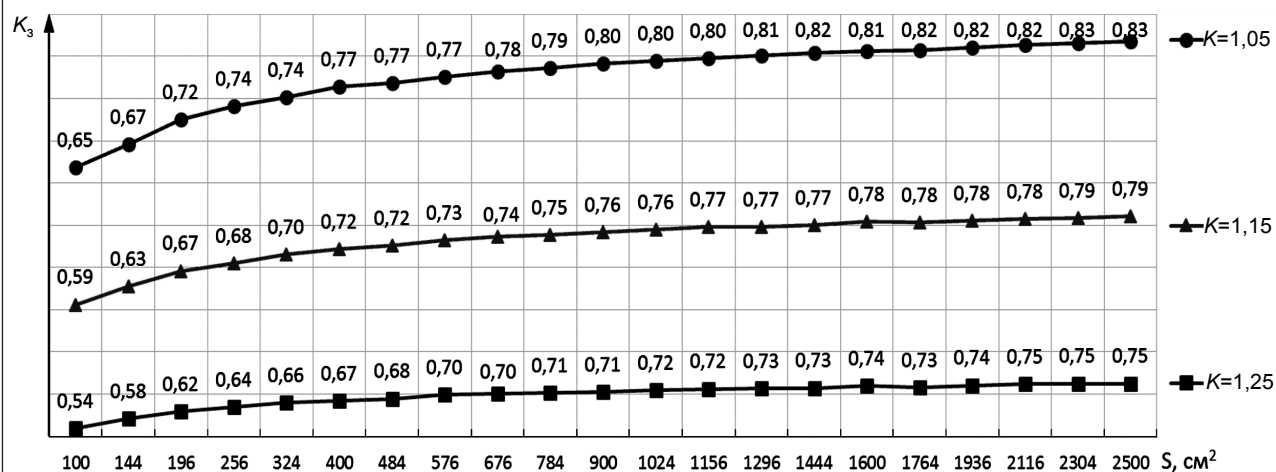


Рис. 8. Зависимости усредненного значения коэффициента заполнения ПП навесными ЭК от площади ПП при различном расстоянии между ЭК

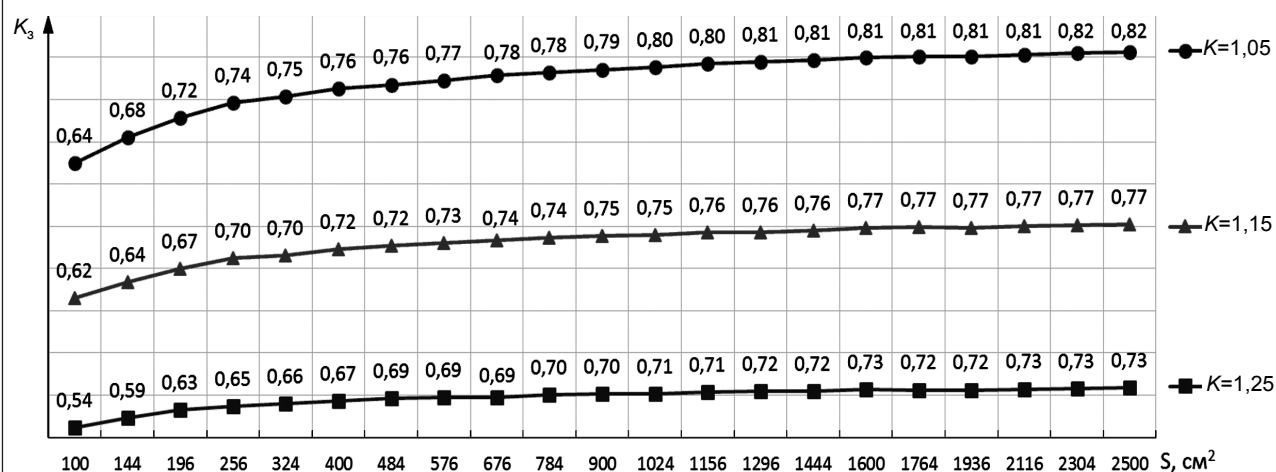


Рис. 9. Зависимости усредненного значения коэффициента заполнения ПП навесными ЭК и компонентами для поверхностного монтажа от площади ПП при различном расстоянии между ЭК

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать следующие выводы.

1. Чем меньше размеры плат, тем более резко увеличивается K_3 при пошаговом их увеличении.

2. Изменение расстояния между ЭК, устанавливаемое коэффициентом K , практически не влияет на характер полученных зависимостей.

3. Прослеживается зависимость величины K_3 от размеров ЭК, а значит от используемой элементной базы:

— электронные компоненты предыдущего поколения для монтажа в отверстия, имеющие большие размеры, дают заметно лучшие результаты по заполнению ПП (рис. 8);

— применение ЭК для монтажа на поверхность и в отверстия (рис. 9) не вызывает заметного изменения коэффициента заполнения по сравнению с использованием только ЭК для поверхностного монтажа (это можно объяснить наличием в обоих случаях электронных компонентов в микрокорпусах, что снижает плотность заполнения площади печатных плат).

4. Экстремальных значений коэффициента заполнения в исследованном ряду типоразмеров не наблюдалось.

Выводы

Разработанный метод, реализованный посредством алгоритма и программы, позволяет оперативно определять зависимость коэффициента заполнения от размеров печатных плат для элементной базы, характерной для электронных средств различных направлений техники. Использование коэффициента, определяющего увеличение установочных размеров ЭК, позволяет влиять на обеспечение электромагнитной совместимости и теплового режима.

Исследование компоновочных характеристик ПП с использованием предложенного метода показало, что ярко выраженные экстремумы коэффициента заполнения отсутствуют. Это говорит о том, что при выборе оптимальных размеров ПП для стандартных несущих конструкций недостаточно учитывать только состав элементной базы, необходимо исследовать зависимость

компоновочных характеристик печатных плат от других факторов, таких как количество возможных контактов соединителей, количество ЭК, образующих функционально законченные печатные узлы, и пр. В то же время, при разработке электронных средств, в тех случаях когда известен набор компонентов в электронных модулях, использование данного метода для определения оптимальных размеров печатных плат вполне оправданно.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Овсищев П. И., Голованов Ю. В., Ковешников В. П. и др. Несущие конструкции радиоэлектронной аппаратуры. — Москва: Радио и связь, 1988.

2. Лутченков Л. С. Оптимальное проектирование несущих конструкций как сложных систем. — Ленинград: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1990.

3. Романова Ю. С., Шерин К. Ю. Система базовых несущих конструкций радиоэлектронных средств: состояние проблемы // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2005. — № 2. — С. 3 — 5.

4. Фролов В. А. Анализ и оптимизация в прикладных задачах конструирования РЭС. — Киев: Вища школа, 1991.

Дата поступления рукописи
в редакцию 25.06 2014 г.

А. А. ЄФІМЕНКО, О. П. КАРЛАНГАЧ, С. М. ЛАЗАРЄВ

Україна, Одеський національний політехнічний університет
E-mail: aiefimen@gmail.com

ПОШУК ОПТИМАЛЬНИХ РОЗМІРІВ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ ДЛЯ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ

Запропоновано метод, алгоритм і програму, що його реалізує, які призначені для визначення оптимальних розмірів друкованих плат несучих конструкцій та електронних засобів різних напрямків техніки. За критерій оптимізації прийнято коефіцієнт заповнення площі друкованих плат електронними компонентами. Метод дозволяє оперативно визначати залежність коефіцієнта заповнення від розмірів друкованих плат щодо різної елементної бази.

Ключові слова: розміри друкованих плат, несучі конструкції, оптимізація, коефіцієнт заповнення, елементна база.

DOI: 10.15222/TKEA2014.5-6.03
UDC 621.3.396.6

A. A. YEFIMENKO, A. P. KARLANGACH, S. N. LAZAREV

Ukraine, Odessa National Polytechnic University
E-mail: aiefimen@gmail.com

SEARCH FOR THE OPTIMAL SIZE OF PRINTED CIRCUIT BOARDS FOR MECHANICAL STRUCTURES FOR ELECTRONIC EQUIPMENT

The authors present a method, an algorithm and a program, designed to determine the optimal size of printed circuit boards (PCB) of mechanical structures and different kinds of electronic equipment. The PCB filling factor is taken as an optimization criterion. The method allows one to quickly determine the dependence of the filling factor on the size of the PCB for various components.

Keywords: printed circuit boards size, mechanical structure for electronic equipment, optimization, fill factor, element base.

REFERENCES

1. Ovsishcher P. I., Golovanov Yu. V., Koveshnikov V. P. et al. *Nesushchie konstruksii radioelektronnoi apparatury* [Bearing structures of electronic equipment]. Moscow, Radio i svyaz', 1988, 232 p.

2. Lutchenkov L. S. *Optimal'noe proektirovanie nesushchikh konstruksii kak slozhnykh sistem* [Optimal design of load-bearing structures as complex systems]. Leningrad, Mashinostroenie, 1990, 112 p.

3. Romanova Yu. S., Sherin K. Yu. [The base carrying constructions system of the radio-electronic facilities: issues of the day]. *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoi apparature*, 2005, no 2, pp. 3-5. (in Russian)

4. Frolov V. A. [Analysis and optimization in applications design RES] *Analiz i optimizatsiya v prikladnykh zadachakh konstruirovaniya RES*, Kiev, Vishcha shkola, 1991, 310 p.