

# РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ(КОМПОНОВКИ) ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ В ТРЕХМЕРНОМ ОБЪЕМЕ БЛОКА ЭЛЕКТРОННОГО СРЕДСТВА С УЧЕТОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

Садыков Р.Д., студент,  
Петухов К.А., студент,  
Суздальцев И.В., ст.преподаватель,  
КНИТУ-КАИ, г. Казань, Россия

**Аннотация.** В данной статье рассматривается разработка подсистемы размещения печатных плат в трехмерном объеме блока электронного средства с учетом электромагнитной совместимости (ЭМС). Актуальность темы обусловлена ростом сложности и компактности современных электронных устройств, что требует новых подходов к проектированию. Описаны методологии функционального моделирования и автоматизации проектных процессов, а также предложены рекомендации по оптимизации размещения элементов. Результаты работы могут быть полезны для инженеров и проектировщиков в области радиоэлектроники.

**Ключевые слова:** печатные платы, электромагнитная совместимость, трехмерное размещение, функциональное моделирование, автоматизация проектирования.

Современные электронные устройства становятся все более сложными и компактными, что приводит к увеличению плотности компоновки и, как следствие, к проблемам с электромагнитной совместимостью (ЭМС) [3]. Традиционные методы размещения печатных плат в двухмерном пространстве уже не удовлетворяют требованиям современных систем, поскольку они не позволяют эффективно минимизировать влияние электромагнитных помех [2]. Для решения этой проблемы необходимо переходить к новой парадигме проектирования, учитывающей трехмерное расположение элементов [3]. Разработка подсистемы размещения печатных плат в трехмерном объеме блока

электронного средства с учетом ЭМС является актуальной задачей, которая позволит:

- Повысить надежность и эффективность работы электронных устройств за счет оптимального размещения элементов.
- Снизить габариты и массу электронных блоков благодаря рациональному использованию пространства.
- Упростить процесс проектирования и изготовления за счет автоматизации.

Объектом проектирования является блок электронного средства, содержащий печатные платы [1]. Блок - представляет собой корпус или оболочку, в котором размещаются печатные платы и другие компоненты электронного средства. Он обладает заданными габаритными размерами (длина, ширина, высота) и ограничениями по размещению внутри него других элементов. Блок можно рассматривать как модуль второго уровня, который состоит из модулей первого уровня – печатных плат. Компонентные схемы описывают взаимное расположение печатных плат внутри блока. Они учитывают ограничения по электромагнитной совместимости (ЭМС) и длине межмодульных связей. Компонентные схемы позволяют оптимизировать размещение плат, минимизируя помехи и обеспечивая удобство монтажа и обслуживания. Печатные платы представляют собой основу для монтажа электронных компонентов. Они имеют свои размеры, форму, расположение компонентов и электрические характеристики. Каждая плата может быть спроектирована с учетом специфических требований к функциональности и ЭМС [1]. Межмодульные связи – это электрические соединения между платами. Они обеспечивают передачу сигналов и данных между различными частями электронного средства. Межмодульные связи имеют определенную длину и требования к ЭМС, чтобы избежать нежелательных помех и обеспечить стабильную работу системы.

Электромагнитная совместимость (ЭМС) – это способность электронного устройства функционировать без сбоев в присутствии электромагнитных полей,

создаваемых другими устройствами, а также не создавать помех для других устройств. В контексте данной задачи необходимо учитывать следующие аспекты ЭМС:

**Излучение:** Печатные платы и межмодульные связи могут излучать электромагнитные поля, которые могут создавать помехи для других плат или устройств.

**Чувствительность:** Печатные платы могут быть чувствительны к внешним электромагнитным полям, что может привести к сбоям в их работе.

Необходимо разработать автоматизированную систему для проектирования компоновки печатных плат в трехмерном пространстве блока электронного устройства с учетом электромагнитной совместимости. Система должна учитывать геометрические, электрические и механические свойства компонентов, а также электромагнитные взаимодействия между ними. Результатом должно стать оптимальное размещение плат, обеспечивающее минимальные электромагнитные помехи. Требуется создание модели, соответствующей стандартам совместимости и удовлетворяющей техническим ограничениям блока.

**Целевая функция:**

**Минимизация общей длины соединений между платами:** Это ключевой критерий для снижения потерь сигнала, улучшения надежности и уменьшения стоимости разводки плат. **Минимизация уровня воздействия внешних электромагнитных полей на платы:** Этот критерий направлен на обеспечение ЭМС и предотвращение нежелательных помех в работе электронного средства.

$$f(x) = \min \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n d_{ij} * x_{ij} \right) + \min \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n \frac{E_{\text{чувс } i} - E_{\text{возд } j}}{d_{ij}} \right) \text{ где:}$$

$d_{ij}$ -расстояние между узлами  $i$  и  $j$  на разных платах.  $\frac{E_{\text{чувс } i} - E_{\text{возд } j}}{d_{ij}}$ -уровень воздействия электромагнитного поля между узлами на плате.  $A_{ij}$  – наличие связи между  $i$  и  $j$  узлами.

$d_{ij} = \sqrt{(x_{i1} - x_{j1})^2 + (x_{i2} - x_{j2})^2 + (x_{i3} - x_{j3})^2}$  – расстояние между узлами  $i$  и  $j$ .

$x_{ij}$  – векторы координат узлов  $i$  и  $j$ .

Требования к ЭМС:

$$E(x_i, y_i, z_i) \leq E_{max}^i,$$

где:  $E_{max}^i$  – максимально допустимый уровень внешнего воздействия на узел  $i$ . Определяют максимально допустимый уровень внешнего воздействия на платы, что необходимо учитывать при их размещении в блоке.

Для решения задачи выбран Последовательный алгоритм размещения, так как он обладает следующими преимуществами:

**Поэтапность:** Алгоритм разбивает сложную задачу на несколько этапов, каждый из которых решает относительно простую подзадачу. Это упрощает разработку и реализацию алгоритма.

**Гибкость:** Алгоритм легко адаптировать к различным ограничениям, например, габаритам блока, требованиям к ЭМС, охлаждению, прокладке кабелей и др.

**Оптимизация на каждом этапе:** Алгоритм позволяет оптимизировать размещение на каждом этапе, минимизируя длину соединений, уровень влияния внешних электромагнитных полей и оптимизируя маршрутизацию.

Основная идея последовательного алгоритма размещения состоит в поэтапном решении задачи, начиная с определения оптимального расположения печатных плат в блоке, затем размещая компоненты на платах и, наконец, оптимизируя размещения с учетом требований к ЭМС, минимизируя длину соединений и уровень воздействия внешних электромагнитных полей.

**Задача:** размещение печатных плат внутри блока электронного средства с помощью последовательного алгоритма размещения. Исходная схема соединений 5 печатных плат и 6 установочных позиций и данных о узлах представлено на рисунке 1, 2 и в таблице 1.

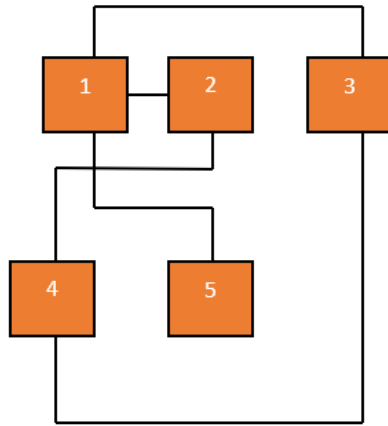


Рис. 1. Исходная схема соединений 5 печатных плат

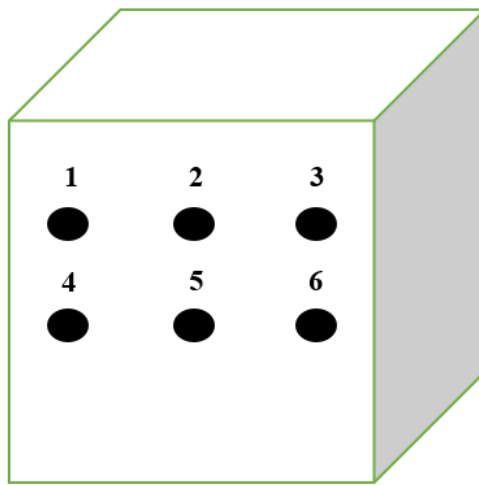


Рис.2. Размещение установочных позиций внутри блока.

№ узла	Координаты(x,y,z)	$E_{\text{возд } j}$	$E_{\text{чувс } i}$	$E_{\text{max}}$	$E_{\text{изл}}$
1	(2,2,2)	10	5	11	2
2	(7,7,2)	5	10	9	1
3	(4,4,4)	15	8	10	3
4	(6,6,6)	8	6	8	2
5	(1,1,1)	12	7	6	1

Таблица 1. Исходные данные о узлах.

Координаты размещения функциональных узлов внутри блока представлены на:

Узел №1: (2, 2, 2)

Узел №2: (7, 7, 2)

Узел №3: (4, 4, 4)

Узел №4: (6, 6, 6)

Узел №5: (1, 1, 1)

Целевая функция равна:

$$f(x) = \min \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} * A_{ij} \right) + \min \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{E_{\text{чувс } i} - E_{\text{возд } j}}{d_{ij}} \right) = 39.$$

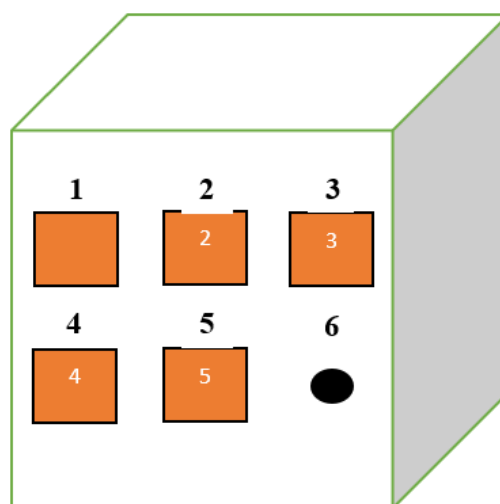


Рис.3. Конечное размещение функциональных узлов внутри блока

### Литература

1. Барнс, Дж. Электронное конструирование: Методы борьбы с помехами / Джон Барнс; пер. с англ. В.А. Исаакяна; под ред. Б.Н. Файзулаева. – 1987.
2. Кечиев, Л.Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры / Л.Н. Кечиев. – 2007.
3. Шахнов, В.А. (ред.). Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: учебник для вузов. – 2002. – 536 с.