

# Размещение двухполюсников под BGA-компонентом

Сергей Сорокин (sergey@prosoft.ru), Олег Сысоев (Москва)

В статье представлена методика расстановки конденсаторов развязки на печатной плате под BGA-компонентом.

Эффективность трассировки печатных плат во многом определяется качеством размещения электронных компонентов на плате.

Размещение двухполюсников под BGA-компонентом – задача хоть и локальная, но достаточно трудоёмкая.

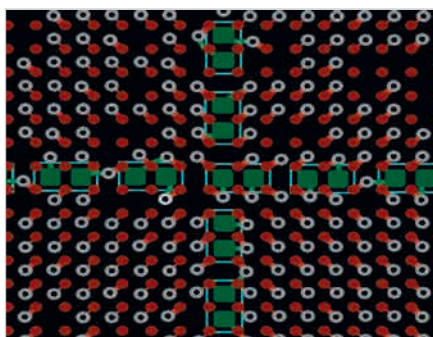


Рис. 1. Расстановка конденсаторов крестом и межслойных переходов по квадрантам от центра

Обычно бóльшая часть размещаемых под BGA-компонентом двухполюсников – это конденсаторы развязки, которые устанавливают для уменьшения импульсных помех в цепях питания. Поставить развязывающий конденсатор желательно возле каждого контакта питания [1]. Однако при использовании сквозных межслойных переходов в большинстве случаев это невозможно, потому что может привести к блокировке контактов в области BGA, и, соответственно, к невозможности обеспечить 100% трассировку, поскольку каждый установленный под BGA двухполюсник занимает определенное количество ячеек, которые можно было бы использовать для размещения межслойных переходов.

ПЛИС с архитектурой FPGA в настоящее время используют несколько источников питания. Питание ядра FPGA – наиболее важная линия питания, во многом

определяющая общее энергопотребление микросхемы. Потребление по цепям от вспомогательных источников питания обычно невелико (на уровне десятков миллиампер). Потребление от источников питания блоков ввода/вывода определяется в основном нагрузкой выходов ПЛИС. Соответственно, при дефиците свободного пространства для установки развязывающих конденсаторов следует распределить вакансии (свободные ячейки) между шинами питания и в первую очередь обеспечить развязку питания ядра. При невозможности разместить конденсатор развязки возле каждого вывода питания, конденсаторы следует распреде-

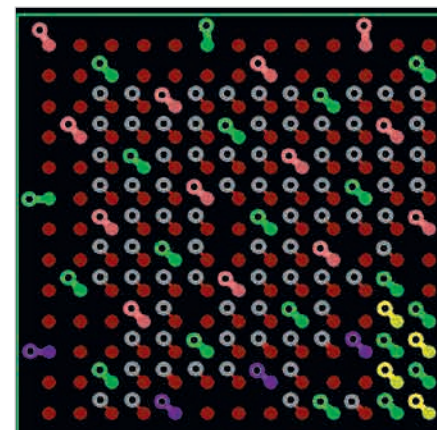


Рис. 3. Контакты левого верхнего квадранта микросхемы

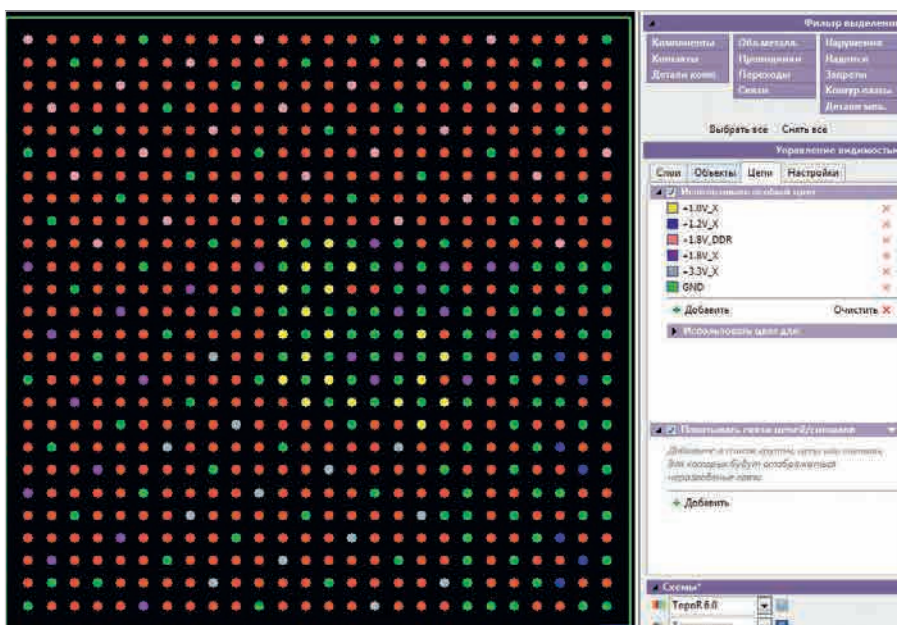


Рис. 2. Распределение контактов земли и питания ПЛИС

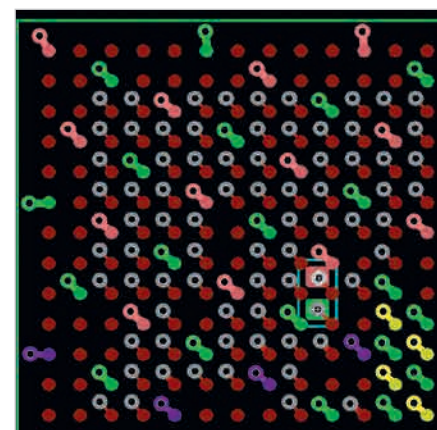


Рис. 4. Размещение конденсатора



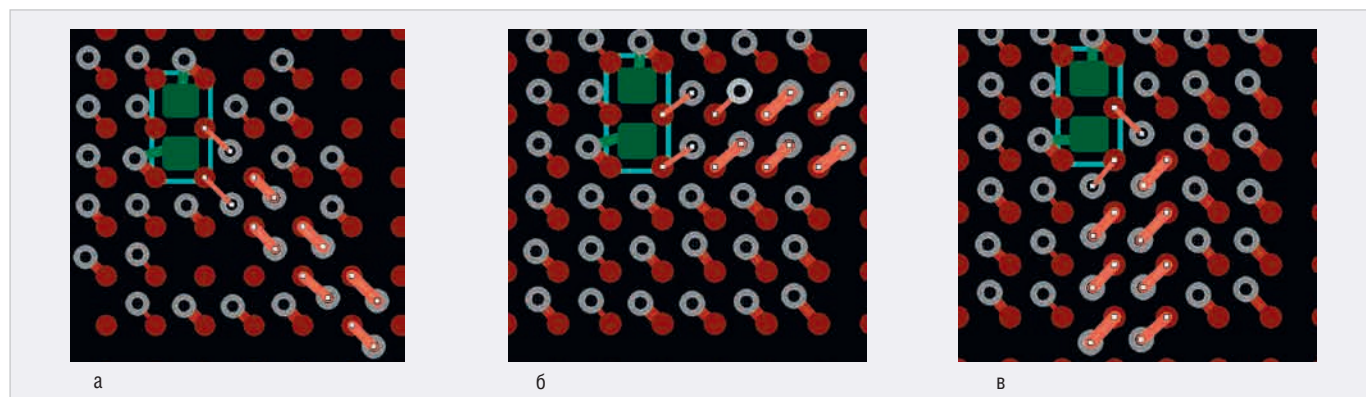


Рис. 5. Миграция переходов: а) по диагонали; б) вправо; в) вниз

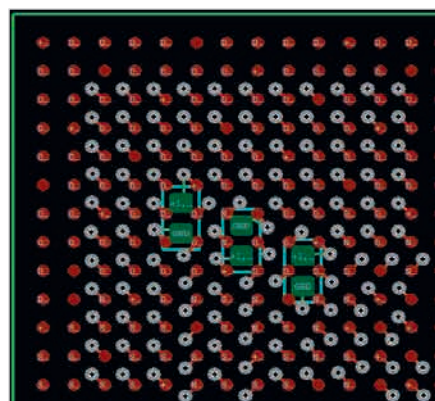


Рис. 6. Размещение трёх конденсаторов

лечь равномерно по области, содержащей выводы питания.

При ручном проектировании конденсаторы развязки зачастую устанавливают крестом (по вертикали и горизонтали) по центру микросхемы. При этом межслойные переходы расставляются от центра по квадрантам (см. рис. 1).

Такая расстановка переходов освобождает ячейки центрального креста. Чтобы размещение в них двухполюсников не приводило к блокировке контактов BGA, с каждым контактом двухполюсника должен соседствовать эквипотенциальный контакт микросхемы. Однако этого производители микросхем не гарантируют.

На рисунке 2 показано распределение контактов земли и питания (5 линий) ПЛИС XC7K160T фирмы XILINX. Контакты земли и питания подсвечены: ничего, напоминающего крест, не наблюдается.

Рассмотрим левый верхний квадрант микросхемы (см. рис. 3).

Чтобы при размещении конденсатора в выбранной позиции не было нарушений,

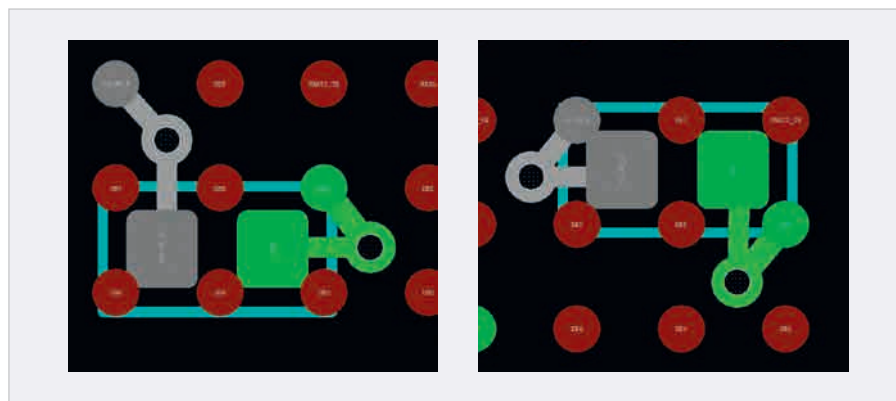


Рис. 7. Варианты размещения двухполюсника на периферии микросхемы

следует освободить от межслойных переходов ячейки над контактами конденсатора (см. рис. 4).

Свободные (не занятые переходами) ячейки могут мигрировать за счёт переориентации фанатов. Это позволяет освобождать конкретные ячейки для размещения конденсаторов в нужном месте. На рисунке 5 представлены несколько вариантов миграции ячеек за счёт переориентации переходов: по диагонали, направо или вниз.

Размещение трёх конденсаторов потребует миграции шести переходов (см. рис. 6).

Следует отметить, что миграция свободных ячеек из одного квадранта в другой невозможна, поскольку миграция остановится на свободных ячейках «центрального креста».

Проводники от контактов периферийных рядов микросхемы обычно могут быть выведены без переходных отверстий (исключение составляют контакты цепей земли и питания,

соединяемые с внутренними слоями), поэтому размещение конденсаторов в периферийных ячейках не приводит к уменьшению числа свободных ячеек. Именно поэтому в ситуации, показанной на рисунке 7, предпочтительнее левый вариант.

На рисунке 8 также показаны два варианта размещения конденсатора. Левый вариант лучше, поскольку оставляет свободу выбора одной из двух ячеек при размещении межслойного перехода.

На рисунке 9 показана расстановка развязывающих конденсаторов в верхнем левом квадранте микросхемы (контакты и проводники различных цепей питания подсвечены различными цветами).

Двухполюсник в зависимости от габаритных размеров и расположения относительно контактов BGA может блокировать различное число ячеек. Так, один и тот же конденсатор на рисунке 10а блокирует 2 ячейки, в варианте на рисунке 10б – 3, а в варианте 10в – 6.

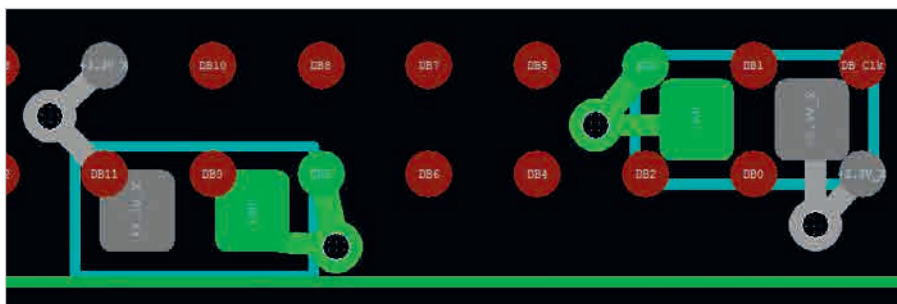


Рис. 8. Варианты размещения конденсатора на периферии микросхемы

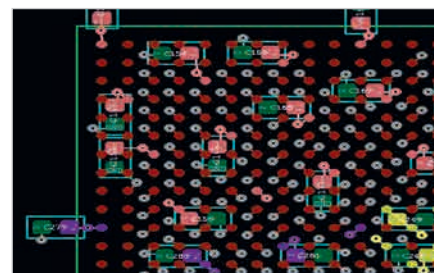


Рис. 9. Расстановка развязывающих конденсаторов

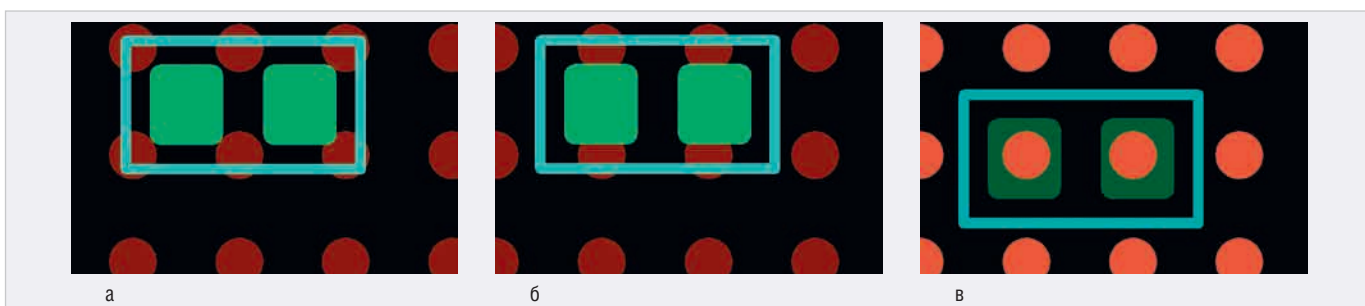


Рис. 10. Двухполюсник в зависимости от расположения может блокировать различное число ячеек: а) 2 ячейки, б) 3 ячейки, в) 6 ячеек

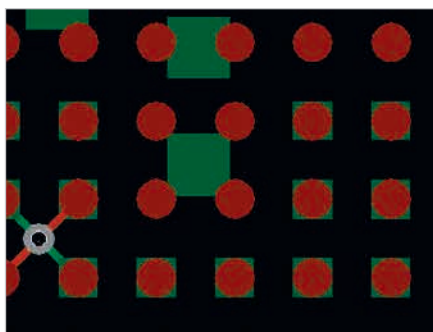


Рис. 11. Двухполюсники, установленные под контактами BGA, не мешают установке переходов

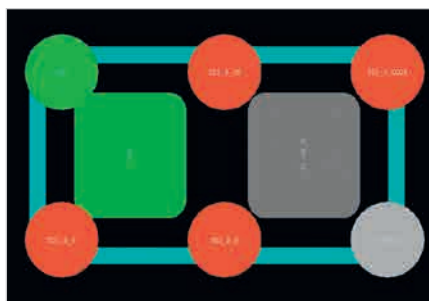


Рис. 12. Контактные площадки конденсатора, расположенные вблизи эквипотенциальных контактов BGA (могут быть назначены на один переход)

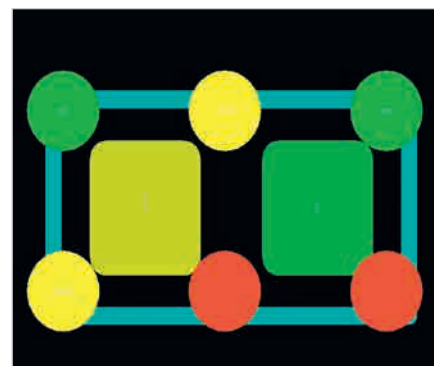


Рис. 13. Размещение двухполюсника, не создающее дефицита свободных ячеек

На рисунке 10в контакты конденсатора, расположенного под контактами BGA, блокируют 6 ячеек, но при меньших размерах конденсатора и его контактных площадок при таком же размещении он может не мешать установке переходов в ячейках (см. рис. 11).

Небрежно расставленные конденсаторы могут заблокировать больше ячеек, чем допустимо. В некоторых случаях избежать излишней блокировки ячеек поможет только аккуратный расчёт положения конденсатора.

**Задача:** разместить под корпусом BGA максимально возможное количество развязывающих конденсаторов (в идеаль-

ном случае по одному на каждый контакт питания), обеспечив при этом возможность установки межслойного перехода возле каждого задействованного контакта внутри области BGA.

Для каждого типа двухполюсников, претендентов на размещение в области BGA, следует определить минимальное число ячеек, блокируемых при размещении двухполюсника данного типа. Чаще всего это однотипные конденсаторы.

В простейшем случае (при размещении однотипных двухполюсников) оценка сверху для числа двухполюсников  $N$ , которые можно разместить под BGA, не заблокировав возможность трассировки

для внутренних контактов, рассчитывается по формуле:

$$N = \left[ \frac{(n + m - 3 + k + l)}{h} \right],$$

где  $n$  и  $m$  – количество рядов и строк соответственно в прямоугольной регулярной BGA-микросхеме,  $k$  – число незадействованных контактов (за вычетом расположенных на периферии),  $l$  – количество кластеров,  $h$  – число ячеек, блокируемых при размещении двухполюсника данного типа (чаще всего это однотипные конденсаторы).

Это при условии назначения рядом расположенных эквипотенциальных контактов двухполюсников и контактов BGA на один переход (см. рис. 12).



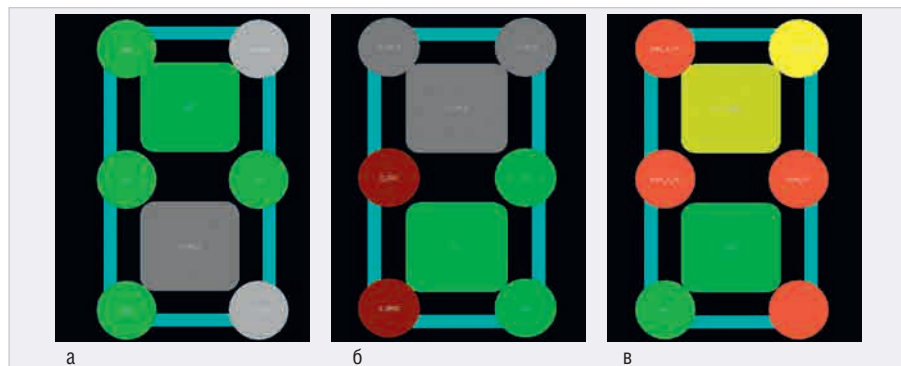


Рис. 14. Варианты размещения двухполюсников под BGA

В противном случае:

$$N = [(n + m - 3 + k + l) / 2h].$$

Будем оценивать позицию размещения двухполюсника числом требуемых дополнительно свободных ячеек ( $f$ ). Так, в варианте на рисунке 12 две ячейки заблокированы контактами конденсатора, следовательно, на периферии двухполюсника должны быть две свободные ячейки, иначе на какие-то контакты не будет назначен межслойный переход, ( $f=2$ ).

Далее представлены варианты расположения двухполюсника.

На рисунке 13: на периферии двухполюсника – эквипотенциальные контакты BGA плюс два незадействованных контакта компенсируют возможный дефицит свободных ячеек, обусловленный тем, что контакты двухполюсника занимают места размещения переходов. Блокировки контактов нет, дополнительных ячеек не требуется. Более того, возможно высвобождение одной ячейки (две ячейки заняты контактами конденсатора, но, помимо двух незадействованных контактов, три эквипотенциальных контакта (пара контактов BGA цепи +1.0V и один контакт конденсатора той же цепи) могут быть назначены на один переход), ( $f=0$ ).

На рисунке 14а: на периферии двухполюсника эквипотенциальные контакты BGA плюс две пары контактов цепи GND, при этом каждая пара может быть назначена на один переход. Блокировки контактов нет, дополнительных ячеек не требуется. ( $f=0$ ).

На рисунке 14б: на периферии двухполюсника по две пары эквипотенциальных контактов BGA (цепи GND и

+1.8V\_X), которые могут быть назначены на один переход. Блокировки контактов нет, дополнительных ячеек не требуется. ( $f=0$ ).

На рисунке 14в: на периферии двухполюсника эквипотенциальные контакты BGA, один незадействованный контакт. Требуется одна дополнительная свободная ячейка для перехода. ( $f=1$ ).

При размещении двухполюсника его контакт, эквипотенциальный контакту BGA, не обязательно должен находиться в ячейке, инцидентной этому контакту BGA, как это было во всех предыдущих случаях (см. рис. 11–13). Он может располагаться и в одной из смежных ячеек (см. рис. 15). ( $f=0$ ).

По возможности следует избегать такого размещения, при котором близкое расположение двухполюсников может привести к блокировке контактов BGA в локальной области, несмотря на наличие вакансий для переходов. Так, на рисунке 16 центральные четыре контакта не имеют свободных соседних ячеек для размещения переходов. В данном случае от блокировки спасает то, что два из четырёх контактов не задействованы, а другие два соседствуют с эквипотенциальными контактами цепей (GND и 1.2V\_X), с которыми могут быть соединены непосредственно (по диагонали).

Для каждого типа корпуса двухполюсника следует определить, при каком расположении относительно проекций ближайших контактов BGA двухполюсник будет блокировать минимальное число позиций размещения сквозных межслойных переходов.

После того как определено положение двухполюсника в сетке контактов BGA,

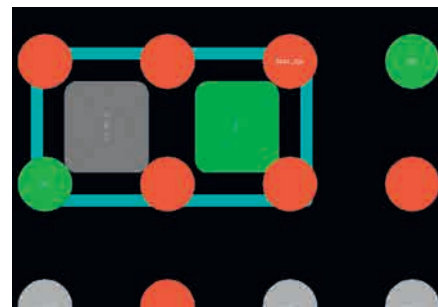


Рис. 15. Контакты BGA, эквипотенциальные контактам двухполюсника, располагаются на границе смежных ячеек

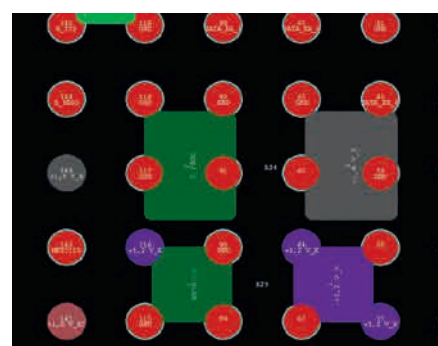


Рис. 16. Близкое расположение двухполюсников чревато блокировкой контактов BGA

следует правильно расположить двухполюсник рядом с конкретными контактами питания и земли.

Для любого контакта питания BGA существует несколько вариантов размещения двухполюсника в непосредственной близости к контакту питания BGA-компонента. Если допустить только вертикальную и горизонтальную ориентации двухполюсника, то возможны следующие восемь основных вариантов (см. рис. 17).

Если контакт двухполюсника расположен не в ячейке, ближайшей к эквипотенциальному контакту BGA, то вариантов существенно больше.

Сократить число вариантов, а также определить ориентацию конденсатора помогает учёт расположения ближайшего контакта земли: координаты пары контактов питания и земли задают минимальный прямоугольник, в который следует «вписать» конденсатор, либо расположить конденсатор в непосредственной близости от этой пары контактов BGA.

Существует по крайней мере два подхода:

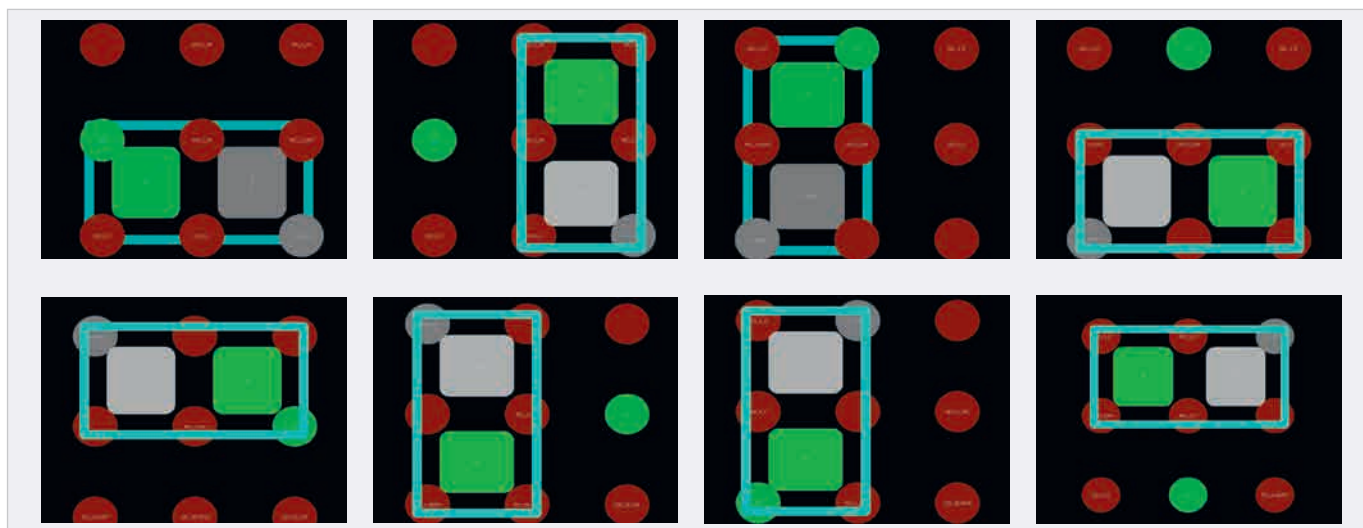


Рис. 17. Основные варианты расположения двухполюсника возле контакта питания

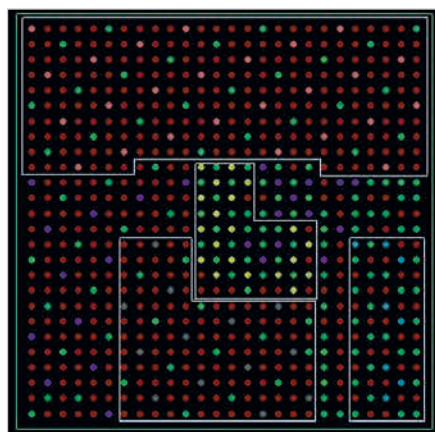


Рис. 18. Области размещения контактов различных линий питания

1. Расставить как можно больше конденсаторов.
2. Расставить заданное число конденсаторов для каждой линии питания.

И в том, и в другом случае, скорее всего, потребуются итерации с проверкой возможности расстановки фанатов [3] и, возможно, с удалением некоторых уже размещённых двухполюсников.

В областях, содержащих в основном контакты земли и питания (как, например, в центральной области на рисунке 18), следует находить компромисс между числом размещённых конденсаторов и числом межслойных переходов, через которые конденсаторы и контакты микросхемы соединяются со слоями земли и питания.

Расставлять двухполюсники следует последовательно от периферии

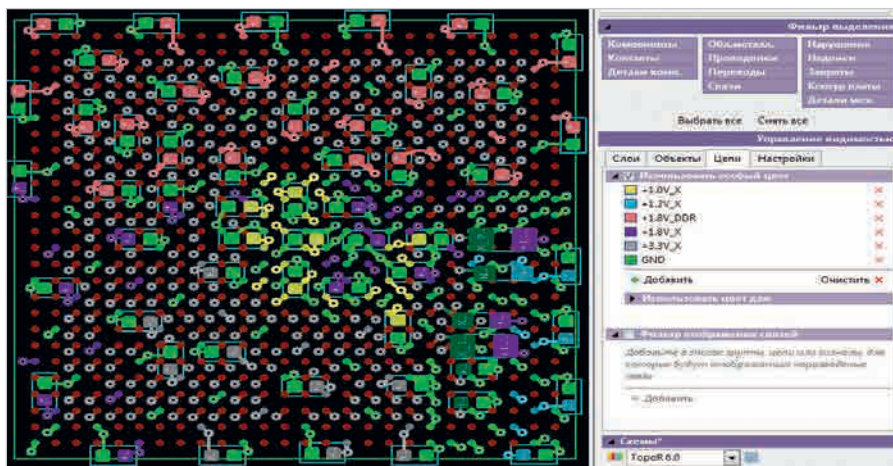


Рис. 19. Расставленные двухполюсники и фанаты

BGA к центру, продвигаясь по прямоугольной спирали, например по часовой стрелке от верхнего левого контакта BGA, подсчитывая число требуемых дополнительных ячеек и проверяя, не превысит ли оно число свободных ячеек «креста».

На рисунке 19 представлен вариант размещения двухполюсников под BGA-компонентом с расставленными после этого фанатами.

Описанная методика расстановки двухполюсников в настоящее время реализуется в САПР ТороR и будет включена в одну из ближайших версий.

Резюмируя вышесказанное, можно сделать следующие выводы:

1. В статье обоснована целесообразность автоматизации процесса рас-

мещения конденсаторов развязки под BGA-компонентом.

2. Предложенная методика решения задачи пригодна как для ручного проектирования, так и для автоматизации процесса расстановки.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Шарошин Ю., Будев В. Основы построения систем питания ПЛИС. Компоненты и технологии. 2006. № 8. С. 144–151.
2. Бессонов А.В., Лузин С.Ю., Лячек Ю.Т. Определение окрестностей многополюсника. Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. № 5. С. 14–17.
3. Сорокин С.А. Расстановка фанатов в САПР «ТороR». Современная электроника. 2018. № 1. С. 70–72.





Свобода проектирования



## САПР электроники

В состав Delta Design, обеспечивающей сквозной цикл проектирования печатных плат, входят модули:

- Менеджер библиотек
- Схемотехнический редактор
- Схемотехническое моделирование
- HDL-симулятор
- Редактор правил
- Редактор печатных плат
- Топологический редактор плат TopoR
- Коллективная работа для предприятий