

# Типовые ошибки трассировки печатных плат

## Введение

В данном документе показаны типовые ошибки допускаемые разработчиками при трассировке печатных плат. Также показаны варианты правильной трассировки. В данном документе рассматриваются фундаментальные основы, без знания которых, даже простые низкоскоростные платы могут оказаться неработоспособными или с набором недостатков. Это могут быть необъяснимые сбои в работе, зависания, локальные перегревы, электрические пробойи на плате и т.п. Также из-за несоблюдения технологических норм и правил могут возникать производственно-технологические дефекты – некачественная пайка, локальные замыкания между дорожками и т.п. В данном документе не рассматриваются такие важные задачи как трассировка скоростных цепей, дифференциальных пар, цифровая и аналоговая земли, правильная компоновка и структура слоев печатной платы. Эти темы очень объемны и требуют отдельного рассмотрения.

## Содержание

1. Правильное подключение выводов микросхем
2. Подключение переходных отверстий
3. Правило 3/4
4. Подключение земли и питания
5. Трассировка силовых цепей питания
6. Зазоры
7. Трассировка BGA
8. Трассировка цепей содержащих кварцевый резонатор
9. Внутренние вырезы на плате (фреза)
10. Дискретность угла установки компонентов на плате

## 1. Правильное подключение выводов микросхем

Все соединения между выводами микросхем должны находиться вне зоны пайки.

На рисунках 1.1 и 1.2 приведены примеры неправильной подводки проводников к резисторным сборкам. Области неправильного подключения обведены для наглядности линией белого цвета. Нарушено технологическое правило – соединения между выводами должны находиться вне зоны пайки. В результате велик риск непропая или некачественного контакта, особенно для варианта на рис.1.2.

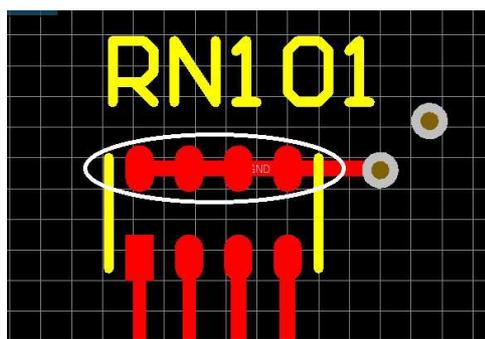


Рис. 1.1

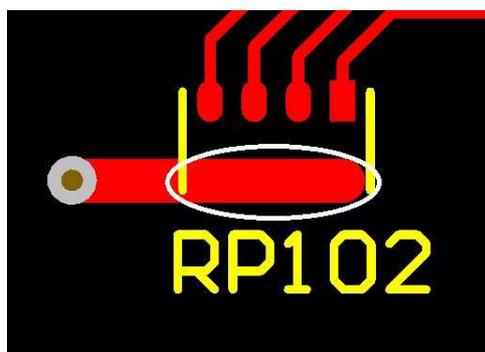


Рис. 1.2

На рис.1.3 показан вариант правильной трассировки резисторной сборки.

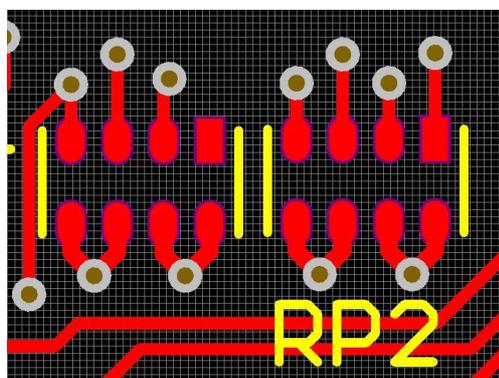


Рис. 1.3

На рисунках 1.4, 1.5 и 1.6 показано неправильное соединение выводов микросхем. На данных примерах это цепи питания и земли. Кроме технологических ошибок, такие соединения ухудшают функционирование микросхемы.

Например, на рис.1.4 видно, что четыре земляных вывода микросхемы соединены между собой (технологическая ошибка) и одиночным тонким проводником вся группа выводов подключается к земле платы. Так подключать нельзя!

Множественность выводов питания и земли на корпусе микросхемы преследует двоякую цель:

- a) Обеспечить прохождение требуемых токов потребления как в типовом режиме (статические токи потребления), так и импульсных токов потребления (ток в импульсе может значительно превосходить средний ток потребления);
- b) Снизить паразитную индуктивность (и емкость) подключения выводов, что повышает помехоустойчивость и стабильность работы высокоскоростных микросхем.

Для рассмотренной группы выводов велико как паразитное резистивное сопротивление между выводами и землей, так и паразитная индуктивность. Ориентировочный расчет для меди толщиной 35мкм дает следующие данные:  $R_p = 4.5\text{мОм}$ ,  $L_p = 0.44\text{нГн}$ .

Если подключить каждый вывод этой группы отдельным коротким проводником (например 0.35мм), то паразитное сопротивление уменьшится в 20 раз, а индуктивность в 50 раз.

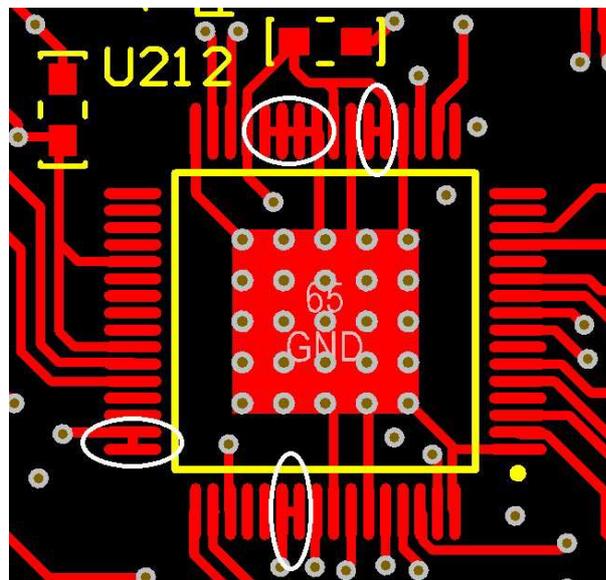


Рис.1.4

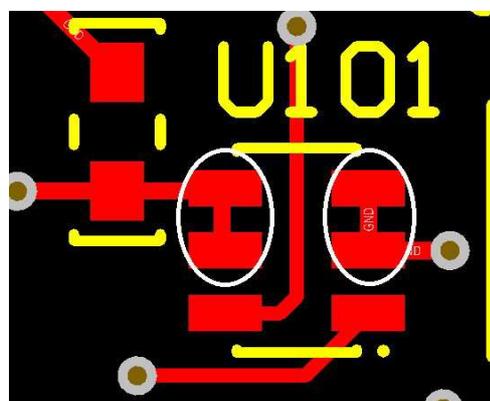


Рис.1.5

На рис.1.6 видно, что в результате заливки полигоном земли, группы выводов земли микросхемы (на рисунке выделены группа из 4-х и из 2-х выводов) оказались на практически сплошном полигоне земли. Риск некачественной пайки при монтаже очень велик. При сплошной заливке полигонами какого-либо участка платы (особенно на слоях Top и Bottom) необходимо анализировать полученный результат, чтобы избежать появления подобных моментов. Можно менять форму полигона с соответствующими зазорами и проводниками для подключения, делать вырезы в полигонах и т.п.

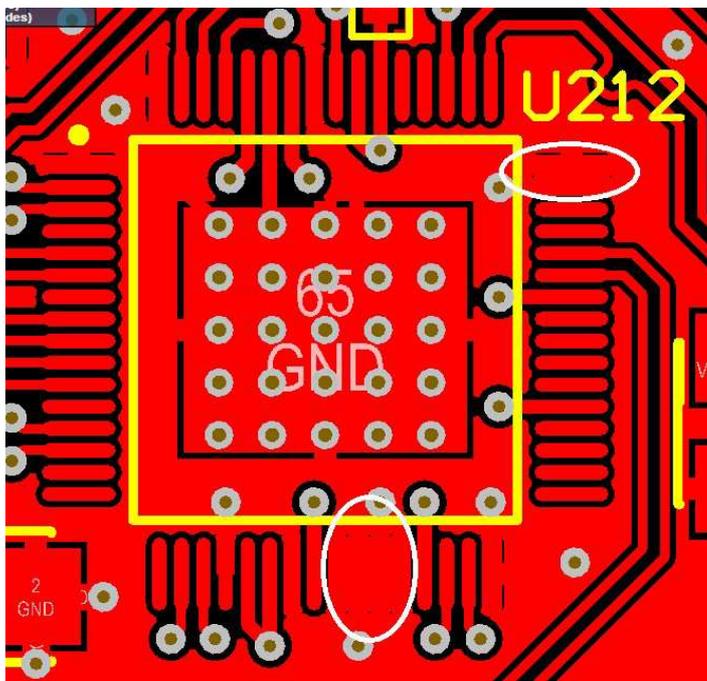


Рис.1.6

На рисунке 1.7 показан пример исключения – выводы припаиваются непосредственно на полигон земли. Такой прием применяется тогда, когда другими средствами обеспечить отвод тепла от микросхемы не удастся, или затруднительно. В данном примере показана микросхема преобразователя питания, работающая непосредственно на трансформатор.

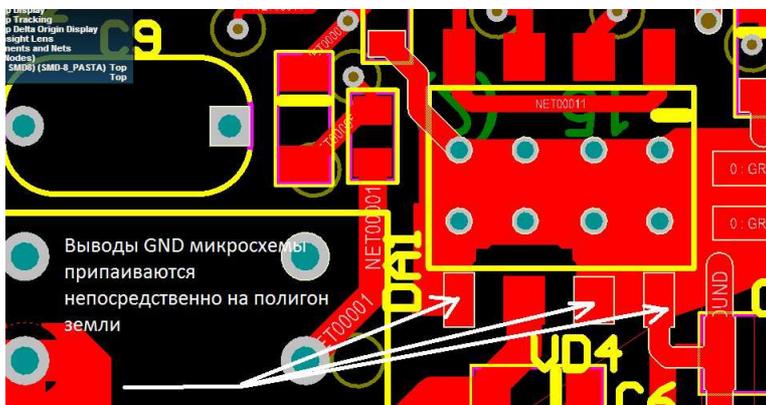


Рис.1.7

## 2. Подключение переходных отверстий

Переходные отверстия (Via) должны быть удалены от контактных площадок компонентов на расстояние не меньше, чем 0.25мм (допустимо до 0.1(0.15)мм при плотной компоновке).

На рис.2.1 показаны слишком маленькие расстояния от переходных отверстий до контактной площадки. При этом нет никаких препятствий на плате, чтобы обеспечить минимум 0.25мм.

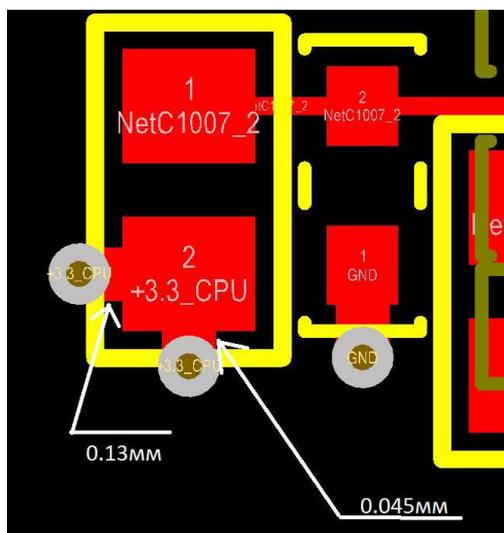


Рис.2.1

На рис.2.2 переходные отверстия краем заходят на контактную площадку L1711. Никаких препятствий, чтобы обеспечить правильное расположение, также нет.

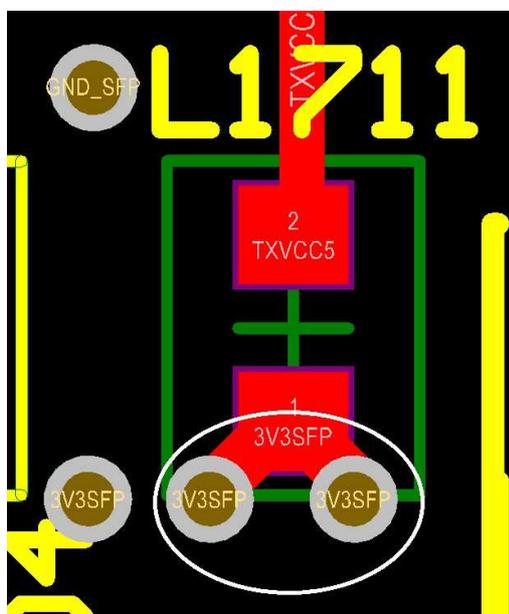


Рис.2.2

### 3. Правило 3/4

Правило 3/4 (0.75) - ширина проводника подключаемого к контактной площадке не должна превышать ширину контактной площадки умноженную на 0.75.

Исключения можно делать только для силовых цепей и там, где это действительно нужно (например, рис.1.7 или рис.3.5).

На рисунке 3.1 показана группа достаточно медленных статусных сигналов подключаемых к контактным площадкам микросхемы. Ширина контактной площадки микросхемы - 0.27мм, ширина подключаемого проводника - 0.254мм. Ширина проводника в данном случае избыточна и ничем не обоснована - класс разводки -4 (0.15/0.15).

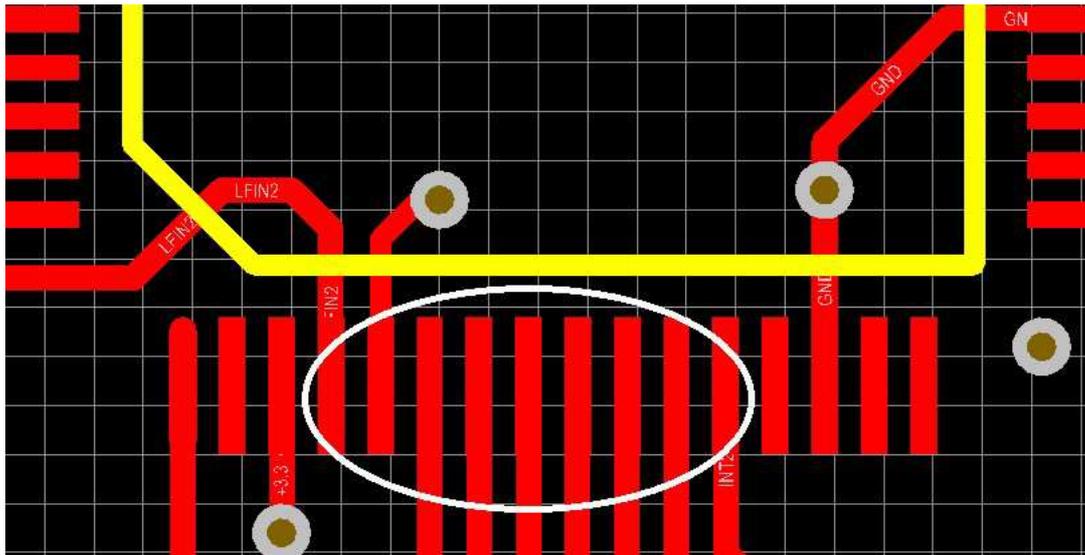


Рис.3.1

По правилу 3/4 для вышеописанного случая вполне подойдет проводник с шириной - 0.2мм. (см. рис.3.2).

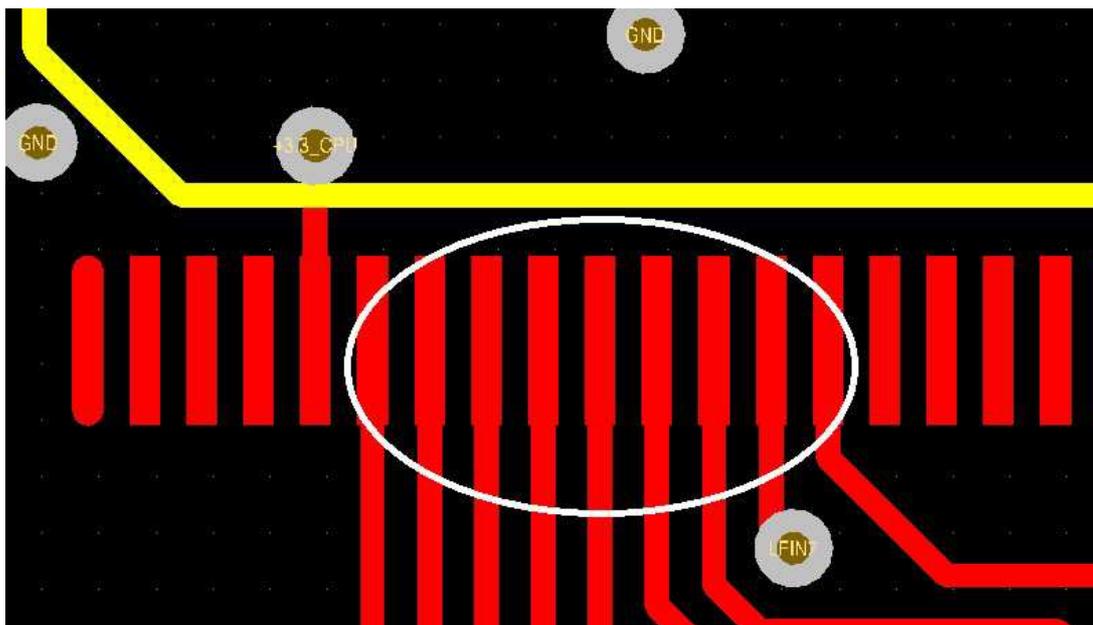


Рис.3.2

На рисунках ниже по тексту показано подключение конденсатора с неправильным выбором ширины проводников (Рис.3.3) и с правильным (Рис.3.4).



Рис.3.3



Рис.3.4

На рис.3.5 приведен пример подключения силовых проводников микросхемы преобразователя. Для преобразователя питания на ток 3А, подключаем силовые выводы микросхемы проводниками равными по ширине 0.35мм (ширина контактных площадок микросхемы 0.35мм) к соответствующим полигонам. Правило 3/4 выполнять в данном случае необязательно.

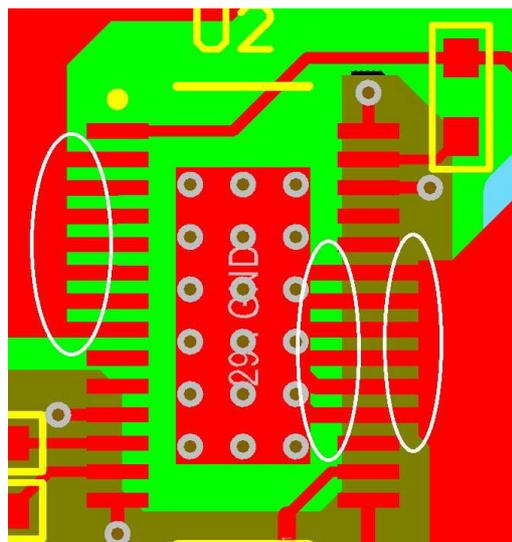


Рис.3.5

#### 4. Подключение земли и питания

##### Подключение земли

Выводы GND у микросхем (или дискретных компонентов) должны подключаться к полигону земли по наименее короткому пути, короткими проводниками. Теоретически в идеальном случае необходимо каждый вывод подключить к переходному отверстию (полигону земли) на минимальном расстоянии - 0.25мм. Тащить земли на несколько миллиметров в корне неправильно.

На рисунке 4.1 приведен пример неправильного подключения земли к разъему SFP. Стрелками показаны длинные (>2мм) и тонкие (0.254мм) подключения земель. Паразитные параметры (R и L) при таком подключении будут велики.

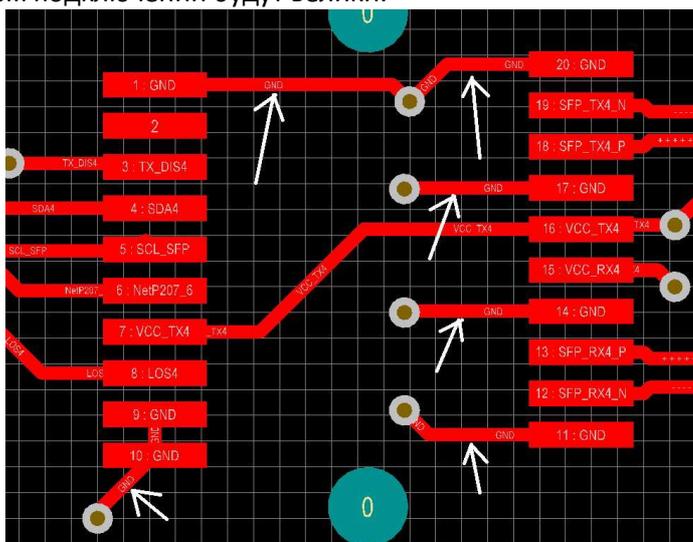


Рис.4.1

На рис.4.2 показан вариант правильного подключения: Выводы GND подключены к Via короткими (0.3мм) и широкими (0.4мм) проводниками.

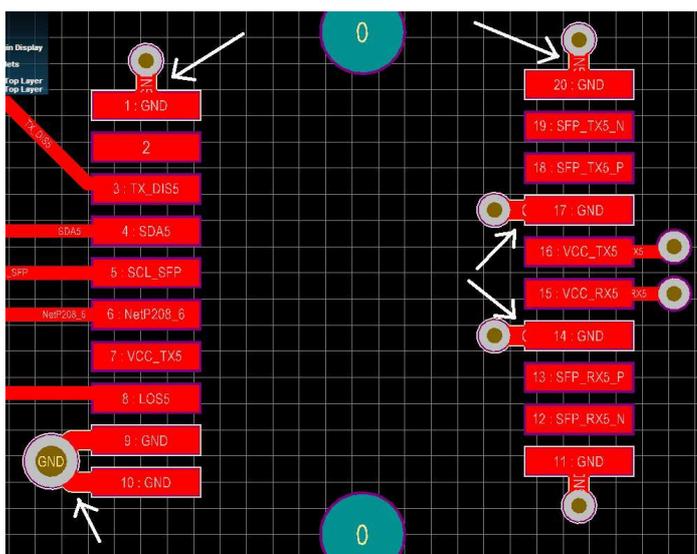


Рис.4.2

На рисунках 4.3 и 4.4 показано плохое подключение земли к конденсаторам (фильтры питания). Конденсатор C1517 на рис.4.3 удостоивается звания – «Суперконденсатор», хуже подключение земли трудно придумать.

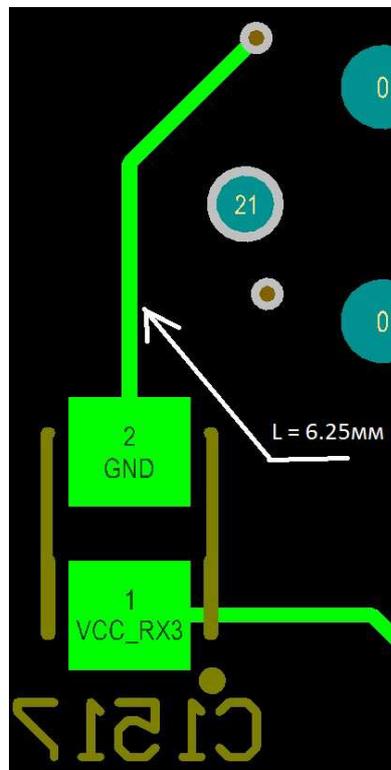


Рис.4.3

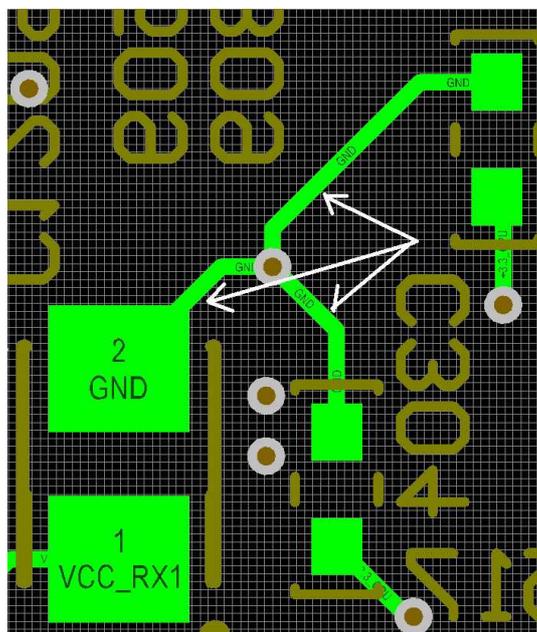


Рис.4.4

Плохое подключение земли к выводам микросхемы показано на рисунке 4.5. Подключение практически эквивалентно подключению на рис.1.4. Технологичность здесь соблюдена – соединение выводов вне зоны пайки. Основной недостаток такой же, как для рис.1.4 – подключение группы выводов одиночным проводником.

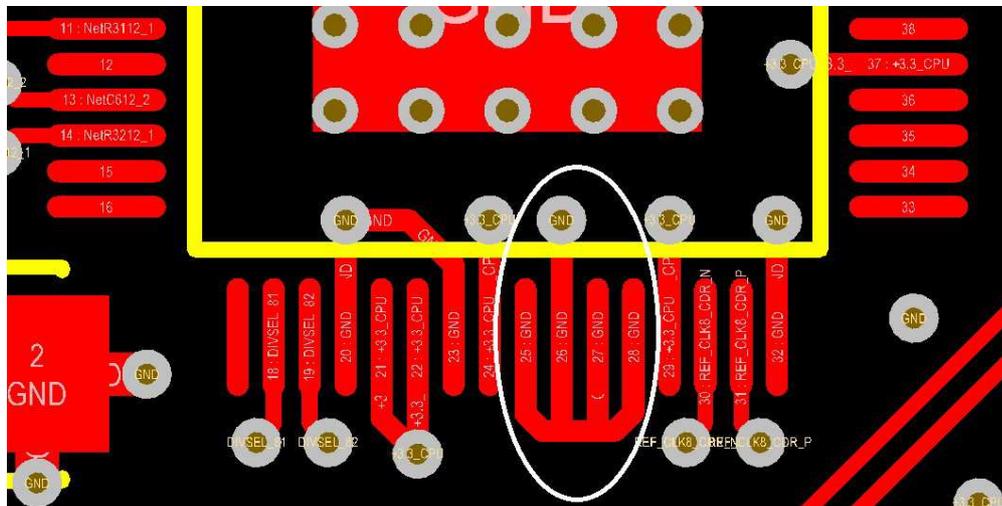


Рис.4.5

Правильное подключение выводов GND у микросхемы к полигону земли показано на рис.4.6.

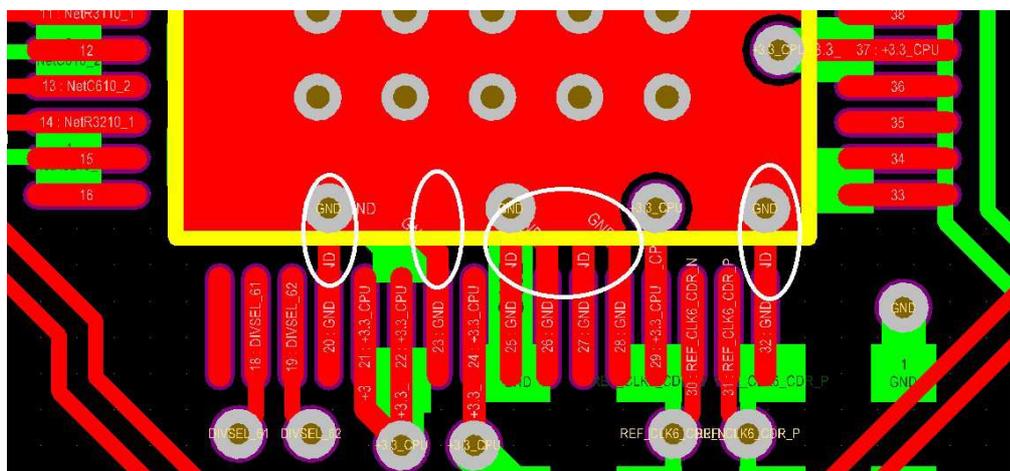


Рис.4.6

### Подключение питания

Основные правила: учитывать протекающие токи (постоянные и импульсные), фильтрующие компоненты по возможности располагать ближе к соответствующим выводам микросхем и других дискретных компонентов. Обеспечивать низкоиндуктивное подключение – широкими проводниками или полигонами.

Вариант трассировки питания для маломощной микросхемы показан на рис.4.7.

К фильтрующему конденсатору от переходного отверстия (полигона питания) необходимо обеспечить соединение достаточно широким проводником (м.б. равен или уже по ширине аналогичного соединения с землей). Далее подключение к выводу питания микросхемы делаем по правилу 3/4.

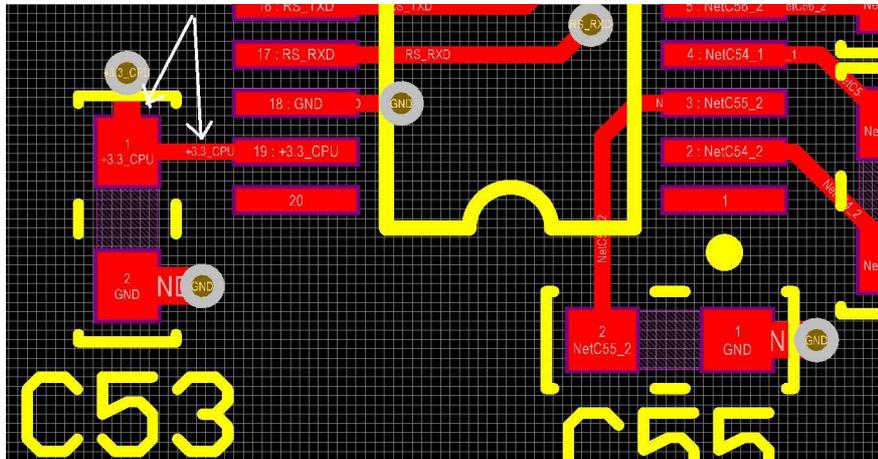


Рис.4.7

Плохая подводка питания к микросхеме показана на рисунке 4.8. Конденсатор фильтра питания стоит достаточно далеко от выводов питания микросхемы и два вывода питания соединяются и питаются от одного проводника. По хорошему, необходимо было фильтрующие конденсаторы поставить возле каждого вывода питания и на более коротких расстояниях (1..2мм). Если на слое Top разместить их не удастся из-за других элементов трассировки, то необходимо разместить конденсаторы на слое Bottom.

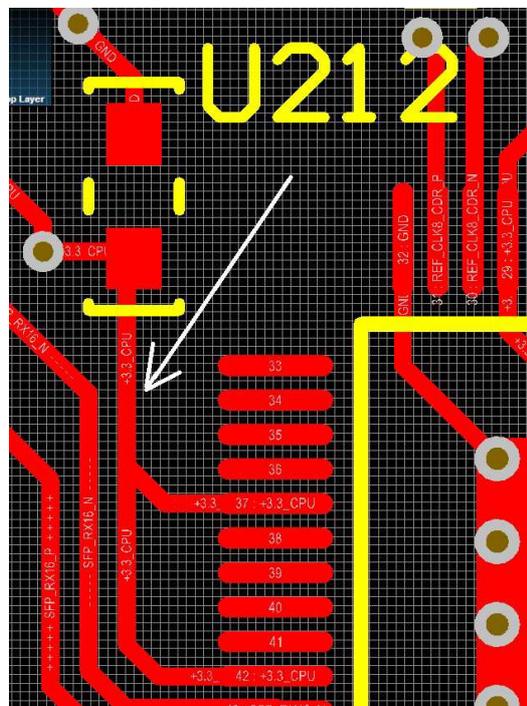


Рис.4.8

## 5. Трассировка силовых цепей питания

Вариант плохой трассировки силовых цепей показан на рисунке 5.1. Подключение силовых площадок элементов в данном примере осуществлено тонкими проводниками – 0.25мм. Поскольку цепь рассчитана на протекание тока 5А, то прохождение тока по тонким проводникам вызовет нагрев проводников до 60С. Сопротивление и индуктивности в этих узких местах также будут велики.

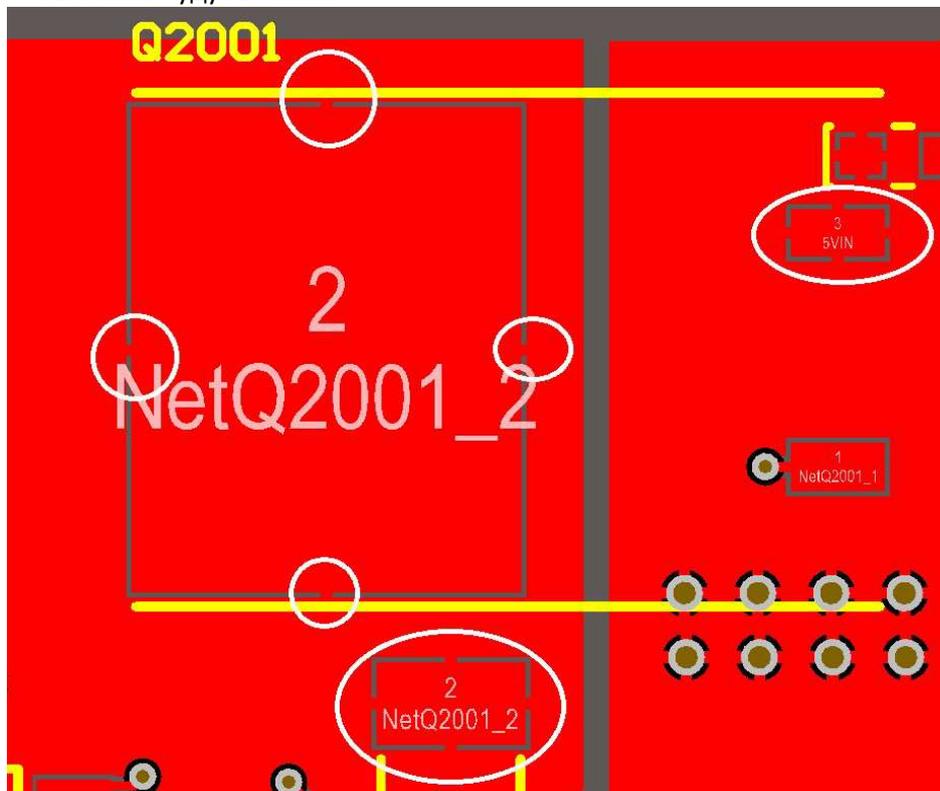


Рис.5.1

Вариант правильной трассировки силовых цепей показан на рисунке 5.2. Увеличение ширины силовых проводников до 1мм, обеспечивает запас по протекаемому току до 10А при нагреве до 45С. Сопротивление и индуктивности также будут минимальными, не оказывающими вредного паразитного влияния.



Рис.5.2

## 6. Зазоры

### Зазоры между выводами компонентов и полигонами

Пример бездумной заливки микросхемы полигонами приведен на рисунке 6.1.

Плата сделана по 5-му классу точности с выставленными зазорами 0.11мм.

На рисунке видно, что в результате заливки полигонов, практически каждая ножка микросхемы окружена металлизацией с толщиной 0.13мм (шаг микросхемы 0.65мм).

Технологичность таким способом значительно ухудшена – малейший дефект или на самой плате или в процессе монтажа вызовет локальное замыкание дорожек, которое потом трудно будет обнаружить. С точки зрения функционирования такое решение также лишено смысла.

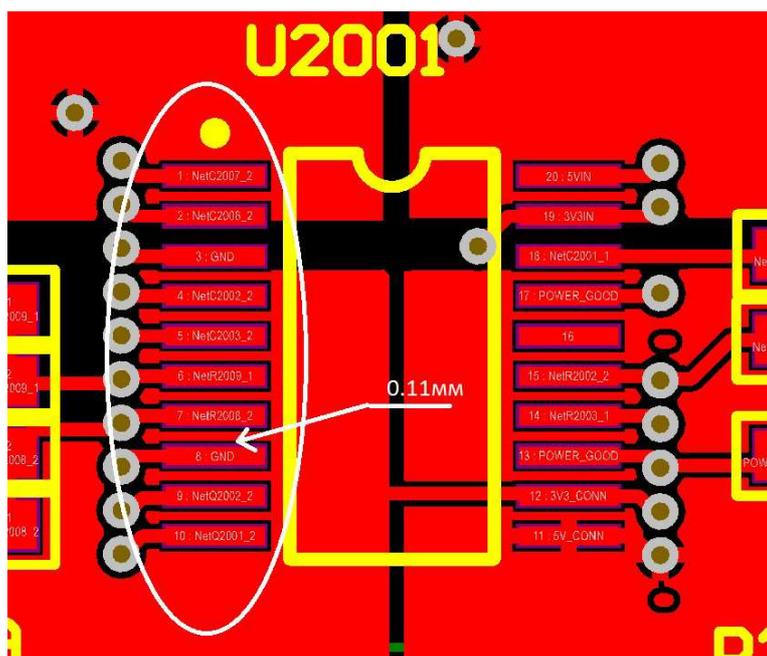


Рис.6.1

На рисунке 6.2 приведен пример грамотной разводки части питания устройства.

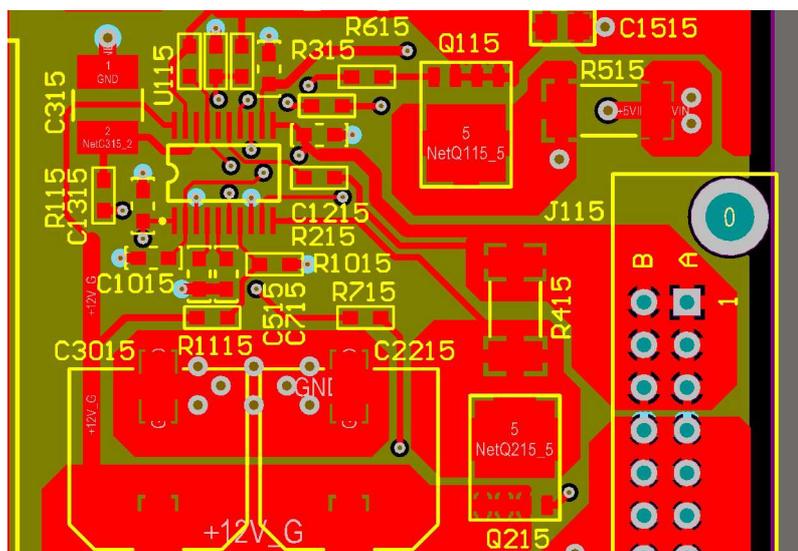


Рис.6.2

То же самое, но испорченное неграмотной заливкой полигоном земли, показано на рис.6.3. Сразу видим ухудшение технологичности. Также видно, что образовалось большое количество тонких проводников земли, которые заполняют собой свободные места, образуя какие-то контура, длинные тонкие проводники, электрически подключенные в каком-либо произвольном месте. Также зазоры между проводниками и полигонами автоматически уменьшились до минимальных – в данном примере до 0.15мм. Поскольку данная схема работает при входном напряжении 12В, то это не сказывается на работе схемы. Но если бы схема была бы рассчитана на работу в диапазоне 36 – 72В, то данную плату после изготовления можно сразу было выкидывать на помойку. Зазор 0.15мм не обеспечивает работу при таких напряжениях (напряжение пробоя 45В).

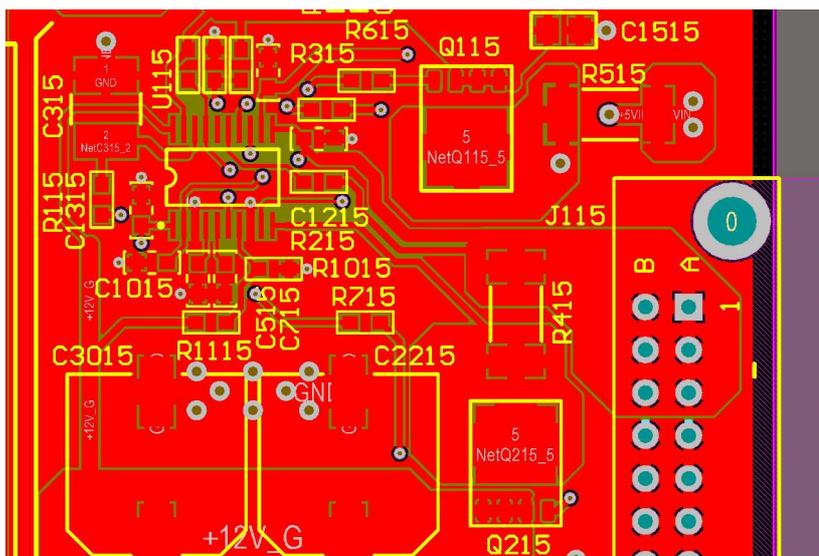


Рис.6.3

Зазоры у компонентов, подвергающихся периодическому механическому воздействию.

К таким компонентам можно отнести любые выводные соединительные разъемы, кнопки и т.п. Необходимо из соображений механической прочности, а также лучшей пайки увеличивать зазоры у выводов таких элементов, в случае подключения группы выводов через полигоны. Также необходимо учитывать рабочее напряжение, действующее на контактах, чтобы обеспечить величину зазора вне области пробоя. Рекомендуемый зазор из соображений механической прочности – не менее 0.2мм.

На рисунке 6.4 видно, что подключение полигонов сделано с минимальными зазорами возле всех выводов разъема – 0.11мм. Для напряжений питания 3.3В и 5В такой зазор обеспечивает электрическую прочность, но не является хорошим решением по причинам описанным выше.

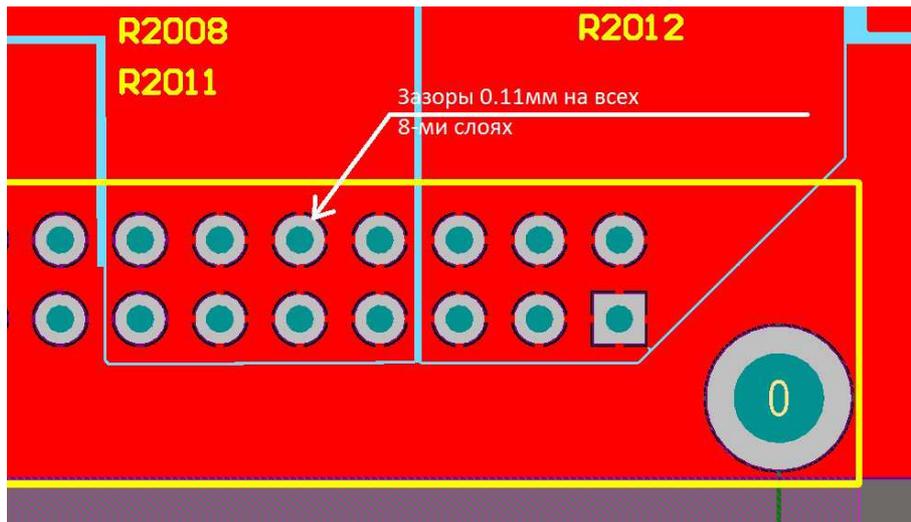


Рис.6.4

Пример правильного подключения полигонов к разъему приведен на рисунке 6.5. Полигон питания +12В подключен с зазором 0.25мм. Зазор обеспечивается отдельным правилом зазора для данной цепи. Ниже полигон земли подключен с зазором 0.15мм на слое Top, что диктуется требованием такого зазора для этого слоя. Соответственно зазор для всех других слоев увеличен до 0.2мм. Также можно использовать вырезы в полигонах для обеспечения необходимого зазора. На рисунке это нижняя группа контактов с зазором 0.3мм.

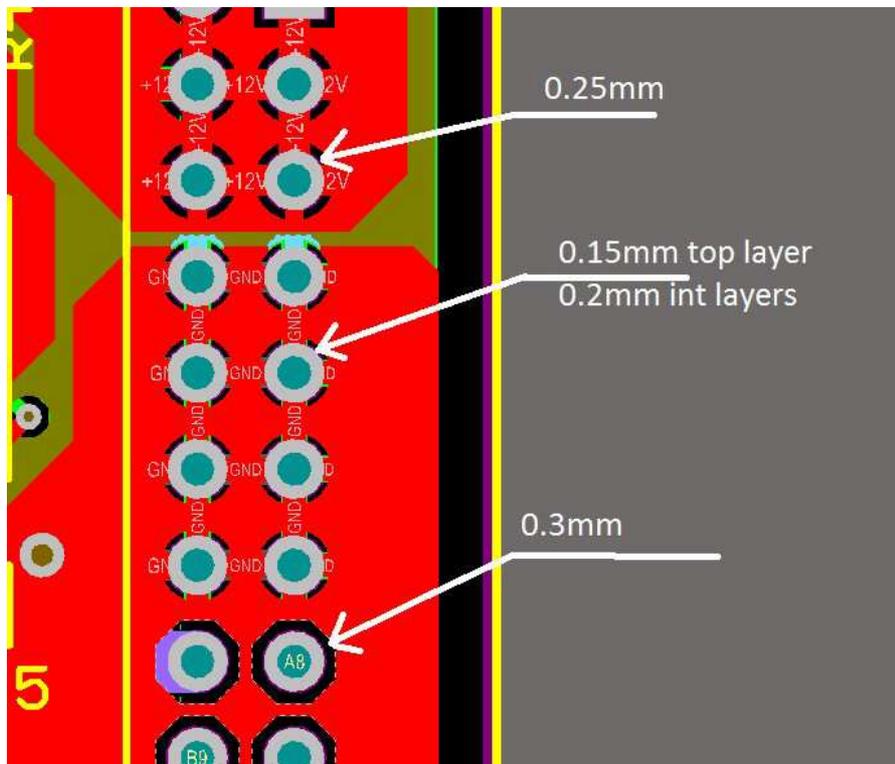


Рис.6.5

## 7. Трассировка BGA

### Заливка полигонами

Использование сплошных областей металлизации (заливки медью) под корпусом BGA микросхемы считается плохим тоном. Причём чем дальше область от центра корпуса, тем больше риск. Это объясняется тем, что если контактная площадка целиком покрыта областью заливки, поверхность пайки определяется не формой контактной площадки, а формой окна в паяльной маске. Форма капли припоя при этом будет не оптимальной (припой как бы растекается), контакт при этом получается некачественным и может быть разрушен в процессе длительной эксплуатации оборудования, например, за счёт механических нагрузок, связанных с вибрацией или тепловым расширением. Также необходимо учитывать эффект теплопроводности – расплавленный припой утекает в сторону источника тепла, качество и надежность пайки ухудшаются.

На рис.7.1 показан пример такой заливки. Видно, что в центре микросхемы 16-ть шариков микросхемы объединены сплошной заливкой, все остальные выводы получают в окружении полигона земли. Такое решение серьезно ухудшает технологичность.

Исключение: В некоторых случаях производитель может рекомендовать применение сплошной металлизации под корпусом BGA. Обычно это обусловлено необходимостью отводить повышенную тепловую мощность без использования радиатора. В таком случае необходимо придерживаться рекомендаций производителя. Во всех остальных случаях этого нужно избегать.

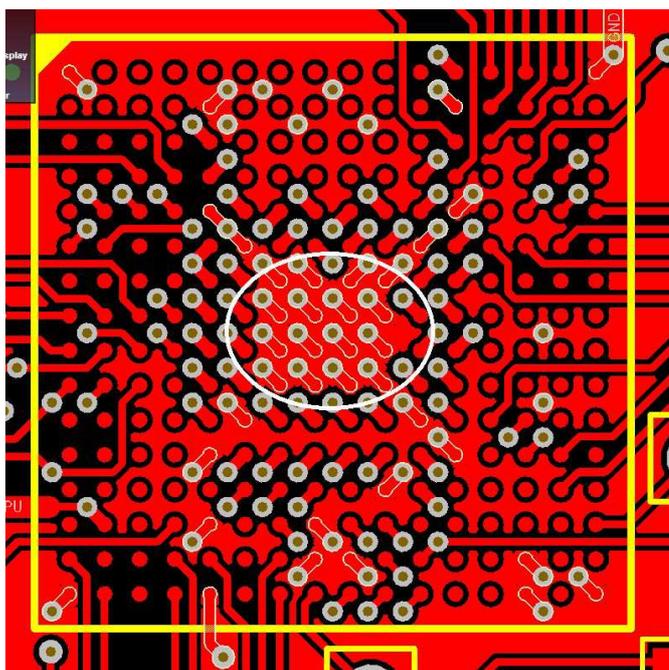


Рис.7.1

### Выдерживание запрещенной зоны вокруг BGA

При компоновке элементов необходимо стремиться, не размещать вплотную к микросхеме BGA другие компоненты. Рекомендуемая область отступа не менее 3..5мм, также необходимо учитывать крепление теплоотводящего радиатора (если требуется). При очень плотной компоновке это расстояние можно уменьшить до 1мм.

На рис.7.2 показано плохое (слишком близкое) расположение компонентов. Большинство компонентов в приведенном примере располагаются на расстоянии 0.5мм; 0.85мм.

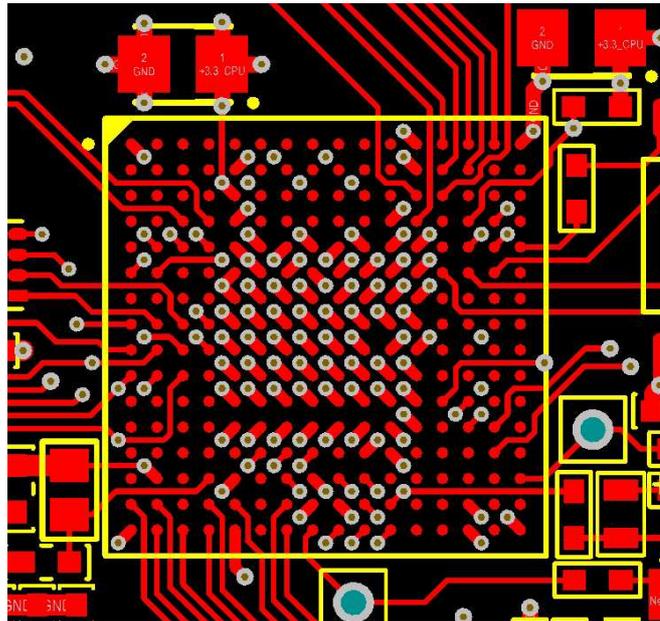


Рис.7.2

На рис.7.3 показано правильное расположение компонентов. Большинство компонентов в приведенном примере располагаются на расстоянии не ближе 3мм.

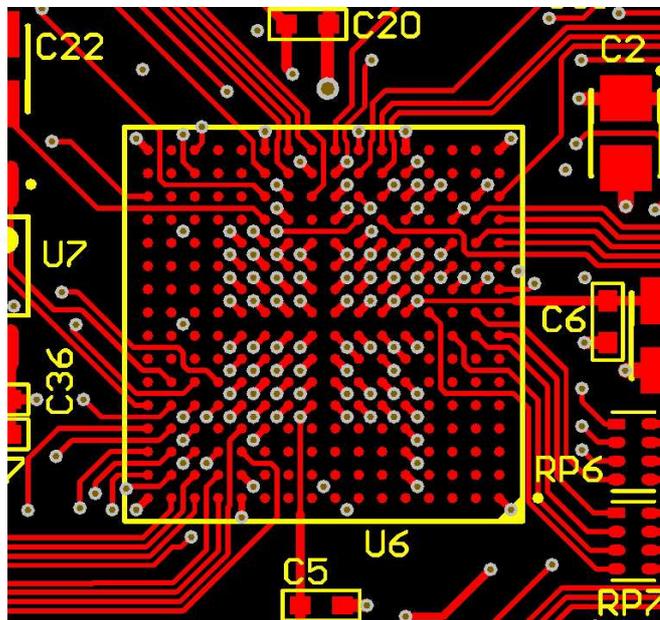


Рис.7.3

#### Переходные отверстия

Все переходные отверстия под BGA корпусом следует всегда закрывать защитной маской.

## 8. Трассировка цепей содержащих кварцевый резонатор

На рисунке 8.1 показана часть трассировки микроконтроллера, который использует для своей работы кварцевый резонатор. В большинстве схем использующих кварцевый резонатор, для стабильного запуска генерации, используются два конденсатора малой емкости. На рисунке это конденсаторы C97 и C100. Земляные выводы этих конденсаторов нельзя подключать к земле печатной платы в произвольном месте. Необходимо земли конденсаторов объединить между собой и подключить к земляной ножке микроконтроллера. Земляной вывод микроконтроллера в свою очередь необходимо с другой стороны подключить к переходному отверстию, подключенному к внутреннему полигону земли и/или к полигону на Top/Bottom. В этом случае, участок земли, показанный стрелкой, будет так называемой «чистой землей». Этот участок необходимо делать по возможности короче. К нему нельзя подключать земли никаких других элементов. Исключение составляет конденсатор, установленный в цепи внешнего сброса микроконтроллера (на рисунке слева от C100). Такая трассировка обеспечивает максимальную помехоустойчивость, особенно при наносекундных помехах, которые могут вызывать труднообъяснимые сбои и зависания в работе микроконтроллера.

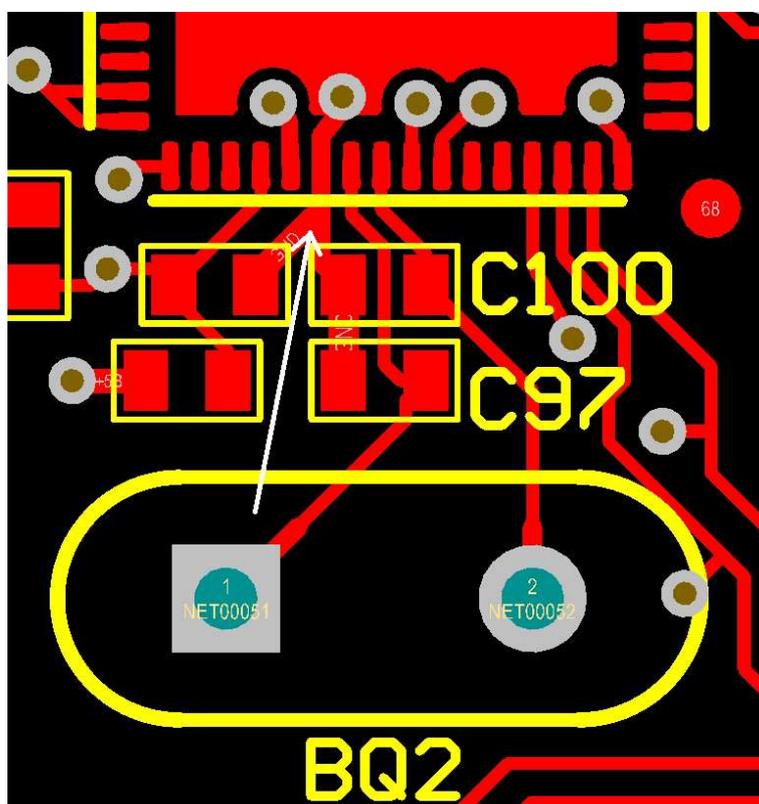


Рис.8.1

На рисунке 8.2 показан пример неправильной трассировки кварцевого резонатора. Кварц расположен достаточно далеко от микросхемы. Земля конденсаторов обвязки подключена непосредственно к внутреннему полигону земли, земляной вывод микроконтроллера также сразу подключается туда же. В результате расстояние по слою земли получилось равным 15мм. Никакой «чистой земли» при таком подключении не получается, поскольку все сидит на общей цифровой земле. Устройство будет работать при отсутствии и/или малом уровне помех. При сильных помехах устройство будет «сбоить» (особенно при наносекундных помехах, поскольку внутренние сплошные слои питания и земли не обеспечивают хорошей защиты от такого вида помех.).

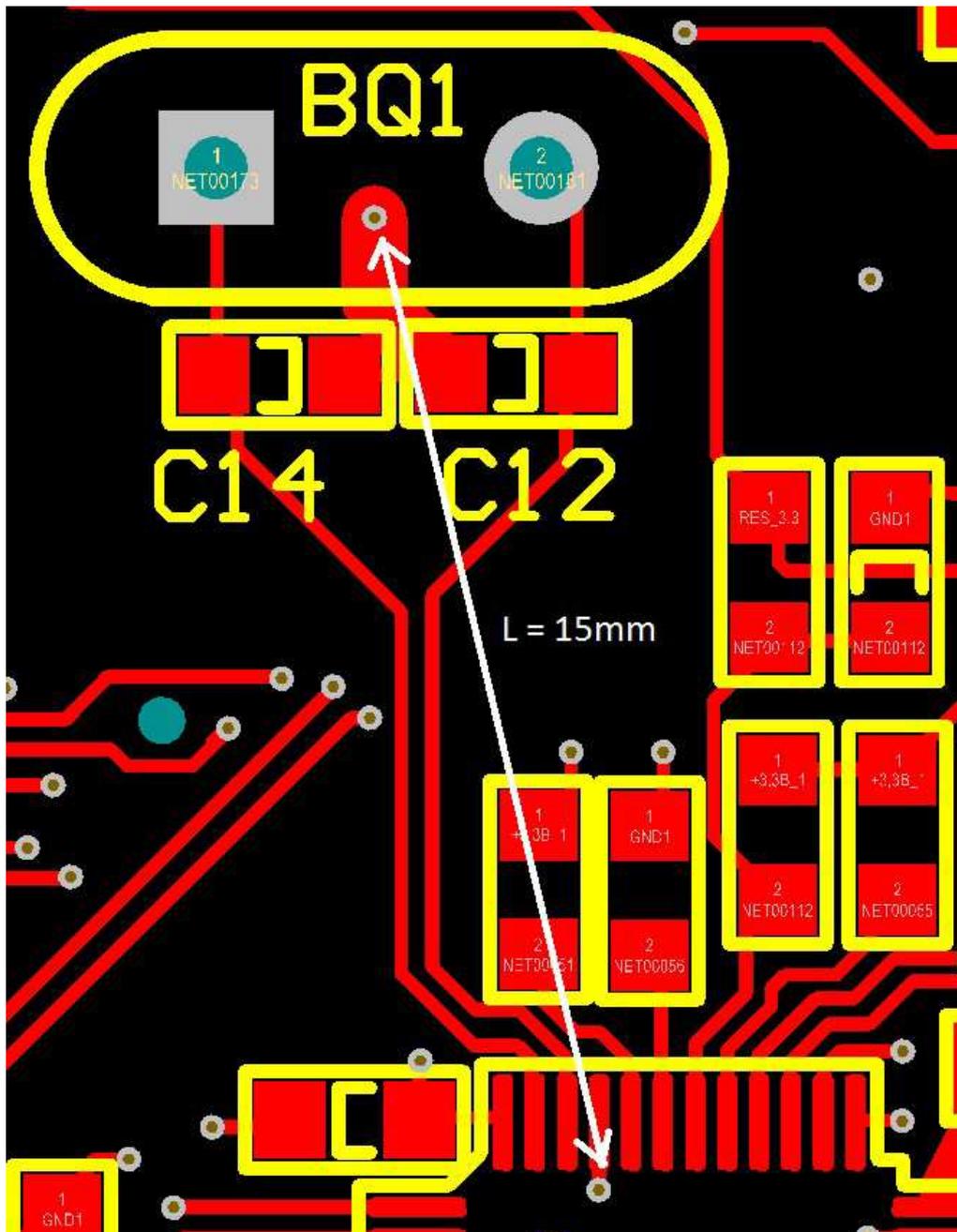


Рис.8.2

## 9. Внутренние вырезы на плате (фреза)

Внутренние вырезы на плате обычно используются, когда необходимо обеспечить гальваническую изоляцию на плате, а в силу плотной компоновки или по другим причинам этого обеспечить не удастся. Для приборов, на каких-либо цепях которого находится напряжение 220В, обычно требуется обеспечить гальваническую развязку от низковольтных цепей, не менее 1.5кВ (1500В). Для этого необходимо обеспечить расстояние между высоковольтными и низковольтными цепями не менее 5мм (ориентировочно считается по плате 1мм = 300В). Если на плате не удастся обеспечить требуемое расстояние, то необходимо выполнить пропил (фрезеровку) в плате. Фрезеровка выполняется в наиболее узких местах, где расстояние по плате выдержать не получается. В результате в работу включается воздушный промежуток, напряжение пробоя которого достаточно велико (3-4кВ на 1мм, может уменьшаться из-за различных сторонних факторов – повышенная влажность, конфигурация проводников и т.п.).

Минимальный диаметр фрезы на заводе-производителе – как правило, 0.8мм. Это и есть минимальная ширина фрезерованного паза. Делая вырезы в плате шириной в 1мм, легко обеспечить отсутствие каких-либо проблем при изготовлении печатной платы.

На рисунке 9.1 в качестве примера приведена часть платы, где показано применение вырезов для обеспечения гальванической изоляции.

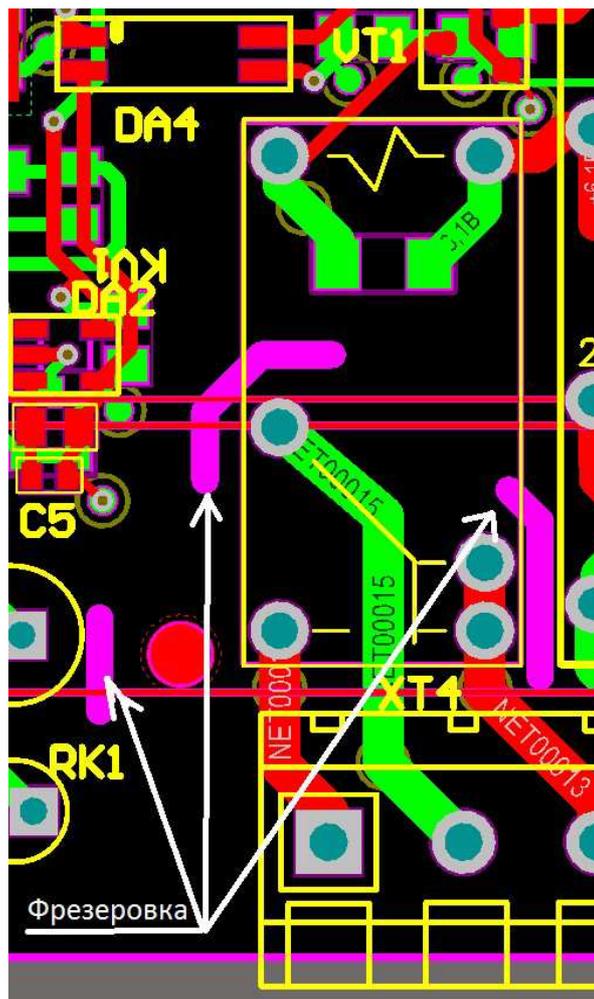


Рис.9.1

## 10. Дискретность угла установки компонентов на плате

Компонент, может быть повернут вокруг своей оси с дискретностью 1 градус. В большинстве случаев угла установки компонентов (Rotation Step) в 90 или 45 градусов более чем достаточно. Однако иногда может возникнуть ситуация, когда такие углы не позволяют разместить все компоненты на плате. Такая ситуация может возникнуть если габариты конструктива (платы) жестко ограничены, кол-во элементов для размещения на плате велико и имеется несколько видов цепей для которых необходима гальваноразвязка в 1500В. В этом случае компоненты можно устанавливать с любым, удобным для компоновки углом (дискретность 1 градус). Единственное неудобство состоит в том, что проводники в этом случае должны будут проводиться под углами, отличными от стандартных. Пример такой трассировки приведен на рис.10.1 (Top) и рис.10.2 (Bottom).

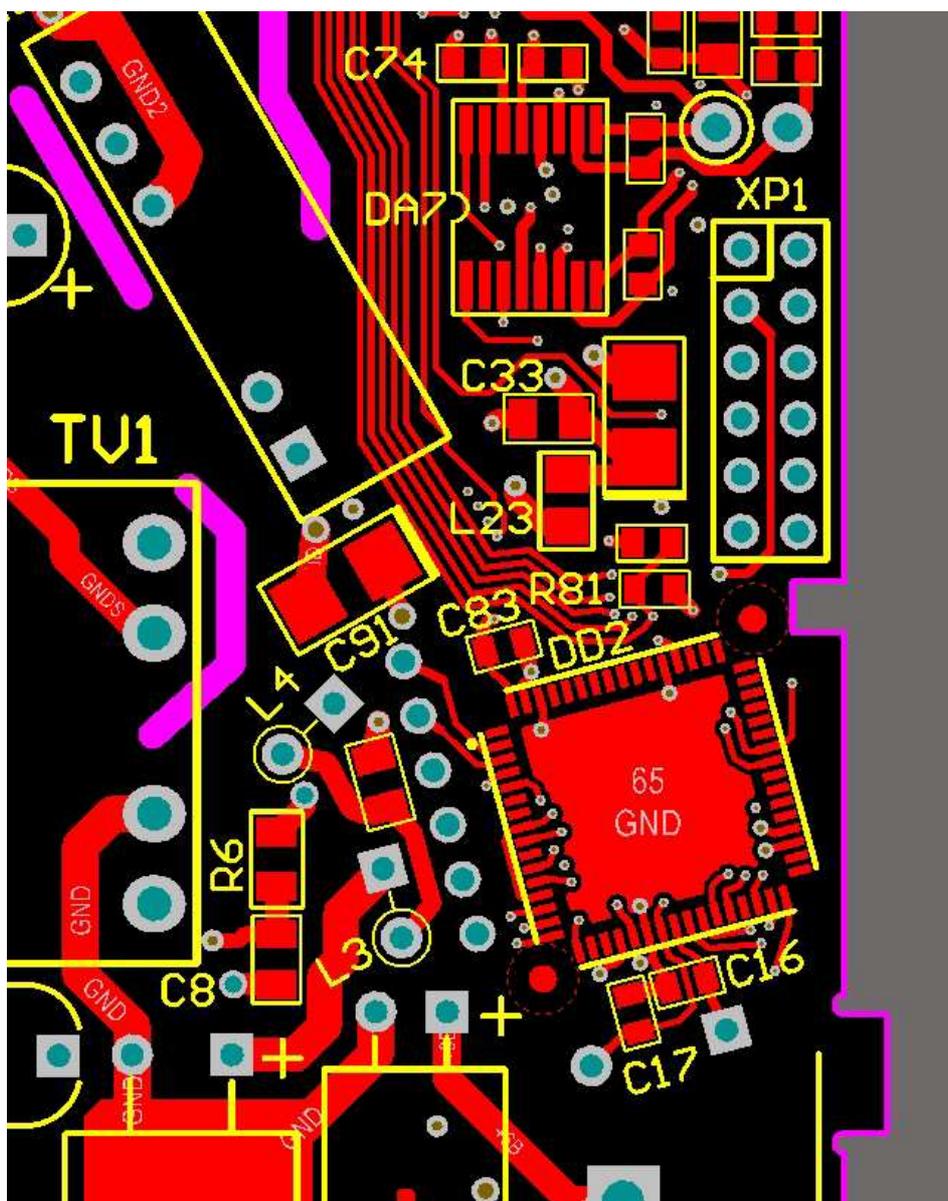


Рис.10.1

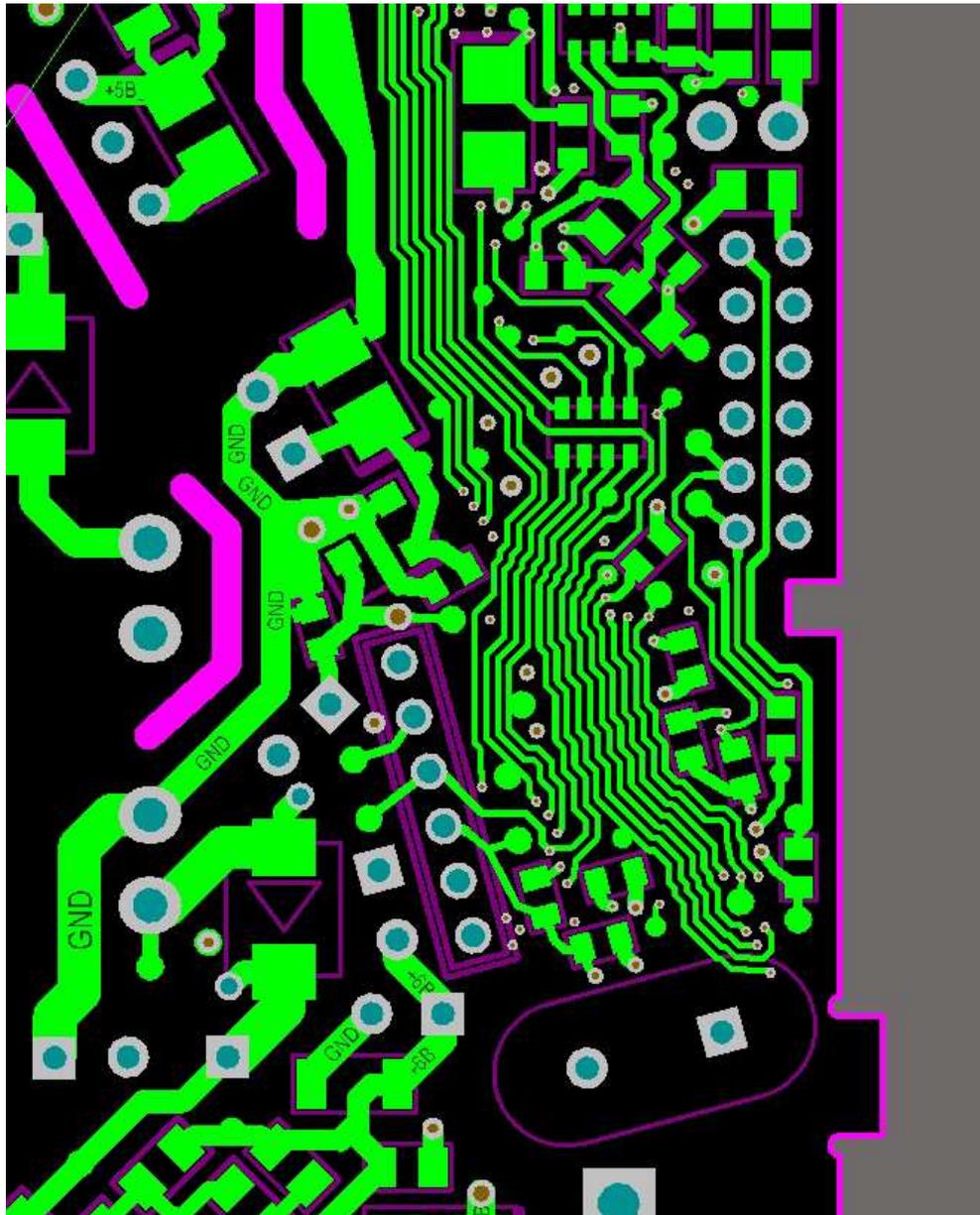


Рис.10.2

Автор документа:  
инженер – схемотехник  
Новиков В.А.

14.09.2011