

# ЗАЩИТНЫЕ ПРОВОДНИКИ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ НУЖНЫ ЛИ ОНИ?

Г.Джонсон, перевод – дизайн-центр печатных плат КБ "Схематика" www.schematica.ru

При проектировании высокочастотных печатных плат необходимо уделять внимание взаимному расположению проводников. Неправильная разводка сигнальных цепей может привести к высокому уровню перекрестных помех и, в итоге, к нестабильной работе устройства. Для снижения уровня помех используются различные схемотехнические решения, одно из них – введение защитных цепей. Однако их использование оправдано лишь на простых двухслойных печатных платах.

**З**ащитный проводник – это проводник на печатной плате, расположенный параллельно имеющемуся на плате высокочастотному сигналу. Такие проводники обычно устанавливаются с целью снижения перекрестных помех. Зачастую их можно видеть с обеих сторон от высокочастотной линии. Как правило, эти линии заземлены в начале и в конце трассы. Такие защитные проводники все чаще появляются и в аналоговых проектах. В диапазоне звуковых частот на простой двухсторонней плате защитные проводники могут на порядок уменьшить перекрестные помехи, но в мире цифровых сигналов это действует по-другому. На многослойной плате, где, как правило, уже есть опорные слои с полигонами земли и питания, защитные проводники дают гораздо меньшие преимущества.

Чтобы понять принцип действия защитных проводников, представьте себе длинный, подвешенный в пустом пространстве провод, по которому передается быстро изменяющийся цифровой сигнал. Ток, связанный с этим сигналом, в любом случае должен возвратиться к его источнику, поэтому должен быть второй провод, передающий обратный (возвратный) ток. Эти два тока текут в противоположных направлениях, создавая

перекрестные помехи. Ток в первом проводе индуцирует на некотором расстоянии от него магнитное поле. Ток в обратном проводе делает то же самое, с одним важным отличием – он течет в противоположном направлении относительно первого провода. Таким образом, магнитное поле, произведенное обратным проводом, должно быть противоположно магнитному полю первого провода.

Если бы эти два провода находились в одном и том же месте, то эти два магнитных поля нейтрализовали бы действие друг друга, так что в итоге никакие перекрестные помехи не могли бы возникнуть. К сожалению, в реальности провода не могут быть совмещены, между ними

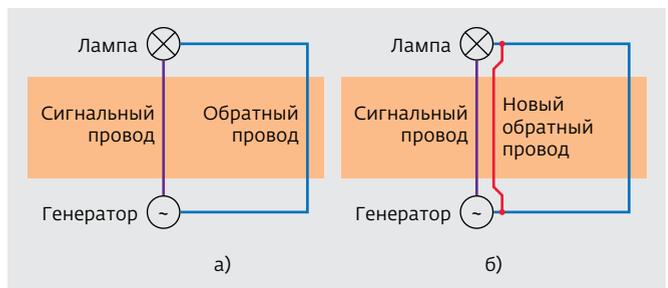


Рис.1. Пример системы с перекрестными помехами

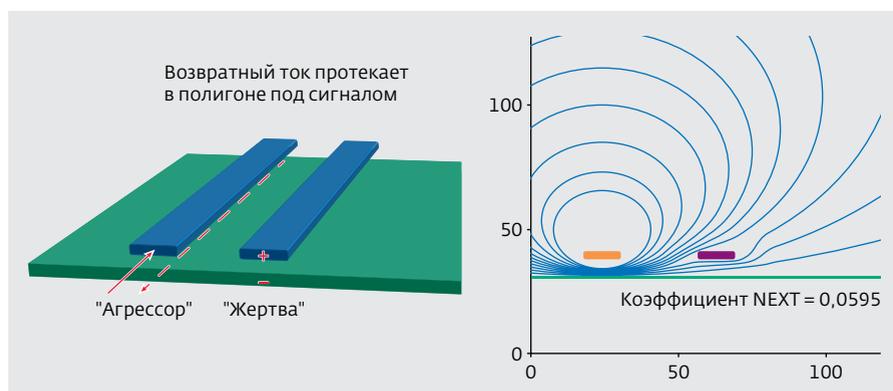


Рис.2. Линии расположены близко

всегда будет небольшое расстояние. Поэтому мы практически постоянно сталкиваемся с перекрестными помехами.

Чтобы выяснить, почему это происходит, рассмотрим преувеличенную ситуацию. Представим, что мы стоим на одном конце футбольного поля, где находится генератор сигнала. От генератора протянем провод к противоположной стороне поля, на расстоянии 50 м, и подключим к проводу лампочку – это будет "нагрузка". Теперь подсоединим к генератору ответный провод от лампочки, но вместо того, чтобы выбрать кратчайший путь к источнику, обогнем обратным проводом по часовой стрелке все футбольное поле, делая большую прямоугольную петлю (рис.1а).

Очевидно, что огромное расстояние между прямым и обратным проводом "хоронит" любую надежду на отсутствие магнитного поля. Таким образом, при работе наша система создает большие перекрестные помехи для соседних сигналов.

Теперь установим новый, третий провод в системе, прямо рядом с прямым проводом. На противоположной стороне поля новый провод подсоединяет лампочку к генератору сигнала точно так же, как и обратный провод. Третий провод идет параллельно прямому проводу, на расстоянии всего пары сантиметров от него. Новый провод подключен точно так же, как подключен оригинальный обратный провод, т.е. подпаян к источнику и нагрузке в тех же точках (рис.1б).

Новый провод обеспечивает возможность выбора пути протекания обратного тока к источнику. Этот ток может идти либо по старому проводу, отклоняясь на значительное расстояние от прямого сигнала, либо возвратиться по новому проводу, все время проходя очень близко от прямого сигнала.

Имея возможность выбора, высокочастотный обратный сигнал будет течь главным образом

через новый провод. Это очень интересный результат, потому что магнитное поле, образованное новым проводником, теперь находится очень близко к полю, созданному проводником прямого сигнала. Чем ближе вы помещаете два таких источника магнитного поля друг к другу, тем сильнее они снижают совокупное магнитное поле и тем меньше создают перекрестных помех. Имея возможность выбрать любой из двух путей, обратный сигнал

сам выбирает второй проводник и тем самым производит снижение перекрестных помех.

**Если имеется выбор возврата вдоль удаленной трассы или возврата вдоль пути, смежного с сигнальным проводом, ток высокой частоты всегда выбирает смежный обратный путь. Структура, сформированная прямым проводом с удаленным путем возврата, формирует большую петлю**

с большей индуктивностью. Структура, сформированная прямым проводом со смежным путем возврата, формирует меньшую петлю с намного меньшей индуктивностью. Высокочастотный ток имеет тенденцию течь по наименее индуктивному пути.

В старых аналоговых печатных платах 70-х годов прошлого века пути для возвратного тока были различны – несколько соединений с источником питания, несколько защитных экранов и пара защитных проводников, намеренно проведенных на расстоянии 0,25–0,3 мм по обе стороны от основного сигнала. Где, по-вашему, будет течь бóльшая часть возвратного сигнала? Разумеется, по этим близко находящимся к основному сигналу трассам, сохраняя основной сигнал и уменьшая перекрестные помехи.

Теперь обратимся к цифровым печатным платам, где, как правило, есть так называемые опорные слои, представляющие собой медные полигоны во внутренних слоях, подключенные к земле или питанию. Эти опорные слои обеспечивают каждый сигнал бесчисленным (тысячи вариантов на каждый сантиметр по всей протяженности сигнала) количеством путей обратного тока. Такой слой – самая большая, самая толстая, самая лучшая защитная трасса, которую можно представить. Это лучший вариант для уменьшения перекрестных помех. Если защитная трасса на одном слое не может находиться ближе, чем опорный слой, к сигнальной, и быть шире, чем полигон в опорном слое, то эта защитная трасса не имеет никаких преимуществ.

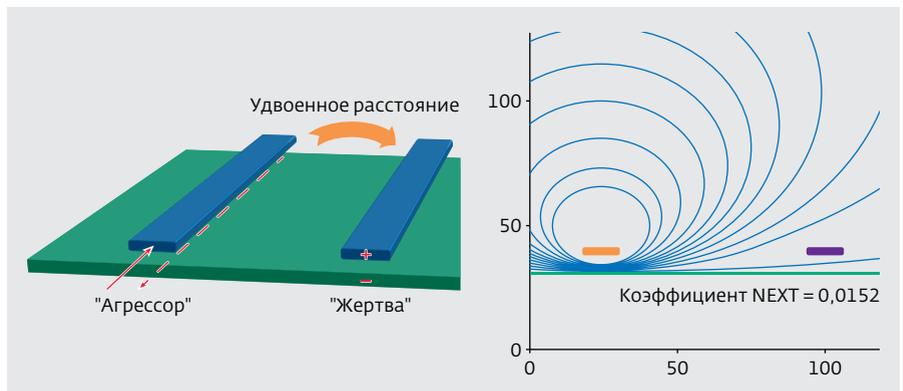


Рис.3. Линии расположены на удвоенном расстоянии

В печатных платах с опорными слоями я никогда не использую защитные трассы. Достаточно размещать сигналы рядом с большим сплошным полигоном везде, где они проходят. Надо иметь в виду, что перекрестные помехи между параллельными трассами меняются пропорционально квадрату толщины медной дорожки и обратно пропорционально квадрату расстояния между трассами. Когда дело доходит до управления перекрестными помехами, то толщина трасс и расстояние между ними – самые лучшие друзья разработчика.

Ниже приведены несколько рисунков, которые помогут окончательно понять эффект действия защитных проводников. На них показаны сигнальные линии – "агрессор" и "жертва" (слева) и поперечное сечение магнитного поля вокруг проводников (справа). Перекрестные помехи в "жертве" пропорциональны числу магнитных силовых линий, которые проходят под ним (рис.2), и оценены как безразмерный коэффициент перекрестных помех на ближнем конце – NEXT (near end x-talk). При удвоении расстояния между сигналами перекрестные помехи резко (до 1/4 предыдущего значения) падают даже без защитной трассы (рис.3). Защитная трасса, не подключенная к земле ни с одной стороны, не переносит ток и почти не имеет эффекта (рис.4). Подключенная же в обоих концах к опорному слою (рис.5), она искажает магнитное поле, вызывая уменьшение перекрестных помех в "жертве". Видно, что и в этом случае защитная трассировка малоэффективна. Ее наличие

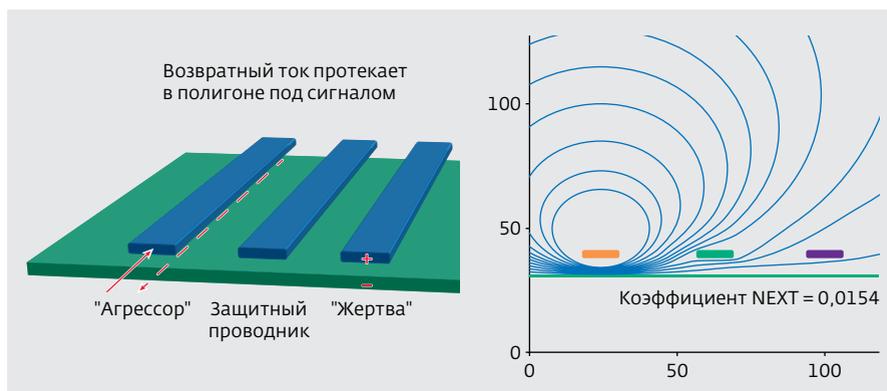


Рис.4. Незаземленная защитная трасса

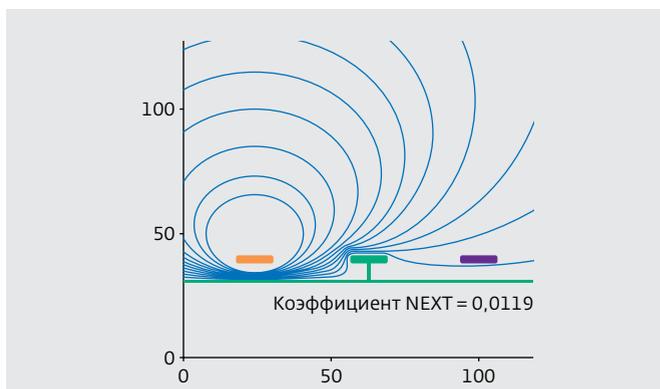


Рис.5. Заземленная защитная трасса

уменьшило перекрестные помехи с 0,0152 до 0,0119, т.е. всего на 2 дБ. Дело в том, что защитная трасса поставлена недостаточно далеко, чтобы создать эффективный защитный экран. Силовые линии магнитного поля просто огибают защитную трассу сверху.

Если же вы делаете защитную линию очень толстой и абсолютно сплошной (рис.6), то она будет полностью блокировать магнитный поток, однако это совершенно непрактично. На самом деле, на плате с опорными слоями защитная

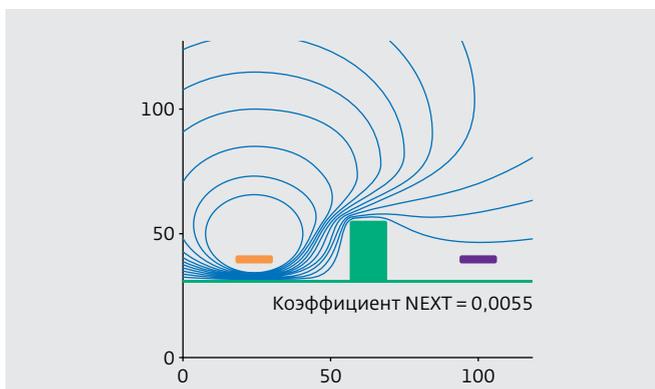


Рис.6. Увеличенная защитная трасса

трасса редко обеспечивает уменьшение перекрестных помех даже на 6 дБ. От нее, конечно, есть польза, но крайне незначительная.

Разница между рис.3 и рис.5 показывает, что в данном примере увеличение расстояния между проводниками дает выигрыш в подавлении помех на 12 дБ, а введение защитной трассы добавляет всего лишь 2 дБ. Так стоит ли игра свеч? Для достижения лучшей изоляции на плате с опорными слоями достаточно просто разнести сигналы подальше друг от друга. ●

## НОВЫЕ КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"



### МАГНИТОМЯГКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Энциклопедический словарь-справочник  
Ю.Н. Стародубцев

Словарь-справочник представляет собой сборник 1800 терминов и справочных данных по физике и технике разработки, производства и применения магнитомягких материалов. Подробные и доступные статьи по терминам и понятиям, расположенные в алфавитном порядке, относятся как к фундаментальным наукам (математика, физика, химия), так и к техническим дисциплинам (металлургия, металловедение, электротехника, силовая электроника). В ряде статей приведены справочные данные и сведения из истории появления термина со ссылкой на соответствующие работы. Завершают издание списки упомянутых в словаре предприятий и организаций, а также краткие биографии ученых и перечень их пионерских работ. Для удобства поиска имеется предметный указатель.

Энциклопедический словарь-справочник предназначен для научных работников, инженеров и студентов по специальностям "Физика металлов", "Физика магнитных явлений", "Металловедение и термическая обработка", "Электротехника", "Силовая электроника", "Радиотехника и связь".

Цена: 975 р.

#### КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319 Москва, а/я 91; ☎ (495) 956-3346, 234-0110; [knigi@technosphera.ru](mailto:knigi@technosphera.ru), [sales@technosphera.ru](mailto:sales@technosphera.ru)