# Реализация высоких токов на печатных платах. Часть 1

**Компания Häusermann закончила разработку технологии HSMtec для реализации высоких токов на печатных платах. Данная технология готова для использования в серийном производстве. По сравнению с применяемыми до сих пор другими технологиями она обладает многими преимуществами относительно производственных затрат, экологичности производства и занимаемой площади печатной платы. Решения для отвода тепла могут быть также осуществлены на ограниченной площади.**

**Лотар Оберендер**

lothar.oberender@haeusemann.co.at

**Перевод: Андрей Новиков**

andrej.novikov@uni-rostock.de

## Введение

Реализация высоких токов в десятки и сотни ампер на печатных платах не представляет сама по себе ничего нового. Однако применяемые до сих пор для этого такие методы, как, например, нанесение толстых слоев меди на печатные платы или применение сборных токовых шин и штампованных сеток, не являются экономически выгодными решениями. Так называемый метод «айсберг» хотя и использует стандартные технологии структурирования (толстые слои меди, резист, травление), но ведет в то же время к большому расходу меди, резистов и травильных растворов. Как правило, необходимо небольшое количество многоамперных токопроводящих структур с толщиной медного слоя 500 мкм. Поэтому после процесса травления суммарная площадь медного слоя составляет лишь несколько процентов от площади печатной платы.

Технология *HSMtec* (High-Current & Heat Solutions Made by Häusermann technology) была разработана фирмой Häusermann, она экономически выгодна, экологична и может быть использована для серийного производства. Эта технология прошла квалификацию в Институте надежности и микроинтеграции им. Фраунгофера в Берлине и выдержала температурные циклические испытания по стандарту DIN EN 60068-2-14 и климатические испытания по стандарту JEDEC A101-A.

В технологии *HSMtec* не используется механическая обработка, как, например, фрезерование в технологии Copper-Inlay, также не используются технологии внешних соединений на поверхности печатной платы для присоединения многоамперных структур к проводникам. При этой технологии большие площади сечений многоамперных структур имеют сплошное соединение с остальными проводниками.

## Технологические требования

К реализации высоких токов на печатных платах предъявляются следующие требования:

- минимальная занимаемая поверхность;
- минимальный расход меди;
- надежность технологии при эксплуатации электронного узла;
- учет теплоотвода от высокоамперных проводников;
- технология должна быть экономически выгодной и экологически безвредной.

В технологии *HSMtec* применяются медные проволоки и профили. На рис. 1 показан расход площади при использовании обычных медных структур на печатных платах при толщине слоя 70 и 105 мкм в сравнении с площадью, занимаемой проволоками и профилями в технологии фирмы Häusermann.

Проволоки диаметром 500 мкм и профили толщиной 500 мкм используются только для токоведущих проводников. Остальной слой меди имеет толщину 35 или 70 мкм, что позволяет без проблем размещать рядом с токоведущими структурами сигнальные проводники размером 100×100 мкм (ширина проводника/зазор между проводниками). При сравнении геометрических размеров двух токоведущих проводников с площадью поперечного сечения 2 мм$^2$ (профиль 4×0,5 мм), установленных по технологии *HSMtec*, со структурами из медной фольги толщиной 105 мкм можно увидеть экономию площади около 75% (рис. 2).

| Медь (мкм) | Поперечное сечение | Медная фольга (мкм) | Занимаемая площадь | Ширина (мкм) | Фактор |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 x Проволока 500 ∅ | 0,2 мм$^2$ | 70 | | 2,800 | 5,6 |
| | | 105 | | 1,900 | 3,8 |
| 3 x Проволока 500 ∅ | 0,6 мм$^2$ | 70 | | 8,400 | 3,4 |
| | | 105 | | 5,600 | 2,2 |
| Профиль 2000 x 500 | 1,0 мм$^2$ | 70 | | 14,300 | 7,2 |
| | | 105 | | 9,500 | 4,8 |
| Профиль 4000 x 500 | 2,0 мм$^2$ | 70 | | 28,600 | 7,2 |
| | | 105 | | 19,000 | 4,8 |

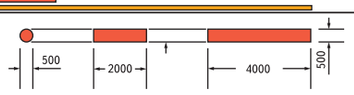


**Рис. 1.** Сравнение геометрических размеров проволок и профилей с размерами структур из медной фольги толщиной 70 и 105 мкм на печатных платах

## Технология и конструкции соединений

Интеграция проволок и профилей предполагает их объединение с проводниками печатной платы и специальными контактными площадками или сквозными отверстиями с помощью сплошных соединений. Также предполагается, что в процессе соединения печатная плата не подвергается температурной нагрузке, превышающей допустимую. Тем самым исключается применение технологии термосварки, в частности контактной сварки, для присоединения медных профилей к поверхности печатной платы. Сплошное соединение в технологии *HSMtec* создается с помощью ультразвуковой обработки (рис. 3).

Какие же характеристики получают изделия при применении этой техники соединения относительно положения токоведущих проводников внутри печатной платы?

- Двусторонние печатные платы со сквозными соединениями могут при необходимости иметь подобные токоведущие структуры на обеих сторонах.
- В многослойных печатных платах медные проволоки и профили могут быть интегрированы как на внешних, так и на внутренних слоях. Количество задействованных слоев ограничивается лишь максимально допустимой толщиной печатной платы.
- Каждый слой, имеющий многоамперные токопроводящие структуры, может также иметь сигнальные проводники, например, размером 100×100 мкм (ширина проводника/зазор между проводниками).
- При расположении двух слоев с профилями и проволоками друг напротив друга в одном препреге эти структуры размещаются со смещением относительно друг друга для уменьшения толщины печатной платы (рис. 4).

## Переход от многоамперных токоведущих проводников к другим структурам

Существует много вариантов перехода от многоамперных токоведущих проводников к прочим структурам (рис. 5). Важным аспектом при этом является адекватное использование сэкономленной площади.

## Правила проектирования и путь к многоамперным токоведущим структурам

Для реализации многоамперных токоведущих проводников могут быть задействованы три стандартные структуры. Также могут быть разработаны специальные структуры с новыми геометрическими размерами. Имеющиеся в распоряжении структуры могут по желанию комбинироваться на разных слоях, как, например, проволока диаметром 500 мкм и профиль 4000×500 мкм (рис. 4). Проволоки могут быть проложены под любым углом, предпочтительно 45°, а профили, как правило, прокладываются под прямыми углами (рис. 6).

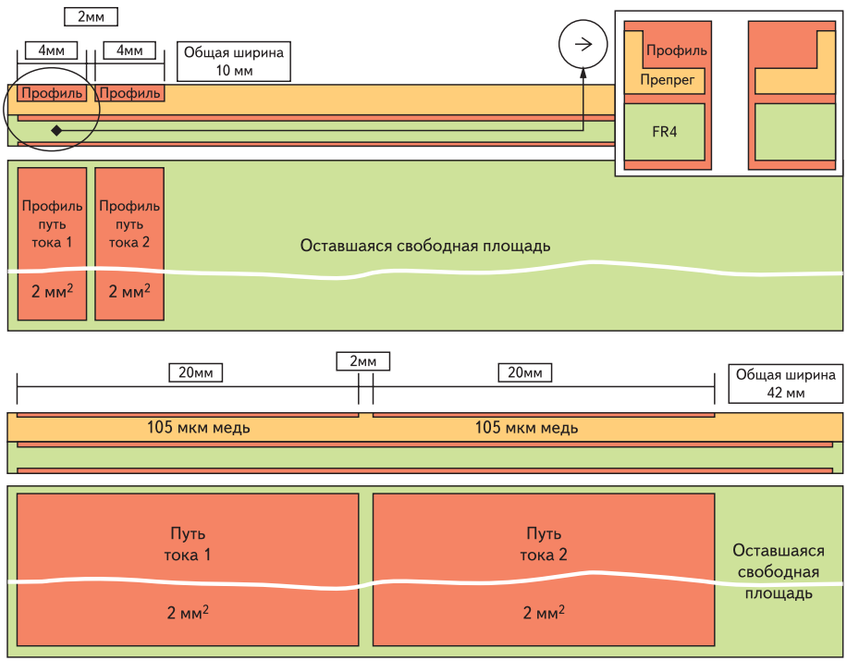


**Рис. 2.** Сопоставление геометрии медного профиля 4×0,5 мм (сверху) и медной фольги толщиной 105 мкм (снизу)

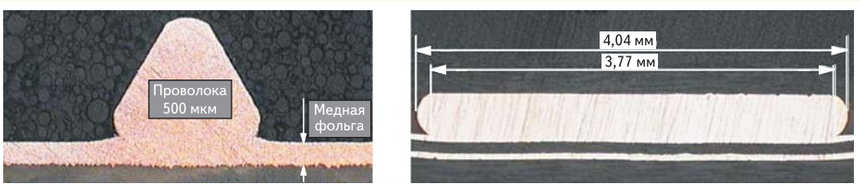


**Рис. 3.** Соединение проволоки диаметром 500 мкм (слева) и профиля 4000×500 мкм (справа), созданное УЗ-обработкой

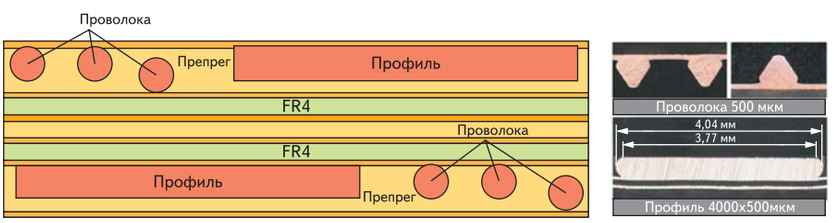


**Рис. 4.** Печатная плата с четырьмя слоями со смещенными многоамперными токоведущими структурами на слоях 1, 2, 5 и 6

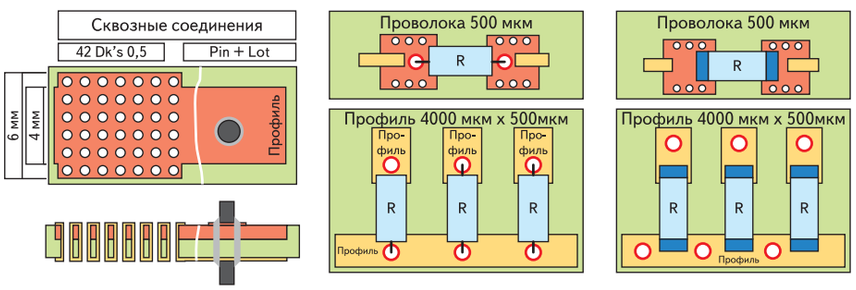


**Рис. 5.** Переход за счет сквозного соединения или запаянного контакта, впаивавания компонента THT, интеграции компонента SMD

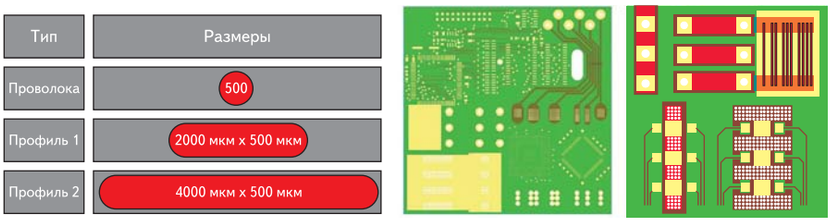


**Рис. 6.** Проволока и профиль; проложенные проволоки; проложенные профили

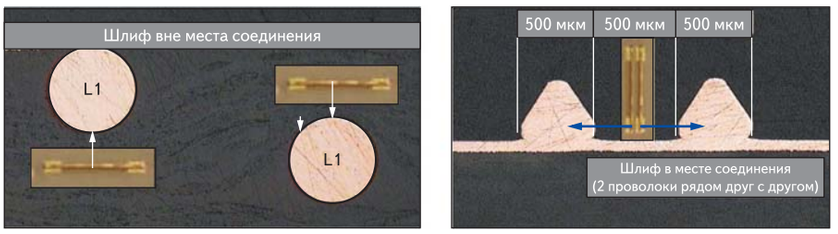


**Рис. 7.** Микрошлифы проволок в многослойной печатной плате на слоях 1 и 2 — между контактами (слева) и в месте контакта (справа)

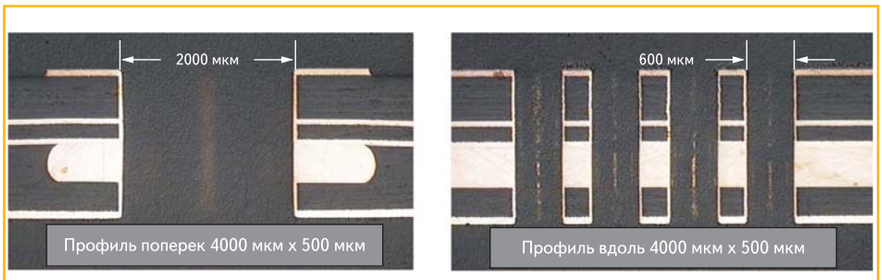


**Рис. 8.** Профиль 4000×500 мкм, отверстие 2 мм для компонента THT (слева) и сквозные соединения 0,6 мм (справа)

С помощью микрошлифов было показано, что интеграция структур толщиной 500 мкм может быть реализована одним циклом прессования многослойной печатной платы. При использовании структур, расположенных напротив друг друга в одном слое препрега, также достаточно одного цикла. Суммарная толщина данных двух слоев после прессования составляет ≥600 мкм (рис. 7).

При применении профилей размером 4000×500 мкм возможно непосредственное контактирование при монтаже компонентов THT и SMD. Припой с контактом соединяет все сечение площадью 2 мм$^2$ через все слои (рис. 5 слева и рис. 8 слева). В случае контактирования SMD-компонентов с профилем при непаяных контактах профиля необходима интеграция нескольких сквозных соединений, для которых на всех остальных слоях может быть использована площадь 2 мм$^2$ (рис. 5 справа и рис. 8 справа).

## Способность транспортировки больших токов и теплоотвод

Способность транспортировки больших токов проводником печатной платы из-за комплексности окружения не может быть оценена с учетом только закона Ома. При расчете также должны учитываться сложные механизмы передачи тепла. Зачастую необходимо принимать контрмеры для минимизации перегрева проводника относительно температуры окружающей среды. Применяемые медные профили (описанные выше) играют во многих случаях ключевую роль в организации теплоотвода. Медь, в силу своего исключительного коэффициента теплопередачи, является несущим материалом печатной платы относительно расположения металлических конструкций теплоотвода.

*В следующей части статьи будут представлены различные варианты теплоотвода и их расчет.*

*Примечание. Оригинал статьи опубликован в журнале PLUS (Produktion von Leiterplatten und Systemen, 2007, № 3. Германия).*