

Один в поле – ВОИН!

Михаил Гончаров

Современные технологии изготовления силовых полупроводниковых приборов (СПП) позволяют производить тиристоры, диоды, IGBT-модули и другие элементы преобразовательной схемотехники, рассчитанные на огромные токи и напряжения. При этом производители стремятся сделать свою продукцию как можно более компактной и легкой. Стремление, конечно, благородное и нужное: с точки зрения инженера-разработчика электронной составляющей высокомоощные компактные СПП — это просто манна небесная. Но! Тут-то и возникает довольно ощутимый подводный камень для проектировщика системы охлаждения: для него задача сводится к отводу огромного количества тепла от небольшой области. Зачастую задача усложняется еще и невозможностью применения жидкостного охлаждения и ограничениями по массо-габаритным показателям. Кроме того, в противостояние с разработчиком охладителя вступают законы физики, преодолеть которые пока не удавалось никому. Например, закон Дюлонга-Пти (Закон постоянства теплоемкости) — эмпирический закон, согласно которому молярная теплоемкость твердых тел при комнатной температуре близка к $3R$:

$$C_v = 3R,$$

где R — универсальная газовая постоянная. Отсюда можно сделать вывод о том, что у любого твердого материала есть точка насыщения теплом. Говоря простым языком, алюминиевый радиатор может «всосать» строго определенное количество тепла, приложенное к единице его площади. Это обуславливает проблему неэффективного роста габаритов, когда при увеличении размеров охладителя температура СПП уже не падает. При этом испытания показывают очень сильный градиент температуры на поверхности охладителя (до $+120^\circ\text{C}$). Специалистам ООО «РадиоЭлКом» удалось разработать одно из самых простых и дешевых решений этой проблемы — имплантацию тепловых трубок.

История изобретения

Согласно научному определению, тепловая труба — это замкнутое испарительно-конденсационное устройство, предназначенное для охлаждения, нагрева или терморегулирования других устройств или объектов. Эту фразу сформулировал мистер Гровер, патентуя свое изобретение в Комиссии по атомной энергетике США почти полвека назад. Он называл тепловую трубу «устройством, обладающим очень

высокой теплопроводностью». Причем акцент делался на слове «очень».

Стоит отметить, что тепловые трубки существовали и раньше. Больше 100 лет тому назад, еще в XIX веке, тепловые трубы применялись в Америке для выпечки хлеба. Нижний конец трубы подогревался в топке, а верхний был соединен с камерой, в которой выпекался хлеб. Благодаря термостабилизирующим свойствам тепловых труб хлеб никогда не пригорал.

Простейшим примером тепловой трубки может служить заполненная водой обычная металлическая труба, запаянная с обоих концов. Важно практически полностью откачать из нее воздух, препятствующий парообразованию. Отсутствие воздуха и, как следствие, пониженное давление влияют на температуру кипения вещества (в данном случае воды): она понижается. В итоге мы получаем тепловую трубу, называемую термосифоном, идеально работающую в вертикальном положении (рис. 1).

К нижнему концу такой трубки подводится тепло. Вода нагревается и начинает испаряться, но при этом не кипит. Это важный момент, потому что при кипении на стенках возникают пузырьки, которые затрудняют отвод образовавшегося тепла (кроме того, давление высвободившегося газа может разорвать

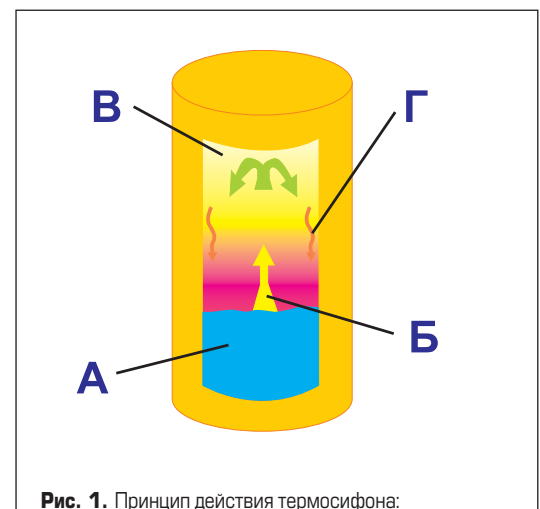
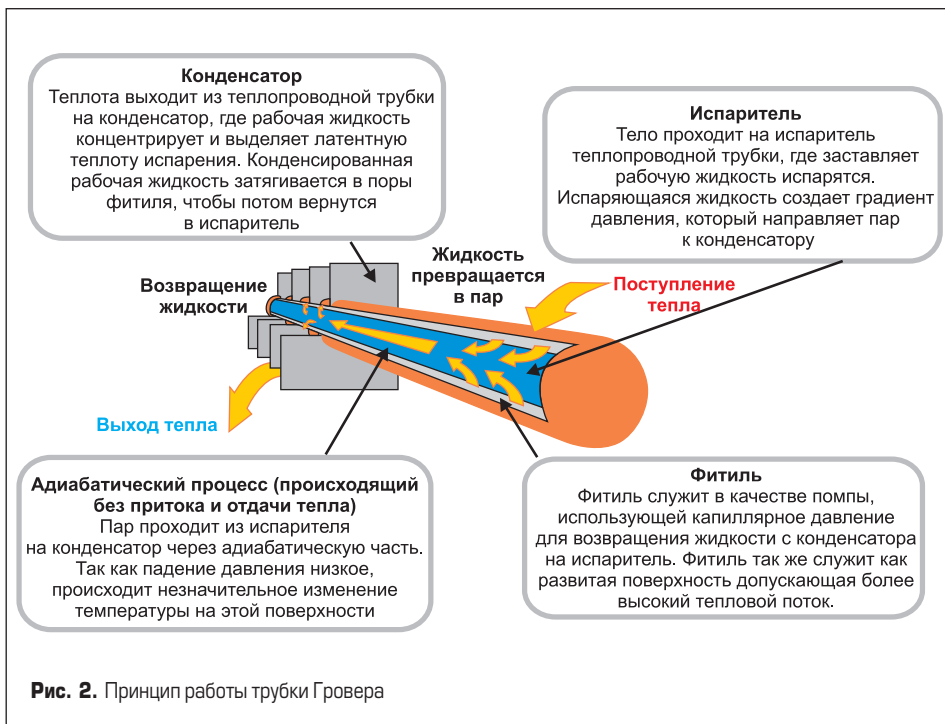


Рис. 1. Принцип действия термосифона:

А — в этом сегменте вода нагревается;
Б — вода начинает испаряться и подниматься вверх;
В — в верхней части цилиндра тепло выходит в окружающую среду, при этом вода конденсируется на стенках цилиндра; Г — под воздействием силы тяжести вода стекает обратно в нижнюю часть цилиндра



Ныне основным направлением эволюции тепловых трубок является развитие капиллярной структуры с использованием пористых и микропористых материалов. Наиболее распространенный тип — трубка Гровера (рис. 2). Она состоит из трех элементов: корпус, рабочая жидкость и капиллярно-пористый материал (фитиль). В качестве материала обычно используют нержавеющую сталь, алюминиевые сплавы, медь, стекло, бронзу, пластмассы, керамику.

Тепловая трубка не потребляет электроэнергию и не шумит. Важно отметить, что она начинает работать при малейшем перепаде температур на концах. Это значит, что она будет отводить тепло от СПП, нагревшегося до +125 °С, даже в том случае, когда на другом ее конце температура будет +124 °С.

Современное решение проблемы

Итак, какое же решение озвученной выше проблемы точечных источников тепла мы предлагаем? Как уже было сказано — простое, дешевое и эффективное. Суть его сводится к тому, что в плите охладителя специальным образом фрезеруются пазы, прокладывая «дорожки» от места крепления СПП к свободным от нагревания участкам охладителя. В эти пазы укладываются тепловые трубки. Технология их укладки такова, что визуально отличить охладитель с тепловыми трубками от обычного невозможно. Это достигается тем, что контактная поверхность фрезеруется, выравнивается и полируется (рис. 3).

За счет того, что теплопроводность трубки в разы выше теплопроводности основного материала охладителя (чаще всего это алюминий), происходит перераспределение выделяемой СПП мощности на всю поверхность охладителя, что позволяет существенно снизить градиент его поверхностной температуры и значительно увеличить эффективность теплоотвода (для различных систем количество ватт, отведенных охладителем, увеличивается на 10–50%) (рис. 4).

Предлагаемые ООО «РадиоЭлКом» тепловые трубки обладают капиллярной структурой (фитилем), что позволяет их использовать в подвижных системах, в горизонтальном положении и даже в космосе. Кроме того, специалисты компании оптимизируют системы пролегания трубок, учитывая предложенные заказчиком чертежи расположения подложек, координат и калибров сверловки, а также количества мощности, выделяемой каждым прибором. Это позволяет улучшить тепловые характеристики всей системы.

Помимо перечисленного выше, тепловые трубки обладают следующими преимуществами:

- не требуют затрат энергии;
- долговечны и просты в использовании;
- не шумят, не создают вибрацию;
- не требуют дополнительных конструктивных элементов и разработок для монтажа;
- имеют ресурс работы до 100 000 ч, в зависимости от используемых материалов и рабочей жидкости.

трубку). В итоге пар поднимается по трубке вверх, к зоне конденсации, где тепло и рассеивается. Потом, остывая, пар конденсируется на стенках и в виде жидкости стекает по стенкам трубки вниз под воздействием силы притяжения. Однако зона испарения у термосифона должна быть ниже зоны конденсации — то есть необходимо, чтобы трубка стояла вертикально, что ограничивает сферу применения подобных устройств.

За 20 лет до патента, полученного Гровером в 1963 г., некто Гоглер, сотрудник General

Motors, зарегистрировал патент на устройство, в котором для возврата жидкости из зоны конденсации в зону испарения была использована капиллярная структура. Капиллярный эффект можно наблюдать, окунув в стакан с водой бумажную салфетку. Вода будет подниматься по салфетке вверх. В этом устройстве гравитация уже не являлась необходимым фактором для возврата воды в зону нагрева. Таким образом проблема «геометрических неудобств», связанных с использованием тепловых труб, была решена.

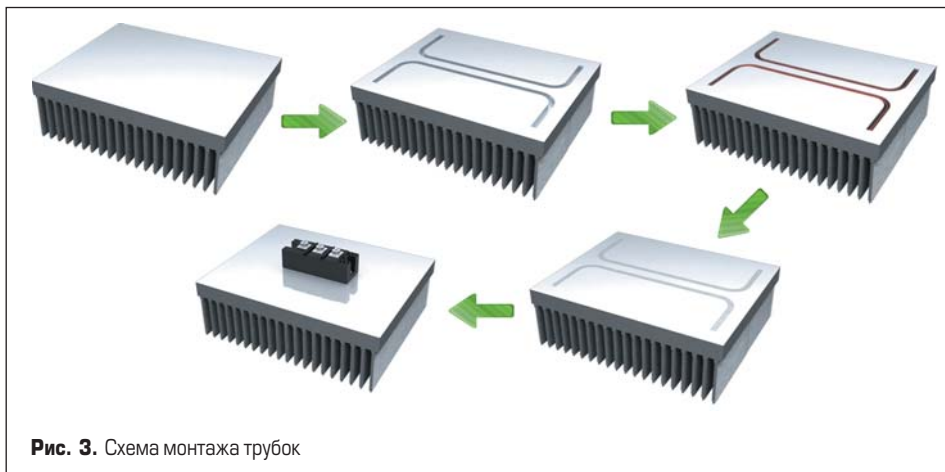


Рис. 3. Схема монтажа трубок

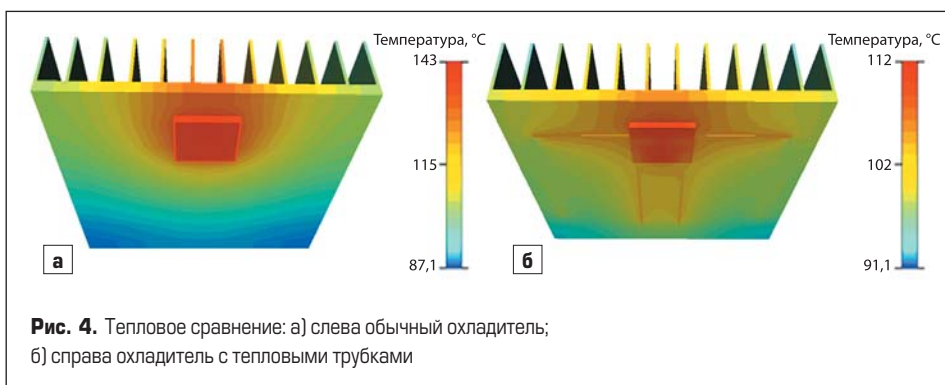


Рис. 4. Тепловое сравнение: а) слева обычный охладитель; б) справа охладитель с тепловыми трубками