

УДК 621.32

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕПЛОТВОДА В ПЛАТАХ
MODERN HEAT DISSIPATION ISSUES IN CIRCUIT BOARDS**

В.А. Орехова

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

zukovskya@bntu.by

V.Orehova

Supervisor – T. Zhukovskaya, Senior lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: Нагревание плат негативно сказывается на продуктивности и дальнейшего использования оборудования. Поэтому существуют традиционные методы теплоотвода, а также инновационные подходы теплоотвода в платах.

Abstract: Board heating has a negative effect on the productivity and further utilization of the equipment. Therefore, there are traditional methods of heat dissipation as well as innovative approaches to heat dissipation in boards.

Ключевые слова: теплоотвод, печатные платы, радиаторы, вентиляторы, нанотехнологии, эффективные системы охлаждения, жидкостное охлаждение.

Keywords: heat sink, printed circuit boards, heat sinks, fans, nanotechnology, efficient cooling systems, liquid cooling.

Введение

В нашу жизнь все более часто внедряются новые устройства, новые инновации. Но никто не задумывался о внутренних проблемах этих устройств. Одной из главных проблем, теплоотвод внутренних составляющих. И связано это с тем, что современные производители стремятся увеличить мощность конечного продукта, путем уменьшения размера плат и увеличения их плотности составляющих. Но это влечет за собой увеличению шанса перегрева всей микроструктуры электронных устройств, что делает вопрос теплоотвода одной из главных задач проектированию плат.

Основная часть

Теплоотвод (теплоотведение) — это процесс устранения излишнего тепла, выделяемого во время работы электронными компонентами, во избежание перегрева и обеспечения долгосрочной работы. Физические основы теплоотвода состоят из формы передачи тепла, материалов и их теплопроводности, а также методов улучшения теплоотвода.

Формы передачи тепла состоят из трех основных видов теплопередачи. Первое, теплопроводность, когда тепло передаётся через твёрдые тела, такие как слои печатной платы, медные дорожки и радиаторы. Второе, конвекция, при которой тепло рассеивается в окружающую среду через воздух или жидкости, что может происходить естественным образом или с помощью вентиляторов и охлаждающих систем. Третье, излучением, при котором тепло передаётся в виде

электромагнитного излучения, что становится заметным при высоких температурах, но обычно играет второстепенную роль в электронике.

Основными материалами и их теплопроводность выступают медь, алюминий и FR-4. Медь является одним из лучших теплопроводников, используемых в печатных платах, с теплопроводностью около $385 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, что делает её идеальным материалом для создания токопроводящих дорожек, тепловых слоёв и радиаторов. Алюминий, обладая хорошей, но несколько меньшей теплопроводностью ($\approx 205 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$), широко применяется в радиаторах благодаря своей лёгкости и доступности. В то же время основной материал печатных плат, FR-4- это стеклотекстолит, представляемый собой композитный материал, состоящий из стеклоткани, пропитанной эпоксидной смолой с антипиренами, что делает его устойчивым к горению, имеет значительно худшую теплопроводность ($\approx 0.3 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$). Поэтому для эффективного теплоотведения в конструкциях плат используются тепловые слои, термовставки и специальные переходные отверстия.

Для эффективного теплоотвода в печатных платах применяется несколько методов. Один из них — увеличение площади медных дорожек, включая широкие полигоны и специальные тепловые дорожки, что снижает тепловое сопротивление. Использование многослойных плат с тепловыми слоями помогает равномерно распределять и отводить тепло. Дополнительно, тепловые переходы соединяют разные слои платы, улучшая теплопередачу между ними. Для мощных и сильно греющихся компонентов применяются радиаторы и термопаста, обеспечивающие эффективный теплообмен с окружающей средой

Современные проблемы теплоотвода

Современные проблемы теплоотвода в платах связаны с несколькими факторами, такими как миниатюризация компонентов, увеличение их мощности и требования к энергоэффективности. Увеличенное выделение тепла при нагрузке является одной из главных проблем, так как современные компоненты (например, процессоры и графические карты) становятся более мощными и компактными, что приводит к увеличению нагрева. В условиях узкого пространства и плотного расположения плат традиционные методы охлаждения становятся малоэффективными. Миниатюризация компонентов также создает проблемы, поскольку с уменьшением размеров элементов увеличивается их плотность на платах, что выявляет проблемы с использованием больших радиаторов или более эффективных систем охлаждения, таких как жидкостные. Другой проблемой является неравномерное распределение тепла: теплоотвод от микросхем и других компонентов может быть неравномерным, что затрудняет эффективное охлаждение. В некоторых местах плата перегревается, а в других остаётся холодной, что приводит к неравномерному распределению тепловых потоков и возможному перегреву отдельных участков. В узких пространствах, таких как ноутбуки или смартфоны, возникают проблемы с активным охлаждением, связано это с тем, что не всегда возможно использовать мощные вентиляторы или жидкостные системы охлаждения. Кроме того, в некоторых современных платах (например, гибкие или многослойные) используются новые материалы, которые имеют меньшую теплопроводность, что затрудняет результирующий теплоотвод. В устройствах с высокой плотностью интеграции компонентов, таких как 5G-

устройства и суперкомпьютеры, проблемы с накоплением тепла становятся особенно актуальными, так как традиционные методы охлаждения (например, вентиляторы) могут не справляться с большим нагревом. Наконец, постоянные перепады температур и перегрев могут ускорять деградацию компонентов и материалов платы, снижая срок службы устройства. Для решения этих проблем разрабатываются новые инновации охлаждения, включая инновационные тепло переносящие материалы, улучшенные радиаторы, системы жидкостного охлаждения и комбинированные подходы, которые включают активное и пассивное охлаждение.

Традиционные методы теплоотвода

Уже на этапе проектирования печатных плат нужно учитывать рассеивание тепла. Для этого нужно правильно размещать мощные компоненты, обеспечить достаточное пространство для вентиляции и использовать большую заземляющую плоскость для распределения тепла. Тепловое проектирование печатных плат — сложный, но важный процесс, напрямую влияющий на производительность и надежность электронных приборов. Устройства на плате нужно располагать в зависимости от их теплоотдачи и тепловыделения. Так, устройства с плохой теплостойкостью (маломощные сигнальные транзисторы, малогабаритные интегральные схемы, электролитические конденсаторы) размещают в самом верхнем входе охлаждающего воздушного потока, а силовые транзисторы, крупногабаритные интегральные схемы, у которых теплостойкость высока, размещают, наоборот — в самом низу охлаждающего воздушного потока. Теплочувствительные устройства размещают в нижней части платы, где температура наиболее низкая.

Платы и их компоненты с каждым годом становятся все меньше и применяются во всех электронных устройствах, в ходе их работы происходит выделение тепла, что может привести к повышению их внутренней температуры, поэтому необходимо отводить тепло для продления срока службы плат. Если вовремя не обеспечить отвод тепла, устройство продолжит нагреваться, что может привести к его повреждению из-за перегрева. Это негативно скажется на надежности и долговечности оборудования. Поэтому важно применять эффективные системы охлаждения и мониторинга температуры, чтобы поддерживать оптимальные условия работы и предотвращать возможные сбои.

Самым первым и простым способом отвода тепла является естественное конвекционное охлаждение. Этот метод достаточно простой, но подходит только для маломощных или слабо выделяющих тепло компонентов, так как может быть недостаточным эффективным для отвода большого количества тепла. При нагревании поверхности платы, нагревается и воздух, касающийся поверхности. Он становится менее плотным и поднимается вверх, а на его место приходит холодный воздух. Этот процесс создает естественную циркуляцию воздуха, что способствует отводу тепла от нагретых компонентов.

Для усиления эффекта естественной конвекции обычно добавляют радиаторы, которые увеличивают площадь поверхности, контактирующей с воздухом. Изготавливаются радиаторы зачастую из алюминия и меди. С помощью конвек-

ции тепло распределяется по площади радиатора, и отвод тепла происходит эффективнее (Рисунок 1). Для устройств, использующих естественное воздушное охлаждение, элементы рекомендуется размещать вертикально или горизонтально. В горизонтальном положении мощные устройства следует располагать как можно ближе к краю печатной платы, что поможет сократить расстояние для теплопередачи. В вертикальном положении мощные компоненты лучше размещать ближе к верхней части печатной платы, чтобы минимизировать их воздействие на температуру остальных устройств во время работы.

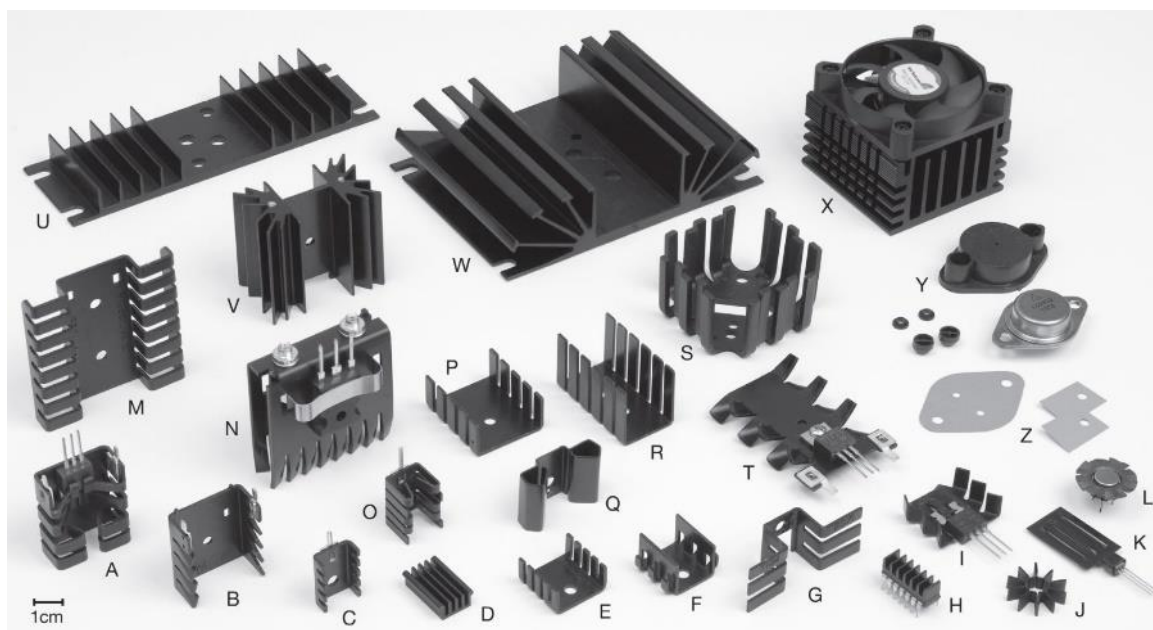


Рисунок 1- Виды радиаторов для охлаждения плат

Не менее простым, но в тоже время более эффективным является принудительное воздушное охлаждение. В этом методе увеличивается поток воздуха для охлаждения компонентов за счет вентиляторов. Он втягивает воздух снаружи и направляет его на поверхность платы или радиаторы. Этот поток воздуха забирает тепло с горячих поверхностей, перенося его в окружающую среду. Преимущество вентиляторов заключается в том, что процесс охлаждения происходит намного быстрее и качественнее. Системы из 2-4 вентиляторов применяются в устройствах средней мощности, таких как персональные компьютеры.

Эффективнее и технологически сложнее является жидкостное охлаждение. Оно используется в высокопроизводительных платах, поскольку может отводить больше тепла, чем воздушное охлаждение, а также в устройствах с плотным расположением элементов и в небольших корпусах, где воздух не может циркулировать достаточно эффективно. Жидкостное охлаждение в качестве рабочего тела использует воду, этиленгликоль для отвода тепла от горячих компонентов. Жидкость циркулирует через систему каналов или трубок, расположенных рядом с горячими компонентами (например, процессорами или видеокартами). Тепло от компонентов передается в жидкость через стенки каналов, и по каналам выводится наружу, где остывает и возвращается в цикл.

Одной из малоиспользуемых, но хорошо действующих служит технология тепловых трубок. Тепловая трубка — это инструмент, который использует процесс испарения и конденсации рабочей жидкости для эффективной передачи тепла. Существует 2 вида тепловых трубок. Первый вид-гладкостенная тепловая трубка. Это трубка из металла (например, меди), запаянная с 2 концов. Также внутри этой трубки понижено атмосферное давление, чтобы жидкость внутри закипала при более низких температурах. Один конец тепловой трубки контактирует с источником тепла, а другой конец подключен к компоненту рассеивания тепла. Внутри тепловой трубки находится специальная жидкость, которая при нагреве от горячих компонентов платы испаряется. Пар движется вдоль трубки в сторону холодной области. Там он конденсируется, возвращаясь в жидкое состояние. Жидкость скатывается вниз под действием силы тяжести, при этом выделяется большое количество тепла. Далее тепло отводится через радиаторы или другие охлаждающие элементы, где оно попадает в окружающую среду (рисунок 2).

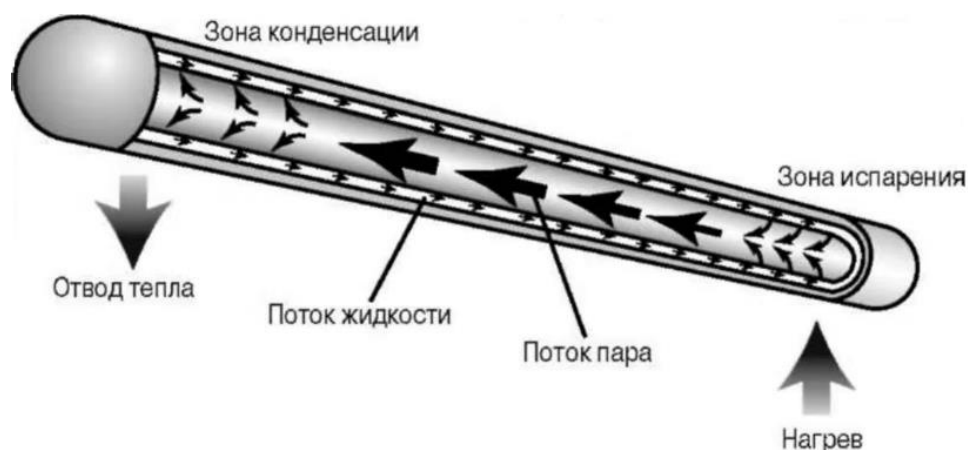


Рисунок 2- Схема распределения тепла в тепловой трубке.

Второй вид тепловых трубок- тепловая трубка с фитилями. Здесь сконденсировавшаяся жидкость под действием капиллярных сил перемещается в зону нагрева по фитилю. Фитилем может служить: сеточка из металла или специальное пористое напыление. Эти трубки используются в видеокартах (рисунок 3).

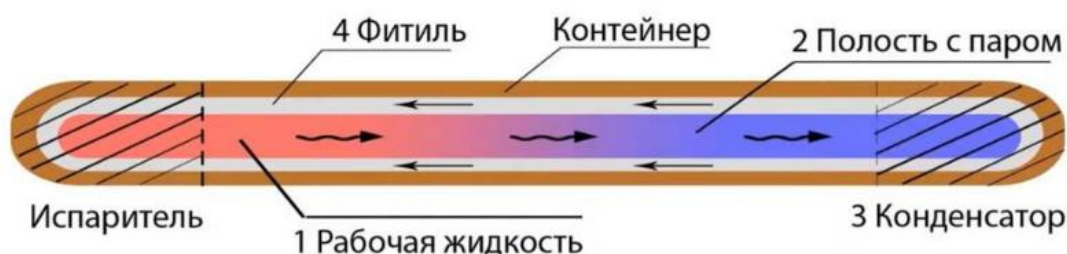


Рисунок 3- Схема распределения тепла в тепловой трубке с фитилем.

Правильный выбор материалы для рассеивания тепла, тоже является способом увеличения теплоотдачи. Выбор подходящего материала для теплового рассеивания является важной часть проектирования системы рассеивания тепла. Использование пластин из материалов с высокой теплопроводностью, таких как

алюминий или медь, может значительно ускорить передачу тепла. Кроме того, можно использовать теплопроводящие клеи, термопрокладки и материалы с изменяемой фазой. Это улучшит эффективность переноса тепла от зоны генерации к радиатору.

Инновационные подходы к теплоотводу плат

Со стремительным прогрессом науки и техники, а также увеличением мощности электронных компонентов, задача эффективного рассеивания тепла на печатных платах для оптимизации схем стала актуальной для специалистов в области электроники. Применение продуманной компоновки, выбор оптимальных материалов для теплоотвода, разработка эффективной структуры рассеивания тепла и использование передовых технологий позволяют успешно справляться с тепловыделением электронного оборудования и повышать общую производительность и долговечность системы. Совершенствование систем охлаждения печатных плат сосредоточено на улучшении теплопроводности, оптимизации расположения компонентов и внедрении новых материалов и технологий. Введение новых металлических оснований хорошо помогают отводить тепло не только с поверхности платы, эти материалы характеризуются высокой теплопроводностью и идеально подходят для мощных устройств. Керамические основания: например, Al_2O_3 , которые обеспечивают отличную теплопроводность и высокую механическую прочность, востребованы в высокочастотных схемах. А графен и углеродные нанотрубки дают хорошую теплопроводность и могут быть использованы для локального охлаждения.

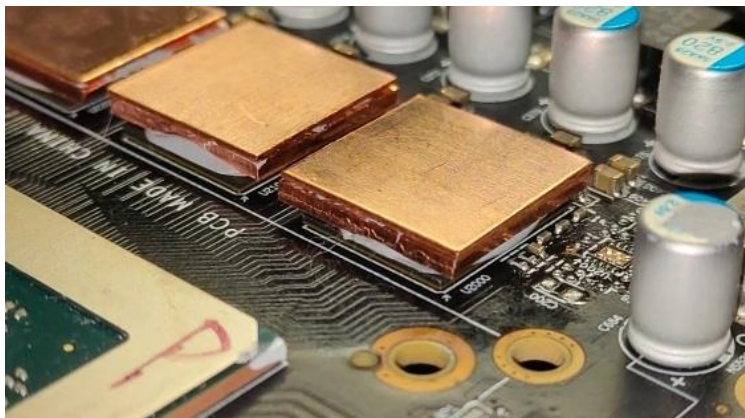


Рисунок 4- Медная вставка в плате.

Проектирование перфорации для рассеивания тепла: интеграция теплоотводящих отверстий под компонентами, выделяющими тепло, существенно улучшает эффективность теплопередачи в многослойных печатных платах. Применение медных вставок: использование медных элементов (например, в виде монет), встроенных в печатную плату и обеспечивающих прямой контакт с теплоизлучающими компонентами, способствует более эффективному отводу тепла. Объемная структура теплоотвода: создание трехмерной конструкции, объединяющей печатную плату и систему теплоотвода, позволяет увеличить площадь рассеивания тепла и повысить общую эффективность (рисунок 4).

Еще один инновационным методом теплоотвода является микрофлюидное охлаждение. Это внедрение микроканалов в печатную плату для отвода тепла посредством циркулирующей жидкости, что оптимально для устройств с высокой плотностью размещения и большой мощностью. Размещение печатной платы в диэлектрической жидкости для непосредственного отвода тепла, приводит к заметному снижению рабочей температуры.

Далее можно применять инновационные конструкции компоновки и выравнивания. Например, оптимизация медной фольги: увеличение остаточного количества медной фольги и добавление теплопроводящих отверстий для улучшения теплоотвода. Или же оптимизация расположения устройств: разумное расположение компонентов, выделяющих большое количество тепла, во избежание его концентрации, а также оптимизация конструкции воздушных каналов.

Комбинация радиатора и вентилятора поможет предотвратить нагревание плат (Рисунок 1-W). При включении системы активного охлаждения вентилятор начинает работать, создавая поток воздуха, который проходит через радиатор. Когда горячий воздух проходит через ребра радиатора, тепло передается от радиатора к воздуху. Процесс конвекции позволяет быстро и эффективно снижать температуру нагревательного элемента. Здесь важно подобрать расположение радиатора. Если он будет находиться на передней стороне элемента, то это значительно повысит эффективность рассеивания тепла.

Использование гибридной подложки и многослойных конструкций являются инновационным подходом теплоотвода плат. Например, гибридные материалы состоят из двух или более различных компонентов. Это могут быть объединения металлов, полимеров, керамики или композитов. Один из компонентов (медь, алюминий) обеспечивает высокую, а другой — улучшает термостойкость (полимеры или керамика) (рисунок 5).

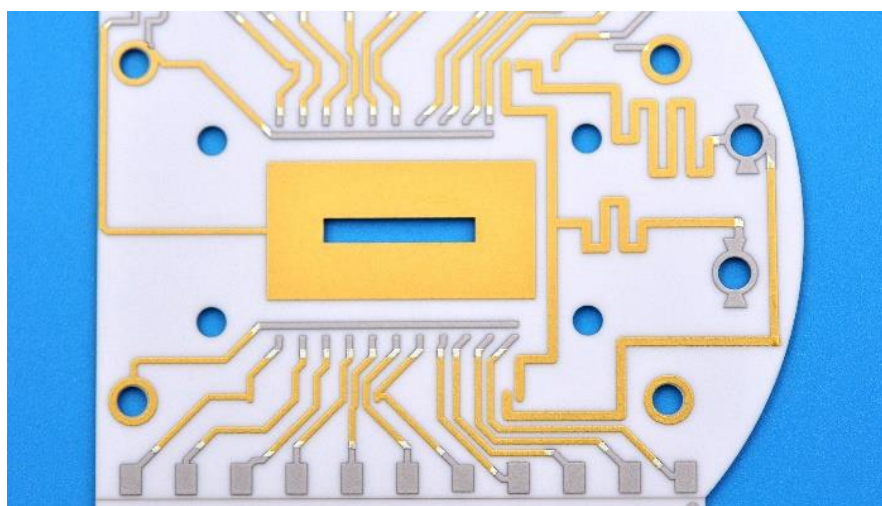


Рисунок 5- Керамическая подложка в плате.

Многослойная конструкция печатной платы также может улучшить теплоотвод, изолировав источник тепла и теплоотводящий слой с помощью нескольких слоев. Принцип работы заключается в том, что при нагревании устройства тепло передается через слои. Каждый слой может иметь разные коэффициенты

теплопроводности, что позволяет эффективно управлять температурным градиентом и направлять тепло в нужном направлении.

Также использование нанотехнологий и передовых покрытий значительно улучшит теплоотвод в платах. Так, нанопокрyтия часто имеют микроструктуры или наноструктуры, увеличивающие общую площадь поверхности. Это позволит эффективнее рассеивать тепло. Нанопокрyтия могут уменьшать тепловое сопротивление между различными материалами, что способствует более эффективному переносу тепла от горячих участков к холодным. Они могут быть более устойчивыми к коррозии и механическим повреждениям, что увеличивает срок службы теплоотводящих систем.

Заключение

Эти инновационные подходы могут решить проблему нагрева плат, не только улучшив тепловую эффективность печатных плат, но и повысив их надежность и производительность для широкого спектра применений - от бытовой электроники до промышленного оборудования. Таким образом, для эффективного решения проблемы теплоотвода в печатных платах требуется учитывать традиционные и инновационные методы, а также тщательное проектирование плат. Это позволит обеспечить надежную работу электронных устройств в условиях повышенных температур и гарантировать их долгосрочную эксплуатацию.

Литература

1. Физико-технологические основы электроники. / Барыбин А.А., Сидоров В.Г. // СПб.: Лань. – 2001.
2. Copper coin PCBs – efficiency and reliability in thermal PCB management [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.ncabgroup.com/blog/copper-coin-pcbs> . – Дата доступа: 06.04.2025
3. Современные подходы к разработке и созданию элементов систем тепловой защиты радиоэлектронных компонентов / Д.А. Коновалов, И.Н. Лазаренко, И.Г. Дроздов, Д.П. Шматов. // Вестник ВГТУ. - 2014.