

В.С. ЛУПИКОВ, д-р техн. наук, проф., зав. каф., НТУ "ХПИ", Харьков

В.Ф. БОЛЮХ, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПИ", Харьков

Н.В. КРЮКОВА, ассистент, НТУ "ХПИ", Харьков

О.А. ГЕЛЯРОВСКАЯ, ст. преподаватель, НТУ "ХПИ", Харьков

СПОСОБ ОХЛАЖДЕНИЯ МАЛОГО ОБЪЕКТА С ПОМОЩЬЮ ЗАКРЫТОЙ НА КОНЦАХ ТЕПЛОВОЙ ТРУБКИ С ПУЛЬСИРУЮЩИМ ПОТОКОМ ОХЛАДИТЕЛЯ

Наведено аналіз відомого способу охолодження центрального процесору настільного персонального комп'ютера. Характерною рисою способу є використання автономного модуля охолодження у вигляді теплової трубки з запаяними кінцями з пульсуючим потоком. Цей модуль значно поліпшує теплові характеристики у порівнянні з традиційною тепловою трубкою.

Проведен анализ известного способа охлаждения центрального процессора настольного персонального компьютера. Отличительной особенностью способа является использование автономного модуля охлаждения в виде тепловой трубки с запаянными концами с пульсирующим потоком. Этот модуль существенно улучшает тепловую характеристику по сравнению с традиционной тепловой трубкой.

Введение. Проблема энергосбережения выдвигает ряд новых требований к электрическим аппаратам защиты – автоматическим выключателям, работающим в режиме ожидания и, соответственно, потребления электрической энергии. Основной режим работы такого электрического аппарата в защищаемой электрической цепи связан с пропуском номинального тока и его характеристики и конструкция проектируются именно с учетом этого режима. В случае возникновения аварийной ситуации в защищаемой цепи, автоматический выключатель должен либо отключить ее за время порядка 1-10 мс, либо некоторое время пропускать резко нарастающий ток короткого замыкания. Последнее требование связано с расширением функций защиты, в частности, для обеспечения селективности защиты аварийного участка цепи. При этом в контактах электрического аппарата выделяется значительное количество тепла, превышающее на два и более порядков тепло в номинальном режиме работы аппарата. Существующие спосо-

бы проектирования электрических аппаратов в этом случае основаны на выборе конструктивных элементов с "запасом", обеспечивающим тепловую стойкость аппарата. Такое решение достаточно простое и дешевое, но вступает в противоречие с существующей тенденцией энергосбережения. Оптимальным выходом в такой ситуации было бы применение сверхбыстрого охлаждения контактов электрического аппарата на период аварийного режима. Однако способы и конструктивные решения в этом направлении пока отсутствуют.

Электрические контакты автоматического выключателя занимают небольшую часть его объема и могут рассматриваться как малые объекты, которые необходимо охлаждать. Этот признак отмечен и в названии, чтобы подчеркнуть его как объект исследования и возможности применения соответствующих методов охлаждения.

В настоящее время поиск и разработка подобных методов охлаждения и сверхбыстрого охлаждения для контактов электрических аппаратов являются актуальными. В этой связи интерес представляют методы, применяемые в других областях для охлаждения малых объектов. В частности, в микроэлектронике для центрального процессора персонального компьютера Pentium 4, модель SL 6 PB, применяется оригинальный способ охлаждения с помощью модуля охлаждения, использующего тепловые пульсационные трубки с запаянными концами. Создание настольных персональных компьютеров, обеспечивающих непрерывность их работы независимо от теплового состояния, требует применения новой технологии охлаждения процессора с использованием тепловых трубок [1].

Цель работы – анализ возможности применения способа охлаждения контактов электрического аппарата с помощью тепловой пульсационной трубки с запаянными концами.

Конструкция модуля охлаждения. В работе [2] приведено описание конструкции модуля охлаждения на основе тепловой пульсационной трубки с запаянными концами (СЕОНР – closed-end oscillating heat pipe). Общий вид конструкции приведен на рис. 1. Он состоит из трех основных частей, алюминиевого корпуса (подложки, а), медного охладителя (b) и собственно трубок СЕОНР (с). Сам корпус модуля проектировался специально под трубки СЕОНР и имеет просверленные отверстия для вставки трубок. Конструкция СЕОНР содержит медные трубки: два набора капиллярных трубок с внутренним диаметром 0,002 м, длиной испарителя 0,05 м и конденсатором длиной 0,16 м, каждый из которых имеет по шесть изогнутых витков. Секция испарителя заключена в алюминиевый корпус и прикреплена к тепловой под-

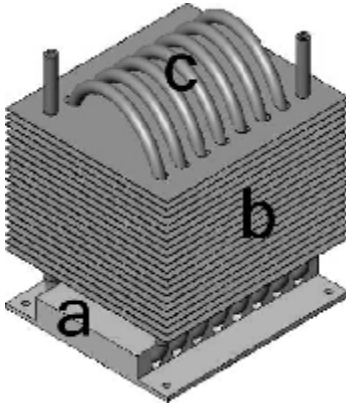


Рис. 1

ложке блока центрального процессора Pentium 4, модель SL 6 PB, 2.26 ГГц. При этом секция конденсатора заключена в охлаждающий пластинчатый корпус и охлаждается с помощью принудительной конвекции. В качестве рабочего тела использована жидкость R134a с коэффициентом заполнения 50 %. В эксперименте, чип центрального процессора мощностью 58 Вт имел температуру 70 °С. Скорость вращения вентилятора составляла 2000 и 4000 об/мин. При возрастании скорости качество охлаждения растет.

Конструкция СЕОНР включает длинную капиллярную трубчатую заготовку, многократно изогнутую в виде витков, испаритель, секции расширителя и конденсации (конденсатор), располагаемые на этих витках (рис. 2).

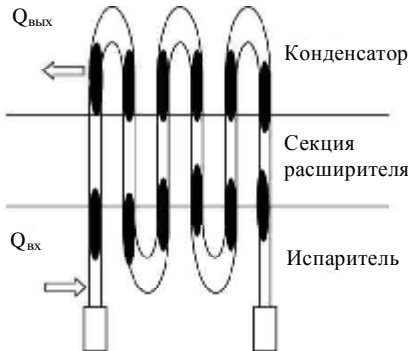


Рис. 2.

Однако, в конструкции модуля нет никакого элемента, который возвращал бы сконденсированную жидкость из конденсатора в секцию испарителя. Тепло передается от секции испарителя к конденсатору пульсацией рабочей жидкости, движущейся вдоль оси трубки. Важную роль при этом играет внутренний диаметр трубки. Он должен быть достаточно малым, для того чтобы в рабочих условиях могли образовываться жидкая смесь и пузырьки пара.

Если диаметр слишком большой, жидкость и пар внутри трубчатой формы будут наслаиваться (стратифицировать) и процесс прерывается.

Риттидек [3] исследовал влияние углов наклона, длин испарителей и свойства рабочих жидкостей на характеристики теплопередачи пульсационных тепловых трубок с закрытыми концами при нормаль-

ных условиях работы, Риттидек и др. [4] анализировали корреляцию для того, чтобы предсказать характеристики теплопередачи пульсационных тепловых трубок с закрытыми концами при нормальных условиях функционирования. Зуанг Жан [5] исследовал трубочные тепловые охладители процессора.

Получены данные экспериментов, которые показывают, что витки тепловой трубки устройства охлаждения более эффективно рассеивают тепло при использовании системного или блочного вентилятора. При этом увеличивается разность температур между входным ($Q_{вх}$) и выходным ($Q_{вых}$) потоками вентилятора. Кроме того, это экономит место и является одним из перспективных решений проблемы теплового регулирования в настольных ПК. Кванг Су Ким [6] провел исследования технологии охлаждения, использующей тепловые трубки, для процессора CPU настольного ПК. Такой охлаждающий модуль, использующий тепловую трубку, имел лучшую тепловую характеристику по сравнению с прямоточной трубкой. Джи К. и другие [7] исследовали охлаждение процессора CPU ноутбука с помощью пульсационной тепловой трубки. Как показали результаты эксперимента, пульсационные тепловые трубки плоского типа обеспечивают высокую производительность системы охлаждения для ноутбука. Таким образом, эти исследования предлагают метод охлаждения, позволяющий снизить цену и вес единицы продукции обеспечить выполнение требуемых характеристик охлаждения. Кроме того, тепловая стабильность устройства охладителя проверена и, соответственно, охладитель изготовлен и проведен сравнительный анализ с прямоточной трубкой. В качестве критерия при определении максимального внутреннего диаметра трубок СЕОНР, Маэзава и другие [8] предполагали, что пузырек пара формируется одновременно с жидкой перемычкой внутри трубки и определяется в зависимости от свойств рабочей жидкости.

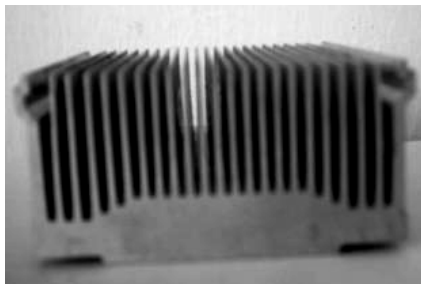


Рис. 3.

Для сравнения была использована традиционно применяемая прямоточная тепловая трубка (рис. 3). Блок охладителя CPU обычно выполняется из вытянутого алюминиевого профиля. Подробные данные сравнения эффективности традиционной трубки и трубки СЕОНР приведены в [1]. Графические зависимости для характеристика

традиционной прямооточной тепловой трубки и трубки СЕОНР представлены на рис. 4.

Можно отметить, что трубка СЕОНР имеет лучшую тепловую характеристику по сравнению с традиционной проточной трубкой. На рис. 5 приведены экспериментальные данные, представляющие связь тепловой характеристики трубки СЕОНР в зависимости от скорости вращения вентилятора. Здесь также отмечено, что при увеличении скорости вентилятора тепловая характеристика поднимается.



Рис. 4.

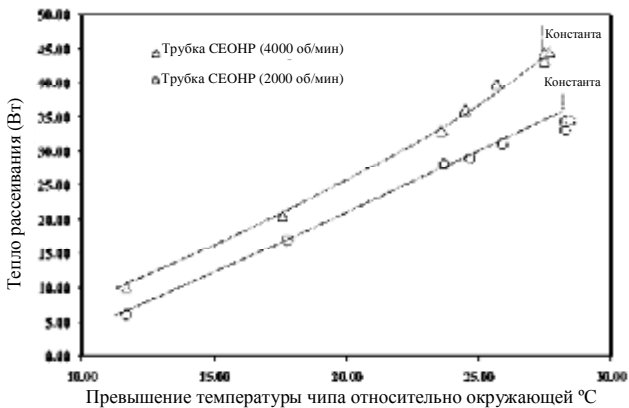


Рис. 5.

Анализ способа охлаждения с помощью тепловой пульсационной трубки с запаянными концами. Приведенные данные свидетельствуют о том, что тепловые пульсационные трубки имеют улучшенные характеристики охлаждения по сравнению с традиционными прямоточными трубками. Основной эффект охлаждения достигается за счет использования работы расширения сжатого газа в пульсационной трубе с преобразованием ее в тепло и последующим отводом последнего во внешнюю среду. Тепло поглощается жидкостью при переходе ее в фазу пара. Движение рабочей жидкости создается за счет возникновения пульсаций смеси охлаждающей жидкости и ее паров. Передача тепла для отвода в окружающую среду осуществляется этой пульсирующей смесью вдоль оси трубки от секции испарителя к конденсатору. Важно при этом обеспечить достаточно малый внутренний диаметр трубки, при котором в рабочих условиях образуются пузырьки пара в ограниченном количестве, при котором не возникает "паровая подушка".

Несомненным достоинством этого способа охлаждения малых объектов является то, что он может быть реализован в виде независимого модуля с использованием автономных блоков: корпуса, охладителя и трубок СЕОНР, и в принципе может быть выполнен герметичным.

В случае нормальных условий функционирования электрического аппарата применение такого блока для охлаждения контактов принципиально возможно. Для этого можно обеспечить отвод тепла от неподвижного контакта, не усложняя конструкцию контактной системы. Однако требуется разработка конструкции модуля охлаждения с учетом свойств охладителя и геометрии контактов.

В аварийных режимах работы электрического аппарата потребуются сверхбыстрое охлаждение контактов. При этом разница температур контактов и среды может возрасти на два порядка. В системах трубок с закрытыми концами (т.е. герметичных) этого достичь не удастся. В этом случае рассмотренный способ непригоден.

Выводы.

1. Проведен анализ способа охлаждения малого объекта с использованием тепловой трубки с запаянными концами и пульсирующим потоком, применяемым для охлаждения центрального процессора настольного персонального компьютера. Показано, что принципиально такой способ может быть применен для охлаждения контактов электрического аппарата в нормальных условиях его работы, при этом

конструкция контактной системы не требует серьезных изменений.

2. Как показывает анализ, существуют определенные сложности проектирования такого модуля, так как в настоящее время отсутствуют модели (математические и физические) такого модуля в составе электрического аппарата.

3. В случае аварийных режимов возможности применения такого способа существенно ограничиваются и он не может быть рекомендован для сверхбыстрого охлаждения контактов электрического аппарата.

Список литературы: 1. *Akachi H., Polasek F., Stulc P.* Pulsating heat pipe // Proc. 5th Intl. Heat Pipe Symp., Melbourne, Australia. – 1996. – P. 208-217. 2. *Rittidech S., Boonyaem A., Tipnet P.* CPU Cooling of Desktop PC by Closed-end Oscillating Heat-pipe (CEOHP) // American Journal of Applied Sciences. – 2005. – No. 2(12). – P. 1574-1577. 3. *Rittidech, S., Terdtoon P., Murakami P., Kamonpet P., Jompakdee W.* Effect of inclination angles, evaporator section lengths and working fluid properties on heat transfer characteristics of a closed-end oscillating heat pipe // Proc. 6th Intl. Heat Pipe Symp., Chiang Mai, Thailand. – 2000. – P. 413-421. 4. *Rittidech, S., Terdtoon P., Murakami M., Kamonpet P., Jompakdee W.* Correlation to predict heat transfer characteristics of a closed-end oscillating heat pipe at normal operating condition // Appl. Thermal Eng.– 2003. – No. 23. – P. 497-510. 5. *Zhuang, J.* Research on CPU heat pipe coolers // 12th Intl. Heat Pipe Conference, Moscow, Russia, Sec, F1-F9. – 2002. 6. *Kwang, S.K., Won H.M., Kim J.W.* Heat pipe cooling technology for desktop PC CPU // 12th Intl. Heat Pipe Conference, Moscow, Russia, Sec, F1-F9. – 2002. 7. *Gi K., Maezawa S.* CPU cooling of notebook by oscillating heat pipe // Proc. 6th Intl. Heat Pipe Symp., Chiang Mai, Thailand. – 2002. – P. 166-169. 8. *Maezawa, S., Gi K.Y., Minimisawa A., Akachi H.* Thermal performance of capillary tube thermosyphon // Proc. 9th Intl. Heat Pipe Conf., Albuquerque, USA. – 1996. – P. 791-795.

Поступила в редколлегию 22.03.2010