

Детекторы непрямого преобразования получили распространение в цифровой радиографии в виде панелей на основе аморфного кремния (aSi). В них используются сцинтилляторы из CsI или Gadolinium Oxisulfide, которые преобразуют рентгеновское излучение в видимый свет. Этот свет затем конвертируется в заряд сенсорами из аморфного кремния.

Компьютерная радиография (КР, CR) начала использоваться около 25 лет назад в медицине для замены пленки. Это технология радиографического контроля, при которой в качестве детектора используются «фосфорные» запоминающие пластины (ЗП, IP) многократного использования (кавычки означают, что на самом деле в состав запоминающих пластин химический элемент фосфор не входит).

Под запоминающей пластиной подразумевается фотостимулируемый люминесцентный материал, способный хранить скрытое рентгеновское изображение объекта контроля. Под действием источника красного цвета (лазера) с соответствующей длиной волны (400 нм) он генерирует люминесценцию (свечение) пропорционально поглощённому излучению. Стирание снимка происходит при длине волны лазера 500–700 нм.

Запоминающая пластина рентгеновского излучения – это многократный носитель рентгенограмм, полученных в результате прохождения через объект контроля. После просвечивания пластину помещают в специальный сканер, который считывает снимок, передаёт его на ПК и стирает старое изображение. После этого ЗП вновь готова к экспонированию.

Компьютерная радиография более прогрессивна по сравнению с традиционной плёночной, т. е. позволяет увеличить производительность контроля, избавляет от «мокрой» фотохимической обработки и необходимости тратиться на дополнительные материалы и оборудование.

Цифровая радиография также была использована в первую очередь для замены пленки в медицине. Разработанные для этой цели цифровые детекторные системы (ЦДС) оказали революционизирующее влияние на радиологическую технику. Эти детекторы позволили развить новые, основанные на компьютерных технологиях, приложения. Эти технологические и алгоритмические разработки оказались применимы также и для использования в НК. Имеются в виду новые технологии калибровки ЦДС, которые позволяют практически полностью избавиться от их собственных шумов. Такие возможности отсутствуют у плёночных систем и систем КР с ЗП. Поэтому ЦДС имеют самый низкий уровень шумов в радиографии и открывают путь к новым приложениям, где требуются чрезвычайно высокие чувствительность и контраст изображения в сочетании с возможностью контроля слабых изменений радиационной толщины [2].

Важными являются экономические преимущества ЦДС перед классической плёночной техникой. Гораздо более быстрый процесс обработки и интерпретации при высоком качестве изображения приводит к существенному выигрышу во времени по сравнению с плёнкой и другими методами НК.

Список литературы

- 1 **Майоров, А. А.** Цифровые технологии в радиационном контроле / А. А. Майоров // В мире НК. – 2007. – № 1 (35). – С. 5–12.
- 2 **Клюев, В. В.** Современные средства и методы цифровой радиационной дефектоскопии / В. В. Клюев, Ф. Р. Сошин // В мире НК. – 2007. – № 1(35). – С. 52–56.

УДК 629.4:621.333

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ ТЕПЛОВЗОВ

А. В. ГРИЩЕНКО, И. Г. КИСЕЛЁВ, Д. Н. КУРИЛКИН, М. А. ШРАЙБЕР

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,
Российская Федерация*

Введение. При работе силовых полупроводниковых приборов (СПП) возникают потери, которые преобразуются в тепловую энергию и приводят к их нагреву. Потери в СПП можно условно разделить на основные и дополнительные. Основные обусловлены падением напряжения на СПП при протекании прямого тока нагрузки. Дополнительные потери складываются из потерь от обратного тока, при включении и выключении прибора, а также от прямого тока утечки.

Все потери выделяются в виде теплоты в кремниевом диске СПП, что приводит к значительному повышению его температуры, которая не должна превышать максимальных допустимых значений: 140–190 °С – для диодов и 110–125 °С – для тиристоров. Чтобы обеспечить нормальный тепловой режим СПП необходимо непрерывно отводить теплоту, возникающую в приборе. Отвод теплоты от СПП осложняется тем, что кремниевый диск имеет небольшие размеры и значительную плотность теплового потока до 100–120 Вт/см². Все это требует применения специальных эффективных охлаждающих устройств с интенсивными процессами теплообмена и развитыми поверхностями теплоотвода.

Способы охлаждения СПП. Температурные режимы работы СПП определяются двумя факторами: условиями окружающей среды и количеством теплоты, выделяемой полупроводниковым элементом. Теплота, выделяемая полупроводниковой структурой, отводится через корпус элемента на охладитель и далее в окружающую среду. Поскольку охладитель имеет конечные размеры, его температура всегда выше температуры окружающей среды. Эта разность зависит от размера, формы и материала охладителя, величины коэффициента теплового сопротивления (КТС) и способа охлаждения. Главной целью работы охладителя всегда является обеспечение температуры кремниевой структуры полупроводникового прибора на допустимом уровне.

Способам охлаждения СПП посвящено большое количество работ, в которых подробно описывается влияние размеров, массы и формы конструкции охладителя на способность эффективно отводить теплоту. На рисунке 1 представлена классификация систем охлаждения СПП по общим принципиальным признакам [1].

Для полупроводниковых преобразовательных установок (ППУ) малой мощности применяют, как правило, воздушное охлаждение с помощью естественной и принудительной конвекции. Охлаждающие устройства для воздушного охлаждения представляют собой оребренные элементы с сильно развитой поверхностью, в комплект которых входят токопроводящие шины к СПП и крепежные детали. Сами охладители изготавливаются из стандартных прессованных алюминиевых профилей, имеющих разнообразное сечение.

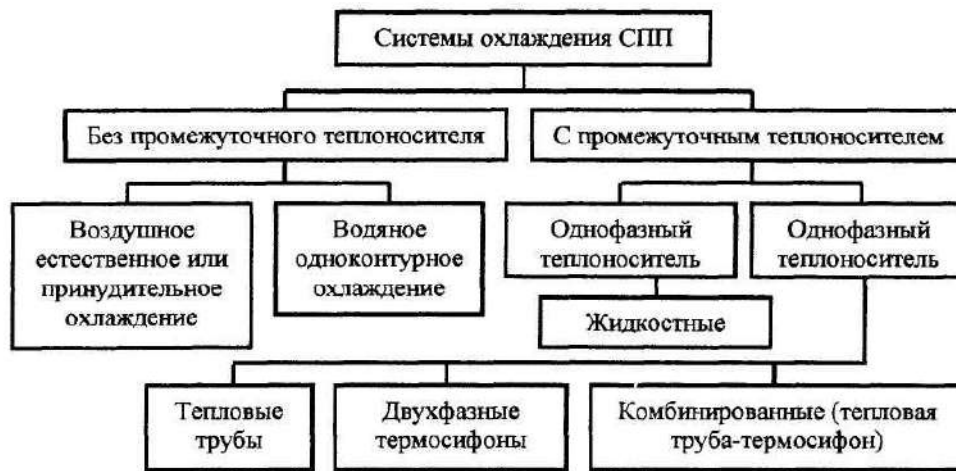


Рисунок 1 – Классификация систем охлаждения СПП

Жидкостное охлаждение позволяет рассеивать большие мощности, чем воздушное охлаждение. Охладители водяной системы охлаждения имеют два штуцера для входа и выхода жидкости. Внутренняя полость охладителя чаще всего изготавливается в виде сложного лабиринта для повышения эффективности охлаждения. Для таблеточных СПП поверхность водяных охладителей плоская, а для штыревых силовых приборов конструкция жидкостного охладителя содержит резьбовое отверстие для крепления прибора.

Заметное снижение массогабаритных показателей шкафа ППУ на сверхвысокие предельные токи можно получить, применив более эффективный способ отвода теплоты из локальной зоны полупроводниковой структуры СПП. В качестве такого способа, предложена система охлаждения с применением двухфазных термосифонов (ДТС) [2]. Передача теплоты при таком способе охлаждения осуществляется в замкнутом испарительно-конденсационном цикле. ДТС представляет собой

полую герметичную конструкцию, заполненную промежуточным теплоносителем – дистиллированной водой или фреонами (рисунок 2).

Обладая достаточно большой поверхностью теплообмена с воздухом, системы испарительно-воздушного охлаждения способны догнать и превзойти системы водяного охлаждения по показателям отвода и рассеивания выделяемой в СПП теплоты. Таким образом, проблема повышения единичной мощности ППУ и их экономичности тесно связана с проблемой отвода теплоты от СПП и массогабаритными характеристиками охлаждающих устройств.

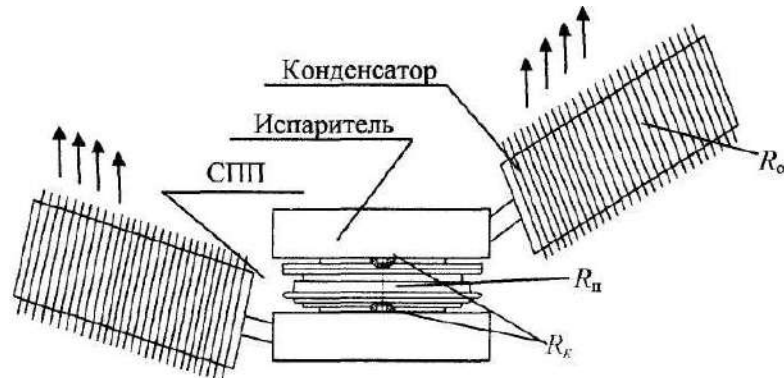


Рисунок 2 – Схема силового блока с двусторонним испарительно-воздушным охлаждением на основе ДТС:
 R_n – тепловое сопротивление «полупроводниковая структура – корпус прибора»; R_k – тепловое сопротивление «корпус прибора – контактная поверхность охладителя»; R_o – тепловое сопротивление «охладитель – окружающая среда»

Данное обстоятельство подтверждается рекламными материалами компаний ОАО «Электровыпрямитель», SEMIKRON, IXYS, EPCOS AG, Электрум АВ, ЗАО «Компелл», Shenzhen Poweria Electronics Technology Co., ГНУ «Институт Порошковой Металлургии», НИИ НПО «Луч», КНТЦ «Алюминиевые тепловые трубы».

Исследование контактного теплообмена. В процессе проектирования и создания новых конструкций полупроводниковых преобразовательных установок (ППУ) возникает необходимость учета не только электрических, но и термических сопротивлений контакта – R_k , возникающих в разъемных соединениях «СПП – охладитель». Наличие КТС между соприкасающимися шероховатыми поверхностями снижает эффективность отвода теплоты охладителем и приводит к увеличению общего температурного перепада в составных деталях выпрямительного блока, что может существенно повлиять на работоспособность СПП. В настоящее время имеется большое количество работ по исследованию контактного теплообмена.

Известно, что металлические поверхности, подвергнутые механической обработке, могут иметь микронеровности и волнистость. При соединении таких поверхностей нельзя достигнуть идеального контакта. В связи с этим на пути теплового потока через зону раздела встречаются микроконтактные площадки, как правило, равномерно расположенные по всей номинальной поверхности касания при контакте плоскошероховатых поверхностей или расположенные в контурных областях при контакте поверхностей с волнистостью.

С учетом того, что теплопроводность контактирующих металлических тел на порядок и более превосходит теплопроводность среды в межконтактном пространстве, значительная часть теплового потока стягивается к площадкам фактического контакта, а часть при наличии теплопроводящей среды проходит через нее.

Передача теплоты в межконтактном пространстве осуществляется в основном теплопроводностью, а при высоких температурах в вакууме – излучением. Ввиду очень малой толщины межконтактного пространства конвекция отсутствует.

Контактный теплообмен, несмотря на кажущуюся простоту процесса переноса теплоты через зону сопряжения твердых поверхностей, оказался достаточно сложным процессом, требующим учета всевозможных факторов, которые влияют на КТС в зоне контакта СПП и охладителя [3].

В процессе решения данной задачи созданы математические модели, которые позволяют определить значения удельного КТС двух соприкасающихся поверхностей СПП и охладителя, с учетом шероховатости поверхностей и усилий сжатия между ними.

На базе полученных зависимостей был произведен анализ контактного термического сопротивления в условиях упругой деформации микронеровностей контактирующих поверхностей. В ре-

зультате расчетных исследований получен ряд зависимостей контактного термического сопротивления от контактного давления при различных значениях шероховатости поверхности (0,32–2,5 мкм) для следующих контактных поверхностей в парах «СПП – охладитель»; «охладитель из алюминиевого сплава АД31 – СПП с медной контактной поверхностью» (рисунок 3).

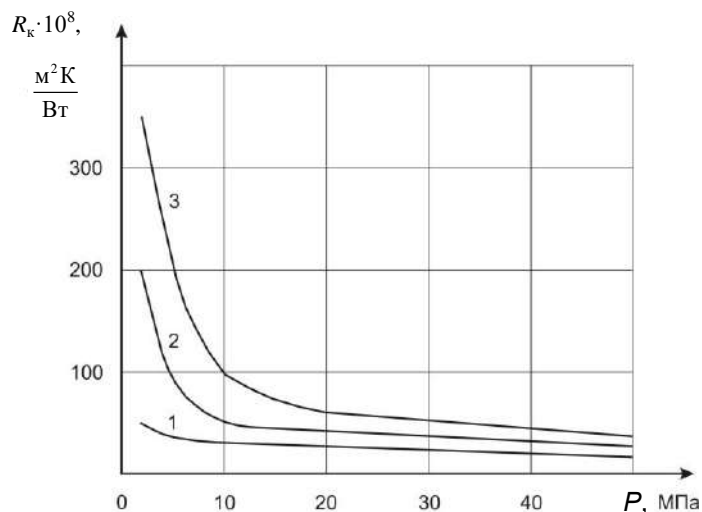


Рисунок 3 – Зависимость $R_k = f(P)$ при $T = 393$ К для пары АД31 – медь:
1 – при $R_{AЭ} = 0,3$ мкм; 2 – при $R_{AЭ} = 0,5$ мкм; 3 – при $R_{AЭ} = 0,63$ мкм

Анализ полученных зависимостей показывает, что с увеличением давления число контактных пятен и фактическая площадь контакта возрастают, приводя к снижению термического сопротивления, при этом чем меньше шероховатость поверхностей, тем при меньших значениях давления можно добиться максимальной интенсивности контактного теплообмена. Следует отметить, что значительное снижение контактного термического сопротивления для каждой контактной пары происходит лишь для определенной величины давления, после которой дальнейшее увеличение нагрузки (более 20–30 МПа) не дает желаемого эффекта снижения контактного термического сопротивления и поэтому теряет смысл.

Одновременно были произведены расчетные исследования и построены зависимости изменения контактного термического сопротивления для оценки степени влияния различных материалов, размещаемых в зоне контакта (термопаста и прокладка) (рисунок 4).

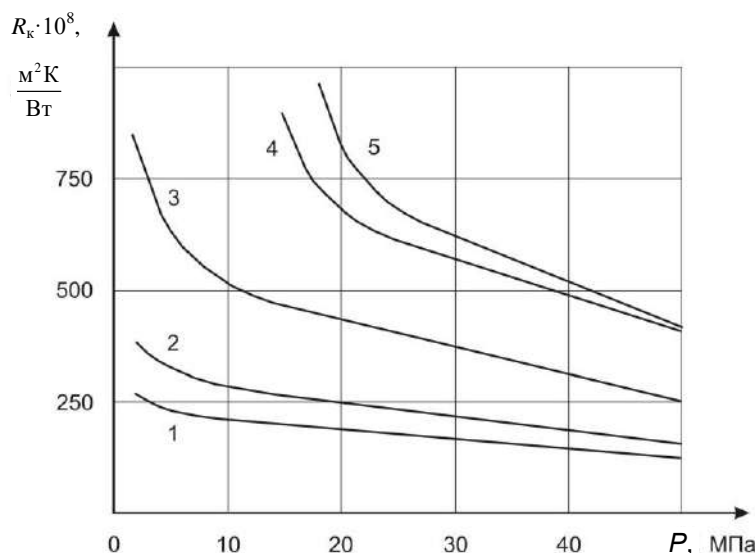


Рисунок 4 – Зависимость $R_k = f(P)$ при $T = 393$ К для контактной пары «никелированный охладитель – СПП с никелированной поверхностью»:
1 – межконтактная среда – термоклей К-1; 2 – межконтактная среда – термопаста КТ-8; 3 – межконтактная среда – иридиевая прокладка; 4 – межконтактная среда – оловянная прокладка; 5 – межконтактная среда – воздух

Из приведенных зависимостей видно, что применение теплопроводящих паст КПТ-8 и клея К-1 приводит к существенному снижению контактного термического сопротивления более чем в три раза. Применение оловянных и иридиевых прокладок для контактной пары «СПП – охладитель» с никелированными поверхностями не привело к сильному снижению контактного термического сопротивления. Более того, при обоюдном контакте медных поверхностей применение легкодеформируемых теплопроводящих прокладок снижает отвод теплоты от СПП в два и более раза. Это связано с тем, что при использовании оловянных прокладок возникает двойной контакт: «СПП – прокладка» и «прокладка – охладитель».

Заключение. Предложенная методика определения контактного теплового сопротивления позволяет решить две задачи: прямую и обратную. Решение первой задачи позволяет при известных значениях давлений и шероховатости контактных поверхностей найти значение удельного контактного термического сопротивления. Решение второй задачи связано с определением необходимого давления для создания наиболее эффективных условий теплообмена между СПП и охладителем.

Список литературы

- 1 Киселёв, И. Г. Эффективные способы охлаждения силовых полупроводниковых приборов / И. Г. Киселёв, А. И. Исакеев, В. В. Филатов. – Л. : Энергоиздат, 1982. – 136 с.
- 2 Буянов, А. Б. Исследование контактного теплового сопротивления в системах СПП – охладитель / А. Б. Буянов, С. И. Степанов, В. И. Крылов // Известия ПГУПС. – 2007. – № 4. – С. 107–114.
- 3 Киселёв, И. Г. Математическое моделирование контактного теплообмена в полупроводниковых преобразовательных установках железнодорожного транспорта / И. Г. Киселёв, Д. В. Крылов // Известия ПГУПС. – 2012. – № 1. – С. 66–71.

УДК 621.86, 625.144.5/7

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ДЛЯ ШПАЛОУБОРОЧНОГО КОМПЛЕКСА

В. А. ДОВГЯЛО, В. Л. МОИСЕЕНКО, Д. С. ПУПАЧЁВ, К. В. МАКСИМЧИК
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Погрузочно-разгрузочные операции являются важнейшей частью любого технологического процесса. От уровня их механизации и грамотной организации зависит итоговая скорость выполнения, производительность и безопасность данных работ. Как следствие, это побуждает к разработке и применению погрузочных машин, ведущих к сокращению численности рабочих, задействованных при погрузке и разгрузке, уменьшению простоев транспортных средств и предохранению грузов от произвольного падения [1]. Особенно это важно при осуществлении грузовых операций на железнодорожном транспорте в процессе загрузки и выгрузки вагонов (платформ) в местах проведения путевых работ по содержанию и ремонту верхнего строения пути.

В данных условиях проводимые работы ограничены продолжительностью «окон» – времени, в течение которого прекращается движение поездов (кроме хозяйственных поездов и подачи вагонов рабочего парка на перегон для выгрузки в «окно») по перегону, отдельным путям перегона или станции для производства ремонтных и строительно-монтажных работ [2]. При этом при выполнении путевых работ стремятся реализовать т. н. оптимальное «окно», соответствующее такому отрезку времени закрытия перегона, при котором все расходы на производство работ и простой поездов будут минимальными. На практике «окна» предоставляют на период от 2–4 часов, но не более 24 часов (для «окон» большой продолжительности). А выполнения этих сроков невозможно достичь без применения специальных погрузочно-разгрузочных машин и комплексов.

Стоит отметить, что при осуществлении капитальных ремонтов пути, связанных с комплексной заменой или обновлением верхнего строения, нашли применение специализированные путеукладочные составы на базе укладочных кранов типа УК-25 [3]. Но при проведении средних и подъёмочных ремонтов [4], связанных с заменой компонентов пути, в частности негодных или дефектных шпал и скреплений, предусмотренных проектной документацией, возникают сложности при выполнении грузовых операций и транспортировке последних либо к месту проведения ремонтных работ, либо на базы хранения (машинные станции, дистанции пути). Это обусловлено тем, что ко-