



Современная технология охлаждения элементом Пельтье

Вытеснят ли модули Пельтье компрессор?

Краткий обзор

Элементы Пельтье представляют собой термоэлектрические компоненты, способные в обратимом порядке перекачивать тепло в заданном направлении. Несмотря на то, что этот принцип известен уже достаточно давно, прорыв в технологии Пельтье наметился лишь с появлением современных полупроводниковых материалов.

Преимущества технологии Пельтье заключаются в вариативности размеров охлаждающих элементов, их продолжительной автономности и надежности, а также в предельно точной регулировке. Кроме того, элементы Пельтье не имеют подвижных частей и потому не создают никаких вибраций и шумов. Основное преимущество по сравнению с обычными компрессорными холодильными машинами заключается в использовании негорючих и экологически безопасных хладагентов.

Однако максимальная производительность и КПД систем охлаждения с элементами Пельтье значительно ниже, чем у компрессорных систем. А в случае использования стандартных холодильных и морозильных аппаратов приходится мириться со значительно более высокими затратами на электроэнергию и более интенсивной теплоотдачей.

Благодаря своим особым свойствам технология термоэлектрического охлаждения подходит для многих специфических областей применения, однако из-за своей нерентабельности она не вытеснит компрессоры, например в бытовом холодильном оборудовании.

Оглавление

2 Краткий обзор

4 Термоэлектрические эффекты

История

Физические предпосылки

6 Техническое воплощение термоэлектрического охлаждения

Устройство элемента Пельтье

Устройство модуля Пельтье

Регулирование системы Пельтье

9 Сравнение технологий охлаждения

11 Области применения технологии Пельтье

13 Выводы

14 Выходные данные

Термоэлектрические эффекты

История

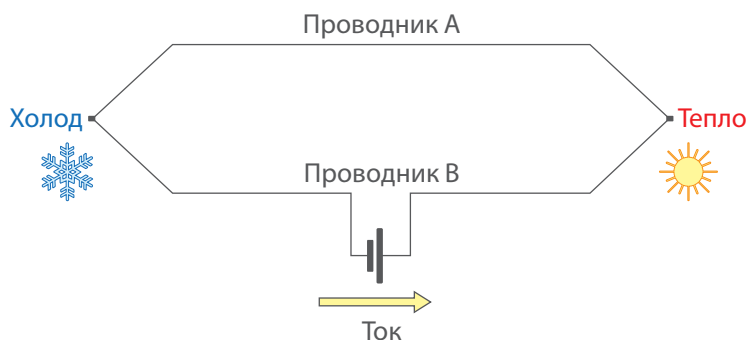
Эффект Зеебека

Физик Томас Иоганн Зеебек (1770 – 1831), родившийся в семье балтийских немцев, в 1821 году обнаружил, что стрелка компаса отклоняется в замкнутой цепи проводников из двух разнородных металлов, если контакты между ними имеют различную температуру. В то же время датский физик Ханс Кристиан Эрстед, изучавший явления электромагнетизма, правильно интерпретировал «термомагнитный» эффект Зеебека, введя термин «термоэлектрический эффект», и связал протекание тока с разностью температур, которое в свою очередь и является причиной возникновения замеченного Зеебеком магнитного поля.

Эффект Пельтье

Лишь спустя тринадцать лет после открытия термоэлектрического эффекта французский физик Жан Шарль Атаназ Пельтье (1785 – 1845) обнаружил обратный эффект, а именно возникновение разности температур при протекании электрического тока в месте контакта двух разнородных проводников.

Пельтье в то время не смог правильно обосновать данное явление, что позже исправил английский физик Уильям Томсон (именуемый также бароном Кельвином, в честь которого и назвали единицу измерения температуры в СИ), сформулировав в 1860 году теорию термодинамики.



Термоэлектрические эффекты

Физические предпосылки

Термоэлектродвижущая сила

К термоэлектрическим эффектам относятся различные явления, которые связаны между собой общей константой материала. Эта так называемая термоэлектродвижущая сила Q различается в металлических проводниках лишь на несколько мкВ/К. Однако для технического воплощения эффекта Пельтье требуется пара электрических проводников со значительно более высоким термоэлектрическим напряжением. Пока что удалось открыть лишь несколько полупроводников, которые отвечают этому условию при температуре окружающей среды.

Коэффициент Пельтье P является производной термоэлектродвижущей силы и температуры (соотношение Кельвина):

$$P = Q \cdot T$$

Количество теплоты, которая в результате эффекта Пельтье выделяется на стыке двух проводников, составляет

$$W = (P_A - P_B) \cdot I$$

Тепловой поток (W) зависит от разности коэффициентов Пельтье и пропорционален проходящему электрическому току I . Знак теплового потока зависит от направления тока. Отрицательный знак означает поглощение тепла в месте контакта.

Однако потеря тока увеличивается вместе с силой тока быстрее, чем теплопередача в результате эффекта Пельтье. Следовательно, начиная с определенной силы тока мощность охлаждения, несмотря на увеличение тока, не увеличивается, а даже уменьшается.

Термоэлектрическое охлаждение

С технической точки зрения эффект Пельтье можно использовать для охлаждения. Напротив охлаждаемой стороны с температурой T_0 находится тепловой резервуар с температурой T_1 .

$$(T_0 - T_1)_{\max} = 1/8 \cdot (P_A - P_B) \cdot \sigma / \lambda$$

Максимально достигаемая разность температур изменяется пропорционально электрической проводимости σ и обратно пропорционально теплопроводности λ , что является противоположными свойствами.

Именно это наряду с требуемым термоэлектрическим напряжением представляет собой вторую сложность при технической реализации эффекта Пельтье, ведь большинство хороших проводников электрического тока хорошо проводят и теплоту.

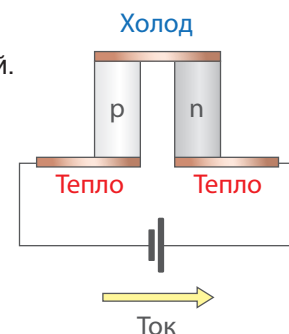
Техническое воплощение термоэлектрического охлаждения

Устройство элемента Пельтье

Термопара

Самый мелкий компонент термоэлемента называется термопарой.

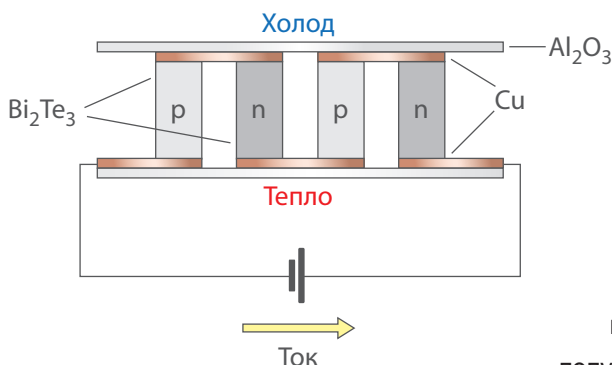
Термопара состоит из двух электропроводников с сильно различающимися коэффициентами Зеебека для создания максимально возможного термоэлектрического напряжения. Для этого чаще всего используются полупроводниковые блоки, концы которых соединены медью. Наиболее подходящим материалом для применения при температуре окружающей среды является на сегодняшний день теллурид висмута, легированный донорными и акцепторными примесями.



Термоэлемент

Современный элемент Пельтье состоит из множества термопар, которые последовательно соединены между собой медной перемычкой. Медные перемычки с каждой из сторон термически соединены друг с другом керамическими пластинами (чаще всего из оксида алюминия), но при этом электрически изолированы.

Использование полупроводникового материала с донорными и акцепторными примесями не позволяет называть это «полупроводниковой технологией» в строгом смысле, которая применяется, например в полупроводниковых диодах. Обычная полупроводниковая технология подразумевает непосредственный контакт



между полупроводниками, который блокирует прохождение тока в одном направлении. В элементе Пельтье, напротив, это не работает, поэтому различные полупроводники соединяются в основном металлическими перемычками. Предпочтение отдается полупроводникам, а не другим проводниковым

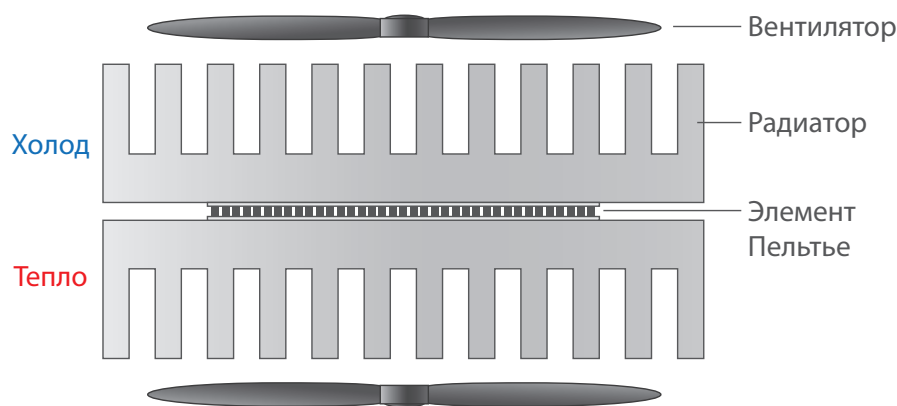
материалам

лишь потому, что в этой группе материалов удалось найти вещества с высоким термоэлектрическим напряжением, которые хорошо проводят электрический ток, но изолируют тепло. Лишь при наличии таких свойств удастся эффективно изолировать холодную сторону от теплой и создать полезную разность температур.

Техническое воплощение термоэлектрического охлаждения

Устройство модуля Пельтье

Модуль Пельтье состоит из одного или нескольких элементов Пельтье и термически соединенных радиаторов. Используемая для перекачки электрическая мощность в элементах Пельтье необратимо преобразуется в тепло, которое нуждается в эффективном отведении. Кроме того, элементы Пельтье в обратимом порядке перекачивают тепло с одной стороны на другую (в зависимости от направления тока). Таким образом, на одной стороне происходит поглощение тепла, которое, однако, существенно менее интенсивное, чем теплоотдача на другой стороне. Поэтому теплообмен должен осуществляться посредством крупных радиаторов, которые термически плотно прилегают к элементу Пельтье с обеих сторон. Нагретый или охлажденный воздух в основном отводится мощными вентиляторами.



Техническое воплощение термоэлектрического охлаждения

Регулирование системы Пельтье

Зачастую элементы Пельтье регулируются ШИМ, при этом средняя сила тока зависит от длины импульсов тока высокой частоты. Распространенным методом является также регулирование напряжения. Обычное же двухпозиционное регулирование практически не применяется, так как оно ведет к перегрузке элемента Пельтье и значительному сокращению его срока службы.

Термический стресс

Несмотря на то, что модули Пельтье можно регулировать простым переключением полюсов, необходимо понимать последствия этого процесса. При изменении направления тока еще до уравнивания температур в элементе Пельтье компонент подвергается очень сильному термическому стрессу. Производители чипов Пельтье тестируют, сколько циклов переключения полюсов могут выдержать их изделия, провоцируя тем самым выход чипов из строя спустя всего несколько сот подобных циклов. Определенные модификации позволяют увеличить устойчивость к циклам переключения.

Но в научной сфере, где очень важны долговременная стабильность и надежность оборудования, такое сокращение срока службы зачастую считается неприемлемым.

Сравнение технологий охлаждения

Преимущества систем Пельтье

За счет отсутствия подвижных и быстроизнашивающихся деталей все элементы Пельтье очень надежны, долговечны и не нуждаются в техобслуживании. Кроме того, они не создают никаких вибраций и шумов. Поэтому элементы компактны и без труда позволяют объединять даже несколько модулей в один блок. Еще одно преимущество заключается в недорогом производстве. В системах Пельтье нет хладагентов, которые легко воспламеняются, разрушают озоновый слой и вызывают парниковый эффект. Отпадает надобность в целом контуре охлаждения с компрессором, дросселем и конструктивными элементами испарителя и конденсатора, которые занимают много места. Элементы не нуждаются в техобслуживании, а в случае выхода из строя без труда заменяются.

Современные технологии регулирования позволяют более точно дозировать охлаждающий эффект, чем в стандартном компрессоре. Кроме того, в результате переключения полюсов функция может изменяться на противоположную, то есть охлаждающий элемент может становиться эффективным нагревательным элементом.

Недостатки систем Пельтье

При создании модулей Пельтье технически неизбежно очень тесное расположение теплой и холодной сторон. На практике толщина современных модулей Пельтье составляет всего 3-5 мм, что требует очень эффективного подвода и отвода тепла. Эта техническая дилемма решается установкой больших радиаторов с вентиляторами. Производительность модуля Пельтье зависит в первую очередь от необходимой разности температур. Чем больше разность температур, тем меньше мощность перекачки, а при разности около 70 К мощность падает до нуля (на сегодняшний день развития технологии Пельтье). Более высокие значения разности удастся реализовать лишь за счет затратной установки многоступенчатых элементов.

Сравнение технологий охлаждения

Энергоэффективность

Элементы Пельтье способны поглощать тепло с одной стороны и отдавать его с другой. В качестве посредника в этом обратимом процессе перекачки выступает электрический ток или его носитель заряда. Электрический ток является своего рода хладагентом в контуре охлаждения, а мощность перекачки в идеале пропорциональна проходящему току. Процесс необратимого превращения тока в Джоулево тепло неизбежен из-за омического сопротивления элемента Пельтье. Выделяющееся в результате этого тепло не только означает потерю мощности, но и требует компенсации возникающих на холодной стороне тепловых потерь из-за мощности перекачки до момента достижения полезной холодопроизводительности.

На практике приходится мириться с многократными потерями мощности перекачки тепла в системах Пельтье. Холодопроизводительность компрессорных систем, напротив, превышает рабочие затраты примерно в два раза.

Области применения технологии Пельтье

Современная технология Пельтье применяется в тех случаях, когда компрессоры не подходят из-за своих больших размеров, энергоэффективность играет лишь второстепенную роль или требуется совсем незначительная мощность охлаждения.

В быту и на досуге

Холодильные боксы с элементами Пельтье, предназначенные для интенсивного охлаждения продуктов питания и напитков, идеально подходят для автомобилей и дач на колесах, ведь они мобильны в своем использовании и могут питаться от 12-вольтовой бортовой сети.

Главный недостаток модулей Пельтье применяется в осушителе воздуха. Осушаемый воздух пропускается через холодную сторону модуля Пельтье, а образующийся конденсат стекает в специальный поддон.

Научная сфера

Ярким примером термостатирования по технологии Пельтье является амплификатор – лабораторный прибор для амплификации последовательностей ДНК. При так называемой реакции ПЦР (полимеразной цепной реакции) требуется три различных быстро сменяющихся температуры реакции.

Ввиду своего устройства компрессорные системы бывают лишь определенных размеров. А модули Пельтье могут быть совсем крошечными, обладая при этом удивительно высокой мощностью охлаждения. Миниатюрные элементы Пельтье используются, например, в сцинтилляторах, где требуется подавление шумов фотодиодов путем охлаждения.

Функционирование большинства компрессорных систем зависит от положения. В наклоненном или перевернутом состоянии они перестают работать, равно как и в невесомости. А модули Пельтье можно встраивать в мобильные устройства, которые питаются от широко распространенного 12-вольтового аккумулятора. Пример использования: денсиметры, вискозиметры, реометры или рефрактометры.

Области применения технологии Пельтье

Специальные области применения

Элементы Пельтье отдают больше тепла, чем способны перекачивать. Поэтому в большинстве компьютерных процессоров широко используются высокотехнологичные радиаторы и теплопередающие элементы, которые служат исключительно для отвода выделяемого процессором тепла. Технология Пельтье применяется лишь в тех случаях, когда температура процессора должна быть ниже температуры окружающей среды. Разность температур в многоступенчатых модулях Пельтье может достигать 100 K: такие модули используются, например в ИК-датчиках или гигрометрах точки росы. Диффузионные камеры, предназначенные для доказательства различных частиц (альфа-излучения, электронов, позитронов), нуждаются как в охлаждении, так и в обогреве. И оптимальным решением этой задачи является компактная технология Пельтье.

Охлаждающие инкубаторы

В лабораторных охлаждающих инкубаторах технологию Пельтье начали применять совсем недавно. Хотя охлаждающие инкубаторы и не очень подходят для поддержания неизменно низких температур (например, ниже 10 °C), однако для инкубации в пределах температуры окружающей среды (15 – 30 °C) или специфического применения с теплоподачей эти устройства вполне рентабельны.

При этом низкая энергоэффективность практически не играет никакой роли ввиду малоинтенсивного охлаждения без достижения максимальной мощности. Благодаря этому средний расход электроэнергии ниже, чем у классического охлаждающего инкубатора, а техническое устройство значительно проще, чем у компрессорной системы.

Выводы

Технология Пельтье открывает совершенно новые возможности в специфических областях применения, особенно в тех случаях, когда не требуется максимальная мощность охлаждения или высокая энергоэффективность. Независимость от размеров и положения установки позволяет разрабатывать небольшие и портативные устройства. Эффективность термостатирования с использованием модулей Пельтье при небольшом перепаде температур достигается за счет точного дозирования мощности охлаждения.

А стандартные компрессорные системы охлаждения благодаря своим большим резервам мощности и высокому КПД будут по-прежнему широко применяться в холодильных и морозильных аппаратах, предназначенных, например для бытового или лабораторного использования.

Выходные данные

| Автор

Д-р Йенс Тильманн является дипломированным биологом и работает в компании BINDER GmbH в должности руководителя отдела по выпуску продукции для выращивания и хранения. Он отвечает за выпуск различных инкубаторов, которые используются в медицине, науке и фармацевтических исследованиях для выращивания культур бактерий и клеток млекопитающих, а также за выпуск морозильных шкафов сверхглубокой заморозки для надежного и длительного хранения чувствительных проб.

| Профиль компании

BINDER является крупнейшим в мире специализированным предприятием по выпуску камер для моделирования условий окружающей среды, предназначенных для научных и промышленных лабораторий. Своими техническими решениями предприятие вносит существенный вклад в последовательное улучшение охраны здоровья и повышение безопасности людей. Ассортимент продукции подходит как для повседневных процедур, так и для высокоспециализированных работ в сфере исследований и разработок, производства и контроля качества. Имея в своем штате 350 сотрудников во всем мире и обладая долей экспорта 80 %, компания BINDER вышла в 2012 году на объем продаж 56 миллионов евро.

| Контактная информация

BINDER GmbH
Im Mittleren Ösch 5
78532 Tuttlingen (г. Тутлинген, Германия)
Тел.: +49(0)74 62-20 05-0
info@binder-world.com
www.binder-world.com

Выходные данные

| Литература

MacDonald, D.K.C. (1962):

Thermoelectricity. An Introduction to the Principles. Wiley, New York

Dugdale, J.S. (1977):

The electrical Properties of Metals and Alloys. Edward Arnold, London

Jäckle, J. (1998):

Über die Ursache der Thermospannung. Fakultät für Physik, Universität Konstanz

| Ссылка на производителей

www.tellurex.com

www.quick-cool-bibliothek.de

www.mecheltron.com

www.peltier.de

www.deltron.ch

www.dr.neumann-peltier.de

www.ferrotec.com

www.siteware.ch