

## ЭЛЕМЕНТЫ ПЕЛЬТЬЕ

### Эффект Пельтье и термоэлектрический модуль.

В основе работы термоэлектрического охлаждающего модуля лежит эффект, открытый французским часовщиком Жаном Пельтье, который в 1834 г. обнаружил, что при протекании постоянного электрического тока в цепи, состоящей из разнородных проводников, в местах контактов (спаях) проводников поглощается или выделяется, в зависимости от направления тока, тепло. При этом количество этой теплоты пропорционально току, проходящему через контакт проводников (Рис.1). Наиболее сильно эффект Пельтье проявляется на контактах полупроводников с различным типом проводимости (р- или n-). Объяснение эффекта Пельтье заключается во взаимодействии электронов проводимости, замедлившихся или ускорившихся в контактном потенциале р-n перехода, с тепловыми колебаниями атомов в массиве полупроводника. В результате, в зависимости от направления движения электронов и, соответственно, тока, происходит нагрев ( $T_h$ ) или охлаждение ( $T_c$ ) участка полупроводника, непосредственно примыкающего к спаю (р-n или n-p переходу).

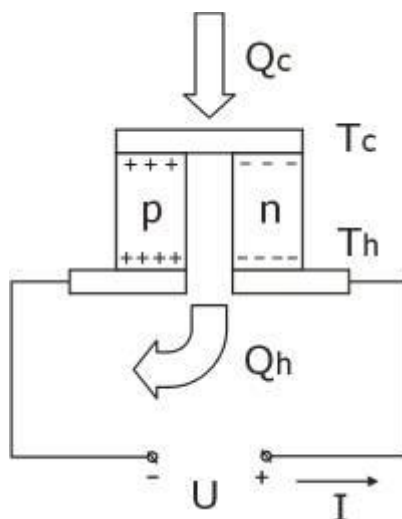


Рис.1 Схема действия эффекта Пельтье.

Эффект Пельтье лежит в основе работы термоэлектрического модуля (ТЭМ). Единичным элементом ТЭМ является термопара, состоящая из одного проводника (ветки) р-типа и одного проводника n-типа. При последовательном соединении нескольких таких термопар теплота ( $Q_c$ ), поглощаемая на контакте типа n-p, выделяется на контакте типа p-n ( $Q_h$ ). Термоэлектрический модуль представляет собой совокупность таких термопар, обычно соединенных между собой последовательно по току и параллельно по потоку тепла. Термопары помещаются между двух керамических пластин (Рис.2). Ветки спаиваются на медные проводящие площадки (шинки), которые крепятся к специальной теплопроводящей керамике, например, из оксида алюминия. Количество термопар может варьироваться в широких пределах - от нескольких единиц до нескольких сотен, что позволяет создавать ТЭМ с холодильной мощностью от десятых долей ватта до сотен ватт. Наибольшей термоэлектрической эффективностью среди промышленно используемых для изготовления ТЭМ материалов обладает теллурид висмута, в который для получения необходимого типа и параметров проводимости добавляют специальные присадки, например, селен и сурьму. Традиционно сторона, к которой крепятся провода, горячая и она изображается снизу.

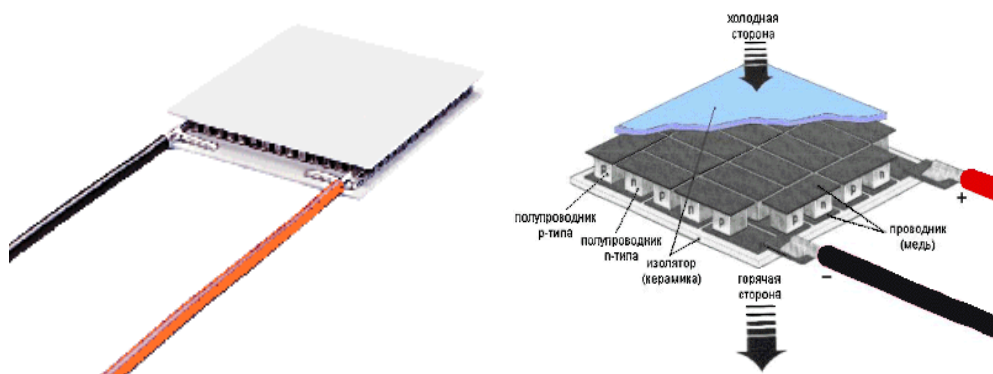


Рис.2 Так выглядят модули Пельтье.

При прохождении через ТЭМ постоянного электрического тока возникает разность температур ( $\Delta T = T_h - T_c$ ) между его сторонами: одна пластина (холодная) охлаждается, а другая (горячая) нагревается.

По сути элемент Пельтье является своеобразным тепловым насосом. При использовании модуля Пельтье необходимо обеспечить эффективный отвод тепла с его горячей стороны, например, с помощью воздушного радиатора или водяного теплообменника (водоблока). Здесь надо учесть, что отводить придется не только "перекачиваемую" теплоту, но и добавляемую (примерно 50%) самим модулем. Если поддерживать температуру горячей стороны модуля на уровне температуры окружающей среды, то на холодной стороне можно получить температуру, которая будет на десятки градусов ниже. В ТЭМ разность температур может достигать 74 град на одном каскаде. Модуль является обратимым, т.е. при смене полярности постоянного тока горячая и холодная пластины меняются местами. Можно использовать модуль в режиме термоциклирования: чередовать режим охлаждения с режимом нагрева с помощью переключателя. Как уже отмечалось, степень охлаждения пропорциональна величине тока, проходящего через ТЭМ, что позволяет при необходимости плавно регулировать температуру охлаждаемого объекта, причем с высокой точностью. Внешний вид различных типов однокаскадного ТЭМ представлен на Рис.3.



**Рис.3 Так выглядят модули в жизни.**

**Для лучшего понимания практического применения ТЭМ при охлаждении процессора все-таки нужно уяснить кое-какую теорию и почитать вот эту статью №1.**

**$\Delta T_{\max}$  (град)** - это максимальная разность температур между сторонами модуля, достигаемая при идеализированных условиях: при температуре горячего спая  $T_h$ , поддерживаемой равной 27 град С (ученые выбрали это значение температуры потому, что в градусах по шкале Кельвина - это круглая цифра в 300 град), и при нулевой холодопроизводительности (холодильной мощности) ( $Q_c=0$ ), т.е., якобы, на холодную сторону модуля не поступает никакого тепла (глубокий вакуум, что-ли). Значение  $\Delta T_{\max}$  для однокаскадного модуля зависит только от эффективности термоэлектрического вещества. Например, максимальная разность температур для отдельных экспериментальных образцов достигает 76 град. Для многокаскадных модулей значение  $\Delta T_{\max}$  зависит не только от эффективности вещества, но и от числа каскадов охлаждения и конфигурации модулей. Максимальная разность температур для двухкаскадных модулей повышенной мощности составляет 83-87 град, а для четырехкаскадных модулей достигает 140 град. Но здесь многокаскадные модули не рассматриваются.

**$Q_{\max}$  (Вт)** - холодопроизводительность при токе  $I=I_{\max}$  и разности температур  $\Delta T = T_h - T_c = 0$ , т.е. считаем, что вся теплота, поступающая на холодную сторону модуля мгновенно и без потерь перекачивается на горячую, причем температура горячей стороны  $T_h$  поддерживается равной 27 град С. Величина  $Q_{\max}$  традиционно определяется как максимальная, но важно отметить, что на самом деле эта холодильная мощность не является максимальной. Дело в том, что величина  $Q_{\max}$  определяется при токе  $I_{\max}$ , который является оптимальным для максимальной, а не для нулевой разности температур. При токе несколько большем  $I_{\max}$  и при сохранении нулевой разности температур возможно получение холодопроизводительности, большей  $Q_{\max}$  примерно на 6 %.

**$U_{\max}$  (В)** - это напряжение, соответствующее току  $I_{\max}$  и разности температур  $\Delta T_{\max}$

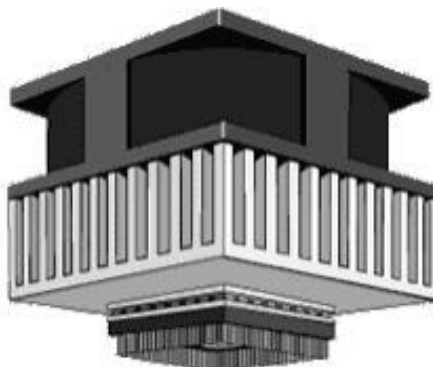
**$I_{\max}$  (А)** - это ток, при котором достигается разность температур  $\Delta T_{\max}$ .

**Что такое COP?** COP (Coefficient Of Performance) - это отношение холодильной мощности модуля к электрической, потребляемой модулем, и характеризует экономичность протекающих процессов, т.е. своеобразный аналог К.П.Д. При заданном значении тока COP практически линейно зависит от разности температур и при более меньших разностях температур он выше. Для термоэлектрических устройств COP в среднем составляет 0.3-0.5, что ниже значений холодильного коэффициента компрессионных машин. Несмотря на отставание по холодильному коэффициенту, во многих случаях применение термоэлектрических модулей является более выгодным, а в ряде случаев и единственным возможным. Более того, теоретически при нулевой разности температур и при малых токах холодильный

коэффициент в пределе стремится к бесконечности! На практике это означает, что, если необходимо иметь повышенную экономичность устройства, то предпочтительней использовать большее количество модулей и питать их меньшим напряжением (током).

**Какой источник питания необходимо использовать для модулей?** Для работы модуля необходимо, чтобы через него протекал постоянный ток. Пульсации постоянного тока не должны превышать 5 %. Если уровень пульсаций будет выше, модуль, конечно, не "умрет", но его параметры будут хуже. Постоянный ток может быть создан как источником тока, так и источником напряжения, но последние используются более широко. Источник тока стремится поддерживать постоянство заданной силы тока, источник напряжения - соответственно напряжения. Подаваемое на модуль напряжение должно выбираться исходя из максимального напряжения модуля  $U_{max}$  и выбранного режима работы (максимальной холодильной мощности или максимального холодильного коэффициента). Максимальный ток (мощность) источника должен выбираться исходя из величины напряжения и сопротивления модуля переменному току. Следует отметить, что рабочая величина тока в стационарном режиме может быть меньше своего первоначального значения примерно на 20-35 %, поскольку благодаря эффекту Зеебека величина тока зависит от разности температур.

**Какое напряжение следует подавать на термоэлектрический модуль?** Подаваемое на модуль напряжение определяется количеством пар ветвей в модуле. Наиболее распространенными являются 127-парные модули, величина максимального напряжения для которых составляет примерно 16 В. На эти модули обычно подается напряжение питания 12 В, т. е. примерно 75 % от величины  $U_{max}$ . Такой выбор напряжения питания в большинстве случаев является оптимальным и позволяет обеспечить, с одной стороны, достаточную мощность охлаждения, а с другой стороны, достаточную экономичность (холодильный коэффициент). При повышении напряжения питания более 12 В увеличение холодильной мощности будет слабым, а потребляемая мощность будет резко увеличиваться. При понижении напряжения питания экономичность будет расти, холодильная мощность будет уменьшаться, но линейно, что очень удобно для организации плавного регулирования температуры. Для модулей с числом пар ветвей отличным от 127, напряжение можно выбирать по тому же принципу, - чтобы оно составляло 75 % от  $U_{max}$ , но при этом необходимо учитывать особенности конкретного устройства, прежде всего, условия теплоотвода с горячей стороны, и возможности источников питания.



**Рис. 4 Сборка: процессор, Пельтье, кулер.**

Принципиальная возможность применения элементов Пельтье для охлаждения мощных компонентов электроники известна довольно давно. С ростом единичной мощности электронных компонентов в последние годы и, следовательно, увеличением количества выделяющегося тепла задача охлаждения, например, процессоров в компьютерах (Рис. 4), приобретает все возрастающее значение. Кулеры рассчитаны на "спокойную" штатную работу процессоров. Однако все большее количество граждан хотят "разогнать" свое "железо" и тут без элементов Пельтье во многих случаях не обойтись. В последнее время многие все чаще посматривают и в сторону жидкостного (водяного) охлаждения. Но и здесь термоэлектрические модули могут существенно помочь "overclockers". Ни один, даже самый навороченный кулер, даже с помощью "водянки" в принципе не приблизит температуру на процессоре к температуре окружающей среды.

Наиболее "ходовые" типы модулей Пельтье - это стандартные однокаскадные модули максимальной мощностью до 65 Вт (12 В) и 172 Вт (24 В). Обозначения модулей в скобках расшифровываются следующим способом: первое число - это количество термопар в модуле; второе - это ширина сторон ветки в мм; третье - это высота ветки в мм. Например, ТВ-127-1,4-1,5. Имеется в виду модуль, который состоит из 127 пар термоэлектрических веток, размеры которых 1,4x1,4x1,5 мм. Размеры модулей 40x40 мм, толщина около 4 мм. Т.к. тепловыделение процессоров стремительно растет (AMD), более высоким спросом будут пользоваться модули 48x48 мм. Модули загерметизированы, поверхность керамики зашлифована до 25 микрон, однако применение термопасты обязательно. Припаяны черный (-) и красный (+) провода. Если "минус" держать в левой руке, а "плюс" в правой проводами к себе, то сверху будет холодная сторона, а снизу - горячая.