

УДК 53.082.62

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ

Логвинов М.Д.

Научный руководитель – старший преподаватель Германович Е.И.

Тепловая энергия является наиболее доступной и распространенной и по сравнению с электрической, поэтому задача преобразования тепловой энергии в электрическую, наиболее выгодную для транспортировки и преобразования в другие виды энергии, настоящее время занимает важное место в энергетике. Самым массовым, на данный момент, способом конвертации тепловой в энергию в электрическую является тепловая электростанция, которая преобразует тепловую энергию в энергию вращения вала электрогенератора. Существуют различные модификации таких электростанций. Но существуют и другие методы для преобразования теплоты в электричество, например, термоэлектрогенераторы.

Термоэлектрогенератор — это устройство, предназначенное для прямого преобразования тепловой энергии в электричество посредством использования в его конструкции термоэлементов, работа которых возможно благодаря термоэлектрическим явлениям. Термоэлектрические явления — совокупность физических явлений, обусловленных взаимосвязью между тепловыми и электрическими процессами в металлах и полупроводниках.

К термоэлектрическим явлениям относят:

– Эффект Зеебека (явление возникновения ЭДС в замкнутой электрической цепи, состоящей из последовательно соединённых разнородных проводников, контакты между которыми находятся при различных температурах);

– Эффект Пельтье (термоэлектрическое явление, при котором происходит выделение или поглощение тепла при прохождении электрического тока в месте контакта (спая) двух разнородных проводников);

– Эффект Томсона (закрывающийся в том, что в однородном неравномерно нагретом проводнике с постоянным током дополнительно к теплоте, выделяемой в соответствии с законом Джоуля — Ленца, в объёме проводника будет выделяться или поглощаться дополнительная теплота Томсона в зависимости от направления тока).

В некоторой степени все эти эффекты одинаковы, поскольку причина всех термоэлектрических явлений — нарушение теплового равновесия в потоке носителей.

В рамках классической электронной теории металлов при соприкосновении двух разных металлов с работами выхода A_1 и A_2 (примем $A_1 < A_2$), электроны находящиеся у поверхности раздела металлов, вследствие теплового движения будут переходить из металла с меньшей работой выхода в металл, для которого работа выхода больше. Процесс будет длиться до тех пор, пока работа по перемещению электронов за счет контактной разности потенциалов $(\varphi'_1 - \varphi'_2)$ не станет равной разности работ выхода:

$$e \cdot (\varphi'_1 - \varphi'_2) = A_2 - A_1,$$

где e - заряд электрона.

Еще одной причиной возникновения контактной разности потенциалов является различная концентрация электронов в металле. Если n_1 и n_2 - концентрация электронов в первом и втором металлах, и $n_1 > n_2$, то будет происходить преимущественный перенос электронов из первого металла во второй. В результате первый металл приобретет положительный заряд, а второй - отрицательный, что приведет к разности потенциалов:

$$\varphi''_1 - \varphi''_2 = \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{n_1}{n_2}\right)$$

где k - постоянная Больцмана, T - абсолютная температура.

Как правило, $\varphi'_1 - \varphi'_2 \gg \varphi''_1 - \varphi''_2$.

Результирующая контактная разность потенциалов равна:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_2 - A_1}{e} + \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{n_1}{n_2}\right)$$

Работа выхода электронов из металлов зависит от температуры. Следовательно, контактная разность потенциалов также зависит от температуры. Если температура контактов замкнутой цепи, состоящей из нескольких металлов, неодинакова, то полная ЭДС контура не будет равна нулю, и в цепи возникает электрический ток. Это явление и называют термоэлектрическим.

Контактная разность потенциалов возникает не только между двумя металлами, но также и между полупроводниками, металлом и полупроводником, двумя диэлектриками. В небольшом интервале температур термо-ЭДС E можно считать пропорциональной разности температур:

$$E = \alpha_{12}(T_2 - T_1)$$

Где α_{12} — термоэлектрическая способность пары (или коэффициент термо-ЭДС).

В простейшем случае коэффициент термо-ЭДС определяется только материалами проводников, однако, строго говоря, он зависит и от температуры, и в некоторых случаях с изменением температуры α_{12} меняет знак.

Представление о величинах термоэлектродвижущей силы при разных спаих металлов можно получить из таблицы 1.

Таблица 1. Термоэлектродвижущие силы (в милливольтгах) при температурах спаев 0 и 100 °С соответственно.

Спай	термоЭДС, мВ
висмут - сурьма	10,0
висмут - платина	6,5
никель - железо	3,2
серебро - железо	2,6
платина - железо	1,7
никель - платина	1,6
ртуть - платина	0,0

Явление Зеебека используется для измерения температуры. Для этого применяются термоэлементы, или термопары — датчики температур, состоящие из двух соединенных между собой разнородных металлических проводников. Если контакты (обычно спаи) проводников, образующих термопару, находятся при разных температурах, то в цепи возникает термоэлектродвижущая сила, которая зависит от разности температур контактов и природы применяемых материалов.

Чувствительность термопар выше, если их соединять последовательно. Эти соединения называются термобатареями (или термостолбиками). Все четные спаи поддерживаются при одной температуре, а нечетные при другой. ТермоЭДС такой батареи равна сумме термоЭДС ее отдельных элементов.

Термопары применяются как для измерения ничтожно малых разностей температур, так и для измерения очень высоких и очень низких температур (например, внутри доменных печей или жидких газов). Точность определения температуры с помощью термопар составляет, как правило, несколько кельвин, а у некоторых термопар достигает $\gg 0,01$ К. Термопары обладают рядом преимуществ перед обычными термометрами: имеют большую чувствительность и малую инерционность, позволяют проводить измерения в широком интервале температур и допускают дистанционные измерения.

Явление Зеебека в принципе может быть использовано для генерации электрического тока. Так, уже сейчас К. П. Д. полупроводниковых термобатарей достигает 18%. Следовательно, совершенствуя полупроводниковые термоэлектрогенераторы, можно добиться эффективного прямого преобразования солнечной энергии в электрическую.

Эффект Пельтье связан с процессами выделения и поглощения тепла, поэтому он применяется в холодильных машинах. В последние годы модули, работа которых основана на эффекте Пельтье, стали активно использоваться для охлаждения разнообразных электронных компонентов компьютеров. Их, в частности, стали применять для охлаждения современных мощных процессоров, работа которых сопровождается высоким уровнем тепловыделения.

Благодаря своим уникальным тепловым и эксплуатационным свойствам устройства, созданные на основе термоэлектрических модулей — модулей Пельтье, позволяют достичь необходимого уровня охлаждения компьютерных элементов без особых технических трудностей и финансовых затрат. Данные средства поддержки необходимых температурных режимов их эксплуатации являются чрезвычайно перспективными. Они компактны, удобны, надежны и обладают высокой эффективностью работы.

Суть открытого эффекта заключается в следующем: при прохождении электрического тока через контакт двух проводников, сделанных из различных материалов, в зависимости от его направления, помимо теплоты выделенной по закону Джоуля-Ленца, выделяется или поглощается дополнительное тепло, которое получило название тепла Пельтье. Степень проявления данного эффекта в значительной мере зависит от материалов выбранных проводников и используемых электрических режимов.

Тепло Пельтье, как показали экспериментальные исследования, можно выразить формулой:

$$Q_n = \Pi \cdot q$$

где q — количество прошедшего электричества ($q = I \cdot t$), Π — так называемый коэффициент Пельтье, величина которого зависит от природы контактирующих материалов и от их температуры (некоторые значения коэффициента Пельтье представлены в таблице 2). Эффект Томсона не имеет технического применения, однако его необходимо учитывать в точных расчетах термоэлектрических устройств.

Таблица 2. Значения коэффициента Пельтье для различных пар металлов и температуры спая

Железо-константан		Медь-никель		Свинец-константан	
T, К	Π , мВ	T, К	Π , мВ	T, К	Π , мВ
273	13,0	292	8,0	293	8,7
299	15,0	328	9,0	383	11,8
403	19,0	478	10,3	508	16,0
513	26,0	563	8,6	578	18,7
593	34,0	613	8,0	633	20,6
833	52,0	718	10,0	713	23,4

В настоящее время для термоэлектродгенераторов используются полупроводниковые термоэлектрические материалы, обеспечивающие наиболее высокий коэффициент преобразования тепла в электричество. Список веществ, имеющих термоэлектрические свойства, достаточно велик (тысячи сплавов и соединений), но лишь немногие из них могут использоваться для преобразования тепловой энергии. Современная наука постоянно изыскивает новые и новые полупроводниковые композиции, и прогресс в этой области обеспечивается не столько теорией, сколько практикой, ввиду сложности физических процессов, происходящих в термоэлектрических материалах. Определенно можно сказать, что на сегодняшний день не существует термоэлектрического материала, в полной мере удовлетворяющего промышленность своими свойствами, и главным инструментом в создании такого материала является эксперимент.

Литература

1. Интернет ресурс <http://www.ixbt.com/cpu/peltje.html>

2. Князев М.А., Русакевич Д.А., Трофименко Е.Е. Изучение термоэлектрических явлений и их применение. - Минск: БНТУ, 2010. - 27 с.
3. Путилов К.А. Курс физики. Т. 2. М.: Гостехтеориздат, 1963. - 583 с.