РАЗДЕЛ XIV. ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Авдеев А.И., Никонова А.С., Иваней А.А.

Оптимизация процесса теплопереноса при использовании термо-электрических элементов в холодильной технике

ФГАОУ ВО «Мурманский государственный технический университет»
(Россия, Мурманск)

doi: 10.18411/sr-10-02-2021-30

idsp: sciencerussia-10-02-2021-30

Аннотация

В ходе работ по исследованию процесса теплопереноса при использовании термоэлектрических элементов последовательно варьировались значения подаваемого на термоэлектрический модуль силы тока – сначала от 8,0 до 9,1 А, после с 9,1 до 7,7 А. В результате обработки данных был построен сводный график зависимости разницы температур сторон от температуры горячей стороны, на основе анализа которого было выявлено четыре характерных зоны работы термоэлемента, и сделан вывод о нестабильной работе термоэлемента при достижении определённого значения температуры на нагревающей стороне. Определено, что условия внешней среды, в которую происходит утилизация тепла, должны обеспечивать через радиаторы или другие теплоотводящие системы отбор такого количества теплоты, которое бы обеспечивало работу элемента в зоне стабильной производительности. Были предложены варианты для оптимизации процесса теплопереноса.

Ключевые слова: термоэлектрический модуль, эффект Пельтье, оптимизация процесса теплопереноса

На данный момент существует множество различных устройств ограниченного объёма с функцией поддержания необходимых температурных режимов, использующих для этого термоэлектрический эффект Пельтье [1, 2].

Практика использования полупроводниковых охлаждающих элементов является одним из вариантов получения холода альтернативным путем.

Актуальность использования элементов Пельтье [3] в установках, предназначенных для пищевой промышленности и бытовой техники, обусловлена необходимостью внедрения природосберегающих технологий [4, 5]. Другим аргументом в пользу необходимости использования термоэлектрического эффекта могут послужить неоспоримые преимущества термоэлектрических модулей (ТЭМ) по сравнению с компрессорными устройствами:

1. Малые габариты модулей;
2. Универсальность применения (нагрев, охлаждение, термостабилизация, генерация электроэнергии);
3. Отсутствие механического износа, связанного с подвижными трущимися частями конструкции;
4. Отсутствие необходимости применения хладагентов;
5. Низковольтное электропитание, и, как следствие, повышение безопасности эксплуатации;
6. Малая стоимость и широкий модельный ряд.

Из минусов можно отметить сравнительно узкий спектр рабочих температур и небольшую механическую прочность элементов, малую мощность (от 10 до 100 Ватт) одного модуля, а также повышенные требования к особенностям конструкции, связанные с утилизацией тепла.

Исходя из вышеперечисленных особенностей модулей Пельтье, была поставлена цель исследования – выяснение вариантов оптимизации процесса теплопереноса при использовании ТЭМ в холодильной технике.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Анализ динамики изменения рабочих характеристик элементов Пельтье в процессе работы;
2. Обеспечение автоматизации системы контроля и управления выходными параметрами;

Согласно техническим характеристикам, предоставленным заводами-изготовителями в открытом доступе, охлаждающие элементы Пельтье, взятые для исследования (TEC12705, TEC12715, C1206, C1210), относятся к среднетемпературным охлаждающим элементам (диапазон от 27 до 327 °С, состав – теллурид свинца, теллурид германия, теллурид висмута). В описании указываются некоторые ограничения по применению и условиям эксплуатации полупроводниковых охлаждающих элементов (заявленная разница температур между обкладками при максимальной мощности от 65 °С до 75 °С, максимально допустимая температура нагревающей стороны для TEC12705 и TEC12715 до 85 °С, для C1206 и C1210 до 135 °С), внутреннее сопротивление составляет 3 Ом, максимальное напряжение питания составляет 15 В, максимальный рабочий ток 5, 15, 6 и 10 А соответственно (для TEC12705, TEC12715, C1206 и C1210).

Но в реальных условиях эксплуатации питание ТЭМ осуществляется нерегулируемым источником питания с обеспечением максимальной потребляемой силы тока и мощности термоэлемента. Таким образом, в ходе анализа технических характеристик ТЭМ было выдвинуто предположение как о нестабильной работе термоэлемента при достижении определённой разницы температур на сторонах при указанном рабочем токе, так и о необходимости оптимизации системы контроля и управления выходными параметрами.

В ходе исследования для решения поставленных задач был создан опытный стенд с термоэлементом C1210, на котором был проведен ряд экспериментов.

Функциональная схема стенда изображена на рисунке 1 и включает в себя четыре основных блока:

- 1 - компьютер (устройство ввода-вывода информации, устройство управления);
- 2 - микроконтроллер (счётно-решающее устройство);
- 3 - устройство управления кулером (силовой блок);
- 4 - блок датчиков температуры (аналоговая линия).

Рисунок 1 – Функциональная схема стенда измерения параметров

Компьютер (1) и микроконтроллер (2) обмениваются информацией по двунаправленной шине данных USB-COM, используя протокол NMEA-0183. В микроконтроллер передаются команды управления работой электродвигателя, обратно принимаются данные о скорости вращения электродвигателя (в процентах от

максимальной скорости вращения) и данные с датчиков температуры (4), преобразованные в цифровой формат.

Полученная информация выводится на экран компьютера в виде адаптированных для восприятия графиков, таблиц и анимированного интерактивного изображения текущей скорости вращения электродвигателя кулера.

Микроконтроллер (2) выполняет функции счётно-решающего устройства, устройства управления силовым модулем (3) и устройства преобразования аналоговых сигналов с датчиков температуры (4) в цифровой формат. Аналоговая часть схемы (преобразование сигналов датчиков температуры) логически не связана с процессом управления скоростью вращения электродвигателя кулера и предназначена для сбора и передачи значений температуры в градусах в режиме реального времени. Метки времени, передающиеся с данными от термодатчиков, используются только для построения графиков и таблиц.

Силовой модуль (4) представляет собой стандартное токовое зеркало (усилитель, подключенный по схеме с общим коллектором), которое управляется широтно-импульсным модулированным (ШИМ) сигналом от микроконтроллера (2). Коэффициент заполнения ШИМ устанавливается микроконтроллером (2) в зависимости от управляющих команд и текущего значения коэффициента.

Логическая схема работы узла управления скоростью вращения электродвигателя кулера представлена на рисунке 2.

Рисунок 2 – Логическая схема работы блока управления скоростью вращения

Текущие значения скорости вращения электродвигателя кулера хранятся в стеке памяти регистра приёма данных. Приходящие от компьютера управляющие данные сравниваются с данными, хранящимися в памяти. В зависимости от результата сравнения, счётно-решающее устройство микроконтроллера формирует команду на увеличение или уменьшение коэффициента заполнения ШИМ-сигнала. Новые данные записываются в память блока приёма данных, и снова происходит операция сравнения. Процесс замкнут на цикл и реализуется в непрерывном режиме.

Общий вид экспериментальной установки представлен на рисунке 3, где позициями обозначены следующие элементы:

- 1 - кулер с регулируемым значением оборотов;
- 2 - радиатор нагревающей стороны;
- 3 - термоэлектрический модуль С1210 (элемент Пельтье);

- 4 - контрольно-измерительный регулирующий модуль (контроллер Arduino-Uno);
- 5 - блок коммутации (силовой модуль);
- 6 - таблица данных;
- 7 - окно программы контроля оборотов кулера (Visual Basic 6.0);
- 8 - графики температурных режимов.

Рисунок 3 – Опытный стенд

Для более точного определения ряда характеристик радиатор нагревающей стороны элемента (2) был оборудован кулером с регулируемым числом оборотов (1). Это позволило устанавливать конкретные значения температуры «горячей» стороны на время, достаточное для стабилизации температурных режимов и фиксации параметров.

В ходе эксперимента теплопритоки к охлаждающей стороне термоэлемента не изменялись, подаваемая сила тока на ТЭМ последовательно варьировалась – сначала от 8,0 до 9,1 А, после с 9,1 до 7,7 А. Напряжение питания было зафиксировано на уровне 12 В.

По данным, полученным в результате экспериментов, была составлена сводная таблица значений исследуемых параметров, дающая возможность наглядного представления зависимости режима работы от температуры сторон элемента (таблица 1).

Таблица 1.

Сводная таблица показаний регистрирующих приборов

Сила тока, А	Напряжение, В	T холодной стороны, $^{\circ}\text{C}$	T горячей стороны, $^{\circ}\text{C}$	Разница температур, ΔT , $^{\circ}\text{C}$
8,0	12	5,0	20	15,0
8,1	12	5,1	21	15,9
8,2	12	5,2	22	16,8
8,3	12	5,3	23	17,7
8,4	12	5,4	24	18,6
8,5	12	5,5	25	19,5
8,6	12	5,7	26	20,3
8,7	12	6,0	27	21,0

8,8	12	6,3	28	21,7
8,9	12	6,5	29	22,5
9,0	12	6,9	30	23,1
9,1	12	7,1	31	23,9
9,0	12	7,5	32	24,5
9,0	12	7,9	33	25,1
9,0	12	8,4	34	25,6
9,0	12	8,8	35	26,2
9,0	12	9,5	36	26,5
9,0	12	10,2	37	26,8
9,0	12	11,4	38	26,6
9,0	12	12,7	39	26,3
9,0	12	14,1	40	25,9
9,0	12	15,8	41	25,2
8,9	12	17,9	42	24,1
8,8	12	20,5	43	22,5
8,7	12	23,5	44	20,5
8,6	12	26,6	45	18,4
8,5	12	30,6	46	15,4
8,4	12	34,0	47	13,0
8,3	12	37,2	48	10,8
8,2	12	39,5	49	9,5
8,1	12	41,5	50	8,5
8,0	12	42,5	51	8,5
7,9	12	43,5	52	8,5
7,9	12	44,5	53	8,5
7,8	12	45,6	54	8,4
7,8	12	46,6	55	8,4
7,8	12	47,6	56	8,4
7,7	12	48,6	57	8,4

Графические зависимости, иллюстрирующие зависимость температуры горячей стороны ТЭМ от температуры холодной стороны и разницы температур на сторонах ТЭМ (ΔT), полученные в ходе экспериментов, изображены на рисунках 4 и 5. Сводный график, объединяющий информацию предыдущих графиков, изображен на рисунке 6.

Рисунок 4 – График зависимости изменения температуры горячей стороны ТЭМ от температуры холодной стороны

Рисунок 5 – График зависимости изменения температуры горячей стороны ТЭМ от ΔT

Рисунок 6 – Сводный график

Сводный график (рисунок 6) условно разделен на четыре зоны.

Зелёная зона, характеризуется стабильной работой ТЭМ, устойчивой разницей температур на нагревающей и охлаждающей стороны. С ростом температуры нагревающей стороны увеличение температуры на охлаждающей стороне было незначительным.

Жёлтая зона показывает на графике участок плавного уменьшения разницы температур на сторонах элемента и значительного повышения температуры охлаждающей стороны. Границей жёлтой зоны выбран момент достижения охлаждающей стороной ТЭМ температуры окружающей среды.

Оранжевая зона графика охватывает участок дальнейшего уменьшения разницы температур нагревающей и охлаждающей стороны до минимального значения.

Красная зона характеризуется равномерным повышением температуры как нагревающей, так и охлаждающей стороны. Разница температур сторон колеблется около минимального значения.

Таким образом, в ходе проведения экспериментов и обработки полученных данных было получено подтверждение предположения о нестабильной работе ТЭМ при достижении определённого значения температуры на нагревающей стороне. Определено, что условия внешней среды, в которую происходит утилизация тепла, должны обеспечивать через радиаторы или другие теплоотводящие системы отбор

такого количества теплоты, которое бы обеспечивало работу элемента в зоне стабильной производительности.

На основании рекомендаций изготовителей ТЭМ и по результатам анализа экспериментальных данных, можно сделать вывод об актуальности оптимизации системы контроля и управления выходных параметров ТЭМ в холодильной технике. Отсутствие контроля параметров ТЭМ и, как следствие, отсутствие своевременного изменения режима работы охлаждающего элемента приводит к деградации полупроводниковых элементов, к повышению потребления электрического тока при сильном снижении разницы температур на сторонах, и, в дальнейшем, к выходу элемента из строя.

Решение вопроса оптимизации позволит разработать современные термоэлектрические методы охлаждения, стабилизации температуры и прямого преобразования тепловой энергии в электрическую для самых актуальных потребностей рынка высоких технологий [3]. Исходя из рекомендаций изготовителей ТЭМ и по результатам анализа данных о работе охлаждающих элементов, можно предложить варианты для оптимизации процесса теплопереноса:

1. Контроль соответствия температурных характеристик ТЭМ электрической нагрузке;
2. Выведение режима работы элемента в определённую зону характеристик для максимальной производительности;
3. Контроль параметров и коррекция режима электропитания для физической смены режима работы (инверсии) охлаждающего элемента.

1. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика [Текст]. В 10 т. Т. 6. Гидродинамика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – Москва : Наука, 1986. – 736 с.
2. Шостаковский, П.Г. Современные решения термоэлектрического охлаждения для радиоэлектронной, медицинской, промышленной и бытовой техники [Текст] / П.Г. Шостаковский // Компоненты и технологии. – 2009. – № 12 (101). – С. 120-126.
3. Шостаковский, П.Г. Инновационная деятельность компании «Крио-терм» в области разработки и производства термоэлектрических приборов и устройств [Текст] / П.Г. Шостаковский // Инновации. – 2014. – № 2 (184). – С. 137-141.
4. Nikonova, A.S., Ivaney, A.A. Design of the experimental climate chamber of an innovative type. *Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii "Nauchnye issledovaniya stran ShOS: sinergija i integracija" - Doklady na anglijskom jazyke [Materials of the International Conference "Scientific research of the SCO countries: synergy and integration" - Reports in English]. Beijing, PRC, 2019, pp. 202-206. ISBN 978-5-905695-96-6.*
5. Nikonova, A., Ivaney, A., Okuneva, L. Improvement of Structural and Technological Parameters of the Innovative Type Climate Chamber. In: *International applied research conference «Biological Resources Development and Environmental Management», KnE Life Sciences, 2020. pp. 731--741. DOI 10.18502/kl.v5i1.6159.*

Корниенко В.Н.¹, Донецких А.Г.¹, Николаев Н.С.², Пляшешник П.И.²

Определение продолжительности процесса закаливания мороженого «моджи»

¹*Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН*

²*Московский государственный университет пищевых производств
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/sr-10-02-2021-31

idsp: sciencerrussia-10-02-2021-31

Аннотация

Процесс закалки мороженого «моджи», в отличие от фризирования смеси, требует дополнительного изучения для совершенствования технологических режимов