Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики
Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

Пояснювальна записка

до дипломної роботи
за освітньо-кваліфікаційнии рівнем «бакалавр»

на тему: **«Дослідження термоелектричних перетворювачів енергії»**

Виконала : студентка 4 курсу, групи НФ-41
Криковлюк Тетяна Олександрівна
Спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали
Освітня програма: Прикладна фізика енергетичних систем
Керівник к. ф.-м. н, доцент
Кудрявцев Ігор Миколайович

Харків - 2020 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна

Навчально-науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики
Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) бакалавр
Напрям підготовки 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.І.Ткаченко
підпис

"____"_____2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

_____Криковлюк Тетяни Олександрівни_____

1. Тема роботи: «Дослідження термоелектричних перетворювачів енергії»

керівник роботи: Кудрявцев І.М., кандидат фізико-математичних наук, доцент

затверджені наказом по університету від "05" грудня 2019 р. № 0210-05/2249

2. Строк подання студентом роботи ___12 червня 2020р.

3. Перелік питань, які потрібно розробити:

Аналіз науково-технічної літератури, вивчення особливостей роботи термоелектричних генераторів, розробка оригінального лабораторного стенду, дослідження ефективності та оптимізація роботи елементів Пельтьє в різних режимах функціонування.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Вивчення науково-технічної літератури.
2	Розробка та збір експериментального стенду, холодильної конструкції із застосуванням елементів Пельтьє та контрольно-вимірювальної апаратури.
3	Вимірювання основних показників електричного приводу та різниці температур на елементах Пельтьє.
4	Дослідження режимів роботи стенду з різними системами відведення і підведення тепла.
5	Теоретична обробка експериментальних результатів.

5. Дата видачі завдання 10 вересня 2019 р.

Студент Т. О. Криковлюк

Керівник роботи І .М. Кудрявцев

Реферат

Криковлюк Тетяна Олександрівна «Дослідження термоелектричних перетворювачів енергії» (випускна робота бакалавру), - Харків: ХНУ. імені В.Н. Каразіна, 2020.- 61 с.

Робота присвячена вивченню особливостей дослідження термоелектричних перетворювачів енергії зокрема дослідження елемента Пельтьє. Вона складається з вступу, двох розділів, висновку, містить 23 малюнків, 19 графіків, 6 таблиць, список використаних джерел з 13 найменувань. Досліджувалася робота елемента термоелектричного охолодження (елемента Пельтьє) в залежності від різних умов (напруги, наявності пасивного і активного тепловідведення), побудовані графіки залежності зміни температури елементу від часу, температури елементу від напруги у різних конфігураціях та режимах роботи. У роботі були представлені малюнки та схеми різних режимів роботи. Отримані результати дозволяють досягти якісного поліпшення експлуатаційних властивостей термоелектричних перетворювачів енергії.

Ключові слова: термоелектричні перетворювачі енергії, елемент Пельтьє, термоелектричні явища; ефект Зеєбека

Abstract

Krykovliuk Tetyana Oleksandrivna "Research of thermoelectric energy converters" (bachelor's thesis), - Kharkiv: KhNU. named after VN Karazina, 2020.- 61 p.

The work is devoted to the study of the peculiarities of the study of thermoelectric energy converters, in particular the study of the Peltier element. It consists of an introduction, two sections, a conclusion, contains 23 figures, 19 graphs, 6 tables, a list of sources used with 13 items. The work of thermoelectric cooling element (Peltier element) depending on different conditions (voltage, presence of passive and active heat dissipation) was studied, graphs of dependence of element temperature change on time, element temperature on voltage in different configurations and operating modes were constructed. The work presented drawings and diagrams of different modes of operation. The obtained results allow to achieve a qualitative improvement of the operational properties of thermoelectric energy converters.
Keywords: thermoelectric energy converters, Peltier element, thermoelectric phenomena; Seebeck effect

Зміст

Вступ

Розділ 1. Аналіз науково-технічної літератури

1.1 Основні теоретичні відомості

1.2. Ефект Пельтьє та елемент Пельтьє

1.3. Основні розрахункові співвідношення для охолоджуючого термоелемента

1.4. Застосування термоелектричних пристроїв

1.5. На майданчиках сучасних інтернет-магазинів можна зустріти найрізноманітніші термоелектричні модулі Пельтьє.

1.6. Патенти.

Розділ 2. Проведення експериментів.

2.1. 1-ша серія експериментів.

2.2. 2-га серія експериментів

Висновки

Список використаних джерел

ВСТУП

На сьогоднішній день тема термоелектричних перетворювачів для промислового застосування стає все більш актуальною. Для приватного користування термопреобразователи без рухомих частин, величезних розмірів, газових хладагентов більш кращі зважаючи на свою надійності, безшумності і стійкості до ударних навантажень.

Вартість обладнання на основі термоелектричних перетворювачів часто нижче своїх аналогів.

До уваги може братися також екологічність таких пристроїв.

Постанова завдання полягає в дослідження термоелектричних перетворювачів енергії (зокрема елементів Пельтьє). Для дослідження використовується ефект Пельтьє. У роботі буде вивчатися ефективність елементів Пельтьє в різних режимах з метою отримання найбільш продуктивного способу охолодження простору. Спираючись на ці дослідження буде зібрана установка, що складається з 2-х елементів Пельтьє з радіаторами і вентиляторами на кожній зі сторін сплаву. Будуть вивчені характеристики установки в ряді експериментів.

Основним напрямком альтернативної енергетики є пошук і використання альтернативних або «нетрадиційних» джерел енергії. Альтернативні джерела енергії представляють собою відновлювальні ресурси, що можуть замінити традиційні джерела енергії. Традиційні джерела енергії працюють на нафті, природному газі та вугіллі.Вони виділяють в атмосферу вуглекислий газ коли згорають, який є причиною зростання парникового ефекту і в перспективі ведуть до глобального потепління. Одна з причин пошуку нетрадиційних

джерел енергії представляють собою потреби в отриманні її з енергії поновлюваних природних ресурсів.

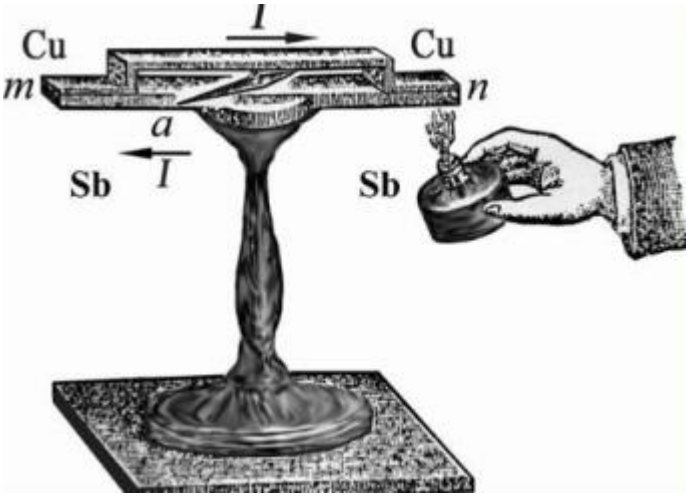
1. Аналіз науково-технічної літератури

1.1 Основні теоретичні відомості

Історія відкриття термоелектричних явищ налічує вже понад 180 років. Практичне використання вони отримали тільки в середині XX століття, тобто через 130 років після відкриття.

Ще у 1821 році німецький фізик Томас Йоган Зеєбек виявив, що температурний градієнт, утворений між двома різнорідними провідниками, може виробляти електрику. У 1822 році він написав про результати дослідів в своїй статті. Стаття має назву «До питання про магнітної поляризації деяких металів і руд, що виникає в умовах різниці температур». Вона була опублікована в доповідях Прусської академії наук. В основі термоелектричного ефекту Зеєбека лежить той факт, що температурний градієнт в токопровідному матеріалі викликає тепловий потік і це призводить до переносу носіїв заряду. Потік носіїв заряду між гарячими і холодними областями, в свою чергу, створює різницю потенціалів

Зеєбек виявив, що при замиканні ланцюга, що складається з двох різнорідних металевих матеріалів, спаи яких перебували при різних температурах, магнітна стрілка, поміщена поблизу цього ланцюга, поверталася так само, як в присутності магніту (Мал. 1.1). Кут повороту стрілки був пов'язаний з величиною різниці температур на спаях досліджуваного ланцюга. У фізиці це явище відомо, як "ефект Зеєбека".



Мал. 1.1 Магнітна стрілка всередині замкненого кола, сформованої різнорідними провідниками з різницею в температурі на спаях.

Першим, хто вжив термін "термоелектричне явище" був Х.Ерстед, уважно стежив за роботами Зеебека. Однак сам Зеєбек наполягав на іншому формулюванні - "термомагнетізм".

Через 12 років (1834 г.) після відкриття Зеебека був відкритий "ефект Пельтьє". Цей ефект є зворотним "ефекту Зеєбека". Відкрив це явище французький фізик, метеоролог Пельтьє (Peltier) Жан Шарль Атаназа (1785-1845). До речі, захоплення фізикою було свого роду хобі цієї людини. Раніше він працював годинникарем фірми А.Л. Бреге, але завдяки отриманого в 1815 р спадка, Пельтьє зміг присвятити себе експериментам в галузі фізики і спостереження за метеорологічними явищами.

Як і Зеєбек, Пельтьє не зміг правильно інтерпретувати результати свого дослідження. На його переконання отримані результати служили ілюстрацією того, що при пропущенні через ланцюг слабких струмів універсальний закон Джоуля - Ленца про виділення тепла струмом, що протікає не працює.

В один ряд з першовідкривачами термоелектричних явищ необхідно поставити і видатного радянського вченого - фізика, академіка Абрама

Федоровича Йоффе (1880-1960). Завдяки роботам А.Ф. Іоффе, які він проводив з початку 30-х років XX століття, була закладена основа розвитку сучасної термоелектричної енергетики.

Але тільки в 1838 р петербурзький академік Ленц Емілій Християнович (1804-1865) довів, що "ефект Пельтьє" є самостійним фізичним явищем, що полягає у виділенні і поглинанні на спаях ланцюга додаткового тепла при проходженні постійного струму. При цьому характер процесу (поглинання або виділення) залежить від напрямку струму.

Двадцять років по тому Вільям Томсон (а потім і лорд Кельвін) дав вичерпне пояснення ефектів Зеєбека і Пельтьє і взаємозв'язку між ними. Отримані Томсоном термодинамічних співвідношень дозволили йому передбачити третій термоелектричний ефект, названий згодом його ім'ям. Ефект Томсона полягає в перенесенні теплоти струмом, що протікає через однорідний матеріал, в якому створено градієнт температури. А кількість яку переносять теплоти пропорційно величині цього градієнта і силі струму, що протікає. Ефект відкритий в 1856.

Дані відкриття поклали основу розвитку самостійної області термоенергетики, яка займається як питаннями прямого перетворення теплової енергії в електричну (ефект Зеєбека), так і питаннями термоелектричного охолодження і нагрівання (ефект Пельтьє).

Важливо підкреслити, що у напівпровідниках існує доволі сильна залежить носіїв заряду від температури. У випадку, коли напівпровідник нерівномірно нагріт, збільшуеться концентрація носіїв заряду там, де вища температура, у цьому випадку виникає дифузійний потік носіїв заряду, бо температурний градієнт призводить до градієнту концентрації. Це може призвести до того, що електронейтральність порушиться. Поділу зарядів

перешкоджає те, що поділ зарядів породжує електричне поле. І це призводить до того, що то в ньому є об'ємне електричне поле E у випадку,коли в напівпровіднику є градієнт температури.

Можимо припустити, що електричний струм пропускається через подібний зразок під дією електричного поля E, що діє зовні. Якщо струм йде проти напряму внутрішнього поля E ', то зовнішнє поле повинно здійснювати додаткову роботу, коли заряди переміщуються по відношенню до поля E'. Це призводе до виділення тепла. Якщо маємо спрямування струму по E ' (або зовнішнє поле E спрямоване по E '), то E' для створення струму робить роботу з переміщення зарядів. Маємо те, що коли внутрішнього поля E 'немає, зовнішнє джерело витрачає енергію більшу для підтримки струму, ніж у випадку, коли є внутрішнє поле E '. Провідник охолоджується тому, що робота поля E ' відбувається за рахунок енергії провідника. Це явище має назву ефекту Томсона і полягає у виділенні або поглинанні енергії, що обумовлене градієнтом температури.

Можна порахувати кількість тепла, виділяємого в обсязі dV:

$$dQ^T = -\tau(\nabla T \cdot \boldsymbol{j})dtdV \qquad (1.1)$$

де τ — коефіцієнт Томсона.

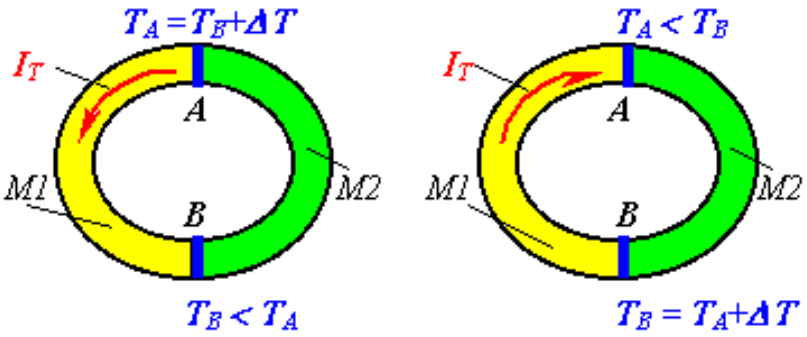
Ефект Зеєбека

До термоелектричних явищ відносяться ефекти Зеєбека, Пельтьє і Томсона. Ці явища знайшли широке застосування, зокрема ефект Зеєбека, покладений в основу виміру температур з допомогою термоелектричних термометрів.

Явище Зеєбека відкрито в 1821 р і полягає в тому, що в термопарах, спаи яких знаходяться при різних температурах, виникає термоелектрорушійна

сила (термо). Якщо температурний градієнт є уздовж провідника, то електрони на холодному кінці набувають менших енергії і швидкості, ніж на гарячому. А у напівпровідниках з температурою зростає і концентрація електронів провідності.

Маємо електричний ланцюг, який складений з різних провідників (М1 і М2). Якщо підвести контакти до різних температур (А, В), то виникає термоЕРС. Коли ланцюг замкнут, в ньому тече струм (Мал. 1.2).



Мал.1.2 Електричні кола з різних провідників.

Перша причина. Залежність рівня Фермі від температури в провідниках має важливе значення, хоча досить не сильно виражена. Якщо спаї термоелемента знаходяться у однаковій температурі, то різниці потенціалів компенсують один одного. При різній температурі спаїв неоднакові і контактні різниці потенціалів. Це веде до виникнення контактної термоерс. Контактна термоерс пов'язана зі зміною внутрішньої різниці потенціалів, яка розраховується за рівнянням (1.2).

$$\Delta\varphi_k = \frac{F_2 - F_1}{e} \qquad (1.2)$$

Де F_1, F_2 – становище рівня Фермі в першому і другому металах при даній температурі, е – заряд електрона.

ЕРС термопари дорівнює алгебраїчній сумі складових:

$$\varepsilon = \varepsilon_k - \varepsilon_\partial \tag{1.3}$$

Де ε_k - контактна складова ЕРС, ε_∂ - контактна складових ЕРС.

Величина контактної ЕРС пропорційна різниці температур:

$$d\varepsilon_k = d_{12}dT \tag{1.4}$$

диффузионна різниця потенціалів або дифузійна термоерс:

$$d\varepsilon_\partial = \beta_{12}dT\ d \tag{1.5}$$

$$d\varepsilon = d\varepsilon_k + d\varepsilon_\partial = (b_{12} - \beta_{12})dT \tag{1.6}$$

Алгебраїчна сума (1.6) зумовлює термоерс термопари

$$b_{12} + \beta_{12} = \alpha_{12} \tag{1.7}$$

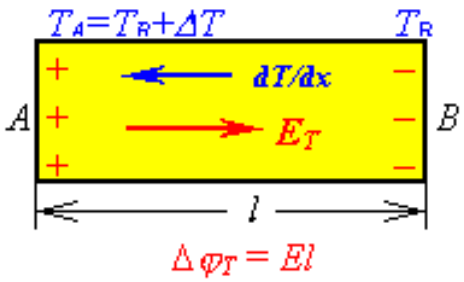
Формула (1.7) для невеликих різниць температур.

$$\varepsilon = \int_{T_2}^{T_1} d\,\varepsilon = \alpha_{12}\Delta T \tag{1.8}$$

$$\varepsilon = \int_{T_1}^{T_2} \alpha_{12}\,(T)dT \tag{1.9}$$

Друга причина. Через провідник буде йти постійний потік тепла у випадку, якщо градієнт температури постійний. В металах рухаються електрони і переносять тепло. Дифузний потік електронів спрямован проти боку зростання градієнта температури. Тому, кількість електронів на гарячому кінці буде

меньшою, а на холодному більшою. А електричне поле, що виникне всередині провідника, буде спрямоване проти градієнта температури, і це перешкоджатиме подальшому поділу зарядів (Мал. 1.3).



Мал. 1.3 Схема росподілу зарядів

Наявність градієнта температури створює постійну різницю потенціалів на його кінцях у рівноважному стані. Це визначається температурною залежністю і рухливістю носіїв заряду. В цьому випадку в обсязі металу виникає електричне поле.

У разі носіїв заряду зі знаком «+» холодний кінець зарядиться позитивно, а нагрітий кінець зарядиться негативно. Це призведе до зміни знака термоЕРС.

Ще одне джерело термоерс – це ефект захоплення електронів фононами. Виникає рух фононів коли має місце градієнт температури. Рух напрямлений від гарячого кінця до холодного. Коли происходит стикання із електронами, фонони рухаються разом з електронами. В результаті, біля холодного краю зразка концентрується негативний заряд (а на гарячому - позитивний) до тих пір, поки різниця потенціалів не врівноважує.

1.2 Ефект Пельтьє та елемент Пельтьє

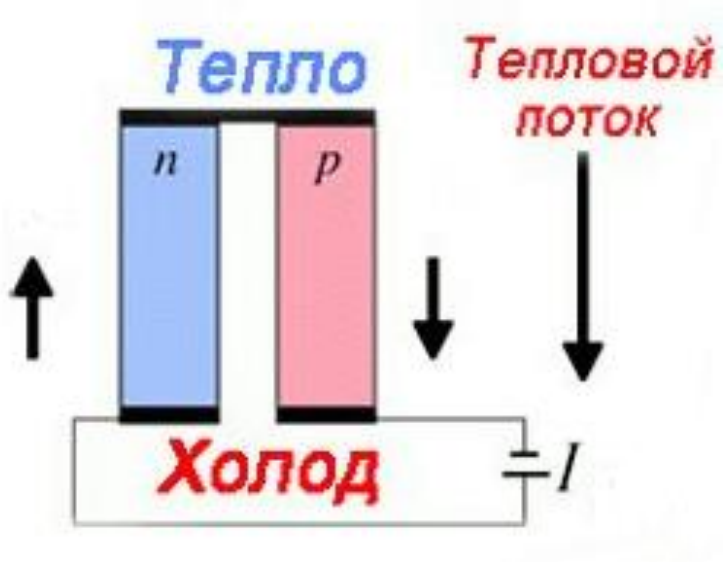
В основі усієї роботи лежить ефект Пельтьє та елемент Пельтьє . Це термоелектричне явище перенесення енергії при проходженні струму у місцях

контакту (спаяний) двох різнорідних напівпровідників або провідників, від одногонапівпровідників (провідника) до іншого.

Величина переміщеною енергії і напрямок її перенесення залежатьвід виду речовин, в першу чергу , що контактують, від напрямку та сили протікючого електричного струму.

Цей ефект був відкритий у 1834 році. Суть цього явища досліджувалася декількома роками пізніше - в 1838 році Ленцем, що провів свій експеримент, де він узяв краплю води та помістив її в поглиблення на стику вісмуту і сурми. Коли електричний струм проходив в одному напрямку крапля перетворювалася в лід, коли зінювався напрямок руху струму - лід танув (Мал. 1.4), що допомогло йому встановити, що в залежності від того який напрямок має в експерименті струм. Крім джоулева тепла виділяється та поглинається щось инще а саме додаткове тепло, якому дали назву тепла Пельтьє. Ефект Пельтьє протилежний ефекту Зеєбека.

Ефект Пельтьє більш сутевий у напівпровідників, їх властивість використовується в елементах Пельтьє .



Мал 1.4. Загальна схема роботи елемента Пельтьє

Виникає явищє Пельтьє тому, що коли створюється внутрішнє контактне поле контактною різницею потенціалів на контакті напівпровідників. Та коли через контакт протікає електричний струм, то поле перешкоджає або сприяє проходженню струму (Мал 1.4.). У тому випадку, коли струм йде уздовж напрямку контактного поля, то це поле буде його підтримувати, яке і здійснює роботу по переміщенню зарядів. Для цього необхідна енергія. Вона відбирається у речовини. Це призводить до зниження температури у місці контакту.

На контакті, крім джоулева тепла, виділенется додатковогє тепло Пельтьє QP при одному напрямку струму і його поглинання при зворотному напрямку. Величина цього тепла, QP і знак його залежать від самої сили струму, типу та виду речовини та часу проходження, що контактцють:

$$dQ_p = \pi_{12} I dt \tag{1.10}$$

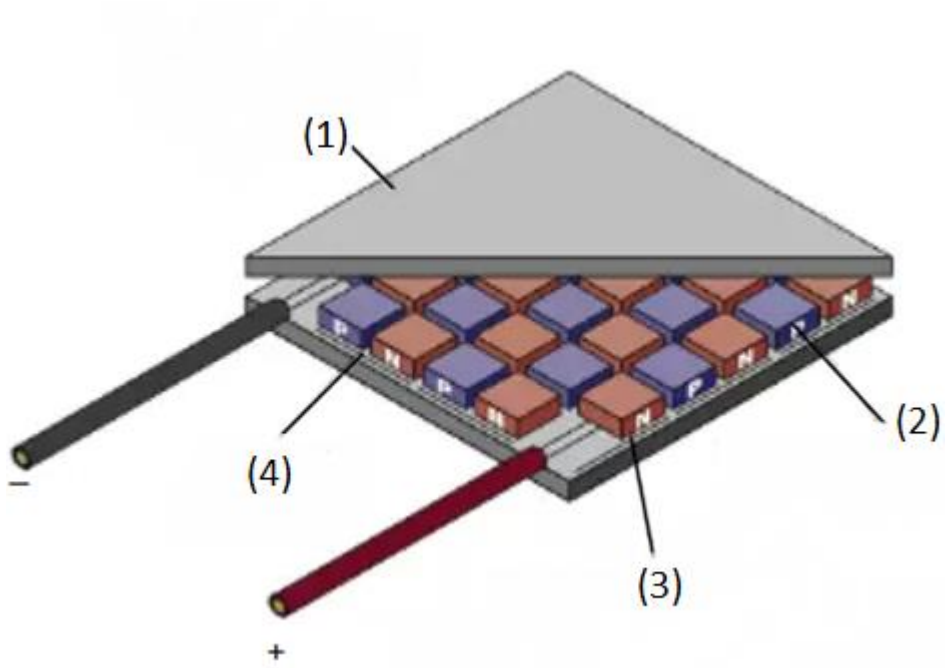
Тут π_{12}=π_1-π_2 - коефіцієнт Пельтьє для даного контакту, пов'язаний з коефіцієнтами Пельтьє π_1 та π_2 контактуючих матеріалів.

Із законів термодинаміки випливає, що коефіцієнт Пельтьє і коефіцієнт термоерс а пов'язані співвідношенням:

$$\pi = \alpha \text{ T} \tag{1.11}$$

Причиною того що виникає ефект Пельтьє на контактій зоні напівпровідників (два полупрводніка n-типу або два полупрводніка p-типу) є носії струму, у яких у різних контактах різна середня енергія. Ця енергія залежить від деяких параметрів: спектра, концентрації та механізму розсіяння заряду.

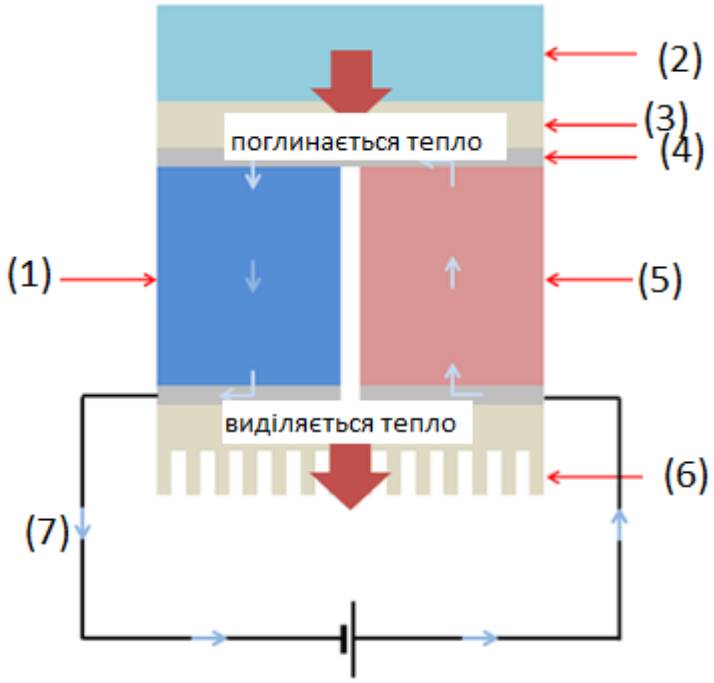
Модуль Пельтьє представляє собою обігрівач або холодильник. Він послідовно з'єднані напівпровідниками p- і n-типу (Мал 1.4). Які утворюють p-n- і n-p-переходи. В результаті утворення перепаду температур між радіаторами коли проходить струму певної полярності:



Мал 1.4. Схематично зображений модуля Пельтьє

Де 1 – керамічна оболонка; 2 – напівпровідник p-типу;

3 – напівпровідник n-типу; 4 - проводяща пластина;



Мал. 1.5 схематична робота модуля Пельтьє

один радіатор охолоджує, інший радіатор нагріває. Він служить для відводу теплоти.

1 - напівпровідник; 2 - об'єкт для охолодження; 3 - кераміка; 4 - металева плівка; 5 - напівпровідник; 6 - теплообмінник; 7 - електричний потік;

Модуль Пельтьє зазвичай забезпечує вагомий перепад температури. Перепад становить декілька десятків градусів. Для того, щоб збільшити різницю температур можно скористатися каскадним включення модулів Пельтьє. Але потрібно забезпечити їх охолодження.

Головна характеристика модуля Пельтьє - це ефективне охолодження. Нижче представлена формула:

$$Z = \alpha 2/(rl) \qquad (1.12)$$

де α– коефіцієнт термоерс; l – напівпровідникова питома теплопровідність.

r – опір;

Де Z – це функція температури. Існує засіб змінювати її показники. Можна ввести в напівпровідник деякі домішки.

1.3 Основні розрахункові співвідношення для охолоджуючого термоелемента

При розгляді роботи термоелемента, при поширенні постійного струму, кількість теплоти, яке виділяє гарячий спай, буде більше теплоти, яку поглинає холодний спай, на величину витрат електроенергії:

$$Q_{\text{г}} = \text{P} + Q_0 \tag{1.13}$$

Енергія витрачається на роботу з переміщення зарядів. Таким чином:

$$\text{A} = Q_{\text{г}} - Q_{\text{х}} = \alpha T_{\text{г}} I - \alpha T_{\text{х}} I = \alpha I (T_{\text{г}} - T_{\text{х}}) \tag{1.14}$$

α – коефіцієнт диференціальної термоЕРС. Він залежить від фізичних властивостей матеріалу і його температури; $T_{\text{г}}$- температура, при якій відводиться тепло (постійна); $T_{\text{х}}$- постійна температура, яка підводиться до гарячого джерела; I – сила тока.

Відомо, що можна порахувати холодильний коефіцієнт за формулою:

$$\varepsilon = \frac{Q_x}{A} = \frac{\alpha T_x I}{\alpha I (T_{\text{г}} - T_x)} = \frac{T_x}{T_{\text{г}} - T_x} \tag{1.15}$$

У нашому випадку виникають втрати двох типів: джоулева втрати (через поширення струму по провіднику) і теплові (за рахунок теплопровідності).

Джоулеві втрати:

$$Q_{\text{дж}} = I^2 R \tag{1.16}$$

R – опір.

Теплові втрати: $Q_m = \lambda(T_г - T_x)$

λ – середній питомий коефіцієнт теплопровідності.

Половина джоулевих втрат йде на нагрів гарячої сторони, половина на нагрів холодної. Тому при підрахунку холодопроизводительности термоелемента будемо враховувати тільки втрату на нагрів холодної сторони елемента. Звідси коефіцієнт 0.5

Можна отримати холодопроизводимість термоелемента. Врахуємо втрати.

$$Q_0 = \alpha T_x - 0{,}5I^2R - \lambda(T_г - T_x) \quad (1.17)$$

Аналогічно для теплоти, що відводиться від гарячого спаю.

$$Q = \alpha T_г I - 0{,}5I^2R - \lambda(T_г - T_x) \quad (1.18)$$

Можна порахувати роботу:

$$A_{ц.д} = Q - Q_0 = \alpha I(T_г - T_х) \quad (1.19)$$

Отже, отримаємо холодильний коефіцієнт холодильної машини

$$\varepsilon_д = \frac{\alpha T_x - 0{,}5I^2R - \lambda(T_г - T_x)}{I^2R + \alpha I(T_г - T_x)} \quad (1.20)$$

Для нашої роботи цікаво буде порахувати, при якому струмі холодильний коефіцієнт досягає максимальне значення:

$$I = \frac{\alpha(T_г - T_x)}{R[\sqrt{1 + 0{,}5Z(T_г + T_x)} - 1]} \quad (1.21)$$

Оскільки термоелектрики характеризуються добротністю Z, термоелектричний ефективність ZT (або критерій Іоффе) зразка з p-n-переходом висловлюють через коефіцієнт термоерс α, опір R і теплопровідність K діода:

$$ZT = \frac{\alpha^2 T}{KT} \tag{1.22}$$

або

$$Z = \sigma\alpha^2/k \tag{1.23}$$

Для простоти обчислення можна ввести коефіцієнт М:

$$M = \sqrt{1 + 0{,}5Z(T_\text{г} + T_x)} \tag{1.24}$$

Нарешті, отримуємо остаточну формулу, підставляючи у вираз для струму при максимальному значенні холодильного коефіцієнта в холодильний коефіцієнт холодильної машини:

$$\varepsilon_{max} = \frac{T_x}{T_\Gamma - T_x} \frac{M - \frac{T_\Gamma}{T_x}}{M+1} \tag{1.25}$$

Зауважимо, що холодильний коефіцієнт залежить від різниці температур ($T_\Gamma - T_x$), створюваної термоелектричною батареєю. Цю величину нам і належить вивчить в даній роботі.

1.4 Застосування термоелектричних пристроїв

Така перспективна область не залишається без уваги, наукові лабораторії різних країн працюють в цій галузі. На сьогоднішній день такі провідні компанії, як SONY, PHONONIC, HOTFROST, PHYSORG, ARDUINO, NEVA TECHNOLOGY (Мал.1.6.) та інші використовують та розробляють нові пристрої на основі елемента Пельтьє.



Мал.1.6. Деякі компанії, що працюють з елементами Пельтьє

Одним з новітніх винаходів на основі елемента Пельтьє став запатентований співробітниками компанії Sony міні-кондиціонер для кишені на спині(Мал.1.7). Винахід поки не вийшло на великий ринок.



Мал.1.7. міні-кондиціонер для кишені на спині

Ефект Пельтьє може використовуватися як для охолодження, так і для нагріву. Досягається це простим зміною полярності напруги живлення.

Мабуть, найбільш масово елемент Пельтьє застосовуються в невеликих переносних і Автохолодильники, де теплове навантаження - без припливу теплоти ззовні і дозволяє вирішувати завдання охолодження елементами малої потужності.

Далі можна відзначити пристрої охолодження радіоелектронних компонентів і різні пристрої термостатирования зважаючи легкості прецизійного електронного регулювання температури як для нагріву, так і для охолодження наприклад, як CPU-кулер с элементом Пельтье (Мал.1.8.).



Мал.1.8. CPU-кулер

З огляду на оборотності термоелектричних ефектів, елемент Пельтьє може використовуватися і в якості генератору струму. Далеко від зручностей цивілізації це може бути один з небагатьох доступних джерел електричної енергії, наприклад, для підзарядки акумуляторів або прямого харчування радіоелектронної апаратури або інших пристроїв. Природно, не кожен

термоелемент може бути використаний для цих цілей. Досить широко використовуються пристрої, в яких різниця температур створюється між зовнішньою металевою оболонкою, що нагрівається відкритим вогнем (багаттям), і внутрішньою оболонкою, охолоджувальною водою. «Холодна» сторона буде обмежена температурою кипіння води, тому такий термоелемент повинен бути розрахований на робочу температуру 500-600 ° К.

Термоелектрогенератор широко застосовуються в космічній техніці, де температура «гарячої» сторони підтримується радіоізотопним джерелом.

Втім, що імплантуються в тіло людини кардіостимулятори також забезпечені термоелементами з радіоізотопним джерелом для створення різниці температур.

Можна згадати і можливість каскадування елементів охолодження, шляхом «побудови піраміди» можна домогтися різниці температур, не досяжною за допомогою одного елемента. Правда, за це потрібно буде заплатити високу енергетичну та інженерну ціну - кожен наступний каскад повинен бути відповідної потужності, щоб створювати різницю температур з урахуванням корисної і повної теплового навантаження попереднього каскаду, а на останньому етапі все зросле в геометричній прогресії тепло ще треба і відвести.

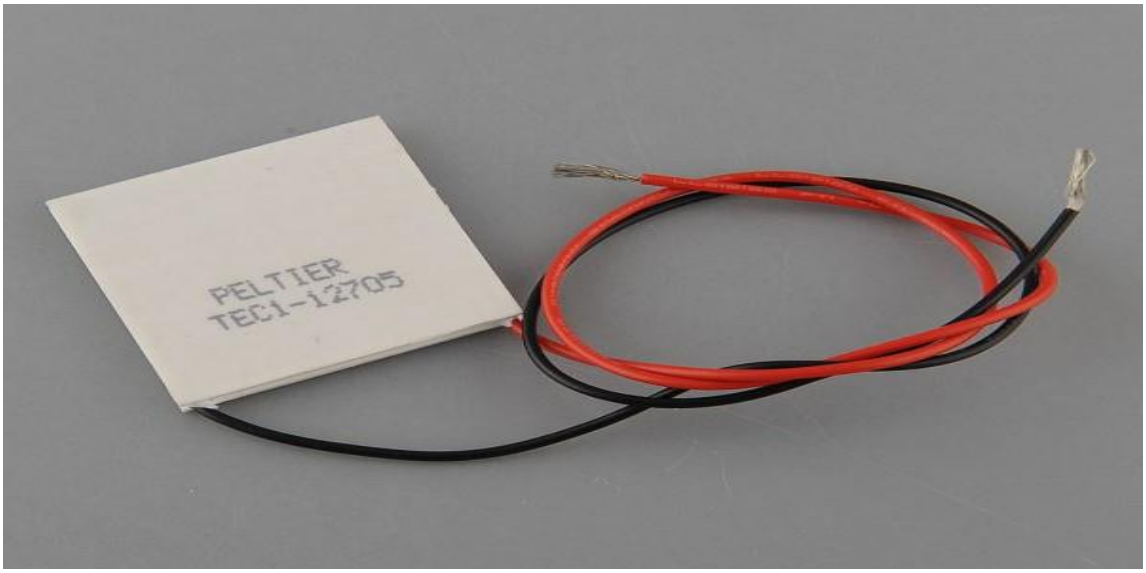
1.6. На майданчиках сучасних інтернет-магазинів можна зустріти найрізноманітніші термоелектричні модулі Пельтьє.

Елементи відрізняються своїми температурними характеристиками, електричними параметрами, розміром, а також кількістю термопар, що містяться всередині модуля. Дані модулі застосовуються як в портативних холодильниках і кондиціонерах, так і в аматорських виробах.

Варто відзначити, що модулі Пельтьє бувають одношаровими і багатошаровими, так що питання монтажу вирішується досить вільно. В рамках даної статті ми розглянемо кілька видів найбільш поширених термоелектричних модулів Пельтьє, розберемося в їх пристрої і порівняємо параметри.

Тут зображено типовий одношаровий термоелектричний модуль Пельтьє (Мал 1.9.). Дві керамічні пластини (з оксиду алюмінію) товщиною менше 1 мм встановлені у верхній і в нижній частині модуля. Вони, подібно до друкованої плати, служать опорою для внутрішніх термопар і каркасом для всього модуля.

Керамічні пластини мають високу теплопровідність, відрізняються міцністю і вогнестійкістю. До даних пластин приклеєні мідні підкладки, до яких припаяні напівпровідникові термопари, з'єднані послідовно.



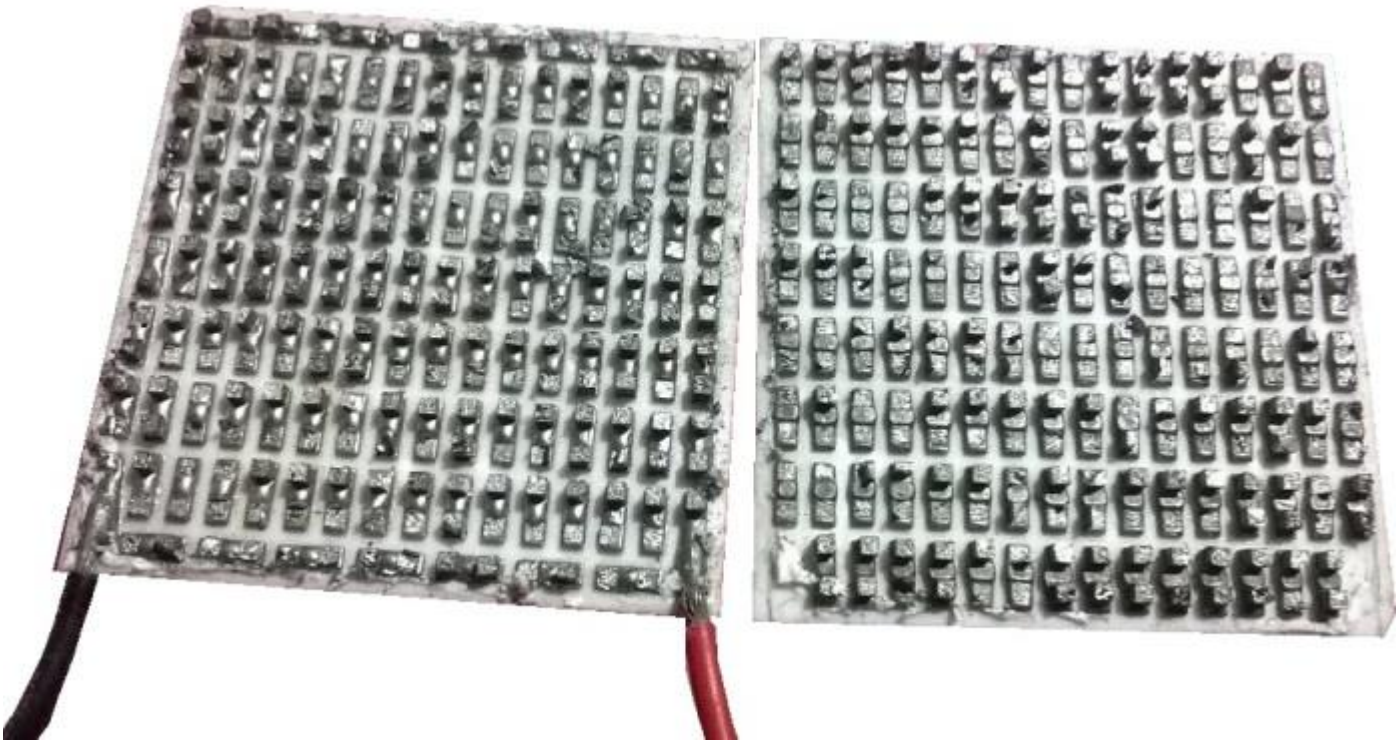
Мал 1.9. термоелектричний модуль Пельтьє



Мал 1.10 термоелектричний модуль Пельтьє

Пайка напівпровідникових термопар, при промисловому виробництві модулів Пельтьє, здійснюється легкоплавким припоєм на спеціальному обладнанні при температурі в районі 145 ºС, так як напівпровідникові елементи не допускають перегріву. В результаті модулі виходять нерозбірними, а по краях зазвичай наноситься силіконовий герметик.

Якщо заради цікавості все ж розібрати такий модуль (Мал 1.11), то можна чітко розгледіти кубики різнорідних напівпровідників (n-типу і p-типу), припаяні до мідних підкладок, і з'єднані один з одним в послідовний ланцюг змійкою. Легко помітити, що спочатку на мідні підкладки було завдано легкоплавкий припій, а потім встановлено складові частини термопар.



Мал 1.11 термоелектричний модуль Пельтьє в розібраному вигляді

У такому виконанні як на наведеному фото, виходить 127 p-n- і 127 n-p-переходів, причому всі n-p-переходи (для напряму струму від плюса до мінуса) розташовані з одного боку модуля, а все p-n-переходи - з іншого його боку.

На тих мідних шинках де струм йде в напрямку n-p-переходу, теплота поглинається (відбувається інтенсивне охолодження даної боку модуля), а там де струм йде в напрямку p-n-переходу - ця ж (теоретично) теплота виділяється. Таким чином модуль Пельтьє переносить тепло з одного керамічної пластини - на протилежну.



Мал 1.12 модулі Пельтьє TEC1-12705

Найбільш популярний одношаровий модуль TEC1-12705 (Мал 1.12), вартістю близько $ 2, користується особливим попитом на аліекспресс. Габаритні розміри цього модуля - 40 на 40 мм, товщина - 3,8 мм. Це 127 з'єднаних послідовно термопар. Вони дають при температурі навколишнього середовища в 25ºС - внутрішній опір модуля від 2,5 до 2,8 Ом.

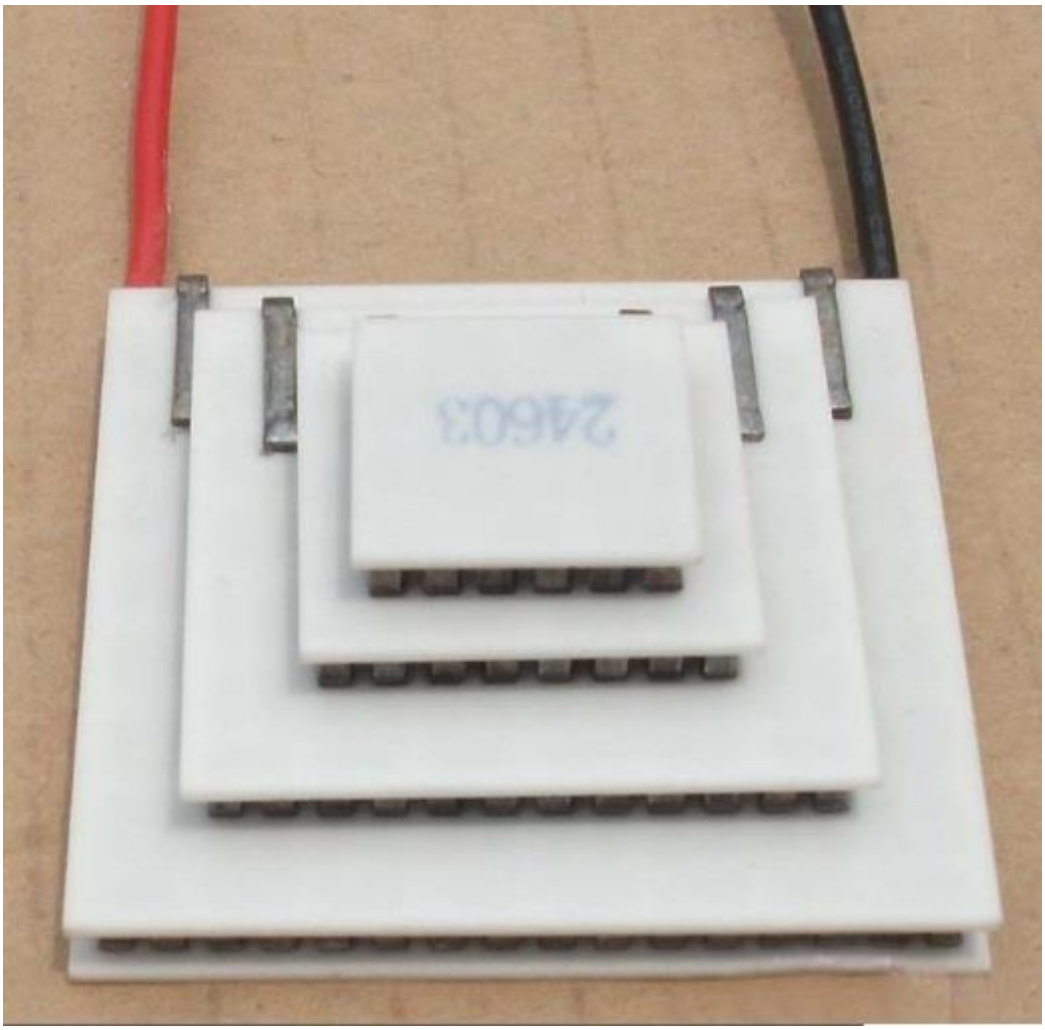
Робочий струм пристрою становить від 4,3 до 4,6 А при харчуванні номінальною напругою 12 вольт. Максимально ж допустима напруга становить 15,4 вольта при критичному струмі в 5,8 А. Гранично досяжна різниця температур становить 65 ºС, а максимальна холодильна потужність 42 Вт. Діапазон робочих температур модуля - від -55 до 83 ºС.



Мал 1.13 модуль TEC2-25408

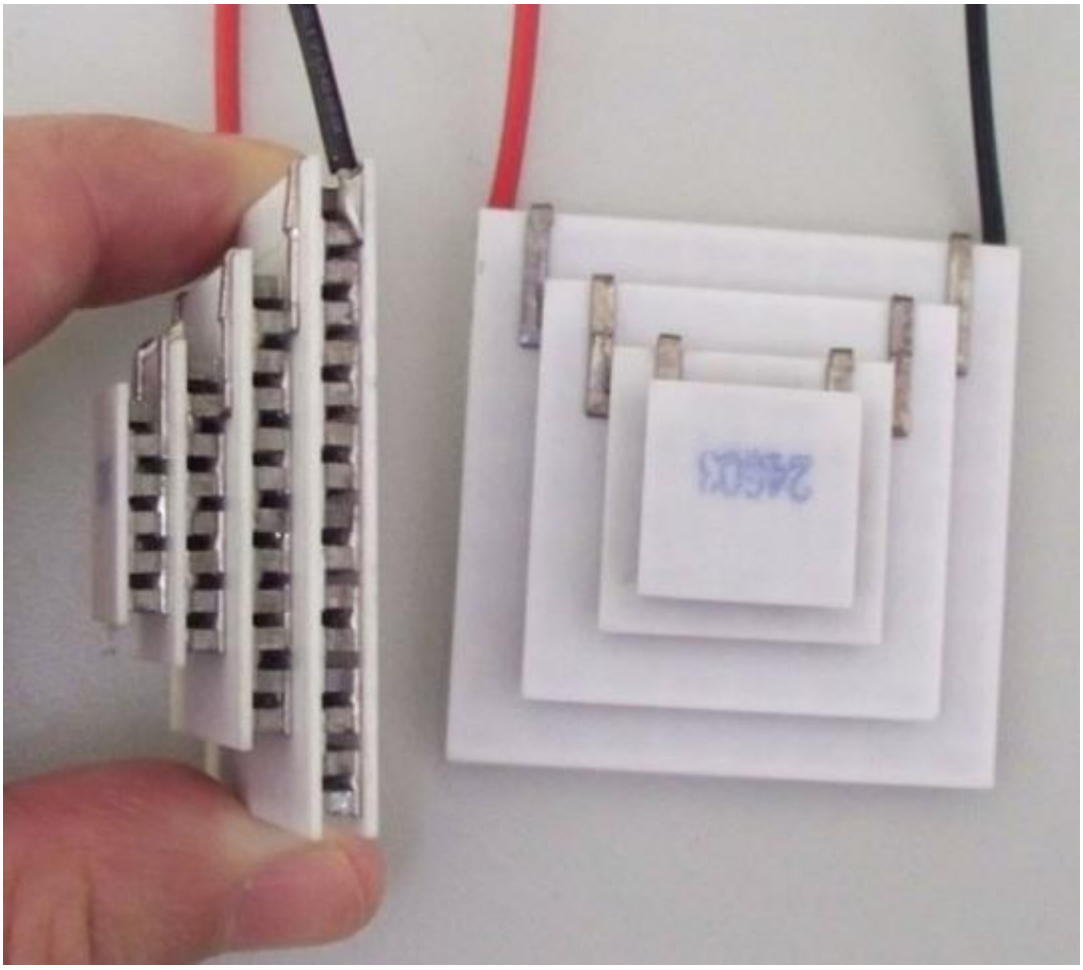
А ось і двошаровий модуль TEC2-25408 (Рис 1.13), що складається по суті з двох модулів TEC1-12704, з'єднаних паралельно, але він має розміри 40 на 40 мм і товщину 8 мм. Такий двошаровий охолоджувач здатний дати до 70 Вт холодильної потужності при споживанні 96 Вт електричної потужності.

Внутрішній опір (у вимкненому стані) доходить до 1,5 Ом. Гранично досяжна різниця температур в робочому режимі складає 65 ºС. Очевидно, при одній і тій же граничної різниці температур з модулем TEC1-12705, двошаровий модуль TEC2-25408 буде охолоджувати (перекачувати тепло) в півтора рази швидше.



Мал 1.14 модуль TEC4-24603

Далі представлений чотиришаровий модуль TEC4-24603 товщиною 13,6 мм і шириною 40 мм (Мал 1.14), розрахований на напругу 14,6 вольт і номінальний струм в 3 А. При споживаній електричної потужності в 44 Вт, даний модуль здатний забезпечити холодильну потужність 6 , 8 Вт і різницю температур до 107 ºС.



Мал 1.15 модуль TEC4-24603

Складові елементи включені тут послідовно. Як і будь-який модуль Пельтьє, дана чотиришарова модель не допускає застосування без радіатора більш секунди.

Нарешті, шестишаровий модуль Пельтьє TEC6-60506, розрахований на номінальну напругу 30 вольт і струм 6 А. При ширині в 62 мм і товщиною 23 мм, даний модуль електричною потужністю 180 Вт здатний забезпечити різницю температур до 100 ° С з холодильною потужністю в 10 Вт . Унікальність такого модуля в тому, що його можна застосувати в установках, призначених для глибокої заморозки.

1.6. Патенти

Патент №2433506 - Спосіб виготовлення модулів Пельтьє, а також модуль Пельтьє.

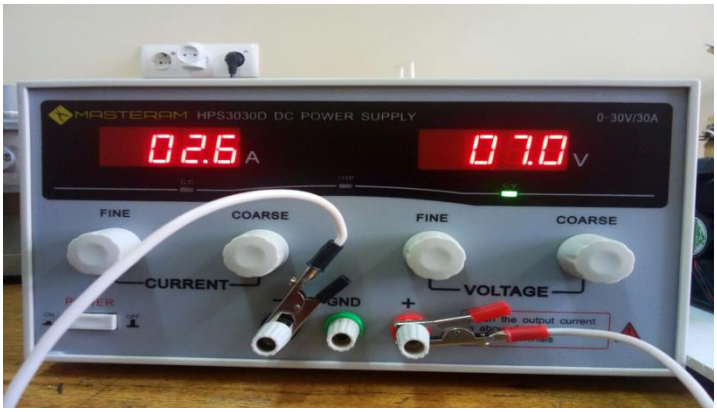
Винахід відноситься до термоелектрики, а саме до виготовлення модулів Пельтьє з розташованими між двома підкладками декількома елементами Пельтьє. Сутність: елементи Пельтьє при виготовленні з'єднують на струмопідвідної стороні за допомогою спікання шару або приварювання спеканнем з контактною поверхнею. Причому виготовлення елементів Пельтьє і приварювання спеканием здійснюють в ході спільної операції з використанням маски, що містить безліч отворів. Маску наносять відповідно на підготовлену керамічну підкладку з контактними поверхнями таким чином, що кожен отвір знаходиться над контактною поверхнею. Отвори заповнюють матеріалом для виготовлення елементів Пельтьє, який потім шляхом спікання і додатки тиску перетворюють в елементи Пельтьє. При цьому отвори заповнюють матеріалом для виготовлення елементів Пельтьє в вигляді порошкової суміші. Спікання і приварювання спеканням здійснюють за допомогою іскроплазменного способу спікання при додатку тиску спікання. Технічний результат: спрощення виготовлення, поліпшення термічних властивостей і ефективності модуля.

Розділ 2. Проведення експериментів.

2.11-ша серія експериментів.

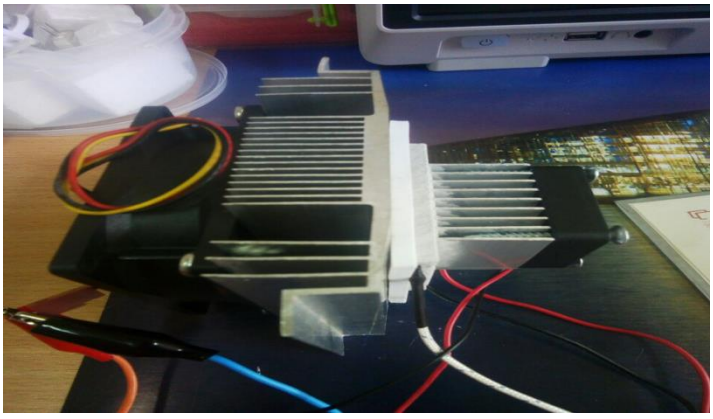
В ході експерименту був зібраний ланцюг (Рис 2.3) складається з:

1. Генератора HPS3030D DC POWER SUPPLY (Мал 2.1)



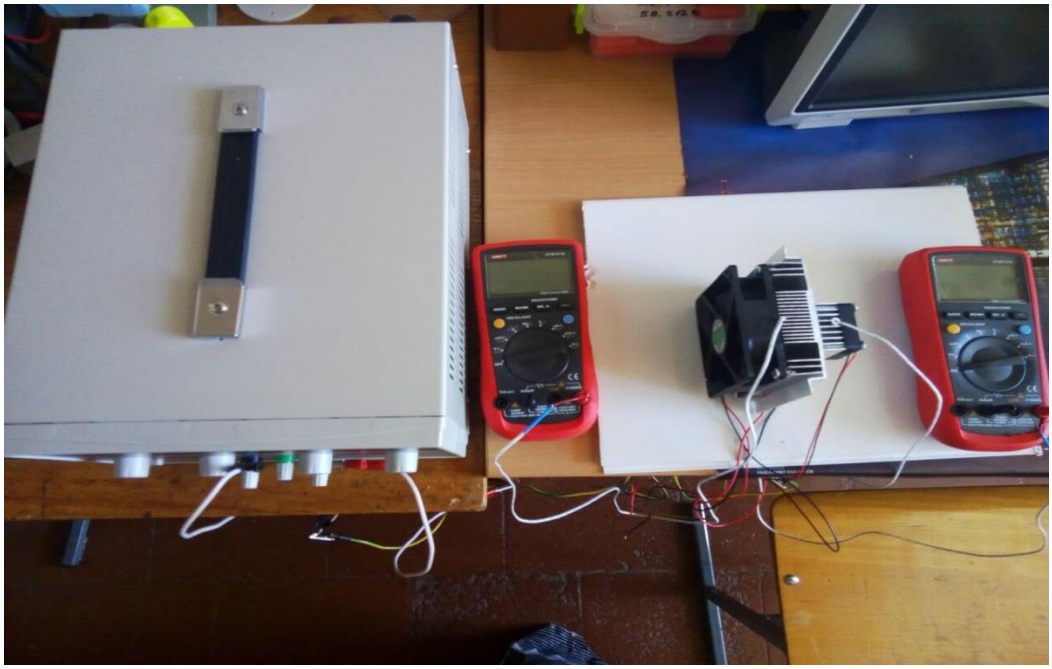
Мал 2.1 Генератор HPS3030D DC POWER SUPPLY

2. Елемента Пельтьє з радіаторами



3 Мал 2.2 Елемент Пельтьє з радіаторами

4 2х мультиметрів, що вимірюють температуру на гарячії та холоднії сторонах елементу Пельтьє



Мал 2.3 Експериментальний стенд для дослідження ефективності елемента Пельтьє

Робота полягала у вивченні ефективності елемента в різних режимах.

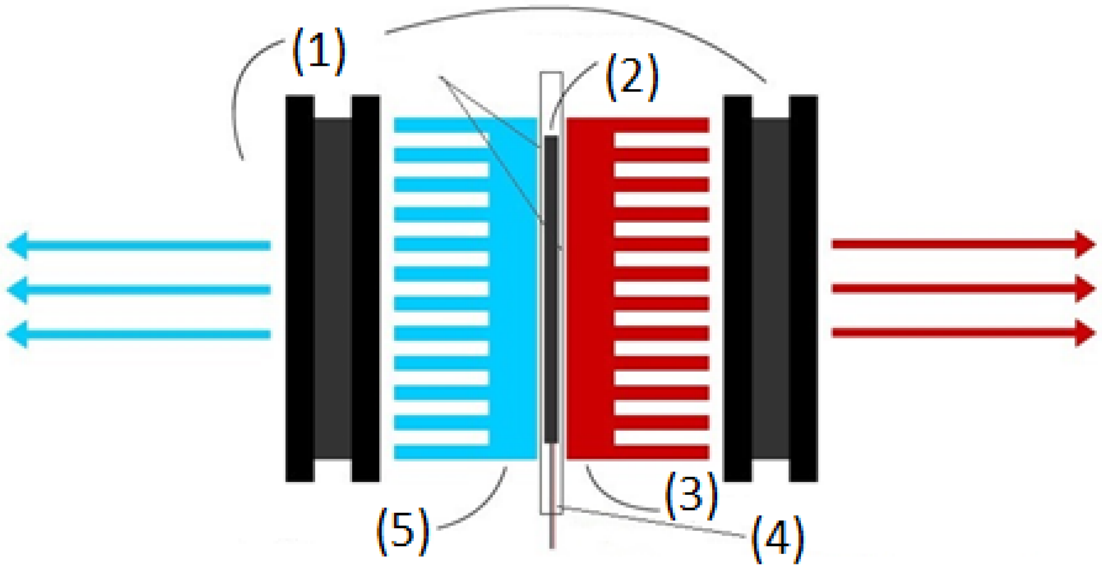
Перший експеримент був проведений з використанням двох воздуховідводів з різних сторін елемента - вентилятор 90 мм на гарячу сторону елемента і вентилятор 40 мм на холодну сторону.

На схемі (Мал 2.4) зображено 1 – кулера, 2 - модуль Пельтьє, 3 - гарячий радіатор, 4 - теплоізоляційна прокладка, 5 - холодний радіатор.

У всій серії експериментів було притримано час в кількості 1 хвилини для встановлення температури.

Відповідно до зазначених вище приладів, в експерименті вимірювалися:

1. Сила струму
2. Напруга
3. Температура на гарячій стороні елемента
4. Температура на холодній стороні елемента

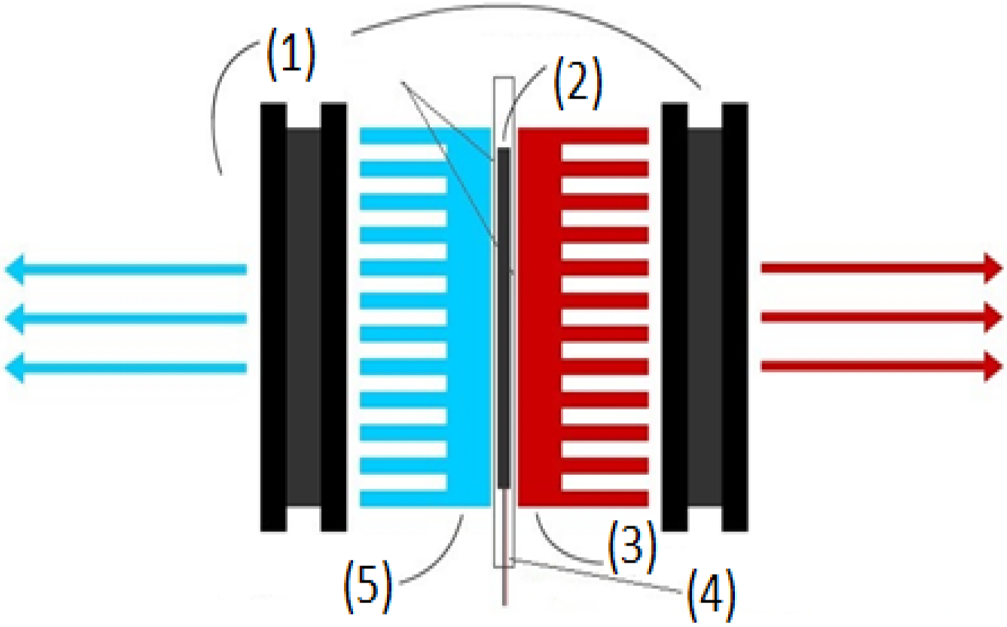


Мал 2.4 Схема зібраних елемента Пельтьє з радіаторами і кулерами з двох сторін елемента

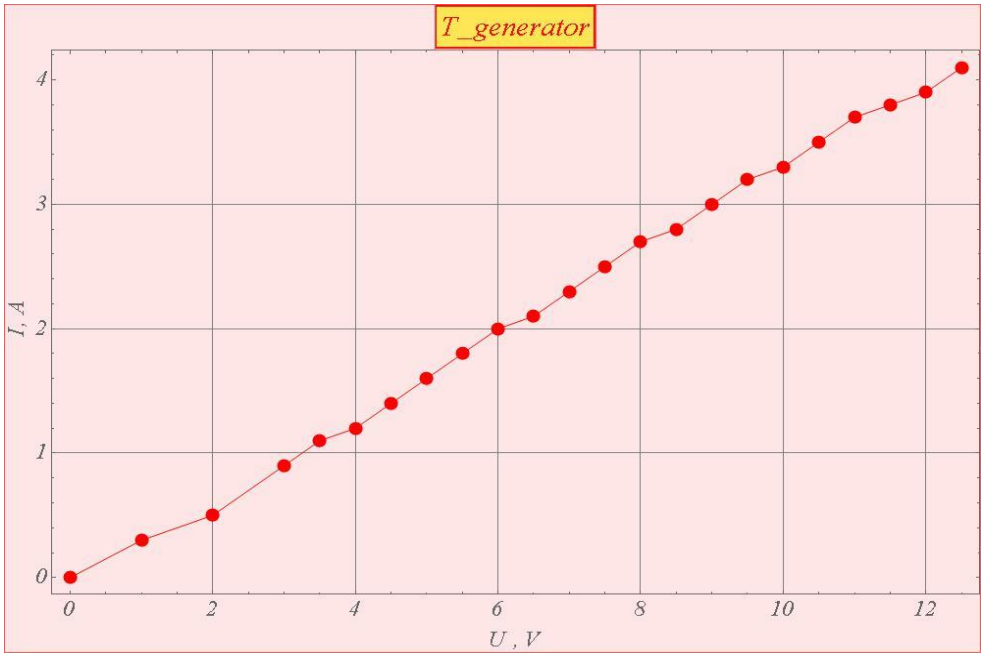
Починаючи з «0» сили струму і напруги, напруга підвищували по 1 В до 3 В і далі по 0.5 В до 12.5 В.

У цьому конфігурації тепловідведення температура на холодній стороні пластини знизилася до 1 градуса Цельсія при напрузі в 7В і залишалася незмінною до показника в 9.5 В. Максимум температури (46) приходить на максимальну потужність.

При таких результатах можна очікувати нелінійну залежність сили струму від напруги, але на графіку бачимо зворотне.



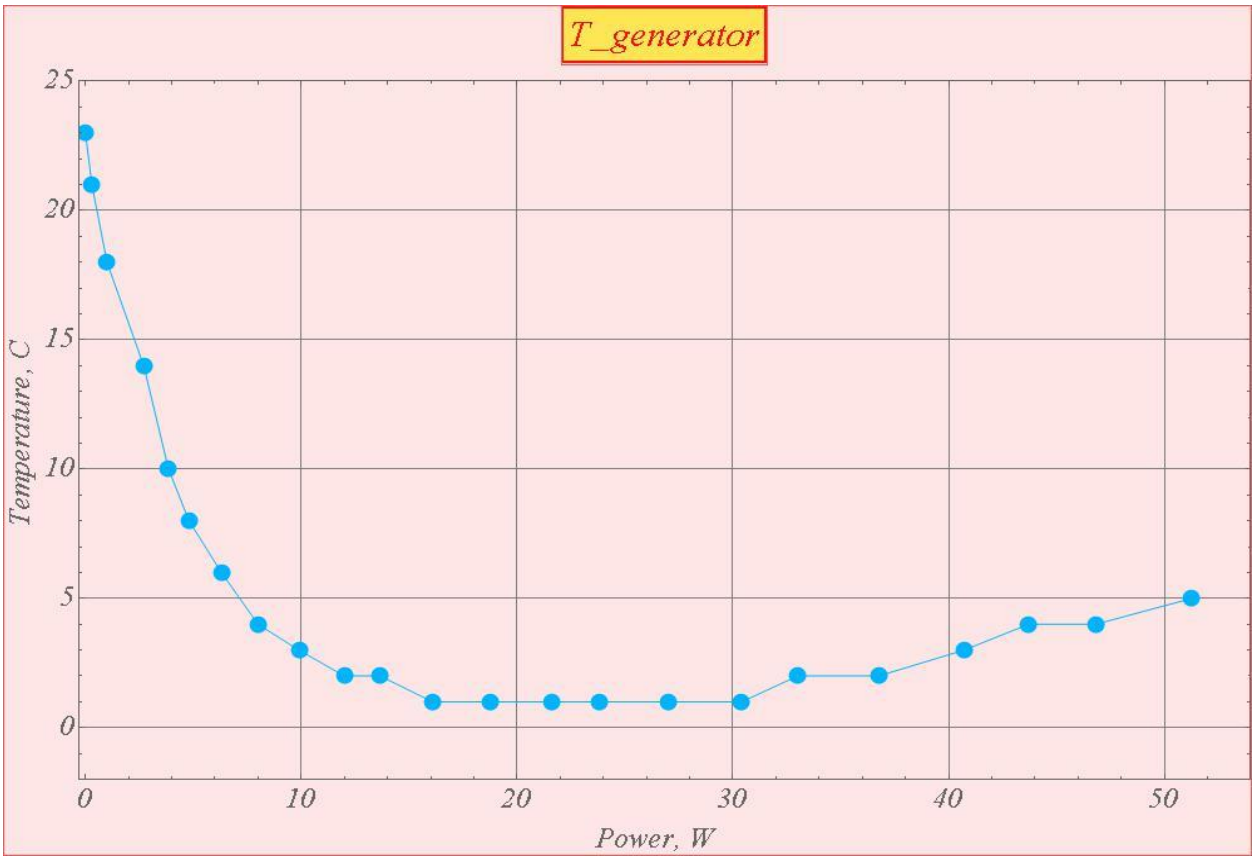
Мал 2.5 Схема зібраних елемента Пельтьє з радіаторами і кулерами з двох сторін елемента



Мал 2.6 Вольт-амперна характеристика

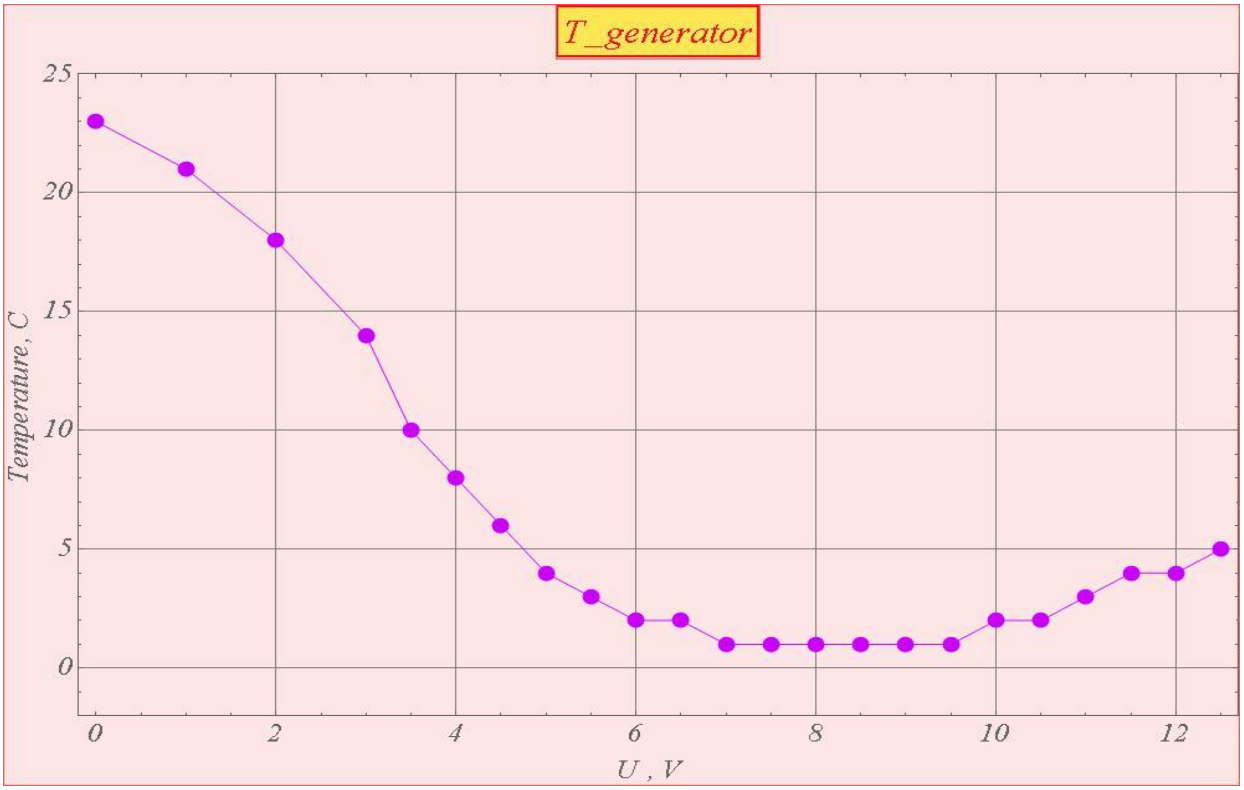
Можна зробити висновок, що оптимальною напругою є 7-9.5 В, що суперечить рекомендаціям по експлуатації, що зупинилися на 12 В. Це ж можна помітити на графіках залежності температури від напруги

На графіку залежності температур від потужності можна побачити, що оптимальна потужність лежить в межах від 15 до 30 Вт.



Мал 2.7 Графік залежності температури від потужності

Те ж видно і на графіку різниці холодної та гарячої температур сторін елемента Пельтьє (Мал 2.8)



Мал 2.8 Графік залежності температури від напруги

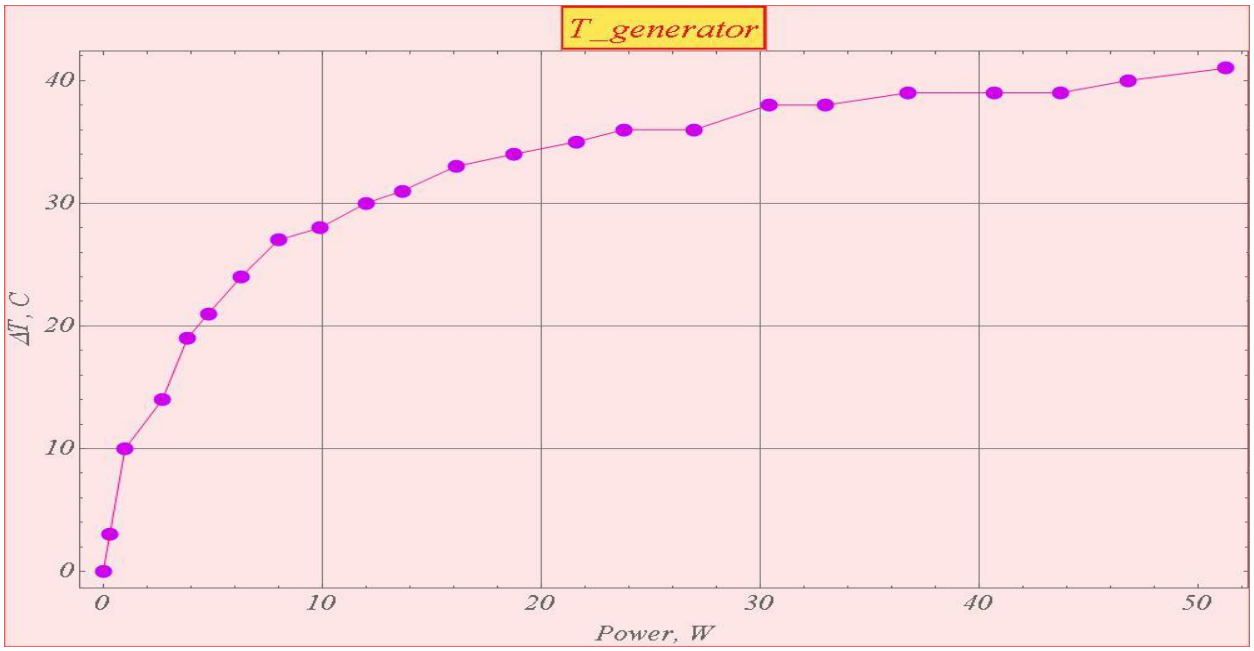
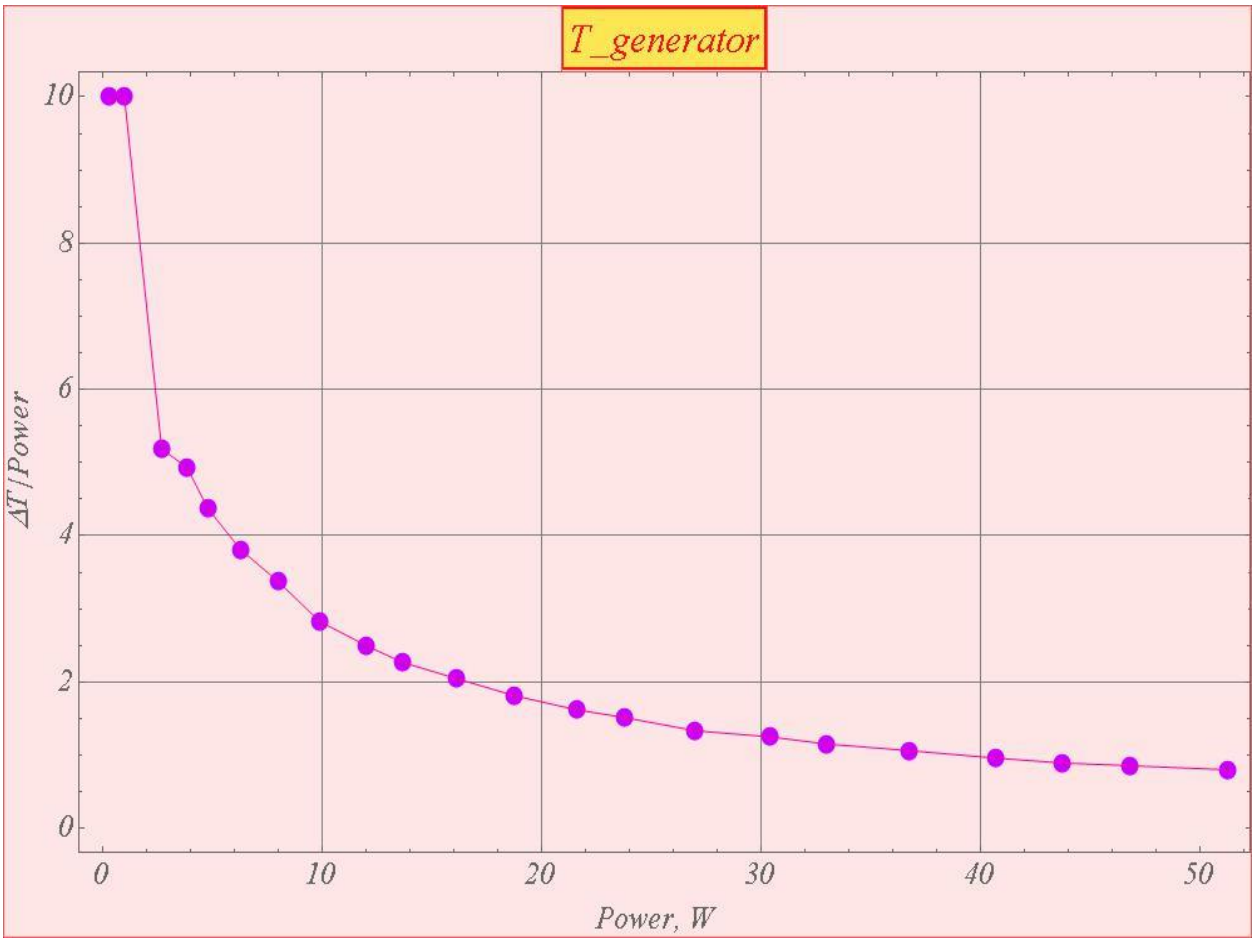


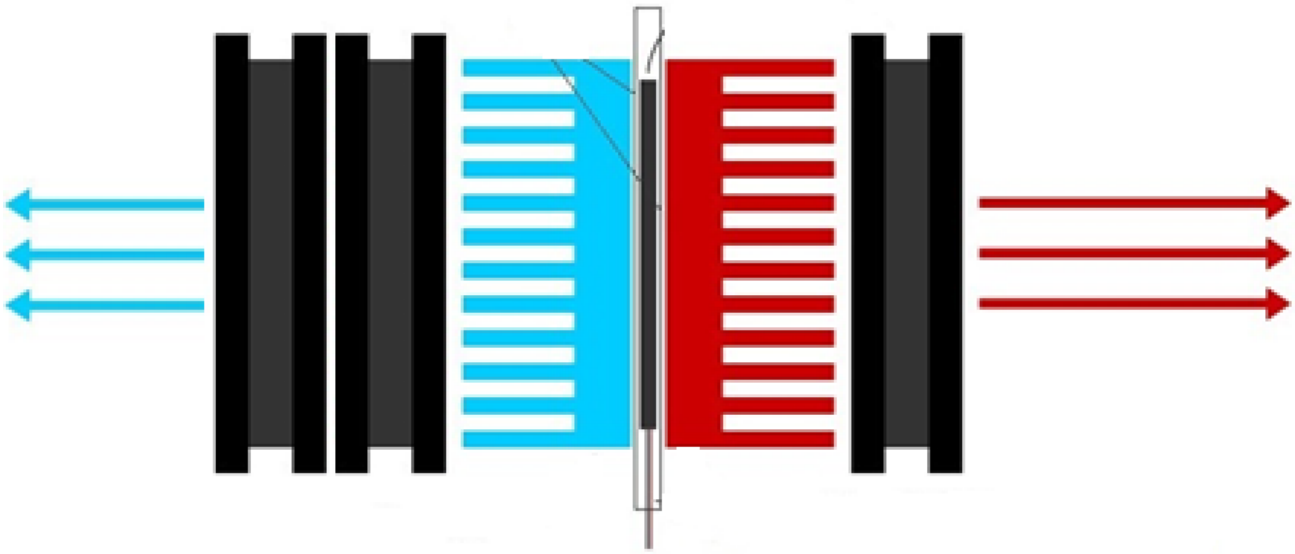
Рис 2.9 Графік залежності різниці температур від потужності

Аналогічно на графіку залежності відносини різниці температур до потужності від потужності



Мал 2.10 Графік залежності питомої різниці температур від потужності

Також досліджувався режим, при якому на гарячій стороні елемента, як і раніше встановлений вентилятор 90мм, а на холодній два вентилятора по 40мм. (Мал 2.11).



Мал 2.11 Схема стенду елемента Пельтьє з 2ма кулерами на холодній стороні і кольором на гарячій стороні

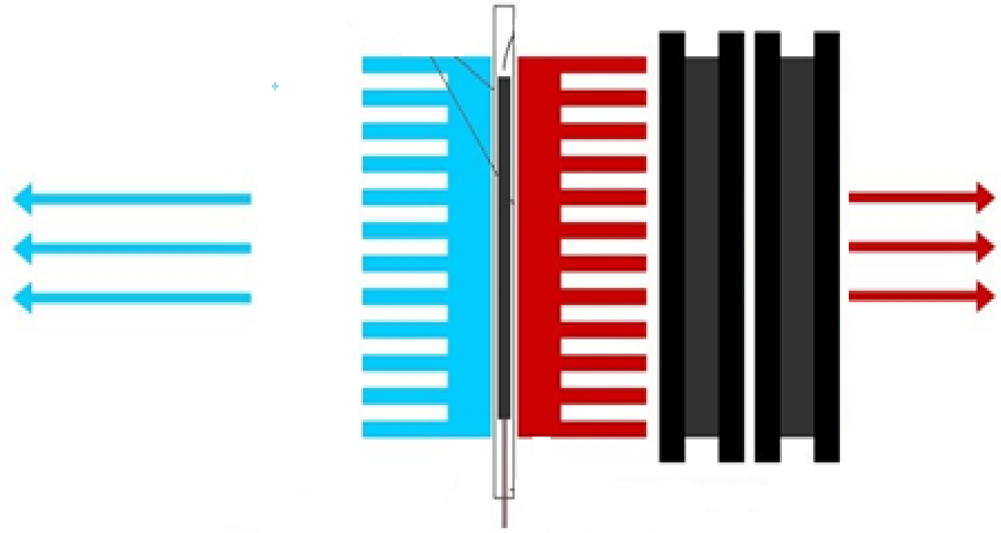
Режим, як і слід було очікувати показав вищий ефект щодо відведення холодного потоку повітря. При цьому температура холодної сторони елемента знизилася до 4 градусів Цельсія. Можна зробити висновок, що пластина віддала більше холоду навколишньому середовищу. Найкращий ефект спостерігався при тих же параметрах потужності. Температура гарячої сторони елемента Пельтьє збільшилася незначно.

При проведенні експерименту з одним вентилятором 90мм на гарячій стороні елемента Пельтьє була вимірюється мінімальна температура на холодній стороні елемента складова -4.5 градусів Цельсія. Така температура була помічена на показниках в 11.5 - 12.5 В. Можна зробити висновок, що без вентилятора, що відводить холод від холодної сторони елемента. Сам елемент дійсно охолоджується найбільш при підвищенні потужності. Але для

ефективної експлуатації елемент повинен віддавати холодну температуру деякого об'єму простору, а не концентрувати в одній точці.

Температура на гарячій стороні пластини опускається на один градус.

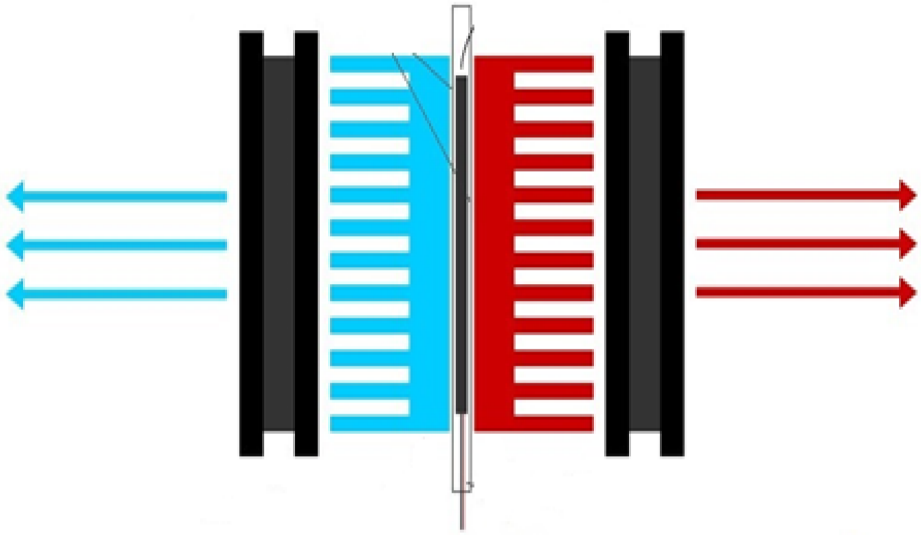
При спробі більшої віддачі температури з гарячою боку і отриманні відповідно більш низьких температур з холодної сторони елемента було, використано 2 вентилятора на гарячу сторону елемента по 90 мм кожна.



Мал 2.12 Схема стенду елемента Пельтьє з 2ма кулерами на гарячій стороні

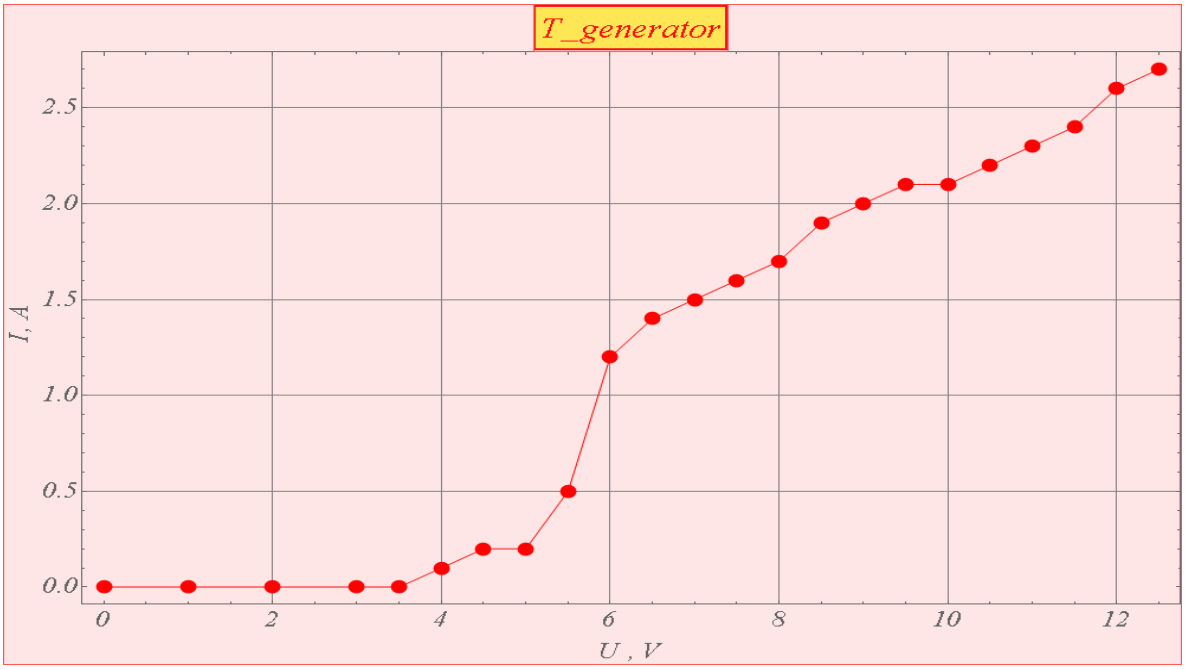
Різниця температур залишилася колишньою. З гарячого боку було відведено більше кількості тепла, температура елемента знизилася на 1 градус, а з боку холодної на один градус зросла.

З метою можливості економити енергію був проведений експеримент з джерелом змінного струму. Було використано 2 вентилятора, один 90 мм на гарячій стороні і 40 мм на холодній. Частота 10 Гц.



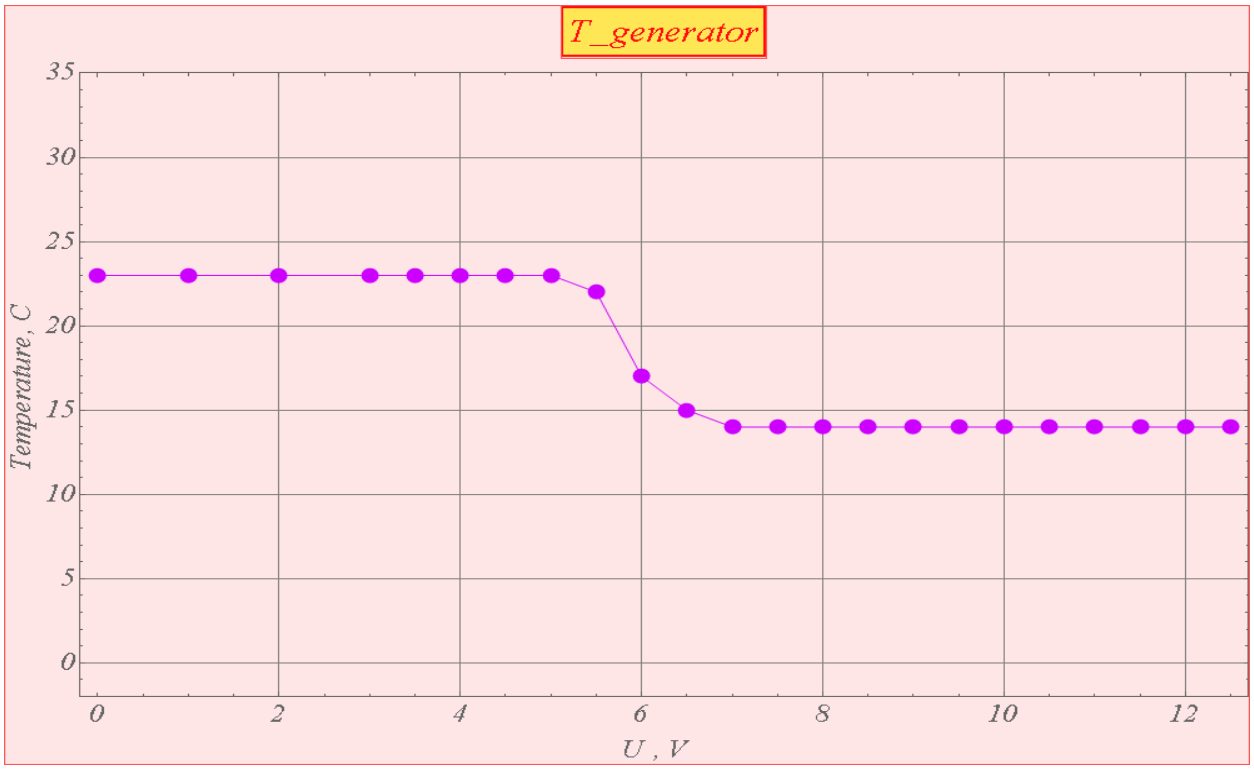
Мал 2.13 Схема стенду елемента Пельтьє з кулерами на холодній стороні і на гарячій стороні

При цьому графік залежності напруги від сили струму нелінійний (Мал 2.14), спостерігаємо скачок на 6 В.



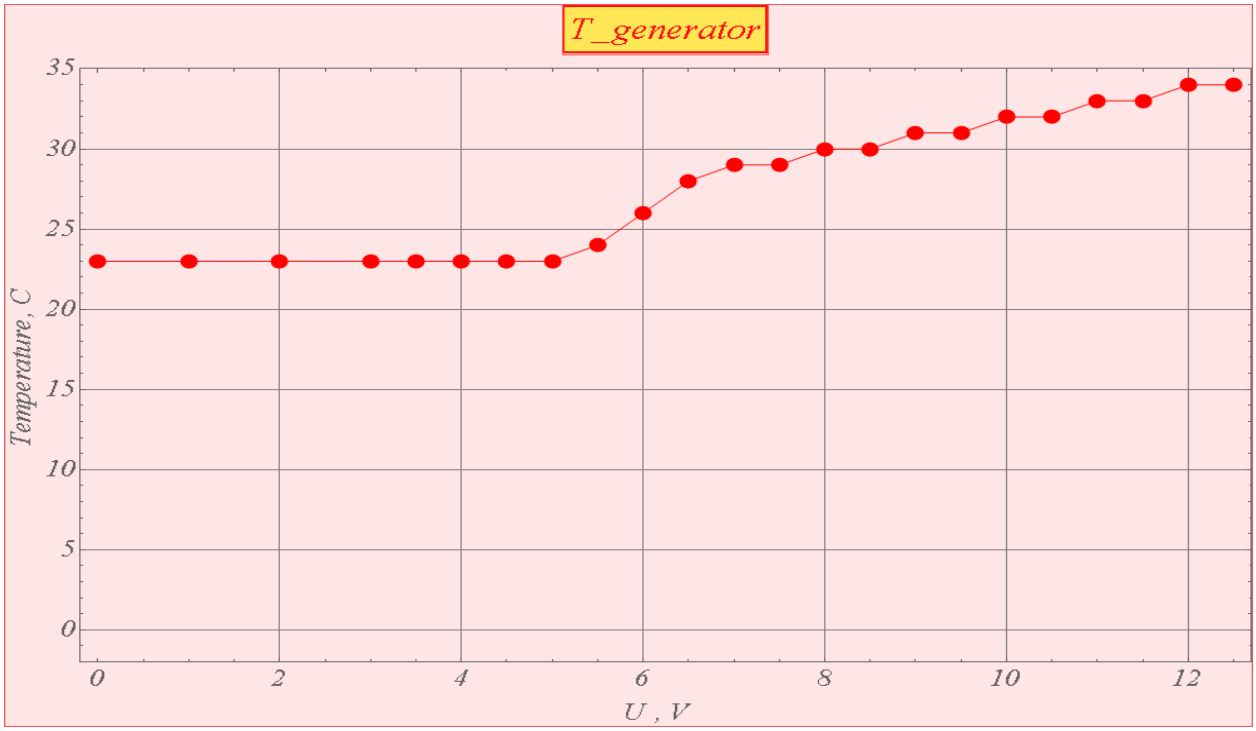
Мал 2.14 Графік залежності сили струму від напруги

Відповідно очікуємо різку зміну і в температурної залежності (Мал 2.15).



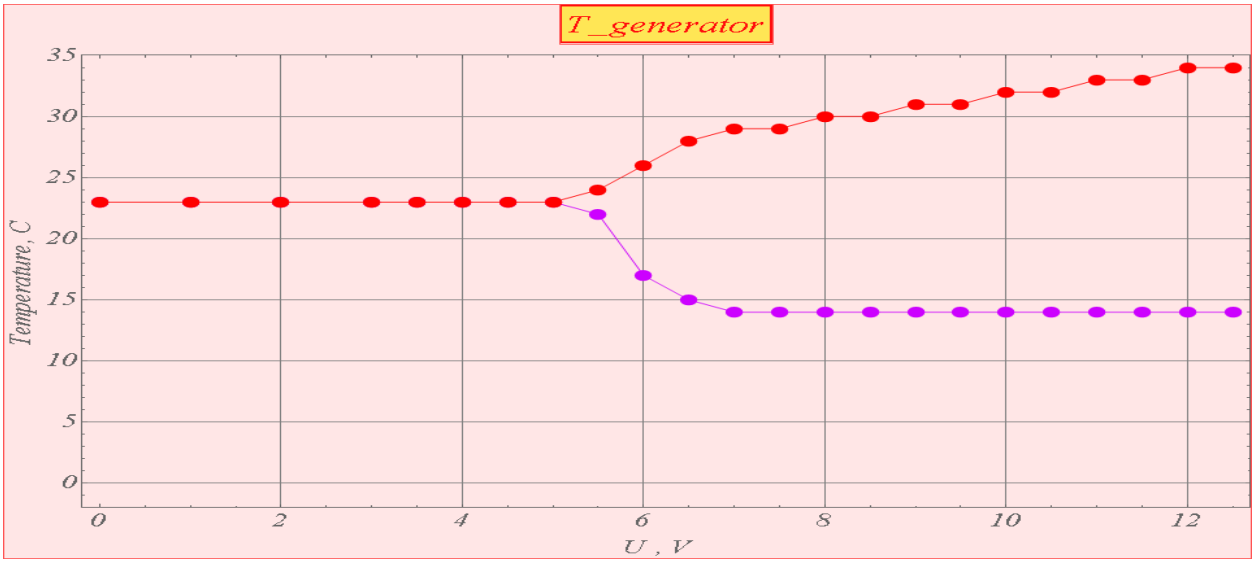
Мал 2.15 Графік залежності температури в Цельсіях від напруги

Бачимо різке зниження температури на холодній стороні елемента на 6В , що досягає мінімуму вже на напрузі 7В і далі не змінюється зі збільшенням напруги, що говорить про можливу економію при доцільній витраті енергії (Мал 2.15). Також спостерігається підвищення температури на гарячій стороні елемента в цьому ж режимі, яка починає своє зростання із значення 5В і до кінця вимірювання. Це говорить про погіршення ефективності елемента при перевищенні показників напруги 7В.



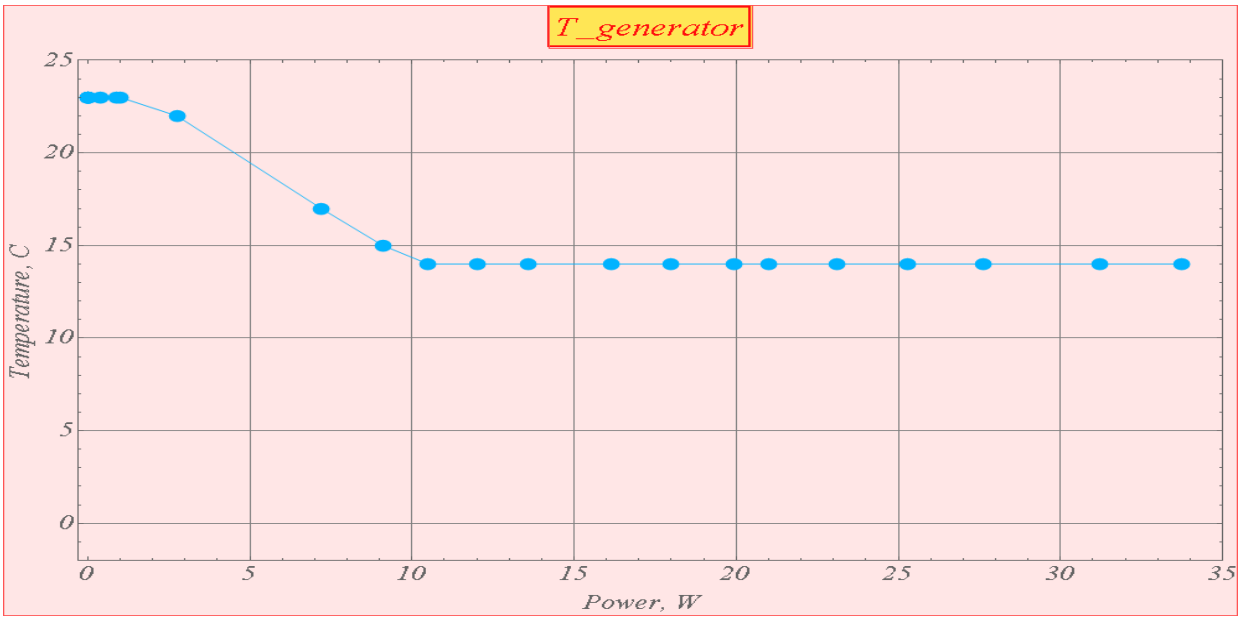
Мал 2.16 Графік залежності температури від напруги на гарячій стороні елемента

Для наочності розглянемо на одному графіку, як змінюються температури на гарячої та холодної сторони



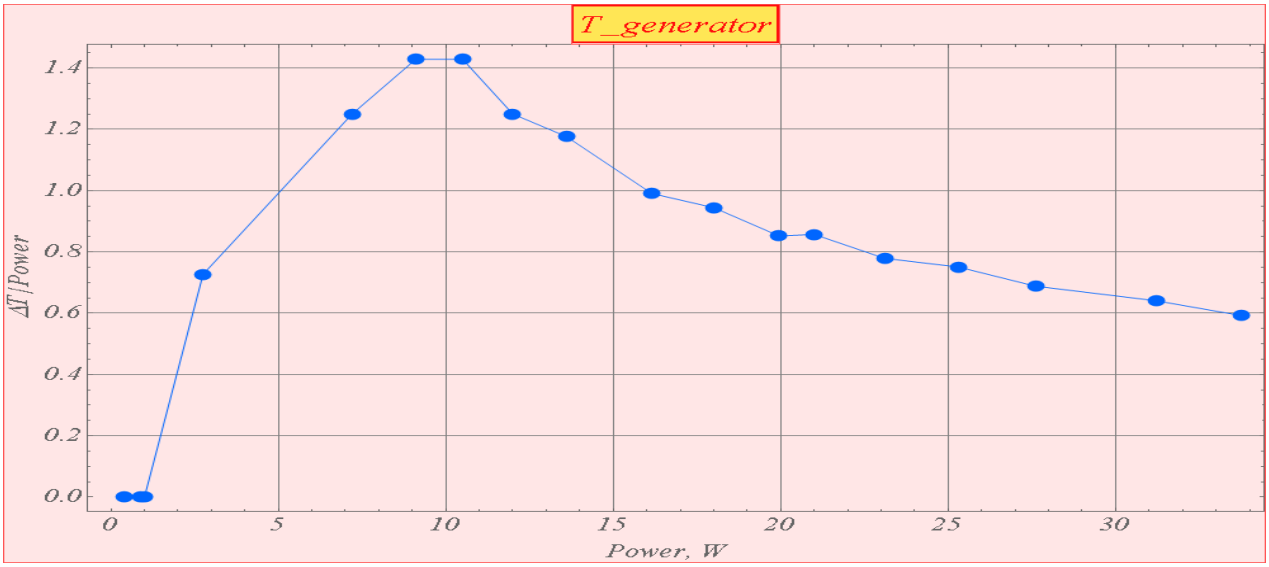
Мал 2.17 Графікі залежності температури від напруги на гарячої та холодної сторонах елемент

Залежність температури від потужності (Мал 2.18) також демонструє великий скачок:



Мал 2.18 Графік залежності температури від потужності

Залежність відносини різниці температур до потужності від потужності

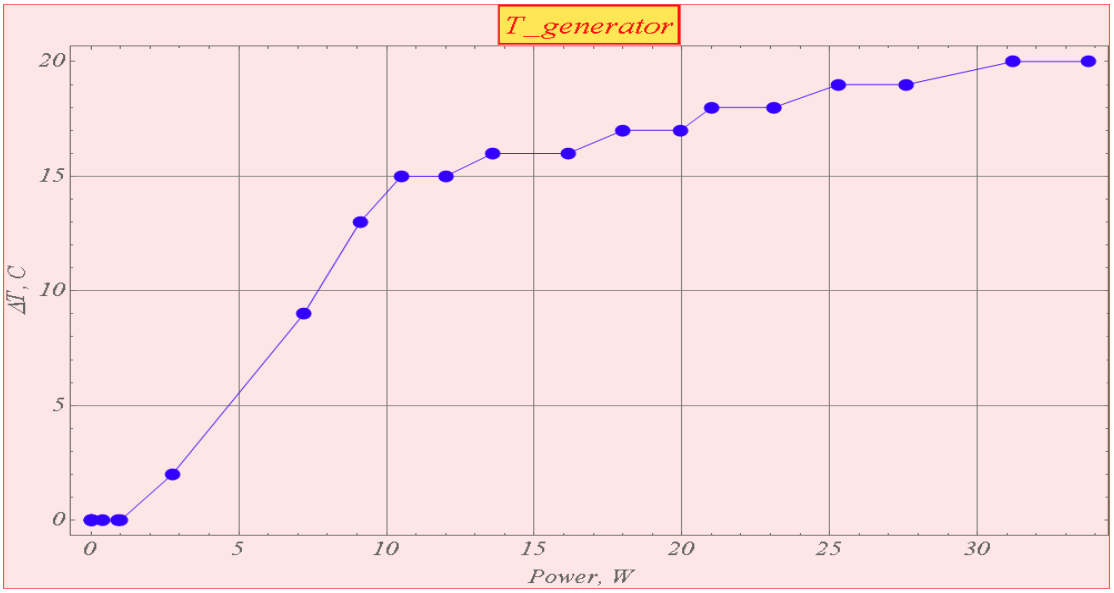


Мал 2.19 Графік залежності відносини різниці температур до потужності від потужності

Температура на холодній стороні радіатора знижується до 14 ° C також бачимо максимум залежності T / P при потужності, що підводиться 10 Вт.

Відкривається можливість створення економного конденсатора на джерелі імпульсного напруги.

Залежність різниці температур від потужності



Мал 2.20 Графік залежності різниці температур від потужності

Також було вивчено режим з двома вентиляторами 90мм на гарячій стороні і 40 мм на холодній стороні елемента при змінному струмі. Експеримент полягав у тому, що при підтримуванні постійної потужності в 10 Вт змінюємо шпаруватість від 10% до 80% з кроком по 10%.

При підвищенні скважности температура на холодній стороні йшла на спад лінійно. На гарячій стороні елемента температура спочатку підвищилася, а потім (починаючи з 40% скважности) була такою ж, як і при 10% скважности.

Вдалося знизити температуру на холодній стороні елемента до 12 градусів Цельсія, на гарячій стороні температура підвищилася до 31 градуса Цельсія. Такий результат спостерігався при найбільшій скважності в 80%.

Також досліджувався режим з двома вентиляторами (один на 90мм з гарячою боку елемента і один 40 мм з холодної сторони елемента) при 100 Гц і скважність в 50%.

З холодної сторони елемента спостерігався спад температури до показника напруги в 8 В, а потім підтримувалася постійна температура 14 градусів Цельсія. З гарячої сторони елемента температура протягом усього експерименту лінійно зростала і в точці максимального напруження в 12.5 В дорівнювала 39 градусам Цельсія.

2.2 2-га серія експериментів

Для проведення експерименту була зібрана установка, що складається з обмеженого з 5 сторін обсягу з ізоляційного матеріалу, двох елементів Пельтьє і маленьких кулерів і великого вентилятора, двох датчиків температури всередині обсягу (холодна сторона елемента Пельтьє) і зовні (на гарячій стороні).

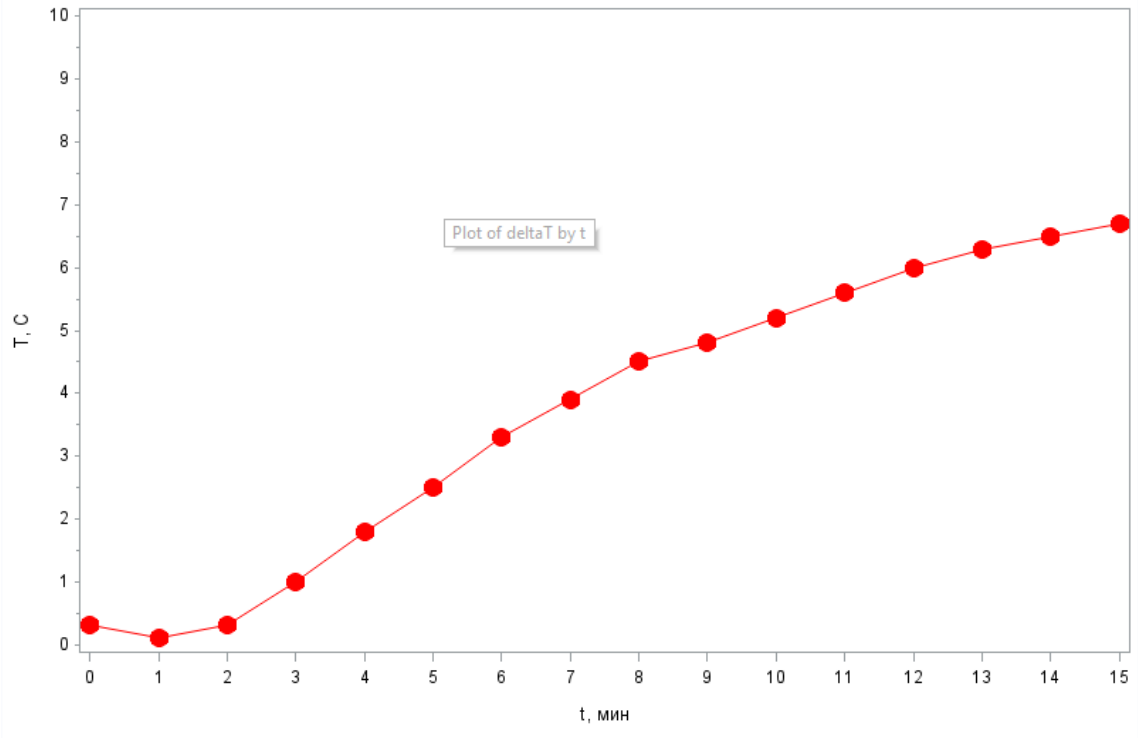
Нижче вказані вимірювання зміни температури двох датчиків від часом (через 1 хвилину) при початковій потужності 250 Вт і встановленому напрузі U = 12 В. Вимірювання проводяться без великого вентилятора.

Таблиця 1.1

Мощность начальная W=250Вт, U=12В
Без воздушного потока

t,мин	T1,C	ф 1	T2,C	ф 2	W,Вт
0	20,3	10	20	10	250
1	20,4	10	20,3	10	
2	20,3	10	20	10	
3	20,4	10	19,4	10	
4	20,5	10	18,7	10	
5	20,6	10	18,1	10	
6	20,7	10	17,4	10	
7	20,8	10	16,9	10	
8	20,9	10	16,4	10	
9	20,9	10	16,1	10	233
10	20,9	10	15,7	10	
11	21	10	15,4	10	
12	21,1	10	15,1	10	
13	21,2	10	14,9	10	
14	21,3	10	14,8	10	
15	21,3	10	14,6	10	

Відповідний таблиці вимірювань графік (Мал 2.21) показує лінійну залежність дельти температури від часу при вимкненому великому вентиляторі:



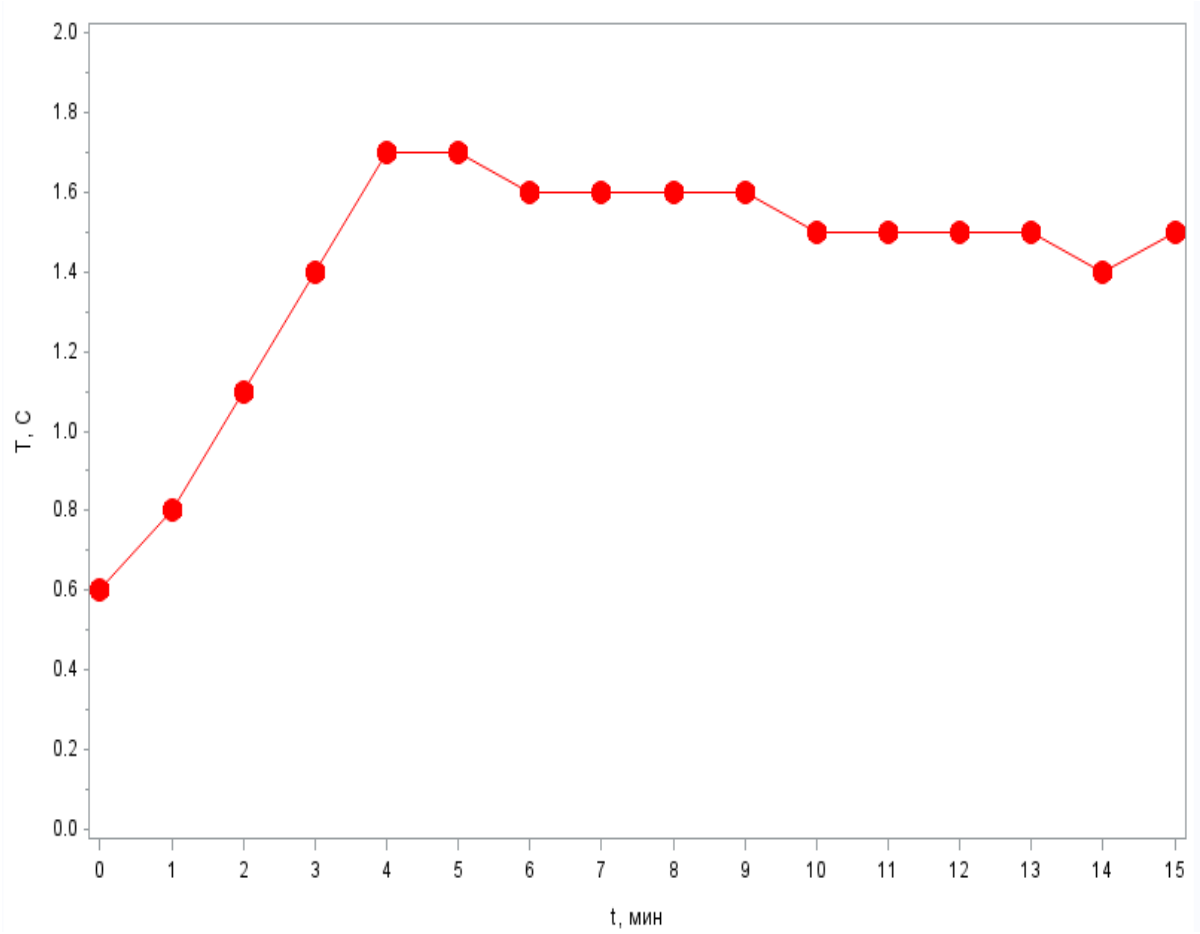
Мал 2.21 Графік залежності дельти температури від часу при вимкненому великому вентиляторі

При роботі великого вентилятора і напрузі в U = 12 різниця температур доходила до значення в 1.7 градусів на 4й хвилині вимірювання (Таблиця 2.1). Потужність P = 234 Вт. Загальна напруга на холодній стороні температура опускалася тільки до 19.6 градусів Цельсія, на гарячій стороні поза обсягу - зросла до 21.8

Таблиця 2.1

Мощность начальная W=234Вт, U=12В					
С воздушным потоком					
t,мин	T1,C	ϕ 1	T2,C	ϕ 2	W,Вт
0	20,3	10	20,9	10	234
1	20,2	10	21	10	
2	20	10	21,1	10	
3	19,8	10	21,2	10	
4	19,6	10	21,3	10	
5	19,7	10	21,4	10	
6	19,8	10	21,4	10	
7	19,8	10	21,4	10	
8	19,9	10	21,5	10	
9	19,9	10	21,5	10	219
10	20,1	10	21,6	10	
11	20,1	10	21,6	10	
12	20,1	10	21,6	10	
13	20,2	10	21,7	10	
14	20,3	10	21,7	10	
15	20,3	10	21,8	10	

Графік залежності різниці температур на гарячій стороні (поза обсягу) і на холодній стороні (всередині обмеженого обсягу) елементів Пельтьє при роботі великого вентилятора і напрузі в U = 12В показує, що максимальна температура буде досягнута на 4 хвилині (Мал 2.22) і далі температура падає з часом.



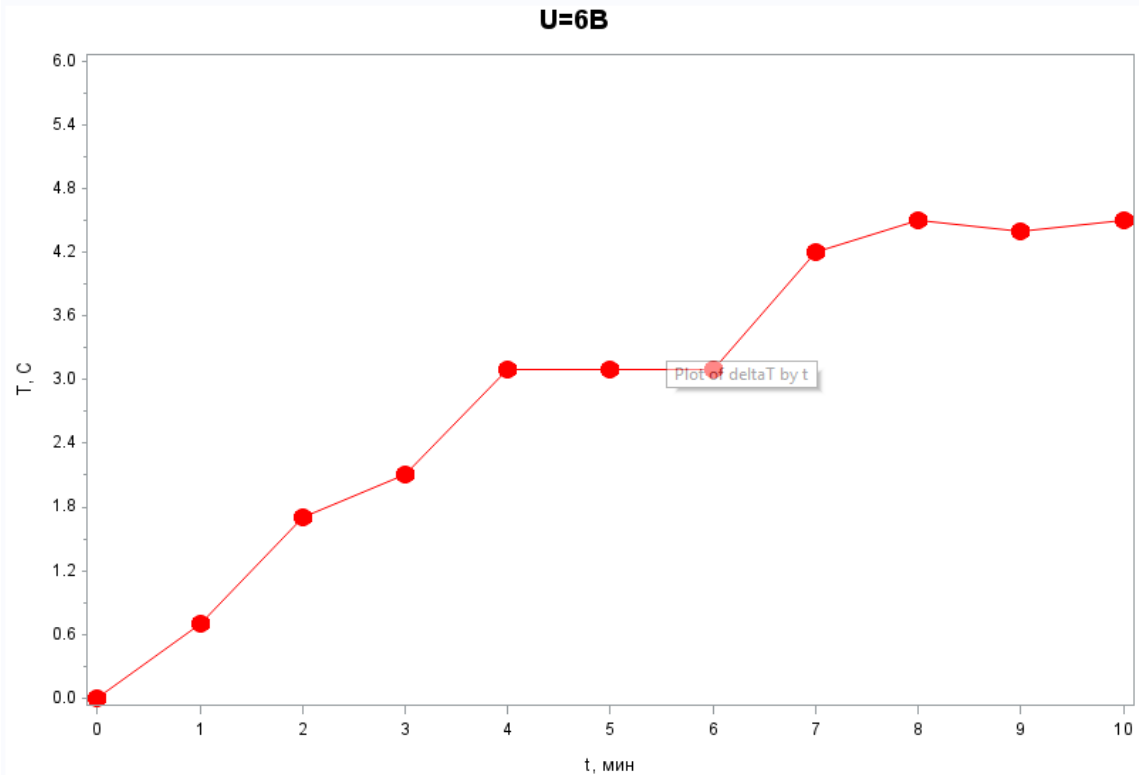
Мал 2.22 Графік залежності різниці температур від часу при напрузі U = 12

Наступна таблиця (Таблиця 2.2) показує залежність різниці температури двох сторін елемента Пельтьє при встановленому напрузі в U = 6 В, мінімальна і максимальна температури 20.5 і 25.2 градусів Цельсія відповідно. Всі вимірювання нижче будуть проводитися з включеним великим вентилятором.

Таблиця2.2

U=6		
t,мин	T1,C	T2,C
0	23	23
1	22,3	23
2	21,3	23
3	20,9	23
4	20,6	23,7
5	20,6	23,7
6	20,6	23,7
7	20,5	24,7
8	20,6	25,1
9	20,8	25,2
10	20,7	25,2

За графіком можна легко побачити максимальну дельту температури, яка склала 4.5 градусів Цельсія вже на 8й хвилині експерименту.



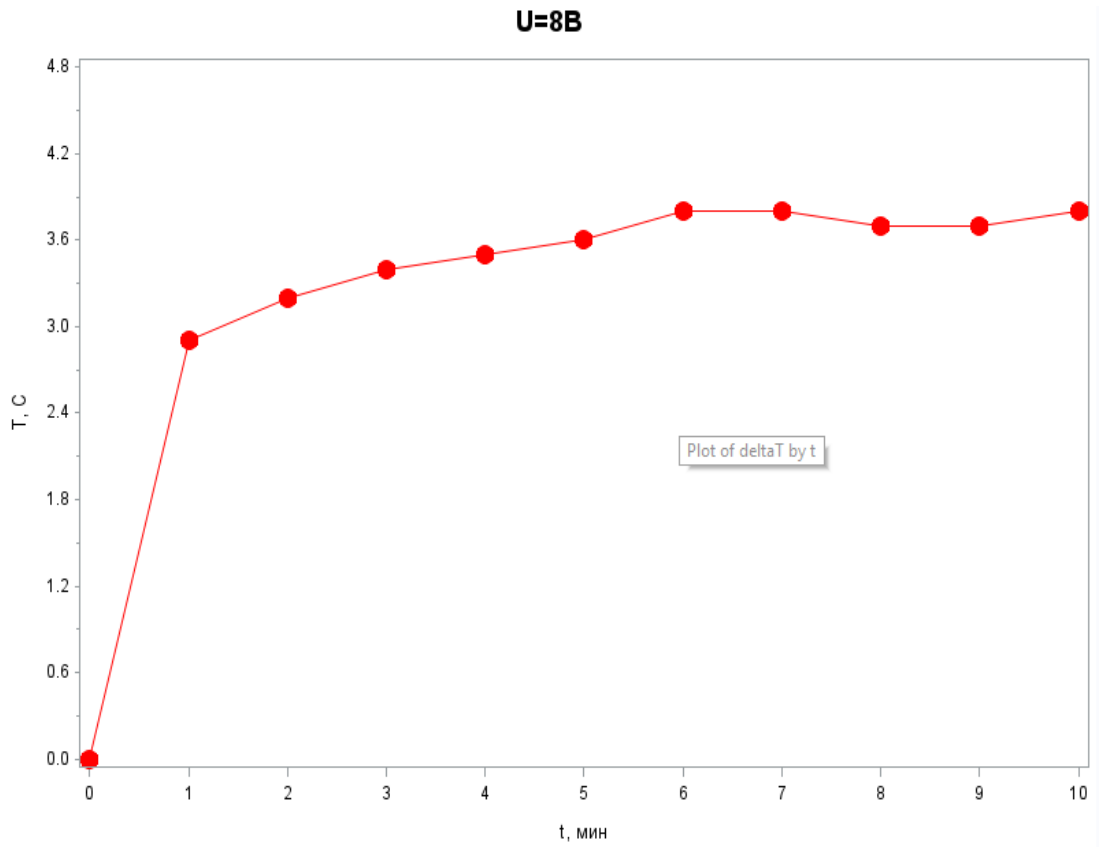
Мал 2.23 Графік залежності різниці температури двох сторін елемента Пельтьє при встановленому напрузі в U = 6 В

Наступні виміри проводяться при напрузі в U = 8 В. Нижче представлена таблиця отриманих результатів.

Таблиця 2.3

U=8	P=276	
t,мин	T1,C	T2,C
0	23,5	23,5
1	21,6	24,5
2	21,4	24,6
3	21,3	24,7
4	21,3	24,8
5	21,3	24,9
6	21,3	25,1
7	21,4	25,2
8	21,6	25,3
9	21,6	25,3
10	21,6	25,4

З побудованого графіка видно, що максимальна дельта температур досягла на 6 хвилині. Можна побачити різкий скачок різниці температур, вже на 1й хвилині вона підскочила майже до 3х градусів. При цьому температура всередині обмеженого обсягу становила 21 градус Цельсія, а зовні обсягу піднялася з 23.5 до 24.5 градусів.



Мал 2.24 Графік залежності різниці температур від часу при напрузі в U=8B

При напрузі в U = 10 В, так само, як і при напрузі U = 8 В різниця температур доходила до значення в 3.8 градусів (Таблиця 2.4) на 9й хвилині вимірювання. Потужність P = 277 Вт. Загальна напруги Uзаг = 12 В. Мінімальна температура на холодній стороні піднялася на 3 градуси, а максимальна на 1 градус у порівнянні з попереднім виміром.

Таблиця 2.4

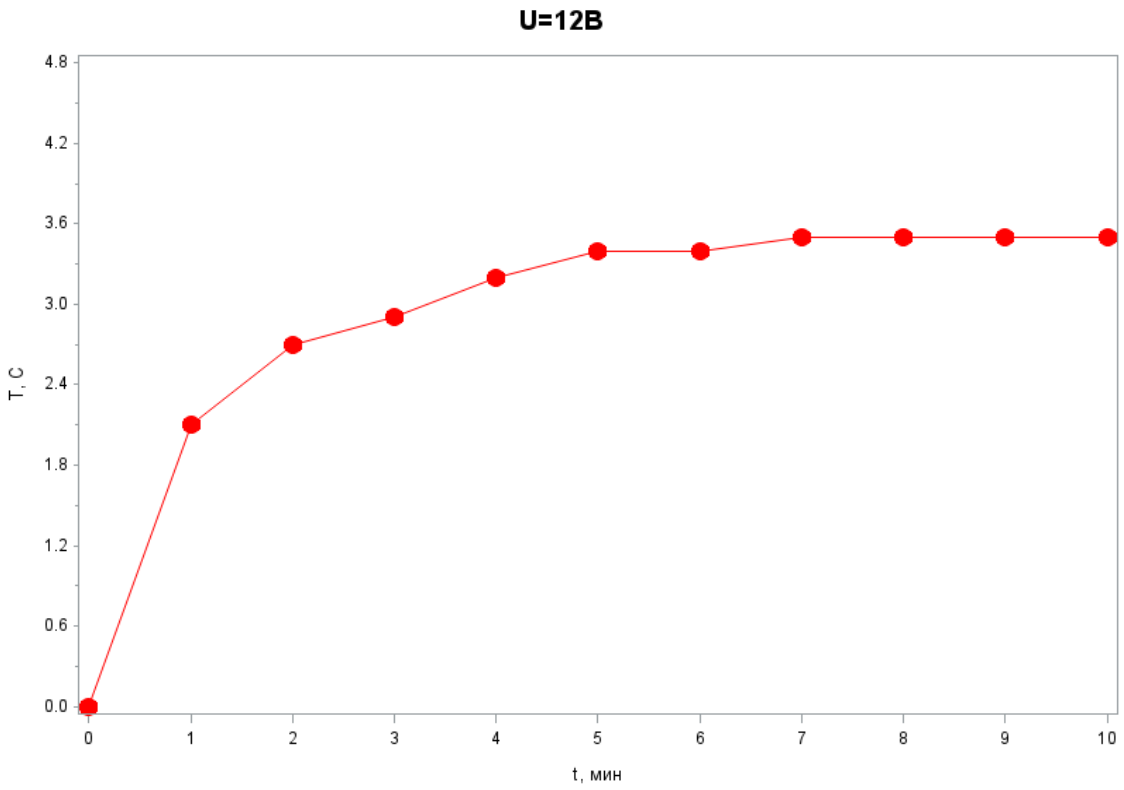
U=10	P=277	
t,мин	T1,C	T2,C
0	24	24
1	22	24,8
2	21,9	24,9
3	21,7	25,1
4	21,6	25,3
5	21,7	25,2
6	21,6	25,2
7	21,6	25,3
8	21,7	25,4
9	21,7	25,5
10	21,8	25,5

Напрузі в U = 12 В виявилося ще менш ефективно. Різниця температур доходила до значення в 3.5 градусів на 7й хвилині вимірювання. Потужність P = 278 Вт. Загальна напруга Uзаг = 12 В. На холоднії стороні температура опускалася тільки до 22.2 градусів Цельсія, на гарячій стороні поза обсягу - зросла до 25.8

Таблиця 2.5

U=12 P=278

t,мин	T1,C	T2,C
0	24,6	24,6
1	22,7	24,8
2	22,4	25,1
3	22,2	25,1
4	22,2	25,4
5	22,2	25,6
6	22,2	25,6
7	22,3	25,8
8	22,3	25,8
9	22,3	25,8
10	22,3	25,8

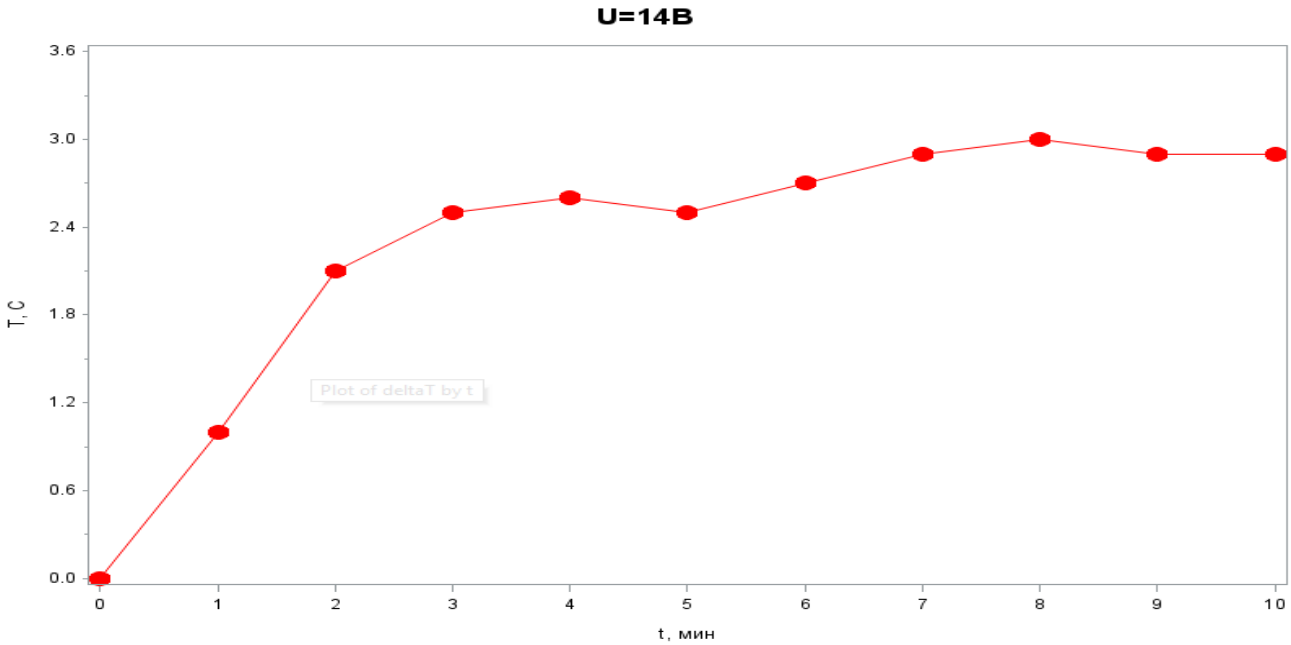


Мал 2.25 Графік залежності різниці температур від часу при напрузі в U=12 В

При напрузі U = 14 В дельта температур не перевищувала 3 градусів (Таблиця 2.6). Максимальна дельта спостерігалася на 8й хвилині роботи установки. На холодній стороні температура опустилася на 7й хвилині тільки до 22.4 градусів Цельсія, температура поза об'ємом росла трохи повільніше, ніж при U = 12 і досягла 25.7 в кінці експерименту.

Таблиця 2.6

U=14	P=278	
t,мин	T1,C	T2,C
0	24,4	24,4
1	23,6	24,6
2	22,9	25
3	22,8	25,3
4	22,7	25,3
5	22,7	25,2
6	22,6	25,3
7	22,4	25,3
8	22,6	25,6
9	22,8	25,7
10	22,8	25,7



Мал 2.26 Графік залежності різниці температур від часу при напрузі U = 14В

ВИСНОВКИ

Для визначення найбільш ефективного режиму був проведений експеримент, в ході якого змінюючи напругу на елементах були зафіксовані показники температури в двох точках від часу.

В експеримент включені 2 датчика температури, що знаходяться в обсязі, що охолоджується елементом і за межами цього обсягу на зовнішній стінці ізоляційного матеріалу, великий вентилятор і кулери на елементі Пельтьє. Вимірювання проводяться через T = 1 хвилина. Для проведення вимірювання були обрані напруги U = 6, 8, 10, 12, 14 В.

1) У першому експерименті при U = 6 В різниця температур доходила до 4.5 градусів на 8й хвилині роботи установки. Потужність P = 276 Вт. Загальна напруга Uобщ = 12 В. Мінімальна температура всередині обсягу дорівнювала 20.5 градусів Цельсія (на 7й хвилині вимірювання), максимальна температура поза об'ємом поблизу установки T = 25.2 в коні вимірювання на 9й і 10й хвилинах.

2) При напрузі в U = 8 В мінімальна температура в обсязі опустилася тільки до 21.3 градусів Цельсія, максимальна температура на гарячій стороні піднялася до значення 25.4 в кінці експерименту. Відповідно, різниця температур була менш помітна. Дельта температур дорівнювала 3.8 градусів. Потужність P = 276 Вт. Загальна напруга Uобщ = 12 В.

3) При напрузі в U = 10 В, так само, як і при напрузі U = 8 В різниця температур доходила до значення в 3.8 градусів на 9й хвилині вимірювання. Потужність P = 277 Вт. Загальна напруга Uобщ = 12 В. Мінімальна температура

на холодній стороні піднялася на 3 градуси, а максимальна на 1 градус у порівнянні з попереднім виміром.

4) Напруга в U = 12 В виявилася ще менш ефективно. Різниця температур доходила до значення в 3.5 градусів на 7й хвилині вимірювання. Потужність P = 278 Вт. Загальна напруга Uобщ = 12 В. На холодній стороні температура опускалася тільки до 22.2 градусів Цельсія, на гарячій стороні поза обсягу - зросла до 25.8

5) При напрузі U = 14 В дельта температур не перевищувала 3 градусів. Максимальна дельта спостерігалася на 8й хвилині роботи установки. На холодній стороні температура опустилася на 7й хвилині тільки до 22.4 градусів Цельсія, температура поза об'ємом росла трохи повільніше, ніж при U = 12 і досягла 25.7 в кінці експерименту.

Також було визначено, що при включенні в роботу вентиляторів найбільш ефективними напруженнями є 7-10 В. При включенні більшої кількості вентиляторів збільшується тепловідвід від сторін елемента Пельтьє. При підключенні змінної частоти ефективність елемента знижується. Скважність 80% збільшує різницю на кінцях термоелемента, але не є настільки ефективною, як режим з постійним струмом. При режимі з двома вентиляторами при 100Гц і скважноості в 50% була зафіксована постійна температура з показника на напрузі в 6.5В.

При правильному підборі режиму експлуатації елемент Пельтьє може бути досить ефективним термоелементом і мати хороший потенціал. А можливість безпосередньо працювати з альтернативними джерелами енергії додає йому ще пару балів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Н 29 Наркевич І.І. Фізика: Учеб. / І.І. Наркевич, Е.І. Вомлянскій, С.І. Лобко. - Мн .: Нове знання, 2004. - 680 с. (https://studfiles.net/preview/4242841/page:3/) «Національний дослідницький Томський політехнічний Університет », лабораторна робота №7.
2. https://studfiles.net/preview/1083949/ МОСКОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОНІКИ І МАТЕМАТИКИ, (Технічний університет), Факультет Інформатики та Телекомунікацій, Кафедра «Радіоелектронні і телекомунікаційні пристрої та системи»
3. Яворський Б. М., Детлаф А. А. Довідник з фізики: для інженерів і студентів ВНЗ. - Изд. 4-е, перераб. - Наука - Головна редакція Фізико-математичної літератури, 1968. - С. 417.
4. Ф50 Фізична енциклопедія, т. 5. Стробоскопічні прилади - яскравість / Гл. ред. А.М. Прохоров. Ред. кол .: Д.М. Балдін, Великої російської енциклопедії, 1998. - 760 с.
5. (https://studfiles.net/preview/4242841/page:3/) «Національний дослідницький Томський політехнічний Університет », лабораторна робота №7.
6. Електронний журнал «Електрик Інфо», http://electrik.info/obzor/1560-raznovidnosti- populyarnyh-moduley-pelte.html
7. Патент №2433506 - Спосіб виготовлення модулів Пельтьє, а також модуль Пельтьє
8. Ансельм А. І., Введення в теорію напівпровідників, 2 вид., М., 1978;
9. Аскеров Б. М., Електронні явища переносу в напівпровідниках, М., 1985;

10. Зеегер К., Фізика напівпровідників, пров. з англ .. М., 1977; Стільбанс Л. С., Фізика напівпровідників, М., 1967.
11. Н. Ашкрофт, Н. Мерміна «Фізікатвердоготела» Том 1 2.О. Медалунг «Теоріятвердоготела» М .: Наука. Главнаяредакціяфізіко-математіческойлітератури, 1980
12. Булат Л.П., Бузін Є.В. Термоелектричні охолоджуючі пристрої: Метод. вказівки для студентів спец. 070200 "Техніка і фізика низьких температур" https://books.ifmo.ru/file/pdf/1235.pdf
13. Гнусін П.І. «Дослідження ефективності елемента Пельтьє при різних режимах роботи» ТОВ "Нева Технолоджи" (Санкт-Петербург) 10 серпня 2015