

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
Інститут високих технологій

Завідувач кафедри нанофізики конденсованих середовищ
проф. Валерій Антонович Скришевський
Протокол № _____ засідання кафедри
від “ ____ ” _____ 2020 р.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО МОДУЛЯ ПЕЛЬТЬЄ

Випускна кваліфікаційна робота
магістра
студента напряму підготовки
105 Прикладна фізика та наноматеріали
Остапенко Вікторії Валеріївни

Науковий керівник, канд. ф.-м. наук,
доцент
Шкавро Анатолій Григорович

Оцінка захисту роботи

Київ 2020р.

РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота магістра: 30 сторінок, 17 формул, 18 рисунків, 3 графіки та 14 посилань.

Мета: модернізація, розробка і виготовлення лабораторної установки для дослідження характеристик елемента Пельтьє з можливістю дослідження температур та термо-ЕРС.

Завдання: вивчення досліджуваного елемента, а також методів та засобів для проектування і розробки установки, реалізація експериментальної частини.

Основні результати: реалізовано схему установки, проведено апробацію.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕФЕКТ ПЕЛЬТЬЄ, ЕЛЕМЕНТ ПЕЛЬТЬЄ, ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ, РІЗНИЦЯ ТЕМПЕРАТУР, ХОЛОДИЛЬНИК, НАГРІВАЧ, ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИЙ МОДУЛЬ.

ЗМІСТ

1. ВСТУП.....	4
2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	5
2.1 ЕФЕКТ ПЕЛЬТЬЄ.....	5
2.2 ЕЛЕМЕНТ ПЕЛЬТЬЄ.....	11
2.3 ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ ПЕЛЬТЬЄ.....	14
2.4 ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ ЕЛЕМЕНТІВ ПЕЛЬТЬЄ.....	16
3. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.....	20
3.1 ЛАБОРАТОРНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ГАРЯЧОГО СПАЮ.....	20
3.2 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ.....	21
3.3 МОДЕРНІЗОВАНА ЛАБОРАТОРНА УСТАНОВКА.....	23
3.4 АПРОБАЦІЯ УСТАНОВКИ.....	23
4. ВИСНОВКИ.....	28
5. ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	29

1. ВСТУП

В Інституті високих технологій є практикум напівпровідникових приладів, який було орієнтовано на спеціальність «твердотільна електроніка», де основна увага приділялась базовим елементам електроніки: бар'єру Шоттки, р-п переходу та МДН структурі, а також деяким розповсюдженим напівпровідниковим приладам. Достатньо поширеним на сьогодні є і елемент Пельтьє, однак він не входив у цей практикум.

Враховуючи, що в Інституті високих технологій лабораторні роботи з напівпровідникової електроніки виконують не тільки фізики, а й студенти інших напрямків, актуальною є постановка роботи, спрямованої на знайомство з елементом Пельтьє та методом його дослідження.

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

2.1 ЕФЕКТ ПЕЛЬТЬЄ

Ефект Пельтьє відкрив француз Жан-Шарль Пельтьє у 1834р. Під час одного з експериментів він пропускав електричний струм через смугу вісмуту з підключеними до неї мідними провідниками.

В ході експерименту він виявив, що одне з'єднання вісмут-мідь нагрівається, інше – охолоджується. Сам Пельтьє був не в змозі пояснити сутність власного відкриття в повній мірі. Але у 1838р. це вдалось зробити Ленцу в своєму експерименті, помістивши краплю води на стик двох провідників (вісмуту і сурми). При пропусканні струму в одному напрямку крапля води замерзала, а при зміні напрямку – танула. Таким чином було встановлено, що при проходженні струму через контакт двох провідників, окрім джоулевого тепла виділяється або поглинається (в залежності від напрямку струму) додаткова теплота, що отримала назву теплота Пельтьє. А процес виділення (поглинання) додаткової теплоти в контакт двох провідників - явище, назване «ефектом Пельтьє».

На відміну від тепла Джоуля-Ленца, пропорційне квадрату сили струму:

$$Q = R \cdot I \cdot I \cdot t, \quad (1.1)$$

тепло Пельтьє пропорційне силі струму, змінює знак при зміні напрямку струму і виражене формулою:

$$Q_{\text{п}} = \Pi \cdot q, \quad (1.2)$$

де q – заряд, пройдений через контакт,

Π – так званий, коефіцієнт Пельтьє, який залежить від природи контактуючих матеріалів та їх температури.

$$Q_{\text{п}} > 0, \quad (1.3)$$

якщо температура виділяється.

Коефіцієнт Пельтьє може бути вираженим через коефіцієнт Томпсона:

$$P = aT \cdot T, \quad (1.4)$$

де a – коефіцієнт Томпсона, T - абсолютна температура [1].

Величина тепла Пельтьє, що виділяється, та його знак залежать від виду контактуючих речовин, сили струму і часу його проходження, тому Q_p можна виразити ще однією формулою:

$$dQ_p = P_{12} Idt, \quad (1.5)$$

де $P_{12} = P_1 - P_2$ – коефіцієнт Пельтьє для даного контакту, він зв'язаний з абсолютними коефіцієнтами Пельтьє P_1 і P_2 контактуючих матеріалів, які є характеристиками цих матеріалів. При цьому вважається, що струм протікає від першого зразка до другого. При виділенні тепла Пельтьє маємо:

$$Q_p > 0, P_{12} > 0, P_1 > P_2. \quad (1.6)$$

При поглинанні тепла Пельтьє воно вважається негативним і відповідно:

$$Q_p < 0, P_{12} < 0, P_1 < P_2. \quad (1.7)$$

Очевидно, що $P_{12} = -P_{21}$.

Розмірність коефіцієнта Пельтьє $[P]_{СИ} = Дж/Кл = В$.

Причина виникнення ефекту Пельтьє полягає в тому, що середня енергія носіїв заряду (електронів), що беруть участь в електропровідності, в різних провідниках – різна, оскільки залежить від їхнього енергетичного спектру, концентрації і механізму розсіювання. При переході з одного провідника в інший, електрони або передають надлишкову енергію решітці, або поповнюють нестачу енергії за її рахунок (в залежності від напрямку струму).[4] В першому випадку біля контакту виділяється, в другому –

поглинається, так звана, «теплота Пельтьє». Наприклад, на контакті напівпровідник-метал (рис.1) енергія електронів, які переходять з напівпровідника n-типу в метал (лівий контакт), значно перевищує енергію Фермі E_F . Тому вони порушують теплову рівновагу в металі. Рівновага відновлюється в результаті зіткнень, при яких електрони термалізуються, віддаючи надлишкову енергію кристалічній решітці. В напівпровідник із металу (правий контакт) можуть перейти тільки найбільш енергійні електрони, внаслідок чого електронний газ в металі охолоджується. На відновлення рівноважного розподілу витрачається енергія коливань решітки.

[5]

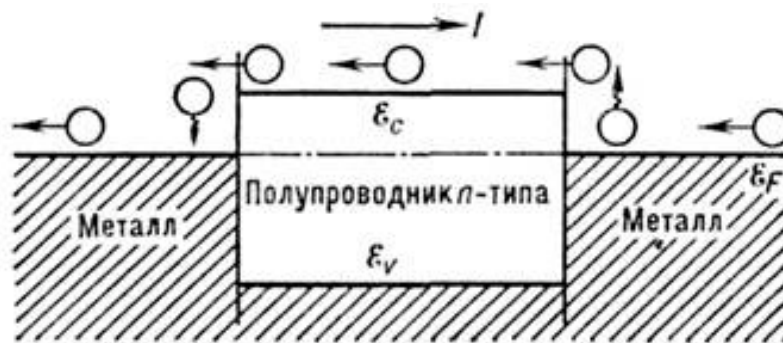


Рис.1 – Ефект Пельтьє на контактах напівпровідник n-типу – метал

E_F – рівень Фермі;

E_c – дно зони провідності напівпровідника;

E_v – верхня межа валентної зони.

На контакті двох напівпровідників або двох металів так само виділяється (або поглинається) теплота Пельтьє, внаслідок того, що середня енергія носіїв заряду по обидві боки контакту різна.

Вираз для абсолютного коефіцієнту Пельтьє (носії заряду – електрони) має вигляд:

$$\Pi = \frac{1}{e} \frac{\int_0^\infty E v f_1(E) d\rho(E) - E_F \int_0^\infty v f_1(E) d\rho(E)}{F} \quad (1.8)$$

Де E – кінетична енергія електронів,

v – швидкість електронів,

f_1 – нерівноважна частина функції розподілу електронів, $\rho(E)$ – густина станів.

Як видно із (8), коефіцієнт Пельтьє являє собою відхилення середньої енергії носіїв від енергії Фермі E_f , віднесеної до одиниці заряду. Для визначення Π необхідно знати функцію $\rho(E)$ і знайти $f_1(E)$, тобто розв'язати кінетичне рівняння. У випадку параболічного закону дисперсії електронів провідності $E(p)$, p – квазіімпульс, і ступеневої залежності довжини вільного пробігу від енергії при відсутності виродження в напівпровіднику коефіцієнт визначається за формулою:

$$\Pi = \frac{1}{e} \left(r + 2 - \frac{E_F}{kT} \right) kT, \quad (1.9)$$

де

$r = \frac{d \ln l}{d \ln E}$ – параметр розсіювання,

T – абсолютна температура,

E_F відраховується від дна зони провідності.

Зі збільшенням концентрації електронів у виродженому провіднику або зменшенням T , величина Π зменшується і при $\frac{E_F}{kT} \geq 4$:

$$\Pi = \frac{1}{e} \frac{\pi^2}{3} \frac{r+1}{E_F} (kT)^2. \quad (1.10)$$

Коефіцієнт Пельтьє пов'язаний із коефіцієнтом термо-ЕРС α так званим співвідношенням Томсона:

$$\Pi = \alpha T. \quad (1.11)$$

Це дає змогу використовувати для оцінки Π результати мікроскопічної теорії для α . Коефіцієнт Пельтьє, який є важливою характеристикою матеріалів, як

правило, не вимірюється, а вираховується по α , вимірювання якого є простішим. [2][3][6]

Причина виникнення ефекту Пельтьє на контакті напівпровідників з однаковим видом носіїв струму (два напівпровідника n -типу або два напівпровідника p -типу) аналогічна до випадку як при контакті двох металевих провідників. Електрони і дірки по різні боки спаю мають різну середню енергію. Ця енергія залежить від багатьох причин: механізму розсіювання носіїв заряду, концентрації, енергетичного спектру. У випадку, коли носії, проходячи через спай, потрапляють в область з меншою енергією, вони передають надлишок цієї енергії кристалічній ґратці. Отже, поблизу контакту виділяється тепло Пельтьє ($Q_p > 0$) з підвищенням температури контакту. На другому ж спаї, носії, потрапляючи в зону з більшою енергією, забирають енергію від решітки. При цьому виникає поглинання теплоти Пельтьє ($Q_p < 0$) і температура зменшується.[15]

До прикладу розглянемо два різних напівпровідники a і b , які мають однакову площу поперечного перерізу. Їх з'єднання показане на малюнку (рис.2).



Рис.2 – Перенесення тепла за допомогою електричного струму

Обидва напівпровідники мають однакову температуру T , через них протікає струм I . S – контактна поверхня провідників. Нехай теплоємність електронів у провіднику a дорівнює c_{aa} , в b – c_{bb} . Значить, теплова енергія яку має електрон, в кожному з провідників дорівнює $c_{aa}TT$ і $c_{bb}TT$ – відносно

Якщо електрони мають максвелівський розподіл за швидкостями, то маємо таку рівність:

$$c_a T = c_b T = \frac{3}{2} kT. \quad (1.12)$$

Для кожного напрямку електричного струму, що протікає через контактну поверхню S буде таке рівняння:

$$I = qnvA. \quad (1.13)$$

Потік теплової енергії у провіднику a , що разом з електричним полем переноситься у напрямку контактної поверхні:

$$P_a = nvAc_a T, \quad (1.14)$$

а у провіднику b від контактної поверхні відходить потік теплової енергії:

$$P_b = nvAc_b T. \quad (1.15)$$

За умови $P_a > P_b$ на поверхні контакту двох провідників тепла енергія повинна відводитись у навколишнє середовище:

$$P = P_a - P_b = nvAT(c_a - c_b) = \frac{T}{q}(c_a - c_b) \cdot I \equiv \pi I. \quad (1.16)$$

Якщо електрони мають максвелівський розподіл за швидкостями, в рамках викладеної моделі коефіцієнт Пельтьє дорівнюватиме нулю, оскільки для цього випадку $c_a = c_b$. [7] Проте, опираючись на факт існування елемента Пельтьє, варто зробити висновок, що у матеріалах, які використовуються для виготовлення термопар, електронний потік не підпорядковується розподілу Максвела. Такий висновок узгоджується зі загальноприйнятим положенням про немаксвелівський розподіл електронів у металах. Однак, у слабо легованих напівпровідників електронна провідність описується на основі максвелівського розподілу. Через це виникає необхідність додаткового вдосконалення моделі для пояснення існування ефекту Пельтьє в таких матеріалах.

2.2 ЕЛЕМЕНТ ПЕЛЬТЬЄ

Власне кажучи, модуль Пельтьє – термоелектричний холодильник, складений з послідовно з'єднаних напівпровідників p і n типу, кожен з яких має тепловий контакт з одним з двох радіаторів. Завдяки протіканню електричного струму певної полярності, між радіаторами модуля Пельтьє виникає перепад температур: один радіатор працює як холодильник, інший – як нагрівач. На (рис. 3, 4) наведений типовий модуль Пельтьє та його структура.



Рис.3 – Структура модуля Пельтьє



Рис.4 – Вигляд типового модуля Пельтьє

Такий модуль може забезпечити значний перепад температур, аж до десятків градусів. При певному примусовому охолодженні (напр., рідинному)

радіатора, який нагрівається, другий радіатор (холодильник) дозволяє досягнути від'ємних температурних значень.[8] Також можливим варіантом є каскадне включення (рис. 5, 6) термоелектричних модулів Пельтьє – для збільшення різниці температур, але при цьому для них потрібно забезпечити достатнє охолодження. Таким чином, за допомогою відносно простих засобів можна отримати значний перепад температур і забезпечити ефективне охолодження елементів.



Рис.5



Рис.6

Рис. 5, 6 – Приклад каскадного включення модулів Пельтьє

Також пристрої охолодження на основі модулів Пельтьє часто називають «активні холодильники Пельтьє» або «кулери Пельтьє» (рис. 7)

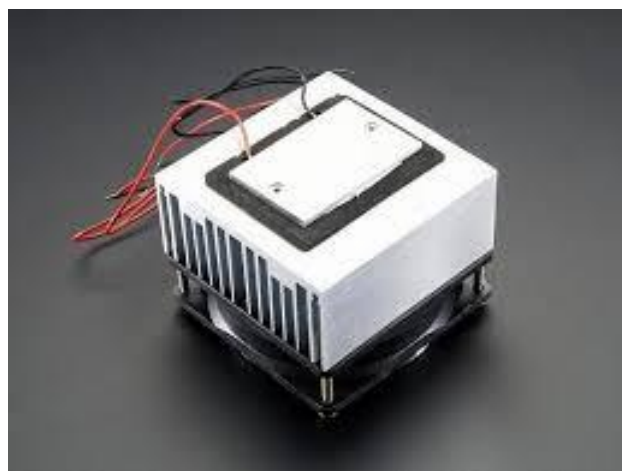


Рис.7 – Приклад кулера Пельтьє

Ефективність охолодження є головною характеристикою термоелектричного охолоджуючого модуля, вона визначається так:

$$Z = \frac{a^2}{rl} \quad (2.1)$$

a – коефіцієнт термо-ЕРС;

rr – питомий опір;

ll – питома теплопровідність напівпровідника.

Параметр Z – функція температури і концентрації носіїв заряду.[9] Варто зауважити, що для кожної заданої температури існує найбільш оптимальне значення концентрації, за яким величина Z є максимальною. Найбільш доступним способом для зміни параметрів напівпровідника (a , r , l) в бажаний бік – введення в нього певних домішок.

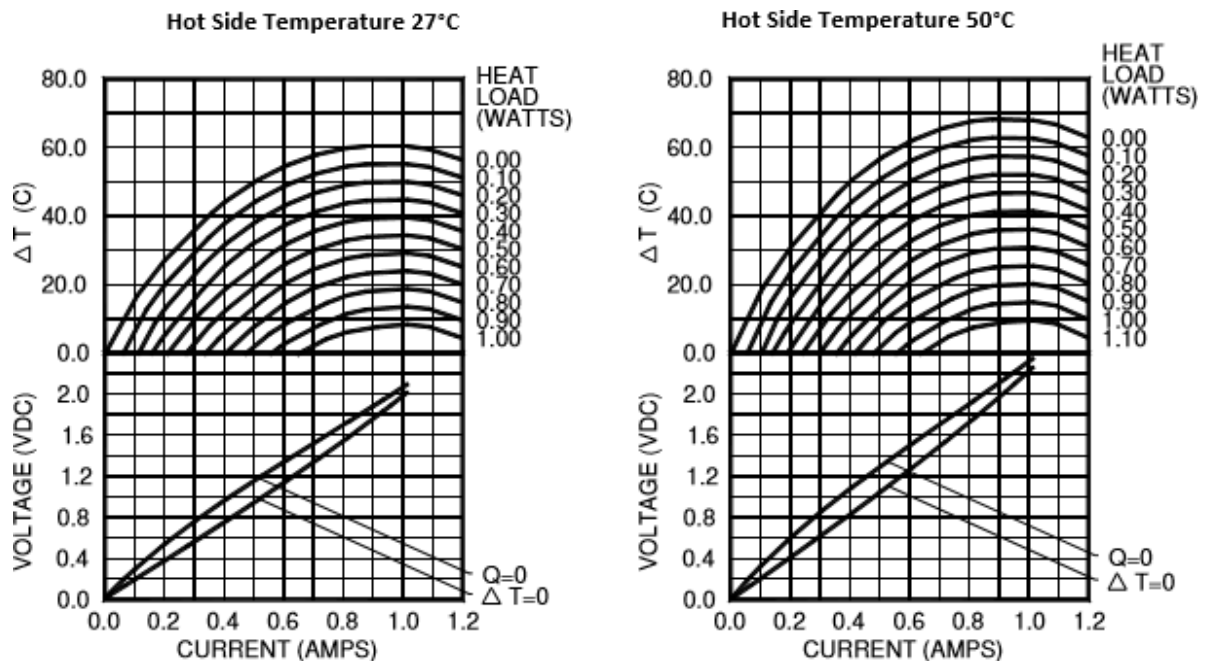


Рис.8 – типові характеристики елементів Пельтьє

Щодо застосування елементів Пельтьє в кулерах: модулі Пельтьє в активних кулерах сприяють значному підвищенню їхньої ефективності, на відміну від стандартних – на основі традиційних радіаторів і вентиляторів. Проте, використовуючи модулі Пельтьє, в процесі конструювання і використання кулерів, необхідно мати на увазі ряд деяких специфічних особливостей, що витікають із конструкції, принципу роботи, архітектури

сучасних апаратних засобів комп'ютерів і функціональних можливостей системного і прикладного програмного забезпечення.

2.3 ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ ПЕЛЬТЬЄ

Елементи Пельтьє, які застосовуються у засобах охолодження електронних елементів, відрізняються досить високою надійністю і, на відміну від холодильників за традиційними технологіями, не мають рухомих складових.[10] Як показано вище, допускається каскадне використання даних модулів для підвищення ефективності їхньої роботи, тобто з'являється можливість довести температуру корпусів електронних елементів до від'ємних значень, навіть при значній потужності розсіювання тепла в них. Слід зауважити, що модуль є зворотнім (рис. 9): при зміні полярності постійного струму, гарячий і холодний полюс міняються місцями.

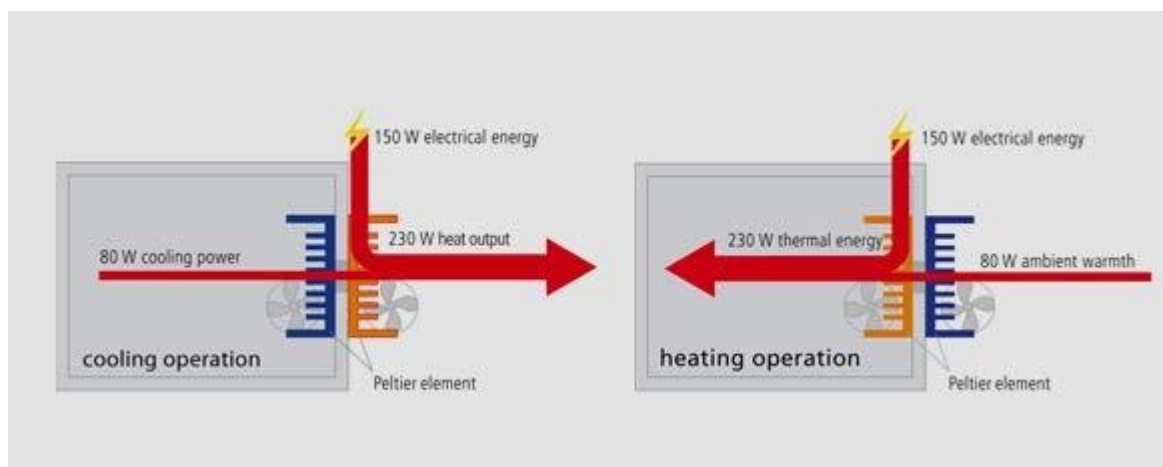


Рис.9 – Приклад прямого та зворотного включення елемента Пельтьє

Проте, окрім поверхневих переваг, модулі Пельтьє володіють деякими специфічними властивостями і характеристиками, які необхідно враховувати при використанні модулів в охолоджуючих елементах.[11] Деякі з них були перераховані вище, але для найбільш коректного використання, розгляд модулів Пельтьє повинен бути більш детальним.

До найбільш важливих характеристик входять наступні особливості експлуатації:

- Модулі Пельтьє, які в процесі роботи виділяють велику кількість тепла, потребують примусового охолодження гарячого спаю.

- Відміною термоелектричних модулів є відносно низький коефіцієнт корисної дії (ККД). Виконуючи функції теплового насосу, вони самі виступають у якості потужного джерела тепла. Дані модулі у складі засобів охолодження електронних комплектуючих комп'ютера, викликають значне зростання температури всередині системного блоку. Такий момент часто потребує додаткових шляхів для зниження температури всередині комп'ютерного корпусу. Інакше, надто висока температура всередині корпусу створить труднощі для роботи елементів, що захищаються, системам їхнього охолодження, а також решті компонентів комп'ютера.[12]

- Для блоку живлення модулі Пельтьє можна вважати досить сильним додатковим навантаженням. Струм, що вони споживають, перевищує 6А, тому величина потужності блоку живлення комп'ютера повинна бути не меншою від 250Вт, адже занадто тонкі дроти не здатні витримувати такої сили струму.

- Модуль Пельтьє, при виходженні з ладу (або відключенні його живлення), ізолює охолоджуваний елемент від радіатора кулера. Завдяки цьому виникає досить швидке порушення теплового режиму елемента, що захищається, з подальшим його виходом з ладу у випадку наступного перегріву.

- Термоелектричні відповідають технічним даним протягом 2 роки з дати виготовлення при дотриманні умов зберігання та експлуатації. З досвіду зрозуміло, що не нагріваючись до температури плавлення олова, модуль Пельтьє може «прожити» досить довго.

- Напруга, що подається на модуль, визначається кількістю пар гілок на модулі. Найбільш поширеними є 127-парні модулі, для яких величина максимальної напруги складає близько 16В. На такі модулі зазвичай подається напруга живлення 12В – такий вибір в більшості випадків є оптимальним і дозволяє забезпечити досить велику потужність для

охолодження, а також достатню економічність. При перевищенні напруги 12В, збільшення холодильної потужності виявиться слабким, а вживана потужність різко зростатиме. А при зменшенні напруги живлення економічність підвищиться, холодильна потужність зменшиться лінійно, це досить зручно для організації плавного регулювання температури.[13] Для модулів, у яких кількість пар гілок не дорівнює 127, є необхідність враховувати особливості конкретного пристрою, перш за все – умови відводу тепла гарячого спаю і можливості джерел живлення.

2.4 ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ ЕЛЕМЕНТІВ ПЕЛЬТЬЄ

Головні переваги елемента Пельтьє: невеликі розміри, відсутність будь-яких рухомих частин, а також рідин і газів. Елементи Пельтьє є зворотними: при зміні напрямку струму можливе і нагрівання, і охолодження – завдяки цьому з'являється можливість термостатування при температурі навколишнього середовища як вище, так і нижче температури термостатування. Серед переваг також варто відмітити відсутність рухомих частин.

Недолік елемента Пельтьє – більш низький ККД, ніж у компресорних холодильних установок на фреоні. Через це для отримання помітної різниці температур, споживається значно більша потужність. Тим не менш, відомо, що нині проходять розробки з підвищення теплового ККД, а елементи Пельтьє широко використовуються в техніці, оскільки досягнення температури нижче 0°C можна здійснити без допомоги додаткових пристроїв.

Проблемою реалізації елементів Пельтьє з високим ККД є те, що вільні електрони у речовині є одночасно транспортерами і електричного струму, і тепла. Отже, матеріал для виготовлення такого елемента повинен володіти двома взаємовиключними властивостями одночасно – хорошою електропровідністю, але поганою теплопровідністю.

У батареях елементів Пельтьє можливе досягнення теоретично досить великої різниці температур. Тому до них варто використовувати імпульсний метод регулювання температури, завдяки якому можна знизити споживання енергії. Однак, пульсації струму для продовження терміну служби елементу Пельтьє варто згладжувати.

Застосування елементів Пельтьє поширене у випадках, коли необхідне охолодження з невеликою різницею температур, або коли енергетична ефективність охолоджувача не є принциповою. Ось як, наприклад, у маленьких автомобільних холодильниках, оскільки тут не завжди є можливим застосування компресора у зв'язку з обмеженням розмірів, а також немає необхідності у великій потужності охолодження.

Також елементи Пельтьє використовуються для охолодження в цифрових фотокамерах і пристроях із зарядовим зв'язком. За рахунок них можна досягнути значного зменшення теплового шуму при тривалих експозиціях, до прикладу, в астрофотографії. А для охолодження приймачів випромінювання в інфрачервоних сенсорах використовуються багатоступінчаті елементи Пельтьє.

Також елементи Пельтьє застосовуються:

- у інжекційних лазерах, для стабілізації довжини хвилі випромінювання;
- у комп'ютерній техніці;
- у радіоелектричних пристроях;
- у медичному та фармацевтичному обладнанні;
- у побутовій техніці;
- у кліматичному обладнанні;
- у термостатах (рис. 12);
- в оптичній апаратурі (рис.13);
- для управління процесом кристалізації;
- як підігрів з метою опалення;

- для охолодження напоїв;
- у лабораторних і наукових приладах;
- у льодогенераторах;
- у кондиціонерах (рис. 10, 11);
- для отримання електроенергії;
- в електронних водних лічильниках.

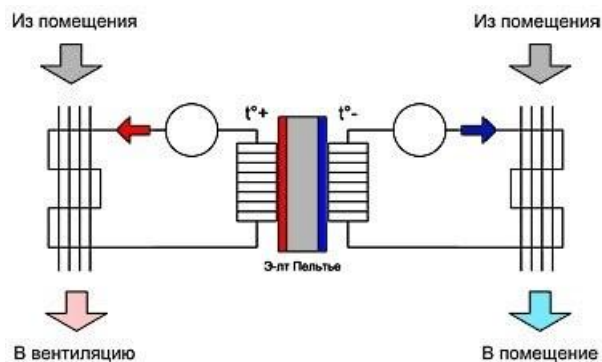


Рис.10

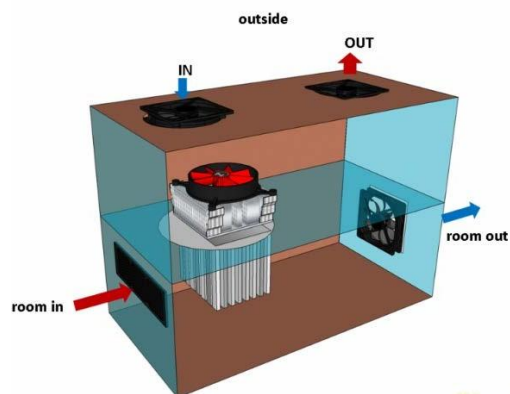


Рис.11

Рис.10, 11 – Кондиціонер на модулі Пельтье



Рис.12 – Електронний термостат Пельтье



Рис.13 – Фотоапарат з використанням елемента Пельтьє в якості охолоджувача для мінімізації світлового шуму

Проте, для масового використання елементи Пельтьє навряд чи підходять, з огляду на вартість і вище викладених моментів щодо експлуатації. Але у разі потреби сильного охолодження процесорів, кулери Пельтьє – найбільш ефективні пристрої.

Наразі відомо про експерименти про залучення мініатюрних модулів Пельтьє безпосередньо у мікросхеми процесорів для охолодження найбільш критичних структур. Цей «хід» сприяє кращому охолодженню за рахунок зниження теплового опору і дозволяє в значній мірі підвищити робочу частоту і продуктивність процесорів. Багато дослідницьких лабораторій працюють у напрямку вдосконалення систем забезпечення оптимальних температурних режимів електронних елементів. Системи охолодження, що передбачають використання термоелектричних модулів Пельтьє, вважаються надзвичайно перспективними.

З огляду на широке використання, перспективність та переваги елементів Пельтьє, їх вивчення може бути корисним та цікавим для студентів. Тому було прийняте рішення про залучення в напівпровідниковий практикум лабораторної роботи, пов'язаної з дослідженням елементів Пельтьє на практиці.

3. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 ЛАБОРАТОРНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ГАРЯЧОГО СПАЮ



Рис.14 – Лабораторна установка для дослідження температури гарячого спаю

Така лабораторна установка (рис.12) була створена мною у 2018 році. Її було впроваджено в практикум напівпровідникових приладів, вона успішно пропрацювала два роки – використовувалась для виконання лабораторних робіт. Холодильники Пельтьє характеризуються залежністю температур холодного та гарячого спаїв від величини струму для фіксованого значення температури гарячого спаю. Тому для реалізації лабораторної установки необхідно розробити методику вимірювання різниці температур на елементі Пельтьє.

В якості нагрівача використовується елемент Пельтьє. Гарячий спай знаходиться на радіаторі, а радіатор – на вентиляторі, – для відводу зайвого тепла. Якщо вентилятор виключений, охолодження відбувається природнім шляхом.

Похибка різниці температур на поверхні нижнього елементу Пельтьє мінімізується за рахунок того, що датчик температури знаходиться глибоко в масиві установки – в алюмінієвій пластині, нижня частина якої зроблена по

розмірам нижнього елемента Пельтьє, а верхня відповідає розмірам верхнього, досліджуваного. Для зменшення теплового опору між елементами Пельтьє та алюмінієвими пластинами, використовується «термопаста».

Ця багатошарова (рис.13) конструкція оточена пінопластом для того, щоб виключити теплопровідність по конструкції, а також боковий нагрів чи охолодження.

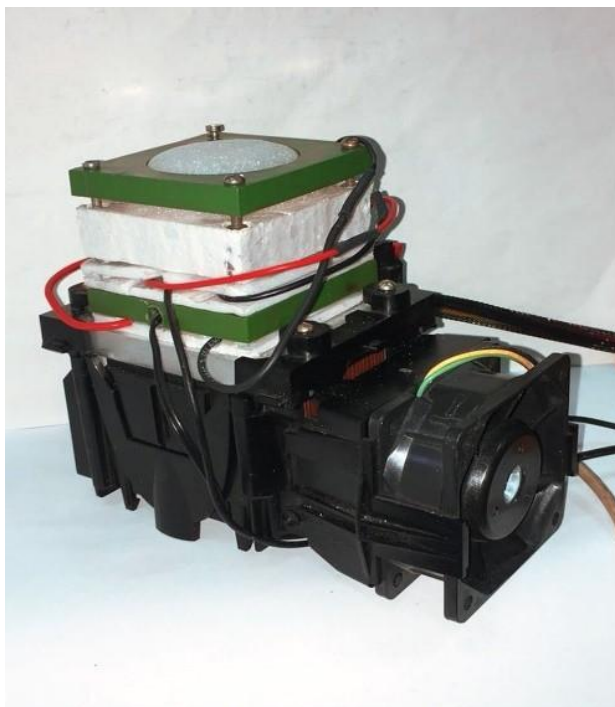


Рис.15 – «Сендвіч» на радіаторі з вентилятором

3.2 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Схема вимірювальної установки складається з терморегулятора (що знаходиться в блоці керування), блоків живлення та багатошарової конструкції: двох елементів Пельтьє (3x3см і 4x4см), які розташовані один над одним, алюмінієвих пластин, а також кулера та радіатора, які використовуються для відведення зайвого тепла. Радіатор вмикається тумблером. Досліджується верхній елемент Пельтьє(П1), тоді як нижній елемент Пельтьє(П2) використовується в якості нагрівача або охолоджувача, в залежності від полярності прикладеної до нього напруги. Полярність змінюється тумблером. Для стабілізації температури нижнього спаю

елемента Пельтьє(П1) використовується терморегулятор, розташований в блоці керування. Для контролю температури використовуються датчики температур, що розташовані в алюмінієвих пластинах, які знаходяться в тепловому контакті зі спаями елементів Пельтьє (для забезпечення теплового контакту використовується термопаста). Поточне значення температури верхнього спаю елемента П1 відображається на одному індикаторі (блок керування), а поточне значення температури нижнього (гарячого) спаю елемента П1 відображається на другому індикаторі (блок керування). Для установки меж поточного значення температури використовується кнопки, значення температур відображаються на екранах індикаторів температур.

Слід зауважити, що для області температур гарячого спаю в діапазоні кімнатної температури і нижче, гарячий спай вмикається на охолодження. Якщо температура суттєво вище кімнатної – на підігрів. А якщо в районі кімнатної – полярність напруги, що подається на реле, має бути такою, щоб відбувався нагрів (тобто частину кривої можна вимірювати на нагріві, частину – на охолодженні).

Отже, оскільки ця установка пропрацювала два роки, було зроблено висновки про деякі моменти, які потребують покращення, а саме:

- Точність вимірювання температур і потужність блоку живлення можуть бути підвищені.
- Існує можливість спостереження напруги на елементі Пельтьє, але відсутнє її дослідження за фіксованих умов.
- Нетранспортабельність установки за рахунок габаритних блоків живлення.
- Можливість підвищення ефективності та функціональності даної установки стала поштовхом до її модернізації.

3.3 МОДЕРНІЗОВАНА ЛАБОРАТОРНА УСТАНОВКА

При виборі елементів для нової установки, було проаналізовано ринок з основними критеріями: ціна та доступність. Оскільки дана установка призначена для лабораторних робіт, дуже важливою її характеристикою має бути ремонтпридатність: у разі пошкодження або виходу з ладу того чи іншого елементу, його необхідно легко роздобути і замінити.

Нова лабораторна установка відрізняється більшою точністю температур, а також можливістю не тільки спостерігати різницю температур на елементі Пельтьє, а й досліджувати термо-ЕРС. Для цього, перш за все, було змінено багат шарову конструкцію, так званий «сендвіч» (рис. 16).



Рис.16 – «Сендвіч»

Отже, новий "сендвіч" складається з трьох елементів Пельтьє (3х3см кожен) і двох термодатчів. Елемент П1 (нижній) задає температуру так званого "гарячого спаю" елемента П2 (середній), яка визначається датчиком температури (2). Елемент П2 – досліджуваний (для визначення термо-ЕРС). Елемент П3 (верхній) виступає у якості нагрівача для верхньої поверхні елемента П2, температура якої визначається датчиком 1. Для покращення теплопровідності між елементами Пельтьє, алюмінієві пластини було

замінено мідними. А для кращої теплоізоляції, елементи конструкції було оточено більш щільним пінопластом.

Додавши третій елемент Пельтьє (ПЗ), суть роботи на нагрів або охолодження при спостереженні різниці температур на елементах не змінилась. Проте саме завдяки ньому з'являється можливість досліджувати різницю потенціалів на середньому елементі Пельтьє (П2), увімкнувши верхній елемент (ПЗ) – на нагрів, а нижній елемент (П1) – на охолодження. Нова конструкція призводить до зміни схеми установки.

Блок-схема (рис. 17) для нової установки складається зі стандартного блока живлення AC-DC (19В, 3А), що використовується для живлення схем. Від AC-DC подається напруга на два блоки регулювання напруги на основі мікросхеми XL4015E1, на стабілізатор напруги 7812, і на два конвектори Dsn-vc288. Перший блок XL4015E1 - для нагріву поверхні П2, він також може бути підключений до елемента ПЗ. Другий блок XL4015E1 - для елемента П1. Полярність П1 забезпечується перемикачем. Регулювання температур відбувається за допомогою точно таких самих термодатчиків, але інших контролерів. Оскільки всі елементи малогабаритні, з'явилася можливість реалізувати їх в одному корпусі (рис. 18).

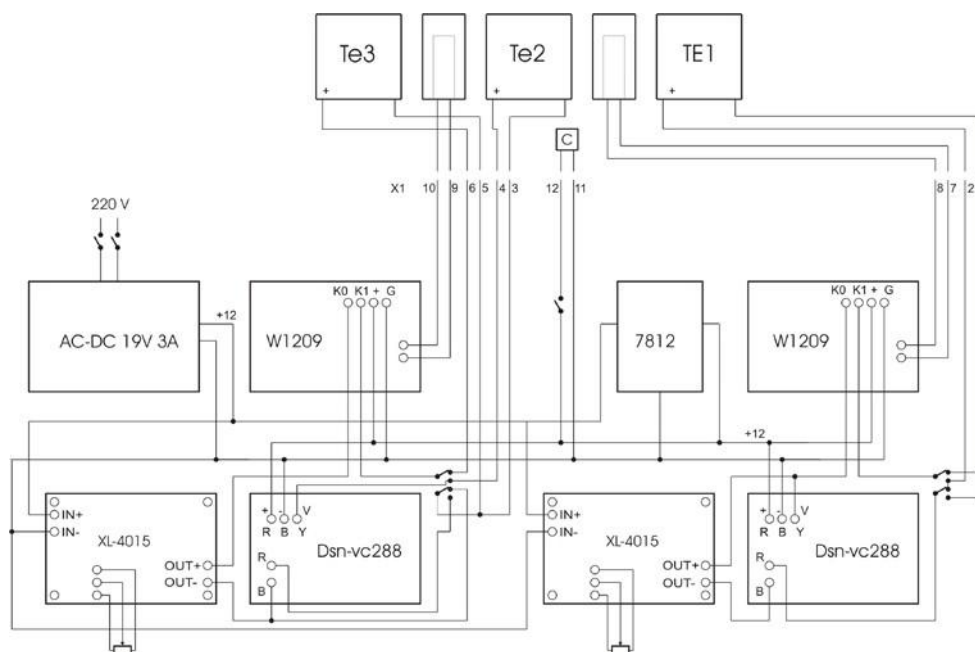


Рис.17 – Блок-схема установки

Конструкцію "сендвіч" разом з вентилятором і радіатором можна розмістити на блоці керування. Також для нової установки з'явилася можливість стабілізації температури не лише елементів Пельтьє, а і інших приладів, наприклад, при підключенні на їх місце двох термостатів.

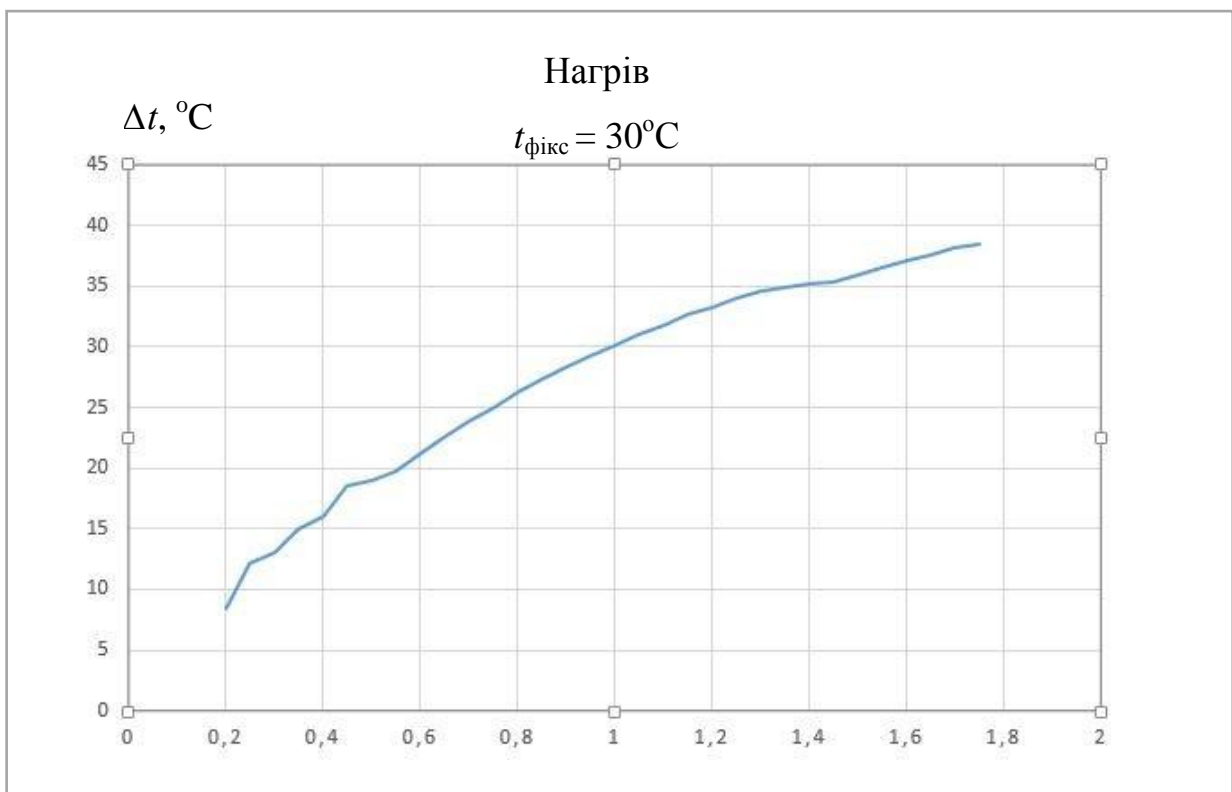
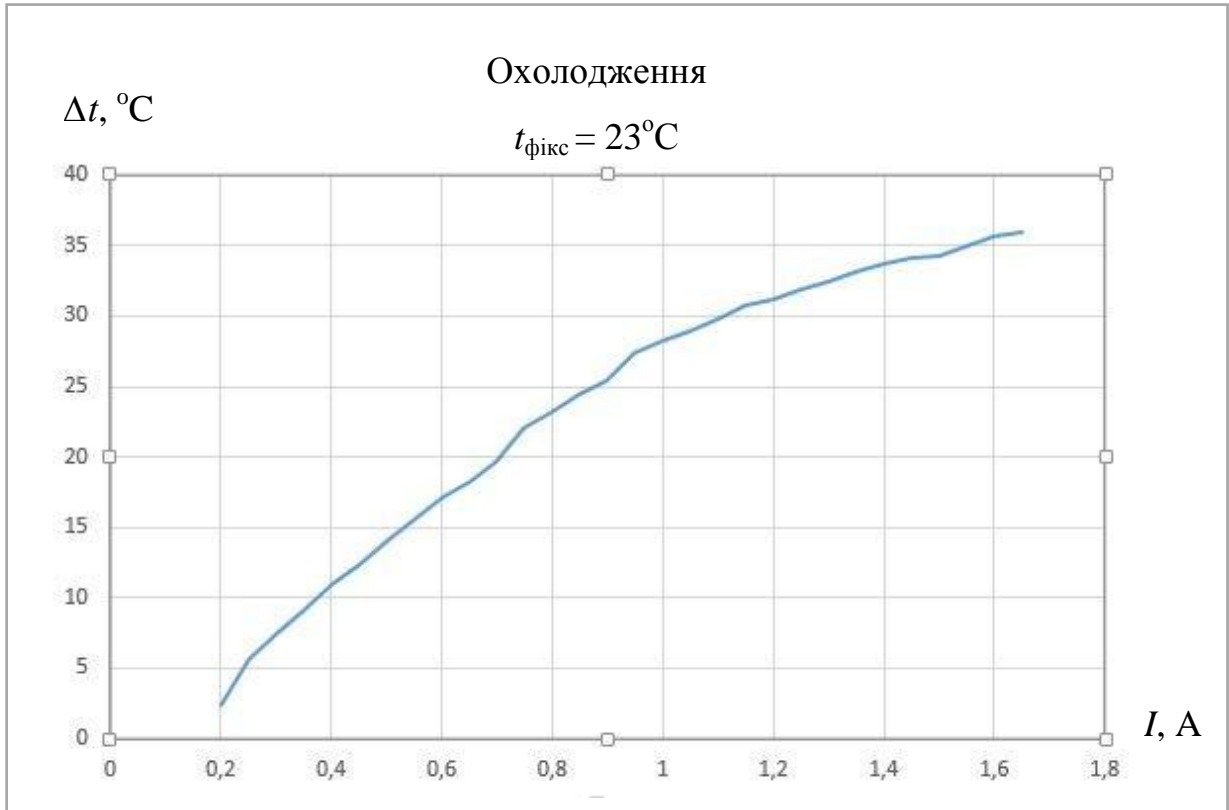


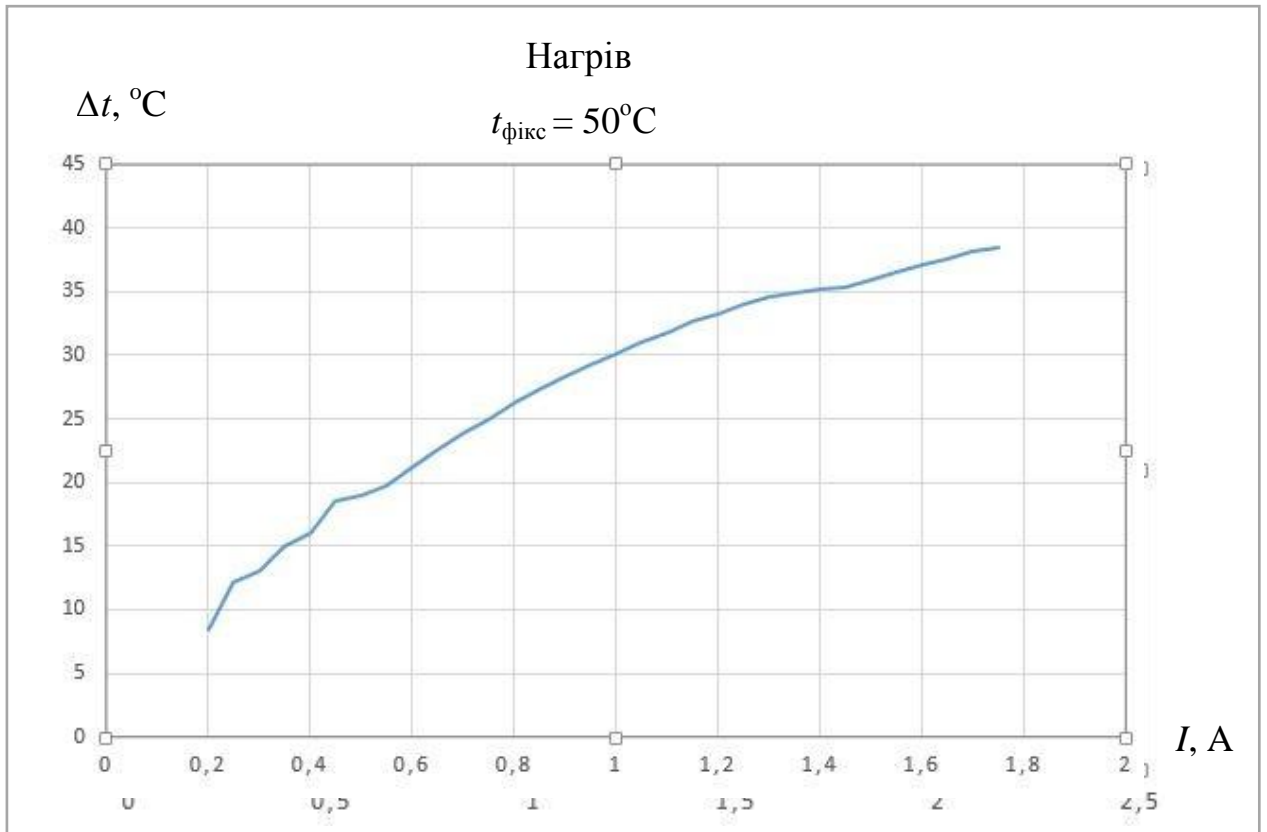
Рис.18 – Блок керування

Наприкінці реалізації даної роботи, було зроблено висновок, що ця установка може потребувати додаткової модернізації. За задумкою, вона не є автоматизованою. Таке рішення прийняте для можливості безпосереднього спостереження і дослідження фізичних процесів, і аналізу отриманих даних. Тим не менш, в умовах, коли виконання роботи на установці є фізично неможливим (карантин і т.п.), автоматизація була би досить доречною.

4. АПРОБАЦІЯ УСТАНОВКИ

В якості апробації установки, було досліджено залежності Δt від напруги для різних температур «гарячого спаю». Отримано такі результати:





Таким чином, для охолодження при фіксованій температурі $t_{\text{фікс}} = 23^{\circ}\text{C}$ отримано максимальне значення різниці температур $\Delta t = 35,7^{\circ}\text{C}$.
 Для нагріву при $t_{\text{фікс}} = 30^{\circ}\text{C}$ різниця температур $\Delta t = 38,7^{\circ}\text{C}$.
 Для нагріву при $t_{\text{фікс}} = 50^{\circ}\text{C}$ різниця температур $\Delta t = 45,5^{\circ}\text{C}$.

4. ВИСНОВКИ

Розроблено та модернізовано лабораторну установку для дослідження характеристик елемента Пельтьє:

1. Підвищено точність стабілізації температури, збільшено потужність джерел живлення, струми.
2. Реалізовано можливість досліджувати різницю потенціалів, які виникають внаслідок різниці температур – термо-ЕРС.
3. Лабораторну установку реалізовано в одному компактному корпусі, без зовнішніх блоків живлення.
4. Проведено апробацію, яка показала, що нова установка готова до впровадження в практикум.

5. ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учеб. пособ.: Для вузов. В 10. т. Т. VIII. Электродинамика сплошных сред. – 4-е изд., стереот.-М.: Физматлит, 200 т. – 656 с.
2. Ансельм А. И., Введение в теорию полупроводников, 2 изд., М., 1978.
3. Аскеров Б. М., Электронные явления переноса в полупроводниках, М., 1985.
4. Зеегер К., Физика полупроводников, пер. с англ.. М., 1977; Стильбанс Л. С., Физика полупроводников, М., 1967.
5. Н29 Наркевич И.И. Физика: Учеб./ И.И. Наркевич, Э.И. Вомлянский, С.И. Лобко. – Мн.: Новое знание, 2004. – 680 с.
6. Ф50 Физика: Энциклопедия./ Под. Ред. Ю.В. Прохорова. – М.: Большая Российская Энциклопедия, 2003. – 944 с.: ил., 2 л. цв.
7. Ф50 Физическая энциклопедия, т. 5. Стробоскопические приборы – яркость/ Гл. ред. А.М. Прохоров. Ред. кол.: Д.М. Балдин, Большая Российская Энциклопедия, 1998. – 760 с.
8. Ф50 Физика: Энциклопедия./ Под. Ред. Ю.В. Прохорова. – М.: Большая Российская Энциклопедия, 2003. – 944 с.: ил., 2 л. цв.
9. Иванова, Г.М. Теплотехнические измерения и приборы: учебник для вузов / Г.М. Иванова, ИД. Кузнецов, В.С. Чистяков. -М . МЭИ, 2005. - 458 с.
10. Thermoelectric Materials – New Directions and Approaches // MRS, Pittsburgh, 1998. V.478. – 348 p..
11. Шефтель И. Т., Терморезисторы, М., 1973; Кривоносов А. И., Кауфман В. Я., Статистические характеристики поликристаллических терморезисторов, М., 1976; Мэклин Э. Д., Терморезисторы, пер. с англ., М., 1983. И. Т. Шефтель
12. Булат Л.П. Термоэлектрическое охлаждение: состояние и перспективы // Холодильная техника.1999. № 7, с. 12–14.

13. Наркевич И.И., Вомлянский Э.И., Лобко С.И. Физика: учеб.– Минск: Новое знание, 2004. – 680 с.
14. Анатычук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства. Справочник – Киев: Наукова Думка, 1979. – 385 с. – ISBN 200000919939.
15. Woodward, W Stephen, “Thermoelectric-cooler unipolar drive achieves stable temperatures,” EDN, Dec 3, 2007, pg 98.